

限定なし

JERG-0-063A



宇宙開発信頼性技術ハンドブック

2024年 12月 23日 A改定

宇宙航空研究開発機構

免責条項

ここに含まれる情報は、一般的な情報提供のみを目的としています。JAXA は、かかる情報の正確性、有用性又は適時性を含め、明示又は黙示に何ら保証するものではありません。また、JAXA は、かかる情報の利用に関連する損害について、何ら責任を負いません。

Disclaimer

The information contained herein is for general informational purposes only. JAXA makes no warranty, express or implied, including as to the accuracy, usefulness or timeliness of any information herein. JAXA will not be liable for any losses relating to the use of the information.

発行

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部

JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

信頼性技術ハンドブック目次

はじめに	1
1. 信頼性プログラム	
1.1 信頼性プログラムとは	1- 1
1.2 信頼性プログラムと信頼性業務の関連	1- 5
2. 信頼性プログラムマネジメント	
2.1 信頼性マネジメント組織の設置	2- 1
2.2 信頼性プログラム計画書の作成	2- 5
2.3 テーラリング	2- 13
2.4 実施状況の管理	2- 15
2.5 信頼性プログラム監査	2- 18
2.6 信頼性管理報告書の作成	2- 25
2.7 信頼性教育訓練	2- 30
2.8 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理	2- 35
2.9 信頼性プログラムを適用しない供給業者の管理	2- 42
2.10 既開発品の選定	2- 44
3. 信頼性工学	
3.1 信頼性設計の基本的な考え方及び設計の見える化	3- 1
3.2 設計仕様書の作成、維持	3- 11
3.3 使用環境条件の設定	3- 19
3.4 インタフェース条件の設定	3- 28
3.5 信頼性技術情報の反映	3- 33
3.6 設計業務の標準化	3- 36
3.7 製造工程の標準化	3- 45
3.8 信頼度配分	3- 47
3.9 信頼性ブロック図	3- 63
3.10 信頼度予測：部品点数法	3- 68
3.11 信頼度予測：ストレス解析法	3- 73
3.12 信頼度予測：試験データによる評価法	3- 77
3.13 冗長設計	3-103
3.14 安全余裕／ディレーティングの設定	3-108
3.15 部品ストレス解析	3-123
3.16 FMEA／FMECAの活用	3-131
3.17 機能／詳細 FMEA／FMECA	3-142
3.18 欠番	3-154
3.19 インタフェースFMEA／FMECA	3-155
3.20 工程FMEA／FMECA	3-160
3.21 故障モード及び原因情報の収集	3-167

3.22	ワーストケース解析 (WCA)	3-176
3.23	トレンド解析	3-183
3.24	寿命解析	3-189
3.25	FTA：事前解析	3-199
3.26	FTA：事後解析	3-210
3.27	累積疲労損傷の管理	3-218
3.28	スニーク解析	3-223
3.29	重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析	3-223
3.30	ソフトウェア保証	3-232
3.31	保全性	3-236
3.32	人為故障の除去	3-239
3.33	設計過誤の防止	3-243
3.34	基本設計審査 (PDR: Preliminary Design Review)	3-264
3.35	詳細設計審査 (CDR: Critical Design Review)	3-280
3.36	認定試験後審査 (PQR: Post Qualification Test Review)	3-291
3.37	技術変更	3-298
3.38	異常／故障の定義、事例	3-301
3.39	異常／故障の管理方法	3-317
3.40	異常／故障解析報告書の作成	3-341
3.41	EM段階での異常／故障の管理	3-346
3.42	異常／故障のフィードバック	3-349
3.43	特別な管理を要する品目の識別	3-352
3.44	クリティカル品目リスト(CIL)の作成、維持	3-368
3.45	信頼性管理品目リストの作成、維持	3-373
3.46	作動寿命限定品目(OLI)の管理	3-376
3.47	貯蔵寿命限定品目(SLI)の管理	3-379
3.48	特性値管理品目の管理	3-383
3.49	重要取付品目の管理	3-387
3.50	打上前作動時間等管理品目(PTI)の管理	3-391
3.51	信頼性管理品目の文書パッケージへの反映	3-394
3.52	部品、デバイス、材料、工程プログラム：専門組織の活用	3-398
3.53	部品、デバイス：選定	3-403
3.54	部品、デバイス：仕様書	3-416
3.55	部品、デバイス：認定	3-429
3.56	部品、デバイス：リストの作成	3-435
3.57	部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査	3-438
3.58	材料、工程プログラム	3-445
3.59	EEE部品のパッケージング審査	3-453
3.60	製造工程審査	3-455
3.61	部品・材料データベースの活用	3-460
4.	試験および信頼性評価	
4.1	信頼性評価計画の立案	4- 1

4.2	試験環境条件の設定	4- 13
4.3	試験計画書の作成	4- 16
4.4	試験仕様書、手順書の作成	4- 25
4.5	試験報告書の作成	4- 36
4.6	ならし（バーンイン及びウェアイン）試験	4- 43
4.7	寿命試験	4- 51
4.8	試験中の計画外活動の管理	4- 60
4.9	信頼性評価の実施	4- 66
4.10	コンポーネントの認定	4- 71
4.11	サブシステムの認定	4- 84
4.12	システムの認定	4- 89
4.13	出荷前審査及び納入前審査での信頼性関係のインプット	4- 93
4.14	信頼性評価業務の審査	4- 97
5.	有人宇宙開発における信頼性・保全性	5- 1
5.1	信頼性・保全性要求	5- 2
5.2	信頼性・保全性要求と安全要求の関係	5- 5
5.3	信頼性・保全性要求と品質要求の関係	5- 6
5.4	信頼性・保全性要求とソフトウェア安全・開発要求の関係	5- 7
付録		
付録1	宇宙開発に係わる信頼性技術の進展と関連文書の流れ	付1-1
付録2	主要な信頼性技術関連用語(ディペンダビリティ用語)の定義・解説	付2-1
付録3	参考文献一欄	付3-1

第 1 章 信頼性プログラム

1. 信頼性プログラム

1.1 信頼性プログラムとは

一般に信頼性に係わる作業は、単発の活動では効果が薄く、相互に関連する業務と連携しながら計画的に進めることが重要であり、いわゆる「信頼性プログラム」の理解が根底として必要である。

宇宙システムのみならず地上システムの開発及び運用において、与えられたミッションを確実に達成するには、このような「信頼性プログラム」を基に、その手段である信頼性技術についての理解を深め、「信頼性管理」の観点から実務に活かすことが重要である。

JMR-004「信頼性プログラム標準」¹⁾では「信頼性プログラム」の基本的要求事項として以下の4つが規定されている。

- (1) 信頼性業務に関する計画の立案とマネジメントの実施
- (2) 主要な信頼性業務の決定と、設計、開発過程における位置づけの明確化
- (3) 解析、試験、審査によるシステム及びシステムを構成する品目（ハードウェア及びソフトウェア）の信頼性評価
- (4) 契約上の提出文書及びその他の報告書（議事録を含む）による信頼性業務の実施状況の適時報告

また、JMR-004の基になっている、NHB5300.4(1A-1)「Reliability Program Provisions for Aeronautical and Space System Contractors」²⁾（巻末の付録1参照）では、全NASAの共通一般要求として以下が記されていた。

“Design reliability into aeronautical and space systems and Prevent degradation of the design through the succeeding steps from fabrication to end use.”

現在、NASAの標準として用いられている「NASA-STD-8729.1.A NASA Reliability and Maintainability (R&M) Standard for Spaceflight and Support Systems」³⁾は、次の事項を目的として規定されている。

“This document specifies technical objectives and related strategies for NASA programs and projects to be used in planning, executing and evaluating Reliability and Maintainability (R&M).”

一方、国際規格であるIEC (International Electrotechnical Commission) が定めたIEC 60050-192及びAmendment 1:2016を基に制定された、JIS Z 8115:2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」⁴⁾では、「信頼性・保全性プログラム」(reliability and maintainability programme)の同義語として「総合信頼性プログラム」(dependability programme)を次の様に定義している。

「ディペンダビリティ目標及び対象をコスト効率良く達成するための諸活動及び方法を規定した、資源が割り当てられ調整された諸計画の一式。(注記：“信頼性・保全性プログラム”は、諸計画の一式を示す文書を指す用語として用いる場合がある。)」^{注1)}

注1) 広義の信頼性を意味する「ディペンダビリティ」(総合信頼性)には保全性が含まれる。JIS Z 8115:2019の定義の中にあるアイテム、ディペンダビリティの定義と解説については、このハンドブック巻末の付録2を参照されたい。

したがって、宇宙航空研究開発機構の「信頼性プログラム」は、JIS Z 8115:2019の「信頼性・保全性プログラム」の定義を包含するものである。

一方、「信頼性管理」のJIS Z 8115:2019の対応語としては、「ディペンダビリティマネジメント」(同義語：“信頼性・保全性管理”)があり、その定義は次の通りである。

「アイテムの信頼性・保全性性能に注目してディペンダビリティに関する要求事項を決め、かつ、満たすために必要な機能と活動の総括管理」

したがって、宇宙航空研究開発機構の「信頼性管理」は、JIS Z 8115:2019の「ディペンダビリティマネジメント」(同義語：“信頼性・保全性管理”)の定義を包含するものである。

このハンドブックにおける用語は、極力 JIS Z 8115:2019「ディペンダビリティ(統合信頼性)用語」に準拠した。

しかし、従来から宇宙航空研究開発機構で用いられている業務的用語や、このハンドブックの信頼性管理・技術的な観点でのJMR-004の対応項目、及びその他標準・規定などに記されている業務名などは、混乱を避けるためそのまま用いた。

宇宙開発に係わる、企画段階(プリフェーズA)から衛星の運用段階(フェーズE)に至る、代表的な宇宙航空研究開発機構の開発段階(開発フェーズ)の例を図1.1-1に示す。

この開発段階の各フェーズにおいて、1.2項及び2.2項で述べるとおり信頼性プログラムを計画、実行し、さらに信頼性管理のために信頼性にかかわる各業務（信頼性業務）を実施することとなる。

信頼性技術者のみならず宇宙開発に携わる全ての関係者が、ここで述べた宇宙開発に係わる「信頼性プログラム」と「信頼性管理」の意味をよく理解し、このハンドブックを大いに活用していただければ幸いである。

参考文献

- 1) JMR-004「信頼性プログラム標準」
- 2) NHB5300.4(1A-1)「Reliability Program provisions for Aerospace and Space Contractors」、NASA、1987
- 3) NASA-STD-8729.1.A「NASA Reliability and Maintainability (R&M) Standard for Spaceflight and Support Systems」、NASA、2017/6/13
- 4) JIS Z 8115:2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会

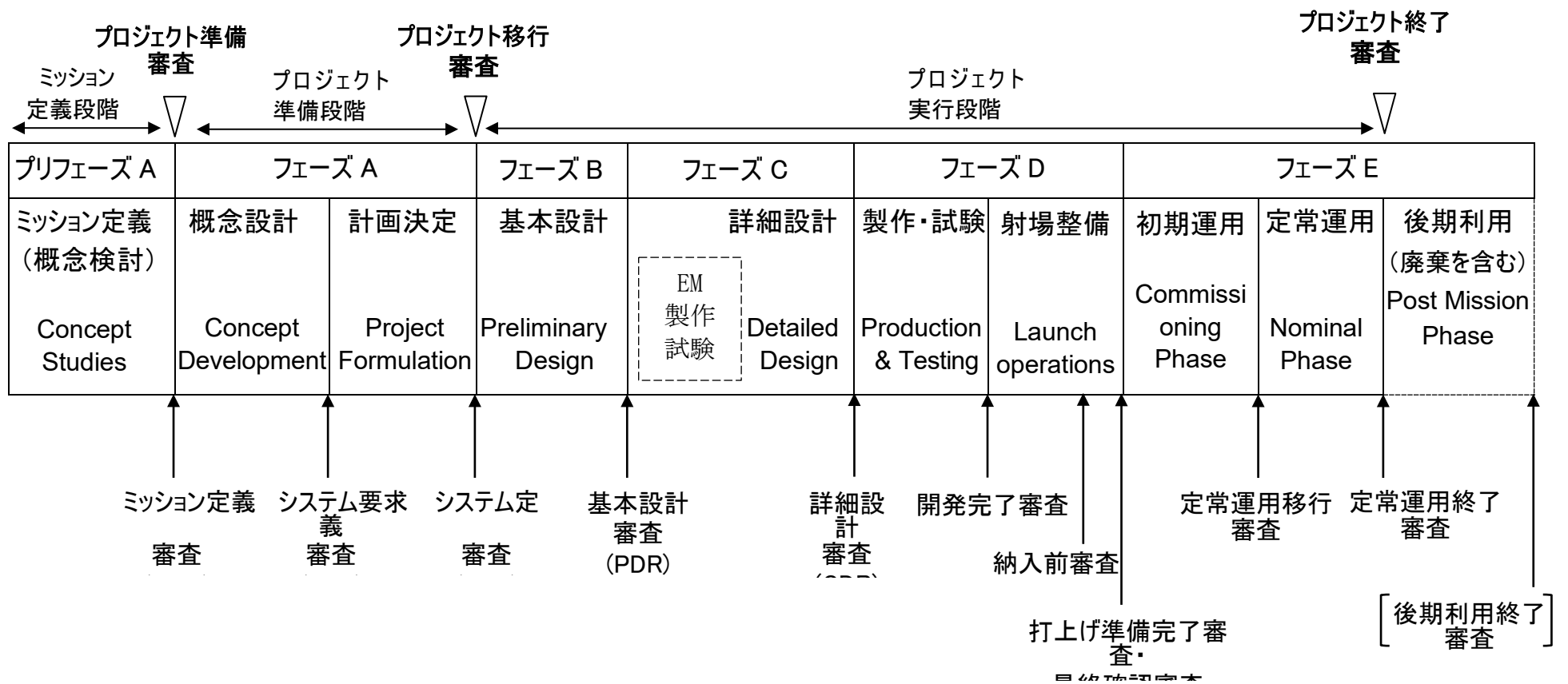


図1. 1-1 宇宙研究開発機構における衛星の開発段階（開発フェーズ）の例

1.2 信頼性プログラムと信頼性業務の関連

宇宙開発の代表的な開発プロセスの各開発段階と、JMR-004「信頼性プログラム標準」¹⁾を基に、信頼性管理的・工学的な観点から抽出した「信頼性業務」であるJMR-004の対応項目との関連について述べる。

この狙いは、宇宙システムの開発から運用に至る「信頼性プログラム」を基に、そこに必要な「信頼性業務」を漏れなく実務に展開し、ミッションを確実に達成することにある。

そこで、ここでは、開発プロセスの各開発段階と、JMR-004を基にこのハンドブックの2章から4章を構成する、それぞれの業務展開に必要な「信頼性業務」（JMR-004の対応項目）との関連についてまとめた。

2章の「信頼性プログラムマネジメント」及び4章の「信頼性試験及び評価」に係わる「信頼性業務」を計画作業とした。そして、この計画作業の概念設計から衛星運用に至る、各開発段階と信頼性業務との関係を表1.2-1に示す。

また3章の「信頼性工学」としての各種技法に係わる「信頼性業務」を設計作業とした。そして、この設計作業の概念設計から衛星運用に至る、各開発段階と信頼性業務との関係を表1.2-2に示す。

計画作業及び設計作業の表の中で、各開発段階に示される「信頼性業務」の名称を記載したところは、その業務の効果的な実施時期開始の開発段階を示す。カッコ内にはJMR-004におけるもっとも関連の深い項目を示した。

そして、この業務をフィードフォワード作業として継続する開発段階までを実線矢印で示した。

また、フィードバック作業に係わる「信頼性業務」は、開始の開発段階とそのフィードバックする開発段階までを・と2点鎖線矢印で示した。

更に、設計作業における諸審査会（JMR-004の対応項目）については、効果的な開発段階での実施時期を示し、それらの相互の関連を1点鎖線で示した。

開発の当初からの信頼性技術及び信頼性管理の実施は、一見開発費用の増加を招くように見えるが、初期段階における信頼性技術及び信頼性管理に対する投資が、結果としてミッション成功とライフサイクルコストの低減に大いに貢献する。

これは、開発の当初からミッション達成に対してのリスクは何かを識別し、リスクの発生度合いと影響を予測・評価し、リスクを許容できるところまで低減することにある。

また、開発の当初から信頼性技術者が参加し、常に開発を支援あるいは点検（レビュー）すれば、潜在する故障要因を発見し容易に対策を取ることができ、ライフサイクルコストを低く押さえることができる。

例えば、試験段階（開発段階の後期）で故障要因が発見されてから信頼性を議論した場合は、開発が手戻りとなり、開発費用の高騰を招く結果となる。

また、運用段階において、故障が生じてから信頼性を議論しても間に合わなく、特にほとんどが非修理アイテムであるロケット／人工衛星では、運用に入ってから故障は手の打ちようがなく、即ミッション喪失となる。

更に、ロケット／人工衛星のような非修理アイテムであっても、打上げまでの試験、輸送、射場整備作業などに保全作業があり、また有人宇宙システムでは、軌道上の保全という概念が重要になる。

各開発段階での実務者は、表1.2-1及び表1.2-2から各開発段階に必要な「信頼性業務」、及びその他の開発段階での「信頼性業務」との関連の仕組みを良く理解し、最適化したライフサイクルコストで信頼性技術及び信頼性管理の着実な実施が望まれる。

参考文献

- 1) JMR-004 「信頼性プログラム標準」

表1.2-1 計画作業の各開発段階と信頼性業務の関連

開発段階 (フェーズ)	概念設計 「準備段階」 (システム構想の設定)	計画決定 「準備段階」 (システムの決定)	基本設計 「実行段階」	詳細設計 「実行段階」	製作 「実行段階-維持設計」 (PM,PFM,FM)	試験・検査 「実行段階-維持設計」	改修 「実行段階-維持設計」	輸送/ 保管	打上げ 「実行段階」	衛星運用 (軌道上) 「実行段階」
計画作業 (スケジュール・ 管理)	2.1 信頼性マネジメント組織の設置 (4.2.1 組織)									
		2.2 信頼性プログラム計画書の作成 (4.2.2 信頼性プログラム計画書)								
		2.3 テーラリング (1.2.3 テーラリング)								
			2.4 実施状況の管理 (4.2.3 信頼性プログラム報告)							
				2.5 信頼性プログラム監査 (4.2.4 信頼性プログラム監査)						
			2.6 信頼性管理報告書の作成 (4.2.3 信頼性プログラム報告)							
	2.7 信頼性教育訓練 (4.2.5 信頼性教育訓練)									
				2.8 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理 (4.2.6.2 信頼性プログラムの適用を要求する供給業者に対する信頼性プログラム要求事項)						
				2.9 信頼性プログラムを適用しない供給業者の管理 (4.2.6.3 信頼性プログラムを要求しない供給業者に対する最低限の信頼性管理)						
	2.10 既開発品の選定 (4.2.7 既設計・製造又は飛行実績のある品目の使用)									
	4.1 信頼性評価計画書の作成 (4.4.2 信頼性評価計画書)									
				4.2 試験環境条件の設定 (4.3.3.1 試験計画書)						
				4.3 試験計画書の作成 (4.3.3.1 試験計画書)						
					4.4 試験仕様書、手順書の作成 (4.4.3.3 試験仕様書、手順書及び報告書)					
					4.5 試験報告書の作成 (4.4.3.3 試験仕様書、手順書及び報告書)					
						4.6 ならし試験 (4.4.3.4 ならし試験)				
				4.7 寿命試験 (4.4.3.5 寿命試験)						
						4.8 試験中の計画外活動の管理 (4.4.3.6 試験中の計画外活動の管理)				
			4.9 信頼性評価の実施 (4.4.4 信頼性評価の実施と結果報告)							
					4.10 コンポーネントの認定 (4.4.3.2.2 サブシステムレベルに属する品目の認定)					
					4.11 サブシステムの認定 (4.4.3.2.2 サブシステムレベルに属する品目の認定)					
					4.12 システムの認定 (4.4.3.2.2 サブシステムレベルに属する品目の認定)					
						4.13 出荷前審査および納入前審査での信頼性関係インプット (4.5 出荷前審査及び納入前審査)				
	4.14 信頼性評価業務の審査 (4.4.4 信頼性評価の実施と結果報告)									

表1.2-2 設計作業の各開発段階と信頼性業務の関係

開発段階 (フェーズ)	概念設計 「準備段階」 (システム構想の設定)	計画決定 「準備段階」 (システムの決定)	基本設計 「実行段階」	詳細設計 「実行段階」	製作 「実行段階—維持設計」 (PM,PFM,FM)	試験・検査 「実行段階—維持設計」	改修 「実行段階—維持設計」	輸送/ 保管	打上げ 「実行段階」	衛星運用 (軌道上) 「実行段階」	
設計作業	3.1 信頼性設計の基本的な考え方や設計の見える化 (4.3.2 信頼性設計の基本的な考え方)	3.3 使用環境条件の設定 (4.3.3 設計仕様書)	3.2 設計仕様書の作成、維持 (4.3.3 設計仕様書)								
	3.8 信頼度配分 (4.3.5 信頼度予測)	3.5 信頼性技術情報の反映 (4.3.3 設計仕様書)	3.4 インターフェース条件の設定 (4.3.3 設計仕様書)								
	3.9 信頼性プロシージャ (4.3.5 信頼度予測)		3.6 設計業務の標準化 (4.3.4 設計の標準化)		3.7 製造工程の標準化 (4.3.4 設計の標準化)						
	3.10 信頼度予測：部品点検法 (4.3.5 信頼度予測)			3.11 信頼度予測：ストレス解析法 (4.3.5 信頼度予測)							
	3.13 冗長設計 (4.3.5 信頼度予測)			3.12 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
	3.21 故障モード及び影響情報の収集 (4.3.6 FMEA)		3.14 安全余裕/チーティングの設定 (4.3.3 設計仕様書、4.3.7 部品点検法)	3.15 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
		3.22 ワーストケース解析 (4.3.6 FMEA)	3.16 FMEA/FMECAの活用 (4.3.6 FMEA)	3.15 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
		3.24 寿命解析 (4.3.10.2 寿命解析)	3.17 信頼性/信頼FMEA/FMECA (4.3.6 FMEA)	3.15 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
			3.19 インターフェースFMEA/FMECA (4.3.6 FMEA)	3.15 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
			3.20 信頼FMEA/FMECA (4.3.6 FMEA、4.3.17.12 製造工程書)	3.15 信頼度予測：試験データによる評価法 (4.3.5 信頼度予測)							
			3.22 ワーストケース解析 (4.3.6 FMEA)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
		3.24 寿命解析 (4.3.10.2 寿命解析)	3.23 トレンド解析 (4.3.9 トレンド解析)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.25 FTA：事前解析 (4.3.10.3 FTA)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.27 信頼度劣化情報の管理 (4.3.10.4 信頼度劣化情報)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.29 重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析 (4.3.10.6 重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.30 ソフトウェア検証 (4.3.11 ソフトウェアの信頼性保証)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.31 健全性 (4.3.12 健全性)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.32 入出力管理の方法 (4.3.13.1 入出力管理)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.33 設計誤差の防止 (4.3.13.2 設計誤差の防止)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.34 基本設計書 (4.3.14 設計書)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.37 技術変更 (4.3.14.3 技術変更)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.38 異常/故障の定義、事例 (4.3.15.1 異常/故障管理)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.39 異常/故障の管理方法 (4.3.15.1 異常/故障管理)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
			3.41 EMI/EMCでの異常/故障の管理 (4.3.15.1 異常/故障管理)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
		3.42 異常/故障のフィードバック (4.3.15.1 異常/故障管理)	3.40 異常/故障解析報告書の作成 (4.3.15.2 異常/故障管理)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)							
		3.43 特別な管理を要する部品の識別 (4.3.16 特別な管理を要する部品)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.44 カリブレーションリストの作成、維持 (4.3.16.2 カリブレーション)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.45 信頼性管理項目リストの作成、維持 (4.3.16.3.2 信頼性管理項目リスト)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.46 信頼性管理項目の管理 (4.3.16.3 信頼性管理項目)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.47 信頼性管理項目の管理 (4.3.16.3 信頼性管理項目)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.48 信頼性管理項目の管理 (4.3.16.3 信頼性管理項目)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.49 重要な部品の管理 (4.3.16.3 信頼性管理項目)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.50 打上げ動作時等管理項目の管理 (4.3.16.3 信頼性管理項目、4.3.24 地上試験)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.51 信頼性管理項目の更新パッケージへの反映 (4.3.16.3 信頼性管理項目)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
	3.52 部品、デバイス、材料、工程プログラムの専門知識の活用 (4.3.17.2 専門知識の活用)		3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
	3.53 部品、デバイス、選定 (4.3.17.3 選定)		3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
	3.54 部品、デバイス、材料、工程プログラム：仕様書 (4.3.17.4 仕様書)		3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.55 部品、デバイス：選定 (4.3.17.5 選定)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.56 部品、デバイス：リストの作成 (4.3.17.6 部品/リスト)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.58 材料、工程プログラム (4.3.17.3 選定)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.59 EEC部品のパッケージング書 (4.3.17.11 EEC部品のパッケージング)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
		3.60 製造工程書 (4.3.17.12 製造工程書)	3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
	3.61 部品・材料データベースの利用 (4.3.17.3 選定)		3.28 スニープ解析 (4.3.10.5 スニープ解析)								
			3.60 製造工程書 (4.3.17.12 製造工程書)								
			3.60 製造工程書 (4.3.17.12 製造工程書)								

第2章 信頼性プログラムマネジメント

2. 信頼性プログラムマネジメント

2.1 信頼性マネジメント組織の設置

効果

信頼性プログラム活動の立案及び実行を効果的に推進できる。

効果的な実施時期

プロジェクト立上げ時

技術的根拠

信頼性プログラム活動にかかわる責任体制が明確になる。責任者および専門能力を持ったスタッフによる信頼性プログラムの全体計画履行状況の把握が可能になり、開発品目の信頼性確保を確実なものとするができる。

JMR-004の対応項番

4.2.1 組織

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) 実施状況の管理
- (3) 信頼性プログラム監査

実施方法

信頼性プログラムのPLAN→DO→CHECK→ACTIONのサイクルを回し続ける業務を受け持つ信頼性マネジメント責任者とその組織名（部課等）を明確にする。

信頼性マネジメント責任者は、信頼性管理部長、信頼性品質管理部長、品質保証部長等の場合が多く、信頼性マネジメント組織は、信頼性管理部、信頼性品質管理部、品質保証部等である場合が多い。

信頼性マネジメント組織は、全ての信頼性業務を自ら実施しない場合においても、最低限、開発組織全体の信頼性活動を計画し、機能させる責任を持つ。

また、信頼性プログラムの実施状況をより上位のマネジメント組織の長（例えば、社長、所長、事業部長等のトップを指す）に報告する、または取引先の信頼性管理部門との連絡窓口としての業務を受け持つことが多い。このような信頼性マネジメント組織の業務範囲は、信頼性プログラム計画書の中で明確にする。

信頼性業務にかかわる組織については、何を開発するか、何を重視するか、どんな企業規模か、時代環境の変化に対応しているかなどで変わってくるものであり、それぞれにふさわしい体制を作ることが大切である。

代表的な組織の例として以下の二つのタイプがある。

また信頼性管理業務と担当部門の例を表2.1-1に示す。

(1) 独立型の信頼性マネジメント組織

信頼性プログラムが契約事項として要求される製品が主流の会社（事業所）において多く採用されているケースで、信頼性マネジメント組織を、設計、製造、試験等の実施部門とは独立させ、権限を与えている。

信頼性マネジメント組織には、取引先に代わって信頼性要求の達成を監視する業務が期待されている。代表的な組織の例を図2.1-1に示す。

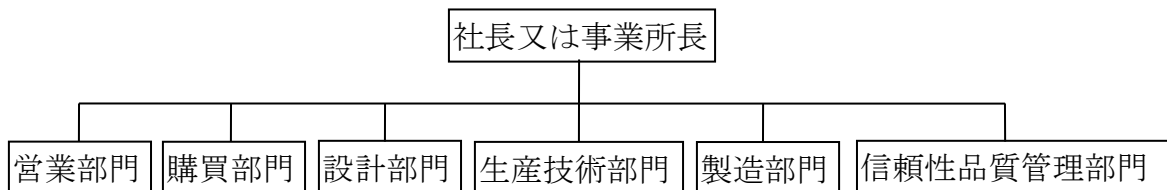


図2.1-1 独立型の信頼性マネジメント組織の例

(2) 部門別の信頼性マネジメント組織

民生品のように自主的に信頼性管理を行っている会社（事業所）では、責任の明確化のために、各部門に信頼性管理組織を置き、それらを統合するスタッフ組織を配置することがある。設計にかかわる信頼性は設計部門、製造にかかわる信頼性は製造部門、購入品にかかわる信頼性は購買部門がそれぞれ責任をもって達成するものとし、それらを統合管理する部門を設けている。代表的な組織の例を図2.1-2に示す。

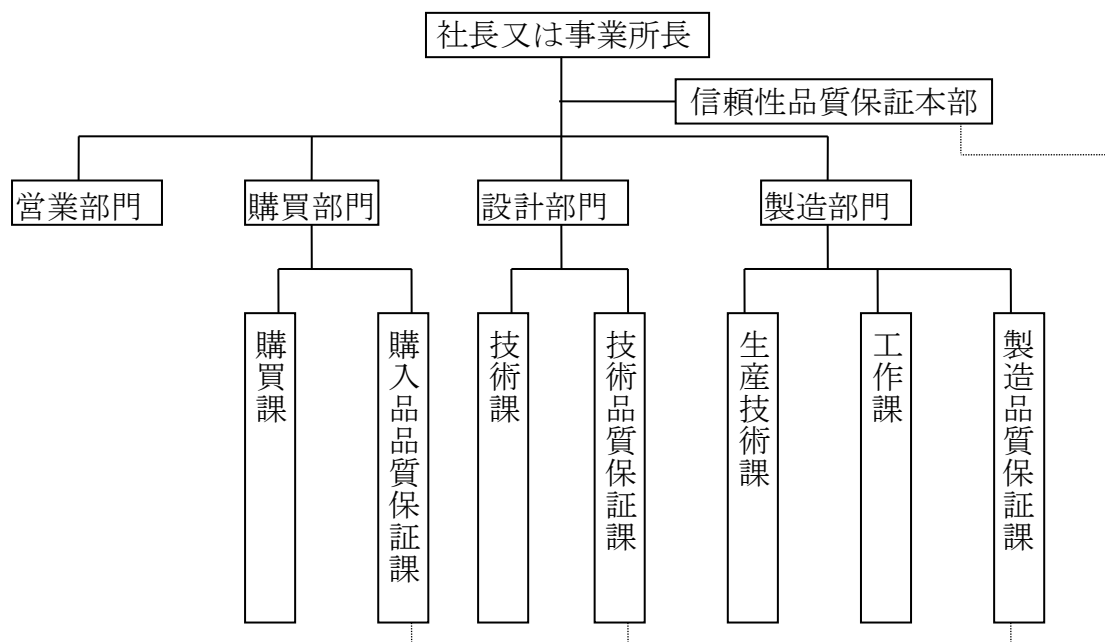


図2.1-2 部門別の信頼性マネジメント組織の例

表2.1-1 信頼性管理業務と担当部門の例

区分	担当部門	業務内容
メーカー	設計	設計業務にかかわる信頼性プログラム計画書の立案 既開発品の立証 設計仕様書 設計の標準化 信頼度予測及び配分 信頼性解析 人為故障の除去（チェックリスト） 材料及び工程の選定 EEE部品選定 信頼性管理品目の選定 設計審査（含む、パッケージング審査） 異常／故障解析の実施 認定試験 信頼性の評定
	製造	信頼性管理品目を含む工程手順設定、製造 工程FMEA/FMECA 異常／故障発見時の報告 設備・環境の保全
	信頼性／品質管理	信頼性プログラム計画書のまとめ 信頼性プログラム監査・審査 異常／故障解析書の管理 信頼性管理品目を含む部品材料受入検査 信頼性管理品目の管理（文書パッケージを含む） 完成品の受入検査・試験
ユーザ	調達発注	信頼性を含む仕様要求の設定
	使用	初期訓練 取扱説明書の維持 故障データ報告 予備品手配 整備保全

[注] ユーザとメーカーの製品・歴史によって違いがあるので注意のこと。

実施しない場合の影響

信頼性活動の計画があいまいになるばかりでなく、タイムリーな進行が図れず客観的な評価が行われない。

- (1) 信頼性マネジメント組織が、設計、製造、試験等の実施部門とは機能的に独立していないと、日程やコストが優先され、信頼性確保がおろそかになる恐れがある。
- (2) 信頼性マネジメント組織の長に権限と資源（人的資源、予算等）がなければ、責任を全うすることはできない。
- (3) 信頼性マネジメント組織の長は、より上位のマネジメント組織の長（社長、所長、事業部長等のトップを指す）とプログラムの状況と妥当性について直接協議ができないと、問題等を会社（事業所）全体として解決する活動ができない。
- (4) 信頼性マネジメント組織が全ての信頼性業務が有効に履行されていることを監視し保証しないと、各組織が勝手に信頼性業務を省略したりして、全体活動として効果が出ないことになる。

参考文献

なし

2.2 信頼性プログラム計画書の作成

効果

信頼性プログラムの計画について、必要十分であることが確認できる。また、信頼性プログラムが適切に機能しているかどうかの監査の基準となり、信頼性業務の遂行や確保の状況が把握しやすくなる。

効果的な実施時期

プロジェクトの立上げ時（計画決定、基本設計）

技術的根拠

信頼性活動の分担、実施時期、実施方法が明確になるので、信頼性プログラム計画の確認ができる。

JMR-004の対応項番

4.2.2 信頼性プログラム計画書

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性マネジメント組織の設置
- (2) テーラリング
- (3) 実施状況の管理
- (4) 信頼性プログラム監査
- (5) 信頼性教育訓練
- (6) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理
- (7) 信頼性プログラムを適用しない供給業者の管理

実施方法

信頼性プログラム計画書とは、信頼性を効率的に確保するための5W1Hを示すものといえる。

開発する品目に求められる信頼性プログラム業務が共通である場合が多い会社では、標準信頼性プログラム計画書と個別信頼性プログラム計画書とで構成することが多い。

信頼性プログラムの適用事例が少なかったり、品目毎に内容が大きく変わるような会社では個々の品目に対しそれぞれの信頼性プログラム計画書とすることもできる。

標準信頼性プログラム計画書は、ライフサイクルにわたって会社としての標準的な信頼性業務を示す文書である。JMR-004に示されているライフサイクル段階と信頼性工学業務の関係一例を図2.2-1に、信頼性業務の流れの概要を図

2.2-2に示す。

標準信頼性プログラム計画書の章立ては、取引先の信頼性要求文書の章立てに合わせる必要はなく、内容的に包含され、分かりやすくなっていればよい。標準信頼性プログラム計画書の構成例を図2.2-3に示す。

個別信頼性プログラム計画書は、開発対象品目固有の信頼性業務をテーラリングに対応して示す文書である。標準信頼性プログラム計画書を引用し、テーラリングを踏まえて、プロジェクト固有の修正点を示すと固有活動が分かりやすくなる。

JMR-004 信頼性工学業務	ライフサイクル				
	概念設計/ 計画決定	基本設計	詳細設計	製作/ 試験	射場作業 /運用
4.3.3 設計仕様書			維持改定		
4.3.4 設計の標準化					
4.3.5 信頼度予測	トレードオフ		予測	維持改定	
4.3.6 FMEA/FMECA		機能	詳細	維持改定	
4.3.7 部品ストレス解析				維持改定	
4.3.8 ワーストケース解析				維持改定	
4.3.9 トレンド解析		品目の洗い出し		特性値管理	軌道上管理
4.3.10.2 寿命解析					
4.3.10.3 FTA		事前解析		事後解析	
4.3.10.4 累積疲労損傷			設計/予測	解析/管理	
4.3.10.5 スニーク解析					
4.3.10.6 重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析					
4.3.11 ソフトウェアの信頼性保証					
4.3.12 保全性				維持	
4.3.13.1 人為故障の除去					
4.3.13.2 設計過誤の防止及び除去					
4.3.14 設計審査		PDR▽	CDR▽	PQR▽ (▽PSR)	
4.3.15 異常/故障管理及び報告					
4.3.16 特別な管理を要する品目		品目の識別・対策		対策実施・管理	軌道上管理
4.3.17 部品、デバイス、材料、 工程に関するプログラム				維持	

PDR : Preliminary Design Review (基本設計審査会)
 CDR : Critical Design Review (詳細設計審査会)
 PQR : Post Qualification Test Review (認定試験後審査会)
 PSR : Pre Shipment Review (出荷前審査会)

図2.2-1 ライフサイクル段階と信頼性工学業務の関係一例

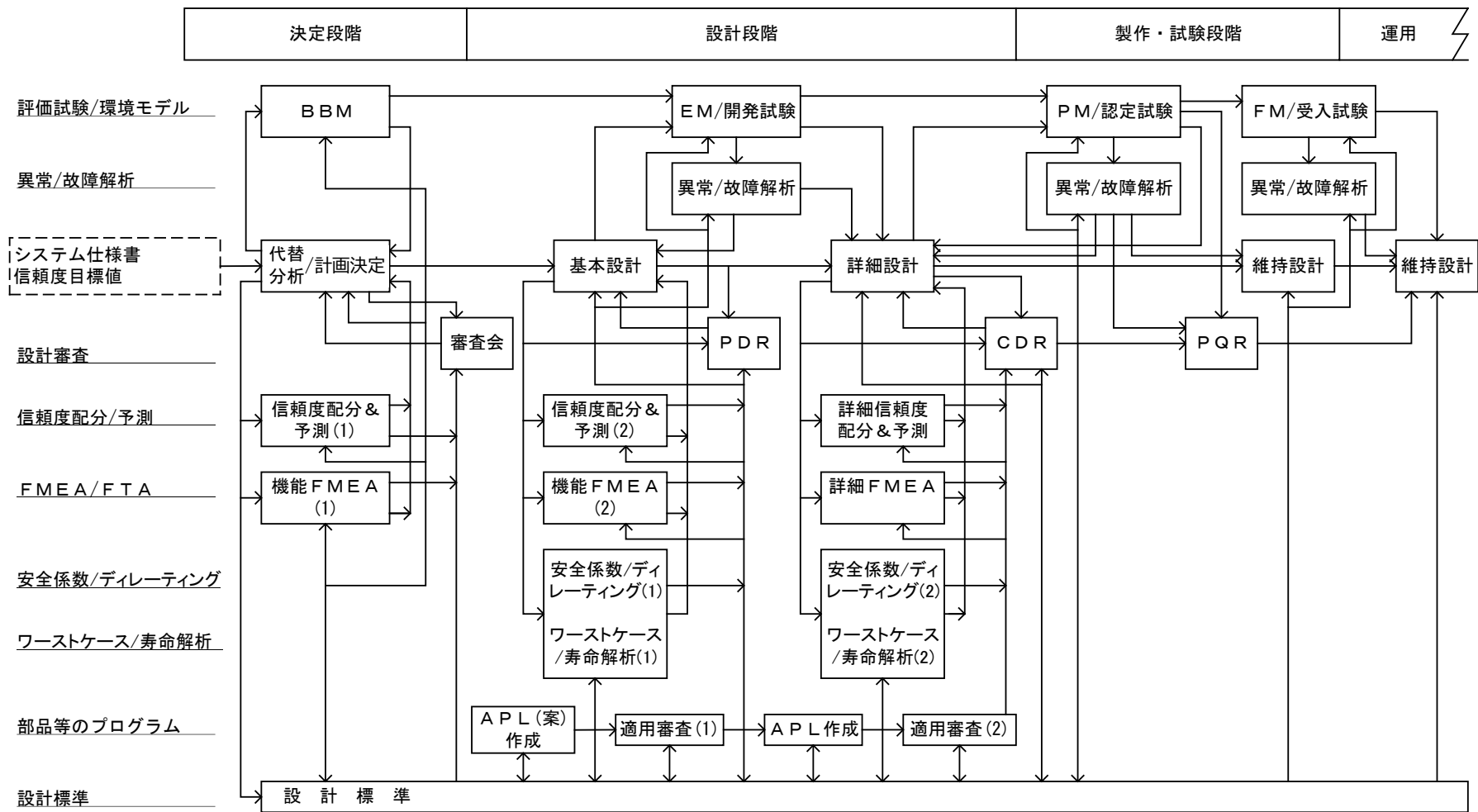


図2.2-2 信頼性業務の流れ

1. 総則
- 1.1 目的
- 1.2 適用範囲
2. 関連文書
3. 用語の定義
4. 基本
- 4.1 基本事項
- 4.2 顧客の行為及び権利
- 4.3 信頼性プログラム文書
5. 信頼性プログラムマネジメント
- 5.1 組織
- 5.2 信頼性プログラム計画書
- 5.3 信頼性プログラム監査
- 5.4 信頼性プログラム報告
- 5.5 信頼性教育訓練
- 5.6 供給業者の管理
- 5.7 既開発品の使用
- 5.8 支給品に対する信頼性
6. 信頼性工学
- 6.1 設計仕様書
- 6.2 設計の標準化
- 6.3 信頼度予測
- 6.4 信頼性解析
- 6.5 人為故障の除去
- 6.6 設計過誤の防止及び除去
- 6.7 設計審査
- 6.8 異常／故障管理及び報告
- 6.9 特別な管理を要する品目
- 6.10 部品、デバイス、材料、工程に関するプログラム
7. 試験及び信頼性評価
- 7.1 信頼性評価計画
- 7.2 開発試験
- 7.3 信頼性評価の実施と結果審査
8. 出荷前審査及び納入前審査

図2.2-3 信頼性プログラム計画書の構成例

標準と個別とを合わせて信頼性プログラム計画書には、少なくとも以下の事項について記述する。記述等について、ISO 9000シリーズでの品質マニュアル作成要領等のガイドブックが多く出版されており、それらを参考にされたい。

- (1) 信頼性プログラムの履行に係る組織体制と機能（業務）分担及び責任を明確に示す。組織体制を示すためには組織図が分かりやすい。さらに、それぞれの信頼性業務をどのように分担して実施し、どこの部課が責任を持つのかを信頼性プログラム計画書の各項目で示すことで明確にする。
- (2) 信頼性プログラムにおける各業務の実施時期と実施状況の管理／監査時期等をマネジメントのために計画した事項、マイルストーン、実施要領書、手順書等を示す。信頼性プログラム計画書の本文に基本的な活動方針、方法、手順を記述し、詳細な方法、手順は信頼性プログラム手順書リストとして表にまとめて示す。信頼性プログラム手順書リストの例を図2.2-4に示す。5W1Hが手順書体系全体で示されていることが必要である。
マイルストーン、テラリング結果、固有事項は、個別計画書で具体的に示すことが多い。
- (3) 信頼性確保のために新たな手順書を追加して作成したり又は既存の手順書の修正を必要とする場合には、それらの文書の完成又は変更完了のスケジュールと追加や修正の理由についての説明を含める。
- (4) 供給業者から取得する品目のうちで信頼性プログラムを適用する品目を識別する。さらに、供給業者に適用する信頼性プログラムの要求事項を含めるか又は引用する。
- (5) 信頼性プログラムを適用しない供給業者から取得する品目リスト。これらの品目に対してはその信頼性について規定する管理文書を識別する。信頼性プログラムを適用しない供給業者から取得する品目は、規格や購入仕様書で性能や信頼性試験などを規定することで契約品目全体の信頼性を確保する。
- (6) 設計根拠、設計結果、検証計画及び検証結果等を契約品目のライフサイクルにおいて確認する仕組みを構築し、説明する。既存の仕組みで対応可能な場合は、その内容を説明する。
説明の中には、以下の項目を含める。
 - a. 該当するプロジェクトの設計グループのみならず、関連するライン部門における実行責任者までの査閲・承認
 - b. 日々の活動として契約品目の重要度、技術的難易度に応じて実施される、関連する技術・管理分野における同僚や有識者による問題点の有無の確認と課題抽出（ピアレビュー等）
 - c. 契約品目のライフサイクルにおける契約上要求される「審査」

標準信頼性プログラム計画書の項目		該当する社内文書			備考
項目番号	項目名称	手順書番号	手順書名称	主管部門	
5. 6	供給業者の管理	所標準-123 S-123	供給業者管理基準 宇宙機器外注業者信頼性管理一般要求事項	購買部門 信頼性管理部門	
5. 7	支給品に対する信頼性	所標準-456	支給品等管理基準	製造部門	
6.	信頼性工学	—	—	—	
6. 1	設計仕様書	部標準-234 部標準-256	設計仕様書作成要領 納入仕様管理要領	技術部門 技術部門	
6. 2	設計の標準化	所標準-789	技術標準管理基準	技術部門	
6. 3	信頼度予測	部標準-278	信頼度予測要領	技術部門	
6. 4	信頼性解析	部標準-290 部標準-212	宇宙システム・機器信頼性設計／解析基準 FMEA実施要領	技術部門 技術部門	
6. 5	人為故障の除去	部標準-290	宇宙システム・機器信頼性設計／解析基準	技術部門	
6. 6	設計過誤の防止及び除去	部標準-257	設計過誤防止基準	技術部門	
6. 7	設計審査	所標準-789 部標準-279	設計審査会運営要領 宇宙システム・機器設計審査実施基準	技術部門 技術部門	
6. 8	異常/故障管理及び報告	部標準-238	宇宙システム・異常／故障管理標準	信頼性管理部門	
6. 9	特別な管理を要する品目	部標準-246 部標準-345	宇宙システム・機器信頼性	技術部門	
6. 10	部品・材料	所標準-789 部標準-279	設計審査会運営要領 宇宙システム・機器設計審査実施基準	技術部門 技術部門	

図2.2-4 信頼性プログラム手順書リストの例

実施しない場合の影響

- (1) 信頼性に関して組織全体の能力を発揮できず、それぞれの技術者個人の裁量で左右されてしまう。開発技術が個人のスキル向上だけに止まり、組織としての経験にならず、組織全体のレベルアップにつながらない。
- (2) 管理・監査の基準となるものが明確にならず、業務の進捗状況や信頼性の達成度の把握が困難となる、またはタイムリーな改善ができなくなる。未実施業務や未達成が分かったときには、取返しのつかない事態となる。
- (3) 自社設計・製造分だけの信頼性を確保しても、システムを構成する購入品の信頼性が確保されていなければ、システムとしての信頼性は落ちてしまう。

特に重要な要素となる購入品で、開発要素のある物については、開発段階から信頼性プログラムを適用しないと信頼性の確保が難しくなる。また既製品であっても、そのシステムへの適用に耐えられる物であるかどうかを確認しないと、信頼性の低下を招く。

参考文献

なし

2.3 テーラリング

効果

信頼性業務を開発品目の特質に合わせて必要十分なものにし、効果的にリソースの有効活用ができる。

効果的な実施時期

見積り段階や計画設定段階。個別信頼性プログラム計画書の作成前。

技術的根拠

開発する品目に応じて真に必要な信頼性業務内容を設定することができる。

JMR-004の対応項番

1.2.3 テーラリング

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成

実施方法

開発品目の信頼性について、性能、期間、コストとバランスを取ることが必要である。初期計画段階において、開発の方針に従い、標準的な信頼性プログラム計画から業務を削除又は簡略化し、必要ならば追加し、適切な信頼性プログラムを設定する。

効果的なテーラリングを行うためには、開発品目の技術的な難易度、ミッション達成上での重要度及びコストについて考慮しなければならない。

さらに、品質保証、コンフィギュレーション管理、システム安全性などの他のプログラム計画と関連付けることが大事なことである。

信頼性プログラムのテーラリングに当たっては、項目の増減、各項目の適用の深さを決めるために、次のことを考慮する。

- (1) 品目の用途・特性

宇宙関連としては、ロケット、人工衛星、その搭載機器などがあり、その品目に要求されるミッション達成上での重要度を考慮し、適用する信頼性技術、部品プログラム、審査プログラムについてテーラリングを検討する。例えば、信頼度算出を部品点数法のみとする場合、インタフェースFMEAを実施しない場合等がある。

- (2) 品目のライフサイクルの段階

ライフサイクル段階毎に計画書を立案する場合には、2.2項「信頼性プログラム計画書の作成」の図2.2-1参照の上、適用項目を削減できる。

例えば、既開発品の製造のみの契約では、設計変更に関する部分を除いては、設計に関連する項目を省くことが可能である。

(3) 類似品目の実績

過去に類似品目に適用した信頼性解析や試験の結果を利用できる場合には、重複した解析や試験を行う必要はない。

例えば、機能FMEAのみとして詳細FMEAを省略する。または開発試験や認定試験を省略することができる。

(4) 開発リスクと信頼性業務のリソース

開発リスクと信頼性業務のリソースをトレードオフして設定される開発方針を考慮し、信頼性プログラムを設定する必要がある。

信頼性業務のリソースが少ない場合は、必然的に信頼性業務の範囲は狭くなるので、開発リスクが高いことを許容することになる。

実施しない場合の影響

無駄が出たり、開発方針に合わない信頼性活動が行われたりする。

参考文献

なし

2.4 実施状況の管理

効果

信頼性プログラムの履行状況を確認し、問題点があれば是正していくことにより、必要な信頼性の確保が図れる。

効果的な実施時期

定期的（1～3か月毎）

技術的根拠

計画に従って進行していることをチェックし、必要なフィードバックをかける。

JMR-004の対応項番

4.2.3 信頼性プログラム報告

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) 信頼性管理報告書の作成

実施方法

信頼性プログラムが信頼性プログラム計画書に従って進行しており、信頼性業務が形式、内容共に十分であることをチェックし、業務の遅れや信頼性解析内容の不足などの問題を明確にし、解決の見通しを検討する。

管理は継続して行うものである。信頼性プログラムの重要な区切りは設計審査会等の主要マイルストーンでの正式な審査であるが、プログラムの進行は動的なものであり、正式な審査だけではタイムリーな対処が難しいので、定期的な区切りを設ける。この間隔は1～3か月が一般的であり、信頼性プログラム計画書で明確にする。

信頼性の実施状況の確認は、設計解析・試験計画・試験結果報告・異常／故障報告・議事録などの文書の点検、製造・試験の立会、連絡会などにより行う。

この結果は、信頼性管理報告書にまとめ、問題点があれば明確に文書化して顕在化させ、アクションアイテムを識別しフォローアップする。これらは、信頼性マネジメント責任者及び関連部門の責任者に報告する。

実施状況の確認に加えて、内容チェックに当たっての重要な留意事項を表2.4-1に示す。詳細については、本書のそれぞれの項を参照されたい。

表2.4-1 内容チェックに当たっての重要な留意事項

No.	留意事項	ライフサイクル段階				
		概念 ／ 計画 決定	基本 設計	詳細 設計	製作 ／ 試験	射場 作業 ／ 運用
1	信頼性プログラムの要求事項が社内文書に反映され、展開されているか	○	○	○	○	○
2	開発仕様書及び設計仕様書が適切に制定されているか	○	○	○		
3	信頼性要求は明確か	○	○	○		
4	要求信頼度に対する配分及び信頼度予測は妥当か	○	○	○		
5	信頼性解析が適切に実施されているか	○	○	○		
6	設計の進展に伴って信頼性解析がアップデートされているか		○	○		
7	設計審査の指摘事項等に対する処置が適切に実施されているか		○	○	○	
8	技術変更に伴う信頼性解析は実施されているか、また影響する文書に反映されているか		○	○	○	○
9	供給業者の信頼度管理を含めて把握しているか		○	○	○	
10	異常故障は、タイムリーに報告され、対策がフィードバックされているか			○	○	○
11	信頼性管理品目が適切に管理され、文書パッケージに正しく記載されているか			○	○	○
12	部品、デバイス、材料、工程プログラムが適切に履行されているか		○	○	○	
13	信頼性評価計画書が作成され、検証項目に抜けがなく、検証方法も妥当性が確認されているか		○	○	○	
14	試験計画書、試験仕様書、試験手順書に矛盾がなく、それらに従って試験が実施されているか			○	○	
15	試験報告書が作成され、結果が信頼性要求を満たしていることを確認しているか				○	

実施しない場合の影響

実施状況の管理は、個別信頼性プログラム計画書が設定（PLAN）された後にそれに従って実行（DO）されていることを、CHECKし、ACTIONを引起こす統制活動である。

この活動が省略されると、マネジメントのサイクルが回らなくなり、信頼性の達成状況が分からなくなるだけでなく、主要マイルストーン毎に行われる判断決定が間違ふ恐れが出てくる。

参考文献

なし

2.5 信頼性プログラム監査

効果

信頼性業務が適切に履行、運用されているかを把握し、不適切な場合に改善することができる。

効果的な実施時期

定期的（年1～2回）

技術的根拠

信頼性業務結果のばらつきを抑えることができる。

JMR-004の対応項番

4.2.4 信頼性プログラム監査

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性マネジメント組織の設置
- (2) 信頼性プログラム計画書の作成
- (3) 実施状況の管理
- (4) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理

実施方法

信頼性プログラムの実施状況について監査を計画し、実施する。信頼性プログラムを要求する供給業者を含め、次の方法で監査し、信頼性マネジメント責任者に報告する。

- (1) 定期的（年1～2回）に信頼性業務全般を監査できるように監査計画書を作成する。監査計画書は、開発品目やプロジェクト毎に作成する必要はなく、全社的なものとして作成する。品質プログラム等の監査計画書と兼用してもよい。
- (2) 信頼性プログラムとその適用手順書に精通した被監査部門以外の者を監査員に指名する。
- (3) 監査項目の漏れ防止、監査内容の明確化及び監査員によるばらつきをなくすため、手順書、実施要領書、チェックシートなどを作成し、実施する。信頼性プログラム要求（得意先又は供給業者）に適合しているかに主眼を置いたチェックシートの例を表2.5-1に、社内規定に従って実施しているかに主眼を置いたチェックシートの例を表2.5-2示す。
- (4) 監査対象として、信頼性活動の有効性を確認できる文書、作業、品目等をサンプリングチェックする。

- (5) 監査結果は、問題点及び不具合の是正に対する勧告を含んだ監査報告書としてまとめる。監査報告書の例を図2.5-1に、監査指摘票の例を図2.5-2に示す。
- (6) 問題点及び不具合の指摘を受けた部門は、是正措置を回答する。
- (7) 問題点及び不具合が確実に是正されたことを確認する。
- (8) 監査報告書は、信頼性プログラム文書（記録）として維持管理し、閲覧、利用できるようにする。

実施しない場合の影響

標準化された手順に則って信頼性管理プログラムが機能しているかどうかをチェックできなくなる。

個別プロジェクトの管理とは別に、システムの標準化を図り、維持、向上していくことが、将来プロジェクトの信頼性業務の精度を上げていくことにつながっていくが、個別管理だけでは、そのプロジェクトの関係者だけの経験で終わってしまい、組織としての底上げにつながっていない。

参考文献

なし

表2.5-1 監査チェックシートの例（要求事項との適合性監査）

No.	監査事項	監査対象	結果
1	信頼性マネジメント組織は、設計、製造、試験等の実施部門とは機能的に独立しているか	信頼性プログラム計画書	いる 不十分 いない
2	信頼性プログラム計画書を作成、維持しており、次について定めているか ・信頼性プログラム履行にかかわる組織と機能および責任 ・信頼性プログラム業務を実施する上での詳細文書	信頼性プログラム計画書 信頼性プログラム文書	いる 不十分 いない
3	信頼性プログラム監査を定期的に行っているか	監査計画書 監査報告書	いる 不十分 いない
4	信頼性管理報告書を提出しているか	信頼性管理報告書	いる 不十分 いない
5	信頼性教育訓練を計画し、実施しているか	教育計画書 教育記録	いる 不十分 いない
6	信頼性プログラムを適用する品目が明確になっており、供給業者に信頼性プログラムを要求しているか	信頼性管理要求書	いる 不十分 いない
7	信頼性プログラムを要求しない品目の供給業者に必要な信頼性要求事項を明確にしているか	設計仕様書	いる 不十分 いない
8	既開発品目の使用に当たって、性能要求だけでなく、信頼性の要求事項に合致していることを立証しているか	既開発品目の使用に関する立証文書	いる 不十分 いない
9	設計仕様書が審査されており、変更が適切に行なわれているか	設計仕様書	いる 不十分 いない
10	設計業務及び製造工程の標準化が継続されているか	設計標準 工程標準	いる 不十分 いない
11	信頼度予測モデルを作成し、信頼度予測を実施し、報告されているか	信頼度モデルと予測報告	いる 不十分 いない
⋮	⋮	⋮	⋮

表2.5-2 監査チェックシートの例（社内規定に従って実施しているかの監査）

信頼性プログラム監査チェックシート		対象職場	宇宙技術課
管理No： 4118	標準信頼性プログラム計画書項目： 6.7 設計審査	判定	チェック内容
要求文書： 部標準-11-138 Rev. A-	「設計審査実施基準」 6.2 項	A	
		B	
確認事項：プロジェクト担当課は、設計審査の範囲、審査体制、審査項目、審査資料、審査		C	
スケジュールなど審査実施要領書を作成し、事前に関係部署に配布しているか？		N/A	
管理No： 4119	標準信頼性プログラム計画書項目： 6.7 設計審査	判定	チェック内容
要求文書： 部標準-11-138 Rev. A-	「設計審査実施基準」 6.2 項	A	
		B	
確認事項：プロジェクト担当課は、設計審査資料を事前に審査員に配布し、事前検討でき		C	
るようにしているか？		N/A	
管理No： 4125	標準信頼性プログラム計画書項目： 6.7 設計審査	判定	チェック内容
要求文書： 部標準-11-138 Rev. A-	「設計審査実施基準」 6.3 項	A	
		B	
確認事項：プロジェクト担当課は、審査指摘事項、質疑応答表、アクションアイテム表を		C	
議事録にまとめ、出席者及び関連部署に配布しているか？		N/A	
管理No： 4126	標準信頼性プログラム計画書項目： 6.7 設計審査	判定	チェック内容
要求文書： 部標準-11-138 Rev. A-	「設計審査実施基準」 6.4 項	A	
		B	
確認事項：プロジェクト担当課は、アクションアイテムフォローリストを作成し、要処置		C	
事項の管理を行なっているか？		N/A	
判定	A（合致）：規定通りに実施した証拠が提示され、規定に合致していることを確認した。		
	B（保留）：規定通りに実施していると判断できるが、今回の監査では証拠が確認できなかった。		
	C（不適合）：客観的な証拠が提示されず、規定に合致してないと判断した。		
	N/A（適用外）：この質問事項は、被監査部署に適用されない。		

配布先：所属部長、品質信頼性保証部長
宛先

_____ 殿

発行番号NO.
発行日付 . . .

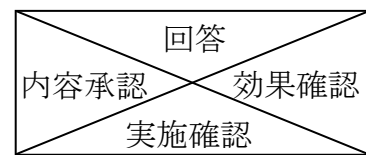
監査事務局

監査結果報告書

- 1. 被監査部署： _____ 部 _____ 課
- 2. 対応者： _____
- 3. 監査日： _____ 年 _____ 月 _____ 日
- 4. 監査項目： _____
- 5. 適用文書： _____

主任監査員 _____
監査員 _____
監査員 _____

- 6. 改善要求事項（タイトル）：下記
（注）・添付要求書ありには●印で示す。
・フォローアップ時完了項目の区画
（右参照）を黒で塗りつぶす。



フォローアップ

1) ○	(監査改善NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
2) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
3) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
4) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
5) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
6) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
7) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	
8) ○	(監査改善 NO. _____)	<input type="checkbox"/>
	(回答日 _____)	

改善要求書の回答期限（監査実施日より2週間以内）： _____ 年 _____ 月 _____ 日
総合所見（必ず記入すること。）

.....
.....
.....
.....

以上

図2.5-1 監査報告書の例

監査結果に基づく改善要求書兼回答書				監査改善NO.		
対象部署				監査実施日		
改善要求事項				回答期限		
観察した不適合事象の説明						
.....						
.....						
.....						
.....						
信頼性プログラム計画書該当条項No.						
手順と実施の有効性に対する意見						
.....						
.....						
.....						
主任監査員サイン：				対象部署課長サイン：		
回 答				回答内容の承認（主任監査員）		
回答日		承認者	作成者	承認日	役職	氏名
	役職					
	氏名			改善実施の確認		
原因				所見		
改善処置内容				確認日 所属 氏名		
実施予定日 実施日				効果確認結果		
(必要な場合) 水平展開						
実施予定日 実施日				確認日 所属 氏名		

図2.5-2 監査指摘票の例

2.6 信頼性管理報告書の作成

効果

信頼性プログラムの進捗状況が把握できる。また、遅れや問題点について、手遅れになる前に改善できる。

効果的な実施時期

定期的（1～3か月毎とし、具体的には信頼性プログラム計画書に定めた期間）

技術的根拠

進捗状況を定期的に確認し、信頼性確保のために必要な手を打ちながら開発を進めることができる。

JMR-004の対応項番

4.2.3 信頼性プログラム報告

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) 実施状況の管理
- (3) 信頼性プログラム監査
- (4) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理

実施方法

信頼性管理報告書は、責任者と関係者が定期的に信頼性にかかわる実施状況を認識し、信頼性プログラムの進捗を適切にする又は改善点を抽出するためにまとめるものである。

信頼性管理報告書は、開発管理全般にかかわる定期進捗状況報告書に含めて作成することもある。

報告書には、開発品の信頼性に大きな影響を与えるものとして信頼性プログラムの適用を要求した供給業者の信頼性プログラムに関する情報も含める。信頼性管理報告書の簡単な例を図2.6-1に示す。

信頼性管理報告書に記載すべき事項の例を以下に示す。

(1) 報告期間中の重要な達成事項と利用可能な業務結果

使用する部品リスト（1次案）がまとめられたとか、FMEAが完了しFMEA報告書が発行されたといった内容である。宇宙システムの開発においては、ある信頼性業務の結果が他の信頼性業務の入力となることがあり、組織内で利用

可能な情報の共有化を図る必要がある。このため、信頼性業務の結果と入手先について明確にする必要がある。対象は、自らの組織内だけでなく、信頼性プログラムの実施を要求した供給業者についても記述する。次のような結果が対象になる。

- a. 各種信頼性解析書（信頼度予測、FMEA/FMECA、CILなど）
- b. 使用部品リスト、材料リスト、工程リストなど
- c. 信頼性評価試験、寿命試験の報告書
- d. 認定された構成要素
- e. 外部関係先との連絡会の報告書
- f. 設計審査会の報告書
- g. 信頼性教育訓練の報告書
- h. 信頼性プログラム監査報告書
- i. 関係機関（取引先等）へ提出した文書

(2) 予測される信頼性プログラムの遅延日程とその影響

実行中の信頼性業務がどの程度まで進んでいるか概要をまとめる。信頼性プログラム計画書で予定された状態まで進んでいるか否かを評価基準にして、進捗が遅れている場合は、取り戻せるか、計画の変更を要するかを示す。

(3) 信頼性に関する問題点及び採用した是正処置

発生した異常／故障をリストなどによって整理し、原因分析の状況と分析結果に基づく是正処置について概要を記述する。また、信頼性技術情報などの他のプロジェクトで発生した問題に関しても同様にリスト化し是正処置を記述する。

(4) 信頼性業務に関係する重大な決定事項と信頼性に及ぼす影響

例えば、開発計画、システム構成、運用方法などの大きな変更は、信頼性の目標を変えたり、信頼性解析書（信頼度予測、FMEA/FMECA、CILなど）・信頼性評価計画書などの見直しを必要とすることに結びつく。また、信頼性プログラムは、多くの部門が連携して行なう活動であるため、組織の変更、主要な人材の移動についても信頼性業務の実行に影響を与える可能性がある。このような信頼性プログラムを進める上で前提になっている重要な事項があり、これらの変更があった場合、変更の影響を評価し、必要な対策を記述する。

(5) スケジュール変更点及び次の報告期間中に実施する重要事項

次回の報告に向けた今後の信頼性業務の進め方について記述する。今回の確認を踏まえてスケジュール変更の有無を示す。また、終了予定の信頼性業務を明確にし、開始予定の信頼性業務について開始準備段階にあることを伝えると共に、前提となる解析の状況等を考慮して既に作業開始の条件が整っていれば開始可能であることを示す。

RCPR-99003

作成：平成24年1月16日

DEF（株）宇宙事業部

信頼性管理定期報告書

1. 目的

本報告書は、ABC殿との契約にかかわる信頼性プログラムの実施状況についてまとめたものである。

2. 報告機関

平成23年10月1日～平成23年12月31日

3. 関連契約

ABC-PSPC-12345 XXコンポーネントの開発

4. 関連文書

(1) JMR-004：信頼性プログラム標準

(2) DEF-17001：宇宙システム標準信頼性プログラム計画書

(3) DEF-17103(JAXA-CDA-24-1234)：個別信頼性プログラム計画書「XXコンポーネントの開発」

5. 報告事項

(1) 主要実施事項

- ・認定試験手順書（TP-99012）作成・承認（11/5）
- ・認定試験開始前連絡会（議事録991205）
- ・PM機能試験実施・完了（12/23-25）

図2.6-1 信頼性管理報告書の（簡単な）例(1/2)

- (2) 主要問題点
 - ・特になし。(期間中に発生・完了した異常/故障はない。)
- (3) 主要決定事項
 - ・特になし。
- (4) 次期間中の重要事項
 - ・認定試験継続
 - ・PQR開催予定 (H23 / 3 / 5)

信頼性プログラムマイルストーンチャート

項目	H21 (2009) FY									H22 (2010) FY											
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
契約	▼締結(7/7)								▼A改定(3/8)												完了(3/20)▽
信頼性プログラム計画書				▼提出(10/5)						▼A改定(4/5)											
定期報告			▼			▼			▼			▼			▼			▼			
信頼性業務	■									■											
審査会						▼PDR(12/15)						▼CDR(7/10)									PQR(3/5)▽
主な試験				BBM試験						開発試験						認定試験					
その他						▼供給業者信頼性・品質監査(12/22)															

図2.6-1 信頼性管理報告書の(簡単な)例(2/2)

実施しない場合の影響

信頼性プログラムの進捗状況と達成見通しの把握ができなくなり、信頼性確保のための対策が手後れになる恐れがある。

参考文献

なし

2.7 信頼性教育訓練

効果

信頼性プログラム従事者に対して、信頼性プログラムの目的、背景及び基本理念並びに各作業の専門知識を与え、又はそのレベルを維持することにより信頼性プログラム要求事項をより高いレベルにて実現できる。

効果的な実施時期

基本的な内容については、契約品目毎ではなく定期的／継続的な教育、訓練計画を立案した方が好ましい。但し、特定の契約品目の契約直後、設計／製造段階の重要な節目において実施する方法もある。

技術的根拠

信頼性プログラムや信頼性業務について、教育・訓練を行うことは信頼性の確保に関する意識の覚醒を促すことにつながる。

JMR-004の対応項番

4.2.5 信頼性教育訓練

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成

実施方法

- (1) 一般

システム及びその構成品目がその要求される全サイクルに亘って安全かつ有効に機能し運用できることを保証するため、特に必要と認められた作業に従事する作業者については、信頼性プログラム計画書により信頼性の目的、背景及び基本理念、各作業の専門知識を教育・訓練し、そのレベルを維持する。

- (2) 教育・訓練計画

信頼性プログラムの実施に当たって、訓練された有能な人材を採用し、信頼性マネジメント組織を設定する。

訓練された有能な人材とは、他のプログラムの信頼性の経験がある人、設計業務の経験を有する人、信頼性や品質保証業務の経験を有する人を意味している。

信頼性プログラムに特別に要求される技術（安全性解析、信頼性解析、保全性解析等）の習得のために教育訓練を実施する場合は、技術的向上を目指す

して実施する訓練と同様に、適切な教育担当者を充当することが重要である。

信頼性プログラム計画書には、教育・訓練の必要事項を示し、教育・訓練を受ける人の職種、人数及び教育・訓練コースと内容を記述する必要がある。教育・訓練を受ける人の職種に要求される理解の度合いを示す例を表2.7-1に示す。例えば、異常／故障についての教育は、信頼性／技術部門のみならず試験を行う検査部門にとっても重要である。必要な部門に必要な教育が実施されるように計画する。

教育・訓練コースには、以下のような種類がある。これらのコースを適切に組み合わせ、効果的な信頼性教育訓練プログラムを設定する。

- ・新入社員教育、中堅社員教育、管理職教育
- ・社内教育（全社教育、部門教育）、社外教育
- ・管理教育、技術教育（設計解析、故障解析技術）

JAXAの内部教育例を表2.7-2に示す。

なお、社外教育については日科技連などのHPを参考されたい。

日科技連URL：<https://www.juse.or.jp/>

(3) 教育・訓練の記録

信頼性プログラム計画書に基づいて作業員の教育・訓練の記録を保管し、要求があれば提示できるようにする。

実施しない場合の影響

主に設計品質の低下を招き、故障の発生／寿命の劣化、設計過誤及び人為故障の発生頻度が高くなる恐れがある。

参考文献

なし

表2.7-1 教育・訓練を受ける人の職種に要求される理解の度合い（例）

◎熟知すべき項目 ○内容を理解すべき項目

信 頼 性 項 目	開発技術 部門	製造 部門	検査 部門	信頼性 部門	管理 部門
1. 信頼性プログラムマネジメント	---	--	---	---	---
1) 組織	◎	◎	◎	◎	◎
2) 信頼性プログラム計画	◎	○	○	◎	◎
3) 信頼性プログラム報告	◎	○	○	◎	◎
4) 信頼性プログラム監査	◎	○	○	◎	◎
5) 信頼性教育訓練	◎	◎	◎	◎	◎
6) 供給業者管理	◎	○	○	◎	◎
2. 信頼性工学	--	--	---	--	--
1) 信頼性設計の基本的な考え方	◎	◎	◎	◎	◎
2) 設計仕様書	◎	◎	◎	◎	◎
3) 設計の標準化	◎	◎	◎	◎	◎
4) 信頼度予測	◎	○	○	◎	○
5) FMEA/FMECA	◎	○	○	◎	○
6) 部品ストレス解析	◎	○	○	◎	○
7) WCA	◎	○	○	◎	○
8) トレンド解析	◎	○	◎	◎	○
9) 特別解析	◎	○	○	◎	○
10) ソフトウェア信頼性保証	◎	○	○	◎	◎
11) 保全性	◎	○	○	◎	○
12) 人為故障の除去並びに設計過誤防止	◎	◎	◎	◎	◎
13) 設計審査	◎	◎	◎	◎	◎
・ 社内の設計審査、					
・ 供給業者における設計審査					
14) 異常／故障管理及び報告	◎	◎	◎	◎	◎
15) 特別な管理を要する品目	◎	○	◎	◎	◎
・ クリティカル品目 (CI)					
・ 信頼性管理品目 (RCI)					
・ 管理内容					
・ 評価／報告					
・ データの収集と活用					
16) 部品、デバイス、材料、 工程に関するプログラム	◎	○	○	◎	◎
3. 試験及び信頼性評価	---	--	---	--	--
1) 信頼性評価計画	◎	○	○	◎	○
2) 試験	◎	○	◎	◎	◎
3) 信頼性評価の実施と結果審査	◎	○	○	◎	◎
4) 出荷前審査及び納入前審査	◎	○	◎	◎	◎

表2-7-2 信頼性研修（JAXA内部研修）（1/2）

		信頼性研修のコンピテンシーと習得方法 (信頼性)						
「信頼性」レベル		信頼性概念	マネジメント	信頼性設計技術	信頼性予測技術	エンジンリング	試験・信頼性評価技術	信頼性管理技術
			プログラムマネジメント					
3	(1) 信頼性要求の背景も含めて深く理解しており、対象プロジェクトの信頼性確保のための活動に対し、具体的な指示、アドバイスができる。	【コンピテンシー】 宇宙航空機システムに対する信頼性活動のみならず、他分野の活動も理解したうえで、過去の実績/経験を生かし、活動全般の改善提案、指導ができる。 また活動遂行中において発生する様々な課題、問題に対し、主導的に指示/指導することができる。	宇宙航空機プロジェクトのみならず他分野における信頼性活動のState of the Artsを理解することができる。	宇宙航空プロジェクトのみならず、他分野における信頼性設計のState of the Artsを理解し、対象プロジェクトの信頼性確保のための活動に対し、具体的な指示、アドバイスができる。	宇宙航空プロジェクトのみならず、他分野における信頼性予測のState of the Artsを理解し、対象プロジェクトの信頼性確保のための活動に対し、具体的な指示、アドバイスができる。		宇宙航空プロジェクトのみならず、他分野における試験・信頼性評価のState of the Artsを理解し、対象プロジェクトの信頼性確保のための活動に対し、具体的な指示、アドバイスができる。	宇宙航空プロジェクトのみならず、他分野における信頼性管理のState of the Artsを理解し、対象プロジェクトの信頼性確保のための活動に対し、具体的な指示、アドバイスができる。
	(2) 信頼性要求不適合に対し、プロジェクトの個別特性に応じ、具体的な対応策を提案することができる。			宇宙航空機プロジェクト、既存要求から逸脱する場合においても、適切な統合マネジメント活動を提案することができる。	宇宙航空機プロジェクトに対する信頼性要求適合設計事例を理解し、あらゆる場面において、具体的な対応策を提案することができる。	宇宙航空機システムの特徴に応じた、信頼性目標、信頼性設計要求を設定できる。		
	(3) プロジェクトの特徴に応じ、個別の信頼性目標/信頼性要求の設定、及び信頼性目標達成に対する提案ができる。	【自己研鑽】 ・宇宙航空分野以外での信頼性に係る最新要求の動向把握 ・上記の宇宙航空分野への適用を検討/実施	・過去の経験からの反映事項識別 ・各種マネジメント活動の調査、把握	・過去の信頼性設計/不適合事象の意図及び背景を踏まえた理解、反映事項の識別 ・他分野も含めた、信頼性設計に係る技術の調査、把握	・過去の信頼性評価解析/不適合事象の意図及び背景を踏まえた理解、反映事項の識別 ・他分野も含めた、信頼性評価解析手法に係る技術の調査、把握		・過去の試験/不適合事象の意図及び背景を踏まえた理解、反映事項の識別 ・他分野も含めた、試験に係る技術の調査、把握	・過去の信頼性管理/不適合事象の意図及び背景を踏まえた理解、反映事項の識別 ・他分野も含めた、信頼性管理に係る技術の調査、把握
2	(1) 対象プロジェクトに要求される信頼性要求に従い、信頼性確保のための専門的な知識、技術を用い、信頼性活動の実施、及び/又は評価を実施できる。	【コンピテンシー】 担当する宇宙航空機システムにおける信頼性確保/向上、不具合の未然防止を目的とした活動目的、目標を正確に理解し、活動完遂のために、関連部署、契約の相手方と確実な調整/議論/評価をすることができる。	担当する宇宙航空機システムの特徴を理解した上で、信頼性確保/向上、システムに起因する不具合の未然防止を目的とした活動計画を立案し、PDCAサイクルを回すことができる。活動計画策定にあたり、プロジェクト/組織での目標達成に必要な項目を識別し、リソース配分ができる。	担当する宇宙航空機システムの特徴を理解した上で、対象システムに対する信頼性設計を提案/評価できる。	担当する宇宙航空機システムの特徴を理解した上で、対象システムに対する信頼性予測を提案/評価できる。 また予測結果に基づく対策を実施/評価できる。		担当する宇宙航空機システムの特徴を理解した上で、対象システムに対する試験・信頼性評価を計画/実施/評価できる。	担当する宇宙航空機システムの特徴を理解した上で、対象システムに対する信頼性管理を実施/評価できる。
		【レベル2コース】 ・宇宙航空分野における信頼性活動例、他分野との比較 ・事故事例における信頼性活動の欠如項目 ・ライフサイクルに応じた信頼性活動の全体像	・信頼性プログラム計画立案、計画書作成のポイント ・プログラム計画書、JMR-004テラリングの事例(民生品を多用するシステム、低コストミッション機器)	・信頼性設計要求適合のための一般解 ・要求を逸脱した事例 ・設計評価ポイント 重畳、スペースの制限vs冗長の分離 単一故障点、波及故障、共通原因故障の対策 故障隔離機能(過電流防止装置等)の適用	・評価解析ポイント <FMEA/CIL> 宇宙航空分野特有の故障モード(重大/新規な不具合からの反映) 過去の信頼性予測解析からの教訓(インタフェースFMEA、コンポーネントFMEA) クリティカルアイテム管理(設計、試験、運用における対策の反映)		・システム試験計画の評価ポイント、事例 全機EMC End to End ・課題の識別と解決策の提案	製品の信頼性確保に重要な管理(TBD) ・クリティカルアイテム ・管理における不適合事例(TBD)
1	(1) 信頼性に関する用語、信頼性解析に必要な手法/技法概要、基本的な活動のプロセスを理解し、上位者の指導の下で、信頼性活動に対し、要求適合性を評価することができる。	【コンピテンシー】 宇宙航空分野プロジェクトにおける信頼性確保の重要性を理解できる。さらに、信頼性確保のための基本的事項、概念を理解できる。	宇宙航空分野プロジェクトにおける信頼性確保活動における、マネジメント要素の重要性を理解できる。マネジメント要素の基本的な考えである事故の未然防止活動のPDCAプロセス、宇宙航空機プロジェクトのライフサイクル全般にわたる活動の概要を理解できる。	信頼性設計プロセスと基本原則を理解できる。信頼性設計要求の内容、目的を理解できる。	信頼性予測手法の内容、基本的な手順を理解できる。 上位者、経験者の指導の下、担当する宇宙航空機システムの信頼性予測解析を実行/評価することができる。		試験と信頼性評価における基本原則について理解できる。	信頼性管理要求の概要、目的を理解できる。 上位者、経験者の指導の下、担当する宇宙航空機システムの信頼性管理を実行/評価することができる。
		【レベル1コース】 ・用語、概念、信頼性活動の重要性、活動全体像	・JAXA信頼性プログラム活動(JMR-004)の概要 ・信頼性プログラム計画とは ・信頼性プログラムマネジメントの必要性 ・テラリングとは ・ライフサイクルにおける信頼性活動概要と目的(PDCAサイクル)	・信頼性設計プロセス 目標設定/配分 信頼性/パラメータ設定 信頼度予測/信頼性解析 試験 ・信頼性設計の基本原則 既開発品・既存設計の活用、設計変更の検討/解析、データ・過去の事例に基づく制約/禁止事項の遵守、冗長設計と冗長経路の独立性、単一故障点の除去、部品選定、環境条件・運用条件の考慮、安全性への配慮 ・基本的な要求の内容と目的 信頼度目標・配分、故障許容、冗長設計、ゾーナルダメージ、故障の伝播、寿命、故障検知/識別、アクセス性、予防保全/事後保全、部品、材料・工程	・信頼性予測手法の内容 信頼度予測、FMEA・CIL、部品ストレス解析、ファストケース解析、寿命解析、FTA、累積疲労損傷、スニーク欠陥除去 ・信頼度予測の実施(演習) ・FMEAの実施(演習)		・試験・信頼性評価の目的 ・認定とは ・試験における基本原則 Test as Fly End to End 公称値/最悪値 インタフェース 極性 寿命試験	・基本的なプロセスと目的 設計仕様書、設計標準、設計過誤及び人為故障の除去、設計審査、異常故障報告、信頼性管理項目、部品・材料管理 ・JAXAにおける信頼性データの利活用、蓄積 信頼性技術情報 不具合情報システム

表2-7-2 信頼性研修（JAXA内部研修）（2/2）

【受講対象者】

信頼性レベル1 研修：新卒入社2年目～5年目の技術系職員必須、他希望者

信頼性レベル2 研修：プロジェクトのS&A担当必須、他信頼性レベル1受講済みの希望者

【研修の頻度】

信頼性レベル1：2回/年

信頼性レベル2：2回/年

2.8 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理

効果

供給業者から取得する品目の信頼性管理及び信頼性技術レベルが十分にあり、全体システムの信頼性要求事項に合致していることが保証できる。

効果的な実施時期

供給業者への信頼性プログラム要求書提出時期の調整段階が特に重要である。

技術的根拠

宇宙システムのような大規模システムの信頼性は、構成品目の信頼性によって大きく左右される。

JMR-004の対応項番

- 4.2.6.2 信頼性プログラムの適用を要求する供給業者に対する信頼性プログラム要求事項

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成

実施方法

供給業者のうち、コンポーネント以上または主要なアセンブリを供給する業者に対しては、必要な信頼性プログラム要求を行い、供給業者に信頼性プログラム計画書の作成を要求する。部品材料等の供給業者であり、ベンダー、専門業者と呼ばれるもの及び製造のみを委託されるものを除くすべての業者を対象とする。

供給業者に要求する信頼性プログラムは、供給業者に要求する作業項目の特性に沿ったものでなければならない。

プロジェクトの要求に適合させるために供給業者との契約において信頼性プログラム標準（JMR-004）の要求事項について詳細に規定するかまたは、契約時に協議する。信頼性プログラム標準の付録Vに示される「供給業者との契約において規定すべき詳細要求事項」については、特に注意を払う。

- (1) JMR-004 で契約の相手方が供給業者に義務づけることを要求している事項
- (2) 供給業者のデータまたは文書の中で契約の相手方が受領または得意先に提出することをこの標準で要求している事項。
- (3) 契約の相手方が、供給業者の信頼性プログラム及びその活動を監視し、評価するため必要に応じて供給業者の施設に立ち入りできる権利。

なお、衛星に搭載する、海外から調達する部品・コンポーネント（以後、「海外部品、海外コンポーネント」という）に対し、その選定、技術仕様・調達要求設定、審査会、製造立会、受領検査等の各段階において、契約相手方が、特段の注意を払うべき活動を、JERG-0-050「海外部品品質確保ハンドブック」¹⁾及びJERG-0-051「海外コンポーネント品質確保ハンドブック」²⁾に整理してある。よって対象品の供給業者に対する信頼性プログラムの設定に関しては、これらハンドブックを参照されたい。

供給業者への信頼性管理要求書の目次例を表2.8-1 衛星の例、表2.8-2 ロケットの例及び表2.8-3 衛星／ロケット共通の例に示す。

実施しない場合の影響

供給業者から取得する品目の信頼性管理及び信頼性技術レベルが不明確となり、全体システムの信頼性要求事項に合致していることを保証できなくなる恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-0-050「海外部品品質確保ハンドブック」
- 2) JERG-0-051「海外コンポーネント品質確保ハンドブック」

表2.8-1 供給業者信頼性管理要求書の目次(1/2)
(衛星の例)

1.	総 則	
1.1	目的	.....
1.2	適用範囲	.....
1.3	他の契約要求事項との関連	.....
2.	適用文書	.....
3.	要求事項	.....
3.1	基本要求	.....
3.1.1	基本要求事項	.....
3.1.2	発注者の行為及び権利	.....
3.1.3	信頼性プログラム文書	.....
3.2	信頼性プログラムマネジメント	.....
3.2.1	組織	.....
3.2.2	信頼性プログラム計画書	.....
3.2.3	信頼性プログラム報告	.....
3.2.4	信頼性プログラム監査	.....
3.2.5	信頼性教育訓練	.....
3.2.6	供給業者の管理	.....
3.2.7	既に設計、製造又は飛行の実績のある品目の使用	.....
3.2.8	支給品の信頼性	.....
3.3	信頼性工学	.....
3.3.1	信頼性設計の基本的な考え方	.....
3.3.2	設計仕様書	.....
3.3.3	設計の標準化	.....
3.3.4	信頼度予測	.....
3.3.5	FMEA/FMECA	.....
3.3.6	部品ストレス解析	.....
3.3.7	ワーストケース解析 (WCA)	.....
3.3.8	トレンド解析	.....
3.3.9	特別解析	.....
3.3.10	ソフトウェアの信頼性保証	.....
3.3.11	保全性	.....
3.3.12	人為故障の除去並びに設計過誤の防止及び除去	.....
3.3.13	設計審査	.....
3.3.14	異常/故障管理及び報告	.....
3.3.15	特別な管理を要する品目	.....

表2.8-1 供給業者信頼性管理要求書の目次(2/2)
(衛星の例)

3.4	部品、デバイス、材料、工程に関するプログラム	.....
3.4.1	専門組織の活用	.....
3.4.2	選定	.....
3.4.3	仕様書	.....
3.4.4	認定	.....
3.4.5	使用リスト	.....
3.4.6	適用審査	.....
3.4.7	取扱い	.....
3.4.8	故障解析	.....
3.4.9	材料及び工程の管理	.....
3.4.10	EEE品目のパッケージング審査	.....
3.4.11	製造工程審査	.....
3.5	試験及び信頼性評価	.....
3.5.1	信頼性評価計画	.....
3.5.2	試験	.....
3.5.3	信頼性評価の実施と結果審査	.....
3.6	出荷前審査及び納入前審査	.....

表2.8-2 供給業者信頼性管理要求書の目次(1/2)
(ロケットの例)

1.	総 則	
1.1	目 的	.....
1.2	適用範囲	.....
1.3	基本要求事項	.....
1.4	甲の行為及び特権	.....
1.5	信頼性プログラム文書	.....
2.	参考文書	.....
3.	要求事項	.....
3.1	信頼性プログラムマネジメント	.....
3.1.1	組織	.....
3.1.2	信頼性プログラム計画書	.....
3.1.3	信頼性進捗状況	.....
3.1.4	乙の調達先の管理	.....
3.1.5	他の関連事項との適合性	.....
3.2	信頼性工学	.....
3.2.1	設計仕様書	.....
3.2.2	標準化	.....
3.2.3	信頼度予測	.....
3.2.4	信頼性ブロック図	.....
3.2.5	FMECAまたはFMEA	.....
3.2.6	部品ストレス解析	.....
3.2.7	ワーストケース解析	.....
3.2.8	トレンド解析	.....
3.2.9	寿命解析、FTA(故障の木解析)および特別解析	.....
3.2.10	ソフトウェアの信頼性保証	.....
3.2.11	保全性及び人為故障の除去並びに設計過誤の防止と除去	.....

表2.8-2 供給業者信頼性管理要求書の目次(2/2)
(ロケットの例)

3.3	設計審査プログラム	.....
3.3.1	乙による設計審査	.....
3.3.2	乙の調達先による設計審査	.....
3.4	異常/故障管理及び報告	.....
3.4.1	業務に対する要求事項	.....
3.5	特別な管理を要する品目	.....
3.5.1	文書パッケージ	.....
3.6	部品、デバイス、材料、工程及びEEE部品に関するプログラム	.....
3.6.1	部品、デバイス、材料および工程選定	.....
3.6.2	部品、デバイス、材料および工程仕様書	.....
3.6.3	部品、デバイス、材料および工程リスト	.....
3.6.4	部品、デバイス、材料および工程の適用審査	.....
3.6.5	部品、デバイスおよび材料の取扱	.....
3.6.6	電気、電子および電気機械 (EEE) 部品プログラム	.....
3.6.7	電気、電子および電気機械 (EEE) 品目のパッケージ審査	.....
3.7	信頼性評価	.....
3.7.1	信頼性評価計画	.....
3.7.2	信頼性評価報告	.....
表-A	乙が作成すべき信頼性文書のリスト	.....
表-B	信頼度予測手法の優先順位	.....
表-C	信頼性評価方法	.....

表2.8-3 供給業者信頼性管理要求書の目次
(衛星/ロケット共通の例)

1.	総 則	
1.1	目 的	.....
1.2	適 用	.....
2.	概 要	.....
3.	参考文献	
3.1	宇宙航空研究開発機構文書	.....
4.	宇宙航空研究開発機構および当社の行為および権利	.....
5.	要求事項	.....
5.1	信頼性プログラムマネジメント	.....
5.1.1	信頼性プログラム計画	.....
5.1.2	組織	.....
5.1.3	マイルストーン	.....
5.1.4	信頼性プログラム報告	.....
5.2	信頼性プログラム活動	.....
5.2.1	設計仕様書	.....
5.2.2	標準化	.....
5.2.3	信頼度予測	.....
5.2.4	FMEA/FMECAおよびCIL	.....
5.2.5	部品ストレス解析	.....
5.2.6	ワーストケース解析	.....
5.2.7	トレンド解析	.....
5.2.8	特別解析	.....
5.2.8.1	寿命解析	.....
5.2.8.2	FTA	.....
5.2.8.3	累積疲労損傷	.....
5.2.8.4	スニーク解析	.....
5.2.8.5	重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析	.....
5.2.9	ソフトウェアの信頼性保証	.....
5.2.10	保全性及び人為故障の除去並びに設計過誤の防止と除去	.....
5.2.10.1	保全性	.....
5.2.10.2	人為故障の除去	.....
5.2.10.3	設計過誤	.....
5.2.11	部品・材料および工程の適用審査	.....
5.2.12	特別な管理を要する品目	.....
5.2.13	設計審査	.....
5.2.14	異常/故障管理及び報告	.....
5.2.15	試験および試験評価	.....
5.2.16	信頼性評価	.....
6.	提出文書	.....

2.9 信頼性プログラムを適用しない供給業者の管理

効果

供給業者から取得する品目の信頼性管理及び信頼性技術レベルが十分にあり、全体システムの信頼性要求事項に合致していることを保証できる。

効果的な実施時期

購入文書による規定が大きなウェイトを占めるため、供給業者との契約時または発注時期が特に重要となる。

技術的根拠

宇宙システムのような大規模システムの信頼性は、構成品目の信頼性によって大きく左右される。

JMR-004の対応項番

4.2.6.3 信頼性プログラムを要求しない供給業者に対する最低限の信頼性管理

関連の深い信頼性業務

(1) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理

実施方法

信頼性プログラムを要求されない供給業者とは、部品材料等の供給業者であり、ベンダー、専門業者と呼ばれるものまたは、製造のみを委託される業者が対象となる。

JAXA、MIL、ESA等の認定品については、部品番号を指定することにより認定機関と供給業者の間で交わした信頼性保証プログラム計画による管理がなされている。

それ以外の部品材料については、供給業者独自の管理プログラム又は、MIL等の公的規格を利用して、必要な信頼性要求を規定する。

製造のみを委託される業者に対して信頼性管理として要求を検討すべき項目は、教育訓練、工程プログラム管理、異常／故障処理、信頼性管理品目の管理、試験報告書提出等が想定される。これらは、通常、品質管理要求に置き換えるか、その一部として要求する。

これらの規定は、購入文書（購買規格、購入仕様書等）により行う。製造図面にて指示する場合は、発注側の必要な標準／規定をあらかじめ業者に周知徹底する。

これらの供給業者から購入した品目についてもシステムに組み込んだ状態で

信頼性プログラムが適用される。従って、供給業者に適用しなかった分はシステムメーカーがカバーする。

なお、衛星に搭載する、海外から調達する部品・コンポーネント（以後、「海外部品、海外コンポーネント」という）に対し、その選定、技術仕様・調達要求設定、審査会、製造立会、受領検査等の各段階において、契約相手方が、特段の注意を払うべき活動を、JERG-0-050「海外部品品質確保ハンドブック」¹⁾及びJERG-0-051「海外コンポーネント品質確保ハンドブック」²⁾に整理してあるので、参考にするのが望ましい。

実施しない場合の影響

供給業者から取得する品目の信頼性管理及び信頼性技術レベルが不明確となり、全体システムの信頼性要求事項に合致していることを保証できなくなる恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-0-050「海外部品品質確保ハンドブック」
- 2) JERG-0-051「海外コンポーネント品質確保ハンドブック」

2.10 既開発品の選定

効果

既開発品を用いることにより、設計及び製造品質の安定化が図れる上、開発期間の短縮及びコストの低減を図れる。

効果的な実施時期

提案書作成時点及び開発設計活動段階の節目（設計審査会）において実施することが有効である。

技術的根拠

既に認定された品目は、認定条件の範囲において、機能、性能などが既に確認されているだけでなく、認定にいたるまでの開発において問題点が解決され、欠陥が除去される。

しかし品目の選定には、開発する品目の性能などの要求と信頼性プログラムの要求に合致していることが前提である。

JMR-004の対応項番

4.2.7 既に設計、製造又は飛行の実績のある品目の使用

関連の深い信頼性業務

(1) コンポーネントの認定

実施方法

既に認定された設計、製造又は飛行の実績のある品目（以下、「既開発品目」という。）のフライトシステムへの使用を意図する場合、性能要求及び使用環境条件と同様に、既開発品目が適用されている信頼性プログラムの要求事項に合致していることを立証する文書を、提案書と共に提出する。提案書には、以下の項目を含むこと。

- (1) 開発する品目に対する信頼性設計要求事項と、この要求事項に対応する既開発品目の要求事項又は実績の比較
 - a. 契約で要求される品目と、これに対応する既開発品目の各設計仕様（機能・性能、インタフェース、環境条件、運用方法等）、並びに認定及び試験仕様の各要求事項を比較対比して、合致している項目と合致していない項目を明確にする。
 - b. これらの確認における合致しない事項や課題を解決するための既開発品目に対する変更について、その影響評価と判断根拠の記述と変更計画、又は課題の中で解決する必要がないものがあれば、その根拠及び支援情

報。

c. 技術的成熟度 (Technology Readiness Level (TRL)) が高いことを理由に試験や解析を省略した場合は、それを省略することの妥当性の明記。

なお、使用する環境条件が開発済みの製品の環境条件以下であることが確認されなければ、本当の意味での既開発品とは言えない。従って、比較する場合、機械環境、熱環境、放射線環境等の条件を十分に確認すること。

(2) 開発する品目に対する信頼性プログラム要求事項と、これに対応する既開発品目の要求事項又は実績の比較。

製品そのものだけでなく、プログラム要求事項の比較も必要である。

例えば、既設計品の特性値管理を管理対象から安易に抜くと、製品の品質を維持できない場合も生じる恐れがある。

(3) 開発品目において提案している製造情報と、これに対応する既開発品目の製造情報の比較。

この比較には、少なくとも以下の事項を含めること。

- ・ 製造業者の名称と所在地
- ・ 製造年月日
- ・ 設計変更の内容
- ・ 部品又は材料の変更内容
- ・ 梱包技術の変更内容
- ・ 製造又は組み立て工程の変更内容

一見、影響の少ないと思われるような部品、材料、工程等の変更が後に大きな問題となることがある。

(4) 提案する既開発品目の、故障又は異常、その原因及びとられた是正処置の記述を含む試験及び飛行実績。

異常／故障の是正処置を含む試験結果、飛行実績は重要な既開発品目のデータとなる。

これらの活動は、契約後も設計の進捗に伴い、環境条件等の変化も考慮し、継続すること。開発設計活動の節目としての設計審査会、設計確認会に含めて行うことが望ましい。

確認にあたっては、表2.10-1及び表2.10-2（衛星用の一例）に示すようなチェックリスト、確認シート等を用いて確認することが望ましい。

実施しない場合の影響

開発期間の長期化、コスト増あるいは設計及び製造品質の不安定化をもたらす恐れがある。

参考文献

なし

表2.10-1 既開発品の活用に当たっての確認事項チェックシート（例）

No	確 認 項 目	結 果	備考
1	既開発品の活用に該当するか？	はい・いいえ	
2	既開発品に該当する場合、当該品のこれまでの実績 (HERITAGE)は？ (フライト/開発評価の実績)		
3	プロジェクトにて活用する場合の機能性能要求、環境条件、開発期間、品質要求等への適合性上、問題となる点はないか。	ある・なし	
4	認定時の設計、使用部材、工程に変更はないか？ (下流レベルまでの図面、仕様書変更状況のチェック)	ある・なし	
5	変更がある場合は、変更理由と内容及び変更による当該プロジェクトに及ぼす影響はないか審議を行ったか？ (既開発品適用審査/EQSR*) *EQSR : EQUIPMENT QUALIFICATION STATUS REVIEW	はい・いいえ	
6	製造メーカ、製造場所の変更はないか？	ある・なし	
7	認定時の不具合処理状況に関し、認定時の不具合に伴う変更の有無、影響の確認は行われているのか？	はい・いいえ	
8	認定条件の維持状況の確認はどのレベルまで行っているのか？ (コンポーネントまで、又は部材レベル)		
9	上記の確認は契約の相手方が直接参画して行ったか？ 担当メーカ/ベンダーの報告によるものか？		
10	確認記録 (確認リスト、審議議事録) はあるか？ A/Iがある場合は確実に処置されているか？	はい・いいえ はい・いいえ	
11	採用後の変更については、コンフィギュレーション管理規定に従った変更手続きがとられているか？	はい・いいえ	
12	変更が行われる場合、変更理由及び変更による該当項目以外の他への影響は十分考慮されているのか？	はい・いいえ	
13	コスト低減、納期短縮のための変更である場合、性能、信頼性、品質、安全性ほかへの問題の無いことが十分審議されているか？	はい・いいえ	
14	変更に伴う関連文書の処理は確実に行われているのか？	はい・いいえ	
15	変更の記録は文書化されているのか？	はい・いいえ	
16	既開発品開発時の認定試験の条件、実績を調査し、今回使用する条件との対比を行うこと。行った結果、差異はないか？	ある・なし	

表2.10-2 ハードウェア設計ステータス確認リスト（衛星の記入例）

				プロマネ	システム	サブシステム	コンポーネント
				(サイン)	(サイン)	(サイン)	(サイン)
コンポーネント名称		略号	設計ベースプログラム		カテゴリ区分		備考
Sバンドアンテナ		SANT	フライト	開発中/ フェーズ	I		
確認項目		既設計	設計変更	設計変更範囲	図面 (同一:○, 一部変更:△, 新規:×)		
1.	機能・性能	○	なし		○		
2.	インタフェース	○	なし		○		
2.1	電氣的インタフェース	○	なし		○		
a	電源系	—	—		—		
b	通信・データ処理系	○	なし	アンテナ単体ではなし	○		衛星レベルのアンテナ利得要確認
c	熱制御系	○	なし		○		
d	計装系	○	なし		○		
e	その他	—	—		—		
f	地上支援装置	—	—		—		
2.2	機械的インタフェース	○	なし		○		
2.3	熱インタフェース	○	なし		○		
2.4	RFインタフェース	○	なし		○		
3.	特性	—	—		—		
3.1	物理特性	—	—		—		
a	質量	○	なし		○		
b	電力	○	なし		○		
c	発熱量	—	—		—		
d	許容温度範囲	○	なし		○		
3.2	信頼性	—	—		—		
a	設計寿命	○	なし		○		
b	信頼度(残存確率)	○	なし		○		
4.	耐環境性	—	—		—		
4.1	試験環境	—	—		—		
a	機械環境	○	△		○		
b	熱環境	○	なし		○		
4.2	宇宙環境	—	—		—		
a	放射線	○	なし		○		
4.3	打上げ環境	—	—		○		
4.4	再突入環境	—	—		—		
5.	設計基準	—	—		—		
5.1	電気設計基準	○	なし		○		
5.2	電磁適合性	—	—		—		
5.3	機械設計	○	なし		△		機械設計基準に従い、取り付け穴径と公差変更
5.4	熱設計	○	なし		○		
5.5	信頼性	○	なし		○		
5.6	部品、材料	○	なし		○		
5.7	保全性	○	なし		○		
5.8	輸送性	○	なし		○		
5.9	互換性	○	なし		○		
5.10	安全性	○	なし		○		
5.11	識別表示	○	なし		○		
5.12	ワークシップ	○	なし		○		
6.	品質適合性試験	—	—		—		
6.1	認定/プロトフライト試験	—	—		—		
6.2	受入試験	○	なし		○		
7.	製造工程	○	なし		○		

第3章 信頼性工学

3. 信頼性工学

3.1 信頼性設計の基本的な考え方及び設計の見える化

3.1-1 信頼性設計の基本的な考え方

効果

信頼性設計は、システム、装置または部品が与えられた条件下で規定の期間中、要求された機能を果たせるように、すなわち故障や性能の劣化が発生しないように考慮して設計することである。信頼性設計の手法である「設計余裕の確保及び故障リスクの最小化」及び「故障許容設計」などを用いて設計を行うことによって故障や、性能の劣化が発生しにくくなり、かつ、万一故障が発生してもシステムが致命的な状態に至らないようにすることができ、信頼性を高めることができる。

効果的な実施時期

概念設計／計画決定段階において信頼性設計に対する考え方を明確にし、特に基本設計の初期段階において、その考え方に基づいて設計を行う。

技術的根拠

信頼性を高めるためには、製品のシステムにおける重要度、故障の影響の程度などに応じて、構成部品の信頼度を上げて故障が発生しないようにすることや、故障が発生してもシステムとしての機能を失わないようにすることが重要である。

また、「信頼性設計の基本的な考え方」に基づく適切な設計手法を取り込み、設計情報を文書化して整理することによって、設計における検討不足の見逃しリスクを低減することができる。

JMR-004の対応項番

4.3.2 信頼性設計の基本的な考え方

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 信頼度配分
- (3) 信頼性ブロック図
- (4) 信頼度予測
- (5) 冗長設計
- (6) 安全余裕／ディレーティング
- (7) FMEA／FMECAの活用
- (8) ワーストケース解析

- (9) FTA:事前解析
- (10) 寿命解析
- (11) 部品、デバイス、材料、工程プログラム

実施方法

信頼性を高めるためには、下記(1)項に基づく信頼性設計の基本的な考え方に従って、適切な設計手法を基本設計及び詳細設計等に取り込むことが重要である。

機構の検査員等は、プロジェクトとしての信頼性設計に係る考え方を概念設計段階で検討し、発注前に極力信頼性設計基準書等として文書化して、提案要請書(RFP: Request for Proposal)の条件として提示すべきである。

契約の相手方の信頼性担当者は、信頼性設計情報に基づき信頼性設計が設計に適切に盛り込まれたことを確認・評価することなどが求められる。

そのため、信頼性設計情報を文書化して整理することが必要である。信頼性設計情報は、関連の深い信頼性業務に記載した解析等の結果、解析、予測などに使用した安全係数やマージンなどのパラメータ、更に、試験結果に対する試験条件等を含めた設計の評価結果などである。従って、設計部門はプロジェクト開始時点で信頼性設計の基本的な内容について信頼性担当者と十分に調整を図り対応することが望ましい。

(1) 信頼性設計の手法

信頼性設計を行う際は、設計対象物のシステムにおける重要度、故障の影響の程度などに応じて、そのリスクを許容できる程度に低減させるように適切な信頼性設計を行うことが重要である。なお、信頼性設計において取り得る設計手法には、主として以下のような手法などが考えられ、安全やミッションサクセスの観点とも照らし合わせた上で、適切な方法を決定する必要がある。重要度が高い手法は下記 a. と b. であり、その他の項目はこの二つの項目を有効ならしめるための手法である。

a. 設計余裕の確保及び故障リスクの最小化

機器等に付加されるストレスに対して余裕のある設計（例えば、電子部品のディレーティングや構造物のストレスーストレンクス法、圧力容器の安全係数など）の採用や製造工程の特別な管理（重要品質特性や重要加工パラメータの設定）などにより、故障のリスクを許容出来るレベル以下にする。特に、冗長系を採用出来ないあるいはしないシステム上の単一故障については、設計余裕を取るように配慮する。単一故障への配慮については、少なくともJERG-2-120 単一故障・波及故障防止設計標準¹⁾に基づき実施する。

b. 故障許容設計

故障及び人的過誤に備えて、共通原因による故障を排除したうえで適切な冗長化(常用冗長・待機冗長等)、故障の伝搬・波及防止等の対策を取ってシステムが致命的な状態に至らないようにする。この共通原因としては、JMR-004の用語の定義に記載されているように、環境条件等に加えて、搭載機器やソフトウェアの異常/故障が共通原因となる得ることも考慮すること。システム側は、下流のコンポーネント等に対して、どのような故障伝搬や波及防止策を採るべきかを明確にすること。また、冗長構成を採用する場合も、故障の伝搬、波及防止に対する策を講じること。また、オペレーションミスに対する対策も講じるべきである。

共通原因を排除するためのチェックリスト例を表3.1-1～3に示す。

c. 信頼度配分にもとづく定量的予測と実証

ミッション終了時の残存確率を求めるため、各コンポーネントの信頼度情報が必要である。このため、MIL-HDBK-217²⁾、FIDES³⁾等による信頼度の定量的な予測を行い、信頼度配分を満足させる。重要な品目については適宜信頼度実証の方法を取る。

信頼度の計算手法として以下の例がある。

- ・ 部品点数法、ストレス解析法 (MIL-HDBK-217、FIDES等に基づく部品点数法、ストレス解析法による故障率の推定)
- ・ ノンパラメトリック手法
- ・ ストレス-ストレンクス法

d. 単純化、標準化

標準化され、実績のある設計、部品・材料・工程を採用する。環境条件、運用(使用)条件を考慮した上で高い技術成熟度(TRL)にある機器を採用する。故障率の増加を招かないように、部品点数を減らすなど合理的な設計を行う。尚、製造工程の特別な管理が必要な場合は、工程仕様を設定し評価を行い標準化する。

e. 運用環境適合化

環境条件、運用(使用)条件を定義し、この条件で前述の a.～d. が的確になるようにする。

(2) 設計仕様書の信頼性設計項目例

上記(1)で決定した信頼性設計については、契約の相手方は設計仕様書に記載することによって、設計のベースラインを明確化する。設計仕様書作成時に考慮すべき信頼性設計項目については、次の3.2項「設計仕様書の作成、維

持」に示す。

実施しない場合の影響

機構と契約の相手方間で信頼性設計の考え方を明確にし、プロジェクト初期で合意することが重要であり、この合意が不十分のままである場合、信頼性が不足し、機構の想定するミッションサクセスの確率に不足が生じたり、または過剰な信頼性設計となり、コスト超過を招く恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-2-120 「単一故障・波及故障防止設計標準」
- 2) MIL-HDBK-217 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」
- 3) FIDES Guide 2022 Editon A (July 2023) Reliability Methodology for Electronic Systems
- 4) ECSS-Q-ST-30 「Space product assurance, Dependability」
Annex L (informative) Common-cause check lists

表3.1-1 共通原因チェックリストの例（設計）（1/2）⁴⁾

項番	共通原因チェックリスト 設計
1	主系・従系アイテムの電源は独立であること。
2	電源供給間では熱干渉は最小化されていること。
3	データバスは独立であること。
4	冗長系を構成するデータバスのI/F回路は、ロックアウトされないこと（データ授受が停止しないこと）。
5	理想的には、同一コネクタに主系のラインと冗長系のラインを混在させないこと（電源ライン、データライン等）
5.1	実装空間の制約のために5項が不可能な場合は、主系・従系のワイヤは、コネクタ内の未使用ピンで分離させること。
6	主系・従系の機能は、出来るだけ別個のボックス、ハウジングにすること。
6.1	6項が不可能な場合は、主系・従系のエリア／コンポーネントは、主従機能に影響する波及故障（すなわち、熱効果、浮遊容量効果など）をなくすように分離すること。
7	内部冗長の機器では、主系・従系の回路は独立した集積回路が利用されており、基板の共通箇所が最小化されること。
	7項が不可能な場合は、
7.1	主系・従系のエリア／コンポーネントは、主従機能に影響する波及故障（すなわち、熱効果、浮遊容量効果など）をなくすように分離されていること。
7.2	電力消費が高く、発熱量が多い機器、部品等と、熱に敏感なエレメント間は分離されていること。
7.3	主系・従系の回路が一枚の多層基板に含まれる場合、ビアホール（貫通孔）の位置は、共通原因の影響を除去するために考慮されていること。
7.4	5項又は5.1項が満足している場合
7.5	はんだ接合部と基板パターン（PCDコンダクティブトラック）のワイヤレイアウト設計は、共通原因の影響を除去するために考慮されていること（はんだ接合部、ワイヤ、トラックと充分分離されていること）。
7.6	マルチアプリケーションを持つ機器の構成は、主系・従系の機器で個別に機能を持たせて、主系だけ又は従系だけの機器で機能するようにすること。

表3.1-1 共通原因チェックリストの例（設計）（2/2）⁴⁾

項番	共通原因チェックリスト 設計
8	制御機能とモニタ機能は、個別の集積回路が使われること(例えば1つのパッケージにクアドロプル機能を集積したICを使用する場合)。(潜在的な共通故障モードのケース)
9	保護機能と保護される機能は、個別の集積回路を使用していること(例えば1つのパッケージにクアドロプル機能を集積したICを使用する場合)。(潜在的な共通故障モードのケース)
10	共有するワイヤや複合するワイヤのピン/コネクタについては、共通原因の影響を引き起こさないこと。
11	全てのベントホールサイズは適切であること。
12	接触電位差(二つの異なる導体を接触させたときその接触面に現れる電位差)が0.5 V以上の金属間では、接触させないこと(金属性のコンタミネーションが短絡/開放を引き起こさないこと)
13	ソフトウェア・エラーが、共通原因の影響を引き起こさないこと。
14	EEE部品の調達(部品品質、故障アラート、脆弱な共通部品)は注意していること。
15	全てのグラウンドとシールドは、主・従のパス間で適切であること。
16	ピン、ワイヤサイズ、基板パターン(PCBトラック)は、過電流保護に適合していること。
17	装置のレベル要求は、誤っていないか、一貫性がある、矛盾していないこと。
18	材料の選定は、共通原因の影響を引き起こさないこと(表面分解、弱化、破砕など)。

表3.1-2 共通原因チェックリストの例（環境）⁴⁾

項番	共通原因チェックリスト 環境
1	太陽放射のトータルドーズレベル(プロトン、アルファ及びベータ粒子、EM)がコンポーネント耐性の閾値を超えないこと。
2	重イオン放射線がデジタル信号においてビット反転を引き起こさないこと。充分シールドすること。
3	重イオン放射線がパワーMOSFETジャンクションのSEB(シングルイベントバーンアウト)を引き起こさないこと。充分シールドすること。
4	リレー(又は他の敏感なコンポーネント)は振動環境で状態が変化しないこと(特に打上期間が最も厳しいケースである)。コンポーネントの配置はこの影響を最小にするように考慮すること。
5	磁界相互作用(例えば電力用変圧器やモータ)が、共通原因の影響を引き起こさないこと。
6	スペースデブリや、微小隕石の衝突と貫通が損害を引き起こさないこと。
7	異物やデブリによるコンタミネーションが損害を引き起こさないこと。
8	熱制御の故障が、主系と従系の装置に影響しないこと。

表3.1-3 共通原因チェックリストの例（オペレーション）⁴⁾

項番	共通原因チェックリスト 予期しないオペレーション
1	間違ったコマンドがGCS(Ground Control Segment)からペイロードに送信されないこと。
2	ペイロードの中で、間違ったテレコマンド(TC)が送られないこと。

3.1-2 設計の見える化

効果

- (1) 設計が設計者限りにならないよう、設計者の頭の中にある設計に必要な情報を極力文書に残し、設計結果の見える化を図る。文書に残すことにより、設計者の頭の中が整理されるとともに、残留リスクが明らかになる。
- (2) 設計結果の承認は各社ともラインの上長が行うが、このラインでのチェックの質を高め、さらに設計途中での経験豊富なシニアエンジニアによるチェックや相談などを加えることにより、設計者だけに頼らない組織的な設計への取り組みを促進する。
- (3) 必要な解析・試験・検証が行われるとともに、その結果が設計者の意図したものであることを確認する。
- (4) 見える化された設計結果、試験結果を実効のある審査により、多くの目でその妥当性をチェックする。

補足：「設計の見える化」は、衛星の軌道上不具合を解析した結果、ハードウェア不具合の半数以上が設計責と識別されたことを受けて、その対策として導いたものである。

「設計の見える化」の意図するところは、契約の相手方の設計に責任を持つ部門が設計結果に責任を持つことはもちろん、その見える化を図り、契約の相手方が組織をあげて見える化された設計根拠を含めた設計内容の確認を行うことで設計の妥当性、確実性を確保することにある。機構からも見えるようになるのは二次的な効果である。

効果的な実施時期

設計仕様書作成段階
設計審査

技術的根拠

設計者の検討不足を徹底的な試験検証により全て検出可能であればいいが、残念ながら地上で 100%完全に軌道上環境を再現した試験を実施することは出来ない。このため、検討不足の一部は検出されずに見逃されるリスクが残る。このリスクを極力少なくすることが課題である。これにはまず設計者の頭の中にある設計情報を文書化して整理することが最も重要である。この文書は適切にファイリングされなければならない。さらに、試験段階においては、実際の試験前までに軌道上環境との違いを考慮した試験計画を立案し、境界条件等を文書化しておく。試験後においては、ただ単に結果の合否を判

定するだけでなく、試験条件を加味した結果の評価とその文書化が必要である。解析で補う場合も同様に、安全係数やマージンなどのパラメータを含めて文書化する必要がある。これらの文書化された情報を設計担当のラインで十分にチェックし、確認した上でリリースする。さらにこれを、経験者を含む第三者がチェックすることにより、見逃しのリスクを低減することが出来る。(後述の参考1「検討不足等の結果が軌道上に持ち込まれる原因とそれを防ぐための方策」を参照。)

JMR-004 の対応項番

- 4.2.2.2 信頼性プログラム計画書の内容
- 4.2.7 既に設計、製造又は飛行の実績のある品目の使用
- 4.3.3 設計仕様書
- 4.3.14 設計審査

関係の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書
- (2) 設計解析
- (3) 設計審査
- (4) 異常／故障管理及び報告
- (5) 試験及び信頼性評価

実施方法

個別の作業実施方法等は以下のとおり。これらの作業のねらいは、設計全体の作業内容と相互関係の明確化、設計担当者自身による課題と問題点の整理、有識者によるダブルチェック、メーカーによる自己検証、メーカーと JAXA の情報の共有及び認識の共有、客観性の向上、網羅性の確保、コンプライアンスとアカウントビリティの向上にある。

(1) 設計解析を意識した設計計画時の WBS 設定

開発の初期段階での WBS (Work Breakdown Structure) 作成時あるいは設計進捗に伴う改定時に、可能な限り設計解析単位毎に WBS を設け、それぞれの設計へのインプット、設計結果としてのアウトプット及びその行き先、担当者等を明示し、設計作業に漏れがないようにする。これにより設計作業の相互関係や責任の所在が明らかになり、適切な進捗管理が可能になる。

【背景】

JAXA のある衛星プロジェクトでは、システム設計について EVM (Earned

Value Management)適用による WBS 詳細化を行った結果、以下のような成果があった。一方で、課題もあり、適用に際しては注意を要する。

「成果」

- －設計の全体像がよく見える
- －担当、責任範囲が明確になる
- －調整相手が明確になる
- －ボトムアップからトップダウンの設計になった
- －進捗が見える
- －入出力が明確になる
- －実績を残す受け皿が出来た
- －ステークホルダに分かりやすい報告が出来るなどのメリットがあった

「課題」

- －管理コストが増した
- －サブシステムには適用出来なかった
- －コスト対効果を定量的に測定することは困難であった

(2) 設計検討書、設計計算書、設計解析書の作成と確認

設計結果としての結論だけでなく、第三者にも理解出来るように以下の内容も合わせて記述する。また、標準的な設計検討書等を用意し、書くべきことを明確にしておくとして設計者の助けとなる。

- －その設計手法や計算手法等を用いた設計思想、背景、考え方
- －前提条件、境界条件、インタフェース条件、各種パラメータ、数学式、メッシュ数等

これらの内容は、ラインでの点検、承認、ピアレビュー、審査会での審査の際に確認されるべき物である。これらが文書に明確に記述されることにより、設計内容を理解することが容易になり、効率的で、効果的なチェックが可能になるとともに、審査されることにより設計者個人の資質による出来不出来の差を減らすことが可能になる。特に、ラインの確認が重要であり、文書がリリースされる時点でどこまで見逃しを減らすことが出来るかによって設計の出来が左右される。

【背景】

メーカーで開催される審査会での設計解析書などの提示資料に上記の情報が含まれていないことが散見される。JAXA の求めに応じて、より詳細な資料が提示されることもあるが、設計者のメモあるいは頭の中に留まってい

るという例もある。ラインの点検及び承認、ピアレビューや社内審査において、これらは確認されるべき内容であり、これらの見える化を図る必要がある。

(3) ピアレビュー

新規性、特殊性、困難度、リスクの程度等に応じて、通常 of 文書審査に加えて、有識者（例えば、経験豊富なシニアエンジニア）によるピアレビューでのチェックを受ける。特に、設計の前提条件、境界条件、インタフェース条件、各種パラメータなどの重要なポイントについて、ラインのチェックでは気が付かない、経験者ならではの視点による効果的なチェックが期待できる。

【背景】

各社ともに社内規定に従って、ラインによる設計結果の文書審査、承認行為は行っているが、ピアレビューのような第三者チェックは必ずしも行われていない。特に、設計の前提条件、境界条件、インタフェース条件、各種パラメータなどの重要なポイントについて、経験豊富なシニアエンジニアあるいは研究所などによる第三者によるチェックを早い段階で受けることはリスク低減、課題の解決等に有効である。審査会での第三者チェックも可能であるが、限られた時間でのレビューには限界があるので、設計途中でのレビューや相談が望ましい。

(4) 設計評価表

設計に漏れがないようにするため、設計者が考慮すべき事項、特に前提条件、境界条件、インタフェース条件、各種パラメータなどについて整理したチェックリスト（評価表）を用意しておく。これは審査を行う際にも活用出来る。

【背景】

設計における様々な考慮事項を漏れなく処理するためには、チェックリスト（評価表）が有効である。いくつかのメーカは独自のものを用意しているようであるが、十分に活用されている例を確認出来なかった。チェックリストは万能ではないが、少なくともそこに記載された内容については考慮されることになり、ピアレビューなどに用いれば、設計者との共通言語で話が出来ると優れている。

一方で、レビューは設計者が記入したチェックリスト（評価表）の記載を確認するのみで、肝心の設計仕様書、設計検討書、設計計算書、設計

解析書に対するレビューアの直截的な第三者チェックが疎かになる運用の仕方は避けることが望ましい。

(5) 既開発の設計を流用する場合

既開発品の設計を流用あるいはその設計をベースにする場合、軌道上環境や運用方法の違いが既開発品に与える影響を評価し、設計変更の可否を判断するとともに、設計変更する場合は、その変更による影響を評価する。これらの評価、判断の根拠を文書に残すこと。また、TRL レベルが高いことを理由に試験や解析を省略するケースが想定される。この場合、それを省略することのリスクと対策を整理し、省略することの妥当性を文書に残すこと。これらの文書は審査の対象文書となる。

【背景】

衛星開発において、TRL レベルが高いことを理由に試験を省略した例がある。最近の衛星開発の流れとして、ロバスト性の向上とコスト削減の観点から既存技術、既開発品の採用が多くなってきている。既開発品といえども、軌道上環境や運用方法の違いにより設計変更を要する場合がある。この設計変更は、意図した部分はいまうまく仕上がっても、意図しない部分に悪影響を及ぼすことがある。このため、設計変更による影響を慎重に吟味し、文書に残して評価すべきである。また、実証済あるいは既設計と称して、TRL レベルが高いことを理由に試験や解析を省略するケースが想定される。試験や解析を省略する場合には、それにとまなうリスクと対策を整理し、リスクが十分に受入可能なレベルになっていることを示す必要がある。

(6) 審査資料の構成

設計結果は審査により第三者チェックを受けるが、審査資料には、要求仕様とのコンプライアンスを示す資料を含め、要求に対する設計結果を示すとともに、その設計根拠を記載する。根拠の全てを記載することが出来ない場合には、別冊あるいは提示資料等とし、必ずその資料を呼び出す。(設計結果と設計根拠とのトレーサビリティが取れるようにする。) 審査側が設計根拠を効率的に確認するためには必須である。

【背景】

各社とも、要求仕様と設計結果のコンプライアンスを示す資料をインプットパッケージに記載しているが、設計結果の記載はあっても、その設計根拠の記載が十分でないことがある。インプットパッケージから設計検討

書等呼び出すことでもいいが、それも徹底されていない。第三者がレビューするにあたり、設計結果はもちろん重要であるが、設計思想や設計の前提条件やインタフェース条件の確認も重要なポイントなので、これらを記載すべきである。(「(2) 設計検討書、設計計算書、設計解析書の作成と確認」にも関連)

(7) 試験、検証の条件及び結果に対する設計者レビュー

地上設備の能力、環境等の様々な制約から試験、検証の際に、宇宙での使用環境や条件を再現出来なかつたり、複雑で大規模なソフトウェアのため試験ケースが膨大すぎて、全てのケースを試験出来ないことがある。

このため設計者は、試験による限界と境界条件などを理解し、条件の差による試験、検証結果への影響を事前に評価すべきである。また、試験結果についても、設定した条件どおりの試験であったとしても実環境とは異なる条件で検証しているケースが多いので、単に数値が許容範囲に入ったか否かだけを評価するのではなく、条件を加味した総合的な評価をし、それを文書化すべきである。

部品やコンポーネントなど、下位の要素ほど試験条件が厳しく、サブシステム、システムなどの上位ほど条件が緩めになる傾向がある。したがって、上位システムの試験、検証ほど評価を丁寧に実施する。

また、試験、検証が出来ず、解析で補う場合が想定される。この場合は、安全係数やマージンについて、その数値とその根拠あるいは考え方を文書化し、適切に設定されていることの確認が必要である。

【背景】

試験、検証は現場主義になりがちなため、基準値に対する数値の良し悪しで評価されることが多い。試験、検証はある想定された条件の下で行われるが、この条件が実環境と違っていたり、設計者が想定したものと異なっている場合がある。したがって、試験仕様を決める際には、設計者が条件の違いを十分に吟味し、事前に影響を評価しておくことが重要である。

また、実環境とは異なる条件で試験、検証が行われている場合には、それを考慮した試験結果の評価が必要である。一般に、下位の要素ほど試験条件が厳しいのに対し、上位システムほど試験条件は緩くなる傾向にあるので、試験条件が試験、検証結果に与える影響を考慮して結果の評価をすべきである。特に、無重力を模擬出来ない、流体の流れが完全に把握出来ていないなどの未知の要素を含んだままで試験、検証を行う場合に要注意である。

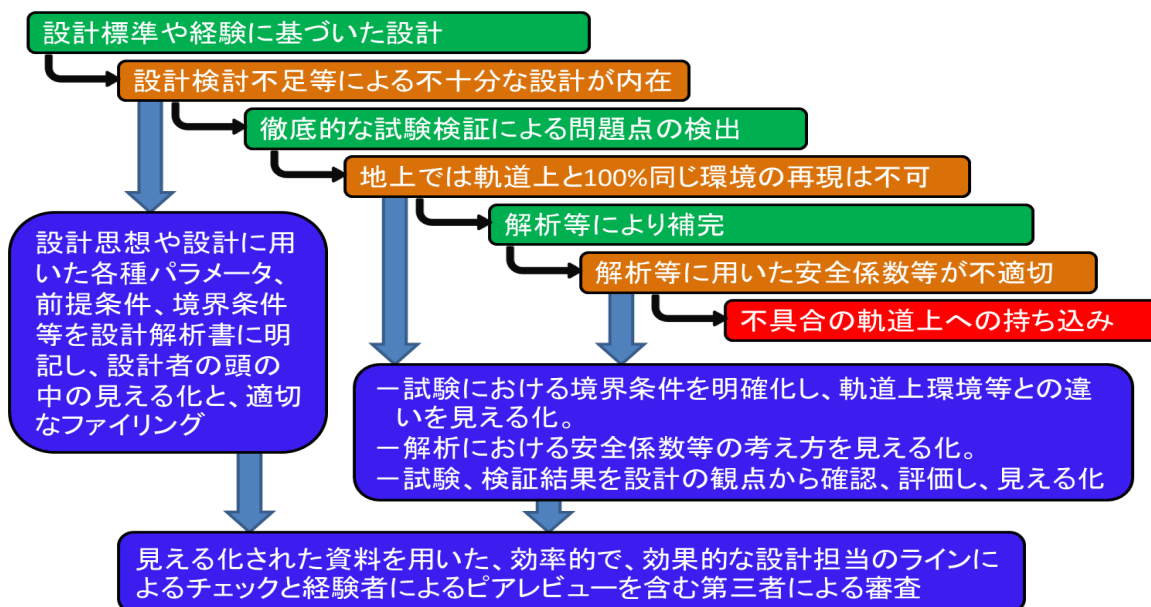
実施しない場合の影響

ロケット、衛星等の設計を行う際の知見不足、配慮不足、誤解、設計者の思い込み、検証不足などによる不具合を次工程に持ち込むこととなり、最終的に打上げ時または軌道上での不具合を生じる恐れがある。

参考文献

なし

参考1：平成22年に各社と「設計の見える化」を議論した際の資料からの引用



検討不足等の結果が軌道上に持ち込まれる原因とそれを防ぐための方策

3.2 設計仕様書の作成、維持

効果

システム、サブシステム、コンポーネントのレベルにおける品目ごとのミッション要求から、品目の設計仕様書を作成することにより、品目に対する設計要求が明確化される。

また、これに伴い設計評価及び管理のベースラインが明らかとなる。

効果的な実施時期

システム、サブシステム、コンポーネントのレベルにおける品目ごとにミッション要求が明確となった基本設計の初期段階で、品目の設計仕様書を作成し、設計の進展に伴い維持見直し最新化を図る。

技術的根拠

設計仕様書は、設計を行うための要求条件であるので、品目ごとに機能、性能、環境条件及びインタフェース条件などのミッション要求に基づいて作成する。以後、設計の進展にしたがって維持・改定する。

JMR-004の対応項番

4.3.3 設計仕様書

関連の深い信頼性業務

- (1) 使用環境条件の設定
- (2) インタフェース条件の設定
- (3) 信頼性技術情報の反映
- (4) 技術変更
- (5) 基本設計審査
- (6) 詳細設計審査
- (7) 認定試験後審査

実施方法

- (1) 全般事項

各品目に対するミッション要求が明確になっていることを確認し、設計仕様書を作成する。

設計仕様書にはミッション要求に基づき、当該品目のライフサイクルで必要とする物理的、機能的な要求事項及び他品目とのインタフェースについての要求事項を記述する。

なお、設計要求事項を決定する過程で発生した基本的な考え方、前提条

件、解析方法、解析に用いたパラメータの根拠、インタフェース条件、運用条件などの設計仕様確定の根拠となる情報について、必要に応じて記録、保管し、ピアレビューや審査等において、設計担当者以外の者の求めに応じて提示できるようにしておく。

また、品目の特徴に応じて次の事項を含める。

なお、設計仕様書作成時に考慮すべき信頼性設計項目例を表3.2-1に示すので参考にされたい。

a. 上位システムのコンフィギュレーションと当該品目の関係

- ・品目の上位システム（又は全体のシステム）における機能的な位置付け、搭載場所、インタフェースする機器などの全体像を定義したのち、品目に必要な機能概要、構成、インタフェース条件などを「品目の定義」で規定する。（「 」の項目は表3.2-2設計仕様書目次(例)の該当項目を示す、以下同じ）
- ・品目のインタフェース条件の規定に際しては、品目の責任範囲（製造業者の）、境界を説明図などにより、「インタフェース分界」の項で明確にする。
- ・他品目及びシステムとのインタフェースは、電氣的、機械的、熱的条件の他品目固有の項目がある。この詳細については3.4項「インタフェース条件の設定」に示す。

b. 機能、性能及び環境に対する要求事項

- ・品目に要求される機能、性能、物理的特性、信頼性及び環境条件などについて「特性」に規定する。
- ・「環境条件」には地上、打上及び宇宙などがあり、品目がライフサイクルで曝される条件を全て規定し、構造、電気設計上設計者が配慮すべき条件、制限を明確にする。この詳細については3.3項「使用環境条件の設定」に示す。

c. 認定試験(QT)レベルの要求事項及び供試体数量を含む試験要求事項

- ・認定試験(QT)は、品目が「特性」、「環境条件」などの仕様要求を満足していること、製造方法の妥当性(QT/PFT)及び設計マージンを確認するための試験である。したがって、品目の既開発状況、新規要素の有無を考慮して、開発試験、プロトフライト試験(PFT)の実施を計画し、試験項目、試験条件（認定試験レベル）、実施方法及び供試体の数量に対する要求事項を規定する。

d. 安全余裕、ディレーティング係数、配分された信頼度目標及び致命度から判断して許容できない故障の影響度

- ・上位システムの信頼性設計要求に基づく解析検討結果を踏まえ、品

目に対する上記要求事項を「信頼性設計基準」に規定する。

e. 物理的パラメータと制約条件

- ・宇宙用機器はシステムの資源（リソース）に対する制約が地上機器と比べ厳しい。このため、上位システムからの品目に対するリソース配分値、既開発機器の実績値に基づき、機械的（寸法、質量）及び消費電力などの管理目標値を規定し、品目のリソース管理のベースラインを設定（規定）する。
- ・また、上位システムとインタフェースする部分の熱的特性、使用材料、接地点などの条件を規定する。
- ・これらの項目は、インタフェース管理図面（ICD）の項目に含め品目の開発開始から納入まで管理する。

f. 単一故障と冗長性に対する要求事項又は故障許容要求水準（フォールト・トレランス・レベル）

- ・上位システムの冗長設計、信頼性ブロック図、信頼度配分に基づき、品目の単一故障と冗長性に対する要求事項又は故障許容要求水準を「信頼性設計基準」に規定する。

g. 試験の容易性又は試験できる能力（Testability）／故障の有無及び故障の位置を特定できる能力に関する要求事項

- ・異常／故障発生時に機器パッケージ外部から容易に原因を推定できないために、故障分離が困難な特性値が品目に有る場合には、例えば、テストコネクタ、テレメトリなどによるモニタの必要性の有無について設計時に検討、考慮がなされるように、「信頼性設計基準」の要求として規定する。

h. 寿命及び動作時間の要求事項

- ・上位システムからの寿命、作動時間要求に基づき品目として、信頼性設計、製造管理及び運用管理上配慮すべき事項を判断するためのベースラインとして「信頼性設計基準」の要求に規定する。

i. 部品、材料及び工程に関する要求事項

- ・部品、材料及び工程に対して、各プログラムでの選定基準に基づき、選定、トレーサビリティ及び適用上の制約を規定し、かつ部品のデイレティング条件を「部品、材料及び工程」に規定する。

(2) 設計基準の明確化

設計仕様書には、品目の開発に適用する電気、機械、熱、耐環境性、電磁適合性などの設計基準を示し、同一プログラム他品目との設計の整合性を図る。

代表的な設計基準書を以下に示す。

a. JAXA技術標準/設計基準/技術ハンドブック（3.6項参照）

b. 公知規格

c. プログラム個別の基準書(代表例)

- ・電気設計基準書
- ・機械設計基準書
- ・熱設計基準書
- ・耐環境性設計基準書
- ・電磁適合性設計基準書
- ・信頼性設計基準書
- ・保全性設計基準書
- ・安全性設計基準書
- ・設計過誤防止基準

など

(3) 信頼性技術情報の反映

過去に発生した異常／故障と類似事象の再発防止のため、信頼性技術情報に記載の過去の異常／故障事例、勧告の中で、品目に該当する項目について、これを設計に確実に反映することを設計仕様書に規定する。この詳細については3.5項「信頼性技術情報の反映」に示す。

(4) 設計仕様書、図面等の体系化と審査

信頼性組織は、他の部門とともに機構の制定するシステム仕様書又は開発仕様書と、契約の相手方が作成するシステム／サブシステム／コンポーネント仕様書を含むすべての設計仕様書、並びにすべての製造図面との関連を体系化し、相互に矛盾がないことを設計審査などで確認すること。

審査は、各々の仕様書が変更された際は常に実施することとし、その結果は文書化するとともに、審査文書は、コンポーネント及びサブシステムの設計審査にインプットすること。

また、設計仕様書は、発行前に作成部門とは別部門の関係者を含むメンバー（例えばコンフィギュレーションコントロールボード）によって、ミッション要求に対する適合性を審査すること。

なお、設計仕様書改定時にも同様に審査する。

(5) 設計仕様書の維持改定

設計仕様書は、基本設計段階で作成し設計の進展に合わせて見直し、最新化を図り、適切に変更・改定履歴を記録し、関連部門に対して常に最新版の内容を周知させるよう心掛けること。

上記(1)～(5)項の要求事項のほか、品目の設計から製造、試験、納入に至る

までに製造メーカーが実施すべき全般的業務に対する技術要求を含めた、設計仕様書の目次（衛星搭載電子機器の例）を表3.2-2に示す。

実施しない場合の影響

設計仕様書は、設計を行うための要求条件であるので、開発の基本となる文書が作成されないことにより、品目の設計目標が定まらず開発に支障をきたすことになる。

参考文献

なし

表3.2-1 設計仕様書作成時に考慮すべき信頼性設計項目例(1/2)

- (1) 故障対策
 - ・ FMEA/FMECA
 - ・ FTA(事前解析)
 - ・ 単一故障点識別・対策
 - ・ 故障検知、分離及び復帰(FDIR)
 - ・ 波及故障の防止
 - ・ 耐久性・サバイバル設計 ((9)参照)
 - ・ 共通原因故障の排除
- (2) 寿命関連
 - ・ 設計寿命
 - ・ 寿命管理
 - ・ 寿命試験
- (3) 定量的評価
 - ・ 信頼度
 - ・ トレンド解析
- (4) 定性的評価
 - ・ 既存及び新規技術の評価 (既存技術か新規技術か、TRL評価)
- (5) 検証
 - ・ End-to-End試験
 - ・ 軌道上環境の模擬の程度と解析による妥当性
- (6) 設計余裕
 - ・ ワーストケース解析
 - ・ デイレーティング
 - ・ 累積疲労損傷
 - ・ 打上げ時及び宇宙環境影響評価 (振動、衝撃、熱サイクル、放射線 (TD, SEU, SET) 、原子状酸素、真空度、重力環境、帯電)
- (7) 人的エラー
 - ・ 設計過誤の防止
 - ・ 極性管理
- (8) 部品・材料・工程管理
 - ・ 部品・材料・工程プログラム

表3.2-1 設計仕様書作成時に考慮すべき信頼性設計項目例(2/2)

(9) 耐久性・サバイバル設計において考慮すべき事項

- ・一次電源接続部の短絡モード
- ・デブリ評価
- ・電力ハーネス設計
- ・MLI接地
- ・パドル放電短絡耐性評価
- ・太陽電池パドル発生電力管理とLLM
- ・異常発生時のテレメトリ取得強化
- ・地上局可視時間の考慮

(10) 保全性設計

- ・不具合時の現状復帰性の確保

(11) 不具合解析

- ・FTA(事後解析)
- ・故障解析

表3.2-2 設計仕様書目次（例）（1/3）

- 1 範囲
- 2 関連文書
 - 2.1 適用文書
 - 2.2 参考文書
 - 2.3 参照文書
 - 2.4 優先順位
- 3 要求事項
 - 3.1 品目の定義
 - 3.1.1 機能
 - 3.1.1.1 機能
 - 3.1.1.2 機能系統図
 - 3.1.2 構成
 - 3.1.3 動作モード
 - 3.1.4 インタフェースの定義
 - 3.1.5 インタフェース分界
 - 3.1.5.1 電氣的インタフェース分界
 - 3.1.5.2 機械的インタフェース分界
 - 3.1.5.3 熱的インタフェース分界
 - 3.1.6 インタフェース条件
 - 3.1.6.1 電氣的インタフェース条件
 - 3.1.6.1.1 一次電源系とのインタフェース
 - 3.1.6.1.2 リモート インタフェース ユニット(RIU)とのインタフェース
 - 3.1.6.1.3 姿勢制御電子回路(ACE)とのインタフェース
 - 3.1.6.1.4 試験装置とのインタフェース
 - 3.1.6.1.5 ピンアサイメント
 - 3.1.6.2 機械的インタフェース条件
 - 3.1.6.3 熱的インタフェース条件
 - 3.1.7 支給品リスト
 - 3.1.8 貸与品リスト
 - 3.2 特性
 - 3.2.1 性能
 - 3.2.2 物理的特性
 - 3.2.2.1 機械的特性
 - 3.2.2.2 質量特性
 - 3.2.2.3 電氣的特性
 - 3.2.2.4 熱的特性
 - 3.2.3 信頼性
 - 3.2.3.1 信頼度
 - 3.2.3.2 寿命
 - 3.2.3.2.1 設計寿命
 - 3.2.3.2.2 使用寿命
 - 3.2.3.3 単一故障
 - 3.2.3.4 故障分離
 - 3.2.3.5 冗長系の試験

表3.2-2 設計仕様書目次（例）（2/3）

3.2.4	環境条件
3.2.4.1	地上環境
3.2.4.1.1	標準試験環境
3.2.4.1.2	保管環境
3.2.4.1.3	輸送環境
3.2.4.2	打上環境
3.2.4.3	宇宙環境（放射線環境）
3.2.4.3.1	宇宙放射線環境
3.2.4.3.2	シールド条件
3.2.4.4	環境試験条件
3.2.4.4.1	振動試験
3.2.4.4.2	衝撃試験
3.2.4.4.3	熱真空試験
3.3	設計基準
3.3.1	電気設計基準
3.3.2	電磁適合性設計基準
3.3.3	機械設計基準
3.3.4	熱設計基準
3.3.5	耐環境性設計基準
3.3.6	信頼性設計基準
3.3.6.1	設計寿命
3.3.6.2	信頼度予測
3.3.6.3	冗長性
3.3.6.4	故障の隔離及び保護
3.3.6.5	設計過誤の防止
3.3.7	部品、材料及び工程
3.3.7.1	部品、材料及び工程の選定
3.3.7.2	部品のディレーティング
3.3.7.3	部品、材料及び工程のトレーサビリティ
3.3.7.4	部品、材料及び工程の適用上の制約
3.3.8	保全性
3.3.9	輸送性
3.3.10	互換性
3.3.11	安全性
3.3.12	銘板及びマーキング
3.3.13	ワークマンシップ
3.3.14	人間工学
3.4	作成文書
3.5	保管及び運用
3.5.1	保管
3.5.2	運用
3.6	要員及び教育訓練
3.7	主要構成品の特性

表3.2-2 設計仕様書目次（例）（3/3）

- 4 品質保証条項
 - 4.1 一般要求
 - 4.1.1 一般試験条件
 - 4.1.1.1 標準試験環境
 - 4.1.1.2 公差
 - 4.1.1.3 温度安定度
 - 4.1.2 試験の順序
 - 4.2 品質適合検査
 - 4.2.1 検証の方法
 - 4.2.1.1 類似性
 - 4.2.1.2 解析
 - 4.2.1.3 検査
 - 4.2.1.4 試験
 - 4.2.2 開発試験
 - 4.2.3 プロトフライト試験
 - 4.2.4 受入試験
 - 4.2.5 改修後試験
 - 4.2.6 バーンイン
- 5 出荷準備
 - 5.1 保管
 - 5.2 梱包
 - 5.3 包装及び表示
- 6 注記

3.3 使用環境条件の設定

効果

設計の初期段階で使用環境条件を設定することにより、品目がミッション期間に曝される使用環境条件が明確となり、耐環境設計のベースラインが定まる。

効果的な実施時期

設計初期段階

技術的根拠

宇宙システムがミッション期間中（打上げ時及び軌道上）で曝される環境を過去の飛行実績データ、シミュレーション解析などで定義し、条件を明確化することにより、機器耐環境性設計のための具体的なベースラインが定まる。

JMR-004の対応項番

4.3.3 設計仕様書

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) ワーストケース解析
- (3) 試験環境条件の設定
- (4) 信頼性評価計画書の作成

実施方法

- (1) 全般事項
 - a. 品目がミッション期間中に曝される環境の解析、予測が不十分であると、軌道上で当初予想していなかったようなトラブルが発生し、これにより、システムに多大なインパクトを与え、ミッション達成に影響を及ぼす結果ともなり得る。
 - b. 長期間の軌道上運用に向け、設計の初期段階から冗長設計、フォールトトレラント設計を含めた耐環境性の検討を行うこと。
 - c. 品目の要求信頼性達成に向けて設計を確実なものとするために、軌道、ミッション期間、シミュレーション解析などに基づき品目の耐環境要求を設定し、設計仕様書に記述する。
 - d. 設計初期段階で、品目の環境条件を定義し、この条件下で品目が確実に動作することを保証するための評価試験条件、方法を明確にする。

(2) 環境項目

品目の設計段階で耐環境性を検討すべき環境項目は、誘導環境（励起環境）と自然環境に分類できる。また、自然環境には地上環境、打上げ環境及び宇宙環境がある。

代表的な環境項目を以下に示す。

a. 誘導環境

打上げ時あるいは軌道上において宇宙システムが動作することにより誘起される環境。下記の項目はいずれも試験による検証が可能である。

これらの環境に対する具体的なレベル、検証方法についてはJERG-2-130「宇宙機一般試験標準」¹⁾によること。

[振 動]

打上げ時に発生する燃焼振動、ポゴ振動、空力による機体の自励振動（フラッター）などが、ロケット搭載機器及び衛星に伝達される。

[衝 撃]

打上げ、ロケットの段間分離、フェアリング開頭、衛星分離あるいは太陽電池パドル展開時の火工品作動時に機器、衛星に加わる。

[空力加熱]

ロケット打上げ後、大気圏を抜けるまで、機体外表面は空気の圧縮や大気との摩擦により高温となる。

[音 響]

打上げ時に発生する音響及び空力的加振による音響が空気振動を通じてロケット搭載機器及び衛星外表面に加わる。

[加速度]

ロケット各段エンジンの燃焼、衛星の姿勢制御、軌道制御及びアポジ点火によって推進軸方向に加速度荷重が発生する。

[電磁誘導]

宇宙用機器は、打上げロケット、衛星への組込み、地上試験装置との組合せ及び射場で、機器自体及び各種装置の動作環境下で、伝導／電磁放射環境に曝される。

b. 地上環境

地上環境として以下の項目が挙げられるが、これらの環境については機器収納コンテナ、建造物、エアコンにより対応するのが一般的である。詳細は、JERG-2-142「一般環境標準（宇宙機）」²⁾を参照のこと。

[温 度]

航空機輸送時 -40～+65℃

地上 -25～+40℃

[相対湿度]

5～100%

[大気圧]

0.117～1.04×10⁵Pa（高度15 Km相当～地上）

[塩 霧]

海水に含まれる気泡が水面近くで破裂する際に生成される塩分を含んだ霧状の水滴で風によって運ばれてくるものである。

[砂 塵]

宇宙用機器に対しては、射場作業中の砂塵の影響がある。砂塵には風塵（直径～10⁻⁴mm）と風砂（直径～0.1mm）がある。

[菌]³⁾

金属の腐食現象は物理的あるいは化学的な作用によるものであるが、この作用を促進する菌が存在する。

腐食に関与する菌の例として、以下のものがある。

- ・鉄バクテリア
- ・水素バクテリア
- ・硫黄バクテリア
- ・硫酸塩還元バクテリア
- ・藻類
- ・真菌類

[日 照]

地球の大気を通過して、地表に到達する太陽放射エネルギーをいう。

太陽は、ほぼ6000Kの黒体とみなせるが、大気（電離層及びオゾン層）に

より、 $0.3\mu\text{m}$ 以下の紫外域が吸収される。これらを考慮した照射強さは、 $1135\text{W}/\text{m}^2$ である。

[降 雨]

直径 0.5mm 以上、落下速度 $3\text{m}/\text{sec}$ 以上の空から降る水滴である。宇宙機器の設計上対象となる雨は、降水量ではなく、日降水量、1時間降水量の極値である。

[ひょう]

氷の球又は氷塊で、直径は $5\sim 50\text{mm}$ である。また、最終速度は $11.5\sqrt{D}$ (m/sec)で表される。D ; ひょうの直径 (cm)

[大気汚染]³⁾

大気成分 以外の物質が人工的に大気中に放散されて生じるものであり、金属腐食等の一因となる。

汚染物質はその状態からガス、ダスト、フューム、ミストに分類される。また、成分は発生源により異なるが NO_2 、 SO_2 、 CO 、 H_2S 、 NH_3 酸類、ふっ化物などがある。

[地上風]

地表面から高度 150m までの風をいう。

宇宙機器の設計上対象となるのは瞬間最大風速である。

[雷]⁴⁾

雷放電の全放電時間は約 0.25 秒で平均 $2\times 10^4\text{A}$ もの電流が流れる。

また、電荷量は平均 30 クーロンである。

c. 打上げ時の自然環境

[高層風]

高度 150m 以上のところの風をいう。高層風のデータは、シンセティックウインドプロファイルと測定された風プロファイルのサンプル、この2種の形式があるが、一般的に前者が用いられる。

このデータには、風速、風速の変化、最大風層の厚さ及び突風が含まれる。

[大気]

地球の大気は通常、熱的な層により区分され、地表から最初の極小点ま

でを対流圏、次の最大温度の高さまでを成層圏、その上の2番目温度の極小点までを中間圏、その上を熱圏と呼び、さらに熱圏の上を外気圏と呼ぶ。

高度40kmから1000kmまでの大気密度、温度、化学組織、分子量、スケールハイトの例を図3.3-1に示す。

電 離 圏

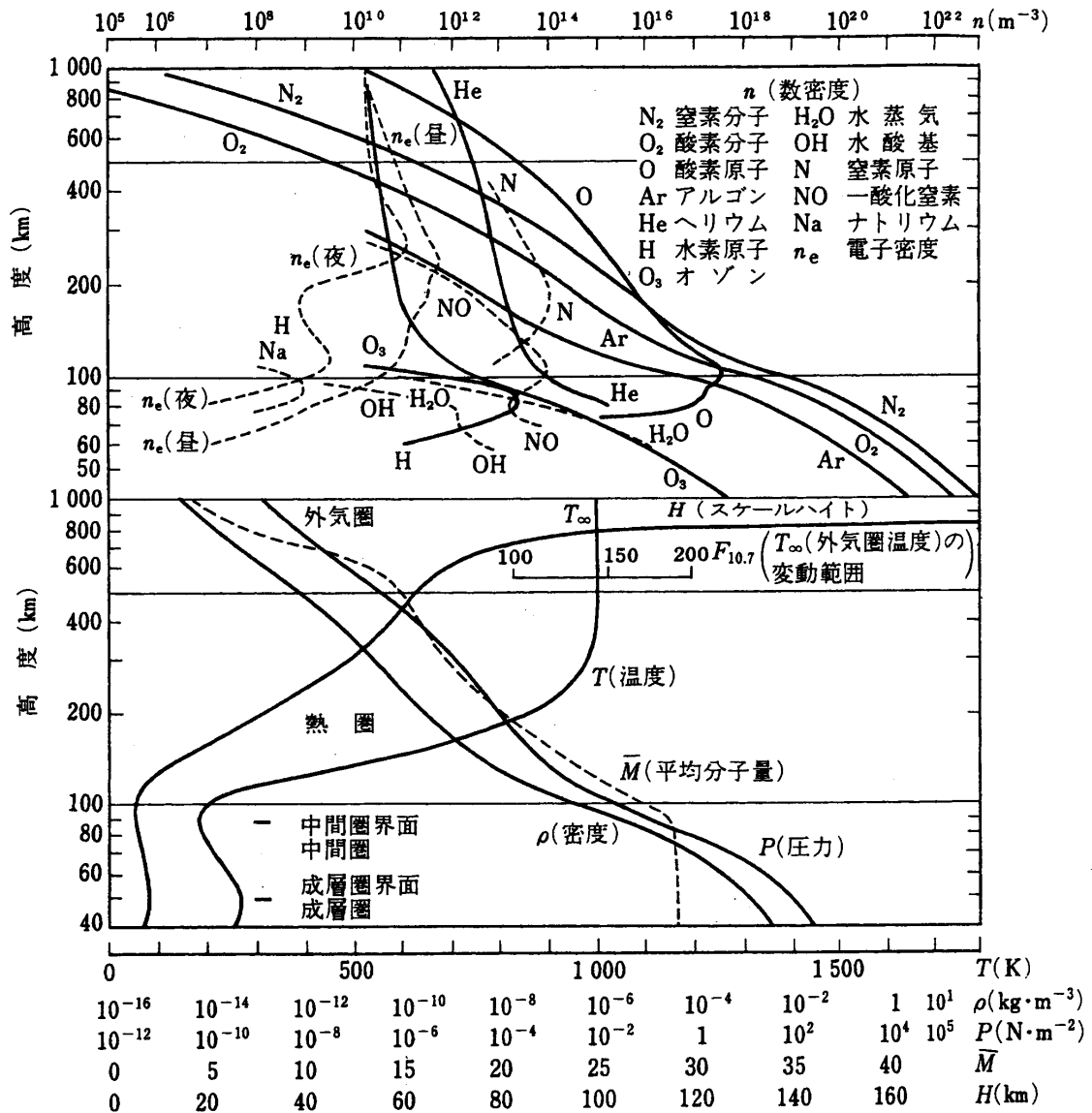


図3.3-1 地球高層大気物性の高さ分布

宇宙空間研究委員会(COSPAR:Committee on Space Research)が決定した1972年の国際標準大気(CIRA:COSPAR International Reference Atmosphere 1972)による高度40km~1000kmの地球高層大気の平均的な物理特性の高さ分布である。

平均的とは中程度の太陽活動期(波長10.7cmの太陽電波強度指数 $F_{10.7}=145$)における、緯度30度での平均を意味する。(国立天文台編 理科年表 2000版 より引用)

[重 力]

地球と宇宙用機器の間に働く引力をいう。宇宙用機器においては、軌道計算及び脱出速度計算で重力計算が必要となる。

重力の加速度は高度により変化する。高度0km～6371.2kmの重力の加速度を表3.3-1に示す。

表3.3-1 高度と重力加速度の関係

高 度 (k m)	重力加速度(m/s^2)
0	9. 8 0 7
2 0 0	9. 2 1 8
4 0 0	8. 7 2 8
1 0 0 0	7. 3 5 5
2 0 0 0	5. 6 8 8
3 0 0 0	4. 5 1 1
4 0 0 0	3. 5 3 0
6 3 7 1. 2	2. 4 5 2

[電離圏]

電離圏は大気最上部における電離の結果生じたプラズマから成り、主に太陽光線による大気中原子の解離によって発生する。電離圏は一般に低高度のD 層、E 層、F1 層と高高度のF2 層とに分かれている。低高度の各層は、主として日中にその存在が重要とされる。F2 層は永久的であり、各層の中で最も高密度で、そのピークは高度約300km 付近にある。

d. 宇宙環境

設計の初期段階で、以下に示す環境項目が軌道上所定期間運用時に、品目に対してどのような影響を及ぼすかを解析により予測し、この環境条件下で品目が正常動作(損傷を受けない)するよう、これに対処できる設計又は、防護策を講じる必要がある。詳細は、JERG-2-141「宇宙環境標準」⁵⁾を参照のこと。

[太陽放射(紫外線を含む)]

太陽からのエネルギー放射を太陽放射という。

- ・ 太陽定数

太陽からの入射光に対し垂直な単位表面積が、1 天文単位(1AU=地球と太陽間の平均距離)の距離にある大気外において単位時間当たりを受ける放射エネルギーである。

[地球放射]

地球放射には、地球自身からの放射である赤外放射と太陽放射の地球による反射分であるアルベドがある。

・赤外放射

地球への全入射太陽放射のうち、大気中に熱として吸収され、逆に大気から $4\mu\text{m}$ 以上の波長の熱放射として、再度宇宙空間に放出されるエネルギーである。

・アルベド

地球への全入射太陽放射のうち、大気中の散乱、雲及び地球表面からの放射の結果、宇宙空間へ再放射されるものの割合である。

アルベドは一般海面よりも陸地の方が高い。また、緯度とともに増大する。これは、太陽仰角が減少するにつれ反射率が増大し、さらに極付近では、雪、氷及び雲により覆われる部分が多くなることによる。

なお、アルベドは、地域による変動、季節変動、さらに月間変動がある。

[真空度]

c 項 [大気] の図3.3-1に示すとおり、高度により真空度は変化する。衛星は軌道高度に応じた高真空に曝される。

また、真空度は日変動、緯度変動、さらには太陽活動による変動がある。

[無重力]

衛星搭載の宇宙用機器は、軌道上でほぼ無重力の環境に置かれる。

[原子状酸素]

低高度軌道に存在する。

[荷電粒子 (宇宙放射線)]

荷電粒子は、太陽や宇宙のかなたから飛来するものと地球磁場に捕捉され放射線帯と呼ばれる空間に定常的に存在するものと分けられる。

前者は、太陽フレア(爆発現象)に伴って放出される太陽宇宙線と宇宙から飛来する銀河宇宙線である。後者は、捕捉電子線と捕捉陽子線に分類される。これらの荷電粒子は、宇宙用機器に入射し、その部品・材料に損傷を与える。

なお、ここでは上記で分類される各宇宙放射線の概要及び放射線の特徴的な振る舞いについて示す。

詳細に関しては、JERG-2-143「耐宇宙環境設計標準(耐放射線設計標準)」⁶⁾によること。

また、宇宙環境計測情報システム(SEES:Space Environments & Effects System)においてデータなどが掲載されているため、適宜参照されたい。

https://sees.tksc.jaxa.jp/fw/dfw/SEES/Japanese/Top/top_j.shtml

- ・ 捕捉電子線

地球磁場に捕捉された10MeV以下のエネルギーの電子で高度50000kmまでに存在する。

地球磁場に捕捉されていることから、空間的に強度が異なり、また、太陽活動により地球磁場が影響を受けるとその強度は変動する。さらに太陽爆発による磁気嵐の影響で一時的にかつ大幅に変動する。

- ・ 捕捉陽子線

地球磁場に捕捉された陽子であり、数100MeV以上の高エネルギー陽子は高度10000km以下に存在し、10MeV程度の陽子は20000km以下に存在する。

捕捉電子線と同様に空間的に強度が異なり、かつ太陽活動の影響で強度が異なる。

- ・ 太陽宇宙線

太陽フレアと呼ばれる局所的な爆発により放出される高エネルギー荷電粒子群で、その粒子組成は陽子すなわち太陽陽子線が最も多く、宇宙用機器に及ぼす影響は極めて大きい。

また、地磁気圏に侵入すると磁気嵐の発生や放射線帯の変動などの現象を引き起こす。

- ・ 銀河宇宙線

太陽系以外から飛来する荷電粒子の総称であり、電子・陽子、He原子核からFe原子核まで観測されている。荷電粒子はエネルギーが高く透過力が強いことと、物質中での阻止能が大きいことから半導体素子のシング

ルイベント現象を引き起こす。

銀河宇宙線は太陽活動や地球磁場の影響を受けて強度は変動する。

[太陽風]

太陽のコロナから放出される荷電粒子でプラズマとして地球付近まで飛来する。陽子と電子があり、さらに微弱ではあるが磁場も存在する。

[太陽放射圧]

太陽からの放射により受ける圧力で、対象物の反射率により変化する。

[地磁気]

宇宙機が地磁気を横切る運動を行うと、宇宙機内には電磁力が生じる。そして電流経路が完全であれば宇宙機および周辺プラズマに電流が流れる。こうした現象により、低高度地球周回軌道上の大型宇宙機では数ボルトの電位差が生じる場合がある。

[宇宙塵]

宇宙塵とは、宇宙空間に浮遊する固体の呼称である。

[宇宙デブリ]

人類の宇宙活動により生じたもので、機能を停止した人工衛星や打上げロケット及びその破片である。

(3) 信頼性評価計画への反映

- a. 各環境項目に対する耐性の保証方法として解析によるもの、試験により検証するもの、または、その他の手段によるものを、設計の初期段階で明確に識別し、信頼性評価計画に反映する。
- b. 特に宇宙環境のシミュレーションが困難なものについては下記が考えられる。
 - ・ 例えば大型展開構造物
部分的な試験の組合せ及び解析により評価する。
 - ・ 例えば放射線環境での機器の耐性
フライトデータの蓄積により間接的に設計の妥当性を評価しておく必要があり、特に電子部品については、同一部品(仕様・型番、設計、構造)での耐放射線評価データにより解析/評価する。

実施しない場合の影響

機器設計のベースラインが不明確となる。

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」
- 2) JERG-2-142 「一般環境標準(宇宙機)」
- 3) 日本学術振興会編； 金属防蝕技術便覧新版、（昭和47年）、日刊工業新聞社
- 4) 正野重方：気象学総論、地人書館 昭和43年、9版
- 5) JERG-2-141 「宇宙環境標準」
- 6) JERG-2-143 「耐宇宙環境設計標準（耐放射線設計標準）」

3.4 インタフェース条件の設定

効果

品目間のインタフェース条件を明確にし、設計仕様書の一部として、インタフェース管理仕様書（ICS）／インタフェース管理図面（ICD）に文書化し管理することにより、品目間相互のインタフェース上の誤解、トラブルの発生が減少する。

特に、システムの構成部品が複数のメーカーに分割して発注される場合や、得意先からの支給品目がある場合には効果的である。

効果的な実施時期

基本設計の初期段階でインタフェース条件を設定する。以降、設計の進展に伴い維持、更新を図る。

技術的根拠

各品目が有するインタフェース条件を設定することにより、品目間の誤解、インテグレーション時のトラブル発生を防ぐことができる。

JMR-004の対応項番

4.3.3 設計仕様書

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持

実施方法

- (1) インタフェース条件の設定

インタフェース条件は、品目に対して上位システム及びインタフェースする他の機器から、インタフェース部位を介して品目に入力される電氣的、機械的、物理的な設計情報であり、又逆に品目側から上位システムなどに対して出力される情報でもある。

したがって、品目の設計に際しては、開発の初期段階に品目に要求されるインタフェース条件を漏れなく洗い出し、他機器との間でこの情報内容（条件）を明確に設定し、これらの条件が設計上の制約条件ならびに品目側が保証すべき出力条件でもあることを念頭に、以降の設計を進めることが必要である。

この取り決めに不備があると、コンポーネントレベルから上位のインテグレーション時にインタフェース不整合となるトラブルを生じさせる要因となる。

設計の初期段階で、各品目相互間で調整した結果を設計仕様書及びインタフェース管理仕様書（ICS）としてまとめる。

また、設計の進展に伴いこの維持、更新を図る。

なお、インタフェース条件の設定に際しては、品目相互の共通理解、特に運用における条件や形態の理解が重要となっている。共通理解を深めるための手段として、書面や関係者によるインタフェース調整だけでなく、コンポーネントメーカーによるシステム（運用）メーカーでの運用形態の把握（見学等）を行うことも考慮すべきである。

(2) 代表的なインタフェース項目

インタフェース項目は各品目が有する機能により多岐に亘るが、インタフェース条件を取り決める必要がある代表的な項目を以下に示す。

- a. 機械的インタフェース
- b. 電氣的インタフェース
- c. 熱的インタフェース
- d. ソフトウェアインタフェース
- e. データバスインタフェース
- f. 座標系インタフェース
- g. 流體的インタフェース
- h. 光學的インタフェース
- i. 運用インタフェース

表3.4-1に衛星での、搭載コンポーネント(主として電子機器)、ワイヤハーネス、同軸ケーブル及び導波管、熱構造モデルに対するICD中で、記載すべき事項の要求(例)を示す。

なお、表3.4-1では上記a.～i.項までのインタフェース項目のうち、電子機器に対して最も一般的な項目である機械的インタフェース、電氣的インタフェース、熱的インタフェース及びその他のインタフェース各項目について、記載すべき具体的項目の(例)を示す。

また、表3.4-2に品目が必要とするインタフェース項目全てを含めた、コンポーネントICDの構成及びその記載内容(衛星機器の例)を示す。

(3) 検証

品目のインタフェース項目は、品目の検査／試験により検証し、インタフェースの適合性、整合性を保証すること。

実施しない場合の影響

各品目間のインタフェース条件が不明確となり、インテグレーション時にトラブルが発生する。

参考文献

なし

表3.4-1 各ICDにおけるインタフェース項目への記載事項(例)(1/2)

No.	記載項目	ICDの対象				備考	
		コンポーネント	同軸ケーブル・導波管	ワイヤハーネス	熱構モデル		
[注]							
機	1	品質識別表示	○	○	○	○	
	2	形状・寸法	○	○	○	○	
	3	取付け面以外の表面処理	○			○	
	4	取付け面の面粗さ	○			○	
	5	取付け面の面精度	○			○	
	6	取付け面の平面度	○			○	
	7	使用材料	○			○	
	8	取付けネジ部厚み	○			○	
	9	基準取付け穴	○			○	
	10	取付け穴	○			○	
	11	ファスナ	○	○		○	
	12	締付けトルク	○	○		○	
	械	13	衛星座標系とコンポーネント座標系の関係	○			○
14		取付け要求	○			○	
15		質量	○	○	○	○	
16		重心位置	○			○	
17		質量特性	○			○	
18		剛性	○				
19		コネクタ・フランジの種類及び型番		○			
20		使用線材・導波管		○	○		ハーネス図は線材のみ
21		コネクタの種類及び型番			○		
22		コネクタの挿抜力			○		
23		回転質量特性				○	
24	固有振動数				○		

[注]各ICDにおいて記載番号は、適宜採番すること。

表3.4-1 各ICDにおけるインタフェース項目への記載事項(例)(2/2)

No. [注]	記載項目	ICDの対象				備考
		コンポーネント	同軸ケーブル・導波管	ワイヤハーネス	熱構モデル	
電 気	1	RF入力端子	○	○		
	2	接触面積	○	○		
	3	非RF入力端子	○			
	4	消費電力	○			
熱	1	接触面積	○			○
	2	発生熱量	○	○		○
	3	許容温度範囲	○	○		
	4	許容温度変化率	○			
	5	温度規定点	○	○		○
	6	温度計測点	○			○
	7	温度センサ種別	○			
	8	インタフェース温度	○			
	9	熱放射率	○	○		○
	10	太陽光吸収率	○			○
	11	能動熱制御特性	○			○
	12	発熱密度	○			○
	13	熱容量	○	○		○
そ の 他	1	可動部エンベロープ要求	○			
	2	視野	○			
	3	回転体の特性	○			
	4	コンポーネント座標系	○			○
	5	構造数学モデル	○			○
	6	熱数学モデル	○			○
	7	極性・方向性	○			
	8	ヒータ接続端子				○
	9	ヒータ諸元				○

[注]各ICDにおいて記載番号は、適宜採番すること。

表3.4-2 コンポーネントICDの構成/記載内容（例）

No	摘要	記載内容	備考
1	表紙	ICD名称、文書番号及び改定記号、発行年月、作成元	
2	改定記録	改定記号、改定日付、改定理由、改定責任者	
3	インタフェース項目表	表3.4-1に示す各項目について具体的内容を記載する	指定様式を使用
4	形状図	当該品目のコネクタ面を全て含む三面図。必要に応じて詳細図を示す	
5	ピンアサイメント	当該品目のコネクタ全てについて以下の項目を示す (1)コネクタ番号、コネクタの種類、ピン番号 (2)信号名、信号記号、入出力区分 (3)電流値、電圧値 (4)信号の種別と周波数 (5)入出力回路（6項の回路図との対応関係） (6)ハーネスに対する要求（ツイスト、シールド等）	指定様式を使用
6	入出力回路図	(1)コネクタの各ピン毎に入出力回路を示す (2)回路定数(L, C, R、半導体型名)	
7	接地系統図	コンポーネント内の接地系統をコネクタピンとの対応を含めて示す	
8	その他	上記の他管理上必要とする以下の情報を記述する (1)運用モードの定義 (2)使用周波数(DC/DCのSW周波数) (3)磁気特性 (4)一次電源負荷モデル	指定様式を使用
9	個別事項	必要に応じて記載する	

3.5 信頼性技術情報の反映

効果

信頼性技術情報の設計への反映により、過去の宇宙プログラムで発生した異常／故障の当該品目での再発を未然に防止でき、これにより品目の信頼性確保、開発の効率化を図ることができる。

注1) JMR-004は機構が発行する信頼性技術情報のみを対象として、その設計等への反映を求めている。機構が契約上求めることができるのは機構が発行した文書に限定されるからである。一方、世の中には機構が発行したもの以外にも米国のGIDEP ALERTに代表されるように過去の知見及び使用者に対する共通問題等を文書化したものは多くあり、これらを可能な限り取り込んだ設計とすることが望ましい。このためこのハンドブックでは機構が発行したものに限定せずに、範囲を広げた知見等が文書化されたものを「信頼性技術情報」と称し、これらの取り込みを検討していただくという立場で解説をしている。

効果的な実施時期

基本設計段階における設計作業において、及び部品・材料選定作業においてそれまでに得られている知見から設計への反映事項を洗い出すことが重要である。その後、維持設計段階に至るまで各時点での信頼性技術情報を常に監視し、品目への反映の要否をフォローすることが必要である。

技術的根拠

信頼性技術情報の事例、勧告は、過去の宇宙プログラムで発生した異常／故障の中で特に重要かつ、比較的機器に共通な事例を整理したものである。

したがって、これを設計に活用することにより、品目の信頼性向上を図ることができる。

JMR-004の対応項番

4.3.3 設計仕様書、(2)項

関連の深い信頼性業務

- (1) 故障モード情報の収集
- (2) 異常／故障のフィードバック
- (3) 部品、デバイス、材料、工程プログラム（適用審査）
- (4) 詳細設計審査

実施方法

(1) 信頼性技術情報の反映の方法

a. 信頼性技術情報の種類

信頼性技術情報には以下のものが挙げられる

- ・他事業所、他部門を含む製造メーカー内で発生した異常／故障事例
- ・JAXA信頼性技術情報／注意喚起情報
- ・学会誌、シンポジウムでの事例紹介
- ・国外の宇宙機器で発生した異常／故障事例

これらに紹介されている異常／故障の原因、再発防止策(対策)としてどのような手段が講じられたかを分析し、適切なキーワードを用い設計者が活用し易い形態に情報整理することが必要である。

b. 情報の収集及び管理

- ・上記の情報は製造メーカー社内で公的に扱われているもの以外は一般に各部門担当者が個人情報として保有している場合が多く、この情報を組織的に収集することも重要である。
- ・収集した情報は、単に登録台帳上で管理するのでは不十分であり機種、原因、部品品種、対策などをキーワードにして検索でき、設計者が活用し易い形態に整理しておくことが必要である。

c. 具体的展開方法

- ・具体的展開には製造メーカー内の通信ネットワークを積極的に活用し、関連部門(又は関係者)への一斉配信により、情報の即時連絡並びに情報の共有化を図る方法が考えられる。
- ・品質保証部門が中心となり社内部門単位の共通サーバに「不具合掲示板(仮称)」を設け、これに信頼性技術情報を掲示し、内容を維持更新していく方法などは、過去の事例を関係者に周知させるためには有効である。
- ・社内教育の場で事例を紹介し、関係者に再発防止に向け喚起を促すことは直接的であり有効である。

上記の手段により、設計者に過去に発生した異常／故障の事例を周知させ、この再発防止に向けての職場風土造りが重要であり、又設計への反映事項としては、

- ・異常／故障事例が品目の機能、設計内容(例えば部品の電気回路での使用方法など)に該当するか否かを確認し、設計、製造方法に対し必要な策を講ずる。

- ・部品・材料選定時に、使用予定部品・材料の中に信頼性技術情報で勧告のあったものが含まれていないかを確認する。該当部品・材料がある場合には、その勧告事項が製造業者で改善済みであるか否かを確認し、否の場合には代替品の使用を検討する。
- ・詳細設計段階以降の維持設計段階においても、新たに発行された信頼性技術情報を常に監視し、品目への対策の要否を確認する必要がある。
- ・ロケット及びシリーズ衛星などで、長期にわたって同じ部品を使用し続ける場合に、信頼性技術情報が購入先等から積極的に通知されない場合があるので、可能な範囲でこれらの情報を入手するための体制を整えることが望ましい。

d. 設計への反映状況の確認

- ・設計の初期段階で設計、信頼性技術担当者による小規模な設計会議、図面審査会(仮称)で、信頼性技術情報に基づくチェックリストにより反映状況を確認する。
- ・部品、デバイス、材料、工程プログラム(適用審査)で設計結果に基づき反映状況を審査し、詳細設計審査で設計段階の最終確認を行う。

(2) JAXA信頼性技術情報

JAXA事業における不具合の未然防止及び信頼性確保を図るため、安全・信頼性推進部長がJAXA内及び宇宙航空関連メーカー等のJAXA外部を対象として発行する技術情報である。

(3) JAXA注意喚起情報

不具合の原因究明が未了等、信頼性技術情報の作成基準に該当しないが、注意喚起として速やかな周知が必要な情報について、安全・信頼性推進部ミッション保証技術グループがJAXA内外を対象として発行する技術情報である。なお、JAXA外の配布先は、信頼性技術情報より範囲を限定する。

実施しない場合の影響

信頼性技術情報に示された失敗と同じ失敗を繰り返す恐れがある。

参考文献

なし

3.6 設計業務の標準化

効果

設計業務の標準化により、潜在的な欠陥を除去し、設計の不整合を防止し、短期間に安定した信頼性を確保することができる。

効果的な実施時期

設計業務の標準化の活動は、基本設計段階から設計、製造、検査／試験などの工程において継続して行い、開発で得られた成果、ノウハウを標準としてまとめ、設計業務に活用する。

技術的根拠

実績のある設計標準に基づく設計業務により製品設計上の過去の同種不具合を防止し、要求を満たす設計品質の確保が容易になる。

JMR-004の対応項番

4.3.4 設計の標準化

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理
- (3) 製造工程の標準化

実施方法

- (1) 設計標準の制定

設計の標準化は、開発で得られたノウハウを文書化し共通的に利用できるように整備することである。

この設計標準は、設計者のマニュアルとして公式文書にしたものであり、例えば設計や製図などの業務において設計者が遵守すべき設計法、部品などの選択や使用の基準及び表示の基準など、実行の際の指針、判断基準及び標準技術技法などを定めた“設計における標準”の総称であり、この中には社内の設計全般に適用するものと、宇宙用など、適用分野を特定して制定するものがある。

図3.6-1に設計標準の体系の例を示す。

- ・設計マニュアル／ハンドブック： 具体的な設計の手順を示したもの
設計マニュアルは、設計に必要な資料をたえず蓄積、最新化し、設計

者がつねに活用できるように整理、標準化しておくことが必要である。
このマニュアルには、機構設計基準、回路設計基準、構造設計基準、熱設計基準、インタフェース管理図面の作成要領などがある。

- ・製図マニュアル： 図面作成方法の基本となるもの
製図マニュアルは、JIS規格などの公的規格を取り込み、図面作成上の指針、方法や図面の取扱、保管などを標準化したものであり、このマニュアルには図面作成基準、製図規定などがある。
- ・部品／材料規格（リスト）： 電気部品、機械部品、材料の仕様などを規定するもの又は（該当品の）リスト
部品／材料規格には、JAXA-QTS、MIL規格、JIS規格、ISO規格及び社内規格などがある。

また、信頼性工学の主な業務に係わる標準の内容例を次に示す。

- ・設計審査実施要領： 宇宙機器の設計段階で、設計中の性能・機能・信頼性につき、価格納期などを考慮しながら、設計改善を図るための審査体制、方法などを規定したもの
- ・信頼度予測実施要領： 信頼性ブロック図から故障率の算出、信頼度計算により製品の残存確率の予測する方法について規定したもの
- ・ストレス解析実施要領： 部品定格や材料強度に対して、実使用に際し想定されるストレスにおける余裕を解析するもの
- ・FMEA実施要領： 事前に、製品を構成する機能ブロック又は部品の故障モードを識別し、故障の影響解析及び故障原因に対する対策を行うことで、設計などにフィードバックを与えトラブルを未然に防止するための解析方法を規定したもの
- ・FTA実施要領： 設計段階で事前に製品について重要な故障モードの発生経路を解析し、基本事象となる故障原因の対策を検討し設計などにフィードバックを与えトラブルを未然に防止したり、製品に故障発生時に故障の原因を推定したりするための解析方法を規定したもの
- ・ワーストケース解析実施要領： ミッション期間中に性能劣化の恐れのある特性について設計余裕を解析するもの
- ・寿命解析実施要領： 製品の寿命を予測したり、実使用に際し想定されるストレスに対して余寿命を解析したりするもの
- ・異常／故障解析実施要領： 不具合の調査を通じて、異常／故障に至ったメカニズムを明らかにし、迅速且つ的確な対策を立て、機器故障の再発を防止するための解析方法を規定したもの
- ・部品・材料プログラム： 部品・材料の選定、調達、適用、評価に亘る一連の活動の体制、方法などを規定したもの

(2) 設計標準の活用

設計標準は通常、各プロジェクトの個別要求や設計フェーズに応じ、全面的あるいは一部を設計業務に適用する。

継続的な設計標準の活用は、信頼性の向上に寄与する。

- ・実績のある社内標準を活用することにより、設計品質が確保できる。また、設計の単純ミスの予防にも役立つ。
- ・図面の記載方法、インタフェース設計業務の手続きを標準化することにより設計の不整合を防止でき、安定した品質を確保できる。
- ・製造への指示の標準化により、製造工程の安定的な品質を確保できる。

(3) 宇宙航空研究開発機構の技術標準、設計基準、技術ハンドブックの例

設計の標準化の活動に際して、JERG-2-000「宇宙機（人工衛星・探査機）設計標準」などの、契約品目の設計に関連する技術要求・ガイドライン文書（JERG文書）を考慮する。公開済みの宇宙航空研究開発機構のプログラム管理要求文書、技術要求・ガイドライン文書を表3.6-1に示す。

実施しない場合の影響

設計標準なしで設計した場合、設計の不整合が生じ、個々の設計結果に対する検証が必要となり、開発コスト増となる。

参考文献

なし

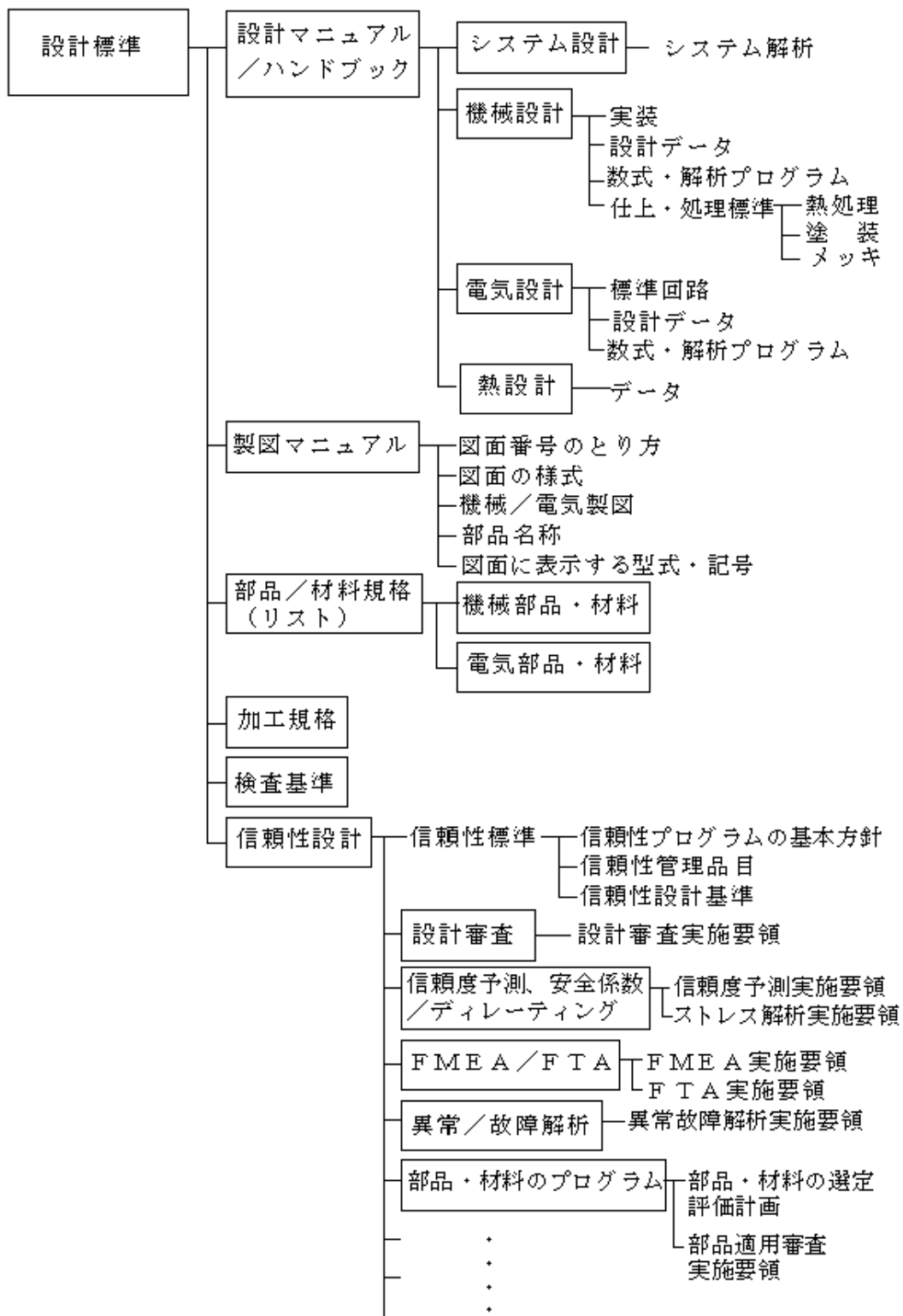


図3.6-1 設計標準の体系の例

表3.6-1 プログラム管理要求文書(JMR)／技術要求・ガイドライン文書(JERG)
リスト(2024年9月現在)
(適用に際しては、JAXA HP(<https://sma.jaxa.jp/techDoc/>)等で最新情報を
確認すること)

1. プログラム管理要求文書

- JMR-000 共通技術文書の定義及び管理
- JMR-001 システム安全標準
- JMR-002 ロケットペイロード安全標準
- JMR-003 スペースデブリ発生防止標準
- JMR-003-HB001 スペースデブリ発生防止対策 設計・運用マニュアル(宇宙機編)
- JMR-003-HB002 スペースデブリ発生防止対策 設計・運用マニュアル(ロケット編)
- JMR-004 信頼性プログラム標準
- JMR-005 品質保証プログラム標準
- JMR-006 コンフィギュレーション管理標準
- JMR-010 コンタミネーション管理標準
- JMR-012 電気・電子・電気機構部品プログラム標準
- JMR-013 品質保証プログラム標準(基本 requirement JIS Q 9100)
- JMR-014 惑星等保護プログラム標準
- JMR-016 人工衛星の衝突リスク管理標準

2. 技術要求・ガイドライン文書

共通

- JERG-0-001 宇宙用高圧ガス機器技術基準
- JERG-0-017 品質保証プログラム標準 解説書
- JERG-0-018 ヒューマンファクタ分析ハンドブック
- JERG-0-036 静電気対策ハンドブック（電子部品・装置）
- JERG-0-039 宇宙用はんだ付工程標準
- JERG-0-039-TM001A 宇宙用はんだ付工程標準（JERG-0-039）技術データ集
- JERG-0-040 宇宙用電子機器接着工程標準
- JERG-0-041 宇宙用電気配線工程標準
- JERG-0-041-TM001C 宇宙用電気配線工程標準（JERG-0-041）技術データ集
- JERG-0-042 プリント配線板と組立品の設計標準
- JERG-0-043 宇宙用表面実装はんだ付工程標準
- JERG-0-043-TM001A 宇宙用表面実装はんだ付工程標準（JERG-0-043）技術データ集
- JERG-0-047 再突入機の再突入飛行に係る安全基準
- JERG-0-047-HB001 再突入機の再突入飛行に係る安全基準 解説書
- JERG-0-049 ソフトウェア開発標準
- JERG-0-050 海外部品品質確保ハンドブック
- JERG-0-051 海外コンポーネント品質確保ハンドブック
- JERG-0-052 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（共通編）
- JERG-0-054 BGA/CGA 実装工程標準
- JERG-0-059 品質保証プログラム標準（基本要求 JIS Q 9100）解説書
- JERG-0-060 ロバスト設計ハンドブック
- JERG-0-060-TM001 ロバスト設計の実践事例集

- JERG-0-062 民生機器宇宙適用ガイドライン
- JERG-0-063 宇宙開発信頼性技術ハンドブック
- JERG-0-064 鉛フリー部品の宇宙適用工程標準
- JERG-0-065 宇宙用光ファイバ配線工程標準

ロケット

- JERG-1-007 射場運用安全技術基準
- JERG-1-008 ロケット搭載ソフトウェア開発標準
- JERG-1-009 ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準
- JERG-1-009-HB001 ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準
(JERG-1-009) 解説書
- JERG-1-010 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック (ロケット編)

宇宙機

- JERG-2-000 宇宙機 (人工衛星・探査機) 設計標準
- JERG-2-023 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック (長寿命衛星編)
- JERG-2-024 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック (科学衛星編)
- JERG-2-025 公募小型副衛星 ハザード解析ハンドブック
- JERG-2-026 軌道上サービスミッションに係る安全基準
- JERG-2-100 システム設計標準
- JERG-2-120 単一故障・波及故障防止標準
- JERG-2-130 宇宙機一般試験標準
- JERG-2-130-HB001 衝撃試験ハンドブック
- JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック
- JERG-2-130-HB003 振動試験ハンドブック
- JERG-2-130-HB004 フォースリミット振動試験ハンドブック
- JERG-2-130-HB005 熱真空試験ハンドブック

- JERG-2-130-HB006 環境試験信頼性要求ハンドブック
- JERG-2-130-HB007 宇宙機一般試験標準ハンドブック
- JERG-2-141 宇宙環境標準
- JERG-2-142 一般環境標準（宇宙機）
- JERG-2-143 耐宇宙環境設計標準（耐放射線設計標準）
- JERG-2-144 微小デブリ衝突耐性評価標準
- JERG-2-151 ミッション・軌道設計標準
- JERG-2-152 擾乱管理標準
- JERG-2-153 指向管理標準
- JERG-2-200 電気設計標準
- JERG-2-200-TP001 科学衛星等電気設計基準テンプレート
- JERG-2-211 帯電・放電設計標準
- JERG-2-212 ワイヤディレーティング標準
- JERG-2-213 絶縁設計標準
- JERG-2-214 電源系設計標準
- JERG-2-215 太陽電池パドル系設計標準
- JERG-2-241 EMC 設計標準
- JERG-2-310 熱制御系設計標準
- JERG-2-311 MLI 剥離防止設計標準
- JERG-2-320 構造設計標準
- JERG-2-330 機構設計標準
- JERG-2-340 宇宙機用推進系設計標準
- JERG-2-400 通信設計標準
- JERG-2-400-HB201 CCSDS 概説
- JERG-2-400-TP100 科学衛星等通信設計基準テンプレート
- JERG-2-400-TP101 通信・データハンドリングアーキテクチャ概要及び衛星搭載・地上サブネットワークプロトコル

- JERG-2-400-TP102 通信・データハンドリングアーキテクチャ
エンドツーエンドプログラム
- JERG-2-400-TP103 通信・データハンドリングアーキテクチャ
スペースリンクプロトコル
- JERG-2-401 テレコマンドデータリンクプロトコル設計標準
- JERG-2-402 AOS データリンクプロトコル設計標準
- JERG-2-403 スペースコミュニケーション・エンドツーエンドプロ
トコル設計標準
- JERG-2-411 RF 通信系設計標準
- JERG-2-420 RF 回線設計標準
- JERG-2-431 MIL-STD-1553B オンボードサブネットワーク設計標準
- JERG-2-432 Space Wire オンボードサブネットワーク設計標準
- JERG-2-500 制御系設計標準
- JERG-2-510 姿勢制御系設計標準
- JERG-2-600 ソフトウェア開発標準（宇宙機用）
- JERG-2-610 宇宙機ソフトウェア開発標準
- JERG-2-700-TP001 衛星の機能モデル（Functional Model of
Spacecraft（FMS））
- JERG-2-700-TP002 宇宙機監視管理プロトコル
- JERG-2-700-TP004 宇宙機情報ベース2定義（Definition of
Spacecraft Information Base 2（DSIB2））
- JERG-2-700-TP108 通信・データ処理アーキテクチャ タイム管理
- JERG-2-701 運用準備標準

地上設備

- JERG-3-001 地上設備・装置品質プログラム標準
- JERG-3-003 地上ソフトウェア開発標準
- JERG-3-004 地上設備・装置の保全ガイドライン

3.7 製造工程の標準化

効果

部品、材料、組立品の製造工程の標準化により、安定した品質の確保が可能となり、ミッション達成上のリスクを軽減できる。

効果的な実施時期

製造工程の標準化の活動は、製造、検査／試験などの工程において継続して行い、開発で得られた成果、ノウハウを作業標準としてまとめ、製品の製造工程の設計に活用する。

技術的根拠

標準化が必要な製造工程は、製品仕様に依存しない共通性のある製造工程であり、統一した製造工程の設定により、設計業務の軽減、製造工程の継続的な改善が可能である。

JMR-004の対応項番

4.3.4 設計の標準化

関連の深い信頼性業務

- (1) 工程プログラム
- (2) 設計業務の標準化
- (3) 信頼性プログラムを適用する供給業者の管理

実施方法

製造工程の標準化は、主には製品仕様に依存しない共通性のある工程を対象にして行う。例えば、部品製作、組立、検査、取扱い、保管などを対象とし、品質の安定、不具合防止、能率向上、作業安全を目的としている。

公的な仕様書、期待される品質、必要な工具／設備、環境的適合性、製造要因（製造テクノロジー、製作と組立コスト、材料の供給源、ワークマンシップの許容範囲、確認方法など）を考慮し、製造工程の標準化を行う。

(1) 製造工程の標準の分類

製造工程の標準には、製造上の技術的事項を定める製造技術標準及び製造技術標準に基づいて作業者が作業を行う上で必要な事項を定める製造作業標準がある。

a. 製造技術標準

製造技術標準は、次の事項を定めたものであり、この標準には、製造

規格、製造技術規格、工程標準、工程仕様書などの名称がある。主には以下の項目を定めた標準であり、技術者が活用するものである。

- ・ 使用設備、治工具の選定
- ・ 加工条件の選定
- ・ 作業者の条件（特殊工程にかかわる作業者検定の規定など）
- ・ 製造環境
- ・ 目標品質など

b. 製造作業標準

製造作業標準は、次の事項を定めたものであり、この標準には、作業手順書、作業要領書、作業指導書などの名称がある。主には以下の項目を定めた標準であり、作業者が活用するものである。

- ・ 作業者の要件（特殊工程にかかわる検定合格者の規定など）
- ・ 使用材料（はんだ、切削油など）
- ・ 設備・治工具の取扱い方法
- ・ 作業手順
- ・ 作業方法
- ・ コツや注意事項
- ・ 安全心得
- ・ 作業環境
- ・ 異常時の処置と報告など

(2) 製造工程標準の活用

例えば、製造工程標準を活用して、QC工程図（又はQC工程表）を作成する。

実施しない場合の影響

作業標準なしで製造を行った場合、製造指示ミスも含め、製品に欠陥が混入し、期待した性能・特性と異なった結果が生じ、要求される性能、信頼性を満足させることができなくなる。

参考文献

なし

3.8 信頼度配分

効果

システムに要求される定量的な信頼度要求値をサブシステムあるいは構成部品レベルに割り付けることにより、開発設計のためのベースライン要求（開発目標値）を明確に設定できる。

効果的な実施時期

概念／計画決定段階。開発設計のためのベースライン（開発目標値）設定が目的であることを考慮し、以降開発設計の進展に合わせた見直し／維持を行う。

技術的根拠

システムに要求される定量的な信頼度要求を適切かつ効率的に満足させるための基本的作業が可能になる。

JMR-004との対応項番

4.3.5 信頼度予測

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度予測

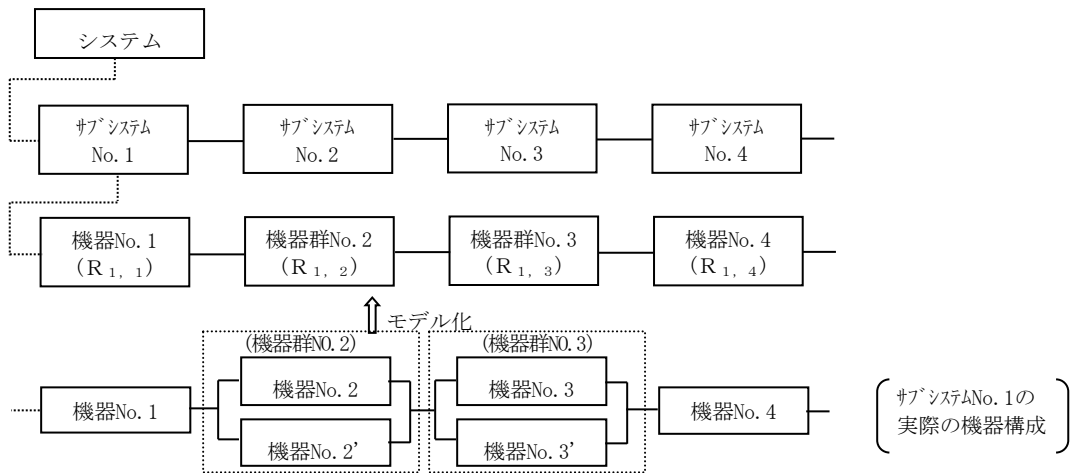
実施方法

以下の手順により配分を実施する。

- (1) 信頼性モデルの作成

信頼性モデルは、システムに要求される定量的な信頼度目標値を下位レベルに配分するためのモデルであり、規定された任務を遂行するために必要なサブシステム及び機器などで構成される。

システムの中に常用冗長系又は待機冗長系が含まれる場合は、それらに対応した数学モデルを作って信頼度を配分してもよいが、以下のように冗長系全体を一つのサブシステム又は機器(群)と見なして直列モデルに置き換えて信頼度を配分してもよい。

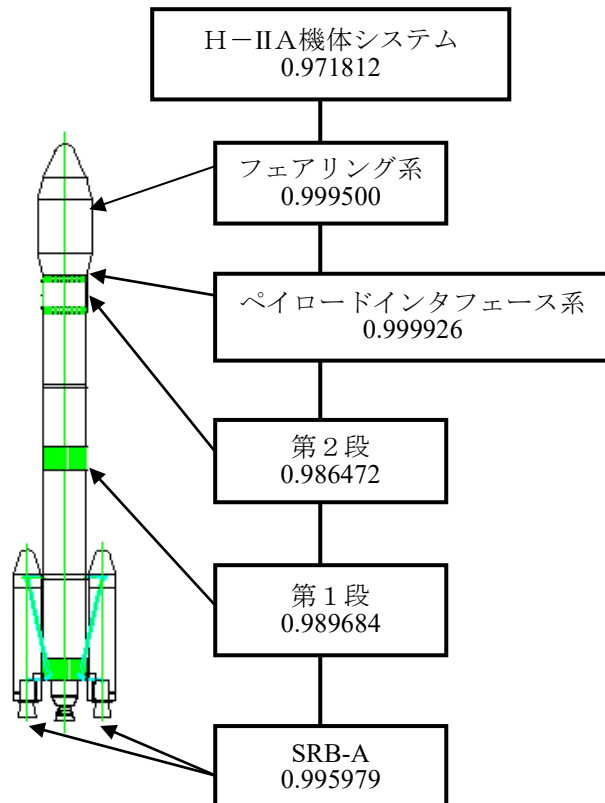


(2) 配分方法の決定

配分方法の決定に先立ち、システムの信頼度目標値を達成する際の制約条件や各サブシステムの特性を明確にし、その内の何を重視して配分を行うかの基本方針を立てる。

一般的に、制約条件としては、開発期間、コスト、重量、容積などが、又サブシステムの特性としては、重要度、複雑性、改善の難易度、動作環境、稼動時間などがあげられる。

参考までに、H-IIAロケット機体システムの信頼度配分値例を以下に示す。本配分値は、後述するAGREE配分技法に過去のロケットの実績データに基づく経験値を加味して設定されている。



配分の基本方針が決定したら、その方針を踏まえて適切な配分方法を選択する。

一般的な配分手法の具体例を次に示す。

配分方法は、対象とするシステムの性格や規模及び開発フェーズに応じて選択すべきものであり、例に示す方法から選択するか、あるいはこれら以外の適切な方法を用いても良い。

【具体例1：等配分技法】

適用範囲

n個のサブシステムが直列に使われているという以外に、システムに関する明確な情報がない場合に、各々のサブシステムに同一の信頼度目標値を割り当てる。

この手法の弱点は、サブシステムの目標値が、それを達成するために必要となる困難度合によって割り当てられないことである。

配分式

i 番目のサブシステムに配分された信頼度目標値は、

$$R_i = (R_s)^{1/n}$$

i ; サブシステム (i = 1, 2, …, n)

R_s ; サブシステム全体の信頼度目標値

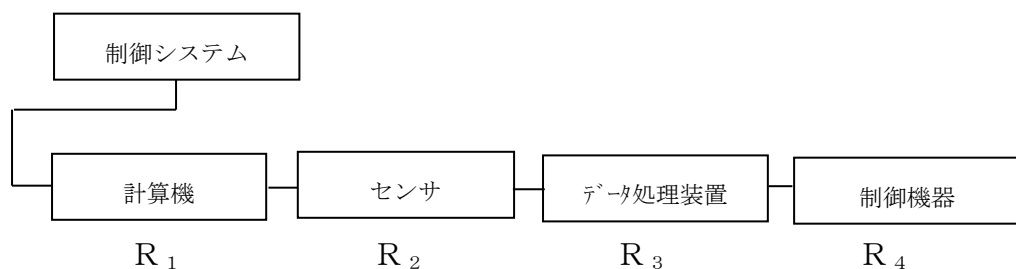
具体例

計算機、センサ、データ処理装置、制御機器の4つのサブシステムからなる制御システムがある。このシステムが機能するためには、各サブシステムが機能しなければならない。

このシステムが0.996という信頼度目標値を満足するための各サブシステムへの信頼度配分例を以下に示す。

(1) システムの信頼度目標値と信頼性モデル

システム全体の信頼度目標値 ; R_s=0.996



(2) 制約条件、各サブシステムの特徴

- ・各サブシステムは独立に開発される。
- ・各サブシステムの開発費用は同じである。

(3) 各サブシステムへの配分計算

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = (R_s)^{1/n} = (0.996)^{1/4} = 0.999$$

したがって、各サブシステムに一律に、0.999の信頼度目標値を割り当てればよい。

【具体例2：AGREE配分技法】

適用範囲

各サブシステムの複雑さと重要性の両方を考慮した配分をする。K個のサブシステムが直列で、その各々の故障分布が指数分布であると仮定できる場合に適用できる。

配分される信頼度目標は、MTBF又は信頼度で表される。

配分式

i番目のサブシステムに配分された平均故障間隔 (MTBF) は、

$$\theta_i = \frac{N W_i t_i}{n_i [-\ln R^*(t)]}$$

i番目のサブシステムに配分されたミッション期間での信頼度目標値は

$$R_i^*(t_i) = \exp \frac{-t_i}{\theta_i}$$

ただし、システム故障に至る故障に関する信頼度は

$$R_i^{**}(t) = \exp \frac{-W_i t_i}{\theta_i}$$

となる。

- i : サブシステム (i = 1, 2, 3, …, K)
- t : システムの要求ミッション期間
- t_i : 第 i 番目のサブシステムの要求ミッション期間
- W_i : 重要度ファクタ。第 i 番目のサブシステムの故障がシステム故障に帰する確率として表されたもの。
- n_i : 第 i 番目のサブシステムのモジュール数
- N : システムにおけるモジュールの総数 ($= \sum_{i=1}^k n_i$)
- R*(t) : システムのミッション期間中の信頼度目標値

具体例

4つのサブシステムからなるシステムを考える。このシステムのミッション期間は4時間であり、信頼度目標値は、0.9である。

各サブシステムの重要度と複雑度（モジュール数）がわかっているとき、この0.9の信頼度目標値の各サブシステムへの配分例を以下に示す。

(1) システムの信頼度目標値と信頼性モデル

システム全体の信頼度目標値：0.9



(2) 制約条件、各サブシステムの特徴

サブシステム (i)	モジュール数 (n_i)	重要度ファクタ (W_i)	ミッション期間 (t_i)
1	20	0.7	4
2	30	0.5	4
3	200	0.8	4
4	50	0.2	4
N=300			

(3) 各サブシステムへの配分計算

$$\theta_1 = \frac{300(0.7)(4)}{20(0.1054)} = \frac{840}{2.108} = 398 \text{時間}$$

$$R1^*(4) = \exp(-4/398) = \exp(-0.01) = 0.990$$

$$\theta_2 = \frac{300(0.5)(4)}{30(0.1054)} = \frac{600}{3.162} = 189 \text{時間}$$

$$R2^*(4) = \exp(-4/189) = \exp(-0.021) = 0.979$$

$$\theta_3 = \frac{300(0.8)(0.4)}{200(0.1054)} = \frac{960}{21.08} = 45 \text{時間}$$

$$R3^*(4) = \exp(-4/45) = \exp(-0.089) = 0.915$$

$$\theta_4 = \frac{300(0.2)(4)}{50(0.1054)} = \frac{240}{5.27} = 45 \text{時間}$$

$$R4^*(4) = \exp(-4/45) = \exp(-0.089) = 0.915$$

サブシステム単位に見た信頼度目標値は、上記のように R^*_1 、 R^*_2 、 R^*_3 、 R^*_4 と求まる。

この時、これにシステム故障に至る確率 W_i を考慮して、システム全体から見た各サブシステムの信頼度を求めると、次のようになる。

$$R_1^{**} = \exp\left(-\frac{0.7 \times 4}{398}\right) = 0.9930$$

$$R_2^{**} = \exp\left(-\frac{0.5 \times 4}{189}\right) = 0.9895$$

$$R_3^{**} = \exp\left(-\frac{0.8 \times 4}{45}\right) = 0.9314$$

$$R_4^{**} = \exp\left(-\frac{0.2 \times 4}{45}\right) = 0.9824$$

$$R = R_1^{**} \times R_2^{**} \times R_3^{**} \times R_4^{**} = 0.9 \text{ となり}$$

ミッション期間4時間でのシステム全体の信頼度は、要求を満足している。

【具体例3：ARINCの配分技法】

適用範囲

どんなサブシステムの故障もシステム故障の原因となり、かつ、サブシステムのミッション時間はシステムのミッション時間と等しいような、定故障率をもつ直列のサブシステムに適用できる。

この方法では、信頼度目標値を故障率又は信頼度を用いて表す。

配分式及び配分のステップ

$\sum_{i=1}^n \lambda_i^* \leq \lambda^*$ となるように λ_i^* を設定する。

i : サブシステム ($i = 1, 2, \dots, n$)

λ_i^* : i 番目のサブシステムに配分された故障率

λ^* : システム全体の故障率

- (1) 過去の観測又は評価からサブシステムの推定故障率 λ_i を決定する。
- (2) ステップ(1)で決定した故障率に従って、各サブシステムに荷重ファクタ (W_i)を割り当てる。

$$W_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

- (3) 各サブシステムの故障率の目標値を次式で割り当てる。

$$\lambda_i^* = W_i \lambda^*$$

具体例

姿勢制御系、テレメトリ・コマンド系、電源・パドル系、推進系、熱制御系の5つのサブシステムから成る衛星システムを考える。過去の経験に基づいたサブシステムについて推定された故障率は、各々、 $\lambda_1=1200\text{FIT}^{*1}$ 、 $\lambda_2=800\text{FIT}$ 、 $\lambda_3=1000\text{FIT}$ 、 $\lambda_4=600\text{FIT}$ 、 $\lambda_5=400\text{FIT}$ である。システムのミッション期間は10年（87600時間）であり、信頼度目標値は0.8である。この信頼度目標値の各サブシステムへの配分例を以下に示す。

*1 FIT : Failure Unit = 1 / 10^9 時間

- (1) システムの信頼度目標値と信頼性モデル
システム全体の信頼度目標値 : 0.8



- (2) 制約条件、各サブシステムの特性

- ・システムのミッション期間 : 87600 時間
- ・各サブシステムの推定故障率

姿勢制御系	$\lambda_1=1200\text{FIT}$
テレメトリ・コマンド系	$\lambda_2=800\text{FIT}$
電源・パドル系	$\lambda_3=1000\text{FIT}$
推進系	$\lambda_4=600\text{FIT}$
熱制御系	$\lambda_5=400\text{FIT}$

- (3) 各サブシステムへの配分計算

a. $R^*(10\text{年}) = \exp[-\lambda^*(87600)] = 0.8$

このとき $\lambda^*=2500\text{FIT}$

b. $\lambda_1=1200\text{FIT}$
 $\lambda_2=800\text{FIT}$
 $\lambda_3=1000\text{FIT}$
 $\lambda_4=600\text{FIT}$
 $\lambda_5=400\text{FIT}$

c. $\omega_1 = \frac{1200}{1200+800+1000+600+400} = 0.3$

$\omega_2 = \frac{800}{1200+800+1000+600+400} = 0.2$

$$\omega_3 = \frac{1000}{1200+800+1000+600+400} = 0.25$$

$$\omega_4 = \frac{600}{1200+800+1000+600+400} = 0.15$$

$$\omega_5 = \frac{400}{1200+800+1000+600+400} = 0.1$$

d. 各サブシステムに配分された故障率は

$$\lambda_1^* = 0.3(2500) = 750\text{FIT}$$

$$\lambda_2^* = 0.2(2500) = 500\text{FIT}$$

$$\lambda_3^* = 0.25(2500) = 625\text{FIT}$$

$$\lambda_4^* = 0.15(2500) = 375\text{FIT}$$

$$\lambda_5^* = 0.1(2500) = 250\text{FIT}$$

e. 各サブシステムに配分された信頼度目標値は

$$R_1^*(10\text{年}) = \exp(-87600 \times 750) = 0.936$$

$$R_2^*(10\text{年}) = \exp(-87600 \times 500) = 0.957$$

$$R_3^*(10\text{年}) = \exp(-87600 \times 625) = 0.946$$

$$R_4^*(10\text{年}) = \exp(-87600 \times 375) = 0.967$$

$$R_5^*(10\text{年}) = \exp(-87600 \times 250) = 0.978$$

ミッション時間87600時間でのシステム全体の信頼度は、

$$R = R_1^* \times R_2^* \times R_3^* \times R_4^* \times R_5^* = 0.801$$

となりシステム信頼度目標値0.8を満たしている。

ここで求められた信頼度 $R_1^* \sim R_5^*$ を配分値とする。

姿勢制御系の故障率を例にとると、配分値750FITに対して、過去の実績に基づく推定値は1200FITである。

この差は開発努力にて補うことになる。

【具体例4：努力最小化アルゴリズム】

適用範囲

システムの信頼度目標値を達成するために費やす総努力の最小化を行う。

努力とは具体的には、コスト、開発期間、試験回数、技術力向上などであるが、これらを総合して努力量として評価する。

この方法は、サブシステムの信頼度を R_1 から R_2 へ上げるために必要な努力量が、サブシステム間で等しいと仮定できる場合に適用できる。

システムとしては、 n 個のサブシステムが直列に配置されたものを対象とする。

配分式及び配分のステップ

$$\prod_{i=1}^n R_i^* = R^* \quad \text{のもとで}$$

$$\sum_{i=1}^n G(R_i, R_i^*)$$

を最小にするような R_i^* を求めることである。

- i : サブシステム ($i = 1, 2, \dots, n$)
- R_i^* : i 番目のサブシステムに配分された信頼度目標値
- R^* : システム全体の信頼度目標値
- R_i : 開発の現状態におけるサブシステム i の信頼度
- $G(R_i, R_i^*)$: 努力関数。 i 番目のサブシステムについて、信頼度を R_i から R_i^* へ上げるのに必要な努力量 (この方法では、この努力関数が各サブシステムで同一とする。)

(1) 上に与えた仮定に従うと、一義的な解は、

$$R_i^* = \begin{cases} R_0^*, & i \leq K_0 \text{ の場合} \\ R_i^*, & i > K_0 \text{ の場合} \end{cases}$$

である。ただし、サブシステムの信頼度は

R_1, R_2, \dots, R_n は非減少の順にならべられている。

$$R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_n$$

K_0 の値は、

$$R_j < \left(\frac{R^*}{\prod_{i=j+1}^{n+1} R_i} \right)^{1/j} = r_j$$

となるような j の最大値として決められる。ただし、 $R_{n+1} = 1$ と定義しておく。

(2) R_o^* の値は、

$$R_o^* = \left(\frac{R^*}{\prod_{j=K_o+1}^{n+1} R_j} \right)^{1/K_o}$$

と決められる。

システム信頼度はこのとき R^* となることは明らかである。その理由は、 R_o^* に対する関数を用いると、新しい信頼度については次のようになるからである。

$$(R_o^*)^{K_o} R_{K_o+1} \dots R_n = (R_o^*)^{K_o} \left(\prod_{j=K_o+1}^{n+1} R_j \right) = R^*$$

具体例

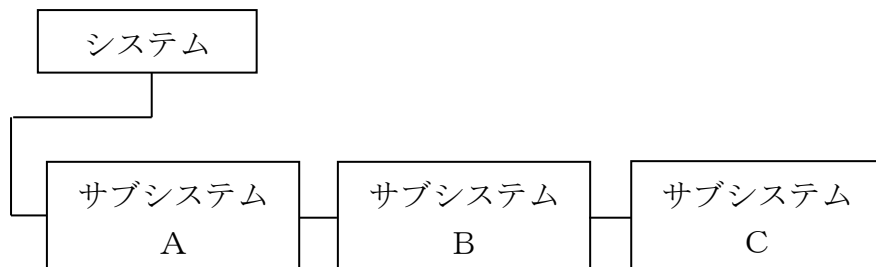
例として、3つのサブシステム (A、B及びC) からなるシステムを考える。ただし、システムが成功するためにはこれらのサブシステムのすべてが故障なしに機能しなくてはならない。システム信頼度目標値は0.70に設定されている。

ここでサブシステムの信頼度は、 $R_A=0.90$ 、 $R_B=0.80$ かつ $R_C=0.85$ と予測されていた。総努力を最小にし、かつ、システム信頼度目標値を満足するための各サブシステムへの信頼度配分例を以下に示す。

これら3つのサブシステムに対しては同一の努力関数を仮定しておく。

(1) システムの信頼度目標値と信頼性モデル

システム全体の信頼度目標値：0.70



(2) 制約条件、各サブシステムの特性

- ・総努力量を最小にする。
- ・3つのサブシステムの努力関数は同一とする。

・各サブシステムの推定信頼度

$$A \quad R_A = 0.90$$

$$B \quad R_B = 0.80$$

$$C \quad R_C = 0.85$$

(3) 各サブシステムへの配分計算

a. サブシステムの信頼度の値を増える順序にならべる。

$$R_1 = R_B = 0.80, \quad R_2 = R_C = 0.85, \quad R_3 = R_A = 0.90$$

b.

$$R_j < \left(\frac{R^*}{\prod_{i=j+1}^{n+1} R_i} \right)^{1/j} = r_j$$

となるような j の最大値として K_o を決定する。

c. $j = 1$ のとき

$$R_1 = 0.80 < r_1 = \left[\frac{0.70}{R_2 R_3 (1.00)} \right]^1 = \left[\frac{0.70}{(0.85)(0.90)(1.00)} \right] = 0.915$$

d. $j = 2$ のとき

$$R_2 = 0.85 < r_2 = \left[\frac{0.70}{(0.90)(1.00)} \right]^{1/2} = 0.882$$

e. $j = 3$ のとき

$$R_3 = 0.90 > r_3 = \left(\frac{0.70}{1.00} \right)^{1/3} = 0.888$$

f. $R_1 < r_1$ 、 $R_2 < r_2$ 、 $R_3 > r_3$ であるから、b. が $R_j < r_j$ となるような最大の j の値であるので $K_o = 2$ となる。

したがって、

$$R_o^* = \left(\frac{0.70}{0.90} \right)^{1/2} = 0.882$$

であって、このことはサブシステムBの信頼度を0.80から0.882まで増加させ、サブシステムCの信頼度を0.85から0.882まで増加させ、サブシステムAの信頼度だけは0.90のままにしておくよう努力を配分すべきであることを意味している。全システムの信頼度は、要求通りに $0.70 = (0.882)^2 (0.90)$ である。このことはサブシステムAにはなんら開発努

力を費やすことなしに、サブシステムC、Bのそれぞれの信頼度を0.882まで上げるために、CとBについて努力を払うべきであることを意味している。この方策はシステム信頼度目標値を満たすために費やされる全努力を最小にするものである。

【具体例5：動的計画法】

適用範囲

努力最小化アルゴリズムでは、すべてのサブシステムについて、その信頼度を R_1 から R_2 へ上げるのに要する努力量は同一としたが、同一でない場合はこの方法を用いる。

すなわち開発の際の困難度合が、サブシステムによって異なる場合に費やす総努力が最小となるよう配分を行う。

システムとしては n 個のサブシステムが直列に配置されたものを対象とする。

配分式と配分のステップ

\bar{y} ; システムの信頼度 $0 \leq \bar{y} \leq 1$

x_i ; 開発の現状状態におけるサブシステムの信頼度水準 $0 \leq x_i \leq 1$

y_i ; サブシステム i に配分された信頼度 $x_i \leq y_i \leq 1$

$G_i(x_i, y_i)$; サブシステム i の信頼度水準を x_i から y_i まで上げるために要求される開発努力量

n ; サブシステムの数

y_i^* ; 総開発努力が最小となるようにサブシステム i に配分される信頼度目標とすると、

$$\prod_{i=1}^n y_i = \bar{y}, \quad x_i \leq y_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

のもとで、

$$\sum_{i=1}^n G_i(x_i, y_i)$$

が最小になるような y_i (すなわち y_i^*) を求めることである。

具体例

3つの独立なサブシステムから成るシステムがある。このシステムは、サブシステムの各々が適正に機能したとき、機能することができる。このシステムの信頼度要求は0.90である。類似の機器に関する履歴情報と技術解析にもとづくと、サブシステムの信頼度水準の推定値は、それぞれ0.95、0.95および0.97である。

3つのサブシステムに対し指定された努力関数は下表のとおりである。開

発費用を最小にするための各サブシステムへの信頼度配分例を以下に示す。

開 発 努 力 量				単位：1,000ドル	
y_1	$G_1(0.95, y_1)$	y_2	$G_2(0.95, y_2)$	y_3	$G_3(0.97, y_3)$
0.95	0	0.95	0	0.97	0
0.96	1.0	0.96	20.0	0.98	25.0
0.97	3.9	0.97	46.0	0.99	55.6
0.98	16.5	0.98	81.2	0.995	99.7
0.99	34.0	0.99	126.8		
0.995	65.0	0.995	179.8		

- (1) まず、 $(0.95)(0.95)(0.97) = 0.875425 < 0.90$ であるということは、システム要求を満たすためにさらに開発が必要であることを示している。

$$n = 3$$

$$\bar{y} = 0.90$$

$$x_1 = 0.95$$

$$x_2 = 0.95$$

$$x_3 = 0.97$$

- (2) 一般的な定式化はつぎのようになる。

$$\prod_{i=1}^3 y_i \geq 0.90$$

$$y_1 = 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99 \text{ 又は } 0.995$$

$$y_2 = 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99 \text{ 又は } 0.995$$

$$y_3 = 0.97, 0.98, 0.99 \text{ 又は } 0.995$$

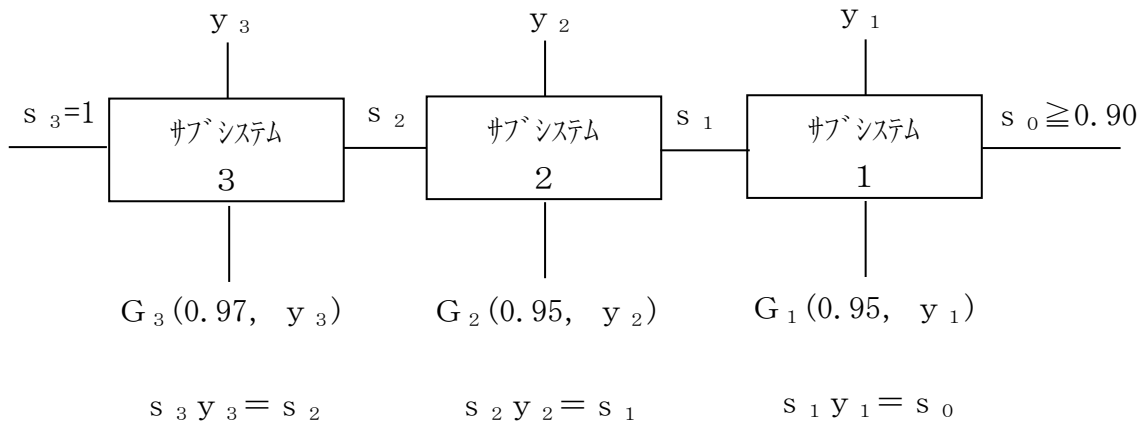
のもとで、

$$G_1(0.95, y_1) + G_2(0.95, y_2) + G_3(0.97, y_3)$$

を最小にせよ。

- (3) 努力関数が離散的に定義されているため、潜在的なシステム目標としては特定の値だけしか許されていないので、システム目標は等号で満たされるとは限らない。したがって不等式の制約条件として規定されている。

(4) 動的計画法の形式とその要素を以下に示す。



(5) 漸化式は次のようになる。

$$f_1(s_1) = \min_{y_1} [G_1(0.95, y_1)]$$

$$f_2(s_2) = \min_{y_2} [G_2(0.95, y_2) + f_1(s_1)]$$

$$f_3(s_3) = \min_{y_3} [G_3(0.97, y_3) + f_2(s_2)]$$

(6) 下表a. b. 及びc. には、次の関係式を用いて段階3、2および1に対して計算した状態変換を示してある。

$$s_3 = 1$$

$$s_2 = s_3 y_3$$

$$s_1 = s_2 y_2$$

$$s_0 = s_1 y_1$$

a. 段階3に対する状態変換

		y_3			
		0.97	0.98	0.99	0.995
s_2					
$s_3 = 1$	0.97	0.98	0.99	0.995	

b. 段階2に対する状態変換

		y_2					
		0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.995
s_1							
s_2	0.97	0.9215	0.9312	0.9409	0.9506	0.9603	0.9652
	0.98	0.9310	0.9408	0.9506	0.9604	0.9702	0.9751
	0.99	0.9405	0.9504	0.9603	0.9702	0.9801	0.9851
	0.995	0.9453	0.9552	0.9652	0.9751	0.9851	0.9900

c. 段階 1 に対する状態変換

s_0		y_1					
		0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.995
s_1	0.9215	0.8754	0.8846	0.8939	0.9031	0.9123	0.9169
	0.9310	0.8845	0.8858	0.9031	0.9124	0.9217	0.9263
	0.9312	0.8846	0.8940	0.9033	0.9126	0.9219	0.9265
	0.9405	0.8935	0.9029	0.9123	0.9217	0.9311	0.9358
	0.9408	0.8938	0.9032	0.9126	0.9220	0.9314	0.9361
	0.9409	0.8939	0.9033	0.9127	0.9221	0.9315	0.9362
	0.9453	0.8979	0.9074	0.9169	0.9263	0.9358	0.9405
	0.9504	0.9029	0.9124	0.9219	0.9314	0.9409	0.9456
	0.9506	0.9031	0.9126	0.9221	0.9316	0.9411	0.9458
	0.9552	0.9074	0.9170	0.9265	0.9361	0.9456	0.9504
	0.9603	0.9123	0.9219	0.9315	0.9411	0.9507	0.9555
	0.9604	0.9124	0.9220	0.9316	0.9412	0.9508	0.9556
	0.9652	0.9169	0.9265	0.9362	0.9458	0.9555	0.9603
	0.9702	0.9217	0.9314	0.9411	0.9508	0.9605	0.9653
	0.9751	0.9263	0.9361	0.9458	0.9556	0.9653	0.9702
	0.9801	0.9311	0.9409	0.9507	0.9605	0.9703	0.9752
	0.9851	0.9358	0.9456	0.9555	0.9653	0.9752	0.9801
	0.9900	0.9405	0.9504	0.9603	0.9702	0.9801	0.9851

(7) 下表a. は段階 1 に対して計算した $Q_1(s_1, y_1)$ を示したものである。

$$Q_1(s_1, y_1) = G_1(0.95, y_1)$$

四角で囲った値は

$$\min_{y_1} [Q_1(0.95, y_1)] = f_1(s_1)$$

を表している。空白のところは

$$s_0 \geq 0.90$$

という問題の制限を消さない s_0 の値を示している。

a. 段階1に対する累積利得

$Q_1(s_1, y_1)$	y_1					
	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.995
0.9215				16.5	34.0	65.0
0.9310			3.9	16.5	34.0	65.0
0.9312			3.9	16.5	34.0	65.0
0.9405		1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9408		1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9409		1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9453		1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9504	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9506	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9552	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9603	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9604	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9652	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9702	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9751	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9801	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9851	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0
0.9900	0	1.0	3.9	16.5	34.0	65.0

(8) 下表b. は段階2に対して計算した $Q_2(s_2, y_2)$ を示したものである。

$$Q_2(s_2, y_2) = G_2(0.95, y_2) + f_1(s_1)$$

四角で囲った値は

$$\min_{y_2} [Q_2(0.95, y_2)] = f_2(s_2)$$

を表している。

b. 段階2に対する累積利得

$Q_2(s_2, y_2)$	y_2					
	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.995
0.97	0+16.5 = 16.5	20.0+3.9 =23.9	46.0+1.0 =47.0	81.2+0 =81.2	126.8+0 =126.8	179.8+0 =179.8
0.98	0+3.9 = 3.9	20.0+1.0 =21.0	46.0+0 =46.0	81.2+0 =81.2	126.8+0 =126.8	179.8+0 =179.8
0.99	0+1.0 = 1.0	20.0+0 =20.0	46.0+0 =46.0	81.2+0 =81.2	126.8+0 =126.8	179.8+0 =179.8
0.995	0+1.0 = 1.0	20.0+0 =20.0	46.0+0 =46.0	81.2+0 =81.2	126.8+0 =126.8	179.8+0 =179.8

(9) 下表c. は段階3に対して計算された $Q_3(s_3, y_3)$ を示している。

$$Q_3(s_3, y_3) = G_3(0.97, y_3) + f_2(s_2)$$

四角で囲った値は

$$\min_{y_3} [Q_3(s_3, y_3)] = f_3(s_3)$$

である。

c. 段階3に対する累積利得

$Q_3(s_3, y_3)$	y_3			
	0.97	0.98	0.99	0.995
$s_3 = 1$	0+16.5 = 16.5	25.0+3.9 =28.9	55.6+1.0 =56.6	99.7+1.0 =100.7

したがって、四角で囲った値として示したように、段階3における最適決定は

$$y_3^* = 0.97$$

であり

$$s_2 = s_3 y_3^* = 0.97$$

となる。

$s_2 = 0.97$ の場合の段階2における最適決定は表b. で示したように

$$y_2^* = 0.95$$

であり、

$$s_1 = s_2 y_2^* = 0.97(0.95) = 0.9215$$

である。同様に $s_1 = 0.9215$ のとき段階1における最適決定は、表a. に示したように

$$y_1^* = 0.98$$

であり、その結果

$$s_0 = s_1 y_1^* = 0.9215(0.98) = 0.903$$

となって、システムの信頼度目標を満たしている。

(10) 要約すれば、システムの最適信頼度目標は

$$y_3^* = 0.97$$

$$y_2^* = 0.95$$

$$y_1^* = 0.98$$

であって、この目標を達成するために要求される開発基金の総支出は表c. に示したように

$1000 f_3(s_3)$ ドル = $1000(16.5)$ ドル = 16,500 ドル
である。

(3) 配分の実施

選択した配分方法に基づき、配分を実施する。

(4) 配分の見直し

設定した配分値については、開発設計進展に伴うシステム構成の変更及び信頼度予測結果の反映など、必要事象の発生の都度タイムリーに見直しを行う。

実施しない場合の影響

- (1) 開発設計の為のベースライン（開発目標値）が設定されないことになり、サブシステム間あるいは構成機器間の信頼度達成値に整合がとれない、あるいはシステムとしての信頼度要求を満足できない事象発生の恐れがある。
- (2) 上記事象発生の場合、後戻り作業が発生すると共に、場合によっては、開発スケジュール及び開発コストに影響を及ぼす恐れがある。

参考文献

なし

3.9 信頼性ブロック図

効果

- (1) システム、サブシステムあるいは構成部品として、設定された運用条件下で要求される機能／性能を達成するために必要となる部品、材料、素子など（単一故障点）を漏れなく識別／ブロック化することで、信頼度予測作業の精度向上を確保可能とする。
- (2) 構成品単位の個々の機能、結合状態を明確にできる。
- (3) 信頼性ブロック単位を識別することにより、信頼度予測のみならず、各種信頼性解析間のデータの共用化による作業効率化を実現可能とする。

効果的な実施時期

計画決定段階。信頼度予測に合わせた実施とし、以降開発設計の進展に合わせた見直し／維持を行う。

技術的根拠

信頼度予測作業の確実性を確保するための必須ツール。

JMR-004の対応項番

- (1) 4.3.5.3 信頼性ブロック図

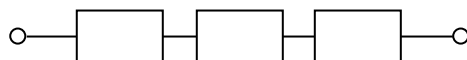
関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度予測
- (2) 機能FMEA/FMECA
- (3) 詳細FMEA/FMECA
- (4) FTA：事前解析

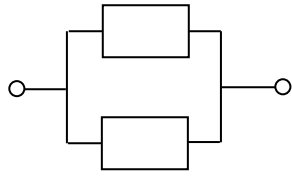
実施方法

信頼性ブロック図は、対象とするシステム、サブシステム、構成品が各々の運用イベントにおいて成功を遂げるための相互依存性（単一故障）を明確にするために作成するものであり、ブロックの直列と並列（冗長構成）で表現する。

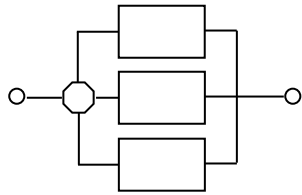
直列構成の場合の記入例



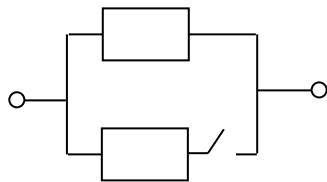
並列（2重）構成の場合の記入例



並列（2 OUT OF 3）構成の場合の記入例



並列（待機）構成の場合の記入例



各ブロックには、他の信頼性解析とのデータの共用化のための配慮も含め、必要となる情報を記入しておくのが望ましい。
以下に具体的記入例及び参考例を示す。

【具体的記入例】

A	}
B	
C	
D	
(2)名称 (3)識別コード	

(1)各インターバルにおける信頼度

A:T-7分からリフトオフまで

B:パワードフライト中

C:コースティング中及び軌道周回中

D:全ミッション区間

(2)システム・サブシステム及び構成品の名称
(記入例)

1-E-1-1

コンポーネント(サブシステムの
構成品)のレベルを示す。

サブシステム(システムの構成)の
レベルを示す。

システムを示す。
P:推進系, E:電気系,
C:誘導制御系,
B:分離システム,
M:固体補助ロケット,
S:機体構造系
R:追尾系

段を示す。
(1:1段, 2:2段, 3:3段,
F:フェアリング)

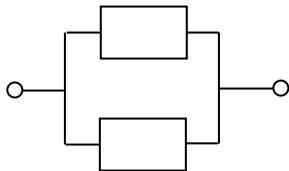
信頼性ブロック図を作成する場合、ブロック図は部品と一対一に対応しているものではなく、部品の故障モードと対応していることに注意しておく必要がある。

誤解を生じやすい具体例を以下に示す。

〔具体例1〕

バルブシステムを例にとると、ノーマルで閉状態のバルブが2個並列に接続されている時、故障モードとして入力信号「ON」により開状態とならないケースを考えた場合、信頼性ブロック図は並列系として表わされるが、逆に入力信号が「OFF」となり閉状態とならないケースを考えた場合は直列系となる。

入力信号「ON」により開状態とならないケースの信頼性ブロック配列

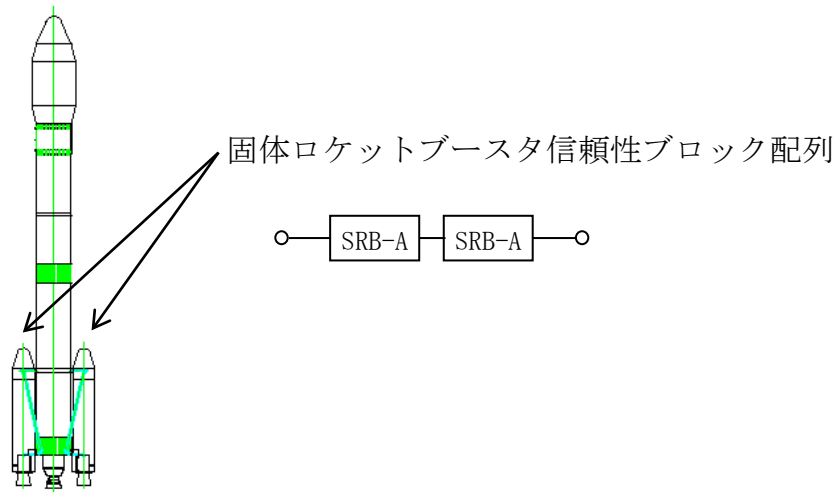


入力信号「OFF」により閉状態とならないケースの信頼性ブロック配列



〔具体例2〕

H-IIAロケットの固体ロケットブースタは、以下に示す如く全く同一機能を有するブースタが並列に配置されたコンフィギュレーションであるが、機能的には2機同時機能遂行によりミッションが達成されるものであり、信頼性ブロック図上は直列系となる。



実施しない場合の影響

- (1) 信頼度予測の対象品目の明確な識別ができず、不要な品目を対象に入れることによる信頼度の過小評価あるいは必要な品目を漏らすことによる過大評価を発生させる恐れがある。
- (2) 他信頼性解析との信頼性データの共用化が図れず、無駄作業発生の恐れがある。

参考文献

なし

3.10 信頼度予測：部品点数法

効果

- (1) 部品タイプ、部品点数、部品品質レベル、ミッションプロファイルを基にした解析手法である。各構成要素の機能設計が詳細なレベルに進む前に、使用予定の部品情報により定量的な信頼度を得られるため、設計作業を進める上でのトレードオフデータを得られる。
- (2) 要求される信頼度に達しているかどうかを比較的簡単に評価できる。

効果的な実施時期

概念／予備、基本設計段階。

各構成品の仕様が必ずしも明確に設定できていない開発設計初期段階の信頼度予測法として効果がある。

技術的根拠

初期段階に実施される検討は荒削りなものである。しかし、この段階における開発の方向付けは、後段階に大きな影響を与え。信頼性設計についても、この段階での確かな方向付けを行う必要がある。このため、荒削りな検討から信頼度を予測する手法が必要になる。この部品点数法は、品質レベル別に構成部品の故障率を積み上げて、装置などの信頼度やMTBFが算出できる簡易的な予測法である。

予測結果は大掴みなものとなるが、初期段階の方向付けを行うには十分である。

JMR-004の対応項番

4.3.5 信頼度予測

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度配分
- (2) 基本設計審査

実施方法

信頼度は、通常、成功の確率として表わされるが、JIS Z 8115:2019¹⁾の定義に従えば、「与えられた条件の下で、時間間隔 (t_1 、 t_2) に対して、要求どおりに機能を遂行できる確率」と定義されている。

信頼度予測の一般的な実施手順及び予測結果の評価並びに評価結果により、信頼度配分の見直しあるいは設計改善が必要となる場合の流れの概要を図

3.10-1に示す。

信頼度予測の源泉データは、製品の市場における不具合履歴データや公的機

関あるいは企業内で実施される信頼性試験結果が活用されるが、予測を実施する上で当該システムあるいはコンポーネントそのもののデータは通常入手が難しい。

そこで、一般的に使われる方法としては構成部品の信頼性データを積み上げて、当該システムあるいはコンポーネントの信頼度を算定する方法が取られている。

しかし、構成部品の故障率を積み上げてシステム信頼度を算定する方法では、システム設計上の欠陥あるいは、組立段階で入り込む不具合は考慮されていないため、この方法で算定された信頼度は、信頼度の目標すなわち上限値であることに注意する必要がある。

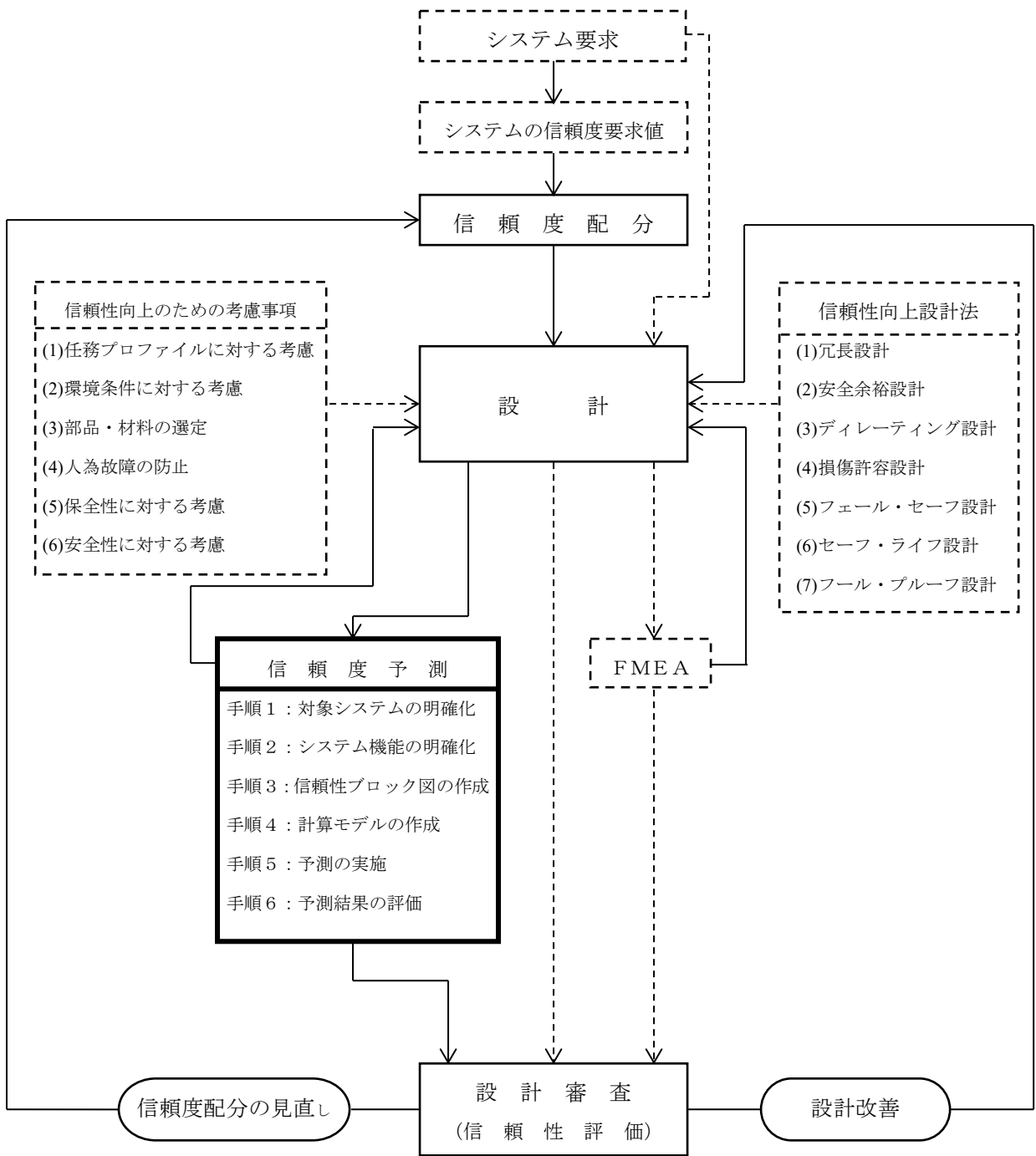


図3.10-1 信頼度予測手順

信頼度予測に用いる部品点数法は、システム、サブシステム、コンポーネントの各構成部品の故障率をMIL-HDBK-217F²⁾ APPENDIX A、NPRD-95³⁾、FIDES⁴⁾などを用いて予測を行うものであり、MIL-HDBK-217では以下の算定式により予測を実施する。

[システムの信頼度算定式]

初期故障期間が過ぎ、故障率が低く、ほぼ一定と見なせる偶発故障期間のシステム信頼度 R_{SYS} は次式による。

$$R_{SYS} = e^{-\lambda_{SYS} \cdot t}$$

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_{Pi} \cdot \pi_{Qi}$$

- e : 自然対数の底
- t : 運用期間
- λ_{SYS} : システムの故障率
- λ_{Pi} : i番目の同属部品タイプに対する一般的な故障率
- π_{Qi} : i番目の同属部品タイプに対する品質ファクタ
- N_i : i番目の同属部品タイプの使用個数
- n : システムに使用の同属部品タイプの種類数

なお、システム構成品の仕様が必ずしも明確でない段階での予測を行う場合においては、信頼度予測のベースデータとなる構成品の故障率を設定評価する際には、故障率の精度に大きく影響を及ぼす運用時の環境ファクタなどのストレスは可能な範囲で考慮に入れるのが望ましい。

実施しない場合の影響

- (1) 概念設計段階、計画決定段階、基本設計段階などの初期段階に機能設計とともに信頼性設計について比較評価するためのデータが得られず、的確な方向付けができない。
- (2) 配分した信頼度の妥当性については、設計作業の早期に確認することができず、信頼性のバランスが悪いシステムとなる恐れがある。
- (3) 設計の初期段階で、信頼度の実現性の見通しがたたないので、設計作業の後期になって必要な信頼性の確保ができず、再設計になったり、過度の信頼性を達成するなど、開発の効率を損なうことになる。

- (4) 安全性設計、保全性設計、運用計画などに対して、定量的な信頼性データが提供できない恐れがある。

参考文献

- 1) JIS Z 8115:2019 「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会
- 2) MIL-HDBK-217F 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」
- 3) NPRD-95 「Nonelectronic Parts Reliability Data」、Reliability Analysis Center、1995 (注：最新版はNPRD-2023)
- 4) FIDES Guide 2022 - Edition A (July 2023) Reliability Methodology for Electronic Systems

3.11 信頼度予測：ストレス解析法

効果

- (1) 部品などにかかるストレスを評価して信頼度を予測することができるため、部品点数法に比べて現実を反映した信頼度を得ることができる。
- (2) 設計、あるいは設計変更を行う際に、部品にかかるストレスを基準に信頼度への影響を定量的に評価できる。
- (3) システム、サブシステムあるいは構成機器などの構成検討時に、信頼性の観点からのトレードオフデータを提供する。

効果的な実施時期

詳細設計初期段階。各構成品の仕様が明確に設定できている段階での信頼度予測法として効果がある。

技術的根拠

設計が進むと、システムを構成する部品の品質レベルや使用方法などが明確になっているので、詳細な設計情報を得ることができ、これらの情報をもとに現実の設計を反映させた信頼度予測が可能になる。

また、部品にかかるストレスを考慮した解析なので、使用方法によって変わるストレスがシステムの信頼性に影響する度合を評価できる。

このため、設計や設計変更を行うときに部品に加わるストレスのレベルをどの程度まで許容できるか、又は軽減すべきかを定量的に判断することができる。

JMR-004の対応項番

4.3.5 信頼度予測

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度配分
- (2) 詳細設計審査
- (3) 部品ストレス解析

実施方法

前項（部品点数法）に基本的には同じ要領で、信頼度予測を実施する。

ストレス解析法による場合は、信頼度予測のベースデータであるシステムあるいはサブシステムなどの構成品の故障率として、部品の作動ストレス、品質係数及び運用環境などを考慮に入れた部品ストレス解析に基づき予測した部品故障率を適用する。

ストレス解析法による信頼度予測の代表例としてMIL-HDBK-217F¹⁾及びFIDES

2) があげられ、その算定式の一例を以下に示す。

(1) MIL-HDBK-217Fの例

$$R_{SYS} = e^{-\lambda_{SYS} \cdot t}$$

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Pi}$$

$$\lambda_{Pi} = \lambda_b \times (\pi_E \times \pi_A \times \pi_Q \times \pi_R \times \pi_S \times \pi_T)$$

e : 自然対数の底

t : 運用期間

λ_{SYS} : システムの故障率

λ_{Pi} : i 番目の部品タイプに対するストレス解析による故障率

N_i : i 番目の部品タイプの使用個数

n : システムに使用の部品タイプの種類数

λ_b : i 番目の部品タイプに対する基本故障率

π_E : 環境ファクタ (0.5~320)

π_A : 適用ファクタ (0.7~1.5)

π_Q : 品質ファクタ (0.7~8.0)

π_R : 電力定格ファクタ (0.43~10)

π_S : 電圧ストレス・ファクタ (0.11~1.0)

π_T : 温度ファクタ $\exp\left[-2114\left(\frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298}\right)\right]$

T_j : ジャンクション温度 (°C)

〔備考〕 上記の λ_{Pi} を求める式は、MIL-HDBK-217Fに記載のストレス解析の算定式として、トランジスタ (MIL規格) を代表例として記載したものである。

MIL-HDBK-217Fにはストレス解析の指針として、上記以外に集積回路、個別半導体、真空管、レーザ、抵抗、コンデンサ、トランス、回転素子、リレー、スイッチ、コネクタ、プリント板、ハンダ付けなどが示されている。

上記の電子部品以外に、機械系部品の故障率などの予測には、NPRD-95³⁾ が用いられている。また、それ以外の故障率モデルには、PRISM、217PLUS、IEC61709などがあるので参考にされたい。

(2) FIDESの例

FIDESのシステム故障モデル式は以下のとおりである。

$$\lambda_{sys} = \lambda_{physical} \cdot \Pi_{PM} \cdot \Pi_{Process}$$

ここで

$\lambda_{Physical}$: 物理的故障率 : 運用プロファイルの考慮、故障メカニズムの評価、外的要因 (使用環境、オーバストレス等) の考慮によって決まる

Π_{PM} : 部品製造工程係数 : 部品品質、部品グレード、試験の厳しさ、メーカーの経験度によって決まる

$\Pi_{Process}$: 品質/技術管理工程係数 : メーカーの品質管理プロセスを考慮して決まる

物理的故障率 $\lambda_{Physical}$ は、ミッション期間に対する各フェーズ”i”の期間の割合により重み付けられる時間 (hour) 単位の平均故障率であり、以下の計算式となる。

$$\lambda_{Physical} = \sum_i^{Phases} \left(\frac{T_{phase_i}}{T_{Total}} \cdot \lambda_{phase_i} \right)$$

ここで、

λ_{phase_i} : フェーズ i における故障率⁽¹⁾

T_{phase_i} : フェーズ i の期間

T_{Total} : ミッションの全期間 (ミッションが1年と規定される場合は8,760時間)

注(1) : 原文では、” λ_{phase_i} is the contribution of Phase i to the overall failure rate ” となっており、直訳すると「全体の故障率に対するフェーズiの寄与率」となるが、誤りと思われる。

また、物理的故障率 $\lambda_{Physical}$ は、以下のとおり、負荷される様々なストレス要因に細分化される。

$$\lambda_{Physical} = \left[\sum_{Physical_factors} (\lambda_0 \cdot \Pi_{Acceleration}) \right] \times \Pi_{Induced}$$

ここで、

λ_0 : アイテムの基礎故障率

$\Pi_{Acceleration}$: 使用条件に対する感度を示す加速係数

加速係数には以下のようなものがある。

$\Pi_{Thermal}$	: 熱
$\Pi_{Electrical}$	: 電気
Π_{TCy}	: 熱サイクル
$\Pi_{Mechanical}$	: メカニカル
Π_{RH}	: 湿度
$\Pi_{Chemical}$	: ケミカル

誘発係数 $\Pi_{Induced}$ は、機械的 (MOS: Mechanical OverStress)、電氣的 (EOS: Electrical OverStress)、熱的 (TOS: Thermal OverStress) なものが想定される。フェーズ"i"ごとに計算される。誘発係数は理論的には1 (最良) から100 (最悪) の値を取るが、極端なケースが同時に起こることはないので、取り得る数値の範囲は狭くなる。

$$(\Pi_{Induced})_i = (\Pi_{Placement_i} \times \Pi_{Application_i} \times \Pi_{Ruggedising})^{0.511 \times \ln(C_{sensitivity})}$$

ここで、

$\Pi_{Placement}$	: 機器またはシステムにおけるアイテムの位置による影響により決まる。インタフェースを有するかなど。
$\Pi_{Application}$	: そのアイテムを含む製品の使用環境により決まる。静止しているシステムより、動きのあるシステムに組み込まれた電子機器のほうがかかるオーバストレスは大きくなる。
$\Pi_{Ruggedizing}$	: オーバストレスに耐性を持たせるという開発方針により決まる
$C_{Sensitivity}$	: 当該アイテムの技術に固有のオーバストレスに対する感度係数

部品製造工程係数 Π_{PM} は、以下の計算式となる。

$$\Pi_{PM} = e^{\delta_1(1-Part_Grade) - \alpha_1}$$

能動部品の場合:

$$Part_Grade = \left\lceil \frac{(QA_{manufacture} + QA_{component} + RA_{component}) \times \varepsilon}{36} \right\rceil$$

その他の部品の場合:

$$Part_Grade = \left\lceil \frac{(QA_{manufacture} + QA_{component}) \times \varepsilon}{24} \right\rceil$$

ここで、

- QA_{manufacture} : 製造メーカーの品質保証レベル (1 ~ 3)
- QA_{component} : 部品の品質保証レベル (0 ~ 3)
- RA_{component} : 部品の試験レベル (0 ~ 3)
- ε : 製造メーカーを使用するにあたってのリスクの程度 (1 ~ 4)

なお、Π_{PM}は、0.5(最新技術よりも優れたサプライヤー)から2(最悪値)の値となり、Π_{PM}を評価しない場合は、能動部品には1.7、その他の部品やCOTSボード及び各種サブアセンブリには1.6を適用する。

また、δ₁とα₁は、アイテムの信頼性に与えるΠ_{PM}の影響の程度を決定し、必要な範囲での結果を与える相関係数である。一般的に、δ₁=1.39、α₁=0.69である。

品質／技術管理工程係数 Π_{process}は、以下の計算式となる。

$$\Pi_{process} = e^{\delta_2(1-Process_Grade)}$$

$$Process_Grade = \sum_{j=1}^7 \left(Phase_Contribution_j \times \frac{Audit_Score_j}{Max_Audit_Score_j} \right)$$

ここで、

- Phase_Contribution : 製品ライフサイクルの各段階 (仕様～品質及び人的資源などの支援活動まで) ごとの寄与率
- Audit_Score : 別に定める250の監査項目によって求まる値

なお、Process_Gradeは0 ~ 1である。δ₂は2.079 (固定値) であり、π_{Process}は1 (最高) ~ 8 (最低) であり、情報が無ければ4とする。

【計算式的具体例】

例えばICの場合、λ_{Physical}は以下の計算式となる。

$$\lambda_{physical} = \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{phase}}{T_{Total}} \right)_i \times \left(\begin{array}{c} \lambda_{OTH} \times \Pi_{Thermal} \\ + \lambda_{OTCy Case} \times \Pi_{TCy Case} \\ + \lambda_{OTCy Solder joints} \times \Pi_{TCy Solder joints} \\ + \lambda_{ORH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{OMech} \times \Pi_{Mech} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induced})_i$$

ここで、

λ_{OTH}	: 温度に係る基礎故障率 (部品タイプ)
$\Pi_{Thermal}$	: 温度に係る係数 (ジャンクション温度)
$\lambda_{OTCy Case}$	: 熱サイクルに係る基礎故障率 (ピン数、パッケージタイプ)
$\Pi_{TC yCase}$	: 熱サイクルに係る係数 (温度サイクル回数、サイクル時間、上昇温度、ジャンクション温度)
$\lambda_{OTCy Solder joints}$	: はんだ付けの熱サイクルに係る基礎故障率 (ピン数、パッケージタイプ)
$\Pi_{TCy Solder joints}$	: はんだ付けの熱サイクルに係る係数 (温度サイクル回数、サイクル時間、上昇温度、ジャンクション温度)
λ_{ORH}	: 湿度に係る基礎故障率 (ピン数、パッケージタイプ)
Π_{RH}	: 湿度に係る係数 (湿度、基板の平均温度)
λ_{OMech}	: 振動に係る基礎故障率 (ピン数、パッケージタイプ)
Π_{Mech}	: 振動に係る係数 (振動)
$\Pi_{induced}$	: 誘発係数

また、 $\Pi_{Induced}$ について、

$$\Pi_{Induced_i} = (\Pi_{Placement_i} \times \Pi_{aApplication_i} \times \Pi_{Ruggedising})^{0.511 \times \ln(C_{Sensitivity})}$$

における、 $C_{Sensitivity}$ は以下のとおりとなる。

$$C_{Sensitivity} = \alpha \times EOS + \beta \times MOS + \gamma \times TOS$$

ここで、電気コンポーネントの場合は、各 α 、 β 、 γ の値は調査により以下のとおりとなる。

$$\alpha = 72.5\%$$

$$\beta = 22.5\%$$

$$\gamma = 5\%$$

また、EOS, MOS, TOSの値はICの場合、以下のとおりである。

$$EOS = 10$$

$$MOS = 2$$

$$TOS = 1$$

よって、

$$C_{Sensitivity} = \alpha \times EOS + \beta \times MOS + \gamma \times TOS = 7.75$$

上記解説は、FIDESによる計算の基本的な考え方を抜粋して記載したもの

であり、具体的なパラメータの数値等及び監査の実施内容等の詳細については、FIDESによる計算を行うためのマニュアルとツールが用意されているので参照されたい。それぞれ以下のサイトで入手可能である。（登録が必要）上記説明は2022年版(2023年7月発行)のFIDES Guideを使用している。

マニュアル：<https://www.fides-reliability.org/en/node/612>

ツール：<https://www.fides-reliability.org/en/node/614>

【具体例：FIDESとMIL-HDBK-217Fとの計算結果の比較⁴⁾】

宇宙用電子部品についてMIL-HDBK-217及び FIDESによって故障率を計算し、計算結果の比較を実施したものである。

(1) 対象デバイス

表3. 11-1に示す宇宙用電子部品を故障率の計算対象とした。なお、故障率の計算にあたっては特別な手続きを必要とせずにインターネット経由で入手可能な各宇宙用部品のデータシート及び部品メーカーが公表している資料に記載のデータを使用した。

表3. 11-1 対象デバイス一覧

品種	計算対象
ダイオード	<ul style="list-style-type: none"> ・ツェナーダイオード ・ショットキーダイオード ・スイッチングダイオード
トランジスタ	<ul style="list-style-type: none"> ・低ノイズトランジスタ ・POWER MOSFET ・バイポーラトランジスタ
抵抗	<ul style="list-style-type: none"> ・フィルム抵抗 ・巻線抵抗 ・厚膜抵抗ネットワーク
オプトエレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> ・フォトダイオード搭載フォトカプラ ・フォトトランジスタ搭載フォトカプラ
アナログIC	<ul style="list-style-type: none"> ・オペアンプ ・A/Dコンバータ ・D/Aコンバータ ・コンパレータ
デジタルIC	<ul style="list-style-type: none"> ・トランシーバ ・SRAM ・FPGA
セラミックコンデンサ	<ul style="list-style-type: none"> ・表面実装積層セラミックチップコンデンサ (温度係数が定義されている) ・表面実装積層セラミックチップコンデンサ (温度係数が定義されていない)
タンタルコンデンサ	<ul style="list-style-type: none"> ・固体電解タンタルコンデンサ ・湿式タンタルコンデンサ
トランス・コイル	<ul style="list-style-type: none"> ・電流検知トランス ・インダクタ
コネクタ	<ul style="list-style-type: none"> ・D-subコネクタ ・丸型コネクタ

(2) FIDES による故障率計算

(i) ミッションプロファイル

reliability.space digital handbook⁵⁾記載の静止衛星搭載機器のミッションプロファイル(部品がライフサイクル中に受ける温度、ON/OFF時間、温度サイクル、湿度、機械的環境等のストレス条件をまとめたもの)を設定した。設定したミッションプロファイルの概要を表3.11-2に示す。このミッションプロファイルでは静止衛星のバス系機器を対象とし、打ち上げから軌道投入を経た後軌道上で15年間運用することを想定している。

表3.11-2 ミッションプロファイルの概要

フェーズ名称	ON/OFF	動作時間 (時間)	温度		温度サイクル		
			基準温度 (°C)	Δt (°C)	サイクル期間 (時間)	サイクル数 (フェーズあたり)	サイクル中 最大温度(°C)
記号		T_{phase}		$\Delta T_{cycling}$	θ_{cy}	N_{cy}	$T_{max-cycling}$
打ち上げ	ON	2	15	0	2	1	15
軌道投入	ON	48	15	10	24	2	20
定常運用	ON	131400	25	5	24	5475	27.5

フェーズ名称	ON/OFF	動作時間 (時間)	湿度	機械環境
			相対湿度 (%RH)	ランダム振動 (Grms)
記号		T_{phase}	$R_{Hambient}$	$GRMS$
打ち上げ	ON	2	70	18
軌道投入	ON	48	0	0
定常運用	ON	131400	0	0

(ii) FIDES による計算モデル

前出の以下の計算モデルを用いる。

$$\lambda_{sys} = \lambda_{physical} \cdot \Pi_{PM} \cdot \Pi_{Process} \cdot \dots \cdot \textcircled{1}$$

$$\lambda_{physical} = \sum_i^{Phases} \left(\frac{t_{phase}}{T_{Total}} \right)_i \times \left(\begin{array}{l} \lambda_{OTH} \times \Pi_{Thermal} \\ + \lambda_{OTCyCase} \times \Pi_{TCy Case} \\ + \lambda_{OTCy Solder joints} \times \Pi_{TCy Solder joints} \\ + \lambda_{ORH} \times \Pi_{RH} \\ + \lambda_{OMech} \times \Pi_{Mech} \end{array} \right)_i \times (\Pi_{Induced})_i$$

..... $\textcircled{2}$

$$(\Pi_{Induced})_i = (\Pi_{placement} \times \Pi_{application-i} \times \Pi_{ruggedising})^{0.511 \times \ln(C_{sensitivity})} \dots \textcircled{3}$$

①式の第2項の Π_{PM} については、能動部品には1.7、その他の部品には1.6を適用した。また、第3項の $\Pi_{process}$ については、reliability. space digital handbookの推奨項目を主契約者が全て満足している場合の値である1.484とした。

①式の第1項の $\lambda_{physical}$ については②及び③式が用いられるが、②式の各物理的ストレス係数は、例えば集積回路の場合は表3.11-3のとおりである。

表3.11-3 FIDESによる集積回路の物理的ストレス係数

$\Pi_{Thermal}$	動作フェーズ： $e^{11604 \times 0.7 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{j-component} + 273)} \right]}$ 非動作フェーズ：0 ここで、 $T_{j-component}$ ：部品接合部温度
$\Pi_{TCy Case} (*1)$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\Delta T_{cycling}}{20} \right)^4 \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{max-cycling} + 273)} \right]}$
$\Pi_{TCy Solder joints} (*2)$	$\left(\frac{12 \times N_{cy}}{T_{phase}} \right) \times \left(\frac{\min(\theta_{cy}, 2)}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\Delta T_{cycling}}{20} \right)^{1.9} \times e^{1414 \times \left[\frac{1}{313} - \frac{1}{(T_{max-cycling} + 273)} \right]}$
Π_{Mech}	$\left(\frac{GRMS}{0.5} \right)^{1.5}$
Π_{RH}	$\left(\frac{RH_{ambient}}{70} \right)^{4.4} \times e^{11604 \times 0.9 \times \left[\frac{1}{293} - \frac{1}{(T_{board-ambient} + 273)} \right]}$ 動作フェーズ：0 ここで、 $T_{board-ambient}$ ：基板周囲温度

(*1): ケースの温度サイクルの影響を示す。

(*2): はんだ接合部の温度サイクルの影響を示す。

③式の各係数については、今回の計算ではデジタルインタフェース回路に使用することを想定して $\Pi_{placement}$ を1.6 (FIDES Guideによる規定値)とした。また、故障率計算の対象デバイスが宇宙用電子部品であること及び使用環境を考慮し、 $\Pi_{application}$ については1.13、 $\Pi_{ruggedising}$ については1.0 (どちらも reliability. space digital handbookによる打ち上げ及び軌道上運用フェーズでの推奨値)とした。 $C_{sensitivity}$ については、各部品について前出のとおりFIDES Guideに規定された値を使用した。

なお、FIDES Guideは、2023年に最新版が発行されているが、前出のとおり誤りがあることから、上記計算例では2009年版を使用した。また、計算ツールもこの2009年版に対応したものを使用した。

(3) MIL-HDBK-217F による計算

環境条件として SF（宇宙；慣性飛行中）を使用した。更に、対象デバイスが宇宙用電子部品であることを考慮して品質係数を Class S等に設定した。なお、打ち上げ時の故障率を計算する場合はML（ミサイル：推力飛行中）が通常使用されるが、軌道上運用時間（131400時間：15年間）に比較して打ち上げ時間が2時間と非常に短期間であるため、SFの環境条件でのみ故障率を計算している。

(4) 計算結果

表3.11-1の対象デバイスにつき、(2)及び(3)に示す条件を使用して FIDES及び MIL-HDBK-217により宇宙用電子部品の故障率を計算した結果を表3.11-4に示す。例としてダイオードでは表3.11-1に示すツェナーダイオード、ショットキーバリアダイオード、スイッチングダイオード各1個（合計3個）を計算対象とし、MIL-HDBK-217及び FIDESによってそれぞれ故障率を計算した結果の合計をダイオードの故障率計算結果としている。

表3.11-4 故障率計算結果

部品品種	部品合計個数 (個)	MIL-HDBK-217 (FIT)	FIDES (FIT)
ダイオード	3	2.78	0.45
トランジスタ	3	25.70	0.44
抵抗	3	0.15	0.05
オプトエレクトロニクス	2	12.75	1.03
アナログIC	4	35.41	3.88
デジタルIC	3	130.86	2.48
セラミックコンデンサ	2	0.05	1.26
タンタルコンデンサ	2	0.07	1.14
トランス	2	12.81	0.01
コネクタ	2	36.66	0.11
Total:	26	257.25	10.86

表3.11-4に示した計算結果により、今回の計算対象とした宇宙用電子部品については故障率の計算に FIDESを使用することによって、従来使用されてきた MIL-HDBK-217よりも低い故障率の総和が得られた。

実施しない場合の影響

- (1) 部品などにかかるストレスを加味した信頼度を予測できず、現実の設計を反映した信頼度が得られなくなる。
- (2) 設計あるいは設計変更を行う際に、部品にかかるストレスを評価してシステムの信頼度を評価することができなくなるので、部品に大きなス

トレスをかけるような設計を見逃すことになる。

- (3) 要求されている信頼度に達しているかどうかの評価ができなくなる。
- (4) 安全性設計、保全性設計、運用計画などに対して定量的な信頼性データを提供できない恐れがある。

(参考)

その他の故障率モデルについて、以下に概要を示す。

PRISM ;

MIL-HDBK-217F に代わるものとして、RAC (Reliability Analysis Center) が新しい電子機器の信頼度予測方法として発表した。PRISM の基となったものは、RAC で検討していた総合的信頼度評価モデル (Consolidated Reliability Assessment Model (CRAM)) である。また、1999 年にPRISM ソフトウェアが公表された。PRISM公表の背景には、最近の機器の複雑性の増加及び部品品質の向上が、結果として、機器の故障原因を部品そのものから、従来の予測法では明確に扱われていなかった部品以外の原因に移っていることがある。

217Plus :

PRISMソフトウェア1.5版の後継であり、国防総省(DoD)の資金を供給されたソフトウェアツールである。PRISM 1.5版ソフトウェアツールは、1999年にRAC (Reliability Analysis Center : RACへの前身)が出版したもので、217Plusはオリジナル (PRISM 1.5版) のコンポーネント故障レートモデルの約二倍の数のモデルを含んでいる。

IEC62380 (RDF2000) :

IEC (International Electrotechnical Commission) が公開している故障率モデルに関する国際標準であり、主に自動車業界で使用されている。以前はRDF2000 (UTE C 80-810) と呼ばれていた。現在は廃止され、IEC 61709:2017に置き換えられ、加えてSN29500も使用されている。

なお、廃止されたもののMIL-HDBK-217と同様にIEC62380も引き続き使用される場合がある

参考文献

- 1) MIL-HDBK-217F 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」
- 2) FIDES Guide 2022 - Edition A (July 2023) Reliability Methodology for Electronic Systems

- 3) NPRD-95 「Nonelectronic Parts Reliability Data」、Reliability Analysis Center、1995（注：最新版はNPRD-2023）
- 4) FIDES及びMIL-HDBK-217による宇宙用電子部品の信頼度予測及び比較 宮岡三幸，浜田彩香，望月妙（HIREC株式会社） 第 67 回宇宙科学技術連合講演会講演集
- 5) reliability.space consortium：reliability.space digital handbook, v0.2.1, 2022
(URL : <https://nrpmhandbook.reliability.space/en/latest/home.html>)

3.12 信頼度予測：試験データによる評価法

効果

- (1) 部品点数法あるいはストレス解析法が適用できない場合や、不十分な場合に、対象とするアイテム（対象品目）の信頼性試験又は各種試験データに基づき、信頼度を推定することができる。
- (2) システム、サブシステムあるいは構成機器などの定量的な信頼性要求に対する達成度の評価を可能とする。
- (3) システム、サブシステムあるいは構成機器などの構成検討時に、信頼性の観点からのトレードオフデータを提供する。

効果的な実施時期

詳細設計段階又は製作／試験段階。

信頼性試験あるいは各種試験データに基づく信頼度予測法として効果がある。

技術的根拠

信頼性の要求に対する達成度合の定量的評価、及び信頼性上の課題並びに是正処置の勧告を可能とする統計的な信頼度予測法である。

JMR-004の対応項番

4.3.5 信頼度予測

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度配分
- (2) 詳細設計審査

実施方法

部品点数法あるいはストレス解析法によらず、信頼性試験又は各種試験データに基づき信頼度を推定する方法の代表例として以下があげられる。

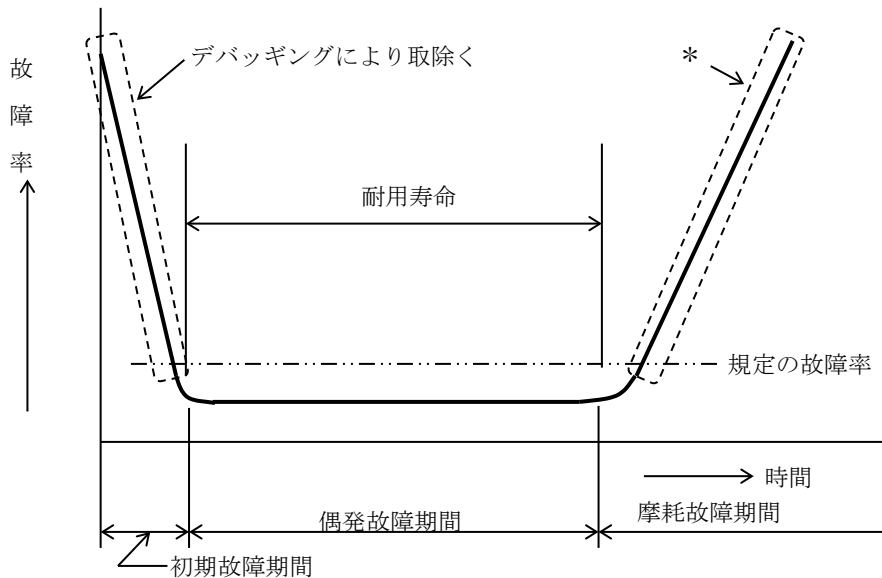
- ・ 指数分布による方法
- ・ ノンパラメトリック法
- ・ デュアン解析法
- ・ オーバーロード法（ストレス・ストレングス・モデル）
- ・ ブルーストンテスト法

上記の方法を含む一般的な評価法並びにその具体例を以下に紹介する。

(1) 指数分布による評価法^{1),2)}

故障率とは、良品が故障により減少する割合で、一般には時間の関数で表される。

システム、機器、部品などにおいて、故障率が経時的にどのように変化するのかが示したのが図3.12-1である。この図は、バスタブ曲線(Bath-Tub Curve)と呼ばれるものである。



注) *印の部分は予防保全により取除くことができる。

図3.12-1 バスタブ曲線(Bath-Tub Curve)

この曲線は、

- ・ 初期故障期間：使用開始後の比較的早い時期に設計、製造上の欠陥もしくは使用環境との不適合により故障率が大きく漸次減少する期間。
- ・ 偶発故障期間：初期故障期間が過ぎ、故障率が低く、ほぼ一定と見なせる期間。
- ・ 摩耗故障期間：疲労、摩耗、老化現象などによって、時間とともに故障率が增大する期間

に分けられる。ここで、信頼性の上から故障率が比較的高い初期故障と摩耗故障を取り除けば、ほぼ一定の故障率となる。そこで、デバッグを実施して初期故障を取り除き、また、修理可能な場合は、摩耗期に至る前に部品の交換を行うこととなる。その結果、故障率 λ は、ほぼ一定な値となる。この偶発故障期間の信頼度 $R(t)$ は次のように表される。

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/t_0}$$

ここで、

e : 自然対数の底

t : 時間

$t_0 = 1/\lambda$: MTF (故障までの平均時間) 又は MTBF (平均故障間隔)

故障数が指数分布に従うことが分かっている場合に適用する χ^2 分布関数を用いた MTBF 又は故障率の区間推定法の考え方及び算定方法を以下に示す。

故障数が指数分布に従うことが分かっている場合には故障率は使用時間に関係なく一定となるので、対象となるアイテムの使用経歴を気にすることなく、総観測時間 T とその間の故障数 r から MTBF の点推定値 (\widehat{MTBF}) は、

$$\widehat{MTBF} = \frac{T}{r}$$

として求めることができる。

また、 $2T/MTBF$ が自由度 $2r$ の χ^2 分布に従うことが知られているのでこれを利用すると、

$$2T/MTBF = 2r (\widehat{MTBF}) / MTBF = \chi^2(2r, P)$$

により MTBF (又は λ) の区間推定が可能となる。両側推定の場合には信頼区間に入る確率を $1 - \alpha$ として、

$$\frac{2T}{\chi^2\left(2r, \frac{\alpha}{2}\right)} < MTBF < \frac{2T}{\chi^2\left(2r, 1 - \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (1)$$

となる。また、片側推定の場合には

$$MTBF > \frac{2T}{\chi^2(2r, \alpha)}$$

として推定できる。

λ の推定値は $\widehat{\lambda} = 1/\widehat{MTBF}$ の関係を用い、MTBF の限界値の逆数 (当然上限と下限は入れ替わる) が限界値となる。

また、一定時間 T が与えられてその間に故障数 r が観測されたとき (一定時間打切り) には、MTBF の上限においては r 番目の故障が T の直前で起こったと考え、逆に下限では T の直後に (r + 1) 番目の故障が起こったと考えて、

$$\frac{2T}{\chi^2\left(2(r+1), \frac{\alpha}{2}\right)} < MTBF < \frac{2T}{\chi^2\left(2r, 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}$$

の形が用いられている。

まとめて表3.12-1に示す。

表3.12-1 MTBFの上下限の求め方

推定区間	一定時間打ち切り		一定個数打ち切り	
	(MTBF) _L	(MTBF) _U	(MTBF) _L	(MTBF) _U
両側	$\frac{2T}{\chi^2\left(2(r+1), \frac{\alpha}{2}\right)}$	$\frac{2T}{\chi^2\left(2r, 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}$	$\frac{2T}{\chi^2\left(2r, \frac{\alpha}{2}\right)}$	$\frac{2T}{\chi^2\left(2r, 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}$
片側	$\frac{2T}{\chi^2(2(r+1), \alpha)}$	∞	$\frac{2T}{\chi^2(2r, \alpha)}$	∞

具体例

故障数の分布が指数分布することがわかっている部品の寿命試験を行った。

9個の試験を行い、5個が故障したところで試験を中止した。

このときの故障発生時間データは以下のとおりであった。（単位：hr）

28, 60, 95, 137, 186

- MTBFの点推定値を求めよ。
- 信頼水準90%のMTBF推定値を求めよ。
- t=200hrでの信頼度の区間推定値を信頼水準90%で求めよ。
- R=0.9となる時間を95%片側推定で求めよ。

（解答）

- 総試験時間（トータルアワー）は

$$T=28+60+95+137+186 \times 5=1250 \text{ (hr)}$$

したがって、

$$\widehat{\text{MTBF}} = \frac{1250}{5} = 250 \text{ (hr)}$$

- 式(1)及び表3.12-2を用いると

$$\frac{2500}{\chi^2(10,0.05)} = \frac{2500}{18.31} = 136.5$$

$$\frac{2500}{\chi^2(10,0.95)} = \frac{2500}{3.940} = 634.5$$

したがって、MTBFの推定区間は136.5～634.5(hr)となる。

c. bの結果から

$$R_L = e^{-(200/136.5)} = 0.23$$

$$R_U = e^{-(200/634.5)} = 0.73$$

d. 最短で $R=0.9$ となる時間を求めるのであるから、信頼水準90%の $MTBF_L$ を用いれば良い。

$$(MTBF)_L = 136.5$$

であるから

$$t_L = (MTBF)_L \ln \frac{1}{R} = 14.4(\text{hr})$$

となる。

表3.12-2 χ^2 表 - $\chi^2 (\phi, P)$

$\phi \backslash P$	0.975	0.95	0.8	0.2	0.05	0.025
1	0.000982	0.0039	0.064	1.64	3.84	5.02
2	0.0506	0.103	0.446	3.22	5.99	7.38
3	0.216	0.352	1.005	4.64	7.81	9.35
4	0.484	0.711	1.649	5.99	9.49	11.14
5	0.831	1.145	2.343	7.29	11.07	12.83
6	1.237	1.635	3.07	8.56	12.59	14.45
7	1.690	2.17	3.82	9.80	14.07	16.01
8	2.18	2.73	4.59	11.03	15.51	17.53
9	2.70	3.33	5.38	12.24	16.92	19.02
10	3.25	3.94	6.18	13.44	18.31	20.5
11	3.82	4.57	6.99	14.63	19.68	21.9
12	4.40	5.23	7.81	15.81	21.0	23.3
13	5.01	5.89	8.63	16.98	22.4	24.7
14	5.63	6.57	9.47	18.15	23.7	26.1
15	6.26	7.26	10.31	19.31	25.0	27.5
16	6.91	7.96	11.15	20.47	26.3	28.8
17	7.56	8.67	12.00	21.61	27.6	30.2
18	8.23	9.39	12.86	22.76	28.9	31.5
19	8.91	10.12	13.72	23.90	30.1	32.9
20	9.59	10.85	14.58	25.04	31.4	34.2
21	10.28	11.59	15.44	26.17	32.7	35.5
22	10.98	12.34	16.31	27.30	33.9	36.8
23	11.69	13.09	17.19	28.43	35.2	38.1
24	12.40	13.85	18.06	29.55	36.4	39.4
25	13.12	14.61	18.94	30.68	37.7	40.6
26	13.84	15.38	19.82	31.79	38.9	41.9
27	14.57	16.15	20.70	32.91	40.1	43.2
28	15.31	16.93	21.59	34.03	41.3	44.5
29	16.05	17.71	22.48	35.14	42.6	45.7
30	16.79	18.49	23.36	36.25	43.8	47.0
40	24.4	26.5	32.34	47.27	55.8	59.3
50	32.4	34.8	41.45	58.16	67.5	71.4
60	40.5	43.2	50.64	68.97	79.1	83.3
70	48.8	51.7	59.90	79.71	90.5	95.0
80	57.2	60.4	69.21	90.41	101.9	106.6
90	65.6	69.1	78.56	101.05	113.1	118.1
100	74.2	77.9	87.95	111.67	124.3	129.6

(注1) $\phi=10$, $P=0.05$ に対する χ^2 の値は18.31である。これは自由度10の χ^2 分布に従う確率変数が18.31以上の値をとる確率が5%であることを示す。

(注2) $\phi=54$, $P=0.05$ に対する χ^2 の値は、 $\phi=60$ に対する値と $\phi=50$ に対する値とを用いて、 $79.1 \times 0.4 + 67.5 \times 0.6 = 72.1$ として求める。

(2) ノンパラメトリック法²⁾

時間の関数としてではなく個数により直接、信頼度を算出する方法として、二項分布あるいはF分布関数による算定法があり、これらはノンパラメトリック法といわれる。

n回の試験を実施した(n-r)回成功したアイテムの信頼水準Cと信頼度R_Lの関係を求める場合、確率分布的に見ると、離散分布で完全な二項分布であるため、次式で表される。

$$\sum_{i=0}^r \left(\frac{n!}{(n-i)! i!} \right) \cdot (1-R_L)^i \cdot R_L^{(n-i)} = 1 - C = \alpha$$

ここでαは危険率である。

ここで、r=0の場合は、(R_L)ⁿ = αとなる。二項分布は良く知られているようにr=0の場合など、rの数が小さい場合は簡単であるが、rの数が多くなるにつれ、計算が著しく煩雑となる。このため二項分布とF(スネデカ)分布の部分和どおしの関係から、F分布を用いて次式によって計算するものとする。

個数打切りの場合には、信頼水準を1-αとして

$$R_L = 1 - \left[1 + \frac{r}{n-r+1} F \left\{ 2r, 2(n-r+1); \frac{\alpha}{2} \right\} \right]$$

$$R_U = 1 - \left[1 + \frac{r}{n-r+1} F \left\{ 2r, 2(n-r+1); 1 - \frac{\alpha}{2} \right\} \right]$$

が用いられている。同じ考え方から、片側推定の場合の下限値は

$$R_L = 1 - \left[1 + \frac{r}{n-r+1} F \left\{ 2r, 2(n-r+1); \alpha \right\} \right]$$

となる。

時間打切りの場合には、

$$\left. \begin{aligned} R_L &= 1 - \left[1 + \frac{r+1}{n-r} F \left\{ 2(r+1), 2(n-r); \frac{\alpha}{2} \right\} \right] \\ R_U &= 1 - \left[1 + \frac{r}{n-r+1} F \left\{ 2r, 2(n-r+1); 1 - \frac{\alpha}{2} \right\} \right] \end{aligned} \right\} (1)$$

が用いられる。この場合も片側推定の場合には

$$R_L = 1 - \left[1 + \frac{r+1}{n-r} F\{2(r+1), 2(n-r); \alpha\} \right] \quad (2)$$

となる。

前述の(1)式および(2)式は、 n 回の試験を実施した結果、 $(n-r)$ 回成功したアイテムの信頼度 R_L （片側推定）を信頼水準 $C=1-\alpha$ で個数打切、時間打切法で求める式である。

一方、材料強度許容値（下限値）のA値、B値のように、特性値の母集団の少なくともある割合（信頼確率） R_L がある信頼水準 $C=1-\alpha$ で、ある値を上回る（下回る）と予想される値を試験データから直接求める場合にも、特性値の分布を仮定しないノンパラメトリック法が応用できる。

例えば、強度試験における片側許容限界とは、信頼水準 $(1-\alpha)$ で、母集団の $R_L \times 100\%$ のサンプルが超えることが期待できる強度 S を指す。強度分布を仮定しない場合、試験で得られた強度の最小値が片側許容限界 S となるために必要なサンプルサイズ n は、前述の二項分布の式で $r=0$ として求めることができる。

$$(R_L) n = \alpha \quad (3)$$

すなわち、

$$n = \log \alpha / \log R_L \quad (4)$$

逆に、(4)式によるサンプルサイズ n の試験で得られた強度の最小値を設計上の許容強度として設定すれば、この材料を使って設計される構造物の信頼度は R_L 以上となる。

また、この方法は、特性値の片側許容限界下限値（または上限値）を試験データから直接求める場合の必要サンプルサイズ n の算出に応用できる。特性値の両側許容限界値（下限値および上限値）を試験データから直接求める場合の必要サンプルサイズ n の算出は、片側の場合よりも複雑である。

試験片もしくは供試体として、 n 個をランダムにとってきたときにそれらが母集団のどれだけ広い範囲を網羅していると、ある信頼水準で言う必要がある場合に、そのランダムサンプルが母集団を網羅する割合または、逆に必要なサンプルサイズ n を求めることができる関係式(注3)およびその導出は、片側推定及び両側推定の双方について、次の文書にまとめられている。

CSA-2023004 「サンプルサイズと母集団を網羅する割合及び信頼水準の関係式」³⁾

注3：片側推定の関係式は次の式①、両側推定の関係式は次の式②である。

$$CL \leq 1 - (1 - \alpha)^n \quad \text{式①}$$

$$CL \leq 1 + (1 - \alpha)^n - 2 \left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right)^n \quad \text{式②}$$

(n はサンプルサイズ、CLは信頼水準、 $(1 - \alpha)$ が母集団の網羅割合)

具体例1：時間打切法による信頼度の区間推定

10台の装置を100時間運転したところ、2回の故障が発生した。故障した場合はそのまま運転を打切った。このとき、t=100における信頼度を90%の信頼水準で区間推定せよ。

(解答)

分布については何も仮定できないので、ノンパラメトリックな方法を用いる。

この場合、時間打切りの形であるので、式(1)及び表3.12-3を用い

$$R_L = 1 / \left[1 + \frac{3}{8} F(6, 16; 0.05) \right] = \frac{1}{1 + \frac{3}{8} \times 2.74} = 0.49$$

$$R_U = 1 / \left[1 + \frac{2}{9} F(4, 18; 0.95) \right] = \frac{1}{1 + \frac{2}{9} \times 0.171} = 0.96$$

となる。この際、 $F(4, 18; 0.95) = 1 / F(18, 4; 0.05)$ であることを用いた。

片側推定の場合には、式(2)及び表3.12-4により

$$R_L = 1 / \left[1 + \frac{3}{8} F(6, 16; 0.10) \right] = \frac{1}{1 + \frac{3}{8} \times 2.178} = 0.55$$

となる。

表3.12-3 F (スネデカ) 分布—F (ν_1, ν_2)
(信頼水準95%, $\alpha = 0.05$)

$\nu_2 \backslash \nu_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	247.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.44
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.675
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.821
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.579
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	3.896
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.467
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.173
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	2.960
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.798
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.671
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.568
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.484
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.413
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.353
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.302
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.257
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.217
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.182
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.151
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.123
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.098
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.075
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.054
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.035
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.018
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.002
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	1.987
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	1.973
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	1.960
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	1.868
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.814
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.778
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.753
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.734
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.720
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.708
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.625
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.614

表3.12-4 F (スネデカ) 分布 - F (ν_1 , ν_2)

(信頼水準90%, $\alpha = 0.1$)

$\nu_2 \backslash \nu_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39.863	49.500	53.593	55.833	57.240	58.204	58.906	59.439	59.858	60.195
2	8.526	9.000	9.162	9.243	9.293	9.326	9.349	9.367	9.381	9.392
3	5.538	5.462	5.391	5.343	5.309	5.285	5.266	5.252	5.240	5.230
4	4.545	4.325	4.191	4.107	4.051	4.010	3.979	3.955	3.936	3.920
5	4.060	3.780	3.619	3.520	3.453	3.405	3.368	3.339	3.316	3.297
6	3.776	3.463	3.289	3.181	3.108	3.055	3.014	2.983	2.958	2.937
7	3.589	3.257	3.074	2.961	2.883	2.827	2.785	2.752	2.725	2.703
8	3.458	3.113	2.924	2.806	2.726	2.668	2.624	2.589	2.561	2.538
9	3.360	3.006	2.813	2.693	2.611	2.551	2.505	2.469	2.440	2.416
10	3.285	2.924	2.728	2.605	2.522	2.461	2.414	2.377	2.347	2.323
11	3.225	2.860	2.660	2.536	2.451	2.389	2.342	2.304	2.274	2.248
12	3.177	2.807	2.606	2.480	2.394	2.331	2.283	2.245	2.214	2.188
13	3.136	2.763	2.560	2.434	2.347	2.283	2.234	2.195	2.164	2.138
14	3.102	2.726	2.522	2.395	2.307	2.243	2.193	2.154	2.122	2.095
15	3.073	2.695	2.490	2.361	2.273	2.208	2.158	2.119	2.086	2.059
16	3.048	2.668	2.462	2.333	2.244	2.178	2.128	2.088	2.055	2.028
17	3.026	2.645	2.437	2.308	2.218	2.152	2.102	2.061	2.028	2.001
18	3.007	2.624	2.416	2.286	2.196	2.130	2.079	2.038	2.005	1.977
19	2.990	2.606	2.397	2.266	2.176	2.109	2.058	2.017	1.984	1.956
20	2.975	2.589	2.380	2.249	2.158	2.091	2.040	1.999	1.965	1.937
21	2.961	2.575	2.365	2.233	2.142	2.075	2.023	1.982	1.948	1.920
22	2.949	2.561	2.351	2.219	2.128	2.060	2.008	1.967	1.933	1.904
23	2.937	2.549	2.339	2.207	2.115	2.047	1.995	1.953	1.919	1.890
24	2.927	2.538	2.327	2.195	2.103	2.035	1.983	1.941	1.906	1.877
25	2.918	2.528	2.317	2.184	2.092	2.024	1.971	1.929	1.895	1.866
26	2.909	2.519	2.307	2.174	2.082	2.014	1.961	1.919	1.884	1.855
27	2.901	2.511	2.299	2.165	2.073	2.005	1.952	1.909	1.874	1.845
28	2.894	2.503	2.291	2.157	2.064	1.996	1.943	1.900	1.865	1.836
29	2.887	2.495	2.283	2.149	2.057	1.988	1.935	1.892	1.857	1.827
30	2.881	2.489	2.276	2.142	2.049	1.980	1.927	1.884	1.849	1.819
40	2.835	2.440	2.226	2.091	1.997	1.927	1.873	1.829	1.793	1.763
50	2.809	2.412	2.197	2.061	1.966	1.895	1.840	1.796	1.760	1.729
60	2.791	2.393	2.177	2.041	1.946	1.875	1.819	1.775	1.738	1.707
70	2.779	2.380	2.164	2.027	1.931	1.860	1.804	1.760	1.723	1.691
80	2.769	2.370	2.154	2.016	1.921	1.849	1.793	1.748	1.711	1.680
90	2.762	2.363	2.146	2.008	1.912	1.841	1.785	1.739	1.702	1.670
100	2.756	2.356	2.139	2.002	1.906	1.834	1.778	1.732	1.695	1.663
500	2.716	2.313	2.095	1.956	1.859	1.786	1.729	1.683	1.644	1.612
1000	2.711	2.308	2.089	1.950	1.853	1.780	1.723	1.676	1.638	1.605

具体例 2：強度の分布が分からない構造材料を用いた構体の信頼度の推定方法

新開発の構造材料を使用した宇宙機の構造設計を行う。

そこで、強度許容値として、統計的な分布の推定を行うことなしに、試験データからA値およびB値を直接求めたい。

このとき、必要な材料試験のサンプルサイズ n をそれぞれ求めよ。

なお、A値およびB値の適用部位および、適用する安全係数については、JERG-2-320「構造設計標準」を参照すること。

- ・A値 母集団の99%が95%の信頼性水準でこの値以上となる下限値
- ・B値 母集団の90%が95%の信頼性水準でこの値以上となる下限値

(解答)

- ・A値について。

式(4)に $\alpha = 0.05$ および $RL = 0.99$ を代入すると、 $n = \log 0.05 / \log 0.99 = 299$ 個 (小数点以下切り上げ) が必要である。

- ・B値について。

同じく、 $\alpha = 0.05$ および $RL = 0.9$ を代入すると、 $n = \log 0.05 / \log 0.9 = 29$ 個 (小数点以下切り上げ) が必要である。

具体例 3：サンプルサイズに対する母集団の網羅割合

試験片もしくは供試体として、15個をランダムにとってきたときに、それらが母集団のどれだけの範囲を網羅しているかを信頼水準60%で推定せよ。

(解答)

上述のCSA-2023004の式① (片側の場合) および、式② (両側の場合) を用いて計算することができる。

- ・片側の場合

CSA-2023004の式①に、 $n=15$ および、 $CL=0.6$ を代入し、 α について解く。

$$CL \leq 1 - (1 - \alpha)^n \quad \text{式①}$$

$$1 - \sqrt[15]{1 - 0.6} = 0.059 \leq \alpha$$

よって、母集団の網羅割合 $= 1 - \alpha \leq 1 - 0.059 = 0.941$ より、母集団のうち94.1%を網羅すると推定される。

- ・両側の場合

CSA-2023004の式②に、 $n=15$ および、 $CL=0.6$ を代入し、 α について解く。

$$CL \leq 1 + (1 - \alpha)^n - 2 \left(1 - \frac{1}{2}\alpha\right)^n \quad \text{式②}$$

これは片側の場合と違い、代数的に求めることはできないので、数値解析により α を求めると、

$$0.192 \leq \alpha$$

よって、母集団の網羅割合 $= 1 - 2 \times \frac{1}{2}\alpha \leq 1 - 0.192 = 0.808$ より、母集団のうち80.8%を網羅すると推定される。

(3) デュアン解析法

デュアン解析法は、機器あるいはシステムの試験の全過程に亘り、信頼性の成長の過程が追跡可能となり、その成長の傾向から信頼性を保証しようという方法である。

デュアン解析法は、作動時間（又は作動回数）と不具合の履歴が明確なアイテムに対して適用可能であり、有効である。

デュアン解析法は下式で表される。

$$\lambda_c = \frac{F}{T} = K T^{-\alpha}$$

$$\lambda_i = (1 - \alpha) \lambda_c$$

ここで各記号は以下のものを表す。

λ_c : 累積不具合故障率

λ_i : 瞬間故障率

T : 全作動時間

F : T時間迄に発生した累積不具合件数

K : 環境により決定する定数

α : 成長率

デュアン解析法では、故障率のかわりにMTBF (Mean Time Between Failure) で表す場合が多い。

下式にMTBFで表した算定式を示す。

$$\theta_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{K} T^\alpha$$

$$\theta_i = \frac{1}{1 - \alpha} \theta_c$$

ここで、 θ_c は累積MTBFを、 θ_i は瞬時MTBFを表す。

デュアン解析法による信頼性の評価作業手順として、MIL-STD-1635⁴⁾ におい

て推奨されている方法を以下に示す。

作業手順

2～3桁の両対数目盛のグラフ用紙を用意し、縦軸にMTBF、横軸に試験時間（又はサイクル数など）をとり、次の手順により、要求MTBF、計画成長曲線を記入し、これに試験データをプロットして行き、累積MTBFの曲線の傾斜から最適成長率を推定、瞬間MTBFの成長曲線を求め、要求MTBF及び計画成長曲線と比較し、信頼度の成長を監視又は評価する。

参考までに、デュアンの信頼性成長モデルを図3.12-2に示す。

a. 要求MTBF

要求MTBFに相当する横線を引く。ただし、要求MTBFと予測MTBFが異なるときは予測MTBFを用いてもよい。

b. 計画累積MTBF曲線の開始点

要求MTBFの値により次のいずれかの方法による。

(i) 要求MTBFが200時間未満のとき

累積試験100時間において要求MTBFの10%の点

(ii) 要求MTBFが200時間以上のとき

要求MTBFの50%の累積試験時間において要求MTBFの10%の点

この理由として、過去の工業界のデータによると、最初に製作された製品のMTBFは、部品に信頼度の積上げから予測したMTBFのおおよそ10%くらいのMTBFを示すことによるとしている。

c. 計画成長率 α_0 の選定

過去の類似機器の試験経験から、開発しようとする機器に最適の信頼度成長率 α_0 をきめる。適当な試験結果がない場合にはDuaneの推奨する値 $\alpha_0=0.5$ を用いる。

d. 計画成長曲線

選定した α_0 を表す計画累積MTBFの線をb.の開始点から引き、次にこの線に平行に $\frac{1}{1-\alpha_0}$ だけ上方に計画瞬間MTBFの線を引く。この計画瞬間MTBFの線を計画成長曲線という。

e. 信頼度成長試験期間の予測

a. の要求MTBFの横線とd. の計画成長曲線との交点は、信頼度成長試験期間の計画値として大まかな予測値を与える。

f. 試験データによる信頼度成長曲線

試験中に新しい故障が発生した都度、累積試験時間と累積MTBF (θ_c) を順次プロットして行き、この曲線の傾斜から最適成長率 α_1 を求め、これを用い瞬間MTBF (θ_i) の曲線を $\frac{1}{1-\alpha_1}$ だけ上方に、上記MTBF曲線に平行に引く。これが求める信頼度成長曲線となる。

g. 信頼度成長の監視と評価

a. の要求MTBF、d. の計画成長曲線及びf. の試験データによる信頼度成長曲線を用いて、次のようにして信頼度成長の監視と評価を行う。

(i) 信頼度成長の監視

試験データのプロットの途中において、以下の条件のいずれかを満足するときは、現在の信頼度向上の努力を続けると計画した信頼度成長が達成しうると判断しうる。

(ア) 記入した瞬間MTBFの点が計画成長曲線より上にある。

(イ) 試験データから求めた信頼度成長曲線が計画成長曲線より上にある。

(ウ) 試験データから求めた信頼度成長曲線は、計画成長曲線より下にあるが、要求MTBFの横線と交わる時点までに計画成長曲線と交わる勾配にある。

もし、上記の条件のいずれかの項をも満足しないときは、現在の努力では計画した信頼度成長は達成できないものと判断し、計画を満足させるためには特別な故障解析と是正処置の努力が必要なことが示される。

(ii) 試験データから求めた信頼度成長曲線が要求MTBFの線に到達したときは、所要の信頼度成長が達成されたものと評価し、この時点において信頼度成長試験を終了させることができる。

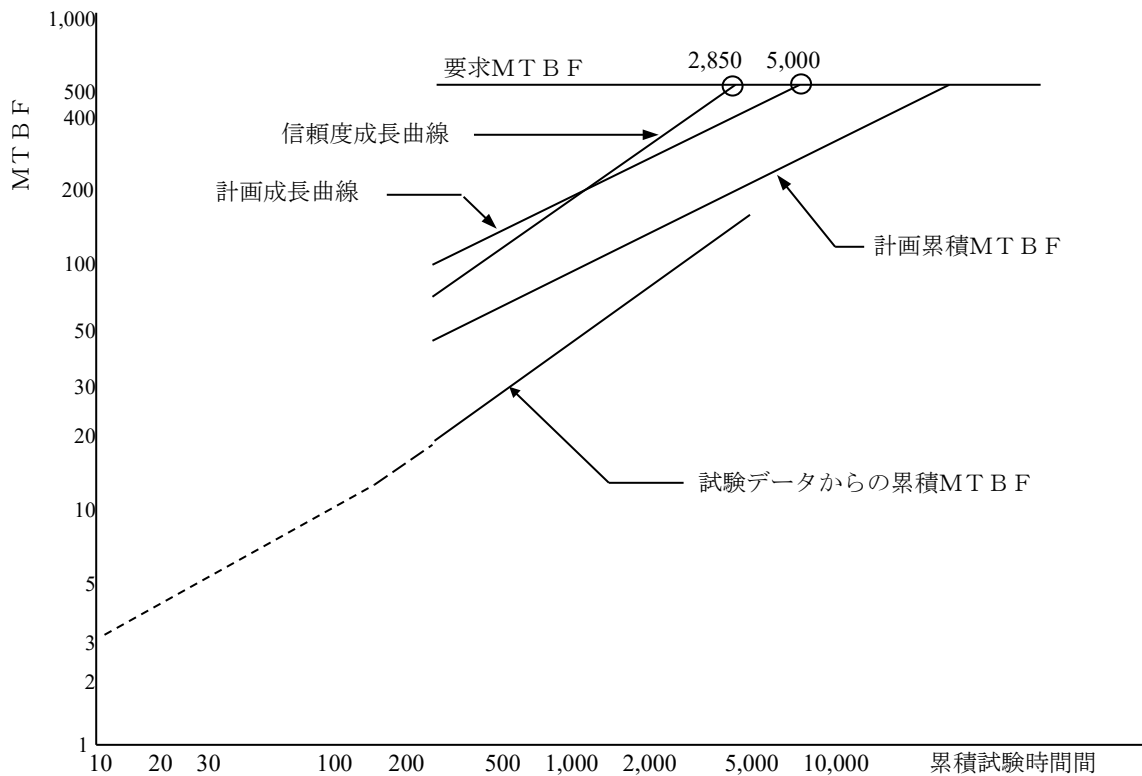


図3.12-2 デュアンの信頼性成長モデル⁴⁾

具体例1：ロケット用エンジンの評価例

(1) N-I ロケット 2 段用 NT0/A-50 エンジン (LE-3) ⁵⁾

N-I ロケット 2 段用 NT0/A-50 エンジン (LE-3) の信頼度評価の事例を以下に示す。

a. 信頼度評価式

(ア) 信頼度評価式(1)

信頼度の試験成功率による評価を次式によって行う。

$$\text{信頼度} : R = (\text{成功した試験回数}) / (\text{全試験回数}) \dots\dots \text{式(1)}$$

(イ) 信頼度評価式(2)

開発段階のエンジンは改良によりコンフィギュレーションが変化しており、最新のエンジンのコンフィギュレーションを表しているとは言い難い。したがって、信頼度評価式(1)において開発試験から認定試験までのデータは、以下の点を考慮するとともに等価試験回数 N_e による燃焼時間の補正を行う。

- ・試験が不成功であっても、不成功の原因がエンジン以外に起因する場合、又は原因がエンジンにあっても、その後の設計変更などによ

りその原因が除去されたと見なされた場合は不成功とは数えず、その試験自身を信頼度の算出から除外する。

- ・試験設備の不具合、又は操作ミスのため、レッドライン又はマニュアル停止によりエンジンの試験が中断されたが、それまでの作動が正常であった場合は、停止までの燃焼試験時間の試験を成功として数える。

N_e は、実際の試験規模をミッション一回分の運用に換算した時の回数であり、過去の開発エンジンの故障頻度などの経験を検討し、次式とする。

$$N_e = \sum_{i=1}^n (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 \cdot t_1 / t_0 + \phi_4)$$

- n : 実際の試験回数
- t_0 : ミッション一回の燃焼時間
- t_1 : 実際の燃焼時間
- $\phi_1 \sim \phi_4$: 故障発生比率

ϕ は、過去のエンジンの故障頻度などの経験を解析的に検討し、以下の様に故障発生 of 比率を割り付けた。

- 予冷+始動時 : $\phi_1 + \phi_2 = 0.35$
- 定常燃焼時 : $\phi_3 = 0.40$
- 停止時 : $\phi_4 = 0.25$

(ウ) 信頼度評価式(3)

信頼水準を考慮した推定下限信頼度 R_L は不具合をゼロと見なした場合、次式とする。

$$R_L = (1 - C)^{1/N_e}$$

- C : 信頼水準
- N_e : 等価試験回数

b. 信頼度評価結果

(ア) 信頼度評価(1)

式(1)を用いて信頼度(1)を求めた。信頼度/試験回数を図3.12-3に一点鎖線により示す。認定試験完了時の信頼度(1) (試験成功率) は90%であった。

(イ)信頼度評価(2)

信頼度評価(1)に対し、a. (イ)に示した方法で補正し、信頼度(2)の評価を行った。補正した信頼度(試験成功率)を図3.12-3に二点鎖線で示す。

(ウ)信頼度評価(3)

a. (イ)に示した方法で補正した試験成功率をもとに、信頼度評価式(3)により信頼水準90%における推定信頼度を求めると図3.12-3の実線となる。これにより、認定試験完了時の推定下限信頼度は、信頼水準90%において98.7であった。

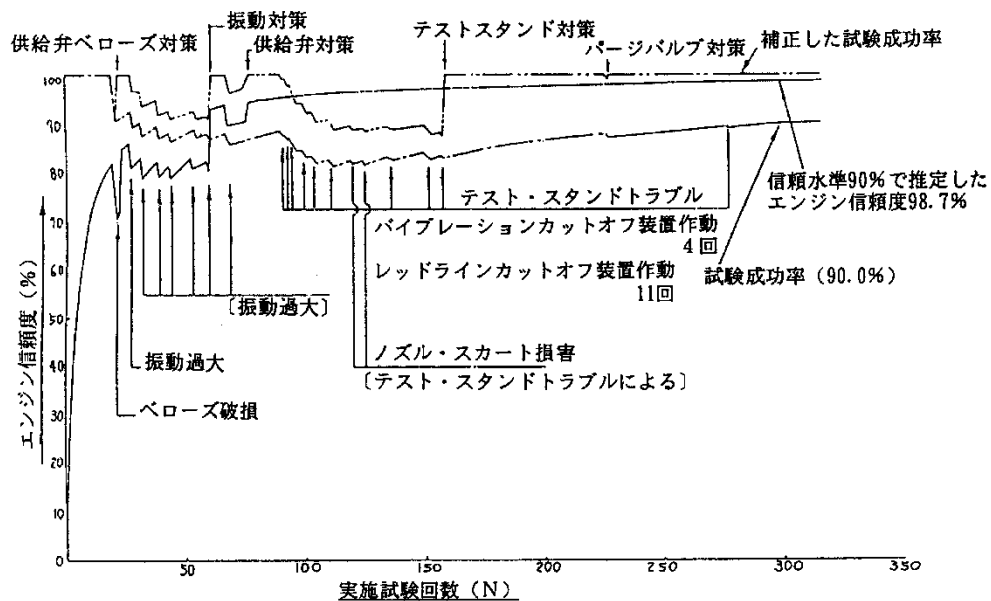


図 3.12-3 ロケット用エンジンの信頼度⁵⁾

(2) H-II及びH-IIAロケット第1段エンジン(LE-7及びLE-7A) ⁶⁾

H-IIロケット第1段エンジン(LE-7)の開発試験では、従来の2項分布法(前項(1)-a. -(ウ)等)図3.12-4と、液体ロケットエンジンとしては新たな信頼度評価手法である信頼度成長法 図3.12-5 及び故障分布法 図3.12-6 の比較検討が実施されている。

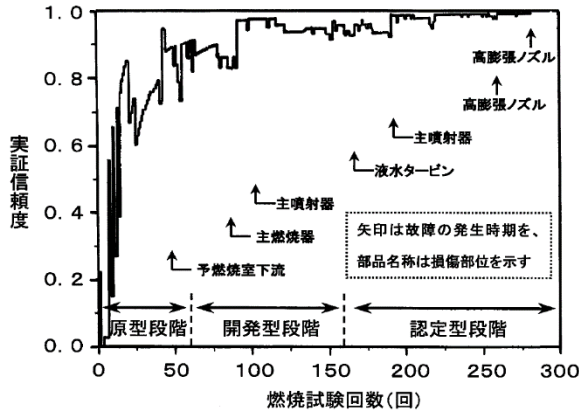


図3.12-4 LE-7エンジンの信頼度推定(従来法) ⁶⁾

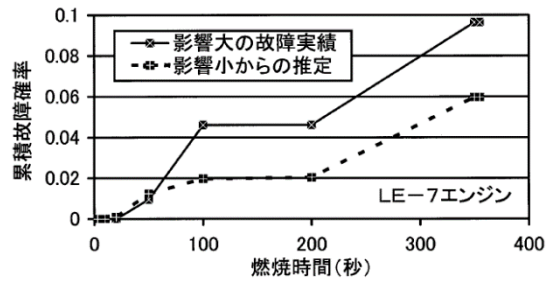
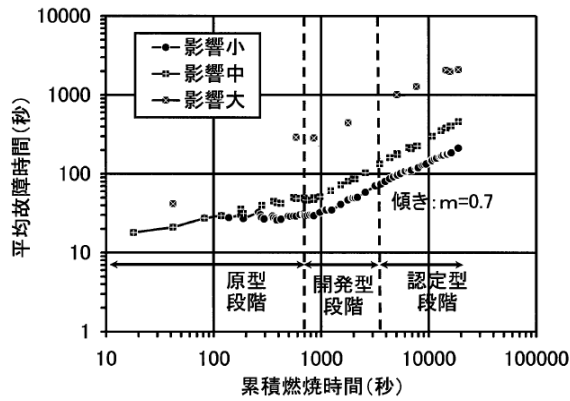


図3.12-5 LE-7エンジンの信頼度成長 ⁶⁾ 図3.12-6 故障分布法による信頼度の推定 ⁶⁾

表3.12-5の通り、飛行実績($f=5.7\%$)と比較すると、従来の2項分布法($f=0.3\%$)よりも、信頼度成長法($f=3.6\%$)と故障分布法($f=3.9\%$)の方が、改善する結果(飛行実績に対しより近い値となる)が得られており、液体ロケットエンジンの信頼度評価の新たな改善策として導入が提案されている。

表3.12-5 H-IIロケットの信頼度推定方法と飛行実績の比較⁶⁾

信頼度の推定方法	試行回数 n (回)	失敗回数 r (回)	信頼度 R	発生確率 f (%)
飛行実績	7	1	0.86	5.7
①信頼度成長法	20.4	1	0.951	3.6
②故障分布法	18.5	1	0.946	3.9
③従来の2項分布法	315	1	0.997	0.3

①～③の信頼度の推定は、開発完了時点の値。

f は各信頼度推定値 R を基に飛行実績と同じ試行回数で失敗が発生する確率を算出。

$$f = R^{n-r} (1 - R)^r$$

なお、H-II Aロケット第1段エンジン(LE-7A)の開発試験においても、図3.12-7、図3.12-8の通り同様の手法による検討がなされており、今後も試験実績が蓄積することにより更なる信頼度の向上が期待されている。

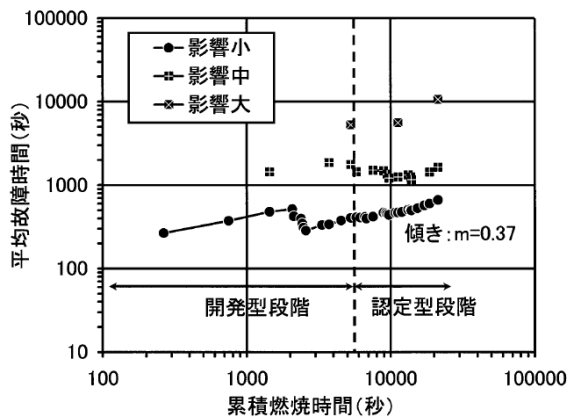


図3.12-7 LE-7Aエンジンの信頼度成長⁶⁾

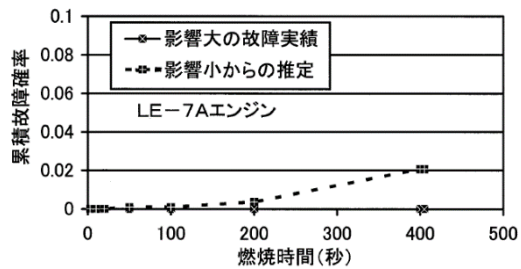


図3.12-8 故障分布法による信頼度の推定⁶⁾

詳細については、日本航空学会論文「液体ロケットエンジンの信頼度評価法」⁶⁾を参照。

具体例 2 : スペースシャトルメインエンジン (SSME) の評価例⁷⁾

米国のSSMEにおいては、AMSAAモデルを用いてMTBFの算定を行ったことが報告されている。

図3.12-9に重大な故障による算定結果を、図3.12-10にクリティカリティ1故障による算定結果を示す。

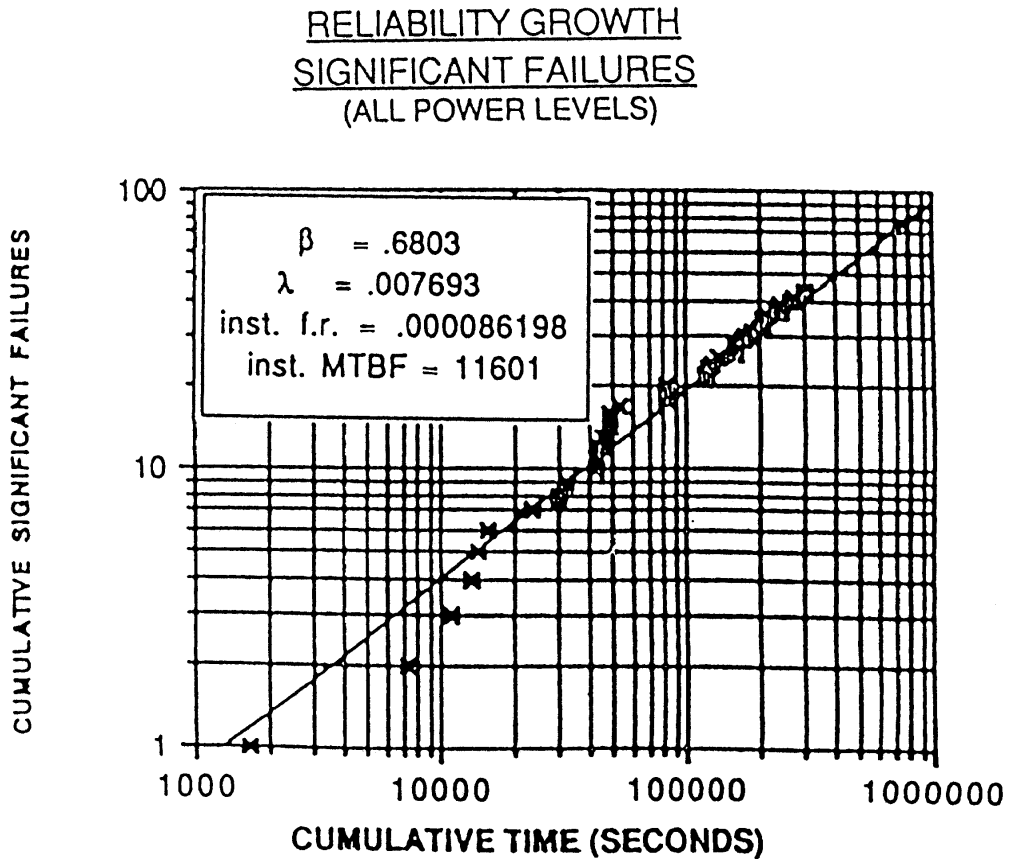


図3.12-9 SSME信頼度成長 (重大な故障)⁷⁾

RELIABILITY GROWTH
CRIT 1 FAILURES
 (ALL POWER LEVELS)

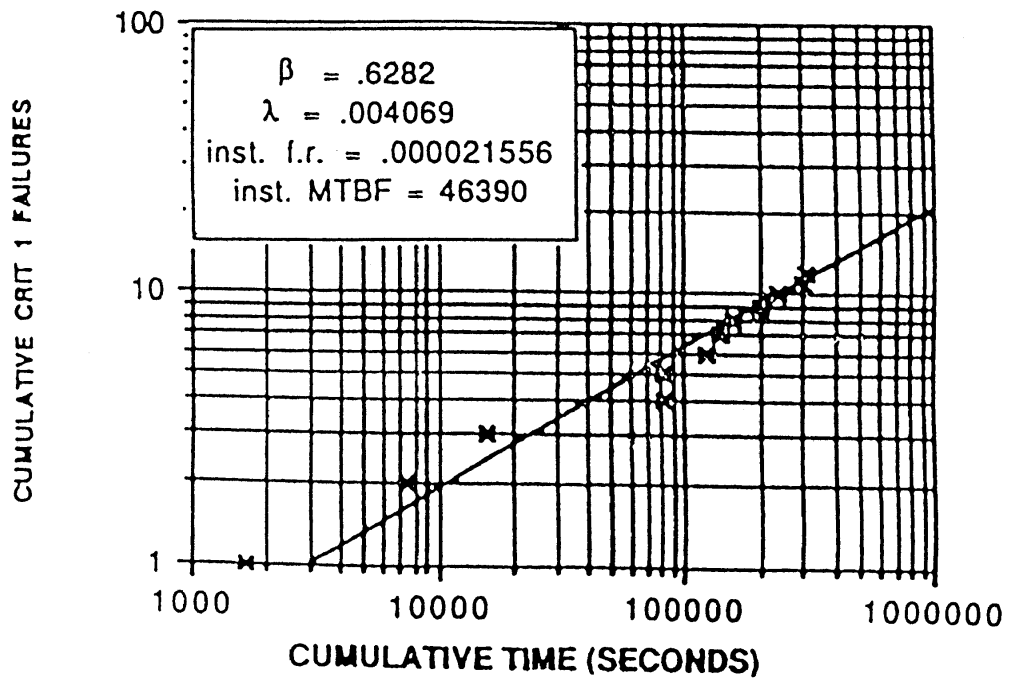


図3.12-10 SSME信頼度成長 (クリティカリティ1の故障)⁷⁾

(3) ストレス・ストレングス法

ストレス・ストレングス・モデルとは、使用時の荷重と構造物の強度の平均値及び分散値から使用時における成功確率を求める方法である。

すなわち、構造の強度が使用時の外力を超えない場合には破壊せず強度部材として安全であるものとする。この間の関係を図3.12-11に示す。

使用時の外力の分布と構造物の強度分布形状は、簡単化のため正規分布と仮定する。

構造部材の強度分布の平均値を μ_1 、分散値を σ_1^2 、材料の強度を S_R とする。

また、使用時の外力の平均値を μ_2 、分散値を σ_2^2 、材料の強度を S_L とする。

$X = S_R - S_L$ とおくと、上記の仮定により、 $X > 0$ の場合には安全であり、 $X < 0$ の場合には不安全となる。

確率変数 X の分布形状は、外力及び強度の確率分布が正規分布のため、同様に正規分布となり、平均値は $\mu_1 - \mu_2$ 、分散値は $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$ で表される。

したがって、構造強度部材の信頼度は次式で表される。

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \int \exp \left[-\frac{\{X - (\mu_1 - \mu_2)\}^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)} \right] dx$$

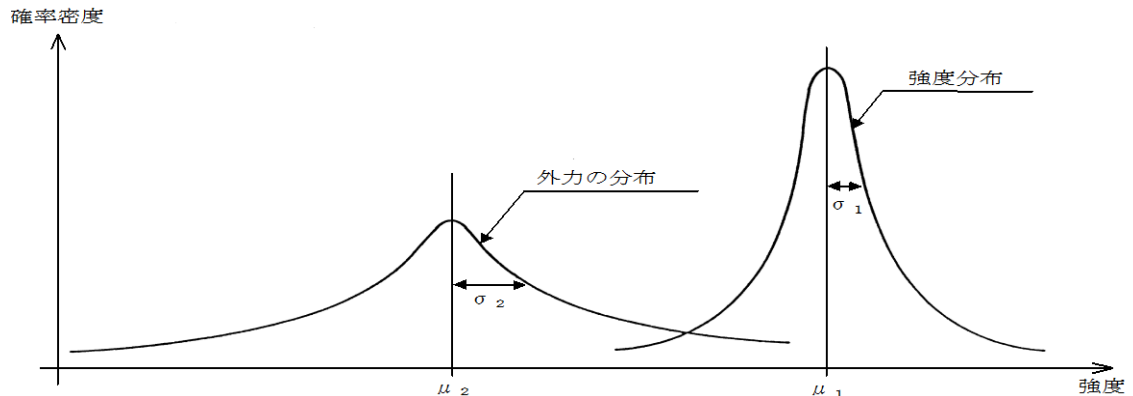


図3.12-11 ストレス・ストレングス・モデル

具体例

a. 概要

圧力タンクを発生負荷と許容負荷のストレス・ストレングス・モデルにより信頼度評価した例を示す。

b. 事例の説明

発生負荷のノミナル値を μ_R 、その標準偏差を σ_R 、また、許容負荷のノミナル値を μ_C 、その標準偏差を σ_C とした時の信頼度は次式で与えられる。

(正規分布を仮定)

$$Z = \frac{\mu_C - \mu_R}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_R^2}}$$

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{1}{2}x^2} dx$$

ここで、過去の実績より変動率 (σ/μ) を

$$\sigma_C/\mu_C = \sigma_R/\mu_R = 0.04$$

と仮定する。また、設計基準により、

$$\mu_C/\mu_R = 1.65$$

である。よって、

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\mu_C - \mu_R}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_R^2}} \\ &= \frac{(\mu_C/\mu_R - 1)}{\sqrt{((\sigma_C/\mu_C) \times (\mu_C/\mu_R))^2 + (\sigma_R/\mu_R)^2}} \\ &= 8.42 \end{aligned}$$

となり、設計信頼度は、 $R \doteq 1$ とみなせる。

(4) ブルーストンテスト法

火工品のように1回しか作動しないものの信頼度を比較的少数の供試体で評価するのに適した方法である。

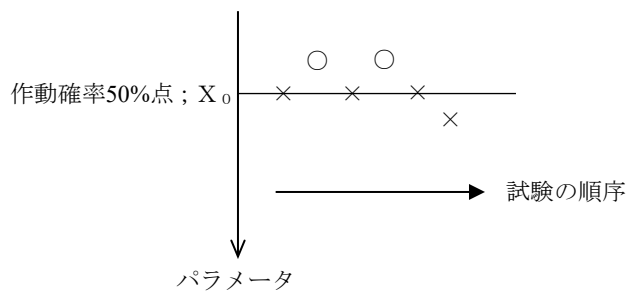
故障モードを支配するパラメータの値を等間隔に変えて作動させたときの作動あるいは不動作に関わるパラメータの平均とバラツキ（標準偏差）を定量的に推算して信頼度を算出する。以下に手順を示す。

a. パラメータの選定

故障モードを支配するパラメータを選定する。（例えば、発火電流、薬量、伝爆距離）

b. 予備試験

数個の供試体を用いて作動確率がほぼ50%になるパラメータの値 X_0 を見つける。また、標準偏差を見積もる。

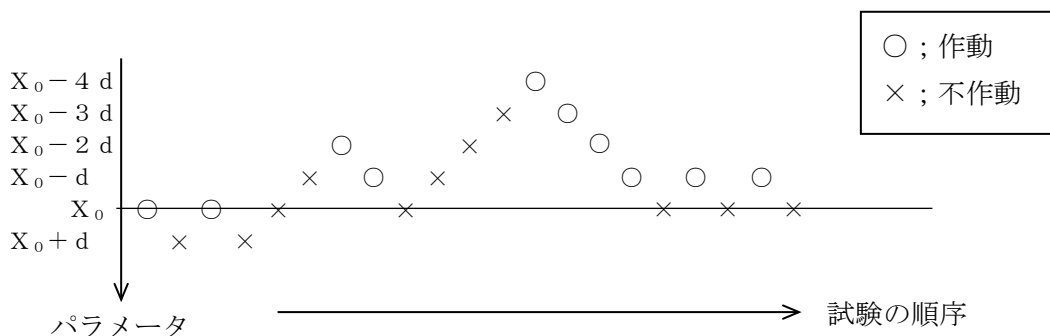


c. 本試験

X_0 から出発し、パラメータの変化の幅を d とする。 d の値は、b.で見積もった標準偏差の0.5から2倍の間で設定する。

作動した場合は $X_0 + d$ 、不動作の場合は $X_0 - d$ として2回目の試験をする。以下、作動の場合は $+d$ 、不動作の場合は $-d$ として、試行間の独立性を確保するために毎回異なる供試体を用いて試験を続ける。

信頼度を精度よく推定するには、試験回数は40回以上が望ましい。



d. 試験結果のまとめ

パラメータ	i	n_0	n_x	$i \cdot n_0$	$i \cdot n_x$	$i^2 \cdot n_0$	$i^2 \cdot n_x$
$X_0 - 4d (= C)$	0	1	0	0	0	0	0
$X_0 - 3d$	1	1	1	1	1	1	1
$X_0 - 2d$	2	2	1	4	2	8	4
$X_0 - d$	3	4	2	12	6	36	18
X_0	4	2	5	8	20	32	80
$X_0 + d$	5	0	2	0	10	0	50
Σ	/	n_0 10	n_x 11	A_0 25	A_x 39	B_0 77	B_x 153

- i : パラメータのレベル番号
- n_0 : 作動個数
- n_x : 不作動個数
- C : 試験で現れたパラメータの最低値

e. 次の諸値を求める。

ブルストーンテストでは、推定誤差がなるべく小さくなるよう、作動データと不作動データのうち合計個数が少ない方を算出に用いる。以下では、この個数を n とする。

また、レベル番号 i での作動あるいは不作動の合計個数を n_i とする。

- ・ 試験結果のパラメータの平均 \bar{X} :

$$\bar{X} = C + d \left\{ \sum_{i=0} (i \cdot \frac{n_i}{n}) \pm \frac{1}{2} \right\}$$

右辺第三項の符号は以下のとおり。

$$\left[\begin{array}{l} +\frac{1}{2} : \text{作動データ (○) を用いる場合} \\ -\frac{1}{2} : \text{不作動データ (×) を用いる場合} \end{array} \right.$$

これらは、試験条件により、作動データを用いると本来よりも1/2レベルだけ作動点寄りの、逆に不作動データの場合は1/2レベルだけ不作動点寄りの結果が出る可能性が高いことに対応した操作である。

- ・試験結果のレベル番号の分布の分散M :

$$M = \left\{ n \sum_{i=0} (i^2 \cdot n_i) - \left(\sum_{i=0} (i \cdot n_i) \right)^2 \right\} / n^2$$

上式を上表中の記号AとB（同じ添え字、添え字は省略）を用いて表すと、

$$M = (nB - A^2) / n^2$$

ここで、c.の図からも分かる通り、ブルーストンテスト法の試験データは中央値付近に偏る傾向がある。このため分散を精度良く推定するには不向きであり、結果としてMは楽観的な（母分散よりも小さい）値になってしまう。

そこで、より安全に母分散、母標準偏差を推定するための工夫をする。具体的には、最尤法を用いて母標準偏差を近似的に推定する。

- ・試験結果のパラメータの母標準偏差の最尤値 $\hat{\sigma}$:

$$\hat{\sigma} = 1.620d(M + 0.029) \quad (\text{但し、} 0.4 < M \text{の場合})$$

標本平均 \bar{X} と母標準偏差の最尤値 $\hat{\sigma}$ は、有限個のサンプルから求めた統計量であるため、それぞれがサンプリング誤差（それぞれが属する分布の標準偏差に相当）をもつ。これらの最尤値を近似的に表すと以下のようになる。

- ・標本平均 \bar{X} が持つサンプリング誤差 σ_X :

$$\sigma_X = \frac{1}{\sqrt{n}} \hat{\sigma} \left(\frac{6 + d/\hat{\sigma}}{7} \right) \quad (\text{但し、} d/\hat{\sigma} < 3 \text{の場合})$$

- ・母標準偏差の最尤値 $\hat{\sigma}$ が持つサンプリング誤差 σ_σ :

$$\sigma_\sigma = \frac{1}{\sqrt{n}} \hat{\sigma} \left(1.1 + 0.3 \frac{1}{d/\hat{\sigma}} \right) \quad (\text{但し、} d/\hat{\sigma} < 2 \text{の場合})$$

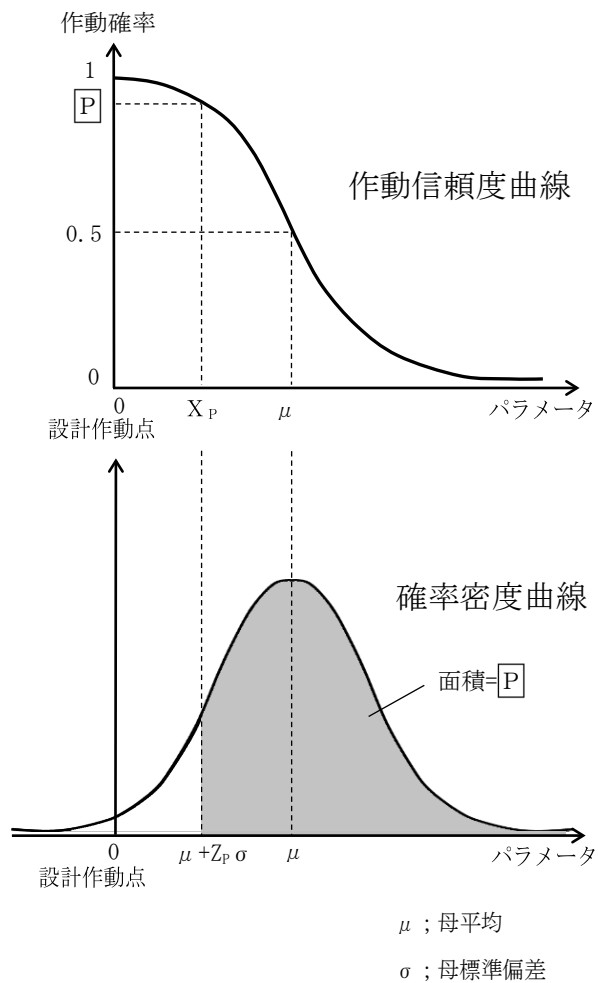
ブルーストンテスト法では、試験データの出現頻度（確率密度分布）が正規分布に従い、また作動信頼度はその正規分布の上側確率で表現できるとの仮定を設ける。

f. 信頼限界の算出

母集団のうち割合 P が作動する、即ち $100P\%$ 作動確率を示すパラメータの値 X_P を信頼水準 $(1-\alpha)$ で片側推定すると、信頼下限 X_{PL} は以下の式で表される。

$$X_{PL} = \bar{X} + Z_P \hat{\sigma} - t_\alpha \sqrt{\sigma_X^2 + Z_P^2 \sigma_\sigma^2}$$

ここに、 Z_P は標準正規分布において上側確率が P となる点の値であり、 t_α は自由度 $(n-1)$ の t 分布において上側確率が α (危険率) となる点の値である。



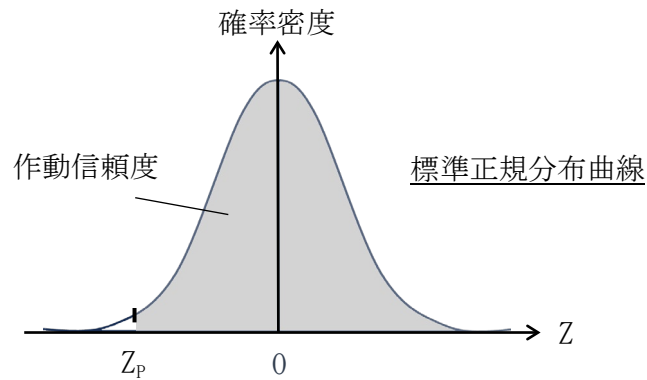
g. 信頼度の算出

f. の X_{PL} が設計作動点に一致するとき、即ち $X_{PL} = 0$ のときに、この機器の設計作動点での作動確率 (信頼度) は、信頼水準 $(1-\alpha)$ の下で P 以上となる。

以上から、 $X_{PL} = 0$ となるときの Z_P を求めると

$$Z_P = - \frac{\bar{X} \hat{\sigma} - t_\alpha \sqrt{\bar{X}^2 \sigma_\sigma^2 + \hat{\sigma}^2 \sigma_X^2 - t_\alpha^2 \sigma_X^2 \sigma_\sigma^2}}{\hat{\sigma}^2 - t_\alpha^2 \sigma_\sigma^2}$$

標準正規分布表にこの Z_p をあてはめると、設計作動点における作動信頼度を求めることができる。



以上、ブルーストンテスト法の詳細については、JAXA技術資料 CSA-2023006「BRUCETON TEST法(ブルーストンテスト)について」⁸⁾を参照。

h. 試験例

隔壁型起爆管の隔壁厚さを決めた例を示す。

[ブルーストンテスト結果例]

隔壁型起爆管の隔壁厚さ信頼性試験

図3.12-12に示す隔壁型起爆管の隔壁厚さをパラメータとした以下のブルーストンテストを実施し、適正隔壁厚さを設定する。

ドナーチャージが点火したとき隔壁が薄いと点火による衝撃波により隔壁が破壊され気密機能が損なわれる可能性がある。一方隔壁が厚いと伝搬する衝撃波が弱まりアクセプタチャージが点火せず、したがって添装薬に伝爆しない。

ア. 隔壁非破壊ブルーストンテスト

イ. ブルーストンテスト

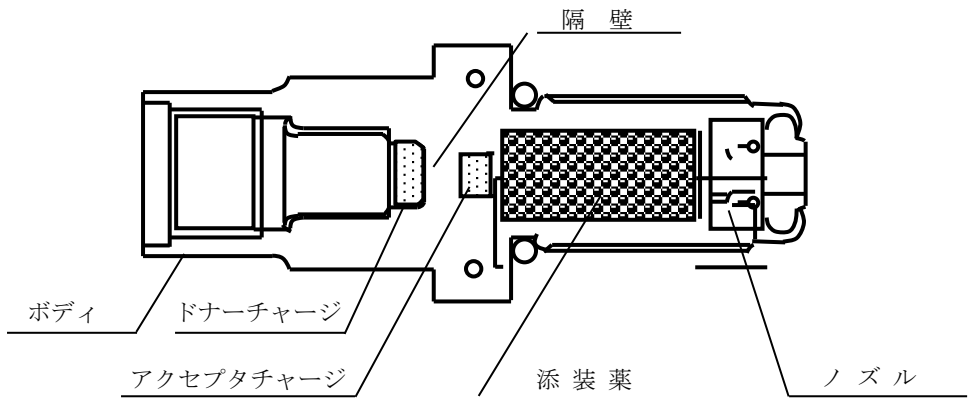
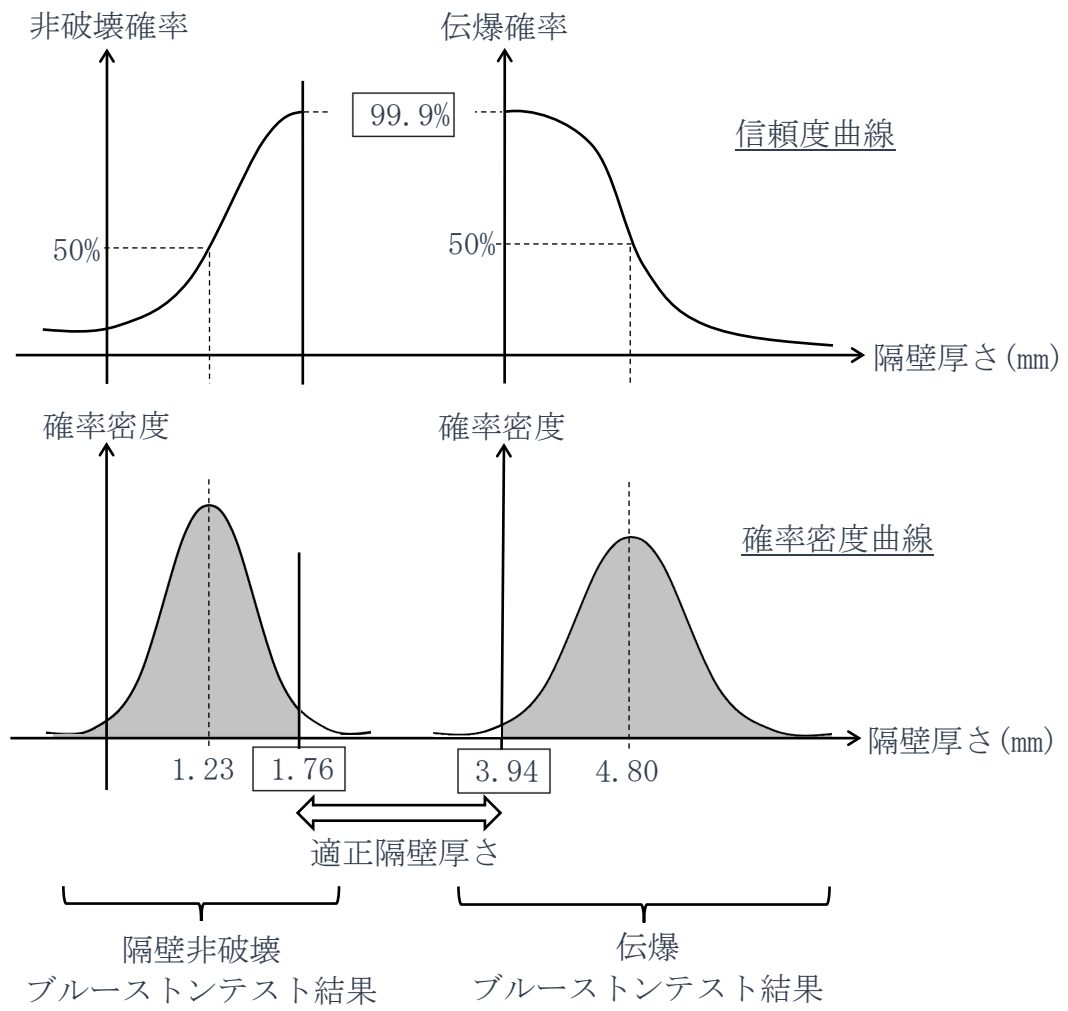


図3.12-12 隔壁型起爆管概要図



<結果> 適正隔壁厚さの範囲：1.76～3.94(mm) (信頼水準95%) (注2)

隔壁厚さがこの範囲内であれば、信頼水準95%の下で、気密機能が損なわれない確率が0.999以上でかつ、アクセプタチャージが点火して伝爆する確率が0.999以上となる。

詳細は、工業火薬 Vol. 50, No. 1, 1989「H-I ロケット上段固体モータ及び火工品類の開発 第3報 H-I ロケット用火工品類の開発」⁹⁾を参照。

注2：参考文献に書かれた数値をグラフ化して表示

(5) ブールの真理値表による評価法

ブールの真理値を使用する評価法である。実施手順については、MIL-STD-756 Method 1002¹⁰⁾ 参照。

具体例 1

図3. 12-12の普通の並列冗長を真理値表で表すと表3. 12-7のとおりとなる。

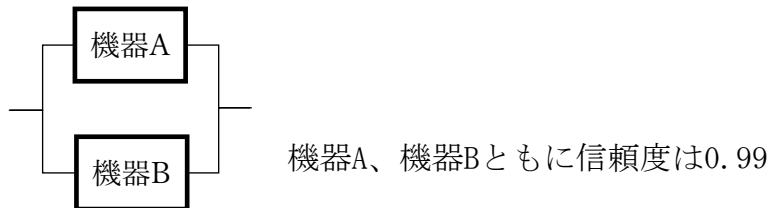


図3. 12-12 並列冗長の例

表3. 12-7 並列冗長の真理値表

機器 A	機器 B	システム機能	確率	計算式
○	○	Success	0.9801	=RA*RB
○	×	Success	0.0099	=RA*(1-RB)
×	○	Success	0.0099	=(1-RA)*RB
×	×	Fail	-	

システムの信頼度=0.9801+0.0099+0.0099=0.9999

具体例 2

図3. 12-13のように、普通の手法では信頼度計算が難しい例を示す。

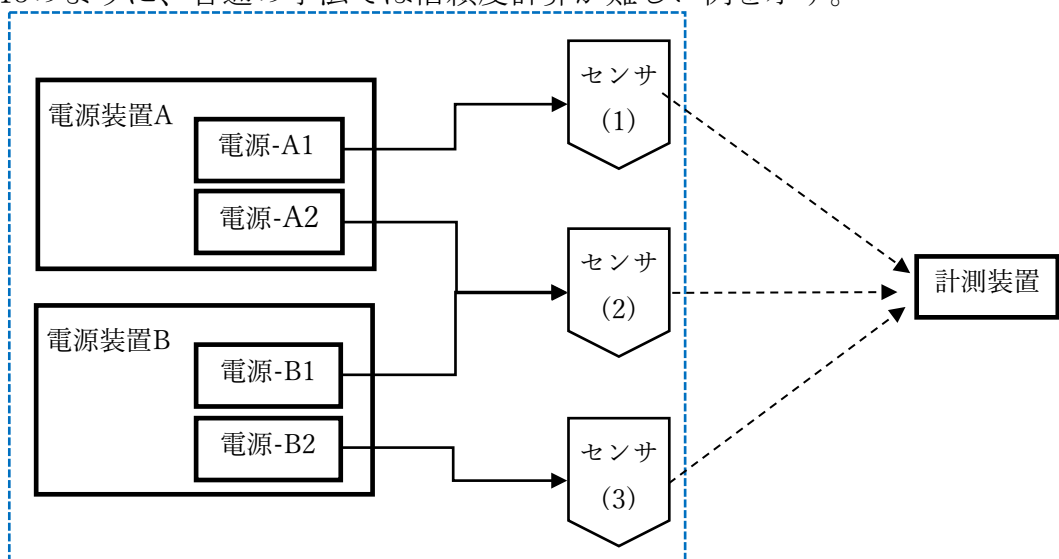


図3. 12-13 通常の手法では信頼度計算が困難な例

【条件1】

センサで計測された値は計測装置に入力され、2 out of 3で処理されるもので、データ計測上はセンサ1個のデータ欠落は許容できる。

【条件2】

センサ(2)に対しては電源装置A/Bの両方から電力供給を受けており、いずれか一方からの電力供給が途絶えた場合にも機能を失わない。

センサによるデータ計測の成否に係る電力供給機能のシステム信頼度を表3.12-8のとおり真理値表を用いて求める。各電源の構成は共通で、信頼度は0.98であるとする。

表3.12-8 図3.12-13にかかる真理値表による信頼度計算例

	電源装置A		電源装置B		データ計測	確率	計算式
	電源-A1	電源-A2	電源-B1	電源-B2			
無故障	○	○	○	○	Success	0.9223682	$=R^4$
1故障	○	○	○	×	Success	0.0188238	$=R^3*(1-R)$
	○	○	×	○	Success	0.0188238	$=R^3*(1-R)$
	○	×	○	○	Success	0.0188238	$=R^3*(1-R)$
	×	○	○	○	Success	0.0188238	$=R^3*(1-R)$
2故障	○	○	×	×	Success	0.0003842	$=R^2*(1-R)^2$
	○	×	○	×	Success	0.0003842	$=R^2*(1-R)^2$
	○	×	×	○	Success	0.0003842	$=R^2*(1-R)^2$
	×	×	○	○	Success	0.0003842	$=R^2*(1-R)^2$
	×	○	×	○	Success	0.0003842	$=R^2*(1-R)^2$
	×	○	○	×	Fail	—	—

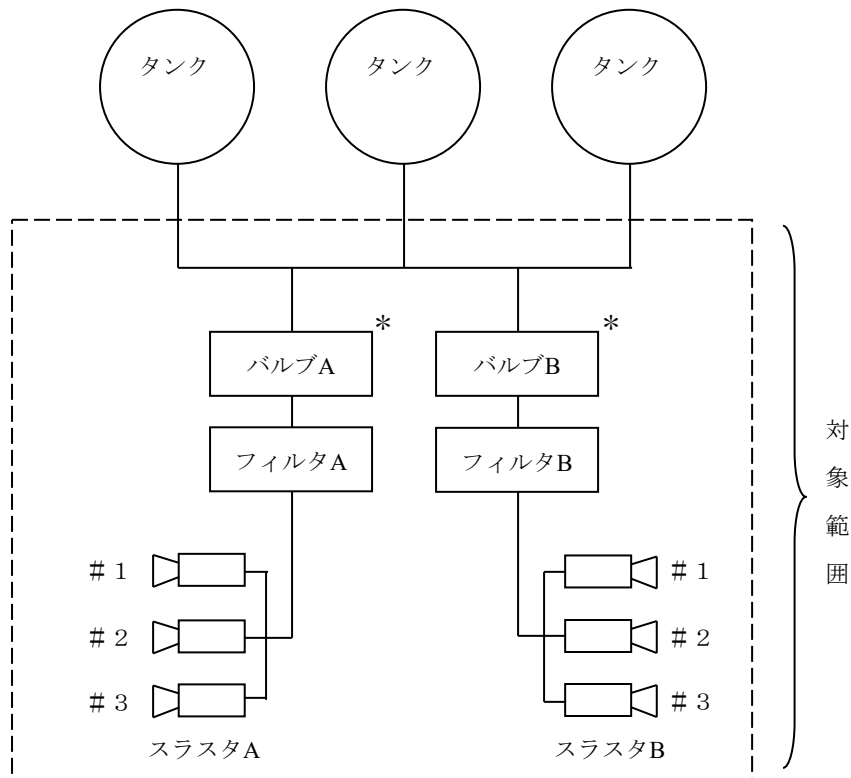
システムの信頼度=0.9995843

具体例 3

3 並列冗長系をなすタンク系統と 2 並列冗長系をなすスラスタ系統から構成されている衛星の姿勢制御系の信頼度を、真理値表を使って計算した。

a. 制御系の構成及び機能

系の構成を図3. 12-14に示す。



*バルブは常時開を原則とする。

図3. 12-14 姿勢制御系

スラスタ系統はそれぞれスラスタ 3、バルブ 1、フィルタ 1 から構成されている。

バルブはスラスタ系統の作動を停止する。

スラスタ 3 個のうち # 2 は衛星の横方向の制御に使われる。

1 と # 3 は衛星のスピンの軸に直交する方向に取付けられ、スピン速度制御に使用される。

b. 計算

スラスタ系統が正常に作動するのは表3. 12-8に示すケースである。

表3.12-8 真理値表による信頼度の計算

番号	フィルタ A	バルブ A	スラスタA			フィルタ B	バルブ B	スラスタB			確 率
			# 1	# 2	# 3			# 1	# 2	# 3	
1	G	—	G	G	G	G	—	G	G	G	0.986119
2	G	—	C	G	G	G	—	G	G	G	0.002162
3	G	—	G	G	G	G	—	C	G	G	0.002162
4	G	—	G	C	G	G	—	G	G	G	0.001982
5	G	—	G	G	G	G	—	G	C	G	0.001982
6	G	—	G	G	C	G	—	G	G	G	0.001982
7	G	—	G	G	G	G	—	G	G	C	0.001982
8	—	G	O	—	—	G	—	G	G	G	0.00099
9	G	—	G	G	G	—	G	O	—	—	0.00099
10	—	G	—	O	—	G	—	G	G	G	0.00078
11	G	—	G	G	G	—	G	—	O	—	0.00078
12	—	G	—	—	O	G	—	G	G	G	0.00078
13	G	—	G	G	G	—	G	—	—	O	0.00078
14	C	—	—	—	—	G	—	G	G	G	0.00522
15	G	—	G	G	G	C	—	—	—	—	0.00522
16	G	—	C	C	G	G	—	G	G	G	0.00004
17	G	—	C	G	C	G	—	G	G	G	0.00004
18	G	—	C	G	G	G	—	G	C	G	0.00004
19	G	—	C	G	G	G	—	G	G	C	0.00004
20	G	—	G	C	G	G	—	C	G	G	0.00004
21	G	—	G	G	C	G	—	C	G	G	0.00004
22	G	—	G	G	G	G	—	C	C	G	0.00004
23	G	—	G	G	G	G	—	C	G	C	0.00004
24	G	—	G	C	C	G	—	G	G	G	0.00004
25	G	—	G	G	G	G	—	G	C	C	0.00004
26	G	—	C	C	C	G	—	G	G	G	≒0
27	G	—	C	G	G	G	—	G	C	C	≒0
28	G	—	G	C	C	G	—	C	G	G	≒0
29	G	—	G	G	G	G	—	C	C	C	≒0
30	G	—	C	C	G	G	—	G	G	C	≒0
31	G	—	G	G	C	G	—	C	C	G	≒0
32	G	—	C	G	C	G	—	G	C	G	≒0
33	G	—	G	C	G	G	—	C	G	C	≒0
信頼度											0.999965

記号の説明 G：正常 O：オープン故障 C：クローズ故障（目づまりを含む）

オープン故障、クローズ故障には□をつけた

バルブの“—”は開状態を、“G”はスラスタのオープン故障に対してクローズでたことを示す。

フィルタの“—”はバルブがクローズできているので、どの状態でもよいことを示す。

実施しない場合の影響

- (1) 部品点数法あるいはストレス解析法が適用できないような対象品目の信頼度が推定できないので、信頼度配分に対する達成度の評価がされず、信

頼性上の課題／問題点の識別及び是正処置が適切に実行されない恐れがある。

- (2) 信頼度のバランスがとれていないシステムとなる恐れがある。
- (3) 過度な信頼度を達成し、必要以上のコストを発生させる恐れがある。
- (4) 他の関連信頼性業務に対する定量的な信頼性データが提供できない恐れがある。

参考文献

- 1) 信頼性管理便覧編集委員会編：「品質保証のための信頼性管理便覧」(1985)、日本規格協会
- 2) 牧野鉄治、野中保雄著「信頼性工学」、日本科学技術連盟
- 3) CSA-2023004「サンプルサイズと母集団を網羅する割合及び信頼水準の関係式」
- 4) MIL-STD-1635「Reliability Growth Testing」
- 5) 平社博之。「H-1ロケット2段用液酸・液体エンジン(LE-5)の信頼度について」, 第6回宇宙開発における信頼性及び品質保証シンポジウム, 1980
- 6) 平田邦夫, 升谷五郎, 上条謙二郎。「液体ロケットエンジンの信頼度評価法」, 日本航空学会, 2004
- 7) Dr. Fayssal M. Safie : Huntsville Chapter, Society of Reliability Engineers, USA “Reliability Modeling of The Space Shuttle Main Engines”, June 22, 1989
- 8) CSA-2023006「BRUCETON TEST法(ブルーストンテスト)について」
- 9) 工業火薬 Vol. 50, No. 1, 1989「H-Iロケット上段固体モータ及び火工品類の開発 第3報 H-Iロケット用火工品類の開発」
- 10) MIL-STD-756「Reliability Modeling and Prediction」

3.13 冗長設計

効果

ミッション達成上のクリティカルポイント（単一故障点）をなくすことによる信頼性の向上。

効果的な実施時期

遅くとも詳細設計開始迄。

冗長構成の採用が可能な時期に実施する必要がある。

技術的根拠

単一故障点をなくすことによる信頼性の向上が期待できる。

システム、サブシステム又は構成機器に対する信頼性要求の確保及び向上を実現可能とする確立された信頼性設計手法である。

JMR-004の対応項番

4.3.5 信頼度予測

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度予測
- (2) 機能FMEA
- (3) 詳細FMEA
- (4) FTA：事前解析
- (5) 基本設計審査

実施方法

システム、サブシステム又は構成機器が高い信頼度で規定の機能を遂行できるようにするために、いくつかの要素又は手段を余分に付加し、その一部が故障しても、システムの機能を満足するように設計する。

冗長設計方式の代表的なモデルを表3.13-1に示す。

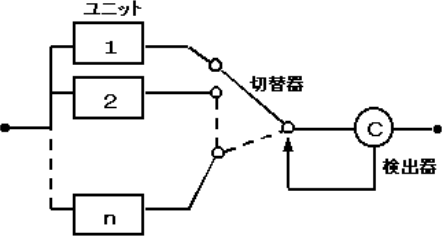
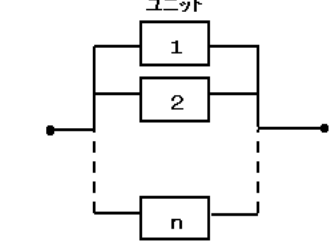
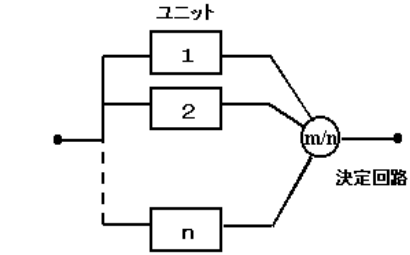
なお、本方式を採用するにあたっては、以下についても十分配慮の上、冗長設計の効果を確実なものにする必要がある。

- (1) コスト、質量、容積などの十分なトレードオフが必要である。
- (2) 部品点数が増加すると、比例して故障件数が増加する。
- (3) 同一部品による冗長は、共通の不具合要因により両方共故障する可能性がある。
- (4) 同一区画に両方の配置は、その区画の破損などにより両方共故障する可能性がある。

- (5) 待機冗長方式の場合、切替えシステムの故障を配慮する必要がある
- (6) 同一ソフトウェアによる冗長は、共通のバグにより両方共故障する可能性がある。
- (7) バルブやスイッチなどは故障モードによっては、直列・並列が変わってしまう場合がある。

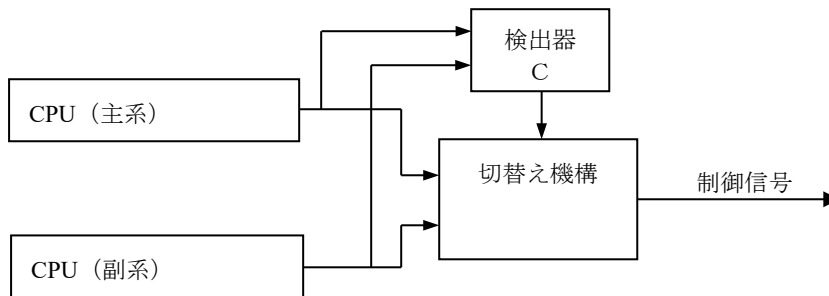
冗長設計の結果は、各種信頼性解析（信頼度予測、FMEA、FTA など）に反映すると共に、設計審査などのインプットデータとして提示し、その妥当性を確実に評価しておく必要がある。

表3.13-1 冗長設計方式の代表例

冗長方式	信頼性ブロック図	システム信頼度算定式
<p>待機冗長系</p> <p>一つのユニットが故障した場合、待機中の他ユニットに切換え、システムを正常に維持する。</p>		$R_T = 1 - (1 - R_i) \prod_{i=2}^n (1 - R_s R_i)$ <p>R_s : 切替え器の信頼度</p>
<p>並列冗長系</p> <p>機能的に同じ働きをする複数のユニットを並列に接続する。</p>		$R_T = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$
<p>多数決冗長系</p> <p>n個のユニット中、m個が正常であれば、システムが正常であるもの。</p>		$R_T = \sum_{i=m}^n \binom{n}{i} R^i (1 - R)^{n-i}$

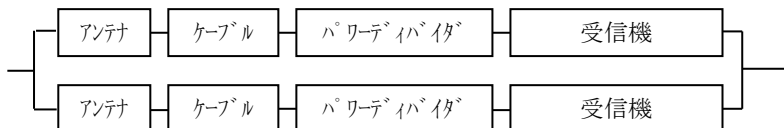
待機冗長方式の具体的適用例

制御システムでの適用例を示す。



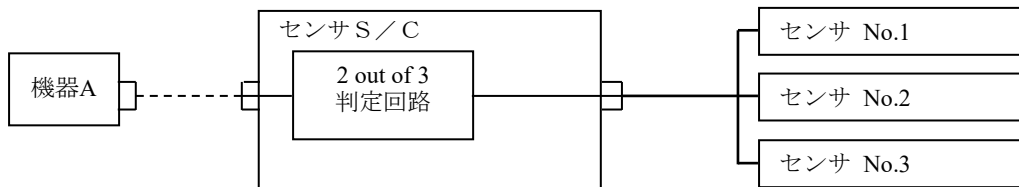
並列冗長方式の具体的適用例

受信系システムでの適用例を示す。



多数決冗長方式の具体的適用例

検知システムでの適用例を示す。



実施しない場合の影響

冗長設計を行わない場合は、システムの構成要素全てが単一故障点になるので、信頼性向上のための設計対策（環境緩和策、高信頼性部品の採用など）や高いレベルの品質管理を適用する必要がある。

参考文献

なし

3.14 安全余裕／ディレーティングの設定

効果

- (1) 構成機器・部品などを定格一杯ではなく余裕を持たせる使用条件とすることで、運用に対する信頼性向上の実現が可能となる。
- (2) 安全余裕／ディレーティングの信頼性設計基準を設定することで、該当プロジェクトの中で信頼性方針を統一できる。

効果的な実施時期

基本設計段階あるいは詳細設計段階初期。

安全係数及びディレーティングの基準は、各設計作業に影響するので、基本設計段階の初期には設定する必要がある。

技術的根拠

使用時は必ず何らかのストレスが印加される。これらのストレスは、故障、寿命低下の原因となる。

したがって、原因であるストレスを減らすことで、故障、寿命低下の防止を意図した代表的な信頼性向上設計手法である。

JMR-004の対応項番

- 4.3.3 設計仕様書
- 4.3.7 部品ストレス解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度予測：ストレス解析法
- (2) 部品ストレス解析
- (3) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査
- (4) 詳細設計審査

実施方法

実運用に際して、作動するストレスに対して余裕を取ることによって故障の発生を減らすことを意図した信頼性設計手法の一つであるが、対象により一般的に安全余裕（安全係数）とディレーティングに区分される。

(1) 安全余裕設計法

構造、材料など機械系部品に対するものであるが、定量的に扱う方法として安全係数を用いる方法と確率的に扱う方法がある。

安全係数は、過去の経験則に基づくもので、従来からの構造、材料あるいは環境下で用いることができる。

a. 安全係数を用いる方法

安全係数とは、合理的な方法では計算できないような設計の不確実性を考慮して、制限荷重または最大使用圧力に対して乗ずる倍数のことをいう。（他に安全率、設計係数、設計安全係数などと呼ぶ場合がある。）

安全係数を用いる設計方法の詳細については、JAXAの設計標準^{1),2)}を参照すること。参考までに、宇宙機開発における安全係数の例を表3.14-1に示す。また、安全係数を用いた過去の具体例を示す。

表3.14-1 安全係数の例¹⁾

分類	コンポーネント	設計係数			
		降伏	プルーフ	終極	破壊
一般構造物	飛行荷重 有人	(a)		1.40	
	無人	(a)		1.25	
	飛行荷重以外の荷重 (圧力は除く)				
	人間に危険なもの 危険が少ないもの	(a) (a)		1.50 1.25	
圧力容器	主液体タンク 有人	(a)	(b)	1.40	1.40
	無人	(a)	(b)	1.25	1.25
	固体ロケットモータ 有人	(a)	(b)	1.25	1.25
	無人	(a)	(b)	1.25	1.15
	気蓄器	(a)	1.67	—	2.22
	油力容器	(a)	2.00	—	4.00
	ガス、油圧配管	(a)	2.00	—	4.00
	推進薬供給ライン	(a)	1.50	1.88	

注(a)通常1.0であるが有人に対しては1.0以上。NASAの例では1.1を取る。

(b)1.0以上（試験条件は室温に換算）。NASAの例では1.05を取る。

具体例1：新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)構造の安全係数

新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)の構造の安全係数を表3.14-2に示す。

表3.14-2 HTV-Xの構造設計における安全係数の例

		打上げ時	軌道上
安全率	降伏	1.0 ^{注1)}	1.1 ^{注2)}
	終極	1.25 ^{注1)}	1.5 ^{注2)}
圧力に対する安全率 (与圧モジュール)	プルーフ	同右	1.5
	降伏		1.65
	終極		2.0

注1) 打上げ時荷重に対して解析のみで検証の場合は、Non Test Factor1.5を掛ける

注2) 軌道上荷重に対して解析のみで検証の場合は、降伏1.25、終極2.0とする

具体例 2 : 航空機の静強度に対する安全係数

航空機の静強度の安全係数としては1.5（終極）を使用するが、強度が不確実な部位、部材に対しては、安全係数1.5に更に特別係数を乗じた余裕を取る。表3. 14-3に耐空性審査要領に規定されている特別係数を示す。

表3. 14-3 耐空性審査要領で規定されている特別係数

		部 材	特別係数	備 考	
金具係数	一般金具		1. 15		
	座席、寝台の安全ベルト ハーネス取付部		1. 33		
面圧係数	操縦系統	ヒンジ軸受部	6. 67	ボール、ローラベアリングについては、定格値以上の荷重がかからないようにする。	
		角運動を行う連結金具軸受部 (ボール、ローラベアリングを除く)	押引式		3. 33
			索		2. 0
鋳物係数	重要	外観検査、非破壊探傷、レントゲン、1個の静試験	1. 5	(重要鋳物の例) 鋳造物取付金具、操縦系統部品、舵面ヒンジ及びバランスウエイト取付部、座席・寝台安全バンド、燃料・滑油タンクの支持部及び取付金具、キャビン・プレッシャバルブ	
		同上、ただし3個の静試験	1. 25		
		同上+プロセス監視、ただし1個の静試験	1. 0		
	その他	外観検査のみ	2. 0		
		同上+非破壊探傷	1. 5		
		同上+レントゲン検査	1. 25		
		同上+3個の静試験+クーポン抜取試験	1. 0		
面圧部		1. 25	他で大きい面圧係数を要求される場合は、大きい方をとる。*		

* 大きい方の面圧係数を取れば、鋳物係数を用いる必要はない。

(注) 荷重の割増係数

- ① 終極荷重 = (制限荷重) × (安全率1.5)
- ② 与圧室制限荷重 = (最大圧力差荷重) × (割増係数1.33)
ただし、他のすべての荷重省略

具体例 3 : 艀装・流体系の安全係数

液体燃料、油圧などを使用するエンジン、タンク、その他の艀装品の安全係数についての仕様書及び実際の適用例を示す。

a) 液体ロケット関係

NASA-STD-5012 : STRENGTH AND LIFE ASSESSMENT REQUIREMENTS FOR
LIQUID FUELED SPACE PROPULSION SYSTEM ENGINES

金属構造体及びコンポーネント、結合部及びファスナー

- ・ 降伏荷重 : 最大予測荷重 $\times 1.10$ 倍 (最小)
- ・ 終極荷重 : 最大予測荷重 $\times 1.40$ 倍 (最小)

b) 機体の推進系配管艀装関係

MIL-P-27409 : Propellant Feed System, Rocket Propellant

・ 破壊圧力

無人機 : 最大予測作動圧力 $\times 1.25$ 倍 (最小)

有人機 : 最大予測作動圧力 $\times 1.40$ 倍 (最小)

c) 機体の推進系コンポーネント

MIL-C-27410 : Components, Rocket Propulsion Fluid System

・ 破壊圧力 : 最大予測作動圧力 $\times 2.0$ 倍 (最小)

・ 保証圧力 : 最大予測作動圧力 $\times 1.5$ 倍 (最小)

d) 油圧システム関係

MIL-H-25475B : Hydraulic System, Missile, Design, Installation

・ 破壊圧力

ア. 配管ホース類 : 公称作動圧力 $\times 4$ 倍

イ. その他 : 公称作動圧力 $\times 2.5$ 倍

・ 保証圧力

ア. 配管ホース類 : 公称作動圧力 $\times 2$ 倍

イ. アクムレータリザーバ : 公称作動圧力 $\times 1.66$ 倍

ウ. その他 : 公称作動圧力 $\times 1.5$ 倍

e) ガスジェットにおける適用例

ガスジェット（RCS：Reaction Control System）は、実際に予測される最大の作動圧力に表3.14-4に示す安全係数を乗じて設計した。詳細はJERG-0-001「宇宙用高圧ガス機器技術基準」³⁾を参照のこと。

表3.14-4 RCS関連の安全係数

構造区分	降伏応力	引張強度
推進タンク	1.25以上	1.5以上
配管やコンポーネント	1.5以上	2.5以上

b. 余裕安全率

強度解析の評価法の一つに、従来から余裕安全率が使われている。これは規定の負荷応力に対して、許容強度にどの程度余裕があるかを示したものである。なお、余裕安全率を安全余裕ということもある。

余裕安全率をMS、許容応力（又は荷重）をA、終極荷重をDとすると、MSは次のように定義されている。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{A-D}{D} \\ &= \frac{A}{D} - 1\end{aligned}$$

MS ≥ 0 が設計基準である。

詳細については、JAXAの設計標準^{1),2)}を参照すること。

c. 確率的に扱う方法⁴⁾

構造材料の機械的特性には本来バラツキがあり、これに製造工程でのバラツキが加わり、更に運用中の劣化のバラツキがあり、全体として構造物の強度にある程度のバラツキがある。

運用中の構造物に掛かる荷重も時間的、空間的に変動し、各部材への荷重配分や局所応力分布も変動する。構造物の強度とそれに掛かる荷重のそれぞれにバラツキを考えて、構造物の破壊や寿命を確率・統計的現象として取扱うのが構造信頼性の立場である。

数理的に取扱うために考えられた数学モデルのひとつに「応力-強度モデル」（SSモデル）がある。SSモデルは、構造物の破壊は外力の強さ（ S_L ）が材料の強度（ S_R ）を上回ったときに生ずるという仮定の基に作

られたものである。すなわちそれぞれの応力分布が与えられたとき、構造物が破壊しない確率Rは次のように定義される。

$$\begin{aligned} R &= P_r (S_R > S_L) \\ &= P_r (S_R - S_L > 0) \end{aligned}$$

いま S_R 、 S_L も正規分布に従うとすると $S_R - S_L$ も正規分布となる。

$$\begin{aligned} S_R &= N(\mu_1, \sigma_1^2), \quad S_L = N(\mu_2, \sigma_2^2) \text{ とおくと、} \\ R &= N(\mu_1 - \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \end{aligned}$$

ここに μ_i 、 σ_i ($i = 1, 2$) はそれぞれ S_R 、 S_L の平均値と標準偏差である。

$$\begin{aligned} R &= N(\mu_1 - \mu_2, \sigma_1 + \sigma_2) \\ &= \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \exp\left(-\frac{(X - (\mu_1 - \mu_2))^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right) dx \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-kp}^{\infty} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2}\right) d\mu = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{kp}^{\infty} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2}\right) d\mu \\ & \quad kp = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad \mu = \frac{X - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \end{aligned}$$

構造信頼度と安全係数の関係は、材料の許容応力を μ_A 、制限荷重における応力を μ_L 、安全係数を S_F で表すと図3.14-1のようになる。

$$\begin{aligned} \text{図から} \quad \mu_A &= \mu_1 - k p_1 \sigma_1 \\ \mu_L &= \mu_2 + k p_2 \sigma_2 \\ S_F &= \mu_A / \mu_L \end{aligned}$$

である。

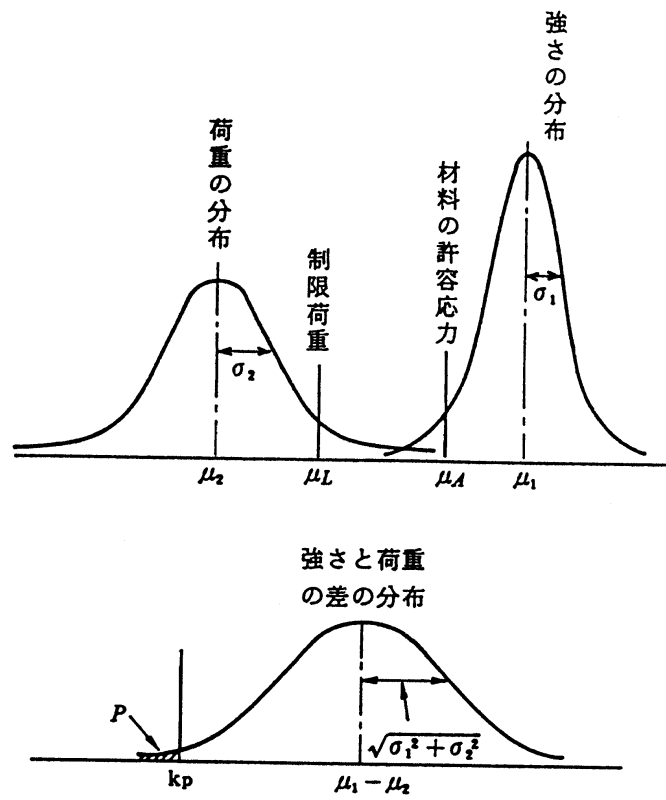


図3.14-1 強さと荷重の分布⁴⁾

(2) ディレーティング設計法

ディレーティングとは機能部品（特に電気・電子部品）に対する安全余裕設計手法であり、定格値よりも低いストレスで作動させることであって、部品に加わる電氣的、熱的、機械的ストレスを軽減することである。

熱的及び機械的ストレスの軽減については、部品の取付場所の環境条件（温度、振動、衝撃など）に対する設計に依存している。

それで今日では、ディレーティングといえは電氣的作動によるストレス低減のことをいう場合が多い。

ディレーティングの意味は次のようなものである。

- a. 部品に故障を生じさせるストレスレベルと作動ストレスレベルの間に余裕を取ることによって故障が起り難くする。
- b. 設計当初に予期しなかった異常なストレスが加わる場合に対する考慮。

EEE-INST-002⁵⁾及びECSS-Q-ST-30-11⁶⁾には宇宙機器用の電子部品に用いるディレーティングの基準値が記載されている。これらは設計者に役立つものであるが、実際に使用するディレーティング基準については、適切に審査され、プロジェクトにより承認される必要がある。

設計で決める部品の作動ストレスは、その部品の最大定格にディレーティング基準値を乗じたものである。

宇宙プロジェクトにおける具体例を以下に示す。

具体例 1 : トランジスタのディレーティング基準

宇宙機搭載電子機器用として、次に示すガイドライン文書をベースに設定されたトランジスタのディレーティング基準例を表3. 14-5に示す。

- MIL-STD-975F : NASA STANDARD (EEE) PARTS LIST (APPENDIX A) ⁷⁾
- GSFC PREFERRED PARTS LIST PPL-16 (APPENDIX B) ⁸⁾

表3. 14-5 トランジスタのディレーティング基準

次のディレーティング基準に加え、部品仕様書に規定された推奨作動条件を考慮すること。又要求寿命期間の使用における特性の劣化・変動を考慮すること。

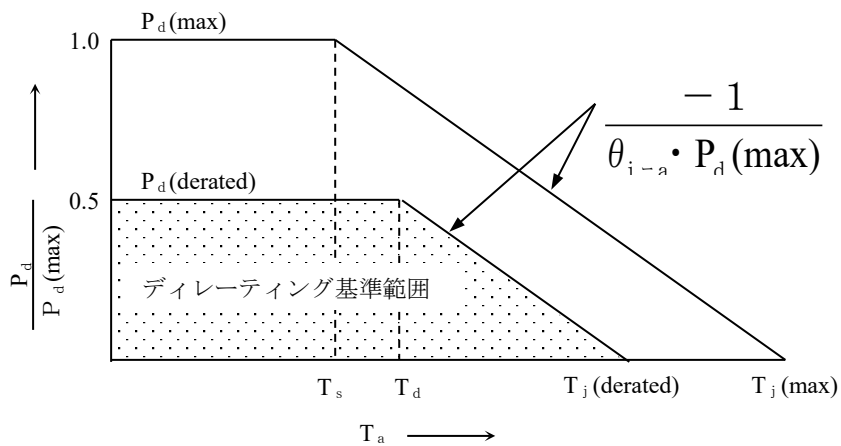
タイプ	パラメータ	(注1) ディレーティング値	(注2) 接合部温度ディレーティング値
バイポーラ トランジスタ	電力	定格×0.5以下(注2)	1) $T_{jmax} = 125^{\circ}\text{C}$ 定格の場合 $T_j \leq 85^{\circ}\text{C}$ 2) $T_{jmax} = 150^{\circ}\text{C}$ 定格の場合 $T_j \leq 100^{\circ}\text{C}$
	電圧 (DC + Peak)	定格×0.75以下	
	電流 (DC + Peak)	定格×0.75以下	
電界効果 トランジスタ	電力	定格×0.5以下(注2)	3) $T_{jmax} = 175^{\circ}\text{C}$ 定格の場合 $T_j \leq 115^{\circ}\text{C}$ 2) $T_{jmax} = 200^{\circ}\text{C}$ 定格の場合 $T_j \leq 130^{\circ}\text{C}$
	電圧 (DC + Peak)	定格×0.75以下(注3)	
	電流 (DC + Peak)	定格×0.75以下	

(注1)安全動作領域(SOA or ASO)が規定されるトランジスタは、上記のディレーティング基準を満足し、かつ過渡現象と温度を考慮して安全動作領域を満足すること。

(注2)電力のディレーティング値は、上記のディレーティング基準を満足し、かつ付図-1及び付図-2から求めた接合部温度が上記の接合部温度ディレーティング値を満足すること。

(注3)パワーMOSFETのゲート・ソース間電圧は、定格×0.6以下とすること。

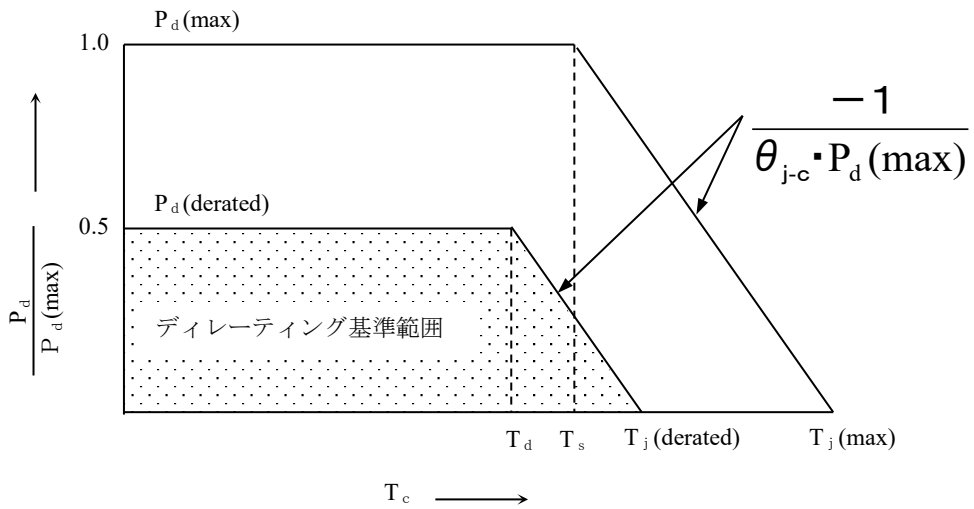
付図－１ 電力のディレーティング値VS接合部温度ディレーティング値
(ヒートシンクなしの場合)



- P_d : 印加電力
 $P_d(\max)$: 最大定格電力 (T_s における値)
 $P_d(\text{derated})$: 電力のディレーティング値 (最大)
 $T_j(\max)$: 最大接合部温度
 $T_j(\text{derated})$: 接合部温度のディレーティング値 (最大)
 T_s : 最大定格電力の温度ディレーティングポイント
 T_a : 基準点温度
 T_d : 接合部温度のディレーティング値 (最大) を満足させるために印加電力を減少させる温度ポイント
 θ_{j-a} : 接合部－基準点間熱抵抗
 $T_a \leq T_d$: $P_d \leq P_d(\max) \times 0.5$
 この時 $T_j = T_a + P_d \cdot \theta_{j-a} \leq T_j(\text{derated})$
 $T_a > T_d$: $P_d \leq \frac{T_j(\text{derated}) - T_a}{\theta_{j-a}}$
 この時 $T_j = T_a + P_d \cdot \theta_{j-a} \leq T_j(\text{derated})$

(注) 基準点温度 (T_a) は、必要に応じて以下の通り読み替えて使用のこと。
 ① 部品ケースを基準とする場合 : T_c
 ② 部品リードを基準とする場合 : T_1

付図－２ 電力のディレーティング値VS接合部温度ディレーティング値
 (ヒートシンク付の場合)



- P_d : 印加電力
- $P_d(\max)$: 最大定格電力 (T_s における値)
- $P_d(\text{derated})$: 電力のディレーティング値 (最大)
- $T_j(\max)$: 最大接合部温度
- $T_j(\text{derated})$: 接合部温度のディレーティング値 (最大)
- T_s : 最大定格電力の温度ディレーティングポイント
- T_c : ケース温度
- T_d : 接合部温度のディレーティング値 (最大) を満足させるために印加電力を減少させる温度ポイント
- θ_{j-c} : 接合部－ケース間熱抵抗
- $T_c \leq T_d$: $P_d \leq P_d(\max) \times 0.5$
 この時 $T_j = T_c + P_d \cdot \theta_{j-c} \leq T_j(\text{derated})$
- $T_c > T_d$: $P_d \leq \frac{T_j(\text{derated}) - T_c}{\theta_{j-c}}$
 この時 $T_j = T_c + P_d \cdot \theta_{j-c} \leq T_j(\text{derated})$

具体例 2 : 個別半導体のディレーティングと故障率

MIL-HDBK-217⁹⁾E版の個別半導体に関する故障率モデル式及び表3.14-6により求めたトランジスタ(シリコン、NPN型)の温度ディレーティングと故障率の関係を図3.14-2に示す。

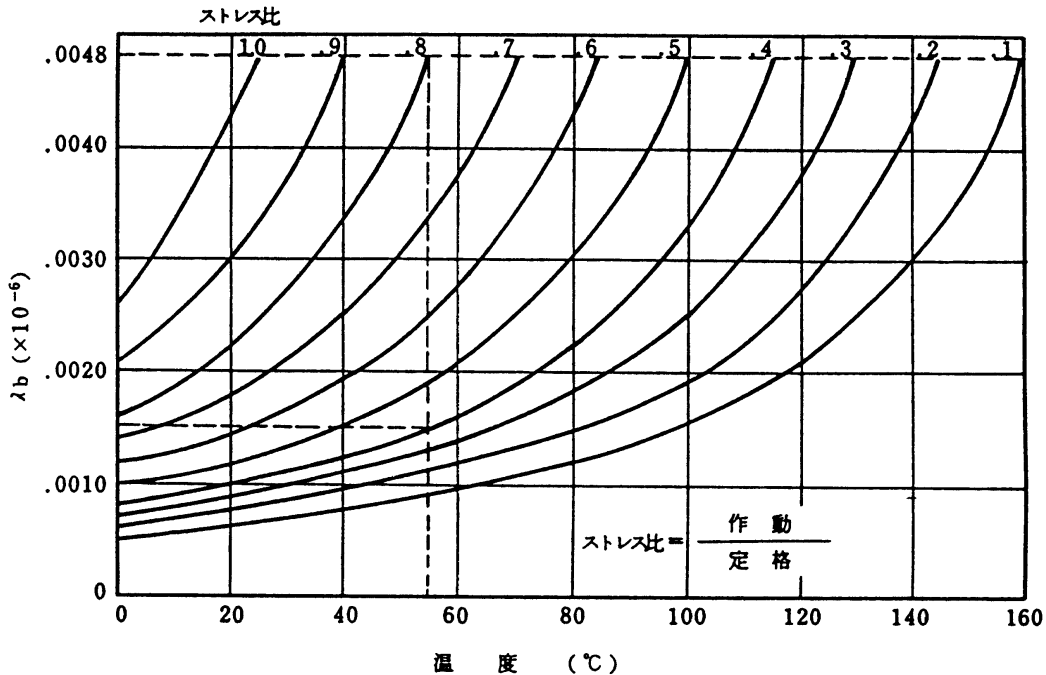


図3.14-2 トランジスタ(シリコン・NPN型)のディレーティング曲線

この図において、定格500mW(25°C)のトランジスタを環境温度55°Cで2種類の異なったディレーティング(80%=400mW, 40%=200mW)で使用する場合を考える。

55°Cにおいて80%ディレーティング(400mW)で使用すると、故障率 $\lambda_b = 0.0048 \times 10^{-6}$ である。一方このトランジスタを40%ディレーティング(200mW)で使用すると、 $\lambda_b = 0.0015 \times 10^{-6}$ に低下し、3.2倍の信頼性向上を達成できることになる。

なお、個別半導体に関する故障率モデルは下式で表される。

$$\lambda_P = \lambda_b (\pi_E \times \pi_A \times \pi_Q \times \pi_R \times \pi_{S2} \times \pi_C)$$

λ_P : 部品故障率

λ_b : 基準故障率

π_E : 環境ファクタ

π_A : アプリケーションファクタ

π_Q : 品質ファクタ

- π_R : レーティングファクタ
- π_{S2} : 電圧ストレスファクタ
- π_C : 複雑度ファクタ (一つのパッケージに複数のデバイスが組み込まれた場合に適用する)

基準故障率(Base Failure Rate : λ_b)は、個別半導体部品を例にとると、下式で求められる。

$$\lambda_b = A \cdot \exp \left(\left(\frac{N_T}{273 + T + (\Delta T) S} \right) + \left(\frac{273 + T + (\Delta T) S}{T_M} \right)^P \right)$$

- A : スケーリングファクタ
- N_T, T_M, P : シェーピングパラメータ
- T : 作動温度(°C)
- ΔT : 無負荷時の最高許容温度と定格負荷時の最高許容温度との温度差
- S : 電氣的定格に対する実使用ストレスの比

個別半導体部品に関するスケーリングファクタ、シェーピングパラメータを表3.14-6に示す。

なお、上記の基準故障率 (λ_b) の算出式はArrheniusのモデルがベースになっている。

$$\lambda_b = K \cdot \exp \left(-\frac{C}{T} \right)$$

- K : 定数
- C : 活性化エネルギーによって決まる定数
- T : 絶対温度

表3.14-6 個別半導体の基礎故障率パラメータ
(MIL-HDBK-217E)

Group	Part Type	λ_b Constants				$\triangle T$	
		A	N_T	T_M	P		
Transistors	I	Si, NPN	0.0189	-1052	448	10.5	150
		Si, PNP	0.0648	-1324	448	14.2	150
		Ge, PNP	6.5	-2142	373	20.8	75
		Ge, NPN	21	-2221	373	19	75
	II	FET	0.52	-1162	448	13.8	150
	III	Unijunction	3.12	-1779	448	13.8	150
Diodes	IV	Si, Gen. Purp.	0.172	-2138	448	17.7	150
		Ge, Gen. Purp.	126	-3568	373	22.5	75
	V	Zener/Avalanche	0.0068	-800	448	14	150
	VI	Thyristors	0.82	-2050	448	9.6	150
	VII	Microwave					
		Ge, Detectors	0.33	-477	343	15.6	45
		Si, Detectors	0.14	-392	423	16.6	125
		Si, Schottky Det.	0.005	-392	423	16.6	125
Ge, Mixers		0.56	-477	343	15.6	45	
	Si, Mixers	0.19	-394	423	15.6	125	
VIII	Varactor, PIN, Step Recovery & Tunnel	0.93	-1164	448	13.8	150	

具体例 3：束ねたワイヤのディレーティング基準

ECSS-Q-ST-30-11に示された束ねたワイヤの本数に応じたディレーティング値を表3.14-7及び図3.14-3に示す。

計算式は以下のとおりとなる。

$$IBW = ISW \times K$$

IBW : 束ねたワイヤ1本あたりのディレーティング後の許容電流

ISW : 束ねる前のワイヤ1本の許容電流^{注)}

K : 束ねるワイヤの本数に応じた係数

注) ISWとして、束ねる前のワイヤ1本のディレーティング値の規定がECSS-Q-ST-30-11の6.32項に記載されている

表3.14-7 束ねたワイヤの本数によるディレーティング係数

本数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	25	50	100	200	300
係数	1	0.9	0.81	0.76	0.71	0.66	0.62	0.6	0.59	0.57	0.49	0.4	0.29	0.21	0.15	0.12

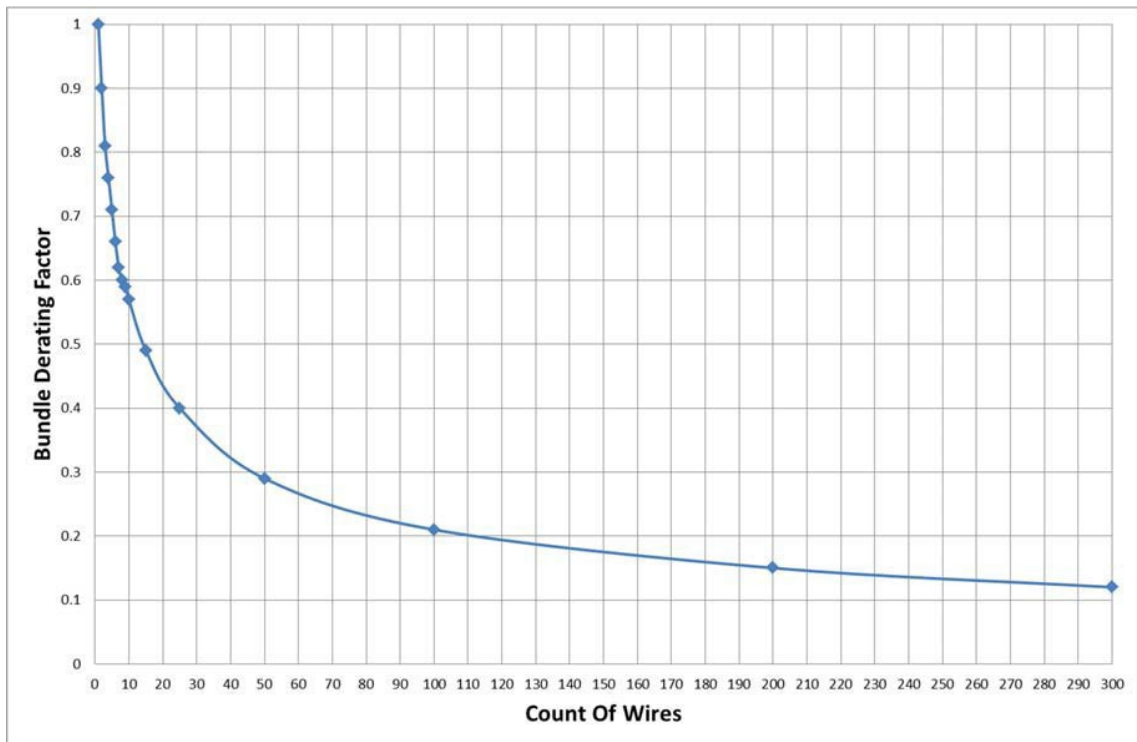


図3.14-3 束ねたワイヤの本数によるディレーティング係数

実施しない場合の影響

- (1) 使用・環境条件に対して余裕をとらないことになる。これは一見、最適設計を行ったような錯覚を生むが、実機の製作、試験、運用において故障が多発し、信頼性の低さからプロジェクトの失敗につながる恐れがある。
- (2) 構造に絡む様々な原因によるバラツキに対して敏感なシステムになる。この結果、表面的には不具合に至らなくても、性能がバラつき、扱いにくいシステムになってしまう。

参考文献

- 1) CSA-113004 「金属製圧力容器設計の基礎技術」
- 2) JERG-2-320 「構造設計標準」
- 3) JERG-0-001 「宇宙用高圧ガス機器技術基準」
- 4) 上山忠夫、「構造信頼性」、日科技連出版社、1984年
- 5) EEE-INST-002 「Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating」
- 6) ECSS-Q-ST-30-11 「Space product assurance, Derating - EEE components」
- 7) MIL-STD-975 「NASA STANDARD Electrical Electronic Electromechanical (EEE) Parts List」 (廃止済み)
- 8) GSFC-PPL-16 「GSFC PREFERRED PARTS LIST」 (最終版はPPL-21)
- 9) MIL-HDBK-217 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」

3.15 部品ストレス解析

効果

部品ストレス解析は、部品の定格値及びディレーティング基準に対して負荷されるストレス（電氣的、機械的、熱的）を解析することにより、部品適用の定量的評価と信頼性確保及び長寿命化する方策として活用できる。

効果的な実施時期

詳細設計段階

設計が確定して、ストレス条件が明確となり、各構成部品の仕様が明確になった時期に実施する。

技術的根拠

部品の寿命は、負荷されるストレスと密接な関係があるため、ストレスに対する十分な余裕を持たせることにより、部品の信頼性を確保することができる。

したがって、部品に負荷されるストレスの評価が必要となり、定量的に評価する手法が部品ストレス解析である。

JMR-004の対応項番

4.3.7 部品ストレス解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼度予測：ストレス解析法
- (2) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査
- (3) EEE部品のパッケージング審査

実施方法

以下に示す手順で実施する。

(1) ディレーティング基準の設定

EEE-INST-002¹⁾又は ECSS-Q-ST-30-11²⁾のディレーティングガイドライン、プロジェクト固有の部品基準書又は製造メーカ固有の部品基準書などにより、評価基準となる各部品に対するディレーティング基準を設定する。

ディレーティング基準の代表的な例を表3.15-1に示す。

表3.15-1 ディレーティング基準の一例³⁾

品種	ディレーティング 基準推奨値	パラメータ
コンデンサ	60%	電圧
抵抗器	60%	電力
トランジスタ	60%	電力
	75%	電圧
	80%	接合部温度
集積回路	90%	供給電圧
	80%	電圧
	80%	接合部温度
コイル・トランス	50%	電圧
コネクタ	75%	電圧

(2) 実使用ストレスの算出

各コンポーネント内の回路に使用される電気、電子及び電気機械部品（以下「EEE部品」という）に、加わるストレス（電氣的、機械的、熱的）を回路計算にて求める。ストレス条件は回路中で想定される作動条件の定常値（公差の上限、環境条件は認定試験レベル）及び最悪値（表3.15-2参照）を考慮して算出する。

表3.15-2 ストレス条件（最悪値）

ストレス	入力条件
電氣的パラメータ	ワーストケース解析で求めた最悪値
温度	認定試験温度での熱解析によって求めた部品取付け部温度から解析対象部までの温度上昇分を加える
振動	認定試験レベル
衝撃	認定試験レベル
放射線	シールド厚を考慮した放射線解析の結果から予測した放射線吸収線量(Total Dose)など

(3) ストレスについての比較

算出した実使用条件でのストレス値とディレーティング基準及び定格値に対しての比較を各パラメータ毎に行なう。

(4) 解析の実施

解析の結果から、ディレーティング基準又は定格値から外れるストレスが負荷される部品に対してはストレスを軽減させる対策を施し、コンポーネント、サブシステム、システムそれぞれがミッション期間中、軌道上で正常に作動し、ミッションを達成することを保証する。

(5) 解析結果の評価、報告

部品ストレス解析の妥当性について、設計担当部門と信頼性保証部門、部品の専門組織などによる適用審査（部品、デバイス、材料、工程プログラム）で確認する。

また、熱的ストレスについてはパッケージング審査でも確認する。

詳細設計審査においては、詳細設計完了時点で部品のストレス条件が決定されるため、部品ストレス解析の結果をインプットパッケージに記述し審査する。

なお、設計変更が発生したときは解析を見直して設計変更の妥当性を確認するとともに、解析結果を最新状態に維持改定する。

部品ストレス解析を実施した例として、部品適用審査（3.57項参照）の記録例を表3.15-3に示す。

(6) 信頼度予測(ストレス解析法)

部品ストレス解析の結果から、実際に部品に負荷されるストレス条件に基づいた故障率を算出し、信頼度予測値を求めることができる。

部品の故障率は負荷されるストレスと密接に関係し、ストレス解析法による算出式がMIL-HDBK-217⁴⁾に部品品種毎に記載されている。この算出式によればストレス（熱的、電氣的）を軽減すれば、故障率が低下することを表わしている。

電圧ストレスと温度に対する故障率の関係を図3.15-1に示す。抵抗器(RWR)を例として、電圧ストレスの軽減率はD.F. (Derating Factor)=実使用値/定格値で表わされ、0.1, 0.5, 0.9の場合を示している。

注) 図3.15-1はあくまでも負荷されるストレスと故障率との関係の一例を示したものであり、ここに示されたディレーティング値で使用してよいということではない。抵抗器(RWR)のディレーティング基準曲線を図3.15-2に示す。

(7) シングルイベント耐性の検討への利用

パワーMOSFET及びNPN型シリコンハイパワートランジスタなどにおいては、たとえディレーティング基準内であっても品種及び使用条件によっては、重イオンによるシングルイベントに対する耐性に問題があり、永久故障（シングルイベントバーンアウトなど）する可能性がある。

部品ストレス解析の結果は、これらの部品のシングルイベント耐性を検討するために利用できる。

実施しない場合の影響

部品ストレス解析を実施しないと、部品に対するストレスが過大であるものを事前に抽出して除去することが出来ない。そのため部品の劣化による故障を未然に防止することが困難である。既存設計を流用し、設計変更がなく、かつストレス条件が同一の場合は、部品ストレス解析の結果は既存設計で得られた結果と同一となるので、既解析結果を利用しても問題はない。

参考文献

- 1) EEE-INST-002 「Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating」
- 2) ECSS-Q-ST-30-11 「Space product assurance - Derating - EEE components」
- 3) PD-ED-1201 「EEE PARTS DERATING、NASA Preferred Reliability Practices」
- 4) MIL-HDBK-217 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」

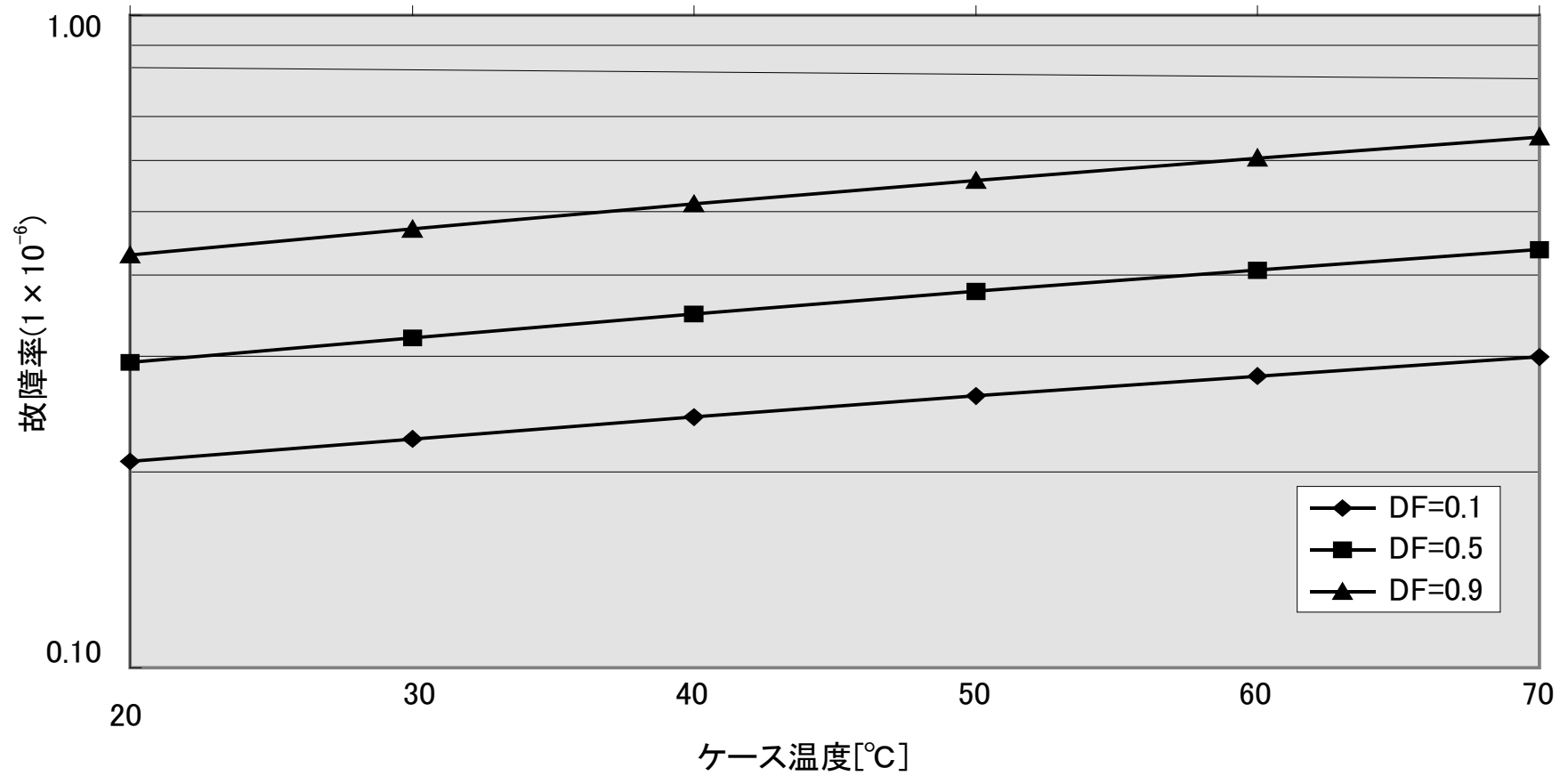


図3.15-1 DF値と故障率の関係

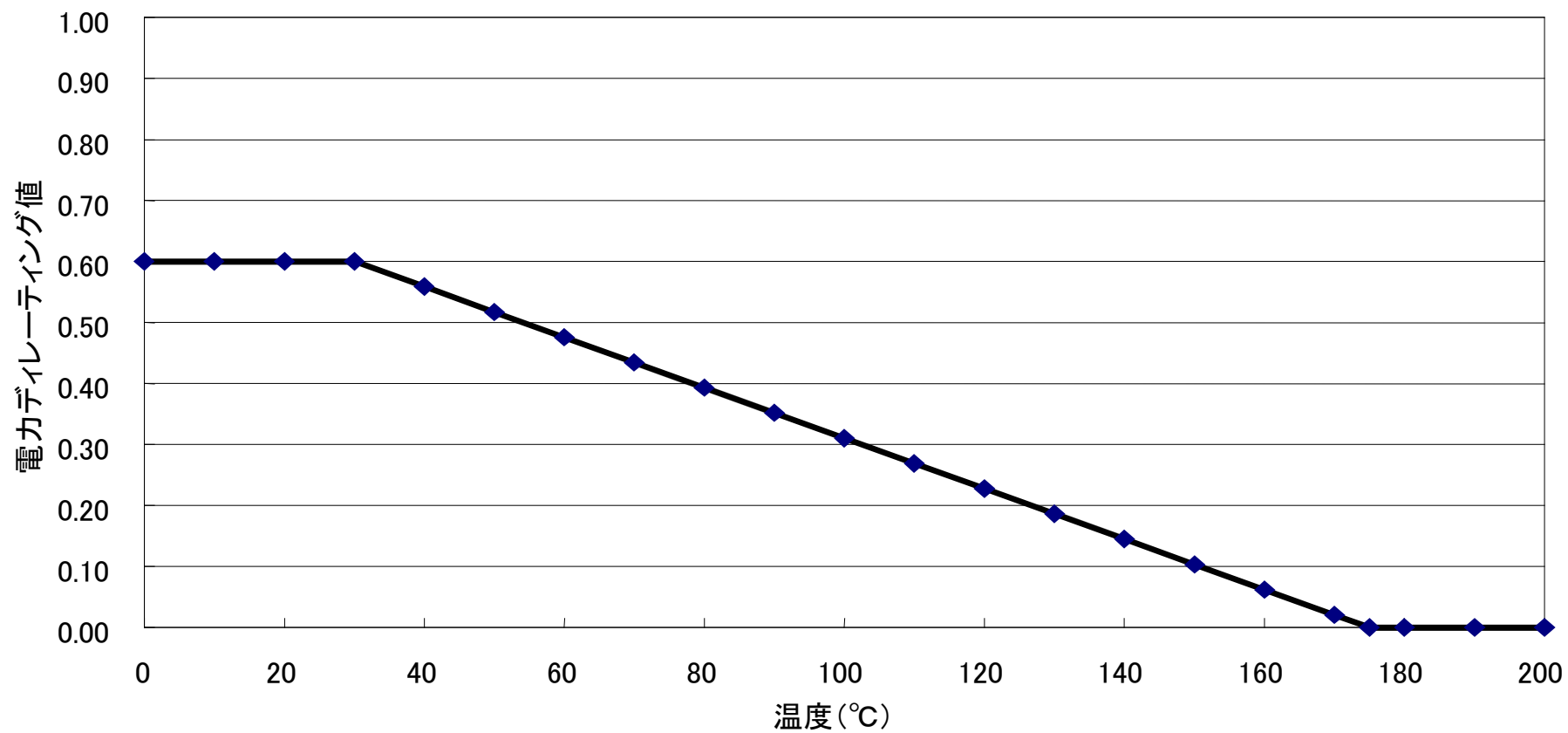


図3.15-2 抵抗器 (RWR) のデレージング基準曲線

表3. 15-3 部品適用審査記録の例 (抵抗器)

回路符号	部品番号	使用温度範囲 (°C)	抵抗値 (Ω)	許容差 (%)	消費電力 (W)	印加電圧 (DC+ACピーク) (V)	ジャン表面積 (RERのみ) (平方センチ)	使用抵抗数 (RZのみ)	審査	備考
(R71)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(3.48)	(1)	(0.31 / 0.880) ○	(1.1 / 1.93) ○			[o]	[]
(R72)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(1.74)	(1)	(0.16 / 0.880) ○	(1.1 / 1.37) ○			[o]	[]
(R73)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(1.74)	(1)	(0.16 / 0.880) ○	(1.1 / 1.37) ○			[o]	[]
(R74)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(1.74)	(1)	(0.16 / 0.880) ○	(1.1 / 1.37) ○			[o]	[]
(R75)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(1.74)	(1)	(0.16 / 0.880) ○	(1.1 / 1.37) ○			[o]	[]
(R76)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(475)	(1)	(0.37 / 0.880) ○	(14 / 22.60) ○			[o]	[]
(R77)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(475)	(1)	(0.37 / 0.880) ○	(14 / 22.60) ○			[o]	[]
(R78)	(NASDARWS80)	(-15~65/-55~275) ○	(3.48)	(1)	(0.31 / 0.880) ○	(1.1 / 1.93) ○			[o]	[]

(注) 各パラメータの数値の左欄は実際の使用条件の値、右欄はデイレートイング値を示す。

3.16 FMEA/FMECAの活用

効果

- (1) コンポーネントや構成ユニットの故障モードとシステムのミッションに与える影響の因果関係が明確になり、単一故障点（故障すると人命又はミッション遂行能力が喪失される品目）のようなクリティカルな構成要素が識別できる。
- (2) 識別された致命的な故障モードに対して、設計段階で是正処置（設計余裕の確保、特別な工程管理の採用、故障許容設計の採用など）を図ることができる。
- (3) FMEA/FMECAは、システム／サブシステム／コンポーネントの、重要度、新規度、変更度等を考慮し、適正なレベルで行われるべきである。一般にシステム／サブシステムでのFMEA/FMECAはコンポーネントFMEA/FMECA結果を活用することから、システム／サブシステムでのFMEA/FMECAには全体としての網羅性が求められ、コンポーネントでのFMEA/FMECAには抜けのない詳細な解析が求められるといえる。

効果的な実施時期

基本設計段階

設計の進捗状況に合わせ適時見直しする必要がある。

技術的根拠

FMEA/FMECAは設計から潜在的な故障点を発見し、それらの故障モードがシステムに致命的な影響を与えないように設計及び運用上の対策を図る手法であり、原則として、設計段階での信頼性の評価方法として考えられたものである。

JMR-004の対応項番

4.3.6 FMEA(故障モード及び影響解析)及びFMECA(故障モード・影響及び致命度解析)

関係の深い信頼性業務

- (1) 信頼性ブロック図
- (2) クリティカル品目リスト：CIL
- (3) 信頼度予測
- (4) 基本設計審査
- (5) 詳細設計審査
- (6) 試験計画書の作成
- (7) 信頼性管理品目の識別

実施方法

FMEAは、設計の進展に応じて絶えず更新していき、設計への反映、設計審査の手段に使用するのはもちろん、試験のチェックアウト、不具合除去対策、更には製造・検査工程のチェックなどにも役立てることができる。

FMEAの活用例を図3. 16-1に示す。

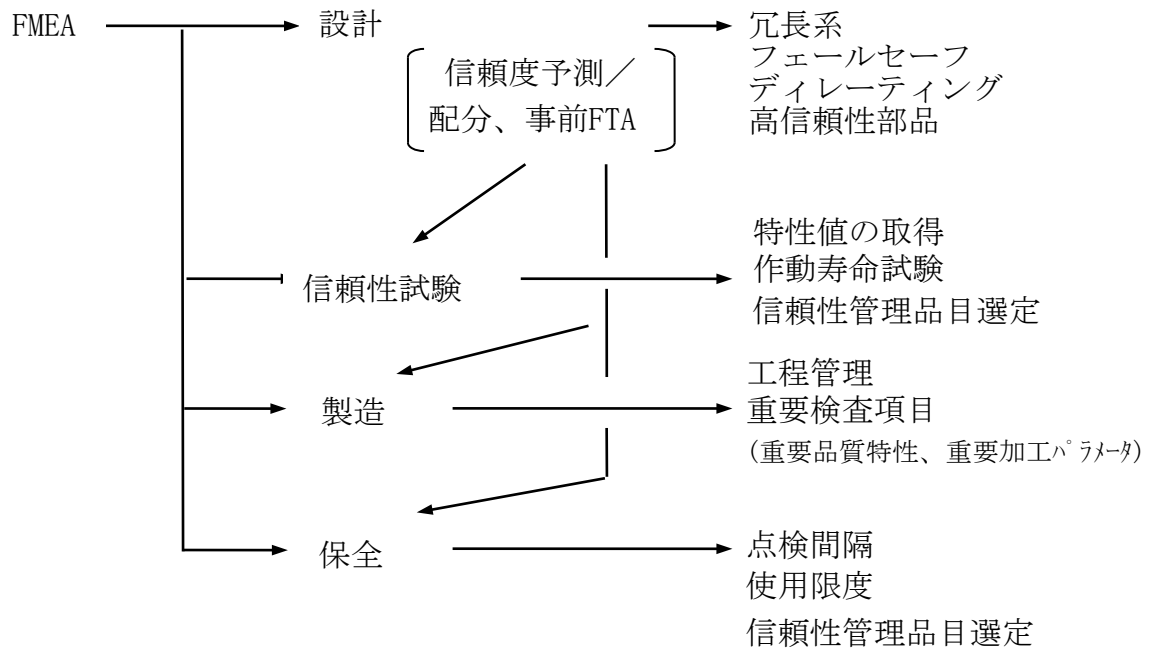


図3. 16-1 FMEA活用例

(1) 設計フェーズとの兼合い

FMEAは設計の初期の段階から設計の進捗状況に合わせて適時実施し、解析結果を設計に反映することによって、システムの信頼性向上に役立てる必要がある。通常、宇宙機器システムの開発では特別の場合を除き、各設計フェーズで実施されるFMEAは図3.16-3の通りである。

- a. 概念設計の一環として実施されるFMEAは、明確になったシステム要求条件に対応するシステム構成に基づき、可能な範囲の機能要素を洗い出し、それら機能要素の故障モードを推定し、システムへの影響を評価する機能FMEAである。この機能FMEAの結果、明らかとなったクリティカルな構成要素の対策案は、可能な限りシステムに対する要求条件の見直しに反映される。
- b. 基本設計の一環として実施されるFMEAは、システムを構成するサブシステム、コンポーネントや構成ユニットの機能から、各コンポーネントの故障モードを推定し、システムへの影響を評価する機能FMEAである。この機能FMEAの結果、明らかとなったクリティカルな構成要素については可能な限りハードウェア上の対策（故障モードがソフトウェアによるものである場合は、ソフトウェアに対する対策）を図り故障発生の可能性を小さくする。
また、宇宙機器システムは大規模であり、開発担当メーカーが複数になることが多く、このような場合、システムを構成するコンポーネント間のインタフェース点のみを取り上げたインタフェースFMEA(3.19項参照)も機能FMEAに合わせて実施する。
更に、新規に採用する製造工程、製造工程の故障が機器の機能に重大な影響を与えるような工程、及びクリティカル品目の工程などについては工程FMEA(3.20項参照)を実施し、欠陥の作り込みを予防する。
- c. 詳細設計の一環で実施されるFMEAは、設計仕様書に対して明らかとなった設計条件及び図面を参照して部品あるいはデバイスの故障モードに基づき、構成ユニットやコンポーネント、サブシステム、システムのミッションへ与える影響をボトムアップして解析し、システムへの影響を評価する詳細FMEAである。この詳細FMEAの結果に基づき、基本設計段階で実施した機能FMEAの結果及びその対策、処置を見直し、クリティカルな構成要素のシステムに与える影響を除去あるいは軽減するために、設計上及び運用上での対策を図り、故障発生の可能性を最小化する。基本設計段階で実施したインタフェースFMEA、工程FMEAについても、詳細FMEAの結果を照らして必要な見直しを行う。
- d. 製作・試験段階を通して行われる維持設計では、PM(プロトタイプモデル)のQT(認定試験)及びFM(フライトモデル)のAT(受入試験)において異常/故障が発生し、その是正処置として設計上の対策が必要となった場合

など、設計変更を行うに当たっては、当該個所について詳細設計段階で行ったFMEAの結果を見直し、新たな故障発生の可能性を低減する。

(2) FMEA/FMECAの選定

FMEAの解析は全ての機器を対象とするのが原則だが、対象機器の新規性や変更規模並びに過去の解析実績等を踏まえて、種々あるFMEAの適用可否を検討し、選定する。

また、FMEAによる影響度評価に加えて、致命度(発生頻度が含まれる)を評価したい場合はFMECAを実施する。致命度を評価することによって、発生頻度の高い故障モードを識別することが可能となり、対策の優先順位を合理的に決定することができる。

FMEA/FMECAの選定例を次に示す(図3.16-2の作業フロー参照)。

a. 対象機器について、新規性、変更規模を次の区分で識別する。

<区分記号の意味>

区分：Ⅰ 図面及び製造条件・工程が同一であるもの

区分：Ⅱ 図面及び製造条件・工程の変更が軽微なもの

区分：Ⅲ 図面あるいは製造条件・工程の変更が中程度のもの

区分：Ⅳ 新規に開発する機器、あるいは新規に適用する工程

b. 区分Ⅰに該当する対象機器は、FMEAは不要(過去のFMEAを流用)。

c. 区分Ⅱに該当する対象機器の取り扱いについては、個別に調整して各種FMEAの可否を決定する。

d. 区分Ⅲ、Ⅳに該当する対象機器については、

① 対象機器の設計に新規/変更を有する場合は、機能FMEA、詳細FMEA、インタフェースFMEAを実施する。また、致命度解析を必要とする場合には機能FMECA、詳細FMECA、インタフェースFMECAを実施する。

② 工程に新規/変更を有する場合において、製造工程を新規に採用する場合、製造工程の故障が機器の機能に重大な影響を与えるような工程、及びクリティカル品目の工程などについては工程FMEAを実施する。また、致命度解析を必要とする場合には工程FMECAを実施する。

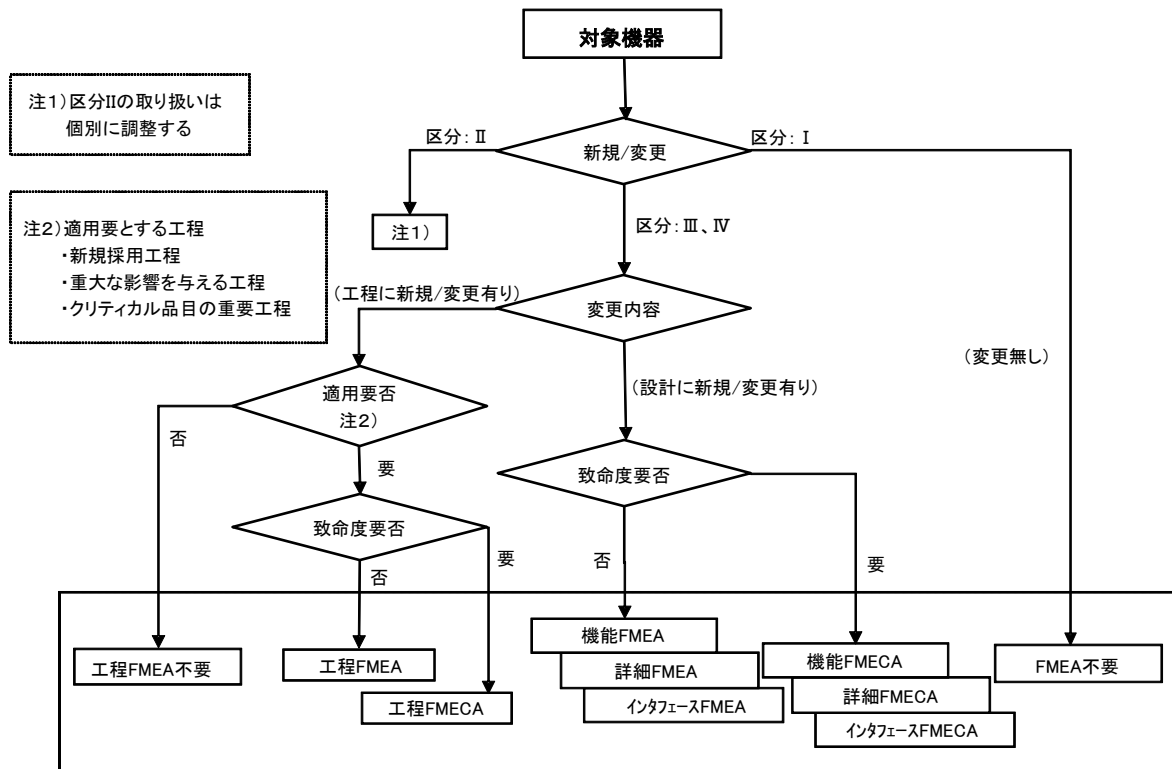


図3.16-2 各種FMEA/FMECAの選定フロー例

(参考)

a. 維持設計段階でのFMEA活用の一例

機能FMEAやインタフェースFMEAなどと、試験手順書や試験成績書などをクロスチェックすることにより、以下の様にお互いをより確実なものとすることに活用できる。

- ・手順書側のメリット；

試験項目や試験ケースに抜けがないか(試験が網羅的に実施されているか)の確認に活用できる。特に機能性能の検証のみに主眼をおいた場合、故障やその対策を想定した試験ケース(冗長系への切替えや、コンテイングジェンシー運用手順など)が抜ける可能性がある。

- ・FMEA側のメリット；

FMEAの解析結果(各故障モードやその対策)が実際のハードウェアと齟齬がないかを確認することに活用できる。

b. DRBFM ; Design Review Based on Failure Modeについて

FMEAをベースとし、設計変更点に着眼して未然防止を図るための手法としてDRBFM (Design Review Based on Failure Mode)がある。DRBFMは、設計の変更点によって引き起こされる影響(不具合事象)についてデザインレビューを通して漏れなく洗い出し、設計業務にフィードバックすべき未然防止策を検討する手法である。FMEAをベースとしたデザインレビューの手法の一つとして参考にされたい。

実施しない場合の影響

FMEA/FMECAを実施しないと、致命性の高い故障モードに対策がとられないままでシステムを運用する可能性があり、軌道上でその故障モードが発生した場合にはミッションの達成ができなくなる恐れがある。

なお、JAXAのこれまでに識別したFMEA実施に係る課題と対策を表3.16-1「FMEA実施手順上の課題と対策」に整理しているので参考に示す。

参考文献

なし

表3.16-1 FMEA実施上の課題と対策 (1/4)

区分	No.	課題	対策
準備段階	1	<p>JAXAプロジェクトとメーカー間でFMEAの実施レベルについて事前の調整が不足している。</p> <p>背景：承認文書である信頼性プログラム計画ではFMEAの詳細な実施計画が示されていない。</p> <p>事例 新規製造工程やクリティカル品目に対して工程FMEAが実施されず、重大不具合が発生した後で行われる場合があり、工程設計時の有効なツールとして活用されていない。</p> <p>背景：JMR-004信頼性プログラム標準、宇宙開発信頼性技術ハンドブックでは、新規に採用する製造工程やクリティカル品目の製造工程に対して工程FMEAを実施することになっている。</p>	<p>JAXAプロジェクトとメーカー側責任者は、契約後早期に機能FMEA、詳細FMEA、インタフェースFMEA、工程FMEAの要否、そのFMEAの目的、実施時期、対象範囲等を合意しておく。</p> <p>補足： 特に、工程FMEAについては、本来、新規製造工程やクリティカル品目の製造工程について実施することで工程設計を確立するよう、JMR-004信頼性プログラム標準で規定しているが、何か問題が生じた場合の事後の対策として実施された例があった。事後でなく、事前の解析ツールとして活用する。</p>
実施段階	2	<p>故障モードが十分識別／抽出されていないFMEAが散見される。</p> <p>背景：不具合事例が、故障モードとして網羅的に蓄積されておらず、また、原因と対応して整理されていない。</p>	<p>①過去の不具合経験や信頼性技術情報、類似コンポーネント、FMEA/FTAとのクロスチェック、安全解析とのクロスチェック等を行うことでFMEA実施の際の故障モードの網羅性を確保する。</p> <p>宇宙開発信頼性技術ハンドブックでは事前に故障モードに関する情報(過去の不具合事例を含む)を収集・整理(同ハンドブックの3.19項参照)し、故障モードの抽出漏れを無くすよう推奨している。中期的には、安全・信頼性推進部が各機器の故障モードの収集・整理を行うことを考えている。</p> <p>②故障モードの抽出に抜けのないことを徹底するための方策として以下の配慮が必要。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 機能欄には当該機器の機能を網羅する。 2) 関係する専門家が集まりブレインストーミングする。

表3.16-1 FMEA実施上の課題と対策 (2/4)

区分	No.	課題	対策
実施段階	3	FMEAが開発の早期に着手されず、また、継続的な設計改善に活用されていない。 背景：FMEAが基本設計段階から実施されず、設計変更に伴いFMEAを見直すということが少ない。	信頼性プログラム標準では基本設計段階からFMEAを実施し設計の進捗に合わせて適時見直すことを規定している。FMEA結果は設計審査の審査資料のみとして作成するのではなく、日常的な設計作業に用いるツールであることを再認識し、設計の変更点や変化点への妥当性確認において、FMEAの見直し結果を評価項目とするといった仕組みとすること。
	4	対象品目の指定に抜けがあるものがある。 背景： 以下の品目の抜けが散見される。 ①電力供給用ハーネス/コネクタの抜け ②ロボット機構系の省略	構成品ツリーとの対応を適切にとる。
	5	原因について網羅的に抽出されていない。 背景：故障モードの原因が書かれていない、あるいは抜けがあつて網羅的でない解析例が散見される。	原因に対する対策をしない場合、システムの運用の視点での設計・運用での対策が主体になり易くなり、原因の除去に繋がり難い。一つの故障モードは複数の原因を有することがままあり、開発品の設計改善の対策は、これらの原因に対してのものでなくてはならない。従って、原因欄がFMEA様式シートに含まれるように強く推奨する。
	6	対策の未実施／実施済みの識別及び実施時期が不明確 背景：対策の記載内容が、今後実施することまで記述したものがあつたため、実際の設計評価になっていないものがあつた。	FMEA実施結果から抽出された設計改善は確実にフォローする。 提案する是正対策は実行して初めて効果が出るものであり、対策の徹底を図るため、実施担当者や実施時期を明記することが有効である。
	7	単一故障点の追求に偏りがち。 背景： FMEAを画一的に実施しているため、個々の解析対象に則した解析が行われない。	①FMEAの目的は、本来設計余裕の確保、故障伝播防止、安全性、寿命、工程安定性、ヒューマンエラー防止などに役立てることを狙いとしている。単一故障点の抽出／対策だけでは活用が適切とは言えないので、FMEAの計画を立てる時に目的の確認を発注者と受注者との間で行なう。（対策の1項と同類） ②単一故障点の抽出まではしてあるが対策内容をより明確にする。 ・単一故障点について冗長化設計が出来ない場合の設計ロバスト性 ・単一故障点の製造、検査指示事項の具体化

表3.16-1 FMEA実施上の課題と対策 (3/4)

区分	No.	課題	対策
実施段階	8	使用条件（環境・負荷レベル）を考慮していない背景： FMEAを画一的に実施しているため、個々の解析対象に則した解析が行われない。	特に、FMEAシート作成／検討時に、左記の使用条件に係る（宇宙実証品からの技術仕様の）変更点・変化点については、内容を明示し、是正対策をまとめることを推奨する。
	9	コンポーネントレベルのFMEAでは対策欄「高信頼性保証部品の採用」や「コンタミネーション防止対策」等と表記がワンパターン化した表現となっている。 背景：FMEAを画一的に実施しているため、個々の解析対象に則した解析が行われない。	①開発段階に応じた詳細化： 重要な品目については、基本設計以降の詳細設計時に得られた情報を適切に詳細FMEAや工程FMEA等の形で掘り下げをしないと、回路設計・部品適用指示・工程技术指示等々の過誤や指示不足が生ずることがある。そのため、開発の段階に応じた的確にFMEAを実施する。 ②個別実施項目の詳細化： 対策内容の有効性を図るには、製造工程や検査工程の改善など、具体的で多岐にわたるケースの時もあり、詳細な実施計画が別途必要となる。（コンタミネーション対策を取るとしていても汚染原因が不明な状況、或いは明確にはなっていないでも対策内容が未熟の状況もある。効果を出すためには、現状の分析、予定する活動とのつながりを明確にすることである。）
	10	コンポーネントレベルのFMEAでは致命度の評価が不適切 上位レベル（システムやサブシステム）で冗長になっていることで致命度の評価を下げている。 背景：FMEAは冗長系がないことが前提で影響度を解析することが理解されていない。	コンポーネント開発時は、潜在する設計の不備について洗い出すことに努力すべきであり、コンポーネント単体レベルとして機能停止となる故障モードに対し、「システムレベルで冗長系がある」としてコンポーネントの致命度を下げてはいけない。冗長系を種々の形で用意しても、不具合の原因に対する予防対策が的確でないと同様な不具合が運用時に繰り返し冗長系にも発生する。コンポーネントレベルでは、この視点が設計時に必要である。
	11	FDIRのロジックが実現するかをFMEAで解析すること。 背景： 近年、軌道上の不具合で故障の分離・回復についての検討不足事例があった。	前提条件として、FDIR機能がシステム・サブシステム等の開発要求で示されていることが必要である。この場合、JAXAの技術仕様や契約相手方の設計仕様書に規定される。 ①この要求条件を満たしているかをFMEAで解析し、不足している場合は故障の検知、分離・復帰できるための対策を対策欄に記載する。 ②検知から復帰までの時間が軌道上運用のタイミングと齟齬が無いことを確認すること。

表3.16-1 FMEA実施上の課題と対策 (4/4)

区分	No.	課題	対策
実施段階	12	<p>対策欄に「常用冗長系の配置」のみで冗長機能の健全性チェック等の配慮がない。</p> <p>理由：片方の故障を検知しないまま打ち上げる可能性がある</p>	<p>常用冗長の場合、片方が故障していてもコンポーネントとしては、機能するため健全性の確認が漏れることがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・まずは「注意すべき常用冗長部の存在の有無」を明確にし、有りの場合、地上試験時のどの工程が最終的な健全性の確認時期かを明記する。 ・発注者側のリスク管理にも関係するので、共通の理解がもてるようにして確認時期が許容できるかどうかの確認をする。 <p>関連事項： 常用冗長の場合、故障した部分が他に影響を及ぼさないか検証も行うこと。</p>
	13	<p>対策欄において「冗長系の配置」だけでは説明不足。用語を的確に使うこと。</p> <p>理由：運用時に必要な手順書の作成を忘れてしまうこと有り。</p>	<p>①「冗長系の配置」だけでは対策も実施が不徹底となる場合があり、具体的な対策内容を下記事例のように記載しておく必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・待機冗長系（的確な用語の使用）への切り替えが自動かマニュアル操作かを明確に表現する。 ・マニュアル切り替えなら「手順書の別途作成」が必要になるなど具体的に記載する。 <p>②切り替え機能自体も、故障モードを有するので、FMEAの対象とする。</p>

開発段階	準備段階	実行段階（設計）		実行段階（製作・試験）
イベント	概念設計／計画決定	基本設計	詳細設計	維持設計
機能FMEA/FMECA （1） （機能要素）	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
機能FMEA/FMECA （2） （コンポーネント レベル）		<input type="checkbox"/>		
詳細FMEA/FMECA （部品レベル）			<input type="checkbox"/>	
インタフェース FMEA/FMECA		<input type="checkbox"/>		
工程 FMEA/FMECA		<input type="checkbox"/>		
各FMEA/FMECAの見 直し		<input type="checkbox"/>		
各種審査会	審査会 <input type="checkbox"/>	PDR <input type="checkbox"/>	CDR <input type="checkbox"/>	PQR <input type="checkbox"/>

(注) PDR : PRELIMINARY DESIGN REVIEW (基本設計審査) CDR : CRITICAL DESIGN REVIEW (詳細設計審査)

PQR : POST QUALIFICATION REVIEW (認定試験後審査)

図3.16-3 FMEA/FMECAと設計フェーズとの兼ね合い

3.17 機能/詳細 FMEA/FMECA

効果

- (1) コンポーネントや構成ユニットの故障モードとシステムのミッションに与える影響の因果関係が明確になり、単一故障点（故障すると人命又はミッション遂行能力が喪失される品目）のようなクリティカルな構成要素が識別できる。
- (2) 識別された致命的な故障モードに対して、設計段階で是正処置（設計余裕の確保、特別な工程管理の採用、故障許容設計の採用など）を図ることができる。故障発生未然防止あるいは故障の影響を低減することができる。

効果的な実施時期

機能FMEA：基本設計段階、詳細FMEA：詳細設計段階
設計の進捗状況に合わせ適時見直しする必要がある。

技術的根拠

機能FMEAは、システムを構成するコンポーネントや構成ユニットの機能から、各コンポーネントの故障モードを推定し、その故障モードが上位レベルのサブシステム／システムに与える影響を解析し、サブシステム／システムに致命的な影響を与える故障モードに対して設計及び運用上の対策を検討して是正処置を図るための信頼性設計手法である。

詳細FMEAは、設計の進捗と共に使用する部品や設計内容が具体化されるのを反映して、機能FMEAでの解析内容をより詳細化（例えば故障する対象をコンポーネントレベルから部品レベルに下げる）することで、機能FMEAよりも影響評価や対策内容も詳細化、具体化が可能となる。

JMR-004の対応項番

- 4.3.6 FMEA(故障モード及び影響解析)及びFMECA(故障モード・影響及び致命度解析)

関係の深い信頼性業務

- (1) 信頼性ブロック図
- (2) クリティカル品目リスト：CIL
- (3) 信頼度予測
- (4) 基本設計審査
- (5) 詳細設計審査
- (6) 試験計画書の作成
- (7) 信頼性管理品目の識別

実施方法

(1) 実施手順

機能FMEA/FMECAの実実施手順は次のとおりである。

- (1.1) FMEA/FMECAを実施しようとしているシステムの構成、機能、信頼性要求を確認する。機能ブロック図、信頼性ブロック図を手元に準備しておくが良い。
- (1.2) FMEA/FMECAを実施しようとしているシステムの分解レベルを決める。
- (1.3) 決定した分解レベルに対応するシステムの構成要素（コンポーネントなど）の品目番号、名称及び機能をFMEAシート/FMECAシートに記入する。
- (1.4) 構成要素毎にその故障モードを検討し、FMEAシート/FMECAシートに故障モードを記入する。また、その故障が発生した場合の故障検出方法を記入する。ソフトウェア（ファームウェア含む）が組み込まれている場合には、そのソフトウェアのエラーが原因で起こるソフトウェア動作異常及びハードウェア故障も考慮する。
- (1.5) 各故障モードがシステムに至る上位レベル（サブシステムなど）に与える影響について検討し、FMEAシート/FMECAシートに記入する。必要ならばミッションに与える影響も記入する。
- (1.6) システム及びミッションへの影響を考慮して必要な対策案を検討し、FMEAシート/FMECAシートに記入する。

なお、対策案はシステム運用の視点になり易いが、故障モードの除去を目的に、その原因に対して設定されるべきであり、更に、FMEAシートに故障モードの原因欄を含めるように強く推奨する。（表3.16-1のNo.5参照）
本ハンドブックの3.38項/3.39項等を参考に、故障モードの原因を明記し、適切な対策案を設定する。

- (1.7) 対策案を踏まえて、システム及びミッションへの影響の見直しを行う。
- (1.8) システム若しくはミッションへの影響を各故障モードの影響度区分で識別し、FMEAシートなどに記入する。
影響度区分の例を表3.17-1に示す。

表3. 17-1 影響度区分例（システム用）

影響度区分	基準
I 致命的	システムの機能若しくはミッションの全ての喪失
II 重大	システム若しくはミッションの重要な機能の一部喪失
III 軽微	システムの機能若しくはミッションの一部喪失又は性能低下
IV 微小	影響はほとんどなし

また、解析対象がコンポーネントレベルの場合の影響度区分の例を表3. 17-2に示す。システム／サブシステム開発担当メーカは、コンポーネント担当メーカが実施したFMEAを基に故障モードを洗い出し、システム／サブシステム若しくはミッションへの影響について検討し、冗長系の採用などの必要な処置の決定を行う。

表3. 17-2 影響度区分例（コンポーネント用）

影響度区分	基準
I 致命的	コンポーネントの機能の全ての喪失
II 重大	コンポーネントの重要な機能の一部喪失
III 軽微	コンポーネントの機能の一部喪失又は性能低下
IV 微小	影響はほとんどなし

なお、故障モード毎に信頼度又は故障率が算出されていれば、FMECA（故障モード・影響及び致命度解析）に利用できる。致命度の尺度は、影響度に故障モードの発生頻度などを掛け合わせたものである。致命度として発生頻度の高い故障モードを識別することによって、対策の優先順位を合理的に決定することができる。また、この致命度は危険優先度（RPN；影響度×発生頻度×検出難度）等で表す場合もある。

- (1.9) 影響度／致命度の高いもの（例えば単一故障点）について、故障の発生を抑制するための設計、製造、試験、運用上の対策を検討し、必要に応じてCIL（クリティカル品目リスト：3. 44項参照）に対策内容を記述する。

(1.10) FMEA/FMECAの結果は、信頼性管理品目（有効寿命品目、特性値管理品目など）を識別する際の根拠データとして利用できる。

また、識別された故障モードを基に、試験で測定すべきパラメータを設定することができ、FMEA/FMECAの結果は試験計画の立案の際にも利用できる。

(1.11) FMEA/FMECAの結果は、基本設計審査、詳細設計審査へのインプットとし、設計の妥当性及び対策の妥当性について有識者の審査を受ける。

FMEAシートのフォーマット例を表3.17-3に、記入方法を表3.17-4に示す。

(参考)

a. 『設計不良』や『製造不良』について

故障モードの一つとして、『設計不良』や『製造不良』（またはそれに類する言葉）を記載している例が見受けられるが、FMEA/FMECAは信頼性設計の確かさを評価する解析であるため、そもそも『設計不良』を取り上げる必要はない。

また、『製造不良』は工程FMEA/FMECAで扱う事項であり、機能FMEA/FMECAや詳細FMEA/FMECAでは取り扱わない。

これらのことに留意しつつ、設計における故障モードを漏れなく識別して解析すること。

b. 詳細FMEA/FMECAについて

詳細設計段階に得られる詳細な設計情報に基づき、より詳細に行うFMEA/FMECAを指し、開発する品目の信頼性上の問題点、要注意個所をより細かいレベルで明確にすることができる。

詳細FMEA/FMECAは、設計の初期段階に実施した機能FMEA/FMECAの結果を再確認することにもつながり、故障モードの見落とし、対策・処置の抜けなどを防ぐことができ、故障発生抑制あるいは故障モードの影響を低減することができる。

なお、詳細FMEA/FMECAにより識別された故障モードやその対策を基に、試験計画を立案することが望ましい。具体的には、詳細FMEA/FMECAによりクリティカルと識別された回路に対して実施した回路解析を基に、試験で測定すべきパラメータを設定して試験計画に盛り込む。

詳細FMEAの実施例として、図3.17-1の推進系（衛星系RCSサブシステム）の機能系統図及び図3.17-2の信頼性ブロック図を基に詳細FMEAを実施した例を表3.17-5に示す。

c. FMAT¹⁾について

FMEA/FMECAをベースに部分的改良を行った解析手法の例として、特定の故障モードに対する保証方法の追求に重点を置いたFMAT (Failure Mechanism and Assurance Technique) の例を表3.17-6に示す。FMEA/FMECAが故障影響解析として包括的であるのに対し、FMATは、その中の是正処置／対策に相当する項目に焦点をあて、最終的な製品の特定の故障モードの発生を抑制することを保証する方法である。

実施しない場合の影響

機能FMEA/FMECAを実施しないと、致命性の高い故障モードに対策がとられな
いままですシステムを運用する可能性があり、軌道上でその故障モードが発生し
た場合にはミッションの達成ができなくなる恐れがある。

参考文献

- 1) M. Shimodaira : Failure Mechanism And Assurance Technique (昭和54年) ISTFA
- 2) JAXA-QTS-2000 「宇宙開発用共通部品等 一般共通仕様書」

表3.17-3 FMEAシート例
 サブシステム名： ①

シート番号 001

Rev. ②

行 番	コンポーネント /モジュール	機能	故障モード	故障モード の原因	サブシステム への影響	システム への影響	故障 検出法	対策	ミッション への影響	影響度
	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫

注；本シートは一例であり、実際に適用する際は得意先等と調整した上で、記載項目や内容を決めること。

表3.17-4 FMEAシートフォーマット記入例

フォーマット 欄番号	記 入 方 法
①	サブシステム名を記入する。略号でよい。
②	版数を記入する。
③	当該ブロックの品目名（コンポーネント名）を記入する。（略号でよい） （コンポーネント機能FMEAの場合はモジュール名を記入する。）
④	当該ブロックの機能を記入する。
⑤	当該ブロックの故障モードを記入する。 故障モードについては、基本設計段階では、当該ブロックの機能が失われた場合を仮定するものとし、また、詳細設計段階では詳細FMEAの結果に基づいて記入する。
⑥	故障モードの原因を記入する。 なお、故障モードひとつに対し、原因がひとつとは限らない。可能な限り列挙すること。但し、故障モードによっては原因が相当数となる場合があることから、影響の大きな原因に絞り込み記載する方法もある。記載内容については事前に得意先と調整することが望ましい。
⑦	当該故障モードが当該サブシステム及び他のサブシステムに与える影響を記入する。 影響がある場合は、是正処置を取ることにより、その影響はどうかなるかも合わせて記入する。
⑧	当該故障モードが、システムに与える影響を記入する。 影響がある場合は、是正処置を取ることにより、その影響はどうかなるかも合わせて記入する。
⑨	故障検出方法を記入する。 打上げ以降の故障は確実に地上で把握できる手段を記入すること。 （但し、ロケットの様に打上げ以降の是正処置が困難なシステムの場合には省略する場合もある。ここでいう故障検出方法は故障発生後の是正処置がとれる場合を想定すること。）
⑩	故障モードへの対策案を記入する。 打上げ以降に取るべき是正処置は、確実に地上からの指示で行なえる手段を記入する。
⑪	ミッションへの影響を記入する。
⑫	影響度を記入する。（区分方法は下記による） I. 衛星ミッションのうち1つ以上が達成不能となる。 II. " " " " が機能不能となる。 III. 衛星ミッションの影響はないが運営上影響がある。 IV. 衛星ミッション遂行上及び運営上も全く影響がない。

注；サブシステムの機能FMEAを例として示しているが、コンポーネントやシステムの機能FMEAを実施する場合も、本記入方法を参考にすること。

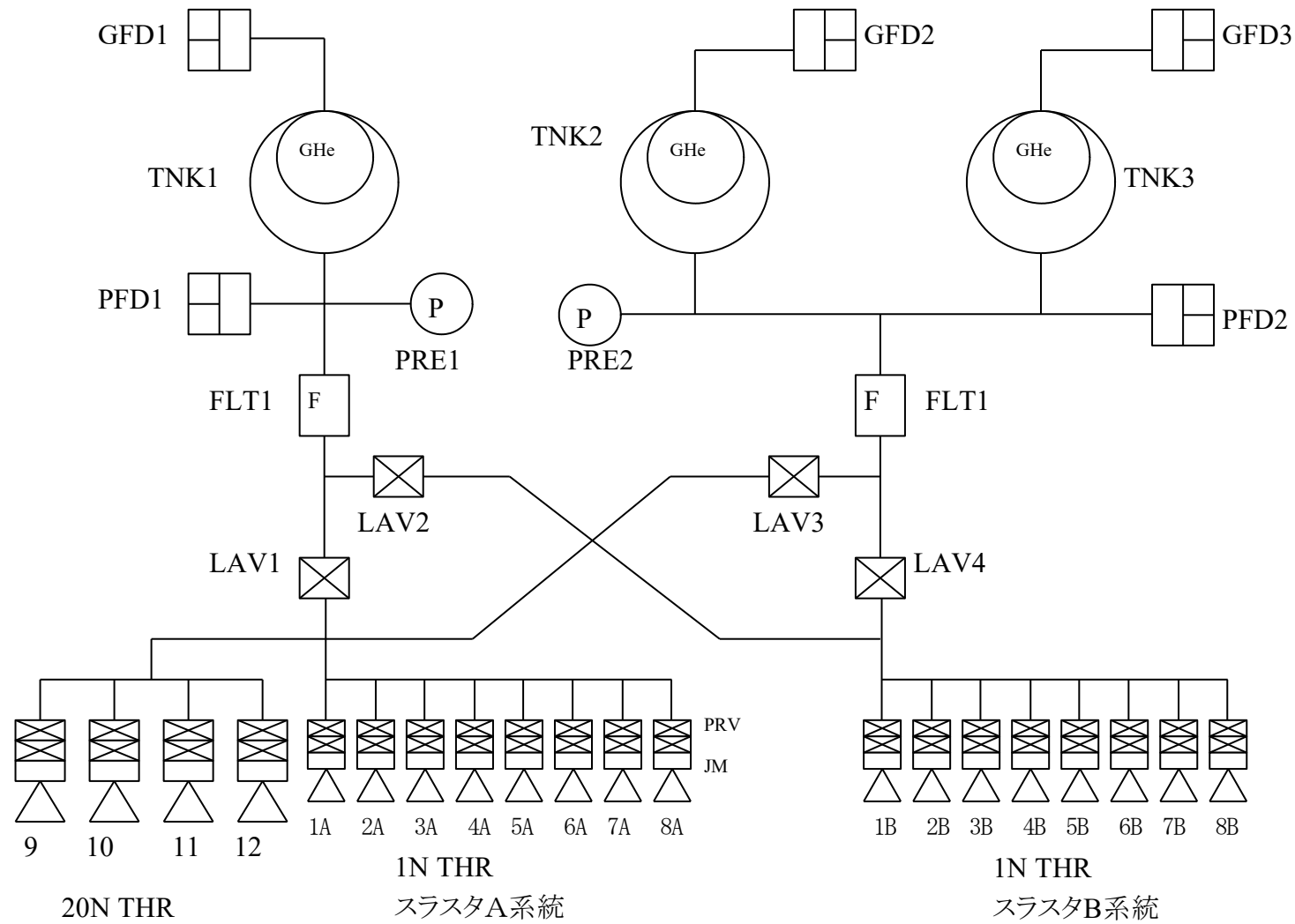


図3. 17-1 衛星系RCSサブシステムの機能系統図

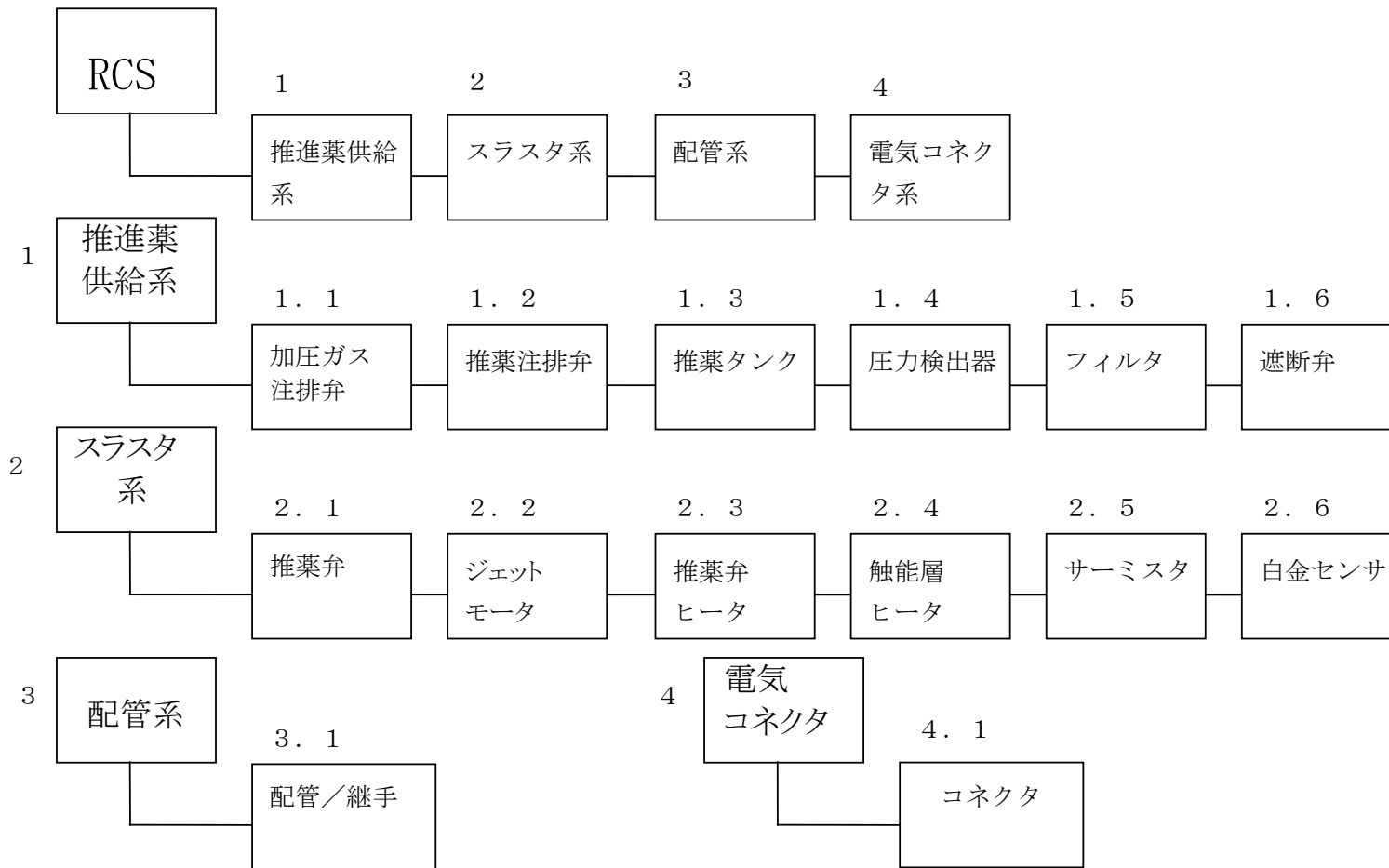


図3.17-2 衛星系RCSサブシステム信頼性ブロック図

表3.17-5 詳細FMEA実施結果の例（衛星系RCSサブシステム）

詳細FMEAシート

サブシステム名： RCS

シート番号 001

Rev.

行番	コンポーネント/モジュール	機能	故障モード	故障モードの原因	サブシステムへの影響	システムへの影響	故障検出法	対策	ミッションへの影響	影響度
1-1	加圧ガス注排弁	打上時、手動操作により加圧ガスを充填／排気した後、閉状態で打ち上げられる。	シート面やキャップ等シール部の傷	過大回数の開閉操作	加圧ガスの外部漏洩による推力低下。最終的にはスラストへの推薬供給不能によるRCS機能停止	姿勢制御性能の劣化、又は姿勢制御不能	外部リーク(漏洩)試験	対策1： シート及びキャップによる二重シール構造の採用 対策2： 操作サイクルの規定と管理	姿勢制御性能の劣化による観測精度の低下。又は姿勢制御不能によるミッションの喪失。	I
1-2	推薬注排弁	打上時、手動操作により推薬を充填／排出した後、閉状態で打ち上げられる。	同上	同上	①推薬の外部漏洩によるRCS機能停止 ②漏洩した推薬による他機器などの損傷	姿勢制御不能	同上	同上	姿勢制御不能によるミッションの喪失。	I

注；FMEAにおける影響度の評価は対策により変化することはない。上記の対策の内『二重シール構造の採用』等の冗長化は発生頻度を下げるものであり、FMECAにおける致命度(影響度×発生頻度)の評価については下げることが可能である。

表3.17-6 JAXA-QTS-2000F²⁾に記載のFMAT例

形式又は 部品番号		NASDA RNR ×××			(5) 処 置						
No.	(1) エレメント	(2) 故障モード	(3) 故障のメカニズム	(4) 製品に対する故障の影響	(6) 素材料	(7) 製造工程	(8) 設計に対する考え方	(9) 工程内検査	(10) 完成後の試験、検査	(11) 試験方法等	
1	リード線	断線	折損	オープン	①芯線材料 (頻度、アール) (材料仕様No.)	①抜取方法 (折等の防止) (工程仕様No.)	①材質 ②寸法 (リード線径) (文書No.)	①外観 ②寸法 (検査仕様No.)	①端子強度 ②耐震性 ③外観 ④寸法 ⑤衝撃	JAXA-QTS- 2×××の ①4.7.15項 ②4.7.21項 ③4.7.3項 ④4.7.3項 ⑤4.7.20項	
		絶縁不良 (対基板)	表面酸化	ルーズコンタクト	①めっき材質 (組成、めっき厚) (材料仕様No.)	①取扱保管方法 ②材料の洗浄 (工程仕様No.)	①めっき組成 ②めっき厚 (文書No.)	①めっき厚 ②外観 (検査仕様No.)	①はんだ付け性	①4.7.10項	
2	リード線 ヘッド部	接触不良 (対抵抗体)	汚損(油等)	電流雑音大 ルーズコンタクト		①取扱保管方法 (工程仕様No.)		①電流雑音(全数) ②ヘッド寸法 ③負荷選別(全数) (検査仕様No.)	①電圧係数 ②負荷寿命 ③熱衝撃	①4.7.25項 ②4.7.22項 ③4.7.4項	
			形状寸法不良			①ヘッド加工 (工程仕様No.)					①ヘッド構造 (文書No.)
			表面酸化			①取扱保管方法 (工程仕様No.)					
3	ヘッド部と抵抗体との接続部	抵抗値ドリフト (高化)	接続不良	抵抗値ドリフト (高化)	①材料 カーボン…比抵抗 材密度 シリカ…粒度 純度 レジン…樹脂量 粘度 (材料仕様No.)	①配合 ②混練条件 (温度、時間) ③形成条件 (温度、時間) (工程仕様No.)	①材質 (文書No.)	①電流雑音(全数) ②電圧係数 ③抵抗値安定度 ④流動性 ⑤原材料実用試験 ⑥負荷選別(全数) ⑦外観選別(全数) (検査仕様No.)	①電圧係数 ②端子強度 ③負荷寿命 ④熱衝撃	①4.7.25項 ②4.7.15項 ③4.7.22項 ④4.7.4項	
		電流雑音大 …(以下省略)…		電流雑音大							

注 1) 部品を各素子に分けて、番号順に(1)欄に素子の名称を記述する。各素子の接続も一つの素子とする。

2) 各素子の故障モード及び故障の機構を(2)、(3)欄に記述する。

- 3) 前述の故障による部品（製品）に対しての影響を(4)欄に記述する。
- 4) 次に、これら考えられる故障に対してどのように処置されているかを(5)欄に記述する。
- 5) 素材料に対して、どのように処置されているかを(6)欄に記載する。一例として、材料の受入検査の検査項目及び規定されている文書の番号を記述する。
- 6) 製造工程に対しても、同様に(7)欄に記載する。一例として、製造仕様書で規定されている管理項目及び文書の番号を記述する。
- 7) 設計に対する考え方に対しても、同様に(8)欄に記載する。一例として、組立仕様書で規定されている要求項目及び文書の番号を記述する。
- 8) 工程内検査に対しても、同様に(9)欄に記載する。一例として、検査仕様書で規定されている管理項目及び文書の番号を記述する。
なお、検査は製造工程内で実施する検査とする。
- 9) 完成品の試験・検査に対しても、同様に(10)欄に記述する。一例として、適用仕様書で規定されている試験検査項目を(10)欄に、対応する仕様書の試験方法の項目番号(11)欄に記述する。
- 10) 構造図を添付し、注1)において記述した部品の各素子と対応をつける。

—

3.18 欠番

3.19 インタフェースFMEA/FMECA

効果

(1) インタフェースFMEA/FMECAでは、コンポーネント／サブシステムなど相互のインタフェース回路図と、そのインタフェース部での故障モードを確認し、インタフェースにおける信頼性上の欠陥を除去することで、システムを組上げる際の不具合を未然に防止することができる。

また、波及故障の影響や、故障分離設計の妥当性を確認できるほか、スニーク欠陥の検出にも役立つ。

(2) インタフェースFMEA/FMECAでは、開発メーカーが相互にインタフェース回路図を確認し、故障分離設計の妥当性を両者で確認できるので、確実な設計が可能となる。

効果的な実施時期

基本設計段階、詳細設計段階

設計の進捗状況に合わせ適時見直しする必要がある。

技術的根拠

インタフェースFMEA/FMECAは、各搭載機器／サブシステムのインタフェース部での故障モードを抽出し、その故障モードが発生した場合の相手方の搭載機器／サブシステムに与える影響について解析する信頼性設計手法である。

あらゆるインタフェースは、欠陥の生まれやすい場所であり、設計担当が異なる機器を接続するような部位では、意思疎通の欠如に起因する設計過誤が発生しやすい。

「百聞は一見にしかず」で、インタフェース回路を相互確認することで意思の疎通を図ることができ、機器同士の接続試験をする前にインタフェースの欠陥を除去することができる。

また、冗長系を有する場合などは、冗長系の接続方法も確認できるため故障分離設計の妥当性や信号回り込みなどのスニーク欠陥検出も試験前に確認することができる。

JMR-004の対応項番

4.3.6 FMEA(故障モード及び影響解析)及びFMECA(故障モード・影響及び致命度解析)

関係の深い信頼性業務

- (1) 信頼性ブロック図
- (2) 基本設計審査

- (3) 詳細設計審査
- (4) 詳細FMEA/FMECA
- (5) スニーク解析

実施方法

インタフェースFMEAの実施手順は次のとおりであり、基本設計初期段階にシステムインテグレータの信頼性部門が手順を定め、各サブシステム、コンポーネントに展開する。

- (1) 解析の細部作業として、FMEAを実施しようとしている搭載機器/サブシステムの構成、機能、信頼性ブロック図を確認し、搭載機器の回路図面を準備する。
- (2) インタフェース信号名、インタフェース回路名をFMEAシートに記入する。
- (3) A側機器のインタフェース回路をFMEAシートに記入する。機器が冗長系を有している場合は、冗長系の回路もシートに記入する。(A側機器が記入)
- (4) A側機器の故障モードを記入する。(A側機器が記入)
- (5) A側機器の故障モードに対するB側機器の波及故障を記入する(B側機器が記入)
- (6) A側機器の故障モードによりB側機器の波及故障が発生した場合のサブシステム/システムへの影響、是正処置及び影響度を記入する。(可能であればB側機器が記入)
- (7) B側機器のインタフェース回路をFMEAシートに記入する。機器が冗長系を有している場合は、冗長系の回路もシートに記入する。(B側機器が記入)
- (8) B側機器の故障モードを記入する。(B側機器が記入)
- (9) B側機器の故障モードに対するA側機器の波及故障を記入する(A側機器が記入)
- (10) B側機器の故障モードによりA側機器の波及故障が発生した場合のサブシステム/システムへの影響、是正処置及び影響度を記入する。(可能であればA側機器が記入)
- (11) サブシステム/システム担当メーカーが、波及故障の有無、サブシステム/システムの影響、是正処置の内容及び影響度について確認/再評価する。
- (12) インタフェースFMEAの結果は、基本設計審査、詳細設計審査へのインプットとし、設計の妥当性について有識者の下で審査される。

インタフェースFMEAのフォーマット例を表3.19-1に、記入方法を表3.19-2に示す。

参考として、故障分離設計が適切に行われていない事例及び対策事例を図3.19-1に示す。図3.19-1 a)の回路では、主系の故障により、従系の機器も使

用できなくなる設計になっている。図3.19-1 a)はRS422インタフェース回路であるが、ユーザ機器の主系のレシーバが短絡故障を起こした場合は、ユーザ機器の従系にも信号を正常に伝送することはできない。

図3.19-1 b)のようにレシーバの前に抵抗を置く処置をとることで、故障分離が可能となる。

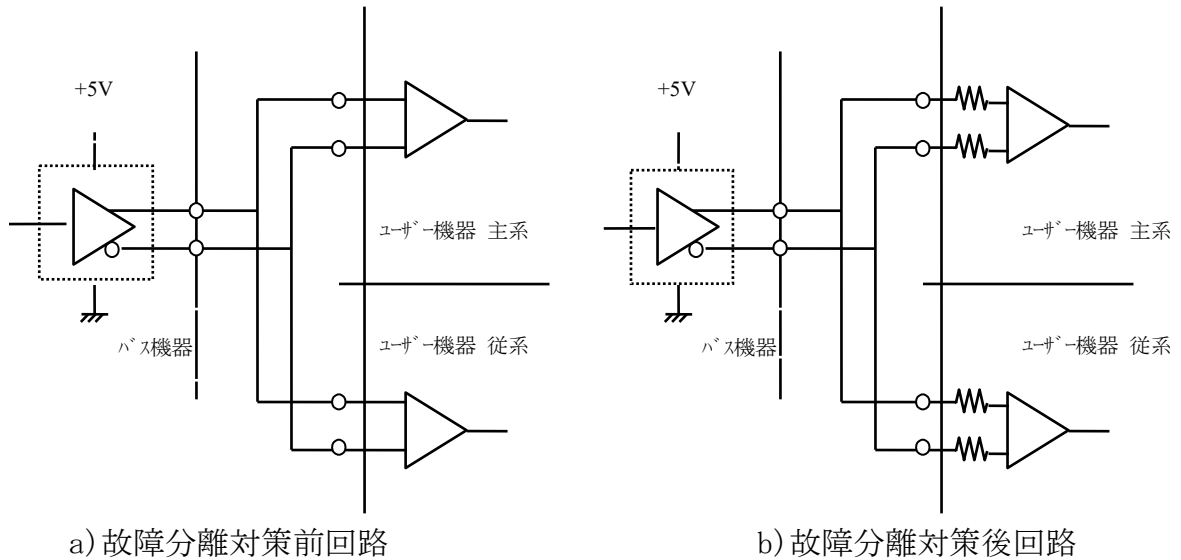


図3.19-1 タイミング信号インタフェース回路

なおインタフェースFMECAを実施する場合には、インタフェースFMEAの実施方法を基に3.17項のFMECAの説明などを参考にして、影響度に発生頻度を加えた致命度の評価を含めること。

実施しない場合の影響

システムを構成するコンポーネント間のインタフェース部で、信頼性上の欠陥に起因する不具合が発生する恐れがある。

特に、冗長系を備えているインタフェース部においては、主系の故障が従系の故障を誘発したり、電源バスラインなどで故障分離設計がなされていない場合にはシステムが喪失する可能性もある。

参考文献

なし

表3.19-1 インタフェースFMEAシート（例）

インタフェースFMEAシート							
故障モード	インタフェース回路		波及故障	サブシステムへの影響	システムへの影響	対策	影響度
② A側機器の故障モード	機器： A 側	機器： B 側	③ ②によるB側機器の波及故障	④ ②により③が発生したときのサブシステムへの影響	⑧ ②により③が発生したときのシステムへの影響	⑨ ②による③を防止するあるいは発生した場合の対策	⑩ ⑧による影響度
	①						
波及故障			故障モード	サブシステムへの影響	システムへの影響	対策	影響度
⑥ ⑤によるA側機器の波及故障			⑤ B側機器の故障モード	⑦ ⑤により⑥が発生したときのサブシステムへの影響	⑧ ⑤により⑥が発生したときのシステムへの影響	⑨ ⑤による⑥を防止するあるいは発生した場合の対策	⑩ ⑧による影響度
	信号名称：						

注；本シートは一例であり、実際に適用する際は得意先等と調整した上で、記載項目や内容を決めること。

表3.19-2 インタフェースFMEAフォーマット例の記入方法

フォーマット欄番号	記入方法
① (A側、B側、サブシステム)	インタフェース部における本体側 (A側) とインタフェース側 (B側) との接続図を記入する。 A側B側いずれか、またはそれぞれが冗長構成の場合は、冗長構成内容とその接続についても記載する。
② (A側)	インタフェース部における本体側 (A側) の故障モードを記入する。
③ (B側)	②の故障モードによるインタフェース側 (B側) の影響 (波及故障) を記入する。 B側が冗長構成の場合は、冗長系への影響も評価する。
④ (B側、サブシステム)	②の故障モードによるB側機器の波及故障が発生した場合のサブシステムへの影響を記入する。 なお本体側 (A側) が冗長構成の場合は、A側の冗長系が故障した場合の影響 (波及故障) も記入する。
⑤ (B側)	インタフェース部におけるインタフェース側 (B側) の故障モードを記入する。
⑥ (A側)	⑤の故障モードによる本体側 (A側) の影響 (波及故障) を記入する。 A側が冗長構成の場合は、冗長系への影響も評価する。
⑦ (A側、サブシステム)	⑤の故障モードによるA側機器の波及故障が発生した場合のサブシステムへの影響を記入する。 なおインタフェース側 (B側) が冗長構成の場合は、B側の冗長系が故障した場合の影響 (波及故障) も記入する。
⑧ (A側、B側、サブシステム、システム)	②又は⑤の故障モードによる波及故障が発生した場合のシステムへの影響をA側、B側でそれぞれ記入する。
⑨ (A側、B側、サブシステム、システム)	②又は⑤の故障モードによる波及故障が発生しないようにするあるいは発生した場合の対策案を記入する。
⑩ (A側、B側、サブシステム、システム)	②又は⑤の故障モードによる波及故障が発生した場合の⑧による影響度を記入する。

※フォーマット欄番号の () 内は記入担当を示す。

3.20 工程FMEA/FMECA

効果

工程FMEA/FMECAは、工程設計において、予想される工程の故障モードとそれに伴う不良品が発生する可能性を検討し、対策を施すことで工程の信頼性上の弱点の改善、不良発生率の高い工程の改善を図ることができ、より安定した工程を確立することができる。

工程 FMEA の目的は以下のとおり。

- ・ 製造・検査工程に対する要求／能力の妥当性
- ・ 製造・検査中のヒューマンエラーの発生防止
- ・ 実装状態から見て故障の連鎖防止
- ・ 製造を指示する文書の有効性向上
- ・ 加工順序の適正確認
- ・ 中間品質特性の適正確認
- ・ 加工パラメータの適正確認
- ・ 重要品質特性、重要加工パラメータの選定、決定
(決定にあたっては、「重要品質特性及び重要加工パラメータ管理ガイドライン(GGQ-Q06001)」¹⁾を参照するとよい。)
- ・ 工程の弱点を克服し、設計変更に頼らない要求実現

効果的な実施時期

基本設計段階、詳細設計段階(製造工程の確立時)

設計の進捗状況に合わせ適時見直しする必要がある。

技術的根拠

工程FMEA/FMECAは、新規に採用する製造工程、製造工程の故障が機器の機能に重大な影響を与えるような工程、及びクリティカル品目の工程などにおいて、工程の故障モードによって不良品を製造したり、将来故障に至る恐れはないかを机上で事前に検討し、対策の立案や工程管理項目の設定を行なうための設計手法である。

工程が適切でないと、製品の中に欠陥を作り込む可能性があり、信頼性の高い製造システムを手にすることはできない。

工程プログラムにおける工程設計時点で工程の故障モードを識別し、原因を推定し、対策を施すことで、製品の欠陥に至るリスクを除去すれば、工程における製品欠陥の作りこみを予防することにつながる。

また、一度確立した工程でも、不具合の原因分析の結果をもとに工程FMEA/FMECAを実施し再点検することで、工程の信頼性を高めていくことができる。

JMR-004の対応項番

- 4.3.6 FMEA(故障モード及び影響解析)及びFMECA(故障モード・影響及び致命度解析)
- 4.3.17.12 製造工程審査

関係の深い信頼性業務

- (1) 基本設計審査
- (2) 詳細設計審査
- (3) 材料、工程プログラム
- (4) 重要品質特性、重要加工パラメータ

実施方法

工程FMEA/FMECAは、次の工程に対して適用する必要がある。

- (1) 新規に採用する工程（あるいは変更された工程）
- (2) 工程の故障が、機器の機能に重大な影響を与えるような工程
- (3) クリティカル品目の重要工程

工程FMEA/FMECAの実施手順は次のとおりである。

- (1) 準備作業として、工程フローの把握と、各工程の機能分析、工程能力の把握を行う。このために、工程フローチャート、工程仕様書、製造手順書などを準備する。
- (2) 工程フローと対応つけて、工程名称、工程の機能を工程FMEAシート／工程FMECAシートに記入する。
- (3) 工程の故障モードを記入する。故障モードの抽出に当たっては、環境要因、人間の作業ミスも考慮の対象とする。
- (4) 故障モード発生の原因を記入する。
- (5) 故障モードが発生した場合の製品への影響を記入する。
- (6) 故障モードの発生を防止するための対策、工程管理項目を検討する。以下に対策の事例を示す。
 - a. 製造不良の発生を抑えるために、製品の形状、寸法、材質、プロセスなどを変更する
 - b. 当該プロセスの故障モードを取り除くため若しくは故障モードの発生を最小とするために必要な管理内容、例えば、清浄度管理、特殊工程管理などを設定し、製造フロー及びQC工程図に反映する。
- (7) 工程FMEA/FMECAの結果は、基本設計審査、詳細設計審査へのインプットとし、設計の妥当性及び対策の妥当性について有識者の審査を受ける。

工程FMEA/FMECAで検討した対策は、製造フロー、QC工程図、工程仕様書、製造手順書など適切な文書に反映し、実際の作業指示につなげていくことが必要である。

基本設計段階及び詳細設計段階の工程FMEAの実施例をそれぞれ表3. 20-1及び表3. 20-2に示す。

表3. 20-1および、表3. 20-2は同一の工程に対して行ったFMEAであるが、機能／詳細FMEA（3. 17項）と対比させると前者は機能FMEAに、後者は詳細FMEAに対応する。両者の一番の違いは故障モードの捉え方である。前者ではある工程が機能不全に陥った時に製品に発現する不具合の状態を故障モードとしているのに対し、後者では（工程設計における部品と言い換えることのできる）各手順指示に対する不適切な履行（し忘れ、し損ない）を故障モードとしている。機能/詳細FMEAがそうであるように、工程FMEAでも後者の方が一段深い解析結果が得られるため、詳細設計フェーズでは後者のFMEAを実施するのが望ましい。

表3.20-1 基本設計段階の工程FMEAの例

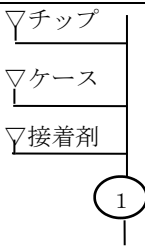
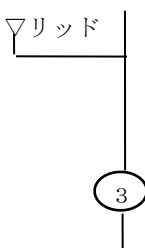
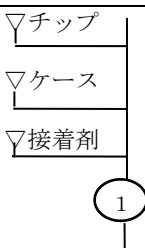
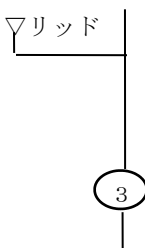
工程フロー	工程名	工程の機能	故障モード	故障モードの影響	故障モードの原因	対策
	1. ダイボンディング	チップ部品をケースにボンディングする。	接着不良(剥離)	振動環境等でチップが剥がれ落ちることにより、機能喪失	接着力低下 ① シェルライフ切れ品の使用 ② 硬化温度設定誤り ③ ケースの平面度不良	① シェルライフの管理の徹底 ② 硬化温度の記録を指示書へ追加 ③ ケースの受入試験の実施 ④ 定期的にせん断試験を実施
	3. 気密封止	部品のリッドとケースをシーム溶接する。	気密不良	内部に水分が混入することで、マイグレーションや腐食が発生し、特性劣化となる。	① 溶接不良 ② リッドの板厚寸法規格外れ品の混入 ③ 位置合わせ時のずれ	① 溶接前に試し運転をする ② 受入検査時に板厚測定を実施 ③ ガイドの装着

表3.20-2 詳細設計段階の工程FMEAの例

工程フロー	工程名	工程の機能	故障モード	故障モードの影響	故障モードの原因	対策
	1. ダイボンディング	チップ部品をケースにボンディングする。	① シェルライフ切れ品の使用 ② 硬化温度設定誤り ③ ケース表面の平面度不良	振動環境等でチップが剥がれ落ちることにより、機能喪失	① シェルライフ切れの接着剤を同じ棚に置いていた ② 手順書の設定温度の指示不明確 ③ 平面度測定の精度不良	① 棚を定期点検して、シェルライフ切れ品は廃却する ② 硬化温度を重要加工パラメータに指定して手順書に設定温度と共に明記する ③ レーザ光方式の測定器を用いる
	3. 気密封止	部品のリッドとケースをシーム溶接する。	① 溶接装置の異常(電極の汚れなど) ② リッドの板厚大 ③ 位置合わせ不良	溶剤不良により、内部に水分が混入することで、マイグレーションや腐食が発生し、特性劣化となる。	① 繰り返し使用による電極への汚れの蓄積 ② 受入試験時にリッドの板厚測定をし忘れる ③ 位置合わせ用ガイドの使用方法不適	① 溶接装置の定期点検の実施 ② 作業チェックリストにより作業の抜けを防止する ③ ガイドの使用方法を手順書に図解する

また、工程FMEAの結果から重要な品質特性を設定し、それをモニタすることによって異常傾向を事前に把握し、改善に繋げている活動例を以下に紹介する。

a. 工程FMEAによる故障モードの抽出と格付け

工程FMEAで抽出された故障モードに対して危険優先度（RPN：Risk Priority Number）により格付けを行う。危険優先度（RPN）は次の式により算出する。

$$RPN = \text{影響度} \times \text{発生頻度} \times \text{検出度} \quad (\text{最大100点})$$

影響度、発生頻度、検出度は、表3.20-3より求める。

表3.20-3 影響度、発生頻度、検出度

製品（システム）に及ぼす影響 （影響度）	点	発生レベル （発生頻度）	点	検知レベル （検出度）	点
影響大 ..システム機能の喪失	5	頻繁に起こりうる	5	通常的手段では検出不可	4
かなりの影響あり ..システム機能の一部喪失	4	起こりうる	4	受入試験（AT）において 検出可能	3
影響半々 ..システム機能の低下	3	ときに起こりうる	3	加工、組立中の検査、試験 において検出可能	2
ほとんど影響なし ..機能低下	2	ほとんど起こりえない	2	加工、組立中に検出可能	1
影響なし..機能低下なし	1	起こりえない	1	—	—

危険優先度（RPN）による格付けを適用した工程FMECAの実施例を表3.20-4に示す。

b. 重要な品質特性の設定

RPNの高い工程及び過去に不具合の発生した工程の故障モードから重要な品質特性および加工パラメータを設定する。

例) 重要な品質特性 : 製品特性（漏洩量など）
 重要な加工パラメータ : 製造特性（ろう付け量など）

c. データの検証／是正処置

上記b. で設定した重要な品質特性についてデータを取得し記録に残す。そのデータの号機間や他衛星とのバラツキ及び異常値の有無を確認する。異常等が発見された場合には、原因調査を行い、是正処置を設計、工程にフィードバックする。

実施しない場合の影響

工程が安定せず、工程の故障により製品の不良や故障が発生する恐れがあり、軌道上でクリティカル品目などが故障した場合にはシステムが喪失する可能性

もあり、ミッション達成が不能になる恐れがある。

参考文献

- 1) GGQ-Q06001 「重要品質特性及び重要加工パラメータ管理ガイドライン」

表3.20-4 工程FMECA例

P/N名称	工程名称	故障モード	故障モードの原因	製品に及ぼす影響	影響度(点数)	発生頻度(点数)	故障検知(不具合)	検知時期	検出度(点数)	危険優先度(RPN)	対策内容	実施状況
28B1874 2-101 NS BZ ASSY	ろう付け	ろう材不足	①ろう付け時のろう材供給量過少 ②ろう付け設定温度の誤りによる、ろう材の熔融量過少	強度不足 気密漏洩	4	3	外観検査 リークテスト	作業後 検査 リークテスト	4	48 要対策と評価	①専門の教育を受けた認定作業員による工程に指定し、製造フロー及びQC工程図に反映。 ②手順書にろう材の供給量の目安や、ろう付け設定温度を記載。限度見本の写真を作業現場に掲示。 ③作業前の工具類や材料等のチェックリストによる準備・点検 ④作業員以外の認定検査員による立会い検査	

3.21 故障モード及び原因情報の収集

効果

機能FMEA、詳細FMEA、及びインタフェースFMEAなどを実施するにあたって重要なことは、潜在的故障モードを机上で漏れなく洗い出すことである。FMEA/FMECAの実施効果は、解析者の能力や経験に左右されることが多いが、事前に故障モードに関する情報（過去の不具合事例を含む）を収集・整理しておけば、解析者による故障モードの抽出漏れが無くなり、洗い出された故障モードに対して設計上の対策等を確実に図ることで、信頼性の高い製品を設計・製造できる。

効果的な実施時期

全段階

技術的根拠

設計者は、部品・機器などの故障モードを熟知し、その故障モードの発生を防止あるいは最小化するための処置を考えて設計しなければならない。このように、故障モードに関する情報（過去の不具合事例を含む）は、設計のベースになるものであり、設計者は常に故障モードに関する情報の収集に努める必要がある。

JMR-004の対応項番

4.3.6 FMEA（故障モード及び影響解析）及びFMECA（故障モード・影響及び致命度解析）

関係の深い信頼性業務

- (1) 機能FMEA/FMECA
- (2) 詳細FMEA/FMECA
- (3) インタフェースFMEA/FMEA
- (4) 異常／故障のフィードバック
- (5) 信頼性技術情報の反映
- (6) FTA：事前解析FTA：事後解析

実施方法

- (1) 全般

故障モード情報の収集・活用の流れの一例を図3.21-1に示す。

故障モードデータ（部品、サブアセンブリ及び構成品の故障形態、原因及び発生確率などに関するデータ）の参考資料としては表3.21-1に示すようなものがある。また、部品の代表的な故障モードの例を表3.21-2に、宇宙環境下で特殊な

故障モードを表3.21-3に示す。

なお、各メーカーで保有している異常故障に関する情報は、故障モードの抽出の際に大変役立つものであり、社内的にデータベース化するなどして設計にフィードバックがかけ易いように整備しておくが良い。

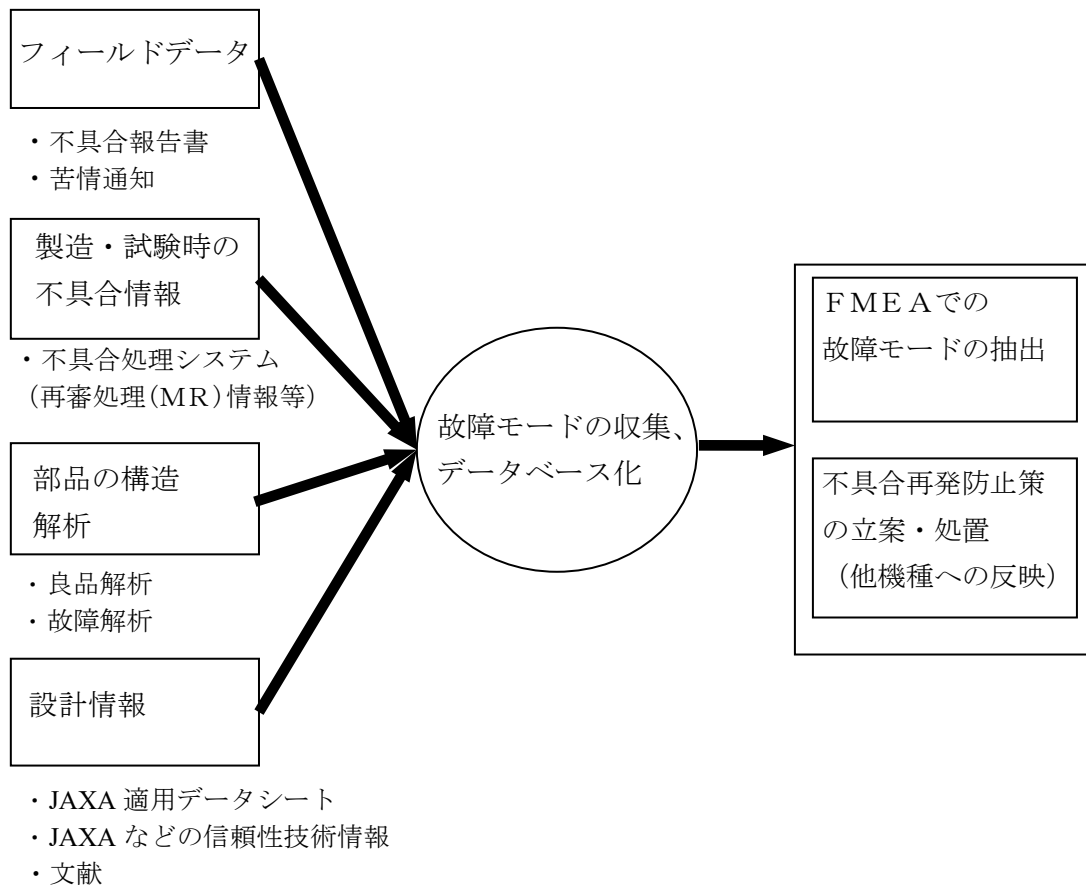


図3.21-1 故障モード情報の収集・活用の流れ

表3.21-1 故障モードに関する資料

資料名称
<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙開発用共通部品等 適用データ シート (NASDA or JAXA-ADS-****) ・Parts Materials and Processes Experience Summary Feb. 1972 (NASA-CR-114391) ・RAC (Reliability Analysis Center) Reliability Design Handbook No. RDH 376 ・Electromechanical Component Reliability RADC-TDC-63-295 ・信頼性技術情報 ・メーカーの実績に基づくデータ ・NPRD-95 (Nonelectronic Parts Reliability Data 1995) ・IEC60812 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)

表3.21-2 部品の代表的な故障モードの例(1/2)

品種	代表的な故障モード
ベアリング	摩耗 割れ、欠け 圧痕、打痕 変形 焼付き 腐食 塵の堆積 潤滑剤の硬化／軟化
コンデンサー（セラミック）	絶縁抵抗値の低下 静電容量の低下 誘電正接の増加
コンデンサー（電解、タンタル）	短絡（ショート） 開放（オープン）
コネクタ	短絡（ショート） 開放（オープン） 接触抵抗値の低下／増加
ダイオード	短絡（ショート） 開放（オープン）
モータ	巻線の短絡（ショート） 巻線の開放（オープン） ベアリング損傷 コイルのリアクタンスの低下／増加
リレー	コイルの開放（オープン） コイルの抵抗値の変化 接点の酸化 接点の損傷 接点抵抗値の増加 接点の開放 接点の固着 絶縁抵抗値の低下 絶縁耐圧値の低下
抵抗（金属皮膜）	抵抗値の低下／増加 開放（オープン） 短絡（ショート）
抵抗（コンポジション）	抵抗値の変動
スイッチ（ロータリ）	断続的な接触 接点の酸化

表3.21-2 部品の代表的な故障モードの例(2/2)

品種	代表的な故障モード
バイポーラトランジスタ	遮断電流値の増加 h _{FE} の変動 開放（オープン） 短絡（ショート）
MOSFET	I _{GSS} の増加 I _{DSS} の増加 開放（オープン） 短絡（ショート）
バルブ（チェック及びリリーフ）	ポペット表面の荒れ ポペットの腐食 シート材の硬化 ばねのへたり

表3.21-3 宇宙環境下での特殊な故障モード例

宇宙環境	故障モード／現象
1. 高真空	①完全に空気が逃げる前の絶縁耐圧低下による放電 ②潤滑不良になる作動不良 ③アウトガス発生による熱制御材等への影響 ④熱制御の問題（例えば、熱伝導）
2. 放射線	①トータルドーズによる部品の劣化として、バイポーラデバイスのリーク電流増加、MOSデバイスの動作電圧の変化、有機材料の強度低下などがある。 ②1個の重イオン粒子による作動不良（例えば、ビットの反転） ③太陽フレア太陽電池セル劣化
3. 太陽熱放射	①日照／日陰の温度差による機械的ストレスによる損傷（例えば、ハンダ付部） ②高温、低温繰り返しストレス—温度制御困難
4. 静電的帯電	静止衛星の帯電放電—搭載電子機器の論理回路誤作動
5. 宇宙塵	衛星の損傷
6. 無重力	キャンタイプ部品の異物による故障
7. 原子状酸素	低高度衛星の原子状酸素による表面劣化（質量損失、強度劣化など）

(2) 故障モード／原因表の活用

故障モード及び原因情報の収集・整理・活用において、以下に示す故障モード／原因表を用いると効果的である。故障モード／原因表の記入例と注意点を図3.21-2に示す。

I. 故障モード/原因表の記入方法

- (i) 品名欄はコンポーネントを、部品名欄には構成部品レベルを記載する。
 理由：故障モード／原因表作成の狙いは、コンポーネント等のFMEAの充実にあり、検討対象はコンポーネント等を構成する部品であることに留意する。

また、加工・組立・試験等の作業（工程）上の不具合については、工程名を部品名／工程名欄に記載する。

（電子機器の場合は、部品名欄を構成モジュールレベルとする）

- (ii) 機能欄は、対象部位に要求される機能を記載する。
- (iii) 故障モードは、「IEC 60812」などを参考に記載する。契約相手方により重要とする故障モードでも良い。
- (iv) 故障メカニズム・原因欄は対策の取れるレベルまで落とし込んで記載する。（設計／製造工程／検査・試験／管理の具体策が書けるレベル）
理由：設計、製造等の改善を狙いとして、故障モード／原因表を纏めているため。
- (v) 故障メカニズム・原因欄は、①部位、②要因、③状況・条件、④直接原因を箇条書きで記載する。（③状況・条件は、不具合の発生状況ではなく、環境条件や使用条件を含む故障メカニズムを記載する。）ただし、過去の不具合事例（軌道上不具合等）で原因・故障メカニズムが明確で無く推定の場合、（推定）と記載すること。原因不明でも記載しないのでは無く、書ける範囲で記載し、開発のステップに合わせて順次詳細化して行く。
理由：理解の促進と①、②、③、④の抜け防止のため。
 - ①部位：故障した部品名（下位の該当部品名）を記載する。
 - ②要因：設計、製造上の問題点を記載する。
 - ③状況、条件：試験、ストレス等でどのように壊れたのかを記載する。
 - ④直接原因：部位がどう壊れたのかを記載する。
- (vi) 付帯情報欄には可能な限り具体的な情報を書き出すこと。
故障発生に影響のある数値等（材料分析情報、寸法、温度、浸漬時間、応力サイクル数、応力レベル等）
- (vii) 改善のポイント欄には、設計改善に繋がる、次の設計に使える、気をつけるべき事項を記載する。データベースに無い最新の知見（その後の成果で分かった情報）も加える。頻度情報も記述する。今後のプログラムで、設計、製造を行う上での留意点を記載する。
- (viii) 関連資料番号欄には、故障モード/原因表を活用する人がより詳細な情報を調査するために必要な異常／故障報告書番号や不具合報告書番号を記述する。

II. 故障モード/原因表について

試験や運用時に想定される故障モードは、研究開発の初期から運用完了まで把握するようにすること。この業務は（標準・個別）故障モード／原因表に記載するものとする。

故障モード/原因表については平常時から維持・整備しておくようにしなければならない。FMEAシート作成者の記憶力にたよって記入するようでは効果的な

解析にならない。

開発の進捗に合わせ類似不具合防止のため、ベンダーとの間で関連する技術／品質情報の把握等に活用できるように故障モード／原因表の追加、見直しを行う。

そのため、品質マネジメントシステム（QMS）の設計分野における業務の一環として位置づけて実施する。

参考：この表の良い点は、失敗データを体系化して使いやすくする意味でFMEAシートへの記入作業や点検時の負担を軽くし、併せて技術者の育成用の資料にもなる。この表は、設計上の不備に気づくきっかけともなる。

(i) 開発担当部署における故障モード／原因表の記載

標準用：

- ① 過去の研究開発において経験した事故や不具合から抽出
- ② 他の宇宙航空研究開発組織が公表した事例から抽出
- ③ 他産業分野なども含め学会等で発表された事例から抽出
- ④ よく知られている標準的な故障モード／原因（記載を必須事項としない）

以上の情報は、データベース化してJAXA内部組織が共有化し、利用できるようにする。

個別用：

対象品目について構成部品の個別故障モード／原因表を作成する。

標準用として作成した故障モード／原因表を利用して予測される故障モード／原因表を作成する。

(ii) 契約相手方での故障モード／原因表の記載

標準用：

前述しているように以下の①②からの標準故障モード／原因表を用意する。

- ① 製造に関係した不具合・欠陥などから抽出
- ② 前項(i)の①～④等から収集した情報から抽出（JAXAから適宜提供）

個別用：

対象品目について構成部品の個別故障モード／原因表を作成する。

標準用として作成した故障モード／原因表を利用して予測される故障モード／原因表を作成する。この個別用故障モード／原因表を作成する時から検討会構成員によるブレインストーミングの実施を推奨する。このこ

とは新規性の高い場合などに配慮すべきである。

Ⅲ. 故障モード/原因表作成手順

1. 目的：

故障モード/原因表の作成手順を明確にする。

(この手順は、初めて故障モード/原因表を作成する場合に有効である)

2. 故障モード原因データベースの区分について：

故障モード/原因表の作成手順を明確にするため、便宜上故障モード原因データベース（以後FCDと呼ぶ）を次の3種類に区分し段階的に検討を展開することにより手順の明確化・確立を図る。

① FCD-1：ブレンストーミング等検討による抽出法で作成した FCD

② FCD-2：故障事例のみを元に故障モードを抽出する方法で作成した FCD

③ FCD-3：上記①と②を合成した最終的 FCD

3. 故障モード/原因表の作成手順と対象

3.1、3.2、3.3の順に作成する。

3.1 FCD-1の作成手順と対象

ブレンストーミング等、関係者間の検討により故障モード/原因表を作成するものである。構成部品と機能の抽出、考えられる故障モード、原因をブレンストーミングにより抽出する。

3.2 FCD-2の作成手順と対象

社内で経験した故障事例 (PR2, MRB等) を基に故障モード/原因表を作成するものである。

3.2.1 不具合情報の処理手順：

(i) 対象の絞込み手順

ステップ1

不具合情報からFCD-2の作成対象として、信頼性プログラムで規定する異常故障報告に該当するものすべてを抽出する。異常故障に該当するものはPR-2やMRBも含めすべて対象とする。(ステップ2の事項を除外しないこと)

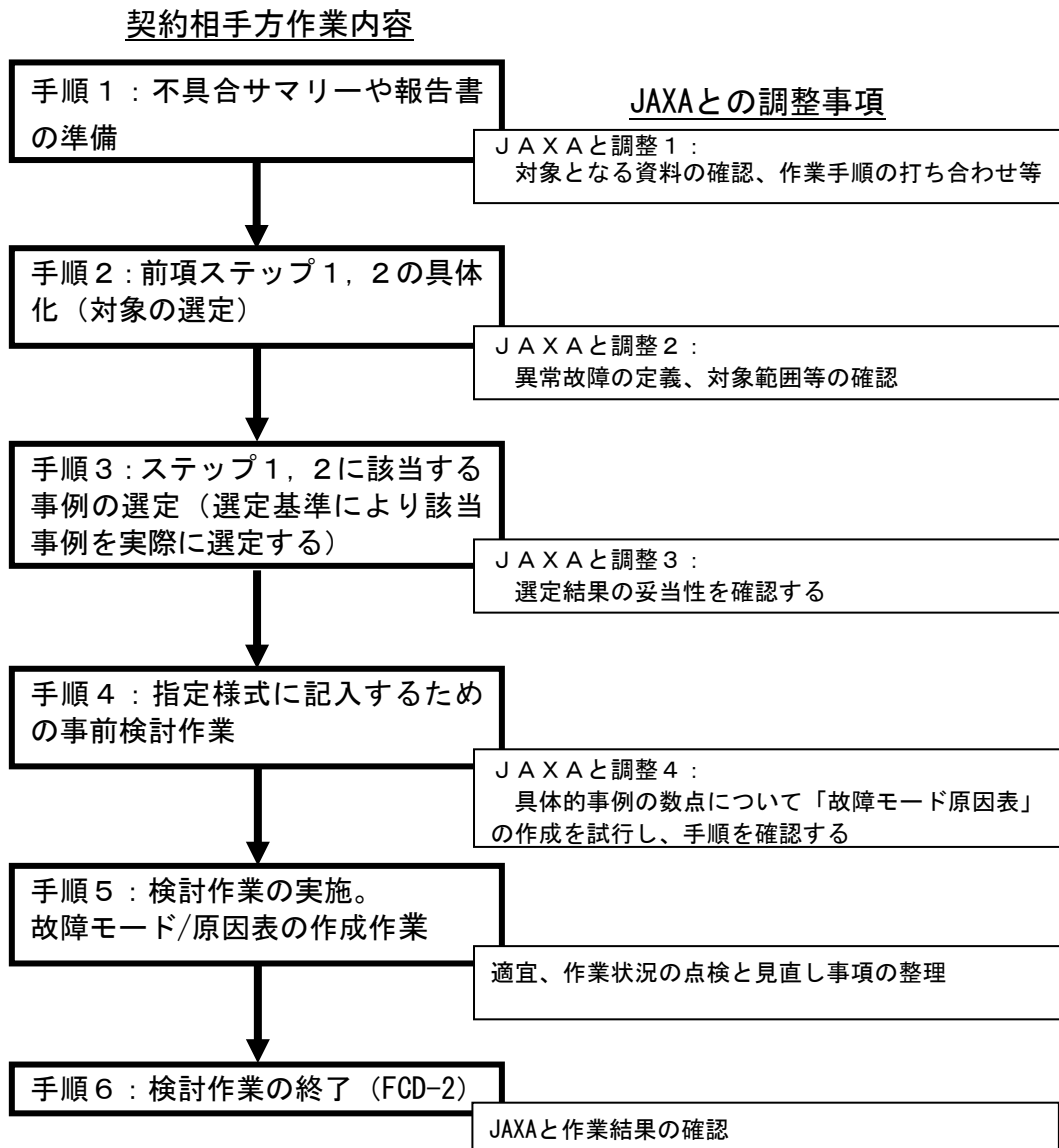
また、PFT以降に発見された不具合については、異常故障も含め、全てを対象とする。

ステップ2

抽出した事項から更に下記の範囲の一つに該当するものについて故障モード/原因表を作成する。

- ①次工程以降で発見された不具合（PFT、射場・テストサイト、運用中に発見されたもの）（重複する故障モード／原因は代表で良い。また、単純な不具合でも繰り返し発生するものや設計者が陥り易いものは反映する）
- ②不具合の原因がJAXAの他の製品においても発生する可能性のある場合（設計・工程・部品材料などに関連して）
- ③工程中で発見されたが 通常の試験検査で見逃されやすく、その結果が納入後に発見される可能性の高い場合。
- ④新規技術に関連して事前検討で気づかなかった原因による場合

(ii) 作業順序



注) 調整1~3は同時期でも可能とする

3.3 FCD-3の作成

FCD-1にFCD-2を加えて、ブレインストーミング等で最終確認する。

実施しない場合の影響

設計段階において、潜在的故障モードを見落とし、設計上の処置を図らずに製品が出荷され、軌道上で致命的な不具合になる恐れがある。

また、FMEA/FMECAを実施する際に故障モードの抽出漏れが生じ、設計上の処置を図らずに製品が出荷されるため、軌道上で致命的な不具合になる恐れがある。

参考文献

なし

品名		(標準・個別)故障モード/原因表 該当する方に○をつける			改訂履歴	文書番号	承認	作成
配管/継ぎ手類					故障発生に関する具体的数値等を記載する。			
番号	部品名/工程名	機能の説明	故障モード	故障メカニズム・原因	付帯情報	改善のポイント	関連資料番号	
14	溶接 T 継ぎ手	各コンポーネント/デバイスを接続、継手によりリーク無く結合	本体部からの外部リーク	①部位:T本体部 ②要因:母材の介在物(硫化マンガン) ③状況・条件:介在物が板厚方向に分布し、又、酸洗(硝酸)に長時間浸漬 ④直接原因:溶出部が貫通孔となる	母材:SUSΔ 厚さΔt 浸漬時間:ΔH	①図面では介在物の分布を考慮した材料取りの指示はあったが、薄肉部品に対する酸洗指示書の許容時間が不適切であった。関連として酸洗工程で厚物と薄肉ものが同時に投入を許容していないか確認すべきである。 ②ウエルドディケイを防止するには、SUSΔよりは SUS×を指定すべきである。	(適用プログラム名が分かること)	
			溶接 合異常	細部 略			<ul style="list-style-type: none"> ・箇条書きで記載する。 ・発生頻度情報を記載する。 ・複合原因への配慮が必要 ・過去に遡って当該不具合が未然に防げるかという観点で表現する。 	
		不具合状況の説明ではなく不具合に至る故障メカニズムを記載して下さい。勘違いの事例が多いので注意が必要。		過去の不具合事例で原因・故障メカニズムが明確で無く、推定の場合、(推定)と記載すること。		一般的な注意でなく、きめ細やかな改善ポイントを記載しないと推奨是正勧告や具体的な設計改善に結びつかない。		

図3. 21-2 故障モード/原因表の記入例と注意点

3.22 ワーストケース解析 (WCA)

効果

ワーストケース解析 (WCA) は、環境条件及び部品等の特性値等の変化により、最悪状態に偏移した場合においても、開発する宇宙用機器が要求された機能、性能を維持し、計画されたミッション期間を達成できるかどうかを判断することができる。

効果的な実施時期

概念設計／計画決定段階から詳細設計段階まで

技術的根拠

部品等は環境条件等によりその特性値が変動することが知られている。ミッション期間中に想定される範囲で、環境条件及び部品等の特性値等に変化が生じ、その結果、これらが最悪状態に偏移した場合においても、開発するコンポーネント、サブシステム、システムが要求された機能、性能を維持し、計画されたミッション期間を達成できるように設計することが目的である。更に設計変更に伴う部品の特性値の許容範囲の決定にも利用することができる。

JMR-004の対応項番

4.3.8 ワーストケース解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 基本設計審査
- (2) 詳細設計審査
- (3) 使用環境条件の設定
- (4) 部品ストレス解析

実施方法

以下に示す手順で実施する。

- (1) 解析条件の検討

対象機器に印加される使用環境条件を基に、機器の安定作動に影響を及ぼす熱、温度、放射線、電氣的ストレス並びに使用した部品、材料の特性値のバラツキ等の変動要因を検討する。

部品、材料の変動要因としては、以下のものがある。

- ・初期特性の誤差
- ・温度変動
- ・環境による変化

- ・寿命による経年変化（1例として、MIL-HDBK-1547¹⁾がある）
部品、材料の特性値の変動にはバイアス成分とランダム成分とがある。

(a) バイアス成分；特性値の特定方向への変動分

(b) ランダム成分；プラス、マイナスにばらつく変動分

例えばトランジスタの電流増幅率は放射線の被曝により減少し、増加することはなく、またシリコントランジスタのリーク電流は温度上昇とともに増加するため、これらの変動にはバイアス成分が含まれる。一方、部品の初期誤差やオペアンプのオフセット電圧、個品によるバラツキなどはランダム成分と見なすことができる。

(2) 解析の実施

これらの変動要因が最悪状態へ変化した場合、ミッション期間中にミッションを達成させるには問題であると判断される機器を抽出する。

これらの検討では定量的に解析を実施する。変動量の累積手法としては、バイアス成分は単純和（linear Sum）し、お互いに独立した変動要素であるランダム成分はRSS(Root Sum Square：二乗和の平方根)が一般的である。

$$R S S = (X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2)^{1/2}$$

検討対象となると考えられるものの例として、太陽電池の発生電力、OSR(Optical Solar Reflector)の熱光学特性、電気回路のアナログ特性などがある。

(3) 解析結果の反映

解析においては、解析の結果、問題があると判断した機器に対して必要な対策を施し、コンポーネント、サブシステム、システムそれぞれがミッション期間中軌道上で正常に作動することを確認する。

(4) 解析結果の評価、報告

WCAの妥当性について、設計担当の責任者と信頼性保証部門で確認する。各フェーズの設計審査においては、WCAの結果をインプットパッケージに記述し審査する。

具体的な作業内容は、以下のとおりである。

- ・システム要求／システム定義審査：環境条件の識別
- ・基本設計審査：解析条件、解析項目の識別
- ・詳細設計審査：WCAの実施

なお、解析結果は運用解析等へ反映させ活用する。また、認定試験後審査、プロトタイプ試験後審査においても、解析の妥当性を確認する。

(5) 留意事項

対象とする部品、材料の変動要因の検討がポイントであり、既存のデータ、部品（材料）製造メーカーのデータ、公的機関が発行したデータ等の活用が重要である。

ワーストケース解析においては対象とする部品等の変動要因及びどの特性値がどのように変動するかが必要である。

これらに関する既存データを利用できると便利なので、そのデータベースの構築・維持が望ましい。

(6) ワーストケース解析の実施要領の事例

a. 目的

この実施要領は、システム、サブシステム、コンポーネントに印加される環境条件及び適用条件により、部品等の特性値が最悪状態に偏移した状態においてもそのシステム、サブシステム、コンポーネントの安定作動を保証するための対策等を検討するために実施するワーストケース解析（WCA）の手順を定めるものである。

b. 実施フローチャート

WCAの実施フローを図3.22-1に示す。

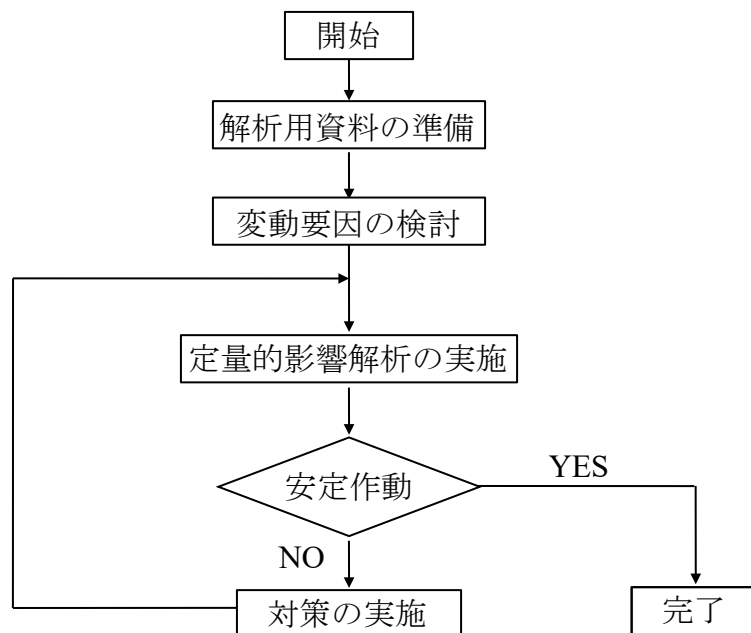


図3.22-1 WCA実施フロー

c. 準備

WCAの実施に当たっては、以下の資料を用意する。

- ・部品適用データシート
- ・機器の環境条件（熱、温度、放射線等）及び適用条件（電圧、電流、電力など）
- ・電気回路図、製造図面など

d. 実施

(a) 変動要因の検討

機器に印加される環境／適用条件に基づき、次の手順で部品の特性値の初期値に対する変動量を定量的に求める。

手順

- ア. 常温（25℃）に対し、機器作動時の最高／最低温度における特性値の変動率（％）をそれぞれ求める。
- イ. ミッション期間を通じて被曝する放射線量（トータルドーズ）による特性値の変動率（％）を求める。
- ウ. ミッション期間における経年劣化による特性値の変動率（％）を求める。
- エ. 前項ア. ～ウ. の変動率（％）によって、機器の機能・性能に悪影響となる方向の変動率（％）を求める。
- オ. 以上のア. ～エ. の変動率を表3.22.1-1に示す一覧表にまとめる。
- カ. なお、ウ. の変動量（％）が不明の場合は、MIL-HDBK-1547などの変動率を使用し解析を実施してもよい。

注意事項

- ・環境／適用条件による部品の特性値の変動率を求めるに当たっては、部品適用データシート等を活用すること。
- ・抵抗、半導体等の作動温度については、自己発熱による温度上昇分を忘れないこと。
- ・経年劣化による特性値の変動率を求める場合は、アレニウス則を活用すること。

アレニウス則： $k = A \times \exp(-\Delta E / k_B T)$

アレニウス則を用いた寿命計算式：

$$\text{寿命 } L = L_0 \times \exp\left(\left(\Delta E / k_B\right) \times \left(1 / T - 1 / T_0\right)\right)$$

k ：反応の速度定数 A ：頻度因子 T ：温度（K）

ΔE ：活性化エネルギー L_0 ：試験時間

k_B ：ボルツマン定数 T_0 ：試験温度（K）

- ・試験段階を通じて受ける熱、温度、機械、電氣的ストレスによる変動率も考慮すること。
- ・熱制御材料等は紫外線の影響があるので考慮すること。また、汚れの影響も考慮すること。

(b) 定量的影響解析の実施

前記(a)「変動要因の検討」結果に基づき、大きく分けて次の項目について解析する。

- ・熱制御材料（OSR、サーマルシールド等）の熱特性の変動
- ・電気回路（太陽電池、アナログ回路等）の特性の変動

ア. 熱制御材料の熱特性の変動

機器の熱解析に当たっては、機器等の熱特性（放射率、吸収率）の初期値による温度予測を実施するとともに前記a.「変動要因の検討」結果から求めた変動率（%）を初期値に掛けた値に基づき寿命末期の温度予測を実施し、初期及び寿命末期の温度予想値が機器に要求される熱環境以内に保たれることを確認する。

機器内の熱環境は熱伝導が支配的であるため、この熱解析は原則としてシステム側で実施する。

熱解析の結果、問題があることが判明した場合は、システム、サブシステム、コンポーネントのそれぞれの担当で必要な対策を検討する。

表3.22-1 部品パラメータ変動率一覧表例

WCAワークシート 部品パラメータ 変動率一覧表 「コンポーネント名」① 「ブロック名」①		版数	年 月 日	設 計	信 頼 性		
		②	②	②	②		
部品種別	特性値	変 動 (%)					備 考
部品番号		初 期	温 度	放 射 線	経 年	R S S	
③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

記入方法

- ① コンポーネント名及び電気回路のブロック名を記入する。
- ② 版数、年月日、確認のサインを記入する。
(各コンポーネントの1枚目のシートのみ記入する。)

- ③ 回路図に記入された部品の種別、部品番号、及び回路符号を記入する。
例えば、固定タンタルコンデンサ (NASDA CSR13G475KP)、C 1などを記入する。
- ④ 特性値で、容量などを記入する。
- ⑤ 初期偏差で、10%などを記入する。
- ⑥ 機器作動時の最高／最低温度における特性値の変動率を記入する。
- ⑦ ミッション期間を通じて被曝する放射線量（トータルドーズ）による特性値の変動率を記入する。
- ⑧ ミッション期間における経年劣化による特性値の変動率を記入する。
- ⑨ ⑤～⑥をRSSで求める。
- ⑩ コメントがあれば記入する。

イ. 電気回路の特性変動

機器の回路設計に当たっては、その機器の機能・性能を実現する上で必要な特性を有する部品を選定する。回路の設計図が作成された時点で、その回路が要求される機能・性能を満足できることを示すため、回路を構成する各部品の初期値を用いた回路解析を実施し、作動パラメータ等の算定を行なうとともに、初期値に前項(a)「変動要因の検討」結果から求めた変動率(%)を掛けた値に基づき寿命末期の回路解析を実施する。

初期及び寿命末期の回路解析に当たってのチェックポイントは次の通りである。

チェックポイント

- ・初期値の回路解析に当たっては、常温での特性値に温度変動分を見込むこと。また、温度変動分には、作動に伴う自己発熱分を考慮すること。
- ・初期及び寿命末期の回路解析に当たり、部品個々のバラツキ分を設計マージンとして見込むこと。
- ・入力信号については、インタフェース仕様書に規定された変動分を考慮すること。

(c) WCA結果の反映

前記(b)のWCA結果に基づき、機器の安定作動を保証するために必要な場合、次の処置を実施する。

- ア. 経年変化を抑えるためにディレーティングの改善を図る。
- イ. 放射線劣化を抑えるために放射線シールド厚を増加する。
- ウ. 温度変動分等を抑えるために実装方法の変更をする。
- エ. 部品のバラツキ等を抑えるために追加試験の実施、及び受入試験、加工処理に対する特別な注意事項の指示・徹底を図る。

(d) WCA結果の報告

WCA結果及びその処置については、設計審査会へ報告し、解析結果及び処置の妥当性を確認する。

(例題)

ダイオードのリーク電流 I_R の変動量をワーストケース解析によって求めよ。但し、 25°C において、 $I_R=18\pm 2\text{nA}$ 、放射線による劣化は $\Delta I_{\text{RRAD}}=30\text{nA}$ 、10年での経年劣化は100%、最高作動温度 85°C とする。

(答)

リーク電流は放射線や経年劣化により、正の方向に変動するので、初期値はノミナル値に許容誤差の十分を加えた最大値とする。

10年の経年変動により、 $\Delta I_{\text{RAGE}}=(18+2)(1.00)=20\text{nA}$

温度変動によるリーク電流の変動は 10°C 2倍則（寿命解析の項参照）に従うとすると、温度係数は $2^{[(T1-T2)/10]}$ とする。

$\Delta I_{\text{RTEMP}}=20(2)^{[(T1-T2)/10]}=20(2)^6=1280\text{nA}$

放射線による劣化により、 $\Delta I_{\text{RRAD}}=30\text{nA}$

以上の変動要因は全てバイアス成分なので、これらを初期値に加算する。この場合のランダム成分となる変動要因は許容誤差のみであるので、RSSして加算すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} WC_{\text{MAX}} &= 18 + \Sigma (\Delta I_{\text{RAGE}} + \Delta I_{\text{RTEMP}} + \Delta I_{\text{RRAD}}) + [\Sigma (\pm 2)^2]^{1/2} \\ &= 18 + (20 + 1280 + 30) + 2 = 1350\text{nA} \end{aligned}$$

従って、温度 85°C でのリーク電流は $I_{\text{REOL}}=1350\text{nA}$ となる。

実施しない場合の影響

設計段階でWCAを実施しないと、ハードウェアの最悪状態までの機能・性能の保証ができない。

参考文献

- 1) MIL-STD-1547 Electronic Parts, Materials, and Processes for Space and Launch Vehicles

3.23 トレンド解析

効果

トレンド解析は、性能の安定度に関係する測定可能な特性値の変動を時系列的に監視し、部品等のもつ特有の異常な変動の傾向を解析することにより、早期に異常を発見し、対策を取ることができる。

効果的な実施時期

基本設計以降の全段階

特に、ハードウェアの製造、認定試験、受入試験の開始から最終試験終了までに実施する。必要に応じて軌道上運用時にも実施する。

技術的根拠

特性値を時系列的に監視することにより異常の兆候を早期に発見することが出来、また、部品等のドリフト、劣化等の評価をすることが出来る。

JMR-004の対応項番

4.3.9 トレンド解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 特性値管理品目の管理
- (2) 信頼性管理品目の識別

実施方法

以下に示す手順で実施する。

(1) 管理幅の設定

識別された特性値管理品目の特性値について、ドリフト、変動、劣化等が生じた場合、ハードウェアの機能、性能に対する影響を回避する特性値の許容範囲を検討し、その結果から適切な管理幅を設定する。

(2) 特性値のトレンド記録

特性値を時系列的に記録する。変動の記録に当たっては傾向が視覚的に把握できるようにグラフ化することが望ましい。

(3) 特性値のトレンド評価

トレンド記録の結果は、たとえレベルが仕様値限界内に入っている場合も特性値の公称値からの変動が異常な傾向を示している場合は信頼性技術者及び設計技術者により解析・評価を実施する。異常な変動を示すトレンド記録の例を図

3.23-1に示す。

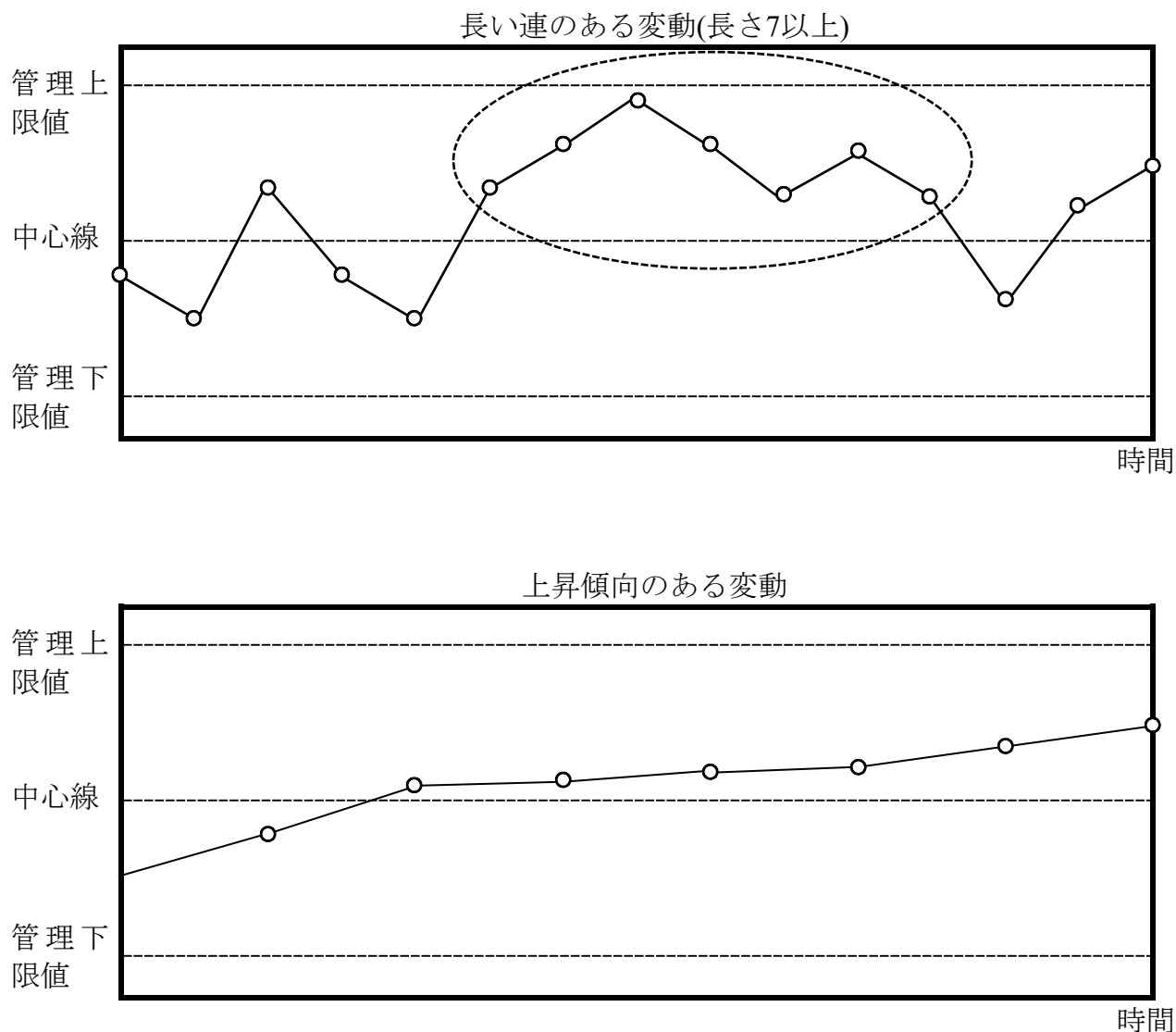


図3.23-1 異常な変動を示すトレンド記録

a. 評価方法

特性値の変動の評価方法として、EOL(End of Life)解析による部品のドリフト及び劣化を解析する手法がある。以下にその実施方法を示す。

部品や材料の劣化モデルには多くの数学モデルが適用できる。部品や材料の特性値の変動はこれらのモデルで予測出来るが、劣化データの範囲を超えて特性値を外挿するときの予測値の精度は落ちる。

この精度は求める特性値が劣化データの範囲内であることとアレニウス則で

求めた活性化エネルギーのような特性値の精度に依存する。

温度による変動（アレニウス則）

アレニウス則は温度による特性値変動を予測するモデルであり、寿命解析またはワーストケース解析で利用され、詳細については寿命解析の項に記載しているので参照願いたい。

アレニウス則から、温度の変動による特性値の変動は以下の式となる。

$$q_2 = q_1 \times \exp\left\{ \left(\frac{E_A}{k} \right) \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right\} \quad (1.1)$$

q_2 = 温度 T_2 での特性値

q_1 = 温度 T_1 での特性値

$T_2 = q_2$ を測定した時の温度 (K)

$T_1 = q_1$ を測定した時の温度 (K)

E_A = 活性化エネルギー, k = ボルツマン定数

アレニウス則で特性値の変動量を求める例を以下に示す。

計算例 1

集積回路の伝搬遅延（周波数）の変動（経年）を異なる温度で算出する。周波数変動は温度 110°C 、10年で -10% ずれる。 85°C で10年後の周波数変動を求める。

集積回路の活性化エネルギーは $E_A = 1.1$ とする。特性値 q_1 は10年で $q_1 = -10\%$ 、式 (1.1) から、計算式は以下ようになる。

$$q_2 = -10 \times \exp\left[\left\{ \left(\frac{1.1}{8.62 \times 10^{-5}} \right) \times \left\{ \frac{1}{273+110} - \frac{1}{273+85} \right\} \right\} \right]$$

$$q_2 = -10 \times \exp\left\{ 12.76 \times 10^3 (-1.82 \times 10^{-4}) \right\}$$

$$q_2 = -10(0.097616) = -0.976\%$$

この結果、伝搬遅延は温度 85°C の場合10年で 0.976% ずれる。

アレニウス則から、特性値の変動が時間に対して、線形であると仮定すると、次式が成り立つ。

$$t_2 = t_1 \times \exp\left\{ \left(-\frac{E_A}{k} \right) \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right\} \quad (2.1)$$

t_1 = 特性値の変動を測定した合計時間 (hours)

t_2 = 時間 t_1 での特性値の変動と等価な時間 (hours)

T_1 = 時間 t_1 での温度 (K)

T_2 = 時間 t_2 での温度 (K)

計算例 2

あるTTLが25°C（ケース温度）で1μAのリーク電流(IIH)をもっているとする。240時間のバーンインと1000時間の寿命試験後、リーク電流を測定すると、1.1μAとなった。試験でのケース温度が125°Cでミッションのケース温度が60°Cとし、素子が試験されないで直接使用に供されるとして、リーク電流の変動と等しいミッション時間を求める。

式(2.1)へ以下の数値を代入すると、

t_2 =等価なミッション時間(hours)

t_1 =バーンインと寿命試験の合計時間(hours)

T_2 =ミッション温度(K)

T_1 =バーンインと寿命試験の温度(K)

$E_A=0.7\text{eV}$, $k=8.62\times 10^{-5}\text{eV/deg}$ とすると

$t_2=1240\text{hr}\times \exp(-0.7/0.0000862)(1/398-1/333)=66540\text{hr}=7.6\text{yr}$

計算例2の結果から、アレニウス則はリーク電流が0.1μA変動するのは125°Cの場合1240時間、また60°Cの場合7.6年で発生することを表している。この例のアレニウス則では試験で取得した特性値の任意の値に試験とは異なる温度で同じ値に達する時間を求めることが出来る。また任意の時間での特性値の変動は時間に対して線形であると仮定すれば、比例計算で求めることが出来るが、前述の通り、試験範囲の外側を外挿する値において、著しい誤差が生じてしまう。これは変動が必ずしも線形とは限らず、非線形（指数関数的または対数的）とも考えられるからである。特性値の変動は試験データによって、ある時間までの変動の様子はわかるが、特性値の変動を正確に表すことは出来ない。従って、アレニウス則で求めた試験時間の外側を外挿する予測値の正確な勾配を求めることが重要となる。

部品の故障は、固有の故障メカニズムにより、有効寿命の末期で多く発生する。この現象は信頼度のバスタブカーブにおける磨耗故障期に相当する。試験時間の外側を外挿する数値の曲線はこれに基づけば、自然対数方程式が理想モデルである。

自然対数方程式は

$$\Delta P(t)=B\times \ln(1+at)+C \quad (2.2)$$

定数a, B, CはクラスS部品のバーンインと寿命試験時間及び各特性値の仕様値によって決まる。結果は次式で表される。

$$\Delta P(t)=\Delta P\{\ln(r^{-1}+[r-1]t/tL)\}/\ln r$$

$$\Delta P(0)=-\Delta P$$

$$\Delta P(t_B)=0$$

$$\Delta P(t_B+t_L)=\Delta P$$

ここで、

t_L =寿命試験時間

$$r=t_L/t_B$$

t_B =バーンイン時間

ΔP =バーンインと寿命試験における最悪状態の特性値変動

$\Delta P(t)$ =時間 t での特性値変動

試験時間の外側を外挿する数値の曲線は変動の勾配を決定するが、ミッション温度がバーンイン、寿命試験の温度とは異なるため、試験時間の外側はミッション温度での時間に変えなければならない。そのためアレニウス則と自然対数方程式を組み合わせる。これがEOLモデルである。EOL解析はミッション期間の末期における特性値の変動値を予測するために用いる。EOLモデルを次に示す。

$$P(EOL)=P_i+\Delta P\{\ln[r^{-1}+(r-1)(t_{EOL}/t_L)\exp(-\Delta E/k)(1/T_u-1/T_L)]\}/\ln r$$

ここで、

$P(EOL)$ = t_{EOL} での特性値の予測値

P_i =特性値の初期値

ΔP =バーンイン最大特性値変動量

$r=t_l/t_b$; ここで、 t_l =寿命試験時間、 t_b =バーンイン時間 (hours)

t_{EOL} =ミッション寿命時間 (hours)

$t_L=t_l+t_b$ =総試験時間 (hours)

ΔE =劣化過程活性化エネルギー (eV)

T_u =ミッション時の素子ケース温度 (K)

T_L =バーンインと寿命試験時の素子ケース温度 (K)

EOLモデルで特性値の変動量を求める例を以下に示す。

計算例 3

EOLモデルに数値を代入して、30年後の特性値の最悪値を決定する。計算例 2 で与えた値 (アレニウス則) と30年間 (252800時間) をEOLモデルに入れると、

$$\begin{aligned} I_{IH}(30) &= 1.0 \mu A + 0.1 \mu A \{ [\ln(1/4.167) + (4.167-1)(252800/1240) \times \\ &\quad \exp(-0.7/0.0000862)(1/333-1/398)] \} / \ln 4.167 \\ &= 1.0 \mu A + 0.1 \mu A \{ \ln[(645.9)(e^{-3.98})] \} / 1.427 \\ &= 1.0 \mu A + 0.1 \times 2.49 / 1.427 \mu A \\ &= 1.174 \mu A \end{aligned}$$

EOLモデルから、60°Cの場合、リーク電流の最悪値は30年で1.174 μ Aになると予測される。(30年間でのリーク電流値は温度に依存して増加すると考えられる) この値が回路設計上の許容値を越えているのであれば、対策が必要となるため、特性値を正確に予測するための適切な変数を設定して確認する必要がある。EOLモデルの各変数は下記で設定される。

初期値 P_i はワーストケース解析で求めたランダム成分とバイアス成分の変動要因から設定する。 r の値はクラスS (同等品も含めて) の部品では4.167である。バーンイン時間 t_B は240時間で寿命試験時間 t_L は125°Cで1000時間である(ある受動素子の寿命試験は2000時間かもしれないが)。両試験の回路は同じでなければならない。すなわち、電圧ストレスは同じ方向に作用する。総試験時間は125°Cで1240時間である。バーンイン時間と寿命時間と温度はMIL-STD-883¹⁾方法1005または1015の時間温度回帰表を用いれば調整できる。試験時間は同じ温度で決定されなければならない。

実施しない場合の影響

トレンド解析を実施しないと、異常/故障の徴候を見逃すことになる。

参考文献

- 1) MIL-STD-883 「TEST METHOD STANDARD MICROCIRCUIT」

3.24 寿命解析

効果

寿命解析は、宇宙用機器の経年劣化や寿命を解析することにより、ミッション期間中、正常に作動することを保証する。

効果的な実施時期

概念設計／計画決定段階以降の全段階

特に、必要な寿命試験により要求寿命が達成し得ることを確認する。

技術的根拠

摩耗または劣化現象により、故障が発生する機械的素子や部品等はある時点で集中的に故障が発生する。また、システムの構成要素の特性が経年で劣化してシステムの機能低下となり、結果的にシステムの故障を引き起こす。これらの故障が発生する時点を寿命試験または既存データから統計的手法によって求め、有効寿命が設定される。寿命解析はシステムの構成要素の有効寿命を求め、ミッション期間に対して有効寿命に十分余裕があり、ミッション期間中に安定した状態で使用できることを検証するために実施するものである。

JMR-004の対応項番

4.3.10.2 寿命解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 作動寿命限定品目の管理
- (2) 貯蔵寿命限定品目の管理
- (3) 寿命試験
- (4) 累積疲労損傷の管理

実施方法

以下に示す手順で実施する。

- (1) 要求寿命の明確化

システムに要求される寿命及び運用条件から解析対象品目の要求寿命を明確化する。(例：静止軌道上において、打上げ後3年以内に摩耗又は劣化による故障が発生しない設計であること)

- (2) 寿命品目の抽出

システムの構成要素から、摩耗または劣化現象により、故障が発生する機械的素子や部品等、または特性が経年で劣化してシステムの機能低下を引き起こす

原因となる品目を抽出する。

(3) 寿命要因の調査・検討

寿命の要因となる故障モード（摩耗、特性の劣化など）を調査し、寿命を来す直接の要因を明確にする。

更にその故障モードが生ずるメカニズム（熱的、物理的、化学的、機械的、電氣的など）を調べる。

(4) 寿命の評価

解析対象のシステムの運用条件を十分に検討した上で、寿命解析を要する品目について、要求された寿命に対する確認方法を検討する。この場合、既存のデータを有効に活用すること。また既存のデータが活用出来ない場合は、寿命試験により要求寿命を保証できるか検討する。

解析対象品目の有効寿命を検討するモデルとして、アレニウス則がある。

これは化学反応と温度との関係から導出されたモデルである。物質が化学反応を起こすためには定常状態から活性化状態に遷移しなければならず、熱エネルギーによって著しく早められるのは定常状態の分子と活性化状態の分子との間の平衡が崩れるためと考えられる。従って物質の反応速度定数Kは

$$K = \Lambda e^{-E/kT} \text{ または } \Lambda e^{-B/T} \quad (3.1)$$

と表わされる。ここでkはボルツマン定数、Tは絶対温度、Eは活性化エネルギー、 Λ は定数で頻度因子と呼ばれる。Bは活性化エネルギーEをボルツマン定数kで割ったものである。

反応速度定数は部品の故障でいえば劣化速度を決定するものであるので、部品の寿命はKに反比例する。従って、部品がある故障レベルで寿命が尽きるとすれば、部品の特性値が劣化して故障レベルに達する値を $f(a)$ で表わす場合、寿命Lは

$$L = f(a) / K$$

で与えられる。対数をとると

$$\ln L = \ln f(a) - \ln K$$

となり、さらに(3.1)式から

$$\ln K = \ln \Lambda - B/T$$

であるから、

$$\ln L = \{ \ln f(a) - \ln \Lambda \} + B/T = A + B/T \quad (3.2)$$

となる。

これがアレニウス則としての寿命と温度との関係を表わす式である。

寿命の加速係数 A_L は

$$A_L = L_N / L = K / K_N \quad (3.3)$$

で表わされ、寿命 L_N 、反応速度 K_N はそれぞれの基準値を示す。(3.2)、(3.3)式から加速係数は

$$A_L = \text{EXP}\left(-\frac{B\Delta T}{\bar{T}^2}\right) = 2^{\Delta T/\theta_T} \quad (3.4)$$

ただし、 $\Delta T = T - T_N$ 、 $\bar{T}^2 = TT_N$ 、 $\theta_T = (\bar{T}^2 \ln 2) / B$

式(3.4)は温度が θ_T 上昇するごとに寿命が半減することを意味しており、これに従う部品や材料は 8°C 2倍則とか 10°C 2倍則とかが経験的に使用されている。

(例題)

10°C 2倍則に従うコンデンサがあり、温度 55°C で使用可能とすると、寿命はどうか。ただし、コンデンサの寿命は 25°C で $\text{MTTF} = 10^6$ 時間とする。

(答)

式(3.4)から、 $A_L = 2^{\Delta T/\theta_T}$ に、 $\Delta T = 55 - 25 = 30$ 、 $\theta_T = 10$ を代入して、 $2^3 = 8$ となり、寿命は $10^6 / 8 = 125000$ 時間となる。

(5) 寿命評価結果の確認、報告

寿命解析及び評価を実施した項目を文書化する。その解析及び試験並びに評価の結果の内容を、信頼性保証部門で確認する。

また、これらの結果をシステム要求/システム定義審査(寿命解析の対象とする品目の識別)、基本設計審査(寿命要因の識別)、詳細設計審査(寿命解析の実施)で審査し、作動時間/回数又は暦日経過の履歴の管理を要する品目を、有効寿命品目(作動寿命限定品目、貯蔵寿命限定品目)に指定する。累積疲労損傷については、更にそれぞれの試験後審査において、試験及び作業結果に問題がないかどうかを確認する。

一方、寿命試験を実施したものは、その結果を詳細設計審査、認定試験後審査、受入試験後審査で審査するとともに試験報告書でその内容を報告する。

(6) 寿命解析実施の例

以下に、寿命解析の1例(CS-3)¹⁾を示す。

a. 目的

CS-3では寿命要求が7年(従来は最長で5年)となり、その保証のために寿命解析(及び寿命評価)を実施した。

b. 実施フローチャート

基本／詳細設計で実施した寿命解析の実施フローを図3. 24-1に示す。

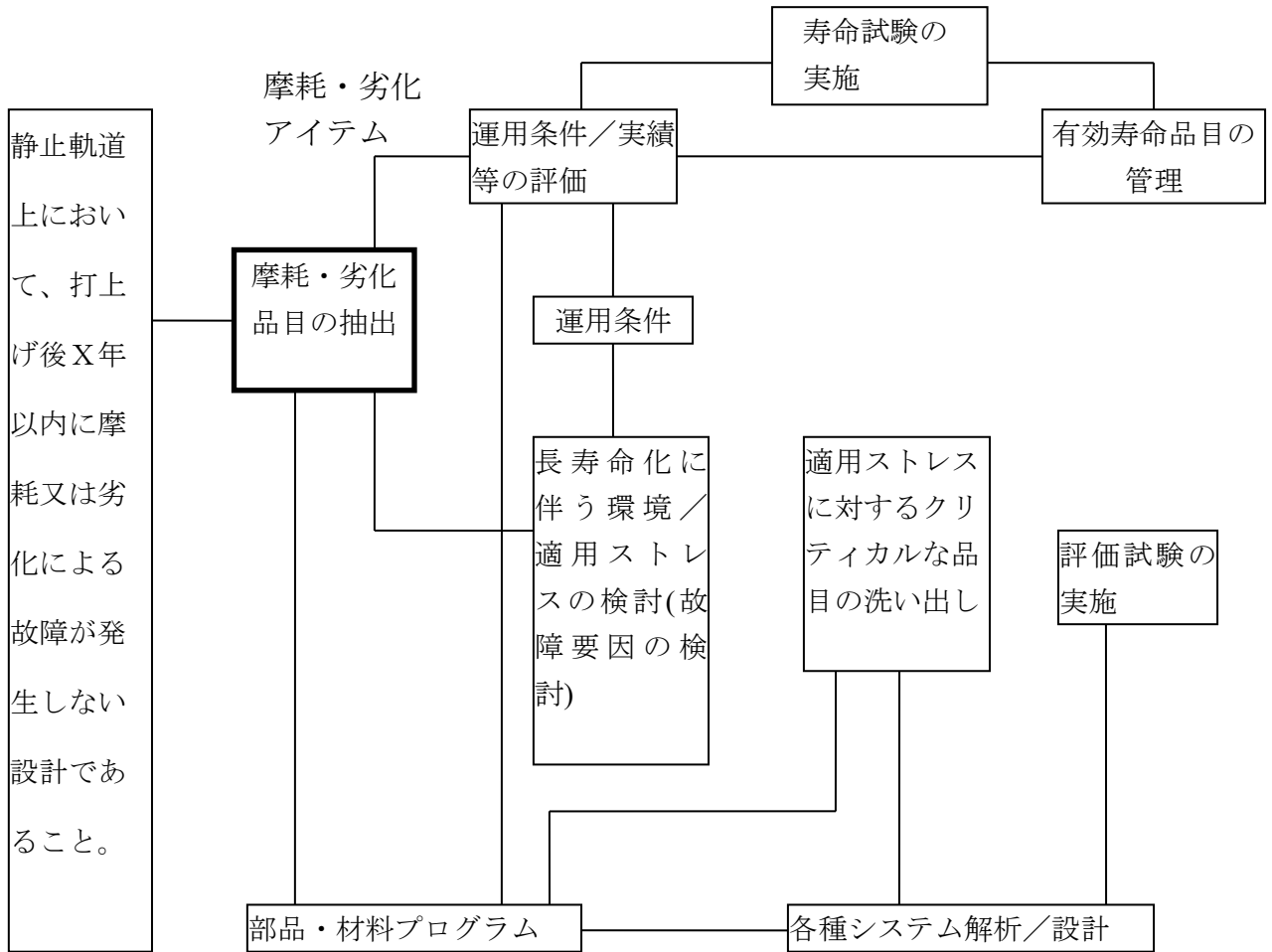


図3. 24-1 寿命解析の手順例

c. 抽出した品目

特に熱ストレスと放射線ストレスにポイントを置いた寿命解析を実施し、表3. 24-1に示す品目を抽出した。

d. 寿命評価試験の結果

表3. 24-2に評価結果を示す。

表3.24-1 寿命要求に対してクリティカルな品目

行番	評価品目	評価の目的
1	OSRモジュール	OSRと衛星構体との電氣的接続を行う導電性接着剤が軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
2	Sバンドアンテナセグメント	内側表皮とSMAコネクタ接続部分及び内側表皮と外側表皮とを接続する部分のはんだ付け箇所が軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
3	4分配器ダミーモジュール	同軸コネクタと基板とを接続する部分のはんだ付け箇所が軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
4	貫通フィルタ	軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
5	トランス	軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
6	SAWフィルタ	軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
7	水晶フィルタ	軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
8	セラミックコンデンサ	軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
9	DETモジュール	厚膜基板上に実装したチップ部品等のはんだ付け箇所及びチップ部品並びに厚膜基板とキャリアとのボンディング箇所が軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
10	HPAモジュール	Sバンドハイパワー用トランジスタの実装におけるトランジスタのリードと薄膜基板との接続部分のはんだ付け箇所及びトランジスタのリードが軌道上で遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。
11	白色ペイント (S13G)	CS-3運用期間内に被曝する放射線量に対応した太陽光吸収率の劣化量 $\Delta\alpha_s$ を確認する。
12	白色ペイント (PV100)	CS-3運用期間内に被曝する放射線量に対応した太陽光吸収率の劣化量 $\Delta\alpha_s$ を確認する。
13	カプトンテドラ	CS-3運用期間内に被曝する放射線量に対応した太陽光吸収率の劣化量 $\Delta\alpha_s$ を確認する。
14	銀蒸着テフロンシート	CS-3運用期間内に被曝する放射線量及び遭遇する熱サイクルストレスに耐えられることを確認する。

表3.24-2 評価試験の結果(1/2)

行 番	評価品目	評価の目的	評価結果
1	O S R モジ ュール	-100℃～+50℃の温度範囲で1サイ クル約45分、616回以上の熱サイ クル試験を実施する。熱サイクル試 験の前中後において、電氣的導通及 び外観検査を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 電氣的導通検査の結果、抵 抗値の増加と言う現象が 見られた。(設計値の許容 範囲内)
2	Sバンドア ンテナセグ メント	-100℃～+50℃の温度範囲で1サイ クル約45分、616回以上の熱サイ クル試験を実施する。熱サイクル試 験の前中後において、電氣的導通及 び外観検査を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 はんだ付け箇所の破断は なく、電氣的導通あり。
3	4分配器ダ ミーモジ ュール	-100℃～+50℃の温度範囲で1サイ クル約45分、616回以上の熱サイ クル試験を実施する。熱サイクル試 験の前中後において、電氣的導通及 び外観検査を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 はんだ付け箇所の破断は なく、電氣的導通あり。
4	貫通フィル タ	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 挿入損失、外観に変化な し。絶縁抵抗は変化した (固有の特性)
5	トランス	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 線材の破断等による特性 劣化はない。
6	S A W フィ ルタ	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱試験サイクルを 650サイクル実施した。 定損失及び中心周波数共 に変動した。(設計値の許 容範囲内)
7	水晶フィル タ	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱試験サイクルを 650サイクル実施した。 共振周波数及び等価抵抗 共に変動した。(設計値の 許容範囲内)
8	セラミック コンデンサ	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 Q(又はtan δ)、I R、 外観に変化なし。静電容量 は変化した。(固有の特性)
9	D E T モジ ュール	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。 出力電力及びスプリアス 共に変動した。(設計値の 許容範囲内)
10	H P A モジ ュール	MIL-STD-202 方法107(-25℃～+ 70℃)で616回以上の熱サイクル試 験を実施する。熱サイクル試験の前 中後において、電氣的試験及び外観 試験を行う。	左記の熱サイクル試験を 880サイクル実施した。は んだ付け箇所の破断はな く、特性の変動も特に見 られなかった。

表3.24-2 評価試験の結果(2/2)

行 番	評価品目	評価の目的	評価結果
11	白色ペイント (S13G)	電子線(25keV)を $3 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、 $10 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、及び $30 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ の3通り照射し、照射後の $\Delta \alpha_s$ を測定。	劣化量 $\Delta \alpha_s = 0.05$
12	白色ペイント (PV100)	電子線(25keV)を $3 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、 $10 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、及び $30 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ の3通り照射し、照射後の $\Delta \alpha_s$ を測定。	劣化量 $\Delta \alpha_s = 0.09$
13	カプトンテドラ	電子線(300keV)を $1 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、 $3 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、及び $10 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ の3通り照射し、照射後の $\Delta \alpha_s$ を測定。	劣化量 $\Delta \alpha_s = 0.03$
14	銀蒸着テフロンシート	電子線(300keV)を $1 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、 $2 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 、及び $3 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ の3通り照射し、その後 $-100 \text{ }^\circ\text{C} \sim +50 \text{ }^\circ\text{C}$ の温度範囲で1サイクル約45分、616回以上の熱サイクル試験の前中後において、外観検査を行う。また、熱サイクル試験の前後において、太陽光吸収率 α_s を測定する。	熱サイクルストレスを受けるに従って、ヒビ割れ、剥離が発生した。銀蒸着テフロンシートを使用する場合は寿命末期において、銀表面あるいはカプトン表面になることを考慮した設計とする必要がある。

注)表中の熱サイクル試験のサイクル数の要求は衛星の周回数が88周回/1年であり、7年で616周回となることから規定され、マージンとして、10年に相当する880サイクルを実施した。

以上は主に構造物や部品に代表される静的な品目に対する実施例であるが、動的な品目として、機構品を有する太陽電池パドル(要求寿命10年)での寿命解析の一例を表3.24-3に示す。

表3.24-3 寿命解析表(1/2)

機器	品目	寿命要因	対策・評価等	OLI	SLI
PDL	太陽電池パネル	温度サイクルによる疲労、劣化	クーポンパネルの熱衝撃試験(条件:QT温度)において、アレイ化技術、カバーガラス交換技術及びサブストレート製造工程に対する評価・確認を行っており問題ないことを確認している。		
	ロータリダンパ	シリコンオイルの経年及び作動回数に伴う劣化	SLIとして業者出荷時からの経過年数を管理するが、有効寿命は現在のスケジュールに対して余裕がある。 またOLIとして地上での作動回数を管理するが、有効寿命に対し地上での予測作動回数以下であり問題ない。	○	○
	軸受	繰り返し荷重による疲労等	地上及び軌道上運用での予測総回転数は、下式で求まる定格寿命の「1/10 ⁵ 」以下であり問題ないのでOLIとして指定しない。 <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $L = a (C/P)^3 \cdot 10^6 \text{ (回転)}$ </div> ここで、C：基本動定格荷重、P：動等価荷重		
	マイクロスイッチ	ON/OFFサイクルに伴う接点の摩耗	地上でのON/OFFサイクルは定格作動回数に対して十分少ないと予測され問題ないので、OLIとして指定しない。		
	サーモスタット	ON/OFFサイクルに伴う接点の摩耗	作動回数、接点電流ともに定格の1/2以下であり、ディレーティング基準を満足するのでOLIとして指定しない。		
	パワーカートリッジ	火薬の経年劣化	SLIとして火薬装填後の経過年数を管理するが、有効寿命は現在のスケジュールに対して余裕がある。		○
	ボルトカッタ	Oリングの経年劣化	SLIとしてOリング組立後の経過年数を管理するが、有効寿命は現在のスケジュールに対して余裕がある。		○

表3.24-3 寿命解析表(2/2)

機器	品目	寿命要因	対策・評価等	OLI	SLI
PDM	PDM	回転数に伴う潤滑剤摩耗	PDMコンポーネント単体試験(R&D)で、熱真空雰囲気中において相当な回転数を確認しており、要求寿命に対し問題ない。更にステップモータ、ハーモニックドライブ、平歯車等の部品についても寿命試験を実施して確認しており問題ない。	○	
PDL PDM	コネクタ	着脱に伴う接点の接触不良	地上での着脱回数を定格寿命の1/2以下に制限するが、実際の着脱はそれに対して十分少ないと予測され問題ないのでOLIとして指定しない。		
	全般	部品・材料の放射線劣化	放射線劣化が予想される太陽電池セルについてはそれを見込んだ回路設計を行っており、また、耐放射線試験の結果からも問題ないと評価できる。		
		機械的疲労	「耐環境性設計基準書」で規定された累積疲労損傷基準に合致するようEMで試験条件を適切に設定し、PFMまたはFMでの解析及び管理を実施する。		

(注) OLI：作動寿命限定品目、SLI：貯蔵寿命限定品目

実施しない場合の影響

設計段階で寿命解析を実施しないと、ハードウェアの寿命及び作動時間が検証されないまま使用することになり、ミッションを達成できない可能性がある。製造、試験段階において、摩耗、劣化に起因する不具合が発生しても未然に防止することが困難である。

参考文献

- 1) S28-5 黒崎他 通信衛星3号における寿命評価 電子情報通信学会創立70周年記念総合全国大会（昭和62年） p. 10-393

3.25 FTA：事前解析

効果

FTA：事前解析を行うことにより、望ましくない事象が発生する経路が明確になり、またその発生に影響を与える事象や構成品等が識別でき、信頼性上の弱点が判明し、設計段階で対策がとれる。

効果的な実施時期

基本設計段階、詳細設計段階

技術的根拠

FTA：事前解析は、起こりうる重要な故障／不良をトップ事象として選定し、その発生経路を展開して、たどり着く基本事象を識別し、その結果を設計の最適化、製造・試験計画、運用に反映できる。

JMR-004の対応項番

4.3.10.3 FTA（故障の木解析）

関連の深い信頼性業務

- (1) 機能FMEA/FMECA
- (2) 詳細FMEA/FMECA
- (3) FTA：事後解析

実施方法

- (1) FTA：事前解析の実施方法

a. 実施手順

FTA：事前解析は、解析対象となるシステム構成の特徴を考慮し実施する。

ステップ1：トップ事象（故障）を決める。

特にミッションクリティカルなトップ事象を選定する。

ステップ2：トップ事象（故障）に関する原因を列挙する。

トップ事象（故障）に関係があると推定される原因を書き出し、更にそれらの外部要因についても調査する。

ステップ3：故障と推定原因の因果関係を低位レベルまで調べる。

トップ事象（故障）が起きるためには、何が起こらねばならないか、またどんな条件があれば起きるか、と質問を続けていき、考えられる原因をすべて列挙する。

ステップ4：故障と推定原因の因果関係をFT図に画く。

回路図あるいは信頼度ブロック図における直列構造はORゲート記号で、並列構造（冗長系）はANDゲート記号で結びFT図を画く。

ステップ5：各原因の改善策を立てる。

b. トップ事象の選定について

事前解析のトップ事象としては、システム喪失、ミッション達成不能を選定する。例えばロケットの場合は衛星軌道投入失敗、エンジンのみを対象とする場合は推力停止、地球観測衛星の場合は撮像不可能等である。

c. FTA：事前解析の実施上のポイント

FTA：事前解析は、広範囲にわたる複合的な事象を解析することになるから、システム設計に携わる部門や関連する設計部門が解析に協力すること。事前解析を効率的に展開するために、過去に開発された宇宙システムの故障事例やFTA/FMEAの結果を有効に使えるように整備しておくこと。

(2) FTAの基本事項

a. FTAに用いられる記号¹⁾

FTAは図式解析手法であり、ある特定の事象とその原因となる事象との関係を結び付けるために表3.25-1の記号を用いる。この記号はFTAが比較的新しい手法であり、まだ完全に統一されたとはいえない。

FTAに用いられる記号は大別すると事象記号と論理記号に分けられる。事象というのは、確率論などに現れる用語と全く同じで、生起する可能性も生起しない可能性もあるようなことがらを意味する。FTAで取り扱う事象は、それが起ることが望ましくないような事象、いわゆる欠陥事象が多いが、もちろん欠陥事象でない事象も対象となってよい。論理記号は、事象間の因果関係を表現するものである。

b. ブール代数^{1), 2)}

FT図で、各基本事象の発生確率が既知の場合には、トップ事象の発生確率を計算することができる。

FT図を定量化するにはブール代数 (Boolean Algebra) を用いる。2つの部分集合 (A、B、C……) の交わり (論理積) を \cap 、結び (論理和) を \cup で表わすと表3.25-2に示す関係式が成立する。

いま、事象A、B、C……Nの発生確率を q_A 、 q_B 、 q_C …… q_N とすると、それらの論理積及び論理和の確率は表3.25-3に示すとおりである。したがってブール代数と、これらの確率事象の計算式を用いることによって、あるFTの全ての最下段となる事象の発生確率が与えられると、そのFTの頂上事象、すなわち対象としているトップ事象の発生確率を算出することができる。

表3.25-1 FTAに用いられる記号（基本的なもの）¹⁾

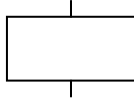
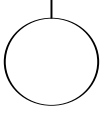
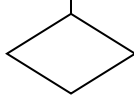
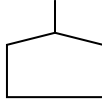
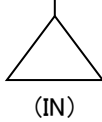
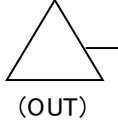


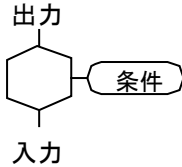
No.	記号	名称	説明
1		事象 event	トップ事象、及び基本事象などの組み合わせにより起こる個々の事象（中間事象）
2		基本事象 basic event	これ以上は展開されない基本的な事象又は発生確率が単独に得られる最も低いレベルでの基本的な事象
3		否展開事象 undeveloped event	情報不足、技術的内容が不明のため、これ以上展開できない事象を表す。ただし、作業の進行により更に解析が可能となったときは、再び展開を続行する。
4		通常（家形）事象 normal (house) event	通常発生すると思われる事象を示す。例えば火災について解析しているとすれば“空気の存在”がこれにあたる。
5	 (IN)	移行記号 transfer symbol	F T図上の関連する部分への移行又は連続を示す。 三角形の頂上から線の出ているものは、そこに移行してくることを示す。
	 (OUT)		F T図上の関連する部分への移行又は連続を示す。 三角形の横から線の出ているものは、そこから移行して行くことを示す。
6		ANDゲート “AND” gate	すべての入力事象が共存するときのみ出力事象が発生する。 論理積
7		ORゲート “OR” gate	入力事象のうち、少なくとも一つが存在するとき出力事象が発生する。 論理和
8		制約ゲート “INHIBIT” gate	入力事象について、このゲートで示す条件が満足される場合のみ出力事象が発生する条件付き確率

表3.25-2 ブール代数¹⁾

ブール代数 (Boolean Algebra) とは、要素 x 、 y 、 z などがあるとき、それらの間に下記に示すすべての関係が満たされ、かつ、最大要素 I と最小要素 O が存在するような集合をいう。

ブール代数の基本法則

	結び (論理和) の関係	交わり (論理積) の関係
べき等律	$A \cup A = A$	$A \cap A = A$
交換律	$A \cup B = B \cup A$	$A \cap B = B \cap A$
結合律	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$	$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
吸収律	$A \cup (A \cap B) = A$	$A \cap (A \cup B) = A$
分配律	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
O との関係	$A \cup O = A$	$A \cap O = O$
I との関係	$A \cup I = I$	$A \cap I = A$
相補性	$A \cup \bar{A} = I$	$A \cap \bar{A} = O$
ド・モルガンの定理	$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$	$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$

また、変数 x 、 y 、 z 、……に示す、 \cup 、 \cap 、 $\bar{\quad}$ 、 (\quad) の演算を施して得られる式を $f(x, y, z, \dots)$ で示し、これをブール関数 (Boolean Function) という。

変数 x 、 y 、 z のとる値は0か1に限られ、ほかの値はとらないものとする。このような変数をブール変数という。したがって、ブール関数の関数値もまた0か1に限られる。

要素 x 、 y 、 z が属する集合がブール代数であることから、ブール変数についての次の式が成立する。

- (1) 交換律 $x + y = y + x$ 、 $xy = yx$
- (2) 結合律 $x + (y + z) = (x + y) + z$ 、 $x(yz) = (xy)z$
- (3) 吸収律 $x(x + y) = x$ 、 $x + xy = x$
- (4) 分配律 $x(y + z) = xy + xz$ 、 $x + yz = (x + y)(x + z)$
- (5) べき等律 $x + x = x$ 、 $xx = x$
- (6) 相補性 $x + \bar{x} = 1$ 、 $x\bar{x} = 0$
- (7) ド・モルガンの定理 $\overline{x + y} = \bar{x}\bar{y}$ 、 $\overline{xy} = \bar{x} + \bar{y}$

表3.25-3 確率事象の積と和²⁾

1) n個の独立事象について

論理積の確率 $q(A \cdot B \cdot C \cdots N) = q_A \cdot q_B \cdot q_C \cdots q_N$

論理和の確率 $q(A+B+C \cdots +N) = 1 - (1-q_A)(1-q_B)(1-q_C) \cdots (1-q_N)$

2) 排他的事象について

論理和の確率 $q(A+B+C \cdots +N) = q_A + q_B + q_C + \cdots + q_N$

3) 独立でない2事象について

論理積の確率 $q(A \cdot B) = q_A \cdot (q_B | q_A) = q_B \cdot (q_A | q_B)$

ただし $q_B | q_A$ はAが起こるといふ条件下でのBの起こる確率

$q_A | q_B$ はBが起こるといふ条件下でのAの起こる確率 (条件付確率)

(3) FTA：事前解析の実施例

a. 同軸スイッチのFTA

高周波信号の切替に用いられる同軸スイッチの開発において、設計、製造工程の見直し等のために行ったFTA例を図3.25-1に示す。また、このFTAの結果より基本事象に対する対策内容を表3.25-4に示す。

b. ベアリングのFTA

ベアリングでの実施事例を図3.25-2に示す。

c. 火工品のFTA

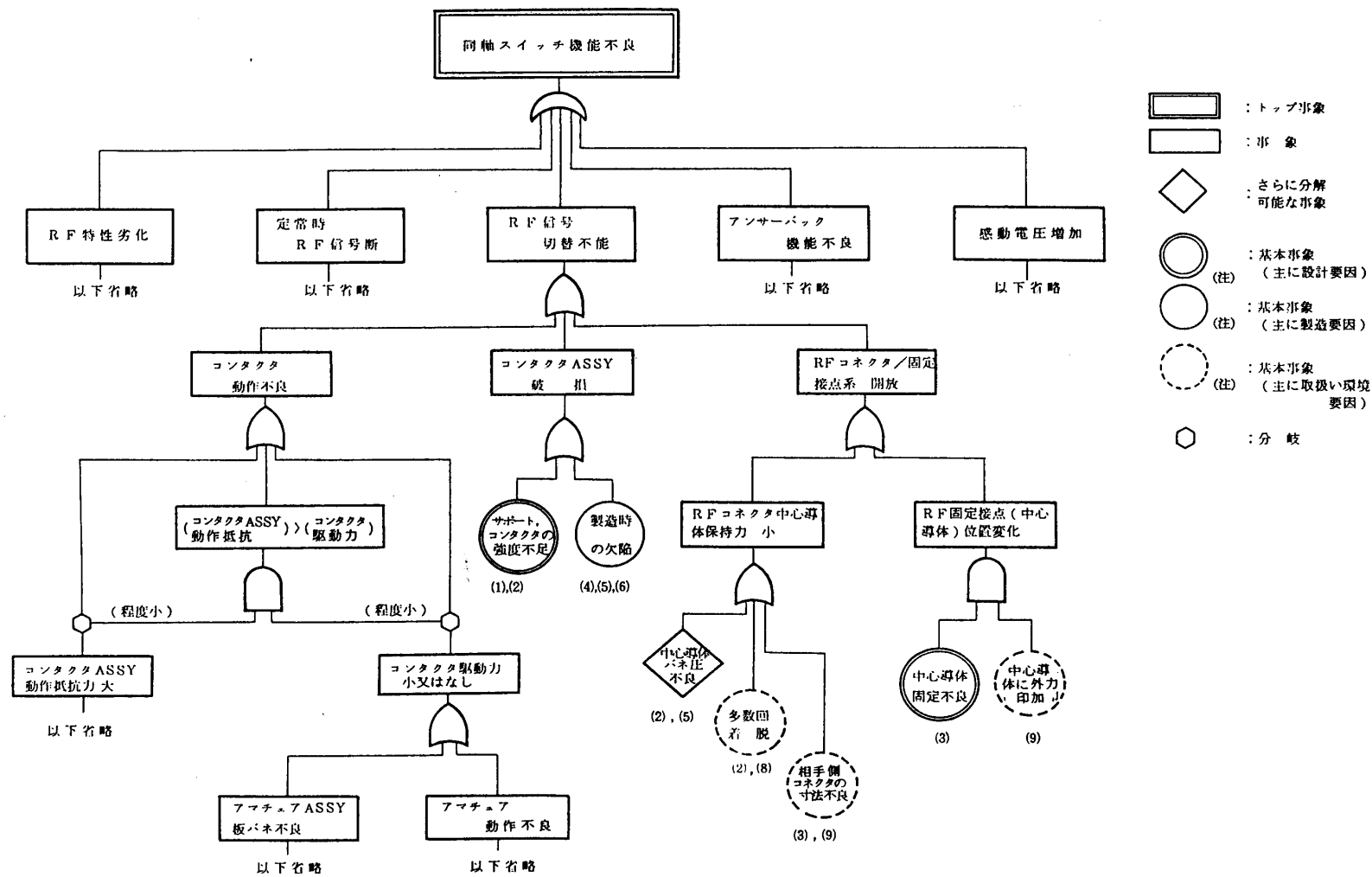
イニシエータの開発時に実施された事前故障解析のためのFTA例を図3.25-3に示す。このFTAの結果の基本事象又は中間事象に対する対策を表3.25-5に示す。

実施しない場合の影響

FTA：事前解析を実施しないと、ミッション達成上クリティカルな故障モードを除くことができなくなる。

参考文献

- 1) 鈴木 (順)、牧野、石坂、「FMEA・FTA実施方法」、日科技連
- 2) 井上威恭、「FTA安全工学」、日刊工業新聞社

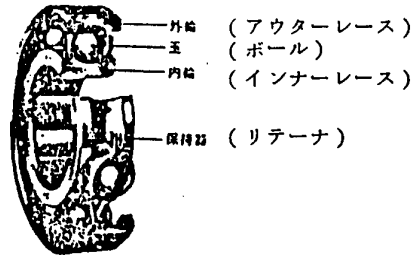


- ◻ : トップ事象
- ◻ : 事象
- ◇ : さらに分解可能な事象
- ◎ (注) : 基本事象 (主に設計要因)
- (注) : 基本事象 (主に製造要因)
- (注) : 基本事象 (主に取扱い環境要因)
- ◇ : 分岐

図3.25-1 同軸スイッチ機能不良のFTA

表3.25-4 基本事象に対する対策内容

F T図の 索引No.	対 策
(1)	机上検討／計算を詳細に行う。
(2)	試作品又は部品、材料による寿命評価
(3)	試作品又は部品、材料による電氣的、機械的、熱的限界評価
(4)	試作段階において、製造方法の検討、見直し。
(5)	製造工程内に管理項目を設けチェックする。(→信頼性保証プログラム)
(6)	A S S Y (組立) / 検査作業者の教育、訓練
(7)	電氣的最大定格を明確にする。
(8)	寿命を明確にする。
(9)	電氣的・機械的インタフェース条件を明確にする。



ボールベアリング

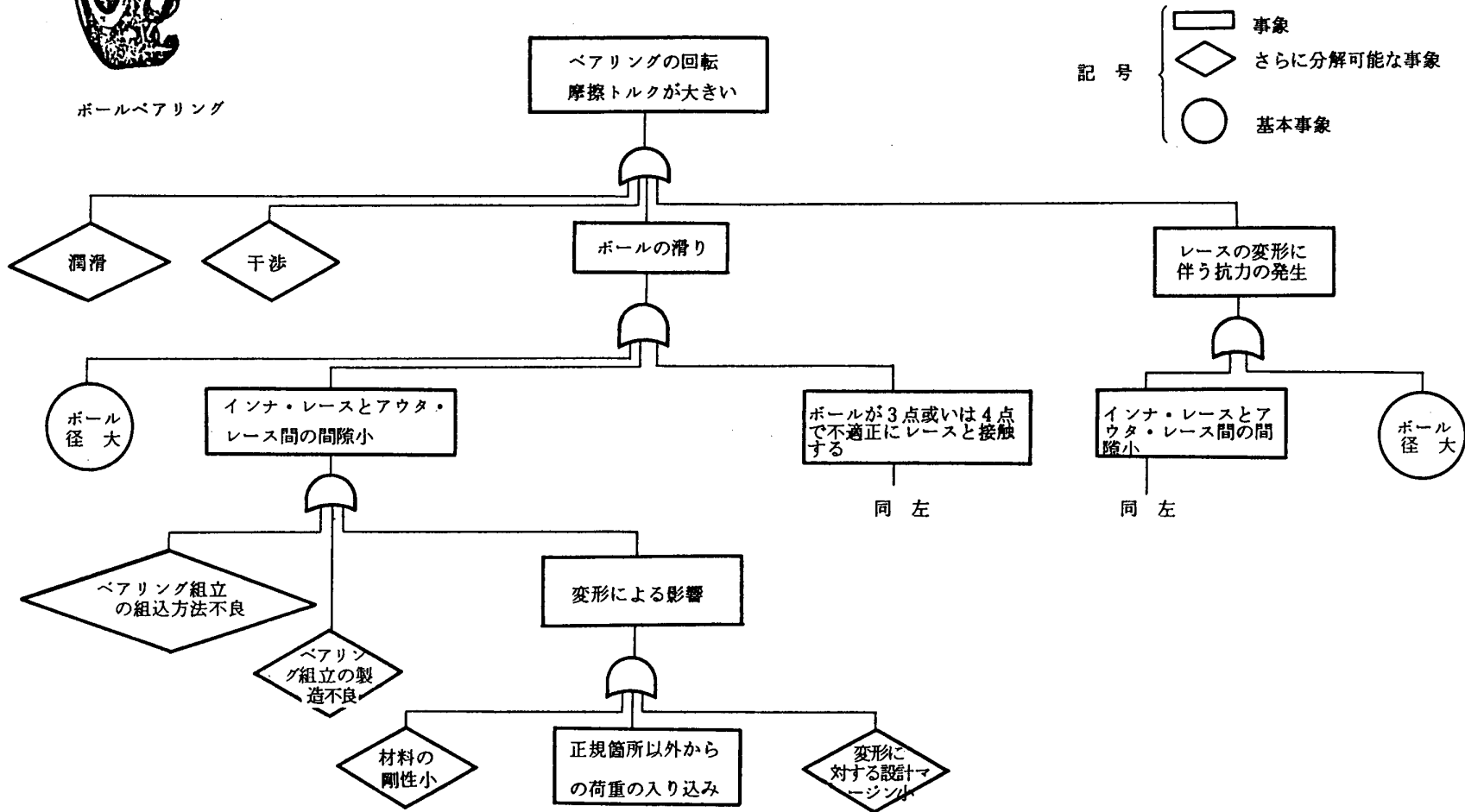


図3. 25-2 ベアリングの不具合に関するFTA

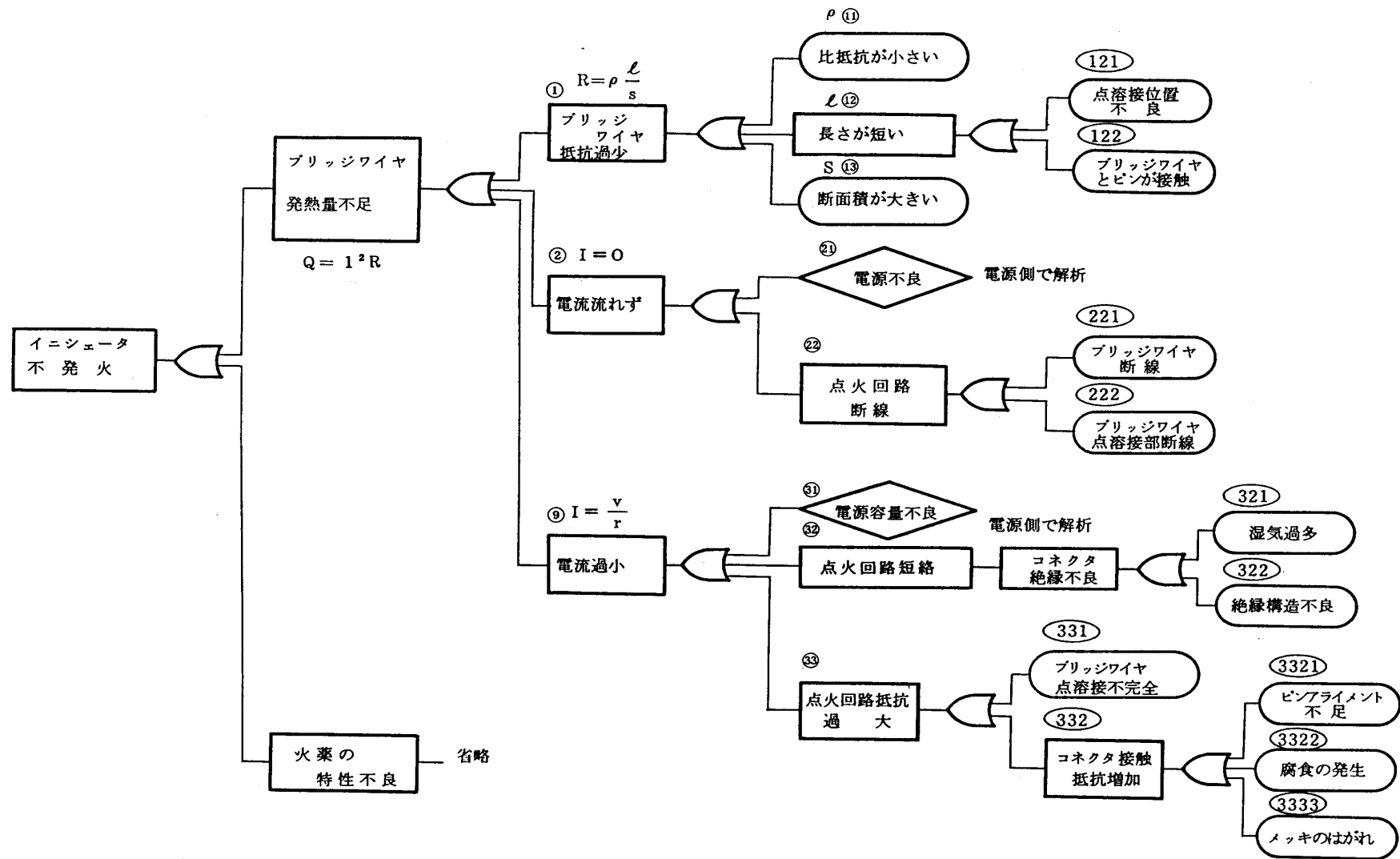


図3.25-3 イニシエータ不発火のFTA：事前解析

表3. 25-5 基本事象又は中間事象に対する対策表

No.	基本事象又は中間事象	設 計	試 験	検 査
1	ブリッジワイヤ抵抗過小	導通抵抗規格を設定	—	導通抵抗検査を設定
1 1	比抵抗が小さい	比抵抗が大きく、ばらつきの少ない材質指定	比抵抗のばらつきの調査	材料証明書に比抵抗を入れさせる
1 2 1	点溶接位置不良	点溶接位置交差指定	—	点溶接間長さ検査を設定
1 2 2	ブリッジワイヤとピンが接触	ブリッジワイヤがたるんでピンと接触しない構造とする	—	たるみを溶接時にチェック
1 3	断面積が小さい	直径公差指定	—	寸法検査を設定
2 2 1	ブリッジワイヤ断線	環境ストレスに耐える強度の指定と構造の設定	振動・衝撃試験	導通抵抗検査を設定
2 2 2	ブリッジワイヤ点溶接部断線	〃	〃	〃
3 2	点火回路短絡	絶縁抵抗規格を設定	—	絶縁抵抗検査を設定
3 2 1	湿気過多	湿気の規格を設定	絶縁不良にならない湿度の限界解明試験	室内湿度コントロール
3 2 2	絶縁構造不良	絶縁が保てる構造に設計	—	絶縁抵抗検査を設定
3 3	点火回路抵抗増大	導通抵抗規格を設定	—	導通抵抗検査を設定
3 3 1	ブリッジワイヤ点溶接不完全	溶接品質基準の設定	—	溶接手順の確立
3 3 2	コネクタ接触抵抗増大	—	—	導通抵抗検査を設定
3 2 2 1	ピンアライメント不良	はめあい公差、アライメント指定	アライメントと接触抵抗の相関を調査	寸法検査の設定
3 3 2 2	腐食の発生	湿度の規格を設定	—	包装要領の設定
3 3 3 3	メッキのはがれ	メッキの品質基準の設定	—	特殊工程管理の徹底
	∴ ∴	∴ ∴	∴ ∴	∴ ∴

3.26 FTA：事後解析

効果

FTA：事後解析を行うことにより、故障原因の推定において、故障要因の漏れがなくなり、真の原因究明が的確に実施できる。

効果的な実施時期

維持設計以降の全段階
開発試験、認定試験、受入試験、射場作業及び軌道上運用において発生した故障の原因を推定する場合にFTA：事後解析を実施する。

技術的根拠

FTA：事後解析は、客観的に故障現象から故障原因の推定までの因果関係を可視化することができるため、故障要因の漏れがなくなる。

JMR-004の対応項番

4.3.10.3 FTA（故障の木解析）

関連の深い信頼性業務

- (1) 異常／故障の管理方法
- (2) FTA：事前解析

実施方法

- (1) 実施手順

FTA：事後解析を実施する場合、次のような手順によって進める。解析の実施に当たっては、関連部門の協力のもとで行う。

ステップ1

故障の現象をトップ事象として決める。

ステップ2

トップ事象に関係する原因を列挙し、FT図にまとめる。

ステップ3

FT図の検討を行う。各原因が、トップ事象に関係するかどうかを検討する。関係ない原因は、FT図に×印で識別する。

ステップ4

ステップ3において×とできなかった原因について、品質記録、試験、解析結果を調査検討する。

ステップ5

必要な実験、解析、シミュレーションを実施し、故障原因の可能性を

検討する。

ステップ 6

故障原因を特定する

(2) FT図の展開の仕方

FT図の展開の仕方を、表3.26-1に示す。実際の展開にあたっては、観測された現象に沿って、これらを組み合わせて実施する。

(3) 実施例

a. Sバンド高出力断続のFTA

FTA：事後解析の例として、Sバンド高出力断続のFTAの例を図3.26-1に、故障原因の特定を行うための検討表（例）を表3.26-2に示す。

この事後解析の対象となった機能ブロック図を図3.26-2に示す。

b. シヤントのFTA

シヤントの振動試験中に発生した異常の原因調査のために実施したFTAを図3.26-3に示す。

実施しない場合の影響

故障の原因の推定にFTA：事後解析を実施しないと、故障解析における原因究明のためのアプローチを適切に選択できず、故障原因の特定誤りや処置方針の判断ミス、また原因究明に至る前に現象が再現しなくなる等の恐れがある。

参考文献

なし

表3.26-1 FTの作り方（展開の仕方）（1/2）

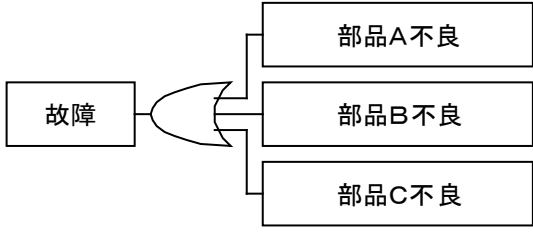
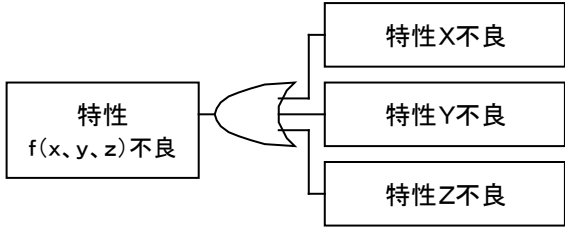
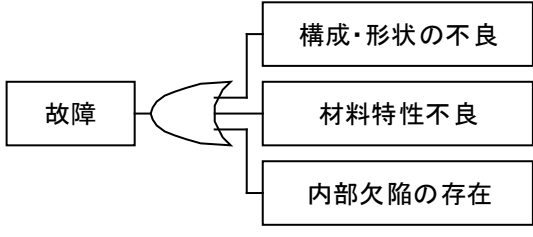
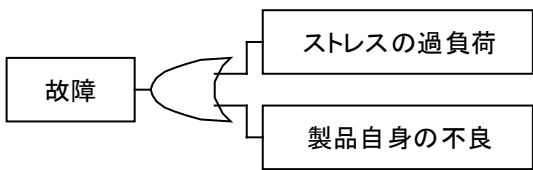
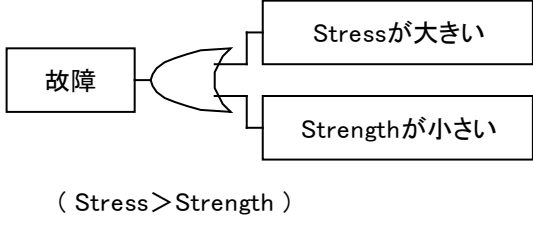
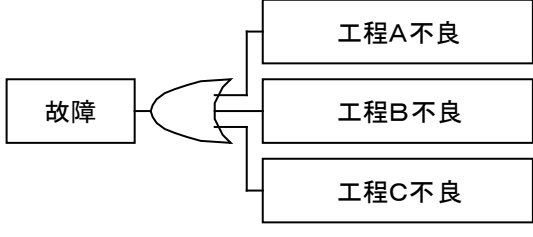
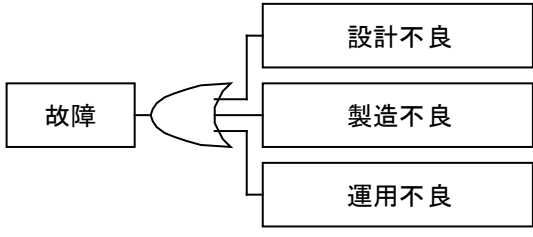
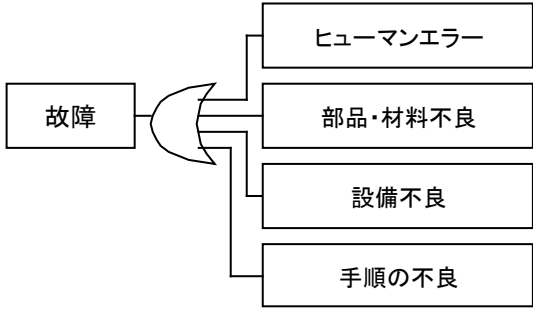
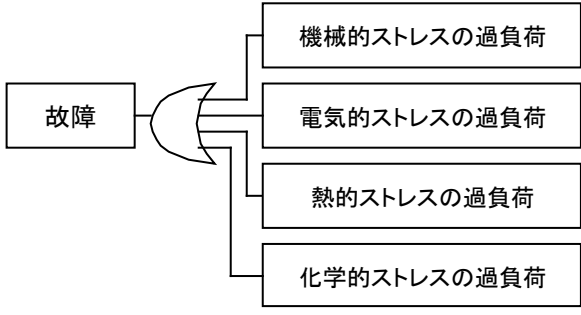
番号	分解の仕方	F Tの例
1	構成部品別に分解する。	
2	アイテムの特性をその特性の独立変数に分解する。	
3	構成・形状、材料特性不良、内部欠陥に分解する。	
4	アイテム自身の問題とアイテムに加わるストレスの問題に分解する。	
5	相対する特性又は機能別に分解する。	
6	工程別に分解する。	

表3.26-1 FTの作り方（展開の仕方）（2/2）

番号	分解の仕方	F Tの例
7	設計、製造、運用別に分解する。	
8	人、材料、設備、方法別に分解する。	
9	ストレス種類別に分解する。	

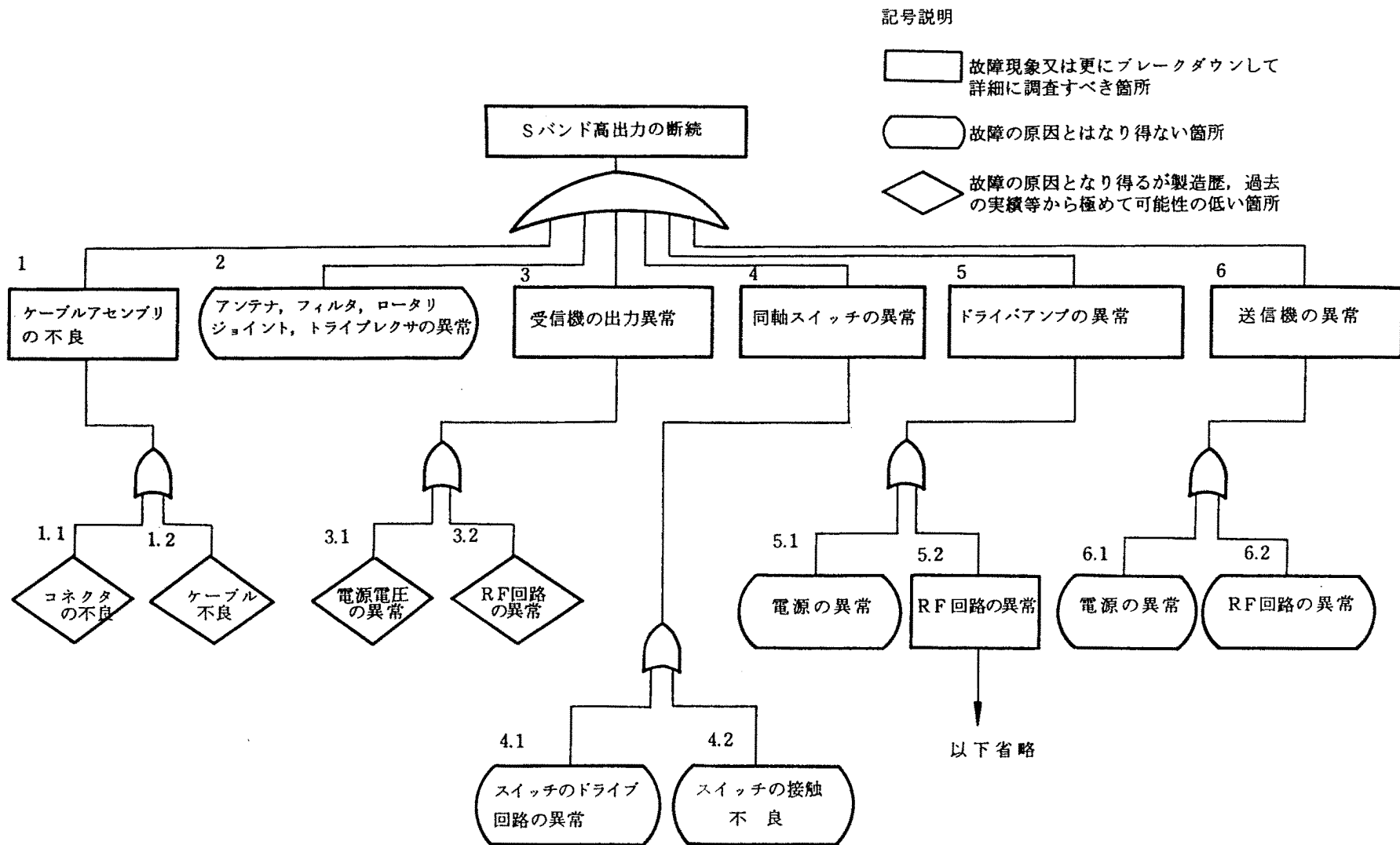


図3. 26-1 Sバンド高出力断続のFTA

表3. 26-2 検討表の例

番号	項目	予想される現象	検討評価結果	可能性
1	ケーブルアセンブリの不良	Sバンド出力が低下又は断となる。	受信機と切替スイッチ、ドライバアンプと切替スイッチの間のケーブルアセンブリの問題が考えられたが、スクリーニング、検査、試験の履歴、構造等から可能性は低いと判断された。	低い
2	アンテナ、フィルタ、ロータリージョイント、トライプレクサの異常	テレメトリ等他の信号も異常となる。	Sバンド以外の出力に異常はなかった。	ない
3	受信機出力異常	Sバンド出力が異常となる。	電源とRF回路の異常が考えられたが、テレメトリデータと異常時の消費電流の変化等から可能性は低いと判断され、受信機を切替えても現象は継続していた。	ない
4	同軸スイッチの異常	Sバンド出力が低下あるいは断となる。	スイッチの過去の作動履歴、故障モード等から可能性はないと判断された。	ない
5	ドライバアンプの異常	Sバンド系出力が異常となる。	テレメトリデータから電源部の可能性は消されたが、本アンプRF出力が断となるSバンド出力も断となること、RF回路の可能性が高いとされ、更に詳細なFTA、シミュレーション試験、履歴の調査を行った。	異常が存在すると判断された。
6	送信機の異常	Sバンド出力異常	送信機は2台並列運用しているので出力断となることはない。	ない

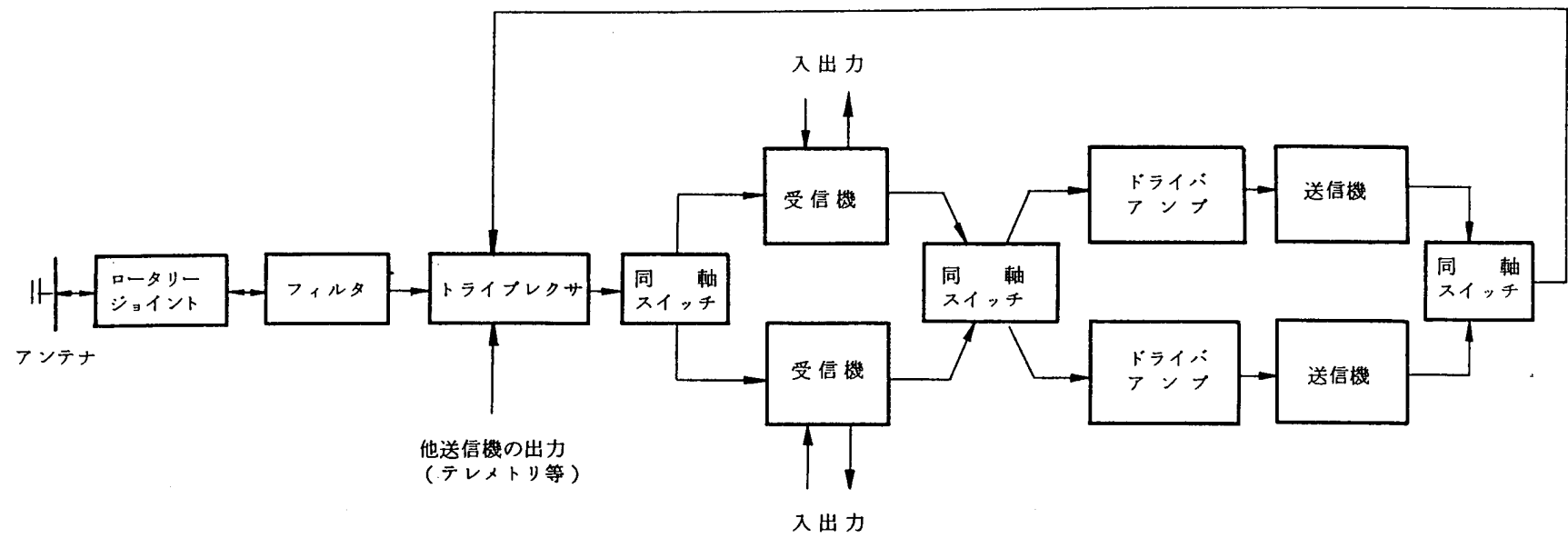
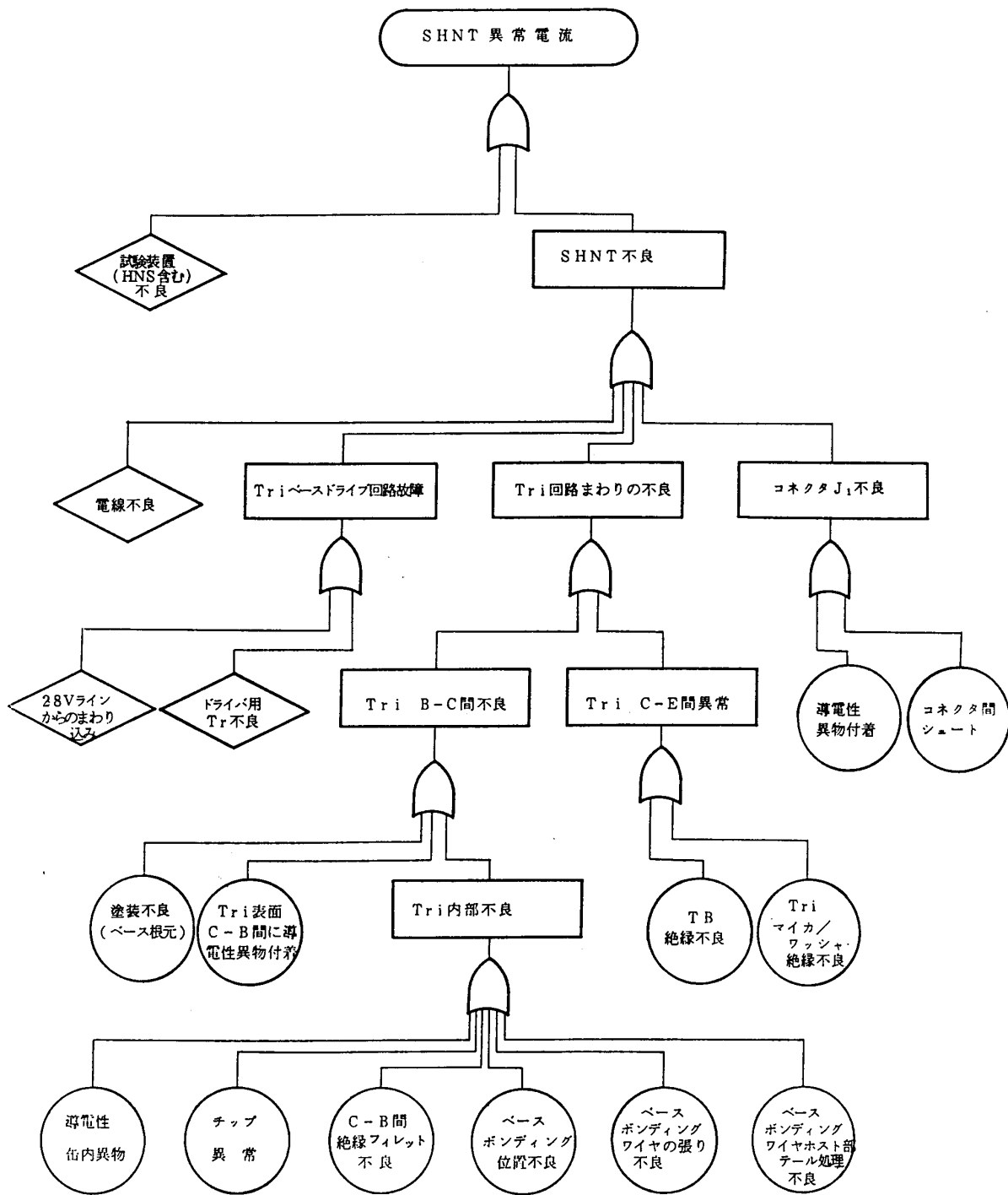


図3. 26-2 Sバンド系の機能ブロック図



対策：不具合を起こしたトランジスタを別の型名のトランジスタに交換した。
 交換に先立ち、評価試験を行い同じ不具合は発生しないことを確認した。

図3.26-3 シャント異常電流のFTA

3.27 累積疲労損傷の管理

効果

累積疲労損傷を管理することで、フライトに供するモデルが地上試験及びフライト環境での繰り返し荷重で累積疲労による損傷及び機能劣化に至ることを未然に防止できる。特に、EM-PFM開発方式の場合には、PFMの累積疲労損傷率が高くなるので、累積疲労損傷の管理は必須となる。

効果的な実施時期

基本設計段階から試験完了まで

技術的根拠

累積疲労損傷率の算出式は、寿命解析の手法の一つであるマイナーの線形累積損傷法則を基に導出されている。

JMR-004の対応項番

4.3.10.4 累積疲労損傷

関係の深い信頼性業務

- (1) 試験計画書の作成
- (2) 寿命試験

実施方法

累積疲労損傷の実施方法を以降に記載する。なおJERG-2-130-HB002¹⁾『音響試験ハンドブック』Appendix D『累積疲労損傷の評価方法』でも詳細が説明されているので参考されたい。

累積疲労損傷率の管理値は、プロジェクト要求として、プロジェクト毎に設定される。JAXAのある衛星の場合には、システムPFMに供する機器では0.5以下、システムFMに供する機器では0.25以下となっている。EM及びPFMなどの試験計画は、累積疲労損傷率の管理値を超えないように立案しなければならない。そのために、設計段階で累積疲労損傷率の予測を予め行っておく必要がある。また、不具合等で追加振動試験を実施する場合には、累積疲労損傷率の再見積りを実施し、累積疲労損傷の観点で問題ないことを確認しなければならない。以下に、累積疲労損傷率の算出式を示す。

$$\lambda = \frac{\sum D_{FLT}}{\sum D_{GT}} = \frac{\sum T_{FLT} \cdot (K \cdot L_{FLT})^\alpha}{\sum T_{GT} \cdot L_{GT}^\alpha}$$

ここで、

- λ : フライトに供するモデルの累積疲労損傷率
- D_{FLT} : フライトに供するモデルの疲労指数
- D_{GT} : 累積疲労評価用モデル (開発モデル又は認定試験用モデル) で検証された疲労指数
- T_{FLT} 、 L_{FLT} : フライトに供するモデルが環境試験及びフライト時に受ける負荷
- T_{GT} 、 L_{GT} : 累積損傷評価用モデル (開発モデル又は認定試験用モデル) で負荷された条件
- T_{GT} = 負荷時間
- L_{GT} = 試験レベル (G_{GT} 又は A_{GT})
- = ランダム振動オーバーオール実効値 (O. A. Grms)
- = オーバーオール音圧レベル (O. A. Pa値)

K 、 α : 係数 $K=1$ 、 $\alpha=6$ (JAXAのある衛星の例)

K 、 α の値は、プロジェクト要求として、プロジェクト毎に設定される。

なお、累積疲労損傷率を算出する上での留意点を以下に示す。

- (1) 累積疲労損傷率算定は、原則としてランダム振動環境又は音響環境に対して適用する。ただし、衝撃試験の代替等の理由により、正弦波振動試験を実施する機器に関しては、正弦波振動環境に対する累積疲労損傷率も算出すること。
- (2) 小型の機器類の累積疲労損傷の評価は、機器取付け部のランダム振動環境に対して評価を行なうこと。ランダム振動環境としては、音響環境下において、機器取付け部に生じるランダム振動も含めること。
- (3) 認定試験レベルの音響試験において機器取付け部に生じるランダム振動のレベルは、原則として、ランダム振動試験条件の認定試験レベルと同等であるとする。

又、累積疲労損傷を考慮した試験計画を立案するに当たり、プロトフライト試験レベルの音響試験において、機器取付け部に生じるランダム振動のレベルは、認定試験レベルの音響試験におけるレベルと同等であるものとして累積疲労損傷を評価すること。

- (4) 音響環境下で、音響励振の影響を受け易い大形機器 (太陽電池パドル、アンテナリフレクタ等) に対しては、音響環境に対して累積疲労損傷を評価する。
- (5) 累積疲労損傷率の算出に際しては、部品段階からコンポーネント段階を経てシステム段階までの試験履歴、及び、機器が遭遇するフライト環境を全て含めること。

システムレベルでの環境試験としては、下記の音響試験を考慮すること。

PFM : PFTレベル（負荷時間=40秒 [参考値]）× 1回、
 ATレベル（負荷時間=40秒 [参考値]）× 1回（PFT後のリフ
 ービッシュ後確認試験用）

FM : ATレベル（負荷時間=40秒 [参考値]）× 1回

- ・フライト環境については、ATレベル1回の音響試験と同等の負荷が加わるものとする。
 - ・PFTレベルの評価については、上記(3)参照のこと。
- (6) ランダム振動に対する累積疲労損傷の評価は、直交3軸毎に評価する。
 音響環境下において、機器取付け部に生じるランダム振動は直交する3軸に同時に作用するものとする。

（累積疲労損傷率算出式の導出）

ここでは、材料の疲労曲線（S-N曲線）及びマイナー則を基に累積疲労損傷率の算出式を導出する。

(1) 疲労曲線

材料に平均値ゼロ、応力振幅Sなる繰返し応力を負荷したときに、その材料が破壊するまでの応力繰返し数をNとすれば、各材料固有に以下の関係が成立つ。

$$N(s) = C \left(\frac{Su}{S} \right)^\alpha \quad (S \leq Sf \leq Su) \quad (1)$$

S : 応力振幅 (= S m a x)

N (S) : 振幅Sなる繰返し応力を受ける時
 材料が破壊に至る応力繰返し数

C、 α : 材料に固有の定数

Sf : 疲労限度

Su : 極限強さ

疲労に対する材料の強度には一般に対数正規分布といわれるバラツキがあり、上式は平均値に対するもの、すなわち破壊確率50%の値である。

(2) マイナー則

応力振幅Sなる繰返し応力をN回受けて破壊するとき、その応力振幅を1回受けると $1/N$ だけ寿命が失われ、したがって $N/N=1$ で破壊が起こると考える。一般に S_1, \dots, S_m なるm段の応力振幅があり、もしそれらが単独に加わるなら N_1, \dots, N_m なる繰返し数で破壊が起こるところを実際には、 n_1, \dots, n_n 回繰返されたとすれば、この材料は、

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (2)$$

になった時点で破壊する。

(3) 累積疲労損傷

マイナー則に基づき、材料の寿命は応力の繰返しに対して直線的に失われると考え、これに式(1)を用いれば、Sの応力振幅がn回作用することにより、寿命の

$$\frac{n}{N(s)} = n \frac{S^\alpha}{C \cdot Su^\alpha} \propto nS^\alpha \quad (3)$$

が失われたことになる。そこで、種々の振幅の繰返し応力が作用する際の材料に対する累積疲労損傷Dは、応力の振幅 S_i と繰返し n_i を用い、

$$D = \sum_i n_i S_i^\alpha \quad (4)$$

で評価することができる。

次に(4)式を実際の使用に便利な形へと変形する。

a) SをGに置換え

実際の振動試験では試験条件は負荷加速度の最大値Gで規定されるため、振動試験時に材料に発生する(両振りの)繰返し応力SをGで表すことを考える。

動的繰返し荷重に起因する累積損傷の大部分は、供試体の共振点及びその近傍の応答の大きな領域のみで蓄積されると考えられるため、共振領域での応答を取り扱うこととし、共振特性を支配する重要な要素の一つであるSpecific Damping Energy E_D を次式で仮定する。

$$E_D \propto \sigma^\beta \quad (5)$$

E_D : Specific Damping Energy

σ : 応力の瞬時値

β : 定数

一方、負荷加速度の瞬時値gは応答加速度 \ddot{x} 等を用いて、

$$g = \ddot{x} \frac{E_D}{E_S} \quad (6)$$

\ddot{x} : 応答加速度

E_S : Specific Strain Energy

(5)(6)式より、 σ とgの関係式が得られ、これを各々の最大値SとGに対して表わせば、

$$G = x \frac{E_D}{E_S} \propto S \frac{S^\beta}{S^2} = S^{\beta-1} \quad (7)$$

b) n を T に置換え

共振領域において発生する応力の繰返し数 n は、共振領域にある試験時間 T に比例する。

a)、b)を用いて、累積疲労損傷 D は次式で評価できる。

$$D = \sum T_i G_i^\gamma \quad (8)$$

T_i : 共振領域にある時間

G_i : 共振領域での負荷加速度

γ : $\alpha / (\beta - 1)$

以上より、フライト品の累積疲労損傷率 λ は

$$\lambda = \frac{D_{FT}}{D_{NF}} = \frac{\sum T_{FT} (G_{FT})^\gamma}{\sum T_{NF} (G_{NF})^\gamma} \quad (9)$$

で表わされる。

実施しない場合の影響

環境試験及びフライト環境で作用する繰返し荷重による累積疲労でフライトに供するモデルが損傷及び機能劣化に至る恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック

3.28 スニーク解析

効果

スニーク欠陥は回路等において不必要な動作を引き起こすシステム内の状態をいい、過大な電圧が供給されたり、あいまいな表示によって操作員が誤認したりするなど、望ましい機能の抑制や判断の誤りの原因となる。これらのスニーク解析により欠陥を除去して、システム、サブシステムあるいはコンポーネントの誤作動をなくし信頼性を向上させ、ミッション達成を保証する。

効果的な実施時期

コンポーネントの仕様が十分に明らかになった時点で、詳細設計段階のできるだけ早い時期に開始することが望ましい。

技術的根拠

電源、スイッチ等の素子、負荷及びグラウンドで構成される回路では、スイッチ位置やグラウンドの配置を誤ると負荷への電源が正しく供給されないなど、スニーク欠陥の原因となる。これらのスニーク欠陥を除去するには、スニーク回路解析が必要である。

JMR-004の対応項番

4.3.10.5 スニーク解析

関連の深い信頼性業務

(1) 詳細FMEA/FMECA

実施方法

(1) 電源ーグラウンド回路の基本パターンを図3.28-1に示す。簡単にするためスイッチ、負荷は示されていない。最新の回路図、ワイヤリングダイアグラム等にしたがって、パターンの組み合わせ、負荷など回路を区分する。

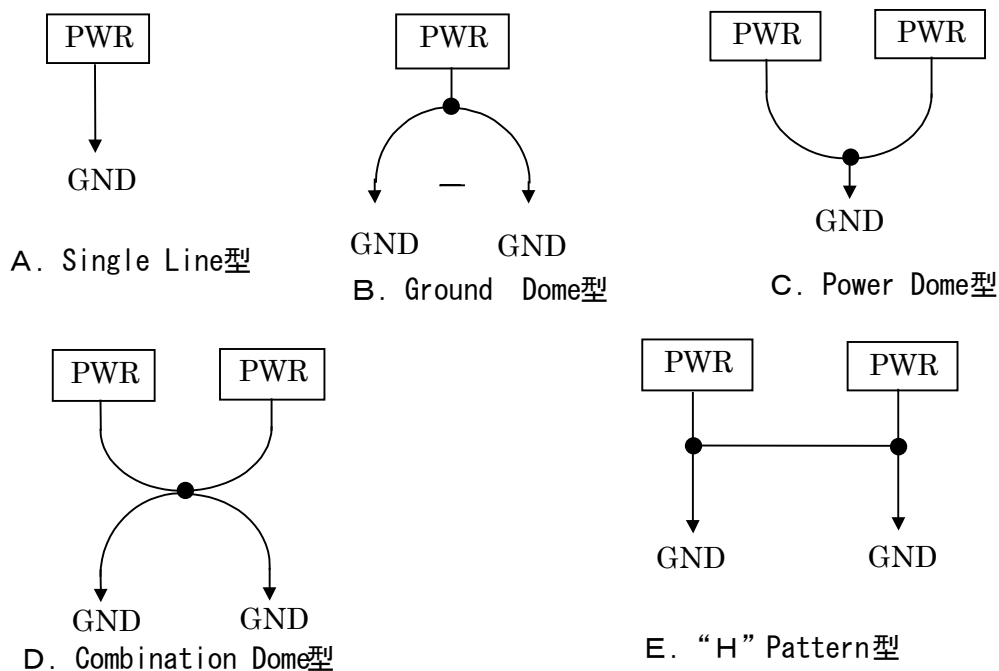


図3. 28-1 スニーク回路のパターン¹⁾

(2) スニーク回路のパターンに照らし、意図しない逆電流の流れ、不要回路、ロジック不良等スニークパス、スニークタイミング、スニーク表示およびスニークラベルを識別し、除去する。

スニーク回路解析は時間を要するので、全システムを対象にするよりもFMEA/FMECAで判明したクリティカルな回路に適用すると効果的である。スニーク回路は特に“H Pattern”の場合が顕著である。

- ・スニークパス : 意図しない方向へ電流やエネルギーの流れを引き起こす経路をいう
- ・スニークタイミング : 期待しないタイミング又は望ましくないタイミングをいう
- ・スニーク表示 : あいまいな、又は誤った表示をいう
- ・スニークラベル : 操作コンソールの不適切な名称やラベルをいう

(3) 潜在するスニーク状態を見つけだしたら、解析者はその妥当性を確認し最新の図面、文書、機器履歴、取扱説明書等を見直し、報告書を作成する。報告書には、図面、条件、システムレベルへのインパクト、是正の方法等を含める。

例として、レッドストーンロケットのスニーク回路を図3. 28-2に示す。

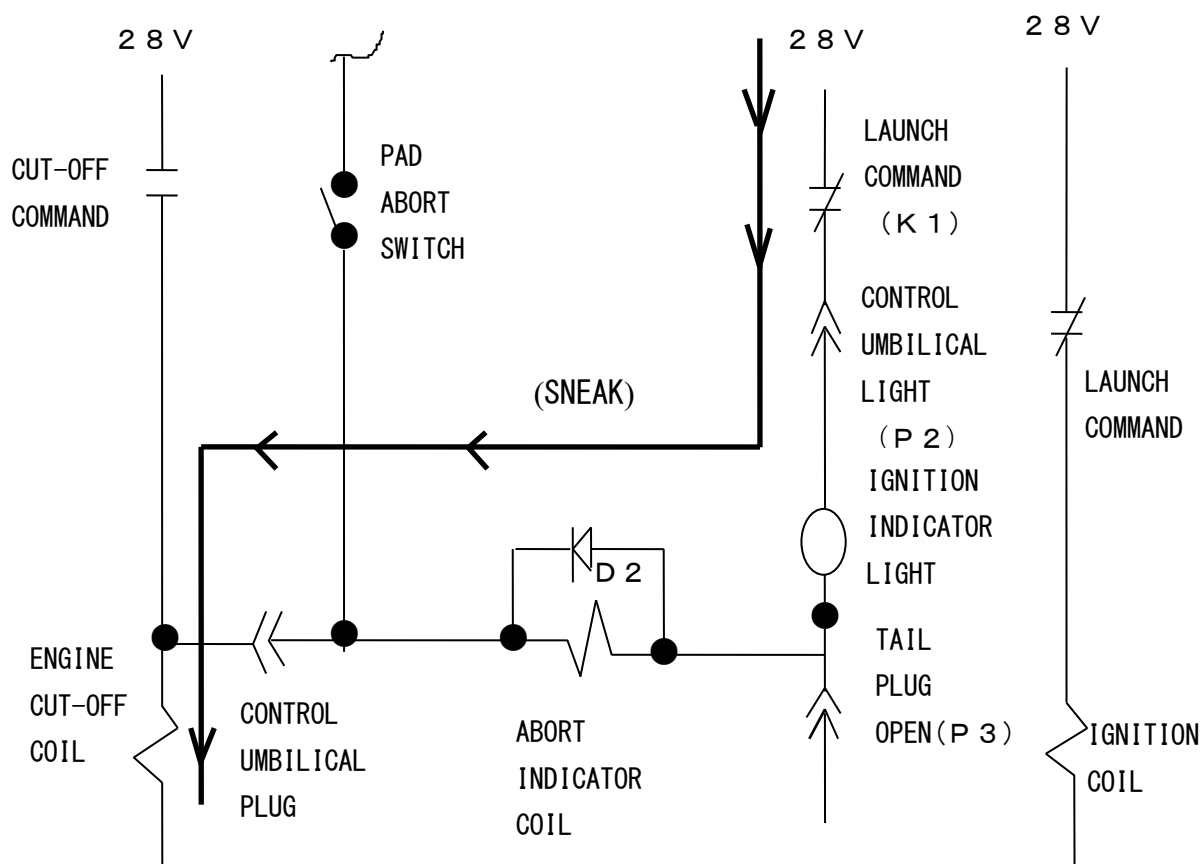


図3. 28-2 レッドストーンロケットのスニーク回路²⁾

エンジンが点火され、ロケットは発射台を離れ打ち上げられることになって
いたが急にエンジンが停止し、発射台に逆戻りした。

スニーク回路は次の通りであった。コマンドリレー (K1) がトリガされて、ブ
ロックハウス(発射管制棟)内のインジケータに電源が供給される。

発射時にはコントロールアンビリカル (P2) とテールプラグアンビリカル (P3)
は同時にロケットから切り離されることになっていたが、コントロールアンビ
リカル (P2) より先にテールプラグアンビリカル (P3) が切り離されたため、ダ
イオードD2を介して、アボートインジケータが点灯し、エンジン燃焼をカット
オフさせた。

レッドストーンロケットのスニーク回路は、電源ーグランド回路が“Ground
Dome型”の場合に発生した例である。コネクタP2とP3を同じコネクタで結線して
いれば防止できたはずである。

(4) スニーク回路に対する設計ルール³⁾の例

スニーク回路に対する設計ルール³⁾の例を図3. 28-3～図3. 28-9に示す。

- a. 電源—グランド回路は、負荷への電流は一つの電源から供給され、一つのグランドへ帰る回路を構成する。できない場合は、ダイオード、スイッチ3（又はリレー）を挿入して電源—グランドを分離する。また、グランドとグランドを接続しないことで、大電流負荷と小電流負荷を分離できる。

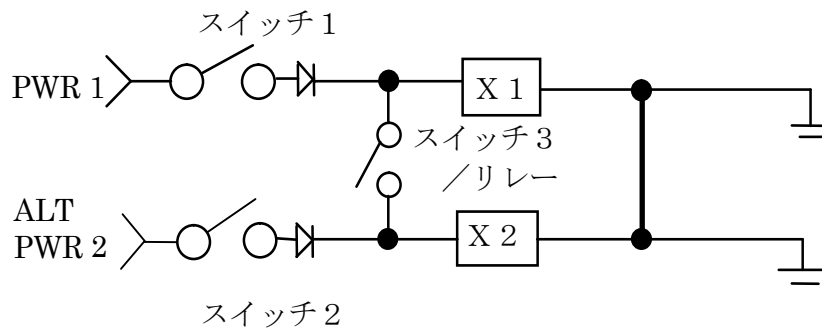


図3. 28-3 スニーク回路の例

- b. リターンパスに電流を切断する素子（スイッチ、リレー、サーキットブレーカ、ヒューズ）は使用しない。

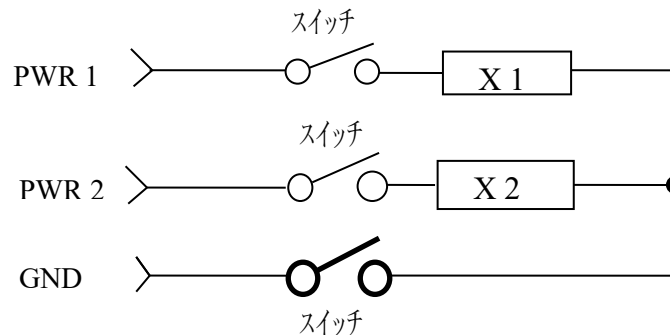


図3. 28-4 スニーク回路の例

- c. 負荷のグランド側でのコネクタの配置は、電流およびリターンパスは対称とする。

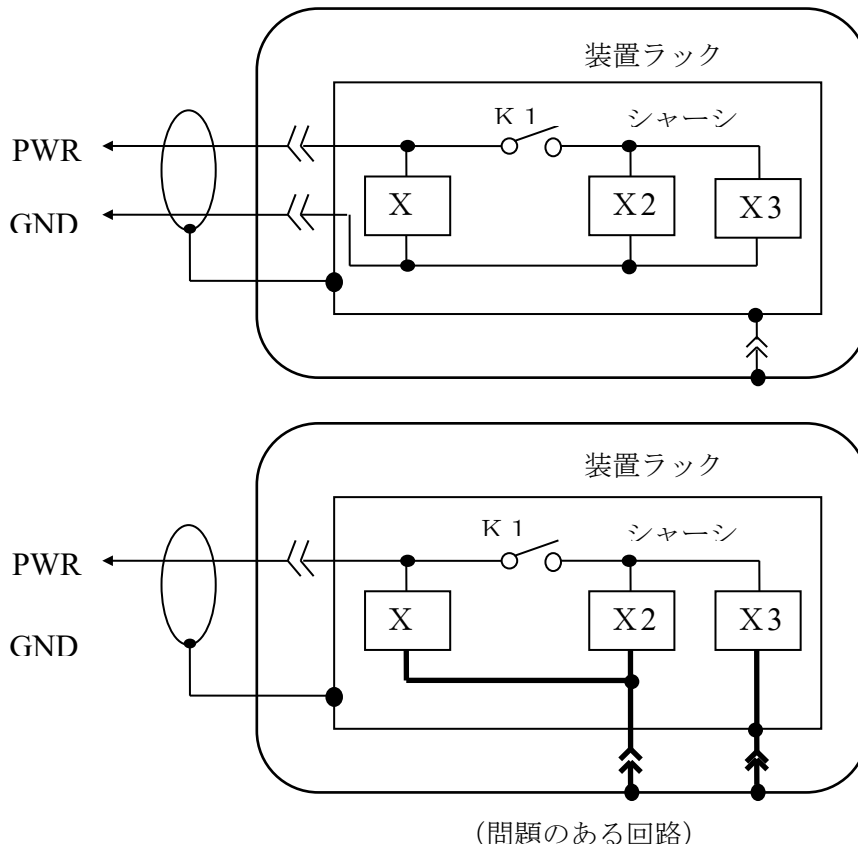


図3. 28-5 スニーク回路の例

すべてのグランドリターン・パスは電源線と同じコネクタに割当てられる。問題のある回路では、負荷X1とX2のリターンが装置ラックのグランドへ接続されている。シャーシグランドにはケーブルシールドが取り付けられており、更にリターンもシャーシグランドと接続されている。K1がオープンするとき、X1、X2（逆方向）、X3および電線ケーブルシールドを通る電流経路ができ、負荷のインピーダンスが低いと、シールドには過電流が流れ発熱する可能性がある。

- d. 電源とアースを供給するコネクタには、同じコネクタ（切り離し型も含め）を使用する。

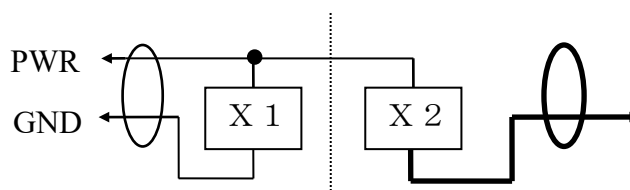


図3. 28-6 スニーク回路の例

- e. ワイヤードオア回路は交互に切り換えることによって引き起こされる効果が全く同じである場合以外は、条件を追加又は変更する場合は分離する。

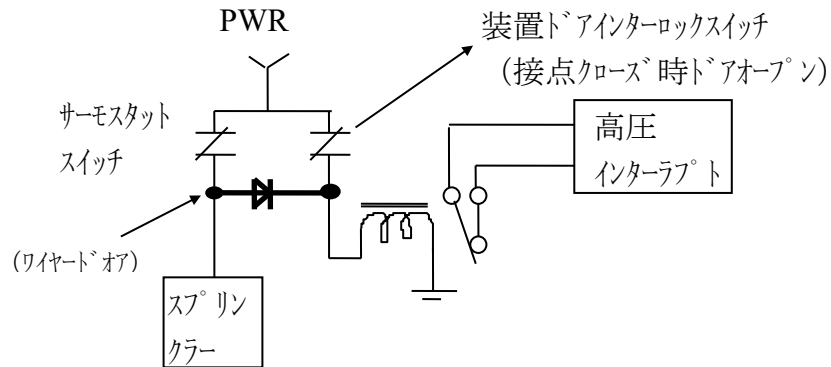


図3. 28-7 スニーク回路の例

条件：高圧電源の遮断 = (装置ドアオープン) あるいは (サーモスタット ON)
 スプリンクラー作動 = (サーモスタット ON)

ワイヤードオアで結線されているため、「装置ドアオープン」で高圧電源は遮断されるが、同時に意図していないスプリンクラーが作動する。それを防止するため、ダイオードを挿入する。

- f. スニークタイミングは、負荷X 2の電源をPWR 2にスイッチで切り換えるときは、電源の中断が発生する。負荷X 2が揮発性コンピュータであれば、蓄えられたデータが損失することがある。コンデンサを挿入すれば、スイッチの切り替えの時間に対して、電圧レベルを維持できる。

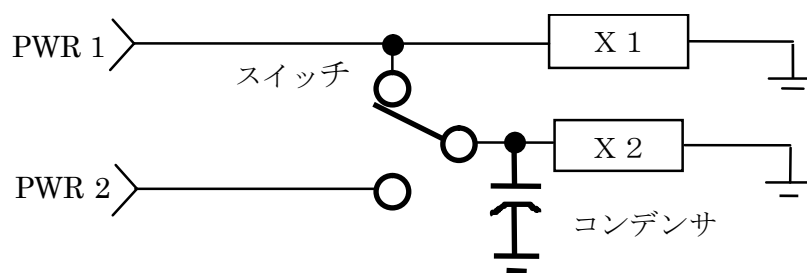


図3. 28-8 スニークタイミングの例

- g. スニーク表示は、制御対象の動作が実行された状態を示すことで防止できる。例えば、スイッチ表示が「エマージェンシドア」では、ドアが「オープン」なのか、「クローズ」なのかあいまいである。「エマージェンシドアオー

プル」のように状態を明示する。

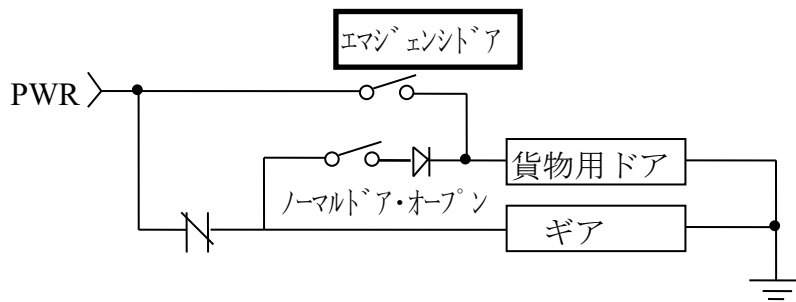


図3.28-9 スニーク表示の例

(5) スニーク回路防止の例³⁾

スニーク回路防止の具体例を図3.28-10～図3.28-15に示す。

サブシステムレベルの機能図には、電源とグラウンドのパスおよび電源を切り換える素子を図示する。複雑なシステムについては、クリティカルなシステムの機能に関する回路への適用に的を絞る方がよい。

- a. 負荷に供給する電源とグラウンドの接続が対称となるように同じコネクタを使用する。

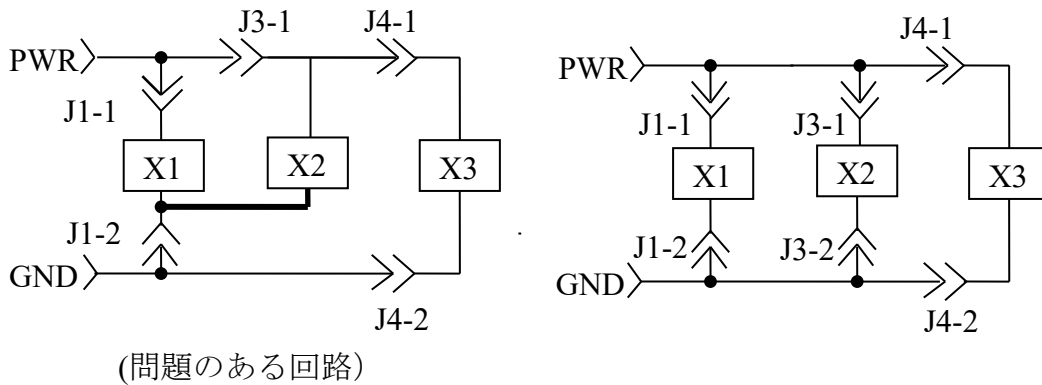


図3.28-10 スニーク回路の例

b. 2つの電源を直結し、共通負荷へ電力を供給する場合は、ダイオードで電源を分離する。

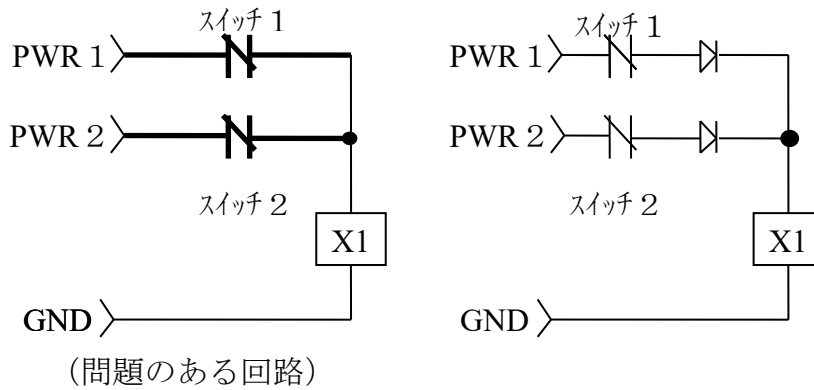


図3.28-11 スニークタイミングの例

c. 同一のコネクタに電源ラインとグラウンドラインを組み合わせる。

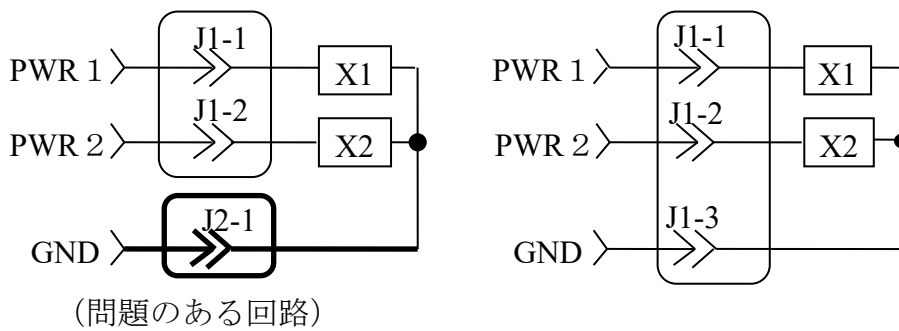


図3.28-12 スニーク回路の例

d. ワイヤード・オア回路をやめて、ダイオードを挿入する。

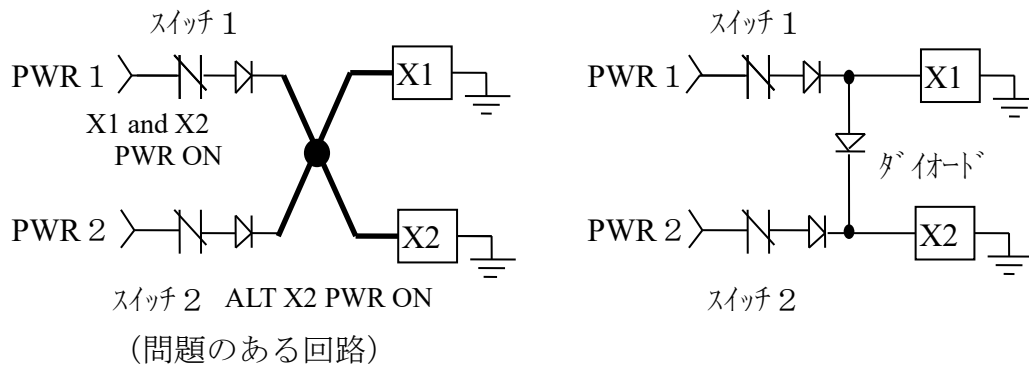


図3.28-13 スニーク回路の例

e. 大電流と小電流のグラウンド(デジタル、アナログ回路)を分離する。

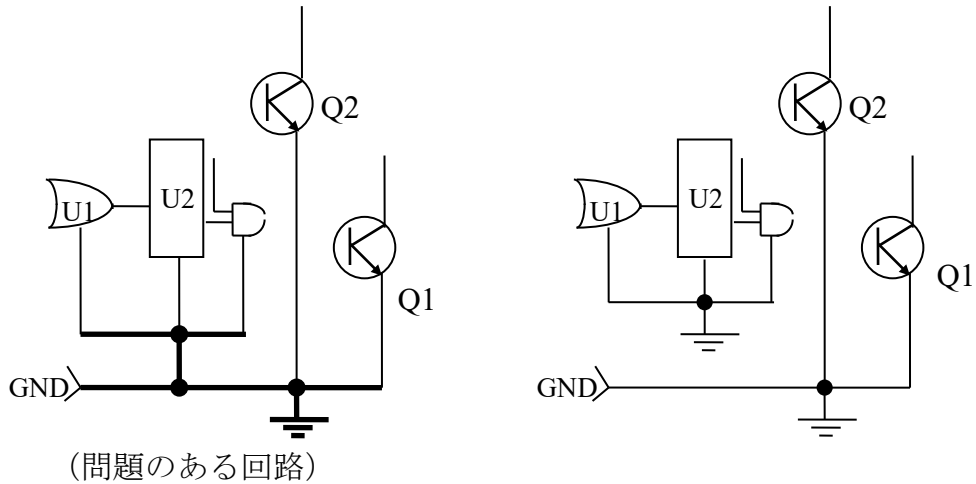


図3.28-14 スニーク回路の例

f. 直列に接続されているスイッチを負荷に対して分離する。

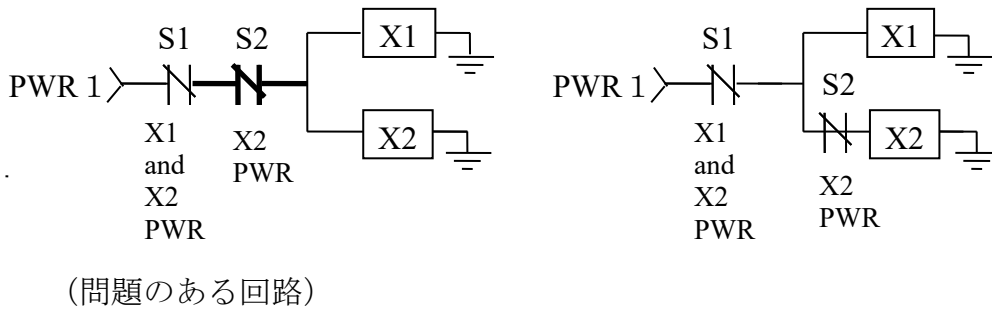


図3.28-15 スニーク回路の例

実施しない場合の影響

電源を切り換える時、必要電源が供給されなかったり、グラウンドが適正に取られていないインタフェース間で過大な電位差が発生するなどのスニーク欠陥を内蔵したままにすると、システムや機器の破損を招きミッション達成が保証できない。

参考文献

- 1) PD-AP-1314, SNEAK CIRCUIT ANALYSIS GUIDELINE FOR ELECTROMECHANICAL SYSTEMS, October 1995
- 2) RADC-TR-89-223, SNEAK CIRCUIT ANALYSIS FOR THE COMMON MAN, October 1989
- 3) RADC SCAT AUTOMATED SNEAK CIRCUIT ANALYSIS TOOL, Edward L. DePalma, Rome Air Development Center

3.29 重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析 (Hardware-Critical Software Interaction Analysis : HCSIA)

効果

ハードウェアの異常／故障時にソフトウェアが適切に対応できるかを確認することにより、ソフトウェアへの要求としての不足がないかの確認ができる。これにより軌道上での問題発生時に備えることが可能となる。

効果的な実施時期

基本設計段階のソフトウェア要求仕様のベースライン化に先駆けてこの解析を実施し、ソフトウェアへの要求を抽出する。詳細設計段階においては、ハードウェア設計の詳細化に伴い、解析の見直しを行い、検証を維持設計フェーズまで継続する。

技術的根拠

ハードウェアの異常／故障に対して、どのケースをソフトウェアで救うのか、またどこまでソフトウェアで対応するのかを明確化することで、ソフトウェアに対する要求仕様に反映が可能となる。

JMR-004の対応項番

- 4.3.6 FMEA及びFMECA
- 4.3.10.5 ソフトウェアクリティカル解析
- 4.3.16.2 クリティカル品目 (CI)

関連の深い信頼性業務

- (1) 機能 FMEA/FMECA
- (2) クリティカル品目リスト (CIL)

実施方法

- (1) 全般事項
 - a. HCSIA は、ハードウェア設計及びソフトウェア要求に影響を与えるため、FMEA/FMECA の一部として実施する。
 - b. HCSIAは、FMEA/FMECAによりハードウェアの異常／故障による影響が安全及びミッションに対して重大と識別されたもののうち、ソフトウェアにより対処するものを対象に行う。
 - c. HCSIAは、ソフトウェア要求仕様または設計仕様を示されるソフトウェア仕様が、適用される故障検知、分離、及び復帰(FDIR) 要求に従って、ハードウェアの異常／故障に対して適切に対応できていることを検証する

ために使用する。

- d. ハードウェアとソフトウェアを組み合わせた製品の供給者は、組み込まれたソフトウェアとインタフェースするハードウェアの異常／故障をカバーするHCSIAを実施する。
- e. 契約の相手方は、システムHCSIAの実施において、契約の相手方のレベルより一つ低いレベルで実施されたHCSIAを統合する。
- e. ハードウェアの各故障モードに対して、以下の情報を使用する。
 - ・ソフトウェア動作の引き金となるハードウェアの状態（FMEA/FMECA で識別された検知可能な症状）。
 - ・ソフトウェアの動作。
 - ・ソフトウェアの動作が製品の機能に及ぼす影響（誘発される可能性のある一連のソフトウェア-ハードウェアの影響を通して）。
- f. HCSIAは、以下の結果を提供するために実施されるものとする。
 - ・ソフトウェア要求の問題点の識別
問題点とは、例えば、要求として不足するあるいは不十分なソフトウェアのソフトウェア・アクション、及びハードウェアに悪影響を及ぼすソフトウェア・アクション
 - ・FDIR方針のための入力。
 - ・推奨事項。
例えば、追加又は修正されるべきハードウェア又はソフトウェア。
- g. 表3. 29-1にHCSIAのチェックリストの例を記載する。

(2) FMEA/FMECA及びCILの活用

- a. ハードウェアの異常／故障に対してソフトウェアにて対処する場合には、FMEA/FMECAの対策欄にその旨を記載する。（例：機能〇〇により、A系の異常を検知し、B系への切り替えを行う）
- b. aで識別されたソフトウェアのうち、ハードウェアの異常／故障による安全及びミッションへの影響が重大であるものについてCSAを実施し、ソフトウェアによる故障対処（FDIRのIRまで）が必要となった場合には、CILのクリティカル部位として当該ソフトウェアを識別し、CILの是正対策欄に以下の事項を記載する。（CILの作成例は3. 43項を参照）

なお、ソフトウェアによる対策結果を考慮して影響度、致命度を評価している場合は、対策前の影響度、致命度に基づきHCSIAの対象を識別する必要がある。

 - ・当該ソフトウェアに期待する機能、ふるまい、あるいはFDIR要求。
記載例：航法センサ出力を使用した航法・誘導演算に基づくアクチュエータ制御を行う場合において、姿勢誤差または姿勢レート誤差がソフトウェア仕様に規定される異常検知閾値または規定さ

れた時間を超えて上回った場合、〇〇ソフトウェアは冗長系計算機への切り替え処理を実行する。

- ・HCSIAにより識別された不適合や不十分な点等。
 - ・ソフトウェア開発プロセスの各段階において配慮すべき点や要検討事項。
 - ・システム（ハードウェア）側にて検討、考慮すべき点。
- なお、FMEAによるソフトウェアに対する要求識別はシステム（ハードウェア）側がおこない、HCSIAの実施及びCILへの記載は、システム（ハードウェア）側とソフトウェア側が連携しておこなう。
- c. bにおいてCILの是正対策欄に記載したシステム（ハードウェア）に関する内容はシステム側で対応し、ソフトウェアに関する内容はソフトウェア開発側にインプットする。
- d. CILを引き継いだソフトウェア開発側では、是正対策欄に書かれた内容に従い、必要なソフトウェア側での処置を実施し、検証まで完了したところで、CIL対策の完了をシステム（ハードウェア）側にインプットする。
- e. システム（ハードウェア）側は、システム側で対処すべき分の処置結果と合わせてCILの処置を完了する。

注) 本要求は、ECSS-Q-ST-30 Dependability¹⁾及びECSS-Q-ST-30-02 FMEA/FMECA²⁾に規定されたHardware-Software Interaction Analysis (HSIA) を参考にしている。ECSSのHSIAとは、ハードウェア故障に関与するソフトウェアをFMEAにより識別する点に関しては同じであるが、ECSSが、対象となったすべてのソフトウェアについてこの解析を実施した結果を一件一葉2のHSIA報告書を作成するよう求めているのに対し、JAXAでは、FMEAで識別されたソフトウェアのうち、ハードウェア故障のシステムに与える影響の重大なものに限定してこの解析を実施する点と、その解析結果をCILを活用して整理するようにしている点が異なる。

実施しない場合の影響

ハードウェアの異常／故障に対して、ソフトウェアによりカバーする範囲、対応内容が定まらず、軌道上での問題発生時に適切に対応できなくなる。

参考文献

- 1) ECSS-Q-ST-30 「Space product assurance, Dependability」
- 2) ECSS-Q-ST-30-02 Failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA)

表3.29-1 HCSIAチェックリスト例(1/2)

重要なソフトウェアのハードウェアとの相互作用解析 (HCSIA)		
サブシステム :		FMEA/FMECA番号 :
対象品目 :		ハードウェア故障モード :
No.	チェック事項	yes/no
1a	<p>ソフトウェアとその処理に提供された情報によって、故障の存在がソフトウェアに伝えられるか、またはそれに対する是正措置がソフトウェアにより開始されるか？（例えば、断線故障に対して故障検知フラグを立てて、ハードウェア側からソフトウェア側に通知されればYes、ハードウェア側が何もアクションしない場合あるいはソフトウェアが是正処置を開始しなければNo。）</p> <p>Does the information provided to the software and its processing cause the presence of a failure to be passed to the software or initiate a corrective action in response?</p>	
1b	<p>1aの答えが "No" の場合、ソフトウェアが故障を検出するために使用できる情報をハードウェアから提供しているか？（断線故障した場合に、ソフトウェア側に断線した状況をソフトウェア側が検知できるような情報（ディスクリート信号やテレメトリを提供していればYes、断線してもあたかも正常なままと認識される状況であればNo）。Noの場合、ソフトウェア側が故障を認知できるようハードウェア設計を見直すか、ソフトウェア要求に検知可能な要求仕様を落とし込む。</p> <p>If the answer to 1a is "no", does the hardware provide the information that the software can use to detect the failure?</p>	
1c	<p>1aと1bの答えは、FMEA/FMECAの分析結果と一致しているか？Noの場合、FMEA/FMECAを修正するか、1a及び1bの解析が正しいか再確認する。</p> <p>Are the answers to 1a and 1b consistent with the FMEA/FMECA analysis of observable symptoms?</p>	
2a	<p>ソフトウェアは、故障の影響を排除するための措置を講じているか？（ハードウェア故障に対して、その故障自体をシステムから切り離して、正常化を図る（冗長系切替を行う、電源の再立ち上げを行うなど）処置が行われればYes）。</p> <p>Does the software take action to negate the effects of the failure?</p>	
2b	<p>2aの答えが "no" の場合、ソフトウェアによりこの故障モードを補償する機能は存在するか？（故障した機器の切り離しはしないが、他の代替手段（機能冗長による補完、縮退運用モードへの切り替えなど）が行われればYes。Noとなった場合には、ソフトウェア側に期待する機能をソフトウェア要求仕様として落とし込む。</p> <p>If the answer to 2a is "no", does the capability exist for the software to compensate for this failure mode?</p>	
3	<p>この故障モードの結果として、ソフトウェアがハードウェアに過大なストレスを与えたり、別の故障を誘発したりする可能性はあるのか？（ハードウェア故障をソフトウェア側が正しく検知できず、ソフトウェア機能が意図せずに状況を悪化させる場合はYes（例えば、温度センサの故障を正しく認識できずに、ヒータをオンし続けて加熱状態になってしまうなど））。Yesであれば、そのようにならないようなソフトウェア要求に見直すか、要求が正しければロジックを見直す。</p> <p>As a result of this failure mode, can the software cause the hardware to be overstressed, or induce another failure?</p>	

表3.29-1 HCSIAチェックリスト例(2/2)

No.	チェック事項	yes/no
4	この故障モードは、ソフトウェア・ロジックとの組み合わせで、他の機能に悪影響を及ぼす可能性はあるか？（ハードウェア故障に対して、ソフトウェアによるFDIRが行われた時に、それが意図せずに状況を悪化させる場合はYes（例えば、FDIRで故障部分は切り離せたとして、冗長系切替に時間がかかり過ぎて、結果として再起不能な状況に陥るなど）。Yesであれば、そのようにならないようなソフトウェア要求に見直すか、要求が正しければロジックを見直す。 Can this failure mode, in combination with software logic, adversely affect other functions?	
5	この故障モードに関する設計の故障許容特性はどのようなものか（地上や乗組員の介入、あるいはソフトウェアによる補償を考慮する）、何回の故障を許容できるか。(1 2 3)*（例えば、ある故障モードに対して2故障許容が求められる場合、ハードウェア側で1故障が発生していることから、これに対するソフトウェアによるFDIRを行うとすると、このFDIRの故障許容性は1 FTとなる。） What are the failure tolerance characteristics of the design regarding this failure mode (take into account ground or crew intervention, or software compensation); how many failures can be tolerated? (1 2 3)*	1 2 3 いずれかに ○
6	この故障モードに対応するために地上またはクルーの行動が必要な場合、介入の必要性を示すテレメトリー（信号）は提供されるか？提供できていなければ、提供できるようソフトウェアへの要求として落とし込む。 If ground or crew action is required to respond to this failure mode, is telemetry, or signal, provided to indicate the need for intervention?	
7	ソフトウェアによる対応時間に時間制限はあるか？時間制限があれば、ソフトウェアへの要求として落とし込む。 Is the response time limited by mission success factors?	
チェック結果サマリ		
1. ハードウェア/ソフトウェアの課題、問題： (解析により識別された課題、問題等を記載する)		2. ハードウェア側のリスク受入と理由： (1.に記載した課題、問題のうち、ハードウェア側で受け入れ可能なものとその理由を記載する)
3. 介入すべき人物： (介入すべきと識別された衛星管制者等の人物を明確化する)		4. 初期チェックアウト中の検証： (当該ソフトウェアの機能に関する初期チェックアウト中の検証の有無を記載する)
5. 推奨事項： (1.に記載した課題、問題に対する対応策、改善策等の推奨事項を記載する)		
6. FMEA/FMECA修正提案： (FMEA又はFMECAについての修正提案があれば記載する)		
7. 補足事項 (当該ソフトウェアをクリティカル品目としての識別要否を記載する。また、その他補足事項があれば記載する)		

注：チェック事項欄に書かれた英文は、参考としたECSS-Q-ST-30Cからの引用である

3.30 ソフトウェア保証

効果

システムや宇宙用機器の高機能化に伴い、ソフトウェアの役割が一層重大となっている。ソフトウェアの故障を未然に防止して、また故障の影響を最小限にすることによって、ソフトウェア単独又はハードウェアとソフトウェアの統合システムの信頼性を確保し、ミッション達成が保証できる。

効果的な実施時期

基本設計段階から試験・検査段階まで

技術的根拠

故障モード等を識別するため、信頼性解析の手段としてFMEA（故障モードおよび影響解析）及びFMECA（故障モード・影響及び致命度解析）、FTA（故障の木解析）を用いる。また、故障が発生しても全面的なダウンを防止し、全部または一部の機能が実行できる能力を解析する手段としてフォールトトレランス解析を用いる。

JMR-004の対応項番

4.3.11 ソフトウェアの信頼性保証

関連の深い信頼性業務

- (1) 機能FMEA/FMECA
- (2) FTA：事前解析、事後解析
- (3) 人為故障の除去
- (4) 設計過誤の防止
- (5) 保全性

実施方法

- (1) 品質保証活動の計画の設定
JERG-0-049¹⁾の要求あるいはこれに準じた要求を満たす為、次の事項を網羅したソフトウェア品質保証活動の計画を設定し、実施する。
 - a. 適用対象の識別
 - b. 品質保証活動に必要な資源、品質標準、方法論、手続きおよびツール（利用される規定類の識別を含む）
 - c. 検証プロセス、妥当性確認プロセス、共同レビュープロセス、アセスメントプロセスおよび問題解決プロセスからとの関連性と選択したアクティ

ビティおよびタスク

- d. 品質保証に関する組織・体制・責任・教育・訓練
- e. スケジュール
- f. レビューに関する一連の手続き
- g. 品質保証活動の記録の識別と、その収集・保管・維持・廃棄などに関する一連の手続き
- h. 購買管理・供給業者に対する品質保証に関する要求・活動
- i. 既存ソフトウェア品目（COTS品目・再利用ソフトウェア品目）の管理
- j. 出荷に関する一連の手続き

なお、ASIC及びFPGAについては、CAA-109028²⁾「ASIC/FPGA開発管理標準」において、実装する論理回路の開発管理に必要な要求事項示されているため、こちらの要求あるいは準じた要求を満たすこと。当該標準における品質管理要求は、①文書／成果物の管理（開発管理計画書、開発計画書、ソースコード、タイミング解析、試験結果など）、②審査会（要求審査、基本設計審査、詳細設計審査、実装設計審査、開発完了審査）が規定されている。

(2) FMEA/FMECAの実施

ソフトウェア単独、又はハードウェアとソフトウェアの統合システムでは、ハードウェアの場合と同様に、FMEA/FMECAを実施して、故障モードを識別し、致命的な故障モードに対して設計上の是正処置をとる。

(3) FTAの実施

ソフトウェア単独、又はハードウェアとソフトウェアの統合システムでは、ハードウェアの場合と同様に、FTA（事前解析、事後解析）を実施する。FTAは、CSCI(Computer Software Configuration Item), CSC(Computer Software Component)及びCSU(Computer Software Unit)レベルで実施する。

CSCI：ソフトウェア開発を行う場合に、コンフィギュレーション管理等開発管理を行う単位。通常ソフトウェア開発仕様書はCSCI単位で制定される。クリティカルな機能は、1個のCSCIとする。

CSC：CSCIより下位レベルのソフトウェア単位。機能的な分割単位レベルであり、1つのまとまった機能を実現する単位である。

CSU：ソフトウェアを分割した場合の最小単位（モジュール）。1つの機能を持ち、それ自体だけを分離した試験が可能なもので、ドキュメントを構成する最小単位で、試験は単体試験と呼ばれる。

(4) フォールトトレランス解析の実施

ソフトウェア内部または外部に故障が存在する場合でも、外部に対しては要求された機能、性能を維持するようなシステムの能力をフォールトトレランスという。以下の解析を実施する。

- a. システムまたはソフトウェアの故障により、システムの機能低下が発生しても、システムの機能が全面的にダウンしないよう、フェールセーフ、フェールソフトの必要性についての解析
- b. フォールトトレランスを実現させるため、冗長方式、故障検出、診断機能などの設計上の対策

(5) 検証の実施

ソフトウェア試験（CSC単位で行う組合せ試験、CSCI単位で行うインテグレーション試験）およびハードウェアとソフトウェアを組み合わせたシステム統合試験（複数のCSCIの組合せを含む）を実施し、仕様書等の要求を満足することを確認する。統合システムでは、ハードウェア試験とソフトウェア試験を併行して行う。また、必要な場合には第三者検証（IV&V：Independent Verification & Validation）を行う。

(6) 人為故障の除去

ソフトウェアの製作、試験中、またはシステムの試験中、運用等で発生する人為故障を取り除くため、あらゆる操作、取扱を想定し設計に反映する。

例えば、隣り合ったキーまたは類似のコマンド処理
誤ったコマンドの訂正・復帰
誤り易い表示・ラベル等

(7) 設計過誤の除去

作業者の単純なミスによりシステムの運用や試験において、不具合を起こす。この設計過誤を設計段階、試験・検査の段階で除去する。

(8) デザインレビュー

デザインレビューをソフトウェア独自で行う。

ソフトウェアに関連するJERG標準類の体系を図3.30-1に示す。
 なお、現在JAXAにおいては、ソフトウェアの開発プロセスを重視し、他標準（JIS等）との整合性を確保する標準作りが行われている。

信頼性プログラム標準	名称	分類	備考
(JMR-004) ・ソフトウェア保証 ・FMEA/FTA ・人為故障の除去 ・設計過誤の防止	ソフトウェア開発標準 (JERG-0-049)	ソフトウェア開発標準	平成23年度初版、2023年度D版制定
	ロケット搭載ソフトウェア開発標準 (JERG-1-008)	ソフトウェア開発標準	平成24年度初版、2015年度A版制定
	宇宙機ソフトウェア開発標準 (JERG-2-610)	ソフトウェア開発標準	平成24年度初版、2020年度B版制定
	地上ソフトウェア開発標準 (JERG-3-003)	ソフトウェア開発標準	平成24年度初版、2015年度A版制定
	ASIC/FPGA開発管理標準 (CAA-109028)	ASIC及びFPGAについての標準	平成21年度初版制定

図3.30-1 ソフトウェアに関連するJERG標準類の体系

実施しない場合の影響

ソフトウェアとして信頼性が確保されず、ミッション達成が保証できない。

参考文献

- 1) JERG-0-049 「ソフトウェア開発標準」
- 2) CAA-109028 「ASIC/FPGA開発管理標準」

3.31 保全性

効果

ハードウェアやソフトウェアの試験、輸送、射場作業などの開発製品の取り扱い及び保管時に発生する恐れのある故障を未然に防止し、また故障が発生したとき交換や修理などを迅速に、そして安全に行うことによって、ミッション計画の達成を保証する。

効果的な実施時期

開発製品に発生する恐れのある故障有無の点検や予防保全を目的とする定期作業およびシステムやコンポーネントの交換、故障分離、修理などの保全構想（又は計画）を基本設計段階で計画し、設計に反映する。

詳細設計段階では、分解組立などの作業手順および故障が発生した場合に、使用可能な状態に迅速に回復させるための保全性設計を行う。また、試験段階では、交換、故障分離などを検証する。

技術的根拠

ミッション計画の達成を保証するため、保全活動を計画的に行うことが重要である。その保全活動として、予防保全と事後保全が必要である。

予防保全は、打上げまでに行われるハードウェアの試験、輸送、射場整備作業などにおける故障を未然に防止するための保全をいい、事後保全は、試験、輸送、射場整備作業などにおいて不具合が発見されたハードウェアを使用可能な状態に回復するための保全をいう。

JMR-004の対応項番

4.3.12 保全性

関連の深い信頼性業務

- (1) 機能FMEA/FMECA
- (2) クリティカル品目リスト (CIL)
- (3) 信頼性管理品目の識別
- (4) ソフトウェア保証

実施方法

- (1) ロケット／人工衛星のような非修理系の機器の打上げまでの試験、輸送、射場整備作業などにおける分解、組立、交換、調整などの予防保全に関して、次の項目などを設計に反映する。
 - a. 保全活動に重要なデータとして、故障モード、故障検出法、故障の是正処

置および、CIや信頼性管理品目（有効寿命品目、重要取付品目）を、FMEA/FMECAなどを基に識別する。

- b. 定期的な保全が必要なコンポーネント（ベアリング、シールド、リチウムイオン電池、アルミ電解コンデンサ、慣性センサユニットなど）、有効寿命品目、重要取付品目の分解組立、交換、調整などの保全計画を十分検討し、保全活動を容易にするため作業手順書、取扱説明書などを作成する。
- (2) システムやコンポーネントの不具合発生時に検出、調査あるいは修理などの事後保全を迅速に行うため、次の項目などを設計に反映する。
- a. 重大故障モードを持つ機器などの取り付け・取り外しを容易に行えるよう配置すること。
 - b. コネクタの脱着が容易にできること。
 - c. 交換単位で取り出し、交換できること。
 - d. 故障検出、故障分離、故障診断が正確にできること。
そのため、システム、サブシステムあるいはコンポーネントの機能をモニターするためのパラメータの識別、ビルト・イン・テスト装置の能力（テスト項目など）を考慮する。
 - e. 保全性活動を実施する上で危険がないこと。
- (3) 修理などが完了した後は、当該ハードウェア及び事後保全によって影響を受けたハードウェアが正しく処置されたことを確認試験で確認する。確認試験は、処置前のデータを考慮して、個々の不具合の処置内容によりワークマンシップなども考慮して確認試験項目（機能試験、アライメント、環境試験など）を決定する。
- (4) ソフトウェアの予防保全／事後保全に関して、変更および拡張を容易に行うため、次の項目などを設計に反映する。
- a. ソフトウェアの多様な使い方により試験段階で検出不可能な不具合発生を想定して、これを修正するため、設計段階で行う予防保全対策を実施すること。
 - b. OSの改版、組み込んだ市販ソフトウェアの改版、ハードウェアの機能性能向上などの変化を想定して、これらを容易に取り入れることを可能にするため、設計段階で行う予防保全対策を実施すること。
 - c. 開発完了後にソフトウェアのアルゴリズム変更や機能追加が起きることを想定して、これらへの対応を容易にするため、設計段階で予防保全対策を実施すること。
 - d. 運用段階での事後保全は、以下の保全に配慮する。
 - (a) 不具合を発見した場合、原因を究明し、修正版を作成して復旧させるこ

- と。
- (b) OSやハードウェアの変化に対応できること。
 - (c) ソフトウェアのアルゴリズム変更や機能追加を実施すること。

実施しない場合の影響

故障の未然防止、また保全性活動において適切な故障分離、交換作業が実行できず、ミッション計画に影響を及ぼす恐れがある。

参考文献

なし

3.32 人為故障の除去

効果

必要な作業の抜け、手順の誤認などのヒューマンエラー（作業ミス）が原因で発生する人為故障を除去し、システム、サブシステムおよびコンポーネントの機能・性能の損失を防止することで、信頼性を向上させミッション達成を保証する。

効果的な実施時期

設計段階、製造段階、試験段階、射場整備作業段階

技術的根拠

ヒューマンエラーを防止するため、人間の注意力や判断力に過度な依存をすることは限界があることから、フールプルーフ設計などを採用し、ヒューマンエラーを発生させない、あるいは発生しにくくしたり、ヒューマンエラーが発生しても致命的な事態を招かないようにする。

JMR-004の対応項番

4.3.13.1 人為故障の除去

関連の深い信頼性業務

- (1) 教育・訓練
- (2) 詳細設計審査

実施方法

- (1) ヒューマンエラーの要素について教育、訓練等によってその要素を熟知させ、明確にする。
- (2) 対象とするプロジェクトあるいはシステム又は機器の設計において、ヒューマンエラーの発生しやすいところはどこかを識別する。
製造作業における発生の例を表3.32-1に示す。

表3.32-1 発生の例

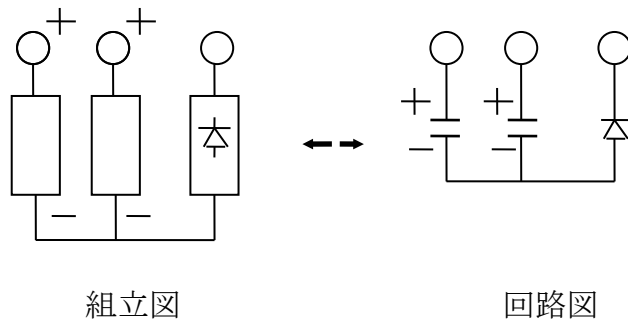
ヒューマンエラーの要素	発生の例
動作ミス	誤接触、工具・部品の落下、取扱い誤り
記憶ミス	取付け忘れ、組立忘れ、記録忘れ、クランプ忘れ、締め付け忘れ
知覚判断ミス	左右逆に取り付けた、90度／前後方向の取り付けミス、誤配線、洗浄抜け、異部品が取り付けしていた、コンタクタの接着不良、ホースの取付け不良、誤ったコマンドの送信、文書等の誤解、検査見落とし、状態の誤認、代替え技術の検討不足

- (3) 識別したヒューマンエラーの要素に対して、フルプルーフ、フェールセーフなどの面から対策を考慮した設計を行う。設計の対策例を表3.32-2に示す。
- (4) 人為故障の要因が適切に識別され、その結果が設計上対策されているかを詳細設計審査で確認する。
- (5) 製造指示においても、人為故障を防ぐための方策を講じる。図3.32-1に具体例を示す。

表3. 32-2 設計の対策例

ヒューマンエラーの要素	発生の例	設計の例
動作ミス	(1) 誤接触 (2) 工具・部品の落下	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチにカバーを取り付ける ・タッチパネルにおいて、操作スイッチ選択後に、別の箇所のスイッチを選択して操作可能とする ・ボルトとスペーサを一体化する ・作業スペースに余裕を持たせて、無理な姿勢での作業を防ぐ
記憶ミス	(1) 組立忘れ (2) 取付け忘れ (3) クランプ忘れ (4) 記録忘れ (5) 手順・操作忘れ	<ul style="list-style-type: none"> ・部品の数を最小限にする。 ・一体成形品とする。 ・固定式とする。 ・試験順序を明確にして手順書に反映する。 ・スイッチ、ボタン等の配置に注意する。
知覚判断ミス	(1) 取付けミス (2) 誤配線 (3) 洗浄抜け (4) 誤ったコマンドの送信 (5) 状態の誤認 (6) 変更が実施されない	<ul style="list-style-type: none"> ・左右、上下の方向性があるときは形状を変更する。(非対称等) ・正規の方向でない则取り付かないようにする。 ・精度を必要とする部品はまとめて取り付ける。 ・系統別にワイヤを束ねる。 ・ワイヤ上に識別デカルをつける。 ・同じコネクタを配置するときは、ワイヤを色分けする。 ・手順を明確にする。 ・コマンド生成時に、グループコマンドとして作成し、確認した後、コマンドを打つよう手順書を作成する。 ・条件が揃わなければ、次のシーケンスへ移行しないようインターロックする。 ・視認しやすくする補助線を入れる、強調する。 ・必要な情報に限定する。 ・手順書へ確実に反映する。

有極性部品の取り付け方向の指示例



コネクタキー溝位置の指示例

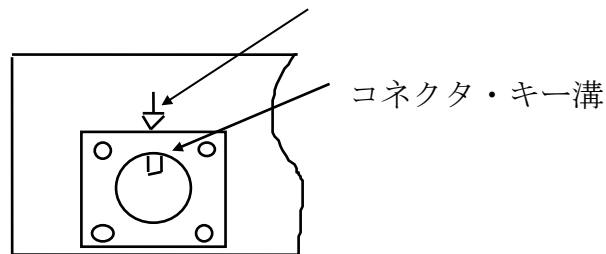


図3. 32-1 人為故障を防ぐための指示例

実施しない場合の影響

ヒューマンエラーによる人為故障によって、システム、サブシステムあるいはコンポーネントの機能・性能低下の原因にもなり、ミッション達成が保証されない恐れがある。

参考文献

なし

3.33 設計過誤の防止

効果

設計過誤は設計者の単純ミス（例えば、記入忘れ）により発生する技術文書上の欠陥をいう。設計過誤によってデータや情報が関係部門へ正確に伝達されず、後工程での不具合の原因になる。これらの設計過誤を未然に防止することによって、技術文書の正確さを保証し、システムやコンポーネントの性能を確保する。

効果的な実施時期

基本設計、詳細設計段階及び試験段階で行なう。

技術的根拠

過去の事例を参考にして各段階で要求事項を確認しながら、設計過誤をなくし、隠れた設計過誤を発見し、是正処置をとる。

JMR-004の対応項番

4.3.13.2 設計過誤の防止及び除去

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 試験仕様書、手順書の作成

実施方法

設計仕様書、図面及び試験仕様書／検査手順書等に潜在する設計過誤をチェックリストなどによって点検する。

また、CADの普及、設計の複雑化等に対応し、自動チェックツールの活用も有効である。

- (1) 極性／方向性、冗長系の接続／配線、インタフェース部、ハーネスの導通・絶縁および設計変更を行った部分などは、設計過誤を発生しやすいので重点的にチェックを行う。重点的なチェック項目を表3.33-1に示す。
- (2) 要求事項の確認、設計、図面作成、設計変更、試験仕様書／検査手順書および試験実施・評価をチェックリストにより点検する。また、最新版の「要求事項確認マトリクス」などを使用して、チェック内容を明確にする。設計、試験／検査の各段階におけるチェックリストの体系を図3.33-1に示す。
- (3) 製造図面、試験仕様書／検査手順書などは、設計段階だけの点検では設計

過誤は防止できないので、試験／検査（評価）の段階を通して、設計過誤を検出・防止できるような組織的な点検システムを作る。点検システムの例を図3.33-2に示す。

- (4) 同一機種で過去に発生した異常／故障のうち、設計過誤による事例のサマリを作り、これを設計チェックリストとして活用するとよい。

表3.33-1 設計過誤防止の重点チェック項目の例

段 階	項 目	確 認 項 目
詳細設計	(1) 設計仕様書 (2) インタフェース仕様書 (3) 製造図面 (4) 試験仕様書／検査要求書 (5) 試験手順書／検査手順書	極性、方向性の明記 冗長性の検証 適合性の確保 極性、方向性の図面指示 ハーネス図の記号、設計変更に係わる図面変更 検査項目の確実な指定、インタフェース仕様 判定基準の明示 機能上確認が困難な項目の試験／検査方法の設定 システム／サブシステム／コンポーネントの要求事項の記載（判定基準、規格値、精度、取付角度、冗長系など） 設計変更確認 試験仕様書との整合 試験／検査設備の識別 極性、方向性の確認
試験及び評価	(1) 確実な試験実施 (2) 試験の実施・記録 (3) 評価	極性、方向性、インタフェース、設計変更、ワイヤーハーネスの配線確認など 要求書及び手順書の再確認、試験検査結果の総合評価 （データのトレンドも含む）

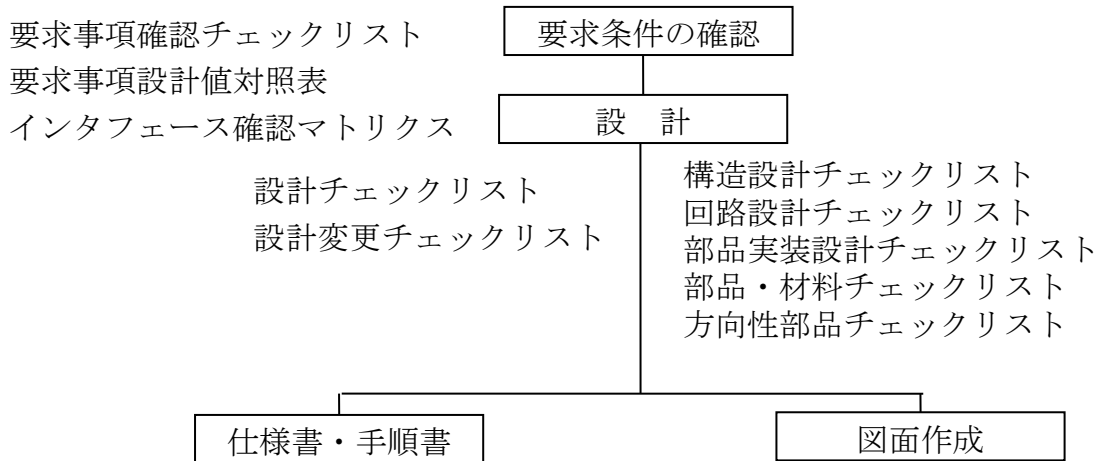


図3.33-1 チェックリストの体系の例

段 階	設 計	試験／検査
文書等	図面、設計仕様書等	試験仕様書、検査手順書、試験結果等
点 検 フェーズ	① 自主点検	文書等の出図前／発行前及び試験結果の評価時： 設計者自身による点検
	② グループ点検	文書等の出図前／発行前及び試験結果の評価時： 設計リーダーを含む設計グループによる点検
	③ 関連部門点検	文書等の出図前／発行前、手順書作成及び試験結果の評価時： 技術部門、品質保証部門、製造部門、試験部門等による点検
	④ 専門家による点検	設計審査時：専門的な立場から専門家による点検

図3.33-2 点検システムの例

チェックリスト等の例を以下に示す。

- 「新規設計チェックリスト」(表3.33-2)
- 「構造設計チェックリスト」(表3.33-3)
- 「回路設計チェックリスト」(表3.33-4)
- 「部品実装チェックリスト」(表3.33-5)
- 「部品・材料チェックリスト」(表3.33-6)
- 「方向性・有極性部品リスト」(表3.33-7)
- 「設計変更チェックリスト」(表3.33-8)
- 「手順書／仕様書作成チェックリスト」(表3.33-9)
- 「図面作成チェックリスト」(表3.33-10)
- 「要求事項／設計値対照表」(表3.33-11)
- 「要求事項確認マトリクス」(図3.33-3)
- 「インタフェース確認マトリクス」(図3.33-4)
- 「試験マトリクス」(図3.33-5)
- 「設計変更時の波及範囲確認マトリクス」(図3.33-6)

実施しない場合の影響

勘違い、思い込みなど設計過誤には落ち入り易く、打ち上げ前に発見されない場合には、軌道上で予想もしないトラブルが発生し、ミッション達成に重大な影響を与える。

参考文献

なし

表3.33-2 新規設計チェックリスト例 (1/3)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		要求条件・設計条件	
1-1		要求条件を引用した文章は何か。	
1-2		上記文書は最新版か。	
1-3		上記文書にて示されない要求条件はあるか。その項目は何か。またどのように設定したか。	
1-4		上記1-3を含め、使用した要求条件は得意先の了解を得ているか。	
1-5		得意先打合、社内打合、部品関係打合等による文書は何か。また要求条件変更にとり込んだ事項は何か。	
1-6		設計値は得意先要求をすべて満足しているか。 (要求事項設計値対照表の活用)	
1-7		要求事項を満足しない設計について得意先と調整したか。	
1-8		製品が要求事項を満足していることをどのように確認するか。 (要求事項確認マトリクス活用)	
1-9		他機器あるいは他サブシステム・システム等とインタフェースする箇所はどこか。	
1-10		上記インタフェース条件は明確となっているか。	
1-11		インタフェース条件について相手側と文書で確認しあったか。	
1-12		製品がインタフェース条件を満足することをどのように確認するのか。 (インタフェース確認マトリクス活用)	

表3.33-2 新規設計チェックリスト例 (2/3)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
2		設計確認	
2-1		回路設計は適切に実施されているか。 (回路設計チェックリストの活用)	
2-2		構造設計は適切に実施されているか。 (構造設計チェックリストの活用)	
2-3		使用部品・材料は適切か。 (部品・材料チェックリストの活用)	
2-4		方向性のある部品の取付は適切か。 (方向性部品チェックリストの活用)	
2-5		部品実装は適切か。 (部品実装チェックリストの活用)	
2-6		設計内容が図面・仕様書に的確に反映されているか。 (図面チェックリストの活用、試験仕様書／ 検査手順書チェックリストの活用)	
2-7		要求事項確認マトリクスおよびインタフェース確認マトリクスの内容が図面・仕様書等に適切に反映されているか。	

表3.33-2 新規設計チェックリスト例 (3/3)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
3		設計評価	
3-1		設計内容について得意先の確認を得ているか。	
3-2		PDRは実施したか。	
3-3		CDRは実施したか。	
3-4		PDRのアクションアイテムは処置したか。	
3-5		CDRのアクションアイテムは処置したか。	
3-6		試験・検査結果を設計にフィードバックしたか。 (設計変更チェックリストの活用)	

表3. 33-3 構造設計チェックリスト例

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		インタフェース	
1-1		下記の項目について要求を満足しているか。 寸法・質量・重心・慣性能率、バランス、面粗さ、平面度、表面処理、接触面積、接地抵抗、剛性、塗装にげ	
2		環境条件	
2-1		要求環境条件は明確か。	
2-2		要求環境条件を満足しているか。	
3		強度に関する下記の検討を実施したか。 制限荷重、終局荷重、疲労変形量、熱ひずみ	
4		下記の点に関し、整備性を考慮したか。 組立・分解・調整・テストポイント、部品交換、標準工具	
5		安全性について検討したか。 (突起物、面取り等)	
6		加工性に関し、下記の問題点は無いか。 公差、形状、曲げR、メッキのつき、気抜け	
7		耐食性に関し、下記の問題点は無いか。 異種金属、応力腐食、表面処理、結露	
8		ネジの組み合わせ、トルク指定、スレーキング指定は適切か。	

表3. 33-4 回路設計チェックリスト例 (1/2)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		他のプロジェクト等実績のある設計を用いた場合、	
1-1		動作条件の違いを考慮したか。	
1-2		要求性能の違いを考慮したか。	
1-3		オリジナル設計者のレビューを受けたか。	
2		新規設計の場合	
2-1		新規設計箇所はどこか。	
2-2		設計データは完備しているか。	
2-3		温度特性を考慮したか。	
2-4		入力信号の変動はいくらか。また、本変動に対する回転動作上のマージンはいくらか。	
2-5		出力信号の変動はいくらか。また、本変動はインタフェース条件上いくらのマージンがあるか。	
2-6		電源及び各負荷の各インピーダンス変化はいくらか。この場合、回路動作は安定か。	
2-7		消費電力値は予定内か。またピーク電力は基準以内か。	
2-8		フィードバックループを使用しているか。位相マージン、利得マージンは適切か。	
2-9		ロジック回路のヒステリシス幅は適切か。	
2-10		レベルダイヤは適切か。	
2-11		コンポーネント内で、電源ライン、アナログライン、デジタルライン、センサラインの布線の干渉を検討したか。	

表3.33-4 回路設計チェックリスト例 (2/2)

番号	チェック	チェック項目	関連文書等
2-12		各部品のディレーティングは基準以内か。	
2-13		EMC対策はどのように実施したか。	
2-14		各PWB間／モジュール間／各ユニット間のインタフェースは整合がとれているか。	
2-15		クリティカルな回路に対し、WCAを実施したか。	

表3.33-5 部品実装チェックリスト例

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		布線経路に無理はないか。	
2		発熱部（部品）はどれか。	
3		発熱部（部品）の放熱方法は適切か。	
4		発熱部（部品）の最高温度は許容値以下か。	
5		可動部分の固定指示を行っているか。	
6		振動に弱い部品が振動加速度の大きい場所に実装されていないか。	
7		調整部品は調整容易な場所に取り付けられているか。	
8		交換不可能な電気部品はないか。	
9		有極性部品の実装は正しいか。	
10		部品の半田付部は全数外観検査が可能になっているか。	
11		部品の接着固定方法は宇宙環境（特に温度サイクル）において部品の劣化に結びつく様な工法になっていないか。	
12		耐放射線解析の結果、部品へシールド板等を取付ることになっているものは漏れなく図面へ指示をしたか。	
13		JAXAの信頼性技術情報は反映されているか。	

表3.33-6 部品・材料チェックリスト例

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		使用する部品はすべてAPL(承認部品リスト)に記載されたものか。	
2		使用する部品の最大定格値は明確か。	
3		部品の禁止されている使い方はしていないか。	
4		新規使用部品（使用実績のない部品）はどれか。 特性確認は実施したか。	
5		放射線上的問題はないか。	
6		使用する材料はすべてAML(承認材料リスト)に記載されたものか。	
7		アウトガス・オフガスの問題はないか。	
8		部品のアラート情報に関して、特に支障はないか。	

表3.33-7 方向性・有極性部品チェックリストの例

品 種	対象部品	特に注意を要する点	チェック
トランジスタ		T03パッケージのベース、エミッタ表示	
		PWBマウントで、E、B、Cの順でないものがある。	
F E T		ソース、ドレイン表示	
ダイオード		アノードとカソードの表示	
ツェナー・ダイオード		アノードとカソードの表示	
コンデンサ		タンタルコンデンサの+、-表示	
		アルミ電解コンデンサの+、-表示	
I C		CANタイプICのキー位置表示	
		DIPのキー位置表示	
		フラットパッケージのキー位置表示	
リレー		ラッチングリレーの+、-表示	
コイル類		トランスの端子番号と極性の相対関係	
		チョークコイルの端子番号と極性の相対関係	
コネクタ		キー位置表示	
		マスター・キー位置表示	
		カードコネクタガイドの雌雄表示と位置	
ロータリーコンポーネント		極性の指示	
慣性センサ		入力対出力極性	
ソフトウェア		ハードウェア・インタフェースの極性	
		データインタフェースの極性	

表3.33-8 設計変更チェックリスト例 (1/2)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		設計変更内容	
1-1		設計変更の目的は何か。	
1-2		本設計変更を実施しない場合のインパクトは何か。	
1-3		上記1-1、1-2を踏まえ、本設計変更は本当に必要か。	
1-4		設計変更内容は適切かつ必要最小限か。 (設計変更内容確認表の活用)	
1-5		設計変更後の設計内容が要求事項に抵触しないか。 (要求値変更値対照表)	
1-6		変更内容が機能・性能劣化、インタフェース条件の変更をもたらさないか。	
2		設計変更範囲	
2-1		設計変更の結果、変更を要する文書は明らかになっているか。(変更の波及範囲確認マトリクス)	
2-2		上記2-1で明らかとなった各部の変更に於いて、変更による機能・性能の劣化・インタフェース条件の変更は無いか。	
2-3		上記2-2により機能・性能の低下、インタフェース条件の変更が判明した場合、それらに対するフィードバックを実施して、変更内容の再検討を実施したか。	
3		設計変更	
3-1		回路設計変更は適切に実施されているか。 (回路設計変更チェックリストの活用)	
3-2		構造設計変更は適切に実施されているか。 (構造設計変更チェックリストの活用)	
3-3		部品・材料の変更は適切に実施されているか。 (部品・材料変更チェックリストの活用)	

表3.33-8 設計変更チェックリスト例 (2/2)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
3-4		部品実装変更は適切に実施されているか。 (部品実装変更チェックリストの活用)	
3-5		設計変更が図面・仕様書類に的確に反映されているか。 (図面・変更チェックリストの活用、仕様書・手順書変更チェックリストの活用、図面ツリーの活用)	
3-6		設計変更内容確認表および変更の波及範囲確認マトリクスの内容が図面に反映されているか。	
4		設計変更評価	
4-1		変更のトリガと最終変更内容とに整合がとれているか。	
4-2		設計変更内容について、得意先の確認は得ているか。	
4-3		設計変更に伴う得意先文書処置は終了したか。 <ul style="list-style-type: none"> ・開発仕様書 ・製品仕様書 ・インタフェース管理仕様書 	

表3. 33-9 手順書／仕様書作成チェックリスト例

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		規格設定	
1-1		規格設定の際、関係変更等をすべて考慮にいったか。 (部品等購入品の規格をそのまま用いてはいないか。)	
1-2		構成部品(モジュール等)の規格とエンドアイテムの規格は整合がとれているか。	
1-3		試作等により、設定規格の評価を行ったか。	
1-4		類似設計品の規格と比べて大きな差はないか。	
1-5		得意先要求と整合がとれているか。	
2		調整・試験手順	
2-1		電源投入・断時に機器へのストレスが加わらない手順となっているか。	
2-2		調整・試験手順のステップ間で、記述もれの操作はないか。	
2-3		現場のレビューを受けたか。	
2-4		ドライランにて内容確認したか。	
3		文書体系他	
3-1		手順書・仕様書等の文書体系はどうなっているか。	
3-2		上記文書体系にある文書がすべてそろっているか。	
3-3		得意先承認が必要なものについては、得意先との内容調整を行ったか。	

表3. 33-10 図面作成チェックリスト例 (1/2)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
1		組立図／機構図	
1-1		捺印指定は回路図と矛盾していないか。	
1-2		構成モジュール等は回路図と完全に一致するか。	
1-3		複雑な組立の場合、その手順が指示されているか。	
1-4		ユニット・モジュール等の品名は統一のとれたものか。	
1-5		取付詳細図は必要か。又、適切に示されているか。	
2		回路図	
2-1		C、L、R等の記号は基準通りか。	
2-2		入出力端子の信号名と相手側の信号が一致しているか。	
2-3		C、L、R等の記号番号にダブリはないか。	
2-4		組立図は1対1の対応がつくか。	
2-5		必要な注記が記入されているか。	
2-6		部品の極性表示は正確か。	
2-7		トランス類に端子番号がはいっているか。	
3		部品表	
3-1		要調整部品は識別されているか。	
3-2		記号は回路図と合っているか。	
3-3		品名はAPL、AMLと統一がとれているか。	
3-4		すべての部品、構成品が記載されているか。	

表3.33-10 図面作成チェックリスト例 (2/2)

番号	チェック	チェック項目	問題点／処置等
4		図面体系他	
4-1		図面体系はどのようになっているか。	
4-2		図面体系にある図面はすべてそろっているか。	
4-3		得意先承認が必要なものについては、得意先との内容調整を行ったか。	

表3.33-11 要求事項／設計値対照表の例

項目番号	要求事項	設計値	備考
3.7.3.2.2	デジタル部		(EM試験結果)
3.7.3.2.2.1	(1)信号形式 (a)実時間テレメトリ PCM(Bi φ-L)	(1) (a) PCM(Bi φ-L)	
	(2)再生テレメトリサブキャリア 周波数 665kHz±0.1%	(2) 665kHz±0.1%	(2) 664.9969kHz -0.0005%

製品仕様書 項番	要求事項	立証方法							備考
		適用なし	類似性	解析	検査	試験	インテグレーション	サブシステム・コンポーネント	
3.1	品目の構成				○				
3.2	外形寸法				○				
3.3	VSWR					○			
3.4	消費電力					○			

図3.33-3 要求事項確認マトリクス例

関連文書	インタフェース仕様書			製造図面					製造手順書	試験仕様書	試験・検査手順書	射場文書	
	ブロック図	項目表	形状図	ピンアサインメン	総合組立図	スライス組立図	PMBパターン図	回路図				布線図	試験仕様書	試験検査手順書
インタフェース項目													
コネクタ(J1)の取付方向			○		○					○			

図3.33-4 インタフェース確認マトリクス例

試験フェーズ	試験内容 項目	関連項目番										
		表6.3.-2		COMM系試験	TT&C系試験	RCS系試験	目視検査	質量検査	衛星アライメント			
初期目視検査								×				
初期質量特性測定									×			
初期アライメント測定										×		
初期電気性能試験				×	×	×						
音響試験												
衝撃試験												

図3.33-5 試験マトリクスの例

		H/W 名称		文書番号												
関連文書	変更項目	総合組立図	スライス組立図	プリント板組立図	プリント板パターン図	回路図	布線表	布線図	I C D				製造仕様書	製造手順書	試験仕様書	試験手順書
									ブロック図	項目表	形状図	ピンアサインメント				
材料変更	アルミトラス ↓ CFRPトラス	○												○	○	
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;">材 料 変 更</div>																
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 電気的特性にも波及 ↑ ↑ 12mΩ ↓ 2.5mΩ ボンディング抵抗値 </div>																

図3.33-6 設計変更時の波及範囲確認マトリクス例

3.34 基本設計審査 (PDR: Preliminary Design Review)

効果

開発仕様書の要求に対して、基本設計内容の妥当性及び問題点の識別や問題点の解決方法の妥当性について確認することができる。

基本設計審査の実施によって基本設計内容が妥当であると確認され、詳細設計に移行して良いと判断される。

効果的な実施時期

基本設計が終了し、詳細設計に着手する前に実施する。

技術的根拠

基本設計結果に対して設計担当者以外の第三者の幅広い経験や知識による審査を行なうことにより、基本設計の妥当性を確認する。

JMR-004の対応項番

- 4.3.14 設計審査
- 4.3.14.1 契約の相手方による設計審査
- 4.3.14.2 供給業者による設計審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 認定試験後審査

実施方法

ソフトウェアを含むシステム、サブシステム及びコンポーネントレベルで設計審査を計画、文書化し実施する。

なおEEE部品レベルで要求される審査については、JMR-012 電気、電子、電気機構 (EEE) 部品プログラム標準によること。

設計審査では、設計根拠、設計結果、検証計画、検証結果などの細目についての設計レビューを行い、契約品目が開発仕様書及び設計仕様書を全て満たすことを確認する。また設計審査は、設計審査会の準備、審査会の実施、要処置事項のフォローを含む。設計審査の実施方法として審査会実施要領と審査項目を以下に示す。

- (1) 審査会実施要領

設計審査実施スケジュール (例) を表3.34-1に示す。設計審査の実施フローを図3.34-1に示す。また、設計審査での留意事項を以下に示す。

- a. 議長、審査委員、事務局及び設計担当者から成る審査会メンバーを定める。

審査委員には、設計、製造、試験、信頼性、品質保証、部品、安全その他関連部門の代表者や得意先代表者を含める。また、審査委員は、当該設計に直接関与しないメンバーであり、審査する分野において十分な知識と経験を有している者であること。

なお、得意先がJAXAの場合には、技術検査行為の一環として検査員等が出席できる。また、契約の相手方と検査員等との調整により、検査員等を支援する目的でオブザーバも出席できる。オブザーバが審査会に出席する場合には、審査内容に対する指摘および発言行為は契約の相手方と調整のうえ認められるが、技術検査行為の一環として検査員等が行うものとされる指摘及び発言行為は原則として認められていない。

設計審査会の構成（例）を表3.34-2に示す。また、設計審査会構成メンバーの役割（例）を表3.34-3に示す。

- b. 議長及び審査委員が十分にインプットデータパッケージの審査を行なえるようにするため、インプットデータパッケージを審査会開催前に配布する。

インプットデータパッケージには、要求仕様とのコンプライアンスを示す資料を含め、設計要求に対する設計結果を示すとともに、その設計根拠を記載する。必要な根拠を記載することができない場合は、その根拠情報を呼び出すこと。また、信頼性評価結果を含めること。

基本設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）を表3.34-4に示す。また、インプットデータパッケージ及び提示資料の例を表3.34-5に示す。

また、本審査会に先立ちインプットデータパッケージの事前説明会や、個別技術に係わる分科会などを採用しても良い。この場合は、本審査会にて事前説明会や分科会の結果概要を報告すること。

- c. 審査会において、設計者はインプットデータパッケージにより設計内容の説明を審査委員に行なう。
- d. 設計に対して議長及び審査委員（得意先代表者を含む）による設計審査を行い、設計の評価を行なう。指摘事項については指摘票に記入し、設計担当からの回答を判定する。

設計審査で使用する様式を以下に示す。

- ・ 指摘票：表3.34-6による。
- ・ 指摘票リスト：表3.34-7による。
- ・ アクションアイテムリスト：表3.34-8による。

- e. 設計審査に際して、十分な効果をあげるため設計審査チェックリストを使用する。
- f. 重要な指摘に対しては、審査会全体で討議し、その指摘の判定に審査会全体の合意を得ることを審査会終了の条件とする。

- g. 設計審査の結果について、審査会当日に設計審査議事録の作成を行なう。
- h. 設計審査の完了後に、設計審査報告書を作成する。設計審査報告書は設計審査議事録を添付し、指摘票リスト、指摘票、アクションアイテムの処置状況を含めて作成する。なお、事前説明会や分科会を実施している場合は、その内容も含める。
- i. 事務局は、設計審査のアクションアイテムを定期的にフォローアップして処置状況を確認するとともに、その結果を議長及び関連先へ報告する。

(2) 審査項目

基本設計審査では、システム仕様書や機器開発仕様書の各要求項目を満足できる製品が開発できるかどうか、問題点がきちんと認識されその対策が施されているかどうかを審査できるように審査項目を考慮する。

表3. 34-9に基本設計審査の審査項目（例）を示す。審査内容（例）を以下に示す。

a. 設計仕様（要求仕様対設計結果対照表）

開発仕様書の要求内容に対して項目毎に設計結果が示されており、設計結果が要求内容を満足していることを審査する。

b. 設計図（計画図）

設計結果概要を示す図面において、その外形、寸法、構成品の配置などの計画が妥当であるかどうか審査する。

c. 設計解析結果

設計解析の例として、構成、機能・性能、電気設計、構造設計、ソフトウェア設計、熱設計、電磁適合性がある。設計解析書により解析条件、解析結果が妥当であり、要求仕様が満足できることを審査する。

d. インタフェース仕様

ICD（インタフェース管理図面）、機械的インタフェース、電氣的インタフェース、熱的インタフェースについて、インタフェース条件が明確になっていることを審査する。

e. 信頼性設計

主要な審査項目として、信頼度配分、信頼度予測、機能FMEA/FMECA結果、インタフェースFMEA/FMECA結果、保全性設計、設計及び工程標準、信頼性管理品目がある。

信頼度配分、信頼度予測結果について、信頼度配分方法や信頼度予測方法が適切であり、信頼度要求が満足できることを審査する。

機能FMEA/FMECA結果、インタフェースFMEA/FMECA結果について、故障モードが識別されており、故障の影響が明確となっていること、致命度の高い故障については、故障発生の防止や故障の影響を最小化にする対策が基本設計に反映されていることを審査する。

保全性設計について、システムやコンポーネントの交換、故障分離、修理

などの保全構想が明確となっており、基本設計に反映されていることを審査する。

f. トレードオフ解析

技術仕様書の要求事項を基本設計で具体化するに当たって、性能／信頼性／納期／コストなどの要求は、矛盾することが多い。バランスのとれた最適な設計とするため、必要なトレードオフ解析が実施されていること及びトレードオフの内容、結果が妥当であることを審査する。

g. 安全性設計

ハザード解析結果を確認し、安全性上の問題点がないことまたは安全性上の問題点に対する対策が、基本設計に反映されていることを審査する。

h. 開発計画／試験計画

開発スケジュール、開発試験モデル、試験計画が明確になっており、妥当であることを審査する。

i. 地上支援装置計画

必要となる地上支援装置の種類、要求仕様、製作計画が明確であり、開発機器の機能・性能や開発計画／試験計画に対応していることを審査する。

j. 部品・材料プログラム

選定計画、選定基準が明確となっており、部品・材料の機能、性能、品質及び信頼性に関する要求事項を満足する部品・材料が選定されることを審査する。

また、新しく開発を要する部品・材料が識別され、仕様書作成や評価試験の実実施計画が明確になっていることを確認する。

k. 仕様書要求の変更提案

基本設計段階では、開発仕様書内容が目標仕様であり、案や一部の項目が未定の場合もある。開発仕様の変更有無について確認するとともに、基本設計結果により仕様書変更が必要な場合、適切な変更提案がなされていることを審査する。

l. 製造工程

製造工程に関する検討状況を、特に新規に採用するもの及び既存の工程を変更するものなどの点を重点的に審査する。特に重要品質特性及び／又は重要加工パラメータを有するクリティカル品目について、JMR-004の4.3.17.12項に述べる考慮事項を踏まえた審査を行うこと。

m. 信頼性評価結果

信頼性設計、部品・材料プログラム、寿命などの信頼性評定項目について、目標とする信頼性への達成状況、課題、問題点の有無を確認する。

実施しない場合の影響

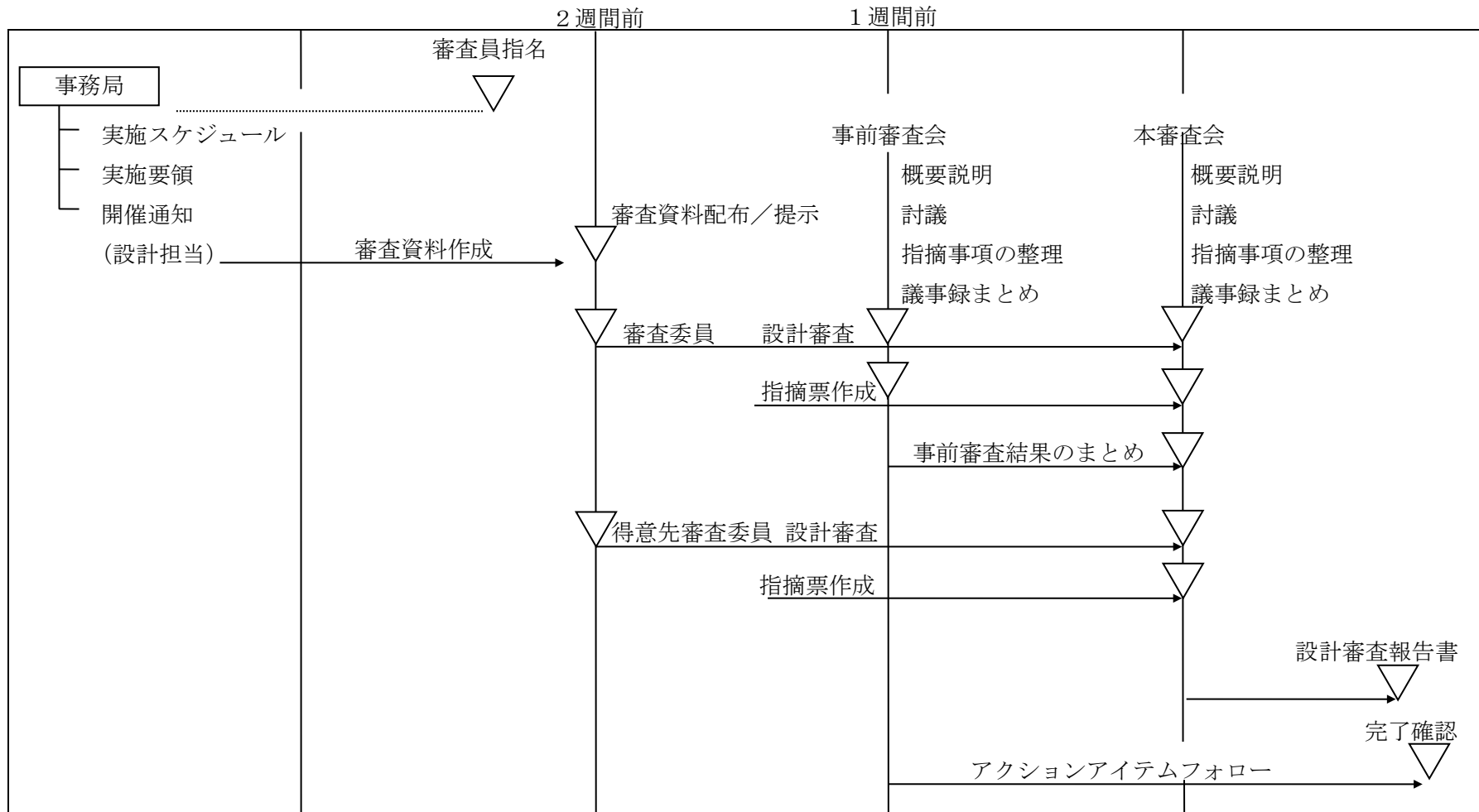
設計者自身が気付かなかった問題点や適切な対策が取られなかった問題点な

どの設計に潜在した問題により、詳細設計以降において基本設計のやり直しあるいは製品開発の実現性を損なうようなトラブル発生の恐れがある。

参考文献

なし

表3.34-1 設計審査実施スケジュール（例）



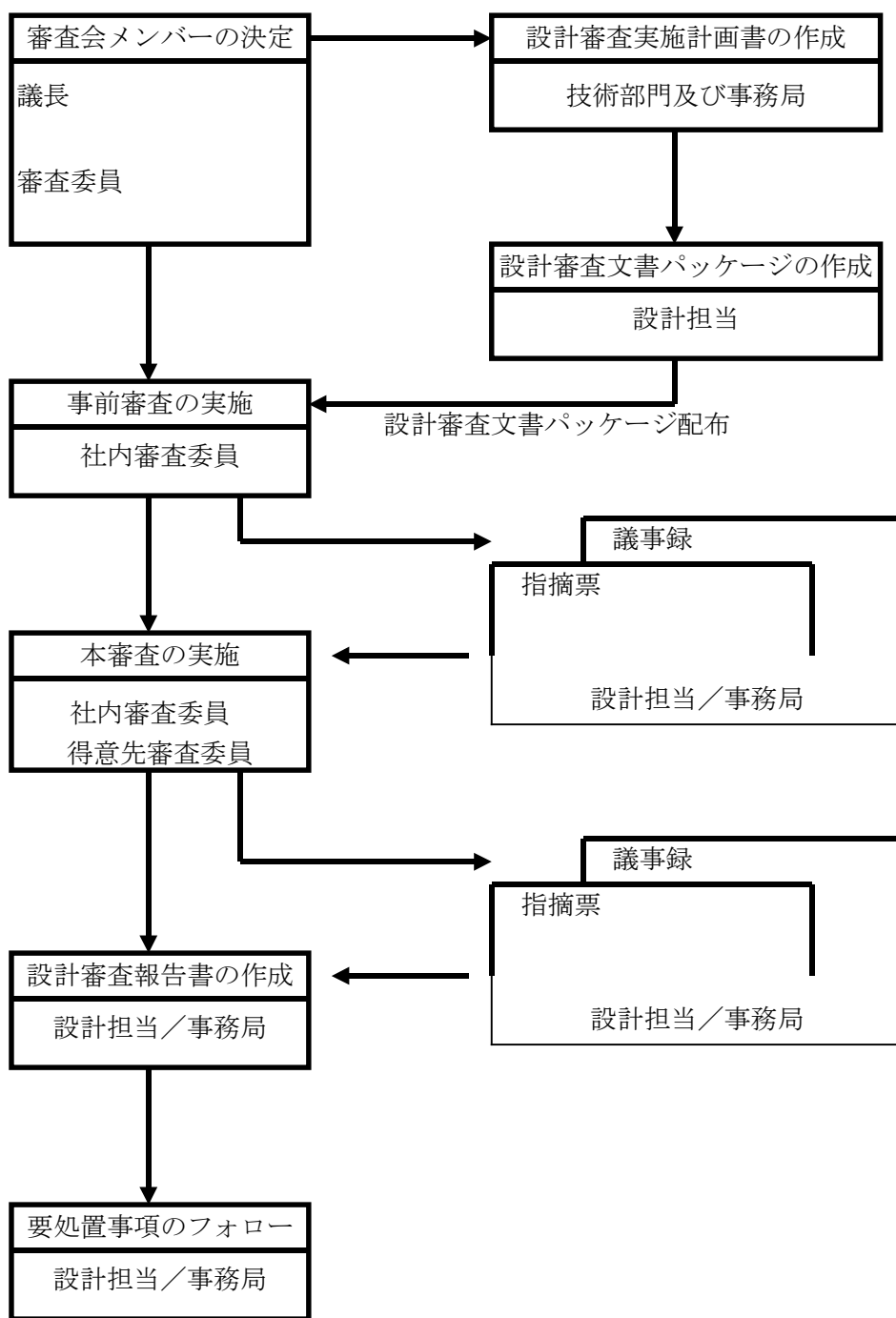


図3.34-1 設計審査実施フロー

表3.34-2 設計審査会の構成（例）

	構 成 メ ン バ	備 考
議 長	設計担当部門長（審査対象品目の担当外が望ましい。）	プロジェクト責任者が委託
審査委員	次の各部門の代表者 ・コンポーネント／サブシステム設計（電気、構造、熱、但し、対象品目の担当外） ・衛星インテグレーション ・システム設計 ・部品・材料 ・試験・研究 ・信頼性／品質保証／コンフィギュレーション管理 ・安全管理 ・製 造	
設計担当	審査対象品目の設計担当者	
事 務 局	・信頼性管理担当 ・プロジェクト担当 ・その他の支援部門 } の担当者	
得意先の出席者	・得意先代表者など	
そ の 他	・設計部門の支援者	

表3.34-3 設計審査会構成メンバーの役割（例）

作業項目		議長	審査委員	設計担当	事務局	得意先	備考
準備	実施要領作成				○		
	インプットデータパッケージ作成			○			
	インプットデータ パッケージ } 提出 開催通知 } 配布				○		
	提示資料準備			○			
設計 審査	インプットデータパッケージ、 提示文書による審査/ 指摘票発行	○	○			○	
	指摘票の登録、リスト 作成				○		
	指摘票回答作成			○			
審査 会	会場準備など				○		
	議事司会、とりまとめ	○					
	プレゼンテーション			○			
	質疑応答	○	○	○	○	○	
	アクションアイテム指 定	○					
	議事録作成			○	○		事務局がとり まとめ
フ ォ ロ ー 報 告	アクションアイテムの 処置			○			事務局が状 況フォロー 議長が確認
	設計審査報告書作成			○	○		

表3.34-4 基本設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（1/3）

番号	項目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
1.	概要	○		要求機能／性能の概要、構成と機能ブロック図、インタフェースの分界点などの主要事項を説明する。
2.	設計仕様（要求仕様対設計結果対照表）	○		開発仕様書の要求と設計結果を対比させる。コンプライアンス・マトリクスの実施例を表3.34-5に示す。
3.	設計図（計画図）		○	設計解析書により設計の妥当性、使用条件などを確認する。
4.	設計解析結果 構成 機能・性能 電気設計 構造設計 熱設計 ソフトウェア設計 電磁適合性	○*1	○	
5.	インタフェース仕様 ICD（インタフェース管理図面） 機械的インタフェース 電氣的インタフェース 熱的インタフェース	○		インタフェース要求が明確になっている事の確認とクリティカルな事項の有無と、有の場合の要求事項に問題の無い事の確認。

表3.34-4 基本設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（2/3）

番号	項目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
6.	信 頼 性 設 計 信頼度配分／予測 F M E A 保全性設計 設計及び工程標準 信頼性管理品目	○*1	○*1	
7.	トレードオフ解析	○*1	○*1	性能対コスト、信頼性対コスト、納期対コストなどに対するトレードオフ
8.	安 全 性 設 計 フェーズ I ハザード解析 安全対策	○*1	○	
9.	開発計画／試験計画 計画の概要 開発試験モデル 試験プログラム計画／試験仕様 開発スケジュール	○		

表3.34-4 基本設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（3/3）

番号	項目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
10.	地上支援装置計画 地上支援装置要求仕様 インタフェース機能 製作計画	○		製造工程に関する検討状況を記載する。
11.	部品・材料プログラム 選定計画	○		
12.	仕様書要求の変更提案		○	
13.	製造工程	○		
14.	信頼性評定結果	○		
15.	事前審査の結論	○		

ICD : Interface Control Drawing

FMEA : Failure Mode and Effect Analysis

(注) *1……サマリをインプットデータパッケージとし、詳細は設計審査の源泉資料として審査場所にそろえておくもの。

表3.34-5 インプットデータパッケージ及び提示資料の例（コンプライアンス・マトリクスの実施例）

項目番号	要 求 事 項	設 計 値	備 考
3.7.3.2.2	デジタル部		
3.7.3.2.2.1	テレメトリエンコーダ	3.7.3.2.2.1	
	(1)信号形式	(1)	
	(a)実時間テレメトリ	(a)PCM(B i φ - L) (VHF帯及びSバンド)	
	(b)再生テレメトリ	(b)PCM(B i φ - L) (VHF帯)	
		PCM(B i φ - L) - P S K (Sバンド)	
	(2)再生テレメトリサブキャリア周波数	(2)	
		665kHz±0.1%	
	(3)ビットレート	(3)	
	(a)実時間テレメトリ	(a)1024ビット/秒±0.1%	
	(b)再生テレメトリ	(b)26624ビット/秒(公称値)	
	(4)データフォーマット(実時間テレメトリ)	(4)	
	(a)メインフレーム	(a)128ワード/秒	
	(b)サブフレーム	(b)8メインフレーム	
	(c)ワード長	(c)8ビット	
	(d)フレーム同期パターン	(d)24ビット	111 110 101 111 001 100 100 100
	(e)時刻データ	(e)24ビット	1秒ステップ純2進符号 同 左
	(5)テレメトリ容量	(5)	
	(a)アナログテレメトリ	(a)32ワード(1秒サンプル)	
		256ワード(8秒サンプル)	
	(b)バイレベルテレメトリ	(b)256ビット(1秒サンプル)	
	(c)シリアルテレメトリ	(c)216ビット(1秒サンプル)	
		320ビット(8秒サンプル)	
3.7.3.2.2.2	テープレコーダ	3.7.3.2.2.2	
	(1)記録時間	(1)最小115分	
	(2)再生時間	(2)256秒(115分記録時)	
	(3)再生/記録速度比	(3)26/1	

表3.34-6 指摘票の様式（例）

指 摘 票				発行月日	年 月 日	
				一連番号		
契約件名			システム名			
審査会名			サブシステム名			
指摘事項				指摘者名		
[指摘欄] データパッケージ名（番号）： _____ 頁： _____ _____ _____ _____ _____ _____						
[回答欄] _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____						
				回答者		
				責任者		
				回答日付	月 日	
[判定欄] _____ _____ _____ _____						
				判定者		
				判定日付	月 日	
問題なし 再指摘 本審査会提出				処置 要・済・不要		

表3.34-9 基本設計審査 審査項目（例）

No.	審査項目	PDR	CDR	PQR	備考
1	設計仕様（要求仕様対設計結果 対照表）	◎	○	○	
2	設計図（計画図）	◎			
3	設計解析結果	◎	○	○	
4	インタフェース仕様	◎	○	○	
5	信頼性設計	◎	○	○	
6	トレードオフ解析	◎			
7	安全性設計	◎	○	○	
8	開発計画／試験計画	◎	○		
9	地上支援装置計画	◎	○		
10	開発試験結果又は認定試験結果		○	○	
11	認定／受入試験計画		○	○	
12	受入試験計画書／手順書（案）		○	○	
13	部品・材料プログラム	◎	○	○	
14	仕様書要求の変更提案	◎	○	○	
15	PDR又はCDRのアクションアイテムの 処置結果		○	○	
16	製造工程	◎	○	○	
17	製造図面、作業手順書		○	○	
18	製品仕様書案			○	
19	不具合記録／故障解析報告書		○	○	
20	信頼性評定結果	◎	○	○	
21	コンフィギュレーション管理・技術変更記録		○	○	
22	デビエーション、ウェーバの記録			○	
23	文書パッケージ、品質記録			○	

（注1）基本設計審査の審査項目（例）を◎印で示す。

（注2）PDR：基本設計審査

CDR：詳細設計審査

PQR：認定試験後審査

3.35 詳細設計審査 (CDR: Critical Design Review)

効果

詳細設計結果である解析資料、製造図面、EMなどの開発試験結果などを審査し、詳細設計結果の技術的妥当性を評価することで、要求仕様を満足する製品の製作が可能であることを確認できる。

詳細設計審査の完了によって詳細設計内容は妥当であると確認され、フライト品の製作に着手して良いと判断される。

効果的な実施時期

詳細設計がほぼ終了し、フライト品の製作を開始する前に実施する。

技術的根拠

詳細設計結果である製造方法や検証方法に問題ないことを確認する。詳細設計結果に対して設計担当者以外の第三者の幅広い経験や知識による審査を行なうことにより、詳細設計の妥当性を確認する。

JMR-004の対応項番

- 4.3.14 設計審査
 - 4.3.14.1 契約の相手方による設計審査
 - 4.3.14.2 供給業者による設計審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 基本設計審査
- (2) 認定試験後審査

実施方法

ソフトウェアを含むシステム、サブシステム及びコンポーネントレベルで設計審査を計画、文書化し実施する。

なおEEE部品レベルで要求される審査については、JMR-012 電気、電子、電気機構 (EEE) 部品プログラム標準によること。

設計審査では、設計根拠、設計結果、検証計画、検証結果などの細目についての設計レビューを行い、契約品目が開発仕様書及び設計仕様書を全て満たすことを確認する。また設計審査は、設計審査会の準備、審査会の実施、要処置事項のフォローを含む。設計審査の実施方法として審査会実施要領と審査項目を以下に示す。

(1) 審査会実施要領

設計審査の実施フロー及び設計審査実施スケジュール（例）は、3.34 基本設計審査の図3.34-1、表3.34-1を参照のこと。また、設計審査での留意事項を以下に示す。

- a. 議長、審査委員、事務局及び設計担当者から成る審査会メンバーを定める。

審査委員には、設計、製造、試験、信頼性、品質保証、部品、安全その他関連部門の代表者や得意先代表者を含める。また、審査委員は、当該設計に直接関与しないメンバーであり、審査する分野において十分な知識と経験を有している者であること。

なお、得意先がJAXAの場合には、技術検査行為の一環として検査員等が出席できる。また、契約の相手方と検査員等との調整により、検査員等を支援する目的でオブザーバも出席できる。オブザーバが審査会に出席する場合には、審査内容に対する指摘および発言行為は契約の相手方と調整のうえ認められるが、技術検査行為の一環として検査員等が行うものとされる指摘及び発言行為は原則として認められていない。

設計審査会の構成（例）及び設計審査会構成メンバーの役割（例）は、3.34 基本設計審査の表3.34-2、表3.34-3を参照のこと。

- b. 議長及び審査委員が十分にインプットデータパッケージの審査を行なえるようにするため、インプットデータパッケージを審査会開催前に配布する。

インプットデータパッケージには、要求仕様とのコンプライアンスを示す資料を含め、設計要求に対する設計結果を示すとともに、その設計根拠を記載する。必要な根拠を記載することができない場合は、その根拠情報を呼び出すこと。また、信頼性評価結果を含めること。

詳細設計審査における審査対象であるインプットデータパッケージ及び提示資料の例を表3.35-1に示す。また、ベリフィケーション・マトリクスを用いた実施例を表3.35-2に示す。

また、本審査会に先立ちインプットデータパッケージの事前説明会や、個別技術に係わる分科会などを採用しても良い。この場合は、本審査会にて事前説明会や分科会の結果概要を報告すること。

- c. 審査会において、設計者はインプットデータパッケージにより設計内容の説明を審査委員に行なう。
- d. 設計に対して議長及び審査委員（得意先代表者を含む）による設計審査を行い、設計の評価を行なう。指摘事項については指摘票に記入し、設計担当からの回答を判定する。

審査会で使用する指摘票、指摘票リスト、アクションアイテムリストの様式は、3.34 基本設計審査の表3.34-6、表3.34-7、表3.34-8を参照のこと。

- e. 設計審査に際して、十分な効果をあげるため設計審査チェックリストを

使用する。

- f. 重要な指摘に対しては、審査会全体で討議し、その指摘の判定に審査会全体の合意を得ることを審査会終了の条件とする。
- g. 設計審査の結果について、審査会当日に設計審査議事録の作成を行なう。
- h. 設計審査の完了後に、設計審査報告書を作成する。設計審査報告書は設計審査議事録を添付し、指摘票リスト、指摘票、アクションアイテムの処置状況を含めて作成する。なお、事前説明会や分科会を実施している場合は、その内容も含める。
- i. 事務局は、設計審査のアクションアイテムを定期的にフォローアップして処置状況を確認するとともに、その結果を議長及び関連先へ報告する。

(2) 審査項目

詳細設計審査は、詳細設計結果が開発仕様書及び設計仕様書の要求項目を満足できる製品が製作可能かどうかについて解析資料、試験データ、製造図面などで審査できるように審査項目を設定する。

表3. 35-3に詳細設計審査の審査項目（例）を示す。審査内容（例）を以下に示す。

a. 設計仕様（要求仕様対設計結果対照表）

開発仕様書、設計仕様書の要求内容に対して項目毎に設計結果が示されており、設計結果が要求内容を満足していることを審査する。

b. 設計解析結果

設計解析の例として、構成、機能・性能、電気設計、構造設計、ソフトウェア設計、熱設計、電磁適合性などがある。

設計解析書により設計内容、解析条件、解析結果が妥当であり、要求仕様を満足していることを審査する。

c. インタフェース仕様

ICD（インタフェース管理図面）、機械的インタフェース、電氣的インタフェース、熱的インタフェースについて、インタフェース条件が明確になってことを審査する。

d. 信頼性設計

主要な審査項目として、信頼度予測、詳細FMEA/FMECA結果、インタフェースFMEA/FMECA結果、保全性設計、設計及び工程標準、信頼性管理品目がある。

信頼度予測結果について、信頼度予測方法が適切であり、信頼度要求が満足できることを審査する。

詳細FMEA/FMECA結果、インタフェースFMEA/FMECA結果について、故障モードが識別されており、故障の影響が明確となっていること、致命度の高い故障については、故障発生防止や故障の影響を最小化する対策が詳細設計に反映されていることを審査する。

保全性設計について、システムやコンポーネントの交換、故障分離、修理などの保全構想が明確となっており、詳細設計に反映されていることを審査する。

設計及び製造工程について、技術標準、設計基準、技術ハンドブックの適用により、設計業務や製造工程が標準化されているかどうかを審査する。

信頼性管理品目の有効寿命品目、特性値管理品目、重要取付品目、打上前作動時間等管理品目に該当するかどうか識別されていることを審査する。

e. 安全性設計

ハザード解析結果を確認し、安全性上の問題点がないことまたは安全性上の問題点に対する対策が、詳細設計に反映されていることを審査する。

f. 開発計画／試験計画

開発スケジュール、開発試験モデル、試験計画が明確になっており、妥当であることを審査する。

g. 地上支援装置計画

地上支援装置の種類、要求仕様、製作計画が明確であり、システムやコンポーネントの機能・性能試験、環境試験に必要な試験機能を有する地上支援装置が計画されていることを審査する。

h. 開発試験結果

EM（エンジニアリング・モデル）などを使用した開発試験結果が、EM試作の目的を満足しているかどうか、また試験結果が詳細設計に反映されているかを審査する。

i. 認定／受入試験計画

認定試験及び受入試験について、開発仕様書で要求された試験項目、試験条件を満足し、試験内容が適切であることを審査する。

j. 受入試験計画書／手順書（案）

受入試験計画に従った受入試験計画書や受入試験手順書（案）が作成されていることを審査する。

k. 部品・材料プログラム

選定計画、選定基準が明確となっており、部品・材料の機能、性能、品質及び信頼性に関する要求事項を満足する部品・材料が部品材料適用審査結果に基づき選定されたことを審査する。

また、新しく開発を要する部品・材料が識別され、仕様書作成や評価試験の実施計画が明確になっていることを確認する。

l. 仕様書要求の変更提案

開発仕様書の変更有無について確認する。詳細設計結果により仕様書変更が必要な場合、適切な変更提案がなされていることを審査する。

m. 基本設計審査のアクションアイテムの処置結果

基本設計審査時の指摘事項が処置されて詳細設計に反映されていること

を確認する。

n. 製造工程

QC工程表、製造図面、作業手順書など、製造に使用する技術指示文書が作成されていることを製造資料リストに基づき確認するとともに、製造図面、作業手順書の内容を審査する。特に重要品質特性及び／又は重要加工パラメータを有するクリティカル品目について、JMR-004の4.3.17.12項に述べる考慮事項を踏まえた審査を行うこと。

なお、製造工程は認定試験品又はフライト品の製造着手前確認会で審査されることがあるが、これは実質的には詳細設計審査の一部である。

o. 不具合記録／故障解析報告書

EM製作、技術試験における不具合現象の原因究明がなされており、処置・対策が妥当であり、詳細設計に反映されていることを審査する。

p. 信頼性評価結果

信頼性設計、部品・材料、信頼性管理項目、異常／故障、信頼性技術情報、寿命などの信頼性評定項目について、目標とする信頼性の達成状況について評価されていることを確認し、信頼性について総合的に審査する。

q. コンフィギュレーション管理・技術変更記録

設計ベースラインとしてのアズ・デザインドのリストを示す。技術変更提案書、技術仕様書変更通知書、承認技術指示文書変更通知書を確認し、技術変更が適切に行われているかを審査する。

実施しない場合の影響

設計者自身が気がつかなかった問題点や適切な対策が取られなかった問題点などの設計に潜在した問題により、EM製作段階や認定試験において要求仕様を満足できないようなトラブル発生のある恐れがある。

参考文献

なし

表3.35-1 詳細設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（1/4）

番号	項目	インプットデータパッケージ	審査時の提示資料	内容
1.	概要 システム構成、インタフェース 基本設計審査以降の主要変更点 図面ツリー（リスト） 仕様書ツリー（リスト）	○		アズ・デザインドのリスト（19項に含めてもよい）
2.	設計仕様（要求仕様対設計結果対照表）	○		開発仕様書、設計仕様書の要求と設計結果を対比させる。コンプライアンスマトリクスの実施例は、3.34 基本設計審査の表3.34-5を参照のこと。
3.	設計解析結果 構成 機能、性能 電気設計 構造設計 ソフトウェア設計 熱設計 電磁適合性設計	○*1	○*1	
4.	インタフェース仕様 ICD（インタフェース管理図面） 機械的インタフェース 電氣的インタフェース 熱的インタフェース	○		

表3.35-1 詳細設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（2/4）

番号	項 目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
5.	信 頼 性 設 計 信頼度予測 FME A 累積疲労損傷、ワーストケース解析 寿命解析、トレンド解析 部品材料適用審査 保全性設計 設計及び工程標準 信頼性管理品目	○*1	○*1	
6.	安 全 性 設 計 フェーズⅡハザード解析 安全対策	○*1	○*1	
7.	開発計画／試験計画 計画の概要 開発試験モデル 試験プログラム計画／試験仕様 開発スケジュール	○		
8.	地上支援装置計画 地上支援装置要求仕様 インタフェース機能 製作計画	○	○	

表3. 35-1 詳細設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（3/4）

番号	項目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
9.	開発試験結果 試験結果サマリ（要求対結果） 試験データ	○	○	開発仕様書の要求と試験結果を対比させる。ベリフィケーション・マトリックスを用いた実施例を表3. 35-2に示す。
10.	認定／受入試験計画	○		
11.	受入試験計画書／手順書（案）		○	
12.	部品・材料プログラム 部品・材料リスト 部品・材料適用審査記録	○*1	○*1	選定された部品・材料の適切さのチェック
13.	仕様書要求の変更提案 開発仕様書、インタフェース管理仕様書	○*1	○*1	
14.	基本設計審査のアクションアイテムの処置結果	○		要処置事項ステータスの確認
15.	製造工程	○		確立した製造工程の詳細（工程フロー、特殊工程、重要品質特性／重要加工パラメータ等）を記載する。
16.	製造図面、作業手順書		○	

表3.35-1 詳細設計審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（4/4）

番号	項目	インプットデータパッケージ	審査時の提示資料	内容
17.	不具合記録／故障解析報告書		○	設計ベースラインとしてのアズ・デザインドのリストを示す。1項に含めてもよい。
18.	信頼性評定結果	○		
19.	コンフィギュレーション管理・技術変更記録		○	
20.	事前審査の結論		○	
21.	試験供試体の実物展示又は写真		○	
22.	文書パッケージの構成案	○		

ICD : Interface Control Drawing

FMEA : Failure Mode and Effect Analysis

(注) *1……サマリをインプットデータパッケージとし、詳細は設計審査の源泉資料として審査場所にそろえておくもの。

表3.35-2 ベリフィケーション・マトリクスの実施例

要求仕様（開発仕様書：JAXA-ESPC-XXXXX）	確認方法			設計解析結果／評価確認結果
	試験	検査	解析	
3.2 特性	—	—	—	—
3.2.1 性能 本装置は、特に規定のない限り、本仕様書3.1.2項のインタフェース条件及び本仕様書3.2.5項の環境条件に於いて、下記の性能を有すること。	—	—	—	—
3.2.1.1 角度増分積算値信号	—	—	—	—
(1) 計測可能入力範囲 : 200 °/s 以上	—	—	○	・左記の要求通りであることをソフトウェア検証で確認した。
(2) バイアス安定性 : 0.04 °/h 以下	○	—	—	・技術試験にて要求を満足することを確認した。 [試験結果] (2)0.015~0.018 °/h (3)6~10ppm
(3) スケールファクタ安定性 : 15 ppm 以下	○	—	—	・技術試験にて要求を満足することを確認した。 [試験結果] a.6.3 ~ 6.9 ppm b.16.2~ 18.0 ppm
(4) スケールファクタ非直線性 a.0<入力角速度≤100 °/S : 18 ppm 以下 b.100<入力角速度≤200 °/S : 36 ppm 以下	○	—	—	
3.2.1.2 角速度信号	—	—	—	—
(1) 計測可能入力範囲 : 170 °/s 以上	—	—	○	・左記の要求通りであることをソフトウェア検証で確認した。
(2) ノイズレベル : 0.15 °/s(0-p) 以下	○	—	—	・技術試験にて要求を満足することを確認した。 [試験結果] 0.003~0.014 °/s(0-p) (レート印加時~0.045°/s(0-p))
(3) フィルタ特性 本信号は下記の特性を有するローパスフィルタを通して出力されるものとする。 f n : 10.3 Hz ζ : 0.49	—	—	○	・左記の要求通りであることをソフトウェア検証で確認した。
3.2.1.3 速度増分積算値信号	—	—	—	—
(1) 計測可能入力範囲 : 196 m/s ² 以上	—	—	○	・左記の要求通りであることをソフトウェア検証で確認した。
(2) バイアス安定性 : 0.147×10 ⁻² m/s ² 以下	○	—	○	・左記の要求通りであることを性能解析にて確認した。 ・技術試験にて要求を満足することを確認した。
(3) スケールファクタ安定性 : 144 ppm 以下	○	—	○	[試験結果] (2) 0.018~0.028 m/s ² (3) 29~39 ppm
(4) スケールファクタ非直線性 : 1.8×10 ⁻⁶ (m/s ²)/(m/s ²) ² 以下	—	—	○	・左記の要求通りであることを性能解析にて確認した。
3.2.1.4 初期アライメント	—	—	—	—
(1) 方位各制度 ; φ (注1) : 0.20° 以下	○	—	○	・左記の要求通りであることを性能解析にて確認した。 ・技術試験にて要求を満足することを確認した。 [試験結果] (1) 0.033~0.121° (2) 0.022~0.005° (3) 0.01 m/s
(2) 姿勢各制度 ; θ、φ (注1) : 0.03° 以下	○	—	○	
(3) 初期速度 ; Y, Z : 0.2 m/s 以下	○	—	○	
(4) アライメント時間 : 60 分 以内 (注1) 機体動揺条件は下記の通りとする。 動揺振幅 200mm0-p以下 動揺周期 0.8Hz 以下	○	—	—	・技術試験にて要求を満足することを確認した。 [試験結果] 58.0分

表3.35-3 詳細設計審査 審査項目 (例)

No.	審査項目	PDR	CDR	PQR	備考
1	設計仕様 (要求仕様対設計結果 対照表)	○	◎	○	
2	設計図 (計画図)	○			
3	設計解析結果	○	◎	○	
4	インタフェース仕様	○	◎	○	
5	信頼性設計	○	◎	○	
6	トレードオフ解析	○			
7	安全性設計	○	◎	○	
8	開発計画/試験計画	○	◎		
9	地上支援装置計画	○	◎		
10	開発試験結果又は認定試験結果		◎	○	
11	認定/受入試験計画		◎		
12	受入試験計画書/手順書 (案)		◎	○	
13	部品・材料プログラム	○	◎	○	
14	仕様書要求の変更提案	○	◎	○	
15	PDR及びCDRのアクションアイテムの 処置結果		◎	○	
16	製造工程	○	◎	○	
17	製造図面、作業手順書		◎	○	
18	製品仕様書案			○	
19	不具合記録/故障解析報告書		◎	○	
20	信頼性評定結果	○	◎	○	
21	コンフィギュレーション管理・技術変更記録		◎	○	
22	デビエーション、ウェーバの記録			○	
23	文書パッケージ、品質記録			○	

(注1) 詳細設計審査の審査項目 (例) を◎印で示す。

(注2) PDR：基本設計審査

CDR：詳細設計審査

PQR：認定試験後審査

3.36 認定試験後審査 (PQR: Post Qualification Test Review)

効果

認定試験の結果を評価して、製品が開発仕様書の要求事項を満足しており、設定された仕様書、製造図面及び製造工程が確立されたものであることが確認できる。認定試験後審査を終了して、コンポーネント、サブシステム、システムの認定がなされる。

認定試験後審査の完了によって認定されたこととなり、確立した設計でFM製作が実施できるようになる。

効果的な実施時期

詳細設計で設定された製造図面、製造工程に基づいてPMやPFMを製作し、認定試験を実施した後に行なう。

技術的根拠

製品の仕様書、製造図面、製造工程が確立されたことを確認するために設計担当者以外の第三者の幅広い経験や知識による審査を行うことにより、認定が終了したことを確認する。

JMR-004の対応項番

- 4.3.14 設計審査
 - 4.3.14.1 契約の相手方による設計審査
 - 4.3.14.2 供給業者による設計審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 基本設計審査
- (2) 詳細設計審査
- (3) コンポーネントの認定
- (4) サブシステムの認定
- (5) システムの認定

実施方法

システム、サブシステム及びコンポーネントレベルで認定試験後審査を計画する。認定試験後審査は、審査会の準備、審査会の実施、要処置事項のフォローを含む。認定試験後審査の実施方法として審査会実施要領と審査項目を以下に示す。

(1) 審査会実施要領

認定試験後審査の実施フロー及び認定試験後審査実施スケジュール(例)は、3.34 基本設計審査の図3.34-1、表3.34-1を参照のこと。また、認定試験後審査での留意事項を以下に示す。

- a. 議長、審査委員、事務局及び設計担当者からなる審査会メンバーを定める。審査委員には、設計、製造、試験、信頼性、品質保証、部品、安全その他関連部門の代表者や得意先代表者を含める。また、審査委員は、当該設計に直接関与しないメンバーであり、審査する分野において十分な知識と経験を有している者であること。

なお、得意先がJAXAの場合には、技術検査行為の一環として検査員等が出席できる。また、契約の相手方と検査員等との調整により、検査員等を支援する目的でオブザーバも出席できる。オブザーバが審査会に出席する場合には、審査内容に対する指摘および発言行為は契約の相手方と調整のうえ認められるが、技術検査行為の一環として検査員等が行うものとされる指摘及び発言行為は原則として認められていない。

認定試験後審査会の構成(例)及び認定試験後審査会構成メンバーの役割(例)は、3.34 基本設計審査の表3.34-2、表3.34-3を参照のこと。

- b. 議長及び審査委員が十分にインプットデータパッケージの審査を行えるようにするため、インプットデータパッケージを審査会開催前に配布する。インプットデータパッケージ及び提示資料の例を表3.36-1に示す。

審査会で使用する指摘票、指摘票リスト、アクションアイテムリストの様式は、3.34 基本設計審査の表3.34-6、表3.34-7、表3.34-8を参照のこと。

- c. 審査会において、設計者はインプットデータパッケージにより設計及び認定試験結果の説明を審査委員に行なう。
- d. 設計及び認定試験結果に対して議長及び審査委員(得意先代表者を含む)による認定試験後審査を行い、設計の評価を行う。指摘事項については指摘票に記入し、設計担当からの回答を判定する。
- e. 審査に際して、十分な効果をあげるため設計審査チェックリストを使用する。
- f. 重要な指摘に対しては、審査会全体で討議し、その指摘の判定に審査会全体の合意を得ることを審査会終了の条件とする。
- g. 認定試験後審査の結果について、審査会当日に認定試験後審査議事録の作成を行う。
- h. 認定試験後審査の完了後に、認定試験後審査報告書を作成する。認定試験後審査報告書は認定試験後審査議事録を添付し、指摘票リスト、指摘票、アクションアイテムの処置状況を含めて作成する。
- i. 事務局は、認定試験後審査のアクションアイテムを定期的にフォローアップして処置状況を確認するとともに、その結果を議長及び関連先へ報告

する。

(2) 審査項目

認定試験後審査は、認定試験結果がシステム仕様書や機器開発仕様書の各要求項目を満足し良好であったかどうか、また、詳細設計以降の設計変更やPMあるいはPFM製作過程、認定試験時の問題点がきちんと処理され、その対策が施されているかどうかを審査できるように審査項目を設定する。

表3.36-2に認定試験後審査の審査項目（例）を示す。審査内容（例）を以下に示す。

a. 詳細設計審査以降の設計変更

設計仕様（要求仕様対設計結果対照表）、設計解析結果、インタフェース仕様、信頼性設計、安全性設計、部品・材料プログラム、製造図面などの審査項目については詳細設計審査以降の設計変更が、設計解析結果や信頼性設計などの詳細設計結果にフィードバックされ、必要な見直し、改定が行われていることを審査する。

b. 認定試験結果

ベリフィケーション・マトリクスや試験データを確認し、PMやPFMを使用した認定試験の結果が、開発仕様書の要求事項を満足していることを審査する。

c. 受入試験計画／手順書（案）

受入試験計画に従った受入試験計画書や受入試験手順書が作成されていることを審査する。

d. 仕様書要求の変更提案及び製品仕様書案

開発仕様書要求の変更提案や製品仕様書案が作成されていることを確認し、開発仕様書要求の変更提案内容や製品仕様書案の要求項目、要求事項を審査する。

e. 詳細設計審査のアクションアイテムの処置結果

詳細設計審査時の指摘事項が処置されていることを確認する。

f. 製造工程

認定試験結果を踏まえた変更点があれば、工程FMEAへの反映結果と併せて審査する。また、製造図面、作業手順書など製造に使用する技術指示文書が作成・維持されていることを製造資料リストに基づき確認する。

g. 不具合記録／故障解析報告書

PMやPFM製作、認定試験における不具合の有無を確認する。不具合発生があった場合には、原因究明がなされ処置・対策が適切に実施されていることを審査する。

h. 信頼性評価結果

信頼性設計、部品・材料、クリティカル品目の管理項目、特性値管理、寿

命、異常／故障、信頼性技術情報などの信頼性評定項目について、目標とする信頼性が達成されていることを確認し、信頼性について総合的に審査する。

i. コンフィギュレーション管理・技術変更記録

アズ・ビルト・コンフィギュレーションを示し、アズ・デザインド時点からの技術変更提案書、技術仕様書変更通知書、承認技術指示文書変更通知書を確認し、技術変更が適切に行われているかを審査する。

j. デビエーション、ウェーバの記録

デビエーション、ウェーバの記録を確認し、適切に処置されていることを確認する。

k. 文書パッケージ、品質記録

PM/PFMの文書パッケージの構成（機器履歴表や信頼性管理品目の管理状況、取扱説明書など）や記載内容及びPMやPFM製造工程の作業記録が適切であることを確認する。

実施しない場合の影響

開発の最終段階であるPM/PFM製作や認定試験時の問題点が潜在化し、その処置・対策が適切に実施されないことによって、FM製作や運用の段階でトラブル発生やミッション達成に失敗する恐れがある。

参考文献

なし

表3.36-1 認定試験後審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（1/2）

番号	項目	インプット データ パッケージ	審査時の 提示資料	内 容
1.	概要 開発経過 詳細設計審査以降の変更点など	○		
2.	認定試験結果 試験結果サマリ（要求対結果） 試験データ	○ ○*1	○*1	開発仕様書、設計仕様書の要求と試験結果を対比させる。実施例は、3.34 詳細設計審査の表3.34-2を参照のこと。
3.	不具合記録／故障解析報告書	○*1	○*1	
4.	信頼性評価結果	○		
5.	コンフィギュレーション管理、技術変更記録 ECP（技術変更提案） 関連文書最新化の確認	○*1	○*1	アズ・ビルド・コンフィギュレーションを示し、アズ・デザインドからの変更の妥当性を評価する。
6.	デビエーション、ウェーバの記録	○*1	○*1	
7.	詳細設計審査のアクションアイテムの処置 結果	○		
8.	文書パッケージ、品質記録		○	不具合／故障記録、機器履歴、AS BUILT PARTS LISTを含む。
9.	製造工程	○		詳細設計結果からの変更点があれば、その内容を記載する。

表3.36-1 認定試験後審査のインプットデータパッケージの種類と内容（例）（2/2）

番号	項目	インプットデータパッケージ	審査時の提示資料	内容
10.	製造図面（図面などの技術指示文書）		○	
11.	製品仕様書（案）		○	
12.	受入試験計画書／手順書（案）	○*1	○*1	
13.	事前審査の結論		○	
14.	試験供試体（PM）実物展示又は写真		○	
15.	設計仕様	△*2	○	
16.	設計解析結果	△*2	○	
17.	インタフェース仕様	△*2	○	
18.	信頼性設計	△*2	○	
19.	安全性設計	△*2	○	
20.	認定試験計画／手順書	△*2	○	
21.	部品・材料プログラム	△*2	○	

ECP : Engineering Change Proposal

PM : Prototype Model

(注)*1……サマリをインプットデータパッケージとし、詳細は、設計審査の源泉資料として審査場所にそろえておくもの。

*2……△：認定試験後審査は設計の最終確認となる審査である。これらの項目が審査の対象から漏れないようにインプットデータパッケージにサマリを含めることが望ましい。

表3.36-2 認定試験後審査 審査項目（例）

No.	審査項目	PDR	CDR	PQR	備考
1	設計仕様（要求仕様対設計結果 対照表）	○	○	◎	
2	設計図（計画図）	○			
3	設計解析結果	○	○	◎	
4	インタフェース仕様	○	○	◎	
5	信頼性設計	○	○	◎	
6	トレードオフ解析	○			
7	安全性設計	○	○	◎	
8	開発計画／試験計画	○	○		
9	地上支援装置計画	○	○		
10	開発試験結果又は認定試験結果		○	◎	
11	認定／受入試験計画		○	◎	
12	受入試験計画書／手順書（案）		○	◎	
13	部品・材料プログラム	○	○	◎	
14	仕様書要求の変更提案	○	○	◎	
15	PDR及びCDRのアクションアイテムの 処置結果		○	◎	
16	製造工程	○	○	◎	
17	製造図面、作業手順書		○	◎	
18	製品仕様書案			◎	
19	不具合記録／故障解析報告書		○	◎	
20	信頼性評定結果	○	○	◎	
21	コンフィギュレーション管理・技術変更記録		○	◎	
22	デビエーション、ウェーバの記録			◎	
23	文書パッケージ、品質記録			◎	

（注1）認定試験後審査の審査項目（例）を◎印で示す。

（注2）PDR：基本設計審査

CDR：詳細設計審査

PQR：認定試験後審査

3.37 技術変更

効果

制定された技術仕様書や承認図及び技術指示文書の変更に際して、技術変更内容を審査し、その技術的妥当性を確認することで技術変更を確実なものとする。

効果的な実施時期

コンフィギュレーション識別文書や技術指示文書の制定後に技術変更が必要となった場合に実施する。

技術的根拠

コンフィギュレーション識別文書や技術指示文書が制定された後に行われる技術変更は、その変更内容の技術的妥当性や整合性について審査され、コンフィギュレーション識別文書や技術指示文書が制定された時の信頼性が維持できるよう製品に確実に反映されなければならない。

JMR-004の対応項番

4.3.14.3 技術変更

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 認定試験後審査
- (3) 設計過誤の防止

実施方法

- (1) 技術変更に対する審査は、以下の点を考慮して、コンフィギュレーション管理委員会（CCB）等に於いて実施する。
 - a. 技術変更の理由、目的は明確になっているか。
 - b. 技術変更内容は、要求仕様に対して機能の変更、性能の劣化、インタフェース条件の変更をもたらすか。
 - c. インタフェース条件に影響する場合、相手側の変更処置も実施されるようになっているか。
 - d. 技術変更で影響する範囲について信頼性設計・解析は実施されているか。
 - e. 技術変更内容は製造図面や作業手順書に的確に反映されるようになっているか。
 - f. 技術変更内容に対して、試験、検査での確認及びその方法が決定されているか。

- g. 技術変更によって生じる変更を要する文書及び関連部位は明らかになっているか。
 - h. 設計変更が重大であり、設計審査を再度実施する必要はないか。
- (2) 技術変更内容に対する審査を終えた後に、技術変更提案の得意先への提出や、技術指示文書の変更、技術変更内容の製品への適用の処置をコンフィギュレーション管理要求に基づいて実施する。また、技術変更内容は、詳細設計審査、認定試験後審査、出荷前審査において審査を受ける。
- (3) 技術変更時の注意事項
- a. 技術変更による文書改定、図面改定は、漏れなくタイムリーに実施すること。
 - b. 技術変更は、変更箇所のみに着目し他の部分との整合性を見失ったり、あるいは当初の設計要求事項が忘れられているなどに起因する設計過誤が発生しやすいので、注意が必要である。
これらを防止するためには、チェックリストの活用が有効であり、その一例を表3.33-8設計変更チェックリストに示している。他の例を表3.37-1に示す。
 - c. 製品への処置が漏れることのないように処置実施の要否が明確となっており、処置実施が点検されること。
 - d. 軌道上衛星のソフトウェアの変更など技術変更が運用に係わる場合、運用文書への反映を漏れなく実施する。
 - e. コンフィギュレーション管理要求で、コンフィギュレーションの変更管理は、技術変更、デビエーション、ウエーバとに区分されている。技術変更は、コンフィギュレーション識別文書の変更で得意先承認が必要な場合と、技術指示文書の変更で社内の変更管理規定に基づいて処置する場合とがある。

実施しない場合の影響

技術変更の妥当性が審査によって確認されていないと、その技術変更結果に起因する問題点の処置・対策や不具合発生が未然に防止できない恐れがある。

参考文献

なし

表3. 37-1 設計変更チェックリスト (例) (整理番号:)

機器名 _____ 資料名 _____ 資料番号 _____ CN番号 _____

チェック項目	結 果	技術	調 整			備 考 ^{※1}
			品保	製造	管理	
要求内容／変更理由は明確か。						
改修手順書を作成する場合、要求根拠及び改修内容は明確か。						
得意先仕様書との整合性。						
納入仕様書との整合性。						
適用時期／号機は妥当か。						
設計チェックリストで確認を行ったか。 (どの項目をチェックしたか。 ※ ²)	(1) 設計変更内容確認表 (2) 要求事項／設計値対照表 (3) 技術変更に伴う関連技術資料のチェック要領 (4) 回路設計変更チェックリスト (5) 構造設計変更チェックリスト (6) 部品・材料変更チェックリスト (7) 方向性・有極性部品変更チェックリスト (8) 実装変更チェックリスト (9) 図面変更チェックリスト (10) 手順書・仕様変更チェックリスト					
関連資料の変更は適切か。 漏れはないか。						構成品ツリー： 資料リスト：
変更部位の妥当性を機能試験でも確認すべく機能性能試験実施要領に反映しているか。						
	作成	点検	担当	担当	担当	

承 認	
技術マネジャー	品保マネジャー

* 1. 特記事項、指摘調整記録等について記入のこと。(要すれば。別紙添付)

* 2. 結果欄の該当するチェック項目の番号を○で囲む。

3.38 異常／故障の定義、事例

効果

宇宙用機器の開発途上における異常／故障の発生は、機器のミッション達成に重要な影響を及ぼし、システムの信頼性に不安を生じさせる。

そのため開発の初期の段階において異常／故障の定義を明確にし、開発期間中、確実に処理していくことが宇宙用機器のミッション達成に非常に重要である。

また、多くの事例を活用することが信頼性設計及び異常／故障解析のキーポイントである。

効果的な実施時期

異常／故障の管理は開発からフィールドまでのそれぞれの段階で実施する必要がある。特に設計（EM段階を含む）、製造、試験（スクリーニング、受入検査などを含む）等のフェーズでは確実な解析と処置が必要であり、更にフィールドへ入ってからは異常／故障情報の管理が追加の重要項目となる。

異常／故障の事例については、逐次整理し、技術計算、信頼度の計算、故障率の評価、FMEA、FTA、部品購入段階の評価、認定等の情報として活用する他、実際に生じた異常／故障解析時の参考事例にすることにより、的確かつ迅速に処置できる。

技術的根拠

異常／故障の定義を明確にすることで異常／故障解析を的確に実施することが可能となる。また、異常／故障の事例を整備することが信頼性を設計に取り込む能力を向上させ、類似の異常／故障の再発を防ぐこととなる。

JMR-004の対応項番

4.3.15.1 異常／故障管理

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) 信頼性教育訓練
- (3) 詳細FMEA
- (4) FTA：事前解析

実施方法

(1) 異常／故障の定義

信頼性プログラム標準（JMR-004）における定義は以下のとおりである。

- ・異常（Anomaly）：機能的に疑わしい兆候。
- ・故障（Failure）：所定の機能を満足しない状態。

この定義を解説すると、以下のとおりとなる。

異常とはハードウェア及びソフトウェアが規格内であっても、以前からの偏差、かたより、傾向変化があり、その原因を明確にする必要がある場合で、以下のような場合のことを言う。

- a. 以前の性能からの予期しない偏差（パラメータのドリフトなど）。
- b. 一時的又は過渡的な動作不良もしくは疑わしい動作不良。
- c. ソフトウェア品目に対しては、ハードウェアの不適切な動作、あるいはミッション遂行の失敗につながると考えられる不具合、欠陥、あるいは疑わしい事項。

故障とは、

- a. 「ハードウェア及びソフトウェアが規定の機能を失うこと。」すなわち、規格内であったハードウェア及びソフトウェアが規定の機能を停止又は逸脱することを意味する。

定義を定めるときに問題になるのがフェーズとの関係であるが、基本的には全てのフェーズを管理の対象とすべきである。なお、得意先への報告は、試験フェーズからを基本とし、製造中の管理方法については異常／故障の解析及び記録方法について明確にし、社内で適切に管理する。

また、不具合との関連についても明確にしておく必要があるが、不具合は異常／故障を含み「一つ以上の特性が要求と合致しない又は異常な物品の状態。故障、偏差、欠陥、不足及び機能不良を含む。」と品質保証プログラム標準（JMR-005¹⁾及びJMR-013²⁾）に定義されている。管理については異常／故障と不具合を一つにして管理する場合と分けて管理する場合があり、信頼性プログラム計画書に記述する。

(2) 異常／故障解析の必要性

異常／故障解析は、不具合品の調査を通じて不具合に至ったメカニズムを明らかにし、部品・材料に対する迅速かつ正しいフィードバックを与えるために必要である。異常／故障解析の効果をまとめたものを表3.38-1に示す。

特に高集積化される電子デバイスに要求される信頼性は益々高くなり、故障解析法においても高度な固有技術が要求される。宇宙空間で使用される電子デバイスは、使用される環境が多岐にわたる特異性を持つため、解析にあたり非常に幅広い知識が要求される。

表3. 38-1 異常／故障解析の効果³⁾

	関連項目	異常／故障解析の効果
1	故障の除去	(1) みかけの原因でなく、真の原因を探り出し基本的本質的な故障の原因を除去することができる。 (2) わずかな基本的設計変更を行うだけで、いままでのような試行錯誤のその場限りの改善をしなくてよくなる。 (3) 現象としての故障を直すだけでなく、対策の的確さを把握することができる。 (4) 故障発生のお返し防止となる。
2	試験	(1) 試験（加速寿命試験、スクリーニング）に対する理論的、解析的、実際の武器となる。
3	設計	(1) 物を試験する前に、設計（信頼性、保全性）に役立つ。 (2) 一連の設計プロジェクトに対する有効な情報が提供され、信頼性の問題点の解決となる。
4	組織的対策	(1) 生産における困難さの原因（例えば生産技術、製造、品質管理、保全サービス）の改善につながる。 (2) 研究開発と生産技術部門（QCを含む）を結び、両者の利益になる。 (3) 長期的に考えると、適切な故障解析と的確な対策は経済的である。

(3) 異常／故障の事例（データ）の収集、解析

異常／故障の事例はできるだけ多くの情報を整理し、活用できる様に整理することが信頼性設計にとって非常に有効である。いかに多くの異常／故障事例を設計時点で考慮できたかが品目の信頼性の度合いを高めることになる。つまり異常／故障事例は信頼性確保のための財産である。なお、異常／故障の情報は社会的な責任としてできるだけ共有化することが必要である。JAXAにおいてはJAXA信頼性技術情報として宇宙関連メーカーに展開（3.5項参照）しており、また、米国ではGIDEP ALERTが有名である。（GIDEP:

また、JAXAは一般には公開していないが、宇宙機開発の契約の相手方との情報共有も兼ねた異常・故障を含む不具合情報を収集、蓄積するJAXA不具合情報システムを有しており、その概要を以下に示す。

[目的]

- a. ロケット、人工衛星、宇宙ステーション及びこれらを支援する各系で発生した不具合情報をタイムリーに把握し、処理状況の確認に役立てるとともにウォッチアイテムの識別に利用する。また、各種審査会その他の報告書などの作成に利用する。
- b. 各系で作成するデータベースは、安全・信頼性管理部に設置する計算機システムのデータベース管理システム（DBMS）において取り込み、データの蓄積を図り、類似不具合の再発を防ぐべく、部品材料等の信頼性技術情報の発行、JAXAが実施する検査業務及び品質保証監査（QCサーベイ）などを支援する関連情報を提供する。

[対象にする不具合データ]

本システムで取り扱う不具合情報は、ロケット・人工衛星・JEMやHTV及びこれらを支援する地上設備・装置並びにこれらに組み込まれるソフトウェアに発生するものを対象として下記の a)～e) 項に該当するものに限定する。

- a) 品質保証プログラム標準に定める再審委員会（MRB）で決定された不具合報告
- b) 信頼性プログラム標準で定める異常・故障解析報告書
- c) 詳細設計審査会に報告された開発時の主要不具合情報
- d) ロケットの飛行時に発生した不具合報告
- e) 軌道上の運用時に発生した不具合報告
- f) その他関連不具合情報

JAXAの地上設備・装置の不具合については、JAXA所定の不具合報告書を起草した場合に輸入の対象とする。

(4) 異常／故障解析の事例

a. 軌道上不具合の解析事例

概要

軌道上不具合の解析事例は宇宙における事後解析の典型的例である。衛星は軌道上であり見ることができなく、地上で受信したデータ及び打ち上げ前のデータなどにより解析するが原因の特定は困難を極める場合がある。この事例は1996年8月17日に打ち上げられた地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」（ADEOS）の不具合解析の例⁴⁾である。

事例の説明

地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」(「ADEOS」: Advanced Earth Observation Satellite) は、平成8年8月17日、種子島宇宙センターから打ち上げられ、約10ヶ月の運用を実施した後平成9年6月30日に機能停止に至った。

テレメトリデータ等による各異常事象の特定・分析により、衛星の機能停止は太陽電池パドルの破断による電力消失であることを特定した。

以降、太陽電池パドルの破断に至る原因を究明するために、衛星の姿勢変動の解析により太陽電池パドルの軌道上での挙動の推定、地上確認試験及び熱・構造・機械的特性解析により太陽電池パドルの損傷メカニズムの推定を行った。

推定原因

- a) 8月28日の減速制御において、テンションコントロール機構がストップ位置に達し、ブランケット部への過大張力の負荷及び集中荷重により、ピンヒンジ部が一部破損した。以降、繰り返し疲労による劣化が進行し12月17日に至り、ピンヒンジ部が一例破損した。このことは、ブランケット部の等価線膨張率が開発時想定した値に比べて低温時に約2倍の等価線膨張率であったこと、熱環境条件に対する膨張・収縮の予想の不確かさを見込んだテンションコントロール機構の摺動部の余裕が不足していたこと、更には、ブランケット部への荷重がピンヒンジ部に集中したことが原因と推定される。
- b) 12月17日以降の状態変化は、テンションコントロール機構の摺動特性の変化及びブランケット部がはんだ付け部だけで保持されたことによる剛性の低下が複合することにより、テンションコントロール機能が停止したことが原因と推定される。
- c) 6月23日以降、ハーネスのはんだ付け部の断線が始まり、6月30日に全てのハーネスが断線し、衛星の機能を喪失するに至った。

図3. 38-1に太陽電池パドル破断メカニズムを示す。

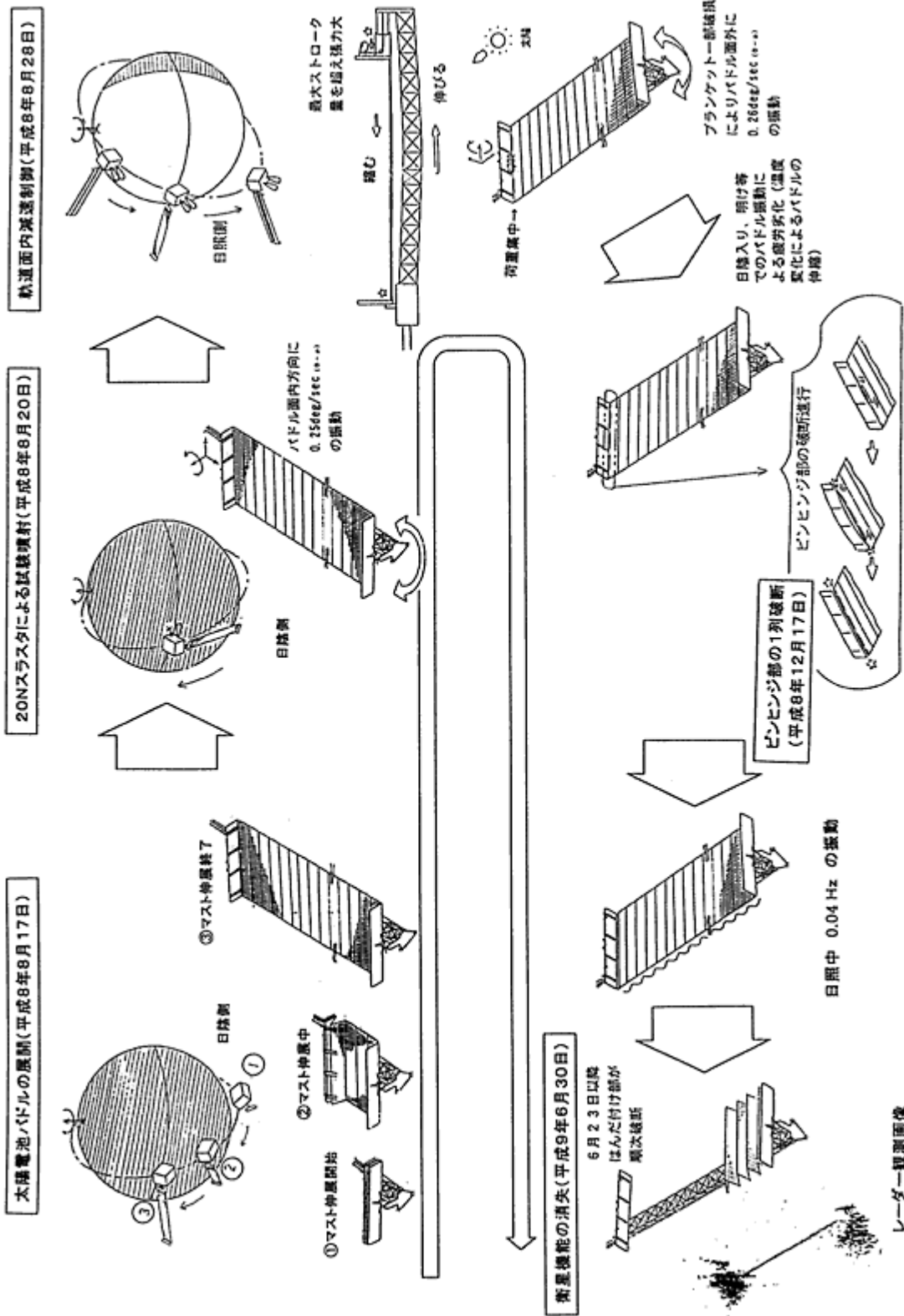


図3.38-1 太陽電池パドル破断メカニズム

b. 製造、試験段階の異常兆候検出例

概要

機器、装置の製造段階において、故障に至る前に異常を検知し、未然に故障の発生を防ぐことを事前、事中故障解析という。ここでは、機器の動作中の異常を解析し、故障を未然に防いだ例を示す。

事例の説明

a) 受信機出力異常

熱真空試験中、低温 -10°C から高温 $+40^{\circ}\text{C}$ へ移行した時、受信機のコマンドベースバンド出力及び測距信号に、図3.38-2に示すような瞬間的な変動が認められた。

この変動は、過渡的な動作不良又は疑わしい動作不良と考えられるため異常と判断し、追求したところ、導電性塗料による抵抗値の低下が発見され、処置された。

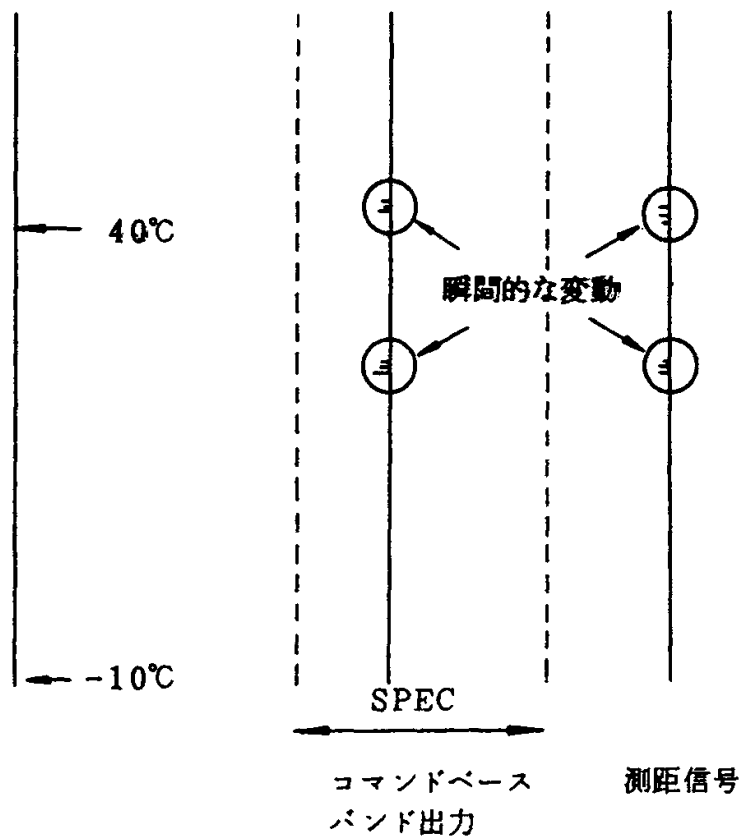


図3.38-2 受信機出力異常

b) ジャイロの出力異常

宇宙用に使われるジャイロの特性は、最も高い性能と信頼性が必要である。そのために、工場の組立段階からミッション達成まで、ジャイロの特性をモニタし特性の変動や傾向を評価する必要がある。

ここでは機能に影響は無いが、今後、故障となる可能性の要因例について示す。

図3. 38-3、図3. 38-4は、ジャイロ出力波形に異常が発生した例である。ここで紹介するジャイロ出力波形は、正弦波でなければならないところ、歪んだ波形となっている。これは、ジンバル支持部の異常やジンバルのオイルダンパに異常があった場合にこのような波形となり、機能的には、まだ異常となっていない。

図3. 38-5、図3. 38-6は、ジャイロのspinモータ電流に異常が発生した例である。この異常は、モータ軸に使用されているベアリングオイルに異常が発生するとspinモータ電流の変化となって確認されるもので、機能的には、まだ異常となっていないが、いずれ故障となる傾向を示しているといえる。

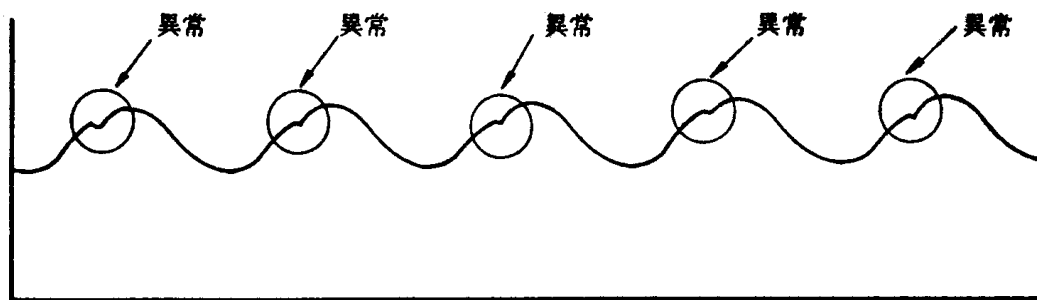


図3. 38-3 ジャイロ出力波形異常例(1)

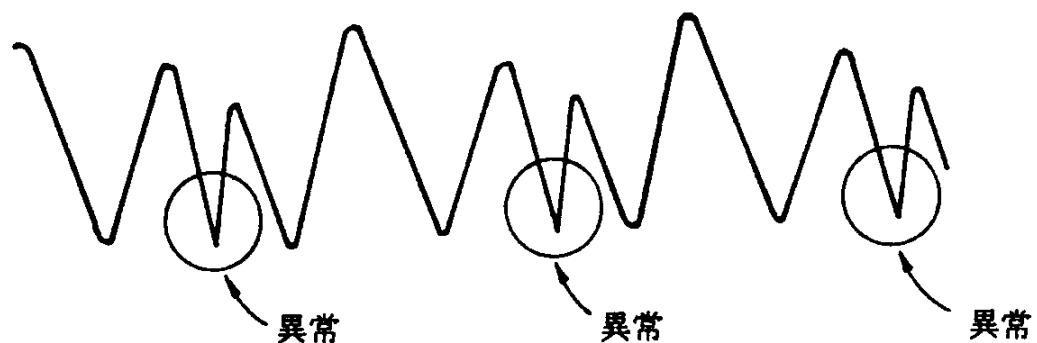


図3. 38-4 ジャイロ出力波形異常例(2)

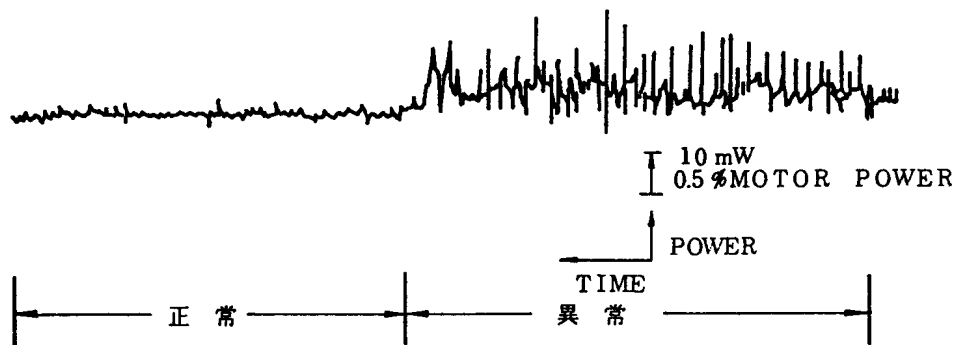


図3.38-5 スピンモータ電流例



図3.38-6 スピンモータ電流異常拡大波形

c. 部品故障解析の例

概要

衛星Aの搭載機器のATランダム振動試験にてMPUの異物（チップマウント材）によるピン間ショートが発生した。MPUの構造概略を図3.38-7に示す。異物の発生原因は、マウント工程においてチップとマウント材の界面に発生したマウント材の針状突起（図3.38-8参照）が、マウント後のエアブロー等によりインナーリード上に剥がれ落ち、部品メーカーによる封止前外観検査で見落とされ、シール炉の熱によりインナーリード上に固着したものと推定されており、不具合原因は異物管理不良であった。異物は、2つのピン間を橋渡しするような状態で固着していた（図3.38-9参照）が、片方の先端がピンに触れるかどうかの状態であったため、モニタしながらの振動試験まで発見できなかったと考えられる。

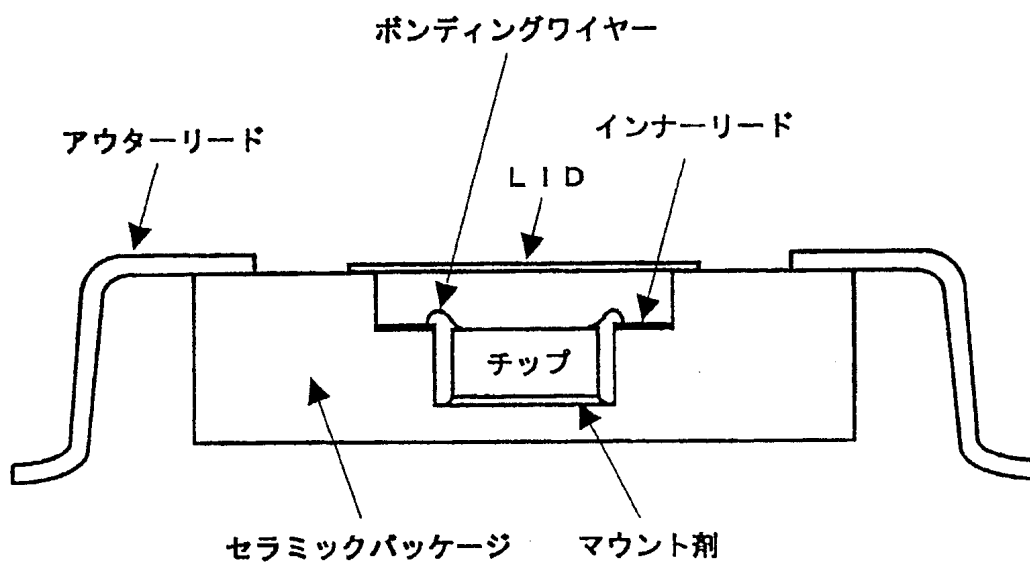


図3. 38-7 MPU構造概略図

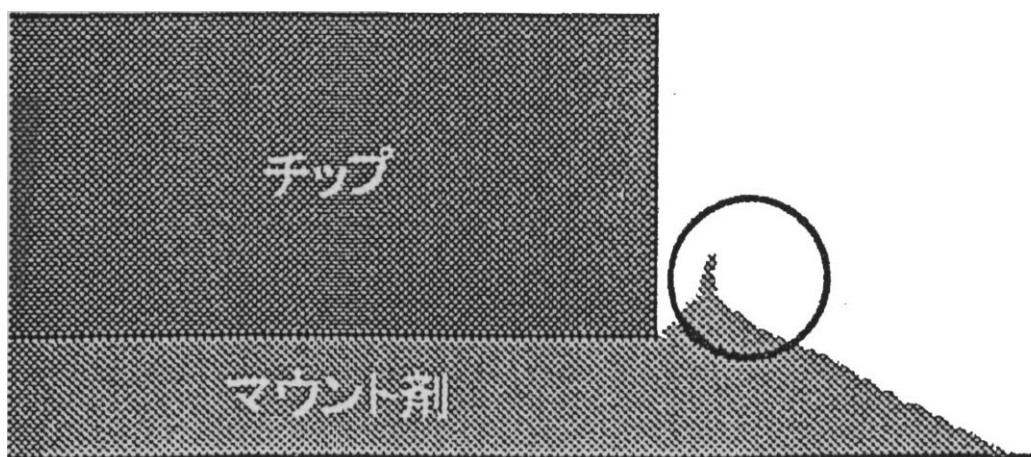


図3. 38-8 マウント剤の針状突起

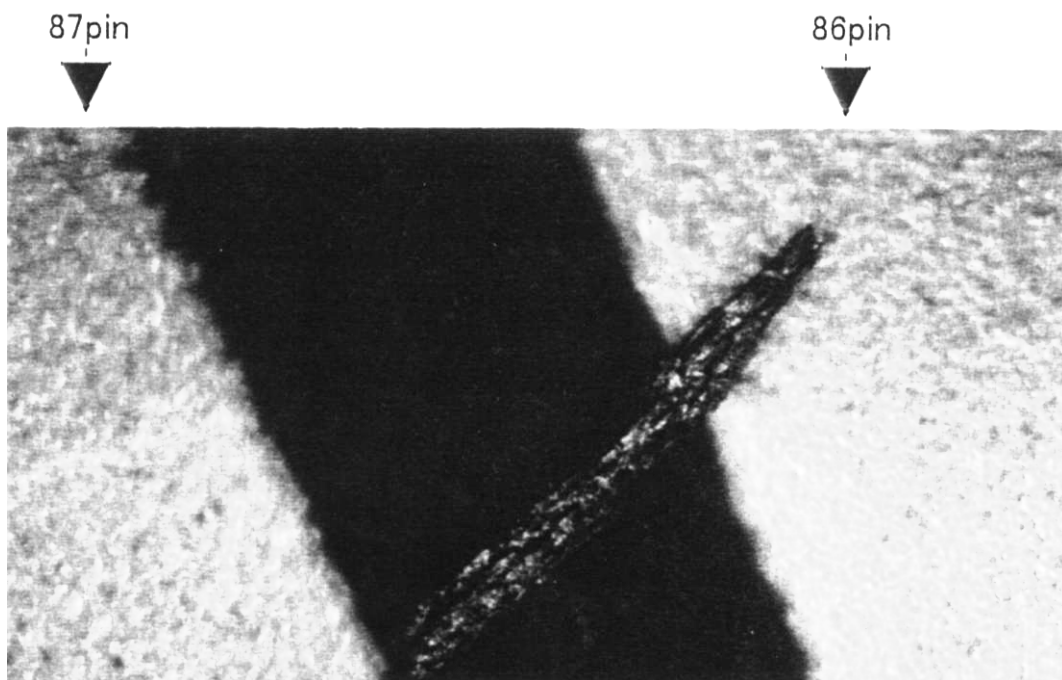


図3. 38-9 MPUインナーリード上の異物

d. 主要故障現象の例

概要

故障は、さまざまな原因により発生するが、主要な故障現象に対応する原因の例を示す。

事例の説明

主要故障現象一覧表を表3. 38-2に示す。この表には、故障原因に対応した故障モード、使用環境条件、発生しやすい部品・材料が示されており、また設計者が検討しておくべき事項が盲点として記述されている。

表 3.38-2 主要故障現象一覽表(1/4) ⁵⁾

故障現象			使用環境条件	発生しやすい部品・材料	盲点	
大分類(一般呼称)	中分類又は原因	故障モード				
温	高温劣化	劣化	強度劣化・絶縁劣化	温度+時間	プラスチック材料・被覆樹脂	限界条件
		化学変化	熱分解	温度	プラスチック材料・被覆樹脂	変化点
		軟化・熔融・蒸発・昇化	変形	温度	金属・プラスチック材料・温度ヒューズ	軟化点、融点
		高温酸化	酸化膜の生成	温度+時間	接点材料	限界条件
		熱拡散(金属間化合物の生成)	断線	温度+時間	異種金属のメッキや接続部分	カーケンダル効果
二次破壊	半導体	ホットスポット	温度、電圧、電力	不均一性・フィンの取付	A S Oの検討	
蓄熱発火	(余熱発火)	発火	加熱+乾燥+時間	プラスチック(ビニロン、メタブレン、ポリウレタン塗料を含む木屑など)	自然発火	
度	ウイスカ	真性	短絡・絶縁不良	高温(200~400℃)	Ag、Au、Cu、Fe、Mg、Ni、Pb、Pd、Pt、Ta、Ti、W、Al、	無知
		非真性	短絡・絶縁不良	高温(400~1,000℃)	Cu、Ag、Fe、Ni、Co、Mn、Au、Pt、Pd、のハロゲン化合物	無知
度	マイグレーション	エレクトロマイグレーション	開放・断線	温度(0.5Tm)+電流(密度 10^6 A/cd)	W、Cu、Al(特にICのAl配線)など	無知
度	クリープ	金属	へたり・破損	温度+応力+時間	バネ・構造部品	2つのストレス、残留歪
		プラスチック	へたり・破損	温度+応力+時間	バネ・構造部品	同上及び薬品効果
度	低温性	金属	破損	低温	体心立方晶(銅、Mo、Wなど)や最密大立方晶(Zn、Ti、Mgなど)及びその合金	限界条件、材料
		プラスチック	破損	低温+低湿	結晶性でTgの高いもの(セルローズ、塩ビなど)又非晶質で仲度の低いもの(アクリル、スチレン、メタクリル酸メチル、尿素樹脂など)	限界条件、材料、残留歪
度	フラックス上り	冷えた金属表面にフラックス蒸気が付着	雑音 接触不良	低温	主にプリント基盤などに取り付けられた機構部品(スイッチ・コネクタ)	冬季
湿度	吸湿	拡散	膨潤 絶縁劣化 潮解	湿度	結晶性が低く有極性の樹脂(ポリビニールアルコール、フェノール樹脂、ポリアミドなど)を用いた構造、封止、被覆部品又は低発熱部品	吸湿性材料 吸湿条件 在庫期間 間欠使用 発熱性
		加水分解	化学変化	温度+湿度	ポリカーボネイト、ポリエステル、ポリオキシメチレン、ポリブチレンテレフタレート	エステル結合とエーテル結合を含む基

表 3.38-2 主要故障現象一覧表(2/4)

故障現象			使用環境条件	発生しやすい部品・材料	盲点	
大分類(一般呼称)	中分類又は原因	故障モード				
湿	吸湿	毛細管現象 細隙呼吸現象	湿気浸入 絶縁劣化 潮解	湿度(熱衝撃、温度サイクル) +湿度 温湿度サイクル	樹脂被覆、封止部品	呼吸現象
	腐食	電池腐食	変色	湿度+異種金属の接触電位	接続部接触電位0.2V以上要注意	結露
		電解腐食	抵抗値増大	湿度+直流電界	抵抗器、樹脂封止ICなど	結露
		隙間腐食	断線	湿度	隙間(接続子など)	直流・パルス負荷
		応力腐食割れ	破損	アンモニア(銅合金)、塩化物(ステンレス)	合金(黄銅、洋白、ステンレスなど)	さびにくい金属
水素脆性	めっき酸洗	銅				
度	マイグレーション	イオンマイグレーション	短絡 絶縁不良	湿度+直流電界 湿度+直流電界+ハロゲンイオン	Bi、Cd、Cu、Pb、Sn、Zn、Ag ハロゲンイオンが共存すると移行する金属 Au、In、Pb、Pt	電極間隔小 低電圧で発生
	カビ		電気絶縁不良 変質、分解、腐食	温度(25~35℃)+湿度(90%以上)	プラスチック材料(ポリウレタン、ポリ塩化ビニル、エポキシ、アクリル、シリコン、ポリアミド、フタル酸樹脂など)	発育条件
電界	パルス	妨害電波	誤作動 電力破壊 電力破壊	妨害電波(内部、外部)	入力、接地回路シールド不良	特にパルスデジタル回路
				瞬時停電	電源回路	
				雑音	入力接地回路、デバイス	
				雷	入力接地回路、保護デバイス	
				サージ	入力接地電源回路、スイッチ	
				静電気	回転機器、半導体、表面波デバイス	
	絶縁劣化	誘電体破壊、コロナ放電	絶縁劣化	電界	SiO ₂ 膜、多層セラミックコンデンサ	工法との関連
				チャージ、表面準位	MOS IC	
				スパーク+(イオン汚染)	プラスチック材料		電極間隔狭し
		C・A・F(*)	間欠短絡現象	湿度	ガラス繊維入りプリント基板	特に屋外使用
				ダスト+湿度	プリント基板	ダスト附着
				湿度+残留イオン(外部)	プラスチック洗浄剤(4塩化炭素、3塩化エタン)など	電解コンデンサ、樹脂封止IC
イオン汚染	絶縁劣化 腐食・断線	湿度+残留イオン(内部)	樹脂封止ICパッケージ内のICなど	抵抗磁器、封止樹脂		

(*)Conductive Anodic Filament

表 3.38-2 主要故障現象一覧表(3/4)

故障現象			使用環境条件	発生しやすい部品・材料	盲点	
大分類(一般呼称)	中分類又は原因	故障モード				
電界	ラッチアップ	寄生サイリスタ現象	熱爆走	電源電圧変動、サージ	CMOS IC	電源電圧変動
	導電性発熱物の生成	金原現象	発熱	スパーク+酸素の供給少	木材・有機絶縁物	小電流(0.4~6A)で発生する火災
		亜酸化銅増殖現象	発火	スパーク	銅及び銅合金	
	グロー現象		スパーク	Al、Fe、Ag		
応力	疲労	繰返し応力	破損	繰返し衝撃、振動	構造部品(金属・プラスチック)	共振
		摩耗	摩耗	摺動	摺動・回転部を持つ部品(モータ、ポリウム)	片ベリ
膨膜	吸湿・脱湿	破損	吸湿・脱湿サイクル	樹脂材料被覆樹脂、プリント基板	サイクル数	
		断線	加熱・冷却サイクル	発熱・発火部品	サイクル数	
腐食	微摺動摩擦	雑音・接触抵抗増大	微摺動、振動、衝撃	貴金属を除く殆どの金属接点	微摺動	
機械化学反応	ブラックパウダ	接点電極浸食	接点開閉+アーク	Ag、Au、Cu、Pd、Pt接点と不飽和環状有機蒸気中	有機蒸気の影響	
	ブラウンパウダ	雑音 接触抵抗増大	低湿+摺動接点	Pt、Pd、Ru、Ta、Mo、Cr接点と有機蒸気中		
雰囲気汚染	SO ₂ (石油燃焼、金属、精錬 排気ガス) NO _x (燃焼ガス、排気ガス) HCl(化学工場、海塩粒子) Cl ₂ (化学、製紙工場、下水処理工場)	硫化、腐食	SO ₂ +湿度	接点材料及び金属材料	軽視	
		窒化、腐食 塩化、腐食 塩化、腐食	NO _x HCl+湿度 Cl ₂	接点材料及び金属材料 接点材料及び金属材料 接点材料及び金属材料	軽視 軽視 軽視	
		硫化、応力腐食割れ	H ₂ S+湿度	金属特にAg	軽視	
		酸化膜の生成 応力腐食割れ 絶縁不良、腐食 雑音、接触不良	高圧放電 NH ₃ (フェノール樹脂など) 海岸(島・半島) 開閉接点+アーク	接点材料及び金属材料 銅合金で発生 金属の腐食・プラスチック材の絶縁不良 Si化合物(オイル、グリース、ゴム、離形剤、研磨剤) 短い電極間、高電圧電極間	軽視 軽視 軽視 無知 軽視	
	ダスト 油 薬品 変色、劣化、破損	絶縁不良、接触不良	ダスト+(湿度)			
		膨潤、劣化割れ	油+(応力)	プラスチック材料	無知	
		膨潤、劣化割れ	薬品+(応力)	プラスチック材料	無知	
		変色、劣化、破損	紫外線(日射)	プラスチック材料	軽視	

表 3.38-2 主要故障現象一覧表(4/4)

故障現象			使用環境条件	発生しやすい部品・材料	盲点
大分類(一般呼称)	中分類又は原因	故障モード			
特殊材料の組合せ	銅害	劣化	高温	C o > M n > C u > F e > V 》 N i > T i ≒ C a ≒ A g ≒ Z n > A i > M g ≒ C d > P u r e ≧ B a ≧ S r *	無知
	可塑剤、安定剤、加硫剤、添加剤等の移行や化学変化によるトラブル	変色 劣化 割れ		塩ビ可塑剤、安定剤	無知
ウイスカ	真性	短絡 絶縁不良	常温	元素 { C d 、 S n 、 Z n 、 S b } 合金 { S n - A l 、 S n - Z n 、 P b - C u 、 I n - M g }	無知
	非真性		常温	A g ₂ S 、 C u ₂ S 、 N a M o ₂ O ₄	
放射線	X線 α線	放射線障害 誤動作	高電圧	L S I 、 半導体	無知
ホットエレクトロン、パルスティック輸送	インパクトイオン化	劣化	電源電圧	超 L S I (場所による) 0.2 μ m 以下 G a A s 、 I n p	小型化

(注)* P u r e は、金属イオンの存在しないとき、これ以上のものは安定剤。

(5) 教育

異常／故障の定義と事例については、信頼性教育の中で重要な項目として教育し、設計、製造、試験／検査の各フェーズにおいて異常／故障に対する管理が適切に実施されるようにする必要がある。

実施しない場合の影響

異常／故障の定義を明確にしない場合、異常／故障解析が実施されないため真の原因が明確にならない恐れがある。また、信頼性の観点での審査がされず正しい処置、再発防止処置がなされない恐れがある。

異常／故障の事例を整備しないと異常／故障解析を実施しても真の原因が判明する確率が少なくなる。また、信頼性設計において使用するデータが少なくなり、信頼性設計が不十分ということになる。

参考文献

- 1) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 2) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要件JIS Q 9100)」
- 3) 塩見弘：故障物理入門、日科技連
- 4) ADEOS事故原因究明説明資料(改訂版) 平成9年9月4日
- 5) 越川清重：故障現象に基づく信頼性試験法，電気通信学会技術研究報告 R84-43

3.39 異常／故障の管理方法

効果

異常／故障は、原因究明に手間取る場合が多く、粘り強い対応が必要である。

このため、異常／故障を管理することで、発生した異常／故障の真の原因を確実に捉え、正しい処置、再発防止処置の実施に適切なフィードバックを与えることが可能になるとともに、得られた技術的知見から、技術力の向上、ノウハウの蓄積を図ることができる。

効果的な実施時期

EM/PM/PFM/FMの各フェーズの製造、試験、運用に至るまで適用する。

技術的根拠

異常／故障は、原因が容易に判明せず、原因究明のための解析や再現実験などを行う場合もあるため、多くの関係者や外部の専門家の支援を受ける場合も出てくる。

このため、関係者間の情報を整理し、状況の把握、問題解決の段取りの設定などを確実にを行う必要がある。

また、発生した異常／故障の真の原因を確実に捉えることができた場合、得られた技術的知見から、技術力の向上、蓄積につながる。

従って、発生から原因の究明、フィードバック、技術の蓄積までが適切におこなわれるように管理する必要がある。

JMR-004の対応項番

- 4.3.15.1 異常／故障管理
- 4.3.17.9 故障解析

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) FTA（事後解析）
- (3) 異常／故障のフィードバック
- (4) 異常／故障解析報告書の作成

実施方法

異常／故障は JMR-005¹⁾及び JMR-013²⁾の不具合処理と整合させ報告、解析、対策、再発防止の一連の管理を実施するものとし、信頼性プログラム計画書にその内容を記述する。図 3.39-1 として一般的な異常／故障管理のフローを示す。

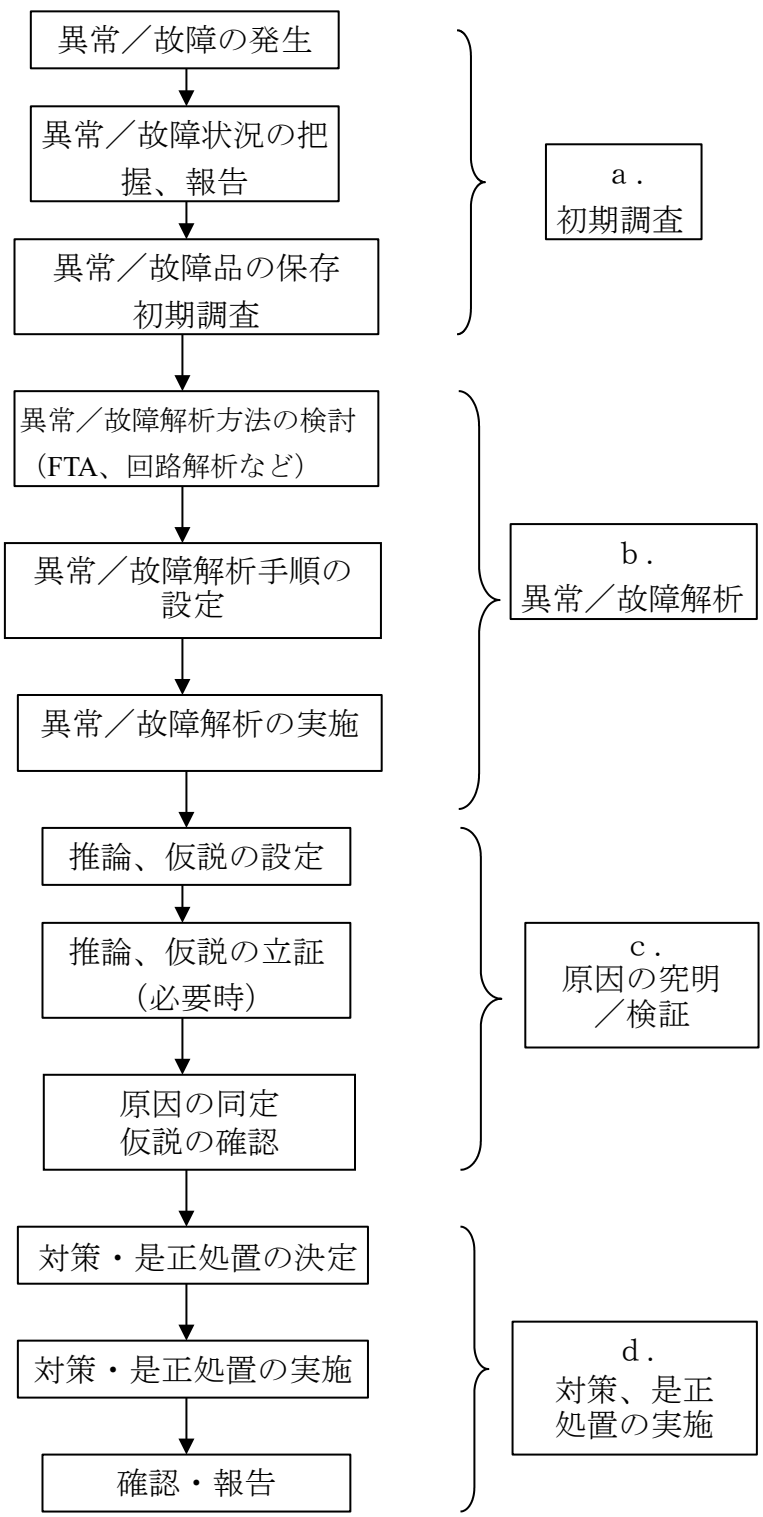


図 3.39-1 異常／故障管理フロー

(1) 異常／故障の解析手順

a. 初期調査

異常／故障は、試験／検査者が検出した現象及び信頼性技術者又は設計者のデータレビューにより異常／故障の可能性があると判断した現象について報告することを規定手順に明確化し、漏れなく調査する必要がある。

異常／故障が発生した場合は、可能な限り状態を保持し、現象、周囲環境、コンフィギュレーションなど初期調査を行い、記録する。この初期調査を慎重かつ詳細に実施しないと原因不明になる恐れがある。

異常／故障の発生原因は、発生時点より以前の場合も多く、この段階の情報収集力が異常／故障解析の成功の秘訣である。

特に、以下のような情報を収集、整理することが大切である。

(a) 何が (What) ……システム、装置、部品、材料、人、ソフトウェアなど。

(b) どのように (How) ……異常／故障の状態、起こり方、ストレス条件、異常／故障モードなど。

(c) いつ (When) ……異常／故障発生日、時間、異常／故障発生時の環境、寿命分析、頻度

(d) なぜ (Why) ……推定原因、異常／故障メカニズム

また、予備解析として、以下の調査を行う。

(a) 過去に同様な異常／故障はなかったか。それと比較できないか。

(b) 製品の履歴上の問題点はないか。製造方法、試験方法、使用環境、保管環境の問題はないか。写真など活用できる記録はないか。

(c) 外的要因、外部インタフェースは問題ないか。

b. 異常／故障解析

初期調査結果に基づき、FTA、回路解析などにより異常／故障解析方法の検討を行い、関係部門確認の上、異常／故障解析に移行する。

異常／故障解析の方法は予測される異常／故障モードに対応しそれぞれ異常／故障解析手順を検討し、設定する。

一つの異常／故障モードのみ想定しその異常／故障モードにのみ対応する異常／故障解析手順を設定すると、他の異常／故障モードが見失われる可能性があり、特に最初の段階は大きな網を掛けて調査を行う。

解析手順は、以下の(a)～(f)のようなフローにより真の原因を逃さない工夫が必要である。

(a) 外部要因の調査

(b) 外観検査／確認

(c) 異常／故障部位特定のための調査（再現性確認など）

(d) 異常／故障部位の内部解析

- (e) 異常／故障部位の分解解析
- (f) 原因推定

部品・材料の異常／故障が発生した場合の具体的な故障部品・材料の解析ステップは、一般的に次のようなステップで行われる。

- (a) 予備解析： 現物並びに発生状況の確認、周辺情報、過去のデータ（類似データを含む）の整理、疑わしい原因、メカニズムなどの推論
- (b) 非破壊的な外部からの解析： 光学顕微鏡、電氣的測定、X線透過、ステレオ記録写真、リークテストなどによる解析、ホログラフ解析
- (c) 半破壊的解析： 開封状態で行う各種内部測定、プローブ（探針）による電氣的検査など
- (d) 検査： いわゆる解剖、切断、エッチングなどに伴う測定や材料の精密検査というステップを踏む。これは人間の病気・死亡原因の解析と本質的に変わらない。（マクロからミクロの解析に移行していく）

異常／故障解析は、1つ1つのステップを確実に実施して慎重に進めなければならない。特に解析が半破壊→破壊へと進むにしたがって、元の状態に戻すことは不可能となるため、ステップ毎に最大限の情報を得るように努めなければ、真の原因究明は困難である。ここでは、故障解析手順の例を2つ示す。

半導体デバイスの一般的な故障解析手順を図3. 39-2に示し、機器レベルから部品（コンデンサ）レベルまでの故障解析手順の例を図3. 39-3に示す。

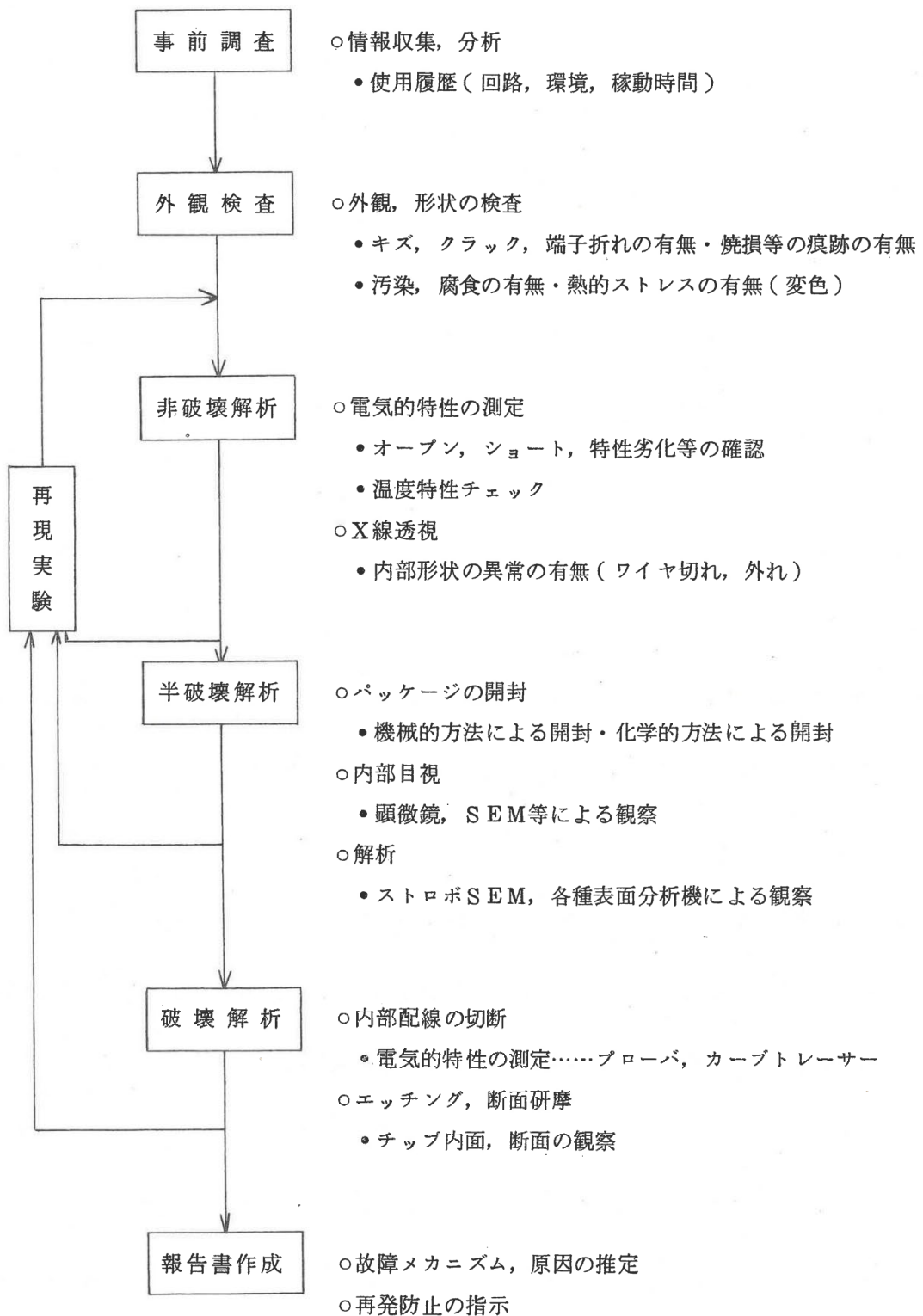


図3.39-2 半導体デバイスの故障解析手順 (例)³⁾

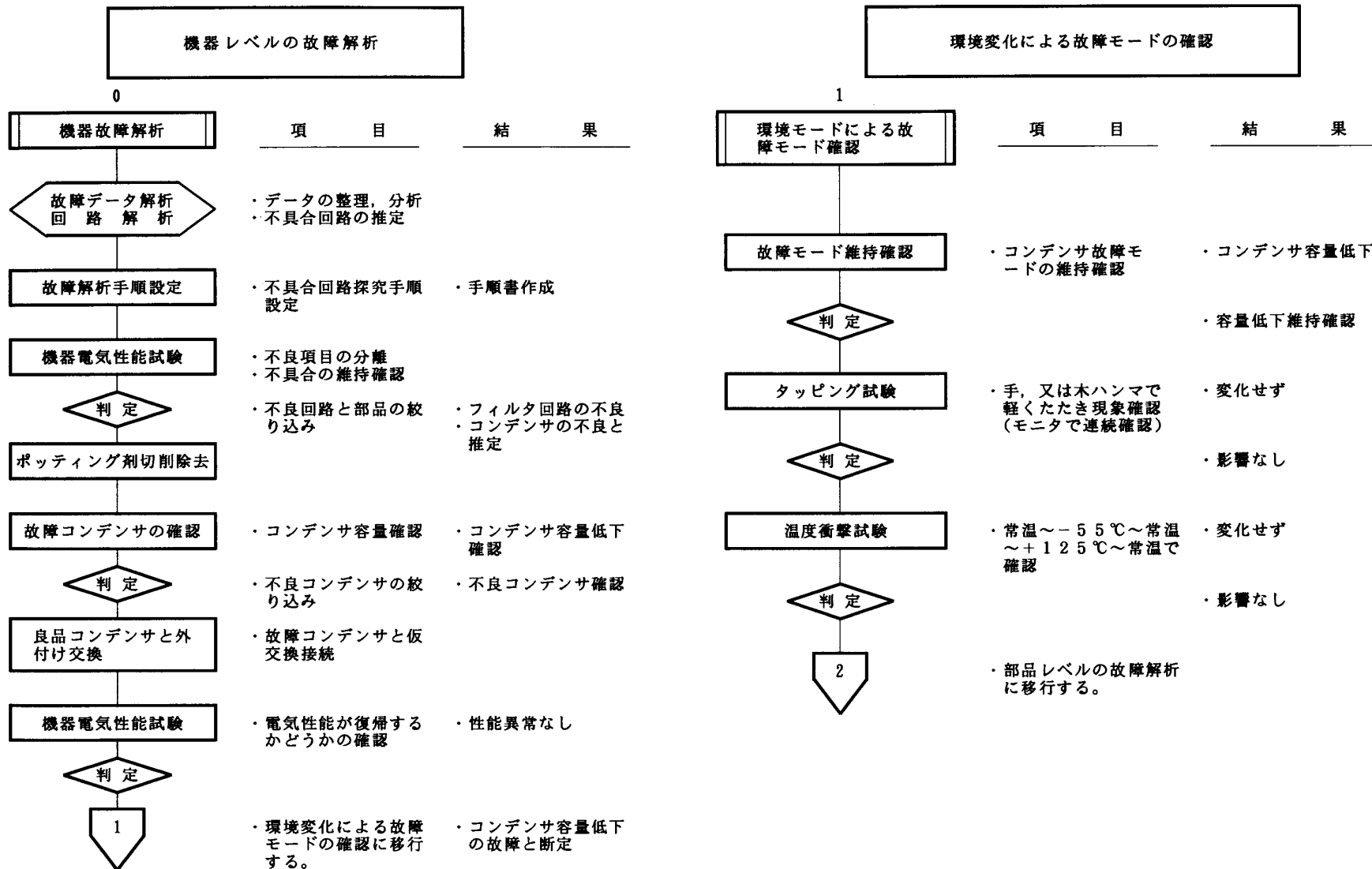


図3. 39-3 機器レベルから部品（コンデンサ）レベルまでの故障解析手順（例）（1/2）

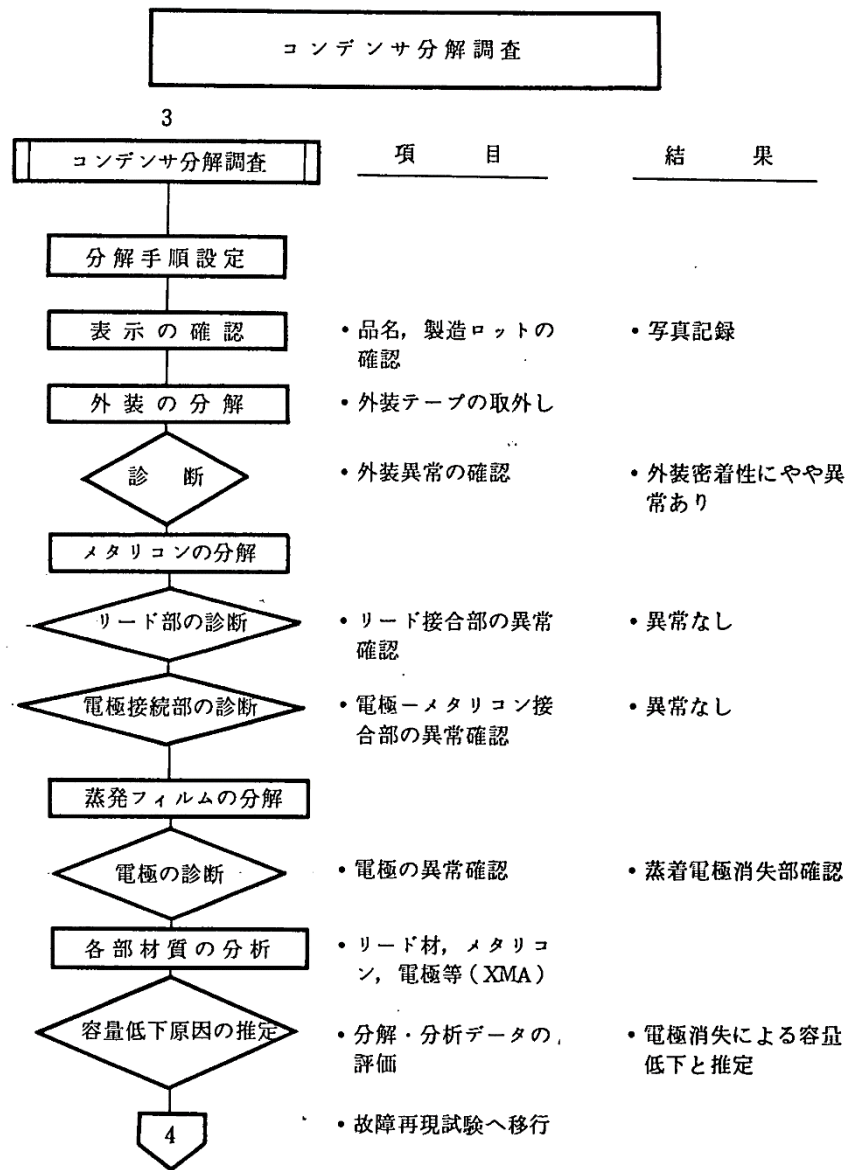
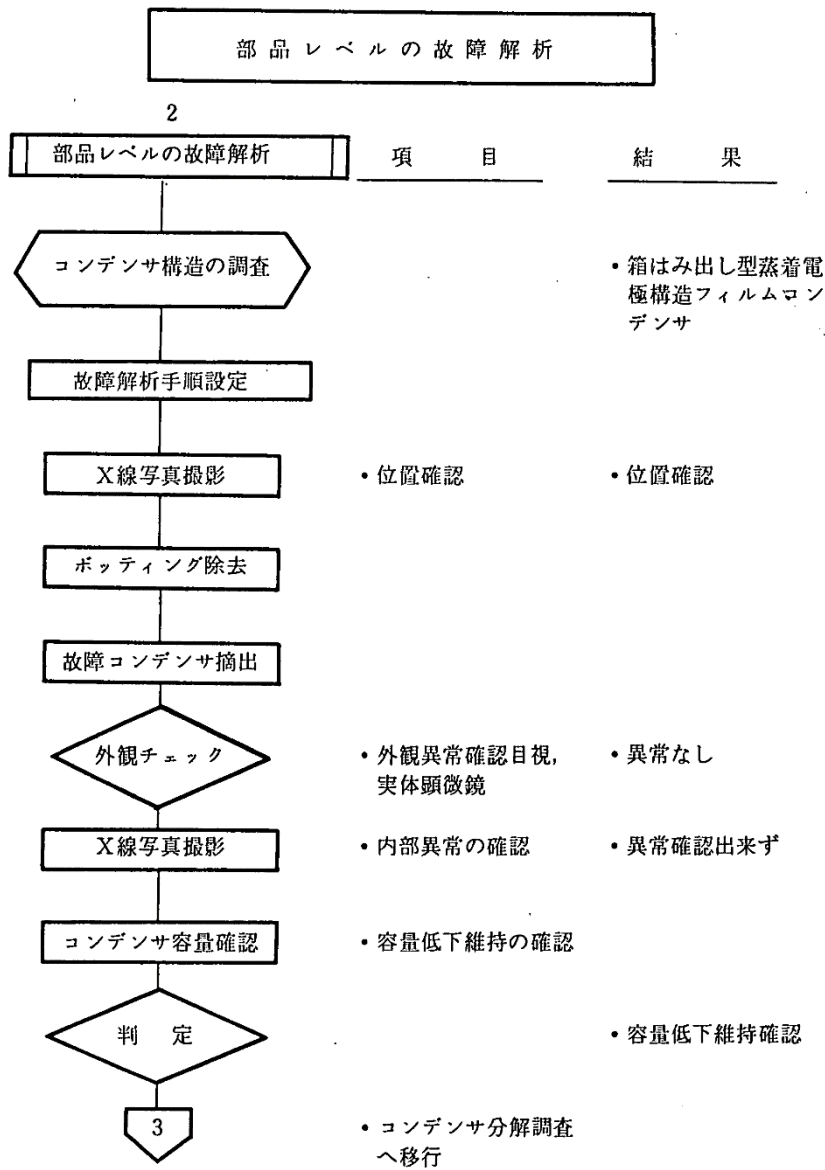


図3. 39-3 機器レベルから部品 (コンデンサ) レベルまでの故障解析手順 (例) (2/2)

c. 原因の究明／検証

異常／故障解析結果に基づき、原因の推定を行い、確定する。故障原因の究明は、あらゆる故障解析結果と過去の類似データ及び仮説の立証データを基に専門知識有識者を加えて十分な検討を行い正確な判断で究明されなければならない。

この際、再現実験などによる原因の確認が有効でかつ必要な場合がある。再現実験は仮説モデル（原因系の要因、水準及び結果）を固有技術的な理論式、多変量モデル、ストレス・強度モデル、累積損傷モデルなどにより設定し、実施する。

d. 対策、是正処置の実施

対策、是正処置は、故障の再発防止が確実になされる方法で、また迅速かつ低コストで実施されることが望ましい。なお、是正処置の効果をある期間収集し、適切な処置がなされたかフォローする必要がある。

対策、是正処置の具体的手順は、状況を良く踏まえて応急対策、恒久対策及び関連機器などについて検討し実施しなければならない。

異常／故障解析の総合評価のポイントとしては、次の項目がある。

- (a) 一連の解析が的確に実施されたか。また、その手順や手法は妥当か。
- (b) 解析が独善的でないか。
- (c) 解析は、解析能力を十分に持った人が必要な部門の支援を得て実施しているか。
- (d) 原因は徹底的に探求され、真の原因が究明できたか。
- (e) 解析結果が第三者（他部門）の審査を受けているか。
- (f) 解析結果は、当該品（ハードウェア、ソフトウェア）の処置に結びついているか。
- (g) 故障の再発防止策は、確実に手順書などに反映されているか。
- (h) 再発防止策は、類似品に対しても適用されているか。

(2) 故障解析実施時の注意事項

故障解析を実施する上で特に重要な事項を次に示す。

- (a) 解析過程で、傷、曲げ、変形、変色などの破壊や、特に電子デバイスの静電破壊などの新しい欠陥を発生させないように分解するなど、解析には十分注意しなければならない。また、解析過程で、解析前の分析が不十分であると、解析手法の選択を誤り、不具合現象を消滅させる恐れがある。したがって不具合発生状況を十分調査、把握し、モニタなどの観察に留意するとともに、分解前に解析手法を十分検討しなければならない。
- (b) 潜在的故障原因及び実際の故障原因が明らかとなり対策を行う場合、その対策が新しい種類の故障原因を作らないよう十分注意しなければならない。

らない。

- (c)解析した内容は詳細に記録・保存し十分活用しなければならない。科学的に十分究明されていない分野の現象が故障の原因となっている場合は、過去の経験が非常に役立つ。
- (d)着目している部品・材料に故障原因があるのではなく、他の原因のためにその部品材料が故障する場合がある。周辺に存在する真の故障原因を見落とさぬよう、特に注意を要する。
- (e)解析結果に基づいた対策の「効果」を確認する。
- (f)対策の「効果」を総合的に表現する故障率を求める場合は、動作条件、環境条件、試料数及びコンポーネント時間などの各条件を明確にして実験を行わなければならない。結果を記録し、後日得られるフィールドデータと対比して試験評価方法並びに故障率推定法の考察にも活用すべきである。

(3) 故障解析用設備

故障解析を実施する上で各種の装置が必要となる。
主な故障解析用設備の特徴と用途を表3.39-1に示す。

表3. 39-1 故障解析用設備の特徴と用途(1/3) ⁴⁾

	装置名	特徴	用途
(1) 観察用装置	実体顕微鏡（低倍率）	総合倍率：×4～120	欠落部分の観察
	金属顕微鏡（高倍率）	総合倍率：×50～1,500	欠落部分の拡大、観察
	万能投影機	倍率：×5～1000光電・マイクロメータ式	外形欠落の検出（同心度、真円度 など）
	走査型電子顕微鏡（SEM）	分解能：4～10nm ：×10～300,000	欠落部表面の拡大、観察、マイクロ表面解析
	透過電子顕微鏡（TEM）	分解能：0.14～0.34nm 倍率：×50～1,650,000	半導体材料中の結晶欠落、結晶構造の解析
	表面温度分布測定装置	測定温度範囲：-40～2,000℃ 温度分解能：0.05～0.2℃	異常温度（発熱）部分の検出
	ステレオ・カメラ	総合倍率：1倍前後	凸凹のある部分の立体写真撮影
(2) 電気特性測定用装置	カーブトレーサ	2～3ピン素子、リニアIC、デジタルIC	ピン間の電気特性チェック
	ICテスタ、LSIテスタ	24～512ピン	IC、LSIの特性チェック
	LCR測定器	120Hz～10MHz	L、C、Rの電気特性チェック
	絶縁抵抗計	10～1,000V、 5×10 ⁵ ～2×10 ¹⁶ Ω	絶縁チェック
	ミリオームメータ	1kHz、1mΩ～100Ω	微小（接触）抵抗チェック
(3) 分析用装置	pHメータ	0～14pH、 分解能：0.01～0.001pH、 手動・自動	酸、アルカリ性のチェック
	ヘリウムリークディテクタ	最小検知リーク量： 2.6～6.6×10 ⁻⁹ Pa・L/sec	リーク部位の検出
	赤外分光光度計	分解能：5,000～0.04cm ⁻¹	有機物の材料分析
	X線マイクロアナライザ（XMA）	分解能：6μm～10μm 分光器数：2～5、 ⁵ B～ ⁹² U	微小領域の元素分析
	ガスクロマトグラフ	検出器：TCD、FID、FpD、ECD、FTD	希ガス、炭化水素などの化学反応を起こさない物質の分析
液体クロマトグラフ	流量：0.1～9,900μL/min、 最高吐出圧：4.90×10 ⁷ Pa (500kg/m ²)	液体の分析	

表3. 39-1 故障解析用設備の特徴と用途(2/3)

	装置名	特徴	用途
(4) 非破壊検査装置	X線検査装置	10～150kV/0.5～30mA、 解像度：10μm以上	部品内部の異物、異常の検出
	中性子線検査装置	～25MeV、数百μA～、 1×10 ⁵ n/cm ³ ・S以上	火工品内部の欠陥検出
	超音波探傷試験装置	3～20kHz連続可変	材料欠落、傷の検出
	磁粉探傷試験装置	最大極化電流3,500～6,000A	磁性体の欠落、傷の検出
	浸透探傷試験装置	染色浸透法、蛍光浸透法	材料表面に開口している欠落の検出
(5) 解析用試料作成設備	精密低速切断機	0～300rpm	解析試料の切断
	樹脂埋込機	油圧手動式、空圧自動式	解析試料の作成
	研磨機	シャフトギヤ・ドライブシステム（モータ直結）	解析試料の研磨
	プラズマリアクタ	低温灰下用、0～500W、 1～3チャンバ	プラスチック・パッケージの樹脂を灰化し除去する。
	真空蒸着装置	2.7×10 ⁻³ Pa 以下	カーボン蒸着及び金蒸着 電子顕微鏡用試料面の帯電防止
(6) 各種試験設備	真空恒温槽	40～200℃、133Pa～101.3kpa	熱真空試験
	超低温恒温槽	-85～180℃	低温試験
	恒温試験装置	室温～500℃	高温試験
	恒温恒湿槽	-70～100℃、30～98%RH	温度湿度試験
	プレッシャ・クッカ試験装置	100～160℃、 101.3kPa～607.8kPa、 標準、防滴、湿度可変	高温加圧湿度試験 耐湿性テスト
	振動試験装置	10～2,500Hz、1,760N～ 2,940N	振動試験
	ランダム波振動試験装置	5～4,000Hz	ランダム波振動試験
	衝撃試験機	98～196,000m/s ² 0.1～3mm/sec	衝撃試験
	アウトガス測定装置	1.33×10 ⁻³ Pa以下	有機材料からの放出ガス量及び再凝縮量の測定
	真空熱天秤装置	秤量1gMAX、感度1μg	有機材料の熱真空中でのアウトガス量の経時変化を測定

表3.39-1 故障解析用設備の特徴と用途(3/3)

	装置名	特徴	用途
(6) 各種試験設備	引張試験装置	$9.8 \times 10^{-3} \text{N} \sim 9.8 \times 10^4 \text{N}$	各種材料、溶接、はんだ付けなどの接合部の引張り、又は圧縮強度の測定。
	ボンディング強度試験装置	0.02~0.15N	ICなどのボンディングワイヤ強度測定
	加速度試験装置	0~1,225N	部品、装置の加速度試験
	熱衝撃試験装置	-70℃~+250℃	部品及び材料の熱歪による劣化及び特性の変化を評価する。
	PIND試験器	40~250Hz、0~196m/s ²	微小異物検出
(7) その他の設備	写真撮影装置	35mm、10.16cm×12.7cm (4"×5") など	欠落部分の撮影
	キャップオープナ	手動式、電動式 3.2mm~25.4mm	キャンタイプ・パッケージの開封
	フラットパックオープナ	フラット・パッケージIC	フラット・パッケージの開封
	プラスチックオープナ	IC、LSI、VLSIなど パッケージ形状:DIP、FP、SIP など	プラスチック・パッケージの開封
	超音波洗浄機	28kHz、50~200W	試料の洗浄
	排気装置	10~30m ³ /min排気風量	有機ガスの排気

- (4) 異常／故障解析に対する重要ポイント
- a. 設計上のレビューポイント
 - (a) 部品のディレーティング、材料の強度、安全率は十分か。
 - (b) 設計回路の誤り、強度計算の誤りはないか。
 - (c) 適用部品、材料の材質の品質水準は十分であるか。
 - (d) 部品のパラメータ、材料強度のバラツキを許容しうる設計か。
 - (e) 環境ストレスに耐えうる設計であるか。
 - (f) 故障状況を引き起こす原因の推定（FTA手法の活用）
 - (g) 電食を起こすような材料の接続が行われていないか。
 - (h) ネジなどの締め付けトルクに問題はないか。
 - (i) データのトレンドに異常は認められないか。
 - (j) 設計上クリティカルな部分を把握しているか。
 - (k) インタフェース設計に問題はないか。

 - b. 検査／試験上のレビューポイント
 - (a) 環境印加レベルは、規定どおりか。
 - (b) 試験実施手順は、規定どおりか。
 - (c) コネクタなどの接続は十分なされているか。
 - (d) 配線誤りはないか。
 - (e) 通常と何か変わったことはないか。
 - (f) 外観異常はないか。（変形、変色、発錆など）
 - (g) 分解前に、異常の有無を確認しているか。
 - (h) はんだ付けは正常になされているか。（ブリッジなど）
 - (i) 部品の欠落及び部品の取付けは正常か。締め付けトルクは正常か。
 - (j) 測定系に異常はないか。また、データのトレンドに異常はないか。
 - (k) 部品のゆるみ、ガタ、材料にクラックの発生などはないか。

 - c. 作業上のレビューポイント
 - (a) 作業手順とおりに作業を実施したか。
 - (b) 作業手順以外の作業を実施していないか。
 - (c) はんだ付けは正常に実施したか。
 - (d) 締め付けトルクは規定どおりか。
 - (e) 取り扱い中に異常なことはなかったか。

 - d. 信頼性品質管理上のレビューポイント
 - (a) 以前に同様の異常／故障は発生していないか。
 - (b) 故障発生前後のデータに異常はないか。
 - (c) 故障機器の履歴はどうなっているか。

- (d) 機器のクリティカル部分を把握しているか。
 - (e) 購入部品、材料に問題はないか。(ロット性など)
 - (f) 信頼度の計算結果は妥当な値であるか。
 - (g) 検査工程及び検査内容は適切か。
 - (h) 故障率の大きな部品を把握しているか。
 - (i) 再発防止対策は、安全か。
 - (j) 異常の検出方法(モニタ項目)は十分であるか。
 - (k) 故障原因は、真の原因かどうか。(第1次原因の明確化)
 - (l) FMEAは、想定される現象について検討されているか。
 - (m) 他機器で同様の故障はなかったか。
 - (n) FTAなどで故障の原因を予測しているか。
- e. 異常/故障解析(トラブル・シュート)上のレビューポイント
- (a) 故障発生状況(場所、日時、環境、稼働時間、発生工程、発生個数、再現性の有無)はどうか。
 - (b) 測定系、測定方法に問題はないか。
 - (c) 故障部品又は欠陥部分はどこか。
 - (d) トラブル・シュートの各作業ごとに現象の維持を確認しているか。
 - (e) トラブル・シュートの実施方法は、各関係部門と連携して決めているか。
 - (f) 破断面の保存、取り扱いに注意されているか。
 - (g) 分解前に異常現象の再現性などの検討を行っているか。
- (5) 故障解析用設備の使用例及び結果の考察例
- a. 破断面の解析例
- (a) 概要

故障解析用設備の中で欠陥部を拡大してミクロな面から解析をする装置に電子顕微鏡がある。この中で走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた破断面解析実施例を示す。
 - (b) 事例の説明

ボルト破断の原因調査(表3.39-2、写真3.39-1)

試験中にボルトが破断したため、破断面解析により原因を調査したところ片振り曲げ応力の繰返しによってクラックが進行して破断したことが判明した。

次に詳細な解析内容を示す。

ア. 調査結果概要

調査したボルトは、いずれも疲労によりクラックの進行を示す明瞭なビーチマークが観察された。ビーチマークは谷底を起点として

片振り曲げ応力の影響を受けているが、ボルトの取付け位置関係が不明であり、どの方向の応力によるかの断定は出来なかった。

材料的には顕微鏡組織、硬さ測定結果に異常な点はない。またネジ部についても加工形状不良や有害な傷は観察されなかった。

クラックが発生していたのは、No. 1のボルトが頭部方向から数えて5番目、No. 2のボルトはやはり5番目であった。

イ. クラック発生原因の推定

ボルトの破面に現われたビーチマークは、非常に明瞭に観察された(写真3.39-2)。疲労の起点は、ネジ底で、一方向からの片振り曲げ応力の繰り返しによってクラックが進行したものであるが、クラックの発生位置が5番目のネジ底であり、この位置に最大応力集中点となったのはボルトの長さ、組立て方法など必ずしもベストの状態ではなかったものと考えられる。

No. 2のボルトは疲労破面が3.9mmの深さに達しており谷底直径(5.2mm)に対して75%に相当するが、まだ破断しておらず、負荷応力は比較的低いものとする。

表3. 39-2 No. 1ボルトのクラック調査結果

項 目	調 査 結 果	備考
1. 不具合状況	1) クラックはボルトの頭部側の5-6番目のネジ底に発生している。 2) クラックの進行はネジ底全周ではなく、一方向からである。 3) ネジ底にオーバーロードを示すような変形は観察されない。またクラック発生箇所も含め有害な加工傷はなかった。	写真 3. 39-1 参照
2. 破面のマクロ観察結果	1) 破面には、疲労破壊を示す特徴的なピーチマークが観察される。 2) ピーチマークはネジ底を起点として一方向から進行しており、片振り曲げ疲労であることを示している。 3) クラック深さは、No. 1が1.8mm、No. 2は3.9mmであり、それぞれネジ底直径に対して、34%、75%である。 4) マクロ観察では、起点とその近傍に有害な欠陥は認められない。	
3. 電子顕微鏡による破面の観察結果	1) 電子顕微鏡による破面の観察結果、破壊の起点はネジ底である。 2) No. 1のボルトでは起点は複数箇所ある。 3) 疲労破壊特有のストライエーションは、粗いのと細かいピッチのものが混在しており、進行が変動していることを示している。 4) 更に前記のストライエーションの内部には詳細なストライエーションが観察される。 5) No. 1の破面には起点から1.6mm以上の深さから延性破壊時に観察されるディンプルパターンが現われており、ストライエーションと交互に層状をなしている。 6) 粗いストライエーションを計測した結果、No. 1の破面からは 85回、No. 2では129回であった。 7) このそれぞれの回数を総使用回数との関係でみると、No. 1は $85/256 \times 100 \div 43\%$ に当り、170回程度でクラックが進行したことになる。 No. 2においては $129/295 \times 100 \div 44\%$ であり、166回程度でクラックの進行となり、両ボルトのクラック進行開始がかなり近似していることが分かった。	写真 3. 39-2 参照
4. 顕微鏡組織の観察結果	1) 顕微鏡組織は正常なる調質組織である。 2) クラックの発生したネジ底部及び表面には脱炭や浸炭等の有害組織は認められない。 3) ネジ底形状については特に異常な点は見当たらない。	
5. 硬さ測定結果	1) 割れの発生した各ボルトについて硬さ測定を実施した結果、No. 1はHv330～339、No. 2ではHv313～326の範囲であり、spec要求値の上限からオーバしている。	

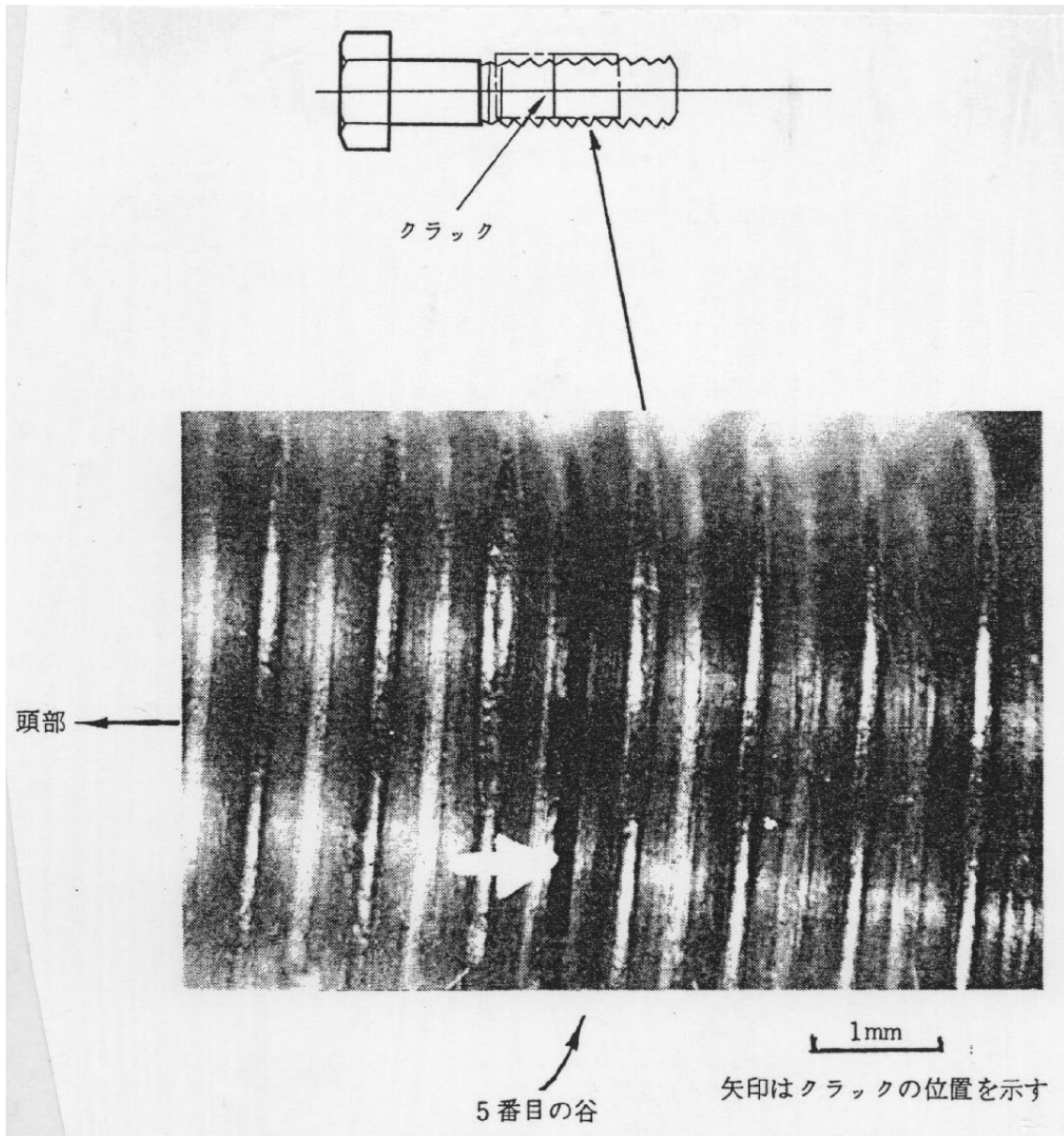


写真3. 39-1 No. 1ボルトのクラック発生状況

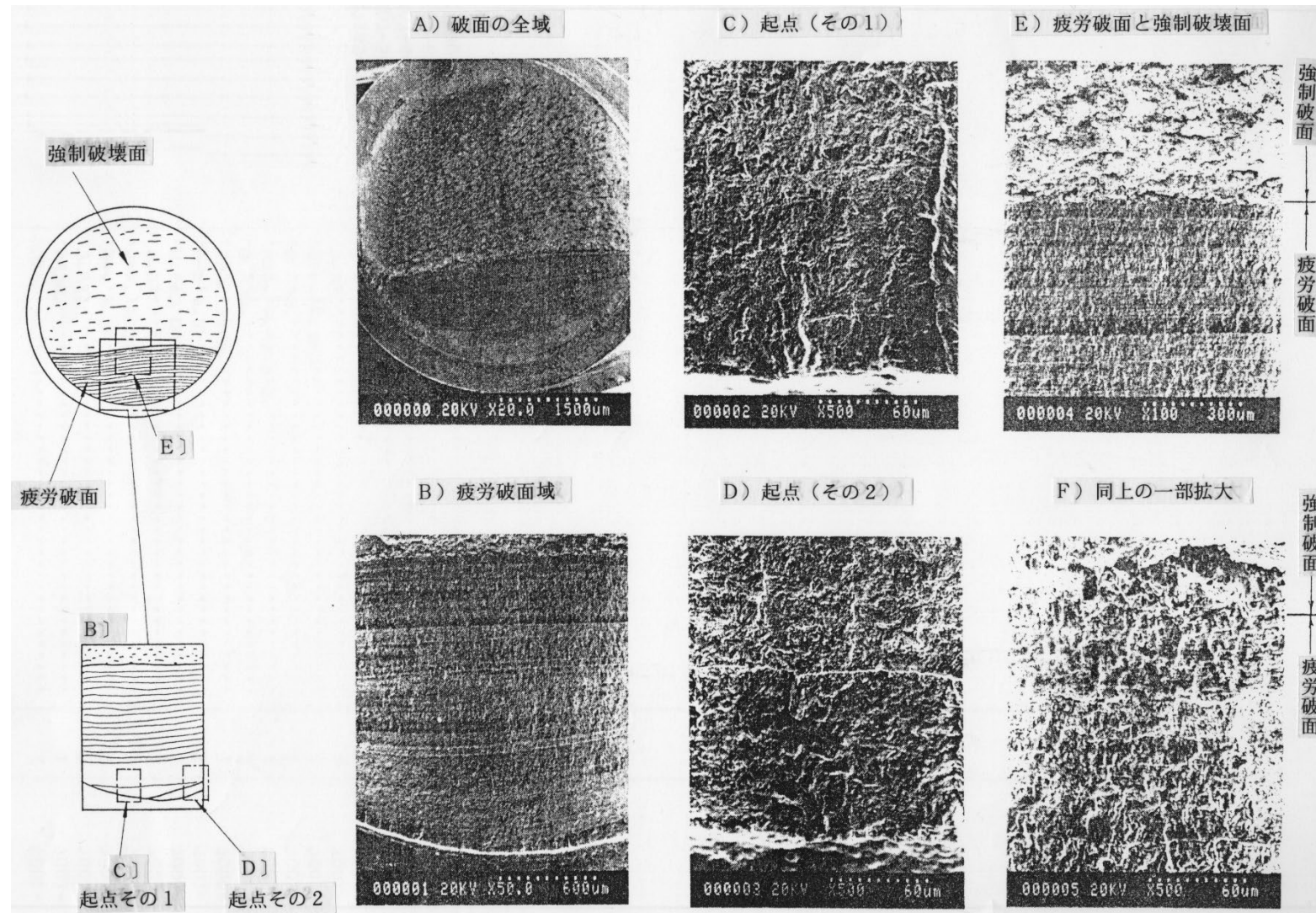


写真3. 39-2 電子顕微鏡によるNo. 1取付ボルトの破面観察結果

b. より線断線例

ミッション遂行中に異常が発生したため、回収し、現地調査したところワイヤ断線が確認された。

更に持ち帰って破断面解析を実施したところ、ワイヤ断線は、現地調査の過程で人為的に生じたものと判明した。

また、より線のはんだ付けの際、ウィッキングをしていたために断線しやすくなっていたことが判明した。(写真3. 39-3)

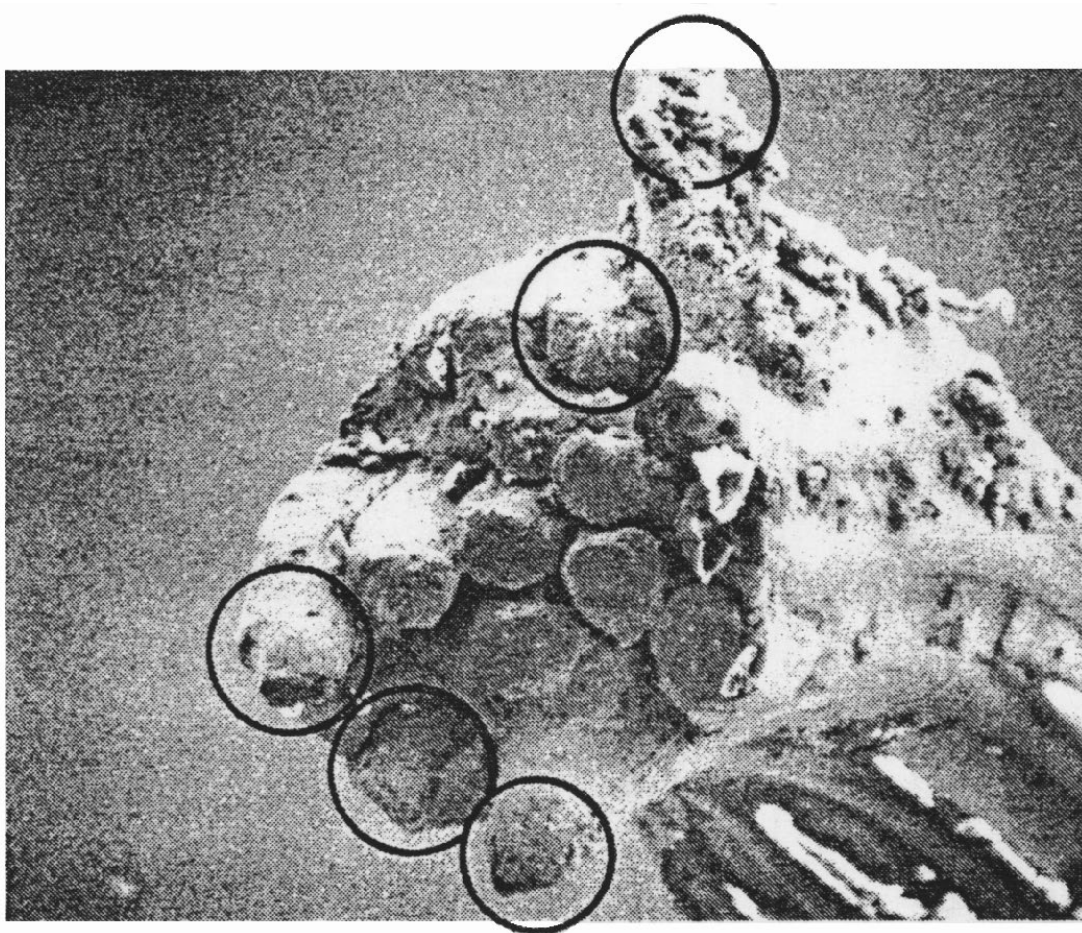


写真3. 39-3 より線破断のSEM像

c. 材料分析の例

(a) 概要

異常、故障解析の過程で、異物や異常を発見し、これらを特定しなければ原因推定が出来ない場合がある。ここでは、X線マイクロアナライザ(XMA)を用いて異物の定性分析及び材料の表面状況を分析することによって異常か否かを推定する実施例を示す。

(b) 事例の説明

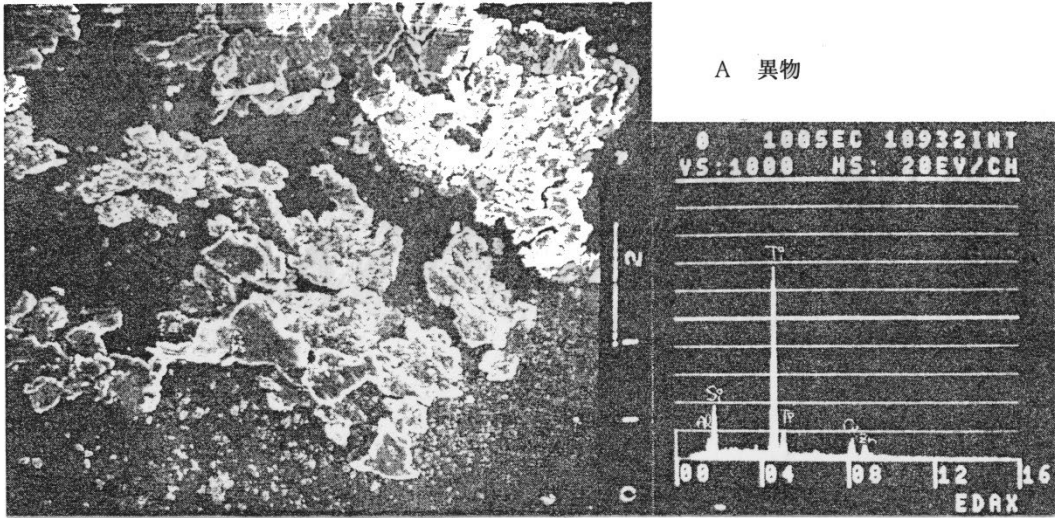
ア. 塗装異物の解析

耐振評価試験の後で、装置の内部を点検したところ異物が確認された。この異物がどこから発生し、どんな特性を持っているか特定するためにXMAで分析した結果、装置の外装に塗装している塗料であることが判明した。この塗料は装置をネジで組付ける際に、装置内に混入したものと判明した。(写真3.39-4)

イ. 鋳物の巣の解析

複雑な形状を達成するために、しばしば鋳物が使われる。この鋳物を切削加工した際にクラックのような異常を発見した。この異常をクラックか否かを特定するために、破断面解析及びXMAによる定性分析を行って、巣であることが判明した。(写真3.39-5)

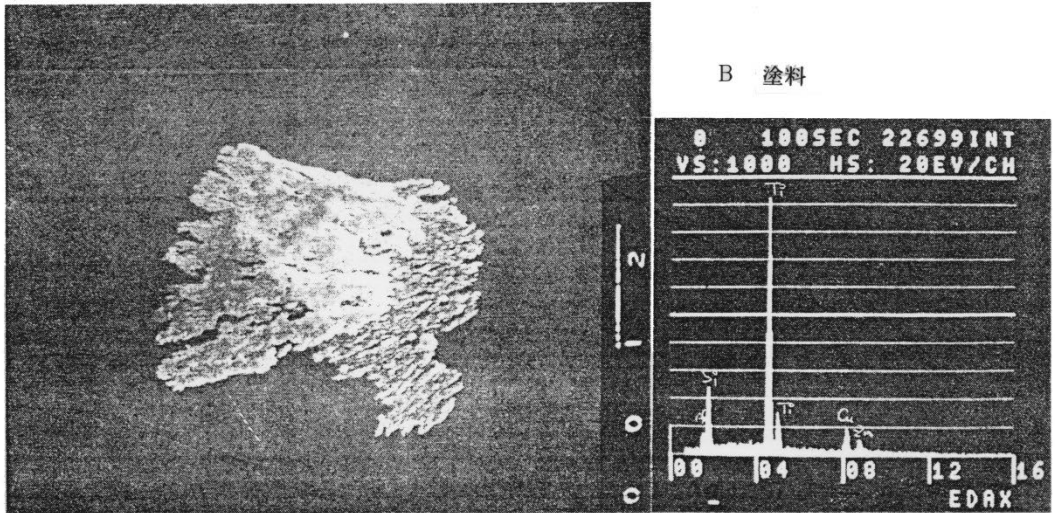
Specimen塗装粉末



A 異物

Photo.	_____	Photo.	_____
Image	二次電子像	Image	EDAX定性
Spectrum	_____	Spectrum	_____
Mag. X	100	Mag. X	_____

(注) Cu, Znはバックグラウンド

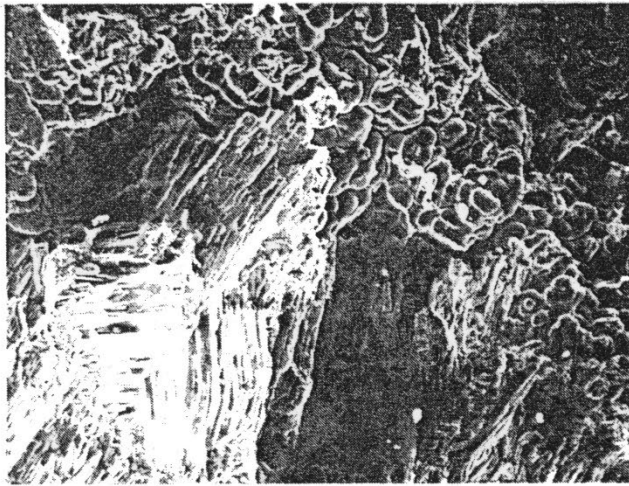


B 塗料

Photo.	_____	Photo.	_____
Image	二次電子像	Image	EDAX定性
Spectrum	_____	Spectrum	_____
Mag. X	100	Mag. X	_____

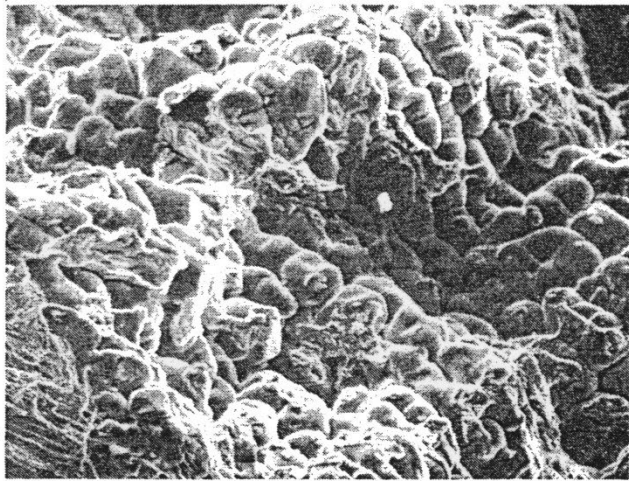
(注) Cu, Znはバックグラウンド

写真3.39-4 塗装異物の解析結果

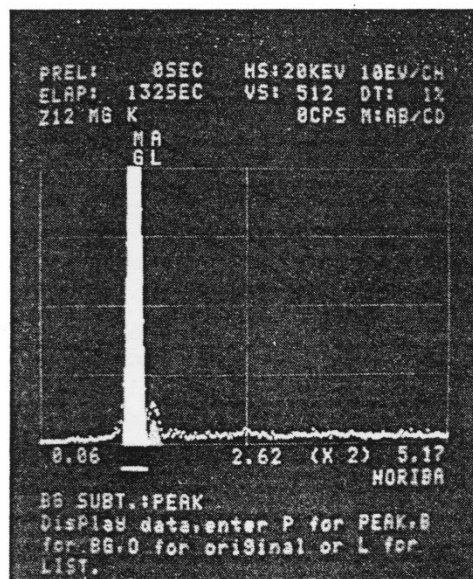


巣あり鋳物

70 X



92.8 X



定性分析

Mg 92%

Al 6%

写真3.39-5 鋳物の巣の解析結果

d. X線検査装置による解析例

概要

異常、故障解析の手順に非破壊解析がある。この解析にX線検査装置を用いた実施例を示す。

事例の説明

(a) タンタルコンデンサの良品解析

タンタルコンデンサに不具合が多発し、ロット番号の異なる物が確認されたため、ロット性の可能性を推定するべく、X線検査を実施した結果、ソリッドタンタルの形状の異なる物が発見された。この異なるコンデンサは、容量選別の段階で別のランク仕様で製造されたものが混入していたことが判明した。(写真3. 39-6)

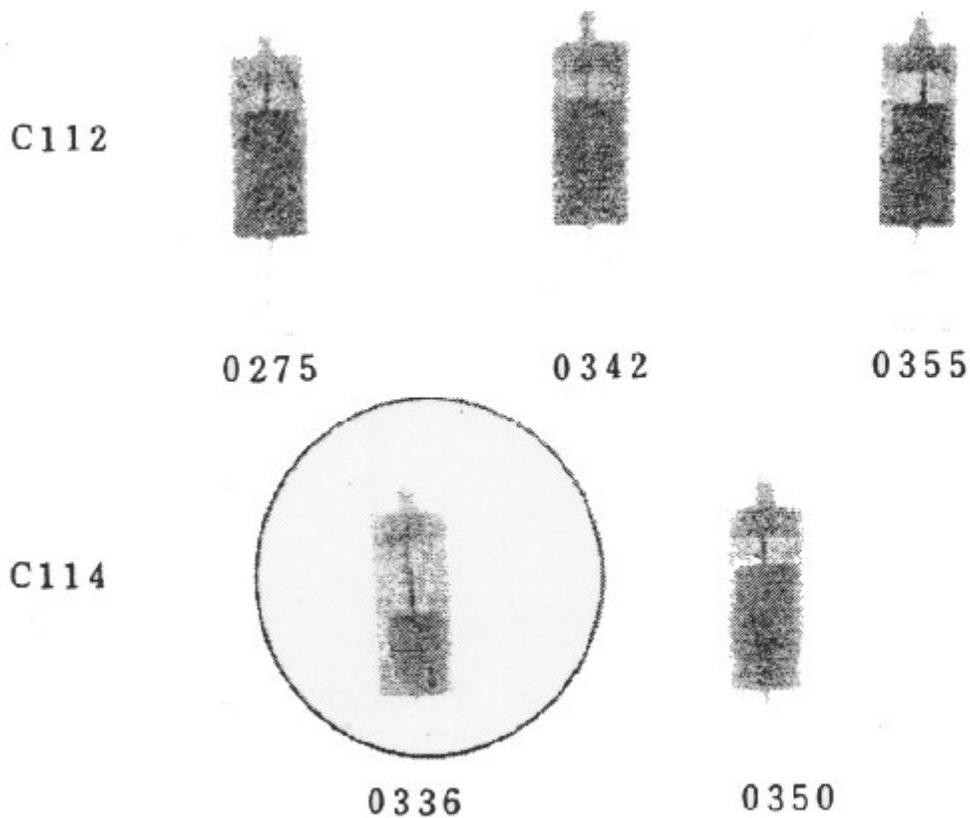


写真3. 39-6 ソリッドタンタルの形状相違

(b) ハイブリッドIC内部の異物検出

ハイブリッドICの故障解析の過程で、故障モードが不安定な現象が発生した。検討の結果導電性の異物混入が推定されたため、X線検査を実施したところ、はんだボールのような物が混入していることが判明した。(写真3. 39-7)

分解調査の結果、この異物ははんだボールであることが判明した。

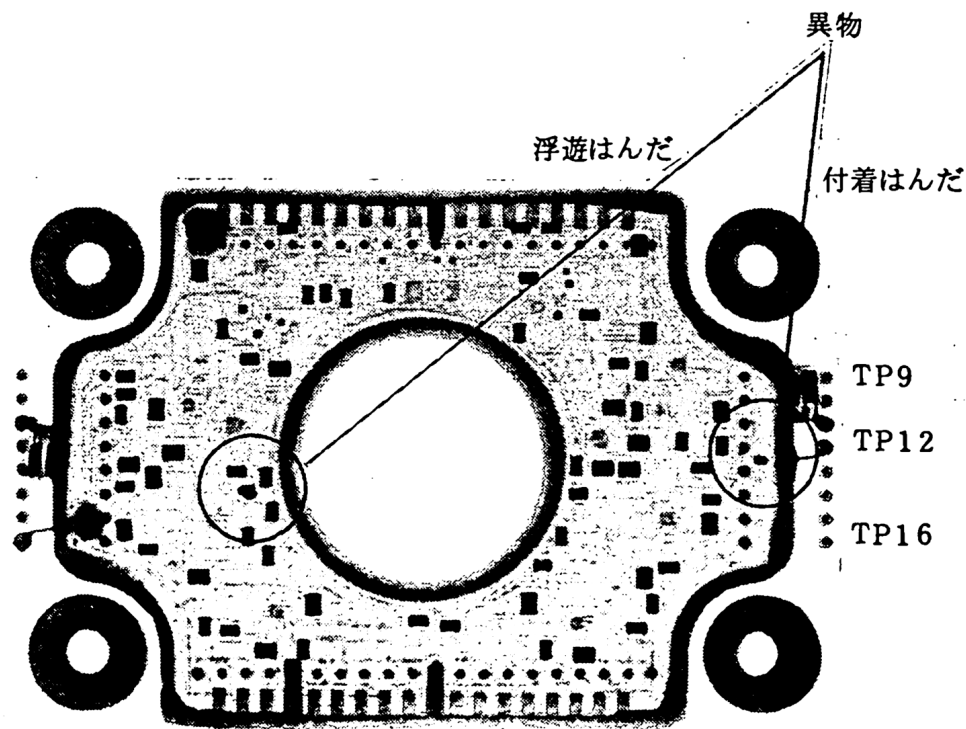


写真3. 39-7 ハイブリッドICの異物混入

実施しない場合の影響

異常／故障の解析を実施しない場合、真の原因が明確にならない恐れがある。また、信頼性の観点での審査がされず正しい処置、再発防止処置がなされない恐れがある。

参考文献

- 1) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 2) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要件JIS Q 9100)」
- 3) 故障解析ガイドブック、昭和61年、P126、日本科学技術連盟
- 4) 塩見弘，久保陽一，高橋治太郎：故障解析とその応用，1984，P202，日本科学技術連盟

3.40 異常／故障解析報告書の作成

効果

異常／故障解析報告書の作成を行うことは、発生した異常／故障現象の整理、解析手順のまとめ、解析結果の妥当性評価、処置の有効性確認に効果がある。

効果的な実施時期

異常／故障解析報告書は是正処置完了後に行う。なお、異常／故障については発生した直後に報告し、異常／故障解析結果と是正処置についてはその都度報告する。

技術的根拠

異常／故障報告書の作成方法の明確化は確実な異常故障の報告記録となり信頼性評価の重要な根拠となる。

JMR-004の対応項番

4.3.15.2 異常／故障報告

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) FTA：事後解析

実施方法

異常／故障解析報告書は是正処置完了後速やかに行うが、その報告書はJMR-005¹⁾及びJMR-013²⁾の不具合品の管理において要求されている不具合報告書と兼ねてもよい。ただし、異常／故障報告書として必要な項目は含めておくことが要求される。報告書の様式並びに項目は信頼性プログラム計画書に記述する。

異常／故障報告書に含める主要な項目は次のとおりであり、その内容は信頼性部門はもとより部品、材料、デバイスに関する部門も参画し作成、審査する必要がある。

- (1) 異常／故障報告書に含める事項

- a. 品名、部品番号、シリアル番号

異常／故障発生段階の品目の識別情報と、異常／故障の原因と識別された品目の識別情報の両方を含める。

- b. 異常／故障発生時の試験項目、試験環境

異常／故障発生時に試験していた特性項目と試験環境つまり、常温、常圧なのか温度試験、熱真空試験、振動試験などの環境試験なのか、またその条件はどのような値だったかを記述する。試験以外のときの異常／故障の場合もそ

のときの環境条件を記述する。

c. 異常／故障の現象

異常／故障の現象、そのときの試験系を含めたコンフィギュレーションの他、異常／故障に至る経過、異常／故障の原因に結びつく情報を整理して記述する。

d. 調査、解析の項目とその結果

異常／故障の原因調査のため実施した事項を時系列的に整理し述べるとともにFTAなどにより原因を絞り込んだ過程を明確にする。

この結果の中には部品、材料、デバイスの故障物理的な解析を含め原因メカニズムの妥当性の根拠を示す。

e. 異常／故障の原因

異常／故障解析の結果をまとめ原因推定の結論とその妥当性を述べる。

f. 異常／故障品目の処置内容

異常／故障品目の処置内容と処置後の確認試験内容を記述する。また、処置の妥当性について説明を加え、その中には信頼性解析の見直しを必要により含める。処置後の確認試験については原因が除去されたことの確認及び処置による信頼性品質への影響が無かったことの確認の試験として妥当であることを示す。

g. 異常／故障の再発防止処置

異常／故障の再発防止処置には次を含む。

(a) 予防のために必要な設計変更などの処置内容。

(b) 類似品目に対する水平展開計画とその状況。

(2) 異常／故障報告書作成上の注意事項

- ・ 識別情報はトレースが可能な品名、番号、環境、故障モードなどを含み、故障情報が有益な情報として整理、区分できるようにすること。
- ・ 異常／故障発生時の状況は写真、絵などで示し物理現象的に明示すること。
- ・ 原因解析は極力FTAを使用した解析を行い、FT図と各項目に対する検討結果を示すこと。
- ・ 部品、デバイス、材料の解析結果は、専門組織の意見を含みロット不良かどうかの検討結果を含めること。
- ・ 機器などの設計変更を処置する場合は、設計変更により影響する解析を行うこと。(信頼度、FMEA/FMECA、ストレス解析、WCAなど)

(3) 異常／故障解析報告書例

図3.40-1にインダクタの内部断線についての故障解析報告書を例として示す。報告書には詳細の説明資料(現象、原因調査経緯、FTA、処置手順、再発防止対策)並びに写真などの故障解析資料などを添付し故障メカニズムが明らかになるよう説明を付け加えること。

故障解析報告書		報告 部門	報告書番号	検 認	作 成			
			作成年月日					
			部 門 名					
工事件名(契約元)	()		発見年月日					
品 名	インダクタ		発見者(所属)	()				
型式(部品番号)	— ()		発見工程	QTランダム波 振動Y軸				
製 造 番 号			稼動(通電)時間	47HR				
モジュール名			工 事 番 号					
故障報告書番号等	—		そ の 他	—				
故障状況 : (区分 異常・故障) QTランダム波振動をY軸へ加振約19秒後 ① 2次電源出力が低下し、電流モニタも異常を示した。 ② 加振停止後、2次電源出力は全て“0”になった。								
解析結果 : (1)故障モード (2)故障履歴 (3)トラブルシュート (4)故障原因 (5)その他 (1)故障モード : インダクタコイルの断線 (2)故障履歴 : なし (3)トラブルシュート : インダクタの分解前調査及び分解後調査を写真1~3に示す。 (4)故障原因 : インダクタはコイルが端子板に接着固定され充填材(ウレホーム・レジン)で充填される構造であるが、接着されていなかったため振動により、コイル部が揺れ充填材とコイル周辺部に分離を生じ、これが次第に生長・拡大し、コイル部分全体が可動する状態となった。このコイルのリード(0.9φ)は端子板上の角にある2本の端子に接続されており、コイルはこの端子間に吊られた状態で振動した。この結果リードに繰り返しの屈曲ストレスが加わり、応力集中した部分が材料の疲労を起し断線に至ったと推定される。 (5)その他 : 故障の再現性と設計上の耐振性を確認するため、良品と未接着品を使い評価試験を実施した。この結果、未接着品で同一の故障モードの再現が確認された。良品は、QTレベル加振3軸計3分間及び追加のマージン試験で全く異常がなかった。以上から接着されたインダクタでは、設計上十分の耐振性があることが確認された。 別紙 : (有)・無								
是正措置 : 1. 部品入手時にメーカーデータにより、接着作業の検査記録を確認する。 2. インダクタの製造会社の恒久対策を実施させる。								
故障審査委員会	委員長	品管	検査	信管	技術	製技	試験	工作
開催日_____								

図3.40-1 インダクタの故障解析報告書(例)(1/2)

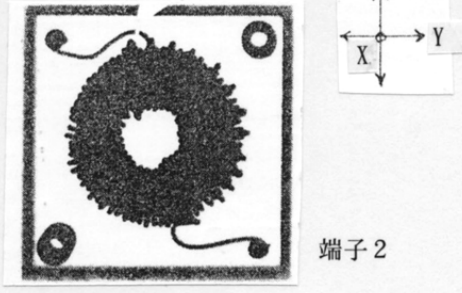
<p style="text-align: center;">故 障 状 況</p> <p>端子1 断線</p>  <p style="text-align: center;">(端子板側から透視)</p>	<p>写真1(倍率1/1)</p> <p>故障インダクタのX線検査</p> <p>インダクタの端子側から、X線透視による内部状態を調べた。 * コイルから端子1に至るリード線のコイル近傍で断線しているのが確認できる。</p> <p>* 端子1(+28V HOT END)</p>
	<p>写真2(倍率×100)</p> <p>リード線(端子側)の破断面写真</p> <p>SEMテスト</p> <p>破断面は鋭利に切断されており過電流による溶断ではなく、応力による切断であることが確認できる。破断面から破断はAからB方向に発生した事が伺える</p>
	<p>写真3(倍率-)</p> <p>破断面の材料分析結果</p> <p>XMAテスト</p> <p>破断面表面の材料はCuが検出され、他の異元素は特に認められない。</p>

図3. 40-1 インダクタの故障解析報告書 (例) (2/2)

実施しない場合の影響

異常／故障解析報告書を作成しない場合、異常／故障、解析の内容が不明確となり、真の原因の調査がされないままで終わる恐れがある。また、信頼性の観点での審査がされず正しい処置、再発防止処置がなされない恐れがある。

参考文献

- 1) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 2) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要件JIS Q 9100)」

3.41 EM段階での異常／故障の管理

効果

EMの段階は技術要求が確定できない時期であるが、異常／故障を管理することで得られる有益な情報を確実に設計に反映することが可能になり、設計品質の向上を図ることが出来る。

効果的な実施時期

詳細設計における開発試験段階で行う。

技術的根拠

開発試験時は、設計途中であり技術要求が全て確定していないため、可否を議論することができない。

しかし、意図しない動作や現象として観察された異常／故障には、設計の本質的な問題点や重要な設計、製造方法を改善する情報を与えてくれる場合が多い。

このため、詳細設計段階に設計の総まとめを行うための有益な情報を洩らさず反映することで、設計欠陥が除去できる。

JMR-004の対応項番

4.3.15.1 異常／故障管理

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 異常／故障の定義、事例
- (3) 異常／故障のフィードバック
- (4) 異常／故障報告書の作成

実施方法

EM段階での異常／故障管理の目的は基本的には詳細設計への反映であり、その主旨に沿って活動を展開する。つまり、詳細設計（PM, PFM, FM）への反映の必要性により実施の程度を決めて管理をする必要がある。必要以上にEM特有事項について異常／故障解析及びその管理を適用する必要はない。以下各段階での管理基準について述べる。

- (1) 部品／材料の受入れ検査段階の異常／故障管理

部品／材料の受入れ検査段階における異常／故障についてはフライト品との差を考慮しながら、その異常／故障がフライト品でも発生するかどうかを検討し、フライト品でも発生可能性があるものは故障解析を含め実施し、部品／材料その物への反映項目、使用上の設計、製造手順への反映をすることが有効であ

る。

特に新規開発品の部品／材料についてはEM段階で開発評価を並行して実施している場合が多く、その段階における受入れ検査において発生、発見した異常／故障については特に重要視して調査、解析を行うことが重要である。この意味でEM段階の受入れ検査項目については新規開発品という条件を考慮した検査項目の設定が有効な情報の発見に繋がる場合がある。

異常／故障発生の場合の主な確認項目は以下のとおり。

- ・ 該当異常／故障品は新規開発品か。
- ・ 新規開発品については、認定が終了しているか。
- ・ 認定以降、設計、工程等に変更はないか。
- ・ フライト品への反映項目はないか。

(2) 製造段階の異常／故障の管理

EMの製造の段階においては一般部品の偶発故障を除いてフライト品の製造段階と同様に管理する事が有効である。特にEM段階は詳細設計の確認、評価であり、製造段階における異常／故障の中に新規設計部分の問題、新規工程の問題、新規部品／材料の問題、新規部品／材料の適用上の問題等が潜んでおりそれぞれ必要な調査、解析を行い詳細設計に反映する事が重要である。

特に新規部品の適用上の問題、新規工程の問題についてはEMの製造段階において徹底した評価をする必要があり、その中で発生した異常／故障は大切な情報として積極的に活用を図り、フライト品では同様な問題が発生しないようにする必要がある。

異常／故障発生の場合の主な確認項目は以下のとおり。

- ・ 該当異常／故障品は新規設計品か。
- ・ 新規設計品の信頼性解析結果に問題はないか。
- ・ 既設計品の場合、認定以降の設計、工程等の変更はないか。

(3) 試験段階（開発試験）の異常／故障の管理

EM段階の異常／故障の管理も一般部品の偶発故障（偶発故障と判断できるところまでの調査、解析は必要）を除きフライト品と同様な管理をすることがフライト品の信頼性の確保に重要である。

基本的にはフライト品の試験における異常／故障は致命的なものになり、いかにEMの試験において、フライト品でそのままだと発生するだろう異常／故障を発見するかが重要である。その意味ではEMの試験は異常／故障を発生、発見することが目的であることを考慮した条件設定が必要である。

また、試験プログラムとしてEM段階でしか実施しない試験条件もありその条件設定及びその中で発生した異常／故障は特に重要である。

更に、EMにおける試験に対する試験者の心構えも重要である。EMでは試験者の

ちょっとした疑問も技術担当に報告するようにすること、また技術担当もできるだけ試験状況を自分の目で確認して異常／故障の発見に努めることが大切である。

異常／故障発生の場合の主な確認項目は以下のとおり。

- ・ 該当異常／故障個所は新規設計か。
- ・ 該当異常／故障個所に与えた環境試験条件は評価済みか。
- ・ 既設計個所の場合、認定以降の設計、工程等の変更はないか。
- ・ 該当異常／故障により信頼性解析への反映項目はないか。

(4) 異常／故障の反映

EM段階の各フェーズの異常／故障は詳細設計又はPM／PFM／FM段階の工程又は管理に反映をし、フライト品の信頼性の確保を図る。

EM段階の異常／故障については確実に設計に反映し、随時得意先と協議し、最終的には詳細設計審査において審査を受ける。

実施しない場合の影響

EM段階で異常／故障の管理を実施しない場合、詳細設計への反映ができずPM／PFM／FMのフェーズ又は軌道上で同様の異常／故障が発生する可能性がある。

参考文献

なし

3.42 異常／故障のフィードバック

効果

異常／故障のフィードバックには種々の段階つまり、発生した品目の設計、製造への反映（是正処置）、類似の品目への反映、故障解析結果情報に基づく次の設計への反映、及び信頼性解析（信頼度、FMEA/FMECA、FTA、WCA）への反映等があり、品目の信頼性確保に直接、間接的に効果が大きい。また、このような活動を実施する姿勢は組織の信用に大きく影響を与える。

効果的な実施時期

異常／故障のフィードバックは可能な限り早く実施することが効果を生む。特に類似品への反映は異常／故障が発生した品目への処置が完了しだい速やかに又は並行して実施することが必要である。

技術的根拠

異常／故障のフィードバックは信頼性の成長の根拠となる。つまり、経験した異常／故障を設計に取り込むことが品目の信頼性を向上させる。

JMR-004の対応項番

4.3.15.1 異常／故障管理

関連の深い信頼性業務

- (1) 故障モード情報の収集
- (2) 詳細FMEA/FMECA
- (3) FTA：事前解析
- (4) FTA：事後解析
- (5) ワーストケース解析
- (6) 信頼度予測：部品点数法
- (7) 信頼度予測：ストレス解析法
- (8) 信頼度予測：試験データによる評価法

実施方法

異常／故障のフィードバックのステップは図3.42-1に示すように、当該品目へ反映、既完成品への反映、類似品への反映、次の設計への反映、その後の信頼性解析への反映等があり適切に実施する必要がある。

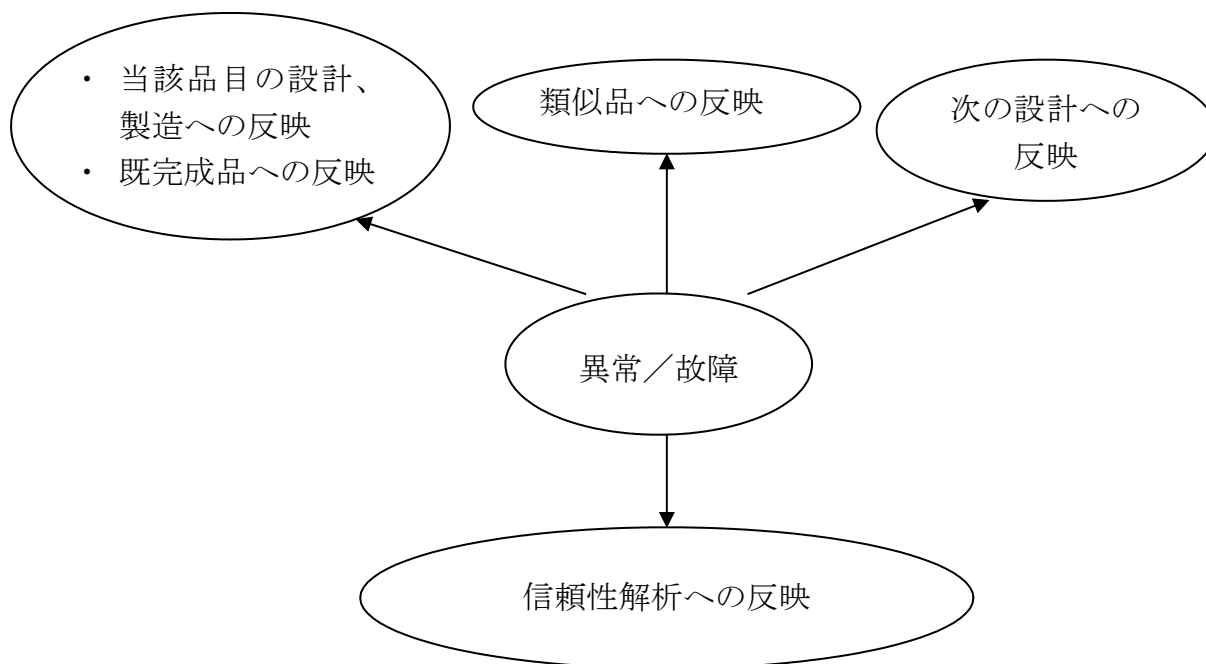


図3.42-1 異常／故障のフィードバックのステップ

(1) 当該品目の設計、製造への反映

異常／故障が発生した品目の設計（機械、電気、ソフトウェア）に対して直接的な反映は固有技術的に真の原因に対して適切に実施する。具体的には、製造設備の改善や工程の改善、技能の向上、工程管理にフィードバックされる。使用方法や保全方式の改善、人間工学的設計、教育・訓練に持ち込む場合もある。また、試験・検査・解析装置、試験設備の改良や増設を促す場合、更には異常／故障処理管理方式、報告様式、データ収集方法の改善にも必要により手を打つべきである。なお、既完成品があれば同様に処置する。

(2) 類似品への反映

類似品への反映は異常／故障のクリティカリティ、原因調査の正確度、当該品目に対する処置の程度により対象範囲を決定する。

処置についてもその対象物の使用状態により実施時期、実施後の確認項目を個別に検討する。

(3) 次の設計への反映

同一品、類似品ともそれらの使用状況により処置が制限される場合があり、次の設計への反映項目、必要ならばその他製造及び管理についても反映事項を検討する。

(4) 信頼性解析（信頼度、FMEA/FMECA、FTA、WCA）への反映

異常／故障情報は信頼性解析のための情報となり、信頼度の見直し、FMEA/FMECAに於ける故障モード、故障メカニズム、故障の影響度や発生頻度への反映、FTAにおける基本事象への反映、WCAにおける特性変動要因への反映を行うことが必要である。

これらの情報の積み重ね及びその反映が信頼性を向上させる。

実施しない場合の影響

異常／故障のフィードバックが実施されない場合、同一品、類似品に対する対策処置が不十分になる恐れがある。また、次の設計に反映されないため同じ異常／故障が再発し、信頼性の乏しい製品となる。

また、異常／故障の情報を活用し事前解析をしないと信頼性設計への取り込みができない恐れがある。結果として「経験を活かすことが出来ない」あるいは「成長しない」組織という悪評をこうむることにつながる。

参考文献

なし

3.43 特別な管理を要する品目の識別

効果

特別な管理を要する品目には、クリティカル品目(Critical Item: CI)及び信頼性管理品目(Reliability Control Item: RCI)がある。何れも品目を選定して、それに対する管理、評価を行うことにより信頼性を確保する品目である。

クリティカル品目については、クリティカル品目を早期に識別し、設計、製造、試験、検査、運用において図面、仕様書及び手順書等に対策を講じることによりミッションの失敗又はシステムの喪失の可能性を低減することが出来る。また、信頼性管理品目については、システム設計の結果配分されたコンポーネントを対象に、製造、検査、試験及び運用の各段階において、重要な特性を管理することにより、システムの信頼性を確保することができる。

効果的な実施時期

クリティカル品目は設計の初期段階に識別し、設計の進捗状況に合わせて適時見直す。

信頼性管理品目は、基本設計段階で設定し、詳細設計においてEM試験結果、各コンポーネントの要求仕様の確定を受け、決定する。

技術的根拠

クリティカル品目は、故障すると人命、重要な財産及びミッションの喪失となる品目、あるいはミッションの達成に重大な影響を及ぼす品目、並びにプロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目である。それらを識別し、対策を講じることによりミッションの失敗又はシステムの喪失の可能性を低減することが出来る。

また、信頼性管理品目は、製造、検査、試験及び運用の各段階において、重要な特性を管理(寿命、周波数、初期故障除去のための作動時間等)することにより、信頼性を保証する必要がある品目である。システム設計の結果、配分される機能/性能を有するコンポーネントのうち、ミッション達成に対し、信頼性の観点から重点的に管理する品目を選定することにより、効率よくかつ、確実に信頼性を確保する。

JMR-004の対応項番

4.3.16 特別な管理を要する品目

関連の深い信頼性業務

- (1) 寿命解析
- (2) クリティカル品目リスト(CIL)の作成、維持

- (3) トレンド解析
- (4) 信頼性管理品目リストの作成、維持
- (5) 機能FMEA/FMECA
- (6) 詳細FMEA/FMECA
- (7) 保全性

実施方法

特別な管理を要する品目には、クリティカル品目及び信頼性管理品目がある。何れも品目を選定して、それに対する管理、評価を行うことによって信頼性を確保する品目である。特別な管理を要する品目の関係を図3.43-1に示す。その識別・管理フローを図3.43-2に示す。

また、各品目の識別方法について（1）項及び（2）項に示す。

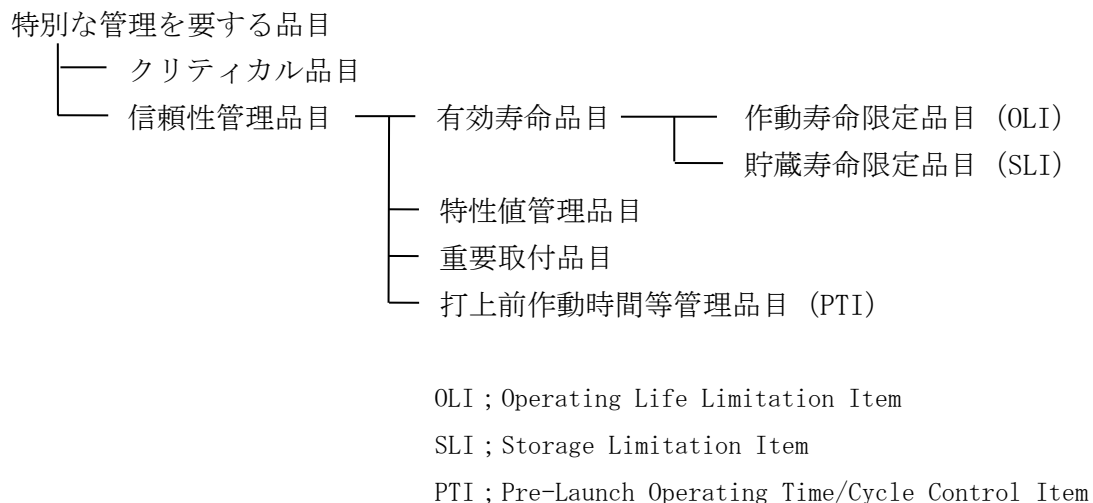


図3.43-1 特別な管理を要する品目の関係図

(1) クリティカル品目の識別

クリティカル品目は、信頼性解析/安全性解析等、設計審査及び異常/故障データの結果等から、その品目のリスクを低減するために特別な配慮を必要とする品目を識別する。

識別にあたっては、(a) 「故障すると人命、重要な財産及びミッションの喪失となる品目、あるいはミッションの達成に重大な影響を及ぼす品目」、(b) 「プロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目」を考慮して、選定を行う。上記(a)に対する故障時の影響評価では、主にFMEA/FMECAの結果を用いて判断されることが多い。

FMEA/FMECAの結果を用いて識別する方法を(1.1)項に、それ以外の識別方法を(1.2)項に示す。

(1.1) FMEA/FMECA結果によるクリティカル品目の選定

FMEAの結果からクリティカル品目を選定する際には、影響度の大きさと冗長の程度の両方を考慮して選定を行う。また、FMECAを用いる場合には、影響度に発生確率などを加味した致命度の大きさをクリティカル品目か否かを決定することができる。

また、FMEAの一部として実施したHCSIA（3.29項参照）により重要と識別されたソフトウェアも選定する。

FMEA/FMECA結果によるクリティカル品目の選定の考えを以下に示す。

a. FMEAにおける影響度評価

FMEAによって故障時の影響は評価されるが、その影響度は4段階で評価されることが多く、一般的には、致命的（Ⅰ）、重大（Ⅱ）、軽微（Ⅲ）、影響なし（Ⅳ）である。この影響度は、冗長系を考慮せずに、純粹にその機器の保有する機能等が故障で失われた場合を想定して評価する必要がある。

b. FMEAにおける冗長系の扱い

冗長系を有する場合の影響度の識別は、上記の影響度の数字にR（冗長つまりRedundancyの頭文字）を付して、ⅠR、ⅡRと表現されることが多い。この冗長系を有する場合には、その冗長の程度が完全か否かによってクリティカル品目かどうかが変わる。

冗長の程度が完全とは、待機冗長のように主系と全く同じ機能を持ち、かつ共通原因による同時故障、劣化のリスクが許容出来る程度に小さくなっていることが確認されたものである。一方、冗長の程度が低いケースは、冗長構成を成す機器の全てが機能しないとミッションが達成出来ず、一部でもダウンすると縮退運用が余儀なくされる場合である。

c. FMEA結果からの選定

FMEAの結果からクリティカル品目を選定する場合には、上記を踏まえて、以下のように整理される。

- (a) ミッションに与える影響度がどの程度か（例えば、ミッション機能の50%ダウン）
- (b) 冗長の程度がどの程度か（例えば、完全冗長以外は冗長としない）

上記の「程度の度合い」については、解析に先立ってJAXA原局と調整しておくべきである。

一般的には、影響度が「Ⅰ、ⅠR、Ⅱ、ⅡRのうち完全冗長でないもの」

がクリティカル品目となる。ただし、影響度Ⅱレベル（ⅡとⅡR）については、同じ重大であってもその影響は様々であるため、Ⅱレベルの全てとするのか、或いは特に影響が重大なものに限定するののかについては、よくよく検討し、プロジェクトとして方針を定めるべきである。

d. FMECA結果の使い方

FMECAでは、FMEAによる故障の影響度評価に加えて、その故障の発生確率を加味した致命度評価が行われる。

発生確率には冗長系の有無が考慮されるため、致命度には冗長系の有無、冗長の程度が反映されている。したがって、FMECAを用いる場合には、致命度の大きさによってクリティカル品目か否かを決めればよい。どの程度の致命度でクリティカル品目とするかは、解析に先立ってJAXA原局と調整しておくべきである。FMECAによるクリティカル品目の識別例を表3.43-1に示す。

表3.43-1 FMECAによるクリティカル品目の識別例

		発生頻度				
		しばしば	たまに	まれに	ほとんど	まったく
影響度	致命的（Ⅰ）					
	重大（Ⅱ）					
	軽微（Ⅲ）					
	影響なし（Ⅳ）					

■ ; クリティカル品目として識別

▨ ; クリティカル品目とするか否か要調整

e. 対策検討における冗長系の考え方

クリティカル品目のリスク低減のための対策を検討する際には、冗長系の有無は考慮されるべきである。同じ影響度を持つ品目でも、ⅠとⅠRの品目では、故障の発生する確率はⅠRの方が小さいと考えられるため、相対的にⅠとⅠRの品目では、Ⅰの方がより多くの対策を必要とする。

f. HCSIA（3.29項参照）により識別されたソフトウェア

HCSIAの結果、重要と識別されたソフトウェアについてもクリティカルアイテムとして識別し、ソフトウェアに対する情報をソフトウェア開発側にインプットする。システム（ハードウェア）側で処置すべきことはシステム開発側で処置する。例えば、故障による影響が致命的あるいは重大と識別されたハードウェア故障に対するFDIRに組み込まれたソフトウェアが

該当する。

(1.2) FMEA/FMECA結果以外からのクリティカル品目の選定

FMEA/FMECA結果以外では、次に示す品目等から定性的に識別されることが多い。これらは信頼性設計上必要な対策を講じて確認する品目と製造、試験時に必要な対策を講じて確認する品目などがある。

- a. 単一故障点（これはFMEA/FMECA結果で洗い出されることが多い）
システムから除去できない全ての単一故障点を選定する。但し、構体などの構造系については、通常単一故障点であるが、一般的に広く知られた設計、製造、試験手法を用いることで十分な設計余裕が確保出来る場合には、JAXA検査員等と協議の上、クリティカル品目にしなくてもよい。
例)
衛星系；
 - ・アポジモータ
 - ・推進計燃料タンク（一系統の場合）
 - ・アンテナ展開機構
- b. 複数機器による冗長化を図っても、共通原因によりリスクが減らない品目
例) ・ワイヤハーネス、配管等で空間的に分離できない品目
・同一コネクタを共通的に使用する品目
- c. 同一機能を有する複数機器の一部が故障すると縮退運用を余議なくされる品目
例) ・2翼式太陽電池パドル、パドル駆動機構等
- d. 新規開発品目等のフライト実績のない品目
- e. 要求機能・性能を試験で確認できない品目
- f. 性能諸元の許容限界付近で使用する品目
- g. 過去に重大な故障を発生させた品目及びそれと類似の設計となっている品目
- h. 製造工程以降で人為的過誤を生じやすい品目
例) 取付時に有極性のある機器等
- i. 重要品質特性を有する品目
例) 製品、部品又は材料の特性で、そのばらつきが製品の性能、寿命、ミッション達成などに極めて重大な影響を与える製品及び半製品の特性を有する品目。ベアリングユニット（潤滑油の含浸量）、エンジン組立における各種バルブ（作動タイミングや漏洩量）など。
- j. 重要加工パラメータを有する品目

- 例) 加工上の制御可能な要因 (パラメータ) のうち、製品の重要品質特性に重大な影響を与えるもの。ろう付を有する品目 (ろう付け時の温度及び加熱時間)、アーク溶接を有する品目 (アーク溶接時の電流値及び溶接速度) など。
- k. 作業環境 (清浄度、温湿度、輸送時の振動など) に特別な配慮を要する品目
例) 光学機器等
- l. 地上で機能、性能の評価が困難な品目
例) 火工品、大型アンテナ等
- m. カタストロフィックハザードをコントロールするソフトウェア
例) 誘導制御系ソフトウェア等
- n. 運搬・操作において安全配慮を要する品目
例) ヒドラジン・タンク等

識別したクリティカル品目はクリティカル品目リスト (CIL) として整備し、管理する。CILの作成、維持については、3.44項に示す。

(1.3) ロケット、衛星系におけるクリティカル品目選定の実施例

a. ロケット系におけるクリティカル品目の選定と管理の考え方

ロケット系システムの設計においては、飛行安全機器以外については、原則として冗長系を持たない。したがってほとんどの品目が、クリティカル品目の定義のうち「ミッションへの重大な影響のある品目」に該当することとなる。一方、クリティカル品目要求の基本的な考え方は、数多くある品目の中から特に設計、製造、検査、試験、運用の各段階で特別な管理をすべき品目を選定し、設計の初期段階で定めた管理項目を実施することで信頼性を確保する品目である。これを考慮すると、「ミッションへの重大な影響のある品目」の選定方法として以下の方策が考えられる。

(a) 発生頻度を考慮したFMECAによる選定

FMEAは故障モードによる影響度による評価を行うが、影響度は信頼性設計の良し悪しにかかわらず不変のものである。一方、FMECAを用いれば、影響度に加えて発生頻度と検出感度も評価指標とした致命度を用いるため、信頼性設計の内容次第で致命度を低くすることができる。これにより、限定した品目を選定することができる。

(b) プロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目の選定

クリティカル品目の定義のうち「プロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目」の選定については、ロケットがシリーズものか又

は新規開発か、あるいは経験豊富なメーカーか、新規参入メーカーかなどが考慮されるべきである。

①ロケット系での開発経験を考慮した選定

ロケット開発の経験が豊富なメーカーの場合、次のいずれもが前提にできるようであれば、ロケット系のクリティカル品目の選定は下記（ア）、（イ）に記す基準を考慮し、リスクの高い品目をクリティカル品目として識別する。

- ・FMEAにおいて、故障モードに対する対策が記述され、これが製造段階以降の信頼性／品質管理の実施状況確認のツールとして活用される。
- ・信頼性管理品目の管理が確実に実施される。
- ・品質保証プログラム標準において要求される履歴管理すべき品目の指定が行われ管理が実施される。

（ア）システムあるいはサブシステム開発メーカーの場合

- ・当該ロケットでのフライト実績のない品目（新規開発品等）（*）
- ・過去のミッションで重大な不具合を発生した品目
- ・重要品質特性、重要加工パラメータを有する品目

（イ）コンポーネント開発メーカーの場合

- ・採用実績のない技術・品目（新規開発品目・回路等）（*）
- ・過去に重大な不具合を発生した品目や類似品
- ・重要品質特性、重要加工パラメータに直接関係する技術・品目

（*）：新規開発ロケットにおいては、「まったく新しく開発した技術・品目」とする。

②ロケット開発経験のない、あるいは浅いメーカーである場合には、「技術的根拠」に記載のクリティカル品目の定義にしたがって品目選定を行う必要がある。

b. 人工衛星におけるクリティカル品目の選定例

(a) クリティカル品目の考え

システムの信頼性要求を達成する上で設計上留意を要する品目で、設計、製造、及び試験の各段階でそれらの品目の故障を最小とする管理内容を設定し、要求される信頼性を達成し得ることを確認することが必要な品目。

(b) クリティカル品目の選定基準

信頼性設計上必要な対策を講じて確認する品目と製造、試験時に必要な対策を講じて確認する品目に大別され、次に示す品目等から構成される。

- ア. 単一故障点 (FMEA/FMECAの結果洗い出される品目)
- イ. 複数機器による冗長化を図っても、共通原因によりリスクが減らない品目
- ウ. 同一機能を有する複数機器の一部が故障すると縮退運用を余儀なくされる品目
- エ. 新規開発品目等のフライト実績のない品目
- オ. 要求機能・性能を試験で確認できない品目
- カ. 性能諸元の許容限界付近で使用する品目
- キ. 過去に重大な故障を発生させた品目及びそれと類似の設計となっている品目
- ク. 製造工程以降で人為的過誤を生じやすい品目 (例えば取付時に極性のある機器)
- ケ. 重要品質特性、重要加工パラメータを有する品目
- コ. 作業環境 (清浄度、温湿度、輸送時の振動など) に特別な配慮を要する品目
- サ. 地上で機能、性能の評価が困難な品目 (例えば火工品等)
- シ. カタストロフィックハザードをコントロールするソフトウェア
- ス. 運搬・操作において安全配慮を要する品目

(c) 人工衛星におけるクリティカル品目選定の事例

上記(a)、(b)に基づく人工衛星の選定の一例として、「太陽電池パドルの展開機構」があげられる。軌道上でパドルを展開できない故障モードが生じた場合、当該バスへの電力供給ができなくなるため、致命的または重大なシステムの喪失につながる可能性がある。

(2) 信頼性管理品目の識別

信頼性管理品目の識別は、システム設計の結果配分されたコンポーネントを対象とする。信頼性設計及び信頼性管理上特に検討、管理を行う必要のある品目を寿命解析、FMEA、CILなどを用い洗い出し、製造、検査、試験、整備及び運用の各段階において、重要な特性(重要な試験、検査、特別な取り扱い等)を管理することにより、信頼性を確保する必要がある品目を信頼性管理品目として識別する。信頼性管理品目は、次の分類 (a. ~e. 項) に該当する品目の総称である。なお、信頼性管理品目は有効な信頼性管理を実施するためのものであり、その品目及び管理内容はむやみに増やさないことが望ましい。最終的に

は詳細設計審査にて確定する。

識別した信頼性管理品目は信頼性管理品目リストにまとめる。

過去に信頼性管理品目に識別された衛星系の例を表3.43-2に、また選定基準を次に示す。

a. 作動寿命限定品目 (OLI) の選定基準

作動時間／サイクルの経過に伴い、品質の劣化、性能の低下、ドリフトなどを生じることが予想される品目のうち、作動時間／サイクルを管理して規定の有効寿命を超える場合又はその恐れのある場合は必要な処置を施すとともに、作動に伴う特性値の変動及び機能上の故障、又はその恐れの有無を監視し予防処置を講じる保全の必要がある品目を選定する。

具体的には通常の運用でゼロ時間からミッション達成までの作動時間／サイクル数が有効寿命のある基準以上（例えば75%以上）になると予想されるものを選定する。有効寿命を超える可能性のある品目については装着後の保全性を考慮すること。ゼロ時間及び有効寿命の定義は次のとおりである。

(i) ゼロ時間 (ZERO TIME)

一般的に製造会社又は購入先の製造会社の受入機能検査の開始時点とする。

(ii) 有効寿命 (USEFUL LIFE)

ゼロ時間からオーバーホール、廃却などの処置を有するまでの全作動時間／サイクルとする。

b. 貯蔵寿命限定品目 (SLI) の選定基準

ゼロ時間からの暦時間の経過に伴い、性能の変動、劣化などが予想される品目でストレージの経過暦日を管理し、有効寿命を超えた場合何らかの保全処置を行い無条件では使用することのないようにする品目である。

具体的には通常の調達、運用でゼロ時間からミッション達成までの経過暦日が有効寿命のある基準以上（例えば75%以上）になると予想されるものを選定する。ゼロ時間及び有効寿命の定義は次のとおりである。

(i) ゼロ時間 (ZERO TIME)

特に指定のない限り、製造元の組立時とする。

(ii) 有効寿命 (USEFUL LIFE)

ゼロ時間からオーバーホール、廃却などの処置を有するまでの経過暦日とする。

c. 特性値管理品目の選定基準

特性のドリフト、性能安定度及び物理的摩耗がシステムの信頼性に影響

する品目で、その特性(又はパラメータ)値を管理しなければならない品目である。たとえばセンサーや送受信装置などが候補としてあげられる。

該当するコンポーネントの特性を監視し、できるだけ早い時期に機能的な不具合を予知してシステムの信頼性を確保する。

なお、指定された特性(又はパラメータ)値については、トレンド解析により評価する。

d. 重要取付品目の選定基準

構造又は機構の結合部でその破損が人命に危害を与えるか、あるいはミッション失敗に結びつくため、特別に打上までの検査及び取付け、取外しの都度所定の検査を行い記録することにより、取付構造上の欠陥を除去する必要のある品目である。

ロケット系では分離ボルトやナット類、アクチュエータ固定ボルトが該当し、特別に打上げまでの検査及び取付／取外しでの確認の記録を行うことによりシステムの信頼性を確保している。

e. 打上前作動時間等管理品目 (PTI) の選定基準

初期故障を除去し、軌道上での初期作動安定化のため、打上げ前までの累積作動時間を管理するなど、特にその作動時間、作動回数等の履歴を管理すべき品目である。電気コンポーネントのバーンイン時間、潤滑剤のなじみ時間などのならし(バーンイン及びウェアイン)試験を対象とする品目が該当する。初期故障を有する可能性のある品目について、あらかじめ地上で規定された時間作動させることにより、安定領域に入ってから運用を開始する必要のあるものを選定する。

実施しない場合の影響

クリティカル品目及び信頼性管理品目が識別されないと該当品目の管理が行なえなくなり、開発及び運用中の不具合原因となり、ミッション達成ができなくなる恐れがある。

参考文献

なし

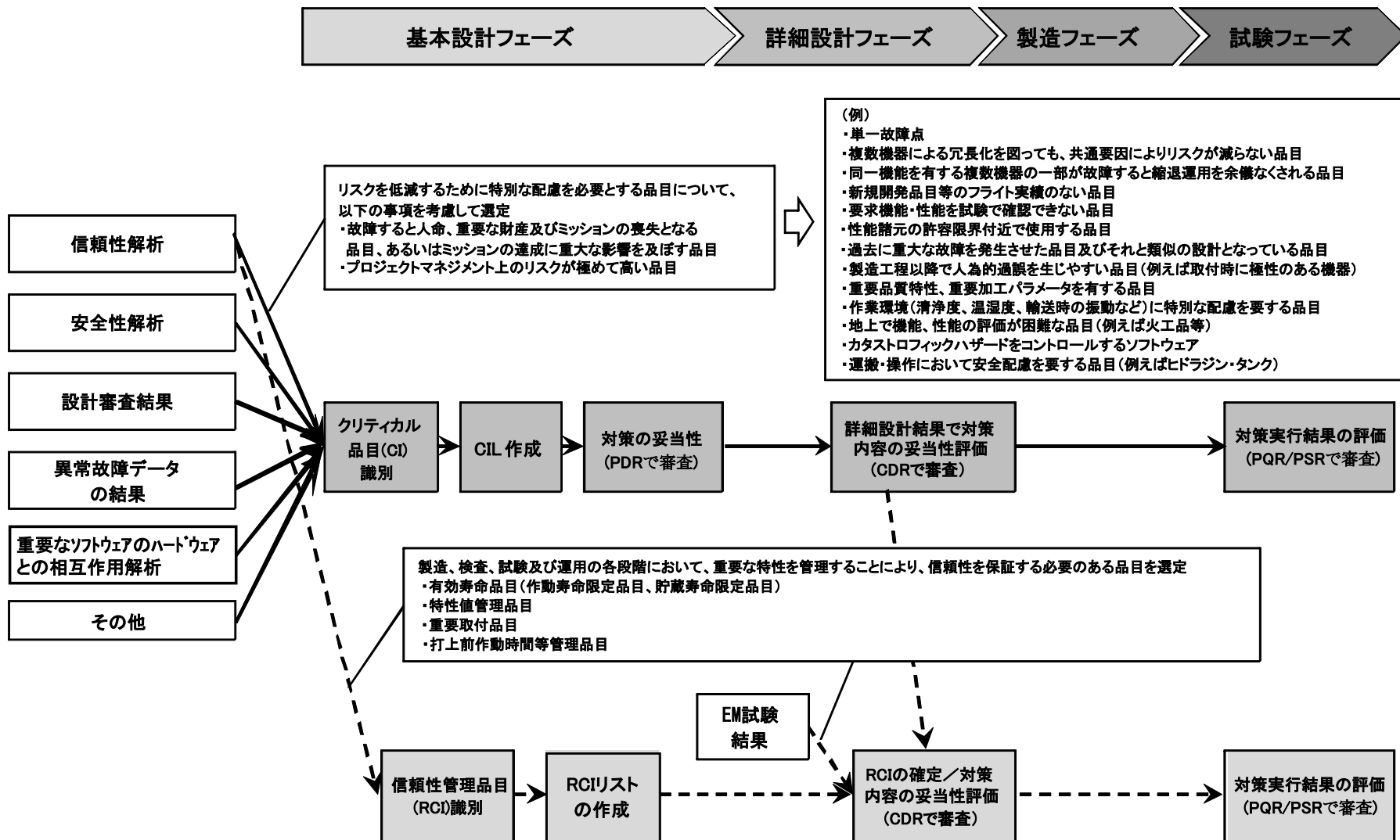


図3.43-2 特別な管理を要する品目の識別・管理フロー

表3.43-2 衛星系の信頼性管理品目例 (1/4)

No.	品目名称	管 理 区 分					選 定 理 由
		作動寿命 限定品目	貯蔵寿命 限定品目	特性値 管理品目	重要取付 品目	打上前作動 時間等管理 品目	
1	TTC テープレコーダ	○	○	○		○	寿命解析、トレンド解析
	TWTA	○	○	○			過去の履歴、寿命解析、トレンド解析
	ダイプレキサ(DIP)			○ 通過損失			トレンド解析
	Sバンド送受信機 (S-T R)			○ 消費電力 送信周波数安定度 送信出力 電力 スケルチレベル		○	トレンド解析
	セントラルユニット(CU)			○ ビットレート		○	トレンド解析
2	EPS バッテリー	○	○	○			過去の履歴、寿命解析、トレンド解析
	オートナンスバスリレー バッテリーライン用パワーリレー	○					寿命解析
	電力分配器 (DIST)			○ ヒューズ		○	トレンド解析
	電力制御器 (PCU)			○ 消費電力 電圧降下(日陰時) バス電圧		○	トレンド解析

表3.43-2 衛星系の信頼性管理品目例 (2/4)

No.	品目名称	管 理 区 分					選 定 理 由
		作動寿命 限定品目	貯蔵寿命 限定品目	特性値 管理品目	重要取付 品目	打上前作動 時間等管理 品目	
3	PDL ロータリタ`ンハ°	○	○				寿命解析
	ハ°ワ`カートリッジ° (火工品)		○				寿命解析
	アクチュエータ	○					寿命解析
	モータ (伸展マストモータ)	○					寿命解析
	伸展マスト	○	○				寿命解析
	PDM	○				○	寿命解析

表3.43-2 衛星系の信頼性管理品目例 (3/4)

No.	品目名称	管 理 区 分					選 定 理 由
		作動寿命 限定品目	貯蔵寿命 限定品目	特性値 管理品目	重要取付 品目	打上前作動 時間等管理 品目	
4	RSC 推薬タンク	○					寿命解析
	加圧ガスタンク	○					寿命解析
	推薬注排弁	○				○	寿命解析
	加圧ガス注排弁	○				○	寿命解析
	遮断弁	○				○	FMEA、寿命解析
	調圧弁	○				○	寿命解析
	スラスト推薬弁	○				○	寿命解析
	スラストジェットモータ	○				○	寿命解析
	AKE組立品	○					寿命解析
	(火工品) パワーカートリッジ インシエータ ブースタ		○				寿命解析
RSC(UPS)組立品		○				寿命解析	

表3.43-2 衛星系の信頼性管理品目例 (4/4)

No.	品目名称	管 理 区 分					選 定 理 由
		作動寿命 限定品目	貯蔵寿命 限定品目	特性値 管理品目	重要取付 品目	打上前作動 時間等管理 品目	
5	姿勢制御系(AOCS) RIGA (IRU)	○	○	○		○	過去の履歴、寿命解析、トレンド解析
	RW	○	○	○		○	過去の履歴、寿命解析、トレンド解析
	モーメントムホイール(MW)	○	○	○		○	過去の履歴、寿命解析、トレンド解析
6	熱制御系(TCS) ヒータコントロールユニット(HCE)	○				○	寿命解析
	ヒートパイプ		○				寿命解析
7	展開物(展開アンテナ等) パワーカートリッジ 分離ナット I 型 分離ナット II 型 ホルトキャッチャ ワイヤカッタ マイクロスイッチ		○ ○ ○ ○				寿命解析
8	光学センサ(光学校正) ハロゲンランプ	○					過去の履歴、寿命解析、トレンド解析

3.44 クリティカル品目リスト (CIL) の作成、維持

効果

クリティカル品目リスト(CIL)の準備、実施及び維持管理を通して、クリティカル品目の早期の識別、履歴管理によって、設計、開発及び製造計画に対し有益な効果が得られる。一連のCIL管理が、詳細設計、製造、試験、検査、運用において図面、仕様書及び手順書等へ反映されることによりミッションの失敗又はシステムの喪失の可能性を低減することが出来る。

効果的な実施時期

基本設計段階から維持設計段階まで

CILは設計の初期段階から実施する事がもっとも効果的となる。更に設計の進捗状況に合わせて適時見直し、是正対策を設計に反映することによって、システムの信頼性向上に役立てることが出来る。

技術的根拠

クリティカル品目とは故障すると人命、重要な財産及びミッションの喪失となる品目、ミッションの達成に重大な影響を及ぼす品目、並びにプロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目であるため、極力設計の初期段階に識別してそれらの故障モードが発生しないように設計しなければならない。CILはこのようなクリティカルな故障モードを有する品目を早期に識別して、故障モードの発生を除去、または詳細設計、製造、試験、検査、運用において図面、仕様書及び手順書等へ反映されることによりミッションの失敗又はシステムの喪失の可能性を低減することが出来る。

JMR-004の対応項番

4.3.16.2 クリティカル品目 (CI)

関連の深い信頼性業務

- (1) 機能FMEA/FMECA
- (2) 詳細FMEA/FMECA
- (3) 工程FMEA/FMECA
- (4) 特別な管理を要する品目の識別
- (5) 重要品質特性、重要加工パラメータ
- (6) 異常/故障解析の管理方法

実施方法

識別したクリティカル品目は、クリティカル品目リスト (CIL) を作成し、

維持・管理する。各フェーズでの実施方法を以下に示す。

なお、クリティカル品目の識別については、前項（3.43項）を参照されたい。

(1) 基本設計での是正対策

基本設計段階では、クリティカル品目は対策として可能な限りハードウェア上で実施し、故障を除去または発生の可能性を小さくする。CILに記載された各品目には、残存する故障のリスクについて検討し、設計、製造、検査、試験及び運用の各段階でそれらの品目の故障を除去あるいは最小とする管理内容を設定する。対策を検討する際には、冗長系の有無は考慮されるべきである。同じ影響度を持つ品目でも、IとIRの品目では、故障の発生する確率はIRの方が小さいと考えられるため、相対的にIとIRの品目では、Iの方がより多くの対策を必要とする。

(2) 詳細設計での是正対策

詳細設計段階では、基本設計段階で検討した是正対策、処置を見直し、クリティカル品目のシステムに与える影響の致命性を除去あるいは軽減するために設計、製造、検査及び運用上での対策を図り、故障発生の影響を最小化する。

(3) 維持設計段階での是正対策

維持設計では、製作・試験段階で発生した異常故障の対策として、設計の見直しが行われる。これにともない、詳細設計段階で作成したCILを見直し、新たな故障発生の可能性を防止する。

(4) クリティカル品目の評価、報告

クリティカル品目の解析結果については、設計への反映及び製造／試験への処置／対策の妥当性について、設計担当の責任者と信頼性保証部門で確認する。

基本設計審査、詳細設計審査において、解析結果を設計審査インプットパッケージに記述し審査する。

また、認定試験後審査、プロトフライト試験後審査においても、解析の妥当性を確認する。クリティカル品目リストのハードウェアを対象にしたものの例を表3.44-1に、ソフトウェアを対象にしたものの例を表3.44-2に示す。また、クリティカル品目を1件1葉で管理する個別管理表の例を表3.44-3に示す。

(5) リスクマネジメントへの利用

リスクマネジメント活動においては、リスクを識別するための検討資料として、CILが利用される。またCILを維持改定することによりリスクを監視することに利用できる。

実施しない場合の影響

CIL管理を実施しないと、クリティカル品目の持つ潜在リスクによる不具合によって、ミッションの失敗またはシステムの喪失を招く恐れがある。

参考文献

なし

表3.44-1 クリティカル品目リスト (CIL) の例 (ハードウェアの場合)

システム：チエイサ		サブシステム名:ランデブドッキング実験系 (略号:C/RVD)			シート番号：	REV：1 DATE：		
機器名	CI番号	クリティカル部位	故障モード	致命度*)	是正対策 (補償手段)	不具合履歴	確認	備考
C/GPS R	1	C/GPSL	GPS信号の増幅不能による相対航法不能	1	<p>設計段階、製造段階の是正処置については、コンポーネント／サブシステムレベルで実施する。</p> <p>システム試験段階での対策 ・受入時および試験途中、更に打ち上げ前に機能・性能について問題無いことを確認する。</p> <p>システム検査段階での対策 ・受入時および試験途中、更に打ち上げ前に外観上の検査を行い、問題無いことを確認する。</p> <p>運用時の対策 ・C/GPS絶対航法で可能な範囲での実験を行う</p>			システム試験仕様書 システム試験計画書
	2	C/GPSC	ケーブル、コネクタの接触・不良・解放による相対航法不能	1	同上			同上
	3	C/GPSA	ケーブル断線、機械的変形によるアンテナゲインの低下、パターンの変動による相対航法不能	1	<p>設計段階、製造段階の是正処置については、コンポーネント／サブシステムレベルで実施する。</p> <p>システム試験段階、システム検査段階、運用時での対策は同上</p>			同上

*)FMECAに基づく場合は致命度、FMEAの場合は影響度

表3.44-2 クリティカル品目リスト (CIL) の例 (ソフトウェアの場合)

システム : GA		サブシステム名:姿勢制御系			シート番号 : 1	REV : 1 DATE :		
機器名	CI番号	クリティカル部位	故障モード	致命度*)	是正対策 (補償手段)	不具合履歴	確認	備考
姿勢制御ソフトウェア	1	姿勢制御管理機能	IRU主系異常	1	HCSIA結果より : (1) IRUデータ取得時の異常判断 (2) IRU健全性確認機能 (3) IRU異常検知による系切替え ソフトウェア設計上の考慮事項 : (1) IRUからの取得データによる機器異常の判断 (姿勢異常なのか機器異常なのか) (2) 健全性判定機能 (データ飛、未達を含む判断) (3) IRU異常判断ロジックと切替性能要求、切替失敗時の処置要求 ソフトウェア製作時の考慮事項 : ・系切替機能におけるCCFの排除 ソフトウェア検証時の考慮事項 : ・想定される異常ケースに対する全網羅試験			

*)FMECAに基づく場合は致命度、FMEAの場合は影響度

表3.44-3 クリティカル品目個別管理表の例

承認1: / /		承認2: / /		承認3: / /		承認4: / /		
品名	〇〇バルブ	P/N		S/N		Lot		
信頼性管理品目	作動	100回	貯蔵		特性値	リーク:0.003cc/h 打上前	5回	
設計		製造			検査			
対策	<ul style="list-style-type: none"> 過去の不具合対策 <ul style="list-style-type: none"> シーล材の再評価 流路の見直し 		<ul style="list-style-type: none"> シーล面圧の管理(重要品質特性) 			<ul style="list-style-type: none"> リーク検査方法の見直し リーク検査の回数増 		
結果	<ul style="list-style-type: none"> シーล材は、〇〇、△△、××を評価。結果として、従来どおり〇〇を選定。(シーล材選定報告書CAA-12001) 流路を見直し、液溜まりを解消(推進系設計報告書CRA-12-018) 							
試験		射場作業			その他			
対策	<ul style="list-style-type: none"> 耐圧試験時間の見直し 試験後の乾燥時間の延長 		<ul style="list-style-type: none"> 特になし 					
結果								

承認1:PDR時 承認2:CDR時 承認3:PQR時 承認4:射場作業完了時

3.45 信頼性管理品目リストの作成、維持

効果

識別された信頼性管理品目をリスト化することにより対象品目及び管理内容が明確になる。

効果的な実施時期

基本設計段階で設定し、詳細設計においてEM試験結果、各コンポーネントの要求仕様の確定を受け、決定する。

技術的根拠

信頼性管理品目の対象品目及び管理内容が明確となり審査も容易となる。

JMR-004の対応項番

4.3.16.3.2 信頼性管理品目リスト

関連の深い信頼性業務

- (1) 特別な管理を要する品目の識別
- (2) 作動寿命限定品目の管理
- (3) 貯蔵寿命限定品目の管理
- (4) 特性値管理品目の管理
- (5) 重要取付品目の管理
- (6) 打上前作動時間等管理品目の管理
- (7) 詳細設計審査

実施方法

- (1) 識別された信頼性管理品目はリスト化する。リストは開発段階の進展に伴い維持改定し、その管理要求とともに詳細設計審査以降の審査会にインプットする。
- (2) リストには次の内容を含める。
 - a. 管理品目の識別(名称と部品番号)
 - b. 管理区分(どの管理項目に該当するか)
 - c. 管理項目(何を管理する必要があるか)
 - d. 有効寿命(納入時許容できる消費寿命など、管理の目標を定めておく)
 - e. 備考(特記事項)
- (3) EM試験、詳細設計の終了時にリストの最終決定を行ない、フライトモデ

ル製造・試験から運用フェーズまでの該当コンポーネントの機器履歴管理を開始する。

(4) 選定された品目は、品目の試験仕様書などに識別し管理要求を確実に展開する。

(5) 信頼性管理品目リスト記入例

表3.45-1に示す。同表は管理品目表及び管理表を1枚の様式にまとめたもので、工場出荷までに行った有効寿命品目の管理結果が記載されている。工場出荷後は表中の「残り寿命」が管理基準となる。

実施しない場合の影響

信頼性管理品目が識別されないと該当品目の管理が行なえなくなり、開発及び運用中の不具合原因となり、ミッション達成ができなくなる恐れがある。

参考文献

なし

表3.45-1 信頼性管理品目リスト記入例

管理品目		管理区分(*)				管理項目	有効寿命	動作回数	残り寿命	備考
名称	識別番号	O L I	S L I	特 性 値	P T I					
TTC										
同軸スイッチ (SSW)	P/N: 4214100-1	○				作動回数	3,000サイクル	300サイクル	2,700サイクル	
テープレコー ダ(REC-M)	P/N: 4215100-1		○			経過年数	保管寿命 5年	経過年数 2.75年	2.25年	
〃	〃	○				作動時間 (作動回数)	16,000時間 (8,000サイクル)	1,200時間 (600サイクル)	14,800時間 (7,400サイクル)	
〃	〃			○		消費電力				
〃	〃				○	作動時間				製造段階からシ テム渡しまでに 240時間以上(パー ンイン)
EPS										
蓄電池セル (BAT)	P/N: 183- 500445-001	○				充放電サイク ル数	14,000回	** 300回以下	13,700回	** 充放電の深さ は浅い
〃	〃					液漏れ				目視点検で確 認する
〃	〃			○		充電々圧特性				
〃	〃		○			経過年数	5.5年	2.25年	3.25年	

*) O L I : 作動寿命限定品目 S L I : 貯蔵寿命限定品目 P T I : 打上前作動時間等管理品目

3.46 作動寿命限定品目 (OLI) の管理

効果

ミッション終了時点までに規定の作動寿命を超えないように管理することで、システムの寿命を保証する。

効果的な実施時期

該当コンポーネントのフライトモデル製造、試験及び打上げフェーズにおいて行う。

技術的根拠

ミッション達成に対し、作動寿命の観点から重点的に管理する品目を選定し、効率よくかつ、確実に製品寿命を確保する。

JMR-004の対応項番

4.3.16.3 信頼性管理品目

関連の深い信頼性業務

- (1) 特別な管理を要する品目の識別
- (2) 信頼性管理品目リストの作成、維持
- (3) 信頼性管理品目の文書パッケージへの反映
- (4) 寿命解析

実施方法

- (1) 管理範囲
製造、試験から打上げ時点までに適切に管理する。
- (2) 一般管理事項
 - a. 管理品目はシリアルナンバーで管理する。
 - b. 機器履歴、検査、試験データを記録し文書パッケージに含める。
 - c. 機器履歴票はJAXA指定の様式に必要事項を記入する。記入例を表3.46-1に示す。

表 3.46-1 機器履歴票（作動寿命限定品目記入例）

機器履歴票 EQUIPMENT LOG						発行番号 Log No.		L-4321P-02	
						前の履歴票番号 Replaces Log No.		L-4321P-01	
品目名 Eqp. Name		バルブ	部品番号 Part NO.	ABC000615P03	シリアル番号 Serial NO.	1500	仕様書 No. Spec. NO.	ABCKK 12345	
製造会社 Manufactur		XYZ VALVE			識別 Identification OLI, SLI, PTI	有効寿命 Useful Life	2,000回 (DRY作動)	ゼロ時点 Initial Date	10年6月12日
年月日 Date	作業内容 Event	場所 Location	作動回数 Ope.Cycle	累積作動回数 Cumulative	作業結果/不具合等の概要 Event/Nonconformance Result	不具合/故障解析 報告書 No. Nonco. Ret. No.	記入者所属氏名 Written by.	備考 Remarks	
10.12.25	ガスフロー試験	ABC東京	1	5	合格 / 不具合なし	-----	ABC 山田		
10.12.28	電装品の装着	ABC東京	0	5	合格 / 不具合なし	-----	ABC 山田		
10.12.28	電氣的機能試験	ABC東京	2	7	作動不良	SS70X980125	ABC 山田		
10.12.28	外観目視検査	ABC東京	0	7	合格 / 不具合なし	-----	ABC 山田		
10.12.28	基本データ取得 噴射試験	ABC東京	0	7	合格 / 不具合なし	-----	ABC 山田		
10.12.29	汚染防止装置	ABC東京	20	27	合格 / 不具合なし	-----	ABC 山田		

OLI：作動寿命限定品目の要素部品

SLI：ストレージリミテーション品目の要素部品

PTI：打上前作動時間等管理品目の要素部品

Operating Life Limitation Item

Storage Limitation Item

Pre-Launch Operating Time/Cycle Control Item

次の場合は機器履歴票に記入する。

〔注〕

(1) 前の機器履歴票の番号は、当該装置の前の発行番号を記入し発行番号は当ページが識別できる番号を記入する。

(1) 試験、検査又は点検を実施した場合。

(2) 不具合が発生した場合。コンフィギュレーションの変更があった場合。

(2) 有効寿命が設定されている品目は、有効寿命及び最初のゼロ時点を記入する。

(3) 出荷又は輸送した場合

(3) 内容の説明が1行では不足する場合は、数行費して簡明に記述する。

(4) 装置の作動又は保管中のメンテナンスを実施した場合。

(5) 組立、交換等の作業を実施した場合。

(3) 個別管理事項

作動寿命限定品目は特に次を含める。

a. 次の履歴情報を管理項目とする。

- ・ ゼロ時間、有効寿命
- ・ 作動時間／サイクル・累積作動時間／累積サイクル(作動の都度加算)
- ・ 作動に関する試験・検査などの名称、結果
- ・ 作動中に発生した不具合事項の情報

b. 使用した作動時間／サイクル数が規定の有効寿命を超える場合又はその恐れがある場合は、交換、運用制限などの必要な処置を施す。

実施しない場合の影響

作動寿命限定品目が識別され、該当品目の管理を行わないと、ミッション達成前に製品の有効寿命を超える恐れがある。

参考文献

なし

3.47 貯蔵寿命限定品目 (SLI) の管理

効果

ミッション終了時点までに規定の貯蔵寿命を超えないように管理することでシステムの寿命を保証する。

効果的な実施時期

該当コンポーネントのフライトモデル製造、試験及び打上げフェーズにおいて行う。

技術的根拠

貯蔵寿命の観点から重点的に管理する品目を選定し、効率よくかつ、確実に製品寿命を確保する。

JMR-004の対応項番

4.3.16.3 信頼性管理品目

関連の深い信頼性業務

- (1) 特別な管理を要する品目の識別
- (2) 信頼性管理品目リストの作成、維持
- (3) 信頼性管理品目の文書パッケージへの反映
- (4) 寿命解析

実施方法

- (1) 管理範囲
製造、試験から打上げ時点までに適切に管理する。
- (2) 一般管理事項
 - a. 管理品目はシリアルナンバーで管理する。
 - b. 機器履歴、検査、試験データを記録し文書パッケージに含める。
 - c. 機器履歴票はJAXA指定の様式に必要事項を記入する。記入例を表3.47-1に示す。
 - d. 貯蔵寿命限定品目に指定された品目の余寿命は、寿命管理品目表により確認する。寿命管理品目表の例を表3.47-2に示す。

表 3.47-1 機器履歴票（貯蔵寿命限定品目記入例）

機器履歴票 EQUIPMENT LOG		品目名 Eqp. Name		REC (テープレコーダ*) Part NO. P/N:1234300-1		部品番号 Part NO. P/N:1234300-1		シリアル番号 Serial NO.		発行番号 Log No. L- 1 1 2 2 P- 0 2	
										前の履歴票番号 Replaces Log No. L- 1 1 2 2 P- 0 1	
製造会社 Manufactur		E F C		識別 Identification O L I, <input checked="" type="checkbox"/> S L I, P T I		有効寿命 Useful Life 2 4 ヶ月		仕様書 No. Spec. NO. 0 0 1		JAXA-PSPC- 12233	
								ゼロ時点 Initial Date 5 5 年 7 月 (工場受入時)			
年月日 Date	作業内容 Event	場所 Location	作動時間 Ope. Time	累積作動時間 Cumulative	作業結果／不具合等の概要 Event / Nonconformance Result	不具合／故障解析 報告書 No. Nonco. Ret. No.	記入者所属氏名 Written by.	備考 Remarks			
56. 4. 23	機能性能試験	ABC東京			合格 / 不具合なし	-----	ABC 吉原				
56. 5. 23	最終検査	ABC東京			合格 / 不具合なし	-----	ABC 吉原				
56. 5. 26	完成検査	ABC東京			合格 / 不具合なし	-----	ABC 吉原				

O L I : 作動寿命限定品目の要素部品 S L I : ストレージリミテーション品目の要素部品 P T I : 打上前作動時間等管理品目の要素部品
 Operating Life Limitation Item Storage Limitation Item Pre-Launch Operating Time/Cycle Control Item

次の場合は機器履歴票に記入する。 [注] (1) 前の機器履歴票の番号は、当該装置の前の発行番号を記入し発行番号は当ページが識別できる番号を記入する。
 (1) 試験、検査又は点検を実施した場合。 (2) 有効寿命が設定されている品目は、有効寿命及び最初のゼロ時点を記入する。
 (2) 不具合が発生した場合。コンフィギュレーションの変更があった場合。 (3) 内容の説明が1行では不足する場合は、数行費して簡明に記述する。
 (3) 出荷又は輸送した場合
 (4) 装置の作動又は保管中のメンテナンスを実施した場合。
 (5) 組立、交換等の作業を実施した場合。

表3.47-2 寿命管理品目表(例)

サブシステム	コンポーネント	有効寿命品名 識別番号	OLI	SLI	管理項目	有効寿命	納入時 (57.4.30) 経過/累計時間日数	寿命開始時点	寿命開始時点等 を定める文書名
STR	SADAPTA	SADAPTA P/N:1234100-1	○		シャフト回転	6,000回	300回	AT開始時 55年11月	Comp Spec SVS-9728D
		〃		○	経過時間	60ヶ月	18ヶ月	〃	〃
M/E	VC	シャッタ P/N:1235100-1	○		開閉回数	130,000回	43,000回	工場受入時 56年 1月	仕様書 SD0126A
		撮像管 P/N:1235200-1	○		作動時間	500時間	165時間	工場受入時 〃	仕様書 SD0127A
	IES	IEE P/N:1236100-1	○		ON/OFF回数	500回	165回	AT開始時 56年 1月	文書「XXX-0030 信頼性管理名目」
		〃	○		バルブ開閉	50回	16回	〃	〃
		中和器 ホローカソード P/N:1236200-1	○		作動時間	500時間	165時間	〃	〃
		〃		○	大気曝露時間	1,000時間	333時間	〃	〃
		主陰極 ホローカソード P/N:1236300-1	○		作動時間	500時間	165時間	〃	〃
		〃		○	大気曝露時間	1,000時間	333時間	〃	〃

(3) 個別管理事項

履歴には次のデータを含める。

- a. ゼロ時間、有効寿命
- b. 貯蔵中のメンテナンスの情報(点検、不具合など)

- (4) 貯蔵期間がゼロ時間からの暦時間の経過で、規定の日数(時間)を超える場合又はその恐れのある場合は、必要な処置(廃棄又は使用制限など)を施す。

実施しない場合の影響

貯蔵寿命限定品目が識別され、該当品目の管理を行わないと、ミッション達成前に製品の有効寿命を超える恐れがある。

参考文献

なし

3.48 特性値管理品目の管理

効果

ミッションに重要な影響を及ぼす特性について、これを時系列的に記録し、その定性的、定量的傾向を評価、確認することにより、特性の異常傾向の把握が容易となる。したがって、特性の異常／故障の事前予知が可能となり、早期に必要な対策を講ずることが出来る。

効果的な実施時期

品目で指定した特性値（又はパラメータ）の初期状態からの変化量、変化傾向を観察し、トレンドの異常傾向の有無を管理するのが目的であるので、詳細設計段階で対象品目を決定し、特性値が計測できる状態なった時点（製造完了時点又は部品の作動開始時点）から管理することが必要である。

技術的根拠

ミッションに重要な影響を及ぼす特性値を時系列的に取得し、解析結果その変化が、定性的、定量的に或る一方向性の変化傾向を有する場合、又は、変化の幅が標準的な許容値を超える場合には、異常／故障の兆候として捉えることができる。実績のない新規開発品目については、特に有効である。

JMR-004対応項番

4.3.16.3 信頼性管理品目

関連の深い信頼性業務

- (1) トレンド解析
- (2) 特別な管理を要する品目の識別
- (3) 特性値管理品目の文書パッケージへの反映

実施方法

- (1) 管理範囲
製造、試験、システムインテグレーション及び軌道上の運用に至る、全ミッション期間管理する。
- (2) 一般管理事項
 - a. 管理品目はシリアルナンバーで管理する。
 - b. 特性値管理品目の特性データ、記録は文書パッケージに含め管理する。
 - c. 特性値管理品目表記入例を表3.48-1、表3.48-2に示す。

表3.48-1 特性値管理表記入例 (1/2)

特性値管理表			品目名称・部品番号			製造番号									
			シャントデシベータ UE1733B			S/NO02									
管理番号	特性値 管理項目	規格管理基準	試験フロー番号	Task 2	Task 3					Task 3	Task 4	Task 2	Task 6		
			手順書, Rev	K020 T2789	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	K020 T3669	K020 T3669	
			試験場所	80-1F	71-1F	71-1F	同左	同左	同左	同左	同左	同左	71-2F	71-1F	71-1F
			試験日付	84-3-2	84-3-9	84-3-12	84-3-13	84-3-13	84-3-15	84-3-16	84-3-16	84-3-16	84-3-22	84-5-15	84-7-16
			データ記録者	土田	土田	土田	土田	春川	土田	土田	土田	土田	土田	二宮	二宮
			評価担当者	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間	本間
			常温	常温	常温	+20℃	-60℃	+70℃	-60℃	+70℃	+20℃	常温	PAD	PAD	PAD
			受入試験手順書の 試験ブロック番号	2-2	*	2-3							2-4	10-2	10-6
			受入試験手順書の Subtask番号	2	*	3							2	4	4
			1	制御入力信号電圧	シャント開始電圧 3±2.0V	SHNT-1	2.98V	2.91V	2.95V	4.20V	2.32V	4.09V	2.32V	3.16V	2.86V	2.92V	2.90V
SHNT-2	2.98V	2.91V				3.05V	4.20V	2.42V	4.09V	2.43V	3.16V	2.86V	2.92V	2.90V	
2	フルシャント電圧 8+4.7V -3.0	SHNT-1	7.48V	7.42V	7.45V	10.80V	6.22V	10.78V	6.23V	7.66V	7.36V	7.32V	7.35V		
			SHNT-2	7.58V	7.42V	7.65V	10.90V	6.22V	10.78V	6.23V	7.87V	7.26V	7.32V	7.35V	
		8+4.1V -3.0	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良		
			受入試験手順書の 試験ブロック番号	2-2	*	2-3							2-4	10-2	10-6
			受入試験手順書の Subtask番号	3	*	4							3	5	5
			3	*	4							3	5	5	
3	制御入力信号電流	最大0.9 A (フルシャント時)	最大0.7 A (同左)	0.15A	0.14A	0.14A	0.51A	0.10A	0.51A	0.09A	0.15A	0.14A	0.14A	0.14A	
				良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	

上段 特性値データ

*サブシステムレベルの手順書には要求なし

下段 評価結果/通報番号

表3.48-2 特性値管理表記入例 (2/2)

DATA HISTORY		PARTS NO.		PARTS NAME					SERIAL NO.	VEHICLE NO.	
		1B98523-1 1B98523-501 Δ		Pwr Cont Box					0012	FLT# 10	
TEST ITEM	TYPE OF TEST	メ-カA/T	RP F/T	装着前試験	装着前試験	装着前試験	装着前試験	装着前試験	装着前試験	1段実験 前準備	
	DATA	87-7-29	88-2-22	88-6-6	88-11-7	89-5-28	90-11-18	91-9-2	91-12-4		
	LOCATION	A	B	B	B	B	B	B	C		
	PROCEDURE (REV.) RECORDED BY	FD15882 "L"	FTP J-0187D	FTP J-0187D	FTP J-0187D	FTP J-0187F	FTP J-0187H	FTP J-0187H	SPN-064 T1		
SPEC	P19030. SR20. 22		富田	大池	角谷	角谷	江場	富田	江場	富田	
1	P79087 E012A	5.1.1(1)	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	C8-C11	
	Δ 0.93A以下 (システム試験の場合リレー 電流分(0.05A)を補正の こと)	0.83A (at 28.0V)	0.84A (28.0V)	0.84A (28.0V)	0.84A (28.0V)	0.84A (28.0V)	0.84A (28.0V)	0.84A (28.0V)	0.83A (28.0V)	0.86A (28.41V)	
									0.84A (33.9V)		
EVALUATED BY		佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	佐藤	
注記 (1) データ記入欄の上欄は各TEST PROCEDURE の項目番号を示す。 (2) 修理/再調整又は追加データを取得した場 合は継続用紙を入手し記録すること。 (3) 右の方眼紙は評価のため適宜使用してもよい。		Δ									
		0.93									
		0.91									
		0.89									
		0.87									
		0.85									
		0.83									
0.81 (A)											

(3) 個別管理事項

- a. 品目の特性値管理開始後、管理対象とする特性値データをグラフにプロットするなどによりトレンド解析を行い、定性的、定量的な変化傾向を把握して、トレンド上変動があるものについては、
 - ・変動量／変化傾向の妥当性
 - ・設計解析時点にさかのぼり変動要因の調査・検討
 - ・同種品目の過去のデータとの比較
 - ・製造工程の変更
 - ・ヒューマンエラーの潜在性(例えば熟練作業者の変更)などについて、要因分析を行い異常／故障の前兆の有無を設計技術者／信頼性技術者により判断する。
なお、トレンド解析では、解析の信頼性(信ぴょう性)を高める意味で、時系列的な取得データが多いことが望ましい。
- b. 特性値管理は、スペック内に入っている特性値の異常傾向を抽出することが狙いであるため、単なるスポット的なデータレビューの繰り返しのみではこの目的を達成することは出来ない。特性値トレンドデータから、「おかしいぞ」、「いつもと違うぞ」と気付き、これを関連部門の技術者が出荷後あるいは長期間の宇宙での運用でスペックアウトとなる潜在要因を発見し、この防護策を講じることにある。
- c. トレンド解析の結果品目に異常の兆候が発見された場合には、得意先を含む関連部門にこれを通知し、善後策を協議すること。
- d. この管理を容易にするため、特性値のトレンド記録(特性値管理表)を文書パッケージに含め品目と共に管理する。
- e. 特性値管理品目は、製造会社出荷後も特性値を時系列に記録し、常時トレンド異常の有無を監視すること。
- f. ロケット搭載機器のように、開発完了後同一品目を比較的長期間に亘って製作する場合には、号機間(製造S/N間)の特性値のトレンドも必要に応じて考考慮すること。

実施しない場合の影響

重要な特性の時系列的变化を管理しなかったことにより、事前に異常／故障を発見することが困難となる。これに伴い、ミッション期間中に大きな損害をもたらす恐れがある。

参考文献

なし

3.49 重要取付品目の管理

効果

重要取付品目を管理することで構造又は機構の結合部の破損により人命に危害を与えたり、ミッション失敗に結びつくことを防止する。

効果的な実施時期

該当コンポーネントのフライトモデル製造、試験及び打上げフェーズにおいて行う。

技術的根拠

構造又は機構の結合部重要品目を選定し、管理することにより人命への危害の防止及びミッション成功を達成させる。

JMR-004の対応項番

4.3.16.3 信頼性管理品目

関連の深い信頼性業務

- (1) 特別な管理を要する品目の識別
- (2) 信頼性管理品目リストの作成、維持
- (3) 信頼性管理品目の文書パッケージへの反映

実施方法

- (1) 管理範囲
製造、試験から打上げ時点までに適切に管理する。
- (2) 一般管理事項
 - a. 管理品目はシリアルナンバーで管理する。
 - b. 重要取付品目に関する作業記録は単体の確認、取付・取外し記録、取付状況を含める。
 - c. 機器履歴、検査、試験データを記録し文書パッケージに含める。
 - d. 指定品目が供給元で既に取付けられている場合は再確認の必要はない。
- (3) 個別管理事項
重要取付品目の管理は特に次を含める。
 - a. 重要取付品目単体が良品であることの確認作業は作業指示書に従う。
 - b. 良品として確認済の単品については、取付けるまで他の同種部品と区別して保管する。たとえば、重要取付品目に指定されたファスナや取付金具などは他の同種の一般部品と区別するための識別を行い、別包装して保管するなどの対応を図る。

- c. 重要取付品目の取付けは良品であることを確認済のものを使用する。
- d. 組立作業時には重要取付品目であることを、作業指示書中で明確に識別する。
- e. 重要取付品目を取外して再取付けする場合は所定の検査を実施し装着可能なことを確認する。
- f. 単体点検及び取付、取外しの作業記録を残す。
- g. 不具合処置でそのまま使用又は修理の場合は必ずMRBとする。
- h. 品目及び要求事項の変更が必要となった場合、文書にて変更提案を行うこと。
- i. 作業確認結果は納入前審査などの審査対象にする。

(4) 作業記録例

重要取付品目確認記録を表3.49-1に、確認結果記録様式を表3.49-2に示す。

表3.49-1 重要取付品目確認記録一覧表記入例

重要取付品目確認記録一覧表

No.	部品番号	部品名称	S/N	装着図 (親図面)	確 認 点 検													取 付 ・ 取 外 し の 記 録												備 考							
					項 目 *													工						場 射 場													
					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	P	結果	部品の 状 態	取 付 日 付 (手順書)	取 外 し 日 付 (手順書)	取 付 日 付 (手順書)	取 外 し 日 付 (手順書)	取 付 日 付 (手順書)	取 外 し 日 付 (手順書)	取 付 日 付 (手順書)	取 外 し 日 付 (手順書)	取 付 日 付 (手順書)	取 外 し 日 付 (手順書)										
1	K56-0200-101	PIN-ACTUATOR	086	K56-0408-000	○	○		○	○				○		○				良	単品																R4.6.5 (TOP304)	
2	〃	〃	087	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品															R4.6.5 (TOP304)		
3	〃	〃	088	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品															R4.6.7 (TOP304)		
4	〃	〃	089	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品															R4.6.7 (TOP304)		
5	〃	〃	090	K56-0404-000	○	○		○	○				○		○				良	単品	R4.2.22 (IOP764)																
6	〃	〃	091	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品	R4.2.22 (IOP764)																
7	〃	〃	092	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品	R4.2.24 (IOP764)																
8	〃	〃	093	〃	○	○		○	○				○		○				良	単品	R4.2.24 (IOP764)																
9	K56-0250-106	SPHWASH, D	024	K56-0250-000	○	○							○	○	○				良	単品														R4.6.22 (NUH-11-060)			
10	〃	〃	025	〃	○	○							○	○	○				良	単品														R4.6.22 (NUH-11-060)			
11	K56-0250-107	NUT	022	K56-0250-000	○	○			○				○	○	○				良	単品														R4.6.22 (NUH-11-060)			
12	〃	〃	023	〃	○	○			○				○	○	○				良	単品														R4.6.22 (NUH-11-060)			

(注) *

A : MAGNA (磁粉探傷試験)
 B : HARDNESS (硬度検査)
 C : FLUORESCENT (蛍光浸透探傷検査)
 D : TORQUE (トルク検査)
 E : THREAD (スレッド検査)
 F : SPRING PERFORMANCE (バネ性能検査)
 G : FIT CHECK (フィットチェック)
 H : DIMENSION (寸法検査)
 I : WEIGHT (質量検査)
 J : VISUAL INSPECTION (目視検査)
 P : PROOF TEST (プルーフ試験)

表 3.49-2 重要取付品目確認記録様式例

重要取付品目確認記録結果

区分	JAXA確認		メーカー確認	
	日付	サイン	日付	サイン
工場組立作業	R4. 4. 26	山田	R4. 4. 26	佐藤
			R4. 4. 22	田中
射場発射整備作業	R4. 7. 16	山田	R4. 6. 15	高橋
			R4. 6. 15	田中
			R4. 7. 16	佐藤
			R4. 7. 16	高橋

作業結果については単体としての確認記録、取付け、取外しの記録を残す。更に作業の進捗に従い、その取付状況を例で示した表3.49-1に示す様式又は同等なものに記録し、各作業終了時に状況を把握して作業の適否を評価した後、例で示した表3.49-2に示す様式又は同等なものにサインを残す。確認記録結果の例において、工場組立作業のサインは工場完成検査時にサインアップし、射場整備作業のサインは全ての重要取付品目の取付が終了したタスクのタスクレビューでサインアップしたものである。また、確認記録結果は重要取付品目確認記録のカバーシートとして管理する。

実施しない場合の影響

重要取付品目の管理を行わないと当該品目の破損が人命に危害を与えるか、あるいはミッション失敗に結びつく恐れがある。

参考文献

なし

3.50 打上前作動時間等管理品目（PTI）の管理

効果

初期故障を有する可能性のある品目について、あらかじめ地上で規定した一定の時間等を作動させることを管理することにより、安定領域に入ってから運用を保証する。

効果的な実施時期

フライトモデルの製造から打上げまでに規定された時間等を管理する。

技術的根拠

部品・材料による欠陥や、ワークマンシップによる欠陥等が発生するコンポーネント等の製造後早い時期の作動を管理することにより、軌道上での初期作動の安定が確保できる。当該品目は、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験を対象とする品目である。

JMR-004の対応項番

- 4.3.16.3 信頼性管理品目
- 4.4.3.4 ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

関連の深い信頼性業務

- (1) 特別な管理を要する品目の識別
- (2) 信頼性管理品目リストの作成、維持
- (3) 信頼性管理品目の文書パッケージへの反映
- (4) ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

実施方法

- (1) 管理範囲
製造、試験から打上げまでに規定された時間等を管理する。
- (2) 一般管理事項
 - a. 機器履歴、検査、試験データを記録し文書パッケージに含める。
 - b. 管理品目は、シリアルナンバーで管理する。
 - c. 機器履歴は機構指定の様式に必要事項を記入する。
- (3) 打上前作動時間等管理品目は特に次を含める。
 - a. 打上前作動時間等の規定値（バーンイン時間、バルブ及びスラストの作動回数、潤滑剤のなじみ時間など）。
 - b. 履歴に含めるデータは作業記録、不具合事項の情報、変更の記録を含める。
作業の記録：部品材料の受入、加工、処理、組立、分解、調整、交換、

取付、検査・試験、保管、輸送などの作業の時間経過に従った記録を行う。

不具合事項の情報：作業中に発生した不具合については、その要約、不具合報告書番号、故障解析報告書番号を付記する。変更の記録：機構の承認した文書又はCDR後ベースラインとして設定された文書、図面の変更で安全性、信頼性、耐久性、性能、互換性、重量、コストに影響する変更。

c. 要求累積値との対比

(4) 打上前作動時間等管理品目の機器履歴票の例を表3.50-1に示す。

実施しない場合の影響

打上前作動時間等管理品目の管理を行なわないと当該品目のいわゆる初期故障の除去ができず、開発中、最悪の場合は軌道上の不具合発生に結びつく恐れがある。

参考文献

なし

表 3.49-1 機器履歴票（打上前作動時間等管理品目記入例）

機器履歴票 EQUIPMENT LOG		発行番号 Log No.		L-1234P-01				
		前の履歴票番号 Replaces Log No.						
品目名 Eqp. Name	本体	部品番号 Part NO.	ABCD98001G01	シリアル番号 Serial NO.	001	仕様書 No. Spec. NO.	NASDA-PSPC- 12345	
製造会社 Manufacturer	ABC		識別 Identification , <input type="checkbox"/> OLI, <input type="checkbox"/> SLI, <input checked="" type="checkbox"/> PTI	打上前作動時間 Pre-Launch Operating Time	240時間	ゼロ時点 Initial Date	10年7月26日 (注型日)	
年月日 Date	作業内容 Event	場所 Location	作動時間 Ope. Time	累積作動時間 Cumulative	作業結果／不具合等の概要 Event / Nonconformance Result	不具合／故障解析 報告書 No. Nonco. Ret. No.	記入者所属氏名 Written by.	備考 Remarks
11.7.1	初期電気性能試験	ABC東京	40	40	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	ハンソウ要求
7.15~7.18	振動試験	ABC東京	10	50	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	240時間
7.20~8.5	熱真空試験	ABC東京	80	130	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	
8.6	熱真空試験後電気	ABC東京	10	140	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	
8.7~8.15	バーンイン	ABC東京	65	205	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	
8.20	最終電気性能試験	ABC東京	40	245	合格 / 不具合なし	-----	ABC 高橋	

OLI : 作動寿命限定品目の要素部品, SLI : ストレージリミテーション品目の要素部品, PTI : 打上前作動時間等管理品目の要素部品
 Operating Life Limitation Item Storage Limitation Item Pre-Launch Operating Time/Cycle Control Item

次の場合は機器履歴票に記入する。 [注] (1) 前の機器履歴票の番号は、当該装置の前の発行番号を記入し発行番号は当ページが識別できる番号を記入する。
 (1) 試験、検査または点検を実施した場合。 (2) 有効寿命が設定されている品目は、有効寿命及び最初のゼロ時点を記入する。
 (2) 不具合が発生した場合。コンフィギュレーションの変更があった場合。 (3) 内容の説明が1行では不足する場合は、数行費して簡明に記述する。
 (3) 出荷又は輸送した場合
 (4) 装置の作動または保管中のメンテナンスを実施した場合。
 (5) 組立、交換等の作業を実施した場合。

3.51 信頼性管理品目の文書パッケージへの反映

効 果

信頼性管理品目について、品目が製造された以降のデータを文書パッケージとして管理することにより、信頼性データの一元的な管理が可能となる。

効果的な実施時期

製造されてから以降

技術的根拠

文書パッケージを維持することにより常時品目の信頼性データが確認でき、当該品目の交換や修理において、信頼性データが品目に付いて回るので作業及び品目の管理が容易となる。

JMR-004の対応項番

- 4.3.9 トレンド解析
- 4.3.10.2 寿命解析
- 4.3.16.3 信頼性管理品目
- 4.4.3.4 ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

関連の深い信頼性業務

- (1) 作動寿命限定品目の管理
- (2) 貯蔵寿命限定品目の管理
- (3) 特性値管理品目の管理
- (4) 重要取付品目の管理
- (5) 打上前作動時間等管理品目の管理

実施方法

- (1) 信頼性管理面での利点

文書パッケージにより、信頼性上重要なデータを一元的に管理することによる品目管理上の利点は、以下に示すとおりである。

- a. 信頼性管理品目の重要データを、品目を運用している現場で直ちに見ることが出来る。
- b. 定期的に信頼性管理品目の重要データを一覧することにより、短時間に総括的な点検が出来る。

したがって、これらの利点を生かし管理活動を円滑に進行させることが可能となる。

(2) 運用・活動

文書パッケージは作業現場に常備して、品目の上位システムでのインテグレーション試験などの運用時には、つぎの管理を実施のこと。

- a. 品目作動時には、作動記録(履歴)、特性値管理対象としている特性値を追加し文書パッケージの維持を図ること。
- b. 作動寿命限定品目については、品目作動時常に累積作動時間を監視し、品目の作動寿命に対するマージンを考慮して以降の運用計画を立案すること。
- c. 貯蔵寿命限定品目については、貯蔵開始からの経過時間を定期的に点検して、貯蔵限界に達していないかを確認し、必要に応じて交換品目の手配準備、又は、品目の定期点検を実施すること。
なお、長期間貯蔵保管が予め判明している品目については、有効期限を暦日で記載することが管理上望ましい。
- d. 特性値管理対象の特性値トレンドに異常な傾向が見られた場合には、この処置について設計技術者、信頼性技術者に判断を求めること。
- e. 打上前作動時間等管理品目については、累積作動時間、潤滑剤のなじみ時間等を記録し、あらかじめ地上で規定した一定の時間、回数等を作動させたことを確認する。

(3) 文書パッケージに反映する文書

信頼性管理品目で文書パッケージに反映／記録すべき代表的な項目を以下に示す。

- a. 作動寿命限定品目 (OLI)
品目名称、品目番号、シリアル番号、管理すべき特性（時間又はサイクル）、有効寿命
- b. 貯蔵寿命限定品目 (SLI)
品目名称、品目番号、シリアル番号、管理すべき特性（時間又はサイクル）、有効寿命、ミッション中に寿命切れにならないようにする管理方法
- c. 特性値管理品目
品目名称、品目番号、シリアル番号、記録すべき特性
- d. 重要取付品目
品目名称、品目番号、シリアル番号、記入時点、記録事項
- e. 打上前作動時間等管理品目 (PTI)
品目名称、品目番号、シリアル番号、管理項目（バーイン時間、なじみ時間等）、製造メーカー名、要求累積値との対比

(4) 文書パッケージの構成

文書パッケージは信頼性管理品目毎に調達仕様書などで規定されたデータと様式を用いて作成し、品目に添付して納入する。

文書パッケージの構成(目次例)を図3.51-1に、文書パッケージに含めるデータ及び提出範囲の例を表3.51-1に示す。

表3.51-1 文書パッケージに含めるデータ及び提出範囲

○：提出 △：必要な場合提出 ×：不要

	作動寿命 限定品目 (OLI)	貯蔵寿命 限定品目 (SLI)	特性値 管理品目	重要取付品目	打上前作動 時間等 管理品目 (PTI)	備 考
機器履歴票	注1) ○	注2) ○	注4) ○	注4) ○	注1) ○	組立完了後 はゼロ時間 以降の履歴
不具合履歴票	○	○	○	注5) ○	○	
構成品リスト	注3) △	注3) △	注3) △	注3) △	注3) △	異常／故障 MRB, ECP 等 の履歴
AT／機器試験 データ	○	○	○	○	○	
電監関係文書	該当する場合		×	×	該当する 場合	

注1) 作動時間の履歴

注2) 貯蔵時間及びその間のメンテナンス履歴

注3) JAXA納入後交換可能なアセンブリ又は実際の有効寿命を決定する要素となっているアセンブリあるいは部品を含む場合

注4) 各管理品目の履歴票作成要領に基づく確認記録

注5) そのまま使用又は修理の場合はMRB処置が必要

<ol style="list-style-type: none"> 1. 記入要領 2. 構成品リスト 3. 機器履歴票 4. 不具合履歴票 5. 検査・試験記録 6. 取り扱い上の注意事項 7. その他
--

図3.51-1 文書パッケージ目次 (例)

実施しない場合の影響

品目製造後の信頼性管理品目の管理ができなくなり、信頼性上の問題点の早期発見ができない恐れがある。

参考文献

なし

3.52 部品、デバイス、材料、工程プログラム：専門組織の活用

効果

専門組織を設定／確立し各プロジェクトを（特に設計部門に対して）支援することにより、プロジェクトの要求事項を満たす部品、デバイス及び材料の選定と適用、並びに工程プログラムの選定と実行を適切に行うことができ、宇宙用機器のミッション達成に与える致命的な影響を防ぐことができる。

効果的な実施時期

基本設計のスタート時において、専門組織を確立する。

技術的根拠

部品、デバイス、材料及び工程プログラムは、宇宙用機器の機能、性能、質量、信頼性、寿命、消費電力及びプロジェクトコストを決定する要素であるが、設計部門又はシステム技術者は必ずしもこのような固有技術に詳しいというわけではない。したがって、これらのプロジェクトにまたがる広範囲の情報を有し、設計部門を支援する能力のある専門組織が必要である。

JMR-004の対応項番

4.3.17.2 専門組織の活用

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：選定
- (2) 部品、デバイス：仕様書
- (3) 部品、デバイス：認定
- (4) 部品、デバイス：リストの作成
- (5) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査
- (6) 材料、工程プログラム
- (7) 異常／故障の管理方法

実施方法

- (1) 専門組織の活用

部品、デバイス、材料及び工程プログラムは、専門的な要素技術であるので、専門組織を設けて設計技術者を支援及びレビューする必要がある。

この専門組織は複数のプロジェクトに対して横断的に専門技術を使って、設計、製造、試験・検査の段階で支援及びレビューを行う。

このためにこの専門組織は常にその技術分野についての情報収集、基礎的研究、データベースの作成・維持などを行い、プロジェクトを支援しあるいはレ

ビューできるように技術力の維持・向上に努めなければならない。

(2) 専門組織が実施／支援する業務内容

部品、デバイス、材料、工程プログラムの専門組織は「設計部門」「製造部門」、「品質保証部門」等と密接な連携を取りながら、適切に部品、デバイス、材料及び工程を選定し、品質及び信頼性を維持、管理することが重要である。

ここでは特に設計部門に対する専門組織の支援及びレビューについて図 3.52-1に示す。

a. システム要求の解析

プロジェクトの設計部門がシステム要求の解析（機能、性能、環境条件、信頼度など）を行い、ミッション要求、ミッション期間等からサブシステム、コンポーネント、部品、デバイス、材料及び工程へと要求事項を展開するので、専門組織は部品、デバイス、材料及び工程の専門技術家として現状の技術水準（The State of Arts）や将来動向を踏まえて設計部門を支援し、部品、デバイス、材料及び工程に対する要求条件を明らかにする。

b. 選定基準の設定

専門組織は、設計部門が行ったシステム要求の解析結果をベースラインとして、部品、デバイス、材料及び工程についての選定順位、品質レベル、信頼度レベル等の選定基準を設定する。設定に当たっては既に宇宙用として実績があり認定済みの仕様書を活用すること。この時点で承認部品、デバイス、材料及び工程リスト（APL等）の第1次案を作成し具体化を図る。

c. 選定

設計部門はプロジェクトの開発仕様書あるいは設計仕様書の要求事項を満たし、ミッションが確実に達成され得る品質及び信頼性を有する部品、デバイス、材料及び工程を専門組織が作成した選定基準に従って選定する。専門組織は選定作業を支援する。

d. 仕様書の制定

既存の認定された仕様書がない部品、デバイス、材料及び工程を採用する必要が生じた場合には、対象となる部品、デバイス、材料及び工程の定義を明確にし、開発及び認定のための新たに仕様書を作成し制定する必要がある。専門組織が、設計部門からの要求を受けて、対象となる部品、デバイス、材料及び工程に対する機能、性能、環境条件、認定試験、品質確認試験等を明確にした仕様書を作成し制定する。

e. 認定

専門組織は、新規に作成し制定された仕様書に従って対象となる部品、デバイス、材料及び工程の認定を行う。認定の過程（認定対象品目の設計、製造過程を含む）において、試験変更の必要が生じた場合は、設計部門と協議して、設計側での対処策を選択する。通常は、供試体を製作し試験を実施し

た上で認定を行うが、既に認定された部品、デバイス、材料及び工程を一部変更して採用する場合には、適宜認定試験項目の取捨選択を行って効率的に認定作業を進める。

f. リストの作成

専門組織は、a～eの結果を踏まえて宇宙機器の設計に使用する部品、デバイス、材料及び工程のリストを作成し、承認部品及びデバイスリスト（APL）、承認材料リスト（AML）、承認工程リストなどとして制定する。プロジェクトの進展に従い維持・管理する。

g. 適用審査の実施

専門組織が選定した部品、デバイス、材料及び工程が選定基準に合致し承認部品デバイスリスト、承認材料リスト、承認工程リストに記載のであることを確認し、コンポーネントレベル以上の機器設計において要求条件を充分満足する妥当な「使われ方」をしていることを確認する。

h. 故障解析

製作及び試験中に部品、デバイスに不具合が発生した場合には、専門組織は故障解析を行い、原因究明を行い、対処策を設計部門とともに検討する。

(3) 開発段階に対応する部品、デバイス、材料及び工程プログラム

専門組織は、開発段階に応じて、部品、デバイス、材料及び工程の進捗状況（選定、仕様書の制定、認定、リストの作成）を把握し、スケジュール通りに実施するようにマネジメントしてプロジェクトの円滑な進捗を支援する。

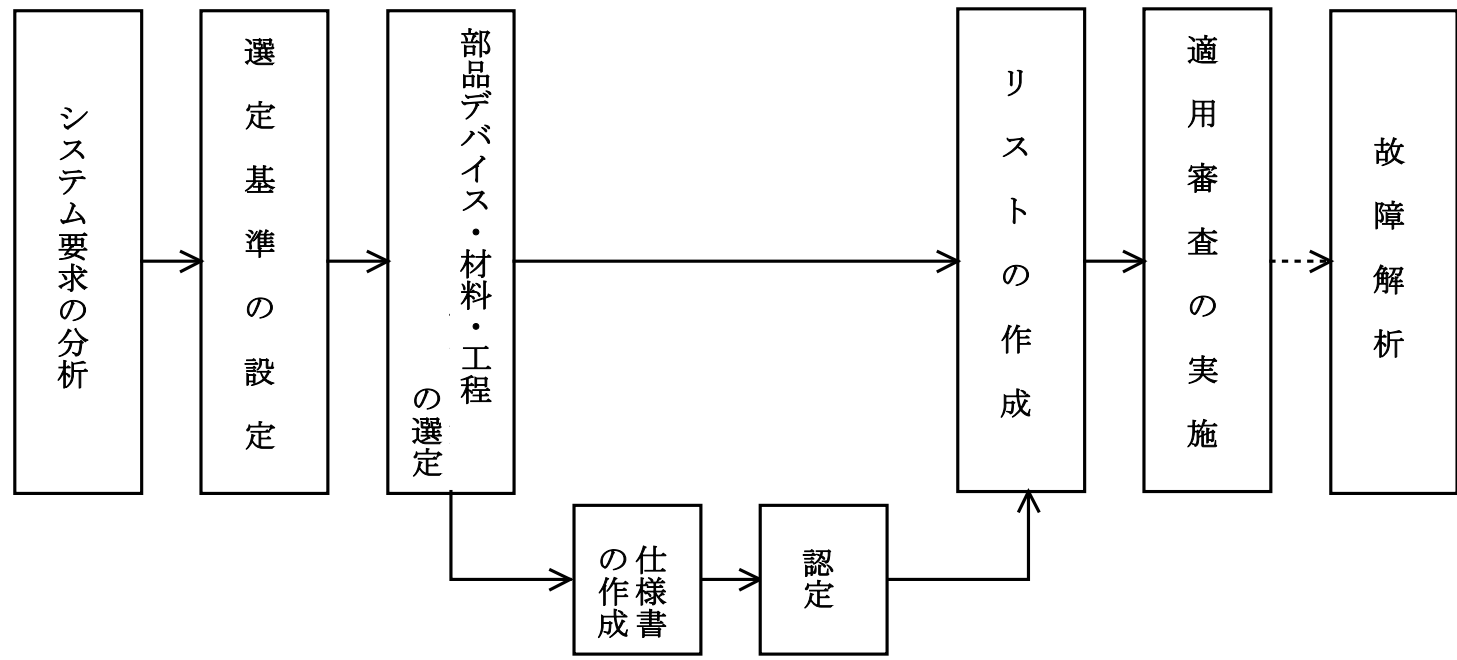
図3.52-2に開発段階に対応する部品、デバイス、材料及び工程プログラムを示す。

実施しない場合の影響

専門組織を活用せず、設計部門又はシステム技術者だけで部品、デバイス及び材料の選定と適用並びに工程プログラムの選定と実行を行った場合、機能／性能を優先するばかりにプロジェクトの要求する品質及び信頼性がおろそかになる恐れがある。

参考文献

なし



専門組織	支援	主担当	支援	主担当	主担当	主担当	主担当	主担当
設計部門	主担当	支援	主担当	支援	支援	支援	支援	支援

図3.52-1 部品、デバイス、材料、工程プログラムの関与部門

開発段階	計画決定	基本設計	詳細設計	製作・試験
審査会	(BBM)		(EM)	(PM) (FM)
		▽	▽	▽
		PDR	CDR	PQR PSR
部品、デバイス、材料、工程	部品、デバイス、材料、工程のリスト作成		故障解析	
	仕様書作成、認定			
	部品、デバイス、材料、工程の選定		部品、デバイス、材料、工程適用審査	

図3.52-2 開発段階に対応したデバイス、材料及び工程プログラム

3.53 部品、デバイス：選定

効果

プロジェクトの開発仕様書の要求事項を満たす部品、デバイスを選定することにより、宇宙機のミッション達成上のリスクを低減し、宇宙用機器の品質及び信頼性を確保することができる。

効果的な実施時期

システム定義段階においてミッション要求に応じたクリティカルな部品の洗い出しと調達管理方針を明らかにする。

基本設計段階において、そのプロジェクトに使用する予定の部品及びデバイスを選定する。

技術的根拠

プロジェクトの開発仕様書の要求事項を満たし、システム／機器の仕様の低下や、ミッションに対する障害を防ぐために、氏素性の明らかな部品、デバイスを選定することが必要である。

また、宇宙用として標準化、共通化された部品を選定することにより、コストの低減、納期の短縮、情報の活用及び確実な管理による信頼性が得られる。

JMR-004の対応項番

4.3.17.3 選定

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：仕様書
- (2) 部品、デバイス：認定
- (3) 部品、デバイス：リストの作成

実施方法

部品及びデバイスの選定にあたっては、プロジェクトの定義段階から、プロジェクト移行前審査、各種設計審査段階を通じて計画的に部品及びデバイスの選定と評価活動を行うことが必要である。また、使用候補の部品及びデバイスはできる限り早期に候補部品リストとして文書化することが必要である。

契約の相手方は、候補部品リストを基にプロジェクトで使用する部品及びデバイスを選定し、候補部品リストを最新化して審査を受けようとする部品及びデバイスのリスト（使用部品リスト）として作成し維持する。詳細については3.56項「部品、デバイス：リストの作成」に示す。

部品及びデバイスの選定は、ミッション成功に大きく寄与するため、十分な配慮のもとで適切に実施されることが必要である。ロケットや人工衛星のミッション要求に基づき、使用環境条件、使用レベル、形状、寸法等の諸特性について考慮すると共に、強度、軽量化、信頼性、耐食性、入手性及びコストの観点からトレードオフを行い、選定をすることが肝要である。

また、プロジェクトの要求事項を達成するためには、既存の認定された部品から選定するだけでなく新規に特有の部品、デバイス进行评估し、開発・認定をすることがある。

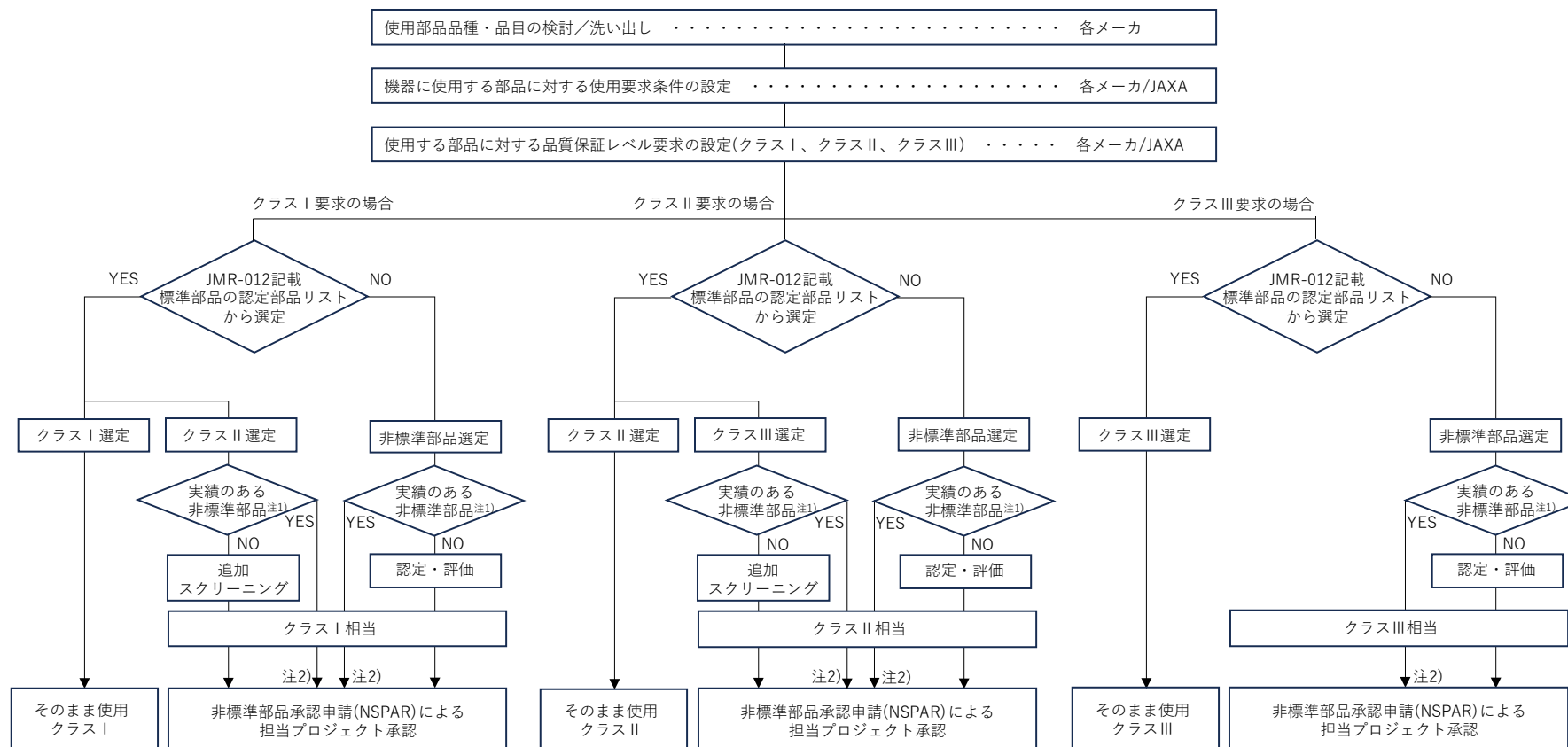
宇宙用部品から選定することが技術的、経済的に困難な場合で、宇宙転用可能な部品^{注1)}を選定する際には、宇宙転用可能な部品が本来宇宙環境での使用を意図していないものであること、設計、プロセス、試験、検査の内容が使用者に公開されないこと、製造者が使用者への通知を行うことなく技術変更を行う等の宇宙用とは異なるビジネス環境を踏まえて十分な評価を行うことが必要である。

部品調達方針に関しては、JMR-012「電気、電子、電子機構（EEE）部品プログラム標準」¹⁾、JERG-0-052「宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（共通編）」²⁾などが参考になる。

これらを参考にして、宇宙機の機能要求やミッション要求から部品の品質要求を設定し、品質保証レベルを基に、プロジェクトの特性を考慮して部品を選定することによって、品質及び信頼性はもとより、システム／機器の設計、製造、試験が合理的に行える。

注1) 宇宙産業界以外で利用され、軍用規格や宇宙用規格に準じて設計、製造、品質保証されていない部品のうち、高信頼部品（海底ケーブル用部品、原子力用部品、航空機用部品、耐放射線性PEM部品）、自動車用部品（パワートレイン、ブレーキ、エアバック他（安全性に直接関与する部品））、産業用部品（工場機器/インフラ用、他（故障時の影響大））の総称。（JERG-0-052からの引用）

部品及びデバイスの選定手順の例を以下に示す（図3.53-1 参照）。



注1) 非標準部品承認申請(NSPAR)による承認又は部品リストに記載されて承認を受けた実績があり、かつ、良好なフライト実績を有する非標準部品。

注2) 次の条件を満たす非標準部品については、過去に承認を得た非標準部品の承認申請を有効とすることができる。

a. NSPAR申請書を過去に提出し、承認を得たことのある部品で、設計・構造、製造条件等に信頼性上の問題がないこと。

b. 承認時の部品の適用条件が、適用するロケット・宇宙機等の寿命、環境条件等の要求と同等以上であることを、承認時の仕様書、試験データ等により証明できること。

図 3.53-1 一般的な部品の選定・承認フロー

(1) 使用部品品種、品目の検討/洗い出し

宇宙機のミッション、ミッション期間、軌道等に基づきミッション解析を実施し宇宙機のサブシステム/コンポーネントへの機能配分がシステム設計部門によって実施される。

機能配分に従ってサブシステム/コンポーネント等の機器設計が実施される。

機器の設計に当たっては、JMR-012や過去の宇宙機の経験をベースに宇宙用として使用可能なあるいは使用実績のある部品を採用する必要がある。

その設計結果によりその宇宙機に使用する部品、デバイスの品種、品目を洗い出す。

(2) 機器に使用する部品に対する使用要求条件の設定

宇宙機のミッション、ミッション期間、軌道、使用打上げ手段等に基づいてサブシステム/コンポーネントの具体的な使用条件、環境条件をベースにして機器に使用する部品に対する使用要求条件を設定する。(1)により洗い出された部品の品種、品目がその使用条件に耐えうるか否かの判定を行い、判定が否の場合には機器設計にフィードバックし機器設計をやり直す、あるいは新たに部品を開発する。

宇宙用機器で特有の要求である耐放射線要求として、放射線に感受性のある部品は、軌道上の放射線環境(宇宙線(重粒子)、電磁放射線、捕捉放射線(荷電粒子-放射線帯の電子、陽子)及び太陽放射線(フレア))による誤動作・故障及び劣化を十分に考慮して選定・適用すること。

特に以下の事項を考慮するものとするが、軌道、ミッション期間等により放射線環境が異なるため、詳細はプロジェクトの個別要求によること。

(1) トータルドーズ(TID)及び変位損傷(DD)

(2) シングルイベント効果(SEE)

(3) ミッションのリスク許容度と部品の品質保証レベル

当該プロジェクトのミッション達成に対するリスク許容度が、高いか低いかによって使用する部品の品質保証レベルとコストのトレードオフを行うことができる。

同一のプロジェクトあるいは宇宙機の中にあってもミッション達成に対してリスク許容度の低い機器にはコストがかかっても品質保証レベルの高い部品を選定し、リスク許容度の高い機器にはコストを優先して品質保証レベルの低い部品を使用しても良い。

JMR-012では、品質保証レベルとしてクラスⅠ、クラスⅡ及びクラスⅢが設定されている。

集積回路を例として、JAXAクラス I、NASA NSPLレベル 1 部品（MIL-PRF-38535³⁾ Class V(Class level S)）及びレベル 2 部品（MIL-PRF-38535 Class Q (Class level B)）のスクリーニング及び品質確認試験項目（部品の認定試験及び開発確認試験とは試験項目及びサンプルサイズが異なる）の比較を表3.53-1～5に示す。

なお、品質確認試験のグループA試験（電気的特性試験：機能、性能を電気的特性により評価）については、スクリーニングの最終電気的パラメータ試験結果で兼ねることが多い。

表3.53-1 スクリーニング試験比較表

試験項目	JAXAクラスI	MILクラスV (クラスレベルS)	MILクラスQ (クラスレベルB)
ウェハロット検査	○	○	—
安定化ベーク	○	—	—
温度サイクル試験	○	○	○
目視検査	○	○	○
粒子衝突雑音検出試験	○	○	—
定加速度試験	—	○	○
放射線写真検査	○	○	—
バーンイン前 電氣的パラメータ試験	○	○	○
バーンイン試験	○ (240時間)	○ (240時間)	○ (160時間)
中間点 (バーンイン後) 電氣的パラメータ試験 ⁽³⁾	○ (Δ判定有) ⁽¹⁾	○ (Δ判定有) ⁽²⁾	— ⁽³⁾
逆バイアスバーンイン試験	○ (72時間)	○ (72時間)	—
中間点 (逆バイアスバーンイン後) 電氣的パラメータ試験	○ (Δ判定有) ⁽¹⁾	○ (Δ判定有) ⁽²⁾	—
気密性試験	○	○	○
最終電氣的パラメータ試験	○	○	○
外部目視検査	○	○	○

注(1) バーンイン試験におけるPDA (Percent defective allowable)は3% (ただし、1個の故障は許容)、すべての故障については5% (ただし、1個の故障は許容)。

(2) バーンイン試験におけるPDAは5% (ただし、1個の故障は許容)、25°Cにおける機能故障については3% (ただし、1個の故障は許容)。

(3) MILクラスQ(クラスレベルB)はΔ判定が要求されていないが、バーンイン試験におけるPDAは5% (ただし、1個の故障は許容)と規定されているため、バーンイン後の電氣的パラメータ試験をPDA計算するために実施する。

表3.53-2 品質確認試験比較表（グループB試験）

（製造品質に関する試験：部品の外形、構造、外部リード及びワークマンシップを評価）

サブグループ	JAXAクラスI (サンプルサイズ)	MILクラスレベルS (サンプルサイズ)	MILクラスレベルB (サンプルサイズ)
サブグループ 1 (a)外形寸法検査 (b)内部水蒸気量検査	3 (0) 3 (0)	2 (0) 3 (0)	----
サブグループ 2 (a)耐溶剤性試験 (b)内部目視及び機械的検査 (c)ボンド強度試験 (1)熱圧着ボンド (2)超音波ボンド (d)ダイはく離試験	3 (0) 2 (0) 2 (0) 3 (0)	3 (0) 2 (0) 2 2 (0) 3 (0)	3 (0) ---- ---- ----
サブグループ 3 はんだ付性試験	リード本数で LTPD 1 5 サンプルサイズは 3	リード本数で 2 2 (0) サンプルサイズは 3	リード本数で 2 2 (0) サンプルサイズは 3
サブグループ 4 (a)リード強度試験 (b)気密性試験 (1)微小 (2)グロス	2 (0) リード総数で LTPD5(45(0))	リード本数で 4 5 (0) サンプルサイズ 最小3	----

表 3.53-3 品質確認試験比較表（グループC試験）

（ダイ関連試験：部品のチップの品質及び信頼性を評価）

サブグループ	JAXAクラスI (サンプルサイズ)	MILクラスV (クラスレベルS) (サンプルサイズ)	MILクラスQ (クラスレベルB) (サンプルサイズ)
サブグループ 1 (a)プレコンディショニング (b)定常動作寿命試験 (c)終止点電気的 パラメータ試験	LTPD 5	4 5 (0)	4 5 (0)
サブグループ 2 (a)温度サイクル試験 (b)定加速度試験 (c)気密性試験 (1)微小 (2)グロス (d)終止点電気的 パラメータ試験	5 (0) 又は 8 (1)	----	----

表3.53-4 品質確認試験比較表（グループD試験）

（パッケージ関連試験：部品のパッケージに係る品質及び信頼性を評価）

サブグループ	JAXAクラスI (サンプルサイズ)	MILクラスV (クラスレベルS) (サンプルサイズ)	MILクラスQ (クラスレベルB) (サンプルサイズ)
サブグループ 1 (a) 熱衝撃試験 (b) 温度サイクル試験 (c) 耐湿性試験 (d) 気密性試験 (1) 微小 (2) グロス (e) 目視検査 (f) 終止点電気的 パラメータ試験	LTPD15	1 5 (0)	1 5 (0)
サブグループ 2 (a) 衝撃試験 (b) 振動試験 (c) 気密性試験 (1) 微小 (2) グロス (d) 目視検査 (e) 終止点電気的 パラメータ試験	LTPD15	1 5 (0)	1 5 (0)

表3.53-5 品質確認試験比較表（グループE試験）

（耐放射線性試験）

サブグループ	JAXAクラスI (サンプルサイズ)	MILクラスV (クラスレベルS) (サンプルサイズ)	MILクラスQ (クラスレベルB) (サンプルサイズ)
サブグループ 1 (a) 定常状態 放射線量試験 (トータルドーズ試験) (b) 終止点電気的 パラメータ試験	5 (0)	5 (0)	5 (0)
サブグループ 2 (a) シングルイベント試験 ⁽¹⁾	4 (0)	4 (0)	—

注(1) 認定試験、調達者が要求した場合、又はシングルイベント特性に影響を及ぼす設計又は工程の変更があった場合に実施する。ただし、SOI デバイスは、ウェーハロット毎に実施すること。

(4) 部品選定

設定した品質保証レベルに従って、適切な部品の選定を行う。標準部品から選定する場合は特別な手続きは不要であるが、標準部品以外から選定する場合には、(4-4)に従った手続きが必要である。

(4-1) 標準部品、非標準部品の選定

宇宙用部品は一般的にいずれの宇宙プログラムにも共通して使うことのできる標準化して認定された部品、デバイスと当該プロジェクト固有の目的のために使用するに新規に評価あるいは開発、認定された部品デバイスとに分けられる。前者を標準部品と言い、後者を非標準部品と言う。

宇宙開発の進展により当初非標準部品であった部品、デバイスが標準部品として扱われるようになることもあるし、その逆も起こる。

標準部品と非標準部品の特徴と必要業務を表3. 53-6に示す。

表3. 53-6 標準部品と非標準部品の特徴と必要業務

	標準部品	非標準部品
区分	何れの設計、プロジェクトでも使用することを目的とし、共通性があり、入手性が良く、使用実績等による信頼性の高い品目。	特定の設計、プロジェクトを指向し、斬新性、新規性があり、製品の機能を向上する高度な性能・機能を有する品目。
特徴	信頼性が確認済、入手性がある (保守的で進歩性に欠ける)	高度な機能、進歩性 (新たな評価が必要)
必要業務	(1) 事前の実績調査、評価試験によって選定し、リスト化しておく(標準部品リスト) (2) 仕様書設定と認定 (3) 在庫化、工程維持など恒常的な管理を要する。 (4) 恒常的に品質状況を調べ、常時の供給を確保する。	(1) 製品の設計に合わせた特注仕様の作成 (2) 供給側の能力を調査し、評価、設計、試験の計画立案 (3) 開発作業及び認定 (4) 適用試作、試験 (5) 使用部品の品質保証

(4-2) クラスⅡ部品によるクラスⅠ部品の代替

クラスⅠの標準部品をやむを得ずクラスⅡの標準部品で代替する場合は、その部品を非標準部品として識別する。その品質保証レベルをクラスⅠ相当として適用するため追加スクリーニングをする場合は、EEE-INST-002⁴⁾に記載されている部品品目毎のSCREENING REQUIREMENTS をガイドラインとして適用する。この場合も(4-4)による手続きが必要である。

クラスⅢ部品によるクラスⅡ部品の代替についても同様。

(4-3) 宇宙転用可能な部品からの選定

一般に宇宙用部品は宇宙転用可能な部品に比較して2～3世代前の技術によっている場合が多い。特に集積回路（IC、LSI、超LSI等）においては顕著である。従って、最新の技術による集積回路を使用すると宇宙機のミッション達成に寄与する度合いが大きい場合には宇宙転用可能な部品を使うことが有利である。

宇宙転用可能な部品を選定する場合には、宇宙転用可能な部品が本来宇宙環境での使用を意図していないものであること、設計、製造及び試験の内容が公開されないこと、製造者が使用者への通知を行うことなく技術変更を行うこと等宇宙用とは異なるビジネス環境を踏まえて十分な評価を行うことが必要であると同時に宇宙転用可能な部品の適用条件を実現できるシステム設計及び機器設計を行うことが必要である。

なお、宇宙転用可能な部品を宇宙機器などの特定用途に使用する場合には部品メーカーの事前承諾が必要で、さらに、部品メーカーの協力意思を確認し合意を得ることが望ましい。

JAXAでは、宇宙転用可能な部品の中から宇宙用に使用できる部品を選別する手順等を定めたハンドブック²⁾を作成しており、宇宙に転用可能な部品の宇宙適用基本フローを示しているので、参考にされたい。

宇宙転用可能な部品を選定するにあたって、考慮すべき事項例を以下に示す。

a. システム要求条件の確認

宇宙機のミッション、軌道、寿命など、宇宙機の要求条件や環境条件を明確にし、使用する部品の具体的な使用条件、環境条件を明確にする。ここでは、特に耐放射線性要求及び温度条件に注意が必要である。宇宙転用可能な部品は通常放射線環境で使用することは想定しておらず、また、使用可能温度範囲も宇宙用部品より狭い。また、宇宙用集積回路は熱制御の点からセラミックパッケージが一般的である（図3.53-2）が民生用集積回路はプラスチックパッケージであるので温度サイクルの影響を受けやすいことにも注意を要する。

b. 部品素性調査

選定対象となる部品について、その部品のカタログ、部品メーカー発行のユーザズマニュアルを入手し、宇宙機適用性の検討のための素性調査を行う。また、入手できない内部情報については、DPAや材料分析などにより不明な情報を一部補充して、設計、製造技術、使用材料など部品の品質情報を基に適用性を検討する。ただし、近年の超高集積回路部品に対しては、断面解析にも限界があり、部品の素性を明確につかむことは困難であるため、始めの情報収集の段階で、解析実施有無を判断する

必要がある。

c. 部品メーカーへの協力意思確認

宇宙転用可能な部品であっても製造物責任（PL）などの関連法指令から、部品メーカーは取扱い注意事例を明示している。このため宇宙機器などの特定用途に使用する場合には文書による事前の承諾が必要となる。さらに覚書（案）を提示し協力意思の確認、調整を行って、合意を得ることが望ましい。

d. 候補部品と部品メーカーの選定

ユーザ（システム/機器）メーカーは、選定した複数の候補部品に関し、ユーザ（システム/機器）メーカーと合意（協力）が得られた部品メーカーを優先して選定することが推奨される。

もし、部品メーカーの合意（協力）が得られないにもかかわらずその候補部品を使用せざるを得ない場合には、ユーザ（システム/機器）メーカーが全責任をもって評価試験、調達、スクリーニング試験/ロット保証試験に対処する必要がある。

e. 候補部品の評価

候補部品がプロジェクトにて要求される機能的性能、品質、信頼性、及び耐環境性についての要求を満たす証明（部品メーカーから事前評価に必要な情報）が得られない場合、ユーザ（システム/機器）メーカーは候補部品について以下の事項を含む評価を行う。

- (i) 部品メーカーのQMS評価
- (ii) 構造解析
- (iii) 評価試験
- (iv) 耐放射線性確認

(4-4) 非標準部品承認申請 (NSPAR)

契約の相手方等は、使用する部品が非標準部品に該当する場合、非標準部品承認申請書 (NSPAR) に必要事項を記載してJAXA の担当プロジェクトに提出し、審査、承認を受ける。但し、NSPAR を適用しない場合は、3.56項「部品、デバイス：リストの作成」で示す審査に含めるものとする。

次の条件を満たす非標準部品については、過去に承認を得た非標準部品の承認申請を有効とすることができる。

- a. NSPAR 申請書を過去に提出し、承認を得たことのある部品で、設計・構造、製造条件等に信頼性上の問題がないこと。
- b. 承認時の部品の適用条件が、適用するロケット・宇宙機等の寿命、環境条件等の要求と同等以上であることを、承認時の仕様書、試験データ等により証明できること。

(5) 電気・電子（EEE）部品選定の例

参考例として、JAXAのある衛星の電気・電子（EEE）部品選定基準を以下に示す。

ある衛星ではJMR-012の前身である当時のNASDAの技術文書に従って部品選定が実施されている。

- a. EEE部品は、システム及び構成要素に対する信頼度要求及びクリティカリティに応じ、使用環境・要求に対する評価を十分に行った上で、クラスⅠ及びクラスⅡ部品の範囲で適切な部品を選別して使用する。
- b. 単一点故障部品については必ずクラスⅠ部品を使用する。
- c. 外国から調達する部品については、設計の自在性及び調達性に充分留意する。
- d. AOM/TEDA（原子状酸素モニタ／技術データ取得装置）に関しては、衛星システムと電氣的インタフェースを有する部品を除き、MIL-STD-883⁵⁾クラスB相当の部品のうち、使用実績のあるものを対象部品とする。

実施しない場合の影響

部品、デバイスの品質及び信頼性が確保できないため、宇宙用機器において異常及び故障を招く恐れがあり、ミッションの達成が危うくなる。

参考文献

- 1) JMR-012 「電気、電子、電子機構（EEE）部品プログラム標準」
- 2) JERG-0-052 「宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（共通編）」
- 3) MIL-PRF-38535 「INTEGRATED CIRCUITS (MICROCIRCUITS) MANUFACTURING, GENERAL SPECIFICATION FOR」
- 4) EEE-INST-002 「Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating」
- 5) MIL-STD-883 「TEST METHOD STANDARD MICROCIRCUITS」

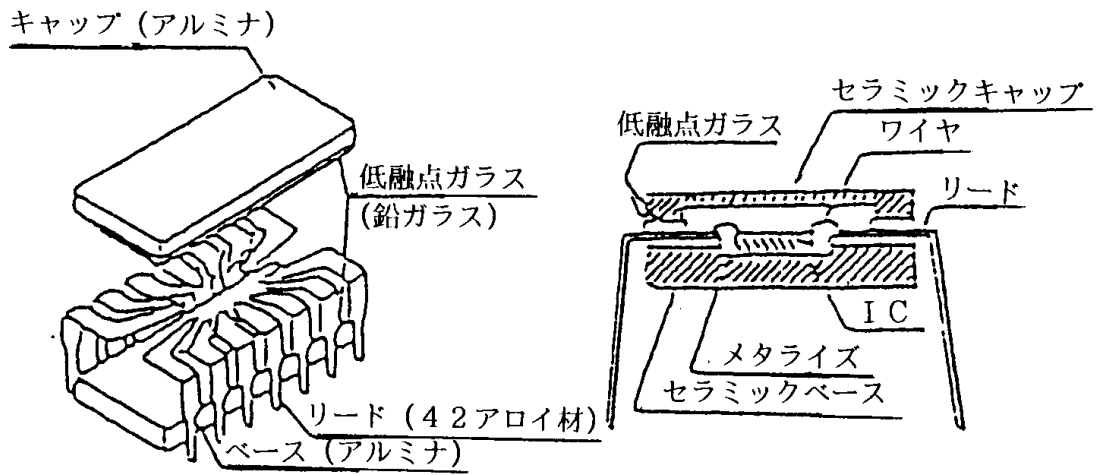


図3.53-2 セラミックパッケージの構造図

3.54 部品、デバイス：仕様書

効果

部品、デバイスに対して仕様書を制定することにより、品質及び信頼性が明確になる。また、制定された仕様書は部品及びデバイスの品質を保証するための定義となり、管理の根拠にすることができる。

効果的な実施時期

選定した部品に既存の仕様書がない場合には、基本設計段階あるいはその前段階において仕様書を制定する。

技術的根拠

宇宙用のシステム／機器において、品質及び信頼性を管理するためには、アセンブリレベルの最下位に位置するすべての部品、デバイスの仕様を明確にする必要がある。従って、使用する部品、デバイスに既存の仕様書がない場合やミッション要求を達成するために特有な部品、デバイスを確立する場合には、宇宙開発用共通部品の仕様書をテラリングした仕様書を制定する必要がある。

宇宙開発用共通部品の共通的な仕様書を代表するものにJAXA-QTS、MIL、ESCC仕様書がある。

なお、JAXA認定部品の文書体系は、一般共通仕様書の下に品種毎（個別半導体、集積回路、抵抗、コンデンサ、コネクタ等）に19種の共通仕様書が制定されており、この品種別共通仕様書の下に個別品目の仕様書が制定されている。

(図3.54-1を参照)



図3.54-1 JAXA認定部品の文書体系イメージ図

JMR-004の対応項番

4.3.17.4 仕様書

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：認定

実施方法

- (1) 仕様書の内容

仕様書の内容は、JAXA-QTS、MIL及びESCCで相違はあるが、共通的には仕様書の番号、仕様書の名称、総則、適用文書、要求事項、品質保証条項、引渡しの準備が明記されている。仕様書に規定された事項が確実に実施され繰り返し生産されても同一の品質・信頼性の製品が生産されることを保証するために仕様書に加えて、JAXA-QTS-2000¹⁾の規定に従って品質保証プログラムを設定しなければならない。

個別仕様書の記載内容を以下に例示する（表3.54-1参照）。

- a. 総則

仕様書に記述する部品、デバイスの適用範囲、部品番号、定格、その他必要な事項を記載する。

- b. 適用文書

仕様書に引用する全ての文書を一括して記述する。

- c. 要求事項

宇宙機のミッション、軌道、寿命など、宇宙機の要求条件に合致する、具体的な部品、デバイスの要求事項（機能、性能、信頼性等）等を記載する。

- d. 品質保証条項

当該品目がc.項（要求事項）に規定する要求を満足していることを確認保証するための試験及び検査並びにそれらの評価について記述する。

- e. 引渡しの準備

包装の方法、包装への表示方法等について記載する。

- f. 注意事項

注意事項は、これまでに含まれなかった事項、又はその他情報、説明等の参考事項を記載する。

表3.54-1 部品仕様書の規定事項

仕様書の内容	<p>仕様書には以下の事項を規定する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 総則 (2) 適用文書 (3) 要求事項 (4) 品質保証条項 (5) 引渡しの準備 (6) 注意事項等
要求事項	<p>要求事項には、次の様な項目を規定しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 一般要求 (2) 認定 (3) 品質保証プログラム (4) 材料 (5) 設計及び構造 (6) 外観、寸法、質量及び表示 (7) ワークマンシップ (8) 定格 (9) 初期故障除去 (10) 電氣的性能 (11) 機械的性能 (12) 環境的性能 (13) 耐久的性能
品質保証事項	<p>品質保証事項には、次のような項目を規定しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 一般要求 (2) 試験及び検査の分類 (3) 工程内検査 (4) 認定試験 (5) 初期故障除去 (6) 品質確認試験 (7) 試験方法 (8) 長期保管など (9) 試験及び検査の変更及び最適化

(2) 部品共通仕様書の例

JAXAが作成・制定する部品共通仕様書の例としてJAXA-QTS-2050F 宇宙開発用信頼性保証抵抗器 共通仕様書を表3.54-2として記す。

(3) 仕様書の維持・管理

共通仕様書及び個別仕様書は修正、改版、新規に作成するなどの維持・管理が必要である。個別仕様書の管理の流れを図3.54-2に示す。

なお改版、新版への置き換えにあたっては、できるだけ従来から使用、出荷していた部品との互換性に留意することが経済的である。

また、部品、デバイスの不具合状況や品質状況によっては、要求条件を変更する必要があるため、常に仕様書を変更するための管理体系を整備しておくことが重要である。

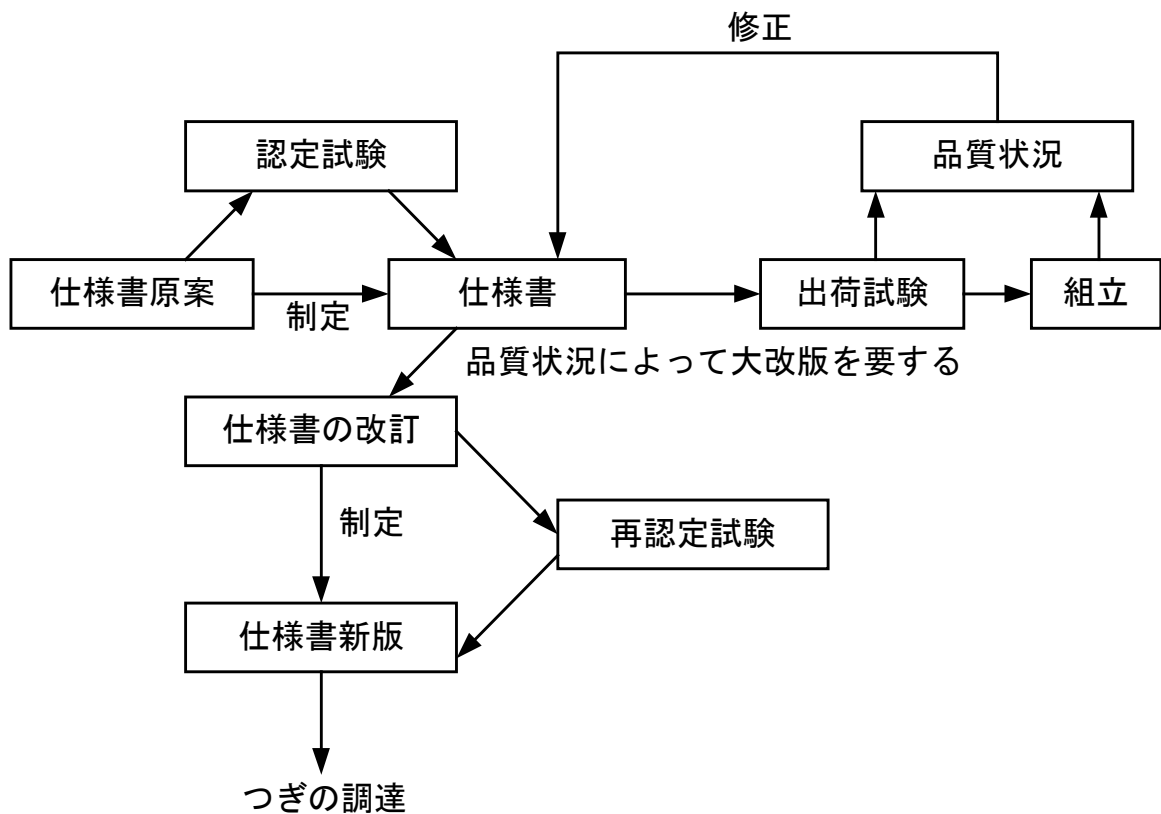


図3.54-2 個別仕様書の維持・管理の流れ

(参考) QML (Qualified Manufacturers List) 方式による部品仕様書

米国においてはQPL(Qualified Products List)方式からQML方式に変更されてきた。QPL方式は各製品(Product)毎の認定であるので部品仕様書も米軍において制定し維持されていた。QML方式になってから部品製造者に権限が大幅に移行され、QPL方式時代の守らなければならない仕様書MIL-M-38510から指針であるMIL-I-38535(現在

のMIL-PRF-38535)に変更された(MIL-M-38510の規定内容はMIL-I-38535のAppendix Aとして移設された)。部品製造者の中にTechnical Review Board (TRB) を設置させ、ある程度技術変更はTRBの権限で処置できることとなった。個別の部品仕様は部品製造者が作成しDLA(Defense Logistics Agency)が認証するSMD(Standard Microcircuit Drawing)により定義される。

JAXAにおいてもQPL方式からQML方式への変更が進められた。品質保証システムとしてISO9000'sを採用すると同時に米国の方式に倣いTRBを部品製造者に設置させ、ある程度部品製造者の自主的な活動ができることとしている。これを具体化するために一般共通仕様書としてJAXA-QTS-2000を制定している。

一般共通仕様書及び品種別共通仕様書はJAXA仕様書として制定される。個別の部品仕様書は、共通仕様書の規定に従って、製造者が仕様書を作成、制定し、JAXAが発行する。このことは、宇宙特有の条件(放射線、真空、無重力等)に関して部品製造者において判断できる能力が要求されることを意味する。

実施しない場合の影響

どのような部品、デバイスであるのか仕様書によって定義されていなければ、設計者又はシステム技術者はその部品及びデバイスを選定することができなくなる。また、自らが部品、デバイスを評価して選定した場合でも、部品及びデバイスの品質及び信頼性が不明確になり、宇宙用機器の品質及び信頼性もおろそかになるため、ミッションの達成が保証できなくなる。

参考文献

- 1) JAXA-QTS-2000 宇宙開発用共通部品等 一般共通仕様書

表3.54-2 部品仕様書の例 (1/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定
JAXA-QTS-2050E
2022年 5月27日廃止

登録番号	認仕-1251
------	---------

宇宙開発用信頼性保証 抵抗器

共通仕様書

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

表3.54-2 部品仕様書の例 (2/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

目 次

1. 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
1.3 品種の区分	1
1.4 部品番号	1
2. 適用文書など	2
2.1 適用文書	2
2.2 参考文書	3
2.3 優先順位	3
2.4 個別仕様書	3
2.4.1 個別仕様書番号	3
2.4.2 個別仕様書の改定符号	3
2.4.3 個別仕様書の取扱い	3
2.4.4 個別仕様書の様式	3
3. 要求事項	4
3.1 認定	4
3.1.1 認定の範囲	4
3.1.2 初期認定	4
3.1.3 認定の範囲の変更	4
3.2 品質保証プログラム	4
3.2.1 品質保証プログラムの設定	4
3.2.2 TRB の設置	4
3.3 材料	4
3.3.1 アウトガス	4
3.4 設計及び構造	5
3.5 外観、寸法、表示など	5
3.6 ワークマンシップ	5
3.7 定格	5
3.8 電气的性能	5
3.9 機械的性能	5
3.10 環境的性能	5
3.11 耐久的性能	5
4. 品質保証条項	5
4.1 一般要求	5
4.2 試験及び検査の分類	5
4.3 工程内検査	5
4.4 認定試験	6
4.4.1 試料	6

表3.54-2 部品仕様書の例 (3/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

宇宙開発用信頼性保証抵抗器 共通仕様書

1. 総則

1.1 適用範囲

この仕様書は、宇宙機に搭載する電子機器などに用いる宇宙開発用信頼性保証固定抵抗器（以下、「抵抗器」という）に適用し、それらの要求事項、品質保証条項などを規定する。なお、この仕様書は、QML認定を取り入れた一般共通仕様書（JAXA-QTS-2000）に従って作成されたものであるとともに、次に示す共通仕様書を継承したものである。

- a) NASDA-QTS-55182G 宇宙開発用信頼性保証固定皮膜抵抗器共通仕様書
- b) NASDA-QTS-39017C 宇宙開発用信頼性保証固定皮膜抵抗器（絶縁小形）共通仕様書
- c) NASDA-QTS-83401A 宇宙開発用信頼性保証固定皮膜ネットワーク抵抗器共通仕様書
- d) NASDA-QTS-55342A 宇宙開発用信頼性保証チップ形皮膜抵抗器共通仕様書
- e) NASDA-QTS-1059 宇宙開発用信頼性保証チップ形ネットワーク抵抗器共通仕様書
- f) NASDA-QTS-39007B 宇宙開発用信頼性保証電力形固定巻線抵抗器共通仕様書
- g) NASDA-QTS-39009A 宇宙開発用信頼性保証固定巻線（電力形、シャーシ取付）
抵抗器共通仕様書

1.2 用語の定義

この仕様書では、JAXA-QTS-2000及び次の用語を定義して適用する。

a) 抵抗温度特性（ α ）

2つの規定の温度間の抵抗値の相対的変化（平均的係数）を温度差で除した値で、通常、1°C当たりの百万分率（ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）で表す。

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \times \Delta\theta}$$

ここで、 $\Delta\theta$ ：規定の周囲温度と基準温度の代表的な温度差を°Cで表したものの

R_1 ：基準温度での抵抗値

R_2 ：規定の周囲温度での抵抗値

1.3 品種の区分

抵抗器の品種の区分は表1による。

1.4 部品番号

抵抗器の部品番号はJAXA-QTS-2000のA.3.1.4項による。詳細は付則による。

表3.54-2 部品仕様書の例 (4/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

表 1 品種の区分

抵抗器	形式	付則	対応する旧来の適用仕様書
固定皮膜抵抗器	RNS 50, 55, 60, 65, 70 RNS 90C, 90P	A	NASDA-QTS-55182G
固定皮膜抵抗器(絶縁小形)	RLS 05C, 07C, 20C, 32C, 42C RLS 05T, 07T, 20T, 32T, 42T	B	NASDA-QTS-39017C
固定皮膜ネットワーク抵抗器	—	D	NASDA-QTS-83401A
チップ形皮膜抵抗器	RMS 06, 10, 12, 15, 20, 35 CRK 2H, 4H, 8H, 10H, 16H SCR 16, 20, 32, 35, 50 WCR 32, 50, 64	E	NASDA-QTS-55342A
チップ形ネットワーク抵抗器	RZCS 16	F	NASDA-QTS-1059
電力形固定巻線抵抗器	RWS 80, 81, 83, 84, 89	G	NASDA-QTS-39007B
固定巻線(電力形、シャーシ取付)抵抗器	RES 40, 50, 60 65, 70, 75	H	NASDA-QTS-39009A
チップ形固定金属皮膜抵抗器	1005, 1608, 2012, 3216, 3225	J	—

2. 適用文書など

2.1 適用文書

次の文書は、この仕様書で規定する範囲でこの仕様書の一部とする。また、これらの文書は、契約又は適用時点で入手し得る最新版とする。

なお、版を指定する必要がある場合は、個別仕様書に規定する。

- a) JAXA-QTS-2000 宇宙開発用共通部品等一般共通仕様書
- b) JIS B 7502 マイクロメータ
- c) JIS B 7507 ノギス
- d) JIS B 7601 上皿天びん
- e) JIS C 5201-1 電子機器用固定抵抗器—第1部：品目別通則
- f) JIS K 8839 2-プロパノール(試薬)
- g) JIS Z 3197 はんだ付用フラックス試験方法
- h) JIS Z 9015-1 計数値検査に対する抜取検査手順—第1部：ロットごとの検査に対するAQL指標型抜取検査方式
- i) MIL-STD-202 Test Methods for Electronic and Electrical Component Parts
- j) MIL-STD-1276 Leads for Electronic Component Parts

表3.54-2 部品仕様書の例 (5/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

- k) ASTM E595 Standard Test Method for Total Mass Loss and Collected Volatile Condensable Materials from Outgassing in a Vacuum Environment

2.2 参考文書

次の文書は、この仕様書の参考文書とする。

- a) JERG-0-035 宇宙開発事業団 部品適用ハンドブック

2.3 優先順位

適用仕様書に規定されている要求事項などの間に矛盾がある場合、適用する要求事項は次の順位による。

- a) 個別仕様書
b) この仕様書
c) JAXA-QTS-2000
d) この仕様書の適用文書 (2.1 項) (ただし、JAXA-QTS-2000 を除く)

2.4 個別仕様書

抵抗器の形状、性能などに関する詳細な規定は個別仕様書による。

なお、個別仕様書はJAXA-QTS-2000のA.4項に基づき、認定取得業者が作成及び制定し、宇宙航空研究開発機構 (以下、「JAXA」という) に登録しなければならない。

2.4.1 個別仕様書番号

個別仕様書番号は、JAXA-QTS-2000のA.2.2.2項に従って次のように表す。

例	JAXA-QTS-2050	/	A	□□□	□
	この仕様書の番号		付則記号	個別番号	改定記号

2.4.2 個別仕様書の改定符号

個別仕様書の改定に伴う改定符号の付与方法は、JAXA-QTS-2000のA.2.2.2.4項による。

2.4.3 個別仕様書の取扱い

個別仕様書は2.4.1項による個別仕様書番号ごとに、それぞれ独立した仕様書として取り扱う。

2.4.4 個別仕様書の様式

個別仕様書の様式は、JAXA-QTS-2000のA.6項b)による。また、個別仕様書に規定すべき事項は、JAXA-QTS-2000のA.4項によらなければならない。

表3.54-2 部品仕様書の例 (6/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

3. 要求事項

3.1 認定

3.1.1 認定の範囲

認定の範囲は付則による。

3.1.2 初期認定

この仕様書に従って認定を取得しようとする業者は、この仕様書の3.2.1項に従って品質保証プログラムを設定し、4.4項に規定する認定試験を実施して、JAXA-QTS-2000の3.4.1項に従って抵抗器の認定を受け、JAXA認定取得業者表(JAXA QML)に記載されなければならない。

3.1.3 認定の範囲の変更

認定の範囲を変更する場合は、JAXA-QTS-2000の3.4.3項に従って再認定手続きをとらなければならない。

3.2 品質保証プログラム

3.2.1 品質保証プログラムの設定

認定を取得しようとする業者は、JAXA-QTS-2000の3.3.1項及びこの仕様書の要求事項を満足する品質保証プログラムを設定しなければならない。また、JAXA-QTS-2000の3.3.2項に従って品質保証プログラム計画書を作成し、その審査をJAXA-QTS-2000の3.3.6項に従って受けなければならない。

3.2.2 TRB の設置

この仕様書に従って認定を取得しようとする業者は、JAXA-QTS-2000の3.3.5項に従ってTRBを設置し運営しなければならない。

3.3 材料

抵抗器に使用する材料は、この仕様書で規定したものを使用しなければならない。特に規定がない材料については、この仕様書の要求を満足するものを用いなければならない。これらの材料は、品質保証プログラムの製造条件を規定する文書に明記しなければならない。

3.3.1 アウトガス

抵抗器に使用する有機材料はASTM E595によって試験したとき、原則として次の値を満足しなければならない。

- a) 質量損失比(TML)⁽¹⁾: 1.0%以下
- b) 再凝縮物質量比(CVCM)⁽²⁾: 0.1%以下

注⁽¹⁾ TML: Total Mass Loss

⁽²⁾ CVCM: Collected Volatile Condensable Materials

(以下省略)

表3.54-2 部品仕様書の例 (7/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

4. 品質保証条項

4.1 一般要求

認定取得業者は、この仕様書の3.2項で設定された品質保証プログラムの履行とTRBを適切に運営する責任を有する。

4.2 試験及び検査の分類

試験及び検査は、JAXA-QTS-2000の4.3項に従って次の3種類に分類する。

- a) 工程内検査
- b) 認定試験
- c) 品質確認試験

4.3 工程内検査

認定取得業者は抵抗器の製造工程中に、製品の信頼性及び品質に重大な影響を及ぼす欠陥の有無、ワークマンシップ、又は製品となってからは測定できない特性の確認のために、次に例示する工程内検査を実施しなければならない。工程内検査は、品質保証プログラム計画書の製造工程フローチャートに明記しなければならない。

- a) 半完成状態での内部目視検査(非破壊の全数又は抜取検査)
- d) 半完成状態での物理的又は化学的検査(破壊又は非破壊の全数又は抜取検査)
- e) 半完成状態での特性検査(非破壊の全数又は抜取検査)

4.4 認定試験

4.4.1 試料

認定試験の試料は、品質保証プログラムで規定した工程及び管理を通じて製造されたもので、認定の範囲を代表するものでなければならない。

4.4.2 製造記録

認定を取得しようとする業者は認定試験に供する抵抗器について、使用した材料の証明書又は材料などの受入検査データ若しくは試験データ、試料を製造したときの工程記録及び工程内検査データなどを保管・管理し、要求があれば提示できるようにしておかなければならない。

4.4.3 試験項目及び試料数

認定試験の試験項目、試験順序、試料数及び抜取方式は付則による。

試料数については、最低抵抗値、臨界抵抗値及び最高抵抗値において、認定範囲内の製品に使用する構造や材料を網羅できなければならない。試料が認定範囲を代表できることをJAXAと協議しなければならない。

(以下省略)

表3.54-2 部品仕様書の例 (8/8)

JAXA-QTS-2050F
2022年 5月27日制定

6. 注意事項

6.1 認定取得業者に対する注意

6.1.1 適用データ・シートの作成、登録

認定取得業者は、JAXA-QTS-2000の付則Gに従って適用データ・シートを作成し、JAXAに登録しなければならない。

6.1.2 互換性

同一部品番号で抵抗器の認定を取得しようとする場合は、先に認定を取得した業者の製品と実装も含めた互換性がなければならない。

6.2 調達者に対する注意

製品の詳細データ、注意事項などについては、適用データ・シートを参照すること。

6.2.1 調達時に指定すべき事項

この仕様書に従って製造された抵抗器を調達する場合には、次の事項を指定すること。

- a) 部品番号
- b) この仕様書の番号
- c) 個別仕様書の番号
- d) 出荷時に提出すべき試験データ及び源泉検査の有無
- e) その他

e)項として、特定の用途に起因する事項を要求することはできるが、この仕様書の要求と矛盾する事項を要求する場合には、この仕様書に基づく抵抗器としての表示を要求してはならない。

3.55 部品、デバイス：認定

効果

部品、デバイスを認定することによって、仕様書に規定された要求が保証でき、システム／機器の信頼性確保が容易になる。

効果的な実施時期

新たに部品を認定する場合には、基本設計段階において実施する。

技術的根拠

部品、デバイスがシステム／機器の要求事項を満足していることを立証するために認定を実施する必要がある。

JMR-004の対応項番

4.3.17.5 認定

関連の深い信頼性業務

部品、デバイス：仕様書

実施方法

部品、デバイスの認定には、プロジェクトの要求事項を達成するために新規に特有の部品、デバイス进行评估・開発して認定する場合と、宇宙機用として共通的に使用できるように標準化、共通化されて認定されたものがある。

それぞれの認定手順を以下に示す。

(1) プロジェクト認定

プロジェクト特有に開発する部品、デバイスについて、開発から認定に至るまでの手順を以下に示す（図3.55-1参照）。

a. システム要求条件の確認

宇宙機のミッション、軌道、寿命など、宇宙機の要求条件や環境条件を明確にし、部品、デバイスの具体的な機能、性能、信頼性、使用条件、環境条件等を明確にする。

b. 仕様書原案の作成

ミッションの要求に合致する部品、デバイスの仕様書原案を作成する。

c. 類似品の調査

ミッションの要求事項に合致する部品、デバイス（どの様な部品が必要か、またはどの部品が要求されているか）を調査（又は要望を受領）し、その部品、デバイスの市場における現存の有無、及びカタログ／評判などの情

報を収集する。また、ベースとなる部品が現存する場合には、それを入手し、機能、性能、信頼性等を検討する。

d. 試作／試験

検討結果及び仕様書原案との間の技術ギャップがほとんどなく設計・構造及び製造条件の変更を必要としない場合には、その部品のまま認定試験を行うことができるが、一部変更又は新たな設計の部品開発を必要とする場合には、試作／試験及び評価を行う。なお、新たな設計開発を必要とする場合には、この部品開発はクリティカルパスになることが多い。

e. 認定試験実施要領書及び品質保証プログラム計画書

認定試験実施要領書及び品質保証プログラム計画書を作成し、審査を受ける。

f. 設計／製造

仕様書の原案、認定試験実施要領書及び品質保証プログラム計画書に従って部品、デバイスの設計、製造を行う。

g. 認定試験

認定試験実施計画書に従って、認定試験を実施する。

h. 認定試験後審査

認定試験終了後、仕様書に規定された要求（設計、製造及び認定試験）に合致するものであるかを審査する。

i. 製品仕様書の確定

認定試験後審査の結果を基に、当該部品及びデバイスが認定し、部品、デバイスの製品仕様書を最終確定する。

(2) 共通部品認定

宇宙用共通部品の信頼性、品質及び安定供給体制を確保することを目的として、JAXAは共通部品の認定業務を実施している。

この認定制度は部品メーカーの自主的な申請によるものを基本としているが、JAXAの方針で共通部品の開発を行う場合は、以下に示す手順で実施している。

また、その開発から認定に至るフローを図3.55-2に示す。

a. 一般共通仕様書であるJAXA-QTS-2000¹⁾、並びに品種別共通仕様書（JAXA-QTS-2010²⁾；集積回路など）に規定された要求条件に基づき設計を確定する。

b. 試作・評価を行う。

c. 暫定開発仕様書を制定する。

d. 製造工程文書の作成及び品質保証プログラムの設定を行う。

e. 開発仕様書及び開発確認試験実施計画書の作成を行い、開発確認試験に供する試料の製造を開始する前に事前審査（品質保証プログラム及び製造・試験工程など）を受ける。

- f. サンプルを製造し開発確認試験（認定試験に相当する）を実施する。
- g. この結果をベースに認定申請を行う。なお、認定試験は、開発確認試験データで代用している。

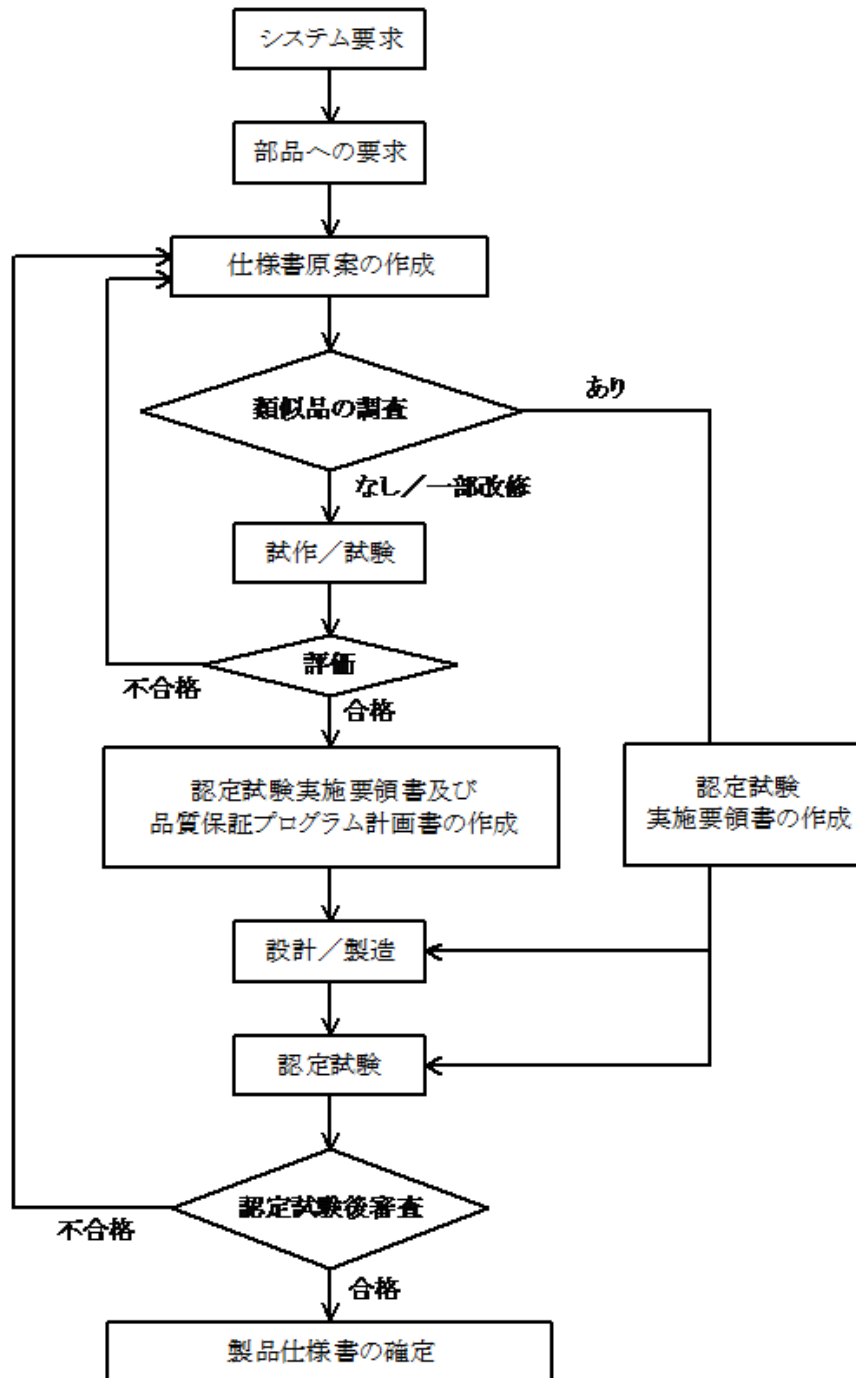


図3.55-1 プロジェクト認定のフロー

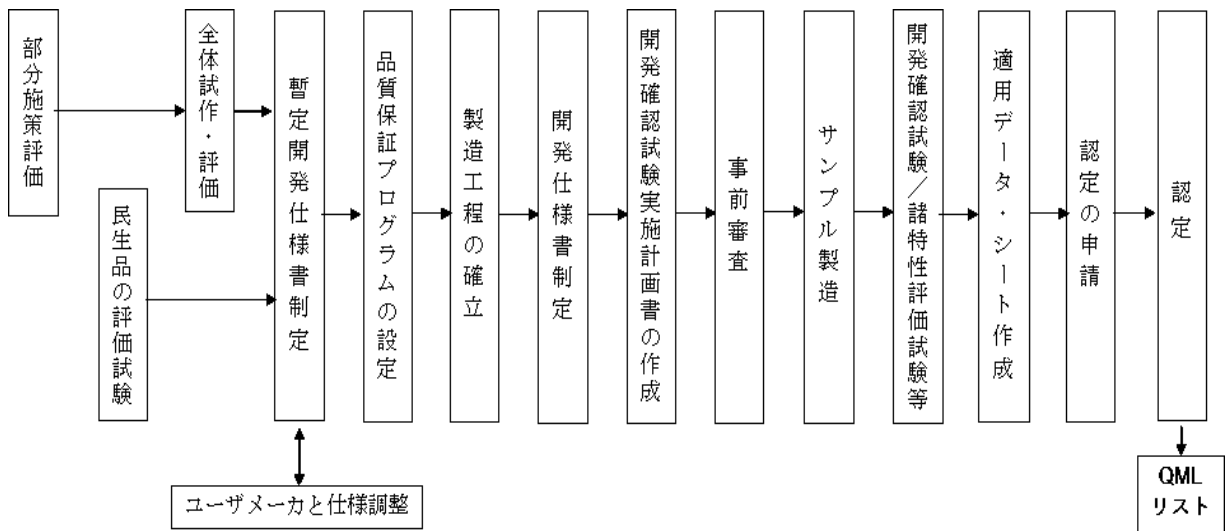


図3. 55-2 共通部品の開発／認定フロー

(3) 認定の管理

プロジェクト認定を受けた部品、デバイスは、仕様書及びデータを管理するとともに認定状況をリスト化する。

また、JAXAの共通部品の場合は、JAXAにおいて維持、管理され、下記のJAXAホームページ上にて認定部品一覧を公開している（制限情報閲覧にはアカウント登録が必要）。

JAXAウェブサイト； <https://ssl.tksc.jaxa.jp/eeepitnl/jp/>

(参考) 共通部品認定制度のQML (Qualified Manufacturers List) 方式への移行

JAXAの共通部品認定制度は、各製品(Product) 毎の認定であるQPL(Qualified Products List)方式で発足し、宇宙開発用共通部品の開発及び認定に当たっては一般産業用部品及び民生部品と同一製造ラインを極力採用する方針で進めてきた。

しかし、民生部品等の技術革新は著しく製品のライフサイクルも宇宙用に比較し極めて短いこともあり、結果として宇宙用の製造ラインは宇宙用特有の製造ラインとなってしまっていた。また、民生部品の製造ラインが変更される場合に、これを宇宙用に採用するにはその都度再認定の手続きが必要でありそのための追加試験などの実施、製造に関する文書等維持管理に係る費用が製造者の大きな負担となっていた。

このような状況から、JAXA認定部品の信頼性・品質の維持及び低コスト化並びに安定供給体制を維持するため、米国に倣いQML方式への移行が進められた。QML品対応の一般共通仕様書(JAXA-QTS-2000)が制定され、部品のテクノロジー(例：設計ルール1 μm CMOS等)及び工程／工場単位で認定するQML方式を採用すること、製造者内にTRB(Technical Review Board)を設置し技術変更に対する責任を持たせること及

び品質システムの確立が要求される。品質保証プログラムの確立にあたりISO9000'sの認証を取得済みの製造業者はISO9000'sの認証により確立された品質システムに従うことになっている。

実施しない場合の影響

使用する部品、デバイスに対して認定を行わない場合、それぞれの仕様書で規定されている要求事項が満足されていない恐れがあるため、宇宙用機器において異常／故障を引き起こし、ミッションの達成が危うくなる。

参考文献

- 1) JAXA-QTS-2000 宇宙開発用共通部品等 一般共通仕様書
- 2) JAXA-QTS-2010 宇宙開発用共通部品等 集積回路

3.56 部品、デバイス：リストの作成

効果

宇宙用機器の設計に使用する部品及びデバイスのリストを作成することにより、素性並びに認定の進捗状況が把握できる。また、管理のベースラインを明らかにすることができる。

効果的な実施時期

基本設計段階において、そのプロジェクトに使用する予定の部品及びデバイスのリストを作成する。また、基本設計、詳細設計で選定、認定が進捗していくのに伴って、リストを充実させ、詳細設計完了時に設計文書の一つとして確立する。

技術的根拠

プロジェクトで使用する部品及びデバイスを明確に管理することができる。また、リストを適用審査、設計審査の資料に含めることで使用する部品及びデバイスの正当性が確認できる。

JMR-004の対応項番

4.3.17.6 使用リスト

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：選定
- (2) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査

実施方法

- (1) 部品及びデバイスのリスト作成

プロジェクトに使用する予定の部品及びデバイスについて、宇宙機及びロケットの機能・性能・信頼性に制約を加える要因であることから、可能な限りプロジェクトの初期段階から計画的に全ての部品を選定して、以下の通り使用部品リスト (Approved Parts List) を作成し、維持更新する。

a. 基本設計段階

基本設計段階において、機器の設計に必要な全ての部品を選定し、承認部品リスト (APL) (案) を作成する。APL (案) は、基本設計審査 (PDR) インプットパッケージに含め、PDRにおいて審査を受け、APLとして制定する。

b. 詳細設計段階

詳細設計段階においては、追加品目が生じた場合、APLを更新する。このAPLは詳細設計審査 (CDR) インプットパッケージに含めて、CDRにおいて

審査を受ける。

c. 維持設計段階

維持設計段階において、追加あるいは削除品目が生じた場合には、仕様書、認定及び適用等の妥当性を確認し承認を得た後APLを更新し、認定試験後審査（PQR）あるいは出荷前審査（PSR）において報告する。

(2) 部品及びデバイスのリストに含める項目

部品及びデバイスのリストに含める項目は、部品名（対象品目）、仕様書番号、選定基準、製造業者名、性能及び諸元等を記載する。

APLの記載項目例を表3.56-1に示す。

(3) 維持・管理

設計変更が生じた場合には、変項の手順に従って、追加、訂正、削除などの処置が必要である。

実施しない場合の影響

使用する部品及びデバイスの管理のベースラインが不明確になり、信頼性・品質管理がおろそかになる。

また、部品及びデバイスの素性が分からないため、プロジェクトの要求事項が満足されるものであるかを客観的に確認できない。

参考文献

なし

表3.56-1 APLの記載項目例

部品の種類	部品番号	一般部品番号	部品の機能 (概略仕様)	パッケージ (*1)	仕様書番号 /版数	製造業者	供給業者/ 品質保証会社	選定区分 (*2)	使用実績 (プロジェクト/用途)	使用実績 (NSPAR No)	品質保証 レベル (*3)	使用機器	TID (*4)	SEE (*5)	備考	不具合 有無	NSPAR 要否
集積回路																	
集積回路																	
集積回路																	
集積回路																	
集積回路																	
集積回路																	

*1 パッケージ; FP、QFP、DIP、SIP、SMD、TO-3、TO-5、.....

*2 選定区分; 標準部品 S1=国産 S2=米国 S3=欧州

実績のある非標準部品 A1=国産 A2=米国 A3=欧州

実績のない非標準部品 B1=国産 B2=米国 B3=欧州 B4=その他

*3 品質保証レベル; クラス I 相当、クラス II 相当、その他

*4 TID; 耐放射線性レベル トータルドーズ効果(Total Ionizing Dose Effects)

*5 SEE; 耐放射線性レベル シングルイベント効果(Single Event Effect)

3.57 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査

効果

適用審査を実施することによって、選定した部品、デバイス、材料及び工程が、機器設計において適切な「使われ方」であることが確認できる。

効果的な実施時期

詳細設計審査に先立って実施する。

技術的根拠

適用審査は部品、デバイス、材料及び工程の能力を超えない使われ方であることを確認することにより、機器の信頼性を保証する。

JMR-004の対応項番

4.3.17.7 適用審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 信頼性技術情報の反映
- (3) EEE部品のパッケージング審査

実施方法

(1) 審査内容

部品、デバイス、材料及び工程の適用審査は、システム／サブシステム／コンポーネントの設計において部品、デバイス、材料及び工程の選定が妥当であり使用方法が適当であるか否かを審査する。

審査の実施に当たっては、部品、デバイス、材料及び工程の専門技術者、信頼性技術者、品質管理技術者、設計技術者、プロジェクト技術者からなるボードにおいて審査されることが原則であるが、プロジェクトの規模によっては必ずしもボードでなく専門技術者による随時の審査で実施しても良い。

なお、新規採用品／工程及び実績と異なる厳しい用途／環境へ適用する既使用品／工程に重点を置き実施する。審査時の温度、振動、衝撃等の解析条件は認定試験条件をベースにする。

一般に適用審査の作業は次のような観点から行われる。

- a. プロジェクトの開発仕様書の要求事項を満たし、ミッションが確実に達成され得る品質及び信頼性を有する部品、デバイス、材料及び工程が選定されていること。
- b. 適用ストレスや環境ストレスと部品及びデバイスの仕様書に定められてい

- る最大定格とを比較し、適切なディレーティングがとられていること。
- c. 摩耗、劣化のモードを有する部品、デバイス及び材料がミッション期間を満足する寿命を有すること。
 - d. 部品、デバイス、材料の実装及び工程が妥当であること。
 - e. 適用ストレスに基づいた部品故障率が適切であること。
 - f. 過去の故障経験によって得られたデータが確実に反映、活用されていること。
 - g. 信頼性技術情報の反映が確実になされていること。
 - h. ロケット及びシリーズ衛星などで、長期にわたって同じ部品を使用し続ける場合に、購入先の不具合情報等がユーザに積極的に通知されないことがあるので、調達時あるいは部品使用時に購入先の仕様書の変更状況確認や不具合情報確認などの対策に努めること。

なお、適用審査はパッケージング審査と密接な関連がある。

(2) 審査結果の処置

- a. 適用基準から外れるものが見つかった場合はその理由、対策、あるいは問題点を示してプロジェクトの責任者へ報告する。
- b. 適用審査の結果は、詳細説明を加えた審査報告書としてまとめ、詳細設計審査インプットパッケージに含める。

(3) 詳細設計審査以降に発生した変更

維持設計段階において設計変更が生じた場合は、当該部位につき適用等の妥当性を審査し、その結果を試験後審査等（PQR、PSR等）において報告する。

(4) 部品、デバイス、材料及び工程の適用審査の実施例

- a. 部品、デバイス、材料及び工程の適用審査に当たる適用審査委員会の構成及び審議事項の例を表3.57-1に示す。
- b. 部品適用審査の実施手順の例を表3.57-2に示す。
- c. 部品適用審査記録の例を表3.57-3～5に示す。

実施しない場合の影響

ミッション要求を満足しない部品、デバイス、材料及び工程が使用される恐れがあり、宇宙機のミッション達成に致命的な影響を与える。

参考文献

なし

表3.57-1 部品、デバイス、材料及び工程適用審査要領例

委員会の構成	
委員長：プロジェクトマネージャ	
委員：リーダ	R&QAマネージャ
	設計技術者
	応用技術者
	信頼性及び品質管理技術者
幹事	部品担当技術者
オブザーバ	部品担当技術者及び関係者
委員会の審議事項	
<p>委員会で審査する内容は次の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 部品等及び工程選定基準の設定 ② 部品等及び工程適用基準の設定 ③ 部品調達に関する基本方針（輸入、国産） ④ 部品等及び工程の評価試験、認定に関する事項 ⑤ 品質保証体系に関する事項 ⑥ 供給業者に対するマネジメントの基本事項 ⑦ 部品等及び工程の選定 ⑧ プロジェクト承認部品リスト（APL、AML）の審査 ⑨ 工程リストの審査 ⑩ 信頼性技術情報の反映 ⑪ 非標準部品の妥当性及び申請状況 	

表3.57-2 部品適用審査の実施手順例

ステップ	内 容		実 施 方 法
1	部品に対する要求条件の確認	性能 ミッション期間 信頼性 ┌ ディレーティング └ 安全係数 整備性 安全性 環境 寸法、質量	システム設計仕様書等により、部品に対する要求条件の確認を行い、部品使用基準書及び部品適用記録に誤りや抜けがないかを調査する。
2	候補とする部品の状態の審査	宇宙における実績のある仕様書の状態 ┌ 標準仕様書 └ 他のプロジェクトの宇宙実績のある仕様書 認定試験計画 入手性 ┌ 供給能力、コスト └ メーカーの選択 調達方法 ┌ 入手経路 └ 検査方法	承認部品リスト、部品仕様書及び認定試験計画書により審査する。
3	部品の適用性の審査	耐環境性 ディレーティング 信頼性	部品適用記録及び部品適用データにより審査を行う。
4	致命性の審査	部品が故障したときその結果はどうか、対策はどうかについて審査する。	クリティカル部品リスト及び有効寿命品目表、部品データにより審査を行う。
5	問題点の指摘	審査の結果、不具合指摘を受けた部品につき、その問題点を担当部署に通知する。	部品適用審査指摘票により、審査を行う。
6	審査結果のまとめ	部品適用審査の結果を審査報告書としてまとめる。	審査の結果を審査要素及び部品種別の集計形式にまとめ、使用基準から外れるものについて、その理由対策を示す。

表3.57-3 部品適用審査記録-トランジスタ

	担当	日付
作成		
信頼性解析		
検討		

審査印

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
回路 符号	コー 下名	調達 業者 名	通用仕様書	部品番号 (製造業者) 部品番号	絶縁 材料	周辺 温度 (°C)	通電電流 (t'ン当り) (A) 定格電流 (t'ン当り)(A) 温度上昇	サイズ (AWG)	通電 ピン数	挿抜 回数 (サイクル/1000 ^H)	印加 振動 レベル 定格 電圧 レベル	印加 衝撃 レベル 定格 振動 レベル	印加 衝撃 レベル 定格 衝撃 レベル	吸収 放射線 レベル (rad) 定格 放射線 レベル(rad)	試験による 認証	信頼 性管 理品 目の 識別	APL 登録 の有無 (O)(X)	備考	判定
J 1		ITT	2A014	2A014 -005V (DDMA56P) (NMBK56)	ジアリ ルフト レート	QT -55 125	370m 7.5A 0.10	20	22	0 1	30 200	QT ① ⑧ G 20 10~ Hz 2000	QT ③ ④ G 50	11ms		OLI	○		OK
J 2		ITT	2A014	2A014 -005V (DDMA56P) (NMBK56)	ジアリ ルフト レート	QT -55 125	30m 7.5A 0.001	20	34	0 1	30 200	QT ① ⑧ G 20 10~ Hz 2000	QT ③ ④ G 50	11ms		OLI	○		OK
J 3		ITT	2A014	2A014 -001V (DAMA15P) (NMBK56)	ジアリ ルフト レート	QT -55 125	30m 7.5A 0.01	20	5	0 1	30 200	QT ① ⑧ G 20 10~ Hz 2000	QT ③ ④ G 50	11ms		OLI	○		OK
J 4		ITT	2A014	2A014 -010V (DDMA50S) (NMBK56)	ジアリ ルフト レート	QT -55 125	6m 7.5A ≒ 0	20	22	0 1	30 200	QT ① ⑧ G 20 10~ Hz 2000	QT ③ ④ G 50	11ms		OLI	○		OK

表3.57-4 部品適用審査記録-キャパシタ

	担当	日付
作成		
信頼性解析		
検討		

審査印

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
回路記号	製造業者名	製造品番	事業団仕様書に準ずる	部品番号	種別式	品故障率 は水準	パラメータ					振動	衝撃	その他	試験に よる	認証	備考				
							適用データ / 定格														
							公称容量値	許容値 (%)	使用温度 / 定格温度 (°C)	使用電圧 DC+AC / 定格電圧 (V)	ストレス							リ周波数 (Hz)			
C 11	松尾電機		NASDA-QTS 39003/101	NASDACSR13 G475KP	タンタル固体	P	μF 4.7	± 10	65 / 85	15+1 / 50	0.30	KHz 1.38									
C 12	松尾電機		NASDA-QTS 39006/301	NASDACLR79 BL117KPP	タンタル湿式	P	μF 110	-35 / +20	65 / 85	25+0.7 / 75	0.34	KHz 1.38									
C 13	松尾電機		NASDA-QTS 39006/301	NASDACLR79 BL117KPP	タンタル湿式	P	μF 110	-35 / +20	65 / 85	25+0.7 / 75	0.34	KHz 1.38									
C 14	松尾電機		NASDA-QTS 39006/301	NASDACLR79 BL117KPP	タンタル湿式	P	μF 110	-35 / +20	65 / 85	25+0.7 / 75	0.34	KHz 1.38									
C 15	松尾電機		NASDA-QTS 39006/301	NASDACLR79 BL117KPP	タンタル湿式	P	μF 110	-35 / +20	65 / 85	25+0.7 / 75	0.34	KHz 1.38									
C101	村田製作所		NASDA-QTS 39014/101	NASDACKR05 BX104KM	セラミック	M	μF 0.1	± 10	65 / 125	15+0.1 / 50	0.30	KHz 1.4									
C201	村田製作所		NASDA-QTS 39014/101	NASDACKR05 BX104KM	セラミック	M	μF 0.1	± 10	65 / 125	15+0.1 / 50	0.30	KHz 1.4									
C301	村田製作所		NASDA-QTS 39014/101	NASDACKR05 BX104KM	セラミック	M	μF 0.1	± 10	65 / 125	15+0.1 / 50	0.30	KHz 1.4									
C102	TRWC1	C1・PTS 034-013	C1-1A-016 127V-006	CYR51C 301F	ガラス	V	μF 300	± 1	65 / 125	7.8 / 300	0.03	KHz 1.4									

表3.57-5 部品ストレス解析表

ストレス解析及び故障率算出表		プログラム	回路名	RCV-LNA	シート番号	作成者										
		コンポーネント	図番	F803217A F803218A	II-2 ¹ / ₁	年月日	9/6									
行 番	諸元番号	品名	部品番号	ストレス比	温度範囲		ディレーティングパラメータ			他のストレス				故障率 ($\times 10^{-9}$ /hr)	個 数	故障率計 ($\times 10^{-9}$ /hr)
			仕様書番号		最低	最高	項目	比較	ディレーティング ^a	項目	比較	項目	比較			
	C1~C9	キャパシタチップ	B011499-222J	適用	-15	+55	電圧	7.5	7.5%					0.8	9	7.2
			63-011499	定格	-65	+125		100								
	CR1 CR2	ダイオード	ISS12-004	適用	-15	+55				電圧	0.7V	Io	0	42.6	2	85.2
			FPS-512009	定格	-65	150					10V		50mA			
	Q1, Q2	トランジスタ	2SC2273	適用	-15	+55	電力	52.5mW	13%	VCEO	7.5V	Tj	82°C	50.6 Do 筐体 =500 °C/w	2	101.2
			FPS-532006	定格	-65	200		400mW			12V		200°C			
	R1 R2 R3 R4	レジスタチップ	B011059-****	適用	-15	+55	電力	<1mW	<1%					0.6	4	2.4
			53-011059	定格	-55	+125		250mW								
				適用												
				定格												
				適用												
				定格												
				適用												
				定格												

3.58 材料、工程プログラム

信頼性業務名

材料、工程プログラム

効果

部品及びデバイスと同様にプロジェクトの開発仕様書の要求事項を満たすような材料及び工程を選定することで、宇宙機のミッション達成上のリスクを低減し、品質及び信頼性を確保することができる。

また、要求される特有な材料及び工程を設計段階で識別し、管理を行うことで、宇宙で使用実績のないものに対して宇宙用途への適合性が確認できる。

効果的な実施時期

基本設計段階において、そのプロジェクトに使用する予定の材料及び工程プログラムを選定し、管理する必要がある。

技術的な根拠

ロケット及び人工衛星は打ち上げ後、大気圏、宇宙空間を飛行中、苛酷な環境下におかれる。

したがって、ロケット及び人工衛星用材料は、負荷荷重、衝撃、振動、音響、熱、真空、放射線、太陽風等の影響に対し充分耐えるものでなければならない。

また、工程は宇宙機の信頼性及び品質に重大な影響を及ぼすため、基準を設定し認定すると共に、維持しなければならない。

JMR-004の対応項番

- 4.3.17.3 選定
- 4.3.17.4 仕様書
- 4.3.17.5 認定
- 4.3.17.6 使用リスト

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：選定
- (2) 部品、デバイス：仕様書
- (3) 部品、デバイス：認定
- (4) 部品、デバイス：リストの作成
- (5) 信頼性技術情報の反映
- (6) 工程FMEA/FMECA

実施方法

(1) 材料の選定

宇宙用として使用する材料は、機器に要求される性能、放射線に対する要求、アウトガス要求等、信頼性及び耐環境性を充分満足するものとし、「既に宇宙用として評価の確立した材料」、「実績のある材料で技術的資料の入手が可能な材料」、又は「新たに仕様書（又は技術資料）を設定し、評価・試験等により品質及び信頼性が保証される材料」の中から選定する必要がある。

(2) 材料の放射線に対する影響

放射線は、ほとんどの材料の機械的、物理的な特性を変化させ、一般的に材料の劣化をもたらす。

宇宙構造物の構成材料のうち、金属、セラミックは耐放射線性に優れているが、プラスチック、エラストマ等の高分子材料は劣っており、放射線の線量によって顕著な影響を受ける。

a. 金属

金属の放射線劣化を考慮すべきフルエンスの一つの目安として、陽子の場合 $10^{17} \sim 10^{19}$ protons/cm²以上の値が挙げられているが、数十年ミッションの衛星のフルエンスであってもそれより数オーダー小さいため、金属の放射線劣化は実際の設計においては、無視してよいと考えられる。

b. 高分子材料

高分子材料は放射線によって最も強く影響を受ける材料であり、その種類、成分により耐放射線性は大きく異なる。また、同じ数量であっても温度、空気の有無等により、材料の耐放射線性は異なるので（一般に空気中の方が耐放射線性は劣る）、材料の選定データの評価にあたっては注意を要する。

(i) 熱硬化性樹脂

一般に熱硬化性樹脂をマトリックスとした強化プラスチックは、放射線照射により引張強度、密度、弾性率は増大し、衝撃強さ、伸びは減少する傾向にあるが、機械的特性は、 10^6 Gy程度迄はあまり大きく変化しない。但し、 10^6 Gy程度を越えると、マトリックスの種類、成分によっては、この特性変化の傾向は変わってくる場合もある。宇宙構造物の材料として採用が拡大されつつあるCFRP（炭素繊維／エポキシ）については、NASAでは、電子線照射試験を行った結果 10^7 Gyまでは充分使用に耐えうると結論づけている。但し、同じエポキシ系CFRPでもマトリックスの成分によって耐放射線性が異なるので、高レベルの線量については、実験等により十分に特

性について確認を行う必要がある。

(ii) 熱可塑性樹脂

一般的にフッ素を含む熱可塑性樹脂（テフロン等）は高レベルの線量では引張強度と硬度の低下がおきるため、 5×10^2 Gyを越える線量では採用不可能である。

他の熱可塑性樹脂は、 10^4 Gy程度迄は安全に使用できると考えられるが、 10^4 Gy以上については、耐放射線性は材料の種類により大きく異なる。

(iii) 接着剤

構造用として使用される熱硬化性樹脂タイプの接着剤については 5×10^5 Gyの線量迄は引張強度の低下は認められず、安全に使用できる。 3×10^6 Gyで、わずかに強度が低下するが、これを越える線量については材料の種類、成分によって劣化の程度は大きく異なる。

非構造用接着剤として代表的なソーラーセルカバー用シリコン系接着剤については電子線照射の結果 (10^{15} electrons/cm²) 透過率の低下はほとんど無かったとの報告がある。

(iv) エラストマ

高分子材料の中ではもっとも放射線により劣化しやすい材料であり、放射線に安定な範囲は $10^3 \sim 5 \times 10^4$ Gy程度迄であり、安定性は種類により異なる。

一般に放射線照射により、伸びは減少し、引張強度は最初向上あるいは低下した後大幅に低下し、圧縮残留歪はほとんどのエラストマにおいて50～100%増加する。また、ほとんどのエラストマは、放射線照射により硬度が増加する傾向にあるが、ブチルゴム、チオコールゴムは軟らかくなる。エラストマのうち天然ゴム、ウレタンゴム、ネオプレンゴムは、耐放射線性に優れているが、ネオプレンゴムについては、その成分によって大きく耐放射線性が異なるので注意を要する。

c. セラミック、グラファイト、ガラス

これら材料は、放射線により密度、機械的特性、熱的特性、光学的特性、電気的特性等の物理的特性が影響を受ける。放射線の影響を受ける特性やその程度は、材料の種類や組成及び放射線の種類により異なる。なお、耐放射線性は一般に有機材料に比べて高い。

設計にあたって考慮すべき事項を以下に示す。

(i) セラミック

一般にセラミックの物理的特性は、 10^7 Gy以下の電離放射線あるいは、 10^9 n/cm²以下の中性子線の照射に対しては明確には変化しない。より多くの照射を受けると密度、弾性係数、熱伝導度、光学的特性、電気的特性等に変化を生じる。但し、ベリリウム又はホウ素を含む複合体は、熱中性子フ

ルエンスが 10^{17}n/cm^2 レベルで影響を受ける。

(ii) グラファイト

グラファイトは、セラミックに比べると放射線に対していくぶん敏感である。放射線、特に高速中性子線 ($E > 1 \text{ keV}$) 照射により機械的特性 (寸法、強度、弾性)、熱的特性、電気的特性等に変化を生じる。変化が顕著となるフルエンスレベルは、 10^{19}n/cm^2 程度である。

(iii) ガラス

ガラスの光学的特性は、 $10^{15} \sim 10^{16}\text{n/cm}^2$ 以上の中性子線に相当する放射線の照射を受けると変化する。特に、透明度は着色により大きく低下するので注意を要する。

光学的特性を除く他の物理的特性の耐放射線性はセラミックと同程度である。

d. 熱制御コーティング材

熱制御コーティング材の損傷の中で最も影響を受けるものは太陽光吸収率、熱ふく射率等の光学特性の劣化である。

光学特性の劣化は放射線によるものだけでなく、紫外線、高真空の環境によっても影響を受け、特に有機材ベースの熱制御コーティング材では放射線よりも紫外線による影響の方が大きい場合が多い。

一般に、金属ベース熱制御コーティング材の放射線耐量は高く、以下無機材ベース、有機材ベースの順に低くなる。

(3) アウトガスの影響

真空中において材料は、表面から蒸発現象を起こし (これをアウトガスという)、衛星の熱制御材料、光学機器表面や高電圧電源系に付着、汚染して機器の性能を劣化させる。従って宇宙機には低アウトガス材料を使用する必要がある。一般的には、質量損失比 (TML) 1%以下、再凝縮物質質量比 (CVCN) 0.1%以下が一般的に要求されている。

(4) 原子状酸素の影響

スペースシャトルの飛行 (STS-1~4) においてペイロードベイで暴露されている材料 (テレビカメラの耐熱材 (カプトン) や塗料) に表面剥離の現象が観察された。

これは表面の後退とひいては質量損失として際だって顕在化しており原子状酸素に曝されて酸化する事により引き起こされたものである。

a. 原子状酸素の生成

太陽紫外線により宇宙環境に残存する酸素分子が分裂して酸素原子を生み

出している。

b. 酸素粒子密度

酸素粒子密度は太陽活動状態によって大きく変化するが、250kmで $10^8 \sim 10^9$ Atoms/cm³、500kmで $10^6 \sim 10^8$ Atoms/cm³である。

c. 原子状酸素によるメカニズム

飛行高度200kmを飛行する宇宙機（例えばスペースシャトル）の飛行速度は8km/sであり、この速度で宇宙機と原子状酸素が衝突すると酸素原子の衝突粒子束(Impingement Flux)は粒子密度×速度によって 10^{15} Atoms/cm²sの流量となり曝露されているカプトン材等が酸化される。

d. 顕著に影響を受ける材料の例

有機材フィルム（カプトン、マイラ、ポリイミド、ポリエチレン）
エポキシ樹脂金属被覆の反射器（銀、酸化クロム）熱制御用のコーティング材（白色塗料）

e. 対策の例

複合材及び有機フィルムに対しては金属被覆で持って表面を覆うか、テフロンまたは金属酸化物とフルポリマの分子結合したもので覆うことで保護する。

熱制御材用コーティング材及び光学用塗料に対してはガラス繊維と同様材質のもので表面をコーティングする。

(5) 工程の選定

製品の高品質を保つためには、4要素（Man、Machine、Material、Method）、即ち原材料、各工程の設備、工程及び従事する作業者を管理し、できればを均一にする必要がある。

したがって、「既に宇宙用として仕様書（手順書）が確立している工程（表3.58-1参照）」、「公の機関の仕様書（手順書）によって標準化されている工程」、又は「新たに仕様書を設定し、評価・試験により再現性が保証される工程」の中から選定することが重要である。

表3.58-1 JAXAで制定している特殊工程標準の例

規格等の番号	表題
JERG-0-039	宇宙用はんだ付け工程標準
JERG-0-040	宇宙用電子機器接着工程標準-部品接着固定、コンフォーマルコーティング及びポッティング
JERG-0-041	宇宙用電気配線工程標準
JERG-0-042	プリント配線板と組立品の設計標準
JERG-0-043	宇宙用表面実装はんだ付工程標準

注：これらの標準は仕様書(手順書)整備に際し、参考とすべきものである。

a. 新規の工程

新たに工程を開発する場合には、工程FMEA等で十分な事前検討を行うと共に、製品が所定の要求事項に合致するまで工程条件の改良を繰り返し、全く同一あるいは同一水準の設備・工程(作業手順)・作業者によって製品を生産し、できばえが均一になることを確認する。

b. 特殊工程

製品の検査だけでは製品の品質を確認評価することが困難なものについては、特殊工程として、特別に管理する。

製品の開発から製品における特殊工程の管理の全体フローを図3.58-2に示す。

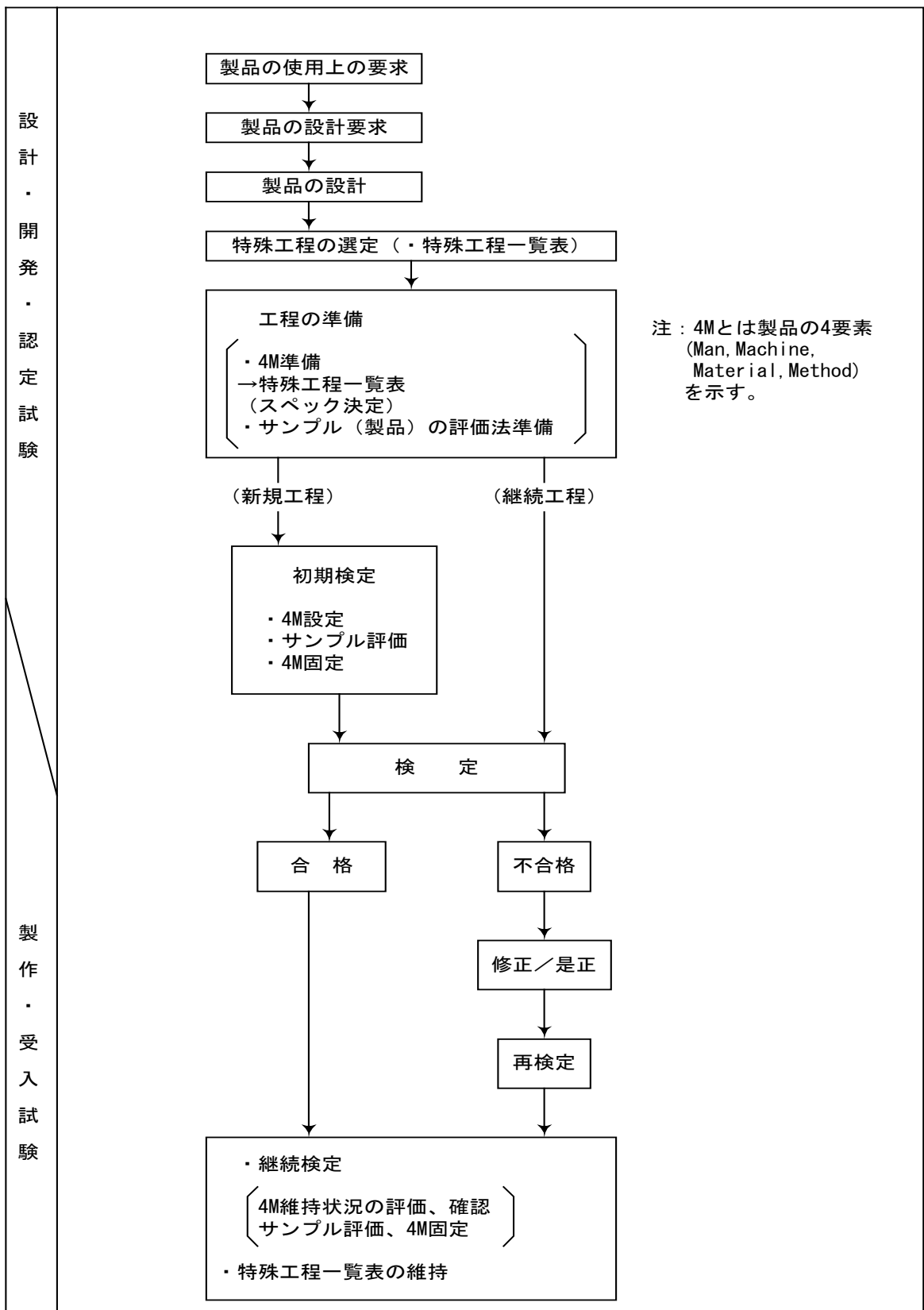


図3. 58-2 特殊工程全体フロー

(6) 材料及び工程の仕様書

材料及び工程についても、部品及びデバイスと同様に要求事項等を規定する仕様書を制定する。

また、仕様書に基づき、評価試験を実施し、品質が保証されることを実証する。

(7) 材料及び工程のリスト作成

材料及び工程のリストは、計画決定フェーズでそのプロジェクトに使用する予定の材料リスト (Approved Materials List) 及び工程のリストを作成し、プロジェクトが終了する段階まで維持・管理する必要がある。

参考として、材料及び工程のリストに含める項目を以下に示す。

a. 材料のリストに含める項目

材料名 (対象品目)、仕様書番号、選定基準、製造業者名、性能及び諸元等

b. 工程リストに含める項目

工程名、規格番号 (適用する仕様書番号)、管理対象 (設備、作業工程、作業員、検査員等)、有効期限等

(8) 材料及び工程の管理

ミッション達成を保証するため、要求される特有な材料及び工程を設計段階で識別し管理を行う必要がある。

特に、新しい材料又は宇宙で使用実績のない材料に対しては計画している宇宙用途への適合性に重点を置き、管理する。

また、アウトガス要求、放射線の影響及び試験手順の要求事項、並びにミッションの必要に応じた追加事項に適合していることを確認する必要がある。

(9) 適用審査

材料の実装及び工程が機器設計において、適切に行われているかを審査する。

実施しない場合の影響

材料及び工程プログラムの品質及び信頼性が確保できないため、宇宙用機器において異常及び故障を招く恐れがあり、ミッションの達成が危うくなる。

参考文献

なし

3.59 EEE部品のパッケージング審査

効果

コンポーネントの運用期間中に加わる機械的ストレス（振動、衝撃）、熱ストレスの解析結果から、EEE部品のパッケージング上の問題がないことを確認することで、コンポーネントに要求される信頼性が損なわれないことが評価できる。

効果的な実施時期

EEE部品のパッケージング審査を基本設計及び詳細設計の各設計審査会前までに実施する。

技術的根拠

運用条件や環境条件などによる機械的ストレス、熱ストレスに対して、EEE部品に関するパッケージング（配置、取付け）の妥当性を評価する。

JMR-004の対応項番

4.3.17.11 電気、電子及び電気機構（EEE）品目のパッケージング審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品ストレス解析
- (2) 部品、デバイス、材料、工程プログラム（適用審査）

実施方法

使用するEEE部品のパッケージング（配置、取付け）に関する設計及び組立基準について妥当性を審査する。

基本設計段階では、使用予定パッケージング方法及び基準の適用の妥当性を審査する。

詳細設計段階では、コンポーネントの詳細設計結果に基づきその中のEEE部品と組立品の支持に関して、実際に負荷される機械環境及び熱環境によるストレスを考慮して審査する。

審査においては、コンポーネント全体の設計、解析結果及び部品実装設計と以下の事項を重点的に照らし合わせて審査を行う。

- (1) ミッションの運用条件及び環境条件に加え、負荷されるすべての試験条件の下で、パッケージングの設計意図及びその能力が満足に発揮できるか確認・評価する。
- (2) 静電気放電、ウイスカ及びマイグレーションの考慮を含め、プリント基

板等へのEEE部品の配置、取付け、相互結合について審査する。

- (3) 部品の実装方法やコンポーネントの組立方法に着目して、製造工程を審査する。
- (4) 部品の保護及び検査の容易さに対する規定について確認する。
- (5) これらの審査の対象となる技術的根拠、決定事項を文書化する。

実施しない場合の影響

運用条件や環境条件などによる機械的ストレス、熱ストレスに対して、EEE部品のパッケージング（配置、取付け）設計に関する評価がなされないので、試験や運用段階で問題発生のある恐れがある。

参考文献

なし

3.60 製造工程審査

効果

製造技術面における問題点を事前に除去し、製造工程の欠陥に起因するミッション達成上及びプロジェクトマネジメント上のクリティカルな問題を未然に防止することが出来る。

効果的な実施時期

基本設計審査、詳細設計審査で行う。

技術的根拠

宇宙システムに限らず、品質は製造工程に大きく依存するが、特殊工程のように工程の結果を検証することが困難な場合は多くある。

これらの検証が困難な工程は、ミッションクリティカルな箇所にも存在する。従って、ミッション達成上及びプロジェクトマネジメント上のクリティカルな箇所の工程については、工程の検証が十分にできない場合もあることを念頭において、工程の事前検討を十分に行っておくことが必要であり、この結果を公式な審査の場で確認しておくことが必要になる。

JMR-004の対応項番

4.3.17.12 製造工程審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス、材料、工程プログラム（適用審査）
- (2) 基本設計審査
- (3) 詳細設計審査
- (4) 認定試験後審査

実施方法

以下に示す手順で実施する。また、製造工程審査と主要マイルストーンとの関連の一例を図3.60-1に示す。

(1) 対象品目の選定

製造工程審査の対象品目は、ミッション達成上及びプロジェクトマネジメント上のクリティカルな箇所の工程について重点的に審査するため、基本的にはクリティカル品目から選定する。選定に当たってはクリティカル品目のうち、少なくとも以下の事項に該当する工程がある場合に製造工程審査が必要な品目として選定する。

- a. 製造に使用される工程の新規性が高い場合
使い慣れた工程であっても、使用環境条件との適合性（許容温度、許容負荷など）が確認されていなければ新規の領域で使用すると考える必要がある。
- b. 重要品質特性に与える影響度が大きい場合
構造物の展開、伸展、収納など機械的運動に影響する潤滑など
- c. 試験・検査工程における機能・性能確認の制約が大きい場合
いわゆる特殊工程などのように検査の技術的境界で、製造不良品を除去出来ない可能性が高い工程
- d. 類似品の過去不具合事例の頻度が高い場合及び過去に重大不具合が発生している場合
工程不良を原因とする不具合事例の報告が見られる工程
- e. その他
プロジェクトマネジメント上のリスクが極めて高い品目の工程

(2) 製造工程審査に向けた活動

製造工程審査が必要と選定された品目については、対象品目の対象工程に関する工程プログラムを実施するとともに、以下の事項を考慮した工程解析などを行い、工程欠陥の原因を積極的に除去する。

- a. 製造工程の潜在欠陥を識別し、製造欠陥に伴うリスクを除去するため、製造工程に関する工程解析（工程FMEAなど）を実施する。
- b. 非破壊検査を行うことができず、その品質を工程に依存している場合は、その部位を識別し、部分モデルによる評価試験による品質の事前確認や許容品質レベルの設定（許容欠陥サイズの決定など）などを行う。
- c. 製造工程審査において個々の適用審査の結果について確認を行うことができるように、製造工程を構成する個別工程の適用審査を実施する。
- d. 工程品質評価の結果など、過去の経験やエンジニアリングモデルなどの開発試験中に得られた知見を整理し、反映すべき事項を反映する。

(3) 製造工程審査の実施

製造工程審査は(2)の活動の結果を審査資料として、基本設計審査及び詳細設計審査の一部として実施する。

また、認定試験後審査にて認定試験結果を踏まえて、製造工程審査結果の再評価を行う。

審査内容は、以下の項目を総合的に評価して製造工程の妥当性を審査し、

製造工程のベースラインを確立する。

- a. 対象品目、対象工程の選定結果（重要品質特性、重要加工パラメータを含む）
- b. 工程解析結果及びその結果の工程を規定している文書（QC工程表など）への反映状況
- c. 非破壊検査を行うことができずにその品質を製造工程に依存している部位の品質保証手段
- d. 計測能力・精度及びその計測結果の評価方法の適切性
- e. 工程ごとに設定した監視項目、記録を残すべき項目（頻度、数量を含む）の妥当性
- f. 個別工程の適用審査結果
- g. 工程品質評価結果（重要品質特性・重要加工パラメータのデータ表、工程の安定性についての評価、要改善工程の識別）及び製造品質の傾向分析結果（グラフ化されているもの）
- h. 工程に起因する不具合の是正処置状況、過去の経験・知見の反映状況
- i. 設計の各段階（PDR、CDR、PQRなど）で確立した製造工程ベースラインからの変更管理状況
- j. 購入品のベースラインの確立状況、重要品質特性・重要加工パラメータの選定結果及び管理計画（変更のトレーサビリティ確保手段を含む）
- k. 製造現場における品質管理状況及び品質管理実施計画（材料副資材（部品組立品）、設備／装置／治工具／計測器、作業／検査手順書、人員（教育訓練された作業員検査員等）、製造品質管理システムなどを製造現場にて確認）
- l. 工程認定計画（既存工程或いは確立した工程の再（継続）認定計画を含む）
- m. 重要品質特性・重要加工パラメータの管理規定

(4) 製造工程のベースラインの確立・維持

製造工程審査の審査結果を反映して、対象品目の工程を規定している文書（製造図面、工程表、工程仕様書、作業手順書/指示書、検査手順書/指示書など）を制定（使用設備、部品材料についてはメーカー名を含める）し、製造前に製造工程のベースラインを確立する。更に、それをリスト化（各文書の版数を含む）し、製造工程維持状況の基準とする。

検証済みの製造工程であることを認定試験後審査、又は、それに相当する審査において確認し、当該品目に関する正式な製造工程の確立とする。

また、確立したベースラインが維持されていることを製造実施状況など

により適宜確認する。特に機能、性能等に影響を及ぼすと判断する変更については、JMR-005¹⁾（品質保証プログラム標準；4.7.9項 製造工程の確立、維持等）またはJMR-013²⁾（品質保証プログラム標準；2.2.5.7項 製造工程の確立、維持等）に基づいて実施する。

ベースラインとして規定すべき文書の一例を以下に示す。

- a. EEE部品購入仕様書
- b. 材料購入仕様書
- c. 製造図面（購入品使用図を含む）
回路図、部品表、組立図、機構部品表、布線図、布線表
- d. 製造/QC工程表（製造フローチャート）
- e. 工事手順書（作業フロー）
- f. 作業標準仕様書（要素単位、特殊工程単位の工事仕様書）
- g. 検査仕様書（規格）
- h. 検査手順書（手順）
- i. 認定/受入試験仕様書
- j. 認定/受入試験手順書

実施しない場合の影響

製造工程の潜在欠陥に起因する問題が発生し、ミッション達成上及びプロジェクトマネジメント上の大きなリスクとなる場合がある。

参考文献

- 1) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 2) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要求JIS Q 9100)」

設計フェーズ	基本設計	詳細設計	維持設計		
開発モデル	BBM、試作モデル	EM	PM・認定試験	FM	継続号機
設計審査等	PDR▽	CDR▽	PQR▽	PSR▽	PSR▽
製造工程審査 (▽は審査会)	説明会△——▽	説明会△——▽	説明会△——▽		
現場確認					
確立したベースラインに基づく製造実施状況確認					
対象品目、対象工程	選定○ ●	—(追加、見直し)—●	—(追加、見直し)—●		
工程解析(工程 FMEA など)	▽	—(追加、見直し)—◇	—(追加、見直し)—◇		
重要品質特性 重要加工パラメータ	工程FMEA→○ ● ○ ●	—(追加、見直し)—● —(追加、見直し)—●	—(追加、見直し)—● —(追加、見直し)—●	データの報告◇	◇
工程プログラム(認定、適用)					
既存工程	選定	—(追加、見直し)—	—(追加、見直し)—		
再認定(必要な場合)	認定試験→◇	→◇	→◇		継続認定◇
適用審査	既存工程▽◇	追加工程▽◇	追加工程▽◇		
新規/変更工程	開発基礎試験				
工程仕様書/認定試験仕様書	作成	作成	作成	—(変更発生)—	
工程認定試験	計画作成→◇	試験→◇	試験→◇	→◇	
適用審査		新規/変更工程▽◇	新規/変更工程▽◇	変更工程▽◇	
認定状況リスト	作成◇	—(更新)—◇	—(更新)—◇	—(変更反映)—◇	◇
ベースライン確立・維持	EM●	—(変更管理)—PM●	—(変更管理)—FM●	変更管理状況の報告◇	◇

○ 選定 ● 確立 ▽ 実施 ◇ 報告

図 3.60-1 製造工程審査と主要マイルストーンとの関連 (一例)

3.61 部品、材料データベースの活用

効果

宇宙機に関する「部品、材料」の情報を提供するデータベースを活用することによって、最新の情報をより効率的、効果的に収集することができ、適切な宇宙機の設計、部品・材料の選定等が可能になる。

効果的な実施時期

基本設計段階における宇宙機の設計、部品・材料選定等において、部品、材料に関する情報を収集する。

技術的根拠

部品、材料は、機器の機能、性能、質量、信頼性、寿命、消費電力及びプロジェクトコストを決定する要素となることから、宇宙機に関する「部品、材料」についての最新情報を収集し、宇宙機の設計、部品・材料選定等に活用する。

JMR-004の対応項番

4.3.17.3 選定

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：専門組織の活用
- (2) 部品、デバイス：選定
- (3) 部品、デバイス：仕様書
- (4) 部品、デバイス：認定
- (5) 部品、デバイス：リストの作成
- (6) 部品、デバイス、材料、工程プログラム：適用審査
- (7) 材料、工程プログラム

実施方法

宇宙機の「部品、材料」に関する情報については、JAXA及び連携先の物質・材料研究機構では、下記(1)から(5)のデータベースを公開している。宇宙機の設計、部品・材料の選定等に有効な情報やデータを提供しているので活用されたい。また、NASA及び欧州の推奨するEEE部品のリストが(6)及び(7)として公開されているので活用されたい。

- (1) SEES(Space Environments Effects System：宇宙環境計測情報システム)
SEESは、宇宙環境（高エネルギー粒子、銀河宇宙線、原子状酸素、プラズマ、磁場等）とそれらによる影響（シングルイベント、太陽電池の劣化、トー

タルドーズ、帯電現象、熱制御材の劣化等)に関するデータとモデルを提供するデータベースである。

URL : https://sees.tksc.jaxa.jp/fw/dfw/SEES/Japanese/Top/top_j.shtml

(2) 先進複合材料力学特性データベース

先進複合材料、特に炭素繊維強化樹脂系複合材料 (CFRP) に関する各種力学的特性の試験結果を整理したものである。なお、本データベースの運用は終了しており、以下のURLからデータベースで公開していた内容を記載した技術資料を入手できる。

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/185731>

(3) 材料データベース

「材料データベースシステム」は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) で実施し取得した、宇宙用材料等の各種試験データの収集・蓄積・検索を迅速かつ効率よく実施するためのシステムであり、JAXA内外の宇宙関連プロジェクト担当者等に広く公開し、宇宙機設計、使用材料選定等に有効なデータの提供を行うものである。

URL ; https://matdb.jaxa.jp/main_j.html

(4) 宇宙用部品データベース

「宇宙用部品データベース」は、JAXAで認定している宇宙用認定部品に関するデータ及び情報を提供するものである。

URL: <https://ssl.tksc.jaxa.jp/eeepitnl/jp/>

(5) 宇宙関連材料強度データシート (SDS)

JAXAと物質・材料研究機構 (NIMS) が連携して行うH-IIAとH-IIBロケットの信頼性向上および将来輸送系開発のための材料特性評価を目的とした実使用材料の強度特性データ整備活動の成果としての、宇宙関連材料強度データシート (SDS) である。

URL : <https://sds.nims.go.jp/>

(6) NASA Parts Selection List (NPSL)

NASAの推奨部品リスト。

URL : <https://nepp.nasa.gov/npsl/>

(7) European preferred parts list (EPPL)

欧州の推奨部品リスト。

<https://escies.org/webdocument/showArticle?id=166&groupid=6>

実施しない場合の影響

宇宙機に関する「部品、材料」の情報を収集し、その情報を活用しない場合には、適切な部品・材料の選定が行えず、宇宙機のミッション達成に致命的な影響を与える恐れがある。

参考文献

なし

第4章 試験及び信頼性評価

4. 試験及び信頼性評価

4.1 信頼性評価計画の立案

効果

信頼性評価計画は、宇宙用機器の信頼性要求事項に対する適合性を評価するための方法（試験、検査、解析）とスケジュールを設定し、その実施計画を明確化することにより、信頼性の評価を効率的に実施できる。

効果的な実施時期

信頼性評価計画書は開発の初期段階に作成し、スケジュールを設定し、マイルストーンの進捗に従って見直す。

技術的根拠

宇宙用機器の開発においては、ミッション要求事項及び信頼性要求事項に対する適合性を評価することがミッション達成を成功させるために必要不可欠である。

したがって、この業務を計画的に確立し実施するために信頼性評価計画を作成する。

JMR-004の対応項番

4.4.2 信頼性評価計画書

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム計画書の作成
- (2) 試験計画書の作成
- (3) 試験仕様書、手順書の作成
- (4) 信頼性評価の実施

実施方法

信頼性評価計画を以下に示す観点から立案する。なお、信頼性評価計画書を作成する際は、信頼性プログラム計画書の別章又は別冊として作成する。

- (1) 信頼性評価計画の概要とスケジュール
システム及び構成品目の信頼性を評価するための要求事項とスケジュール(実施時期)を記述する。
信頼性評価項目と実施時期を示した例を、信頼性評価計画書作成例（図4.1-2）中の表2-1「設計段階及び試験段階の信頼性評価内容」に示す。
- (2) 設計仕様書の要求事項に対する適合性の検証手段

設計仕様書の要求事項に対して、その適合性をどのように検証するのか（試験、検査、解析など）について計画を記述する。

なお、検証方法（試験、検査、解析など）はベリフィケーションマトリクス^(注)によって識別することを推奨する。

これらの試験及び解析の役割は関連する仕様書を引用して記述する。

(3) 信頼性評価のための試験

システム及び構成品目に対する機能・性能要求事項及び信頼性要求事項に対する適合性を評価するために必要な客観的データが得られる定性的又は定量的に検証することが可能な試験をすべて記述する。

a. 組合せ試験

性能特性の評価のために組合せ試験が要求されている場合は、対象となる性能特性と組み合わせる試験の内容を識別し、記述する。

b. 試験順位

試験の具体的な実施手順について、試験順位を遵守するものが重要なものは明確化する。

c. 寿命試験

寿命試験が必要な場合（類似性による過去の実績データなどが使用できない場合）は、その実施計画を作成する。

(4) 設計変更、改善事項

既開発品（認定モデル等）からの設計変更あるいは改善事項に対する評価と、検証計画、管理計画を記述する。

(5) 信頼性評価のための解析

システム及び構成品目に対する機能・性能要求事項及び信頼性要求事項に対する適合性を評価するために必要な客観的データが得られる定性的又は定量的に検証することが可能な解析をすべて記述する。

（信頼度予測、FMEA/FMECA、部品ストレス解析、ワーストケース解析、特別解析等）

(注) システム及び構成品目に対する機能・性能要求事項及び信頼性要求事項の実証方法には(3)で述べた試験による方法、(5)で述べた解析による方法、過去の実績データによる類似性、検査などの方法があり、これらの方法を識別したものがベリフィケーションマトリクスである。ベリフィケーションマトリクスの一例を表4.1-1に示す。

(6) ソフトウェアの信頼性保証

ハードウェアに含まれるソフトウェアをハードウェアの一要素として識別し、仕様書の要求を満足することを確認するための検証計画、管理計画を記述する。

(7) 保全性

システムやコンポーネント等が故障した場合の故障分離、交換、修理方法等の保全計画を記述する。

(8) 人為故障の除去

ヒューマンエラーを発生させない、発生し難くする或いはヒューマンエラーが発生しても致命的な事態を招かないような人為故障の除去に対する管理計画を記述する。

(9) 異常／故障

異常／故障が発生した場合の行動計画、管理方法について記述する。

(10) クリティカル品目、信頼性管理品目

クリティカル品目、信頼性管理品目、並びにその対策／管理方法を記述する。

(11) 部品、デバイス、材料、工程

使用する部品、デバイス、材料及び工程に関して、信頼性要求を満足させるための管理計画を記述する。

(12) 個々のコンポーネント、サブシステム及びシステムの認定

個々のコンポーネント、サブシステム及びシステムの認定状況、認定計画を記述する。

(13) 信頼性技術情報、適用データシート、等の反映

信頼性技術情報、適用データシート等を試験、信頼性解析等へ適切に反映するための計画を記述する。

(14) 寿命

ミッション期間において寿命に充分余裕があり、安定した状態で使用できることを保証するための計画（解析、試験方法）について記述する。

(15) ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

初期故障を除去し、作動を安定させるためのならし（バーンイン及びウェアイン）試験の計画を記述する。

(16) 信頼性評価計画書の作成例

信頼性評価計画を信頼性プログラム計画書の別章として、作成した例を図4.1-1に示す。信頼性評価計画書を別冊として作成した例を図4.1-2に示す。

なお、作成例中の人工衛星搭載機器の開発方式はPFM方式である。

実施しない場合の影響

信頼性評価計画をたてないと、ミッション要求事項及び信頼性要求事項に対する適合性の検証が不明確になり、信頼性が確保できない恐れがある。

またスケジュールも不明確となる。

参考文献

なし

表4.1-1 ベリフィケーションマトリクスの一例

要求事項 (第3章)	確認方法	適用 なし	類似性	解 析	検 査	試 験			
						開 発	プロト フライト	受 入	改 修 後
3.1 品目の定義		○							
3.1.1 機能				○					
3.1.2 構成				○	○				
3.1.3 動作モード				○					
3.1.4 インタフェースの定義				○					
3.1.5 インタフェース分界		○							
3.1.5.1 電氣的インタフェース分界点				○					
3.1.5.2 機械的インタフェース分界点				○					
3.1.5.3 熱的インタフェース分界点				○					
3.1.6 インタフェース条件		○							
3.1.6.1 電氣的インタフェース条件		○							
3.1.6.1.1 電源系とのインタフェース				○		○			
3.1.6.1.2 衛星データバスコマンドインタフェース		○							
3.1.6.1.3 衛星データバステレメトリインタフェース				○		○			
3.1.6.1.4 姿勢制御系とのインタフェース				○		○			
3.1.6.2 機械的インタフェース条件				○					
3.1.6.3 熱的インタフェース条件				○		○			
中略									
3.2.3 信頼性		○							
3.2.3.1 信頼度				○					
3.2.3.2 設計寿命				○					

X.X章 信頼性評価計画

信頼性評価は、開発仕様書の品質保証条項に基づいて作成した、試験仕様書及び/または、試験実施計画書及び試験手順書に従って実施する。

開発仕様書の品質保証条項では、当該品目についての要求事項に対応して、それぞれの評価方法（試験、検査、解析等）及び実施する試験項目について規定している。試験仕様書及び/または試験実施計画書は、試験にて検証する要求項目とその要求値が全て含まれており、試験手順書には、試験の具体的な実施手順について、試験順位なども明確化している。試験仕様書及び/または試験実施計画書には、次の項目が含まれている。

- (1) 試験フロー
- (2) 試験スケジュール
- (3) 試験の組織と責任
- (4) 試験内容
- (5) 試験基準
- (6) 試験用施設、設備、装置等

また、個々のコンポーネント毎に寿命試験が必要な場合（類似性による過去の実績データ等が使用できない場合）は、その実施計画を別途作成して実施する。

図4.1-1 信頼性プログラム計画書中での作成例

別冊 1

信 頼 性 評 価 計 画 書

図4.1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (1/6)

1. 総則

1. 1 目的

本信頼性評価計画書は、技術試験衛星搭載機器信頼性プログラム計画書の中の信頼性評価計画について具体的に示すものである。

1. 2 適用範囲

本信頼性評価計画書は、当社が行う基本設計及びその後の詳細設計作業等、プロトフライト試験後審査(PQR)または出荷試験後審査(PSR)までに行われる信頼性評価に対して適用する。

図4.1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (2/6)

2. 信頼性評価計画

2. 1 概要

搭載機器の信頼性評価は、基本設計、詳細設計ならびにプロトフライト試験(PFT)、受入試験(AT)終了後に行うPDR、CDR、PQRまたはPSR時に開発部門、品質管理部門および部品、材料、工程部門の協力を得て信頼性部門が実施する。なお、PFTおよびAT終了後はその試験データを活用して信頼性の評価を行う。PFTおよびATの実施にあたって、開発部門が試験計画書を作成する。試験計画書には本搭載機器に要求される個々の仕様要求に対するその確認方法(類似性、解析あるいは試験など)を示した検証マトリクスが含まれる。試験計画書は設計審査の前に作成し、インプットパッケージに含め、得意先に提出して審査を受ける。

2. 2 信頼性評価

設計段階及び試験段階の信頼性評価内容を表2-1に示す。

2. 2. 1 設計段階の評価

設計段階の信頼性評価は、得意の開発要求に基づく信頼性要求事項に適合する度合いを評価するため、基本設計、詳細設計時に行う。また信頼性評価計画の改定の必要性および信頼性評価の進捗状況について審査し、評価する。

評価の結果は、各設計段階の終了時に行うPDR、CDRのインプットパッケージに含め報告する。

2. 2. 2 試験段階の評価

試験段階の信頼性評価は、2.2.1項で評価された信頼性事項が試験段階を経て管理された結果を評価する。

評価の結果は、PFT、ATの終了時に行うPQRまたはPSRのインプットパッケージに含め報告する。

図4.1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (3/6)

2. 3 ベリフィケーションマトリクス

本搭載機器に対する要求事項の実証方法には解析、過去の実績データによる類似性、検査、試験などの方法がある。

各々の仕様要求事項に対する確認方法は開発部門が作成する試験計画書の一部となる開発仕様書に対するベリフィケーションマトリクスで明らかにする。

また、仕様書要求に対する適合性を解析あるいは類似性により確認する場合、開発部門は、解析の根拠となったデータおよび解析結果をPDRインプットパッケージに含め、以降CDR、PQR時に見直すものとする。

2. 4 試験計画の概要

2. 4. 1 試験の分類

設計の良さを立証するため、あるいは不具合の除去のため、下記の試験を行う。

(1) 開発試験

- (a) サブシステム・コンポーネントの開発試験
- (b) システムの開発試験

(2) プロトフライト試験 (PFT)

- (a) サブシステム・コンポーネントのPFT
- (b) システムのPFT

(3) 受入試験 (AT)

- (a) サブシステム・コンポーネントのAT

(4) 部品、デバイスおよび材料の認定試験 (必要な場合)

- (a) 部品、デバイスおよび材料の評価試験
- (b) 部品、デバイスおよび材料の認定試験

(5) その他の試験

PDRおよびCDR等における審査の結果、寿命試験および信頼性を評価する試験の実施が必要であると判断された場合、信頼性評価の一部として実施する。

図4. 1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (4/6)

2. 4. 2 技術的要求事項

システムの開発において、新規に開発を行うサブシステム・コンポーネントについては、開発モデル(EM)および熱構造モデル(STM)を使用し、オーバストレスを考慮した試験を行い、開発設計の妥当性を評価する。

フライトハードウェアとしての認定のための試験が必要となるハードウェアは、プロトフライトモデル(PFM)を供試体としてプロトフライト試験(PFT)を行い、設計の妥当性を評価し、認定する。

PFTの環境試験レベルはプロトフライト試験(PFT)レベルとし、過剰なストレスが加わらないよう設定する。またPFTはコンポーネントレベルで実施し供試体は1台で行う。残る同一機器は受入試験(AT)レベルを設定して試験を行う。

図4. 1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (5/6)

2. 5 評価スケジュール

信頼性評価は表2-1に示す実施時期に基づき実施する。

表2-1 設計段階及び試験段階の信頼性評価内容

信頼性評価項目	実施時期	
	設計段階	試験段階
要求事項に対する検証手段と適合性	○	○
信頼性評価のための試験	(試験内容の 識別、計画)	○
設計変更、改善事項の反映 (設計審査時の反映)		○
信頼性解析 (信頼度予測、部品ストレス解析、 FMEA、FTA、累積疲労損傷解析など)	○	○ 見直し
ソフトウェアの信頼性保証	○	○ 見直し
保全性	○	○ 見直し
人為故障の除去	○	○ 見直し
異常／故障の評価		○
クリティカル品目、信頼性管理品目	(品目の選定)	○
部品、デバイス、材料、工程の評価	○	○ 見直し
個々の部品、コンポーネント、サブ システム及びシステムの認定状況	○	○ 見直し
信頼性技術情報、適用データシート等 の反映	○	○ 見直し
寿命の評価	○	○ 見直し
ならし（バーンイン及びウェアイン）試験	(品目の選定、 試験計画)	○

図4.1-2 信頼性評価計画書を別冊として作成した例 (6/6)

4.2 試験環境条件の設定

効果

宇宙システムの使用環境条件に基づき、的確な試験環境条件を設定することにより信頼性を確保し、適切な開発ができる。

効果的な実施時期

基本設計段階。詳細設計段階で見直し。

技術的根拠

適切な試験環境条件の設定により、打上げや軌道上の環境条件に関するリスクを小さくでき、設計上のマージンを正しく評価でき、オーバストレスによる性能劣化を防止できる。

JMR-004の対応項番

4.4.3.1 試験計画書

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 使用環境条件の設定
- (3) 試験計画書の作成
- (4) 累積疲労損傷の管理

実施方法

試験環境条件は、実機の使用環境条件を基に、それぞれの試験目的を考慮して、システム、サブシステム、コンポーネントで定め、設計仕様書及び試験仕様書に規定する。なお、実機が遭遇する環境は複合環境であるが、試験設備の制約、評価の容易性のため、試験環境条件はそれぞれの負荷毎に設定する。

各プロジェクトの開発計画での共通的な環境試験条件としては、宇宙機一般試験標準JERG-2-130¹⁾を参考にするとよい。

(1) 開発試験の環境条件

開発試験は、設計概念を検証し、評価を支援するものであり、設計や新規工法の問題点を早期に識別し、その結果を反映することが目的である。開発試験は、評価する目的に合わせたモデル（構造モデル、熱モデル）を使用するのが一般的である。

開発試験で負荷する試験環境条件は、開発対象の設計概念を評価するため、実使用環境条件から導き出される認定試験条件と同等か、厳しい試験条件を設定する。

構造モデルの試験環境条件は、構造強度設計の評価のため、ロケットの打上げ時に受ける定加速度環境及び振動・衝撃・音響環境を基に設定する。この試験で検証された数学モデルにより実機の機械環境を推測する。

熱モデルの試験環境条件は、熱数学モデルの評価・検証のため、打上げから軌道上ミッション終了までに遭遇する環境条件（最高温度、最低温度、及び最高・最低温度間の往復など）を考慮して設定する。この試験で検証された熱数学モデルにより実機の熱環境を推測する。

(2) 認定試験の環境条件

認定試験は、設計要求が満足されていること及び製造方法が適切であることを保証することを目的に、最終製品に適切なマージンが存在することを証明するために行う。認定試験レベルは、通常、受入試験から打上げ及び軌道上において受けると予測される環境及びストレスを超えて設定する。例えば、JERG-2-130によれば、正弦波振動試験における加振条件は、打上げロケットで規定される最大予測フライト環境（ 2σ 値）の1.5倍とし、熱試験の条件は、軌道上の最大予測温度範囲より 5°C 厳しい温度範囲としている。

認定試験は、実機と同じ設計で製造されたモデルを供試体として使用する。

(3) 受入試験の環境条件

受入試験の主目的は、認定された設計製造方法で、製作された品目に潜在する製造上の欠陥を検出し、フライトに供しうることを保証することである。

受入試験条件は、最大予測フライト条件とする。例えば、JERG-2-130によれば、正弦波振動試験における加振条件は、打上げロケットで規定される最大予測フライト環境（ 2σ 値）とし、熱試験の条件は、軌道上の最大予測温度範囲としている。

(4) プロトフライト試験の環境条件

プロトフライトモデルは、経営資源の制約のもとで、認定モデルとフライトモデルを兼用するものである。プロトフライト試験は、認定試験と受入試験を一つの供試体で実施する。

プロトフライト試験の環境条件は、認定試験と同等のレベルで、負荷時間については認定試験より短く、受入試験条件を満足するように設定する。

例えば、機械環境の負荷時間は、プロトフライトモデルが製造後から打上げ完了までに受けるストレスについて、累積疲労損傷率が規定以下にな

るように設定する。

(5) 環境試験レベル

環境試験の具体的な条件については、JAXAの技術要求・ガイドライン文書に規定されているので参照されたい。以下のWebサイトにて入手可能である。

<https://sma.jaxa.jp/TechDoc.html>

例えば、衛星の音響試験に関しては、以下の文書である。

JERG-2-130 宇宙機一般試験標準

JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック²⁾

実施しない場合の影響

宇宙システムの設計・製造の妥当性が確認できなくなり、宇宙環境における実使用環境に耐えない恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-2-130 宇宙機一般試験標準
- 2) JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック

4.3 試験計画書の作成

効果

開発の各段階で実施すべき試験の内容及び評価方法を試験計画書として明確にすることで、開発仕様書の要求事項のうち、試験で検証すべき事項が抜けることなく確実に実施することができる。

効果的な実施時期

エンジニアリングモデル(EM: Engineering Model)による開発試験計画書は基本設計フェーズに作成する。プロトタイプモデル(PM: Prototype Model)による認定試験計画書は詳細設計フェーズに作成する。フライトモデル(FM: Flight Model)による受入試験計画書は認定試験終了後、FM製作前に作成する。

技術的根拠

宇宙用機器に要求される高機能・性能、高信頼性を保証し、ミッションを達成する能力があることを立証するためには、開発段階で十分な試験を行うことが重要である。

そのため宇宙用機器の開発においては、開発のそれぞれの段階毎に試験計画書を作成して試験の内容及び評価方法を明確化し、製品を試験して得られた性能・特性から設計・製造の妥当性を評価し、次の段階の作業に反映させ、確実に開発・運用のフェーズを進めるものである。

JMR-004の対応項番

4.4.3.1 試験計画書

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 信頼性評価計画書の作成
- (3) 試験仕様書、手順書の作成
- (4) 試験報告書の作成
- (5) 累積疲労損傷の管理

実施方法

試験計画書は、開発仕様書あるいはインタフェース仕様書などの要求事項のうち、試験及び検査で検証するものについて、試験項目、試験内容、試験スケジュールなどについての計画を記述する。

試験計画書は試験の全体計画を示す文書として作成し、詳細な実施方法は含めない。これに対して試験仕様書は試験計画書で示される一連の試験あるいは

個別の試験それぞれに対して試験方法に対する詳細な要求を示すものである。

また、一般的に試験計画書と試験仕様書は文書としての位置付けが異なる。試験計画書は試験の内容、評価方法、実施体制及びスケジュールを明確にすることを目的に作成するのに対し、試験仕様書は試験条件・規格等の試験要求事項を規定するために作成するが多い。

試験計画書の作成方法について以下に示す。

(1) 試験計画書の作成方法

a. 上位要求の確認

試験計画書作成にあたり、開発仕様書やインタフェース仕様書などの要求事項を分析することが必要である。

通常、仕様書の検証マトリクスの中で、試験で検証する項目について試験を行うので、試験で検証する機能・性能要求は何か、開発ステップあるいは一連の試験のどの時点で試験を行うか、試験ポイントについても十分に検討する。

b. 試験計画書の構成と内容

試験で検証する内容を十分に分析した上で、次の事項を含めて試験計画書を作成する。

(a) 試験目的

試験により何を評価するのかを記述する。

(b) 適用文書

試験計画書の中で適用する文書を明確化するため、適用文書のリストを記述する。

(c) 試験対象品目

試験により評価する品目を明確にするために、品目の部品番号、名称、数量、必要に応じてロット番号、シリアル番号を記述する。

(d) 試験項目

試験の項目及び順序を明確にするために、又開発仕様書あるいはインタフェース仕様書の要求する試験を漏れなく確実にを行うために、実施する全ての試験項目を記述する。

フローチャートやマトリクス表に整理するとよい。

(e) 試験方法

試験の具体的な方法を明確にするために、試験条件、判定基準、試験コンフィギュレーションを試験項目及び試験順序に対応させて記述する。

(f) 試験場所

各試験の実施場所を明確にするために、試験場所を記述する。

(g) 試験スケジュール

各試験の所要日数を明確にするために、試験スケジュールを記述する。

(h) 試験装置、設備、計測器

適切な試験装置、設備、計測器を使用することを明確にするために、名称、型番、数量などを記述する。

(i) データ処理と解析

試験で取得したデータの取扱い及び評価方法を明確にするために、データの処理方法及び解析方法についての計画を記述する。

(j) 試験実施体制

試験実施のための組織、指揮系統などを記述する。

(k) その他

緊急連絡網、不具合処置などについて必要に応じて記述する。

上記事項を反映した試験計画書の目次例を図4.3-1に示す。

c. 審査

試験計画書は発行前に信頼性部門が審査する。審査は次の事項について重点的に行う。

- ・適用した開発仕様書などの文書が最新版か確認する。
- ・開発仕様書あるいはインタフェース仕様書などの要求事項のうち、試験で検証すべき項目が反映されているか確認する。
- ・試験条件、判定基準の数値の転記ミス、誤記、記入漏れなどがいないか確認する。
- ・方向性、極性、冗長系、インタフェースに対する試験が明確に指示されていることを確認する。

(2) 開発フェーズと評価試験

宇宙用機器の試験計画書を作成する上で、開発の各フェーズでどの様に試験が行われるかについて理解しておくことは重要である。以下に宇宙用機器の試験による検証方法について述べる。

一般に宇宙用機器は質量、容積などの制限が厳しく、又打上げ及び長期運用中の環境も厳しいことに加え、高い精度と信頼性（時間的安定性）が要求されている。設計、スクリーニング工程でドリフト、劣化などの考慮を十分に行ったとしてもマージンを小さくせざるを得ないことから、設計審査などで特性値管理品目を決め、個々のシステム、サブシステム又はコンポーネントレベルで特性傾向をトレンド解析、評価し、認定試験では、要求環境下

で特性値が規定内であることを解析、評価していくことが必要になる。

受入試験、プロトフライト試験以降は信頼性管理品目の特性値トレンドを評価しながら、組立、打上げ整備作業の効率化を図っていくことになる。

a. 試験の目的

信頼性評価とは、システム、サブシステム、コンポーネントなどについて、どの程度の信頼性特性値を有しているかを判定することをいう。この評価の方法としては、各種の関連データを使用した解析による方法、他の機能・性能が似ている品目の実績を用いる類似性による方法、外観・寸法・角度などの検査による方法などがあるが、試験は性能特性値を確認する最も直接的な方法である。

試験は、開発の進展に従って、そのフェーズに応じた各種の試験を実施し、その段階毎の信頼性を確認しつつ、必要に応じて設計、製造にフィードバックを行いながら、次のステップに移るための確認行為とすることができる。

試験の目的は、開発の各ステップで細部は異なるが、基本的には、

- (a) 技術データの取得
- (b) 設計・製造の妥当性の確認
- (c) 性能の確認
- (d) 欠陥の発見

を行うことにより、確認とフィードバックを実施することにある。

b. 試験の分類

試験には「開発試験」、「認定試験」、「受入試験」の開発を通じて実施される基本的な3種類の試験がある。この他に、認定、受入の両方の試験を兼ねた性格の「プロトフライト試験」がある。次に各試験の内容を示す。

(a) 開発試験 (DT : Development Test)

開発試験は、開発の初期の段階で、設計及び製造方法の実現性を確立し、解析手法の向上、試験方法の妥当性の確認などを目的として、早期に実施される。基本的な3種類の試験の最初に実施するもので、試験の対象の大きさによって、2つに分類される。一方はサブシステム及びコンポーネントレベルで設計の評価、要求事項の実証を行う為の試験、他方はシステムレベルにおいてシステム設計が全て要求条件を完全に満していることを実証するためのシステム試験である。

開発試験の初期の段階では、コンポーネントやサブシステムのレベルにおいて、クリティカルな構造や回路のブレッドボードモデル (BBM) を用いて、仕様上の要求事項を確定するために必要なデータを収集したり、基本的な設

計概念を固めたりするための多くの試験を行う。更にエンジニアリングモデル (EM) を作成し、環境試験を含む各種の試験を行い、コンポーネントレベル、サブシステムレベルの基本的な設計仕様を確立する。

システムレベルでは、特定の技術評価を行うために最も都合の良い形態に作った構造モデル、熱モデル、姿勢制御モデルなどの特殊目的モデルを用いて、各要素の評価と確認を行う。

またフライトモデル (FM) に近い形態のエンジニアリングモデルによって、電氣的、機械的な設計を確立し、更に組立手順、取扱法などを検討し、認定試験に先立って設計確認を行う。

(b) 認定試験 (QT : Qualification Test)

認定試験は、設計及び製造方法が、仕様書の要求事項に合致したハードウェア及びソフトウェアを得るのに適したものであることを、契約上公式に実施する試験である。認定試験においては、設計の中に存在するかも知れない欠陥を確実に見出すために、地上での取扱い、打上げ、軌道上での運用において実際に予測される条件に対し、安全を見込んで、より厳しい条件をシミュレートする。ただし、この試験は設計上の余裕をも超えた試験をするのが目的ではないので、実際の運用で起り得ないような故障モードが生じないように、注意が必要である。

認定試験の供試体としては、プロトタイプモデル (PM) を使用する。

(c) 受入試験 (AT : Acceptance Test)

受入試験は、納入品目の宇宙用機器としての受入可能性を立証するために実施される公式の試験である。受入試験は、認定済の設計によって製造されたものの中に、材料及び製造上の欠陥がないかどうかを確認するために、地上での取扱い、打上げ、及び軌道上での運用において、実際に予測される条件をシミュレートする。受入試験の実施を通じて、宇宙用機器の操作、取扱いに対して習熟するとともに、データを取得し運用中の性能データとの比較が行える様にしておくのも、本試験の目的の1つである。

受入試験の供試体は、フライトモデル (FM) を使用する。

(d) プロトフライト試験 (PFT : Proto Flight Test)

プロトフライト試験は、認定試験と受入試験を兼ねたものであり、打上げ用として使用される人工衛星などの宇宙用機器システムに対して、認定と受入の両性格の試験を実施するものである。プロトフライト試験には、2つの場合があり、一方は、元来プロトタイプモデルとして、完全に又は部分的に認定試験を受けたモデルに対し、フライト品としての評価、必要な改修を行って受入試験を実施するケースと、他方は最初から、プロトフライト試験として計画し、

認定試験及び受入試験の各要素を混合した試験を実施する場合である。プロトフライト試験の計画にあたっては、試験の実施によって供試体の打上げ時の有効寿命を、要求水準以下にすることのない様に、又必要以上の過酷な試験環境を与えて、供試体に潜在欠陥を発生させないように、十分配慮しなければならない。

プロトフライト試験は、認定・受入の両方の試験を兼ねているため、時間的、経済的なメリットが大きいが、同種の宇宙用機器システムに対する基礎的技術データや、開発経験が十分でない場合には、プロトフライト試験の形を取らない方が良い。

プロトフライト試験の供試体は、プロトフライトモデル（PFM）である。

c. 各試験の位置付け

各試験と開発ステップとの関係、及び試験相互間の比較を各々表4.3-1、表4.3-2に示す。

実施しない場合の影響

試験計画書を作成しない場合、開発仕様書の要求事項のうち、試験で検証すべき事項が完全に実施されるか計画管理できず、必要な試験が抜けたり、試験条件が変わるなど、要求に適合しない不完全な試験になる恐れがある。

この結果、試験により発見できるはずの不具合が製品に内在したまとなり、ミッションの失敗につながる恐れもあり得る。

参考文献

なし

1. 範囲
2. 試験目的
3. 適用文書
 - 3.1 契約文書
 - 3.2 関連文書
4. 安全管理
5. 供試体
6. 試験条件
7. 試験内容
 - 7.1 試験項目
 - 7.2 試験実施要領及び方法
8. 不具合処理
9. 試験設備、器材
10. 試験場所
11. 試験日程
12. 試験計画の変更
13. 試験実施体制
14. その他

図4.3-1 試験計画書目次例

表4.3-1 開発ステップと主たる試験

フェーズ	概念設計・計画決定・基本設計	詳細設計	製作・試験	運用
マイルストーン 評価試験	△ PDR	△ CDR	△ PQR	△ △ PSR 打上げ
開発試験 (DT)	EMによる			
認定試験 (QT)	PMによる			
受入試験 (AT)	FMによる			

PDR：基本設計審査

CDR：詳細設計審査

PQR：認定試験後審査

PSR：出荷前審査

EM：エンジニアリングモデル

PM：プロトタイプモデル

FM：フライトモデル

表4.3-2 主要試験の比較

NO	試験 項目	開発試験 (DT)	認定試験 (QT)	受入試験 (AT)
1	目的	設計及び製造方法の実現性を確立する。	設計及び製造方法の適正さを実証する。	フライトハードウェアが仕様に合致しており受入れ可能であることを確認する。
2	供試体	EM (試作品)	PM (フライトハードウェアと同等品)	FM (フライトハードウェア)
3	試験の負荷レベル	少なくともQTレベル	通常の運用負荷に安全を見込んだもの。	通常の運用負荷を越えない。
4	試験項目	<ul style="list-style-type: none"> ・機能、実証試験 ・構造モデル試験 ・熱モデル試験 ・姿勢制御モデル試験 ・その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能 ・電磁適合性 ・音響 ・振動 ・衝撃 ・熱真空 ・熱平衡 ・寿命 ・漏洩 ・その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能 ・電磁適合性 ・音響 ・振動 ・漏洩 ・熱真空 ・その他
5	試験の結果	開発試験データ (特性、寿命、故障率 等)	認定試験データ 異常/故障データ	受入試験データ 異常/故障データ
6	合格による処置		設計の認定 製造方法、製造業者の認定	フライトハードウェアの出荷 運用に使用
7	試験結果の利用	設計への方向づけ 製造方法への方向づけ 信頼性解析データへ反映 信頼性解析（予測、FMEA等）へ反映	信頼性解析データの見直し 信頼性解析の見直し	信頼性解析データの見直し

4.4 試験仕様書、手順書の作成

効果

試験仕様書を作成し、試験条件・規格などの試験要求事項を設定することで、試験に対する評価基準を明確にして、試験の実施指示を行うことができる。

また、試験手順書を作成して、試験仕様書の要求に適合した具体的な試験実施手順を設定することで、必要な試験データを漏れなく取得することができ、試験を確実かつ円滑に進めることができる。

効果的な実施時期

詳細設計から改修段階。試験計画書で規定される試験スケジュールに従い、試験開始前に作成する。但し、試験仕様書については試験手順書の上位要求文書に相当するので、試験手順書の作成期間を考慮した発行時期とする必要がある。

技術的根拠

製品が開発仕様書などの要求事項を満足するかどうかを試験の結果により評価するためには、試験が指示通り実施され、試験データが正しく評価されなければならない。

すなわち、要求仕様を満足する試験仕様書及び試験手順書が各々作成され、それらに基づき試験が実施され、データが正しく取得されていることが必要である。

JMR-004の対応項番

4.4.3.3 試験仕様書、手順書及び報告書

関連の深い信頼性業務

- (1) 設計仕様書の作成、維持
- (2) 信頼性評価計画書の作成
- (3) 試験計画書の作成
- (4) クリティカル品目リスト (CIL) の管理
- (5) 作動寿命限定品目の管理
- (6) 貯蔵寿命限定品目の管理
- (7) 特性値管理品目の管理
- (8) 重要取付品目の管理
- (9) 打上前作動時間等管理品目 (PTI) の管理
- (10) 設計過誤の防止

実施方法

試験仕様書は、開発仕様書あるいはインタフェース仕様書などの要求事項のうち試験で検証するものについて、その項目、規格、方法などを規定する文書であり、システム／コンポーネント別に作成する。

試験手順書は、図面及び試験仕様書の要求事項を確認するための詳細な実施手順であり、試験仕様書で規定される一連の試験あるいは個別の試験毎に作成する。

ここでは試験仕様書及び試験手順書の作成方法について述べる。

(1) 試験仕様書の作成方法

a. 上位要求の確認

試験仕様書の作成にあたっては、図面、開発仕様書あるいはインタフェース仕様書が制定され、機能・性能要求が明確に規定されていることを確認する。これら仕様書に検証マトリクスが規定されており、試験にて検証することが指定されている項目を試験する。

また、試験計画書が作成されている場合は試験計画書の内容をよく理解し、試験計画書と試験仕様書に矛盾が無いようにする。

b. 試験仕様書の構成と内容

開発仕様書やインタフェース仕様書で要求される機能・性能の検証方法について十分に検討し、かつ試験計画書の計画内容を踏まえて、試験仕様書は次の事項を含めて作成する。

試験仕様書の目次例を図4.4-1に示す。

(a) 試験対象物品の名称と識別番号、試験数量

試験により評価する品目を明確にするために、品目の名称と識別番号を規定する。

また、必要に応じて数量、ロット番号、シリアル番号を規定する。

(b) 試験目的

試験により何を評価するのか、その目的を規定する。

(c) 試験場所

各試験の実施場所を明確にするために試験場所を規定する。

(d) 試験方法及び合否の基準と許容差

開発仕様書やインタフェース仕様書などの要求事項を検証するために必要なデータを効率的かつ確実に取得するために、試験コンフィギュレーション、入出力条件、環境条件、制約条件などの試験方法について詳細に規定する。

また、得られたデータの妥当性及び欠陥の判断基準を明確にするために、

合否判定基準を規定する。

なお、試験方法は要求仕様書とのトレーサビリティを明確にすると共に、信頼性の観点から以下の点についても十分に考慮して試験方法を規定する。

- ・外部インタフェースの整合性は試験されるか。
- ・極性、方向性の整合性が試験されるか。
- ・作動タイミングの整合性が試験されるか。
- ・冗長系は各系が個別に試験されるか。
- ・累積疲労損傷が管理値を超えていないか。
- ・公称値と最悪値の双方で試験されるか。
- ・特性値管理品目の特性値が取得されるか。
- ・特性値管理品目の特性値は、トレンド評価を行う為に必要なデータ数(3点以上)が一連の試験中に取得されるか。
- ・寿命管理品目が寿命切れしないか。余寿命は十分か。
- ・試験順位が明確に規定されているか。
- ・仕様書要求事項の内、試験で検証する項目が過不足なく仕様書に盛り込まれているか。
- ・試験条件は仕様書要求事項と完全に一致しているか。
- ・試験規格は仕様書要求事項と完全に一致しているか。
- ・試験コンフィギュレーションは実際の運用モードを十分に模擬しているか。
- ・設計変更点が試験されるか。

試験方法の記入事例を図4.4-2及び図4.4-3に示す。

(e)維持すべき環境条件

供試体の劣化や損傷を防止するために、要求仕様書で規定される温度、湿度、気圧、清浄度などの周囲環境条件を規定する。

(f)危険な操作又は状態

供試体及び設備などの劣化や損傷、あるいは要員の危険を防止するために、注意すべき操作や状態について規定する。

(g)適用する安全基準、規則及び規程の引用

人体の危険を防止するために、試験作業の安全管理に必要な基準、規則、規程などについて規定する。

(h)許容できる調整、交換などの作業

試験実施部署の独自の判断で行うことのできる調整や交換などの作業をあらかじめ明確にして、対応を迅速に行うために、要求仕様書に抵触しない範囲で許容できる作業内容を規定する。

(i) 試験結果のデータ記録、解析、再試験及び報告に対する要求事項

試験データを確実に記録し、効率的にデータ評価を行うために、記録を残す項目、数値の単位、指定フォーマット、解析方法についての要求事項を規定する。

また、再試験の可否や試験結果の報告方法についての要求事項を規定する。

(j) 試験後の物品の取扱い

試験終了後の供試体の清浄、防錆、梱包、運搬などについて規定する。

(k) その他

適用文書、試験体制、緊急連絡網、不具合処置などについて必要に応じて規定する。

(1) 審査

試験仕様書は発行前に信頼性部門が審査する。審査は次の事項について重点的に行う。

- ・適用した開発仕様書などの文書が最新版か確認する。
- ・開発仕様書あるいはインタフェース仕様書などの要求事項のうち、試験で検証すべき項目が反映されているか確認する。
- ・試験条件、判定基準の数値の転記ミス、誤記、記入漏れなどがいないか確認する。
- ・方向性、極性、冗長系、インタフェースに対する試験が明確に指示されていることを確認する。
- ・試験計画書と矛盾がないか確認する。

(2) 試験手順書の作成方法

a. 上位要求の確認

試験手順書の作成にあたっては、図面及び試験仕様書が制定されていることを確認し、試験要求内容を分析する。

b. 試験手順書の構成と内容

試験仕様書の要求内容を踏まえて、試験手順書は次の事項を含めて作成する。試験手順書の目次例を図4.4-4に示す。

(a) 試験対象物品の名称と識別番号及びコンフィギュレーション

試験により評価する品目を明確にするために、供試品の名称、識別番号、形態を記述する。

(b) 合否判定の基準値と許容差を含んだ特性及び設計基準

得られたデータの妥当性及び欠陥の有無を評価するために合否判定基準を規定する。通常、合否判定基準は試験仕様書と一致させるが、異常値管理

を目的として試験仕様書の規格をさらに狭めた規格を設定する場合もある。
また、設計値との比較評価が必要な場合などは、必要に応じて設計値（目標値）も併記する。

(c) 得意先が行う又は立ち会う試験の識別

得意先の試験又は立ち会いを抜けなく確実にを行うために、その試験を明確にしておく。

(d) 事前確認を含んだ順次行うべき詳細な手順と作業

誰がやっても同じ試験結果となるように、作業を出来るだけ細かく分解し、作業の流れに従って作業手順を箇条書きで記述する。試験手順の記入事例を図4.4-5に示す。

(e) 計測器類又は非破壊検査装置の使用範囲、型式及び管理番号

試験に適切な試験設備や計測器を使用するために、名称、型式、管理番号を記述する。必要に応じて測定範囲を明示する。

(f) 特別なデータ記録装置又は自動試験装置の操作方法

特殊な試験装置を使用する場合は、試験要員による操作手順を明確にして誤操作を防止するために、取扱説明を記述する。

(g) 試験装置と物品間の配置及び相互接続

誤接続の防止と作業性向上のために、計測器、設備、試験装置などと供試体の配置と相互接続を図示する。

(h) 危険な操作又は状態、注意事項

供試体及び設備などの劣化や損傷、あるいは要員の危険を防止するために、注意すべき操作や状態について記述する。

(i) 維持すべき環境条件

供試体の劣化や損傷を防止するために、試験仕様書で規定される温度、湿度、気圧、清浄度などの周囲環境条件を記述する。

(j) ワークマンシップの標準

例えば供試体の外観上の傷や汚れ、塗装などの欠陥について合否基準を明確にするための限度見本を規定する。

(k) 試験における制約事項

供試体及び設備の劣化や損傷などを防止するための試験方法の制約事項を規定する。

(l) 不具合の発生又は結果に対する特別な説明

不具合発生時の対応を迅速に行うために、不具合発生時の連絡先や記録・処置方法について規定する。

(m) 適用する抜き取り方式

供試体を抜き取りで試験する場合は、抜き取り方式を規定する。

(n) 試験に必要な要員とその作業分担

試験指揮者、試験リーダ、試験員、検査員、技術支援などの要員を明確に

する。

また、作業者に必要な資格も明確にする。

(o) 供試体及び試験に使用する治具類の管理

供試体及び治具類の取り扱い不備による損傷や劣化、紛失などを防止するために、保管管理要求を規定する。

c. 審査

試験手順書は発行前に試験仕様書発行部門、及び信頼性部門が審査する。審査は次の事項について重点的に行う。

- ・適用した試験仕様書は最新版か確認する。
- ・試験仕様書で要求された試験が過不足なく、全て確認される手順になっているか確認する。
- ・試験条件、判定基準の数値の転記ミス、誤記、記入漏れなどがいないか確認する。
- ・ドライラン（机上リハーサル）を実施し、試験手順に問題がないことを確認する。

実施しない場合の影響

試験仕様書及び試験手順書を作成しない場合、試験で検証すべき事項が実施されなかったり、計画と異なる条件で実施されたりして開発仕様書の要求事項が正しく評価されず、試験データも記録に残らない場合がある。

この結果、製品の信頼性を保証するデータの証拠がなくなり、信頼性目標を達成しているか判断できない恐れがある。

また、試験により発見できるはずの不具合が製品に内在したままとなり、ミッションの失敗につながる恐れもあり得る。

参考文献

なし

1. 範囲
2. 試験目的
3. 適用文書
 - 3.1 契約文書
 - 3.2 関連文書
 - 3.2.1 宇宙航空研究開発機構文書
 - 3.2.2 宇宙航空研究開発機構承認文書
4. 安全管理
5. 供試体
6. 一般試験条件
7. 試験
 - 7.1 試験の概要
 - 7.2 試験実施要領
 - 7.3 データ処理
8. 不具合などの処理
9. 使用器材
10. 試験実施場所
11. 試験日程
12. 試験計画の変更
13. 試験の担当区分

図4.4-1 試験仕様書目次例

項番	項目	試験内容	判定基準	備考
1 1.1	機能試験 回路導通抵抗	<p>(1)セットアップ：図XXX (2)測定手段：マルチメータ (3)測定箇所：</p> <p>a. アームモード</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 4 D-B G-H</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 5 C-E B-F</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 6 C-E B-F</p> <p>b. ディスアームモード</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 4 C-D G-F</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 5 B-C E-D F-D</p> <p style="padding-left: 40px;">S J 0 2 6 B-C E-D F-D</p> <p>(4)アーム/ディスアーム切替電圧：29±0.1VDC</p>	<p>下記回路導通抵抗を有すること。</p> <p>75±7.5Ω以下 0.1Ω以下 0.1Ω以下 0.1Ω以下 0.1Ω以下</p> <p>75±7.5Ω以下 0.1Ω以下 30.1±0.3kΩ 30.1±0.3kΩ 30.1±0.3kΩ 30.1±0.3kΩ 30.1±0.3kΩ 30.1±0.3kΩ</p>	

図4.4-2 試験方法の記入例（リレーボックスの機能試験の事例）

項番	項目	試験内容	判定基準	備考
4	ランダム振動試験	<p>(1) 供試体を試験機に取り付ける。</p> <p>(2) 図XXXに示す振動レベルを3軸について印加する。なお、原則として制御ポイントは図XXXに示す4点平均制御とする。</p> <p>(3) 加振中、チャタリングをモニタする。</p> <p>(4) 1軸加振後、下記の点検を実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外観異常 ・ 接続確認 ・ 抵抗接続確認 ・ リレーコイル接続確認 ・ 絶縁抵抗 ・ 接地抵抗 ・ ダイオード機能 ・ 電源供給機能 	<p>1 μ s 以上のチャタリングがないこと。</p> <p>左記結果に異常ないこと。</p>	

図4.4-3 試験方法の記入例（電力分配器の振動試験の事例）

1. 概要
2. 要求文書
3. 設備専用器材
4. 人員配置
5. 一般要求
6. 安全要求
7. 手順

付属書1 データシート

付属書2 試験装置取扱説明

図4.4-4 試験手順書目次例

				ページ _____
				改訂符号 _____
手順 No.	指揮者	作業者	手 順	確認
7.2 7.2.1 W001			ELM-ES起動	
03-001	TL	ES1	図1-1のセットアップを実施せよ。	—
03-002	TL	ES1	GSEの設定を表-1の設定とせよ。	—
03-003	TL	ES1	ELM-ES電源（試験用電源）をONにせよ。 <div style="text-align: right;"> 電圧： _____ V 電流： _____ mA 時刻： _____ : </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> オムニ設定 電圧レンジ： _____ V 電流レンジ： _____ A 送り速度： _____ 電流計設定 レンジ： _____ </div>	—
03-004	TL	ES1 ES2	60秒経過後、データ収集及び計測を開始せよ。	—
03-005	TL	ES1	表PFM1-W001 A(付表-1のデータフレームデータ)を確認せよ。	Q_
03-006	TL	ES1 ES2	データ収集及び計測を終了せよ。	—
03-007	TL	ES1	ELM-ES電源（試験用電源）をOFFにせよ。 <div style="text-align: right;">時刻： _____ :</div>	—
03-008	TL	ES1	GSEを立ち下げよ。 (試験を継続する場合は、この項を省略する。)	—

図4.4-5 試験手順書 試験手順の記入例

4.5 試験報告書の作成

効果

試験データ及び試験方法の評価、解析の結果を整理し、文書化することによって開発仕様書の要求事項を満足していることが確認できると共に、試験を実施した証拠とすることができる。

また、次の開発フェーズへの重要なインプットデータとなる。

効果的な実施時期

試験計画書で規定される試験スケジュールに従い、試験終了後速やかに作成する。

技術的根拠

製品が開発仕様書の要求仕様を満足するかどうかを試験の結果により評価するためには、試験が指示通り実施され、試験データが正しく評価されなければならない。この評価の結果は試験報告書にまとめ、開発フェーズに応じて詳細設計審査、認定試験後審査あるいは納入前審査で審査される。

JMR-004の対応項番

4.4.3.3 試験仕様書、手順書及び報告書

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 認定試験後審査
- (3) 試験計画書の作成
- (4) 試験仕様書、手順書の作成

実施方法

試験報告書は単なる試験データの羅列ではなく、試験データを十分に解析・評価する。

また、試験データが有効なものであることを保証するために、試験方法の妥当性についても十分な解析・評価が必要である。

要求仕様のうち試験によって検証する場合の要求事項と評価の流れを図4.5-1に示す。

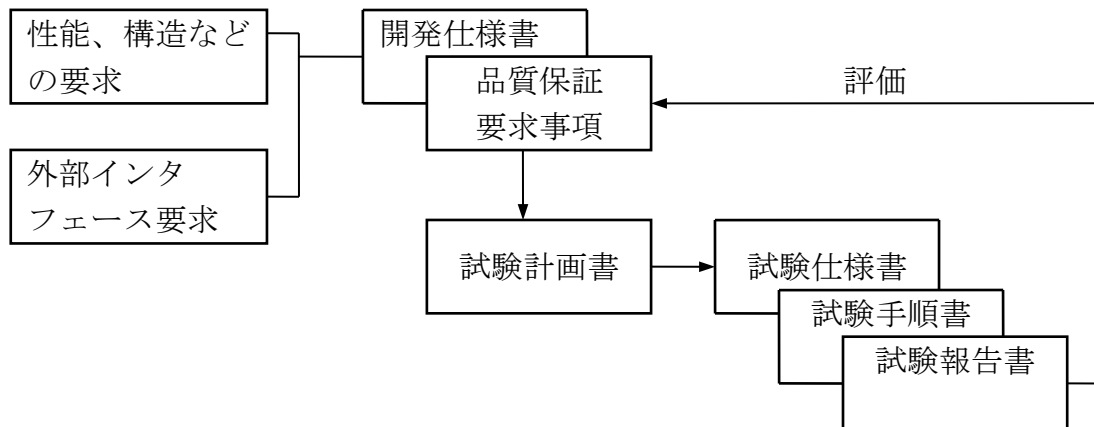


図4.5-1 要求事項と評価の流れ

ここでは試験報告書の作成方法と試験結果の評価ポイントについて述べる。

(1) 試験報告書の作成方法

a. 試験報告書の構成と内容

試験報告書は試験計画書又は試験仕様書毎に次の事項を含めて作成する。ただし、試験報告をCDR、PQR又はPSRのインプットパッケージに含めてもよい。試験報告書の目次例を図4.5-2に示す。

(a) 品目の名称及び識別番号

試験に供した品目を明確にするために、品目の名称と識別番号を記述する。

また、必要に応じて数量、ロット番号、シリアル番号を記述する。

(b) 試験中に取り外した品目並びに交換した品目の名称及び識別番号

供試体の試験コンフィギュレーションの変更を記録に残すため、試験中に取り外した品目並びに交換した品目の名称及び識別番号を記述する。

(c) 承認済のデビエーション、ウェーバの写し

要求仕様書を満足しない事項についてデビエーションあるいはウェーバ処置が適切に実施されたことを示すために、デビエーションあるいはウェーバの写しを添付する。

(d) 試験データと結果の評価

試験結果に対する評価を示すために、試験仕様書の試験方法に対応する形で取得した試験データ（環境試験の各種プロファイルを含む）とその合否判定結果を記述する。

また、それぞれの試験結果に対しては（2）試験結果の評価の項に示すポイントを踏まえて評価を行うことが重要である。評価は試験報告書に含めることが望ましいが、審査会のインプットパッケージに含めてもよい。

試験結果の記入事例を図4.5-3に示す。

(e) 不具合履歴

発生した不具合の現象、原因、対策の履歴を記録に残すために、不具合の履歴を記述する。

なお、対策については当該供試体に対してだけでなく、次の開発ステップへの反映も記述する。

(f) クリティカル品目のリスト

供試体あるいは供試体の構成品がクリティカル品目に指定されている場合は、使用履歴を明確にするために名称と識別番号を記述する。

(g) 有効寿命を有する品目のリスト及び累積作動時間及び回数の記録

供試体あるいは供試体の構成品が有効寿命品目に指定されている場合は、使用履歴と寿命マージンを示すために、名称、識別番号、消費寿命、余寿命を記述する。

(h) その他

試験場所、試験スケジュール、試験体制、試験装置・設備・計測器などについて必要に応じて記述する。

b. 審査

試験報告書は発行前に試験仕様書発行部門及び信頼性部門が審査する。審査は次の事項について重点的に行う。

- ・適用した試験仕様書及び試験手順書は最新版か確認する。
- ・試験仕様書及び試験手順書で要求された試験が過不足なく、全て確認されたか確認する。
- ・数値の誤記、記入漏れなどがいないか確認する。
- ・試験データが規格内であること、又特性値管理品目は特性値のトレンドに異常がないか確認する。
- ・有効寿命品目は寿命に適切なマージンがあることを確認する。
- ・不具合が適切に処置されていることを確認する。

(2) 試験結果の評価

a. 開発試験の評価

開発試験は、その目的が「設計及び製造工程における有効な情報を得るために行われる」ことから、試験の結果期待していたようなデータが得られないこともあるが、だからといってその試験が失敗であったということにはならない。しかし、予想値とか、目標値のようなものは必ず存在するので、これを目安として試験を行ない結果を評価する。

予想値、目標値の定まらないものについては、更にもう一歩前段階の、デー

データ取得を目的とする試験が必要な場合もある。

一方、データの具体的評価においては、試験の目的、経緯、供試体、支持構造、試験装置、試験セットアップ、試験手順、試験データ、予期しない計測器及び供試体の動作並びに結論の説明を、文書化しておくことが必要である。データの解釈と結論は、設計者、解析者並びに試験担当者の検討結果を調整したものとする。試験結果についての解釈を述べる場合は、解釈であることを明白に述べる。

また、試験報告書は単なるデータの羅列にとどまらず、データの解析、評価が十分なされることが望ましい。

また、試験方法の妥当性についても、十分な解析、評価をするべきである。

試験データの評価においては、一連の試験で取得した特性値データの変動や変化の傾向を評価するためにデータのトレンドを評価するとともに、関連する試験データも含めて、次の観点から総合的に評価することが必要である。

- (a) 特性値のドリフト、性能の劣化、物理的な摩耗が機器、システムの信頼性に影響するか。
- (b) 特に内部的要因又は外部的要因により、特性値のドリフト、性能の劣化、物理的な摩耗を起し易いか。
- (c) 受入試験などの試験データの合否判定のみで機器の信頼性が保証できるか。
すなわち、部品の故障、物理的な摩耗などを特性値のドリフトによって判断しておく必要性があるか。

これらが該当する製品は、ハードウェアを特性値管理品目としてどのようなパラメータをどのフェーズから監視していくか詳細設計審査を通じて決定する。

b. 認定試験の評価

認定試験では設計要求が満足されていることを保証するために、最終製品に適切なマージンが存在することを証明する。従って、試験データの評価においては、規格内かどうかだけでなく、設計値に対する評価や試験データのトレンドについても試験報告書に記述する。

また、試験中に発生した不具合が適切に処置され、フライト品の設計・製造に反映すべき事項がないか評価して記述する。

c. 受入試験の評価

受入試験では製品がフライトに適するものであることを実証し、評価することになる。従って、試験データの評価においては、開発試験や認定試験で取

得した試験データと比較したり、特性値管理品目の場合はこれらの試験において取得した特性値データとも合わせてトレンド評価を行う。

また、寿命管理品目の場合は、消費寿命や余寿命についての評価も含める。

さらに、試験中に発生した不具合についても処置の妥当性について十分評価し、ミッションに悪影響がないことを確認しておく。

d. 試験方法の評価

開発した製品が要求仕様を満足するものかどうかを試験の結果により評価するためには、試験そのものが指示通り実施され、試験データが正しく取得されている必要がある。

従って、開発仕様書の要求を満たす試験計画書、試験仕様書及び試験手順書が作成され、これに基づき試験が実施され、データが取得されていることを評価する。

また、取得した試験データや供試体の性能の外に、試験装置などの使用設備についても所期の通り機能したかどうかを評価し、もしも問題となる事項があれば、実施した試験の妥当性を検討する。

実施しない場合の影響

試験データ及び試験方法の妥当性が十分に評価されず、試験の結果から是正できるはずの問題点がフライト品の設計・製造に適切にフィードバックされない恐れがある。この結果、不具合が製品に内在したままとなり、ミッションの失敗につながる恐れもあり得る。

参考文献

なし

1. 範囲
 2. 目的
 3. 一般事項
 - 3.1 関連文書
 - 3.1.1 適用文書
 - 3.1.2 参考文書
 - 3.2 供試体
 - 3.3 試験実施計画
 4. 試験実施結果
 - 4.1 試験項目／試験フロー
 - 4.2 試験コンフィギュレーション
 - 4.3 試験結果
 - 4.3.1 試験結果サマリ
 - 4.3.2 環境試験
 - 4.4 試験実施履歴
 - 4.5 不具合記録
 - 4.6 試験実施期間
 5. 試験結果の評価
-
- 付録1 試験データサマリ
 - 付録2 振動試験データ
 - 付録3 EMC試験データ
 - 付録4 温度サイクル／熱真空 熱電対取付位置

図4.5-2 試験報告書目次例

項番	項目	判定基準	試験結果										最終 機能 性能 試験	合否
			初期 機能 性能 試験	温度サイクル試験			振動試験							
				+60℃	-20℃	+23℃	X軸 中	X軸 後	Y軸 中	Y軸 後	Z軸 中			
1.1.1	送信電力	VSWR2.5以下の 負荷に対し 1.0W(+20%, -50%)	1.04 W	0.83 W	1.03 W	1.05 W	良	1.05 W	良	1.05 W	良	1.05 W	合	
1.1.2	送信出力モニ タ	4.0 V~5.0 V	4.85 V	4.17 V	4.80 V	4.88 V	良	4.89 V	良	4.85 V	良	4.78 V	合	
1.1.3	GPS立ち上がり 時間	120 s以内	25 s	—	—	30 s	—	—	—	—	—	20 s	合	

図4.5-3 試験結果記入例（送信機の事例）

4.6 ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

効果

コンポーネントの製造後早い時期に発生する部品・材料による欠陥や、ワークマンシップによる欠陥を発見することができ、軌道上に不具合を持ち込むことを阻止できる。

また、コンポーネントレベルでならし（バーンイン及びウェアイン）試験を行うことにより、システムレベルでの不具合発生の比率を低く抑えることができ、コスト及びスケジュールの上で有利となる。

効果的な実施時期

受入試験又はプロトフライト試験にて実施する。

技術的根拠

ならし（バーンイン及びウェアイン）試験は、電氣的・電子的及び機械的機器の特性を安定させるため、一定の時間作動させることである。通常、バーンイン試験は電気回路に、ウェアイン試験は機械的可動部に対して用いられている。

部品、装置、システム（系）などの製品故障の推移を示したのが、図4.6-1である。この図は洋式の風呂に似ていることからバスタブ曲線と呼ばれている。

初期故障期における高い故障率は、新製品直後には部品・材料による欠陥や、ワークマンシップによる欠陥などが潜在的に存在しているため、さまざまな弱点が使用初期に現れることによるものである。この種の欠陥は初期故障と呼ばれ、初期故障を早く見出して動作を安定させ、軌道上に不具合を持ち込まないための対処として、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験がある。

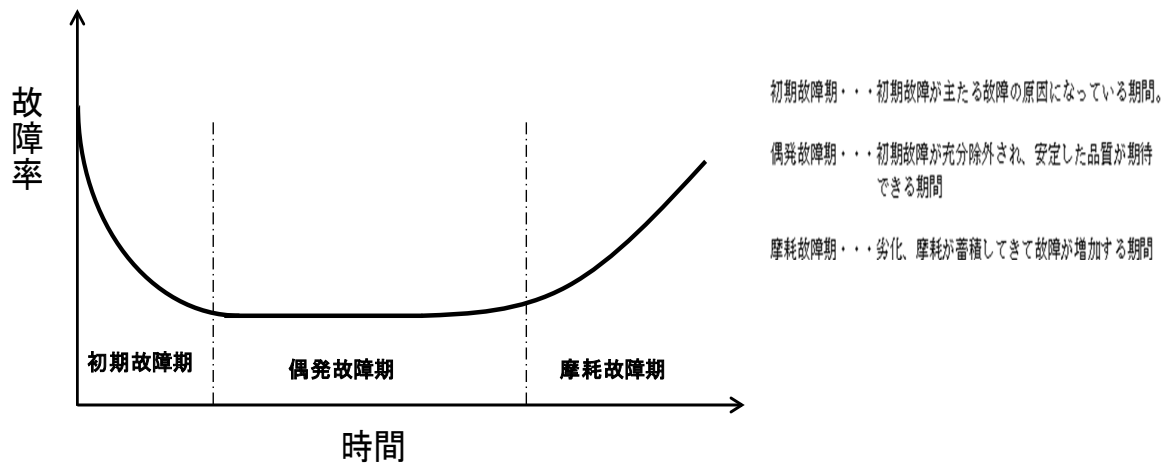


図4.6-1 バスタブ曲線

JMR-004の対応項番

4.4.3.4 ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性評価計画の立案
- (2) 打上前作動時間等管理品目（PTI）の管理

実施方法

ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の方法、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の事例を以下に示す。

(1) ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の方法

a. 試験計画の立案

対象品目を識別し、試験条件、目標作動時間、作動回数等の試験計画を立案する。試験計画の立案にあたっては、製造段階からシステム渡しまでの間に蓄積されるコンポーネントの全作動時間の累積が、目標作動時間、作動回数等が満足できるように、他の試験計画との関連性も考慮して、効率的に実施できるように計画する。ただし、極めて限られたサイクル寿命を持つ部品については、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の対象品目から除外することも検討する。除外を検討する際には、技術的根拠を明確にすること。

なお、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の対象品目は、信頼性管理品目（打上前作動時間等管理品目）として識別し、管理すること。

b. 試験方法

(a) 電気系コンポーネントについて

電気系コンポーネントは、全機能を可能な限り作動状態とし、かつ、不具合の発見に適したコンポーネントのパラメータ及び主要項目を常時モニタできるように配慮して実施する。

環境条件は常温常圧状態が原則である。ただし、温度サイクルがコンポーネントの初期不良発見やワークマンシップエラーの発見に極めて有効と判断される場合は、温度サイクル試験を併用してもよい。

(b) 機構系コンポーネントについて

バルブ、スラスタなどは、作動時間より作動回数の累積の方が初期故障が発生しやすいため、その機能の反復を常温条件下で実施する。スラスタにとって実噴射の1サイクルとは、噴射開始、連続噴射、噴射終了（シャットダウン）を含むものとする。ヒドラジン燃料を使用するスラスタの実噴射時には、噴射によるヒドラジンのすべての痕跡

がフライトバルブから完全に除ける手段を講ずるべきである。

モータなどの潤滑剤を使用する機器等においては、潤滑剤のなじみ時間を考慮した回転試験を実施する。

c. 負荷条件

(a) 圧力条件

原則として、常圧条件とする。

(b) 温度条件

原則として、常温とする。

ただし、コンポーネントのサイクル試験のために温度条件を課す場合は、コンポーネントの受入試験又はプロトフライト試験時の温度上限値／温度下限値等を参考にして温度条件を設定すること。

(c) 印加時間及び回数

①電気系コンポーネント

電子／電気コンポーネントのシステム組込みまでのならしの全作動時間は、初期故障を十分抽出できるよう、対象コンポーネントの故障データ等を活用し、初期不良を洗い出すまでに必要な時間等を考慮して適切に設定すること。

ならしの全作動目標時間に対して、システム受渡し時に不足する作動時間を予測し、この不足時間をならし（バーンイン及びウェアイン）試験として割り振る。このとき、冗長系を有するものについては、待機中の時間は作動時間に含めず、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験に割り振る時間に配慮する。

なお、参考として衛星搭載用の電気系コンポーネントについては、宇宙機一般試験標準¹⁾（JERG-2-130）において、ならし目標時間は240時間以上と定められている。ただし、このならし目標時間は部品レベルでのスクリーニングが実施されていることが前提とされており、スクリーニング等が実施されていない部品を使用している場合は、部品の初期不良洗い出しに必要な時間、稼働条件等について十分検討する必要がある。

②機構系コンポーネント

バルブ、スラスト等のコンポーネントについては、作動寿命や安定稼働までの作動回数等を考慮して、適切に反復数を設定すること。

モータなどの潤滑剤を使用する機器等においては、潤滑剤のなじみ

時間を考慮し、最適な回転試験回数を設定すること。

なお、参考として衛星搭載用のバルブ・スラスタ等のコンポーネントについては、宇宙機一般試験標準（JERG-2-130）において、最低100サイクルの反復を実施すべきと定められている。ただし、反復数については寿命解析等の結果も考慮する必要がある。

(d) 機能試験

ならし（バーンイン及びウェアイン）試験のための機能試験は、万一性能劣化の発生があった場合、その発見を容易にするのに必要なベースラインデータを準備するために、この試験の開始時に実施する。

同様の機能試験を、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の最後にも実施し、性能劣化等の発生が無いことを確認すること。ただし、長時間のならし（バーンイン及びウェアイン）試験を実施する場合は、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の間での機能試験を実施する場合もある。

すべての冗長を含む全回路の不具合の発見に適したパラメータ及び主要項目は、ならし（バーンイン及びウェアイン）試験期間を通してモニターすべきである。また、電子回路のON/OFFについても、操作を模擬するために試験中に実施すべきである。

(2) ならし (バーンイン及びウェアイン) 試験の事例

a. 衛星搭載用電気系コンポーネントのならし (バーンイン及びウェアイン) 試験実施例

コンポーネントPFT/ATの試験計画書等において図4.6-2、表4.6-1の通り、ならし (バーンイン及びウェアイン) 試験を規定して試験計画に盛り込み、社内や客先と事前に合意しておくことが望ましい。

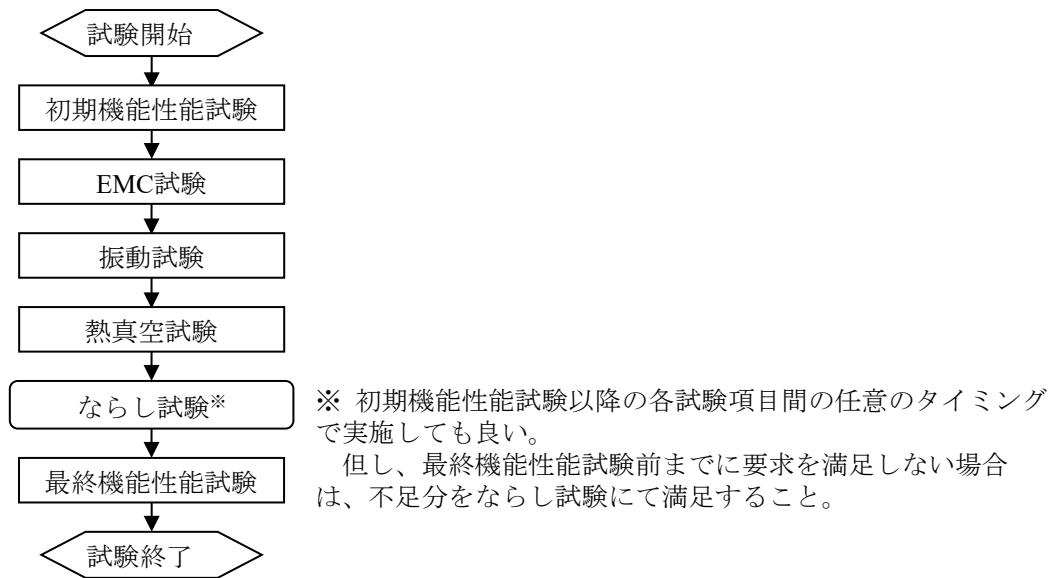


図4.6-2 ならし (バーンイン及びウェアイン) 試験フロー設定例

表4.6-1 ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の条件例

項目	条件例
①ならし時間	240時間以上
②ならし時間の起点	PFT/AT開始時を起点とする
③ならし時間として積算する項目	ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の他に、機能性能試験、熱真空試験での作動時間をならし時間として積算しても良い。 但し、機器を作動させている時間のみとする。
④内部冗長機器のならし時間	ならし時間の積算はコンポーネント単位で実施するが、内部冗長機器に対しては、以下の通りとする。 ①主従が分離している機器：主従別々に積算する。 ②基板毎に主従がある機器：基板単位で積算する。
⑤ならし（バーンイン及びウェアイン）試験を実施するタイミング	各試験項目間の任意のタイミングとする。 但し、最終機能性能試験前にならし時間の累計が240時間を満たしていない場合は、不足分をならし（バーンイン及びウェアイン）試験にて満足すること。
⑥ならし（バーンイン及びウェアイン）試験時の環境条件	PFT/ATで規定された常温常圧での環境条件を原則とするが、熱真空試験等を併用しても良い。
⑦ならし（バーンイン及びウェアイン）試験時の機器の状態	各コンポーネントの機能性能や、検出したい故障モード等を考慮し、機器毎に作動状態を規定する。 なお可能な限り機器の最大負荷状態とする。 ・データ記録装置であれば、コマンドにより全chの記録再生を繰り返すモードとする等
⑧ならし（バーンイン及びウェアイン）試験中のモニタ項目	機器の健全性が分かる項目を選定すること。 ・電源電圧・消費電力・ステータステレメトリ等
⑨ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の判定基準	規定のならし時間を満足すること。 ならし時間中の各モニタ項目に異常がないこと。

[ならし（バーンイン及びウェアイン）試験の結果例]

PFT/AT内での累積作動時間は254時間（ならし（バーンイン及びウェアイン）試験として82時間を実施）であり、要求される240時間以上を満足している。

また、ならし時間中の各種モニタ項目は機能性能試験の判定基準内であり、異常がないことを確認した。

b. 衛星搭載用機構系コンポーネント(ベアリング)のならし(バーニン及びウェアイン) 試験実施例

JAXA研究開発部門が開発した高速回転ホイールでは、表4.6-2に示すとおり、液体潤滑剤の塗布不良等に起因する故障モードが複数ある。

この検証方法のひとつとしてベアリングレベルで長時間ならし(200hr以上ランニング)を行い、オイル分布の外観確認(PROD: Post Running Oil Distribution test)にて故障の有無を検出している。

表4.6-2 高速回転ホイールの製造に起因する劣化要因と検証方法²⁾

故障モード	要因	検証方法		
		設計	設計(開発試験)	検査
転がり疲れ	ベアリング材料不良(組成、材料清浄度)	材料・工程設計 購買	組成、材料清浄度 評価	受入検査(材料メーカー 検査成績書)
	潤滑剤不良	仕様書 保管手順	化学的安定性評価 (温度試験ほか)	材料検査 保管記録
	潤滑工程不良(潤滑剤塗布不良、潤滑油量不足、洗浄不足等)	工程設計、 工程FMEA	工程評価試験	PROD 試験
	異物混入(圧痕発生)	工程設計、工程FMEA、 コンタミ管理	工程評価試験	LSD 試験
	機械環境試験(圧痕発生)	機械環境耐性設計	機械環境耐性評価	・起動トルクほか回転 性能トレンド ・機械環境試験時の共 振倍率等によるベア リング荷重評価
潤滑不良	潤滑工程不良(潤滑剤塗布不良、潤滑油量不足、洗浄不足等)	工程設計、工程 FMEA	工程評価試験	PROD 試験
	潤滑剤不良	仕様書 保管手順	化学的安定性評価 (温度試験ほか)	材料検査 保管記録
	異物混入	工程設計、工程FMEA、 コンタミ管理	工程評価試験	LSD 試験
リテーナインスタビリティ	保持器材料不良(寸法、摩擦係数)	購買仕様書	保持器開発試験	・受入検査(材料メーカー 検査成績書) ・PROD 試験
	潤滑工程不良(潤滑剤塗布不良、潤滑油量不足、洗浄不足等)	工程設計、工程 FMEA	工程評価試験	PROD 試験
	ベアリング組立精度(ミスアライメント)	図面、工程指示文書	工程評価試験	ミスアライメント検査 (回転振れ)
	急な加減速	立ち上げ方法、許容 加減速加速度の規定	最大加減速運用評価 試験	—

検証方法検査欄の詳細内容については、次頁のベアリング工程管理を参照。

ベアリング工程管理²⁾

- ・材料製造条件
成分、材料清浄度、熱処理、真空脱ガス処理、表面処理ほか
- ・玉・内外輪加工条件
研削・研磨、ならし
- ・保持器加工条件
- ・油量管理・オイル塗布条件管理
玉・内外輪への適切なオイル塗布、バリアフィルムの適切な箇所への塗布、保持器へのオイル含浸、オイルリザーバへのグリース充填、PROD (Post Running Oil Distribution) 試験(回転試験後にオイルの分布状態を目視確認)。
また、オイルを含浸させた保持器は大気暴露中においてオイルが水分(吸湿)に置換され外部に排出されるため、保管環境、大気暴露時間等に注意が必要である。
- ・組立手順
アライメント、適切な予圧量設定、試験による確認(例:LSD (Low Speed Dynamometer) 試験 低速回転させてロストルク値及びロストルク変動を確認)
- ・ならし(バーンイン及びウェアイン) 試験条件管理
試験環境(雰囲気、外部振動、内外輪間の通電(電食))、試験条件(回転立ち上げ、最大回転数等)の管理
- ・部材・完成品の保管管理
部材・完成品の汚染・劣化防止、寿命期限切れの部材使用の防止
- ・検査
フライト品質を保証するための検査。以下に主要な検査項目を挙げる。
 - ① 材料検査
成分、処理、清浄度
 - ② 寸法・精度検査(ベアリング及び取付関係部品)
寸法、精度、幾何公差
 - ③ 洗浄・コンタミ検査
クリーンルーム及び洗浄液のLPC (Liquid Particle Counter)、ミリポア、LSD (Low Speed Dynamometer) 試験
 - ④ 塗布油量検査
塗布量・塗布条件管理、保持器大気暴露時間管理(吸湿防止)、PROD (Post Running Oil Distribution) 試験: 200hr以上ランニング後オイル分布外観確認
 - ⑤ 組立精度
内輪/外輪の傾き
 - ⑥ 回転性能試験(大気・真空)
ランニングトルク値、ランニングトルク変動、異音(リテーナインスタビリティの有無)、アキシヤル振動
 - ⑦ その他
高速回転ホイールでは、ボール加工工程健全性の指標として、ボールの表面性状・ウェーブネスの検査も取り入れた。

なお、PROD試験は部品(ベアリング)レベルの工程に取り込まれている試験であり、潤滑剤に関わる不良はコンポーネント組立に入る前にスクリーニングされる。よって、コンポーネントレベルにおいては、定期的な保守管理(ホイールの連続回転駆動)が推奨されているのみである。

上記の通り、PROD試験は部品レベルのならしであり、EEE部品のバーンイン試験等と同様に、コンポーネントレベルの打上前作動寿命管理品目(PTI)には該当しないといえる*。

※コンポーネントレベルで打上前作動寿命管理品目(PTI)を管理する場合は、コンポーネント製造完了後を対象とし、a項等が該当すると考えられる。

但し、部品レベルの開発でJMR-004を適用する場合は、信頼性解析のなかで打上前作動寿命管理品目(PTI)の識別を検討することが望ましい。

実施しない場合の影響

コンポーネントの製造後早い時期に発生する部品・材料による欠陥や、ワークマンシップによる欠陥を発見することができないため、軌道上に不具合を持ち込む恐れがある

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」
- 2) JAXA-RR-07-025 「高速回転ホイール開発を通しての知見」 井澤克彦, 市川信一郎, 2008年2月

4.7 寿命試験

効果

部品又はコンポーネントの寿命データを、試験により取得することにより、ミッションで予想される最大期間及び最大回数の作動に耐えうる能力があることを実証することができる。

また、寿命試験で得られたデータは寿命解析の有効な情報になる。

効果的な実施時期

開発試験又は認定試験にて実施する。

技術的根拠

寿命試験は、摩耗、変動及び変動の形の故障モードを持っているかも知れない部品及びコンポーネントが、許容された範囲を超えるような機能の劣化を生ずることなしに、地上試験、打ち上げ、軌道上の作動時間、運用などで予想される最大期間及び最大回数の作動に耐えうる能力があることを実証するために行われる。

JMR-004の対応項番

4.4.3.5 寿命試験

関連の深い信頼性業務

- (1) 寿命解析
- (2) 信頼性評価計画書の作成

実施方法

寿命解析の結果、寿命に関する既存のデータが使用できず、寿命試験による評価が必要と判断された場合は、寿命試験を行う。

寿命試験は製品の故障モード(寿命や特性の劣化)や故障メカニズム(物理的、化学的、機械的、電氣的など)に即したものとする。従って、寿命解析の中でこれらについて十分検討を行い、効果的な試験となるように計画する。

以下に寿命試験の方法、寿命試験の事例を示す。

(1) 寿命試験の方法

a. 寿命試験の目的

寿命試験は、磨耗、変動、疲労の形の故障モードを有するコンポーネントが、地上試験中及び飛行中に遭遇すると考えられる最大の運用時間あるいは運用サイクルに対して、許容限界を超えるような機能低下を起こさずに、十分な耐

性を有していることを確認することにある。

b. 試験方法

1つ又は多数のコンポーネントを、それらが目的とする飛行環境を模擬した条件下で作動するよう設定する。代表的な環境は、周囲温度、熱、熱真空及びこれらの複合とする。

供試体は、製造ロットから任意抜き取りするか、EM又はPMとする。適当なマージンを含み寿命中に予測される最長の作動時間及び最大サイクル数の運用に耐えうるような能力をコンポーネントが持っていることを立証するような試験を計画する。

相対的に低い作動デューティのコンポーネントについては、作動デューティサイクルを圧縮して試験してもよい。

軌道上で連続運用されるコンポーネント又は高い作動デューティのコンポーネントについては、加速試験が可能ならば採用する。

c. 試験レベル・継続時間

供試体に負荷する試験レベル及び時間については以下の通りとする。ただし、規定する数値についてはJERG-2-130¹⁾「宇宙機一般試験標準」を参照して最新の値を確認すること。

(a) 圧力

加圧構体や圧力容器については、圧力レベルは最大予測環境レベルを適用する。その他のユニットについては、真空環境による劣化が予測される可能性のある密封されていないユニットを除いて、常圧を適用する。真空環境による劣化が予測される場合は、 $1.3 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ($1 \times 10^{-4} \text{Torr}$) 以下の圧力を適用する。

(b) 環境レベル

最大予測環境レベルを適用する。加速寿命試験の環境試験レベルは、軌道上レベルより厳しいものとする。そこで与えられる、より厳しいストレスは、使用時の予測されるストレスに基づく寿命と更に発生する故障のメカニズムを導くことに関係付けられたものである。

(c) 時間又はサイクル数

コンポーネント寿命試験の全作動時間又はサイクル数は、地上試験、フライト、軌道上運用を含む予測される全ての期間中の作動時間又はサイクル数に適切なマージンを加えて設定する。

通常、試験時間又はサイクル数のマージンは、予測作動寿命期間中の運用時間又はサイクル数の2倍とする。ただし、マージンの値については、要求される信頼性とコストのバランスを考慮してプロジェクト毎あるいはコン

ポーネント毎に設定する。

(d) 機能試験のデューティサイクル

試験開始前及び試験終了後に、確認すべき全ての項目についての機能試験を実施する。

また、一定時間毎にコンポーネントが仕様値内にあることを確かめるために、必要十分な項目についての機能試験を実施する。

(2) 寿命試験の事例

a. 推進弁の作動寿命試験

試験コンフィギュレーションを図4.7-1に示す。

また、試験方法を表4.7-1 に示す。

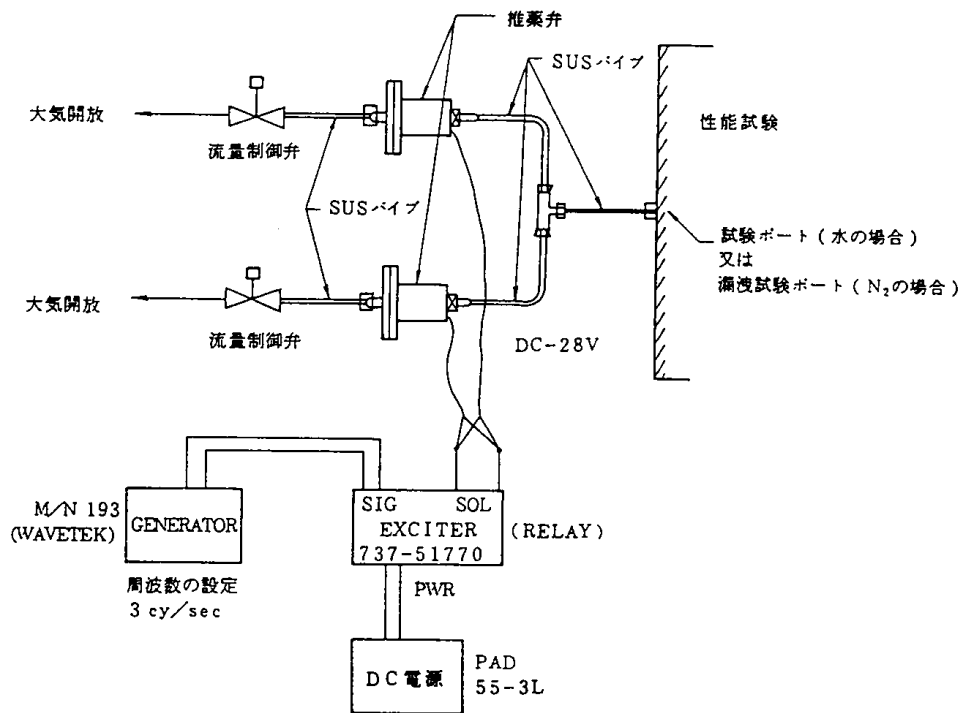


図4.7-1 推進弁寿命試験コンフィギュレーション

表4.7-1 推進弁寿命試験方法

試験方法	試験条件	判定基準
<p>供試品を図4.7-1のとおり設置する。</p> <p>(1) コイルに28 ± 1VDCを印加し、入口ポートに2755.7 ± 137.3kPa(28.1 ± 1.4kgf/cm²G)の脱イオン水を加圧し、流量を1013.3 ± 101.3 kPa・cm³/s(10 ± 1scc/sec)に設定する。EXCITERにより3サイクル/secの割合で5000サイクルの開閉作動を行う。</p> <p>(2) その後、13項応答試験、14項吸引/開放試験及び内部漏洩試験を行う。</p> <p>(3) 次に上記(1)と同様の条件で合計10000サイクル開閉作動させ、上記(2)と同様の試験を行う。</p> <p>(4) 上記(1)と同様の条件で10000サイクルずつ開閉作動させ、上記(2)と同様の試験を行い、合計60000サイクルまで行う。</p> <p>(5) 次に入口ポートに加圧する流体を脱イオン水から窒素ガス2755.7 ± 137.3kPa(28.1 ± 1.4kgf/cm²G)に変え、2000サイクルの開閉作動を行う。</p> <p>(6) 合計62000サイクルの作動寿命後、以下の各試験を行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 4項絶縁 コイル抵抗試験 (槽内温度21 ± 1.4°Cのみ) 2) 15項 内部漏洩試験 3) 11項 逆方向漏洩試験 4) 13項 応答試験 5) 14項 吸引/開放電圧試験 6) 10項 外部漏洩試験 7) 12項 圧力損失試験 8) 16項 清浄度試験 	<p>入口圧力(水) 2755.7 ± 137.3kPa (28.1 ± 1.4kgf/cm²G)</p> <p>流量 1013.3 ± 101.3 kPa・cm³/s (10 ± 1scc/sec)</p> <p>印加電圧 28 ± 1VDC</p> <p>作動割合 3サイクル数 合計60000サイクル</p> <p>入口圧力 (N₂) 2755.7 ± 137.3kPa (28.1 ± 1.4kgf/cm²G)</p> <p>印加電圧 28 ± 6VDC</p> <p>作動割合 3サイクル/sec サイクル数 2000サイクル</p>	<p>耐久中作動すること。</p> <p>耐久中の各試験の要求を満足すること。</p> <p>各試験の要求を満足すること。</p>

b. 宇宙用スリップリングの作動寿命試験²⁾

機械環境試験、熱真空寿命試験を含めたスリップリング開発試験を実施し、耐機械環境性及び寿命を検証して、宇宙用スリップリングとして採用できることを確認した。

開発試験フローを図4.7-2に、環境試験レベルを表4.7-2に示す。

また、外観図を図4.7-3に示す。

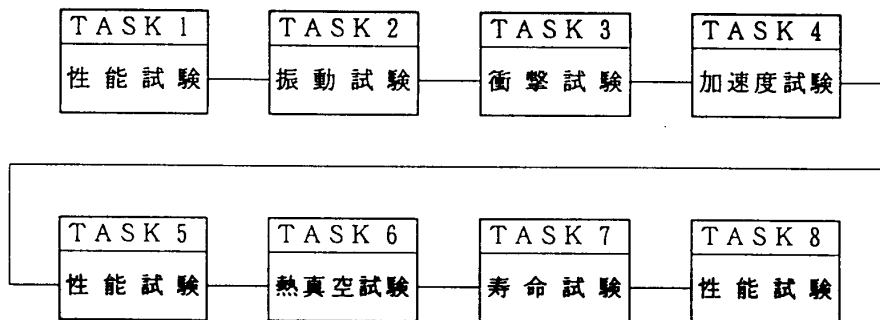


図4.7-2 スリップリング開発試験フロー

表4.7-2 スリップリング環境試験レベル

試験項目	試験レベル
・正弦波振動 周波数 レベル 掃引速度	10~2000Hz 490m/s ² (50G) 2 OCT/分
・ランダム波振動 周波数 実効値 時間	50~2000Hz 358.9m/s ² rms(36.6Grms) 2分/軸
・衝撃	100~1400Hz+6dB/oct 1400~4000Hz 3138m/s ² (320G)
・加速度 レベル 時間	245m/s ² (25G) 5分/軸

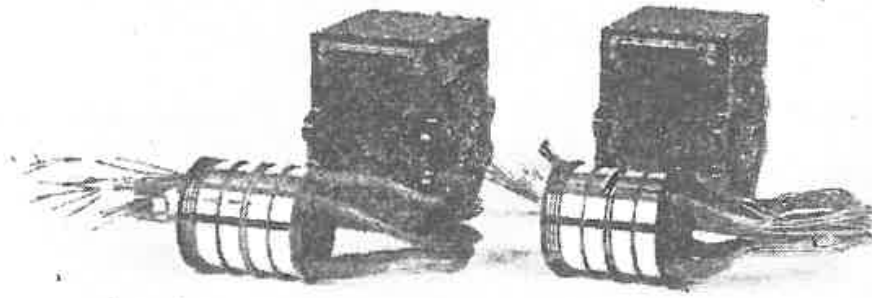


図4.7-3 スリップリング開発モデル外観

寿命試験は真空環境下で、ヒータとフロン冷凍機を使用した熱制御下で行い、低温と高温は、2日毎に切替えた。寿命試験の結果を表4.7-3に示す。同表より、逆転回数80回以上を含む36000回転以上を満足したことが確認できた。ダイナミック抵抗は、電力用リング及び信号用リングともに、寿命試験期間すべてにおいて、仕様値を十分満足していた。

表4.7-3 スリップリング寿命試験結果

項 目		仕 様 書	試 験 結 果
真 空 度		133.32×10 ⁻⁵ Pa以下 (10 ⁻⁵ Torr以下)	114.66×10 ⁻⁵ Pa以下 (8.6×10 ⁻⁶ Torr以下)
環 境 温 度	低 温	-30±5℃	-26.5～-32℃
	高 温	+70±5℃	+68～75℃
電 流 値	電力用リング	25±0.1A	25.0A
	信号用リング	2±0.05A	2.00A
ダイナミック抵抗	電力用リング	6mΩ以下	1.5mΩ以下
	信号用リング	700mΩ以下	180mΩ以下
総 回 転 数		36000回転以上	39127回転
逆 転 回 数		80回以上	92回

c. 宇宙用ベアリングの作動寿命試験³⁾

固体潤滑剤を使用したボールベアリング5種を真空雰囲気で評価試験した。固体潤滑剤の種類及び組合せを表4.7-4に示す。ベアリングはSUS440C6001である。

試験条件は表4-7-5に示す。荷重はベアリング1個に対する値である。

表4.7-4 潤滑剤の種類

タイプ	薄 膜	リテーナ
1	銀イオンプレーティング	ルーロンE
2	銀イオンプレーティング	Duroid 5813
3	金イオンプレーティング	Duroid 5813
4	MoS ₂ スパッタリング	ルーロンE
5	MoS ₂ スパッタリング	Duroid 5813

表4.7-5 ベアリング試験条件

真 空 度	133.32×10 ⁻⁷ Pa以下(10 ⁻⁷ Torr以下)
荷 重	ラジアル12.7N(1.3kg)、スラスト14.7N(1.5kg)
温 度	室 温
回 転 速 度	8S ⁻¹ (480rpm)
回 転 の 種 類	一方向・連続
要 求 寿 命	1042時間(3×10 ⁷ 回転)

試験の結果、いずれのベアリングも焼付くことなく、1200時間回り続けた。50時間ごとの測定結果を図4.7-5に示す。

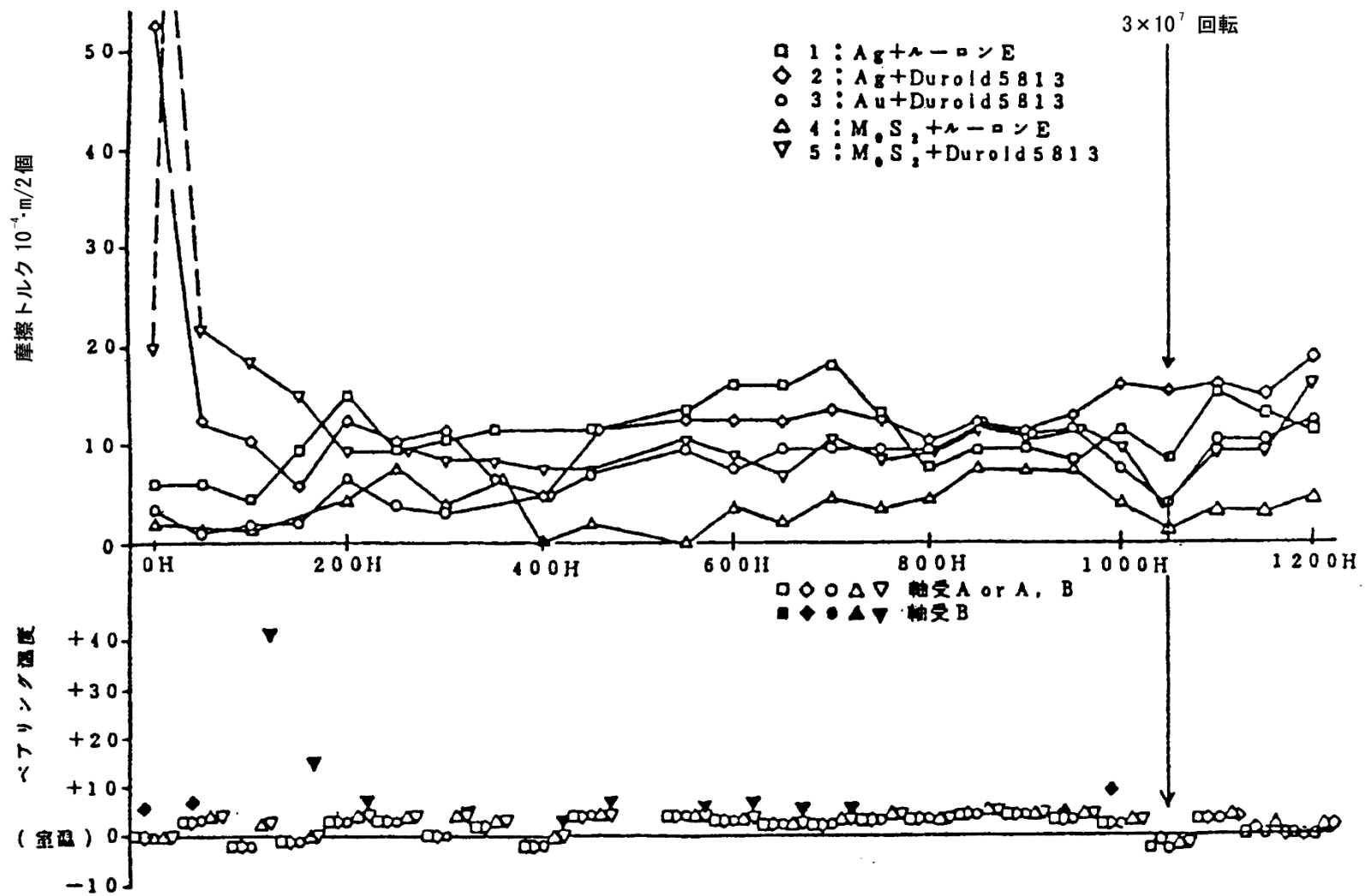


図4.7-5 摩擦トルクとベアリング温度

実施しない場合の影響

部品又はコンポーネントがミッションで予想される最大期間及び最大回数の作動に耐えうる能力があることを保証することができない。したがって、ミッション期間中に寿命切れとなり、性能の劣化や故障が起こり、ミッションが達成できない恐れがある。

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」
- 2) 橋本、和知、本田、杉浦 宇宙用スリップリング、”潤滑” 第31巻第6号 (1986) P. 375～380
- 3) 橋本、宮川、西村、関、西岡、丸茂、本田、大橋 宇宙用ベアリングの開発、第28回宇宙科学技術連合後援会 P. 438～439

4.8 試験中の計画外活動の管理

効果

定められた試験計画から外れた全ての試験活動を文書化して管理し、信頼性への影響を評価することにより、試験が要求を満足し、正しく行われたことを保証することができる。

効果的な実施時期

試験・検査から改修段階。試験中に計画外活動が発生した場合に適時実施する。

技術的根拠

試験を実施する際は、必ず信頼性評価計画書、試験計画書、試験仕様書及び試験手順書の定めた通りに作業を実施することが要求される。試験中に当初の計画と異なる計画外作業を実施する場合には、あらかじめ定められた文書改定の手順に従って試験仕様書及び試験手順書を改定してその記録を残し、開発仕様書で要求される信頼性への影響を評価することで、試験の有効性及び製品の信頼性が確保できる。

JMR-004の対応項番

4.4.3.6 試験中の計画外活動の管理

関連の深い信頼性業務

- (1) 試験計画書の作成
- (2) 試験仕様書、手順書の作成
- (3) 試験報告書の作成

実施方法

試験中に不具合、スケジュール変更、設備や供試体の準備状況による影響により、計画された試験を一部削除したり、順番を入れ替えたり、手順を変更するなど、計画外の作業を実施する場合がある。この場合、その計画外活動を行っても開発仕様書やインタフェース仕様書などの要求事項を満足し、試験目的を達成できるか信頼性の観点から十分評価して試験の有効性を確認することが重要である。

試験中の計画外活動を記録、指示及び管理する手法として、JAXA射場整備作業の事例を以下に示す。試験現場ではスケジュール確保のために、現場において迅速かつ確実な変更管理を行う必要があり、この様な方法が行われている。なお、この方法は製造会社の工場内でも必要に応じて行われている。

(1) 試験中に試験要求が変更になる場合

試験中に試験仕様書などの技術指示文書の変更を管理する方法として、技術変更指示書（E0：Engineering Order）がある。試験中に要求事項が変更になる場合はE0を発行して変更指示を行い、必要に応じて試験終了後に各E0を試験仕様書などに反映する。

この変更手続については試験前に管理手順を制定しておき、試験仕様書などの技術指示文書を定める権限を持っていた同じ組織部門と信頼性又は品質保証担当部門の変更承認をもらう規定を含めることが必要である。

試験要求を変更しても開発仕様書、インタフェース仕様書などの要求事項が確実に検証されることを確認することが重要なので、この点について審査担当者は十分に留意して審査する。

E0の記入事例を図4.8-1に、記入方法を表4.8-1に示す。

(2) 試験手順が変更になる場合

E0、不具合、その他の理由により試験手順書が変更になる場合、文書改定指示書（DCI：Document Change Instruction）により管理する方法がある。試験中に手順が変更になる場合はDCIを発行して変更指示と記録を行い、必要に応じて試験終了後に各DCIを試験手順書に反映する。

この変更手続については試験前に管理手順を制定しておき、試験手順書を定める権限を持っていた同じ組織部門と信頼性又は品質保証担当部門の変更承認をもらう規程を含める。

DCIの記入事例を図4.8-2に、記入方法を表4.8-2に示す。

実施しない場合の影響

試験中の計画外活動が管理されない場合、計画外活動による信頼性への影響が十分に評価されず、開発仕様書で要求される信頼性が保証されない恐れがある。

また、試験が正しく行われたことの証拠が不十分となり、試験の有効性が損なわれる。

参考文献

なし

技術変更指示書（EO）

実施指定	P F M	関連（CCB）	認可 J A X A	点検 J A X A	EO番号	0 0 5					
区分	改定	発行区分	新規・ 改定	認可	高橋	点検	山崎 佐藤	作成	高宮 XXXX年XX月XX日	機種型式	JEM ELM-ES
名称	105P-75016 ソフトウェア統合試験仕様書		指示書改定	有 ・無		添付図	無し				
内容	<p>データシート 1-3（2/14）を以下の通り変更する。</p> <p>（旧） 試験条件：JCPシミュレータからRPC2 ONを送信する。</p> <p style="padding-left: 40px;">確認事項：RPC1 ON/OFFステータス 1</p> <p>（新） 試験条件：JCPシミュレータからRPC2 ONを送信する。</p> <p style="padding-left: 40px;">確認事項：RPC2 ON/OFFステータス 1</p>										
改定理由及び参考事項	<p>誤記訂正。 RPC2 ON時のステータス確認箇所はRPC1ではなくRPC2である。</p>										

図4.8-1 技術変更指示書（EO）事例

表4.8-1 技術変更指示書（E O）記入方法

番号	項目	記入内容
1	E O番号	E Oの登録番号を記入する。 E Oは一件一葉で作成する。
2	機種型式	ロケット／衛星などの機種型式名称を記入する。
3	作成	作成者のサインと作成日を記入する。
4	点検	点検者のサインを記入する。
5	認可	認可者のサインを記入する。
6	点検 JAXA	必要に応じてJAXA（得意先）点検者のサインを記入する。
7	認可 JAXA	必要に応じてJAXA（得意先）認可者のサインを記入する。
8	関連	必要に応じて関連部門のサインを記入する。
9	添付図	E O付図がある場合はその図番を記入する。無い場合は“なし”と記入する。
10	指示書改定	試験手順書改定（DCI発行）の必要性の有無を○で囲んで識別する。
11	実施指定	E Oを適用するロケット／衛星などの機種型式名称と号機を記入する。
12	区分	次の3種より選択して記入する。 改定：図面や試験仕様書の改定など、技術指示文書を改定する場合 臨時対策：一時的に技術指示文書を改定し、臨時処置を指示する場合 作業要求：特別点検など、技術部門からの作業要求
13	名称	E Oの対象となる技術指示文書の番号と名称を記入する。
14	発行区分	区分で臨時対策、作業要求の場合は新規を○で囲む。 区分で改定の場合は改定を○で囲む。
15	内容	変更内容を記入する。 本欄に書ききれない場合は付図を作成する。 記入方法は追加／削除／新／旧を用いて明確に表現する。
16	改定理由及び参考事項	改定理由を記入する。 改定理由に関連する文書がある場合は文書番号などを記入する。

文書改定指示書 (DCI)

日付 99.10.26

DCI登録番号 005

区分 誤記/ <u>手順変更</u> /作業削除/作業追加/トラブルシュート		DCN番号	対象文書番号 TOP-419					
指示理由 EO-005による。								
番号	改定頁/項目	指示項目				確認		
1	P19/1.3	下記の通り手順を変更する。				Q 佐藤 XX.XX.XX		
		<変更前>						
		試験条件：JCPシミュレータからRPC2 ONを送信する。						
		確認事項：RPC1 ON/OFFステータス 1						
		<変更後>						
		試験条件：JCPシミュレータからRPC2 ONを送信する。						
		確認事項：RPC2 ON/OFFステータス 1						
指示	宇宙航空 研究開発機構			作業会社	技術 山崎	品管 佐藤	起草 高宮	最終 DCI番号
結果 (TDCI 時)		日付		日付	XX.XX. XX	XX.XX.X X	XX.XX.X X	

図4.8-2 DCI事例

表4.8-2 文書改定指示書 (DCI) 記入方法

番号	項目	記入内容
1	DCI番号	DCIの登録番号を記入する。 DCIは一件一葉で作成する。
2	DCI日付	DCIの作成日を記入する。
3	文書番号	試験手順書番号を記入する。
4	文書日付	記入不要。
5	区分	・次の区分から選択して記入する。 誤記／手順変更／作業削除／作業追加／トラブルシュート
6	指示理由	DCIを起草する理由、根拠 (E0、不具合報告書など) を記入する。
7	番号	指示項目に合わせて番号を記入する。
8	関連頁／項目	変更する試験手順書の該当頁と項目番号を記入する。
9	指示項目	手順書変更内容を記入する。 記入方法は追加／削除／新／旧を用いて明確に表現する。
10	確認	変更された作業の確認が必要な場合に、検査員などがサインする。
11	最終DCI番号	記入不要。
12	起草	作成者がサインする。
13	品管	品質管理担当者がサインする。
14	技術	技術担当者がサインする。
15	作業会社	作業会社名を記入する。
16	宇宙航空研究 開発機構	必要に応じてJAXA (得意先) がサインする。
17	指示	DCI作成時は指示の欄にサインアップする。
18	結果	作業完了後、必要に応じて結果の欄にサインアップする。

4.9 信頼性評価の実施

効果

信頼性を評価することにより、要求される信頼性を満足し、ミッションを達成する能力があることを立証することができる。

効果的な実施時期

設計審査会及び認定/受入試験後の納入前審査会にて信頼性の評価結果を審査する。

技術的根拠

信頼性管理とは、信頼性目標を達成するために、信頼性計画（PLAN）、計画された活動の実施（DO）、信頼性評価（CHECK）、是正措置（ACTION）のPDCAのサイクルを回すことであり、信頼性の評価は要求される信頼性を達成できたかを評価する上で重要な作業である。

JMR-004の対応項番

4.4.4 信頼性評価の実施と結果審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性評価計画の立案
- (2) 基本設計審査
- (3) 詳細設計審査
- (4) 認定試験後審査

実施方法

信頼性の評価は、信頼性評価計画書に従って設計段階と試験段階にてそれぞれ行う。

信頼性評価の内容を表4.9-1に示す。

設計段階の信頼性評価は、基本設計、詳細設計時に行い、結果は基本設計審査会及び詳細設計審査会のインプットパッケージに含めて審査する。

試験段階の信頼性評価は、認定試験あるいは受入試験の結果を踏まえて、設計段階で評価された信頼性事項の見直しや、異常/故障の評価、設計変更や改善事項の反映状況についても評価を行う。

結果は、認定試験後審査会及び納入前審査会のインプットパッケージに含めて審査する。

表4.9-1 設計段階と試験段階の信頼性評価内容

信頼性評価項目	実施時期	
	設計段階	試験段階
要求事項に対する検証手段と適合性	○	○
信頼性評価のための試験	(試験内容の識別、計画)	○
設計変更、改善事項の反映 (設計審査時の反映)		○
信頼性解析 (信頼度予測、部品ストレス解析、 FMEA、FTA、累積疲労損傷解析など)	○	○ 見直し
ソフトウェアの信頼性保証	○	○ 見直し
保全性	○	○ 見直し
人為故障の除去	○	○ 見直し
異常／故障の評価		○
クリティカル品目、信頼性管理品目	(品目の選定)	○
部品、デバイス、材料、工程の評価	○	○ 見直し
個々の部品、コンポーネント、サブシステム及びシステムの認定状況	○	○ 見直し
信頼性技術情報、適用データシート等の反映	○	○ 見直し
寿命の評価	○	○ 見直し
ならし (バーンイン及びウェアイン) 試験	(品目の選定、試験計画)	○

以下に各信頼性評価項目について説明する。これら全ての事項を確認した上で、最終的にフライト品が所定の信頼性を有していることを評価する。

(1) 要求事項に対する検証手段と適合性

基本設計あるいは詳細設計段階において、要求事項に対する適合性を検証

するための検証計画（試験、検査、解析など）になっていることを確認する。また、試験段階ではその検証計画が適切に実施され、全て適合していることを確認する。

(2) 信頼性評価のための試験

基本設計あるいは詳細設計段階において、システム及び構成品目に対する機能・性能要求事項及び信頼性要求事項に対する適合性を評価するため、必要な客観的データを得ることができる試験計画になっていることを確認する。また、試験段階では計画された試験が適切に実施され、全て合格していることを確認する。

(3) 設計変更、改善事項の反映（設計審査時の反映）

基本設計あるいは詳細設計段階で発生した設計変更あるいは改善事項が認定モデルあるいはフライトモデルに確実に反映されていることを確認する。

(4) 信頼性解析（信頼度予測、部品ストレス解析、FMEA、FTA、累積疲労損傷解析など）

基本設計及び詳細設計段階では、必要な信頼性解析が漏れなく行われ、問題となる事項がないことを確認する。信頼性解析とは信頼度予測、部品ストレス解析、FMEA、FTA、トレンド解析、CIL、累積疲労損傷解析、寿命解析などである。

試験段階では、認定試験あるいは受入試験の結果を踏まえて、上記信頼性解析の見直し結果を確認する。

(5) ソフトウェアの信頼性保証

基本設計及び詳細設計段階では、ハードウェアに含まれるソフトウェアをハードウェアの一要素として識別し、仕様書の要求を満足していることを確認するための検証計画、管理計画になっていることを確認する。また、ソフトウェアの故障を未然防止し、故障の影響を最小限になる設計になっていることを確認する。

試験段階では、計画された試験が適切に実施され、全て合格していることを確認する。

(6) 保全性

基本設計段階では、システムやコンポーネントの交換、故障分離、修理などの保全構想が計画され、設計に反映されていることを確認する。詳細設計段階では、分解組立などの作業手順及び故障が発生した場合に、使用可能な状態に迅速に回復させるための保全設計が行われていることを確認する。

試験段階では、交換、故障分離などの検証が適切に実施されたことを確認する。

(7) 人為故障の除去

設計段階において、人為故障の要因が適切に識別され、その結果が設計上対策されているかを確認する。

試験段階では、認定試験あるいは受入試験の結果を踏まえて、対策の見直し等を行う。

(8) 異常／故障の評価

発生した異常／故障の処置対策が妥当であり、品目の信頼性に悪影響を及ぼさないことを確認する。

(9) クリティカル品目、信頼性管理品目

基本設計及び詳細設計段階では、FMEA/FMECA、信頼性解析や過去の実績を踏まえて、クリティカル品目、有効寿命品目、特性値管理品目、重要取付品目、打上前作動時間等管理品目が選定され、選定に問題ないことを確認する。

試験段階では、それぞれの品目の管理状況に問題がなかったことを確認する。

(10) 部品、デバイス、材料、工程の評価

基本設計及び詳細設計段階では、宇宙用として要求仕様を満足する適切な部品・材料・工程が選定されていることを確認する。

試験段階では、部品・材料・工程が適切に維持管理されたことを確認する。

(11) 個々の部品、コンポーネント、サブシステム及びシステムの認定状況

個々の部品、コンポーネント、サブシステム及びシステムの認定が完了していることを確認するために、基本設計及び詳細設計段階には既開発品の認定状況と、新規設計の品目については認定の計画について確認する。

また、試験段階では、新規設計の品目のPQRが終了し認定が完了したことを確認する。

(12) 信頼性技術情報、適用データシート等の反映

基本設計及び詳細設計段階において、信頼性技術情報、適用データシート等で展開された事項が反映されていることを確認する。

試験段階では、認定試験あるいは受入試験の結果を踏まえて、反映状況の見直し結果を確認すると共に、設計段階以降に発行された信頼性技術情報、適用データシート等が適切に反映されていることを確認する。

(13) 寿命の評価

基本設計及び詳細設計段階では寿命解析などの結果から、寿命要求を満足する設計であることを確認する。

試験段階では、各種信頼性解析、累積疲労損傷解析、試験結果及び製品履歴の評価から、フライト品の寿命に適切なマージンがあることを総合的に評価する。

(14) ならし（バーンイン及びウェアイン）試験

基本設計及び詳細設計段階で品目を選定し、初期故障を除去して作動を安定させるための試験計画（試験内容、作動時間、作動回数等）を検討する。

試験段階においては、計画したならし（バーンイン及びウェアイン）試験の結果を評価し、所定の作動時間、作動回数等が適切に実施されたことを確認する。

実施しない場合の影響

システムが信頼性要求を達成できたか総合的に評定できない。つまり評価すべき事項が漏れたり、設計・製造上の問題を内在したまま設計を完了してしまい、フライト品が製作される恐れがある。

この結果、ミッション期間中に問題が発生し、有効な対策がとれない場合はミッションが達成できなくなる恐れがある。

参考文献

なし

4.10 コンポーネントの認定

効果

コンポーネントの認定が実施されていると、打上げ及び軌道上において受けると予測される環境条件下でコンポーネントの設計の妥当性が立証されていると言える。この認定によりコンポーネントの製造工程、製造設備も同時にその妥当性が立証される。

また、次のプロジェクトでは既開発品として取り扱うことができる。

効果的な実施時期

製作・試験段階。

技術的根拠

コンポーネントが、安全余裕／安全係数を含むシステム要求事項に対応したコンポーネントレベルの仕様書を満足していることを立証するためにコンポーネントレベルの認定を実施する必要がある。

また、品質保証上、コンポーネントの製造工程、製造設備が適切であることを確認する必要がある。

JMR-004の対応項番

4.4.3.2 ミッションコンフィギュレーションに属する品目の認定

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：認定
- (2) サブシステムの認定
- (3) システムの認定
- (4) 試験環境条件の設定

実施方法

- (1) 認定について

ミッションコンフィギュレーションを構成する全ての品目は、要求された機能を規定の環境条件下で発揮しうることを保証するために適切な組立品レベルで認定されなければならないという要求がある。認定は、基本的には部品で認定し、複数の部品を組み立てたコンポーネントで認定し、部品とコンポーネント／複数のコンポーネントを組み立てたサブシステムで認定し、最終的には部品、コンポーネント及びサブシステムで構成されるシステムの認定を行うことにより完了する。部品レベルの認定は3.54項、サブシステムレベルの認定は4.11項、システムレベルの認定は4.12項にそれぞれ記述されて

いる。

認定は、試験又は同等の内容で実施される。コンポーネントレベルの認定は、通常、プロジェクト認定として実施される。

(2) 対象となるコンポーネント

認定の対象となるコンポーネントは、いくつかの単一部分品から構成される構成部品で、電力制御器、バッテリー、バルブ、人工衛星姿勢制御用の推進装置、圧力容器などがある。

(3) 認定の手順

コンポーネントの開発から認定に至るまでの手順は、以下のとおりである。
(図4.10-1参照)

a. システム要求条件の確認

宇宙機のミッション、軌道、寿命など宇宙機の要求条件や環境条件を明確にし、システムの具体的な機能、性能、信頼性、使用条件、環境条件などを明確にする。

b. 設計仕様書の作成

システムの要求に合致するコンポーネントの設計仕様書を作成する。

c. 類似品の調査

設計仕様書の要求に合致するコンポーネントを調査し、入手可能な場合は、機能、性能、信頼性などを検討する。ベースとなるコンポーネントが現存し、部分的な改修、又は追加試験により認定品となりうる場合、それらを反映したコンポーネントの設計仕様書を作成する。

d. エンジニアリングモデル (EM) の製作/試験

仕様書に基づきEMを製作し、試験及び評価を行う。

e. 製造図面、仕様書の作成

システムの要求に合致するコンポーネントの製造図面、仕様書を作成する。

f. プロトタイプモデル (PM) /プロトフライトタイプモデル (PFM) 製作

コンポーネントの設計仕様書に基づきPM又はPFMを製作する。

g. 認定試験計画書/試験仕様書

認定試験計画書及び試験仕様書を作成し審査をする。

h. 認定試験

PM又はPFMに対して認定試験計画書及び認定試験手順書に従って認定試験を実施する。

i. 認定試験後審査

認定試験終了後、供試体が仕様書に規定された要求（設計、製造及び認定試験）に合致するものであるかを審査する。

j. 製品仕様書の確定

認定試験後審査の結果をもとに当該コンポーネントを認定し、製品仕様書を最終確定する。

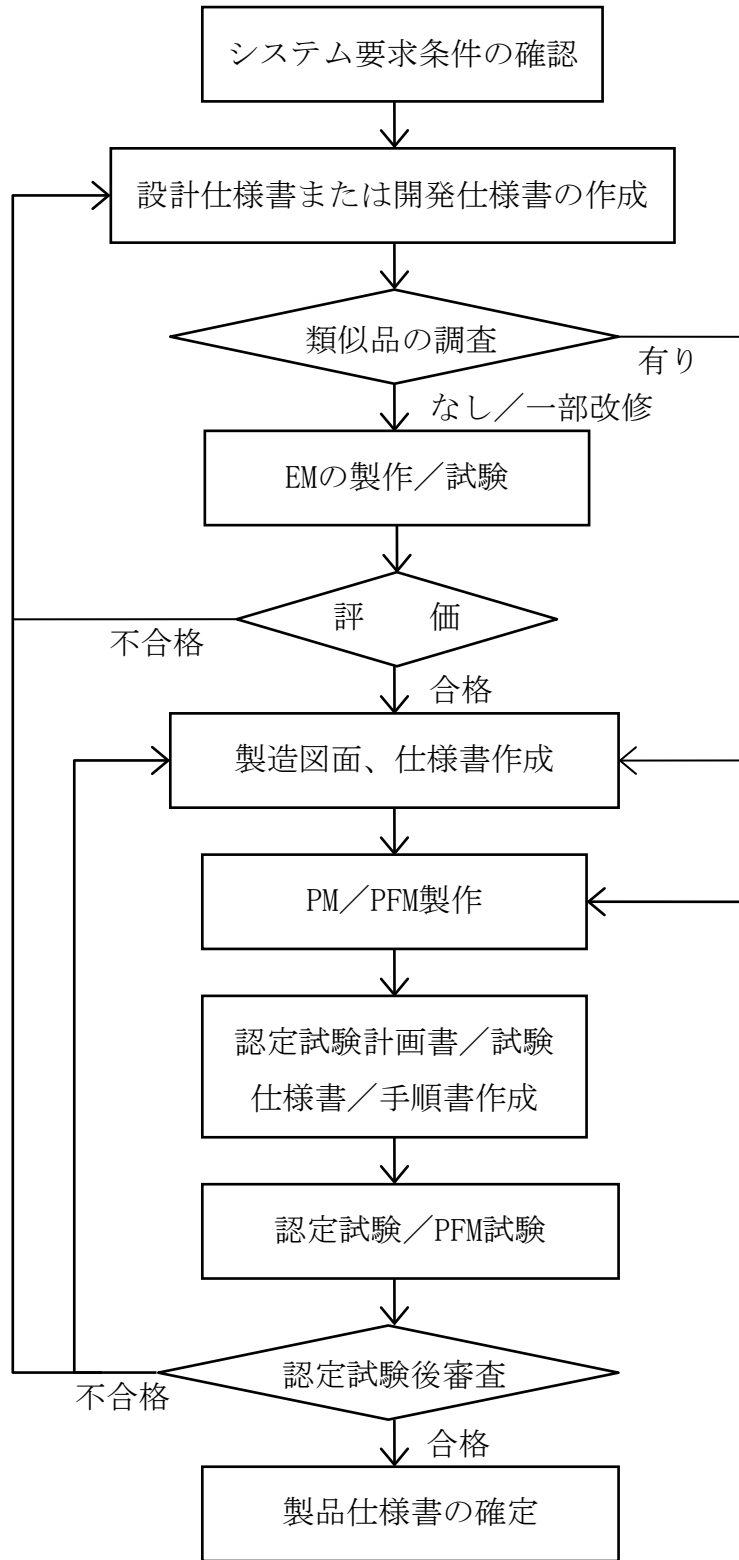


図4.10-1 コンポーネント/サブシステム/システム 認定のフロー

(4) 認定試験条件

認定試験条件は、ミッション全期間にわたって特定の環境のもとで加えられるあらゆる荷重の組合せから決定するものであり、予想される荷重と環境から導かれる。認定試験において、供試体に各試験条件を課す場合には、その供試体は負荷荷重に耐えると同時に、その機能もそれぞれのシステムに合わせて正しく作動しなければならない。複合環境条件は、試験で検証が困難なので個別の条件に分けて、各々の試験条件を満足できるいくつかの設備を使用して実施する。

なお、通常、認定試験を実施したコンポーネントはフライト用には使用しない。

開発の時間とコストの節約のため、プロトフライトモデル (PFM) による認定・受入の両方の試験をかねたプロトフライト試験により認定試験を行う場合がある。

認定試験における環境の順序と組合せ、認定試験レベル、試験持続時間についてはJERG-2-130¹⁾を参照し、それぞれのプログラムに応じて試験項目の適用評価を実施するなどの方法により定めること。

(5) コンポーネント認定試験実施例

コンポーネント認定試験の実施例を以下に示す。

- ・人工衛星のコンポーネントの認定試験項目例
- ・推薬弁の認定試験で実施された試験項目の事例
- ・電力制御器の認定試験フロー
- ・H-Iロケット用のLOX/LH₂タンク
- ・LE-5エンジン

- a. 人工衛星のコンポーネントの認定試験項目例を表4.10-1に示す。
この表の詳細については、JERG-2-130 5項参照。

表4.10-1 コンポーネントの認定試験項目例

試験	コンポーネント	電気電子機器	アンテナ	可動機構	太陽電池パドル	バッテリー	バルブ	推進装置	圧力容器	スラスタ	熱制御装置	光学装置
機能・性能	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
熱真空	R	R	R	R	R	R	O	O	O	R	R	R
熱サイクル	O	O	O	O	O	O	O	O	—	—	—	—
正弦波振動	O	O	R	O	R	O	O	O	R	R	O	O
ランダム振動	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
音響	O	R	—	R	—	—	—	—	—	—	R	R
衝撃	O	O	O	O	O	O	O	O	—	O	O	O
加速度	O	O	O	O	O	O	—	—	O	—	—	O
圧力	—	—	O	—	—	R	R	R	R	R	R	—
リーク	R	—	O	—	—	R	R	R	R	O	R	—
EMC	R	O	O	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(凡例) R : 要求、 O : オプション、 — : 適用せず

b. 推薬弁の認定試験で実施された試験項目の事例

この推薬弁の試験は、EM、PMで実施されたが、試験項目及び内容は同一である。表4.10-2 にEM、PMの試験項目の事例を示す。

なお、推薬弁の認定試験における作動寿命試験の例については4.7項に示す。

表4.10-2 推薬弁の評価試験項目

番号	試験項目	番号	試験項目
1	マグネットワイヤ絶縁試験	1 4	吸引／解放電圧試験
2	製品の検査	1 5	内部漏洩試験
3	重量試験	1 6	清浄度試験
4	絶縁／コイル抵抗試験	1 7	ランダム振動試験
5	コイル温度サイクル試験	1 8	リード線シールドの電導性試験
6	絶縁耐圧試験	1 9	正弦波振動試験
7	繰り返し絶縁コイル抵抗試験	2 0	衝撃試験
8	コイルインダクタンス試験	2 1	作動寿命試験
9	保証圧力試験	2 2	残存電流試験
1 0	外部漏洩試験	2 3	連続作動試験
1 1	逆方向漏洩試験	2 4	最大作動電圧試験
1 2	圧力損失試験	2 5	破壊圧力試験
1 3	応答試験	2 6	製品の最終検査

c. 電力制御器の認定試験フロー
図4.10-2に示す。

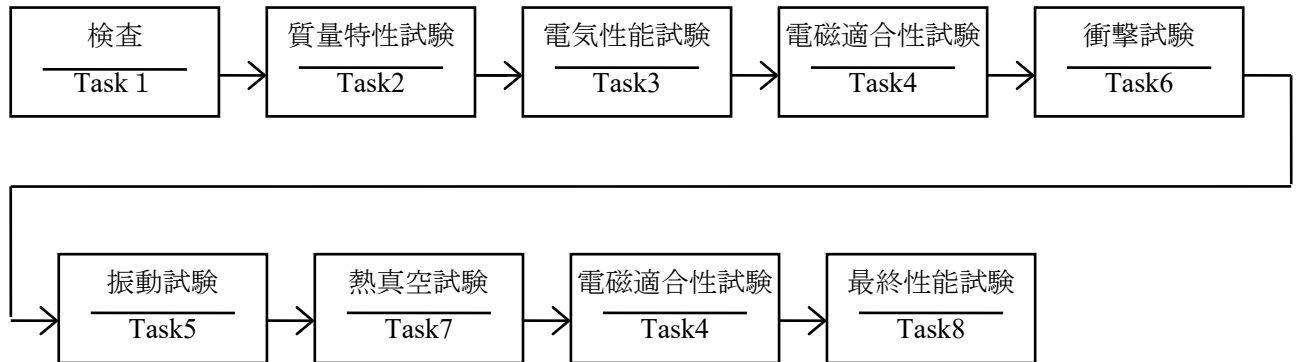


図4.10-2 電力制御器の認定試験フロー

d. H-Iロケット用のLOX/LH₂タンク

H-Iロケット用LOX/LH₂タンクの認定試験を含む開発試験の事例²⁾を示す。

H-Iロケット用のLOX/LH₂タンクの開発において、最もクリティカルな項目はLOXとLH₂タンク間の共通隔壁であるとの認識の下に、共通隔壁4セットと打上げ用と同一直径で長さが半分のタンクモデル（サブスケールタンク）2セット及び最終的にプロトタイプタンク2セットが製作され認定試験が実施された。開発試験項目は以下のとおり。

- ・サブスケールタンク
極低温プルーフ試験、熱評価試験
- ・プロトタイプタンク
破壊試験、熱評価試験

図4. 10-3に共通隔壁の試験体を示す。図4. 10-4に共通隔壁に対するLOXタンク圧力及びLH₂タンク圧力のプロファイルを示す。制限圧力によって共通隔壁にかかる圧力差は $2.65 \times 10^5 \text{Pa}$ (2.7kg/cm^2)で、最大圧力によって共通隔壁にかかる圧力差は $3.24 \times 10^5 \text{Pa}$ (3.3kg/cm^2)である。

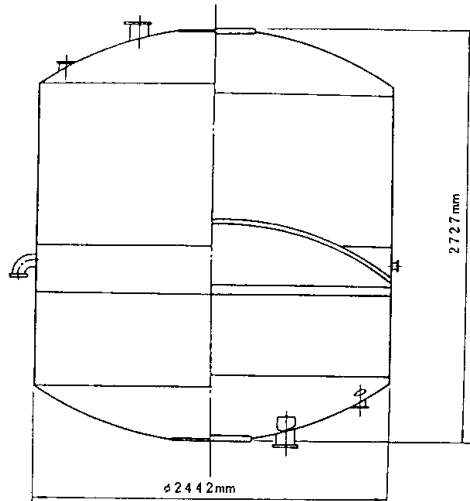


図4. 10-3 共通隔壁試験の試験体

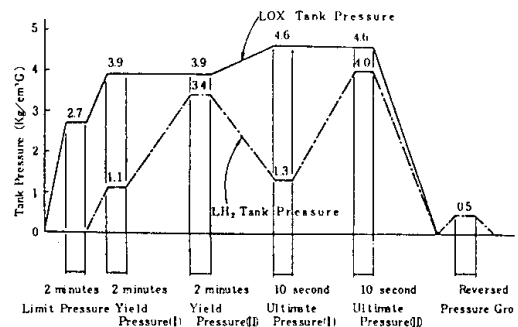


図4. 10-4 共通隔壁に対する
タンク加圧プロファイル

図4. 10-5にサブスケールタンクに対するLOX及びLH₂による加圧プロファイルを示す。

地上試験から実飛行までの間、30回の繰返し荷重の影響が考慮されている。最後に降伏圧力まで加圧された。

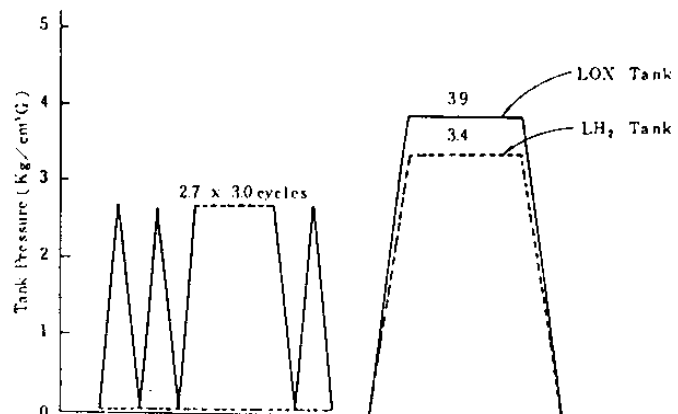


図4. 10-5 サブスケールタンクに対するタンク加圧プロファイル

図4.10-6に打上げ用と同一直径で長さが半分のサブスケールタンクを示す。

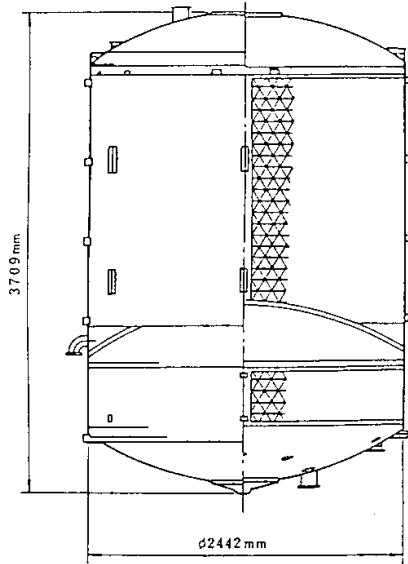


図4.10-6 サブスケールタンク

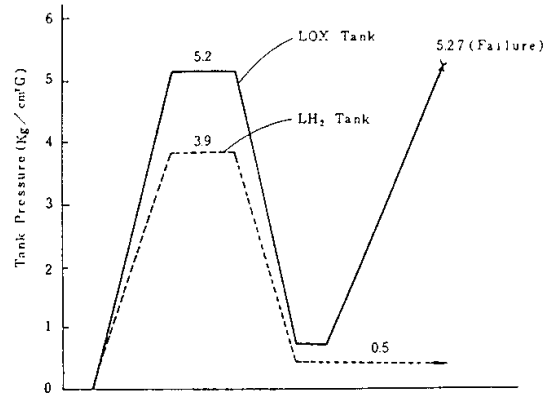


図4.10-7 プロトタイプタンクに対するタンク加圧プロファイル

図4.10-7にプロトタイプタンクに対する構造健全性の最終認定のために行われた水圧試験のプロファイルを示す。プロトタイプタンクは水圧により最大圧力まで加圧され、共通隔壁の圧力差は破損するまで高められた。

図4.10-8にLOX/LH₂タンク系のサブスケールEMに対して行われた熱評価試験の状態を示す。試験タンクは試験チャンバに置かれ、LOX/LH₂タンクを加圧することによって、推進薬のコールドフローが5ケースについて試験された。

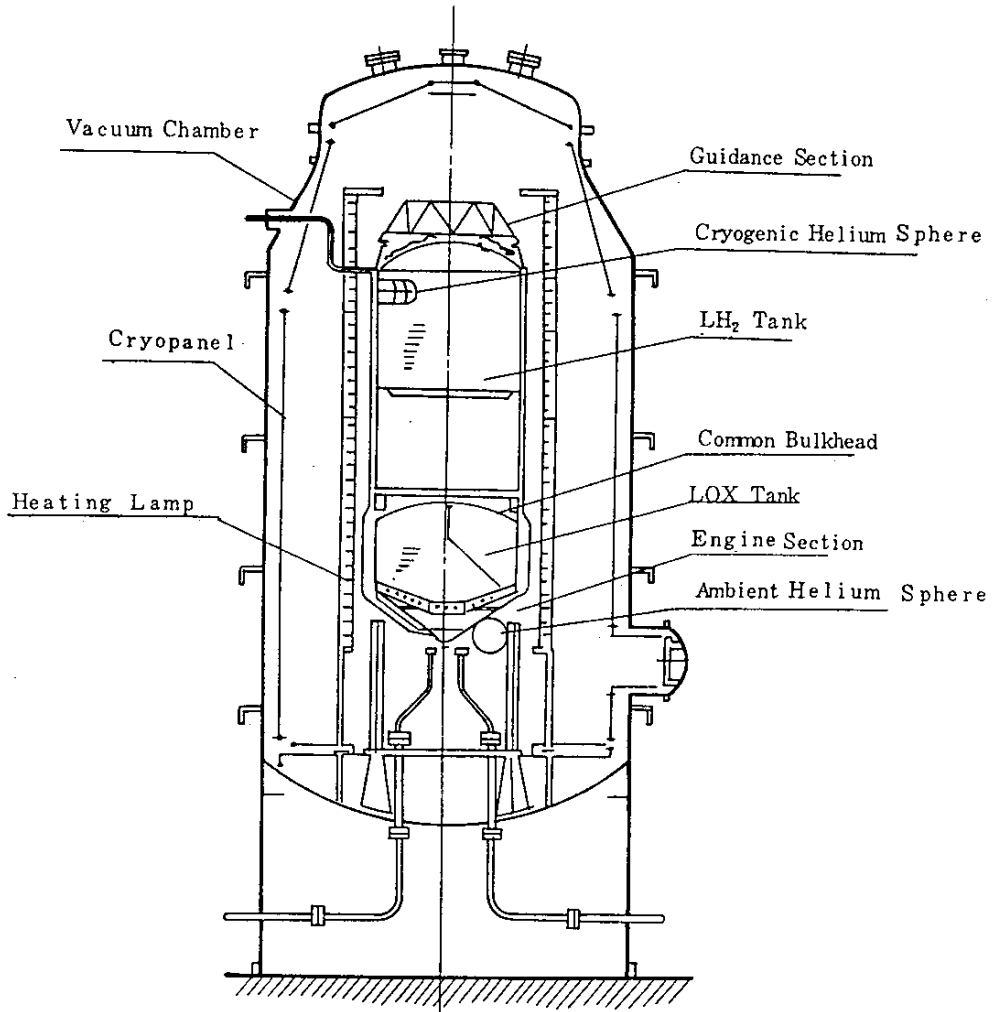


図4.10-8 タンクの熱評価試験台

e. LE-5エンジン

H-Iロケット第2段のLE-5エンジンの認定試験の例³⁾を表4.10-3に示す。LE-5エンジンの認定試験は飛行用エンジンに要求される性能及び信頼性を兼ね備えていることの実証を目的として行われた。

表4.10-3 LE-5エンジンの認定試験の例

試験の種類	試験計画概要	詳細試験項目	試験内容
エンジン燃焼試験	エンジン燃焼試験では、エンジン及びその構成品の作動データを同時に取得できる。このため、エンジン全体を低圧室に納めた高空燃焼試験を主体として実施する。試験の目的によっては常圧燃焼試験もおこなう。また、ガス発生器、液水ターボポンプ、液酸ターボポンプの単体試験も行う。	作動確認試験	エンジンの組立状況確認
		性能確認試験	定格運転での性能、再着火機能の確認
		連続作動確認	400秒間連続燃焼させて作動を確認
		インタフェース試験	推進薬入口圧力、ヘリウム供給圧力、電源電圧を設計点を中心に变化させエンジン性能に及ぼす影響を確認
		ミッション・デューティ・サイクル試験	飛行ミッションを模擬した試験で燃焼時間は370秒、初回着火後コースティングを経て再着火を行う
		性能探索試験	推力・混合比に対し定格の±7%試験を行い、作動領域や性能を確認
エンジン振動試験	エンジン全体を振動架台に取付、次の環境条件に対し2倍の振動エネルギーで加振し、共振などが無いことを確認する。	音響振動試験	H-I 第1段及び固体補助ロケット燃焼中の音響振動
		ポゴ (POGO) 振動試験	H-I 第1段燃焼末期に発生する低周波のポゴ (POGO) 振動
部品認定試験	エンジン燃焼試験の中では確認できない要求項目に対し部品レベルで実施する認定試験。	弁類認定試験	チェックアウト作動試験 (常温300回)、実液作動試験 (極低温200回)
		電気系組立認定試験	電源特性試験、電磁干渉試験、熱真空試験、温度特性試験、湿度試験、振動試験、衝撃試験

実施しない場合の影響

コンポーネントの認定を実施しないと、受入試験から打上げ及び軌道上において受けると予測される環境をシミュレートした環境条件下でのコンポーネントの設計の妥当性を立証することができない。

また、サブシステムレベルやシステムレベルで不具合が発生した場合、コンポーネントの妥当性、適合性などについて、設計の始めの段階まで遡って確認しなければならなくなる。

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」
- 2) H. Takamatsu, K. Imagawa, Y. Ichimaru 「 DEVELOPMENT TESTS OF LOX/LH₂ TANK FOR H-1 LAUNCH VEHICLE」, IAF-84-07 XXXV CONGRESS, P. P. 1～5
- 3) 宇宙開発事業団「宇宙開発事業団技術成果発表会（第1回）」、昭和60年5月16日

4.11 サブシステムの認定

効果

サブシステムの認定が実施されていると、打上げ及び軌道上において受ける
と予測される環境条件下で部品及びサブシステム間のインタフェース及びサブ
システム設計の妥当性が立証されていると言える。

また、この認定によりサブシステムの製造工程、製造設備も同時にその妥当性
が立証される。

効果的な実施時期

製作・試験段階。

技術的根拠

サブシステムの部品、コンポーネント及びサブシステム自体が、安全余裕／安
全係数を含むシステム要求事項に対応したサブシステム仕様書を満足している
ことを立証するためにサブシステムレベルの認定を実施する必要がある。

また、品質保証上、サブシステムの製造工程、製造設備が適切であることを確
認する必要がある。

JMR-004の対応項番

4.4.3.2 ミッションコンフィギュレーションに属する品目の認定

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：認定
- (2) コンポーネントの認定
- (3) システムの認定
- (4) 試験環境条件の設定

実施方法

- (1) 認定試験条件

サブシステムの認定試験は、サブシステムの特別な性質及びプロジェクト
試験計画の全体にわたるリスク評価方針を考慮して実施する。

認定試験条件及び認定試験項目は、コンポーネントの認定と同様なアプ
ローチで設定する。開発の時間とコストの節約のため、PFMによる認定・受入の
両方の試験を兼ねたプロトタイプ試験により認定試験を行う場合がある。

(2) 対象となるサブシステム

サブシステムとして、誘導制御系、推進系、電源系、テレメトリ系、コマンド系、構造・熱制御系などがある。これらのサブシステムは、コンポーネントとそれらを結合する配管やハーネスなどで構成される。ただし、人工衛星ではサブシステムとして環境試験ができる場合がほとんど無く、通常、それぞれのコンポーネントで確認するか、又はシステム試験で評価している。

(3) 認定の手順

サブシステムの開発から認定に至るまでの手順は、以下のとおりである。

(図4.10-1参照)

a. システム要求条件の確認

宇宙機のミッション、軌道、寿命など宇宙機の要求条件や環境条件を明確にし、システムの具体的な機能、性能、信頼性、使用条件、環境条件などを明確にする。

b. 開発仕様書の作成

システムの要求に合致するサブシステムの開発仕様書を作成する。

c. 類似品の調査

開発仕様書の要求に合致するサブシステムを調査し、入手可能な場合は、機能、性能、信頼性などを検討する。ベースとなるサブシステムが現存し、部分的な改修、又は追加試験により認定品となりうる場合、それらを反映したサブシステムの設計仕様を作成する。

d. エンジニアリングモデル (EM) の製作／試験

新規開発品の場合、仕様書に基づきEMを製作し、試験及び評価を行う。

e. 製造図面、仕様書の作成

システムの要求に合致するサブシステムの製造図面、仕様書を作成する。

f. プロトタイプモデル (PM) ／プロトフライトタイプモデル (PFM) 製作

PM用の製造図面、仕様書、製造工程に基づいてPM／PFMを製造する。

g. 認定試験計画書／試験仕様書

認定試験計画書及び試験仕様書を作成し審査をする。

h. 認定試験

PM又はPFMに対して認定試験計画書及び認定試験手順書に従って認定試験を実施する。

i. 認定試験後審査

認定試験結果を評価して、製品が開発仕様書の要求条件を満足しており、設定された製造図面、仕様書及び製造工程が確立していることを確認する。

j. 製品仕様書の確定

認定試験後審査の結果をもとに当該サブシステムが認定され、製品仕様書が確定される。

(4) サブシステム認定試験実施例

a. 人工衛星サブシステムの例

JERG-2-130¹⁾ 5.2サブシステム試験の個別要求参照。

b. ガスジェット装置の例

ガスジェット装置の認定試験フローの例を図4.11-1に示す。

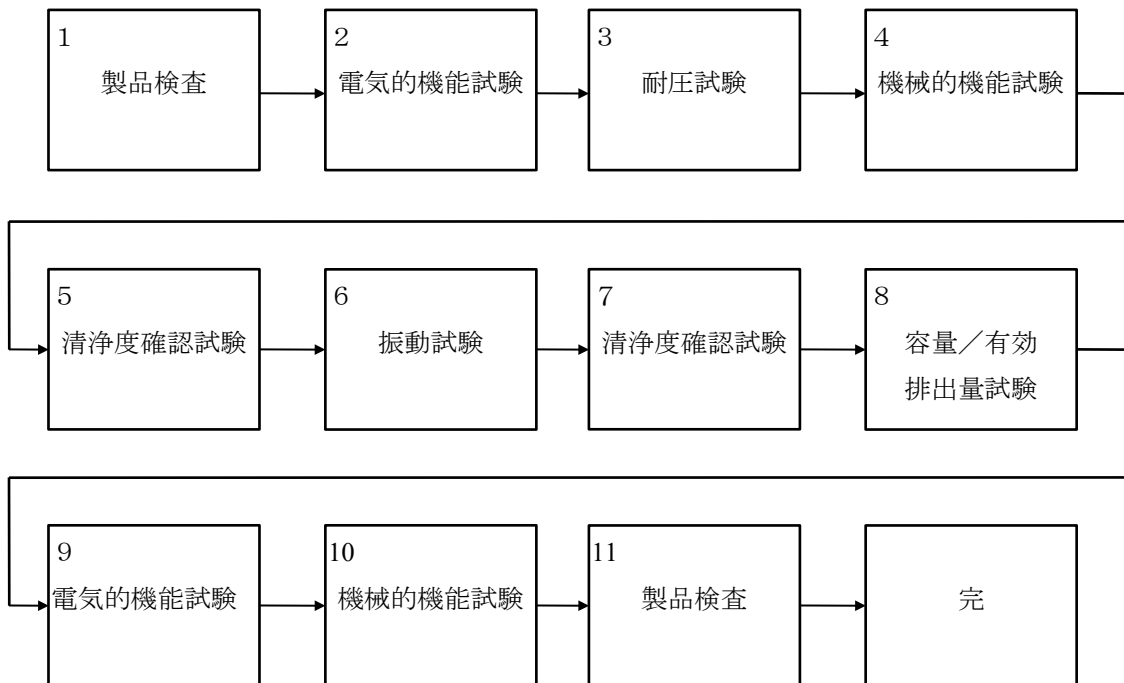


図4.11-1 ガスジェット装置の認定試験フロー

c. H-Iロケット第2段システムの例²⁾

H-Iロケット第2段は、LE-5エンジンと液酸・液水タンクを組み合わせた液酸・液水推進系、誘導制御系、通信制御系、電源などから構成される。ここではこの中で特にクリティカルな液酸・液水推進系の認定試験について述べる。

・H-Iロケット第2段の概要

H-Iロケット第2段は、推進薬を最大約8.7ton充填でき、再着火ミッションに対応できる能力がある。第2段は、常温ヘリウムガスでLOX/LH₂両タンクを加圧（過渡加圧）する。LE-5が始動した後は、極低温ヘリウムガスをLE-5の発生熱で加温しLOXタンクを加圧（定常加圧）する。

また、LH₂タンクは、LE-5の再生冷却管出口から分岐した低温水素ガスで加圧（定常加圧）する。これらの加圧は誘導装置のコンピュータが両タンクの頂部圧力を検知しながらそれぞれの加圧弁を開閉することにより、調圧制御される。

また、第2段は、油圧装置によるエンジンジンバル（首振り）機能があり推力方向制御が可能。

・ステージ燃焼試験

第2段推進系全体としての機能の確認、射場での推進薬充填作業手順の確立を行った。ステージ燃焼試験は、小型タンク燃焼試験、厚肉タンク燃焼試験、実機型タンク燃焼試験の3段階に分けて実施した。ステージ燃焼試験の供試体を図4.11-2に示す。

主として以下の試験を実施した。

- ・予冷試験：予冷弁の開閉時期を決定
- ・始動過渡試験：始動シーケンスを決定
- ・連続燃焼試験：推進薬タンクにLOX/LH₂を100%近く充填した状態で着火し、推進薬枯渇状態まで燃焼試験を行い、有効推進薬量を算出
- ・再着火試験

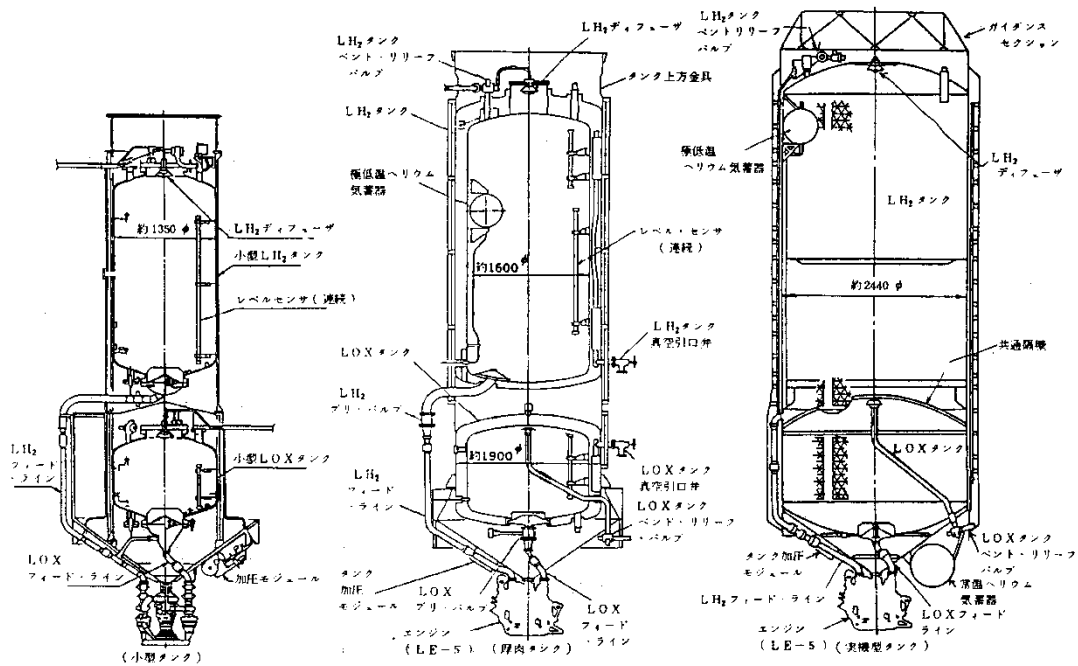


図4. 11-2ステージ燃焼試験の供試体

実施しない場合の影響

サブシステムの認定を実施しないと、受入試験から打上げ及び軌道上において受けると予測される環境をシミュレートした環境条件下でのサブシステムの設計の妥当性を立証することができない。

また、システムレベルで不具合が発生した場合、サブシステムの妥当性、適合性などについて、設計の始めの段階まで遡って確認しなければならない。

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」
- 2) 宇宙開発事業団技術成果発表会（第1回）、宇宙開発事業団、昭和60年5月16日

4.12 システムの認定

効果

システムの認定が実施されると、受入試験から打上げ及び軌道上において受ける予測される環境条件下で部品、コンポーネント及びサブシステム間のインタフェース及びシステム設計の妥当性を立証されていると言える。

また、この認定によりシステムの製造工程、製造設備も同時にその妥当性が立証される。

効果的な実施時期

製作・試験段階。

技術的根拠

システムが安全余裕／安全係数を含むシステム要求事項をもつシステム仕様書を満足していることを立証するためにシステムレベルの認定が必要である。

また、品質保証上、システムの製造工程、製造設備が適切であることを確認する必要がある。

JMR-004の対応項番

4.4.3.2 ミッションコンフィギュレーションに属する品目の認定

関連の深い信頼性業務

- (1) 部品、デバイス：認定
- (2) コンポーネントの認定
- (3) サブシステムの認定
- (4) 試験環境条件の設定

実施方法

- (1) システムの認定について

宇宙機器システムは、システムとして一塊で認定が必要であるがシステム供試体を用いて、必要な全ての認定試験を実施することは費用及び試験設備が膨大なものになるため実行は困難である。したがって、通常はこの単位で認定に必要な全ての認定試験は行わない。サブシステム及びコンポーネントの認定結果を取り込んだ解析結果と合わせて評価してシステムとしての認定を行う。

- (2) 認定の手順

認定の手順は以下のとおりである。（図4.10-1参照）

a. システム要求条件の確認

宇宙機のミッション、軌道、寿命など宇宙機の要求条件や環境条件を明確にし、システムの具体的な機能、性能、信頼性、使用条件、環境条件などを明確にする。

b. 開発仕様書の作成

システムの要求に合致するシステムの開発仕様書を作成する。

c. 類似品の調査

開発仕様書の要求に合致するシステムを調査し、入手可能な場合は、機能、性能、信頼性などを検討する。ベースとなるシステムが現存し、部分的な改修、又は追加試験により認定品となりうる場合、それらを反映したシステムの設計仕様を作成する。

d. エンジニアリングモデル (EM) の製作／試験

新規開発品の場合、仕様書に基づきEMを製作し、試験及び評価を行う。

e. 製造図面、仕様書の作成

システムの要求に合致するシステムの製造図面、仕様書を作成する。

f. プロトタイプモデル (PM) / プロトフライトモデル (PFM) 製作

PM用の製造図面、仕様書、製造工程に基づいてPM/PFMを製造する。

g. 認定試験計画書／試験仕様書

認定試験計画書及び試験仕様書を作成し審査をする。

h. 認定試験

PM又はPFMに対して認定試験計画書及び認定試験手順書に従って認定試験を実施する。

i. 認定試験後審査

認定試験結果を評価して、システムが開発仕様書の要求条件を満足しており、設定された製造図面、仕様書及び製造工程が確立していることを確認する。

j. 製品仕様書の確定

認定試験後審査の結果をもとに当該システムが認定され、製品仕様書が確定される。

(3) 認定試験条件

実行可能なかぎり、安全余裕／安全係数を含む受入試験から打上げ及び軌道上において受けると予測される環境をシミュレートした環境条件での試験を含める。認定には、下位組立品レベルの試験結果の適用及び全てのシステム運用モード並びにインタフェースの評価を含める。

なお、開発の時間とコストの節約のため、プロトフライトモデル (PFM) による認定・受入の両方の試験をかねたプロトフライト試験により認定試験を行う場合がある。

(4) システム認定試験実施例

a. 代表的な人工衛星の認定試験項目例

代表的な人工衛星の認定試験項目例を表4.12-1に示す。この表の詳細についてはJERG-2-130¹⁾ 5項参照。

表4.12-1 システム 認定試験項目

試験	試験ID	試験順序	要求(R)又はオプション(O)
機能性能試験	1111	1 ^{*1}	R
EMC試験	1110	2	R
アンテナパターン測定	1118	3	O ^{*3}
磁気試験	1115	17	O ^{*3}
リーク試験	1114	4, 12, 16	R
アライメント測定	0020	5, 11, 15	R
質量特性試験	0019	6	R
動釣合い試験	0021	18	O ^{*3, *4}
モーダルサーベイ	0016	7	R
振動試験	1105, 1106	8	R ^{*2}
音響試験	1104	9	R ^{*2}
衝撃試験	1107	10	R
熱平衡試験	1117	13	R
熱真空試験	1109	14	R

(注) *1 機能性能試験は、各環境試験の前後に行う。

*2 正弦波振動試験は、要求(R)である。ランダム振動試験と音響試験は、いずれか一方が要求(R)である。ランダム振動試験と音響試験のうちどちらの試験を実施するかは個別に規定される。

*3 オプション(O)については、プログラム毎に試験遂行の可否の評価を行って決める。

*4 スピン衛星などの動釣合い要求を試験で確認する必要がある衛星については、打上げコンフィギュレーション相当で動釣合い試験を行うこと。

また、機械的環境試験の前に動釣合いをとる必要がある場合も試験を行うこと。

3軸姿勢制御方式の衛星でスピニングを伴わないものに対しては特別な要求のない限り、動的釣り合い試験は適用されない。

実施しない場合の影響

システムの認定を実施しないと、受入試験から打上げ及び軌道上において受けると予測される環境をシミュレートした環境条件下での部品、コンポーネント及びサブシステム間のインタフェース及びシステムの物理的、機能的妥当性を立証することができない。

参考文献

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」

4.13 出荷前審査及び納入前審査での信頼性関係のインプット

効果

出荷前審査及び納入前審査時に、契約の相手方が信頼性関係のインプットとして最小限提示すべき資料及び報告すべき事項が明確になっていれば、審査会がスムーズに効率的に実施される。

効果的な実施時期

出荷前審査及び納入前審査資料の準備時。

技術的根拠

契約納入単位毎に行われる標記審査会で、審査されるべき事項がその都度変えられると均質な審査ができなくなるので、標準的なインプットを明確にする必要がある。

JMR-004の対応項番

4.5 出荷前審査及び納入前審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 詳細設計審査
- (2) 認定試験後審査

実施方法

審査会で提示及び提出すべき資料及び信頼性管理・技術面から報告すべき事項について、表4.13-1にまとめて示す。

なお、指定された文書をコンポーネントでは作成せずに、上位システムで作成するものについてはその旨を報告すること。

表4.13-1 出荷前審査及び納入前審査資料^{1)~3)}

番号	資料名称	用途			内容、補足事項	備考
		報告	提出	提示		
1	各種解析報告書（設計変更に伴う見直し版）	○		○	認定試験後審査（PQR）以降に行われた設計変更に伴って必要となる信頼性・保全性に係る各種解析（信頼度予測、FMEA、部品ストレス解析、ワーストケース解析、トレンド解析等）の見直し結果資料。	
2	各種解析報告書（上記以外）		△	○	△要求に応じて提出する。	
3	信頼性評定結果の報告書	○	○			
4	受入試験（AT）の手順書、試験記録書	○	○		文書パッケージに含めてよい。	
5	文書パッケージ	○	○		文書パッケージの構成例を表4.13-2に示す。 信頼性管理品目の管理状況を、機器履歴、残存寿命、特性値などを具体的に示しながら報告すること。	
6	コンフィギュレーションリスト	○	○		製造図面及びスペックと製造された納入品のコンフィギュレーションリスト（ADCLとABCL）上の差異について適切な評価管理が行われていることを報告すること。また、出荷状態のコンフィギュレーションを示すこと。	
7	デビエーション、ウェーバ	○	○		承認発行されたデビエーション、ウェーバの概要を示すこと。 なお本文を提示すること。	
8	JAXA信頼性技術情報の適用状況報告書	○	○		PQR以降に発行されたJAXA信頼性技術情報の適用状況について報告すること。	
9	異常/故障解析報告書（不具合報告書）	○	○		PQR以降に発生した異常/故障に関して、異常/故障解析結果を報告すること。なお、不具合報告の中にも含めてもよい。	
10	部品、デバイス、材料、工程関連の報告書	○	○		プロジェクトで使用する部品等及び工程のリストの最終状態に合わせた内容を報告すること。	
11	JMR-004の付録Ⅲ要求で作成が要求されている文書			○	番号1～10の文書に含められるものは重複して提示する必要はない。	
12	JMR-004の付録Ⅳ要求で提出が要求されている文書		○		番号1～10の文書に含められるものは重複して提出する必要はない。	

表4.13-2 文書パッケージの構成内容例

1. 基本構成

- (1) 目次
- (2) 記入要領
- (3) 構成品リスト
- (4) 機器履歴票
- (5) 不具合履歴票
- (6) 検査・試験記録
- (7) 取扱上の注意事項
- (8) 電波関係文書
- (9) その他仕様書等で文書パッケージに含めることを要求した文書

2. サブシステム・コンポーネント納入時

サブシステム・コンポーネント納入時の文書パッケージは「文書パッケージ（その1）」として作成される。構成は1項による。

3. 工場組立納入時

工場組立納入時の文書パッケージは次の2種類（2分冊）で構成する。

- (1) 文書パッケージ（その1）：サブシステム・コンポーネントの文書パッケージ
- (2) 文書パッケージ（その2）：機体の文書パッケージ
機体としての文書パッケージを以下の内容構成で作成する。
 - ① 信頼性管理品目リスト
 - ② 有効寿命品目の余寿命リスト
 - ③ 工場組立時の不具合サマリ
 - ④ 重要取付品目の検査結果
 - ⑤ 工場組立時の設計変更サマリ
 - ⑥ 完成検査成績書
 - ⑦ その他仕様書等で文書パッケージに含めることを要求したデータ

実施しない場合の影響

出荷前審査及び納入前審査時に、契約の相手方が信頼性関係のインプットとして最小限提示すべき資料及び報告すべき事項が明確になっていないと審査会がスムーズに効率的に実施されない。

参考文献

- 1) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 2) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要求JISQ9100)」
- 3) PD-ED-1215.5 「Pre-Ship Review」 NASA PREFERRED RELIABILITY PRACTICES

4.14 信頼性評価業務の審査

効果

この審査を行うことにより、信頼性評価が適切に行われていることが確認できる。

効果的な実施時期

定期的（年1～2回）

技術的根拠

この審査は、信頼性プログラムマネジメント上の審査であり、信頼性評価業務が体系的に行われていることを確認できる。

JMR-004の対応項番

4.4.4 信頼性評価の実施と結果審査

関連の深い信頼性業務

- (1) 信頼性プログラム監査
- (2) 信頼性の評定

実施方法

信頼性評価業務の審査は、信頼性要求事項を満足していることを保証するために、信頼性プログラム計画書に計画したマイルストーンの審査会にて実施する。

この信頼性評価業務の審査では、信頼性を評価する業務が信頼性評価計画に基づき有効に実施されているかを確認し、また、開発の進展において信頼性評価計画の見直しが必要とするかを判断する。

以下に挙げる確認事項及び確認内容により、信頼性評価業務が実施されていることを審査する。

- (1) 確認事項
 - a. 仕様書の要求事項は満足しているか。
 - b. 試験は、試験仕様書通り実施されているか。
 - c. 異常／故障は、適切に処理され、是正処置は完了しているか。また、異常／故障に関するリスクは問題ないか。
 - d. 品目毎のコンフィギュレーションの状態（ADCL、ABCL）は一致しているか。一致しない場合は、コンフィギュレーション管理による適切な処理が取られているか。
 - e. 要求される信頼度は、最新の解析により適合しているか。

- f. 要求された寿命は、試験中に消費した寿命を差し引いて、満足しているか。
- g. 信頼性管理品目の管理は、指示通り行われ、文書パッケージに記録され、信頼性上問題ないか。
- h. 部品レベルの故障は十分対策が取られているか。
- i. 品目に含まれる部品の認定状況に問題はないか。
- j. 設計上の改善事項は設計に反映されているか。
- k. 下位組立レベルの詳細検証の内容を、上位組立レベルの試験計画に反映する必要するはないか。
- l. 詳細設計審査以降の信頼性技術情報は、適切に反映されているか。
- m. 部品、材料、工程の変更は、適切で認定に影響しないか。

(2) 確認内容

上記（1）項の確認事項に対する確認内容は次の通り。

a. 仕様書の要求の適合性

コンポーネント、サブシステム、システムの各品目レベルの仕様書の要求に対して各品目の試験結果が満足してことを確認する。

特に契約レベルの品目において要求を満足していない場合は、コンフィギュレーション管理に基づくウェーブ処理などが適切に行われていることを確認する。

b. 試験仕様書の要求の適合性

試験仕様書の要求を満たすよう試験作業が行われ、試験要求の変更は不具合処理でなく、コンフィギュレーション管理に基づく変更管理により適切に行われていることを確認する。

c. 異常／故障の確認

発生した異常／故障についての処置は、原因の究明から是正処置まで完了し、異常／故障の故障モードについて、異常／故障の処置内容がFMEAにより故障による影響内容及び致命度（発生確率も必要により考慮する）を考慮して問題ないことを確認する。

d. 品目毎のコンフィギュレーション状態の確認

コンポーネント、サブシステム、システムの各レベルの品目が最新の技術指示文書に基づき製造、検査、試験され、各レベル品目の仕様書、図面とトレースできることをコンフィギュレーション管理に基づくADCL、ABCLによりコンフィギュレーションの状態を確認する。ADCLとABCLが一致しない場合は、不具合処理が適切に行われていること、品目毎の仕様書の要求に対する適合性、契約レベルの仕様書の要求への影響（安全性、信頼性、性能など）を確認し、必要によりコンフィギュレーション管理に基づく適切な処理が行われていることを確認する。

e. 信頼度の確認

詳細設計審査以降の設計変更に対して信頼度予測の更新が行われ、各品目レベルの仕様書の信頼度要求に対して信頼度予測の結果や契約レベルの信頼度要求に対して信頼度予測の結果が適合していることを確認する。

f. 寿命の確認

寿命試験結果及び類似品による実績値から寿命品目の有効寿命を確認すると共に、各レベルの品目の製造、試験で消費した寿命が地上（コンポーネント、サブシステム、システム）及び軌道上運用などの寿命配分値内（又は適用される基準値内）に入っていることを確認し、製品が要求された設計寿命を満たすことを確認する。

g. 信頼性管理品目の管理

信頼性管理品目リストで指定された管理項目が製造、検査、試験において管理され、文書パッケージの様式に記録され、その管理内容が管理基準に適合していることを確認する。

h. 部品レベルの故障

部品の調達中及び組立後発生する部品の故障については、原因調査、処置／対策及び再発防止対策が行われていること、同種の部品についても予防処置が適切に実施されていること、及び波及故障の評価を行い問題ないことを確認する。

i. 部品の認定状況

プロジェクトに使用する部品は、認定状況（認定部品、非標準部品の承認状況）を含めて部品リストにリスト化され、問題ないことを確認する。

j. 設計上の改善事項

詳細設計審査の結果、設計上の改善内容が設計に反映され、検証されていることを確認する。

k. 上位品目の試験計画への反映

下位の品目の検証内容（アライメント特性など）、及び信頼性管理品目の管理内容（寿命管理、特性値管理など）については、上位品目の試験計画に引き継がれるため、下位品目の変更事項は、上位品目の試験計画に反映していることを確認する。

l. 詳細設計審査以降の信頼性技術情報の確認

詳細設計審査以降発行された信頼性技術情報の内容が設計に反映されていること、また、該当する対策事項がある場合、適切に処理されていることを確認する。

m. 部品、材料、工程の変更

詳細設計審査以降、製造、試験中に生じた設計変更により部品、材料、工程が変更された場合、変更対象の部品、材料、工程が製品仕様の選定基準に適合し、適用上の問題がないことを確認する。

また、プロジェクトで詳細設計審査時に設定した部品、材料、工程リストが維持管理されていることを確認する。

設計変更後の確認も適切に行われ、設計、製造の妥当性が検証されていることを確認する。

(3) 確認結果の報告

確認結果は、各品目レベルで計画した信頼性評価業務の実施状況及び有効性について、信頼性プログラム管理の実施状況としてまとめ、該当品目レベルの認定試験後審査（PQR）などの審査会に報告し、審査を受ける。

実施しない場合の影響

信頼性評価が適切に行われていることが確認できず、開発管理の質の低下をまねく。

参考文献

なし

第5章 有人宇宙開発における信頼性・保全性

5. 有人宇宙開発における信頼性・保全性

1986年1月のスペースシャトル チャレンジャー号の事故を契機に、NASAの安全に関する体制が強化されることとなった。

それが「Safety & Product Assurance」（安全・開発保証）体制であり、プロジェクト推進組織と独立に安全・開発保証組織を設置し、信頼性・保全性・安全、品質保証を有機的に連携する概念を構築し、安全で確実なミッションの達成を図ることになり、現在では「Safety and Mission Assurance」（S&MA、安全・ミッション保証）と呼ばれるようになっている。

当時検討が進んでいた宇宙ステーション計画では、宇宙空間での恒久的な有人居住環境を構築し、維持する必要がある、システムが大きく、開発時期が異なり、長期間にわたり運用され、また参加国が多く複雑な国際的プログラムであるため、この安全・開発保証体制がとられることになった。

安全・開発保証にかかる概念と要求の定義は、ステーションフリーダム計画の参加国が共同で制定した「共同計法定義・要求文書」に記載された。本文書に準拠する形で宇宙ステーション取付型実験モジュール（JEM）に適用する安全・開発保証に関する要求文書を当時の宇宙開発事業団とNASAが共同で制定し、ステーションフリーダム計画が国際宇宙ステーション計画に変更された際に、別文書として置き換えられた。

更に、当時宇宙開発事業団のロケット・衛星開発プロジェクトに適用されていたNASDA-SPC-1177¹⁾「信頼性プログラム共通仕様書」（現JMR-004²⁾の前身）、及びNASDA-SPC-558³⁾「品質プログラム共通仕様書」（現JMR-005⁴⁾の前身)の経験を加味し、JAXA独自の宇宙ステーション取付型実験モジュール（JEM）向けの安全・開発保証要求書を制定し、開発を進めてきた。

この要求書は、マネジメント活動と管理の手法を共通要求、安全要求、信頼性・保全性要求、品質要求、ソフトウェア安全・開発保証要求に分けて記述している。

基本要件は本文で記述し、技術要求等詳細事項については、適用文書によって要求する形となっている。

なお、安全・開発保証は、プロジェクトの開始から終了までを対象とし、ハードウェア、ソフトウェア、及び地上支援装置の設計、開発、製造、試験から輸送、組立、及び運用の各段階に適用している。この考え方は、その後開発がスタートした宇宙ステーション補給機及び関係するペイロードや月有人探査といった、有人システムの開発などに適用されている。

従って、有人の安全・開発保証活動は、宇宙開発事業団の標準が安全・開発保証要求の源泉となり、機構に引き継がれているため、他の章で記述した信頼性・保全性に関する事項はそのまま当てはまる。

ここではNASAとの共同の要求を源泉とする、有人宇宙システムの安全・開発保証に関わる要求項目の概要を述べる。

5.1 信頼性・安全性要求

(1) 信頼性要求

JEMにおける信頼性要求は、基本的には、このハンドブックの第1章から4章で記述している内容に拠っている。

FMEAは、信頼性解析の重要なツールである。国際宇宙ステーション計画では、構成するJEMなどのシステムのFMEA及びCIL解析の方法を文書で規定し、同システムを提供する組織がこれらの解析を行うことを定義している。

FMEAの手法は、基本的には従来のもので変わりないが、クリティカリティは、国際宇宙ステーション計画固有の分類を設定している。また、クリティカル品目は、クリティカル品目表に記載され承認されるとともに、運用期間を含めて維持管理される。

部品及び材料の管理については、従来のロケット・人工衛星に対するより明確な要求をしている。その要求内容は、部品・材料の選定、承認、リスト化、適用審査、取扱い、故障解析などがある。

電気・電子・電気機構（EEE）部品の選定に際しては、クリティカリティにより要求グレードが指定され、グレードに対応したEEE部品の仕様を決めている。例えば、JEMの搭乗員又は地上要員に危害が及んだり、宇宙ステーションの重要な機能の喪失につながる単一故障点に使用するEEE部品は、グレードⅠのものを使用しなければならない。

- ・クリティカリティが高い箇所への適用部品のグレードはⅠ
- ・クリティカリティ比較的高くない箇所への適用部品のグレードはⅡ

このように、部品のグレードを規定することで、ハザード解析の前提である高い信頼性を保証することになる。JEMシステムに使用することが許された部品は、承認部品リストに記載され、その中から適切な部品を選定する。新規部品でグレードが指定されていないものは、非標準部品承認申請にて個別審議し、その妥当性が確認できれば安全・開発保証組織が使用を認めている。

また、機器毎にAs Built Parts Listを有しており、特定の部品の使用場所が追跡できるシステムになっている。なお、JEMの部品管理を規定した文書も作成し、これには部品の選定、非標準部品の処置、部品リストなどを規定している。

国際宇宙ステーションに使用する材料及び工程に関しては、共通的な要求

を規定した文書を制定して管理を実施している。

材料／工程に対しても、有人ミッションであるので安全性につながる、可燃性、オフガス、臭気、放射線、経年劣化、応力腐食割れ、電食、水素脆性などの個別要求に合致しなければならない。材料を日本で試験したデータのratingが示された文書を作成し、「JEM MSL」⁵⁾があり、これには合格品及び不合格品のデータが含まれている。

有人システムに適用できる材料／工程は、このようなリストやデータから選定する。しかし、新材料やある特性が優れてはいるがリストにない、或いは合格していない材料や工程を使いたい場合がある。このような場合には、材料仕様申請を基に個別審議により、ある特定の制限された条件での使用を安全・開発保証組織が認めることがあり、またこの結果はそのまま安全解析・評価の一部となっている。

(2) 保全性要求

保全性要求を実行する上で行う保全工学は、保全構想、保全計画、保全性設計基準、保全性解析／トレードオフスタディなどがあり、保全性評価、実証及びデータの収集と関連して実施される。

保全構想は、システム、サブシステム或いは開発される機器に適用される、保全性設計要求事項を確立するための基礎となる。これには、システム運用アベイラビリティ、修理や交換の方針、交換のレベル、熟練度の要求、補用の構想、標準化の方針と実施、診断の原理と構想などが中心となる。

保全計画は、保全構想を支援するために準備するもので、故障の発生率の推定、予防保全と事後保全の必要性の評価、及び実行スケジュール、並びにかかると時間の推定などの解析結果を反映するとともに訓練も含まれる。

保全性設計基準は、過去の船内及び船外活動から得られたデータを参考に、モジュール化のための設計、最適アクセス性、故障診断、標準化、共通性、及び搭乗員による取扱性についての適合性などが対象となる。

保全性解析は、以下の内容を行う。

- a. 最適ORU (Orbital Replacement Unit (軌道上交換ユニット)) 形態を決定する為の解析では、性能、ミッション又は安全性、信頼性、コスト、故障診断能力、予想される故障診断、及びユニット交換時間を考慮する。
- b. 熱源やヒートシンクの要否や船外活動時に触れてはならぬ場所を識別するための熱解析。
- c. 安全上の事項に対する解析。

- d. 規定された時間内に搭乗員による修理や交換の対応時間の制約解析。
- e. 満足できる運用アベイラビリティを維持するために、必要な予備ORUの量と種類を決定するための体積・質量の解析。
- f. 各ORUの形状、嵌め合い及び機能が、最悪状態公差内を確認する最悪状態公差確認。
- g. 予備保全活動に必要な範囲を決定する解析。
- h. 各軌道上交換単位の性能劣化を防止するための、保全作業の回数、時間などを決定する解析。
- i. ソフトウェアが、固有の保全性を持ち、保全が容易な設計になっていることを確認するソフトウェア解析。

5.2 信頼性・保全性要求と安全要求の関係

国際宇宙ステーション計画では、構成するJEMなどのシステムの安全解析を行う主要な手法であるハザード解析を規定し、同システムを提供する組織が安全解析を行うことを定義した文書を制定している。

ハザード解析とは、事故をもたらす要因が顕在又は潜在する状態を識別し、原因を確定し、制御方法を設定し、制御の有効性を検証し、残存リスクを評価する一連の活動である。なお制御の有効性は、期待する信頼性、保全性及び品質が備わっていることを前提としている。

また、宇宙ステーションでは、ORUレベルで故障検知・分離・復旧が出来る事の要求がある。(詳細は前節の保全性要求を参照) このため、故障があった場合にどう検知し、それをどう分離し、復旧する機能が、どのようにシステムに組み込まれているかを、予め解析/確認する作業を実施し、これがハザードの検知にも活用されている。

ハザードの対処については、以下の手順で対策をとる。

- a. ハザードの除去
- b. ハザードを最小とする為の設計
- c. 安全装置
- d. 警報装置
- e. 特別の手順

ハザードレポートの内容はFMEA/CILとのクロスリファレンスを行うことで、相互の評価の妥当性が検証できる。

5.3 信頼性・保全性要求と品質要求の関係

基本的には、このハンドブックの第1章から4章で記述している内容に拠った品質管理及びJMR-005 品質保証プログラム標準と同等の要求が課される。

有人システムでは、運用を重ねることで得られる品質情報を蓄積整理することで、信頼性・保全性データの維持・向上を図ることが必要である。

5.4 信頼性・保全性要求とソフトウェア安全・開発保証要求の関係

ソフトウェア安全・開発保証要求は、ソフトウェアの安全、信頼性・保全性及び品質を評価し、保証するためにある。

対象は、フライトソフトウェア及びこれらの設計、製作、検証、維持で使用するソフトウェア、並びにフライト支援ソフトウェア等である。また、ファームウェアも対象になる。

システムに要求される信頼性・保全性要求が課せられ、更にソフトウェア固有の要求を満たす必要がある。

有人システムでは、システムの安全性の向上の見地から従来のソフトウェアに関する管理活動に比べ、より広範な要求が課されている。

信頼性・保全性に関しては、既開発ソフトウェアに対する評価、ソフトウェアフォールト解析の実施、ソフトウェアの独立検証及び有効性確認に対象を広げてきた。

更に特徴的な行為がソフトウェアの独立検証及び有効性確認であり、ソフトウェアの健全性を開発組織と独立した組織が独自の方法で確認することでソフトウェアの信頼性や安全性を高めている。

参考文献（5章）

- 1) NASDA-SPC-1177 「信頼性プログラム共通仕様書」（廃止済み）
- 2) JMR-004 「信頼性プログラム標準」
- 3) NASDA-SPC-558 「品質プログラム共通仕様書」（廃止済み）
- 4) JMR-005 「品質保証プログラム標準」
- 5) 「JEM MSL」 (<https://stage.tksc.jaxa.jp/msldb/index.html>)

付録

付録1 宇宙開発に係わる信頼性技術の進展と関連文書の流れ

付録2 主要な信頼性技術関連用語(ディペンダビリティ用語)の定義・解説

付録3 参考文献一覧

付録1 宇宙開発にかかわる信頼性技術の進展と関連文書の流れ

信頼性の技術的な研究・開発の起こりは、第2次世界大戦中のドイツのV-1、V-2 ロケットの開発であると言われている。一方米国では、同大戦中の高信頼管（真空管）の研究・開発において、信頼性の概念が生まれた。

そして信頼性の組織的な取り組みは、朝鮮戦争時のレーダーシステムなど、電子機器の故障多発を契機に、故障対策を行う研究・開発と科学的な管理の必要性から開始された。

1952～1957年に於いて、電子装置の信頼性研究グループ、AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment) の信頼性に関する幅広い研究とその報告によって、信頼性工学の基礎が築かれた。

そして、このAGREEの報告による体系的な信頼性理論を基に、信頼度予測や信頼度配分の方法を確立し、これを実現するべく信頼性プログラムの開発と、信頼性管理が開始された。いわば信頼性管理・技術の黎明期である。

米国では、初期のロケットや人工衛星の開発にあたって、ミッション達成のための信頼性の高い設計を行い、その信頼性を製造・組立で低下させることのないように品質を管理した。

1950年代後半の米ソ（現ロシア）によるミサイル開発、宇宙開発競争を通じ、これらミッションをより確実にする高信頼度の実現を目指した、信頼性プログラムと信頼性管理のさらなる開発・整備が行われた。

この信頼性プログラムと信頼性管理を通じ、誘導ミサイルの遂行目的に対するシステム全体の有効性の再評価がなされた。

ここでは、開発費から、調達費、修理費、更には廃棄に至るまでの運用維持費の総合計を最小とする、いわゆるライフサイクルコストリングを行い、開発期間の短縮を図るプログラムとして発展した。

さらにアポロ計画を通じ、月まで往復するのに必要な信頼度を計画的に達成（信頼性保証）するため、その構想段階から運用段階に渡る具体的な各種手段・手法が信頼性技法として開発され、信頼性プログラムに組み込まれた。

また故障に関わる信頼性・保全性、および部品の保証の研究と整備も併せ図られ、アポロ計画を通じ、システム的な信頼性管理が実質的に完成された。

この信頼性管理の意図するところは、信頼性プログラムに基づき、目標とする信頼度達成状況を統計的かつ技術的にデータ解析を行い、常時それぞれの段階にフィードバックし、進捗状況を監視し、是正し、計画目標を達成することにある。

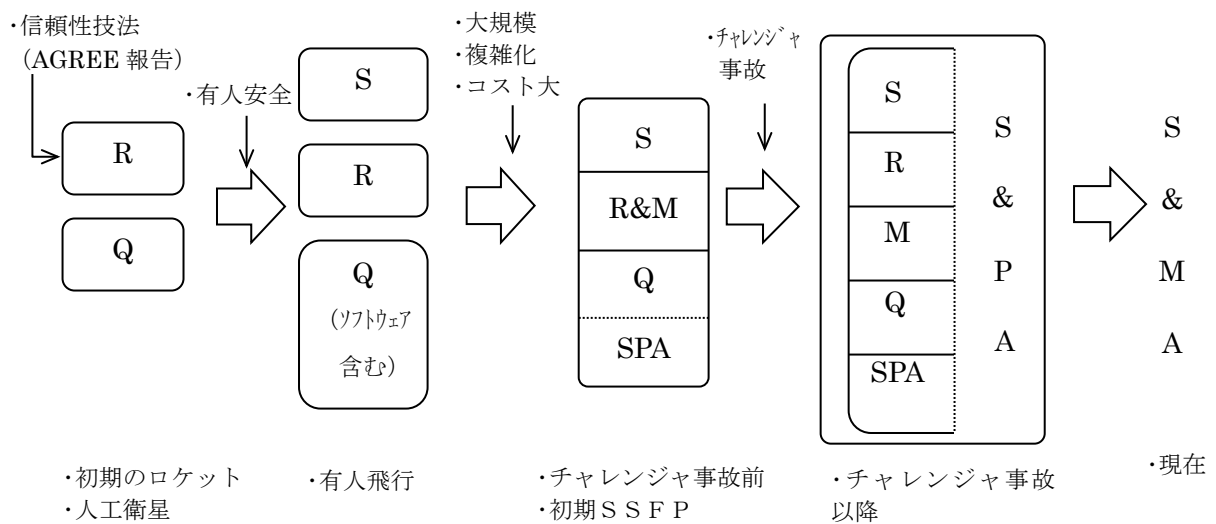
NASAのスペースシャトルの開発においてシステムが大規模、複雑化し、信頼

性、品質、安全性の各管理が別々に要求を出すことによる、一貫性や重複した要求などの弊害もあり、活動を行うためのコストを一層適切にするため、これらの管理要求を統合する動きがあった。

1986年のチャレンジャ事故により、NASAではより一層の安全確保が求められ、開発組織と独立したチェック機能を有する、安全、信頼性・保全性、品質保証と担当する組織を置くなどの対策が取られた。

これが宇宙ステーションプログラムにも適用され、全てのフェーズにおいて統合し、安全を確保しようとするS&PA (Safety and Product Assurance)活動となり、さらに概念をミッションの成果まで広げたS&MA (Safety and Mission Assurance)活動となって、国際宇宙ステーションに引き継がれている。

以上の宇宙開発にかかわる信頼性技術の進展概要を付図1-1に示す。



S : 安全性管理、R : 信頼性管理、Q : 品質保証管理、M : 保全性管理、SPA : Software Product Assurance

付図1-1 宇宙開発にかかわる信頼性技術の進展概要

わが国の宇宙開発においても、米国の進展に合わせ、従来のロケット・人工衛星中心の開発から有人宇宙システムの開発まで展開され、その規模も益々大きくなっている。

宇宙航空研究開発機構の信頼性・品質保証体系は、NASA 文書の NHB5300.4などを基に宇宙開発事業団時代に策定され、その後の進展に合わせて見直しを行ってきた。

宇宙開発事業団での最初の信頼性プログラム標準である NASDA-SPC-1177 は、NHB5300.4(1A)「Reliability Program Provisions for Aeronautical and Space System Contractors」を基に、1976年5月に制定され、NHB5300.4(1A-1)への移行により1990年7月にA改定が行われた。

その後、宇宙開発事業団での運用経験等から得られた事項を反映した NASDA-STD-17 が1997年3月に制定され、運用を継続した。

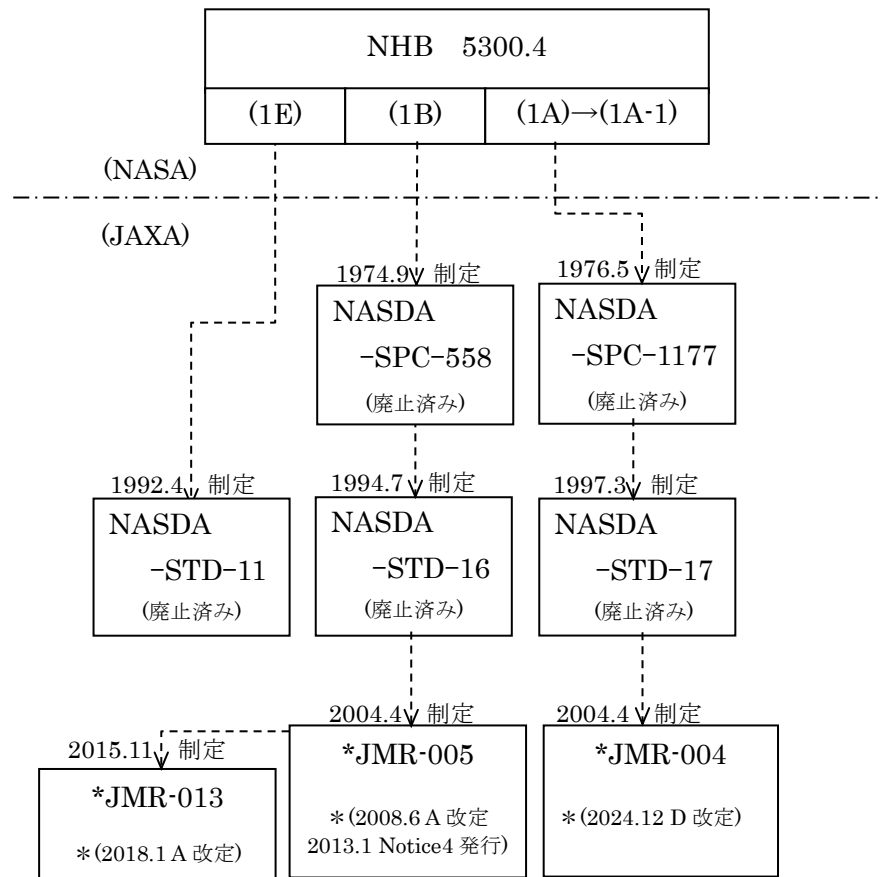
現在の JMR-004「信頼性プログラム標準」は、宇宙航空研究開発機構の発足に伴い NASDA-STD-17 を基に2004年4月に制定され、改定を行いつつ今日に至っている。

宇宙開発事業団での最初の品質保証プログラム標準である NASDA-SPC-558 は、NHB5300.4(1B)「Quality Program Provisions for Aeronautical and Space System Contractors」を基に、1974年9月に制定された。

その後、宇宙開発事業団での運用経験等から得られた事項を反映した NASDA-STD-16 が1994年7月に制定され、運用を継続した。

現在の JMR-005「品質保証プログラム標準」は、宇宙航空研究開発機構の発足に伴い NASDA-STD-16A を基に2004年4月に制定され、改定を行いつつ今日に至っている。また国内外での普及が進んでいる JISQ9100「品質マネジメントシステム—航空、宇宙及び防衛分野の組織に対する要求事項」を基本要求とした JMR-013「品質保証プログラム標準（基本要求 JISQ9100）」を2015年11月に制定し、品質保証に係る国際標準への対応も進めている。

以上の進展に基づく、信頼性・品質保証に係わる宇宙航空研究開発機構の文書体系の流れを付図1-2に示す。



* : 2024 年 12 月現在活用している文書

付図 1-2 信頼性・品質保証に係わる宇宙航空研究開発機構の文書体系の流れ

宇宙航空研究開発機構の今後の宇宙開発は、NASA、ESA の活動とも連携しつつ、安全、信頼性・保全性、及び品質保証など全ての活動を統合管理していく方向に進化していこう。

付録 2 主要な信頼性技術関連用語(ディペンダビリティ用語)の定義・解説

付 2. 1 概説

信頼性技術は、その目的の進展に合わせて進化し、またこの進化に伴いそこに用いられる信頼性技術関連の用語やその意味も変化してきている。

我が国においては、JIS Z 8115 : 2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」¹⁾が、対応する国際規格の定義に基づき、信頼性技術に関連する用語の定義を定めている。

信頼性技術に係わる用語の国際規格は、IEC(International Electrotechnical Commission)の技術専門委員会(Technical Committee)のTC1 - Terminology(用語)で検討され、次の文書として刊行されている。

IEC 60050-192:2015,

International Electrotechnical Vocabulary-Part 192: Dependability
及び Amendment 1:2016²⁾

IEC 60050-192:2015 及び Amendment 1:2016²⁾は、IEC/TC 56 - Dependabilityが主管となって発行する信頼性技術関連の規格(注記1)や他のIEC規格における信頼性技術関連の用語の共通定義を与えている。

(注記1)

2024年1月時点で、IEC/TC56(ディペンダビリティ)が主管となって発行した60件の規格は、次のサイトに示されている。

https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:22:515808751639453:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1270,25

IEC/TC 1(用語)は、IEC 60050シリーズ(International Electrotechnical Vocabulary: 国際電気技術用語集)の作成及びメンテナンスを行っている。

IEC 60050シリーズは、タイトルの頭文字をとって通称IEVと呼ばれ、現在91パートからなり、そのWeb版はElectropedia(エレクトロペディア)としてIECの次のサイトに公開されている。

<https://www.electropedia.org/>

ここで、信頼性技術関連用語の定義は、Part192に係る次のサイトにて、用語の定義が公開されている。

<https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=192>

IEVは公用語とともに各国語の用語が与えられており、日本においては日本規

格協会（JSA）を事務局とする国内委員会が設置されており、国内の他の委員会と協力しながら IEV の日本語用語を作成している。

一方、日本産業規格（Japanese Industry Standards）においては、次の規格を発行している。

JIS Z 8115:2019 ディペンダビリティ（総合信頼性）用語
Glossary of terms used in dependability

この規格は、2015年に第1版として発行された IEC 60050-192 及び Amendment 1:2016 を基に、技術的内容を変更することなく作成した日本産業規格である。

JIS Z 8115:2019 は、IEC の追補（amendment）を編集し、IEC 60050-192 及び Amendment 1:2016 の内容を一体とした構成としている。

また、我が国の現状を鑑み、前版である JIS Z 8115:2000 より引き継いだ用語など、対応国際規格には規定されていない用語（信頼性データ解析、ディペンダビリティマネジメントなど）を追加して、JIS Z 8115: 2019 に含めている。

追加した独自の用語の分類は、分類番号に“J”が付されている（例えば、192J-01-101）。さらに、この規格の附属書 JA～附属書 JI は、対応国際規格にはない事項を規定している。

JIS Z 8115: 2019 におけるディペンダビリティ（総合信頼性）用語の分類は、次による。

- a) 192-01, 192J-01 : 基本概念 (Basic concepts)
- b) 192-02, 192J-02 : 状態及び時間 (States and times)
- c) 192-03, 192J-03 : 故障 (Reliability related concepts: failures)
- d) 192-04, 192J-04 : フォールト (Reliability related concepts: faults)
- e) 192-05, 192J-05 : 信頼性性能 (Reliability related concepts: measures)
- f) 192-06, 192J-06 : 保全及び保全支援 (概念) (Maintenance and maintenance support related concepts)
- g) 192-07, 192J-07 : 保全性性能及び保全支援 (尺度) (Maintenance and maintenance support concepts: measures)
- h) 192-08, 192J-08 : アベイラビリティ (概念及び尺度) (Availability and related measures)
- i) 192-09, 192J-09 : 信頼性試験 (Concepts related to test, demonstration and improvement)
- j) 192-10, 192J-10 : 信頼性設計 (Design-related dependability concepts)
- k) 192-11, 192J-11 : 信頼性解析 (Analysis concepts)

- l) 192-12, 192J-12 : 信頼性改善 (Dependability improvement related concepts)
- m) 192-13, 192J-13 : 信頼性評価 (Measurement concepts and modifiers)
- n) 192J-100 : 信頼性データ解析 (Reliability data analysis)
- o) 192J-101:ディペンダビリティマネジメント (Dependability management)
- p) 192J-102 : サービス信頼性 (Service reliability)
- q) 192J-103 : 安全性関連 (Safety)
- r) 192J-104 : 環境保全関連 (Environment)

また、JIS Z 8115: 2019 の附属書 JA～附属書 JI の構成は次の通りである。

- 附属書 JA (規定) 動作と保全との時間関係
- 附属書 JB (参考) 形容詞用語に関する用語一覧
- 附属書 JC (参考) ソフトウェアに関する用語表
- 附属書 JD (参考) 機能安全に関する用語対比表
- 附属書 JE (参考) FMEA, FTA 及び ETA に関する用語対比表
- 附属書 JF (参考) サービス信頼性用語におけるこの規格と国際規格との関連
- 附属書 JG (参考) ディペンダビリティに関わる環境用語
- 附属書 JH (参考) 参考文献
- 附属書 JI (参考) 索引
- 附属書 JJ (参考) JIS と対応国際規格との対比表

IEC 及び JIS における信頼性技術関連の用語の規定に関する組織及び規格の変遷、IEC、JIS と他の国際規格である ISO との関係及び品質用語との関係を要約すると、以下の通りである。

① 信頼性技術関連規格に係る組織の変遷

IEC TC/56 の設立当初(1965)の名称は、「電子部品と装置の信頼性」であり、主としてこれらの用語やデータの表示法から議論が始められた。

その後、電子部品と装置の試験、信頼性の仕様、保全性、アベイラビリティなどへ議論の範囲を次第に拡大し、1980年代に入り IEC 56 の名称は、「信頼性と保全性」となり、更に1990年には、「ディペンダビリティ」に改称している。

なお、2024年1月現在では IEC が発行する各規格で共通する用語の定義については、TC1 - Terminology (用語) が主管し、一般信頼性用語については IEC 60050-192:2015 として発行されている。

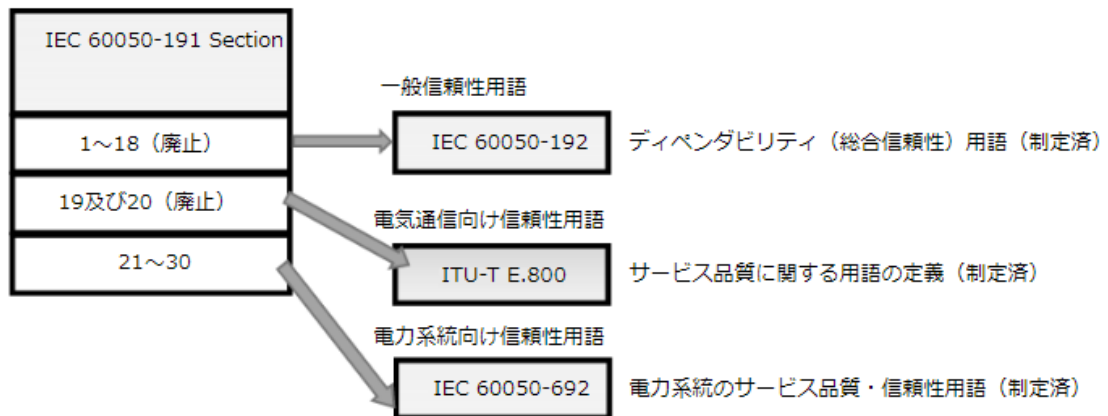
② 信頼性用語に係る規格の変遷

IEC 60050-192:2015 発行に至る前は、最新のディペンダビリティ用語としては、IEC60050(191):1990「国際電気技術用語集 191 章 ディペンダビリティ及

びサービスの品質 第1部 共通用語」が刊行されていた。

この IEC 60050-191 では、Section 1 から Section 18 で一般信頼性用語を規定し、Section 19 及び Section 20 で電気通信システムのサービス品質 (QoS) 関連用語がまとめていた。その後、1995 年及び 2002 年の改正を経て、Section 21 から Section 30 において、電力系統におけるサービス信頼性用語がまとめられた。

しかし、2015 年にディペンダビリティ用語が IEC 60050-192 として独立するとともに、付図 2-1 に示すようにサービス信頼性用語も再編成された。すなわち、電気通信システムにおけるサービス信頼性用語は国際電気通信連合 (ITU) に移管され、IEC 60050-191 の Section 19 及び Section 20 は廃止された。また、Section 21 から Section 30 の電力系統におけるサービス信頼性用語も、IEC 60050-692 として独立させて制定された。



付図 2-1 国際規格におけるディペンダビリティ用語
及びサービス信頼性用語の再編成
(JIS Z 8115:2019、附属書 JF から引用)

一方、JIS では、1970 年に JIS Z 8115:1970 「信頼性用語」を発行し、1981 年に IEC50(191) 「国際電気技術用語」に従い、見直し・改定が行われた。

そして、この JIS Z 8115:1970 「信頼性用語」は、IEC60050(191)との整合を図り、2000 年に名称も「ディペンダビリティ(信頼性)用語」として改定された。

その後、2015 年に第 1 版として発行された IEC 60050-192 及び Amendment 1:2016 に合わせて、2019 年に名称を「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」として改定された。

③ IEC、JIS と他の国際規格である ISO との関係及び品質マネジメント用語との関係

宇宙システム分野の国際規格としては、ISO/TC20(Aircraft and space vehicles)/SC14(Space systems and operations)で定める国際規格がある。

ISO は、電気分野を除く産業規格を策定する非政府組織で、世界最大の国際標準化組織である。1947 年に 18 か国で発足した組織で、2024 年 1 月現在で 170 か国が参加し、826 の技術専門委員会を有し、25135 件の国際規格を制定している。ISO/TC20/SC14 は 2024 年 1 月現在で 16 か国が参加し、宇宙システムに関して、191 件の国際規格を制定している。

一方、IEC は ISO で取り扱っていない、電気・電子技術分野の国際規格の策定を行っている国際標準化機関である。1906 年に 13 か国で発足した組織で、2024 年 1 月現在で、84 か国が参加し、115 の技術専門委員会を有し、7424 件の国際規格を発行している。以前に IEC に存在した情報技術系の TC (TC 53, 83 など) は、ISO と標準化の範囲が重なるため、1987 年に ISO と合同で技術委員会 (ISO/IEC JTC 1) を発足させ、それまでの技術委員会は合同技術委員会の副委員会に吸収された。

このように、ISO と IEC は、標準化の範囲が重ならない様に活動を行っている。

一般的な信頼性技術に係る規格は先に述べたように IEC で標準化を行っており、一般的な品質マネジメントに係る規格は ISO で標準化を行っている。

品質マネジメントに係る一般的な用語は、以下の国際規格で制定されている。

ISO 9000:2015

Quality management systems - Fundamentals and vocabulary ³⁾

JIS では、ISO 9000:2015 に対応する規格として、次の規格が発行されている。

JIS Q 9000:2015

品質マネジメントシステム-基本及び用語 ⁴⁾

この様に、信頼性技術用語に関して IEC-JIS、品質マネジメント用語に関しては、ISO-JIS については ISO-JIS の流れで、用語の定義が規格化されている。

なお、一般用語の定義に関しては、ISO と IEC で共有することが、ISO、IEC の規格作成要領 (ISO/IEC directives) で規定されている。

付 2. 2 主要な用語の定義と解説

このハンドブックの解説の用語は、混乱を避けるため従来から用いられている信頼性業務名や業務的用語はそのままとしたが、汎用的な用語はこのJIS Z 8115 : 2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」に準拠した。

このディペンダビリティ(総合信頼性)に係わる主要な用語を以下に解説する。
なお、JIS規格で、点線の下線を付してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。

(1) ディペンダビリティ (総合信頼性) とは

ディペンダビリティとは信頼性や保全性などの上位的な概念で、これらを包括する用語である。

ディペンダビリティの定義は、JIS Z 8115 : 2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」によれば次の通りである。

番号 : 192-01-22
用語 : ディペンダビリティ, 総合信頼性
対応英語 : dependability, <of an item>
アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに遂行するための能力。
注記 1 <u>ディペンダビリティすなわち総合信頼性は、“アベイラビリティ”(192-01-23)、“信頼性”(192-01-24)、“回復性”(192-01-25)、“保全性”(192-01-27)、及び“保全支援性能”(192-01-29)を含む。適用によっては、“耐久性”(192-01-21)、安全性及びセキュリティのような他の特性を含むことがある。</u>
注記 2 <u>ディペンダビリティは、アイテムの時間に関する品質特性に対する、包括的な用語として用いられる。</u>
注記 3 <u>ディペンダビリティを阻害する要因は故障、エラー、フォールトなどである。</u>
注記 4 <u>ディペンダビリティを実現する手段には、フォールトプリベンション、フォールトトレランス、フォールトリムーバル及びフォールトフォアキャストイングがある。</u>
注記 5 <u>この用語は、ソフトウェア自体ではなく、ソフトウェアを含むシステム又は製品に適用する。ソフトウェアではシステムの要素からなる製品又はサブシステムのディペンダビリティのソフトウェア的側面として扱われる。</u>
注記 6 附属書 JC (ソフトウェアに関する用語表) 及び附属書 JF (サービス 信頼性用語におけるこの規格と国際規格との関連) 参照

このディペンダビリティは、ソフトウェアを含むシステム又は製品に適用される。

なお、注記 5 に規定されている通り、ソフトウェア分野では、システム又は

系の要素からなる製品若しくはサブシステムのディペンダビリティのソフトウェア的側面として扱われるとしている。

JAXA においては、これまでの経緯から「ディペンダビリティ (総合信頼性)」と「信頼性」は区別することなく、「信頼性」という用語を用いている。しかし、ソフトウェア信頼性や太陽電池パドルの展開等の機構品目の動作機能の信頼性等、場合によっては、JAXA における「信頼性」の用語は「ディペンダビリティ (総合信頼性)」を指している場合があるので、異業種分野の事業者を含めて業務を遂行する場合には用語の用い方で混乱を生じることがないように注意が必要である。

(2) 信頼性 (信頼性性能) とは

信頼性の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

番号 : 192-01-24
用語 : 信頼性
対応英語 : reliability, <of an item>
アイテムが、与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力。
注記 1 持続時間間隔は、例えば暦時間、動作サイクル、走行距離などのような、当該アイテムに適切な単位で表現されてもよく、かつ、当該単位は常に明確に記載することが望ましい。
注記 2 与えられた条件には、動作モード、ストレス水準、環境条件及び保全のような、信頼性に影響する側面が含まれる。
<u>注記 3 一般的には、使用期間の始点で、要求機能が遂行できる状態にあることを仮定する。</u>
注記 4 信頼性は分類 e) 192-05 (信頼性性能) の尺度で定量化し得る。
<u>注記 5 ソフトウェアアイテムの場合、信頼性は系の運用経過時間中に発生する故障要因の修正及び変更で改善が進み、一般的には、信頼度は経過時間とともに向上していく。[信頼性成長 (192-12-03) 参照]。</u>
<u>注記 6 ソフトウェア信頼性は、特定条件下で使用するときのある性能を維持する能力を指す場合がある。</u>
注記 7 附属書 JC (ソフトウェアに関する用語表) 及び附属書 JF (サービス 信頼性用語におけるこの規格と国際規格との関連) 参照。

上記の注記 5 で触れられている「分類 e) 192-05 (信頼性性能)」に含まれている尺度は、故障時間、故障間隔、故障間隔動作時間、信頼度、平均故障率、故障強度など、国際規格と共通する尺度は 1 3 種類、JIS で独自に規定する尺度は 4 種類が示されている。これらの尺度は、後述する用語「信頼性特性値」

と呼ばれる。

この用語「信頼性」の定義は信頼性に関する重要な示唆を含んでいる。理解を深めるため、例として海洋観測用の地球観測衛星の信頼性について、この定義に当てはめてみると以下のようなになる。

「地球観測衛星が、軌道高度 800km の極軌道上で、3 年に渡る期間、海洋観測ができる能力」

この例から信頼性とは、地球観測衛星に対して使用者が期待する根本的な要求であり、またこの信頼性を決定するには、「アイテム(地球観測衛星)」、「与えられた条件(軌道高度 800km の極軌道)」、「与えられた期間(3 年間)」、「故障せずに、要求どおりに遂行できる能力(海洋観測ができる)」の 4 つの要素からなることが解る。信頼性を適切に表現するには、これら 4 つの要素のどれが一つ欠けてもできない。したがって信頼性設計では、まず対象とするアイテムの範囲を定め、そのアイテムの使用環境と使用方法、使用期間、機能・性能を配慮し、この信頼性に必要な要素の条件を決定することにある。

信頼性の定義と重要な要素の比較を付表 2-1 に示す。

付表 2-1 信頼性の定義と重要な要素の比較

JIS Z 8115の定義	(例)	信頼性の重要な要素
アイテム	地球観測衛星	部品、構成品、デバイス、装置、機能ユニット、機器、サブシステム、システムなどの対象範囲を考慮
与えられた条件	軌道高度 800km の極軌道上	使用環境、使用・保全方法を考慮
与えられた期間	3年間	使用期間を考慮
故障せずに、要求どおりに遂行できる能力	海洋観測ができる	ミッション遂行の機能・性能を考慮

信頼性は、英語で言えば Reliability, <of an item> であるが、Reliability の訳にはもう一つの語がある。

それが「信頼度」Reliability, <measure>で、JIS Z 8115:2019 によれば、この定義は次の通りである。

番号：192-05-05 用語：信頼度 対応英語：reliability, <measure> 「与えられた条件の下で、時間間隔 (t_1, t_2) に対して、要求どおりに機能を遂行できる確率」 注記 1 与えられた条件とは、適用される運用モード、ストレス水準、環境条件及び保全条件のような、信頼性に影響を与える側面を含む。

注記 2 尺度としての信頼度は、数学記号 $R(t_1, t_2)$ で表す。

注記 3 一般に、アイテムは、時間区間の始点では、要求どおりに機能を遂行できる状態にあると仮定する。

注記 4 $t_1=0, t_2=t$ のとき、信頼度 $R(t_1, t_2)=R(0, t)$ は、単に $R(t)$ と表し、アイテムの信頼度関数又は生存関数として定義される。詳細は、“信頼度関数” (192J-13-123) 参照。

注記 5 “信頼性” (192-01-24) 参照

用語「信頼度」は、例えば「このロケットの信頼度： $R(t)$ は 95% である」といったように使われ、信頼性を表す付表 2-1 の 4 つの要素に、信頼度を表す 5 つ目の要素である「確率」を用いて、信頼性が定量的に示される。

このように数量的に表した信頼性の尺度を JIS では「信頼性特性値」と言い、この「信頼性特性値」は、この信頼度をはじめ、故障率、故障強度、平均寿命、MTBF、MTTF などの総称である。

信頼性特性値の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

番号：192J-01-109

用語：信頼性特性値

対応英語：reliability characteristics

数量的に表した信頼性の尺度。

注記 1 信頼度、故障率、故障強度、平均寿命、MTTF、MTBF、アベイラビリティなどを総称する。

注記 2 “信頼性” (192-01-24) 参照。

(3) 回復性（復帰性）とは

システムのディペンダビリティ（総合信頼性）を論じる際に重要な概念のひとつに「回復性（復帰性）」がある。

「回復性（復帰性）」という用語の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば、次の通りである。

番号：192-01-25

用語：回復性、復帰性

対応英語：recoverability, <of an item>

アイテムが事後保全を実施せずに、故障から回復する能力。

注記 1 回復する能力は外部からの介入を必要とする、しないに関わらない。外部からの介入を必要としない回復に関しては、“自己回復性” (192-01-26) 参照。

注記 2 回復性は、規定の期間内に回復する確率などで表される尺度を用いて定量化できる。

注記3 回復性の例として、コンデンサ、配線用遮断器、ネットワーク、EMC 又は電磁両立性がある。

注記4 “回復可能性”、“復帰可能性”ということもある。

往還型宇宙輸送システムや軌道上での補給が可能な宇宙ステーション等事後保全が可能な宇宙システムと異なり、一般の宇宙機は事後保全ができない。

従って、宇宙機では、故障対策として、システムの回復性を高める「故障検知、分離及び復帰(FDIR)」を行う設計を取り入れることが必要となる。

宇宙機の機能回復は、地上管制からのコントロールによって行う場合と、地上管制からのコントロールが可能になるまでの間、外部からの介入を必要としない回復（すなわち、自己回復）を図る場合がある。

(4) 耐久性及び有用寿命について

システムのディペンダビリティ(総合信頼性)を論じる際に含まれることがある概念のひとつに「耐久性」がある。

「耐久性」という用語の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば、次の通りである。

番号：192-01-21

用語：耐久性

対応英語：durability, <of an item>

与えられた運用及び保全条件で、有用寿命の終わりまで、要求どおりに実行できるアイテムの能力。

注記1 与えられた使用条件は、放置条件及びストレス(192J-01-108)の定められた順序又は複合を含む、合理的に予見できる全使用条件を包含する。

注記2 耐久性について数量で評価した場合を“耐久度”という。

信頼性は「与えられた期間、故障せずに」、要求どおりに遂行できる能力であるのに対して、耐久性は「有用寿命の終わりまで」、要求どおりに遂行できる能力であることが定義の違いである。

信頼度(192-05-05)の算出において、時間間隔(t_1 、 t_2)を最初の使用から有用寿命の終わりまでとすると、算出した信頼度は、“耐久度”と同義になる。

耐久性の定義で触れられている「有用寿命」という用語の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば、次の通りである。

番号：192-02-27

用語：有用寿命、耐用寿命

対応英語：useful life, <of an item>

アイテムが、運用及び保全上の経済的理由又は陳腐化のために、最初の使用から、利用者要求に合わなくなってしまうまでの時間。

注記1 “最初の使用”には、最終利用者にアイテムを引き渡す前に行う試験活動は含まれない。

注記2 “理由”には、故障強度が著しく増大し経済的に引き合わなくなる、フォールトの結果修理不可能と考えられる、システムに要求された機能及び性能がソフトウェアの現状の運用では不適切な状態になるなどがある。

注記3 価値寿命の減少・保全のための資源が供給不可能な状態も“有用寿命”として使用する。

注記4 附属書 JC (ソフトウェアに関する用語表) 参照。

JAXA においては、寿命に関する用語で、「有用寿命、耐用寿命」という用語は用いられておらず、単に「寿命」と表記されることが多い。類似する概念に基づく信頼性管理の要求としては、既定暦日内での使用可能性を保証するために行われる「有効寿命品目 (Limited Life Item)」の管理要求を挙げることができる。

宇宙機の開発時に行う寿命解析では、アイテムの有用寿命（耐用寿命）が、開発仕様書、設計仕様書等で要求されている寿命及び動作時間よりも大きいことを確認することによって、要求されている寿命及び動作時間に対してアイテムが要求どおりに実行できる能力を有することを保証する。

(5) 保全性及び保全性性能とは

初期の段階において、保全性は信頼性と対句のように用いられてきたが、広義の信頼性は保全という概念と強い関連を持っている。

例えば、「運用信頼度」という用語の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば、次の通りである。

番号：192J-05-103

用語：運用信頼度

対応英語：operational reliability

運用状態でのアイテムの信頼度。

注記1 R_o を運用信頼度、 R_i を固有信頼度とすれば $R_o = R_i \times k$

ここに、 k は使用・保全の条件で変わる係数で、通常の場合 $k < 1$ である。

注記2 アイテムによっては、“使用信頼度”と呼ばれる場合もある。

この例で示すように、運用状態のアイテムの信頼度は、使用・保全の条件で変わり得る性質を有している。

一方、保全性の定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

番号 : 192-01-27

用語 : 保全性

対応英語 : maintainability, <of an item>

与えられた運用及び保全条件の下で、アイテムが要求どおりに遂行できる状態に保持されるか、又は修復される能力。

注記 1 与えられた状態は、保全性に影響する局面を含む。例えば、保全の場所、アクセシビリティ（接近性）、保全手順、保守資源など。

注記 2 保全性は、分類 g) 192-07 : 保全性性能及び保全支援（尺度）の尺度で量化し得る。

注記 3 ソフトウェアアイテムの場合には、“保守性”と表現し、故障要因を修正したり、性能及びその他の特性を改善したり、環境の変化に合わせてたりすることの容易さを表す数値化できない用語として用いられる場合がある。

注記 4 ソフトウェアアイテムを変更し得る能力を指す。この変更は、修正、改善及び系の環境変化への対応、並びに要求事項及び機能仕様に適合させることを含む。

注記 5 “整備性”ということもある。

注記 6 附属書 JC 参照。

上記の注記 5 で触れられている「分類 g) 192-07 : 保全性性能及び保全支援（尺度）」に含まれている尺度は、保全度、保全時間、フォールト検出時間／診断時間／是正時間、修理率など、国際規格と共通する尺度は 27 種類、JIS で独自に規定する尺度は 5 種類が示されている。これらの尺度は、後述する用語「保全性特性値」とも呼ばれる。

保全性の定義において、「与えられた運用及び保全条件の下で、アイテムが要求どおりに遂行できる状態」とは、「与えられた条件の下で、アイテムが信頼性を有する状態」と言い換えることができるので、「与えられた条件の下で、アイテムが信頼性を有する状態に保持されるか、又は修復される能力」が「保全性」と解釈できる。

ロケット／人工衛星のような非修理アイテムの機器であっても、打上げまでの試験、輸送、射場整備作業等においては、「アイテムが信頼性を有する状態」に保持される能力を有していなければならない、かつ不具合が発生された場合は修復される能力を有していなければならないので、非修復系であっても「保全性」が要求される。

保全性は、英語で言えば Maintainability, <of an item> であるが、Maintainability の訳には Reliability と同様にもう一つの語がある。

それが「保全度」 Maintainability, <measure>で、JIS Z 8115 : 2019 によれば、この定義は次の通りである。

番号 : 192-07-01

用語 : 保全度

対応英語 : maintainability, <measure>

規定の条件下で、規定の手順及び資源を用いて行われる、時刻 $t=0$ で始まるアイテムに対する保全作業が、規定の時間間隔 (t_1, t_2) 内に終了する確率。

注記 1 尺度としての保全度は、 $M(t_1, t_2)$ で表す。

注記 2 $t_1=0$ で $t_2=t$ のとき、 $M(0, t)$ は簡単に $M(t)$ と表し、保全度関数と呼ぶ。

“保全性” (192-01-27) 参照。

注記 3 一般に、保全作業は規定の条件下で、規定の手順及び資源を用いて行われる。

注記 4 “保全度関数” (192J-13-132) 及び “保全” (192-06-01) 参照。

一方、再使用型宇宙往還機システムや宇宙ステーション等においては、長期間のミッションを達成するために地上や軌道上での保全という概念が非常に重要となる。

このため、設計の初期段階から、保全作業のための交換単位に対する検討、適切な軌道上／地上予備数の設定などの考慮が必要となる。

保全作業のための交換単位については、保全対象のシステムをどこで保全できるかによって区分することができる。

例えば、再使用型宇宙往還機システムの場合、保全作業は主として地上で実施するが、保全作業の難易度によって、射場での保全、工場での保全に分けることができる。なお、再使用型宇宙往還機システムでは、地上での保全に加え、システムの安全帰還機能等の重要な機能について軌道上での状態監視保全等の保全活動を行うことも考えられる。

一方、宇宙ステーションの場合は、第一段階として軌道上での保全は「軌道上交換単位」(ORU : Operational Replacement Unit) として識別された機器の交換によって行う。

再使用型宇宙往還機システムや宇宙ステーションから取り外された機器を地上で修理する場合には、修理に要する部品、ユニットの交換単位を検討して、それぞれ必要な予備数を確保することが必要である。

このように、アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動として、「保全」がある。

保全の定義は、JIS Z 8115 : 2019 よれば次の通りである。

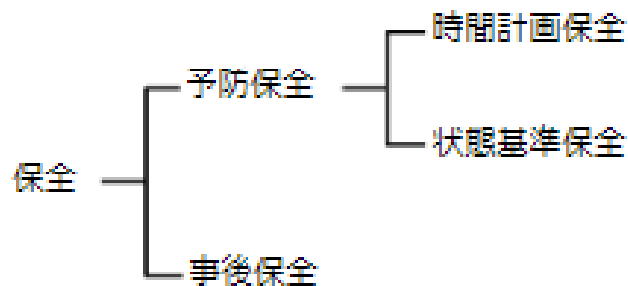
番号：192-06-01

用語：保全、保守

対応英語：maintenance

アイテムが要求どおりに実行可能な状態に維持され、又は修復されることを意図した、全ての技術的活動及び管理活動の組合せ。

注記1 保全の管理上の分類は、次の場合がある。



注記2 管理には監視活動も含まれることがある。

注記3 主としてハードウェアからなる製品の保全は、アイテムを使用及び運用可能状態に維持し、又は故障、欠点などを修復するための全ての処置及び活動である。

注記4 アイテムによっては、“整備”又は“メンテナンス”ということもある。

注記5 ソフトウェアアイテムの場合は、ソフトウェアシステム及びそのサブシステムの不具合を修正したり、性能及びその他の特性値を改善したり、又は系の環境変化に対応するために行う変更のプロセスをいう。

注記6 要求機能を実行できるようにソフトウェアアイテム又はそれを含む系の機能要素の状態に保持したり、修復したりするための活動を指す。

注記7 保全活動は、試験、測定、取替え、調整、及び修理によって系の仕様に基づいた機能状態を保つような作業も含む。

注記8 附属書 JC (ソフトウェアに関する用語表) 参照

上記の定義において、注記1で触れられている「時間計画保全」は、「計画保全」、「定期保守」と呼ぶ場合がある。「時間計画保全」は、規定した時間間隔に従って実行される保全であり、活動の結果、何らかの事後保全活動の必要性を明確化することがある。

「時間計画保全」は、予定の時間間隔で行う「定期保全」、アイテムが予定の累積動作時間に達したとき行う「経時保全」がある。

また、状態基準保全は、状態監視保全とも呼ばれ、アイテムの物理的状态に基づく予防保全を指す。

事後保全は、フォールト検出後、アイテムを要求どおりの実行状態に修復させるために行う保全を指す。事後保全は、初動時の保全と、それ以降の保全とに分けて考えることがある。また、事後保全は、フォールトの検出後直ちに開始しないで、規定の保全規則に従って、その必要性を明確化した後に時期を繰

り延べて実行する事後保全である「繰延べ保全」と繰り延べすることができない「非時間計画保全（非計画保全）」に分けることができる。

保全性も信頼性と同様に定量的指標として、保全度、修復率、平均修復率などがあり、これらの尺度を「保全性特性値」と呼ぶ。

保全性特性値の定義は、JIS Z 8115：2019によれば次の通りである。

番号：192J-06-103 用語：保全性特性値 対応英語：maintainability characteristics 数量的に表した保全性の尺度。 注記 保全度、修理率、MTTRなどを総称する。
--

アイテムの保全性を設計し、評価し、構築するためには、アイテムの時間的要素を把握する必要がある。

JIS Z 8115：2019に基づき、保全に係る各用語に対して、動作と保全の時間関係を付図 2-2 に、保全時間の関係を付図 2-3 に示す。

時間										
ダウン時間 (192-02-21)					アップ時間 (192-02-02)					
動作不能時間 (192-02-19)					動作可能時間 (192-02-17)			動作不能時間 (192-02-19)	動作可能時間 (192-02-17)	
非動作時間 (192-02-07)					非動作時間 (192-02-07)					動作時間 (192-02-05)
予防保全時間 (192-07-05)	修復時間 (192-07-06)				動作時間 (192-02-05)	アイドル時間 (192-02-05)	待機時間 (192-02-13)	外的動作不能時間 (192-02-24)	予防保全時間 (192-07-05)	
	事後保全時間 (192-07-07)	フォールト検出時間 (192-07-11)		管理遅延時間 (192-07-12)					保全時間 (192-07-02) (付図 3-3 保全時間参照)	保全時間 (192-07-02) (付図 3-3 保全時間参照)
RT	NRT	RT	NRT	RT	RT	NRT	RT	NRT	RT	

注記 1 図に記載する全ての時間は、時間間隔又は時間間隔のシーケンスを示す。

注記 2 最下行の RT 及び NRT は、標準の簡略名ではないが、RT は“機能要求時間” (192-02-08)、NRT は“機能不要求時間” (192-02-09) を示す。

付図 2-2 動作と保全の時間関係
(JIS Z 8115:2019 図 JA. から引用)

保全時間 (192-07-02)								
予防保全時間(192-07-05)			事後保全時間(192-07-07)					
実働保全時間 (192-07-04)			補給遅延 時間 (192-07- 13)	補給遅延 時間 (192-07- 13)	実働保全時間 (192-07-04)			
実働予防保全時間 (192-07-08)					実働事後保全時間 (192-07-10)			
技術遅延 時間 (192-07- 15)	予防保全 実行時間 (192-07- 09)	機能点検 時間 (192-07- 16)			技術遅延 時間 (192-07- 15)	フォルト位置 特定時間 (192-07- 18)	フォルト是正 時間 (192-07- 14)	機能点検 時間 (192-07- 16)
修理時間 (192-07-19)								

注記 図に記載する全ての時間は、時間間隔又は時間間隔のシーケンスを示す。

付図 2-3 保全時間

(JIS Z 8115:2019 図 JB. から引用)

(6) 保全支援並びに保全支援性能（保全支援能力）とは

保全支援並びに保全支援性能（保全支援能力）の定義は、JIS Z 8115：2019によれば次の通りである。

番号：192-01-28

用語：保全支援

対応英語：maintenance support

アイテムを維持するための資源の供給。

注記 資源には、人的資源、支援機器、材料及び予備品、保全設備、文書及び情報並びに保全情報システムを含む。

番号：192-01-29

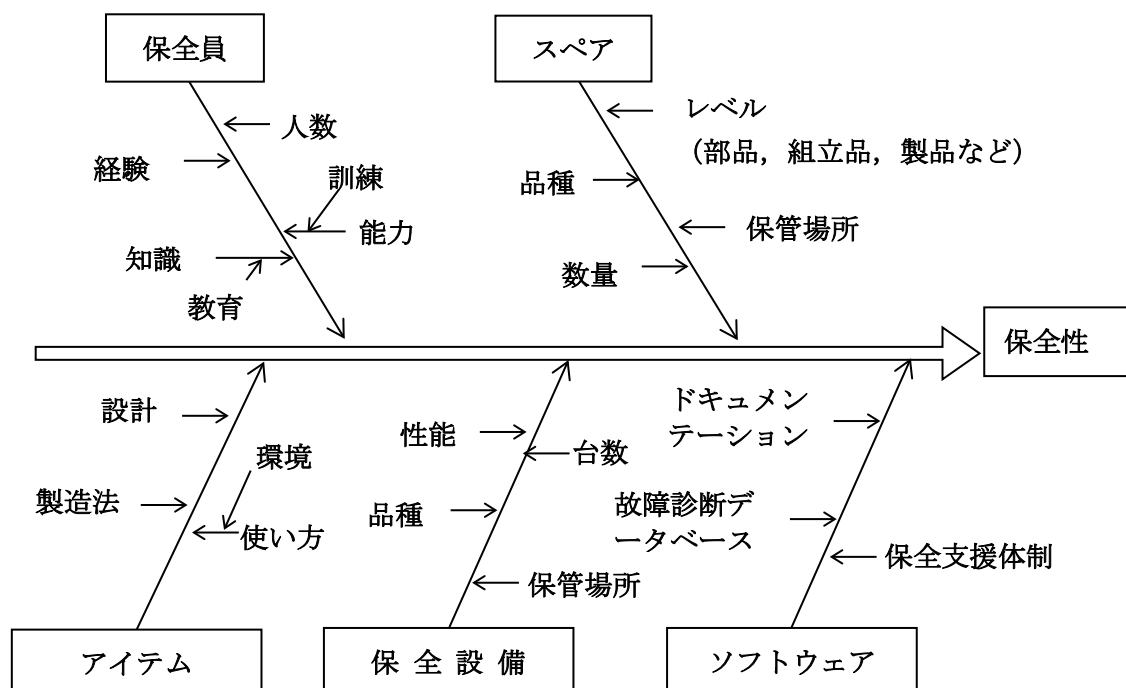
用語：保全支援性能、保全支援能力

対応英語：maintenance support performance

保全支援に関する組織の有効性。

注記 保全支援性能は、分類 g) 192-07：保全性性能及び保全支援（尺度）の尺度で定量化し得る。

保全支援性能（保全支援能力）は、アイテム自身及びアイテムが使用され、保全される条件に関する。保全性支援能力を決める要因をフィッシュボーン図にまとめた例を付図 2-4 に示す。



付図 2-4 保全性支援能力を決める要因⁵⁾

また、保全支援、保全支援性能（保全支援能力）と関連する概念として、統合補給支援（ILS）がある。

統合補給支援（ILS）の定義は、JIS Z 8115:2019 によれば次の通りである。

番号：192-01-30
 用語：統合補給支援、ILS
 対応英語：integrated logistic support, <of an item>; ILS
 アイテムの運用及び保全に対する要求を満足させるために必要となる、全ての材料及び資源の提供を決定し、調整するための管理プロセス。

再使用型宇宙往還システムや宇宙ステーションの基幹システム部分の長期運用では、常時、システムの使用が可能となる様、適切な支援管理プロセスが必要となる。統合補給支援（ILS）^{6),7)}は、米国でミサイルやスペースシャトル等の大規模プロジェクトを進める必要性から開発された。（最近では統合補給支援（ILS）は統合プロダクト支援(IPS)⁸⁾へと変化してきている。）

統合補給支援（ILS）は、システムのライフサイクルに亘って、システムの効率を最大に、かつ経済的にするために考えられる全てのこと、すなわち保全性計画、補用品やリソースの供給支援、試験、包装／保管／輸送、作業員及び訓練、必要な設備、これらの運用データ、及び必要なコンピュータシステム等の要素を包含し、これらの材料及び資源の提供に関する決定・調整のための管理プロセスである。

ILSの対象要素は、補給支援解析（LSA; logistic support analysis）によって開発プロセスの中で、検討対象がサブシステムからユニット、エレメント、パーツへと段階的に細かくなってゆく。この間に、保全性計画、補用品やリソースの供給支援、試験、包装／保管／輸送、作業員及び訓練、必要な設備、これらの運用データ、及び必要なコンピュータシステム等の ILS 対象の要素を、より効率がよく確実なものへ、またより経済的に経済的なものへトレードオフしながら、LSAに基づき、システム内容を固めてゆく。

要するに、統合補給支援（ILS）は、補給支援解析（LSA; logistic support analysis）によって得た、前述の ILS の対象要素に関する技術検討結果及びシステム検討結果を実行に移すプロセスである。すなわち、ユーザがシステムのライフサイクルの全てに亘り、期待する性能のものを必要な時期に経済的に得られるように、システムライフサイクルの初期段階に計画し、実行を管理する機能である。

(7) アベイラビリティとは

アベイラビリティの定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

番号 : 192-01-23

用語 : アベイラビリティ

対応英語 : availability, <of an item>

要求どおりに遂行できる状態にあるアイテムの能力。

注記 1 アベイラビリティは、アイテムの“信頼性”（192-01-24）、“回復性”（192-01-25）及び“保全性”（192-01-27）を組み合わせた特性、並びに“保全支援性能”（192-01-29）に依存する。

注記 2 遂行できる状態には、動作状態、アイドル状態及び／又はスタンバイ状態を含む場合がある。

注記 3 ハードウェア及びソフトウェアから構成される製品のアベイラビリティは、運用上の必要事項を考慮して定義される。すなわち、アベイラビリティとは要求された外部資源が用意されたと仮定したとき、アイテムが与えられた条件で、与えられた時点又は期間中に、要求機能を実行できる状態にある能力である。

注記 4 保全支援以外に必要となる外部資源は、アイテムのアベイラビリティ能力には関係しない。

注記 5 アベイラビリティは、分類 h) 192-08 : アベイラビリティ（概念及び尺度）の尺度で定量化し得る。

注記 6 A を適切な尺度で数量化された“アベイラビリティ”とすれば、 $1-A$ を“アンアベイラビリティ”と呼ぶ。

注記7 アベイラビリティの用語として“可用性”、“可動率”又は“稼働率”も用いられる。

注記8 附属書 JC（ソフトウェアに関する用語表）及び附属書 JF（サービス 信頼性用語におけるこの規格と国際規格との関連）参照。

上記の定義において、注記5で触れられている「分類 h) 192-08：アベイラビリティ（概念及び尺度）」に含まれている尺度は、固有アベイラビリティ、運用アベイラビリティなど、国際規格と共通する尺度は10種類、JISで独自に規定する用語定義は1種類が示されている。

アベイラビリティの代表的な信頼性特性値として、固有アベイラビリティや運用アベイラビリティがある。固有アベイラビリティの定義は、JIS Z 8115：2019によれば次の通りである。

番号：192-08-02

用語：固有アベイラビリティ

対応英語：inherent availability; intrinsic availability

理想的な運用及び保全の条件下で、設計で規定されるアベイラビリティの値。

注記1 補給遅延及び管理遅延のような保全に関連する遅延は、除外される。

注記2 尺度としての固有アベイラビリティは、数学記号 A_i で表す。

注記3 固有アベイラビリティは、次の式で示される。

$$\dots A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \dots$$

ここで、MTBF は平均故障間動作時間、MTTR は平均修復時間を示す。

上記の MTBF について補足すると、ある特定期間中の MTBF は、その期間中の総動作時間を総故障数で除した値である。なお故障間動作時間が指数分布の場合には、どの期間をとっても故障率は一定であり、MTBF は故障率の逆数になる。また MTTR (Mean Time to Repair 又は Recovery など) とは、修復時間の期待値である。

なお、MTBF は「故障するまでの時間」という表現から、寿命としばしば混同されやすいが、MTBF と寿命は全く異なる概念である。

MTBF は故障率一定の指数分布で現われる「偶発故障期間での故障率」の逆数であるが、寿命（「有用寿命」）は最初の使用から、故障率が増加型に至るまでの時間（利用者要求に合わなくなってしまうまでの時間）である。

運用アベイラビリティの定義は、JIS Z 8115：2019によれば次の通りである。

番号：192-08-03

用語：運用アベイラビリティ

対応英語：operational availability

実際の運用及び保全の条件下でのアベイラビリティの実績値。

注記1 尺度としての運用アベイラビリティは、数学記号 A_o で表す。

注記2 運用アベイラビリティは、外部原因を除く、故障及び関連する遅延によるダウン時間を考慮に入れて決定される。

注記3 運用アベイラビリティは、次の式で示される。

$$A_o = \text{MUT} / (\text{MUT} + \text{MDT})$$

ここで、MUT は平均アップ時間、MDT は平均ダウン時間を示す。

ここで MUT (Mean Up Time) とは、アイテムがアップ状態（要求通りに遂行できる状態）にある時間の期待値である。また MDT (Mean Down Time) とは、アイテムがダウン状態（内部のフォールト（故障状態）又は予防保全のために、要求どおりに実行できない状態）にある時間の期待値である。

その他の瞬間、平均、定常（漸近）などのアベイラビリティ及びアンアベイラビリティについては、JIS Z 8115：2019 に規定されている。

宇宙ステーションなどの有人ミッションでは、従来の人工衛星とは異なり、搭乗員による軌道上の保全作業が可能ではある。しかし、人工衛星のミッションとは比較にならないほど多種多様のミッションが有り、限られた搭乗員による保全作業は、極めて限定されたものとなる。

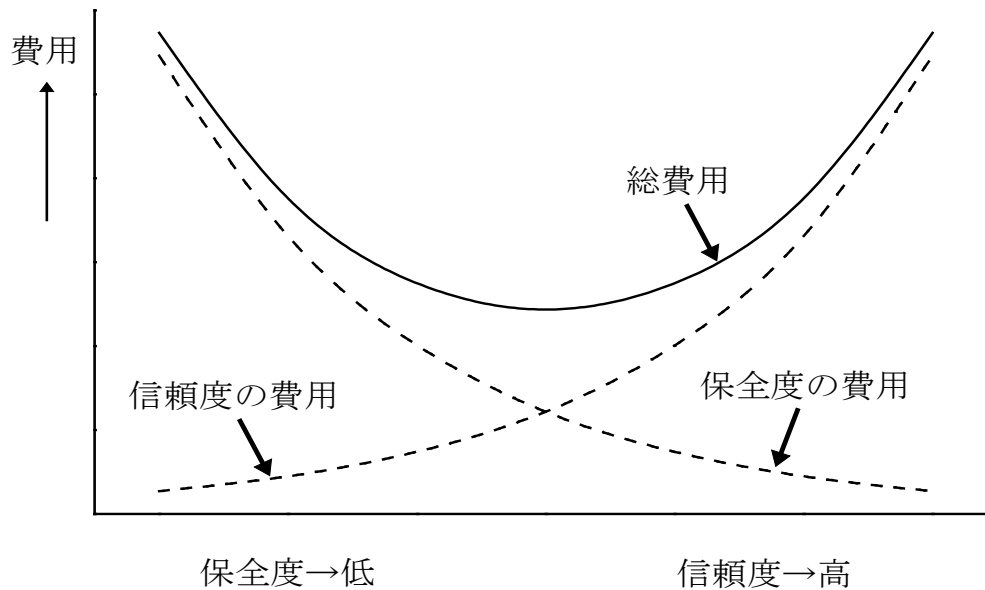
また、ミッションの社会的責任の増大や安全性の確保のため、従来の人工衛星にも増した高信頼性、すなわち高いアベイラビリティが要求される。

このため、高い固有アベイラビリティや運用アベイラビリティを確保するには、以下の配慮が設計で必要である。

- ・ 交換単位をあらかじめ決めておき、その接近性を十分考慮し、保全時間 (MTTR) やダウン状態にある時間 (MDT) を極力短くする。
- ・ 交換単位の信頼性 (MTBF) や動作可能状態にある時間 (MUT) を極力大きく取る。

一方、開発要員や費用などに糸目をつけなければ、このような高いアベイラビリティ要求を達成できるかもしれないが、膨大な開発時間や費用などが必要となろう。

要求目標をコストミニマムで確保するには、信頼性要求と保全性要求との最適化が必要である。この概念を付図 2-5 に示す。



付図 2-5 信頼度と保全度の最適化

要求されるアベイラビリティを、信頼性のみによって実現しようとする限りなく費用が増大し、また保全性のみによって実現しようとする場合も限りなく費用が増大する。

信頼性と保全性のバランスの取れた要求が、コストミニマムで要求されるアベイラビリティを確保できることを示している。

すなわち、信頼性と保全性のバランスの取れた設計には、例えば交換単位をあらかじめ決めたアイテムの常用冗長、待機冗長、多数決冗長、多様性冗長など、冗長系による信頼性の向上による費用増加と、宇宙ステーションなどの保全費用（予備品輸送・維持費、ミッション阻害費、船外活動費など）の削減効果とのトレードオフの検討も重要になる。

また、BIT (Built-In-Test) /BITE (Built-In-Test Equipment) 機能の導入による、例えば状態監視保全と冗長系の活用によるミッションの継続性の観点からの信頼性の向上と、あらかじめ故障分離を行い保全時間 (MTTR) やダウン状態にある時間 (MDT) の短縮による、最適なアベイラビリティの向上の検討も重要になる。

これらの検討を適切にすすめるためには、前述の統合補給支援 (ILS) プログラム (近年では統合プロダクト支援 (IPS)) によって、システムのライフサイクルの全てに亘り、期待する性能のものを必要な時期に経済的に得て、適切な保全ができるよう、管理するプロセスを確立し、活用することが望まれる。

(8) FMEA に関する用語について

FMEA の用語定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

番号：192-11-05

用語：故障モード・影響解析、FMEA

対応英語：failure modes and effects analysis; FMEA

下位アイテムに生じ得る故障モード及びフォールト（故障状態）の調査、並びに様々な分割単位に及ぼすそれらの影響を含む定性的な解析方法。

注記 1 FMEA は、設計の不具合、潜在的な欠点などを抽出するために一覧表を用いて解析する。この一覧表を“FMEA 表”という。

注記 2 ハードウェア及びソフトウェアの機能の構造又は構成に着目して行う FMEA を“機能 FMEA”という。特に製品機能について設計段階で行う機能 FMEA を“設計 FMEA”という。また、作業プロセス又は製造工程で使用する設備の機能に着目して行う機能 FMEA を“設備 FMEA”という。

注記 3 作業システム又は管理システムを構成するプロセス機能に着目して行う FMEA を“プロセス FMEA”という。特に、製造工程に対して行うプロセス FMEA を“工程 FMEA”という。

注記 4 FMEA で取り上げる“故障”は、192-03-01 で定義する“故障”よりも広い意味で使われる。すなわち、“要求された任務の遂行能力を失うこと”の意味で用いられ、故障、不具合、失敗など不都合な事象を全て対象とする。これによって、医療、教育、接客などのサービス業でも FMEA が使われる。

注記 5 附属書 JC～附属書 JE 参照。

注記 6 “fault mode and effects analysis” は、故障モード・影響解析の対応英語としては使用できない。

JIS 規格で、点線の下線を付してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。

JIS Z 8115：2019 の附属書 JE は、対応国際規格には含まれていない FMEA、FTA 及び ETA に関連する用語（共通用語も含む。）を示している。

JIS Z 8115：2019 の附属書 JE によれば、FMEA は我が国において代表的な解析技法として定着する一方で、その適用範囲及び産業分野の広さから、ミクロでみると産業別、工程別で独自の用語及び解釈で使用されていることは否めないとされる。また、FMEA はその適用するライフサイクルに応じて設計 FMEA、工程 FMEA といった使われ方がされており、それぞれに効果を上げていることが附属書 JE で述べられている。附属書 JE の表 JE. 2 に示されている代表的な FMEA 及び FTA の分類について付表 2-2 に示す。

付表 2-2 代表的な FMEA 及び FTA の分類表
(JIS Z 8115 : 2019 の附属書 JE、表 JE. 2 を引用)

用語	JIS Z 8115:2019	出典
機能 FMEA	192-11-05 注記 2	JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照
設計 FMEA	192-11-05 注記 2	
設備 FMEA	192-11-05 注記 2	
プロセス FMEA	192-11-05 注記 3	
詳細 FMEA		JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照
インタフェース FMEA		JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照
工程 FMEA	192-11-05 注記 3	JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照
潜在的 FMEA	192-11-05 注記 3	
FTA 事前解析		JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照
FTA 事後解析		JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックを参照

付表 2-2 に示す様に、JIS に規定されている「故障モード・影響解析、FMEA」の用語の定義に関する注記には、JERG-0-016 宇宙開発信頼性ハンドブックの内容が反映されている。

FMEA と関連して、FMECA についても、その定義を示しておく。

対応国際規格に基づく、FMECA の用語定義は、JIS Z 8115 : 2019 によれば次の通りである。

<p>番号 : 192-11-06</p> <p>用語 : 故障モード・影響及び致命度解析、FMECA</p> <p>対応英語 : failure modes, effects and criticality analysis; FMECA</p> <p>FMEA に付加して、故障モードの発生確率及び影響の厳しさを考慮した定量的又は定性的な解析手法。</p> <p>注記 1 “定量的 FMECA” は、通常、FMEA 表及び定量的致命度解析 (CA) 表を組み合わせで行う。</p> <p>注記 2 “定性的 FMECA” における致命度解析には、故障モードの発生確率の大きさ (出現度) 及び影響の厳しさの程度 (影響度) を等級分けし、マトリック</p>

ス表示する方法(マトリックス法)、及び等級ごとに割り当てた重み付け評点を用いた計算値による方法(評点法)がある。

注記3 定性的 FMECA には、致命度評点に加え、故障モードの検出の困難さ(検出度)を等級分けした評点を用いた[“リスク優先数”(RPN)](192J-03-113)によって故障モードを評価する方法がある。例えば、自動車産業などで用いられる[“潜在的 FMEA”(Potential FMEA)]もその一つである。

注記4 附属書 JE 参照。

注記5 “fault modes, effects and criticality analysis” は、故障モード・影響及び致命度解析の対応英語としては使用できない。

JAXA では、FMECA を FMEA と呼んでいる場合がある。

JAXA で実施している FMECA における致命度解析では、故障モードの発生確率の大きさ(出現度)及び影響の厳しさの程度(影響度)を等級分けし、マトリックス表示する方法(マトリックス法)が多く用いられている。

参考文献

- 1) JIS Z 8115 : 2019 「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会
- 2) IEC 60050-192:2015, International Electrotechnical Vocabulary - Part 192: Dependability 及び Amendment 1:2016
- 3) ISO 9000:2015、Quality management systems - Fundamentals and vocabulary
- 4) JIS Q 9000 : 2015、品質マネジメントシステム-基本及び用語
- 5) 真壁 肇(他)「信頼性工学入門」、日本規格協会、1985
- 6) MIL-STD-1388-1A(1983) NOTICE-4(1993)、Logistic Support Analysis
- 7) MIL-STD-1388-2B(1991) NOTICE-1 (1991)、DOD REQUIREMENTS FOR A LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS RECORD
- 8) MIL-HDBK-502A(2013)、Product Support Analysis (PSA)

付録3 参考文献一覧

この宇宙開発信頼性技術ハンドブックで参考とした文献の一覧を以下に示す。

この資料が、宇宙開発に携わる全ての関係者に於いて、宇宙開発の信頼性プログラムに係わる信頼性技術及び信頼性管理をより深く理解し、実際の宇宙開発業務を着実に実施するための補助資料として、大いに活用していただければ幸いである。

なお参考文献の末尾（ ）内の数字は、このハンドブックの各章で引用した項目番号を示す。また各章で直接引用はしなかったが、その他参考又は参照した文献も併記した。

1章 信頼性プログラム

- 1) JMR-004「信頼性プログラム標準」(1.1、1.2)
- 2) NHB5300.4(1A-1)「Reliability Program provisions for Aerospace and Space Contractors」、NASA、1987 (1.1)
- 3) NASA-STD-8729.1.A「NASA Reliability and Maintainability (R&M) Standard for Spaceflight and Support Systems」、NASA、2017/6/13 (1.1)
- 4) JIS Z 8115:2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会 (1.1)
- 5) ECSS-Q-ST-30「Space product assurance, Dependability」

2章 信頼性プログラムマネジメント

- 1) JERG-0-050「海外部品品質確保ハンドブック」(2.8、2.9)
- 2) JERG-0-051「海外コンポーネント品質確保ハンドブック」(2.8、2.9)
- 3) 塩見 弘、「信頼性工学入門」、丸善
- 4) 市田 嵩・下平 勝幸、「信頼性工学シリーズ15 信頼性管理」、日科技連
- 5) 真壁 肇、「信頼性工学入門」、日本規格協会
- 6) 藤崎 定昭、「メカトロシステムの信頼性工学」、槇書店
- 7) 日本信頼性学会編、「信頼性ハンドブック」、日科技連
- 8) 星 満・小林 正志、「TQCと信頼性」、日刊工業新聞社
- 9) IEC 60300-2「Dependability management Part 2: Dependability programme elements and tasks、International Electrotechnical Commission」
- 10) MIL-STD-785「Reliability Program for System and Equipment Development and Production」
- 11) JMR-005「品質保証プログラム標準」

- 12) ECSS-Q-ST-30 「Space product assurance, Dependability」
- 13) JIS C 5750-2:2000 ディペンダビリティ管理－第2部：ディペンダビリティプログラム要素及びタスク、日本規格協会
- 14) JIS C 5750-2:2010 ディペンダビリティ マネジメント － 第2部：ディペンダビリティマネジメントのための指針
- 15) JIS Z 9911-1:1996 「品質システムの監査の指針」、日本規格協会
- 16) ISO 10011-1:1996 「品質システムの監査の指針」、日本規格協会
- 17) SJAC 9101 D (2010/3/31)：品質マネジメントシステム 航空、宇宙及び防衛分野の組織に対する審査要求事項、日本規格協会

3章 信頼性工学

- 1) JERG-2-120 「単一故障波及故障防止設計標準」(3.1-1)
- 2) MIL-HDBK-217 「Reliability Prediction of Electronic Equipment」(3.1-1、3.10、3.11、3.14、3.15)
- 3) FIDES Guide 2022 Editon A (July 2023) Reliability Methodology for Electronic Systems (3.1-1、3.10、3.11)
- 4) ECSS-Q-ST-30 「Space product assurance, Dependability」(3.1-1、3.29)
- 5) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」(3.3)
- 6) JERG-2-141 「宇宙環境標準」(3.3)
- 7) JERG-2-142 「一般環境標準(宇宙機)」(3.3)
- 8) JERG-2-143 「耐宇宙環境設計標準(耐放射線設計標準)」(3.3)
- 9) 日本学術振興会編；金属防蝕技術便覧新版、(昭和47年)、日刊工業新聞社(3.3)
- 10) 正野重方：気象学総論、地人書館 昭和43年、9版(3.3)
- 11) JIS Z 8115:2019 「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会(3.10)
- 12) NPRD-95 「Nonelectronic Parts Reliability Data」、Reliability Analysis Center、1995(注：最新版はNPRD-2023)(3.10、3.11、3.21)
- 13) FIDES 及び MIL-HDBK-217 による宇宙用電子部品の信頼度予測及び比較 宮岡三幸、浜田彩香、望月妙(HIREC株式会社) 第67回宇宙科学技術連合講演会講演集(3.11)
- 14) reliability.space consortium:reliability.space digital handbook, v0.2.1, 2022(3.11)
(URL: <https://nrpmhandbook.reliability.space/en/latest/home.html>)
- 15) 信頼性管理便覧編集委員会編：「品質保証のための信頼性管理便覧」(1985)、日本規格協会(3.12)
- 16) 牧野鉄治、野中保雄著「信頼性工学」、日本科学技術連盟(3.12)

- 17) CSA-2023004 「サンプルサイズと母集団を網羅する割合及び信頼水準の関係式」 (3. 12)
- 18) CSA-2023006 「BRUCETON TEST 法 (ブルーストンテスト) について」 (3. 12)
- 19) MIL-STD-1635 「Reliability Growth Testing」 (3. 12)
- 20) MIL-STD-756 「Reliability Modeling and Prediction」 (3. 12)
- 21) 平社博之. 「H-1 ロケット 2 段用液酸・液体エンジン (LE-5) の信頼度について」, 第 6 回宇宙開発における信頼性及び品質保証シンポジウム, 1980 (3. 12)
- 22) 平田邦夫. 升谷五郎. 上条謙二郎. 液体ロケットエンジンの信頼度評価法, 日本航空学会, 2004 (3. 12)
- 23) Dr. Fayssal M. Safie : Huntsville Chapter, Society of Reliability Engineers, USA “Reliability Modeling of The Space Shuttle Main Engines” , June 22, 1989 (3. 12)
- 24) 工業火薬 Vol. 50, No. 1, 1989 「H- I ロケット上段固体モータ及び火工品類の開発 第 3 報 H- I ロケット用火工品類の開発」 (3. 12)
- 25) CSA-113004 「金属製圧力容器設計の基礎技術」 (3. 14)
- 26) JERG-2-320 「構造設計標準」 (3. 14)
- 27) JERG-0-001 「宇宙用高圧ガス機器技術基準」 (3. 14)
- 28) 上山忠夫, 「構造信頼性」, 日科技連出版社, 1984 年 (3. 14)
- 29) EEE-INST-002 「Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating」 (3. 14、3. 15)
- 30) ECSS-Q-ST-30-11 「Space product assurance, Derating - EEE components」 (3. 14、3. 15)
- 31) MIL-STD-975 「NASA Standard Electrical, Electronic and Electromechanical (EEE) Parts List」 (廃止済み) (3. 14、3. 15)
- 32) GSFC-PPL-16 「GSFC PREFERRED PARTS LIST」 (最終版は PPL-21) (3. 14)
- 33) PD-ED-1201 「EEE PARTS DERATING、NASA Preferred Reliability Practices」 (3. 15)
- 34) M. Shimodaira : Failure Mechanism And Assurance Technique (昭和 54 年) ISTFA (3. 17)
- 35) JAXA-QTS-2000 「宇宙開発用共通部品等 一般共通仕様書」 (3. 17、3. 54、3. 55)
- 36) GGQ-Q06001 「重要品質特性及び重要加工パラメータ管理ガイドライン」 (3. 20)
- 37) 宇宙開発用共通部品等 適用データ シート (NASDA or JAXA-ADS-****) (3. 21)
- 38) Parts, Materials, and Processes Experience Summary Feb.1972 (NASA-

- CR-114391) (3. 21)
- 39) RAC(Reliability Analysis Center) Reliability Design Handbook No. RDH 376 (3. 21)
- 40) Electromechanical Component Reliability RADC-TDC-63-295 (3. 21)
- 41) IEC60812 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA) (3. 21)
- 42) MIL-STD-1547 「Electronic Parts, Materials, and Processes for Space and Launch Vehicles」 (3. 22)
- 43) MIL-STD-883 「TEST METHOD STANDARD MICROCIRCUIT」 (3. 23、3. 53)
- 44) S28-5 黒崎他、「通信衛星 3 号における寿命評価」、電子情報通信学会創立 70 周年記念総合全国大会 (昭和 62 年)、p. 10-393 (3. 24)
- 45) 鈴木 (順)、牧野、石坂、「FMEA・FTA 実施方法」、日科技連 (3. 25)
- 46) 井上威恭、「FTA 安全工学」、日刊工業新聞社 (3. 25)
- 47) JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック (3. 27)
- 48) PD-AP-1314, SNEAK CIRCUIT ANALYSIS GUIDELINE FOR ELECTROMECHANICAL SYSTEMS, October 1995 (3. 28)
- 49) RADC-TR-89-223, SNEAK CIRCUIT ANALYSIS FOR THE COMMON MAN, October 1989 (3. 28)
- 50) RADC SCAT AUTOMATED SNEAK CIRCUIT ANALYSIS TOOL, Edward L. DePalma, Rome Air Development Center (3. 28)
- 51) ECSS-Q-ST-30-02 Failure modes, effects (and criticality) analysis (FMEA/FMECA) (3. 29)
- 52) JERG-0-049 「ソフトウェア開発標準」 (3. 30)
- 53) CAA-109028 「ASIC/FPGA 開発管理標準」 (3. 30)
- 54) JMR-005 「品質保証プログラム標準」 (3. 38、3. 39、3. 40、3. 60)
- 55) JMR-013 「品質保証プログラム標準(基本要求 JIS Q 9100)」 (3. 38、3. 39、3. 40、3. 60)
- 56) 塩見弘：故障物理入門、日科技連 (3. 38)
- 57) ADEOS 事故原因究明説明資料(改訂版) 平成 9 年 9 月 4 日 (3. 38)
- 58) 越川清重：故障現象に基づく信頼性試験法、電気通信学会技術研究報告 R84-43 (3. 38)
- 59) 故障解析ガイドブック、昭和 61 年、P126、日本科学技術連盟 (3. 39)
- 60) 塩見弘、久保陽一、高橋治太郎：故障解析とその応用、1984、P202、日本科学技術連盟 (3. 39)
- 61) JMR-012 「電気、電子、電子機構 (EEE) 部品プログラム標準」 (3. 53)
- 62) JERG-0-052 「宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック (共通編)」 (3. 53)
- 63) MIL-PRF-38535 「INTEGRATED CIRCUITS (MICROCIRCUITS) MANUFACTURING,

- GENERAL SPECIFICATION FOR] (3. 53)
- 64) EEE-INST-002 「Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating」 (3. 53)
 - 65) JAXA-QTS-2010 「宇宙開発用信頼性保証 集積回路 共通仕様書」 (3. 55)
 - 66) NASA-STD-5012 「STRENGTH AND LIFE ASSESSMENT REQUIREMENTS FOR LIQUID FUELED SPACE PROPULSION SYSTEM ENGINES」
 - 67) MIL-P-27409 「Propellant Feed System, Rocket Propellant」
 - 68) MIL-C-27410 「Components, Rocket Propulsion Fluid System」
 - 69) MIL-H-25475B 「Hydraulic System, Missile, Design, Installation」
 - 70) EPRD-97 「Electronic Parts Reliability Data」、Reliability Analysis Center、1997
 - 71) 小野寺勝重 「実践 FMEA 手法」 1998、日科技連
 - 72) D. H. Stamatis 「Failure Mode and Effect Analysis」 ASQC Quality Press、1995
 - 73) MIL-HDBK-338 「ELECTRONIC RELIABILITY DESIGN HANDBOOK」
 - 74) Reheja D. G. 、 「ASSURANCE TECHNOLOGIES」 McGraw-Hill Inc. 、 1991
 - 75) NUREG-0492 「Fault Tree Handbook」 NRC、1981
 - 76) 「Fault Tree Handbook with Aerospace Applications」 ver. 1. 1、 NASA HQ Code Q
 - 77) ECSS-Q-40-12A 「Fault Tree Analysis」、1997
 - 78) 塩見、島岡、石山、 「FMEA・FTA の活用」、日科技連
 - 79) DAVE S. STEINBERG、 「VIBRATION ANALYSIS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT」
 - 80) Bratti、 Davey L. and Sylvia G. Godey、 「Sneak Analysis Application Guideline」、 RADC TR-82-179、 Boeing Aerospace Company
 - 81) MIL-STD-785 「RELIABILITY PROGRAM FOR SYSTEMS AND EQUIPMENT DEVELOPMENT AND PRODUCTION (50. 2. 3. 2 Task 205)」
 - 82) ECSS-Q-40-04A 「Sneak analysis」 Part1: Methods and procedure 1997 Part2: Clue list 1997
 - 83) ECSS-Q-TM-40-04 Part 1A Sneak analysis: Principles and requirements
 - 84) JERG-2-610 「宇宙機ソフトウェア開発標準」
 - 85) JERG-3-003 「地上ソフトウェア開発標準」
 - 86) ECSS-Q-80A 「Software product assurance」 1996
 - 87) ECSS-Q-ST-80 「Software product assurance」
 - 88) ECSS-E-40A 「Software」 1999
 - 89) ECSS-E-ST-40 「Software general requirements」
 - 90) JMR-006 「コンフィギュレーション管理標準」

- 91) 日本信頼性学会、「信頼性ハンドブック」、日科技連
- 92) 朝香鉄一、石川馨編、「品質保証ガイドブック」、日本科学技術連盟
- 93) 市田 嵩・下平 勝幸、「信頼性工学シリーズ15 信頼性管理」、日科技連
- 94) ECSS-Q-ST-60 「Electrical, Electronic and Electromechanical (EEE) components」
- 95) JERG-0-039 「宇宙用はんだ付け工程標準」
- 96) JERG-0-040 「宇宙用電子機器接着工程標準」
- 97) JERG-0-042 「プリント配線板と組立品の設計標準」
- 98) JERG-0-043 「宇宙用表面実装はんだ付け工程標準」
- 99) AIAA-84-0548 「Low Earth Orbit Atomic Oxygen Effects on Surfaces」
- 100) 日本航空宇宙学会編、「航空宇宙工学便覧(第2版)」、丸善
- 101) 国立天文台編、「理科年表(2000年版)」、丸善
- 102) MIL-STD-810 「Environmental Test Methods and Engineering Guidelines」、July 1989
- 103) ECSS-E-ST-10-04 Space environment
- 104) NASA; TM X-64627 Space and Planetary Environment Criteria Guidelines for use in Space Vehicle Development
- 105) NASA SP-3024 「Model of Trapped Radiation Environment Vol.1-Vol.7」1966
- 106) 高木 昇、「信頼性管理ガイドブック」、日科技連
- 107) NASA PD-EC-1101 「Environmental Factors」 NASA Preferred Reliability Practice
- 108) IGOR BAZOVSKY、「信頼性の理論と応用」、日刊工業新聞社
- 109) S. S. Rao 「Reliability Based Design」 McGraw-Hill Inc.、1992
- 110) S. R. Calabro、「カルロ信頼性概論」、日科技連
- 111) 菅野 文友、「信頼性工学の基礎」、日刊工業新聞社
- 112) 上山 忠夫、「信頼性管理便覧」、日刊工業新聞社

4章 試験および信頼性評価

- 1) JERG-2-130 「宇宙機一般試験標準」(4.2、4.6、4.7、4.10、4.11、4.12)
- 2) JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック (4.2)
- 3) JAXA-RR-07-025 「高速回転ホイール開発を通しての知見」井澤克彦，市川 信一郎，2008年2月 (4.6)
- 4) 橋本、和知、本田、杉浦 「宇宙用スリップリング、”潤滑” 第31巻第6号 (1986) P. 375～380 (4.7)
- 5) 橋本、宮川、西村、関、西岡、丸茂、本田、大橋 「宇宙用ベアリングの開発、第28回宇宙科学技術連合後援会 P. 438～439 (4.7)
- 6) H. Takamatsu, K. Imagawa, Y. Ichimaru, 「DEVELOPMENT TESTS OF LOX/LH 2

TANK FOR H-1 LAUNCH VEHICLE」, IAF-84-07 XXXV CONGRESS, P. P. 1~5
(4. 10)

- 7) 宇宙発事業団「宇宙開発事業団技術成果発表会（第1回）」、昭和60年5月16日（4. 10、4. 11）
- 8) JMR-005「品質保証プログラム標準」（4. 13）
- 9) JMR-013「品質保証プログラム標準（基本要求 JISQ9100）」（4. 13）
- 10) PD-ED-1215.5「Pre-Ship Review」NASA PREFERRED RELIABILITY PRACTICES（4. 13）
- 11) 塩見弘・久保陽一・吉田弘之、「信頼性工学シリーズ10 信頼性試験－総論・部品」、日科技連
- 12) 市田 嵩・森川貞重・糀谷幸、「信頼性工学シリーズ11 信頼性試験－環境・装置」、日科技連
- 13) 市田 嵩・下平 勝幸、「信頼性工学シリーズ15 信頼性管理」、日科技連
- 14) JERG-2-008「人工衛星系設計過誤防止検査／試験基準」

5章 有人宇宙開発における信頼性

- 1) NASDA-SPC-1177「信頼性プログラム共通仕様書」（廃止済み）
- 2) JMR-004「信頼性プログラム標準」
- 3) NASDA-SPC-558「品質プログラム共通仕様書」（廃止済み）
- 4) JMR-005「品質保証プログラム標準」
- 5) 「JEM MSL」（<https://stage.tksc.jaxa.jp/msldb/index.html>）

付録2 主要な信頼性(ディペンダビリティ)用語と解説

- 1) JIS Z 8115:2019「ディペンダビリティ(総合信頼性)用語」、日本規格協会
- 2) IEC 60050-192:2015, International Electrotechnical Vocabulary - Part 192: Dependability 及び Amendment 1:2016
- 3) ISO 9000:2015、Quality management systems - Fundamentals and vocabulary
- 4) JIS Q 9000:2015、品質マネジメントシステム-基本及び用語
- 5) 真壁 肇(他)「信頼性工学入門」、日本規格協会、1985
- 6) MIL-STD-1388-1A(1983) NOTICE-4(1993)、Logistic Support Analysis
- 7) MIL-STD-1388-2B(1991) NOTICE-1(1991)、DOD REQUIREMENTS FOR A LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS RECORD
- 8) MIL-HDBK-502A(2013)、Product Support Analysis (PSA)