



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

平成 29 年 6 月 9 日 制定

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)

目 次

1. 総 則	1
1.1 目 的	2
1.2 適用範囲	3
1.2.1 鉛フリー部品	5
1.2.2 実装工法	7
2. 関連文書	8
2.1 適用文書	8
2.2 参考文書	9
3. 用語の定義	9
4. 一般要求事項	10
4.1 一 般	10
4.2 教育・訓練及び認定	10
4.3 設計条件	11
4.3.1 一 般	11
4.3.2 部品選定	11
4.4 工程の認定試験	13
4.5 製造条件	13
4.5.1 保管	13
4.6 品質保証	14
5. 宇宙機設計・製造・検査における詳細要求事項	15
5.1 設 計	16
5.1.1 部品選定	16
5.1.2 接続信頼性	19
5.1.3 実装設計	21
5.2 製 造	22
5.2.1 一 般	22
5.2.2 前処理	23
5.2.3 リワーク	24
5.3 検 査	24
5.3.1 部品受入検査	24
5.3.2 実装後の検査	25
6. 試験方法及び項目	26
6.1 全 般	26
6.2 ウィスカ成長性の評価	27
6.2.1 試験方法の策定	27
6.2.2 適用基準	30
6.2.3 進め方	33
6.3 初期実装評価	36
6.4 接続信頼性の評価	37
6.4.1 接続寿命評価の適用基準	37

付 録

付録-I	文献リスト.....	I-1
付録-II	テーラリングガイド.....	II-1
付録-III	めっき品の実装初期外観(凡例).....	III-1
付録-IV	鉛フリー部品に対する情報収集の確認項目	IV-1
付録-V	JAXA RoHS 問題検討コミュニティで取得した 「発生メカニズム」、「抑制手法」、「試験・検査方法」に関するデータ.....	V-1
付録-VI	ウイスカ試験方法例	VI-1
付録-VII	用語集	VII-1

図 表 リ ス ト

図 1-1	宇宙特有の環境条件	4
図 1-2	Mixed assembly (鉛フリー部品が混在する実装) のモデル	7
図 5-1	Mixed assembly における技術課題	15
図 5-2	めっき粒界のモデル	16
図 6-1	材料選定に関するディンジョンツリー (JEITA ET-7305)	31
図 6-2	ウイスカの観察方向	35
図 6-3	ウイスカ測長方法	36
表 1-1	鉛フリー部品の電極仕様例	6
表 1-2	実装材料の組み合わせ	7
表 5-1	部品端子仕上げとウイスカ発生リスク	17
表 6-1	試験方法の適用基準	30
表 6-2	サンプリング間隔	34

1. 総 則

【JERG-1-009 ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準の位置付け】

ロケットや人工衛星には、数多くの電子回路が搭載され、その実装に鉛含有はんだ付けが施されている。一方で、欧州 RoHS 指令に端を発した世界的な鉛フリーはんだ化への活発な動きは、高信頼性用途の製品群(宇宙機では特にロケット系)をも巻き込んで鉛フリー化へ移行しつつある。

部品メーカーでは、一般民生品をはじめとして殆どが鉛フリー化への移行が完了しており、部品の電極・端子は Sn 系(Sn-Bi 系を含む)や Au 系を中心とするめっき組成に置き換わっている。

このような背景から、宇宙航空研究開発機構(以下、JAXA)は、平成 20 年から宇宙機システムメーカーや部品メーカー、大学を含む外部の実装技術の専門家、並びに社団法人電子情報技術産業協会や社団法人日本航空宇宙工業会などと連携し、30 を超える企業・大学・団体で構成される JAXA「RoHS 問題検討コミュニティ」での検討を経て、平成 24 年度より「鉛フリー部品対応検討会」を設置して、JERG-1-009 ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準の着手を図った。

JERG-1-009 は、鉛フリー部品をロケット・アビオニクス機器に適用する場合の要求事項を規定し、鉛フリー部品に対して鉛含有はんだを用いてはんだ付けする「Mixed assembly」のリスクを低減し、品質確保することを目的としており、本解説書はこれを補完するための位置付けとなる。

なお、JERG-1-009 は鉛フリー部品の宇宙機への積極的な適用を推奨するものではない。鉛フリー部品は従来の鉛を含有するめっき部品と比べ、ウスカリスクへの対応が必要となることから、部品の置き換えやミッション要求により、鉛フリー部品の使用が止むを得ない場合にのみ適用されるべきである。

【本解説書の位置付け】

JERG-1-009-HB001 は、JERG-1-009 に対する解説書(ガイドライン)である。宇宙機システムメーカーが、鉛フリー部品を適用する際に、JERG-1-009 をより的確にあるいはより効率的に運用するための解説をまとめたものであり、要求事項を規定しているものではない。

1.1 目 的

本書は、鉛フリー部品をロケット・アビオニクス機器に適用する場合の要求事項を規定し、機器の品質確保を目的とする。

【解説】

- i. 本解説書は、JERG-1-009 を解説するものである。ロケット・アビオニクス機器の調達、設計、製造、試験、又は修理を行う宇宙機システムメーカーが、鉛フリー部品を適用する際に、ロケット・アビオニクス機器の性能、品質、信頼性及び安全性を保証するプロセスを補完する解説書である。
- ii. 本解説書は、JERG-1-009 を解説すると共に、各宇宙機システムメーカーで実施するテーラリングに対する一助となる文書として作成したものである。JERG (JAXA Engineering Requirement, Guideline)におけるテーラリングの定義を下記に示す。

<テーラリングとは>

JMR-013 品質保証プログラム標準等で以下の様に定義されている。

「適用対象の諸条件を考慮して要求事項を取捨選択又は書き直して、適用対象に適合した要求書に変更する行為。」

本解説書には、JERG-1-009 の要求事項をテーラリングする場合の、鉛フリー部品におけるウィスカリスクへの対応を考慮したガイドラインについても含める。

1.2 適用範囲

本書は、低電圧*1 で動作するロケット・アビオニクス機器に対して鉛フリー部品を鉛含有はんだではんだ付けする場合 (Mixed assembly*2) に適用する。

*1 JERG-0-042 の 5.1 項 (高電圧での注意事項) の(1)に該当する電圧 (0～50V)

*2 本書では、鉛フリー部品を鉛含有はんだにより実装することを「Mixed assembly」と称する。

【解説】

- i. 本解説書は、ロケット等の短期ミッションの宇宙機において、鉛フリー部品を宇宙特有環境 (次頁に参考情報を示す) で使用することを前提に、ロケット・アビオニクス機器に適用する。
- ii. 鉛フリー部品を使用するに当たり、鉛含有はんだを用いてはんだ付けする「Mixed assembly」の品質・信頼性リスクを低減するために実施する施策に関して情報を提供する。
- iii. 動作電圧は、JERG-0-042「プリント配線板と組立品の設計基準 (5.1 項)」を参考に、0～50V とされているが、50V を超えて使用する場合であっても、鉛フリー部品を扱い、鉛フリー化によるウィスカや接続信頼性に懸念が生じる場合は、JERG-1-009 を理解し、それを踏まえて、必要な試験を行うこと。
- iv. 本解説書適用外の鉛フリー部品や、民生用途の機器 (コンポーネント) 内に搭載される鉛フリー部品の適用に関して、JERG-1-009 では想定しておらずプロジェクト毎の判断となる。

—参考—

宇宙特有環境

- i. 図 1-1 に、宇宙特有の環境をロケット打ち上げから人工衛星運用までをモデル化した図を示す。宇宙環境において地上機器と異なる環境条件は、「打ち上げ時の振動や衝撃」・「宇宙空間での温度サイクル」・「真空」が挙げられる。また、ロケットや人工衛星は、宇宙機組立までの部品保管や、製造から打ち上げまでの半製品及び製品状態での「長期保管」があり、地上機器とは異なる保管環境にある。人工衛星においては、更に宇宙空間特有の「真空」状態の持続や、周回衛星では、地球を約 90 分で一周する程の急激な変化条件での温度サイクル環境下に長期間曝されることになる。また、ロケットの液体酸素(酸素の沸点は -183°C)や液体水素(水素の沸点は -260°C)の貯蔵タンクを想定すると、タンクに取り付ける温度センサは「極低温」状態に曝されることになる。(宇宙環境の詳細については JERG-2-141 参照のこと。)

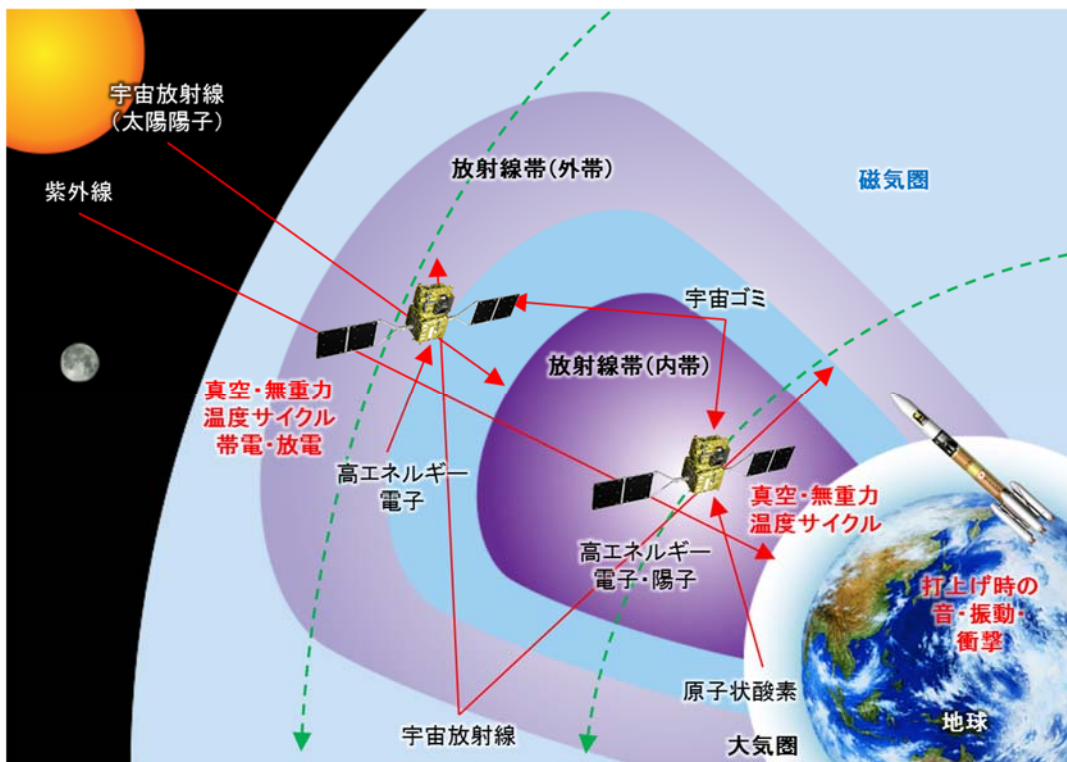


図 1-1 宇宙特有の環境条件

- ii. 想定される宇宙環境に耐えることを確認するために、ロケット、人工衛星の搭載機器に対しては、JERG-2-130 宇宙機一般試験標準に基づいた環境条件で試験を実施する。
- iii. 打ち上げ直前まで温湿度管理された雰囲気中に据え置きされるロケット・アビオニクス系は、ウイスカの急激な成長の可能性は低く、打ち上げ直前までに電氣的機能損失がないことの確認や、地上機器と同等の視点でウイスカ成長による影響評価を行うことによって、ウイスカに対するリスク回避が可能となる。これに対して人工衛星は、地上機器と異なる宇宙空間特有の真空状態や急激な条件での温度サイクル環境下に長期間曝されることになる。宇宙環境におけるウイスカ成長予測が困難な状況において、ウイスカが成長する可能性のある鉛フリー部品を人工衛星に適用することはリスクが大きいと考えられる。

1.2.1 鉛フリー部品

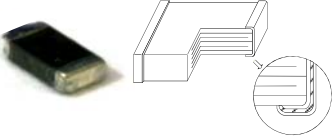
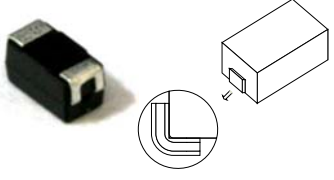
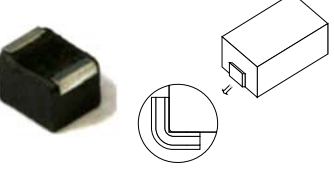
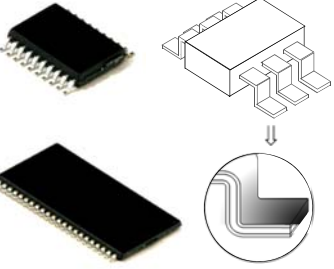
鉛フリー部品のめっきは、Sn 系と Au 系に大別される。Sn 系端子は、純 Sn、Sn-Cu、Sn-Bi 又は Sn-Ag のめっき組成があり、その下地層に Ni などのバリアメタルが施されている場合がある。Au 系端子は、Ni/Pd/Au などのめっき組成を有している。

本書において適用対象とする鉛フリー部品の電極仕様例を表 1-1 に示す。鉛を含まない Sn 系コネクタは本書における適用対象外とする。またプリント配線板については、Ni/Pd/Au のめっき構成のみ適用とし、Au/Ni は適用外とする。

【解説】

- i. 鉛フリー部品をロケット・アビオニクス機器に適用する場合、「ウイスカの成長」と「接続信頼性の低下」が課題となる。この課題には、鉛フリー部品の電極に施されるめっきの組成が影響する。
- ii. Sn 系鉛フリー部品において、コネクタの適用は禁止する。Sn めっきが施されたコネクタは、機械的な外部応力によるウイスカの発生が問題となり、本解説書に示すウイスカ成長性の（内部応力によるウイスカ）評価の対象外である。
- iii. Au/Ni めっきが施されたプリント基板は本解説書の適用外とする。これは、Ni 上に置換 Au めっき（5.1.1 項(1)の ENIG）を行う際のめっきメカニズムに起因して、はんだ付け後に「ブラックパッド現象」と呼ばれる Ni めっきとはんだ間の剥離が発生することが知られている。この現象が完全に抑えられるめっき工法が確定していない以上、宇宙機電子機器の実装に採用できないためである。
- iv. Ni/Pd/Au めっきとは、無電解 Au めっき（5.1.1 項(1)の ENEPIGEG）を言う。
- v. JAXA 等でウイスカ成長性試験の実績のある鉛フリー部品の電極仕様例を表 1-1 に示す。

表 1-1 鉛フリー部品の電極仕様例

種類	部品形状・電極構成	めっき材質	JAXA 等でウィスカ成長性試験の実績のある電極構成材料例
抵抗・コンデンサ		純 Sn	・MR 製 LQM31P シリーズ (3216) : Sn5 μ m (仕上げめっき)/Ni1 μ m (下地めっき)/(焼付電極)
タンタル電解コンデンサ		純 Sn	・MT 製 267P シリーズ (3216～7343) : Sn5 μ m/母材 Fe-Ni 合金 (Fe-30Ni) ・NK 製 F93、F97 シリーズ (3216～7343) : Sn5 μ m/Ni (下地めっき)/母材 42Alloy
インダクタ		純 Sn	・TD 製 SL12555T-□M□FP (5650) : Sn5 μ m/Ni0.5 μ m (下地めっき)/母材 Cu
		Sn-Cu	・TD 製 NLFC322522T-□-PF (3225) : Sn-0.7Cu (溶融めっき) 5 μ m 以上/母材 Cu 合金 ・TK 製 SSB15-101 : Sn-2Cu (電解めっき) 3～5 μ m /Ni 0.5～1.0 μ m (下地めっき)/母材 黄銅 (真鍮)
リード部品 (SOP)		Sn-Cu	・ME 製 M63820KP : Sn-1.5Cu (電解めっき) 5 μ m 以上/母材 42Alloy
		Au/Pd/Ni	・CP 製 CY7C1041CY33 : Au 3nm～12.7nm/Pd 20.3nm～30.5nm (下地めっき)/Ni 0.5～2.03 μ m (下地めっき)/母材 Cu 系合金 ・TS 製 TC74HC□AF : Au 3nm/Pd 22nm (下地めっき)/Ni 0.5 μ m (下地めっき)/母材 Cu 系合金
		Sn-Bi	・FJ 製 : Sn-2Bi 10 μ m/母材 42Alloy

1.2.2 実装工法

本書は、鉛フリー部品を鉛含有はんだで実装する **Mixed assembly** を対象とし、実装の工法は、手はんだ付け・フローはんだ付け・リフローはんだ付けを対象とする。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した実装では、表 1-2 に示すような部品の電極・端子、はんだ、プリント配線板を構成する材料の組み合わせが挙げられる。これに対して、JERG-1-009 の実装工法は、部品の電極・端子を「Pb 系、Sn 系又は Au 系」とし、はんだは「鉛含有はんだ」、プリント配線板(表面処理)は「Sn-Pb はんだコート又は Au 系めっき」の組合せとする(はんだ材の鉛フリーは認めない)。この組合せの実装を **Mixed Assembly** と呼称し、表 1-2 に太線枠で示す範囲とした。一部混在型、完全型の鉛フリー実装とは異なる。

表 1-2 実装材料の組み合わせ

	Sn-Pb 実装 (JERG-0-039/043 の対象)	Mixed assembly (JERG-1-009 の対象)	鉛フリー実装 (JERG-1-009 では適用不可)	
			一部混在型	完全型
部品の電極・端子	鉛入り	・鉛入り ・鉛フリー (Sn 系/Au 系)	・鉛入り ・鉛フリー (Sn 系/Au 系)	鉛フリー (Sn 系/Au 系)
はんだ	Sn-Pb 共晶	Sn-Pb 共晶	鉛フリーはんだ (Sn-Ag-Cu 系等)	
プリント配線板(表面処理)	・Sn-Pb はんだコート	・Sn-Pb はんだコート ・Au 系めっき	・Sn-Pb はんだコート ・Au 系めっき ・プリフラックス	・Au 系めっき ・プリフラックス

- ii. 実装工法として、手はんだ付け・フローはんだ付け・リフローはんだ付けがあるが、JERG-1-009 では特に限定しない。本解説書においては、各工法の違いよりも、図 1-2 に示すようなはんだ接合状態のリスクの有無に着目している。
- リスク 1: 接合性の観点からみると、鉛フリー部品の電極・端子の界面近傍の状態は、均一に Pb が分散しているかどうか不明である。この接合部に異常な合金層の成長があると、接合不良になる可能性がある。
 - リスク 2: Pb を含むはんだが鉛フリー部品の電極・端子の全てにオーバーコートされることは少なく、特に Sn 系の鉛フリー表面処理部品の場合は、Sn が露出してしまうことから Sn ウィスカ発生が懸念される。

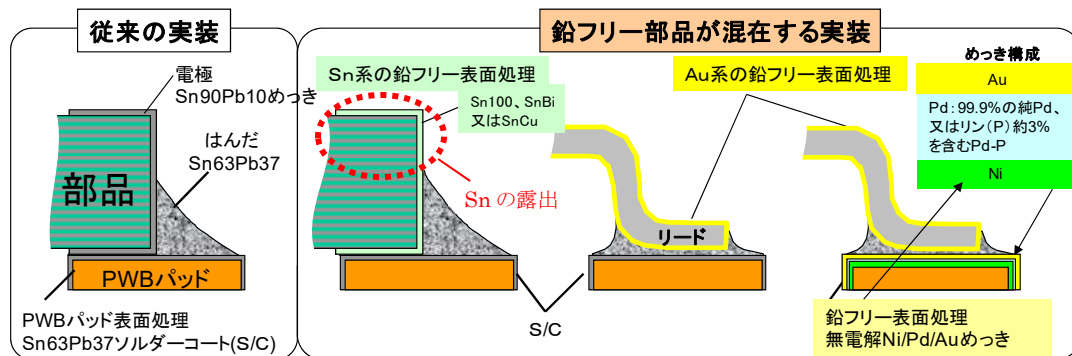


図 1-2 Mixed assembly (鉛フリー部品が混在する実装) のモデル

2. 関連文書

2.1 適用文書

(1) 宇宙航空研究開発機構文書

- ・JERG-0-039 宇宙用はんだ付工程標準
- ・JERG-0-040 宇宙用電子機器接着工程標準 一部品接着固定、コンフォーマルコーティング及びポッティング
- ・JERG-0-042 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

(2) 公共規格等

JIS 規格

- ・JIS C 60068-1 環境試験方法－電気・電子－通則
- ・JIS C 60068-2-82 環境試験方法－電気・電子－第 2-82 部：試験－試験 XW1：電気・電子部品のウィスカ試験方法
- ・JIS Z 3282 はんだ－化学成分及び形状

JEITA 規格

- ・JEITA ET-7305 錫ウィスカ抑制鉛フリー材料選定のガイドライン
- ・JEITA ET-7410 電気・電子機器用部品のウィスカ試験方法

GEIA 規格

- ・GEIA-HB-0005-3 Rework and Repair Handbook for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Heritage SnPb and Lead-free Solder and Finishes

JEDEC 規格

- ・JESD 22-A121A Test Method for Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes
- ・JESD 201A Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility of Tin and Tin Alloy Surface Finishes

IPC 規格

- ・J-STD-006 Requirements for Electronic Grade Solder Alloys and Fluxed and Non-Fluxed Solid Solders for Electronic Soldering Applications

【解説】

- i. 本解説書の適用文書を付録－I に示す。付録－I の構成は以下の通り。

付録

(表 I-1) JERG-1-009 2.1 項(1)宇宙航空研究開発機構文書、(2)公共規格等を対象とする。

(表 I-2) 本解説書や JERG-1-009-TM001 で適用した文書を対象とする。

2.2 参考文献

下記の文書は、本書の記載内容を補足するために参考となるものである。

JIS 規格

- ・JIS C 60068-2-69 環境試験方法－電気・電子－第 2-69 部：試験－試験 Te：表面実装部品 (SMD)のはんだ付け性試験方法(平衡法)

GEIA 規格

- ・GEIA-HB-0005-1 Program Management/ Systems Engineering Guidelines for Managing the Transition to Lead-free Electronics
- ・GEIA-STD-0005-1 Performance Standard for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Lead-free Solder

IEC 規格

- ・IEC 60068-2-82 Environmental testing - Part 2-82 : Tests - Test Tx: Whisker test methods for electronic and electric components

JAXA 資料

- ・JERG-1-009-TM001 ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準(JERG-1-009)技術データ集

【解説】

- i. 本解説書の参考文献を付録－I に示す。
付録 表 I -3 は JERG-1-009 掲載分の文書を、付録 表 I -4 は JERG-1-009 には掲載していないが、本解説書や JERG-1-009-TM001 等で参考とした文書を、付録 表 I -5 は、その他、関連する技術論文、書籍等をまとめたものである。

付録

(表 I -3) JERG-1-009 2.2 項を対象とする。

(表 I -4) 本解説書や JERG-1-009-TM001 で適用した文書を対象とする。

3. 用語の定義

本書で使用する用語の定義については、JERG-0-039 の 3 項(用語の定義)、JERG-0-043 の 3 項(用語の定義)によるほか、付録 I を参照のこと。

【解説】

- i. 本解説書の付録－VIIに用語集を示す。

4. 一般要求事項

4.1 一般

- (1) 契約の相手方は、はんだ付けが本書の要求事項(設計及び製造条件)に適合することを確認すること。また、本書の要求事項に基づく設計基準、工程仕様書などを整備し、これに基づいた施工及び管理を行なうこと。
- (2) 鉛フリー部品を用いる設計者は、本書要求事項等に精通していること。
- (3) 電子機器の実装設計(基板のパターン設計を含む。)を担当する設計者は、本書及び JERG-0-039、JERG-0-043 の要求事項等に精通していること。
- (4) 部品の仕様書等で本書の適用が指示されない限り、部品の内部接続には、本書を適用しない。契約の相手方は、予備はんだや外部接続によって内部はんだ接続が溶融又は劣化しないことを保証すること。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、はんだ付けの設計・製造条件は JERG-0-039 及び JERG-0-043 の要求と同じである。
- ii. 鉛フリー部品を適用したはんだ付けは、JERG-0-039、JERG-0-043 の要求を基にして、それらに加えて Sn 系の鉛フリー部品で懸念されるウイスカを考慮しなければならない。このため、これらの要求に精通していること。
- iii. 部品の内部接続とは、例えばハイブリッド IC 等の内部回路のなかで、はんだ付等による子部品の接続箇所を言う。部品の内部接続に鉛フリー部品を使用する場合は、使用する製品の JAXA 原局と協議すること。

4.2 教育・訓練及び認定

JERG-0-043 の 4.2 項(教育・訓練及び認定)に従うこと。加えて、特にウイスカの検査を実施する場合は、6.2.3 項(3)～(6)に示すウイスカの検査方法及び測長方法について教育・訓練を実施すること。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、基本的には JERG-0-039 及び JERG-0-043 の要求と同じである。
- ii. それらに加え JERG-1-009 4.2 教育・訓練及び認定では、Sn 系めっきの鉛フリー部品で懸念されるウイスカ検査及び測長方法についての教育・訓練の実施を要求する。
- iii. 接続信頼性を検査する場合には、JERG-0-043 に基づいて、はんだ接合部が対象となることから、光学顕微鏡等による観察を行うこと。
- iv. ウイスカ検査では、数 10～100 μ m サイズのウイスカの測長を対象としており、光学顕微鏡だけでは観察が難しいため、金属顕微鏡や SEM による観察も検討すること。(詳細は 6.2.3 項参照)

4.3 設計条件

4.3.1 一般

基板とその組立品についての設計要求は、JERG-0-042 によること。さらに、はんだ付けに関する追加設計要求事項は、JERG-0-039 の 4.3 項(設計条件)、JERG-0-043 の 4.3 項(設計条件)によること。また、はんだ及びフラックスは、JERG-0-043 5.3.1 項(はんだ及びフラックス)に適合するものを使用すること。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、JERG-0-039 及び JERG-0-043 の要求と同じである。
- ii. JERG-1-009 では最外層のめっきが Ni である部品の使用は想定していない。

4.3.2 部品選定

本書で規定する鉛フリー部品は、図 4-1 に示す選定フローに従って、適用可能であることを確認すること。特に以下の項目について留意すること。

- (1) 鉛フリー電極・端子のめっき種類に応じて、「鉛フリー部品の選定」・「ウィスカ評価試験」・「初期実装評価」・「接続信頼性評価試験」について、適切な評価を実施しなければならない。
- (2) 適用環境条件が異なる場合は、その都度評価を実施しなければならない。
- (3) 評価項目を次に示す。詳細な要求事項は 5.1 項以降に記述する。
- (4) 適用可能と判断した鉛フリー部品は、部品リスト、製造図面等へ「鉛フリー部品である」旨を記述し、情報の伝達を図ること。

<評価項目(図 4-1 に記載)>(分岐についての説明は表 4-2 に示す)

- ① 部品メーカーからの情報入手
- ② 電極・端子めっきの種類
- ③ ロット単位での評価可否
- ④ Pb 3mass%以上を添加する表面処理
- ⑤ ウィスカに対するリスク評価
- ⑥ コンフォーマルコーティングの実施
- ⑦ はんだぬれ性評価
- ⑧ 予備はんだ可否
- ⑨ 電極・端子の Bi 含有量
- ⑩ Pd/Au 含有量
- ⑪ Pd/Au の除去
- ⑫ プリント配線板表面処理材料
- ⑬ はんだ付け部の Pd/Au めっき厚
- ⑭ クラック(リフトオフ)の有無確認
- ⑮ 層構成の従来の実績品との比較
- ⑯ 検査

なお、図 4-1 の部品選定フローの選択により、JERG-0-039 等の従来の JERG を適用する組合せが存在する。表 4-1 に JERG の適用範囲を示す。ディゴールド等により、はんだ付け部が鉛含有のはんだでのみ構成される場合は、従来の JERG を適用すること。

【解説】

- i. 宇宙機システムメーカにおける鉛フリー部品の適用実績を考慮して、鉛フリー部品の選定フロー（JERG-1-009 図 4-1 参照）を効果的・効率的に実施することが可能となるように評価項目の選択を行うこと。
選択の前提として、システム全体としてのウイスカリスクへの対応を整理することが重要である。
- ii. 製造条件やプリント配線板の設計条件が変わると、ウイスカの成長にも影響が及ぶため、適切な評価を実施する必要がある。
- iii. 鉛フリー部品の選定フローに示される鉛フリー部品の状態毎（部品単体、プリント配線板実装、コンフォーマルコーティング）の評価項目の考え方を、付録Ⅱ（ウイスカ成長性試験の解説とテラリングガイド表）にて解説する。
- iv. 鉛フリー部品の選定フロー③「ロット単位」とは、対象とする鉛フリー部品の購入ロットが同じであることと定義する。なお、購入ロットにおいて鉛フリーめっきのロットが同一かどうかの判別ができない場合、鉛フリー部品を複数個のサンプリングにより試験する必要がある。
- v. 繰り返し同じ鉛フリー部品を購入する場合等で、過去のウイスカ成長性試験のデータを源泉とする場合、部品メーカのめっき工程に変更がなく（同一ロット）、実際に搭載される鉛フリー部品のめっきと同一であることを確認すること。
- vi. 鉛フリー部品の選定フロー④「Pb 3mass%以上を添加する表面処理」の手法として、ホットソルダーディップ(HSD)がある。JERG-1-009-TM001 の技術データ6において、鉛フリー部品の HSD の実施例と評価データ、適用する際の注意事項を示している。
- vii. ウイスカ成長性試験においては、鉛フリー部品で発生したウイスカの成長が飽和した又は鈍化した時の最大長さに対して、ウイスカを許容することができるかどうかの判断を配線設計（クリアランス）や部品クライテリアなど設計の側面からリスク評価する。また、コンフォーマルコーティングによるウイスカ抑制試験においては、鉛フリー部品で発生したウイスカがコンフォーマルコーティングを貫通しないかどうかを確認する。
- viii. アップスクリーニングや長期保管によって電極・端子が酸化するとはんだぬれ性が悪化し、接続信頼性低下が懸念される。このため、酸化によるはんだ付け性の影響を確認する必要がある。特に Sn 系は酸化の進行が Au 系に比べて早いため、注意が必要である。
- ix. ディゴールドとは、金めっき除去である。金めっき厚、部品熱容量等によっては一般的な溶融はんだへのディッピングだけで十分に金めっきが除去できない恐れがあることから、事前に評価することを推奨する。なお、部品の金めっき厚を指定する場合は、必要（防錆等のために）以上に厚くし過ぎないように注意すること。

4.4 工程の認定試験

JERG-0-039 の 4.4 項(工程の認定試験)、JERG-0-043 の 4.4 項(工程の認定試験)に従い、工程を認定すること。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、はんだ付け工程が Sn-Pb 実装と同じプロセスであることを保証しなければならない。

4.5 製造条件

JERG-0-039 の 4.5 項(製造条件)及び JERG-0-043 の 4.5 項(製造条件)に従うこと。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、JERG-0-039 及び JERG-0-043 の要求と同じである。

4.5.1 保管

鉛フリー部品の保管を行う場合は、JERG-0-052 の 5.3.7 項 取扱い及び保管、及び 5.3.8 項 再検査に従うこと。

【解説】

- i. 鉛フリー部品は宇宙用ではなく、宇宙へ転用可能な民生部品を対象としていることから、部品の取り扱いに関して、JERG-0-052 を引用する。
- ii. JERG-0-052 5.3.7 項では、部品の保管条件について以下の通り規定している。

 ユーザ(システム／機器)メーカは、部品の取り扱い及び保管手順については最低限以下の事項を含め、その手順に従い取扱い、保管する。
 (1) 部品の取り扱い及び保管を行う施設、設備の環境。
 (2) 部品の保管を行う場合の梱包方法。
 (3) 静電気放電に感受性がある部品の識別と取り扱い。
 (4) PEM (PED)については次のいずれかの条件にて保管する。
 (a)窒素
 (b)乾燥したイオン化空気(相対湿度:15%~20%)
 (c)ドライパック

 また、5.3.8 項では、5 年を超えて保管された部品は再検査により問題がなければ使用可能、10 年を超えて保管した部品は使用不可と規定している。
- iii. 特に Sn 系めっきの場合は、長期室温保管によるウイスカの発生成長や、酸化によるはんだぬれ性の低下が問題となる。これらのリスクを極力低くするために「窒素パージしたデシケータでの保管」や「脱酸素剤を使用した保管」を推奨する。なお、脱酸素剤には水分を発生するものがあるため注意すること。
- iv. ウイスカは、温度に起因(酸化・腐食や温度サイクル)して成長するものがあり、温度に対しても適切に管理することを推奨する。
- v. それぞれの部品メーカが推奨する環境条件がある場合、それに従うものとする。

- vi. 組立後の機器については、プロジェクト毎の要求に従って適切に保管すること。
保管条件は、組立後の機器で適用される鉛フリー部品のウイスカ成長性試験結果を考慮した上で設定することを推奨する。また、保管によるウイスカ成長の影響については、フライトモデル以外のモデル（鉛フリー部品はフライト品と同一ロット）によるウイスカ成長性試験での確認を提案しても良い。

4.6 品質保証

JERG-0-043 の 4.6 項(品質保証)に従うこと。

【解説】

- i. 鉛フリー部品を適用した場合であっても、接合に使用するはんだ自体は従来の共晶はんだを使用することから、Sn-Pb 実装と同じ品質保証を行わなければならない。

5. 宇宙機設計・製造・検査における詳細要求事項

Mixed assembly を適用するために、「表面電極・端子の酸化」・「接続信頼性」・「ウイスカ」に関して、宇宙機設計・製造・検査の各段階で、以下の要求を満足すること。

【解説】

- i. Mixed assembly における技術課題を図 5-1 に示す。
- ii. 「部品の電極・端子酸化」:
電極・端子の表面の酸化は、はんだぬれ上がりの低下をもたらし、接合に不具合を与えることになる。特に Pb に比べ、Sn の酸化の進行性は早く、はんだぬれ性が悪化する。また、純 Sn の電極・端子の酸化はウイスカ発生の原因となり、ウイスカが発生することも懸念される。Au, Pd, Bi を鉛含有はんだに添加することで、接続信頼性が低下するリスクがある。Pd は、はんだ付け接合部の界面に析出すると、リフトオフが発生する場合がある。
- iii. 「接続信頼性」:
接続信頼性を確認する為に部品メーカーからの提供による情報や各種業界の技術データを調査し検討する他に、ロケット・アビオニクス系のフライト品と同一ロット品(購入ロットが同じ部品)を用いて電極・端子仕上げや予備はんだの実施に着目して評価することは、リスク低減を確実にするためにも極めて重要である。Bi は、鉛含有はんだに含まれると融点が下がり、また脆くなる場合がある。
- iv. 「ウイスカ」:
ウイスカは成長すると導体間短絡、或いは折れたウイスカ浮遊片の導体間接触短絡等が懸念される一方、他の導体との間の電位差による放電の発生、また放電により溶融したウイスカがコンタミとして悪影響を及ぼすことも懸念される。

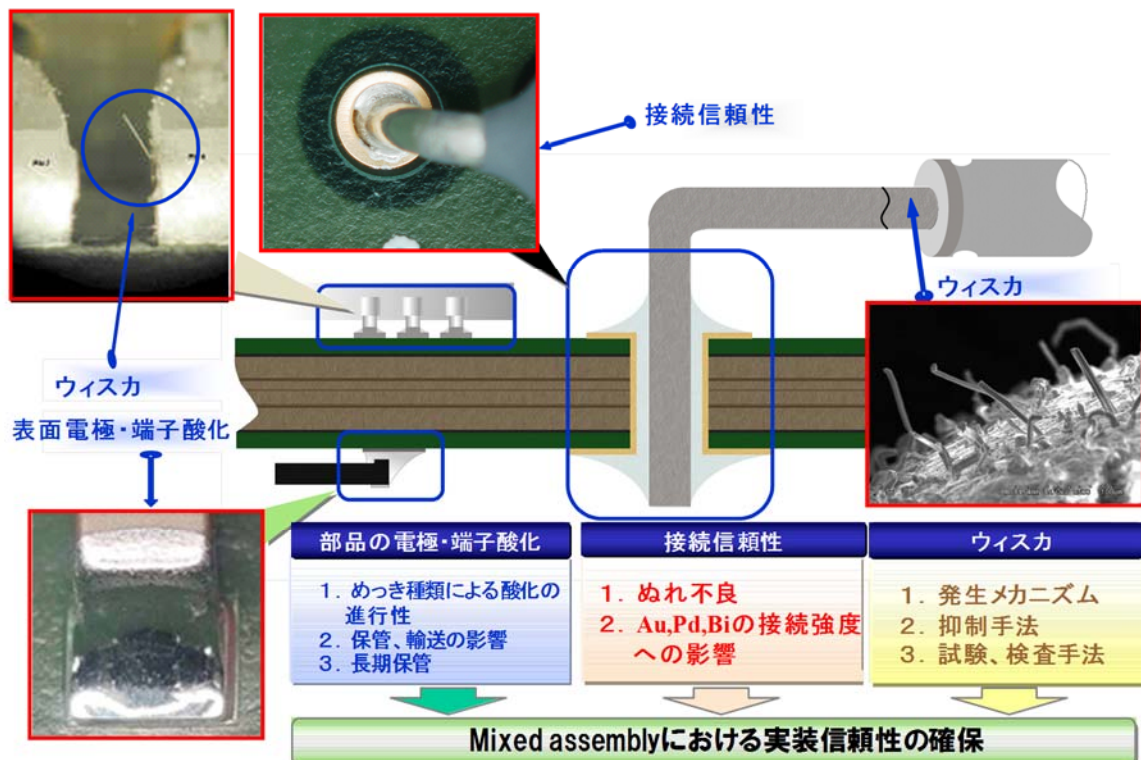


図 5-1 Mixed assembly における技術課題

5.1 設 計

5.1.1 部品選定

(1) 端子材料構成の調査

鉛フリー部品の部品選定段階で、鉛フリー部品の母材、下地層、めっき組成を調査すること。

代表的な鉛フリー部品として、銅母材に各種めっきを施した際の常温におけるウスカ発生傾向を表 5-1 に示す。表 5-1 は、一般的な下地拡散によるウスカ発生傾向を示すものであり、鉛フリー部品の部品選定段階でウスカ発生傾向を考慮して選定すること。

(2) ウスカ成長性試験

鉛フリー部品の部品選定段階でウスカ成長性を、表 5-2 に規定する試験方法の適用基準に従って評価すること。この試験は電気・電子部品のすず又はすず合金めっき端子のウスカ試験方法について適用する。ウスカ成長性の評価試験方法の詳細については 6.2 項に示す。

以下の全ての条件が当てはまる場合にのみ、室温試験を非適用にすることができる。

- ・母材 : Fe 及び Ni だけからなる合金
- ・下地層 : 下地層なし 又は Fe 及び Ni だけからなる合金
- ・最外層 : Cu・Zn のいずれも含まないすず又はすず合金めっき

【解説】

- i. 鉛フリー部品選定フロー (JERG-1-009 図 4-1) の最初の段階において、鉛フリー部品を選定する際に部品メーカーから可能な限り情報収集を行い、ウスカ評価試験や接続信頼性評価試験への事前情報として参考にする。また部品情報だけでなく、実装工程における設計情報や過去の評価データも併せて調査しておく、より効率的な試験を実施することができる。
- 5.1.1(1)
- (a) Pb の添加量の確認
 - ii. 本解説書においては、「Pb 含有量が 3mass% (望ましくは 5mass%) 以上を有しているかどうか」について留意することとし、Pb 含有量が 3mass% 未満のものを鉛フリー部品と定義している。
 - iii. Sn への Pb 添加によるウスカへの影響について、「鉛フリー部品の純 Sn めっきの結晶構造 (柱状晶) と Pb 添加めっきの結晶構造 (等軸晶)」により説明する。
純 Sn めっきの場合、Sn の結晶は基材に対し垂直方向に柱状に形成される。この為、内部応力が加わると、単一結晶の Sn が粒界に沿って押し出されるようにしてウスカが成長する (図 5-2 左)。一方、Pb を添加すると結晶は等軸となる。この場合、内部応力が加わっても力は分散し、比較的柔らかい Pb で吸収される (図 5-2 右)。よって、Pb の添加はウスカ抑制に効果的である。(元々、Pb 添加は 1960 年代にウスカ抑制として採用されたものである。)

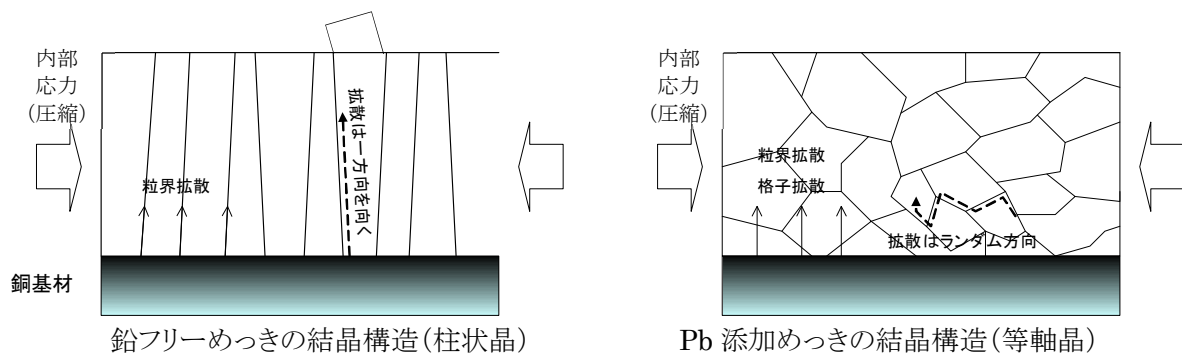


図 5-2 めっき粒界のモデル

(b) めっきとウスカ発生の傾向

- iv. 鉛フリー部品の電極・端子の母材とめっきの組み合わせは、ウスカの発生・成長に大きく影響する。このため、どのような合金によって構成されている鉛フリー部品であるかを、設計者が部品選定段階で確実に把握しておく必要がある。代表的な鉛フリー部品として、銅母材に各種めっきを施した際の常温におけるウスカ発生傾向を、表 5-1 に示す。

表 5-1 部品端子仕上げとウイスカ発生リスク (1)

No.	めっき仕様	ウイスカ発生傾向
1	Sn-(3～5wt%)Pb	低い
2	Sn-37Pb 又は Sn-40Pb	低い
3	Sn(リフローしたもの)	中
4	Sn(光沢電気めっき)	高い
5	Sn(無光沢電気めっき)	やや高い
6	Sn(無光沢電気めっき、下地 Ni めっき)	低い
7	Sn-(2～4wt%)Bi(光沢電気めっき)	中
8	Sn-Cu(電気めっき)	高い
9	Sn-Cu(溶融)	高い
10	Au/Pd/Ni(電気めっき)	なし

注(1) 出典:GEIA-HB-0005-3、表 B2

(c) 環境とウイスカの成長性

- v. 鉛フリー部品が曝される環境要因は、ウイスカの成長性に大きな影響を与える。適用を検討している宇宙機の環境条件と鉛フリー部品のめっき仕様を考慮し、部品選定段階でウイスカ成長のリスクを確認・把握しておく必要がある。

(d) 基板表面めっき

- vi. 一般に鉛フリー化に対応するプリント配線板の表面処理は、以下の 3 種類が主流である。
- a. Cu めっきのプリフラックス処理
他の表面めっきに比較して、そのはんだ付け性の劣化が早く、宇宙用電子機器のはんだ付け作業には不適である。
 - b. ENIG (Ni めっき下地置換 Au めっき)
製品寿命が比較的短い民生品では広く使用されているが、Ni 上に置換 Au めっきを行う際のめっきメカニズムに起因して、はんだ付け後に「ブラックパッド現象」と呼ばれる Ni めっきとはんだ間の剥離が発生する恐れがあるため、宇宙機電子機器の実装に採用できない。
 - c. ENEPIGEG (Ni めっき及び Pd めっき下地無電解 Au めっき)
Ni と Au めっきの間に Pd めっきを行うことで、ブラックパッド現象の発生を抑制するめっき方式で、民生用 BGA (Ball Grid Array) パッケージ用配線板などに使用されている。
ENEPIGEG プリント配線板の採用で注意しなければならない点は、Au めっきが鉛含有はんだに溶融し形成される合金の脆化、さらに Pd が混入することによる合金の脆化の進行である。
Au 及び Pd の混入量が多くなるほど、鉛含有はんだと Au、Pd 合金の伸び率は低下する傾向にある。

(e) 宇宙用プリント配線板の表面めっき

vii. 宇宙開発用信頼性保証プリント配線板、付則 A,B,D,E,F,G,H

プリント配線板仕様書 JAXA-QTS-2140 に基づく認定部品。数社の認定メーカーが、Sn-Pb 共晶はんだによるはんだコート仕上げの表面めっき仕様を供給可能な体制にある。また、これらのメーカーでは JAXA が完全鉛フリー化を採用しない限りは、Sn-Pb 共晶はんだコート仕上げのプリント配線板を供給する方針である。したがって、Sn-Pb はんだコートプリント配線板の枯渇のリスクは低い。

viii. 宇宙開発用信頼性保証プリント配線板、付則 C

プリント配線板仕様書 JAXA-QTS-2140 認定部品のうち、付則 C: ディスクリートワイヤ配線板の表面めっきは鉛フリー対応の Ni・Pd 下地 Au めっき ENEPIGEG である。

Au 及び Pd は、実装により Sn-Pb 共晶はんだに溶解して形成されるはんだ合金の脆化の原因となる。これを避けるために、ディスクリート配線板を使用する場合は、パターン設計段階から、その個別仕様書及び適用データシートに記載された注意事項を考慮する必要がある。

ix. その他

上記、2 種類の JAXA 認定品以外のプリント配線板の表面めっきを適用する場合※は、プロジェクト毎に、JERG-1-009 に基づきプリント配線板としての適切な評価を行い使用すること。

※; ディスクリートワイヤ配線板以外に、鉛フリー対応の Ni・Pd 下地 Au めっき ENEPIGEG を適用する場合等

5.1.1(2)

- x. ウィスカ成長性試験については、異なる部品メーカー間や実装プロセス間でのウィスカ成長性の比較や、同一めっきラインでの継続的な品質モニタリングを行うためにも、試験方法の標準化が必要となる。
- xi. 現在、標準化されているウィスカ成長性試験方法は、公的な 4 機関から、発生メカニズム上重要度の高い室温放置試験、高温高湿試験、温度サイクル試験に限定し提示されている(付録 表 IV-2 参照)。これらの試験においては、加速性を見るための条件が提示されているが、ウィスカの加速係数を求めることは困難であり、これらの試験条件により、ウィスカ成長が飽和していることが重要である。
- xii. ウィスカが成長する長さによっては端子間ショートを誘発するだけでなく、アークプラズマ発生による部品の破壊的な故障やコンタミとして浮遊して生じるショート、及び光学系への影響などが不具合事例として報告されている。このために、Sn 系の鉛フリー部品を採用するにあたっては、ウィスカに対する低減・抑制対策を施す必要がある。
- xiii. 室温試験の目的は、めっきの Sn 層と母材である Cu が室温で拡散することで生ずる金属間化合物が起因となって成長するウィスカを確認することにある。
よって、鉛フリー部品のめっきを構成する金属の組合せが、室温で拡散しない構成である場合は、室温試験を非適用とすることができる。
- xiv. ウィスカの本質的な発生・成長メカニズムや試験の加速性について未だに完全には解明されておらず、航空宇宙における長期にわたって高信頼性が要求される分野では、そのリスクを評価し十分に理解する必要性がある。

5.1.2 接続信頼性

部品電極のめっき構成*1 が新規の鉛フリー部品を採用する場合は次の事項について検討し、6.4 項に従い接続信頼性評価試験を実施すること。すでに接続信頼性を有すると証明できる場合は、接続信頼性評価試験を省略することができる。

*1: 部品メーカ、母材、電極構成材料とその含有量、層構成、電解/無電解めっき

(1) 鉛フリー部品の電極・端子仕上げ種類別要求事項

部品選定において、各種電極・端子の仕上げに対する要求事項を次に示す。

(a) Sn 系電極・端子仕上げ

電極・端子表面が酸化しやすく、ぬれ性が悪化するため、部品を保管する場合は酸化を抑制すること。また、はんだ付けに際しては、不ぬれが発生していないことを確認すること。

(b) Au 系電極・端子仕上げ

Au めっきの除去を本書の 5.2.2 項(4)に基づき実施すること。ただし、電極・端子形状等の制限により Au めっき除去が困難な場合は、次の条件のいずれかを満足させること。満足しない場合は使用を禁止する。

- ・すずー鉛はんだ接合部における Au の含有量を 3mass%未満にすること。
- ・すずー鉛はんだ接合部に Au 及び Pd の両方を含有する場合、Au 0.025mass%未満 かつ Pd 0.05mass%未満にすること。

また、Ni/Pd/Au プリント配線板を使用する場合は、以下を満足させること。満足しない場合は使用を禁止する。

- ・プリント配線板の Pd と Au めっき厚は、以下の基準とすること。
- Au めっき厚は 0.1 μ m 以上、0.4 μ m 以内、Pd めっき厚は 0.1 μ m 以上、0.3 μ m 以内
- ・上記めっき厚の範囲内でも、挿入部品や熱容量の大きい部品の、部品実装時におけるはんだ付け部のクラック(初期の剥離や割れ、リフトオフ等)は許容しない。

(c) Sn-Bi 系電極・端子仕上げ

鉛フリー部品の電極・端子めっきに含まれる Bi の含有量が 4mass%未満であること。これを超える場合は使用を禁止する。

(2) Sn 系の端子・電極への Pb 添加

Sn 系の電極・端子に対してウイスカ抑制手法として Pb を添加する場合は、全ての電極・端子めっき中の Pb の含有量が 3mass%以上となることを確認すること。Pb を添加する際は、損傷など品質低下させないことを確認した上で工程を確立して管理すること。

(3) 予備はんだの実施

予備はんだの実施にあたっては、JERG-0-039 の 5.3.5 項(予備はんだ付)及び 5.3.6 項(はんだポットの管理)に従って実施すると共にはんだポットの管理を行うこと。

【解説】

5.1.2(1)(a)

- i. Sn は酸化し易いといわれている。その酸化膜により、はんだのぬれが阻害され接続信頼性に悪影響を与えることが懸念される。したがって、部品の保管条件や保管状態に十分注意して酸化を抑制させると共に、はんだ付けに際しては不ぬれが発生しないことを確認する必要がある。
- ii. 純 Sn めっきの酸化によるぬれ性悪化についての評価及び実装評価の結果が JERG-1-009-TM001 の技術データ 2 及び 11 に示されるため参照のこと。

5.1.2(1)(b)

- iii. Sn-Pb はんだ接合部に Au や Pd が多く含有した場合、バルク材の評価から脆性的な破断がおきる傾向が強くなることが分かっている。JERG-1-009-TM001 の技術データ 1 を参照のこと。よって、可能であれば予備はんだ後のウィッキング等により除去することを推奨する。
- iv. Ni/Pd/Au プリント配線板 (ENEPIGEG) 使用する場合も、Au や Pd が多く含有すると、リフトオフ起因によるスルーホール内部のはんだクラックが確認されていることから (JERG-1-009-TM001 の技術データ 15 及び 16 参照)、保管を考慮した上で可能な限り Au や Pd めっきを薄くした上で、初期実装評価によりはんだ付断面に剥離や割れ、リフトオフがないことを確認すること。

5.1.2(1)(c)

- v. Sn-Bi 表面処理端子部品は一般的に Sn-2Bi が供給されている。
- vi. Bi は、Sn-Pb はんだ中に含まれると融点が下がり、また、脆くなることが知られているが、Sn-2Bi 処理端子部品を Sn-Pb 共晶はんだで実装した場合、はんだ接合部の Bi 含有量は 0.1% 以下のレベルで、かつ、Bi の偏析もなく、接続信頼性にほとんど影響を与えないことを評価試験にて確認した (JERG-1-009-TM001 の技術データ 8 及び 9 参照)。
- vii. JERG-1-009 では、GEIA-HB-0005-1(rev.A)における、Sn-Bi 表面処理の Bi 含有量 4% (wt、mass の記載無し) 以上が Sn-Pb はんだ接合の場合に高リスクであるとした判定をよりどころとし、Sn-Bi 系電極・端子の Bi 含有量が 4mass% を超える場合には使用禁止とした。

5.1.2(2)

- viii. Sn 系電極・端子に対するウィスカ抑制手法として、Pb の添加を検討する。現状、加工工法として、Hot Solder Dip (HSD) 工法や再めっき工法の適用がある。この方法は従来の接合材の組み合わせとなることから、従来の実績データが活用できる利点がある。これら工法を適用する場合、全ての電極・端子仕上げの Pb 含有量が 3mass% 以上であることを確認すること、及び、損傷など品質を低下させない工程を確立し管理する必要がある。
- ix. HSD で、Sn-Pb はんだのぬれ残り Sn めっきが存在すると、ぬれ残り Sn めっきの箇所からウィスカが発生するので注意が必要である。

5.1.2(3)

- x. はんだバスを用いた予備はんだ付けは、Au めっきを予備はんだバスに溶解 (拡散) させることではんだ継ぎ手部のはんだへの Au 含有による脆化リスクを回避できる。また、Sn 仕上げ品の電極酸化膜を除去し新鮮なはんだで覆うことで、ぬれ性を回復することが出来る。この結果、はんだ付け性が向上し、接続信頼性が安定する効果がある。本作業を実施し、かつ層構成が従来の実績品と同一である場合には、部品端子仕上げに伴った新たな接続信頼性評価は省略できる。予備はんだの実施にあたっては、JERG-0-039 の 5.3.5 項及び 5.3.6 項に従って実施すると共に、はんだポットの成分、汚染管理を行うこと。

5.1.3 実装設計

(1) 最小導体間隔

- (a) ウィスカ最大長が既知の鉛フリー部品を使用する場合、最小導体間隔はウィスカ最大長の3倍以上設けること。
- (b) ウィスカ最大長が未知の鉛フリー部品を使用する場合、最小導体間隔はウィスカ成長性試験によって評価したウィスカ最大長の3倍以上であること。
- (c) 必要に応じて配線の間隔を広げたり、物理的隔壁を設けること。
- (d) 鉛フリー部品を立体的に配置する場合、最小導体間隔は5.1.3項(1)の(a)又は(b)を満足すること。

ウィスカ成長と最小部品リード・端子間隙のクライテリアは図 5-1 を参照のこと。

(2) コンフォーマルコーティングによるウィスカ抑制

- (a) ウィスカの成長抑制、ウィスカによる短絡及びコンタミを防止するためにコンフォーマルコーティングの施工を検討すること。
- (b) コンフォーマルコーティングをウィスカ成長抑制、ウィスカによる短絡及びコンタミを防止する目的で適用する場合は、JERG-0-040 に従って実機モデルと同一塗布条件で鉛フリー部品にコンフォーマルコーティングを実施し、6.2 項に従いウィスカ成長性試験を実施すること。
- (c) 試験の結果によりウィスカ最大長さが最小導体間隔の 1/3 を超える場合は、鉛フリー部品の使用を禁止する。

【解説】

5.1.3(1)

- i. ウィスカが成長して橋渡しして短絡の原因になる可能性があることから、鉛フリー部品を適用する際には最小導体間隔は当該部品の最大ウィスカ長さの3倍以上とする。
(「3倍以上」の根拠は、両端からウィスカが成長してもマージンをもって短絡しない長さである。)
- ii. ウィスカ最大長とは、使用される鉛フリー部品を対象に、JERG-1-009 で要求される各ウィスカ成長性試験の結果、成長が飽和または鈍化した複数のウィスカのうち、最も長いウィスカの測長値のこと。
(物理的な隔壁を設ける場合は、隔壁内で使用される鉛フリー部品を対象に、ウィスカ最大長や最小導体間隔を適用する。)
- iii. ウィスカ最大長が不明の場合は、ウィスカ成長性試験を行うことにより求めること。

5.1.3(2)

- iv. 宇宙用のコンフォーマルコーティングには主に「ウレタン系」「シリコン系」「パラキシリレン系」の3種類の材料系がある。コンフォーマルコーティングが鉛フリー電極部に確実に塗布されれば、ウィスカ成長を抑制することができる。
- v. 「ウレタン系」及び「シリコン系」の場合は、鉛フリー電極のエッジ部のコーティング厚が薄くなりやすく、ウィスカの抑制効果が得られなくなるため注意が必要である。また、温度サイクルの際に、プリント配線板とコーティング剤の熱膨張差によりエッジ部のコーティング厚が更に薄くなる事象も確認されており、薄くなった箇所からウィスカがコーティングを突き破って成長することが分かっている。
- vi. パラキシリレン系コーティングは、蒸着法により均一にコーティングが施され、さらに硬さやヤング率、密着強度などのウィスカを抑制するための材料特性が他のコンフォーマルコーティングに比べて優れている。
- vii. コンフォーマルコーティングによるウィスカの抑制効果の評価について、JERG-1-009-TM001 の技術データ 3 にまとめているため参照のこと。

5.2 製 造

5.2.1 一 般

JERG-0-039 の 5 項 (詳細要求事項) 及び JERG-0-043 の 5 項 (詳細要求事項) に従うこと。

鉛フリー部品の電極・端子は酸化に伴いぬれ性が悪化しやすいので、製造段階でぬれの状態を確認し注意すること。

【解説】

- i. Mixed assembly 実装が Sn-Pb 実装の製造プロセスと異なる場合は、鉛フリー部品に対する製造工法、工程の確立、確認について、JERG-0-039 及び JERG-0-043 に従うこと。
- ii. 鉛フリー部品の中でも、Sn 系めっきの酸化の進行性は早く、はんだぬれ性が悪化するため、鉛フリー部品の電極・端子に施される Sn めっきに対して注意する必要がある。また、純 Sn の電極・端子の酸化はウスカ発生の原因となり、ウスカが発生することも懸念される。
- iii. Sn 系の電極・端子を有する鉛フリー部品や Mixed assembly 後の半製品の保管については 4.5.1 項に従うこと。
- iv. 濡れ状態の確認には、予備はんだ付けが実用的である。

5.2.2 前処理

(1) 部品のアップスクリーニング

鉛フリー部品にアップスクリーニングを適用する上でその項目、条件が熱的負荷を伴う場合、鉛フリー部品の電極・端子の酸化に留意すること。

(2) ベーキング

鉛フリー部品にベーキングを適用する場合、熱的負荷を伴うので、鉛フリー部品の電極・端子の酸化に留意すること。

(3) 予備はんだ

鉛フリー部品端子表面の酸化膜を除去し、新しい鉛含有はんだではんだ接合部となる部品端子表面を覆ってぬれ性を改善し、接続信頼性を確保するための予備はんだは、JERG-0-039 の 5.3.5 項(予備はんだ付)(5) によること。

(4) 金めっき除去

鉛フリー部品端子仕上げに Au を含む場合、接続強度の低下が懸念されるため、可能であれば JERG-0-039 の 5.3.4 項(金めっき除去)により Au を除去すること。なお 5.1.2 項(b)の条件を満足できない場合は必ず Au を除去すること。

【解説】

5.2.2(1)

- i. 宇宙機電子機器のミッションライフを確保するため、部品メーカーから調達する鉛フリー部品にアップスクリーニングを適用する上で、その項目及び条件が熱的負荷を伴う場合、鉛フリー部品の電極・端子の酸化に留意しなければならない。したがって、鉛フリー部品の電極・端子の酸化を防止するため、例えばバーニンインやエージングは窒素ガス雰囲気下で実施することを推奨する。

5.2.2(2)

- ii. 樹脂系部品パッケージのポップコーン対策のために鉛フリー部品のベーキングを実施する場合、ベーキング時の雰囲気により鉛フリー部品の電極・端子が酸化しやすいことに留意しなければならない。

5.2.2(3)

- iii. 予備はんだ部は、JERG-0-039 の 5.3.5 項(5) によることを要求しており、長時間の予備はんだは、過剰なはんだのウィッキングや部品への過剰な熱ストレスを加えることとなるため注意が必要である。

5.2.2(4)

- iv. 部品端子仕上げが Au を含む場合は、その膜厚やはんだ接合部の Au 含有量に留意することが必要であることは前述(5.1.2(1)(b) 解説 iv.)した。このリスクを回避するため、Au めっき仕上げ品は、表面の Au を除去することを目的に予備はんだ付けし、Au をはんだ中に溶解(拡散)させること等で Au めっきの除去を実施することが必要である。
- v. ただし、Au の膜厚が十分薄く(はんだ接合部の Au が 3mass%未満)、伸びの低下を招かないことが技術的に評価され明確である場合は、Au めっきの除去を省略することができる。

5.2.3 リワーク

リワークは、JERG-0-039 の 5.6.5 項(再加工等)及び JERG-0-043 の 5.10 項(はんだ付部再加工(リワーク))に示される方法に従って実施すること。

【解説】

- i. リワークに使用する材料、工具・設備及び方法は、鉛含有はんだ付け部のリワークと同じである。作業は局所加熱方法で実施し、JERG-0-039 及び JERG-0-043 に示される再加工の要求を満足することが必要である。これ以外の方法を使用する場合には、事前に適切な評価を実施することが必要である。
- ii. コンフォーマルコーティング後にリワークする場合は、コーティング剤の除去の方法や検査、リワーク後のタッチアップ(再コーティング)方法を確立する必要がある。

5.3 検 査

5.3.1 部品受入検査

- (1) 鉛フリー部品であることを確実に識別し、他の部品と混ざらないような管理を実施すること。少なくとも次の事項について受入検査で確認すること。
 - (a) 電極・端子めっきの種類(含有量を含む)
 - (b) 母材及び層構成
- (2) 鉛フリー部品の電極・端子が汚染される場合、接続信頼性へ悪影響を与える。したがって、鉛フリー部品の電極・端子に変色、腐食、異物付着等がないことを外観検査で確認すること。また、電極・端子の仕上げが Sn 系(純 Sn、Sn-Cu、Sn-Bi 等)の場合、外観検査でウイスカについての疑義がある場合は 6.2.3 項(4)に基づく検査を実施すること。
- (3) 必要に応じて、XRF(X-ray Fluorescence Analytical Method)などで分析し、接続信頼性評価を実施した鉛フリー部品の電極・端子の仕上げと同一の材料(元素)及び質量比で構成されていることを確認すること。

【解説】

- i. 民生用途を想定している鉛フリー部品メーカは、事前の合意がない場合は部品製造工程の改善、コスト低減などを理由に、ユーザに通知無くめっき条件や構造が変更されることがあるため、同一の部品番号であっても、過去に調達した鉛フリー部品と電極・端子の仕上げが異なり、接続信頼性へ影響を与える場合がある。したがって、部品メーカから鉛フリー部品の電極・端子の仕上げに関する情報が入手できない場合には、XRF(X-ray Fluorescence Analytical Method)等で元素分析し、接続信頼性評価を実施した鉛フリー部品の電極・端子の仕上げと同一の材料(元素)及び質量比で構成されていることを確認すること。

5.3.2 実装後の検査

- (1) はんだ付け外観検査は、JERG-0-039 の 5.8.4 項(検査)及び JERG-0-043 の 5.9.3 項(外観検査)に従うこと。但し、はんだ内に、Au や Pd が含有した際にフィレットの表面に生ずる微細な凹凸によるくもりについてはこれを許容する。
- (2) はんだ付け外観検査において、ウイスカが確認されないこと。
- (3) 鉛フリー部品の電極・端子の Sn めっき酸化膜の増加により、はんだ付け後の表面が白っぽくなる場合があり、オーバーヒートとの区別がつかない場合がある。したがってはんだのぬれに異常がないことを確認すること。

【解説】

- i. JERG-0-039 や JERG-0-043 では、はんだ接合部の外観観察は、4 倍～40 倍程度の実体顕微鏡を用いて検査することを規定している。しかしながら、この検査方法では、50 μ m 程度のウイスカを検出することは困難であるため、「ウイスカを観察する際には、マイクロスコープや SEM(電子操作顕微鏡)の使用を推奨する。
- ii. Mixed assembly におけるはんだ接合での留意点は、Au や Pd の過剰含有による伸びの減少、Sn の酸化によるぬれ不良であり、外観異常を確認した場合は、部品めっき厚の確認及びはんだへの Au、Pd 含有量の再確認が必要である。
- iii. Ni/Pd/Au プリント配線板 (ENEPIGEG)を使用する場合等、はんだへの Au や Pd の含有が少ない場合でも、はんだフィレットの表面に微細な凹凸によるくもりが生じる。
このくもりは、オーバーヒートや Sn めっき酸化膜等で生じるくもりと判別することが困難である。
はんだ工程プロセスが正常であることが確認できていることを前提に、Au や Pd の微含有によるはんだのくもりはやむを得ないものであり、接続信頼性上も問題ないことから許容する。
(JERG-1-009-TM001 技術データ 17 参照)
- iv. 外観判定資料として、参考写真を付録Ⅲに示す。

6. 試験方法及び項目

6.1 全 般

鉛フリー部品の適用可否を判断するために、ウイスカ成長性、及び、接続信頼性を評価すること。このため、部品の電極・端子の仕上げ(層構成、各層の材料及び質量比)、プリント配線板のはんだ付け領域(パッド)における仕上げ(層構成、各層の材料及び質量比)に着目すること。ウイスカ成長性、及び、接続信頼性の評価においては、次に示す要求を満足すること。

【解説】

- i. 選定した鉛フリー部品の適用可否を判断するために、ウイスカ成長性、及び、接続信頼性を評価しなければならない。このため、部品の電極・端子の仕上げ(層構成、各層の材料及び質量比)、プリント配線板のはんだ付け領域(パッド)における仕上げ(層構成、各層の材料及び質量比)に着目する必要がある。
- ii. 鉛フリー部品の適用可否について、6.2 項 ウイスカ成長性評価と 6.3 項 接続信頼性評価を実施した結果は、付録Ⅳに示すチェックリストを参考にデータを整理すると良い。

6.2 ウィスカ成長性の評価

6.2.1 試験方法の策定

- (1) 本書の図 6-1 に示すウィスカ評価試験フローに沿って「(a) ウィスカ成長性試験」を、コンフォーマルコーティングをウィスカ抑制の目的として利用する場合は「(b) コンフォーマルコーティングによるウィスカ抑制試験」を実施すること。
- (2) 図 6-1 に示す①～⑦までの実施内容を次に示す。
 - ① 初期予備評価(机上調査):鉛フリー部品の電極・端子について、母材の構成、表面めっき仕上げ及び層構成について評価・確認すること。必要に応じて、DPA (Destructive Physical Analysis) や XRF による予備試験を実施すること。これらの調査試験結果は、表 5-2 に基づき、ウィスカ試験方法の実施項目の必要性の判断材料にすること。更に並行して、ウィスカ成長のクライテリアを定義するため、基板設計情報から最小導体間隔(図 5-1 参照)を確認すること。
 - ② サンプルの準備:③項のウィスカ試験に供試するサンプルはフライトモデル品と同一ロットとし、「調達時の状態」と「実装直前までにかかりうる全ての熱履歴・機械的応力を加えた状態」の 2 種類を準備すること。熱履歴は、部品調達後、アップスクリーニングやはんだ付け時の加熱などフライトまでに加わる熱的条件を印加すること。Sn 系仕上げ端子部品に対しては、調達後にリードフォーミング等の機械的な応力を加える場合、フォーミングによる残留応力に起因するウィスカ成長が懸念されるため、機械的な応力も印加すること。
更に、「実装直前までにかかりうる全ての熱履歴・機械的応力を加えた状態」の部品でフライトモデルに適用するはんだ付けを施した実装サンプル、又は、それに近い状態のものを準備すること。
 - ③ ウィスカ試験:試験方法選定は、本書の表 5-2 によること。試験条件は 6.2.2 項(2)によること。
 - ④ 検査:供試サンプルの観察位置や検査方法、及び各試験におけるサンプリング方法は、本書の 6.2.3 項によること。検査において、電極・端子の全体を観察し、ウィスカが成長している場所を特定してウィスカ長さを計測すること。
 - ⑤ 詳細検査:SEM (Scanning Electron Microscope) を用い、ウィスカの長さ、形状、発生密度などについて詳細に解析を行うこと。
 - ⑥ コンフォーマルコーティング抑制評価:④項の検査でウィスカ最大長さが最小導体間隔の 1/3 の長さ(図 5-1 参照)を超える場合、ウィスカ成長性を抑制することを目的としてコンフォーマルコーティングの施工を検討すること。コンフォーマルコーティング抑制評価は、フライトモデル品と同一ロットとし、「実装直前までにかかりうる全ての熱履歴・機械的応力を加えた状態」の部品でフライトモデルに適用するはんだ付けを施した実装サンプル、又は、それに近い状態のものとする。当該実装サンプルにコンフォーマルコーティングを施して、③項のウィスカ試験を繰り返し実施すること。
 - ⑦ 検査(ウィスカ貫通有無):SEM やレーザ顕微鏡などを用いてウィスカの長さ、形状、発生密度、コンフォーマルコーティングの貫通の有無などについて詳細に解析を行うこと。ウィスカの長さが最小導体間隔の 1/3 を超える場合は、当該部品の使用を禁止すること。

【解説】

6.2.1(1)

- i. 「ウィスカ成長性試験」は、Sn 系鉛フリー部品に対してウィスカのリスクがないことを示すための実証試験である。
「ウィスカ成長性試験」各々の目的や、考え方を付録-Ⅱ(ウィスカ成長性試験の解説とテラリングガイド表)に示す。
- ii. 「コンフォーマルコーティングによるウィスカ抑制試験」は、ウィスカ抑制対策としてコンフォーマルコーティングを採用する場合に、その効果を確認することを目的として実施する試験である。

6.2.1(2)①

- iii. 部品メーカからの調査において、鉛フリー部品の仕様に加え、ウイスカ試験データについて確認すること。
- iv. 「調達時の状態」とは、鉛フリー部品単体を使用することになるため、部品メーカにおけるウイスカ試験データと同等とみなすことができる。

6.2.1(2)②

- v. 「調達時の状態(部品単体)」は、ウイスカ長さの最大長を求めることができ、クライテリアとする最小部品隣接間隔や最小部品リード・端子間の 1/3 の距離に対するワーストケースでのウイスカ成長性試験となる。
- vi. 「実装直前までにかかりうる全ての熱履歴・機械的応力を加えた状態(実装品)」は、フライト品と同等のサンプル仕様とすることで、クライテリアに対してウイスカ成長のリスクがないことが確認されれば、コンフォーマルコーティングは必須ではなくなる。ただし、フライト品と同等のサンプル仕様を保証する必要がある。
- vii. 部品単体と実装品の違いは、熱履歴(アップスクリーニング、はんだ付け時の加熱、フライトまでの熱試験)やリードフォーミング等の機械的応力の有無である。

6.2.1(2)③

- viii. ウイスカ成長性試験では、それぞれの試験条件において、ウイスカ長さが飽和または鈍化することを確認しなければならない。部品メーカにおけるウイスカ試験データについても、本確認におけるウイスカ長さの最大長を入手すること。
- ix. 飽和とは、最大値に達して、それ以上の成長の余地が無いことであり、鈍化とは、成長速度が明らかに低下することであるが、飽和又は鈍化の判断については、付録-VIに示すウイスカ測長結果のグラフ等が参考となる。また、測長結果が、満たすべきクライテリアに対して十分なマージンを有するかどうか等もその判断材料となる。
- x. 室温放置試験は、Sn 中への Cu 拡散に起因するウイスカ成長を見る試験である。部品単体における部品受け入れ検査(5.3.1 項)や実装後の検査(5.3.2 項)において、クライテリアに抵触するウイスカが排除される場合は、ウイスカのリスクは低い。
- xi. 高温高湿試験は、酸化膜成長や腐食に起因するウイスカ成長を見る試験である。部品保管(4.5.1 項)や製品状態による保管が一定環境下の保証された条件であれば、ウイスカ成長のリスクは低い。
- xii. 温度サイクル試験では、温度変化や変動幅 ΔT によって Sn 原子が拡散することによって、比較的短期間に再現性良くウイスカを見ることができる。

6.2.1(2)④、⑤

- xiii. 6.2.3 項解説参照

6.2.1(2)⑥

- xiv. コンフォーマルコーティングによるウイスカ成長性抑制評価においては、コンフォーマルコーティングの温度依存性があることを考慮して、コーティング厚が極めて薄くなる鉛フリー電極のエッジ部に着目すること。
- xv. コンフォーマルコーティングには防湿の効果があることから、鉛フリー電極部に確実に塗布されていれば、酸化膜成長や腐食によるウイスカ成長のリスクは極めて低い。
- xvi. パラキシリレン系コンフォーマルコーティングは、温度による影響を受けず、均一なコーティングが可能であり、ウイスカ対策として有効である。

6.2.1(2)⑦

- xvii. 供試サンプルにはコンフォーマルコーティングが施されており、ウイスカの成長状態を外部から観察することが不可能であるため、コンフォーマルコーティングを貫通しているかどうかの確認による。
- xviii. 試験実施に際しては、埃、繊維状異物等の付着(誤認の恐れ等)に注意すること。

6.2.2 適用基準

- (1) 鉛フリー部品の電極・端子めっきの仕様によりウイスカ成長性が異なるため、本書の表 5-2 に示す基準をベースにウイスカ評価試験を実施しなければならない。
- (2) 試験方法及びその条件は、次の通りとしなければならない。
- (a) 室温試験: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $60\pm 3\%\text{RH}$ 、4000 時間
- (b) 高温高湿試験: $55\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $85\pm 5\%\text{RH}$ 、2000 時間
- (c) 温度サイクル試験*1: 低温 $-40\pm 5^{\circ}\text{C}$ 又は $-55\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、高温 $+85\pm 2^{\circ}\text{C}$ 又は $+125\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、片側 20 分、2000 サイクル
- *1 鉛フリー部品が運用中にさらされる温度範囲が上記温度範囲を超える場合は、運用環境に合わせて試験温度範囲を設定すること。

【解説】**6.2.2(1)**

- i. 鉛フリー部品の母材電極・端子めっきの仕様によりウイスカ成長性が異なるため、それぞれの特徴に応じたウイスカ成長性試験を行わなければならない。参考として表 6-1 に JIS C 60068-2-82 の表 6 に示されるウイスカ試験方法の適用基準を示す。表 6-1 は、鉛フリー部品の電極・端子めっきの構成に応じた試験方法の選定基準である。JERG-1-009 ではこれをベースにした適用基準を要求している。

表 6-1 試験方法の適用基準 (1)

端子材料構成	試験方法		
	室温放置	高温高湿	温度サイクル
下地層なしで母材が鉄及びニッケルだけからなる合金又は下地層も鉄及びニッケルだけからなる合金。 最外層めっきは銅、亜鉛のいずれも含まないすず又はすず合金めっき。	非適用	適用	適用 (2000 サイクル)
下地層なしで母材が鉄及びニッケルだけからなる合金又は下地層も鉄及びニッケルだけからなる合金。 最外層めっきは銅及び／又は亜鉛を含むすず合金めっき。	適用 (30°C 、 $60\%\text{RH}$)	適用	適用 (2000 サイクル)
母材が鉄、ニッケルのいずれも含まない合金。 下地層がニッケル又は銀。	適用 (25°C 、 $50\%\text{RH}$)	適用	適用 (1000 サイクル)
下地層なしで母材が銅又は銅合金。 最外層めっきはすず又はすず合金めっき。	適用 (30°C 、 $60\%\text{RH}$)	適用	適用 (1000 サイクル)
下地層なしで母材が銅若しくは銅合金又は下地層が銅若しくは銅合金。 最外層めっきがすずで SnCu 金属間化合物層が既に形成されている。	適用 (25°C 、 $50\%\text{RH}$)	適用	適用 (1000 サイクル)
母材又は下地層が上記以外。	非適用 (30°C 、 $60\%\text{RH}$)	適用	適用 (2000 サイクル)

注(1) 出典: JIS C 60068-2-82、表 6 異なっためっき材料構成による試験方法の適用

- ii. JEITA ET-7305 において、「材料選定に関するディシジョンツリー」として、図 6-1 のフローが示されている。

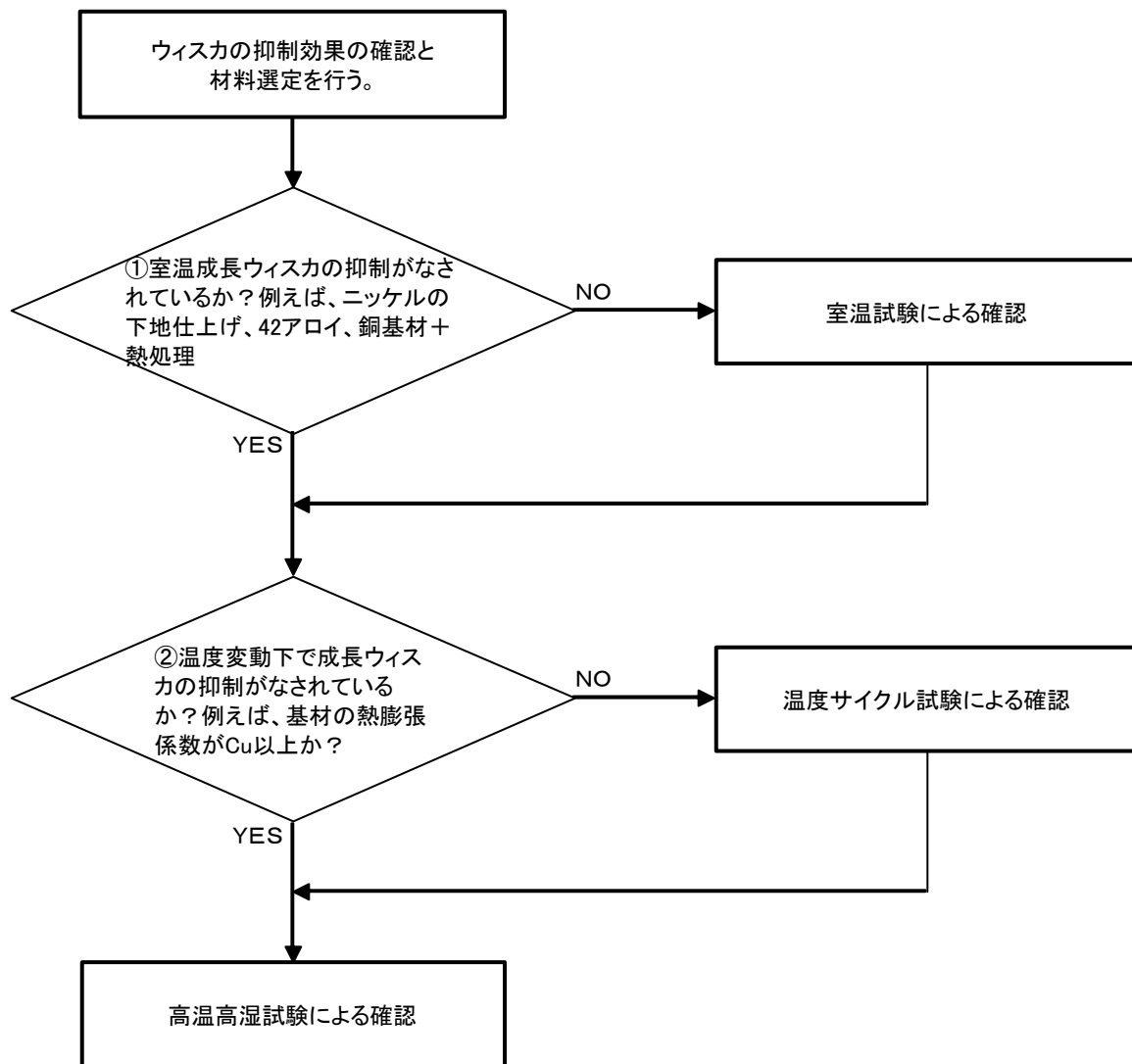


図 6-1 材料選定に関するディシジョンツリー (JEITA ET-7305)

6.2.2(2)(a)

- iii. 4000 時間の試験を実施することで、ほとんどのサンプルのウイスカ成長が飽和又は鈍化するデータが得られている。Sn めっきに対して、母材や下地めっきとの拡散により成長する金属間化合物（主に Sn-Cu）の影響を受ける試験であり、下地に Cu を含む場合や Ni や 42 アロイなどのバリア層がない場合には試験を行う必要がある。
なお、Sn と Cu の拡散は、一般的な作業環境（室温）で進むことから、室温試験として位置付けられている。

6.2.2(2)(b)

- iv. 高温高湿環境下における Sn の腐食や酸化がウイスカの主要因とする場合に適用される。
JIS C 60068-2-82 の付属書 G によれば、Sn の腐食（酸素量の）加速性から加速係数が求められており、55℃85%RH の試験は、18℃85%RH に対して約 4 倍の加速性をみていることから、Sn の腐食や酸化が要因のウイスカを確認するには高温高湿環境が適している。

6.2.2(2)(c)

- v. 温度サイクル試験は、母材と Sn との線膨張の差をウイスカの主要因とする場合に適用する。JIS C 60068-2-82 の付属書 H によれば、 $\Delta t=65^{\circ}\text{C}$ を 2 回/日 (5 年間)と想定する市場の負荷に対して、温度サイクル試験 ($-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$)で 633 サイクルに相当する加速性としている。JAXA RoHS 問題検討コミュニティにおいては、試験条件の違い (Δt)によるウイスカ成長性を確認しているが、低温 $-40^{\circ}\text{C}\sim$ 高温 $+125^{\circ}\text{C}$ との比較をした場合、ウイスカ成長に有意差は見られていない。なお、JIS C 60068-2-82 において 1000 サイクル及び 2000 サイクルが規定されているが、これまでの経験から、ウイスカ成長が飽和するまでには 2000 サイクル程度まで試験する必要がある。(JERG-1-009 技術データ 4 及び 5 参照)
- vi. ロケット・アビオニクス系では真空環境に曝される時間は短く、ウイスカ成長をみる試験としては不要である。しかしながら、真空環境においてはウイスカの成長は大気環境と比べ、細く、直線的に伸びることが報告されている。
- vii. JAXA RoHS 問題検討コミュニティで取得した「発生メカニズム」、「抑制手法」、「試験・検査方法」のデータを付録 - V に示す。

6.2.3 進め方

(1) サンプル数量

ウィスカ試験に供試するサンプル数量は、次の要件を満足すること。

- ・端子またはリード線の数:30 以上
- ・製品:6 以上

(2) サンプル間隔

表 6-1 のサンプリング間隔による。ただし、サンプルの蒸着を伴う SEM 観察を実施する場合、抜き取り検査とする。

(3) 観察箇所

観察箇所及び観察方向は図 6-2 によること。特にウィスカが発生しやすい折れ曲がった端面、Sn めっきが露出した表面は重点的に観察すること。

(4) ウィスカ検査

10 μ m の長さが識別できるマイクロスコープ、SEM、金属顕微鏡などを用いてウィスカの長さ、形状を検査すること。電子走査顕微鏡(SEM)は焦点深度が深く、詳細観察に適している。金属顕微鏡を用いる場合は、照明方向を自由に変更可能な照明装置を有すること。ウィスカ長を測定する場合は、精度 $\pm 5\mu$ m の機械的あるいは電子的な測長装置を備えていること。

(5) ウィスカ測長方法

ウィスカ長さの測定は、図 6-3 によること。

(6) 判定基準

測長したウィスカ長さが、最小導体間隔の 1/3 未満であるかどうかを判定すること。

【解説】

6.2.3(1)

- i. ウィスカ試験に供するサンプル数量には、JIS C 60068-2-82 の付属書 C や JESD 201A が参考となる。鉛フリー部品の電極・端子の数量に応じて次の通りとし、更に予備のサンプルを加えた上で試験を行うこと。また、部品単体とはんだ付けした後のサンプルの 2 種類を準備して、熱履歴の影響を含めて評価することを推奨する。
なお、(1)サンプル数量で要求される「端子またはリード線」と「製品」の数量は、両方の数量を満足しなければならない。具体的な例を以下に示す。
- ii. 電極・端子の数量が 2 の場合は、1 ロットあたり 15 個以上(電極・端子の合計数は 30)とする。
- iii. 電極・端子の数量が 3 以上の場合は、1 ロットあたり 6 個以上とし、1 個の鉛フリー部品から任意に複数の電極・端子を選び、電極・端子の合計が 30 となるようにする。

6.2.3(2)

- iv. JESD 201A においては、各試験におけるサンプリング間隔が表 6-2 の通り提示されている。
- v. 本解説書では、表 6-2 のサンプリング間隔に 250 サイクル(温度サイクル試験の場合)及び 250 時間(高温高湿試験の場合)の時点での測定を追加することを推奨する。これは、初期から第一回目の測定が 500 サイクル(温度サイクル試験の場合)及び 500 時間(高温高湿試験の場合)の間隔では、すでにウィスカ成長がみられる場合があることが経験上得られているためであり、ウィスカ成長過程を把握するために必要である。

表 6-2 サンプルング間隔

試験の種類	試験条件	検査間隔	合計期間	
			クラス 1 及びクラス 2 製品	クラス 1A 製品 (5) (6)
温度サイクル (1)	-55 +0/-10℃から 85 +10/-0℃、 大気中; 10 分間さらし; ~3 サイクル/時間 (標準)	500 サイクル	1500 サイクル	1000 サイクル
	-40 +0/-10℃から 85 +10/-0℃、 大気中; 10 分間さらし; ~3 サイクル/時間 (標準)			
温度/湿度保存	30±2℃及び 60±3%RH (2)	1000 時間	4000 時間 (4)	1000 時間
高温/高湿保存	55±3℃及び 85±3%RH (3)	1000 時間	4000 時間 (4)	1000 時間

注(1) いずれの温度サイクル試験条件を使用してよい。

(2) 管理されていない周囲条件で取得した前回のデータは、この条件で代用してよい。

(3) 高湿度条件 (例: 60℃、相対湿度 90–95%RH) で取得した前回のデータは、この条件で代用される。

(4) 全ての技術受入試験に対して、全検査間隔に対してウイスカ長のデータは記録され、要求により利用できること。各検査間隔における最長のウイスカ長は、18 の端子に対して詳細に検査されるが、検査時間間隔に対してプロットされること。

(5) クラスレベルについては JESD 201A の 5.4 節参照。

(6) クラス 1A の製品において、低 CTE (<15ppm/K、例 42 アロイ) リードフレームを使用している場合には、温度サイクル試験だけが技術受入として実施される。

6.2.3(3)

- vi. ウィスカは、鉛フリー部品の電極・端子の形状やはんだ付け工法(Sn の露出)によって、様々な箇所から発生することが予測されるため、図 6-2 に示すように、観察方向に注意を払わなければならない。経験上、測定バラツキを考慮し、1サンプルにつき $n=10$ の観察箇所(チップコンデンサの場合、電極面 5 箇所につき $n=2$)が必要である。

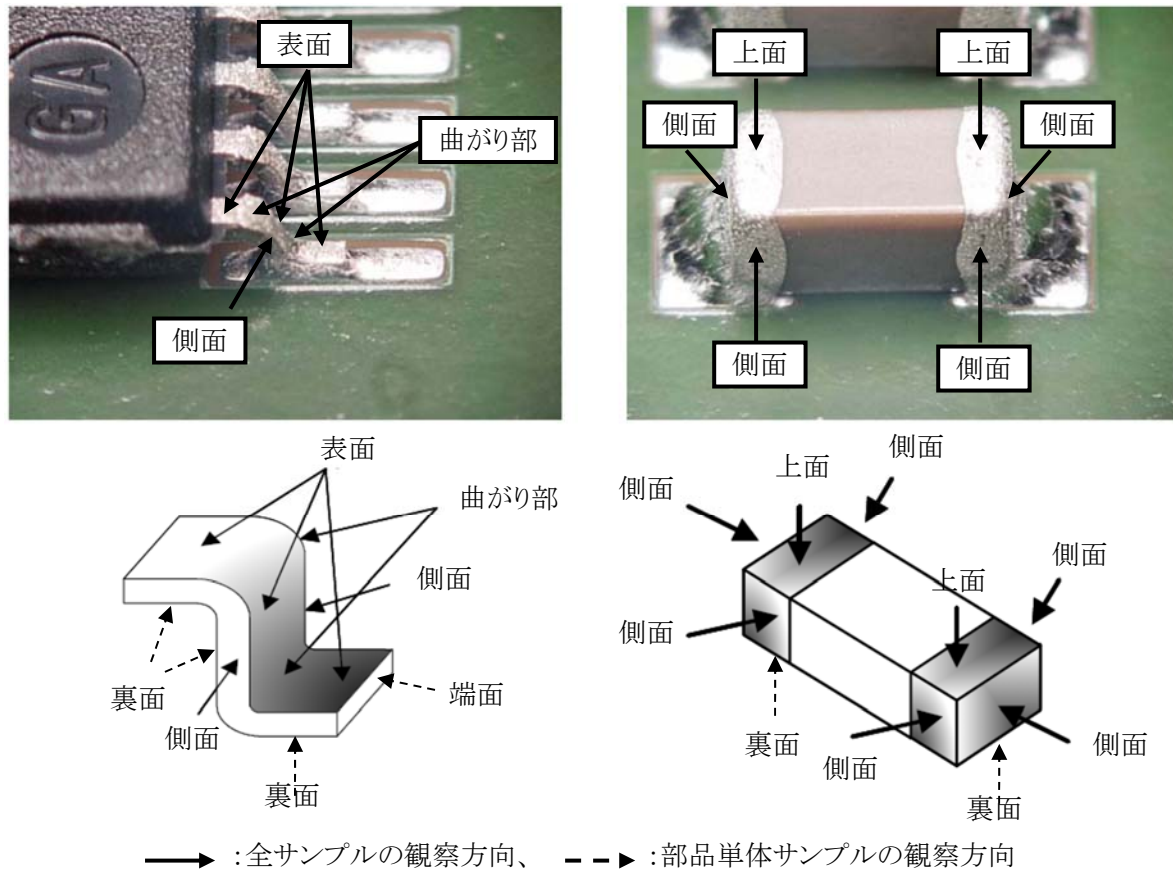


図 6-2 ウィスカの観察方向

6.2.3(4)

- vii. 付録－VIに、ウィスカ試験方法例として「ウィスカ観察写真」、「ウィスカ測長例」、「ウィスカ成長データ」を示す。

6.2.3(5)

- viii. ウィスカによって回路が短絡することが問題となる。このため、ウィスカの最大長さを測定することが重要である。しかし、ウィスカの最大長さは必ずしも直線的ではなく、しかも観察装置の観察角度によっては、実際の長さが測定できないため、サンプルを回転させて最もその長さが長くなるような方向で測定しなければならない。
- ix. ウィスカ長さの測定は、JIS C 60068-2-82 や JESD 22-A121A に、共通した測定方法が規定されている。JIS C 60068-2-82 の付属書 A に規定されるウィスカ長の計測方法を図 6-3 に示す。

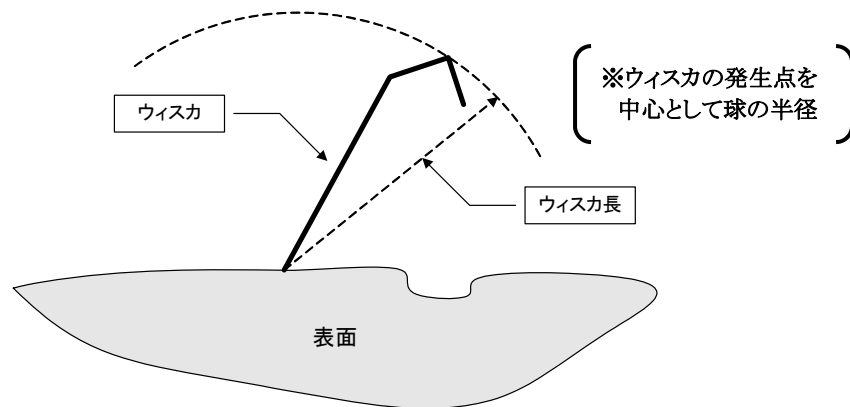


図 6-3 ウィスカ測長方法

6.2.3(6)

- x. ウィスカの長さは、5.3.2 項に示す検査方法によって、JERG-1-009 図 5-1 に示す最小部品リード・端子間隔のクライテリアに対して測定する。その後、測定結果をグラフ化してウィスカ成長の傾向を把握し、飽和又は鈍化しているかどうかを確認する。
- xi. 例えば最小導体間隔が 0.18mm の場合、その 1/3 である 0.06mm がクライテリアとなり、その場合、飽和したウィスカ長が 40 μ m (0.04mm)であれば許容範囲となる。

6.3 初期実装評価

- (1) Ni/Pd/Au プリント配線板にて、挿入部品や熱容量の大きい部品を新規で採用する場合に適用すること。
- (2) 初期実装評価は、実製品と同様の設計、工程で製作された供試体サンプルで評価すること。
- (3) 供試体サンプルの断面観察を行い、リフトオフ等によるクラックがないことを確認すること。
- (4) 初期実装評価の結果、クラックが確認された場合、不合格とし使用を禁止する。

【解説】

- i. Au や Pd がはんだに含有することで発生するスルーホール内のクラックは、外観検査のみでは発見できない。初期実装評価による断面観察により確認すること。
- ii. フローはんだ付け時におけるスルーホール内クラックの推定メカニズムを JERG-1-009-TM001 技術データ 16 に整理しているため、そちらを参照のこと。

6.4 接続信頼性の評価

6.4.1 接続寿命評価の適用基準

- (1) 鉛フリー部品を新規に適用する場合に適用すること。
- (2) 接続寿命評価は、JERG-0-039 の 4.4 項(工程の認定試験)、JERG-0-043 の 4.4.2 項(工程の認定試験)及び 5.11 項(はんだ接合部寿命評価及び判定)に基づき実施すること。
- (3) 接続寿命評価の結果、不合格となった場合は、使用を禁止する。

【解説】

- i. はんだぬれ性評価は、鉛フリー部品の電極・端子の表面酸化の影響について、JEITA ET-7401、及び JEITA ET-7411 に基づき実施する。鉛フリー部品にアップスクリーニングやベーキングが適用される場合は、それらと同等の熱履歴を加えて評価を実施する。更に、まとめ買いなどにより長期保管が考えられる場合には、保管期間を考慮して鉛フリー部品の電極・端子の表面酸化を加速させて評価を実施する。
- ii. 接続寿命評価は、鉛フリー部品の電極・端子のめっき組成が Au/Pd、又は、Bi を含む場合に適用する。
- iii. 電極・端子のめっき組成に Au/Pd を含む鉛フリー部品は、Au/Pd の除去が可能であるかを検討し、不可能であれば鉛含有はんだ、プリント配線板のはんだ付けパッド部を含むはんだ接合部における Au と Pd の含有量について、Au のみのときは 3mass%以上、Au 及び Pd のときは Au: 0.05mass%未満かつ Pd: 0.025mass%未満ではない場合、耐衝撃特性の劣化が懸念されるため、Au 及び Pd の含有量を低減させた上で、JERG-0-043 の 5.11 項に基づき接続寿命試験を実施する。
- iv. 電極・端子のめっき組成に Bi を含む鉛フリー部品は、鉛含有はんだ、プリント配線板のはんだ付けパッド部を含むはんだ接合部における Bi の含有量が 4mass%以上の場合には、JERG-0-043 の 5.3.1(2)項に基づく評価試験の実施可否を検討の上、当該評価試験を実施する。

付録-I 文献リスト

付録- I に示すリストの内容は下記の通りである。

表 I -1: JERG-1-009 の適用文書を示すリスト

表 I -2: JERG-1-009 の適用文書ではないが、本解説書及び技術データ集の適用文書を示すリスト

表 I -3: JERG-1-009 の参考文献を示すリスト

表 I -4: JERG-1-009 の参考文献ではないが、本解説書及び技術データ集の参考文献を示すリスト

表 I -5: ウィスカ関連の技術論文等

なお、表中に示す概要は、本解説書作成時の最新版を基に記述したものである。

表 I - 1 JERG 掲載 適用文書(1/2)

No	規格番号	規格名称	本解説書の 関連項目	概要
1	JERG-1-009	ロケット機器用鉛フリー 部品適用工程標準	全体	鉛フリー部品をロケット・アビオニクス機器に適用する場合の要求事項を規定し、鉛フリー部品に対して鉛含有はんだを用いてはんだ付けする「Mixed Assembly」の品質リスクを低減し、品質確保することを目的とした工程標準。
2	JERG-0-039	宇宙用はんだ付工程標準	4 項 5.1.1 項 5.1.2 項 5.2 項 5.2.2 項 5.2.3 項 5.3.2 項	ロケット、人工衛星、宇宙ステーションなどに使用される機器に適用する高信頼性電気接続はんだ付けに関する基本的な要求事項を定めている標準。教育訓練、工程の認定試験、設計条件、工具やはんだ付け装置、使用材料、プリント配線基板への挿入部品のはんだ付け実装方法、各種端子類へのはんだ付け方法に関する作業方法や検査方法、仕上がり基準等を示した標準。
3	JERG-0-040	宇宙用電子機器接着工程標準 一部品接着固定、コンフォーマルコーティング及びポッティング	6.2.1 項	宇宙環境下で多種ある有機系化学物質であるコーティング材・ステッキング材を適用するにあたり、現状の技術を踏まえ、①陥りやすい不具合を防止するため、材料の選定・使用に係わる重要事項を特記すると共に、②昭和 59 年度から昭和 61 年度にかけて筑波宇宙センター機器部品開発部において実施した「特殊工程の研究(接着工程)」の成果をもとに、③NASA の NHB5300.4(3J)「Requirements for Conformal Coating and Staking of Printed Wiring Boards and Electronic Assemblies」を織り込み、要求事項をまとめたもの。
4	JERG-0-042	プリント配線板と組立品の設計標準	1.2 項	ロケット、人工衛星、宇宙ステーションなどに適用されるプリント配線板とその組立品の設計に関する基本的な要求を定める。 プリント配線板とその組立品を設計するにあたって、図面等の作成、 材料・部品の選定、工程仕様書の作成などに対し、信頼性を確保するために最低限守るべき基本事項を示す。さらに、より良い又はより高度な設計のための参考として、設計上の追加情報と補足データ、及び不具合事例を示す。
5	JERG-0-043	宇宙用表面実装はんだ付工程標準	4.3.2 項 5.1.1 項 5.1.2 項 5.2 項 5.2.3 項 5.3.2 項 6.3.1 項	ロケット、人工衛星、宇宙ステーションなどに使用される機器に適用する表面実装はんだ付けに関する基本的な要求事項を定めている標準。工程の認定試験、設計条件、工具やはんだ付け装置、使用材料、プリント配線基板への表面実装部品のはんだ付け実装に関する作業方法や検査方法、仕上がり基準等を示した標準。
6	JIS C 60068-1	環境試験方法－電気・電子－通則	6.2.1 項	環境試験方法の手順及び試験の厳しさについての基本的情報を与える。この通則には測定及び試験に対する大気条件を規定している。 この規格は、電気製品(電気、電気機械、電子聞き及びデバイス、それらのサブアセンブリ、構成部分及び部品。以下“供試品”という。)に対する製品規格を作成する場合、その供試品の環境試験に際して、均一性及び再現性を確保することを意図している。

表 I - 1 JERG 掲載 適用文書(2/2)

No	規格番号	規格名称	本解説書の 関連項目	概要
7	JIS C 60068-2-82	環境試験方法－電気・電子－第 2-82 部:試験－試験 XW1:電気・電子部品のウイスカ試験方法	5.1.1 項 6.2.2 項 6.2.3 項	電気・電子部品のすず又はすず合金めっき端子のウイスカ試験方法に関する規定。ただし、外部からの機械的な応力に起因して成長するウイスカの試験方法には適用しない。2007 年に第 1 版として発行された IEC 60068-2-82 を基に技術的内容及び対応国際規格の構成を変更することなく作成したものである。母材並びに下地層及び最外層のめっきによる材料の組み合わせに応じて室温試験 ($\{30\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $60\pm 3\%\text{RH}\}$ 又は $\{25\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、 $50\pm 25\%\text{RH}\}$ 、4000 時間)、高温高湿 (定常) 試験 ($55\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、2000 時間) 及び温度急変試験 ($\{-40\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $85\pm 2^{\circ}\text{C}\}$ 、 $\{-55\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $85\pm 2^{\circ}\text{C}\}$ 、 $\{-40\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $125\pm 2^{\circ}\text{C}\}$ 又は $\{-55\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $125\pm 2^{\circ}\text{C}\}$ 、低温及び高温のさらし時間 20 分、1000 サイクル又は 2000 サイクル) を選択する。
8	JIS Z 3282	はんだ－化学成分及び形状	4.3.1 項	一般工業用及び電気・電子工業用の鉛を含むはんだ及び鉛を含まないはんだについて、種類、記号及び化学成分を規定。
9	JEITA ET-7305	錫ウイスカ抑制鉛フリー材料選定のガイドライン	5.1.1 項 6.2.2 項	電気・電子機器用の Sn または Sn 合金のめっき及びはんだ材料に関し、ウイスカ抑制効果の高い鉛フリー材料を的確、かつ、効率よく選定する手段を提供することを目的とするガイドライン。
10	GEIA- HB-0005-3	Rework/Repair Handbook to Address the Implications of Lead-Free Electronics and Mixed Assemblies in Aerospace and High Performance Electronic Systems	5.1.1 項	Sn-Pb はんだ、鉛フリーはんだ及び鉛フリー仕上げを内蔵する航空宇宙及び高性能電子システムの再作業及び修理のハンドブック。GEIA-STD-0005-1、GEIA-HB-0005-1、GEIA-STD-0005-2、GEIA-HB-0005-2 を含む、他の GEIA 文書と併せて使用することを意図している。
11	JESD 22-A121	Test Method for Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes	5.1.1 項 6.2.1 項 6.2.3 項	すず及びすず合金の表面処理において成長するウイスカ計測方法。めっきや表面処理の異なる化学処理やプロセスに対してウイスカの特性を測定し、比較するための業界標準となる試験一式を提供することを目的とする。
12	JESD 201	Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility of Tin and Tin Alloy Surface Finishes	5.1.3 項 6.2.3 項	すず及びすず合金の表面処理が Sn ウイスカに影響を与える度合いに関する環境的な受入要求。JESD22-A121A と併せて使用されることを意図している。
13	J-STD-006	Requirements for Electronic Grade Solder Alloys and Fluxed and Non-Fluxed Solid Solders for Electronic Soldering Applications	4.3.1 項	This standard prescribes the nomenclature, requirements and test methods for electronic grade solder alloys; for fluxed and non-fluxed bar, ribbon, and powder solders, for electronic soldering applications; and for “special” electronic grade solders. This is a quality control standard and is not intended to relate directly to the material’s performance in the manufacturing process. Solders for applications other than electronics should be procured using ASTM B-32.

表 I - 2 JERG 非掲載 適用文書

No	規格番号	規格名称	本文書の 関連項目	概要
14	GEIA- STD-0005-2	Standard for Mitigating the Effects of Tin Whiskers in Aerospace and High Performance Electronic Systems	5.1.1 項 5.1.3 項	航空宇宙及び高性能電子システム内における Sn ウィスカの影響を低減するための標準類。鉛フリー仕上げが含まれる可能性のある装置を調達する航空宇宙及び高性能電子システム向けに適用することを意図している。
15	MIL- PRF-39006	PERFORMANCE SPECIFICATION, CAPACITOR, FIXED, ELECTROLYTIC (NONSOLID ELECTROLYTE), TANTALUM, ESTABLISHED RELIABILITY, GENERAL SPECIFICATION FOR	5.1.1 項	信頼度設定型固定タンタル湿式電解コンデンサ共通仕様書。部品メーカーが当該コンデンサの DSCC 認定を取得し維持するために必要な設計及び構造、材料、品質保証プログラム、認定試験、スクリーニング、品質確認試験などが規定されている。
16	JAXA- QTS-2140	宇宙開発用信頼性保証 プリント配線板共通仕様 書	5.1.1 項	部品メーカーがプリント配線板の JAXA 認定を取得し維持するために必要な設計及び構造、材料、品質保証プログラム、認定試験、品質確認試験などが規定されている。 この共通仕様書は本則及び付則で構成され、付則はプリント配線板の区分に対応した詳細が規定されている。 ・付則 A: ガラス布基材ポリイミド又はエポキシ樹脂絶縁プリント配線板 ・付則 B: ファインピッチ用ガラス布基材ポリイミド又はエポキシ樹脂絶縁プリント配線板 ・付則 C: ガラス布基材エポキシ樹脂絶縁ディスクリートワイヤ配線板 ・付則 D: ポリイミドフィルム絶縁フレキシブルプリント配線板 ・付則 E: フレックスリジッドプリント配線板 ・付則 F: CIC 入り低熱膨張ガラス布基材ポリイミド樹脂絶縁プリント配線板 ・付則 G: エリアレイパッケージ設計対応プリント配線板 ・付則 H: 高速信号対応プリント配線板

表 I - 3 JERG 掲載 参考文献

No	規格番号	規格名称	概要
1	JIS C 60068-2-69	環境試験方法－電気・電子－ 第 2-69 部:試験－試験 Te:表面実装部品(SMD)のはんだ付け性試験方法(平衡法)	この規格は、はんだ槽平衡法及びはんだ小球法の手順を規定する。これらの試験方法は、表面実装用部品端子のはんだ付け性を定量的に評価する。いずれの方法も、金属端子または金属化電極部品に適用する。この規格は、鉛入りはんだ合金及び鉛フリーはんだ合金を用いた標準手順を規定する。
2	GEIA- HB-0005-1	Program Management/ Systems Engineering Guidelines for Managing the Transition to Lead-free Electronics	Sn-Pb はんだ付け工程から鉛フリーはんだ付け工程への移行に関する課題と懸念に対応するプログラマナー及びシステムエンジニア向けのガイドライン。GEIA-STD-0005-1、GEIA-STD-0005-2 及び GEIA-HB-0005-2 と併せて使用することを意図している。
3	GEIA- STD-0005-1	Performance Standard for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Lead- free Solder	鉛フリーはんだを使用した航空宇宙及び高性能電子システムに対する性能標準。特定された製品寿命全体を通して、鉛フリーはんだ、個片部品及び基板を含む航空宇宙及び高性能電子システムが性能、信頼性、耐空性、安全性及び証明性について該当する要件を満足することを保証する文書化プロセスの目的及びその要件を記述した文書である。
4	IEC 60068-2-82	Environmental testing - Part 2-82 : Tests - Test XW1: Whisker test methods for electronic and electric components	電気・電子部品のすず又はすず合金めっき端子のウィスカ試験方法に関する規定。
5	JERG-1-009- TM001	ロケット機器用鉛フリー部品適用工程標準 (JERG-1-009)技術データ集	JERG-1-009 の下位文書であり、JERG-1-009 制定や改訂時に取得した技術評価データをまとめた文書となる。
6	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-1-009 の下位文書であり、JERG-1-009 の要求に対する解説やテーラリングガイドを示した文書。(本解説書)

表 I - 4 JERG 非掲載 参考文書(1/2)

No	規格番号	規格名称	概要
7	GEIA-HB-0005-2	Technical Guidelines for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Lead-Free Solder and Finishes	鉛フリーのはんだ及び仕上げを含む航空宇宙電子システムに対する技術的ガイドライン。航空宇宙機ならびに軍用機のインテグレーター、運用者、規制機関及びそれらのサプライヤ、すなわちシステムの相手先ブランドメーカ (OEM)、並びにシステムの整備施設が鉛フリーのはんだ、又は鉛フリーの個片部品及び仕上げ基板を組み込む際に使用することを意図している。GEIA-STD-0005-1、GEIA-HB-0005-1、及び GEIA-STD-0005-2 と併せて使用することを意図している。
8	GEIA-STD-0005-3	Performance Testing for Aerospace and High Performance Electronic Interconnects Containing Pb-free Solder and Finishes	鉛フリーのはんだ及び仕上げが含まれている航空宇宙及び高性能電子機器に対する性能試験。鉛フリーのはんだを含んだ電子機器で想定される故障のメカニズムと一連の性能試験について記述されている。
9	GEIA-STD-0006	Requirements for Using Solder Dip to Replace the Finish on Electronic Piece Parts	電子個片部品の仕上げを置換するために使用するはんだ浸せきに対する要求事項
10	JP002	Current Tin Whiskers Theory and Mitigation Practices Guideline	現状の Sn ウィスカ理論と低減策に関するガイドライン。一般的な Sn ウィスカ形成の理論、成長促進の要因、及び対策として採られた低減策を理解する上でのガイダンスを提供するものであり、JESD22-A121A 及び JESD201 に対する背景となる情報を提供するもの。
11	JEITA ET-7409/101	鉛フリーはんだによるガルウイング形表面実装部品のはんだ接合部の引きはがし強度試験方法	プリント配線板のランドとガルウイング形表面実装部品のリード端子とのはんだ接合部の耐久性を評価するために用いる引きはがし強度試験に関する規定。フローソルダーリングまたはリフローソルダーリングでガルウイング形表面実装部品を実装し、温度急変試験【試験条件: 低温 -40℃±2℃、高温 +125℃±2℃、各々の温度への放置時間 30 分、温度サイクル数: 0 サイクル、500 サイクル、1000 サイクル】後に各々のサイクル完了後にリード引き剥がし強度試験を行い、引きはがし強度及び破壊モードを評価する方法
12	JEITA ET-7409/102	鉛フリーはんだによる表面実装部品のはんだ接合部の横押しせん断試験方法	プリント配線板上のランドと電子部品の端子電極のはんだ接続強度の試験方法であり、基板ランド部と表面実装部品端子部とのはんだ接合部の耐久性を評価するための横押し剪断試験方法に関する規定。リフローソルダーリングにより表面実装部品を実装し温度急変試験【試験条件: 低温 -40℃±2℃、高温 +125℃±2℃、各々の温度への放置時間 30 分、温度サイクル数: 0 サイクル、500 サイクル、1000 サイクル】後に各々のサイクル完了後に横押し剪断強度試験を実施し、剪断強度の変化や破断箇所やそのモードを評価する方法
13	JIS Z 3198-5	鉛フリーはんだ試験方法－第 5 部: はんだ継手の引張及びせん断試験方法	電気機器、電子機器、通信機器などの配線接続及び部品の接続などに用いる鉛フリーはんだ継手の引張及びせん断試験方法について規定したもので、鉛フリーはんだ継手の接続信頼性に関する基本的な特性を評価するものである。試験片の形状と寸法、試験材の作成方法や引張試験方法、せん断試験方法及び測定値の求め方が規定されている。
14	JIS Z 3198-6	鉛フリーはんだ試験方法－第 6 部: QFP リードのはんだ継手 45 度ブル試験方法	電気機器、電子機器、通信機器などの配線接続及び部品の接続などに用いる鉛フリーはんだを用いた QFP リード継手の 45 度ブル試験方法について規定したもので、電子基板の“はんだ継手”にとって基本的な特性評価のためのものである。試験片、試験方法、測定値の求め方等が規定されている。
15	JIS Z 3198-7	鉛フリーはんだ試験方法－第 7 部: チップ部品のはんだ継手せん断試験方法	電気機器、電子機器、通信機器などの配線接続及び部品の接続などに用いる鉛フリーはんだを用いたチップ部品のはんだ継手のせん断試験方法について規定したものである。試験片、試験方法、測定値の求め方等が規定されている。
16	EEE-INST-002	Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating	NASA GSFC の宇宙機プロジェクトに使用する EEE 部品の選定、スクリーニング、認定及びディレーティングに関するベースライン文書

表Ⅰ-4 JERG 非掲載 参考文書(2/2)

No	規格番号	規格名称	概要
17	PEM-INST-001	Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification	NASA GSFC の宇宙機電子機器に PEM の使用を認めるにあたり、特定の機器に対する熱的、機械的及び放射線特性を評価しミッション要求を満足することを確認するための文書。なお、PEM の使用目的はコスト低減ではなく機能的に優れており利用できる場合に限られ、NASA GSFC が認めた場合に限り使用することができる。
18	MIL-STD-202	Test Method Standard, Electronic and Electrical Component Parts	電気及び電子部品の試験方法を規定する標準類。環境試験、物理特性試験及び電気的特性試験の 3 分類で構成され、試験ごとに応じた設備及び装置、温度、時間、印加する電圧若しくは電流、試験前後の測定項目などが規定されている。
19	MIL-STD-750	TEST METHOD STANDARD, TEST METHODS FOR SEMICONDUCTOR DEVICES	個別半導体デバイス(トランジスタ及びダイオード)の試験方法を規定する標準類。環境試験、機械的特性試験、バイポーラトランジスタの電気的特性試験、回路性能及び熱抵抗測定、低周波試験、高周波試験、MOSFET の電気的特性試験、GaAs トランジスタの電気的特性試験、ダイオードの電気的特性試験、マイクロ波用ダイオードの電気的特性試験、サイリスタの電気的特性試験、トンネルダイオードの電気的特性試験及び高信頼性宇宙用個別半導体デバイスの試験の 11 分類で構成され、試験ごとに応じた設備及び装置、温度、時間、印加する電圧若しくは電流、試験前後の測定項目などが規定されている。
20	MIL-STD-883	TEST METHOD STANDARD, MICROCIRCUITS	集積回路の試験方法を規定する標準類。環境試験、機械的試験、デジタル集積回路の電気的試験、リニア集積回路の電気的試験及びその他の試験方法の 5 分類で構成され、試験ごとに応じた設備及び装置、温度、時間、印加する電圧若しくは電流、試験前後の測定項目などが規定されている。
21	IPC/ECA J-STD-002	Joint Industry Standard - Solderability Tests for Component Leads, Terminations, Lugs, Terminals and Wires	電気部品のリード、端子、電線及びワイヤ、ラグのはんだ付け性に関する試験方法、欠陥の定義、合格基準及び図解を記載した標準類。(D 版公開中)

表 I -5 ウィスカ関連の技術論文等

No	論文、書籍名
1	西村朝雄:“内部応力型ウィスカの発生メカニズムと抑制技術”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.11 No.5(2008) (American National Standards Institute)
2	菅沼克昭, 金権鉄:“スズウィスカ研究の最新動向”, 機能材料, Vol. 28 No. 8(2008)
3	DRAFT REPORT on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast) (COM(2008)0809 – C6-0471/2008 – 2008/0240(COD))
4	Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS) - (recast) (13837/09)
5	今村ら:“Sn-Ag 系鉛フリーはんだを用いた QFP の継手強度に及ぼす界面反応の影響”, mate2001
6	Ofer Sneh 他:“Tin Whisker Containment with Flexible Ceramic Conformal Coatings”, Symposium on Part Reprocessing, Tin Whisker Mitigation, and Assembly Rework and Repair, Nov. 11-12, 2008
7	Wan Zhang and Felix Schwager:“Effects of Lead on Tin Whisker Elimination - Efforts toward Lead-Free and Whisker-Free Electrodeposition of Tin”, Journal of The Electrochemical Society, 153 (5) C337-C343 (2006)
8	菅沼克昭 著:“はじめてのはんだ付け技術”, (株)工業調査会 出版, 2002 年 12 月
9	加藤隆彦 他:“Sn-Cu めっきリードの室温におけるウィスカ発生・抑制機構”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol13 No.2(2010)

付録-Ⅱ テーラリングガイド

JERG-1-009 の目次に対応するテーラリング可能項目とその内容を以下に示す。

表Ⅱ-1 JERG-1-009 目次対応テーラリング可能項目と内容

表Ⅱ-2 ウィスカ成長性試験の解説とテーラリングガイド表

表Ⅱ-1 JERG-1-009 目次対応 テーラリング可能項目と内容 (1/2)

目次	テーラリング対象 の可能項目(○)	テーラリングできる内容
1. 総 則	—	-
1.1 目 的	—	テーラリングの定義を明記
1.2 適用範囲	—	-
1.2.1 鉛フリー部品	—	-
1.2.2 実装工法	—	-
2. 関連文書	タイトルのみ	-
2.1 適用文書	○	テーラリングする際に適用できる文書
2.2 参考文書	○	
3. 用語の定義	—	-
4. 一般要求事項	タイトルのみ	-
4.1 一 般	—	-
4.2 教育・訓練及び認定	—	-
4.3 設計条件	タイトルのみ	-
4.3.1 一 般	—	-
4.3.2 部品選定	○	ロットの定義(めっき工程)、過去データの利用、HSD 手法利用
4.4 工程の認定試験	—	-
4.5 製造条件	—	-
4.5.1 保管	○	部品メーカー推奨条件の利用、機器組立後のフライトモデル以外でのウィスカ成長の確認
4.6 品質保証	—	-
5. 宇宙機設計・製造・検査における詳細要求事項	—	-
5.1 設 計	タイトルのみ	-
5.1.1 部品選定	○	部品メーカー取得データの利用
5.1.2 接続信頼性	—	-
5.1.3 実装設計	—	-

表Ⅱ・2 JERG-1-009 目次対応 テーラリング可能項目と内容 (2/2)

目次	テーラリング対象 の可能項目(○)	テーラリングできる内容
5.2 製 造	タイトルのみ	-
5.2.1 一 般	—	-
5.2.2 前処理	—	-
5.2.3 リワーク	—	-
5.3 検 査	タイトルのみ	-
5.3.1 部品受入検査	—	-
5.3.2 実装後の検査	—	-
6. 試験方法及び項目	タイトルのみ	-
6.1 全 般	—	-
6.2 ウィスカ成長性の評価	タイトルのみ	-
6.2.1 試験方法の策定	○	単体、実装、コンフォーマルコーティング形態それぞれでの試験条件、試験期間。過去データ利用、評価用ボード利用。 表Ⅱ・2(ウィスカ成長性試験の解説とテーラリングガイド表)に整理。
6.2.2 適用基準	○	
6.2.3 進め方	○	
6.3 初期実装評価	—	-
6.4 接続信頼性の評価	タイトルのみ	-
6.4.1 接続寿命評価の適用基準	—	-

表Ⅱ・3 ウィスカ成長性試験の解説とテーラリングガイド表

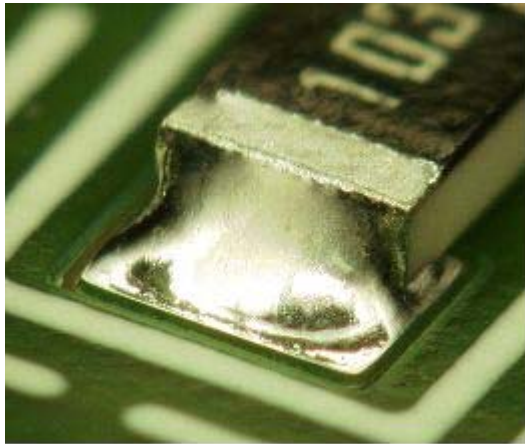
ウィスカ成長試験項目 鉛フリー部品の状態		A. 室温放置試験	B. 高温高湿試験	C. 温度サイクル試験
		(目的) 室温で鉛フリー部品を放置した場合、Sn 層に Cu が拡散することにより、鉛フリー部品のめっき内で Sn と Cu の金属間化合物が生成され、体積が膨張する。これによる内部応力でウィスカが成長するかを確認するための試験。	(目的) 高温高湿環境下で、鉛フリー部品のめっき内で酸化や腐食が進行し、体積が膨張する。これによる内部応力で成長するウィスカを確認するための試験。	(目的) 温度サイクルをかけることで、鉛フリー部品のめっきと母材間の熱膨張係数差により内部応力が生ずる。これにより成長するウィスカを確認するための試験。
① 部品単体	(目的) 部品単体のウィスカ成長性試験は、主に鉛フリー部品毎のウィスカ成長の限界を見極めるために実施する試験となる。 JERG-1-009 6.2.3 項のウィスカ長判定基準(最小導体間隔の 1/3 未満)に対して、適合しているかを確認する。	【解説①】以下(①-1)～(①-4)はすべて満足する必要がある。 (①-1) ウィスカ成長性試験条件は、JERG-1-009 またはそれに準ずる公的規格に従うこと。 (①-2) ウィスカ成長性試験では、ウィスカ成長の飽和を確認した上で、最大ウィスカ長を把握すること。 (①-3) ウィスカ成長性試験は実施メーカによらず、上記(1)と(2)が満足できるデータが取得できていること。 (①-4) ウィスカ成長性試験結果のデータは、実際に搭載される鉛フリー部品のめっきと同一性(めっき条件や工程プロセス等)が確認できることで有効とする。		
		【テーラリングガイド①】 (①-3)について:部品メーカ側で取得したウィスカ成長性試験データの適用を提案する場合は、試験条件や最大ウィスカ長が明確であること。 (①-4)について:実際に搭載される鉛フリー部品のめっきとの同一性が確認できる場合は、過去のウィスカ成長性試験結果のデータを適用することが提案できる。 但し、めっきの同一性が確認できない場合は、通常通り購入ロット毎に複数個のサンプリング(JERG-1-009 6.2.1 項)による試験を行うこと。		
② プリント配線板実装	(目的) 鉛フリー部品をプリント配線板上へ実装後に、リード形成などの実装状態の影響やはんだ付け(高温)による影響を確認する試験となる。 フライト品に近い状態でウィスカ試験を行うことでウィスカリスクの低減を確認する。	【解説②】以下(②-1)を満足する必要がある。 (②-1) プリント配線板実装後のウィスカ成長性試験は、JERG-1-009 またはそれに準ずる公的規格に従い実施することを原則とする。 (②-2) プリント配線板実装以外にも、電線が鉛フリー部品に直接はんだ付される場合等も②の適用範囲となる。 (②-3) 試験に適用するプリント配線板は、フライト品と同じ鉛フリー部品を使用した上で実装工程が同じであれば、評価ボードを使用してもよい。		
		【テーラリングガイド②a】①の実施を前提とする (②-1)について:実際の保管や運用環境の条件を考慮した上で、ウィスカリスクの低減を確認するための適切な方法を提案しても良い。提案例を以下に示す。		
		【提案例(室温放置、高温高湿)】 保管におけるウィスカリスク低減確認の方法としては、鉛フリー部品・コンポーネント・システムそれぞれの保管環境を管理した上で、打ち上げ前の適切な時期にウィスカ観察及び電気的な機能性能試験等を計画し、実施することを提案しても良い。		【提案例(温度サイクル)】 ロケット等の運用が短期の宇宙機では、地上での熱サイクル試験や、軌道上運用で加わる最大の熱サイクル数を考慮した上で、実施サイクル数を提案しても良い。
		【テーラリングガイド②b】①と③の実施を前提とする (②-1)について:コンフォーマルコーティングによるウィスカ抑制対策を行うことを前提とする場合は、③コーティング後の試験結果により本試験を兼ねることを提案することも可能である。 但し、コンフォーマルコーティング上のウィスカは観察が困難であることに留意すること。		
③コンフォーマルコーティング	(目的) <u>ウィスカ抑制対策のために、コンフォーマルコーティングを行う場合、その効果を確認するために実施する試験となる。</u> コーティング剤により、ウィスカの測長ができなくなるため、ウィスカ長ではなくコーティングを突き破るか否かで、判定する。	【解説③】以下(③-1)～(③-4)はすべて満足する必要がある。 (③-1) 本項は、ウィスカ成長性試験ではなくコンフォーマルコーティングのウィスカ抑制効果を確認する試験となる。 (③-2) 試験条件は、ウィスカ成長性試験と同等であることを原則とする。 (③-3) コンフォーマルコーティングは工程を確立(最低コーティング厚の設定等)し、運用期間中の物性(ヤング率や硬度等)の劣化を把握した上で適用すること。 (③-4) 適用される鉛フリー部品の形状や実装設計毎に試験を行うこと。 (③-5) パラキシリレン系コーティングは、コーティング厚が均一で物性の劣化が少なくウィスカ抑制効果が高いことが確認されている。 なお、コーティング厚により抑制効果が異なることが予測されるため、フライト品に適用する下限のコーティング厚で試験することを推奨する。 (③-6) パラキシリレン系以外では、コーティング厚が薄くなるリード曲げ部やめっき角(端)部で、熱サイクルによる膨張収縮により更にコーティングが薄くなる場合に、突き破りが発生することが確認されており注意が必要である。 (③-7) 鉛フリー部品の端子等をポッティング剤等で覆う場合等も③の適用範囲となる。		
		【テーラリング③a】①の実施を前提とする (③-2)について:試験条件は、保管や運用環境を考慮した必要十分な条件を提案しても良い。 (③-4)について:適用される鉛フリー部品の形状や実装設計が同じであることを条件に、過去の試験データを適用することが提案できる。 (③-4)について:適用される鉛フリー部品の形状や実装設計が同じであり、且つ、コーティング剤や工程が同じであることを条件に、評価ボードを使用しても良い。 この場合、試験に供する鉛フリー部品は、部品単体のウィスカ成長性試験でのデータがあり、できるだけウィスカ成長が長いものを適用すること。		
		【テーラリング③b】①/②の実施を前提としない (③-1)について:コンフォーマルコーティングのウィスカ抑制対策等により全てのウィスカリスクを排除できると証明できる場合は、本試験のデータですべてを包含する提案をしても良い。 但し、現状 JAXA 側の評価では、全てのウィスカリスクを排除できる抑制対策は確立できていない。唯一、パラキシリレン系コーティングには可能性があり軌道上での実証を含む評価を実施している。		

注;ウィスカに関わる試験要求に対してテーラリングを実施する場合は、テーラリング内容に加えてシステム全体としてのウィスカリスクへの対応を整理すること。

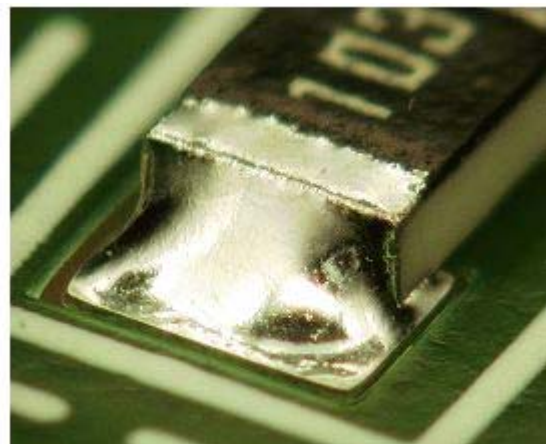
付録-Ⅲ めっき品の実装初期外観（凡例）

各めっき品の実装初期外観（凡例）を示す。

Sn めっき品の実装初期外観例を図Ⅲ-1 及び図Ⅲ-2 に示す。



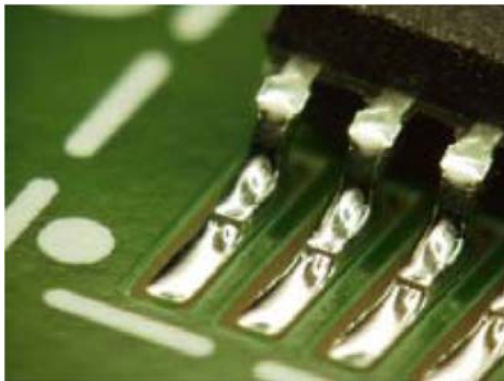
（純 Sn 品）



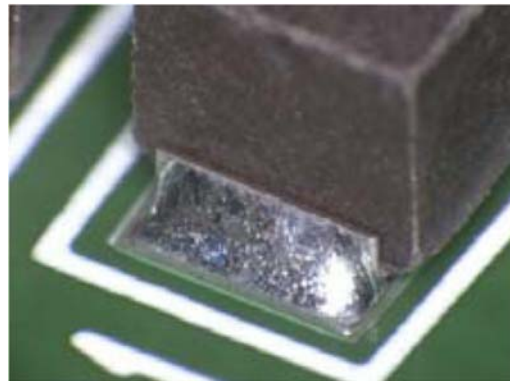
（鉛含有はんだ置換品）

図Ⅲ- 1 純 Sn めっき品の実装初期外観例

図Ⅲ-1 では純 Sn 品の表面が、図Ⅲ-2 では Sn-Cu 品インダクタの表面が若干白っぽいが、現行の外観判定基準に抵触するものではない。



（Sn-Cu 品 IC）



（Sn-Cu 品インダクタ）

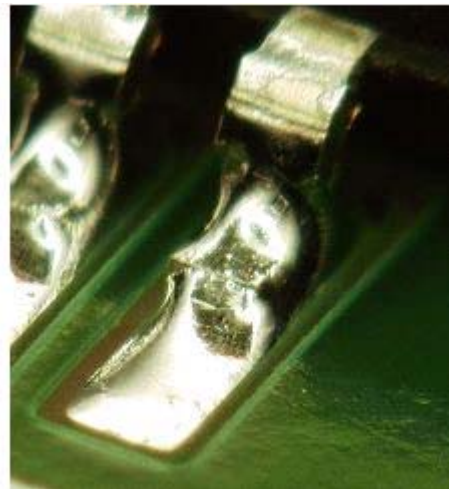
図Ⅲ- 2 Sn-Cu めっき品の実装初期外観例

Au/Pd/Ni 品の実装初期外観例を図Ⅲ-3 及び図Ⅲ-4 に示す。

リード上面にはんだが上がらない部品がある(図Ⅲ-4 の Au/Pd/Ni 品)が、これは現行の外観判定基準に抵触するものではない。



(Au/Pd/Ni 品)



(鉛含有はんだ置換品)

図Ⅲ- 3 C 社製 Au/Pd /Ni めっき品の実装初期外観例



(Au/Pd/Ni 品)



(鉛含有はんだ置換品)

図Ⅲ- 4 F 社製 Au/Pd /Ni めっき品の実装初期外観例

付録-IV 鉛フリー部品に対する情報収集の確認項目

鉛フリー部品を選定する際の情報収集項目を下表のチェックリストに整理した。
 接続信頼性やウィスカ成長性に関わる観点として参考とすること。

表IV- 1 鉛フリー部品に対する情報収集の確認項目

調査項目			調査内容	接続信頼性	ウィスカ成長性
鉛フリー部品調査	(ベースメタル)	①-1 母材	鉛フリー部品の構成確認(42アロイ、Cu合金 等)	－	○
		①-2 電極タイプ	形状確認(リードフレーム、SMD 等)	○	－
	(表面処理組成)	①-3 表面処理合金	各種鉛フリー部品電極の表面処理合金の選択	－	○
		①-4 表面処理厚さ	厚さの限界値の確認	－	○
		①-5 下地めっき組成、厚さ	バリアメタルの有無、構成確認	－	○
	(部品履歴)	①-6 LCD	民生品適用にかかわる履歴の確認	○	○
		①-7 XRF分析	Pb、Biなどの含有量の実測定値確認	○	○
実装設計情報調査	(部品仕様)	②-1 最小導体間隔	予測されるウィスカ最大長に対する許容値	－	○
		②-2 部品隣接間隔	予測されるウィスカ最大長に対する許容値	－	○
	(ウィスカ抑制)	②-3 コンフォーマルコーティング	コンフォーマルコーティング実施可否(基板用途)	－	○
		②-4 コンフォーマル材料	コンフォーマルコーティング材料特性	－	○
接続信頼性に関する調査	(前処理)	③-1 前処理条件	電極酸化、めっき状態の確認	○	－
	(ぬれ性)	③-2 メニスコグラフ 等	電極酸化、めっき状態の確認	○	－
	(接続強度)	③-3 Au、Pd含有量	Mixed assemblyにおける接合強度低下	○	－
		③-4 はんだ付け強度・破壊モード	実デバイスにおける強度測定	○	－
外観の目視確認	(はんだ付け工法)	④-1 実装工法	純Sn露出有無の確認	－	○
	(JERG対応)	④-2 はんだ付け外観	実デバイスによるはんだ付け性確認	○	－
ウィスカの確認	(ウィスカ事前評価)	⑤-1 ウィスカ評価	同一ロット品での評価データの入手	－	○
		⑤-2 適用試験	装置運用環境と適用試験の条件の確認	○	○
部品保管方法の確認	(使用前保管期間)	⑥-1 購入後から組立までの期間	鉛フリー部品電極の酸化の影響	○	○
	(組立後)	⑥-2 想定される保管期間	鉛フリー部品のウィスカ成長のリスク評価	○	○

情報収集チェックリスト①～⑥の概要を以下に示す。

① 鉛フリー部品調査：

部品の電極・端子を考慮した選定が重要である。ベースメタル、めっき層構成、表面めっき仕上げについて調査する。また当該部品のこれまでの実績と履歴(特に民生品の転用の場合はロット管理)について把握しておく必要がある。

② 実装設計情報調査：

5.1.3 項に示す詳細検討を実施する上で、部品やプリント配線板の設計情報を調査する。また、コンフォーマルコーティングの実施(使用する材料)は、ウィスカ抑制のための有効策であり、使用する材料種類について調査、検討を行う。

③ 接続信頼性に関する調査：

接続信頼性を評価する上では、前処理などの実施有無が接続信頼性に影響を及ぼすため、実装設計情報を調査する。ぬれ性や接続強度に関しては、原則として部品種類毎に評価が必要であるが、添加されるAu、Pd、Biなどの添加元素含有量を調査し、基礎となるバルクデータとの比較を行い、接合性低下のリスク有無を確認する必要がある。特に、Biを含有する場合は、PbとBiの混在状態を明確にする必要がある。

④ 外観の目視確認：

はんだ付け工法によっては、図 1-2 に示すようなSnの露出などが想定されるため、工法調査やJERGに示される外観目視基準との整合性を調査しておかなければならない。SnめっきとSn-Pbはんだの境界領域では、最もウィスカリスクが高くなる。

⑤ ウィスカの確認：

部品メーカにおいて公開されているウィスカ試験結果が存在する可能性があるため、情報収集を行う。

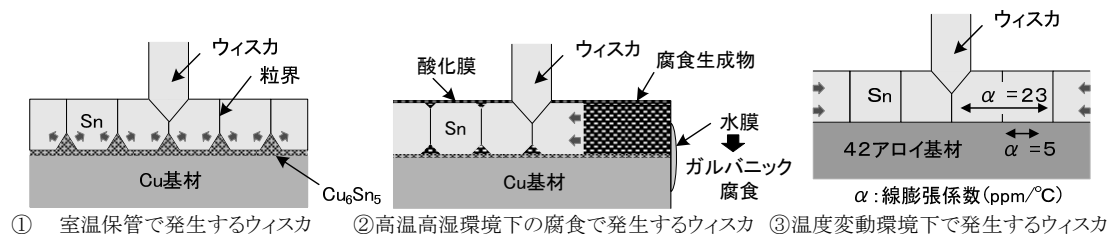
⑥ 部品保管方法の確認：

長期保管を想定し、鉛フリー部品の酸化の影響やウィスカ成長性への影響を確認するために調査する。

付録-V JAXA RoHS 問題検討コミュニティで取得した
「発生メカニズム」、「抑制手法」、「試験・検査方法」に関するデータ

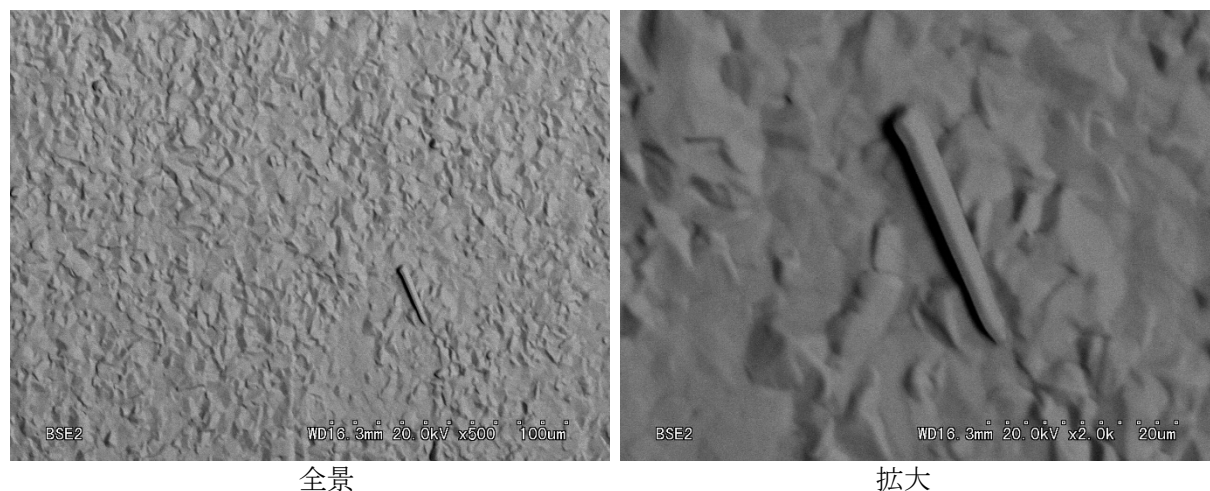
(a) 発生メカニズム

Sn ウィスカは金属表面からひげ状の金属が成長する現象であり、その構造は多くの場合単結晶で、ウィスカの根元から成長すると言われている。ウィスカ成長の駆動力は、めっき膜内の圧縮応力にあつて、この圧縮応力を緩和するように Sn 原子が拡散してウィスカとなる結晶粒に流入し、この結晶粒が膜外に押し出されるように成長することによってウィスカが発生する。圧縮応力の発生は、Sn の拡散が促進される環境条件下で、より顕著に現れると考えられ、その環境条件は大きく 5 つのケースに分けられる (JEITA-ET-7305 より)。そのうち宇宙機では図IV-1 に示した 3 種類に注意すべきである。



図IV-1 圧縮応力の発生と環境条件

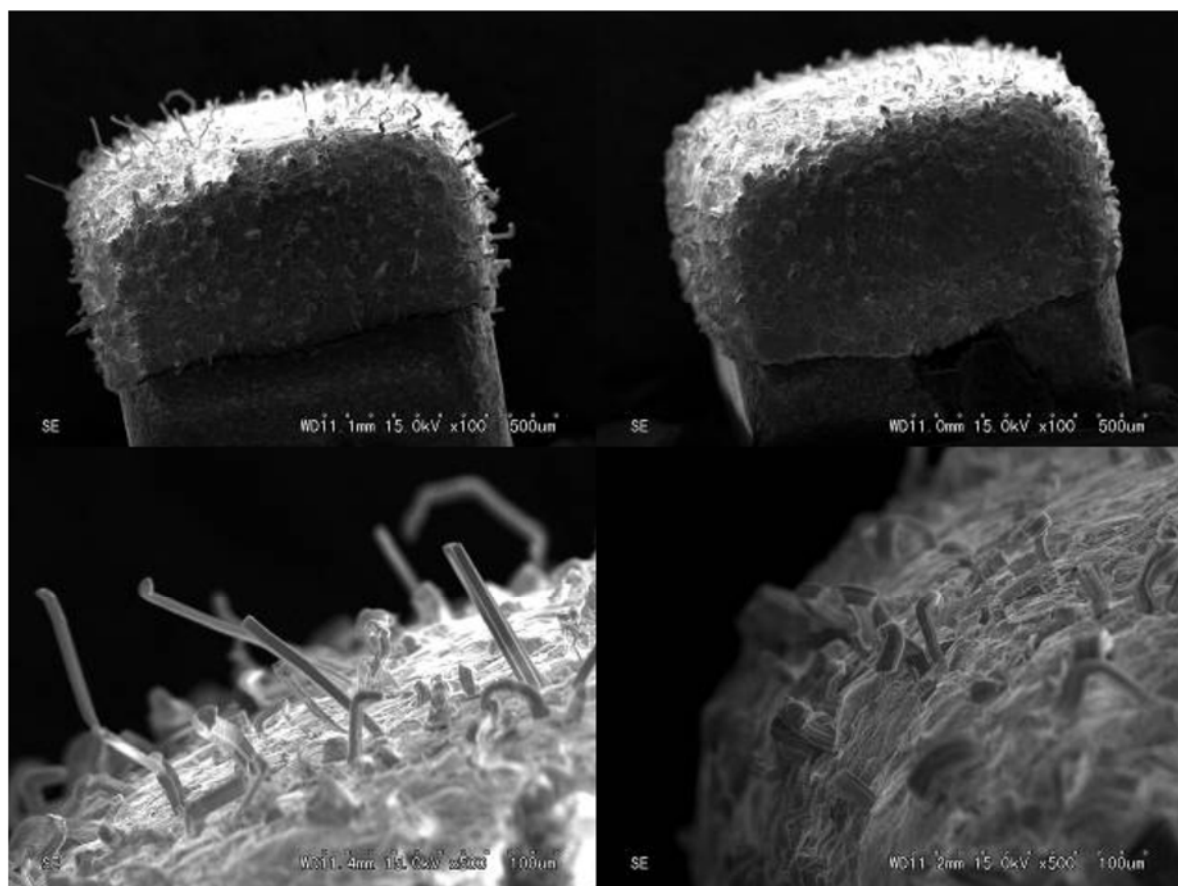
①に示す「室温保管」で発生するウィスカは、通常 Cu 基材上の Sn 系めっきで発生する。このウィスカは、Cu が Sn の粒界部分に選択的に拡散し、ピラミッド状の金属間化合物層 (Cu_6Sn_5) を成長させることによって発生する。このタイプのウィスカが成長し始めるまでには潜伏期間がある場合もあり、めっきが厚いほど、潜伏期間やウィスカが成長し始めるまで、あるいはウィスカ長さが飽和するまでに時間がかかる。ロケット・アビオニクス系では、部品を調達してから半製品状態を含む組立段階の保管が数ヶ月から数年にわたるケースがあることから、ウィスカ発生に対する注意が必要である。図IV-2 に室温で成長したウィスカの例を示す。Cu 基材上に Sn めっきされたサンプルを室温環境 (30°C/60%RH) で 4000 時間放置したサンプルで観察されたウィスカである。



図IV-2 室温環境で発生するウィスカ

②に示す「高温高湿環境下」では、Sn が酸化しやすく、酸化の際の体積膨張 (例えば、Sn が SnO_2 に変化すると体積は 30%以上膨張する) がめっき膜に局部的に生じると Sn に圧縮応力が働き、ウィスカとなって発生・成長する。特に、めっき後のリードの切断によって Cu 基材が露出している部位では、基材とめっきの境界部に水膜が形成されると、ガルバニック腐食で Sn が一方的に腐食し、その生成物が周囲の Sn に圧縮応力を及ぼすことになる。ロケット・アビオニクス系では、部品調達から組立～保管～打ち上げ直前までを温湿度管理された雰囲気の中で管理されるため、この現象を大きく問題視する必要はない。しかしながら、JEITA をはじめとする各機関においては、ウィスカ成長性評価のための試験項目として挙げられており、鉛フリー部品のウィスカ特性やウィスカ成長の加速性をみるためにも有効な手段といえる。なお、腐食によるウィスカは鉛入りめっきでも発生し、また、めっきだけでなく、はんだフィレットから発生する場合もある。

③に示す「温度変動環境下」でウイスカが問題になるのは、主に 42 アロイ(Fe-42Ni)やセラミックスのような熱膨張係数の小さな基材に Sn 系めっきを施した場合である。Sn の熱膨張係数は、部品に使われる金属としては比較的大きいため、42 アロイやセラミックスと組み合わせると、昇温時に Sn の熱膨張が基材に拘束され圧縮応力が発生する。この圧縮応力が繰り返し作用することによって、ウイスカが発生・成長する。ロケット・アビオニクス系では、②と同様に、部品調達から組立～保管～打ち上げ直前までを温湿度管理された一定の雰囲気の中で管理され、更に打ち上げから飛翔し、ミッション達成までの間にも温度変動の回数(サイクル数)が少なく、そのリスクは低いといえる。しかしながら、人工衛星に視点を移すと、人工衛星の軌道から、急激な温度変化(熱衝撃)を長期間負荷することになる。また、真空環境下での熱衝撃時に発生するウイスカについては、図IV-3 に示すように大気雰囲気とは異なり、細長く成長する様子が確認されており、ウイスカ成長性に関する評価が必要である。



(a) 真空(上段:電極全体、下段:拡大) (b) 大気(上段:電極全体、下段:拡大)

図IV-3 真空環境下での熱衝撃時に発生するウイスカ

(b)抑制手法

ウイスカを抑制する手法として、いくつかの技術が提案されている。

部品メーカー側の対策として、合金めっき処理が挙げられる。合金めっきの種類は、Sn-Cu、Sn-Bi、Sn-Ag がある。JEITA ET-7305「錫ウイスカ抑制鉛フリー材料選定のガイドライン JEITA ET-7305」にこれらの合金めっきの耐ウイスカ性についての特徴が示されている(表IV-1)。完全なウイスカ抑制メカニズムが分かっていないものの、このガイドラインの根拠となる様々な試験データが JEITA の「電子実装ウイスカ防止技術フォーラム」テキストで公開されている。また、下地 Ni めっきを施すことによって、Ni 層が Cu の拡散に対するバリアとして働き、ウイスカが抑制される。更に、めっき厚の最適化やめっき液・めっき条件の最適化など、部品メーカーのノウハウ的な要素がウイスカ抑制に効果を示している。こうしたことから、ウイスカの発生・成長のリスクを低くするためにも、鉛フリーはんだ選定時のめっき組成の選択は重要となる。また、熱処理によるウイスカの抑制対策も挙げられる。これは、Cu 基材上の純 Sn めっきに対して、150℃で 1 時間の熱処理を行う方法が主流であり、Sn の界面に一樣な合金層を形成することによる Cu 拡散のバリア効果が得られる。この JEITA ET-7305 は、こうしたウイスカ抑制に対応する材料選定について、ウイスカのメカニズムを理解することによりの確に、かつ効率よく行うこと意図して発行されている。

表IV-1 鉛フリー端子めっきの種類と特長

めっき種(融点)	内 容
Sn めっき	すずめっきとひとことで称しても、柱状晶などの結晶粒状態、結晶粒界の状態が異なり、このため内部応力が大きく異なる。材料構成だけでなく、これらの効果によって室温ウィスカや他のウィスカに対する耐ウィスカ性能は異なる。また、単にすずめっきだけではなく、めっき後に溶融するかまたは溶融しない熱処理を施すものもある。
Sn-Ag めっき	室温ウィスカは、すず粒界に沿った金属間化合物の成長による応力発生が影響するが、Sn-Ag めっきは、金属間化合物の形成が界面からすずの粒界へ成長するだけでなく、さらに微細な Ag_3Sn 粒子が分散し強化されると同時に結晶粒自体が微細になり応力分布が変化するなどの効果でウィスカの発生と成長を抑制すると考えられる。
Sn-Bi めっき	ビスマスの添加によって原子拡散が影響されると考えられるが、拡散が促進されるのか抑制されるのかの効果は確認されていない。ウィスカ全体を抑制するものと考えられている。また、銅基材との界面では、明らかにすずの粒界とは関係なく微細に Cu_6Sn_5 化合物が形成され、ウィスカ成長に必要な応力の形成が妨げられ、ウィスカ成長が抑制されるものと考えられる。この効果は、鉛添加の効果に類似している。
Sn-Cu めっき	Sn-Cu めっきとひとことで称しても、柱状晶などの結晶粒状態、結晶粒界の状態が異なり、このため内部応力の分布状態が大きく異なる。材料構成だけでなく、これらの効果によって室温ウィスカや全体のウィスカに対する耐ウィスカ性能は異なる。Sn-Cu めっきは、室温で成長するウィスカは発生し易い傾向にあり、扱いには十分な注意が必要である。望ましくは使うべきではない。

※JEITA ET-7305より引用

次に、鉛フリー部品の種類を問わずウィスカは発生するものと想定して、ウィスカを抑制する手法として、コンフォーマルコーティングが挙げられる。ロケット・アビオニクス系では、電子機器上に絶縁・耐湿を目的としてコンフォーマルコーティングが施される。コンフォーマルコーティングは、ユーザ側の選定する材料によって材料系統が異なり、作業性もコーティング膜厚が不均一になるなど、材料共通の特性を見出すことが難しいものの、コンフォーマルコーティングを施した電子機器において、Sn 系の鉛フリー部品のウィスカの成長に対して抑制効果があり、リスク低減の有効な手法と考えられる。

このようなウィスカ抑制手法について、その特長や効果を十分に理解し、鉛フリー部品選定や設計・組立を行う必要がある。

(c) 試験、検査方法

異なる部品メーカーやめっき仕様でのウィスカ成長性の比較や、部品ロット毎の品質モニタリングを行う場合、試験方法の標準化が必要不可欠である。試験方法や条件としては、表IV-2に示すような国際規格や業界規格が提唱されている。各規格とも試験項目はウィスカ発生メカニズム上重要度の高い、室温試験、高温高湿試験、温度サイクル試験の 3 種を取り上げ、製品ライフサイクルを想定したウィスカ成長性試験と条件が設定されている。

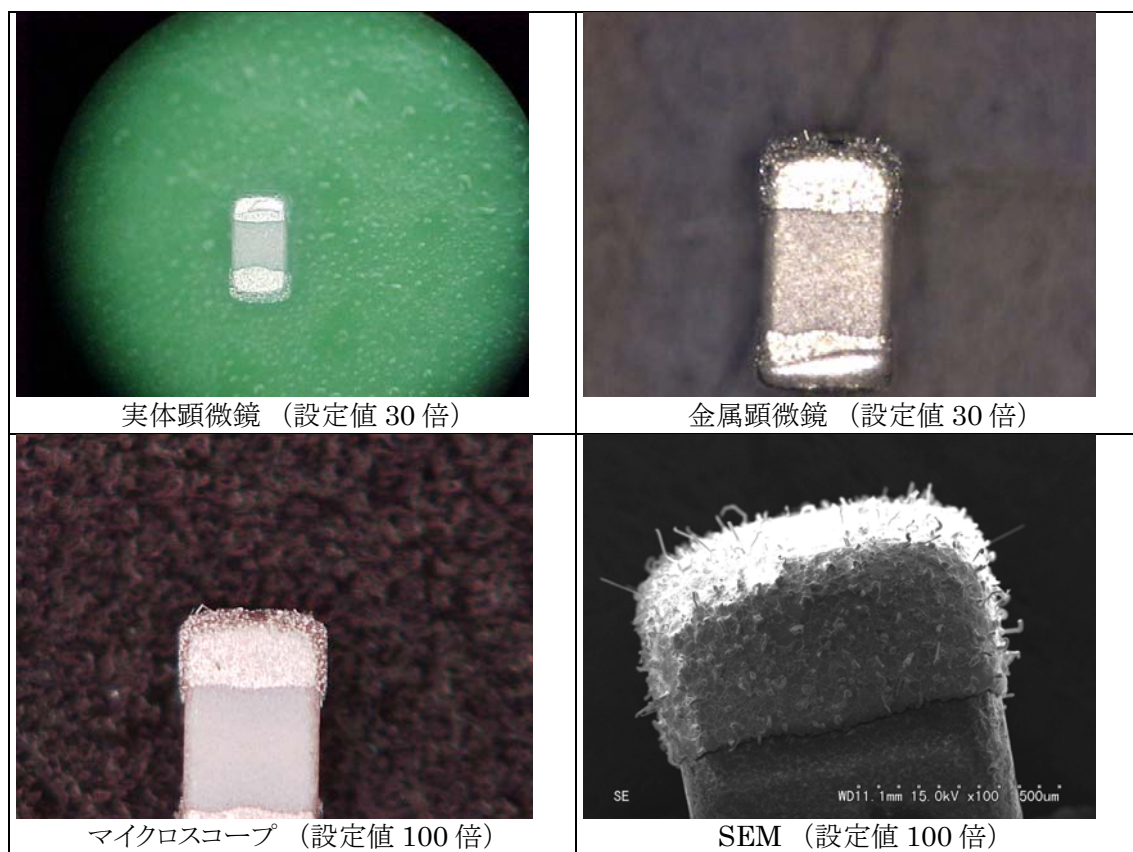
表IV- 2 ウィスカ試験規格

	JEITA ET-7410	IEC 60068-2-82 JIS C 60068-2-82	JESD22-A121A
室温放置	30℃/60%RH 4,000h	30℃/60%RH 又は 25℃50%RH 4,000h	30℃/60%RH 4,000h
高温高湿	55℃85%RH 2,000h	55℃85%RH 2,000h	55℃85%RH 4,000h
温度サイクル	低温:-40℃ 高温:85℃ さらし時間:30 分 1,000cyc	低温:-55℃又は-40℃ 高温:85℃又は 125℃ さらし時間:20 分 1,000 又は 2,000cyc	低温:-55℃又は-40℃ 高温:85℃ さらし時間:最小 10 分 1,500cyc
前処理	規定なし	前処理あり/なし 2 条件	前処理あり/なし 3 条件
ウィスカ長さ	規定なし	最大 50μm	最大 67μm

次に、ウィスカを検査する手法としては、光学顕微鏡による観察が必須となる。しかしながら、JERG-0-039 の 5.8.4 項(4 倍から 10 倍)や JERG-0-043 の 5.9.3 項(10 倍又は 20 倍)に規定する倍率を適用した検査では、数 μm のオーダーで発生するウィスカを検出することは不可能である。このため、鉛フリー部品の適用にあたっては、ウィスカを検査する手法、観察時期、判断基準を別途設ける必要がある。

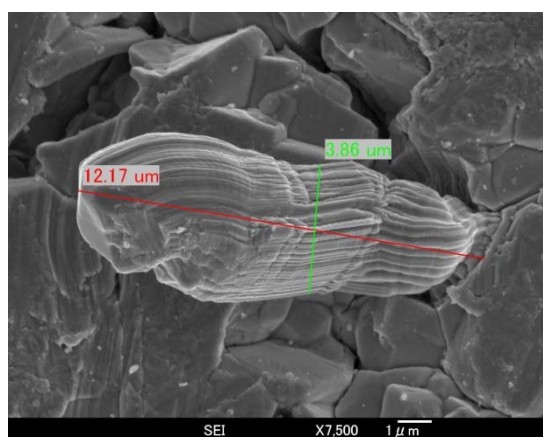
付録-VI ウィスカ試験方法例

図VI-1 に各種の検査機を用いてウィスカを観察した写真を示す。



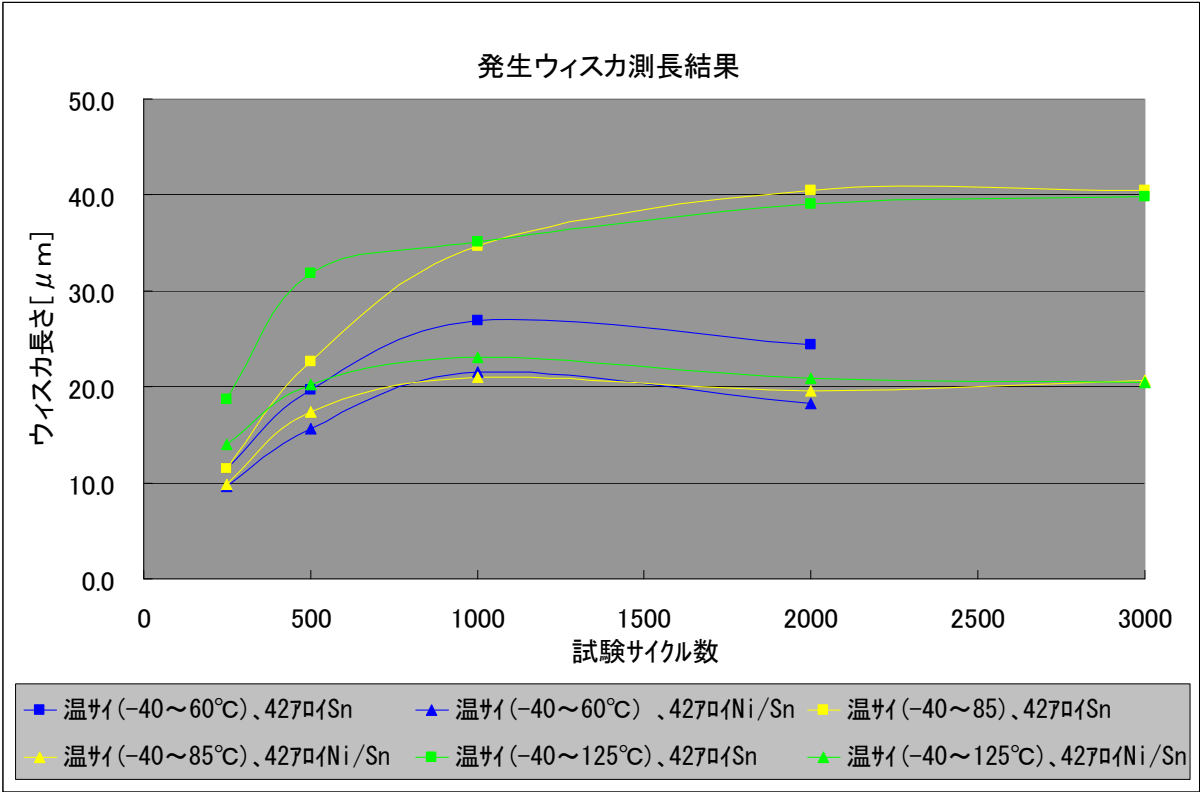
図VI- 1 ウィスカ観察写真

図VI-1 の写真を比較しても分かる通り、実体顕微鏡や 30 倍程度の金属顕微鏡ではウィスカの検出精度が低くなる。特にウィスカを測長する場合には、高倍率のマイクロスコープや電子走査顕微鏡 (SEM) を用いたウィスカ観察が実用的である。図VI-2 に SEM を用いたウィスカの測長例を示す。なお SEM 観察の場合においても、SEM の設定条件を工夫 (サンプル設置や電圧設定等) する等の経験が必要である。

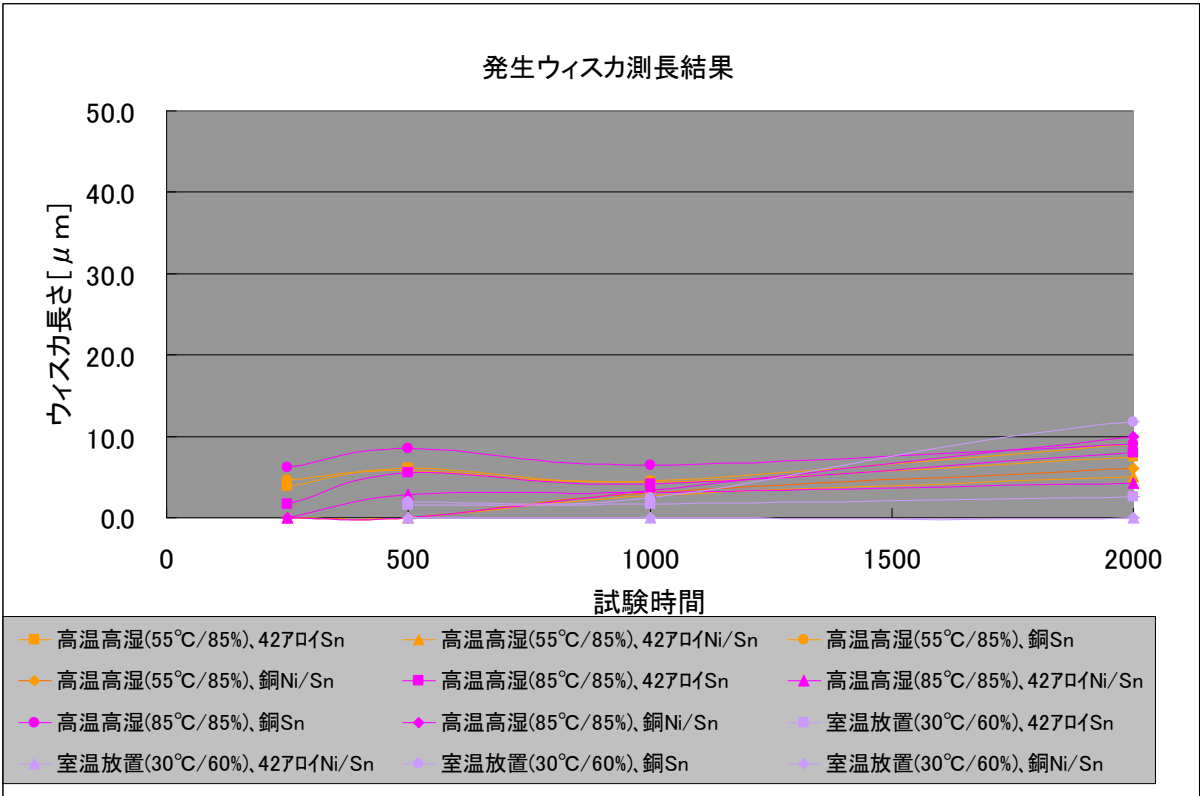


図VI- 2 ウィスカ測長例 (SEM)

図VI-3 及び図VI-4 に、ウィスカ測長結果を示すグラフを示す。



図VI- 3 ウイスカ成長長さ（温度サイクル試験）



図VI- 4 ウイスカ成長長さ（室温放置試験、高温高湿試験）

付録-Ⅶ 用語集

本文書で使用している用語の定義は、次のとおりである。

ENEPIGEG	一般に金パラジウムめっきと呼ばれる表面処理で、Cu 導体上に無電解めっき処理で Ni を、さらにその上に無電解めっき処理で Pd、置換めっき処理で Au を、最後に無電解めっき処理で Au めっきを行う。 ENEPIGEG は Electroless Nickel / Electroless Palladium / Immersion Gold / Electroless Gold の略称。
ENIG	一般にフラッシュ Au めっきと呼ばれる表面処理で、Cu 導体上に無電解めっき処理で Ni めっきを行い、その上に置換めっき処理により Au めっきを行う。 ENIG は Electroless Nickel / Immersion Gold の略称。
ウィスカ Whisker	金属の繊維状単結晶が成長した突起物で、アスペクト比(長さ／直径)が 2 以上のもの、かつ、長さが 10μm 以上のもの(JIS C 60068-2-82 参照)。
ウィッキング Wicking	毛細管現象によるはんだやフラックス洗浄液の吸い込み。
汚染物 Contaminant	対象としている物質の特性に悪影響を与える物質中の不純物又は異物。 汚染物には、イオン性と非イオン性とがある。イオン性又は有極性化合物は、水に溶解すると自由イオンとなり、水の導電経路が増加する。非イオン性物質は、自由イオンとならず、水の導伝性も増加しない。イオン性汚染物としては、フラックス活性剤、指紋、エッチング剤、めっき液などの付着物がある。
共晶組織 Eutectic Structure	2 成分以上の混合物の液体を徐々に冷却した時に、この液体から同時に晶出する 2 種類以上の結晶の混合物。Sn-Pb の場合、62.7Sn-37.3Pb が共晶組成で、183℃で液体から α 相 (Pb)と β 相 (Sn)が同時に晶出し、共晶組織を示す。
金属間化合物 Inter Metallic Compound	はんだと導体間に形成される合金相で、元の金属よりは硬く、脆い性質を持つ。 はんだ接合に見られる Sn と Cu において ε 相 (Cu₃Sn)と η 相 (Cu₆Sn₅)の金属間化合物が形成される。IMC ともいう。
クラック(又ははんだクラック) Crack	ひび割れのこと。特に、実装基板、部品、はんだの熱膨張係数の違いにより、はんだ接合部に熱応力が負荷されることにより発生する現象。
コンフォーマルコーティング Conformal Coating	プリント配線板等の部品実装後に防湿等を目的として非導電性の薄い保護コーティングを塗布する工程(JERG-0-040 参照)。本書では、ウィスカを抑制する目的にも用いている。
再加工 Rework	不具合物品又は変更を図面、仕様書の要求に適合させるためにやり直す再工程。

修理 Repair	不具合物品を利用可能な状態にするために加えられる処置。修理は工程をやり直すというよりは、新に技術指示を出し、通常のコンフィギュレーションと相異なる点があり、再加工とは区分される。
スルーホール TH (Through Hole)	プリント配線板において貫通接続を行うため、壁面に金属を析出させた穴。
接着固定 Staking	機械的又ははんだ付によって取り付けた部品又は構成品を補強支持のために非導電性の接着剤で接着固定する工程又は状態。
ディゴールド Degold	はんだ付前に、はんだディップ等により部品の Au 等のめっきを除去する工程。予備はんだにより Au めっき除去を行う場合もある。
ぬれ Wetting	溶融しているはんだが、接合しようとする固体金属の表面に十分に広がり、なじんでいることをいう。
ぬれ不良 Nonwetting	はんだが表面金属に対し、全く又は部分的にしかぬれていないことをいう。そのため金属表面がそのまま露呈することになる。
熱応力 Thermal Stress	物体の内部温度分布不均一、あるいは温度変化に対して外的な拘束などにより、本来生じる伸縮が妨げられ生じる温度起因の応力のこと。
はんだ Solder	複数の金属(通常は、すずと鉛)成分からなる溶融しやすい非鉄合金で、金属表面を接合するために使用される。接合部の電気抵抗が低いため、電気配線の接続部の接合によく使われる。
はんだ接合 Solder Connection	2 つ以上の金属面をつなぐためにはんだを用いた電氣的／機械的接続。
はんだ付 Soldering	母材を溶融させないではんだを使用して金属面を接合する作業。
ピット Pit	はんだ表面の小さなくぼみで、くぼみの底を周囲から目視できるもの。
PEM Plastic Encapsulated Microcircuit	プラスチック(主に樹脂系)パッケージの電子部品
ホットソルダーディップ HSD	鉛フリー部品の端子(リードや電極)めっきに対して、Sn・Pb 共晶はんだバスへのディップ(浸漬)等による置換を行い、3mass%以上の Pb を添加させる工法。工法の適用には、部品端子が確実に Sn・Pb に置換されているかの確認や、部品の信頼性品質に与える影響の評価等が必要である。
ポップコーン現象 Popcorn Phenomenon	主に樹脂系の部品パッケージ等の樹脂内に吸湿により水分が蓄積された状態で、はんだ付時の高温にさらされると破裂(水蒸気爆発)する現象。部品単体のみではなく周囲の部品や回路にも損傷を与える恐れがある。

Mixed assembly	部品の電極・端子を「鉛系又はすず系、金系」、はんだは「鉛含有はんだ」、プリント配線板(表面処理)は「すず鉛はんだコート」の組み合わせを適用し、鉛フリー部品に対して鉛含有はんだで実装する場合を指す。(「混載実装」と呼ばれる場合がある。「混載実装」は、リフローはんだ付けとフローはんだ付けの両プロセスを経る実装や大小の能動素子と受動素子とを混合して搭載する実装を指す場合もある。)
ランド Land	部品の接続、取付又はこの双方のため(これだけに限るわけではないが)に通常用いる導体パターン的一部分をいう。
リフトオフ Fillet lifting phenomenon	プリント配線板上に実装した挿入実装部品のリード端子とプリント配線板のランドとの間のはんだ接合部で、ランドとはんだの間、ランドとプリント配線板の基材との間などで、剥離状の破壊を起こしている状態。
リフローはんだ付 Reflow Soldering	はんだ結合する部品とはんだを重ね合わせ、はんだが溶解するまで加熱後冷却し、合わせ面をはんだによって結合させる処理。
ロット Lot	本書におけるロットとは、対象となる鉛フリー部品の購入単位である「購入ロット」のことを言う。 これは鉛フリー部品の多くが製造ロット(錫めっきプロセス)の管理が困難であり、購入ロット以降での管理となるためである。 なお、製造ロット(錫めっきプロセス)の管理ができるケースについては、本書 付録・Ⅱ テーラリングガイドを参照のこと。
RoHS 指令	欧州にて 2003 年 2 月に EU 官報に公示され、発行した指令であり、2006 年 7 月 1 日以降、上市される新しい電気電子機器に関して、①鉛、②水銀、③カドミウム、④六価クロム、⑤ポリ臭化ビフェニール(PBB)及び／または⑥ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)の使用を禁止するものである。