



## 姿勢制御系設計標準

平成25年 3月29日 A改定  
(平成20年 9月 3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

第 1 章	総則	1
1.1	目的	1
1.2	範囲	1
1.3	関連文書	1
1.3.1	文書体系	1
1.3.2	適用文書	1
1.3.3	参考文書	1
1.4	用語・略号	2
1.4.1	用語	2
1.4.2	略号	3
1.4.3	単位	3
第 2 章	姿勢制御系の設計の進め方	4
2.1	全般	4
2.1.1	姿勢制御系の構成	4
2.1.2	姿勢制御系設計作業(設計技術の概要)	6
2.2	制御エンジニアリングプロセスの定義	6
2.3	各プロジェクトフェーズにおける制御エンジニアリング業務	7
第 3 章	姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項	8
3.1	制御エンジニアリング管理 (インテグレーション及び管理)	8
3.1.1	全般	8
3.1.2	制御エンジニアリング計画管理 (活動の組織及び計画)	8
3.1.3	技術データ管理 (システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供)	8
3.1.4	他分野とのインタフェース管理	8
3.1.5	制御器の一部としてのマン・マシン・インタフェース管理	8
3.1.6	配分及びマージン管理の方針設定	8
3.1.6.1	配分及びマージンを管理すべき性能・機能要求	8
3.1.6.2	マージンに関する方針	9
3.1.7	制御技術とコスト効率のアセスメント (事前評価)	9
3.1.8	リスク管理	9
3.1.9	姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援	9
3.1.10	コンフィギュレーション管理 (飛行中の保守を含む制御に関する変更管理)	9
3.1.11	制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント (事前評価)	9
3.1.12	安全管理	9
3.1.13	信頼性管理	9
3.1.14	品質保証	9
3.2	要求分析及び要求事項の管理	10
3.2.1	全般	10
3.2.2	要求分析	10
3.2.3	姿勢制御要求の作成	10
3.3	姿勢制御系設計	12
3.3.1	全般	12
3.3.2	システム設計	13
3.3.2.1	全般	13
3.3.2.2	方式設計	13
3.3.2.3	制御アルゴリズム設計	14
3.3.2.4	運用モード設計	14
3.3.2.5	機能設計	15
3.3.2.6	構成設計	15
3.3.2.7	コンポーネント設計	15
3.3.2.8	インタフェース設計	16

3.3.2.9	地上検証試験対応設計	16
3.3.2.10	設計過誤の防止	16
3.3.3	要素設計 制御器の設計	16
3.3.3.1	全般	16
3.3.3.2	設計過誤の防止	17
3.3.4	要素設計 コンポーネント設計	17
3.3.4.1	センサ	17
3.3.4.2	アクチュエータ	17
3.3.4.3	搭載ソフトウェア	17
3.3.5	運用実装設計	19
3.3.5.1	全般	19
3.3.5.2	姿勢制御系の運用システムへの実装方法	19
3.4	解析	19
3.4.1	全般	19
3.4.2	解析モデル、解析手法及び解析ツール	20
3.4.2.1	全般	20
3.4.2.2	解析モデルの定義	21
3.4.2.3	解析手法及び解析ツール	22
3.4.3	要求分析のための解析	23
3.4.3.1	全般	23
3.4.3.2	ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援	23
3.4.3.3	外乱及び擾乱解析	23
3.4.4	姿勢制御系性能解析	24
3.4.4.1	全般	24
3.4.4.2	誤差解析	24
3.4.4.3	安定解析・ロバスト性解析	24
3.4.5	検証解析	24
3.5	製作・試験	25
3.6	検証および妥当性確認	25
3.6.1	全般	25
3.6.2	制御検証計画の策定	25
3.6.2.1	全般	25
3.6.3	予備性能検証	25
3.6.3.1	全般	25
3.6.4	最終的機能および性能検証	25
3.6.4.1	全般	25
3.6.4.2	解析による検証	25
3.6.4.3	搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証	25
3.6.5	軌道上評価	26
3.7	運用・維持・廃棄	26
3.7.1	全般	26
3.7.2	運用・維持	27
3.7.3	廃棄	27
付録1	制御系設計標準関連文書体系	28
付録2	制御系設計プロセスに対する要求事項適用方針	29
付録3	姿勢制御系開発仕様書及び姿勢制御系インタフェース条件書 目次サンプル	38

## 第1章 総則

### 1.1 目的

人工衛星の姿勢制御系はミッションの成否に直接関わる重要なシステムである。姿勢制御系は『人工衛星の姿勢』を制御目標とする制御系であり、原則として「制御系設計標準」で規定される開発プロセスが適用される。本標準は、「制御系設計標準」の開発プロセスに対する要求に準じて、『人工衛星の姿勢』を制御目標とする場合の具体的な要求を規定する。

### 1.2 範囲

本標準では宇宙システムの一部として開発される人工衛星の姿勢制御系について取り扱う。人工衛星の姿勢制御系に関連する宇宙セグメント、地上セグメント及び打上げサービスセグメントを含む宇宙システムの全ての要素に適用される。

本標準は、要求定義、解析、設計、製作、検証及び実証、輸送、運用及び保守を含む宇宙システムの全ての分野、ライフサイクルを適用範囲とする。

本標準を特定のプロジェクトに適用する場合には、本標準に示される要求はプロジェクトの条件に合わせてテーラリングする必要がある。

### 1.3 関連文書

#### 1.3.1 文書体系

「制御系設計標準」に関連する文書体系は以下の通りである（付録1に体系を示す）。

- (1) 第2階層 制御系設計標準
- (2) 第3階層 個別設計標準
- (3) 第4階層 ハンドブック、マニュアル

#### 1.3.2 適用文書

本標準の適用文書を以下に示す。以下の文書は、この標準に定める範囲においてこの標準の一部をなす。この標準と適用文書との間で矛盾が生じた場合は、特に定めのない限りこの標準が優先する。この標準の使用者は適用文書の最新版の適用について使用者が検討する事が推奨される。

- (1) BDB-06007B システムズエンジニアリングの基本的な考え方 初版
- (2) システムズエンジニアリング推進室長 通達 第19-1号 プロジェクトマネジメント実施要領
- (3) JMR-001B システム安全標準
- (4) JMR-004C 信頼性プログラム標準
- (5) JMR-005A 品質保証プログラム標準
- (6) JMR-006 コンフィギュレーション管理標準
- (7) JERG-2-610 宇宙機ソフトウェア開発標準
- (8) JERG-2-700 運用設計標準
- (9) BDD-06005 JAXA技術成熟度(TRL)運用ガイドライン
- (10) JERG-2-007 人工衛星設計過誤防止基準
- (11) JERG-2-500A 制御系設計標準
- (12) JERG-2-600 ソフトウェア開発標準

#### 1.3.3 参考文書

- (1) JMR-011 リスクマネジメントハンドブック
- (2) ECSS-E-60A Control
- (3) 本標準に関連するハンドブック、マニュアルを以下に示す。  
(第3階層、第4階層の文書)
  - ① JERG-2-151 ミッション・軌道設計標準
  - ② JERG-2-153 指向管理標準
  - ③ JERG-2-152 擾乱管理標準
  - ④ JERG-2-151-HB001 ミッション・軌道設計ハンドブック
  - ⑤ JERG-2-152-HB101 擾乱管理マニュアル
  - ⑥ JERG-2-100-HB101 標準座標系・時系利用マニュアル
  - ⑦ JERG-2-510-HB102 人工衛星の姿勢表現・運動の基礎マニュアル

- ⑧ JERG-2-510-HB001 姿勢制御系技術ハンドブック
- ⑨ JERG-2-510-HB002 姿勢制御系コンポーネント技術ハンドブック
- ⑩ JERG-2-510-HB003 姿勢制御系検証技術ハンドブック

## 1.4 用語・略号

### 1.4.1 用語

制御系の設計標準に規定される用語に加えて以下の用語を定義する。各用語の解説は第3階層、第4階層のハンドブック、マニュアルを参照すること。

- (1) 静的閉ループ試験
- (2) 動的閉ループ試験
- (3) 静的開ループ試験
- (4) 動的開ループ試験
- (5) アクチュエータ  
制御装置からのコマンドを、被制御プラントに対する物理的効果に変換する技術システムまたは装置。
  - ① リアクションホイール
  - ② モーメンタムホイール
  - ③ ホイール駆動回路
  - ④ コントロールモーメントジャイロ
  - ⑤ バルブ駆動回路
  - ⑥ 磁気トルカ及び磁気トルカ駆動回路
  - ⑦ ガスジェット推進系
- (6) センサ  
被制御プラントの状態を測定し、測定した状態量を制御装置へのフィードバック入力として提供する装置。
  - ① 地球センサ
  - ② 太陽センサ
  - ③ 恒星センサ
  - ④ 慣性基準装置
  - ⑤ レートジャイロ
  - ⑥ 加速度計
  - ⑦ GPS 受信機
- (7) 姿勢・軌道制御電子回路
- (8) バイアストモーメンタム姿勢制御方式
- (9) ゼロモーメンタム姿勢制御方式
- (9) 姿勢マヌーバ
- (10) ゲイン余裕 (ゲイン・マージン)
- (11) 位相余裕 (フェーズ・マージン)
- (12) 柔構造モード
- (13) 外乱
  - ① 太陽光圧外乱
  - ② 重力傾度外乱
  - ③ 地磁気外乱
  - ④ 空力外乱
- (14) 内部擾乱 (制御系内、プラント内で発生する外乱を内部擾乱または擾乱と称する)
- (15) 制御モード  
制御系の特定の制御機能を実行するための機能単位。
- (16) 運用モード  
制御モードを組み合わせ、制御系として特定の運用時に要求される機能を実行するための機能単位。
- (17) 動作モード  
運用モード及び制御モードに対応した、ソフトウェア及び機器の動作状態 (機器の場合はオン、

オフ等の状態を含む)。

#### 1.4.2 略号

制御系の設計標準に規定される略号に加えて以下の用語を定義する。

- |          |                          |          |
|----------|--------------------------|----------|
| (1) SCLT | Static Closed Loop Test  | 静的閉ループ試験 |
| (2) DCLT | Dynamic Closed Loop Test | 動的閉ループ試験 |
| (3) SOLT | Static Open Loop Test    | 静的開ループ試験 |
| (4) DOLT | Dynamic Open Loop Test   | 動的開ループ試験 |

(5) アクチュエータ

制御装置からのコマンドを、被制御プラントに対する物理的效果に変換する技術システムまたは装置。

- |       |                                    |                 |
|-------|------------------------------------|-----------------|
| ① RWA | Reaction Wheel Assembly            | リアクションホイール      |
| ② MWA | Momentum Wheel Assembly            | モーメントムホイール      |
| ③ WDE | Wheel Drive Electronics            | ホイール駆動回路        |
| ④ CMG | Control Moment Gyro                | コントロールモーメントジャイロ |
| ⑤ VDE | Valve Drive Electronics            | バルブ駆動回路         |
| ⑥ MDE | Magnetic Torquer Drive Electronics | 磁気トルカ駆動回路       |
| ⑦ SPS | Secondary Propulsion Subsystem     | ガスジェット推進系       |

(6) センサ

被制御プラントの状態を測定し、こうした状態を制御装置へのフィードバック入力として提供する装置。

- |          |   |                        |
|----------|---|------------------------|
| ① ESA    | Earth Sensor Assembly   | 地球センサ                  |
| ② SSA    | Sun Sensor Assembly   | 太陽センサ                  |
| ③ SS     | Star Sensor   | 恒星センサ                  |
| ④ IRU    | Inertial Reference Unit                                       | 慣性基準装置                 |
| ⑤ RGA    | Rate Gyro Assembly  | レートジャイロ                |
| ⑥ ACC    | Accelerometer   | 加速度計                   |
| ⑦ GPSR   | GPS Receiver  | GPS 受信機                |
| (7) AOCE | Attitude & Orbit Control Electronics                          | 姿勢・軌道制御電子回路            |
| (8) FDIR | Fault Detection , Isolation and Recovery (or Reconfiguration) | 故障検知・分離・復帰 (または再構成) 機能 |
| (9) ACFS | Attitude Control Flight Software                              | 姿勢制御系搭載ソフトウェア          |

#### 1.4.3 単位

国際単位系 (SI) を使用する (慣用的に SI によりがたい場合は慣用的な単位を併記する)。

## 第2章 姿勢制御系の設計の進め方

### 2.1 全般

#### 2.1.1 姿勢制御系の構成

本標準で取り扱う制御エンジニアリング（CE）の範囲を示すために図 2-1 に一般的な姿勢制御系の構成を示す。

図 2-1 において全姿勢制御系は『制御目標を達成するための特定システムの内、制御に関連する部分』を指す。具体的には、姿勢制御系（制御目標を達成するために必要な、制御器、センサ、アクチュエータ等の要素を含む）と衛星の被制御プラント（姿勢ダイナミクス）からなる。また、軌道制御系は姿勢制御系と関連の深い分野で、軌道制御のためには姿勢制御が必須である。このため、しばしば、『姿勢・軌道制御系』として軌道制御と姿勢制御は一体化される。このように軌道制御が一体化された系も本標準で扱うものとする。この場合図 2-1 の被制御プラントには軌道ダイナミクスが含まれる。

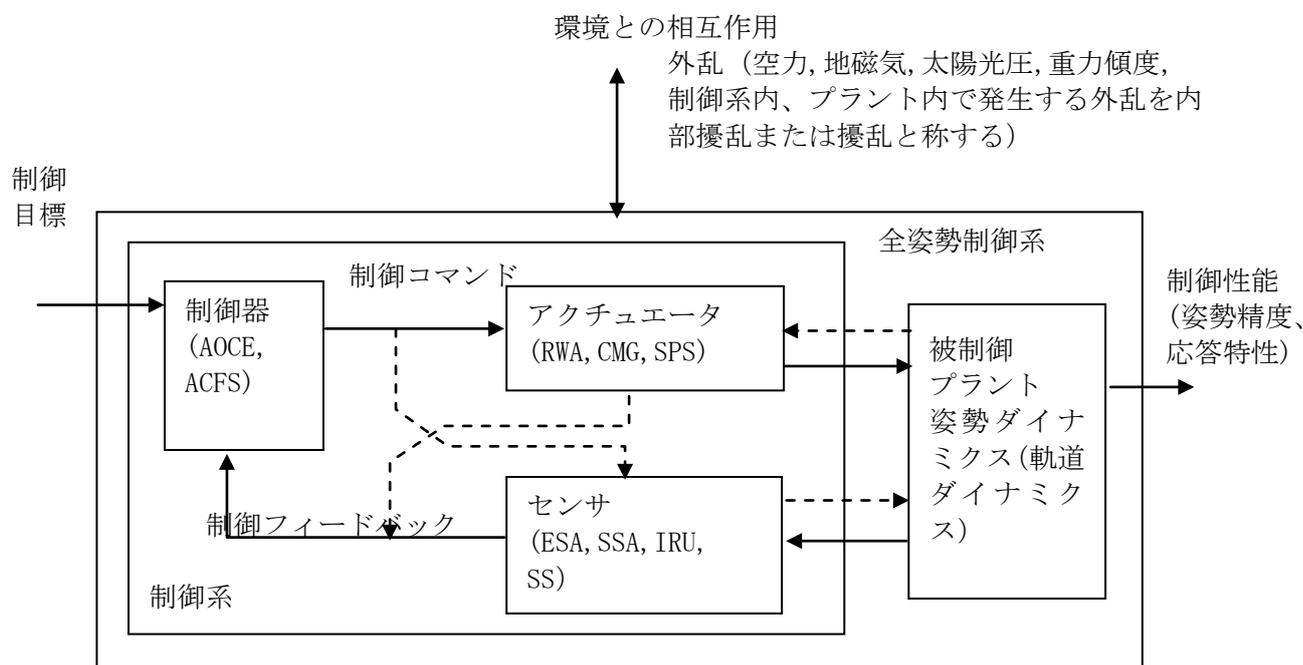


図 2-1 一般的な姿勢制御系の構成

姿勢制御系開発における、制御エンジニアリングの目的は被制御プラントに環境からの外乱の存在下で制御目標を達成させることであり（所望の制御性能を達成する）、また、そのための姿勢制御系を開発することにある。

この目的のため、アクチュエータ（制御器からの指令を被制御プラントにおいて物理的な効果に変換する技術的なシステム又は装置）、センサ（被制御プラントの状態量を測定し制御器に制御フィードバックを供給する装置）等の適切な装置が使用される。図 2-1 には以上の基本的な情報の流れ（古典的なフィードバックループ）が実線で示されている。また、図 2-1 には波線で 2 次的な情報の流れまたは物理的な応答が示されている。姿勢制御系においては、アクチュエータの発生する制御力はセンサを介さずに制御コマンドを作るための信号として使用されることがある（フィードフォワード制御）。多くのセンサは制御器からの信号により、観測値の補正等が行われる（これらの補正は制御器内で実施される場合もある）。

姿勢制御における制御器の構成、および姿勢制御系における制御器は以下のようなものである。

- (a) AOCE（デジタルまたはアナログの制御電子機器）
- (b) ACFS（ソフトウェア）及び人間による操作（運用）
- (c) 宇宙セグメント及び地上セグメント（制御ループが地上を経由して閉じている場合）の要素
- (d) 運用計画（コマンドのオフライン作成）及びこれらコマンドの実行（オンライン作業）
- (e) ノミナル及びバックアップ制御（例外処理、FDIR機能）

一般に姿勢制御系はミッションの特定のフェーズまたは定常的なミッション遂行フェーズまでに幾つかの制御または運用モードを取る必要がある。これらの制御または運用モードにおいて、制御機能のハードウェア・ソフトウェアと人間による操作、宇宙セグメントと地上セグメント、計画と実行への配分は、状況の予測可能性（信頼出来るモデルが利用できるか）、応答時間、利用可能な搭載計算機のリソース、利用可能な通信帯域とカバレッジ、意志決定の複雑さ、開発・運用コスト、許容可能なリスク等をトレードオフして決定される。

人間による運用と地上システムは高次の制御器として制御性能を達成するための必須な要素であり、これらについても考慮することは重要である。標準では運用と地上システムについては「運用設計標準」(JERG-2-700)を参照している。図 2-1 には示されていないが姿勢制御系は、制御モード切り替え（制御器内及びセンサ、アクチュエータ）、全姿勢制御系及びプラント状態のモニタ、モデルの更新、FDIR等の全ての機能を含む。

姿勢制御系の制御性能は一般的には以下のようなものからなる。ただし、制御性能以外の耐機械環境性能、電気性能等の一般的な性能については電気・機械系設計標準による。

#### (1) 姿勢精度

一般的にはミッション要求である指向精度から配分されるが、姿勢制御精度が直接ミッション要求となる場合がある。姿勢精度は以下の様な要素に分かれ、ミッションによっては②の姿勢決定精度が規定される場合もある。これらの性能を規定する場合には、姿勢制御系・姿勢決定系の帯域、外乱（擾乱を含む）、ノイズ等の誤差源と統計的な意味及び集計方法等も規定する必要がある。

- ① 姿勢制御精度
- ② 姿勢決定精度

#### (2) 姿勢安定度

一般的にはミッション要求である指向安定度から配分されるが、姿勢安定度が直接ミッション要求となる場合がある。姿勢安定度は以下の様な要素に分かれ、ミッションによっては②の姿勢決定安定度が規定される場合もある。これらの性能を規定する場合には、姿勢制御系・姿勢決定系の帯域、外乱（擾乱を含む）、ノイズ等の誤差源と統計的な意味及び集計方法等も規定する必要がある。

ミッションから要求される基準時間内の姿勢又は姿勢決定値の変動として定義される。ミッション側から基準時間の指定がない場合は単位時間内の姿勢又は姿勢決定値とする。

- ① 姿勢制御安定度
- ② 姿勢決定安定度

#### (3) 応答特性

姿勢制御系には姿勢マヌーバが要求される場合がある。姿勢マヌーバの目的は、ミッション要求により、特定の姿勢に人工衛星の姿勢を指向させる場合に必要になる場合と、最終的な指向方向に姿勢を移行させる過程で必要になる場合がある（捕捉マヌーバと呼ばれる）。いずれの場合も、マヌーバには時間が規定される。マヌーバに伴う応答特性は以下のようなものからなる。

- ① 姿勢移行時間
- ② 収束時間

姿勢移行中の姿勢精度が要求される場合は、①項によるものとする（動的な誤差が追加される）。また、軌道制御モードの開始等やモード遷移では過渡応答が発生する場合がある。このような過渡応答に対しては上記②項が要求される。

#### (4) その他の機能・性能

制御エンジニアリングとしては、上記(1)から(3)項までの要求の他に、以下のような機能・性能項目を管理するものとする。

- ① 安定性・ロバスト性
- ② FDIR 機能

### 2.1.2 姿勢制御系設計作業(設計技術の概要)

前節の様な一般的な姿勢制御系の構成から、姿勢制御系における制御エンジニアリングは最低以下のような作業が含まれる。

- ① 制御目標を定義するためのミッション目標の解析
- ② 被制御プラントのモデリング及び環境との相互作用に関する解析
- ③ 制御要求に関してセンサ、アクチュエータ（コンフィギュレーションと特性）のモデリングと解析
- ④ 要求分析と仕様定義、制御器の設計とコンフィギュレーション設計
- ⑤ 制御性能の検証
- ⑥ 姿勢制御系に関わる地上運用

結果として姿勢制御系における制御エンジニアリングでは以下のような分野技術を統合するシステムズエンジニアリング活動となる。

- (1) 機構学、力学、宇宙環境とその影響、デジタル・アナログ電子機器、制御理論、計算機システム及びネットワーク、ソフトウェア技術、運用等を含む多面的な分野の知識が必要な技術である。
- (2) システムの側面が強く、システムズエンジニアリングと連携の必要な技術である。

特に上記①②④等に関する作業は一般的にはシステム解析と言われる分野であり、姿勢制御系の設計プロセスの初期フェーズでシステムとの分担を規定しておくものとする。

## 2.2 制御エンジニアリングプロセスの定義

姿勢制御系の開発に適用される制御エンジニアリングはシステムズエンジニアリングの一部であり、システムズエンジニアリングと密接に連携して作業が進められる。全姿勢制御系の様な大規模なシステムを高い品質を保ちながら確実に効率よく開発するために、段階的プロジェクト計画法（PPP: Phased Project Planning）が用いられている。PPP では、開発全体をいくつかのフェーズに区分し、各フェーズで行うべき作業内容を段階的に定義する。姿勢制御系が人工衛星のサブシステムとして人工衛星本体と一括して開発される場合と、人工衛星の開発と独立して開発される場合では、制御エンジニアリングとしての作業項目が異なる。また、制御エンジニアリングとして実施すべき作業項目は姿勢制御系の開発方法によっても異なる。基本的には各フェーズで実施すべき作業は「制御系設計標準」に準ずるものとするが、システムとの係わりの大きな分野においては、開発の初期フェーズで開発方式とともにシステムとの作業分担を明確にしておくものとする。

- フェーズ-0～フェーズ-A —— ミッション要求定義、システム要求の決定。概念設計。  
 フェーズ-B —— システム・サブシステム・コンポーネントの基本設計、試作。予備・基本設計。  
 フェーズ-C —— 同上の詳細設計（衛星の場合、EM・STM 試験と評価も含む）。詳細設計。  
 フェーズ-D —— 製作・インテグレーション試験。維持設計。  
 フェーズ-E —— 打上げ・運用。  
 フェーズ-F —— 後期運用・廃棄。

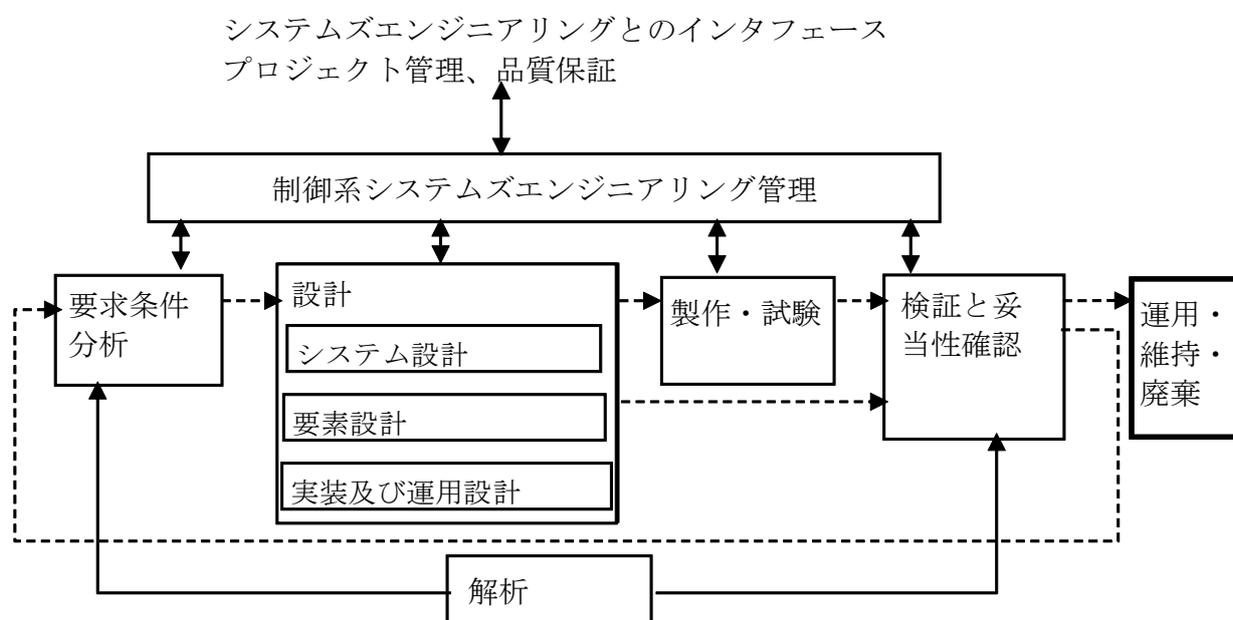
また各フェーズにおいて制御エンジニアリングは以下のような作業から構成される。

- (1) 制御エンジニアリング管理（インテグレーション及び管理）  
 全姿勢制御系を全体的に定義、実現するための、全てのプロジェクトフェーズを通じた、制御に関わる様々な分野をインテグレーションする作業。
- (2) 設計  
 各フェーズでの設計作業は以下のような作業からなる。
  - (i) 要求条件分析：ミッション及びシステム要求の適切な解釈、一貫性のある妥当な制御要求の導出、下位のコンポーネントの要求定義、それら各要求の状態とトレーサビリティの継続的な監視。
  - (ii) 解析：制御に関する機能・性能要求に関わる問題を解決するための全てのレベル、また全ての分野の解析。代替案の評価、制御性能検証、試験の補完等を含む。
  - (iii) 設計（システム設計及び要素設計）：適切な解析及びトレードオフ作業の支援を受けながら、制御要求を満足する物理的な制御アーキテクチャ及び制御器を設計する作業。設計にはマージンに関する方針に従い、適切な方法により全ての機能・性能を評価し制御系要求とし

て配分する作業が含まれる。  
設計プロセスは以下のような作業を含む。

- ① システム設計
  - (a) 方式設計（トレードオフを含む）
  - (b) 構成・機能設計
- ② 要素設計
  - (a) 制御器設計
  - (b) コンポーネント設計
  - (c) 実装及び運用設計
- (3) 製作・試験
- (4) 検証・妥当性確認  
全姿勢制御系が制御目標及び要求に合致していることを実証する。

これらの制御エンジニアリングに関わる作業はシステム開発の様々なフェーズにおいて、適切な姿勢制御系及びそのコンポーネント開発管理のもとで、お互いを支援するために並行で実施される。それぞれの相互作用については図 2-2 に示す。



\*図 2-2 制御エンジニアリング活動間の相互作用  
（「制御系設計標準」より）

\*: ECSS-E-60A Control engineering (14September2004)より

### 2.3 各プロジェクトフェーズにおける制御エンジニアリング業務

「制御系設計標準」（JERG-2-500）によるものとする。

ただしシステムで要求される信頼度、技術成熟度等により実施する業務は省略可能である（付録 2 参照）。

### 第3章 姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項

#### 3.1 制御エンジニアリング管理（インテグレーション及び管理）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）によるものとする。

但し、姿勢制御系が衛星本体と一括して開発され、衛星本体のシステムエンジニアリングの一環として制御エンジニアリング管理が実施される場合は、システム側との協議によりシステムズエンジニアリング管理として一括して実施できるものとする。

##### 3.1.1 全般

- (1) 「システムズエンジニアリングの基本的な考え方」（BDB-06007）に準拠し、システムズエンジニアリング活動と連携して制御エンジニアリング管理を実施する。
- (2) 制御エンジニアリング管理は制御エンジニアリングの観点からシステムズエンジニアリング管理活動を支援する。
- (3) 制御エンジニアリング管理はシステムズエンジニアリング管理計画（SEMP）及びシステムズエンジニアリングに関するインテグレーション及び管理要求と整合している必要がある。

##### 3.1.2 制御エンジニアリング計画管理（活動の組織及び計画）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて制御エンジニアリング計画管理を実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して管理される場合は姿勢制御系としては支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

##### 3.1.3 技術データ管理（システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて技術データ管理を実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して技術データが管理される場合は、制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

##### 3.1.4 他分野とのインタフェース管理

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて他分野とのインタフェース管理を実施する。

他分野とのインタフェース事項はインタフェース管理仕様書（システムで管理）、インタフェース条件書（システムで管理）及びインタフェース管理図に規定されるものとする。

##### 3.1.5 制御器の一部としてのマンーマシン・インタフェース管理

- (1) 制御エンジニアリングは人間が制御ループの中に入る場合は人間工学の活動を支援する。
- (2) 以下の様な項目が検討される必要がある。
  - ① 人間の機能特性・能力
  - ② マンーマシン・インタフェース
  - ③ 制御運用訓練

##### 3.1.6 配分及びマージン管理の方針設定

###### 3.1.6.1 配分及びマージンを管理すべき性能・機能要求

姿勢制御系設計で管理すべき配分値及びマージンとしては以下のものを含むものとする。

以下の姿勢制御系の性能項目に関する配分・マージンを管理する場合、外乱（擾乱を含む）等の関連する条件とともに管理するものとし、配分及びマージンの算定には実績ある手法を使用するものとする（3.4節参照）。また、姿勢とともに軌道も一体化して制御される場合は軌道制御精度等も主要な性能項目となる。

- (1) 姿勢精度
 

制御系の帯域を明確にし、帯域内で達成可能な精度配分とすること。

  - ① 姿勢制御精度
  - ② 姿勢決定精度
- (2) 姿勢安定度
 

制御系の帯域を明確にし、帯域内で達成可能な安定度配分とすること。

  - ① 姿勢制御安定度
  - ② 姿勢決定安定度
- (3) 応答特性（マヌーバ等に伴う応答特性）
  - ① 制御モード遷移時間
  - ② 収束時間

姿勢移行中の姿勢精度が要求される場合は、(1)項によるものとする（動的な誤差を追加）。

(4) その他の機能・性能

直接的な制御性能とは別に、以下の制御性能は制御エンジニアリングとして管理する必要がある。

- ① 制御安定性・ロバスト性（柔構造、スロッシング等に対する制御安定性を含む）
- ② 制御帯域
- ③ FDIR 機能（軌道上及び地上システムへの機能配分を含む）
- ④ 運用要求及び自律化機能（軌道上及び地上システムへの機能配分を含む）
- ⑤ 制御力

### 3.1.6.2 マージンに関する方針

マージンに関する方針、基準を確立し適用する。

マージン管理に関する基準は、同種の姿勢制御系実績等（姿勢制御系設計ハンドブック参照）を参考にし、開発フェーズに応じて適切なマージンを設定し管理するものとする。

### 3.1.7 制御技術とコスト効率のアセスメント（事前評価）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて制御技術とコスト効率のアセスメントを実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して制御技術とコスト効率のアセスメントが実施される場合は制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

### 3.1.8 リスク管理

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて制御技術とコスト効率のアセスメントを実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して制御技術とコスト効率のアセスメントが実施される場合は制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

### 3.1.9 姿勢制御系コンポーネント調達技術支援

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援を実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して姿勢制御系コンポーネント調達管理が実施される場合は制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

### 3.1.10 コンフィギュレーション管理（飛行中の保守を含む制御に関する変更管理）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じてコンフィギュレーション管理を実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括してコンフィギュレーション管理が実施される場合は制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

### 3.1.11 制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント（事前評価）

「制御系設計標準」（JERG-2-500）に準じて制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメントを実施する。

システムズエンジニアリング管理として一括して制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメントは制御エンジニアリングとして支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

### 3.1.12 安全管理

「システム安全標準」（JMR-001）に従って管理する。

### 3.1.13 信頼性管理

「信頼性プログラム標準」（JMR-004）に従って管理する。

姿勢制御系に FDIR 要求が規定される場合は、信頼性管理において、サブシステム FMEA、FTA 及びコンポーネント機能 FMEA 等を実施し、FDIR 機能要求の評価を実施する。

### 3.1.14 品質保証

(1) 「品質保証プログラム標準」（JMR-005）に従って管理する。

(2) ソフトウェアに関しては「ソフトウェア開発標準」（JERG-2-600）に従って管理する。

## 3.2 要求分析及び要求事項の管理

### 3.2.1 全般

制御エンジニアリングのうち、要求分析及び要求事項を管理する業務を要求エンジニアリングと定義する。本節では姿勢制御系の開発に係わる要求エンジニアリング活動に対する要求を規定する。基本的には「制御系設計標準」(JERG-2-500)に規定される要求分析及び要求事項の管理が実施されるが、人工衛星開発を一括してシステムとして要求エンジニアリング活動が実施される場合は、姿勢制御系としては支援内容と支援のための組織を明確にするものとする。

要求エンジニアリングの適用対象となる制御要求は、以下の3種類に分けることができる。

#### (1) システムからの要求、設計制約

ミッション要求から導出され、システム要求として姿勢制御系に配分される要求(ミッション要求が直接システム要求となる場合がある)で、姿勢制御系固有のものは以下のようなものがある。

- ① 姿勢精度と設計制約：機体質量特性、柔構造特性、スラスト特性、システムアライメント精度
- ② 運用要求：各モードでの姿勢制約、収束時間等
- ③ 視野特性：光学のセンサ、電波センサ(GPS受信機を含む)アンテナ覆域等

#### (2) サブシステムレベルの要求

姿勢制御系が満たすべき要求。システムレベルの目標から導出され、以下の項目が含まれるものとする。

- ① 制御器(AOCE、ACFS)に適用される要求
  - (a) 姿勢精度：制御器の有すべき姿勢制御精度、姿勢決定精度要求
  - (b) 姿勢安定度：制御器の有すべき姿勢制御安定度、姿勢決定安定度要求
- ② センサとアクチュエータに適用される要求
  - (a) センサ精度(バイアス及びランダムノイズ等)及び姿勢決定方式
  - (b) アクチュエータの外乱(擾乱を含む)及び出力要求並びにアクチュエータ制御方式
- ③ 被制御プラントに適用される要求(視野要求または質量特性など)

#### (3) 運用要求

- ① 各モードでの運用要求及びミッション固有の運用要求
- ② 姿勢制御系が地上での操作に対して課する要求または制約。特に、地上処理要求など

### 3.2.2 要求分析

要求分析にあたっては実績ある解析手法等を利用するものとする。要求分析において具体的に適用すべき解析手法に関する要求は3.4節に示す。

#### (1) システムレベルの要求分析

##### ① ミッション要求分析支援

姿勢制御系が関連するミッション要求としては指向精度、指向安定度要求及びミッション運用要求がある。要求があれば姿勢制御系としてシステムを支援してミッション要求分析を実施するとともに、姿勢制御系として満たすべき要求事項を確立し、管理する。

基本的には要求があればフェーズA、Bでシステム支援作業として実施される。

##### ② システム要求分析支援

一般的には3.1.6.1節に示される姿勢制御系としての性能(姿勢精度、安定度)、機能要求(自律化及びFDIR機能要求)がシステム要求(インタフェース条件、運用要求を含む)となる。要求があればシステム要求を分析し姿勢制御系への要求を確立する作業を支援する。フェーズA、Bでシステム支援作業として実施される。

##### ③ 信頼性要求、FDIR要求の分析

ミッション要求(安全要求を含む)を分析し、姿勢制御系の信頼性要求、FDIR要求定義を支援する。フェーズA、Bでシステム支援作業として実施される。また、本作業は、制御エンジニアリング管理として実施される3.1.13節の信頼性管理業務と連携して実施されるものとする。

#### (2) サブシステムレベルの要求分析

上記システムレベルの要求を姿勢制御系要求に翻訳する。

### 3.2.3 姿勢制御要求の作成

姿勢制御要求は、前項の要求分析結果に従い、姿勢制御系の仕様書等の形でまとめられる。直接的にミッション及びシステム要求事項から導出される運用要求及び機体質量特性、柔構造パラメータ、スラ

スタ特性、視野、システムアライメント等のシステム設計制約も ICD またはそれに準ずる文書としてまとめられる。また他のシステム（電力、機械構成、熱条件および運用など）から課せられる制約を考慮に入れること。姿勢制御系として実施される要求事項作成作業は以下のものがある。下位レベルへの要求の配分は、通常は図 2-2 に示す反復プロセスである。

(1) 要求の配分

システムレベルでの要求（姿勢精度要求等）は姿勢制御系及びその構成要素に配分される。配分された要求は、それぞれの構成要素の要求として、仕様書等の形でまとめられる。配分作業にあたっては必要に応じて以下の作業を実施する。

- (a) 解析作業（配分を中心とした解析及びシミュレーション）
- (b) 試験（既存の装置またはブレッドボードによる試験）

(2) 要求トレーサビリティ

姿勢制御要求は、システムの要求エンジニアリングのプロセスと整合し、トレーサビリティと妥当性が維持されること。姿勢制御系各要素の要求事項はミッション要求までトレース可能であること。

システム要求から、サブシステム要求、コンポーネント要求等への要求のトレーサビリティが確保されているものとする。例えば、システム指向精度要求、姿勢精度要求、コンポーネント精度要求、制御器要求（制御方式、姿勢決定方式）等の間のトレーサビリティが維持されること。

(3) FDIR要求

システムのFDIR要求や故障管理要求をブレイクダウンし、姿勢制御系のFDIR機能要求を定義する。また、姿勢制御系のFDIR要求はシステムFDIR要求と整合するものである必要がある。FDIR要求として初期の段階で明確にしておくべき事項は以下の事項を含むものとする。

① FDIR 機能要求

- (a) 対応すべき故障モード
- (b) フェールオペレーショナルかフェールセーフか
- (c) 機能中断時間
- (d) 自律性と地上からの運用能力

② フォールトトレラント及びフェールセーフ要求

- (a) 1 フェールセーフか2 フェールセーフか
- (b) 同時故障を考慮するか

③ FDIR 機能配分

ソフトウェアで実現すべき機能とハードウェアで実現すべき機能の配分を行い、以下の各要素に対する要求を設定する。

- (a) ハードウェアに対する要求
- (b) 搭載ソフトウェアに対する要求
- (c) FDIR 運用要求

(4) 運用要求及び自律化

システムからの運用要求及び自律化要求をブレイクダウンし、姿勢制御系の各要素に対する要求を作成する。ブレイクダウンされた要求は、以下の各要素の仕様（設計条件）に反映される。

- (a) ハードウェアに対する要求
- (b) 搭載ソフトウェアに対する要求
- (c) 姿勢制御系運用要求

(5) 搭載ソフトウェアに対する要求

搭載ソフトウェアに対する以下の要求を明確化して設計及び搭載化を行うこと。

搭載ソフトウェアの開発では制御アルゴリズムの仕様が重要であり、要求レベルの制御アルゴリズムはサブシステム要求及び運用シナリオをもとに搭載ソフトウェアに対する要求の妥当性を分析する。

また、搭載ソフトウェアに対する要求とサブシステムに対する要求の区別を明確にして検証要求に対応すること。

- ① 使用言語  
搭載計算機との適合性があり信頼性のあるソフトウェア開発システムを有すること。
  - ② メモリ・演算速度・演算精度  
各機能に割り当て可能なメモリ容量、処理時間要求、及び最終的な出力値に対する精度要求の明確化。
  - ③ 開発環境  
姿勢制御系特有の AOCE の BBM 等を利用した開発環境に関する要求の明確化。  
この他は「宇宙機ソフトウェア開発標準」(JERG-2-610)による。
  - ④ 搭載オペレーティングシステム (OS)  
搭載ソフトウェアの搭載化で留意すべき搭載 OS に依存する特有な事項(搭載 OS での処理内容、処理時間等)の明確化。この他は「宇宙機ソフトウェア開発標準」(JERG-2-610)による。
  - ⑤ モード及び例外処理  
FDIR を含めたモード遷移条件の明確化、及び演算例外、オーバロード、割り込み処理異常等の例外的事象発生時の処理に関する要求の明確化。
  - ⑥ 制御アルゴリズム  
各モード毎の姿勢決定・制御・アクチュエータ駆動アルゴリズムの明確化。
  - ⑦ 自動化  
非可視域での姿勢捕捉、姿勢変更及び軌道制御等の要求、FDIR を含む自動モード遷移の要求と条件の明確化。
  - ⑧ インタフェース  
AOCE、センサ、アクチュエータとのインタフェース、及びテレメトリ・コマンド系、ミッション系、追尾アンテナ、パドル等の他サブシステムとのインタフェースの明確化。
  - ⑨ プログラム再利用  
コード、モデル、試験仕様等の過去の衛星の資産を再利用する場合、再利用の範囲、検証要求等の明確化。
  - ⑩ 検証方法  
姿勢制御系特有のシミュレーションによるアルゴリズムの検証、AOCE を使用した SCLT、SOLT 等による検証方法の明確化、及びソフトウェア独立検証及び妥当性確認 (IV&V) の実施に対する要求の明確化。この他は「宇宙機ソフトウェア開発標準」(JERG-2-610)による。  
なお、サブシステムとして実施する検証・試験に関しては本設計標準 3.2.9 章を参照のこと。
  - ⑪ 軌道上再プログラム  
搭載プログラムの特性と運用性を考慮した軌道上再プログラムに対する要求の明確化。
- (6) システム要求作成支援  
姿勢制御系の要求事項管理として、システムの要求エンジニアリングを支援して要求事項の間での矛盾点、要求事項の曖昧な点、要求事項と環境要素との間または要求事項と設計制約事項との間での矛盾点などを特定し、解決する。
- (7) 要求の文書化  
しかるべき文書(仕様書、ICD、インタフェース条件書など)を通じて、制御エンジニアリングは特殊なシステム制約(プルーム効果限界に対する最小許容可能スラストキャント角、センサ視野、アクチュエータ動作範囲、アラインメント、機械的剛性、固有振動数など)から生ずる制御要求の全てを定義するとともに、それを正当化すること。また、搭載ソフトウェアに関してはコンポーネントとして扱い、独立した要求文書を作成すること。姿勢制御系として規定すべき要求文書の例(姿勢制御系開発仕様書及びインタフェース条件書)を付録3に示す。

### 3.3 姿勢制御系設計

#### 3.3.1 全般

姿勢制御系に係わる制御エンジニアリングにおける設計プロセスは以下の作業で構成される。

- (1) 制御システム設計
- (2) 要素設計

上記のシステム設計をうけて、姿勢制御系の構成要素の詳細な設計を行う。

一般的にはプロジェクトフェーズC以降の作業となるが、システム設計において開発リスクが高いと

評価された要素についてはフェーズBにおいて試作のための設計を実施する。姿勢制御系の構成要素としては以下のものを含むものとする。

- ① 制御器設計 (AOCE、制御アルゴリズム、ACFS)
- ② コンポーネント設計
  - (a) センサ
  - (b) アクチュエータ
- ③ 実装・運用設計

姿勢制御系にあたって実績ある設計手法等を利用するものとする。姿勢制御系の設計では、1.3.3節の参考文書が利用可能である。具体的な制御目標が設定されている場合に姿勢制御系の設計プロセスで適用すべき下位の標準を付録1に示す。

### 3.3.2 システム設計

#### 3.3.2.1 全般

プロジェクトの初期(フェーズ0/A)には、要求分析の結果として設定された姿勢制御系の機能・性能要求を満足する基本的システム構成を確立する。

フェーズB以降では、詳細なシステム構成と各コンポーネントへの機能・性能の配分を行う。

システム設計としては以下のような作業を実施する。

- ① 方式設計 (トレードオフを含む)
- ② 制御アルゴリズム設計
- ③ 運用モード設計
- ④ 構成設計
- ⑤ 機能設計
- ⑥ コンポーネント要求設計
- ⑦ インタフェース設計

#### 3.3.2.2 方式設計

プロジェクトの初期フェーズから制御エンジニアリングの一環として実施され、制御エンジニアリング管理を支援する作業として実施される。初期フェーズ(フェーズ0/A)では制御エンジニアリング管理として実施される各種作業と連携し、要求を実現できるいくつかの方式(基本的な制御モード、制御アーキテクチャとシステム構成)についてトレードオフし、最適なシステムを選定する。方式設計として実施される作業は基本的には、3.2.2及び3.2.3節の要求分析結果を入力とし、3.3.2.1節②～⑦項の作業を反復実施し、最適なシステムを構築する作業となる。ミッション遂行のための、またはミッションを遂行するための途中段階の制御モードを含めた、姿勢制御系の全モードについて、以下のような作業が実施される。また、この段階においても必要があれば、以下の作業を実施するために解析及び検証の作業が反復的に実施される。ただし、開発される制御系に利用可能な既存技術及びシステム制約により、これら手順の一部を省略できる(既存の設計または装置などの再利用など)。

- ・ 制御要求を実現するために必要な機能を分析し、その機能を実現するための基本的な制御モード、システム機能アーキテクチャ及びシステム構成案を作成する。
- ・ 制御システムの制御概念や被制御プラントとのインタフェースなど、制御システムの機能アーキテクチャおよび運用アーキテクチャの設計が実施される。この段階で各制御モードでの制御方式と共に制御系の基本的な制御帯域が決定され、各外乱、擾乱源に対する制御系の周波数領域的な観点での対応方針が定められる。  
このための支援には、分析、シミュレーションまたは事前のプロトタイプ作成などの方法を用いることが可能である。
- ・ 準備および利用の双方における運用要求事項に従った制御ハードウェア、制御ソフトウェア、人間による操作への制御機能の配分(地上機能と搭載機能間での配分も含む)。
- ・ 制御システムの物理的アーキテクチャを詳細に設計し、ハードウェアとソフトウェアの全ての機能の実行を定義する。

方式設計において以下のような姿勢制御系の基本的な方式が決定される。

##### (1) 基本的な制御モード及びモードシーケンス

ミッション遂行のための定常的な制御モードの他、定常モードにいたる途中のモードにおける基本的な制御モードを決定する。熱、電力、回線要求等のシステム要求を考慮し制御モードを設定する必要がある。また、定常段階にいたるまでに軌道変換を行う必要がある場合は軌道制御要求

も考慮した制御モードを設定する必要がある。

## (2) 各制御モードでの基本制御アルゴリズム及び構成

上記(1)項で設定された各モードにおいて、基本的な制御アルゴリズムと構成を設定する。制御アルゴリズムと構成は対になるもので、姿勢制御系の機能・性能を決定する項目を含むものとする。このような項目には以下のようなもの（参考）が含まれる。

- ① 軌道制御中の姿勢制御
  - (a) 3軸姿勢制御（外乱の定義及び外乱抑圧性能と制御方式、制御帯域）
  - (b) スピン安定
- ② センサ構成と姿勢決定アルゴリズム
  - (a) 地球センサによるジャイロコンパス方式
  - (b) 恒星センサによる Kalman フィルタ姿勢決定系
- ③ アクチュエータ構成・配置と制御アルゴリズム  
 アクチュエータ構成と制御アルゴリズムに関しては以下のような方式から選択される。
  - (a) ホイール制御
    - (i) 外乱(ホイール擾乱を含む)の定義及び外乱抑圧性能と制御方式、制御帯域
      - ・バイアスモーメンタム方式 角運動量による安定性を利用する制御
      - ・ゼロモーメンタム方式 角運動量による安定性を利用しない方式
    - (ii) ホイールサイズ、ホイール構成・配置、ホイール制御方式（トルク制御、速度ループ等）
      - ・ホイール4 スキュー配置
      - ・3直行+1 スキュー配置
  - (b) ガスジェット推進系による制御
    - (i) 外乱(スラスト外乱を含む)の定義及び外乱抑圧性能と制御方式、制御帯域
    - (ii) スラストサイズ配置、スラスト制御方式（スラストモジュレータ、位相面スイッチ方式等）
  - (c) 磁気トルカ制御
    - (i) 外乱(トルカ外乱を含む)の定義及び外乱抑圧性能と制御方式
    - (ii) 磁気トルカ制御方式（地磁場モデル、クロスプロダクト法）
  - (d) CMG 制御
- ④ マヌーバ方式とアクチュエータ構成  
 (参考)
  - (a) 1軸マヌーバ方式
  - (b) 3軸マヌーバ方式
- ⑤ 各モードでの FDIR 機能要求と FDIR アルゴリズム
- ⑥ 搭載ソフトウェアの規模と制御器の構成

方式設計は、フェーズ A（概念設計段階）では、制御エンジニアリング管理として実施される、コスト、リスク、リソース、フィジビリティ等のアセスメントと連携して、トレードオフにより概念とアーキテクチャの選択を支援し、性能、コスト、スケジュール、リスクなどの最適化する。

### 3.3.2.3 制御アルゴリズム設計

方式設計で設定された各制御モードについて、要求される姿勢精度、応答特性等から、要求を満足する方制御理論またはアルゴリズムを設計する。性能、コスト、スケジュール、リスクなどの最適化する。フェーズ A においては、方式設計を支援する。フェーズ B 以降では制御器（ACFS を含む）に対する要求をとりまとめる。

### 3.3.2.4 運用モード設計

フェーズ A においては、制御エンジニアリングのシステム設計プロセスの一環として、運用制御アーキテクチャを定義する。この運用制御アーキテクチャは制御システムの指定済み（公称および非公称の）運用条件全てをその適用対象とする、制御モードとモード間移行とで構成されている。運用モード設計

では制御要求を満足するために必要な機能をいくつかの制御モードに分割する。機能の構成と制御モードへの配分は、センサ、アクチュエータ、制御器、運用品目の最適な利用方法についての既存の一般的知識（経験）を根拠とすることが期待される。フェーズB以降では姿勢制御系の運用モード設計として以下のような作業を実施し姿勢制御系の運用要求とする（運用手順書等に反映）。

- ① モード機能の定義
  - それぞれの制御モードについて、設計では以下を特定する。
    - (a) 関連する機能
    - (b) ハードウェア、ソフトウェア、人間への機能の配分
    - (c) 地上および搭載への機能の配分
    - (d) 制御モードの妥当性確認条件
    - (e) 制御目標への貢献
- ② モード移行条件の定義
  - (a) 設計ではモード間の移行条件を特定する。
    - (i) 開始条件（前モードおよび個別条件）
    - (ii) 移行が発生した場合（トリガ条件）
    - (iii) 終了条件（後モードおよび個別条件）
  - (b) 移行時に実行すべき機能について定義する。

### 3.3.2.5 機能設計

機能設計プロセスは「機能分析」とも呼ばれ、制御目標を姿勢制御系の機能へと転換することで構成されている。これを達成するには通常上位の制御目標、機能要求から下位の機能要求へ機能を展開するプロセスが利用される。

機能の論理的構成により制御モードおよびモード間移行の一組からなる論理アーキテクチャまたは運用アーキテクチャを作成する。

制御エンジニアリング設計プロセスとして、運用と機能の設計が制御目標全てを対象としていることを確認する。機能設計プロセスは以下のような作業からなる。

- ① 制御目標を達成するための制御システム機能（および二次機能）で構成されている機能設計（機能の論理的構成）を定義する。
- ② 機能設計は、ノミナルおよびオフノミナルの状況をその対象とするとともに、試験や検証のための個別機能もまたその対象としている。
- ③ 機能設計には、システム機能分析との互換性を持たせる。

### 3.3.2.6 構成設計

システム構成（物理的制御アーキテクチャ）とは、制御目標を達成するために使用するコンポーネントの集合体（ハードウェア、ソフトウェアまたは人間によって実現されるセンサ、アクチュエータ、制御器および被制御プラント）のことをいう。姿勢制御系の設計において、制御エンジニアリングではこれら物理的要素の限界を考慮に入れて実現可能なシステム構成を設計する。制御エンジニアリングでは更に、これらの要素の物理的特性を利用して制御器の設計を行う。これらの作業は、しばしば他の分野と相互に影響を及ぼし合うため、複雑なシステムに対してはシステムズエンジニアリングと調整を図った上で実施されることが期待される。構成設計では、性能、冗長性、可観測性、可制御性、運用可能性などに関する制御目標全てを達成するために必要なセンサ、アクチュエータの構成を決定する。

### 3.3.2.7 コンポーネント設計

構成設計の結果を受けて、システムを構成するコンポーネントについて、姿勢制御系としての機能・性能の他、システムを成立させるための基本的な要求を定義する。システム設計として実施しておくべきコンポーネントに対する作業は以下のものを含む。

センサの構成及び基本的な要求の設定

アクチュエータの構成及び基本的な要求の設定

制御性能に影響を及ぼすシステム動力学や運動学などに関して、被制御プラント設計を支援する。

制御エンジニアリングは、制御性能に影響を及ぼす電氣的インタフェースに関して、電氣的システムアーキテクチャの設計を支援する。

選択した被制御プラントの物理的コンフィギュレーションが、制御システム設計と適合性のあることを検証する。

制御エンジニアリングは、制御性能に影響を及ぼす処理能力、データ速度、入出力、メモリなどに関して、搭載データ処理機能のアーキテクチャ設計を支援する。

制御エンジニアリングは、制御系の設計が特に環境条件に起因するコンポーネントの物理的特性の予測される故障または予測される劣化（BOL および EOL）に適合可能であることを検証する。

### 3.3.2.8 インタフェース設計

制御エンジニアリングは、地上設備や人間とのインタフェースの定義に加え、他の宇宙機がシステムの一部である場合には、こうした宇宙機とのインタフェースの定義によって制御目標が達成可能であることを検証する。

### 3.3.2.9 地上検証試験対応設計

宇宙機システムレベル、制御系レベル、制御系コンポーネントレベルにおける全制御系の機能性能が地上検証試験において支障なく確認できるよう考慮して設計するものとする。

宇宙機システムレベルの検証では、システムが一旦組みあがってからのインテグリティ（完全性）を保ちつつ打ち上げ前の地上検証試験が行われるよう、試験装置や治工具とのインタフェースを確保すること。

### 3.3.2.10 設計過誤の防止

制御系設計に於ける設計過誤防止のために、「人工衛星系設計過誤防止基準」（JERG-2-007）を参照して設計を実施すること。

また、極性・位相、単位等に関する設計過誤は制御系に破局的な不具合をもたらす可能性があるので設計の初期フェーズから管理項目等を明確にしておくものとする。

## 3.3.3 要素設計 制御器の設計

### 3.3.3.1 全般

制御器は図 2-1 に示す様に、センサ測定値と制御コマンド入力に基づき、制御則（制御アルゴリズム）によりアクチュエータ駆動コマンドを生成、送出し、姿勢を制御目標となるよう制御する。制御器には、制御のためのアルゴリズムを含むものとし、これらのアルゴリズムは、衛星の姿勢ダイナミクスモデルの不確実性や予測される特性変化に対してロバスト性を維持しつつ制御目標を達成できるよう設計される。FDIR 機能要求がある場合は、これを実現する機能は制御器（AOCE 及び ACFS）により実現される。一般的な FDIR 機能は制御器のハードウェア及び搭載ソフトウェアにより実現される。

制御器を構成するハードウェア及びソフトウェアは基本的には電子機器及びソフトウェアの設計標準に従うものとする。制御器の設計にあたって特に留意すべき一般的な注意事項（参考）は以下の通りである。

- (1) 全姿勢制御系が指定の性能要求事項を達成できるよう制御器の設計を行う。
- (2) 制御器の設計にあたっては、全姿勢制御系の性能要求及び制御ループに影響を及ぼす全ての設計条件（制御コンポーネントの性能、被制御プラントの動特性、環境が原因による外乱など）を考慮する。
- (3) 制御器の設計（AOCE 及び ACFS）は、不確実性または予測される特性変化に対してロバスト性を持たせる。
- (4) 運用要求  
制御器の設計は、以下のような運用要求に適合すること。
  - ① 地上に対する自律性。
  - ② 地上からの可観測性。
  - ③ 伝送遅延または地上装置あるいは地上オペレータのアベイラビリティが原因の地上の反応遅れ。
- (5) FDIR 機能及び自律性  
制御器の設計は、以下を達成する目的で、システムズエンジニアリングに従って定義した起こり得る故障一式に対処すること。
  - ① 自律的に又は地上からの運用によってこれらの故障の検知と特定を可能にする。
  - ② こうした故障が発生した後の回復を（ミッションの喪失なしに）可能にする。
  - ③ こうした故障が発生した後に指定された性能を達成する。
- (6) 制御器（AOCE 及び ACFS）のフォールトトレラント及びセーフティ
  - ① フォールトトレラント及びセーフティ機能配分  
ソフトウェアとハードウェアによるバランスのとれたフォールトトレラント及びセーフティ

機能の配分を行うこと。

例 ソフトウェア対策：セーフティ機能の保護、ソフトウェア暴走時/デッドロック時処置等  
ハードウェア対策：ウォッチドッグタイマ (WDT) リセット、CPU 冗長系切替え、三重冗長時間差多数決等。

② ノンストップ又は処理の継続性の保証

ミッション要求及び姿勢制御系に許容される中断期間における処理の継続性を保証すること。

③ 軌道上再プログラム機能

### 3.3.3.2 設計過誤の防止

3.3.2.10 節のシステム設計に於ける設計過誤防止と連携し、インタフェース上の設計過誤を防止すると共に、「人工衛星系設計過誤防止基準」(JERG-2-007)を参照して制御器設計を実施すること。

### 3.3.4 要素設計 コンポーネント設計

#### 3.3.4.1 センサ

システム設計の結果を受けてセンサに対する要求を詳細化するとともに、センサに対する要求を開発仕様書等の形でとりまとめる。

- ① センサのコンフィギュレーション (センサ仕様と製造プロセス要求) の定義を支援する。
- ② 選択したセンサのコンフィギュレーションが制御システム設計と適合性のあることを検証する。
- ③ 調達支援 (調達に係わる必要な技術文書、仕様、作業要求等の制定支援)

#### 3.3.4.2 アクチュエータ

アクチュエータコンポーネント要求設計に対する要求を詳細化するとともに、アクチュエータに対する要求を開発仕様書等の形でとりまとめる。

- ① アクチュエータのコンフィギュレーション (アクチュエータ仕様と製造プロセス要求) の定義を支援する。
- ② 選択したアクチュエータのコンフィギュレーションが制御システム設計と適合性のあることを検証する。
- ③ 調達支援 (調達に係わる必要な技術文書、仕様、作業要求等の制定支援)

#### 3.3.4.3 搭載ソフトウェア

基本的には搭載ソフトウェアの設計標準に従うものとする。以下に姿勢制御系の搭載ソフトウェアとしての個別の要求を示す。

ここで記述される搭載ソフトウェアは、AOCE に搭載されて以下の主要機能からなる。

- ・ センサーデータ処理アルゴリズム
- ・ 姿勢決定アルゴリズム
- ・ 姿勢制御アルゴリズム
- ・ アクチュエータ駆動アルゴリズム

基本的には AOCE に実装されるこれらの機能を実現するソフトウェアを対象とし、各コンポーネント (センサ、アクチュエータ等) に搭載されるソフトウェア、ファームウェア及び FPGA については本記述の範囲外とする。

なお、ソフトウェアに関する要求は基本的には本設計標準 1.3.2 節「適用文書」に示す「ソフトウェア開発標準」(JERG-2-600)に従うものとし、搭載ソフトウェアに関する要求は「宇宙機ソフトウェア開発標準」(JERG-2-610)に従って文書化されること。

(1) タイミング管理 (リアルタイム管理、マルチタスク処理を含む)

① タイミング管理

制御系設計においてムダ時間は制御性能に大きく影響する。このため、タイミング管理が重要になる。主なタイミング関連事項を以下に示す。

- ・ センサーデータ入力タイミング
- ・ アクチュエータ出力タイミング
- ・ 計算 (実行) 時間、処理能力の余裕
- ・ 非同期性 (主にセンサ/CPU 間の非同期性など)

・ 時刻精度（ミッション系とのインタフェース）

なお、余裕に関しては具体的な目安を設け設計すること（例えば 20%以上の空き時間を設けるなど）。

② マルチタスク処理における姿勢制御系の処理の優先と保護

統合化計算機におけるマルチタスク処理では、他処理の異常により姿勢制御系の処理が止まらないようにすること。

③ スケジューラによるか割り込み処理によるかの選択

割り込み処理とする場合には、単一の割り込み異常により処理全体が異常とならないように注意すること。

(2) フォールトトレラント及びセーフティ

① 搭載ソフトウェアによるフォールトトレラント及びセーフティ機能が要求された場合は、ハードウェアと整合性、実現可能性等を評価すること。

② ソフトウェアのフォールトトレラント及びセーフティ機能は地上からのコマンドにより機能を制御できるものとする。

③ 軌道上再プログラム機能

姿勢制御系の搭載ソフトウェア及び姿勢制御用の計算機は、再プログラムが可能なこと。また、再プログラム中に姿勢制御の処理が中断しないこと（中断する場合は安全性が確保されていること）。

プログラムサイズ及び構成については、運用性（アップロード時間と可視性など）を考慮して設定すること。

(3) 検証要求

姿勢制御系の機能及び性能の大半は姿勢制御系搭載ソフトウェアで実現されており、姿勢制御系搭載ソフトウェアの最終的な検証（搭載ソフト-AOCE-姿勢制御系-人工衛星システム-運用システムまでのEnd to End試験等）は、サブシステムまたはシステム試験として実施される必要がある（3.6.4節）。従って、姿勢制御系搭載ソフトウェアの検証にあたっては、開発の初期段階でサブシステムとして実施すべき検証項目とソフトウェアとして検証すべき項目を明確に区分し、ソフトウェアとして検証すべき項目は検証方法（必要であればSCLT等）を含めて搭載ソフトウェアの要求書等に検証要求を規定するものとする。また、システム、サブシステムにおけるソフトウェア検証項目も明確にし、検証に抜け落ちが無いようにする必要がある（検証における適切なオーバーラップを確保する）。

一般的なソフトウェアに対する検証要求は「宇宙機ソフトウェア開発標準（JERG-2-610）」によること。

① 検証項目の明確化

姿勢制御系として検証すべき項目とソフトウェアとして検証すべき項目を明確に区分すること（異常ケース等）。また、ソフトウェア試験と姿勢制御系サブシステム試験との検証の範囲、分担を明確にすること。特に、ソフトウェア試験の試験コンフィギュレーションについてサブシステム側と整合がとれていること。

② 地上検証の容易性

地上でのサブシステム試験を容易にするため、搭載ソフトウェアへの検証機能の組み込みについて調整すること。このとき、検証機能の組み込みにより搭載ソフトウェアに対する要求機能が損なわれ、実運用に支障が生じないように注意すること。

③ 運用シミュレータへの適合性

軌道上運用をシミュレートする運用シミュレータに親和性を持つこと。特に軌道上再プログラムとの対応が容易に図れること。

④ FDIR 機能（冗長切り替え機能を含む）の検証

FMEA 等の解析結果により故障ケースを設定し、シミュレーション等により検証し、システム FDIR 要求を満足することを確認する。

(4) 計算精度

特に、8ビット、16ビットMPU等のビット長の短いCPUに関して以下の点に注意すること。

・ 整数計算 — 1 LSB の重み付け（固定小数点）

・ 実数計算 — 変数の精度（単精度又は倍精度）。特に積分変数の桁落ちは要注意である。

(5) ハードウェアインタフェース

ハードウェアとのインタフェースにおいて特に以下の点に注意すること。

- ・ センサ、アクチュエータデータ定義との整合性（エンディアン等）。
- ・ 極性、フェージング。特に、データ定義（例：2の補数、符号+マグニチュード）。
- ・ 信号処理（ノイズフィルタリング、出力リミッタ等）

#### (6) 運用性

モデルパラメータの軌道上チューニングが可能な構造にすること。地上検証が難しいモデルの不確実性が増すほど重要性が高まる。

例：軌道上再プログラム、コマンド、EEPROMによるプログラムロードなど

#### (7) サブシステム要求変更を考慮した開発プロセス

姿勢制御系の運用シナリオ、搭載ソフトウェアに対する要求仕様は開発当初には不確定な部分があることが避けられず、また開発の進展に伴って変更されることも多い。搭載ソフトウェアの開発にあたってはこのことを十分に考慮した柔軟な開発プロセスを採用するとともに、運用シナリオの早期の明確化を図る。

### 3.3.5 運用実装設計

#### 3.3.5.1 全般

3.2 項のシステム設計にしたがって各要素の実装設計を実施し、実装に必要な電氣的、機械的な実装部品の設計を行う。また設計結果は製品仕様書、ICD、手順書等として文書化し、管理する。サブシステムレベルで検証の要求があれば、これらの文書に従ってサブシステムレベルでの実装及びインテグレーション作業を実施し、サブシステムでの検証を実施する。また、システムから要求があればシステムへの実装支援を実施する。

#### 3.3.5.2 姿勢制御系の運用システムへの実装方法

以下の項目については、インタフェース設計としてシステム側と検証方法を含めて実装方法を調整し、ICD、取扱説明書等として文書化しておくものとする。また、システムから要求があれば、運用システムへの実装手順等の作成及び実装支援を実施する。

- (1) 搭載ソフトウェアの実装（特に軌道上での再プログラミング）
- (2) アライメント管理
- (3) 極性管理
- (4) 視野管理
- (5) 機器配置（擾乱等に関する配慮等）

### 3.4 解析

#### 3.4.1 全般

解析とは、下記(1)～(3)の目的で制御システム開発の全フェーズにおいて実施すべき基本的作業であり、以下のような作業からなる。制御エンジニアリング内では、解析の対象は制御器、センサとアクチュエータ、被制御プラント、環境となる（図2-1を参照）。

- (1) 要求分析のための解析
  - ① ミッション及びシステム要求を分析し、その妥当性及び制御要求との整合性を評価する。ミッション解析、システム解析支援として実施される。
  - ② 様々な制御機能の間での要求の配分を支援する。
- (2) 設計のための解析
  - ① システム設計では以下のような解析が実施される。
    - (a) 制御の機能的または物理的アーキテクチャおよび実現法を実際に選択する。
    - (b) 代替制御解決法の間でトレードオフを行う。
    - (c) 設計リスク要因を特定する。
  - ② 要素設計では以下のような解析が実施される。
    - (a) 全姿勢制御系の機能・性能を評価し制御要求との整合性を評価する。
    - (b) 姿勢制御系を構成する各要素の機能・性能を評価し制御要求との整合性を評価する。
- (3) 検証のための解析
  - (a) 全姿勢制御系の性能とその要求事項との関係について検証するとともに、適用可能な環境内でその性能を検証する。
  - (b) 姿勢制御系試験結果をもとに全姿勢制御系の機能・性能を評価し、姿勢制御系要求事項との整合性を評価する。

(c) 飛行結果をもとに全姿勢制御系の機能・性能を評価し、姿勢制御系要求事項との整合性を評価する。

注1 特に解析プロセスは図 2-2 で説明しているように、制御エンジニアリングプロセス全体を支援する。

注2 解析プロセスは、他の全ての制御エンジニアリング作業と緊密な相互関係を持つ。

注3 これらの要素を解析する目的は、全姿勢制御系は制御目標を制御性能にマッピングできる能力があるか評価することである。

姿勢制御系の解析にあたっては実績あるモデル解析手法等を利用すること。姿勢制御系の解析手法については、1.3.3節の参考文書が利用可能である。

### 3.4.2 解析モデル、解析手法及び解析ツール

#### 3.4.2.1 全般

制御エンジニアリングの各プロセス及び姿勢制御系開発の各フェーズに対して解析的な手法およびツールを用いるとともに、これらの手法やツールをそれぞれの解析タスク（プロジェクトフェーズごと）に適宜採用する。

通常の解析手法とツールのリストを表 3-1 にまとめる。

表 3-1：制御エンジニアリングプロセスを支援する解析作業

制御エンジニアリング作業	解析タスク	通常的手法およびツール
要求分析のための解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 要求事項の解析</li> <li>- 要求事項の実行可能性の評価</li> <li>- 外乱の定量化</li> <li>- 誤差源の特定および誤差収支への関連数値の配分</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ミッション・軌道設計ツール</li> <li>- 解析的関連性およびモデル</li> <li>- 表計算解析ツール</li> <li>- 制御 CAE ツール</li> <li>- 制御、環境、センサ、アクチュエータおよびプラントなどのモデル</li> </ul>
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 制御アーキテクチャの定義を支援するための数値的トレードオフ研究</li> <li>- 制御設計を支援するための数値解析</li> <li>- 外乱効果の詳細解析</li> <li>- 安定性</li> <li>- ロバスト性</li> <li>- 追加的外乱またはパラメータ外乱への感度</li> <li>- 適用可能な要求事項に対する性能</li> <li>- 制御誤差収支数値の統合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 解析的関連性およびモデル</li> <li>- 表計算解析ツール</li> <li>- 3D CAD システムモデル</li> <li>- 制御 CAE ツール</li> <li>- 閉ループシミュレーション (制御、環境、センサ、アクチュエータ、プラントなどの詳細モデルを含む)</li> <li>- シミュレーションデータ解析ツール (統計処理など)</li> <li>- 時間・周波数領域法</li> <li>- 線形および非線形法</li> </ul>
検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 性能解析</li> <li>- ハードウェア、ソフトウェア、ループ内人間などの試験の結果をもとにしての試験データ解析</li> <li>- 飛行時データ解析</li> <li>- ペイロードデータ評価の支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 閉ループシミュレーション (制御、環境、センサ、アクチュエータ、プラントなどの詳細モデルを含む)</li> <li>- 試験データ評価ツール (統計処理など)</li> <li>- テレメトリデータ処理ツール</li> <li>- 制御 CAE ツール</li> </ul>

### 3.4.2.2 解析モデルの定義

また、解析にあたっては実績のあるモデルを選定するとともに、ミッション解析及びシステム解析用の解析モデルはシステムインタフェース条件として規定するものとする。モデル化の対象は図 2-1 に示す様な姿勢制御系の構成要素すべてについて実施するものとし、以下のものを含む。

- ・ 姿勢制御系 (制御器、センサとアクチュエータ)
- ・ 被制御プラント
- ・ 外部環境

解析目的及び、開発のフェーズに従って必要な精度のモデルを使用するものとし、以下のようなモデルを必要に応じて定義する。モデルの個数と詳細は、プロジェクト段階に応じて決定する。各フェーズでモデルが有する特性等は「制御系設計標準」(JERG-2-500)によるものとする。

- (1) 簡略化モデル
- (2) 性能解析のための数学モデル
- (3) 外乱及び擾乱モデル

#### ① 内部擾乱発生源 (全姿勢制御系の内部)

制御系の帯域は初期フェーズでシステムの設計条件としての発生擾乱の周波数帯域と整合させる必要がある。擾乱源としては、姿勢制御系のセンサ、アクチュエータを含むものとし、擾乱管理標準及び擾乱管理ハンドブックを援用して管理される。

内部擾乱 (アクチュエータ、振動、摩擦、ノイズなど) は、検証済みのパラメータ (製造者データなど) または専用の試験によって識別したパラメータを使用してモデル化する。ただし、開発の初期フェーズまたは十分なマージン設定可能な場合は擾乱源の力学的特性を解析的に評価した物理モデルによることも出来る。

#### ② 外部外乱発生源 (環境から)

センサ、アクチュエータ、制御装置または被制御プラントのモデルに含まれる。

③ 誤差源

誤差解析のためのモデルで、誤差源とその性能への影響がモデル化される。

誤差源は「指向管理標準」(JERG-2-153)により管理される。

(4) シミュレーションモデル

フェーズC/Dにおいては、制御システムの設計を最適化し、また全姿勢制御系の検証プロセスを実施する目的で詳細な閉ループ・シミュレーションモデル(すなわち環境、プラント、センサ、アクチュエータ、制御器などを含む)を開発する。

### 3.4.2.3 解析手法及び解析ツール

個別の制御エンジニアリングプロセス段階に応じて、一つまたは二つ以上の解析手法を選択また組み合わせ合わせて用いる。

(1) 解析ツールに対する一般的な要求

- ① 解析は妥当性が確認済みの方法およびツールに基づいて実施する。
- ② 制御系の解析に使用するツールが適切であることを実証する。
- ③ 新しいツールを開発するにあたって、制御エンジニアリングがこのツールの仕様の決定、開発、妥当性確認を支援する場合には、こうした作業を制御エンジニアリングプロセスの一環として管理する。
- ④ 他のエンジニアリング分野が使用しているツールとのデータ交換の互換性を支援している制御解析ツールおよびシミュレーションツールを利用することが望ましい。
- ⑤ 様々なプラットフォーム間を移植可能な制御解析ツールおよびシミュレーションツールを使用することが望ましい。

(2) ツールの管理

選択したツールは、以下に関して識別して文書化する。

- (a) 製品名
- (b) バージョン
- (c) 実行済みの手法
- (d) プラットフォーム(ハードウェアおよびオペレーティングシステム)

(3) ツール及びモデルの種類

制御エンジニアリングにおいては、以下の一般的な手法およびツールの種別のうちの一つあるいはこれらの組み合わせを使用して解析モデルを開発する。

- ① 表計算を基礎にしたツール
- ② コンピュータ支援用エンジニアリング(CAE)ツール。例えば数学的(解析、数値、記号)制御設計ツールおよびシミュレーションツールなど
- ③ マルチボディ力学モデル化ツールおよびシミュレーションツール
- ④ 環境シミュレーションツール
- ⑤ 機能モデル化ツール
- ⑥ モデルパラメータ生成用の補助ツール(事前処理)
- ⑦ 運動学解析ツール
- ⑧ 軌道解析ツール

注 通常の解析手法としては以下が挙げられる。

- (a) 上位から下位へと向かう手法
- (b) 多層的、階層的な手法
- (c) 簡略化された概念的な手法
- (d) 解析的で等式に基づく手法
- (e) 数値コンピュータシミュレーションに基づく手法
- (f) ループ内ハードウェアとループ内ソフトウェアの試験

(4) シミュレーション解析

詳細な数学モデルシミュレーションを基礎とする性能解析を行って、飛行時における制御システムの故障の特定や解決などを含めたシステムの飛行時性能評価を支援する。

また、シミュレーションを使用して、以下のタスクに対する設計作業を支援する。

- ① 制御目標の達成度の評価

- ② 設計のトレードオフと製品選択の最適化のための感度解析
- ③ 制御設計のロバスト性を評価するための、全姿勢制御系パラメータの変動や不確定性に対する感度解析

姿勢制御系では以下のようなシミュレーション解析が実施される。

- (a) 静的閉ループシミュレーション
- (b) 動的閉ループシミュレーション

### 3.4.3 要求分析のための解析

#### 3.4.3.1 全般

システム解析においては、ミッション要求及びシステム要求に対応してミッション解析及びシステム解析を支援する。

3.2 項で概要を説明している要求条件分析の枠内において、解析を広い範囲に渡り使用して以下を支援する（階層的な流れとして）。

- ① 上位のミッション目標（顧客必要事項）を実現可能な制御目標へと分解する。
- ② 全姿勢制御系に対する数値要求を定義する。
- ③ 図 2-1 で示しているように全姿勢制御系に対する要求を、様々な制御コンポーネント（制装置、センサ、アクチュエータ）とプラントに対する下位要求に配分する。  
外乱・擾乱解析等の結果から制御要求等を導出する。
- ④ ループ内の人間に対する制約を定義する。

解析によって、様々な制御コンポーネントに配分した要求の実行可能性を評価する。

#### 3.4.3.2 ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援

表 2-2 から表 2-5 で定義する各プロジェクトフェーズのそれぞれについて、ミッション要求またはシステム要求のうち直接姿勢制御系への要求となる軌道、姿勢、指向制御等の要求に関する解析を行い、これをもとにして詳細な制御誤差収支を作成するとともに、制御コンポーネントの技術仕様への入力データとして使用する。

解析によって制御誤差収支の配分の最適化を支援するため、トレードオフ研究、市場調査、リスク解析などを行い、利用可能な新技術の成熟度などについて検討する。

また、各フェーズにおいて、これらのシステム要求についてシステムのミッション解析及びシステム解析を支援するとともに、解析結果と姿勢制御系の要求の整合性を評価する。

ミッション解析に関しては「ミッション・軌道設計標準」（JERG-2-151）及び「ミッション・軌道設計ハンドブック」（JERG-2-151-HB001）によること。また指向誤差解析に関しては、「指向管理標準」（JERG-2-153）によること。

#### 3.4.3.3 外乱及び擾乱解析

制御エンジニアリングでは、図 2-1 での定義に従って全姿勢制御系への外部外乱と内部擾乱を定義するための解析を実施する。

プラントを発生源とする外乱はシステム要求に基づいて定義する。

- (1) 宇宙環境が原因で発生する外乱を定義する。  
注 宇宙環境については、第 1.3.3 節 参考文献を参照。
- (2) 様々なモデル（特殊な適用例に用いるものなど）の使用にあたり以下を実施する。
  - ① 使用するモデルが妥当であることを証明する。
  - ② それぞれの事例に応じて、顧客からの同意を得る。

第 3.4.2 節(3)項に示す外乱及び擾乱モデルを使用し、外乱又は擾乱が姿勢制御系に及ぼす影響を解析する。外乱及び擾乱解析がシステムの要求条件となっている場合は、システムの外乱解析支援として実施し、解析結果と姿勢制御系の要求の整合性を評価する。各プロジェクトフェーズで必要な精度で実施されるものとするが、これらの外乱、擾乱に対して最悪値解析等により姿勢制御系のロバスト性が実証されている場合は省略可能である。

外乱解析は、ミッションシナリオ全て及び全姿勢制御系のミッション寿命全体をその対象とし、以下のものを含むものとする。

- (a) 自然外乱モデル及び外乱解析
- (b) 軌道に影響する摂動力

- (c) ガスジェットが発生する外乱
- (d) 柔構造解析
- (e) 衛星搭載機器から発生する擾乱

### 3.4.4 姿勢制御系性能解析

#### 3.4.4.1 全般

姿勢制御系性能解析は姿勢制御系設計の一環として実施され、姿勢制御系の性能を決定するパラメータを決定するために実施される。制御エンジニアリングとして実施される配分、マージン管理の一環として3.1.6節に規定された性能は解析により管理される。また、各プロジェクトフェーズにおいて全姿勢制御系の性能と以下との間で一貫性が確保されていることを評価する。

- (a) 要求エンジニアリングプロセスが生成する制御目標
- (b) 要求解析によって定義される数値要求

姿勢制御系開発プロセスの各プロジェクトフェーズにおいて実施される性能解析は以下の通り。

- (1) プロジェクトの初期フェーズ（フェーズ0、AおよびB）
  - ① 簡略化解析モデルを開発して制御性能の予備評価を実施する。
  - ② これらの簡略化モデルを使用して、制御要求の実現可能性評価や誤差収支の内訳などへの入力データを提供する。
  - ③ これらの簡略化モデルを使用して数値的なトレードオフを支援し、代替の制御アーキテクチャや制御概念（アルゴリズム）を評価するとともに、各種の制御コンポーネント間におけるトレードオフを行う。
- (2) フェーズC/D以降
 

詳細なモデルを使用し、全姿勢制御系として要求された機能・性能を満たしていることを確認する。このフェーズではバックアップモード、FDIR機能及びマンマシン・インタフェースを含めてシミュレーションにより性能評価を実施する。

#### 3.4.4.2 誤差解析

制御エンジニアリングとして実施される3.1.6節の「マージン管理」の一環として実施される。姿勢制御系開発の各フェーズで、適切な誤差半分がなされていること適切なマージンが確保されていることを確認する。

3.4.2.2節に規定する誤差源及び誤差解析手法により、制御目標に対しての誤差を解析し、配分された要求を満足するかを評価する。

制御目標が姿勢及び指向方向である場合は「指向管理標準」（JERG-2-153）によるものとする。

制御目標が軌道及び軌道上位置である場合は「ミッション・軌道設計標準」（JERG-2-151）及び「ミッション・軌道設計ハンドブック」（JERG-2-151-HB001）によるものとする。

#### 3.4.4.3 安定解析・ロバスト性解析

制御エンジニアリングとして実施される3.1.6節の「マージン管理」の一環として実施される。姿勢制御系開発の各フェーズで、適切なマージンが確保されていることを確認する。

3.4.2.2節に規定するモデルを使用し、配分された余裕を満足するかを評価する。

#### 3.4.5 検証解析

最終性能を検証するという枠組みにおいて数学モデルに基づく性能解析を行い、ミッション運用シナリオを対象として全姿勢制御系に対する要求の達成度を以下の観点から評価する。

また、設計解析と検証で使用するツールは必要に応じて異なるものを使用し、解析ツールに依存しない検証を実施するものとする。

フェーズC/Dにおいては、制御システムの設計を最適化するとともに全姿勢制御系の検証プロセスを実施する。また、開発の最終段階では、バックアップモード、FDIR機能及びマンマシン・インタフェースを含めたシミュレーション解析を実施する。基本的には、制御目標を達成するための制御系に対する要求（仕様書）は解析により検証されるものとする。主たる検証項目を以下に示す。

- (1) 時間領域要求
  - ① 基準信号への応答（応答時間、安定化時間、コマンドプロファイルに対する追跡誤差など）
  - ② 外乱が存在する場合の精度誤差および安定性誤差
  - ③ 測定誤差（姿勢知識情報など）
- (2) 周波数領域要求（帯域幅など）

### 3.5 製作・試験

制御エンジニアリングにおける製作・試験のプロセスは、システムの検証および製作・試験プロセスの一部であり、従って「システムズエンジニアリングの基本的な考え方」（BDB-06007）で定義する製作・試験と一貫性を持つものとする。また、制御エンジニアリング管理として初期フェーズで策定され開発計画に従って試験等を実施するとともに、試験にあたっては、次節（3.6節）に規定する検証計画を適用するものとする。

### 3.6 検証および妥当性確認

#### 3.6.1 全般

「制御系設計標準」（JERG-2-500）の規定により設計検証を実施する。各設計プロセス、姿勢制御系を構成するコンポーネント、システムの製作・試験のなかで実施される検証を含め、プロジェクトの初期フェーズ（フェーズ 0/A）で検証の方針及び検証計画を策定する。この検証計画に従って、全姿勢制御系としては以下のような検証を実施する。

- (1) 予備性能検証 フェーズB、Cで実施されるBBM、EMレベルでの検証
- (2) 最終的機能および性能検証 フェーズC、Dで実施されるPFMレベルでの検証

#### 3.6.2 制御検証計画の策定

##### 3.6.2.1 全般

「制御系設計標準」（JERG-2-500）の規定により制御エンジニアリング検証プロセスを実施する。

##### 3.6.3 予備性能検証

###### 3.6.3.1 全般

リスクを低減させるため、制御検証プロセスをプロジェクトの初期段階で開始し、制御概念や設計が利用可能となるに従ってこれらの妥当性を確認する。

特に重要な特性については、シミュレーションモデルまたは開発モデル（プロトタイプ）を利用して設計段階および開発段階に検証を行う。

検証に使用するシミュレーションのモデルの表現力と精度およびツールを評価すること。

注 このプロセスは、設計の成熟度に応じて反復的になされる。

##### 3.6.4 最終的機能および性能検証

###### 3.6.4.1 全般

姿勢制御系が要求された機能・性能を全て満足していることを保証するための検証であり、以下の様なレベルで実施する。

- (1) 解析による検証
- (2) 搭載ハードウェアとソフトウェアの検証
- (3) 飛行時妥当性確認

###### 3.6.4.2 解析による検証

第3.4節で規定する詳細なモデルを使用し、シミュレーション等により検証する。

- (1) 全姿勢制御系の性能を、このシステムを良く表現できるシミュレーションモデルを使用して閉ループシミュレーションにより実証する。
- (2) 全姿勢制御系の性能を、FDIR結果条件を含むシステムの動力学条件や幾何学条件に関する定義済みの最悪ケースにおいて実証する。
- (3) 検証の対象には冗長構成を含める。また、制御モードやセンサ、アクチュエータの運用構成の全てを含める。
- (4) 解析による検証にはハードウェア試験からの支援を得る（必要に応じてハードウェアモデルを修正）。

例 センサの数学モデルのパラメータとハードウェア試験との間の相関関係の確保

###### 3.6.4.3 搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証

フライトに供するハードウェア及びソフトウェアを使用し、End to Endの試験により検証するものとし以下の様な項目を含むこと。「姿勢制御系検証技術ハンドブック」（JERG-2-501-HB003）を参照して

検証方法等を選定するものとする。

- (1) 姿勢制御系の搭載ハードウェアコンポーネントの機能および性能を検証する。  
姿勢制御系を構成するハードウェアは静的または動的な開ループ試験 (SOLT、DOLT) 等により、制御器 (AOCE) 等とのインタフェースを確認する。
- (2) 搭載ハードウェア (またはエミュレータ) 上の制御ソフトウェアを検証する。  
搭載ソフトウェアは、姿勢制御系のハードウェアと独立して制御器を模擬する試験装置で妥当性の検証をしておくものとする。
- (3) 制御検証のプロセスには、搭載ソフトウェアと搭載ハードウェアのモデルかまたは搭載品と同等のモデルによる閉ループ試験 (静的または動的閉ループ試験の実施) による機能の妥当性確認を含める。
- (4) 実際のセンサには以下のような方法で入力を行う。
  - ① 光学センサ — 模擬光源 (恒星模擬装置を含む)
  - ② GPSR — GPS シミュレータ
  - ③ IRU、RIGA — サーボテーブル
- (5) FDIRメカニズムを含めたモード移行を、検証計画に従って試験し検証する。
- (6) 最終統合作業の後、センサとアクチュエータの極性を検証する (必要に応じて視野等も確認)。  
最終統合作業がシステムの作業として実施される場合は、システム側に極性検証のための手順を提供し、姿勢制御系としても結果をレビューする。

### 3.6.5 軌道上評価

姿勢制御系の機能、性能、寿命が軌道上環境において要求事項を満足していることを確認するために、打上げ／軌道投入後に軌道上解析および評価を行ってフライト検証を行うこと。

詳細については「姿勢制御系検証技術ハンドブック」(JERG-2-510-HB003)を参照すること。

フライト検証は打上げ後のフェーズにより、以下に分類される (期間は目安であって衛星によって異なる)。

- (1) 打上げ／姿勢捕捉フェーズ (打上げ後1～数日まで)
- (2) チェックアウトフェーズ (打上げ後1～3ヶ月まで)
- (3) 定常／後期運用フェーズ (設計寿命またはそれ以降まで)

衛星設計者 (または開発者) は、(1)(2)のフェーズに衛星姿勢制御系が正常であることを確認し、衛星運用者に引き渡すこと。また、衛星運用者が行う(3)のフェーズの評価を支援することが求められる。衛星設計者は設計時にフライト検証に対する要求事項を明確にすること。要求されたフライト検証を可能とするように姿勢センサ、姿勢制御ソフトウェアおよび、テレメトリ／コマンドを設計すること。

各フェーズのフライト検証においては以下の確認を行うこと。

打上げ／姿勢捕捉フェーズにおいては、姿勢制御系 (およびコンポーネント) が正常に動作することを確認する。姿勢制御系はチェックアウト以前に衛星分離／軌道投入からの一連の動作を行って定常運用姿勢を確立する必要がある。これは主として姿勢制御系の自動制御機能により行われるため、積極的なコマンド運用を行わずに姿勢制御系の正常動作をもって姿勢制御系機能、性能の確認を行う。

また、追跡管制局から不可視域のデータをストアードテレメトリにより取得し、可視域のリアルタイムテレメトリと併せて事後解析により、以下の項目を含む機能、性能の評価を行う。また、セーフティモードでの制御モード (例：太陽捕捉モード、地球捕捉モード) を経由して定常運用姿勢を確立する場合には、当該制御モードでの機能、性能確認を行う。

- ① 姿勢制御系のモード遷移 (姿勢制御開始から定常制御モード確立まで)
- ② 各モードの姿勢制御精度、静定時間
- ③ 各モードの姿勢推定値および、姿勢センサの計測値、アクチュエータへの制御コマンド値
- ④ 展開物の展開時等における姿勢変動

## 3.7 運用・維持・廃棄

### 3.7.1 全般

設計初期フェーズ (フェーズ A、B) で設定された運用要求に従って、フェーズ C/D において運用に必要な情報 (異常時運用のための情報を含む) を取扱説明書、ICD 等に記述する。

要求があれば、運用文書等を整備するとともに、運用・維持を支援する。また、デオービット等の廃棄運用が必要な場合は要求された支援を実施する。

### 3.7.2 運用・維持

#### (1) 運用文書

制御系の運用に当たって必要な運用文書（SOOH, SOP等）は設計段階で準備され、試験検証段階及び初期チェックアウト段階で検証される。

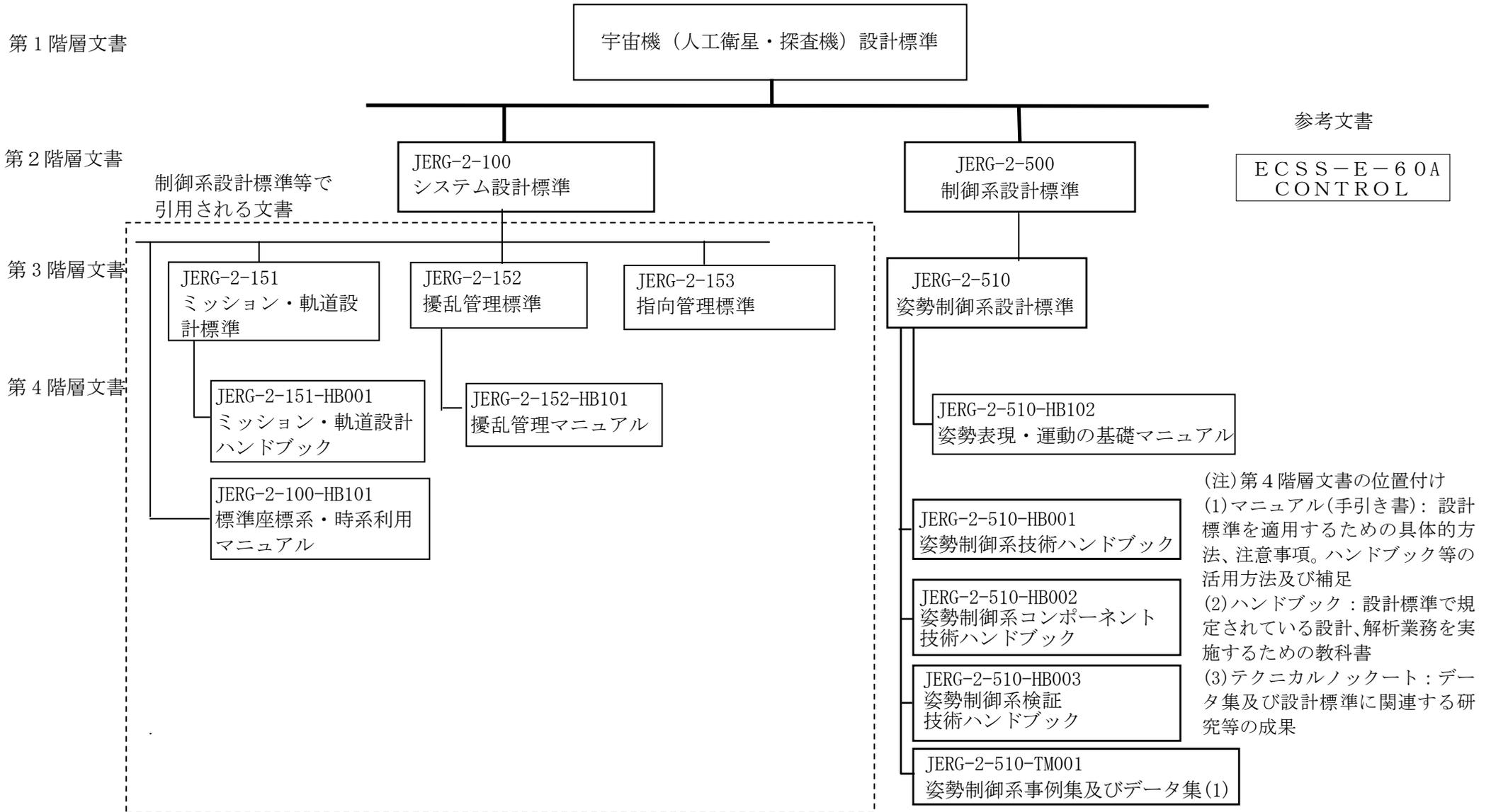
#### (2) 運用および維持

運用および維持段階でも、制御系に関するフライトデータを取得し、制御系の機能、性能の劣化等をモニタし、運用評価解析を実施する。また、必要に応じて後続する制御系設計の改善等に役立てるものとする。

### 3.7.3 廃棄

デオービット等の廃棄運用が必要な場合は、デオービット等に必要な廃棄運用のための解析を支援するとともに、設計段階で廃棄運用に必要な制御系の機能を組み込むものとする。また、デオービット等の廃棄運用が必要な場合は要求された支援を実施する。

付録1 制御系設計標準関連文書体系



付録2 制御系設計プロセスに対する要求事項適用方針

「制御系設計標準」(JERG-2-500)ではプロジェクト固有の信頼度要求及び技術成熟度により、制御系設計プロセスに対する要求を設定することとしている。姿勢制御系設計ではこの主旨に従って、信頼度要求、技術成熟度により設計プロセスに対する要求を設定する。表1(次ページ以降)に人工衛星の姿勢制御系への適用指針を示す。

制御系に要求される信頼度要求及び技術成熟度は以下のように分類される。

(1) 制御系に要求される信頼度要求

- ・ 信頼度レベルⅠ：ユーザからの高い信頼度要求があり、ミッション期間が長い(実用衛星、バックアップの無い深宇宙探査)
- ・ 信頼度レベルⅡ：ユーザからの高い信頼度要求があるが、ミッション期間が短い(技術試験衛星)
- ・ 信頼度レベルⅢ：信頼度要求が中レベル。信頼度よりコスト要求が優先する(短期ミッション低コスト技術試験衛星)
- ・ 信頼度レベルⅣ：信頼度要求が低い(低コスト技術開発衛星、アマチュア衛星)

(2) 技術成熟度

JAXAではNASAの技術成熟度の指標に従い付図1のような区分を設定し技術成熟度を評価し、それぞれの成熟度に従った開発を実施することとしている。

技術成熟度の区分はプロジェクトにより指定された定義に従うものとするが、「制御系設計標準」では、技術成熟度の区分を以下のように分類し、それぞれの技術成熟度に合わせて設計標準の適用指針を示すこととした。姿勢制御系の開発当たっては、開発の初期フェーズで、成熟度を評価し、付表1を参考に設計標準の適用項目を設定するとともに、開発の各フェーズで製作すべきモデル(BBM、EM、PFM等)及び検証事項等を規定する(結果は開発計画としてまとめられる)。

- ・ 成熟度Ⅰ：ミッション及び制御技術が新規 JAXA -TRL 1, 2, 3, 4, 5
- ・ 成熟度Ⅱ：既存技術の改修 JAXA -TRL 6, 7
- ・ 成熟度Ⅲ：完全な既存技術 JAXA -TRL 8, 9

TRL9	-----	実際のモデルの宇宙環境でのミッションの成功を通じた『フライト・ブループリン』 Actual model "flight proven" through successful mission operations (space)
TRL8	-----	実際のモデルの地上ないし宇宙環境での試験ないし実証を通じた『フライト認定』 Actual model "flight qualified" through test and demonstration (ground or space)
TRL7	-----	フライトモデルの宇宙環境(*1)での実証 Flight Model demonstration (space)
TRL6	-----	プロトタイプモデルの地上ないし宇宙環境(*2)での実証 Prototype Model demonstration (ground or space)
TRL5	-----	エンジニアリングモデルの相当環境での検証 Engineering Model validation (in relevant environment)
TRL4	-----	ブレッドボードモデルの実験室環境での検証 Breadboard Model validation (in laboratory environment)
TRL3	-----	クリティカル機能や特性の分析的及び実験的なコンセプト証明 Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept
TRL2	-----	テクノロジーコンセプトやアプリケーションの明確化 Technology concept and/or application formulated
TRL1	-----	基本原理の観察と報告 Basic principles observed and reported

(\*1) 実運用で想定する宇宙環境に近い環境(軌道、機器の使用条件等)

(\*2) 熱真空環境等の宇宙との類似環境が最低確保されるレベル(長時間の微小重力等、宇宙でしか確保できない環境は宇宙環境が必要)

(注)レベルの判定は、そのレベルの活動が完全に完了して初めてそのレベルが付与されるものとする。

付図1 JAXA 技術成熟度(TRL)区分

付表 1-(1) 人工衛星姿勢制御系設計標準要求事項適用指針 信頼度レベル I

要求事項	成熟度 I	成熟度 II	成熟度 III	備考
第 3 章 姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項	○	○ <sup>1)</sup>	○ <sup>1)</sup>	
3.1 制御エンジニアリング管理 (インテグレーション及び管理)	○	○ <sup>1)</sup>	○ <sup>1)</sup>	
3.1.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	○ <sup>1)</sup>	
3.1.2 制御エンジニアリング計画管理 (活動の組織及び計画)	○	○	○	
3.1.3 技術データ管理 (システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供)	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.1.4 他分野とのインタフェース管理	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.1.5 制御器の一部としてのマン-マシン・インタフェース管理	○	○	×	マンマシンインタフェースがある場合
3.1.6 配分及びマージン管理の方針設定	○	○	×	
3.1.7 制御技術とコスト効率のアセスメント (事前評価)	○	○ <sup>1)</sup>	×	
3.1.8 リスク管理	○	○ <sup>2)</sup>	○	
3.1.9 姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.1.10 コンフィギュレーション管理 (飛行中の保守を含む制御に関する変更管理)	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.1.11 制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント (事前評価)	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.1.12 安全管理	○	○	○	
3.1.13 信頼性管理	○	○ <sup>2)</sup>	○	
3.1.14 品質保証	○	○	○	
3.2 要求分析及び要求事項の管理	N/A	N/A	N/A	
3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.2.2 要求分析	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.2.3 姿勢制御要求の作成	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.3 姿勢制御系設計	N/A	N/A	N/A	
3.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	○ <sup>1)</sup>	
3.3.2 システム設計	N/A	N/A	N/A	
3.3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.3.2.2 方式設計	○	×	×	
3.3.2.3 制御アルゴリズム設計	○	○	○	
3.3.2.4 運用モード設計	○	○	○	
3.3.2.5 機能設計	○	○	○	
3.3.2.6 構成設計	○	○	○	
3.3.2.7 コンポーネント設計	○	×	×	
3.3.2.8 インタフェース設計	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.3.2.9 地上検証試験対応設計	○	○	○	
3.3.2.10 設計過誤の防止	○	○	○	
3.3.3 要素設計 制御器の設計	N/A	N/A	N/A	
3.3.3.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.3.3.2 設計過誤の防止	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.3.4 要素設計 コンポーネント設計	N/A	N/A	N/A	
3.3.4.1 センサ	○	×	×	
3.3.4.2 アクチュエータ	○	×	×	
3.3.4.3 搭載ソフトウェア	○	○ <sup>2)</sup>	×	

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
3.3.5 運用実装設計	N/A	N/A	N/A	
3.3.5.1 全般	○	○	×	
3.3.5.2 姿勢制御系の運用システムへの実装方法	○	×	×	
3.4 解析	N/A	N/A	N/A	
3.4.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	○ <sup>1)</sup>	
3.4.2 解析モデル、解析手法及び解析ツール	N/A	N/A	N/A	
3.4.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	×	
3.4.2.2 解析モデルの定義	○	×	×	
3.4.2.3 解析手法及び解析ツール	○	×	×	
3.4.3 要求分析のための解析	N/A	N/A	N/A	
3.4.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	×	
3.4.3.2 ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.4.3.3 外乱及び擾乱解析	○	○ <sup>2)</sup>	×	
3.4.4 姿勢制御系性能解析	N/A	N/A	N/A	
3.4.4.1 全般	○	○	○	
3.4.4.2 誤差解析	○	○	×	
3.4.4.3 安定解析・ロバスト性解析	○	○	×	
3.4.5 検証解析	○	○	○	
3.5 製作・試験	○	○	○	
3.6 検証および妥当性確認	N/A	N/A	N/A	
3.6.1 全般	○	○	×	
3.6.2 制御検証計画の策定	N/A	N/A	N/A	
3.6.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	×	
3.6.3 予備性能検証	N/A	N/A	N/A	
3.6.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>	×	
3.6.4 最終的機能および性能検証	N/A	N/A	N/A	
3.6.4.1 全般	○	○	○	
3.6.4.2 解析による検証	○	○	○	
3.6.4.3 搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証	○	○	○	
3.6.5 軌道上評価	○	○	○	
3.7 運用・維持・廃棄	N/A	N/A	N/A	
3.7.1 全般	○	○	○	
3.7.2 運用・維持	○	○	○	
3.7.3 廃棄	○	○	○	

注 1) 部分適用（適用除外項目が設定出来る）

2) 改修部分のみに適用

付表 1-(2) 人工衛星姿勢制御系設計標準要求事項適用指針 信頼度レベルⅡ

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
第3章 姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1 制御エンジニアリング管理（インテグレーション及び管理）	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.2 制御エンジニアリング計画管理（活動の組織及び計画）	○	○		
3.1.3 技術データ管理（システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.4 他分野とのインタフェース管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.5 制御器の一部としてのマン-マシン・インタフェース管理	○	○		
3.1.6 配分及びマージン管理の方針設定	○	○		
3.1.7 制御技術とコスト効率のアセスメント（事前評価）	○	×		
3.1.8 リスク管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.9 姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.10 コンフィギュレーション管理（飛行中の保守を含む制御に関する変更管理）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.11 制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント（事前評価）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.12 安全管理	○	○		
3.1.13 信頼性管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.14 品質保証	○	○		
3.2 要求分析及び要求事項の管理	N/A	N/A		
3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.2 要求分析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.3 姿勢制御要求の作成	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3 姿勢制御系設計	N/A	N/A		
3.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.3.2 システム設計	N/A	N/A		
3.3.2.1 全般	○	×		
3.3.2.2 方式設計	○	×		
3.3.2.3 制御アルゴリズム設計	○	○		
3.3.2.4 運用モード設計	○	○		
3.3.2.5 機能設計	○	○		
3.3.2.6 構成設計	○	○		
3.3.2.7 コンポーネント設計	○	×		
3.3.2.8 インタフェース設計	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.2.9 地上検証試験対応設計	○	○		
3.3.2.10 設計過誤の防止	○	○		
3.3.3 要素設計 制御器の設計	N/A	N/A		
3.3.3.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.3.2 設計過誤の防止	N/A	N/A		
3.3.4 要素設計 コンポーネント設計	N/A	N/A		
3.3.4.1 センサ	○	×		
3.3.4.2 アクチュエータ	○	×		
3.3.4.3 搭載ソフトウェア	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.5 運用実装設計	N/A	N/A		
3.3.5.1 全般	○	○		

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
3.3.5.2 姿勢制御系の運用システムへの実装方法	○	×		
3.4 解析	N/A	N/A		
3.4.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2 解析モデル、解析手法及び解析ツール	N/A	N/A		
3.4.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2.2 解析モデルの定義	○	×		
3.4.2.3 解析手法及び解析ツール	○	×		
3.4.3 要求分析のための解析	N/A	N/A		
3.4.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.3.2 ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.3.3 外乱及び擾乱解析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.4 姿勢制御系性能解析	N/A	N/A		
3.4.4.1 全般	○	○		
3.4.4.2 誤差解析	○	○		
3.4.4.3 安定解析・ロバスト性解析	○	○		
3.4.5 検証解析	○	○		
3.5 製作・試験	○	○		
3.6 検証および妥当性確認	N/A	N/A		
3.6.1 全般	○	○		
3.6.2 制御検証計画の策定	N/A	N/A		
3.6.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.3 予備性能検証	N/A	N/A		
3.6.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.4 最終的機能および性能検証	N/A	N/A		
3.6.4.1 全般	○	○		
3.6.4.2 解析による検証	○	○		
3.6.4.3 搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証	○	○		
3.6.5 軌道上評価	○	○		
3.7 運用・維持・廃棄	N/A	N/A		
3.7.1 全般	○	○		
3.7.2 運用・維持	○	○		
3.7.3 廃棄	○	○		

注 1) 部分適用（適用除外項目が設定出来る）

2) 改修部分のみに適用

付表 1-(3) 人工衛星姿勢制御系設計標準要求事項適用指針 信頼度レベルⅢ

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
第3章 姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1 制御エンジニアリング管理（インテグレーション及び管理）	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.2 制御エンジニアリング計画管理（活動の組織及び計画）	○	○		
3.1.3 技術データ管理（システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.4 他分野とのインタフェース管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.5 制御器の一部としてのマン・マシン・インタフェース管理	○	○		
3.1.6 配分及びマージン管理の方針設定	○	○		
3.1.7 制御技術とコスト効率のアセスメント（事前評価）	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.8 リスク管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.9 姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.10 コンフィギュレーション管理（飛行中の保守を含む制御に関する変更管理）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.11 制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント（事前評価）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.12 安全管理	○	○		
3.1.13 信頼性管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.14 品質保証	○	○		
3.2 要求分析及び要求事項の管理	N/A	N/A		
3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.2 要求分析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.3 姿勢制御要求の作成	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3 姿勢制御系設計	N/A	N/A		
3.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.3.2 システム設計	N/A	N/A		
3.3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.2.2 方式設計	○	×		
3.3.2.3 制御アルゴリズム設計	○	○		
3.3.2.4 運用モード設計	○	○		
3.3.2.5 機能設計	○	○		
3.3.2.6 構成設計	○	○		
3.3.2.7 コンポーネント設計	○	×		
3.3.2.8 インタフェース設計	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.2.9 地上検証試験対応設計	○	○		
3.3.2.10 設計過誤の防止	○	○		
3.3.3 要素設計 制御器の設計	N/A	N/A		
3.3.3.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.3.2 設計過誤の防止	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.4 要素設計 コンポーネント設計	N/A	N/A		
3.3.4.1 センサ	○	×		
3.3.4.2 アクチュエータ	○	×		
3.3.4.3 搭載ソフトウェア	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.5 運用実装設計	N/A	N/A		
3.3.5.1 全般	○	○		

要求事項	成熟度 I	成熟度 II	成熟度 III	備考
3.3.5.2 姿勢制御系の運用システムへの実装方法	○	×		
3.4 解析	N/A	N/A		
3.4.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2 解析モデル、解析手法及び解析ツール	N/A	N/A		
3.4.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2.2 解析モデルの定義	○	×		
3.4.2.3 解析手法及び解析ツール	○	×		
3.4.3 要求分析のための解析	N/A	N/A		
3.4.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.3.2 ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.3.3 外乱及び擾乱解析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.4 姿勢制御系性能解析	N/A	N/A		
3.4.4.1 全般	○	○		
3.4.4.2 誤差解析	○	○		
3.4.4.3 安定解析・ロバスト性解析	○	○		
3.4.5 検証解析	○	○		(特別な要求があれば実施)
3.5 製作・試験	○	○		
3.6 検証および妥当性確認	N/A	N/A		
3.6.1 全般	○	○		
3.6.2 制御検証計画の策定	N/A	N/A		
3.6.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.3 予備性能検証	N/A	N/A		
3.6.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.4 最終的機能および性能検証	N/A	N/A		
3.6.4.1 全般	○	○		
3.6.4.2 解析による検証	○	○		
3.6.4.3 搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証	○	○		
3.6.5 軌道上評価	○	○		
3.7 運用・維持・廃棄	N/A	N/A		
3.7.1 全般	○	○		
3.7.2 運用・維持	○	○		
3.7.3 廃棄	○	○		

注 1) 部分適用 (適用除外項目が設定出来る)

2) 改修部分のみに適用

付表 1-(4) 人工衛星姿勢制御系設計標準要求事項適用指針 信頼度レベルⅣ

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
第3章 姿勢制御系設計プロセスに対する要求事項	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1 制御エンジニアリング管理（インテグレーション及び管理）	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.2 制御エンジニアリング計画管理（活動の組織及び計画）	○	○		
3.1.3 技術データ管理（システムズエンジニアリングデータベースへのデータ提供）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.4 他分野とのインタフェース管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.5 制御器の一部としてのマン・マシン・インタフェース管理	○	○		
3.1.6 配分及びマージン管理の方針設定	○	○		
3.1.7 制御技術とコスト効率のアセスメント（事前評価）	○	○ <sup>1)</sup>		
3.1.8 リスク管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.9 姿勢制御系コンポーネント調達の技術支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.10 コンフィギュレーション管理（飛行中の保守を含む制御に関する変更管理）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.11 制御エンジニアリングに関する能力及び資源に関するアセスメント（事前評価）	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.12 安全管理	○	○		
3.1.13 信頼性管理	○	○ <sup>2)</sup>		
3.1.14 品質保証	○	○		
3.2 要求分析及び要求事項の管理	N/A	N/A		
3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.2 要求分析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.2.3 姿勢制御要求の作成	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3 姿勢制御系設計	N/A	N/A		
3.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.3.2 システム設計	N/A	N/A		
3.3.2.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.2.2 方式設計	○	×		
3.3.2.3 制御アルゴリズム設計	○	○		
3.3.2.4 運用モード設計	○	○		
3.3.2.5 機能設計	○	○		
3.3.2.6 構成設計	○	○		
3.3.2.7 コンポーネント設計	○	×		
3.3.2.8 インタフェース設計	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.2.9 地上検証試験対応設計	○	○		
3.3.2.10 設計過誤の防止	○	○		
3.3.3 要素設計 制御器の設計	N/A	N/A		
3.3.3.1 全般	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.3.2 設計過誤の防止	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.4 要素設計 コンポーネント設計	N/A	N/A		
3.3.4.1 センサ	○	×		
3.3.4.2 アクチュエータ	○	×		
3.3.4.3 搭載ソフトウェア	○	○ <sup>2)</sup>		
3.3.5 運用実装設計	N/A	N/A		
3.3.5.1 全般	○	○		

要求事項	成熟度Ⅰ	成熟度Ⅱ	成熟度Ⅲ	備考
3.3.5.2 姿勢制御系の運用システムへの実装方法	○	×		
3.4 解析	N/A	N/A		
3.4.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2 解析モデル、解析手法及び解析ツール	N/A	N/A		
3.4.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.2.2 解析モデルの定義	○	×		
3.4.2.3 解析手法及び解析ツール	○	×		
3.4.3 要求分析のための解析	N/A	N/A		
3.4.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.4.3.2 ミッション解析・システム解析及び制御エンジニアリング要求分析支援	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.3.3 外乱及び擾乱解析	○	○ <sup>2)</sup>		
3.4.4 姿勢制御系性能解析	N/A	N/A		
3.4.4.1 全般	○	○		
3.4.4.2 誤差解析	○	○		
3.4.4.3 安定解析・ロバスト性解析	○	○		
3.4.5 検証解析	○	○		
3.5 製作・試験	○	○		
3.6 検証および妥当性確認	N/A	N/A		
3.6.1 全般	○	○		
3.6.2 制御検証計画の策定	N/A	N/A		
3.6.2.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.3 予備性能検証	N/A	N/A		
3.6.3.1 全般	○	○ <sup>1)</sup>		
3.6.4 最終的機能および性能検証	N/A	N/A		
3.6.4.1 全般	○	○		
3.6.4.2 解析による検証	○	○		
3.6.4.3 搭載ハードウェアとソフトウェアによる検証	○	○		
3.6.5 軌道上評価	○	○		
3.7 運用・維持・廃棄	N/A	N/A		
3.7.1 全般	○	○		
3.7.2 運用・維持	○	○		
3.7.3 廃棄	○	○		

注 1) 部分適用（適用除外項目が設定出来る）

2) 改修部分のみに適用

## 付録3 姿勢制御系開発仕様書及び姿勢制御系インタフェース条件書 目次サンプル

姿勢制御系の開発に関わる要求及び設計条件は以下のようなものに分類される。

## (1) 開発及び設計のプロセスに関わる要求

- ① 設計解析等に関する要求  
調達仕様書及び開発計画に規定される。
- ② 試験・検証要求

調達仕様書及び開発計画に規定される。開発仕様書では開発の各フェーズで検証すべき技術的な要求事項（3章に規定）とその検証方法（4章に規定）を規定する。

## (2) 技術的要求事項

- ① 基本的には開発仕様書に規定するものとする。添付1に開発仕様書の目次サンプルを示す。
- ② 上記のみによりがたい設計条件等についてはインタフェース条件書等による。添付2にインタフェース条件書の目次サンプルを示す。
- ③ 姿勢制御系の要求事項のうち、姿勢制御機能、姿勢精度、FDIR機能のような事項の試験検証については、SCLT、DCLT及びシミュレーション解析による必要がある。基本的にはこれらの試験検証要求についても開発仕様書に規定されるものとするが、姿勢精度等は試験のみでは検証ができない場合が多い。従って、解析等との組み合わせで検証するものについては、開発仕様書とは別に試験検証計画、開発計画等で検証方法を規定する必要がある。
- ④ 試験装置（AGE、GSE、BTE等）に関する作業要求は調達仕様書及び開発計画等に規定されるが、開発仕様書の試験検証要求と整合しているものとする。また、試験装置等に関する基本的な技術要求（DCLT、SCLTの実施等）は開発仕様書に規定されるものとする。
- ⑤ 運用訓練及び取扱説明書等に関する作業要求は調達仕様書及び開発計画等に規定されるが、開発仕様書及びインタフェース条件書等で規定される運用要求と整合しているものとする。基本的な技術要求は開発仕様書またはインタフェース条件書等に規定されるものとする。

## 添付 1 姿勢制御系開発仕様書 目次サンプル

「姿勢制御系設計標準」では開発の初期フェーズで要求事項を分析し、姿勢制御系としての要求事項として制定、管理する事を要求している。以下、姿勢制御系を開発及び設計する上で管理すべき要求事項の例を示す。また以下の例では仕様としては規定していないが「姿勢制御系設計標準」では制御安定性、ロバスト性等についてもマージン等を設定して管理することを要求している。これらの管理項目は、開発仕様とは別にプロジェクト固有の設計基準等により管理されるものとする。

## 1. 範囲

適用範囲を規定する。付録 2 に示す技術成熟度等により適用範囲が設定される。

## 2. 適用文書

## 2.1 適用文書

## 2.1.1 概要

## 2.1.2 法規

## 2.1.3 宇宙航空研究開発機構文書

一般的な宇宙航空研究開発機構文書に加えて以下のものが規定される。

- (1) 姿勢制御系設計標準又は制御系設計標準
- (2) 宇宙機ソフトウェア開発標準

## 3. 要求事項

3 章が基本的な要求事項となる。3 章の要求項目は開発の各フェーズで試験、解析等で要求を満足するかが検証されるものとする。

## 3.1 品目の定義

## 3.1.1 機能

## 3.1.1.1 概要

## 3.1.1.2 主要機能

- (1) 全ての制御モード（制御系の特定の制御機能を実行するための機能単位）を定義し、制御モード毎に主要な機能を定義する。運用時に幾つかの制御モードを組み合わせて、それを運用モードとして定義する場合は運用モードとの関連も定義する。

通常は以下のような制御モードが定義される。また主モードの下にサブモードが定義される場合は、サブモードも定義する。

- ① 初期捕捉モード
- ② 定常モード
- ③ 軌道制御モード

- (2) 廃棄、デオービット機能（要求された場合）
- (3) モード遷移の機能を定義する。
- (4) 安全モードが要求される場合は安全モードの機能を定義する。
- (5) モード遷移を伴う FDIR 機能が要求される場合は FDIR 機能を定義する。
- (6) 各構成部品に対する機能配分または主要な機能を規定する。

- ① 姿勢制御系電子回路
- ② 搭載ソフトウェア
- ③ センサ
- ④ アクチュエータ及び駆動回路

## 3.1.2 構成

- (1) 全ての構成部品目を定義する。  
センサ、姿勢制御電子回路（または姿勢軌道制御電子回路）、アクチュエータ（駆動回路を含む）。
- (2) 搭載ソフトウェアが姿勢制御電子回路と独立して定義される場合は、構成部品目として識別する。
- (3) 構成図、機能系統図を定義する。

## 3.1.3 動作モード

- (1) 主要機器について動作モード（各機器の特定の機能を実行するための機能単位。単一機能ではオン及びオフのみになる場合がある）を定義する。また、各動作モード毎に主要な機能を定義する。  
動作モードには以下のようなものを含むものとする。

- (例) 姿勢制御系電子回路 (AOCE) オン、オフ、待機モード、初期ブートモード・・・  
 慣性基準装置 (IRU) オン、オフ、ハイレートモード、ローレートモード・・・  
 地球センサ (ESA) オン、オフ、捕捉モード、片スキャンモード・・・  
 バルブ駆動回路 (VDE) オン、オフ

(2) 3.1.1.2 節の主要機能で定義された各制御モードについて、構成要素の動作モードを定義する。

(例)

	AOCE 主系	AOCE 従系	IRU	ESA	VDE	・・・
(1) 初期捕捉モード	オン	待機モード	3系オン ハイレートモード	主・従オン	主・従オン	
(2) 定常モード	オン	待機モード	3系オン ローレート	主・従オン	両系オフ	
(3) 軌道制御モード	オン	待機モード	3系オン ハイレートモード	主・従オン	主・従オン	

### 3.1.4 インタフェースの定義

以下のインタフェース項目は姿勢制御系設計には必須の項目であるが仕様書でインタフェース定義、規定されない。別途 ICD 及びインタフェース条件書等で規定するものとする。

- (1) 時系及び座標系。機体座標（推進系、太陽電池パドル等他系の機器座標系を含む）
- (2) 外乱（自然外乱、推進系外乱）
- (3) 擾乱
- (4) 質量特性
- (5) 太陽電池パドル（パドル柔構造特性を含む）
- (6) 推進系の特性（推力、推力ベクトル、プルム、スロッシング特性を含む）
- (7) 視野、アンテナパターン
- (8) アライメント（センサ、スラスト等の取付アライメントを含む）
- (9) 極性、フェージング
- (10) 運用インタフェース（可能な限り基本的な要求は開発仕様書に記述する）

以下の要求は 一般的な要求である。

#### 3.1.4.1 外部インタフェースの定義

#### 3.1.4.2 内部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

#### 3.1.5.4 RFインタフェース分界

#### 3.1.5.5 運用インタフェース分界

#### 3.1.5.6 流体インタフェース分界 適用無し

### 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

推進系との電氣的インタフェースにあたっては運用条件、温度等も規定する。

#### 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

#### 3.1.6.4 RFインタフェース条件

GPS等を搭載する場合は規定される。

#### 3.1.6.5 運用インタフェース条件

可能な限り、基本的な運用インタフェースは開発仕様書として規定する。開発仕様書として規定されない運用インタフェースで、姿勢制御系の設計に必須なものはインタフェース条件書と規定される。

### 3.1.6.6 流体インタフェース条件 適用無し

## 3.2 特性

姿勢制御系としての基本的な性能を規定する。

規定された性能等は試験等による検証の対象となる。

また、「姿勢制御系設計標準」では以下の性能について、システム要求を満足するために姿勢制御系として適切なマージンを設定して配分管理する事を要求している。

### 3.2.1 性能

#### 3.2.1.1 姿勢制御系の主要性能

3.1.1.2 節で定義されたモードの主要機能について性能を規定する。

主な性能は以下の通り。

#### (1) 姿勢精度

姿勢の定義を明確にしておくこと。インタフェース条件書で座標及び座標変換等の定義と合わせて、姿勢の定義を規定することも出来る。

下記性能はミッション達成度との係わりが大きいので、指向精度等が規定されている場合は指向精度と姿勢精度の関係を定義すると共に、指向精度からの配分が明確にされている必要がある。

また、基本的には姿勢制御系の制御帯域内で達成可能な要求となっている必要がある。

姿勢制御系の誤差源はセンサノイズのように確率変数として扱うべきものが含まれおり、姿勢精度の規定も、分散または標準偏差として規定される場合が多い。しかしながら、設計条件として確定的に扱うべきものが多いので、統計処理及び集計方法には注意が必要である（制御の誤差源となる外乱条件、姿勢決定の誤差源となるアライメント等は最悪値等が設計条件として与えられている場合は、それらに起因する誤差は統計処理の対象からは外すべきである。つまり、与えられた外乱条件に起因して発生した制御誤差等を統計処理し標準偏差をもとめ、それらをセンサノイズに起因する制御誤差とRSS(二乗和の平方根)する等は避ける必要がある)。姿勢精度を分散または標準偏差として規定する場合は、与えられた設計条件に起因する、確定的な部分と、センサノイズのように統計処理されたもの識別も規定する必要がある。

#### ① 姿勢制御精度

#### ② 姿勢決定精度

軌道制御精度、軌道決定精度、時刻精度が要求された場合これらも規定される。

#### (2) 姿勢安定度

下記性能はミッション達成度との係わりが大きいので、指向精度等が規定されている場合は指向精度からの配分が明確にされている必要がある。また、基本的には姿勢制御系の制御帯域内で達成可能な要求となっている必要がある。また、安定度はミッションから要求される、基準時間内の姿勢変動及び姿勢決定値の変動として定義される必要があるが、特に要求のない場合は単位時間内の姿勢変動として規定出来る。

#### ① 姿勢制御安定度

#### ② 姿勢決定安定度

#### (3) マヌーバ性能

#### ① 姿勢移行時間

#### ② 収束時間

③ 姿勢移行中の姿勢精度が要求される場合は、(1) 項によるものとする（動的な誤差を追加）。

#### (4) その他の性能

#### ① 外乱制御能力： 外乱等の吸収能力

#### ② 異常状態からの復帰時間： FDIR 性能として要求される場合

#### ③ 処理時間： 姿勢制御のための処理時間が規定される場合

### 3.3 構成品の特性

姿勢制御系の性能を規定する主要な機能、性能がコンポーネントに配分されている必要がある。

#### 3.3.1 姿勢制御系電子回路

#### 3.3.2 センサ

(1) 姿勢制御系の基本機能、性能から配分された、精度等が規定される。

センサに対する精度要求等は3.2.1.1(1)項の要求と整合すること。

(2) 姿勢制御系のリソース要求（重量、電力、寸法等）から配分された重量、電力、寸法要求と整合する必要がある。

#### 3.3.3 アクチュエータ及び駆動回路

(1) 姿勢制御系の基本機能、性能から配分された、制御能力（トルク等）が規定される。

センサに対する制御能力に関する要求等は3.2.1.1(3)(4)項の要求と整合すること。

(2) 姿勢制御系のリソース要求（重量、電力、寸法等）から配分された重量、電力、寸法要求と整合する必要がある。

(3) アクチュエータの発生する擾乱は3.2.1.1(1)項の要求と整合すること。

#### 3.3.4 搭載ソフトウェア

搭載ソフトウェアに対する基本的な要求を記述する。必要に応じて以下の様な要求を規定する。

(1) 処理速度及び無駄時間（処理時間又は入力から出力までの時間）

(2) プログラムサイズ

(3) 再プログラム要求

### 3.4 物理的特性

質量特性、寸法、表面状態等の物理特性。詳細はICD等による。

### 3.5 設計基準（適用文書との重複は避ける）

姿勢制御系のコンポーネント設計で必要とされる設計基準が規定される。

(1) 機械設計基準

(2) 熱設計基準

(3) 耐環境性設計基準

(4) 電気設計基準

(5) 電磁適合性設計基準

(6) テレメトリコマンド設計基準

(7) 信頼性設計基準

(8) 部品プログラム基準

### 3.6 信頼性

#### 3.6.1 信頼度

#### 3.6.2 設計寿命

#### 3.6.3 単一故障

#### 3.6.4 故障分離（FDIR機能との整合性を明確にする）

### 4. 設計環境条件

#### 4.1 保管時及び輸送時(非動作)

#### 4.2 製作、組立、試験時(熱真空試験時を除く)

#### 4.3 打上げ及び軌道上

#### 4.4 熱環境

#### 4.5 放射線環境

5. 品質保証条件

5.1 試験・検査

付録2で定義される技術成熟度等に従って、3章の技術的要求事項は例のような試験検証マトリックスを作成し、試験検証に落ちや漏れの無いように管理される。

試験検証マトリックスの例

フェーズ 検証方法 項目	BBM		EM (フェーズ C, D)				PFM (フェーズ C, D)				FM (フェーズ C, D)			
	解析	試験	実績	検査	解析	試験	実績	検査	解析	試験	実績	検査	解析	試験
3. 要求事項	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3.1 品目の定義	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3.1.1 機能	技術成熟度 TRL 3 以下の分野は BBM フェーズでの試作試験を実施する。		技術成熟度 TRL4 の分野はフェーズ C, D で EM の製作試験を実施する。EM を製作する分野以外は実績及び解析による検証が必要。  通常電気性能試験等によりがたい場合は試験方法 (DCLT、SCLT 等) も明確にすること。				技術成熟度 TRL5 以上の分野はフェーズ C, D で PFM の製作試験を実施する。PFM を製作する分野以外は実績、解析 AT を適用する。  通常電気性能試験等によりがたい場合は試験方法 (DCLT、SCLT 等) も明確にすること。				技術成熟度 TRL7 以上の分野はフェーズ C, D で FM の製作試験を実施する。  通常電気性能試験等によりがたい場合は試験方法 (DCLT、SCLT 等) も明確にすること。			
3.1.1.1 概要														
3.1.1.2 主要機能														
3.1.2 構成														
3.1.3 動作モード														
3.1.4 インタフェース条件														
3.2 特性														

姿勢制御系本体のほか以下の項目について各設計フェーズでの試験・検査要求を規定する。

- (1) 姿勢制御系電子回路
- (2) 搭載ソフトウェア
- (3) センサ、アクチュエータ及び駆動回路

5.2 環境試験

- (1) サブシステム全体で環境試験が要求される場合は規定。
- (2) コンポーネント単位で規定する場合は設計基準として規定する。

## 添付 2 姿勢制御系インタフェース条件書 目次サンプル

以下のインタフェース項目は姿勢制御系設計には必須の項目であるが開発仕様書でインタフェースが定義、規定されないので ICD 及びインタフェース条件書等で規定するものとする。また、開発仕様書で規定されるインタフェース要求事項は開発仕様書により検証が要求されるが、以下の項目の検証はシステム及び姿勢制御系の試験計画等で規定するものとする。

## 1. 範囲

適用範囲を規定する。付録 2 に示す技術成熟度等により適用範囲が設定される。

## 2. 適用文書

## 2.1 適用文書

## 2.1.1 概要

## 2.1.2 法規

## 2.1.3 宇宙航空研究開発機構文書

一般的な宇宙航空研究開発機構文書に加えて以下のものが規定される。

- (1) 姿勢制御系設計標準又は制御系設計標準
- (2) 標準座標系・時系利用マニュアル
- (3) 指向管理標準
- (4) 擾乱管理標準
- (5) 宇宙機ソフトウェア開発標準
- (6) 姿勢制御系開発仕様書

## 3. 要求事項

## 3.1 時系及び座標系

## 3.1.1 座標系

- (1) 機体座標系
- (2) 機体に搭載される機器固有の座標系（太陽電池パドル、各種センサ）
  - (a) 機体座標系との座標変換も定義されること
  - (b) 太陽電池パドル等は回転に伴う座標変換も定義される
- (3) 姿勢基準座標系
  - (a) ミッションからの指向要求等を規定するための座標系  
 ミッションの指向基準となる座標系と姿勢の基準となる座標系が異なる場合は両方を規定し、その関係（座標変換）も定義する。
  - (b) 姿勢の基準となる座標系  
 座標系とともに、姿勢も定義する（姿勢は剛体としての機体座標から姿勢基準の座標系への座標変換として規定される）。また、姿勢角がオイラー角である場合は回転順等も規定する必要がある。
  - (c) 標準座標系との座標変換も定義されること
  - (d) 上記の座標変換誤差も定義されること
- (4) 標準座標系
  - (a) 天体を基準とする座標系 : ICRF または ICRS
  - (b) 上記を伝搬した TOD 座標系または疑似 TOD 座標系
  - (c) 地球上の位置を現す座標系 : ITRF または WGS84

## 3.1.2 時系

- (1) 姿勢制御系の基準時系  
 以下の時系との相互関係及び誤差。
- (2) 標準時系
  - (a) 運用及び生活時間 : UTC
  - (b) 天体運動を基準とする時系 : TDT
  - (c) GPS で使われている時間 : GPS 時

### 3.2 環境モデル（姿勢制御系のプラント及びプラントを取り巻く環境のモデル）

#### 3.2.1 天体の位置

太陽、恒星等の姿勢決定等の基準となる天体のエフェメリス及び誤差

#### 3.2.2 自然外乱

以下の外乱の前提となる太陽活動レベル等も規定する

- (1) 太陽光圧外乱
- (2) 空力外乱
- (3) 重力傾度外乱
- (4) 地磁気外乱

#### 3.2.3 擾乱

擾乱源及び擾乱モデル

#### 3.2.4 質量特性

- (1) 質量特性（CG位置、質量及び慣性テンソル）及びその変化（BOL、EOL及び太陽電池パドル等の回転、AEF等による質量変化による）
- (2) 上記の公差

#### 3.2.5 柔構造特性

- (1) 柔構造物の識別
- (2) 識別された柔構造物の柔構造特性
  - ① 0次、1次の結合係数行列、固有振動数及びダンピング、並びに取付点位置ベクトル。
  - ② 上記の公差
- (3) 上記柔構造特性が機器の座標系で記述されている場合は座標変換行列

#### 3.2.6 推進系

- (1) 推力及び推力のバラツキ（アンバランス）
- (2) ミニマムインパルス及びセントロイドタイム
- (3) スラストベクトル及びアライメント誤差
- (4) 推進の移動によるCG移動
- (5) プルーム汚染範囲及びプルーム外乱
- (6) スロッシング特性

### 3.3 視野、アンテナパターン

- (1) センサ視野
- (2) GPS等がある場合はアンテナパターン及びマルチパス特性

### 3.4 アライメント（ICD項目）

- (1) 姿勢制御系コンポーネントのアライメント誤差
- (2) ミッション機器及びセンサ間の相互アライメント誤差

### 3.5 極性・フェージング（ICD項目）

各センサ、アクチュエータの極性及びフェージングを規定する。システムに取り付けた後の具体的な検証方法も規定する。

### 3.6 運用インタフェース

基本的な運用インタフェースは可能な限り開発仕様書に規定する。また、運用インタフェース条件として姿勢制御系インタフェース条件書として分離する事も可能

#### 3.6.1 運用モード及び主要イベントの定義

#### 3.6.2 各運用モード毎の基本的運用要求

- (1) 自律機能、自動運用機能及びコマンド運用要求
- (2) クリティシティ
- (3) テレメトリ、コマンド運用要求及び評価基準

### 3.6.3 各運用モード毎の運用制約

- (1) 運用時間
- (2) 局数