

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

宇宙用角度検出器の開発

宮馬 浩、小原 新吾、鈴木 峰男

2007年3月

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

目次

1. はじめに	1
1. 1 宇宙用部品技術委員会	2
1. 2 第1期重要部品の選定	2
2. 開発の概要	3
2. 1 開発目標	3
2. 2 開発スケジュール	4
2. 3 認定試験用供試体	5
3. 要素試作試験	10
3. 1 レゾルバ巻線	10
3. 2 電子回路 (RD 変換回路基板)	11
3. 3 軸受	11
3. 4 バックアップ部品搭載基板	13
4. 認定試験	13
4. 1 角度検出精度	13
4. 2 電磁適合性	14
4. 3 振動試験	14
4. 4 熱・真空試験	20
5. 技術試験・確性試験	20
5. 1 軸受寿命試験	20
5. 2 基板加速寿命	21
5. 3 回転速度特性	22
5. 4 カプリング剛性	22
5. 5 電気特性 (確性)	22
5. 5. 1 電源変動	22
5. 5. 2 クロック周波数変動	23
6. 注意事項	23
7. まとめ	23
8. 謝辞	23
参考文献	23
付録	25

宇宙用角度検出器の開発

宮馬 浩^{*1}、小原 新吾^{*1}、鈴木 峰男^{*1}

Development of Angular Detector for Space Use

Hiroshi Miyaba^{*1}, Shingo Obara^{*1} and Mineo Suzuki^{*1}

Abstract

The development of a resolver type angular detector has been carried out. The angular detector was selected as one of high-priority components to be developed in Japan by JAXA's Technical Committee on Space Parts and Components, in which outside experts joined.

The development started in FY2003, to aim for an angular detector which is competitive in the international market. Bread Board Model, design and manufacture of a qualification model, and the qualification test were successfully completed in FY2006. The developed angular detector is adopted for on-going earth observation satellite projects.

Keywords: resolver, angular detector, qualification test

要 旨

本報告では、宇宙用角度検出器の開発過程、及び開発品の特長などについて記述する。角度検出器は、外部専門家を含む宇宙用部品技術委員会により第1期の重要部品として選定され、平成15年度に開発に着手した。海外製品に対抗できる角度検出器を目指し、要素試作試験、試験供試体の設計・製作、認定試験、さらに技術試験を実施し、平成18年度に成功裏に開発を完了した。本角度検出器は地球観測衛星等の複数のプロジェクトに採用されている。

1. はじめに

認定部品の辞退に伴う部品国産化率の低下に逆比例して海外部品の不具合が増加しており、海外部品では技術情報が十分に開示されないため、故障解析が困難という問題がある。このためJAXAは、システムメーカ、部品メーカ、大学等の外部専門家を含む宇宙用部品技術委員会を設立し、宇宙用部品の供給体制の再構築へ向けた検討を進めた。同委員会は、重要度の高い部品(重要部品)については我が国の技術で開発すべきとの勧告を出した。¹⁾これらの重要部品は、市場性、社会状況、技術性、過去の経緯等を考慮して委員会が選定し、JAXA(総研)が開発を進めてきた。

第1期重要部品は、市場性、社会状況、技術性の観点から角度検出器、減速歯車、遮断弁、推薬弁の4品目が平成14年度に選定された。これを受けて角度検出器の開発に着手し平成15年度に基本設計審査会、平成17年度に詳細設計審査会を実施し、平成18年度中に認定試験後審査会及び開発完了審査会を計画し、開発を進めた。

* 平成19年3月28日 受付 (received 28 March, 2007)

* 1 総合技術研究本部 部品・材料・機構技術グループ (Electronic, Mechanical Components and Materials Engineering Group, Institute of Aerospace Technology)

1. 1 宇宙用部品技術委員会

衛星・ロケットの製作コスト削減の動向に対応し、部品コンポーネントの国産化路線の見直しが求められ、部品等の国産化の施策も転換されることとなった。さらにロケットの打上げ失敗などが相次いだため、宇宙開発投資が減少傾向となり、その結果宇宙用部品の需要が激減し、部品国産化率の低下、部品メーカーの辞退による NASDA 認定品の減少を招いている。これらの問題を真摯にとらえ、宇宙用部品技術委員会が設置された。

委員会は、宇宙関連システムメーカー及び部品メーカーの開発担当者のみならず、大学および公的研究機関からの学識経験者が一同に会し、部品供給体制の再構築に関する問題点・課題の抽出、解決方法の検討等を行うと共に重要部品の選定を行っている。^{2)、3)}

1. 2 第1期重要部品の選定

第1期重要部品は、委員会に提案された89品目の中から重要度の高い19品目を絞り込み、角度検出器、減速歯車、推薬弁、遮断弁が選定された。¹⁾ 評価基準を表1、19品目を表2に示す。角度検出器、減速歯車、ステップモータ、軸受については、海外レベルと同等以上の国内技術があり、これらを組合せたコンポーネント（アクチュエータ）は、高精度の制御が必要な回転駆動部に対して広く使用される可能性がある。

表－1 評価基準

市場性	宇宙市場性	潜在的国際競争力をもつ部品、将来的に逆輸入製品となる可能性がある部品、標準コンポーネント化によるコスト削減により市場が見込まれる部品
	民生との併用性	民生品技術を供用することで宇宙用途への開発が可能であり、コスト低減や民生市場への展開が期待できる部品
社会状況	自在性	国際的に単一ソース、または、輸入に依存し国内での調達が困難なものなど、自在性において制限のある部品
	入手性	調達上の納期がクリティカルな部品、または、最小購入単位に関する制限付きや、輸入許可が必要な部品
	継続性	過去競争力があつたが黄昏部品として存続が危ぶまれる部品、または、国内メーカーや製造設備が単一となり供給が危ぶまれる部品
技術性	高品質	不具合を多発したり、単一故障点となっている部品、国内において品質評価能力に問題がある部品、技術開示制限を受ける部品など、品質保証をする上で重要な部品
	高性能・高機能	斬新なシステム設計を実施するために高機能化、小型・軽量化等が必要となる部品

表－2 重要機構部品・材料と供給体制

区分			2003(平成15年)		2006(平成18年)		2010(平成22年)		目標
			部品名	第1期	第2期	第3期			
コンポーネント	衛星	姿勢制御機器	ジャイロスコープホイール	コンポーネントの仕様に強く依存した特殊な部品で構成されるため、専門グループによる研究開発を継続する。					自律性の確保、信頼性の確保、国際貢献及び国際競争力の確保の観点から、部品コストと安定供給を考慮し、部品の維持・発展を進める。
			重要部品の国産化						
部品	ロケット衛星	バルブ	遮断弁	開発中					
			推葉弁	開発中					
			逆止弁、調圧弁						
	センサ	圧力センサ	ロケット用プロジェクト認定品の衛星向け供給を図る。						
		温度センサ	国際競争力を有する部品を開発できたので、現状問題なし。生産を維持する。						
	ロケット	エンジン部品	ポンプ軸受・軸封シール	エンジンの仕様に強く依存した特殊な部品であるため、プロジェクトとして開発を進める。					
	衛星・宇宙ステーション	パドル・アンテナ系	角度検出器	開発中					
			減速歯車	開発中					
			スリップ・リング	(*)平成16年度よりフィージビリティスタディのため共同研究を実施している。	優先的に開発に取組む。				
			低衝撃保持解放機構		優先的に開発に取組む。				
モータ			駆動機構として取組む。						
材料	熱制御材料	熱制御材	認定辞退品は、在庫により対応、宇宙用仕様を緩和し、民生品との共用を図る。						
		塗料	認定品の維持に努める。						
	推葉	ヒドラジン	当面は輸入、製造技術の維持について検討を進める。						
		NTO	ヒドラジンほどコスト高ではなく、国産品入手は問題ない。						
主な技術の流れ			既存宇宙機への対応		次世代プロジェクトに向け機構部品・材料の開発				

2. 開発の概要

2.1 開発目標

1) 海外の技術動向

米国メーカーのエンコーダ式角度検出器による寡占状態となっており、その主要諸元は表3に示す通り、角度検出精度±5arcsec、分解能18bitである。

(注記) 1秒角は3600分の1度

1000km離れた地点の高さ約5mの物体に対する視野角に相当する。

2) 用途

角度検出の用途に対してコスト効率を考慮すると角度位置検出はリミットスイッチ、精度の要求が緩やかな角度検出(パドル駆動機構)にはポテンショ・メータが適しており、本角度検出器は、より高い角度精度を求めるアンテナ・ポインティング機構、観測センサーなどに適している。

図1は、観測センサーの走査機構部に採用された事例であるが、センサー設計の結果最適化が図られ、角度検出器のレゾルバ部とRD(Resolver-Digital)変換回路部を分離し組み込んでいる。

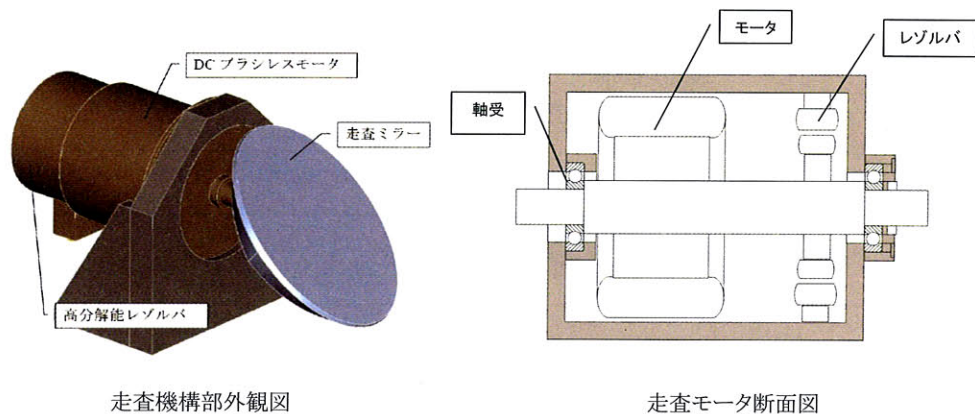


図1 地球観測衛星 光学センサー搭載例

3) 開発のポイント

角度検出精度の達成と高信頼性の実現が開発の課題であり、そのポイントを下記に示す。

①角度検出精度

海外の最新電子部品を採用することにより 21bit の分解能を実現し、さらに加工精度を管理することにより、角度検出誤差を海外品と同等の ($\pm 5\text{arcsec}$) に設定した。

②高信頼性

レゾルバ部の巻き線や RD 変換回路を冗長構成とした。

③臙装性・小型化

回路基板の部品実装の密度を上げ海外の対抗製品より小型化を図ると共にハーネスの臙装性を考慮して中空軸タイプとした。

④耐環境性

光学式角度検出器より機械的環境に対する耐性の高いレゾルバ方式を採用した。

⑤ユーザ要求の反映

宇宙用部品技術委員会外部専門委員（衛星システムメーカー）からの要求事項を開発仕様で反映した。

2. 2 開発スケジュール

角度検出器の開発は、平成15年度に着手し、宇宙用センサ開発の実績を有する部品メーカー複数社に打診し、その中で開発可能との回答があった1社を選定した。その後、基本設計審査会、詳細設計審査会、認定試験後審査会、完了審査会を経て平成18年度に開発を完了した。

開発の当初より宇宙用部品技術委員会の外部専門委員を交えた連絡調整会議を月1回開催し開発目標仕様や要素試験内容を協議しユーザの意見を取り入れつつ開発を進めた。

平成16年は、米国で認定試験中の RD 変換回路用のハイブリッド IC の開発が遅れ、更にこの部品の認定試験後には事前情報とは異なり急遽 E L (Export License) 対象部品となった。このため IC の入手に時間を要し QM (Qualification Model) の製作遅延を生じた。また、海外製品との互換性を考慮して設計を進めていたが、開発中のプロジェクトとの機械的インタフェースを考慮して更なる小型化を行った。

平成17年は、QM の製作を行った。製品価格は、海外製品以下の価格を目標としたが、電子部品の購入費が当初の想定を超えたため、全体開発費に比べ供試体コストの比率が高くなり厳しい開発となった。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) の製造中止の影響を受けて、バックアップ部品を用いた回路基板の評価試験を追加した。

開発の進捗状況を図2に示す。

なお、品質管理の要求については、部品メーカーと協議の結果、JAXA 直接契約による部品開発の実績が無いことから、自社の ISO 社内要領による管理としプロジェクト認定レベルの開発を行うこととした。

図2 開発スケジュール

品名	項目	FY15	FY16	FY17	FY18
衛星搭載機	イベント	▼PDR		▼CDR	▼PQR
	1. 設計				
	設計解析	仕様・基本計画図	小型化検討	維持設計	
	信頼性	ストレス解析・FMEA	信頼度解析		
	開発計画	要素試作試験	認定試験・検証計画		
	部品材料選定	部品材料選定	部品材料リスト		
	データシート				適用データシート
	2. 要素試作試験				
	巻線(冗長方式)	巻線特性	電気特性試験		
	RD変換回路基板	基板設計	軸受特性試験		
	軸受	軸受設計			
	3. QM製作			製造図面 加工・組立・検査	
	4. 認定試験			機械・電気・熱真空特性試験	
	5. 技術試験				軸受寿命試験 温度サイクル試験
	軸受寿命				
回路基板寿命					
回転速度応答					
カプリング剛性					

[注]

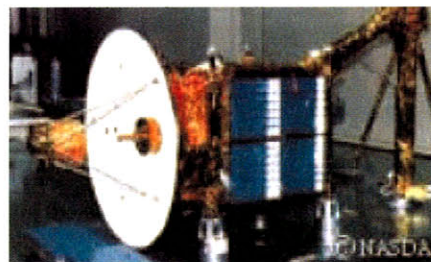
- ・ PDR : 平成16年3月、TKSC 総開棟 1F
- ・ 製造工程確認会 : 平成17年5月、多摩川精機(株)第一事業所
- ・ CDR # 1 : 平成17年7月、TKSC 総開棟 2F
- ・ CDR # 2 : 平成17年7月、TKSC 総開棟 2F
- ・ PQR : 平成18年7月、TKSC 総開棟 2F

認定試験用供試体の製作は、初回生産のため R/D コンバータの EL 手続きによる入手遅れ、ポッティング、コーティング工程の確立などの調整を要し、部品調達から製品完成まで約1年の期間を要することとなった。今後は、製品の発注から納入までのデリバリータイムは、製造工程を確立したことから、QM 製作に比べ更なる短縮が期待される。一方、量産品ではないため、電子部品や軸受など国内外の下位部品メーカーからの調達期間により影響を受けることに留意する必要がある。標準製作日程を付録-1に示す。

最後に製品コストは、海外の既存品に比較しコスト競争力を有する製品を目指した。

2. 3 認定試験用供試体

角度検出器は、アンテナ等の駆動機構において、回転位置決めや速度制御を行うために回転角度や速度を検出するセンサ部品であり、検出原理の違いから電磁誘導方式(レゾルバ)、磁気の極性変化を検出する磁気方式、光の透過、反射、回析の変化を検出する光学方式等がある。



宇宙用角度検出器の機能要求に対して以下のように設計を行った。

図3 アンテナ駆動機構

a. 打上げ時の耐機械的環境性。

回転角度信号の検出方式を耐環境性に優れたレゾルバ方式を採用した。

b. 小型化・軽量化

電子部品の実装を極力高密度化した。

また、構造材料にチタン合金を採用し軽量化を図った。

c. 艤装性・互換性

既開発品との互換性を考慮し RD 変換回路とレゾルバを一体化すると共に信号伝送方式 (EIA RS-422A) を合わせた。また、ハーネスラインの艤装性を考慮し中空軸タイプとした。

d. 高精度

1X-32X の巻線構成とし、最新の電子部品を採用することで角度分解能 21bit、角度検出精度 ± 5 arcsec を実現した。

e. 信頼性

レゾルバ部のトランスステータ及び出力側のレゾルバステータのコアに冗長巻線を施した。また、RD 回路部を冗長構成とした。なお、主系/従系の切り替えは上位機器からの電源 ON/OFF により行う。

(1) 主要諸元及び主要構成

主要諸元を表 3、外形状を図 4、内部構成を図 5、機能ブロックを図 6、角度検出 (レゾルバ) 部冗長構成を図 7、電子回路部 (RD 変換回路) 冗長構成を図 8 示す。

表 3 主要諸元

項目	目標仕様	海外製品	備考
検出方式	レゾルバ [®] (電磁誘導) 式	エンコーダ [®] (光学) 式	高分解能・小型、耐環境性向上
角度検出精度	± 5 arc sec	同左	
分解能	21bit	18bit	
質量	2.0kg 以下	2.2kg 以下	
消費電力	2.6 W 以下	5W 以下	
入出力	デファイニショナル形式 (EIA RS422 準拠)	同左	エンコーダ [®] 式との互換性を確保

外形状は、当初海外製品相当としていたが電子部品の実装や零点補正回路の削除、軸受のサイズダウンなどの見直しを行い、外径を $\phi 140$ mm から $\phi 125$ mm に、奥行を 75mm から 67mm に小型化を行った。

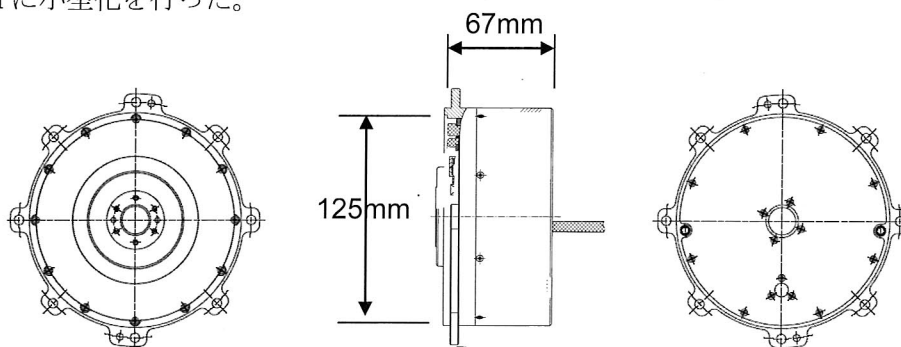


図 4 外形状

角度検出器は、角度検出部（レゾルバ）とレゾルバ信号をデジタル信号に変換する電子回路部（RD変換回路）から構成されており、回転ロータを支持するための軸受と筐体を有している。

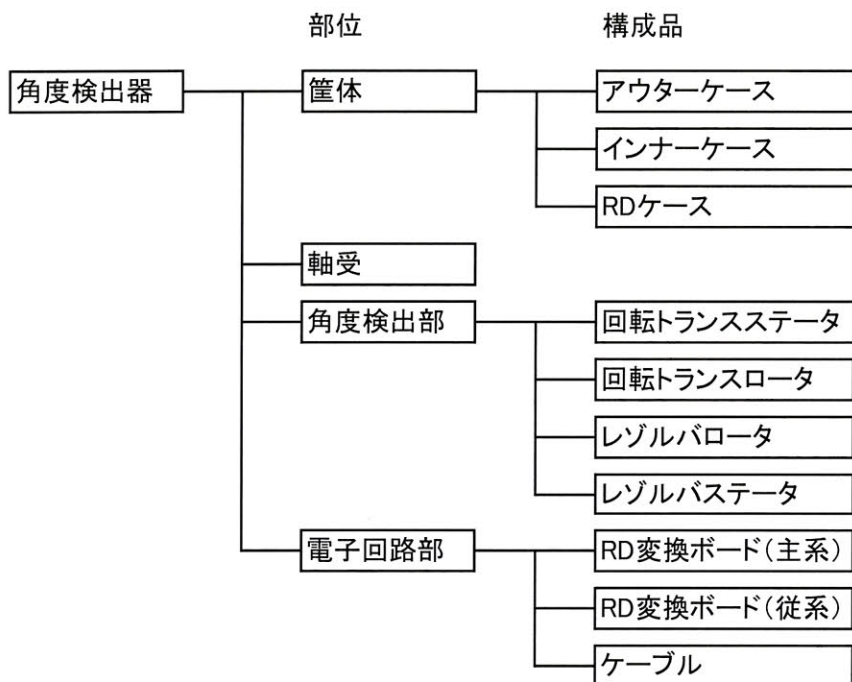


図5 内部構成

上記の構成に対する機能ブロックを図6に示す。

電子回路部は、1X、32Xのレゾルバ信号を角度（デジタル）信号に変換すると共に角度補正を行って角度信号を出力する。

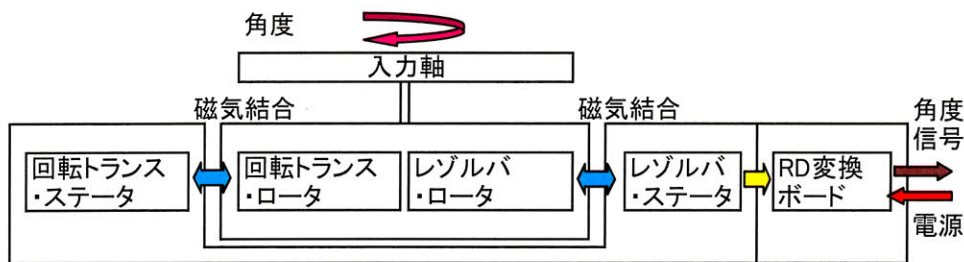


図6 機能ブロック

巻線部の信頼性向上のため、回転トランス及びレゾルバのステータ側巻線を冗長構成とし、ステータ鉄芯の同一スロットに主系、従系の巻線を巻き込んでいる。(図7)

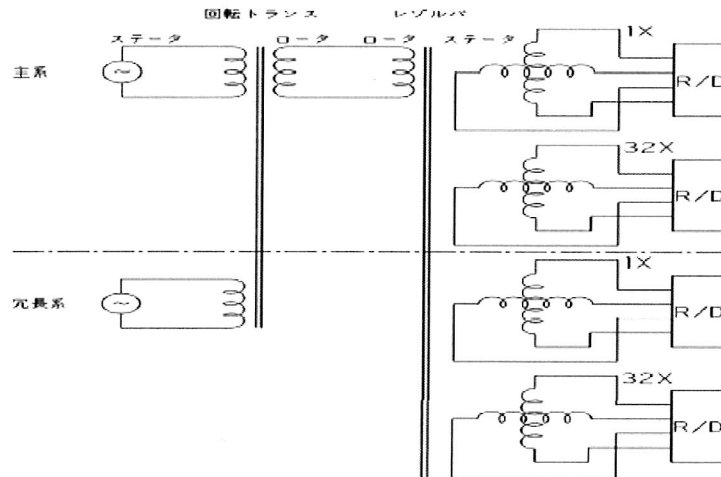


図7 角度検出（レゾルバ）部冗長構成

電子回路部については、完全冗長構成とした。（図8）

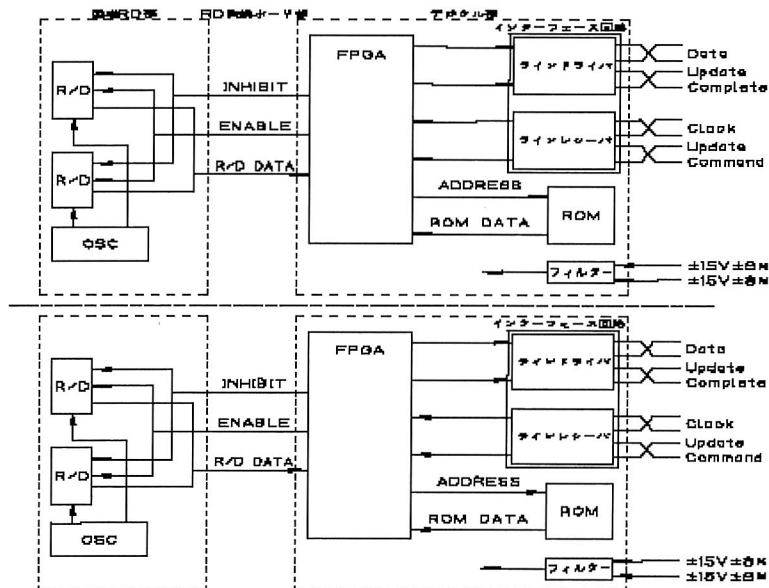


図8 電子回路部（RD変換回路）冗長構成

(2) 検出原理

角度検出部のレゾルバは励磁を行うための励磁巻線と角度出力を行う2相の出力巻線から構成されており、回転トランスの固定子（ステータ）側の巻線に励磁回路で作成された交流電圧（AC7V, 2.2kHz）を印加すると回転トランスロータ巻線に交流電圧が誘起される。その出力電圧は、回転トランスロータと電氣的に接続されたレゾルバロータに印加され、同様に電磁誘導作用によりレゾルバステータに巻かれた2相の出力巻線に交流の電圧が誘起される。このロータ巻線は回転角度に応じて、SIN、COS関数の2相の信号が出力され角度を検出することができる。

次に高精度の検出を実現するために、32Xの多極化を行い、更に軸1回転の位置決めのために1Xと組み合わせて複速化を行い分解能を高めている。図9は、1X-8Xの事例を説明用として示している。

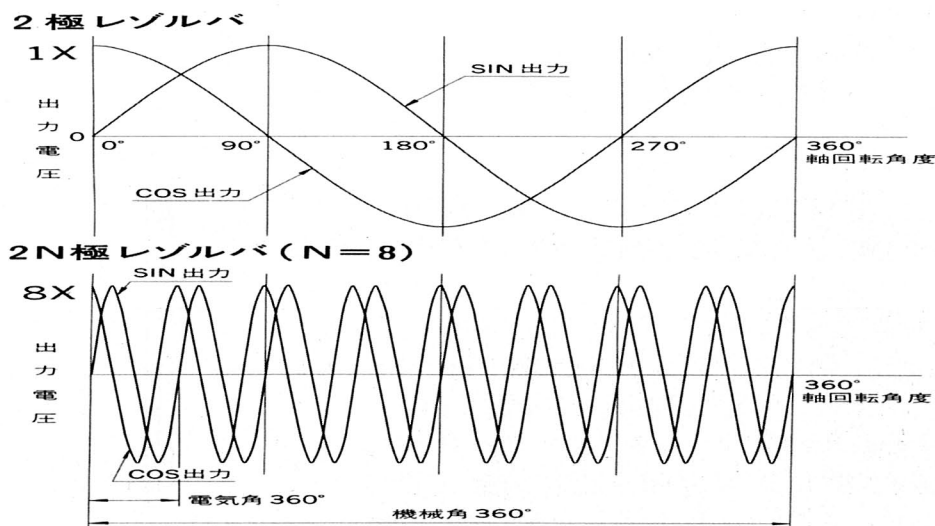


図9 マルチスピードレゾルバ出力電圧

(3) 入出力シーケンス

ユーザー（衛星）との角度信号に関する入出力シーケンスは以下の通り。

- ①アップデートコマンド：衛星側からの角度読込信号を受けて角度計測値を処理する。
- ②アップデートコンプリート：角度検出器側より衛星側へ処理完了信号を送る。
- ③データ<出力>：MSB（最上位 bit）を送信開始
- ④クロック<入力>：衛星側のクロック信号を受信
- ⑤データ<出力>：クロック信号の立ち上がりを検知して下位 bit の送信開始
- ⑥データ<出力>：LSB（最下位 bit）送信し終了

送信完了までアップデートコマンドは受け付けないが、送信時間は、クロック周波数 300kHz の時に約 70 μ sec 程度となる。

入出力シーケンスを図 10 に示す。

(*) 角度検出器 RD 変換出力信号の取り込みは、RD 変換ボード内部でタイミングを生成し 16 μ sec 毎に行っており、周波数のズレによる誤差は無視できる。

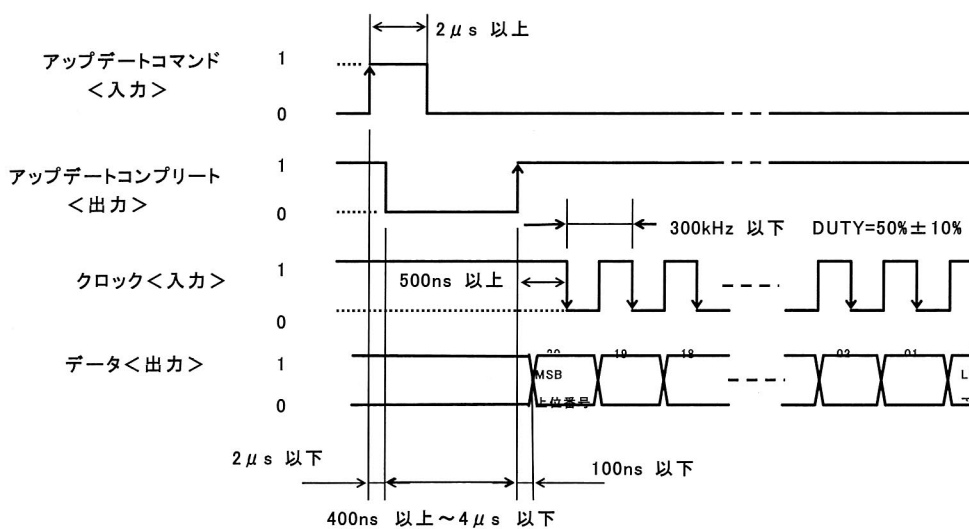


図10 入出力シーケンス

(4) 誤差要因

角度検出器の誤差要因は、角度検出器の内部要因と環境条件やインタフェース仕様による外部要因に分けられる。内部要因は、レゾルバのステータやロータの加工精度、軸受部のはめ合い隙間などの機械加工要因と電気回路に起因する電氣的要因である。外部要因は、インタフェース仕様として設定した取付け誤差や温度環境、供給される電源変動などである。

これらの誤差要因に関して、インタフェース仕様を規定すると共に、常温での角度検出誤差を得てROM補正を行っている。ただし、軸受回転による非同期な軸ブレや温度変化に伴う熱変形の影響、電子回路の量子化誤差が補正できないため、ROM補正後に常温(室温)、低温(-30℃)、高温(+80℃)の条件で角度検出精度の評価を行った。

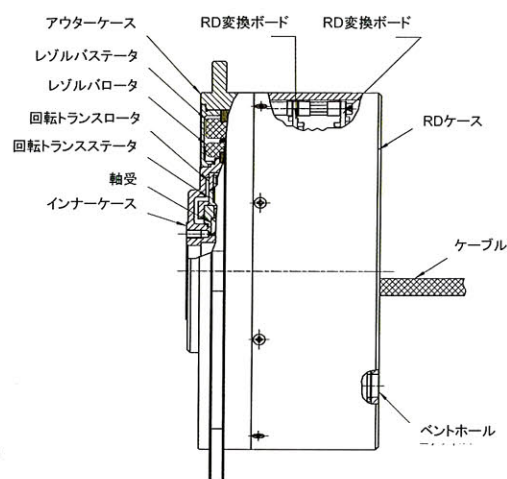


図 1 1 断面図

(5) ROM 補正

ROM 補正の概念を図12に示す。補正データは、フルビットでCW,CCW 連続3回測定したデータを平均し、主系のCWの角度検出器零点を基準として求めており、従系の零点のオフセット量についても、従系のROM補正值に取り込んでいる。角度検出器のRDコンバータから出力される角度信号21bitのうち、上位15bitをROM補正のアドレスとし、下位7bit信号を角度補正データに割り振っている。このため回転角度を15bit分割した範囲(0.011°)毎に補正を行っている。

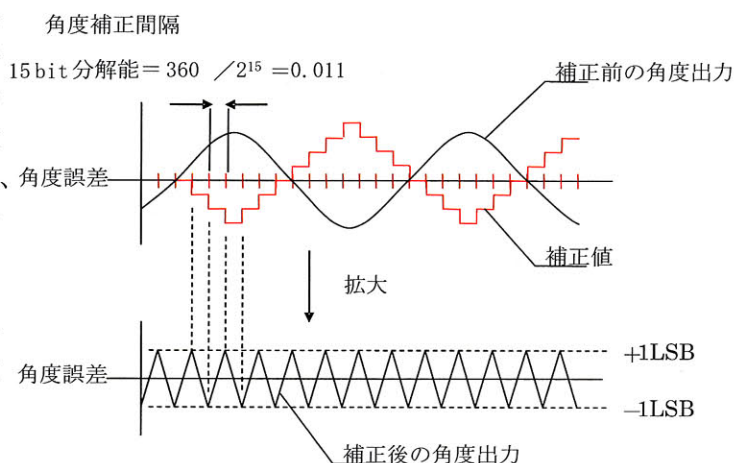


図12 ROM 補正の概念

3. 要素試作試験

設計仕様を確定するために、クリティカル要素である、レゾルバ巻線、電子回路、軸受の試作試験を実施し機械・電気特性を評価し角度検出精度達成の目処を得た。

3. 1 レゾルバ巻線

単一故障点となることを避けるために、電気回路と巻線(回転トランスとレゾルバ)を冗長構成とした。このため、回転トランス及びレゾルバ共に同一のコア上に回転トランスステータとレゾルバステータの主系と冗長系を許容包絡域内に巻き込む必要がある。

モータの巻線技術を応用して冗長方式の巻線を製作しているが、製造技術の観点からは新技術となる。このため、外径133mmのコイルに対し冗長巻線を試作し角度検出精度が設計配分値(±20arcsec)以内であることを確認した。

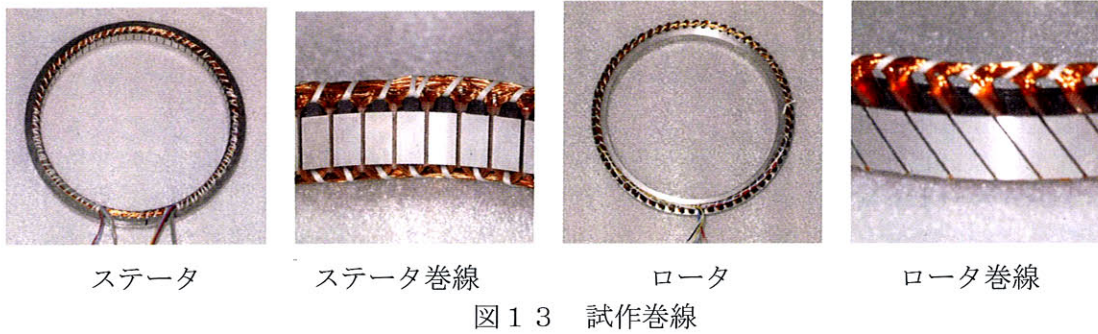


図 1 3 試作巻線

3. 2 電子回路 (RD 変換回路基板)

高精度を実現するために開発着手時点で DSCC (Defense Supply Center Columbus) 認定試験中のハイブリッド IC を採用した。直接の開発アイテムではないが、最新の電子部品であり新技術である。なお、部品調達上の戦略として、認定の遅れやシングルソース部品化を避けるために、代替部品を選定し回路の追加検討を行った。図 1 4 に信号変換回路の構成、図 1 5 に試験中のハイブリッド IC を使用したアナログ基板の実装を示す。

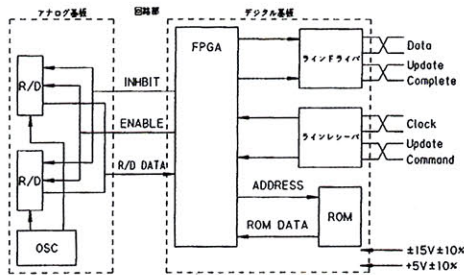


図 1 4 信号変換回路

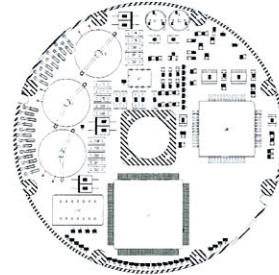


図 1 5 RD 変換ボード実装図

一部に代替部品を用いた RD 変換回路基板を試作し、実装手順、はんだ付けなどの実装工程を確立し、電気的特性を確認した。また、真空中の温度上昇試験を行い電子部品のデレーティング基準に対する検証データを取得した。

MIL-STD-461C に基づき電磁適合性試験を行い CS01 を除き規格を満足することを確認した。なお、CS01 は、電源ラインに 30Hz~50kHz、1Vrms のノイズに対する耐性を要求しているが、これは、センサーである角度検出器の電源仕様 +5V ± 8% に対し過大な要求となっているため、CS01 ノイズは 10kHz 以上に緩和した。

3. 3 軸受

薄肉の深溝玉軸受をベースとして角度検出器用に設計したアンギュラ玉軸受を採用した。軸受部が機械的な回転精度を決定するため、要素レベルの試作試験として、軸受のオイル含浸処理、摩擦トルク計測、回転軸の回転ぶれの計測を行い、軸受部が許容範囲の機械的特性を有していることを確認した。

また、寸法形状についても、座金による予圧量調整や軸またはハウジングへの組み付けに十分な加工公差内の形状であることを確認した。軸受メーカーの計測値と比較しほぼ同様の寸法であった。なお、軸受供試体を図 1 6 に示すが、認定試験用供試体は更なる小型化を行い軸受外径 58mm から 37mm に変更している。

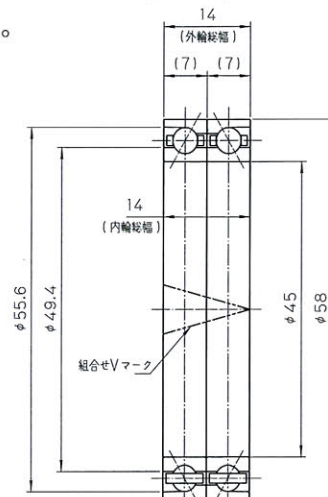


図 1 6 軸受供試体

リテーナのオイル含浸量の維持、オイルの吸湿防止、コンタミ防止対策として、軸受メーカーから受領後の軸受を基油中で保管することとした。1週間の保管により含油量が約0.12から0.47g増加しており、リテーナへのオイル含油量を増加させるという面からも基油中保管の有効性を確認した。

軸受予圧は、定位置予圧方式で与えアキシャル荷重に対するアキシャル変位の変位点荷重(220N)から予圧量を確認した。また、予圧量220Nに設定した場合の単列軸受摩擦トルク試験を行い、摩擦トルク値が規格値(0.02Nm以下)であることを確認した。計測結果を表4に、試験状況を図17に示す。なお、CW、CCW、平均値は、ロードセルの荷重値であり、単体摩擦トルクは、これに回転中心から測定ポイントまでの距離(125.5mm)を乗ずることにより算出している。

表4 単列軸受摩擦トルク

S/N	CW	CCW	平均	単体摩擦トルク	ペア摩擦トルク
	[N]	[N]	[N]	[N・mm]	[N・mm]
3	0.0325	0.0513	0.0419	5.2585	10.2785
4	0.0406	0.0394	0.0400	5.0200	

なお、供試体の組立(軸受の組込)は、上記のペア摩擦トルクに合うよう座金調整を行っている。

次に、温度を変化させた時の軸受摩擦トルクの計測結果を、図18に示す。温度が低下すると共に、軸受摩擦トルクが増加し、回転速度が高いほど顕著であることを示している。

なお、小型化(外径の縮小)に伴い、要素試作試験から認定試験用供試体では軸受を小さなサイズのものに変更しており、図18よりも更に摩擦トルクが低減されている。

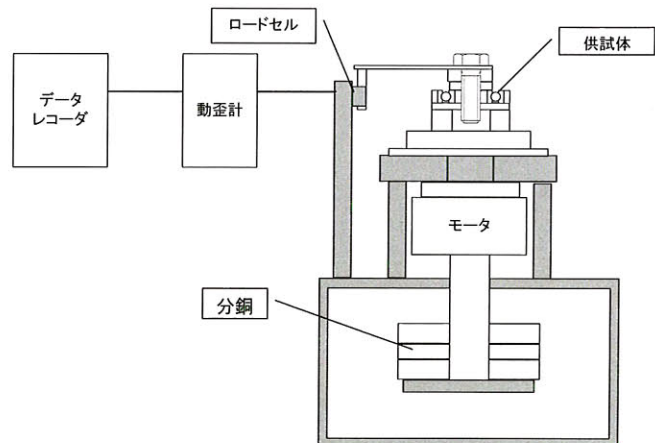


図17 単列軸受摩擦トルク試験

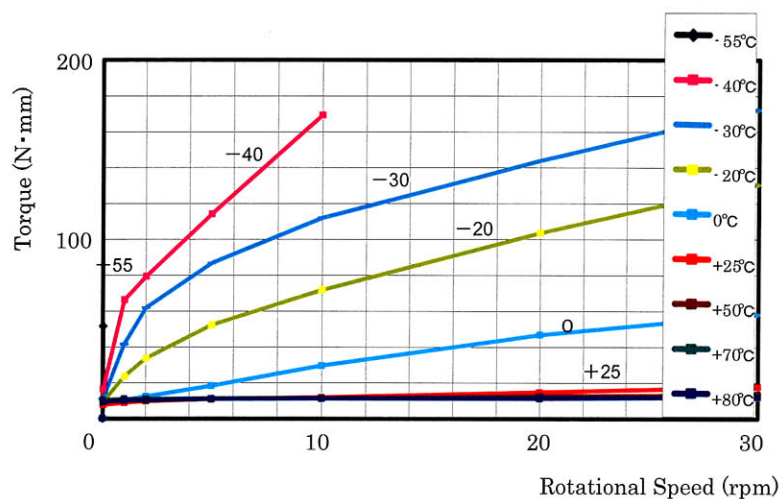


図18 軸受摩擦トルクの温度依存性

3. 4 バックアップ部品搭載基板

電子部品の選定を平成16年度に実施したが、その後 FPGA が製造中止となったこと、RD コンバータがシングルソースであることからセカンドソース（バックアップ品）を用いた RD 変換ボードを試作し評価試験を行った。

電気特性試験として下記の項目の評価を行い、全て規格値内にあることを確認した。

(1) 入出力インタフェース

RD コンバータ出力信号、デジタル角度信号、レゾルバ励磁を確認した。

(2) 分解能

21bit を確認した。

(3) 追従速度

5rpm 以上の軸回転に追従することを確認した。

(4) 消費電力

1.6W 以下の消費電力であることを確認した。

(5) 回路特性試験

インラッシュカレント、素子消費電流、レゾルバ入力歪みの精度影響、電源フィルタ特性を確認した。

(6) 耐環境性試験

振動試験、電磁適合性試験、温度サイクル試験、大気中熱バランス試験（素子の温度上昇）を行った。

4. 認定試験

JX-ESPC-100191 開発仕様書角度検出器により下記の認定試験を行い、要求事項に適合することを検証した。

図19の試験フローにより、地上、打上げ、軌道上の耐環境性を評価し要求レベルを満足することを確認した。更に、角度検出精度も耐環境試験の前後に計測し目標精度範囲にあること確認した。

以下に各試験の概要を示す。また、試験結果を付録-2 立証対照表に示す。

4. 1 角度検出精度

角度基準器（エンコーダ）と角度検出器を結合し、DD モータにて回転駆動する。

基準器側は、36,000 パルス/rev の信号を 100 分割回路に通し 3,600,000 パルス/回転の信号とする。この信号を 22bit のアブソリュート角度信号に変換し、角度検出器の 21bit 信号との差異を角度誤差とする。フルビットの角度検出精度の測定の機器構成を図20に示す。

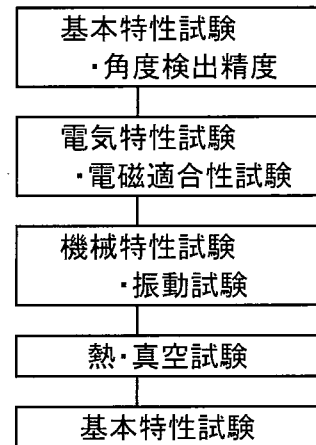


図19 認定試験フロー

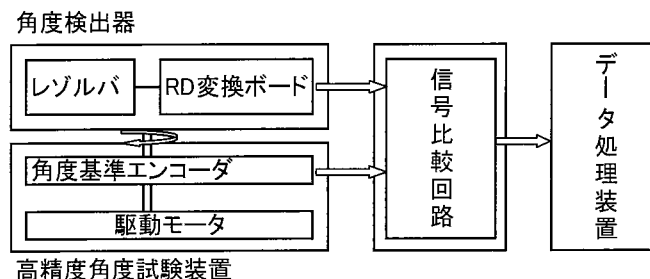


図20 フルビット計測機器構成（軸回転速度 0.5rpm に相当）

RD 変換器から出力される角度信号 21bit のうち、上位 15bit を ROM 補正のアドレスとし、下位 7bit 信号を角度補正データに割り振っている。このため回転角度を 15bit 分割した範囲 (0.011°) 毎に補正を行う。

補正データは、フルビットで CW, CCW 連続 3 回測定したデータを平均し補正データを求めると共に、主系の CW の角度検出器零点を基準として従系のオフセット量を従系の ROM 補正值に取り込んでいる。

前述の角度補正処理の後に得られた角度検出精度 (角度誤差) を図 2 1 に示す。

室温環境下ではあるが、要求精度 ± 5 秒角を満たしていることを確認した。

なお、CW と CCW の切り替えにより約 4 秒角程度の「零点オフセット」を生じることやレゾルバ回転軸の振れによると推定される「うねり」が見受けられる。

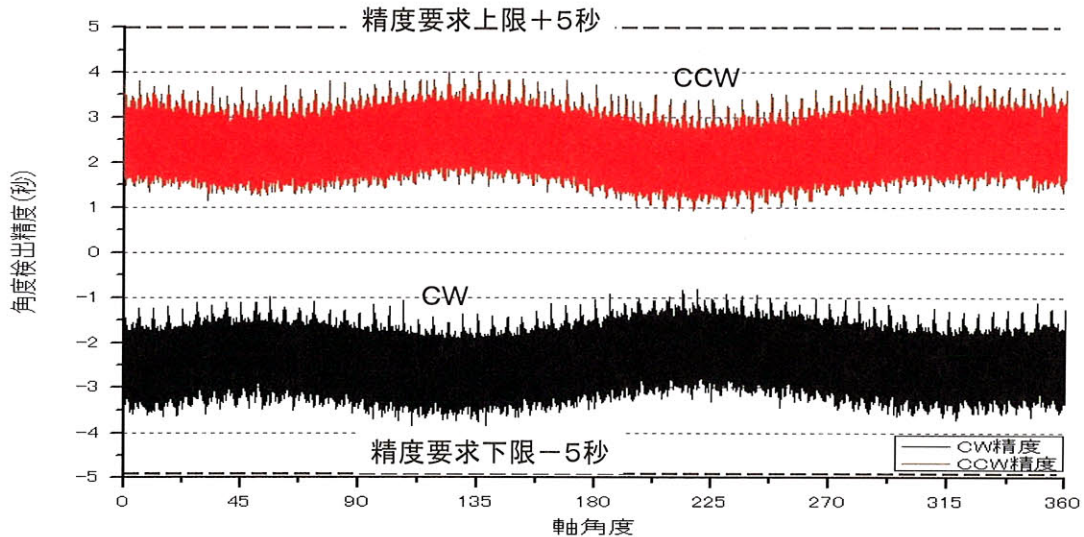


図 2 1 主系フルビット測定結果

4. 2 電磁適合性

MIL-STD-461Cpart3 の規定に従い、以下の各項目に適合することを確認した。

CE01、CE03、CE07、CS02、CS06、RE01、RE02、RS02、RS03

なお、CS01 は、供給電圧へのインタフェース条件より 10kHz 以上 1Vrms に変更した。

4. 3 振動試験

図 2 2 に試験のコンフィギュレーションを示す。

No	測定箇所
①	治具
②	インナーケース 1 (X 方向)
③	インナーケース 2 (Y 方向)
④	RD カバー
⑤	アウターケース 1
⑥	アウターケース 2

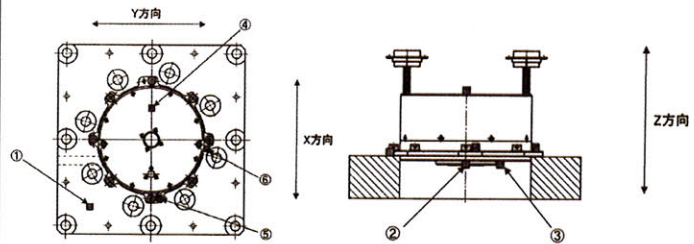


図 2 2 振動試験コンフィギュレーション

(1) 固有振動数

加振レベル 1G にて周波数 5~2000Hz のスイープを行い 100Hz 以下に共振点が無いことを確認した。低い側の共振点は X、Y 軸 670Hz、Z 軸 620Hz である。

図 2 3、2 4、2 5 に固有振動数の計測結果を示す。

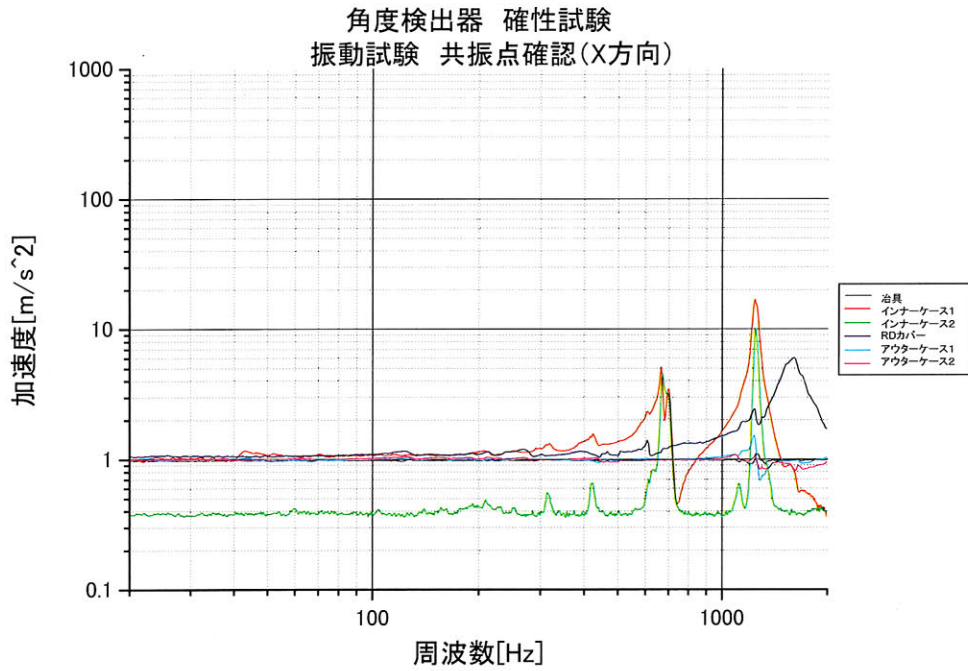


図 2 3 固有振動計測結果 (X 軸方向)

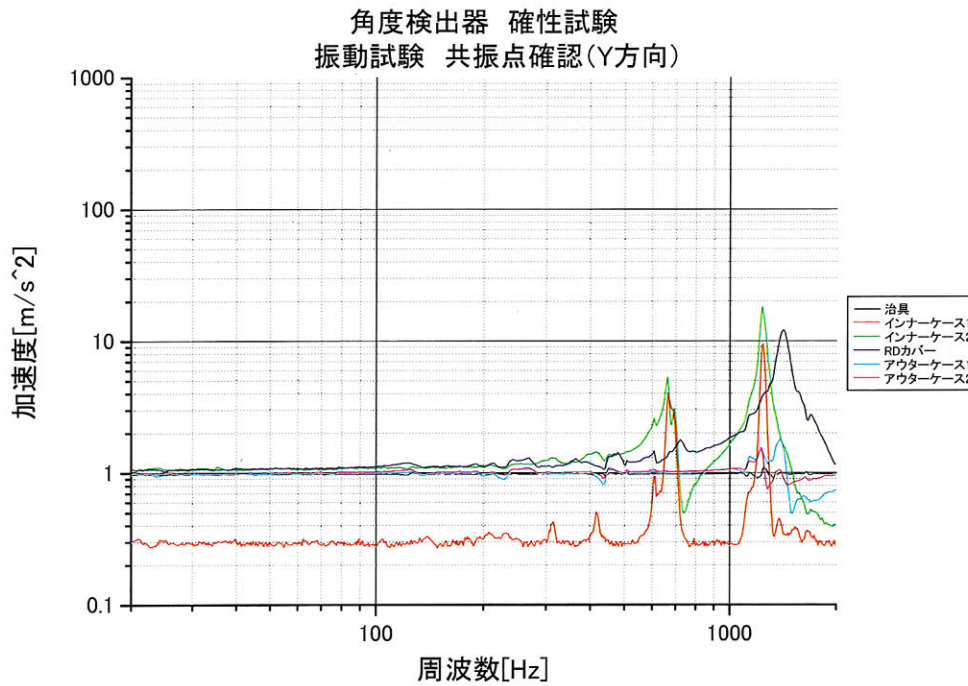


図 2 4 固有振動計測結果 (Y 軸方向)

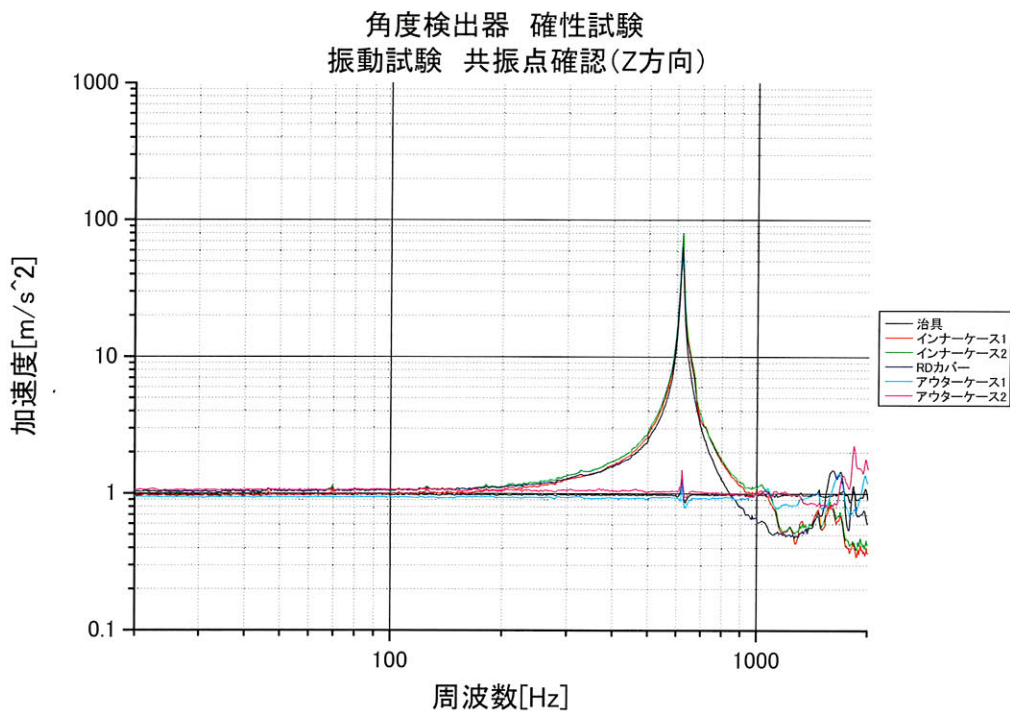


図 2 5 固有振動計測結果 (Z 軸方向)

(2) 正弦波振動

付録-2 立証対照表に示す試験条件により正弦波加振を行い試験後の軸摩擦トルクや外観、角度検出精度に影響の無いことを確認した。

図 2 6、2 7、2 8 に試験結果を示す。

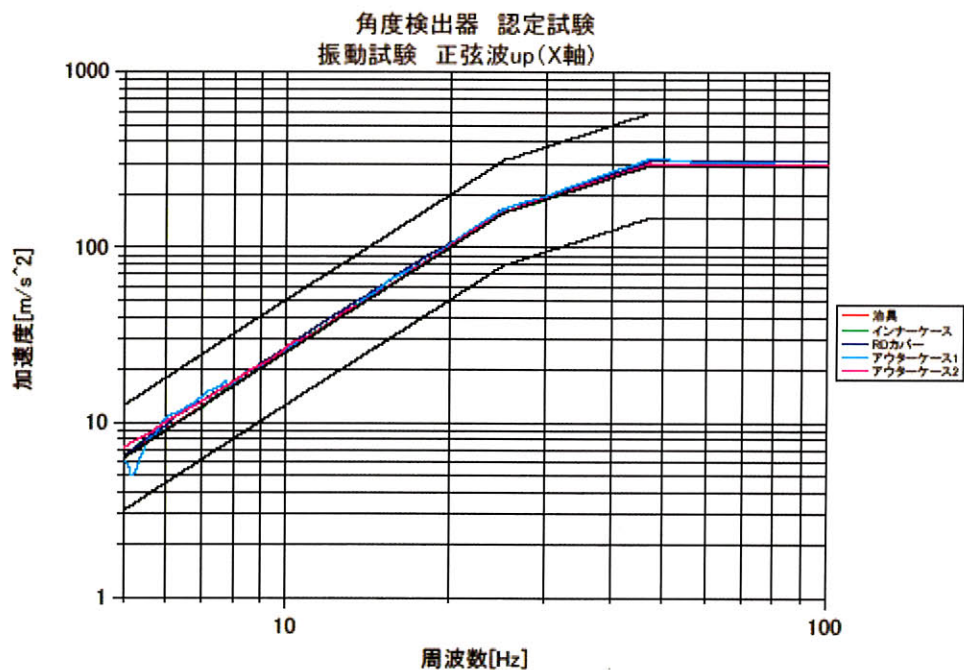


図 2 6 正弦波振動 (X 軸方向)

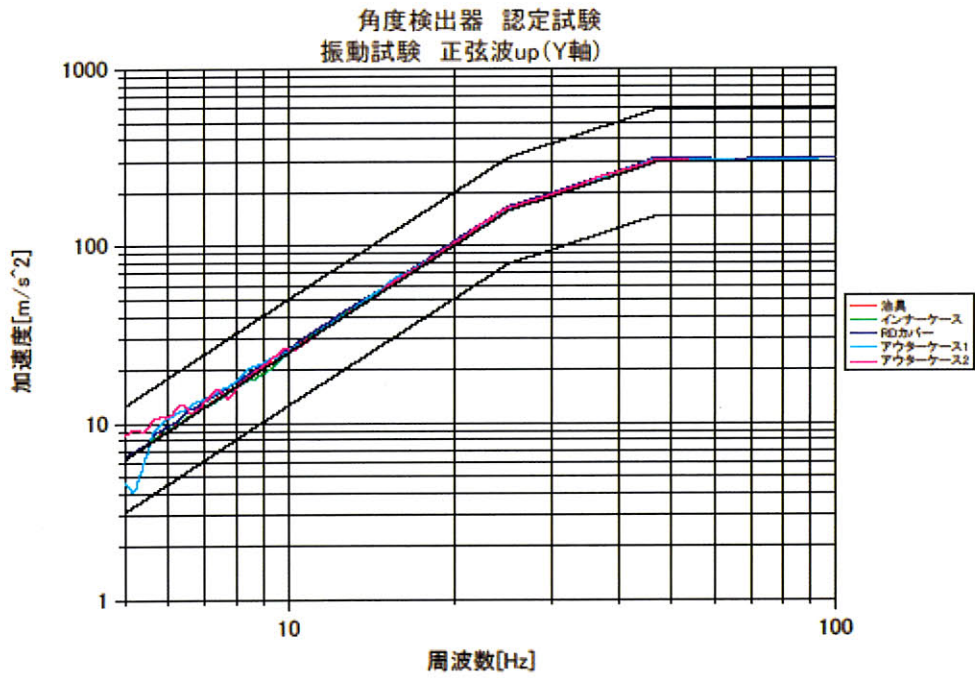


図 2 7 正弦波振動 (Y軸方向)

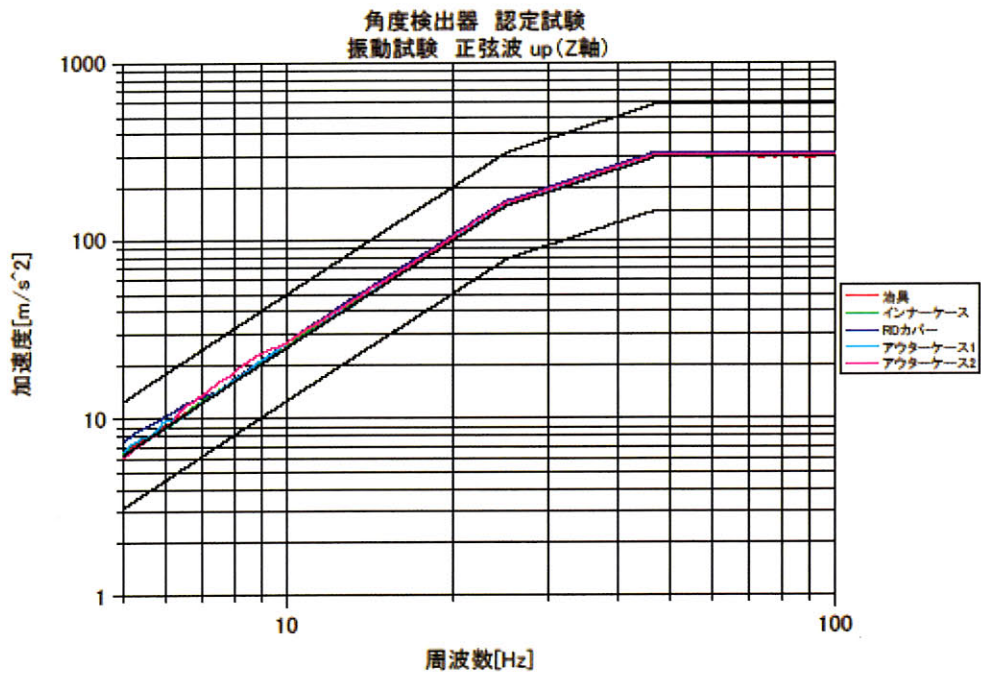


図 2 8 正弦波振動 (Z軸方向)

(3) ランダム振動

付録-2 立証対照表に示す試験条件によりランダム加振を行い試験後の軸摩擦トルクや外観、角度検出精度に影響の無いことを確認した。

図29、30に試験結果を示す。

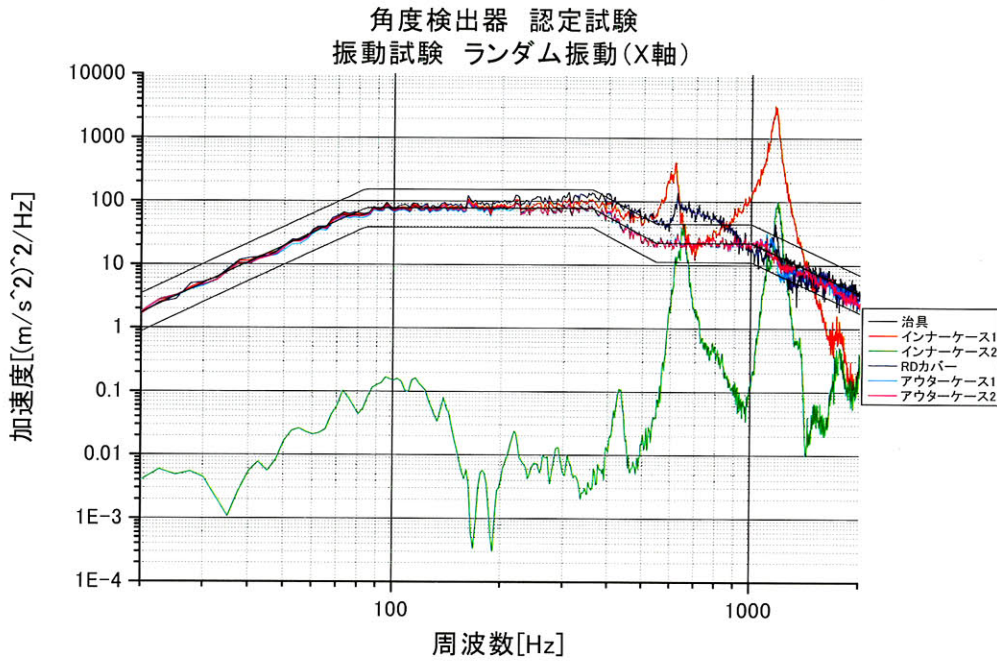


図29 ランダム振動 (X軸方向)

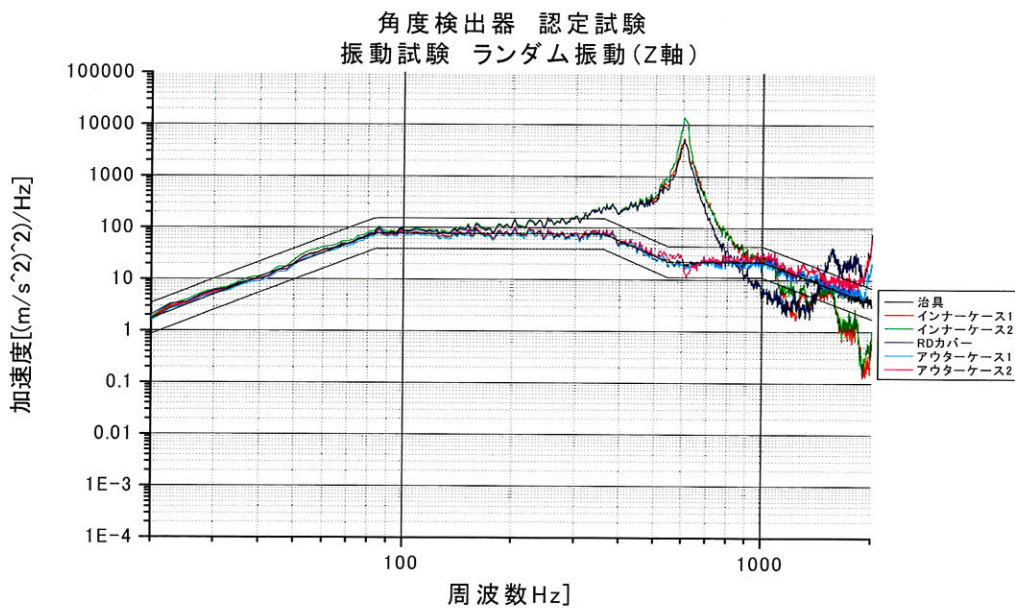


図30 ランダム振動 (Z軸方向)

(4) 衝撃試験

衝撃試験は吊り下げた供試体治具に振子式の鉄球を衝突させ実施した。
 付録ー 2 立証対照表に示す試験条件により衝撃試験を行い試験後の軸摩擦トルクや外観、
 角度検出精度に影響の無いことを確認した。

試験条件を表 5、応答を図 3 1 に示す。

表 5 衝撃試験条件

周波数 (Hz)	加振度 (m/s^2) 【Go-p】 (SRS、Q=10)
100-1500	+8dB/Oct
1500-4000	14710 【1500】

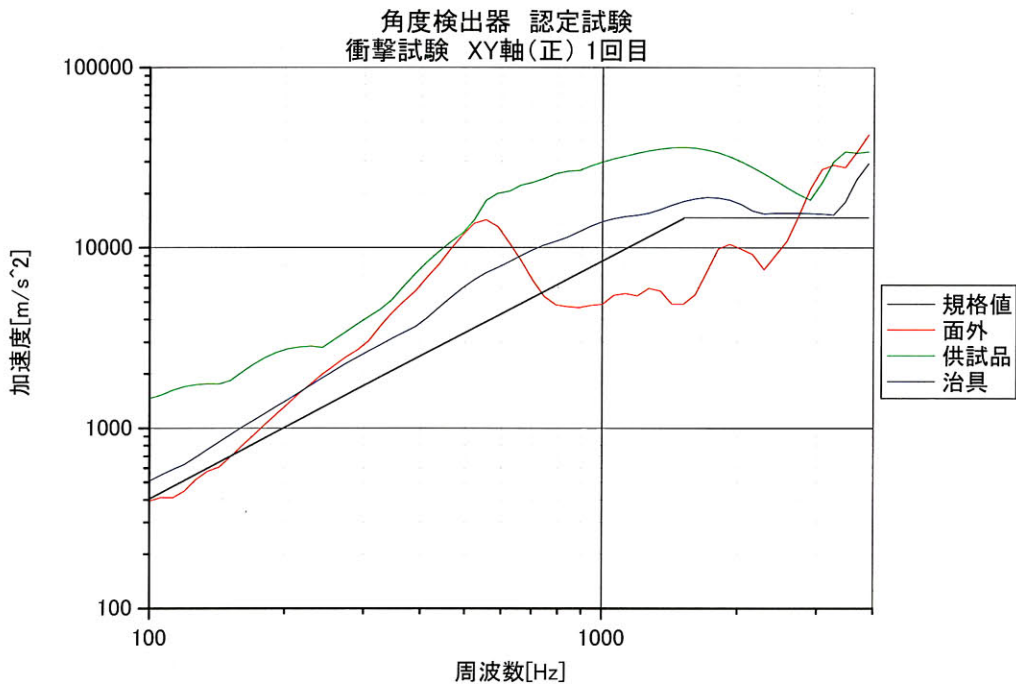


図 3 1 衝撃試験時応答

4. 4 熱・真空試験

(1) 温度サイクル

下記に示す通り、 -30°C から $+80^{\circ}\text{C}$ の温度差を8サイクル加え角度精度誤差など基本特性び影響の無いことを確認した。

図3 2 に試験のコンフィギュレーション、図3 3 に温度サイクル試験プロフィールを示す。

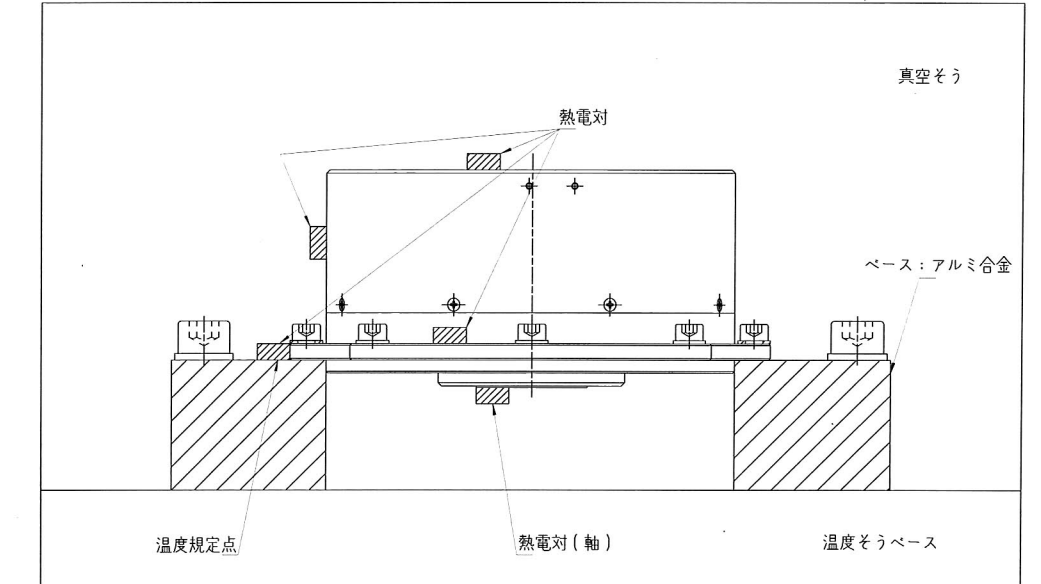


図3 2 熱・真空試験コンフィギュレーション

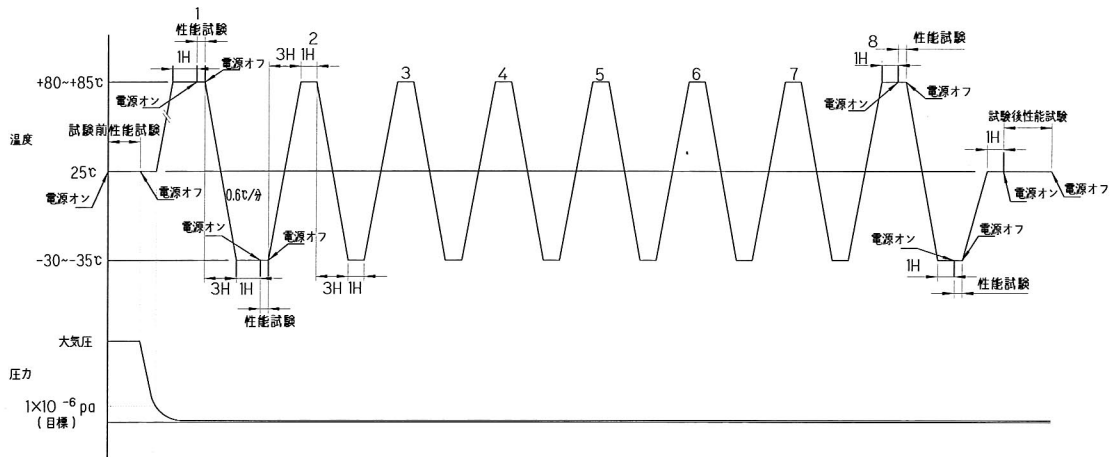


図3 3 温度サイクル試験プロフィール

5. 技術試験・確性試験

適用データシート作成のために、開発仕様書の要求を超える限界試験や、解析により評価していた寿命評価を補足するための耐久試験、新たなユーザ要求に応えるための評価試験を行った。⁵⁾

5. 1 軸受寿命試験

軌道上寿命10年を検証するため、実機同等の潤滑処理を行った軸受の加速寿命試験を

行った。加速方法は、回転速度を増加し加熱により油の粘度を低下させることにより、 Λ 値（油膜厚さ／平均粗さ）を3以下の低い値（潤滑的に厳しい混合潤滑状態）に設定することにより行った。

(1) 供試体

軸受 : タイプ 7805
潤滑剤 : スペースルブMU (ウレア系)

(2) 試験条件

温度 : $+37^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$
真空圧力 : $1 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 以下
回転数 : 120rpm
 Λ 値 : 1 (上記温度条件による)
回転方向 : CW, CCW 両方向に 5×10^6 回転
毎に反転する。
目標寿命 : 1×10^8 回転
試験期間 : 約 19 ヶ月 (上記条件による)
測定項目 : 軸受摩擦トルク、軸受外輪温度、
回転速度、回転方向、真空度、
Q マス

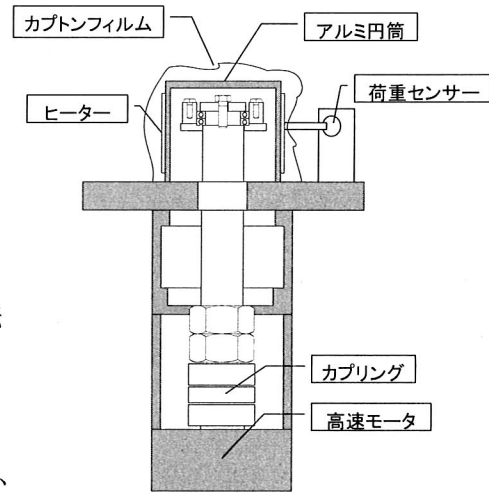


図 3 4 軸受寿命試験
コンフィギュレーション

(3) 試験コンフィギュレーション

図 3 4 に示す。

(4) 試験結果

平成 18 年 5 月末に開始し継続中であるが 2.7×10^7 回転を経過して、軸受摩擦トルクの値は初期値と比較し変化は見られない。

5. 2 基板加速寿命

軌道上要求寿命 10 年を検証するため、工程確立後試作した RD 変換ボードを用いて加速寿命試験を行った。

要求条件を下記に示す。

(1) 温度サイクル

$16 \text{ サイクル/日} \times 365 \text{ 日} \times 5 \text{ 年} = 29200 \text{ サイクル}$

温度変動回数の多い低軌道上運用を対処とする。

低軌道衛星の実績 (3 年～5 年) から運用期間を 5 年とする。

(2) 軌道上温度環境

低軌道運用での温度変動幅 ($20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$)、軌道上でヒータ運用を行うことを前提とし、衛星の運用実績から $+35^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$ とする。

(3) 試験温度範囲

使用電子部品の許容温度範囲 ($-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$) にマージンと運用温度範囲を考慮して $-5^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ とする。

上記の条件と下記の参考文献の加速試験係数計算式により加速試験条件を設定した。

(注) 加速試験係数計算式の参考文献

表面実装半導体デバイスの機械的強度試験方法 (ED-4702A)

試験方法 001: 実装後の温度サイクル試験—はんだ付け部のコンポーネント温度サイクル試験方法、(社) 電子情報技術産業協会 (JEITA)

【試験条件】

- (1) 温度 : $-5^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$
- (2) 時間 : 30 サイクル/日、48 分/サイクル
- (3) 試験サイクル数 : 3527 サイクル
- (4) 試験日数 : 118 日 (約 4 ヶ月)

上記条件での試験後に、はんだ付け部を実体顕微鏡で検査し①クラッドの発生有無、②ランドの浮きの有無、③はんだ表面のつや、光沢の有無、④しわの有無など外観に異常の無いこと、また、電気特性として①消費電力、②インタフェース、③追従速度など異常の無いことを確認した。

5. 3 回転速度特性

高精度角度検出器は観測センサなど検出軸の回転速度が数 rpm 程度の利用を前提としているが、新たなユーザからより速い速度で回転する機器への利用の要望もあり、回転速度による性能変化を確認した。

(1) 試験条件

回転速度 : 5,10,15,20,30,35,40rpm

環境条件 : 大気圧、室温

(2) 試験コンフィギュレーション

角度検出精度試験と同様に高精度試験装置にて軸回転速度を変化させ実施した。

(3) 試験結果

30rpm が RD コンバータの追従特性性能の限界となっており、30rpm までは回転速度にほぼ比例し角度検出精度の劣化が確認された。また、30rpm を超えると検出誤算が桁違いに劣化し、角度出力として不規則に 10 度程度のノイズが確認された。

5. 4 カプリング剛性

カプリングの取付誤差 (ミスアライメント) による角度検出精度への影響を確認するため、角度検出器とカプリングのインタフェース面にシムを挿入ミスアライメントによるラジアル荷重、スラスト荷重を加え角度精度に顕著な影響の無いことを確認した。

なお、ミスアライメント量は以下の通り。

a.ラジアル方向へ 0.2mm 偏心

b.インナアダプタ～角度検出器間に調整座金 (0.5mm、1mm) を挿入

5. 5 電気特性 (確性)**5. 5. 1 電源変動**

角度検出器は、電源供給を受けて作動するため供給電圧の変化による性能の変動を確認した。

(1) 試験条件

電圧 : +5 V、+15 V の 2 系統

電圧変動 : $\pm 10\%$ 、 $\pm 12.5\%$ 、 $\pm 15\%$ (仕様値 $\pm 8\%$)

検出軸回転速度 : 0.5rpm

環境条件 : 大気圧、室温

(2) 試験結果

変動率 -12.5% 及び -15% の 2 ケースで応答が得られなかった。原因としては FPGA が正常作動しなかったと推定される。

5. 5. 2 クロック周波数変動

外部機器から受けるクロック周波数の変動影響を確認するため下記の条件で評価を行った。

(1) 試験条件

クロック周波数：500kHz、1MHz（仕様値 300kHz）

デューティ：±20%、±30%

検出軸：固定

電源電圧：規定電圧の±1%以内

環境条件：大気圧、室温

ケーブル長：2m

(2) 試験結果

任意の2箇所不同角度について適正なデータが出力されることを確認した。

なお、試験コンフィギュレーションは入出力ケーブル長 2m とした。

6. 注意事項

EEPROM 等不揮発性メモリの使用方法についてアラートが発行されており、部品の不具合が生じた場合の影響は下記の通り。

角度検出器の EEPROM チップには、7bit の角度補正データを記録しており、衛星側からの角度読込信号、回転角 0.011 度の範囲に同期した場合に、最悪ケースとして極性ビットが反転により 158 秒(0.0439 度)の誤差を生じ、角度精度の劣化した信号が出力される。

認定試験（角度誤差計測）では当該不具合を生じていないが、ユーザは上記の特性を考慮して機器設計を行うこと。

7. まとめ

信号処理回路を一体化し海外製品に対抗できる宇宙用角度検出器を開発した。

更に、本開発により担当者の技術力の向上と技術の蓄積・継承に貢献することができた。

開発経緯は既に公表しているが^{6、7)}、本資料ではより詳細な開発経過を述べた。

既存品との互換性を重視してベースライン仕様を設定し、更に小型軽量化に努めるなどユーザーの容貌を取り込みつつ開発を行った。この成果として認定試験完了前にも関わらず、プロジェクトの個別要求を受けて仕様変更を行った製品が地球観測衛星用センサー部等、複数のプロジェクトに採用されている。

8. 謝辞

本開発を実施するにあたり宇宙用部品技術委員会の外部専門委員としてご協力頂いた、三菱電機(株) 中川潤氏、NEC東芝スペースシステムズ(株) 佐々木彰氏、(株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース 秋山正雄氏に対し深く感謝いたします。また、開発を担当された多摩川精機株式会社の尽力に敬意を表します。

参考文献

- 1) 宇宙用部品技術委員会報告書—宇宙用部品の再構築に向けて—平成15年6月
宇宙開発事業団 宇宙用部品技術委員会
- 2) JAXA-RM-04-008 平成15年度 宇宙用部品技術委員会報告書—勸告事項の進展—
平成16年5月 宇宙航空研究開発機構 宇宙用部品技術委員会
- 3) 平成16年度 宇宙用部品技術委員会報告書
—第1期重要部品の開発進捗状況及び第2期重要部品の選定—平成17年6月

宇宙航空研究開発機構 宇宙用部品技術委員会

- 4) JX-ESPC-100191B 開発仕様書 角度検出器 宇宙航空研究開発機構
- 5) 技術資料 GDM-06016 角度検出器 適用データシート
- 6) 宮馬浩, 小原新吾, 鈴木峰男 宇宙用機構部品の開発、第 50 回宇宙科学連合技術講演会、講演集 P974、2006.11.9
- 7) 宮馬浩, 小原新吾, 鈴木峰男 角度検出器の開発、総合技術研究本部・宇宙科学本部 合同成果報告会、前刷集 3-25P~3-28P、2006.11.1

付録一 1
角度検出器 標準日程計画

工 程	製作月数											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
マイルストーン	受注					調 達			組 立		試 験 検 査	出 荷
1 設計	↑											
2 仕様確認		↑										
3 電子部品手配												
4 材料調達					↑							
5 部品加工												
6 軸受調達												
7 レゾルバ組立												
8 製作												
9 RD変換ボード組立												
10 角度検出器組立												
11 A 試験・検査												
12 T												

付録-2

角度検出器立証対照表

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.1.1	機能	(1)本角度検出器は、主に人工衛星のアンテナ等の角度変化を検出する機構である。 (2)本角度検出器は、組装性を考慮して小型軽量の機構であること。 (3)本角度検出器は、信号変換機付の中空軸タイプとすること。 (4)本角度検出器は、高精度の角度検出機能を有すること。 検出方式は、電磁誘導式1X-32複速レゾルバ及びRD変換器方式とする。 (5)本角度検出器は、信頼性と組装性を考慮して十分な冗長構成とすること。 レゾルバ部は、コア共通巻線待機冗長、RD回路部は、待機冗長として、主系/冗長系の切り替えは外部上位機器からの電源ON/OFFとする。 (注)RD: Resolver to Digital Converter (信号変換回路)	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.1.1 (1)	機械的インタフェース	角度検出器と外部機器との機械的インタフェースは下記の通り。 ① アクチュエータへの固定 ハウジング 取付フランジ上の8カ所のφ5.4穴にM5ねじを使って固定する。回転方向の固定は、2カ所のφ4H8穴を設けて、ピンにて固定する。 回転軸 回転軸上に設けた6カ所のM2.5ねじ穴にM2.5ねじを使って固定する。固定側と同様に、回転方向の固定は、2カ所のφ3H8穴を設けて、ピンにて固定する。	同左	同左	良			○	
		② ポンディング面及び取付け面の処理 ポンディング面 フランジ取付面、回転軸取付面間 取付け面の処理 チタン合金の機械加工面 (表面処理無し)	同左	フランジ取付面、検出軸取付面間 チタン合金の機械加工面 (表面処理無し)	良			○	
		③ 取付け面の表面粗さ 1.6a以下	同左	0.6a	良			○	
		④ 取り付け許容荷重 アクシヤル荷重 50N ラジアル荷重 50N 曲げモーメント 0.25Nm	同左	アクシヤル荷重 149N ラジアル荷重 110N 曲げモーメント 0.60Nm	良		○		
		⑤ 軸駆動トルク 起動 0.04Nm以下 ランニング 0.04Nm以下	同左	起動 0.0025 Nm ランニング 0.0025 Nm	良			○	
		⑥ 軸遊び スラスト方向 0.01mm以下 ラジアル方向 0.01mm以下	同左	スラスト方向 0.001mm以下 ラジアル方向 0.001mm以下	良		○		
		⑦ 準静的荷重 294m/s ² [30G] に耐える。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.1.1 (2)	電氣的インタフェース	角度検出器と外部機器との電氣的インタフェースである電力と信号は下記の特性を持つ。 ① 電源 a. 電圧 +5V±8% +15V±8% -15V±8%	同左	+5V±8% +15V±8% -15V±8%	良				○
		b. リップル +5V:200mVp-p以下 +15V:200mVp-p以下 -15V:200mVp-p以下	同左	+5V:200mVp-p +15V:200mVp-p -15V:200mVp-p	良				○
		② 信号 a. チャンネル数 2ch(主系1ch、冗長系1ch)	同左	2ch	良				○
		b. 入力信号 アップデートコマンド、クロック	同左	アップデートコマンド クロック	良				○
		c. データ長 21bit	同左	21bit	良				○
		d. ビットプライオリティ MSBファースト	同左	MSBファースト	良				○
		e. 出力信号 アップデートコンプリート、データ 軸増から見て軸CW方向回転時のデータ 出力信号は角度増加とする。 (0° ⇒ 90° の方向)	同左	アップデートコンプリート データ CW方向	良				○
f. クロック周波数 最大 300kHz、 デューティ:50%±10%	同左	周波数:308.6kHz デューティ:39.5%、60.5% にて正常に動作した。	良				○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.1.1 (2)	電氣的インタフェース	e. 伝送方式 ディファレンシャル形式 (EIA RS-422A準拠)	同左	ディファレンシャル形式	良				○
		h. 入出力電圧 論理"1" (+)(-) <-1.0V、 論理"0" (+)(-) >+1.0V	同左	論理"1" :-2.805V 論理"0" :+2.725V	良				○
		i. パルス波形状 立上がり時間:100ns以下、 立下がり時間:100ns以下	立上がり時間:50ns、 立下がり時間:40ns (試作結果による)	立上がり時間:22ns、 立下がり時間:25ns	良				○
		j. 入出力タイミング 図の通りとする。	同左	図の各信号の時間は 図の規格値を満足した。	良				○

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.1.1 (3)	熱的インタフェース	a. 熱バス 機械的インタフェース面 (フランジ取付面、検出軸取付面間) b. 発熱量 2.6W以下 (注)1ch 動作時の発熱量である。 c. 温度規定点 フランジ取付面	同左 発熱量:1.60 W	同左 発熱量:1.14 W	良		○		
3.2.1	諸特性	角度検出器を4.7.2項により試験したとき、(1)~(2)の基本特性、機械的特性、電気的特性、熱・真空特性、放射線特性、寿命、潤滑の要求を満足しなければならない。	同左	同左	良		○		
3.2.1 (1)	角度検出精度	角度検出器を4.7.2項(1)により試験したとき、次の要求を満足しなければならない。 ±0.0015° 以下 (±5秒角)	±0.00093°	+0.00074° -0.00078°	良				○
3.2.1 (2)	分解能	21bit 角度検出器を4.7.2項(2)により試験したとき、上記の要求を満足しなければならない。	21bit	21bit	良				○
3.2.1 (3)①	ランダム振動	角度検出器を4.7.1項(3)により試験したとき、次の要求を満足しなければならない。 a. 試験後の軸摩擦トルクに異常のないこと。 b. 試料に変形、破壊及び異常音の発生がないこと。	同左	a. 軸摩擦トルクに異常がなかった。 b. 試料に変形、破壊及び異常音の発生がなかった。	良				○
3.2.1 (3)②	正弦波振動	角度検出器を4.7.1項(3)により試験したとき、次の要求を満足しなければならない。 a. 試験後の軸摩擦トルクに異常のないこと。 b. 試料に変形、破壊及び異常音の発生がないこと。	同左	同上	良				○
3.2.1 (3)③	衝撃	角度検出器を4.7.1項(3)により試験したとき、次の要求を満足しなければならない。 a. 試験後の軸摩擦トルクに異常のないこと。 b. 試料に変形、破壊及び異常音の発生がないこと。	同左	同上	良				○

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.2.1 (4)①	消費電力	角度検出器は、本仕様書の4.7.1項(4)に従って試験したとき、以下の値以下でなければならない。 2.6W以下 (目標1.6W以下) (注)1ch動作時の消費電力である。	1.60 W	1.14W	良				○
3.2.1 (4)②	入出力	角度検出器は、本仕様書の4.7.1項(4)に従って試験したとき、信号タイミング、波形が基準値より変動していないこと。	同左	信号タイミング、波形が基準値より変動していなかった。	良				○
3.2.1 (4)③	電磁適合性	角度検出器は、本仕様書の4.7.1項(4)に従って試験したとき、MIL-STD-461の規格を満足すること。但し、CS01の周波数10kHz以上とする。	同左	MIL-STD-461の規格を満足した。	良				○
3.2.1 (5)①	高温保持	角度検出器を4.7.1項(5)による試験後に、外観、性能及び軸摩擦トルクに異常のないこと。	同左	外観、性能及び軸摩擦トルクに異常がなかった。	良				○
3.2.1 (5)②	低温保持	角度検出器を4.7.1項(5)による試験後に、外観、性能及び軸摩擦トルクに異常のないこと。	同左	外観、性能及び軸摩擦トルクに異常がなかった。	良				○
3.2.1 (5)③	温度サイクル	角度検出器を4.7.1項(5)による試験前、試験中、試験後に、性能に異常のないこと。	同左	試験前、試験中、試験後に、性能に異常がなかった。	良				○
3.2.1 (5)④	減圧	角度検出器は、打上時の減圧及びそれに伴う環境変化、及び、曝露環境での最低真空圧力に耐え、正常に作動すること。角度検出器を4.7.1項(5)により試験したとき、アーク、フラッシュオーバー、又は絶縁破壊及び機械的損傷があってはならない。	同左	打上時の減圧及びそれに伴う環境変化、及び、曝露環境での最低真空圧力に耐え、正常に作動した。アーク、フラッシュオーバー、又は絶縁破壊及び機械的損傷はなかった。	良				○

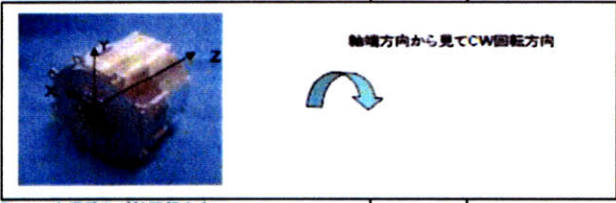
開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法		
番号	項目					類似性	解析	検査
3.2.1 (6)	放射線特性	角度検出器は、JERG-2-003の設計基準を満足し、軌道上の放射線環境により性能及び軸摩擦トルクに異常を生じないこと。	同左	同左	良		○	
3.2.1 (7)	寿命 (目標値)	地上試験において、100回の機能試験に耐えること。但し、電気的作動は含まない。 静止軌道上において、10年以上(15年目標)作動すること。 総回転数は、 10^8 回転以上とする。	$L10=1.77 \times 10^{11}$ 回転	同左	良		○	
3.2.1 (8)	潤滑	軸受リテーナ(フェノリック樹脂)は合成炭化水素系オイル、軸受は合成炭化水素系グリースにより潤滑処理すること。	同左	軸受リテーナ(フェノリック樹脂)は合成炭化水素系オイル、軸受は合成炭化水素系グリースにより潤滑処理した。	良			○
3.2.2 (1)	座標系	角度検出器の座標系及び回転方向を図-2に定義する。 	同左	軸端方向からみてCW回転であった。	良			○

図-2 座標系及び回転方向

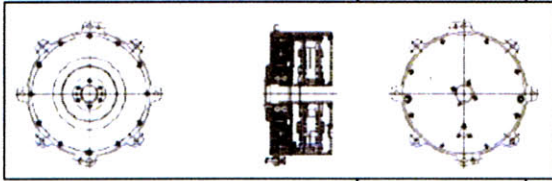
開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法		
番号	項目					類似性	解析	検査
3.2.2 (2)	形状及び寸法	角度検出器の外形状及び寸法を、図-3に示す。 	外径 $\phi 147$ mm 筐体外径 $\phi 125$ mm 長さ 67 mm 中空軸 $\phi 16$ mm なお、上記寸法にケーブルは含まない。	外径 $\phi 147$ mm 筐体外径 $\phi 125$ mm 長さ 67 mm 中空軸 $\phi 16$ mm	良			○

図-3 角度検出器外形状

外径 $\phi 150$ mm 以下
(参考: 筐体外径 125mm)
長さ 70 mm 以下
中空軸 $\phi 15$ mm 以上
なお、上記寸法には、取付フランジ、コネクタ部を含まない。

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.2.2 (3)	質量特性	質量 2.0 kg 以下 ロータ慣性 0.0004 kgm ² 以下	質量 1.79 kg ロータ慣性 0.00034 kgm ²	質量 1.815 kg ロータ慣性 0.00038 kgm ²	良				○
3.2.3	信頼性及び冗長度	信頼性設計を実施し、角度検出器として十分な信頼度を有すること。 また、故障モードを考慮して、内部構成部品を冗長構成とすること。	同左	同左	良		○		
3.2.4 (1)	機械環境	JERG-2-005の文書に示されるロケットの打上時の振動、衝撃、加速度及び軌道上運用時の振動、衝撃に耐えること。	同左	規定の振動、衝撃、加速度及び軌道上運用時の振動、衝撃に耐えた。	良				○
3.2.4 (2)	熱・真空環境	軌道投入時の減圧及び軌道上の温度サイクルに耐えること。	同左	規定の減圧及び軌道上の温度サイクルに耐えた。	良				○
3.2.4 (3)	放射線環境	角度検出器に使用する部品及び有機材料は、大気中において、γ線(コバルト60)線放射線量 $1 \times 10^7 \text{rad(Si)}$ に耐えるものでなければならない。	同左	同左	良		○		
3.3.1 (1)	機械設計基準	機械設計については、JERG-2-005、JERG-0-037の文書によること。	同左	同左	良		○		
3.3.1 (2)	電気設計基準	電気設計については、JERG-2-006、JERG-0-028、JERG-0-039、JERG-0-40、JERG-0-041の文書を適用する。	同左	同左	良		○		
3.3.2 (1)①	部品及び材料	角度検出器に使用する部品及び材料は、JAXA-QTS-2000の3.3項に規定する品質保証プログラム中の製品の識別及びトレーサビリティを規定する文書に明記し、JAXAの審査を受けなければならない。 また、電気、電子、電気機械(EEE)部品については、GBA-99010の要求を満たさなければならない。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.3.2 (1)②	材料	角度検出器に使用する材料は、本仕様書の3.2項の要求事項を満足するものを使用しなければならない。材料が特に規定されない場合、本仕様書の要求する性能を満足することができる材料を使用しなければならない。 角度検出器に使用する有機材料等のうち真空環境にさらされるものは、ASTM-E595により測定したとき、原則として低アウトガス(目標値:TML \leq 1.0%、CVCM \leq 0.1%)特性のものでなければならない。	同左	同左	良		○		
3.3.2 (2)	ワークマン シップ	ワークマンシップは、宇宙機器としての技術要求水準に適合したものでなければならない。また、重要な工程及び手順の変更は、JAXAの承認なしに行ってはならない。 更に、角度検出器は、清浄でごみが混入しないように十分に注意して加工、組立、運搬等を実施するものとする。特に、接線、コーティング、熱処理、溶接、接着は十分注意して作業をし、品質の維持に留意しなければならない。	同左	同左	良		○		
3.3.2 (3)	銘板、ラベル 及びマーキング	JAXA-QTS-2000の3.5.2項に従って、容易に消えない方法で次の事項を表示しなければならない。 ① 部品番号 ② 製造年月 ③ 一連番号 ④ 端子の識別 ⑤ 製造業者名またはその略号	同左	表示されていた。	良			○	
3.3.2 (4)	互換性	光学式エンコーダとの互換性に配慮すること。	同左	同左	良		○		
3.4.1	地上保管	角度検出器は、納入後最大5年間の地上保管の要求を満足すること。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
3.4.2	整備及び支操器材	前項に規定した期間は、特別の整備を要することなく、機能、性能を維持すること。	同左	同左	良		○		
4.1.1	試験及び検査の責任	原則として製造業者等は、本仕様書で規定された試験及び検査を信頼性保証プログラムに規定する手順、場所、機器等によって実施する責任を有する。試験及び検査の記録は、契約書、調達仕様書等に指定があれば、その写しを提出しなければならない。 JAXA又は調達者は、角度検出器の信頼性及び品質を確保するために3項の要求事項を確認する必要がある場合には、再度検査を実施する権利を有する。	同左	同左	良		○		
4.1.2	故障報告及び故障解析報告書	製造業者等は、本仕様書に規定する角度検出器の不具合が社内及び社外で発見された場合、JAXA-QTS-2000の3.6項に従ってJAXAへ報告しなければならない。また、品質保証プログラムに規定された故障解析プログラムを実施し、故障原因に関する検討結果を故障解析報告書として作成し、下記に指定する時期に提出しなければならない。 (1)認定試験の終了時 (2)受入試験の終了前 (3)返送された故障部品の解析が終了した時 これらの報告書を提出するとともに、その状況と対策について言及した資料を保管しなければならない。	同左	同左	良		○		
4.2	試験装置及び検査設備	試験及び検査に用いる装置、設備、器具、測定機器等は、角度検出器の性能や機能を試験し検査するのに十分な精度、角度、機能範囲及び性能を持たなければならない。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法																																																																													
番号	項目					類似性	解析	検査	試験																																																																										
4.3	試験及び検査の分類	本仕様書に従って供給される角度検出器は、次の分類による試験等により保証されなければならない。 (1)認定試験 (2)出荷検査	同左	同左	良		○																																																																												
4.4.1	試料	試験に供試する試料は、1.3項に規定された種類の代表となるもの1個とし、いずれも開発時に規定した材料、製造工程、製造条件並びに管理条件に基づき、製造されたものでなければならない。	同左	同左	良		○																																																																												
4.4.2	試験項目、試験順序等	試験の項目、順序及び試料数は、表-3の通りとする。試験順序は全数I群の試験を実施後、II群以降の試験を実施する。ただし、類似性、解析等で検証可能とJAXAが認める場合には、試験項目等を省略することができる。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <caption>表-3 認定試験項目及び試料数</caption> <thead> <tr> <th>群</th> <th>項目番号</th> <th>試験項目</th> <th>要求事項の項目番号</th> <th>試験方法の項目番号</th> <th>試験数</th> <th>許容不良数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I 基本特性</td> <td>1</td> <td>製品検査</td> <td>3.2.2</td> <td>4.7.2</td> <td rowspan="2">1</td> <td rowspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>角度検出精度</td> <td>3.2.11</td> <td>4.7.1(1)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">II 電機特性</td> <td>1</td> <td>分岐電</td> <td>3.2.1(2)</td> <td>4.7.1(2)</td> <td rowspan="2">1</td> <td rowspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>レンジ調整</td> <td>3.2.1(3)</td> <td>4.7.1(3)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">III 機械特性</td> <td>1</td> <td>圧縮変位</td> <td>n</td> <td>n</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>圧縮変位</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>振動</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">IV 電気特性</td> <td>1</td> <td>消費電力</td> <td>3.2.1(4)</td> <td>4.7.1(4)</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>入出力</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>電圧適合性</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">V 熱・真空特性</td> <td>1</td> <td>高温環境</td> <td>3.2.1(5)</td> <td>4.7.1(5)</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>低温環境</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>温度サイクル</td> <td>n</td> <td>n</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) II 群以降の試料(試験供試体)は、部品交換などの補修を行って再使用しても良い。</p>	群	項目番号	試験項目	要求事項の項目番号	試験方法の項目番号	試験数	許容不良数	I 基本特性	1	製品検査	3.2.2	4.7.2	1	0	2	角度検出精度	3.2.11	4.7.1(1)	II 電機特性	1	分岐電	3.2.1(2)	4.7.1(2)	1	0	2	レンジ調整	3.2.1(3)	4.7.1(3)	III 機械特性	1	圧縮変位	n	n	1	0	2	圧縮変位	n	n	3	振動	n	n	IV 電気特性	1	消費電力	3.2.1(4)	4.7.1(4)	1	0	2	入出力	n	n	3	電圧適合性	n	n	V 熱・真空特性	1	高温環境	3.2.1(5)	4.7.1(5)	1	0	2	低温環境	n	n	3	温度サイクル	n	n	同左	同左	良		○		
群	項目番号	試験項目	要求事項の項目番号	試験方法の項目番号	試験数	許容不良数																																																																													
I 基本特性	1	製品検査	3.2.2	4.7.2	1	0																																																																													
	2	角度検出精度	3.2.11	4.7.1(1)																																																																															
II 電機特性	1	分岐電	3.2.1(2)	4.7.1(2)	1	0																																																																													
	2	レンジ調整	3.2.1(3)	4.7.1(3)																																																																															
III 機械特性	1	圧縮変位	n	n	1	0																																																																													
	2	圧縮変位	n	n																																																																															
	3	振動	n	n																																																																															
IV 電気特性	1	消費電力	3.2.1(4)	4.7.1(4)	1	0																																																																													
	2	入出力	n	n																																																																															
	3	電圧適合性	n	n																																																																															
V 熱・真空特性	1	高温環境	3.2.1(5)	4.7.1(5)	1	0																																																																													
	2	低温環境	n	n																																																																															
	3	温度サイクル	n	n																																																																															

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法																										
番号	項目					類似性	解析	検査	試験																							
4.4.3	合否判定基準	表-3の試験を通し、不合格判定が一つでもある場合は不合格とする。	同左	同左	良		○																									
4.4.4	試験後の処置	不合格となった場合、製造業者等は、材料、製造工程及びそれらのすべてを保証するように是正処置をとらなければならない。是正処置をとった後、原則として、すべての認定試験を実施しなければならない。すべての試験項目を実施するか、不具合発生の試験項目のみを実施するかの判断の権限はJAXAが有する。	同左	同左	良		○																									
4.5	出荷検査	出荷検査は、契約に基づいて納入される製品の全数に対して実施しなければならない。	同左	同左	良		○																									
4.5.1	試料	出荷試験に供試する試料は、開発時に規定した材料、製造工程、製造条件並びに管理条件に基づき製造されたものでなければならない。	同左	同左	良		○																									
4.5.2	検査方法	出荷検査は、全数検査方式とする。	同左	同左	良		○																									
4.5.3	検査項目及び検査順序	受入検査の項目は、表-4による。検査の順序は項目番号順に行う。	同左	同左	良		○																									
		<p style="text-align: center;">表-4 出荷検査項目</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>群</th> <th>項目番号</th> <th>試験項目</th> <th>要求事項の項目番号</th> <th>試験方法の項目番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I. 物理的特性</td> <td>1</td> <td>製品検査</td> <td>3.2.2</td> <td>4.7.2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>分解能</td> <td>3.2.1(2)</td> <td>4.7.1(2)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">II. 基本特性</td> <td>1</td> <td>角度検出精度</td> <td>3.2.1(1)</td> <td>4.7.1(1)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>消費電力</td> <td>3.2.1(4)</td> <td>4.7.1(4)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">III. 電気的特性</td> <td>1</td> <td>消費電力</td> <td>3.2.1(4)</td> <td>4.7.1(4)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>入力</td> <td>"</td> <td>"</td> </tr> </tbody> </table>								群	項目番号	試験項目	要求事項の項目番号	試験方法の項目番号	I. 物理的特性	1	製品検査	3.2.2	4.7.2	2	分解能	3.2.1(2)	4.7.1(2)	II. 基本特性	1	角度検出精度	3.2.1(1)	4.7.1(1)	2	消費電力	3.2.1(4)	4.7.1(4)
群	項目番号	試験項目	要求事項の項目番号	試験方法の項目番号																												
I. 物理的特性	1	製品検査	3.2.2	4.7.2																												
	2	分解能	3.2.1(2)	4.7.1(2)																												
II. 基本特性	1	角度検出精度	3.2.1(1)	4.7.1(1)																												
	2	消費電力	3.2.1(4)	4.7.1(4)																												
III. 電気的特性	1	消費電力	3.2.1(4)	4.7.1(4)																												
	2	入力	"	"																												

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
4.5.4	合否判定基準	集荷検査に於いて、不合格判定が1つでもあれば、その角度検出器は、不合格とする。	同左	同左	良		○		
4.5.5	不合格品が発生した場合の処置	不合格品が発生した場合は、合格品と区別し、不合格品を出荷してはならない。不合格品と同時に製造した合格品は出荷を保留し、社内の規定された故障解析手順により処置しなければならない。	同左	同左	良		○		
4.6.1	試験環境条件	特に指示のない限り、すべての試験及び検査は、次の環境条件で行われなければならない。ただし、次の範囲からはずれる場合は記録を残さなければならない。 (1)温度 23±10℃ (2)湿度 60%以下(RH) (3)大気圧力 周囲大気圧 (4)清浄度 クリーンルーム：公称クラス 100,000 (FED-STD-209)	同左	同左	良		○		
4.6.2	環境試験公差	環境試験時における公差は、MIL-STD-810の規定による。	同左	同左	良		○		
4.6.3	測定許容精度	特記のない限り、すべての取得データは測定の指定値の±2%以内の精度でなければならない。	同左	同左	良		○		
4.7.1 (1)	角度検出精度	角度検出器を常温、大気中で高精度角度試験装置により精度を測定する。	同左	常温、大気中で高精度角度試験装置により精度を測定した。	良				○
4.7.1 (2)	分解能	角度検出器を常温、大気中で高精度角度試験装置により分解能を測定する。	同左	常温、大気中で高精度角度試験装置により分解能を測定した。	良				○

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法																											
番号	項目					類似性	解析	検査	試験																								
4.7.1 (3)①	ランダム振動	MIL-STD-810の試験方法514.5に従って行う。ただし、次の試験条件を適用する。 a. 振動レベル <table border="1"> <tr> <td>加振方向</td> <td>周波数(Hz)</td> <td>加振レベル(psd)(m/s²)²/Hz</td> <td>G0-p</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">各軸</td> <td>20-83.6</td> <td>-8dB/Oct</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>83.6-360</td> <td>76.9</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>360-546</td> <td>-9dB/Oct</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>546-1000</td> <td>22.1</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>1000-2000</td> <td>-8dB/Oct</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Over All(rms)</td> <td></td> <td>223.6</td> <td>22.8</td> </tr> </table> b. 加振時間 直交3軸の各軸に3分間ずつ各1回	加振方向	周波数(Hz)	加振レベル(psd)(m/s ²) ² /Hz	G0-p	各軸	20-83.6	-8dB/Oct	-	83.6-360	76.9	0.9	360-546	-9dB/Oct	-	546-1000	22.1	0.23	1000-2000	-8dB/Oct	-	Over All(rms)		223.6	22.8	同左	MIL-STD-810の試験方法514.5に従って行った。ただし、左記の試験条件を適用した。	良				○
加振方向	周波数(Hz)	加振レベル(psd)(m/s ²) ² /Hz	G0-p																														
各軸	20-83.6	-8dB/Oct	-																														
	83.6-360	76.9	0.9																														
	360-546	-9dB/Oct	-																														
	546-1000	22.1	0.23																														
	1000-2000	-8dB/Oct	-																														
Over All(rms)		223.6	22.8																														
4.7.1 (3)②	正弦波振動	MIL-STD-810の試験方法514.5に従って行う。ただし、次の試験条件を適用する。 a. 振動レベル <table border="1"> <tr> <td>加振方向</td> <td>周波数(Hz)</td> <td>加振レベル(psd)(m/s²)</td> <td>G0-p</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">各軸</td> <td>25.3</td> <td>12.7mmDA</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>9.3-43.4</td> <td>1000mm/s</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>43.4-100</td> <td>294.7</td> <td>30</td> </tr> </table> b. 加振時間 掃引率2oct/分の割合で各軸1往復、X、Y、Z3軸	加振方向	周波数(Hz)	加振レベル(psd)(m/s ²)	G0-p	各軸	25.3	12.7mmDA	-	9.3-43.4	1000mm/s	-	43.4-100	294.7	30	同左	MIL-STD-810の試験方法514.5に従って行った。ただし、左記の試験条件を適用した。	良				○										
加振方向	周波数(Hz)	加振レベル(psd)(m/s ²)	G0-p																														
各軸	25.3	12.7mmDA	-																														
	9.3-43.4	1000mm/s	-																														
	43.4-100	294.7	30																														
4.7.1 (3)③	衝撃	MIL-STD-810の試験方法516.5に従って行う。ただし、次の試験条件を適用する。 a. 衝撃レベル <table border="1"> <tr> <td>周波数(Hz)</td> <td>加振度(m/s²) (SRS Q=10)</td> <td>G0-p</td> </tr> <tr> <td>100-1500</td> <td>+8dB/Oct</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1500-4000</td> <td>14710</td> <td>1500</td> </tr> </table> b. 衝撃方向 半径方向、軸方向の正負各2回、合計8回	周波数(Hz)	加振度(m/s ²) (SRS Q=10)	G0-p	100-1500	+8dB/Oct	-	1500-4000	14710	1500	同左	MIL-STD-810の試験方法516.5に従って行った。ただし、左記の試験条件を適用した。	良				○															
周波数(Hz)	加振度(m/s ²) (SRS Q=10)	G0-p																															
100-1500	+8dB/Oct	-																															
1500-4000	14710	1500																															

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
4.7.1 (4)①	消費電力	消費電力は、供給される電圧、電流を測定し算出する。	同左	電圧、電流を測定し算出した。	良				○
4.7.1 (4)②	入出力	入出力信号は、オシロスコープを用いて信号タイミング、波形などを計測する。信号タイミング及び波形の合否判定は、図1による。	同左	入出力信号は、オシロスコープを用いて信号タイミング、波形などを計測した。	良				○
4.7.1 (4)③	電磁適合性	MIL-STD-461に従い、EMC試験を実施する。	同左	MIL-STD-461に従い、EMC試験を実施した。	良				○
4.7.1 (5)①	高温保持	角度検出器は、+80℃の恒温槽内に24時間保持した後、3.1.2項(1)⑤及び3.2.1項(1),(2),(4)項の試験を実施する。	同左	+80℃以上の恒温槽内に24時間保持した後、試験を実施した。	良				○
4.7.1 (5)②	低温保持	角度検出器は、-30℃の恒温槽内に24時間保持した後、3.1.2項(1)⑤及び3.2.1項(1),(2),(4)項の試験を実施する。	同左	-30℃以下の恒温槽内に24時間保持した後、試験を実施した。	良				○
4.7.1 (5)③	温度サイクル	角度検出器の使用温度範囲の上限温度、下限温度の間で規定の温度サイクルを与える。温度サイクル前中後に機能試験を行い、出力特性の変化を測定する。 a. 温度条件:高温+80℃、低温-30℃に各1時間保持する。 b. 温度サイクル数:8サイクル	同左	使用温度範囲の上限温度、下限温度の間で規定の温度サイクルを与えた。	良				○
4.7.2 (1)	製品検査	外觀、寸法及び質量の試験は、要求精度の10倍以上の精度を持つ測定器を使用して行い、3.2.2項に規定した、形状、寸法、質量、及び3.2.1項(4)に規程した絶縁抵抗の要求を満足しなければならない。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
4.8	保管品に対する処置	出荷検査後、5年間以上保管された角度検出器は、調達者への引渡しに先立って出荷検査の全項目を再検査しなければならない。検査は、全数検査とし、合格した部品のみ出荷することができる。かつ再検査の日付を梱包または保管箱に表示しておかななければならない。	同左	同左	良		○		
5.	引渡し準備	引渡しの準備は、この項の規定によるほか、JAXA-QTS-2000の5項よらなければならない。	同左	同左	良		○		
5.1	清浄度の保持	角度検出器は、引渡しに先立ち清浄度管理された環境下での最終の製品検査後、ただちに洗浄済みの袋をかぶせて、密封し、角度検出器全体を汚染防止袋に入れて、ヒートシール等で密閉しなければならない。	同左	同左	良		○		
5.2	警告ラベル	前項の汚染防止袋に貼付するラベルは、清浄度管理区域外で開包を促す警告ラベルと清浄度識別ラベルを兼ねてよい。	同左	同左	良		○		
5.3	格納箱	格納箱の内面には、クッション材を張りつけ、その内部の空間にもクッション材を使用し、包装が動かぬようにつめなければならない。また、格納箱は適切なテープでシールしなければならない。	同左	同左	良		○		

開発仕様書		要求事項	設計結果	解析/試験結果	判定	検証方法			
番号	項目					類似性	解析	検査	試験
5.4	外装	複数個の格納箱を一つの輸送用コンテナに入れることができる。この場合、その総重量は20kgfを超えてはならない。	同左	同左	良		○		
5.5	包装への表示	格納箱及び輸送コンテナには、少なくとも次の事項を消えない方法で表示しなければならない。 (1) 格納箱 ① 部品名 ② 部品番号 ③ 適用仕様書 ④ 供給業者部品番号/一連番号 ⑤ 製造年月 ⑥ 製造業者名 ⑦ 包装年月日 ⑧ 検査結果及び主任検査員名 ⑨ 静電気注意	同左	同左	良		○		

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-06-009

発行日 2007年3月30日
編集・発行 宇宙航空研究開発機構
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1
URL: <http://www.jaxa.jp/>
印刷・製本 ケーティエス情報株式会社

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。


宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

TEL: 029-868-2079 FAX: 029-868-2956

© 2007 宇宙航空研究開発機構

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

 この用紙は地球環境・森林資源のため再生紙を使用しています。

