

# 宇宙用重要部品(機構部品)の開発

Development of Strategic Mechanical Parts for Space-Use

マテリアル・機構技術グループ

(Mechanical and Materials Engineering Group)

宮馬 浩 小原 新吾 佐々木 彰 今川 吉郎

Hiroshi Miyaba, Shingo Obara, Akira Sasaki and Kichiro Imagawa

## Abstract

JAXA selected 19 strategic items in the field of mechanical parts and materials. And, preferential 4 items in them are Thruster Valve, Shut-off Valve, Resolver and Harmonic Drive for the first development generation. Development of Resolver and Harmonic Drive started in FY 2003. This paper reports development of Resolver and Harmonic Drive which are used for the antenna pointing or paddle driving mechanism.

### 1. はじめに

角度検出器と減速歯車の開発は、宇宙用重要部品の供給を目的として平成15年度より着手された。

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、部品情報が十分開示されないため、故障解析は困難な状況にある。このような状況を受け、JAXAは、市場性、社会状況、技術性、過去の経過などを考慮して、重要度の高い機構部品、材料(19品目)を選定し、更にその中から第1期重要部品として、推薬弁、遮断弁、角度検出器、減速歯車の4品目を選定した。

本稿では、アンテナやパドル駆動機構に用いられる角度検出器、及び減速歯車の開発状況について報告する。なお、Table 1 に重要部品19品目を示す。

Table 1 19 items of strategic mechanical parts and materials

Item		Parts and materials name
Components	Attitude control system	Gyroscope
		Wheel
Parts	Valve	Thruster valve
		Shut-off valve
		Pressure regulator
		Check valve
	Sensor	Pressure sensor
		Temperature sensor
	Engine parts	Pump seal
		Pump bearing
	Antenna pointing mechanism parts	Resolver
		Harmonic Drive
		DC brushless motor
		Step motor
Bearing		
Materials	Thermal control material	
	Paint	
	Hydrazine	
	NTO (di nitrogen tetra oxide)	

2. 研究の概要

平成15年度は以下の項目について研究を行った。

(1) 角度検出器

角度検出器は、海外メーカの1社寡占状態にあることから国産化による自在性と信頼性の確保を図るため、既存品との互換性を考慮しつつアンテナ指向機構用小型、高分解能角度検出器の開発を進めている。

開発のポイントは、アクチュエータとの適合性の指針として海外製品の仕様をベースとすると共に、信号変換回路を一体化して高分解能を実現することにある。なお、光学エンコーダ方式の海外品に対して、機械的なレゾルバ方式を採用することにより耐久性の向上も期待できる。

平成15年度は、角度検出器の基本計画図と目標仕様を設定し、基本仕様の成立性を確認した。また、レゾルバデジタル(R/D)変換回路の部品選定を行い、耐放射線特性と部品性能の要求を満たし、かつ入手性の観点からクリティカルな部品を識別し、ハイブリッドIC等についてはデュアルソース化するために代替品の選定を行った。更に、技術課題として巻線冗長方式レゾルバの試作試験を行った。

(2) 減速歯車

減速歯車(ハーモニックドライブ)は、国産品がNASA火星探査車の駆動系に19個使用されており、順調に火星上で動作した。但し、潤滑処理はNASAが実施しており、国内メーカがNASAに製品を提供したものである。

本研究では、マージナルな寿命とするために既開発品で使用してきた固体潤滑剤から真空用グリースに変更し、宇宙用として一部材料を変更した減速歯車の真空中試験を実施し、潤滑処理と合わせて評価を行う。

平成15年度は、長期使用タイプ及び軽量タイプの基本計画図、目標仕様を設定し、技術課題として要素試作試験を実施すると共に、熱真空試験用治具を製作した。

3. 成果の概要

(1) 角度検出器

角度検出器の断面図をFig. 1に、主要諸元をTable2に示す。

Table 2 Principal dimensions of Resolver

Item	Specification	Foreign product
Sensing method	Resolver type	Optical encoder type
Angle accuracy	±5 arc·sec	±5 arc·sec
Resolution	21bit	18bit
Mass	<2.2kg	<2.2kg
Power consump.	<2.6W	<5W

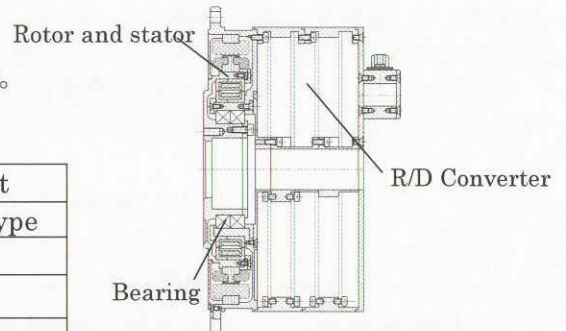


Fig.1 Resolver

巻線(冗長方式)特性の把握を目的として、巻線冗長方式の回転トランスステータ及びレゾルバステータを試作し、目標精度を満たすことを確認した。なお、回路特性の把握、及び軸受特性の把握のための試作試験は、部品調達期間の関係で今年度実施する。

①巻線特性

単一故障点の対策として巻線(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のコアスロット内に主系と冗長系の巻線を許容包絡域内に巻き込む必要がある。試作した巻線をFig. 2に示す。

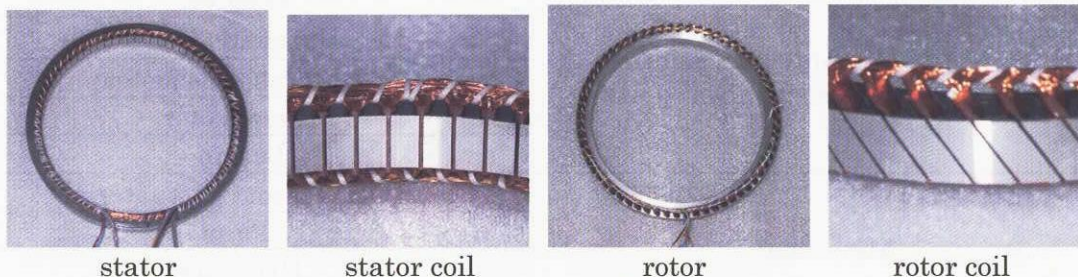


Fig. 2 Prototype Coil of stator and rotor

試験コンフィギュレーションをFig.3に、レゾルバの精度測定結果をFig.4に示す。

レゾルバの出力誤差は、目標精度(±20arc·sec)の許容範囲内であることを示している。



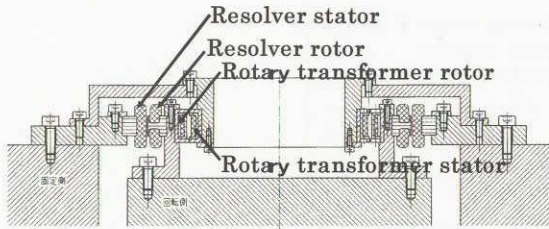


Fig.3 Test Configuration of Resolver

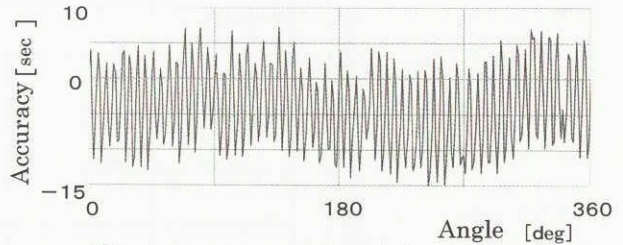


Fig.4 Accuracy of prototype Resolver

(2) 減速歯車

基本設計結果として設定した減速歯車の外形図をFig.5に、主要諸元をTable 3に示す。

Long life type

Light weight type

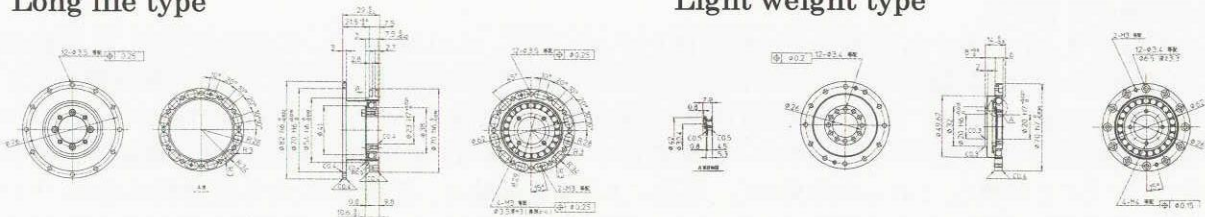


Fig.5 Outershape of Harmonic Drive

Table 3 Principal dimensions of Harmonic Drive

Item	Long life type	Light weight type	Existing product
Dimension	82 φ × 30.4L	70 φ × 14.0L	70 φ × 35.0L
Mass	221g	103g	370~300g
Lifetime	10 <sup>6</sup> rev.	100 rev.	app.10 <sup>5</sup> rev.
Lubricant	Synthetic Hydro-Carbon oil, grease		Solid lubricant
Angle transfer rate	< 30arc-sec	< 60arc-sec	< 30arc-sec
Operating temperature	- 10~ + 80°C	- 30~ + 80°C	- 10~ + 80°C

要素試作試験として実施したグリース塗布量及び加速試験の影響評価、並びに加工性確認結果を以下に示す。

①グリース塗布量の影響評価:

長期間のグリース保持と粘性抵抗の低減を考慮して、グリース塗布量の最適化を検討した。

ウエーブジェネレータベアリング、フレックスプライン、サーキュラスプラインへのグリース塗布状態をFig. 6に、起動トルクの変化をFig. 7に示す。低温側で起動トルクの増加が確認されたが、アクチュエータのモータ負荷として問題となるレベルではなく、初期摩耗量も特に優位差が見られず、試験したグリース量の範囲では良好な結果であった。

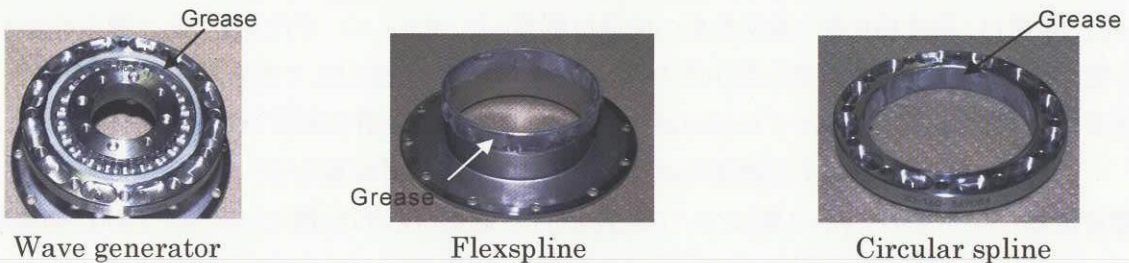


Fig.6 Grease quantity of test sample



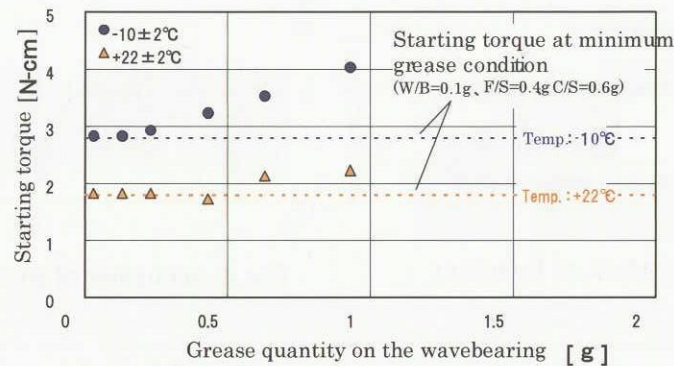


Fig.7 Effect of grease quantity on the wavebearing

### ②加速試験の影響評価

入力回転速度(50~500rpm)を変えて比較評価を行ったところ、ロストモーションの経時変化は、入力回転速度による優位差はなく、試験後のグリースのFe定量分析からは、回転速度が高くなるにつれて摩耗粉の含有量が多くなることが確認された。また、供試体の摺動部面粗さの評価結果からも、回転速度が速いほど、トルクを受ける長軸側において、ウェーブジェネレータベアリングの肩部がより集中的に強く接触し、摩耗粉の発生増加を生じていることが判る。これらの結果から、増速による加速試験は、境界潤滑となる低速側が厳しいとの予測に反し、安全側の評価となる可能性がある。なお、試験条件をTable4に、表面粗度の計測結果をTable5に、摺動痕をFig.8に示す。

Table.4 Test condition

Specimen	Grease quantity (g)			Input Rotational speed (rpm)	Wear particle (Wt%)
	W/B	F/S inside	C/S gear		
No. 1	0.2	0.8	1.2	50	0.1
No. 2	0.2	0.8	1.2	100	0.2
No. 3	0.2	0.8	1.2	500	1.7

Table.5 Specimen surface roughness

Specimen	Surface roughness Ra ( $\mu\text{m}$ )			
	Before testing	Lower side	Central part	Upper side
No. 1	0.215	0.036	0.135	0.055
No. 2		—	0.201	0.029
No. 3		—	0.191	0.019

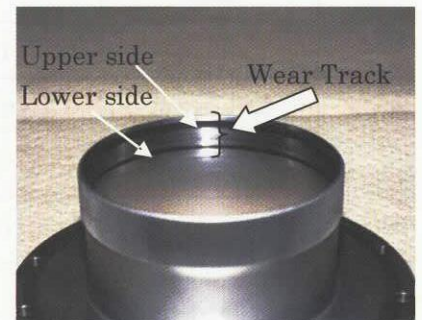


Fig.8 Wear Track of Flexspline

### ③加工性の確認

Ti-6Al-4Vチタン合金を用いたサーキュラスプライン及びウェーブジェネレータプラグの加工性を確認した。また、フェノリックリテーナのオイル含浸量などを評価し、国産材が輸入品相当であることを確認できた。

### 4. まとめ

平成15年度は、角度検出器と減速歯車の開発に着手した。また、ユーザ代表を交えて要求仕様を検討し、これを受けて基本仕様、基本計画図を作成するとともに、技術課題を抽出して要素試作試験を行った。

① 角度検出器: 巻線冗長方式レゾルバの試作試験により、加工性と許容精度を満足する目処を得た。

16年度は、電子回路部の試作試験や軸受部の試作試験を行う。

② 減速歯車 : 3水準のグリース量について試験を行い、起動トルクは問題ないレベルであり、初期摩耗には優位差がないことを確認した。16年度は、少量グリースでの試験を継続する。

なお、平成16年度は、減速歯車はEM供試体の製作、角度検出器はQM供試体の製作を行う計画である。