

## 誘導制御機器の信頼性向上研究

Study on improvement for Guidance and Control Actuators/Sensors

## 次世代高性能ホイールの研究

Study on an advanced reaction wheel with high performance

システム誘導技術グループ 井澤克彦、市川信一郎、里誠

マテリアル・機構技術グループ 小原新吾、佐々木彰

(Spacecraft Guidance Control and Dynamics Engineering Group)

Katsuhiko Izawa, Shinichiro Ichikawa and Makoto Sato

(Mechanical and Materials Engineering Group)

Shingo Obara and Akira Sasaki

### Abstract

We started developing an advanced reaction wheel based on a study for a reaction wheel with high torque and low disturbance characteristics since FY13. The advanced reaction wheel is characterized by small and high performance in comparison with a current domestic wheel and will be supplied to various satellite missions. In FY16, we have completed critical designing, manufacturing a qualification model(QM) and Qualification test for an advanced reaction wheel type L(Large).

### 1. はじめに

フライホイールは衛星の姿勢制御に欠くことのできない機器であり、姿勢の喪失は電力、ミッションの喪失に直結することから、フライホイールの信頼性は非常に高いものが要求される。しかしながらフライホイールに関する重大な不具合がいくつかの衛星プロジェクトの開発段階と軌道上運用段階で発生しているのが現状であり、確実に動作するフライホイールが期待されている。一方、観測衛星をはじめとして、衛星の姿勢・指向制御要求が高精度化し、さらに高速広角の姿勢変更が求められるなど、フライホイールに対する要求（高出力トルク、振動擾乱の低減等）が近年高度化しつつある。これら高度化要求を、前述の高信頼要求を満足しつつ達成することが求められている。

上述背景のもと、平成13年度より、当時宇宙三機関（宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団）連携協力事業の一環として、高性能かつ高信頼の次世代高性能ホイールに関する研究をスタートさせた。

平成13、14年度は、要素技術の研究に注力し、最新の玉軸受技術、宇宙用潤滑技術を取り込んだホイール用玉軸受及び潤滑システム、低擾乱及び耐振動性を向上させたホイールハウジング等を開発した。平成15年度には、それまでの要素技術開発成果を反映し、次世代の一般衛星向けリアクションホイールの開発を開始した。平成15年度中に基本設計、試作評価を実施し、次世代高性能ホイール開発の目処を得ている。平成16年度は、設計・工程の妥当性を検証することを目的に、GOSAT（温室効果ガス観測衛星、H19年打ち上げ予定）搭載を目指す仕様にて、認定モデル（タイプL）の設計・製作と認定試験を実施した。本報告では、平成16年度の成果について報告する。

### 2. 研究の概要

次世代高性能ホイールの概要を Figure.1 にて説明する。従来の国産ホイールからの主要な変更点は3点挙げられる。第1点はローテティングマスの支持方式であり、従来国産ホイールでは底部ブ

レートに固定したシャフトで片持ち支持していたが、次世代高性能ホイールでは Figure.1 から分かるように、上部ハウジングでも支持する両持ち支持としている。これにより耐機械環境性能が格段に向上した。第2点はベアリング・潤滑システムの潤滑剤を天然鉱油から合成油に代えた。採用した合成油は温度特性、耐摩擦・耐摩耗性に優れ、ホイールの運用性(使用温度、ゼロクロス運用)が広がった。第3点は駆動回路との一体化であり、ホイールの小型・軽量化を実現した。

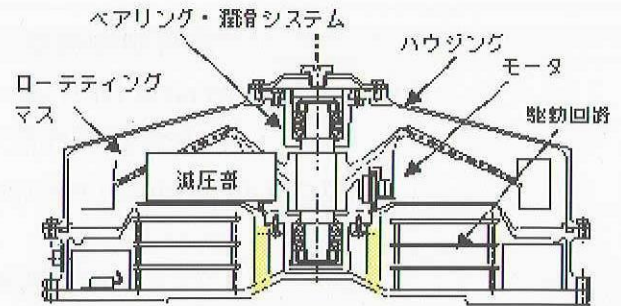


Figure.1 Developing Wheel

平成16年度は、平成15年度の基本設計、試作評価の成果を受けて、次ステップの詳細設計フェーズに移行した。実施項目と研究目的を以下に示す。

(1) 認定モデル詳細設計

GOSAT 搭載仕様を想定し、認定モデル(タイプL, GOSAT 仕様)の詳細設計を実施する。設計審査会、工程確認会を開催し、設計(工程設計含む)結果の妥当性を確認するとともに、設計・工程のベースラインを確立する。

(2) 認定モデルの製作・試験

製作・試験を通して、次世代高性能ホイール(タイプL, GOSAT 仕様)が要求仕様を満足し、設定した設計・工程が妥当であることを確認する。

### 3. 成果の概要

#### 3. 1 認定モデル詳細設計

詳細設計は搭載ターゲットである GOSAT 用リアクションホイールの仕様を想定し実施した。

基本設計より次世代高性能ホイールは、最大角運動量カバー域で2種のタイプ(タイプM, タイプL)を検討していた。タイプMは角運動量 10~30Nms, タイプLは 30~80Nms をカバーする。

GOSAT の姿勢制御要求(当時の暫定案)から角運動量は 30Nms 程度必要と見積もられ、余裕を見て、タイプL, 角運動量 40Nms を前提に詳細設計を行なった。

主要諸元、外観をそれぞれ Table.1, Figure.2 に示す。

海外の同サイズ製品と比較し、質量は若干大きいものの、今後のミッション要求を想定し、耐機械環境性、低擾乱性能に優れる仕様を設定した。

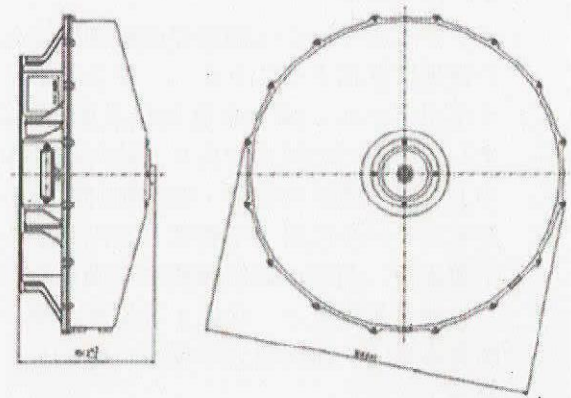


Figure.2 Outline of Type L Qualification Model(QM)

Table.1 Specifications of Qualification Model(QM)

#	Item	Specifications
1	Momentum	40Nms $\pm$ 1.5%
2	Speed Range	> $\pm$ 6000rpm
3	Output Torque	>0.1Nm@ $\pm$ 6000rpm

4	Dimension	<Φ370×155mm
5	Mass	<11kg
6	Static Imbalance (fine balancing)	<0.1g・cm
7	Disturbance Force/torque (under fine balancing)	Force 0.1-10Hz <4×10 <sup>-3</sup> N 10-200Hz <4×10 <sup>-5</sup> ×f <sup>2</sup> N Torque 0.1-10Hz <8×10 <sup>-4</sup> Nm 0.1-10Hz <8×10 <sup>-6</sup> ×f <sup>2</sup> Nm f : Wheel Speed[Hz]
8	Operational Temperature Range	-15～+60℃
9	Random Vibration	174.7m/s <sup>2</sup> rms (17.8Grms)

3. 2 認定モデルの製作・試験

詳細設計結果に基づき、認定モデルを製作した。製作した認定モデルの外観を Figure. 2 に示す。

認定試験は、機能性能試験と Table. 2 に示す各種環境試験を実施した。一例として振動試験の外観を Figure. 3 に示す。

認定試験は、擾乱が一部周波数帯で仕様を僅かに超えた事を除き、全ての要求仕様を満足した。主要項目の試験結果を Table. 3 に示す。

課題であった質量は製造設計において軽量化を図り、仕様を大きく下回ることができた。また、機械環境についても高レベルの要求に対し十分な耐性を有することが確認できた。高い目標をたてた擾乱仕様は一部未達ではあったが、海外製ホイールに十分互する高性能のホイールが開発できた。



Figure.2 Type L Qualification Model(QM)

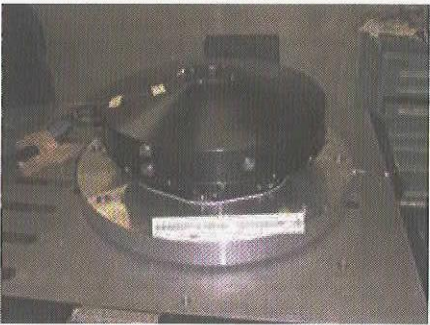


Figure.3 Configuration of Vibration Test

4. まとめ

平成16年度は次世代高性能ホイール（タイプL，GOSAT 仕様）の認定試験を終え、開発を完了した。平成17年度は引き続き、次世代高性能ホイール（タイプM）の認定試験を実施し、タイプMの開発を完了する予定である。

参考文献

[1] 井澤，市川，里，佐々木，小原ほか「高信頼リアクションホイールの研究開発」，平成15年度宇宙科学連合講演会（新潟、2003年11月）  
[2] 井澤，市川，里，佐々木，小原ほか「次世代高性能ホイールの研究」，平成16年度宇宙科学連合講演会（福井、2004年11月）

Table.2 Environmental Test Item

Test Item	Specification
Sinusoidal Vibration	20G, 4 oct./min.
Random Vibration	Radial: 117.4m/s <sup>2</sup> rms(12.0Grms), Axial: 174.7m/s <sup>2</sup> rms(17.8Grms), 3min.
Thermal Vacuum	-15~+60°C(Operational) 8cycles -30~+70°C(Non-operational) 1cycle
EMC	Bonding, Dielectric CE 01/03(MIL-STD-462C) CE 11/14(MIL-STD-1541A) CS 01/02/06(MIL-STD-462C) RE 01/02(MIL-STD-462C) RS 02/03(MIL-STD-462C) RS 11(MIL-STD-1541A)

Table.3 Specifications of Developing wheel(Type L) and  
Test/Inspection Results of Qualification Model

#	Item	Specifications	Test/Inspection Results
1	Momentum	40Nms±1.5%	40.41Nms (+1.0%)
	Inertia of rotor	0.06366kgm <sup>2</sup> ±1%	0.06432kgm2(+1.0%)
2	Speed Range	±6000rpm	±6100rpm
3	Output Torque	>0.1Nm@±6000rpm	>0.12Nm@6000rpm、30V
4	Loss Torque	<0.025Nm@6000rpm	<0.0181Nm@6000rpm
5	Stick(Break away) Torque	<0.015Nm	<0.004Nm
6	Dimension	<Φ370×155mm	Φ364.6×150.4mm
7	Mass	<11kg	9.22kg
8	Static Imbalance (Fine Tuning)	<0.1g·cm	0.059g·cm(on assembly)
9	Power consumption(steady)	<33W@6000rpm,0Nm	<25.4W@6000rpm,0Nm
10	Coast down time	>21.8 min.	>75.4 min.