

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

誘導・制御技術グループ 井澤克彦、市川信一郎

(Spacecraft Guidance, Control and Dynamics Engineering Group)

Katsuhiko Izawa, Shinichiro Ichikawa

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 FY17, we have completed critical designing, manufacturing a qualification model(QM) for an advanced reaction wheel type M(middle size). Qualification test will be completed in FY18.

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、フライホイールには非常に高い信頼性が要求される。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、さらに高速でかつ大きな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。これら高度化要求と前述の高信頼度要求を同時に満足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、シリーズ開発する次世代高性能ホイールの1タイプ、タイプL（蓄積運動量30～80Nms）の認定モデルの設計・製作と認定試験を実施した。更に、平成17年度は、タイプM（蓄積運動量10～30Nms）についても認定モデルの設計・製作と認定試験の一部を実施した。タイプMの認定試験は平成17年度中に完了せず、平成18年度も継続中である。本報告では、平成17年度中に実施した、タイプM認定モデルの設計・製作と認定試験を中心に報告する。

2. 研究の概要

次世代高性能ホイールの概要を説明する。Figure. 1 の断面図に示すように、ホイールは、ローテティングマス、モータ、ローテティングマスを支持するベアリング・潤滑システム、モータの駆動、テレメトリ/コマンド送受信を受け持つ駆動回路、そしてハウジングより構成される。ローテティングマス、モータ、および、ベアリング潤滑システムは、回転時の風損の除去、ベアリングオイル保持を目的に密封・減圧された容器（減圧部）に収めている。駆動回路は、排熱、空間の有効利用を考慮し、ホイール取付面に近い減圧部直下の空間に収めている。

ローテティングマス、ベアリング・潤滑システム、および、ハウジング設計は平成13年度・14年度に実施した要素技術研究の成果を反映し、従来玉軸受ホイールから設計を一新している。

ローテティングマスは、ホイールとシャフトの2部品のみで構成され、ネジ固定による継ぎ目を無くし、振動・衝撃環境下でもマスバランスが崩れにくい構造としている。また、傘型構造とすることにより、高剛性化を図っている。ベアリング・潤滑システムは、精密回転、アキシャル荷重負担に適した組合せアンギュラコンタクトベアリングを採用している。潤滑油には、最近の宇宙機器用潤滑油として主流の炭化水素系合成油のMAC (Multiply-Alkylated Cyclopentane) を採用している。また、ホイール用ベアリングは、軌道上でオイルの補給を受けられないため、オイルを保持、補給、循環させる潤滑システムを付加している。ハウジング設計は、構造解析を併用して高剛性と軽量化をトレードオフした最適設計を行い決定し、構造モデルによる試験検証を経ている。モータおよび駆動回路は、従来国産ホイールで十分なフライト実績を有する設計・部品を踏襲している。

開発仕様を Table.1 に示す。蓄積角運動量でグルーピングし、タイプ M (10~30Nms)、タイプ L (30~80Nms) の2種をシリーズ開発している。

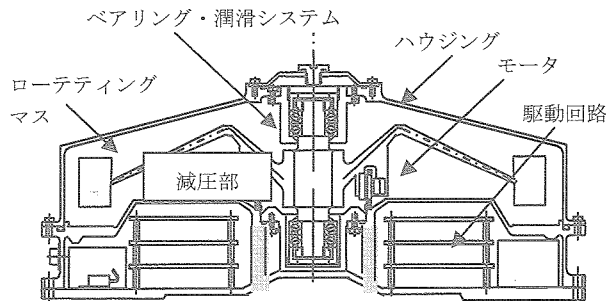


Figure. 1 Advanced Reaction Wheel

Table.1 Specifications of Advanced Reaction Wheel

#	Item	Specifications
1	Momentum	Type M: 10-30 Nms Type L: 30-80 Nms
2	Max Speed	±6000rpm
3	Output Torque	>0.1Nm@ ±6000rpm
4	Dimension	Type M: <Φ284×155mm Type L: <Φ370×155mm
5	Mass	Type M: <10.1kg(30Nms) Type L: <11.0kg(40Nms)
6	Static Imbalance (fine balancing)	<0.1g·cm
7	Disturbance Force/Torque (under fine balancing)	Force 0.1-10Hz <2×10 ⁻² N 10-100Hz <2×10 ⁻⁴ ×f ² N

		100-200Hz <2N Torque 0.1-10Hz <4×10 ⁻⁴ Nm 10-100Hz <4×10 ⁻⁵ ×f ² Nm 100-200Hz <4×10 ⁻¹ Nm f : Wheel Speed[Hz]
8	Operational Temperature Range	-5~+60□
9	Random Vibration	183m/s ² rms (18.7Grms)

3. 成果の概要

3. 1 タイプM認定モデルの設計・製作

平成16年度に実施したタイプL認定モデルの設計・試験結果を受け、Table.3に示す角運動量 30Nms のタイプM認定モデルの詳細設計を実施した。ローテティングマスの外径寸法、及び、上部ハウジングの同じく外径寸法を除いて、ベアリング・潤滑システム、モータ部、回路部等はタイプLと同設計である。詳細設計を受けて認定モデルの製作を実施した。製作したタイプM認定モデルの外観をFigure.2に示す。

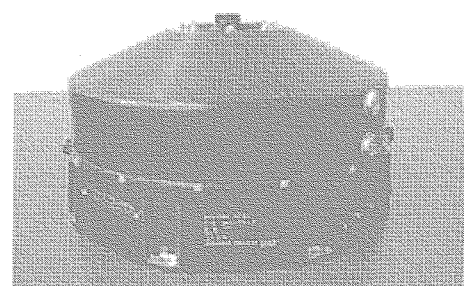


Figure.2 Type M Qualification Model(QM)

なお、本認定モデルに組み込むため準備したベアリング・潤滑システムが不具合を発生し、改めて平成18年度に良品と交換して試験をやり直すことを前提に、当該ベアリング・潤滑システムを認定モデルに組み込み、不具合が試験結果に影響しない範囲で、認定試験を実施することとした。

3. 2 タイプM認定モデルの認定試験

Figure.2に示すタイプM認定モデルを供試体に、平成17年度中に計画していた一通りの認定試験を実施した。環境試験の試験条件をTable.2に示す。なお、EMC試験についてはタイプL認定試験結果を代用できることから省略している。認定モデルの製作・試験結果の例を、Table.3にて仕様と比較する。結果としては、不具合が試験結果に影響しない範囲で、すべての要求を満足することを確認した。

4. まとめ

上述のように、ベアリングを良品に交換しての再試験が平成18年度に持ち越されたが、おおよそ一通りの試験を完遂して、タイプM認定の目処が得られた。

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	196.1m/s ² (20G), 4 oct./min.
Shock	7355m/s ² (750G)
Random Vibration	Radial: 77.4m/s ² rms(7.9Grms), Axial: 183m/s ² rms(18.7Grms), 3min.
Thermal Vacuum	-5~+60°C(Operational) 8cycles -30~+70°C(Non-operational) 1cycle

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

#	Item	Specifications	Test/Inspection Results
1	Momentum	30Nms±1.5%	29.73Nms (-0.9%)
	Inertia of rotor	0.0477kgm ² ±1%	0.0473kgm ² (-0.9%)
2	Speed Range	±6000rpm	-6059~+6011rpm
3	Output Torque	>0.1Nm@±6000rpm	>0.128Nm@6000rpm、30V
4	Loss Torque	<0.03Nm@6000rpm	<0.012Nm@6000rpm
5	Stick(Break away) Torque	<0.015Nm	<0.004Nm
6	Dimension	<Φ284×155mm	Φ279.0×152.3mm
7	Mass	<10.1kg	9.25kg
8	Static Imbalance (Fine Tuning)	<0.1g·cm	0.025g·cm(on assembly)
9	Power consumption(steady)	<33W@6000rpm,0Nm	<16.2W@6000rpm,0Nm
10	Coast down time	>21.8 min.	>73.0 min.