

宇宙望遠鏡用回転駆動機構の信頼性実証まとめ

Summary on reliability performance of rotating mechanism developed for space telescopes

清水敏文^{1*}、渡邊恭子²、川畑佑典³、大場崇義⁴、飯田佑輔⁵、KyoungSun Lee⁶、
加納龍一³、石川真之介¹、土井崇史³、長谷川隆祥³、Carlos Quintero Noda¹

1 ISAS/JAXA, 2 防大, 3 東大・院, 4 総研大・院, 5 関学, 6 NAOJ

* shimizu@solar.isas.jaxa.jp

概要

太陽プラズマ大気のダイナミクスを理解する上で、偏光(磁場)の精密測定が重要である。次世代太陽観測衛星 SOLAR-Cで必要なキー技術として、駆動機構を国内開発した。

開発する機構は、科学的に要求される回転運動を行うことができること以外に、下記を実現している。

- 1) ミッション期間3年以上、常に連続回転駆動が可能なこと
- 2) アウトガス条件が厳しい高精度スペース望遠鏡において使用可能なこと
- 3) 駆動により発生する微小擾乱をできるだけ抑えること

特に、1)の検証のために、**3年以上にわたり試作品の真空環境下での駆動寿命試験を実施**してきた。本報告は、この寿命試験で得られた成果を中心に技術開発のまとめを行う。

この試作品は、**国際観測ロケットCLASP (2015年飛翔成功)・CLASP-2 (2019年予定)や、国際大気球実験SUNRISE-3に実践投入されている。また、この開発で培われたキー技術は、今後宇宙から観測を行う各種ミッションの観測機器への展開が可能で基盤技術**でもある。

背景 (国内外の動向、国内開発の必要性)

SOLAR-C 観測

- 偏光観測のために一定連続回転する波長板、観測波長を切り替えるフィルタ交換 → 回転駆動機構
- 高解像度の観測のためのピント合わせ → 焦点調節機構

可動機構部の今までの国内実績

- ミッションライフを通じて**1000万回以上確実に**動作する宇宙用駆動機構は国内では経験がない。
 - 国内開発品実績は、数回から数万回以下。
- 「ひので」では特徴ある焦点観測装置(駆動機構を多数使用)はNASA供給品として実現させ大きな成果を上げている。

今後のミッションを進める上での戦略

- 駆動機構を手に入れることで、科学に直結する焦点面装置部分を日本が主導的に担当できるようにできる(例: SUNRISE-3)。
- 高精度磁場観測において、連続回転駆動機構は偏光計測性能を決めるものとして重要である。(例: CLASP/CLASP-2, SOLAR-C/SUVIT)
- 望遠鏡ミラーへの駆動機構の搭載など、「ひので」実績に基づく日本得意な部分をさらに伸ばすことができる(例: 小型公募提案 SOLAR-C_EUVST)

万が一の動作不良がミッション喪失につながるこのようなクリティカル機器を国産で調達できるよう、**高い信頼性を持つ駆動機構を開発することは、SOLAR-Cにおける高精度スペース望遠鏡の設計・国際分担・開発スケジュールに柔軟さをもたらすだけでなく、他のミッションへの展開が可能で基盤技術を持つことになる。**

波長板連続回転駆動機構

最も技術的な難易度が高い技術として識別した中空大口径の玉軸受を用いる駆動機構を検討

回転駆動機構(BBM2号機)



薄肉大口径(3インチ径)の玉軸受を使用し最大Φ68mm開口が可能。新規に設計した中空のDCブラシレスモーターでロータ駆動。位置検出用にロータリ光学エンコーダ(黒色のディスク)を搭載。上端のリングはロータに取り付けた回転体ダミー。

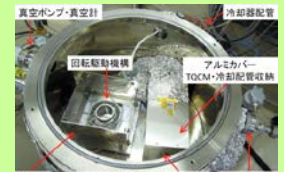
動作寿命試験

アウトガスレート計測

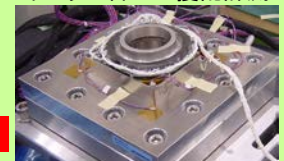
- 玉軸受の潤滑材にMAC系オイル・グリースを採用
 - アウトガス計測評価結果に基づく選定
 - 固体潤滑(MoS₂)も評価したが、許容できない回転トルク変動が真空下動作直後に発生。分解調査の結果、本機構に適さないと結論。
- 回転動作を真空環境下で実施。
 - 連続動作試験での動作状況、試験後の分解調査で明らかになった、さらに寿命を延ばすために改善すべき事項を全て処置。
 - 下記の試験は、改善処置後の第3回目試験結果。
- フライト相当の部材を使用し、ベークン効果や回転時のアウトガス発生レートをTQCMで計測。取得データはフライト品アウトガス設計に利用される。

擾乱計測

真空チャンバ内写真



キスラー台での擾乱計測



謝辞: 理学委員会戦略開発経費(SOLAR-C)の支援で開発が実施されました。

動作寿命試験

供試体: 回転駆動機構 BBM1号機

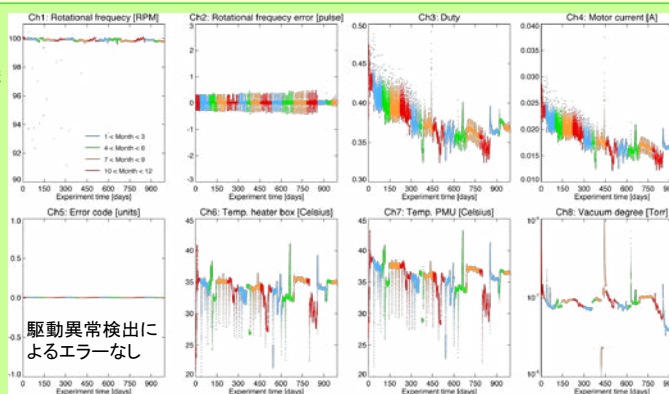
加速試験条件:

100 rpm, 35-40°C (40rpm, 常温の潤滑剤厚に合わせる)

試験実績:

駆動総日数 **994.33日**
(2013/12-2017/8, 途中休止あり)
総回転数 **1.43億回**

注: 温度変化: 1) 毎月実施した定期検査(常温、各回転数での特性データ取得)のため、2) 部屋空調変更による
注: 真空変化: 停電等による真空停止措置



時間とともにモーター電流が徐々に減っていく挙動が確認できた。これは、潤滑がなじみ回転トルク減少を意味しており、**結果が良好であることが確認できた。**

真空戻し後にモーター電流増加が観測されるが、ジャイロなど高回転機器で見られる同様な振る舞いと同一く、潤滑のなじみによるものと推定している。

以上から、適切な機構設計が検証され、TRL=5(エンジニアリングモデルの相当環境での検証)に到達したと考えている。