



SPICA高精度指向制御 (リスク低減フェーズ#2 検討結果)

巴谷真司^a, 川勝康弘^b, 坂井真一郎^b, 村上尚美^a, 春木美鈴^a, 山脇敏彦^a, 水谷忠均^a, 小松敬治^b, 片坐宏一^b, 塩谷吾吾^b, 中川貴雄^b, SPICAプリプロジェクトチーム

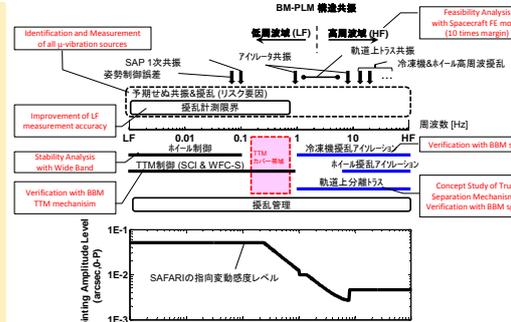
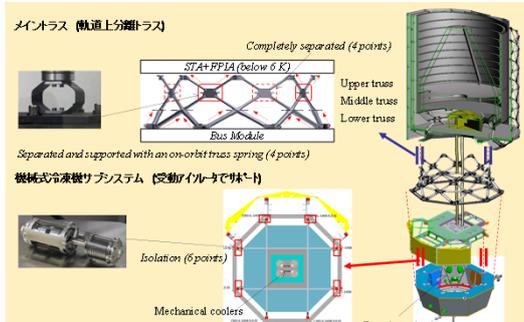
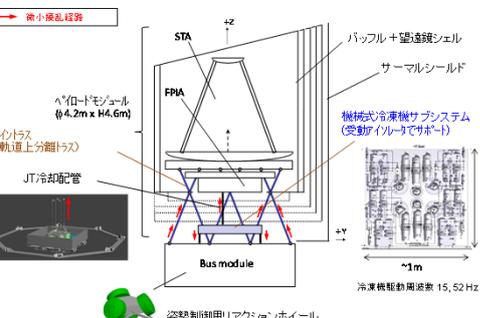
^a Aerospace Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan

^b Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku Sagami-hara, Kanagawa 252-5210, Japan

概要

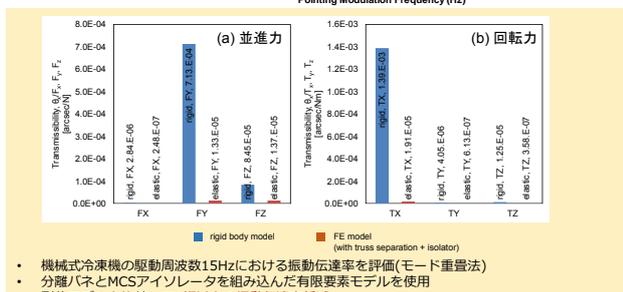
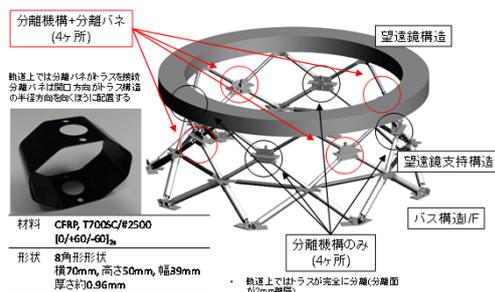
SPICAはリスク低減フェーズ (RMP) #2を実施し、ミッションの成功に不可欠な要素技術のハードウェア試作を中心とした成果を上げた。本報告では、擾乱抑制技術に関するRMP#2活動結果を述べる。空気浮上式テーブルを用いて、1KJT冷凍機、リアクションホイール、機械ジャイロの低周波擾乱を計測し、計測限界以上の擾乱が無いことを確認した。トラス分離機構とアインレータの設計結果からFEモデルを反映した。また、JT配管、ハーネスの構造伝達率を計測を実施した。受動アインレータBBMを試作評価し、15Hz以上の周波数で1/100の抑制を達成した。温度評価も-65℃~-10℃で実施し、Q値も動作温度(-45℃付近)でQ<3を達成した。アインレータの単体での性能が十分であることが実験により実証された。トップティルトミラーのBBMを製造し、極低温環境(<10 K)で試験し、正常に機能することを確認した。しかし、発熱量が4.4 mW/1軸と目標値を逸脱した。モータ微小ステップ駆動の精度・再現性測定の追加検証を実施し、駆動機構の動きを小さくすることで、消費電力の削減が見込めることが分かった。

1. 軌道上コンフィギュレーションと制御帯域割り当て



2. 軌道上分離機構による擾乱低減

- 衛星全機の有限要素モデルに試験検証済みの分離バネモデルを組み込んだモデルを使用
- 指向系からの要求(共振周波数が1-7Hz内)を満足する

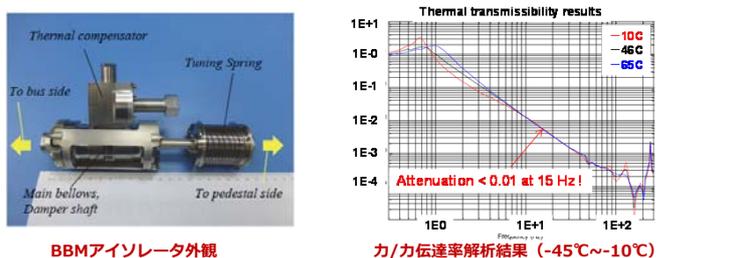


共振周波数 [Hz]	方向
1.14	Z軸(光軸)周り回転
1.48	Y軸周り回転
1.55	X軸周り回転
2.73	Z軸方向並進
4.82	X軸方向並進
4.84	Y軸方向並進

3. 冷凍機擾乱アインレータBBM試作結果

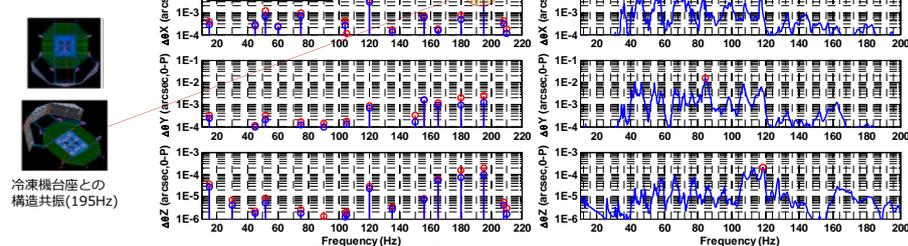
Item	Isolation system requirement
Feature	Passive isolator, having launch lock system
Performance	Transmissibility <0.01 in all DOF @ 15 Hz, Amplification factor at resonance Q < 3
Temperature range	Operational: -65 to -10 C (-45 C as normal) Survival: -65 to +60 C
Size	It should be fitted to the cooler pedestal mounting portion
Weight	< 30 kg

Specification	Design requirement	BBM result	Test result
R_{ax}	1576.1 - 2626.9 N/m	1714.5 N/m	Compliant
R_{bx}	1926.4 - 2977.2 N/m	3152.3 N/m	Conditionally compliant
C_{ax}	366 N/(m/s) +/- 7.5%	297.7 N/(m/s) @ -46C	Conditionally compliant
Stroke	2 mm pull-down + launch load	+/- 3.3 mm	Compliant
Temperature range	Operational: -65 to -10 C	-65 to +23 C tested	Compliant
Length	< 203.2 mm	200.7 mm measured	Compliant
Strut mass	< 2 kg/isolator	0.76 kg	Compliant
Fluid viscosity	< 30 cS	5 cS	Compliant



- 全6自由度で力・トルク伝達率1/100@15Hz → 低アインレータ剛性: カットオフ周波数~1Hz
- 低温、広領域での運用(性能-65~-10℃, 機能+60℃) → 粘性流体の体積変化補償用のチャンバを外付け

4. 擾乱解析結果



- 軌道上分離トラス、冷凍機台座アインレータ試作結果を反映したフル有限要素モデル (FEM) を用いた擾乱解析を実施
- 冷凍機擾乱の影響: 195 Hzで冷凍機台座と構造共振を起こしているが、台座設計を次フェーズで見直すことで回避可能
- リアクションホイール擾乱の影響: 十分な高周波要求マージン (10倍) を持たせるには、ホイールにもアインレータが必要。さらに回転数運用制限 (<2400RPM) も必要

リアクションホイール擾乱に関する、アインレータ挿入効果と回転数運用制限効果

θ_x [mas, 0-P]	θ_y [mas, 0-P]	θ_z [mas, 0-P]	Remarks
10.8 (55.1 Hz)	15.2 (84.1 Hz)	0.20 (118.4 Hz)	with isolator, tenfold margin & Limit (Max. 2,400 RPM)
2.4 (<40 Hz)	0.98 (<40 Hz)	9.6 x 10 ⁻³ (<40 Hz)	Allocations (tentative)
10	10	10	

5. 制振機構 (Tip-Tilt Mirror: TTM) の開発

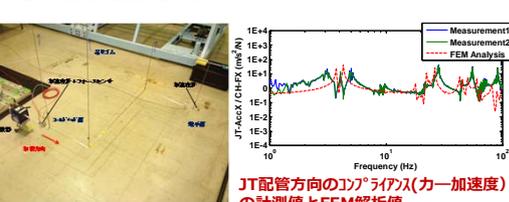


- 角度位置決めローカルセンサを内部に有しない、極低温(<10K)で動作する高指向TTMを開発
- 発熱量1mW/2軸を目指したが、評価結果は4.4 mW/1軸と目標値を逸脱した
- 今後の対策: ステップモータの駆動量を1/10から1/20にすることで、駆動エネルギーロスを少なくすることが可能

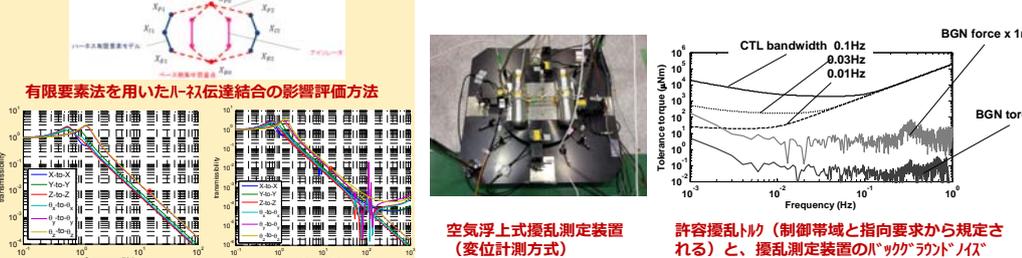
Specification	Requirement	BBM result	Test result
Dissipation power	1 mW per 2-axis @4.5 K	4.4 mW per 1-axis @ 10 K	Non-compliant
Pointing error (mechanical)	0.15 arcsec (3 s)	< 1.8 arcsec	Conditionally compliant
Frequency response	1 Hz	1 Hz	Compliant
Mechanical coverage range	0.025 deg, P-P	0.016 deg, P-P	Non-compliant
Operational temperature	4 to 10 K	< 10 K	Compliant
Mirror size	50 x 75 mm	50 x 75 mm	Compliant
Drive mechanism envelope	50 x 50 x 100 mm	φ 50.1 x 104.92 mm	Conditionally Compliant
Weight	600 g	< 420 g	Compliant

6. JT配管伝達計測・冷凍機ハーネスの影響評価

- FMと同じ構造のJT配管を製作し伝達関数を計測した
- 冷凍機ハーネスを製作し伝達関数を計測することで、擾乱アインレータの遮断性能に対する影響を間接的に評価した



7. 低周波擾乱の高精度測定 (検証計画)



空気浮上式擾乱測定装置 (変位計測方式) 許容擾乱トルク (制御帯域と指向要求から規定されると)、擾乱測定装置のバックグラウンドノイズ