

P3-229 次世代赤外線天文衛星(SPICA)の高精度指向・姿勢制御系設計

 已谷真司^a, 岩田隆敬^a, 藤原謙^b, 坂井真一郎^b, 松原英雄^b, 中川貴雄^b, 松本敏雄^c, Woong-Seob Jeong^d, Dae-Hee Lee^d, 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 Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku Sagami-hara, Kanagawa 252-5210, Japan

^c Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, Shillim-Dong, 599 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Republic of Korea

^d Korean Astronomy and Space Science Institute, 61-1 Hwaam-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-348, Republic of Korea

概要

SPICAでは口径3m級の大型軽量主鏡を絶対温度6K以下にまで冷却し、中間～遠赤外線波長域で世界最高の感度と分解能による天文観測を目指している。SPICAの高感度・高分解能観測を実現するために、指向系は高い精度を実現する必要がある。コロナグラフを除く分光や撮像観測モードにおいて、絶対指向制御精度で135marsec(3σ)、指向安定度で75marsec/200sec(0-P,3σ)が要求される。また、コロナグラフ観測モードでは、絶対指向制御精度<60marsec(3σ)、指向安定度<60marsec/20min(0-P,3σ)が要求される。しかしながら搭載が必須な機械式冷凍機は要求される指向安定度要求に比してはるかに大きな変動を発生させ、致命的な擾乱となり得る。このため、冷凍機擾乱を隔離するアイソレータを採用して、その擾乱の影響の低減を図る等の設計が必須である。また、高い指向制御精度を実現するためには高精度の指向決定が必要となる。指向決定精度の向上を図るために、従来の恒星センサと慣性基準装置を基本としたストラップダウン型姿勢決定系に加え、ガイダンス用焦点面観測装置(FPC-G)を組み合わせる。これにより、観測装置とのアライメント誤差低減とランダム誤差低減を図る。以上のようなアプローチで要求精度を満たし得る指向・姿勢制御系を設計した結果について報告する。

SPICAの指向精度要求値と根拠

- 指向精度要求の値と根拠を整理した(図1)。国内最も厳しかった「ひので」より更に1~2桁上回る
- 指向制御精度0.135"(3σ)←中間赤外装置・短波長側5-9μmの分光スリット幅0.54"の1/4
- 指向安定度0.075"(0-P)/10min(3σ)←中間赤外装置・短波長側5-9μmの像サイズ0.30"の1/4
- SCI指向安定度<0.06"(0-P)/20min(3σ)←SCI・波長5μmでの回折限界0.3"の1/5~1/6

指向モード設計

- 要求に基づき指向モード仕様を定めた(表1)。AOCS

指向モードは以下の条件の包絡線で規定される

- 太陽角管理要求(<0.5°, 0-P)
- 指向軸回り制御精度・安定度(46", 26"/10min)
- FPI観測時のFPC-G捕捉条件(0.5/2sec)
- コロナグラフ観測時の姿勢安定条件(3/20min)

表1. 指向モード設計仕様

指向モード	指向制御精度 ["](3σ)	指向安定度 ["/0-P](3σ)
AOCS指向モード (AOCSのみ)	30	3 / 20 min 0.5 / 2 sec
FPC-G指向モード (FPC-G適用)	0.135	0.075 / 600 sec
コロナグラフ指向モード (C-FPC適用)	<0.06 (0-P)	<0.06 / 20 min

指向安定に対する擾乱源の影響

- 2種の搭載冷却機はそれぞれ1次固有振動数約15Hz, 55/38Hzを持つ1N, 0.1Nm程度の併進・回転擾乱を発生させる。それらの指向への影響度は、MOI~10,000kgm², Q値~100としても約1秒角となり許容できない。その為、SPICAは冷凍機擾乱源をミッション系から隔離する設計をベースラインとする

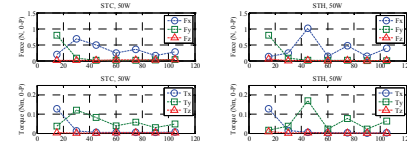


図2. 冷凍機擾乱例 (2STC/STH@50W運用時)

種々の擾乱抑制対策

- アイソレータによる擾乱隔離
 - 10Hz以上で1/10~1/100に低減可@冷凍機
 - 姿勢制御用ホイール(0~100Hz)の隔離も検討中
- 冷凍機駆動位相調節による擾乱低減(図4)
 - 更に1/10に低減可@冷凍機一次固有振動数
- 無擾乱ジャイロ
 - 従来の機械式から光学式採用も含め検討中

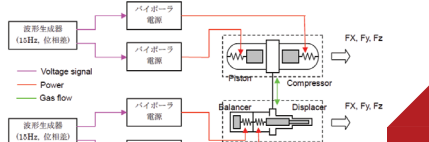


図4. コンプレッサ駆動位相調節の実験模式図

2段スターリング冷凍機

- 駆動周波数15Hz
- 構成(4式): コンプレッサ(2台)・ラジエータ(2台)
- ★アクティブバランサ(擾乱低減機構)

4K/1K JT冷凍機コンプレッサ

- 駆動周波数52Hz/55+38Hz
- 構成(各2式): コンプレッサ(2台/3台)
- ★対向型配置による擾乱抑制

ジュール・トムソン配管

- 固有振動数 0.05Hz

擾乱伝達経路

A: アイソレータ⇒バス⇒TOB⇒主鏡/副鏡

B: JT配管⇒IOB⇒FPI

C: その他ハーネスを介して伝わる伝達経路

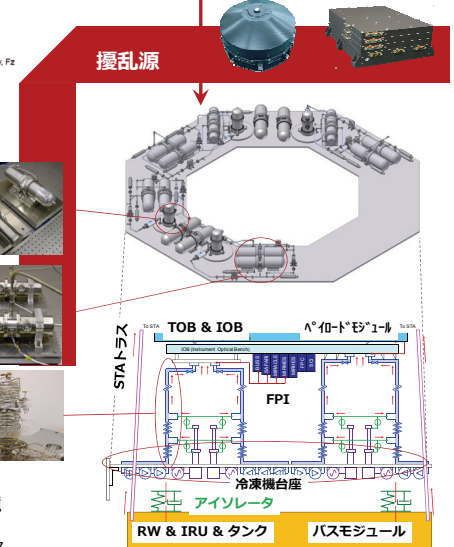
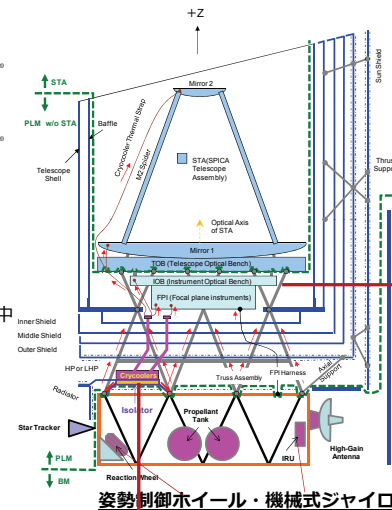


図5. SPICA擾乱減・感受要素搭載位置と擾乱伝達経路

- コールドバスは望遠鏡に接続されているため、主鏡(>40Hz)や副鏡サポート(~30Hz)の振動を励起する恐れがあるが、簡易解析より問題ないレベルとなることを確認した

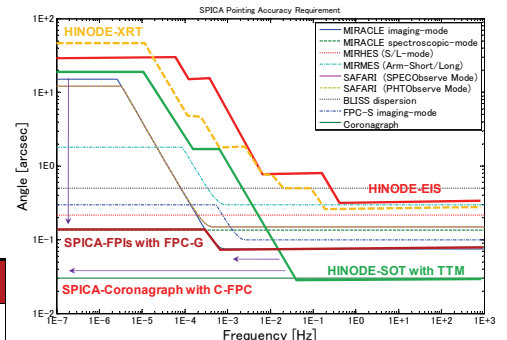


図1. 指向精度要求 - 周波数領域 - 「ひので」との比較

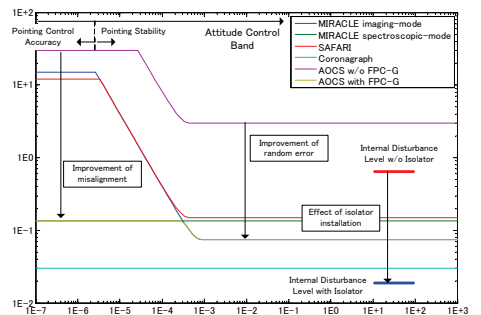


図3. 擾乱源が及ぼす指向変動と低減すべきレベル

コロナグラフ観測装置(SCI)内部に専用焦点面カメラ(C-FPC)

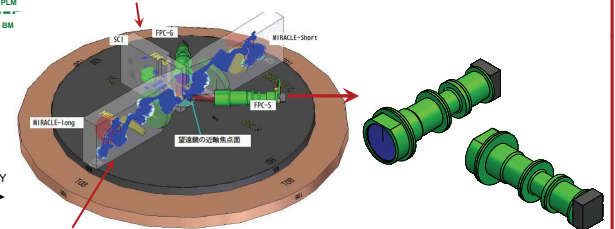


図6. ペイロードモジュール部上のFP配置図

FPC-G搭載による指向精度向上の効果

- ガイダンスセンサ+姿勢決定系による高精度指向決定
- 機器間アライメントは極めて安定(CTE~10⁻⁶/K, 温度安定性<1K)

FPC-G表現性能検討

- 発熱量とトレードし全ピクセル読み出し速度0.5Hzをベースライン
- スキャンレート<0.5"/sで捕捉可能(必要ガイド星15個)
- スキャンレート<1.4"/sで要求ランダム誤差0.036"(3s)を達成見込み
- スキャンレート<3"/sまでトラッキング可能(最低ガイド星5個)

表2. FPC-G要求仕様案

項目	仕様
波長	Iバンド(z or Hバンド)
検出素子	InSb 1024 x 1024 array
Field of View	5arcmin x 5arcmin
Pixel resolution	0.3 arcsec
出力周期	0.5Hz
感度(25σ)	18.6mag(Vega)@1秒積算
カタログ	GSC-II (v.2.3.2)
ランダム	ランダム: 0.036arcsec (3s)(0.5Hz出力換算)
バイアス	バイアス: 0.02arcsec (0-p)
時刻同期・タグ精度	<0.01 秒
出力時間遅れ	<4秒
質量	Cold: <4kg, Warm: <10kg
サイズ	Cold: <39000 cm ³ , Warm: <24000 cm ³
熱散逸量	Cold: <1mW, Warm: <12W

結論と今後の検討

- ミッション要求を満たす指向・姿勢制御系設計が可能なことを確認した。今後はシステム定義審査に向けて検討を詰める