

小型JASMINE衛星の熱環境実証試験の現状

白旗 麻衣 (東北大)*, 上田 暁俊, 小林 行泰, 矢野 太平, 鹿島 伸悟, 郷田 直輝 (国立天文台), 山田 良透 (京大理),
宇都宮 真, 安田 進 (JAXA研究開発本部), 間瀬 一郎 (次世代宇宙システム技術研究組合), 小型JASMINEワーキンググループ
東北大学 学際科学フロンティア研究所 E-mail: mai.shirahata@nao.ac.jp

Abstract

小型 JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration) 計画は、日本が主導する次期位置天文観測衛星であり、銀河系中心領域の星の年周視差を 10-20 μ 秒角の精度、固有運動を 10-50 μ 秒角/年の精度で決定することを目標としている。銀河系中心領域に多く含まれるガスによる吸収の影響を低減させるため、観測波長帯は近赤外線 Hw バンド (1.1-1.7 μ m) とした。衛星軌道として高度 550 km の太陽同期軌道を想定しているが、季節や観測対象によって衛星の熱環境が変化してしまうことが予想される。そこで、10 μ 秒角という位置決定精度を達成するため、観測装置の熱安定性が重要な技術課題となっている。

小型 JASMINE 衛星には、アストロメトリ用に 4K \times 4K の HgCdTe HAWAII-4RG アレイ、測光用に 1K \times 1K の HgCdTe HAWAII-RG を 2 個、搭載する。観測運用中、検出器は放射冷却とペルチェを組み合わせて、検出器の熱電流が許容範囲以下となる 180 K 以下にまで冷却し、0.7 K 以下の温度安定性を達成させる。このような熱環境を実現させるため、また常温から低温への温度変化によって生じる材料による熱収縮率の違いが検出器アレイメントに影響を与えないように、我々は多層断熱材 MLI を巻いたアルミニウムとガラスエポキシを 4 層に折り返した構造を持つ検出器ボックスを設計し、熱構造解析を行った。現在、検出器ボックスの熱環境性能試験モデルを製作し、チャンパー内において衛星運用時の温度環境を模擬したうえで、検出器ボックスの熱環境実証実験を行っている。本ポスターでは、熱安定性の鍵となる多層断熱材 MLI の実効放射率の測定結果を示すとともに、検出器ボックスの構造を報告し、熱環境実証実験の現状について紹介する。

小型 JASMINE 計画

- 日本が主導する次期位置天文衛星計画
- ISAS/JAXA のイプシロンロケットによる打ち上げを目指して開発中
- 観測波長帯: Hw バンド (1.1-1.7 μ m)
 - 可視光では見通すことが困難である銀河系中心領域を観測
 - 現在活躍中の GAIA 衛星 (@ 可視光) と相補的なミッション
- 衛星軌道: 高度 550 km の太陽同期軌道
 - 季節や観測対象によって衛星の熱環境が変化してしまう

小型 JASMINE ミッション部仕様案

- 主鏡の有効口径: 30cm, 焦点距離: 3.9m
- 観測装置の視野: 0.6° \times 0.6°
- 搭載検出器: HgCdTe 4k \times 4k 1 個 (位置測定用)、HgCdTe 4k \times 4k 2 個 (測光用)

搭載予定の検出器 HAWAII-4RG

検出器Boxの熱設計

- HgCdTe 検出器 (1.7 μ m カットオフ) で発生する熱電流による影響を低減させるため、検出器は 180K 以下 (目標 170K) に冷却する
- 地球半周回である約 50 分の間の検出器の温度の変動は、0.7K 以下を保つ

Dark Current (Electrons per pixel per sec) vs Temperature (K)

Typical InSb Dark Current: ~9 μ m, ~5 μ m, ~2.5 μ m, ~1.7 μ m

180K で ~60e/s

使用予定の検出器: HgCdTe $\lambda_c = 1.7 \mu$ m

James W. B. et al., 2008, SPIE

MLI による輻射断熱 (実効放射率 0.01 以下) ペルチェを用いた検出器の冷却

検出器Boxの熱設計概念図

- 断熱性能の高いガラエポと MLI を組み合わせ熱設計の概念モデルを設計、製作
- 熱安定性の性能評価、実証実験をすすめている

検出器Boxの断熱性能試験モデル

MLI 断熱性能試験

MLI断熱性能試験の目的

- MLI の層間に巻く材料として、従来型のガーゼと新型のスポンジとを比較検討する
- MLI の巻き方、フランジにおける MLI の端末処理の方法、などの最適方針を決定する

MLI断熱性能試験の方法

- 宇宙環境を模擬するため、測定はチャンパーの中で、供試体の周囲は黒い箱にて覆う。
- 温度差は実機と反転
- 箱の温度変化から MLI 性能を評価

MLI + ガーゼ 10層 MLI + スポンジ 4層

真空チャンパ内 温度は常温 (25°C)

対向板 供試体と同じ温度に制御 供試体のフランジ面からの放射冷却を 0 にするため

実効放射率 ϵ vs 供試体温度 [°C]

● MLI + ガーゼ 10層 ● MLI + スポンジ 4層

MLI断熱性能試験の結果

- MLI 層間にガーゼを使用して MLI を 10 層巻いた場合と、MLI 層間にスポンジを使用して MLI を 4 層巻いた場合では、どちらの場合においても、実効放射率は ~0.3 であった
- システム全体の熱構造解析により、実効放射率 ~0.3 で放射断熱は成立する

熱環境実証試験

熱環境実証試験の概要

- 衛星のラジエーターの温度は、衛星軌道上において 190-220K の範囲で変動する
- 検出器は、ペルチェ (KELK 社、K4MA010) を用いて、180K 以下に冷却する必要がある。つまり $\Delta T = 30K$ を実現させる必要がある
- 検出器Boxの断熱試験モデルを製作し、MLI + スポンジ 4層を巻く
- 試験チャンパー内で、衛星ラジエーターと検出器Boxがつながるヒートパイプ部分をフライト温度に制御し、検出器ダミーが達成する温度環境を測定

試験セットアップ

フレキケーブルダミー ヒータ加熱対線 フルタダミー 220K にヒータ制御 アルミ巻物 Box 開口に貼る フラットダミー 常温にヒータ制御 アルミ巻物 Box 開口に貼る

ヒータ ガラエポ アルミ+MLI

ヒートパイプダミー 器具 検出器Boxを 200K にヒータ制御 ペルチェ KELK K4MA010

現在: 早稲田大学のチャンパーで熱環境実証実験が進行中