

赤外線天文衛星SPICAのリスク低減フェーズ#2 におけるミッション部冷却システムの熱設計



篠崎 慶亮¹⁾、杉田 寛之¹⁾、佐藤 洋一¹⁾、安藤 麻紀子¹⁾、澤田 健一郎¹⁾、岡崎 峻²⁾、小川 博之²⁾、
松原 英雄²⁾、中川 貴雄²⁾、SPICAプリプロジェクトチーム

1) 宇宙航空研究開発機構 研究開発本部、2) 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

赤外線天文衛星**SPICA**は、口径3.2mの大型極低温望遠鏡を搭載し、**世界最高感度の赤外線天文観測の実現**を目指している。望遠鏡、光学ベンチおよび各観測装置等から構成されるSIA (Scientific Instrument Assembly) を6K以下に冷却するためには、**機械式冷凍機を用いた冷凍機システムおよび断熱放射冷却機構を含めたミッション部冷却システムの熱設計**が大変重要となる。**SPICA**は現在リスク低減フェーズ(RMP)にあり、RMP#1においては、トラス分離機構の導入やMLI配置の最適化などの設計検討を行った結果、**4.5Kステージの熱負荷に25%のマージンを持ちながら、熱的成立解を示すことができた**。RMP#2では、トラス分離機構用分離バネやMLI、低温高放射率材料などの試作評価を行い、設計に反映する活動中である。

本発表ではRMP#2の活動内容を中心に、ミッション部冷却システム熱設計の現状、機械式冷凍機の開発状況等について報告する。

◆ ミッション部冷却システム(CRYO)のシステム要求

前提条件

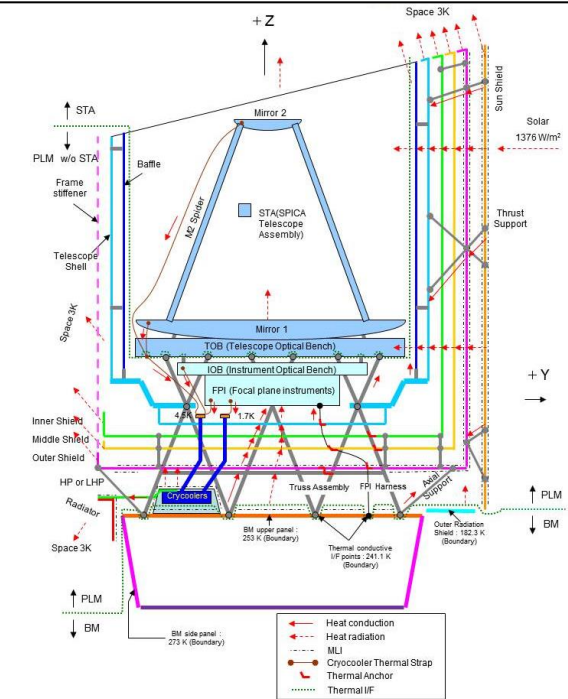
- IOB (Instrument Optical Bench) 上のFPI (Focal Plane Instrument) 侵入熱+発熱量
 - **4.5Kステージ: 最大13.5 mW**
 - **1.7Kステージ: 最大6.1 mW**
- 打上げ後**180日**以内に上記の温度に冷却し、定常状態に到達すること。

機能要求

- SIA (Scientific Instrument Assembly) への熱侵入量を**16.5mW**以下とすること。
- SIAを**6K以下**に冷却すること。
- 鏡筒バツフル温度を**14K以下**にすること (RMP中は19K以下を目標とする)。
- IOB上のFPI発熱を吸熱し、**4.5Kステージ**と**1.7Kステージ**の温度を維持すること。

設計要求

- 機械式冷凍機の冷却能力
 - **4K級冷凍機1式: 40mW@4.5K (EOL)、駆動電力160W (予冷機分を含む)**
 - **1K級冷凍機1式: 10mW@1.7K (EOL)、駆動電力180W (予冷機分を含む)**
- CRYO各部から深宇宙への放熱視野にバス部(SAP、STT、RCS等)が極力入らないようにすること。
- 機械式冷凍機の故障を想定し、冗長設計とすること。
- 機械式冷凍機の発生擾乱およびその伝達を低減し、姿勢・指向制御の要求を満たすこと。
- 熱制御材料の経年劣化やコンタミネーション(汚染物質)付着の影響を考慮した設計とすること。
- 多層断熱材(MLI)の剥離や帯放電を考慮すること。



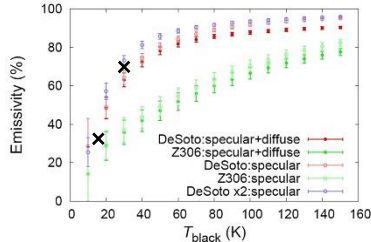
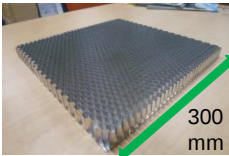
SPICAミッション部の基本構造

◆ 断熱放射冷却構造の熱設計状況

- 上記のシステム要求に基づき、熱・構造・指向擾乱・システムなどの観点から概念検討を実施。特にリスク低減フェーズ (RMP)においては、以下をミッション部熱設計の獲得目標として活動。
 - **4.5Kステージ冷却能力、および中間温度領域のFPI排熱量に対し25%マージンを確保。**
 - **設計精度と信頼の向上 (冷凍機システム、冷凍機用ヒートスイッチ、クリティカル材料の物性測定、地上試験計画詳細化など)**
- RMPの獲得目標達成に向け、RMP#2では以下を重点的に実施中(ポスターP2-053も参照)。
 - メイントラスの軌道上分離機構の試作評価
 - 4.5Kステージ熱フロー詳細化
 - 要素技術の技術実証 (MLI、低温高放射率材料、ヒートスイッチ)
 - 地上試験計画詳細化
 - ミッション部熱構造部分試作 (熱シールド部材の部分試作)
 - クリティカル材料の物性測定
 - 熱構造解析 (CLA、感度解析など)

◆ MLIおよび低温高放射率材料の技術実証

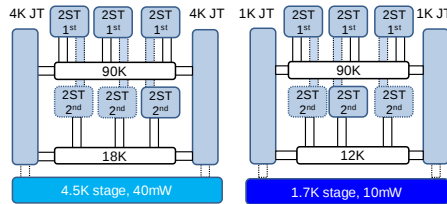
- SPICAの熱シールド間 (80K---120K間など) に実装する低温用MLIを試作し、急減圧試験および断熱性能評価試験を実施。得られた断熱性能を設計に反映。
- SPICAでは15K前後のBaffle温度領域まで放射冷却を利用する。低温での放射率および実績より、**黒色塗料Desoto Black**をベースラインとしつつ、オープンハニカム構造を用いた高放射率設計を検討し試作評価。



左) 黒色塗料試作品、中央) 黒色塗料塗布後のオープンハニカム試作品、
右) Desoto black試作品の放射率評価結果(×が目標値)

◆ 機械式冷凍機システムの検討と冷凍機開発状況

- 冷凍機1台故障時でもミッション要求を達成できる冷凍機システムを検討。
- 下記をベースラインとする。一方、冷凍機台数の削減を目指し、2ST用ヒートスイッチを試作評価したが、off時の熱伝導度が要求性能を得られず。



機械式冷凍機システムの全体構成

(2×4K-JT + 3×2ST) + (2×1K-JT + 3×2ST)、ヒートスイッチ無し

- 機械式冷凍機開発状況
 - **2段スターリング冷凍機 (2ST):** Astro-H/SXSに向けた対応として、駆動中のアウトガス測定および擾乱低減対策を実施。
 - **4K級冷凍機 (4K-JT):** EM連続運転による寿命試験は試験開始から2.44年が経過。顕著な劣化の兆候は見られず、順調に稼働中。(予冷機の2段スターリング冷凍機 (2ST)も同様)。ASTRO-H/SXS搭載品として、軌道上実証予定。
 - **1K級冷凍機 (1K-JT):** BBM開発成果 (16mW@1.7K)に基づき、JAXA戦略コンポーネントの枠組みにてEM製作中。2014年度より性能評価試験および寿命評価試験を実施予定。

◆ まとめと今後

- RMP#1の活動により、4.5Kステージ冷却能力および中間温度領域FPI排熱量に25%マージンの確保を達成した。これに基づき、RMP#2では**主要な要素技術の試作評価による技術実証、検証計画詳細化、材料物性測定**、さらにこれらの評価結果の設計への反映を行い、**リスクは確実に低減**できている。
- **RMP活動は今年度中に目標達成し作業完了の見込み**。一方、国際協力を含めたプロジェクト体制・計画の見直しに伴い、I/F条件および検証計画を見直す予定。