

SPICAに適用する高断熱性能MLIと高放射率ラジエターの開発

○岡崎峻 篠崎慶亮 佐藤洋一 松浦周二 松原英雄 中川貴雄 小川博之(宇宙航空研究開発機構)

概要

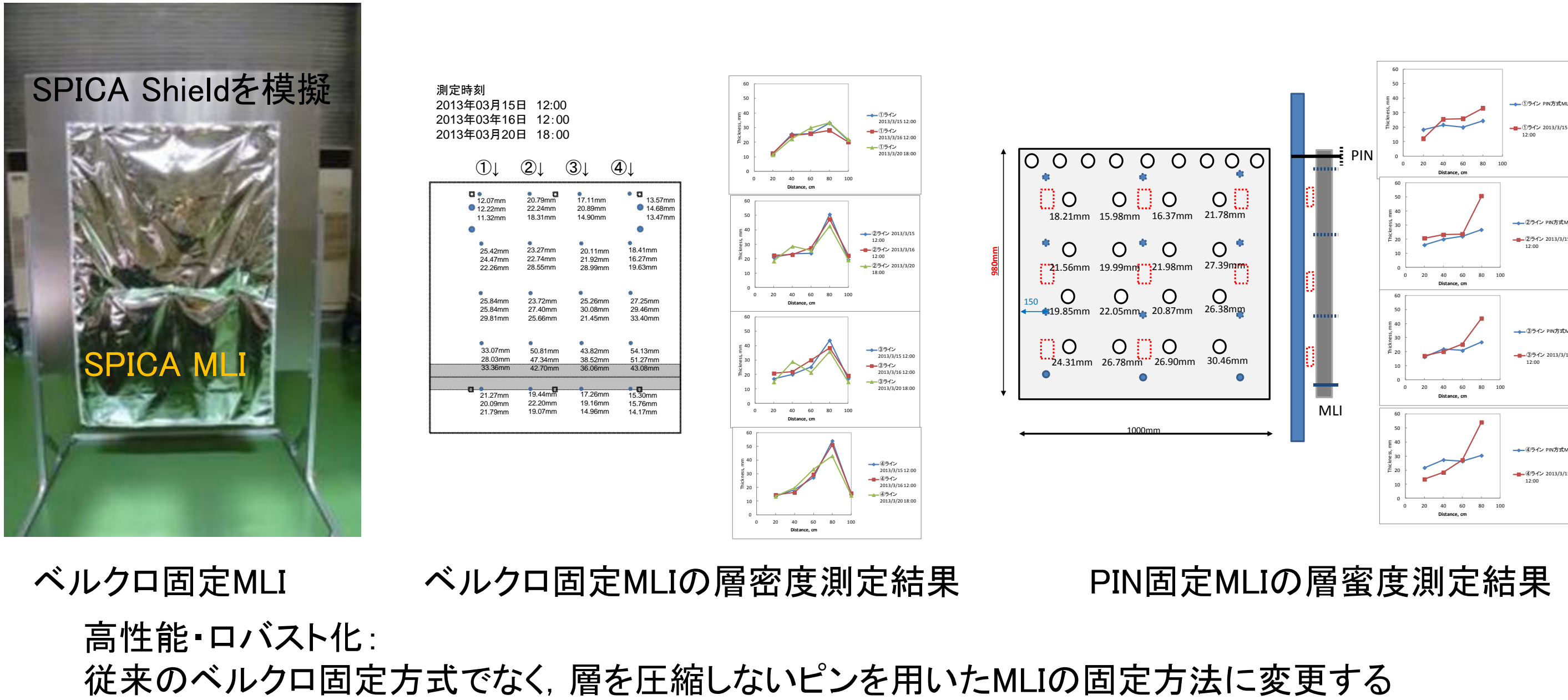
SPICAは液体ヘリウムによる寒剤冷却方式でなく、深宇宙への放射による受動冷却と機械式冷凍機による能動冷却の組み合わせによる革新的な冷却システムによって大型望遠鏡の搭載が可能になる。これらの、冷却システムを実現するための重要技術である、外部からの熱侵入を防ぐ“高断熱性能多層断熱材”と受動的な“高放射率放熱面”の開発に関して報告する。

1. 低温境界温度における高断熱性能MLIの開発

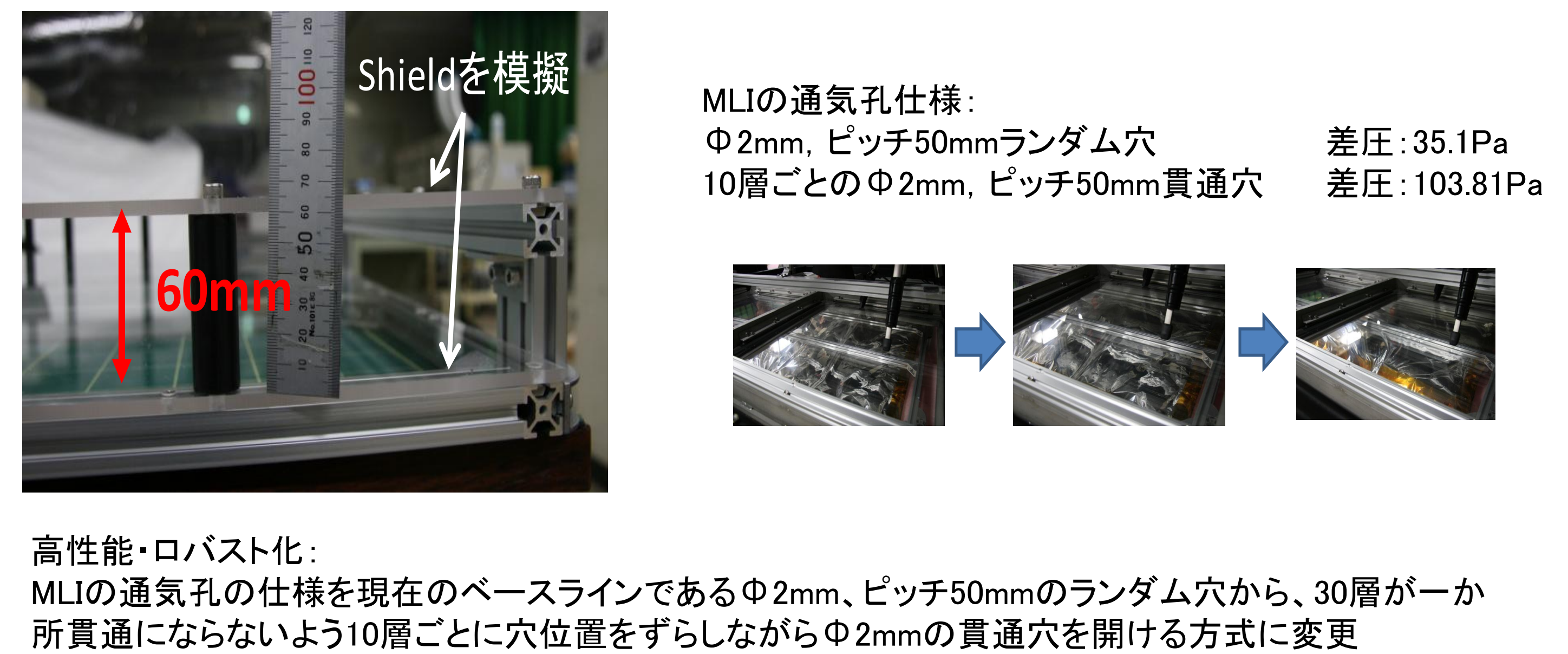
SPICAの熱設計では低温境界温度で高性能なMLIを実現することで、太陽光などの外部入熱を防ぎ、極低温熱環境を構築することが可能になる。SPICAでは、300K-77Kの境界温度間の実効放射率換算で**10倍以上性能の良いMLIの開発と任意境界温度におけるMLIの性能予測を実現**する事による宇宙機への現実的な適用を目的とし、以下の3点に注目した研究・開発を行った。

MLIにはロケット環境に耐えるために必要な加工を施す必要がある。同時にこれらは断熱性能劣化をもたらす可能性がある。これら**“性能に影響する因子の理解と効果的な低減”**が高性能MLIの開発では重要である

① MLIの固定方法の検証(打ち上げ環境で自重を支える)



② 減圧試験(打ち上げ減圧環境での剥離防止)

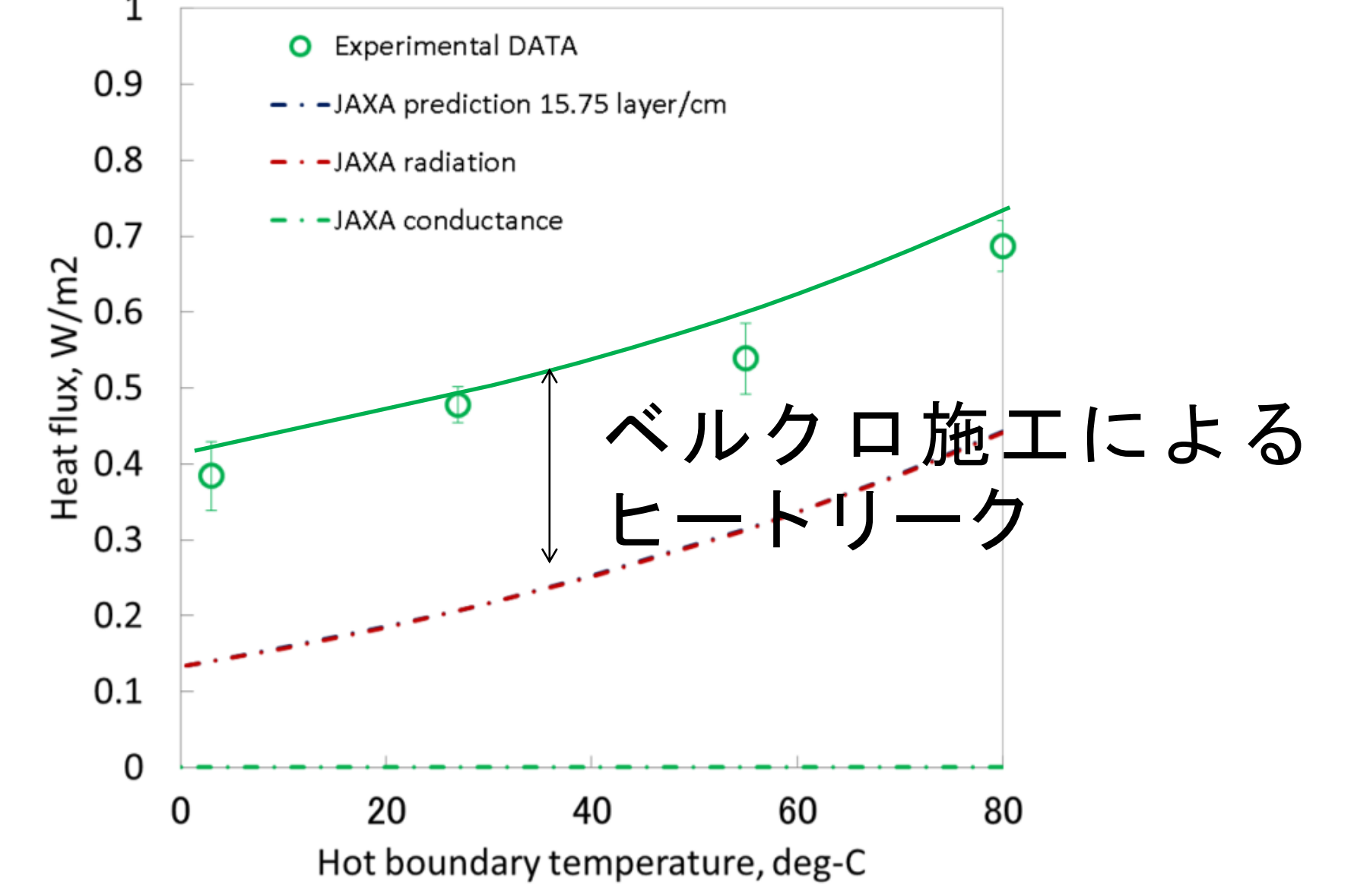
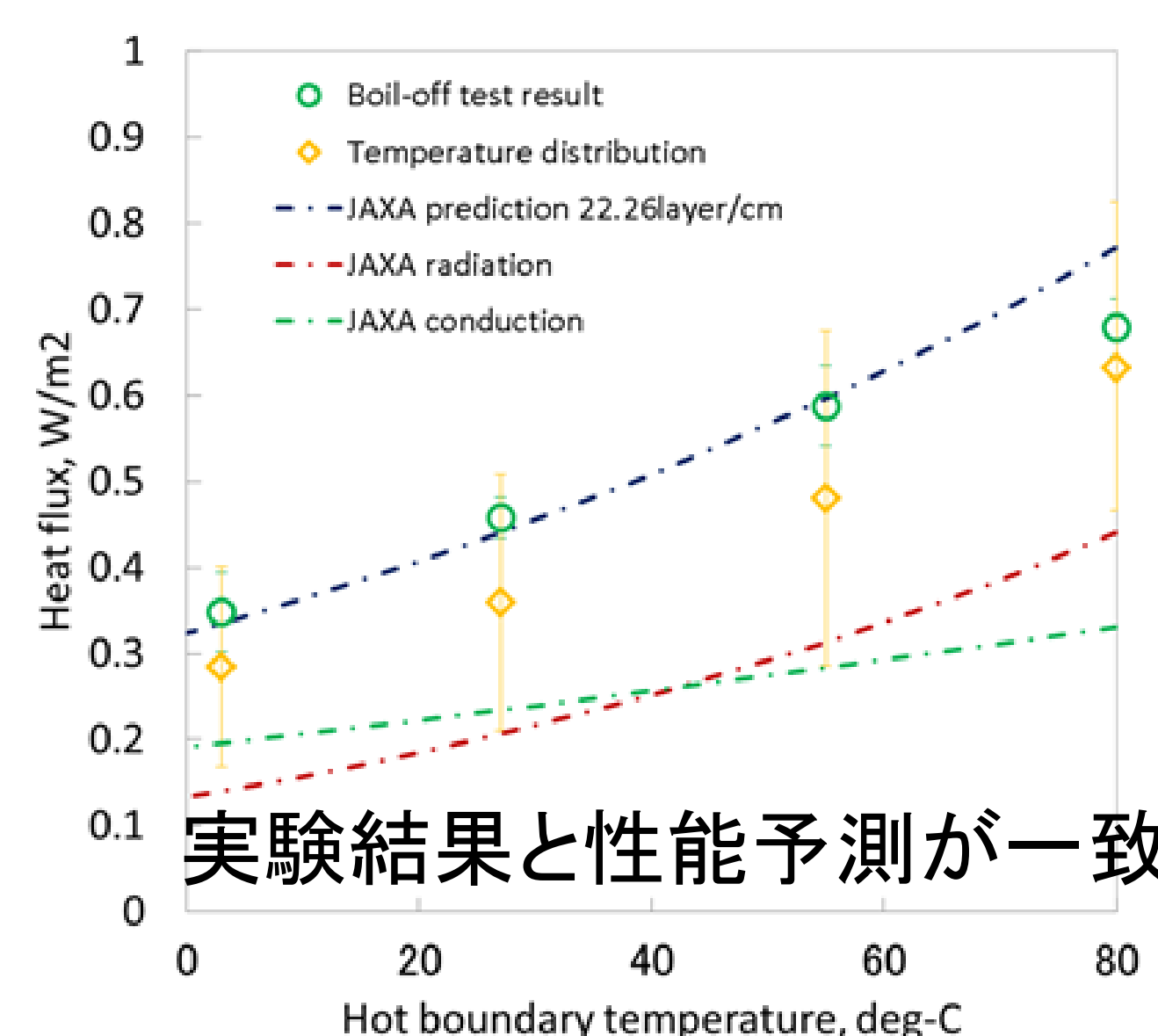


③ 断熱性能測定試験・SPICA実機での性能予測

層間の輻射伝熱・伝導伝熱の寄与を明らかにし、**任意の境界温度におけるSPICA MLIの性能予測が可能**

①, ②の試験から決定したMLIの仕様

層構成	両面アルミ蒸着フィルム・ポリエステルネット
層数	30 layers
層密度	15layer/cm以下
幅16mm 長さ16mm ベルクロ	14.5箇所/m ² 以下
通気孔(ベースライン)	相互穴 Diameter: Φ2mm, Pitch: 50mm
通気孔(開発案)	10層の貫通穴をずらし配置する
端部処理	手縫いによる縫製
MLI同士の結合方法	Interleaved Overlap, テープ処理により接合
ボンディング	EMC要求による(熱的な影響が最小になるように設計)
シールドへのMLI固定方法(ベースライン)	ベルクロを縫製によって取り付ける(縫製はMLI側のみとする)
シールドへのMLI固定方法(開発案)	PINを用いて吊る方式でMLIを取り付ける
性能	
Outer Shield 176.81K-99.54K	通過熱流束: 0.148W/m ² 実効放射率: 0.00299
Middle Shield 99.54K-74.56K	通過熱流束: 0.043W/m ² 実効放射率: 0.0113



層内の輻射と伝導の寄与と性能予測 施工要素による断熱性能への影響(定式化)
ベルクロヒートリーク: $Q_{velcro} = 0.000112(T_{HMLI} - T_{LMLI})$

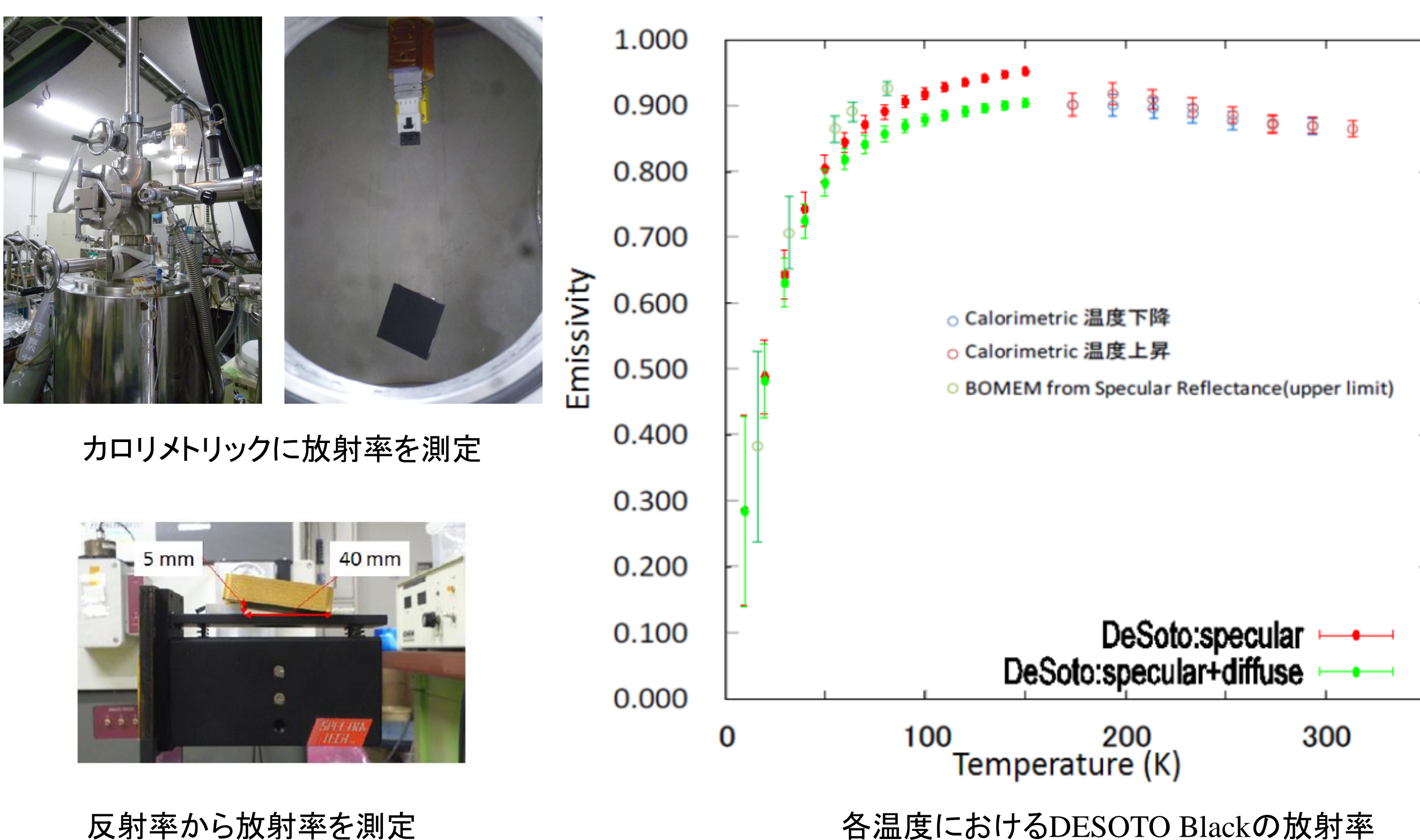
打ち上げ環境に必要な施工とMLIの性能決定因子を特定する事が出来た。ベルクロ施工などに用いる縫製など層間の接触が断熱性能を支配体に決めており、これらを低減することで高性能MLIを達成した。(通常施工のMLIでは層間接触に起因するヒートリークが90%以上) 研究開発の結果、**SPICA MLIの低温環境での高精度な性能予測と最適化が可能**になった。以下がMLI設計結果に基づくMLI断熱性能
⇒ Outer Shield MLI (175K 100K間) 通過熱流束 0.152W/m² (実効放射率換算で0.0013) ⇒ **10倍以上の断熱性能を達成**
Middle Shield MLI (100K 75K間) 通過熱流束 0.044W/m²

2. 低温境界温度における高性能ラジエターの開発

SPICAは、低温におけるラジエターからの放熱を行う熱設計になっている。よって、ラジエターの表面光学特性の波長依存性の理解と性能評価は熱設計において重要である。一方で、塗料などの宇宙機に用いられるラジエター材料は長波長(低温)域で低下する(放熱能力が低下する)事が知られている。本研究開発では、**ラジエター表面の光学特性の測定と、低温における放熱能力の低下を防ぐ方法の研究・開発**を行った。

DESOTO Blackの表面光学特性の測定

SPICAの熱設計に必要な不可欠な表面光学特性の取得
長波長(低温)域での放射率測定



オープンハニカムラジエター

キャビティ効果による見掛け上の放射率の改善(=実効放熱面積の向上)
ハニカムとスキンを高熱伝導接触にすることで高放熱効率(フィン効率)が期待
⇒ **長波長(低温)域での放射率低下を防ぐ**

低温で放射率を維持するラジエターの開発

