

新しい熱制御技術

New Thermal Control Technologies for Spacecraft

太刀川 純孝 (ISAS/JAXA)、富岡 孝太 (慶應大院)、畑 真尋 (理科大院)、本庄 泰生 (慶應大院)、大矢 佳奈 (慶應大院)、山本 早伽 (理科大院)、江口 駿作 (理科大院)、竹内 葉月 (慶應大)

惑星探査ミッションでは、ダイナミックに変化する熱環境に適応するとともに、ミッション特有の厳しい高温 (低温) 環境にも対応し、さらに、限られたエネルギーリソースを有効活用できるような新しい熱制御デバイス (材料) が必要となる。

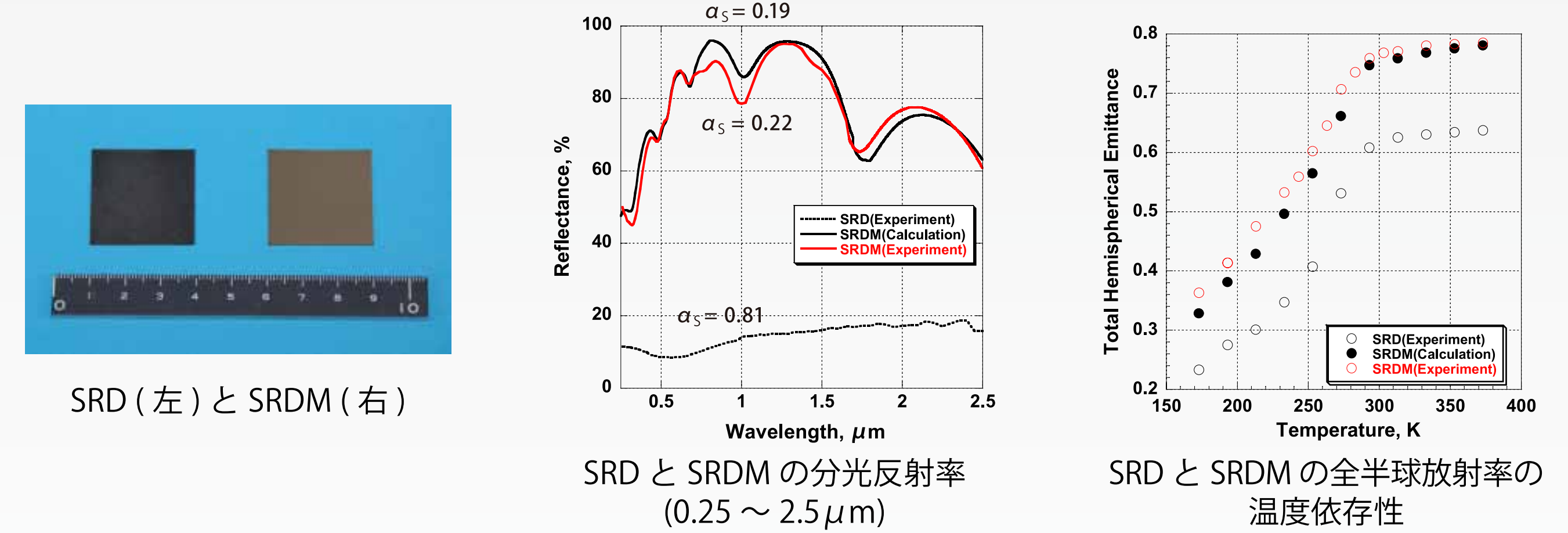
放射率可変素子

Smart Radiation Device (SRD)

温度によって自律的に赤外放射率を変化させ、宇宙機の温度を自動調節する次世代のラジエータ材料

ペロブスカイト型 Mn 酸化物が備える「金属 – 絶縁体転移」を応用した放射率可変素子 (SRD) の開発を行っている。

SRD は、自身の温度により、高温では放射率が高く、低温では放射率が低くなる性質を持つ。従来のサーマルルーバ等と比べ、機械的要素や電力を必要としないため、軽量、かつ高い信頼性を備える。SRD は、2003 年に「はやぶさ」、2005 年に「れいめい」に搭載され、軌道上実証が行われた。また、2016 年から ISS において軌道上実証試験中である。



現在、SRD バルク材の改良 (A サイトおよび B サイトの同時置換)、薄膜化 (PLD 法) とともに、SRD 表面に多層薄膜を追加することによって熱光学特性を向上させた SRDM の開発を行っている。目標値は以下のとおりである。

- 太陽光吸収率 α_s の低減 (< 0.2)
- 赤外放射率変化量 $\Delta \varepsilon_H$ の増加 (> 0.5)

共同研究：齋藤 (東理大)、桑原 (上智大)、篠崎 (東工大) 科研費 No.16K06141

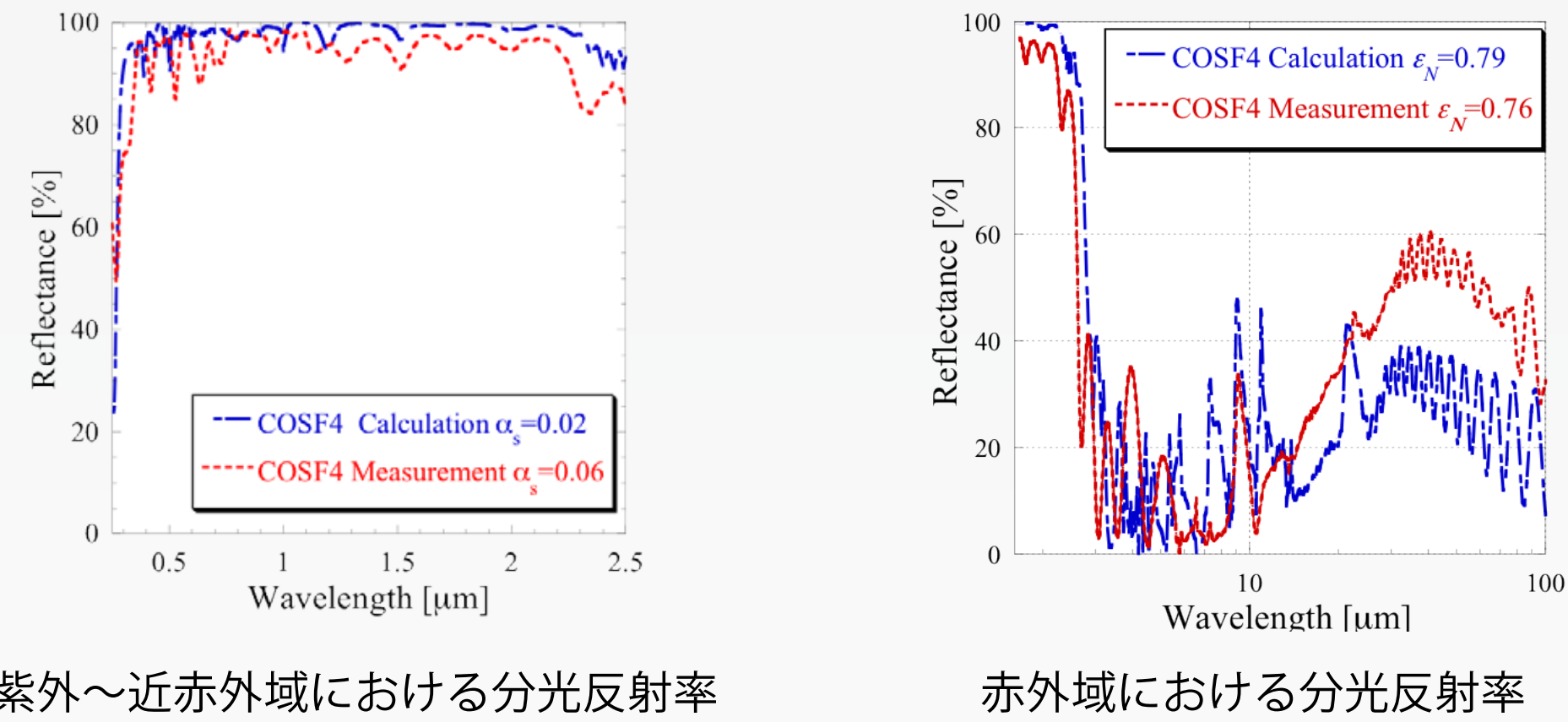
熱光学特性が設計可能な熱制御フィルム

Controlled Optical Surface Film (COSF)

太陽光吸収率 α_s 、全半球放射率 ε_H を希望どおりの値に設計することができる次世代の熱制御材料

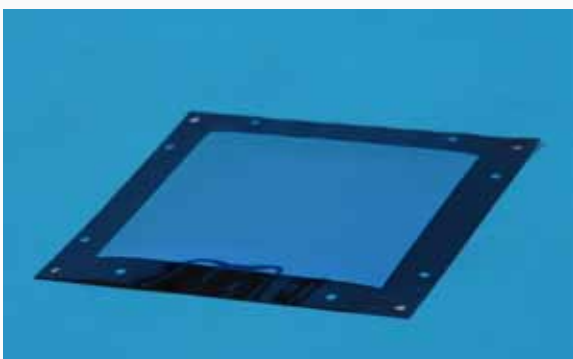
ポリイミドフィルムを基材として、広帯域 (0.25 ~ 100 μm) にわたって光学特性を制御した誘電体多層膜を形成することによって、電波透過性を備え、かつ、形状がフレキシブルな熱制御材を開発している。以下に、従来の一般的なラジエータ材料である OSR (Optical Solar Reflector) と同等な熱光学特性を持ち、かつ、Ge 蒸着カプトンと同等な電波透過性を備えた COSF4 の試作例を示す。

基板：UPILEX-S (t=125 μm)
多層膜層数：35 層
熱光学特性：太陽光吸収率 $\alpha_s = 0.02$ (設計値), 0.06 (測定値)
垂直放射率 $\varepsilon_N = 0.79$ (設計値), 0.76 (測定値) @R.T.



Material	Attenuation (dB)
	X-band
Al-coated Kapton film	-33.5
Ge-coated Kapton film	0.0
COSF4	0.0

電波透過性能



COSF の試作例

この他、金属的な赤外反射率を備えながら電波を透過する COSF-IR 等、様々なバリエーションがある。現在 COSF は、「ほどよし 4 号」および ISS において軌道上実証試験中である。

共同研究：長坂 (慶應大)、泰岡 (慶應大)、廣瀬 (ISAS/JAXA)、川原 (ISAS/JAXA)

ポリイミドフォームを使用した多層断熱システム

Thermal Insulation System based on Polyimide Foam

従来の MLI に比べて軽量、高断熱、かつ実効放射率が推算可能な次世代の MLI

耐熱性、耐紫外線性、耐放射線性、電気絶縁性に優れたポリイミドフォームを用いた多層断熱システム (PF-MLI) の開発を行っている。特徴は以下のとおりである。

- 高断熱 (従来の MLI では削減不可能だった熱パスを削減可能)
- 実効放射率の定量化 (熱解析の精度向上)
- 断熱材の最適設計 (発泡倍率、厚さ)
- 耐熱性の向上
- 形状保持性 (テント形状などに有利)
- 軽量 (同等の断熱性能を持つ従来の MLI と比較して)
- 衛星メンテナンス性の向上
- 製作時間の短縮、および低コスト化
- 急減圧時の膨らみ防止

最も軽量な BF301 を用いた PF-MLI は、従来の MLI と比べ、38% 軽量でありながら、8% 低い実効放射率を示す。



本断熱システムは、「UNIFORM-1」、「ほどよし 3 号」、「ほどよし 4 号」、「プロキオン」に使用されている。また、ISS において軌道上実証試験中である。さらに、アルミ蒸着ポリイミドフィルムの代わりに COSF を用いた電波透過型 MLI を開発している。

共同研究：長坂 (慶應大)

MEMS 型赤外放射制御デバイス

Radiation Control Device with MEMS

MEMS 技術を用いて赤外放射特性を制御するデバイス

静電気力によって MEMS シャッターを開閉させ、赤外放射特性をコントロールできる熱制御デバイスを開発している。軌道上で開閉特性の設定変更が可能であるという特徴がある。以下に試作した MEMS シャッターデバイスとその実効放射率の測定結果を示す。



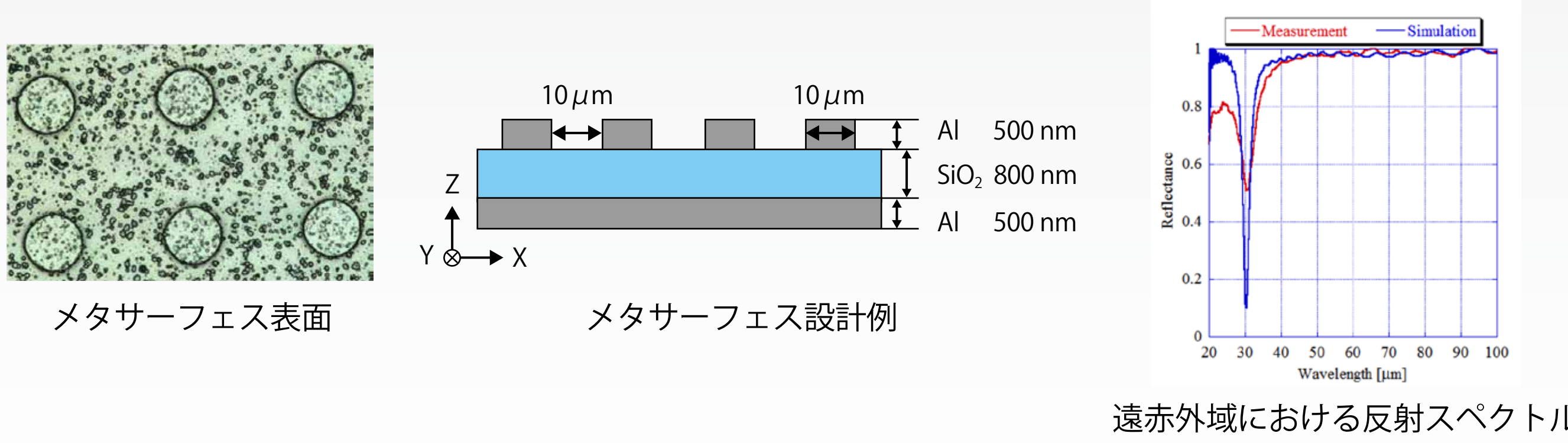
共同研究：三田 (ISAS/JAXA)、長坂・田口 (慶應大)

微細構造型赤外放射制御デバイス

Radiation Control Device with Micro structure

微細構造を用いて赤外放射特性を強化したデバイス

メタサーフェスを使い放射率の波長依存性の改良を行っている。以下に遠赤領域 (低温) における放射率の強化を目的としたメタサーフェスの試作例を示す。表面の微細構造によって、30 μm 付近に大きな吸収が発生 (放射率が增加) していることがわかる。



共同研究：宮地 (ISAS/JAXA)、長坂・田口 (慶應大)、桜井 (新潟大)