

新しい熱制御テクノロジー

New Thermal Control Technologies for Spacecrafts

太刀川純孝 (ISAS/JAXA)、佐藤祐貴 (東海大)、土谷健一郎 (東海大)、高木龍一 (慶応大)

惑星探査ミッションなどの実現のため、大きく変化する熱環境に宇宙機自身が順応するとともに、少ないエネルギーリソースをうまく活用できるような新しい熱制御システムが必要である。

放射率可変素子

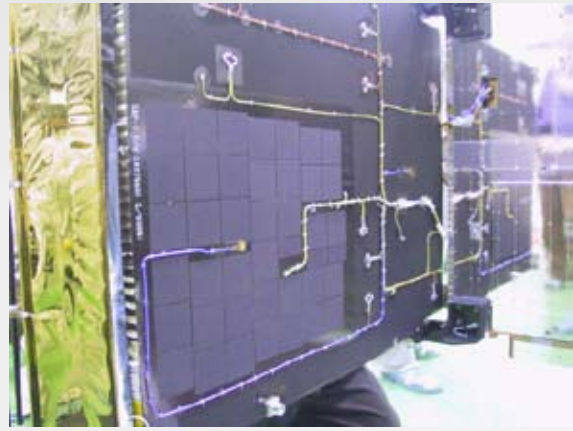
Smart Radiation Device (SRD)

温度によって自立的に赤外放射率を変化させ、機器の自動温度調整を行う素子の開発

強磁性材料であるペロブスカイト型 Mn 酸化物を応用した放射率可変素子の開発を行っている。この素子は、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が得られる。SRD は、さまざまな宇宙環境試験をクリアし、2003 年に「はやぶさ」、2005 年に「れいめい」に搭載されて軌道上実証試験を実施し、正常動作を確認した。



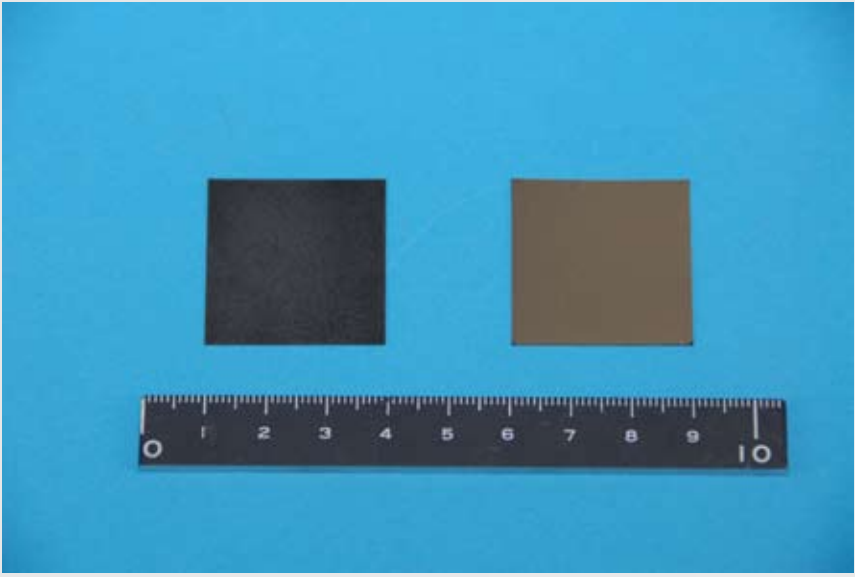
はやぶさ
(+Y 面に搭載)



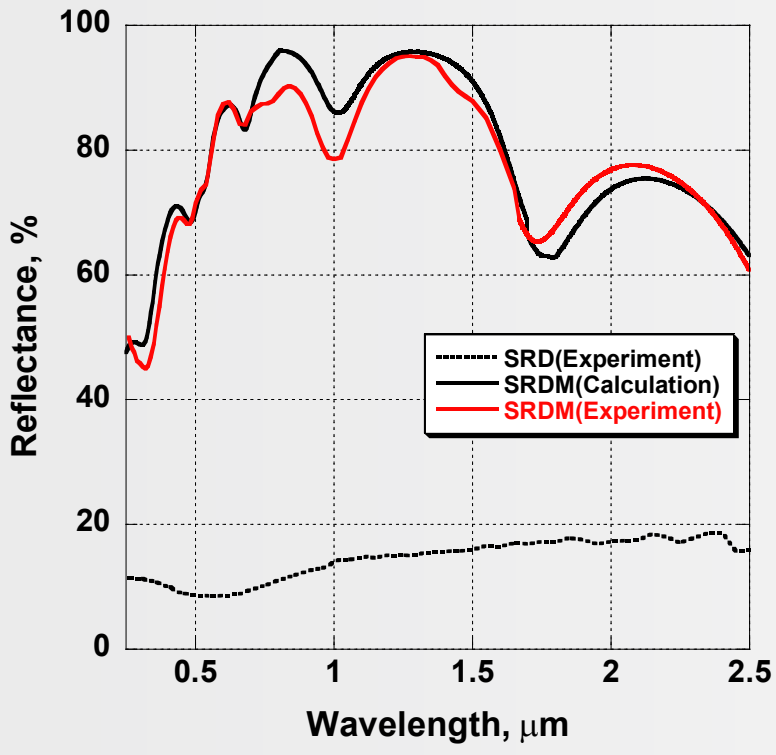
れいめい
(SAP 裏面に搭載)

現在、SRD バルク材の改良、および SRD の表面に多層薄膜を施した SRDM (Smart Radiation Device with Multi-layer film) の開発を行い、以下の性能改善を行っている。

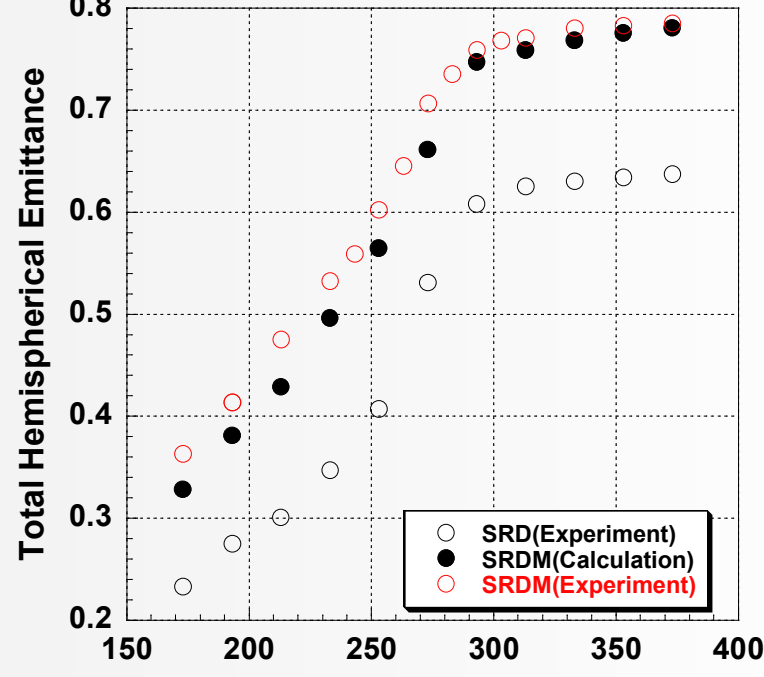
- 太陽光吸収率の低減 (0.81→0.22)
- 狭い温度範囲で赤外放射率が大きく変化



SRD (左) と SRDM (右)



SRD と SRDM の分光反射率
(太陽光波長域)



SRD と SRDM の全半球放射率の
温度依存性

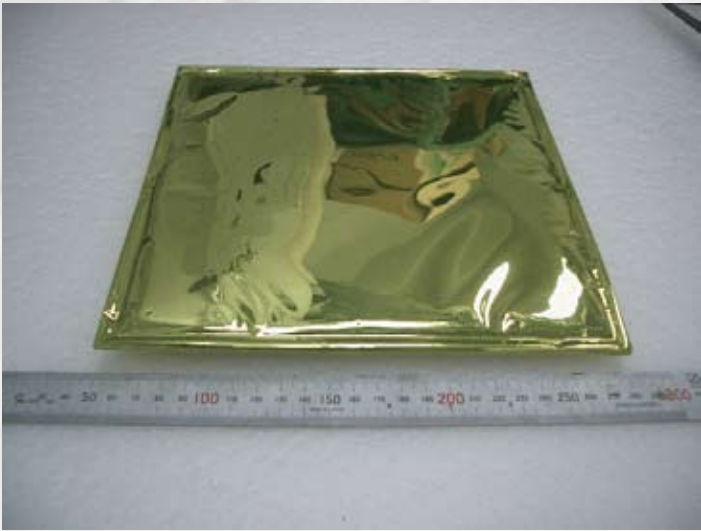
ポリイミドフォームを使用した多層断熱システム

Thermal Insulation System based on Polyimide Foam

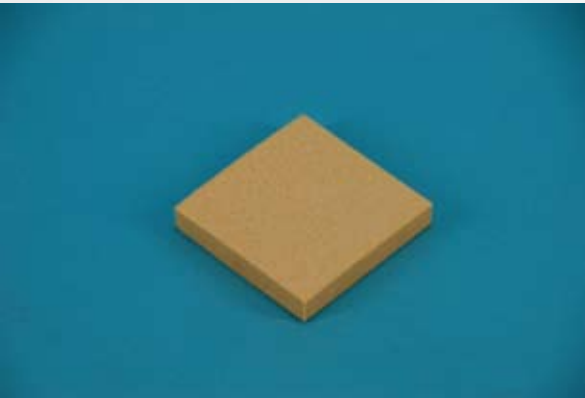
従来の MLI に比べて軽量で断熱性能が高く、実効放射率が推算可能な多層断熱システムの開発

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基材とし、ロケットや宇宙機の新しい断熱システムの開発を行っている。この断熱システムには以下のような特徴が挙げられる。

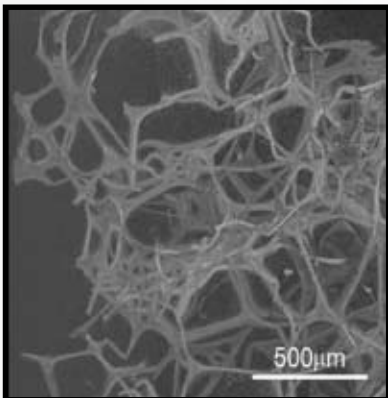
- 断熱性能の向上 (不要な熱パスの低減)
- 実効放射率の定量化 (熱解析の精度向上)
- 断熱材の最適設計 (発泡倍率、厚さ)
- 耐熱性の向上
- 形状保持性 (テント形状などに有利)
- 軽量
- 衛星メンテナンス性の向上
- 製作時間の短縮、および低コスト化
- 急減圧時の膨らみを防止



ポリイミドフォーム多層断熱材の試作例



ポリイミドフォーム



X 線 CT 画像

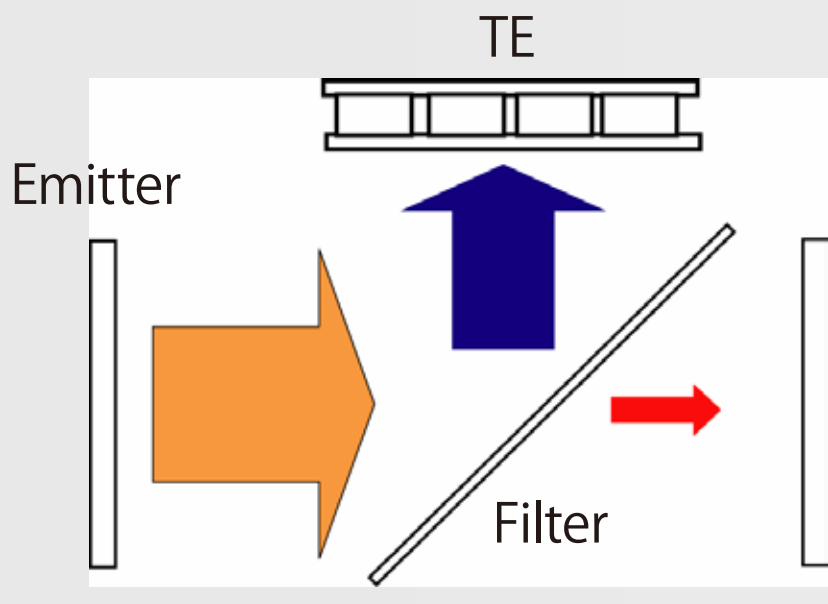
ポリイミドフォームの熱伝導率を測定するとともに X 線 CT 画像をもとにした解析モデルを作成し、格子ボルツマン法を用いた熱伝導率の推算を行った。その結果、熱伝導率の推算値と実験値は良好な一致を示した。

ハイブリッド型熱発電素子

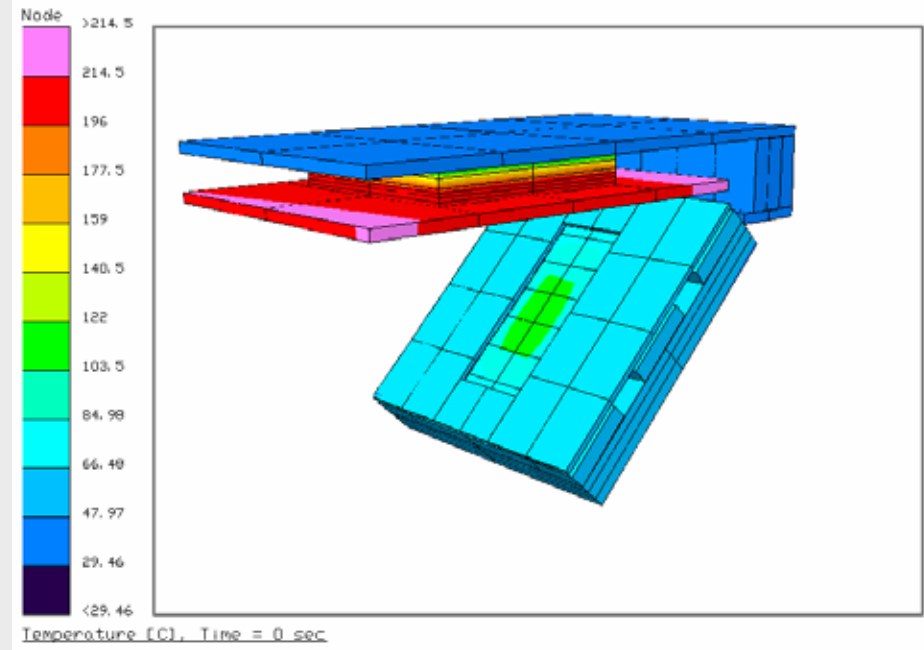
Hybrid Energy Conversion Device (HECD)

廃熱を利用した複合発電素子の開発

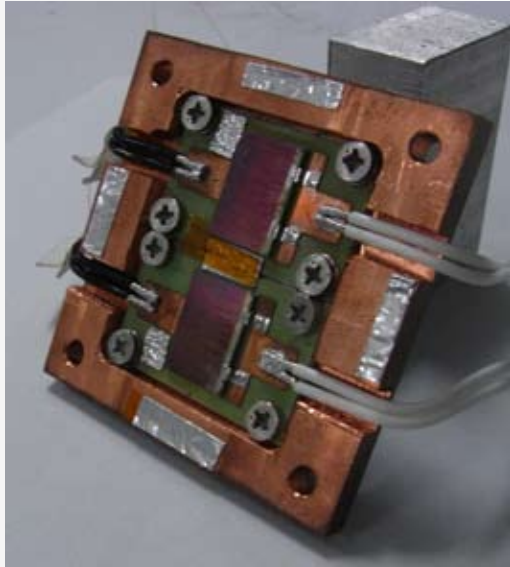
熱光電変換 (TPV: Thermo PhotoVoltaic) と熱電変換 (TE: Thermo Electric) を組み合わせることによって、高温熱源からの赤外ふく射エネルギーのうち 1 ~ 5μm のエネルギーを活用する素子のシステム設計を行っている。



発電素子の概念図



熱解析例



TPV

熱光学特性がコントロール可能な熱制御材料

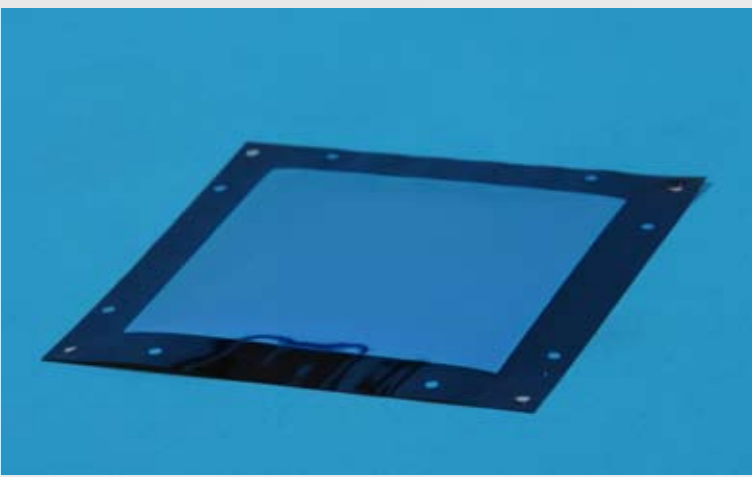
Controlled Optical Surface Film (COSF)

太陽光吸収率 α_S 、放射率 ε_H を希望どおりの値に設計可能な熱制御材料の開発

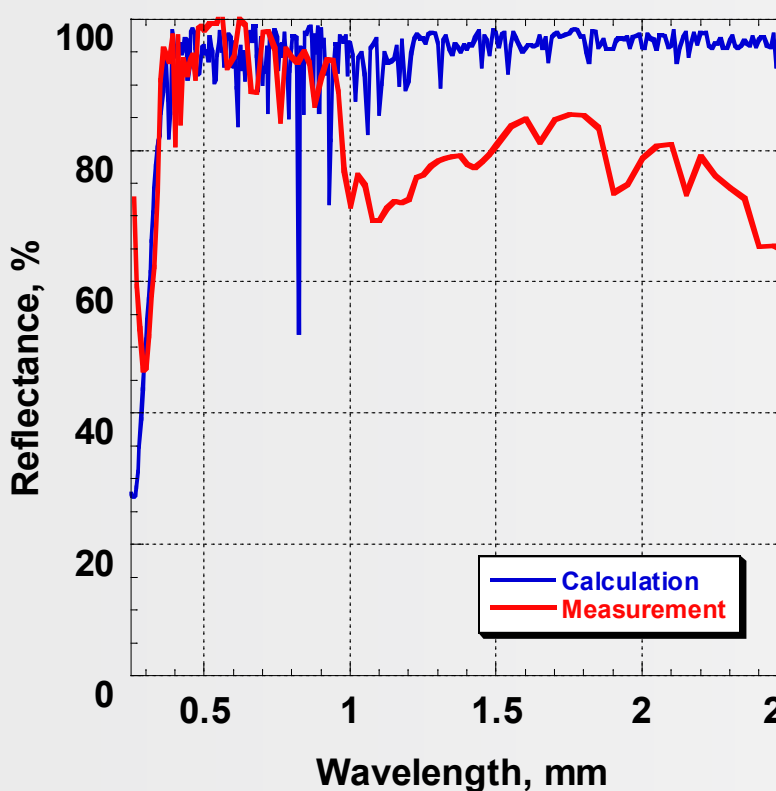
耐熱性、耐宇宙環境性に優れたポリイミドフィルムをベースに、広帯域 (0.25 ~ 100 μm) にわたって光学特性制御した多層薄膜を形成し、形状がフレキシブルかつ電波透過性に優れた熱制御材を開発している。以下に従来のガラスなどを使用した OSR (Optical Solar Reflector) と同等な熱光学特性を備える COSF の製作例を示す。

基板： UPILEX-S (75μm 厚)
多層膜材料： SiO₂/TiO₂
多層膜層数： 30 層
熱光学特性：

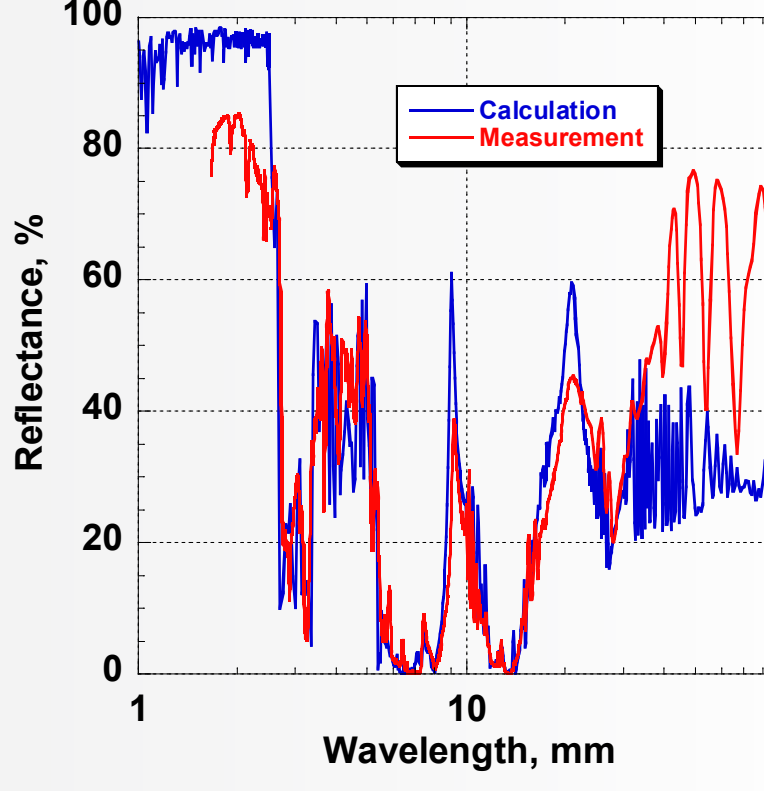
太陽光吸収率 α_S = 0.06 (設計値), 0.14 (測定値)
垂直放射率 ε_N = 0.79 (設計値), 0.79 (測定値)



COSF の試作例



分光反射率 (太陽光波長域)



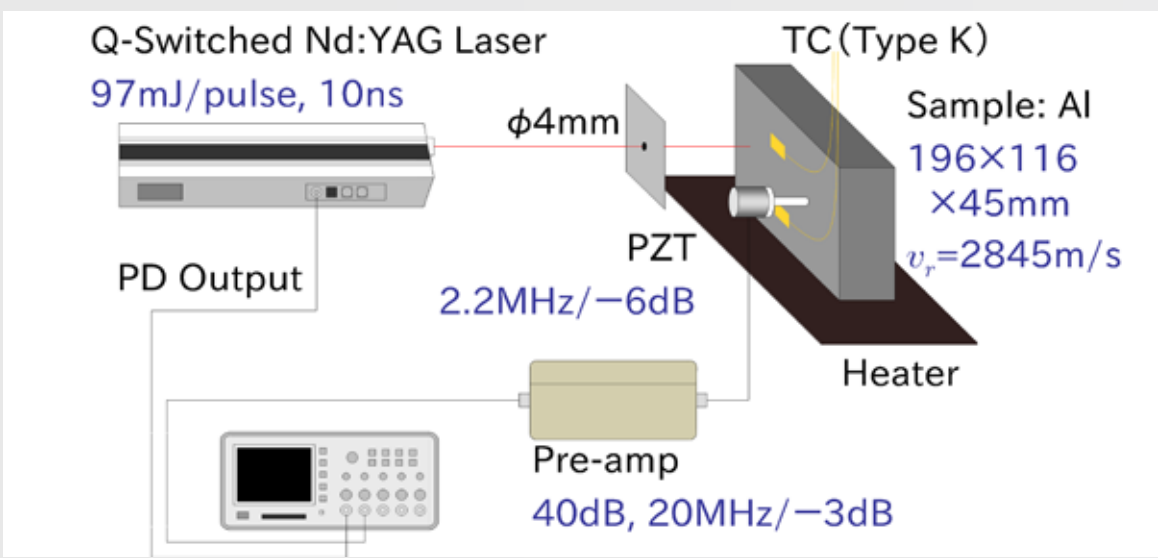
分光反射率 (赤外域)

高温域における放射率測定技術

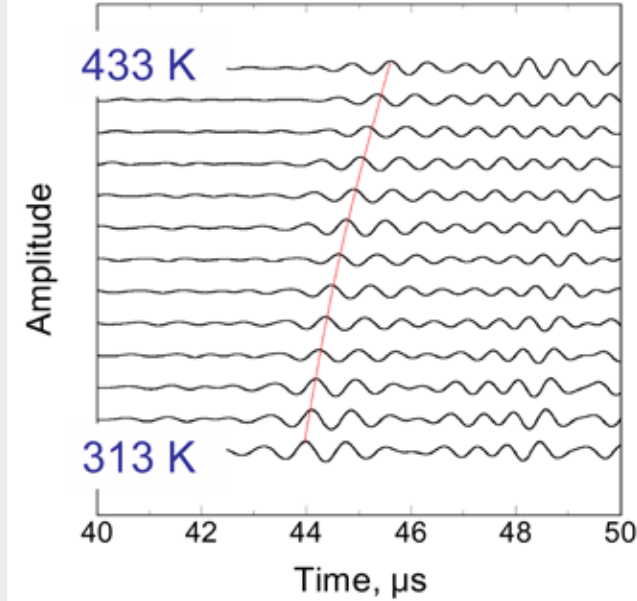
Measurement of Emissivity at High Temperatures

ヒートシールドなどの高温材料の放射率測定技術の開発

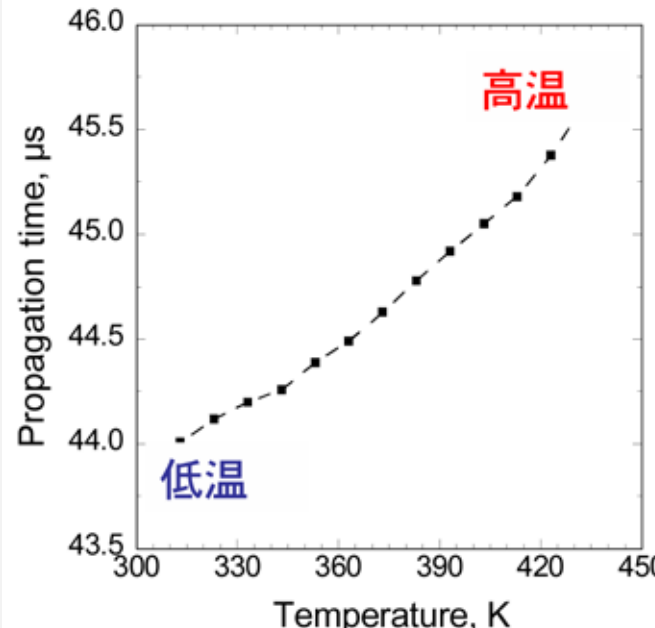
本研究は、2000K までの高温域における光学定数と放射率の同時測定法を確立することを目的としている。高温域の放射率測定では、試料の表面温度を正確に測定することが重要である。そこで、表面波を用いた温度測定法について提案し、予備実験を行っている。現在までの結果、表面波の位相速度の温度依存性が確認され、本測定方法が有効であることが確認された。この方法の特徴は、高温表面の温度を非接触かつ厳密に決定できることである。



実験装置概念図



表面波の測定結果



位相速度の温度依存性