

新しい熱制御技術と測定技術

New Thermal Control Technologies and Measurement Technologies

太刀川純孝 (ISAS/JAXA)、藤崎慎平 (慶應大)、田中洸輔 (東理大)、廣木健太 (慶應大)、村上良明 (東理大)

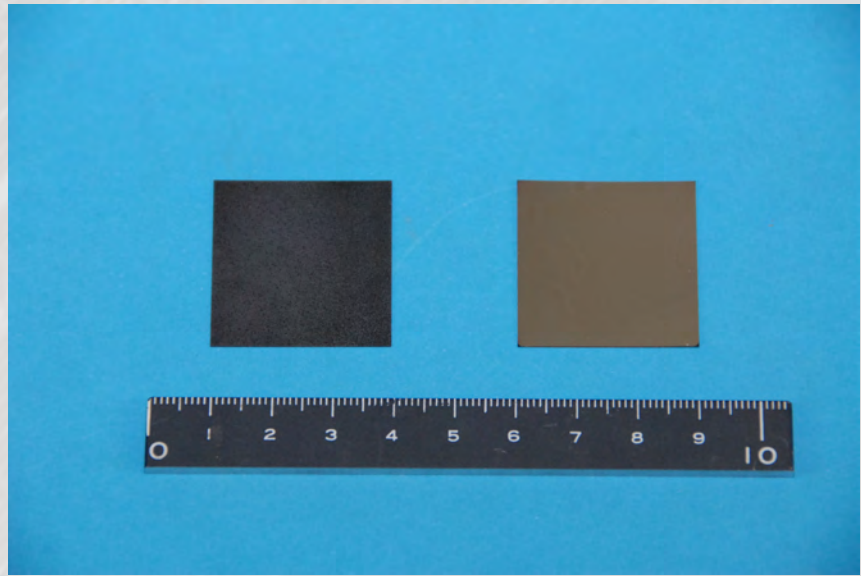
惑星探査ミッション等の実現のため、ダイナミックに変化する熱環境に宇宙機自身が順応するとともに、限られたエネルギーリソースをうまく活用できるような新しい熱制御システムが必要である。また、それらの熱制御システムを効率的に設計に取り込むために精度の高い熱物性測定が必要である。

放射率可変素子

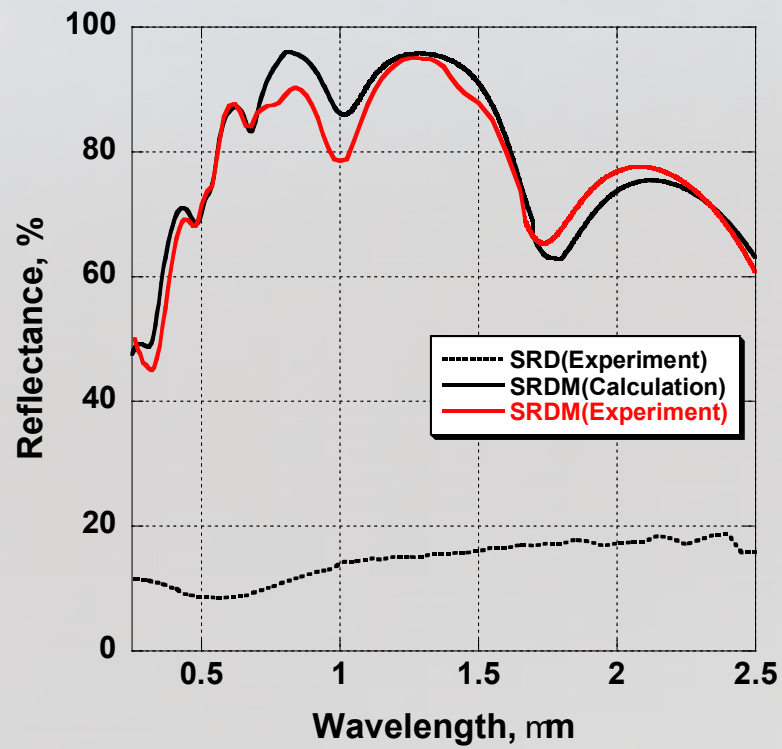
Smart Radiation Device (SRD)

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素子の開発

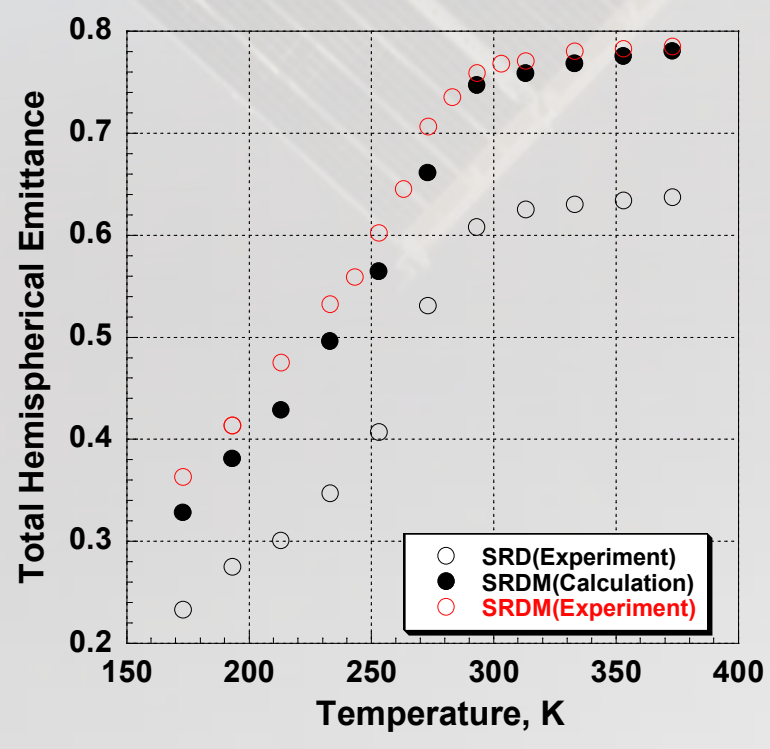
ペロブスカイト型Mn酸化物を応用した放射率可変素子の開発を行っている。この素子は、自身の温度により、高温では放射率が高く、低温では放射率が低くなる性質を持つ。従来のサーマルルーバ等と比べ、機械的要素や電力を必要としないため、軽量かつ高い信頼性が得られる。SRDは、2003年に「はやぶさ」、2005年に「れいめい」に搭載、軌道上においてその機能が実証された。



SRD (左) と SRDM (右)



SRD と SRDM の分光放射率 (0.25 ~ 2.5μm)



SRD と SRDM の全半球放射率の温度依存性

現在、SRDバルク材の改良、薄膜化、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 α_S の低減 (< 0.2)
- 赤外放射率変化量 $\Delta\epsilon_H$ の増加 (> 0.5)

共同研究：齋藤 (東理大)、桑原 (上智大)、篠崎 (東工大)

ポリイミドフォームを使用した多層断熱システム

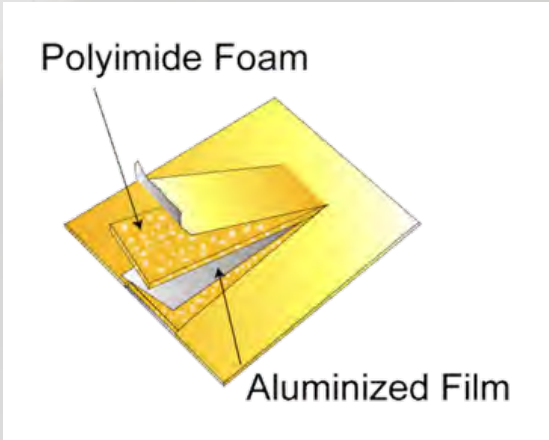
Thermal Insulation System based on Polyimide Foam

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

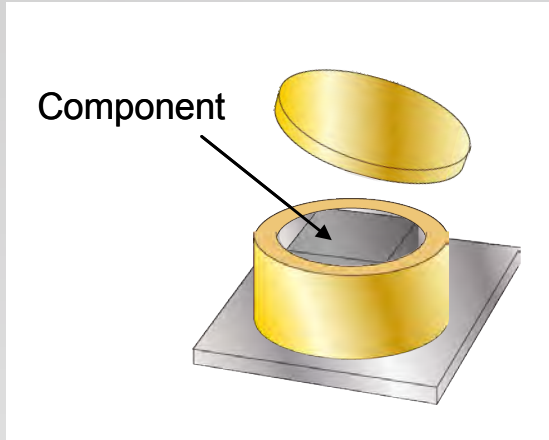
耐熱性、耐紫外線性、耐放射線性、電気絶縁性に優れたポリイミドフォームを基材とし、ロケットや宇宙機の新しい断熱システム (PF-MLI)の開発を行っている。特徴は以下のとおりである。

- 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
- 急減圧時の膨らみ防止

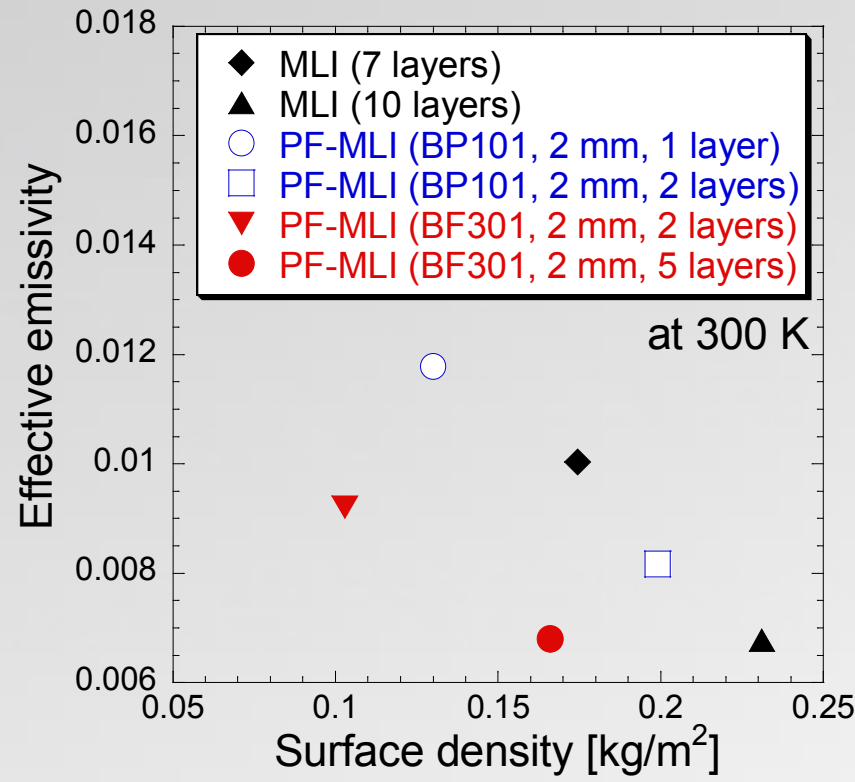
最も軽量のBF301を用いたPF-MLIは、従来のMLIと比べ、38% 軽量でありながら、8% 低い実効放射率を示す。



ポリイミドフォーム MLI



機器への実装例



実効放射率と面密度の関係

共同研究：長坂 (慶應大)、大村 (ニチアス)

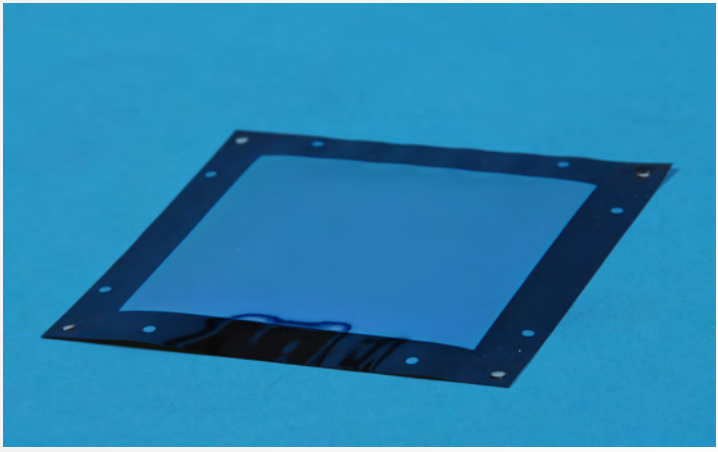
熱光学特性が設計可能な熱制御材料

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 ~ 100μm) にわたって熱光学特性を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の試作例を示す。

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



COSF の試作例

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)

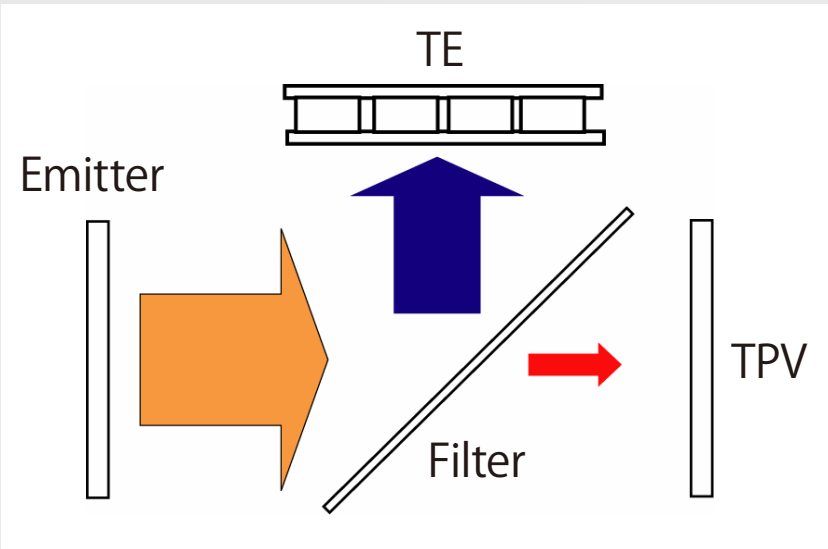
共同研究：泰岡 (慶應大)、廣瀬 (ISAS/JAXA)

ハイブリッド型熱電発電素子

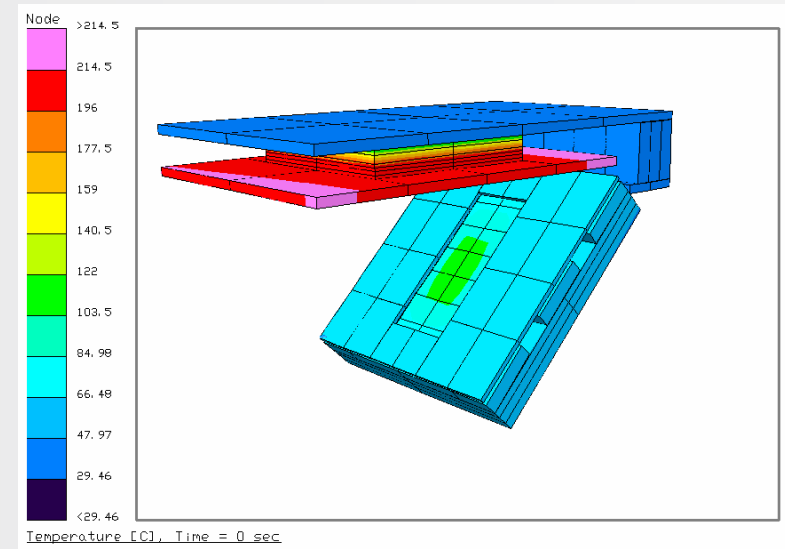
Hybrid Energy Conversion Device (HECD)

廃熱を利用した複合発電素子の開発

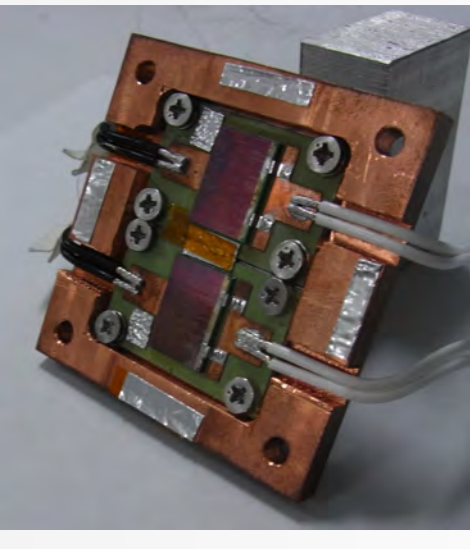
熱電変換 (TPV: Thermo Photo Voltaic) と熱電変換 (TE: Thermo Electric) を組み合わせることによって、宇宙機の高温熱源からの赤外ふく射エネルギーのうち1 ~ 5μmのエネルギーを有効活用する発電素子のシステム設計を行っている。



発電素子の概念図



熱解析結果



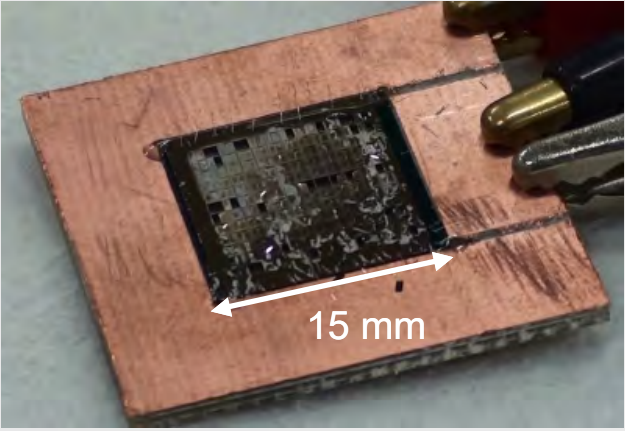
TPV

赤外放射制御デバイス

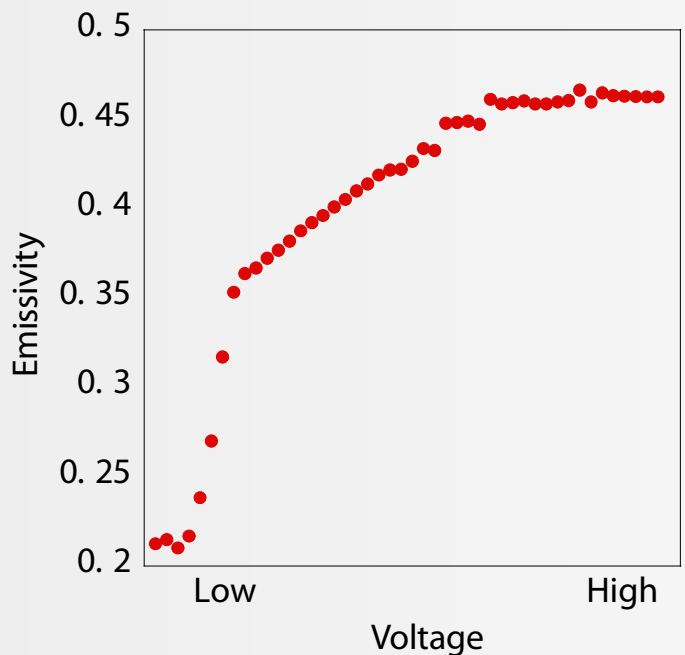
Radiation Control Device with MEMS

MEMS 技術を用いて赤外放射特性を制御するデバイスの開発

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。軌道上での放射特性の設定変更が可能であるという特徴を備える。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。



MEMS シャッターデバイス (試作品)



赤外放射率の変化

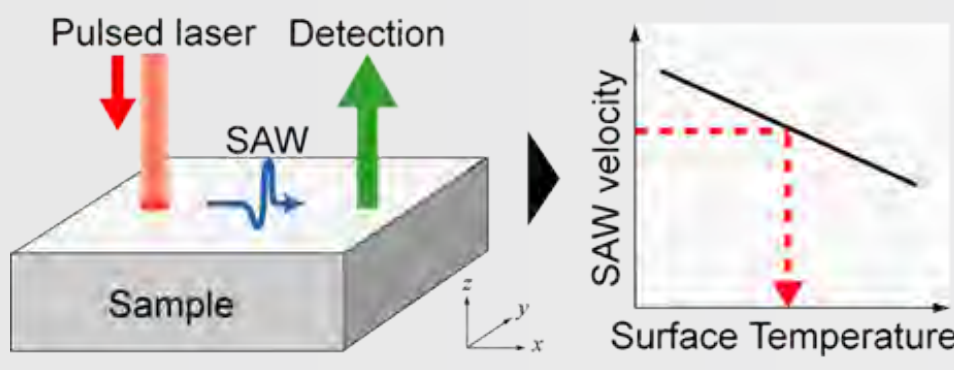
共同研究：三田 (ISAS/JAXA)、長坂・田口 (慶應大)

高温域における放射率測定技術

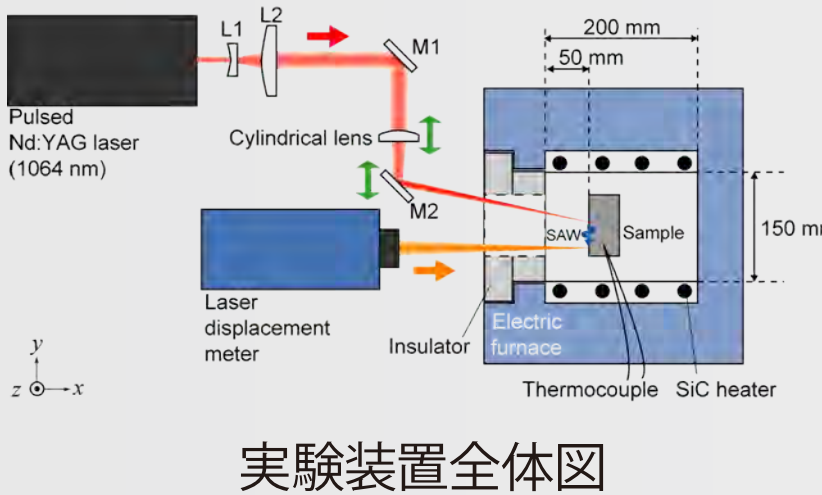
Measurement of Emissivity at High Temperatures

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

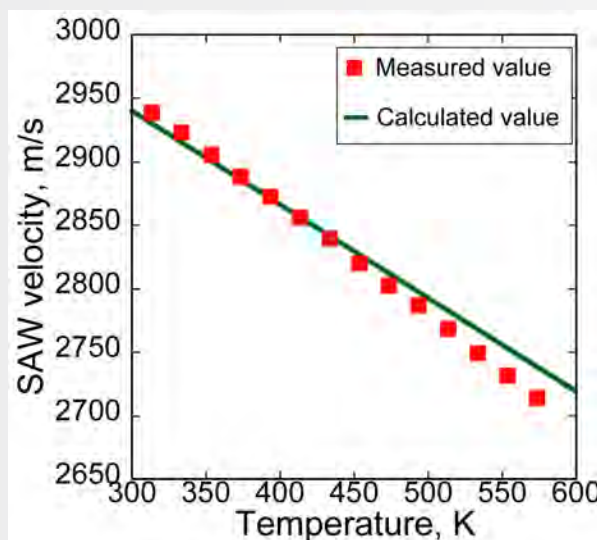
本研究は、2000K程度の高温域における光学定数と放射率の同時測定法を確立することを目的としている。高温域の放射率測定では、試料の表面温度を正確に測定することが重要である。そこで、表面波を用いた温度測定法 (SAW 法) を提案し、予備実験を行っている。SAW 法の特徴は、高温表面の温度を非接触かつ厳密に決定できることである。



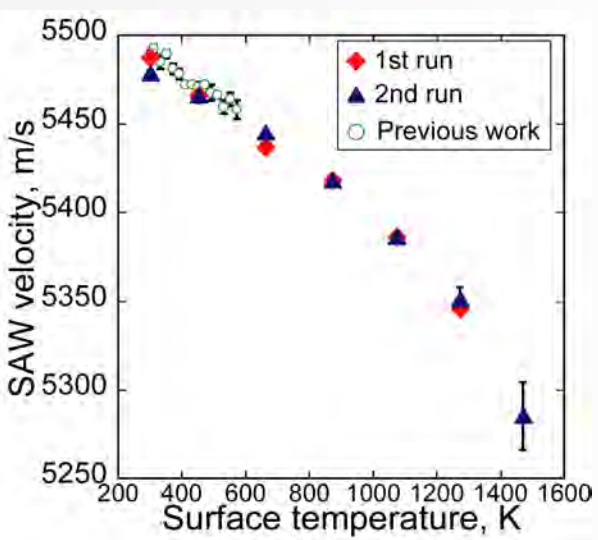
SAW 法の概念図



実験装置全体図



Al の SAW 速度



Si₃N₄ の SAW 速度

共同研究：長坂 (慶應大)