

# 金属-絶縁体転移特性を用いた宇宙用機能性熱制御材料に関する研究

島崎 一紀

## 論文の内容の要旨

内外惑星探査を行う宇宙機は、飛翔行程およびミッション遂行時において地球近傍とは全く異なる熱環境にさらされる。その宇宙機の大きな温度変化に対応するため、新たな機能性熱制御材料が望まれている。これまで宇宙分野では、電気的もしくは機械的に放射率を変化させる熱制御材料の研究がいくつか報告されている。しかし、電力および可動機構の要素を必要としない自立的な放射率可変型熱制御材料ははまだ開発されていない。本研究では、温度にのみ依存して放射率が大きく変化する熱制御材料を開発するため、ペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の室温付近における金属-絶縁体転移に着目した。まず、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の金属-絶縁体転移に伴う熱放射特性の変化を明らかにする。次いで、宇宙用熱制御材料として、その熱放射特性の機能性を高めるための多層薄膜の設計法を提案する。そして、放射率の温度変化を維持しつつ太陽光吸収率が小さくなる多層薄膜を設計・試作・評価し、最終的には従来にない宇宙用機能性熱制御材料を開発することを目的とする。

第1章に、本研究の背景および目的を概説した。

第2章では、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の熱放射特性を明らかにし、新たな宇宙用機能性熱制御材料(以後、SRDと呼ぶ)として適用することを提案した。 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の全半球放射率 $\epsilon_H$ を定常熱量法により173~373Kの温度範囲で測定し、 $\text{Sr}^{2+}$ をある一定量ドーピングした物質(SRD)の $\epsilon_H$ が室温付近において金属-絶縁体転移に伴い大きく変化することを明らかにした。同時にSRDの金属-絶縁体転移に伴う赤外分光反射率および光学定数の温度依存性を確認した。そして、 $\epsilon_H$ の顕著な温度依存性がこのような赤外光学特性の変化に起因することを明らかにした。また、積分球を組み合わせた分光光度計を用いた太陽光吸収率 $\alpha_s$ の測定結果から、SRDは $\alpha_s$ が非常に大きいという欠点を持つため、宇宙機の放熱面としてそのまま用いることが困難であることを確認した。

第3章では、遺伝的アルゴリズム(GA)を適用した宇宙用多層薄膜熱制御材料の設計法を提案した。SRDの $\epsilon_H$ の急激な変化を保持しつつ、 $\alpha_s$ がある一定レベル以下になる多層薄膜の設計方法についてGAを基本に構築した。本設計法では、GAの特徴により多層薄膜に使用する物質の選択・組合せ・膜厚を同時に最適設計することを可能とした。また、分光反射率を積分した $\epsilon_H$ および $\alpha_s$ を評価関数に組み込むことにより、目標値として分光反射率を設定する方法よりも、より自由度の大きい設計を可能にした。さらに、SRDの光学定数の温度依存性を考慮することにより、熱放射特性の大きな変化を推算することができた。そして、簡単な多層薄膜のモデルを設計することにより、GAによる解の収束性などの性能評価を行った。本設計法を用いることにより、任意の熱放射特性を有する

宇宙用多層薄膜熱制御材料の設計が可能であることを示した。

第4章では、前章で構築した設計法により、SRDの $\epsilon_H$ の温度依存性を保持しつつ、 $\alpha_s$ を0.3以下に設計することができた。そして、設計した多層薄膜を試作し、その性能の評価を行った。具体的には、SRD表面に電子ビーム蒸着法により9層の多層薄膜を試作し、 $\epsilon_H$ の173～373Kにおける温度依存性と $\alpha_s$ を求めた。その結果、 $\alpha_s$ は設計値の0.24に対して実験値は0.28となり、 $\epsilon_H$ の温度依存性についても推算値に非常に良く一致することを確認した。

第5章に、SRDを従来の熱制御材料と比較することにより、宇宙用熱制御材料としての性能評価を行った。また、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。

以上