

論文名：宇宙環境下での高分子材料からのアウトガス付着量のシミュレーションとその付着防止に関する研究

生産科学研究科物質科学専攻

浦山 文隆

宇宙からの天体観測や地球観測に使用する観測機器の高感度化、高分解能化が進むにつれ、宇宙機自身を発生源としたコンタミネーションの問題がますます懸念されている。軽量化のために様々な高分子材料が宇宙機に使用されており、高分子材料から放出される低分子有機物のアウトガス分子が宇宙機自身の表面へ付着し汚染する現象が古くから知られている。このアウトガス付着物は熱制御材の太陽光吸収率の増加や光学系の反射率・透過率の低下を引き起し、ミッションへ悪影響を及ぼす。ミッションに対する定量的な影響を事前に把握し対策を施すためには、宇宙環境下での高分子材料からのアウトガス付着量を予測する必要があるが、我が国における予測技術の研究はその緒についたばかりである。一方、宇宙でのアウトガス付着物の除去方法の開発が必須であるが、現時点で実用化されている手法は光学系を室温より若干高い温度にヒータで加熱して付着物を蒸発させる手法のみである。

本研究では、まず、宇宙環境下でのアウトガス付着量のシミュレーションに必要な数学モデルの構築、シミュレーション技法の確立を目的とした。次に、宇宙に豊富にある太陽紫外線(UV)を有効活用し、特別な機構を必要としない光触媒によるパッシブなアウトガス付着防止に着目し、光触媒とアウトガスモデル物質に対する真空中 UV 照射実験により、光触媒の有効性に関する基礎的知見を得ることを目的とした。

第1章では、本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、『アウトガス付着量のシミュレーションにおける数学モデルの構築』について述べた。真空中でのアウトガス測定試験データより、アウトガス速度の時間依存性はべき乗関数で表現することが適切であることがわかった。アウトガス速度の温度依存性については、100°Cの温度範囲では必ずしもアレニウス式に従わず、材料毎に異なることがわかった。アウトガス分子の輸送には、分子同士の衝突散乱のない直接フラックスモデルを適用できることを確認した。被汚染面の温度と付着係数の関係については、アウトガス成分数に対応した変曲点が存在すると推測され、単純な関数

で近似することが困難であることがわかった。

第3章では、『太陽観測衛星「ひので」データを用いたアウトガス付着量シミュレーションモデルの評価』について述べた。「ひので」のフライトにより収集された温度データを基に、提案したシミュレーションモデルを評価した。その結果、入射光強度が1太陽定数以下の環境にある光学系では、アウトガス付着量のシミュレーション結果から換算した太陽光吸収率  $\Delta \alpha_s$  はフライトデータと同程度となり、シミュレーションモデルが妥当であることを実証した。太陽定数とは、地球大気圏外で太陽に正対する面への単位面積・単位時間当たりの太陽光輻射量であり、 $1.37 \text{ kW/m}^2$  である。入射光強度が1,500太陽定数の環境にある光学系においては、 $\Delta \alpha_s$  はフライトデータを下回った。このような環境下では、無機物表面の吸着分子の脱離、汚染源となる高分子材料の温度上昇、UVによる付着物の継続的な暗色化も考慮した上でシミュレーションモデルを構築する必要があることがわかった。真空中UV照射実験より、アウトガス分子の付着厚が薄いほどその付着物の単位厚さ当たりの光吸収係数  $\alpha_c$  は大きくなる傾向が観察された。このため、付着厚に対応した  $\alpha_c$  の決定も必要であることがわかった。

第4章では、『真空環境下での光触媒によるアウトガス付着防止』について述べた。実験の結果、 $10^{-4} \sim 10^{-1} \text{ Pa}$  程度の真空中UV照射下でも代表的な光触媒である二酸化チタン  $\text{TiO}_2$  にはアウトガスモデル物質の重量減少率を高める効果（分解効果）があることを見出した。また、モデル物質との接触面積が大きい  $\text{TiO}_2$  超微粒子のほうが  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Ti(OH)}_x$  粒子よりもモデル物質の重量減少率をより高める効果があることを確認した。真空中で  $\text{TiO}_2$  薄膜にUVを照射すると  $\text{TiO}_2$  薄膜自体の光学的変化がみられ、長波長側の透過率が低下することが判明した。その原因の一つとして、 $\text{TiO}_2$  薄膜表面の格子酸素欠損の可能性が挙げられる。一方、汚染分子が  $\text{TiO}_2$  薄膜に付着すると付着物が反射防止膜として作用し、透過率が増加する傾向があることがわかった。

第5章では、本研究の総括を行うとともに、今後の展望について述べた。