

宇宙光学望遠鏡の鏡材料の低エネルギー陽子線に対する熱光学特性変化の評価

Evaluation of resistance to low-energy protons in thermo-optical properties of mirror materials

上野 遥¹⁾ 水谷 忠均¹⁾ 今泉 充¹⁾

Haruka UENO Tadahito MIZUTANI Mitsuru IMAIZUMI

¹⁾宇宙航空研究開発機構

(概要)

宇宙航空研究開発機構 研究開発部門では、高度約 36,000 km の静止軌道から約 7 m の地表面分解能で 100 km 四方の面積を観測できる光学望遠鏡搭載衛星の研究開発を行っている。光学望遠鏡用鏡体基材候補材料の宇宙環境耐性評価の一環として、熱光学特性（太陽光吸収率 α と垂直赤外放射率 ε ）の放射線耐性を評価した。候補無機材料 2 種（各コーティング 2 種）に対して、TIARA の低エネルギーイオン照射装置を用いて 20 年間の運用想定時の鏡最表面での予測累積線量の 5%、10% を段階的に照射し、照射後に熱光学特性を測定した。 α では、 SiO_2 保護膜の有無によらず評価材料全てにおいて高くなった。一方 ε では、1 種の材料で保護膜の有無にかかわらず高くなった。本試験で得られたデータにより、鏡体におけるワーストケースの望遠鏡の軌道上熱解析が可能となった。

キーワード：宇宙放射線、宇宙環境耐性、コーディエライトセラミックス、低熱膨張ガラス

1. 目的

静止軌道で運用される宇宙光学望遠鏡の鏡体は、宇宙環境の中でも放射線環境への曝露により、熱光学特性（太陽光吸収率 α と垂直赤外放射率 ε ）が変化して鏡の熱変形を起こし、結果として観測性能が低下することが予測される。本研究では、望遠鏡の軌道上熱変解析において利用するため、将来の鏡体用基材候補材料について熱光学特性 α および ε の放射線による影響を評価する。

2. 実施方法

本研究では、鏡基材への適用材料候補として、低熱膨張ガラスとコーディエライトセラミックスを供試体とした。鏡の層構造としては、基材にまず銀蒸着を行い、保護膜として最表面に SiO_2 をコートするというものが検討されている。保護膜から蒸着部までの厚さは数 100 nm である。放射線による劣化が発生した層を識別するため、①金属蒸着あり／保護膜なし、②金属蒸着あり／保護膜ありの 2 種の表面加工パターンで準備した。供試体の大きさは、20 mm×20 mm×3 mm t、うち金属蒸着面は 16 mm×16 mm とした。銀蒸着のみのサンプルは保管時に酸化する可能性があるため、試験・測定以外の保管時には保管袋の空気を抜き密閉することで、酸化防止の措置をとった。

放射線粒子としては陽子を選択した。エネルギーおよび照射量の設定は、静止軌道の放射線環境における Al に対する Dose-depth curve[1]を参考にした。最表面部分を表面下約 100 nm と定義すると、その劣化評価は 30 keV 陽子線をフルエンス $5.0\text{E}+16$ proton/cm² 照射することが適当と判断された。

TIARA の低エネルギーイオン注入装置を用いて、総照射量に対して 5%、10% と段階的に 30 keV 陽子線を照射した。ビーム電流は 400 nA、照射エリアは約 25 mm×25 mm に設定した。マシンタイムの都合により照射量が運用想定総線量の 10% に留まったが、本試験によって有意な変化が確認された場合には、今後の追加試験が必要と判断される。まず照射直後に TIARA にて吸収率の簡易測定を実施し、後日筑波宇宙センターで実測定を実施した。この 2 データを比較することで回復効果を評価した。 α と ε は、次の式から計算される。

$$\alpha(\theta) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{1 - R(\lambda, \theta)\} I_s(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_s(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

$$\varepsilon(\theta) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{1 - R(\lambda)\} I_B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_B(\lambda, T) d\lambda}, \quad (2)$$

ここで、 $I_s(\lambda)$ は太陽放射エネルギー、 $R(\lambda, \theta)$ は吸収率、 θ はサンプル表面への入射角度、 I_B は温度 T での黒体放射エネルギーである。

3. 結果及び考察、今後の展開等

熱光学特性（サンプル数 $N=2$ の平均値）の照射量に対する変化を図1, 図2に示す。なお、有意なサンプル個体差は確認されなかった。 α では、コーディエライトセラミックスでは保護膜ありの場合 7.0%, なしの場合 9.1%増加した。低熱膨張ガラスでは保護膜ありの場合 6.4%, なしの場合 4.7%増加した。また ε では、コーディエライトセラミックスでは保護膜ありの場合 6.5%, なしの場合 11.4%減少したが、低熱膨張ガラスでは保護膜ありの場合 47.2%, なしの場合 53.2%増加した。

全体として保護膜の有無によらず同様の変化が確認されたため、変化が生じているのは保護膜より深い層であることが推測される。これらの変化の鏡の熱変形に対する影響については、今後評価を行っていく。

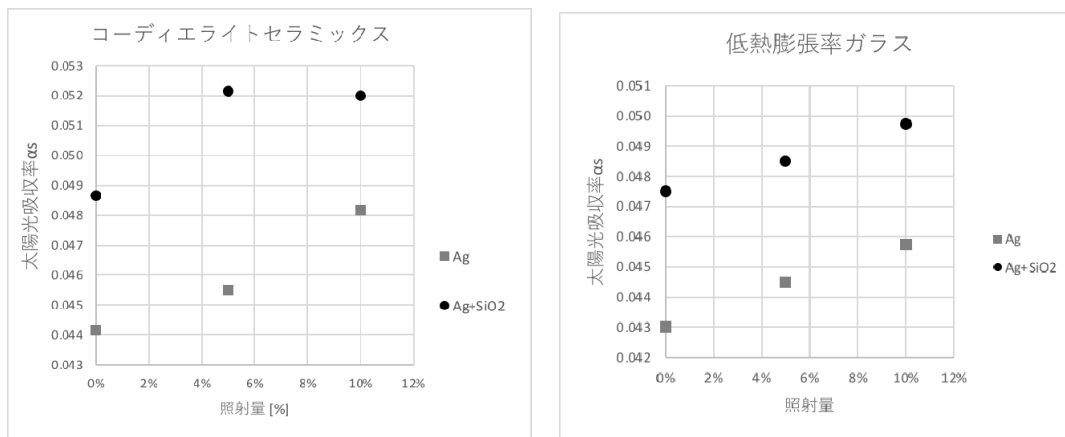


図1 各材料・表面パターンにおける太陽光吸収率 α の照射量に対する変化

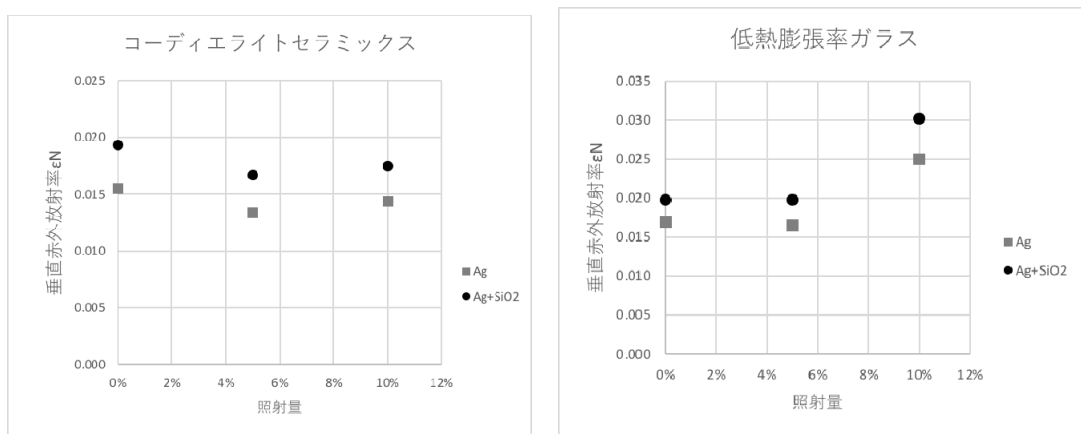


図2 各材料・表面パターンにおける垂直赤外放射率 ε の照射量に対する変化

4. 引用(参照)文献等

- [1] ISO 15856:20, Space systems – Space environment – Simulation guidelines for radiation exposure of non-metallic materials