

電子線照射とガンマ線照射による熱制御材劣化の地上評価

Electron and Gamma beam irradiation test for Thermal control device
to evaluate the degradation on the ground

柴野 靖子¹⁾ 太刀川 純孝¹⁾ 金城 富宏¹⁾ 小川 博之¹⁾

Yasuko SHIBANO Sumitaka TACHIKAWA Tomihiro KINJYO Hiroyuki OGAWA

1) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

(概要)

宇宙機に使用される熱制御材は宇宙機の表面に搭載され長期間宇宙空間に曝され、軌道上で経年劣化が生じる。放熱面材料の劣化は排熱効率の低下につながるため、設計時に劣化を想定したマージンを考慮して実施する必要がある。近年、ミッションの多様化により、放熱面材料に対して熱光学特性以外にも表面導電性やフレキシブル性が強く求められるようになってきた。そのため、これまでに実績のある放熱面材料だけでは熱設計やミッション要求を満たすことが難しくなっている。そこで本研究では、新規の放熱面材料の開発や国内搭載実績のない材料を用いて電子線照射試験を行い、耐性を評価する。吸収線量に依存した劣化データを取得することで、劣化進行度合いの把握と、劣化予測のための参考データを取得し、宇宙機の End of life の設計データとして使用されることが期待される。これまでの研究で、銀蒸着テフロンに対して電子線照射を行い、接着剤を含めた材料の各層において劣化が進行し、熱光学特性には大きな影響を与えないこと、吸収線量に依存して強度の劣化が継続して進行することが分かった[1]。

そこで今年度は、銀蒸着テフロンに代わる既存の放熱面材料である白色塗料と新規開発のフィルム状やタイル状の放熱面材料について評価を行い、吸収線量に依存した劣化評価を実施し、その劣化曲線を得た。特に今年度は軌道上での長期利用を想定し 40MGy の線量まで照射を行い、その劣化特性を取得した。また、開発中の透明ポリイミドを基材とした放熱面材料や電波透過性の熱制御フィルムである Controlled Optical Surface Film(COSF)についても電子線耐性の評価を継続して行った。

キーワード：衛星、放熱面、白色塗料、電子線、透明ポリイミド、COSF

1. 目的

宇宙機の開発において、10 年以上の長寿命化や、月や火星表面やその他の惑星でのミッションが検討されている。宇宙機からの排熱には輻射が利用されるため、放熱面には、高赤外線放射率で低太陽光吸収率の材料が選択される。宇宙空間に曝される放熱面は放射線環境や紫外線、原子状酸素、温度サイクルによって熱光学特性が劣化する。特に放射線による劣化においては熱光学特性だけでなく、材料自身の強度の劣化なども懸念される。そこで、放熱面材料の 1 つである導電性白色塗料を用いて、地上で電子線照射の加速試験を行い、吸収線量に依存した劣化状況を把握する。静止軌道 15 年程度を目標にした衛星や、火星までの航行中を想定した照射線量まで照射を行い、熱光学特性に及ぼす影響と導電性の影響を評価する。

2. 実施方法

貴機構所有の一号加速器にて、水冷チェンバ付き真空チェンバを用いて試験を実施した。一号加速器は一度に広い面積を均一に照射できる装置である上、冷却水を使って照射中のサンプル温度を一定に保つことができる。本試験では、材料を十分に通過する 1MeV の電子線を用いて、電子フラックス 0.65mA で試験を実施した。チェンバ内は大気中に含まれる酸素がオゾン化することによるサンプルの劣化を防ぐため、窒素置換を 3 回実施したのち、真空引きを行い、真空度 10Pa 以下で試験を実施した。水冷によってサンプル温度は 50℃以下に保たれている。照射は断続的に行い、目標の吸収線量に到達したサンプルは入れ替えを行いながら試験を実施した。また、装置の線量分布を調べるため、貴機構の宇野様、山崎様にご協力頂き、試験環境と同等の環境における線量測定を実施した。

本試験の試験サンプルを Table1 に示す. APTEK 社の無機系導電性白色塗料 APTEK2711 と有機系導電性白色塗料 APTEK2719 を用いてサンプルを作成した. サンプルは全てアルミ板に塗布されており, 塗料の膜厚は 80~100 μm である. 照射線量は 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40MGy の 10 通りで試験を行った.

Table 1 供試体一覧

試験番号	材料名
1	無機系導電性白色塗料 APTEK 2711
2	有機系導電性白色塗料 APTEK 2719

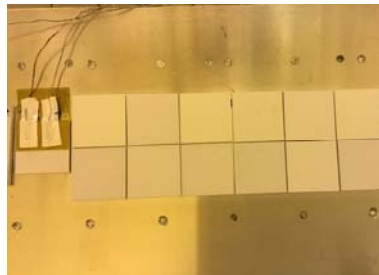


Fig.1 試験サンプル写真

3. 結果及び考察, 今後の展開等

電子線照射後, 目視観察での変化は確認されなかった. 試験前後の熱光学特性(太陽光吸収率 α_s , 垂直放射率 ε_N)を比較し, その変化量を Fig.2 に示す. APTEK2711 において熱光学特性の劣化はほとんど見られなかったが, APTEK2719 では吸収線量の増加に伴い, α_s が増加する傾向にあることが分かる. ただし, 20 MGy 以上程度の線量以上ではほとんど変化が無い. また, 材料の表面導電性を計測した結果, APTEK2711 においては 2.5MGy までに 2 桁以上劣化しているが, 線量に依存した劣化は見られなかった. 一方で, APTEK2719 においては吸収線量が増加するにつれて抵抗値が低下傾向となることが分かった. さらに, 抵抗値も熱光学特性の変化と同様に 20 MGy 以上ではほとんど変化する様子は見られなかった.

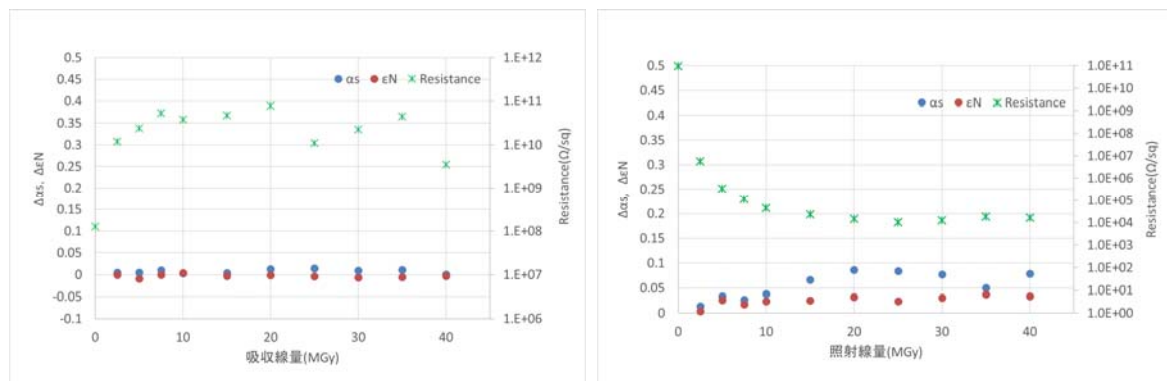


Fig.2 APTEK2711 と 2719 の熱光学特性と表面抵抗値の変化

本結果から, 珪酸塩ベースの無機系導電性白色塗料 APTEK2711 は, 高い吸収線量においても熱光学特性にほとんど劣化せず, 熱性能には影響を与えないことが見込めると推測される. シリコン系の有機系導電性白色塗料 APTEK2719 においては 20 MGy 程度までは劣化が進行するが, それ以上の吸収線量では劣化が進行しないか, 劣化進行速度が十分に遅くなると考えられる.

また, 昨年までの電子線照射試験において, 10 MGy 程度まで照射した際には APTEK2719 において, 亀裂が生じる劣化が見られていた. しかし, 今年度の試験ではそれ以上の吸収線量の条件に曝したが, 亀裂などの劣化は確認されなかった. そこで, 材料の強度特性を取得するため, 粒子と水のスラリーを衝突させて一度に削られる量を比較するエロージョン試験を比較することで, その劣化を評価した. 試験サンプルには APTEK2719 の未照射のサンプルと 25 MGy 照射後のサンプルを用いてエロージョン試験を実施した. 結果を Fig.3 に示す. スラリーの照射量に対する深さ方向への浸食量を比較すると, 未照射の

場合は約 3 $\mu\text{m/g}$ の変化であるが、25 MGy では約 28 $\mu\text{m/g}$ となり、9.3 倍程度の差が生じていることが分かった。今回の試験では亀裂などは観察されていなかったが、電子線照射によって脆化が進み、材料の強度が落ちているため、熱衝撃などが生じる場合には亀裂などが現れる可能性も懸念される。今後は、吸収線量に対する脆化の進行度合いや化学組成の変化の評価は来年度実施する予定である。

白色塗料の評価に加えて、開発中の新規材料として、透明ポリイミドを用いたフィルム材、多層薄膜を用いた COSF などの試作品に対しても電子線照射を行い、熱光学特性の劣化評価を継続して実施している。来年度も継続して耐性評価を実施する予定である。

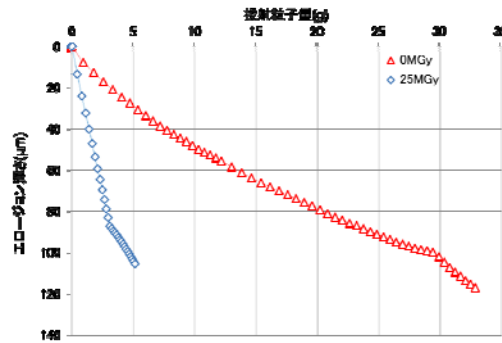


Fig.3 エロージョン率の比較

4. 引用(参照)文献等

- [1] 柴野靖子, 太刀川純孝; 「エロージョン試験を用いた熱制御材の強度劣化評価」. 第 63 回宇宙科学技術
連合講演会講演集, 2018, 2F14