課題番号<u>2019A-C16</u> 利用区分 成果公開(学術)

宇宙機に使用する熱制御材の電子線劣化評価

Evaluation of electron beam degradation of thermal control materials used in spacecraft

柴野 靖子¹⁾ 金城 富宏¹⁾

Yasuko SHIBANO Tomihiro KINJYO

1)国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

(概要)宇宙機表面に搭載する断熱材や放熱面材料は直接宇宙環境に曝露されるため、軌道上で使用する前に地上での評価試験が必要となる。特に宇宙には Van Allen 帯や木星のように放射線環境が非常に厳しい領域が存在しており、そこでは電子線による材料劣化が進行する。そこで本研究では新規開発中の導電性を有する白色塗料と ITO 付き銀蒸着ポリイミドの 2 つの放熱面材料に対して、電子線照射を行い、熱光学特性の劣化進行度合いを評価した。その結果、可視的な劣化は見られないが、材料によって太陽光吸収率の変化があり、吸収線量に依存した劣化度合いを確認し、今後の開発の検討につながった。

キーワード:宇宙機の放熱面材料,導電性白色塗料,IT0 付き銀蒸着ポリイミド

1. 目的

宇宙環境において、Van Allen 帯や木星のような放射線環境では電子線による熱制材料の劣化が 懸念される。宇宙機の放熱面には太陽光の吸収を防ぎ、かつ衛星内部からの排熱を効率よく行うた めに、太陽光吸収率が低く赤外線輻射率が高い熱光学特性の材料が選択される。材料の劣化によっ て、熱光学特性の変化や材料自身の破損などが生じると、想定されている放熱能力を失い、熱設計 が成立せず衛星が高温になってしまう可能性がある。そのため、軌道上で使用する前に、地上試験 において軌道上で想定される吸収線量の電子線を照射し、その劣化特性をもとに軌道上の劣化を予 測する必要がある。そこで、本研究ではより低抵抗の導電性を目指して開発中の白色塗料と、これ まで使用してきた銀蒸着テフロンのテフロン層を電子線に強い透明ポリイミドに変更した材料に ついて電子線照射試験を行い、可視的な劣化の有無と熱光学特性の劣化度合いを評価し、開発品の 軌道上での使用実現性検討を進める。

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.照射中のサンプル温度は水冷により50℃以下になる.電子線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.

本試験の試験サンプルは 30 mm × 30 mmのサイズのアルミプレートに導電性白色塗装 3 種類をそれ ぞれ 60 μ m の厚さで成膜したものと ITO 付き銀蒸着ポリイミド 2 種類をテープで貼り付けた状態で 照射を行った。試験条件と各サンプルの初期の熱光学特性を Table 1 に示す。太陽光吸収率 α_s は U-4100 で計測し、赤外線放射率 ε_N は TESA2000 で計測した。

導電性白色塗料について、開発品1は粒子自身が導電性を使用した塗料、開発品2は粒子に非導電体の粒子に導電性コーティングされた粒子を使用した塗料、開発品3は開発品1の粒子に開発品2と同じコーティングの繊維状の粒子を混合した塗料である。

ITO 付き銀蒸着ポリイミドは透明のポリイミドの片面に銀蒸着、もう片面に ITO コーティングを施したフィルムである。これまでの評価において、UV 劣化が顕著であったため、ITO コーティング に加えて UV コーティングもつけたフィルムも準備した。最外層はどちらも ITO コーティングとなるようにコートしている。

課題番号<u>2019A-C16</u> 利用区分 成果公開(学術)

| サンプル名 | 電子線吸収線(MGy) | 初期の熱光学特性($\alpha_{s}/\varepsilon_{N}$) |
|-----------------------|-------------|--|
| 導電性白色塗料(開発品1) | 5, 10, 20 | 0. 286/0. 961 |
| 導電性白色塗料(開発品 2) | 5, 10, 20 | 0. 142/0. 971 |
| 導電性白色塗料(開発品3) | 5, 20 | 0. 311/0. 970 |
| ITO 付き銀蒸着ポリイミド | 20 | 0. 171/0. 777 |
| ITO 付き銀蒸着ポリイミド(UV 対策) | 20 | 0. 141/0. 771 |

Table1 試験サンプル一覧

3. 結果及び考察、今後の展開等

導電性白色塗料について、電子線照射後には塗膜の剥がれや亀裂などの可視的な変化は観察されなかった。 そして、太陽光吸収率が増加するが、赤外線放射率の変化は見られなかった。太陽光吸収率について吸収線 量に対する変化量を Fig. 1 に示す。開発品 1 については吸収線量に依存して Δ α_sが増加傾向を示したが、 開発品 2 と 3 は吸収線量によらず、ほぼ一定の劣化が生じることが分かった。また、Fig. 2 に示すように、 吸収線量に依存した表面抵抗率を計測したところ、開発品 1, 2 は抵抗値が 2 桁程増加してしまうが、開発品 3 については抵抗値が下がる傾向が見られた。

本結果から、初期の α_s 値が最も低く、電子線照射による熱光学特性の変化が小さく抑えられる白色塗装 は開発品 2 である。しかし、表面抵抗率については増加する結果となったため、今後、電子線によって導電 性が増加する理由の検証を進め、改良の検討を進める予定である。

また、ITO 付き透明ポリイミドは、可視的な劣化は見られず、太陽光吸収率のみが増加し、赤外線放射率 はほとんど変化しないことが分かった。Table.2 に測定結果を示す。UV コートを有するフィルムが劣化量は 大きいが初期値が小さいため、劣化後でも ITO コートだけのフィルムよりも劣化量が低く抑えられる。紫外 線耐性の面からも UV コートのある方が適しているため、UV コート有りのサンプルについてさらに他の要因 による耐性評価を実施し、今後の実用化を進める。



Fig.1 吸収線量に対する太陽光吸収率の変化



Fig.2 吸収線量に対する表面抵抗率の変化

課題番号<u>2019A-C16</u> 利用区分 <u>成果公開(学術)</u>

Table.2 ITO 付きポリイミドの熱光学特性の変化

| サンプル名 | 変化量($\Delta \alpha_s$) | 照射後の熱光学特性(α_s) |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ITO 付き銀蒸着ポリイミド | 0.028 | 0.199 |
| ITO 付き銀蒸着ポリイミド(UV コート有) | 0.045 | 0.186 |