

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 of Thermal control device
on the ground柴野 靖子¹⁾ 太刀川 純孝¹⁾ 小川 博之¹⁾宇野 定則²⁾ 山崎 翔太²⁾ 山縣 諒平²⁾

Yasuko SHIBANO Sumitaka TACHIKAWA Hiroyuki OGAWA

Sadanori UNO Syota YAMASAKI Ryohei YAMAGATA

1) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

2) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

量子ビーム科学研究部門高崎量子応用研究所

（概要）

宇宙機の最外層に搭載される放熱面材料などは、宇宙の放射線環境などに直接曝露されるため、劣化量や劣化箇所を理解し、それぞれの衛星の軌道やミッションに合わせた適切な材料選択を行うことが重要である。そこで衛星に使用する熱制御材（銀蒸着テフロン、白色塗装など）を衛星に搭載される形態と同じ接着剤を含めたサンプルで電子線を照射し、トータルフルエンスに対する劣化度合の評価を行った。その結果、銀蒸着テフロンの素材の劣化はテフロンの厚さに依存していることが分かった。また、電子線を照射したサンプルについてエロージョン試験や引張試験を実施し、その劣化を定量的に計測した。電子線照射の結果、白色塗装については表面導電性の変化、ITO 付き銀蒸着テフロンについては ITO 層の劣化が観察されたが、これらのメカニズムの解明は今後の課題である。加えて本機構で開発した新規材料の COSF については、層構造の異なるサンプルで試験を実施したが、どの構造においても電子線耐性があることを確認することができた。また、熱制御材劣化の照射レート依存性を検証するため、ガンマ線での照射試験を検討した。実際に試験を実施してその試験手法を確立することができた。電子線照射試験と同等の線量による比較は今後の課題である。

キーワード：

衛星、放熱面、銀蒸着テフロン、転写テープ、白色塗装、黒色塗装、COSF、電子線、ガンマ線

1. 目的

宇宙機開発において衛星の最外層を覆う熱制御デバイスは長期間宇宙空間に曝されることで、放射線や熱サイクルなどにより劣化が進行する。科学ミッションが高度化するにつれて、ミッションによってはこれまでにない厳しい放射線環境に耐える材料や衛星の長寿命化に耐える材料を選択することが求められるようになってきた。ミッション要求に合わせた適切な材料選択が必要で、そのためには宇宙環境が熱制御材に及ぼす劣化作用の十分な理解が必要である。例えば放熱面材料が劣化すると、太陽光反射率や排熱効率が減少することで衛星が高温化し衛星やそのコンポーネントの寿命に影響を与えるが、その材料の耐環境性だけでなく「熱制御」という観点での評価が重要である。すなわち、実際に衛星開発の現場で使用されている材料に対して、その搭載方法も模擬して、材料の観点だけでなく熱制御の観点も含めた軌道上の劣化予測を行うことが重要となる。各ミッションによって材料が曝される宇宙環境が異なるため、多様なフルエンスで系統的な劣化試験データを取得することが必要である。また、材料による劣化箇所（表面光学特性の劣化、材料自体の劣化、接着面などの搭載面の劣化）を切り分けることで劣化メカニズムが分離でき、材料や搭載方法の選択のための知見が得られる。そこで本研究課題では、種々の熱制御材について衛星実機での使用を想定した搭載方法で照射サンプルを作成し、これらについて電子線照射試験を実施しトータルフルエンスに対する劣化および劣化箇所について評価を行う。また、地上試験ではマシン性能や試験時間の制約から加速試験となるが、照射レートによる劣化の差異を調べるため、電子線照射サンプルと同等のサンプルについてガンマ線照射試験を実施し、その差を評価する。長期間のガンマ線照射方法の確立を目指す。

2. 実施方法

本課題において①電子線照射試験と②ガンマ線照射試験を実施した。

- ① 電子線照射試験について、高崎量子応用研究所保有の水冷チャンバを使用し、1MeV のエネルギーにて電子フラックス 0.628nA の電子線照射試験を実施した。チャ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ってサンプルに影響を及ぼすことを防ぐため、室素置換を 3 回実施してから照射を開始した。また照射中は 3Pa 程度の真空環境にて試験を実施した。さらに照射中にサンプルが高温になることを防ぐため、水冷によって最大 50℃程度で試験を実施した。照射は断続的に行い、目標のトータルフルエンスに到達するまで試験を実施した。また、装置の線量分布を調べるため、試験環境と同等の環境における線量測定を実施した。本試験で使用した試験サンプルの一覧は表 1 に示す。
- ② ガンマ線照射試験について、照射室内の湿度や大気中の酸素のオゾン化による影響を受けずに長期間試験を実施するため、専用の真空照射チャンバを製作して試験を実施した。照射室は最高照射強度 10kGy/h となる第 6 照射室を使用した。試験時の照射線量の推定は、試験終了後に真空試験チャンバ内にアラニン線量計を入れて計測を行った。試験を実施したサンプルは表 2 に一覧を示す。

表 1 電子線照射試験サンプル一覧

試験番号	材料名
1	ITO 付き銀蒸着テフロン (5mil) + 9703
2	ITO 付き銀蒸着テフロン (5mil) + S-692
3	ITO 付き銀蒸着テフロン (10mil) + 9703
4	APTEK 2711
5	APTEK 2719
6	AZ-2000
7	AZ-2100
8	UPI White
9	COSF
10	S-692 (単体)
11	ZYLON

表 2 ガンマ線照射試験サンプル一覧

試験番号	材料名
1	ITO 付き銀蒸着テフロン (5mil) + 9703
2	ITO 付き銀蒸着テフロン (5mil) + S-692
3	F-OSR

3. 結果及び考察、今後の展開等

それぞれの試験結果を評価する。

① 電子線照射試験

銀蒸着テフロンについて、昨年度はテフロン層が 5mil の材料を採用したが、今回は厚さが 2 倍の 10mil のサンプルも同時に照射し、それぞれの劣化状況を確認した。図 1 にトータルフルエンスの異なる試験結果を示しており、テフロンの厚さが 10mil のサンプルは厚さ 5mil のサンプルに対して亀裂が入るまでのトータルフルエンスが多いことが明らかになった。接着剤も含めたサンプルについては、照射試験後にエロージョン試験を実施し、銀蒸着テフロン単体のサンプルについては引張試験を実施して、その劣化量を評価した。図 2 に引張試験結果を示しており、電子線照射前と電子線照射後ではあるが亀裂が入る前のサンプルで伸び率を比較しているが、その変化量は大きく、従来の材料特性が失われていることが明らかになった。今後、これまで注目していなかった照射量が少ない領域での照射を実施し、トータルフルエンスに沿った強度評価を行い、劣化進行度合いを推測することが課題である。また、本試験で使用した銀蒸着テフロンの表面に ITO 層がコーティングされているが、電子線による劣化については今後検証を進める予定である。

白色塗装については 3 つのメーカーが販売している導電性白色塗装 5 種類 (UPI White, AZ-2000, AZ-2100, APTEK2711, APTEK2719) を用いて試験を実施した。それぞれの白色塗装について目視観察や熱光学特性の劣

化はほとんど見られなかったが、導電性については電子線照射前後で値の増加・減少があった。しかし、真空にするだけでも塗装に含まれる分子の状態に影響を与えることなどが報告されている例もあり、そのメカニズムを検証することは今後の課題である。

また、主要な放熱面材料の他にも新規開発の COSF、今後のミッションにおいて宇宙空間に曝露される可能性のある ZYLON や黒色塗装についても電子線照射試験を実施したが、目視観察や熱光学特性の劣化は見られなかった。今後もこれらの材料については検証を進める予定である。

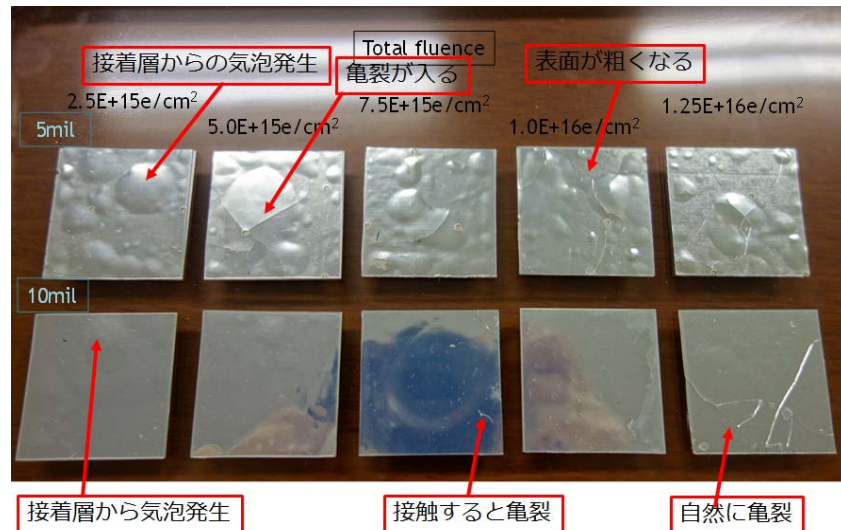


図 1：銀蒸着テフロンの特ータルフルエンスに対する劣化進行度合い

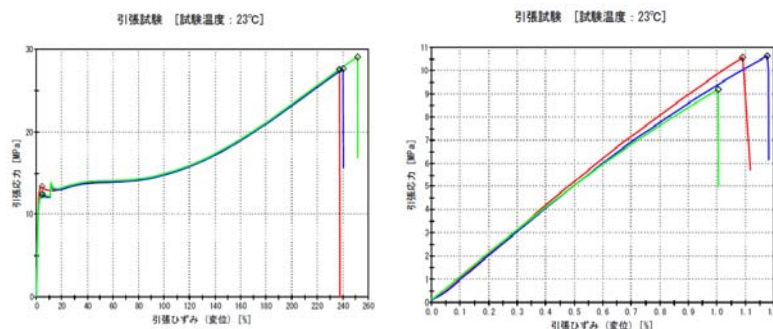


図 2：電子線照射前(左)と $2 \times 10^{15} \text{eV/cm}^2$ の電子線照射後の引張試験結果

② ガンマ線照射試験

昨年度から長期間照射に耐えられる試験方法を検討しており、専用の真空チェンバを用いることで、真空環境下において約 1700 時間(線量は 12MGy 程度)の試験を実施することができた。試験の結果、昨年度の試験においては、ガンマ線の照射によっても接着テープの浮きが観察されていたが、本試験条件では照射線量は増加しているにもかかわらず、接着層の浮きは観察されなかった。ただし、電子線照射試験で実施した線量とは異なるため、照射レートに注目した比較は難しいため、平成 29 年度の試験において検証を進める予定である。