

熱制御材の材料評価

Performance evaluation for thermal control materials

柴野 靖子¹⁾ 太刀川 純孝¹⁾ 小川博之¹⁾

Yasuko SHIBANO Sumitaka TACHIKAWA Hiroyuki OGAWA

¹⁾ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

(概要)

衛星の放熱面に使用される熱制御材は衛星の最外層に搭載され、長期間宇宙空間に曝されることにより、放射線や熱サイクルなどの宇宙環境を受ける。そして材料が経年劣化し、衛星の排熱効率に影響を与える。そのため、衛星寿命の最後にどの程度まで劣化するかを把握することが必要である。そこで、複雑な宇宙環境の一つである放射線劣化について検証するため、放熱面材料に電子線を照射し、劣化評価を行った。また、照射レートが劣化に影響を及ぼさないかを評価するため、ガンマ線を用いて同種のサンプルに照射試験を実施した。昨年度に引き続き評価を行った銀蒸着テフロンでは、照射量に依存して脆化が進み、1MeVの電子線の場合は1.0MGyで伸縮性を失うことが明らかになった。ガンマ線においても同等の結果を得ており、強度劣化は照射レートによる影響は生じないと考えられる。また、電子線に弱い銀蒸着テフロンに代わり使用できる材料として、銀蒸着透明ポリイミド(開発中)と白色塗装についても評価を行い、劣化比較を行った。

キーワード:

人工衛星, 放熱面材料, 銀蒸着テフロン, 透明ポリイミド, 白色塗装, 電子線, ガンマ線, 引張試験

1. 目的

衛星の放熱面に使用される熱制御材は宇宙空間への排熱を目的とするため、宇宙面を向いている衛星の最外層に搭載され、長期間宇宙空間に曝される。宇宙環境は、放射線や紫外線、原子状酸素、熱サイクルなどの厳しい環境にあり、それらの相互作用によって材料劣化が進行する。熱設計において、放熱面設計は衛星の寿命に関わる要素となるため、選択する放熱面材料の劣化状況を把握しておくことが必要である。また、長寿命を目指した衛星や新しい軌道環境(厳しい放射線環境や惑星表面への着陸探査など)へ挑戦するミッションなどが提案されており、これまでよりも厳しい環境の試験が必要とされる。

そこで本研究では、排熱のために使用している既存の熱制御材の銀蒸着テフロンと導電性白色塗装、新規製作中の銀蒸着透明ポリイミドについて電子線照射を行い、その劣化過程を比較・評価を行い、劣化進行度合いを検証する。また電子線の照射レートによる変化の有無を評価するため、ガンマ線を用いて同等の線量を照射する試験を行う。

2. 実施方法

2.1 電子線照射試験

試験対象材料は銀蒸着テフロン、導電性白色塗装、銀蒸着ポリイミドとして照射線量を変えて電子線照射を行った。貴機構所有の一号加速器と水冷チェンバを使用させて頂き、1.0MeVのエネルギーで電子フラックス0.628nA程度で電子線照射試験を実施した。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ってサンプルに影響を及ぼすことを防ぐため、窒素置換を3回実施してから照射を開始した。また照射中は2~10Paの真空環境にて試験を実施した。照射中のサンプルは水冷によって45℃以下で保たれていた。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。線量は昨年度に計測した値を参考に計算している。下記にサンプルの詳細を纏める。

[実験試料]

試料は2mm程度の厚みのALプレートに、30mm×30mm程度のサイズで塗装もしくは貼付ける。

- ① 銀蒸着テフロン: テフロン厚さ127 μ m程度で下面に銀蒸着層、上面にITOコーティング、接着材厚さ50 μ m程度

- ② 銀蒸着テフロン：単体(引張試験用)
- ③ 導電性白色塗装(APTEK2719)：塗布厚さ 80 μm 程度
- ④ 銀蒸着透明ポリイミド：ポリイミド厚さ 25 μm で下面に銀蒸着層、上面に ITO コーティング、
 接着テープ 50 μm 程度
- ⑤ 銀蒸着透明ポリイミド：単体(引張試験用)

2. 2 ガンマ線照射試験

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、専用の真空照射チェ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 照射室を使用させて頂いた。試験時の照射線量の推定は、試験終了後に真空試験チェンバ内にアラニン線量計を入れて計測を行う。電子線で計測された線量とアラニン線量で得られた線量を比較し、同等程度での比較試験を実施した。本試験のサンプルは強度試験用に型抜きした銀蒸着テフロン(単体)を用いた。

3. 結果及び考察、今後の展開等

銀蒸着テフロンの強度劣化を定量的に評価するために、電子線照射後に強度試験を実施した。Total dose が 0.05, 0.25, 0.5, 1.0, 1.25MGy 相当になるように照射を実施し、引張試験を実施した。電子線照射の後、試験は島津卓上万能試験機 AG-I 5KN を使用した。1.25MGy を照射したサンプルは、測定準備の際に手で触れただけで亀裂が発生し、試験に供することができなかったため、それ以外の 4 種類のサンプルで引張試験を実施した。Fig. 1 に計測結果を示す。線量が増加するにつれて、破断する際の最大負荷はほとんど変化が無かったが、ひずみ率は線形的に低下することが明らかになった。また、1.0MGy の際にはひずみ率が 1.0% 程度となっており、伸縮特性の境界が明らかになった。またガンマ線試験で得られたサンプルについて、0.5MGy と 1.0MGy の線量を照射後に同等の引張試験を実施したところ、電子線で得られた値と同等のひずみ率を得た。本結果より、銀蒸着テフロンの強度劣化については照射レートによる依存性はなく Total dose に依存して脆化が進行すると思われる。

また、ITO コーティングによる表面導電性について、同じ位置で照射前後の表面分析(XPS 解析)を実施することで導電性を失うメカニズムを確認した。その結果、電子線照射後には ITO コーティングに関係する分子数が減少していることが明らかになった。そのため、電子線照射によって表面の ITO コーティングが物理的に失われることで導電性が失われていると考えられる。

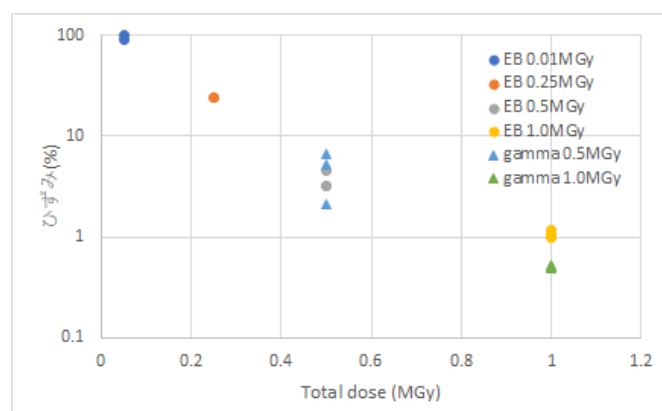


Fig.1 Total dose に依存したひずみの変化

導電性白色塗装について、これまでに 7.5MGy 程度の線量を照射しており、その際には可視での劣化は観察されていなかった。今年度は 10.0MGy 程度まで照射したところ亀裂が入ることが明らかになった。Fig. 2 にその表面写真を示す。今後、他の導電性白色塗装との比較や劣化メカニズムについて評価を進める予定である。



Fig.2 電子線照射後の導電性白色塗装

これまでの銀蒸着テフロン劣化評価結果を得て、電子線に耐性のあるポリイミドを採用した銀蒸着ポリイミドを製作した。太陽光反射率を高めるため、銀蒸着層が見えるように透明なポリイミドを選択している。また、導電性をもたせるために表面にはITOコーティングを施した。電子線照射の結果、10MGy程度の線量の際にも亀裂などの可視による劣化は見られなかった。銀蒸着テフロンと同様に1.0MGyの線量での引張試験を実施したが、ひずみ率の変化はほとんど見られず、脆化などは進んでいない上、表面導電性も保たれていた。導電性が失われることもなかったが、ITOコーティングの厚さに起因するのか、密着性に起因するのかについては来年度検証する予定である。