



1. はじめに

ジオスペース探査衛星ERGは高度約300km~30000kmの軌道において、宇宙嵐に伴うジオスペースの大変動とそれに伴う相対論的粒子生成の物理プロセスを探ることを目的としている。そして放射線帯において広いエネルギー範囲の粒子と広帯域の電磁場・波動観測を行う。そのため、衛星が経験する放射線環境はとて厳しく、その環境に耐える材料の選択が要求される。また、低エネルギーの粒子を精度よく観測するためには衛星表面の導電性を確保することも必要とされる。そこで、ERGで使用予定の熱制御材、また今後の候補となるミッションライフに低エネルギーの粒子を精度よく観測するために、衛星の表面導電性を保つことが重要である。そのため、衛星の最外層を覆う熱制御材について、耐環境性試験として電子線照射、紫外線照射、AO照射、熱サイクル試験を実施し、材料の劣化と導電性の劣化の有無を確認した。また可能な限りメーカーによる搭載方法を模倣することで、衛星開発現場での搭載方法を含めて評価試験を実施する。

2. 耐環境性試験

ERGに使用するそれぞれの熱制御材について、生じた課題に対してそれぞれの評価試験を行い、性能評価を実施した。

2.1 Black Kaptonテープ

Black Kapton 自身は放射線環境や幅広い熱環境に耐性があるが、テープとして使用する場合、そのテープ部分が問題になることが明らかになった。

テープの種類	9703(3M)	966(3M)	9703+966
導電性	○	×	○
熱サイクル試験	膨らみが発生	ERGの日照・日陰のサイクル回数では問題なし	9703の部分のみ膨らむ
放射線照射試験	ガス発生	ガス発生	ガス発生

966テープを用いて、カドを耳折りにして導通をとることで導通を確保できる方法を確立した。



966テープ部分は耐性があるが、導電性が無いため、そのまま使うことは難しい。

テープの端を折り、ブラックカプトン通しが接するようにして導通を取ることとした。その形態で、-160°C~+140°Cで熱サイクル試験を実施し、剥がれなどは生じないことを確認した。

* SELENEの開発の際にも、この方法を用いてMLIの端部処理などを実施したが、その際は安定した導電性が取れていなかった。ERGではSELENEで用いたBlack Kaptonよりも厚い種類を使用しており、この材料であれば、耳折り処置した箇所さらにテープを貼ることなしに安定した導通が確保できることを確認した。

2.2 白色塗装

ERGではMMOの際に開発されたUPI Whiteを採用しているが、さらに導電性の良い塗装について、引き続き評価試験を実施している。UPIWhiteの他にAPTEK2711とAZ-2000について評価を進めている。

塗装の種類	UPI White	APTEK2711	AZ-2000
導電性(カタログ値)	10 ⁸ Ω/sq	10 ⁶ to 10 ⁹ Ω/sq	10 ⁴ to 10 ⁶ Ω/sq
電子線照射 エネルギー:1MeV Totalフルエンス: 10 ¹⁶ /cm ²	変化無し	変化無し	変化無し
熱衝撃試験	変化なし	変化なし	高温で割れ発生



電子線に対してはどの塗装も問題はなかった。導電性はAZ-2000が最も良いものの、今回試験に供したサンプルでは高温環境に耐えられない結果となった。

2.3 OSR

ERGの放熱面にはOSRを採用することになった。OSRの最外層には表面導電性を確保するためITOコート付のものを採用した。しかし、4つの角にはITOコートが無く、1枚当たり8mm²程度は導電性が取れていない部分があることが明らかになった。電子ビームを用いて帯電試験を実施したところ、微小な面積ではあるが1000V程度にも帯電してしまう結果となった。



導電性RTV(S692)を用いて帯電箇所をカバー

帯電試験結果

導電性RTVにて、導通を確保する方法を確立した。

処置後、帯電試験を実施し、カド部の導電性が確保できたことを確認した。また、OSR上面にRTVを施工した実績がこれまでにないため、熱真空サイクルと熱衝撃試験にて剥がれや破損が生じないことを確認した。

ITO層の剥がれについて

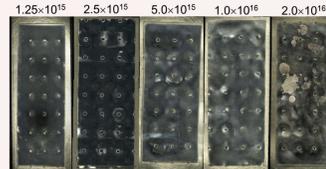
OSRのITO層はIPAなどでこすっても落ちない。しかし、電子線照射後に原子状酸素照射を実施したところ、表面導電性が失われることが明らかになった。原子状酸素照射のみの試験では、表面導電性が失われることが無かったため、電子線による劣化との相互作用である可能性が考えられる。

2.4 銀蒸着テフロン

ERG開発当初、スケジュール・コストの観点から、銀蒸着テフロンを採用されていた。また、転写テープで容易に施工できるため、曲面に貼り付けることも可能である。しかし、テフロンは電子線に弱いことが知られていた。そこで、ERGの要求に対して耐性があるか確認するために電子線照射試験を実施した。

【電子線照射試験結果】

電子線による劣化は転写テープ部分から始まり、パネルと銀蒸着テフロン間に隙間が生じる。そのため、構体パネルと銀蒸着テフロン間に隙間ができるため、期待される放熱量を賄うことができなくなる。その後、テフロン自身の劣化が生じる。材料の伸縮性を失い脆化される。手で触るとポロボロと崩れる様子が観察された。



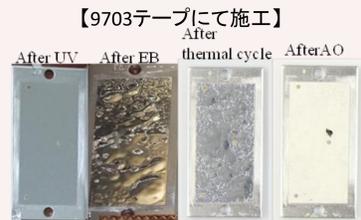
試験条件
エネルギー: 1 MeV
Totalフルエンス: 2.0 × 10¹⁶/cm²



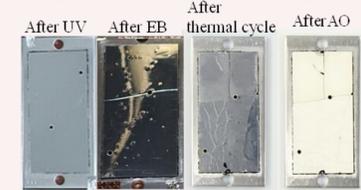
接着剤をRTVに変更したところ、サンプルの凹凸が減少し、ある程度の改善が見られた。

【複合環境試験結果】

実際の宇宙空間は電子線以外にも紫外線劣化や原子状酸素劣化、温度伸縮による劣化が生じる。これらの劣化要素について複合的に照射できる装置は無いため、より厳しい側の順番で1種類ずつの環境に曝す試験を実施した。試験条件はERGの軌道上1.5年分を目安に設定した。

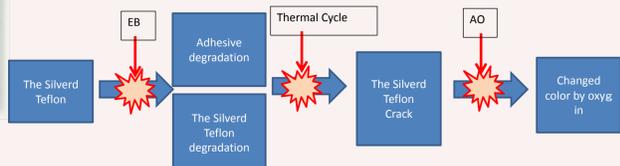


【RTV(S692)接着剤にて施工】



照射順は

紫外線 ⇒ 電子線 ⇒ 熱サイクル ⇒ 原子状酸素である。紫外線は表面の熱光学特性に影響を及ぼすことが予想されたが、変化はなかった。電子線照射は30°C程度の温度環境下で実施したところ、気泡の発生と材料の脆化が観察された。熱サイクルは1回目にて全面にヒビが入った。最後に原子状酸素を照射したところ、サンプル表面が白色になり、亀裂の部分は銀蒸着部分の参加により黒色に変色する結果となった。表面導電性は電子線照射後までは確認できたが、熱サイクル試験で表面がポロボロになってしまったので、その時点で失われている。



* 銀蒸着PEIが復刻されようとしている。銀蒸着テフロンと一緒に複合試験を実施したところ、テープによる浮きは同様に発生したものの、PEI自身は紫外線での色の変化が見られたのみであった。



F-OSRの試験前(左)と試験後(右)の写真

* 銀蒸着テフロンに原子状酸素のみを照射したところ、表面に傷ができ全体に白色化、導電性は失われる結果となった。



試験前(左)と試験後(右)の写真

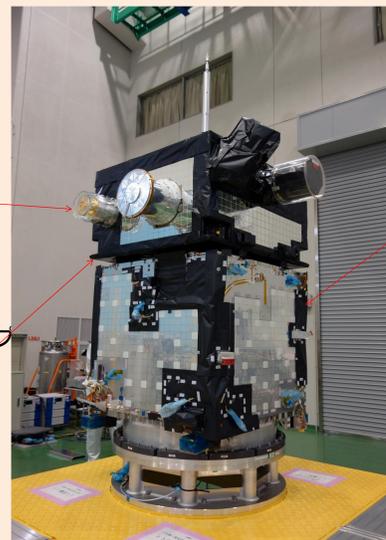
3. ERGへの反映

ミッション機器の放熱面にはUPI Whiteを使用。

MLI端部は耳折りにしてブラックカプトンテープを使用。

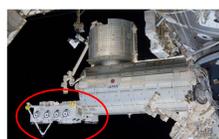
放熱面の材料はOSRに変更。

OSRの角について導電性接着剤S692で処置を実施した。



4. 地上試験の評価を受けて

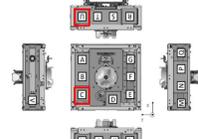
一連のERGでの材料評価試験の結果を受けて、地上評価では劣化要素の単一照射、加速試験になってしまい、実際の宇宙空間での劣化の再現は難しい。そこでISSで実施されている船外プラットフォーム(ExHAM)を用いて宇宙空間への熱制御材曝露実験に参加し、実際の宇宙空間での劣化データを取得する予定である。曝露する材料は、導電性白色塗装、放熱面に使用するフィルム材(銀蒸着テフロン、F-OSR、銀蒸着PEI)、新規開発材(SRD,COSF)である。曝露期間は1年間、2年間、3年間の3通りで実施し、劣化特性の曲線を得る。また、曝露後にサンプルを持ち帰ることができる利点生かし、地上試験サンプルと曝露試験サンプルの劣化状況を比較することを目的としている。



日本実験棟「きぼう」に搭載された船外プラットフォーム(赤丸)



船外プラットフォーム上のExHAMの位置(赤四角)



サンプル取付位置(赤四角)

曝露試験サンプル



熱制御材を18ピース取り付けしている

試験スケジュール

2016/3 打上げ
2016/5 曝露試験開始(1年間)