

北海道大学

○中村 孝、中村 寛、藤田 修、野口 徹

宇宙開発事業団

今川吉郎

1 緒 言

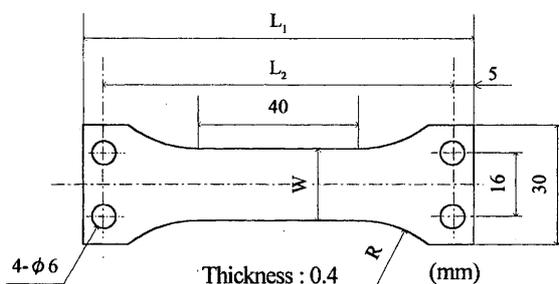
高分子材料は、宇宙機の熱制御材や太陽電池パネル構成材等に利用されるほか、インフレータ膜構造の候補材としても注目されている。高分子材料を宇宙構造材として使用するためには、原子状酸素 (AO) や各種放射線が作用する環境での耐久性を明らかにしなければならない。これまで高度200~700kmの地球低軌道 (LEO) 上で、多くの高分子材料が AO によって損傷を受けることが報告されてきた¹⁾。しかし、構造材として重要となる応力負荷下での材料劣化挙動はほとんど明らかにされていない。

著者らはこの問題に取り組むため、張力を負荷した高分子膜材を実宇宙環境に曝露する実験を開始した。本実験は「国際宇宙ステーション (ISS) ロシアサービスモジュールを利用した宇宙曝露実験 (SM/MPAC&SEED 実験)²⁾」の一部として行われている。また、この曝露実験と並行して、AO、電子線 (EB)、紫外線 (UV) を用いた地上対照実験を実施する。本報告は、これらの実験概要ならびに予備実験として行った AO 照射実験の結果を紹介する。

2 宇宙曝露実験および地上対照実験の概要

2.1 供試材 供試材は厚さ 0.4 mm の PEEK[®]シート (住友ベークライト製 FS-1100C) である。PEEK[®]は熱可塑性結晶性高分子であり、耐熱性 (連続使用温度 260 °C)、耐放射線性、薄膜への成形性に優れている。

2.2 宇宙曝露実験 試験片形状を Fig.1 に示す。試験片は長軸方向が材料の押し出し方向になるようにシート材から切り出し、フライス加工で Fig.1 の形状に仕上げた。試験片には 0 MPa、1.57 MPa、4.70 MPa の 3 種類の応力が生じるようにコイルスプリングによって張力が加えられた。これらの応力は材料の



W (mm)	R (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Initial stress (MPa)
30	-	100	90	0
18	28	97	87	1.57
6	14	97	87	4.70

Fig.1 Test pieces for the space exposure experiment.

降伏強さ(≈85MPa)に対して、それぞれ0、2、5%に相当する。この3種類の試験片を1組として、合計3組がISSロシアサービスモジュールの外壁に取り付けられた。ISSは高度約400kmのLEOを約8km/sで飛行するため、試験片は紫外線を含む太陽光、電子線、相対速度約8km/sのAOに曝露される。3種類の試験片は1組ずつ1年ごとに回収される予定であり、これによって1年~3年の経年劣化挙動を明らかにすることができる。本実験は2001年の10月に開始され、1年目の曝露試験片の解析が2003年5月以降に行われる。主な解析・評価項目は以下の通りである。

(1)物理的特性変化：外観と表面損傷、質量変化、反応率

(2)化学的特性変化：表面化学構造、熱特性、結晶化度

(3)機械的特性変化：応力ひずみ特性と各種強度パラメータ

2.3 地上対照実験 地上対照実験は宇宙開発事業団の真空複合環境試験設備を用いて行われる。高分子膜材に引張応力を加えた状態でAO、EB、UVの単独および複合照射を実施する。AO、EB、UVの単独照射として、ISS軌道上0.5年、1年、3年分、AO、EB、UVの複合照射として、ISS軌道上3年分の照射が予定されている。照射前後の試験片に対して前節で述べた(1)~(3)の材料特性変化を調べることにより、損傷挙動に及ぼす各照射源の影響を明らかにする。さらに宇宙曝露実験との比較によって、地上試験から材料の宇宙環境劣化挙動を予測するための基礎データを取得する。

3 AO 予備照射実験結果

3.1 実験方法 地上対照実験の予備照射実験として短期AO照射実験を行った。AO照射は照射速度：8.1km/s、フルエンス： 2.79×10^{20} atoms/cm²、フラックス： 2.21×10^{15} atoms/(cm²s)の条件で行った。本予備実験における照射量はISS軌道上に換算して約3週間分に相当する。試験片幅はFig.1と若干異なるが、負荷応力は宇宙曝露実験と同一とした。

照射前後の試験片において、質量測定、表面観察、引張試験を行った。表面観察にはデジタルマイクロスコープ (スカラ社製 HDM2100V) および原子間力顕微鏡 (デジタルインストルメンツ製 NanoScopeIII) を用いた。質量は電子天秤 (ザルトリウス製 ME215P) で測定した。引張試験は ASTM D882-95a に従い、ひずみ速度 0.1mm/mm/min、標点間距離 30mm として行った。試験環境は温度 23±2°C、相対湿度 50±5% であり、試験 48 時間前から引張試験片を同環境に保持した。引張試験片は照射用試験片から幅 1mm に切出すことによって作成した。各応力負荷条件につき 3 回の試験を行った。

3.2 表面観察 Fig.2 に照射後の試験片外観 (無負荷材) を示す。照射部は同図中央の円形部であり、未照射部に対し、肉眼で明確に区別できる。負荷応力に関らず、照射した全ての試験片に同様な領域が観察された。



Fig.2 Surface of the test piece after AO exposure.

Fig.3に照射前後における試験片表面のAFM 3次元像を示す。同図(b)は無負荷材の結果である。未照射部は全体的に平坦であるのに対し、照射部には径 1 μ m 程度の微小な突起から成る剣山状の凹凸が全域に認められた。このように AO 照射部は激しいエロージョン損傷を受けている。

3.3 反応率 Fig.4に反応率 $Re (=M/(AF\rho))$ と負荷応力の関係を示す。ここで M : 質量損失(g)、 A : 照射面積(cm^2)、 F : フルエンス(atoms/cm^2)、 ρ : 密度= $1.3 (\text{g}/\text{cm}^3)$ である。反応率は酸素原子 1 個の衝突による材料の体積損失を表している。同図から反応率は負荷応力の増加に伴い増加することが明らかとなった。降伏強さの 5%程度の低応力で、反応率が約 20 %増加したことから、引張応力は AO と材料の反応を促進する効果があるといえる。反応率から換算した試験片厚さの減少量は無負荷材で 8.4 μm 、1.57MPa 材で 10.0 μm 、4.68MPa 材で 10.3 μm であった。

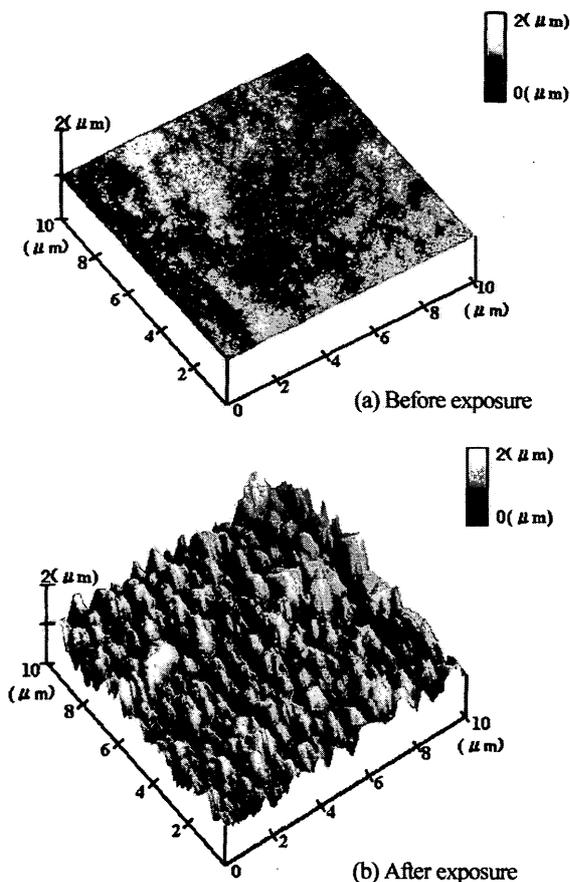


Fig.3 AFM images of the test piece surface before and after AO exposures.

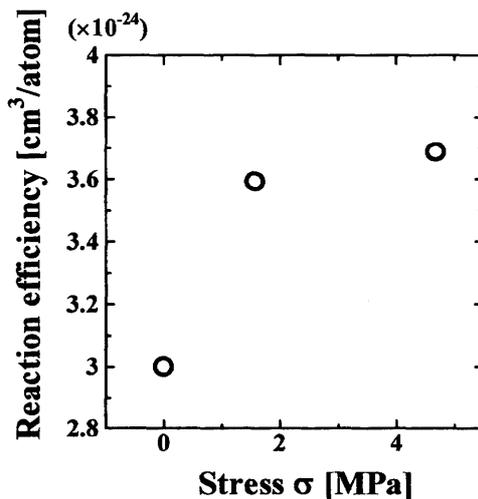


Fig. 4 Relation between Re and applied stress.

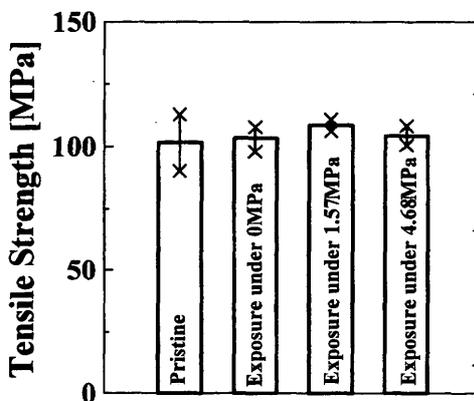


Fig.5 Tensile strengths before and after AO exposures.

3.4 引張特性 Fig.5 に照射前後の引張強さを示す。ここで引張強さは AO 照射により減少した試験片厚さ (断面積) を使って求めた。引張強さは AO 照射の有無や負荷応力で大きな変化を示さなかった。降伏強さ、破断伸び、破断エネルギーについても有意差は認められなかった。この結果は、AO との反応層が試験片厚さ (0.4mm) に比べて小さいこと、照射後の残留強度が材料の減肉を考慮すれば予測できること、を示唆している。

4 結言

本報告では張力を与えた PEEK[®]膜材の宇宙曝露実験および地上対照実験の概要を述べた。予備実験として行った ISS 軌道上 3 週間分に相当する AO 照射実験により、以下の結果を得た。

- (1)AO 照射によって試験片表面に著しい損傷が観察された。
- (2)AO と材料の反応率は負荷応力の増加に伴い増加した。
- (3)AO 照射によって引張特性に有意な変化は見られなかった。

本研究は (財) 日本宇宙フォーラムによる「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行った。

参考文献

- 1) R.C.Tennyson, Can. J. Phys. 69. pp 1190-1208. (1990).
- 2) NASDA, Homepage, http://www.nasda.go.jp/press/2002/11/mpac_20021129_j.html.