

## PEEK 膜材の張力負荷宇宙環境曝露実験

北海道大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻

中村 孝, 藤田 修

### 1. はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)や多くの人工衛星が飛行する高度 100~1000km の低地球軌道 (LEO) は, 原子状酸素 (AO), 紫外線 (UV), 各種放射線が作用する過酷な環境である. 特に高分子材料を宇宙機の構造部材に使用するためには, これらの環境因子が材料強度に与える影響を明確にしておく必要がある. そこで本研究では, 耐熱高分子ポリエーテルエーテルケトン (PEEK) の膜材を張力を加えた状態で ISS 軌道に曝露する実験を行なった. さらに, この結果を地上対照実験 (試料への AO, UV, および電子線 (EB) の照射実験) の結果と比較することで, PEEK の強度特性に与える LEO の環境因子を明らかにした.

### 2. 実験方法

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. 試料形状は長さ 97~100mm, 平行部幅 30, 18, 6mm の 3 種類であり, それぞれに 0 MPa, 1.6MPa, 4.7MPa の引張応力が生じるようにスプリングを用いて張力を加えた. この 3 種類の試料を 1 式として, 合計 3 式を ISS 軌道に曝露した. 本報告では軌道に 315 日曝露した第 1 回回収試料と, 865 日曝露した第 2 回回収試料の分析を行った. 曝露前後の試料について, 表面観察および質量計測を行った. その後, 曝露試料から, 幅 1mm×長さ 80mm の試験片を切り出し, 温度  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 湿度  $50\pm 5\%$  に 48 時間保持した後, 同一環境で引張試験を行った. 引張試験は, 無負荷材, 低負荷材, 高負荷材それぞれ 3 回ずつ, ASTM-D882-95a に従って実施した.

### 3. 実験結果

**3. 1 材料劣化とその影響因子** Fig.1 に無負荷の曝露試料を示す. 同図中央の矩形部が曝露領域である. この領域は茶色に変色し, 周囲と比べて光沢を失っていた. 曝露期間や負荷応力に関わらず, 全ての試料にこの特徴が認められた. 地上での AO, UV, EB 照射実験のうち, 茶色の変色をもたらしたのは UV のみであり, 光沢を消失させたのは AO だけであった. したがって, この領域は AO と UV に同時に曝されたものと判断できる. 質量測定の結果, 全ての試料において曝露後に質量の減少が認められた. 地上実験のうち質量損失が確認されたのは AO 照射実験に限られることから, この理由は AO が曝露部表面を退行させたためと判断される. 質量減少量を曝露面積と試料の密度で除して, 平均的な膜厚減少量を求めた. その結果を Fig. 2 に示す. 膜厚減少量は第 1 回回収試料で  $4\sim 6\mu\text{m}$ , 第 2 回回収試料で  $7\sim 10\mu\text{m}$  となり, 曝露期間の増加に伴い増大している. この膜厚減少量と曝露中の負荷応力の間に明瞭な傾向は認められなかった.

膜厚減少を考慮して, 曝露後の断面積で引張試験結果を整理したところ, 曝露期間や負荷応力に関わらず, 弾性率, および降伏強さに変化は生じないことが示された. これに対し,

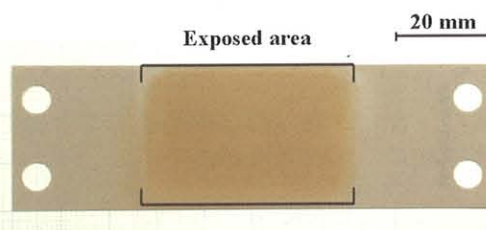


Fig.1 Test piece surface  
(2nd retrieved sample, stress:0MPa)

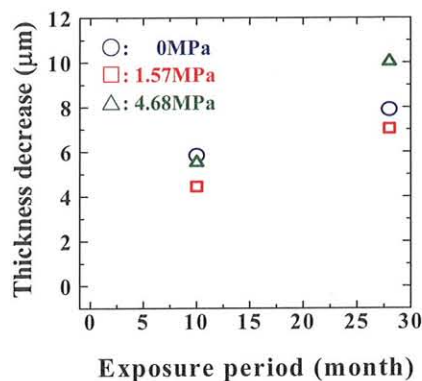


Fig.2 Relation between thickness decrease and exposure period

破断伸びは曝露後に減少した。Fig. 3に破断伸びに及ぼす曝露期間と負荷応力の関係を示す。同一の負荷応力で比較すれば、曝露期間の長いほど破断伸びは小さくなっている。特に第2回回収試料の破断伸びは曝露前の20~60%に低下した。地上実験の中で試料の破断伸びを減少させたのはUVだけであったことから、この挙動は軌道上のUVに起因すると判断できる。また、第1回回収試料、第2回回収試料ともに、応力を加えた試料の破断伸びは無負荷のそれに比べて大きな値を示しており、機械特性に及ぼす環境と応力の相乗効果が確認された。

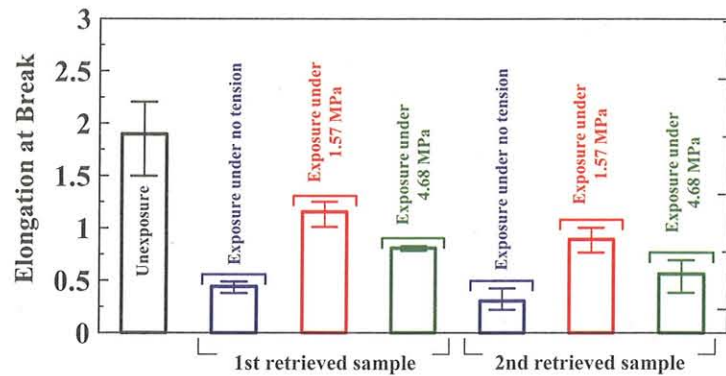


Fig.3 Elongation at break before and after exposure

**3.2 コンタミネーションの影響** 前節では材料劣化とその影響因子を定性的に示したが、宇宙環境の計測値と材料劣化量の整合性は必ずしも得られていない。JAXA 技術資料 GDZ-05005によれば、第2回回収試料のA0フルエンスは $1 \times 10^{21}$  (atoms/cm<sup>2</sup>)のオーダーである。地上で同程度のA0 ( $1.31 \times 10^{21}$  (atoms/cm<sup>2</sup>))を照射した場合の膜厚減少量は約45 $\mu$ mであったのに対し、第2回回収試料の膜厚減少量(7~10 $\mu$ m)は、この値の約20%に過ぎない。また、同資料においてUVフルエンスは約200ESD $\div 2 \times 10^5$  (J/cm<sup>2</sup>)の値と報告されている。地上でこの約1/6のUV ( $3.47 \times 10^4$  (J/cm<sup>2</sup>))を照射した試料の破断伸びが照射前の3~5%にまで低下したのに対し、第2回回収試料の破断伸びは曝露前の20~60%に留まっている。つまり、曝露試料が受けた実際のA0およびUV量は宇宙環境計測値より小さい可能性がある。この要因を調べるために、試料表面のコンタミネーションについて検討した。Fig. 4に曝露部の拡大写真を示す。表面には、白く明るく見える領域が認められ、一部に暗い部分が観察された。この白い領域の曝露部面積に対する割合は、負荷応力や曝露期間に関わらず、70~80%であった。また、元素分析の結果、曝露前に比べSiとOの検出強度の増加が認められた。以上からFig. 4の白い領域は酸化ケイ素系の化合物と考えられる。酸化ケイ素はA0との反応性が低く、また、光の透過率も低いことを考えると、曝露試料の劣化はこのような化合物によって妨げられていた可能性が高い。

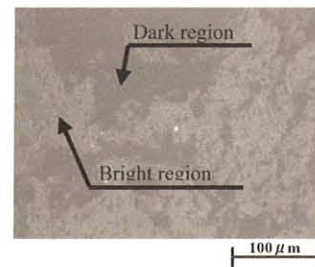


Fig.4 High magnification view of the exposed area (2nd retrieved sample, stress:1.5MPa)

#### 4. 研究発表リスト

- (1) Nakamura, H., Nakamura, T., Noguchi, T., Imagawa, K., "Photodegradation of PEEK sheets under tensile stress", Polymer Degradation and Stability, Vol.91, pp740-746, (2006)
- (2) 中村 寛, 中村 孝, 野口 徹, 藤田 修, 今川吉郎, 井上利彦, "原子状酸素を照射したPEEK膜材の機械特性", 日本機械学会論文集 (A編), 71巻, 710号, pp1327-1332, (2005)
- (3) Nakamura, T., Nakamura, H., Fujita, O., Noguchi, T. and Imagawa, K., "The Space Exposure Experiment of PEEK Sheets Under Tensile Stress", JSME International Journal, Ser. A., Vol.47, No.3, pp 365-370, (2004)
- (4) Nakamura, T., Nakamura, H., Fujita, O., Imagawa, K., Noguchi, T., and Inoue, T., "The Space Exposure Experiment of Tension Loaded PEEK Sheets Utilizing the International Space Station", Proceedings of the 24th International Symposium on Space Technology and Science (Selected Papers), pp756-759, (2004)
- (5) Nakamura, T., Nakamura, H., Fujita, O., Noguchi, T., Imagawa, K. and Inoue, T., "Damage Properties of PEEK Films Irradiated by Atomic Oxygen", Key Engineering Materials, Vols.261-263, pp 1617-1622, (2003)
- (6) Nakamura, T., Nakamura, H., Fujita, O., Noguchi, T. and Imagawa, K., "The Degradation of PEEK Sheets Accelerated by Stress in a Real Space Environment Based on the Space Exposure Experiment", Proceedings of the International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, CD-ROM, (2003)