

## セラミック材料曝露実験 - 第1回及び第2回回収試料の結果

東京工業大学 大学院総合理工学研究科

物質科学創造専攻 小田原修

### 1. はじめに

これからの宇宙開発・宇宙環境利用では長期飛行/長期有人活動が必須であり、ミッションを信頼性高く安心して遂行するためには、利用材料の寿命評価、特に地上では考えなくても良い数百キロメートルの環境に豊富な原子状酸素との共存性について、材料曝露試験を通して十分検討することが必要である。我が国の従来の実績としては、宇宙実験・観測フリーフライヤーの搭載実験機器部を用いて行った約10カ月間の材料曝露実験、STS-85シャトルミッションによる12日間の材料曝露実験、宇宙環境信頼性実証システムプロジェクトの一環としての宇宙実証試験、などがある。米国では、1986年より6カ年間、長期曝露実験衛星でセラミック材料も含めた材料曝露実験を行っている。

2001年10月15日より、国際宇宙ステーション(ISS)のロシアサービスモジュール(SM)の曝露部に材料曝露実験装置(SEED)を配置して、非酸化物系セラミック材料の材料曝露実験(SM/SEED)を3年計画で行っている。長期滞在が必須の状況では、「その場資源」と「宇宙エネルギー環境」が大きな活用対象であり、比強度の高い軽量材料としての本実験試料類の寿命評価は重要である。特に、炭化ケイ素は構造材としての重要性ばかりでなく、今後のエネルギー利用の高利用効率化(限られた資源を最大限に利用する)に重要なパワーデバイスとして注目されている。本発表では、2002年8月26日に回収した315日間の曝露結果と2004年2月26日に回収した865日間の曝露結果について報告する。

### 2. 実験条件

ISSは、約400kmの高度を51.6度の軌道傾斜角で周回するので、約90分で地球を一周する。着目する環境因子として、原子状酸素、熱履歴、宇宙放射線、紫外線、真空が考えられる。原子状酸素には高度との相関があり、ISSでは $10^{13}/\text{cm}^2\text{s}$ 程度と考えられる。熱履歴については、90分間に昼と夜が来ると考えて、その間に現れる100Kから400K程度の温度差を周回しながら繰り返すという、一種の熱疲労試験の環境となる。放射線と紫外線については、太陽に影響される条件が強く、これから数年は太陽活動が落ち着く方向であるので、条件的には緩く、加速材料試験としては望ましくない環境と言えるかもしれない。原子状酸素の濃度に関しても太陽フレアの影響が強く、フルエンスで一桁の差は現れる。したがって、現状の数値はあくまでも予測であり、実際には実験近傍で環境の値を測定しなければいけない。紫外線のエネルギーとしては、 $1.4\text{kW}/\text{m}^2$ を目安として考える。試料は炭化物と窒化物試料であり、炭化ケイ素(SiC)と窒化アルミニウムと窒化チタン(TiN)の3化合物について、SiCとTiNについてはそれぞれ2種類選び、全部で5つの異なる試料条件とした。試料の形状は、 $17\text{mm} \times 17\text{mm} \times 2\text{mm}$ である。

### 3. 実験結果

本実験で採用したSiCは、結晶粒径が均一なホットプレス焼結品(HP-SiC)と結晶粒径が不均一で組成が不均質である反応焼結品(RS-SiC)である。非酸化物である本実験試料は、長時間曝露による酸化反応が起こり、特に粒界での酸化物層の形成は試料の特性の劣化に大きく影響する。図1(a)及び図1(b)は、二次イオン質量分析法(SIMS)によるHP-SiCとRS-SiCの深さ分析結果である。それぞれの試料の曝露面からの質量数16の量の質量数28の量に対する比率として表している。

HP-SiC に比べ RS-SiC の酸素量は総じて少なくなっているが、深さ方向への分布から判断した侵入深さはいずれも同等であり、曝露時間が長くなるほど原子状酸素の侵入長は深くなると判断できた。このような結果は原子状酸素との試料の酸化反応に起因すると考えられる。地上実験としての原子状酸素照射試験での表面粗さ変化の結果から判断すると、表面でのエロージョンによるも作用すると考えられる。すなわち、原子状酸素の照射だけでの影響は試料表面が最も大きかったが、曝露環境の場合には複合効果として酸化反応の進展で内部まで酸素の侵入が見られたと考えられる。

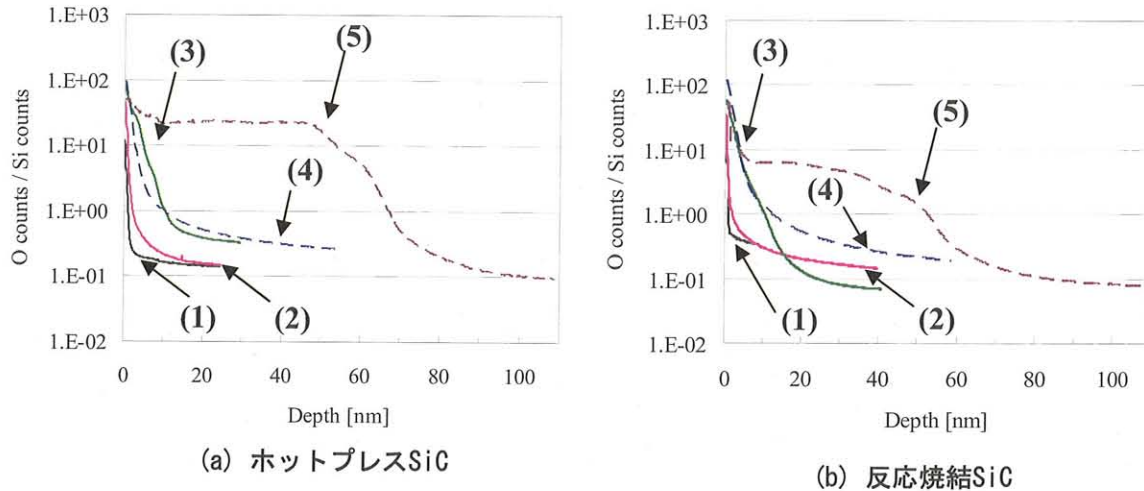


図1 SM/SEED炭化ケイ素試料内の酸素分布（質量数16/質量数28）としてのSIMS深さ方向分析結果

- (1):未照射材、(2):原子状酸素照射材（半年間）、(3):SM/SEED材（315日間）、  
(4):原子状酸素照射材（一年間）、(5):SM/SEED材（865日間）

#### 4. 研究発表リスト

- 1) Osamu Odawara and Eiji Miyazaki, "Space Exposure Tests of Carbide and Nitride Ceramics Carried out on ISS", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 18[S], 37, 2001.
- 2) Eiji Miyazaki and Osamu Odawara, "Space Exposure Tests of Ceramic Materials on International Space Station", 2nd Pan-Pacific Basin Workshop Proceedings on Microgravity Science, PaperET-1038, 2001.
- 3) Osamu Odawara and Eiji Miyazaki, "Material Exposure Tests on ISS", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 19[S], 19, 2002.
- 4) Osamu Odawara, Eiji Miyazaki, Masami Imai and Toyohiko Yano, "Material Exposure Tests for the First One Year on ISS", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl., 20[S], 43, 2003.
- 5) Osamu Odawara, Eiji Miyazaki, Masami Imai and Toyohiko Yano, "Exposure Tests of Carbide and Nitride Ceramics with SM/SEED on ISS", Proc. 24th Int'l. Symp. Space Tech. Sci., 765-769, 2004.
- 6) Osamu Odawara, Eiji Miyazaki, Masami Imai and Toyohiko Yano, "ISS SM/SEED Exposure Tests of Ceramic Materials", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 21[S], 59, 2004.
- 7) Toshihide Tobitsuka, Masamitsu Imai, Osamu Odawara and Toyohiko Yano, "Property Change of Non-Oxide Ceramics Exposed in a Space Environment", The 3rd Int'l. Workshop for Advanced Ceramics, 74, 2005.
- 8) Toshihide Tobitsuka, Masamitsu Imai, Osamu Odawara and Toyohiko Yano, "Property Evaluation of Ceramic Specimens Exposed in a Space Environment for One Year", The 6th Japan/China Workshop on Microgravity Sciences, 91-92, 2005.
- 9) Toshihide Tobitsuka, Masamitsu Imai, Toyohiko Yano and Osamu Odawara, "Change of the Material Surface Properties during the ISS SM/SEED Materials Exposure Test", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl. 22(4), 294, 2005.