

宇宙環境を模擬した原子状酸素の曝露によるカーボンナノチューブの
HAXPES による電子構造観察
Electronic-Structural Analysis of Carbon Nanotube exposed Atomic
Oxygen by HAXPES

人見 尚^a, 淵田 安浩^a, 菊田 基志^b
Takashi Hitomi^a, Yasuhiro Fuchita^a, Motoshi Karita^a

^a(株)大林組, ^b(株)静岡大学
^aObayashi co., ^bShizuoka University

軽量かつ高強度の性質を持つカーボンナノチューブ (Carbon Nanotube : CNT) は、将来の航空宇宙材料としての応用が期待される。本課題では、多層 CNT の撚線を対象に高度 400 km 空間を模擬し、主として存在する原子状酸素の照射試験を実施し、その影響を HAXPES で評価し、多層 CNT 撚糸が酸素による酸化やさらに侵食の影響を受けることを確認した。

キーワード： 航空宇宙材料、CNT、原子状酸素、HAXPES

背景と研究目的：

カーボンナノチューブ (Carbon Nanotube : CNT) は、従来の鉄鋼材料と比較して 20 倍も機械強度を有し、軽量であることから航空宇宙材料の利用が期待されている。CNT は航空宇宙の構造材料だけでなく、電子材料としても将来有望な材料の一つである。我々は、多層型のカーボンナノチューブ (Multi-Wall CNT: MWCNT) の撚線を対象として、その実用化に取り組んでいる。

これまでに大気環境下における CNT の検討は行われているが、宇宙環境曝露した CNT に対する耐久性の試験評価はほとんどなされていない。例えば、高度 400 km における国際宇宙ステーション周辺の環境では、電磁波や放射線に加え、紫外線の作用により酸素が分解され、酸化作用の強い原子状酸素の濃度が高いことが知られている。そのため、MWCNT 撚糸はこの環境において酸化による劣化が懸念される。本研究では JAXA との共同研究の下、「きぼう」の船外にて最大 2 年間の曝露試験を現在実施中である。

本課題においては、国際宇宙ステーションの環境を模擬した地上対照試験装置を用い、2 年間の曝露条件と同等の原子状酸素を照射した MWCNT 撚糸に対する HAXPES 観察を実施した。

実験：

試料は、MWCNT の撚線を用いた。太さは、20 μm のものを用いた。MWCNT は、25 層からなる多層 CNT でこれを多数発生させて撚り合せた撚糸状のものである。撚糸は、大気中雰囲気生成し、撚り合わせている。長さは、数十 cm 以上の製造が可能であるが、原子状酸素曝露試験の際にはおよそ 10 cm、HAXPES 観察の際にはおよそ 10 mm に切り出したものを CNT 試験体として用いた。図 1 に CNT 試験体の外観の SEM 画像を示す。

CNT 試験体は、国際宇宙ステーションの環境を模擬した、模擬試験(以下、地上対照試験)に供した。地上対照実験の照射条件は、JAXA 開発の「宇宙環境計測情報システム (Space Environment & Effects System : SEES)」による解析で、地上 410 km、国際宇宙ステーション進行方向前面 (Ram 面 : ラム面) の 2 年間曝露に相当する量を定めた。照射は JAXA に設置の複合照射装置 FAST II 照射装置を用いた。試験は、照射期間を 3 等分し、その 0/3 (=照射なし, 未照射), 1/3, 2/3, 3/3 (=2 年相当の照射) について実施し、本測定では、未照射と 3/3 期間のものを用いた。

HAPES の条件としては、X 線エネルギーを 7.94 keV、パスイエネギーを 200 eV、スリット形状は 'curved 0.5 mm'、光電子検出角度 (TOA) は 80° および中和銃の使用は '無し' で実施した。

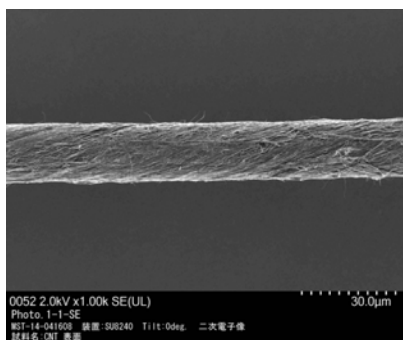


図 1. CNT 試験体の外観の SEM 画像

表 1. 原子状酸素の照射条件

原子状酸素の照射量[atoms/cm ²]	
宇宙曝露環境 (SEES 予測値)	対照試験照射量
最大値 : 3.960x10 ²¹ 平均値 : 2.468x10 ²¹ 最小値 : 1.448x10 ²¹	7.163x10 ²⁰

結果および考察 :

図 2 に CNT 試験体の C1s 軌道のエネルギースペクトルを示す。なお、参照用試料として高配向性熱分解グラファイト (HOPG) の結果も合わせて示す。図中において、非照射のものは CNT_narrow_0_3_3_C1s, 照射後ものは CNT_narrow_3_3_3_C1s および HOPG は HOPG2_C1s で示している。いずれの試験体においても、283.3eV 付近の C1s のピーク位置はほぼ一致した。同様に、いずれの試験体においてもサテライトピークと思われる弱いピーク 291.2 eV が見られた。

CNT 試験体においては、高エネルギー側に HOPG とは異なり 286eV 付近に C-O 結合に起因する弱いピークが見られ、特に照射後の CNT 試験体においては 289 eV 付近に C=O 結合に起因する弱いピークが見られた。CNT 試験体は、大気中での生成のため、未照射のもので酸化の影響を受けていると考えられたがそれを支持する結果となり、さらに原子状酸素の照射で、酸化を示すピークが顕著になる結果が得られた。

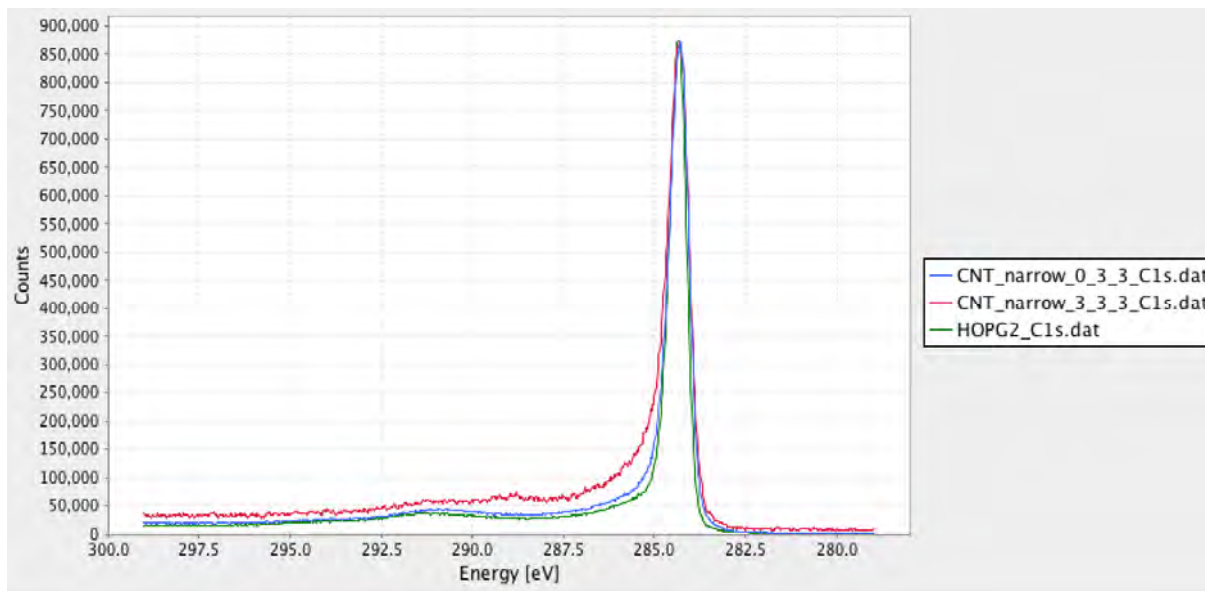


図 2. CNT 試験体の C1s 軌道のエネルギースペクトル

図 3 に、CNT 試験体の O1s 軌道のエネルギースペクトルを示す。炭素との結合を示す 532 eV 付近のピークは、照射前にはわずかであったが、照射後は明瞭に確認することができ、参加の影響が顕著になっていることを示す結果となった。さらに、照射後の試験体では、金属との結合を示す、530 eV 付近のピークも観察された。

図 4 に、CNT 試験体のワイドスキャンの結果を示す。図 3 で見られた酸化の影響に加えて、照射後の試験体では、ステップ状のピークが見られ、Fe2p のものと判断された。CNT 試験体は生成

の際の触媒として Fe を用いており，CNT 試験体の内部に存在すると考えられる。原子状酸素の照射で CNT 試験体はその表面を酸化されるに留まらず，内部の鉄原子が露出する程度まで損傷を受ける可能性を示唆する結果を得た。

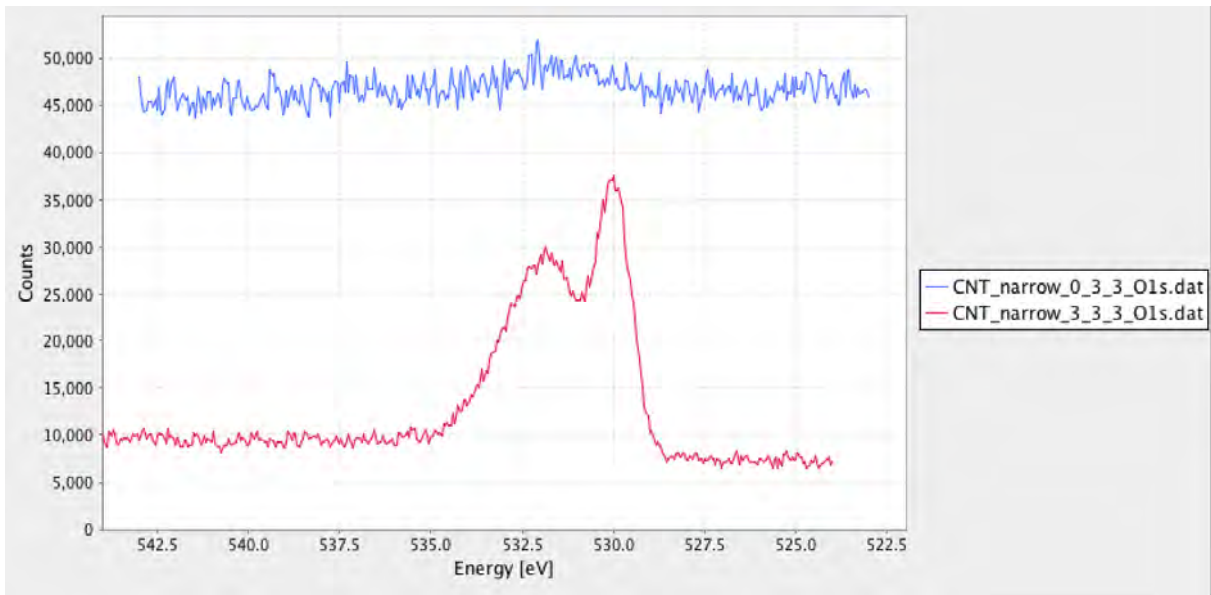


図 3. CNT 試験体の O1s 軌道のエネルギースペクトル

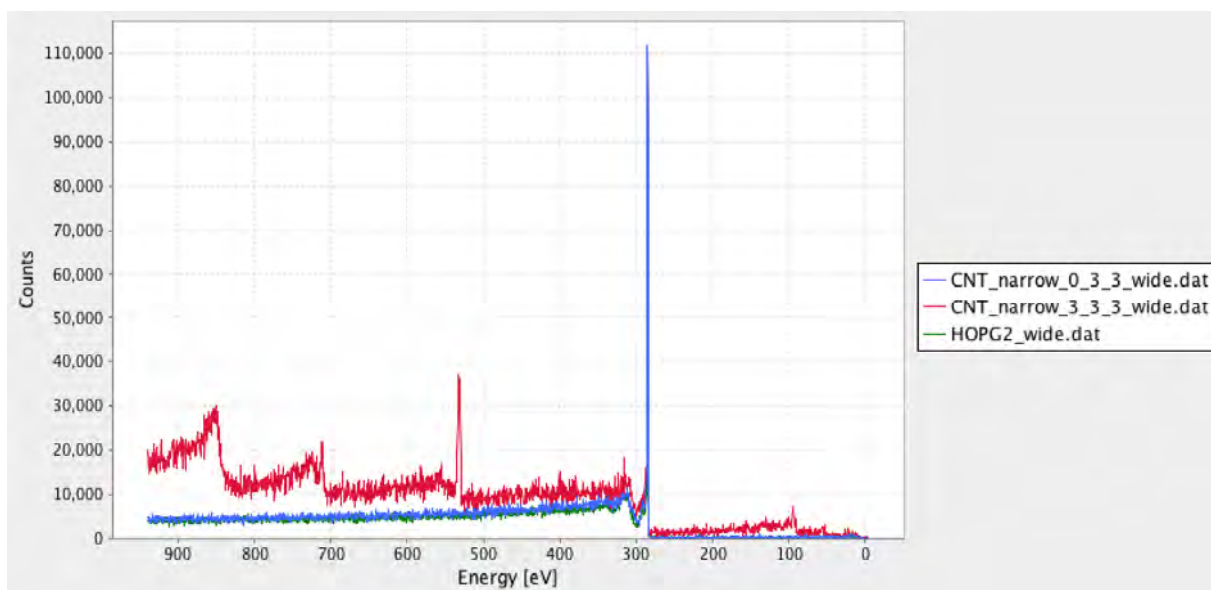


図 4. CNT 試験体のワイドスキャンの結果

今後の課題：

得られたデータに対し，さらに定量的な評価を行い，参加による影響の詳細な把握を行う。また，今回は環境模擬試験に供した CNT 試験体であったが，実際の宇宙空間で暴露した CNT 試験体についても今後測定を行う。