交流のひろば/agora — crosstalking



# 宇宙応用を目指した 先端材料宇宙曝露実験

## 渕 田 安 浩

将来の構造物を目指した先端材料であるカーボンナノチューブ(CNT)について、国際宇宙ステーションにて曝露実験を実施中である。CNTを利用した先端材料は、高引張強度・軽量・高電導性・低熱伝導率であることから、航空宇宙材料としての応用だけでなく、建設用・自動車用・電線用などの地上向けの材料としても有用である。帰還後の曝露試験体は、力学特性、電気特性、宇宙空間での劣化耐久性などを分析予定である。

キーワード:カーボンナノチューブ、国際宇宙ステーション、宇宙曝露実験、力学特性、きぼう

# 1. 実験の目的

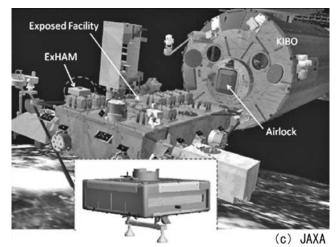
本実験は、カーボンナノチューブ(CNT)の宇宙 曝露環境における耐久性を検証することを目的として いる。CNT から構成する標準試験体と、他の炭素材 料から構成する比較試験体を用いて耐久性の差異、曝 露の期間および位置による劣化の差異を把握する。

CNT は、軽量(アルミニウムの約半分の比重)、高機械強度(鉄鋼の約20倍の引張強度)、高弾性、高電流密度(銅の100倍以上)、高熱伝導性(銅の5倍以上)などの優れた特性を持っており、将来、地上用あるいは宇宙用の構造材料としての用途が期待されている。供用に当たり、CNTの材料としてのさまざまな環境における耐久性のデータが必要である。

ところが、CNT の宇宙環境曝露下の劣化傾向はほとんど知られておらず、原子状酸素(AO)、放射線、紫外線(UV)、熱サイクル等の劣化傾向が懸念されている。それぞれ個別の影響評価は地上対照実験でも可能であるが、宇宙環境を模擬した複合環境実験は地上施設では不可能である。実際の宇宙環境下の実験は、実験試料が回収可能な日本宇宙実験棟「きぼう」(写真―1参照)を用いた実験で実現可能である。また、耐 UV 特性、耐温度ストレス特性を把握することにより、将来的には地上の構造材への用途も期待できる<sup>2)</sup>。

# 2. 実験の概要

実験のスケジュールを**表**—1に示す。本実験は、 ExHAM (Exposed Experiment Handrail Attachment



写真― 1 「きぼう」と ExHAM¹)

表一1 実験のスケジュール

年月	項目
2014年3月	ExHAM 利用テーマ募集への応募
2014年11月	フライト準備移行審査
2014年11月	適合性確認試験・フィットチェック
~2015年2月	
2015年1月~2月	安全検証試験
2015年2月	安全審査・認定試験度審査・出荷前審査
2015年4月	第一次試験体サンプル打上げ
2015年5月	船内で搭載サンプル取付け・船外へ
	ExHAM 取付け・曝露実験開始
2015年8月	第二次試験体サンプル打上げ
2015年11月	第二次試験体サンプル曝露実験開始
2016年6月予定	第一次試験体船内取込み
2016年8月予定	第一次試験体回収
2016年11月以降	第二次試験体船内取込み

Mechanism) 利用テーマのひとつとして, 宇宙航空研究開発機構との共同研究として実施中である。実施主体は, 大林組, 静岡大学, 有人宇宙システムである。実施主体のそれぞれの分担を表一2に示す。

表一2 実施分担

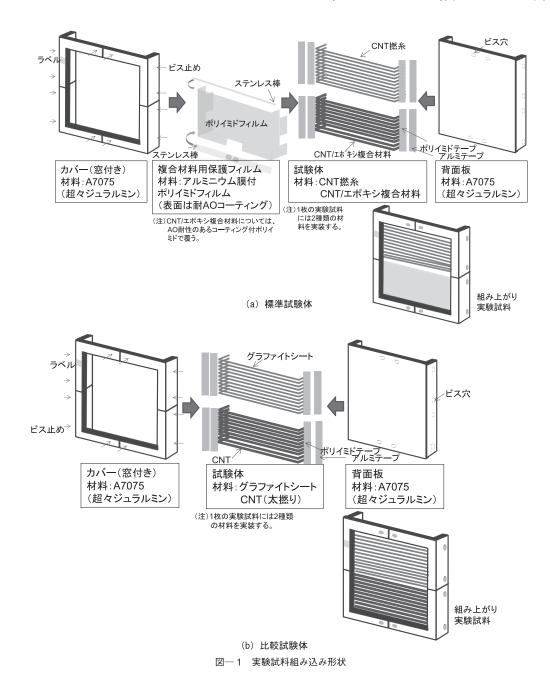
大林組	・とりまとめ
	・計画
	・試験体台製作
	・評価
静岡大学	・試験体製作
	・試験実施
	・分析
	・評価
有人宇宙システム	·試験体製作支援

## (1) 実験試料

実験試料としては、標準試料として、CNT 撚糸と CNT / エポキシ複合材料とする。標準試料は、静岡 大学井上翼研究室で作製したものである。比較試料と して、グラファイトシート(パナソニック製 PGS) とする。

## 〈標準試料〉

- ① CNT 撚糸(写真—2参照)<sup>3), 4)</sup>
  - ・最短 10 cm (引張試験可能最短長さ)
  - ・多層カーボンナノチューブ(直径約 20 nm)を撚ったもの (普通撚り・太撚りの 2 種)
  - ・カーボンナノチューブ短繊維は同一仕様
  - · 本数 (複数)
  - ・2枚のプレートで圧着することにより固定



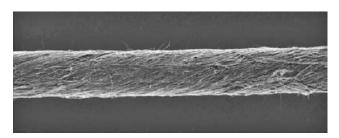


写真-2 CNT 撚糸(普通撚り)の電子顕微鏡像

## ② CNT /エポキシ複合材料 <sup>5)</sup>

- ・カーボンナノチューブシートをエポキシ樹脂で成 形したもの(厚み約50 µ m)
- · 本数 (複数)
- ・2枚のプレートで圧着することにより固定
- ・表面は、AO 耐性のあるコーティング付きポリイ ミドフィルムで覆う

#### 〈比較試料〉

①グラファイトシート (PGS)・市販品, 高分子フィルムを高温熱分解によりグラファイト化して得られた高配向性黒鉛

## (2) 実験試験体の組み込み形状

実験試料の組み込み形状を図―1に示す。標準試験体として、CNT 撚糸とCNT/エポキシ複合材料を同一の試験体に搭載した。比較試験体として、グラファイトシートを用いるが、半分のスペースには、CNTの太撚り試料を同一試験体に搭載した。写真―3および写真―4に試験体の外観を示す。

# (3) 試験体の曝露条件

標準試験体は計 3 体,比較試験体は 1 体とした。それぞれの試験体には, $2015-1 \sim 2015-4$ までの通し番号を付けた。試験体の曝露条件とスケジュールを表-3に示す。

# (4) 試験体の評価

宇宙曝露後の試料は地上で評価試験を行う。また,同じ実験試料を用いた地上対照試験試料にも同様の試験を行い,評価する。評価項目を表—4に示す。

### 3. 今後の展開

本実験では、カーボンナノチューブの宇宙曝露環境での耐久性の検証を目的とした。カーボンナノチューブは、構造材料として、地上用・宇宙用で広い用途に活用が期待される材料である 6)。この実験を通してその強靭性、寿命などを検証していきたい。また、その



写真-3 標準試験体(2015-1)



写真-4 比較試験体 (2015-2)

表一3 試験体の曝露条件とスケジュール

番号	2015-1	2015-2	2015-3	2015-4	
ExHAM 号機	1	1	1	2	
進行方向 搭載位置	背面	背面	背面	前面	
試験体	標準	比較	標準	標準	
曝露実験	2015 年	2015 年	2015 年	2015 年	
開始	5月	5月	5月	11月	
曝露期間	約2年	約1年	約1年	約1年	

表一4 評価項目

目的	項目	内容
機械的特性調査	質量	試験前後のマクロ変化
	引張強度	強度の変化
	(ヤング率)	
電気的特性調査	電気伝導率	電気伝導率の変化
外観調査	SEM	ミクロスケール観察
	TEM	ナノスケール観察
欠陥の変化	ラマン分光	分子レベルの構造変化
原子修飾変化	XAFS	酸化状態測定

影響の定性・定量的な解析から、将来的には、劣化の 保護方法、修復方法なども検討したい。引き続き、材 料の広範囲な応用、用途の拡大を図っていきたい。

J C M A

- 5) 小笠原俊夫,他:配向カーボンナノチューブ/エポキシ複合材料の力学特性,日本複合材料学会誌,39,6 (2013),240247.
- 6) 石川洋二,他:2F14 宇宙応用を目指した先端材料宇宙曝露実験テーマについて、第59回宇宙科学技術連合講演会講演集,JSASS-2015-4317,2015.10.7-9.

#### 《参考文献》

- 1) http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/exham/
- 2) 大林組, 季刊大林 N0.53 「タワー」,宇宙エレベーター建設構想,2012 年 2 月.
- Inoue, Y. et. al., Anisotropic carbon nanotube papers fabricated from multiwalled carbon nanotube webs, CARBON, 49 (2011) , pp. 2437-2443
- 4) 井上翼:連続乾式によるカーボンナノチューブ紡績糸,日本画像学会 誌,第53巻,第1号,71-76,2014.



[筆者紹介] 渕田 安浩 (ふちた やすひろ) ㈱大林組 技術本部 技術研究所 技術ソリューション部 主任研究員

