

[20003]

## 放射線照射が AO コーティング／繊維強化複合材料の

### 衝撃破壊メカニズムに与える影響

#### Effects of Irradiation on Impact Fracture Mechanism of AO Coating / Fiber Reinforced Composites

西田政弘<sup>#,A)</sup>

Masahiro Nishida <sup>#,A)</sup>

<sup>A)</sup> Department of Electrical and Mechanical Engineering, Nagoya Institute of Technology

#### Abstract

Atomic oxygen (AO) coating/fiber reinforced composites were proposed as strong materials against space environment such as electron beam, gamma ray, atomic oxygen and space debris impact. Last year, the effects of AO coating on impact fracture behavior were examined before examining the effects of electron beam and gamma ray irradiation. AO coating/aluminum alloy plates and AO coating/epoxy CFRP plates as well as AO coating/polyimide CFRP plates were prepared for clarifying impact fracture mechanism.

**Keyword:** Space debris, Hypervelocity impact, Polyimide CFRP, Gamma ray, Electron beam

#### 1. はじめに

宇宙環境のうち、放射線（電子線、ガンマ線）、原子状酸素、紫外線、温度、熱サイクル、高真空などの因子は材料特性に影響を与える可能性があり、その影響について、様々な研究が行われている。炭素繊維強化複合材料（CFRP）は宇宙構造物に使われており、宇宙環境の影響について研究が行われている。

また、低軌道上では宇宙ゴミ（スペースデブリ）は、その平均衝突速度が 10km/s 程度であるため、衝突時には、貫入や貫通により多くの破片が飛散し、破片は宇宙ゴミとなる。そこで、宇宙ゴミの軌道予測、除去、発生防止、防御など、いろいろな研究が行われており、防御においては、非常に速い衝突速度における破壊メカニズムを解明することが重要である<sup>[1,2]</sup>。これまで、高速衝突時の破壊メカニズムに関する研究があるが、アルミニウム合金を用いた研究が多く、CFRP の高速衝突時の破壊メカニズムについての研究例は少ない。今後、人工衛星の寿命が延びていくことが予想され、宇宙環境が CFRP の強度や剛性に与える影響は、重要になってくる。当研究グループは、これまで、ガンマ線<sup>[3]</sup>および電子線<sup>[4]</sup>に照射した CFRP へ高速の飛翔体衝突により、CFRP の破壊挙動が変わることを明らかにしている。

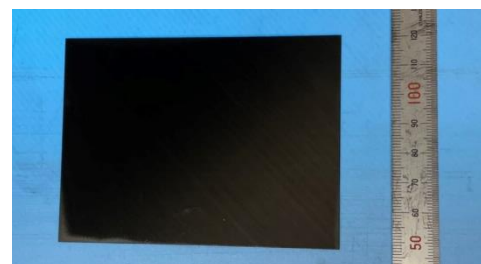
本研究で用いた CFRP はポリイミド樹脂を基材とした CFRP（ポリイミド CFRP）である。ポリイミド樹脂は放射線に強い種類が開発されており、IKAROS のソーラーセイル材料として実績がある。しかし、ポリイミド樹脂も、原子状酸素（AO）の衝突で表面が劣化してしまう可能性があるため、宇宙ステーション補給機 HTV に実績のある耐 AO コーティング材を、ポリイミド CFRP の表面に塗布した複合材（耐 AO コーティング／ポリイミド CFRP）は、宇宙環境に強い材料と考え、提案している。しかし、ガンマ線、電子線が耐 AO コーティング材に与える影響は太陽光吸収率について調べられている

のみで、強度については不明であることから、ガンマ線、電子線の照射が衝撃破壊現象に与える影響を詳しく調べる。

本研究では、一般共同研究で、2019 年からの 3 年計画で、耐 AO コーティング／ポリイミド CFRP のガンマ線、電子線、さらには、耐原子状酸素の照射の影響、宇宙ゴミの衝突による複合効果を調べる予定である。しかし、2020 年度はコロナ禍のため、一度もガンマ線、電子線の照射ができなかった。本稿では、2020 年度の準備状況を報告する。



(a) AO coating/aluminum alloy plates



(b) AO coating/epoxy CFRP plates

Figure 1. Photographs of specimens.

<sup>#</sup> nishida.masahiro@nitech.ac.jp

[20003]

## 2. 試験片の準備状況

ターゲット材には、JAXA 提供のプリプレグから製作したポリイミド CFRP (厚さ: 1.0 mm, 8 ply, 積層方向  $[45^\circ/0^\circ/-45^\circ/90^\circ]_s$  の擬似等方性) を用いた。ポリイミド樹脂は放射線に強い種類が開発されており、IKAROS のソーラーセイル材料として実績がある。ポリイミド樹脂を基材とした CFRP (ポリイミド CFRP) が開発されており<sup>[5,6]</sup>, 本研究で用いた。

コーティング材には、有機-無機ハイブリッド材料であり、耐原子状酸素性が認められているシルセスキオキサン誘導体 SQ シリーズ (東亜合成 (株) 製)<sup>[7,8]</sup> を用いた。

前年度の結果を受けて、耐 AO コーティング/ポリイミド CFRP を準備した。コーティング厚さの影響を調べるために、耐 AO コーティングの厚さは、20~30  $\mu\text{m}$  の 5 種とし、実験結果を元に、衝撃破壊のメカニズムを明らかにする予定であった。

さらに、基盤材料の影響を明らかにするために、ポリイミド CFRP と厚さが同じであるアルミニウム合金およびエポキシ CFRP を選定し、それぞれ 2~4 種のコーティング厚さを持つ耐 AO コーティング/アルミニウム合金および耐 AO コーティング/エポキシ CFRP を作製し、照射の機会を待っていた。一例として、図 1 に、試験片の写真を示す。

## 3. 1 号加速器での照射準備状況

試験片準備の目途が立ったため、9 月頃の照射を希望して、1 号加速器での照射日、照射条件について、7 月にメールでやり取りをしていたが、愛知県の緊急事態宣言が発令される予定との連絡により、大学から他県への出張禁止が発表され、照射日の打ち合わせを中断した。愛知県の緊急事態宣言は 8/6 に発令され、9/19 に解除された。

緊急事態宣言の解除後に学内調整を済ませて、照射日、照射条件について、メールで打ち合わせを行い、照射日を 2021 年 1 月 13 日に予約した。実験準備、出張準備を済ませたが、1/8 に一都三県に緊急事態宣言が発令され、大学から、一都三県を通過する出張禁止が発表され、1/13 の照射を辞退する旨、連絡した。その結果、2020 年度は一度も照射することができなかった。

## 4. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K04072 の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 八坂哲雄, 宇宙のゴミ問題—スペース・デブリ, 裳華房, 1997.
- [2] 木部勢至朗, "宇宙の厄介者: スペースデブリ", 航空と文化, 106, 2013.  
[http://www.aero.or.jp/web-koku-to-bunka/2013\\_04/201304.html](http://www.aero.or.jp/web-koku-to-bunka/2013_04/201304.html)
- [3] Masahiro Nishida, Akie Hongo, Yasuyuki Hiraiwa, Masumi Higashide, Effects of gamma ray irradiation on penetration

hole in and fragment size from carbon fiber reinforced composite plates in hypervelocity impacts, Composites Part B: Engineering, 169, 2019, 229-238.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818335224>

- [4] 本江晶絵, 西田政弘, 東出真澄, 超高速衝突による CFRP の破壊挙動と放射線の関係性, 第 43 回複合材料シンポジウム講演論文集 (2018)
- [5] 石田雄一, 耐熱高分子基複合材 (耐熱 CFRP) の適用技術研究, 日本航空宇宙学会誌, 38, 2020.
- [6] Miyauchi, M., Ishida, Y., Ogasawara, T. and Yokota, R., Highly soluble phenylethynyl-terminated imide oligomers based on KAPTON-type backbone structures for carbon fiber-reinforced composites with high heat resistance, Polymer J., 45, 2013, 594-600.
- [7] 古田尚正, 北村昭憲, 鈴木 浩, 石澤淳一郎, 木本雄吾, 田村高志, シルセスキオキサン誘導体「光硬化型 SQ シリーズ」の宇宙用材料への応用~耐原子状酸素コーティングの開発~, 東亜合成グループ研究年報, 16, 10 (2013).
- [8] 古田尚正, 藤田武士, 北村昭憲, シルセスキオキサン誘導体の耐熱用途への展開と宇宙機用保護コーティング剤の開発, 色材協会誌, 90(6), 207 (2017).