

耐 AO コーティングが CFRP からのイジェクタに与える影響 Effects of Atomic Oxygen Protective Coating on Ejecta from CFRP

名古屋工業大学 西田政弘, 高原秀征
東亜合成株式会社 古田尚正, 藤田武士
JAXA 東出真澄, 石田雄一

1. はじめに

地球の低軌道には、数多くのスペースデブリがあり、平均の衝突速度は 10 km/s 程度である。1 km/s 以上の超高速で衝突すると、表面にはクレータ（凹み）が形成されて、イジェクタが発生する、もしくは貫通した場合は、前方へのイジェクタが発生する。前方へのイジェクタはスペースデブリになるため、スペースデブリは自己増殖的に増加していくと考えられている¹⁾。そのため、スペースデブリの問題に対して、前方へのイジェクタが少ない材料が望ましいと考えられ、第一著者らのグループは、衝突時のイジェクタが少ない材料を開発することを目的として、幾つかの研究を進めている^{2,4)}。

本研究では、イジェクタが少ない材料（複合材）を開発することを目的とし、炭素繊維強化複合材料（CFRP）の表面にコーティングすることで、強度を保ちつつ、イジェクタを低減することを試みた結果を報告する。

2. 実験方法

JAXA ISASの二段式軽ガス銃および名工大の二段式軽ガス銃を使用して、研究を進めている。CFRPには、JAXA提供のプリプレグから製作したポリイミドCFRP（寸法 75 mm×100 mm, 厚さ：1.0 mm程度, 8 ply, 擬似等方積層 [45°/0°/-45°/90°]s）を用いた。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^{5,6)}、本研究で用いた。

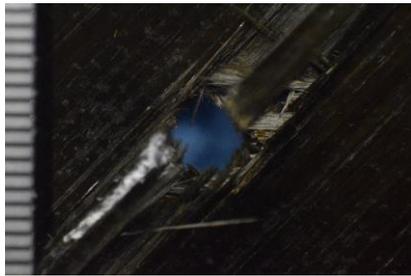
コーティング材料には、有機-無機ハイブリッド材料であり、耐原子状酸素（耐AO：Atomic Oxygen）性が認められているシルセスキオキサン誘導体 SQシリーズ（東亜合成（株）製）^{7,8)}を用い、本報告では、コーティング厚さは5 μmの結果を示す。コーティング厚さ5 μmの場合は、面密度は、コーティングが無い場合に対して、0.6%増加することになる。飛翔体は、アルミニウム合金球 A2017-T4, 直径1.6 mmを用いた。耐AOコーティング/ポリイミドCFRPターゲットの固定装置をFig. 1に示す。前方および後方に噴出したイジェクタを分けて回収できるように実験装置を準備した。

3. 実験結果

Fig. 2, 3に、試験片の貫通孔まわりの写真を示す。衝突面側の表面層の繊維方向にそって、長く剥がれた部分が観察できる。剥がれた破片（イジェクタ）はアルミニウム合金からのイジェクタに比べ、サイズが大きく、前方に飛散すれば、大きなスペースデブリになる危険性が高い。擬似等方性の材料であることから、貫通孔はほぼ円形である。貫通孔の面積を画像処理ソフトImageJにより算出した結果をTable 1に示す。コーティングにより貫通孔が明確に小さくなっている。面密度が僅かに増加したのみであるが、15%程度、低下している。Fig. 4に、前方へ噴出したイジェクタの累積個数分布を示す。衝撃実験後に、実験チェンバーから回収したイジェクタを一個一個、撮影し、その写真を画像解析ソフト（ImageJ）で解析することにより、サイズ分布を求めた。結果の一例として、長さ a に関する累積個数分布をFig. 4に示した。5 μmのコーティングでは、イジェクタは大きく変化していないことがわかる。



Fig. 1 Experimental setup for impact test ⁹⁾

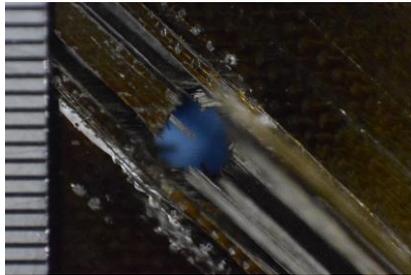


(a) Impact side

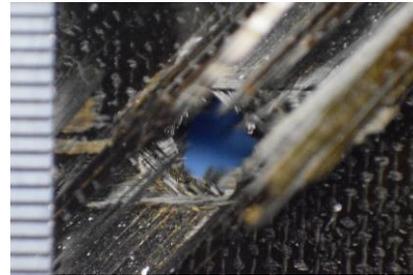


(b) Rear side

Fig. 2 Photographs of perforation holes of specimens without coating ⁹⁾



(a) Impact side



(b) Rear side

Fig. 3 Photographs of perforation holes of specimens with coating of 5 μm ¹⁰⁾.

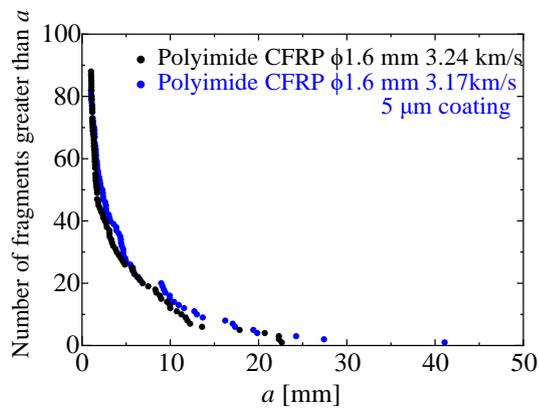


Fig. 4 Length distribution of ejecta ¹⁰⁾.

Table 1 Areas of perforation holes

	Impact velocity	Arial density	Areas of perforation holes
Without coating	3.24 km/s	0.170 g/cm ²	3.93 mm ²
Coating 5 μm	3.17 km/s	0.171 g/cm ²	3.35 mm ²

4. 結言

コーティングがイジェクタに与える影響を調べた。コーティングにより、貫通孔径は明確に小さくなり、イジェクタはあまり変化がなかった。今後は、さらにコーティングの条件を変化させて実験していき、イジェクタの低減を目指す。

5. 謝辞

本実験にあたり、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 スペースプラズマ共同研究設備を利用しました。コーティングに関しまして、名古屋工業大学 栗山 晃 特任教授に、アドバイスいただきました。本研究は、JSPS 科研費 19K04072 の助成を受けたものである。ここに記して、謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 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).
- 2) 西田政弘, 茂崎悠士朗, 山田浩之, 田中宏樹, 超高速衝突による高純度アルミニウムおよびアルミニウム合金からのイジェクタおよびクレータサイズ, 軽金属学会 第 136 回春期大会講演概要, 講演 No. 59, (2019).
- 3) 西田政弘, 湊田順也, 野村幸弘, 超高分子量ポリエチレン繊維複合材によるアルミ合金製デブリバンパーからのイジェクタの低減, 第 8 回「スペースデブリワークショップ」講演資料集, 講演 No. B16 (2019).
- 4) 西田政弘, 湊田順也, 野村幸弘, イジェクタ低減を目指した有機繊維補強複合材料の開発 (超高分子量ポリエチレン繊維複合材を用いた場合), 平成 30 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム, 資料番号 SA6000139018 (2019).
- 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, 68(2), 2020, pp. 38-42.
- 6) Miyachi, 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, 第 16 号, pp. 10-15 (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 巻 6 号, pp. 207-211 (2017).
- 9) 高原秀征, 西田政弘, 古田尚正, 岩瀬賢明, 東出真澄, 石田雄一, 日本材料学会 第69期学術講演会 講演論文集, (2020), 講演No. 106.

- 10) 高原秀征, 西田政弘, 古田尚正, 岩瀬賢明, 東出真澄, 石田雄一, 耐原子状酸素コーティングされたポリイミドCFRPの超高速破壊挙動, 材料の衝撃問題シンポジウム講演論文集 (2020), 講演 No.20.