

# コーティングが CFRP からのイジェクタに与える影響

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

## 1. はじめに

地球の低軌道に、多数のスペースデブリが周回し、平均の衝突速度は 10 km/s 程度と言われている。そのような超高速で衝突すると、表面にはクレータが形成され、イジェクタが発生する。イジェクタは宇宙ゴミになるため、スペースデブリは自己増殖的に増加していく<sup>(1)</sup>。それゆえ、宇宙ゴミの問題に対して、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た各種の研究を進めている<sup>(2-4)</sup>。

本研究グループは、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、研究を進めている。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た。ターゲットは、 $[45^\circ/45^\circ/0^\circ/0^\circ/-45^\circ/-45^\circ/90^\circ/90^\circ]_s$ の擬似等方性のCFRP（サイズ：75 mm×100 mm，厚さ：1.0 mm，16 ply，東レP9052F-7）を用い、コーティングには、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>(5,6)</sup>を用い、コーティング厚さは 5  $\mu\text{m}$ とした。その結果、表1に示すように、面密度は、0.4%増加した。飛翔体は、アルミニウム合金球 A2017-T4，直径3.2 mmを用いた。ターゲットの前方と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

図1に、試験片の貫通孔まわりの写真（衝突面）を示す。繊維方向に大きく剥がれた部分が観察できる。大きく剥がれた破片はサイズが大きく、後方へ飛散すれば、防護性能を低下させる危険性があり、前方に飛散すれば、宇宙ゴミになる危険性がある。貫通孔の面積を画像処理ソフトImageJにより算出した。表1にその結果を示す。貫通孔が明確に小さくなっている。面密度が0.4%増加したのみであるが、30%以上低下している。図2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。長さ $a$ の累積個数分布である図2より、コーティングにより、明確に前方への噴出物が減っていることがわかる。面密度が0.4%増加したのみであるが、1 mm 以上のイジェクタの数は、半分以下になっている。

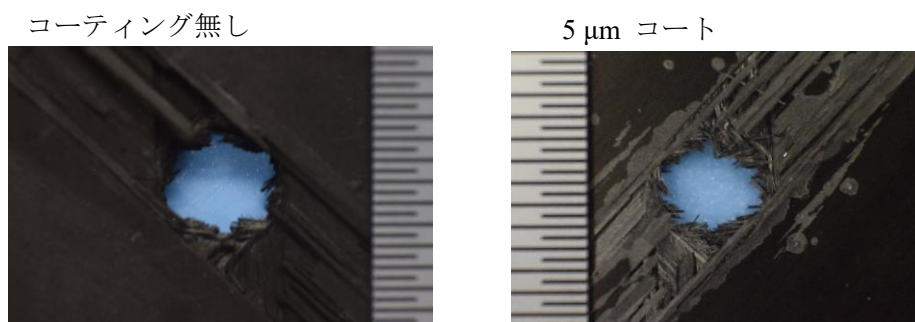


図1 貫通孔周りの写真（衝突面）

表 1 貫通孔径の面積

	衝突速度	面密度	投影面積
コーティング無し	2.30 km/s	0.1550 g/cm <sup>2</sup>	16.8 mm <sup>2</sup>
5 μm コート	2.33 km/s	0.1557 g/cm <sup>2</sup>	11.0 mm <sup>2</sup>

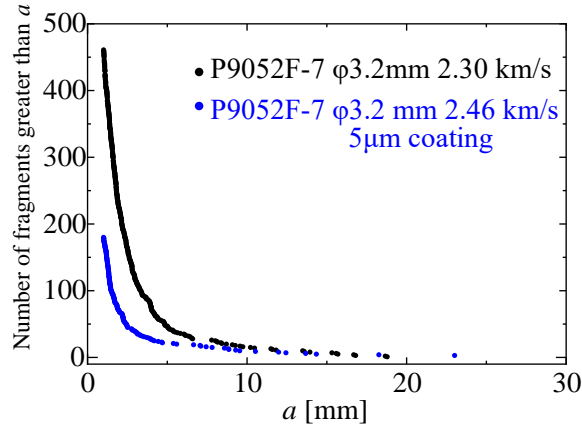


図 2 イジェクタの累積個数分布

#### 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、イジェクタの個数は少なくなった。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、本実験の遂行にあたり、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、アドバイスをいただきました。本研究は、JSPS 科研費 19K04072 の助成を受けたものです。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) 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).

- (6) 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).