

# CFRP への超高速飛翔体衝突による エジェクタに関する研究

○加藤浩明, 西田政弘, 林浩一 (名工大), 東出真澄 (ISAS/ARD)

## 1. はじめに

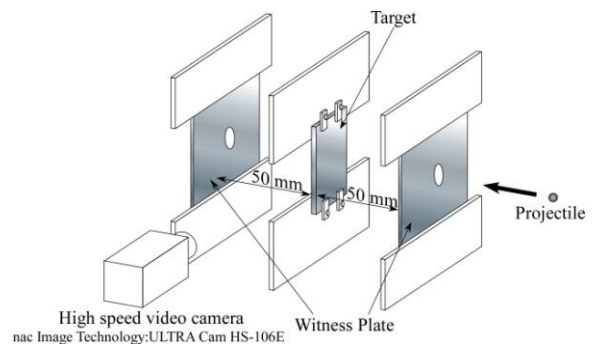
宇宙空間では、スペースデブリ（以下デブリと呼ぶ）と呼ばれる宇宙ゴミが年々増加しており、宇宙構造物に衝突する可能性が高まっている。デブリは非常に高速なため、デブリの衝突は宇宙機に致命的な損傷を与える。また、デブリ衝突によって発生するエジェクタは二次デブリとなり、デブリの数がさらに増加し、衝突の危険性が高まる。エジェクタは数 mm サイズと小さいことが多いが、回収された人工衛星や帰還後のシャトルの表面には、微小デブリの衝突によるものと思われる衝突痕が多数認められた。さらに、この微小デブリが宇宙機に衝突し、機器の不具合を引き起こす要因<sup>(1)</sup>になることや、人工衛星の機能不全を引き起こすことが報告されている<sup>(2)</sup>。エジェクタに関する研究は Mandeville ら<sup>(3)</sup>や赤星ら<sup>(4)</sup>によって国際標準化するための研究が進められている。衛星破砕に対しては NASA 標準破砕モデルも発表されている<sup>(5)</sup>。花田らは、衛星模型を用いて衝突実験を行い、NASA 標準破砕モデルの適用性を再確認し、デブリの速度・質量が破片特性に与える影響を明らかにした<sup>(6)</sup>。また、波多らは CFRP アルミハニカムプレートを用いて実験を行い、NASA 標準破砕モデルの検討および開発を行った<sup>(7)</sup>。しかし、エジェクタの構成（サイズや飛散状況など）には未だ不明な点が多い。

本研究では、近年宇宙構造物材料として用いられている炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のターゲットを用いて、デブリ模擬飛翔体を衝突させ、複合材料である CFRP のエジェクタのサイズ・形状を測定し、各速度におけるエジェクタ形状の違いについて調べる。

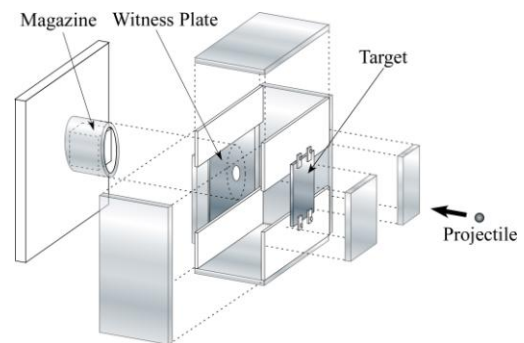
## 2. 実験方法

実験には東邦テナックス株式会社製の CFRP (IMS60/133) をターゲットとして用いた。ターゲットの形状は 150×100 mm で厚さは 3 mm のものを使用した。積層構成は $[+45/0/-45/90]_3s$ とした。また、直径 7 mm のアルミ球を飛翔体とし、名工大の二段式軽ガス銃を用いて実験を行った。衝突速度は 0.9 - 2.8 km/s である。図 1 (a) のようにターゲット前方および後方 50 mm の位置に検証板を設置した。また、図 1 (b) のように前方と後方に噴き出すエジェクタを分けるために、ターゲットと後方の検証板の間にある上下・左右・前後の隙間を塞ぎ、箱を設けた。さらに、検証板の後方に円筒を設け、その中に雑誌を設置することで飛翔体を受け止める構造にした。検

証板（銅板、200 × 200 mm）には中心に飛翔体が通過する穴（直径 25 mm）を開けたものを使用した。また、飛翔体衝突後のエジェクタ飛散挙動を高速度ビデオカメラ（nac Image Technology 社製、ULTRA Cam HS-106E）で撮影した。



(a) Fixed part of target and witness plate



(b) Ejecta recovery part

Fig.1 Experimental setup for hypervelocity impact

## 3. 実験結果・考察

### 3.1 エジェクタ測定定義

実験後、チャンバ内からエジェクタを回収し、ターゲット由来であり、かつ最大長さが 3 mm 以上のものを測定対象とした。エジェクタ寸法は図 2 のように  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ( $x \geq y \geq z$ ) を定義した<sup>(8)</sup>。

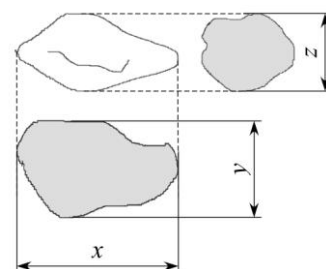


Fig.2 Size definition of ejecta

### 3.2 エジェクタ形状

エジェクタ形状にどのような特徴があるかを調べるため、エジェクタ形状を表すパラメータとして  $y/x$  を用いる。図 3 に  $y/x$  の前方・後方に分けた累積個数分布を示す。

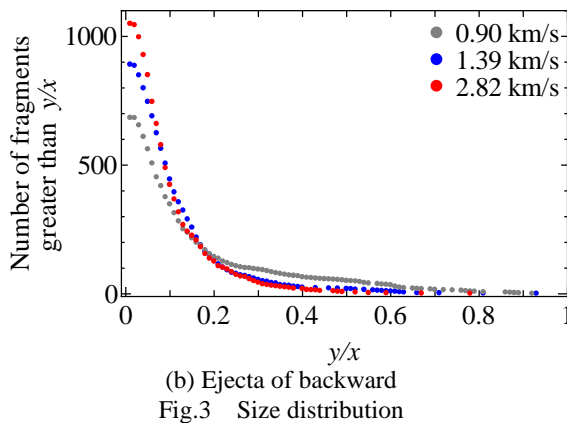
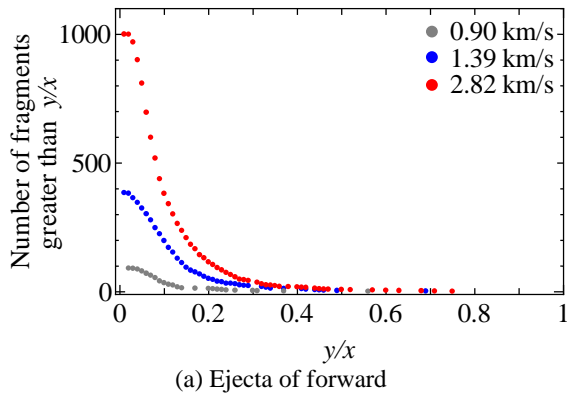


図 3 (a)より速度が大きい方ほど破片個数が多く、 $y/x$  の値が小さいほど個数の差が大きくなっていることがわかる。このことから、前方に噴き出るエジェクタは、速度の増加に伴い、細かく破砕され細長い形状になると考えられる。次に、図 3 (b)より後方に噴き出るエジェクタは、前方の場合と同様に速度の増加に伴い、破片個数が多くなっているが、その差は前方よりも小さくなっていることがわかる。また、0.90 km/s の結果に注目すると、 $y/x$  の値が大きい破片が多くなっており、矩形状の破片が多く生じていることがわかる。この理由としては、プラグ破壊によるものが挙げられる。厚さ 2 mm のアルミニウム板をターゲットとして使い、衝突速度 0.86 km/s で実験を行った際に、実験後回収された飛翔体には、円柱状のプラグと呼ばれる破片が付いて、一体となっていた。CFRP の場合においても、同様にプラグ破壊が起きたと考えられるが、CFRP は複数の層から構成されているため、各層間で剥離が生じ、プラグは生成されずに破砕され、その代わりに比較的大きな矩形状の厚みがある破片が複数発生したと考えられる。

### 4. まとめ

本実験では、CFRP 板にアルミ飛翔体を衝突させ、各速度におけるエジェクタ形状の比較を行った。その結果、前方および後方に噴出したエジェクタの形状はどちらも繊維状の細長い形状のものが大部分を占めていたが、衝突速度 0.90 km/s においては、他の速度域と比較して矩形状の比較的厚みのある破片が多く見られ、これはプラグ破壊によるものではないかと考えられる。

参考文献：

- (1) 川北史郎, 宇宙機設計標準 デブリ防護設計 WG における衝突実験, 「宇宙環境シンポジウム」講演論文集, 131, 2007.3
- (2) 第 4 回「スペースデブリワークショップ」宇宙航空研究開発機構特別資料, JAXA-SP-10-011 (2010) 148,173.
- (3) J.-C. Mandeville, M. Bariteau. : Contribution of secondary ejecta to the debris population, *Adv. Space Res.* Vol. 34. pp.944-950.(2004).
- (4) 赤星保浩, 菅原賢尚, 麻生和宏, 松本紫絵, 高良隆男, 鳴海智博, 松本晴久, 北澤幸人 : 超高速衝突エジェクタ実験方法ならびに計測方法の研究, 平成 21 年度 衝撃波シンポジウム講演論文集, pp.189-192, (2010)
- (5) N.L. Johnson, P.H. Krisko, J.-C. Liou, P.D. Anz-Meador. : Nasa's new breakup model of evolve 4.0, *Adv. Space Res.* Vol. 28, No.9. pp. 1377-1384, (2001)
- (6) 森永幸, 鶴田佳宏, 平山寛, 花田俊也, 低速および高速衝突実験に基づく新しい衛星破砕モデルの構築, 日本航空宇宙学会論文集 vol.57, No.661, pp.56-64, (2009)
- (7) 波多英寛, 花田俊也, 赤星保浩, 八坂哲雄, 原田昭治 : NASA 標準破砕モデルの低速衝突への適用性の検討 (第 2 報 : 静止軌道上物体間における最大衝突速度の考慮), 日本航空宇宙学会論文集 vol.53, No.615, pp.160-165, (2005)
- (8) 粉体工学の基礎編集委員会 : 粉体工学の基礎, pp.31-35, (1992)

謝辞：

本研究を行うにあたり、高速度ビデオカメラを御貸し頂いた株式会社ナックイメージテクノロジー 佐々木 裕康 氏および坂口 俊介 氏に深く感謝いたします。