

斜面に飛翔体衝突した際のイジェクタ形状

林浩一, 西田政弘, 野崎健太, 戸谷一貴 (名工大), 長谷川直 (JAXA)

1. 緒言

スペースデブリの衝突により発生するイジェクタは、宇宙空間に飛散し二次デブリになる。この二次デブリの大きさは比較的小さなものと考えられるが、数百 μm 程度の小さなデブリが高速衝突した際においても、太陽電池パネルやワイヤーハーネス等に損傷を与えることが報告されている^{[1][2]}。したがってイジェクタ発生現象の把握は重要であると考えられる。本研究では、デブリの様々な衝突形態のうち、平面に対する斜め衝突に着目し、クレータ形状とイジェクタサイズ分布について実験的に調べた。

2. 実験方法

実験には ISAS/JAXA の新型二段式軽ガス銃を用いた。図1に示すように、スペーサによりターゲット (A6061-T6, $\phi 95 \times 30 \text{ mm}$) は傾斜した状態で設置されており、それに飛翔体 (A2017-T4, $\phi 3.2 \text{ mm}$) を、およそ 4 km/s の速度で衝突させた。衝突現象により発生するイジェクタの飛散状況を確認するため、ターゲット前方には検証板 (C1100P-1/4H, $150 \times 150 \times 2 \text{ mm}$) を配している。飛翔体とターゲットの衝突角度 θ は、 10 deg. から 60 deg. の範囲で 10 deg. 毎に実験を行った。衝突現象終了後、ターゲットに生じたクレータの断面形状は輪郭形状測定器 (東京精密, コンターレコード 600B) を用いて測定した。また、イジェクタは図2に示すように、長さ a , b , c と投影面積 A_e を定義し、イジェクタの写真をもとに、 a および A_e を、画像解析ソフト (ImageJ) を用いて測定した。

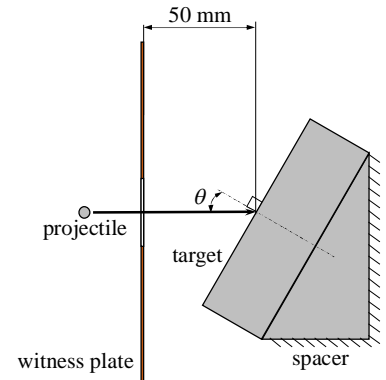


図1 実験装置

3. 実験結果・考察

ターゲットに生じたクレータは図3に示すように、衝突角度が比較的小さい領域ではほぼ円形状であるが、衝突角度が大きくなるに従い、飛翔体の入射方向に長軸を持つ楕円形状になっている。また衝突角度が 50 deg. と 60 deg. のクレータには、飛翔体入射側の反対側に放射状の痕が発生している。この放射状の痕は、衝突角度が大きい 60 deg. の方がより広範囲に生じている。図4に飛翔体入射方向の中心軸を通る断面における、クレータ形状を示す。クレータ長さは衝突角度が変わってもほぼ一定であるのに対し、クレータ深さは衝突角度が大きくなるにしたがい浅くなる傾向が見られた。また衝突角度が比較的小さい 40 deg. までのクレータは、表面が滑らかであるのに対し、衝突角度が 50 deg. や 60 deg. のクレータは、飛翔体入射側の反対側の面に、凹凸が見られる。この凹凸の有無は、図5に示すクレータ外観の拡大写真によっても確認でき、凹凸は瘤状のものであることがわかる。

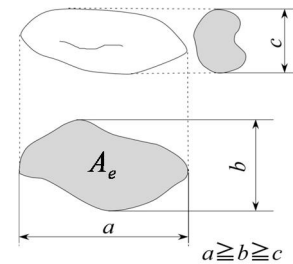
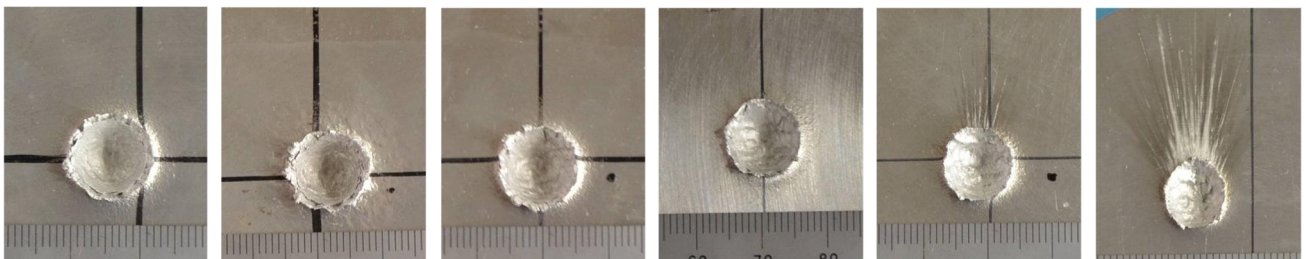


図2 イジェクタサイズの定義

図6は、最大長さ a が 0.5 mm 以上の大きさを持つイジェクタのみを対象にした場合における、投影面積 A_e の累積個数分布 $N(A_e)$ である。衝突角度が大きくなるにしたがい、投影面積のほぼ全域にわたりイジェクタの累積個数が少なくなっており、衝突角度が隣り合う累積個数の差は、衝突角度が大きいほど顕著である。このことからイジ



(a) $\theta=10 \text{ deg.}$ (b) $\theta=20 \text{ deg.}$ (c) $\theta=30 \text{ deg.}$ (d) $\theta=40 \text{ deg.}$ (e) $\theta=50 \text{ deg.}$ (f) $\theta=60 \text{ deg.}$

図3 クレータ外観写真 (飛翔体は写真下側から上側向きに入射)

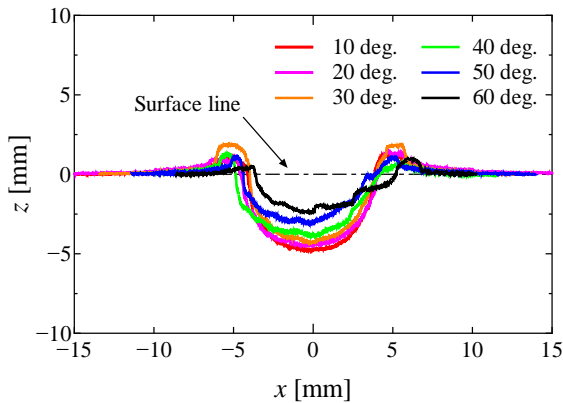


図4 クレータ断面形状 (x軸は飛翔体入射方向, z軸はクレータ深さ方向を示す. 飛翔体はx軸マイナス側から入射)

エクタの累積個数は、飛翔体速度 v の垂直方向成分 $v\cos\theta$ に依存していると予測した。一方で野崎らは、イジェクタの累積個数は飛翔体速度の二乗に比例しており、その分布は双線形指数分布モデルで表すことができることを報告している^[3]。これらのことを踏まえ、イジェクタ投影面積の累積個数分布に対するモデル式を重回帰分析により求めた結果、次の式が得られた。

$$\frac{N(A_e)}{(v\cos\theta)} = 5.99e^{-0.70 A_e} + 32.65e^{-5.89 A_e} \quad (1)$$

このモデル式は図7に示すように、各衝突角度の累積個数分布に対して決定係数 R^2 も十分大きく、実験結果をよく表していることが確認できた。

4. 結言

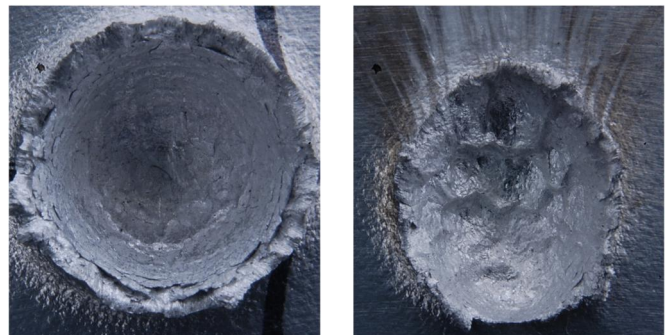
衝突速度 4 km/s, 衝突角度 10 deg. から 60 deg. で高速斜め衝突を行った結果、次の結論が得られた。

- ・衝突角度が大きくなるにしたがいクレータは浅くなり、飛翔体入射側の反対側に放射状の痕や、クレータ表面の凹凸が発生するようになる。
- ・イジェクタ投影面積の累積個数分布は飛翔体速度垂直方向成分の二乗に比例し、双線形指数分布モデルで近似できる。

最後に、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本部スペースプラズマ共同研究設備を利用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 川北史朗: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, pp.131-134, (2007)
- [2] 川北史朗, 他:太陽電池パネルのデブリ衝突による電氣的影響, スペースプラズマ研究会, pp.120-123, (2006)
- [3] 野崎健太, 他:アルミニウム合金同士の高速度衝突によるイジェクタのサイズ分布, 衝撃波シンポジウム講演論文集, pp.113-116, (2013)



(a) $\theta=10$ deg.

(b) $\theta=60$ deg.

図5 クレータ外観の拡大写真 (飛翔体は写真下側から上側向きに入射)

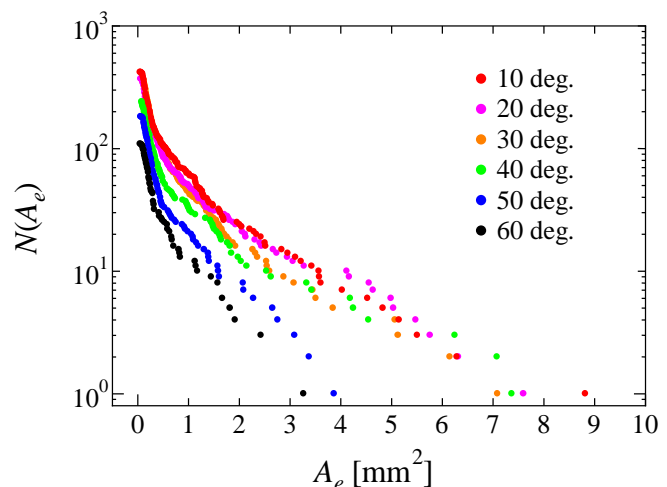


図6 イジェクタ投影面積の累積個数分布

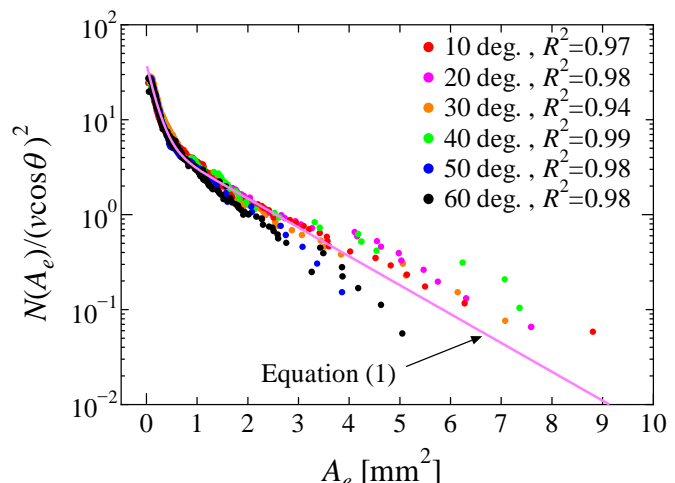


図7 縦軸を衝突速度の垂直速度成分 $v\cos\theta$ の二乗で除した場合におけるイジェクタ投影面積の累積個数分