

アルミニウム合金ターゲットからのエジェクタのサイズ分布

野崎 健太(名工大) 西田 政弘(名工大)
林 浩一(名工大) 長谷川 直(JAXA)

1. 諸言

宇宙空間には数多くのスペースデブリが存在しており、その個数は急激に増加している。100 mm を超えるデブリは回避行動をとることが可能であるが、近年の研究により回避不可能な微細なデブリでも宇宙構造物の機能不全を引き起こす原因となり得ることが確認されている[1][2]。本研究では、実際に宇宙空間での衝突現象に近いアルミニウム合金同士の高速度衝突実験を行い、生じるエジェクタのサイズと個数の分布を調べた。

2. 実験方法

飛翔体は直径3.2 mmのアルミニウム合金球(A2017-T4)を用いた。ターゲットには直径95 mm, 厚さ30 mmのアルミニウム合金(A6061-T6)を用いた。また、検証板には150 mm×150 mm, 厚さ2 mmの銅板(C1100P-1/4H)を用い、ターゲットから50 mm前方に設置した。装置はISAS/JAXAの新型銃を使用し、衝突の様子を高速度ビデオカメラ(株式会社島津製作所製HPV-1)を用いて撮影した。

3. 実験結果および考察

3.1 エジェクタ形状

エジェクタ形状の定義として図1に示すように最大長さを a 、幅方向を b 、厚さ方向を c とした。また、 a 、 b が見える状態での投影面積を D とした。エジェクタをカメラで撮影し、Image Jで解析した。 a はエジェクタが内接する円の直径から、投影面積 D はピクセル数から求めている。 c はマイクロメータで測定した。

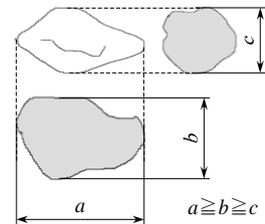


図1 エジェクタ形状の定義

3.2 NASA標準破砕モデル[3]との比較

NASAは実際に軌道上の衝突実験などを参考に、式(1)に示すようにNASA標準破砕モデルと呼ばれる、エジェクタのサイズ分布モデル式を作成している。

$$N(L_c) = 0.1 \cdot (M)^{0.75} \cdot L_c^{-1.71} \quad (1)$$

ここで、 L_c は、特性長さと呼ばれるものであり、 $L_c = (a+b+c)/3$ で定義される。また、 M は、部分破壊において小物体の質量と衝突速度の2乗との積として定義される。NASA標準破砕モデルと本実験結果とを比較したグラフを図2に示す。図2から、それぞれの実験結果とNASA標準破砕モデルとの間には大きなずれが生じており、実験結果の方が数百個ほどエジェクタの数が多いこ

と分かる。

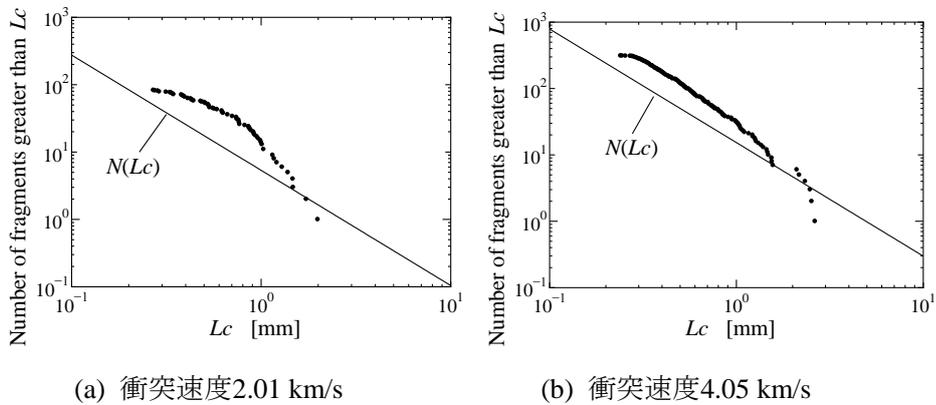


図2 NASA標準破砕モデルとの比較

3.3 双線形指数分布モデル[4]との比較

衝突速度がエジェクタの個数に与える影響について、2.01 km/s、4.05 km/s、6.09 km/sの3つの衝突速度の実験結果を比較したものを図3(a)に示す。図3(a)から、エジェクタの発生個数は衝突速度の2乗に比例していると考えられたため、 D の累積個数を速度の2乗で除して比較したものを図3(b)に示す。図3(b)から、異なる衝突速度での実験結果でもエジェクタ個数を速度の2乗で除した結果、エジェクタ分布はほぼ一致することがわかる。

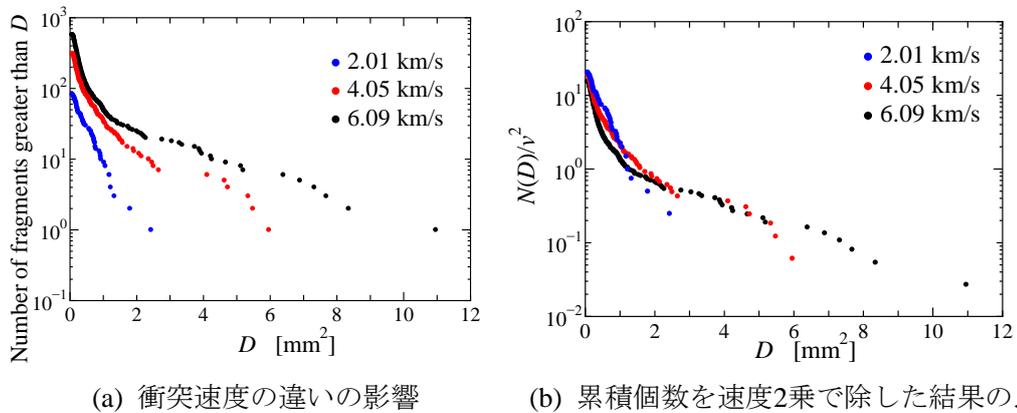


図3 エジェクタ個数への衝突速度の影響

そこで、衝突速度をパラメータとするモデル式を双線形指数分布式 $N(D)/v^2 = A \cdot e^{-B \cdot D} + C \cdot e^{-ED}$ と仮定し、曲線近似により、係数 A 、 B 、 C 、 E を求めた結果得られた式を式(2)に示す。

$$\frac{N(D)}{v^2} = 1.27 \cdot e^{-0.34 \cdot D} + 20.33 \cdot e^{-4.95D} \quad (2)$$

式(2)と実験結果とを比較したものを図4に示す。図4から、どの速度においても決定係数が0.92を上回っており、作成した双線形指数分布モデル式が実験結果の傾向をよく表していることが確認された。

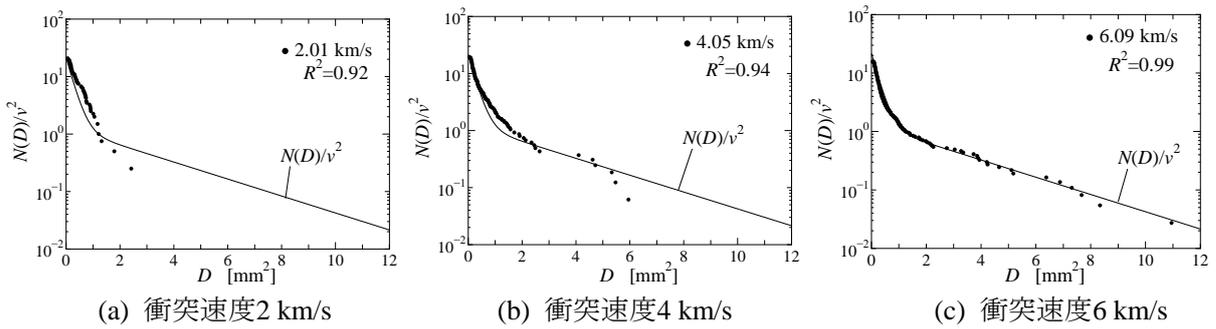


図4 双線形指数分布モデルとの比較

3.4 斜め衝突

図5に示すように、高速度ビデオカメラの映像から、比較的大きなエジェクタが検証板の穴を通り抜け、銃の砲身の中へ進んでいることが分かる。しかしこのサイズのエジェクタは、チャンバーから回収されず、エジェクタの回収漏れの可能性が考えられた。そこで、エジェクタの回収率の向上を目指して、ターゲットを 10° 傾けた斜め衝突を行った。その結果、高速度ビデオカメラからは検証板の穴を通り抜けるエジェクタは観察されなくなった。実際にエジェクタサイズの測定をした結果を図6に示す。

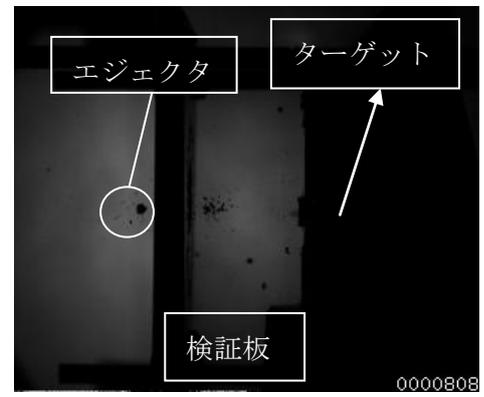
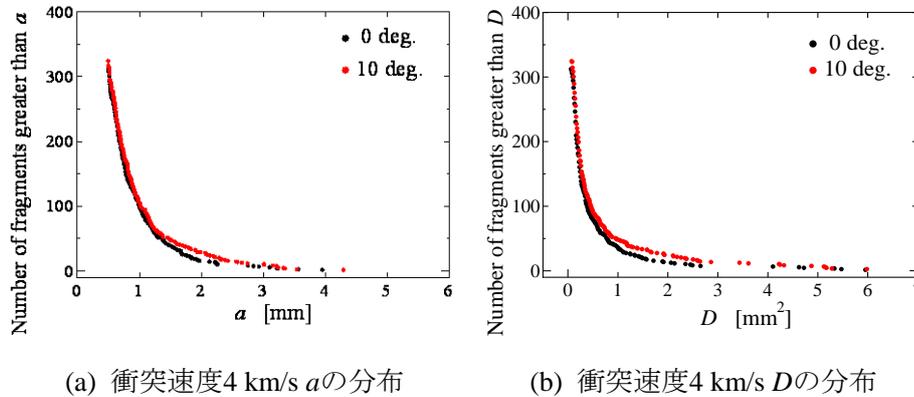
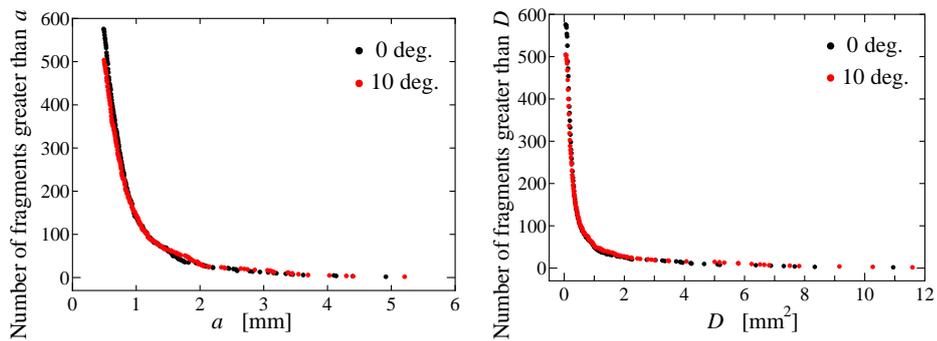


図5 高速ビデオカメラの映像

図6から、エジェクタサイズが大きい部分の領域において 10° 傾けた方がエジェクタの個数は多く、得られたエジェクタの最大サイズも大きくなっていることが分かる。よって、エジェクタの回収率は向上したと言える。これより、エジェクタの回収率のことを考えると、 10° 傾けた斜め衝突は有効であると考えられる。また、斜め衝突の方が多く得られるものの、エジェクタの総数から比べるとその割合は非常に少ないため、エジェクタの分布が大きく変化しないことも確認された。





(c) 衝突速度6 km/s a の分布

(d) 衝突速度6 km/s D の分布

図6 斜め衝突の実験結果

4. まとめ

エジェクタの個数は衝突速度の2乗に比例しており、その累積個数分布は双線形指数分布モデルを用いることにより、実験データによく表す式を作成することができた。衝突角度を 10° 傾けることにより、大きいサイズのエジェクタの回収率は高くなったと考えられる。

参考文献

- [1] 中本裕史, 松本紫絵, 増山信吾, Pauline Faure, 赤星保浩, 高良隆男, 松本晴久, 北澤幸人 : 国際標準化のためのイジェクタ実験の計測, 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム 2011 論文集, pp.68-72(2011)
- [2] 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, 平成 19 年度 宇宙環境シンポジウム講演論文集, pp.131-134, (2007)
- [3] Johnson, N.L., Krisko, P.H., Liou, J.-C. and Anz-Meador, P.D. : NASA's New Breakup Model of EVOLVE 4.0, Adv.Space Res, 28(2001), pp1377-1384
- [4] D.Grady, Shock Wave and High Pressure Phenomena,(2006) 7-32