

超高速衝突における運動量移動とイジェクタ飛散挙動

林 浩一（鳥羽商船高専），黒崎 裕久（JAXA），
西田 政弘（名古屋工業大学），柳沢 俊史（JAXA）

1. はじめに

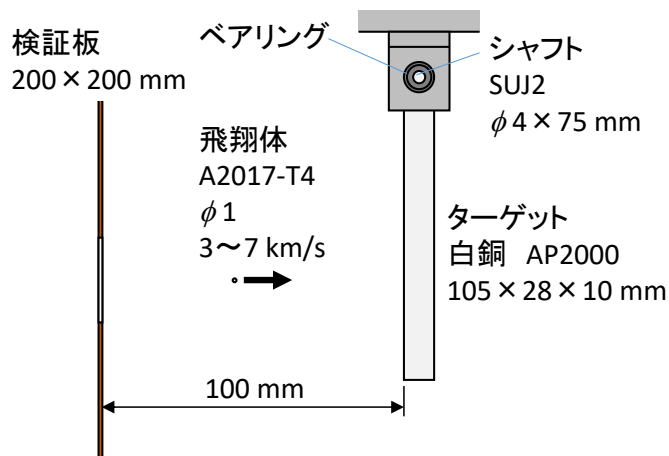
デブリを観測すると，光度が周期的に変動しているものがあり，それらのデブリは回転しながら地球の衛星軌道上を周回していると考えられている⁽¹⁾．しかしデブリが回転するメカニズムは不明である．筆者らは，微小デブリとデブリが超高速で衝突することにより，衝突前の微小デブリが持つ運動量が増幅されてデブリに移動することでデブリが回転する可能性に着目した．そしてデブリの材質として多いと考えられるアルミニウム合金製ターゲットに，同じくアルミニウム合金製の飛翔体を超高速衝突させ，衝突前の飛翔体が持つ運動量と衝突後のターゲットが得る運動量の比である運動量の増幅率 η と，衝突速度の関係を調べてきた．その結果，アルミニウム合金同士の超高速衝突においても，衝突速度が高くなるにしたがい η が大きくなる現象が確認された^(2,3)．本報では，超高速衝突における運動量増幅要因であるイジェクタの飛散挙動と，運動量増幅率 η の関係について実験的に調べた結果を報告する．

2. 実験方法

実験は図1に示すように，アルミニウム合金（白銅，AP2000）製振り子ターゲットに，宇宙科学研究所の横型二段式軽ガス銃を用いて加速した直径1 mmのアルミニウム合金（A2017-T4）製飛翔体を，約3，5，7 km/sの3つの速度域で衝突させて行った．運動量増幅率 η を測定する方法の詳細は，文献⁽³⁾を参照されたい．一方で，飛翔体の衝突により発生するイジェクタの飛散挙動としては，イジェクタ質量，イジェクタ飛散速度，イジェクタ飛散角度の3つに着目して実験を行った．イジェクタ質量はターゲットの質量を電子天秤（島津製作所，AUW120D）で測定し，実験前と後の質量差から求めた．イジェクタ速度は高速度カメラ（島津製作所，HPV-X）で撮影した映像から，画像解析ソフトを用いて算出した．イジェクタ飛散角度については，ターゲット前方に設置した検証板を用い，イジェクタ衝突による打痕の位置から求めた．

3. 実験結果

測定された運動量増幅率 η とイジェクタ質量の関係を図 2 に示す．運動量増幅率とイジェクタ質量の相関係数は 0.79 であり，両者は比較的強い相関を持つことがわかる．グラフ中の直線は最小二乗法で求め



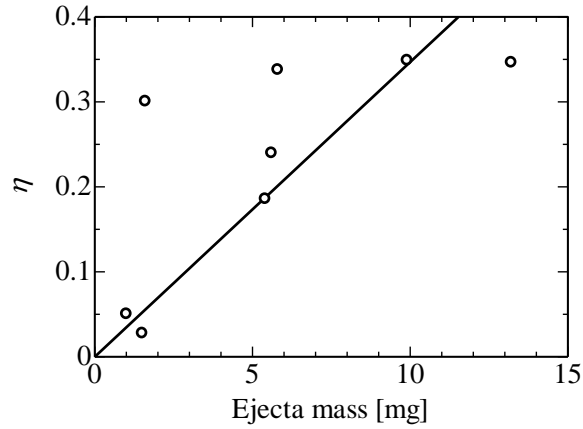


図2 運動量増幅率とイジェクタ質量の関係

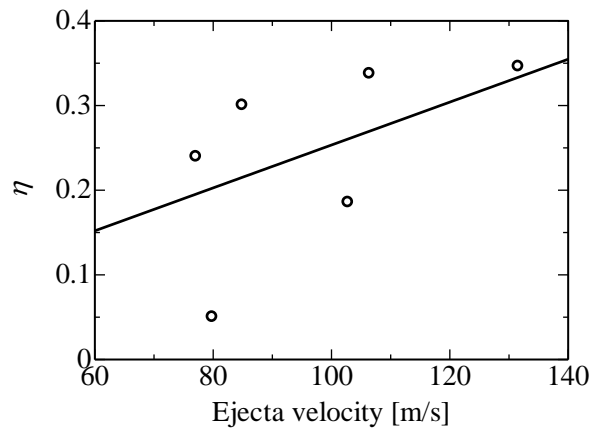
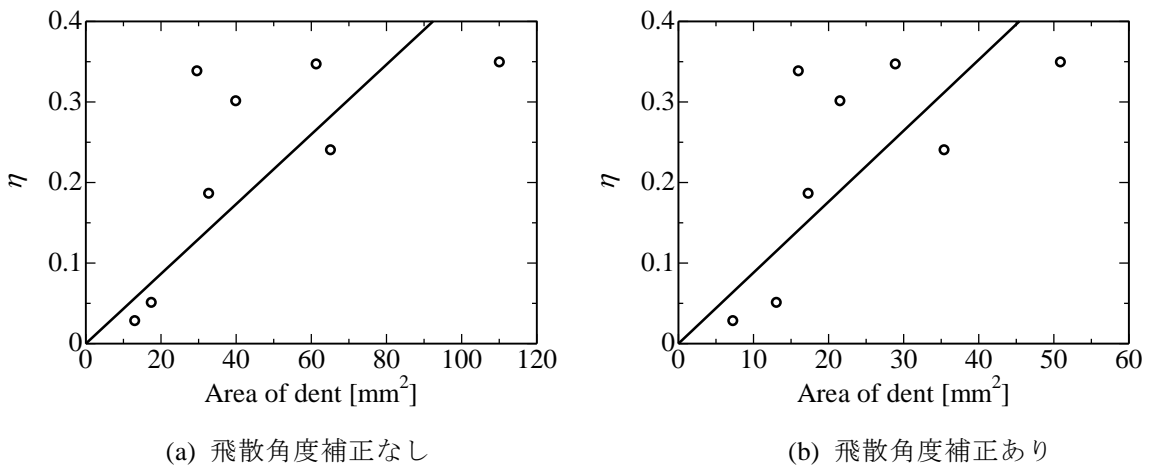


図3 運動量増幅率とイジェクタ速度の関係



(a) 飛散角度補正なし

(b) 飛散角度補正あり

図4 運動量増幅率とイジェクタ打痕面積の関係

た近似直線であり、イジェクタ質量が増加するにしたがい、運動量増幅率が大きくなることが確認できる。

図3は運動量増幅率 η と、イジェクタ速度の関係を示したものである。飛翔体がターゲットに衝突後、初めに比較的小さなイジェクタが高速で飛散し、その後に比較的大きなイジェクタが低速で飛散する様子が見られるが、ここでは後者のイジェクタの速度を対象としている。運動量増幅率とイジェクタ速度の相

関係数は 0.49 であり、両者は比較的弱い相関を持つことがわかる。グラフ中の直線は図 2 の場合と同様に最小二乗法で求めた近似直線であり、イジェクタ速度が速くなるほど運動量増幅率が大きくなることが確認できる。

図 4(a)は運動量増幅率とイジェクタによる総打痕面積の関係を示したものである。打痕面積の大きさはイジェクタの大きさ、即ちイジェクタ質量に比例すると仮定した場合、運動量増幅率と総打痕面積は、前述の運動量増幅率とイジェクタ質量の関係と同様に、比例関係にあると考えられる。図中の直線は近似直線であり、運動量増幅率と総打痕面積の相関係数は 0.78 と大きいことから、この仮定は正しいことが確認できる。一方で図 4(b)は、測定された個々の打痕面積 A に対して、次式により飛散角度 θ を用いて補正した打痕面積 A' の合計値と運動量増幅率の関係を示したものである。

$$A' = A \cos \theta \quad (1)$$

この場合の相関係数は 0.78 であり、飛散角度による補正がない場合との差は見られなかった。このことから、イジェクタ飛散角度が運動量増幅率に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4. まとめ

アルミニウム合金同士の超高速衝突において、発生するイジェクタの飛散挙動と運動量増幅率の関係を実験的に調べた。その結果運動量増幅率には、イジェクタの質量が最も大きく影響することが確認できた。それに対してイジェクタ速度の影響は確認できるものの小さく、またイジェクタ飛散角度の影響は見られなかった。

謝辞

本研究の実験は、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設を利用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 柳沢俊史, 黒崎裕久, 中島厚, 光度変化観測による低軌道デブリの形状及び運動推定, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.55, No.640, pp.209-215(2007).
- (2) 林浩一, 西田政弘, 小田寛, 黒崎裕久, 柳沢俊史, 東出真澄, 超高速衝突におけるターゲットの運動量に関する研究, 平成 27 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム講演集(2016).
- (3) Masahiro Nishida, Koichi Hayashi, Hiroshi Oda, Hirohisa Kurosaki, Toshifumi Yanagisawa and Masumi Higashide, Investigation of Angular Momentum Associated with Hypervelocity Space Debris Impacts in the Low Earth Orbit, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 14, No. ists30 (2016) pp. Pr_73-Pr_78.