

# 超高速衝突における運動量移動の測定（飛翔体衝突位置の影響について）

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

## 1. はじめに

一部のデブリは光度が周期的に変動していることから、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<sup>(1)</sup>。デブリの回転は、デブリ除去の障害となり得るが、その原因は不明である。筆者らは、微小な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移動することがデブリ回転の原因である可能性に着目し、デブリに多いアルミニウム合金同士の超高速実験を、静止している振り子ターゲットに飛翔体を衝突させ、振り子ターゲットの最大振れ角を測定することで、運動量の増幅率 $\eta$ を調べてきた<sup>(2-5)</sup>。その結果、アルミニウム合金同士の超高速衝突実験においても、衝突速度が高くなるにしたがい $\eta$ が大きくなる傾向が確認された<sup>(2,3)</sup>。しかし、同じ衝突速度においても、測定される $\eta$ には大きなばらつきが生じている。想定される実際のデブリ同士の衝突速度に対し、実験可能な衝突速度は低いため、実験で得られた $\eta$ 測定値を外挿して実際のデブリ同士の衝突速度域における $\eta$ を求める必要があるが、より正確に $\eta$ を得るためには、実験における $\eta$ 測定値のばらつきを抑える必要がある。これまでに、 $\eta$ 測定値に対するターゲット厚さの影響を調べてきた<sup>(4,5)</sup>が、本報では、ターゲットの打撃の中心位置と飛翔体衝突位置との不一致により振り子ターゲット支持部に作用する力が、 $\eta$ 測定値に及ぼす影響について実験的に調べた結果について報告する。

## 2. 実験方法

実験は図1に示すように、厚さ $t$ が8~20 mmのアルミニウム合金（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。振り子ターゲットは直径4 mmの鋼（SUIJ-2）製シャフトが取り付けられており、その両端はボールベアリングで支持されている。飛翔

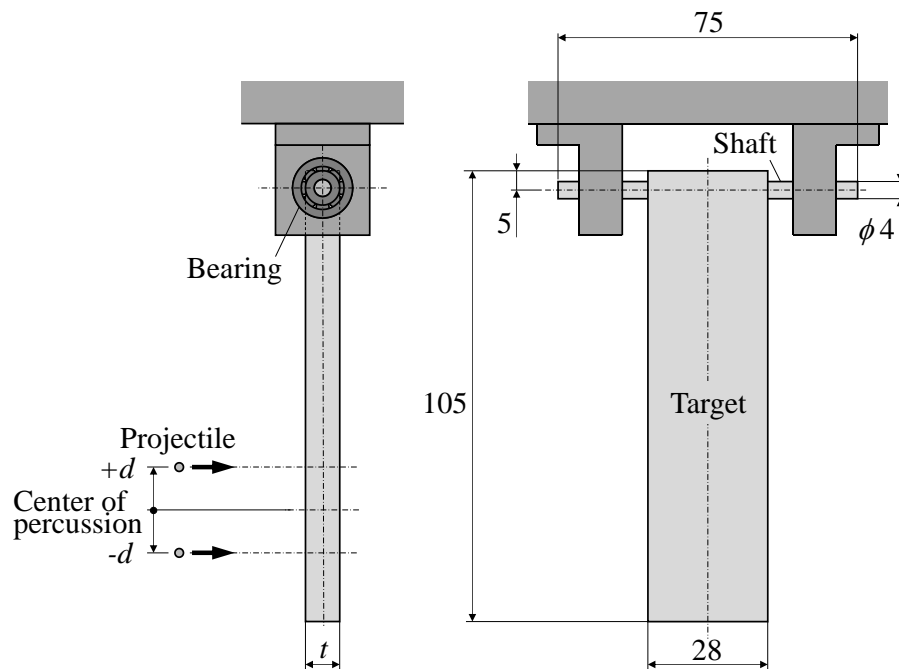


図1 振り子ターゲット

体衝突後の振り子ターゲットの動きは高速度カメラ (TRANS MEDIA RESEARCH, E-2) で撮影され、画像解析ソフトを用いて測定される最大振れ角から運動量増幅率 $\eta$ を算出している。 $\eta$ の算出方法詳細は文献を参照されたい。なお、飛翔体衝突位置は実験毎にばらつきが生じるため、実験後にターゲット表面に形成されているクレータ位置を測定し、飛翔体衝突位置と打撃の中心位置との距離 $d$ を求めている。

### 3. 実験結果

測定された運動量増幅率 $\eta$ と飛翔体衝突速度の関係を図2に示す。前述したように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 $\eta$ が大きくなる傾向が見られるが、同じ衝突速度域で測定される $\eta$ には、大きなばらつきが生じている。そこでこのばらつきに対して、ターゲットの打撃の中心位置と飛翔体衝突位置間の距離 $d$ が及ぼす影響を調べるため、3, 5, 7 km/sのそれぞれの飛翔体衝突速度域において比較的衝突速度に近い実験結果(図2の中で、3 km/s:赤(3.027~3.304 km/s), 5 km/s:緑(4.951~5.025 km/s), 7 km/s:青(6.809~6.852 km/s)で示したデータ)のみを取り出し、それらを図3に示すように、飛翔体衝突速度毎に、運動量増幅率 $\eta$ とターゲットの打撃の中心位置と飛翔体衝突位置間の距離 $d$ の関係をまとめた。飛翔体がターゲットの打撃の中心から離れた位置に衝突し、振り子ターゲット支持部に力が作用して摩擦が増加することで、 $\eta$ 測定値が小さくなるのであれば、 $\eta$ は $d=0$ において最大になると考えられる。しかし、いずれの衝突速度においても、そのような明らかな傾向は見られなかった。これはターゲットのクレータ形成やターゲットへの飛翔体付着による、ターゲットの打撃の中心位置の移動を考慮していないことや、測定誤差の影響によるものと考えられる。

### 4. まとめ

超高速衝突における運動量増幅率に、ターゲットの打撃の中心位置と飛翔体衝突位置間の距離が及ぼす影響を明らかにするため、飛翔体衝突速度がほぼ同じ且つ飛翔体衝突位置が異なる場合の運動量増幅率に及ぼす飛翔体衝突位置の影響を実験的に調べた。その結果、本実験条件においては、飛翔体衝突位置の違いによる運動量増幅率の顕著な影響は確認できなかった。

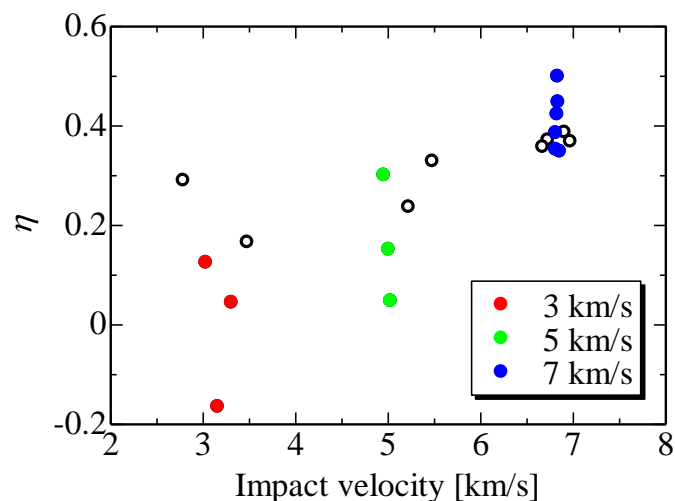


図2 運動量増幅率に及ぼす衝突速度の影響

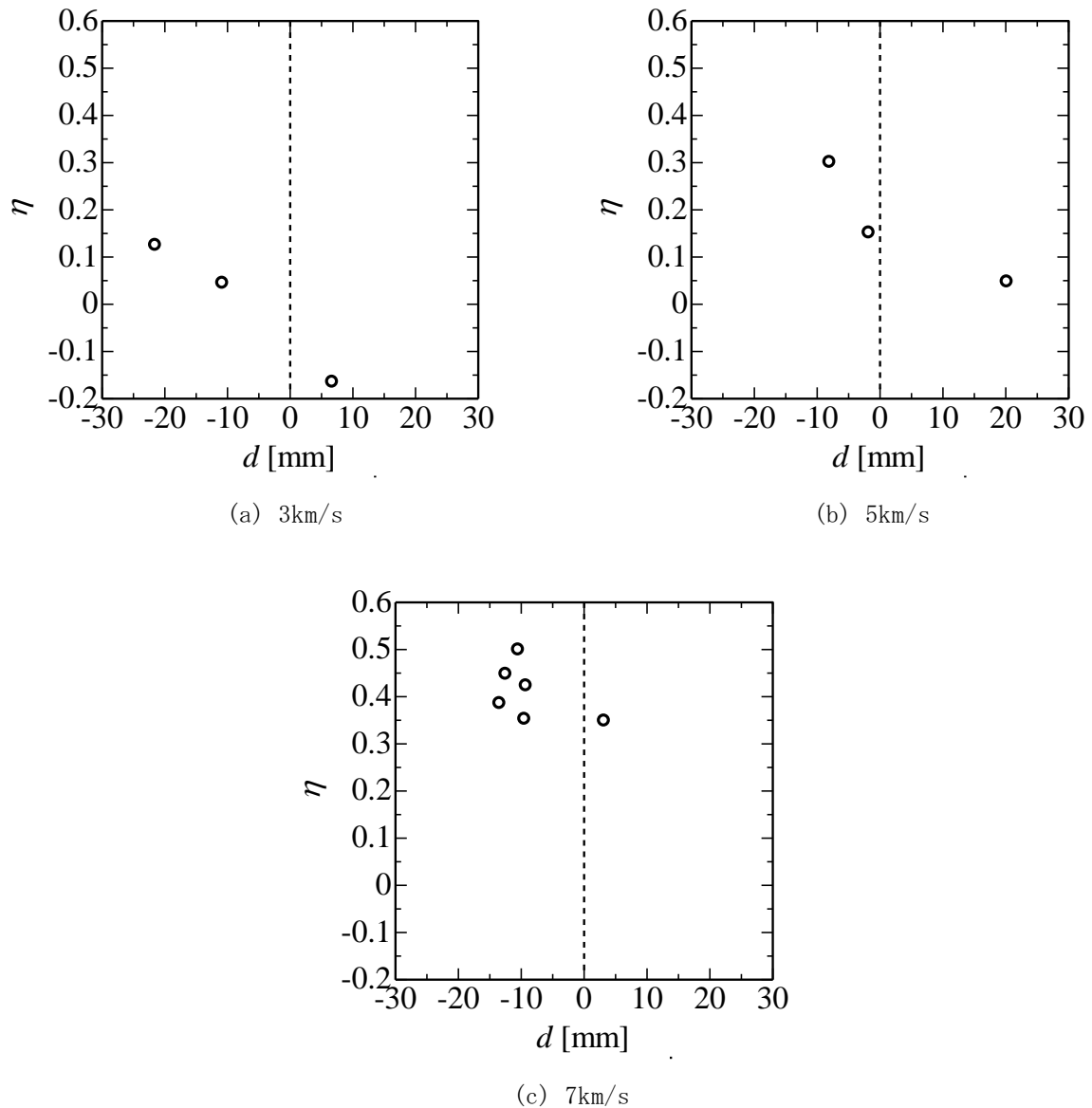


図3 運動量増幅率に及ぼす打撃の中心位置と飛翔体衝突位置間の距離の影響

#### 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.
- (4) 林浩一, 西田政弘, 黒崎裕久, 柳沢俊史, 小田寛, 東出真澄, 超高速衝突におけるターゲットの運動量にターゲット厚さが及ぼす影響, 平成 28 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム講演集 (2017).
- (5) 林浩一, 西田政弘, 黒崎裕久, 柳沢俊史, 小田寛, 超高速衝突における運動量の移動にターゲット厚さが及ぼす影響 (バルジ発生の影響について), 平成 29 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム講演集(2018).