

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

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），東出 真澄（JAXA）

1. はじめに

地球の周回軌道上に存在する一部のデブリは，自身が回転しながら地球を周回していると考えられており⁽¹⁾，デブリ除去を目的に開発が行われている導電性テザー技術⁽²⁾を適用する際の懸案事項の一つとなっている．デブリの回転原因は明らかになっておらず，筆者らは，微小デブリの超高速衝突による運動量の移動がデブリの回転原因であると考え，その検証実験を行ってきた^(3,4)．検証実験では，剛体振り子ターゲットに飛翔体を衝突させ，その時に生じる剛体振り子ターゲットの最大振れ角を測定することにより，ターゲットが獲得する運動量を求めている．これまでに行った実験では，飛翔体の衝突速度は最高で 7 km/s 程度であり，実際に宇宙空間で発生すると考えられるデブリの衝突速度よりも低い．そこで次の段階の検証実験では，さらに高い速度域における同様の実験実施を検討しているが，その場合は剛体振り子ターゲットの振れ角が過大にならないようにすることや，飛翔体がターゲットを貫通しないようにするために，ターゲットの厚さを増大させる必要がある．そこで本研究では，異なる厚さの剛体振り子ターゲットを用いて，飛翔体が超高速衝突する時のターゲットが獲得する運動量を測定し，運動量測定値にターゲットの厚さが及ぼす影響を調べた．

2. 実験方法

実験はJAXA/ISASの横型二段式軽ガス銃を利用して実施した．図1に示す厚さ8~20 mmの，アルミニウム合金（白銅 AP2000-T851）製の剛体振り子をターゲットを真空状態のチャンバー内に設置し，直径1 mmのアルミニウム合金（2017-T4）球の飛翔体を，およそ7 km/sの速度で垂直衝突させた．二段式軽ガス銃のチャンバーと加速管は，薄いマイラー膜を介して接続されており，飛翔体の加速に使われる水素ガスの圧力は，ターゲットに直接作用しないようになっている．飛翔体がターゲットに衝突すると，衝突部からはジェットとイジェクタが噴出する．その内イジェクタの挙動は，超高速撮影が可能な高速度カメラ（ナックイメージテクノロジー，ULTRA Cam）を用い映像を撮影した．また，飛翔体衝突後に生じる剛体振り子ターゲットの回転運動挙動は，比較的長い時間の撮影が可能な高速度カ

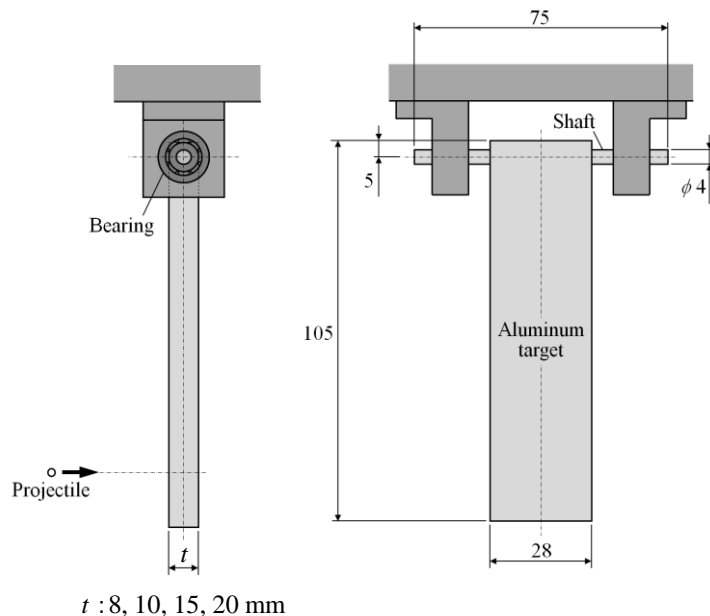


図1 剛体振り子ターゲット

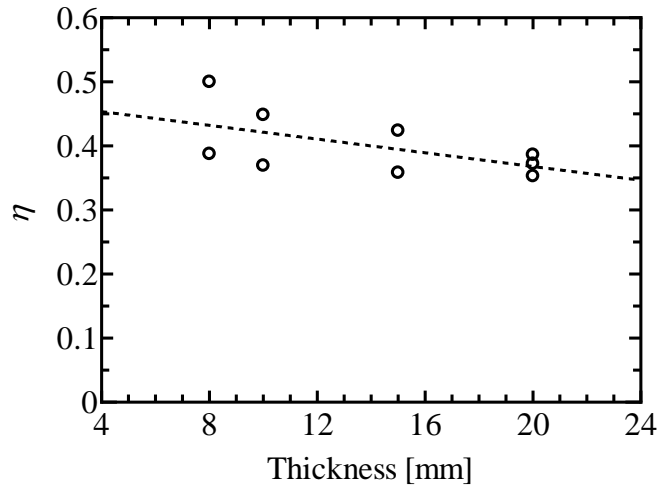


図2 ηとターゲット厚さの関係

メラ（ナックイメージテクノロジー，MEMRECAM）を用いて映像を撮影した．撮影された剛体振り子ターゲットの回転運動映像から，画像解析ソフトを用いて最大振れ角を測定し，衝突前の飛翔体が持つ運動量に対するジェットとイジェクタの運動量の大きさの比 η を算出した．詳細は文献⁽³⁾を参照されたい．

3. 実験結果

飛翔体の衝突速度が 6.668 km/s から 6.967 km/s までの実験条件下で得られた， η とターゲット厚さの関係を図 2 に示す．図中の点線はターゲット厚さと η の関係の 1 次の近似直線（相関係数-0.57）であり，ターゲットが厚くなるにしたがい η は減少する傾向が見られる．なお，これまでに得られている実験結果^(3,4)より，飛翔体が速い速度で衝突するほど η が大きくなることが明らかになっているが，本実験における狭い範囲の衝突速度条件下では，飛翔体の衝突速度と η の相関係数は 0.17 であることから， η 変化の主要因は，ターゲット厚さの違いであると考えられる．ターゲット厚さが異なることにより η が変化するメカニズムについては不明であるが，厚さ 8 mm のターゲットでは，実験後に，飛翔体衝突面の裏側にバルジが生じていることが目視で観察できるため，バルジの発生によりイジェクタやジェットの噴出方向が変わったことが推測できる．今後はバルジとクレータ形状，およびイジェクタの噴出方向の測定と， η との相関を確認していくことを考えている．

4. 結言

超高速衝突においてターゲットが獲得する運動量に，ターゲットの厚さが及ぼす影響を明らかにするため，異なる厚さのターゲットにほぼ一定速度の飛翔体を衝突させた結果，ターゲットが厚くなる程ターゲットが獲得する運動量が減少する現象が確認された．

謝辞

本実験の高速カメラ撮影は，株式会社ナックイメージテクノロジーの協力により行われました．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) 大川恭志，河本聡美，松本康司，塩見裕，北村正治，軌道上実証を目指した導電性テザー技術の研究開発，第 5 回スペースデブリワークショップ講演資料集，JAXA-SP-13-018，pp.148-158(2014)．

- (3) 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).
- (4) 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.