

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24360351

研究課題名(和文)超高速衝突時に発生するイジェクタの衝突角度/温度依存性評価と国際標準化への対応

研究課題名(英文)Evaluation of Dependency of Ejecta due to Hypervelocity Impact on Impact Angle/Temperature and its International Standardization

研究代表者

赤星 保浩 (AKAHOSHI, YASUHIRO)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60222519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：超高速衝突時に発生するイジェクタに関する実験手順を規定したISO11227が2012年9月15日に発行した。5年後にシステムティック・レビューが開始されるが、その機会を利用して、斜め衝突に関する記述をISO11227に追記し、垂直衝突実験に加えて斜め衝突実験も国際標準として広く普及させることを目標としている。斜め衝突ではイジェクタも斜めに放出されるので、それを受け止める検証版の配置も工夫が必要である。本研究では、衝突角度30度以下と45度以上との2通りで、実験レイアウトを提案し、ISO/TC20/SC14/WG7を通じて、この追記案を説明し、斜め衝突用レイアウトの追記を実現させる予定である。

研究成果の概要(英文)：ISO11227 was published on September 15, 2012, in which hypervelocity impact test procedure on ejecta is specified in the case that small space debris impacts space structures. Around September 2017, systematic review of ISO11227 will start. A purpose of this study is wide spread of ISO11227 as well as oblique impact experiments by considering addition of oblique impact set-up to ISO11227 at this systematic review phase. In section 6.5 of ISO11227, oblique impact tests are recommended at the impact angle of 15, 30, 45, 60 and 75 degree. In the oblique impact tests, ejecta will be also generated and emitted in oblique direction. So then configuration of target and witness plate is important. In this study, two configurations of oblique impact angles smaller than 30 degree and larger than 45 degree are proposed. These configurations will be added to the current ISO11227 after more than two third P-members support this modification under discussion at ISO/TC20/SC14 meeting.

研究分野：宇宙工学

キーワード：航空宇宙環境 微小宇宙ごみ 超高速衝突 二段式軽ガス銃 画像処理

1. 研究開始当初の背景

(1)1957 年以降増加し続けている地上から観測可能な宇宙人工物体が、2007 年 1 月の中国による自国衛星破壊実験ならびに 2009 年 2 月の人工衛星同士の衝突により、一気に 6 千個以上増加し、2011 年 10 月 5 日現在、16,108 個に達した。これらの人工物体の大半は宇宙ごみ(使用済みのロケット、運用終了後の人工衛星、それらの破碎により生じた破片など)と呼ばれているものであり、地上からの観測が不可能な小さい宇宙ごみまで含めると、数千万個存在するであろうと言われている。

(2) 現在、宇宙開発国では、IADC(Inter-Agency Space Debris Coordination Committee)を通じて、宇宙ごみの削減対策について協議しており、その成果を Space Debris Mitigation Guidelines としてとりまとめ、各宇宙機関はこのガイドラインに即した独自のガイドラインを制定している。新規打上げ予定の人工衛星、ロケットにおいては大部分の打上げ国が残留燃料対策については既に対策済みであるが、人工衛星やロケットの表面に比較的小さな宇宙ごみが衝突した際に発生するイジェクタ(衝突により表面から放出される破片)に関しては対策がほとんどなされていないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 九州工業大学、名古屋工業大学、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所に設置されている二段式軽ガス銃を用いて、宇宙用材料またはそれを模擬した材料に 1~3mm 程度のアルミ球を超高速度で衝突させ、発生する破片群(イジェクタ)の分布計測を行う。特に、衝突角度依存性、温度依存性について、検討を行う。

(2) 2012 年 9 月 15 日に発行した ISO11227 は、5 年後の 2017 年 9 月(科研費申請時には 2015 年 9 月)頃にシステムティック・レビューを受けることになる。このレビュー時に日本側から修正案を ISO/TC20/SC14 会議に対して提案する。

3. 研究の方法

(1) 二段式軽ガス銃を用いて、A2017 または A1100 のアルミ球を秒速 2~5 km 程度でターゲット材に衝突させ、発生したイジェクタを銅板に衝突させる。

(2) 銅板表面に形成された微小なクレータ痕を計測し、クレータ痕分布を求め、ISO11227 の Table1 に規定されている表を埋める。

(3) 衝突角度を 0 度から 15 度刻みで 60 度まで衝突実験を行い、衝突角度に応じたイジェクタ計測レイアウトについて検討を行う。

(4) Mg 合金から放出されるイジェクタ分布を計測し、Al 合金と比較する。

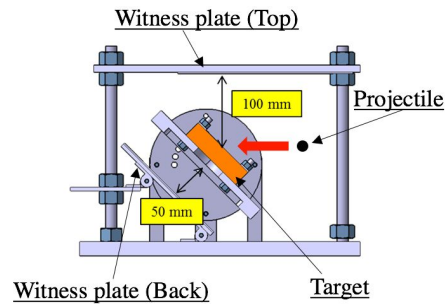


図 1 斜め衝突実験構成図

4. 研究成果

(1) 九州工業大学に設置された二段式軽ガス銃を用いて、斜め衝突実験時のイジェクタ計測方法について検討を行った。放出されたイジェクタによって形成された検証版上のクレータ痕分布を図 2 に示す。中央の穴を飛翔体が通過した後、ターゲット材に斜め衝突し、放出されたイジェクタは図 2 の上方に同心円上に衝突痕が形成されている。

(2) 名古屋工業大学ならびに宇宙科学研究所に設置された二段式軽ガス銃においても、斜め衝突実験時のイジェクタ計測方法を適用し、汎用性を確認した。

(3) 2017 年 9 月頃に開始される ISO11227 のシステムティック・レビューの準備として、国内の TC20/SC14 国際標準化会議の WG3 と WG7 の合同会議(5 月 26 日開催)

において、斜め衝突時のイジェクタ計測レイアウトを追記するかどうかの審議を行った。6 月にパリで開催される TC20/SC14 の総会において、関係各国に対して、日本側提案を説明し、賛同を得る予定である。

(4) 名古屋工業大学の二段式軽ガス銃を用いて、ISO11227 に準拠した実験手順でイジェクタの温度依存性を検討した。Al 合金は FCC 系金属であり、BCC 系金属に比べて温度依存性は大きくなかった。

(5) 宇宙では使用実績がまだない Mg 合金にも ISO11227 に準拠したイジェクタの計測方法を適用し、Al 合金とイジェクタの累積破片数分布の比較を行った。図 3 に示されるように、Mg 合金の方が細かなイジェクタが多数発生していることがわかる。

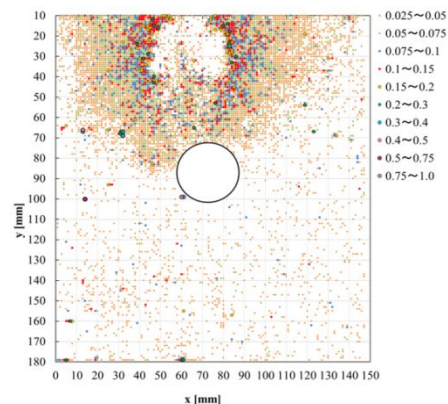


図 2 検証版上のクレータ痕分布

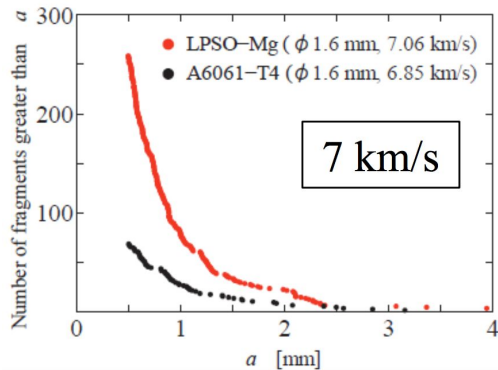


図3 Al合金とMg合金から放出されたイジェクタの累積分布比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

Masahiro Nishida, Kaito Ishida, Fumiya Kodama, Koichi Hayashi, Yasuhiro Akahoshi, Kazuyuki Hokamoto, Tsuyoshi Mayama, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Lip Formation and Ejecta from LPSO-type Magnesium Alloy Plates in Hypervelocity Impact, *Procedia Engineering*, *Procedia Engineering*, 査読有, Volume 173, 2017, Pages 65-72
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.024>

Shohei Kage, Satoshi Uenishi, Masashi Tanaka, Takao Koura, Yasuhiro Akahoshi Development of Equipment to Estimate Momentum Shift in NEO Orbit Change by a Spacecraft Impact, *Procedia Engineering*, 査読有, Volume 103, 2015, Pages 273-278
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.047>

Takumi Kikuta, Takaaki Uchino, Naoki Akao, Yasuhiro Akahoshi, Takao Koura Development of Micro-Particles Accelerator with Pulse Formation, *Procedia Engineering*, 査読有, Volume 103, 2015, Pages 279-286
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.048>

Yosuke Fujimura, Yasuhiro Akahoshi, Takao Koura, Pauline Faure, Koichi Norimatsu, Yassine Serbouti Revision Plan of ISO11227 Considering Oblique Impact Tests, *Procedia Engineering*, 査読有, Volume 103, 2015, Pages 129-134
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.018>

Pauline Faure, Shingo Masuyama,

Hiroshi Nakamoto, Yasuhiro Akahoshi, Yukihiro Kitazawa, Takao Koura Space Dust Impacts Detector Development for the Evaluation of Ejecta, *Procedia Engineering*, 査読有, Volume 58, 2013, Pages 594-600
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.05.068>

Yasuhiro AKAHOSHI, Pauline FAURE, Haruhisa MATSUMOTO, and Yukihiro KITAZAWA Hypervelocity Impact Tests on Ejecta and its International Standardization *The Journal of Space Technology and Science*, 査読有, Vol.26, No.2, 2012, pp.48-55
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsts/26/2/26_2_48/_pdf

〔学会発表〕(計 30件)

西田政弘, 児玉史哉, 林浩一, 赤星保浩, 外本和幸, 眞山剛, 山崎倫昭, 河村能人, LPSO型マグネシウム合金ターゲットからのイジェクタ分布、平成28年度衝撃波シンポジウム、#1C4-4、ヴェルクよこすか(神奈川県横須賀市)、2017年3月8-10日

田上翔悟, 福田悠希, 赤星保浩, 高良隆男, ISO11227の改訂に向けた斜め衝突再現実験、平成28年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)、2017年2月27-28日

T. Ishibashi, Y. Akahoshi, N. Akao, M. Nakashima, T. Koura, Development of 10 km/s class Micro-Projectile Accelerator, The 4th Universiti Putra Malaysia - Kyushu Institute of Technology International Symposium on Applied Engineering and Sciences, E24, Kyushu Institute of Technology, 九州工業大学(福岡県北九州市), December 17-18, 2016

Masahiro Nishida, Kaito Ishida, Fumiya Kodama, Koichi Hayashi, Yasuhiro Akahoshi, Kazuyuki Hokamoto, Tsuyoshi Mayama, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Lip Formation and Ejecta from LPSO-type Magnesium Alloy Plates in Hypervelocity Impact, 11th International Symposium on Plasticity and Impact Mechanics, Implast 2016, Delhi(India), December 11-14, 2016

Daisuke Yokoo, Masashi Tanaka, Masaya Ikeda, Takao Koura and Yasuhiro Akahoshi, Improvement of the accuracy of the debris cloud photography at hypervelocity impact using a flash X-ray, 31st International

Congress on High-Speed Imaging and Photonics, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府吹田市), November 7-10, 2016

M. Nishida, K. Ishida, F. Kodama, K. Hayashi, Y. Akahoshi, K. Hokamoto, T. Mayama, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Ejection Area from LPSO-type Magnesium Alloy Under Hypervelocity Impact, Proceedings of the 31st International Congress on High-speed Imaging and Photonics, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府吹田市), November 7-10, 2016

赤星 保浩、九州工業大学での超高速衝突研究の20年の歩み、第7回スペースデブリワークショップ、宇宙航空研究開発機構 調布航空宇宙センター(東京都調布市)、2016年10月18-20日

西田政弘、児玉史哉、石田魁人、林浩一、赤星保浩、外本和幸、眞山剛、山崎倫昭、河村能人、LPSO型Mg合金プレートの超高速衝突における破壊特性、第7回スペースデブリワークショップ、宇宙航空研究開発機構 調布航空宇宙センター(東京都調布市)、2016年10月18日 20日

児玉史哉、西田政弘、石田魁人、林浩一、赤星保浩、外本和幸、眞山剛、山崎倫昭、河村能人、超高速衝突実験におけるLPSO-Mg板の破壊特性とイジェクタ評価、日本機械学会M&M2016材料力学カンファレンス、神戸大学(兵庫県神戸市)、2016年10月8日~10日

赤星保浩、超高速衝突に関する国際規格(ISO11227)の改定検討について、2F09(JSASS-2016-4249)第60回宇宙科学技術連合講演会、函館アリーナ(北海道函館市)、2016年9月6-9日

西田政弘、御代川直人、林浩一、Pauline Faure、乗松功一、藤村洋佑、赤星保浩、ターゲット温度がイジェクタ分布に与える影響の検討 - ISO改訂に向けて -、平成26年度衝撃波シンポジウム、伊香保温泉(群馬県)、平成27年3月10日

藤村洋佑、赤星保浩、高良隆男、乗松功一、Yassine Serbouti、福田悠希、ISO11227改訂に伴うEjecta評価実験、宇宙科学に関する室内実験シンポジウム、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)、2月23-24日、2015

御代川直人、西田政弘、林浩一、Pauline Faure、乗松功一、赤星保浩、低温・高温環境下における超高速衝突時のイジェクタサイズ分布、第11回材料の衝撃問題シンポジウム講演募集、豊橋技術科学大学(愛知県豊

橋市) 平成26年11月30日

藤村洋佑、赤星保浩、ISO11227改訂に向けた斜め衝突実験、第58回宇宙科学技術連合講演会、2N05、長崎ブリックホール(長崎県長崎市)、11月12-14日、2014

菊田卓見、赤星保浩、高電圧パルスパワーを用いた微粒子加速装置の開発、第58回宇宙科学技術連合講演会、2N08、長崎ブリックホール(長崎県長崎市)、11月12-14日、2014

NORI AIT-MOHAMMED, YOSHIAKI SHIRAKI, YASUHIRO AKAHOSHI, Smoothed Particle Hydrodynamics Method Application on Space Debris Hypervelocity Impact Phenomena Using GPU Computing, 65th Aeroballistics Range Association Meeting, Arcachon (France), October 21st, October 19-24, 2014

Masahiro Nishida, Naoto Miyokawa, Koichi Hayashi, Pauline Faure, Yasuhiro Akahoshi, Effects of temperature of targets on ejecta size distribution in hypervelocity impact, 65th International Astronautical Congress, Metro Toronto (Canada), October 1, 2014

赤星保浩、超高速衝突実験手順の国際標準化 - ISO11227の制定過程と標準化教育 -、平成26年度工学教育研究講演会講演論文集、pp.408-409、広島大学(広島県東広島市)、8月28-30日、2014

乗松功一、Pauline Faure、中本裕史、藤村洋輔、赤星保浩、高良隆夫、超高速衝突によるEjecta放出の評価実験、日本機械学会九州支部第67期総会・講演会、九州工業大学(福岡県北九州市)、3月13-14日、2014.

内野隆暁、赤星保浩、高良隆男、中村竜樹、菊田卓見、微粒子加速のためのプラズマガン開発、日本機械学会九州支部第67期総会・講演会、九州工業大学(福岡県北九州市)、3月13-14日、2014.

②1 乗松功一、赤星保浩、高良隆夫、Pauline Faure、中本裕史、藤村洋佑、ISO11227における微小デブリの斜め衝突実験の必要性の検討、平成25年度衝撃波シンポジウム、青山学院大学(神奈川県相模原市)、3月5-7日、2014

②2 御代川直人、西田政弘、林浩一、Pauline Faure、中本裕史、赤星保浩、ターゲット温度変化がイジェクタサイズ分布に及ぼす影響、平成25年度衝撃波シンポジウム、青山学院大学(神奈川県相模原市)、3月5-7日、

2014

⑳ 内野隆暁, 赤星保造, 高良隆男, 中村竜樹, 菊田卓見、微粒子加速のためのプラズマガン開発、平成 25 年度衝撃波シンポジウム、青山学院大学(神奈川県相模原市) 3月5-7日、2014

㉑ 御代川直人, 西田政弘, 林浩一, Pauline Faure, 赤星保造、厚板アルミニウムへの超高速飛翔体衝突におけるターゲットの温度変化のイジェクタサイズ分布への影響、M&M2013 材料力学カンファレンス、岐阜大学(岐阜県岐阜市) 10月12日、2013

㉒ Yasuhiro AKAHOSHI, Oblique Impact Experimental Conditions in ISO11227, 64th Aeroballistic Range Association, DESTIN (USA), October 6-10, 2013.

㉓ Yasuhiro AKAHOSHI, Pauline FAURE, and Yukihiro KITAZAWA, Research Activities on Space Debris Impacts in Kyushu Institute of Technology, 29th International Symposium on Space Technology and Science, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市), June 3-7, 2013.

㉔ Pauline Faure, Yasuhiro Akahoshi, Shingo Masuyama, Hiroshi Nakamoto, Koichi Norimatsu, Takao Koura, NORMAL AND 450 HYPERVELOCITY IMPACT TESTS TO EVALUATE SPACECRAFT MATERIAL EJECTA, 6th European Conference on Space Debris, Darmstadt(Germany), April 22-25, 2103.

㉕ 赤星保造、微小飛翔体による超高速衝突イジェクタ実験手順の国際標準化、未来を拓く高圧力科学技術セミナーシリーズ「高速衝突により生じる様々な現象とその応用」、東京工業大学(東京都港区)4月15日、2013

㉖ 林浩一, 西田政弘, 野崎健太, 戸谷一貴, 長谷川直、斜面に飛翔体衝突した際のイジェクタ形状、平成 24 年度スペースプラズマ研究会、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(神奈川県相模原市) 2月27日、2013

㉗ S.Masuyama, S.Matsumoto, P.Faure, H.Nakamoto, Y.Akahoshi, T.Koura, H.Matsumoto, Y.Kitazawa, Ejecta Evaluation Tests of Spacecraft Surface Materials, Hypervelocity Impact Symposium 2012, Baltimore(USA), September 19, 2012

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ccr.kyutech.ac.jp/professors/tobata/t1/t1-1/entry-431.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤星 保造 (AKAHOSHI, Yasuhiro)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 60222519

(2) 研究分担者

西田 政弘 (NISHIDA, Masahiro)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 60282828