

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560078

研究課題名（和文）超高速飛翔体衝突によるアルミニウム厚板のイジェクタ生成メカニズムの解明

研究課題名（英文）Ejecta formation mechanics of thick aluminum alloy plates due to hypervelocity impact of projectiles

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：飛翔体（アルミニウム球）がアルミニウム厚板に 1 km/s 以上で衝突する際の噴出物（イジェクタ）の挙動を詳しく調べ、生成メカニズムを明らかにした。特に、アルミニウム厚板の温度、アルミニウム球の衝突角度を変化させ、噴出物の角度、量および分布を調べ、それらを支配する因子の検討やスケール則の構築を行った。

研究成果の概要（英文）：When projectiles (aluminum alloy spheres) strike thick plates made of aluminum alloys at velocities over 1 km/s, ejecta and ejected behavior were examined and formation mechanics were clarified. In particular, when temperature of thick aluminum alloy plates and impact angle of projectiles were changed, ejecta angle and distribution of mass and size were examined. The scale laws and main factors affecting ejecta behavior were discussed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学

キーワード：固体衝撃，連続体力学

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間で使用する機器が増えるに従い、超高速（平均速度 7～8 km/s）で地球を周回している宇宙ゴミ（スペースデブリ）は増え続け、大きな問題になっている。国際宇宙ステーションの回避行動も年々増えている。1 km/s を超える超高速衝撃では、飛翔体は破碎し、被衝撃体は流体的な振舞いをするため、1 km/s 以下の衝撃挙動とは全く異なり、その挙動は複雑で未解明の点が多い。しかし、それらを詳しく調べ、宇宙ゴミの点から考察し

た研究はない。

2. 研究の目的

飛翔体（アルミニウム球）がアルミニウム厚板に 1 km/s 以上で衝突する際の噴出物（イジェクタ）の挙動を詳しく調べ、生成メカニズムを明らかにする。特に、アルミニウム厚板の温度、アルミニウム球の衝突角度を変化させ、噴出物の角度、量および分布を調べ、それらを支配する因子の検討やスケール則の構築を行う。それにより、宇宙ゴミの生成

メカニズムの解明および、それを元にした宇宙ゴミの抑制構造の端緒を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

二段式軽ガスガンを用いて加速させたアルミニウム球（1~5 km/s）をアルミニウム厚板に衝突させ、その時のイジェクタを詳しく調べた。高速度カメラによる観察、画像解析および実験チャンバーから回収したイジェクタを詳しく測定するという方法を用いた。画像解析には画像解析ソフトを用いることにより、多くのデータを処理できることができた。平成22年度には、まず実験装置を目的に合わせて改良し、垂直衝撃時のイジェクタの挙動を調べた。まずは基本的なイジェクタの特性などについて詳しく考察した。平成23年度以降、高温用および斜め衝突用に改良し、高温環境下および斜め衝撃のイジェクタの挙動を調べた。三年間の研究期間に得られた結果から、イジェクタ生成メカニズムの仮説の提案およびイジェクタ生成を支配する因子の検討やスケール則の構築を行った。

4. 研究成果

(1) まず、垂直衝突時のイジェクタ生成の挙動を詳しく調べた。その結果、イジェクタの数は、飛翔体の運動エネルギーに比例し、その累積個数分布を指数関数方程式で表すことができることを示した。また、イジェクタの噴出角度は、飛翔体の衝突速度が大きくなるにつれて徐々に小さくなり、50°~60°に漸近していくことがわかった。

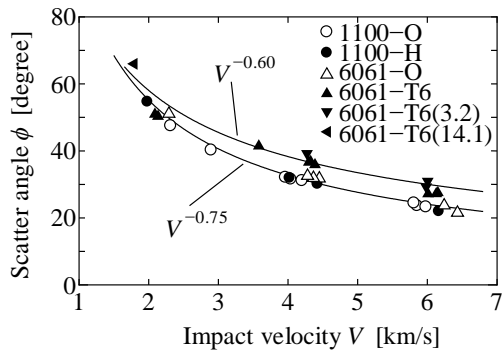


図1 イジェクタ噴出角度と衝突速度の関係

(2) 次に、衝突角度の影響を調べた。垂直衝突から衝突角度が大きくなる（ターゲット表面に近くなる）に従い、イジェクタの質量および数は少なくなった。それらは、ターゲットに対する飛翔体の鉛直方向速度に非常に関係していることがわかり、特に、本研究の範囲では、運動エネルギーで規格化した場合

にきれいに整理することができることを示した。

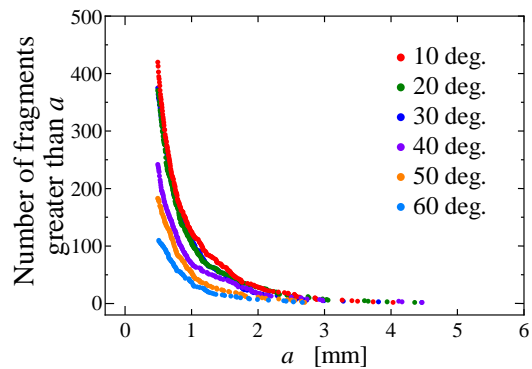


図2 イジェクタ長さ分布と衝突速度の関係

(3) 最後に、ターゲットの温度を変化させ、イジェクタ生成挙動に与える影響を調べた。200°C程度の温度変化だけでは、イジェクタにはあまり大きな変化はみられず、その結果の傾向は、本研究を行う前に行っていたターゲットの材質を変化させた結果と同じ傾向であった。ターゲットの材質を少し変えた程度では、イジェクタに与える影響がという当方の過去の研究結果を支持する結果となった。しかし、材質の変化だけでは説明がつかない部分もあり、ターゲットの初期温度が影響を与える部分があることも示唆した。

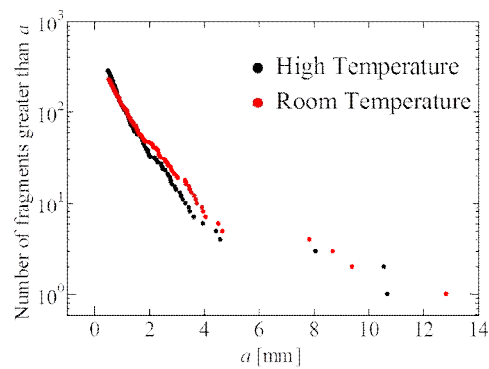


図3 イジェクタ長さ分布に与えるターゲット温度の影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Masahiro Nishida, Kayoko Kuzuya, Koichi Hayashi, Sunao Hasegawa, Effects of alloy type and heat treatment on ejecta and crater sizes in aluminum alloys subjected to

- hypervelocity impacts, International Journal of Impact Engineering, Vol. 54, (2013), pp. 161-176. (査読有り) DOI 10.1016/j.ijimpeng.2012.11.004
- ② M. Nishida, K. Hayashi, J. Nakagawa, Y. Ito, Influence of temperature on crater and ejecta size following hypervelocity impact of aluminum alloy spheres on thick aluminum alloy targets, International Journal of Impact Engineering, Vol. 42, pp. 37-47, 2012 (査読有り) DOI 10.1016/j.ijimpeng.2011.11.006
- ③ M. Nishida, S. Yamamoto, K. Hayashi, S. Hasegawa, Influence of projectile material properties on crater size and ejecta of thick aluminum alloy 6061-T6 targets in hypervelocity impact, Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanics, Vol.12, pp. s163-s169, 2012 (査読有り)
- ④ M. Nishida, M. Akahori, Fumiaki Aikawa, Kayoko Kuzuya, Koichi Hayashi, Koichi Tanaka, Crater formation due to projectile impact of fused quartz with aluminum alloy 5056 targets, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol. 6, No. 9, pp.965-974, 2012 (査読有り)
- ⑤ M. Nishida, K. Hayashi, J. Nakagawa, Y. Ito, Effect of Temperature on Crater Formation and Ejecta Composition in Aluminum Alloy Targets Materials Science Forum , Vols. 706-709, pp 768-773, 2012 (査読有り) DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.706-709.768
- ⑥ M. Nishida, H. Kato, K. Kuzuya, K. Hayashi, S. Hasegawa, Effects of different series aluminum alloys and their heat treatments on crater formation and ejecta composition, Proc. ICHSIP29, pp. B12-1-6, 2010 (査読有り)
- ⑦ M. Nishida, M. Akahori, F. Aikawa, K. Kuzuya, K. Hayashi, K. Tanaka, Projectile fragmentation and crater formation induced by impact of fused quartz projectiles with thick aluminum 5056 targets, Proceedings of 11th Hypervelocity Impact Symposium 2010, pp. 526-536. (査読有り)
- [学会発表] (計 23 件)
- ① 野崎健太, 西田政弘, 林浩一, 長谷川直, アルミニウム合金同士の超高速衝突によるイジェクタのサイズ分布, 平成 24 年度衝撃波シンポジウム, 北九州国際会議場, 2013 年 3 月 13 日
- ② 西田政弘, 林浩一, 葛谷加代子, 長谷川直, アルミニウム合金 6061-T6 ターゲットからのイジェクタサイズおよびイジェクタ質量に及ぼす飛翔体運動エネルギーの影響, 平成 24 年度衝撃波シンポジウム, 北九州国際会議場, 2013 年 3 月 13 日
- ③ 西田政弘, 林浩一, 葛谷加代子, 長谷川直, 超高速衝突時に発生するイジェクタサイズに与えるアルミニウム合金の調質および材質の影響, 日本材料学会 東海支部第 7 回学術講演会, 名古屋工業大学, 2013 年 3 月 4 日
- ④ 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, 宇宙科学研究所, 平成 25 年 2 月 26 日
- ⑤ 西田政弘, 林浩一, 葛谷加代子, 長谷川直, 飛翔体の運動エネルギーがアルミニウム合金厚板からのイジェクタサイズ分布に与える影響, 平成 24 年度スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 平成 25 年 2 月 26 日
- ⑥ 西田政弘, 林浩一, 長谷川直, 超高速飛翔体衝突により生ずるイジェクタのサイズ分布, 第 5 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, 平成 25 年 1 月 22 日
- ⑦ 西田政弘, 加藤浩明, 林浩一, 戸谷一貴, 東出真澄, 炭素繊維強化プラスチックへの超高速飛翔体衝突によるエジェクタサイズ分布, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 別府国際コンベンションセンター, 平成 24 年 11 月 21 日
- ⑧ 野崎健太, 西田政弘, 林浩一, 長谷川直, 超高速衝突による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, 第 49 回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋季大会, 名城大学, 平成 24 年 11 月 30 日
- ⑨ M. Nishida, H. Kato, K. Hayashi, M. Higashide, Ejecta Size Distribution Resulting from Hypervelocity Impact of Spherical Projectiles on CFRP Laminates, 2012 Hypervelocity Impact Symposium, Baltimore, USA, Sept. 16-20, 2012
- ⑩ M. Nishida, K. Hayashi and Y. Ito, Effect of impact angles on ejecta and crater shape of aluminum alloy 6061-T6 targets in hypervelocity impacts, DYMAT, Freiburg, Germany, on 6 September 2012
- ⑪ 西田政弘, 林浩一, 山本真司, 長谷川直, クレーターおよびエジェクタ形状に与える飛翔体の密度と硬さの影響, 平成 23 年度 衝撃波シンポジウム 講演論文集, 東京大学 柏キャンパス, 平成 22 年 3 月 8 日
- ⑫ 西田政弘, 林浩一, 山本真司, 長谷川直, 斜め衝突時のクレータ形成とエジェクタ飛散挙動, スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 2012 年 2 月 27 日

- ⑬ 野崎健太, 西田政弘, 林浩一, 長谷川直, 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, スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 2012年2月27日
- ⑭ 加藤浩明, 西田政弘, 林浩一, 東出真澄, CFRP への超高速飛翔体衝突によるエジェクタに関する研究, スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 2012年2月27日
- ⑮ 西田政弘, 名古屋工業大学の二段式軽ガス銃およびこれまでの研究, 研究会「日本における超高速衝突実験の現状と将来展望」, 神戸大学惑星科学研究センター, 2011年12月13日(招待講演)
- ⑯ 西田政弘, 葛谷加代子, 加藤浩明, 林浩一, 長谷川直, 超高速衝突時のエジェクタに与えるアルミニウム合金ターゲットの合金種および熱処理の影響, 高速度イメージングとフォトンクスに関する総合シンポジウム 2011, 熊本大学, 2011年12月1日
- ⑰ 伊藤圭孝, 西田政弘, 林浩一, 超高速衝突時のエジェクタおよびクレータ形状に及ぼす衝突角度の影響, 第48回日本航空宇宙学会 関西・中部支部合同秋期大会, 神戸市産業振興センター, 2011年11月25日
- ⑱ 西田政弘, 葛谷加代子, 加藤浩明, 林浩一, 長谷川直, エジェクタ構成へ与えるアルミニウム合金の材質および調質の影響, 平成22年度衝撃波シンポジウム, 青山学院大学相模原キャンパス, 2011年3月16日
- ⑲ 加藤浩明, 西田政弘, 林浩一, 葛谷加代子, 二段軽ガスガンにおけるサボ分離距離の短縮に関する研究, 日本機械学会東海支部第60期総会講演会, 豊橋技術科学大, 2011年3月14日
- ⑳ 西田政弘, 山本真司, 林浩一, 長谷川直, クレータ形成とエジェクタ構成に及

- ぼす飛翔体の材質の影響(飛翔体の硬さ, 密度および相転移), スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 2011年3月4日
- ㉑ 葛谷加代子, 加藤浩明, 林浩一, 西田政弘, 長谷川直, アルミニウム合金の調質および材質がエジェクタ形状に与える影響, スペースプラズマ研究会, 宇宙科学研究所, 2011年3月4日
- ㉒ 西田政弘, 葛谷加代子, 加藤浩明, 林浩一, 長谷川直, アルミニウム合金の材質および熱処理がエジェクタに与える影響, 第54回宇宙科学技術連合講演会, 静岡県コンベンションアーツセンター「グランシップ」, 2010年11月17日
- ㉓ 西田政弘, 林浩一, 伊藤圭孝, 超高速斜め衝突時のクレータおよびエジェクタ形状, 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス, 九州工業大学戸畑キャンパス, 2011年7月16日

[その他]
 ホームページ等
<http://shockwave.web.nitech.ac.jp/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし