

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)

西田 政弘(名工大) 山本 真司(名工大)
林 浩一(名工大) 長谷川 直(JAXA)

1. 緒言

宇宙空間では数多くのスペースデブリが存在しており, その数は急激に増加している. デブリ衝突によって発生する破片(エジェクタ)は二次デブリとなる可能性があるが, エジェクタの構成や生成メカニズムには未だ不明な点が多い. 本研究では, 飛翔体の材質を変化させ, クレータ形成とエジェクタ構成に与える影響を調べた.

2. 実験方法

飛翔体の直径は 3.2 mm, 材質は, 純鉄, ベアリング鋼(SUJ2)およびアルミニウム合金(A2017-T4)の3種類を用いた. 飛翔体の物性値を表1に示す. 純鉄とベアリング鋼の密度はほぼ同じで, 硬さが約10倍異なる. また, 純鉄とアルミニウム合金は硬さが近いが, 密度が倍以上異なっている. また, 純鉄は衝撃誘起相転移する材料として知られている. また, 得られた結果は, これまでに測定したポリカーボネート飛翔体の結果^[1]とも比較する. 検証板には 150 mm×150 mm, 厚さ 2 mm の銅板(C1100P-1/4H), ターゲットには直径 95 mm, 厚さ 20 mm (衝突速度により 30 mm) のアルミニウム合金(A6061-T6)を用い, 検証板はターゲットから 50 mm 前方に設置した. ISAS/JAXA の新型銃を使用し, 衝突によるエジェクタの挙動を高速ビデオカメラ(株式会社 島津製作所製 HPV-1 および Vision Research 社製 Phantom V710)を用いて撮影した. ターゲットに形成されたクレータの形状はデジタルマイクロスコープ(株式会社キーエンス VHX-1000)を用いて測定された.

表1 飛翔体の物性値^{[2][3][4][5][6]}

	純鉄	ベアリング鋼	アルミニウム合金	ポリカーボネート
ビッカース硬さ	86	750-900	118	12-13
密度 [Mg/m ³]	7.9	7.8	2.7	1.2

3. 実験結果および考察

3.1 クレータ形状

デジタルマイクロスコープを用いることで, 比較的簡単に基準面(衝撃の影響を受けないターゲット表面)を決めることができ, その基準面上の4ヶ所の直径を求め, 平均値を直径とした. また, 基準面からの深さも精度良く測定した. 図1に, すべての実験結果のクレータの直径, 深さを示す. クレータ直径は純鉄, ベアリング鋼およびアルミニウム合金の間では大きな違いがみられなかった. 一方で, クレータ深さは, 純鉄とベアリン

グ鋼は近い結果となり，アルミニウム合金，ポリカーボネートの順に小さくなった．純鉄とベアリング鋼では，硬さが大きく異なるにも関わらず，クレータ深さは近い結果であった．JSC の式^[7]によると，クレータ深さに影響を与える要因のうち，飛翔体の物性に由来する因子は密度のみである．本実験結果はこの傾向と一致する結果であった．衝撃誘起相転移の影響はクレータ直径，深さともにみられなかった．

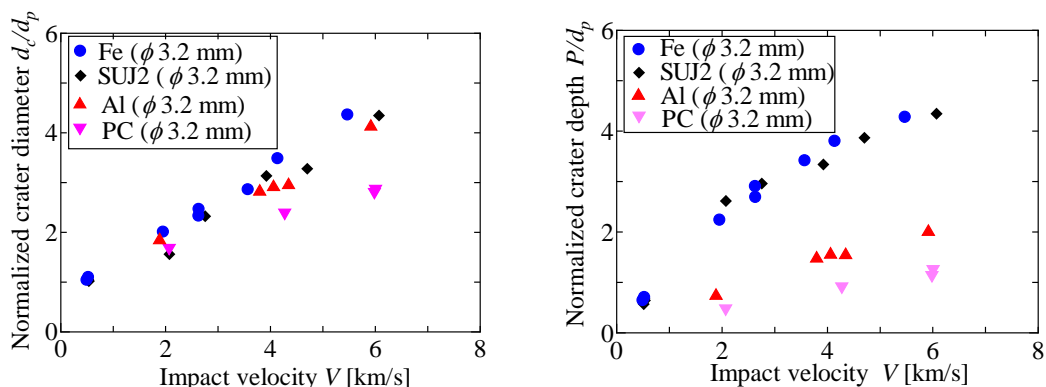


図1 クレータ形状

3.2 エジェクタ寸法

エジェクタは図2のように，3方向の長さをノギスで測定し，大きい部分から順に a , b , c とした．測定した a , b , c の累積個数分布を図3に示す．

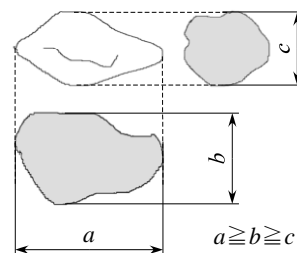


図2 エジェクタ寸法の定義

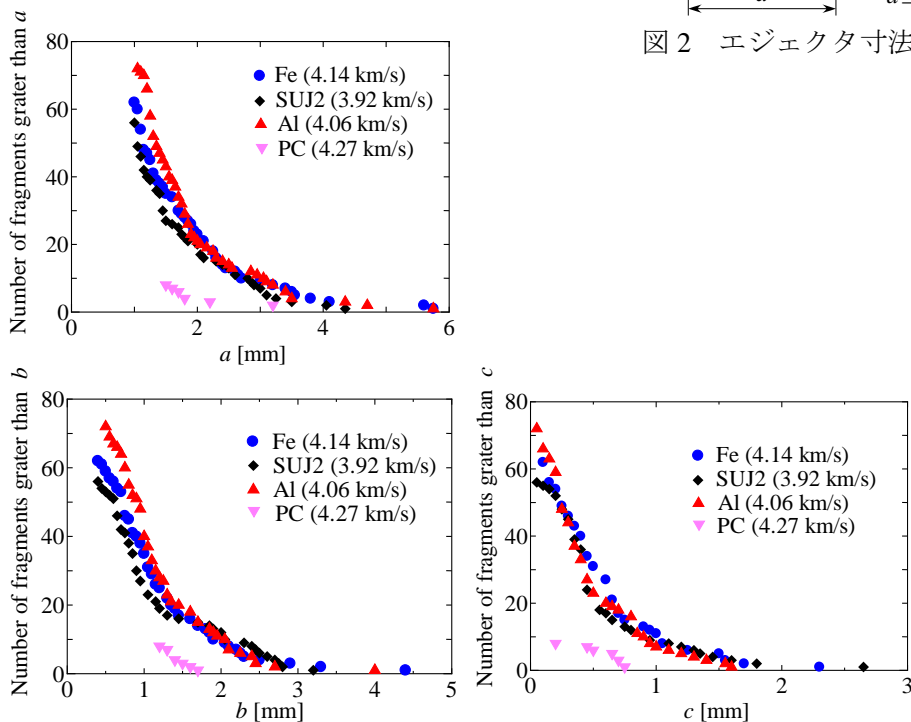


図3 エジェクタ寸法

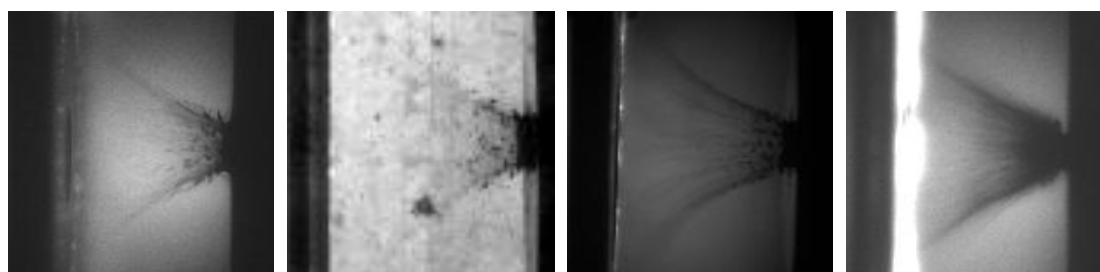
ポリカーボネート飛翔体の結果は、他の飛翔体の結果に比べ、小さかった。それに対し、3種の金属飛翔体では、エジェクタの寸法には大きな差はみられなかった。ポリカーボネートはプラスチックで、他は金属であるため、物性が大きく異なることから、エジェクタ構成に大きな差がみられたと考えている。また、大きな差がみられた原因として飛翔体の融点にも注目している。表2にそれぞれの飛翔体の常圧下での融点について示す。今回用いた飛翔体の中でポリカーボネートが最も融点が高いのがわかる。ポリカーボネートは衝突時に融点に達し、飛翔体の大部分が溶けるため、エジェクタ寸法に影響を与えたと考えている。しかし、純鉄、ベアリング鋼およびアルミニウム合金の違いは、硬さ、密度で説明しにくい結果となった。

表2 飛翔体の融点、液相線温度、固相線温度^{[8][9][10][11][12]}

	純鉄	ポリカーボネート		ベアリング鋼	アルミニウム合金
融点[°C]	1530	222-230	液相線温度[°C]	1350	640
			固相線温度[°C]	1200	513

3.3 エジェクタの飛散挙動

エジェクタの飛散挙動を高速ビデオカメラにより撮影した。衝突速度4 km/sのうち、衝突後から約16 μsの画像を図4に示す。エジェクタの飛散挙動は飛翔体材質によらず、コーン状に飛散しており、飛翔体の材質による大きな違いが見られなかった。



純鉄
(4.14 km/s)

ベアリング鋼
(3.92 km/s)

アルミニウム合金
(4.06 km/s)

ポリカーボネート
(4.27 km/s)

図4 エジェクタの飛散挙動 (衝突後16 μs)

4. まとめ

クレータ形状の深さに関しては、JSCの式で示されているように飛翔体の物性のうち、密度のみが影響していることが本研究においても確認された。エジェクタ寸法に関して、ポリカーボネート飛翔体の結果は、純鉄、ベアリング鋼、アルミニウム合金の結果と大きく異なったが、純鉄、ベアリング鋼、アルミニウム合金では大きな差はなかった。エジェクタの飛散挙動に関して、高速ビデオカメラにより撮影結果からでは、飛翔体材質の違い

による大きな差はみられなかった。エジェクタ構成に影響を与える要因については、今後
もさらに詳細に検討していく必要がある。

謝辞

エジェクタ飛散挙動の撮影に際し、株式会社ノビテック 小西 信宇 氏 にご協力いただき
ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1]H22 年度 葛谷加代子 修士論文
- [2]東北特殊鋼株式会社 検査証明書
- [3]株式会社天辻鋼球製作所の試料
- [4]軽金属学会 編, アルミニウムの組織と性質 (1991)427.
- [5]三菱レイヨン株式会社技術資料,http://www.acrypet.com/acrypet_J/index.html
- [6]三菱エンジニアリングプラスチック株式会社技術資料,
http://www.m-ep.co.jp/pdf/product/iupi_nova/physicality.pdf#page=31
- [7] K.B. Hayashida and J.H. Robinson, Single wall penetration equations, NASA TM-103565.
- [8]金属材料物性値, <http://f3.aaa.livedoor.jp/~seltd/metal.htm>
- [9]奈良場恒三, ポリカーボネート, 日本機械学会誌, 1960, 63(497), 910-916.
- [10] 軽金属学会 編, アルミニウムの組織と性質 (1991) 426.
- [11] 特許：日立金属株式会社, 成形性に優れた転動体用金属球, 特許公開 2006-205238.
- [12] 特許：愛知製鋼株式会社, 高炭素クロム軸受鋼の製造方法, 特許公開 2009-127113.