

ダイラタンシー流体を用いた人工衛星の防御力向上

大分県立大分舞鶴高等学校 理数科 2年
大久保花梨 船瀬蒼良 増野峰柁 渡邊倅成

背景・目的

増加するスペースデブリ

人工衛星へのデブリの衝突によりデブリが増加し、さらにそのデブリ同士が衝突して微細デブリが増加している。(ケスラーシンドローム)



写真, スペースデブリ

デブリが軌道上を埋め尽くす可能性大

全てを回避するのが不可能に

[リサーチクエスト]

ダイラタンシー流体を用いればシールドの防御性能を向上させられるのではないかと

ダイラタンシー流体

- 1)液体と粉体を混合流体
- 2)遅い剪断刺激には液体として振る舞い、速い剪断刺激には個体として振る舞う



写真, ダイラタンシー流体

私たちはダイラタンシー流体の特性に注目して次世代のISSに搭載する新たなデブリバンパーの構造を提案することを目的として研究を行なった。



ISSのホイップルバンパー

[実験1] 衝撃計測

- 目的: 防御性能の高いダイラタンシー流体を調査する
- 方法: 1)水と片栗粉の比率が異なる流体を6種類作成する

表1. ダイラタンシー流体の比率

	1:1.40	1:1.45	1:1.50	1:1.55	1:1.60	1:1.65
片栗粉	140g	145g	150g	155g	160g	165g
水	100g	100g	100g	100g	100g	100g

- 2)ガウス加速器を用いて鉄球を撃ち出し、衝突時の速度と衝撃の値を検出する
- 3)単位速度あたりの衝撃の値(N/m/s)

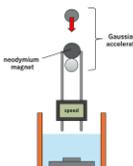


図1. 実験装置のイラスト

結果(実験1)

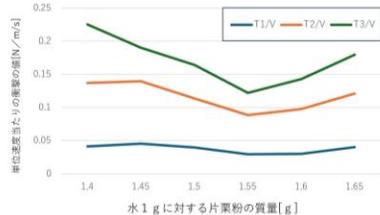


図2. 衝撃の値のグラフ

- 全ての衝突で3つの値が検出された。
- いずれの値も水と片栗粉の比率が1:1.55の時に最も小さくなった。

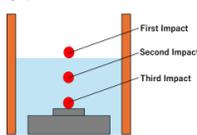


図3. 3回の衝撃

[実験2] 真空実験

- 目的: ダイラタンシー流体が宇宙空間で正常に特性を発揮するのかを検証する。
- 方法: 1)実験1で最も防御性能が高いことが示唆された1:1.55の流体を用意する。2)流体を減圧装置(ベルト駆動油回転真空ポンプ)に入れ、どのような反応を示すのかを観察した。



写真, 真空実験の様子

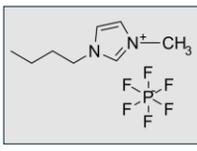
結果(実験2)

- 装置内の圧力が下がるにつれてダイラタンシー流体はブクブクと泡を立てながら膨張した。
- 水が減圧沸騰したため。

不揮発性の液体を使用
(イオン液体やグリセリンなど)



写真, 膨張の様子



キサフルオロリン酸1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムの構造

[実験3] V50計測

- 目的: ダイラタンシー流体を用いたシールド構造が従来の構造よりも防御性能に優れているのかを検証する。
- 方法: 1)発泡スチロールを使用して2種類のターゲットを作成する



図4. 作成したシールド

- ダイラタンシー入り(厚さ2.5cm)
- 発泡スチロールのみ(厚さ3cm)
- 2)モデルガンでBB弾を撃ち込み、2種類のターゲットそれぞれで貫通しなくなる初速度(弾道限界速度V50)を求める。

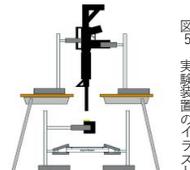
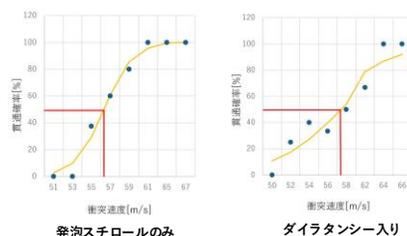


図5. 実験装置のイラスト

結果(実験3)



- ダイラタンシー流体入りのシールドのV50は57.41576m/s、ダイラタンシー流体なしのシールドの50は56.327535m/s。
- ダイラタンシー流体を用いたシールドはデブリ対策として有効な手段であるとわかった。

まとめ

実験の結果をふまえて提案するデブリバンパー構造は以下の通りである。

- ダイラタンシー流体の材料として不揮発性の液体を使用する。
- 質量増加対策としてアルミ合金に代わりCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を使用する。
- 構造は外側からCFRP1mm、ダイラタンシー流体1mm、CFRP1mm、MLI、与圧壁。
- 液体の流出を最小限に抑えるために、アイソグリット構造の三角形の中にダイラタンシーを入れる。

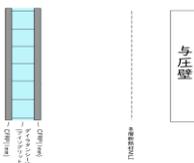


表2 シールドの質量

ISSのデブリバンパー	Al合金6061-T6(1.27mm)			合計
面密度(g/cm ²)	0.3429			0.3429
提案するバンパー	CFRP(1mm)	ダイラタンシー流体(1mm)	CFRP(1mm)	合計
面密度(g/cm ²)	0.15	0.1174	0.15	0.4174

得られる成果

- ①バンパーの防御性能が向上することで多少大きなデブリの衝突に耐えることができる。
- ②液体の流動性を利用し様々な形状の人工衛星に活用すれば、構造を考える時間・労力・費用の削減につながる。
- ③ダイラタンシー流体の宇宙での活用が実現すれば、月でレゴリスを材料に作成することができ、月面住居に応用できる可能性がある。

主張したい独創性

過酷な宇宙空間で、デブリの衝突に対処するための構造に鋼体を多用するのではなくあえて流体を用いることで、デブリ回収を確実なものにするという点で独創性を主張したい。