

## 第22回衛星設計コンテスト

事務局使用欄

受付番号

年 月 日

### アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

#### 1. 作品情報・応募者情報

作品名 (20文字以内)

**次世代の新構想 膨張性流体防御シールド**

作品名 副題 (これは公式文書では省略する場合があります)

**固いのにかわいらしい対デブリバンパー構造**

	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	竹本智志(タケモトサトシ)	立命館守山高等学校フロンティアサイエンスコース	2
代表者(副)			
メンバ1			
メンバ2			
メンバ3			
メンバ4			
メンバ5			
メンバ6			
メンバ7			
メンバ8			

#### 2. アイデアの概要 (プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。)

地球軌道上には宇宙空間における活動の大きな妨げとなるスペースデブリが無数に存在する。これらは特に有人宇宙船の航行や船外活動などに対して大きな影響を与え、場合によっては惨事につながる可能性もある。これらのリスクを効果的に低減し、且つ確実にそれらを減少させていくと共に時間・エネルギー・コストの削減に貢献する、ダイラタント流体と化学繊維を用いた防御シールド構造を提案する。

#### 3. 目的と意義 (目的・重要性・技術的意義等)

(a) 目的 (今回考えたアイデアを何に利用するか等)

(b) 重要性・技術的意義等 (ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)

※上記二点併記のこと

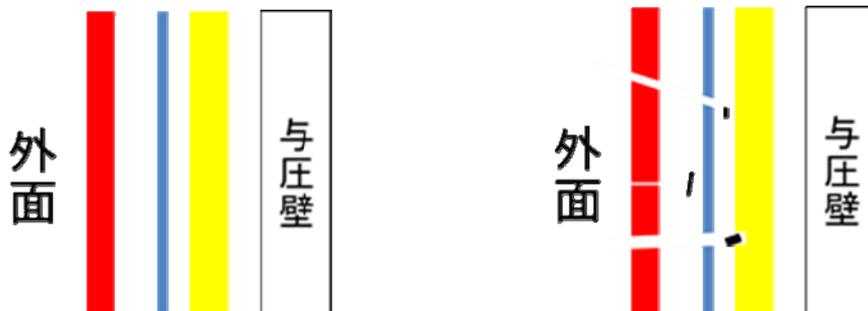
宇宙空間には、宇宙開発を阻害する形で存在するスペースデブリ (以下デブリと表記) が多数存在する。更にそれらの多くは宇宙船に対して高速度で運動しており、数マイクロメートル・数センチメートル程度の微小なものでもそのエネルギーは凄まじく、精密衛星・有人宇宙船などの多大なる脅威となる。

現在は主に、アルミニウム合金などを利用した積層多重型のバンパーが受動的なスペースデブリ対策として用いられている。これはバンパーの材質が部分的にたわみ、局所的に延性破壊を起こすことによりデブリのエネルギーを減少させ、貫通性を低減するというものである。しかし、積層バンパーは部分的な破壊を起こさせるというその構造により、意図せぬ破壊もしくは比較的規模の大きい破壊が起きた場合や、宇宙ステーションなどの恒常的宇宙船での長期間の運用に用いる場合などにおいては、破断面を放置することによりその性能に不安を残す。例えば、下図に示したように、剛体バンパーの場合、

長期間の運用や予期せぬデブリの衝突などにより受けた損傷は放置される。この破断面に他のデブリが入射することは確率的に低い、それでも破断面周囲の脆性が増していることは確かである。また、入射したデブリや破断面から発生した金属片は捕捉されることが無く、何らかの機会に再度バンパー外に放出される可能性もある。

(i) 運用初期の剛体バンパー

(ii) 長期間運用や事故などで損傷したバンパー



宇宙空間では、その厳しく過酷な環境や物資供給や住環境維持のスケジュールなど様々な要素により、行動的・時間的制約が全ての行動に付きまとう。特に有人宇宙船では人命と人員の安全の確保が最優先事項とされており、それらに対して細心の注意が払われていることは言うまでもない。他方、無利益な人為的構造物、スペースデブリは数を増す一方でその危険も飛躍的に増大している。このような状況を踏まえて、今後宇宙開発を円滑に推進していく為には、**衛星・宇宙船の安全確保及びスペースデブリの数の削減**はもちろん、これらを**包括的に効率化して行っていく**必要がある。ここで、本アイデアにあるように剛体バンパーという概念を根本から見直し、全く違う基本的性質を持った材質を採用することで、システムそのものに革新を起す必要がある。このような技術が実用化され、実装されるようになることの技術的意義及び便益は多大なものになるであろう。

今回提案する流動性バンパーは、ダイラタント流体のダイラタンシー（膨張性）と呼ばれる性質とそれが併せ持つ不完全性を利用して先述の三点を実現し、積層バンパーの時間経過による性能低下という短所を改善しようとするものである。つまりこのアイデアにおいて、スペースデブリからの衛星・宇宙船の効率的な防御および衝突したデブリの確実な捕捉、また防御機構の簡便化を提案する。このバンパーを使用することは、安全性の向上の面からはもちろん、デブリの数を減少させるという面から、地球軌道付近全体での作業における危険性を低減することにより、宇宙開発の分野全体におけるサステナビリティへの寄与ということにつながり、重要性は高いといえる。

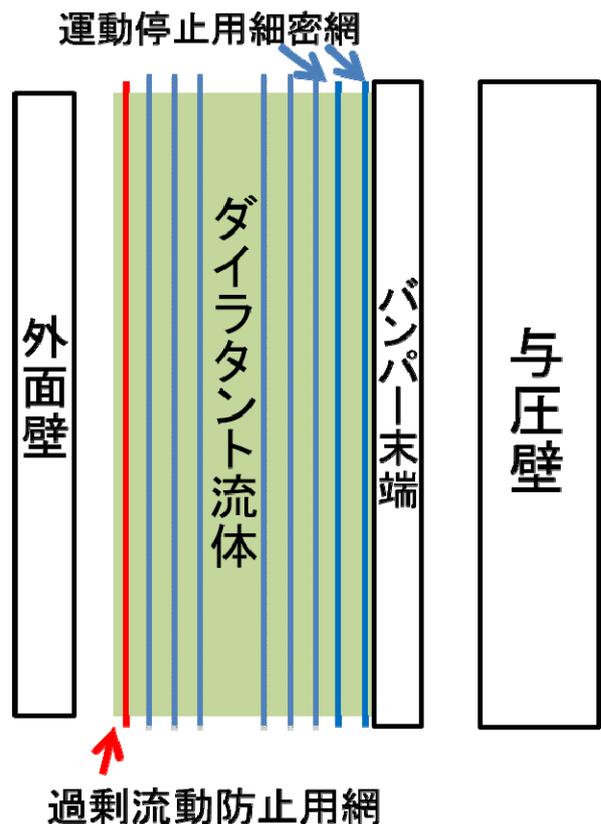
#### 4. アイデアの概要

※ミッション全体の構成・ミッション機器の形状・質量・機能・運用軌道など、図を使用するなどして分かりやすく説明して下さい。

本アイデア中のバンパーの構造はダイラタント流体とその補助材料を利用したものである。ダイラタント流体は剪断力に対する異常粘性（抵抗）を示す流体のことである。

現在ではその性質の特異性とそれに伴った利便性故に、防弾装具などへの利用を目的として世界各国の軍が研究開発を行っているものである。この流体は単一で異常粘性を示すのみならず、強靱な繊維に塗布され浸透させられることによって繊維との接面のあらゆる方向に働く運動に対しての抗力（剪断応力）を発生させ、瞬間的に強力な靱性を帯びる。この硬化は一時的なものであり、衝突した物体の運動を応力で相殺した後、緩やかに液体に戻る。この性質を利用し以下の図に示すように各材料を構成すると、バンパーとしての機能を果たすことが出来ると予想される（技術資料中に実験データ有）。

第一にデブリは最外面に位置する**外面壁**に衝突する。この壁面はデブリのエネルギーを低減するというよりは、流体の過剰流動などの不測の事態に対応するための物である。次に外面壁を通過したデブリが**ダイラタント流体層**に衝突する。すると、流体は即座に固形化し、デブリの進入を妨げる。デブリの高エネルギーはその形状にもよるが小さい面積に集中すると予想されるので、ダイラタント流体そのもの単一では運動を相殺しきれんとは考えにくい。故に軍事用の防弾装備に同じく、ケブラーなどの強靱繊維を緻密に編み込んだ**運動停止用細密網**を数層に分けて、流体の中心付近及びバンパーの末端付近に設置する。これにデブリとその周辺の硬化したダイラタント流体が衝突することにより、デブリの運動エネルギーはより広い面積に分散され、バンパーにかかる剪断力及び圧力が低下し、デブリは運動を停止する。運動エネルギーを失ったデブリは細密網の手前にて停止する。すると、**最終的にバンパーに入射したデブリは全てダイラタント流体の内部に封入される**こととなる。こうして衛星・宇宙船は防御され、デブリは流体内に捕捉される



バンパーの性能を初期状態に戻す際には破損した外面壁を交換し、過剰流動防止用網の追加或いは交換を行えばよい。**ダイラタント流体へのダメージや損害、性能の低下は性質上基本的に起こることが無い**ので流体を交換する必要は無い。

このようなシステムを実用化することにより、前述の目的（衛星の防御・デブリの捕捉回収・システム簡便化）を達成できるものと考えられる。

## 5. 得られる成果

※宇宙で利用することにより、どのような効果があるかなど。

このバンパーを使用することにより、デブリから衛星・宇宙船を確実に防御することはもちろん、**修理や取り換えの時間、それにかかる費用、修理のための材料の打ち上げ機器の積載量、運搬量等の大幅な削減が期待出来る**ため、限られた条件下での宇宙開発を円滑に進めることができる。また、バンパーにデブリが衝突した際に流体内にデブリを留めるので、長期的なスパンで見ると流体バンパーの使用がデブリの絶対数の減少につながる。

また、基本的に流体と二種類の強靱繊維網を組み合わせるのみという構造上、それぞれの衛星・宇宙船のミッションやその危険度（デブリへの被曝率）などに合わせて**様々なカスタマイズが可能**である。例えば、運動停止用細密網の層数を増やし、それを支持する構体系を頑強なものにすれば更に大きなエネルギーを持った比較的大型のデブリに対応することができるようになることが期待できる。

## 6. 主張したい独創性または社会的な効果

※「ここは新しいアイデアである」という部分や、このアイデアによって世の中のここに役立つなど、特に主張したい箇所。

高エネルギー物体のエネルギーを相殺するに当たって、**敢えて剛体ではなく流体を用いることにより安全性・確実性・効率・可変性等を改善する**という点に独創性を主張する。更に、衛星部品の規格化が進む中、そのような一般的な部品機器にも、それらで対応することの出来ない特殊な設計の場合にも対応することができるということもまた一種の魅力である。

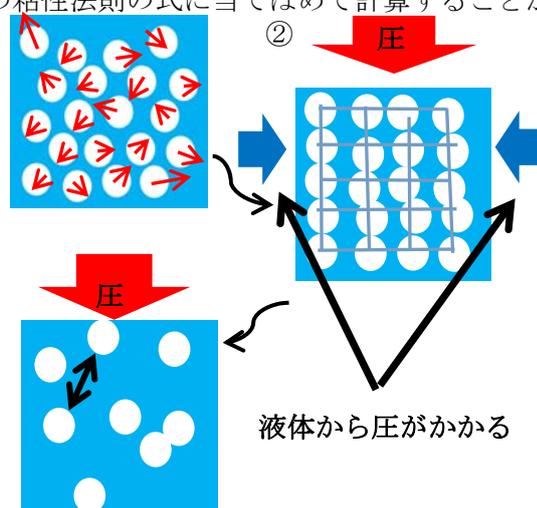
また、このようなバンパー構造の実用により、徐々に宇宙空間でのデブリの脅威が排除され、宇宙開発がスムーズ且つ安全なものへと変化していくことが期待できる。

## 膨張性流体防御シールド 補足資料

### ①ダイラタント流体とは

ダイラタント流体とは、剪断力に対して固形化する性質を持つ非ニュートン流体の一種である。基本的に成分は粒子の大きさが異なる複数の物質であり、粉粒体と液体の混合物であることが多い。後述のウーブレックと呼ばれるダイラタント流体は片栗粉と水の混合物であり、液体としての水と粉体としての片栗粉の粒子とによってダイラタンシーが引き起こされる。以下の図に示したように、ダイラタンシーは、流体に圧力が加かった際に、それが流体に対して他方向に働く減圧となり分子の整列構造が成された結果、分子間の間隙に真空に近い状態が生じ液体からの圧力を受けた結果、構造的に拡大されることによって起こるものである。ダイラタント流体の粘性係数は個々の流体及び流体への圧力（剪断力）の大きさに特有の変数であり、ニュートンの粘性法則の式に当てはめて計算することができない。

- ① 平常時の流体。このときは、通常に振る舞う。
- ② 流体に圧（剪断力）がかかる。このとき、大きい方の粒子は密になるように移動し、伴って小さい粒子はその間隙を埋めようと働く。
- ③ 密に整列した比較的圧力に対して強固な構造が間隙を埋めようとする液体粒子からの圧力を受けて更に強靱になる。



また注目すべきは、ダイラタント流体にかかる剪断力が消えると流体の膨張も収まり、初期の状態に戻るという特性である。この特性により、流体シールドのデブリ捕捉構造が成立するのである。

※名古屋大学セラミックス基盤研究センターのデータから引用

### ②補助実験のデータ

☆ウーブレックを用いた衝撃実験

ウーブレック：片栗粉の中の $\alpha$ グルコース分子(※粒度 $2\sim 80\ \mu\text{m}$ 、平均粒径 $30\sim 40\ \mu\text{m}$ )を以てダイラタンシーを引き起こすダイラタント流体。今回は安定的に安価に入手できるという点から、片栗粉と水を体積比約 $6:5$ で混合した液体を実験に用いた。

○実験方法

- 1、目的：ウーブレックを用いて、加圧されたダイラタント流体が高エネルギーで運動する物体を停止させるだけの強度を有することを実証する

2 準備物： ・ スチロール樹脂小容器：2 個

・ ウーブレック（片栗粉：水=5：6）上記の小容器を満たすだけの体積

・ アルミ複合小板：容器の口よりもやや小さいもの 1 枚

・ 6m自由落下衝撃実験器（有効落下距離 5.5m）1 基

3 手順：①二つのスチロール樹脂小容器にウーブレックを満たす

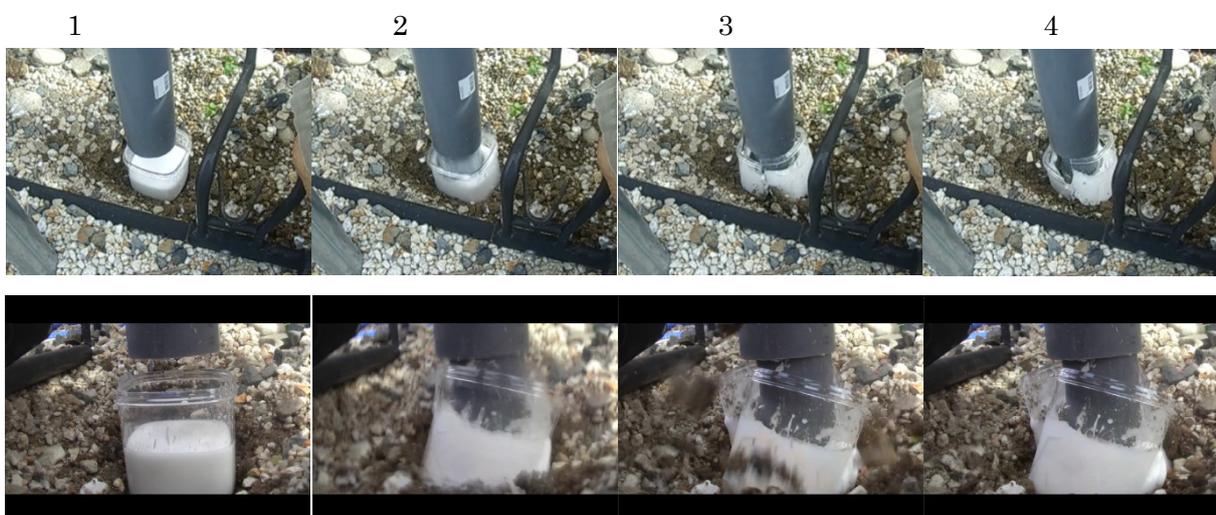
②片方の容器のウーブレックの上にアルミ複合小板を水平に載せる

③自由落下衝撃実験器に 8kg のインパクター（ニードル装着）をセットする

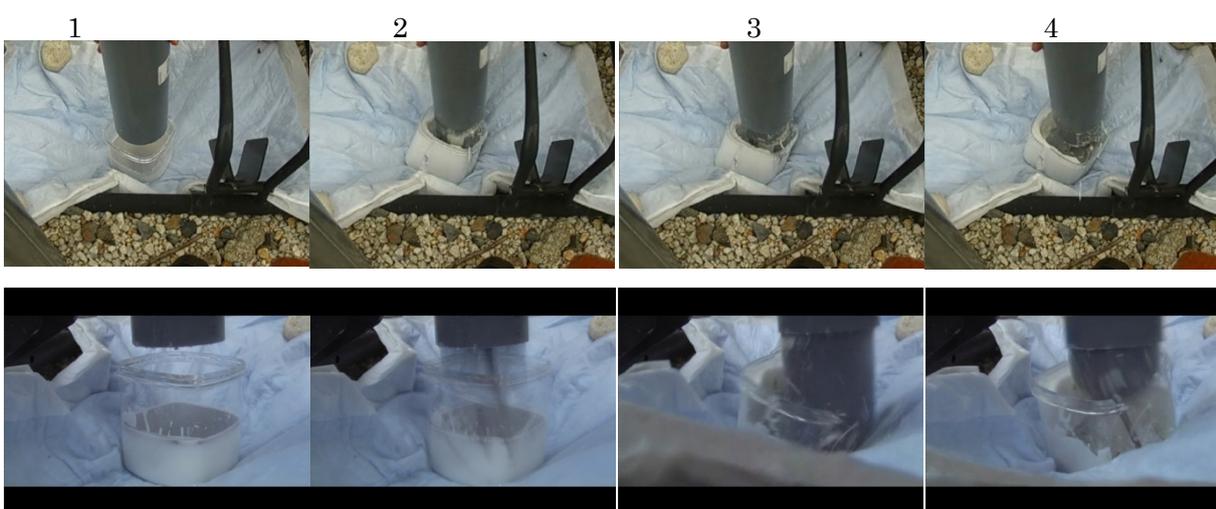
④二つの容器に最大落下距離からの衝撃を与え、流体の反応を観察する

4 結果及び考察

(i) 複合板無し



(ii) 複合板あり



前者（アルミ複合板片無し）において、ウーブレック単体ではインパクターの衝撃およびニードルによる圧力の集中に耐えることが出来ず、衝突後すぐに小容器底部まで貫通した。

これは、ウーブレック中の $\alpha$ グルコース分子による間隙率が低く、また一点のみに高圧が集中すると脆性破壊を起こすためであると考えられる。他方、アルミ複合板によりインパクトの圧力が分散された後では、ニードルが折れ曲がることが確認された（水平視点の写真2枚目参照）。容器の破片を集めて再構成し調べた結果、スチロール樹脂小容器の圧潰は見られたが、アルミ複合板以下の底部への貫通の痕跡は見られなかった。これにより、圧力を広範囲に分散した上でのダイラタント流体の耐衝撃性が低エネルギーのスケールで実証されたと言える。高性能なダイラタント流体を強靱繊維等と併用すれば衝撃のかかった点付近全体が硬化し、後者に似た結果を示すと考えられ、且つデブリを流体内に抑留するという構想の目的が達成されると考えられる。

更にこれに加え、繊維とダイラタント流体を組み合わせて用いた場合の補助実験を行った際の結果・考察等をパネルと模型にて説明致す。