

## シミュレーションによるスペースデブリ除去方法の考案

赤木 悠理花、道下 知歩、姚 瑶(高2)【茨城県日立第一高等学校】

### 要旨

近年増加するスペースデブリの衝突リスクに対し、本研究では、大気圏再突入を利用した除去方法を検討した。低密度物質散布方式[1]による数値シミュレーションを行った結果、デブリの速度と高度が低下し、小型デブリで高い効果が確認された。

### 1. 研究背景

近年、地球の周囲にはデブリが多く存在しており、現役の人工衛星や国際宇宙ステーションなどと衝突した場合、大きな被害を引き起こす可能性が懸念されている。特に、大きさが10cm以下の小型デブリは追跡が困難である一方、衝突時の影響は無視できない。本研究では、一辺が0.01~10cmの立方体のデブリを対象に、最適な除去方法を考案することを目的とする。

### 2. 方法

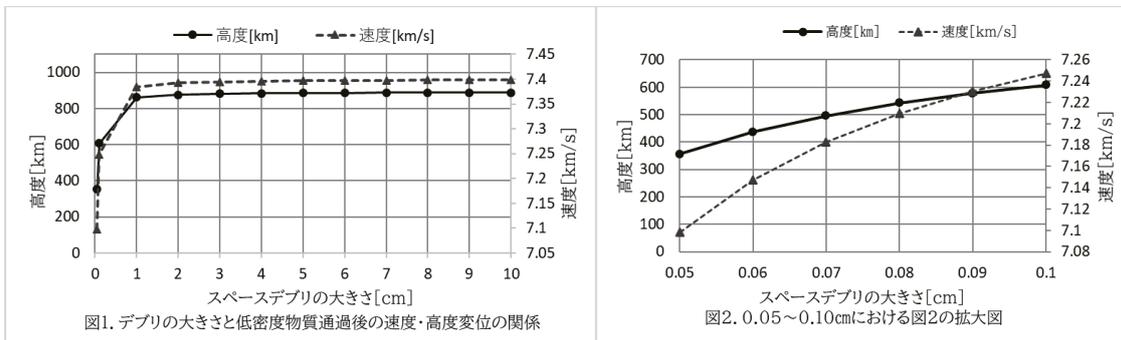
デブリを大気圏に突入させて除去する。本研究では、デブリが大気圏に突入したとき、燃え尽きるものと仮定した。この場合、既存の方法では安全性、汎用性、小型適性が高い低密度物質散布方式[1]と宇宙搭載レーザー方式[2]が有効であると判断した(表1)。本研究ではGoogle Colaboratory上でPythonを用いて低密度物質散布方式についてシミュレーションを行う。低密度物質による摩擦を考慮し、デブリの速度変化および高度変化を解析した。

表1.スペースデブリを大気圏へ落とす既存の方法

	安全性	汎用性	コスト	技術的難易度	大型適正	中型適正	小型適正
ロボットアーム	○	△	×	×	◎	△	×
ハーブーン/ネット	△	△	○	△	○	○	×
低密度物質散布方式	△	○	△	△	×	○	○
微粒子散布方式	×	×	○	×	×	△	○
レーザー(宇宙搭載)	○	◎	×	×	×	○	○

### 3. 結果

シミュレーションの結果、低密度物質を用いることで、デブリの速度を低下させることに成功した。これにより、デブリの軌道高度が低下した。デブリの一辺を小さくするほど、より速度、高度が低下した(図1)。デブリの一辺の大きさが0.07cmのとき、高度が500km以下まで下がり、デブリが大気圏に到達した(図2)。一方、サイズの大きいデブリでは抗力の寄与が小さく、単独では十分な減速が得られなかった。



### 4. 考察

デブリのサイズが小さくなるにつれて速度と高度の減少量が大きくなったことから、低密度物質散布方式は小型デブリに対して高い有効性をもつと考えられる。特に一辺が1cm以下のデブリでは速度低下が著しく、軌道高度の大幅な減少が確認された。これは、効力加速度の基本式([3]7.1の方程式1)より、サイズが小さくなるほど質量が減少し、低密度物質による抗力の影響が相対的に大きくなるためだと考えられる。

### 5. 結論

低密度物質散布方式を用いた数値シミュレーションにより、デブリの速度低下および軌道高度減少を定量的に示した。本研究は、小型デブリ除去に対する本手法の有効性と限界を明らかにし、将来的な複合的除去技術の基礎的検討を提供するものである。今後は、レーザー照射による初期減速と低密度物質による持続的減速を併用することで、より大きなデブリへの適用が期待される。

### 参考文献

[1] 低密度物質を用いたスペースデブリの除去方法の研究, IHI技報, [https://www.ihl.co.jp/technology/techinfo/contents\\_no/\\_icsFiles/afieldfile/2023/06/17/6423812383de840f10d8fcab1ef83603.pdf](https://www.ihl.co.jp/technology/techinfo/contents_no/_icsFiles/afieldfile/2023/06/17/6423812383de840f10d8fcab1ef83603.pdf) (2026年1月13日閲覧)

[2] レーザーアブレーションによるスペースデブリの除去, 大阪公立大学, [https://www.omu.ac.jp/eng/mori/research/laser\\_debris\\_removal/](https://www.omu.ac.jp/eng/mori/research/laser_debris_removal/) (2026年1月15日閲覧)

[3] Hubble Space Telescope and Swift Observatory Orbit Decay Study, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20250010561/downloads/20250010561.pdf> (2026年1月15日閲覧)