

君が作る宇宙ミッションC班

島矢拓，浅井里美（高1）佐藤瞳，高橋和樹，盛本真史，林慶（高2）

1. 背景

現在，地球近傍の宇宙空間では，これまで人類が行ってきた宇宙開発によって生じた人工物のゴミが多く存在し，デブリと呼ばれている．これらは秒速数 km もの速さで運動しており，現在稼働中の人工衛星や宇宙ステーションなどに衝突してしまうことが危惧されている．デブリの量が増えていくと，やがてデブリ同士で衝突を起こして分裂し，その数が鼠算式に増えていく．そして，最終的に地球はデブリのペールに覆われて宇宙開発ができなくなると言われている．この問題はケスラー・シンドロームと呼ばれ，早急に対策を打ち出す必要がある．[1, 2]

2. 目的

ケスラー・シンドロームを防ぐには新たなデブリを発生させないとともに，これまでに生じたデブリも取り除いていかなければならない．そこで，ケスラー・シンドロームを防ぐためにデブリを除去する機能を持った人工衛星を提案する．

3. 対象とするデブリ

現在，地球近傍に存在するデブリには大小様々な大きさのものが存在するが，小さくなるほどその数は多い．10cm 以上のデブリに関しては地上からの観測によりその軌道が登録されているため，稼働中の人工衛星はそのデータを基に回避行動ができる．したがって，デブリ除去衛星は 10cm 未満のデブリを対象とする．また，各デブリの大きさと速さは関係を持たず，最大秒速 11.2km（地球脱出速度）もの速さを持っている．

4. デブリ除去衛星の概要

デブリ除去衛星は巨大な面積を持つ捕獲部を持ち，そこにデブリを衝突させることでデブリを除去する．デブリ除去衛星は次の三つの要素によって構成される．

まず，大きな運動量を持つデブリの衝突に耐え得るだけの強度を持った捕獲部，次にデブリ除去衛星の軌道を変える時に使用する軌道変更ユニット，さらにこれらをまとめるためのフレームである．（図 1）

4.1. 捕獲部

捕獲部を構成する材質には，新たなデブリとならないよう飛散しないこと，捕獲時に発生する熱に耐えることなどが要求される．また，様々な運動量のデブリに対応するために剛性の異なる素材を層状に配置する．そして，破損がひどくなった時，破

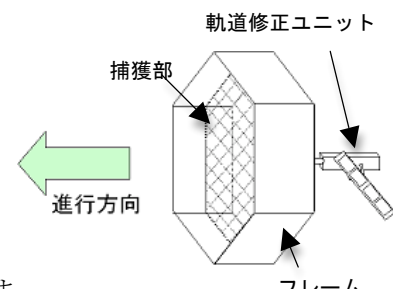


図 1. デブリ除去衛星

損した部分のみを交換できるように捕獲部を分割する（図2）．これにより，除去衛星の長期運用が可能となる．分割することで増設も容易となり，複数回の輸送に分けて除去衛星を建設することができる．

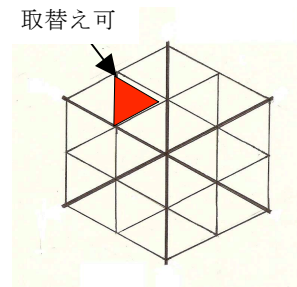


図2. 捕獲部の構造

4.2. 軌道修正ユニット

軌道修正ユニットには傾き検知用のジャイロセンサーや軌道修正用の推進器などが含まれる．地上から観測されているデブリの運動量が除去衛星の性能を上回る場合，このユニットを使用し，そのデブリを回避する．しかし，地上から観測されていないデブリが軌道修正ユニット自体に衝突しないとは限らないため，その装甲には十分な強度を持たせる必要がある．

4.3. フレーム

フレームとは捕獲部と軌道修正ユニットを取り付ける除去衛星の骨組みであり，捕獲部の増設に併せて拡張できる．デブリが衝突する可能性があるので十分な強度を持つ素材を使う．

5. 運用

除去衛星は複数回の輸送により建設される．その後も破損した捕獲部を交換するために，何度も輸送を必要とする．そのため宇宙ステーションに捕獲部の予備を保管するなど，必要に応じて輸送できるように国際協力の下，除去衛星を運用する．

6. 期待できる成果

捕獲部面積 1km^2 の衛星を太陽同期軌道（高度 800km ）付近に投入した場合を考える．この高度のデブリを除去しつくすために必要な時間は以下の式で求められる．なお，計算に用いた値は NASA のソフトウェア ORDEM2000[3]から求めた．

$$\frac{\text{高度 } 800\text{km} \text{ におけるデブリ個数(直径 } 1\text{cm} \text{ 程度のもの) [個]}{\text{捕獲部面積 } 1\text{km}^2 \text{ 時の年間のデブリ衝突頻度 [個]} = \frac{200}{100} = 2 \text{ [年]}$$

このように，デブリ除去衛星を投入した周回軌道上の 1cm までのデブリは約2年で除去できることが計算できる．

参考文献

- [1] 八坂哲雄，“宇宙のゴミ問題-スペースデブリ”，裳華房，1997.
- [2] Newton 2007年4月号 「宇宙開発をおびやかすスペースデブリ」
- [3] NASA Orbital Debris Program Office,“<http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>”