

第24回衛星設計コンテスト

アイデア概要説明書

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 小型衛星で作るデブリ分布図 DEB-MAP			
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）			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	宮田 悠佳 (ミヤタ ハルカ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
代表者(副)	藤原 裕花 (フジハラ ユウカ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ1	趙 玲美 (チョウ レミ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ2	森 俊将 (モリ トシマサ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ3	清田 智紀 (キヨタ トモキ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ4	宮田 健太郎 (ミヤタ ケンタロウ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ5	細井 明延 (ホソイ アキノブ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ6			
メンバ7			
メンバ8			

2. アイデアの概要

進行方向に対して垂直な面内にレーダーを放射状に出す小型人工衛星を同一軌道に3基並べることで、衛星の軌道面内のデブリの分布を明らかにできることを示した。また、10cm以下のデブリの観測は地上からでは大気の影響により困難であったが、宇宙から行うことで可能とした。本研究による微小デブリのカタログ化は、将来微小デブリの除去技術が確立された際の参考資料となるなど、今後の宇宙開発につながる。

3. 目的と意義

(a) 目的
スペースデブリ（以下デブリ）の除去は、持続可能な宇宙開発のためにこれから解決すべき大きな問題の1つである。地上からのデブリ観測の精度は向上してきており、京都大学の報告によれば、10cm程度のデブリまではその形状を推定することができるようになった（2016年6月）。しかし、地上からの電波レーダーによるデブリの検知は、大気による散乱の影響を受けるため、10cm以下のデブリについてはカタログ化されていないのが現状である。
そこで、本研究は、小型人工衛星を利用して1cm～10cm程度の大きさのデブリを検知することで、デブリの分布マップを作成する方法の考案を目的とした。

(b) 重要性・技術的意義等
大気の影響がない宇宙において、短い波長のレーダーを用いることで10cm以下の小さなデブリを検知することができるようになり、現在地上から行っているデブリの位置探査の精度をさらに向上させることができる。地球周辺、特に低軌道におけるデブリ分布が明らかになれば、そのデータを参考にして、

新規に打ち上げる人工衛星の高度や軌道の決定や、現在運用中の衛星の軌道修正の参考となる。その結果、人工衛星とデブリの衝突事故を削減することができ、衛星の運用年数も伸びる。

また、将来的には、広範囲の除去が可能な微小デブリ除去衛星が活躍することが期待されており、そのときにはデブリ濃度が高い部分から順に除去するようにするなど、除去計画の参考にもなる技術である。

4. アイデアの概要

本ミッションは、高度 800km~400km の範囲内に分布するデブリをカタログ化し、デブリの分布マップを作成することを目標とする。そのための具体的な運用方法について説明する。

■小型人工衛星の仕様

1 辺が 50cm の小型人工衛星を用いる。軌道は高度 800km の円軌道とする。ミッション機器として、デブリ調査のためのレーダーと、軌道変更で使用する伝導性テザーを持つ

■レーダーの周波数

地上からの観測では、電波の散乱を最小限にするために長い波長のレーダーが使用されているが、分解能が 10cm 程度になり、本ミッションの目的を達成できない。そこで、これまでの研究とは違い、地上からではなく宇宙空間で直接観測を行うことにより、短い波長のレーダーを使用できると考えた。

国際宇宙ステーションの外壁は、1cm 以下のデブリであればアルミ製のバンパで貫通を防ぐことができる。よって、本ミッションのレーダーの分解能は 1cm 程度でなければならない。1cm のデブリをとらえるには、波長 1cm 程度の電波を使用することになり、この場合、 $c=f\lambda$ の式により、30GHz 程度の電波を使用すればよい。本研究では、総務省の周波数割当計画に基づき 33GHz のものを使用する。

■レーダーの調査範囲

軌道上を隙間なく調査できるためのレーダーの探知可能距離を決定する。人工衛星が 8.0km/s で運動しているとき、衛星が衛星自身の大きさである 50cm (=0.50m) だけ進むのにかかる時間は $0.5 \div 8000 = 0.063\text{ms}$ である。この後、次のレーダーパルスを出すので、この時間の間に戻ってきたレーダーパルスのみを受け取ることにすれば探知可能距離はこの半分の時間に電磁波が到達できる距離に等しいので、 $(3.0 \times 10^8) \times (0.063/2) \div 2 \approx 9.4\text{km}$ となる。よって、本衛星は進行方向に対して垂直な面内にレーダーを放射状に出すことで、衛星を中心とした半径 9.4km の円内のデブリを検知することができる。

■小型人工衛星の配置

デブリの軌道を特定してカタログ化するには、デブリの位置と速度の両方を決定する必要がある。そこで、3 基の衛星を高度 800km に 200km 間隔で同一軌道に並べ、衛星の進行方向と逆向きに運動しているデブリの軌道を決定する方法を考えた。最低 3 基の衛星が必要となる理由を以下で説明する。

(i) 衛星が 1 基のとき

1 基で観測を行った場合、デブリの位置は特定できても、速度の特定ができないため軌道決定ができない。デブリの速度の特定のためには、異なる 2 か所でデブリを検知する必要があるためである。

(ii) 観測衛星が 2 基のとき

2 基で観測を行った場合、2 か所でデブリを検知することが可能となる。しかし、図 1 のように、デブリ A が衛星 1 で検知された後、衛星 2 で検知される前に別のデブリ B が横切り、衛星 2 で検知されると、とても速いデブリ 1 つを検知したと誤認識する可能性がある。したがって、衛星が 2 基の場合は、2 か所での検知が同一のデブリによるものかどうかを確定することができないため、このような誤認識が起り、正しいカタログ化ができない可能性が考えられる。

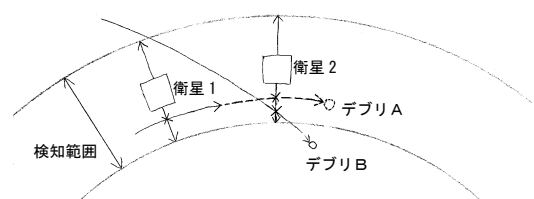


図 1：衛星が 2 基のとき

(iii) 衛星が3基のとき

3基で観測を行った場合、これらの問題が解決できる。図2のように、デブリAが衛星1で検知された後から、衛星2で検知される前に別のデブリBが横切り、衛星2で検知された後、デブリAが衛星2と3で検知される。衛星が等間隔に並んでいれば、検知される時間間隔も同じになるため、3基目の検知でデブリAとBの判別をすることができる。複数の検知のうち、どのデータが同一のデブリによるものかを選別できるため、このようにして誤認識を減らし、デブリの位置と速度が決定できるため、デブリの軌道を特定することができる。ただし、3か所を通らない場合は除外する。

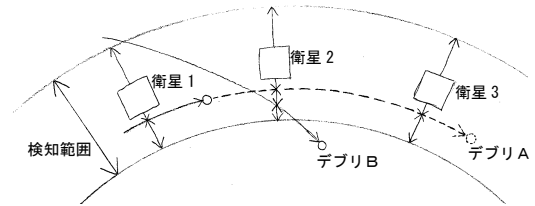


図2：衛星が3基のとき

■調査高度の変更方法

レーダーを出したまま伝導性テザーを垂らし、800kmから400kmまで徐々に高度を下げることで調査高度を変更できる。また、高度400km程度まで低くなると、空気抵抗により自然と高度が下がるので、大気圏突入までの間は、連続的に高度を変更しながら調査することができる。

5. 得られる成果

- ・ 今回提案した方法により、衛星の軌道面内のデブリについて、衛星の進行方向と逆向きに運動しているものを高度800km~400kmの範囲にわたってカタログ化することができる。
- ・ 今回の方法では、衛星と同じ向きに運動しているデブリの検知はできないため、衛星の軌道面内のデブリのうち半数を検知することになる。よって、逆向きに同様な3基の衛星コンステレーションを構成すれば、その軌道面内のすべてのデブリを検知することができ、分布が明らかになる。
- ・ デブリの分布が明らかになり、デブリのカタログ化が進めば、現在運用中の衛星の軌道修正や、衛星を新たに打ち上げる際の参考となり、衛星の安全な運用につながる。また、将来デブリ除去の技術が確立された場合に、除去の効率がよい高度や軌道を決定するための判断材料になり得る。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ・ 従来の地上からの観測では大気の影響により最小10cmが限界だったが、宇宙から観測することで、これまで地上からでは観測できなかった1cm~10cmのデブリを検知できる。
- ・ デブリの位置と速度を特定する過程で生じる誤認識は、衛星を3基用いて観測することにより減らすことができ、より精度の高いカタログ化ができる。
- ・ デブリ分布マップができれば、メディア等で発表する機会が増えるため、多くの人にスペースデブリの問題について興味関心をもってもらえるきっかけとなる。

以上