

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2026年1月13日

大阪公立大学

電子ビームで宇宙ごみ除去へ ビームを送れる距離をシミュレーションで検証

<ポイント>

- ◇電子ビームを用いて、小型スペースデブリ^{*1}を除去する方法を提案。
- ◇電子ビームが電離圏^{*2}中のプラズマ^{*3}から受ける影響をコンピュータシミュレーションで検証。
- ◇1km程度あれば影響を受けず、細いビームを保ったまま電離圏を進める可能性を示唆。

<概要>

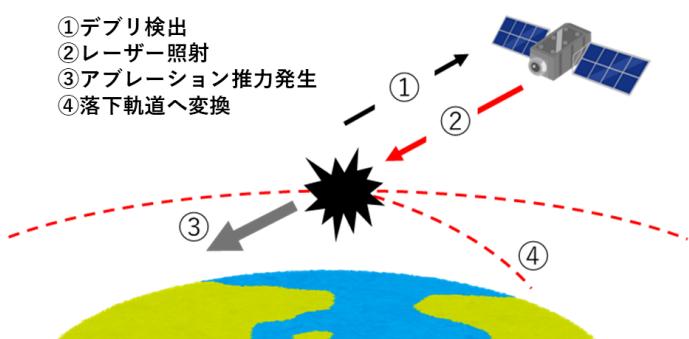
近年、スペースデブリ（宇宙ごみ）が急増しており、このままでは将来の宇宙開発に深刻な影響を及ぼすことが懸念されています。

大阪公立大学大学院工学研究科の森浩一教授と西尾 圭太氏（研究当時：工学研究科博士前期課程2年）の研究グループはこれまで、地球上空の電離圏に存在するプラズマの性質を活用し、電子ビームを用いた小型スペースデブリ除去技術（電子ビームアブレーション推進法）を世界で初めて提案しています。

本研究では、電子ビームが電離圏中のプラズマから受ける影響をコンピュータシミュレーションで解析した結果、電離圏中では電子ビームが真空中のように広がらず、細いビームを保ったまま約1km程度伝送できることが示されました。一方で、1km程度を超えると二流体不安定^{*4}による分裂現象も確認されました。

本研究により、電子ビームを伝送できる距離が数値上で明らかとなり、電子ビームアブレーション推進法の設計に重要な指針を与えることが期待できます。

本研究成果は、2025年12月4日に国際学術誌「Journal of Thermophysics and Heat Transfer」にオンライン掲載されました。



図：電子ビームアブレーション推進法のイメージ

宇宙開発の活発化に伴って、宇宙の環境や資源を活用する研究が世界中で盛んです。我々は、地球上空の『電離圏』の性質に着目して、人類の宇宙進出を阻む大敵『スペースデブリ』を除去する独創的な技術開発に挑戦しています。



森 浩一教授

<研究の背景>

近年、スペースデブリ（宇宙ごみ）が著しく増加しており、このまま増え続けてしまうと、人類の宇宙進出に大きな支障をもたらすことが危惧されています。この問題に対して、さまざまなアプローチからスペースデブリ除去技術の開発が進められています。例えば、大きなスペースデブリに対しては、専用の人工衛星で近づいてロボットアームで捕まえる技術が、既に世界で注目を浴びています。また、10cm 以下のサイズの小型のスペースデブリに対しては、レーザービームを用いる方法が実用化に向けて開発が進められています。

本研究室では、地球上空に存在する電離圏に存在する『プラズマ』の性質を利用した小型スペースデブリ除去の技術として、電子ビームを用いる方法（電子ビームアブレーション推進法）を世界で初めて提案しています。この方法は、より効率が良く、コンパクトなシステムでの実現が期待でき、低コストで持続可能なスペースデブリ除去が可能となります。しかし、電子ビームが電離圏のプラズマからどのような影響を受けるのかについて、十分に検討できませんでした。

<研究の内容>

電子ビームアブレーション推進法では、電子ビームを人工衛星から放出して、宇宙空間で1km 程度離れたスペースデブリに当てる必要があります。しかし電子ビームは、電子自身が有する電荷によって互いに反発するため、真空中では長距離を伝搬するにつれて、横に広がってしまうことが知られています。

そこで本研究では、電子ビームが電離圏のプラズマからどのような影響を受けるのかを明らかにするため、コンピュータシミュレーションを行いました。その結果、電離圏中では、その中を満たすプラズマの効果で、電子ビームは真空中のようには横に拡がらず、細いビームを保ったまま遠くまで伝わることがわかりました。しかし、電子ビームが光と同程度の速度で 1km 程度進むと、二流体不安定 (Two-stream instability) という現象によって、バラバラに分裂してしまうことも明らかになりました。

本研究結果から、電離圏中では 1km 程度であれば、大きく広がらずに細いビームの状態を保ったまま進むことできる可能性が示唆されました。このように、数値として電子ビームを伝送できる距離が明らかになったことは、電子ビームアブレーション推進法の設計に重要な指針を与えます。

<期待される効果・今後の展開>

本研究成果は、スペースデブリ除去のための新しい方法を提案するとともに、電離圏のプラズマの性質を活用する独創的な宇宙工学の発展に大きな一歩を記しました。今後は、電子ビームを受けたスペースデブリにどのようにして減速力を生じさせるかという未解決の課題や、スペースデブリ除去用人工衛星の具体的な設計が重要なテーマとなります。さらに、電離圏を活用してどのように独創的な技術を生み出していくか、という研究課題は、宇宙の自由化に大きく貢献するものと期待しています。

<資金情報>

本研究は、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 (the Innovative Science and Technology Initiative for Security, Acquisition, Technology & Logistics Agency (ATLA); Award no. JPJ004596) の支援を受けて実施しました。

<用語解説>

- ※1 スペースデブリ：役目を終えた人工衛星やロケットの残骸、衝突や爆発で生じた破片など、地球の衛星軌道上を周回する不要な人工物の総称。秒速数キロメートルで移動するため、人工衛星や国際宇宙ステーションに衝突すると重大な被害をもたらす危険性がある。
- ※2 電離圏：地球大気の上層（約 60～1,000km）で、太陽の紫外線や X 線などによって分子や原子が電離し、電子やイオンが多く存在する領域のこと。電波を反射・吸収する性質を持ち、長距離無線通信や宇宙天気に大きな影響を与える。
- ※3 プラズマ：固体・液体・気体に次ぐ「物質の第 4 の状態」で、原子や分子が電離して電子とイオンが共存する状態を指す。宇宙では最も一般的な物質形態であり、太陽や星、雷、オーロラなどがその代表例。
- ※4 二流体不安定 (Two-stream instability)：異なる性質を持つ二つの流体が接触する界面で生じる不安定現象。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Journal of Thermophysics and Heat Transfer
【論文名】 Particle-In-Cell Study of Electron Beam Propagation Through Ionospheric Plasma
【著者】 Keita Nishio and Koichi Mori
【掲載 URL】 <https://doi.org/10.2514/1.T7221>

【研究内容に関する問い合わせ先】
大阪公立大学大学院工学研究科
教授 森 浩一（もり こういち）
TEL : 072-254-9199
E-mail : koichimori@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】
大阪公立大学 広報課
担当：久保
TEL : 06-6967-1834
E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp