

# ベアテザーの宇宙環境適応性に関する研究

工学研究科 電気工学専攻 博士前期課程2年 趙研究室 06346411 檜原弘樹

## 1. 研究背景と目的

近年、宇宙機の長寿命化が進む中で、地球磁場中で発生するローレンツ力を推進に利用することで推進剤を用いずに半永久的に使用可能なエレクトロダイナミックテザー (EDT) システムに注目が集まっている。EDT は宇宙空間でテザーと呼ばれる紐を伸ばし、その両端で宇宙空間から電子収集・放出を行うことでローレンツ力の源となる電流を発生させる。テザー自身が電子収集を担うベアテザーは、他の収集法と比較して構造が簡素で高い収集効率を持つ一方で、テザーが直に宇宙プラズマに曝されるため、放電の発生や異常電流収集と呼ばれる過剰な電子収集の発生が懸念される。こうした現象では細いテザーに大きなエネルギーが加わるため、テザーが断線する恐れもある。

本研究はベアテザーと宇宙プラズマとの間の相互作用に着目し、ベアテザーの電子収集性能の評価、放電発生閾値や異常電流収集の発生条件の導出とそれらの抑制法の検討を行うことを目的としており、EDT を使ったスペースデブリ除去ミッションを目指した JAXA との共同研究の一環として行われた。

## 3. 結果と今後の課題

数値シミュレーションの結果、LEO で全長 1km のテザーを伸展し、ベアテザーがプラズマに対して+100V の電位で電流収集を行う場合、周辺中性ガス密度が  $10^{18} \text{m}^{-3}$  以上で異常電流収集が発生することが分かった(図3)。宇宙機の軌道・姿勢制御ロケット付近は噴射時の中性ガス密度が  $10^{18} \text{m}^{-3}$  以上に達することから、ベアテザーとロケットの間には十分に距離を置く必要がある。

地上実験では電流収集中にベアテザーの温度が上昇すること、放電がベアテザーを構成するアルミ線と補強材の接触部分で発生すること、補強材の導電率が高いほど放電が発生しにくいことが分かった。以上の結果を踏まえ、アルミニウム製編み線の芯線を優れた強度・放熱性・導電性をもつカーボン繊維で被覆した図4のような宇宙プラズマ環境に強い構造のベアテザーを提案した。

今後はより大きな電圧 (>kV) がベアテザーに印加される大型 EDT の場合についても検討を行う必要がある。

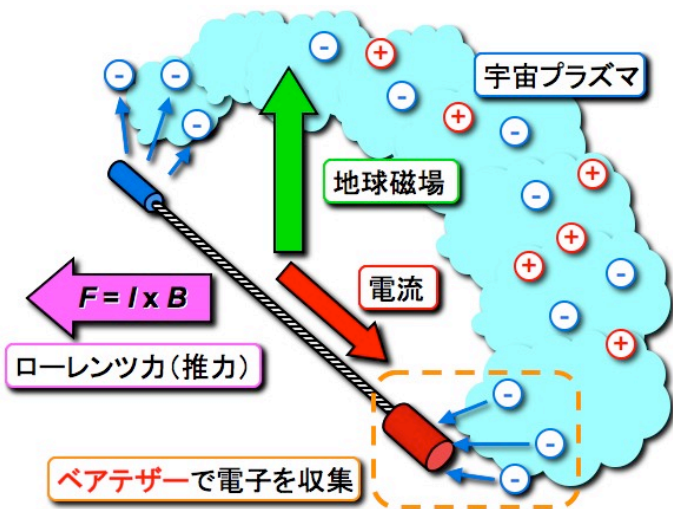


図1 EDTの原理とベアテザーの役割。

## 2. 研究手法

### A) 数値シミュレーション

電子・イオンの動きを計算する MC-PIC 法で低地球軌道 (LEO) のプラズマ環境を模擬し、ベアテザー周辺の中性ガス ( $\text{H}_2\text{O}$ ) の電離によって生じる異常電流収集の発生条件を調べた。

### B) 地上実験

LEO プラズマ環境を模擬した真空チャンバー (プラズマ密度  $10^{12} \text{m}^{-3}$ ) 中で様々なベアテザーサンプルに正・負の電位を印加し軌道上でのテザーの状態を地上で再現した。実験では各サンプルの電流収集量と収集中の温度状態、放電発生閾値を調べた。



図2 ベアテザーサンプルの例

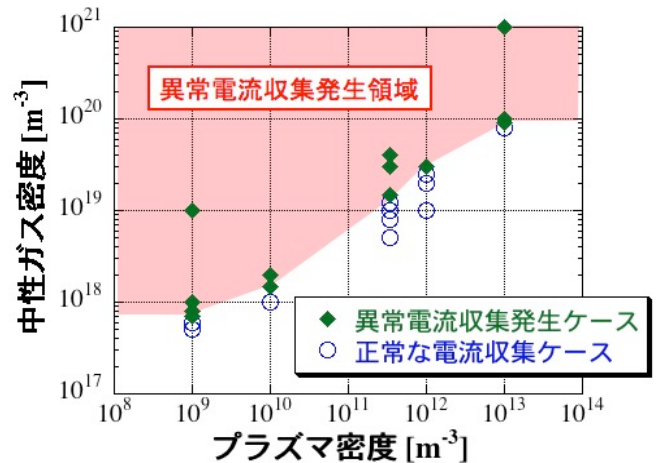


図3 電位 100V のベアテザーの異常電流収集発生条件

### テザー補強用カーボン繊維製被覆

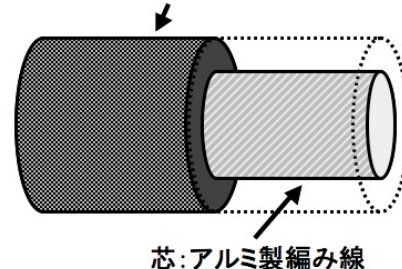


図4 耐宇宙プラズマ環境性能を考慮したベアテザー構造。