

宇宙デブリの帯電状況推定を目的とした DLP 法を用いた小型プラズマ計測機器の開発
学籍番号: 233H0018 氏名: 中尾 凜太郎

現在宇宙開発において問題となっている宇宙ゴミ(デブリ)問題の対策として、宇宙機がデブリに近づいて直接捕獲し、移動させる方法がある。このときデブリ周辺のプラズマ環境によってはデブリが帯電している場合があり、デブリ周辺のプラズマ環境を知ることはデブリ除去に必要な技術である。特に JAXA の商業デブリ除去実証プロジェクトにおいては代表的な大型のデブリであるロケット上段の除去にむけた技術実証が進められている。従って、本研究においてはロケット上段に搭載可能な小型プラズマ観測基板を開発することを目的とした。また、この基板のプラズマ観測手法は宇宙空間のプラズマ観測に適したダブルラングミュアプローブ(DLP)法を採用している。本研究ではこの観測基板について観測精度、観測時間、観測データの処理の3つの観点について目標を設定し現状の基板の観測限界と改善策について提案した。観測精度と観測データの処理については改善案の提示を行うことができたが、観測時間については観測時間の限界を知ることはできなかったが、どの素子に問題があるのか特定はできていない。

One approach to mitigating the issue of space debris, a significant challenge in space exploration, involves the direct capture and removal of debris by spacecraft. During this process, the debris may become electrically charged due to the surrounding plasma environment, necessitating a comprehensive understanding of plasma conditions for effective debris removal. This consideration is particularly relevant in the context of JAXA's commercial debris removal demonstration project, which focuses on the removal of the upper stage of rockets—one of the most common forms of large-scale debris. Accordingly, this study aims to develop a compact plasma observation substrate capable of being mounted on the upper stage of a rocket. The selected plasma observation technique for this substrate is the double Langmuir probe (DLP) method, which is well-suited for space plasma measurements. In this study, specific objectives were established for the observation substrate, including observation accuracy, observation duration, and data processing capabilities. Additionally, the limitations of the current substrate were analyzed, and potential improvements were proposed. While enhancements were suggested for observation accuracy and data processing, the root cause of the limitations in observation duration could not be conclusively identified, although the constraints on observation time were clarified.

目次

1.	序論	4
1-1.	研究背景	4
1-1.1.	スペースデブリ数の増加と除去	4
1-1.2	スペースデブリの帯電	5
1-1-3.	プラズマ計測とスペースデブリ帯電の関係	6
1-2.	研究状況	6
1-2.1.	宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP) プラズマモニタ (PLAM) の計測結果	7
1-2.2.	ラングミュアプローブ用超小型電子回路の性能実験	8
1-2.3.	れいめい衛星搭載のラングミュアプローブ特性に関する PIC シミュレーション - 進捗報告 -	9
1-2.4.	Design, Development, Implementation, and On-orbit Performance of the Dynamic Ionosphere CubeSat Experiment Mission	9
1-2.5.	観測ロケット S-310-44 号機搭載ラングミュアプローブによる Sq 電流系中心付近における電子エネルギー分布観測	10
1-2.6.	Analysis of Charging of the HTV-4 Based on On-Orbit Data	11
1-2.7.	Charging of the H-II Transfer Vehicle at Rendezvous and Docking Phase	12
1-3.	本研究の目的	13
2.	研究手法	14
2-1	実験手法の原理	14
2-1-1	DLP 法	14
2-2	DLP 観測基板	18
2-2-1	概要	18
2-2-2	測定精度	20
2-2-3.	測定速度	22
2-2-4.	観測結果のデータ	24
2-2-5.	まとめ	25
3.	実験装置の説明	27
3-1.	実験装置の写真とブロック図	27
3-2.	1 G Ω 抵抗を使った実験について	29
4.	明らかにしようとしていること	31
4-1.	プラズマ観測に必要な測定精度	31
4-2.	適切な測定時間の算出	31

4-3. 削減すべきデータ量の算出	31
5. 実験(解析)結果	34
5-1. 測定精度の実験	34
5-2. 測定時間に関する実験	40
5-3. データ量に関する実験	45
6. 考察	46
6-1. 測定誤差について	46
6-2. 観測時間	51
6-3. データ量	52
7. 結論	58
8. 今後の課題	58
8-1. 新基板に必要な変更点	58
8-2. さらなる高精度化に必要な機能	59
8-3. デブリ除去用宇宙天気の実現への寄与	59
9. 謝辞	59
参考文献	60
付録	61
参考資料 1. 実験に使用したラズベリーパイのプログラム	61
参考資料 2. 実験に使用した Arduino のプログラム	71

全文を希望の方は cho.mengu801@mail.kyutech.jp までご連絡下さい