

K-49

キューブサット用電場・プラズマハイブリッドセンサの開発 Development of Electric Field/Plasma Hybrid Sensor for CubeSats

○田中勇夢¹, 飯田智之¹, 山崎政彦²*Isamu Tanaka¹, Tomoyuki Iida¹, Masahiko Yamazaki²

Abstract: Recently, the private sector has been gaining momentum to utilize space, and the development of CubeSats is becoming mainstream in the space industry, where large satellites have been the norm. However, in ionospheric observations, both electric field and plasma observations require an extension mechanism, so they are carried out by satellites weighing more than 50 kg. In this study, we develop a sensor unit that can simultaneously acquire both electric field and plasma data and can be mounted on a CubeSat. In particular, this paper describes the development status of the hybrid sensor.

1. はじめに

近年、民間が宇宙を活用とする機運は高まっており、民間業者が宇宙科学技術開発を行う時代になってきた。また、人工衛星を用いた産業化も活発化するのと同時に、かつては大型衛星が一般的であった宇宙業界も超小型衛星にサイズがシフトし、衛星の運用の敷居は民間、大学が行えるところまで大きく下がっている。それに伴い、キューブサットでは、10cm 立方を1ユニット（1U）とした規格が普及してきている。

キューブサットは教育・人材育成を目的として生まれたものだが、近年は6U、12Uと大型化することによって実用的な衛星が作成されるようになってきた。キューブサットサイズになるとミッションで実現することは増えるが、50kgを超えるような従来の衛星サイズで行われていたことができるとは限らない。

従来から行われている電離圏の観測では、電場とプラズマを観測する必要がある。電場は空間2点間の電位差から測定するため、メートルオーダーの伸展ブームが必要となる。プラズマ観測においては、衛星構体が観測の妨げとなることを防ぐため、数十センチほどの伸展機構が必要となる。これらの機構は従来の衛星サイズであれば共存させることができるが、現代のトレンドとはズレがある。

以上の背景から、キューブサットに搭載可能な電離圏観測のための電場・プラズマセンサの開発を行う。

2. 開発するセンサの概要

6Uサイズのキューブサットに搭載可能な設計を目指し、観測に必要な機器の総容積が3U以内となるセンサを開発する。本研究では、そのための小型化

のアプローチとして、電場センサとプラズマセンサを単一のセンサへと統合し、必要となる機器を削減する。

電場測定は、伸展した2つのセンサの電位差を2つのセンサの距離で割ることで行う。この方式では、周波数に関わらずに伸展ブームに沿った電場強度を取得することが可能であり、オペアンプやコンバータ次第で任意の周波数帯のデータを得ることができる。対して、プラズマパラメータの測定は、センサ単体でラングミュアプローブとして機能させることで行う。これにより、電極の電位を制御することで、電子温度、電子密度をはじめとするプラズマパラメータを測定することが可能である。^[1]

これらの機能を単一のセンサに統合する方法として、2つのモードの切り替え方式を採用する。プラズマ観測においては高いサンプリング頻度を要求されないため、9.5秒間の電場測定モードと0.5秒間のプラズマパラメータ測定モードを1サイクルとして、これを繰り返すことで実質的に同時刻の電場データ、プラズマデータの両方を取得するハイブリッドセンサを実現する。

3. ハイブリッドセンサ外殻開発

開発する観測機器はFigure 1に示すように、3Uの空間内に収める設計とする。

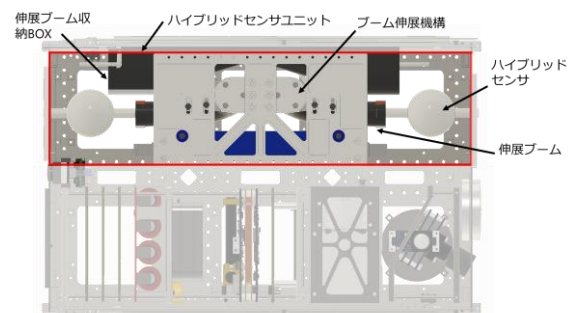


Figure 1. Image of hybrid sensor installed

ハイブリッドセンサはブームとの接続部分も含めて、100mm程度に収めるため、全長は80mmとした。収集電流が磁場の向きに影響されるのを防ぐため、等方性の球状プローブを採用する。電極周囲の電場の乱れを防ぐため、電極半径以上のブートストラップ部を設ける。このため、ハイブリッドセンサはFigure 2に示すような形状に設計した。

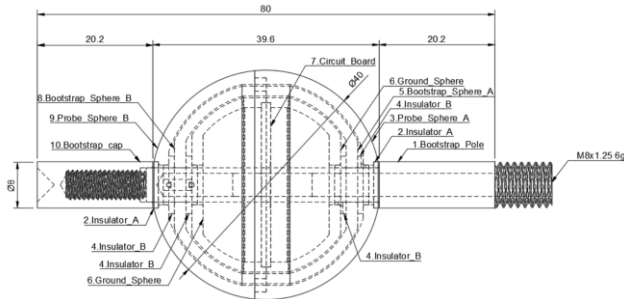


Figure 2. Hybrid sensor image

4. ハイブリッドセンサ内部回路開発

電場データを取得するモードをEFモード、プラズマデータを取得するモードをLPモードと定義する。Figure 3に示すハイブリッドセンサの回路をブレッドボード上で作成し、2つのモードを実行可能であることを検証した。

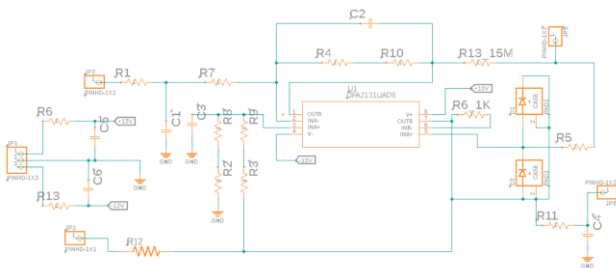


Figure 3. Hybrid sensor circuit diagram

EFモードではセンサ単体では空間電位を計測できればよい。ブレッドボード上で再現したセンサについて、電極周囲の電場の変化に応じて出力が変化することが確認でき、空間電位を計測できることが確認できた。

LPモードでは電極部分の電位を制御することが必要である。しかし、LPモードについては、入力電圧の変化に応じて電極電位が変動することをフィールドミルを用いて確認できたところまでであり、制御については今後の課題とする。

作成した回路はセンサ内部に組み込まなければならない。3DCAD内にてPCB基板上に回路を作成し、センサ内部に回路を組み込むことが可能であることを確

認した。作成した回路をFigure 4に示す。これはFigure 2における7.Circuit Board部分である。

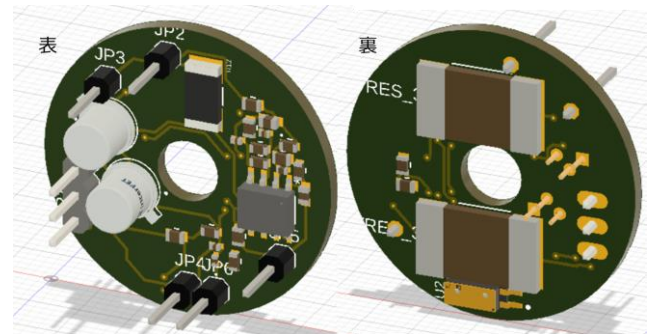


Figure 4. Substrate model created

5. 今後の展望

本稿の通り、センサの設計の大部分は完了している。外殻、基板ともに近日発注し、プラズマ環境下での試験の実施を計画している。EFモードでは、電極の電位を周辺のプラズマに対してわずかに低くし、電場の計測中にノイズ源となるプラズマから電子がクーロン力で引き寄せられないようにする必要がある。この時、電極表面の仕事関数が不均一であると2電極間の平均表面電位に差が生じてしまう。それを防ぐために、電極表面には窒化チタンコーティングを施し、導電性などの性能評価を行う。^[2] LPモードでは、電極電位を周辺のプラズマに対して±8V程度の連続的に変化させ、電子電流、イオン電流を取得する。^[3] 電極電位の制御システムの開発の後、プラズマチャンバー等を用いて、電子およびイオンの収集能力についての評価も行う。なお、3Uで収まるようにブームおよびブームの伸展機構については、WELリサーチ社との共同により概念設計が完了している。現在は試作品段階となっているため今後衛星搭載における統合試験を行っていく。

6. 参考文献

- [1] J.J.Berthelier.et.al“ICE, the electric field experiment on DEMETER”,Planetary and Space Science ,Vol.54 ,5 ,pp.456-471 ,2006
- [2] M.K.Wahlstrom and E.Johansson : “Improved Langmuir probe surface coatiogngs for the Cassini satellite”, Thin Solid Films,Vol.220 , 1-2 ,pp.315-320 ,1992
- [3] Merlino, Robert L. : “Understanding Langmuir probe current-voltage characteristics”, American Journal of Physics,Vol.75 , 12 ,pp.1078-1085 ,2007