

地上発 UHF 測距信号のオンボード処理による電離圏全電子数の軌道上観測のための搭載機器開発

九州工業大学 工学府 工学専攻 電気宇宙システム工学コース
193D5001 岸本真生子

電離圏密度を測定するための衛星やシミュレーションモデルが既に多く存在している。しかし、電離圏の時間変動を捉えることができる電離圏の地球全体の 3D マッピングには成功していない。九州工業大学と南洋理工大学で共同開発を行っている SPATIUM プロジェクトでは、CubeSat コンステレーションを使用した電離圏の 3D マッピングを目的としている。このプロジェクトの目的は、大気、電離圏、磁気圏の動的相互作用を解明することである。

本研究では、SPATIUM プロジェクトの第 2 世代である SPATIUM-II 衛星を用いて電離圏の全電子数 (TEC) を測定するためのシステム開発を行った。SPATIUM-II は 6U サイズの衛星の 1U サイズを占めている。チップスケール原子時計 (CSAC)、GPS 受信機、ソフトウェア無線 (SDR)、および測定用の Raspberry Pi (RPi) を使用して、地上局 (GS) からの TEC の測距信号のオンボード処理を行う。

電離圏中の電子により、電波は伝搬時間の遅延を生じ、測距信号の伝搬時間は TEC に比例する。CSAC は正確なクロック源として使用され、CSAC および GPS 受信機は、GS と SPATIUM-II 衛星の両方に搭載されている。GPS 受信機の 1-PPS (1 秒あたり 1 パルス) 信号は、タイミング同期と測距信号の伝搬時間遅延の測定に使用される。測距信号は、RF スイッチと 1-PPS 信号によって時間同期され、SDR によって受信される。信号は SDR によって A/D 変換され、デジタル信号として RPi に転送される。このデジタル信号は、TEC の測定のために RPi で処理される。

この TEC 測定システムは、地上試験によって開発および検証されており、既にフライトモデルが完成し、JAXA への引き渡しの準備が整っている。この衛星は 2021 年に宇宙空間へ放出される予定である。

On-Orbit Observation of Total Electron Content in the Ionosphere by Onboard Processing of UHF Ranging Signal from the Ground

Kyushu Institute of Technology, Electrical System Engineering
193D5001 Makiko Kishimoto

There are many satellites and simulation models for measuring ionospheric density. However, there is no global 3D ionospheric map that can capture the time fluctuation of the ionosphere yet. The SPATIUM project (developed at Kyushu Institute of Technology and Nanyang Technological University) aims at 3D mapping of the ionosphere using a CubeSat constellation. This project's objective is to elucidate the dynamic interaction of the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere.

This research was done the system development for measurement of the total electron content (TEC) of the ionosphere using the SPATIUM-II satellite, which is the second generation of the SPATIUM project. SPATIUM-II occupies 1U of volume and performs the onboard processing of the ranging signal from the ground station (GS) using Chip-Scale Atomic Clock (CSAC), GPS receiver, software defined radio (SDR) and Raspberry Pi (RPi) for measurement of TEC.

The electrons of the ionosphere result in radio wave propagation time delay. The propagation time of ranging signal is proportional to TEC. CSAC is used as a precise clock. CSAC and GPS receivers are installed in both the GS and the SPATIUM-II satellite. The 1-PPS (one pulse per second) signal of GPS receiver is used for timing synchronization and measurement of the propagation time delay of ranging signal. The ranging signals are time-synchronized by RF switch and 1-PPS signal, and then received by SDR. The signal is A/D-converted by SDR and transferred to RPi as a digital signal. This digital signal is processed in the RPi for measurement of the TEC.

This TEC measurement system has been successfully developed and verified by ground tests. The flight model is complete and ready for delivery. It is scheduled to be launched in 2021.

目次

第1章 序論

- 1.1 研究背景
 - 1.1.1 電離圏
 - 1.1.2 電離圏が電波の伝搬時間に与える影響
 - 1.1.3 全電子数(TEC: Total Electron Contents)
- 1.2 先行研究
 - 1.2.1 GAIA モデル[3]
 - 1.2.2 GPS 衛星を用いた TEC 観測[4]
 - 1.2.3 SPATIUM プロジェクト
- 1.3 研究目的とゴール

第2章 SPATIUM-II ミッション概要

- 2.1 ミッションサクセス基準
- 2.2 TEC 計測に必要な搭載機器の要求精度
- 2.3 ミッションシナリオ
- 2.4 GPS 1PPS による遅延時間の計測方法の概要

第3章 SPATIUMII 衛星搭載機器の開発

- 3.1 ハードウェア設計
- 3.2 ソフトウェア設計
 - 3.2.1 ミッションモード
 - 3.2.2 プログラムツリーダイアグラム

第4章 搭載機器の検証試験方法と結果

- 4.1 GPS 1PPS の同期確認試験
- 4.2 TEC ミッション搭載機器の検証試験

第5章 考察

第6章 総括

6.1 結論

6.2 今後の課題

6.2.1 来年1年でできること

6.2.2 これから2年でできること

参考文献

謝辞

付録

付録 A TEC ミッション基板の回路図

付録 B TEC ミッション基板のレイアウト図

付録 C gnuradio_Costas.py

付録 D GPSinfo.py

付録 E wavfilereader.py (Programmed by Necmi)

付録 F resampled_goldcode.txt (Prepared by Necmi)