

観測ロケット PI 機器内製を通じた 宇宙機器エンジニアリングスキル養成

芦原 佑樹 (奈良高専), 白澤 秀剛 (東海大), 山本 衛 (京大)
石坂 圭吾 (富山県大), 熊本 篤志 (東北大)

概要

大学等の教育現場では、人工衛星・探査機等のビックプロジェクトで得られた2次データを用いて卒業研究をまとめる機会が増え、学生がハードウェアに触れる機会が減少している。また、宇宙産業に必要となる人工衛星、探査機のプロジェクトマネージャーや観測機器責任者を育成する観点からも、プロジェクト全体を見渡す総合力とものづくりの実践力を持った人材育成が必要と考える。そのため、電離圏観測を目的とした S-520-32 号機実験は、宇宙人材育成と科学観測の2つを目的に掲げ、これを達成するために PI 機器を極力内製する方針とし、設計・製作・試験等を学生自身が取り組むことで宇宙人材教育を実施している。本稿では、大型スペースサイエンスチェンバーを用いた真空試験と恒温槽を用いた温度試験を中心に、準備状況を紹介する。

(1) 背景, 実験目的

① 人材育成の背景

大学等の教育現場では、人工衛星・探査機等のビックプロジェクトで得られた2次データを用いて卒業研究をまとめる機会が増え、学生がハードウェアに触れる機会が減少している。また、宇宙産業に必要となる人工衛星、探査機のプロジェクトマネージャーや観測機器責任者を育成する観点からも、プロジェクト全体を見渡す総合力とものづくりの実践力を持った人材育成が必要と考える。

観測ロケットは、実験企画から打ち上げ・データ解析までを短期間で終わることができるため、人工衛星等の大型プロジェクトに比べると学生・若手研究者が参加しやすい利点がある。打ち上げに至るまでには、プロジェクト計画・設計会議、計器合わせ、机上噛み合せ(電気試験)、本組み、振動・衝撃試験、磁気シールド試験等、多くの全体試験に合格する必要がある。これらの各種試験で見つかった不具合に対しては、学生・研究者と JAXA 技術職員および協力メーカーが密に連携して不具合解決にあたることで、学生・研究者の実践的な経験値が大きく向上する。このように観測ロケットでは、学生・研究者が直接フライトモデルに触れることができるが、大型ロケットや大型人工衛星では難しい面がある。そのため、企画・製作・試験・打ち上げオペレーション・データ解析までを一気通貫かつ短期間で実体験できる観測ロケット実験は究極のアクティブラーニング環境といえ、実践的な宇宙人材育成の場として適している。

② 電離圏観測の背景

中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) とは、電離圏 F 領域に発生する波長 200km 程度の波状構

造が日本の上空において夏季夜間には南西方向に、冬季昼間には南南東方向に伝搬する現象である。夏季夜間においては、従来大気重力波による中性大気の摂動が原因とされてきたが、中緯度においては電場が重要な役割を果たすと考えられている。最も有力な成因として F 領域における Perkins 不安定があげられるが、その成長率は非常に小さいため、全てを説明するには不十分であるとされる。Perkins 不安定の成長率を補う機構として、地球磁場により結合された E 領域との相互作用が提唱されている。横山ら[1]の計算機シミュレーションからは、スプラディック E (Es) 層の不均一構造に起因する分極電場が磁力線に沿って F 領域に投影されることで、MSTID の成長率が急激に加速することがわかってきた。また、冬季昼間においては下層大気から E 領域を通して F 領域に伝搬する大気重力波と呼ばれる中性大気の横波が原因と考えられている。しかし、E 領域よりも上空では、大気重力波は粘性による消散の効果を大きく受ける。このため F 領域において MSTID の原因となる大気重力波は、下層大気から直接伝搬したものか、または伝搬過程において消散し二次的に生成されたものであるという二つの可能性が考えられる[2]。実際にどちらの大気重力波が MSTID の成因であるかを決定するためには、E、F 両領域において大気重力波の鉛直・水平構造を明らかにする必要がある。このように MSTID の生成には、夏季夜間・冬季昼間のいずれの場合においても、E 領域および F 領域で同時に電子密度の鉛直・水平構造を同時に観測することが生成機構解明に重要である。

本実験では、中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) 発生時における電離圏 E 領域と F 領域の電子密度鉛直・水平構造をそれぞれトモグラフィ解析により推定する。これにより、中緯度における MSTID の生成機構を解明することを観測目的とする。

③ 実験目的

A) 人材育成

これまでの多くの電離圏観測実験では、FM の詳細設計・製造工程をメーカーに発注し、短時間で信頼性の高い観測機器を入手するやり方をとっている。これは、研究推進の観点から見ると合理的であるが、一方で大学・高専が担う教育機関としての役割からすると、各 PI 機器を担当する学生が FM 品の性能・環境試験やデータ解析だけでなく、FM 設計や製造を含めて担当することができれば、極めて質の高い実践的な教育効果が期待できる。近年は、小型の 3D プリントや CNC フライス盤を使ったテクノロジー系 DIY 環境が目まぐるしく進歩しており、小ロット製造の環境は従来よりも格段に整いつつある。本実験に搭載する PI 機器は、極力メーカー支援を受けずに大学・高専での内製化を図る。これにより、学生のものづくり実践力を養成する。また、各種噛み合せ試験を通してシステムインテグレーションの方法、トラブルシューティングのやり方、プロジェクトの運営方法を OJT で学習する。さらに、内之浦での最終確認作業や打ち上げオペレーションを通して、宇宙人材に必要となる実践力と経験値を習得する。この人材育成プログラムの実施は、文科省 宇宙航空科学技術推進委託費「観測ロケット実験を通じた宇宙機器エンジニアリングスキル養成プログラム (事業期間 2019 年 9 月～2022 年 3 月)」の支援を受けて実施した。

B) 科学的重要性・学術的意義

研究背景で述べたように、MSTID 生成機構の解明には、電離圏空間構造を観測することが必要となる。そのため、新規開発する GNSS-TEC 観測器と 2 周波数ビーコンを用いて電離圏電子密度トモグラフィ観測を行うことで、電離圏空間構造を観測する。電場観測では、2 対のプロロー

ブを展開してプラズマ運動に影響を与える電場の大きさ・方向を観測する。インピーダンスプローブでは電子密度のその場観測を行い、トモグラフィ解析領域端点の電子密度情報とする。また、太陽・地平センサは画像情報から太陽および地平線の情報を画像処理により求めることで、ロケットの姿勢を決定する。

(2) 搭載機器概要

搭載予定の観測機器を表1に示す。

表1. 搭載する観測機器

観測機器 (略称)	担当者 (所属)
全電子数観測 (GNSS)	芦原 佑樹 (奈良高専)
2周波数ビーコン観測	山本 衛 (京大)
電場観測 (EFD)	石坂 圭吾 (富山県立大)
インピーダンスプローブ (NEI)	熊本 篤志 (東北大)
月・地平センサ (VAS-V, VAS-I)	白澤 秀剛 (東海大)

全電子数観測 (GNSS : Global Navigation Satellite System)

(概要)

GNSS衛星からは、L1 (1.57542 GHz) と L2 (1.22760 GHz) の2つの周波数の電波が送信されている。電離圏プラズマは分散性媒質であるため、屈折率が周波数に依存する。そのため、2つの電波の伝搬経路に差異ができ、地上のGNSS受信機への到達時間に差が生じる。この時間差を逆算することで、電波伝搬経路上 (1次元) の総電子数を求める手法をGNSS-TEC法という。一方、トモグラフィ法とは、直線経路 (1次元) の電波透過量や吸収量を多方向から測定し、得られたデータをマトリックス演算することで、2次元像を構築する手法である。

2周波数ビーコン観測 (DBB : Dual-Band Beacon)

(概要)

ロケット搭載のビーコン送信機から2周波数 (150MHz と 400MHz) の電波 (出力1W) を送信し、複数拠点に設置する地上受信機で2周波数間の位相差を測定する。信号間の位相差の解析から伝搬経路上の全電子数を測定する。

電場観測 (EFD : Electric Field Detector)

(概要)

2対のプローブを展開し、電離圏中の空間電場の大きさおよび向きを測定する。EFDのアンテナEFD-ANTは、SS-520-3号機のアンテナLFAS-Sと同構造のものを使用している。

インピーダンスプローブ (NEI : Number density of Electrons by using Impedance probe)

(概要)

プラズマ中に展開した1.2 cm径、1.2mリボンアンテナ(Be-Cu)のインピーダンスの周波数特性を計測することによって、高域混成共鳴(UHR)周波数を決定し、ロケットの軌道に沿った電子

密度プロファイルを高精度で導出する。

月・地平センサ (VAS-V・VAS-I : Visual Aspect Sensor - Visible ・ - Infrared)

(概要)

全天球センサを用いて、ロケットから見た月方向と地平線方向を測定する。このデータと地磁気姿勢系のデータの組み合わせにより、観測ロケットの絶対姿勢を測定する。可視光イメージセンサを用いる VAS-V と赤外線センサを用いる VAS-I の 2 つのセンサを持つ。

(3) 真空試験, 温度試験

S-520-32 号機では、学生に実践的なエンジニアリングスキルを身につけさせることもミッションの一環となっている。環境試験においても教員やメーカー技術者から指導を受け、実際の操作は学生が実施した (図1)。

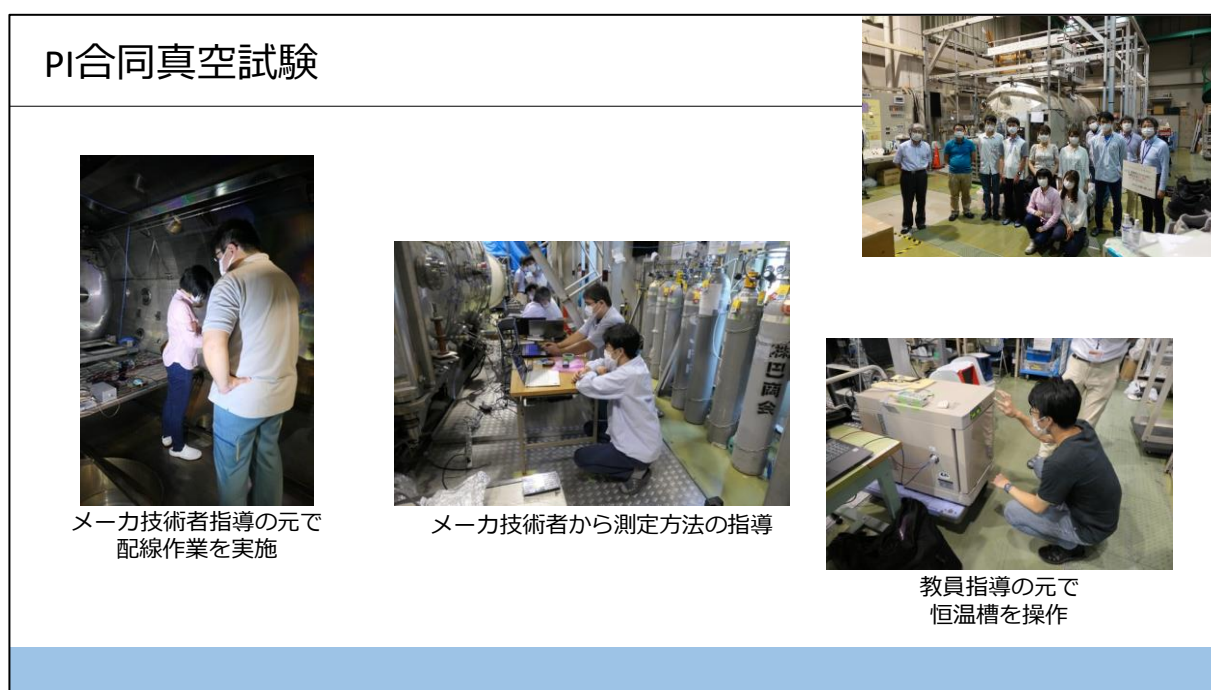


図1. 真空試験の接続および実験状況

各 PI 機器はフランジを介してチェンバ外部の測定機器に接続を行う。また、動作確認のために外部からの信号印可が必要な機器は、そのための周辺機材の準備が必要となる。GNSS は動作確認に GNSS 信号が必要なため、建屋外に受信アンテナとチェンバ内部に再放射アンテナを設置して動作確認を行った (図2)。

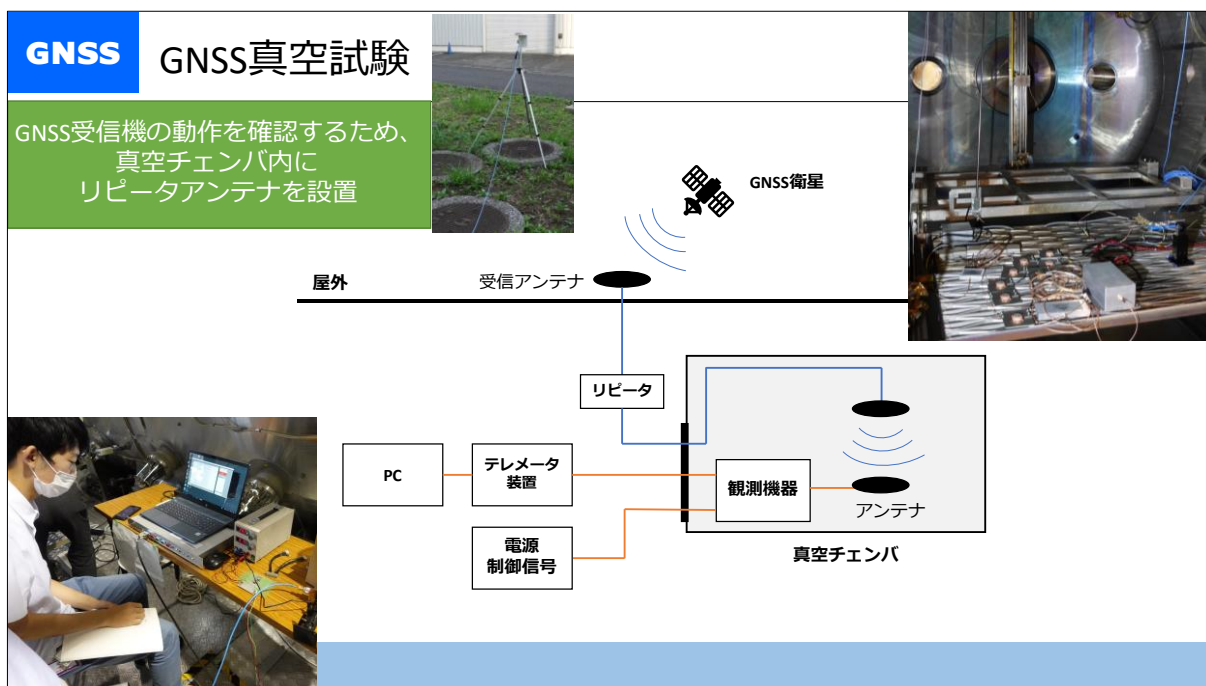


図2. GNSS 真空試験の接続および実験状況

S-520 型観測ロケットの真空条件は「機器電源 ON の状態で、1mmHg(133.3Pa)以下、20 分間以上」、温度条件は「機器電源 ON の状態で、常温 → 0℃10 分間 → 50℃10 分間 → 常温」と定められており、この条件で試験を実施した。GNSS, DBB, NEI, VAS-V・VAS-I が真空状態、温度変化する状態のいずれにおいても正常動作することを確認した。

(4) まとめ

MSTID 発生時における電離圏 E 領域と F 領域の電子密度鉛直・水平構造観測を行う S-520-32 号機は、2022 年夏の打ち上げ予定で準備を進めている。人材育成、技術蓄積および将来のコストダウンを目的に、PI は極力内製化する方針で準備を進めている。本実験を成功させ、また今回の人材育成・内製化の取り組みを、研究と教育を好循環させるきっかけとしたい。

参考文献

- [1] T. Yokoyama and D. L. Hysell, Geophys. Res. Lett. **37**. L08105(2010)
- [2] Miyoshi, Y., Jin, H., Fujiwara, H. and Shinagawa, H, Numerical study of traveling ionospheric disturbances generated by an upward propagating gravity wave, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 123, 2141–2155, <https://doi.org/10.1002/2017JA025110> (2018)