

(採択された実験の進捗報告)

ロケット GNSS-TEC による電離圏電子密度構造観測

上垣柊季, 芦原佑樹, 阪口喜晃, 西本宏樹 (奈良高専)

概要

2022年夏に打ち上げ予定の S-520-32 号機は、電離圏 F 領域で発生する中規模伝搬性電離圏擾乱 (Middle-Scale Traveling Disturbance : MSTID) を観測対象とする。MSTID は、夏季夜間や冬季中間に多く見られる電子密度の波状構造である。MSTID の有力な成因として F 領域における Perkins 不安定があげられるが、成因の全解明には至っていない。他の成因として E 層の影響が提唱されており、E 領域、F 領域で同時に電子密度構造を観測することが生成機構解明に大きな役割を果たすといえる。

本実験では観測ロケットに GNSS 受信機を搭載し、MSTID 発生時における電離圏 E 領域、F 領域の TEC 観測を行い、電子密度構造をトモグラフィ解析により推定することで、中緯度における MSTID の生成機構を解明することを目的とする。

1. 観測対象と実験目的

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 程度の波状構造であり、日本上空において夏季夜間に南西方向、冬季昼間に南南東方向に伝搬する。夏季夜間における MSTID 発生のも有力な成因として Parkins 不安定があげられるが、その成長率は非常に小さく、それ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示された。また、冬季昼間においても下層大気から E 領域を通して F 領域に伝搬する大気重力波が原因と考えられており、夏季、冬季いずれの場合も E 領域、F 領域で同時に電子密度の鉛直・水平構造を観測することが生成機構解明に重要な役割を果たすといえる。

2. GNSS-TEC 観測

電離圏プラズマは分散性媒質であるため、電離圏を通過した電波は周波数によって異なる伝搬遅延を生じる。GNSS 衛星からは、L1 (1.57542 GHz) と L2 (1.22760 GHz) が照射されており、電離層における測位誤差の補正に用いられている。TEC 観測では GNSS 衛星から照射される 2 周波の搬送波位相を追尾し、2 周波の搬送波伝搬遅延から逆問題として電波伝搬経路上の全電子数を測定する。地上からの電離圏 TEC 観測として、国土地理院が

全国に設置している GNSS 連続受信システム(GNSS Earth Observation NET-work : GEONET) を用いたものがある[2]。地上観測では GEONET などの多点観測網を構築することで水平方向に広範囲の電子密度を観測することが可能である。しかしながら、原理的に高度方向の分解能を持たない。本実験では MSTID の生成機構解明を目的として、E 領域、F 領域で同時に電子密度の鉛直・水平構造を観測することが必要である。

本稿で提案するロケット GNSS-TEC 法は、観測ロケットに GNSS 受信機を搭載し TEC 観測を行い、トモグラフィ解析により電離圏電子密度の鉛直・水平構造を再構築する。この手法を用いることで電離圏の鉛直・水平方向構造を観測する。

3. 搭載機器の開発状況

観測ロケットはスピンしながら飛翔する。そのため、単独のアンテナで連続的に搬送波位相を追従することは難しい。そこで、多数のアンテナをロケット側面に搭載し、受信電波を合波することで連続受信を可能にする。しかし、アンテナを多数配置するとそれぞれのアンテナに入射する電波の位相差がずれることで搬送波位相を追従できなくなることから、位相差の生じにくいアンテナ配置にする必要がある。検討した結果、アンテナを配置する円径をできるだけ小さくすること、できるだけ多くのアンテナを搭載することが良いと分かった。

ロケット搭載の制約条件などを考慮し、ANT8、ANT6 の 2 種のアンテナを搭載することとした。ANT8 はノーズコーン内に設置し、半径 262 mm の円周上にアンテナを配置する。しかし、ノーズコーン内にアンテナを設置するため、ノーズコーンが開頭する高度約 80 km までは受信することができない。そこで、ロケット側面に 6 つの窓を開け、6 つのアンテナを配置する。6 つがロケットの強度上側面に搭載できる最大の個数である。ロケット本体の半径である 524 mm の円周上にアンテナを配置する。ANT6 では常に受信可能であるため、発射待機時からノーズコーン開頭時まで ANT6 を用いて観測を行う。この 2 種のアンテナをノーズコーン開頭時に RF-Switch によって切り替えを行う。図 1 にロケットに搭載するシステムの概略図を示す。

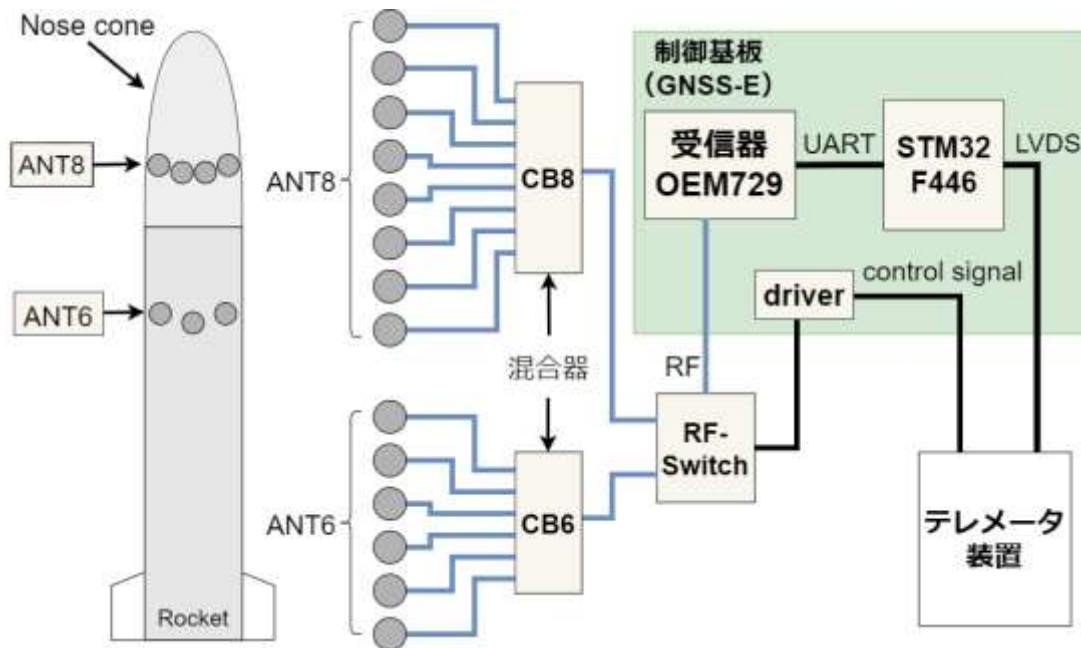


図1 観測ロケット搭載システム

図2 にロケットに搭載する2種のアンテナを示す。ANT6はロケット外筒部に搭載するため、ロケット飛翔時に生じる約200°Cの高温に耐える必要がある。そのため、アンテナには耐熱対策を行い、温度試験により正常動作を確認した。図3 にロケットに搭載する制御基板を示す。制御基板は受信器からのデータをテレメータ装置に送信する機能と、アンテナ切り替えの制御信号を受けアンテナを切り替える機能を持つ。

製作したアンテナ、基板は温度試験、真空試験、振動・衝撃試験を行い、ロケット搭載環境下で正常に動作することを確認した。



a) ANT6



b) ANT8

図2 搭載アンテナ



図3 制御基板

4. まとめ

S-520-32号機はMSTID発生時における電離圏E領域、F領域の電子密度構造を観測対象とし、2022年夏に打ち上げ予定である。新規開発品となるロケットGNSS-TEC受信機はアンテナシステムと制御基板を内製によって設計・製作を行っており、環境試験を通して正常に動作することを確認した。

参考文献

- [1] T. Yokoyama and D. L. Hysell, Geophys. Res. Lett. 37. L08105(2010)
- [2] Takuya Tsugawa et al., Journal of Disaster Research Vol.13 No.13(2018)