

## RIDE ロケットキャンペーンに向けた中性質量分析器 NMS の開発

#米田 匡宏<sup>1)</sup>, 齋藤 昭則<sup>1)</sup>, 齋藤 義文<sup>2)</sup>, 川島 桜也<sup>2)</sup>, 笠原 慧<sup>3)</sup>, 横田 勝一郎<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup> 京都大学, (<sup>2)</sup> 宇宙科学研究所, (<sup>3)</sup> 東京大学, (<sup>4)</sup> 大阪大学)

## Development of a Neutral Mass Spectrometer NMS for RIDE Rocket Campaign

#Masahiro Yoneda<sup>1)</sup>, Akinori Saito<sup>1)</sup>, Yoshifumi Saito<sup>2)</sup>, Oya Kawashima<sup>2)</sup>, Satoshi Kasahara<sup>3)</sup>, Shoichiro Yokota<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup>Kyoto University, (<sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, (<sup>3</sup>The University of Tokyo, (<sup>4</sup>Osaka University

The RIDE rocket campaign plans to launch S-310-46 sounding rocket from the Uchinoura Space Center in Kagoshima Prefecture in the summer of 2025 to observe the ionospheric E region. The main objective is to reveal how sporadic E layers, the sporadic dense metal ion layers at about 100 km, develop during the daytime. Sporadic E layers at mid-latitudes are mainly caused by the bulk motion of metal ions dragged by the east-west neutral wind and subjected to the Lorentz force, accumulating at the altitude where the east-west wind switches. Since the bulk velocity of ions is affected by the neutral wind through collisions, the collision frequency between ions and neutrals is required in addition to the electric field, magnetic field, and neutral wind to calculate ion velocity from in situ observation data. Since the collision frequency depends on the composition of the neutral atmosphere, it is eventually necessary to measure the composition of the neutral atmosphere.

Therefore, we are developing a neutral mass spectrometer (NMS) to observe neutral atmospheric composition for the RIDE rocket campaign. The instrument is based on a neutral mass spectrometer called TRITON, developed at ISAS/JAXA to detect water in the lunar polar regolith. We have downsized the instrument and developed an antechamber to capture particles for the installation on the sounding rocket. The principle of mass spectrometry is based on time-of-flight mass spectrometry, which uses the fact that the time of flight depends on the mass-to-charge ratio when neutral particles taken from antechamber are ionized, accelerated, and flown a certain distance. In general time-of-flight mass spectrometers, the flight path is often folded back once, but in this system, the flight path is folded back three times to achieve higher mass resolution while maintaining the size. Since the instrument uses high voltage, measurements will be made during the rocket downleg, at an altitude of approximately 130 km to 100 km, to prevent electrical discharges before the beginning of observations.

The manufacture of the instrument has been completed, and the results of performance tests confirm that the mass resolution exceeds 200. This is sufficient to measure atomic oxygen O, molecular oxygen O<sub>2</sub>, and molecular nitrogen N<sub>2</sub>, which are the main neutral components at the observed altitudes.

In addition, it is possible in principle to limit the mass of particles reaching the detector by turning off the reflected electric field to fold back the flight path of the particles for a certain period in this system. Such a mode may be useful, for example, in detecting the spectrum of NO, which is assumed to be present in an amount less than 1% of that of the major component, separated from the spectrum of N<sub>2</sub>, which has a relatively close mass. In this presentation, in addition to the test results on mass resolution and sensitivity, we will also report on the tests to validate this mass-limiting mode.

RIDE ロケットキャンペーンでは、2025 年夏に鹿児島県内之浦宇宙空間観測所から観測ロケット S-310-46 号機を打ち上げ、電離圏 E 領域を観測する予定である。特に、高度約 100km で散発的に発生する高密度金属イオン層であるスボラディック E 層が昼間にどのように発達するのかを解明することを目的としている。中緯度におけるスボラディック E 層は金属イオンが東西方向の中性風に引きずられてバルク運動してローレンツ力を受けることで、東西風が切り替わる高度に集積することで生じる。イオンのバルク速度は衝突を介して中性風の影響を受けることから、その場観測データからイオン速度を算出するためには電場、磁場、中性風に加えてイオンと中性の衝突周波数が必要となる。そして、衝突周波数は中性大気の組成に依存することから、最終的には中性大気組成の計測が必要となる。

そこで、本研究では RIDE ロケットキャンペーンに向けて中性大気組成を観測するための中性質量分析器 NMS (Neutral Mass Spectrometer) の開発を進めている。開発中の装置は宇宙科学研究所にて月極域レゴリス中の水を計測するために開発が進められている中性質量分析器 TRITON を基にしており、観測ロケット搭載に向けて装置の小型化と粒子を取り込むための前室部の開発を新たに行った。質量分析の原理として、前室部から取り入れた中性粒子をイオン化して加速し、一定の距離を飛行させた際の飛行時間が質量電荷比に依存することを利用する飛行時間型質量分析を採用している。一般的な飛行時間型質量分析器では飛行経路を 1 回折り返すことが多いが、本装置では飛行経路を 3 回折り返すことで大きさを維持したままより高い質量分解能を達成することが可能となっている。装置には高圧を用いることから、観測開始前の放電を防ぐために計測はロケットが下降する期間、高度約 130km から 100km にかけて行われる予定である。

装置の製造は完了しており、性能試験の結果から質量分解能は 200 を超えていることが確認されている。これは観測高度で主要な中性成分である原子状酸素 O や酸素分子 O<sub>2</sub>、窒素分子 N<sub>2</sub> を計測する上で十分な数値である。

また、本装置では粒子の飛行経路を折り返すための反射電場がある期間だけ OFF とすることで、検出器に到達する粒子の質量を制限することが原理上可能となっている。このようなモードは、例えば主要成分と比較して 1% 以下の量しか存在しないと想定される NO のスペクトルを比較的質量に近い N<sub>2</sub> のスペクトルから分離して検出する場合等に有用であると考えられる。本発表では質量分解能や感度に関する試験結果に加えて、この質量制限モードを検証するための試験についても報告する。