

中性粒子分析器を構成する高周波電場型イオン質量分析部の開発 - 高周波電場型イオン質量分析部の粒子軌道設計の評価 -

林 鮎子 [1]; 下山 学 [1]; 石黒 恵介 [1]; 平原 聖文 [1]
[1] 名大・STE 研

Development of radio frequency electric field type ion mass spectrometer in ANA: Evaluation of designing particle trajectories

Ayuko Hayashi[1]; Manabu Shimoyama[1]; Keisuke Ishiguro[1]; Masafumi Hirahara[1]
[1] STEL, Nagoya Univ.

The upper atmosphere including the ionosphere and the thermosphere is mostly composed of neutral particles. Because ionized particles which slightly exist in the upper atmosphere collide with the neutral particles, they influence each other. Satellites and ground radar observations and model studies show that the neutral atmosphere may interact with plasma motions. Due to limitation of ground-based observation methods for the neutral atmosphere over 100 km and measurable physics parameters on in-situ observations by satellites currently, knowledge about neutral atmosphere fluctuation processes is inadequate. Long term in-situ observations are required to understand interaction physics between neutral atmosphere fluctuations and the ionosphere environment.

Also in the future planetary exploration missions, neutral atmosphere observation is essential for understanding energy transfers, circulations, interaction with lower atmosphere and the solar wind, formation process of the ionosphere, and atmosphere dissipation in the upper atmosphere in the Venus and the Mars.

We develop Atmospheric Neutral Analyzer (ANA) for satellites observing the thermosphere and the ionosphere in the Earth or planetary atmospheres. ANA is composed of neutral particle ionization section by electron beam, Radio Frequency type ion Mass Spectrometer (RFMS) and charged-particle detector with MCP and CCD camera. ANA is assumed that its entrance aperture is pointed to movement direction of the satellite. RFMS is based on principle of Bennett-type mass analyzer. After the ionization of the incident particles, some ions with a specific mass can be selectively accelerated by the RF electric field in RFMS. On the particle detection, combination of MCP with electron multiplication capability and CCD camera enables to detect a number of particles in short time. By varying the RF electric field, 2D-distributions of particle velocity are obtained for each particle species at CCD. From the distributions, the composition, density, temperature, and velocity could be estimated. We are aiming that the ANA specification is as measurement range of neutral wind subtracted the satellite velocity is 0 to 5 km/s, and its resolution is about 100 m/s, and mass range is 1 to 40 AMU, and mass resolution is about 10 %.

To consider electric deformations by electrode geometries and the deformation effects on ion trajectories in RFMS, we are now carrying out numerical analysis of electric field and simulation of particle trajectories under sinusoidally time-varying electric field. In this time we will show results of the simulations obtained by the analysis, and report about effects of the electrode geometries in RFMS.

電離圏・熱圏と呼ばれる超高層大気の大部分は中性粒子で占められているが、微量に存在するプラズマ（イオン）は中性粒子と衝突するため、互いに多様な影響を及ぼし合っている。衛星・地上レーダーの観測結果や数値モデル解析から、中性大気はプラズマの運動と相互作用していると考えられている。しかし高度 100km を超える中性大気領域の地上観測と、現時点での衛星による直接観測は数や手法が限られていることから、中性大気の変動過程は明らかにされていないことも多い。そのため中性大気変動と電磁気圏環境の相互作用における物理過程のより詳細な理解のためには、長期間にわたる中性大気の詳細観測が求められる。さらに今後の惑星探査計画において、金星や火星の超高層大気のエネルギー輸送や大気循環、下層大気・太陽風との相互作用、電離圏の形成過程、大気散逸過程等の物理現象の理解のためにも中性大気観測は必須である。

そこで我々は将来、地球の熱圏・電離圏大気を含む惑星大気を観測する探査機計画に向けた中性粒子分析器を考案した。我々が開発を進めている中性粒子分析器 (Atmospheric Neutral Analyzer) は、電子ビームによる中性粒子電離部、高周波電場型イオン質量分析部 RFMS(Radio Frequency electric field type ion Mass Spectrometer)、MCP (Micro Channel Plate) 付きの CCD カメラによる粒子検出部から構成され、現段階では分析器を搭載する探査機の進行方向に、ANA の粒子入射口を向けて測定を行うことを前提としている。RFMS は Bennett 型質量分析器の原理を基にしており、中性粒子の電離後、RF 電場によって特定の質量のイオン種のみを選択的に加速させる構造となっている。粒子の検出には電子増倍機能のある MCP 付きの CCD カメラを用いることで、多数の粒子を一度に検出できる。また RF 電場の周波数を変化させることで、イオン種毎に CCD で位置分布が取得され、入射中性粒子の質量ごとの 2 次元速度分布が得られる。この速度分布から中性大気の組成や密度、温度、風速を知ることができる。ANA 全体の測定性能に関して、探査機の進行速度を除いた風速の測定範囲は 0-5km/s で、分解能は 100m/s 程度、測定可能な質量は 1-40AMU で、分解能は約 10% での運用を目指している。

現在は RFMS において、分析部の電極形状がもたらす電場の歪みとそれによるイオン軌道への効果を考慮するため、RFMS 内の電場を数値解析し正弦波的に時間変化させた場合の粒子軌道計算を行い、詳細設計を進めている。本発表では RFMS の電場解析から得られた粒子軌道計算の結果を示し、電極構造による影響について報告する。