

熱的・超熱的イオン質量分析器の設計 高質量分解能を目指した加速型 TOF 方式の可能性

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

Design of thermal-suprathermal ion mass spectrometer : Application of acceleration-type TOF method for high mass resolution

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

Detailed observations of thermal-suprathermal ion composition and three-dimensional velocity distributions are necessary to reveal specific plasma dynamics in the terrestrial ionosphere and magnetosphere. Development activities of spacecraft-borne thermal-suprathermal ion mass spectrometers such as Polar/TIDE [T. E. Moore et al., 1995, SSR] have currently remained rare. To open up unexplored scientific fields of plasma physics in the terrestrial environment, we have been developing the thermal-suprathermal ion mass spectrometer with new technologies.

Our thermal-suprathermal ion mass spectrometer designed to be installed on spin-stabilized spacecraft consists of (1) top-hat type electrostatic analyzer (ESA) which analyzed the energy per charge (E/q) of incident ions and (2) mass spectrometer which provides velocity with an acceleration-type time of flight (TOF) method. According to principle for TOF method, particle mass resolution depends on a uniformity of incident particle energies. Thus, to realize high mass resolution for our spectrometer with the TOF method, energies of incident ions which are entering the mass spectrometer are required to be uniform via ESA's accurate energy discrimination. For this requirement, we make an attempt to increase ESA's energy resolution by setting its deflection angle to over 180 degrees. At the mass spectrometer, incident ions from the ESA are accelerated to high uniform energies to increase the mass resolution. Secondary electrons treated as start signals of the TOFs are generated by collisions of the incident ions with metallic start surface. We treat reflected ions from the start surface as stop signals. The TOFs of the incident ions are derived from these start and stop signals. However, when molecular ions collide with the start surface, sometimes dissociative reaction occurs, and the molecular ions split up into positive, negative, and neutral particles. We are engaged on designing electrodes structure to make possible the analysis of molecular ion mass even if the dissociative reaction occurs.

We will make a presentation about an overview of our thermal-suprathermal ion mass spectrometer and report an application of the acceleration-type TOF method with numerical simulation results of ion trajectories in designed electrodes.

地球電磁気圏におけるプラズマ環境を理解するために、探査機を用いた熱的・超熱的イオンの組成や三次元速度分布に関する詳細な観測は必要不可欠である。しかし近年、Polar/TIDE [T. E. Moore et al., 1995, SSR] に代表される探査機搭載用の熱的・超熱的イオンに関する質量分析器の開発例は極めて少ない。そこで我々は、宇宙空間プラズマ物理に関する未踏の研究領域を切り開くべく、最新技術を用いた高質量分解能熱的・超熱的イオン質量分析器の開発を行っている。

現在我々が開発を進めている熱的・超熱的イオン質量分析器は、自転式探査機への搭載を想定しており、平面視野 360 度の開口部から入射するイオンに対してエネルギー弁別を行うトップハット型静電分析器 (ESA) と、弁別後のイオンのエネルギーを加速によって一様化させることにより高質量分解能を実現する加速型飛行時間 (TOF) 方式を用いた質量分析器で構成されている。TOF 方式の原理上、質量分解能は飛行中のイオンが有する速度ベクトルの非一様性に左右される。そのため、TOF 方式を用いて高質量分解能を実現するためには、ESA において高い精度のエネルギー弁別を行うことによって質量分析器に入射するイオンのエネルギーの非一様性 (ばらつき) を抑える必要がある。現在設計中の ESA では、偏向角を 180 度以上に設定することによって、開口部からの入射イオンに対するエネルギー分解能の向上を図っている。また、加速型 TOF 方式による質量分析器では、熱的・超熱的領域におけるエネルギーの非一様性を無視できるほど高いエネルギーへとイオンを一様に加速することにより、質量分解能を高めている。TOF の Start 信号には、イオンを Start Surface と呼ばれる金属表面に衝突させることによって発生する二次電子を用いる。また、Start Surface から反射されたイオン自身を Stop 信号として扱う。これら Stop 信号と Start 信号の検出時間差をイオンの TOF とみなして質量分析を行っている。しかしながら、分子イオンを Start Surface へ衝突させた際に、正・負・中性粒子に解離してしまう場合がある。この問題に対して現在我々は、解離してしまった場合でも元の分子イオンの質量分析が可能ないように、正・負・中性粒子それぞれに対する TOF を計測できる電極設計を進めている。

今回は、熱的・超熱的イオン質量分析器の概要と、電極設計を行った際の粒子軌道の計算結果から、加速型 TOF 方式を用いた質量分析器の妥当性について発表する。