

内部磁気圏探査に向けた低エネルギーイオン分析器の開発

内田 大祐 [1]; 浅村 和史 [2]; 笠原 慧 [1]
[1] 東大/理/地球惑星科学 (ISAS); [2] 宇宙研

Development of a low energy ion mass spectrometer for inner magnetospheric research.

Daisuke Uchida[1]; Kazushi Asamura[2]; Satoshi Kasahara[1]
[1] Earth and Planetary Sci., The Univ. of Tokyo; [2] ISAS/JAXA

It has been known that the Earth's inner magnetosphere is the region where energetic particles of a wide range of energies from a few eV to about 10 MeV coexist and it changes dynamically with geomagnetic storm, the massive energy release phenomena. However, processes of energetic particle acceleration, transports, and losses are not fully understood. For example, the main components of ring current ions are H^+ and O^+ with energies from a few eV to 200 keV, while their initial energies in the source region (H^+ both ionosphere and solar wind, O only ionosphere.) are from 1 eV to a few keV. How this kind of ions are accelerated and injected into ring current during storm main phase remains open question. And it is also a problem that how these ion quantities contribute to ring current dynamics. Thus, in order to understand energetic particle dynamics in the inner magnetosphere, it is highly desired to observe particles with energies from a few eV up to 200 keV without any unobserved energy gaps and to separate dominant ions- H^+ , He^+ , O^+ , and so on. In spite of such importance, most observations of the low-energy ions get significant amount of background noise due to large fluxes of high-energy particles in the inner magnetosphere. One of the main purposes of our study is to develop a low-energy ion instrument which can reduce the effects of high-energy particles to obtain accurate data. A combination of an electrostatic analyzer and a time-of-flight (TOF) mass spectrometer provides energy-per-charge (E/q), velocity (V), and then, mass-per-charge (M/q). We designed an electrostatic analyzer which measures energy range of ions from 10 eV/q to 25 keV/q with energy resolution 15%, angular resolution of 22.5 degrees, and has g-factor($=10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ sr keV/keV}$). In order to reduce the background noise due to high-energy particles, following points are considered: 1) a double-coincidence technique with TOF method, 2) minimization of anode areal size of a detector (MCP), and 3) thickening the electrode/chassis as a shield. TOF requires two signals, generated by an incident particle itself and secondary electrons emitted from an ultra-thin foil at a passage of the incident particle. Trajectories of the secondary electrons can easily be deflected by a static electric field inside the sensor, since their energies at the generation are rather small (typically less than 10eV). In our design, the secondary electrons are successfully collected in a small area ($0.35\text{cm}^2/22.5\text{deg}$) in contrast to those of incident particles ($3.6\text{cm}^2/22.5\text{deg}$) without losing angular resolutions, where the sensor structure is no longer axis-symmetric. Axis-asymmetric positioning of electrodes (i.e., non-zero electric field in azimuthal direction inside the sensor) is a key element to get the focusing area on the MCP surface for the secondary electron trajectories. Combining the above three points including the passive shield, we will propose a low energy ion mass spectrometer for inner magnetospheric research.

内部磁気圏は 0.1eV-10 MeV という 8 桁以上のエネルギー帯にわたってプラズマ粒子が共存し、大規模なエネルギー解放現象である「磁気嵐」に伴ってダイナミックに変動する領域である。しかしながら、内部磁気圏における粒子の加速、輸送、消失過程に対する定量的理解は得られていない。例えば、リングカレントイオンの主な構成要素は数 keV - 200 keV 程度の H^+ や O^+ などであるが、それぞれの供給源でのエネルギーは 0.1 eV- keV 以下である。これらのイオンの磁気嵐主相時における加速、注入機構は未解明である。加えて、リングカレントの放射線帯電子ダイナミクスへの寄与も興味深い問題として残っている。内部磁気圏における粒子・エネルギーの輸送を理解するには人工衛星のその場観測によって低エネルギーから高エネルギーの粒子を連続的に観測すること、種々のイオンを弁別することが不可欠である。しかし、これまで内部磁気圏では低エネルギーイオンフラックスは、高エネルギー粒子によるノイズなどの影響で正確な測定が難しかった。そしてこれまで、ノイズ対策を施したシンプル、小型・高性能なイオンエネルギー質量分析器の開発実績は乏しい。そこで我々は、将来の磁気圏探査ミッションを見据え、静電分析器と ToF 型質量分析器の組み合わせによる低エネルギーイオン分析器の開発を進めている。これらの組み合わせにより静電分析器からは E/q を、ToF 型質量分析器からは速度 V を、またそれらから M/q を算出することができる。我々は数値計算を用いて静電分析器の詳細な設計を行い、エネルギーレンジ 10 eV-25 keV、エネルギー分解能 15 %、角度分解能 22.5 度、 $10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ sr keV/keV}$ 程度の感度を達成できることを確認した。また質量分析器の開発において、高エネルギー粒子によるノイズを低減するために、現在以下の 3 点を考えている。1) 粒子の検出に用いるアノード面積を可能な限り最小化すること、2) time-of-flight による時間的、及びセクター分割による空間的二重相関を取ることを、3) 機器の筐体を厚くすることである。特に本研究ではアノード面積の最小化と二重相関をとることに重点を置いており、これらの効果を最大限にするためには、電子軌道の収束が最も重要である。しかし、これまで質量分析器の構造を 2 次元軸対称として軌道計算を行っていたが、ノイズを十分低減し、また要求された性能を満たすものを設計するには至らなかった。そこで今回新たに、これまであまり行われていなかった、質量分析器構造の 3 次元性を利用した軌道計算を行った。その結果、10eV-25keV のエネルギーレンジで、 H^+ 、 He^+ 、 He^{++} 、 O^+ 、 O^{++} イオンの弁別が可能、角度分解能 22.5 度、かつノイズを十分低減できる質量分析器の設計を行うことができたので報告する。