

二重殻トップハット式静電型エネルギー分析器の構想と数値設計

武井 智美 [1]; 大川 裕貴 [2]; 平原 聖文 [3]

[1] 名大・理・素粒子宇宙; [2] 名大・理・素粒子宇宙; [3] 名大・宇地研

A concept and numerical design of double-layered top-hat type electrostatic energy analyzer

Tomomi Takei[1]; Yutaka Ohkawa[2]; Masafumi Hirahara[3]

[1] Division of Particle and Astrophysics, Nagoya Univ.; [2] Particle and Astrophysical Science, Naoiyo Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.

It is well known that the terrestrial and planetary magnetospheres and the interplanetary space are filled with charged particles such as electrons and ions, which are so-called the space plasma, and in-situ observations of the space plasmas have been conducted by using numerous satellites carrying particle instruments, such as the top-hat type electrostatic energy analyzers. Essentially, obtaining three-dimensional velocity distributions of the space plasmas or energy-pitch angle distributions helps us understand the dynamics of the space plasmas. In the top-hat type electrostatic energy analyzer, a potential difference is applied between two dome-shaped electrodes separated by a gap so that the charged particles with an appropriate energy pass through the gap between these electrodes to be detected as signals. Furthermore, the top-hat type analyzer is cylindrically symmetric and has a 360° planar field of view, which means the top-hat type analyzer can independently measure the distributions of the angle and energy of incident particles and also that three-dimensional velocity or energy-pitch angle distributions can be obtained by the satellite spin motion. Because of this advantage, the top-hat type electrostatic energy analyzers have conventionally been installed in the satellites such as INDEX and ERG of Japan in order to measure the space plasmas.

The top-hat type electrostatic energy analyzers can measure the ions when a negative potential is applied to the inner electrode and the electrons by a positive potential with the outer electrode grounded. In the prevailing design of the top-hat type analyzer, the sensor heads separate for the ion and electron observations, respectively. In accordance with the recent miniaturization of the satellites, the weight and space of the instruments mounted on the small and micro satellites are getting severely restricted. If two sensors are combined into one sensor head, it is possible to save both weight and space on the small and micro satellites. Therefore, we are now developing double-layered top-hat type electrostatic energy analyzer which can simultaneously measure the ions and the electrons with the same sensor head.

Our concept is to combine two sensors into one sensor head for electron and ion observations, and we design the shapes of the collimator and the double-layered dome-shaped electrodes for applying a negative potential to the central electrode with the inner and outer electrodes grounded. In this design, the electrons and the ions with appropriate energies pass through the inner gap and the outer gap, respectively. We have been making the numerical simulations using SIMION as a charged particle simulator program in order to investigate the performance and characteristics as the electrostatic analyzer and confirmed that the electrons and the ions can be analyzed with the same sensor head. So far, we are considering the detection unit using Time-Of-Flight velocity spectrometer for the discrimination of the ion species as the part where the ions are detected after the electrostatic energy analysis, and an assembly of micro channel plates is being expected for the electron detection.

地球と惑星の磁気圏及び惑星間空間は電子とイオンのような荷電粒子、いわゆる宇宙プラズマで満たされていることはよく知られており、宇宙プラズマのその場観測はトップハット式静電型エネルギー分析器のような粒子計測器を搭載しているたくさんの人工衛星を使うことによって行われている。基本的には、宇宙プラズマの3次元速度分布またはエネルギー・ピッチ角分布を得ることは私たちが宇宙プラズマのダイナミクスを理解するのに役立つ。トップハット式静電型エネルギー分析器では、隙間によって分けられた2つのドーム形の電極間に電位差がかけられ、適切なエネルギーを持った荷電粒子がこれらの電極間の隙間を通過して信号として検出される。さらに、トップハット式分析器は軸対称で、 360° の平面視野を持ち、このことはトップハット式分析器が入射する粒子の角度とエネルギーの分布を独立して測定できることとその上3次元速度またはエネルギー・ピッチ角分布が人工衛星の自転運動によって手に入れることが出来ることを意味している。この利点のため、トップハット式静電型エネルギー分析器は宇宙プラズマを測定するために日本のINDEXやERGのような人工衛星に慣習的に搭載されている。

トップハット式静電型エネルギー分析器は外側の電極をGNDにした状態で負の電位が内側の電極にかけられているときにはイオンを測定することができ、正の電位ときには電子を測定できる。トップハット式分析器の普及している設計では、センサーヘッドはイオンと電子の観測のために、それぞれ分かれている。最近の人工衛星の小型化に応じて、小さくて微小な人工衛星に搭載される機器の重さと場所は大幅に制限される。2つのセンサーが1つのセンサーヘッドにまとめられれば、小さくて微小な人工衛星で重さと場所の両方を確保することが可能である。従って、我々は今回同じセンサーヘッドでイオンと電子を同時に測定できる二重殻トップハット式静電型エネルギー分析器を開発している。

我々の構想は電子とイオンの観測のために2つのセンサーを1つのセンサーヘッドにまとめることであり、我々は内側と外側の電極をGNDにした状態で中央の電極に負の電位をかけるためにコリメーターの形状と二重殻のドーム型の電極を設計する。この設計では、適切なエネルギーを持つ電子とイオンが内側の隙間と外側の隙間のそれぞれを通過する。

我々は荷電粒子シミュレータープログラムとして SIMION を使って静電分析器としての性能と特徴を調べるために数値シミュレーションを行ったり、電子とイオンが同じセンサーヘッドで分析されることを確かめたりしている。今のところ、我々は静電エネルギー分析の後にイオンを検出する部分としてイオン種を区別するために TOF を使った検出部を考えており、電子の検出には MCP を使用することを予定している。