

Development of an Electron Energy Spectrometer onboard the SCOPE spacecraft

Yuu Tominaga[1]; Yoshifumi Saito[2]; Shoichiro Yokota[3]

[1] Dept. of Earth and Planetary Science, Tokyo Univ.; [2] ISAS; [3] ISAS/JAXA

We newly develop a low-energy charged particle analyzer for the future satellite mission SCOPE (cross Scale COUpling Plasma universE).

The main purpose of the mission is to understand the cross scale coupling between macroscopic MHD scale phenomena and microscopic ion and electron-scale phenomena. In order to understand the dynamics of plasma in small scales, we need to observe the plasma with an energy charged particle analyzer which has high time resolution. For ion and electron-scale phenomena, the time resolution must be as high as ion cyclotron frequency (about 10 sec) and electron cyclotron frequency (about 1 msec) in Earth's magnetosphere. The GEOTAIL satellite that observes Earth's magnetosphere has a charged particle analyzer whose time resolution is 12 sec, so the satellite can observe ion-scale phenomena. However in the SCOPE mission, we will go further to observe electron-scale phenomena. Then we need charged particle analyzers that have at least several msec time resolution. Besides, we need to make the analyzer as small as possible for the volume and weight restrictions of the satellite. The width of the analyzer must be smaller than 20 cm.

In this study, we develop an electrostatic analyzer that meets the requirements using numerical simulation. The electrostatic analyzer is a spherical top-hat electrostatic analyzer with three nested spherical deflectors. Using three nested spherical deflectors, the analyzer measures charged particles simultaneously in two different energy ranges. Therefore time resolution of the analyzer can be doubled. In order to obtain three-dimensional distribution functions of low energy particles, the analyzer must have 4- π str field of view. Conventional electrostatic analyzers use the spacecraft spin to have 4- π field of view. So the time resolution of the analyzer depends on the spin frequency of the spacecraft. However, we cannot secure the several msec time resolution by using the spacecraft spin. In the SCOPE mission, we set 8 electrostatic analyzers on each side of the spacecraft and set angular scanning deflectors on each analyzer. Then the time resolution of the analyzers do not depend on the spacecraft spin. In order to secure the time resolution as high as 10 msec, the geometric factor of the analyzer has to be as high as $8 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$. Higher geometric factor requires bigger instrument. However, we have to reduce the volume and weight of the instrument to set it on the satellite. Under these restrictions, we have realized the analyzer which is 7.8 cm from the center to the outer sphere of the analyzer and the geometric factors of each sphere is $8.3 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$ (insphere) and $9.3 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$ (outsphere).

地球磁気圏観測を目的とした将来ミッションとして、次期地球磁気圏探査計画 SCOPE(cross Scale COUpling Plasma universE) が計画されている。

SCOPE 計画では、大規模な MHD スケールの現象と、微小なイオンスケール・電子スケールの現象を結びつけて考える、スケール間結合の理解を目標としている。微小スケールのプラズマ現象を理解するには、高時間分解能な低エネルギー粒子計測器によるプラズマ測定が必要となる。測定の時間分解能は、イオンのサイクロトロン周波数(数 10sec)・電子のサイクロトロン周波数(数 10msec)よりも短い必要がある。これまで地球磁気圏の探査を行ってきた GEOTAIL 衛星は 12msec の時間分解能を持ち、イオンスケールの現象の観測を行ってきた。SCOPE 計画では電子スケールの現象の観測を目指しており、そのため数 msec の高時間分解能の粒子エネルギー計測器の開発が必要となる。また、衛星に搭載する上で装置の幅を 20cm 以下にするという制約を受ける。

本研究では、このような条件を満たす粒子計測器の設計を数値シミュレーションを用いて行った。装置の形状には、従来の Top-hat 型静電分析器に中間球を導入した三重球型の静電分析器を採用した。三重球にすることで、異なるエネルギー帯の粒子を同時に測定することができ、これによって時間分解能を 2 倍にすることができた。従来の Top-hat 型静電分析器は、荷電粒子の 3 次元分布関数を取得するために衛星のスピンを利用して全方向の視野を確保していた。このため、時間分解能は衛星のスピんに依存していた。しかし、この方法では SCOPE 計画で要求される高時間分解能を得ることができない。そこで SCOPE 計画では、衛星の各辺に 8 台の静電分析器を取り付け視野角掃引を行うことで全方向の視野を確保する。これによって時間分解能は衛星のスピんによらず掃引周波数で決まり、高時間分解能を実現できる。

また、数 msec の時間分解能を実現するには装置の感度 (g-factor) を $8 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$ 程度にする必要がある。感度を上げるためには装置の大きさを増やす必要があり、実際に衛星に搭載する上で感度と大きさの二つの制約を受けることになる。装置の中心から外球までの径を 7.8cm とし、内球の g-factor を $8.3 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$ 、外球の g-factor を $9.3 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{ str eV/eV}/22.5\text{deg})$ とすることができた。