

R006-20

A 会場 : 11/6 AM2 (10:45-12:30)

11:45~12:00

宇宙プラズマ測定用小型イオン・電子エネルギー分析器の開発

#和馬 正木¹⁾, 齋藤 義文²⁾

(¹⁾ 東大, (²⁾ 宇宙研

The Development of the compact ion and electron energy spectrometer for space plasma

#Kazuma Masaki¹⁾, Yoshifumi Saito²⁾

(¹⁾ UT, (²⁾ ISAS

In recent years, there has been a growing trend to use many small satellites for constellation observations in the magnetosphere and ionosphere.

CubeSat, for example, is a candidate for small satellites, but since these small satellites are only about 10cm x 10cm x 10cm in size, the onboard analyzers must necessarily be small enough to accommodate them. However, there are currently no suitable small instruments for observing charged particles in the low-energy range (several eV to several 10keV), and their development is desired.

We are developing a compact ion and electron energy spectrometer for space plasma measurement. In this study, we have evaluated the performance of a proto-model analyzer. The energy spectrometer is a concentrically stacked 90-degree cylindrical electrostatic analyzers, which can make "in-situ" observation of low energy charged particles ranging from a few eV to several tens of keV. The analyzers are made of PEEK plastic which is partially metalized and have a radius of about 2cm, making it small and lightweight. By assembling multiple analyzers, we can detect charged particles from various directions. Ions and electrons are simultaneously energy analyzed by the stacked cylindrical electrostatic analyzers. The energy analyzed electrons and ions from different analyzer are detected using CEM or MCP. However, because of the small size of the analyzer, it is difficult to detect the position of charged particles that have passed through different analyzers and separate them. We are now investigating the angular characteristics of the analyzer. In parallel, we are developing a method to separate the signals obtained from the different analyzers without position detection. We are also trying to reduce the expected influence of solar ultraviolet light. By solving these problems, we will be able to use the analyzer in space in the future.

So far, we have evaluated the performance of the prototype analyzer through experiments and simulations. In the experiments, we placed the analyzer on a gimbal in a vacuum chamber and rotated the gimbal in various directions while being irradiated with nitrogen ion beam of about 2keV energy to investigate the angular dependence of the analyzer. The detectors were a CEM with a 1cm square inlet or an MCP with a 4cm diameter inlet. When solar ultraviolet light passes through the analyzer and reaches the detector, it brings noise. So, UV irradiation was also performed to investigate the response against UV light of the analyzer with carbon black painting. In the simulation, we investigated the angular dependence of the analyzer and compared the results with the actual experiment data.

As a result of the experiment, it was found that all the charged particles that passed through the analyzer were not fully detected in the test using the CEM because the size of the entrance to the CEM was too small. So, the results showed that the angular characteristics of the analyzer deviated significantly from the simulation results, but when the new test was conducted using an MCP with a large aperture, the deviation between the experimental and simulation results was smaller than before.

The results of the UV irradiation test with black painting showed that the UV-derived counts were suppressed to less than 100/sec for most of the angular range.

However, without the black painting, the UV-derived counts exceeded 10000/sec easily, indicating that the black painting is very useful in removing UV light. Due to the small size of the analyzer, there is concern that the reduction in the distance between electrodes due to the thickness of the black paint will have a significant impact on the analyzer characteristics. Therefore, it is necessary to investigate how the UV characteristics change when the thickness of the painting is reduced, and further development is needed, such as examining methods of blackening analyzers other than black painting.

It was found that there can be a method to separate the signals of ions and electrons passing through different analyzers without positional detection. This method takes advantage of the different energy-voltage characteristics of each analyzer. We think that further study is needed to keep the number of voltages sweeps to a realistic value and obtain necessary energy information on the charged particles.

近年地球磁気圏や電離圏等の領域で、多数の小型衛星によるコンステレーション観測を行おうとする機運が高まっている。小型衛星の候補としては CubeSat などを挙げることができるが、そういった小型衛星は 10cm x 10cm x 10cm 程度の大きさしかないため、搭載する分析器は必然的にそれに適した小型の物を採用しなければならない。しかし、現在低エネルギーレンジ (数 eV~数 10keV) の荷電粒子を観測するための小型観測装置には適当なものが無く、開発が望まれているところである。

そこで、本研究では人工衛星や観測ロケットに搭載して低エネルギー荷電粒子を測定するための小型イオン・電子エネルギー分析器を開発し、そのプロトモデルの性能評価を行った。本機器は 90 度円筒型の静電分析器であり、数 eV~

数 10keV 程度の低エネルギー荷電粒子を「その場」観測するためのものである。分析器本体の材質はピーク樹脂プラスチックを部分的にメタライズしたものであり、なおかつ半径 2cm ほどの大きさであるため、小型・軽量であることが大きな特徴である。そのため、CubeSat 等の超小型衛星に搭載することが可能であり、複数の分析器を組み合わせて搭載することで様々な方向からの荷電粒子を検出することも可能となる。本分析器は複数の円筒型静電分析器が同心円状に重なった形状をしている。イオンと電子を隣り合う円筒型静電分析器で交互に観測し、エネルギー分析されたイオン、電子を分析器ごとに個別に検出することを目標としている。ただし、分析器全体が小型であるがゆえに、それぞれ異なる分析器を通過した荷電粒子を位置検出し分離しようとしても検出器に到達するまでに混ざってしまうという問題がある。そこで、目下の課題は分析器の角度特性を調査し、予期される太陽紫外光の影響を軽減した上で、別々の分析器から得られた信号を位置検出することなく分離できる手法を開発することである。我々の開発している小型分析器を観測ロケットや衛星に搭載し、実際に利用するためにはこれらの課題を解決する必要があると考えている。

これまでの研究では実験とコンピュータによるシミュレーションを通し、分析器のプロトモデルの性能評価を行った。実験では分析器のプロトモデルを真空チャンバー中のジンバル上に設置し、2keV の窒素イオンビームを照射しながらジンバルを様々な方向に回転させることで、分析器の角度特性を調査した。検出器は 1cm 四方の入口を有する CEM と、口径 4cm の入口を有する MCP を用いた。また、分析器に炭素による黒色塗装を行った上で、太陽紫外光を模擬した紫外線照射実験も行い、紫外線に対する分析器の感度も調査した。シミュレーションでは実験と同様に分析器の角度特性を計算し、実際の実験データとの比較を行った。

実験の結果、これまで使用していた CEM を用いた試験では、CEM の入り口の大きさが小さ過ぎて、分析器を通過した荷電粒子を全て検出しきれていないことがわかった。また、その結果、分析器の角度特性がシミュレーションの結果と大きくずれた結果となってしまうことも判明した。今回新たに大きな口径を有する MCP を用いて実験を行ったところ、実験結果とシミュレーション結果の乖離を以前よりも小さくすることができた。

太陽紫外線が分析器を通過して検出器に到達すると、ノイズとなってしまう。そこで、紫外線の検出器への侵入を軽減するために、黒色塗装を行った分析器に紫外線を照射する試験を行った。その結果、ほとんどの角度範囲において紫外線由来のカウント数が 100/sec 以下に抑えられることがわかった。黒色塗装を施さない場合は紫外線由来のカウント数が容易に 10000/sec を超えてしまうので、黒色塗装は紫外線除去に大きく役立つことがわかった。しかし、分析器が小型であるがゆえに、使用した黒色塗装の厚みによる電極間距離の減少が、分析器の特性に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。それゆえに、塗装の厚さを薄くした場合に、紫外線特性がどのように変化するかを調べる必要がある他、黒色塗装以外の分析器の黒色化の方法を検討するなど、さらなる開発が必要であることがわかった。

分析器を通過した荷電粒子を位置検出せずに、異なる分析器を通過した荷電粒子由来の信号を分離する手法に関しては、それぞれの分析器のエネルギー-電圧特性が異なることを利用することで実現できる可能性のあることがわかった。ただし、電圧の掃引回数を現実的な値に抑え、なおかつ必要な荷電粒子のエネルギー情報を十分に得るためには、今後のさらなる検討が必要になると考えている。