

宇宙プラズマ分析器における視野掃引用軌道偏向機構の形状設計

#北村 悠稀¹⁾, 横田 勝一郎¹⁾, 笠原 慧²⁾, 寺田 健太郎¹⁾

¹⁾大阪大, ²⁾東京大学

Geometry design of orbit deflection mechanisms for field-of-view sweeping in space plasma analyzers.

#Yuuki Kitamura¹⁾, Shoichiro Yokota¹⁾, Satoshi Kasahara²⁾, Kentarou Terada¹⁾

¹⁾Osaka University, ²⁾The University of Tokyo

In-situ observations using plasma analyzers on board exploration satellites are an important tool for understanding the behavior of plasma in space. Energy analyzers such as Top-Hat electrostatic analyzers are used as plasma analyzers.

To understand the behavior of the plasma, it is necessary to study the three-dimensional distribution in detail, but as the energy analyzer has only a two-dimensional field of view, a three-dimensional field of view is obtained either by using the satellite's spinning motion or by installing an orbital deflector at the plasma injection point.

While there is a limit to the voltage value that can be applied to a Deflector, there is a similar upper limit to the energy value of the plasma that can sweep the field of view for most Deflectors in relation to the applied voltage value, which poses a challenge in ensuring a complete 3-D field of view in the high energy band.

One of the reasons for this is the lack of investigation of the parameters that affect performance and the establishment of a theory to evaluate performance compared to electrostatic analyzers using spherical polar plates.

Therefore, in this study, we conducted simulations with various pole shapes to theoretically evaluate this deflector performance, and investigated in detail how the pole shapes affect the performance.

Specifically, the Deflector and energy analyzer geometry was set up in 3-D cylindrical coordinate space, and the Successive Over-Relaxation method was used to simulate the propagation of potentials. Next, ion trajectories were simulated for this space using a second-order Runge-Kutta method.

The results show that the performance depends especially on the length L of the deflector and the distance G between the pole plates.

It was also found that if the L/G ratio is kept constant, the performance is similar without size dependence.

宇宙空間におけるプラズマの挙動を理解する上で、探査衛星に搭載されたプラズマ分析器を使用したその場観測は重要な手段となる。プラズマ分析器としては Top-Hat 型の静電分析器などのエネルギー分析器が用いられる。

プラズマの挙動を理解するためには 3 次元的な分布を詳細に調べる必要があるが、エネルギー分析器は 2 次元的な視野しか持たないため、探査衛星の自転運動を利用するか、プラズマ入射部に軌道偏向機構 (Deflector) を搭載することによって 3 次元的な視野を獲得する。

Deflector に印加できる電圧値には制限がある一方で、多くの Deflector について印加電圧値に対する視野掃引可能なプラズマのエネルギー値に同程度の上限が存在しており、高エネルギー帯における完全な 3 次元視野の確保に課題がある。

この原因の一つとして、球殻極板を用いた静電分析器に比べて性能に対して影響を与えるパラメータの調査や、性能評価を行うための理論の確立が不十分であることが挙げられる。

そこで本研究では、この Deflector 性能の理論的な評価に向けて様々な極板形状でのシミュレーションを行い、その極板形状が性能にどのような影響を与えるのかを詳細に調査した。具体的には、3 次元円筒座標空間上で Deflector およびエネルギー分析器形状を設定し、Successive Over-Relaxation 法を用いて電位の伝播をシミュレーションした。次にこの空間に対して 2 次の Runge-Kutta 法を用いてイオン軌道をシミュレーションした。

その結果、性能は特に Deflector の長さ L と極板同士の距離 G に大きく依存することが分かった。また、 L/G 比を一定に保つと、サイズ依存性無く同様の性能を示すことが分かった。