

荷電粒子ビームライン校正装置用 エネルギー・角度分散分析モニターシステムの開発 -エネルギー・角度分布プロファイラの稼働試験-

平原 聖文・大川 裕貴・武井 智美(名古屋大)、齋藤 義文・浅村 和史(JAXA)

1. 概要

宇宙探査計画においては、宇宙プラズマや中性粒子のその場観測を行うために、粒子分析器に関する技術は非常に重要なものであった。粒子分析器の開発に必要なシステムの1つに、真空チャンバー内で超高層大気領域の粒子を模擬した電子・イオンビームを照射することにより粒子分析器の校正を行うビームライン校正システムが挙げられた。これに用いられるビームの特性は粒子分析器の校正結果にも影響を及ぼし、特にビームフラックスの2次元断面分布およびエネルギー・角度分布の均質性は、粒子分析器の開発において非常に重要な要素となった。本研究では、静電エネルギー分析部、リニアステージおよびpolar角ターンテーブルを真空チャンバー内に配置し、それを外部からプログラム制御してビームフラックスのエネルギー・角度分布を取得する、エネルギー・角度分散分析モニターシステムの開発、整備および実機を用いた室内稼働試験を通じて、その性能評価を行った。

2. 実験方法

図1にエネルギー・角度分散分析モニターシステムの概略図を示す。エネルギー・角度分散分析モニターシステムはpolar角ターンテーブル、リニアステージ、静電エネルギー分析部およびこれらを制御し、データ処理を行う機器から構成されている。polar角ターンテーブルは方位角方向に回転し、イオンビームに対する静電エネルギー分析部の角度を変えることが可能である。リニアステージは水平方向に可動であるため、polar角ターンテーブルおよび静電エネルギー分析部を水平移動させることができる。また静電エネルギー分析部は、ピンホール(直径1.5mm)、S字型静電エネルギー分析器、検出器であるMCP(マイクロチャンネルプレート)アセンブリから構成されている。また、機器制御・データ処理はLabVIEWプログラミングを用いて行う。本実験では、3 ~ 6 keVのエネルギーを有する N^+ や N_2^+ のイオンビームを使用し、polar角ターンテーブルの角度、S字型静電エネルギー分析器に印加する電圧をそれぞれ掃引することによってエネルギー・角度分布の取得を行った。また、水平方向に可動なリニアステージを用いること

で、polar角ターンテーブルと静電エネルギー分析部を水平移動させ、エネルギー・角度分布の水平方向における空間依存性を測定することもできた。

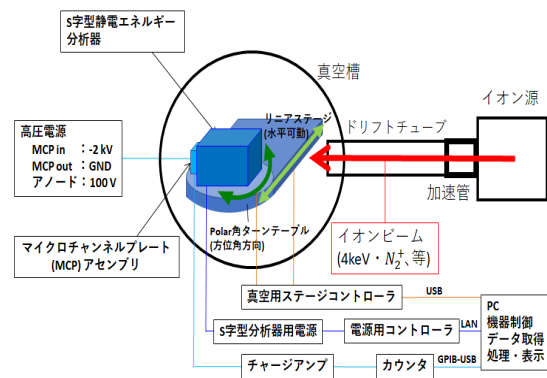


図1 エネルギー・角度分散分析モニターシステム

3. 実験結果

図2に、取得されたエネルギー・角度分布と

SIMION によるシミュレーションとの比較を示す。また、図 3(1)~(3)にエネルギー・角度分散分析モニターシステムにより取得されたエネルギー・角度分布を示す。図 4 は、S 字型静電エネルギー分析器に印加する電圧、polar 角ターンテーブルの角度、リニアステージの位置による 3 重ループを用いた空間依存性の測定結果であり、図 5、図 6 は図 4 で取得したエネルギー・角度分布をそれぞれエネルギーで積分したグラフと polar 角で積分したグラフである。

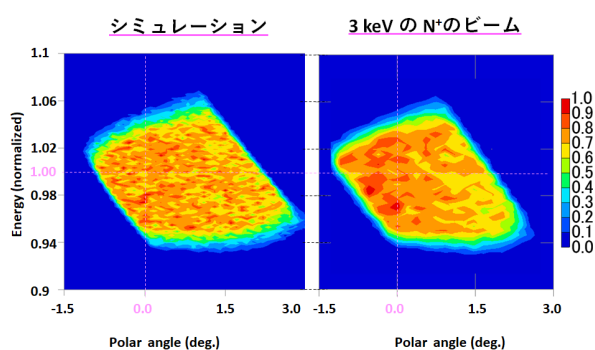


図 2 [右] 3 keV の N^+ のビームを使用して得られたエネルギー・角度分布と[左] SIMION によるシミュレーションとの比較。シミュレーションと取得したエネルギー・角度分布はほぼ一致している。

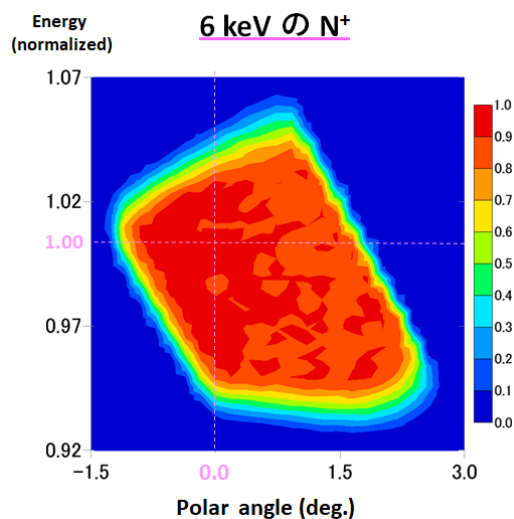


図 3 (1) エネルギー・角度分散分析モニターシステムによって取得されたエネルギー・角度分布。6 keV の N^+ のビームを使用した。

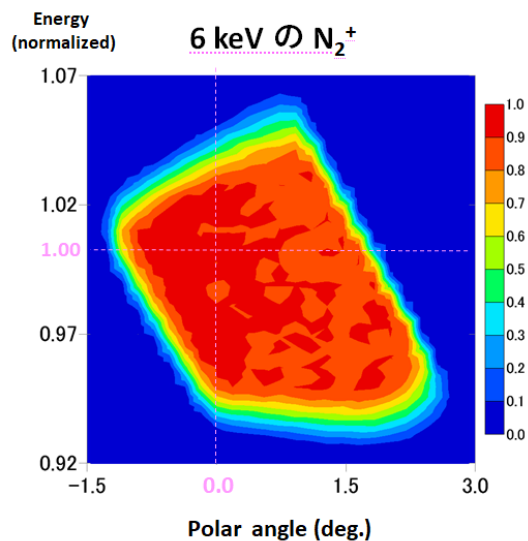


図 3 (2) エネルギー・角度分散分析モニターシステムによって取得されたエネルギー・角度分布。6 keV の N_2^+ のビームを使用した。

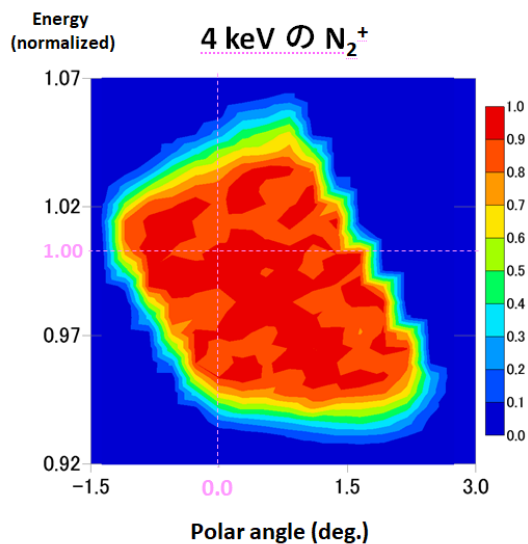


図 3 (3) エネルギー・角度分散分析モニターシステムによって取得されたエネルギー・角度分布。4 keV の N_2^+ のビームを使用した。

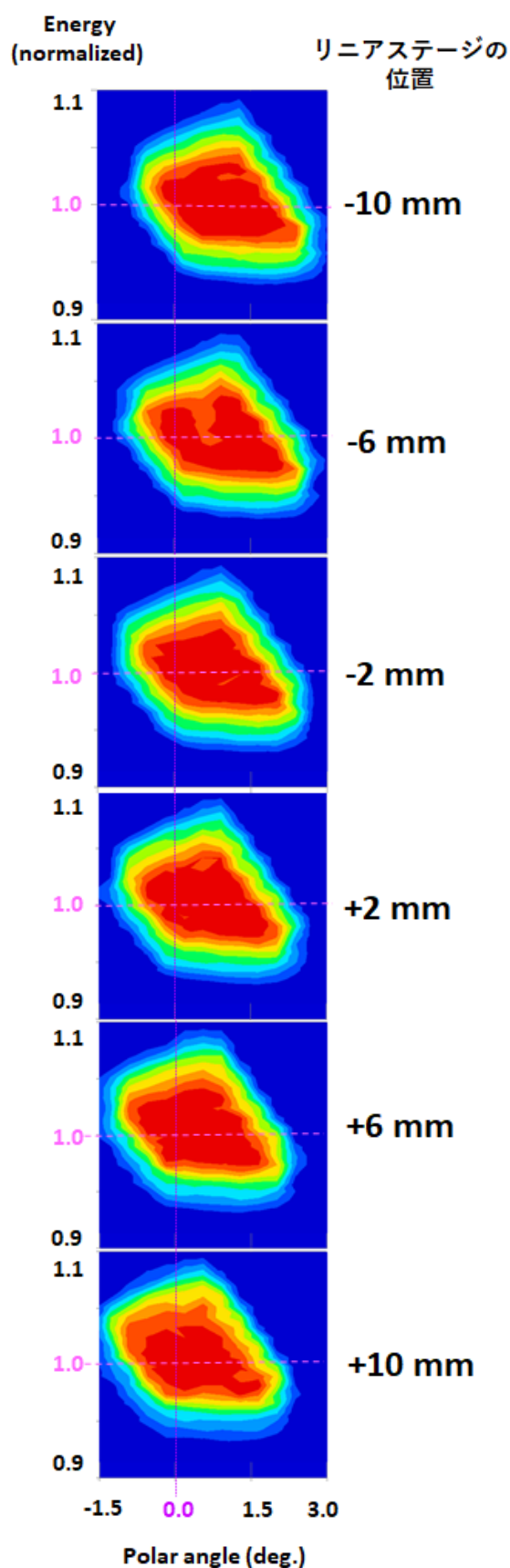


図 4 3 重ループ(S 字型静電エネルギー分析器に印加する電圧、polar 角ターンテーブルの角度、リニアステージの位置をそれぞれ掃引)を用いた空間依存性の測定。

6 keV の N^+ のビームを使用し、リニアステージの位置が $\pm 10\text{mm}$ 、 $\pm 6\text{mm}$ 、 $\pm 2\text{mm}$ となる各点でそれぞれエネルギー・角度分布を取得した。リニアステージは -10mm から $+10\text{mm}$ へと動かした。エネルギー・角度分布が水平位置(リニアステージの位置)の変化に伴って、polar 角の負の方向に動いているが、エネルギー方向の動きはほとんど見受けられない。

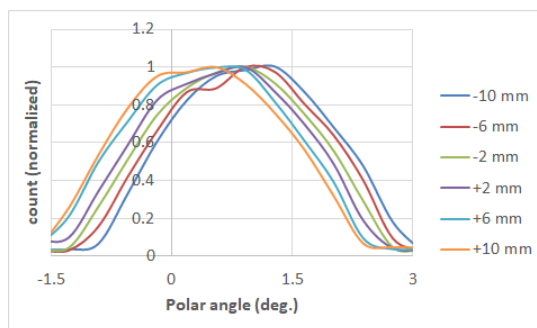


図 5 6 keV の N^+ のビームにおける角度分布の空間依存性。図 4 のエネルギー・角度分布をエネルギーでそれぞれ積分した。凡例は、リニアステージの位置を示す。リニアステージの位置が -10mm (青線) から $+10\text{mm}$ (オレンジの線) に移動するとともに、角度分布は徐々に polar 角の負の方向に動く。

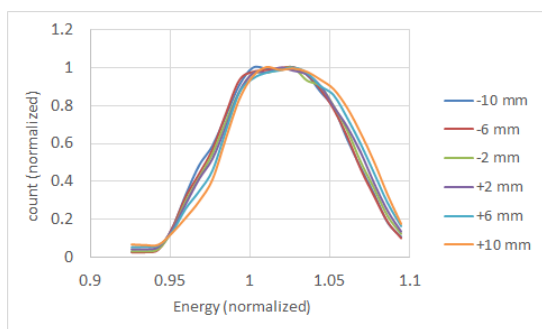


図 6 6keV の N^+ のビームにおけるエネルギー分布の空間依存性。図 4 のエネルギー・角度分布を polar 角で積分した。凡例は、リニアステージの位置を示す。エネルギー分布はリニアステージの位置が変わってもほぼ一致している。

4. 考察

今回、エネルギー・角度分散分析モニターシステムの開発、整備、室内実機稼働試験を行い、エネルギー・角度分布が取得できることを確認した。図 2 より、3 keV の N^+ を使用して取得されたエネルギー・角度分布と SIMION によるシミュレーションとの間で比較を行ったところ、取得したエネルギー・角度分布とシミュレーションはほとんど一致しており、ビームはほぼ平行であると言える。また、図 4、図 5 より、リニアステージが -10mm から +10mm へと水平移動するに伴って角度分布が polar 角の負の方向に移動しており、ビームの位置による角度の広がりがあることが分かった。従って、角度分布は空間依存性を持ち、ビームは発散していると考えられる。しかし図 4、図 6 より、エネルギー分布はリニアステージが -10mm から +10mm へと水平方向に移動をしても分布はほぼ一致しており、空間依存性がわずかであることが分かった。

5. 結論

本研究では、エネルギー・角度分散分析モニターシステムの開発を通じて、以下の結論を得た。

エネルギー・角度分布が S 字型静電エネルギー分析器に印加する電圧、 polar 角ターンテーブルの角度、リニアステージの位置による 3 重ループを用いて取得できるようになった。また、3 重ループによる水平方向の空間依存性の測定結果および取得したエネルギー・角度分布とシミュレーションとの比較からビームの特性を把握することができた。

今回の試験では 3 重ループの測定に大体 3 時間を要したが今後は、測定時間の間のビーム強度の変化に対して、時刻付きの基準データを取得し、その基準データを用いることで時間変化を補正できる機能を完成させたり、今回の 3 重ループに **Elevation** を加えた 4 重ループによる測定を行ったりする。そして、それらの結果をもとに、イオンビームラインの分散を低減する調整を行い、より精度の高い分析器の較正を目指す。

謝辞

本研究の一部は、宇宙航空開発研究機構・宇宙科学研究所のスペースプラズマ共同利用設備の真空チャンバーおよびビームラインを用いて行われました。また、エネルギー・角度分散分析モニターシステムにおける制御プログラムの作成において、名古屋大学技術部の山本優佳さんに多大な助力を頂き、感謝しております。