

2017年度スペースプラズマ共同利用報告

熱-低エネルギー帯プラズマ粒子分析器の開発

浅村和史 (JAXA)、横田勝一郎 (阪大)、滑川拓 (JAXA)
長谷川達也 (JAXA)、齋藤義文 (JAXA)、平原聖文 (名古屋大)

1. 目的

地球上層大気・磁気圏に存在するプラズマは、数 eV 以下から数 MeV 以上の広いエネルギー範囲にわたって存在している。この中で、数 eV 程度以下のイオンは、地球から 20Re (Re: 地球半径) 程度離れた領域で観測されるなど、地球電離圏外にも広く分布することが分かってきた。しかし、数 eV 程度以下のイオンをエネルギー・質量・到来方向弁別を行って観測することは簡単ではないため、観測例は限定的にしか存在しない。本研究では、数 eV/q 以下から 100eV/q 程度以下、また、10eV/q - 25keV/q 程度のイオン質量分析器を開発する。本年度は観測ロケット SS520-3 への搭載予定の超熱的イオンエネルギー質量分析器 (TSA) 及び、低エネルギーイオン質量分析器 (IMS) について較正試験を行った。

2. 観測原理

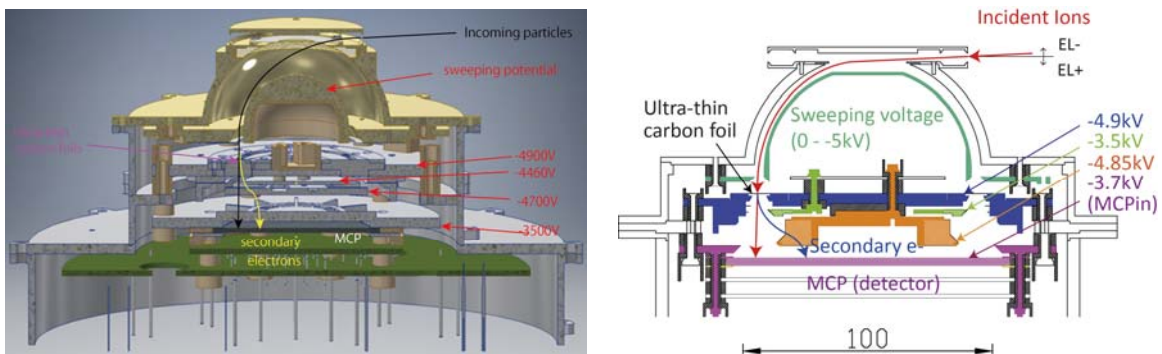


図 1: (左)TSA センサー部、(右)IMS センサー部の断面図。

TSA, IMS とともに静電型エネルギー分析器の後段に質量分析部を配置した観測器である。図 1 に観測器センサー部の断面図を示す。エネルギー分析部にはトップハット形状を採用しており、センサー単体ではほぼ 360 度の平面状の視野を確保可能な形状としている。このような視野形状の場合、観測器の搭載位置を工夫することで、人工飛行体のスピン運動を利用して全方位 (4π str) をカバーすることが可能となる。

質量分析には飛行時間分析 (TOF: Time-Of-Flight) 法を用いる。TSA、IMS では入射粒子に超薄膜カーボンを通させ、通過時にたたき出された二次電子と入射粒子自体を検出し、その検出時間差から入射粒子の速度を導出する。前段のエネルギー分析部で入射粒子のエネルギー (実際にはエネルギー/荷電数) が分かっているため、速度を計測することで質量 (実際には質量/荷電数) を導くことができる。表 1 に TSA、IMS の仕様を示す。また、図 2 に TSA、IMS の外観を示す。

表 1: TSA, IMS の仕様

	TSA	IMS
エネルギー範囲	< 1 ~ 100eV/q	~10 - 25000eV/q
視野範囲	330 度×5 度 (FWHM)	310 度×4.5 度 (FWHM)
エネルギー分解能	10~30% (FWHM)	13 - 16% (FWHM)
角度分解能	5 度×30 度 (FWHM)	4.5 度×22.5 度 (FWHM)
質量分解能	H+, He ⁺⁺ , He+, O+	H+, He ⁺⁺ , He+, N ⁺⁺ /O ⁺⁺ , N ⁺ /O ⁺ , N ₂ ⁺ /NO ⁺ /O ₂ ⁺
感度	$1 \sim 2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sr eV/eV} / 30\text{deg}$	$1.4 \sim 1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sr eV/eV} / 22.5\text{deg}$

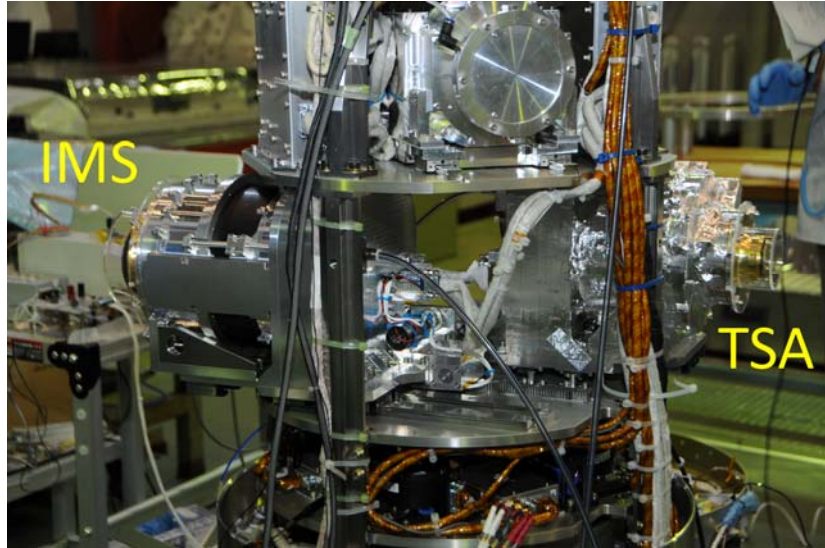


図 2: TSA, IMS の外観。SS520-3 計器板に搭載され、ロケットに組み込まれた状態。

3. 実験内容

本年度は TSA、IMS の較正試験を行い、エネルギー分析性能、質量分析性能、及び光子除去特性を取得した。試験セットアップを図 3 に示す。

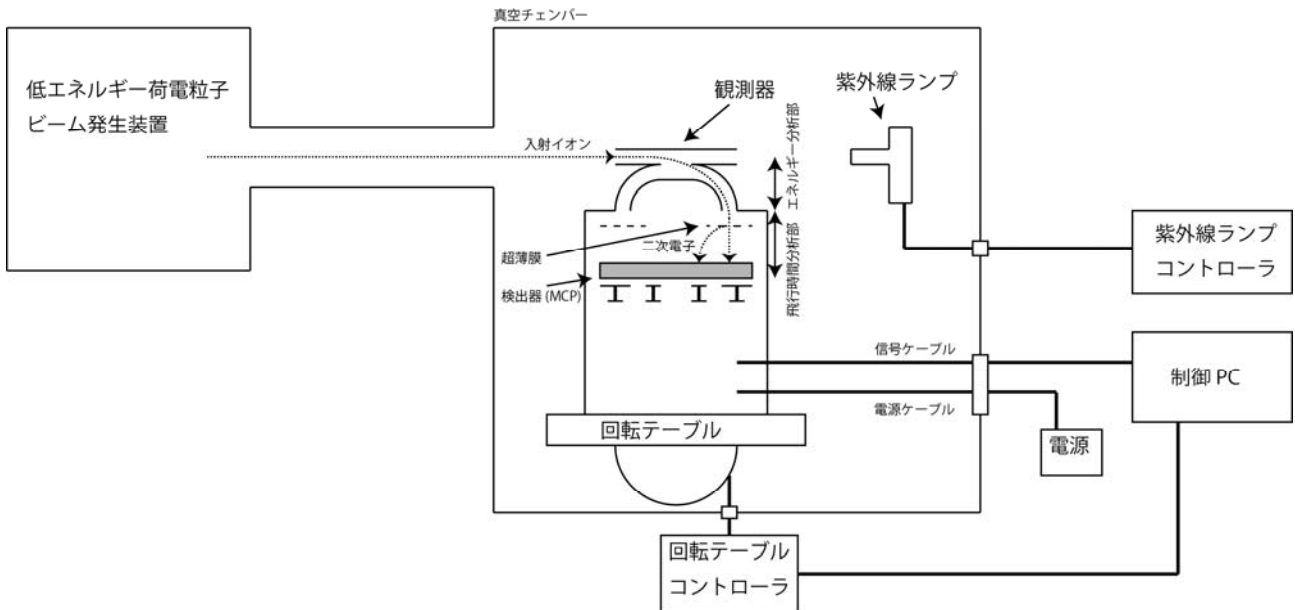
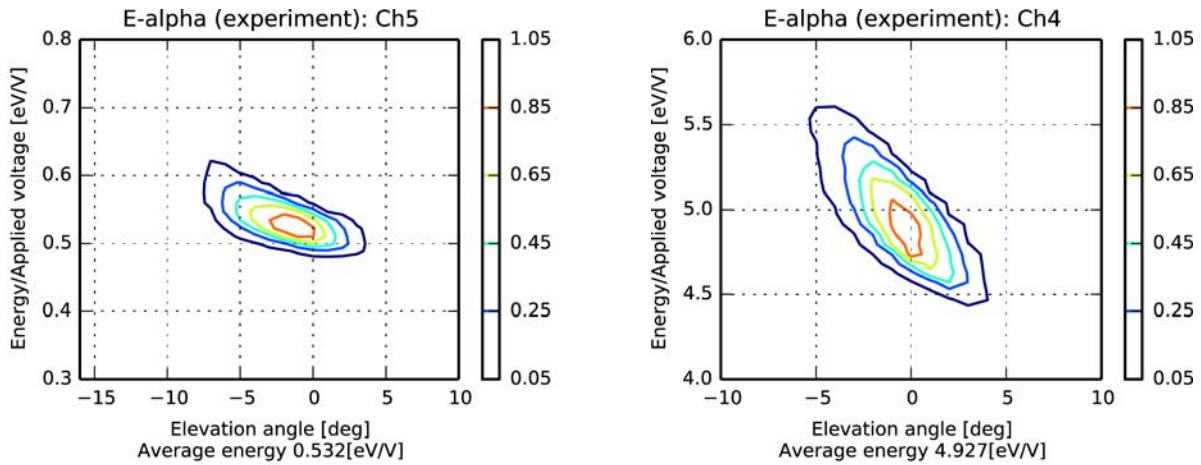


図 3: TSA 試験セットアップ

観測器は真空チェンバー外から制御可能な回転テーブル上に固定され、イオンまたは紫外線を照射される。このとき、観測器に照射されるイオンビームの強度・空間一様性などの変動を抑制するため、イオンビーム発生装置側の設定パラメータは粒子種・エネルギーを変更する場合以外は基本的に固定する。観測器の角度応答特性などは回転テーブルを用いて観測器側を回転させ、データを取得することで得る。

4. エネルギー分析性能



reffile: 170818\Hep100_ch5_d.000, 170818\Hep100_ch5_d.154

reffile: 170812\h12kch4a.108, 170812\h12kch4a.199

図 4: (左) TSA の粒子通過特性(E- α 図)。100eV/q の He⁺ イオンビームを用いた実験結果。(右) IMS の粒子通過特性(E- α 図)。12000eV/q の H⁺ イオンビームを用いた実験結果。

図 4 は TSA 及び IMS の粒子通過特性を示している。TSA のエネルギー分解能は 10%、IMS のエネルギー分解能は 13% であり、十分な分解能である。また、TSA の平均エネルギー / 極板引加電圧比は 0.53 である。これは、例えば 1eV の粒子を計測する際には 2V を極板に引加することを示しており、引加電圧を高めに設定することで、低エネルギーイオンを計測しやすくしている。

5. 角度分解能

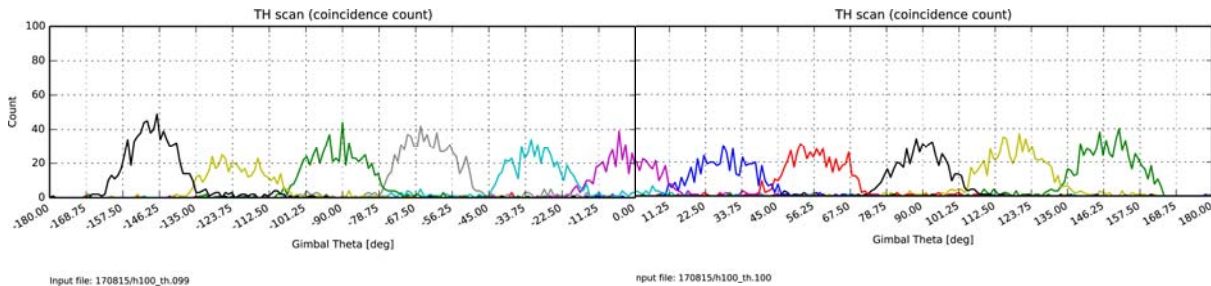


図 5: TSA の方位角方向角度スキャン結果。H⁺ 100eV のビームを用いている。

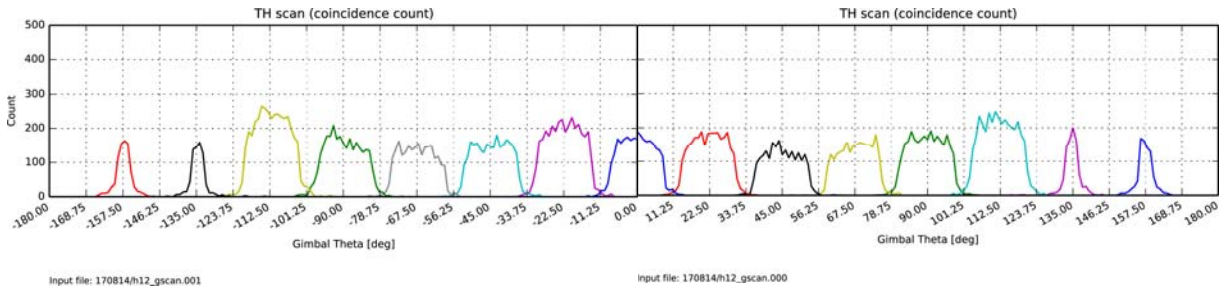


図 6: TSA の方位角方向角度スキャン結果。H⁺ 12keV のビームを用いている。

図 4 から仰角方向の角度分解能は TSA で 5 度(FWHM)、IMS で 4.5 度(FWHM) であることが分かる。一方、方位角方向の分解能については方位角スキャンを行って確かめた。図 5、図 6 はそれぞれ、TSA、IMS の方位角スキャン結果である。TSA、IMS とも良好な角度分解能を有していることが分かる。

6. 質量分析性能

H⁺, He⁺⁺, He⁺, N⁺⁺, N⁺, O⁺, N₂⁺ の各ビームを用いて得た飛行時間分析結果を図7に示す。エネルギーはそれぞれ 100eV/q、12keV/q で固定し、イオン種毎に TOF 値を示している。H⁺, He⁺⁺, He⁺, N⁺⁺, N⁺/O⁺, N₂⁺ の分離ができている。なお、N⁺ と O⁺ に関しては粒子検出イベント毎に粒子種を特定することは困難であるが、カウントを蓄積し、飛行時間プロファイルをだすことで、統計的に存在比を出すことができると考えられる。

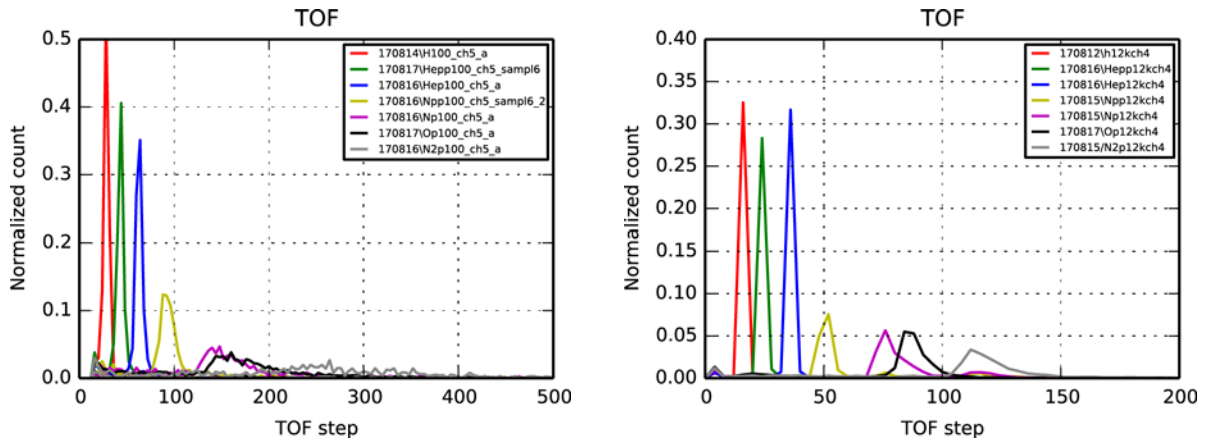


図7: (左)TSA、(右)IMS の飛行時間分析結果。

7. まとめ

観測ロケット SS520-3 搭載用超熱的イオンエネルギー質量分析器(TSA)、低エネルギーイオン質量分析器(IMS)の較正試験を行った。エネルギー分析性能、角度分解性能、質量分析性能を実験によって取得したところ、観測に供することができる性能を持つことが確認できた。SS520-3 の打ち上げが延期されたため、TSA、IMS とも保管されている状態である。長期保管となるため、打ち上げ時期が確定したら、試験再開時期にあわせ再度性能確認試験を行う。その後ロケットへ搭載する。