

## SCOPE衛星搭載用低エネルギー電子・イオン同時計測装置の開発

齋藤義文・Robert Bedington・浅村和史・横田勝一郎（宇宙研）

### 1. 本研究の目的

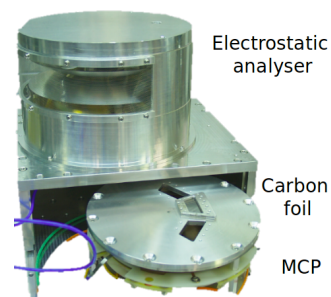
SCOPE衛星計画は、1機の親衛星と4機の子衛星が編隊飛行を行って地球磁気圏の鍵となる領域の観測を行う衛星計画である。4機の子衛星のうち、3機には、低エネルギーの電子、イオンの3次元分布関数を測定するための観測装置(EISA)を搭載する予定であるが、子衛星は重量・電力などのリソース条件が非常に厳しい一方で、可能な限り高い時間分解能で観測を実施する必要があることから電子とイオンを1台の観測装置で計測する事のできる新しい観測装置（EISA）の開発が必要になっている。本研究の主要目的は、この電子とイオンを1台で計測できる観測装置のテストモデルの特性計測試験を実施して、本観測装置の開発を進めることである。研究を進める課程で、ビーム源として使用する電子源も必要となったため、大面積電子源を含む較正試験装置の開発も同時に進める事にした。

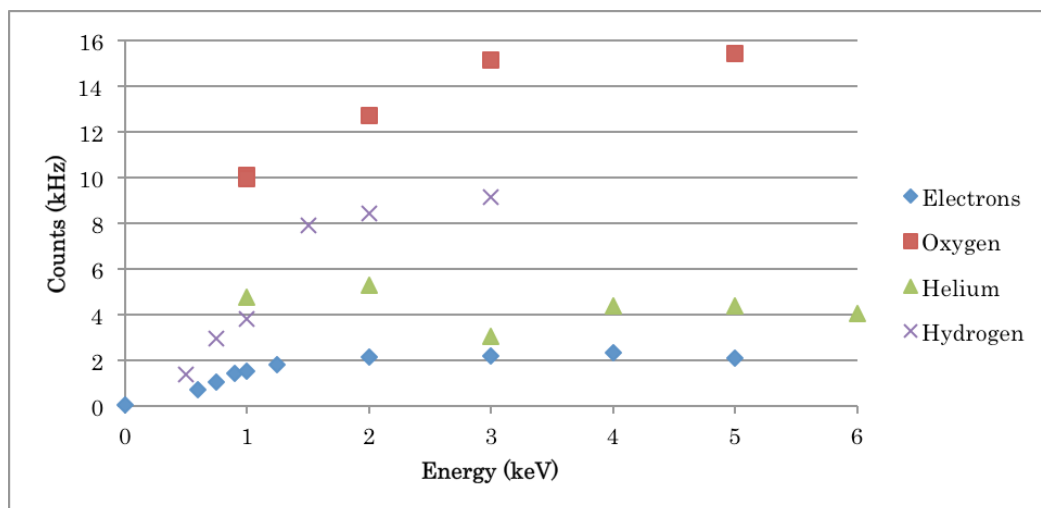
### 2. 成果

本研究は、平成25年度から開始したが、平成24年度中に、平成25年度後半に実施を予定していたEISAテストモデルの試作に向けて、装置構成、電子・イオンの検出方式を再検討し、詳細な設計方針を決定して設計を開始した。またこれと並行して、SCOPE親衛星に搭載を予定して開発を進めている、超高時間分解能電子計測センサー(FESA)の飛翔前較正試験に必須となる大面積電子源を含む較正試験装置の開発も並行して開始した。平成25年度には2次電子放出板を使用する、EISAテストモデルの設計を実施し、要素試験のための実験装置の製作も行った。平成26年は、平成25年度に設計・製作した要素試験モデルの試験を行うと共に、新たに炭素膜を用いた異なる原理の電子・イオン同時計測センサーの要素試験のための実験装置を設計・製作しその特性を計測した。

#### 2.1. 炭素膜方式

炭素膜方式の試験のためには、既に実験室にあった静電分析器を用いる事にした。炭素膜を静電分析器と、MCPアセンブリの間に設置できるように実験装置を設計・製作した。この装置を真空チェンバーに入れて、電子といくつかの種類のイオンを入射して下図に示す結果を得た。データ点の間に見られるカウント差は、異なる入射エネルギーで試験を行ったのと、異なる種類の入射粒子は、異なる強度で発生しているためである。この実験で計測したかったのは、どのくらいのエネルギー以上であれば、検出効率が上がるかという点である。

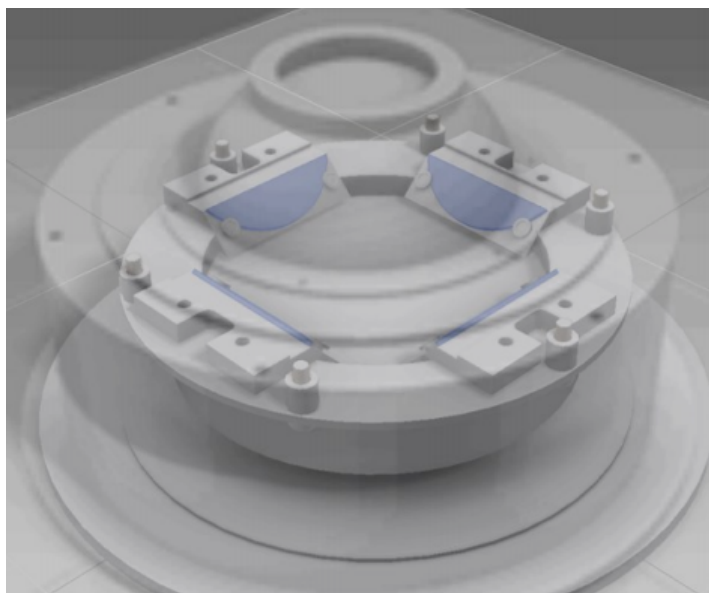


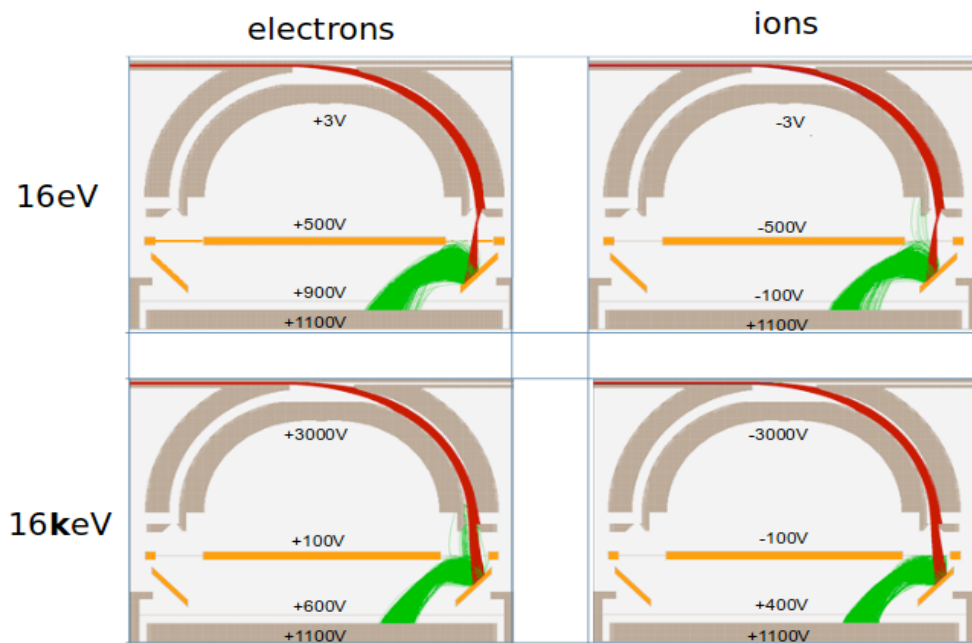


1-2keVより低いエネルギーの粒子は、電子もイオンもあまり効率よく検出することは出来なかった。keVより低いエネルギーの粒子を検出するためには、1 kVから 2 kVの加速(炭素膜に1kVから2kVを印加する)が必要である事がわかった。この事は、イオンの検出のためには、負の加速電圧が、電子の検出のためには正の加速電圧が必要であるが、MCPへの高圧印加とは異なり、炭素膜への電圧印加は高速に切り替える事ができるため、このことは電子、イオン同時計測センサーに炭素膜を使用する可能である事を示している。

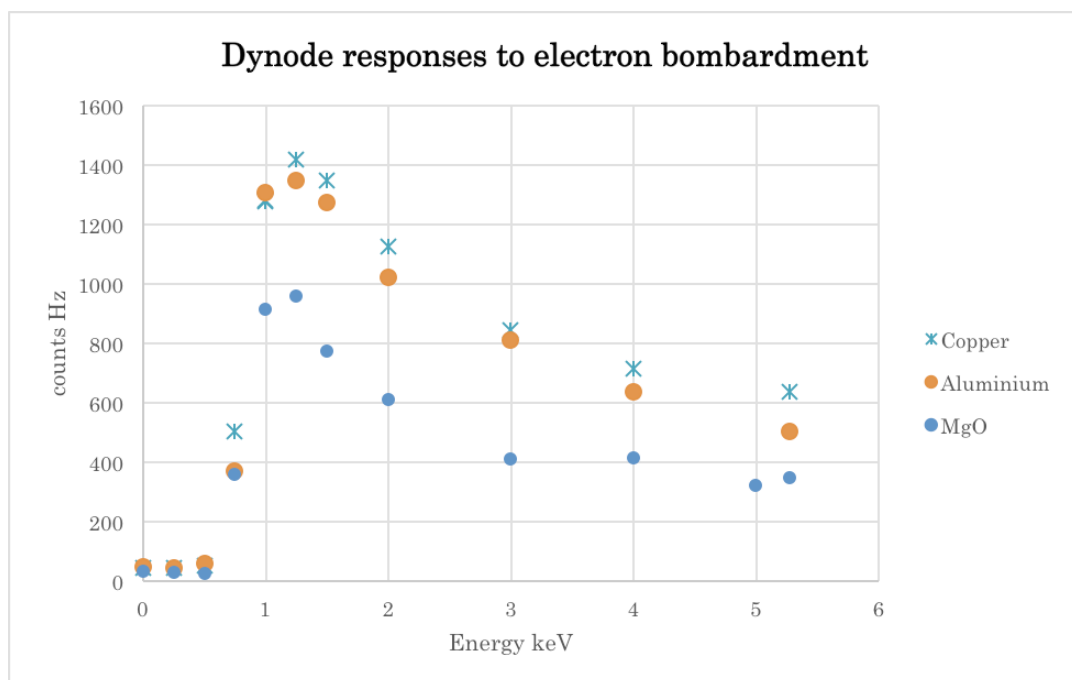
## 2.2. 2次電子放出板方式

2次電子放出板方式の試験のために、別の実験装置を設計・製作した。既に実験室にあった静電分析器の出口に2次電子放出板を取り付ける事の出来るようにした。下に示す、CAD図には、静電分析器を透過して青い色で示した2次電子放出板が見える。静電分析器の改造設計には、SIMIONを用いた。実際に衛星搭載状態で使用可能な電圧範囲で、計測が可能であるように設計を行った。下に示す図は、どのようにしてMCPの電圧を1100Vにしたまま、16eVから16keVの電子とイオンを検出することが出来るのかを示している。これらは、2次電子放出板やMCPの前面に取り付けたメッシュの電圧を変える事に依って実現している。入射粒子の軌道を赤色で示し、2次電子の軌道を緑色で示した。





SIMIONによる計算では、電子の軌道はモデル化できるが、2次電子放出率（2次電子放出板の材質による違いや、2次電子放出板への入射エネルギー依存など）はモデル化できない。従って、実際に試験装置を設計・製作しての実験が必要となった。以下にその実験結果を示す。



この計測結果は、2次電子放出板は1.25keVの電子に対して最も電子の放出効率が良く、1keV以下の電子に対しては、遥かに低い効率であることを示している。1keV以下の電子に関しては、先に述べた偏向による直接計測が可能であると考えられるが、今回の実験に使用した装置ではその実験が出来ない設計となっている。イオンについても計測を試みたが、チャージアップが原因と考えられる計測異常のため、製作な計測ができなかった。そのかわり、イオンに関しては、今回使用したのと全く同じ2次電子放出板を使用しておこなった過去の実験結果を利用することにする。これらの過去に行った実験では、電子を用いての計測は行われなかったが、MgOでコーティングした2次電子放出板の電子放出効率が最もいいという結果となっている。今回の電子を用いた実験では、MgOでコーティングした2次電子放出板は、銅を素材とするものや、アルミを素材とするものに比べて低い2次電子放出率を示す事がわかったが、電子、イオン同時計測センサーに使用することについては許容範囲であることも明らかとなった。

今回の研究結果から、炭素膜方式を電子、イオン同時計測センサーに使用することを決定した。2次電子放出板方式に比べて、簡単な構造で実現でき、より少ない種類の高圧で実現可能な事がその理由である。

### 3. 学会発表・発表論文 等

#### <学会発表>

[1] Robert Bedington, Y. Saito, Two in one: making electron and ion measurements using a single MCP in future top hat instruments. 40th COSPAR Scientific Assembly. 2-10 August 2014, Moscow, Russia

[2] Robert Bedington, Y. Saito, Two in One: The Development of Techniques to Allow a Single Top-hat Plasma Analyser to Detect Both Electrons and Ions, with a Single MCP Detector , AOGS2014, 2014年7月, Sapporo, Japan

[3] Robert Bedington, Y. Saito, D. Kataria, Detecting Electrons and Ions with a single detector in miniaturised low energy particle analysers, JpGU2013, 2013年5月, 千葉幕張

[4] Robert Bedington, Y. Saito, Two in one: the development of techniques to allow a single top-hat plasma analyser to detect both electrons and ions, with a single MCP detector, AOGS2013, 2013年6月, Brisbane Australia