

要旨

地球磁気圏観測を目的とした将来ミッションとして、SCOPE (cross Scale COupling in Plasma universE) 計画が 2019 年の打ち上げを目標に企画されている。SCOPE 計画の主目的は、プラズマの MHD スケールのマクロな現象と、電子・イオンの特徴的なスケールのマイクロな現象を同時に観測することである。既存の磁気圏観測衛星における電子計測では、観測時間分解能が 1 sec オーダーであるため、電子の特徴的なスケールの観測ができなかった。計画の実現には、10 msec 以下の時間分解能での観測の実現が必須となる。本研究では、このような超高時間分解能での観測が可能な電子計測器 FESA (Fast Electron Spectrum Analyzer) の設計、並びに FESA を用いた観測の精度評価を行なった。

SCOPE 衛星には、8 台の FESA を搭載し同時に 4π str の観測視野を確保することを検討している。これにより、観測の時間分解能は衛星スピンの依存しなくなる。また FESA には、Spherical Top-hat 型と Toroidal Top-hat 型の静電分析器を組み合わせた三重球型静電分析器を採用する。二種類の極板間電圧を与えることができるこの分析器を用いれば、同時に 2 つのエネルギー帯を測定でき、電圧掃引回数を半減させることができる。以上の試みによって、最高で 8 msec という超高時間分解能を実現することができる。地球磁気圏尾部領域における複数センサー同時観測による 3 次元速度分布関数の観測、また三重球型静電分析器を使用した観測は、どちらも過去に前例がなく世界初の試みとなる。ゆえに FESA による観測には、前例のない新たな問題点がいくつか想定されている。本研究では、センサー設計とともに、これらの問題点に対する解決策を講じることも目標としている。

本研究で設計するセンサーは、先行研究 (Saito et al., 2009) によって製作された FESA の第一世代テストモデルを改良した、第二世代テストモデル (Test Model 2, TM2) という位置付けになる。計算機上で TM2 の設計モデルを構築し、数値シミュレーションによって設計した TM2 の感度特性を求めた。TM2 の感度 (g-factor) は、サンプリングタイム 0.5 msec 中に GEOTAIL LEP-EAe と同等の統計精度でカウントレートを取れる値を目標に設定し、Spherical 部 (Inside) で $6.37 \times 10^{-3} [cm^2 \text{ str } eV/eV / 22.5^\circ]$ 、Toroidal 部

(Outside) で $9.12 \times 10^{-3} [cm^2 \text{ str } eV/eV / 22.5^\circ]$ となった。またエネルギー分解能は、10 eV~22.5 keV のエネルギー帯を 32 ステップで十分なカバレッジで測定できる分解能を目標に設定し、Inside で 25.4%、Outside で 18.6% [Full Width at the Half Maximum : FWHM] となった。 α 方向角度分解能については、1 つのセンサーヘッドで衛星スピン方向に 22.5° の視野幅を確保できる角度分解能を目標に設定し、Inside で 14° 、Outside で 9° [FWHM] となった。

設計した TM2 の観測精度を求めめるため、またローブ・太陽風観測時の観測のサンプリングタイムの長さを決めるため、各観測領域におけるプラズマ電子の速度分布関数モデルを構築し、モデル計算によって取得されるカウントを再現した。モデル計算には、取得カウントの統計誤差の影響が考慮されている。観測時間分解能をできるだけ短くするには、サンプリングタイムを小さく設定せざるをえない。しかしサンプリングタイムを小さくする程、取得カウントの統計誤差の影響が大きくなり、速度分布関数や速度モーメントの計算精度が低下する。モデル計算の結果から、ローブ観測で 50 msec、太陽風観測では 20 msec のサンプリングタイムを採用するのが適当であると判断した。プラズマシート観測では、0.5 msec のサンプリングタイムで観測を行うことが検討されている。モデル計算から、このサンプリングタイムでは取得カウントの統計誤差が温度・密度の計算結果に 1% オーダーの誤差を与えること、またバルク速度の計算は統計誤差の影響が大きいため計算精度が悪くなることが確認できた。8 msec の時間分解能で取得した分布関数から精度良く速度モーメントを求めるには、取得した分布関数に対して関数形を仮定してフィッティング関数を求める必要がある。

SCOPE 衛星の観測対象の一つである磁気圏尾部リコネクション領域を、8 msec の時間分解能で観測を行なった前例は無い。8 msec の時間分解能で取得される速度分布関数の再現性を評価するため、3次元粒子シミュレーションの結果を用いてこの領域で取得されるカウントを再現し、速度分布関数を計算した。8 msec で取得した分布関数から速度モーメントを計算すると、シミュレーションで再現されているリコネクションポイント付近の特徴的な速度モーメントの変化を再現できることがわかった。またこの分布関数から、リコネクションポイント付近で見られる分布関数の温度異方性も確認できた。分布関数に現れる温度異方性をより詳細に議論したい場合は、観測の時間分解能を 48 msec 程に設定すれば十分なサンプリングを行なうことが可能であることを示した。

複数センサーによる同時観測では、衛星スピンの影響で各センサーの観測視野が回転してしまう。このため Energy-Time Spectrum (E-T 図) の作成するためには、あるサンプリングタイムに観測方向を向いているセンサーを選び出す、センサーセレクションが必要となる。本研究では、このセンサーセレクション方法を提案した。3次元粒子シミュレーションの結果から再現した取得カウントから E-T 図を作成し、提案した方法によって E-T 図の作成が可能であることを示した。また同時に、スピンを行わず同じ時間分解

能で観測を行う衛星によって取得されるカウントからも E-T 図を作成し、両者を比較して Differential energy flux の計算精度を比較した。