

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26707026

研究課題名(和文)半球型の視野を持つ非熱的電子分析器の新規開発

研究課題名(英文)Development of energetic electron detector with a hemispherical field of view

研究代表者

笠原 慧 (Kasahara, Satoshi)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：00550500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、半球型の視野を持つ非熱的電子(>10keV)分析器を開発し、宇宙プラズマの非熱的電子生成(加速)機構研究に新たな光をあてる事である。このため、平成26年度から29年度までの4年間で、検出器、電子回路基板、筐体等の設計・製造・組立・性能試験を実施した。実験室でのX線・電子線照射により、所期の性能が発揮されていることも確認できた。本研究で完成させた電子分析器は、今後観測ロケットに搭載され、オーロラ電子を観測する予定である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to shed a new light on particle acceleration mechanisms generating non-thermal electrons in space and planetary circumstances. Since 2014, we have designed, fabricated, assembled, and tested detectors, electronics boards, and chassis, to build an electron sensor with a wide (hemispherical) field-of-view. We confirmed that the expected performances are accomplished through X-ray/electron irradiation test in a laboratory. The instrument developed here would be launched on a sounding rocket to measure energetic electrons in the Earth's auroral region.

研究分野：宇宙惑星科学

キーワード：宇宙惑星探査 プラズマ粒子計測

1. 研究開始当初の背景

地球・惑星磁気圏プラズマの起源には太陽風、惑星電離圏、そして月(衛星)表層などがあり、その初期エネルギーは eV-keV のレンジである。ところが磁気圏とその近傍においては、オーロラ領域、放射線帯、磁気圏前面衝撃波領域、そして磁気リコネクション領域など、いたるところで、数 10 keV から MeV にも及ぶ非熱的な電子・イオンが観測される。こうした粒子加速の物理機構、および惑星系システムへのフィードバックは、超高層大気(磁気圏・電離圏物理学)分野における最重要課題の一つである。その研究においては、0.1 eV - 数 10 MeV の幅広いエネルギーレンジを網羅する粒子観測が必要であるが、そのなかで特に 10-100 keV というレンジは、粒子の速度分布が熱的分布から非熱的分布に遷移する(したがって粒子加速研究において極めて重要な)エネルギー領域であるにもかかわらず、計測技術の困難から、過去の探査において限定的なデータしか得られていなかった。この未踏の領域に着目した申請者は、これまで同エネルギー領域の粒子を観測する新しい技術を開発してきていたが、これまでの設計では分析器の視野が限定的であり、例えば惑星探査の場合は多くの場合、衛星は三軸姿勢制御である(スピンしない)ため、粒子の速度空間のうち極めて限定的な領域しかサンプルできないことになる。また、スピン衛星の場合でも、全立体角を網羅するために必要な時間はスピン周期で制限され(通常、数秒以上)、それより詳細な時間分解能(及び付随する空間分解能)が達成不可能になる。これは、申請者の開発してきた上記の分析器のみならず、過去・現在の非熱的粒子分析器に共通する問題点であった。

2. 研究の目的

本研究では、(1)広い視野を持つ新しい非熱的電子観測器を設計・製作し、(2)地上における性能試験の後、(3)観測ロケットに搭載して動作実証を行うとともに、その過程で、(4)惑星探査機への搭載に向けた新たな課題を整理し、搭載提案を行うための礎とすることを目的としていた。

3. 研究の方法

平成 26 年度から 29 年度の 4 年間にわたって、半球型の視野を持つ非熱的電子分析器を開発した。オプティクスを含めた構造設計から開始し、機器構造、検出素子、および電子回路基板の設計・製作・試験を行った。また、観測ロケットをターゲットとした開発を進めつつ、搭載機会の確保にも尽力した。

4. 研究成果

(1)オプティクス部分の設計・製造

センサオプティクスを含めた構造詳細設計を行った。特に、入射部のコリメータ構造、および検出器の並べ方について、センササイ

ズ・重量・組上げの容易さなどを考慮しながら検討した。計画開始時の概念設計では検出器及び入射部のコリメータ構造について、センサ外に向かって凸な形状の構想を持っていたが、信号読み出し基板なども含めた全体の成立性を考え、センサ外に向かって凹な形状に方針を転換した。

(2)検出器(アバランシェフォトダイオード、APD)の設計・製造

検出器としては申請者がこれまで開発してきた世界的にも有意性を持つ、アバランシェフォトダイオードを用いることとした。100keV までの電子を十分な感度で計測しつつ雑音を極力抑えるために、空乏層の厚みを 70 μ m、開口形状を 5mm x 5mm とした。また、イオンや紫外線による信号を除去すべく、入射面に 2 μ m のアルミ蒸着を施す事とした。設計後、浜松ホトニクスにて製造を実施した。

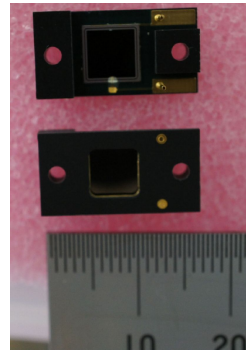


図 1:APD の写真

(3)信号読み出し回路の設計

APD からのアナログ信号を読み出すアンプ・サンプルホールド回路基板の設計を実施した。本研究で開発する機器に適する基板形状・インタフェース(IF)を示し、電子部品業者(ミノ電子)にて基板設計を実施した。回路は、基本的に ERG 衛星搭載機器 MEP-e の設計を踏襲しているが、前者は比較的大きなセンサであり、大きな基板面積に 16ch を搭載したものであった。本研究では、新たに開発している小型センサ形状にあわせて、この基板を 2ch ごとのユニットとし、全 8ch をコンパクトに収納できるよう工夫している。

(4)高圧電源基板の回路・基板設計

ロケットの 1 次電源を機器内部向け 2 次電源に変換する変換器、および APD に印加する高圧電源を搭載した基板の設計を電気メーカー(明星電気)と協議して進めた。

(5)制御基板の回路・基板設計

高圧電源およびアナログ信号処理の制御基板についても初期基板設計を実施し、想定する基板サイズに収まる事を確認した。

(6)信号読み出し回路基板の製造・試験

APD からのアナログ信号を読み出すアンプ・サンプルホールド回路基板の製造を実施した。機能性能確認のため、実験室において電

源，テストパルサー，オシロスコープと接続し，パルサーからテスト信号を入力した．パルサーからは，テスト信号と同期したりセット信号も配信した．このテスト信号に対する出力信号をオシロスコープでモニタし，設計通りの波形が得られることを確認した．

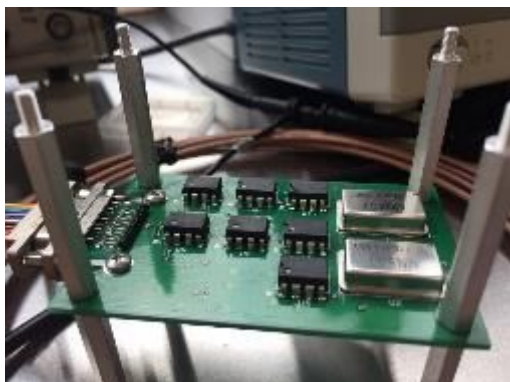


図 2:チャージアンプ基板の写真

(7)センサ回路部筐体構造の設計

アナログ基板・デジタル基板の配置を検討し，構造設計を実施した．センサをできるだけ小型化するような配置で設計した．

(8)ロケット実験の検討

搭載機会を確保すべく，米国の複数の観測ロケット実験への申請チームに参加した．その結果，1件について，搭載機会を得た．このロケット（RockSat-XN）は，コロラド大学がリードするロケットで，2018年度冬期にノルウェーのアンドーヤから打ち上げられる予定である．共同で提案をした日本チーム（宇宙科学研究所，東北大，名古屋大，電気通信大）の科学目的は，地球放射線帯の消失メカニズムの解明であり，オーロラ，電離圏降り込み電子，および磁場を同時に計測する事で，この問題に挑む．このなかで特に，本研究で開発してきた非熱的電子分析器が提供する電子のエネルギー・時間分散は，消失を駆動すると考えられる磁気圏のコラス波動を同定するのに重要なデータを提供する．

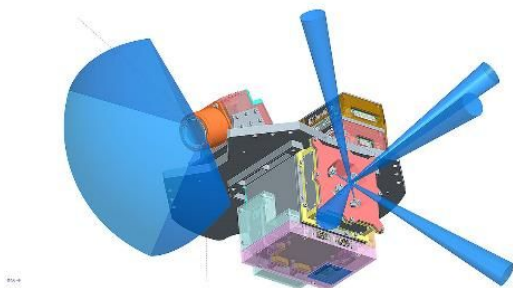


図 3:ロケットの計器板に搭載した電子分析器の図面．本研究で開発してきた電子分析器の他，オーロラカメラが搭載されている．

(9)高圧電源基板・制御基板の製造

高圧電源基板に関しては，単体での性能試験（DCDCの出力リップル調査，高圧出力の線形性・リップル調査）・回路修正などを実施した．制御基板についても単体でのテレメトリ・コマンド確認試験を実施した．そのうえで信号読み出し基板と接続してテストパルスを入力し，想定通りの動作を確認した．



図 4：電源基板・制御基板の写真．

(10)全体組上げ

検出器，基板，ワイヤハーネスなどをシャーシに取り付け，全体を組上げた．細部の形状修正なども実施した．

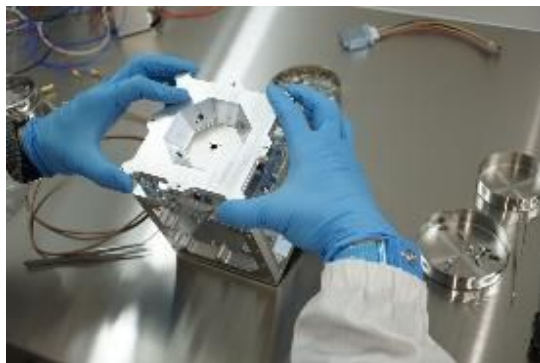


図 5:組上げ時の写真．

(11)性能試験

大気中での X 線照射，および真空中での電子照射を実施し，所期の低雑音レベル及びエネルギー分解能，そしてエネルギーと信号波高の関係の妥当性が確認できた．

5．主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

齋藤義文，小嶋浩嗣，笠羽康正，阿部琢美，笠原慧，松岡彩子，"太陽系プラズマの観測技術"，J. Plasma Fusion Res. Vol.90, No.12 780-785, 2014, 査読無し，URL:
http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2014_12/jspf2014_12-786.pdf.

〔学会発表〕(計 2 件)

Satoshi Kasahara, "Test model of energetic electron detector with 2-pi steradian field-of-view", Symposium on

Planetary Science 2017, 2017 年 02 月 21 日,
仙台 .

笠原慧, " Development of an energetic
electron detector with 2-pi steradian
field-of-view for planetary
explorations ", 第 17 回惑星圏研究会 2016
年 02 月 23 日, 仙台 .

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

笠原 慧 (Satoshi Kasahara)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号 : 00550500

(2) 研究分担者

なし ()

(3) 連携研究者

なし ()
研究者番号 :

(4) 研究協力者

なし ()