

## 宇宙環境計測装置の研究

### Study of space environment measurement equipment

松本 晴久、古賀 清一、木本 雄吾、越石 英樹、五家 建夫

Haruhisa Matsumoto, Kiyokazu Koga, Yugo Kimoto, Hideki Koshiishi, and Tateo Goka

環境計測技術グループ (Expert Group for Space Environment Engineering)

#### Abstract

The space environment which must be considered in the spacecraft design can be classified into five categories: vacuum, neutral gas, plasma, radiation, and micrometeoroid/orbital debris. The radiation is placed in it as the important environment because it has a large effect on the lifetime of the satellite and affects health of crewmember. With a focus on small lightweight light particles detector, neutron monitor and space borne magnetometer with picotesla sensitivity have been developed. This paper describes the summary of the result in the 16FY.

#### 1. はじめに

宇宙機を安全で高いコストパフォーマンスで利用していくためには、宇宙機の故障や障害に影響を与える宇宙環境を継続的に計測し、宇宙機の信頼性向上に資することが重要である。我々のグループでは、宇宙環境計測装置の性能向上を図ると共に搭載機会を拡大するためにセンサの小型・軽量化を目指している。中心的な研究テーマとして、小型・高性能軽粒子観測装置、中性子線量モニタ及び小型・高性能磁力計の研究がある。

#### 2. 研究成果

##### 2.1 小型・高性能軽粒子観測装置

###### 2.1.1 背景と目的

これまで宇宙放射線計測は、電子部品にもっとも影響を与える高エネルギー粒子を中心に計測を実施してきた。しかし、電子部品以外の帯電・放電現象等も加えると考慮すべきエネルギー範囲は、電子は、0.01~20MeV、陽子は0.1~500MeVとなる。特に、電子の数10keV、陽子の数100keVは、プラズマ計測装置の上限値にもあたり、計測が難しいことから観測例は非常に少ない<sup>1),2)</sup>。目標とするエネルギーを1台の装置で実現するのは困難なので、電子は、0.03~1.3MeV(低)、0.28~20MeV(高)の2つのエネルギー範囲にわけ2種類のセンサで計測する。また、陽子は、0.4~37MeV(低)、1.5~250MeV(中)、100~500MeV(高)の3つのエネルギー範囲にわけ3種類のセンサで計測する。なお、 $\alpha$ 粒子は、陽子と同時に計測し、エネルギー範囲は、各々の陽子センサで計測できる範囲とする。

## 2.1.2 成果

今年度は、昨年度開発した高エネルギー電子観測装置 (ELS-B) の照射試験を実施すると共に低・中エネルギーアルファ・陽子観測センサ (APS-A, B) 及び6センサを有する電子用ピッチ角分布観測装置を開発した (今回は、試作品のため6センサの内、3センサはダミー)。

### 1) 高エネルギー電子観測装置 (ELS-B) の照射試験結果

ELS-B に異なるエネルギーの電子 (300keV~1.6MeV) を照射した結果、入射エネルギーに対するほぼリニアのエネルギー感度 (6.1keV/ch) を取得し、ダイナミックレンジとして約 25MeV まで計測できることを確認した。エネルギー分解能 10% を目標としていたが、今回の試験は、計測範囲の低エネルギー領域のみであるため、分解能は 15%~30% となった。分解能の向上及び高エネルギー領域の確認のため平成 16 年度には、YAP で使用している反射材の見直し及び再照射試験を実施する。また、温度依存性 (0.3ch/°C (@ 1.6 MeV)) が確認されたので、搭載品では、センサ温度によりフォトマルの高圧電源をコントロールし、温度の影響を除くことを検討する。

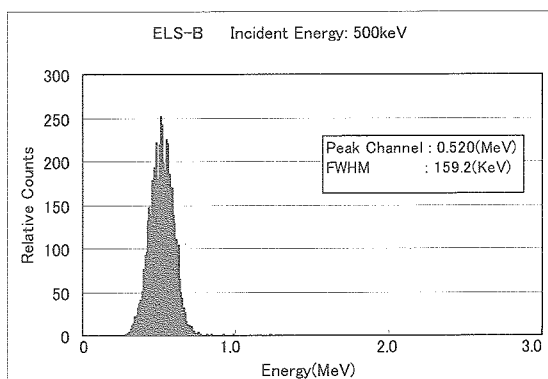


Fig. 1. Pulse-height distribution for 500 keV electrons.

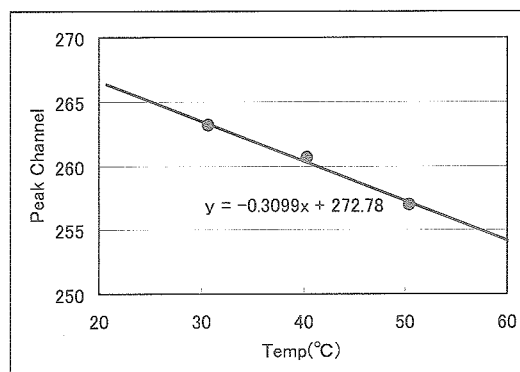


Fig. 2. Temperature characteristic of the ELS-B sensor output (@ 1.6 MeV electrons).

### 2) 低エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-A) の照射試験結果

当グループの静電加速器を用いて陽子 350keV~1.6MeV の照射試験、理化学研究所において He 135MeV/n の照射試験を行った。エネルギー分解能は、ADC が 8bit であるためデジタル的な分解能が支配的であり、FWHM で 17keV 以下 (0.5digit 相当) であった。中エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-B) も同様の性能を得た。

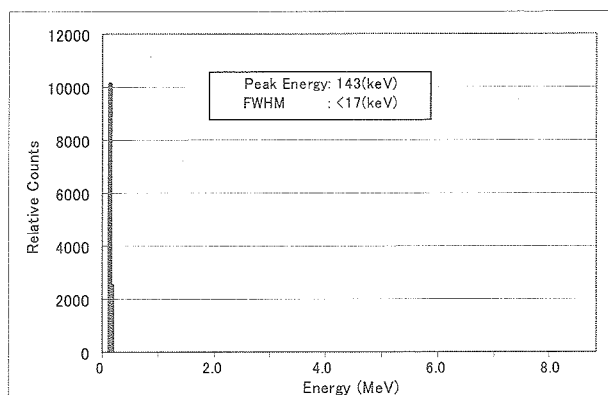


Fig. 3. Pulse-height distribution for 350keV protons.

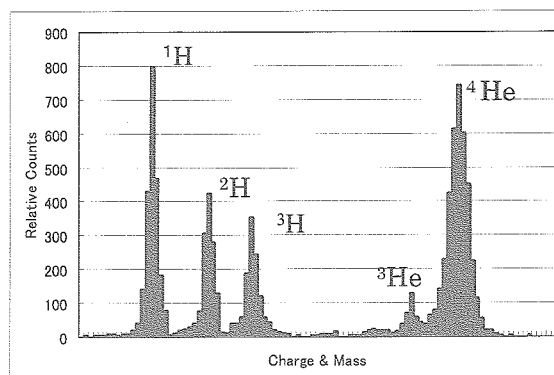


Fig. 4. Charge histogram of elements from H to He produced by 135 MeV/nuc He beam.

### 3) 電子用ピッチ角分布観測装置の照射試験結果

入射電子 (100keV~1.3MeV) に対する妥当な出力を得ることができた。センサ1とセンサ3のエネルギー分解能 (FWHM) は、22keV~32keVであった。しかし、センサ2は、2倍程度分解能が悪い結果となった。要因としては、装置の問題 (センサとプリアンプまでの引き回し等) ではなく照射試験での装置の設置上、センサ2が他のものよりビームラインに対して角度誤差が大きく、コリメータをかすって入射するイベントが多かったためと考えられる。平成16年度の再試験で確認する予定である。

## 2.2 中性子線量モニタ

### 2.2.1 背景及び目的

I S Sに搭載したBBNDで0.025eV~15MeVの中性子リアルタイム計測に成功したが、15MeV以上の正確な線量計測が実施されていないため、全体に対する中性子の寄与が明らかとなっていない。本研究の目的は、荷電粒子線や $\gamma$ 線から区別して、より確実に中性子 (1MeV以上) のみの線量寄与を求める中性子線量モニタ (3次元飛跡検出器) を開発することである。本装置は、早稲田大学が開発した装置<sup>3)</sup>をベースに船内の各所で計測可能にするため小型化、高速処理を実現する。エネルギー範囲の上限は、一般に検出器の大きさによって決定されてしまうが、開発する装置は、中性子のエネルギー情報を必要としない (LETの計測) ため、線量計測上の上限は存在しない。それよりもエネルギー下限をどこまで取得できるかが重要となる。

### 2.2.2 成果

昨年度までにセンサの中心部分であるシンチレーションファイバースタックを開発している。今年度は、粒子の飛跡検知として用いる75mmインテンシファイヤを試作し性能を評価した。

#### 1) インテンシファイヤの試作

高感度・高分解度 (512×512) で粒子の飛跡を観測するために大口径の75mmインテンシファイヤを試作した。受光面のストレートファイバーは、シンチレーションファイバースタックの発光波長を考慮し、SF047AS-13 $\mu$ m、電極蛍光面は、高速減衰のP46を採用した。また、MCPには、感度を上げるためChevronタイプを使用している。

#### 2) インテンシファイヤの分解度

径30 $\mu$ m、ピッチ3mmのピンホール・アレイに波長450nmの光を照射しインテンシファイヤの解像度を調べた。レンズの配置は、ズームインにし75mm蛍光面の中央部のみを測定した。プレートスケールは、30 $\mu$ m/ピクセルである。取得した画像から200 $\mu$ m以下の分解度を有することが分かった (図5)。

#### 3) 暗電流

図6に光電面OFFでの短時間露光暗電流像を示す。0.4 sec<sup>-1</sup>・cm<sup>-2</sup>と非常に少ない暗電流特性が得られた。また、図7に光電面をONにした短時間露光暗電流像を示す。2 sec<sup>-1</sup>・cm<sup>-2</sup>と非常に少ないフラットな暗電流特性が得られ、これまで最高と言われている25mm Galileo MCP Plateに匹敵する。

#### 4) フラットフィールドイメージ

フォトンカウンティングモード、高MCPゲインアナログモード、低MCPゲインアナログモード (図

9) でフラットフィールドイメージを取得した。おおきなうねりは見えなかったが、3種類の画像どれも中央にやや左部分に周囲より 20%明るい領域のあるのが認められた。これは、光電面感度がローカルに高いことを示しているかもしれないが、照明の非均一性の可能性も否定できない。20%は、センサ性能に悪影響を与えほどの値ではない。

5) 歪み

テレセントリック・レンズをズームアウトにして 75mm 蛍光面の全体を見えるようにしてグリッドパターンを測定した (図 10)。左端と右端とで  $120\ \mu\text{m}$  (0.16%) のズレが検出された。もちろん、これには、テレセントリックレンズの歪みも含まれるが、その大部分は入射窓と出力窓のストレートファイバの歪みと思われる。インテンシファイヤと CCD のカップリングにファイバーテーパーを使用するとその歪みは 1% を超えることが予想されるので、ここでの歪みは殆ど無いに等しい。



Fig. 5. Photograph of the Image Intensifier.

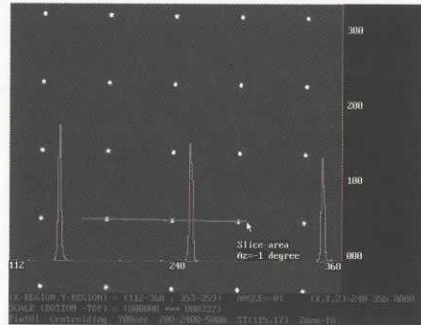


Fig. 6. Pinhole array image with blue LED.



Fig. 7. Dark current with photocathode OFF.

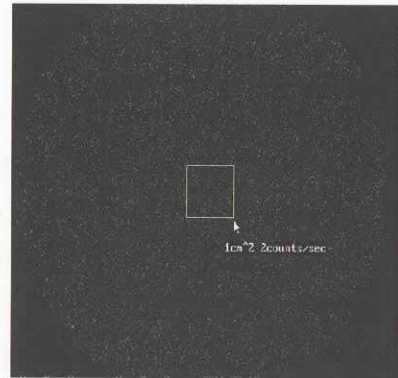


Fig. 8. Dark current with photocathode ON.

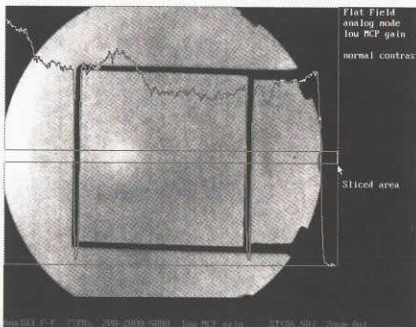


Fig. 9. Flat Field analog mode low MCP gain.

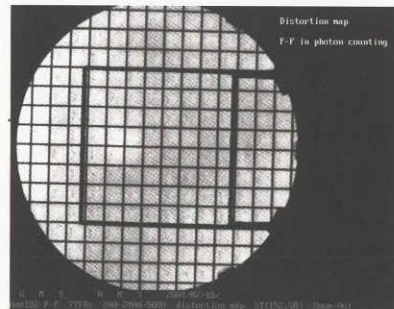


Fig. 10. Distortion map Flat Field in photon counting.



## 2.3 小型・高性能磁力計

### 2.3.1 背景と目的

磁場は、放射線の振る舞いと密接に関係し、宇宙環境を理解する上において欠くことのできない物理パラメータの1つである。欧州においては、高透磁率材料アモルファス合金を用いた小型で高性能なセンサを開発している。これらの諸外国の磁力計と対等に渡り合える優れた小型・高性能磁力計の開発を目指している。

### 2.3.2 成果

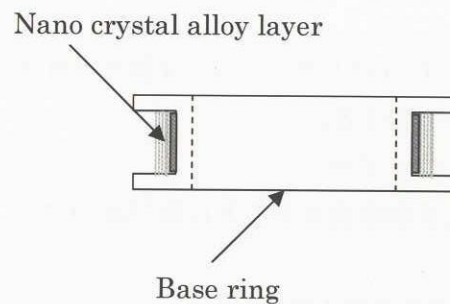
平成15年度は、新型リングコアを開発し、小型・高性能磁力計センサの試作、評価を実施した。

#### 1) 新素材型リングコア

フラックスゲートのリング材をパーマロイ合金から、磁気特性の優れたナノ結晶化合物に変更し、リングコアの低ノイズ化を図った。試作品の実測値は、従来のパーマロイより約100倍低ノイズの  $2.0\text{pTrms}/\sqrt{\text{Hz}} @1\text{Hz}$  が得られ、ナノ結晶化合物を用いたリングコアの成立性と、特性向上の可能性が確認できた。今後の回路調整で1pT以下を目指す。



Fig. 11. Trial manufacture ring core



#### 2) センサ試作

リングコアの実装方式の変更（リングコア3個→2個）及びリングコアの小型化により、MDS-1に搭載した磁力計より質量におい1/3である52.4gまでの小型軽量化を実現した。また、データ処理回路部の設計・試作を実施し、計測ダイナミックレンジを従来の96dbより120dbまで拡大した。

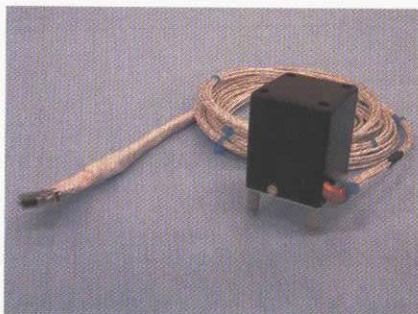


Fig. 12. Photograph of the magnetometer sensor.

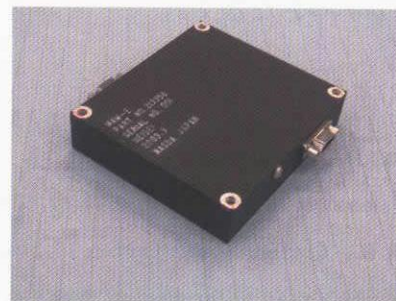


Fig. 11. The photograph of the data processing division of the magnetometer.

### 3. まとめ

#### 3.1 小型・高性能軽粒子観測装置

- 1) 低・中エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-A、APS-B) 及び電子のピッチ角分布観測装置 (ELS-A 複数センサ) の開発を実施し、寸法、質量、消費電力等目標とする装置を開発することができた。特に、電子のピッチ角分布観測装置は、検討までの予定であったが装置開発まで実施することができた。
- 2) 高エネルギー電子観測装置 (ELS-B)、APS-A 及び APS-B の評価試験を実施し、目標とした性能を満足することが確認できた。
- 3) 平成16年度は、GOSAT衛星搭載に向けて搭載仕様を決定すると共に搭載品の性能向上に向け、さらに試作品による性能評価試験を実施する。

#### 3.2 中性子線量モニタ

75mm インテンシファイヤーは、従来品に比べて非常に多くの新しい要素を含んでいたが、全ての項目にわたり要求を満足する結果となった。また、システム検討の結果下記の仕様を満足する見通しを得た。

##### ①小型化

大口径 75mm インテンシファイヤー (光子増幅度 100 万倍以上) 用いても装置の重量は 6kg 以下を満足する。

##### ②高速処理

500×500ピクセルながら4個のCCDアンプを同時に用いて、4.25MHzで読み出しを行うことで50画面/秒を実現する。

##### ③インテンシファイヤー

目標とした性能を満足する大口径 75mm インテンシファイヤーを開発することができた。

#### 3.3 小型・高性能磁力計

目標とした高感度化、センサの小型化 (マストを含み 600g 以下) を実現できた。また、コアの低ノイズ化に関しては目標 (10pT 以下) を上回る結果 (2pT) を得た。2.0pT は、超電導量子干渉計 ; SQUID (Super Conducting Quantum Interference Device) を利用した磁力計の <1pT に迫るものであり、医学機器等への民間転用も可能である。また、今後の回路調整で 1pT 以下を実現できれば、フラックスゲート型では世界トップレベルとなる。

#### 参考文献

- 1)Winningham, J.D, Sharber, J.R., Frahm, J.A., Burch, J.L., Eaker, N., et al.: 1993, The UARS Particle Environment Monitor, J. Geophys. Res. 98, 10, 649-10,666
- 2) Belian, R.D., Gisler, G.R., Cayton, T., and Christensen, R.: High-Z Energetic Particles at Geosynchronous Orbit During the Great Solar Proton Event of October 1989, J. Geophys. Res. 97, A11, 16,897-16,906
- 3)Terasawa, K., Doke, T., Hara, K., Hasebe, H., et al.:2001, A Small Scinillating Fiber Camera Consisting of 0.25 mmSquare Fibers for Space Dosimetry, IEEE Trans. Nucl. Sci., 48, 4, 1, 118-1,121