

JAXA/ISTA の環境計測装置（放射線計測装置）の開発

環境計測技術グループ 松本晴久

概要：JAXA/ISTA で開発している放射線計測装置の開発経緯と現在開発している軽粒子観測装置のうち低エネルギー電子観測装置の成果について述べる。

1. はじめに

我々のグループでは、軌道上不具合の評価、宇宙飛行士への影響評価及び衛星設計に利用できる環境データベースの構築を目的とし、継続して衛星に放射線観測装置を搭載してきた。長期・短期の宇宙放射線変動を明らかにするためには、更なるデータの充実（データの精度向上、継続）が必要である。

そのためには、宇宙環境計測を目的とした専用衛星の打ち上げまたはセンサを小型・軽量化し他のミッション衛星に搭載することが考えられる。専用の観測衛星打ち上げには、自ら制約があるので、センサの小型化・軽量化が有効な手段となる。また、これまで計測の中心は、電子部品にもっとも影響を与えるエネルギー範囲の計測であったが、諸外国の衛星で電子部品による不具合以外に帯電・放電現象の不具合が多発していることや有人被ばくを考えると計測すべきエネルギー範囲を拡大する必要がでてきた。少なくとも電子：0.01～20MeV、陽子：0.1～500MeV のデータが必要となる。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、実測例が少なく計測しなければいけないデータと考える。本報告では、これまでの放射線計測装置の開発経緯、照射試験が終了し、性能が明らかとなった低エネルギー電子観測装置について述べる。

2. 開発の経緯

1997年12月に、気象衛星（GMS）に宇宙環境モニタ（SEM）が搭載され、SEMの開発者、SEMデータ解析者、宇宙環境に係わる研究者でSEM研究会を発足させた¹⁾。GMS-4以降は、SEMが搭載されなくなったことを機に、旧NASA衛星に技術データ取得装置（TEDA）が搭載されることになった。TEDAは、放射線計測と部品・材料の劣化・誤動作を計測する装置から構成された。当初の放射線計測装置は、ETS-V衛星（静止衛星）に搭載した、シリコン半導体検出器が2枚という非常に簡単な装置であった。開発を重ねることによりエネルギー計測範囲を拡大すると共にエネルギー分解能を向上させてきている²⁾。2002年に打ち上げられたMDS-1に搭載した放射線吸収線量モニタの観測からは、図1に示す磁気赤道上での電子のフラックス分布や図2に示す電子のピッチ角分布などの貴重なデータが得られるに至っている。

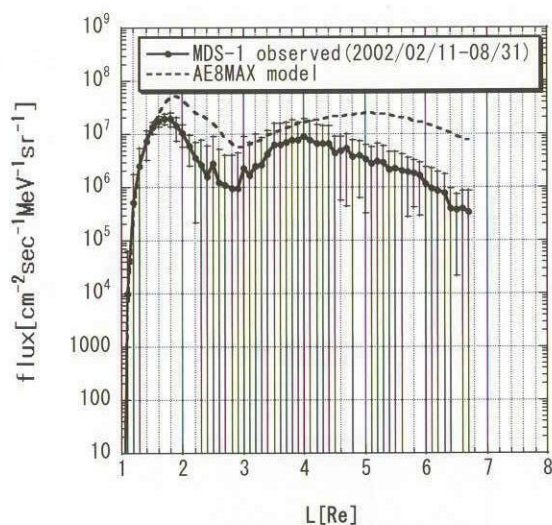


図1 磁気赤道上で電子 (0.35-0.78MeV) のフラックス分布の比較、 $E_{avg}=0.57\text{MeV}$

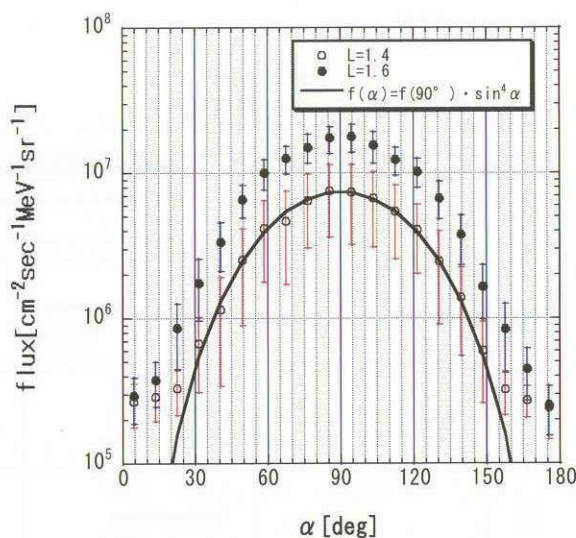


図2 内帯での電子 (0.35-0.78MeV) のピッチ角分布

3. 小型・高性能軽粒子観測装置(LPT)の開発

開発するにあたり、以下の目標を立てた。

3.1 目標

1) 計測エネルギー範囲及び粒子弁別

エネルギー計測範囲は、電子：30keV～20MeV、陽子：400keV～500MeV、ヘリウム：3MeV～2GeVとした。図3に示すとおり3つの特徴をもたせている。

① 低エネルギー領域の拡大

電子の数10keV、陽子の数100keVから計測を行う。プラズマ計測装置の上限にあたり、観測例が少なく、表面帯電及び準内部帯電に重要なデータとなる。

② 高エネルギー領域の拡大

電子3MeV以上、陽子100MeV以上、He 400MeV以上の計測を行う。観測例が少なく、精度良く計測されていない。100MeV以上の陽子は、シングルイベントに大きな影響を与える。また、太陽フレア発生等では、高エネルギーの比率が高くなることが多いが、データが少ない。

③ 3He と 4He の弁別

太陽フレアの発生メカニズム、衛星等への影響を知る上で重要なデータとなる。

2) その他の特性

時間分解能は、1秒、エネルギー分解能は、3% (FWHM) 以下、総重量は8kg以下とした。また、センサの電気ノイズは、エネルギー換算で、ELS-Aは、9keV (0-ピーク) 以下、高エネルギー電子観測装置 (ELS-B)、低エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-A) 中エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-B) は、30keV (0-ピーク) 以下、高エネルギーアルファ・陽子観測装置 (APS-C) は、80keV (0-ピーク) 以下とした。目標としている各センサ構成とその仕様を表1に示す。ビンのエネルギー分解能を図4に示す。

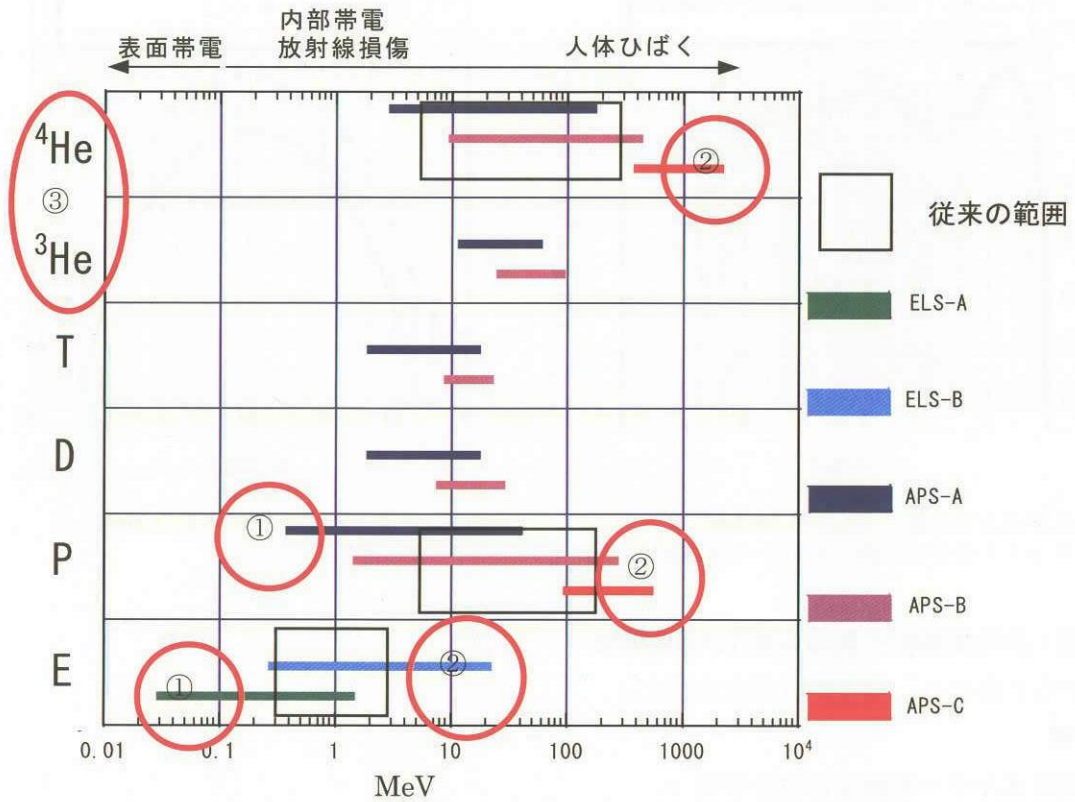


図3 計測範囲とその特徴

表1 LPTの概要

Sensor	Detectors	Particle	Performance
Electron Sensor-A (ELS-A)	S1: 80 μ m, Φ 4mm S2-S4: 1.5mm, Φ 18mm	electron	0.03MeV~1.3MeV, >1.3MeV (21bin)
Electron Sensor-B (ELS-B)	S1 : 80 μ m, Φ 4mm S2 : GSO	electron	0.28MeV~20.0MeV (14bin)
Alpha Proton Sensor-A (APS-A)	S1: 50 μ m, Φ 7mm S2,S3 : 1.5mm, Φ 18mm	proton deuteron tritium 3 He 4 He	0.3MeV~37.0MeV (21bin) 3.0MeV~16.0MeV (5bin) 2.0MeV~16.0MeV (3bin) 12.0MeV~54.0MeV (4bin) 3MeV~160MeV (16bin)
Alpha Proton Sensor-A (APS-B)	S1: 250 μ m, Φ 8mm S2-S4 : 1.5mm, Φ 18mm	proton deuteron tritium 3 He 4 He	1.5MeV~250.0MeV (13bin) 8.0MeV~26.6MeV (6bin) 9.2MeV~20.7MeV (3bin) 12.0MeV~84.3MeV (6bin) 10MeV~400MeV (10bin)
Alpha Proton Sensor-C (APS-C)		proton He	100MeV~500MeV 100MeV/nuc~500MeV/nuc

3) リソース

実現された重量、寸法、電力を表2に示す。本装置は、静止トランスファー軌道搭載を想定しセンサーにシールドを施しているが、開発目標である、総重量 8kg 以下に対してセンサハーネス(1.5m)重量 970g を含め 7,626g で達成できる見通しを得た。さらに、低軌道衛星の場合は、5,698g で実現できる。

表2 リソース

Equipment	Weight (g)	Size (mm)	Power (W)
LPT-E	1,400	200(W)×120(D)× 65(H)	7.4
ELS-A	585	115(W)× 85(D)× 65(H)	1.5
ELS-B	1,187	133(W)× 78(D)× 65(H)	1.1
APS-A*	1,100	120(W)× 90(D)× 65(H)	1.6
APS-B*	1,100	120(W)× 90(D)× 86(H)	1.9
APS-C	1,284	134(W)×120(D)× 71(H)	1.9

*:Goal

4. 低エネルギー電子観測装置(ELS-A)

4.1 シリコン半導体検出器の開発

小型化のためにシリコン検出器とそのマウント部の小型化を図った。また、低エネルギー側に範囲を拡大するために従来のアルミ遮光膜 (200 μ m 厚) に換え、検出器の表面に 2 μ m 厚の蒸着を施した。完成した検出器に擬似太陽光 (1 ソーラ強度) を入射し、トリガがかからないことを確認することができた。図4に開発した 1.5mm 厚シリコン半導体検出器の写真を示す。

4.2 センサ評価結果

しきい値を 20keV に設定してもトリガーが、かからないことからセンサーを接続した装置全体としてノイズが 20keV 以下であることが分かった。ELS-A の目標とする観測範囲は、30keV~1.3MeV であるが、照射試験は、それより範囲が広い、20keV~1.4MeV で実施した。ストラグリングのために 20keV と 25keV の照射試験でも非常に少ないカウントが観測された。これらのことからエネルギーの下限値は 30keV で妥当と判断した。また、40keV の照射でテレスコープの特性も取得した。エネルギー分解能は、平均で 20.4keV(FWHM)であった。図5~7に試験結果、図8に装置の外観を示す。



図4 1.5mm厚シリコン半導体検出器。

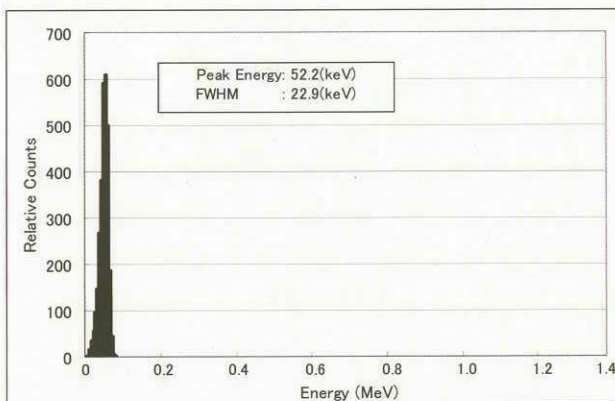


図5 電子 50keV 照射試験結果

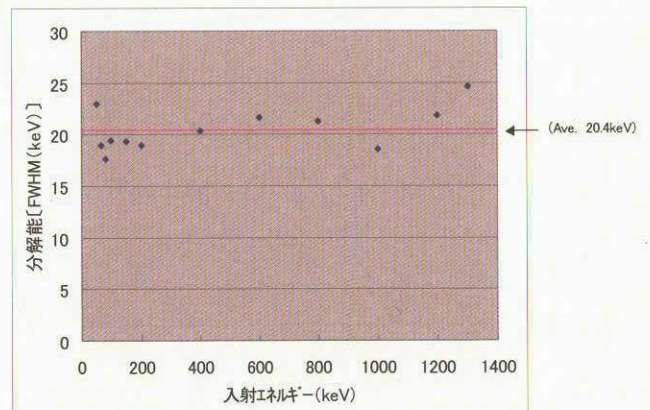


図6 ELS-B のエネルギー分解能。

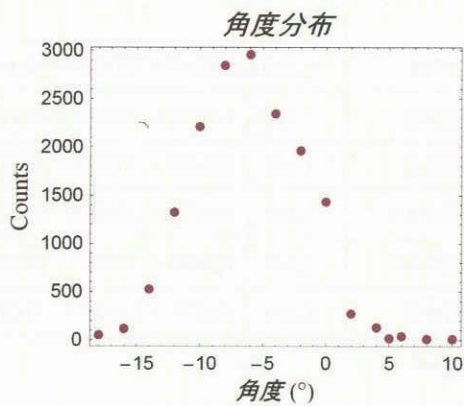


図7 電子 40keV 照射時のテレスコープ特性



図8 ELS-A の外観

5. まとめ

地球磁気圏で運用されている諸外国の装置と比べ同等以上の性能を出すことができた。今後は、これの装置を継続して搭載することにより衛星の故障・障害の解析及び衛星の信頼性向上に資するデータを取得していきたい。

参考文献

- 1) SEM 研究会報告 (5)、1988年1月
- 2) 松本晴久、五家建夫、越石英樹、木本雄吾、“高エネルギー軽粒子モニタの開発”、宇宙放射線、Vol. 1, No.1