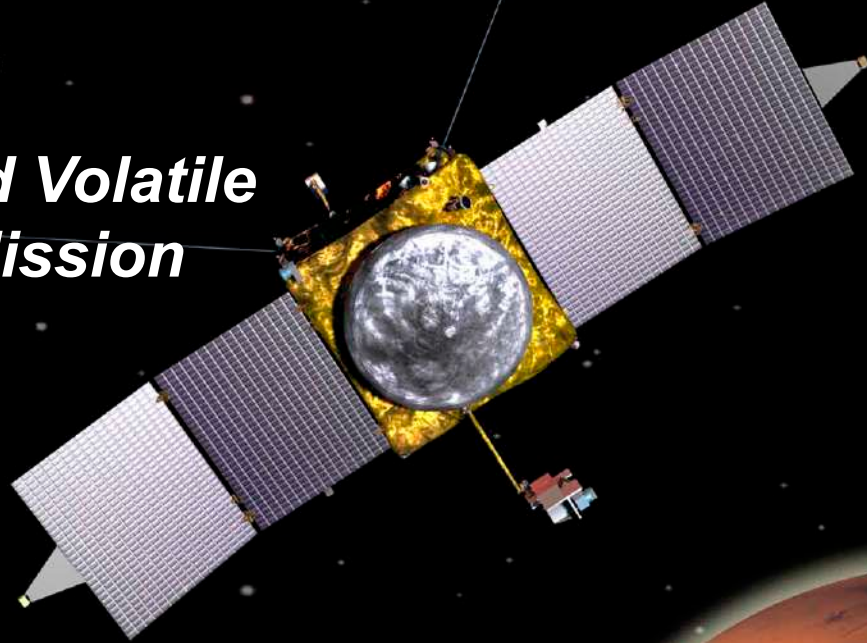




Mars Atmosphere and Volatile EvolutionN (MAVEN) Mission



第42回火星勉強会

Halekas et al., 2013, The Solar Wind Ion Analyzer for MAVEN, Space Science Review, doi:10.1007/s11214-013-0029-z.

2015-02-10

原田裕己

Solar Wind Ion Analyzer (SWIA)

- PFP: STATIC, SEP, SWIA, SWEA, LPW, MAG
- 比較的シンプルな観測器構造、運用、データ構成
- 時間分解能4 sでオンボードモーメント計算、3次元イオン速度分布も比較的高い時間・エネルギー・角度分解能で取得
- 太陽風によるエネルギーインプットや、火星磁気圏の構造を主に観測

- MAVEN science questions:
 1. What is the current state of the upper atmosphere and ionosphere, and what processes control it?
 2. What are the rates of escape of atmospheric gases to space today and how do they relate to the underlying processes that control the upper atmosphere?
 3. What has been the total loss to space through time?
- 太陽風は火星誘導磁気圏の主な駆動源のひとつ
- SWIAの主な役割は太陽風を計測すること
- 主に惑星起源イオンを計測する質量分解機能付のSTATICと相補的な観測を実施

SWIA性能要求

- ✓ MAVEN Level 3 measurement requirements
 - プロトン速度: 50—1000 km/s (エネルギー: 13—5000 eV)
 - エネルギー分解能: <15%
 - 時間分解能: <60 s
 - FOV: 180°x40°
 - 静電ディフレクターを採用
 - 角度分解能: <30° (太陽方向は<10°)
 - 微分エネルギーフラックス: 10^7 — 10^{10} eV /cm² /s /sr /eV、精度 <25%
 - MHzでカウント可能な検出器と機械式アテニュエーターを搭載することで幅広いダイナミックレンジを達成

ヘリテージ

- 種々の部品や分析器の形状などは、過去にSSLで開発された静電分析器のヘリテージを活用
 - Wind/PESA-H, PESA-L, FAST/ESA, THEMIS/ESA, Cluster/CIS
- $\pm 45^\circ$ のディフレクターとアテニュエーターは新規開発

観測器デザイン

蓋を開ける電源は衛星から直接供給

Re-closable Cover Mechanism

二次接地グリッド: MCPバイアス電圧からのポテンシャルが静電分析部に漏れ出るのを防ぐ

接地グリッド:

周辺プラズマからのポテンシャルを遮蔽

正の電圧を印加しイオンをはねのける
光電子の発生を抑えることができるが、
負電圧に比べてディフレクション効率はある

4.75 keVまで全 $\pm 45^\circ$ ディフレクション、
端での感度低下を50%に抑える

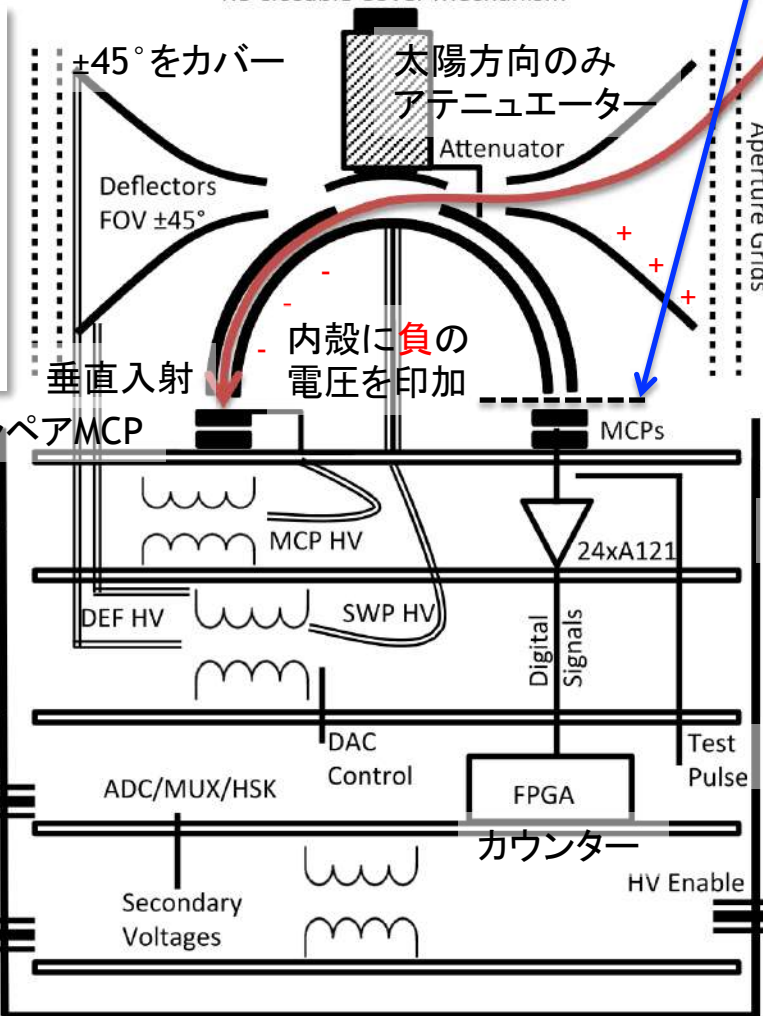
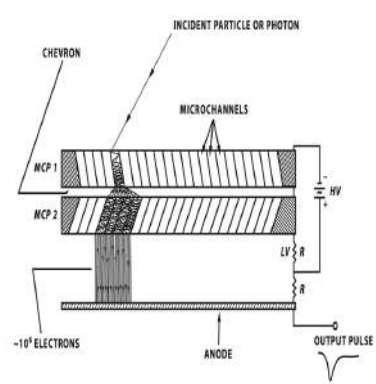
プリアンプ: 上限レート12 MHz、閾値変更可能
Preamp/MCPHV Board デッドタイムは100 nsに固定

SWEEP Board

HVなしでプリアンプのテストが可能

Digital Board

積分時間1.7 ms x96Ex24D
~ 4 s フルサイクル



MCP droopは通常
気にしなくて良い

S/C
Services

Atten
Ctrl

CLK/
CMD/
TEL

PFDPUへ

Primary
Power

Secondary
Voltages

ADC/MUX/HSK

DAC
Control

FPGA

カウンター

HV Enable

Anode Board

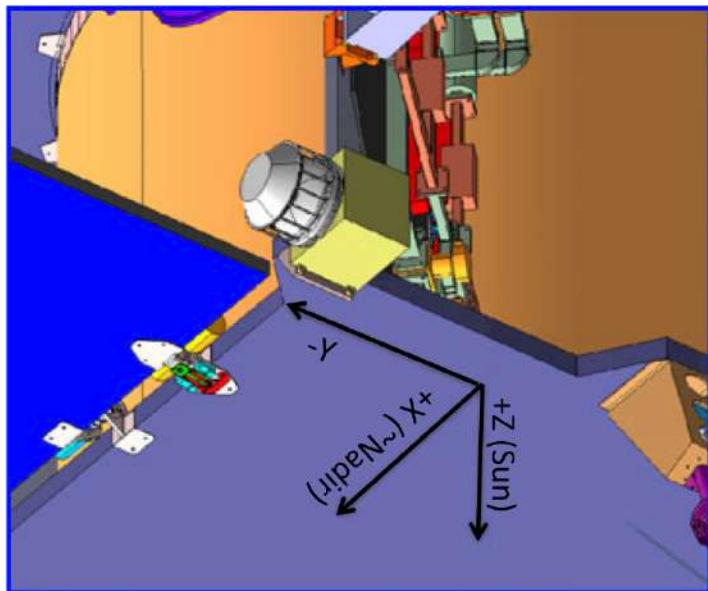
Preamp/MCPHV Board

SWEEP Board

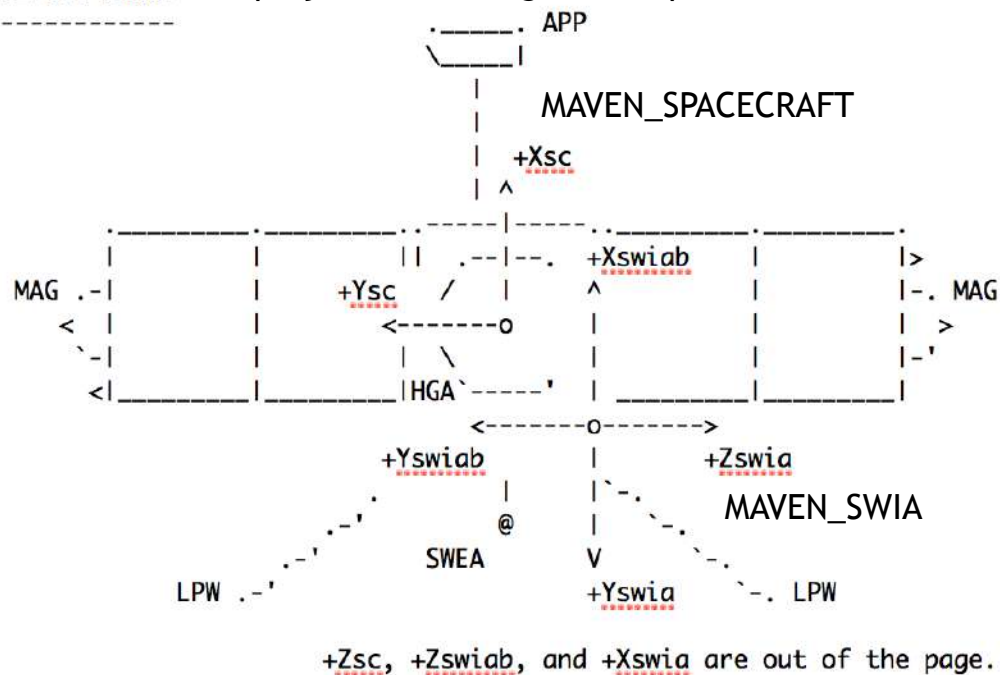
Digital Board

LVPS

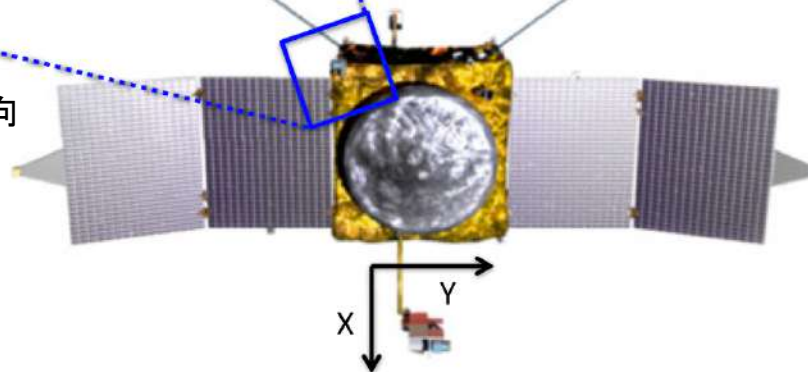
衛星への搭載と座標系



+Z s/c side:



ほとんどの時間+Zscと+Xswiaが太陽方向
ディフレクションは±Ysc、±Zswia方向



スペック

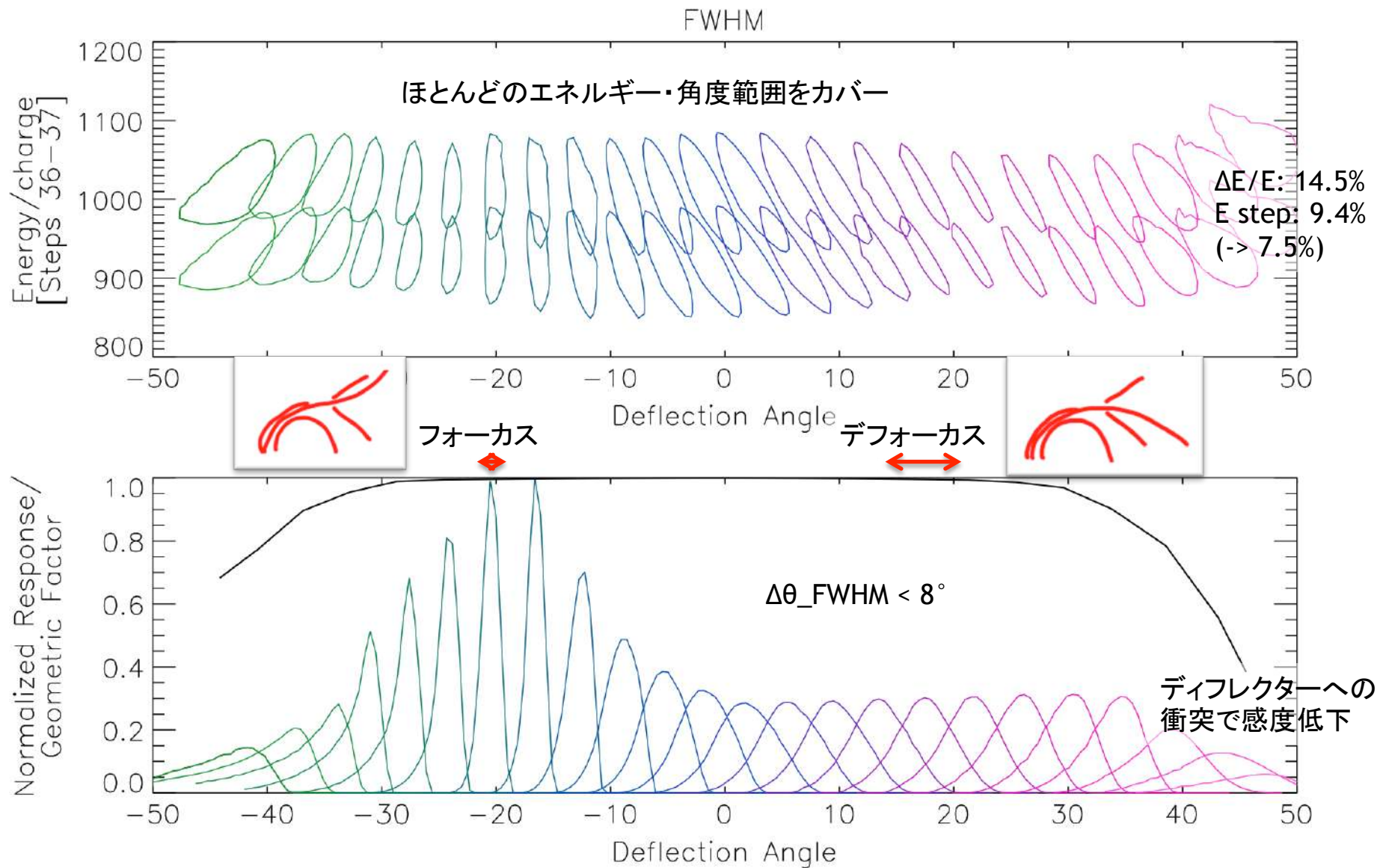
Parameter	Performance	Requirement	Comments
Resources	1.75 W, 2.62 kg, $22 \times 16 \times 14 \text{ cm}^3$		Sensor only, no blankets, PFDPDPU converter efficiency not included
Analyzer Radii	R0 = 0.622 cm, R1 = 3.168 cm, R2 = 3.377 cm, R3 = 5.192 cm, R4 = 5.877 cm		R0 = Origin of toroidal section R1, R2 = Inner/outer hemisphere toroidal radii R3, R4 = Inner hemisphere/ top cap spherical radii
Analyzer constant	7.8		Measured
Deflector constant	6.4		Deflector/inner hemisphere voltage ratio for 45° deflection
Energy range	5.1 eV–26 keV	13 eV–5 keV	Nominal sweep, 96 steps
Analyzer energy resolution	14.5 %	15 %	Intrinsic
Binned energy resolution	9.4 % P0/P2 18.8 % P1		Nominal sweep
Accumulation Interval	1.7 ms		
Distribution Cadence	4 s	60 s	Sum or sample for lower rate to fit within available telemetry
Field of View	$360^\circ \times 90^\circ$ ($360^\circ \times \pm 45^\circ$)	$180^\circ \times 40^\circ$	Minus spacecraft obstructions Smaller for energies > 4.75 keV
Angular Resolution	$22.5^\circ \times 22.5^\circ$ P1 $4.5^\circ \times 3.75^\circ$ P2	30° (10° in sun direction)	Intrinsic theta resolution varies with deflection (see Fig. 3)
Geometric Factor	$0.0056 \text{ cm}^2 \text{ sr eV/eV}$		Predicted: 360° analyzer X grid transmission X MCP efficiency
Attenuator	15		Full attenuation factor
Differential Energy Flux Range	$10^4\text{--}7 \times 10^{11}$ eV/[eV cm ² s sr]	$10^7\text{--}10^{10}$ eV/[eV cm ² s sr]	Count rates of a few Hz to 3 MHz, within A121 capability and above MCP background
Raw (P0) distribution	96 Energy $\times$ 24 Anode $\times$ 24 Defl.		Primarily a calibration product
Fine (P2) distribution	48E $\times$ 10A $\times$ 12D		Centered around peak rate Can sub-select 32E $\times$ 6A $\times$ 8D
Coarse (P1) distribution	48E $\times$ 16A $\times$ 4D		Fine anodes summed together Can bin to 24E or 16E
Energy spectra	48E		Sum over coarse product
Moments	n, V, P, Q		13 values, calculated onboard

2014-11-27以降25 eV–26 keVに変更

2014-11-27以降7.5%に変更

1アノードあたり数Hz—数MHzまでカウント可能
小アノード: $5 \times 10^4\text{--}7 \times 10^{11} \text{ eV/eV/cm}^2\text{/s/sr}$
大アノード: $1 \times 10^4\text{--}5 \times 10^9 \text{ eV/eV/cm}^2\text{/s/sr}$

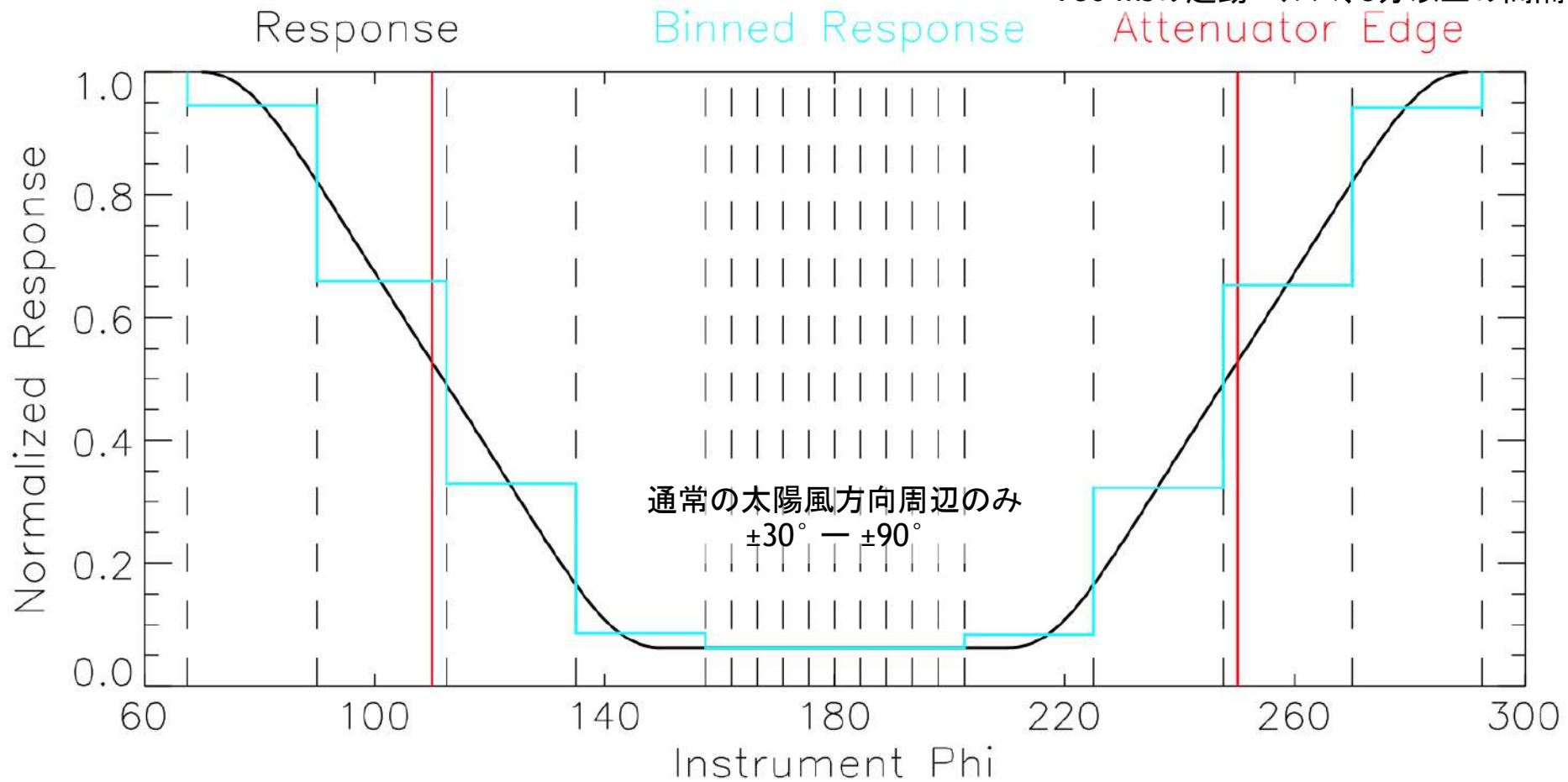
エネルギー – 角度応答



アテニュエーター

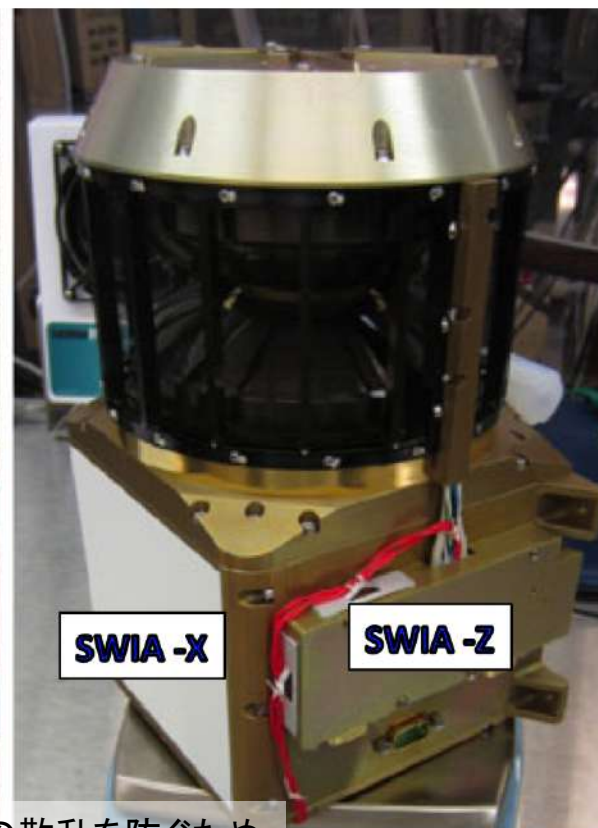
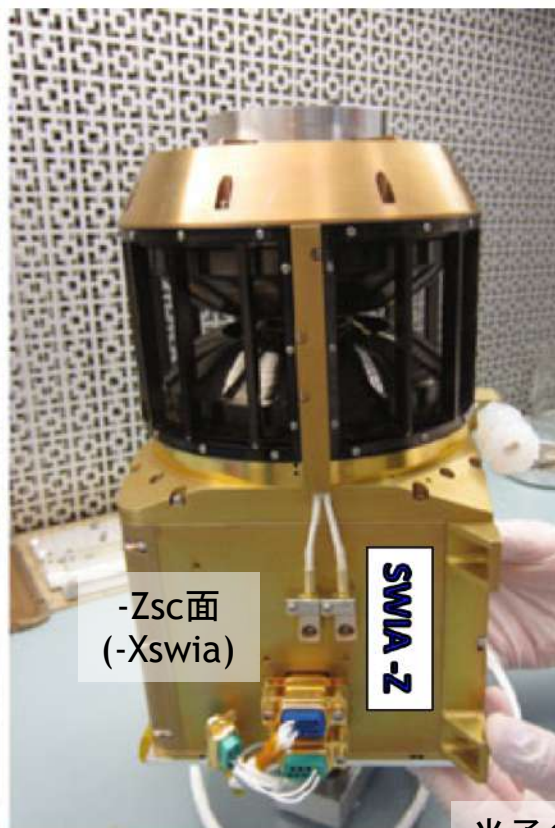
スリット付のシリンダーを機械的にスライドさせることで感度を1/15に減らす
太陽風フラックスが大きな時でもサチらずに計測可能

開閉には形状記憶合金ワイヤを使用
12,000サイクル以上の寿命を確認
750 msの起動パルス、5分以上の間隔

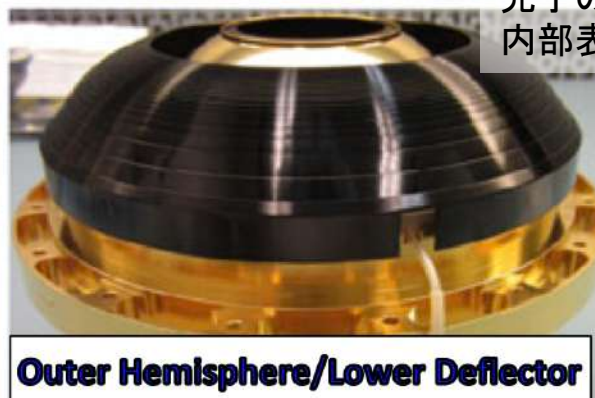
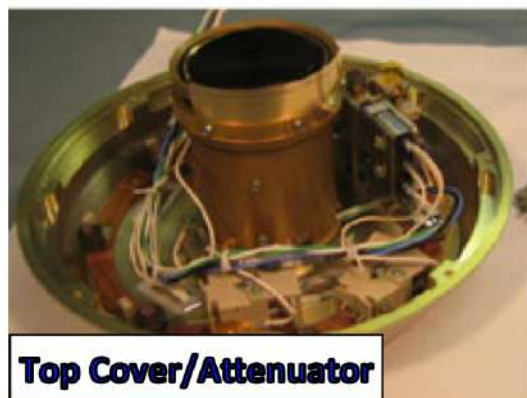


太陽風方向以外は感度を減らさない
太陽風方向からずれたピックアップイオンなどを計測可能

組立部品

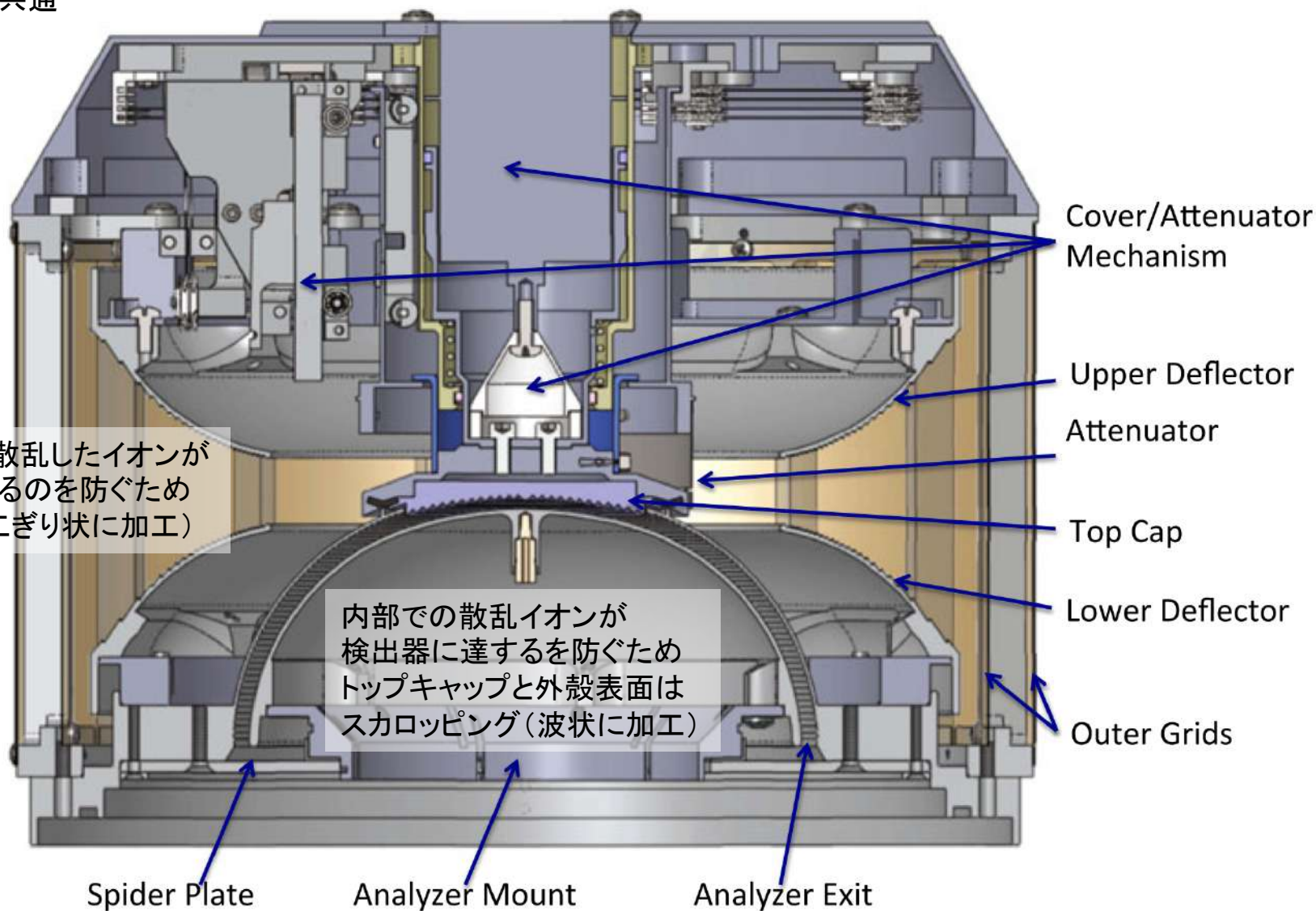


光子の散乱を防ぐため
内部表面は黒色塗装



静電分析部断面図

STATICとほぼ共通



データプロダクトと視野

キャリブ用

(データが大きすぎて通常運用では地上に伝送できない)

96Ex24Ax24D

P0 (Raw)

アノード

4.5°x10

22.5°x14

ディフレクション

3.75°x24

太陽風用

P2 (Fine)

48Ex10Ax12D

カウントピーク周辺の
48Ex12Dを自動的に選択
(変更可)

元の分解能を維持

太陽風ビームを分解可能

P1 (Coarse): $E < 4.75$ keV

シース・磁気圏用

P1 (Coarse): $E = 25$ keV

48Ex16Ax4D

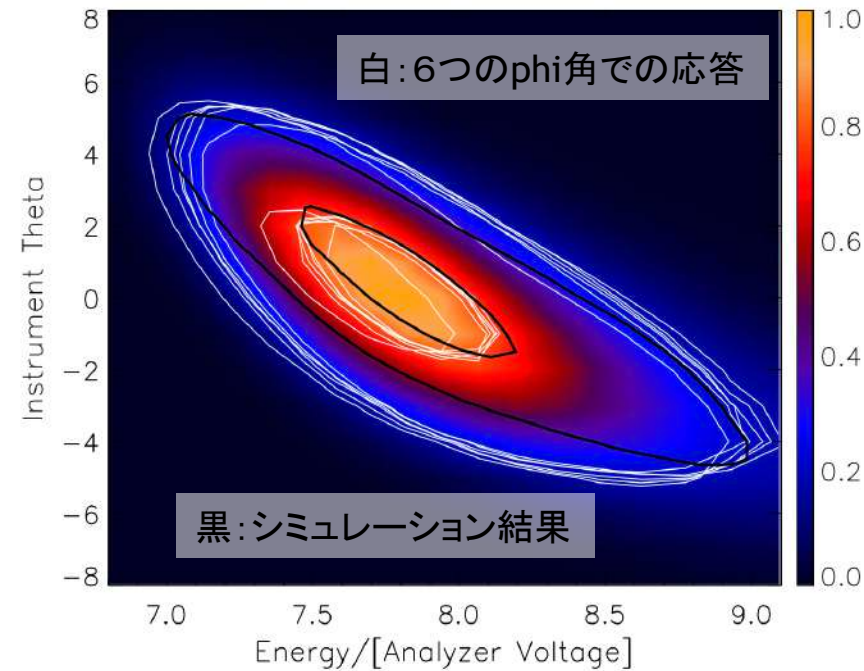
22.5°x16

隣り合うE,A,Dピンを足し合わせる、全範囲をカバー

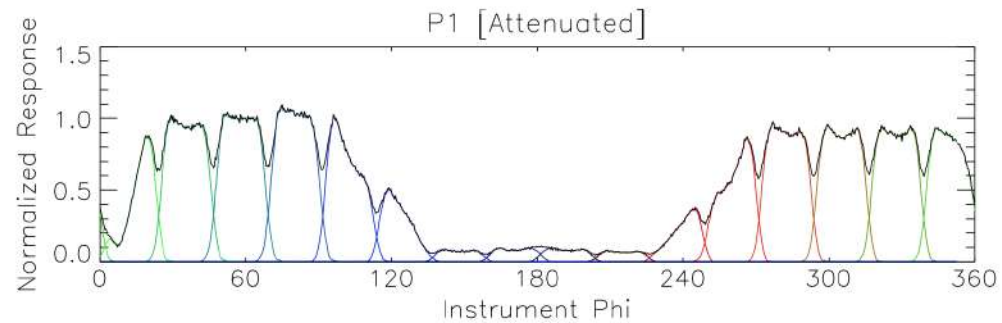
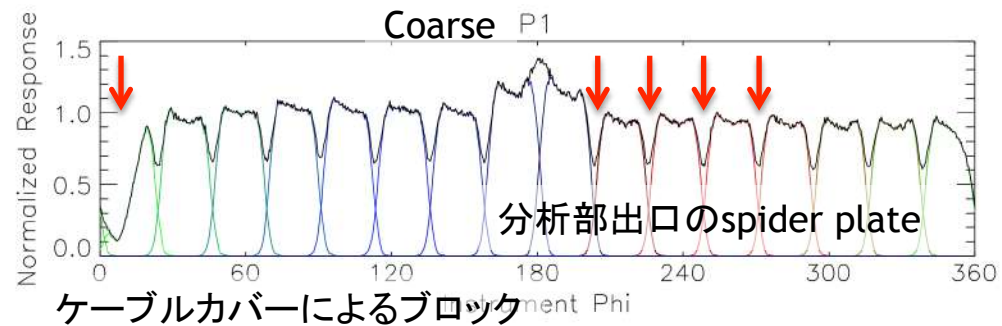
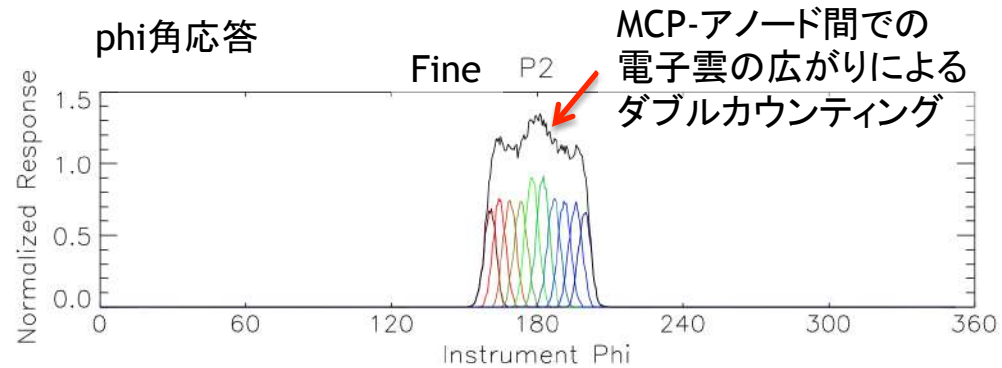
22.5°x4

地上較正

エネルギー - 角度応答



phi角応答

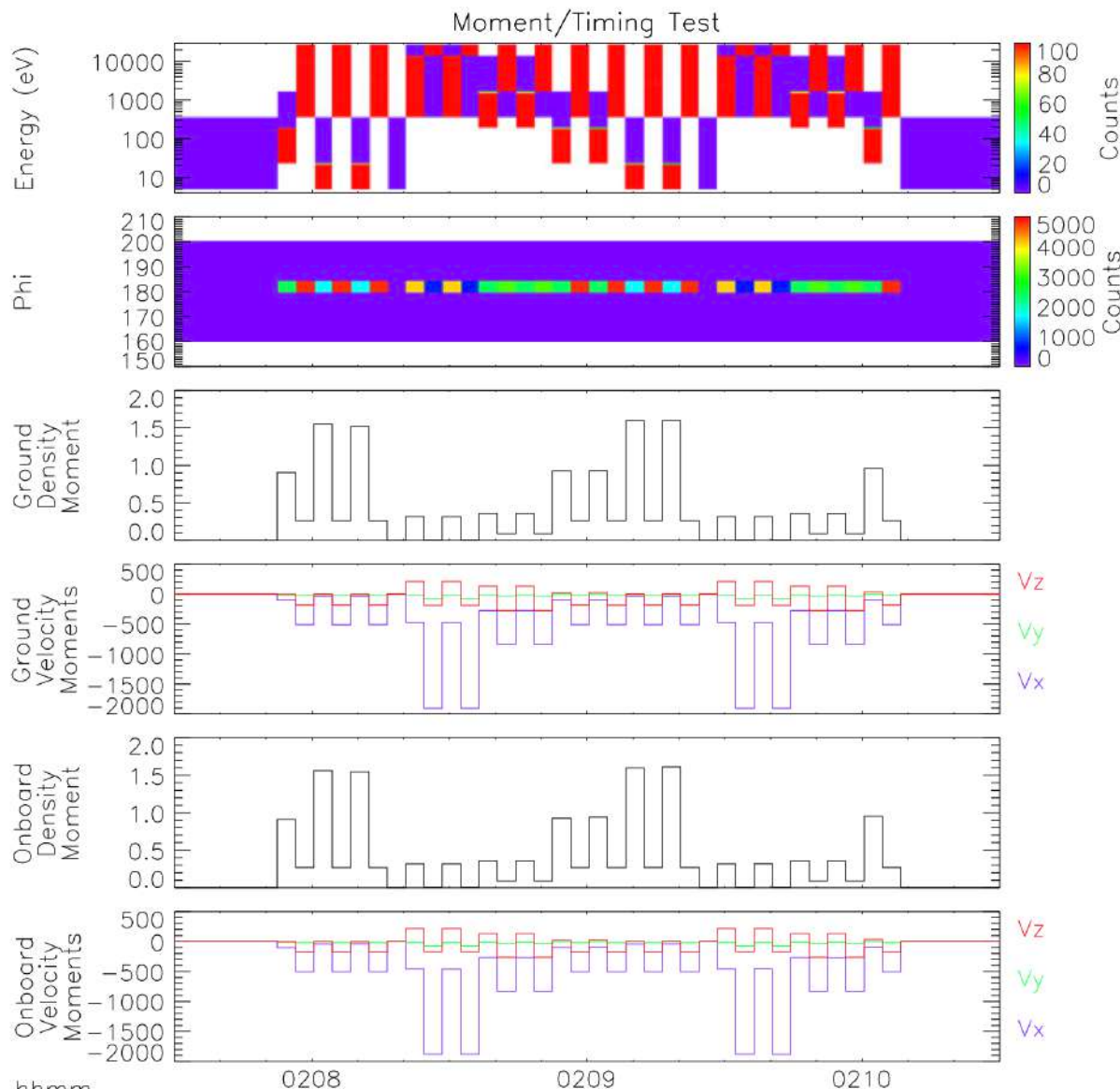


アテニュエーターon
シミュレーション結果とよく一致

最終データプロダクト

- PFDPUがSWIAからP0, P1, P2, HSK, LUTメッセージを受け取り、バッファに貯める
- フライトソフトウェアがビニング、サミング、サンプリング、モーメント計算して地上に伝送するデータプロダクト(Raw, Coarse, Fine, Moment, Spectra, Housekeeping)を生成
 - Moment: オンボードで計算したイオンモーメント
 - Spectra: 全方向のカウントを単に足し合わせた1次元エネルギースペクトル
- CoarseとFineについては、SurveyとArchiveの2種類の形式
 - Survey: 基本的に全て地上に伝送
 - Archive: PFDPUのメモリに最長2週間貯めておくことができ、Surveyデータを見て高解像度がほしい期間を(テレメトリの制限に合わせて)人間が選んで下ろしてくる

オンボードモーメント計算



2013 Apr 19

- 密度(スカラー)、速度(ベクトル)、圧力(テンソル)、ヒートフラックス(ベクトル)の13の値
- FOV上でのg-factorの変化も考慮に入れた係数テーブルを使用して計算
- 全てのイオンをプロトンと仮定
 - 太陽風中では密度・速度への影響は小さいが、温度は正しくない
 - 重イオンがたくさんいる磁気圏内ではエラーが大きくなる
- 地上テストでフライトソフトウェアが正常に動作することを確認

- ハードウェアのモードは(アテニューエーターのon/offを除いて)1種類のみ
 - 常に一つのスイープ・時間間隔で観測
- 2種類の伝送モード
 - Solar Windモード**: 3dはFineメイン+より広い時間間隔でCoarse、モーメントはP2から計算
 - Sheathモード**: 3dはCoarseのみ、モーメントはP1から計算
- モード切り替えはP1とP2のカウント比に従って自動でトリガー(閾値変更可能、モード切替最短期間も変更可能)
 - カウントがP2に集中している場合はSolar Windモード、P1にもばらけている場合はSheathモード
- $2^n \times 4$ s間隔で時間方向に足し合わせ／サンプリングし、地上に伝送
 - FineとMomentはサンプリングのみ可能
- アテニューエーターはピークカウントレートに従って自動起動(閾値変更可能、on/off最短期間も変更可能)
- 1つのパケットにつき1つの伝送モード・アテニューエーター状態しか記録されないため、MomentとSpectraパケット(16セット／1パケット)については途中で変更があった場合、最大15セットに状態の曖昧さが残る

PFPテレメトリモード

Table 2 Sample survey and archive telemetry

Product (Size including packet headers)	Coarse (Full 48E = 3168 bytes, Med 24E = 1584 bytes, Low 16E = 1056 bytes)	Fine (Short 32 × 8 × 6 = 1552 bytes, Long 48 × 12 × 10 = 5808 bytes)	Spectra (784 bytes for 16 spectra)	Moments (432 bytes for 16 sets)	House-keeping (108 bytes)	Total Data Rate (bits per sec)
1x: 最悪を想定したモード						
1× Solar Wind Survey	Med every 128 s (99 bps)	Short every 32 s (388 bps)	8 s cadence (50 bps)	4 s cadence (54 bps)	64 s cadence (13.5 bps)	604.5 bps
1× Sheath Survey	Med 32 s (396 bps)	None	8 s (50 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	513.5 bps
High-Angle Low-Time 1× Solar Wind Survey	Full 256 s (99 bps)	Long 128 s (363 bps)	8 s (50 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	579.5 bps
High-Angle Low-Time 1× Sheath Survey	Full 64 s (396 bps)	None	8 s (50 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	513.5 bps
1.5× Solar Wind Survey	Med 256 s (49.5 bps)	Short 16 s (776 bps)	8 s (50 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	943 bps
1.5× Sheath Survey	Med 16 s (792 bps)	None	8 s (50 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	909.5 bps
2× Solar Wind Survey	Med 64 s (198 bps)	Short 16 s (776 bps)	4 s (100 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	1141.5 bps
2× Sheath Survey	Med 16 s (792 bps)	None	4 s (100 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	959.5 bps
3.25× Solar Wind Survey	Med 64 s (198 bps)	Short 8 s (1552 bps)	4 s (100 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	1917.5 bps
3.25× Sheath Survey	Med 8 s (1584 bps)	None	4 s (100 bps)	4 s (54 bps)	64 s (13.5 bps)	1751.5 bps
Nominal Solar Wind Archive	Full 32 s (792 bps)	Long 8 s (5808 bps)	None	None	None	6600 bps to Archive
Nominal Sheath Archive	Full 8 s (3168 bps)	None	None	None	None	3168 bps to Archive

- 当初の想定より多くのバンド幅がPFPに割り当てられたことと、実際の圧縮率が高かったため、現在は4xモードで運用中 (SWIAは3.25xモードと同じ)
- 今後も基本的に4xモードで運用する方針とのこと

注意点

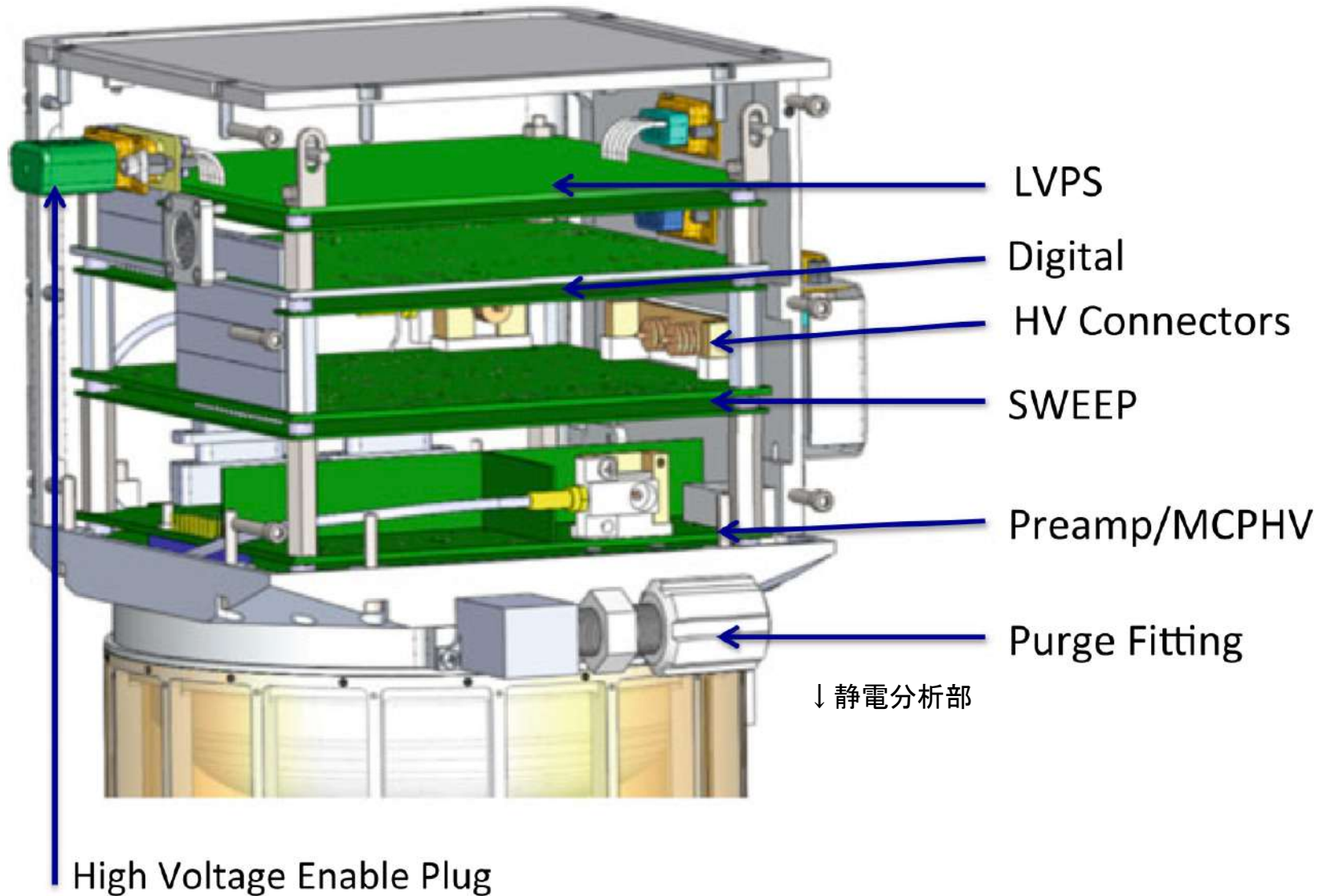
- 質量分解なし
 - フラックスは質量依存しないが、密度・速度などモーメントには重イオン部分によってファクター $\sqrt{M}$ のエラー
- 限られたFOV、エネルギー範囲
 - イオン速度分布が広がっている磁気圏内では視野外・エネルギー範囲外のイオンは見逃してしまう(STATICと相補的観測)
 - 太陽風中でもビームが視野の端に掛かる場合は注意(quality flag参照)
- 衛星帯電
 - 低エネルギーイオン観測に影響(LPWによる衛星電位観測あり)
 - 2014-11-27以降、下限エネルギーが25 eVに引き上げられたのでSWIAの観測には衛星電位の影響はほとんどないか？(STATICの低エネルギーイオン観測には超重要！)
- バックグラウンドカウント
 - STATICのようにcoincidenceを取れないので、SEPイベント時には注意が必要
- モード・アテニューエーター切替
 - 一旦切り替わると、しばらくそのままの状態をキープするようになっているので、一時的に最適な観測ができない可能性
- オンボードSpectraデータ
 - 時間分解能4 sでイベントを見つけたりするには便利だが、FOV上のg-factorの変化などを考慮していないので、フラックスなど物理量を用いた定量的な解析には向いていない
- モード・アテニューエーター切替時のMoment, Spectraデータ
 - 1パケット中の不確定なモード・アテニューエーター状態

IDL解析ソフトウェア

- <http://sprg.ssl.berkeley.edu/data/maven/misc/socware/>
で最新版のソフトウェア(毎日更新)を入手可能
- mvn_swia_crib (Start here!)
 - Describes how to load and work with data structures
- mvn_swia_protonalphamoms
 - Calculate separate alpha/proton moments from fine 3-d distributions
- mvn_swia_part_moments
 - Compute partial moments for coarse or fine 3-d distributions, for selected energy and angular ranges
- mvn_swia_regid
 - Identify the region of space, from SWIA & MAG data
- mvn_swia_diret, mvn_swia_diretmag (Yuki Harada)
 - Calculate partial energy spectra for given angular ranges
- mvn_swia_slice2d_snap (Yuki Harada)
 - Plot 2-d velocity distributions

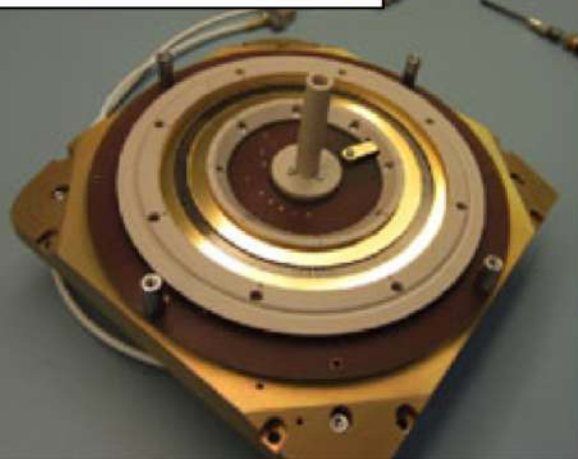


エレクトロニクス部

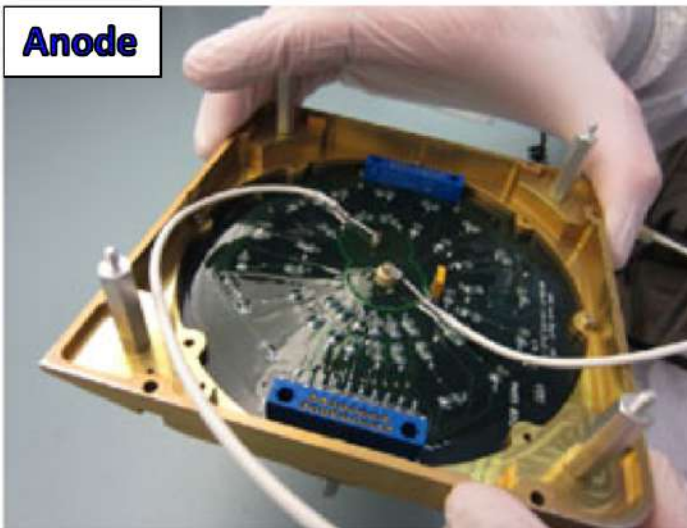


回路基板

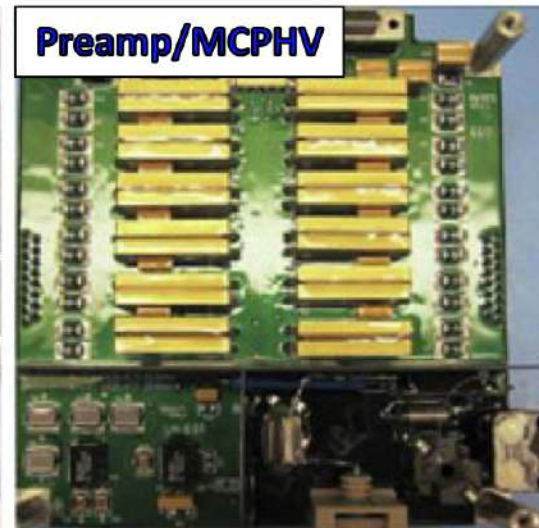
Anode/MCP Assembly



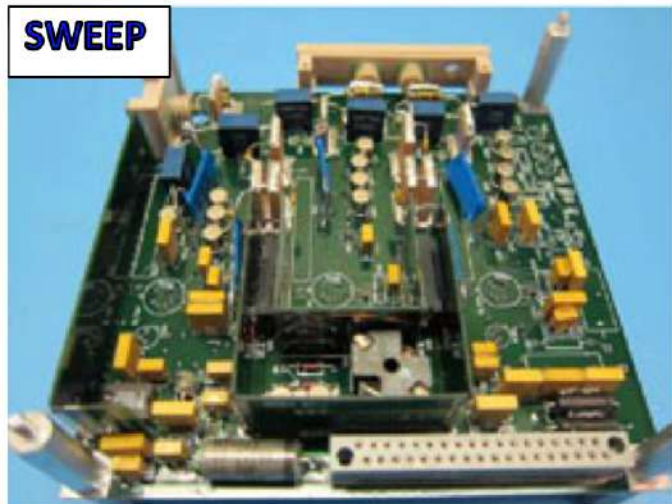
Anode



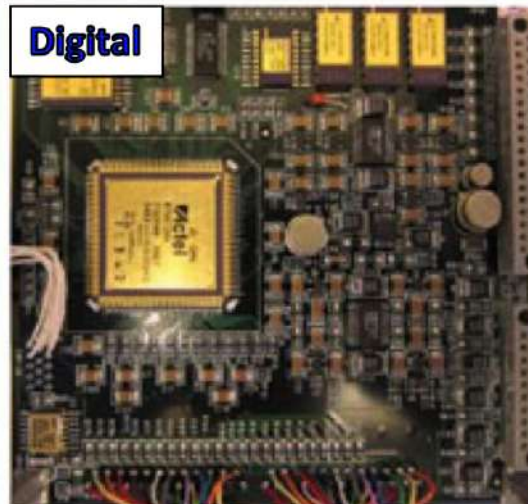
Preamplifier/MCPHV



SWEEP



Digital



LVPS

