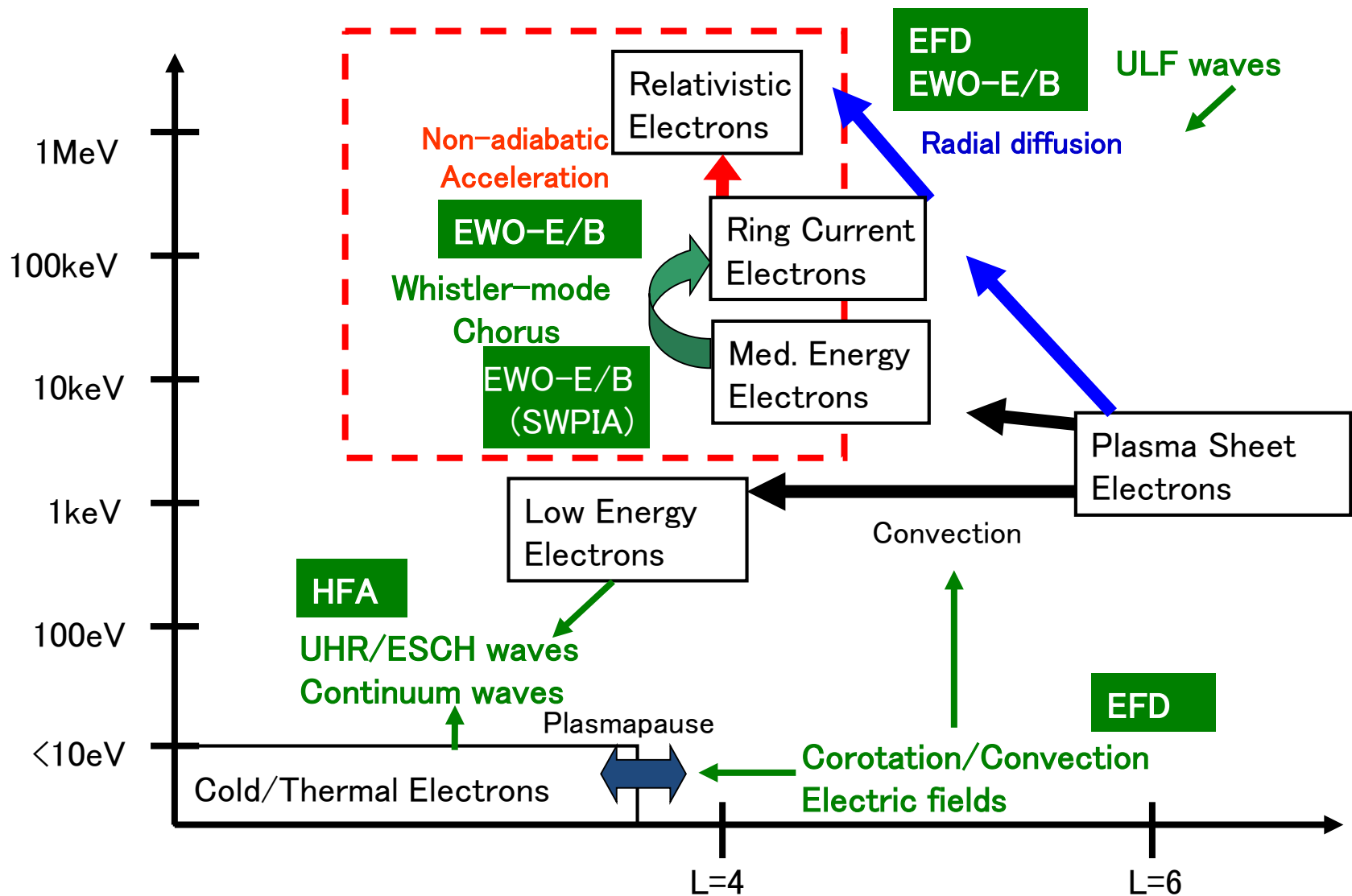


# ERG衛星による電場・磁場・プラズマ波動観測： 観測器仕様と観測計画

笠原禎也<sup>1</sup>, 笠羽康正<sup>2</sup>, 八木谷聡<sup>1</sup>, 石坂圭吾<sup>3</sup>, 尾崎光紀<sup>1</sup>, 熊本篤志<sup>2</sup>, 土屋史紀<sup>2</sup>,  
井町智彦<sup>1</sup>, 松田昇也<sup>4</sup>, 太田守<sup>1</sup>, ERG/PWEチーム,  
松岡彩子<sup>5</sup>, 寺本万里子<sup>5</sup>, 野村麗子<sup>5</sup>, 能勢正仁<sup>6</sup>, 藤本晶子<sup>7</sup>, 田中良昌<sup>8</sup>, 篠原学<sup>9</sup>, ERG/MGFチーム,  
小嶋浩嗣<sup>6</sup>, 加藤雄人<sup>2</sup>, 疋島充<sup>5</sup>, 高島健<sup>5</sup>, 浅村和史<sup>5</sup>, 三好由純<sup>4</sup>, ERG/S-WPIAチーム

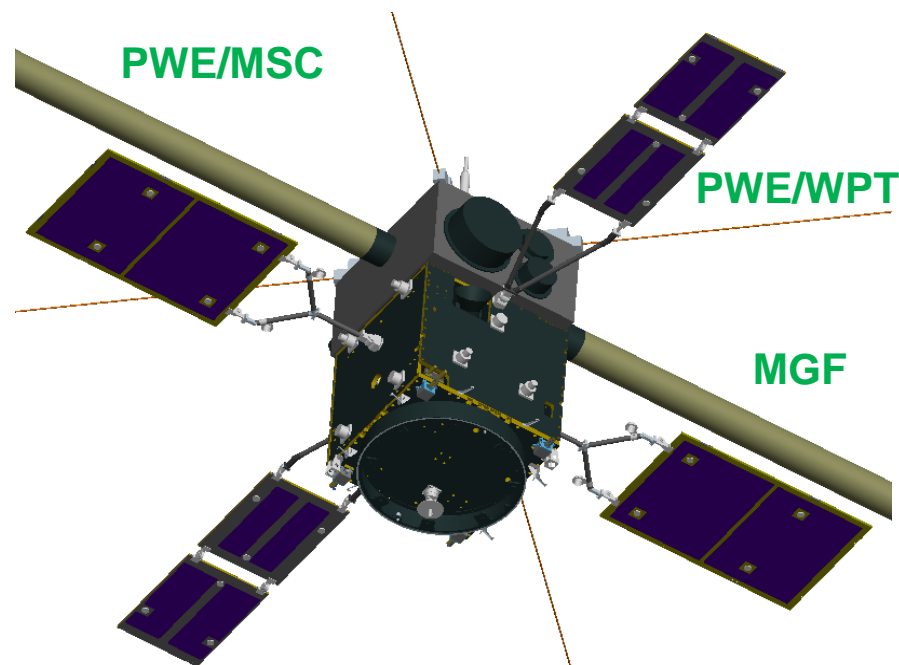
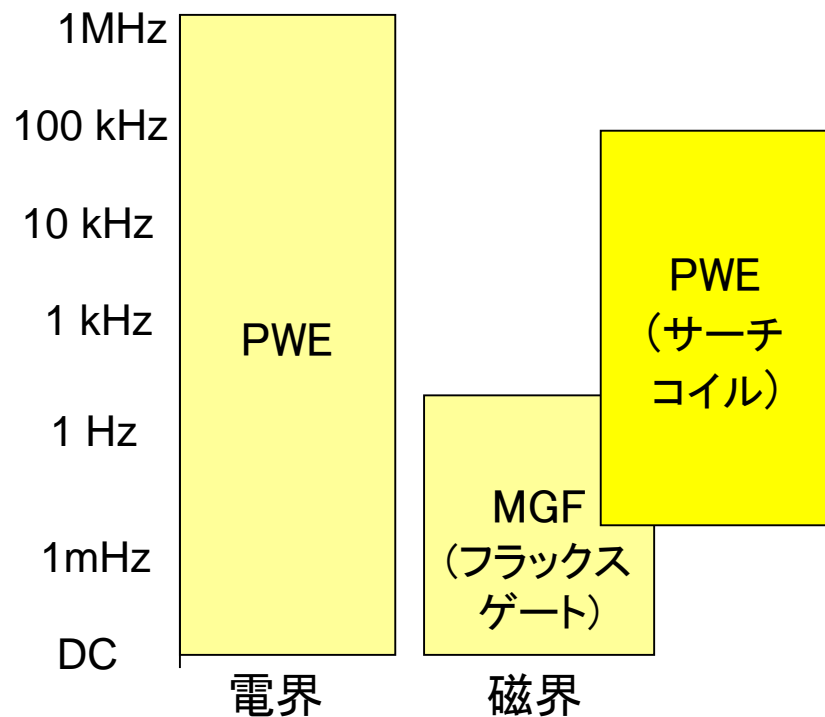
1 金沢大・自然研, 2 東北大・理, 3 富山県大・工, 4 名大/ISEE,  
5 JAXA/ISAS, 6 京大・理, 7 九大, 8 極地研, 9 鹿児島高専, 10 京大・RISH





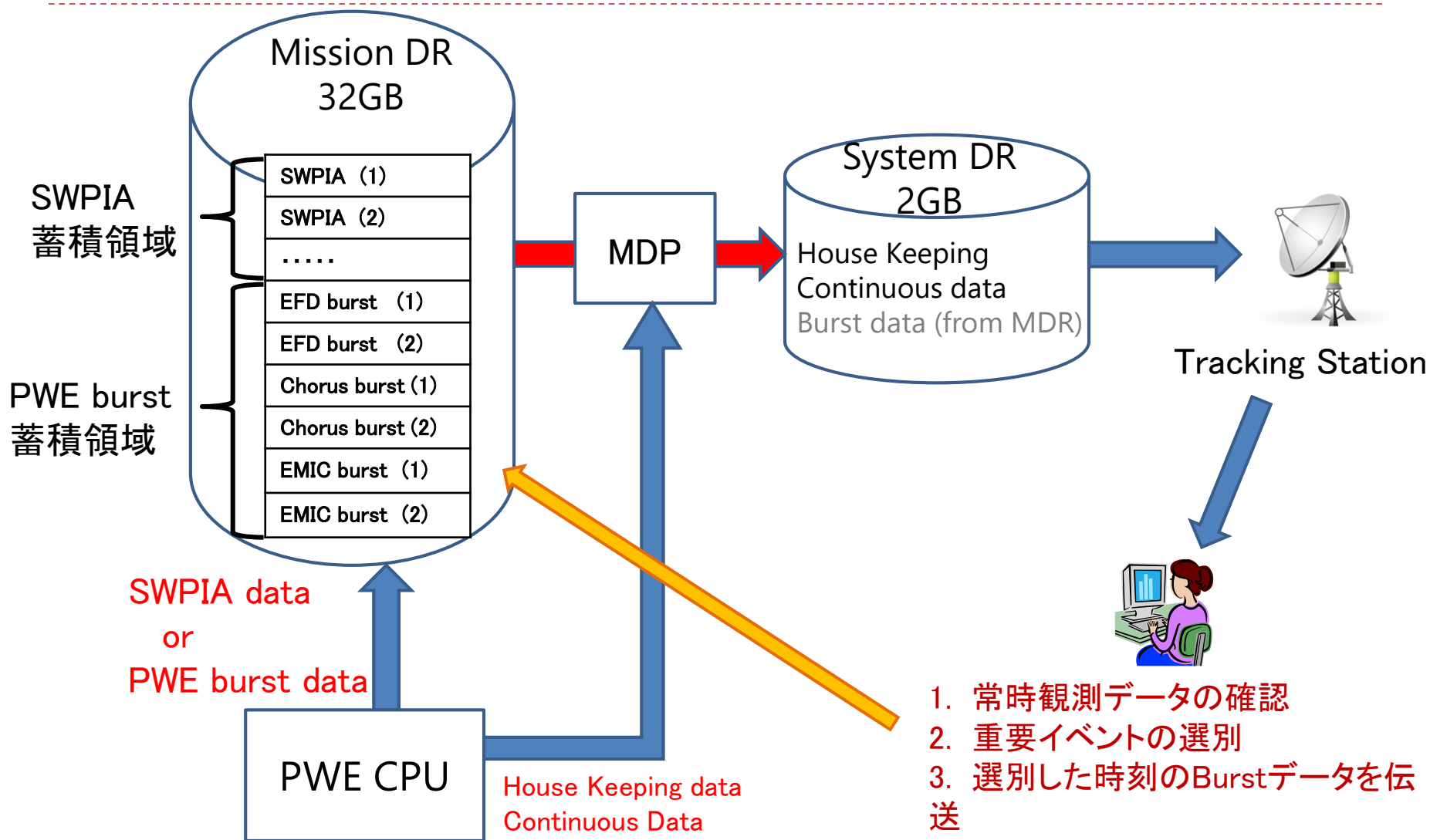
# Wave-particle interactions in the inner magnetosphere

# ERG PWE+MGF Overview

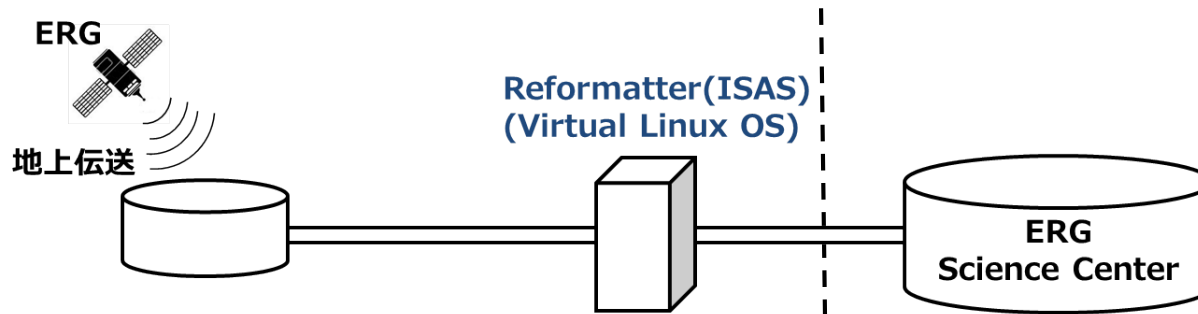


- 背景電場・磁場、MHD波動、イオンサイクロトロン波動、ホイッスラー、UHR波動を観測
- 電子の輸送・加速・消失を引き起こすプラズマ波動の観測
- 背景電子密度の高精度観測

# 観測データの流れ



# 地上データパイプライン処理



## Level 0 (Telemetry)

PWE  
MGF  
PPE  
S-WPIA  
etc.

CCSDS形式

Raw data format

Level 0'  
(CCSDS(TBC))  
(データ種毎に分割)

Quick Look (Reformatter@ISAS)

## Level 1

EFD  
DPB  
SPB  
OFA  
Spectrum  
S-matrix  
Complex

HFA  
MGF

CDF or text 形式

Non-calibrated

Level 1'  
Calibration

## Level 2

E-vector  
Spectrum(E & B)  
Waveform  
Density  
Potential etc.

B-vector  
(SC & geocentric  
coordinates)

CDF形式  
(After Calibration)

データ解析ツールは、IDL & SPEDAS  
ベースでERG-SCより提供

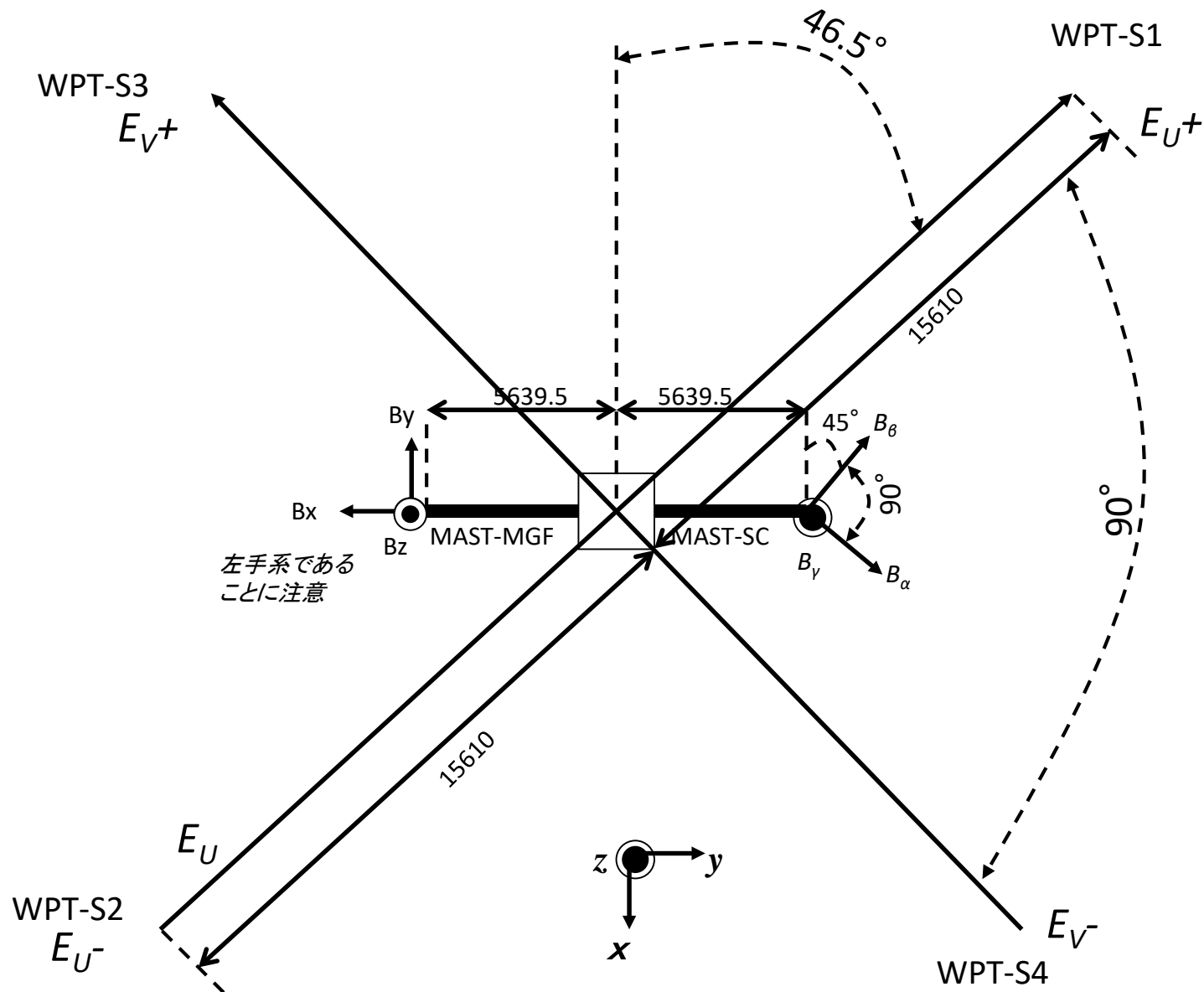
## Level 3

各観測機器ごとに  
関連を持たせたデータの生成

PWE/MGF Team

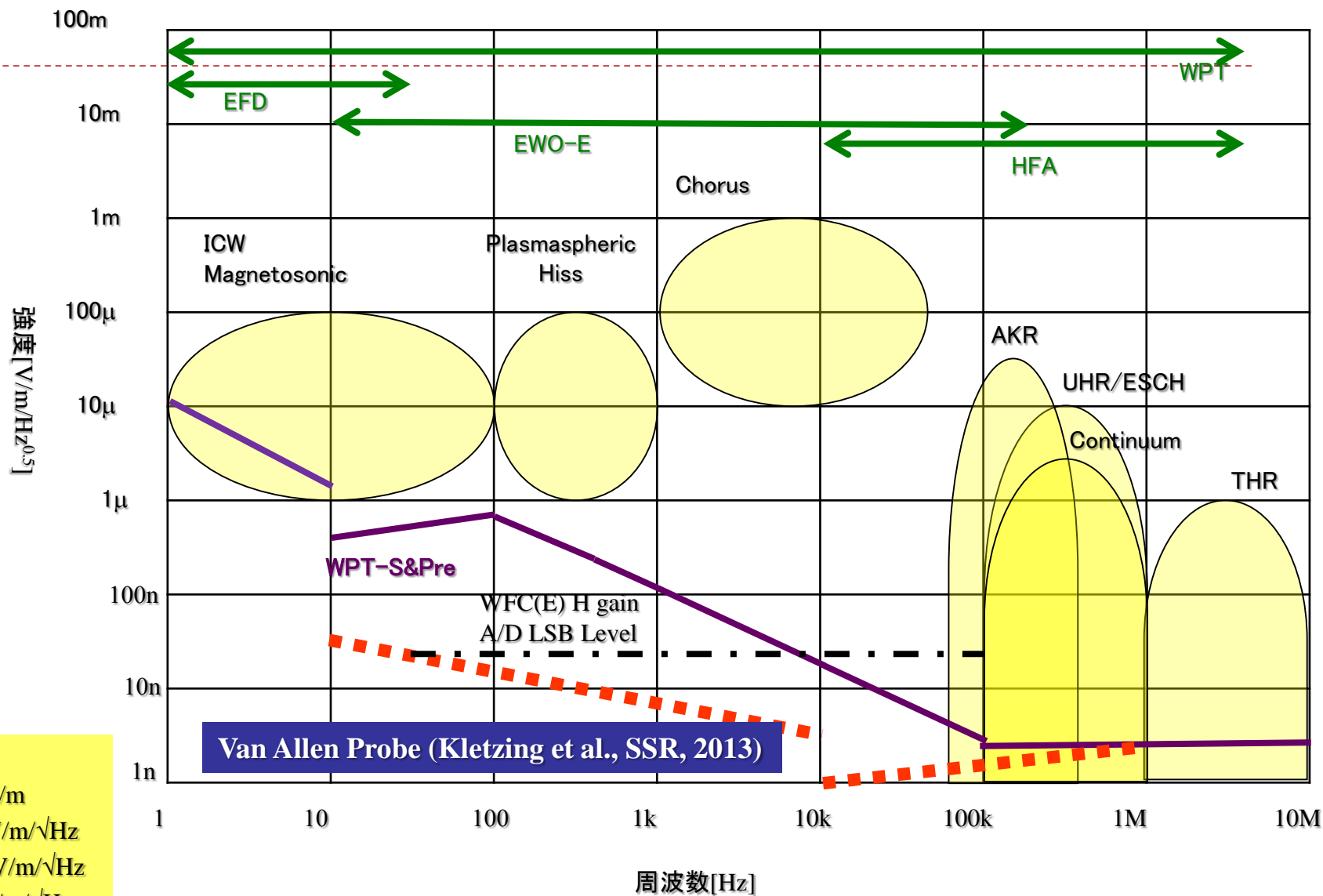
ERG Science Center

# 座標変換・Despun処理



$x, y, z$ : 衛星機械座標系  $U, V$ : 電界成分  $\alpha, \beta, \gamma$ : 磁界成分

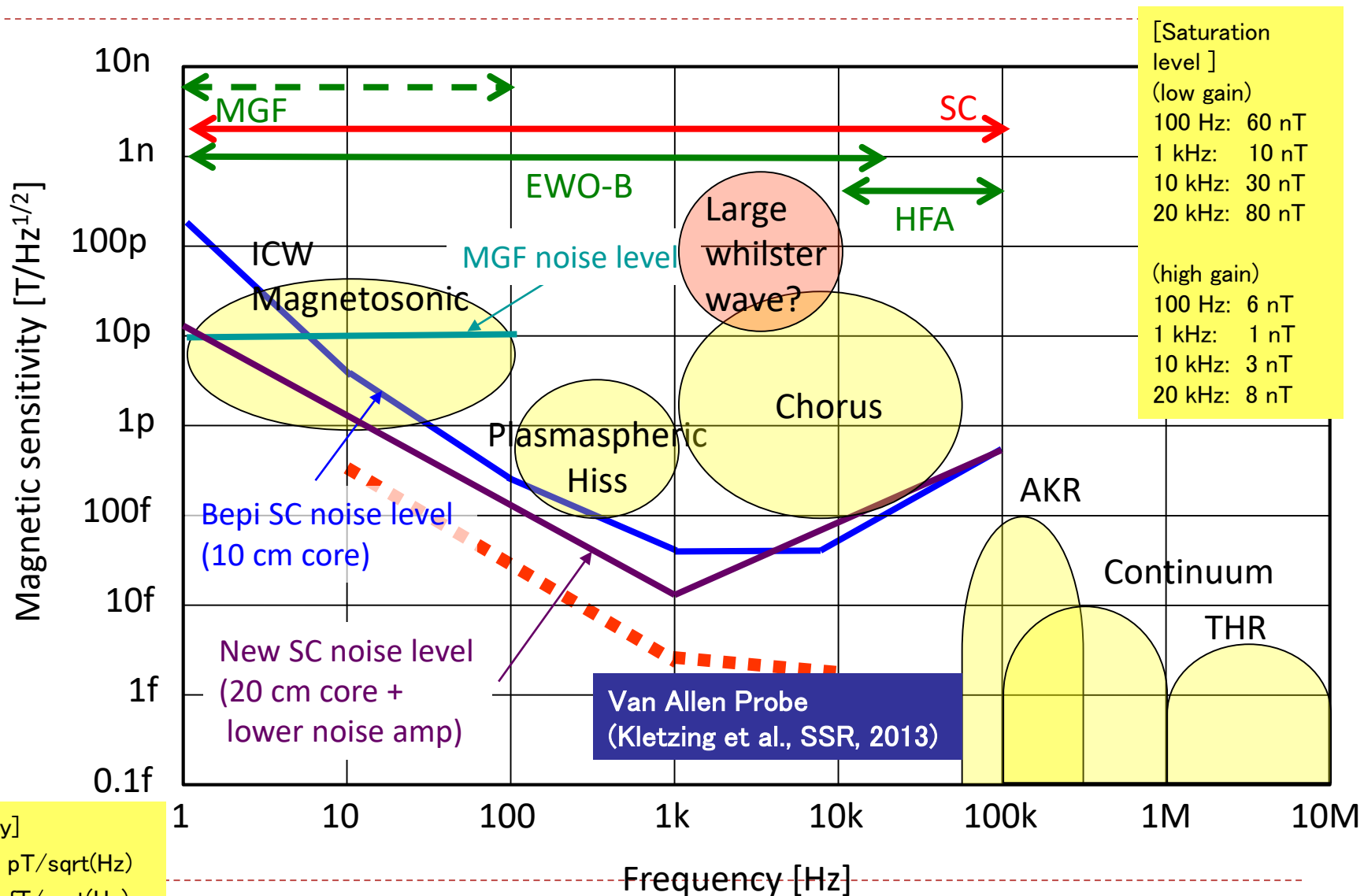
# Target waves: Frequency & Strength ---- Electric Field



## [Sensitivity]

dc	< 1mV/m
300Hz	543nV/m/√Hz
1kHz	137nV/m/√Hz
10kHz	22nV/m/√Hz
100kHz	6.8nV/m/√Hz
1MHz	4.7nV/m/√Hz

# Target waves: Frequency & Strength ---- Magnetic Field





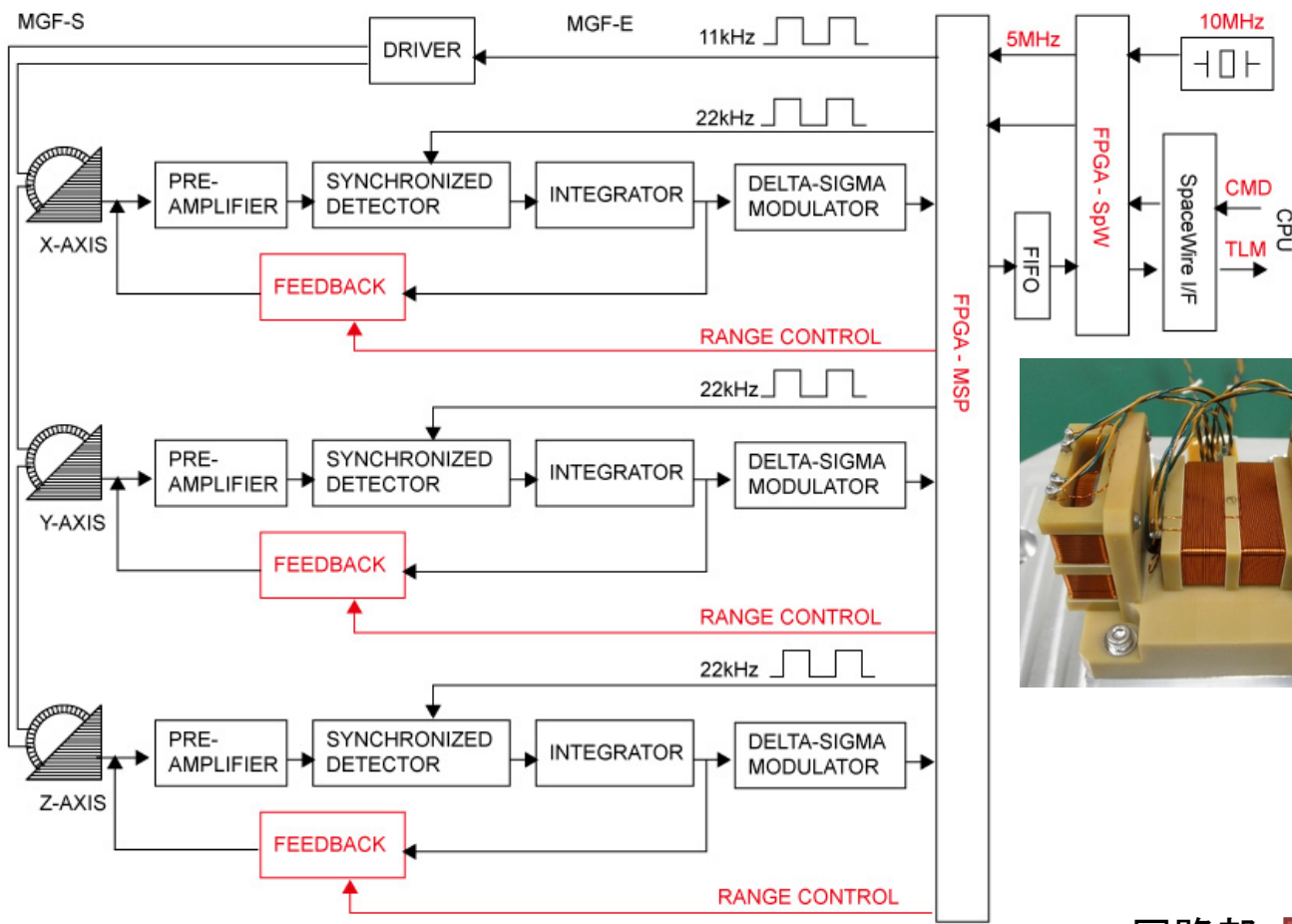
# PWEの主な観測モード

---

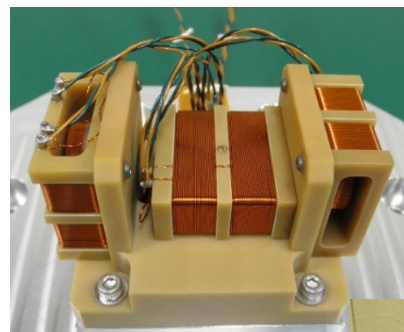
- ▶ Apogee mode ( $L > 4$ )
  - ▶ Continuous data
  - ▶ **Chorus burst** mode (Intermittent operation) by WFC-E, WFC-B
  - ▶ **EMIC** ( $f < 32\text{Hz}$ ) will be covered by EFD&MGF
- ▶ Perigee mode ( $L < 4$ )
  - ▶ Continuous data
  - ▶ **EMIC** ( $f < 128\text{Hz}$ ) will be covered by EFD (@  $2.8 < L < 4$ )
  - ▶ **EMIC burst** mode (Intermittent operation) by WFC-E, WFC-B to cover EMIC&MSW
- ▶ Plasmapause mode
  - ▶ HFA high resolution mode (to measure electron density profile)

# MGF Overview

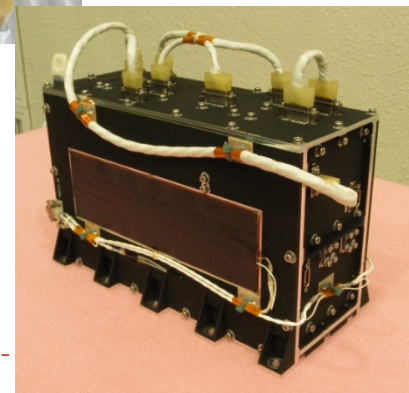
MGFは3軸リングコア、アナログ方式のフラックスゲート磁力計であり、  
BepiColombo MMO 搭載 MGF-I を基本に設計している。



ERG MGF のBlock Diagram  
赤で示した部分が、  
MMO MGF-I との  
相違点



センサ部



回路部

# 磁場観測機器 (MGF) 最終諸元

Data sampling	Dynamic range (nT)	$\pm 60000 / \pm 8000$
	Resolution (pT)	114 / 15
	Original sampling freq. (Hz)	256
Frequency range	Cut-off frequency (Hz)	104
Accuracy(Room temperature)	Sensitivity	0.06% (8000nT Range)
Accuracy (RT)	Alignment (deg)	0.03deg (8000nT Range)
Accuracy(-20~30 °C)	Relative Sensitivity	0.016% (8000nT Range)
	Absolute	~5nT (8000nT Range)
Weight	Sensor (g)	150
	Electronics (g)	2780
Dimension	Sensor (mm)	71 x 58 x 41(H)
	Electronics (mm)	334 x 121 x 203(H)
Power consumption	Nominal (W)	+3,3V 932mA +7V 357mA -7V 130mA



# MGF データの種類

- ERG搭載MGFでは、磁場強度によって変化するプロトンサイクロトロン周波数に対応するために、機上で平均処理を施し、32Hzから256Hzまで2倍ずつサンプリング周波数を変えられるようにした。(MMO MGF-I は H=128Hz、M=8Hz or 4Hz、L=1sample/spin)
- 粗較正した16Hzデータを機上で他機器に共有データとして配信する。
- 粗較正した1sample/spin データを宇宙天気データとして準リアルタイムに提供する。

データ名称	地上への伝送	サンプリング周波数	磁場LSB	フォーマット	Note
ミッションデータ	あり	256Hz 128Hz 64Hz 32Hz CO	16pT (8000nTレンジ) 125pT (60000nTレンジ)	センサ座標 Bx, By, Bz	地上で 精較正・ 座標変換
共有データ	なし (機上利用のみ)	16Hz	磁場強度の $3 \times 10^{-5}$ または 62.5pT (8000nTレンジ)/ 4nT (60000nTレンジ)	B と 方向余弦 (衛星座標)	機上で 粗較正
準リアル (宇宙天気) データ	あり	1/spin			



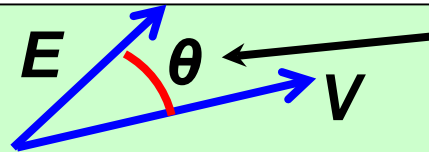
# S-WPIAの原理

宇宙プラズマは無衝突: 粒子の運動論的エネルギーは波動を通して交換される

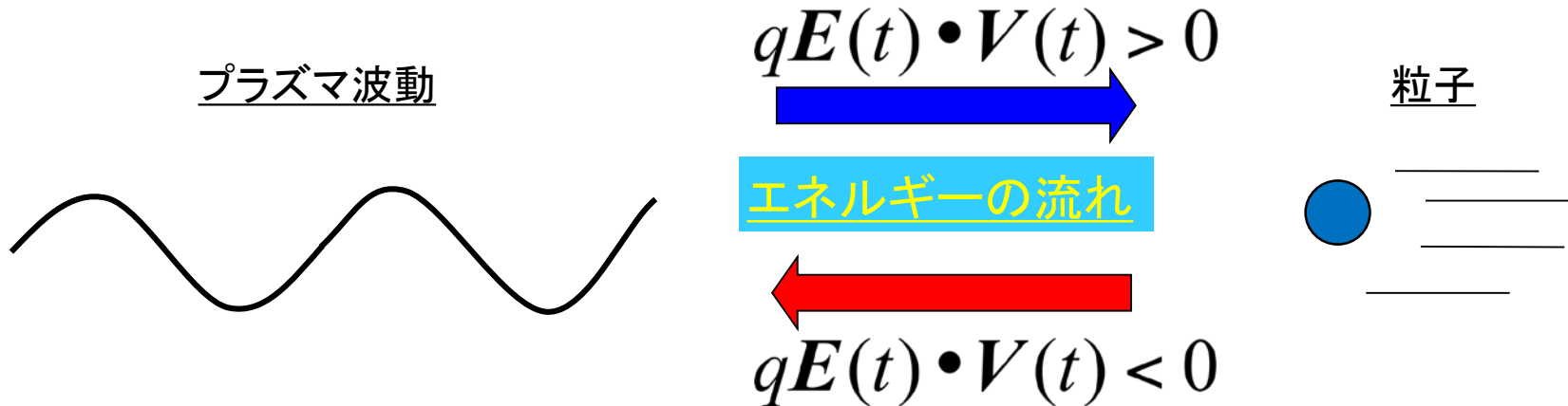
$$\frac{dK}{dt} = q\mathbf{E}(t) \cdot \mathbf{V}(t) = q|\mathbf{E}||\mathbf{V}| \cos \theta$$

$$K = m_0 c^2 (\gamma - 1)$$

$\mathbf{E}$ : 電界ベクトル,  $\mathbf{V}$ : 粒子速度ベクトル,  $\theta$ : 電界-粒子速度ベクトル位相差

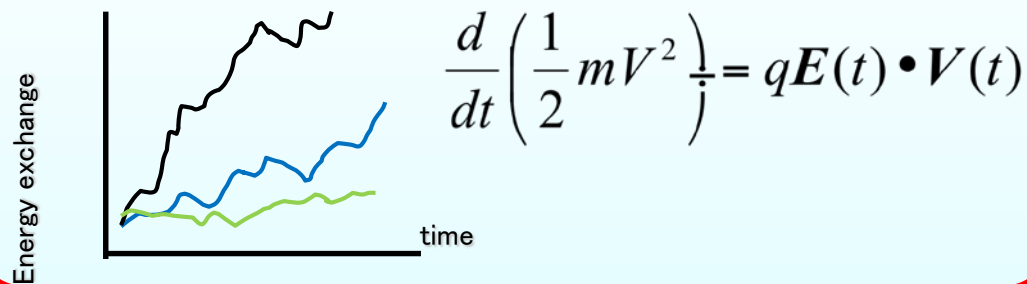
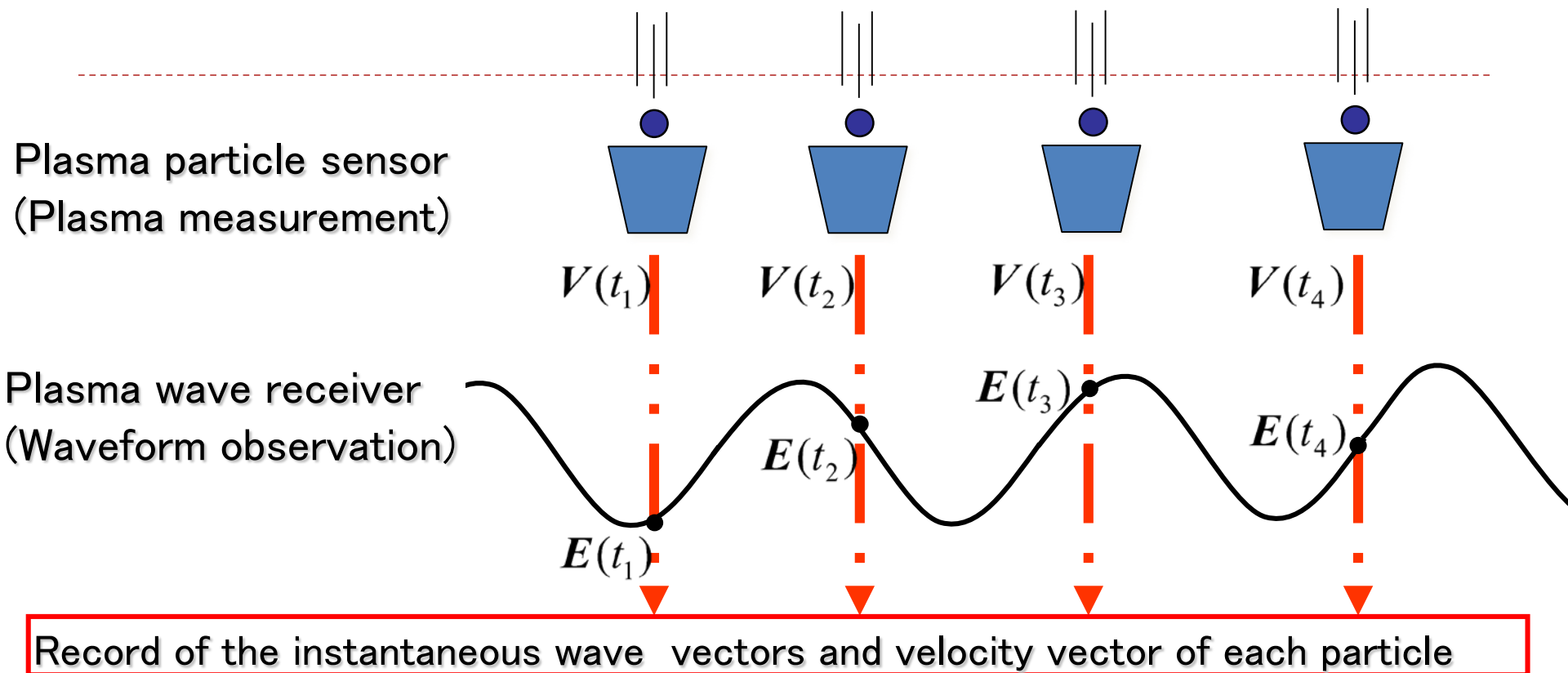


この位相差こそエネルギー授受の本質。



宇宙空間では、「誰も直接観測したことがない」

# 実際の観測手法



**Physical quantity no one has seen before in space**

# 運用計画

## SWPIAの運用ポリシー

1. 1周期または複数周期の中で、ターゲットとなる現象(主にコーラスエミッション)を絞り、そのイベントを捉え、規定の時間だけデータをFlash memoryに保管し計算を行う。計算結果は地上で時間積分を行う。
2. SWPIAはリアルタイム処理を行わない。Flash memoryに観測データを各センサーからのデータのMDRへの書き込みとSWPIA計算は同時に行わない。

## 初期運用(打ち上げ後 4ヶ月まで)

初期運用において、WPIAアルゴリズムおよび各装置の較正データを確認するために、MDR Flash memoryに保管された特定の時間の、プラズマ波動データ、粒子データをすべて、地上に伝送する(List mode)。List dataを用いて、地上で実際のSWPIA処理を行い結果を評価し、**アプリケーションの変更が必要な場合、装置毎のテーブル更新が必要な場合は、衛星にアップロードする。**

**地上からロードするテーブルは下記の3種類である。**

1. **PWE較正データ(装置およびセンサー)**    2. **HEPセンサー感度補正テーブル**    3. **MEPセンサー感度補正テーブル**

## 定常運用(打ち上げ後4ヶ月以降)

1. 初期運用を経てアルゴリズムが確立した後、オンボードでの計算を開始する。ただし、その場合でも地上へ降ろすデータとしては、計算結果(Calc data)に加えて計算前のデータ(List data)も含めることとする。
2. Calc data出力は、 $W_{int} = E \cdot V$ 、分散、および取得データ点数である。
3. 各機器のテーブルロードは経年変化も含め、必要と判断した場合に行うこととする。

## PWE観測モード(PWE burst mode)

SWPIAが動作するMDR/MDPを利用したPWEの観測モード。各モードに従って波形データがMDRに書かれ、SWPIAアプリケーションは、このデータをMDRからSDRへ転送する役割をもつ。このモードで動作している際は、SWPIAは動作させない(排他的運用)

- a. Chorus burst mode - 20kHz以下の電磁波5成分に対する波形観測データ
- b. EMIC burst mode - 500Hz以下の電磁波5成分に対する波形観測データ