

火星衛星探査計画MMX MSA開発状況報告

Martian Moons eXploration (MMX) mission: Current status of the MSA development
S. Yokota (Graduate school of science, Osaka University),
A. Matsuoka (Graduate school of science, Kyoto University), N. Murata (JAXA),
N. Terada (Graduate school of science, Tohoku University), Y. Saito (JAXA),
and MMX/MSA team

○横田勝一郎（大阪大学大学院理学研究科），
松岡彩子（京都大学大学院理学研究科），村田直史（宇宙航空研究開発機構），
寺田直樹（東北大学大学院理学研究科），齋藤義文（宇宙航空研究開発機構），
MMX/MSAチーム

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

開発状況のまとめ

- ▶ PIチーム：大阪大、京都大、ISAS/JAXA、LPP(仏)、東北大、東大、...
 - ▶ BBMによりセンサ部の要求性能を実証した。
 - ▶ センサ部のEM設計を完了した。
- ▶ 開発主担当メーカー：明星電気
 - ▶ 基本予備設計を実施した。
 - ▶ 同審査会（9-10月）を条件付きで完了した。

2020年10月 EMの製造を開始

2021年9月 EM試験完了

2023年4月 PFM提出

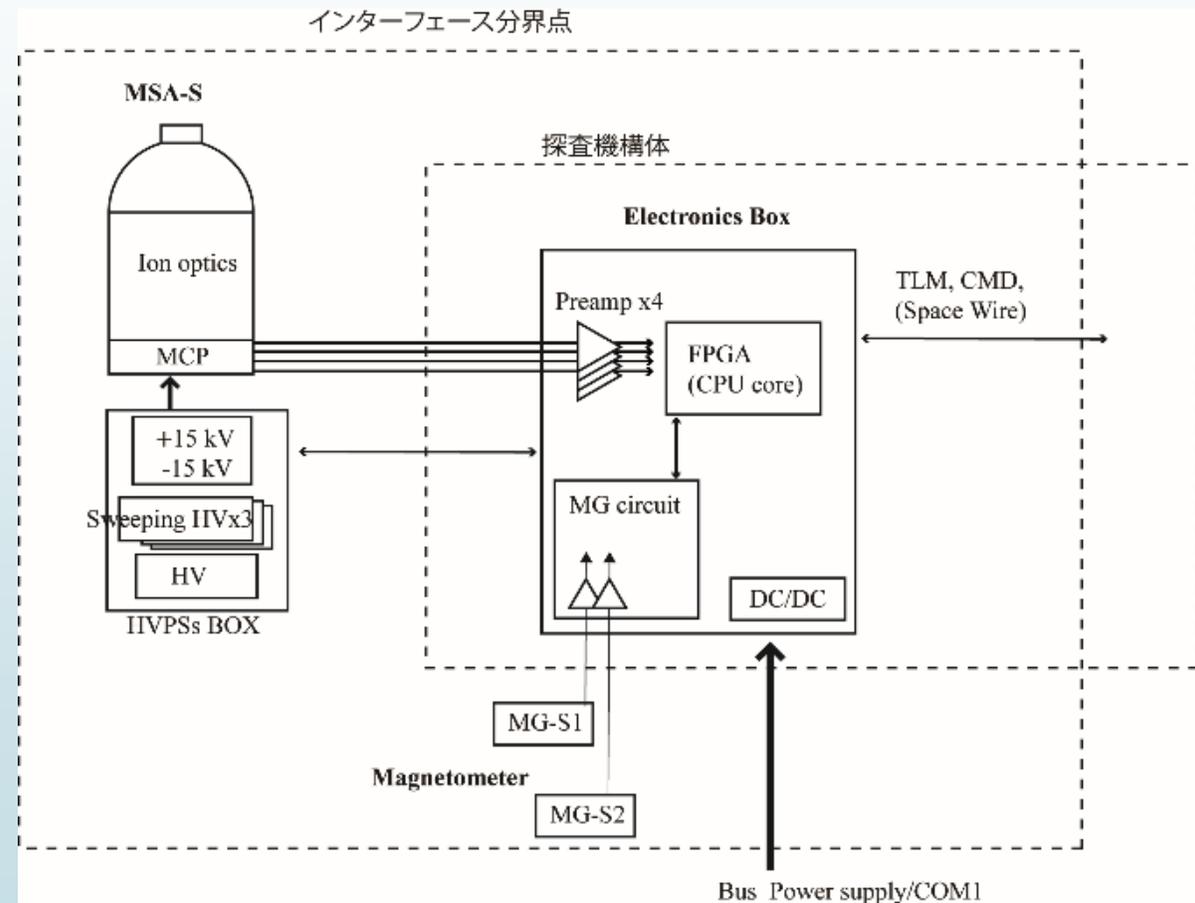
MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

MSA-S: イオンエネルギー質量分析器
イオン光学系 (Ion optics)
検出器(MCP)
高圧電源(HVPS)

MG-S: 磁力計センサー x2
*取付形態の詳細は未定

MSA-E: エレクトロニクス部
アンプ
磁気計測回路
FPGA(CPU core)
低圧電源 (DC/DC)

Sensor と Electronics を分離
*信号線の延長



MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

MSA-S: イオンエネルギー質量分析器
 イオン光学系 (Ion optics)
 検出器(MCP)
 高圧電源(HVPS)

MG-S: 磁力計センサー x2
 *取付形態の詳細は未定

MSA-E: エレクトロニクス部
 アンプ
 磁気計測回路
 FPGA(CPU core)
 低圧電源 (DC/DC)

Sensor と Electronics を分離
 *信号線の延長

項目	性能
感度	$7 \times 10^{-3} - 10^{-5} \text{ cm}^2\text{sr eV/eV}$
エネルギー分析	10eV/q—30keV/q, $DE/E \leq 20\%$, 視野範囲: $2\pi \text{ sr} + 360^\circ \times 10^\circ$ Δ 角度 $\leq 10^\circ \times 22.5^\circ$
質量分析	1—60 amu, $M/DM \sim 100$
時間分解能	4秒



センサ	
測定軸	直交3方向
計測回路	
測定範囲	$\pm 8000\text{nT} / \pm 60000\text{nT}$ (切替)
測定分解能	0.1 nT / 0.8 nT
時間分解能	1 秒 (通常観測時) 256Hz (チェックアウト時)

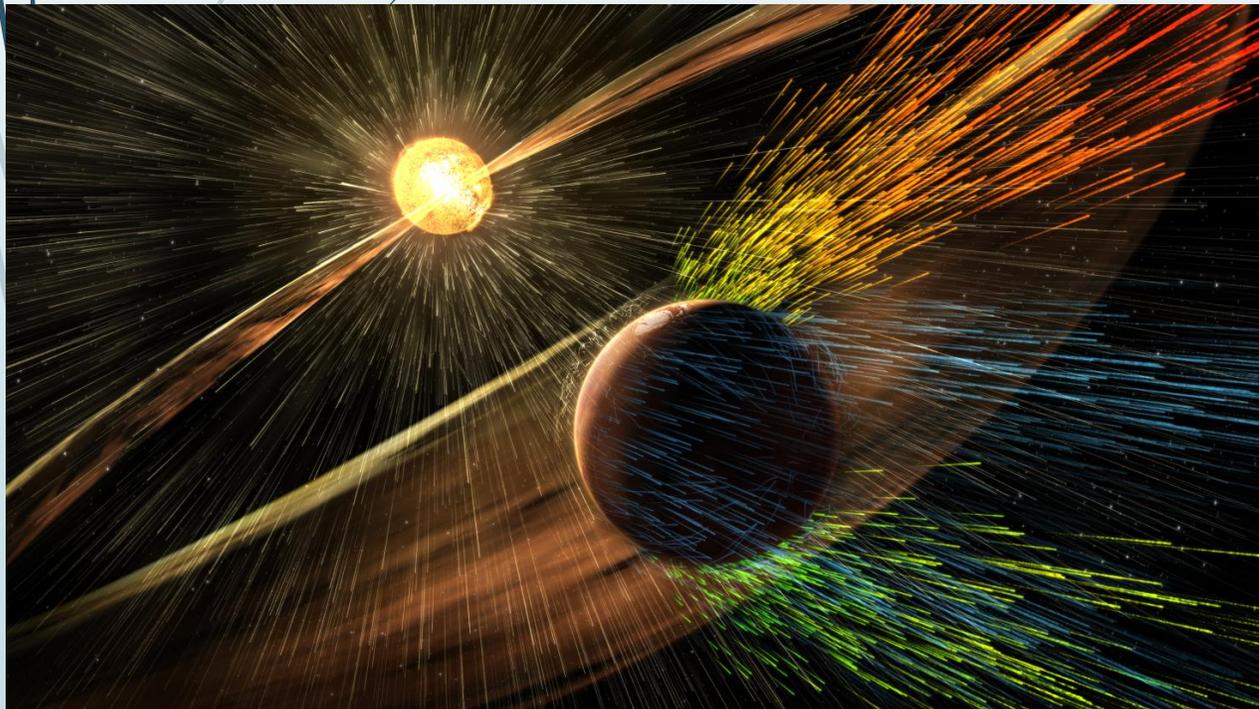
MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

観測対象

Phobos起源イオン (主要元素 + 水?)

火星起源イオン (散逸大気)

太陽風 (イオン + 磁場)



科学目標

Phobosの起源

Phobos表層の環境

火星散逸大気 (火星大気の進化)

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

観測対象

Phobos起源イオン (主要元素 + 水?)

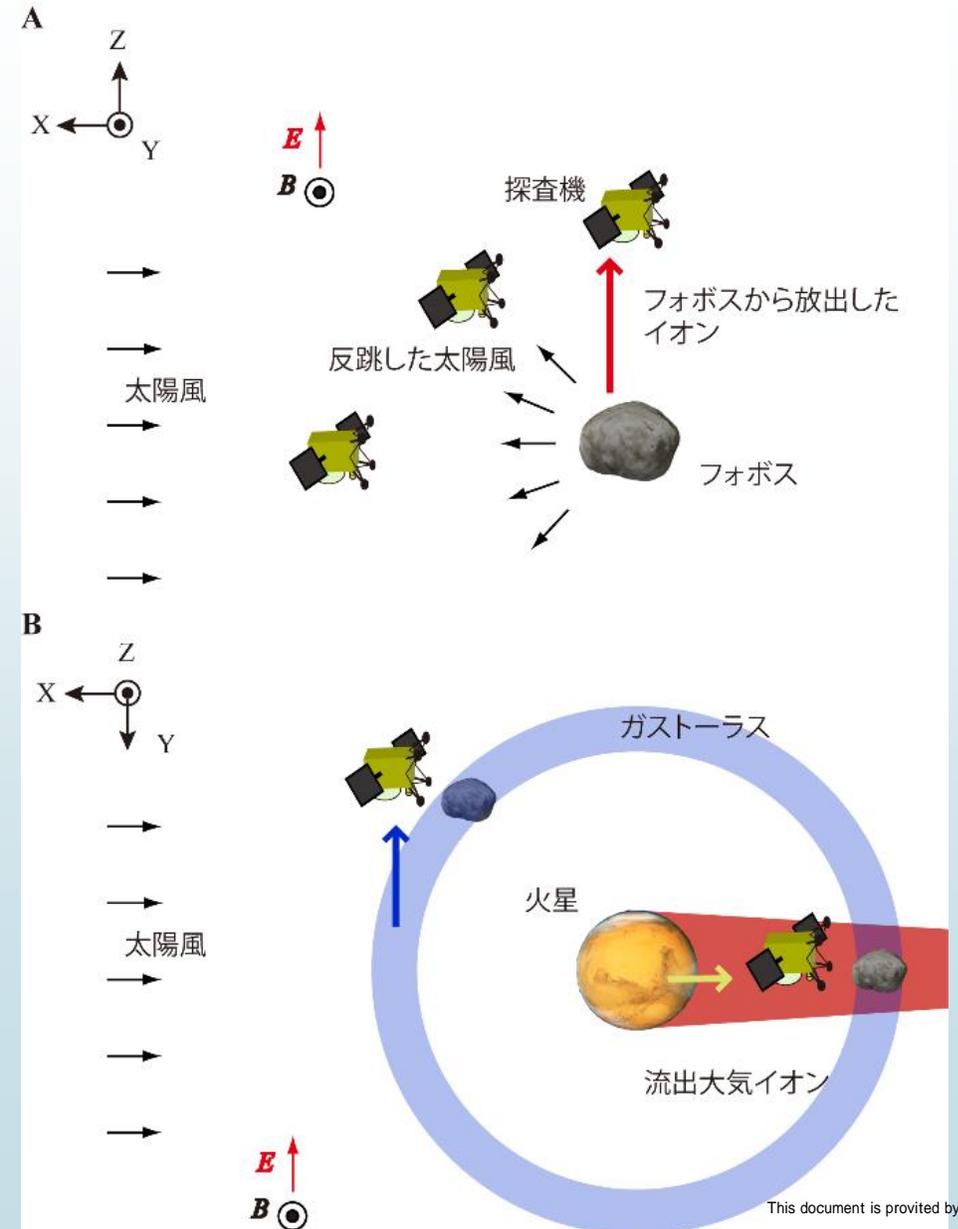
火星起源イオン (散逸大気)

太陽風 (イオン + 磁場)

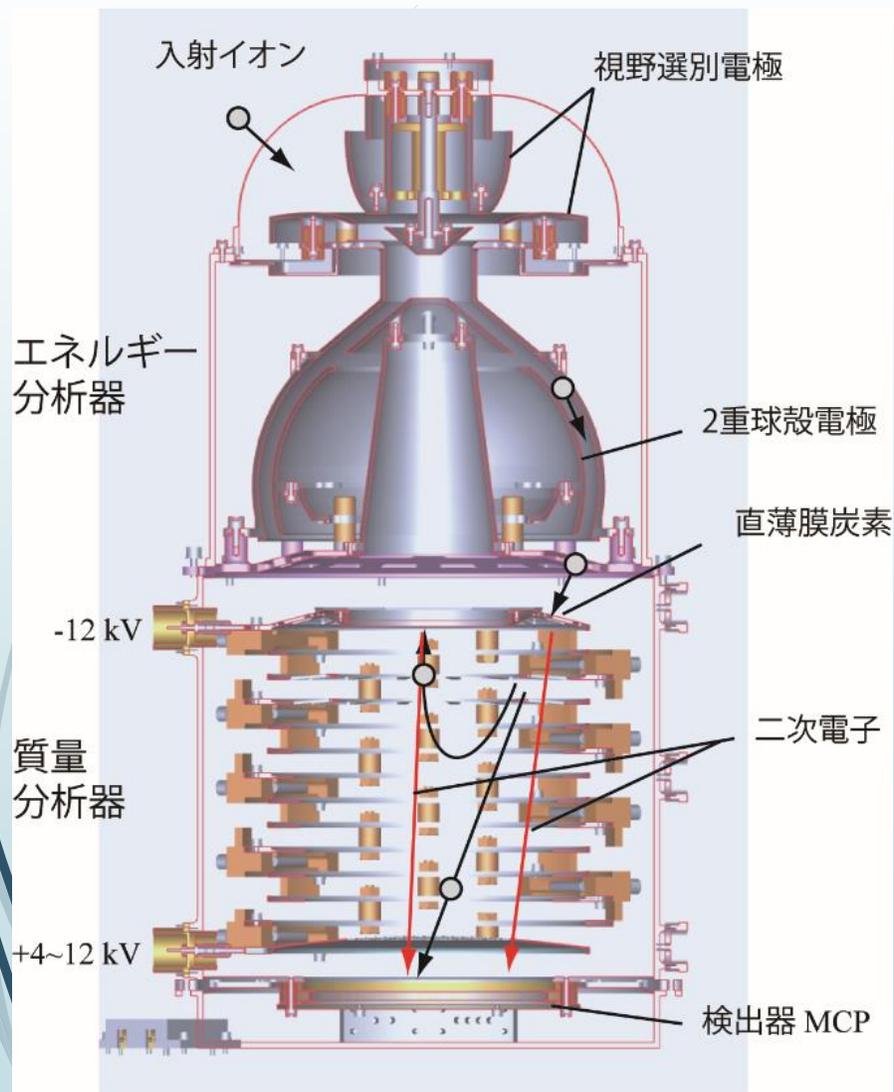
Phobosの起源

Phobos表層の環境

火星散逸大気 (火星大気の進化)



MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)



エネルギー分析

TOP-HAT型静電分析法

視野掃引

質量分析

飛行時間質量分析法

線型電場

先行例

月探査機KAGUYA/MAP-PACE-IMA

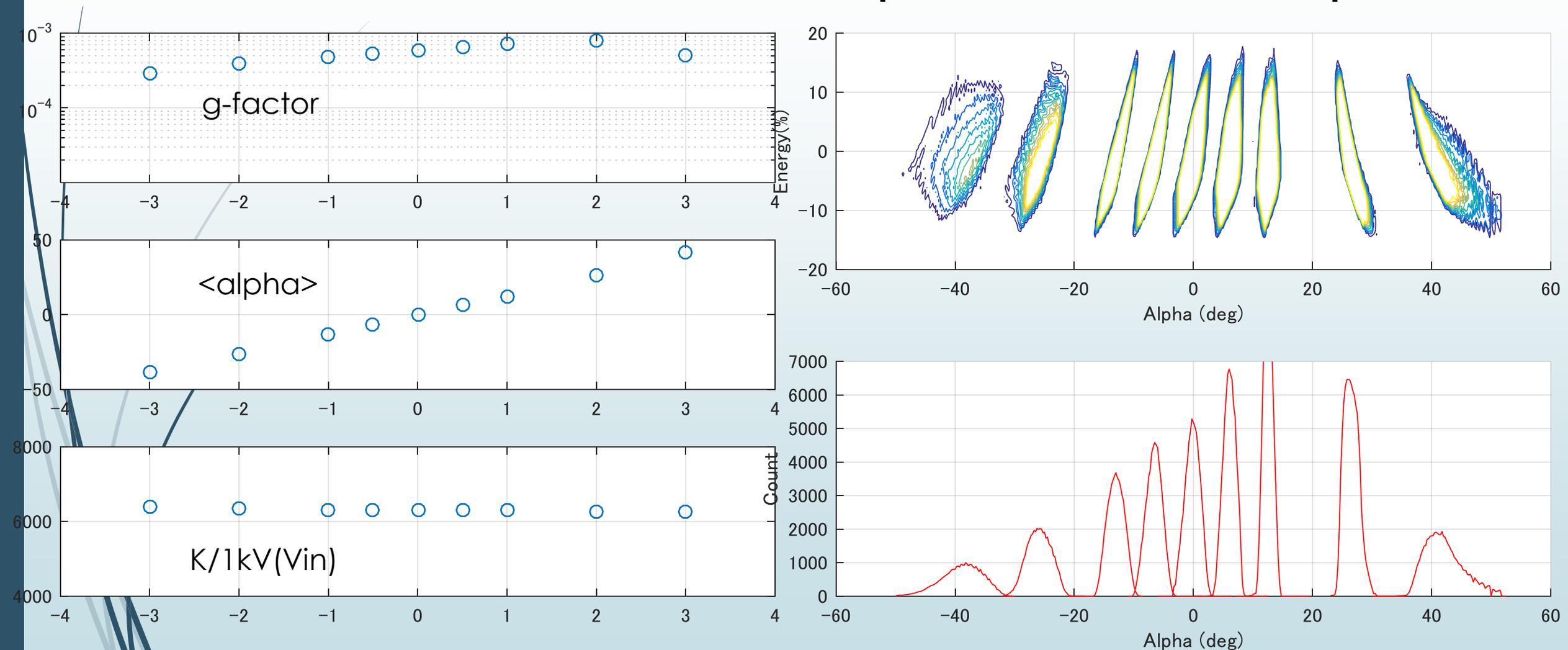
磁気圏観測機MMS/FPI-DIS

放射線帯観測機ARASE/LEP-i, MEP-i

BepiColombo-MIO/MSA, MIA

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

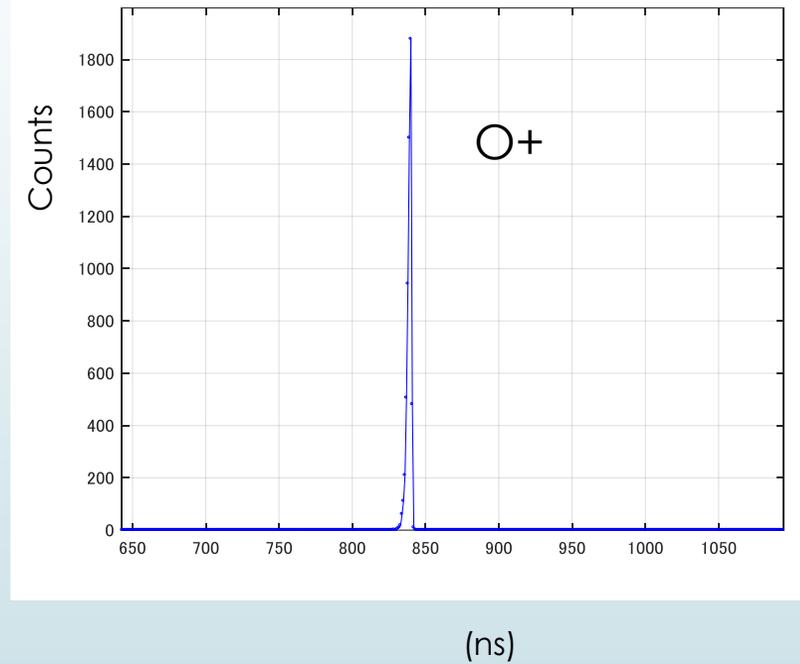
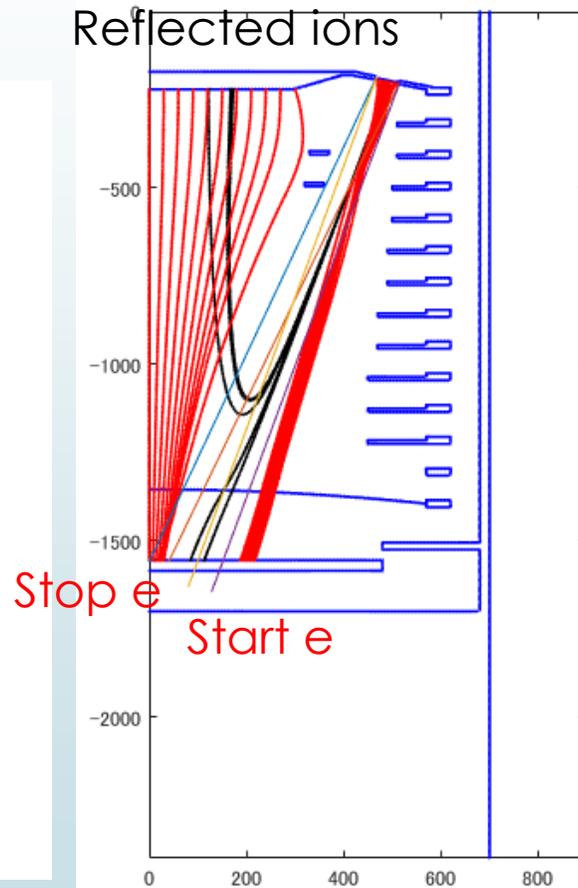
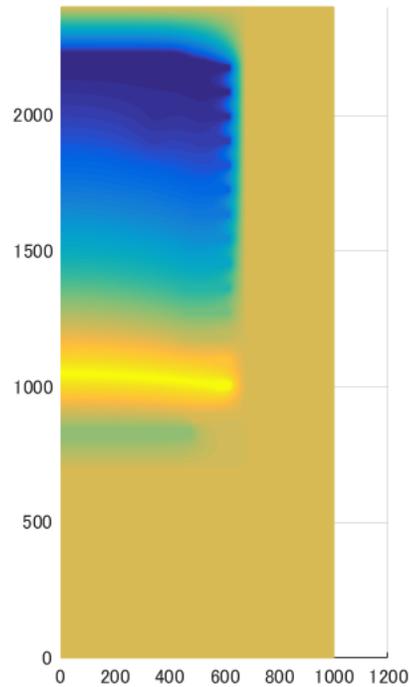
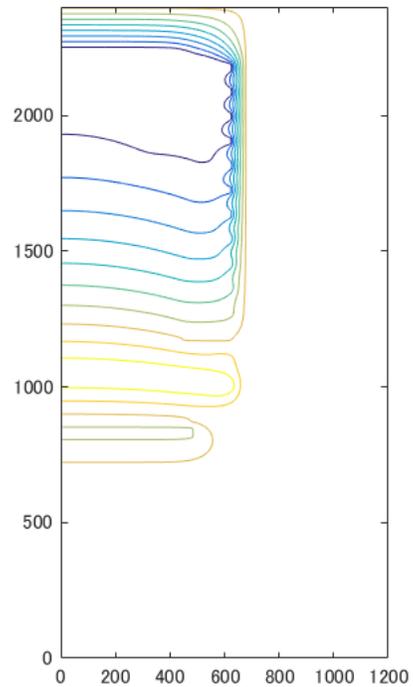
エネルギー分析部 (数値モデル[電極形状による電場とイオン軌道] 計算結果)



▶ 感度、エネルギー分析性能を達成.

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

質量分析部 (数値モデル[電極形状による電場とイオン軌道] 計算結果)



▶ 計算モデルでは $M/\Delta M \sim 400$ (FWHM)を達成.

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

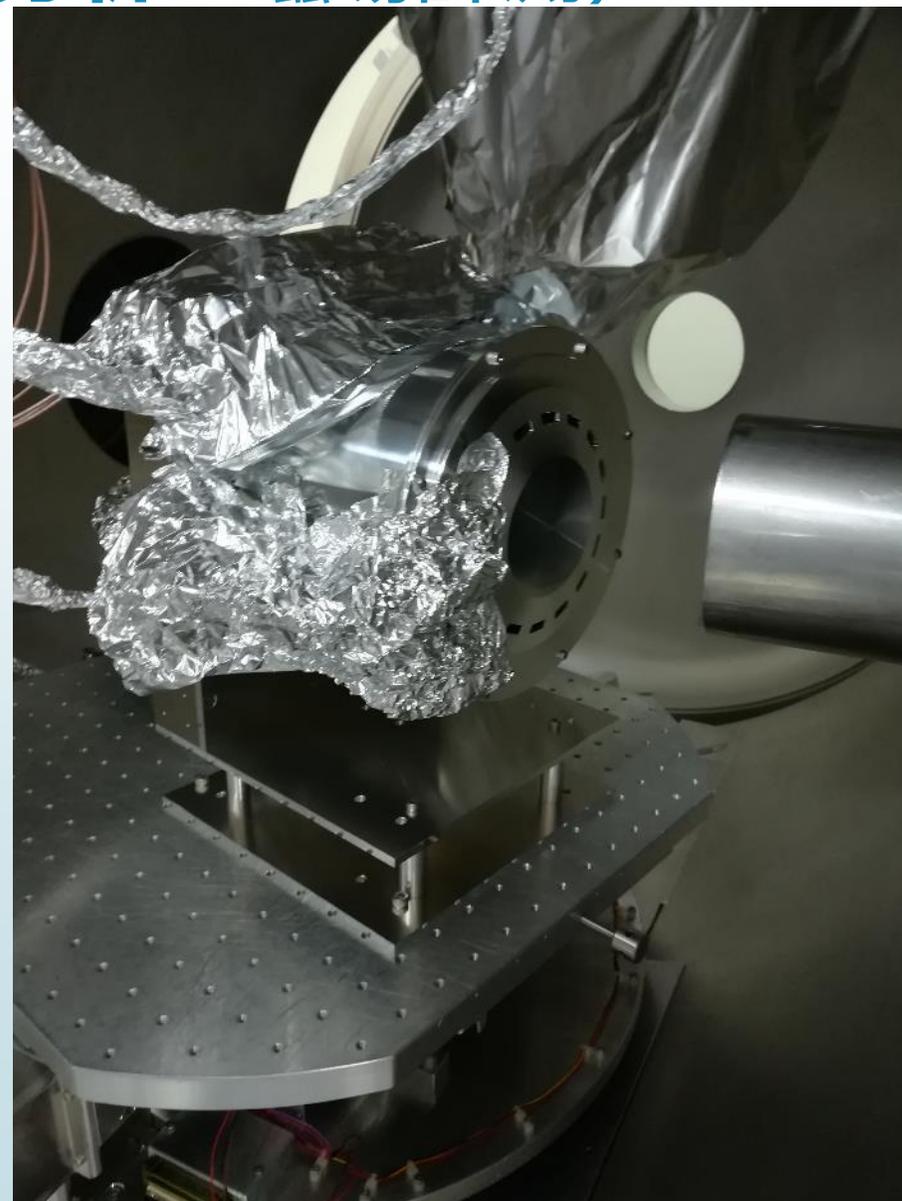
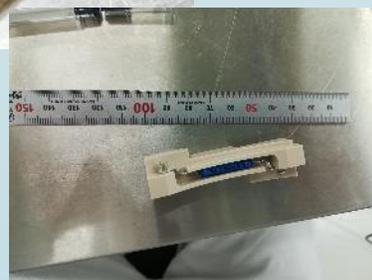
質量分析部 (BBM)



DLアノード
(MIO/MSAから内径などを変更)
DL1, DL2, 内STOP, 外STOPの
4ch

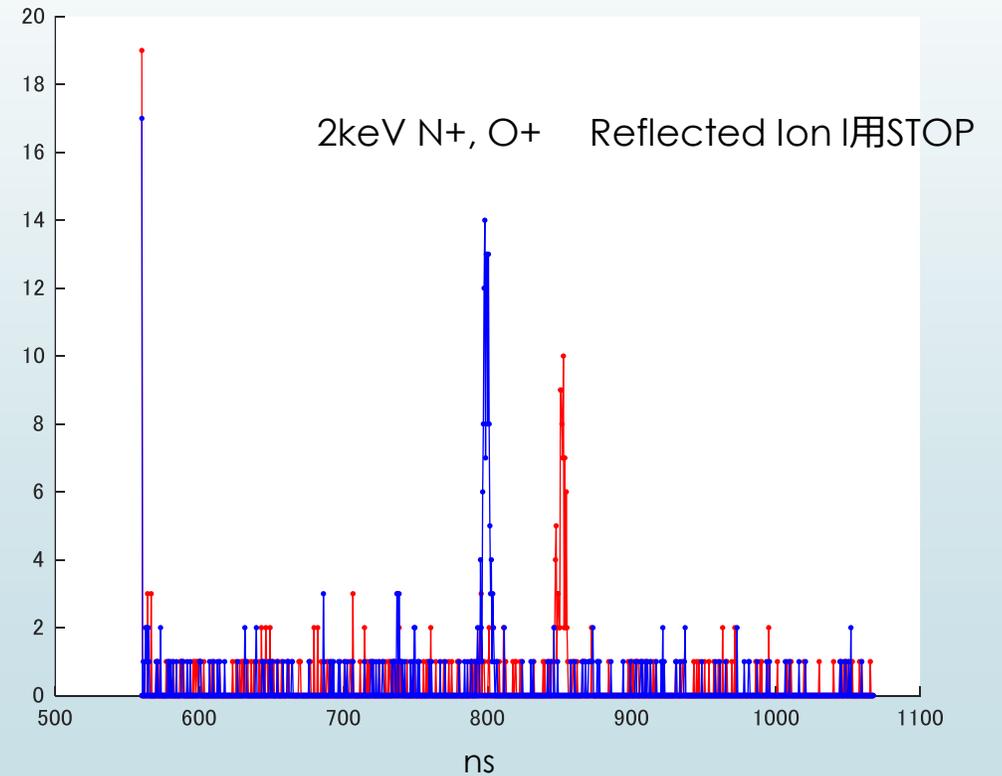
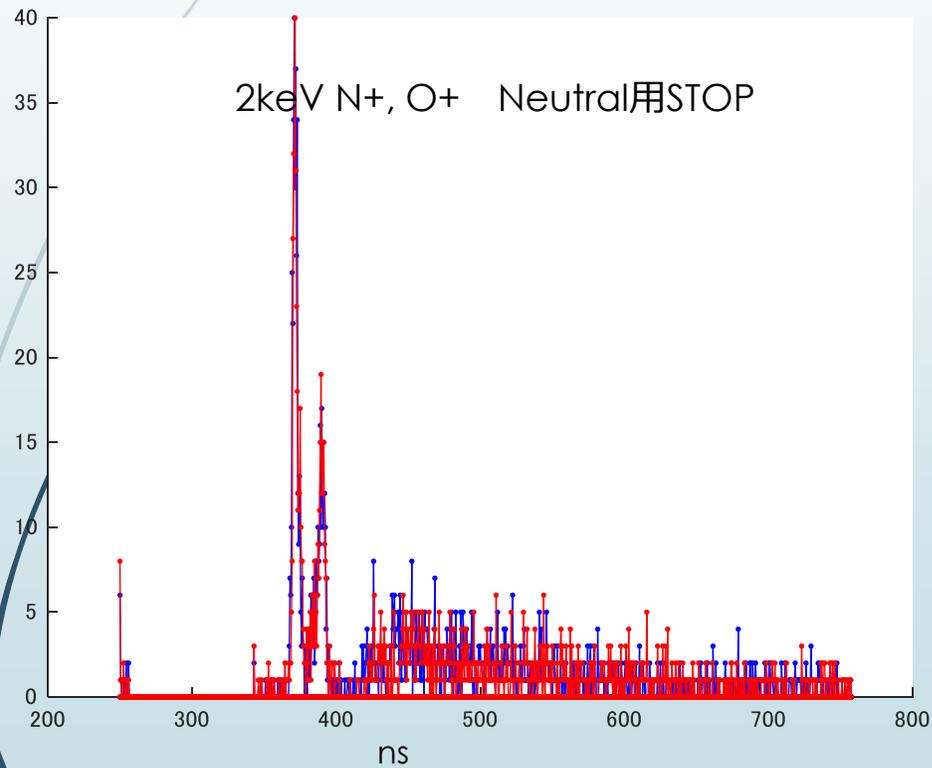


リング電極群
各電極をRで接続
MIO/MSAの構造を
踏襲している



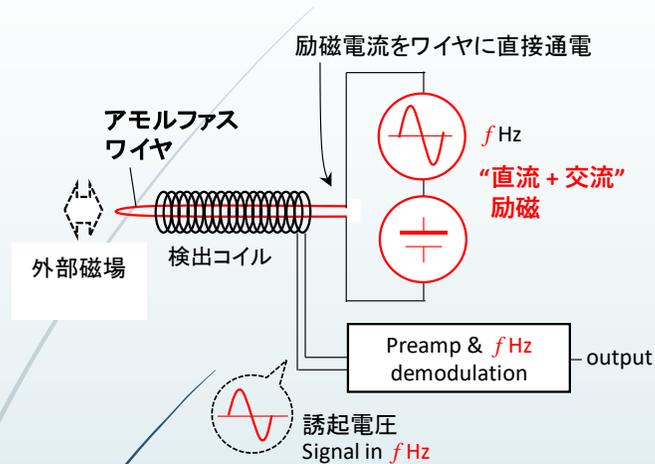
MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

質量分析部 (BBM試験結果)

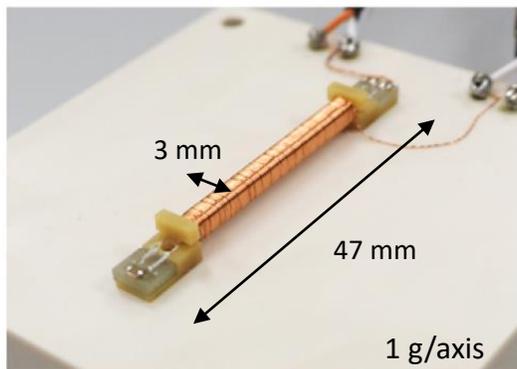


▶ BBM性能試験にて $M/\Delta M \sim 150$ (FWHM)を達成.

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

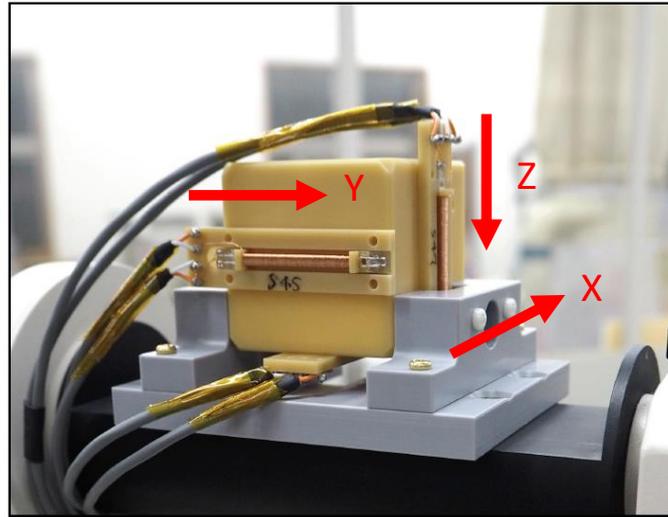


基本波型直交フラックスゲートの概念図



センサ(1軸分)のBBM
観測ロケット条件での振動・真空試験
を実施済

基本波型直交フラックスゲート方式 (大幅な小型軽量化)



制約

- 伸展物を使用しない
- システム・他観測機器にEMC対策の要求を行わない
- 磁場干渉を測定する特殊環境での試験を要求しない

先行例
月探査機KAGUYA/MAP-LMAG
放射線帯観測機ARASE/MGF
BepiColombo-MIO/MGF

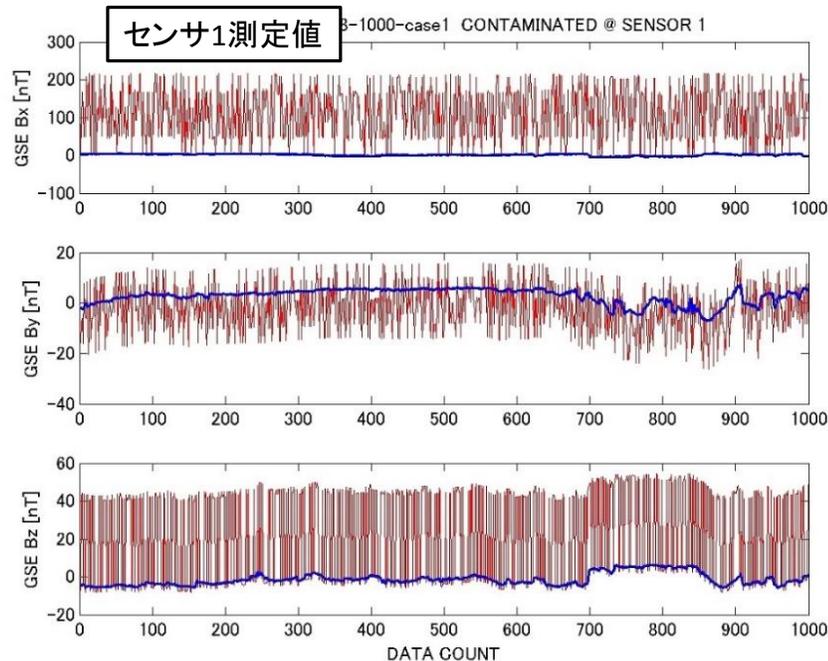
MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

搭載位置の異なる2つのセンサデータを使って衛星起源の磁場ノイズの除去を行う

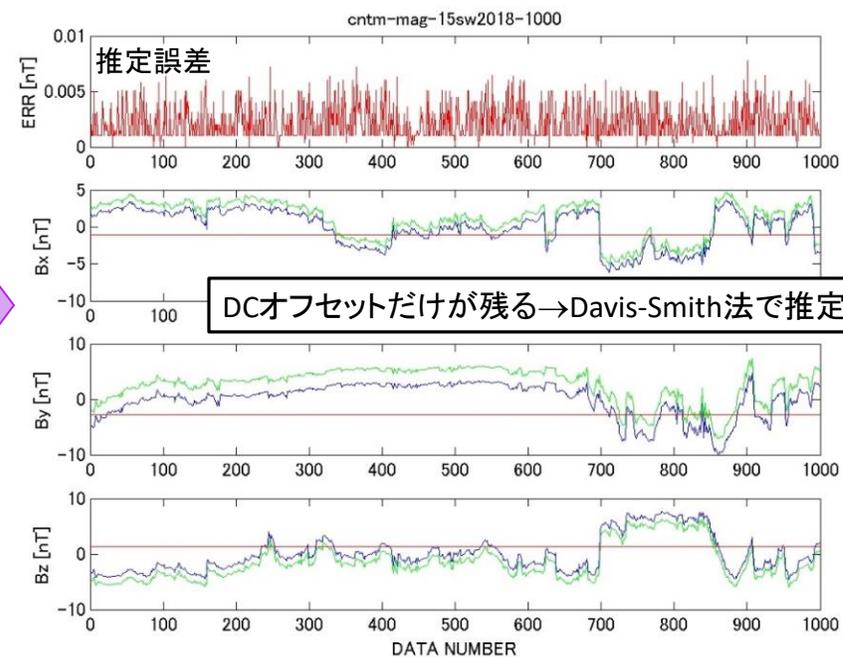
- 2つのセンサ位置で、自然の磁場変化は同じ大きさ・方向となるが、衛星起源の磁場ノイズ変化は異なる大きさ・方向となることを利用する。
- 衛星起源の各ノイズ源による、センサ1とセンサ2位置でのノイズの大きさや方向は地上試験データを元に求められているものとする。
- 地上試験で求めた各ノイズ源がセンサ1, 2位置に発生するノイズが、軌道上でも理想的に同じであるという理想的な条件では、時間変化するノイズは完全に除去が可能である。時間変化しないDCオフセットは Davis-Smith法で推定する。

実測の惑星間空間磁場データとノイズモデル (6つのノイズ源) を使ってノイズ除去をした例

青:元のデータ(IMF実測) 赤:衛星起源ノイズがのったモデルデータ



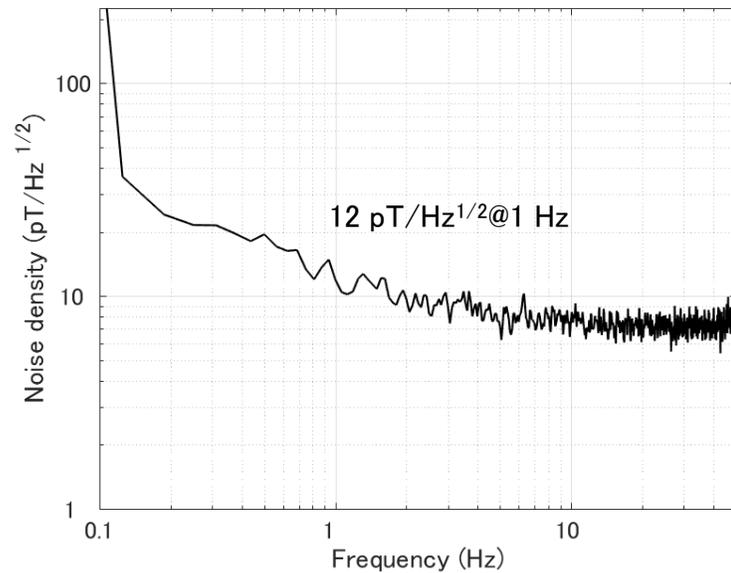
緑:元のデータ 青:ノイズ除去後のデータ 赤:両者の差



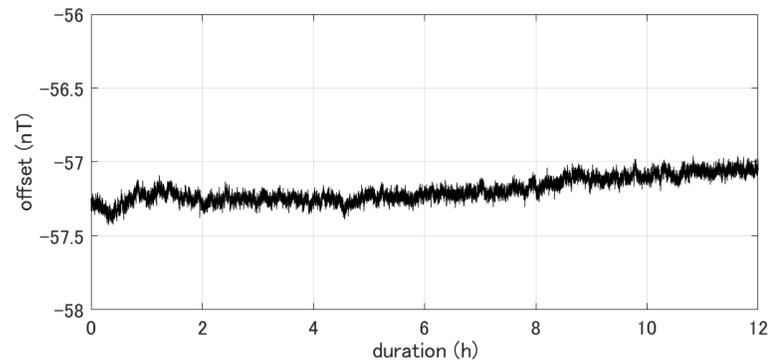
MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

BBMセンサ・回路で得られている計測性能

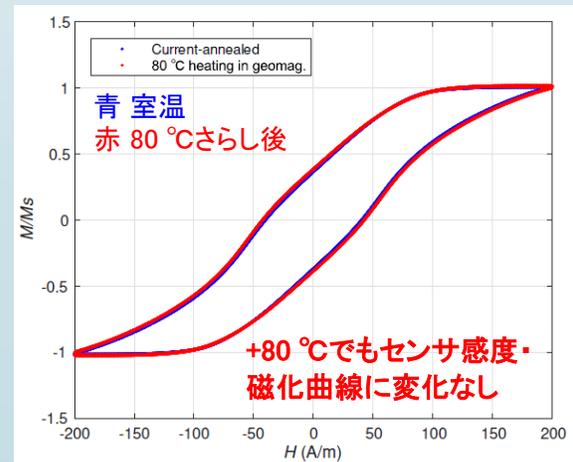
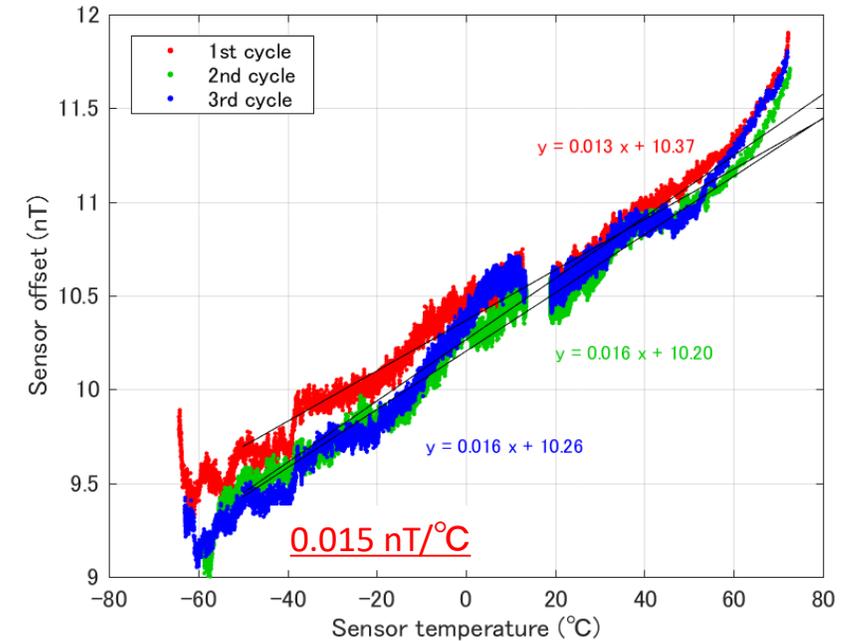
センサ雑音⇒良好



12 h経時オフセットドリフト⇒十分に小さい



センサの温度特性 ($-60^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ ※) ⇒極めて良好



※
温特試験では機材の都合上
温度を $+70^\circ\text{C}$ までとしている

別試験で $+80^\circ\text{C}$ さらし後もセンサ性能が健全に保たれることを確認

MSA (イオンエネルギー質量分析 + 磁場計測)

開発状況のまとめ

- ▶ PIチーム：大阪大、京都大、ISAS/JAXA、LPP(仏)、東北大、東大、...
 - ▶ BBMによりセンサ部の要求性能を実証した。
 - ▶ センサ部のEM設計を完了した。
- ▶ 開発主担当メーカー：明星電気
 - ▶ 基本予備設計を実施した。
 - ▶ 同審査会（9-10月）を条件付きで完了した。

2020年10月 EMの製造を開始

2021年9月 EM試験完了

2023年4月 PFM提出