

宇宙科学ミッションに適用可能な小型高精度新方式磁力計 ～MMX及びComet Interceptor搭載に向けた開発状況～



村田直史 (JAXA), 松岡彩子 (京都大学), 横田勝一郎 (大阪大学), 笠原慧 (東京大学)

背景・目的

- 惑星間空間の電磁界現象や惑星固有磁場の解明を目的とした宇宙科学ミッションでは宇宙機に磁場観測器が搭載される。
- MMXやComet Interceptor等の将来ミッションでは、磁場観測器の搭載にあたり厳しいサイズ・質量制約が想定され、磁場センサは高い計測性能と小型軽量性の両立が要求される。

本研究は、センサの低雑音化に適し、大幅な小型軽量化が期待される**基本波型直交フラックスゲート**^[1]方式により、将来ミッションに適用可能な性能とサイズを両立した搭載用磁力計の開発を目的とする。

MMXではイオン質量分析器MSAに付帯して本研究の新方式磁力計が搭載される予定となっている**(BBMにて性能を確認しEM製作中)**。

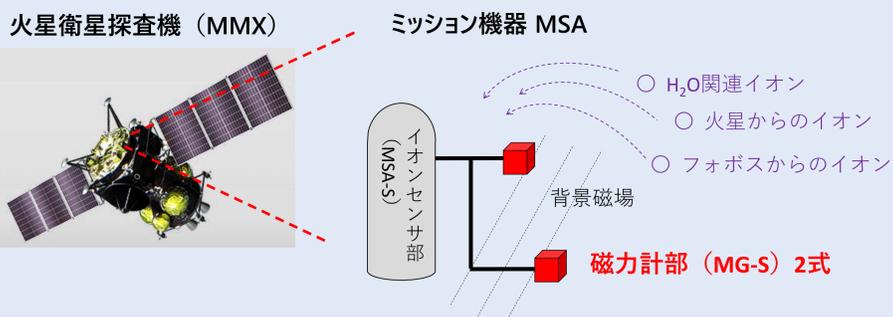


図1. MMX搭載イオン質量分析器(MSA)のセンサ構成図。磁力計部は到来するイオンの方向同定に貢献する。磁力計部は探査機上の異なる点に2式搭載し自然磁場と外乱磁場を分離する。

Comet Interceptorでは彗星のプラズマ観測のため、超小型探査機に本研究の新方式磁力計を搭載する方向で検討を進めている。

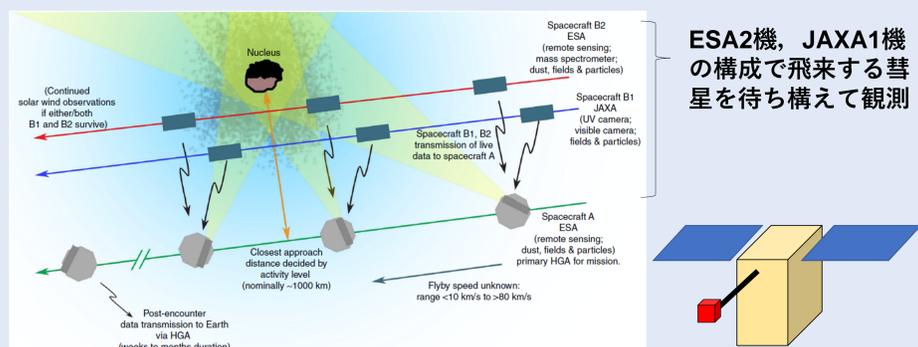


図2. Comet Interceptorの計画のイメージ図
[2] (Snodgrass, 2019) **24U程度の超小型探査機にブームと磁力計を搭載する計画**

基本波型直交フラックスゲート(新方式磁力計)

- 細いアモルファスワイヤを磁性コアとし、周りにピックアップコイルを巻いたシンプルなセンサヘッドにより小型軽量化に適する。1軸センサ部は約1 g。
- 従来の平行フラックスゲートと異なり、励磁電流をコアに直接通電し検出磁場と励磁磁場が直交関係となる。交流に直流成分を重畳させた励磁電流によりコアは飽和し回転磁化領域で動作し、磁気雑音が低減。
- 図4のように励磁電流の極性を周期的に反転して通電することでセンサ出力に現れるオフセット成分を低減する技術を採用している。

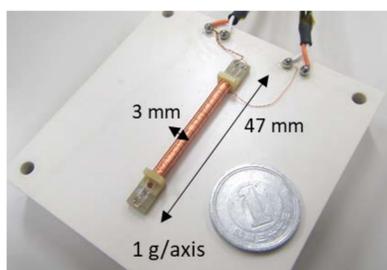


図3. 新方式磁力計センサヘッド(1軸, MMX BBM相当品)。

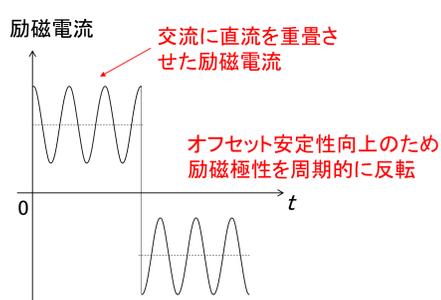


図4. 励磁電流のイメージ。

BBM相当品の最新状況

＜振動・真空試験による耐環境性の検証＞

観測ロケットの条件でランダム振動(16.5 Grms)を印加し、加振前後の性能を検証した。

加振前後の出力オフセット変化は最大1.5 nTと小さく、雑音特性も変化なく良好であった。

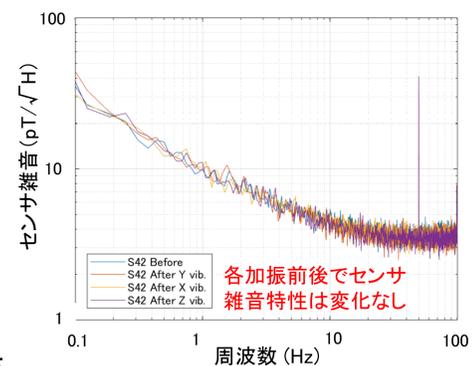
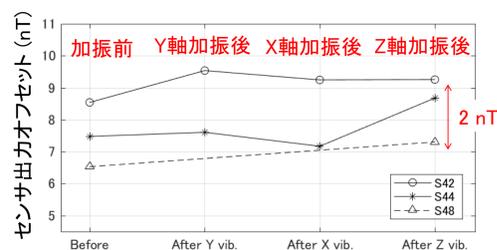
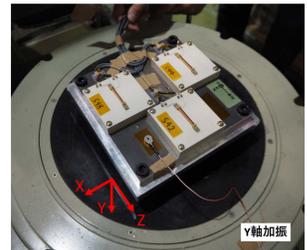
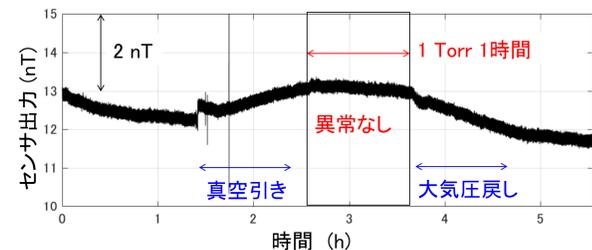


図5. (上図)加振前後のセンサ出力オフセット変化(3本のセンサに対して測定), (右図)加振前後のセンサ雑音の重ね描き。

常温・1 Torr(133 Pa)の環境でセンサを動作させ、励磁に伴う過熱等により異常の発生がないかを検証した。

真空引き、大気圧戻しに伴い0.8 nTほどの出力増減が生じているが、1 Torrで1時間の動作中に異常は生じていない。



(上記環境試験は宇宙研 阿部琢美先生のご支援を賜り実施しました)

図6. 常圧→真空→常圧のサイクルにおけるセンサ出力の様子。

＜センサの3軸化＞

1軸センサを3本、クロストークが最小化される配置で組み付け、3軸センサを構成した(図7)。

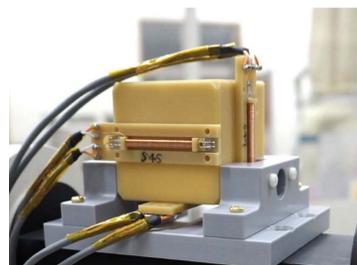


図7. 3軸に構成したセンサ

一辺47 mmの立方体形状、組み付けを工夫し質量40 g程度を実現可(MMX向け設計では取付台座等により実際には重量は若干増加)。

アライメント測定の結果、軸間の直交性は0.6 deg以内となっており、出力の校正を行うことで不確かさ0.07 deg以内でベクトル磁場計測が可能である。

＜回路部のBBM＞

宇宙用部品の制限の中で回路部の設計を行い、汎用部品を使用した実験室用回路と概ね同等な性能が達成できることを確認した。一部アナログスイッチなど宇宙用部品で適切なICが存在しないものはディスクリート部品で構成を行った。

今後の計画と課題

- ① MMX向けEM製作(センサ部・回路部)を行い、各種試験に進む。なお磁力計搭載位置によってはセンサが-150°C以下の低温にさらされる可能性があり、極低温でも破壊が無いよう事前に検証試験を行う予定。
- ② Comet Interceptor向けにはMMX向け開発成果を踏襲しつつ、彗星周りのプラズマ観測におけるサイエンス要求に適合するよう、センサ部・回路部の一層の改良を目指す。

[1] I. Sasada, "Orthogonal fluxgate mechanism operated with dc biased excitation," Journal of Applied Physics, vol. 91, no. 10 I, 2002.

[2] C.Snodgrass, "The European Space Agency's Comet Interceptor lies in wait," NATURE COMMUNICATIONS, vol. 10, 5418, 2019