

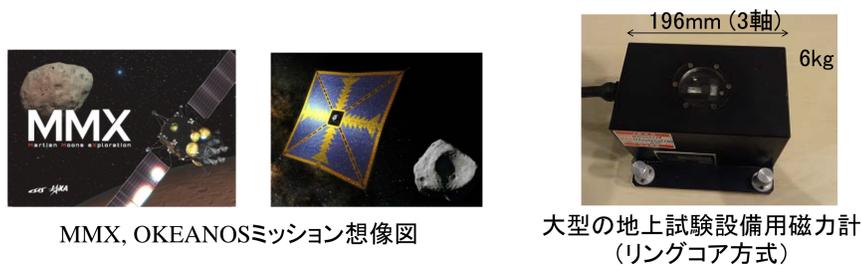
衛星搭載による科学観測及び地上磁気試験への適用を目指した小型高精度新方式磁力計の開発



村田直史(JAXA/総研大), 松岡彩子(JAXA/ISAS)

概要・目的

- 宇宙空間の電磁界現象解明を目的とした宇宙科学ミッションでは衛星搭載の磁場観測器により惑星固有磁場や惑星間空間磁場の観測が実施される。
- MMXやOKEANOS等の将来ミッションでは、磁場観測器の搭載コンフィギュレーション上厳しいサイズ・重量制約が想定され、性能はそのままに一層の小型軽量化が求められている。
- これらミッションでは衛星開発時に精緻な地上磁気試験が必要で、地上設備においても測定用磁力計の小型・精度化が要望される。
- しかし現在広く適用される既存のリングコア方式の磁力計はセンサを小型化すると雑音性能が悪化する傾向がある。

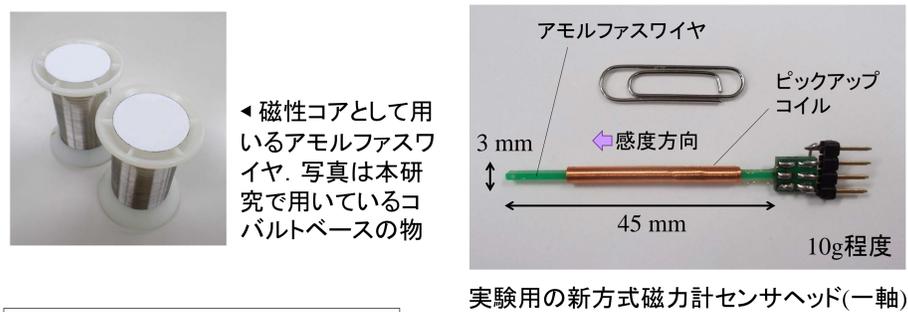


⇒本研究では九州大学の笹田一郎教授により発明された低雑音・小型軽量化に適した**基本波型直交フラックスゲート^[1]方式により、将来の宇宙科学ミッション用途に適用可能なサイズと性能を両立した実用品を開発**することを目的としている。

基本波型直交フラックスゲート(新方式磁力計)

センサヘッド

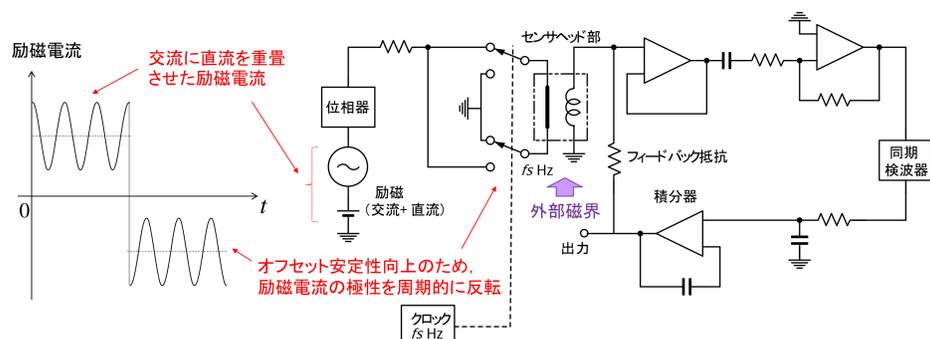
- 髪の毛程の太さのアモルファスワイヤを磁性コアとし、この周りにピックアップコイルを巻いたシンプルな構成。励磁電流は直接ワイヤに通電され励磁用のコイルが不要なため、小型軽量化に適する。



実験用の新方式磁力計センサヘッド(一軸)

動作原理および検出回路

- 既存のリングコア方式と異なり、励磁電流には交流成分(正弦波)だけでなく直流成分を重畳し、ワイヤコアに直接通電する。
- 直流励磁成分によりコアの磁化は常にワイヤ円周方向へほぼ飽和し、回転磁化領域で動作する。
- 本領域では磁化の磁壁移動は抑制され、外部磁場は交流励磁成分の基本波周波数で変調される。これを検出することで小型ながら高い磁場検出感度と低雑音のセンサとなる。
- 更に励磁電流の通電方向を周期的に反転する手法により、ワイヤ物性(異方性)に起因するオフセット発生をキャンセル、温度や経時変化によるオフセット安定性を向上可能(雑音は若干増加)。



励磁電流波形のイメージ(左)と新方式磁力計の回路構成図(右)

研究状況・各種性能検証

まずは宇宙科学ミッション用途として求められるセンサの基本計測性能を確立すべく、一軸構成にて最もクリティカルな項目となる**低雑音性・高オフセット安定性**の両立と性能向上を実施している。

目標計測性能

表1に現段階で目標としている計測性能を示す。

表1. 現段階の目標計測性能

雑音	10pT/√Hz@1Hz以下	
オフセット安定性	温度特性	0.1nT/°C以下
	経時変化	0.5nT/day以下
計測レンジ	±60,000nT	
計測帯域	DC-40Hz	

センサ雑音特性の改善

- 製造バラつきが少ないglass-coatedアモルファスワイヤを新規のコア材として採用。
- 更にコアの通電熱処理法を確立し、アモルファス内のストレス緩和、物性制御を実施。
- これにより非熱処理時と比較して雑音を1/4に低減、更に複数のヘッドに対しても再現性良く手法が有効であることが確認された(図1^[2])。

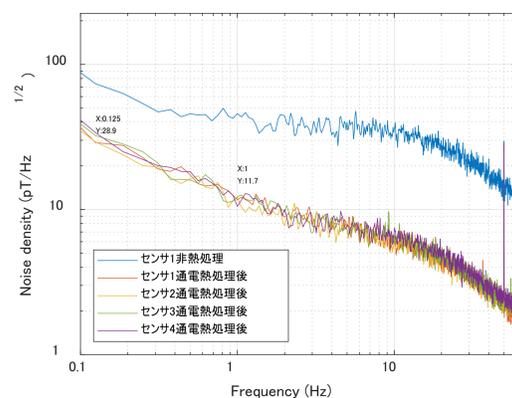


図1. 非熱処理時と通電熱処理時の雑音密度比較

現状12pT/√Hz@1Hz以下の雑音が得られており、**宇宙科学ミッションへの適用が視野に入る。また性能の良好な再現性獲得は、実用化に向け大きなメリットとなる。**

オフセット安定性の改善(温度特性・長期特性)

- 上述の通電熱処理による物性制御のほか、回路面の改良等を実施。
- 室温下の磁気シールド内での24h計測では0.5nT/24h以下の長期安定性を実現している。
- 温度特性計測は現在実施中であるが、0.1nT/°C以下を達成。

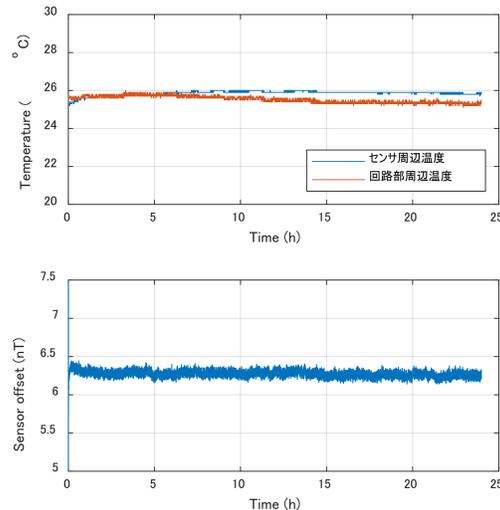


図2. センサヘッドを磁気シールド内に設置し室温下で24h測定したオフセット変動

宇宙科学ミッション用として十分なオフセット安定性を獲得。類似研究に対し一桁以上安定な結果を実現。

今後の計画

- ベクトル磁場測定に向け、現状の一軸構成から三軸構成へ拡張を行い各種性能検証を継続実施。
- 宇宙機搭載品への適用にはセンサ部の耐環境性(打ち上げ機械環境、熱真空環境)を確保する必要あり。すでに磁力計メーカーと共同で実用に耐えるセンサ構造の設計を開始。

2019年中に上記①②を完了し、**MMX搭載用EM品を制作予定。並行して地上磁気試験設備用の実用試作品も並行して制作予定。**

[1] I. Sasada, "Orthogonal fluxgate mechanism operated with dc biased excitation," Journal of Applied Physics, vol. 91, no. 10 I, pp. 7789-7791, 2002.

[2] N.Murata, et.al, "Current annealing of glass-coated amorphous wire for noise reduction of low-offset fundamental mode orthogonal fluxgate," 2018 IEEE International Magnetic Conference (INTERMAG).