

SCOPE 衛星搭載に向けた高精度磁力計の開発 Development of high-resolution digital fluxgate magnetometer for the SCOPE mission

井口 恭介^{1*}, 松岡 彩子², 藤本 晶子²
kyosuke Iguchi^{1*}, Ayako Matsuoka², Akiko Fujimoto²

¹ 総研大・宇宙科学, ² 宇宙研

¹Sokendai, ²ISAS/JAXA

1. SCOPE 計画

地球磁気圏内外における宇宙プラズマのスケール間結合の解明を目的として、JAXA は Canadian Space Agency と協力して地球磁気圏観測衛星群「SCOPE」プロジェクトの実施を計画している。SCOPE 計画では電子スケールの観測を行うため、10 msec 以下の高時間分解能かつ高精度な電磁場、粒子観測が要求されている。

我々は、この SCOPE 衛星への搭載を目指してフラックスゲート磁力計の開発を行っている。フラックスゲート磁力計は DC から低周波の磁場を高精度で計測できる。加えて、小型、軽量、省電力であることから、多くの科学衛星に搭載されてきた実績がある。フラックスゲート磁力計の主な性能諸元は以下のとおりである。以下の性能諸元は SCOPE 衛星のミッション要求を満たすために設定されている。

磁場測定範囲 : 約 ± 4000 nT
測定周波数帯域 : DC から 60 Hz までの変動磁場
分解能 : 20 ビット (8 pT に相当)

現在は SCOPE 衛星搭載用の磁力計を開発するために、性能検証として観測ロケット S310-40 号機に搭載する磁力計を開発している。観測ロケット用には、以下の性能を満たす磁力計を開発する。

磁場測定範囲 : 約 ± 65000 nT
測定周波数帯域 : DC から約 60 Hz までの変動磁場
分解能 : 16 ビット (2 nT)

SCOPE 計画における磁場測定範囲は観測ロケットの場合に比べて狭いため、同じ分解能でも磁場分解能が向上する。したがって、SCOPE 衛星搭載用の磁力計では分解能 16 ビットが 128 pT に相当することがわかる。本講演では観測ロケット搭載磁力計の性能評価結果を報告する。ロケット実験終了後は磁場分解能 20 ビットを目指して開発を進めていく。

2. フラックスゲート磁力計

SCOPE 衛星および観測ロケット S310-40 号機搭載用のフラックスゲート磁力計にはセンサからの検出信号をデジタルプロセッサで処理するデジタル方式を採用している。国際的にはデジタル方式は 1990 年以降開発が進み、従来の方式に比べて小型、軽量化がなされ、経年変化や温度特性も改善されたという特徴を持つ。

しかし、測定精度と線形性の向上は未だ課題である。デジタル方式の磁場分解能は電気回路部のデジタル-アナログ変換器 (DAC: Digital-to-Analog Converter) の分解能に強く依存する。宇宙機用として承認されている DAC の分解能は 12 ビットまでしかないため、これまではデジタル方式の高磁場分解能化は困難であった。

そこで、我々は宇宙機に搭載できる部品だけを使い、デルタ-シグマ変調方式を用いた高分解能 DAC を開発した。デルタ-シグマ DAC はデルタ-シグマ変調器とその後段にあるフィルタで構成され、それらの性能がデルタ-シグマ DAC の分解能を決定する。まずはシミュレーションによって 16 ビットを満足するように DAC を設計した。その結果、2 次型デルタ-シグマ変調器と後段フィルタに 4 次型アナログローパスフィルタを採用した。デルタ-シグマ DAC の性能指標であるオーバーサンプリング比を 676 とすることにより 16 ビットの性能を満足することがわかった。次に、この設計に基づいてデルタ-シグマ DAC を製作し、各種性能評価試験を行った。結果は以下のとおりである。

ノイズレベル : 16 ビット
線形性 : 0.006 % F.S.
周波数応答計測 : 67 Hz @ ± 40000 nT レンジ

以上の結果から、分解能 16 ビットの性能が実現したことを確認した。次のステップとして、このデルタ-シグマ DAC をデジタル磁力計の電気回路に組み込んで、観測ロケット搭載デジタル磁力計を開発した。