

SCOPE 衛星搭載に向けた高精度磁力計の開発

井口 恭介 [1]; 松岡 彩子 [2]; 藤本 晶子 [3]
[1] 総研大; [2] JAXA 宇宙研; [3] 宇宙研

Development of high-resolution digital fluxgate magnetometer for the SCOPE mission

Kyosuke Iguchi[1]; Ayako Matsuoka[2]; Akiko Fujimoto[3]
[1] Sokendai; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS/JAXA

. The main subject of the SCOPE (Scale COUpling in the Plasma universE) project is to investigate the cross-scale coupling physics of the plasma in the magnetosphere and in the interplanetary space. The magnetic field should be measured with higher time resolution than 10 msec, to investigate electron-scale processes of the plasma. The performance requirements of the SCOPE mission are shown below.

Dynamic range : +/-4000 nT

Frequency range : DC-60 Hz

Resolution : 20 bits (The quantization step corresponds to 8 pT.)

As the interim goal for the SCOPE mission, we have developed a digital-type fluxgate magnetometer for S-310-40, a sounding rocket mission. The digital-type has the advantage of being small, light-weight and low power consumption. The required performances for the S-310-40 mission are shown below.

Dynamic range: +/-62000 nT

Frequency range: DC-40 Hz

Resolution: 16 bits (corresponding to 2 nT)

When we keep the 16-bit resolution and change the dynamic range from +/- 62000 nT to +/- 4000 nT, the quantization step corresponds to 128 pT.

In this presentation, we report the development results of the digital-type fluxgate magnetometer.

The accuracy of the digital-type fluxgate magnetometer is determined by the resolution of the Digital-to-Analog Converter (DAC) in the electronics package. But, the highest resolution of the DAC for the space application is 12 bits. In order to improve the accuracy of the digital-type fluxgate magnetometer, we adopted the high-resolution sigma-delta type DAC.

First, we developed the sigma-delta DAC achieving 16-bit resolution. It consists of 2nd-order 1-bit sigma-delta modulator and 4th-order analog low-pass filter using tolerant devices of the space environment. The resolution of the sigma-delta DAC depends on the topology of the sigma-delta modulator and the performance of the analog filter. We optimized the sigma-delta DAC's parameters by numerical simulation and confirmed that the developed DAC satisfies results of simulation.

Second, we developed a digital-type fluxgate magnetometer embedded the sigma-delta DAC and evaluated performances. The developed magnetometer's performances are shown below.

Dynamic range: +/-62000 nT

Frequency range: DC-40 Hz

Resolution: 16 bits (corresponding to 2 nT)

Linearity error : 0.013 % @0.72 F.S.

S-310-40 will launch in this year. As the future work, we will improve the accuracy of the sigma-delta DAC for the SCOPE mission.

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 SCOPE 計画を進めている。この計画では電子の時間スケール (10 msec) でその場観測を行うため、高時間分解能かつ高精度な電磁場、粒子観測が重要である。

我々は、この SCOPE 衛星搭載に向けたフラックスゲート磁力計を開発している。フラックスゲート磁力計は、小型、軽量、省電力で DC から低周波の磁場を高精度で計測できることから、多くの科学衛星に搭載されてきた実績がある。SCOPE 計画におけ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。

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)

我々は SCOPE 計画までの中間目標として観測ロケット S-310-40 号機に搭載する磁力計を開発した。開発した磁力計の主な性能諸元は以下のとおりである。

磁場測定範囲 : 約 +/-62000 nT

測定周波数帯域 : DC から約 40 Hz までの変動磁場

分解能 : 16 ビット (2 nT に相当)

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。

2. デジタル方式フラックスゲート磁力計

観測ロケット S-310-40 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。デジタル方式は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。

最初に、我々は宇宙機に搭載できる部品だけを使い、分解能 16 ビットのデルタ-シグマ変調方式 DAC を開発した。この 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。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 とし、2 次型デルタ-シグマ変調器と 4 次型アナログローパスフィルタを採用することで、分解能が 16 ビットより高いことをシミュレーションによって確認した。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、シミュレーション通りの性能であることを確認した。

次に、デルタ-シグマ DAC を組み込んだデジタル磁力計を製作し、その性能評価を行った。結果は以下のとおり、観測ロケットにおける要求を満足していることがわかった。

磁場測定範囲 : 約 \pm 62000 nT
分解能 : 16 ビット (2 nT 相当)
カットオフ周波数 : 40 Hz@-3dB
線形性 : 0.013 % @0.72 F.S.

観測ロケットは今年度中に打ち上げ予定である。今後は、分解能 20 ビットを目指して DAC を開発していく。