

## 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 SCOPE missions

# 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 interplanetary space. The electric and magnetic fields as well as the charged particles should be measured with higher time resolution than 10 msec, to investigate the electron-scale process of the plasma and to achieve the objective of the SCOPE mission. JAXA is now designing the spacecraft for the SCOPE mission in collaboration with Canadian Space Agency.

Fluxgate magnetometer is an excellent instrument to measure the magnetic field vectors from DC to low frequency. It is most widely used for space science missions to measure the earth, planetary and interplanetary magnetic field. In previous missions, fluxgate magnetometers have provided the data with good accuracy for the space plasma examination. (b4) Furthermore they had the advantage of being small, light and low power. We are developing fluxgate magnetometer for the SCOPE satellites. The performances which satisfy the requirements of the SCOPE mission are shown below.

Dynamic range : about +/-4000 nT

Frequency range : DC-60 Hz

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

The resolution of the fluxgate magnetometer onboard the GEOTAIL spacecraft which was launched in 1992 is 14 bits. Therefore that for SCOPE is higher than GEOTAIL by more than 60 times. We have developed a fluxgate magnetometer for S310-40, a sounding rocket mission, as a preliminary experimental step of the development of the fluxgate magnetometer for SCOPE. The requirements for the S310-40 experiment are shown below.

Dynamic range : about +/-65000 nT

Frequency range : DC-60 Hz

Resolution : 16 bits (Quantization step corresponds to 2 nT.)

When we keep the 16-bit resolution and change the dynamic range from +/- 65000 nT to +/- 4000 nT, the quantization step becomes 128 pT. We report the examination results of the fluxgate magnetometer we have developed for the S310-40 rocket. Based on the design of the fluxgate magnetometer for S310-40, we plan to develop a higher-resolution fluxgate magnetometer for the SCOPE mission.

We have developed a Digital-type FluxGate magnetometer (DFG) for the S310-40 experiment. The analog signal from the sensor is converted into the digital code by an Analog to Digital Converter (ADC), and the digital code is processed by a digital signal processor. However, we are considering that the digital-type fluxgate magnetometers are possibly less accurate than the analog-type. The accuracy of the digital-type fluxgate magnetometer is determined by the resolution of the Digital to Analog Converter (DAC) in the electronics part. Because high-bit resolution DAC for the space applications is not available currently, digital-type fluxgate magnetometer having higher-resolution than analog-type has not been developed yet.

To improve the accuracy of the digital-type magnetometer, we are developing a high-bit DAC circuit which consists of the devices tolerant of the space environment. We adopted the delta-sigma modulation technique for this DAC development. The resolution of the delta-sigma DAC is determined by the topology of delta-sigma modulator and analog filter which consist of the delta-sigma DAC. First, we designed the topology and analog filter by numerical simulation. We adopted a 2nd-order delta-sigma modulator and 4th-order analog low pass filter. When the over sampling ratio is 640, we found that the resolution of DAC is around 16 bits. Second, we built a delta-sigma DAC test board based on our simulation results. We evaluated the errors in the output signal of DAC test board against the varying input signal, and found that the resolution of developed DAC satisfied 16-bit resolution. We are currently building a digital fluxgate magnetometer for the S310-40 rocket experiment.

#### 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。SCOPE 衛星のミッション要求を満たすために設定された、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  
分解能 : 20 ビット (磁場分解能 : 8 pT)

1992 年に打ち上げられた GEOTAIL 衛星搭載のフラックスゲート磁力計の分解能 14 ビットに比べると、SCOPE 衛星搭載の磁力計は 60 倍以上の分解能を持つことがわかる。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  
分解能 : 16 ビット (磁場分解能 : 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、同じ分解能のとき磁場分解能は向上する。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。ロケット実験終了後は分解能 20 ビットを目指して開発を進めていく。本講演では観測ロケット搭載磁力計の開発状況を報告する。

## 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デジタル方式フラックスゲート磁力計を採用している。センサからの検出信号は AD 変換され、デジタルプロセッサで処理される。国際的にはデジタル方式は 1990 年以降、オーストリアやアメリカで開発が進み、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、磁場分解能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、我々は宇宙機用に用いることのできる部品だけを使い、変調と呼ばれる方式を用いた高分解能 DAC を開発した。変調器の構成や後段フィルタの性能は分解能を決定する。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 次型変調を採用し、後段フィルタに 4 次型アナログローパスフィルタを用いて、オーバーサンプリング比を 640 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変調 DAC を製作し、各種性能評価試験 (ノイズレベル、線形性、周波数応答計測) を行い、分解能 16 ビットの性能が実現したことを確認した。現在はこの DAC を用いて観測ロケット搭載デジタル磁力計を製作している。