

R006-24

A 会場 : 11/27 PM1 (13:15-15:15)

13:45~14:00

デジタル方式フラックスゲート磁力計における FPGA コーディングの検討と開発

#田中 颯¹⁾, 松岡 彩子²⁾

⁽¹⁾ 京都大学 理学研究科 地球惑星科学専攻, ⁽²⁾ 京都大学 理学研究科 地磁気世界資料解析センター

Investigation and development of FPGA coding for digital-type fluxgate magnetometer

#Hayato Tanaka¹⁾, Ayako Matsuoka²⁾

⁽¹⁾Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, ⁽²⁾Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto University

Digital-type fluxgate magnetometers have been developed and installed on satellites and sounding rockets in Japan and other countries because they have advantages in reducing power consumption and weight compared to conventional analog-type fluxgate magnetometers. In this study, the frequency characteristics of a digital-type magnetometer are numerically modeled and compared with those of manufactured hardware. The improvement of the digital-type fluxgate magnetometer can expand the possibilities for advanced magnetic field measurement in the future space-science mission.

The fluxgate magnetometer measures the external magnetic field strength and direction by the non-linearity characteristics of magnetic field in a soft-magnetic core in the sensor. Artificial magnetic field is excited by alternating current flowing through a drive coil wound around the core, and the induced voltage in another coil, pickup coil, wound around the same core, is detected as the signal corresponding to the external field. For the digital-type fluxgate magnetometer, developed for use on spacecraft, a Field Programmable Gate Array (FPGA), a digital logical processor, is used to perform most of the pickup signal processing. Therefore, the weight and power consumption of its circuit can be reduced compared to analog-type fluxgate magnetometer. Recently the target of space exploration is expanded to the wider area in the solar system. As a result, observation instruments of wider variety are installed on a single spacecraft and the technology for the in-situ observation has been developed to suit that condition. Digital-type fluxgate magnetometer, which is small and power-saving compared with the conventional analog-type, is more suitable for the future exploration by spacecraft, on which more various and smaller observation instruments would be installed. Meanwhile the devices and materials used in instruments on spacecraft require a high degree of reliability and must be tolerant of the severe space environment, e.g., high and low temperatures and radiation. The reliability and environment tolerance strictly restrict the available device, material and design of the instruments. The goal of this research is to develop a digital-type magnetometer with improved performance over conventional one while overcoming these limitations.

This study and development are based on the design of a digital-type fluxgate magnetometer developed for the SS-520-3 sounding rocket experiment. Since the output data from the magnetometer to the magnetic-field input depend on the frequency of the magnetic field time variation, the frequency characteristics of the response of the magnetometer should be evaluated with high accuracy. We numerically simulated and modeled the frequency characteristics and derived the overall transfer function of the digital-type fluxgate magnetometer. When comparing the obtained frequency response of our first model with the frequency response of the manufactured hardware, there was a significant difference between the model and the actual hardware. Since the circuit of the digital-type fluxgate magnetometer consists of both analog and FPGA digital circuit, the model must be the combination of transfer functions for continuous and discrete time-series signals. In our first model, to implement this combination easily, the digital signal processing in the FPGA was modeled in a simplified form. It led to the considerable inaccuracy of the modeled transfer function of the digital signal processing, and caused the discrepancy of the overall frequency characteristics. In the next step we revised the model for the digital signal processing, which accurately expresses the processing in the FPGA and can be combined with the analog data processing model. We constructed the overall transfer function of the digital-type fluxgate magnetometer by implementing the revised model, and examined the consistency of its frequency characteristics with the actual hardware.

We will present the frequency response model of the digital-type magnetometer based on our examination of the FPGA coding in detail, and discuss its characteristics. Moreover, we are investigating the parameter in the FPGA coding to improve the performance of the digital-type fluxgate magnetometer.

In the future, based on the results of this study, we will design the parameter of the digital-type fluxgate magnetometer that could detect higher frequency magnetic field fluctuations in the space.

デジタル方式フラックスゲート磁力計はアナログ方式に比べて消費電力、重量を抑えられるという利点から、国内外で開発、宇宙機に搭載されている。本研究ではデジタル方式フラックスゲート磁力計の利点を生かしつつ更に幅広い磁場測

定への可能性の開拓に向けて開発を行っている。

フラックスゲート磁力計はコアの周りに巻いたドライブコイルに交流電流を流すことによりコアを励磁し、外部磁場の強度と方向に応じて生じた起電力を検出することにより、外部磁場を計測する。宇宙機への搭載を目的に開発されたデジタル方式のフラックスゲート磁力計では、デジタル演算素子の Field Programmable Gate Array (FPGA) でピックアップ信号の処理の大半を行うため、アナログ方式のフラックスゲート磁力計に比べ回路の重量や消費電力を抑えることができる。近年の探査技術の向上により、太陽系における直接探査の領域や対象が広がりつつある。これに伴い、一つの宇宙機に多種多様な観測機器を搭載する傾向にある。小型化・省電力化したデジタルフラックスゲート磁力計は、観測機器の増加、小型化の進む近年の宇宙機での観測に適している。しかし、宇宙機に搭載する機器で使用する部品には高度な信頼性が要求され、また熱や放射線等の過酷な宇宙環境に耐える必要があることから、設計は制約を受ける。この制約を克服しつつ、従来よりも性能を向上させた磁力計を開発することが本研究の最終的な目標である。

本研究では観測ロケット SS-520-3 号機に搭載されたデジタル方式フラックスゲート磁力計の設計をベースに検討と開発を行う。磁場の入力に対する磁力計の出力は磁場変動の周波数に依存するため、入力信号に対する出力信号の応答の周波数特性を精度よく評価することが求められる。そこで磁力計の伝達関数を計算機でシミュレーションして求め、周波数特性をモデル化した。そしてこの周波数特性モデルを実機の周波数特性と比較したところ、モデルと実機の周波数特性には大きな乖離があった。フラックスゲート磁力計の回路はアナログ回路と FPGA によるデジタル回路が混在しており、モデルでは連続的な時間信号の伝達関数と離散的な時間信号の伝達関数を組み合わせる必要がある。組み合わせを容易に行うためにモデルのデジタル回路の動作を単純化し、FPGA で実際に行っている信号処理を厳密に反映していなかったために乖離が生じたと考えられる。そこで、FPGA が行っている演算を正確にモデル化した上でアナログ回路との組み合わせが可能な形式の伝達関数を導出し、デジタル方式フラックスゲート磁力計全体の伝達関数を構築することにより、モデルと実機の周波数特性の一致をはかった。

今回の発表においては FPGA のコーディングを詳細に検討し、これを反映した周波数特性のモデルを提示し、考察する。また、デジタル方式フラックスゲート磁力計の性能を向上させるための、FPGA コーディングにおけるパラメータ設計を検討する。

将来的には、本研究の結果を元に、デジタル方式フラックスゲート磁力計のパラメータ設計を行い、より高周波の磁場変動を捉えることを目指す。