

超小型衛星に搭載可能な小型のベクトル・スカラー磁力計を用いた磁力計較正システムの開発

#福元 笑美乃¹⁾, 寺本 万里子¹⁾, 魚住 禎司²⁾, 北村 健太郎¹⁾

¹⁾ 九工大, ²⁾ 九大/国際宇宙惑星環境研究センター

Development of Magnetometer Calibration System Using a Small Vector and Scalar Magnetometer for CubeSats

#Emino Fukumoto¹⁾, Mariko Teramoto¹⁾, Teiji Uozumi²⁾, Kentaro Kitamura¹⁾

¹⁾ Kyushu Institute of Technology, ²⁾ International Research Center for Space and Planetary Environmental Science, Kyushu University

In the field of space weather, an importance of the precise geomagnetic field observations associated with the solar wind variations has been leading a continuous improvement of the accuracy of magnetic field observations by the satellites. The European Space Agency (ESA) has previously developed and operated conventional large satellites, such as CHAMP and SWARM, to conduct high-precision geomagnetic field observations using vector and scalar magnetometers. On the other hand, with the increasing of CubeSats since the 2000s, that can be developed in a short period of two or three years and at low cost, they have also come to be used in the scientific observations. In the field of geomagnetic observation, CubeSats observation has not been developed due to the cost of high-precision magnetometers and the low accuracy of small magnetometers. If the magnetometer system developed by ESA can be applied to CubeSats, high-precision magnetometer calibration system can be developed, mass production at low cost will be possible, and simultaneous observation of the geomagnetic field at multiple locations will become feasible. There is significant potential for contributing to the field of space weather through the miniaturization of highly accurate magnetometer calibration systems. The study aims to develop a small, highly accurate magnetometer calibration system that can be mounted on an CubeSat. The magnetometer system to be developed consists of a measurement system and a calibration system. A fluxgate magnetometer (Spacemag-Lite, Bartington) is used for the vector magnetometer and an optical pumping magnetometer for the scalar magnetometer (OTFA-13M, QuSpin).

This study involves verifying the operation of Breadboard Models (BBMs) of magnetometers that can be mounted on Cubesats, developing control programs for simultaneous measurements, and conducting numerical analysis of the calibration program based on previous research. After developing the control program, a 10-minute indoor measurement was conducted, during which simultaneous measurements were mostly successful, although a few instances of extremely low values were observed in the scalar magnetometer readings.

The calibration program was then validated for accuracy based on the method used by Fan and Lühr [2011] to calibrate the CHAMP magnetometers. This calibration principle allows estimating the necessary calibration parameters for the vector magnetometer based on the scalar magnetometer observations, and the error in the total magnetic field total B calculated from the calibrated vector magnetometer is less than 0.5 nT.

A validation program was created to evaluate the accuracy of this calibration principle, and the analysis was performed assuming that the December 3, 2019 data from the geomagnetic observation data provided by the Geospatial Information Authority of Japan (Kuju Observatory) was the true magnetic field data, resulting in an error ΔB of 252.275 nT for the total B of the total magnetic field. The error before calibration was 3459.71 nT, confirming a significant improvement in total B after calibration compared to before calibration. However, since the requirement of the magnetometer system to be developed in this study is a accuracy within 50 nT (within 1°), the calculated error does not meet the requirement. Therefore, the offset of the calibration parameter was changed and the values before and after calibration were compared again using the verification program. When the offset was changed from the original setting of several thousand nT to several tens of nT, the error was found to be 0.10 nT, which is within the requirement. This confirmed that the calibration accuracy varies greatly depending on the parameter range.

In this session, the results of continuous measurements of fluxgate magnetometers and optical pumping magnetometers and the evaluation of the accuracy of the calibration program will be presented.

宇宙天気分野において、太陽風の影響による地球磁場変動を観測することは、非常に重要であり、精度の高い継続的な磁場観測が求められている。欧州宇宙機関は、ベクトル磁力計とスカラー磁力計を用いた高精度の磁場観測を行う大型衛星 CHAMP や SWARM を開発・運用をおこなってきた。一方、2000 年代以降、短期間・低コストで開発可能な超小型衛星の開発が増加してきており、科学分野への利用も始まっている。しかし、高精度かつ安価な磁力計が開発されていないため、地磁気観測分野において超小型衛星を用いた観測例は多くはない。欧州宇宙機関がおこなった磁力計較正システムを超小型衛星に適用させ、小型・高精度の磁力計較正システムを開発することができれば、低コストで大量生産が可能であり、地磁気の同時観測への応用が期待される。そのため、磁力計較正システムの小型化は宇宙天気分野への貢献に繋がる。

本研究では、超小型に搭載可能な小型の高精度の磁力計較正システムの開発を目的としている。開発する磁力計システムは、計測系と較正システム系の2つで構成されており、ベクトル磁力計にはフラックスゲート磁力計 (Spacemag-Lite, Bartington 社)、スカラー磁力計 (OTFA-13M, QuSpin 社) には光ポンピング磁力計を使用する。本研究ではまず、2つの磁力計の Bread Board Model(BBM) を用いた動作確認及び同時計測に向けた制御プログラムの作成、較正プログラムの検証を行った。開発した制御プログラムを、室内にて 10 分間計測を行ったところ、スカラー磁力計で極端に小さな観測値が数例見られたものの、計測期間の大半で同時計測を行うことができた。続いて較正用プログラムの検証を実施した。Fan and Lühr [2011] が行った CHAMP の磁力計較正に使用されていた手法をもとに精度の検証を行った。この較正原理では、スカラー磁力計の観測値を基準として、ベクトル磁力計に必要な較正パラメータを推定することができ、較正のベクトル磁力計から算出される全磁場 total B の誤差は 0.5 nT 以下となる。この較正原理の精度を評価する検証プログラムを作成し、国土地理院が発行する地磁気観測データ (久住観測所) の、2019 年 12 月 3 日のデータを真の磁場データと仮定して、解析を行ったところ、全磁場 total B の誤差 ΔB が 252.275 nT となった。較正前の誤差は 3459.71 nT であり、較正前と比較して較正後の total B は大きく改善することが確認できた。しかし本研究で開発する磁力計システムの要求は、精度 50nT 以内 (1° 以内) であるため、算出された誤差は要求を満たしていない。そこで、較正パラメータのオフセットを変化させ、再度検証プログラムを用いて較正前後の値を比較した。オフセットを元の数千 nT から数十 nT に設定にすると、誤差が 0.10 nT と要求内であることが分かった。よって、パラメータのレンジによって較正精度が大きく変化することが確認された。

本発表では、フラックスゲート磁力計と光ポンピング磁力計の連続計測結果と較正プログラムの精度評価について報告する。