

R009-P07

ポスター 4 : 11/26 AM1/AM2 (9:00-12:00)

彗星探査機 Comet Interceptor における磁力計センサアライメント検定手法の開発

#久連松 良温¹⁾, 松岡 彩子¹⁾, 村田 直史³⁾, 原田 裕己¹⁾, 笠原 慧²⁾, 佐藤 泰貴³⁾, 宮崎 康行³⁾, 白鳥 弘英³⁾, 中島 晋太郎³⁾, 五十里 哲²⁾, 船瀬 龍³⁾

(¹⁾京大・理, (²⁾東京大学, (³⁾JAXA, (⁴⁾京大・理, (⁵⁾東京大学)

Examination of the Method to Estimate the Magnetometer Sensor Alignment on Comet Interceptor

#Yoshiharu Kurematsu¹⁾, Ayako Matsuoka¹⁾, Naofumi Murata³⁾, Yuki Harada¹⁾, Satoshi Kasahara²⁾, Yasutaka Satoh³⁾, Yasuyuki Miyazaki³⁾, Hirohide Shiratori³⁾, Shintaro Nakajima³⁾, Satoshi Ikari²⁾, Funase Ryu³⁾

(¹⁾Graduate school of Science, Kyoto University, (²⁾The University of Tokyo, (³⁾Japan Aerospace Exploration Agency, (⁴⁾Graduate School of Science, Kyoto University, (⁵⁾The University of Tokyo)

Comets are samples of small celestial bodies retaining the characteristics at the early era of the solar system and providing essential information to understand the origin and evolution of the solar system. Previous missions to explore the comets have targeted short-period ones with orbital period of less than 200 years. However, these comets have approached the Sun many times, making it difficult to distinguish whether their surface features are original or affected by the solar illumination. The European Space Agency (ESA) and Japan's JAXA are planning the Comet Interceptor mission, the first-ever mission to explore a long-period comet whose characteristics have not been affected by the solar illumination. In this mission three spacecraft will be launched to observe a comet simultaneously, aiming to gain new insights into the formation and evolution of the solar system and the interaction between the solar wind and the comet. The spacecraft are scheduled to launch in 2029; ESA provides the main spacecraft (A) and one of the daughter spacecraft (B2), while JAXA provides the other daughter spacecraft (B1).

All these three spacecraft are equipped with magnetometers. On Spacecraft B1, to prevent artificial magnetic noise from the spacecraft itself from degrading the precise measurement of natural magnetic fields, the magnetometer sensor is mounted at the tip of a 1.5-meter-long boom. The boom, which is compactly stored at the launch, will be deployed after the launch. However, there are concerns that the magnetometer sensor might not be correctly aligned as designed, because the boom could be distorted after the deployment. Since this alignment error directly impacts the accuracy of magnetic field data, the boom distortion is a significant issue. In previous missions such as the Selenological and Engineering Explorer (SELENE) and the Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE), two coils are implemented inside the spacecraft to generate a known magnetic field for the calibration of the magnetometer sensor alignment. However, for the Comet Interceptor mission, it is not realistic to install coils since the weight restraint is the high priority. Therefore, we are aiming to develop an alternative method to estimate the magnetometer sensor alignment using magnetic noise generated by the instruments originally installed.

For the calibration, we are considering using the three reaction wheels that control the spacecraft's attitude as potential noise sources. In October, we plan to conduct an experiment to measure the magnetic field strength and direction generated by these wheels. In our presentation, we will show the results of the experiment and discuss whether we can estimate the magnetometer sensor alignment by these results. We will also talk about how accurate we may finally calibrate the alignment. After the experiment, we plan to build a simulation device that can reproduce the magnetic noise from the wheel to establish the method to determine the alignment of the magnetometer sensor. As the preliminary research, using magnetic experiment data of a previous project, EQUULEUS, we are developing the programs to analyze magnetic noise and evaluate the results. This preliminary research would enable us to start smoothly the examination for the Comet Interceptor case. The EQUULEUS CubeSat was developed by the University of Tokyo's Nakasu & Funase Laboratory (ISSL) and JAXA. EQUULEUS, same as Comet Interceptor, uses three reaction wheels for the attitude control. We would also like to present the analysis result of the magnetic field noise from the wheels of the EQUULEUS flight-model simulator. The magnetic experiment for the EQUULEUS flight-model simulator was carried in the same Magnetic Shield Room at JAXA's Institute of Space and Astronautical Science, where our experiment of the wheels for Comet Interceptor will take place. During these tests, time variations of the three-axis magnetic field components were measured by two magnetometer sensors placed at different locations, for different axes and various speeds of the rotation of the reaction wheels. From the measured magnetic field data, we calculated the directions of the maximum, intermediate and minimum magnetic field variation, and defined a coordinate system based on these directions. Using this coordinate system, we plotted hodograms to examine the characteristics of the magnetic field generated by the reaction wheels and feasibility to decide the axis directions determined by the field variation. We then evaluated how well this noise can be used for estimation of the magnetometer sensor alignment.

彗星は太陽系の形成初期における微小天体のサンプルであり、太陽系の起源や進化を理解するための重要な手がかりで

ある。これまでの探査ミッションでは、周期が 200 年未満の短周期彗星がターゲットであったが、それらは太陽に何度も接近しているため、表面の特徴が元々のものか、太陽に接近する過程で変化したものかを見分けるのが難しいという問題がある。このため、ESA（欧州宇宙機関）と日本の JAXA（宇宙航空研究開発機構）により、史上初めて長周期彗星の探査を目指す Comet Interceptor ミッションが計画されている。このミッションでは、3 機の衛星を用いて彗星を同時に観測することにより、太陽系の形成や進化、太陽から吹き出す荷電粒子である太陽風と彗星との相互作用について、新しい知見が得られることが期待されている。衛星は 2029 年に打ち上げ予定であり、ESA が親機（A 衛星）と子機の一つ（B2 衛星）を、JAXA が残りの子機一つ（B1 衛星）を提供する予定である。

それら 3 機の探査機には磁力計が搭載予定であり、JAXA が担当する B1 衛星では、探査機本体が発する人工的な磁場ノイズが自然界の磁場の観測に影響を与えることを防ぐため、長さ 1.5m の「ブーム」と呼ばれる棒状の伸展物の先に磁力計のセンサが設置される。打ち上げ時にはブームは小さく収納されているが、打ち上げ後にセンサが衛星本体から離れる方向に伸ばされる。しかし、ブーム伸展後に生じる歪みにより磁力計センサの方向（アライメント）が不確実性を有することが懸念されており、そのアライメント誤差が磁場データの誤差に直結するため、重要な課題となっている。従来の磁力計を搭載した探査ミッションのうち、月周回衛星「かぐや」や木星氷衛星探査衛星「JUICE」などでは、アライメントを正確に推定するために、衛星本体内部に既知の磁場を発生させるコイルを装備し、その磁場をセンサで計測することでアライメントのずれを検証していた。しかし、今回のミッションでは探査機の小型化の優先度が高いため、アライメント校正磁場を生成するコイルを搭載することができず、新たな校正手法の開発が求められている。そこで本研究では、探査機内部の機器が発生する磁場ノイズを逆に利用し、ブーム伸展後の磁力計センサのアライメントを推定する手法の開発を目指す。

今回の校正に用いるノイズ源として、衛星の姿勢制御のために使用される 3 つのホイール（リアクションホイール）を候補としており、今年の 10 月には、衛星に搭載されるホイールと同様のホイールが発する磁場の強さと向きを詳しく測る実験を予定している。今回の発表では、その実験で得たデータの解析結果を紹介し、その結果をもとに磁力計センサのアライメント推定の実現可能性や、最終的に目標とするアライメントの決定精度に言及したい。さらに実験後は、測定された磁場ノイズを再現できる模擬装置を作成し、方向推定方法の確立を目指す。現在は、過去に行われた別のプロジェクトの磁気試験データを用いて、磁場ノイズを解析するためのプログラムの作成とその結果の評価を行っており、10 月の磁場測定実験後に解析をスムーズに開始できるよう準備している。過去の磁気試験データには、Comet Interceptor と同様に姿勢制御のための 3 個のリアクションホイールを搭載した、東京大学中須賀・船瀬研究室 (ISSL) と JAXA が開発した深宇宙探査 CubeSat EQUULEUS のシミュレータを用いており、そのデータの解析内容に関しても今回合わせて紹介したい。EQUULEUS の磁気試験は、私たちが 10 月に実験を行う施設と同じ JAXA 宇宙科学研究所の磁気シールドルームで行われたものであり、回転させるホイールの軸を変更したり、回転数を変化させたりするのに応じた 3 軸成分の磁場の時間変化が、異なる場所に置かれた 2 台の磁力計によって記録されている。その磁場データから磁場変動の最大方向と、最小方向を計算し、これらの方向を基準にして座標系を作って、その座標系で Hodogram（ホドグラム）というグラフを描く。こうして得られるグラフから、リアクションホイールの発する磁場の特徴と、それによって決定される軸方向を捉え、リアクションホイールの磁場ノイズを用いたアライメント推定の有効性を議論する。