

K7-75

超小型深宇宙探査機「EQUULEUS」搭載月面衝突閃光観測カメラ「DELPHINUS」の FM 性能評価

Flight Model Evaluation of Lunar Impact Flash Observing Camera “DELPHINUS” onboard Deep-space Cube-sat “EQUULEUS”

○針間匠作¹, 布施綾太², 増田陽介², 阿部新助³, 柳澤正久⁴, 矢野創⁵, 船瀬龍⁶
 *Shosaku Harima¹, Ryota Fuse², Yosuke Masuda², Shinsuke Abe³, Masahisa Yanagisawa⁴, Hajime Yano⁵, Ryu Funase⁶

Abstract: “EQUULEUS (EQUilibrium Lunar-Earth point 6U Spacecraft)” will be the world’s smallest deep-spacecraft to explore the Earth-Moon Lagrange2 point (EML2). The spacecraft is jointly developed by the University of Tokyo and JAXA which will be launched by NASA’s SLS (Space Launch System) EM-1 (Exploration Mission-1) in late-2019. “DELPHINUS (DEtection camera for Lunar impact PHenomena IN 6U Spacecraft)” onboard “EQUULEUS” is one of the three scientific instruments to observe the lunar impact flash caused by meteoroids’ impacts. In this research, we investigated the performance of the DELPHINUS FM (Flight Model) camera system.

1. 概要

EQUULEUS^[1]は東京大学と JAXA が開発を進めている深宇宙探査機であり、地球・月系のラグランジュ点(EML₂)への航行を通し、6U サイズ(約 30×20×10cm)の超小型宇宙機による、地球月圏(シスルナ空間)での軌道制御技術の実証・地球磁気圏プラズマ撮像・地球月圏における固体天体分布の把握という 3 つのミッションを有するプロジェクトである (Fig.1). EQUULEUS は 2019 年 12 月に NASA の新規開発ロケット SLS(Space Launch System)初号機(EM-1)により打ち上げられる予定である。そして、月面衝突閃光(LIF)や地球近傍小天体(NEO), 地球重力捕獲天体(TCO)を観測するために EQUULEUS に搭載される可視光域カメラシステムが DELPHINUS である。

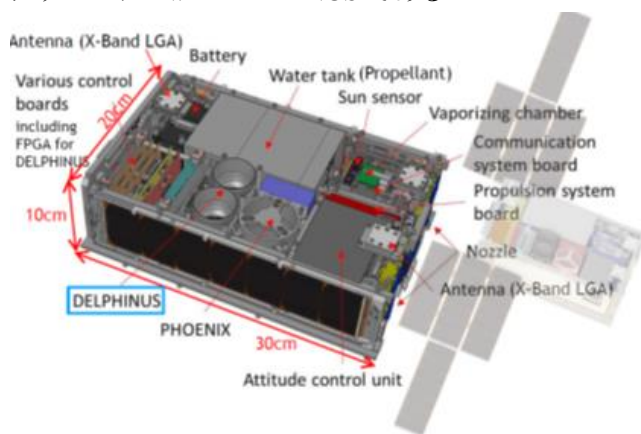


Figure 1. Appearance of EQUULEUS.

月面衝突閃光(Lunar Impact Flash)とは、月面にメテオロイド(流星物質)が衝突することで発生する発光現象である。メテオロイドのスケールは直径 cm~m で、数 10km/s の超高速で衝突する際に短時間(0.01~0.1 秒)の可視近赤外波長の閃光を観測することができる。地上

の光学・レーダーによる流星観測などで計測されるスケールが直径 μm ~mm のダストと、地上の望遠鏡で観測されるスケールが直径 m 以上の小天体を繋ぐスケールの空白領域を調査し、滞在周回軌道(ハロー軌道)からシスルナ空間に流入する流星物質のサイズ分布と時間変化(フラックス)を明らかにする。こうした評価は今後、月面での有人探査ミッション、月面基地の建設、観測機材のリスク評価などの検討、月震計との共同観測による月の内部探査への貢献に繋がると期待される。ここで、Table.1 に DELPHINUS(FM)の諸元を示す。

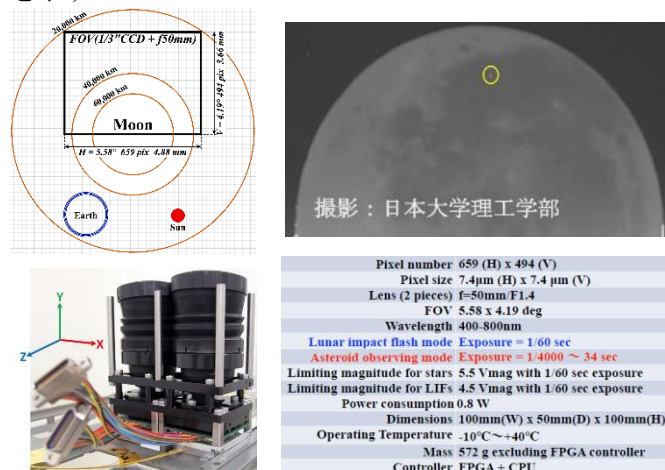


Figure2. Lunar impact flash and DELPHINUS.

2. 評価目的

DELPHINUS の光学系は、ICX424AL CCD イメージセンサを搭載した WATEC 社の T065 カメラモジュールを使用する。性能評価には、ランダムノイズを取得するフラット試験、輝度特性及び感度特性を調べる熱真空試験、カメラの検出限界等級を調べる屋外での恒

星撮像試験の 3 つの性能評価を通して、設計仕様^[2]の通りの性能かを検証する。以上の評価性能において以下の 2 つの評価目的が成り立つ。まず、ノイズの評価目的は、月面衝突閃光(LIF)の誤検出となりうる電気ノイズや宇宙線の影響を予め把握するためである。次に、限界等級の評価目的は、月面衝突閃光がどの程度暗いものまで検出できるかを予め把握するためである。2 つの評価目的には、実際の運用で月面衝突閃光を取りこぼすことなく、統計的に議論できる十分な検出数を得る為に、月面衝突閃光と誤検出の原因となるものの識別をするための最適な観測パラメータを見積もることにある。

I. FM フラット試験

2018 年 6 月末に国立極地研究所にて、積分器(Fig.3)を使用してフラット撮像試験を実施し、各温度で、T065 カメラモジュール CCD センサのランダムノイズを取得した。取得したデータは恒星撮像画像の 1 次処理における感度ムラを補正する画像として使用する。



Figure3. Integrating sphere device for flat test.

FM 熱真空試験

2018 年 7 月初旬に東京大学が所有する熱真空チャンバ(Fig.4)をお借りし、2 台のカメラの結像性能を調査した。



Figure4. Thermal vacuum testing machine.

この試験では屈折率の異なる地上大気圧下と真空下での試験前後で、2 台のカメラの焦点距離の変動が 0.1%以下に抑えられていることを確認する。また点光源が 5 ピクセル以内に収束していることが確認された。

II. FM 恒星撮像試験

2018 年 7 月初旬に本大学にて改造したデシケータ(Fig.5)に DELPHINUS のカメラシステムを収納し、野外で恒星撮像試験を行った。この試験では光学レンズの PSF(Point Spread Function)が設計値の 5 ピクセル内であることを確認する。



Figure5. Stellar imaging test of flight model.

3. 今後の方針

月面衝突閃光の検出が出来ているかどうかを調査する為の解析を進める。具体的には撮像試験で取得した画像からランダムノイズと暗電流ノイズのフレームを減算する 1 次処理^[3]をし、フラックスを求めた後、S/N を導出して露光時間や FWHM(Full Width at Half Maximum)との関係^[4]を求める。そこから限界等級を調査する予定である。

4. 参考文献

- [1] 布施綾太：「超小型深宇宙探査機” EQUULEUS” による月面衝突閃光の観測」, 卒業論文, 2016.
- [2] 超小型深宇宙探査機搭載「月面衝突閃光観測カメラ DELPHINUS」の性能評価, 増田陽介, 2017.
- [3] 宮坂正大, 市川伸一：「市販冷却 CCD カメラの性能評価」, 国立天文台報, 第 4 巻, p59-73, 1999.
- [4] Mike Bolte : Signal-to-Noise in Optical Astronomy, p5-17, 2015.