

HTV-X 1 号機用 Flash LIDAR の開発

永井 裕加里¹, 青木 一彦¹, 高野 英二¹, 林 伸善¹, 加瀬 貞二¹, 橋本 並樹¹,
中島 雅浩¹, 小野 雄太¹, 菱沼 孝穂², 林 あかり², 倉田 賢一³, 山崎 千尋³,
伊藤 徳政⁴, 近藤 義典⁴, 山元 透⁴, 関口 毅⁴, 片山 保宏⁴, 清水 成人⁴, 岡田 尚基⁴,
西下 敦青⁴, 水野 貴秀⁴

¹ 日本電気株式会社 (〒183-8501 東京都府中市日新町 1-10)

² NEC 航空宇宙システム (〒183-8502 東京都府中市住吉町 5 丁目 22-5)

³ NEC プラットフォームズ (〒183-8502 東京都府中市住吉町 5 丁目 22-5)

⁴ 宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1)

Development of Flash LIDAR for HTV-X 1

Yukari NAGAI¹, Kazuhiko AOKI¹, Eiji TAKANO¹, Nobuyoshi HAYASHI¹, Teiji KASE¹,
Namiki HASHIMOTO¹, Masahiro NAKASHIMA¹, Yuta ONO¹, Takao HISHINUMA², Akari HAYASHI²,
Kenichi KURATA³, Chihiro YAMASAKI³,
Norimasa ITO⁴, Yoshinori KONDOH⁴, Toru YAMAMOTO⁴, Takeshi SEKIGUCHI⁴,
Yasuhiro KATAYAMA⁴, Shigehito SHIMIZU⁴, Naoki OKADA⁴, Taisei NISHISHITA⁴
and Takahide MIZUNO⁴

¹ NEC Corporation. , 1-10 Nissincho, Fuchu, Tokyo 183-8501

² NEC Aerospace Systems, Ltd. . , 22-5 Sumiyoshicho, Fuchu, Tokyo 183-8502

³ NEC Platforms, Ltd. . , 22-5 Sumiyoshicho, Fuchu, Tokyo 183-8502

⁴ Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

Abstract: We developed the "Flash LIDAR" as the lidar to be mounted on the "HTV-X" in order to rendezvous with the International Space Station (ISS). The Flash LIDAR is consisted of a 3D image sensor which developed by JAXA and a wide angle laser module, and it can obtain both intensity and range image for single shot simultaneously. The Flash LIDAR automatically recognizes and tracks the target objects on ISS using those images. The Flash LIDAR outputs the data of range and line of sight angle to the target objects to the HTV-X navigation system. This paper describes the design and ground test results of Flash LIDAR which is developed for the berthing mission as a first step.

Key Words: LIDAR, HTV-X, 3D image sensor, rendezvous,

1. はじめに

レーザを用いて対象物との相対位置を測る LIDAR(Light Detection and Ranging)技術は自動運転やインフラの維持整備等に利用されている。宇宙開発では、宇宙機同士のランデブ・ドッキングミッション¹⁾、惑星探査におけるタッチダウンや地形データの取得にも LIDAR が利用されている²⁾。

新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)1 号機では相対航法センサとして LIDAR が搭載され、国際宇宙ステーション(ISS)に接近する際、ISS に設置されているリフレクタと HTV-X の相対位置を計測する。HTV-X は LIDAR の情報を基に ISS から約 6m の近傍まで接近し、以降はロボットアームに把持されて宇宙飛行士の操作によってドッキングする(バーシング・キャプチャ方式)。

JAXA では HTV-X のバーシング用及び HTV-X 2 号機で実証実験が計画されている自動ドッキング用の相対航法センサとしてフラッシュ方式の LIDAR(Flash LIDAR)を開発してきた³⁾。また、フラッシュ方式に適用できる宇宙用の 3 次元イメージセンサデバイス(検出器)の開発を完了している⁴⁾。この検出器を搭載した HTV-X 1 号機バーシング用 Flash LIDAR の開発結果について述べる。

2. Flash LIDAR の概要

Flash LIDAR は送信光学部から広がったレーザパルスを出力し、1 ショットで視野 $33^{\circ} \times 33^{\circ}$ の 3 次元情報を取得する。取得した 3 次元情報を基に、信号処理により複数ある ISS のリフレクタの中から日本実験棟(JEM) に設置されているリフレクタを認識し、HTV-X が ISS 近傍に接近するまで JEM リフレクタを追尾する。Flash LIDAR の概念図を Fig. 1 に、開発した Flash LIDAR の主要諸元を Table 1.にそれぞれ示す。

Flash LIDAR は電源部、送受信光学部、レーザ部、ディテクタ部、信号処理部、MPU ボードで構成される。レーザ部からは最大 0.5mJ のパルスエネルギーが繰り返し周波数 250Hz または 1kHz で出力され、リフレクタからの反射光をディテクタ部内の検出器で検知し、距離・強度画像が生成される。検出器から繰り返し出力される距離・強度画像は信号処理部で統計処理され、MPU ボードに実装されるファームウェアの機能（輝点抽出・マッチング処理）により JEM リフレクタを認識し、必要な距離・角度情報を上位システムに出力する。

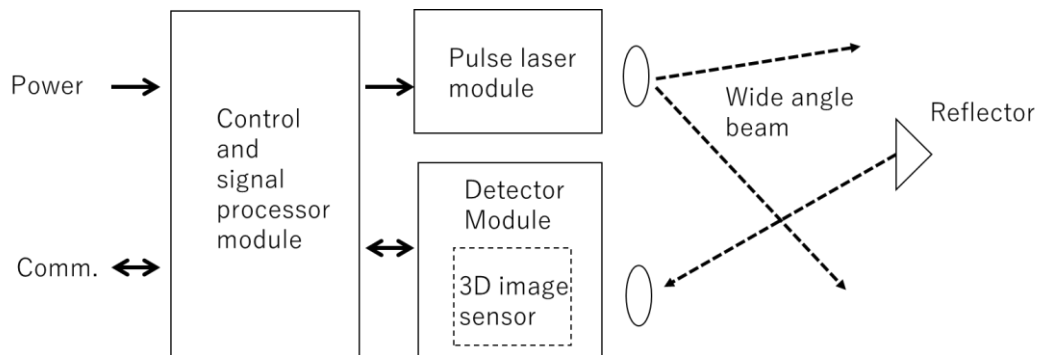


Figure 1. Schematic diagram of Flash LIDAR

Table 1. Specifications of Flash LIDAR

Range	6 – 730 m
Range noise (3σ)	0.35 m @ R = 6.1 - 10 m 1.2 m @ R = 300 m 2.92 m @ R = 730 m (Range from 10 to 300m and 300 to 730m are linear interpolation)
Range bias (peak)	0.7 m @ R = 6.1 - 10 m 1.3 m @ R = 300 - 730 m (Range from 10 to 300m is linear interpolation)
Line of sight angle noise (3σ)	0.3°
Line of sight angle bias (peak)	0.55°
Field of view	33×33 square degrees
Output date rate	2 Hz
Power	COLD: 14.7 - 40.3 W (With heater control) HOT: 16.7 - 24.2 W (Without heater control)
Size	$263 \times 310 \times 192 \text{ mm}^3$
Mass	10.7 kg

3. 開発試験

Flash LIDAR は、エンジニアリングモデル(EM)/プロトフライトモデル(PFM)方式で開発を進めた。

EM では、電気モデルと熱構造モデルをそれぞれ製作し、機能性能及び耐環境性を評価した。電気モデルでは、JAXA 筑波宇宙センター内ランデブ・ドッキングシステム開発試験設備(RDOTS: Rendezvous and Docking Operation Test System)を使用した動的性能試験や、屋外での遠距離試験により機能性能を評価した。熱構造モデルでは、認定試験(QT)相当の振動・衝撃試験と熱真空・熱平衡試験をそれぞれ実施し、光学系や検出器の実装方法の評価、累積疲労損傷の確認、各種解析モデルのコリレーションを行った。また、電気モデルと熱構造モデルを組合せて EMC 試験を実施した。Fig.2 に RDOTS 試験時のセットアップ、Fig.3 に遠距離試験で使った JEM リフレクタ模擬、Fig.4 に振動試験時の熱構造モデルをそれぞれ示す。また、Fig.5 に RDOTS 試験で得られた動的試験結果の一つを示す。この結果から、距離・強度画像から適切に目標である JEM リフレクタを抽出し、連続的に追尾していることが分かる。

HTV-X 1 号機用の PFM では、認定試験(PFT)を実施し、RDOTS を使用した校正作業を含む機能性能評価、機械環境試験及び熱真空試験によりフライト品としての適合性を確認した。

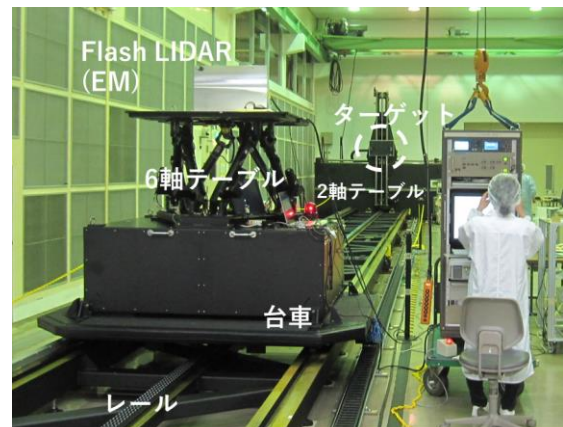


Figure 2. The RDOTS testing.



Figure 3. JEM reflector replica for long range testing

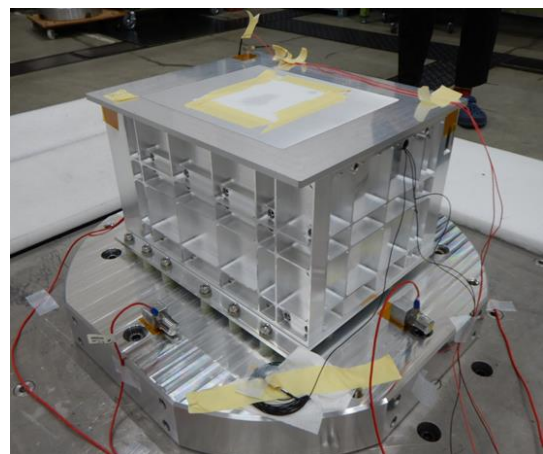


Figure 4. Thermal structure model of Flash LIDAR

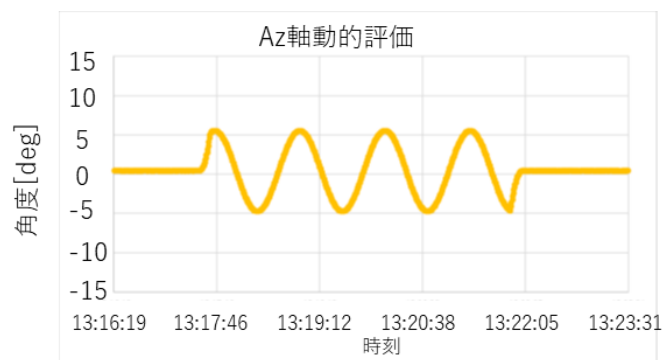


Figure 5. Test results of dynamic tests using RDOTS

4. まとめ

HTV-X 1号機搭載用 Flash LIDAR の開発を完了した。EM では電気モデルにより動的性能や遠距離性能を確認し、また熱構造モデルで機械環境、熱真空環境の諸特性を取得し解析モデルのコリレーションを行った。PFM では PFT で HTV-X のパーシング用センサに要求される機能性能と耐環境性を実証し、フライト品としての適合性を確認した。

Flash LIDAR は HTV-X 1号機に搭載され、HTV-X システム全体の評価後に H3 ロケットで打上げられる予定である。

5. 参考文献

- 1) 河野功, 空野正明, 鈴木孝, 小山浩, 功刀信: "ETS-VII ランデブ・ドッキング実験の結果" 日本航空宇宙学会論文集(2002) Vol. 50, No. 578, pp. 95-102
- 2) T. Mizuno, et al.: *Development of the laser altimeter (LIDAR) for Hayabusa2*, Space Science Reviews **208** (2017) 33-47.
- 3) S. Shimizu, et al.: *Flash LiDAR Development for Space Rendezvous*, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan (2021) Vol. 19, No. 3, pp. 304-309, 2021
- 4) T.Mizuno, et al.: *Three-dimensional Image Sensor with MPPC for Flash LIDAR*, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci. (2020) Vol. 63, No. 2, pp. 42-49