

次期惑星探査用レーザ高度計の検討

生瀬 裕之¹⁾, 橋本 並樹¹⁾, 加瀬 貞二¹⁾, 川原 章裕¹⁾, 千秋 博紀²⁾, 水野 貴秀³⁾

¹⁾ 日本電気株式会社 (〒183-8501 東京都府中市日新町 1-10)

²⁾ 千葉工業大学 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

³⁾ 宇宙航空研究開発機構 (〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1)

Investigation of the Laser altimeter for next planetary exploration

Y. IKUSE¹⁾, N. HASHIMOTO¹⁾, T. KASE¹⁾, A. KAWAHARA¹⁾, H. SENSU²⁾, and T. MIZUNO³⁾

¹⁾ NEC Corp., 1-10 Nisshin-cho, Fuchu city, Tokyo Metropolis, 183-8501

²⁾ Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino city, Chiba Prefecture, 275-0016

³⁾ JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku Sagami-hara city, Kanagawa Prefecture, 252-5210

Abstract LIDAR (Laser altimeter) for next planetary exploration is researched. It is based on HAYABUSA2-LIDAR (HY2-LIDAR). The dynamic range of the new LIDAR is from 100m to 100km, and wider than HY2-LIDAR. Therefore it is necessary to increase output energy compared with HY2-LIDAR. Furthermore, optical pulse detection circuit (ASIC including preamplifier, discriminator, and so on) of the new LIDAR is scheduled to use "LIDARX" developed by ISAS/JAXA. In this paper, we introduce the results of an investigation for next LIDAR and report the experiment of "LIDARX".

Key Words: Laser, LIDAR, planetary exploration, altimeter

1. はじめに

近年、世界的に小惑星などをはじめとした始原天体に対する本格的な科学観測活動が行われている。我が国の小惑星探査機「はやぶさ」¹⁾、「はやぶさ 2」²⁾、米国の小惑星探査機 NEAR, Stardust, ESA の ROSETTA などがある。また、月や惑星に対しても SELENE³⁾をはじめ、多くの探査機が送り込まれており、これらの多くが数十 km 以上からの距離測定が可能なレーザ高度計(LIDAR)を搭載している。LIDAR はタッチダウン時の航法センサの他に地形観測や重力測定などの科学観測にも利用される¹⁾。

次期惑星探査用 LIDAR(以下、次期 LIDAR)は「はやぶさ 2-LIDAR」(以下「HY2-LIDAR」)の設計をベースに機能・性能の検討を行った。測距範囲は、より遠距離の 100 km (HY2-LIDAR では 25km) からの測定を目指しており、レーザの出力増と幅広いダイナミックレンジの実現が必要となる。そのため広いダイナミックレンジを有し TAC (Time to Analog Converter)回路も内蔵されている ISAS/JAXA 開発の光パルス検出用 ROIC 「LIDARX」⁴⁾を受信用光検知器(APD)のプリアンプに採用を予定している。

本発表では「HY2-LIDAR」からの機能ブロックの見直し結果と、100m~100km のダイナミックレンジに対する LIDAR としての成立性の検討結果を報告する。

2. 次期惑星探査 LIDAR の目標性能

国内外の宇宙探査において LIDAR は測距装置としての実績があり、「HY2-LIDAR」は既存のレーザ測距装置の中では特に小型・軽量化を実現している。また、サンプル回収のための降下運用があることから、低高度までの計測を可能にした²⁾。これらの特徴は次期惑星探査機においても必須の機能であるため、「HY2-LIDAR」の実績をもとに次期 LIDAR のミッション要求を決定した。その主な要求を Table 1 に示す。

Table 1. Specifications of the Laser altimeter

Range	100 m ~ 100 km
Resolution	0.5 m
Range Accuracy	≤ 5 m @ 50 km
Output Energy	≥ 20 mJ
Beam Divergence	≤ 0.5 mrad
Field of View	≤ 1 mrad
Repetition Frequency	≥ 1 Hz

3. 次期惑星探査 LIDAR の検討

3.1 回線計算

次期 LIDAR の距離レンジは 100 km までの要求があるため、Table 1 の暫定仕様をもとに受信エネルギーを計算し、LIDAR としての回線の成立性を検討した。その結果を Fig. 1 に示す。100 km において受信エネルギーは 2.20×10^{-16} J となり、「LIDARX」の設計目標⁴⁾に対して約 3 倍の余裕があることが分かった。このことから、レーザ出力の目標を 20 mJ に定め、検討を進めることとした。

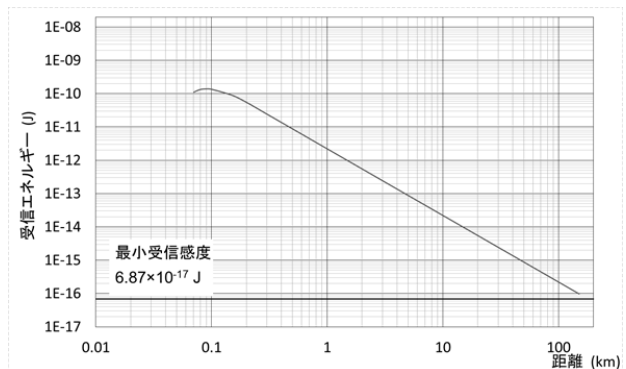


Fig.1 Result of calculation

3.2 機能ブロック

次期 LIDAR の機能ブロックの検討を行った。その検討結果を Fig. 2 に示す。「LIDARX」は送信信号モジュールおよび APD 制御モジュールに内蔵されている。

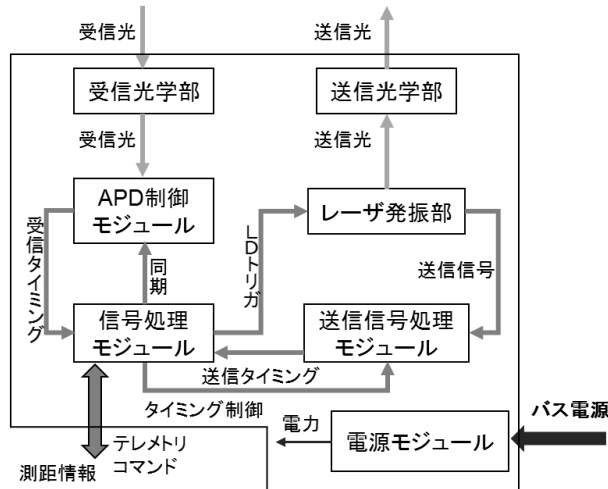


Fig. 2 Functional block diagram of LIDAR

各機能の概説を行う。電源モジュールはバス電源からの電力を各モジュールに対し電力を供給する。

信号処理モジュールから発せられたトリガによりレーザー発振させる。レーザー発振部は送信光学部を通じて対象へレーザー光を送信する。送信信号処理モジュールはレーザー発振部からの送信信号のタイミングを信号処理モジュールへ送信する。

対象からの反射光は受信光学部を通り APD 制御モジュールへ送られる。APD により光電変換したのち、「LIDARX」でパルス検知(受信タイミング検知)を行い、そのタイミングを信号処理モジュールへ送る。信号処理モジュールは送受信のタイミングから距離を計算し、上位システムの要求(コマンド)に従って測距情報を送信(テレメトリ)する。

3.3 レーザ発振器

「HY2-LIDAR」では宇宙空間での熱真空環境で安定発振させるため、パッシブ Q スイッチを採用した。可飽和吸収体には、Cr:YAG を使用し、Nd:YAG との接合で共振器内の部品点数を最小限にした。次期 LIDAR でも本構成を踏襲する計画である。

レーザー発振器は「HY2-LIDAR」では単結晶 YAG を用いたが、次期 LIDAR ではレーザー媒質の国産化を狙い、セラミックス YAG を用いたコンポジット結晶の採用を検討している。

次期 LIDAR に用いるレーザー発振器の目標仕様を Table-2 に示す。次期 LIDAR では最大距離の 100km を満足するため、15mJ であった「HY2-LIDAR」のレーザー出力⁵を 20 mJ 以上に増加する。発振器の構成は踏襲し、ロッド径の拡大で出力を増加させる。その他、ビーム拡がり要求に対して、ロッド長や励起方法を改善しビーム品質の向上を図る。

Table 2 Specifications of the Laser Oscillator for new-LIDAR

Laser Oscillator	Passive Q-Switch Cr:YAG
Wave length	1,064 nm
Repetition frequency	1 Hz
Output Energy	≥20 mJ
Pulse width	≤10 nsec

3.4 APD 制御モジュール評価実験

「LIDARX」の電気信号評価実験を行った。パルスジェネレータより発生させる遅延時間を固定し、信号の減衰率(アッテネータ設定値)と測距値の依存性測定を行った。測定結果を Fig.3 に示す。なお、測距タイミングは校正曲線により補正を行っている。

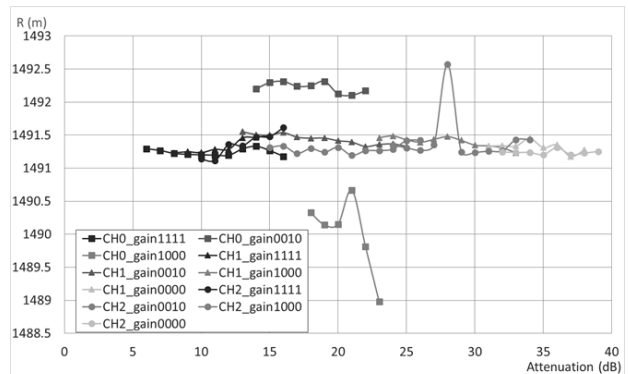


Fig.3 Result of measurement using "LIDARX"

測定の結果、約 35 dB の入力電荷変化に対してほぼ一定の測距が行えていることが分かった。このことから近距離および遠距離の 2 系統が必要であった「HY2-LIDAR」の受信光学系を、次期 LIDAR では、「LIDARX」を用いることで 1 つに集約でき、更なる小型・軽量化が見込める。

4. まとめ

次期惑星探査用 LIDAR の検討を「HY2-LIDAR」の実績をベースに検討した。レーザー発振器の性能要求から出力エネルギーに関する検討を行った。また、光パルス検知の ROIC にダイナミックレンジの広い「LIDARX」を使用することにより、受信光学系を 1 つに集約できる見込みである。「LIDARX」を用いた実験から、約 35 dB 程度の広いダイナミックレンジを実現できていることを明らかにした。

参考文献

1. T. Mizuno, *et al.*, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences Vol.53 No.179 (May, 2010).
2. T. Mizuno, *et al.*, Space Science Reviews Vol. 208, pp 33-47, (July, 2017).
3. H. Araki, *et al.*, Science 323, pp897-900, (Feb, 2009)
4. 川原 康介, 水野 貴秀, 池田 博一, 第 59 回宇宙科学技術連合講演会, 3F13 (Oct, 2015).
5. 水野 貴秀, 加瀬 貞二, 野田 寛大, 國森 裕生, 千秋 博紀, 尾川 順子, 武内 央, 山口 智宏, 佐伯 孝尚, 並木 則行, 津田 雄一, 電気情報通信学会 信学技報 SANE2015-108 pp.7-12 (Feb. 2016)