

惑星探査用2次元走査レーザレーダシステムの研究

Study of 2D Scanning LIDAR System for Deep Space Explorer

高原卓也^{*}, 水野貴秀[†]

Takuya TAKAHARA[‡], Takahide MIZUNO[§]

1 Abstract

Recently scientific activities for planet and Asteroid are deployed in the world such as "HAYABUSA" (Asteroid sample and return spacecraft, May 2003 launched), landing observation and sample return are desired as well as fly-by observation.

LIDAR is mainly utilized for navigation sensor in fly-by or landing sequence. Scientific observations and landing navigators require 2-D scanning for more efficient mapping.

This paper intendeds to study feasibility and development of 2-D scanning LIDAR with MEMS technology for deep space explorer.

2 はじめに

近年、太陽系起源の解明、生命探査などを目的に小惑星および惑星に対する本格的な科学観測活動が世界的に行われている。日本では昨年度打ち上げられ世界初の小惑星サンプルリターンをミッションとする「はやぶさ」を初め火星探査計画 PLANET-B、米国の小惑星探査計画 NEAR、ESA の彗星探査計画 ROSETTA 等が挙げられる。

2003年5月に打ち上げられた「はやぶさ」は、電気推進機関(イオンエンジン)、自律航行、光学機器に基づく姿勢決定、サンブラ、サンプル回収などの惑星探査技術の確立を目標とする工学試験衛星である。

サンプルリターンのような小惑星の接触観測を伴う場合、惑星探査では主にレーザレーダが測距に用いられ、接近・着陸を行ううえで非常に重要なセンサとなっている。「はやぶさ」には距離50kmから50m間の距離計測・誘導、対象小惑星の形状と表面反射率分布の測定などに用いるレーザレーダが搭載された。表2に「はや

表 1: Specification of "HAYABUSA" LIDAR

Ranging	50km-50m
Resolution	10m-1m
Sampling Rate	1Hz
Pulse Width	14nsec
Tx Power	10mJ
Field of View	1mrad
Weight	3.56kg

ぶさ」搭載のLIDAR 緒言を示す。しかし、接近着陸航法、科学観測において地形認識の効率化が求められており、現在のレーザレーザのような1方向のみの距離測定だけでなく、2次元走査可能なセンサの要望が強い。

観測目標として、1) 対象天体表面から約6kmをホームポジションとして、1mの空間分解能で観測、2) 送信光と受信光の同時光量計測、3) 小天体観測においては1Hz程度のサンプリングレート、4) フライバイ観測においては100km以上のレンジが求められている。また、複数ローバーを用いるようなミッションでは探査機の相対位置測定に用いるなどの応用も考えられている。

本研究では「はやぶさ」に搭載されたレーザレーダの技術を基礎にしながら、マイクロマシン技術を適用することで小型軽量を実現する宇宙用2次元走査可能なレーザレーダシステムを提案する。

3 レーダ方程式

LIDAR のレーダ方程式は式1で表され、対象天体までの距離が50kmにおける受信エネルギーは $99.7 \times 10^{-18}[\text{mJ}]$ となる。

$$P_r = \frac{P_0 A_r T \sigma_0}{R^2} \quad (1)$$

P_r : 受信エネルギー [J]

P_0 : 送信エネルギー [J](=10[mJ]を想定)

A_r : 受信光学系の面積 [m^2](= 9.5×10^{-3})

^{*}総合研究大学院大学

[†]総合研究大学院大学、宇宙航空研究開発機構 JAXA

[‡]Graduate University for Advanced Studies

[§]Graduate University for Advanced Studies, Japan Aerospace Exploration Agency

T : 伝播経路内の透率過 (=0.165)
 R : 対象物までの距離 [m](=50[km] を想定)
 σ_0 : 後方散乱係数 (=15.9 × 10⁻³)
 d : 受信光学系の直径 [m] (= 0.11)

一方、太陽輻射エネルギーを起源とする背景光ノイズを算出する。受信視野は 1[mrad] と仮定するとそのフットプリントは距離 50[km] においては 1.96 × 10³ である。また太陽輻射エネルギーの波長分布から 0.8μm の場合は、11.55[W/10nm/m²] となる (1AU)。現在、観測天体として近地球型小惑星もしくはメインベルトが検討されており、ノイズはそれらの最悪ケースとして 2AU と想定すると、2.89[W/10nm/m²] となる。

したがって背景光ノイズは 112.95 × 10⁻¹²[W] となるので、S/N は 8.83 となる。

4 LIDAR システム概要

本システムはレーザ源より対象物に向けて光パルスを照射し、反射パルスを受信するまでの時間を測定することによって測距レーザレーダシステムである。

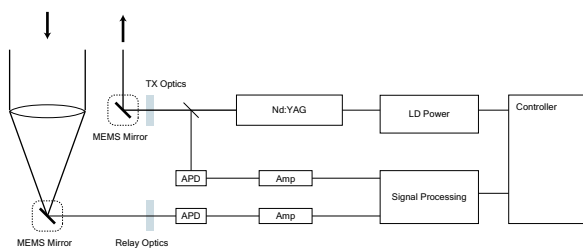


図 1: 2D-LIDAR outline

図 1 にシステム構成を示す。

レーザ源として Nd:YAG レーザを用い、送信パルスを MEMS シリコンミラーを用いて 2 次元的に走査する。反射パルスは受信光学系で集光した後に、シリコンミラーで走査し受光素子へ入力される。

2 次元走査は光学系の検討と MEMS ミラー走査によって実現される。MEMS ミラーは高速で動作が可能なうえ、摩擦部が無い信頼性が求められる宇宙機搭載に適している。受信光学系は 2 次元走査を実現しながら S/N の向上、小型、高信頼を実現する方針である。

走査用ミラーとしてはポリゴンミラーやガルバノミラー、振動型ミラー等が考えられる。走査角が比較的大きく出来る利点があるが、いずれも摩擦部を伴うモータ等を用いており耐久性に不安がある。また 1 軸の自由度しか持ち合わせておらず、2 軸の自由度を実現するには機器サイズが巨大になる欠点がある。

そこで本研究では静電気力駆動で 2 軸の自由度を実現

可能な MEMS ミラーを用いる。MEMS ミラーは小型・軽量でなおかつ摩擦部を伴わずに 2 次元走査が可能となる。走査角は小さくなるが設計要求の走査角 10 度程度の実現は問題ない。

ミラーは送信・受信で用いられ、要求仕様を満足するには双方のミラーをビーム広がり角 0.5[mrad] 以下、0.1[mrad] 程度の走査精度で正確に同期させて駆動させる必要がある。

受信光学系は「はやぶさ」の反射光学系を発展させたタイプ (図 2-A) と、屈折光学系を応用したタイプ (図 2-B) の 2 通りを検討している。

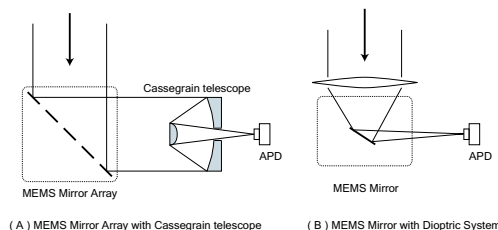


図 2: Two Types of RX Optics

図 2(A) のタイプは「はやぶさ」の受信光学系に MEMS ミラーのアレイを配置し、これを送信用ミラーと同期させて制御することで 2 次元走査を実現する。実用実績のある「はやぶさ」で培った技術をそのまま利用できるため、新規開発要素が少なく、またそれぞれのミラーが冗長化されているため信頼性も高い。しかし一方で MEMS ミラーアレイのアナログの走査が必要になり、それぞれ製作上のばらつきをもつミラーアレイをシステム要求に則する精度で駆動するのは困難である。

図 2(B) のタイプは屈折光学系により入射角を修正した後に MEMS ミラーによって走査され受光素子に入射する仕組みになっている。ミラーをアレイ化しないため駆動アルゴリズムは比較的容易に開発可能であるが屈折光学系が複雑でレンズを含めた構成要素の重量・サイズが大きくなることが予想される。

5 むすび

本研究では従来の LIDAR を 2 次元走査可能にする方法について検討を行っている。

2 次元走査の実現には小型で信頼性の高い MEMS ミラーが適しているが、空間分解能、制御限界など検討すべき問題点も多くある。受信光学系はさまざまな方法が考えられるものの、小型・軽量で高い信頼性を実現する仕組みを検討しなければならない。