

月惑星探査ローバ搭載を目的とした レーザ距離画像センサの試作とその評価

丹野 愛希恵 (東海大) 水野 貴秀 (JAXA) 石上 玄也 (慶應大)

[概要] 本ポスターでは搭載化検討のために試作している自律走行実験用のローバに搭載する電荷蓄積型レーザ距離画像センサ (Laser Range Imager, LRI) について、LRIのシステム構成、計測原理およびそのキャリブレーション方法を示し、LRIの試作機を用いた測距実証実験と放射線照射試験について報告する。

研究開発の背景と目的

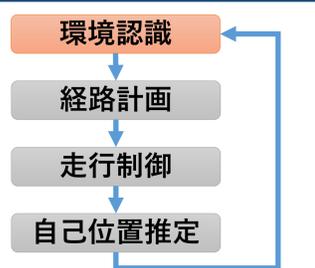
ローバの自律航法における環境認識
未知環境でのローバの自律航法において、障害物や地形の凹凸、斜度といった環境の幾何学情報の認識が必要とされる。その手段には以下の3つが挙げられる。

ステレオカメラ

- ステレオ視による3次元の幾何学情報の取得
- 色情報・テクスチャの取得が可能である。
- 宇宙での実績がある。
- 計算コストが高い。
- 日照条件の影響を受けやすい。

スキャン型レーザレンジファインダ

- 光の飛行時間に基づく3次元距離計測
- 光の反射強度を疑似的なグレースケール画像として活用できる。
- 機械式ミラーを用いて1ポイント毎に測距
- 長距離の測定が可能である。
- フレームレートが遅い。
- 駆動系の構造が複雑。

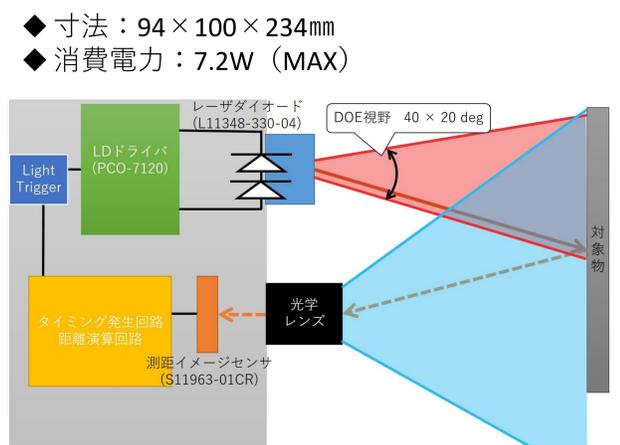
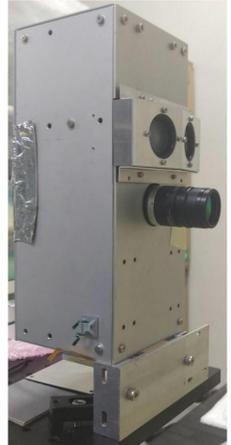


レーザ距離画像センサ (LRI)

- 光の飛行時間に基づく3次元距離計測
- 光の反射強度を疑似的なグレースケール画像として活用できる。
- レーザを拡散照射するため測定距離は短い。
- 計算コストが低くフレームレートを高くとれる。

ローバ搭載型の小型・低消費電力のレーザ距離画像センサの開発を目指すため、2014年の試作に続き、視野広さや測距精度の改善を目的として製作・実験を行った。

Laser Range Imager(LRI)の概要



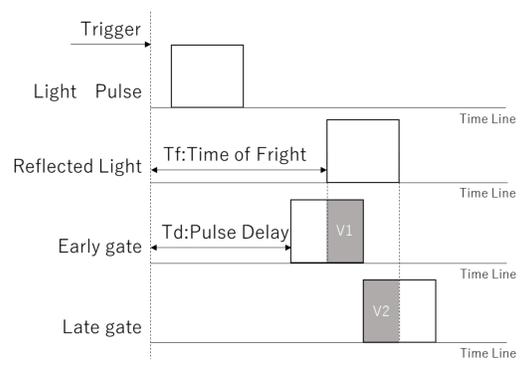
- ◆ 寸法: 94 × 100 × 234mm
- ◆ 消費電力: 7.2W (MAX)

送信系	レーザ パワー 波長 パルス幅 繰り返し 照射範囲(DOE視野)	パルスLD L11348-330-04J (2台) 90 W (MAX) 880 nm 40 ns (前回*1 30 ns) <150 kHz 40 × 20 deg (前回*1 20 × 20 deg)
受信系	レンズ 焦点距離 フィルタ センサ 画素数 画素寸法 FOV フレームレート	DF6HA-1B (前回*1 HF9-HA-1B) 6 mm λc = 880 nm, Δ = 50nm S11963-01CR (浜松ホトニクス) 160 × 120 pixel (1/3型: 4.8 × 3.6 mm) 43 × 33 deg TBD (対象の反射率に依存)

*1...2014年の試作機

LRIの距離計測原理

モノパルスレーダの測距原理に基づき、各ピクセルが有するEarly gate, Late gateと呼ばれる2つのゲートに捉えられる電荷量の比から、距離を計測することができる。



レンジエラー感度

$$E = \frac{V1 - V2}{V1 + V2}$$

- ◆ 近距離の場合: $E > 0$ ($V1 > V2$)
- ◆ 長距離の場合: $E < 0$ ($V1 < V2$)

距離推定式

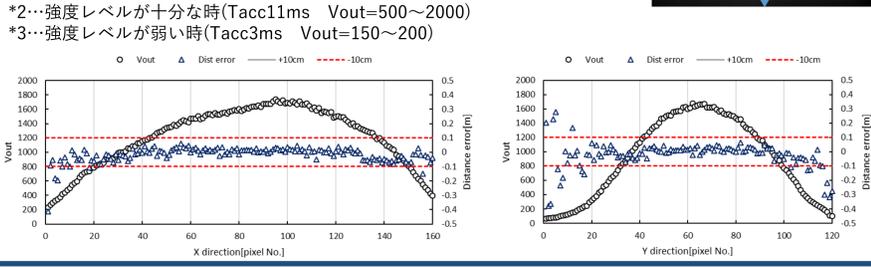
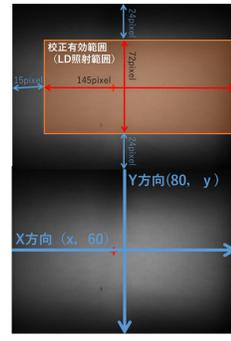
$$Tf(x, y) = Td - (a(x, y, S) \cdot E(x, y) + b(x, y, S))$$

$$Dist(x, y) = \frac{1}{2} c \times Tf(x, y) + D_0$$

- ◆ EとTfは線形関係にある。
- ◆ 係数a, bは事前のキャリブレーションによって同定する。

距離校正結果

- ◆ LDの照射範囲が画角より狭い範囲にあるため有効校正範囲の座標を右図の通りに定めた。
- ◆ 光源が強く当たる中心付近座標と弱く当たる周辺座標とで校正係数の場合分けを行った。→測距結果が強度に依存することを防ぐ。
- ◆ 校正時オフセット距離 (=1.5m) との誤差は有効座標範囲で標準偏差σをとると、約4cm² ~ 6cm³である。

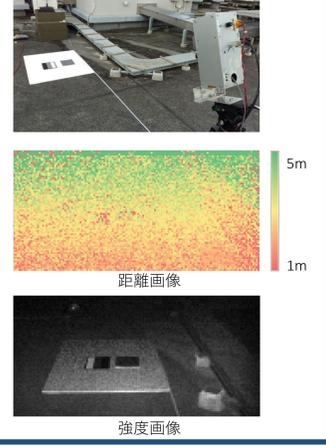
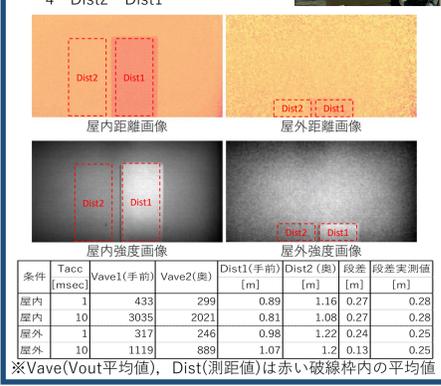


LRIによる測距実験

屋内(実験室), 屋外(研究管理棟屋上)にて測距実験を行った。

◆ 白い校正紙の段差を対象とした屋内・屋外環境での測距実験。
→屋外条件時に強度の飽和が起こらない限り実測値に対して誤差±1cm程度で段差*4の判断ができていた。
*4...Dist2 - Dist1

◆ 水平位置から20°傾けたLRIから中心座標が実測3mのときの校正紙を見せたときの、距離画像と強度画像。



条件	Tacc [msec]	Vave1(手前) [m]	Vave2(奥) [m]	Dist1(手前) [m]	Dist2(奥) [m]	段差 [m]	段差実測値 [m]
屋内	1	433	299	0.89	1.16	0.27	0.28
屋内	10	3035	2021	0.81	1.08	0.27	0.28
屋外	1	317	246	0.98	1.22	0.24	0.25
屋外	10	1119	899	1.07	1.2	0.13	0.25

放射線照射試験

- ◆ ガンマ線を試料 (S11963-01CR) に照射し、LRIの耐放射線特性について実験・評価を行った。
- ◆ 今回照射したどの試料においても感度が落ちた。(感度変化グラフのLightの値が示す分布が減少傾向)
- ◆ 照射量が30krad以上では影響の大きい座標 (DやE) で測距値に最大1m程の誤差が生じ、分散も大きい。

