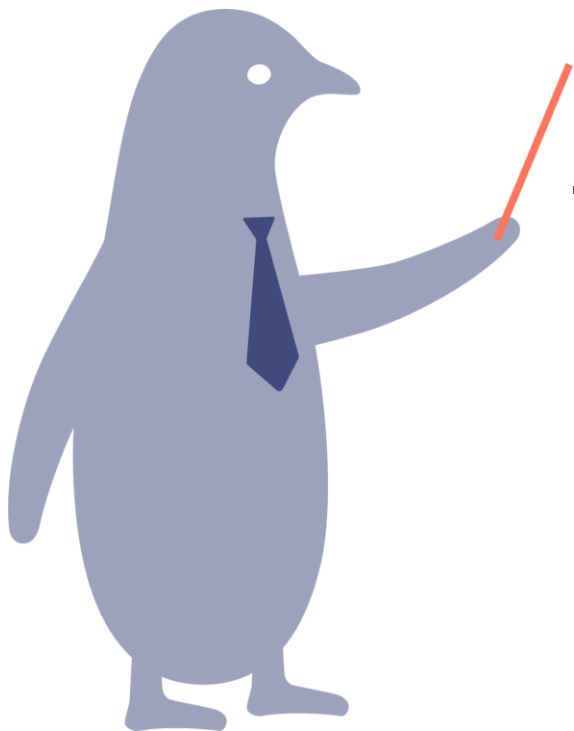


カメラ可視光通信システム Picalicoの月面利用



2024.07.24

カシオ計算機

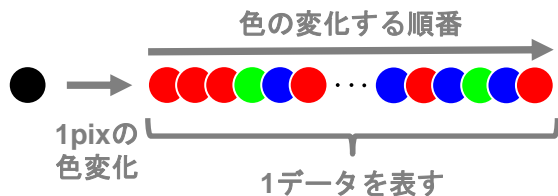
宮本直知

「カメラ可視光通信」と呼ばれているカシオ独自技術です。

現在では、同時受信可能である特徴を応用し、可視光による測位技術へと進化を遂げています。

Picalicoの信号

RGBの色変化パターンを信号とします。
色の変化パターンによって、異なるID
情報を表します。
ID番号は、1,062,882まで送信可能です。
色の切換えは、100ms(10Hz)です。



送信機と受信機

■ 送信機

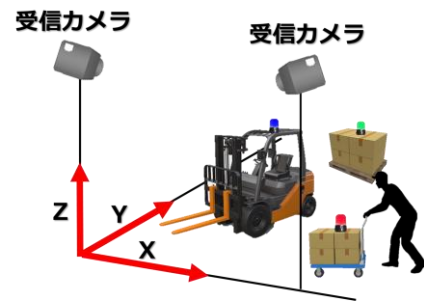
RGBの3色が発光可能で、発光色切換えを100ms(10Hz)で制御可能なLED灯

■ 受信機

カメラとパソコンが受信機です。
Picalicoをインストールしたパソコンが
カメラからの映像を解析、信号を自動
で探し出し受信します。
最大100個のIDを同時受信可能です。

3Dの位置座標を測位

2台以上のカメラを使うことで三次元
座標を測位可能です。
測位精度は、 $\pm 0.6\text{m}$ 以下です。
また下図に示すような、固定カメラ用
のアプリケーションの他に、移動カメラ
用のアプリケーションが存在する。



Picalico動画

<https://www.casio.com/jp/picalico/use/page3/>

「Picalico」には
可視光通信 と 測位技術
2つの側面が存在する

「Picalico」には

可視光通信

と 測位技術

2つの側面が存在する

1. 「多数の送信源」を前提にした画像処理

- 理論上1Pix でもしっかり写っていれば、受信が可能
- データを受けると、その画像上の位置がわかる

2. 特定のハードウェアプラットフォームに依存しない

- ローリングシャッター方式前提などとしな

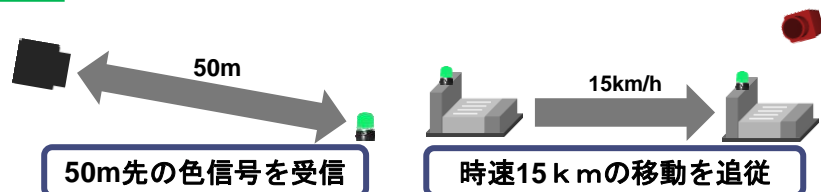
3. 移動体も追従して受信可能

4. 静的IDだけでなく動的IDも送信可能

5. カメラの弱点も引き継いでいる(ex.逆光, 遮蔽)

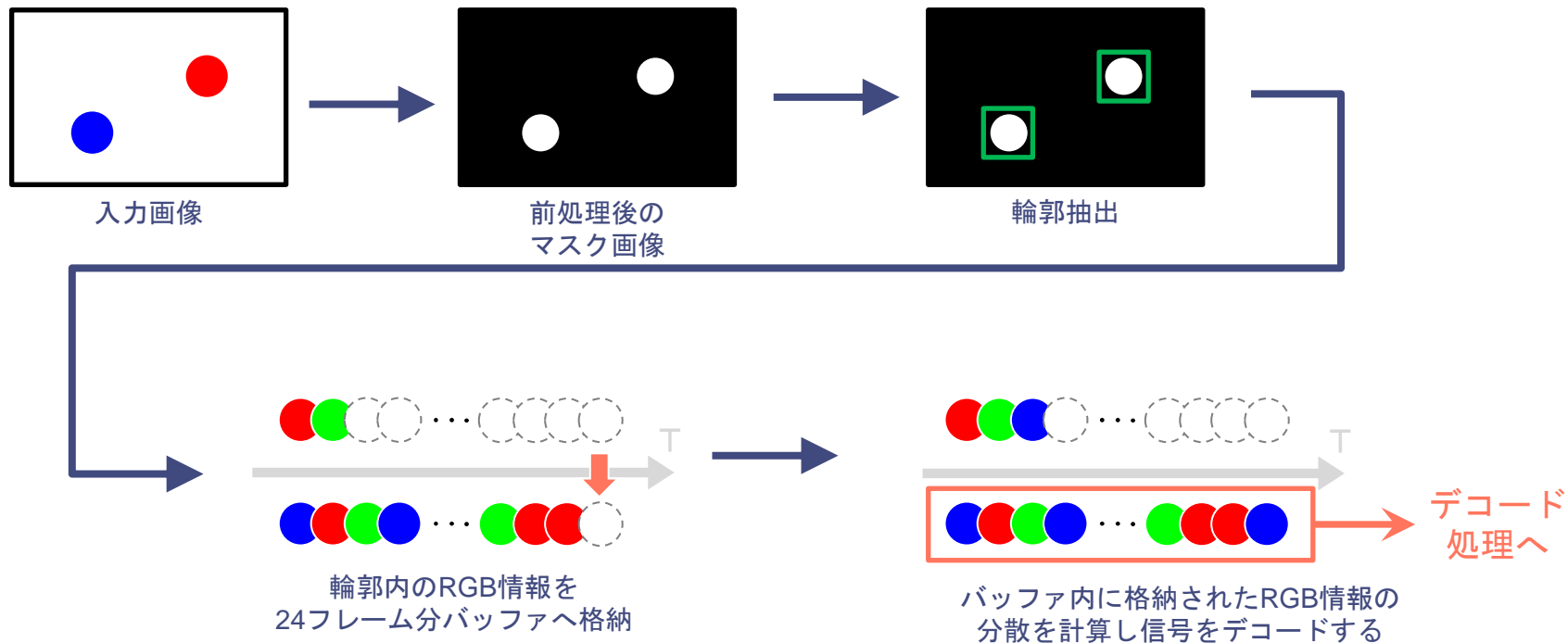
6. 通信データ量は小さい(20fps撮影時 約10bps)

※最大100個同時受信が可能



(10cmサイズの光源とHD解像度カメラ(106°水平画角レンズ)を使った場合)

基本レベルの関連特許を早期より保有し
現在も技術改良を続けております(特許60件以上, 出願20件以上)

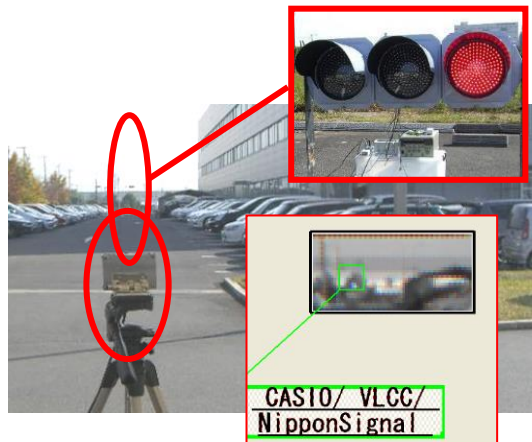




2008 600fps/150bps/10m

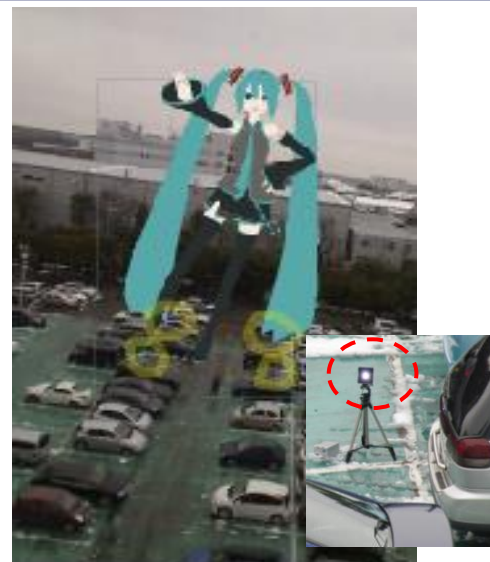
Multi sensor node data acquisitions with its position

※警察庁/管技協/VLCC 共同



2009 4600fps/1.1kbps/2km

Traffic signal master-slave control data transmit

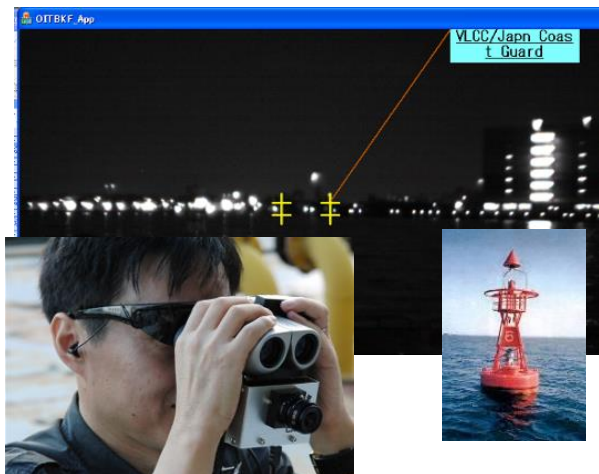


画像に用いた初音ミクは、ピアプロ・キャラクター・ライセンスに基づいてクリプトン・フューチャー・メディア株式会社のキャラクター「初音ミク」をレンダリングしたものです
 ・初音ミクデータ：mikumikoto 日曜モデリング様
 ・ポーズ作成：MikuMikuDance (Vocaloid Promotion Video Project, 樋口M様)

2010 600fps/ 150bps /50m

Long distance/Huge AR marker

※海上保安庁/VLCC共同



2011 4600fps/1.1kbps/2km
Light house (Buoy)

2014-2016
20fps/9bps/QVGA/1-50m
iOS/Android App.

測位応用へ

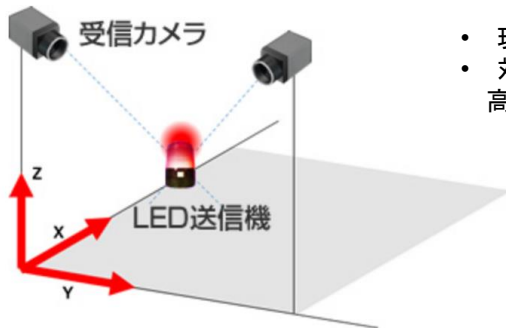
「Picalico」には
可視光通信 と **測位技術**

2つの側面が存在する

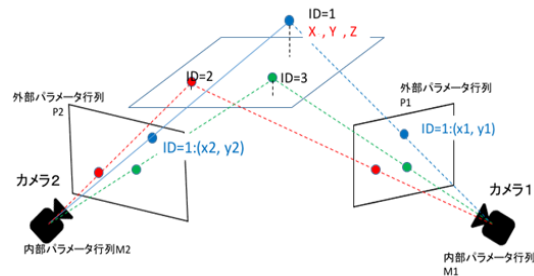
測位技術としての「Picalico」

カメラ画像内ピクセル座標から、現実世界の3D座標へ変換

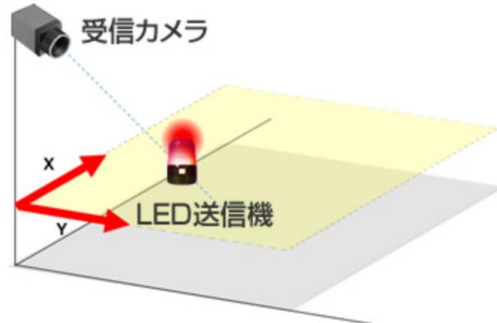
マルチカメラ測位



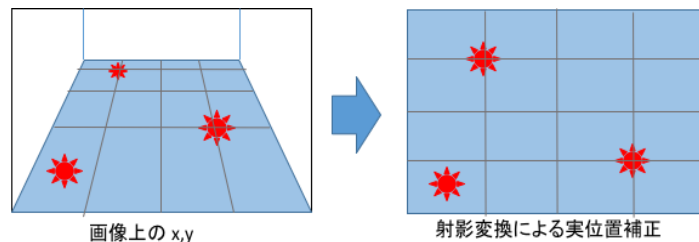
- 現実の3D座標が取得可能
- 対象の高さが変更する場合や高精度を追及する場合に有効



シングルカメラ測位



- 対象の高さが一定の場合に実装可能
- 現実の2D座標が取得可能
- カメラ台数が節約できる



CASIO カメラ移動型測位

- ・ 移動体にカメラを装着し、設置されたLED送信機の情報位置指標として移動体の位置を自己位置推定します。
- ・ 位置指標であるLED送信機の設置は、等間隔での設置や高さを一定にするなどの条件はなく自由度の高い設置が可能です。
- ・ カメラから2つのLED送信機が見えれば、自己位置を推定できます。
- ・ 高い測位精度が必要な箇所に対してはLED送信機を多く設置することで該当エリアの測位精度を上げる事も可能です。

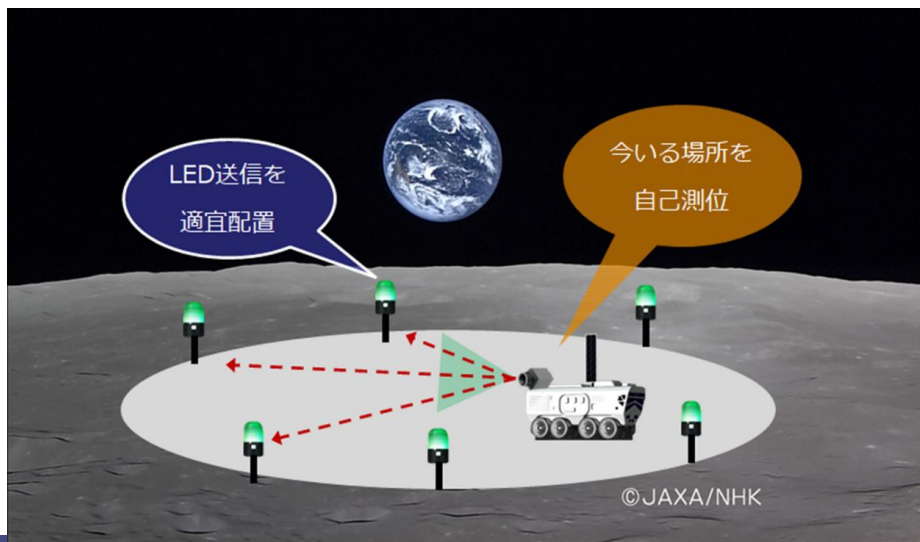


Picalicoの月面利用

宇宙探査イノベーションハブ RFP6 実施期間 2021.4.1～2023.3.31

月面において、地球上で一般的に使用されている測位技術であるGNSSは十分に整備されていない将来的にLNSSが整備されると考えられるが、クレーターや洞窟内など電波の届かない場所も多く有る

可視光通信技術(Picalico)の応用により、長距離測位における測位特性や、運用指標の確立などを検証し月面における広域測位技術としての有効性評価を行った



共同研究の検証項目

- 長距離試験
広域で可視光通信を受信可能か
- 走行試験
起伏のあるエリアで測位精度が出るか

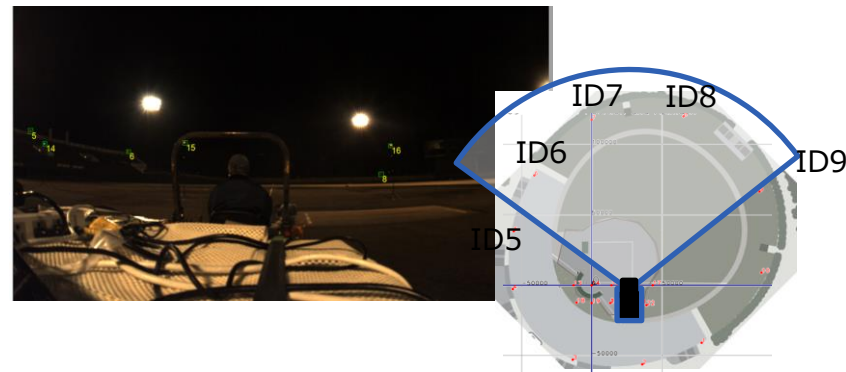
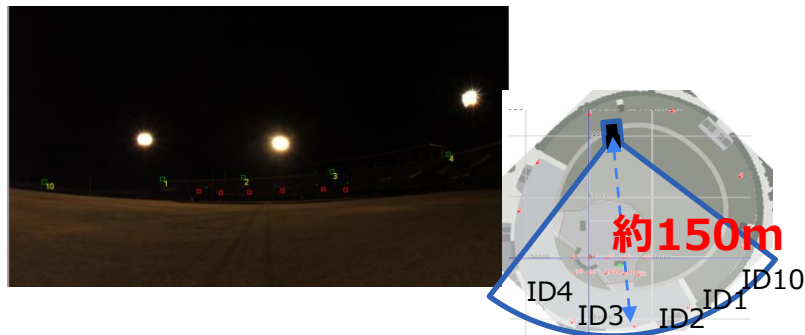
長距離試験

実験内容

- ・HDカメラ利用50cm平方パネルの利用において、スケール則推定どおりスタジアム全域で受信動作なるか確認を行う

成果

- ・スタジアム照明全点灯（1260lx）下において、グラウンド内最大長（150m）で安定した可視光通信受信と測位動作することを確認
- ・屋内における距離性能からスケール則で推定した光源サイズによる距離性能の実働実証ができた

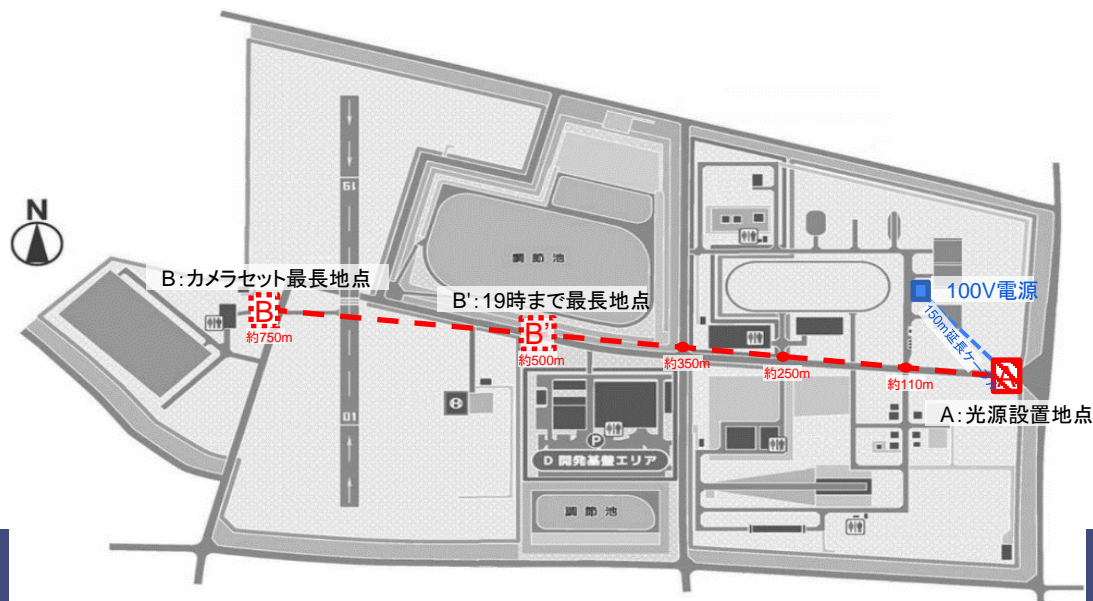


課題

- ・スケール則の実証としては距離レンジ不足、コントロールするパラメータも不十分
- ・今後は、月面応用を見据えた距離レンジ(500m超)において、解像度（別のカメラ）、画素あたり画角、光源サイズなどの
- ・複数のパラメータを制御して、より仔細にスケール則の成立を確認する必要がある

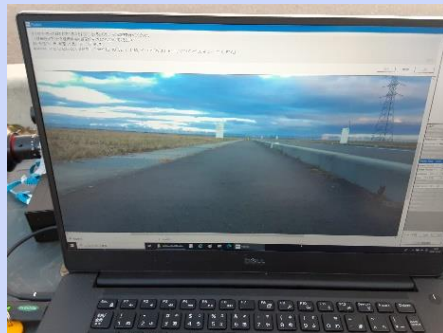
*スケール則：Pialicoの距離性能は、光源サイズ・解像度に正比例、画素あたり視野角度に逆比例

- ・ システムを台車に設置し、その台車を移動させながら光源設置地点に設置された送信機と可視光通信を行い受信限界地点の測定を行う
- ・ 光源は昨年度の実験で使用したパネル光源を用いて50cm x 50cmの光源を作成し使用する
四角く穴を空けた遮光板を、パネル光源に張り付けることで50cm以下のサイズを作成して受信限界試験を行う
- ・ 光源サイズとセンサ画素密度によって測位エリアが定まる、本システムの実証する



下図の直線上で光源の大きさを変え3kカメラとHDカメラでの認識限界距離を測定

Picalico認識用機材



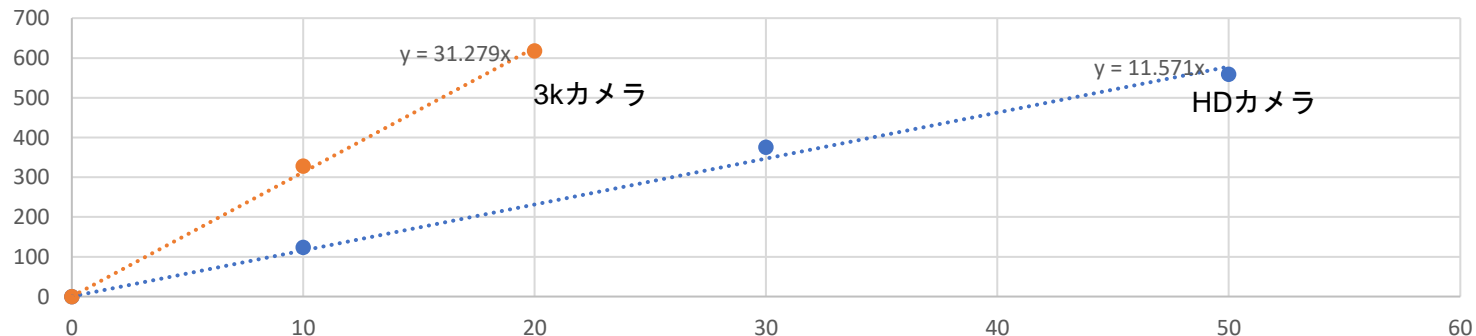
LEDパネル光源



- ・カメラの解像度が上がれば認識限界距離も向上するというデータとなっている
- ・pixあたりの角度の比とグラフそれぞれの傾きの比がほぼ一致している為、想定に近いと考えられる
 - Pixあたりの角度の比 $2.906 = 0.0828123 \div 0.028497409$
 - 各直線の傾きの比 $2.703 = 31.279 \div 11.571$

	カメラ名	画素数	センササイズ	レンズ	画角[°] (水平)	1pixあたりの角度 [°] (水平)	その他設定値
HD	acA1300-60gc (Basler製)	1280×1024	1/1.8	LM4NC1L (コーワ製)	106 (弊社実測値)	0.0828125	露光時間 (exp) 6ms
3k	acA3088-16gc (Basler製)	3088×2064	1/1.8	LM3JC10M (コーワ製)	88 (カタログ値)	0.028497409	露光時間 (exp) 16ms

認識限界距離
[m]



* LEDパネル角とは10であれば10cm×10cmになる様マスクしたことを表す

LEDパネル角
[cm]

走行試験

土砂エリア

- ・ 10cmを超える凹凸あり
- ・ 比較的硬い土、実験時は凍結の時間帯あり

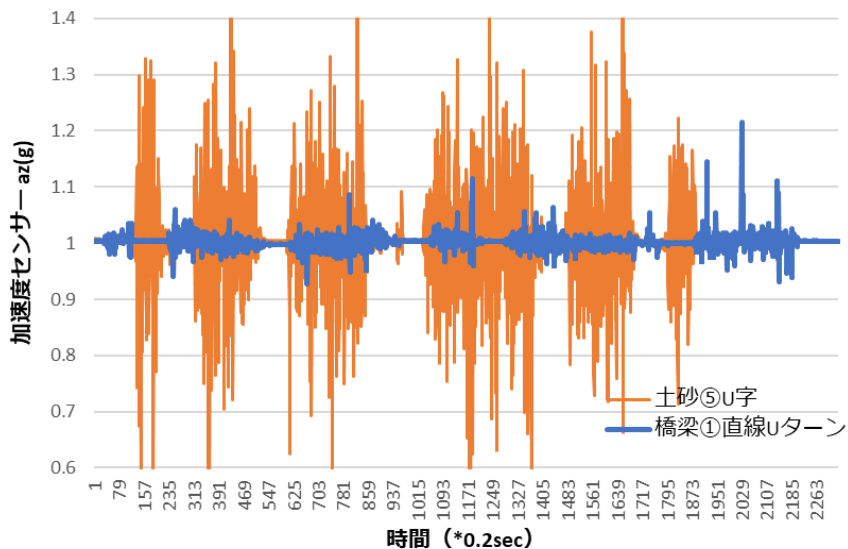
橋梁エリア

- ・ 一般的なアスファルト道路



土砂エリア（右図はボールペンとの比較）

路面別加速度センサ値

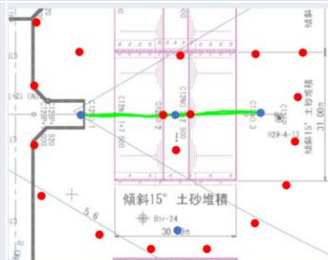
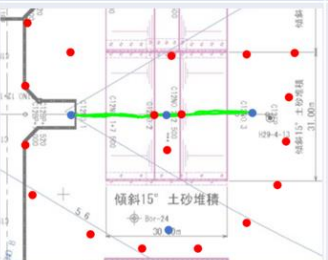
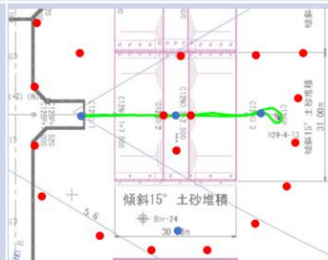
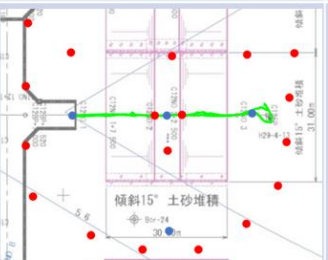
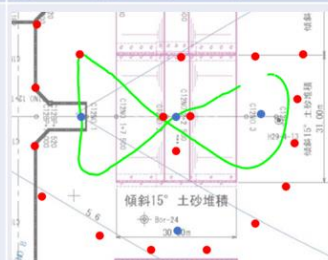
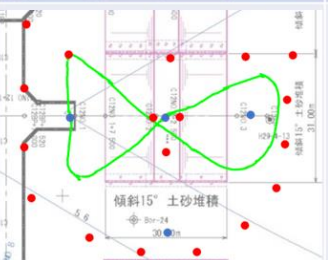


路面別の加速度センサー値
(AGz@0.2Hz)

- ・ 土砂コース⑤
⇒ 標準偏差 0.49G
(静止時含む)
- ・ 橋梁コース①
⇒ 標準偏差 0.013G
(静止時含む)



橋梁エリア

	コース		誤差 [mm]				xy軌跡グラフ		ロスト回数	
	No.	内容	平均	最小	最大	標準偏差	GPS軌跡	Picalico軌跡	GPS	Picalico
24日 土砂崩落	1	直線 前進/後退	206	2	1121	192			3	0
	2	直線 Uターン	247	2	3358	332			4	0
	3	8の字	316	3	2347	300			0	0

※2023年3月バージョンの測位プログラムによる結果

- 全体を通して、GPS座標に対する平面座標誤差は 平均218mm以下であり、オフロード対応を入れながら、目標性能（500mm以下）を十分達成できた
- 高さ方向の全体を通しての誤差は、平均110mmであった
- 目標精度（誤差500mm以内）の達成率 93%

GPS結果に対するXY座標誤差(mm)

	平均	最小	最大	DRMS (65%ile)	2DRMS (98%ile)
静止基準点全体 <small>※全測位点平均</small>	116	—	—	—	—
移動ログ全体 <small>※各コース走行全体の平均、 全体の最小、全体の最大</small>	218	2	4485	330	919

※2023年3月バージョンの測位プログラムによる結果

まとめ

長距離試験

受信限界距離

- ・ HDカメラで50cm角のLEDパネルで560m
- ・ 3kカメラと20cm角LEDパネルで618m

→ カメラ画素数および送信機の大きさと、距離性能に正の相関が成立することを実証

走行試験

走行実験時の誤差

- ・ 静止時で平均116mm
- ・ 走行時で平均218mm

→ 起伏のあるエリアでの走行においても高精度に測位可能であることを実証

※2023年3月バージョンの
測位プログラムによる結果

END

