

緯度経度に平行なボクセル立方体(クアッドキューブ)による  
構造物表現で位置補正するソフトウェア技術の検討  
～第1報 クアッドキューブ技術を検証するための自立制御移動ロボットの開発～

新潟ロボット協会(本日のメンバー)

- ・畑中豊司 (株式会社データ変換研究所)
- ・田中武則 (新潟エスラボ株式会社)

このシンポジウムで新潟ロボット協会から説明したいポイント

- A) クアッドキューブで軽量計算(C言語ライブラリ)
- B) ラズベリーパイ移動ロボットを開発
- C) 結果 TC 2019 は 0m を記録。  
NC2019(中之島) 33m
- D) 次回 TC 2020 でクアッドキューブを完全実装
- E) 次回 TC2020でモニタリング実施

# (A) クアッドキューブ技術

## (1) 緯度経度四辺形

緯度経度四辺形 (Latitude Longitude Quadrilateral: 略称 LLQuad) 占有格子地図の縦横の線を緯線と経線に平行にし、1辺の長さを100kmから1mmまで9段階とする四辺形。一般にボクセルといわれている表現ですが本技術の場合、必ず緯線・経線に平行である点が異なります。



図1 京都タワー

表1 LLQUAD

LLQUADのタイプ	定義値	対応度数	長さ
LLQUAD100km	Q0	1	100km
LLQUAD10km	Q1	0.1	10km
LLQUAD1km	Q2	0.01	1km
LLQUAD100m	Q3	0.001	100m
LLQUAD10m	Q4	0.0001	10m
LLQUAD1m	Q5	0.00001	1m
LLQUAD10cm	Q6	0.000001	10cm
LLQUAD1cm	Q7	0.0000001	1cm
LLQUAD1mm	Q8	0.00000001	1mm

「Q4, 135.759288, 34.987569, 0, 0, 131」

## (2) LIDAR計測データを区切る

PN21 ±10枚のパネルと(0,0)のパネル、21枚×21枚。

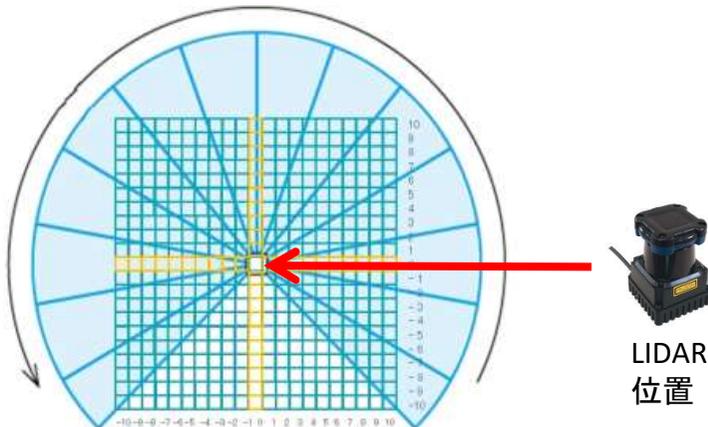


図2 PN21区切りのマス目

PL7は、区切り長さ(Panel Length)のことで、PN21の1辺の長さを、10cm / 20cm / 50cm / 1m / 2m / 5m / 10m とします。区切りタイプには、LIDAR SLAM計算のためのSQ区切りと、GMDB格納のためのLL区切りがあります。以下は北向きLL区切りの長さを表にしています。

パネル長 定義	パネル長さ 単位(m)	xlon単位 0.913	ylat単位 1.109	PN21の長さ(m)	
				xlon長さ	ylat長さ
PL_10cm	0.100	0.091	0.111	1.9	2.3
PL_20cm	0.200	0.183	0.222	3.8	4.7
PL_50cm	0.500	0.457	0.555	9.6	11.6
PL_1m	1.000	0.913	1.109	19.2	23.3
PL_2m	2.000	1.826	2.218	38.3	46.6
PL_5m	5.000	4.565	5.545	95.9	116.4
PL_10m	10.000	9.130	11.090	191.7	232.9

表2. 北向きLL区切りの長さ

## (3) グリーンポールの生成

PN21でPL7の区切りを行った後、レッドパネルの選出後、1mmX1mmで高さ2mのグリーンポールを生成します。

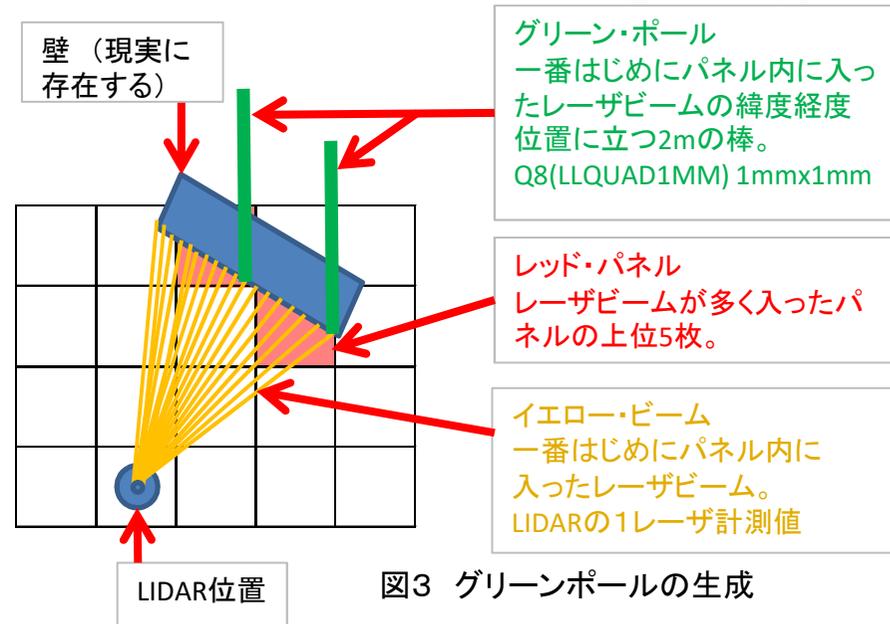


図3 グリーンポールの生成

## (4) 進行方向SQ区切り

LIDAR(Laser Imaging Detection and Ranging)  
1回の測域データ 1080点  
(測域範囲270°・ステップ角0.25°)  
PN21 PL7 の区切り長さで、  
レッドパネル化  
進行方向SQ区切り(正方形の等  
間隔のPN21区切り)は、旧  
LIDAR位置を原点(0,0)に、新  
LIDAR位置を求めます。このとき、  
LIDAR SLAM計算(イエロー・ビー  
ム)をして、移動位置  
(距離と長さ:青色の線)  
を求めます。

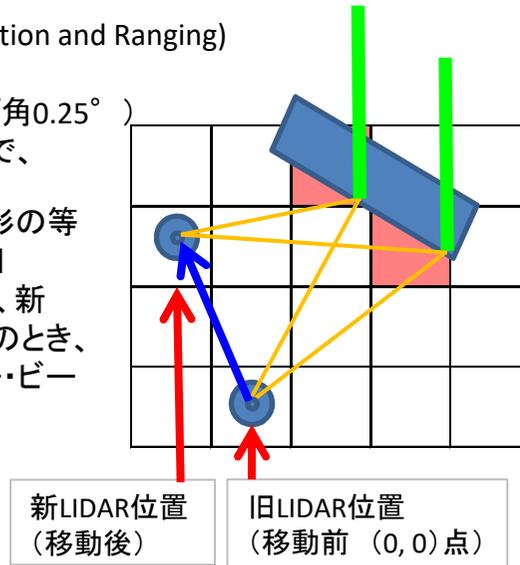


図4 LIDAR SLAM

## (5) 地球地図データベース (Global Map Data Base:略称GMDB)

地球トップ面(Q0) GMDBのトップ面のことで、  
緯度経度の度数の値 180 × 360 の配列  
緯度(-90~90°) 経度(-180~180°)

トップ面(Q0)から6階層の細分化(1/10)  
Q0からQ1 -> Q2 -> Q3 -> Q4 -> Q5 -> Q6  
Q6は10x10cmでLLQuad10cm。

LIDARの計測値、1つの測域  
データをPN21のPL7にて、  
北方向LL区切りを行い、  
GP構造体群を作り出し、  
この地図情報に装着し、  
全走行域地図を作成します。

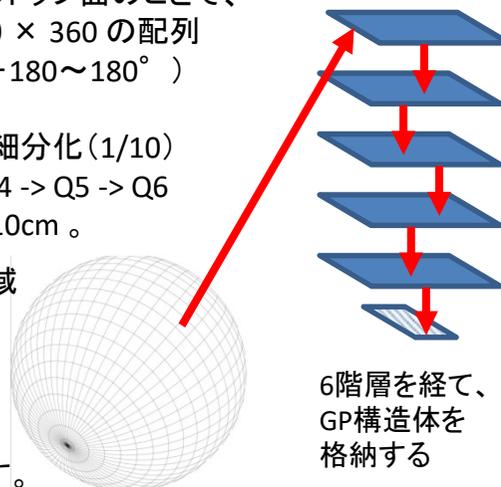
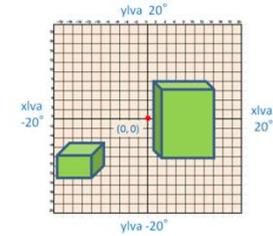


図5 GMDBの概念図

## (6) MOFEモニタ

マップ(M)・オーバービュー(O)・  
フォロー(F)・モバイルアイ(E)の  
4つの視点(MOFE)にて、移動体の  
視野風景をモニタリングできます。  
LVAという座標系を用いて、2次元  
の描画領域に3次元風の立体視画  
像を生成します。



### ピンククアッドキューブ

クアッドキューブ(GP構造体)のPL7で分割し、パネル長10cm  
平方から10m平方までの高さ2mの立方体で表示。

### レッドパネル

1回の測域データをPN21区切りしたとき、落下点数の多い5  
枚のGP構造体群をいいます。MOFEモニタでは赤い底面を  
線で表示します。

### イエロービーム

PN21で区切るとき1番はじめにレッドパネルに入ったレーザ  
ビームをいいます。MOFEモニタではセンサ位置からグリー  
ンポールまで黄色の線で表示します。

### グリーンポール

パネル内に入ったイエロービームの先端の位置の底面積  
Q8(1mm×1mm)で高さ2m(2次元LIDAR時)の線です。

### エメラルドビーム

GMDBを検索して得られたグリーンポールの情報から理論  
上計算できる、架空のレーザ・ビーム。測域センサと類似し  
たものを生成できる。

## B. 走行ロボット(NR01A)

### (1) 筐体

手動車椅子を電動化する「車椅子用電動ユニット(YAMAHA製)」を用いて、自律制御移動ロボットの開発のベースに採用。図2のように市販の手動車椅子に後付けで「電動」の機能を付加する装置。  
水色部分が市販の車椅子でカラー表示部分が車いす用電動ユニット。



図6.車椅子用電動ユニット

(YAMAHAのWebpageより引用)

### (2) ラズベリーパイを採用

軽量なソフトウェアであることを証明するため軽量なPCを採用

ホストPC

Raspberry Pi 3 Model B+  
Arduino UNO

ホストPCからArduino UNO  
(USB接続)

デジタルポテンシオメータ(DPM)  
DPM経由で車椅子用電動ユニットに信号送信

LIDAR

ホストPC(ラズパイ)とLAN接続  
(UTM-40LX-EW:北陽電機製)

## C. 走行結果

### (1) つくばチャレンジ2019

本走行3日前  
DPMの焼損し、自動運転不能に。

本走行  
本走行は13:42のスタート。  
1分後失格  
記録は 0m。

### (2) 中之島チャレンジ2019

中之島に向けて改造を行った。

焼損DPMボードの代替品の購入  
車椅子用電動ユニット入手(中古)  
中古サイトで2万円也。前回10万円。

改造の結果

DPMボードと電動ユニットの  
制御パーツを交換  
→ 動作可能に。

中之島チャレンジエクストラに出場

本走行1回目の走行時に  
右に回る動作ができ 18m 記録。  
本走行2回目の走行時に  
右回転後、延伸改造、 33m 記録。



図7.NR01A(前方から)

### (3) 経験のまとめ

つくばチャレンジ(エントリーナンバー1905)と中之島チャレンジ(エントリーナンバー1914)で出走することができ、経験からの得られたものは多い。

#### ハードウェアのトラブル

ラズパイとArduinoのボードをDPMからの同時に電源を取ると、焼損してしまうことがわかった。また別の電源からの供給をすると正常に動作することがわかった。

#### 車椅子用電動ユニットの活用

車椅子用電動ユニットでラズパイとArduinoとDPMを接続して自動制御できるようにすると、直進後1回右に回り、さらに直進することで、走行距離33mを越える自動走行ロボットを制作し動作させることができた。

車椅子用電動ユニットを採用して有益だった点(おすすめ点)

- ・ 直進性がすぐれていること
  - ・ 6年程使用された中古品がネットオークションで容易に入手できる
    - 1台目は8万円
    - 2台目は2万円以内
- 通常使用後の再利用でも、少々傷んでいても自律走行実験では問題はない  
コストパフォーマンスが高い。

(新潟ロボット協会で、改造開発のお手伝いできます。)

## D. 次年度に向けて

新潟ロボット協会では、車椅子用電動ユニットを用いて、ラズパイとArduinoのボードで自動走行ロボットを開発できた。

今年の走行結果は不十分なものであったが、ロボットのハードウェアの基本構成は完成された状態となったので来年のつくばチャレンジと中之島チャレンジへの準備として、次にあげる観点の準備を行いたい。

### (1) 自動走行制御課題

ホストPCがラズパイであっても制御能力的に十分であることを来年の実証実験で明らかにしたい。

本ソフトウェアは、点群データをクアドキューブという立方体のデータに置き換えるため、大幅にデータ量は低減できると考える。今回の実験走行期間には、LIDARを使って空間計測した情報から地球地図データベースを作成することを実証しようとしているが、データの計測が間に合わなかったため、来年のつくばチャレンジでは、内部地図をホストPC内で保持できるように早急に準備して対応できるようにしたい。

GPSと組み合わせて地球地図データベースの検索と、LIDARからのPN21データの照合により、精度の高い位置補正ができると考えられる。この補正ができることの実験結果は、来年に実施となる。

### (2) GPS情報の補正技術の検証

GPSと地球地図データベースを連携させ、GPSから得られた位置情報が、補正できるものか、確認することを計画する。本ソフトウェア技術では、1回の測域データをPN21に分解するが、各パラメータたとえばP7というのは推測の範囲で設けた分解基準である。現実利用の場面において実用的なものとなるかは、各パラメータの適正値の範囲などをこれからの実験により明らかにしたい。

## E. 次年度、モニタリングします

### (1) 位置情報のモニタリング

新潟ロボット協会では、位置情報のモニタリングを2020年にシステムを構築し実証実験をする予定である。

これは、つくばチャレンジにおいて

- ・ 2つのLPWAの無線通信基地局を設ける(本部付近、公園内)。
- ・ 10台程度のGPSによる位置情報発信機を用意する

一部のチーム:長距離走行移動体( Long Mover )協力依頼(事前に、実行委員会等に企画相談検討の上、実施)

- ・ GPS位置情報発信機を携帯してもらう
- ・ (位置情報を無線通信基地局に送ってもらう)

2つのLPWAの無線通信基地局から、Wi-Max通信機を用いクラウドに位置データを集め送信する。(具体的には、駐車場に2台の車を置き、それが基地となる)

クラウドサーバにて、地図システム(OpenStreetMap)と連動し、スマホ、タブレット、ラップトップ・デスクトップPCのブラウザ表示

本部のモニタリング用のモニタにて表示。  
QRコードにて、個人の携帯機でモニタリング表示。

株式会社データ変換研究所で2014年から2018年まで行っていた携帯アプリを使った位置情報提供も、前述システムに併用できるようにし、全ての参加チームが携帯アプリで位置データを発信できるようにする。

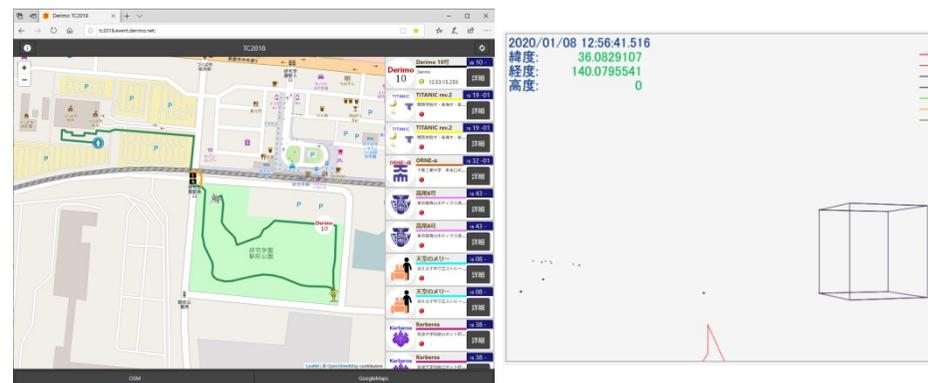


図8. 過去のモニタリング例

図9. キューブ表示例

### (2)最後に

社会人チームと学生チームの大きな違いは、社会人チームには卒業というタイムリミットがないので、参加する気になれば、同一メンバー・同一ロボットで、何度でも再挑戦ができることである。

この社会人の強みを生かし、「つくばチャレンジ2020」「中之島チャレンジ2020」に向けてこの12月から取り掛かり今年のレベルを来年は超えていきたい。

最後に、本ロボットの製作にあたりLIDARを貸与していただいた北陽電気株式会社様はこの場をお借りして謝意を申し上げます。

### (3) 参考文献

- [1] つくばチャレンジ(2019年12月9日確認): <https://tsukubachallenge.jp/>
- [2] 中之島チャレンジ(2019年12月9日確認): <http://www.proassist.co.jp/nknschallenge>.
- [3] 後藤他: “LIDAR ベースの確率的な位置推定における GNSS情報をういたりセット手法の提案”, SICE SI, pp. 3239-3242, 2017.
- [4] 猪熊他: “つくばチャレンジ2017におけるチームさくらの取り組み”, つくばチャレンジ参加レポート集, pp. 92-95, 2017.