# 駆動モジュールの脱着により車輪数を変更できる環境計測ロボットの開発

## Development of an Environmental Measurement Robot That can Change the Number of Wheels by Detaching the Drive Module

○　学　山下　翔（九州工業大学）　西田 健 (九州工業大学)

Kakeru YAMASHITA, Kyushu Institute of Technology, q104313k@mail.kyutech.jp
Takeshi NISHIDA, Kyushu Institute of Technology, nishida@kyutech.ac.jp

We have developed a mobile robot that can easily change the number of wheels from two to six by detaching the driving modules.The robot can select the driving mechanism according to the environment.Confirmed that it is suitable in the three environment of grassland, gravel road and hill.In addition，Three-dimensional maps were generated using 3D LiDAR and NDT algorithm.

***Key Words***: mobile robot, 3D mapping, driving module

### 1　はじめに

森林の維持管理作業のひとつである森林内環境の計測は重労働であり，減少する林業従事者にとって大きな負担となっている [1]．これを自動化することができれば，その負担軽減と計測精度向上が期待できる．また，比較的平坦な屋内・屋外の環境では独立二輪機構で十分に走行が可能である．アスファルトや起伏のある草原での走行には四輪以上が望ましい．さらに，森林や災害現場での走行を想定した場合は，悪路・障害物に対する踏破性の確保のために六輪ロッカーボギー [2] のような機構が適している．しかし，様々な環境および作業に対して，個別のロボットを開発することは困難である．そこで本研究では，複数の地形や環境に対して車輪の数を適応できる移動型環境計測ロボットの開発を行う．

### 2　移動ロボット仕様

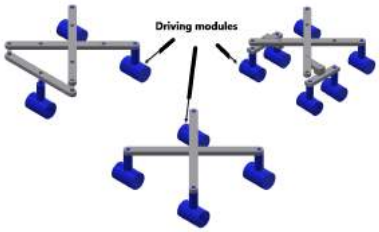
開発した移動ロボットは汎用フレームと駆動モジュールで構成される．ここではそれぞれの仕様および制御部のハードウェア構成について述べる．

#### 2.1　汎用フレーム

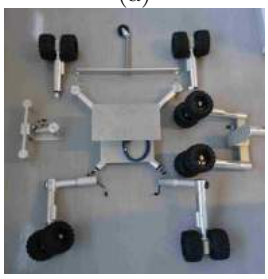
本研究で開発した移動ロボットには，駆動モジュールの増減に合わせて移動機構を二輪・四輪・六輪と変更できるような汎用性が求められる．そこで，フレームの形状を Fig.1(a) のような X 字とすることにより，追加パーツを組込むだけで駆動モジュールの数を変更できるようにした．また，二輪ならば X の一辺に従輪をつけ，六輪ならばボギーリンクを追加する．このボギーリンクは文献 [2] のロッカーボギー機構のうち，乗り越え性能の向上のためにボギーのみを抽出した機構である．ロボットの縦横比が等しいことで超信地旋回が可能とする．実際に製作したフレームを Fig.1(b) に示す．

#### 2.2　駆動モジュール

駆動モジュールは DC モータ，ロータリエンコーダ，ホイールによって構成されている．概念図と実際に開発した駆動モジュールを Fig.2 に示す．モータの回転はギアによって伝達され，モータとエンコーダのギア比は 2 : 1，モータとホイールのギア比は 1 : 2 である．

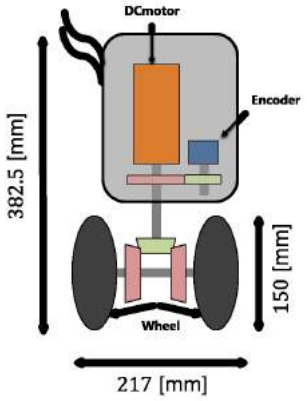



(a)



(b)

**Fig.1** Generic frame




(a)

(b)

**Fig.2** Driving module

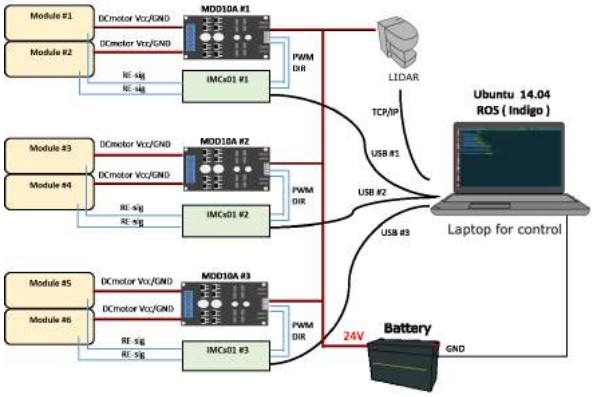



**Fig.3** Signal and power flow of the robot system

**Table 1** 3D LiDAR YVT-35LX specification

| | Specification |
|---|---|
| Power | 10-30 V(DC) |
| Horizontal scan angle | 210 deg |
| Horizontal scan speed | 20 Hz |
| Vertical scan angle | 40 deg(-5 - 35 deg) |
| Vertical scan speed | 1200 Hz |
| Sensing distance | 0.3-35 m($45 < \theta < 45$deg)<br>0.3-20 m($75 < \theta < -45, 45 < \theta < 75$deg)<br>0.3-10 m($\theta < -75, 75 < \theta$deg) |
| Accuracy | ± 50 mm(less than15 m),<br>±100 mm(than 15 m) |
| Points of data | 2590 points/frame (20 fps) |
| Interface | Ethernet(TCP/IP) |
| Weighy | about 650 g |
| Size | 70 mm×106 mm×95 mm<br>(W×D×H) |

### 2.3 システム構成

ハードウェアの接続および構成を Fig.3 に示す．モータドライバおよび LiDAR が 24 V，モータコントローラが 5 V の電源を必要とする．24 V は搭載のニッケル水素電池から給電し，5 V はラップトップコンピュータから USB によって給電する．

ラップトップコンピュータは，各駆動モジュールのモータコントローラと USB でシリアル通信を行う．また，LiDAR とは TCP/IP 通信を行う．

各駆動モジュールからはロータリエンコーダの計測値が出力され，モータコントローラでパルスカウントしコンピュータへ伝送する．コンピュータからの制御指令をモータコントローラへ入力し，モータコントローラから PWM 信号，DIR を制御入力としてモータドライバへ伝送する．最後にモータドライバから駆動モジュールへ電力が供給される．

### 2.4 LiDAR

開発したロボットは環境を計測するための三次元計測センサとして，北陽電機社製 3D LiDAR YVT-35LX を搭載している．YVT-35LX の主な仕様を Tab.1 に示す．

### 2.5 移動機構全容

開発したロボットの二輪から六輪までの移動機構形態を Fig.4, Fig.5 および Fig.6 に示す．

想定する地形環境は，二輪では平坦な地形．四輪ではその他の地形．六輪では森林や砂浜，災害現場といった特殊な地形である．実際に草原・丘・砂利道 (平坦・斜面・不整地) の三環境で，それぞれの形態で走行させ，LiDAR に内蔵された IMU によって得られた垂直方向の加速度の比較を行った．

草原においては，各移動機構の振動の差は 10%未満 (Tab.2) であった．このことから上記の条件に合う二輪が適しているといえる．

一方で，斜面では二輪では従輪が浮き登ることができなかった．四輪と六輪の形態では問題なく登ることができた．

砂利道では，二輪では従輪が砂利に埋まり走行が不可能であった．また，四輪と六輪の形態を比較すると，六輪が 21．185% 振動を抑えることができた (Tab.3)．このことから，不整地での六輪の走破性の高さが確認された．

これらの結果から，環境によって適した移動機構が存在することがわかった．同時に，本研究で開発した移動機構を環境に応じて変更できる移動ロボットの有用性を示すことができた．

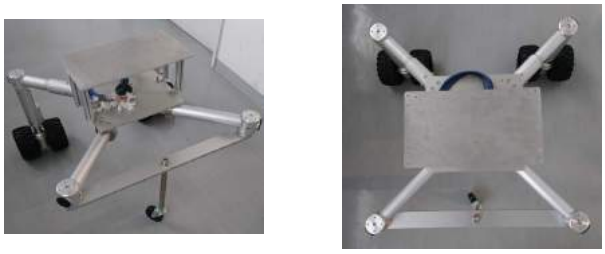


**Fig.4** Tow wheel version

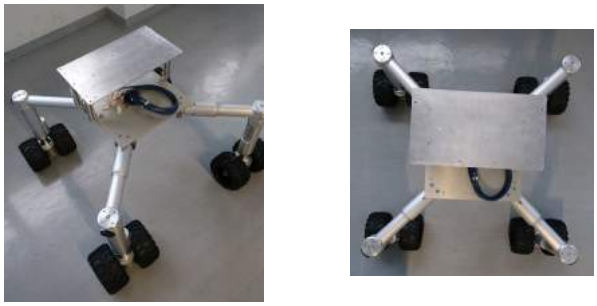


**Fig.5** Four wheel version

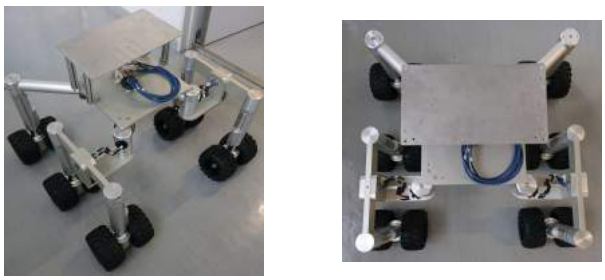


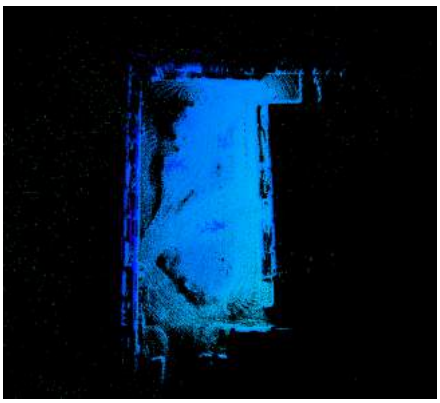
**Fig.6** Six wheel version

**Table 2** Grassland

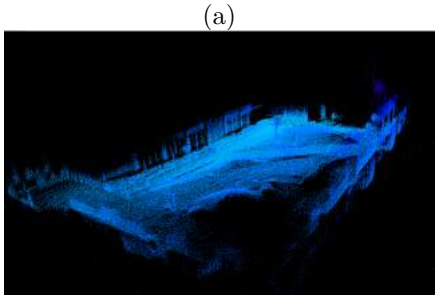
| | 2 wheels | 4 wheels | 6 wheels |
|---|---|---|---|
| average ($m/s^2$) | 0.204 | 0.197 | 0.187 |
| compare two, four, and six ver. (%) | 0 | -3.754 | -8.270 |

**Table 3** Gravel road

| | 4 wheels | 6 wheels |
|---|---|---|
| average ($m/s^2$) | 0.267 | 0.210 |
| compare four vs six ver. (%) | 0 | -21.185 |



(a)



(b)

**Fig.7** The generated three-dimensional map

## 3 環境計測

六輪の形態の移動ロボットに搭載した 3D LiDAR を用いて，環境計測実験を行った．また計測された三次元データを用いて三次元地図を生成した．Point Cloud 2 を使用し，Normal Distributions Transform(NDT) アルゴリズム [5] により三次元地図を生成した．

本論文では，屋外を想定しているためグリットを 2m と広めに設定した．生成された三次元地図を Fig.7 に示す．計測時間は 10 分，地図の生成時間が 20 分であった．地図生成にはデスクトップ PC を使用した．CPU はインテル製 core i7(2.4 GHz) を搭載し，OS は Ubuntu 14.04(LTS) である．

## 4 まとめ

本論文では，森林環境計測用移動ロボットを開発した．本ロボットは，汎用フレームと駆動モジュールで構成される新しい構造を有する．本ロボットを用いて走行実験および環境計測実験を行った．走行実験は平坦・不整地・斜面の三種の環境で行い，それぞれにおいて適した移動機構が存在し，本ロボットは駆動モジュールの組み換えにより適応できることを示した．また，環境計測実験では NDT アルゴリズムを用いて三次元地図を生成し，本ロボットが環境計測のための移動ロボットとして使用できることを確認した．

## 参考文献


[1] 林野庁，平成 28 年度 森林・林業白書，http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/zenbun.html(参照 2018-2-10)

[2] 吉田和哉， 永谷圭司，山崎文仁 (東北大)，足立忠司 (IHI エアロスペース)，Development and Control of Six-Wheel Type Robot with Rocker Structure，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 , 2007

[3] ARITA, Yuta, et al, Development of a Mobile Robot Platform for 3D Measurement of Forest Environment”, ICT-ROBOT2016, September 2016

[4] ROS.org, http://wiki.ros.org/ja/ROS/Introduction(参照 2018-2-10)

[5] Peter Biber, Wolfgang StraBer, The Normal Distributions Transform:A New Approach to Laser Scan Matching, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent robots and Systems, pp.2743-2748, (2003)

[6] Tamohito TAKUBO, Takuya KAMINADE, Yasushi MAE, Tatsuo ARAI, Kenichi OHARA, High Resolution Grid Map with Normal Distribution Transform Algorithm, 日本機械学会論文集 (C 編)78 巻 793 号, September 2012