卒業論文

汎用フレームと駆動モジュールから構成される環境計測ロボットの開発

Development of environment measurement robot

consisting of general purpose frame and drive module

指導教員： 西田　健 准教授

九州工業大学　工学部

機械知能工学科　知能制御工学コース

学籍番号： 16104313

提出者氏名： 山下　翔

平成 29 年 月 日

概 要

林業における山林環境計測は，伐採計画および環境保全のための重要な作業である．労働力の代替手段としてロボットによる自動化が求められている．本研究では，前年度までに開発された山林環境計測ロボットに対して，構造を汎用フレームと駆動モジュールによって構成される組換可能なものとすることで，各種環境に適応できるように改良を行った．さらに，駆動輪数を 2・4・6 輪と変更しながら，複数の環境において三次元計測 LiDAR を用いた三次元地図生成を行い，このような組換可能な構造が有用なものであることを確認した．

目 次

1 序論 **iv**

1.1 研究背景 iv

1.2 先行研究 iv

1.3 研究目的 v

2 環境計測ロボット仕様 **vi**

2.1 センターコンピュータ vi

2.1.1 制御用 PC vi

2.1.2 モータドライバ vi

2.1.3 モータコントローラ vii

2.2 汎用フレーム ix

2.3 駆動モジュール x

2.3.1 駆動モジュール構成 x

2.3.2 DC モータ xi

2.3.3 ロータリエンコーダ xii

2.4 3DLiDAR xiii

2.5 システム全体構成 xiv

2.5.1 ハードウェア構成 xiv

2.5.2 ソフトウェア構成 xiv

3 環境地図作成 **xv**

4 計測実験 **xvi**

4.1 実験内容 xvi

4.2 実験手順 xvi

5 実験結果および考察 **xvii**

6　結論 **xviii**

1　序論

1.1　研究背景

地形の計測や環境地図の生成といった作業は，建築や農林水産業など様々な分野において必須である．だが，その多くが専門家の知識や高価な機材が必要となっており，それらを自動化するシステムの開発が期待されている．例えば，林業における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対して大きな負担となっている．これをロボットによって自動化することができれば，負担軽減となるばかりか，計測の精度の向上も期待できるかもしれない．しかしながら，様々な環境および作業に対して，そのつどロボットを開発していたのではコストの増大は避けられず本末転倒であろう．そこで，本研究では複数の地形や環境に対して適応することができる移動型環境計測ロボットの開発を行う．

1.2　先行研究

前年度までに開発されたロボットが Fig.1 である. 森林環境を想定しており, 不整地での踏破能力を高めるためにロッカーボギーサスペンションを採用した六輪ロボットである．3D LiDAR を搭載し, 森林環境において誤差 15cm 以下の高精度の三次元地図の作成に成功した.[?]

しかしながら, この六輪ロボットには複数の問題点が挙げられた. まず, ロボットのサイズが 963[mm] × 962[mm] と森林環境を想定している割には大きい点. さらに重さが約 50[kg] あるために取り扱いが非常に不便である点. また, 最大の問題として駆動部の構造上, 走行困難となる場面が多々あるという点である.(Fig.2)

1.3　研究目的

前述の問題点を考慮し, 本研究ではロボットの小型化および構造の簡略化と改善を目的とした. そのための試みとして, ロボットの構造を

1. 制御用センターコンピュータ部
2. 汎用フレーム
3. 駆動モジュール

の 3 要素で構成し, 各要素について最適化を行った. さらに, 森林環境のみならず屋内や平野といった様々な環境に視野を広げるために,2 輪・4 輪・6 輪と組換え可能なモジュール構造を採用し，組換えることで環境に最適なロボットとなるかを確かめた.

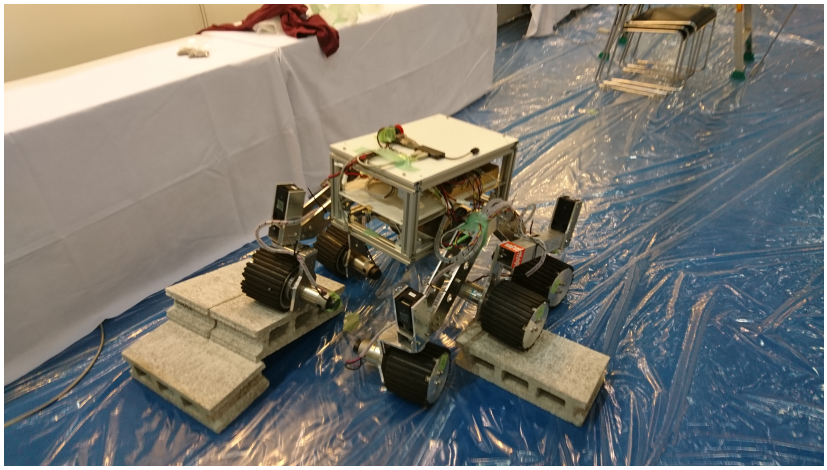
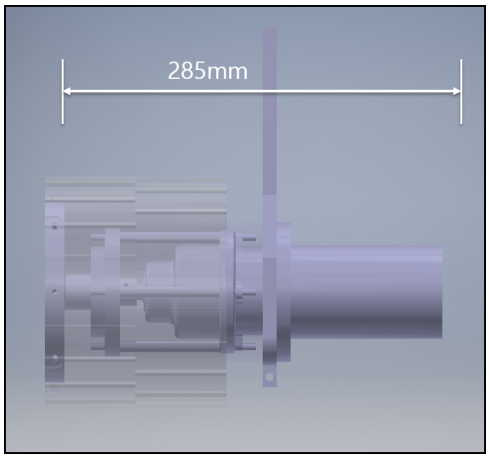


Fig. 1: 前年度 六輪ロボット



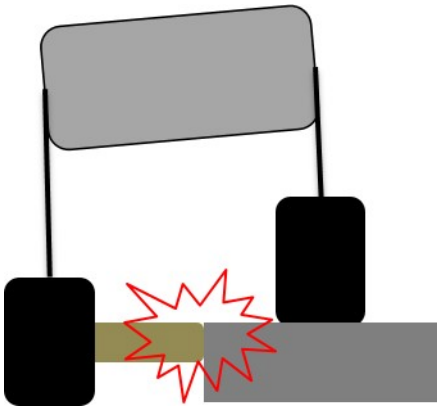


Fig. 2: 前年度までの駆動モジュールの問題点

2　環境計測ロボット仕様

2.1　センターコンピュータ

ロボットの制御用センターコンピュータの構成について以下にまとめる.

2.1.1　制御用 PC

ロボットの制御にはラップトップ PC を使用した．CPU はインテル製 Core m5(1.10GHz) を搭載しており，OS は Ubuntu 14.04LTS を使用した．また，ロボット制御用のミドルウェアとして ROS(Robot Operating System) を使用した.

2.1.2　モータドライバ

モータドライバは Cytron Technologies 製 2ch DC ブラシモータドライバ MDD10A(Fig.3) を使用した. 本製品は PWM 信号を入力することにより速度制御を行うことができる.
ロジック電圧は 5[V] であり, 後述のモータコントローラを介して PC から給電される.

2.1.3　モータコントローラ

エンコーダパルスカウンタおよびモータコントローラには iXs Research 製 超小型 USB 接続 4ch モータコントローラ iMCs01(Fig.4) を使用した. 本製品は最大 3 組のエンコーダ・DC モータの制御が可能である. また, 入力には 2 相エンコーダ入力信号 (4000pps 未満), 出力は PWM 信号・CW/CCW が利用可能である. さらに,USB で PC から直接制御することが可能かつ, 内部に PID 制御式 (2.1) を持っているためにプログラム上でゲインの設定を行うだけで用意に制御が可能である. 制御出力 u は次式から 1[ms] 毎に計算される.

$$u = A - \frac{K_P}{K_{P_x}}(v_d - v) - \frac{K_I}{K_{I_v}}\sum_{0}^{t}(v_d - v) \tag{2.1}$$

このとき,A はオフセットであり,K_P・K_I はそれぞれ比例・積分ゲインである. また,v_d は目標速度,v は現在値である.

ただし, 本モータコントローラは本来位置制御に特化したものであるので現在値を得る際には,

$$v = \frac{x_i - x_{i-1}}{t} \tag{2.2}$$

から求める. このとき x_i は現在位置, x_{i-1} は 1 ステップ前の位置であり,t は 1 ステップの時間で

Fig. 3: MDD10A

ある.

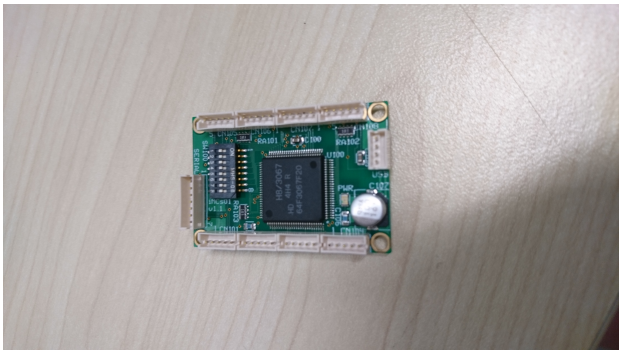


Fig. 4: iMCs01

2.2　汎用フレーム

本研究で開発する移動ロボットには，駆動モジュールの増減に合わせて走行アルゴリズムを 2 輪・4 輪・6 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.5 のような X 字にすることで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．実際に製作したフレームが Fig.??である．

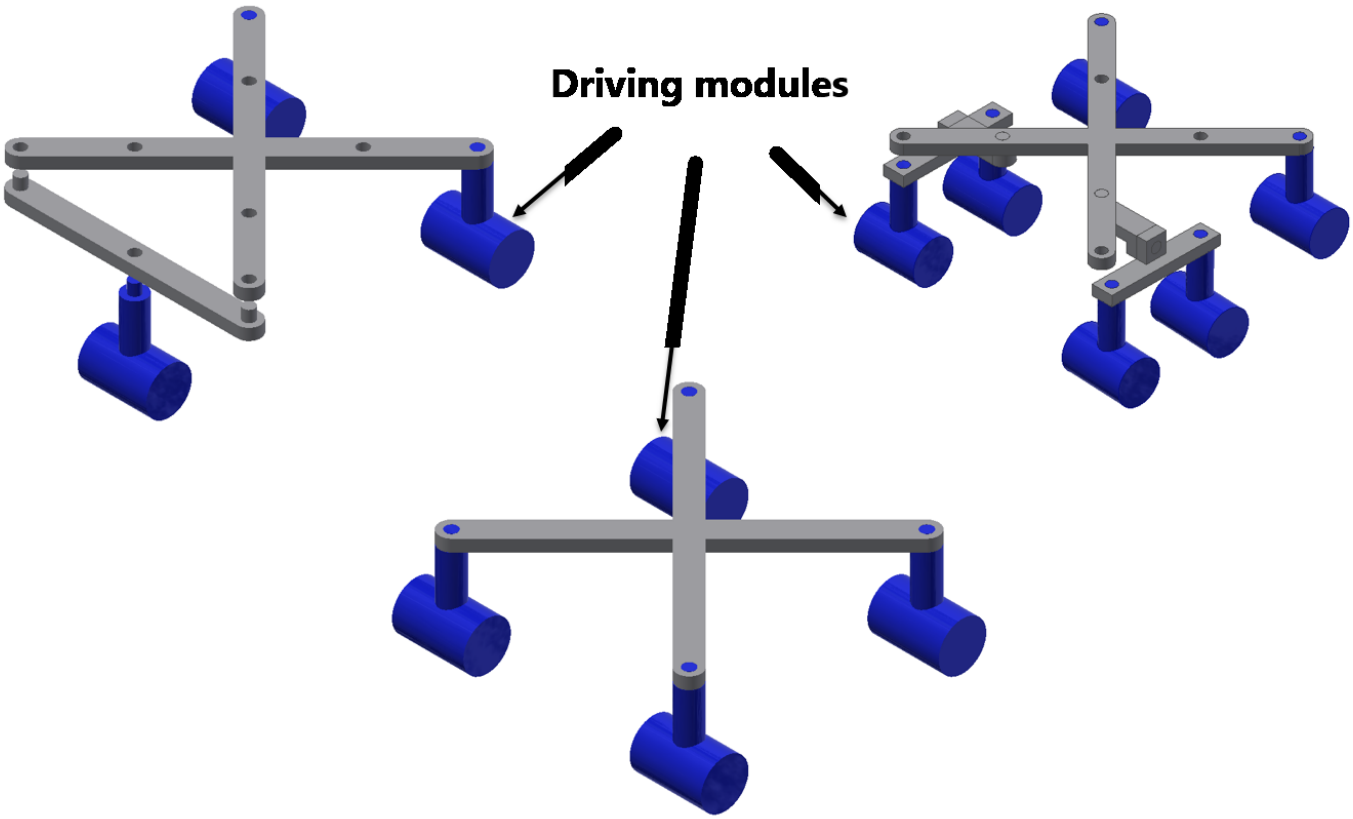


Fig. 5: 汎用フレーム 概念図

2.3 駆動モジュール

2.3.1 駆動モジュール構成

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．概念図と実際に製作した駆動モジュールを Fig.8 に示す．各部はギアによって伝達されており，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 となっている．

また，2.3.2 で示す DC モータを使用した際にこのモジュールが出せる最高速は，0.774[m/s] である．このとき D は車輪の直径である．

$$
\begin{aligned}
Vel_{max} &= \frac{rpm}{60sec} \cdot \pi \cdot D \\
&= \frac{98.5}{60} \cdot \pi \cdot 0.15 = 0.774
\end{aligned}
\tag{2.3}
$$

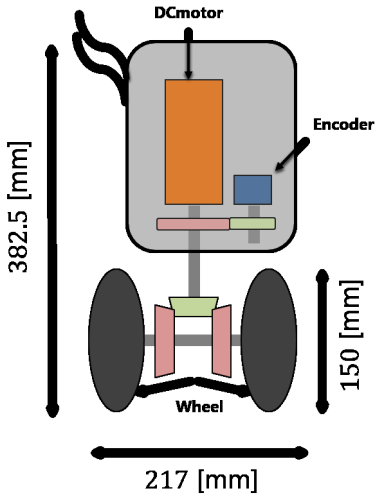


Fig. 6: 概念図

Fig. 7: 製作した駆動モジュール

Fig. 8: 駆動モジュール

2.3.2　DC モータ

各モジュールは駆動用としてそれぞれ DC モータを搭載している．モータには，シンクエンジニアリング製 TE-38F16-24-64(Fig.9) 使用した．モータ仕様を Tab.1 に示す．

Fig. 9: DC モータ

Tab. 1: DC モータ仕様

Rotation speed (rpm)	Torque(mN·m)	Current (A)	Length (mm)	Weight (kg)
98.5	1881.6	2.3	77.0	360.0

2.3.3　ロータリエンコーダ

車輪回転速度制御用に，各駆動モジュールには omron 製インクリメンタル型ロータリエンコーダ E6A2-CW3E(Fig.10) を搭載している．仕様について Tab.2 にまとめる．

Fig. 10: インクリメンタル型ロータリエンコーダ

Tab. 2: ロータリエンコーダ仕様

Power-supply (V)，(mA)	Output phase	Output type	Maximum speed (rpm)
5-12，30	A，B	Voltage	5000

2.4 3DLiDAR

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 3DLiDAR YVT-35LX を搭載している (Fig.11)．YVT-35LX の主なスペックを Tab.3 に示す.

Fig. 11: 3D LiDAR YVT-35LX

Tab. 3: 3D LiDAR YVT-35LX 仕様

	Specification
Power	10-30 [V](DC)
Horizontal scan angle	210 [deg]
Horizontal scan speed	20 [Hx]
Vertical scan angle	40 [deg](-5 - 35 [deg])
Vertical scan speed	1200 [Hz]
Sensing distance	0.3-35 [m]($45 < \theta < 45$[deg]) 0.3-20 [m]($75 < \theta < -45, 45 < \theta < 75$[deg]) 0.3-10 [m]($\theta < -75, 75 < \theta$[deg])
Accuracy	± 50 [mm](less than15[m])，±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](W×D×H)

2.5　システム全体構成

2.5.1　ハードウェア構成

ハードウェアの接続および構成について Fig.12 に示す．また，完成した機体を Fig.??に示す．

2.5.2　ソフトウェア構成

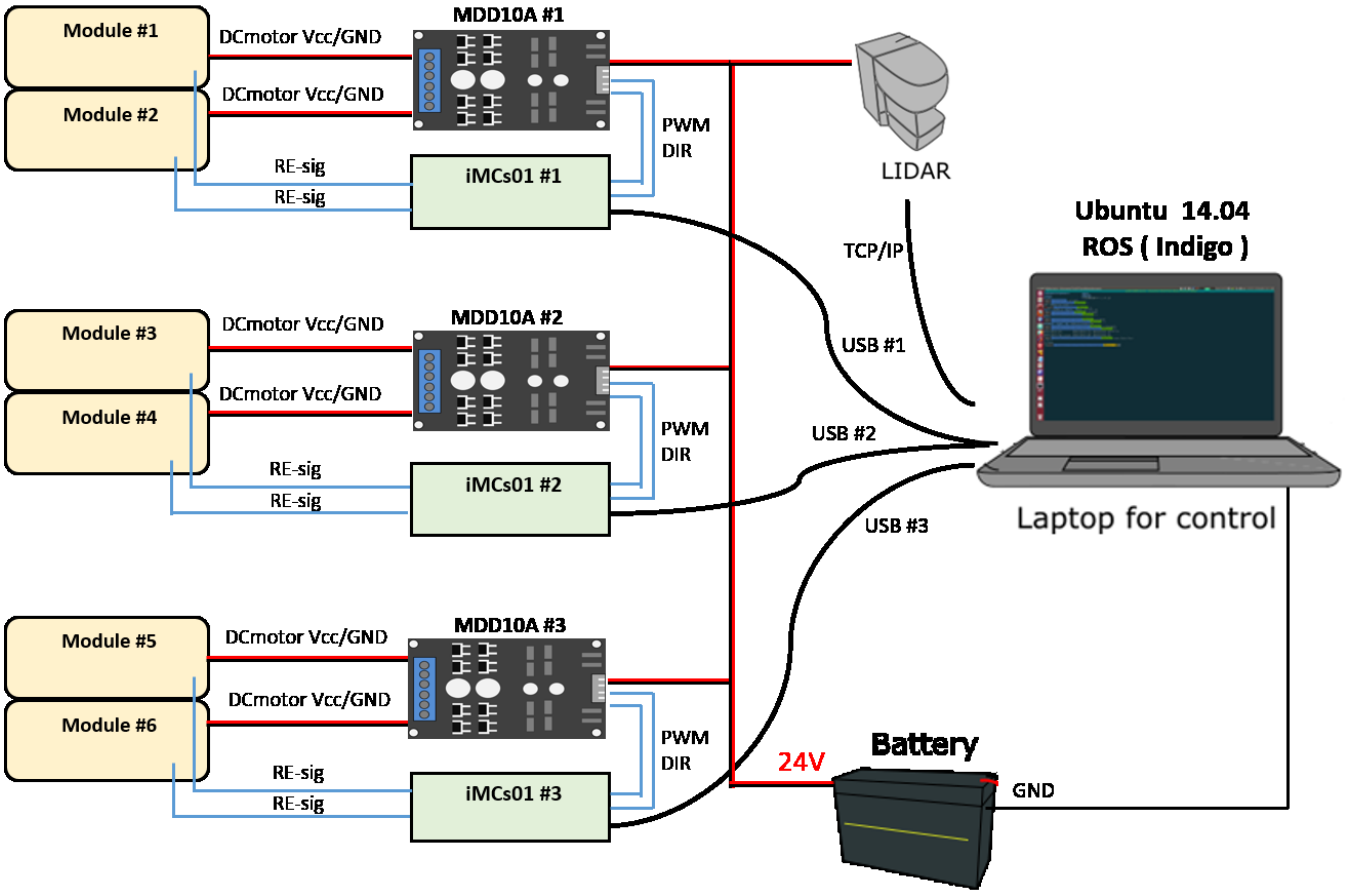


Fig. 12: システム全体構成図

3　環境地図作成

4　計測実験

製作したロボットについて，駆動モジュール数を変更することで計測環境に適したロボットとなるか，および高精度の三次元地図の生成を行うことができるかを確認するために検証実験を行った．

4.1　実験内容

実験は??に示す３つの環境で行った．それぞれ

- 室内（平坦な環境）
- 砂利道（起伏のある環境）
- 森林（不安定かつ障害物のある環境）

である．これらに対して，2.2 に示した汎用フレームに 2・4・6 つの駆動モジュールを組込んだ３種のロボットを用いて比較のための 3 次元環境計測実験を行った．また，それぞれは小回りの利く独立二輪機構，走破性と安定性を重視した四輪機構，不整地に対する走破性に重きをおいた六輪ロッカーボギー機構を有する．

4.2　実験手順

各実験環境において，各種ロボットを遠隔操作によって走行させ，3 次元地図を作成した．その際に，走行・計測完了までのタイム，地図の精度,（検討中）について比較を行う．地図の精度についてはその要因となりうるロボット本体の揺れについても，3DLiDAR(2.4) の IMU 機能を用いて検証を行う．

5　実験結果および考察

6　結論

謝辞

本論文作成にあたり御指導下さった九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系知能制御工学部門西田准教授に深く感謝いたします．ロボットの共同開発をして頂きました石川鉄鋼所横田様にも深く感謝致します．さらに，日頃より御協力頂いた機械知能工学科制御工学教室の教職員の皆様ならびに，同教室西田研究室の皆様に感謝致します．