

知能制御PBL

## 第3回RCR中間報告書

2018年6月27日

西田研究室

13104042 烏谷崇大  
14104055 佐々木秀将  
15104021 長田駿二郎  
15104026 川崎雄太朗  
15104050 坂元勇太  
15104081 徳野将士  
15104113 前田修一  
15104117 右田明花  
15104134 山福佳  
17104311 横田篤紀

## 目 次

<b>1</b>	<b>目的</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RCR (Robot Car Race) 2018</b>	<b>2</b>
2.1	競技概要 . . . . .	2
2.2	コース . . . . .	2
2.3	競技ルール . . . . .	2
<b>3</b>	<b>ROS (Robot Operating System)</b>	<b>3</b>
3.1	ROS とは . . . . .	3
3.2	ROS ノードとトピックの構成 . . . . .	4
3.3	DC モータのモデリング . . . . .	5
<b>4</b>	<b>回路設計</b>	<b>6</b>
4.1	全体の回路構成 . . . . .	8
4.2	駆動部の回路 . . . . .	8
4.2.1	後輪駆動部の回路 . . . . .	8
4.2.2	ステアリング回路 . . . . .	9

## 1 目的

学部3年までに学習した制御理論や電気回路・情報工学の知識を使って、競技場内を自律的に走行するロボットの製作を行う。研究室で一丸となってプロジェクトを進行し、共同で課題を達成することの難しさや楽しさを学び、エンジニアとして仕事を進めるための素養を身に付ける。

## 2 RCR (Robot Car Race) 2018

### 2.1 競技概要

ウレタンパネルを用いてレイアウトされる周回コースにおいて、格子模様のコントロールライン手前から走行開始してコントロールラインを3回通過後に停止するまでの時間を競うロボットカー（以下、ロボカーと称する）を製作する。

### 2.2 コース

一辺 50 [cm] の正方形及び扇形の黒色ウレタンパネルと白黒格子模様のコントロールライン付ウレタンパネルを組み合わせ、コースを構成する。なお、競技会当日までコースは公表されない。また、コースフェンスの高さが低いため、コースフェンスのコース側に高さ 10 [cm] の壁を設置する。

### 2.3 競技ルール

- (1) コントロールライン手前からの走行開始からコントロールラインを3回通過後に停止するまでの時間を競う。
- (2) 各チームあたり 10 分以内に最大 3 回走行し、最短時間の走行を評価する。
- (3) コース 2 周以上走行すること。
- (4) 競技会当日のコース試走は認めない。
- (5) ロボカーがコース周囲の壁に接触した場合は失格とする。
- (6) コース及び壁に物を設置したり、手を加えてはいけない。
- (7) コース内に足を踏み入れないこと。

### 3 ROS (Robot Operating System)

#### 3.1 ROS とは

ROS(Robot Operating System) とは Open Source Robotics Foundation によって管理されているソフトウェア開発者のロボット・アプリケーション作成を支援するフレームワークである。具体的には、ハードウェア抽象化、デバイスドライバ、ライブラリ、視覚化ツール、メッセージ通信、パッケージ管理などが提供されている。[1]。

図 1 に示すように ROS ではプロセス (実行プログラム) はノードという単位で扱い、ノード間の通信はトピックと呼ばれる “Publisher/Subscriber” モデルで実現される [2]。

これにより、プログラミング言語や通信相手さえ意識することなく簡単にプロセス間通信を実現できる。つまり、並列分散処理が簡単に実現できるのである。これは各ノード間のインタフェース、すなわちトピックの名前と型さえ決定すればノードごとに独立して開発を行うことができるという利点でもある。

以上の利点を考慮し、本研究室では ROS がインストール可能なマイコンボードである RaspberryPi3 Model B 上に ROS をインストールして開発を進めていくこととした。

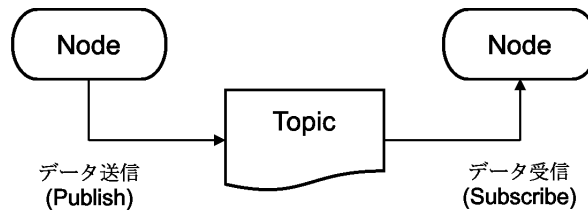


図 1: ROS ノードとトピックの概念

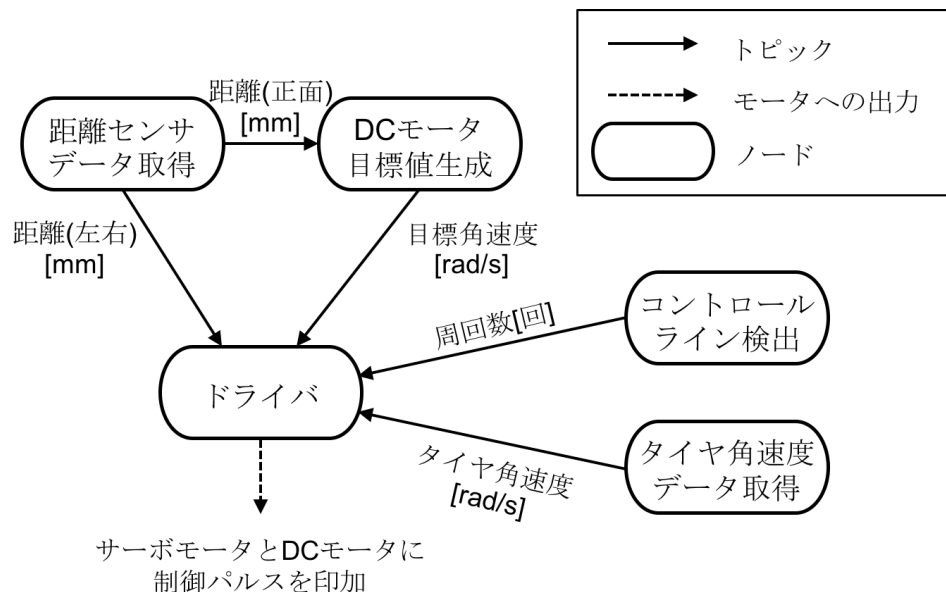


図 2: ROS ノードとトピックの構成

### 3.2 ROS ノードとトピックの構成

図 2 に開発する ROS ノードとトピックの構成を示す．各ノードの役割は次の通りである．

#### 距離センサデータ取得

ロボカーの前方及び両側面に設置した距離センサからシリアルバス規格の一つである I<sup>2</sup>C を介して距離データを mm 単位で取得し，外れ値処理や正規化を施した後に Publish する．

#### コントロールライン検出

ロボカーの後方下部に設置したフォトリフレクタによってコントロールラインを通過した回数をカウントし Publish する．

#### タイヤ角速度データ取得

ロボカーの後方に設置したロータリーエンコーダによって計測したタイヤの回転角を基に，タイヤの回転角速度を算出して Publish する．

#### DC モータ目標値生成

ロボカーの前方方向の距離データを Subscribe し，それをもとに DC モータに与える目標値を生成して Publish する．

#### ドライバ

DC モータに与える目標値，ロボカーの両側面の壁との距離，タイヤの角速度，周回数を Subscribe し，サーボモータの目標値を生成して，サーボモータを駆動させる．また，DC モータを目標値に追従するような PI 制御系によって駆動する．さらに，規定の周回数になるとロボカーを停止させる．

### 3.3 DC モータのモデリング

DC モータの代表的な等価回路を図3に示す．[11] ただし，モータへの入力電圧を  $v$  [V]，電機子電流を  $i_a$  [A]，電機子抵抗を  $R_a$  [ $\Omega$ ]，自己インダクタンスを  $L_a$  [H]，誘起電圧定数を  $K_E$  [Vs/rad]，電機子の回転角速度を  $\omega_m$  [rad/s]，電機子に発生するトルクを  $T$  [Nm]，負荷トルクを  $T_L$  [Nm]，回転子と負荷の合成慣性モーメントを  $J$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ] とする．以下ではこの等価回路に沿ってDC モータの定式化を行う．

図3より，DC モータの支配方程式は次のように書ける．

$$v = K_E \omega_m + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (3.1)$$

$$T = J \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad (3.2)$$

式(3.1)，式(3.2)より図4のブロック線図を得る．ここで，図中の  $J$  はモータ回転子の慣性モーメント  $J_M$  と負荷の慣性モーメント  $J_L$  の和を表し， $K_T$  [Nm/A] はDC モータのトルク定数である．図4より負荷を含まないDC モータ単体の伝達関数  $G_M(s)$  を求めると以下ようになる．

$$\begin{aligned} G_M(s) &= \frac{\Omega_m(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K_T}{(R_a + L_a s) J_M s}}{1 + \frac{K_T K_E}{(R_a + L_a s) J_M s}} \\ &= \frac{\frac{1}{K_E}}{1 + \frac{R_a J_M}{K_T K_E} s + \frac{L_a J_M}{K_T K_E} s^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ただし， $\Omega_m(s) = \mathcal{L}\omega_m(t)$ ， $V(s) = \mathcal{L}v(t)$  である．

式(3.3)より，電流の増加を遅らせるインダクタンスと回転角速度の上昇を遅らせる慣性モーメントという2つのエネルギー蓄積素子が二次のダイナミクスをつくっている事がわかる．このとき， $L_a$  が小さければ二次の項の影響が小さくなり，一次系に近似することができる．

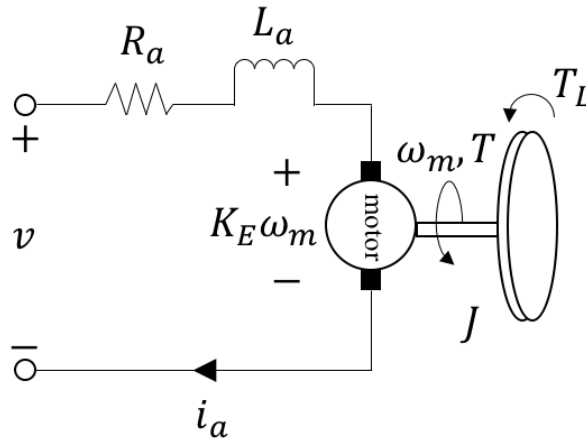


図 3: DC モータの等価回路

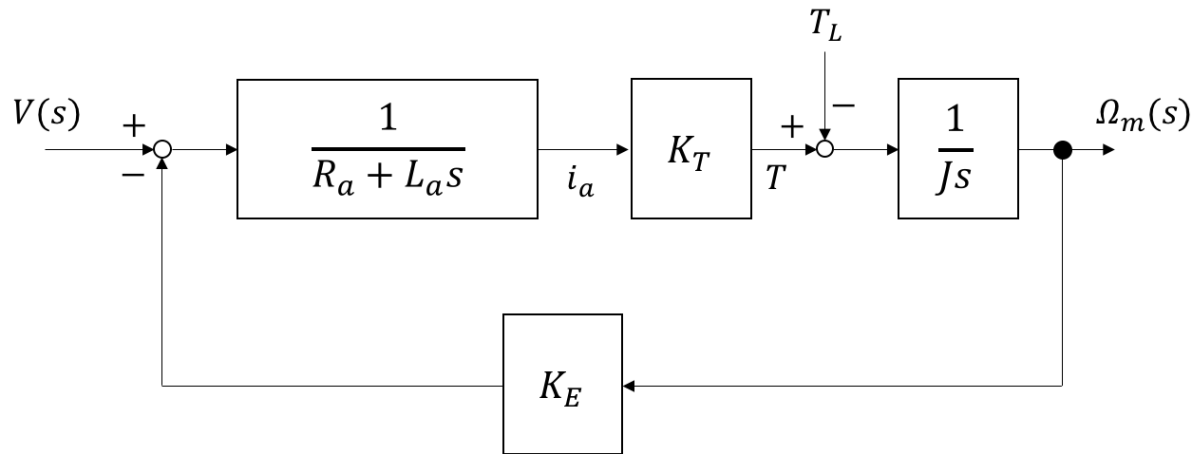


図 4: DC モータのブロック線図

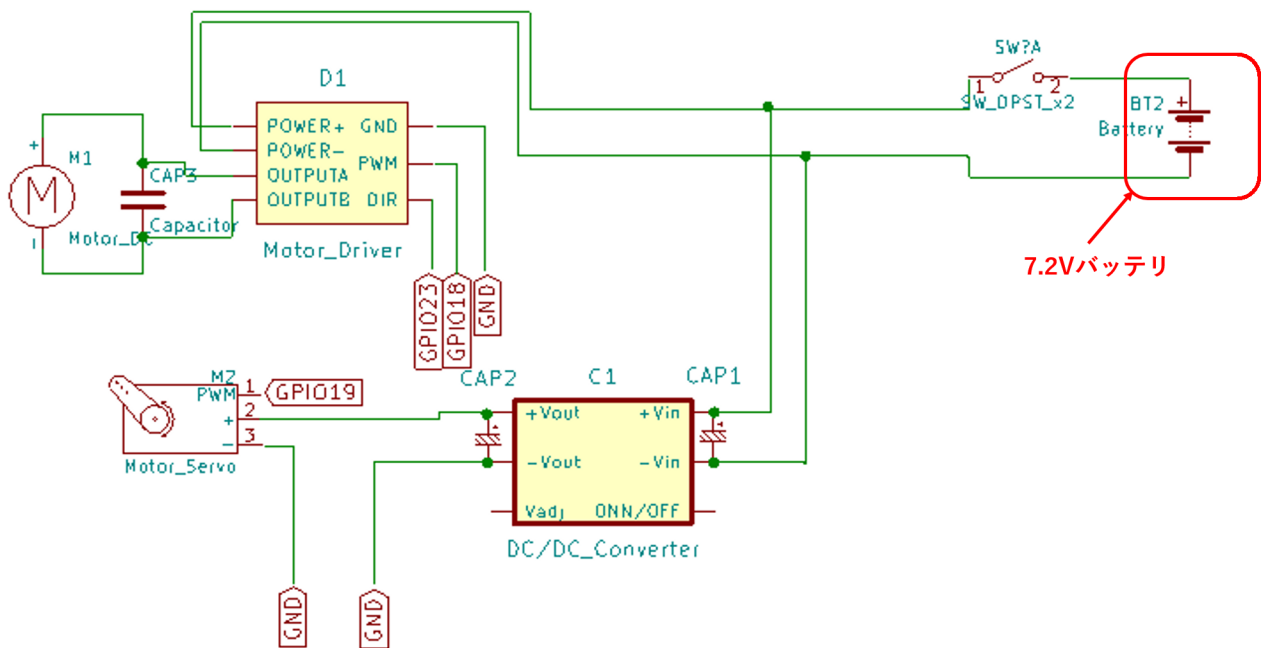


図 5: 駆動部

## 4 回路設計

今回設計した駆動部，距離センサ部，マイコン周辺部の回路図を図 5，図 6，図 7 にそれぞれ示す．また回路制作に使用した主要な部品の一覧を表 4.1 に示す．さらに駆動系の回路に関してその詳細な仕様や構成について以下で述べる．

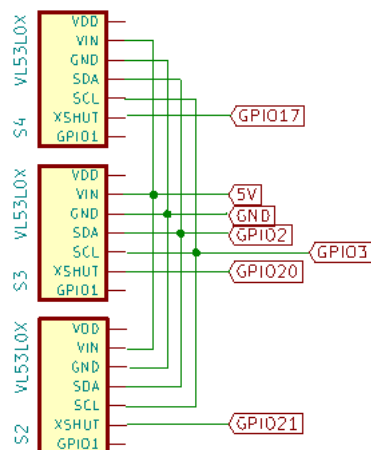


図 6: 距離センサ部

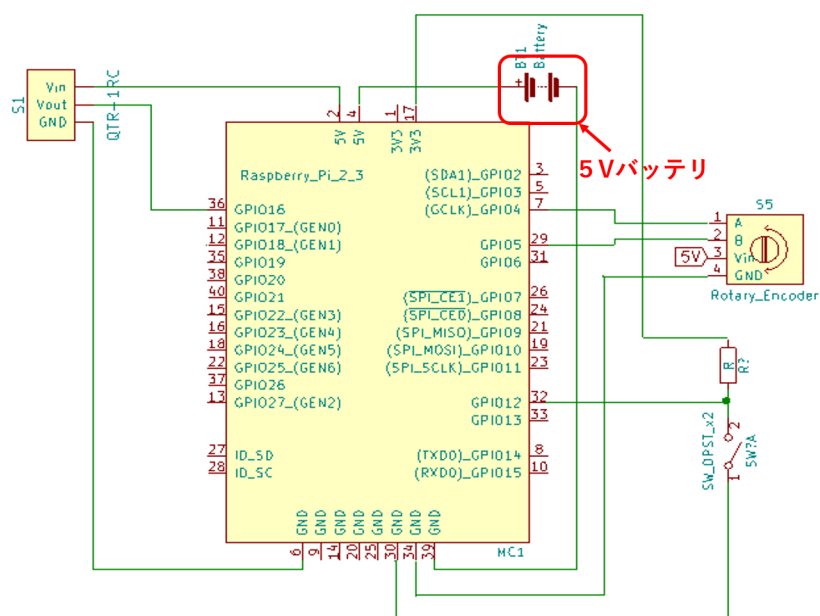


図 7: マイコン周辺部



表 4.1: 電気回路用部品

タイプ	部品名	数	用途
マイコン	Raspberry Pi3 Model B	1	制御用
DC モータ	RP380	1	後輪モータ駆動用
モータドライバ	MD10C R3	1	後輪モータ制御用
距離センサ	VL53L0X Time-of-Flight	3	距離計測用
フォトリフレクタ	QTR-1RC フォトリフレクタ・モジュール	3	ゴールライン計測用
DC-DC コンバータ	BTD05-05S200D	1	降圧用
コンデンサ	セラミックコンデンサ 1000 [pF]50 [V]	1	後輪モータのノイズ除去用
	OS コンデンサ 10 [V]47 [ $\mu$ F]	2	DC-DC コンバータのノイズ除去用
ロータリーエンコーダ	RE30E-500-213-1	1	ロボカーの速度計測用
バッテリー	Powers Max 4000 Ni-MH 7.2 [V]	1	DC モータ, サーボモータ用の電源
	4000 [mAh] 6CELL ニッケル水素バッテリー	1	Raspberry Pi3 ModelB 用の電源
サーボモータ	GWS03T/2BBMG	1	ステアリング用

#### 4.1 全体の回路構成

今回設計した回路では 7.2 [V] バッテリと 5 [V] バッテリの 2 つを用いており, 7.2 [V] バッテリはまず分流を行い一方を DC-DC コンバータを用いて 7.2 [V] から 5 [V] に降圧してサーボモータに供給し, もう一方を DC モータドライバに供給している. 5 [V] バッテリは RaspberryPi3 Model B にのみ電源を供給している. このような回路構成をとることで, RaspberryPi3 Model B への電源供給に対してフィルタを用いたノイズ対策を行う必要がなく安定した動作を行うことができるというメリットがある [3].

#### 4.2 駆動部の回路

図 5 は車体駆動部回路を示している. 駆動部回路は後輪駆動部回路とステアリング回路から構成されている. 以下で詳細について説明する.

##### 4.2.1 後輪駆動部の回路

後輪駆動部の回路は主にモータドライバと DC モータから構成されている. 以下にその仕様を示す. DC モータには, ノイズを軽減するためにセラミックコンデンサを取り付けた [3].

モータドライバ<MD10CR3(Cytron technologies 社製)>[4]

- 対応モータ電圧: DC 5 [V] – 25 [V]
- 最大電流 : 13 [A]
- ロジック入力電圧: 3.3 [V] – 5 [V]

DC モータ< RP380(マブチモーター社製) >[5]

- 適正電圧:7.2 [V]
- 適正電圧・負荷時の消費電流: 2.9 [A]

#### 4.2.2 ステアリング回路

ステアリング用の回路ではサーボモータと降圧を行うための DC-DC コンバータから構成されている．以下にその仕様を示す．ここで，サーボモータの GND は RaspberryPi3 ModelB のそれと共通である．DC-DC コンバータは内部でデジタルスイッチングを行っているため，ノイズが生じてしまう [7]．本回路ではこのようなノイズ成分を平滑化するために電解コンデンサ (OS コンデンサ 10 [V]47 [ $\mu$ F]) を用いた図 8 の回路を作成した [6]．

DC-DC コンバータ (Bellnix 社製)<BTD05-05S200D>[6]

- 入力電圧: DC 4.5 [V] – 9 [V]
- 出力電圧: 0 [mA] – 2000 [mA]
- 出力電流: 3.3 [V] – 5 [V]
- 効率: 84 %

サーボモータ<GWS03T/2BBMG>

- 駆動電圧: DC 4.8 [V] – 6 [V]

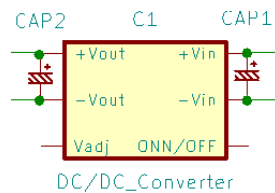


図 8: DC-DC コンバータの回路図

## 参考文献

- [1] 表允, 倉爪亮, 渡邊裕太, ”詳説 ROS ロボットプログラミング-導入から SLAM・Gazebo・MoveIt まで-”, Kurazume Laboratory, pp.15-18, (2015).
- [2] 小倉崇, ”ROS ではじめるロボットプログラミング”, 工学社, pp.8-10, (2015).
- [3] 後閑哲也, ”作る , できる/基礎入門 電子工作の素”, 技術評論社, p181, (2009).
- [4] Cytron technologies, ”MD10C Enhanced 10Amp DC Motor Driver User’s Manual Rev2.0 v1.0”, <<https://www.robotshop.com/media/files/PDF/user-manual-md10c-v2.pdf>>, 2018 年 6 月 2 日アクセス.
- [5] MABUCHI MOTOR, ”Let’s Motorize”, <<https://www.mabuchi-motor.co.jp/motorize/branch/motor/>>, 2018 年 6 月 3 日アクセス.
- [6] SWITCH SCIENCE, ”10Watt BTB Series”, <<http://www.bellnix.co.jp/pdf/pdf/BTD.pdf>>, 2018 年 6 月 2 日アクセス.
- [7] 後閑哲也, ”作る , できる/基礎入門 電子工作の素”, 技術評論社, pp.84-85, p186, (2009).
- [8] Pololu Corporation, ”QTR-1RC Reflectance Sensor(2-Pack)”, <<https://www.pololu.com/product/2459>>, 2018 年 6 月 1 日アクセス.
- [9] SWITCH SCIENCE, ”Pololu VL53L0X Time-of-Flight 距離センサモジュール” <<https://www.switch-science.com/catalog/2869>>2018 年 6 月 1 日アクセス .
- [10] Philips Semiconductors, ”I<sup>2</sup>C バス仕様書バージョン 2.1” <<http://ekousaku.web.fc2.com/doc/I2C.pdf>> 2018 年 6 月 1 日アクセス .
- [11] 坂本哲三, ”電気機器の電気力学と制御”, 森北出版, pp.164-168, (2007).