



Title	ロボコンにおける自動走行ロボットの足回りの研究
Author(s)	田中, 颯樹
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/60351
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 2 8 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書					
ふりがな 氏 名	たなか さつき 田中 颯樹	学部 学科	工学部 応用理工	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者名	はらだ ひろゆき 原田 滉之	学部 学科	工学部 応用理工	学年	2 年
	たかはし かなみ 高橋 奏美		工学部 地球総合工		2 年
	おかもと たかひろ 岡本 昂大		工学部 応用自然		2 年
	おりた ゆうま 織田 祐真		工学部 応用理工		3 年
	すずき まおこ 鈴木 真生子		外国語学部 アラビア語		3 年
	かのう ひろし 加納 弘嗣		工学部 応用理工		2 年
	なか りょうすけ 中 亮介		工学部 応用理工		2 年
	いせ なおき 伊勢 尚輝		基礎工学部 システム科		2 年
アドバイザー教員 氏名	金子 真	所属	工学研究科 機械工学専攻		
研究課題名	ロボコンにおける自動走行ロボットの足回りの研究				

研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。
---------	---

1. 研究背景・目的

我々は大阪大学のものづくりプロジェクト「Robohan」に所属しており、日々NHK 学生ロボコンに向けたロボット制作に取り組んでいる。NHK 学生ロボコンは、ABU アジア太平洋ロボットコンテストの国内選考会であり、数多あるロボコンの中でも、毎年ルールが異なるという特徴がある。そのため、各チームはルール発表から大会までの約 10 か月間でロボットを一から設計することが要求される。NHK 学生ロボコンのほとんどのロボットは車輪による移動形式であり、その移動速度と精度が、勝敗を大きく左右する。ロボットの移動を司る「足回り」の種類には、独立対向二輪、オムニホイール、無限軌道など多くの種類があるが、それぞれに長所短所があり、ルールに合わせて適切な選択が必要となる。しかしながら、現在 NHK 学生ロボコンにおいて、足回りの最適解の共通認識は無く、製作時間が限られていることもあって、大学ごとに経験・ノウハウを積み重ねた足回りを採用しているケースが多い。

本研究の目的は、近年多く使用されている「オムニホイール(図1)を用いた足回り(以下オムニ3輪)」、「メカナムホイール(図2)を用いた足回り(以下メカナム4輪)」、「独立4輪ステアリング」の3つの足回りの開発を同時に行い、それらの特徴を比較・分析することで、各機構の適用範囲について考察を深めることである。



図 1. オムニホイール

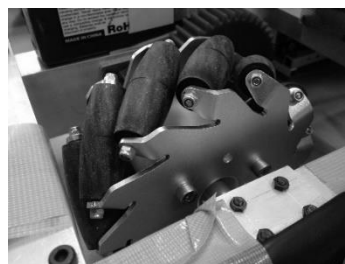


図 2. メカナムホイール

2. 研究内容

2.1.機体設計

ロボットは 3D CAD ソフトを用いて設計し、主にアルミ角管をフレーム部材として製作した。またモータには Maxon 社の RE35, RE40 を使用した。3 つの足回りの諸元を表 1 に示す。

表 1 各足回りの諸元

足回りの種類	オムニ 3 輪	メカナム 4 輪	独立 4 輪ステアリング
全長	約 600mm	約 700mm	約 850mm
モータ	RE40	RE40	RE35, KRS-2552RHV ICS
ホイール	φ 100mm オムニ 3 個	φ 127mm メカナム 4 個	スケボー用ウィール 4 個
減速比	26:1	416:45	4.8:1
重量	7.2 kg	10 kg	7.5 kg
エンコーダ	独立接地	独立接地	モータ付属

下図 3, 4, 5 に、今回開発した 3 種類の足回りの外観を示す。

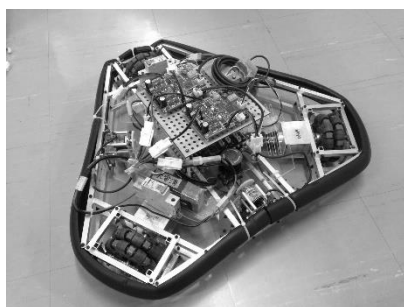


図 3 オムニ 3 輪

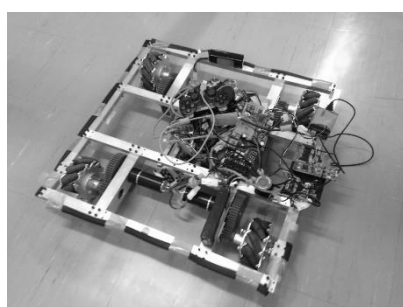


図 4 メカナム 4 輪

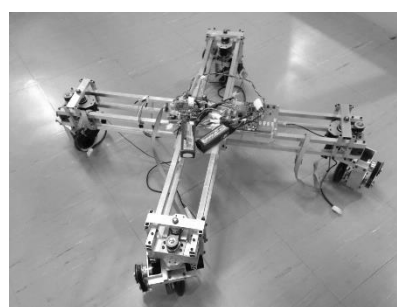


図 5 独立 4 輪ステアリング

オムニ 3 輪は、オムニホイールを正三角形上に配置し、それぞれのモータの出力によって並進、回転を行う。メカナム 4 輪はメカナムホイールを長方形上に配置し、それぞれのモータの出力によって並進、回転を行う。独立 4 輪ステアリングは、モータが付いた 4 つのホイールの方向をサーボモータによって独立に変えることで、並進、回転を行う。

これら 3 種類の足回りには、自己位置を推定するためのロータリーエンコーダを搭載した。オムニホイールおよびメカナムホイールは、その形状の関係上、床面とタイヤが点接地するため、独立四輪ステアリングと比較すると滑りを生じやすい。そのため、モータのシャフトに回転数を検知するエンコーダを取り付けても、ロボットの正確な自己位置を推定することが難しい。この対策として、オムニ 3 輪とメカナム 4 輪には、図 6, 7 のように駆動用ホイールとは独立して、位置推定用のオムニホイールを取り付けている。これらのユニットは z 方向に自由度を持ち、常時定荷重で接地する。

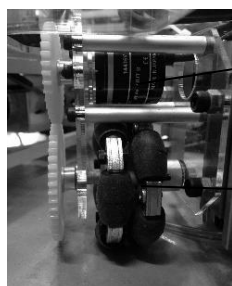


図 6 オムニ 3 輪のエンコーダユニット

ロータリー
エンコーダ

小径
オムニホイール

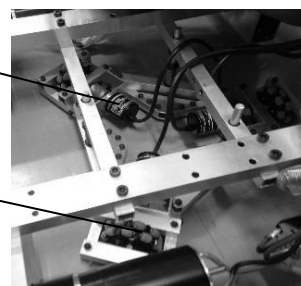


図 7 メカナム 4 輪のエンコーダユニット

2.2.回路設計

制御基板は回路設計用ソフト Eagle を用いて設計し、ブレッドボードで動作を確認した後、設計データをプリント基板製造業者に入稿し、製造を委託した。

また、高出力な DC モータを制御するために、電流センサ・エンコーダの値から、トルク・速度を制御するモータドライバ基板(以下 MD)を製作した。これにより、ロボットの制御理論を実現する回路環境が整った。以前よりも高精度なロータリーエンコーダを採用することにより、取得データの信頼性を向上し、より誤差の少ない制御が可能となった。マスターマイコンおよび各モータに対応する MD 同士の通信は、耐ノイズ性が高く、高速で通信できる「CAN 通信」を用いて接続している。

2.3.制御系設計

各足回りの逆運動学モデルを以下の通り求め、ロボットの目標速度と、モータの回転数の関係式を算出した。ロボットの制御は、ロータリーエンコーダから取得した自己位置を用いて、PID 制御によるフィードバックを行うことで実現した。

2.3.1. オムニ 3 輪の逆運動学モデル

図 8 の上部のホイールについて、樽の軸方向のみの力が作用することに注意すると、

$$v_1 = -\dot{x} \sin(\alpha) + \dot{y} \cos(\alpha) + L\dot{\theta}$$

他のホイールについても同様に考えて、

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & L \\ -\sin\left(\alpha + \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\alpha + \frac{2}{3}\pi\right) & L \\ -\sin\left(\alpha - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\alpha - \frac{2}{3}\pi\right) & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

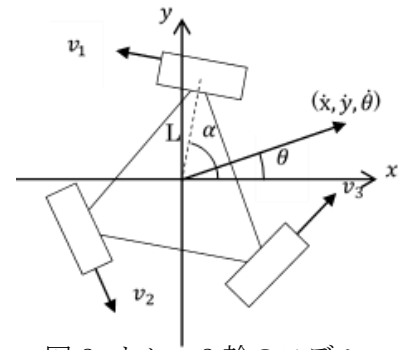


図 8 オムニ 3 輪のモデル

2.3.2. メカナム 4 輪の逆運動学モデル

図 9 の右上部のホイールについて、樽の軸方向のみ力が作用することに注意すると、 $r\omega_i = v_i$ として以下の式が成り立つ。

$$v_1 \cos \frac{\pi}{4} = -\dot{x} \cos \frac{\pi}{4} + \dot{y} \cos \frac{\pi}{4} + l\dot{\theta} \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right)$$

他のホイールについても同様に考えて、

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & a+b \\ 1 & 1 & -(a+b) \\ -1 & 1 & -(a+b) \\ 1 & 1 & a+b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

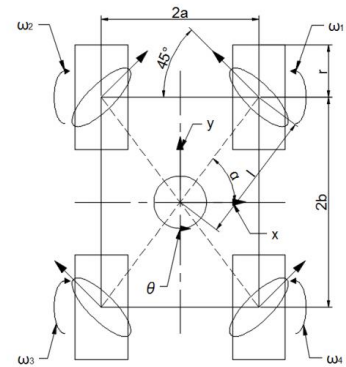


図 9 メカナム 4 輪のモデル

2.3.3. 独立 4 輪ステアリングの逆運動学モデル

$$\vec{v}_A = (\dot{x} - r\dot{\theta}\sin\theta, \dot{y} + r\dot{\theta}\sin\theta)$$

$$\vec{v}_B = (\dot{x} - r\dot{\theta}\cos\theta, \dot{y} - r\dot{\theta}\sin\theta)$$

$$\vec{v}_C = (\dot{x} + r\dot{\theta}\sin\theta, \dot{y} - r\dot{\theta}\cos\theta)$$

$$\vec{v}_D = (\dot{x} + r\dot{\theta}\cos\theta, \dot{y} + r\dot{\theta}\sin\theta)$$

$$\theta_A = \tan^{-1} \frac{\dot{y} + r\dot{\theta}\cos\theta}{\dot{x} - r\dot{\theta}\sin\theta}, \quad \theta_B = \tan^{-1} \frac{\dot{y} - r\dot{\theta}\sin\theta}{\dot{x} - r\dot{\theta}\cos\theta}$$

$$\theta_C = \tan^{-1} \frac{\dot{y} - r\dot{\theta}\cos\theta}{\dot{x} + r\dot{\theta}\sin\theta}, \quad \theta_D = \tan^{-1} \frac{\dot{y} + r\dot{\theta}\sin\theta}{\dot{x} + r\dot{\theta}\cos\theta}$$

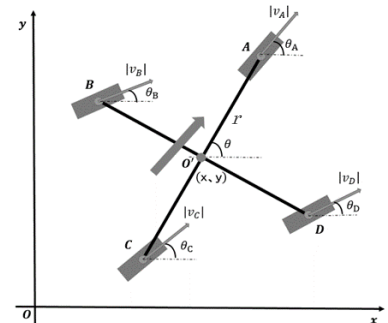


図 10 独立 4 輪ステアリングのモデル

3. 比較・考察

3.1. オムニ 3 輪

オムニ 3 輪のメリットとしては、最小モータ数で全方向移動可能な足回りを製作できる点があげられる。平面上におけるロボットの自由度は並進と回転の 3 自由度であり、モータの個数が 3 個であるオムニ 3 輪は理論的にも最小アクチュエータ数であることが理解できる。また、冗長自由度がないために、3 つのモータに対して禁止入力が存在しないという点で制御性が良いといえる。

対して、オムニホイールのデメリットは、タイヤが滑りやすいことである。これが原因で、オムニ 3 輪はモータの回転数の情報だけでは自己位置推定ができない。本研究では、このデメリットに対し、独立エンコーダユニットの採用、ジャイロセンサによる角度補正を行うことで誤差を抑えた。ほかにも滑りの対策として、台形制御や、電流センサを用いたトルクフィードバック、重心位置を下げた本体設計、床面吸引による接地圧の向上などが考えられる。

3.2.メカナム 4 輪

メカナム 4 輪は、4 つのモータの出力方向が共通であるために、前後方向に対して速度、トルクともにアドバンテージが大きい。また、オムニホイールは同心円状にモータを配置する必要があるという設計上の制約があるが、メカナムホイールは長方形の配置であれば構わないので、設計時の自由度が大きいことが分かった。

メカナムホイールは、オムニホイールを用いた足回りと同様に滑りやすいため、オムニ 3 輪と同様のデメリットがある。また、平面の 3 自由度に対してモータの個数が 4 つであるため、禁止入力が存在し、制御に注意が必要であった。他にも、すべてのホイールが前後方向に向いているので、左右方向への移動速度が遅いというデメリットがある。

3.3.独立 4 輪ステアリング

独立 4 輪ステアリングのメリットは、フィードフォワード制御に向いている点である。あらかじめ移動先が決定している場合、その方向にホイールを向けることで、4 つのモータの出力をフルに生かすことができる。また、タイヤの滑りも比較的少ないので、モータ直結のエンコーダで自己位置推定が可能である。

デメリットとしては、ホイールの向きを切り替える時間の分、位置の微調整に時間がかかる点がある。また、自由度が過剰に存在するため、出力の大きさやタイミングに注意が必要である。

4. 結論

本研究によって、実際の制作を通して、オムニホイール、メカナムホイール、独立 4 輪ステアリングを用いる際の長所・短所や注意点、そしてその対策方法を調査し、まとめることができた。

5. 展望

全方向移動に求められる機能をリストアップし、本実験の結果をもとに各機構の長所短所を数値化することができれば、ロボットの作業内容に合った、適切な足回りを体系的に求めるための枠組みを構築できると考える。

参考文献

- [1] 高橋友一、秋田純一、渡辺正人著(2003)「小型ロボットの基礎技術と製作：RoboCup 小型リーグへの挑戦」共立出版
- [2] 「Modeling and Adaptive Control of an Omni-Mecanum-Wheeled Robot」<http://file.scirp.org/Html/6-7900244_31739.htm>(2016 年 11 月 15 日閲覧)