



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | メカナムを用いた足回りの重心に偏りがある場合の挙動と制御  |
| Author(s)    | 佐々木, 航真   |
| Citation     | 平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2018  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/68113">https://hdl.handle.net/11094/68113</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 平成 2 9 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<br>氏 名          | ささき こうま<br>佐々木 航真  | 学部<br>学科 | 工学部<br>電気電子情報工学科   | 学年 | 2 年 |  |  |  |  |
| ふりがな<br>共 同<br>研究者氏名 | たけべ なおと<br>武部 直人   | 学部<br>学科 | 工学部<br>応用理工学科      | 学年 | 2 年 |  |  |  |  |
|                      | はらだ ひろゆき<br>原田 滉之  |          | 工学部<br>応用理工学科      |    | 3 年 |  |  |  |  |
|                      | おかもと たかひろ<br>岡本 昂大   |          | 工学部<br>応用自然科学科     |    | 3 年 |  |  |  |  |
|                      | たがしら ふみと<br>田頭 史都  |          | 基礎工学部<br>システム科学科   |    | 3 年 |  |  |  |  |
|                      | みよし たかあき<br>三好 孝明  |          | 工学部<br>環境・エネルギー工学科 |    | 2 年 |  |  |  |  |
|                      |  |          |                    |    |     |  |  |  |  |
| アドバイザー教員<br>氏名       | 石川 将人  | 所属       | 工学研究科<br>機械工学専攻    |    |     |  |  |  |  |
| 研究課題名                | メカナムを用いた足回りの重心に偏りがある場合の挙動と制御   |          |                    |    |     |  |  |  |  |
| 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。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。) |          |                    |    |     |  |  |  |  |

## 1. 研究背景・目的

ロボットの足回りには様々な種類が存在しており,中でも平面3自由度に対し自在に移動することが出来る全方向移動ロボットは工場や倉庫での荷物の運搬やパーソナルモビリティとして利用が期待されている.ただし実際に運用する上で機体の重心が常に機体中心にあるとは限らず各車輪への荷重にばらつきが生じると地面との摩擦力に差が生じ,同じ出力値でも重心に偏りが無い場合とは異なる軌道を描くことが予想される.また,移動中のロボットに外乱が加わることで軌道が変化すると考えられる.状況が違っても同じ動きをすることが理想であるため本研究では,メカナムホイールを用いた全方向移動台車を製作し,ロボットの重心に偏りを生じさせた場合や左右から外乱を加えた場合の軌跡を測定して生じたずれをロボットが修正するような制御を行うことを目的とした.

## 2. 設計・研究方法

## 2.1.機構

アルミ角管を用いたフレームに全方向移動が可能であるメカナムホイールを4つ配置し,機体中心部にエンコーダを3つ取り付け付けた.外観は次図のようである.

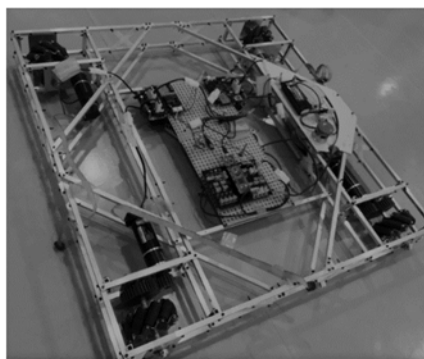


図 1：機体の外観

作成した機体の諸元を以下に示す.

表 1：機体の諸元

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| 全体寸法  | 800[mm]×800[mm]×109[mm]             |
| 重量    | 約 8[kg]                             |
| モータ   | MAXON<br>RE40(減速比 4.3:1)            |
| ホイール  | HANGFA<br>QMA-10( $\phi$ 101.6[mm]) |
| エンコーダ | OMRON<br>E6A2-C(360p/R)             |

## 2.2.回路

ロボット制御のためのメインマイコンに LPC1769 を用いた.このメインマイコンを用いてエンコーダ読み取りつつ,モータ制御式の演算を行い,自己位置推定を行った.モータの制御は Arduino モータードライバを用いた.足回り用バッテリーは 24V リチウムポリマーバッテリーを用いて,メインマイコン用バッテリーは 12V リチウムフェライトバッテリーを用いた.

## 2.3.制御

自己位置推定の方法 エンコーダを下図 2 のように正三角形に配置し,40ms 周期でエンコーダの値を読み取り,そこからグローバル座標の $(x,y,\theta)$ の値を求める.まず $\theta$ の求め方は3つのエンコーダの値を足し合わせ,エンコーダに取り付けたホイールの直径やエンコーダのパルスから導き出した定数で割る。

$$\omega = (v_1 + v_2 + v_3) / 3l$$

$\theta$  方向に速さ  $v$  で平行移動しているとき、

$$v_1 = v \sin \theta, v_2 = v \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi), v_3 = v \sin(\theta - \frac{4}{3}\pi) \text{ より}$$

$$v_1 + v_2 + v_3 = v(\sin \theta + \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) + \sin(\theta - \frac{4}{3}\pi)) = 0 \text{ となり}$$

平行移動している間はエンコーダの値の和は常に一定であることがわかる。これより回転移動も含め $\theta$ の値は最終的なエンコーダの値から算出が可能である。

3つのエンコーダそれぞれの値を  $e_1, e_2, e_3$  とし、オムニホイールの半径を  $r$  エンコーダのパルスを  $p$  とすると、

$$\theta = 2\pi r(e_1 + e_2 + e_3) / pl \text{ となる}$$

一方 $(x,y)$ の値は最終的なエンコーダの値から求めることは解が無限に存在するため不可能である.そこで微分を用いて考えると以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}$$

これは機体から見た座標系であるため,グローバル座標に変換する。

$$\begin{pmatrix} \text{global } v_x \\ \text{global } v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix}$$

まとめると

$$\begin{pmatrix} \text{global } v_x \\ \text{global } v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}$$

となり、

$$x = \int \text{global } v_x \, dt$$

$$y = \int \text{global } v_y \, dt$$

と表せる。

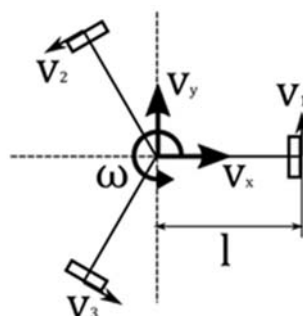


図 2：エンコーダユニットと各座標系

## PID 制御方法

x 軸方向の目標値と自己位置推定で求めた実際の位置との差を  $e$  とし、3つのゲイン  $k_p, k_i, k_d$  で出力値を調節する。 $k_p$  は比例ゲインのことで現在の目標値との差であるので  $k_p \cdot e$  で表せる。 $k_i$  は積分ゲインのことで過去の目標値との差の蓄積であり  $k_i \cdot \int e dt$  で表せる。なかなか収束しないものを収束させる効果がある。 $k_d$  とは微分ゲインのことで目標値との差の変化率  $k_d \cdot de/dt$  で表わせ、未来の動きを予測し素早く軌道を修正することが出来る。これらの値  $(k_p \cdot e) + (k_i \cdot \int e dt) + (k_d \cdot de/dt)$  を各モータの出力値に足し引きさせる。 $k_p, k_i, k_d$  の値は、 $k_p$  から順番に良いゲインが見つかるまで地道に何度も実験する。ゲインの値が悪いとずれが次第に大きくなり発散する場合や振動する場合がある。

## 3.実験内容

製作した機体を用いて 4つの条件下で走行実験を行った。

- (1) 機体に重心の偏りや外乱を加えないで直進させた場合。

ロボットの軌跡は次図のようになった。

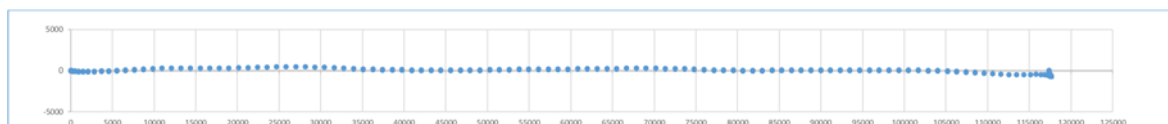


図 2：重心の偏りや外乱がない場合

機体の特性やモータの個体差などにより x 軸方向のずれが多少生じるが、PID 制御することにより真っ直ぐ走らせることができた。

40ms 間隔でプロットしているため、最初と最後は密になる。

- (2) 進行方向左側から一度だけ機体に人力による外乱を加えた場合。

ロボットの軌跡は次図のようになった。

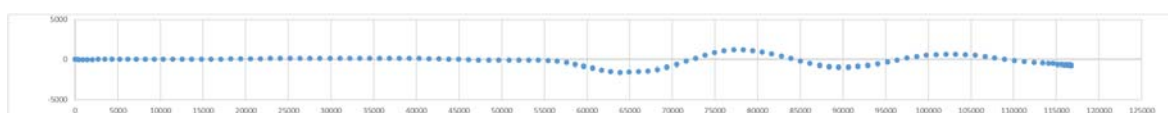


図 3：外乱を加えた場合

機体に左側から力を加えると軌道は右にずれたが、その後左右に触れながら x 座標が 0 に収束するような軌道を描き停止した。

PID 制御によりずれを素早く修正し、もとの軌道へ戻した。

- (3) 機体の前方右輪に約 10[kg]のおもりを載せて走行させた場合。

ロボットの軌跡は次図のようになった。

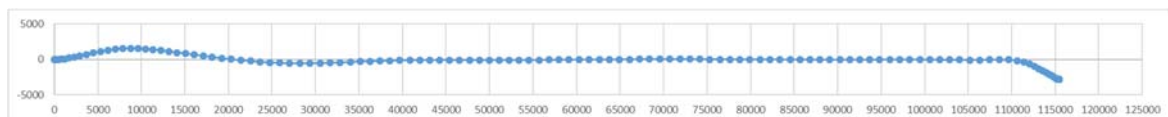


図 4：前方右輪におもりを置いた場合

前方右輪におもりを載せると軌道は左へとずれた。その後ロボットは軌道を修正し、x 座標をおよそ 0 に保ったままモータの出力を 0 にするまで走行を続けた。モータ出力を 0 にした後はおもりが載っている前方右輪を中心に車体が回転して停止した。

スタート時はモータの出力が全て同じであり、右輪の摩擦が大きいため車体を動かすトルクがかかり左にそれる。そのずれをエンコーダによって検知し PID 制御で修正する。最後モータの出力を 0 にする直前までは機体が左に曲がろうとしていたものを真っ直ぐに補正するため左側のモータの出力値が大きくなっていたので、モータの出力を 0 にした瞬間右にそれたと思われる。

(4) 機体の前方左輪に約 10[kg]のおもりを載せて走行させた場合。

ロボットの軌跡は次図のようになった。

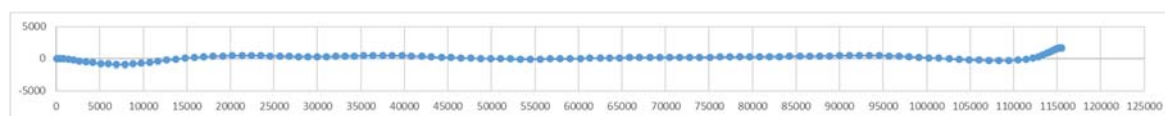


図 5：前方左輪におもりを置いた場合

前方左輪におもりを載せると、右輪に載せた場合と対照的な軌道を描くことが確認できた。

(3)と同様の制御を行うことによって、直線の軌道を維持することが出来た。

(5) 機体の中心に約 10[kg]のおもりを載せて走行させ、走行途中におもりの位置を定荷重ばねで引っ張り右側に 40cm 移動させた場合。

ロボットの軌跡は次図のようになった。

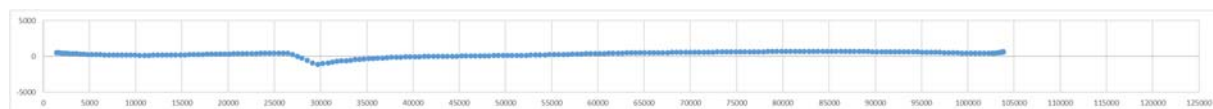


図 6：重心を急に移動させた場合

おもりの位置を左側にずらすと右へとずれた。その後ロボットは軌道を修正し、x 座標をおよそ 0 に保ったままモータの出力を 0 にするまで走行を続けた。

運動量保存の法則でおもりが左側にずれると車体は右側にそれた。おもりが移動し終わったとき慣性力で左にそれたため、図 3 の場合と比べて早く収束した。

#### 4. 結論

重心に偏りがある機体では各車輪に異なる荷重が加わるため、全てのモータが同じ出力であっても直線軌道にはならない。しかし、ずれに応じてモータの出力を変化させることで修正を行い目的の軌道を維持できることが分かった。

今回の研究では直線軌道についてのみであったが、今後の展望として 3 次元平面での自在な動きに対して目的の軌道を維持できるような制御が出来ればロボットの重心に左右されない理想的な移動が可能になる。

