

四輪駆動型全方向移動可能な 自律ロボットの位置座標制御

3年機械科 奥原 和也
指導教諭 高田 直人

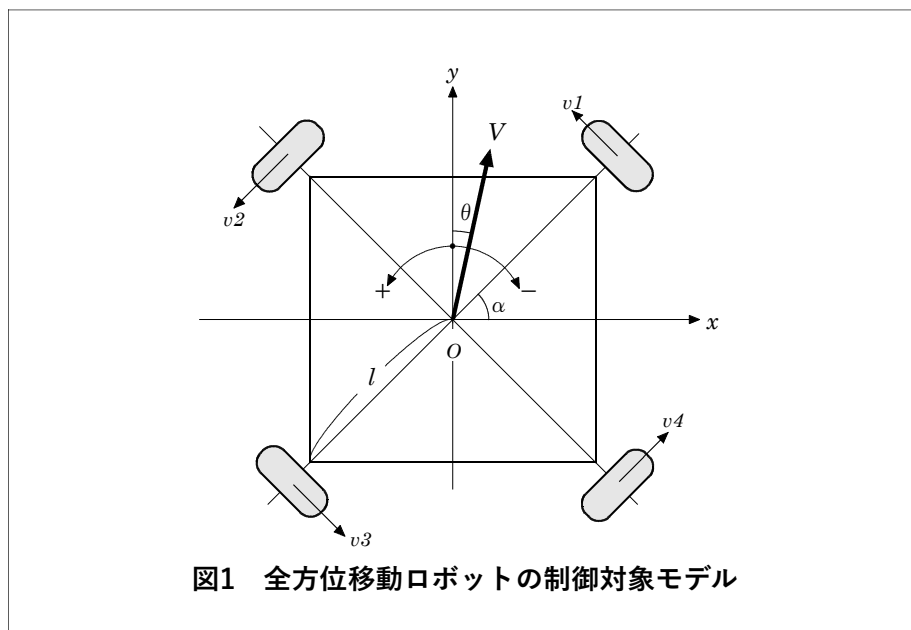
1 はじめに

高校生を対象にして行われるロボット競技大会において、自律移動ロボットの走行ガイドとして、競技フィールド上に貼られた白または黒テープ（以下、マーカライン）がよく用いられる。マーカラインの追従は、光学センサを使ってラインのエッジを検出し、マーカラインから外れないように左右独立の駆動輪を制御することにより可能になる。一方で、マーカラインがない場合は、競技フィールド上において走行の目印となるガイドがないため、自律移動走行は困難になる。本研究では、競技フィールド上に走行の目印をもたない場面を想定し、希望する任意の方向に移動が可能な、位置座標制御による自律移動ロボットの研究を行った。

2 四輪独立駆動型による全方向移動ロボットの制御則

2.1 制御対象モデル

競技フィールドは、完全なフラットステージであることは少なく、障害物やアイテムの取得テーブルなどが存在することが多い。そこで狭いスペースでも、ロボットの車体を切り返す必要がなく、任意の方向に車体を移動できる全方向移動可能な駆動系を構成するために、四輪独立駆動型によるオムニホール方式を採用した。制御対象モデルを図1に示す。



車体は正方形をベースとし、駆動輪は対角線上に直交する形で取り付けられている。4つの駆動輪は矢印の方向が正回転であり、y軸方向への進行を前進とする。ここで、本体の中心 O を回転中心とした車体の回転速度（ヨ一軸方向の回転速度）は $\dot{\theta} = \omega$ (rad/s) とする。また、O 点から各オムニホールまでの距離を l 、各オムニホイールの回転によって生じる速度を v_i ($i = 1, 2, 3, 4$)、x 軸からオムニホールの回転軸までの角度を α とする。図 1 に示す移動ロボットの並進速度ベクトルを V とするとき、速度の x 、 y 方向成分 V_x 、 V_y と各オムニホールの速度 v_i の関係は式(1)のようになる。

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \alpha & \cos \alpha & l \\ -\cos \alpha & -\sin \alpha & l \\ \sin \alpha & -\cos \alpha & l \\ \cos \alpha & \sin \alpha & l \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad (1)$$

また、車体の回転速度 θ が一定である場合、 $\dot{\theta} = 0$ となるため、式(1)は次のようになる。

$$\begin{aligned} v_1 &= -V \sin \alpha \cdot \cos \theta + V \cos \alpha \cdot \cos \theta = V \cos (\alpha - \theta) \\ v_2 &= -V \cos \alpha \cdot \sin \theta - V \sin \alpha \cdot \cos \theta = -V \sin (\alpha - \theta) \\ v_3 &= V \sin \alpha \cdot \sin \theta - V \cos \alpha \cdot \cos \theta = -V \cos (\alpha - \theta) \\ v_4 &= V \cos \alpha \cdot \sin \theta + V \sin \alpha \cdot \cos \theta = V \sin (\alpha - \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)より、車体を希望する進行方向 θ に進ませるために必要な各駆動輪の速度 v_1 から v_4 を求めることができる。また、式(1)から、 x 方向と y 方向の速度を指定することも可能であり、その場合の各駆動輪の速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} v_1 &= -V_x \sin \alpha + V_y \cos \alpha \\ v_2 &= -V_x \cos \alpha - V_y \sin \alpha \\ v_3 &= V_x \sin \alpha - V_y \cos \alpha \\ v_4 &= V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

車体を希望する方向に進ませるためには、4つの駆動輪の速度 v_1 から v_4 のベクトル合成となるため、式(2)または式(3)によってそれぞれのモータに与える速度指令信号を決定することができる。

2.2 競技コースの壁を使った姿勢検出と壁面トレースの制御モデル

競技コースには、唯一、四隅に壁が存在する。この壁までの距離を計測することにより、ロボットの車体の傾き具合を知ることができる。また、壁の距離を一定に保ちながら壁面のトレースが可能になる。高精度な測距センサを車体の2カ所に設けると、図2のような情報を取得することができる。

測距センサ1と測距センサ2から、それぞれ壁面までの距離 d_1 と d_2 が得られたとき、センサ間距離を L とすると、壁面に対する車体の姿勢角度は式(3)で求めることができる。

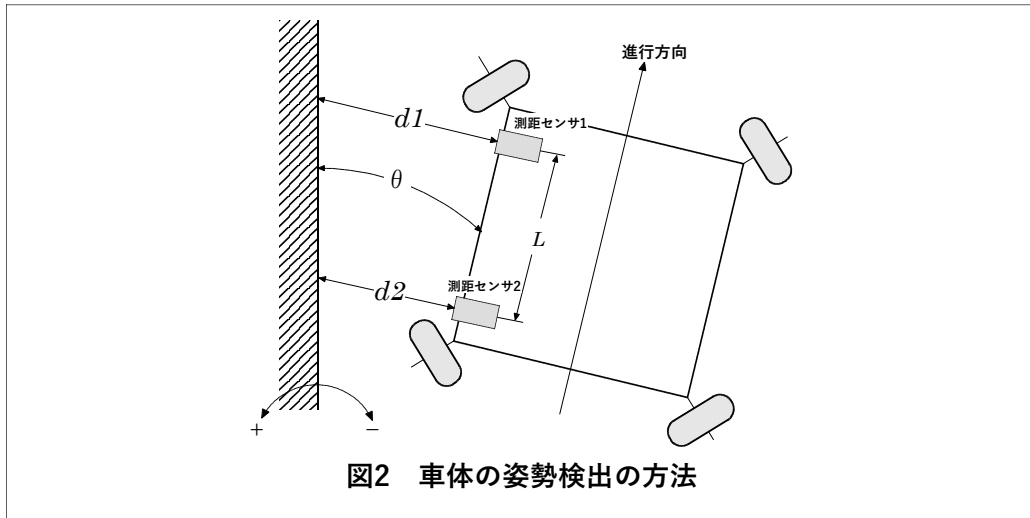


図2 車体の姿勢検出の方法

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{L} \right) \quad (3)$$

競技コース内で壁面を使うことにより、式(3)を使って車体の姿勢を正すことができる。また、式(3)を応用し、壁との離隔距離 D_0 を維持したまま壁面トレースを行うには式(4)によって台車の指令信号を取得することができる。ただし、 BL は車体の1辺の長さである。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{(d_1 + d_2) - 2D_0}{BL} \right) \quad (4)$$

式(4)で得られた値を式(2)に代入することで、各駆動輪の回転速度の指令信号として与えることができる。

2.3 ロータリエンコーダによる移動距離計測と姿勢制御

競技コース内における位置情報を取得するために、指定した区間の移動距離を計測

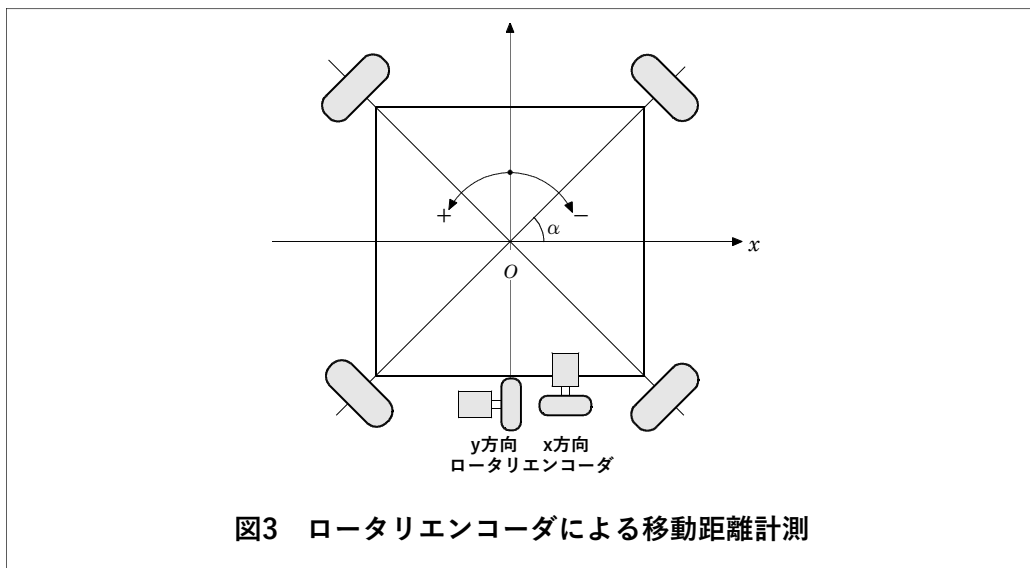


図3 ロータリエンコーダによる移動距離計測

することができるロータリエンコーダを図3のように直交して取り付け付けた。ロータリエンコーダの車輪は外径 38mm のオムニホールを使用し、ホールの回転方向と直交する方向の移動には影響が出ないようにしている。ロータリエンコーダは、1 回転あたり 1440 パルスが得られるため、1 パルスあたりの分解能は 82.9×10^{-3} mm である。 x 方向の移動距離 dx 、 y 方向の移動距離 dy の計測値から、車体の移動距離 L と車体の姿勢角度 θ は式(5)によって知ることができる。

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (mm) \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{dx}{dy} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

また、目標位置座標を x_r , y_r 、ロボットの現在地の座標を dx , dy としたとき、修正すべき目標の方向 θ は式(6)で求めることができる。

$$\theta_e = \tan^{-1} \left(\frac{x_r - dx}{y_r - dy} \right) \quad (6)$$

式(6)で得られた値を式(2)に代入することにより、各駆動輪に対する速度指令信号作り出すことができる。

3 製作した自律移動ロボット

3-1 全方向移動ロボットの外観

製作した自律移動ロボットの外観を写真1～写真3に示す。1辺の長さ 40cm の正方形が車体のベースになっており、48mm 径のダブルアルミオムニホイールを駆動輪として採用している。ロボットのベース上部に搭載しているアームは、ロボコン in 信州 2022 におけるアイテム取得用のアクチュエータである。制御用マイコンには、32ビットマイコン RX62T を搭載した TK400RX (エルアンドエフ社製) マイコンボードを使用している。駆動電源は 7.2V, 2000mAh である。

3-2 制御則の適用結果と課題

式(1)から式(6)による制御則に基づいて車体の姿勢制御をおこなった。希望する座標位置にロボットの車体を移動できるものの、移動距離が長いと x と y 方向の誤差が累積し、精度の面では十分ではなかった。特に、 x と y 方向のロータリエンコーダでは検出できない、ヨー軸方向の車体のねじれ現象は、解決することができなかった。また、測距センサによる車体姿勢検出も測定精度が十分ではなく、わずか $1^\circ \sim 2^\circ$ 程度の誤差でも移動距離が長いと、それが大きな位置ずれとなって現れた。最終的な手段として、定期的に車体を壁に押しつけることで、姿勢のねじれを修正した。

このような結果になった一番の原因は、式(1)に含まれる各駆動輪の移動速度 $v1 \sim v4$ を正確に把握できなかったことにある。 $v1 \sim v4$ の情報を取得するには、各駆動モータにロータリエンコーダを取り付け、速度フィードバック系を構成する必要がある。今回は予算の都合で実現できなかったが、予算が許せば検証したいと考えている。

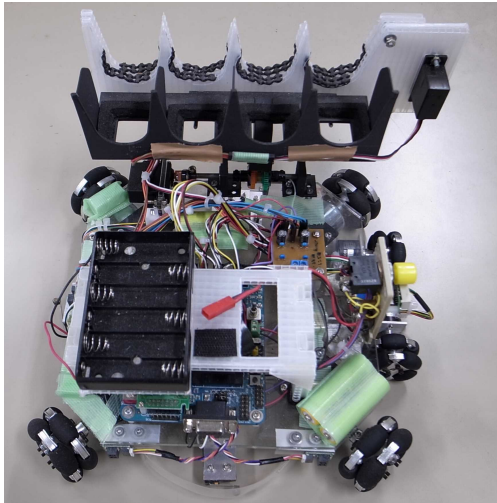


写真1 車体の外観（上面）

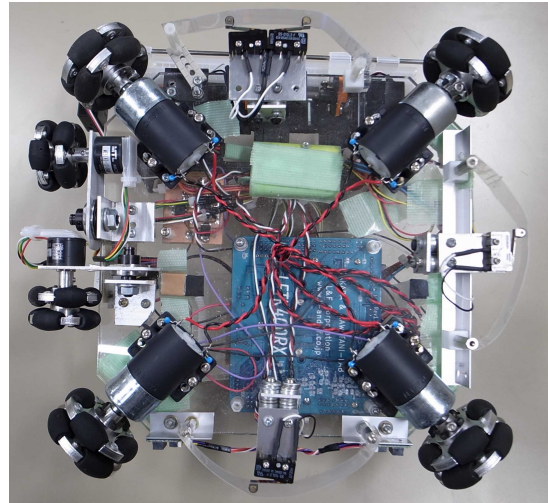


写真2 車体の裏面

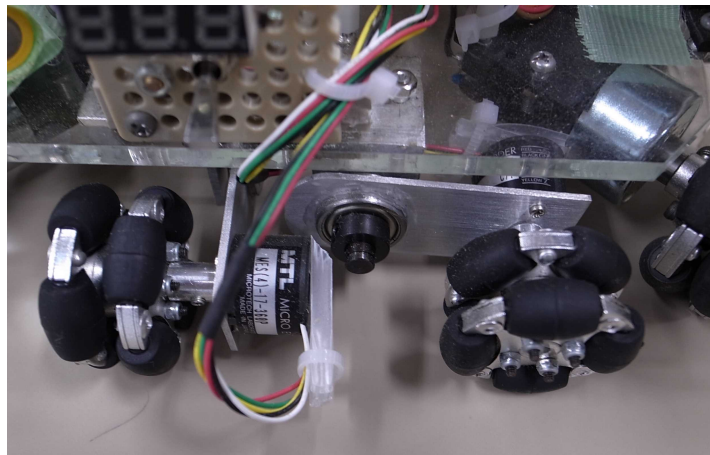


写真3 移動位置検出のためのロータリエンコーダ部

4 おわりに

四輪駆動型の全方向移動が可能な自律移動ロボットの位置座標制御をおこなうために、ロボットを製作し、制御則に基づいた制御をおこなった。精度の点で課題が残ったが、制御則に基づいたロボット制御をおこなうことができた。

最後に、研究助成にあたり尽力いただいた関係者の皆様に感謝を申し上げます。

参考引用文献

- [1] 北山, 江丸, 星野小林: 重心のずれを考慮した四輪駆動型全方位移動ロボットの経路追従制御, 第 53 回自動制御連合講演会資料(2010)
- [2] 小山, 王, 姜, 石田: デジタル加速制御法を用いた全方向移動型歩行訓練機の運動制御, ABML2011 芝浦工業大学 (2011)