

# オムニホイールロボットのモデル化と制御

M2020SC005 大町 徳寛

指導教員：大石 泰章

## 1 はじめに

近年、工場や物流倉庫などで自動化システムが導入されるなかで、省スペース化や重量物搬送に対応する搬送装置や移動ロボットが注目されている [1]。オムニホイールロボットは各ホイールの回転方向と速度を制御するだけで、車体の向きとは独立に全方向に移動することができるロボットである。このため、工場や病院など限られたスペースにおいても活用することができる。

本研究では、オムニホイールロボットをモデル化し、モデルに沿ってロボットが運動するか実験によって確認する。特にモータへの入力電圧のデューティ比とロボットの速度との関係に留意する。

## 2 オムニホイールロボット

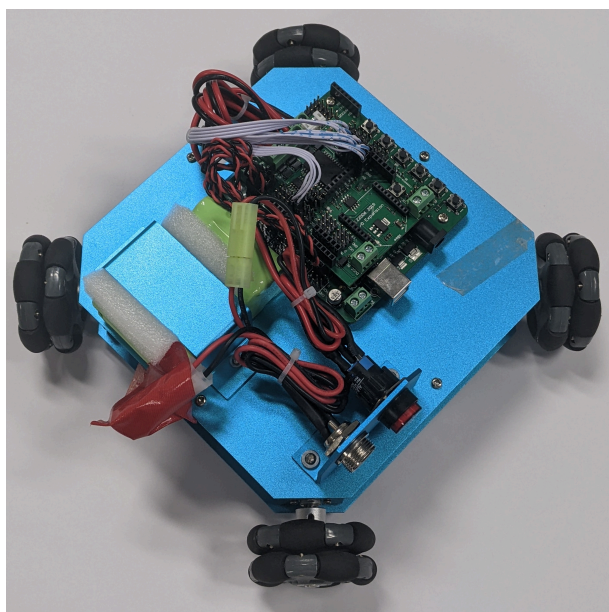


図1 4WD 58mm オムニホイールロボット

本研究に使用したヴァイストン社の 4WD 58mm オムニホイールロボットを図1に示す [2]。ロボットの大きさは幅 170mm、奥行き 170mm、高さ 60mm である。ロボットの4つの隅には半径方向を向いた車軸にオムニホイールが取り付けられており、モータでそれぞれを独立に回転させることができる。オムニホイールは通常の車輪とは異なり、回転方向に対して垂直な方向にも移動ができる特殊な車輪である。図2に見るように、オムニホイールは、ホイールとその円周上に取り付けられた樽型のタイヤで構成される。モータでホイールの回転速度を指定できる一方で、樽型のタイヤがモータの回転方向と垂直に自由回転する。ロボットに搭載されたマイコンボード Arduino を用いて各



図2 オムニホイール

ホイールの回転方向と回転速度を適切に定めることによって、ロボットをその向きとは独立に全方向に移動させることができる。

## 3 モデリング

文献 [3][4] を参考にして、オムニホイールロボットのモデル化を行う。図3にオムニホイールロボットのモデルを示す。図3に示すように4つのホイールの回転速度を反時計回りに  $V_1, V_2, V_3, V_4$  とする。各ホイールの回転方向は図の矢印の方向を正とする。また、ロボットの重心の座標を  $(x, y)$ 、回転速度  $V_2$  のホイールの車軸の  $x$  軸正方向からの回転角を  $\theta$  とする。まず、図4に示すようにロボットの姿勢角  $\theta$  が零の場合を考える。ホイールの回転方向への滑りがなく回転方向と垂直な方向に滑りがあると仮定すると、重心速度  $(\dot{x}, \dot{y})$ 、重心まわりの回転角速度が  $\dot{\theta}$  のときの各ホイールの回転速度  $[V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^T$  は式 (1) で定まる：

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L \\ 0 & 1 & L \\ -1 & 0 & L \\ 0 & -1 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

ただし、ロボットの重心からホイールまでの距離を  $L = 0.12\text{m}$  とする。

次に図3のようにロボットの姿勢角  $\theta$  が一般の値の場合の各ホイールの回転速度  $[V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^T$  は、重心速度  $(\dot{x}, \dot{y})$  をロボットの姿勢角  $\theta$  にあわせて変換して、式

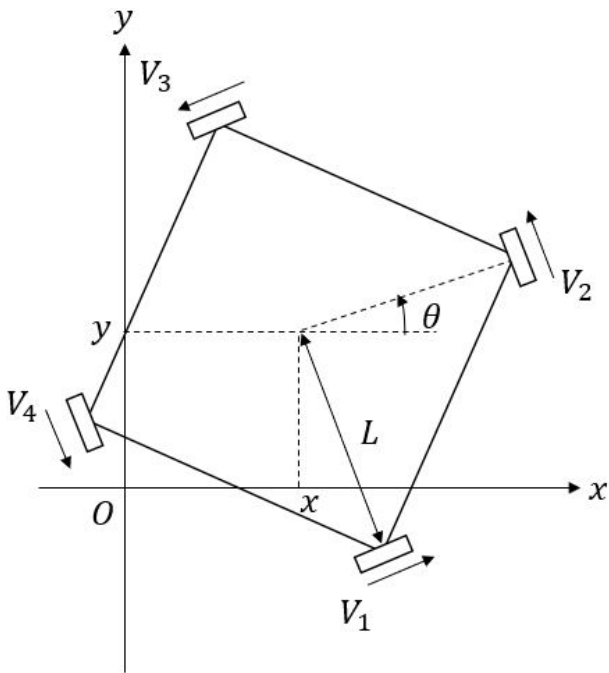


図3 オムニホイールロボットのモデル

(2) で定まる：

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L \\ 0 & 1 & L \\ -1 & 0 & L \\ 0 & -1 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

よって各ホイールに式 (2) 左辺の回転速度を与えれば、ロボットは重心速度  $(\dot{x}, \dot{y})$ 、重心まわりの回転角速度  $\dot{\theta}$  で運動すると考えられる。

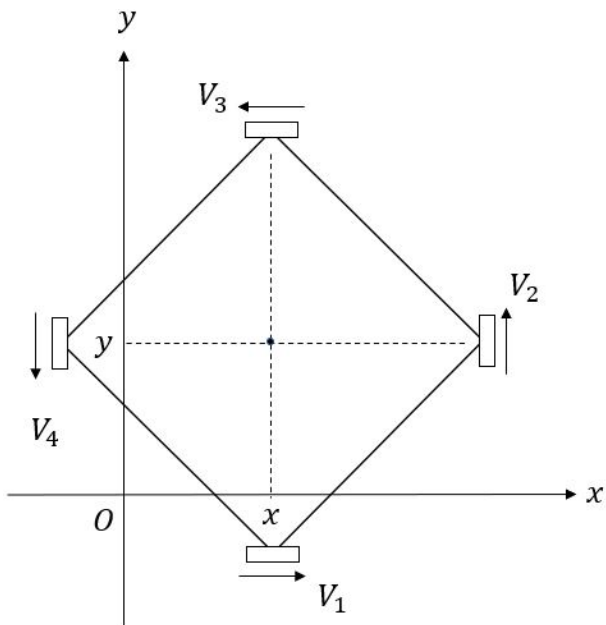


図4 ロボットの姿勢角が  $\theta = 0$  の場合

## 4 実験

3節で導いたモデルに沿ってロボットが運動するかどうかを確認するために、実験を行った。ロボットの姿勢角  $\theta$  の初期値を零とし、ある速度  $V_0$ 、ある角度  $\phi$  に対して、重心速度は  $\dot{x} = V_0 \cos \phi, \dot{y} = V_0 \sin \phi$  で、重心まわりの回転角速度は  $\dot{\theta} = 0$  で走行させることを目指す。このとき時刻によらず  $\theta = 0$  となるはずであるから、式 (2) を  $\theta = 0$  として用いて各ホイールの回転速度  $V_1, V_2, V_3, V_4$  を求める。各ホイールの回転速度は、対応するモータに与える電圧のデューティ比に比例すると考え、式 (2) から得られる  $V_1, V_2, V_3, V_4$  の値をそのままデューティ比として各モータに与えた。オムニホイールロボットの重心位置と姿勢角のデータを取得するため光学式モーションキャプチャシステム「OptiTrack」を使用した。

まず、速度  $V_0 = 112$ 、角度  $\phi = 30^\circ$  で走行させた。速度  $V_0$  に単位をつけていないのは速度として得られた数値をそのままデューティ比として用いたためである。図5にこのときのロボットの重心位置の変化を示す。青線はロボットの重心位置の変化を示す。ただし、ロボットは原点から出発するものとする。赤線は目標軌道を示す。図5より目標の角度が  $\phi = 30^\circ$  の場合は  $30^\circ$  より大きい角度でロボットが走行していることがわかる。図6にこのときのロボットの姿勢角の変化を示す。ロボットの姿勢角  $\theta$  は  $0^\circ$  に保たれていることがわかる。

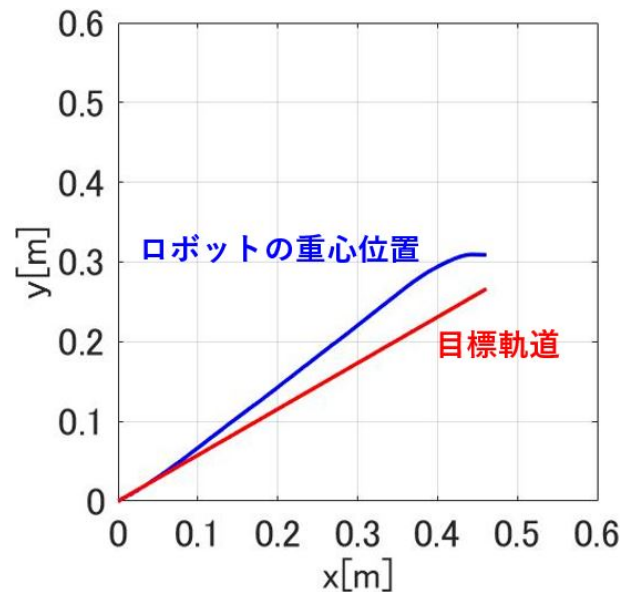


図5  $\phi = 30^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの重心位置の変化

次に、速度  $V_0 = 112$ 、角度  $\phi = 70^\circ$  で走行させた。図7にこのときのロボットの重心位置の変化を示す。目標角度  $\phi = 70^\circ$  より小さい角度でロボットが走行していることがわかる。図8にこのときのロボットの姿勢角の変化を示す。ロボットの姿勢角  $\theta$  は  $1^\circ$  程度ずれることがわかる。

このように、姿勢角を  $0^\circ$  に近い値に保ち走行させるこ

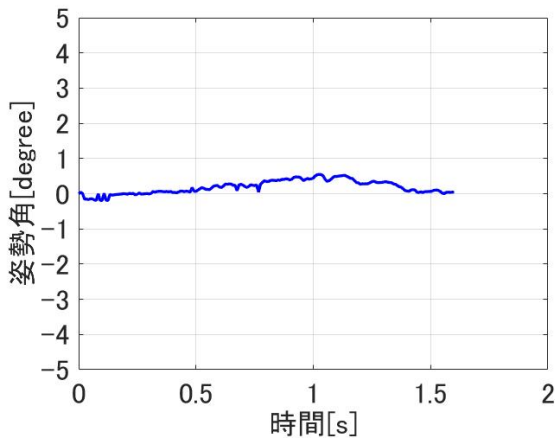


図6  $\phi = 30^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの姿勢角の変化

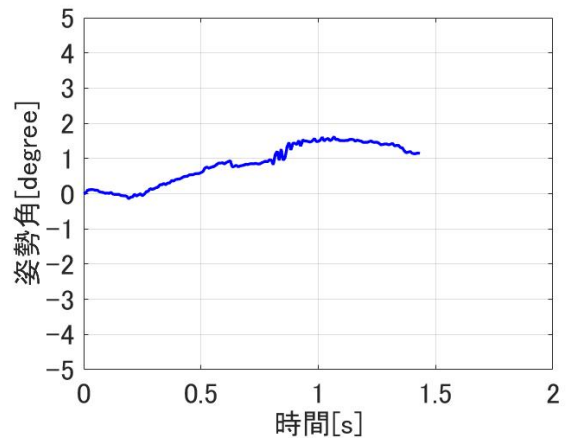


図8  $\phi = 70^\circ$  の方向に動かそうとしたときロボットの姿勢角の変化

とはできたが、指定した角度には進まなかった。

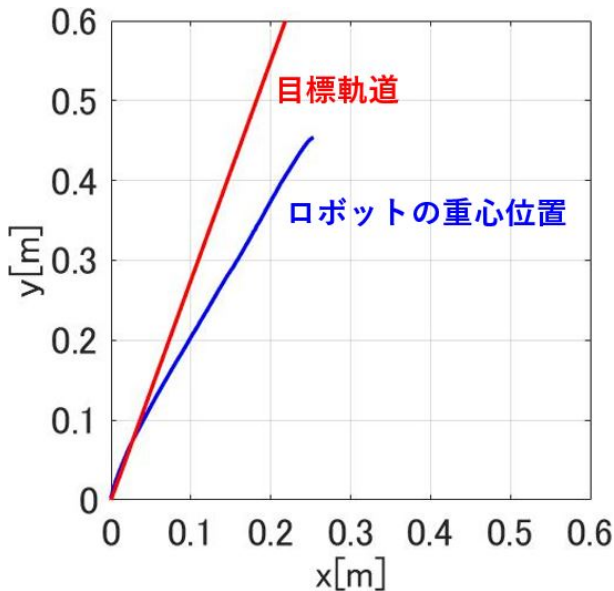


図7  $\phi = 70^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの重心位置の変化

## 5 デューティ比と速度の関係の利用

### 5.1 デューティ比と速度の関係

3節で導いたモデルに沿ってロボットが運動するかを確認したが、指定した角度に進まなかった。その理由として考えられるのが、各ホイールの回転速度が、対応するモータに与えるデューティ比に比例するとしたことである。このことを確認するため、デューティ比と速度の関係を求めた。 $V_1$  と  $V_3$  のモータには入力を加えず、 $V_2$  と  $V_4$  にはデューティ比を0%から100%まで10%ずつ増やしながらかえる。ただし、 $V_2$  のモータは正方向に、 $V_4$  のモータは負方向に回転するようにする。このようにして、オムニホイールロボットを30cm走らせたときの所要時間を測定し、速度を計算した。図9に得られたデューティ比と速度の関係を

示す。速度がデューティ比に比例するとは言い難い。

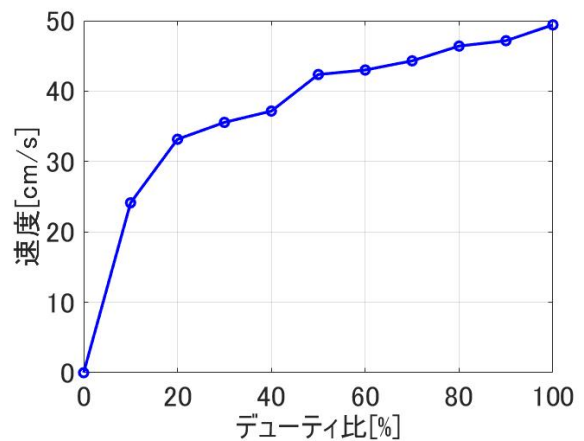


図9 デューティ比と速度の関係

### 5.2 関係の利用

5節で求めたデューティ比と速度の関係にもとづいて、4節と同様に実験を行った。すなわち、式(2)で得られた $V_1, V_2, V_3, V_4$ の値から、図9にもとづいて対応するデューティ比を求め、各モータに与えた。

まず、速度 $V_0 = 60\text{cm/s}$ 、角度 $\phi = 30^\circ$ で走行させた。図10にこのときのロボットの重心位置の変化を示す。目標角度 $\phi = 30^\circ$ の場合は $30^\circ$ より大きい角度でロボットが走行し、走行角度は4節の対応する実験(図5)と同程度である。図11にこのときのロボットの姿勢角の変化を示す。ロボットの姿勢角 $\theta$ は $1^\circ$ 程度ずれることがわかる。

次に、速度 $V_0 = 60\text{cm/s}$ 、角度 $\phi = 70^\circ$ で走行させた。図12にこのときのロボットの重心位置の変化を示す。目標角度 $\phi = 70^\circ$ より小さい角度でロボットが走行したが4節の対応する実験(図7)と比べると目標角度との相違は小さくなった。図13にこのときのロボットの姿勢角の変化を示す。ロボットの姿勢角 $\theta$ は $4^\circ$ 程度ずれることがわかる。

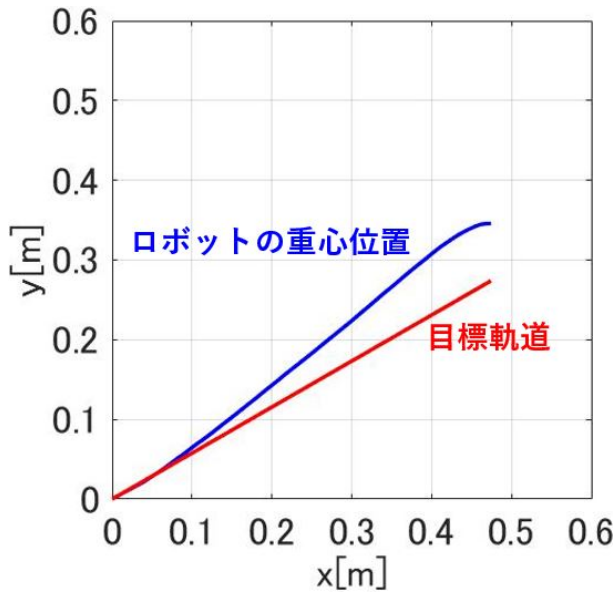


図 10  $\phi = 30^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの重心位置の変化

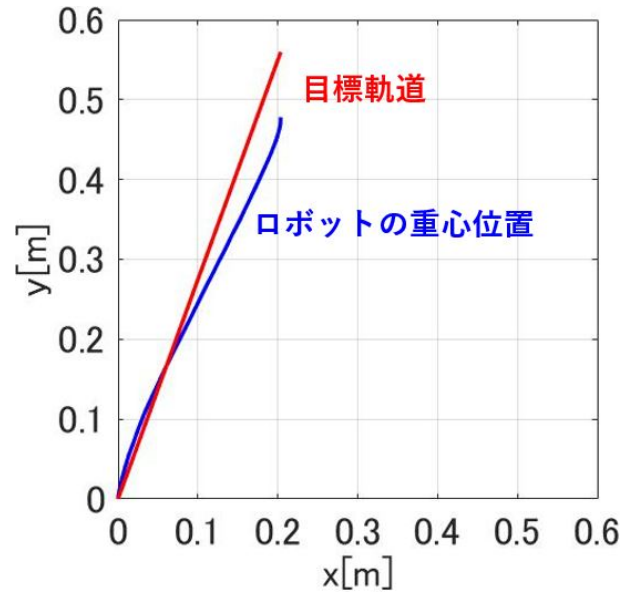


図 12  $\phi = 70^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの重心位置の変化

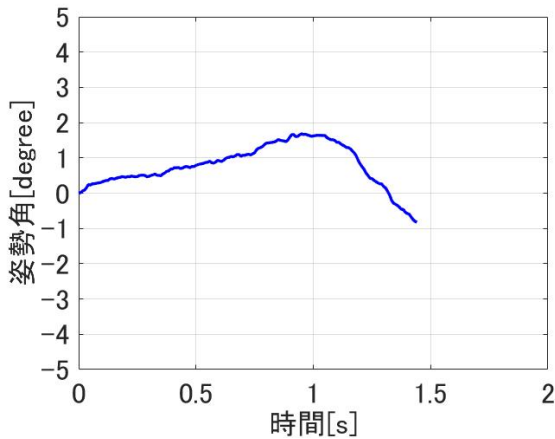


図 11  $\phi = 30^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの姿勢角の変化

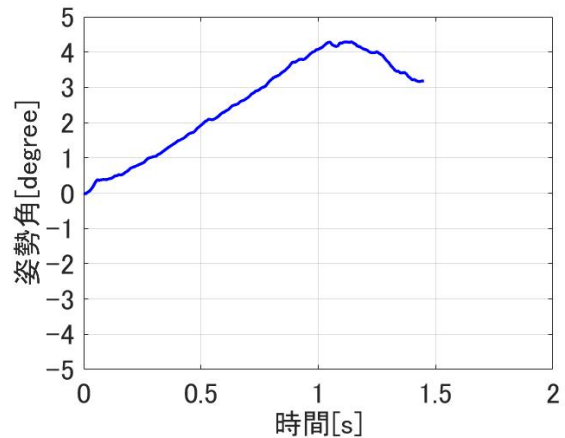


図 13  $\phi = 70^\circ$  の方向に動かそうとしたときのロボットの姿勢角の変化

姿勢角のずれは 4 節の実験より大きくなった。しかし、走行する角度は 4 節の場合より目標角度に近い値となった。

## 6 おわりに

本研究ではオムニホイールロボットをモデル化し、モデルに沿ってロボットが運動するか確認するために、実験を行った。目標の角度で走行させるには至らなかったが、デューティ比と速度の関係を用いることで走行性能を改善することができた。両者の関係をより正確に表現することで目標の角度で走行させられる可能性がある。これを確認することが今後の課題である。また、摩擦を含んだモデル化の検討を行う必要がある。

## 参考文献

[1] 前川清石, 工場内搬送および物流倉庫向け自律移動ロボットの開発, システム/制御/情報, 64 (5),

177–181, 2020.

- [2] Nexus robot products (Nexus ロボット製品), ヴイストーン株式会社, [https://www.vstone.co.jp/robotshop/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=3918](https://www.vstone.co.jp/robotshop/index.php?main_page=product_info&products_id=3918), 最終アクセス日: 2021 年 12 月 21 日.
- [3] 東正登, オムニホイールを用いた全方向ロボットの製作, 近畿能開大ジャーナル: 近畿職業能力開発大学校紀要, 23, 55–58, 2015.
- [4] R. Damato, W. Cheng, and S. Hirose, “Holonomic omnidirectional vehicle with new omni-wheel mechanism”, Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001, pp. 773–778.