

A1-7 全方向移動機構を有する自律移動ロボットの設計製作および行動制御

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室

市川 毅 (指導教官：前田 陽一郎)

1 緒言

近年、家庭、工場、病院など複雑で狭い作業空間内で人間の代わりに活躍するため、様々な自律移動ロボットの開発が進んでいる。しかしながら、このような複雑な環境下においては従来の2輪式の移動機構(非ホロノミック車両)では移動範囲が制限され、行動に拘束を受けてしまう。そこで、任意の方向に瞬時に移動できメカニズムによる拘束を受けないホロノミック特性を有する全方向移動機構[1]に関する研究が盛んに行われている。自律移動ロボットの研究テーマとしてサッカーロボットを題材としたRoboCup 中型ロボットリーグ[2]でも、この全方向移動機構はその機動性の高さからほとんどのチームで採用されている。

本研究室でもこれまでに、RoboCup 中型ロボットリーグ規格のサッカーロボットを製作しているが、独立2輪駆動方式(非ホロノミック車両)であるため、シュート行動を行う際にボールへの回り込みに無駄な時間がかかってしまう、ボールの軌道が急激に変化した際に速やかに対応することができない、などの問題があった。これらの非ホロノミックな特性が原因で生じる無駄な移動は時間とエネルギーにおいて多大なロスを生ずる。

そこで本研究では、目標点に最短距離で向かうことができ、状況が変化しても任意の方向へ瞬時に移動できる全方向移動機構を、RoboCup 中型ロボットリーグ規格のサッカーロボットを対象として新たに設計製作し、その性能を評価する。今回製作したロボットと独立2輪駆動方式のロボットに同じタスクを与え、ファジィ制御により生成されるそれぞれの軌道を比較することにより、全方向移動機構の有効性を検証したので、その実験結果についても報告する。

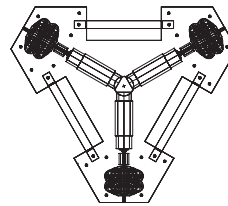
2 全方向移動ロボットの設計製作

今回設計製作を行った全方向移動ロボットは、3個のオムニホイールを用いたRollerWheel方式を採用した。図1(a)は今回製作した全方向移動ロボットを上から見たものであり、図1(b)はこの機構に使用したオムニホイールである。オムニホイールとは、車輪の外周に複数のフリーローラを円周方向に配置することにより一方向にのみ駆動力を発生させることができる特殊な車輪である。

全方向移動機構は駆動部のモジュール数としては最低限の3個のオムニホイールを120度ごとに配置したレイアウトになっている。また、オムニホイールとモータで構成した駆動部の間にバッテリーを配置し、重量の大部分を占めるパーツをロボットの底面に配置することにより徹底した低重心設計を行った。これにより、車体の姿勢が不安定になるという3輪駆動のRollerWheel方式の問題点を解決している。また、目標物であるボールをロボット正面で保持できるように球型キャスターを用いたボール保持機構を新たに設計した。そして、本研究室で提案された全周にわたって物体の正確な距離と方位を計測することができる全方位カメラ3台で構成されたマルチ全方位ビジョンシステム(MOVIS)を搭載し、ロボットを上から見て正三角形形状に設計することによりセンサの死角ができないように工夫した。

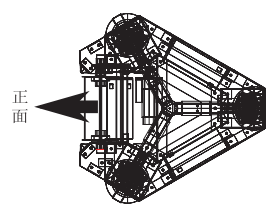
ロボットの製作に関しては、ロボットの予想重量から推定した最大トルクおよび制御する際に必要とする

移動速度から最大回転数を導出し、これをもとに使用する駆動用モータの選定を行った。また、ロボット本体をアルミニウムのアングルで構成することにより徹底した軽量化を計った。図2が今回設計した全方向移動ロボットの概観である。



(a) オムニホイールの配置 (b) オムニホイール

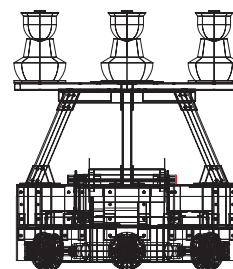
図 1. 全方向移動機構



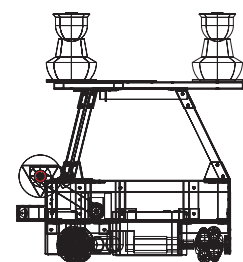
(a) 上面図



ロボットの外観



(b) 正面図



(c) 側面図

図 2. 全方向移動ロボット概観

3 全方向移動ロボットの行動制御

図3は3輪駆動の全方向移動機構が(a)前方移動、(b)右方移動、(c)その場回転する時の例である。前後への移動は、車体前方の車輪のみで行い、左右への移動はすべての車輪の回転を微妙に調整することにより行う。そして、その場回転はすべての車輪を同一方向に回転させることにより行うことができる。また、図3(d)は3輪駆動の全方向移動機構の前方に進む時の例であり、 w_i はそれぞれの車輪の番号、 v_i は各車輪の回転により発生する速度ベクトルとする。ここで、 (v_{x0}, v_{y0}) 、 (v_{x2}, v_{y2}) は速度ベクトル v_0 、 v_2 の x 成分、 y 成分を表し、車輪にオムニホイールを用いることにより車輪の回転で発生した速度ベクトル v_{x0} と v_{x2} が打ち消さ

れ、スムーズに前進することができる。このようにしてこの機構はホロノミックな全方向移動が可能となる。

また、図4は3輪駆動全方向移動機構の構造をモデル化したものである。車輪の半径を r 、ロボット中心から車輪までの距離を d 、左前の車輪から時計まわり3つの回転角を ϕ_0, ϕ_1, ϕ_2 とし、各車輪の回転によって進む方向の単位ベクトルを $e_0 = (-\frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2})$, $e_1 = (1, 0)$, $e_2 = (-\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2})$ とする。ロボット中心が速度 v で並進運動し、ロボットが $\omega (= \dot{\theta})$ で回転運動しているとする、各車輪 i の接地面の速度 p_i は式(1)のように表すことができる。

$$p_i = v + d\omega e_i \quad (1)$$

各車輪が回転することにより得られる速さ $r\dot{\phi}_i$ は p_i と e_i の内積と等しいので、これらより図の車輪の回転速度とロボットの移動速度との関係式(2)が得られる。実際の制御ではロボットの目標速度として $(\dot{x}, \dot{y}, \omega)$ を与えた際に(2)式により各車輪の回転速度が求められ、これをもとに各モータへの出力トルクが計算される。

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_0 \\ \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & d \\ 1 & 0 & d \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2)$$

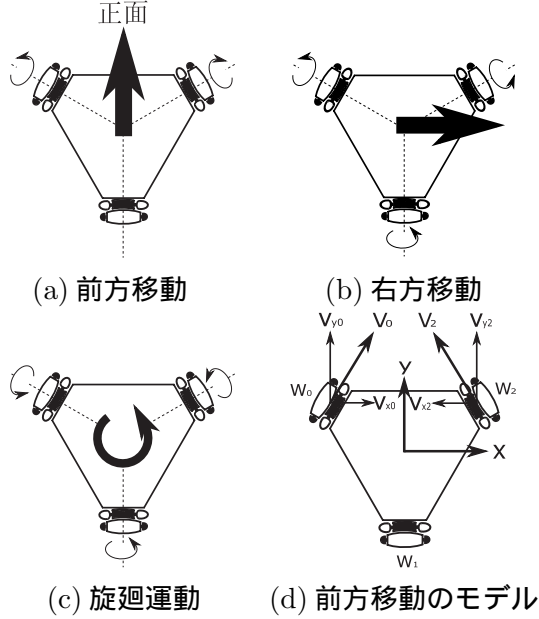


図3. 3輪駆動 Roller Wheel の移動モード

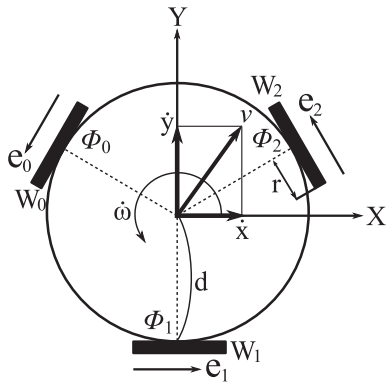
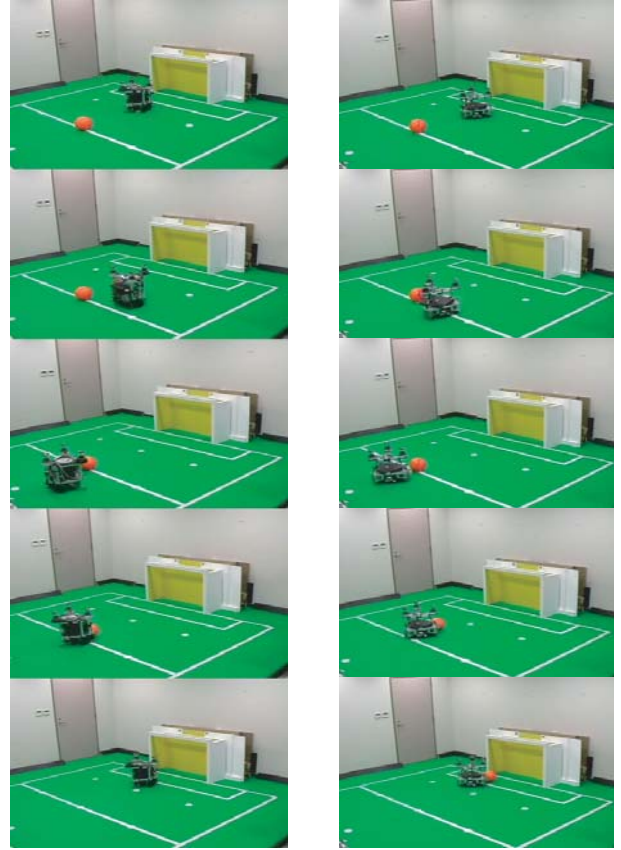


図4. 3輪駆動全方向移動機構のモデル

4 走行性能評価実験

RoboCup 中型ロボットリーグのフィールドのミニチュアコート (4m × 3.5m) の環境下で、今回製作した全方向移動ロボットと独立2輪駆動ロボットのそれぞれでシュート行動を行い、走行軌道の比較を行った。その実験結果を図5に示す。左が独立2輪駆動機構、右が全方向移動機構である。図より、独立2輪駆動ロボットはボールに回り込む際に大きく旋回しながら向かっており、無駄な行動が多いことがわかる。一方、全方向移動ロボットは車体の正面で常に目標となるゴールの方向を向いたまま全方向に移動できるため、スタートと同時に最短距離で無駄なくボールに回り込むことができていることがわかる。



(a) 独立2輪駆動ロボット (b) 全方向移動ロボット

図5. 走行性能の比較実験

5 結言

本研究では、実際に全方向移動ロボットを製作し、独立2輪駆動ロボットとその走行軌道の比較を行うことにより、機動性における有効性を検証した。今後は、この全方向移動機構を有する自律移動ロボットの機動力を、さらに複雑な環境下における適応的な知的行動制御の研究等に生かしていきたい。

参考文献

- [1] 山下淳, 浅間一, 新井民夫, 太田順, 金子透: "ロボットの移動機構に関する研究動向," 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.3, pp.282-292 (2003)
- [2] 高橋泰岳: "ロボカップ: 中型ロボットリーグ," 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.6, pp.562-568 (2002)