

段差適応型全方向移動ロボットの開発

Development of Omni-Directional Mobile Robot with Step-Climbing Ability

○ 金沢 竜也 (東京理科大) 山下 淳 (東京大) 正 浅間 一 (理研) 嘉悦 早人 (理研)
遠藤 勲 (理研) 正 新井 民夫 (東京大) 佐藤 一省 (東京理科大)

Tatsuya KANAZAWA*, Atsushi YAMASHITA**, Hajime ASAMA***, Hayato KAETSU***,
Isao ENDO***, Tamio ARAI** and Kazumi SATO*

* Science University of Tokyo, ** The University of Tokyo,
*** The Institute of Chemical and Physical Research (RIKEN)

In this paper, we propose a new holonomic omni-directional mobile robot that can pass over steps smoothly and quickly. The robot has seven wheels with free rollers and a passive suspension system that is called Rocker-Bogie suspension. The performance of the prototype robot is shown through experimental results.

Key Words: Omni-Directional Mobile Robot, Holonomic Robot, Step-Climbing, Passive Suspension

1. はじめに

原子力施設をはじめ、化学プラントや石油類、LNG、LPGなどの危険物の貯蔵、精製、輸送設備といった大規模施設では安全に対して十分な防護体制無しには行えない作業や人間が直接的にアクセスできない環境が多数存在する。近年、そのような危険な環境での作業をロボットに代行させようという動きが高まってきている。そのためには人工環境内でロボットが迅速に効率良く移動したり、複数台のロボットによる協調搬送を考慮した場合、ある瞬間に任意の方向に移動可能なホロノミック全方向移動ロボットが必要になる。

既存のホロノミック全方向移動ロボットのほとんどは、整地された凹凸の無い平らな平面上での動作を想定して開発されている。しかし実際の作業環境は、屋内環境であっても多少の凹凸や傾斜が存在すると同時に、部屋一廊下間等には段差も存在するため、従来の全方向移動ロボットでは走破できない状況が生じる可能性が有る。

上記の問題点を解決するため、本研究ではホロノミック全方向移動性能に加え、段差乗り越え能力も併せ持ったロボットを開発することを目的としている。

2. 移動機構

ホロノミック全方向移動が可能で非常に高い不整地移動性能を有した機構として挙げられるのが脚型機構である。脚型の研究の歴史は古く、TITANシリーズ等[1]をはじめ、様々な方式が採用されている。この機構の最大の問題点は高速に移動することが困難であり、かつ機構や制御が容易ではない点である。そこで上記の問題点を解決するため、以下のような機構を採用した。

2.1 全方向移動に関する移動機構

ホロノミック全方向移動に関しては、Fig.1のように大きさの異なる2種類の円筒状フリーローラを取りつけた機構[2]を採用した。

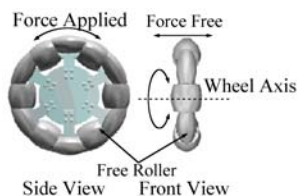


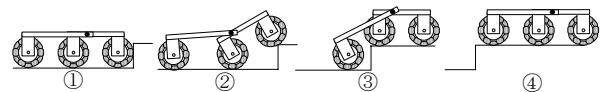
Fig. 1 Wheel with free rollers

この機構は車輪型であるため、高速移動が可能である。また、操舵して全方向移動するタイプのロボットでホロ

ノミックを実現するためには1車輪2アクチュエータが必要であるが、フリーローラを用いた場合には1車輪1アクチュエータで済む。さらに、駆動部の機構も比較的簡単であり、制御も容易である。

2.2 不整地に関する移動機構

段差を乗り越えるための機構については、6車輪を用いて二つのユニットを回転リンクを中心としてそれぞれアームで支える機構（これをロッカーボギーサスペンションシステムと呼ぶ）を採用した。（Fig.2）



Side View

Fig. 2 Rocker-bogie suspension system

この機構の特徴は、段差乗り越えのためのアクチュエータを必要としないため、機構・制御が容易となる点である。また、自動車のような4輪型では理想的な条件で車輪径の1/3程度まで登れることが知られているが、このロッカーボギーサスペンションシステムでは車輪径の1.5倍程度まで登ることができるといわれている。

以上の2つの機構を組み合わせる際に考慮した点は、
1.全方向移動を実現するためには車輪を直交に配置する
2.全方向からの段差乗り越えは行わない
3.車輪数をできるだけ減らす
の3点である。

結果、著者らは7輪型のロボットを提案した。（Fig.3）

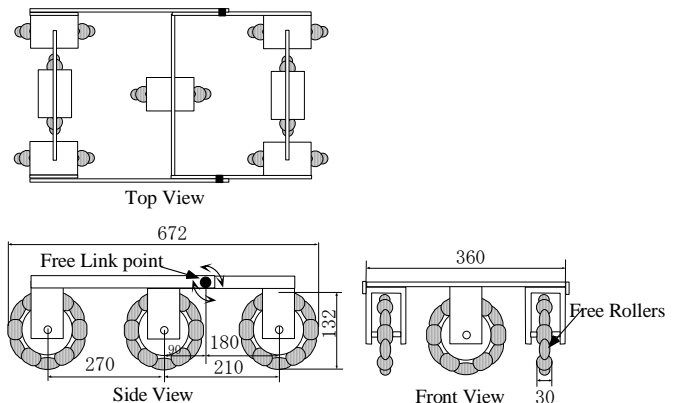


Fig. 3 Mobile robot with seven wheels

さらに車輪を平面に確実に接地させるために Fig.4(a), (b)のような構造を取り入れた。

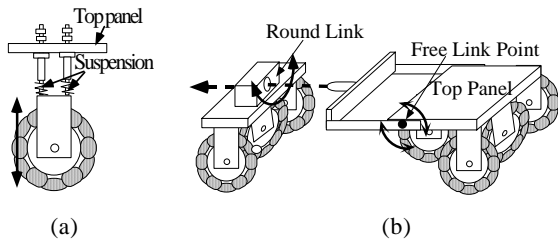


Fig. 4 Mechanism to touch the ground

Fig.4(a)のように個々の車輪ユニットにサスペンションとしてスプリングを挿入している他, Fig.4(b)のように全車輪が常に接地するように 2 つのユニット間に回転リンク機構を取りつけた。著者らが製作した車輪ユニットおよびロボット全体図を Fig.5(a)~(c)に示す。

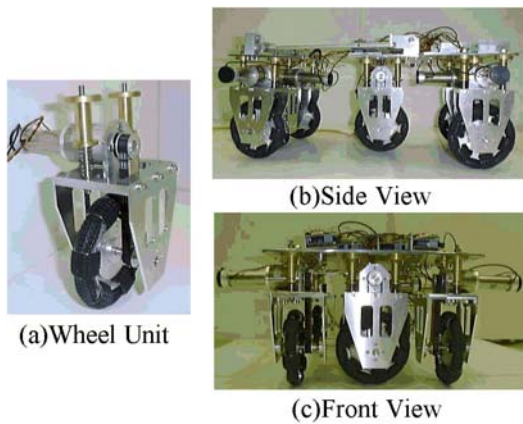


Fig. 5 Advanced type of a mobile robot with seven wheels

3. 駆動力伝達機構

Fig.6 にロボット上面図とロボット座標系を示す。

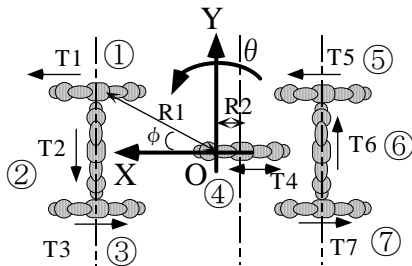


Fig. 6 The top of the robot motion

上記の座標系において, 1~7 の各車輪の移動速度を $T1 \sim T7$ とする。またロボットの中心 O から車輪 1, 3, 5, 7 の中心までの距離は等しいのでこれを $R1$ とし, X 軸とのなす角を ϕ , ロボット中心 O から車輪 4 の中心までの距離を $R2$ と置くと次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ \vdots \\ T7 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし,

$$J = \begin{bmatrix} \frac{1}{5} & 0 & -\frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & 0 & -\frac{1}{5} \\ 0 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 8R1 \sin \phi & 4R1 \cos \phi & 8R1 \sin \phi & 0 & 8R1 \sin \phi & 4R1 \cos \phi & R1 \sin \phi \end{bmatrix}$$

である。

よって,

$$T1 = T5 = -T3 = -T7 \text{ かつ } T2 = T6 = 0 \quad (2)$$

であれば X 軸方向への平行移動を行い,

$$T2 = -T6 \text{ かつ } T1 = T3 = T5 = T7 = 0 \quad (3)$$

ならば Y 軸方向への平行移動を行い,

$$T2 = T6 \text{ かつ } T1 = T3 = T5 = T7 \quad (4)$$

であり,

$$T1 = T2 \tan \phi \quad (5)$$

ならば θ 方向への回転運動を行う。

すなわち, どのような状態でも任意の方向への平行移動や回転運動が可能である。

4. 実験

4.1 実験内容

ロボットの評価および走行安定性の検証のため, 製作したロボットを用いて以下の実験を行った。

1. ホロノミック全方向移動能力確認実験

前後方向への走行, 左右方向への走行, 斜め方向への走行, その場旋回の 4 種類を行う。

2. 段差乗り越え実験

段差を徐々に高くしてどの程度の段差まで乗り越えることができるか確認する。

4.2 実験結果および考察

1 について

前後左右方向への移動, 斜め方向移動, およびその場旋回が可能であることが確認された。

2 について

車輪径 132[mm] の車輪に対して 100[mm] の段差まで登ることが確認された。この結果を 4 輪型自動車と比較すると段差乗り越え性能は約 2.3 倍向上したことになる。

5. おわりに

本研究では, 実環境 (多少の凹凸, 傾斜, 段差あり) におけるホロノミック全方向移動ロボットの走行を目的として, 移動機構にフリーローラ付き特殊車輪とロッカーボギーサスペンションシステムとを併用し, 7 輪を有した移動ロボットを提案した。そして実機を製作し, 全方向移動能力と段差乗り越え能力を確認するための実験を行った。その結果, ホロノミック全方向移動性能及び高い段差乗り越え性能を有していることを確認した。

今後は, 電装系を搭載する予定である。

6. 参考文献

- 1) 広瀬茂男, 福田靖, 菊池秀和: “4 足歩行機械の制御システム”, 日本ロボット学会誌, Vol.3, No.4, pp.304-323, 1985.
- 2) 浅間一, 佐藤雅俊, 後藤伸之, 嘉悦早人, 松本明弘, 遠藤勲: “2 台の自律移動ロボットの相互ハンドリングによる協調搬送”, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.7, pp.1043-1049, 1997.