

自律型段差適応ホロノミック全方向移動ロボットの開発

○山下 淳¹⁾ 金沢 竜也²⁾ 浅間 一³⁾ 嘉悦 早人³⁾
川端 邦明³⁾ 遠藤 勲³⁾ 新井 民夫¹⁾ 佐藤 一省²⁾
¹⁾ 東京大学 ²⁾ 東京理科大学 ³⁾ 理化学研究所

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

*Atsushi YAMASHITA¹⁾, Tatsuya KANAZAWA²⁾, Hajime ASAMA³⁾, Hayato KAETSU³⁾, Kuniaki KAWABATA³⁾, Isao ENDO³⁾, Tamio ARAI¹⁾ and Kazumi SATO²⁾

¹⁾ The University of Tokyo ²⁾ Science University of Tokyo

³⁾ The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

Abstract: In this paper, we propose a new holonomic omni-directional mobile robot that can pass over steps smoothly and quickly. The mobile robot has seven special wheels with free rollers. These wheels enable the robots to move in all direction. And the robot has a passive suspension system that is called rocker-bogie suspension. The performance of the prototype robot is shown through experiments.

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

1. 序論

近年、工場や原子力プラント等において、狭所での作業や、複数台での協調作業を移動ロボットが遂行することが期待されている。そこで、高い移動性能を有するホロノミック全方向移動ロボットに関する研究が盛んに行われている。

作業環境について考慮すると、屋内においても、扉の部分や配線等により凹凸が存在することが多い。また、我々が通常行動する屋外環境（道路や住居の敷地内）においても、歩道と車道の間の段差や、緩やかな斜面、その他細かい凹凸が存在する。しかし、これまでの全方向移動ロボットは、平らな床面を移動することを想定して設計されていた。そこで本報では、凹凸や段差に対応可能なホロノミック全方向移動ロボットの開発を行う¹⁾。

2. 移動機構の設計

2.1 設計指針

本研究では、人間が通常行動する（ある程度整備されている）環境で作業を行うロボットを開発することを目的とする。具体的な要求仕様を以下に示す。

- (1) 平らな床面ではホロノミック全方向移動
- (2) 機構・制御が簡単であり、高速移動可能
- (3) 屋内のドア・エレベータ等を通り抜け可能
- (4) 屋内・住居の敷地内・一般道路を走破可能

上記条件のうち、(1)のホロノミック全方向移動は大型物体の協調搬送や経路計画などを行う上で非常に有効である。(2)は迅速に作業を遂行可能するために重要である。また、センサ類で段差の情報を取得してから段差を乗り越えると時間がかかるため、段差に接触すると自動的に乗り越える（=パッシブな段差乗り越え）機構を開発する。(3)の狭所走行性については、建築現場や工事用エレベータの搭載可能寸法は900[mm]以下であることが多いため、半径900[mm]の円内に本体が収まるように設計する。(4)の不整地走破性能については、平らな床面でのホロノミック全方向移動性能があれば、段差の前で自由に姿勢を変化させることが出来る。従って、全方向

からの段差乗り越え能力を均等に向上させる²⁾よりも、特定の方向からの最大段差乗り越え能力を高めるほうが走破可能な範囲が広がるため、本研究では後者のアプローチをとる。一般道路の凹凸は数[mm]程度、斜面の傾斜は8[deg]程度であり、建築現場等においても20~30[mm]程度の段差乗り越え能力があれば十分である。つまり、想定したロボットの作業範囲で最も大きな段差は車道と歩道の間の50[mm]程度である。

本研究では、以上の条件を満たす機構を開発する。

2.2 機構設計

(1) 全方向移動性能

高速なホロノミック全方向移動（要求仕様(1)、(2)）を実現するために、フリーローラ付特殊車輪を採用する（Fig. 1(a)）。駆動力が働く方向と垂直な方向には自由に回転できるため、この車輪を3個以上、それぞれが平行にならないようにロボット本体に配置することで、全方向移動が実現される。

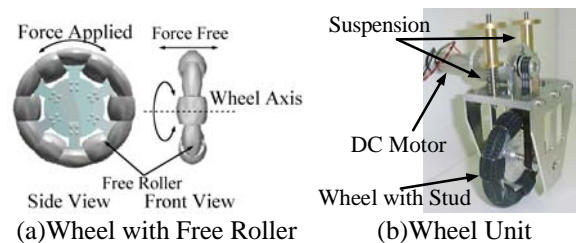


Fig. 1 Wheel Structure

本研究では、大小の円筒状フリーローラの組み合わせにより凹凸のない車輪を構成し、滑らかな走行を実現した。また、車輪にスタッドを取り付けることにより、段差乗り越え能力を向上させている。

(2) 不整地走破性能

大きな段差を乗り越える（要求仕様(4)）ためには、車輪径を大きくすることが有効であるが、本体形状がそれに伴い大きくなるため、狭所で作業可能（要求仕様(3)）が不可能となる。そこで、小型の車輪で大きな段差を乗り越え可能とするため、ロボット本

体が変形するサスペンション機構を用いる。具体的には、数[mm]程度の凹凸に対応可能なサスペンションを有した車輪ユニット (Fig. 1(a)) を7個ロボット本体に設置することでホロノミック全方向移動及び不整地走破性能の向上を図る (Fig. 2)。

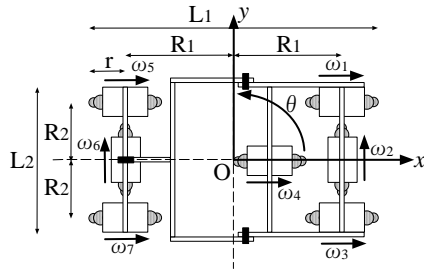


Fig. 2 Mobile Robot with Seven Wheels

常にすべての車輪が床面に設置するように、ロボット本体は2個所のリンクで接続する (Fig. 3)。

($L_1 = 672[\text{mm}]$, $L_2 = 360[\text{mm}]$, $r = 66[\text{mm}]$)

ここでは、ロボットの中心 (Fig. 2 中点 O) まわりにその場回転することを考慮し、車輪 4 と点 O が重ならないように配置した。

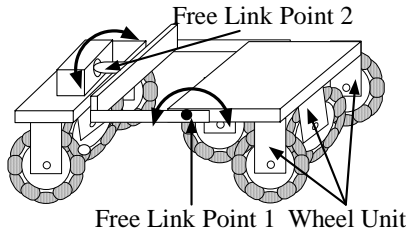


Fig. 3 Suspension System

不整地走破性能に関しては、 x 軸方向の最大段差乗り越え能力を向上させた。具体的には、リンク 1 により、Fig. 4 に示すように滑らかな段差乗り越えを実現する。 y 軸方向に関しては、リンク 2 により、床面設置時の車輪の左右高低差に対応可能である。

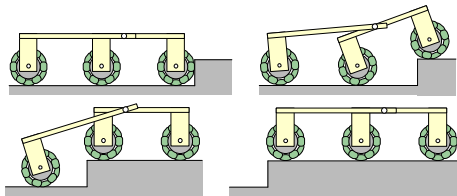


Fig. 4 Step Climbing

2.3 運動学

ロボットの運動学については、以下の通りである。各変数については Fig. 2 に示す。車輪 i の回転速度を ω_i [rad/s]、アクチュエーター車輪間のギア比を k 、アクチュエーター i の回転速度を V_i [rad/s] とすると、

$$V_i = k\omega_i \quad (1)$$

である。よって、 $[\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{\theta}]^T$ をロボット座標系におけるロボットの移動速度とおくと、移動速度とアクチュエーターの回転数の関係は、

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{kr}{5} & 0 & \frac{kr}{5} & \frac{kr}{5} & \frac{kr}{5} & 0 & \frac{kr}{5} \\ 0 & \frac{kr}{2} & 0 & 0 & 0 & \frac{kr}{2} & 0 \\ -\frac{kr}{6R_2} & \frac{kr}{6R_1} & \frac{kr}{6R_2} & 0 & -\frac{kr}{6R_2} & -\frac{kr}{6R_1} & \frac{kr}{6R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_7 \end{bmatrix} \quad (2)$$

となる。従って、目標速度を実現するための各アクチュエーターへの指令値は、以下のように設定できる。

$$V_1 = V_5 = \frac{1}{kr}(\dot{x} - R_2 \dot{\theta}) \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{1}{kr}(\dot{y} + R_1 \dot{\theta}) \quad (4)$$

$$V_3 = V_7 = \frac{1}{kr}(\dot{x} + R_2 \dot{\theta}) \quad (5)$$

$$V_4 = \frac{1}{kr} \dot{x} \quad (6)$$

$$V_6 = \frac{1}{kr}(\dot{y} - R_1 \dot{\theta}) \quad (7)$$

2.4 電装系設計

制御装置、電源をロボット本体に搭載し、完全自律移動を実現する。制御装置については、小型モータドライバ (Titech Driver version 2) を7個用い、それぞれの車輪を制御する。各モータドライバへの指令は、CPU ボードに接続した多機能入出力ボード (Ritech Interface Board・ISA ハーフサイズ) から行う。電源に関しては、12[V] バッテリ×4 (電装系用×2, 駆動系×2) を搭載した。

3. 実機ロボットの開発

開発したロボットの概観を Fig. 5 に示す。

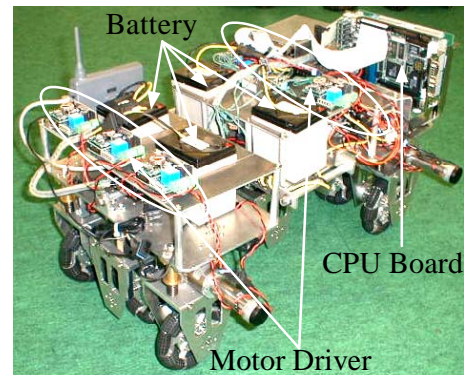


Fig. 5 Prototype Robot

また、ロボットの性能を検証するため、走行実験を行った。実験の結果

- ・平坦な床面においては、ホロノミック全方向移動可能
- ・最大 100[mm] 程度の段差乗り越え可能であることが確認された。

4. 結論

本研究では、凹凸や段差が存在する環境でも動作可能なホロノミック全方向移動ロボットの開発し、走行実験により設計指針を満たすことを確認した。今後は、外界環境を取得するセンサの設置とその情報に基づいた動作計画手法の構築を行う。

参考文献

- 1) 金沢 竜也, 山下 淳, 浅間 一, 嘉悦 早人, 遠藤 勲, 新井 民夫, 佐藤 一省: “段差乗り越え能力を有する全方向移動ロボットの開発”, 第 17 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.913-914 (1999).
- 2) 磯田 隆司, 陳 鵬, 光武 伸一郎, 豊田 利夫: “オフロード走行用ローラ・クローラ型全方向移動ロボット”, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.65, No.636, pp.3282-3289, (1999).