

外界を改変することで移動可能性を拡張する環境構築型ロボット群のメカニズム
Mechanism for Stigmergy Robot Change external environment expanding movability

○岡崎慎也, 石橋晟人, 小田桐憂幸, 藤澤隆介
○OKAZAKI Shinya, ISHIBASHI Akihito, ODAGIRI Yuko, FIJISAWA Ryusuke

八戸工業大学
Hachinohe Institute of Technology

キーワード: Stigmergy, アリ塚(Ant mound), 群ロボット(swarm robotics)

連絡先: 〒031-0814 青森県八戸市大字妙字大開 88-1
八戸工業大学 機械情報技術学科
岡崎慎也, E-mail: g111009@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

一般的なレスキューロボットは不整地を走行するために様々な工夫が施されている。例としてクローラの採用やフリップパーアームの使用などが挙げられる[1][2]。しかし、ボディサイズの問題から移動可能性は制限されている。ビル内などでの運用を想定するとロボットの全長は 1m 程度に抑える必要があるが、そのサイズでは 2m の段差を越えることはまず不可能である。2m の段差を越えるためには 3m 以上のサイズが必要と考えられる。これらのことから移動の可能性はロボットのサイズに依存すると言える。言い換えれば、設計時に既に走破性能の限界を設定されてしまっていることになる。

アリやシロアリなどの社会性昆虫は集団で高度な能力を発揮することが広く知られている[3]。南米などの乾燥地帯に生息するオオキノコシロアリ (*Macrotermes carbonarius*) は土、唾液、糞を用いて地上に巨大なアリ塚を構築し繁殖を行う[4]。研究ではオオキノコシロアリの環境構築能力に着目しそれをロボットで再現し不整地での車輪型ロボットの走破性の改善を目的に研究を行う。Nappら[5]が本研究と類似した研究を行っているが、我々は遠隔操作ではなく、本ロボットの自律走行を目的に研究を進める。

2. Stigmergy の移動ロボットへの応用

Grassé は、シロアリの塚構築のメカニズムを Stigmergy という言葉を用いて説明している[6]。Stigmergy とは、個体 A の行動を刺激

として個体 B (C, D, etc.) の行動が誘発されることで、作業に多くの個体が従事し、作業そのものが加速することを意味する。本研究で開発するロボットは、Stigmergy を行う環境構築型ロボットであり、本来は群ロボットとして実験すべきであるが、試作機であるため単体での問題解決を想定して開発を行う。

開発する環境構築型ロボットは、壁や溝などのタスクを自ら道を生成することによって解決し走行を行う。走行の手順は、赤外線センサにより目的地を検知しそれに向かい走行する。走行過程で段差や溝を距離センサで検知したら、発泡ウレタンの放出によってロボットが移動のために都合の良いように外部環境の構築を行う。タスクが壁の場合は Fig. 1 上図のように発泡ウレタンの放出で上り坂を作成しタスクが溝の時は Fig. 1 下図のように溝に発泡ウレタンを放出し溝を平面化しその上を走行する。この一連の動作によって、ロボットは設計時に設定された走破性能以上の性能を発揮することができる。

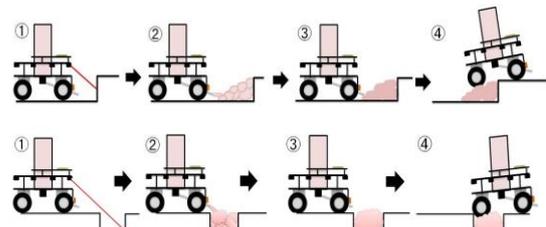


Fig. 1 Example of task solving cross a gap (upper) or trench (bottom)

3. 環境構築型ロボットの仕様

3.1. ロボット・システム構成

Fig. 2 に開発したロボットの構造および全体図を示す. 基本仕様として全長 250mm, 全幅 250mm, 高さ 330mm, 総重量約 3.0kg である. 本ロボットの駆動部は走行用とウレタン放出用の 2 系統に分けられ, 計 5 つのアクチュエータを使用している. 検出部には 4 種類のセンサが搭載され, 合計 17 個のセンサを使用して外界を認識している. 全電気システムへの電源は一つのバッテリーから供給される.

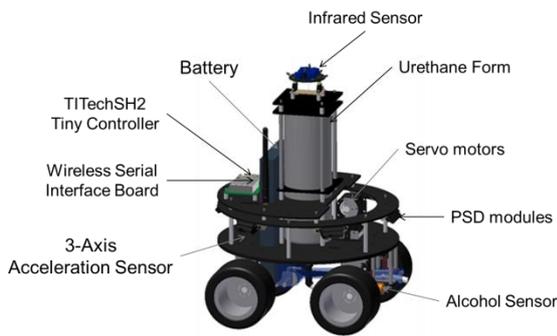


Fig. 2 Configuration of developed robot

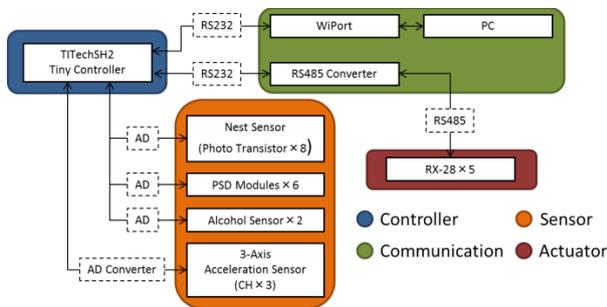


Fig. 3 System configuration of developed robot

Fig. 3 にシステム構成図を示す. 青は制御器, 橙はセンサ, 緑は通信器, 赤はアクチュエータである. 制御器として TITechSH2 Tiny コントローラを搭載している. また, 外界を認識するため, 距離センサを 6 個, 発泡ウレタンの硬化を検出するためのアルコールセンサを 2 個, ロボットの傾きを検出するための三軸加速度センサを 1 個, 進行方向を決定するためにフォトトランジスタを 8 個搭載している. 移動のためのアクチュエータを 4 個, 発泡ウレタンの放出のために 1 個を用いる.

Fig. 4 にタスクが壁の場合の状態遷移図を示す. S は状態, E は行動, P はセンサによ

る外界の認識である. 初期状態ではロボットは進行方向に向かって進み, 距離センサで壁を検知したら後進して, 発泡ウレタンを放出し, 硬化がされたら再び進行方向に進む. そして, ロボットが倒れる限界 (本ロボットでは 37°) 以上の坂を三軸加速度センサが検知したら後進して, 発泡ウレタンを少量放出して, 硬化確認を行う. 回数を重ねる度に放出量を減らしていく. これを登坂できるまで繰り返す.

具体的には, 距離センサで壁等の障害を検知したら, コントローラによって AD 変換を行い, 必要であればコントローラから発泡ウレタン放出用サーボモータへ信号を送り, 発泡ウレタンの放出をする. そのとき送信された信号は無線通信を行うユニットにより PC に送られる.

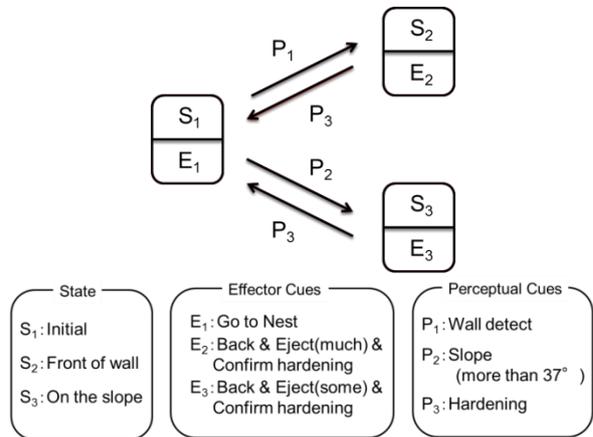


Fig. 4 State transition diagram in the case of the wall

3.2. 発泡ウレタンの放出機構

オオキノコシロアリは, 塚を構築するために土, 糞, 唾液を混合した泥団子を用いるが実物を用いることは工学的には実現困難である. そこで, 本研究では発泡倍率(40~50倍)と硬化特性を考慮した発泡ウレタンフォームを使用し, 内径 6.5mm, 外形 8mm のシリコンチューブを通して放出を行う. 発泡ウ

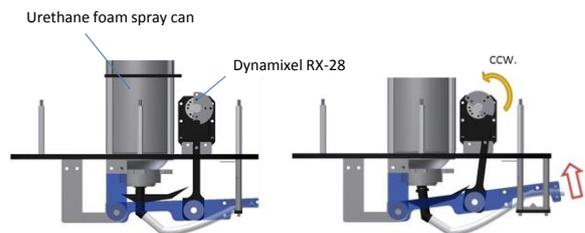


Fig. 5 cut off (left) and emission (right) of urethane foam

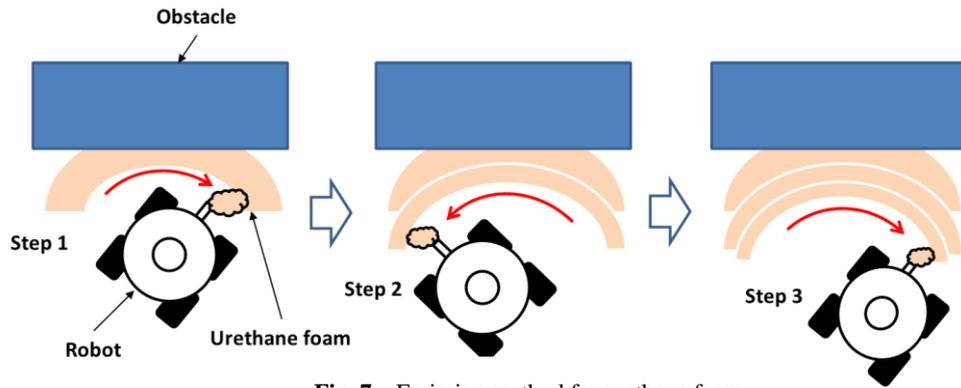


Fig. 7 Emission method for urethane foam

レタンフォームはトリガーを手前に引くことで放出ができ、トリガーを戻すと止まる (Fig. 5)。また、トリガーを戻した際、発泡ウレタンが漏れ出てくるのを防止するためシャッター機構を搭載した。シリコンチューブを上下から押しつぶすことにより、発泡ウレタン停止時の問題点である遮断性の悪さを解決した。また、発泡ウレタンは大気中の水分と反応することで硬化するが、シャッター機構の搭載により発泡ウレタンが大気から遮断され、ノズル内で硬化することなく放出することが可能となる。

3.3. センサ類の構成

実験では赤外線ライトを目標物とし、それを赤外線センサ 8 基で検知し目標物に向かう。目標物へ移動する途中に障害物が存在したときに環境改変動作を実行する。赤外線センサ構成を Fig. 6 に示す。受光素子 1 で赤外線を検知すると目的地に向かい前進し、受光素子 2~6 で検知する場合、ロボットが目的地へ向くよう回転運動を行う。受光素子 7, 8 で赤外線を検出すると本体は停止する。

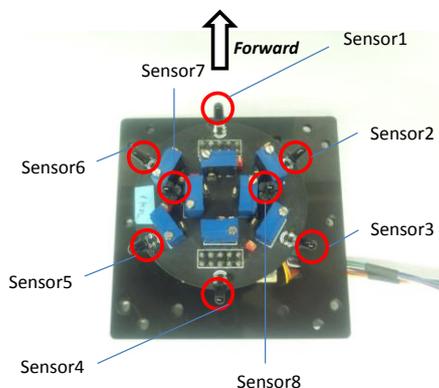


Fig. 6 Infrared sensors

距離センサは床面、壁、溝を検出するためマウントの円周上に 60°毎に 6 基配置され、それぞれ下方 45°を向くように設置されている。床面を基準とし、基準値よりも近ければ壁 (障害物)、遠ければ溝と判別することができる。また、三軸加速度センサはロボットの傾きを検出するためにベース内の後方中央に配置されている。

4. 実機実験

4.1. 発泡ウレタンの放出実験

本ロボットのノズルから放出される発泡ウレタンのサイズを計測すると直径約 14mm でありロボット本体のサイズ (全長 250mm, 全幅 250mm) を考えると一直線にウレタンを放出するだけでは足場として使用するのに不十分であることがわかる。Fig. 7 を用いて段差を乗り越えるための発泡ウレタンの放出方法を説明する。Fig. 7-Step1 で発泡ウレタンを放出しながら車体を回転させることで発泡ウレタンの広範囲散布を可能とする。また、Step2, 3 で少量の発泡ウレタンを放出することで、十分なサイズの足場を構築することができた。

4.2. 走行実験

走行実験を行うにあたり実験用コースを作成した。予備実験の結果から本研究で開発した環境構築型ロボットは最大 28mm の段差を乗り越えることが可能であった。Fig. -①に示す障害物は高さ 28mm, ③でロボットが乗っている障害物は 95mm となっている。28mm 以下の走行可能な段差は距離センサで検知せず乗り越えそれ以上の場合壁を検知し、発泡ウレタンの放出を行い足場の形成をし、障害を走破する。今回は Fig. 4 の状態遷

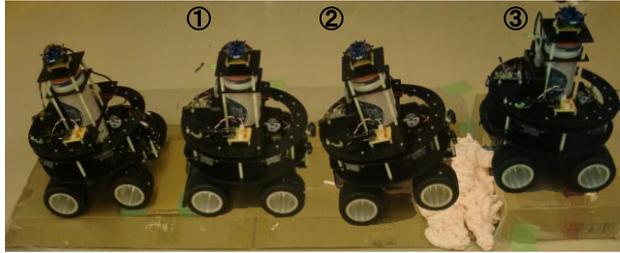


Fig. 8 Experiment result of climbing action

移図に従って実験を行う。また、ウレタンの硬化確認の際、アルコールセンサが不十分であったため、1時間待機して硬化を確認したこととする。

5. 結言

実験の結果、発泡ウレタンの放出量を調節し、段差を乗り越えることはできたが、放出量をプログラムで調整したため、自律走行とは言えない。直前に出した発泡ウレタンの放出量と場所を知っていなければならず、本ロボットを群れ化した際は問題になる。そのため、距離センサと三軸加速度センサの条件を設定することで、後進する時間、発泡ウレタンの放出量を決定し、完全な自律走行で段差を乗り越えることとする。また、硬化不十分な足場をロボットがアルコールセンサで走行可能と判断し、走行を行う問題が頻発した。機体が発泡ウレタン踏み、それがタイヤに付着することで正常な走行性能を損なう可能性がある。このことから発泡ウレタンの硬化をアルコールセンサで判断することが困難であることが分かった。そのためアルコールセンサの代用として圧力センサを搭載し物理的に発泡ウレタンの硬化確認を行うこととする。

本研究では、不整地の走行をする上で走行の妨げとなる障害を自ら環境の構築を行うことで解決する環境構築型ロボットの可能性について示した。本研究の最終目標は、本ロボットを群れ化しさらに複雑なタスクを集団で早急に解決することである。今後は今回確認された課題の解決のため圧力センサを搭載した環境構築型ロボット2号機の開発に取り組む。

文献

- [1] 亀山哲志, 松野文俊, 遠隔操作性を考慮した双頭ヘビ型レスキューロボット KOHGA の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No.7, pp.1074-1081, 2007.
- [2] 広瀬茂男, 青木実仁, 三宅潤, 対地適応型4クローラ走行車 HELIOS-II の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 10, No.2, pp.283-291, 1992.
- [3] E.O.ウィルソン, 社会生物学, 新思索社, 1999.
- [4] L. D. McCOMIE, G. DHANARAJAN, The physical and chemical composition of mounds of *Macrotermes carbonarius*, in Penang, Malaysia, Journal of Soil Science, Vol. 44, Issue 3, pp. 427-433, 1993.
- [5] Nils Napp, Radhika Nagpal Distributed Amorphous Ramp Construction in Unstructured Environments Vol. 15, 2012.
- [6] Dorigo, Marco, Bonabeau, Eric, Theraulaz, Guy, Ant algorithms and stigmergy, Future Generation Computer Systems, Vol. 16, Issue 8, pp. 851-871, 2000.