

アリ搭乗型移動ロボット ANTAM の開発

Development of the Ant Controlling Type Mobile Robot

○木村飛鳥*, 清藤守*, 小泉安史*, 藤澤隆介*

○Asuka Kimura*, Mamoru Seito*, Yasuhito Koizumi*, Ryusuke Fujisawa*

*八戸工業大学工学部機械情報技術学科

Department of Mechanical Engineering, Hachinohe Institute of Technology

Key words: Behavior of ant, Ethology, Adaptive behavior

連絡先： 〒031-0814 青森県八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学工学部機械情報技術学科
藤澤研究室, TEL : 0178-25-3111, E-mail : g101026@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

一般に知られているアリは、太陽の位置から方角を割り出す、フェロモンを用いるなどして帰巣している[1]。しかし、砂漠地帯ではフェロモンが蒸発、風によって飛散するなどして、フェロモンを用いての帰巣は困難となる。サハラ砂漠に生息するサハラサバクアリ (*Cataglyphis fortis*) は採餌後、巣から歩いた歩数を参考に帰巣することが Wolf らによって報告されている[2]。Wolf らはサハラサバクアリの足に豚の毛を装着し足長を伸ばす、足を短く切るなどして足長を人為的に変え、帰巣時の行動を確認した。その結果、足長を伸ばした場合は巣を通りすぎた所で巣を探し、足長を短縮した場合は巣の手前で巣を探す行動をとることを発見した。一連の実験結果から、サハラサバクアリは歩数を参考に帰巣していることを証明した。Wolf らが行った足長を人為的に細工するという行為は、侵襲的な実験であり、アリの行動に影響を及ぼす可能性が高い。人為的に足長を細工して測定したデータから、アリの行動を自然なまま解明したとは言い難い。そこで本研究では、アリの運動能力を擬似的に拡大、縮小させ、アリの歩数カウント能力を大きく誤認識させることを目的とした球体全方向移動補償装置を開発する。この装置をロボットに搭載することで、アリの歩数カウント能力をより詳細に解明する。つまり、アリにロボットを操縦させることに他ならない。

節足動物にロボットを操縦させる研究として、高嶋らによる「Mothborg」がある[3]。高嶋らは、生物がもつ動的に変化する環境に適応する能力を適応能と呼び、脳-身体-環境の相互作用として発現していると言う。この能力を解明することで、実環境で適切に振舞うロボットへの糸口になると考えている。本研究では、アリの環境適応能力を検証するためにアリ搭乗型ロボットを開発する。

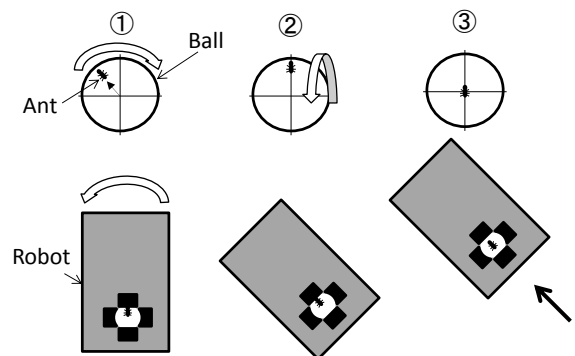


Fig. 1 Description of Operation (Rotation and Translation)

2. アリ搭乗型ロボットの概要

ロボットの機体構成と動作概要

前述の研究目的を達成するため、アリが搭乗するロボットを開発する。アリが任意の方向へ移動しても、その方向と移動量を検出することで、アリの行動を阻害せず、常にアリとロボットの行動が同期するメカニズムを開発する。Fig. 1 を用いてロボットの動作概要を説明する。アリが球体上に存在し、そのアリをカメラで撮影しているものとする。アリが任意の方向に進むと、アリを監視しているカメラは、球体上を歩行しているアリの画像を PC に送信する。画像を取得した PC は、画像処理を行い、アリの座標位置を求める。座標取得後にアリの進行方向とロボットの進行方向を一致させるため、球体の回転とロボットの旋回を実行する。Fig. 1 は、ロボットの前方向に対してアリが左斜め 45°に進んだ場合を説明している。球体は時計回りに 45°回転し、アリの進行方向とロボットの前方向とを一致させる。

その後、ロボットは反時計回りに45°旋回し、アリが進もうとした方向にロボットの前方向を向ける。次に、アリが原点から進んだ移動量分だけ球体を回転させ、アリを原点に復帰させる。この一連の動作を行いアリの運動とロボットの動作を同期させる。

システムに必要な処理の流れを Fig. 2 で説明する。前述のように、カメラでアリの位置を撮影する。撮影した画像を PC に取り込み、アリの位置を明確にするための二値化処理を施す。二値化画像から座標を取得後、球体を回転さ

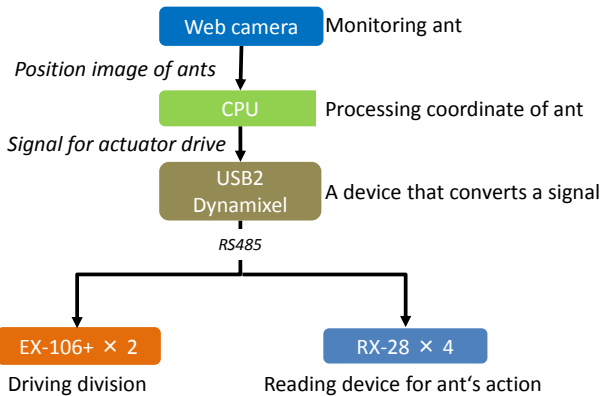


Fig. 2 Flow of the system

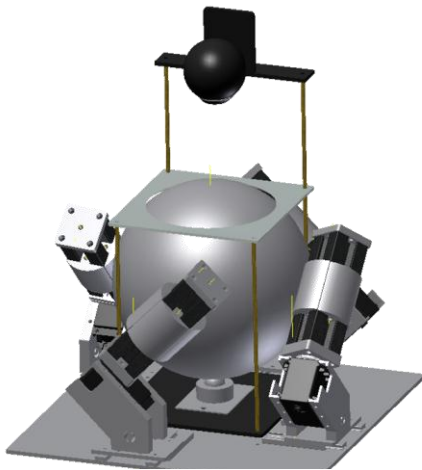


Fig. 4 Reading device for ant's action

せアリの原点に復帰させる検出部と実際に車輪を回転させる駆動部のアクチュエータに信号を送信する。なお、PC とアクチュエータを繋ぐデバイスは、PC からの信号を実際にアクチュエータを動作させる RS485 信号に変換する。

Fig. 4 に示すように、検出部には球体に3自由度を与えるためにアクチュエータを4つ搭載した。アクチュエータは水平面から45°上方に傾けた回転軸を有し、回転軸には摩擦によって球体を回転させるために棒が取り付けられている。

走行のための駆動部にはアクチュエータ2つとキャスタを装着している。検出部のアクチュエータと球体は点接触であるため、アクチュエータを取り付ける位置の精度が非常に重要になる。しかし、本研究で用いる球体の直径には多少の誤差が存在する。この誤差に対応するため、球体に接している棒の表面にスライドする機構を採用し、滑りを抑制した。

アリの座標位置の検出

前述の一連の動作を行うとき、アリの現在位置を取得する必要がある。そこで、本研究では OpenCV を用いて画像処理を行い、アリの位置情報を取得する。まず、Web カメラから得たアリの画像 (Fig. 3(a)) を基に二値化処理を行い、二値化画像 (Fig. 3(b)) を作成し、二値化画像からアリの重心を求める。二値化後の画像は、頭、胸、腹など、比較的黒く鮮明に写る部位のみが描写されている。

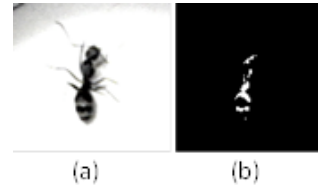


Fig. 3 Binarized image

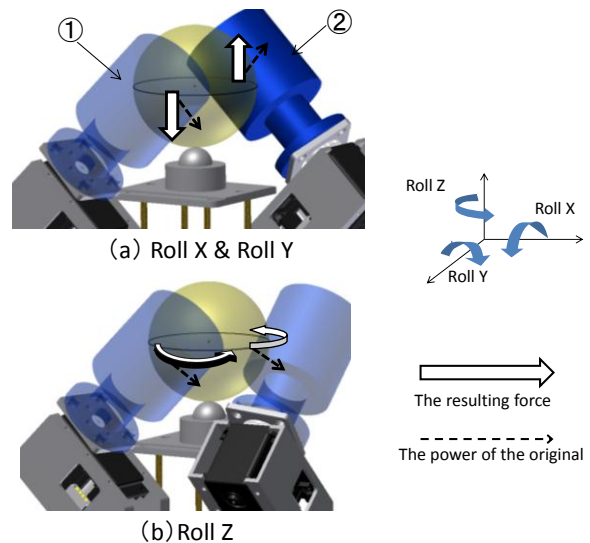


Fig. 5 Region to rotate the ball

球体の制御機構

球体の制御機構は IROS2010 にて発表された BallIP-PSR / new Ball Drive using Partially Sliding Roller を参考に開発した。球体が3自由度を得られるメカニズムを示す。Fig. 5(a) は X 軸回り、Y 軸回りの回転を示す。①は時計回り、②は反時計回りに回転し力を球体に加えることで X、Y 軸回りの回転を実現する。球体に与えられる力は水平方向と鉛直方向の成分を含んでいるが、Fig. 4 に示すように上下左右への並進運動は完全に拘束されているため、回転運動のみ実現する。

Fig. 5(b) は Z 軸に対しての回転を示す。Z 軸回りの回転は全てのアクチュエータが時計回り、または反時計回りに回転することで得られる (Fig. 5 は全て時計回り)。球体は上下方向の運動が拘束されているため、鉛直方向への力は無効となる。水平方向への力のみ有効となり、回転を実現する。

ANTAM の全体図

Fig. 6 に開発したロボットの全体図を示す。ロボットは大別して3つの層から構成される、アリの移動を把握するために常時アリを監視し、原点位置に復帰させる検出部と

画像処理や各アクチュエータと通信する計算機，駆動部から成る．総重量は約 8.3[kg]で長さ 385[mm]，移動補償装置を含めた高さは 590[mm]で幅は 278[mm]となった．

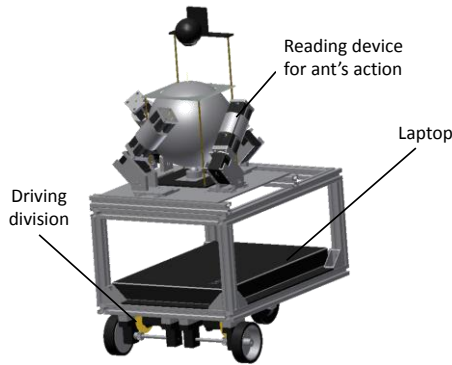
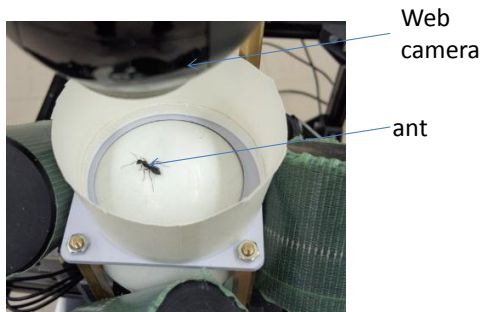


Fig. 6 ANTAM(ANT Activates Machine)

3. ANTAM の動作確認

動作確認

本研究の目的は，サハラサバクアリの帰巣能力の解明であるが，ANTAM の動作確認の段階では，日本国内で容易に入手可能なクロオオアリ (*Camponotus japonicus*) を用いる．クロオオアリは日本全土で生息を確認できる種で，ワーカー，羽アリ，クイーンによりコロニーを形成している．今回実験に使用するワーカーの大きさは 7~12[mm]程度である．クロオオアリは，比較的体長が大きな種[4]であり，サハラサバクアリと比較して歩行速度が遅いため[5]，画像処理に伴う追跡が容易に行えるという利点がある．



アリを検出部に搭乗させた図を Fig. 7 に示す．アリが常時原点復帰をするか検証したところ，アリが歩行を続けた場合，制御が間に合わず原点への復帰はしなかったが，アリが歩行を停止した場合は，原点への復帰は可能であった．アリが歩行動作を続けている状態では，アリが球体上から脱することなく走り続けることができた．

ANTAM の動作の終始で，急発進や急停止が非常に多かったため，慣性が大きく影響する事態となった．その影響により発進，停止時に ANTAM が大きく振動し，球上部にいるアリの位置がずれ，アリの正確な位置が把握できない問題が生じる可能性がある．また，球の回転に勢いがつきすぎて，アリが吹き飛ばす事例も発生した．この場合，アリが球体に確実に接地していない可能性がある．球体の摩擦係数を増加させ，アリが滑らない対策を施さなければならない．

4. 実験設定案

実験設定案①

Wolf らがサハラサバクアリに施した訓練と同条件で，アリの採餌行動を訓練する．巣から餌場まで 10m の距離がある直線状の通路で訓練を行う．試行回数を重ね採餌行動の訓練をされたアリを餌場で捕獲し，並行する実験路内に置かれているロボットに搭乗させる[Fig. 8]．

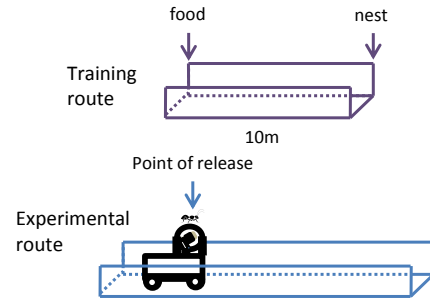


Fig. 8 Homing experiments

訓練路でのアリの帰巣歩数や時間を計測し，実験路における帰巣行動の計測基準を定める．アリが訓練路と同様の距離を歩いたらロボットから降機させる．アリは降機後，巣を探す行動をとると考えられるが，巣を大幅に通過した位置にいるので巣は周囲に存在しない．巣探索時のアリの行動を観察し，歩数カウント能力を検証する．

実験設定案②

ロボットに搭乗したアリは，自身がロボットを操縦していることを認知するのかが検証する．ロボットが走行するに十分な空間を持つ直線状の実験路にて走行実験を行い，走破に費やした時間を集計し検証する (Fig. 9)．ロボットの四方に距離センサを搭載し，ロボットが壁面に接近しセンサが反応した場合，強制的にそれ以上の壁面への進行を抑制する．アリが壁方向に進行してもロボットは動作しないため，実験路を走破するためにはアリ自身が方向転換し，目的地を目指す必要がある．試行回数を重ねていくにつれ走破時間が減少傾向にあれば，アリはロボットを操縦していることを認知していると言え，社会性昆虫であるアリが単体で学習し課題を解決し，人工的に与えられた環境に適応することが解明されたと言えるのではないかと．

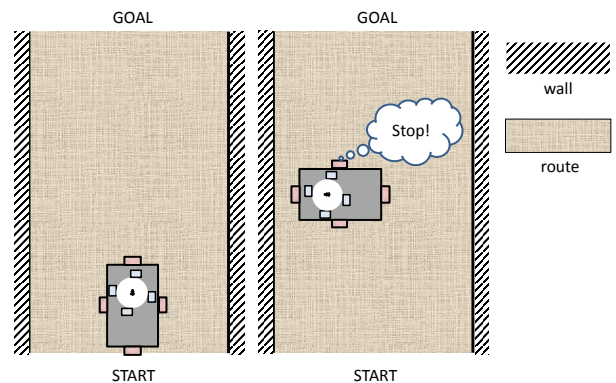


Fig. 9 Ant controls ANTAM

5. 終わりに

アリの歩数カウント能力を解明するために、球体全方向移動補償装置を開発し実験を行った。しかし、アリの行動とロボットの動作を完全に同期させるシステムが未熟なため、動作は不十分であった。また、球体の制御自体にも課題が残った。現在の制御では球体の回転速度が不安定で、回転時に振動が生じるなどの課題がある。アリは振動に敏感であるため[6]、球体の回転による振動でアリ本来の行動を示さない可能性が高い。アリにストレスを与えずに全方向移動を補償する制御を目指していく。その他、ロボットの慣性の影響により生じる発進と停止時の振動により、球体上のアリの位置が僅かに変位し、アリの意図している進行方向に対して誤差が生じる可能性もある。ロボットの振動を抑制する制御も開発しなければならない。

ANTAM を早急に開発し、アリの歩数カウント能力の詳細を解明すると共に、その他の種のアリについても同様の実験を行い、生物学的な新たな発見があればロボティクスによって他分野への貢献が深化するものと考え。

文献

- [1] 荻原悠佑, 西村信一郎, 桐谷祐司, 前田一樹, 泉俊輔, 秋野順治, 粟津暁紀, 西森拓, 走光性と走化性による蟻の採餌行動の定量的解析, 日本物理学会講演概要集, Vol. 65, p337, 2010.
- [2] M. Wittlinger, R. Wehner, H. Wolf, The Ant Odometer: Stepping on Stilts and Stumps, Science, Vol. 312, pp. 1965 - 1967, 2006.
- [3] 高嶋淳, 峯岸諒, 倉林大輔, 神崎亮平, 脳-身体-環境の相互作用ループに能動的に介入する昆虫微小脳を用いた脳-機械融合系の構築, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 4, pp. 445-454, 2010.
- [4] 藤澤庸助, アオオビハエトリのアリを狩る行動等の観察例, KISHIDAIA, No. 96, pp. 68-74, 2009.
- [5] H. Torres-Contreras, R. A. Vásquez, A field experiment on the influence of load transportation and patch distance on the locomotion velocity of *Dorymyrmex goetschi*(Hymenoptera, Formicidae), Insectes Sociaux, Vol. 51, pp. 265-270, 2004.
- [6] 勝又綾子, 尾崎まみこ, アリのケミカルコミュニケーション, 比較生理化学, Vol. 24, No. 1, pp. 3-17, 2007.