

計測自動制御学会東北支部 第 254 回研究集会 (2009.12.17)

資料番号 254-4

# トゲオオハリアリのパトロール行動をモチーフとした 群ロボットシステム

A study on Multirobot System Inspired by a Patrol of *Diacamma sp.*

○ 木島 壮太, 菅原 研

○ Sota Kijima, Ken Sugawara

東北学院大学 教養学部 情報科学科

Department of Information Science, Tohoku Gakuin University

キーワード：群ロボット(multi-robot),分散物収集(foraging behavior),  
社会性昆虫(social insect),トゲオオハリアリ(*diacamma sp.*)

連絡先：〒981-3193 仙台市泉区天神沢 2-1-1 東北学院大学教養学部情報科学科  
菅原研, Tel/Fax:022-773-3306, E-mail: sugawara@cs.tohoku-gakuin.ac.jp

## 1. はじめに

これまで多くの研究者により,複数台のロボットが協調し機能する群ロボットシステムの研究が進められてきている<sup>1)</sup>.群ロボットシステムは従来の単体のロボットシステムに比べて,作業時間・作業空間・力(エネルギー)の分散ができるという利点がある.

群ロボットシステムの構成法は大別して,集中管理型と自律分散型の2種類の方法が考えられる.特に自律的な個体が相互作用により機能する自律分散型システムは,作業環境などの変化に対し柔軟性の高いシステムの構築が可能であるとして,研究が進められていると共に様々な分野での応用が期待されている<sup>2,3)</sup>.しかし自律分散型システムにおいて,どのようにシステムを構築すべきかという設計方法は未だ確立されておらず,これまでも様々な方法が考えられている.その中の一つの方法として,すでに自律分散的特性を有する既存物をモデルとして,行動アルゴリズムを設計し,システムを構築するというものが考えられる.既存の自律分散型システムの中で最も有用なもののひとつとして,生物システムとその行動ア

ルゴリズムがあげられる.中でも比較的単純な個体が集団になることで高度化して機能するアリをモチーフとした研究は多く行われている<sup>4)</sup>.

## 2. 目的

本研究では,アリの中でもコロニーのサイズが小さいトゲオオハリアリの行動アルゴリズムを応用し,自律分散的に分散物を収集するシステムの提案を行う.分散物の収集タスクは,広大な施設の清掃や,惑星の資源サンプルの収集や,人間の活動における極限条件下での作業など,様々なところで応用が可能である.

## 3. 提案する行動アルゴリズム

本研究では,トゲオオハリアリの女王がワーカーに対して行うパトロール行動に着目する.

トゲオオハリアリの女王は,ワーカーへ接触することによってワーカーの産卵を抑えていることが知られている<sup>5)</sup>.女王はすべてのワーカーの位置や状態を個別に記憶して行動していないにも関わらず,適正なパトロール時間で全てのワーカーと接触することができている.この行動を説

明するメカニズムとして, 偶然接触したワーカーの情報を元に女王はパトロール行動の周期を決めているという仮説が提唱されている<sup>6)</sup>.

この行動アルゴリズムを分散物の収集システムの構築に応用する. 具体的なシステムの構成として, ゴミを地面から集める役 (以下ワーカー) と, ロボットからゴミを集める役 (以下マスター) に分け, ワーカーとマスターが接触した際にワーカーが集めたゴミをマスターが回収するものを考える. マスターは回収したゴミの量から, ワーカー全体のゴミの所持量を予測し, 出来る限り移動量が少ない動作でゴミの収集を行うシステムを構築する.

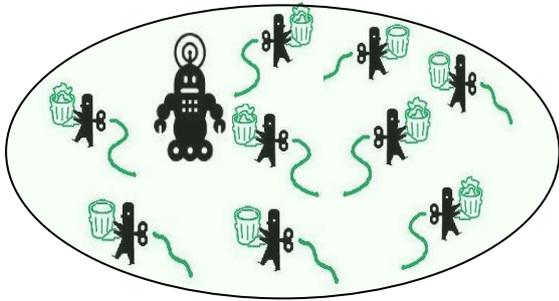


図1 システムの概念図

## 4. シミュレーション

本研究では空間, 時間ともに離散的に取り扱う状況でシミュレーションを行った(図2).

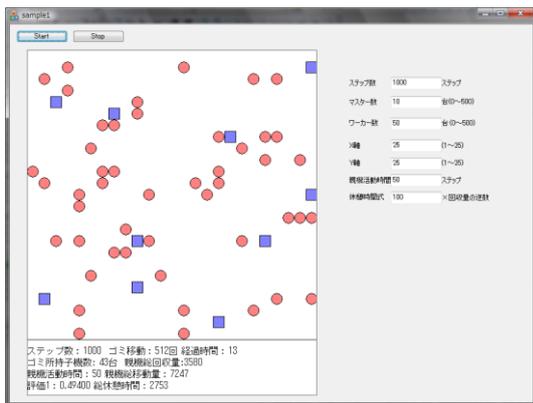


図2 シミュレータの実行画面

### 4.1 シミュレータにおけるアルゴリズム

本シミュレータにおけるマスターとワーカーの行動アルゴリズムを図3に示す.

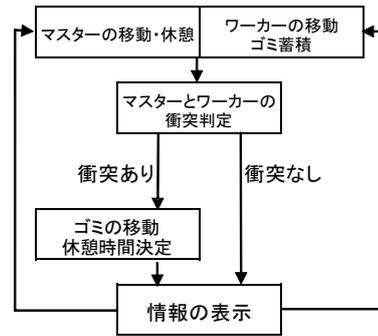


図3 シミュレータのアルゴリズム

まず全てのマスターとワーカーが1マスずつ前後左右の4方向のいずれかにランダムに移動する. その際に, ワーカーはゴミを1単位拾う. 次にマスターとワーカーの接触判定を行い, 接触があった場合はワーカーからマスターへのゴミの移動および, マスターの休憩時間の算出を行う.

また本シミュレータでは, 図3に示すマスターの移動から始まり情報の表示を行うまでの1サイクルを, 1ステップとして取り扱う.

### 4.2 行動時間の算出方法

本システムでは, ワーカーからのゴミの量が多い場合は休憩時間を減らし, ゴミの量が少ない場合は休憩時間を増やすことで, マスターの行動時間の最適化を図る. ワーカーからのゴミの量から以下のように行動時間を決定することとする.

$$T_m = C_m$$

$$T_r = C_i g_i^{-1}$$

ここで  $T_m$  はマスターの移動時間,  $T_r$  はマスターの次の休憩時間,  $g_i$  はワーカーから受け取るゴミの量,  $C_m, C_i$  は定数である.

この式を用いて, マスターが偶然出会ったワーカーから移動されてきたゴミの量から休憩時間を算出する.

### 4.3 結果

行動アルゴリズムの有効性を検証するために, マスターの休憩時間とワーカーの個体数の関係性について調べた. 本システムの仕様では, ワーカーの個体数が増加した場合, ワーカーの所持す

るゴミの量の総和が増加する。それにより、個々のワーカーの平均ゴミの所持量も増加する。そのことから、個々のワーカーから移動されるゴミの量にて判断されるマスターの1回毎の休憩時間が短くなることが期待される。

マスターの数を1台、ワーカーの数を10~100台とし、各条件下で5回試行して、その平均値を求めた。図4にマスターが示す1回の休憩時間の平均値を示す。

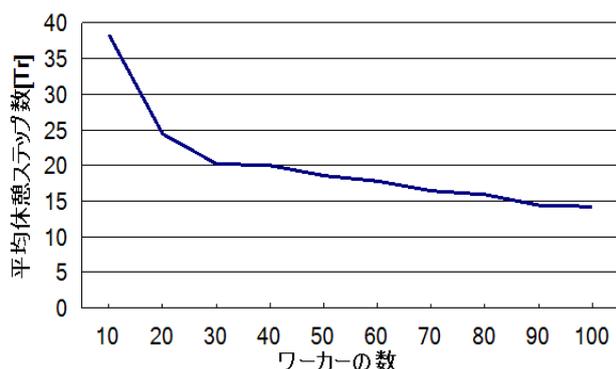


図4 ワーカーの数ごとのマスターの休憩時間の変移

この結果から、ワーカーの数が増加するごとにマスターの1回の休憩時間の平均が短くなっていることが確認できる。

#### 4.4 考察

システムの効率を評価する1つの指標として、マスターの回収効率があげられる。マスターが少ない移動でワーカーからゴミを多く回収できた場合、高効率でワーカーからゴミを回収できたと言える。回収効率 $\eta$ の評価を次の式により行う。

$$\eta = \frac{g_T}{D_M}$$

ここで $g_T$ はマスターの一定時間内でのゴミ回収量、 $D_M$ はマスターの移動量である。

図5に本研究で提案したアルゴリズムに基づいたシステムの回収効率と、休憩を行わないシステムの回収効率を示す。

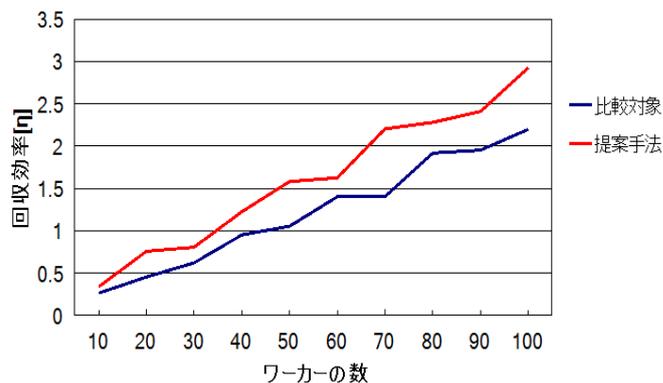


図5 休憩の有無による移動効率の比較

この結果から、回収効率という点で、提案システムが有効に機能していることが分かる。

## 5. 今後の予定

小型移動ロボットを用いて実機による検証実験を行っていく予定である。また、実装されたシステムとシミュレーションの結果を比較し、さらなるシステムの評価を行うことを検討している。

## 参考文献

- George A. Bekey 著 「自律ロボット概論」(株)毎日コミュニケーションズ(2007年)
- 伊藤宏司 編著「知の創発」NTT出版(2000年)
- 長田正 編著「自律分散をめざすロボットシステム」オーム社(1995年)
- B. Siciliano, O. Khatib(eds.) Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag(2008)
- Tomonori Kikuchi, Takaya Nakagawa&Kazuki Tsuji: Changes in relative importance of multiple social regulatory force with colony size in the ant *Diacamma* sp From Japan. ANIMAL BEHAVIOUR, 2008, 76, 2069-2077. (2008)
- 八重樫和之, 林叔克, 菊地友則, 辻和希, 菅原研. トゲオオハリの女王が示すパトロール行動解析とモデル化. 計測自動制御学会東北支部第249回研究集会, 資料番号249-2. (2009)