

平成21年5月27日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760198
 研究課題名（和文）化学コミュニケーション型群知能ロボットシステムの構築
 研究課題名（英文）Development of swarm intelligent robotic system based
 on chemical communication

研究代表者
 菅原 研（Sugawara Ken）
 東北学院大学・教養学部・准教授
 研究者番号：50313424

研究成果の概要：ロボット間コミュニケーションに化学物質を導入した群ロボットシステムの応用的な側面に焦点を当てた研究を行った。主な成果を2つ示す。①分業システムへの適用：化学物質を導入した確率変動モデルを提案し、シミュレーションと実機実験により、その有効性を示した。②経路探索問題への適用：迷路を協調的に解く問題を通して化学コミュニケーションの有効性について論じた。揮発性のある化学マーカの導入により、迷路の構造が動的に変化する場合でも協調して適応的に迷路を解くことができることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	300,000	3,800,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：群知能ロボット、化学物質場、仮想フェロモン

1. 研究開始当初の背景

本研究課題は群知能ロボットシステムに関連するものである。群ロボットが効率的に機能するためにはロボット間コミュニケーションが不可欠であるが、その通信手段のほとんどが、電波や光、音などの物理的メディアによるものであった。生物界では、要素間のコミュニケーション手段として、化学的メディアも積極的に用いられている。個体レベルでは社会性昆虫をはじめ、化学物質によるコミュニケーションを図っている生物が数多く存在する。細胞レベルになると、物理的なメディアが使用されるケースはほぼ皆無で

あり、そのほとんどが化学シグナルによるコミュニケーションとなっている。

化学的メディアは物理的メディアでは現れにくい「残留・蒸発・拡散」などの興味深い特性を有しており、かつ、「個体間直接相互作用」のみならず「場を介した間接相互作用」にも適用可能なメディアである。現在、ロボット間コミュニケーション手段として化学メディアが積極的に利用されているケースはほとんどない。しかし、その特徴をうまく利用している生物にヒントを得たシステムを研究することで、マクロなシステムのさらなる高性能化、および、マイクロ・ナノ

ロボット工学における群ロボットの個体間コミュニケーション手段の基礎の確立に寄与することが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では化学メディア（フェロモン）を用いて高度な社会性を発現させているアリをモチーフとして、群ロボットシステムに導入することの有用性を明らかにする。具体的なタスクを複数設定し、そのパフォーマンスを通して、化学コミュニケーションが果たす役割と有効性について論じる。特に実機への搭載に主眼をおき、実証実験的立場から研究を行っていくものとする。

(1) 市販のセンサーでセンシング可能な揮発性物質の拡散・蒸発特性の計測とその結果に基づいた仮想フェロモンシステムのチューニング

(2) 複数の揮発性化学物質が作り出す複雑な化学物質場による群ロボットの協調行動（分業など）の発現と解析

(3) 揮発性化学物質を介して相互作用する群ロボットの経路探索問題への適用

3. 研究の方法

(1) ロボット実機を用いて実空間での有効性を論じるために、実際の揮発性化学物質を用いた化学コミュニケーション型ロボットシステムの試作と、ヴァーチャルな化学物質によりコミュニケーションを図るロボットシステムのための実験環境の確立を目指し、以下の項目を研究する。

①揮発性物質の拡散・蒸発特性の計測
比較的容易に入手できるアルコールセンサーを用いて、滴下したエタノールが作り出す濃度場の時間発展を計測する。

②仮想フェロモンシステムのチューニング
得られたデータをもとに、二次元平面でのアルコールの拡散速度と蒸発係数を算出し、同様の振る舞いを示す仮想フェロモンをコンピュータグラフィックスで表現する。

③V-DEAR への実装

仮想的化学コミュニケーション場を構成できる V-DEAR に実装し、その設備を用いてロボット実験ができる環境を構成する。

(2) 具体的なタスクを通して群ロボットにおける化学コミュニケーションの有効性を検証する。設定するタスクは主として以下の2つである。

①複数種分散物収集（餌集め）タスク

分業により、分散物を協調的に収集するタスクを設定した。分量比の異なる分散物を収集するタスクにおいて、それぞれの分散物収集に携わるロボットの台数比を、分散物の比率に自律的に合わせることを要求されるものである。作業切り替えを確率的に行う単純確率モデルをベースとして、化学物質を導入し

た確率変動モデルを提案し、「目標比率からの誤差」「外乱に対する応答性」などの特性解析を行う。

②経路探索（迷路抜け）タスク

経路探索タスクのうち、迷路を協調的に解く問題を通して化学コミュニケーションの有効性を示す。ゴールが明示的でない迷路を簡易に解くときにポイントになるのは、「袋小路を見つけること」、「見つけた袋小路の方向に進まないこと」である。そこで袋小路に至る直前の分岐点において、化学物質を散布することで袋小路の有無をマーキングする。探索中のロボットがこの物質を検出した際、その濃度に応じて、その化学マーカを通過する確率を変化させる。揮発性のある化学物質をマーカとすることで、迷路の構造が動的に変化する場合でもロボットが協調して迷路を解くことができる。

4. 研究成果

(1) 市販のアルコールセンサーを搭載したロボットシステムを開発した。分子量の小さいアルコール4種類を用いて、センサーのアルコールに対する電気特性を入念に調べることによって、ロボットシステムへの適用に必要な基礎データを得るとともに、道しるべフェロモンを散布、トレースすることで2点間を行き来できることを示した。

(2) エタノールによる濃度場の時間発展の計測と仮想フェロモンシステムのチューニングについては、安定した解析結果を得ることができず、今後の課題として残った。

(3) 分散物収集タスクに関して、主としてシミュレーションによる解析を行った。均一な群ロボットシステムの分業メカニズムについて論じ、①均質なロボット群が自発的に分業を行い、かつ、②その比率を設定通りに維持するダイナミクスの確立を目指した。ここでは変動確率モデルを提案すると共に、主に現実の状況に近い作業空間での特性解析を行った。特に比率制御の精度と個体数の関係に着目し、基本となる単純確率変動モデルと比較して、提案した変動確率モデルに基づくシステムは、ロボットの台数に大きく依存することなく、2桁上の精度で比率維持の安定性が保てることを明らかにした（図1）。なお、仮想フェロモンシステムを用いた小規模なロボット実験によって、実世界でも有効に機能することが示している（図2）。

(4) 経路探索タスクに関して、実証実験的な研究を行った（図3）。ゴールが明示的でない迷路を集団で簡易に解くために、袋小路への入り口に化学物質をマーキングする方法を導入した。このマークの濃度に対し、濃度が低いほどそのマークを通過する確率を下げる、とした単純なアルゴリズムを考案し、その有効性を検証した。このアルゴリズムは、

場を介した間接的なコミュニケーションの
ひとつの好例と考えることができる。ここで
提案した手法は、アルゴリズムは単純であり、
ロボットの台数に応じた探索時間の短小が
期待できる手法でもある。化学物質を導入す
るメリットは、適切な強度の揮発性マーカ
ーを導入することで、迷路の構造が動的に変
化しても、その状況に柔軟に適応した解を求
められるということにある。

(5) アリの化学コミュニケーションの特性の モデル化

本研究課題の途中から盛り込んだ研究の成
果である。アリをモチーフとする研究である
から、現実のアリの行動特性を見ることが必
要となった。そこで、行動レベルで興味深い
特性を有するトゲオオハリアリの行動解析
とモデル化を行った。接触によりコロニーの
秩序を保っていることを行動レベルで見
ることができるトゲオオハリアリのコロニー
では、女王とワーカーが一定時間内に接触
(化学物質の介在) することでコロニーの秩
序を保つことが知られている。この行動を簡
単なダイナミクスで記述し、社会生理学との
接点を作るとともに、化学コミュニケーション
型分業体制を有する親子型群清掃ロボッ
トシステムの開発へ向けた基本的なアイデ
アを導き出すことができた。

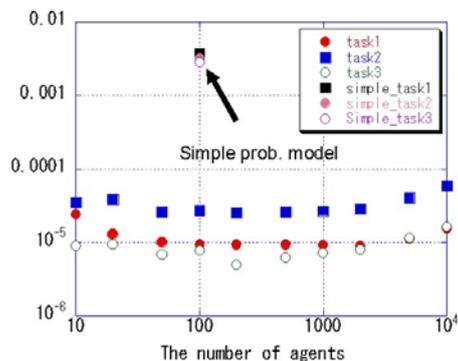


図1 台数変化に対する誤差

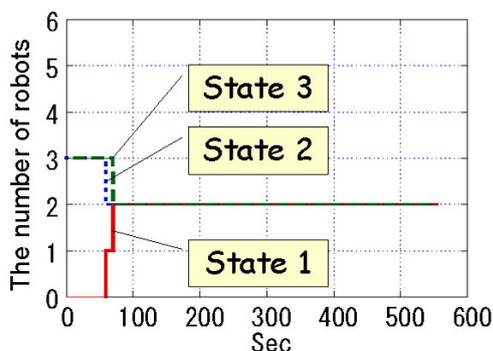


図2 実機実験による安定性の検証



図3：経路探索中の小型ロボット

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文] (計8件)

①K. Yaegashi, K. Sugawara, Y. Hayashi, "Modeling of Patrol Behavior of Diacamma's Gamergate", Proc. of 14th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (2009) 664-665.

②Mai Yuki, Yoshikatsu Hayashi, Ken Sugawara, "Analysis and Modeling of Diacamma workers' Behavior", Proc. of 14th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (2009) 666-667.

③K. Sugawara, "Collective Motions and Formations of Multi-robots Based on Simple Dynamics", Proc. of 2007 IEEE/ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering (2007) 122-125.

④K. Sugawara et al., "Collective Motion and Formation of Simple Interacting Robots", Proc. 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Robotics and Systems (2006) 1062-1067.

⑤K. Sugawara, T. Mizuguchi, "A Study on Proportion Regulation Model for Multi-Robot System", Proc. 8th Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotic Systems (2006) 217-226.

⑥Yoshikatsu Hayashi, Mai Yuki, Ken Sugawara et al. Analysis and modeling of ants' behavior from single to multi-body, Artificial life and robotics, 13 (2008) 120-123.

⑦K. Nishinari, K. Sugawara, et al., "Modelling of Self-driven particles: Foraging ants and pedestrians", Physica A, 372, (2006) 132-141.

⑧T. Mizuguchi, K. Sugawara: "Proportion Regulation in Task Allocation Systems", IEICE Trans. Fundamentals, E89-A (2006) 2745-2751.

[学会発表] (計5件)

①菅原 研, "アリロボットが示す適応的行動と自律分散制御", 日本進化学会第10回東京大会要旨集 (2008).

②菅原 研, 木村 友徳, "化学コミュニケーションによ

る群ロボットの協調作業", 第17回インテリジェント・システム・シンポジウム (2007).

③ K. Sugawara, "Proportion Regulation in Division of Labor for Multi-agent System", Proc. of 2nd Int. Symp on Mobiligence (2007) 203-206.

④ 庄司瑛彦, 菅原研, "化学走性を有するロボットシステムの開発", 平成18年度 第5回 情報処理学会東北支部研究会(2007).

⑤ 木村 友徳, 菅原 研, "分業する群れロボットのための比率制御に関する研究", 計測自動制御学会東北支部 第233回研究集会(2006).

〔図書〕 (計 1 件)

K. Sugawara, et al., "Human-Robot Interaction", I-Tech Education and Publishing (2007).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 研 (SUGAWARA KEN)

東北学院大学・教養学部・准教授

研究者番号：50313424

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者