

# 分子シミュレーション技法を応用した 移動群ロボットの自律分散制御

名古屋大学大学院工学研究科 清水 正宏<sup>1</sup>, 石黒 章夫, 増渕 雄一, 土井 正男  
東北大学大学院理学研究科 川勝 年洋

## 1 はじめに

本発表では、2次元平面上において障害物をさけて移動する群ロボットのリアルタイム形態制御に分子シミュレーション技法を応用したシミュレーション結果を報告する。

ロボット工学の分野において、群を一つのロボットシステムと捉えると、機械的な固定構造に基づくロボットに比べて、優れた環境適応性や耐故障性、拡張性といった利点を有することが期待されている [1]。しかしながら、過去の研究において、このようなロボットの群を制御することは難しいと言われてきた。伝統的に群ロボットを制御する場合、設計者は、まず1台のロボットの制御を考え、次に2台目のロボットを1台目のロボットの制御結果を考慮して制御を考える。そして、同様の手順を繰り返して多台数のロボット制御を設計することになる。そのために、制御則は ad-hoc で煩雑なものとなりやすい傾向があった。

これに対し、物理学の分野では、古くから分子のシミュレーションなどの多体系を扱う技法が確立されている。本研究では、分子シミュレーション的なアプローチにより、多体系の凝集現象を計算機上で作り出し、これら多体を群ロボットに見立てて、各ロボット間における「相互作用」を「行動制御則」とすることを提案する<sup>2</sup>。設計者は、シミュレーションにおけるロボット間相互作用を実現するようにアクチュエータ、センサ機構を組み合わせた機械構造により実際のロボットを構成できる。このようにして、群ロボットの行動制御の問題に対し、分子シミュレーション技法を応用して、より一般的で、単純な制御則の構築を目指す。

## 2 モデルとシミュレーション結果

図1がモデル図とシミュレーション結果の例である。ここでは、左図左下の群ロボットが障害物乗り越え光源位置まで到達することをロボットのタスクとして設定する。ロボットは、半径  $a$  の円として表されるものとする。 $i$  番目のロボットには次式のように相互作用力として  $F_i^{LJ}$ ,  $F_i^{FENE}$ ,

<sup>1</sup>E-mail: shimizu@stat.cse.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>シミュレーションにおけるロボット間の相互作用による引力斥力は、実機においてはモーター駆動への制御出力として表現される。決して、分子間相互作用のようなポテンシャルが実際にロボット間に働くわけではないことに注意されたい。

## 研究会報告

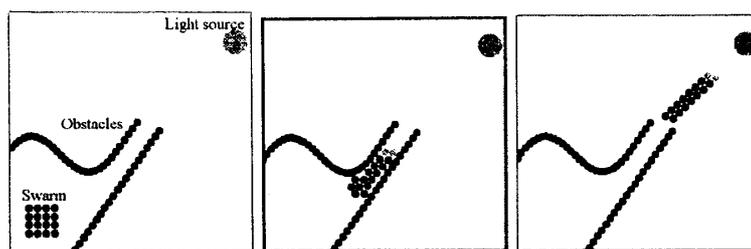


図 1: モデル図とシミュレーション結果の例

$F_i^V$ ,  $F_i^F$  が働く. また, 各ロボットと光源の間に, 障害物やほかのロボットといった光を遮るものが無い場合は, 光源方向へのドライビングフォースとして一定の力  $F_i^L$  を与えるものとする.

$$F_i^{LJ} = -\sum_{i \neq j} \left[ \phi_0^{LJ} \nabla_i \left\{ \left( \frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^{12} - 2 \left( \frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^6 \right\} \right] \Theta(6a - |r_{ij}|) \quad (1)$$

$$F_i^{FENE} = -\nabla_i \left[ -\frac{1}{2} k (R_0^{FENE})^2 \times \ln \left\{ 1 - \left( \frac{\min\{r_{ij}\}}{R_0^{FENE}} \right)^2 \right\} \right] \Theta(6a - |r_{ij}|) \quad (2)$$

$$F_i^V = -6\pi\eta a v_i \quad (3)$$

$$F_i^F = 6\pi\eta a \sum_{i \neq j} \left[ \left\{ \frac{1}{8\pi\eta r_{ij}} (\mathbf{I} + \hat{r}_{ij}\hat{r}_{ij}) \right\} (r_{ij}) \cdot \tilde{F}_j \right] \Theta(6a - |r_{ij}|) \quad (4)$$

$$\tilde{F}_j = F_j^V(v_j) + F_j^{LJ}(\{r_{jk}\}) + F_j^L(r_{jL})$$

ここで,  $\phi_0^{LJ}$ ,  $k$ ,  $R_0^{FENE}$  は, ポテンシャルの強さを決める定数である.  $\sigma$  は, 各ロボットの中心から LJ 型ポテンシャルの極小点までの距離を表し,  $R_0^{FENE}$  は, 各ロボットの中心から FENE ポテンシャル型ポテンシャルの発散点までの距離を表す.  $\sigma$ ,  $R_0^{FENE}$  によって, 凝集度合いを制御することができる.  $\eta$  は, 仮想的な粘度である. (1)(2) は, 分子間相互作用的なルールをロボット間に与えるもので凝集状態を作り出す. (3)(4) は, 流体力学的な相互作用ルールをロボット間に与えるものである [2]. (3) により凝集状態の安定化, (4) により群ロボット内部に流動を起こすことができ, 障害物に応じた群の形態変形を可能にしている. (1)(2)(4) の  $\Theta$  関数は, 実機を想定した効果で各ロボットが持つ, 距離を測定するセンサなど各種センサの検知可能な限界距離を設定する.

## 参考文献

- [1] A. Kamimura, S. Murata, E. Yoshida, H. Kurokawa, K. Tomita, and S. Kokaji: "Self-Reconfigurable Modular Robot - Experiments on Reconfiguration and Locomotion -", in Proc. of IROS 2001, pp.590-597 (2001)
- [2] M. Doi and S.F. Edwards: "The Theory of Polymer Dynamics", OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS (1986)