

課題番号	Q21DS-03
課題名（和文）	ロボット間の位相関係を保持する群ロボットの集団移動に関する研究
課題名（英文）	Study on Regular Tessellation-Based Collective Movement for a Robot Swarm
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 総合研究所 特任助手 氏名 山岸航平
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位）  氏名

#### 研究成果の概要（和文）

本研究は、異なるタスクに適した集団の規模や形状、構造を保持しながら行動するための集団移動手法の開発を目指す。分散制御によってこの目的を達成するために、隣接するロボット間の距離ポテンシャルと角度ポテンシャルを合わせた相対位置制御モデルを提案し、このモデルに基づく集団移動手法を開発した。提案手法は数値計算による動作解析とモデルを適用した実機ロボットを用いてその性能を評価した。

#### 研究成果の概要（英文）

This study develops a collective movement method to behave while maintaining the swarm structure of a robot swarm suitable for varying tasks. To this end, this study proposed a relative positioning control model based on local distance and angular potentials between neighboring robots. The performance of the proposed method was evaluated using numerical simulations and actual robots with the model implemented.

## 1. 研究開始当初の背景

多数のロボットを協調制御する群ロボットシステムはタスクに応じて効果的な集団の規模、形状、構造が異なる。群ロボットシステムによる解決が期待される協調搬送と観測を比較すると、それぞれに対してロボット群は搬送物の重さを支えるために高密度な集団構造、観測領域の重複を抑制するために低密度な集団構造を構築し、その構造を保持する必要がある。また、搬送物や観測領域の大きさや形状に応じた集団の規模や形状も適応する必要がある。そして、タスクに従事する際、構築された集団を保持し、一つの大きなロボットのように行動しなければならない。

## 2. 研究の目的

群ロボットシステムが異なる種類のタスクに適した集団構造を保持しながら協調行動するための集団移動手法の開発を目的とする。これまでの群ロボットの集団移動制御は集団を保つことに重点を置いていたため、隣接ロボット間相対距離に応じた局所ポテンシャルに基づき、集団が崩壊しないように凝集するようなアプローチが多い。これに対して、本研究は隣接ロボット間の方位に基づく角度ポテンシャルを導入することによって相対位置を定めるアプローチを提案し、規則的な相対位置で平面を充填可能なハニカム、正方、六方格子構造に着目した異なる充填密度の集団形成を具現化する。そして、このポテンシャルモデルに基づく集団移動制御手法を開発し、実機ロボットで制御できることを検討する。

## 3. 研究の方法

本研究課題は以下のように研究開発を進める。

### (1) 異充填密度ポジショニングモデルの開発

各ロボットが各自の能力で収集可能な局所情報に基づく、異充填密度で集団を構築するポジショニングモデルを検討する。

### (2) 数値シミュレーションによる性能評価

(1)で開発したモデルを導入したロボット群に対して、様々な条件下で利用できることを

評価する。

### (3) 実機ロボットによる性能評価

(1)の制御モデルが実ロボットに実装できることをセンサ精度の観点から評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 異充填密度ポジショニングモデルの開発

本研究の前身としてこれまでにレナードジョーンズポテンシャルに基づく距離ポテンシャルを用いた集団移動モデルを開発した。本研究はこの距離ポテンシャルに加えて、隣接ロボットの方位に作用する簡素な角度ポテンシャルを適用した。あるロボット間( $i-j$ )に作用する制御ポテンシャルを次に示す。

$$\begin{cases} f_i^D(r_{ij}) = \frac{E}{|r_{ij}|} \left( A \left( \frac{\sigma}{|r_{ij}|} \right)^A - B \left( \frac{\sigma}{|r_{ij}|} \right)^B \right) \hat{r}_{ij} \\ f_i^A(\theta_{ij}) = \sin(2L\theta_{ij}) R\left(\frac{\pi}{2}\right) \hat{r}_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $f_i^D$ はロボットの直径 $\sigma$ と相対距離 $r_{ij}$ に基づく距離ポテンシャル、 $f_i^A$ は相対距離 $\theta_{ij}$ に基づく角度ポテンシャルである。 $f_i^D$ は引斥力の強度を決定するに基づき係数 $E$ を最大引力が1になるように設計する。通常、 $A$ 、 $B$ は12、6が適用される。そして、これらの作用の合成によって、ロボットは近傍数 $L$ の値(3, 4, 6)に応じて図1のような異なる密度の位置に収束する。なお、緑が距離ポテンシャル、青が角度ポテンシャルの作用方向を示す。

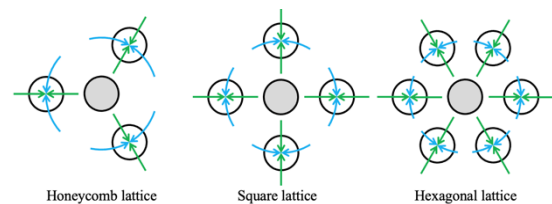


図1 提案モデルによる収束位置

提案したポテンシャルによって形成される集団の1台をリーダーとし、それに追従するリーダーフォロワ形の集団移動手法を適用する。この手法は隣接するロボットの中でリーダーに近いロボットに対して式(1)の作用を大きくし、反対にリーダーに遠いロボットに対してその作用を小さくすることで集団移動を達成することができる。

## (2) 数値シミュレーションによる性能評価

先述した提案手法を用いて、図 1 に示した異なる密度で様々な形状の集団を形成し、その形状を保持しながら移動できることを確認した。ここでは、2 つのオブジェクトを同時に搬送できるようなリボンと形状の再現性を確認することができるスターの特徴ある集団形状を用いた集団移動の性能について掲載する。各密度でこれらの集団形状を保持しながら移動する様子を図 2 に示す。

この結果より、その形状を保持しながら円を描くように集団移動することができた。また、提案モデルがロボット数に依存しないことを確認するために、これらの集団の規模を 1~70 層の間で変えても移動できることを確認した。その結果、直径 0.2m のロボット間収束位置に対して最大 0.044m, 2.7deg の形状変化を確認した。これらの値は最大作用距離と角度に対して十分小さいため、提案手法がロボット数に依存しないことを意味する。

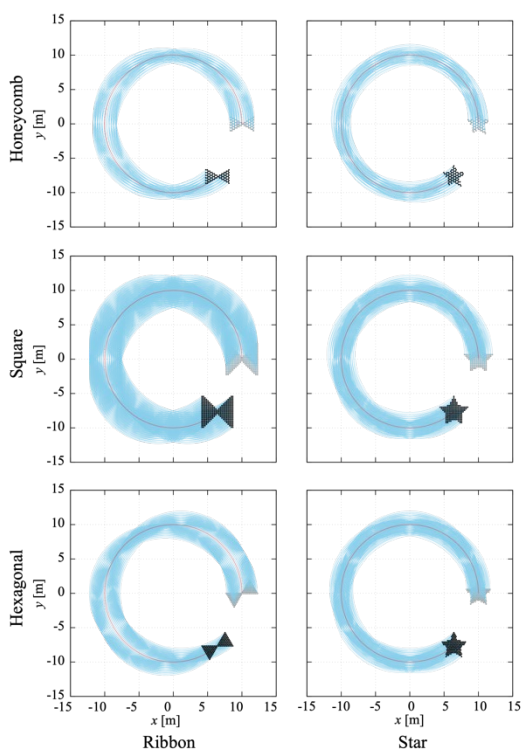


図 2 提案手法による集団移動の様子

## (3) 実機ロボットによる性能評価

数値計算的に目的の集団移動を達成した。続いてこの手法が実世界のロボットに実装することができ

ることを確認する。シミュレーション上では正確な入出力ができるが、実世界ではノイズが入出力に重畳し、制御の精度に限界がある。そこで、実世界実装に向けたノイズや精度の影響がある環境下においても制御できることを検証した。ロボットスペックは直径 0.15m, 速度 0.02m/s であり、制御パラメータ  $A, B$  を 2, 1 のように緩い状態に設計した。このロボットを図 3 のように配置し、無線 LAN を介して直線移動するように制御する。

この結果より、実世界のノイズがある環境下においても制御パラメータの調整によって制御を実装することができることが示唆された。

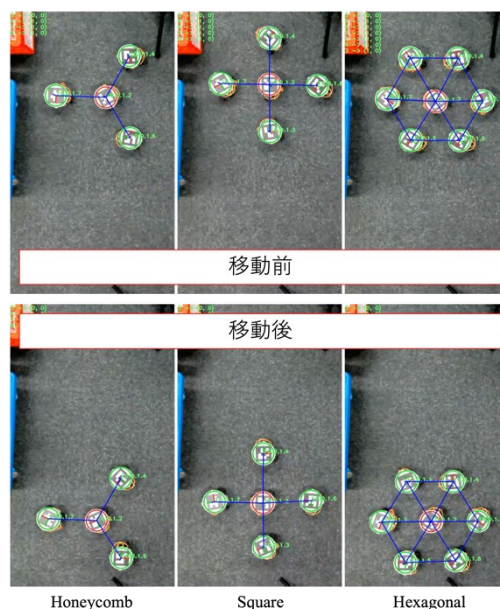


図 3 実機ロボットによる集団移動

以上より、任意のロボット群の規模、形状、充填構造を保持しながら集団行動する手法を提案し、シミュレーションと実機検証によってその有効性が示された。今後は完全な自律分散制御によって手法を実装するための研究開発を行うことが課題である。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① [Kohei Yamagishi](#) and Tsuyoshi Suzuki, “Collective Movement for a Robot Swarm While Maintaining the Structure of Lattices with Different Densities,” *SII2022*, 2022/1/9-12, オンライン開催