

## 学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 176 号	氏名	山岸 航平
論文題目	未知の環境およびタスク群における群ロボットの自律運用に関する研究		
論文審査委員会	委員 (主査) D○合	鈴木 剛	教授 (情報通信メディア工学専攻)
	委員 (副査) D○合	中島 克人	教授 (情報通信メディア工学専攻)
	委員 (副査) D○合	平野 章	教授 (情報通信メディア工学専攻)
	委員 (副査) D○合	五十嵐 洋	教授 (電気電子システム工学専攻)
	委員 (副査) D○合	藤川 太郎	准教授 (先端技術創成専攻)

### 研究の背景

多数のロボットを自律分散的に制御することによって、集団協調的に一つのタスクや並列分散的に多数のタスクを遂行することができる群ロボットシステムは、その制御形態から柔軟性・拡張性・頑健性に優れている。近年、このシステムは倉庫内搬送や圃場管理といった、大規模環境を対象にしたアプリケーションの実用化が進められている。このようなアプリケーションは特定の群制御による単一タスクを処理することができるが、適用の分野やシチュエーションを拡張するためには、集団協調や並列分散双方を活用し、複数のロボット群を環境問わず制御する自律制御を開発する必要がある。加えて、このような大規模なロボットシステムを自律分散制御で実装するには、各ロボットが周囲のロボットと干渉することなく同期的に通信・センシングできるような技法の開発が必要である。

### 研究の目的

本論文は、上述の群制御を実現するために、単一ロボット群の制御として、(1)目的地へ移送する集団移動、(2)分散しているロボットからロボット群を構築するための自己組織化、(3)自己組織化した集団形状を保持して移動する集団移動制御手法を開発する。また、これらの群を同時に運用するための複数ロボット群の制御として、(4)各ロボット群の集団形状を保持した相互衝突回避手法を開発する。加えて、以上のような自律分散群制御を実装するために必要な安全な通信・センシングのための、(5)送信方向を同期する局所的通信の集団同期手法を開発する。

### 研究の内容

本論文では、上述(1)～(5)に関するそれぞれの手法、実験について綴られている。

(1) 熱力学の相に基づき、集団形状が変化しない密集した群構造と、隊列形状が変化する柔軟な群構造を、作業環境の構造や形状に応じて遷移する群ロボットの集団移動手法を提案し、計算機実験によって、これらの集団形状変化を一つのモデルで制御できることを確認している。この成果は、

[1] Kouhei YAMAGISHI and Tsuyoshi SUZUKI, “Collective Movement Method for Swarm Robot based on a Thermodynamic Model,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 8(11), 2017.

[2] 特許第 6649480 号, “群ロボットおよび群ロボットの集団移動制御方法”, 2020, および, U.S. patent 10,962,987, “Group robot and collective movement controlling method for group robot”, 2021 としてまとめられている。

(2) 結晶成長に基づき、分散したロボットからタスク遂行に適した密度のロボット群を組織するプロセスを提案している。充填する構造の違いによる異なる密度をスケラブルに自己組織化できることを計算機実験で評価している。この成果は、

[3] Kohei Yamagishi and Tsuyoshi Suzuki, “Lattice-based Group Enlargement for a Robot Swarm based on Crystal Growth Models,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 12(12), 2021. としてまとめられている。

(3) 上記(2)で構築したロボット群の規則的な相対位置を保持する集団移動手法を提案し、計算機実験によって密度と形状の異なる様々なフォーメーションで集団移動でき、実機実験によって制御を実装できることを確認している。この成果は、

[4] Kohei Yamagishi and Tsuyoshi Suzuki, “Regular Tessellation-Based Collective Movement for a Robot Swarm with Varying Densities, Scales, and Shapes,” Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol. 7, No. 6, pp. 31-38, (2022). としてまとめられている。

(4) 複数のロボット群の集団制御を並列分散的に運用するために必要な群の相互衝突回避行動について、カオス理論に基づき回避方向を決定する手法を提案している。計算機実験により、接触条件によらず複数の集団間で相互衝突回避が可能であることを確認している。

(5) 自律分散制御による群ロボットシステムを実装するための局所的通信システムについて、個別通信の際に生じる送信信号干渉を回避する集団同期手法を提案している。提案手法に用いた非線形振動子モデルによる同期性能について、計算機実験によりその有効性を確認し、実機実験により提案手法が実装できることを示している。

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、今後の大規模ロボットシステムを集団的に運用するために有益な基盤技術であり、多様なロボット群の運用形態を提供する点で極めて有用であると判断できることから、本論文の価値は工学的な観点からも十分に評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。