

日本－イスラエル 国際共同研究「レジリエントな社会のための ICT」 2019 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	低機能ロボット群による環境外乱に頑健で継続的な自律的組織化システム構築手法
研究課題名（英文）	Realization of Sustainable Autonomous Self-Organizing Systems by Low-Functional Robots in Environmental Disaster Recovery
日本側研究代表者氏名	大下 福仁
所属・役職	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・准教授
研究期間	2018 年 6 月 1 日 ～ 2021 年 5 月 31 日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
大下 福仁	奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授	研究チームの統括、拡張 LCM モデルに関する研究の統括
和田 幸一	法政大学 理工学部 教授	低コスト実装手法に関する研究の統括
片山 喜章	名古屋工業大学 大学院工学 研究科 教授	プロトタイプ開発に関する研究の統括
亀井 清華	広島大学 大学院工学研究科 准教授	レジリエントな実装手法に関する研究の統括
山内 由紀子	九州大学 大学院システム情報 科学研究院 准教授	自然系システムモデルに関する研究の統括

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

本研究は、多数の低機能ロボットを自律的に動作させることで、外乱の多い環境でも安定的にタスクを実行できるフレームワーク（ロボットの機能とアルゴリズム）の確立を目指す。本年度は、日本主導部では、拡張 LCM モデルと自然系システムモデルの再検討を行ない、いくつかのタスクに対するアルゴリズムを開発することで提案モデルの有用性を検証する。イスラエル主導部では、モデルの低コストかつレジリエントな実現に有用な分散問題の検討とアルゴリズムの設計を進めていくとともに、実機ロボットによる実装に対する技術の検証を行なう。

LCM : Look-Compute-Move

3. 日本側研究チームの実施概要

上記の研究目標の達成に向けて、5つのワークパッケージ(WP)に取り組んだ。各 WP の実施概要は以下の通りである。

WP1（日本主導）：本 WP では、低機能ロボット群を実環境で効率よく動作させるために、そのアルゴリズムの設計に有用な拡張 LCM モデルの開発を目指す。同時に、低機能ロボット群を効率よく動作させるためのアルゴリズムの開発を目指す。2019 年度は、タスクの実現性とロボットの機能の間のトレードオフを解明するなど、拡張 LCM モデルにおいてロボットの機能の有用性について理解を深めた。具体的な成果は以下の通りである。

- (1) 視界に制限のあるライト付きロボットによる探索・集合
- (2) ペアロボットによる充填・直線形成
- (3) ライト付きロボットによる完全視野実現

WP2（日本主導）：本 WP では、従来の LCM モデルに化学反応系や生物系に着想を得た機能を追加し、自然系が有する安定性を低機能ロボット群に実現するための要件を明らかにすることを旨とする。2019 年度は自然系に見られる様々な種類のマクロな振る舞いを実現するための機能要件、性能限界に取り組み、以下の成果を得た。

- (1) ロボット群による情報伝達
- (2) ロボット群による凸包充填
- (3) 分割を実現する個体群プロトコル

WP3（イスラエル主導）：本 WP では、WP1 における LCM モデル及びその拡張モデル、WP2 における自然系に着想を得た理論モデルを実環境において実装するための手法とその検証をそれらにかかるコストを評価することにより、低機能ロボット群に対する低コストの実現を目標としている。2019 年度は、LCM ロボットモデルの低コストで自己安定性を持つ実装手法、ロボット群アルゴリズムの形式的検証、ロボットに搭載したライトとロボットの動作スケジュール間の関係を明らかにするなど低コストの実現手法を解明した。具体的な成果は以下の通りである。

- (1) LCM モデルの低コストかつ自己安定な実装手法（WP4 と連携）
- (2) モデルチェックによるランデブーアルゴリズムの形式的検証法
- (3) ロボットに搭載するライトとロボットの動作スケジュールの関係（WP4 と連携）

WP4（イスラエル主導）：本 WP では、WP3 における実環境での実装手法をもとに、レジリエントな実装を実現するための手法を明らかにする。実環境においては、実行環境の変化やロボット自体の故障等に適応的である必要がある。よって、ロボット集合が自己安定性を持ち、自己組織化することを目指す。また、ロボット集合での自己安定性実現のための基礎知識・技術獲得に向けた自己安定分散アルゴリズムの研究開発も同時に行う。2019 年度は、拡張 LCM モデル、自然系システムモデルといった抽象モデルに対する実現可能性と既存技術の環境への適応性及び故障耐性について整理を進め、レジリエントな実装の要素技術となるアルゴリズムの設計を行なった。具体的な成果は以下の通りである。

- (1) 局所的危険区域問題に対する自己安定アルゴリズム
- (2) ビザンチン故障耐性をもつ自己安定ロボットシステムの枠組み
- (3) LCM モデルの低コストかつ自己安定な実装手法（WP3 と連携）
- (4) ロボットに搭載するライトとロボットの動作スケジュールの関係（WP3 と連携）

WP5（日本・イスラエル主導）：本 WP では、本課題の各 WP の成果より、低機能ロボットの理論モデル(主に WP1、2 による)で規定される各機能と、それら個々の機能を実現するための検証結果(主に WP3、4 による)を礎とし、イスラエル側と連携しつつそれらを実機ロボットで実現する（搭載する）ための基盤技術の開発と検証を目的としたプロトタイプシステムの開発を目標とする。2019 年度は、前年度に引き続きプロトタイプシステム開発環境の整備を行うと同時に、プロトタイプシステム開発に着手し、基本機能の一部の実装を行った。