

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」 2020 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 ～ 2022 年 3 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、実機のハードウェア制約を考慮して拡張 LCM モデルと自然系システムモデルの再検討を行ない、新たなタスクの実現と汎用的な手法の検討を行なう。イスラエル主導部では、プロトタイプの開発を進め、主に実機における実現コストの観点から、モデルの低コストかつレジリエントな実現に有用なアルゴリズムの設計を再検討する。

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。2020 年度は、さまざまな拡張 LCM モデルにおけるタスクの実現性とロボットの機能の関係を明らかにし、汎用的なアルゴリズム変換手法の開発に向けた成果も得た。具体的な成果は以下の通りである。

- (1) 不透明なライト付きロボットの完全相互観測アルゴリズム
- (2) 視界に制限のあるライト付きロボットの最大独立点集合構成アルゴリズム
- (3) ロボットモデルにおける能力とロボットを動作させるスケジュールとの関係（WP3 と連携）
- (4) ペアロボットの形状形成・集合アルゴリズム
- (5) ファットロボットの集合アルゴリズム
- (6) ロボットのトラスグラフにおける集合アルゴリズム

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。2020 年度は自然基盤モデルの再検討に取り組み、以下の結果を得た。

- (1) モジュールロボットのための避難・探索アルゴリズム
- (2) 分割を実現する個体群プロトコル
- (3) 弱い観測機能をもつロボットのためのアルゴリズムと kilobot への実装（WP5 と連携）

WP3（イスラエル主導）：本ワークパッケージ（WP3）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。2020 年度は、前年度に引き続き、LCM モデルの実現可能性と実機ロボットによる実装に対する既存技術の検証を行った。具体的な成果は以下のとおりである。

- (1) ロボットモデルにおける能力とロボットを動作させるスケジュールとの関係（WP1 と連携）
- (2) ロボットシステムとアルゴリズムの検証法の確立（WP5 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。2020 年度は、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) 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
- (2) ビザンチン故障耐性をもつエージェント集合アルゴリズム
- (3) システム状況を把握するためのアルゴリズム
- (4) 情報伝達の効率化のためのアルゴリズム

WP5（日本・イスラエル主導）：本ワークパッケージ（WP5）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）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している。この目標を達成する過程としての 2020 年度の研究内容及び成果は以下のとおりである。

- (1) 理論的アルゴリズムの実機適用を見据えた自律分散ロボットアルゴリズムシミュレータの開発
- (2) 実機（Turtlebot3）のシミュレーション環境の再構築と整備