

別紙 HP 公開資料

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－フランス 研究交流）

1. 研究課題名：「自律型スワーム制御のための記号的発見と数值的機械学習の統合」
2. 研究期間：平成20年10月～平成24年3月
3. 支援額： 総額29,050,000円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	鈴木 英之進	九州大学大学院システム情報科学研究院	教授
研究者	安藤 晋	群馬大学工学部情報工学科	助教
研究者	高野 茂	九州大学大学院システム情報科学研究院	助教
研究者	Shao Hao	九州大学大学院システム生命科学府	博士課程学生
研究者	Boubou Somar	九州大学大学院システム生命科学府	博士課程学生
研究者	河野 明日旭	九州大学大学院システム生命科学府	博士課程学生
参加研究者 のべ 18 名			

フランス側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Sebag Michèle	CNRS	主任研究員
研究者	Schoenauer Marc	INRIA	主任研究員
研究者	Bredeche Nicolas	パリ第11大学	准教授
研究者	Meunier David	INRIA	博士研究員
研究者	Montanier Jean-Marc	パリ第11大学	博士課程学生
研究者			
参加研究者 のべ 8 名			

5. 研究・交流の目的

本研究は、個体が多数集まって「群れ」をつくることにより、1個体のみでは達成できないタスクを実現するロボットの効率的自律制御機構の設計を目指す。

このような制御機構の設計には多大な労力が必要であり、シミュレーション実験と実ロボット実験の間に大きなギャップが存在することが知られている。効率的な設計を実現するために、日本側（九州大学、群馬大学）は記号的学習、データマイニング、背景知識モデリング、フランス側（CNRS、INRIA、パリ第11大学）は確率的学習、統計的最適化と、互

いが世界的な水準を誇る相補的な領域を担当する。

研究目的の達成においては、日仏両研究グループのシナジーを実現する。さらに本研究の成果を発表すると共に、機械学習・データマイニングの実ロボットへの応用という新しい研究分野を世界的に確立するため、公開型の国際ワークショップを毎年開催する。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

論文発表した主な研究成果は、A. スwarmロボットの手配とログデータの生成、B. Swarmロボットのログデータ解析、C. Swarmロボットの効率的自律制御、D. 基盤となるデータマイニング・機械学習手法の開発、E. Swarmロボットの効率的自律制御機構の設計に分けられる。

A. はEを達成するための基盤データを得ることに相当する。日本側が実ロボットを6種類製作し、主に6種類のログデータを提供した。製作したロボットは、AR1. 低機能偵察ロボット4台、AR2. 縦列行進ロボット6台、AR3. 大型ロボット7台、AR4. 高機能偵察ロボット10台、AR5. 見守りロボット5台、AR6. 探索ロボット1台である。生成した主なログデータは、AD1. フィールド集団巡回データ、AD2. 縦列行進データ、AD3. オフィス偵察データ、AD4. 人回避用データ、AD5. 追従データ、AD6. 人見守りデータである。

B. はEを達成するための手掛かりを得ることに相当する。4台のAR1ロボットによる集団巡回AD1を主な対象とし、B1. 異常行動の特徴づけと検出、B2. 正常ログデータに基づき未知の異常行動を発見する手法、B3. 偵察タスクを行う群ロボットのクラスタリング解析、B4. 軌跡データの離散化とクラスタリングなどを提案して優れた結果を得、データマイニングやエージェント研究において権威ある国際会議などで発表して好評を博した。

C. はEを達成するための知見を得ることに位置づけられる。C1. オフィス内での人検知と人回避、C2. リフティングウェブレットによる新規物体の検出、C3. Camshift アルゴリズムを用いたオフィス内での人追従、C4. 縦列行進する群ロボットを提案して、機械学習・データマイニングを制御機構で有効裏に用いる実ロボット群を構築した。Swarmロボット研究で権威がある国際会議などで発表し、好評を博した。

D. は中期的・長期的にEに貢献する基礎研究と位置付ける。D1. 異常部分グラフ発見手法やD2. 拡張MDL原理による転移学習手法などを提案し、グラフに基づく制御機構の異常発見およびロボット制御機構の個人化など汎化への道を拓いた。データマイニングや機械学習で権威ある国際会議・ジャーナルなどに論文が受理された。

E. は複数台のSwarmロボットによる集団タスク実現を対象とし、フランス側と日本側がそれぞれ得意とする技術を併せたシナジー効果を実現した。具体的には、日本側とフランス側が協力し合い、5台のAR2ロボットによる縦列行進問題を対象とした。縦列行進はSwarmロボットにとってもっとも重要な機能のひとつである移動機能の効率的な形態であり、各ロボットのばらつきや各種ノイズにより挑戦し甲斐のある問題となっている。

各ロボットは、フランス側が考案し提供した統計的最適化法(1+1)Restart-Online 適応アルゴリズムの日本側が改良したバージョンに基づき、縦列行進用の制御機構を実験中に改良する。制御機構のよさを評価するために、AD2のフィールドデータを生成するシステムを用いた。縦列行進を行うフィールドは大小の2種類を用意した。大きいフィールドではロボットが散らばっているために前方ロボットを見失ったときに見つけ直せる可能性が小さく、小さいフィールドに比較して効率的自律制御機構の設計が難しい。実ロボット実験を行うコストの高さから、本問題には分類子などの大域的パターンではなくルールなどの局所パターン発見が適している。ただし局所パターン発見手法が各応用問題において目的とするパターンを発見するとは限らず、本問題でもたとえば標準的な機械学習・データマイニング総合ツールであるWEKAの手法を適用しても、最もよい制御機構を上回る制御機構を構成するためのパターンは発見できない。日本側は、発見されたルールペア間の距離という概念を提案し、類似する発見ルールを統合することにより有用な可能性があるパターン

を生成する新方式を考案した。この方式で生成されたルールを各ロボットの制御機構に組み込み、ロボットたちが平均的によい縦列行進を行うことを確認した。特に効率的自律制御機構の設計が難しい大きなフィールドでは、提案手法で設計した制御機構は最良の結果を示し、改良の余地が大きい難しい問題で提案手法の有効性を示した。提案手法で設計された制御機構を解説し、他のロボットを見失わないよう急に曲がらないなど設計者から見ても妥当であることを確認した。

研究成果は、知的エージェント分野で権威がある 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology において発表し、聴衆の大きな関心呼んだ。実スワームロボットの自律的制御機構の設計という困難な問題に対して、日仏の研究グループが協力して統計的最適化、機械学習、データマイニング手法に基づく解決策を提案し、実ロボット実験によってその有効性を示した。なおこの国際会議はフランスのリヨンにて開催されたため、フランス国内への宣伝という点においても有効であった。

当該研究により、可能性は大きいものの、これまでにその難しさからあまり注目を集めてこなかった、実ロボットへの機械学習・データマイニングの適用という新分野が、本研究を契機に盛んになっていくと実感している。今後は、さらなる頑健・長時間・機能高度化および人間との共存を軸に発展させる予定である。小型で安価であり、自律的に推論し移動でき、学習・発見・適応機能を備えたスワームロボットは、中長期的には見守りロボットと呼べる家庭用電化製品に発展すると期待できる。総務省によれば、わが国における 75 歳以上の人口は 2010 年時点で 1,422 万人、総人口に占める割合は 11.2% である。そのような見守りロボットは、たとえば高齢者などの社会的弱者を家庭で見守るなどの応用があり、社会を変革する可能性を有している。本研究の成果、特に AR5, AD4, AD5, AD6, C1, C3, D2 は、その強力な基盤となる。

6-2 人的交流の成果

平成 21 年に ECML/PKDD 2009 国際会議に併設して国際シンポジウム (LEMIR 2009) をスロベニアで開催した。ECML/PKDD 2009 国際会議は、ヨーロッパの機械学習・データマイニング研究で最も権威が高い国際会議であり、影響力が大きい。招待講演、パネル討論、メンバの研究発表などを行った。さらに、実ロボットへの機械学習・データマイニングの適用という新分野の確立への確かな手ごたえをつかんだ。

さらに平成 23 年度に ICDM 2011 国際会議に併設して国際シンポジウム (LEMIR 2011) をカナダで開催した。ICDM 2011 国際会議は、データマイニング研究で最も権威が高い国際会議のひとつであり、影響力が大きい。日仏の共同研究成果などに関するメンバたちの研究発表などを行った。聴取たち高い関心により、実ロボットへの機械学習・データマイニングの適用という新分野が、着実に育ちつつあることを実感した。

高野助教は、平成 24 年 4 月 14 日から 2 か月間、JSPS 若手研究者海外派遣プロジェクトからの助成を受け、AR6 ロボット 1 台と同完成間近な 1 台を持参してパリ第 11 大学に 2 か月間滞在し、本プロジェクト成果を基盤とした群ロボットによる新規物体の共同探索に関する共同研究を行う。さらに AD5 ログデータに基づくランキング学習に関する日仏共同研究も進行しており、当該事業は継続的に発展中である。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手国側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	<ul style="list-style-type: none"> ・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等 	備考
論文	Asuki Kouno, Jean-Marc Montanier, Shigeru Takano, Nicolas Bredeche, Marc Schoenauer, Michele Sebag, Einoshin Suzuki: "On-board Evolutionary Algorithm and Off-line Rule Discovery for Column Formation in Swarm Robotics", Proc. 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2011), pp. 220-227, 2011.	
論文	Emi Matsumoto, Michele Sebag, Einoshin Suzuki: "Using SVM to Avoid Humans: A Case of a Small Autonomous Mobile Robot in an Office", Computer and Information Sciences II: 26th International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS 2011), pp. 283-287, 2011.	
論文	David Meunier, Michele Sebag, Shin Ando: "Characterizing Anomalous Behaviors and Revising Robotic Controllers", Proc. Eleventh IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW 2011), pp. 705-710, 2011.	
論文	Shin Ando, Einoshin Suzuki: "Role-behavior Analysis from Trajectory Data by Cross-domain Learning", Proc. Eleventh IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2011), pp. 21-30, 2011.	
論文	Hao Shao, Bin Tong, Einoshin Suzuki: "Extended MDL Principle for Feature-based Inductive Transfer Learning", Knowledge and Information Systems, An International Journal, Springer-Verlag (accepted for publication).	