

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26249024

研究課題名(和文)生物の群れの行動生物学的理解に基づいた集合的知性の構成と人工物の群れ創成

研究課題名(英文)Creation of swarm intelligence and construction of swarm behavior based on ethological understanding

研究代表者

松野 文俊(Matsuo, Fumitoshi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：00190489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では群れを成す生物の行動を観察結果に基づいてモデル化し、その行動原理の数理的解析を基に群れを操る制御理論を構築し、実際の群ロボットとして具現化することにより、生物学および工学の両面から群れの本質に迫ることを目的として研究を推進した。生物の観察実験から得られる知見を基に、群れとしての自律分散的な行動戦略を数理的にモデル化し、シミュレータを開発した。また、群をマルチエージェントシステムと捉え、内的ゆらぎに着目し、個の自由と集団の秩序を制御論的に解析した。さらに、実体としての群ロボットを創り、揺らぎや不確実さを持つ実環境で群れを操ることにより、群れの本質的な理解の妥当性を検討した。

研究成果の概要(英文)：We obtain results of this study as follows: 1. We proposed a mathematical model of swarm behavior based on observation of animals. 2. We constructed control strategies of swarm based on mathematical analysis using multi-agent simulation. 3. We developed legged-modular robots as an example of swarm robots and carried out experiments to demonstrate validity of analysis and control strategies. We made a bridge between biologists and engineers.

研究分野：機械工学

キーワード：機械力学・制御 群知能 自律分散制御 理論生命学 進化生態学 モジュラーロボット

1. 研究開始当初の背景

アリなどの社会性昆虫は大規模な群れを構成((1)群れ形成機能)する超冗長システムの典型例である。アリは環境の変動や内的状況の変化に適応し、単体では成し得ないタスクを各個体が協調体制を変化させながら((2)環境適応協調機能)達成する。さらに、アリは仕事を切り分け、分業により各タスクに関わる個体数を適応的に配分すること((3)タスク分解・分業機能)により、群れの存続を保証し、行動の効率化を図っている。また、環境中の穴や溝を一部のアリが犠牲となって自らの身体で塞ぎあるいは橋を架け、他のアリが速度を落とさず通過できるようにすることで採餌効率を上げる行動((4)環境構造可変機能)が発見されている。研究代表者は生物の個体や群れの運動知能の根源は地球環境で学習により培われた行動戦略にあり、環境との相互作用の結果として「生物の運動知能は個体の身体に備わり、群れへと伝播する」と考えている。

冗長性をもつ各個体のダイナミクスは力学系として表現することができ、システムの固有の力学的本質を突いたダイナミクススペース制御を適用することができる。これはシステムのもつ非線形特性を踏まえた上で、その力学的特質を利用して制御系を構成しようとするものであり、従来から立命館大の有本、阪大の大須賀、研究代表者らが積極的に研究している。最近では、冗長システムとしての群れについて、イリノイ大のスポング、京大の東らが制御理論的アプローチにより、精力的に研究を進めている。また、生物を規範としてあるいは生物の視点を考慮した群ロボットの研究として、ブルッセル自由大ドリゴら、研究代表者らがスワームロボットの設計や行動アルゴリズムの提案および実機実験による検証を行っている。

しかし、これらの対象は限定的であり、群ロボットの移動などといった単純な単一目的に対する分散制御系設計と閉ループ系の収束性の証明やシミュレーションや実機実験による検証に止まっている。個体のダイナミクスを考慮した上で、群れ全体の効率やコロニーの存続といった、変動する環境下での様々な要因が複雑に絡んだ目的に対する最適行動戦略の構築や制御理論的解析は行われていない。

2. 研究の目的

本研究は従来研究をさらに発展させ、個体が群れを成し、環境や内部変動に適応するだけでなく、タスクを切り分け動的に分業しながら、自らが環境を改造して自らの群に適した環境へと変化させる機能をもつ超冗長群システムを対象とし、ダイナミクススペース・インテリジェンスという概念を“個から群れへ”“環境適応から環境改造へ”と展開しようとするもので、国内外で類を見ない研究である。さらに、生物学の研究者との共同

研究を通じて、以下の(1)-(4)の項目を理解し実現することで、「生物の群れの行動生物学的理解に基づいた集合的知性の構成と群れの創成」を達成することが目的である。達成目標(1)-(4)を以下に示す。

(1) 群れ形成機能の理解と実現

社会性昆虫であるアリと集団行動するカニを対象とし、生物実験・観察結果に基づいて、それぞれの群行動のモデル化を行い、シミュレータを構築する。各個体の近傍の局所的な情報のみに基づいた行動規範により、群れ全体の秩序を持った行動が創発されるメカニズムを制御論的に考察し、群を操る制御アルゴリズムを構築する。その妥当性を実機実験により検証する。

(2) 環境適応協調機能の理解と実現

アリが集団で餌を巣まで協調運搬するタスクに着目し、群れを可変拘束・可変構造システムとみなして、群れの形成と群れによる協調運搬を実現するダイナミクススペース制御と群行動・学習アルゴリズムを構築し、その有効性をシミュレーション・実機実験により検証する。

(3) タスク分解・分業機能の理解と実現

カドフシアリと軍隊アリを対象とし、生物実験・観察結果に基づいて、分業の制御機構をモデル化し、シミュレータを構築する。分業機能と群れの採餌効率や存続に関する考察を行い、群ロボット制御のために各個体が適応的に反応閾値を変化させる行動戦略の妥当性をシミュレーションにより検証する。

(4) 環境構造可変機能の理解と実現

アリ自らが犠牲となり環境を改造することにより群れ全体の採餌効率を向上させる穴埋めや架橋タスクに着目する。これら群れの利他行動を環境構造可変機能とみなして、タスクを実現する群行動・学習アルゴリズムを構築し、その有効性をシミュレーション・実験により検証する。

3. 研究の方法

研究目的における達成目標(1)(2)(3)(4)を以下のアプローチ(A)⇒(B)⇒(C)で遂行する。

(A). 理解：生物の群れの理解

社会性昆虫であるアリと集団行動するカニを対象とし、生物実験・観察結果に基づいて、それぞれの群行動のモデル化を行い、シミュレータを構築する。また、モデルの一般化を試みる。

(B). 操る：群れを操る知性の探求

各個体の近傍の局所的な情報のみに基づいた行動規範により、群れ全体の秩序を持った行動が創発されるメカニズムを制御論的に考察し、群を操る制御アルゴリズムを構築する。

(C). 創る：集合的知性の構成と群れの創成

人工物としての群ロボットを製作し、群のダイナミクスや知能の理解の妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) 群れ形成機能の理解と実現

マルチエージェントシステムは、各エージェントが与えられた目的に対して自律的に望ましい動作をし、全体のシステムとして協調行動を行うシステムである。このシステムは全体として協調動作をするために、各エージェント間で情報交換を行うネットワーク結合が存在する。マルチエージェントシステムに関する研究は、情報交換を行うネットワーク構造に関して、先に既定されたもの、または、ある単一のものを想定し制御器が構成される場合、ネットワーク構造の変化によっては、システムが不安定化する可能性があり、その結果、制御目的が達成されない可能性がある。そこで、ネットワーク構造に関してロバストなシステムについて考える必要があると言える。本研究では、ネットワーク構造の変化に対してロバストなマルチエージェントシステムにおけるフォーメーションアルゴリズムと、そのロバスト性を達成するために低下してしまった制御性能を改善するアルゴリズムを同時に提案した。

また、複数のエージェント及びリーダーから成るマルチエージェントシステムにおけるリーダー・フォロワー Flocking (群れ) 制御について扱った。提案手法では、ポテンシャル場の勾配法および合意アルゴリズムを用いて全エージェントを等距離配置かつ速度を一致させながら、独立に動くリーダーに群れを追従させた。この際、リーダーは通常のエージェントと同等の存在として扱い、全てのエージェントは自身の近傍情報のみを用いて目的を達成させた。更に、エージェント同士の衝突回避および連結性を維持させながら群れを成すような有限のポテンシャル関数を設計することで、群れの形状を維持させながら群れを移動させた。最後に、数値シミュレーションにより提案アルゴリズムの有効性を示した。また、障害物として壁を設定し限られた空間内におけるエージェント群の挙動をシミュレーションにより考察した。さらに、視覚によるセンシング領域が前方のみに限られ、個々の運動性能が異なる移動ロボット群のリーダーによる誘導を実現する、通信を用いない分散制御アルゴリズムを構築した。異種のマルチエージェントシステムに対する提案した分散制御アルゴリズムの有効性をシミュレーションおよび実機実験により検証した。

また、ミナミコメツキガニの群れに関する個体間相互作用実験とトビイロケアリに関する目印形成実験を行った。ミナミコメツキガニに関しては、個体の密集域に吸引される場合と疎域に吸引される場合の両方の場合があることが判明し、個体が経験に依存して行動を兼ねる可能性が示唆された。トビイロケアリの実験では、順序集合に定義されるポイント論理と、順序集合におけるアッパーセ

ットで定義されるオープン論理の齟齬を、アリのどのように解消しているのかについて実験を行なった。この結果、齟齬に対して新たな意味を持つ記号を創発している可能性が実験的に示された。次に、ミナミコメツキガニの個体に直接マーカーを貼り、大集団の個体識別を可能とする行動解析が実現された。またカニを行動させるアリーの工夫によって、従来見られなかったフィールドでの群れ行動が実験室内でも再現可能となった。これによって群れ行動の解析が容易になった。さらに、個体が経験に依存して行動するモデルを、ベイズ推定と逆ベイズ推定の対によって構成するモデルが提案されたが、これを用いてミナミコメツキガニの行動解析を行なったところ、このモデルが極めて妥当であることが判明した。

(2) 環境適応協調機能の理解と実現

大域制御器を使わずに全て局所的なロボットの自律的な行動決定に伴う群れ行動は常に創発的であるから、あらかじめ設計することは困難である。そのため、本研究では、適切な群れ行動が創発するように、各ロボットの制御器に人工神経回路網を採用し、それを人工進化によって適切な群れ行動の獲得を試みた。それには潤沢な計算資源が必要になることから、クラウドコンピューティングとGPUコンピューティングの二つのアプローチから、物理シミュレーション上で群れ行動生成を試みた。ベンチマーク問題として、協調採餌問題と二点間往復問題を取り上げた。それぞれに設計者が適切な群れ行動をあらかじめ設計することは事実上不可能であるが、本研究により所望の目的を達成可能な群れ行動生成に成功した。また、その結果を実機ロボットスワームに複製して群れ行動のリアリティギャップをある程度克服することができることを示した。さらに、創発した群れ行動を分析するための一方法として、複雑ネットワークにおける様々なツールを用いて群れ行動の分析に成功した。

また、複数の UAV (Unmanned Aerial Vehicle) から構成される、UAV 群の協調制御に関する問題を扱った。具体的には、UAV が分散協調的にフォーメーション飛行を達成する制御アルゴリズムを提案した。また、このフォーメーションの形成にあたり、UAV 同士で衝突してしまう危険性があるが、この衝突を回避する制御アルゴリズムを提案した。提案するフォーメーション飛行を達成する制御アルゴリズムについては、ネットワーク構造の選択肢に柔軟性を有しており、また、漸近安定的にフォーメーションを達成するための制御ゲインを比較的容易に見出すことができるという特長を有している。他方、衝突回避については、複数の UAV が衝突を回避するために UAV 群で統一的なアルゴリズムが必要であるが、これについて、人工ポテンシャル場とモデル予測制御を個別に適用し、複数の制御アルゴリズムを提案した。提案し

た制御アルゴリズムについては、数値シミュレーションによりその妥当性を検証した。また、その一部については、実験機に適用することで、その有効性と妥当性を検証した。

(3) タスク分解・分業機能の理解と実現

アリ社会の分業を発生させる自律分散制御と自己組織化の機構を探究した。個体差を前提にした反応閾値モデルを批判的に検討した。偶然性を端緒にした正のフィードバックが分業を発生させるというアイデアをもとに研究を行った。身体能力の個体差が乏しい女王不在のアリやクーロンのアリに注目し、実験や野外観察、次世代シーケンスなど様々な方法でアプローチした。最終的に、女王不在のアリの順位が直線的であること、個体間相互作用が個体の活動リズムに影響すること、個体の順位にはドーパミンなどの生理活性物質が関与することなど、主として行動生理学的な知見が蓄積された。

また、アカシユウカクアリは、タスクを採餌・塚作業・巣保守・その他の4種類に分解する分業機能を有している。

まず、アカシユウカクアリの行動を表現する微分方程式モデルを提案した。このモデルには、アリの誕生や死亡などを考慮し、群れの存続などをシミュレートできるモデルとなっている。2体のアリは出会うと、体内のエネルギーの授受を行い、それぞれのアリの体内エネルギーを等しくする栄養交換という機能を有している。アリは個体同士の栄養交換という局所的行動により、群れ全体の餌の保有量という大域的な情報を推定し、行動を変化させ、群れのパフォーマンスを向上させていると考えられる。また、アリは巣におけるアリの密度を一定に保つ性質と、作業に成功したアクティブなアリが休息アリに接触することにより休息アリが作業に動員される動員行動に着目した。アリの巣内の密度を一定に保つ行動は、アリの密度が増えたら巣を大きくすることを意味しており、自身の周りの密度という局所的な情報から群れ全体の個体数に応じて巣を拡張するという大域的な行動を生み出していると理解できる。このアリの密度を一定に保つという行動により、群が大きくなると作業に成功したアクティブなアリがある休息アリに接触し動員行動が起こる接触確率が下がることになり、動員行動を制御するというメカニズムを生み出していると考えられる。アリ間の栄養交換行動の有無、アリの巣内の密度を一定に保つ行動の有無により4つの場合に分けてシミュレーションを実施した。シミュレーション結果から、各個体が栄養交換機能を有し、アリの巣内の密度を一定に保つ行動（動員行動を制御する機能）を有する場合は、他の3つの場合に比べて、餌不足や外敵の増加による死亡率の増加など様々な外乱に対してロバストで、群れの生存可能性を向上させていることがわかった。

(4) 環境構造可変機能の理解と実現

1脚をもつモジュラーロボットの任意の数のモジュールが任意の結合形態により構成された群れロボットに対して2次元平面内の静歩行を実現する分散制御アルゴリズムを構築し、その有効性をシミュレーションにより検証した。まず、平均合意制御を適用し、結合した群れ全体の重心位置を局所的情報のみで推定するアルゴリズムを提案した。次に、各1脚モジュールが推定した重心位置の情報をもとに、全脚が設置している状態で、ある脚モジュール*i*が非接地になった場合でも、支持脚多角形内に重心位置が保たれるような2つの脚モジュール（脚モジュール*i*に対する相互サポート脚モジュール）を特定する。ただし、脚モジュール*i*に対する相互サポート脚モジュールは、直接脚モジュール*i*に結合しているとは限らないことに注意しておく。脚モジュール*i*は対応する相互サポート脚モジュールとの通信により、位相が π 以下でなるべく π に近くなるように分散的な位相制御を行う。この位相制御結果に基づいて、脚軌道を制御することにより、任意の数のモジュールが任意の結合形態により構成された群れロボットが2次元平面内を静歩行することが可能となる。提案した分散制御アルゴリズムの有効性をシミュレーションにより検証した。さらに、1脚をもつモジュラーロボットを6モジュール製作し、実機による検証の準備を進めた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計25件) 全て査読有

1. Bin Zhang, Yingmin Jia, Fumitoshi Matsuno: Finite-time observers for multi-agent systems without velocity measurements and with input saturations. *Systems & Control Letters* Vol. 68, pp. 86-94 (2014)
2. Ryusuke Fujisawa, Shigeto Dobata, Ken Sugawara, Fumitoshi Matsuno: Designing pheromone communication in swarm robotics: Group foraging behavior mediated by chemical substance. *Swarm Intelligence* Vol. 8, No. 3, pp. 227-246 (2014)
3. Kazuya Yoshida, Hiroaki Fukushima, Kazuyuki Kon, Fumitoshi Matsuno: Control of a Group of Mobile Robots Based on Formation Abstraction and Decentralized Locational Optimization. *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 30, No. 3, pp. 550-565 (2014)
4. Hiroyuki Shimoji, Masato S. Abe, Kazuki Tsuji, Naoki Masuda, Global network structure of dominance hierarchy of ant workers, *Journal of the Royal Society Interface*, Vol. 11, (2014), 記事番号: 20140599
DOI: 10.1098/rsif.2014.0599
5. Taro Fuchikawa, Yasukazu Okada,

- Takahisa, Miyatake, Kazuki Tsuji, Social dominance modifies behavioral rhythm in a queenless ant, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol. 68, pp. 1843-1850, (2014) DOI: 10.1007/s00265-014-1793-9
6. Sakiyama, T, Gunji YP, The relationship between randomness and power-law distributed move lengths in random walk algorithms, *Physica A*, Vol. 402, pp. 76-83 (2014)
 7. Gunji, YP, Self-organized criticality in asynchronously tuned elementary cellular automata, *Complex Systems* Vol. 23, pp. 55-69 (2014)
 8. 大倉和博, 保田俊行, 和田七海, 松村嘉之, "スワームロボットシステムにおける群れ挙動の一解析法 -動物行動学に基づくアプローチ-", *知能と情報 (日本知能情報フアジィ学会誌)*, Vol. 26, No. 5, pp. 855-865 (2014) DOI: 10.3156/jsoft.26.855
 9. 橘義博, 森翔平, 滑川 徹, 外乱を考慮したマルチエージェントシステムの協調制御, *計測自動制御学会論文集*, Vol. 50, No. 9, pp. 669-676 (2014) DOI: 10.9746/sicetr.50.669
 10. Yasukazu Okada, Ken Sasaki, Satoshi Miyazaki, Hiroyuki Shijmoji, Kazuki Tsuji, Toru Miura, Social dominance and reproductive differentiation mediated by the dopaminergic signaling in a queenless ant, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 218, pp. 1091-1098 (2015) DOI: 10.1242/jeb.118414
 11. Hojo M. K., Pierce N. E., Tsuji K., Lycaenid caterpillar secretions manipulate attendant ant behavior, *Current Biology*, Vol. 25, pp. 2260-2264 (2015) DOI: 10.1016/j.cub.2015.07.016
 12. Murakami H, Niizato T, Tomaru T, Nishiyama Y, Gunji YP, Inherent noise appears as a Levy walk in fish schools. *Scientific Report*, Vol. 5, 10605 (2015) doi:10.1038/srep10605
 13. Hai Shan, Toshiyuki Yasuda, and Kazuhiro Ohkura, "A Self Adaptive Hybrid Enhanced Artificial Bee Colony Algorithm for Continuous Optimization Problems", *BioSystems*, Vol. 132-133, pp. 43-53 (2015) DOI: 10.1016/j.biosystems.2015.05.002
 14. Yasuhiro Kuriki, Toru Namerikawa, Formation Control with Collision Avoidance for a Multi-UAV System Using Decentralized MPC and Consensus-Based Control, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 8, No. 4, pp. 285-294 (2015) DOI: 10.9746/jcmsi.8.285
 15. Minoura, M., Sonoda, K., Sakiyama, T., and Gunji YP., Rotating panoramic view: interaction between visual and olfactory cues in ants. *Royal society open science*, Vol. 3, 150426 (2016) DOI: 10.1098/rsos.150426.
 16. Sakiyama, T., Gunji, YP., The Kanizsa Triangle Illusion in Foraging Ants. *BioSystems*, Vol. 142, pp. 9-14 (2016)
 17. Toshiyuki Yasuda, Shigehito Nakatani, Akitoshi Adachi, Masaki Kadota and Kazuhiro Ohkura, Adaptive Role Assignment for Self-organized Flocking of a Real Robotic Swarm, *Journal of Artificial Life and Robotics*, Vol. 21, No. 4, pp. 405-410 (2016)
 18. Shouhei Mori, Toru Namerikawa, Formation Control Considering Disconnection of Network Links for a Multi-UAV System: An LMI Approach, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 28, No. 3, pp. 351-359 (2016) DOI: 10.20965/jrm.2016.p0343
 19. Ryuma Maeda, Takahiro Endo, Fumitoshi Matsuno, Decentralized Navigation for Heterogeneous Swarm Robots with Limited Field of View, *IEEE Robotics and Automation Letter*, Vol. 2, No. 2, pp. 904-911 (2017)
 20. 複数の移動ロボット群のすれ違いを考慮した編隊制御, 小林裕介, 吉本昌弘, 根和幸, 福島宏明, 松野文俊, 守井知之, 北河満, 辻滋, 吉川浩一, *日本ロボット学会誌*, Vol. 35, No. 1, pp. 78-84 (2017)
 21. Daito Sakai, Hiroaki Fukushima, and, Fumitoshi Matsuno, Flocking for multi-robots without distinguishing robots and obstacles, *IEEE Trans. Contr. Sys. Techn.*, Vol. 25, No. 3, pp. 1019-1027 (2017)
 22. Fujioka, H., Abe, M. S., Fuchikawa, T., Tsuji, K., Shimada, M., Okada, Y., Ant circadian rhythms associated with brood care type. *Biology Letters*, Vol. 13 (2017), 記事番号 20160743. DOI: 10.1098/rsbl.2016.0743.
 23. Shimoji, H., Aonuma, H., Miura, T., Tsuji, K., Sasaki, K., Okada, Y., Queen contact and among-worker interactions dually suppress worker brain dopamine as a potential regulator of reproduction in an ant. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol. 71 (2017), 記事番号: UNSP 35, DOI: 10.1007/s00265-016-2263-3
 24. Murakami, H., Niizato, T., Gunji, YP. Emergence of a coherent and cohesive swarm based on mutual anticipation. *Scientific Reports*, Vol. 7, 46447 (2017)
 25. Gunji YP, Shinohara S, Haruna T, Basios V., Inverse Bayesian inference as a key of consciousness featuring a macroscopic quantum logic structure. *BioSystems*, Vol. 152, pp. 44-63 (2017)

[学会発表] (計 12 件) 全て招待講演

1. 松野文俊, アリがコロニーの大域的情報を推測し行動を変化させている可能性に関する考察, 群れを理解し操り創る、自動制御連合講演会, 伊香保、2014年11月10日、招待講演
2. 辻和希, 社会性昆虫における社会的免疫と自己組織化、日本昆虫学会第74回大会シンポジウム「昆虫学会秋の学校」、2014年9月15日、広島大学 西条キャンパス、口頭発表、招待講演
3. Kazuki Tsuji, Evolutionary and ecological dynamics of the ant social cancers、17th IUSSI Congress (国際社会性昆虫学会議)、Cairns Convention Center, 2014年7月17日、基調講演
4. Kazuki Tsuji, Studies of ant invasion should more seriously consider the explicit link to fundamental theories of ecology and evolution、第31回個体群生態学会大会、2015.10.12、滋賀県立大学、口頭発表、招待講演
5. 郡司幸夫, 生命=モノとコトの齟齬を反故にする表現体、比較思想学会第42回年会、東洋大学、東京、2015年6月13日、招待講演
6. 郡司幸夫, 世界に対して亀裂をいれる者、ポジティブ心理学研究会、青山学院大学、東京、2015年11月21日、招待講演
7. 郡司幸夫, Connection and disconnection of perception and memory; De ja vu, Inverse Bayes Inference、ベルグソン国際会議、京都大学、京都、2015年12月10-13日、招待講演
8. 松野文俊, 消えるロボットを創りたいー生物型ロボットからレスキューロボットまでー、ロボットシンポジウム名古屋 2016「AIの進化で広がるロボットの未来」、吹上ホール 名古屋、2016年11月16日、基調講演
9. Fumitoshi Matsuno, Bio-inspired Robotic and Its Application to Rescue and Recovery, The 2016 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2016), Phuket Graceland Resort & Spa, Patong, Phuket, Thailand, October 25, 2016, Keynote Speech
10. 松野文俊, 生物の模倣から生物を超えたロボットへ ~自然に学ぶものづくりの最先端技術とその応用~, 自然に学ぶものづくりフォーラム 2016, 積水化学工業株式会社 京都研究所, 2016年10月14日, 招待講演
11. Fumitoshi Matsuno, Swarm Intelligence and Bio-inspired Robotics, Workshop, Robotics in the 21st Century: Challenges and Promises, Volpriehausen, Hotel am Rothenberg, Germany, September 28, 2016, Invited Talk

12. 松野文俊, ロボットインテリジェンスー消える技術の実現を目指してー、日本ロボット学会 ロボット工学セミナー 第100回記念 強いロボット~災害現場で活躍するロボットと基盤技術~, 秋葉原 UDX ギャラリー、8月3日、2016、招待講演

[図書] (計 4 件)

1. Yokio Gunji, (2014) Extended self organized criticality in asynchronously tuned cellular automata. In: Chaos, Information Processing and Paradoxical Games (Vasileios ed.) World Scientific.
2. 牧野貴樹, 澁谷長史, 白川真一 編著, 浅田捻, 麻生英樹, 荒井幸代, 飯間等, 伊藤真, 大倉和博, 黒江康明, 杉本徳和, 坪井祐太, 銅谷賢治, 前田新一, 松井藤五郎, 南泰浩, 宮崎和光, 目黒豊美, 森村哲郎, 森本淳, 保田俊行, 吉本潤一郎 著, "これからの強化学習", 森北出版 (11, 2016)
3. Marco Dorigo, Mauro Birattari, Xiaodong Li, Manuel López-Ibañez, Kazuhiro Ohkura, Carlo Pinciroli, Thomas Stützle (Eds.), "Swarm Intelligence, 10th International Conference, ANTS 2016, Brussels, Belgium, September 7-9, 2016 Proceedings", Springer (9, 2016)
4. 野波健蔵, 滑川 徹 他, 飛躍するドローンーマルチ回転翼型無人航空機の開発と応用研究、(株)エヌ・ティー・エス、2016年1月発刊、ISBN 978-4-86043-436-6

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松野文俊 (MATSUNO Fumitoshi)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00190489

(2) 研究分担者

辻 瑞樹 (TSUJI, Mizuki)
琉球大学・農学部・教授
研究者番号: 20222135

郡司幸夫 (GUNJI, Yukio)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 40192570

大倉 和博 (OHKURA, Kazuhiro)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40252788

滑川 徹 (NAMERIKAWA Toru)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号: 30262554