

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01459

研究課題名（和文）人とロボット群の協調を実現する相互学習型分散制御システムの構築

研究課題名（英文）Mutual Learning Distributed Control Systems toward Human-Robotic Network Collaborations

研究代表者

藤田 政之（Fujita, Masayuki）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：90181370

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：本申請課題では、人とロボット群の協調を実現する相互学習型分散制御システムの構築に向けて、相互学習型分散制御アルゴリズムの開発、3次元への拡張とダイナミクスの考慮、マルチロボットを用いた実験システムの構築に取り組んだ。に関しては、計画通りに制御アルゴリズムを導出し、理論的な解析を行なった。本結果は国際会議や論文誌に採択され、複数の賞を受賞した。に関しては、移動ロボットの3次元空間内の運動およびダイナミクスを考慮した制御アルゴリズムを提案した。に関しては、マルチロボットの制御実験システムを構築し、海外の共同研究先と連携して遠隔操作実験によるアルゴリズム検証に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間と機械の協働という課題は、サイバーフィジカルシステム（Cyber-Physical Systems）に人間を陽に考慮したサイバーフィジカル & ヒューマンシステム（CPHS）として新たな学術分野を築いている。本研究は人間とロボット群の協調制御を考えており、CPHSの初期の研究として基礎構築に貢献した。また、急速に成長している機械学習分野との融合も図っており、CPHS分野の今後の一つの発展先を示した点に大きな学術的意義がある。また、CPHSは自動運転やロボットが浸透しつつある現代社会において必要不可欠な基礎技術であり、その基礎理論構築に貢献した点に本研究の社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this project, we have (1) developed a distributed control algorithm with mutual learning, (2) extended the algorithm to three dimensions and considered the dynamics, and (3) constructed an experimental system using multi-robots in order to construct a distributed control system with mutual learning that can realize cooperation between humans and robot groups. For (1), the control algorithm was derived and the theoretical analysis was conducted as planned. The results were accepted by international conferences and journals, and the results were awarded some prizes. For (2), we proposed a control algorithm that takes into account the motion and dynamics of a mobile robot in three-dimensional space. In (3), we constructed a multi-robot control experiment system and succeeded in verifying the algorithm by teleoperation experiments in cooperation with overseas collaborators.

研究分野：システム制御

キーワード：制御工学 人とロボット群の協調 協調制御 学習制御

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 自然災害時に対する安心・安全の確保に向けて、高度な環境モニタリングシステムの重要性が高まっていた。

(2) 広域化かつ未知な環境のモニタリングにおいて、効率性や耐故障性等の観点から、移動ロボットにセンサを搭載し通信によりネットワーク化したモバイルセンサネットワークが有望な手法の一つとして期待されていた。

(3) 事前に十分な情報が得られていない環境下では、ロボット群のみでの意思決定は難しく、柔軟な意思決定が可能な人間との協調が可能な半自律システムが必要であると考えられていた。

(4) 人とロボットが協調する半自律システムにおいては、人間がロボットの特性を学習して習熟度を向上させていくことが研究結果から知られていたが、ロボット側も人間の特性を学習して行動を適応させていく相互学習型の制御システムは国内外で未だ取り組まれていない課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究は主に以下の3つの課題に取り組むことを目的とした。

(1) 人間がロボット群と相互作用することで慣れ、ロボット群側が人間の指令データからガウス過程により学習することで、相互に行動を適応させることが可能な半自律制御アルゴリズムの提案を目指した。

(2) 目的(1)では理論的な取り組みを主としており、ロボット群の運動モデルを2次元平面上の簡略なモデルとして扱うことを想定していた。提案した制御アルゴリズムを実際に実験機で試すためにはロボットの運動モデルを3次元化し、さらには動特性を考慮した制御則を提案する必要がある。そのため、提案アルゴリズムの3次元への拡張と動特性を考慮した制御の拡張を目的とした。

(3) 提案アルゴリズムの検証のため、ドローンや地上ロボットを複数制御可能な実験システムを構築することを目的とした。実験システムの構築は金沢工業大学と東京工業大学の2箇所を実施し、遠隔制御を行うことも目的に加えた。

### 3. 研究の方法

それぞれの課題に関する研究方法は以下の通りである。

(1) 人とロボットの協調を実現する制御については、以前の研究により提案していた制御アルゴリズムを基礎とした。この制御アルゴリズムにより人間がロボット群を操作し続けることにより、人間がロボット群のネットワーク構造などの特性に慣れ、適応していくことをこれまでの研究で明らかにしていた。ここでは、人間の指令データを収集し、機械学習手法の一種であるガウス過程回帰により人間モデルを学習することで、習熟度、個性、疲労度などを推測する手法を提案することを考えた。さらに、人間の特性に応じてロボット群の行動を適応させることで、人間とロボット群の両者にとって望ましい制御アルゴリズムへと適応させる手法の提案を目指した。

(2) ロボットの3次元空間内の運動は剛体運動としてモデル化することができるため、剛体運動の導入を目指した。また、ロボットの動特性を考慮したモデルとして代表的なものにオイラーランジュシステムがあり、(1)で考えていた簡易的なモデルに対する制御アルゴリズムをオイラーランジュシステムにも適応可能な制御へと拡張することを目標とした。

(3) 実験システムのソフトウェアには Robot Operating System (ROS) と呼ばれる、ロボティクス分野に急速に広まっているものを採用した。これにより、ロボットの位置と姿勢の情報をリアルタイムで取得するセンサに採用したモーションキャプチャシステムと制御アルゴリズムを連携することが容易になる。また、ロボットとの通信に関しても容易に確立することができる。

### 4. 研究成果

課題(1)に関する研究成果は以下の通りである。

(1-1) 人間とロボット群の協調を実現する制御アルゴリズムに関する先行研究では、人間を受動的なシステムとして捉えることでシステム全体の安定性を保証していた。しかし、人間を受動的なシステムとして捉えることは、通常人間には達成し得ない行動を人間に求めることに相当していた。そこで、より実際の人間に近い劣受動性という、受動性を緩和した特性をもったシステムとして捉え、安定性を保証した新しい制御アルゴリズムを提案した。

(1-2) (1-1)の制御アルゴリズムを実装したシステムにより、複数人の被験者にロボット群を操作させる実験を行なった。その際、被験者の精神的負荷を事後アンケートをもとに算出することで、先行研究の手法より人間にとって負荷の少ない手法であることを明らかにした。本結果を国際会議で発表した学生が最優秀学生論文賞のファイナリストとして表彰された。

- (1-3) ロボットの操作に熟練した人間のデータを収集し、ガウス過程回帰により人間モデルを構築する手法を提案した。さらに、実際の操作者のデータからも人間モデルを学習することで、2種類の人間モデルに基づいた学習型制御アルゴリズムを提案した。提案手法により、通常時は習熟した人間の操作に近づけるように実際の操作者をアシストし、操作者が想定しない行動をとっている場合はアシストを弱めることで、ロボットの自律性を状況に応じて調整することが可能となった。
- (1-4) 本研究成果では、複数人の被験者によりその有効性を確認することに成功している。国際会議で発表しており、その国際会議で最も高く評価された論文に授与される最優秀論文賞を受賞した。

課題(2)に関する研究成果は以下の通りである。

- (2-1) 3次元空間内を運動するロボットを想定し、隣接したロボット同士で通信を行うことで構成される剛体ネットワークの協調制御に取り組んだ。各ロボットがそれぞれ、人間の操作者を含んだ外部からの異なった入力を受けている状況において剛体間の運動を同期させる分散制御則を提案した。本結果は学術雑誌に掲載された。
- (2-2) 3次元空間内を運動する移動ロボットに視覚センサを搭載させた状況で、ある対象物を視覚情報から追従する制御に取り組んだ。対象物の運動は事前にはわからない状況を想定し、データからガウス過程モデルを構築することで制御性能を向上させる学習型制御則を提案することに成功した。本結果は国際会議で発表し、最優秀論文賞のファイナリストに選出された。
- (2-3) 平面上を全方向に運動可能な移動ロボットの制御に取り組み、ロボットの動特性を考慮した制御手法を提案した。
- (2-4) マニピュレータ型のロボットの制御において制御バリア関数という手法に基づき、動特性を考慮しつつロボットが障害物とぶつからないなどの安全性を保証した制御アルゴリズムを提案した。本結果は国際会議で発表した。

課題(3)に関する研究成果は以下の通りである。

- (3-1) マルチロボットを制御する実験システムを東京工業大学と金沢工業大学に構築することに成功した。また、それぞれの実験システムをインターネットを介して連携させるシステム構築も行なった。
- (3-2) 共同研究先であるジョージア工科大学で使用されているマルチロボット実験システムと東京工業大学に構築した実験システムをインターネットで接続することで、双方にある複数台ロボットの運動を協調させる制御実験を行なうことに成功した。さらに、人間が11,000km離れた遠隔から複数台ロボットを制御する実験も行なった。
- (3-3) 本研究はシステムの受動性に着目した制御アルゴリズムとなっており、安定な遠隔制御を実現する上で、受動性が重要な特性であることを示す結果となった。本結果は国際解説記事として採録された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ibuki Tatsuya, Wilson Sean, Yamauchi Junya, Fujita Masayuki, Egerstedt Magnus	4. 巻 5
2. 論文標題 Optimization-Based Distributed Flocking Control for Multiple Rigid Bodies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1891 ~ 1898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2969950	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ibuki Tatsuya, Wilson Sean, Ames Aaron D., Egerstedt Magnus	4. 巻 4
2. 論文標題 Distributed Collision-Free Motion Coordination on a Sphere: A Conic Control Barrier Function Approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Control Systems Letters	6. 最初と最後の頁 976 ~ 981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCSYS.2020.2997952	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Riku Funada, Xiaoyi Cai, Gennaro Notomista, Made Widhi Surya Atman, Junya Yamauchi, Masayuki Fujita and M. Egerstedt	4. 巻 40
2. 論文標題 Coordination of Robot Teams Over Long Distances From Georgia Tech to Tokyo Tech and Back; An 11,000km Multi-Robot Experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Control Systems Magazine	6. 最初と最後の頁 53 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MCS.2020.2990515	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yamauchi Junya, Gencho Takuma, Funada Riku, Hatanaka Takeshi, Fujita Masayuki	4. 巻 141
2. 論文標題 Persistent Visual Coverage Control Ensuring Field of Views' Overlap with Information Reliability and Energy Management	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 417 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mochida Shunsuke, Matsuda Remma, Ibuki Tatsuya, Sampei Mitsuji	4. 巻 -
2. 論文標題 A Geometric Method of Hoverability Analysis for Multirotor UAVs With Upward-Oriented Rotors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TR0.2021.3064101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murao Toshiyuki, Kuroda Mamoru, Kawai Hiroyuki	4. 巻 139
2. 論文標題 Passivity-based Pose Control for a Ground Vehicle through Drone's Visual Feedback Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1316~1324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.1316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 FARRAS Aditya Wildan, HATANAKA Takeshi, NGUYEN Tam W., FUNADA Riku, YAMAUCHI Junya, FUJITA Masayuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Distributed Dynamic Reference Governor for Constrained Semi-Autonomous Robotic Swarms with Communication Delays and Experimental Verification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 237~245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.12.237	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 YAMAUCHI Junya, DOI Mamoru, IBUKI Tatsuya, HATANAKA Takeshi, FUJITA Masayuki	4. 巻 55
2. 論文標題 Passivity-based Pose Synchronization under Disturbances in Three Dimensions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 808~815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.55.808	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atman Made Widhi Surya, Hatanaka Takeshi, Qu Zhihua, Chopra Nikhil, Yamauchi Junya, Fujita Masayuki	4. 巻 2
2. 論文標題 Motion synchronization for semi-autonomous robotic swarm with a passivity-short human operator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Robotics and Applications	6. 最初と最後の頁 235 ~ 251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41315-018-0056-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 S. Mochida, R. Matsuda, T. Ibuki, M. Sampei
2. 発表標題 Development and Design Optimization of 2Y Hexarotor with Robustness against Rotor Failure
3. 学会等名 The 21st World Congress of the International Federation of Automatic Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小塩祐亮, 村尾俊幸, 河合宏之
2. 発表標題 三輪型全方向移動ロボットに対する Slotine and Li の手法に基づく安定化制御
3. 学会等名 2020 年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Junya Yamauchi, Thomas Beckers, Marco Omainska, Takeshi Hatanaka, Sandra Hirche and Masayuki Fujita
2. 発表標題 Visual Pursuit Control with Target Motion Learning via Gaussian Process
3. 学会等名 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Nagumo, H. Kawai, Y. Kushima, T. Murao, Y. Kawai, and M. Kishitani
2. 発表標題 Iterative Learning Control for FES-Cycling With Antagonistic Biarticular Muscles
3. 学会等名 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Horiki, H. Kawai, Y. Kushima, T. Murao, Y. Kawai, and M. Kishitani
2. 発表標題 Tracking Control of FES Alternate Knee Bending and Stretching Trike in Consideration of Running Velocity
3. 学会等名 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀木大地, 久島康嘉, 河合宏之, 村尾俊幸, 河合康典, 岸谷都
2. 発表標題 車速を考慮した機能的電気刺激による下肢交互屈伸運動に関する研究
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Hatanaka, Kosei Noda, Junya Yamauchi, Koji Sokabe, Keita Shimamoto and Masayuki Fujita
2. 発表標題 Human-Robot Collaboration with Variable Autonomy via Gaussian Process
3. 学会等名 The 3rd IFAC Workshop on Cyber-Physical & Human Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yasunori Kawai, Hiroyuki Kawai, Takanori Miyoshi
2 . 発表標題 Bilateral Tele-Rehabilitation Control System Using Electrical Stimulation for Therapist and Patient
3 . 学会等名 The 3rd IFAC Conference on Cyber-Physical & Human-Systems (CPHS2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Kushima, Y. Araki, H. Kawai, T. Murao, Y. Kawai, and M. Kishitani
2 . 発表標題 Velocity Tracking Control of Recumbent Trike with Functional Electrical Stimulation
3 . 学会等名 The 3rd IFAC Conference on Cyber-Physical & Human Systems (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 A.W. Farras and T. Hatanaka
2 . 発表標題 Safe Control for Euler-Lagrange Systems with Control Barrier Functions
3 . 学会等名 SICE International Symposium on Control Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Notomista, X. Cai, J. Yamauchi and M. Egerstedt
2 . 発表標題 Passivity-Based Decentralized Control of Multi-Robot Systems with Delays Using Control Barrier Functions
3 . 学会等名 2019 International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年



1. 発表者名 Y. Kawai, K. Shibano, H. Kawai, T. Miyoshi, and M. Fujita
2. 発表標題 Bilateral Tele-Rehabilitation System using Electrical Stimulation applying Modulated Time-Domain Passivity Control
3. 学会等名 the 8th IFAC Symposium on Mechatronic Systems and the 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Murao, H. Kawai and M. Fujita
2. 発表標題 Pose Control for Rigid Body Motion with an Input-to-state Safe Control Barrier Function
3. 学会等名 the 8th IFAC Symposium on Mechatronic Systems and the 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A.W. Farras, J. Yamauchi, T. Hatanaka and M. Fujita
2. 発表標題 Safe Cooperative Control of Human Robotic Network Teaming with Control Barrier Function
3. 学会等名 the 2020 SICE International Symposium on Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平手奨二, 伊吹竜也, 三平満司
2. 発表標題 ガウス過程回帰による環境値学習に基づく分散適応型被覆制御
3. 学会等名 第7回制御部門マルチシンポジウム予稿集
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Kawai and T. Miyoshi
2 . 発表標題 Written Communication System based on Multilateral Teleoperation using Scattering Matrix with Gains
3 . 学会等名 The 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics(ISR) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Hatanaka, A. W. Farras, J. Yamauchi and M. Fujita
2 . 発表標題 A passivity-based approach to distributed reference management for constrained semi-autonomous robotic swarms with communication delays
3 . 学会等名 SICE Annual Conference 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kawai, K. Honda, H. Kawai, and T. Miyoshi
2 . 発表標題 Bilateral Tele-Rehabilitation System for Human Lower Limb based on Scattering Matrix with New Gains
3 . 学会等名 The SICE Annual Conference 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Hirate, T. Ibuki, and M. Sampei
2 . 発表標題 Passivity Shortage-based Pose Synchronization in a Sampled Data Setting
3 . 学会等名 The SICE Annual Conference 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kobayashi, T. Murao, H. Kawai and R. Suzuki
2. 発表標題 A Control Method for a 3DOF Bi-articular Manipulator towards Robotic Rehabilitation
3. 学会等名 The 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kuroda, T. Murao and H. Kawai
2. 発表標題 Passivity-based Visual Feedback Control for an Endpoint Closed-loop System with a Movable Camera
3. 学会等名 The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sugimoto, T. Murao, Y. Kawai and H. Kawai
2. 発表標題 Vision-navigated Bilateral Control for Master-slave Teleoperation System
3. 学会等名 The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木雄太郎, 久島康嘉, 村尾俊幸, 河合康典, 河合宏之
2. 発表標題 車速を考慮したFESトライクシステムの構築と実験検証
3. 学会等名 SICE システム・情報部門 学術講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合康典, 本多健也, 河合宏之
2. 発表標題 改良型スキッピング変換を用いた下肢のテレリハビリテーションの制御
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. W. S. Atman, K. Noda, R. Funada, J. Yamauchi, T. Hatanaka and M. Fujita
2. 発表標題 On Passivity-Shortage of Human Operators for A Class of Semi-autonomous Robotic Swarms
3. 学会等名 2nd IFAC Conference on Cyber-Physical & Human Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ibuki, T. Hatanaka and Z. Qu
2. 発表標題 Discrete-time 3-D Attitude Synchronization Based on Passivity Shortage
3. 学会等名 57th IEEE Conference on Decision and Control (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊吹竜也, 櫻井元貴, 遠藤眞覇人, 三平満司
2. 発表標題 マルチロータUAVによるサスペンド式貨物運搬制御
3. 学会等名 第6回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡弘人, 杉森敦人, 伊吹竜也, 三平満司
2. 発表標題 ガウス過程回帰による未知モデル学習に基づく全駆動ヘキサロータのロバスト制御
3. 学会等名 第6回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Funada, M. Santos, J. Yamauchi, T. Hatanaka, M. Fujita and M. Egerstedt
2. 発表標題 Visual Coverage Control for Teams of Quadcopters via Control Barrier Functions
3. 学会等名 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Endo, T. Ibuki, and M. Sampei
2. 発表標題 Collision-free Formation Control for Quadrotor Networks Based on Distributed Quadratic Programs
3. 学会等名 The 2019 American Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 瀬戸 道生、伊吹 竜也、畑中 健志	4. 発行年 2021年
2. 出版社 内田老鶴圃	5. 総ページ数 168
3. 書名 機械学習のための関数解析入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	村尾 俊幸  (Toshiyuki Murao)  (00447038)	金沢工業大学・工学部・准教授    (33302)	
研究分担者	畑中 健志  (Takeshi Hatanaka)  (10452012)	東京工業大学・工学院・准教授    (12608)	
研究分担者	伊吹 竜也  (Tatsuya Ibuki)  (30725023)	明治大学・理工学部・専任講師    (32682)	
研究分担者	山内 淳矢  (Junya Yamauchi)  (60824563)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教    (12601)	
研究分担者	河合 宏之  (Hiroyuki Kawai)  (70410298)	金沢工業大学・工学部・教授    (33302)	
研究分担者	河合 康典  (Yasunori Kawai)  (90413765)	石川工業高等専門学校・電気工学科・准教授    (53301)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

米国	Georgia Institute of Technology	California Institute of Technology		
ドイツ	Technical University of Munich			