

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06486

研究課題名（和文）セキュアなサイバーフィジカルシステムのための制御・検証手法の開発

研究課題名（英文）Development of Control and Verification Methods for Secure Cyber-Physical Systems

研究代表者

小林 孝一（Kobayashi, Koichi）

北海道大学・情報科学研究院・准教授

研究者番号：50452115

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：サイバーフィジカルシステム（CPS）とは、物理システムと情報システムが相互結合したシステムである。情報システムの計算機能力を活用した高性能な制御システムを構築することが可能である。応用は電力、医療、交通など多岐に渡る。さらに、多くの機器がインターネットを介して接続している社会において、外部からの攻撃を考慮した制御手法の必要性が高まっている。そこで本研究では、セキュアなCPSを構築するための制御・検証手法に着目する。具体的には次の3点に取り組んだ。（1）分散型イベント駆動制御、（2）電力ネットワークにおけるサイバー攻撃検知、（3）ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：イベント駆動制御では、制御器とイベント駆動条件の同時設計はまだ十分に研究されていない。提案手法では、制御器とイベント駆動条件を同時に簡単に解くことができる。また、提案したサイバー攻撃検知手法は、従来手法と比較して簡便であり、実装が容易である。最後に、ブロックチェーンが導入可能なクラスを計算時間の観点から明らかにした。

社会的意義：セキュアなサイバーフィジカルシステムの構築は安心・安全な超スマート社会を実現する上で、必要不可欠である。本研究の成果を活かすことで、電力や交通などの様々なシステムのセキュアな高性能化が実現できる。

研究成果の概要（英文）：A cyber-physical system (CPS) is a system in which a physical system and an information system are interconnected. It is possible to construct a high-performance control system that utilizes the computational power of information systems. A CPS has a wide range of applications such as electric power, medical care, and transportation. Furthermore, in a society where many devices are connected via the Internet, there is an increasing need for control methods that take into account external attacks. Therefore, in this research, we focus on the control / verification method for constructing a secure CPS. Specifically, I worked on the following three points. (1) Distributed event-driven control, (2) Cyber attack detection in power networks, (3) Distributed optimization of energy management systems using blockchain.

研究分野：システム制御理論とその応用

キーワード：サイバーフィジカルシステム イベント駆動制御 サイバー攻撃検知 ブロックチェーン エネルギー管理システム 電力ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

サイバーフィジカルシステム(CPS)とは、物理システムと情報システムが相互結合したシステムである。情報システムの計算機能力を活用した高性能な制御システムを構築することが可能である。従って、応用は電力システム、医療、交通など多岐に渡る。制御工学における CPS の研究では、ハイブリッドシステム、離散事象システム、ネットワーク化制御システムが基礎となっている。しかしながら、物理システム、情報システムは多様であり、統一的な制御系設計論を構築することは難しい。重要な課題に着目し、個別に手法を確立することが望ましい。

研究代表者のグループではこれまでに通信を考慮した制御手法を研究してきた。しかしながら、セキュリティについてはまだ十分に研究していない。多くの機器がインターネットを介して接続している社会において、外部からの攻撃を考慮した制御手法の必要性が高まっている。そこで本研究では、セキュアな CPS を構築するための制御・検証手法に着目する。外部からの攻撃の検知、攻撃に対してロバストな制御器の設計などは、盛んに研究されている。本研究では次の2点に着目する。

1. センサ、アクチュエータ、制御器の通信機能を必要と時のみ起動する。

2. 外部からの侵入を受けたとしても、重要な情報を一意に特定させない。

通信機能を停止することで、外部からの攻撃を防止することができる。したがって、1. は有効なセキュリティ対策になる。しかしながら、通信機能の起動・停止をスケジューリングする必要がある。また、スケジューリングと制御入力を同時に最適化することも重要である。もし、外部からの侵入を許したとしても、2. の対策があれば、情報漏洩を防ぐことができる。上記の2点はセキュアな CPS がもつべき基礎的な要件ではあるが、まだ十分に研究されていない。

2. 研究の目的

上記の学術的背景を踏まえ、セキュアなサイバーフィジカルシステムの設計論の確立を目標とした。具体的には次の3点に取り組んだ。

- (1) 状態フィードバックおよび出力フィードバックによる分散型イベント駆動制御
- (2) 電力ネットワークの状態推定におけるサイバー攻撃検知
- (3) ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化

3. 研究の方法

おおむね次の順番で研究を進めた(1)状態フィードバックによる分散型イベント駆動制御、(2)ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化、(3)電力ネットワークの状態推定におけるサイバー攻撃検知、(4)出力フィードバックによる分散型イベント駆動制御、(5)研究全体の総括。また、理論検討および計算機実験を適切な周期で実施した。

4. 研究成果

本研究課題により得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 状態フィードバックおよび出力フィードバックによる分散型イベント駆動制御

イベント駆動制御とは、イベント駆動条件を満たしたときのみ、センサから制御器へ計測データを送信する(すなわち、制御入力を更新する)制御手法である。イベント駆動条件では、計測データと直近で送信したデータの差を評価している。計測値が大きく変化していない場合は、制御性能の観点から送信が不要である。したがって、制御性能を維持しつつ、通信を削除する方法として有用である。また、イベント駆動制御は自己駆動制御の理想的なケースに相当することから、イベント駆動制御と自己駆動制御は深く関連している。従来のイベント駆動制御ではセンサの計測データを一つのセンサに集約する必要がある。しかしながら、センサネットワークに代表されるセンサが分散的に配置されている場合、データの集約は通信回数の増加を招く。この場合、センサごとにイベント駆動条件を割り当てる分散型イベント駆動制御が適切である。

本研究では、まず、一様終局性に基づく状態フィードバック制御器とイベント駆動条件の設計法を提案した。一様終局性とは、制御対象の状態が原点を含む指定した領域に到達したのち、その領域に留まるといった性質である。安定性よりも通信回数の削減が期待できる。提案手法では、線形行列不等式を解くことで、制御器とイベント駆動条件を同時に得ることができる。

次に、出力フィードバック制御器の設計に取り組んだ。線形行列不等式を解くことで、閉ループシステムを安定化する動的な出力フィードバック制御器を導出することができる。また、センサネットワークだけでなくアクチュエータ側もネットワークとなっているセンサ・アクチュエータネットワークの場合も検討した。

(2) 電力ネットワークの状態推定におけるサイバー攻撃検知

定常状態における電力ネットワークの状態推定において、不正データ注入攻撃と呼ばれるサイバー攻撃が知られている。サイバー攻撃検知の従来手法では、状態推定の誤差の変化で攻撃を

検知している。不正データ注入攻撃では、攻撃者が電力ネットワークの構造を知っているという仮定する。このとき、複数のセンサに同時に攻撃することで、状態推定の誤差を変えずに攻撃することが可能になる。提案手法では、センサスケジューリングにより不正データ注入攻撃の検知を実現した。キーポイントは、状態推定に用いるセンサをランダムに切り替えることで、疑似的に電力ネットワークの構造を変化させる点である。これにより、不正データ注入攻撃の検知を実現している。提案手法の有効性は IEEE 14-Bus System で検証した。

(3) ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化

エネルギー管理システムの分散最適化では、エネルギー管理システムを工場やビルをエージェントとしたマルチエージェントシステムとして捉えている。分散最適化では、まず、各エージェントで最適化問題を解き、アグリゲータが計算結果を集約する。次に、アグリゲータは計算結果を基に最適化問題のパラメータを調整し、各エージェントに調整したパラメータを送信する。この手順を繰り返すことで、最適化が導出できる。しかしながら、計算結果の集約の際に、データが改ざんされる危険性がある。本研究では、データの改ざんを防止するセキュアな分散最適化を実現するために、ブロックチェーンの利用を検討した。実際に複数の計算機を利用して、ブロックチェーンを実装し、提案手法の有効性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計41件（うち査読付論文 41件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kobayashi Koichi, Hiraishi Kunihiko	4. 巻 31
2. 論文標題 Stochastic modeling and scalable predictive control for automated demand response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Robust and Nonlinear Control	6. 最初と最後の頁 2001 ~ 2017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rnc.5313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 KOBAYASHI Koichi, NAKAJIMA Kyohei, YAMASHITA Yuh	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Uniformly Ultimate Boundedness Control with Decentralized Event-Triggering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 455 ~ 461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020MAP0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 OGAWA Daiki, KOBAYASHI Koichi, YAMASHITA Yuh	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Effectiveness and Limitation of Blockchain in Distributed Optimization: Applications to Energy Management Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 423 ~ 429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020MAI0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shogo Shimamoto, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Stochastic Model Predictive Control of Energy Management Systems with Human in the Loop	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 2017 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 69-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Daiki Ogawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Blockchain-Based Optimization of Energy Management Systems with Demand Response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 2017 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 67-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kei Isono, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 On Attack Detection in Sensor Networks Using Distributed Moving Horizon Estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1602-1605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi, Kyohei Nakajima, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 LMI-Based Simultaneous Design of Controllers and Decentralized Event-Triggering Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1585-1588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Sho Obata, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Enforcing Security of Power System State Estimation Using Random Sensor Scheduling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1163-1165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, and Koichi Kobayashi	4. 巻 E103-A
2. 論文標題 Distributed Observer over Delayed Sensor Networks for Systems with Unknown Inputs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 469-477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2019MAP0012	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 Ryo Masuda, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 E103-A
2. 論文標題 Dynamic Surveillance by Multiple Agents with Fuel Constraints	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 462-468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2019MAP0011	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 Shun Andoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 E103-A
2. 論文標題 Self-Triggered Pinning Consensus Control for Multi-Agent Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 443-450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2019MAP0009	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 Katsuaki Umiji, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 12
2. 論文標題 Construction Method of Probabilistic Boolean Networks Based on Imperfect Information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Algorithms	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/a12120268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, and Koichi Kobayashi	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Distributed Estimation over Delayed Sensor Network with Scalable Communication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 712-720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.712	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 MPC-Based Persistent Surveillance by Heterogeneous Agents Using Mixed Integer Programming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 414-417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shun Andoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Hierarchical Pinning Control for Consensus of Multi-Agent Systems and Its Application to Vehicle Platooning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 1064-1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9026200	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 Katsuaki Umiji, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Construction Method of Probabilistic Boolean Networks Based on Imperfect Information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 513-516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ryo Masuda, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamic Surveillance by Multiple Agents with Fuel Constraints	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	6. 最初と最後の頁 3331-3336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2019.8914293	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 Shun Andoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Observer-Based Self-Triggered Pinning Control for Consensus of Multi-Agent Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2019	6. 最初と最後の頁 1440-1443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kei Isono, Koichi Kobayashi, Ryosuke Adachi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Attack Detection in Control Systems Based on Unknown Input Observers and Control Performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications	6. 最初と最後の頁 290-293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Daiki Ogawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Effectiveness and Limitation of Blockchain in Distributed Optimization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications	6. 最初と最後の頁 286-289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi, Kyohei Nakajima, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Decentralized Event-Triggered Control of Discrete-Time Linear Systems Based on Uniformly Ultimate Boundedness	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 12th Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 1392-1397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ryosuke Adachi, Yuh Yamashita, and Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Distributed Estimation over Delayed Sensor Networks with Cyclic Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 12th Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 1386-1391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Daiki Ogawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Blockchain-Based Distributed Optimization for Energy Management Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems	6. 最初と最後の頁 694-699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICPHYS.2019.8780285	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Design of Fixed Points in Boolean Networks Using Feedback Vertex Sets and Model Reduction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/9261793	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Kobayashi, Mifuyu Kido, and Yuh Yamashita	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Computationally Efficient Model Predictive Control for Multi-Agent Surveillance Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 372-378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.372	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Predictive Pinning Control with Communication Delays for Consensus of Multi-Agent Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 359-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.359	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 Dai Satoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 16
2. 論文標題 MPC-based Co-design of Control and Routing for Wireless Sensor and Actuator Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Control, Automation and Systems	6. 最初と最後の頁 953-960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12555-017-0170-7	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 Ryo Masuda, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimal Monitoring of Multiple Agents via Time Sequence-Based Modeling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 169-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.11.169	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Observer-Based Predictive Pinning Control for Consensus of Multi-Agent Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 458-461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 A Graph-Theoretic Approach to Design of Probabilistic Boolean Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 5th IFAC Conference on Analysis and Control of Chaotic Systems	6. 最初と最後の頁 191-196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shun Andoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Self-Triggered Predictive Pinning Control for Consensus of Multi-Agent Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2018	6. 最初と最後の頁 1806-1809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shumpei Yoshikawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Switching Controller Design for Quantized Event-Triggered Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2018	6. 最初と最後の頁 1797-1800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 On Model Reduction of Probabilistic Boolean Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2018	6. 最初と最後の頁 1411-1413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 On Opacity Formulation and Verification in Boolean Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2018	6. 最初と最後の頁 253-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Mifuyu Kido, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 10
2. 論文標題 MPC-Based Surveillance over Graphs by Multiple Agents	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 253-258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.10.253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shumpei Yoshikawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 E101-A
2. 論文標題 Quantized Event-Triggered Control of Discrete-Time Linear Systems with Switching Triggering Conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 322-327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E101.A.322	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 Kyohei Nakajima, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 BMI Approach to Design of Networked Control Systems with Decentralized Event-Triggering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 18th IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 765-769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SPAWC.2017.8227787	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 Dai Satoh, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Stochastic Model Predictive Control of Multi-Hop Control Networks with Packet Dropouts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2017	6. 最初と最後の頁 164-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ryo Masuda, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimal Monitoring of Multiple Agents via Time Sequence-Based Modeling	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the SICE Annual Conference 2017	6. 最初と最後の頁 168-171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Control of Singleton Attractors in Boolean Networks Based on Model Reduction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 18-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Koichi Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Predictive Pinning Control with Communication Delays for Consensus of Multi-Agent Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 15th International Workshop on Advanced Motion Control	6. 最初と最後の頁 593-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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33件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Daiki Ogawa, Koichi Kobayashi, and Yuh Yamashita
2. 発表標題 ADMM-Based Optimization of Distributed Energy Management Systems with Demand Response
3. 学会等名 21st IFAC World Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kei Isono, Koichi Kobayashi, Ryosuke Adachi, and Yuh Yamashita
2. 発表標題 On Sensor Attack Detection in Control Systems Using Moving Horizon Estimation and Control Performance
3. 学会等名 21st IFAC World Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川大樹, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 ブロックチェーンを用いた分散EMSの事象駆動型最適化
3. 学会等名 計測自動制御学会第8回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯野圭, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 線形特異システムの分散型移動ホライズン推定とセンサネットワークへの応用
3. 学会等名 電子情報通信学会システム数理と応用研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川大樹, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化 ~ 当日デマンドレスポンスとの融合 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会システム数理と応用研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯野圭, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 分散型Moving Horizon推定を用いたセンサネットワークにおける攻撃検知
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 吉川峻平, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 一様終局有界性に基づく事象駆動型量子化状態フィードバックの設計
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯野圭, 小林孝一, 足立亮介, 山下裕
2. 発表標題 Moving Horizon推定を用いた制御システムのセンサ攻撃検知
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立亮介, 若佐裕治, 小林孝一
2. 発表標題 ADMMを用いたグラフ上の動的輸送
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤駿, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 階層型ピニング合意制御による車群制御
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 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川大樹, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 エネルギー管理システムの分散最適化: ブロックチェーンによる実装
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 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯野圭, 小林孝一, 足立亮介, 山下裕
2. 発表標題 Moving Horizon推定を用いた制御システムの攻撃検知
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 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川峻平, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 量子化状態フィードバックによるイベント駆動制御
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 センサネットワークのためのイベント駆動制御 ~ LMIに基づくアプローチ ~
3. 学会等名 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 離散時間線形システムのイベントベースト省エネルギー制御
3. 学会等名 第66回離散事象システム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川大樹, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 ブロックチェーンを用いたエネルギー管理システムの分散最適化
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 複数エージェントによるグラフ上の動的監視 ~ 可解条件について ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田亮, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 燃料制約を考慮したグラフ上のマルチエージェントモニタリング
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤駿, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 マルチエージェントシステムの自己駆動型ピンング合意制御
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海地克明, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 既知のブル関数を用いた確率ブーリアンネットワークの構成方法
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田亮, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 複数エージェントによるグラフ上の最適モニタリング
3. 学会等名 平成30年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 ブーリアンネットワークに対するオパシティの定式化と検証
3. 学会等名 計測自動制御学会 第64回離散事象システム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤駿, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 マルチエージェントシステムの合意問題のための自己駆動型ピンング制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川峻平, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 量子化イベント駆動制御のための切替型制御器の設計
3. 学会等名 電子情報通信学会第31回回路とシステムワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 確率プーリアンネットワークのモデル低次元化について
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海地克明, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 部分的情報に基づく確率プーリアンネットワークの構成方法
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川峻平, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 離散時間線形システムに対する量子化イベント駆動制御
3. 学会等名 第61回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤大, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 パケットロスが発生するマルチホップ制御ネットワークの周期的モデル予測制御
3. 学会等名 平成29年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 モデル低次元化を用いたブーリアンネットワークの不動点設計
3. 学会等名 計測自動制御学会 第62回離散事象システム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増田亮, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 時系列モデリングによるグラフ上のマルチエージェントモニタリング
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 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 マルチエージェントシステムの合意問題のためのピンング予測制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中島共平, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 サイバーフィジカルシステムのための同期型 / 非同期型分散イベント駆動制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木戸美冬, 小林孝一, 山下裕
2. 発表標題 事象駆動型マルチエージェント監視システム的设计
3. 学会等名 計測自動制御学会 第63回離散事象システム研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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

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