

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11275

研究課題名（和文）情報通信と制御の融合によるサイバーフィジカルICT基盤の構築

研究課題名（英文）Building Cyber-Physical ICT Platform Based on Integrated Information, Communication, and Control Technologies

研究代表者

久保 亮吾（KUBO, Ryogo）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：00582199

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：サイバー空間から通信ネットワークを介して実世界の計測および制御を行うサイバーフィジカルシステムを安全かつ効率的に運用するには、情報通信システムと制御システムの協調動作が必要不可欠である。本研究では、サイバーフィジカルシステムを支えるネットワーク化制御技術の検討を行い、情報通信技術と制御技術を融合してシステム全体の省エネルギー化、高セキュリティ化、高信頼化を実現する手法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は通信ネットワークを介してアプリケーションの制御を行うネットワーク化制御技術を扱ったものであり、通信ネットワーク制御とアプリケーション制御の両面からのアプローチにより省エネルギー化、高セキュリティ化、高信頼化を実現した点に学術的意義がある。また、サイバーフィジカルシステムの省エネルギー化、高セキュリティ化、高信頼化はSociety 5.0の実現に向けた重要な社会課題であり、本研究の成果は機械、電力、交通等の様々な分野の社会インフラシステムに適用することが可能である。

研究成果の概要（英文）：The cooperation of information, communication, and control systems is necessary to achieve safe and efficient operations of cyber-physical systems that control real-world devices from a cyber space over communication networks. In this research, we developed a networked control technology supporting cyber-physical systems from the integrated viewpoint of energy efficiency, security, and reliability.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：サイバーフィジカルシステム 通信ネットワーク システム制御

### 1. 研究開始当初の背景

物理空間のセンサ・アクチュエータとサイバー空間のコンピュータを接続し、情報通信ネットワークを介して計測・制御ループを生成するシステムはサイバーフィジカルシステム（CPS：Cyber-Physical System）と呼ばれている。情報通信、医療・福祉、農業、監視、電力・エネルギー、自動車、ドローン、ロボット等のあらゆるインフラやアプリケーションの仮想統合を意味するスマートシティ／コミュニティは CPS の一例である。センサ・アクチュエータネットワークのような通信ネットワークを介して制御システムを動作させるネットワーク化制御システム（NCS：Networked Control System）は制御分野において 1980 年代頃から検討がなされており、遅延補償を始めとする各種補償技術が遠隔操作ロボット等に適用されている。一方で、Society 5.0 が目指す CPS 技術を活用した人間中心の高度情報化社会を実現するためには情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）と制御技術の革新的な融合が不可欠である。

スマートシティ／コミュニティにおける NCS の構成例を図 1 に示す。NCS アプリケーションはクラウドサーバないしエッジサーバに実装され、通信ネットワークを介して各種インフラやサービスにおける状態の計測・監視を行うとともに、システムの制御・最適化を行う。NCS の性能は通信ネットワーク上の遅延、パケット損失等の QoS（Quality of Service）をはじめとする通信品質の影響を強く受けるため、アプリケーションレベルでの QoS の補償が必要である。また、近年は省エネルギーやセキュリティという新たなシステムレベルの品質要求が高まっており、ネットワーク化による消費電力の増加を抑制し、サイバー攻撃の影響を軽減するシステム設計が求められている。

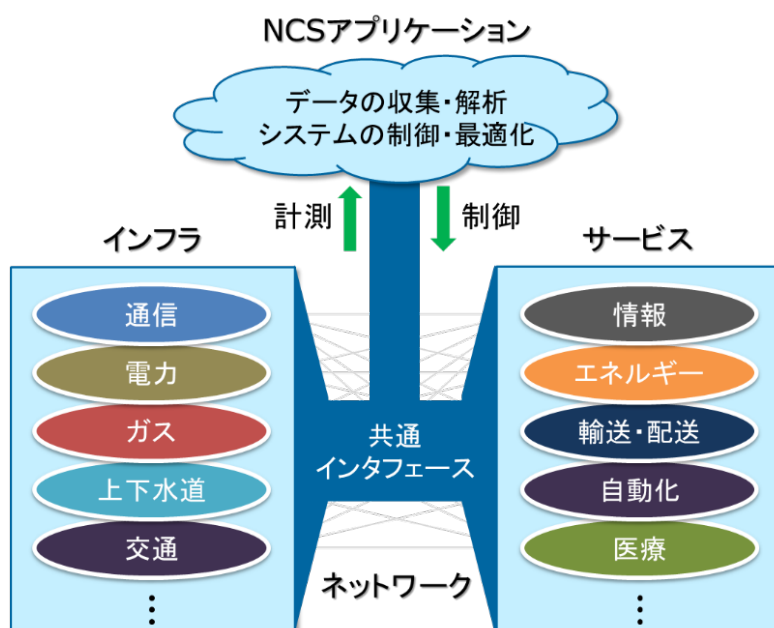


図 1：NCS の構成例

### 2. 研究の目的

NCS に関する既存研究の多くは、情報通信ネットワークの遅延やパケット損失をモデル化し、そのモデルに基づいて制御系設計がなされているため、情報通信ネットワークの特性変化に対してリアルタイムに適応することができない。また、情報通信ネットワーク側でも、制御アプリケーションが要求する多種多様な通信品質をアプリケーション毎に担保することが困難である。このように、システム全体の最適化という観点からすると、情報通信と制御の融合設計（Co-design）が十分になされていないという課題があった。本研究は、各種インフラにおける情報通信システムと制御システムの Co-design 手法を確立し、シームレスなインフラ統合を可能とするサイバーフィジカル ICT 基盤を構築することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、各種インフラにおける情報通信システムと制御システムの Co-design 手法を確立するために、NCS の省エネルギー化技術、NCS の高セキュリティ化技術、高信頼通信技術の研究開発に取り組んだ。以下では、提案技術について説明する。

### (1) NCS の省エネルギー化技術

IoT (Internet of Things) 技術の発展により多くの機器を遠隔で制御できるようになったが、通信量の増加により通信インタフェースの消費電力増大が課題となっている。制御システムにおける省電力化手法には、データ送信をイベント駆動にして通信インタフェースをスリープ状態に移行することで、必要な場合にのみ通信を行う手法がある。イベント駆動の条件として、データの変動量がしきい値を超えたときにサンプリングを行う手法などが提案されている。しかしながら、データの変動量に基づいたスリープ手法では、制御品質 (QoP : Quality of Performance) 指標の一つである制御誤差をある範囲内に保証することはできない。そこで本研究では、図 2 に示すような制御誤差に基づいて送信機 (Tx) をスリープさせてデータ送信頻度を低減して省エネルギー化を図る手法を提案した[1]。

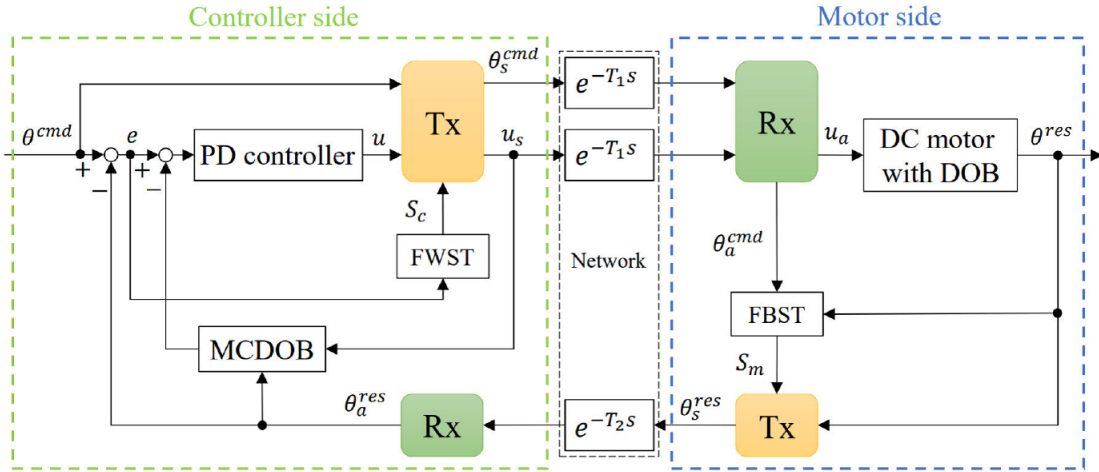


図 2 : QoP に基づく送信機スリープ制御[1]

図 2 の NCS では、制御器側にフィードバック制御器として PD (Proportional-Derivative) 制御器およびネットワーク遅延とデータ損失を補償するための MCDOB (Modified Communication Disturbance Observer) を実装している。また、制御対象としては、1 軸の DC (Direct Current) モータを用い、外乱補償のために外乱オブザーバ (DOB : Disturbance Observer) を実装している。本ブロック線図は DC モータの位置 (角度) 制御を遠隔で実現するものであり、制御器側とモータ側は通信ネットワークを介して接続されている。図 2 における FWST (Forward Sleep Trigger) および FBST (Feedback Sleep trigger) が提案技術であり、制御誤差信号  $e$  に基づき、しきい値を用いて送信機を起動させるか、あるいはスリープ状態に移行させるかを判断する。スリープ状態に移行した場合は一定期間スリープ状態を維持する必要がある、スリープ状態においては送信予定データを破棄する。受信機 (Rx) 側ではデータが到着しない場合はすでに受信済の最新データを利用する。

### (2) NCS の高セキュリティ化技術

NCS は通信ネットワークを介して制御情報および計測情報をやり取りするため、サイバー攻撃の標的となる可能性がある。特に、重要インフラに対するサイバー攻撃は近年急増しており、特に制御システムでは可用性を高めた設計が求められている。そこで本研究では、通信ネットワーク上でのデータ改ざんに対して、ネットワークを冗長化し、多数決に基づいたネットワークパス選択を動的に行うことでシステム全体の可用性を向上させる手法を提案した[2]。

図 3 に通信ネットワーク上でのデータ改ざん攻撃を想定した提案するネットワーク冗長化構成を示す。図 3 の NCS では、制御器側にフィードバック制御器として PD 制御器およびネットワーク遅延を補償するための ASP (Adaptive Smith Predictor) を実装している。また、制御対象としては、1 軸の DC モータを用い、外乱補償のために DOB を実装している。本ブロック線図は DC モータの位置 (角度) 制御を遠隔で実現するものであり、制御器側とモータ側は通信ネットワークを介して接続されている。制御器側から制御対象側への通信ネットワークは  $m$  個のネットワークパスを有しており、これらのパスが改ざん攻撃を受けると想定する。改ざん攻撃を受けるパスの本数は複数である場合もある。制御器側で算出された制御電圧値  $v$  は  $m$  個のうちの  $n$  個のパスに同時に送信される。制御対象側のパス選択器は、ネットワーク遅延を介してこれらの制御電圧値を複数のパスで受信することができる。  $n$  個のパスで受信した制御電圧値から遅延を調整したうえで多数決により、改ざんされていないパスを推定し、その中で最も遅延の小さいパスの制御電圧値をモータシステムに入力する。また、改ざんされている可能性のあるパスの数も推定し、必要最低限のパス数となるように動的にネットワークパス設定を変更することで、通信負荷を低減する。

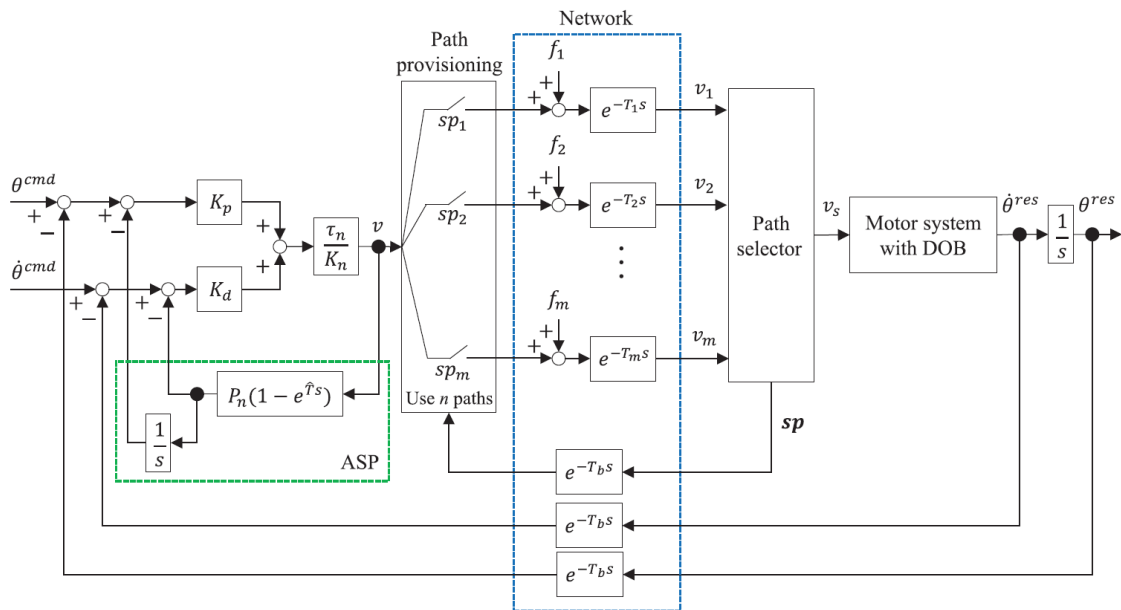


図 3：データ改ざん攻撃に対処する動的ネットワークパス切り替え[2]

### (3) 高信頼通信技術

IoT 通信の信頼性を高める方法として、TCP (Transmission Control Protocol) の利用が想定されるが、端末数の増加によりネットワーク輻輳が問題となっている。重度の輻輳が発生する前に軽度の輻輳を積極的に発生させることで効率的で低遅延な TCP 通信を実現する AQM (Active Queue Management) が提案されているが、制御性の高い制御理論に基づいた AQM においてはルータのキュー長目標値の設計指針が明確となっていない。そこで本研究では、キュー長目標値を QoS 要求に応じて変化させることで、グッドプットの向上または遅延の低減を実現する手法を提案した[3]。

PD 制御に基づく AQM を前提とし、ボトルネックとなっているルータ内部のバッファレベルであるキュー長をある目標値に制御することを考える。TCP 通信においてパケット損失を低減してグッドプットを向上させる loss-aware mode と近年大容量バッファの実装により問題となっているバッファブローによる遅延増大を回避するための delay-aware mode を定義する。loss-aware mode では、バッファあふれを回避した上でキュー長目標値をできるだけバッファ容量に近づけることでパケット損失率を低減する。delay-aware mode では、バッファが空になることを回避した上でキュー長目標値をできるだけ小さくすることでキューイング遅延を低減する。

## 4. 研究成果

本研究で提案した NCS の省エネルギー化技術、NCS の高セキュリティ化技術、高信頼通信技術に関する成果について説明する。

### (1) NCS の省エネルギー化技術

1 軸 DC モータを用いた実験により提案した送信機スリープ制御の有効性を確認した。図 4 は定常誤差の比較結果である。従来手法 (SoD-based) では送信データの増減のみに着目してスリープ可否を判断しているため、スリープ時間の増加に伴い定常誤差が増加した。一方、提案手法 (QoP-aware) は誤差信号に基づいてスリープ可否を判断しているため、スリープ時間を増加させて送信頻度を低減しても定常誤差を 0.01 rad 以下程度に抑制できた。

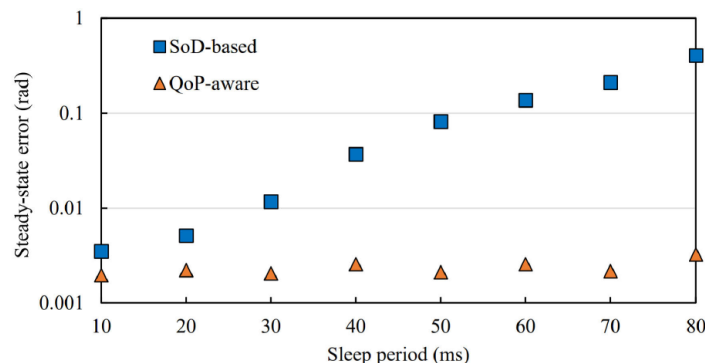
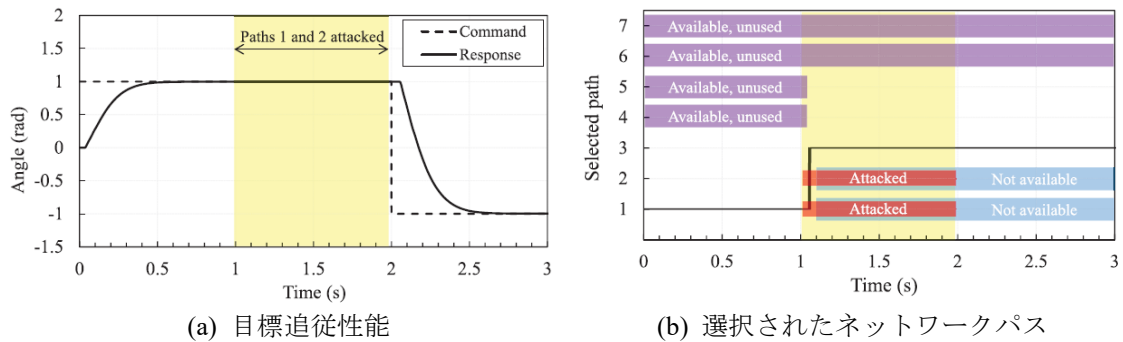


図 4：提案手法 (QoP-aware) と従来手法 (SoD-based) の定常誤差の比較[1]

## (2) NCS の高セキュリティ化技術

1 軸 DC モータを用いた実験により提案した動的ネットワークパス切り替え技術の有効性を確認した。実験では、7 個のネットワークパスを用意し、時刻 0 において 3 個のパスを利用した。時刻 1 s~2 s においてパス 1 および 2 に改ざん信号を加えた。図 5 は提案手法を用いた場合の目標追従性能と選択されたパス選択の時間推移である。図 5(a)より、パス 1 および 2 の信号に改ざんが行われても角度応答は目標値に追従できていることが確認できる。図 5(b)より、改ざん信号が加わった時刻 1 s において 2 個のパスに改ざんが加わった可能性を検知して使用するパス数を 5 に増加させたことが確認できる。また、5 個のパスから受信した制御電圧値から多数決を取ることでパス 1 および 2 における改ざんを検知して、パス 3~5 の 3 個のパスによる運用に切り替えていることが確認できる。このように、提案手法は改ざん検知に必要な最小限のパス数を維持しながら DC モータの角度制御を実現できた。



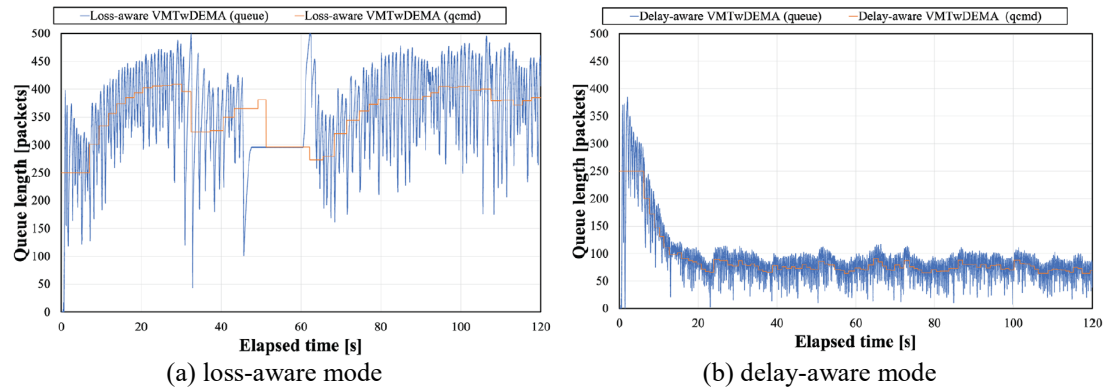
(a) 目標追従性能

(b) 選択されたネットワークパス

図 5：提案手法の目標追従性能とパス選択[2]

## (3) 高信頼通信技術

ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて提案手法の有効性を確認した。図 6 にキュー長の時間応答例を示す。図 6(a)は loss-aware mode におけるキュー長の推移、図 6(b)は delay-aware mode におけるキュー長の推移である。loss-aware mode において、提案手法は他のベンチマーク手法と比較して平均キュー長をバッファ容量に最も近い値に維持することができ、グッドプットを改善できた。また、delay-aware mode において、提案手法は他のベンチマーク手法と比較して平均キュー長を低減することができ、UDP (User Datagram Protocol) フローの混在時に、UDP フローの遅延を低減することができた。



(a) loss-aware mode

(b) delay-aware mode

図 6：キュー長の時間応答[3]

## <引用文献>

- [1] T. Yamanaka, T. Iwai, and R. Kubo, "Quality of performance aware data transmission for energy-efficient networked control," IEEE Access, vol. 9, pp. 5769-5778, Jan. 2021.
- [2] K. Aida, K. Yamada, R. Hotchi, and R. Kubo, "Dynamic network path provisioning and selection for the detection and mitigation of data tampering attacks in networked control systems," IEEE Access, vol. 9, pp. 147430-147441, Nov. 2021.
- [3] R. Hotchi and R. Kubo, "Quality of service aware adaptive target queue length generation for active queue management," IET Control Theory & Applications, vol. 16, no. 4, pp. 398-413, Mar. 2022.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Takaharu Yamanaka, Takanori Iwai, and Ryogo Kubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Variable sleep period control of energy-efficient network interfaces for QoP-aware networked control systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 301-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021XBL0028	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 Kento Aida, Kenta Yamada, Ryosuke Hotchi, and Ryogo Kubo	4. 巻 9
2. 論文標題 Dynamic network path provisioning and selection for the detection and mitigation of data tampering attacks in networked control systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 147430-147441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3124024	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 Ryuta Sakamoto and Ryogo Kubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Dynamic bandwidth allocation with playback buffer stabilization for QoE-aware adaptive video streaming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 1003-1008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021XBL0167	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 Hotchi and Ryogo Kubo	4. 巻 16
2. 論文標題 Quality of service aware adaptive target queue length generation for active queue management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IET Control Theory & Applications	6. 最初と最後の頁 398-413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/cth2.12234	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 Ryogo Kubo	4. 巻 E105-B
2. 論文標題 Communication quality estimation observer: An approach for integrated communication quality estimation and control for digital-twin-assisted cyber-physical systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2021MEI0003	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 Takaharu Yamanaka, Kenta Yamada, Ryosuke Hotchi, and Ryogo Kubo	4. 巻 8
2. 論文標題 Simultaneous time-delay and data-loss compensation for networked control systems with energy-efficient network interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 110082-110092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3001293	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 Hotchi, Hosho Chibana, Takanori Iwai, and Ryogo Kubo	4. 巻 8
2. 論文標題 Active queue management supporting TCP flows using disturbance observer and Smith predictor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 173401-173413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3025680	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 Takaharu Yamanaka, Takanori Iwai, and Ryogo Kubo	4. 巻 9
2. 論文標題 Quality of performance aware data transmission for energy-efficient networked control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 5769-5778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3048796	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 Kenta Yamada, Jin Hoshino, and Ryogo Kubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Detection of data tampering attacks using redundant network paths with different delays for networked control systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 140 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.140	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 Hotchi and Ryogo Kubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Remote congestion control using model-free butterfly-shaped perfect delay compensator for active queue management supporting TCP flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 157 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.157	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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Kaito Nakata, Ryuta Sakamoto, and Ryogo Kubo
2. 発表標題 Fair adaptive video streaming in MPEG-DASH based on feedback control and AIMD algorithm
3. 学会等名 The 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji Ochi, Ryuta Sakamoto, and Ryogo Kubo
2. 発表標題 Time-delay compensation using communication disturbance observer in adaptive bitrate control for MPEG-DASH
3. 学会等名 The 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Taisei Awaji, Rintaro Tashima, Ryogo Kubo
2. 発表標題 Detection and mitigation of data tampering attacks for cooperative ACC systems based on C-V2X
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野翔, 越智功士, 久保亮吾
2. 発表標題 MPEG-DASHにおける映像ビットレートの適応量子化に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中田開斗, 阪本竜太, 久保亮吾
2. 発表標題 MPEG-DASHにおけるAIMD方式を用いた適応ビットレート制御
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保亮吾, 松尾優孝
2. 発表標題 協調型自動運転の実現に向けた通信と制御の両面からのアプローチ
3. 学会等名 電子情報通信学会革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本海, 浅野翔, 越智功士, 久保亮吾
2. 発表標題 MPEG-DASHにおける量子化誤差オブザーバを用いた適応ビットレート制御
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保亮吾
2. 発表標題 サイバーフィジカルソーシャルシステム実現に向けたシステムレベル通信品質に基づくネットワーク化制御
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保亮吾, 阪本竜太, 越智功士
2. 発表標題 制御工学的アプローチに基づくQoEを考慮した映像ストリーミング技術の動向と課題
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryogo Kubo, Takahiro Michigami, Kenta Yamada, and Manabu Yoshino
2. 発表標題 Demonstration of wide-area networked motion control over long-reach 10G-EPON based on optical access edge computing
3. 学会等名 The 24th OptoElectronics and Communications Conference/International Conference on Photonics in Switching and Computing 2019 (OECC/PSC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryosuke Hotchi and Ryogo Kubo
2 . 発表標題 Update cycle recalculation in active queue management using dynamically controlled target queue length
3 . 学会等名 The 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takaharu Yamanaka, Kenta Yamada, Ryosuke Hotchi, and Ryogo Kubo
2 . 発表標題 Time-delay and data-loss compensation using communication disturbance observer for energy-efficient networked control systems
3 . 学会等名 The 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kento Aida, Kenta Yamada, Ryosuke Hotchi, and Ryogo Kubo
2 . 発表標題 Dynamic redundant path selection for tamper-tolerant networked control
3 . 学会等名 The 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryogo Kubo
2 . 発表標題 Detection and mitigation of false data injection attacks for secure interactive networked control systems
3 . 学会等名 The 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (ISR 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryogo Kubo
2. 発表標題 Effects of time delays on observer-based cyberattack detection in interactive networked control systems
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀地亮佑, 久保亮吾
2. 発表標題 TCP/AQMネットワークにおけるバッファ容量を考慮したキュー長制御アルゴリズムの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀地亮佑, 久保亮吾
2. 発表標題 AQMの動的目標キュー長制御における目標値更新周期の検証
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田健太, 堀地亮佑, 久保亮吾
2. 発表標題 ステガノグラフィを用いたネットワーク化制御システムにおける情報ハイディング
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保亮吾, 山田健太
2. 発表標題 サイバーフィジカルシステムにおける制御システムセキュリティ ネットワーク化制御における制御品質の観点から
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 会田健人, 山田健太, 堀地亮佑, 久保亮吾
2. 発表標題 耐改ざんネットワーク化制御におけるネットワークパスの動的冗長度切替手法
3. 学会等名 電子情報通信学会通信方式研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中貴陽, 山田健太, 堀地亮佑, 久保亮吾
2. 発表標題 省電力機能を有するネットワーク化制御における通信外乱オブザーバを用いた遅延およびデータ損失補償
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

慶應義塾大学理工学部電気情報工学科久保研究室 <a href="http://www.kbl.elec.keio.ac.jp/">http://www.kbl.elec.keio.ac.jp/</a>
---

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
---------	---------