

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04384

研究課題名(和文) モデルアウェアなデータ駆動制御理論の深化・実現・拡大

研究課題名(英文) Studies on Data-Driven Control Theory with Model Awareness: Deepening, Realization and Expansion

研究代表者

金子 修 (Kaneko, Osamu)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00314394

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の主題は、データを直接用いた制御であるデータ駆動制御に関するものである。ここではモデルを意識した(モデルアウェア)なデータ駆動制御理論の研究を行った。モデルと同時に制御器を求める同時獲得法、ERITやVIMTなどの新規手法の開発を行った。非線形システムを中心とした適用分野の拡大、外乱抑制問題の解析と方法論の開発、データベース駆動制御の実用化に向けた研究を行った。さらにデータ駆動予測という概念を導入し、モデルを使わずに既知情報のみで実装前応答予測を可能にする手法を開発した。そして、データ駆動参照値整形という、制御器を変えずに印加する外生信号により目標を実現する新しい手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

操業データ・運転データを直接用いて制御系を設計する、または、調整・更新するという手法は、モデルを用いることのできない場合の有用な活路となる手法である。本研究では、そのようなデータ駆動制御の理論的解析を行い、新しい設計法・計算法を新たに提供した。このようにデータ駆動制御の新しい理論や方法論を構築したという点で学術的意義がある。さらに生産現場におけるコストダウンにも貢献が期待でき、身の回りの制御が使われている製品のメンテナンスの簡便化にもつながる有益な成果であるという点で社会的意義がある。またモデルも得られる制御器更新法の拡充によりメンテナンスしながら状態監視も行えるという実用的利点もある。

研究成果の概要(英文)：We study a data-driven control, which is design or tuning method based on the direct usage of the data. Here we focus on model-aware data-driven control from the theoretical and practical points of view. We provide new data-driven control methods, such as Estimated Reference Iterative Tuning(ERIT) and Virtual Internal Model Tuning(VIMT). In the derivation process of these methods, we also propose data-driven prediction which enables us to predict the response before the implementation of the controller by using available information except the model. We also provide data-driven reference governor, which is a new approach to realize a desired property with only applying a shaped exogenous signal. We also provide new effective results on data-base driven control systems, regulation control for disturbance attenuation, extension to some classes of non-linear systems from practical or theoretical points of view. Some results have been validated by using actual experimental examples.

研究分野：制御

キーワード：データ駆動制御 データ予測制御 FRIT ERIT VIMT モデリング データベース駆動制御 同時獲得

1. 研究開始当初の背景

データを直接用いて制御器を設計・更新するデータ駆動制御の研究が活発に研究されていた(2020年でも活発に研究されている)。2016年当時はメカニカル系やプロセス制御を中心に有用な成果も現れ、理想的な同定実験が困難な状況下の有効手段の一つになりつつあった。本研究代表者も、短時間の保守点検や、操業データの有効活用を想定して、一組のデータのみで所望の制御器を与える Fictitious Reference Iterative Tuning (FRIT) 法を中心に研究をすすめてきた。

データ駆動制御は制御器のクラスは拡張できていたが、制御対象のクラスについては、線形時不変系や非常に限定された非線形系や多入出力系を除いては、当時は理論的側面が整備されていなかった。扱う問題も目標値追従が中心で、外乱除去などの問題も限定的であった。一方で、データ駆動制御の結果の導出では、代表者が FRIT で経験したように、伝達関数などの数式モデルに関する結果を援用することが有効な活路であると考えられていた。従って、データ駆動制御の有効性の理論構築に数式モデルに基づいた諸結果が有益であり、これらを用いることでデータ駆動制御のさらなる拡張と発展につながると考えられた。

得られた制御器の性能を実装前に正確には予測することはできない。このことはデータ駆動制御の欠点の一つであり、データ駆動制御を最大限に実現するためには、この障壁を越える必要があった。FRIT では評価関数が目標応答伝達関数と更新後の制御器を実装した閉ループ系の伝達関数の相対誤差を初期出力の重みのもとで評価していることに有用性の根拠があるが、結果はデータの PE 性等に依存する。また Toeplitz 行列による解析によってもデータの誤差の蓄積により、更新後応答を正確には実装前に予測はできない。装置の故障や過度な入力の影響、実験にコストがかかる状況も考えれば、実装前の予測が可能になることは実用上の有益な効果をもたらす。そして、この問題はモデルに基づく制御でも同じことがいえる。すなわち、不完全なモデルに基づいて設計された制御器の性能を知るには、やはり実験するしかない。このように、モデルに基づく制御とデータ駆動制御での双方に共通した問題を、データ駆動制御の新しい知見で解決できれば、二つの相異なるアプローチをつなぐ強力な結果となることも期待できる。

また、代表者は2016年までに内部モデル制御やオブザーバに対してデータ駆動制御を使うことで制御器とモデルを同時に獲得する手法を提案していた。このことをさらに拡張し深めることで、データ駆動制御がモデル構築に貢献できることも期待できる。とくに内部モデル制御は制御とモデルをつなぐ重要な役割をもち、このことを生かした新しい制御とモデルの同時獲得やデータ駆動制御の手法の構築も学術的な貢献できると考えられていた。

さらに、動特性の複雑さゆえにモデル化が困難な対象でデータ駆動制御の有効性を検証することは、モデルに基づく制御が対応不可能な分野への開拓ができ、ニーズに応えるデータ駆動制御として広く普及する布石となる可能性を秘めている。この点についてはデータベースに基づく制御が、分担者らにより研究されていたが、その成果のさらなる実用化に向けた研究が、本質的にモデルを得ることが困難なシステムの制御に大きく貢献できると考えられていた。

これらのように、データ駆動制御においても、モデルを用いる制御とは表裏一体で重要な位置づけにあると考えた。そして、モデルを用いた制御との接点を意識しながら、補完的に発展しあうようなデータ駆動制御の理論構築は、単なる技法を越えた、制御の本質を担うデータ駆動制御理論の深化・実現・拡大を可能にするための一つの重要なポイントであると考えられていた。

2. 研究の目的

上の背景から、モデルを意識した (aware) データ駆動制御の深い理論構築 (深化) と、制御としての確に実現するための実装手法や実装前予測などの方法論の構築 (実現)、そして問題や対象のクラスなどの拡張 (拡大) という観点で以下の主要な5課題に取り組むことを目的とした。

- (1) データ駆動制御の理論の強化と制御器の高性能化・新規手法の提案: これまで研究代表者らが研究してきた FRIT や Campi らにより提案された Virtual Reference Feedback Tuning (VRFT) をベースにして、これらのさらなる拡張、および、高機能・高性能化、さらには、これらの欠点を克服する新しい制御器更新手法を提案する。また、データに基づくシステム理論の整備も検討する。
- (2) データ駆動制御の実装や計算に関わる方法論の構築とデータ駆動型実装前性能把握 (予測): データと稼働中の制御器を用いて、オフラインで得たデータ駆動制御器が所望の性能を満たすか否かを実装前に予測する方法を考える。また、実装や最適化の方法論など、データ駆動制御の的確な実現に関わるさまざまな主題についてもより実用的な手法を開拓・検討する。
- (3) データ駆動制御で扱うクラスと制御問題の拡大: 非線形系や時変系、またはデータベースを活用した制御とそれに伴う計算の効率化などに取り組む。制御仕様や扱う問題も、目標値応答のみならず他の問題も扱う。
- (4) モデルと制御器の同時獲得法の一般化と理論強化: これまで得た同時獲得法をさらに一般化し、仕様に対するモデル精度と制御器性能の関係を考察する。
- (5) アプリケーションによる検証: (1) ~ (4) に対するメカニカル系やプロセス系等を中心とした検証を行う。また本質的にモデル化の難しい人間の技能のモデル化やそのアシストを取り上げ、そして、触覚デバイスや動作キャプチャなどを用いた実証実験可能性を検討する。

3. 研究の方法

代表者の金子が全体の統括をつとめ、2で述べた目的に沿った主題では以下のような方法で進めた。概略を示す。

- (1) データ駆動制御の理論の強化と制御器の高性能化・新規手法の提案
[金子] これまで進めてきた FRIT 法を足掛かりにさらなる拡充を目指す。同時に、目的で述べたような理論的テーマについて取り組む。途中 2017 年以降は今回の中心的成果の一つである新しい制御器更新法 ERIT(Estimated Response Iterative Tuning)を得ることが出来たため、その理論的解析、2018 年からは、内部モデルに発想を得た全く別の新しい制御器更新法 VIMT(Virtual Internal Model Tuning)に基づき、これらの拡張と理論解析に取り組む。
[増田] 定置制御系を中心として外乱抑制のデータ駆動制御の問題に取り組む。これまで有用な成果を出しており、それらをもとに外乱クラスの拡充や、最適化計算の高性能化、および、データ駆動制御の理論的立場からの研究を進める。さらにプレフィルタの導入など解析的側面からの理論研究にも注力する。必要に応じてメカニカル系の実証実験にて検証する。
[山本透・脇谷] これまで進めてきた制御性能評価に基づくデータ駆動制御をさらに実应用到に近づけるべく、最適化計算の工夫や簡便化、クラスの拡大を検討する。
- (2) データ駆動制御の実装や計算に関わる方法論の構築とデータ駆動型実装前性能把握(予測)
[金子] データ駆動制御の実装前性能把握という観点では、実装した時の安定性の保証を中心に、理論的側面、および、簡単なクラスから検討する。また、2016 年に得た 2 自由度制御系の応答予測の方法、2018 年に得た FRIT に基づく 1 自由度系の応答予測の方法をもとに、これらの理論解析、予測する制御系の拡張、実験を通じた検証する。さらに 2018 年に提案したデータ駆動参照値整形を元に、制御系の構成を変えずに信号のみで所望の性能を達成する新しい制御実装の枠組みについても、理論・応用双方から取り組む。
[山本透・脇谷] データベース駆動型制御において、データベースに関わるメモリの節約や計算法の簡約化といった実装に関わる問題を検討する。
- (3) データ駆動制御で扱うクラスと制御問題の拡大
[金子] (1)、(2)、および後述の(4)について多入出力化を中心にクラスの拡大を理論・応用の双方から検討を進める。また安定性保証について、周波数領域で議論することが本質的であることもあり、必要に応じて FRIT 等を周波数領域に展開する。
[増田] (1)の定置制御系を非線形系、多入出力系への拡張を理論・応用から検討を進める。
[山本透・脇谷] データベース駆動制御自体が、線形時不変では収まらない幅広いクラスの制御対象を扱うことであるから、このデータベース駆動制御の応用という立場から制御仕様の高性能化をつとめることで、おのずと対象のクラスの拡大ができると思われる。
- (4) モデルと制御器の同時獲得法の一般化と理論強化：
[金子] これまで進めてきたデータ駆動制御のモデルと制御の同時獲得の理論と方法を深化させていく。また、途中提案された VIMT や ERIT を用いた制御とモデルの同時獲得の手法の確立にも取り組む。
[増田] 定置制御系における制御と外乱モデルの同時獲得を検討する。
[山本透・脇谷] データベースを用いた局所モデル化などの検討も行う。
- (5) アプリケーションによる検証：
[山本豪志朗・金子] データ駆動制御による人間のモデル化やアシストについては、人間のどの運動に着目するかということを検討し、適切なセンサシステムや、アクチュエーションの方法などを検討し、まずは適切な実験環境のセッティングを行う。
[金子・増田・山本透・脇谷] メカニカル系、ミニヘリコプター、液面制御系などを中心に(1)~(4)の成果の検証を行う。

4. 研究成果

本研究での成果を目的の項目(1)~(5)に沿った形で以下にまとめる。

- (1) データ駆動制御の理論の強化と制御器の高性能化・新設計法の提案：
二自由度制御系に対する新しい制御器更新法 Estimated Reference Iterative Tuning (ERIT)を提案した。これは後述のデータ駆動予測からきている成果であるが、フィードフォワード制御器を実装した際の出力応答を、出力データと他の既知情報のみから予測し、その予測応答と目標応答の差を最小化することで所望の特性をもつ制御器を得るものである。出力データと既知情報のみで良いという実用的有用性、後述のデータ駆動予測の応用という学術的意義をもつ。また、ERIT はリアルタイム型の制御器更新にも適用し、実験検証により良好な成果を得ている。
1 自由度制御系に対する新しい制御器更新法 Virtual Internal Model Tuning (VIMT)を提

案した。ERIT が二自由度制御系のみには適用できない欠点を克服するために、仮想的な内部モデル制御の考え方をういて代表者らの研究グループで提案した全く新しい制御器更新法である。ERIT 同様に、VIMT も出力データと初期フィードバック制御、目標応答伝達関数のみで構成される評価関数を最適化するのみでよい。さらに、VRFT で導入されたプレフィルタを、VIMT に対しても同様に導出し、適用することで制御性能のさらなる改善がおこなえることを示した。仮想的な内部モデルを用いたという学術的に意義があるし、モデルを意識することで得た方法という点で、本課題のひとつの重要な成果である。

VIMT を二自由度制御系に拡張した。閉ループ系に対しては所望の一巡伝達関数となるような制御器、フィードフォワード部については応答性の向上を実現する制御器を、それぞれ仮想的な内部モデル制御器をもとに表現し最適化する方法である。

外乱で駆動される定置制御データに対して Youla パラメータによる調整手法や、一般化分散制御器の調整手法などを導出した。これらは外乱除去というプロセス系などでの制御の実用的な問題を解くためのデータ駆動制御の重要な方法論となる。また、L2 正則化により、推定パラメータのばらつき抑制を行い、実験と調整を繰り返すことで最適パラメータを導出できることを導いた。

線形パラメータ表現された制御器に対する定値制御系に対するデータ駆動制御において勾配ベクトルに着目したプレフィルタの設計法を与え、その有効性を示した。さらに、定値制御データからヘッセ行列を推定する方法を与え、ニュートン法による繰り返し調整を与えた。

制御系性能評価と制御器調整を融合した 1 パラメータ調整法、主成分分析をもちいた次元圧縮法を伴うデータ駆動型制御を示した。これらはデータ駆動制御の簡便化に貢献する成果である。

(2) データ駆動制御の実装に関わる方法論およびデータ駆動型実装前応答予測（把握）

二自由度制御系のデータ駆動予測を提案した。これは先述の ERIT のもとになった考え方であり、目標応答改善のためにデータ駆動制御で得たフィードフォワード制御器の実装前に、オフラインでそれを実装した時の応答を予測する方法である。通常の伝達関数ベース、および状態フィードバック型積分サーボ系について、この方法論を構築し検証した。

FRIT における擬似参照信号を用いたデータ駆動応答予測を提案した。これは FRIT において、評価関数が、目標応答伝達関数と、制御器を実装した実際の閉ループ系の相対誤差で表されることを逆にとることで、目標応答伝達関数に相当する部分を最適化パラメータとして、閉ループ系、および閉ループ系の出力を実装前に予測する手法である。これは、モデルベース制御にも適用可能な技術であるために、実用的に重要な成果であり、またデータ駆動制御を逆に応用したという点で学術的な意義がある。なお、2 自由度系、状態フィードバック系にも拡張した。

VRFT における仮想参照信号を用いることで、制御器実装前にその制御器と制御対象から構成される一巡伝達関数を予測する手法を提案した。これも 同様に重要な意義がある。

ERIT に基づく予測応答法をデータベース駆動型制御系の設計に取り入れた方法について考察した。これにより、採取した応答以外のデータを予めデータベースに格納できることから、結果として良好な制御性能を得ることが可能となった。

データ駆動参照値整形法を提案した。これは、データ駆動制御により、最適な制御器が得られているとき、制御系の構成を変更せずに、参照値信号を適切に整形することで、目標応答を達成するものである。実際に組込まれているような改変不可の制御系の場合の制御の実装法として実用的の高い手法である。さらに、これを入力飽和のある場合、制御器が目標とする制御器とのギャップがある場合の解析なども行った。なお、このデータ駆動参照値整形法は、比例微分先行型、およびむだ時間系についても拡張した。

あるクラス（不安定極を一つもつ）に限定しているが、線形時不変不安定系に対し、制御器を実装した後の閉ループ系の感度関数を評価関数に含ませて、擬似外生信号から生成される誤差を含む評価関数を最適化することで安定化を図る制御器のための更新法を与えた。不安定系を安定化する場合には、対象の不安定極を閉ループ系の感度関数が零点としてもたなければならない。そのことに着目し、所望の感度関数に不安定極を零点としてパラメータライズして FRIT による評価関数で最適化する方法である。現状、不安定極が一つの場合について安定化を可能とした。

データベース駆動制御において、メモリ容量の少ない場合への対応として LASSO を併用した GMDH(Group Method of Data Mining)を提案し安定なパラメータ調整機構を得た。加えて、データベース実装上の問題であった近傍データ数の決定と安定性解析をカーネル密度関数の導入などを援用することで考察した。さらに、先述の ERIT の予測応答のデータベースへの事前格納による性能改善、クラスタリングによるサブデータベースの設計法など、予測に関わる計算時間の削減、アンサンブル学習による複数制御器の切替法などを得た。これらの成果および考察はデータベース駆動型制御の実装や計算に関して非常に有用な成果である。

(3) データ駆動制御で扱うクラスと制御問題の拡大

(2) に関連して、このときの評価関数は周波数領域で変換して最適化を行った。なぜならば感度関数の整形は周波数領域と親和性があるからである。その意味で、限定されてはいるが、周波数領域でのデータ駆動制御に関する重要な成果を得た。制御対象の非線形系への拡張をおこなった。一つは、状態方程式で表される非線形系に対しフィードバック線形化制御則のパラメータを直接調整する手法、また、非線形系に対するセルフチューニングコントローラにカルマンフィルタを導入し、分散情報を与えることで制御性能を向上させた。データベース駆動型制御系の非線形系へ拡張した。特に、非線形特性を有するカスケード制御系に対してデータベースを援用したFRITに基づく制御器の直接的設計法を統合する手法を確立し、液面制御系により検証した。またE-FRITにニューラルネットワークを適用した非線形PID制御器の設計法を提案した。多入出力系については、入力むだ時間系に対するFRIT、多入出力系に対するERITを拡張した。またPID制御系において拡張出力を導出し、制御パラメータを直接調整可能なセルフチューニング制御系の設計手法を多入出力系に拡張した。また、多入出力系で本質的に問題になる干渉化については、後置補償器を用いた多変数系の非干渉化法についても検討した。

(4) モデルと制御器の同時獲得法の一般化と理論強化

あるクラスの不安定系（不安定極を一つもつ）に対して、安定化制御器と、制御対象の不安定極を同時に獲得する手法を提案した。これは(2)の成果をモデルと制御器の同時獲得から見た際の成果でもある。これまで制御とモデルのデータ駆動型同時獲得において、未解決であった不安定系に対する理論的裏付けの第一歩を得たことは意義がある。

(3)における多入出力系で入力にむだ時間がある場合に、FRITを用いて制御とモデルの同時獲得を行うことができた。これができたポイントは、フィードバック制御器に含ませるモデルの逆システムと目標応答伝達関数の積において、目標応答伝達関数にあるむだ時間とモデルのむだ時間と切り離すことにある。

VIMTによる同時獲得法の制御仕様の立場からの理論解析を行った。同じくむだ時間系のスミス補償器についてVIMTを適用することで、モデルと制御器の同時獲得を可能にした。

非最小位相系に対するERIT法を与え制御と非干渉部の同時獲得を検討した。ここではむだ時間での1パラメータによる近似、ラゲール関数近似、インナー分解による近似を試み、各々の非最小位相部の同定性能について比較した。

データベース駆動型制御においては、局所線形モデルも構築するハイブリッドデータベース駆動型制御法の一設計法を与えた。

(5) アプリケーションによる検証

(1)～(4)に対するメカニカル系やプロセス系等を中心とした検証を行った。個々の状況はそれぞれの論文等で明確にしているが、台車の位置決め制御系、液面制御系、ミニチュアヘリコプターの姿勢制御、レゴEV3の位置制御等である。

人間の技能のモデル化やアシストについては、結局、データ駆動と融合させることはできなかった。しかし、この検討過程でモーションセンサによる人の振舞いデータの収集システムの構築、限定空間であるが体全体の動作をデジタル化する環境の検討を行った。また、人間の反射運動や光の知覚能力に関して、いくつかの基礎的知見を得た。これらは、データ駆動制御のための、人間の運動と知覚のモデル化に必要な基礎検討と考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 桑原 圭佑, 池崎 太一, 定本 知徳, 金子 修	4. 巻 56
2. 論文標題 目標応答追従のためのデータ駆動制御型参照信号整形	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 269-274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.9746/sicetr.56.269	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 池崎 太一, 金子 修	4. 巻 56
2. 論文標題 Virtual Internal Model Tuningによる二自由度制御系のデータ駆動型更新	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 98-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.9746/sicetr.56.98	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 池崎 太一, 金子 修	4. 巻 139
2. 論文標題 閉ループ系出力データに基づく制御器パラメータチューニングの新しいアプローチ-Virtual Internal Model Tuningの提案-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 786-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.786	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 高橋 英輔, 金子 修	4. 巻 55
2. 論文標題 一組の実験データを直接用いた閉ループ系の応答予測の新しいアプローチ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 324-330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.9746/sicetr.55.324	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 高橋 英輔, 金子 修	4. 巻 139
2. 論文標題 一回の実験データを用いたセミクローズド制御方式に対する制御器パラメータチューニング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 395-401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.395	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 増田 士朗, 朴 鍾浩, 松井 義弘	4. 巻 139
2. 論文標題 閉ループステップ応答データを用いたデータ駆動I-PDゲイン調整	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 882-888
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.882	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 岡田 将吾, 増田 士朗	4. 巻 139
2. 論文標題 線形パラメータ表現された制御器に対するデータ駆動型最小分散制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 469-475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.469	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 梶原諒太, 増田士朗, 松井義弘	4. 巻 139
2. 論文標題 操作量評価を考慮した閉ループステップ応答データを用いたデータ駆動型制御器調整における規範モデルの設計法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 476-481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.476	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 中西 宏樹, 脇谷 伸, 山本 透	4. 巻 140
2. 論文標題 自己組織化マップに基づくサブデータベースを用いたデータベース駆動型制御系の一設計	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 289-295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.140.289	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 Shin Wakitani, Toru Yamamoto and Takao Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of a Performance-Adaptive One-parameter Tuning Controller	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Control, Automation and Systems	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) https://doi.org/10.1007/s12555-018-0054-5	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 脇谷 伸, 大上 貴一, 山本 透	4. 巻 139
2. 論文標題 主成分分析に基づくp入力q出力 ($p > q$) 系に対するデータ駆動型一般化最小分散制御系の設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1304-1309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.1304	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 Wakitani Shin, Yamamoto Toru and Gopaluni Bhushan	4. 巻 58
2. 論文標題 Design and Application of a Database-Driven PID Controller with Data-Driven Updating Algorithm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 11419-11429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b00704	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 Ashida Yoichiro, Wakitani Shin and Yamamoto Toru	4. 巻 58
2. 論文標題 Design of an Augmented Output-Based Multiloop Self-Tuning PID Control System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 11474-11484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b06118	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 Akiyama Ryo, Yamamoto Goshiro, Amano Toshiyuki, Taketomi Takafumi, Plopski Alexander, Sandor Christian and Kato Hirokazu	4. 巻 -
2. 論文標題 Robust Reflectance Estimation for Projection-Based Appearance Control in a Dynamic Light Environment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	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) 10.1109/TVCG.2019.2940453	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 木下 健人, 脇谷伸, 大野修一	4. 巻 138
2. 論文標題 E-FRITに基づくニューロPID制御器の設計	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 512-519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.512	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 脇谷伸, 山本透	4. 巻 54
2. 論文標題 LASSOに基づくデータ駆動型スパースGMDH-PID制御系の設計	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 886-893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.9746/sicetr.54.886	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 金子 修, 中村 岳男, 池崎 太一	4. 巻 54
2. 論文標題 二自由度制御系のフィードフォワード制御器更新の新しいアプローチ Estimated Response Iterative Tuning (ERIT)の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 857-864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.9746/sicetr.54.857	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 奥谷明大, 金子修	4. 巻 52
2. 論文標題 http://doi.org/10.9746/sicetr.52.581	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 581-588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.9746/sicetr.52.581	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 津久井文哉, 増田士朗	4. 巻 137
2. 論文標題 フィードバック線形化を用いたデータ駆動型制御器調整	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 891-897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1541/ieejeiss.137.891	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100件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 35件)

1. 発表者名 Taichi Ikezaki and Osamu Kaneko
2. 発表標題 Simultaneous Update of Controller and Model by Using Virtual Internal Model Tuning
3. 学会等名 21st IFAC World Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Kuwabara, Tomonori Sadamoto and Osamu Kaneko
2. 発表標題 New Data-Driven Approach of Reference Shaping
3. 学会等名 21st IFAC World Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taichi Ikezaki and Osamu Kaneko
2. 発表標題 A New Approach of Data-Driven Controller Tuning Method by Using Virtual IMC Structure -Virtual Internal Model Tuning
3. 学会等名 13th IFAC Workshop on Adaptive and Learning Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Nakanishi, Shin Wakitani and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Design of a Database-Driven Controller with Data Clustering Method
3. 学会等名 13th IFAC Workshop on Adaptive and Learning Control Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shogo Okada, Tsukasa Yokoyama and Shiro Masuda
2. 発表標題 Gradient based pre-filter design for data-driven parameter updating for regulatory controller based on variance evaluation
3. 学会等名 58th IEEE Conference on Decision and Control (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eisuke Takahashi and Osamu Kaneko
2. 発表標題 Feedforward Controller Design based on Data-Driven Response Prediction
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zaw Ko Ko Latt, Hnin Si and Osamu Kaneko
2. 発表標題 Experimental Validation of the Yaw Channel Control of a Hexacopter with an Appropriate Choice of the Reference Model in FRIT
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuma Morota, Takuya Kinoshita and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Design of a Data-Driven Controller Using Ensemble Learning
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuuji Okada, Takuya Kinoshita and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Design of a Database-Driven Controller Using Estimated Data
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suneha Sharma, Shin Waklitani, Kiichi Oue and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Study on a Data-Driven Controller Design for MIMO Systems Using Skilled Workers' Data
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ji Qiang and Shiro Masuda
2. 発表標題 Iterative PID regulatory control design using gradient estimate of LQG evaluation
3. 学会等名 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Ota, Shiro Masuda, and Yoshihiro Matsui
2. 発表標題 Simultaneous design of reference model and controller for VRFT using closed-loop step response data
3. 学会等名 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shiro Masuda
2. 発表標題 Iterative PID gain tuning using gradient estimate of variance cost criterion through regulatory control data
3. 学会等名 12th Asian Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池崎 太一, 金子 修
2. 発表標題 Virtual Internal Model Tuning におけるプレフィルタを用いた制御器更新性能
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第7回マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古橋 美聖, 増田 士朗
2. 発表標題 ヘッセ行列を用いた定値制御系における分散評価に基づくデータ駆動繰り返し制御器調整
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第7回マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑原 圭佑, 定本 知徳, 金子 修
2. 発表標題 むだ時間系に対するデータ駆動制御型参照値整形
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 緒方 健成, 金子 修
2. 発表標題 擬似参照信号を用いた二自由度制御系に対するデータ駆動型応答予測
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 川口 将貴, 金子 修
2. 発表標題 非最小位相系に対するERIT
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 樋口 奎, 池崎 太一, 金子 修
2. 発表標題 むだ時間系に対するスミス補償器のVirtual Internal Model Tuning
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 中西宏樹, 脇谷伸, 山本 透
2. 発表標題 サブデータベースを用いたデータベース駆動型制御器設計法
3. 学会等名 第70回電気・情報関連学会中国支部連合大会プログラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池崎 太一, 金子 修
2. 発表標題 Virtual Internal Model Tuning を用いた外乱抑制のための制御器更新
3. 学会等名 2019年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原 圭佑, 金子 修
2. 発表標題 I-PD制御系に対するデータ駆動制御型参照値整形
3. 学会等名 2019年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 修
2. 発表標題 仮想参照信号を用いたデータ駆動応答予測
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 修
2. 発表標題 状態フィードバック系のデータ駆動型応答予測
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第6回マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 岳男, 金子 修
2. 発表標題 多入出力データ駆動予測を用いた制御器更新法
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第6回マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原 圭佑, 金子 修
2. 発表標題 目標応答追従を達成するデータ駆動制御型参照値整形
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第6回マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川 龍, 金子 修
2. 発表標題 線形関数オブザーバを併用した積分型サーボ系に対する制御器とモデルのFRITベースド同時更新
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第6回マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧川 友香子, 増田 士朗
2. 発表標題 測定可能外乱を持つプロセスに対する外乱抑制FRITにおける規範モデル
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第6回マルチシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zaw Ko Ko Latt, Hnin Si and Osamu Kaneko
2. 発表標題 Controller Parameter Tuning of a Hexacopter with Fictitious Reference Iterative Tuning
3. 学会等名 SICE International Symposium on Control and Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Akiyama, Goshiro Yamamoto, Toshiyuki Amano, Takafumi Taketomi, Alexander Plopski, Christian Sandor, Hirokazu Kato
2. 発表標題 Perceptual Appearance Control by Projection-Induces Illusion
3. 学会等名 IEEE International Conference on Virtual Reality 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 脇谷 伸, 山本 透
2. 発表標題 機械学習に基づくデータベース駆動型PID制御系の設計法
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 中村 岳男, 金子 修
2. 発表標題 多入出力二自由度制御系に対するデータ駆動予測
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 Shiro Masuda and Yoshihiro Matsui
2. 発表標題 Data-driven Optimal Parameter Tuning of Controller and Reference Model for Continuous-time VRFT Using Closed-loop Step Response Data
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunsuke Nagumo and Shiro Masuda
2. 発表標題 Data-driven Feedforward Controller Tuning for Disturbance Attenuation Property
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池崎 太一, 金子 修
2. 発表標題 閉ループ系の出力データに基づく制御器パラメータチューニングの新しアプローチ
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 北川龍, 金子修
2. 発表標題 Youlaパラメータを活用した動的出力コントローラのデータ駆動型更新
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 秋山 諒, 山本 豪志朗, 天野 敏之, 武富 貴史, プロプスキ アレクサンダー, サンドア クリスチャン, 加藤 博一
2. 発表標題 色恒常性を利用したプロジェクトの色域の知覚的拡張
3. 学会等名 第21回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shiro Masuda, Yoshihiro Matsui, Jongho Park
2. 発表標題 Pre-filter Design for Two-degree-of-freedom Continuous-time VRFT Using Closed-loop Step Response Data
3. 学会等名 The 2018 IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin Wakitani, Hiroki Nakanishi, Yoichiro Ashida, and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Study on a Kalman Filter Based PID Controller
3. 学会等名 3rd IFAC Conference on Advances in Proportional-Integral-Derivative Control (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子 修, 志子田 毅
2. 発表標題 入力むだ時間を持つ多入出力系に対するスミス補償器のFRIT 制御器とモデルの同時更新
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第5回マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池崎 太一, 金子 修
2. 発表標題 2自由度制御系におけるフィードフォワード部のリアルタイム制御器更新 ERITに基づくアプローチ
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第5回マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hnin Si and Osamu Kaneko
2. 発表標題 Positioning Control and Model Estimation of Vibrating System in 2DoF-FRIT Control Architecture with Kautz Expansion
3. 学会等名 2017 11th Asian Control Conference (ASCC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 英輔, 金子 修
2. 発表標題 摩擦を有するメカニカルシステムに対するIMCへのVRFT - モデルと制御器の同時更新
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中野 流成, 脇谷 伸, 山本 透
2. 発表標題 状態空間表現に基づくデータベース駆動型制御系の設計
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津久井 文哉, 増田 士朗
2. 発表標題 RBFネットワークによるフィードバック線形化補償器に対するデータ駆動制御器設計
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶原 諒太, 増田 士朗
2. 発表標題 非最小位相系における閉ループステップ応答データを用いたFRITにおけるプレフィルタ設計
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin Wakitani, Akihiro Ishimura and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Study on an Adaptive GMDH-PID Controller using Adaptive Moment Estimation
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Osamu Kaneko and Takeo Nakamura
2. 発表標題 Data-Driven Prediction of 2DOF Control Systems with Updated Feedforward Controller
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 芦田洋一郎, 脇谷 伸, 山本 透
2. 発表標題 逐次最小二乗法を用いたデータ指向型オンライン制御器調整法
3. 学会等名 平成29年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshitada Shimamoto and Shiro Masuda
2. 発表標題 Iterative Data-Driven Generalized Minimum Variance Regulatory Control via L2-regularization
3. 学会等名 2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Youichiro Ashida, Shin Wakitani and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Design of an Implicit Self-Tuning PID Controller Based on the Generalized Output
3. 学会等名 Preprints of the 20th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 島本 慶忠, 増田 士朗
2. 発表標題 L2正則化法を用いたデータ駆動一般化最小分散制御系の繰り返し設計
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村 岳男, 金子 修
2. 発表標題 目標応答を達成する二自由度制御器チューニングの新しいアプローチ Estimated Response Iterative Tuningの提案
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 川俣 祐汰, 金子 修
2. 発表標題 FRITを用いたナイキスト安定条件にもとづくループ整形
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 川俣祐汰, 金子修
2. 発表標題 擬似外生信号を用いた周波数領域におけるデータ駆動型制御器更新
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門第4回マルチシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Ishii and Shiro Masuda
2. 発表標題 Data-driven Update of the Free Parameter of the Youla-Kucera Parametrization in Disturbance Attenuation FRIT based on Variance Evaluation
3. 学会等名 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ryota Uematsu and Shiro Masuda
2. 発表標題 Data-Driven Generalized Minimum Variance Regulatory Control with Unknown Disturbance
3. 学会等名 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ryota Uematsu and Shiro Masuda
2. 発表標題 Data-Driven Generalized Minimum Variance Regulatory Control with Constrained Controller Structure
3. 学会等名 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本 透, 金子 修, 脇谷 伸, 木下 拓矢, 大西 義弘, 久下本 秀和, 小岩井 一茂	4. 発行年 2020年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 160
3. 書名 データ指向型PID制御	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 制御器更新装置及び制御器更新プログラム	発明者 池崎 太一, 金子 修	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-165184	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 フィルタ装置, フィルタプログラム, フィルタ設計プログラム, 参照信号生成装置及び参照信号	発明者 桑原 圭佑, 池崎 太一, 金子 修	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-039430	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	山本 透 (Yamamoto Toru) (10200825)	広島大学・工学研究科・教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	増田 士朗 (Masuda Shiro) (60219334)	首都大学東京・システムデザイン研究科・教授 (22604)	
研究分担者	脇谷 伸 (Wakitani Shin) (00728818)	広島大学・工学研究科・講師 (15401)	
研究分担者	山本 豪志朗 (Yamamoto Goshiro) (70571446)	京都大学・医学研究科・特定講師 (14301)	