

令和 5 年 4 月 24 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04282

研究課題名（和文）アフィン写像に基づく行列方程式の低次元解法と磁気浮上系への応用

研究課題名（英文）Solution method of matrix equations via a low-dimensional simultaneous equation and an affine mapping, and its application to magnetic levitation systems

研究代表者

不破 勝彦（Fuwa, Katsuhiko）

大同大学・情報学部・教授

研究者番号：70324481

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：磁気浮上型の高速度鉄道車両においては、車両の軽量化に伴い振動を抑制することが重要な課題となる。本研究では、安定した浮上位置を保つためにモード切り換え型制御系（MSC）を適用し、制御器設計アルゴリズムの構築を目的としている。制御器設計において、ある行列方程式を解く必要があるが、解行列の一部の要素を用いて設計できることに着目し、行列方程式を解く上での定式化として必要となる連立方程式の低次元解法を与えていることが特徴である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な制御問題では行列方程式により定式化されることが少なくない。本研究では、行列方程式を制御系の内部変数の数に基づく連立一次方程式とその解を使ったアフィン写像による2段階方式で解く方策を見出した。高次になるほど直接行列方程式を解くよりも次数を減らす効果が高まり、計算にかかる工数が削減できる。また、MSCの制御器は行列方程式を直接解かなくても前述の連立一次方程式の解から求めることができ、設計に係る工数も削減できる。

研究成果の概要（英文）：Suppressing the vibrations of car bodies generated by weight reduction is necessary to achieve high-speed transportation for magnetically levitated vehicles. In the present study, a controller design algorithm for synthesizing mode switching control systems to attain the desired levitation position is discussed. Because the controller can be synthesized using a certain element of the solution of the matrix equations, a solution method of simultaneous equation with number of unknowns on the same order as the controlled system instead of a direct solution method of matrix equations is proposed.

研究分野：制御工学

キーワード：同伴形式 行列方程式 連立方程式 漸化式 アフィン写像 モード切り換え型制御系

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リニア中央新幹線に代表される磁気浮上型の高速度鉄道車両においては、車両の軽量化に伴い振動が励起されるため磁力を有効に検出することが困難となり、乗り心地のみならず走行性能にも影響を与える。申請者らは、安定した浮上位置を保つための磁気浮上制御としてモード切り換え型制御系(MSC)を適用することを考え、モード切り換え時の制御器の初期値補償を行なうための行列方程式の可解条件について研究を進めてきた。この研究成果に基づき、初期値補償では行列方程式の解行列のある一部の要素が必要となり、その部分を求めるための行列方程式は低次になると考え、研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究では、モード切り換え型制御系(MSC)を用いて磁気浮上型の制御対象における浮上位置の制御系を考える。MSCでは、希望の浮上位置まで物体を移動させる制御(シークモード)と、希望の浮上位置を維持する制御(フォロイングモード)の2つの制御モードを滑らかに切り換える際に必要となる初期値補償が用いられ、その制御器を設計するために行列方程式の解行列が用いられる。本研究では、一般次数でかつ連続時間および離散時間におけるシステムに適用される行列方程式の低次元解法と制御器設計アルゴリズムの有用性について評価することを目的としている。具体的には

- (1)行列方程式の解行列の1行目を解にもつ連立一次方程式とその1行目を定義域とするアフィン写像により定式化された2段階方式で、行列方程式の求解アルゴリズムを与える。
- (2)得られた解行列の要素の一部を用いてMSCの制御器を設計し、2つの制御モードの切り換えに伴う制御系の過渡特性について評価する。
- (3)磁気浮上のための制御システムを構築し、実験による検証を行なう。

3. 研究の方法

本研究は、行列方程式の解法および制御器の設計に関する研究とそれらの検証を行なう研究に大別される。

【行列方程式の解法】

(1)行列方程式の要素から得られる漸化式と一般項の導出

制御対象は状態方程式により記述されるものとして、状態方程式の動特性を決定する行列(システム行列)を伴形式に変換し、制御対象のパラメータ(特性多項式の係数)を明らかにする。それを含んだ行列方程式の定式化を行ない、解行列の要素に対する漸化式を求める。得られた漸化式を使って階差計算を行ない、制御対象のパラメータを含む漸化式の一般項を導出する。

(2)連立一次方程式の定式化と可解条件の導出

得られた漸化式の一般項を纏めて連立一次方程式として定式化する。高性能計算機と数式処理ソフトウェアを用いて定式化の真偽を確認する。併せて、システム行列の固有値を求め、連立一次方程式の可解条件を導出する。

(3)アフィン写像の定式化

連立一次方程式の解以外の行列方程式の解行列の要素は、連立一次方程式の解と従属であることを解析的に確認し、これら全ての要素を連立一次方程式の解を定義域とするアフィン写像により定式化する。

(4)行列方程式の求解アルゴリズムの構築

連立一次方程式およびアフィン写像から解行列を得るための2段階求解アルゴリズムを構築する。具体的には、解行列の1行目は連立一次方程式の解を、2行目以降はアフィン写像の値域により求める。

【制御器の設計】

(5)MSCの制御器設計アルゴリズムの構築

MSCでは2つの制御モードを滑らかに切り換えるために制御器の初期値を設定する。その初期値を求めるために、連立一次方程式の解およびアフィン写像の値域から得られる解行列の要素の一部を用いる設計アルゴリズムを構築する。

(6)MSCによる制御系の数値検証

制御系が安定となるよう状態推定器を併合した状態フィードバック制御を施し、MSCの出力応答をシミュレーションにより求める。また、磁気浮上実験で用いられる実時間制御ツールに制御則を書き込み、同様のシミュレーションを実施する。

【制御系の検証】

(7)MSCの制御器設計アルゴリズムの有用性評価

実時間制御ツールに制御器を実装しMSCによる実験を行ない、有用性を評価する。制御モードの切り換え時において、磁気浮上系には不安定現象とモデル化されない振動が励起されること

を想定し、その影響を低減するための制御方策も併せて検討する。

4. 研究成果

(1) 行列方程式の要素から得られる漸化式と一般項の導出

制御対象は状態方程式により記述されるものとして、システム行列を同伴形式に変換する。このとき、制御対象の特性多項式の係数がシステム行列の要素として現れる。特性多項式の係数と行列方程式の定数項の行列要素を含む、行列方程式の解行列の対角要素に対する漸化式と非対角要素に対するそれを導出した。そして、得られた漸化式を使って階差計算を行ない、漸化式の一般項を導出した。この一般項には解行列の1行目の要素、特性多項式の係数、行列方程式の定数項の行列要素が含まれており、解行列の1行目を定義域とするアフィン写像の構造を有することが見積もれる。それゆえ、項目(2)ではこの1行目を求める方策として連立一次方程式による定式化を検討した。

(2) 連立一次方程式の定式化と可解条件の導出

行列方程式の対角要素は、項目(1)で得られた一般項と解行列の1行目の要素を含むことを見出した。この結果より、行列方程式の対角要素に一般項を代入することで、解行列の1行目に関係する式が得られ、これを行列表現することで連立一次方程式として定式化できた。連続時間系では、連立一次方程式の係数行列に適切な座標変換を施すことで Hurwitz 行列の構造が得られた。制御器設計のためには、元の行列方程式は一意解を有することを前提とするので、連立一次方程式も解が一意に定まるための条件を考える必要があり、係数行列が Hurwitz 行列と相似であることから、システム行列の固有値が原点に対して対称な1組を持たないことと Hurwitz 行列が正則になることの等価性が確認され、これが連立一次方程式の可解条件として導出された。行列方程式の可解性が Hurwitz 行列の正則性と等価であることは本研究の成果であると考えている。また、離散時間系における議論では、システム行列の固有値の大きさが単位円内に存在することと連立一次方程式の係数行列が正則になることが等価となることを明らかにした。ただし、Hurwitz 行列との関係は不明であり、今後の研究計画としては、係数行列を和の形式で分解して、分解された行列ごとに解析を行ない、係数行列の性質を明らかにする予定である。

(3) アフィン写像の定式化

項目(1)で得られた一般項は、解行列の1行目を定義域とするアフィン写像の構造を有することが見積もれた。それゆえ、項目(2)で連立一次方程式の解として解行列の1行目が得られれば、それを使ってアフィン写像により解行列の2行目以降を求めることができ、従来法のように高次の連立一次方程式を解く必要がない。この点が本研究のタイトルである「行列方程式の低次元解法」の由来であり、「高次の制御対象モデルとして定式化されるほど、相対的に解くべき連立一次方程式の低次元化率が向上する」結果となった。なお、離散時間系においても同様にアフィン写像により解行列の2行目以降を求めることができる定式化となった。

(4) 行列方程式の求解アルゴリズムの構築

連立一次方程式およびアフィン写像から解行列を得るための2段階求解アルゴリズムを構築した。解行列の1行目は連立一次方程式の解を、2行目以降はアフィン写像の値域により求める。連続時間系における定式化では、得られた解行列に座標変換を施すと Hurwitz 行列構造を有することから行列が比較的スパースになり、項目(1)で導出した漸化式を用いて再帰的なアルゴリズムに基づき解行列を得た。離散時間系における定式化では、座標変換を施しても Hurwitz 行列構造とはならず密行列になり、得られた解行列の計算精度が低い。今後の研究計画としては、項目(1)でも述べた係数行列を和の形式で分解することで条件数が小さくなることが予想できるので、分解した数だけ連立一次方程式を解いて計算精度が向上されるか考察する予定である。

(5) MSC の制御器設計アルゴリズムの構築

MSC では2つの制御モードを滑らかに切り換えるために制御器の初期値を設定する。その初期値を求めるために、連立一次方程式の解およびアフィン写像の値域から得られる解行列の要素の一部を用いる設計アルゴリズムを構築した。初期値補償の設計においては逆行列の計算が必要になるため、計算精度が問題になる場合には、項目(4)で述べた今後の研究計画に基づく解法を考察する予定である。

(6) MSC による制御系の数値検証

制御系が安定となるよう状態推定器を併合した状態フィードバック制御を施し、MSC の出力応答をシミュレーションにより求めた。また、磁気浮上実験で用いられる実時間制御ツールに制御則を書き込み、同様のシミュレーションを実施した。しかしながら、良好な制御性能を得ることはできなかったため、モード切り換えをステップ外乱が制御系に混入されると捉えて様々な制御方策を検討した。以下にその詳細を記述する。

MSC に加えて閉ループ系の安定化と同時に外乱零化(外乱抑制率零)を達成する制御系の構成制御対象の不安定零点の影響で、外乱零化を行なうと閉ループ系が不安定になるため、零化を

達成することは不可能である。

状態推定器にハイゲイン補償器を付加してステップ外乱を推定および抑制する制御系の構成
ハイゲイン化を行なうことで外乱の推定帯域を広げることが可能であるが、他方で閉ループ系の安定性が劣化するので、両者のトレードオフを図る設計が必要となる。そこで、閉ループ系の極の一つを、外乱推定性能を見積もるためのパラメータとして位置付け、安定性を満足する範囲で任意に指定できるようにする設計法を開発した。試行錯誤の結果、シミュレーション上ではわずかながら時間応答の改善がみられた。なお、シミュレーション結果から外乱推定誤差伝達関数(外乱から外乱推定誤差までの伝達関数)の周波数整形が行なえれば、より適正な推定領域に絞ることが可能であると考えられ、今後の研究計画とする予定である。

外乱推定および抑制制御方法の検討

従来の外乱推定器は指定された外乱モデルに基づく外乱を推定することができる。それゆえ、外乱の動特性を正確に見積もることができれば理想的な外乱推定が可能となるものの、実時間制御ツールにおけるメモリ容量を考えると、次数の高い外乱モデルを考慮した推定器の実装は困難である。そこで、低周波域に限定されるが、外乱モデルを用いなくとも、その帯域での外乱が推定可能となる推定器が実現できれば、実時間制御ツールでの実装が可能となると考え、その設計法を開発した。

また、制御モードの切り換えに時間を要すると、必ずしもステップ信号として外乱をモデル化することが妥当であるとは限らず、ステップ信号以外の外乱が状態変数に混入することも考えられる。そこで、外乱の動特性の次数が高い場合でも外乱が抑制できるような制御器が必要であると考え、まずは切り換えに1サンプル遅れることで、状態変数にランプ状の外乱が混入することを想定し、それを抑制するための設計法を開発した。併せて、制御器実装にあたり演算時間遅れも想定されるため、それを補償するための方法として既に提案されている限定極配置法を改良し、本来自動的に決まってしまう演算時間遅れに起因する極を安定化する制御器の設計についても検討した。

(7)MSC の制御器設計アルゴリズムの有用性評価

実時間制御ツールに制御器を実装するため、PCIe-USB 変換器を使って、解行列から得られるMSCの制御則の行列データを転送した。ただし、外乱推定器のデータを転送することができなかったため、既存のデジタル信号処理装置を用いて外乱推定を行なった。その際、振動の励起と切り換え時における不安定化の現象がみられた。これらの影響を低減するための方策として準強安定化を達成するMSCの制御器構造とした。これは切り換え時に一瞬閉ループが断線し、制御系が開ループ状態になるため、制御器の安定化を図ることで制御系の安全性が改善できることをねらったものである。その結果、切り換え時の不安定化は解消されたものの、理論上の振動抑制率とはなっていない。今後の研究計画としては、モデル化誤差や外因性信号の影響を考慮して、設定した振動抑制率になるロバストなMSCによる制御器の設計法を考察する予定である。

おわりに、本研究では磁気浮上系の制御に対して、浮上位置まで移動させる制御と浮上位置を維持する制御の2つの制御モードを滑らかに切り換えるMSCについて考察した。制御対象の次数が高くなって少ない計算量で制御器の初期値を計算することができるアルゴリズムが構築できた点は、国内外におけるMSCに関連する研究に一石を投じるものとする。一方、研究を進める中で2つの制御モードをどのタイミングで切り換えればよいのかといった基本的な問いが明らかにされた。MSC全体に対して、浮上位置に関する何かしらの評価関数を与え、それを最適化する手法を検討する必要があると、今後の研究の展望として掲げておきたいと考える。

最後に、主に制御系の実現にあたり、切り換えに伴うランプ外乱を想定した外乱抑制補償、演算時間遅れに対する安定性の補償、切り換えに伴う安全性の改善など、当初予期していない事象に対応するために様々な補償をする必要に迫られ、新しく開発された設計法について記述しておく。

○ステップおよびランプ外乱モデルを用いなくとも外乱を推定することができた

従来の外乱推定器においては、外乱モデルを含めた制御対象との拡大系を構成し、状態変数と一括して外乱推定量を得ている。しかしながら、得られた推定器が高次になるため、実時間制御ツールへの実装が困難となる可能性もある。一般に、外乱推定器併合系における外乱推定誤差伝達関数のゲインが小さくなれば外乱推定誤差は小さくなることを踏まえると、同伝達関数の大きさを小さくするために外乱モデルの動特性と一致する零点を配置することができればよいと着想した。外乱推定誤差伝達関数が有する自由度は極を任意に配置して推定精度や過渡特性を考慮した設計を行なうために使用される。ただし、極は安定であることが、外乱推定ができるための要件であるので、任意極配置は諦め、原点零点の配置と安定な極配置に自由度を使うような新しい設計法を提案した。それにより、ステップおよびランプ外乱モデルを用いなくとも同外乱が推定可能となり、実装に関する制約が緩和されることが期待される。

○状態変数に混入するランプ外乱を抑制することができた

状態変数に混入するランプ外乱は、外乱から観測出力までの伝達関数における周波数整形を

行なうことで、ある程度の外乱抑制効果は得られるが、完全な抑制は困難である。そこで、ランプ外乱の動特性である重複原点固有値を一般化固有値問題の定式化を用いて外乱から観測出力までの伝達特性を求め、それが零になるようなゲイン行列の設計法を提案した。その結果、状態変数に混入するステップ外乱およびランプ外乱を完全に抑制することに成功した。なお、任意の外乱を完全に抑制する方法として外乱零化の方法が知られているが、提案法では外乱のクラスを限定して外乱零化を実現しているため、制御対象に課せられる制約を緩めることができおり、ある程度外乱の動特性を見積もることができる場合には有用となる。

○演算時間遅れが存在しても制御系を安定化することができた

離散時間系においては、制御器による演算時間遅れや検出器にむだ時間要素に伴う動特性を含むことがあり、これらは制御系の位相遅れとして現れ、その特性を劣化させる一因となる。そこで、演算時間遅れを考慮した設計法として限定極配置法が提案されている。閉ループ系の極は、制御器の次数分だけ配置できる極（配置極）と時間遅れに伴って現れ自動的に決定される極（決定極）の和になるが、この方法を用いれば配置極と決定極の関係が連立一次方程式で定式化され、制御系の応答を見ながら配置極の値を適切に調整することで、決定極による応答の影響を見積もることができる。しかしながら、その見積もりには試行錯誤を要し、そもそも決定極を安定にすることができる保証はない。そこで、本研究では限定極配置法に改良を加え、少なくとも決定極が必ず安定になる配置極の領域を与え、その中から配置極を選定することで決定極による応答を見積もるための設計法を与えた。従来は、演算時間遅れを含む制御系においてその安定化を行うための指標がなく、良好な応答を見積もるための設計に時間を要したが、提案法ではその時間を短縮することが期待できる点で有用であると考えられる。

○モードを切り換えても制御系が不安定にならないようにすることができた

MSCにおける切り換えのタイミングによっては、シークモードで振動の影響が存在しているときにフォロイングモードに切り換えることで、切り換え後振動の励起と制御系が不安定になることがある。この影響を低減するために、振動の動特性を含む安定な制御器を施すことで、制御系が安定になるとともに振動を抑制することが可能となる。これを本稿では準強安定化と呼んでいる。本研究では、制御器の安定な極領域を与えて、設計者がその領域から極を選択することで応答を見積もりながら準強安定化が実現できる設計法を提案した。振動を伴った切り換えのみならず、断線が生じたときでも制御系の安全性を担保できる点で有用であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 不破勝彦、庄司篤志、米藤俊哉、清水優、沖村達也 | 4. 巻 143 |
| 2. 論文標題 外乱オブザーバを用いた準強安定化補償器の一考察 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌C | 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) 10.1541/ieejieiss.143.- | 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 不破勝彦、水谷新梧 | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 決定極の安定性を考慮した2次遅れ要素の制御対象に対する限定極配置法に関する一考察 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 4~6 |
| 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 不破勝彦、沖村達也、中嶋健斗、原圭佑、安藤剛士 | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 相対次数1における2次遅れ要素の制御対象に対する外乱オブザーバの推定性能に関する一考察 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 13~15 |
| 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 不破勝彦、竇木渉、成清辰生 | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 マッチング条件を満足しないランプ外乱抑制制御 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 37~40 |
| 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 不破勝彦、増田友規、成清辰生 | 4. 巻 141 |
| 2. 論文標題 2次遅れ系における計測不可能な入力のパラメータ推定器の安定化 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌C | 6. 最初と最後の頁 1265 ~ 1266 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.141.1265 | 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 不破勝彦、寛木渉、亀山直直 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 ステップ状の外乱を抑制する制御系の一考察 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 3 |
| 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 不破勝彦、中山陵雅、安井尚彰、宮川亮 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 リアプノフ方程式に基づく外乱局所化問題の解法 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 4 ~ 6 |
| 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 不破勝彦、沖村達也、成清辰生、大羽達志 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 相対次数2における3次遅れ要素の制御対象に対する原点零点を考慮した外乱オブザーバ | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 7 ~ 9 |
| 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 不破勝彦、成清辰生、大羽達志 | 4. 巻 141 |
| 2. 論文標題 静的出力フィードバック制御における一考察 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌C | 6. 最初と最後の頁 496 ~ 497 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.141.496 | 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 不破勝彦、三浦海斗、小栗周平、神戸颯真 | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 可制御グラミアンによる外乱抑制制御 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 4 ~ 6 |
| 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 不破勝彦、沖村達也、堀田渉、窪田勇希 | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 相対次数2における原点零点を考慮した外乱オブザーバ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 3 |
| 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 不破勝彦、今野友貴、上野貴博 | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 定数出力フィードバック制御系における極配置と安定化 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 3 |
| 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 不破勝彦、増田友規、櫻井佑弥 | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 サーボモータにおける外乱抑制制御 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 25～27 |
| 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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 不破勝彦、竇木渉、成清辰生 |
| 2. 発表標題 ランプ外乱を推定する外乱オブザーバの新設計法 |
| 3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 不破勝彦、沖村達也、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 相対次数1の制御対象による原点への零点配置を考慮した外乱オブザーバ設計 |
| 3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 不破勝彦、竇木渉、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 マッチング条件を満足しない外乱抑制制御に関する一考察 |
| 3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 不破勝彦、増田友規、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 計測不可能な入力の推定機能をもつ状態推定系の安定条件に関する一考察 |
| 3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 不破勝彦、沖村達也、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 相対次数2の制御対象による原点への零点配置を考慮した外乱オブザーバ設計 |
| 3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 不破勝彦、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 定数出力フィードバック制御系の一考察 |
| 3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 不破勝彦、増田友規、成清辰生、大羽達志 |
| 2. 発表標題 計測不可能な入力の推定機能をもつ状態推定系の安定化に関する一考察 |
| 3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019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 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 成清 辰生 (Tatsuo Narikiyo) | | |
| 研究協力者 | 大羽 達志 (Tatsushi Ooba) | | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|