

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601
研究種目：研究活動スタート支援
研究期間：2018～2019
課題番号：18H05902・19K21076
研究課題名（和文）次世代精密位置決め装置のための複数入出力を用いたデータ駆動形制御器自動設計法

研究課題名（英文）MIMO data-driven controller auto-tuning method for next generation high-precision motion systems

研究代表者
大西 亘（Ohnishi, Wataru）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：60823888
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：精密位置決め装置では、製品の加工精度の微細化が常に求められている。制御器のチューニングパラメータは、高性能を目指せば目指すほど増大するため、データ駆動で簡便でかつ高性能な制御器を設計できるチューニング手法が求められている。そこで本研究では、1-1) 複数センサ用いる制御器の自動設計法、1-2) 冗長アクチュエータを活かした軸間干渉抑圧、1-3) 外乱オブザーバの周波数応答に基づく自動設計法、2-1) 不安定零点がある系に対するフィードフォワード制御法の実験検証、2-2) サンプル点上・サンプル点間の誤差のトレードオフを両立させる、新たなフィードフォワード制御器設計法、の研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分解能エンコーダの低下価格化に伴い、駆動側だけでなく負荷側にもセンサがつけられるフルクロード制御が普及しつつある。また、剛体の自由度を超える数のアクチュエータを持つ装置も増えている。ところが、1入力1出力系から多入出力系になると制御器が複雑になり調整パラメータが増えるため、組み合わせ爆発を起し、制御器調整が難しくなる。そのため、単純な制御器を用いるか、熟練の作業員が経験的に調整することが一般的であった。本研究は、周波数応答の取得、システム同定そして固定構造の制御器設計の流れを自動化するものであり、経験に基づくことなく、最大の性能を引き出す制御器を最適化に基づき設計することができる。

研究成果の概要（英文）：Precision positioning devices are always required to have higher positioning performance. The tuning parameters of a controller increase as high performance is pursued, so the data-driven tuning method that enables the design of easy-to-use and high-performance controllers is required. In this study, we have proposed the following methods:

1-1) a data-driven design method for a controller with multiple sensors, 1-2) decoupling control of high-precision positioning stages by using redundant actuators, 1-3) frequency response data-based disturbance observer automatic tuning by linear matrix inequality, 2-1) experimental verification of the feedforward control method for systems with unstable zeros, 2-2) a new feedforward that relaxes trade-offs between on-sample error and inter-sample error.

研究分野：制御工学

キーワード：制御工学 精密位置決め データ駆動制御器設計 複数入出力系

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体製造装置・液晶製造装置や工作機械では、「ムーアの法則」に知られているように、要求される製品の加工精度がますます微細化している。生産性と加工精度を両立させるため、ステージの大型化と高速高精度位置決めが求められている。ステージが大型化すると共振周波数が低下し、フィードバック(FB)制御器の高帯域化、高性能のフィードフォワード(FF)制御器の実現は難しい。この、位置決め精度と生産性をいかに両立させるかが、競争力の源泉となっている。

FF, FB 制御器のチューニングパラメタは、高性能を目指せば目指すほど増大する。このパラメタのチューニングは、試行錯誤的に行う場合でも熟練を要し、またそれが最適なパラメタである保証もないため、データ駆動で簡便でかつ高性能な制御器を設計できるチューニング手法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、周波数応答データを用いたロボットや位置決めステージの制御器の自動設計を目的とした。近年、高分解能エンコーダの低下価格化に伴い、駆動側だけでなく負荷側にもセンサがつけられるフルクロード制御が普及しつつある。また、剛体の自由度を超える数のアクチュエータを持つ装置も増えている。ところが、1入力1出力系から多入力多出力系になると制御器が複雑になりチューニングパラメタが増えるため、組み合わせ爆発を起こし、制御器調整が難しくなる。そのため、単純な制御器を用いるか、熟練の作業員が経験的にチューニングすることが一般的であった。

外乱抑圧と目標値追従を両立させるため、図1に示すような2自由度制御系を構成することが一般的である。そこで本研究では、1) フィードバック制御、2) フィードフォワード制御、について、1-1) 駆動側と負荷側の双方の情報を用いる制御器の自動設計法、1-2) 剛体の自由度に対して冗長アクチュエータを持つ系に対して、重心点と回転中心のハイブリッド駆動法による軸間干渉抑圧、1-3)自動車やロボットなどへの適用例の多い外乱オブザーバの、周波数応答に基づく自動設計法、2-1)不安定零点がある系に対するフィードフォワード制御法の実験検証、2-2) サンプル点上・サンプル点間の誤差のトレードオフを両立させる、新たなフィードフォワード制御器設計法、の研究を行った。

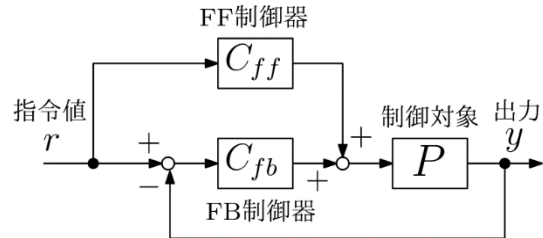


図1: 2自由度制御系

3. 研究の方法

図2, 3に示すような位置決め装置を用いて実験を行った。紙面の都合上、詳細は次節の成果とあわせて示す。

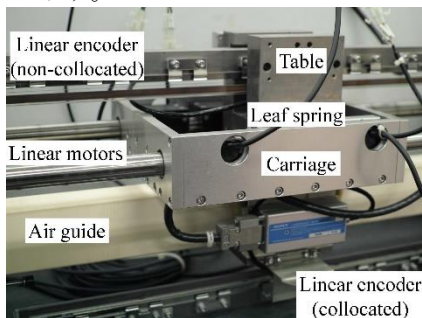


図2: 駆動側・負荷側にセンサを持つ精密位置決めステージ

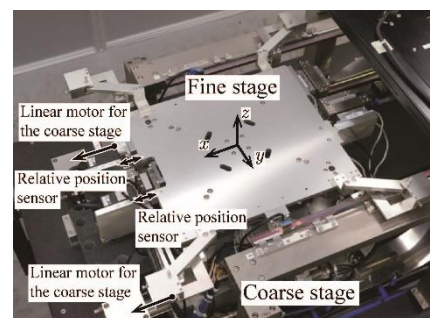


図3: 6自由度精密位置決めステージ

4. 研究成果

1-1) 駆動側と負荷側の双方の情報を用いる制御器の自動設計法

2. で述べたように、例えば図2の装置のように、駆動側と負荷側の双方にセンサを持つ位置決め装置が増えているが、市場の多くの制御器はその利点を活かしているとはいえない。そこで、図4に示すような、複数センサを用いる自己共振相殺制御を速度インナーループに持つ、SRC-P-PI 制御系の自動チューニング則を提案する。本手法は、図5に示すような周波数応答を用いるだけで、外乱抑圧性能を最大化するゲインを数値的に求めることができる。最適化問題は非凸であるが、速度制御について、1) 自己共振相殺制御のパラメタの初期値決定、2) 極配置法、3) 逐次線形化、4) Nelder-Mead 法、そして位置制御について、5) 2分法によるゲイン最大化、を順に用いて最適化していく。

自己共振相殺制御では、1次共振を完全に相殺するのが一般的であるが、本手法ではあえて不完全に相殺する方がFB帯域を向上できる場合があることが示された。これは、周波数応答データにより高次共振モードも考慮した結果である。実験結果を図6に示す。提案手法は、同様に周

波数領域に基づく最適化を行った P-PI 制御器や PID 制御器よりも、高い外乱抑圧性能を持っていることが分かる。

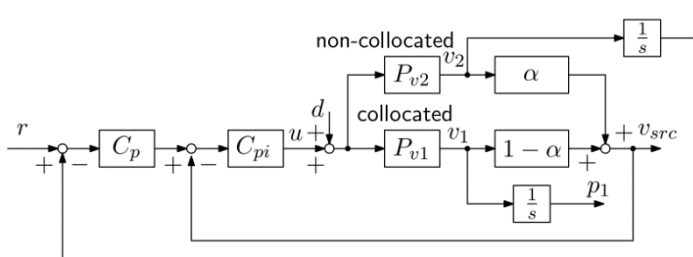


図 4: SRC-P-PI 制御系

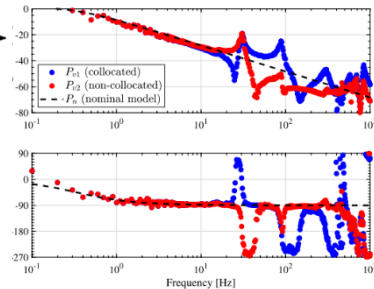


図 5: 1 入力 2 出力の周波数応答

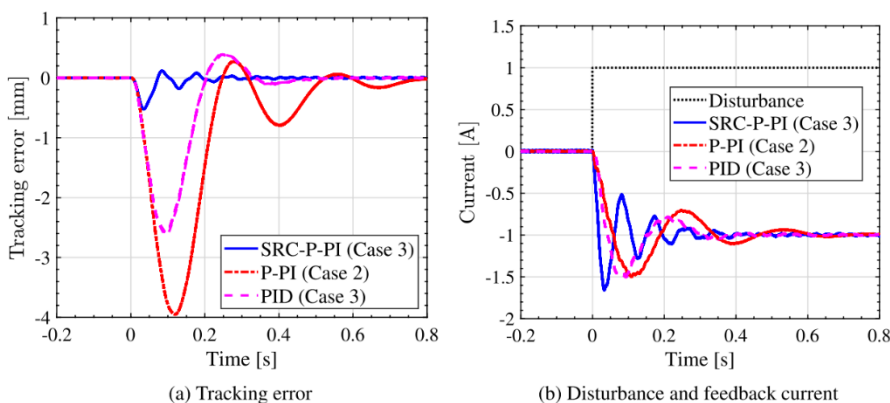


図 6: 図 2 の装置を用いた実験結果

1-2) 冗長アクチュエータの自由度を活かした回転中心・重心点ハイブリッド駆動による精密位置決めステージの非干渉制御法

剛体 6 自由度に対し、6 個以上のアクチュエータ・センサを利活用する研究が注目を集めている (Overactuation)。例えば、共振周波数の低い制御対象のフィードバック制御高帯域化や、高性能なフィードフォワード制御法が提案されてきた。本研究では、冗長な数のアクチュエータを用い、並進運動・回転運動の非干渉制御法を提案する。図 3, 7 示すステージは Voice Coil Motor (VCM) を 8 個持っており、剛体 6 自由度に対して冗長である。本研究では特に、x 軸方向に 2 階建てのように配置された VCM に着目する。

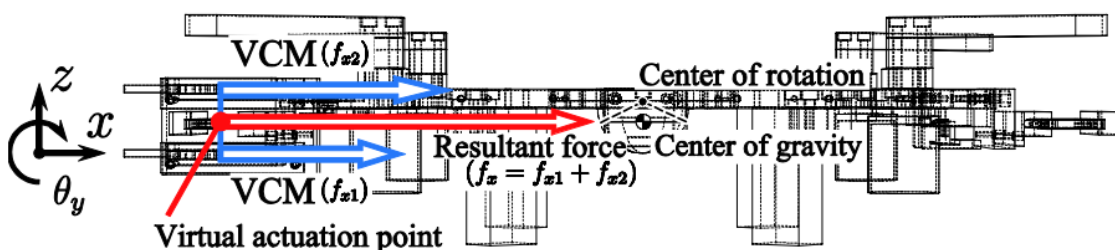


図 7: 図 3 の位置決めステージの側面図。X 軸方向のアクチュエータを 2 つ持つ

この 2 つのアクチュエータの推力配分により、仮想的な推力点の高さを変えることができる。推力点の高さを重心点に一致させた「重心駆動法」は高周波域の干渉を抑圧し、「回転中心駆動法」は低周波域の干渉を抑圧する。一方で、提案した「回転中心・重心点ハイブリッド駆動法」は、図 8 に示すように、低周波域・高周波域でバランス良く軸間干渉を抑圧することに成功した。

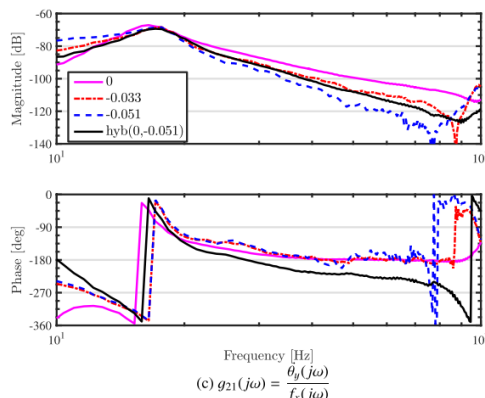


図 8: X から θ_y の干渉特性

$$(c) g_{21}(j\omega) = \frac{\theta_y(j\omega)}{f_x(j\omega)}$$

1-3) 外乱オブザーバの周波数応答に基づく自動設計法

次に、自動車やロボットなどへの適用例の多い、外乱オブザーバの周波数応答に基づく自動設計法を提案した。基礎検討として、相対次数2次の例において、安定化のためのQフィルタ設計を自動化し、帯域を最大化するパラメタを最適化する手法を提案した。相補感度関数、感度関数の制約を満たす最適化問題は以下で定式化される(左式)。ところが、これは非線形制約であり、線形計画問題として解くことができない。そこで、線形行列不等式(LMI)に落とし込み、右式のように凸近似して解く手法を提案した。

Table 1に示すように、非線形問題を非線形として解く遺伝的アルゴリズムに比べ、線形計画問題として解く提案法は計算時間が短いことが分かる。一方で、達成された帯域は同等であることから、導入したLMIの保守性は十分に少ないと言え、実用的にも妥当な近似であったことが分かる。以上により、提案手法の有効性が確かめられた。

Maximize
 a_1, a_2, ω_t

Subject to

$$0 < a_1, 0 < a_2,$$

$$0 < \omega_p \leq \frac{1}{\sqrt{a_2}} \leq \omega_t,$$

$$|L(j\omega_k) + \sigma| \geq r_m,$$

$$|W_p(j\omega_k, \omega_p)S(j\omega_k)| \leq 1,$$

$$|W_m(j\omega_k, \omega_t)T(j\omega_k)| \leq 1.$$

Maximize
 $a_1, a_2, \omega_t, \phi_1$

Subject to

$$a_{1(i)} > 0, a_{2(i)} > 0, \omega_{t(i)} > \omega_{p(i)} > 0,$$

$$\phi_{1(i)} > 0, \Psi - r_m D(j\omega_k, a_i) \geq 0,$$

$$\omega_{p(i)} \leq \frac{1}{\sqrt{a_{2(i-1)}}} - \frac{a_{2(i-1)}^{-\frac{3}{2}}}{2} (a_{2(i)} - a_{2(i-1)}),$$

$$\begin{bmatrix} 2\omega_{t(i-1)}\omega_{t(i)} - \omega_{t(i-1)}^2 & 1 \\ 1 & a_{2(i)} \end{bmatrix} \geq 0,$$

$$\begin{bmatrix} \omega_k^2 \phi_1 & D(j\omega_k, a_i) \\ (D(j\omega_k, a_i))^* & \Phi \end{bmatrix} \geq 0,$$

$$\begin{bmatrix} 2\omega_{p(i-1)}^2 - \phi_1 \omega_{p(i-1)}^4 & \omega_{p(i)} \\ \omega_{p(i)} & 1 \end{bmatrix} \geq 0,$$

$$\begin{bmatrix} 2\omega_{t(i-1)}\omega_{t(i)} - \omega_{t(i-1)}^2 & \frac{N(j\omega_k)(j\omega_k + \omega_{t(i)})}{1.25} \\ \frac{N(j\omega_k)(j\omega_k + \omega_{t(i)})^*}{1.25} & \Phi \end{bmatrix} \geq 0.$$

LMIとして定式化

Table 1 Comparison between GA and proposal (Intel Core i5-4590 3.3GHz RAM 16GB computer, MATLAB 2019b)

	GA	Proposal
Constraints	non-convex	convex
Case 1 $\omega_{p(opt)}$ [rad/s]	89.3	88.6
Case 2 $\omega_{p(opt)}$ [rad/s]	33.3	33.1
Case 1 Calculation time	over 20 min	around 2min15s
Case 2 Calculation time	over 20 min	around 2min40s

2-1) 不安定零点がある系に対するフィードフォワード制御法の実験検証

制御対象が大型化し、センサとアクチュエータの距離を離さざるを得なくなると、制御対象が連続時間に不安定零点を持つことがある。精密位置決めステージ、Hard disk drive、昇圧コンバータなどが連続時間系に不安定零点を持つことが知られている。

理想的なFF制御系は、制御対象のモデルの逆系であるが、不安定零点を持つと逆系が不安定極を持ち実装できないという問題がある。零点には、離散化に起因する離散化零点と、連続時間系の零点由来の真性零点に分けられる。そこで、以前研究代表者らが提案した「虚軸反転・時間軸反転による安定な状態変数軌道生成」と「マルチレートフィードフォワード制御法」により連続時間不安定零点に対する安定逆系の設計法の実験検証を行った。図9に図2の実験装置を用いた位置決め制御実験の結果を示すが、誤差が大幅に抑圧されていることがわかる。以上により、一般に制御するのが難しい不安定零点を持つ系に対して、非常に高い性能の軌道追従制御が達成されたことが示された。

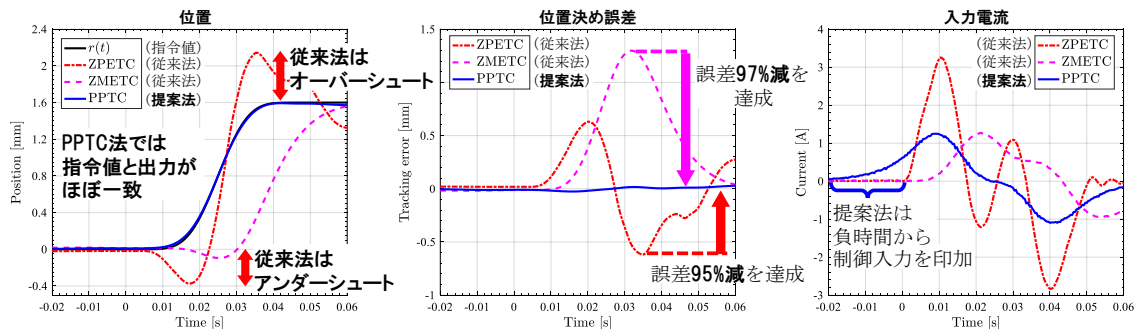


図9 不安定零点がある系に対するフィードフォワード制御法の実験検証

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jurgen van Zundert, Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto, Tom Oomen	4. 巻 25
2. 論文標題 Improving Intersample Behavior in Discrete-Time System Inversion: With Application to LTI and LPTV Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 55-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMECH.2019.2953829	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 大西巨	4. 巻 139
2. 論文標題 駆動側と負荷側情報を有効に利用するフィードバック制御器の周波数応答データによる自動設計法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 924-932
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejias.139.924	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 大西巨, 藤本博志, 坂田晃一, 鈴木一弘	4. 巻 139
2. 論文標題 冗長アクチュエータの自由度を活かした回転中心・重心点ハイブリッド駆動による精密位置決めステージの非干渉制御法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 480-487
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejias.139.480	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 Wataru Ohnishi, Thomas Beauduin, Hiroshi Fujimoto	4. 巻 24
2. 論文標題 Preactuated Multirate Feedforward Control for Independent Stable Inversion of Unstable Intrinsic and Discretization Zeros	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 863-871
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMECH.2019.2896237	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 Masahiro Mae, Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori	4. 巻 8
2. 論文標題 Perfect Tracking Control Considering Generalized Controllability Indices and Application for High-Precision Stage in Translation and Pitching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 263-270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.263	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30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Wataru Ohnishi, Jurgen van Zundert, Hiroshi Fujimoto, Tom Oomen
2. 発表標題 Balancing on-sample and intersample behavior in sampled-data system inversion
3. 学会等名 39th Benelux Meeting on Systems and Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Koseki, Ryu Shimizu, Wataru Ohnishi
2. 発表標題 A Train Group Control Method to Mitigate Peak Power Demand based on Numerical Calculations of DC-Electrification Circuit
3. 学会等名 2nd International Railway Symposium Aachen (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wataru Ohnishi
2. 発表標題 Data-based feedback controller tuning utilizing collocated and non-collocated sensors
3. 学会等名 8th IFAC Symposium on Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Mae, Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto
2. 発表標題 Intersample Behavior Analysis of MIMO Multirate Feedforward Control depending on Selection of Input Multiplicities
3. 学会等名 8th IFAC Symposium on Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiaoke Wang, Wataru Ohnishi, Takafumi Koseki
2. 発表標題 Frequency response data based disturbance observer design applicable to non-minimum phase systems
3. 学会等名 SICE Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jurgen van Zundert, Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto, Tom Oomen
2. 発表標題 System Inversion for Sampled-Data Feedforward Control: Balancing On-Sample and Intersample Behavior
3. 学会等名 American Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Mae, Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto
2. 発表標題 State Trajectory Generation for MIMO Multirate Feedforward using Singular Value Decomposition and Time Axis Reversal
3. 学会等名 American Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kodai Takeda, Wataru Ohnishi, Takefumi Koseki
2. 発表標題 Proposal of Simplified Transfer Function Model for Dynamic Rectified DC Voltage in DWPT
3. 学会等名 WPTC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好正太, 大西亘, 古関隆章, 佐藤基
2. 発表標題 時変規範モデルと非因果的制御入力を用いた2自由度制御による昇圧コンバータの精密な出力電圧制御法の提案
3. 学会等名 電気学会半導体電力変換研究会資料 (電気学会研究会資料)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝口智也, 大西亘, 古関隆章
2. 発表標題 永久磁石同期モータを用いた搬送用吸引型磁気浮上の質量・重心のオンライン同定法の提案
3. 学会等名 交通・電気鉄道/リニアドライブ合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂井桂祐, 大西亘, 古関隆章, 田中和広, 森田隼史, 徳原克俊
2. 発表標題 高頻度運転時の遅延伝搬を抑制する先行列車最適追従制御
3. 学会等名 電気学会研究会資料 交通・電気鉄道/リニアドライブ合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲田優貴, 全俊豪, 大西亘, 深井悠介, 高安直樹, 前山光明, 山納康
2. 発表標題 ヒューズと半導体を併用した限流機能付き電力用遮断器の試作
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー/開閉保護/高電圧合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白戸柚衣, 大西亘, 藤本博志, 古関隆章, 堀洋一
2. 発表標題 むだ時間をもつ高速高精度空圧システムにおける極配置に関する考察
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会資料(電気学会研究会資料)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西亘
2. 発表標題 複数センサを用いた制振制御器のデータ駆動設計の一提案
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会資料(電気学会研究会資料)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前匡鴻, 大西亘, 藤本博志
2. 発表標題 2慣性系の駆動側と負荷側の制御入力および状態変数に着目した多入力多出力系に対するマルチレートフィードフォワード制御
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会資料(電気学会研究会資料)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好正太, 大西亘, 古関隆章, 佐藤基
2. 発表標題 昇圧型DC-DC コンバータのPreactuationによる出力電圧過渡応答の精密制御法
3. 学会等名 電気学会半導体電力変換研究会資料 (電気学会研究会資料)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西亘, 藤本博志, 坂田晃一
2. 発表標題 大型超精密位置決めステージのモデルベース制御技術
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西亘, 白戸袖衣, 藤本博志, 古関隆章
2. 発表標題 空気圧アクチュエータによる精密位置決めへの挑戦
3. 学会等名 電気学会リニアドライブ研究会資料
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田広大, 大西亘, 古関隆章
2. 発表標題 インバータの電流/電圧情報から得られた周波数応答情報に基づく S/S 方式非接触給電回路の素子推定手法の提案
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古関隆章, 大西亘, 武田広大
2. 発表標題 電気鉄道のエネルギーマネジメントにおける非接触電力伝送の役割に関する考察
3. 学会等名 自動車技術会大会学術講演会講演予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuma Yazaki, Wataru Ohnishi, Takehiro Imura, Hiroshi Fujimoto, Koichi Sakata, Atushi Hara, Zhaoxiang Chen, Kasuhiro Yokoyama, Kazuhiro Suzuki
2. 発表標題 Development of Multi-axis High-Precision Stage using Multistep Wireless Power Transfer
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wataru Ohnishi, Thomas Beauduin, Hiroshi Fujimoto
2. 発表標題 Optimal State Trajectory Regeneration for Nonminimum Phase Systems: No Preactuation Approach
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuma Yazaki, Wataru Ohnishi, Takehiro Imura, Hiroshi Fujimoto, Koichi Sakata, Atsushi Hara, Zhaoxiang Chen, Kasuhiro Yokoyama, Kazuhiro Suzuki
2. 発表標題 Evaluation of Disturbance Caused by Cable Tension in Multi-axis High-Precision Stage using Wireless Power Transfer
3. 学会等名 5th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wataru Ohnishi, Hiroshi Fujimoto
2. 発表標題 Precision tracking control by pneumatic actuator: challenges for input delay and acoustic vibrations
3. 学会等名 5th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 汪曉柯, 大西亘, 古関隆章
2. 発表標題 Causal design of Taylor series approximation in a disturbance observer for a non-minimum phase system
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西亘
2. 発表標題 自己共振相殺制御をマイナーループに持つP-PI制御系の周波数応答を用いた設計法の一提案
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yui Shirato, Wataru Ohnishi, Takafumi Koseki
2. 発表標題 Two-Degree-of-Freedom Control with Adaptive Dead Zone Compensation for Pneumatic Valves
3. 学会等名 5th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米田琢見, 大西亘, 古関隆章
2. 発表標題 都市鉄道の列車遅延における時間差乗車の積極的案内の提案とその効果の検証
3. 学会等名 電気学会交通・電気鉄道研究会資料
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光井祐人, 黒崎明, 大西亘, 古関隆章
2. 発表標題 様々な入力波に対する波カリニア同期発電機能動制御法の性能評価
3. 学会等名 電気学会リニアドライブ研究会資料
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前匡鴻, 大西亘, 藤本博志
2. 発表標題 多入力多出力系に対する完全追従制御における特異値分解を用いた状態変数軌道生成
3. 学会等名 電気学会メカトロニクス制御研究会資料(電気学会研究会資料)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ヒューズと半導体を併用した限流機能付き電力用遮断器	発明者 稲田優貴, 山納康, 前山光明, 全俊豪, 大西亘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-168601	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
---------	---------------------------	-----------------------	----