

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13741

研究課題名(和文)人間との協働を可能にする高逆駆動性アームロボットの開発

研究課題名(英文)High Backdrivable Arm Robot for Human Cooperation

研究代表者

横倉 勇希 (Yokokura, Yuki)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70622364

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、様々なロボットが普及しているが人間の生活空間で人間とロボットが直接接触して協働するまでには至っていない。その原因は、ロボットの逆駆動性の低さにあり、人間を傷つける事故が実際に起きていることにある。逆駆動性とはロボットの外部からの動かしやすさを示し、現状のロボットの逆駆動性を低下させている大きな要因として、減速機とオイルシールの摩擦、共振振動の抑制制御、位置制御や遅い力制御での駆動の3つが挙げられる。そこで本研究では、それら3つの問題の解決を目的として、先進的なモーションコントロール技術と最先端のパワーエレクトロニクスを融合させ、人間との協働を可能にする高逆駆動性アームロボットを実現する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

普段、自宅や職場において身の回りを見渡してみても、様々な軽作業や重労働を肩代わりくれる本格的な人間支援ロボットは未だに見当たらない。近年になり、人間のそばで活動できるロボットの利用が急拡大しているといわれるものの、今のところ広く普及しているのは、ただ立って喋っているか移動するだけのロボットばかりである。そこで、実用的な産業用ロボットに高い逆駆動性を持たせ、従来必須であった安全柵を取り払い、従来には無かった人間に真に役立つ本格的な多関節アームロボットを実現することで、将来的に極めて厳しい少子高齢化社会を迎える日本に不可欠である「人間とロボットが協働できるような社会」を築く。本研究はその礎となる。

研究成果の概要(英文)：In recent years, various types of robots have been widely used in many kinds of fields. However, robots have not yet worked with humans in living spaces. The reason for this is that the back drivability of robots is very low, and accidents that injure humans have actually occurred. High-back drivability means that a robot can be easily moved from the outside. Three major factors that reduce the back drivability of current robots are friction between the speed reducer and oil seal, suppression control of resonant vibration, and driven by slow force control. In this study, we aim to solve these three problems by integrating advanced motion control technology and state-of-the-art power electronics to realize a high back drivability arm robot that can collaborate with humans.

研究分野：モーションコントロール

キーワード：モーションコントロール モータドライブ ロボティクス 協働ロボット バックドライバビリティ
逆駆動性 力制御 2慣性共振系

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。

1. 研究開始当初の背景

普段、自宅や職場において身の回りを見渡してみても、様々な軽作業や重労働を肩代わりくれる本格的な人間支援ロボットは未だに見当たらない。近年になり、人間のそばで活動できるロボットの利用が急拡大しているといわれるものの、今のところ広く普及しているのは、ただ立っているか、移動するだけのロボットばかりである。人間に真に役立つ本格的な多関節アームロボットに限定すれば、その利用先は産業界、特に工場生産のみに留まっており、その他の一般的な企業、学校や家庭などにはほとんど普及していない。それが何故かと問うに、昨今の普及している大多数のロボットは外部から力を加えられても、逆にそれに抗う力を発揮する大変危険な存在となっているからである。

学術的には外側からのロボットの動かしやすさを「逆駆動性」という。逆駆動性の低いロボットが人間と衝突した際に傷害を迫らせてしまう事故がこれまでに幾度となく起きているため、工場においては図1の左上のようにロボットを必ず安全柵で囲い、さらに安全柵の扉を開くと非常停止するようになっている。このように人間とロボットを隔離することで逆駆動性の問題を回避しているのが現状である。その一方で、人間の生活空間で活用できるロボットを開発し、将来的に少子高齢化社会を迎える日本において、人間とロボットが協働できるような社会を築いていくためには、ロボットに高い逆駆動性を持たせ、安全柵の外へと引っ張り出す必要がある。このような背景のなかで、本研究では「逆駆動性」を向上させることを目指している。

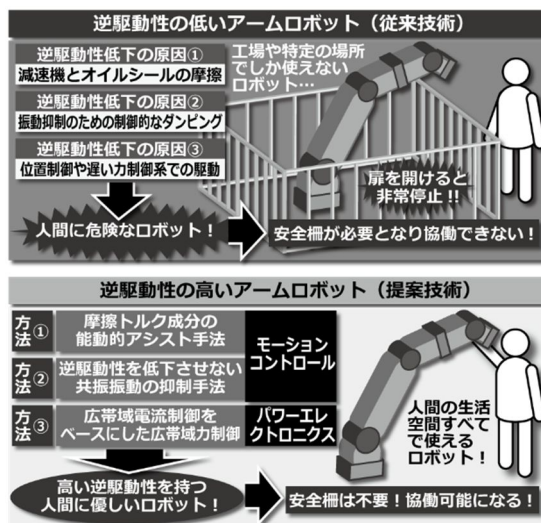


図1 従来技術の問題点と提案技術

2. 研究の目的

様々な用途においてロボットの利用が急拡大しているものの、人間の生活空間で人間とロボットが直接接触して協働するまでには至っていない。その主たる原因は、先述のようにロボットの「逆駆動性の低さ」にあり、人間を殺傷してしまう事故が実際に起きていることにある。逆駆動性とはロボットの外部からの動かしやすさを示し、現状のロボットの逆駆動性を低下させている大きな要因として、減速機とオイルシールの摩擦、共振振動の抑制制御、位置制御や遅い力制御での駆動の3つが考えられ、高い逆駆動性とは程遠いロボットシステムの設計と制御がなされていることが挙げられる。そこで本研究では、それら3つの問題の解決を目的として、先進的なモーションコントロール技術と最先端のパワーエレクトロニクスを融合させ、ロボット各軸に搭載される減速機付きACサーボモータの逆駆動性を制御のおよび回路的に高めることで、人間との協働を可能にする高逆駆動性アームロボットの実現を目的とする。すなわち、本研究課題の核心をなす学術的な主目的は「どのようにして高い逆駆動性を達成するか」である。

3. 研究の方法

逆駆動性を高める目的の達成のためには、従来のロボットが持っている以下の3つの逆駆動性を低くしている要因を取り除いて問題を解決していく必要がある。

- 逆駆動性低下の原因 減速機とオイルシールの摩擦
- 逆駆動性低下の原因 振動抑制のための制御的なダンピング
- 逆駆動性低下の原因 遅い力制御での駆動

上記の原因については、モータのみではトルクが足りないため減速機を用いてトルクを増強するが、減速機の負荷側からモータ側を逆に回すことは減速機自体の摩擦により困難であることからきている。また、減速機内のグリスがモータ内部に浸透しないようにオイルシールを設けることが一般的であるが、このオイルシールも摩擦トルクを発生させ、逆駆動性を低くしている。次に原因については、減速機を用いるとモータ側慣性と負荷側慣性の間が「ばね」となり、2慣性共振系となることで機械的な共振振動を誘発することになる。そこで、従来手法では制御的にダンピングを効かせる手法がよく用いられるが、摩擦を増やすことと物理的に等価であり、共振振動の抑制は可能である一方で逆駆動性が低下する。最後の原因については、従来手法は内部に位置制御のループを持った遅い力制御（専門的にはインピーダンス制御という）であり、力制御が有効に機能する周波数帯域は数Hz程度と大変低く、力制御の反応が遅いため外力に瞬時に反応できず結局のところ未知環境を傷つける。すなわち、逆駆動性は極めて低い状態である。

本研究では上記の～の逆駆動性低下の原因をそれぞれ解決する手法を提案しており、次節にてその詳細と研究成果について述べる。

4. 研究成果

4.1 高逆駆動性の実現方法 + 「摩擦トルク成分の能動的アシスト手法」および「逆駆動性を低下させない共振振動の抑制手法」

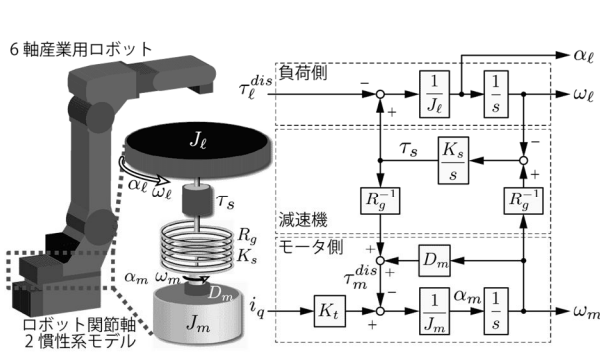


図2 ロボット関節軸の2慣性系モデル

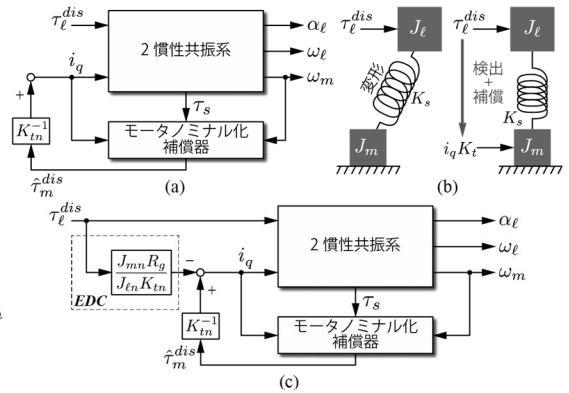


図3 (a) 従来の制御系, (b) 単慣性化制御の概念図, (c) 単慣性化制御系

まず、本研究の制御目標について述べる。図2に6軸ロボットの1軸分を抽出してモデル化した模式図とそのブロック線図を示す。ロボットの関節軸は減速機と多数の機構部品で構成されており、物理的には2つの慣性体の間に1つのばね要素が接続された2慣性共振系もしくは2慣性系と呼ばれる構造にモデル化される。ここで研究代表者は、

$$\begin{bmatrix} \omega_\ell \\ \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{bf}(s) & Y_f(s) \\ Y_b(s) & Y_{fb}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_\ell^{dis} \\ i_q K_t \end{bmatrix}$$

Y_f, Y_b, Y_{fb}, Y_{bf} をそれぞれ、
 フォワード、バック、フォワードバック、
 バックフォワードドライバビリティと呼ぶ

と表せるアドミタンス行列を考え、逆駆動性の指標として「双方向ドライバビリティ行列」を新たに定義している。ここで、 $\alpha, \omega, \tau, i_q$ は加速度、速度、トルク、 q 軸電流を示し、 J, D, K_t, K_s, R_g は慣性、粘性、トルク定数、ねじれ剛性、減速比を表す。下付き添字の m, ℓ, n はモータ側、負荷側、ノミナル値を、上付き添字の dis は外乱を表す。人間とロボットの協働作業では、負荷側トルクからモータ側への伝達特性に加えてモータ側から負荷側速度への戻りの伝達特性の双方を勘案した特性が重要で、つまりバックドライバビリティではなくバックフォワードドライバビリティに目を向ける必要がある。負荷側に人間が触れたとき、振動のないスムーズな動作を期待するならば、物理的な理想としては摩擦の無い1つの慣性体に見えればよい。すなわち、 $Y_{bf} = (Js)^{-1}$ で表される制御目標を達成できれば、摩擦も振動なく且つ逆駆動性が高いシステムにできる。

次に従来の制御系について述べる。センサで検出したねじれトルクと外乱オブザーバを組み合わせた方式に基づき、図3(a)に示すモータノミナル化補償器を用いて摩擦トルク成分の能動的アシストが可能となり、バックフォワードドライバビリティを向上できる。しかしながら、図3(b)の左図のように、負荷側外乱トルクが起因となる軸ねじれが生じ、機械的な共振振動が誘発される。図3(a)の逆駆動性の指標であるバックフォワードドライバビリティは、

$$Y_{bf}(s) = -\frac{1}{J_\ell s} + \frac{1}{J_\ell s} \frac{\frac{K_s}{J_\ell}}{s^2 + \frac{K_s}{J_\ell} + \frac{K_s}{J_m R_g^2}}$$

となり、第二項に明らかに振動成分が含まれ、1つの慣性体には見えなくなることが分かる。

そこで、前節で述べた制御目標を達成するために、図3(c)に示す等価外乱補償器 (Equivalent Disturbance Compensator, EDC) を提案している。図3(b)の右図のように負荷側外乱トルクを受けると、EDCは検出または推定された負荷側外乱トルクに従って同方向にモータ側を駆動し、軸ねじれが生じないようにモータに電流を流す。

図3(c)に示すEDCを用いた提案手法でのバックフォワードドライバビリティは、

$$Y_{bf}(s) = -\frac{1}{J_\ell s} + \frac{1}{J_\ell s} \frac{K_s (1 - G_s(s)G_c(s))}{s^2 + \frac{K_s}{J_\ell} + \frac{K_s}{J_m R_g^2}} = -\frac{1}{J_\ell s}$$

に改められ、センサと電流制御系の伝達関数 $G_s(s)$ と $G_c(s)$ を1にできれば、慣性が1つだけの特性となる。従って、完全な単慣性にでき先述の制御目標を達成できる。このように制御により2慣性系を単慣性系に変容できることから「単慣性化制御」と呼んでおり、人間とロボットの協働作業に有用な制御系となる。

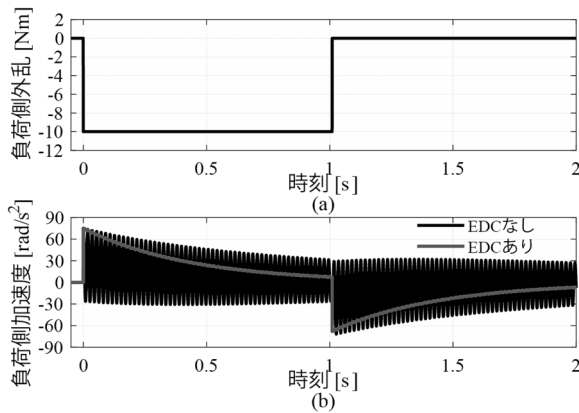


図4 単慣性化制御のシミュレーション結果

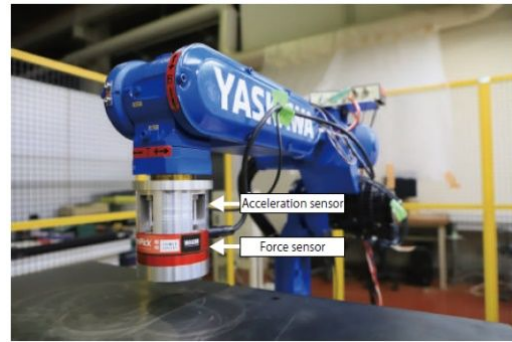


図5 6軸産業用ロボット実験装置

図4にEDCを用いた単慣性化制御のシミュレーション結果を示す。EDCを用いない場合には負荷側加速度が振動し帯状となっており、1つの慣性体の動作のようにはならない。一方で、EDCを用いることにより加速度次元の振動が消え、非常に良好な指数関数的な挙動を示しており、2慣性共振系が単慣性系に変容できたことが分かる。すなわち、単慣性化ができることが確かめられた。また、図5に実機実験装置を示し、本実験装置においても単慣性化が可能であることが実機実験からも確認できている。

4.2 高逆駆動性の実現方法 広帯域電流制御をベースにした広帯域力制御

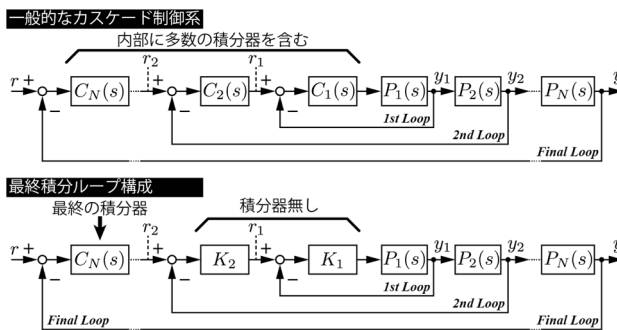


図6 最終積分ループ構成

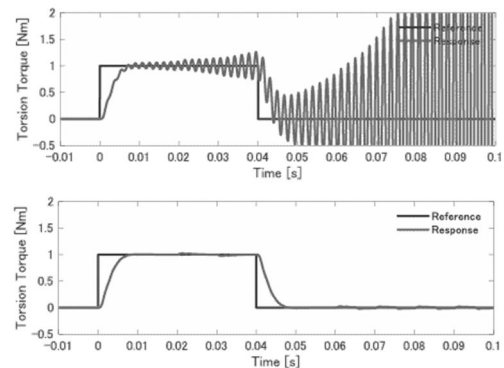


図7 高速電流制御と力制御系のシミュレーション結果

前節で述べた単慣性化制御によってスムーズなバックフォワードドライバビリティが得られたとしても、永久磁石同期モータの電流制御帯域が低ければ、EDCやさらに外側のループの力制御器からの電流指令に瞬時に反応できなくなり、結果的にバックフォワードドライバビリティが上がらなくなる。そこで本研究では、高速電流制御を実現している。

電流制御帯域を上げるために、本研究では電流制御器からは積分器を廃した構造を採用している。結局、一番の最終的な制御目標は4.1節で述べた単慣性化することであるので、電流制御で多少の定常偏差が出たところで何ら問題はなく、むしろ積分器が無いことで電流マイナーループのゲインを上げやすいという利点がある。図6の上段は内部に積分器を含む一般的なカスケード制御系と、下段は最外殻のループにのみ積分器を持つ制御系を示し、図6の下段の構造を最終積分ループ構成と呼んでいる。本研究では、静止座標系電流制御と呼ばれる制御系を構成しており、積分器を持たず、もはや定常偏差を許容しており、静止座標系上で構成されるため、 dq 変換をループ内部に持つ必要はない。すなわち、絶対値エンコーダのレイテンシに関係なく制御周期を短くでき、電流制御帯域の向上に寄与できる。ただし、積分器が無い代わりに定常偏差が生じるため、誘起電圧成分と抵抗成分による偏差をフィードフォワード的に補償し、なるべく定常偏差が生じないような構成を取る。さらに、低レイテンシな空間ベクトル変調方式を採用しており、本手法は電圧利用率が高く2相変調で高効率、且つインバータの電圧更新に1サンプルの遅れがないため、高速電流制御に向けた方式となっている。パラメータ同定については、一般的なパルス試験により求めるが、外部の測定器は使用しない。なぜなら、必要なのは実際の物理パラメータではなく、電流制御器からどう見えるかだけが重要だからである。FPGAの電流制御ハードウェア内部からパラメータを同定し、銅損やセンサ系、インバータ駆動系などのすべての要素を包含させることでモデル化誤差を少なくし、電流制御帯域を向上させ、定常偏差を抑制する。

図7に高速電流制御と力制御のシミュレーション結果を示す。電流制御帯域が低い場合では力制御ゲインを上げると不安定となるが、高速電流制御によりゲインを上げて安定となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18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 Akama Yousuke, Abe Kodai, Araki Yushi, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Kobayashi Koji, Kashihara Tatsuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Predictive Direct DC-link Current Control of IPMSM Drive System Using Electrolytic Capacitorless Inverter for Fine Harmonics Suppression	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 394 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.394	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 Abe Kodai, Haga Hitoshi, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Kada Haruya	4. 巻 8
2. 論文標題 Source Current Harmonics and Motor Copper Loss Reduction Control of Electrolytic Capacitor-less Inverter for IPMSM Drive	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 404 ~ 412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.404	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 Phuong Thao Tran, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki	4. 巻 67
2. 論文標題 Fine Sensorless Force Control Realization Based on Dither Periodic Component Elimination Kalman Filter and Wide Band Disturbance Observer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 757 ~ 767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2018.2883256	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 Yokokura Yuki, Ohishi Kiyoshi	4. 巻 67
2. 論文標題 Fine Load-Side Acceleration Control Based on Torsion Torque Sensing of Two-Inertia System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 768 ~ 777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2018.2881944	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 Muto Hirotaka, Yokokura Yuki, Ohishi Kiyoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Time-Variant Haptic Simulator Based on Fine and Fast Real-Time Discretization Using FDTD Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 926 ~ 933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.926	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 Yabuki Akinori, Ohishi Kiyoshi, Miyazaki Toshimasa, Yokokura Yuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Quick Reaction Force Control for Three-Inertia Resonant System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 941 ~ 952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.941	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 Kawai Yusuke, Yokokura Yuki, Ohishi Kiyoshi, Miyazaki Toshimasa	4. 巻 9
2. 論文標題 Equivalent Resonance Ratio Control in Two-Spring System for Stable Contact Motion in Industrial Robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 51 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.9.51	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 Araki Yushi, Abe Kodai, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Sano Junichi, Kobayashi Koji, Kashihara Tatsuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Harmonic Current Reduction Control Based on Model Predictive Direct Current Control of IPMSM and Input Grid Circuit	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 17 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.9.17	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 Padron Juan, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Miyazaki Toshimasa	4. 巻 9
2. 論文標題 Velocity Driven N-order Stick Compensator and Slip Suppressor for Nonlinear Friction in an Oil-Seal-Mounted Geared Motor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 168 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejia.9.168	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 中條 あかね, 漆原 史朗, 大石 潔, 横倉 勇希	4. 巻 138
2. 論文標題 熟練技能再現を目的とした広帯域高次反力オブザーバの構築法	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 591-592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjeiss.138.591	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 K. Abe, H. Haga, K. Ohishi, Y. Yokokura	4. 巻 65
2. 論文標題 Direct DC-Link Current Control Considering Voltage Saturation for Realization of Sinusoidal Source Current Waveform Without Passive Components for IPMSM Drives	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 3805-3814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2017.2760289	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 Tenjiro Hiwatari, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Haruya Kada, Sota Sano, Akira Satake	4. 巻 7
2. 論文標題 Fast Torque Response and Reduced Pulse Width Modulation Switching Frequency Based on Model Predictive Direct Torque Control and Selective Harmonic Elimination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 431-440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejia.7.431	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 Akira Yamaguchi, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Toshimasa Miyazaki, Kotaro Sasazaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Backlash-based Shock Isolation Control for Jerk Reduction in Clutch Engagement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 160-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.160	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 Yusuke Kawai, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Smooth Human Interaction Control using Torsion Torque Controller and Motor-side Normalization Compensator Focusing on Back-forward Drivability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 322-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.322	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 Akama Yousuke, Abe Kodai, Araki Yushi, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Kobayashi Koji, Kashiwara Tatsuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Predictive Direct DC-link Current Control of IPMSM Drive System Using Electrolytic Capacitorless Inverter for Fine Harmonics Suppression	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 394 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.394	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 Abe Kodai, Haga Hitoshi, Ohishi Kiyoshi, Yokokura Yuki, Kada Haruya	4. 巻 8
2. 論文標題 Source Current Harmonics and Motor Copper Loss Reduction Control of Electrolytic Capacitor-less Inverter for IPMSM Drive	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 404 ~ 412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjia.8.404	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 Matsui Yuki, Yokokura Yuki, Ohishi Kiyoshi, Hotta Daigo, Morita Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Quick Force Balance Control Based on Equilibrium Point Movement of Tie-bar Temperature Controllers for Injection Molding Machine	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 597 ~ 604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejia.9.597	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 Kawai Yusuke, Yokokura Yuki, Ohishi Kiyoshi, Miyazaki Toshimasa	4. 巻 68
2. 論文標題 High-Robust Force Control for Environmental Stiffness Variation Based on Duality of Two-Inertia System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 850 ~ 860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2020.3009591	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44件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 Hiroki Iwata, Yuji Okada, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Stator Temperature Estimation Considering Model Mismatching for AC Speed Servo System Without Temperature Sensor
3. 学会等名 The 10th International Conference on Power Electronics 2019-ECCE Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Kawai, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Realization of Resonance Ratio Control Focusing on Duality of Torque and Velocity for Two-Inertia System with Environment
3. 学会等名 The 28th IEEE International Symposium on Industrial Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Matsui、Kiyoshi Ohishi、Yuki Yokokura、Hiroshi Morita、Daigo Hotta
2. 発表標題 High Speed Force Balance Control of Injection Molding Machine Using Equilibrium Point Movement
3. 学会等名 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics AIM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunsuke Suzuki、Yuki Yokokura、Yusuke Kawai、Kiyoshi Ohishi、Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Wideband Load-Side Acceleration Control Based on Load-Side Acceleration Sensing of Two-Inertia System
3. 学会等名 The 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juan Padron、Yuki Yokokura、Yusuke Kawai、Kiyoshi Ohishi、Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Suppression of Stick-Slip in an Oil-Seal-Mounted Geared Motor for Forward-Drivability Improvement
3. 学会等名 The 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thao Tran Phuong、Kiyoshi Ohishi、Yuki Yokokura
2. 発表標題 Advanced Wideband Sensorless Force Control Based on Harmonic Estimation Integrated Singular Spectrum Analysis Based Disturbance Observer
3. 学会等名 The 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thao Tran Phuong, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Applications of Singular Spectrum Analysis based Force-Sensor-Less Observer in Motion Control
3. 学会等名 The 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Juan Padron, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 An Error-Based Variable-Order Disturbance Observer for Force Control in a Geared Motor Affected by Nonlinear Friction
3. 学会等名 The 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Matsui, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi
2. 発表標題 Automatic Force Balance Control for Mold Clamping Device in Injection Molding Machine
3. 学会等名 The 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takanori Iwaki, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Suppression of quick torsion torque response by model predictive control using extended state observer
3. 学会等名 The 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shunsuke Suzuki、Yusuke Kawai、Yuki Yokokura、Kiyoshi Ohishi、Tosimasa Miyazaki
2. 発表標題 Wide Bandwidth Load-side Acceleration Control for Robust Force Control in Two-inertia System
3. 学会等名 The 6th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川合 勇輔、横倉 勇希、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 双対性に着目した二剛性系の力制御による安定接触制御
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢吹 明紀、大石 潔、宮崎 敏昌、横倉 勇希
2. 発表標題 実対角化を用いた2次共振振動抑制電流制御に基づく3慣性系の振動抑制法
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 佑樹、大石 潔、横倉 勇希、森田 洋、堀田 大吾
2. 発表標題 タイパー温調射出成形機の低次元化とその状態フィードバック制御
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 駿介、横倉 勇希、川合 勇輔、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 加速度センサを用いた二慣性系のロバストな負荷側加速度制御
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 雄大、横倉 勇希、大石 潔
2. 発表標題 負荷側外乱とモータ側外乱の双方を考慮した分配型外乱オブザーバの提案
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 裕司、岩田 大輝、大石 潔、横倉 勇希、井出 勇次、倉石 大悟、高橋 昭彦
2. 発表標題 零速度領域を含めたSPMモータの温度推定法
3. 学会等名 令和元年電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thang Xuan Bo, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Vibration Suppression Control of Underactuated Joint Consists of One Motor Driving Two Gears
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠崎泰雅、川合 勇輔、鈴木 駿介、横倉 勇希、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 ドリフトフリー瞬時状態オブザーバの一検討
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 勇斗、横倉 勇希、川合 勇輔、鈴木 駿介、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 共振比とモータ速度の二重マイナーループを用いた高応答ねじれトルク制御の提案
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 洸、大石 潔、横倉 勇希、宮崎 敏昌
2. 発表標題 産業用ロボット基本3軸の軸間干渉力と慣性変動を考慮した制振制御
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野 凜太郎、大石 潔、横倉 勇希
2. 発表標題 電動シヨベルカーの衝撃力緩和に関する一検討
3. 学会等名 令和元年電気学会東京支部新潟支所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田 裕司、大石 潔、横倉 勇希
2. 発表標題 揺れない初期磁極位置推定法の一検討
3. 学会等名 令和元年電気学会東京支部新潟支所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝 大貴、大石 潔、宮崎 敏昌、横倉 勇希、矢吹 明紀
2. 発表標題 産業用ロボットの電流制御系と独立したZPETCによる動力学補償法
3. 学会等名 令和元年電気学会東京支部新潟支所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 洸、大石 潔、横倉 勇希、矢吹 明紀
2. 発表標題 産業用ロボットのFDTDオブザーバを用いた制振制御についての一検討
3. 学会等名 令和元年電気学会東京支部新潟支所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井脇 隆謙、大石 潔、横倉 勇希
2. 発表標題 MNCによる駆動側のノミナル化した二慣性系のモデル予測制御
3. 学会等名 令和元年電気学会東京支部新潟支所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川合 勇輔、横倉 勇希、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 様々な環境へのインタラクションを可能とする安定な力制御技術が実現するヒューマンインタラクションロボット
3. 学会等名 第10回横幹連合カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Than Xuan Bo、大石 潔、宮崎 敏昌、横倉 勇希
2. 発表標題 低コスト劣駆動ロボットの振動抑制制御で広がるレジレントインフラのグローバル化
3. 学会等名 第10回横幹連合カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juan Padron、横倉 勇希、大石 潔、宮崎 敏昌
2. 発表標題 オイルシール装着ギアモータのスティックスリップ補償によって広がるヒューマンインタラクションロボットアクチュエータ
3. 学会等名 第10回横幹連合カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thao Tran Phuong、Kiyoshi Ohishi、Yuki Yokokura
2. 発表標題 Fine Human Interaction Road Map Based on Wideband Sensor-less Force Control
3. 学会等名 第10回横幹連合カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横倉 勇希、大石 潔
2. 発表標題 ヒューマンインタラクションロボットアクチュエータのための2慣性共振系の負荷側加速度制御
3. 学会等名 第10回横幹連合カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝 大貴、大石 潔、宮崎 敏昌、横倉 勇希、矢吹 明紀
2. 発表標題 他軸干渉を考慮した動力学補償を用いた産業用ロボットの力制御
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 2019年

1. 発表者名 Hirotaka Muto, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi
2. 発表標題 Identification of Internal Impedance Parameters of Multi-Inertial Environment For Haptic Rendering
3. 学会等名 The 27th IEEE International Symposium on Industrial Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Kawai, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Analysis of Estimation Performance of Load-side Torque and Load-side Velocity Observers for Human Interaction Control Based on Torsion Torque Control
3. 学会等名 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics AIM2018-Auckland (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirotaka Muto, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi
2. 発表標題 Haptic Rendering for Time-Variant System Based on FDTD Method Concidering Realtime Discretization
3. 学会等名 The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yushi Araki, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Kodai Abe
2. 発表標題 MPDCC Based High Efficiency Harmonic Reduction Control for IPMSM Driven by Electrolytic Capacitorless Inverter
3. 学会等名 The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Kawai, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Force Impulse Control Based on Resonance Ratio Control for Anti-bouncing Motion
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunsuke Suzuki, Yusuke Kawai, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Contact control of two inertial systems based on velocity damping by equivalent disturbance compensator
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruya Kada, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Model Prediction Direct Current Control Considering Performance of Selective-Harmonic-Elimination Based on PWM pattern
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Julio Cesar Vera Paramo, Hirotaka Muto, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Experimental Observation of Torsion Torque Using a Double-Encoder-Based Stiffness Variation Torque Observer
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirotaka Muto, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi
2. 発表標題 Realtime Discretization of Disturbance Observer Based on FDTD Method for Time-Variant System
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juan Padron, Yuki Yokokura, Kiyoshi Ohishi
2. 発表標題 Reduction of non-linear distortion in a stick-slip suppression system using velocity-triggered high-frequency damping
3. 学会等名 The 5th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization SAMCON2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juan Padron, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura
2. 発表標題 Stick-slip suppression in geared motor using speed-variant transient components of high-order Motor-side Normalization Compensator
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Mechatronics ICM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Kamiya, Kiyoshi Ohishi, Yuki Yokokura, Toshimasa Miyazaki
2. 発表標題 Force Sensorless Force Control Using Notch-Type Dual Disturbance Observer
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Mechatronics ICM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

人に優しい協働ロボット http://www.sidewarehouse.net/backdrive/index.html
--

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