

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06098

研究課題名（和文）電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの高機能化

研究課題名（英文）Refinement of hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning stage

研究代表者

加藤 友規 (Kato, Tomonori)

福岡工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20390429

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題においては、超精密工作機械に使用される電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージ（電空ハイブリッド鉛直ステージ）の高機能化を目的とし、次の成果を得た。

- ・工作機械のツールチェンジ時のバランスシリンダ内の圧力をフィードフォワード制御により補償する方法について、消費エネルギーの観点から検証実験を行い、リニアモータの出力を有効に軽減できていることを確認した。
- ・電空ハイブリッド鉛直ステージのバランスシリンダ内の圧力を制御することによる力制御の方法を提案し、鉛直方向の切削力は外乱オブザーバにより推定できることや、ステージの定位性について確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、空気圧サーボの制御技術を応用することにより、超精密工作機械に使用される電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージの高機能化を目的とした。工作機械のツールチェンジ時のバランスシリンダ内の圧力を適切に制御する方法を提案して、効果を実証した。また、ステージの力制御と力推定に関する方法を提案し、特性を評価した。超精密生産加工の高効率化・高精度化に貢献するひとつの基礎技術を確立したという所に、学術的・社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：This research aims to enhance the performance of the hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device for aspherical lens generators. First, a new pressure adjustment method in the balancing cylinder when the tool change occurred is proposed. The proposed method utilizes a feed-forward control and a high precision quick response pneumatic regulator. The validity of the proposed control method is evaluated and its superiority is indicated.

Second, a pressure control method to reduce motor load during material processing and a disturbance observer to estimate the external force applied to the stage without requiring external sensors are proposed. The experimental results showed that our proposal could reduce the motor load during material processing, and the disturbance observer could continuously estimate the external force acting on the stage while maintaining the stage positioning performance.

研究分野：機械工学

キーワード：超精密位置決め 電空ハイブリッド バランスシリンダ 圧力制御 力制御 外乱オブザーバ 工具損耗推定 エアパワー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超精密加工を行う上で、超精密位置決め技術は重要な基盤技術の一つであり、求められる超精密位置決め精度は年々高くなっている。少し前のデータであるが近年、精密加工では $1\mu\text{m}$ 、超精密加工では 10nm 程度の超精密位置決めが必要と考えられている。現在、半導体の回路線幅は 10nm 台となっており、市販の非球面加工機などの超精密工作機械の位置座標の表示は、最小桁が 0.1nm となっているものが見受けられる。

これらの要求を満たすための手段として、様々な超精密工作機械の位置決め方式の中から制御軸ごとの使用目的に合わせた方式を選択することで、性能とコストパフォーマンスの両面において優れた超精密工作機械が登場している。例えば、ある超精密非球面加工機の鉛直ステージでは、リニアモータ駆動に空圧式バランスシリンダを併用した電空ハイブリッド方式が採用されており、それによりナノレベルの高精度な位置決めを実現している。本方式は、ステージの自重をバランスシリンダの内圧力により保持することにより保持電力が不要で省エネルギー化になることや、電動のリニアモータが小型になることなどのメリットがある。ただし、更なる高精度化・高速化・省エネルギー化を実現するためには、バランスシリンダの内圧をより高速・精密に制御する手法が不可欠である。

空気圧を用いた超精密位置決め技術に関する研究事例としては、ベローズとシリンダから構成される「粗微動空気圧アクチュエータ」に関する研究や、「空気圧サーボ軸受アクチュエータ」に関する研究などが報告されている。また、電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決め装置に関する先行研究としては、加工力のセンサレスモニタリングに関する事例が報告されている。

2. 研究の目的

本研究では、空気圧サーボの制御技術を応用することにより、超精密工作機械に使用される電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージ(電空ハイブリッドステージ)の高機能化を目的とした。まず、電空ハイブリッドステージを用いた工作機械でツールチェンジを行う場合に注目し、任意のステージ重量変動に対応した圧力制御方法により、高速にシリンダ内圧を最適圧に制御することを提案した。また、電空ハイブリッドステージにおいて、バランスシリンダ内圧を制御することにより鉛直方向の加工力を発生させることで、リニアモータの負荷の低減と小型化が可能な制御方式と、バランスシリンダ内圧とリニアモータのトルク指令値から外力を推定する方式を提案した。

3. 研究の方法

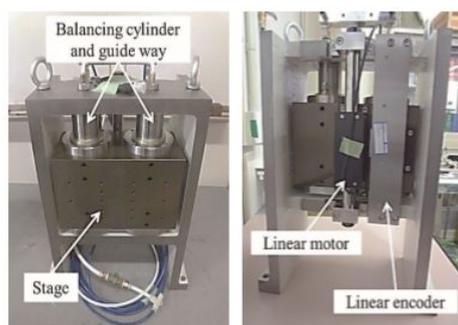
実際の超精密工作機械(非球面レンズ加工機)のうち、鉛直軸の部位として用いられる電空ハイブリッドステージのみを抜き出して製作した装置を用いて、実験を実施した。

(1) 報告者が開発を進めてきた気体用高速高精度圧力制御システムを、電空ハイブリッドステージのバランスシリンダの内圧制御に適用し、従来一般的に使用されるダイヤフラム型レギュレータ(DHレギュレータ)を用いた場合とステージの定位性や応答を比較した。また、任意のステージ重量変動に対して、シリンダ内圧を最適圧に制御することの効果を検証した。

(2) NCフライス盤を用いて、 0.5mm の超鋼ドリルでアルミ材とSKD材を切削した際の鉛直方向の加工力を測定した。その値を基に、電空ハイブリッドステージのスシリンダ内圧を制御することにより鉛直方向の加工力を発生させる実験を行い、リニアモータの負荷の低減(最大発生力の増加)が可能であるかを検証した。また、外乱オブザーバの性能評価実験を行った。

4. 研究成果

本研究で製作・使用した電空ハイブリッドステージの写真と仕様を図1に示す。装置の主な構成としては、ステージの移動にコアレス型リニアモータ(GH社製, S250D)、重力補償器として空気静圧案内を用いたバランスシリンダ、位置センサとして分解能 1nm のアブソリュート型リニアスケール(HEIDENHAIN社製, LIC4017)を採用している。また、ステージ可動部の重量は約 19.81kg で、稼働ストロークは約 26mm である。



Linear motor	Rated thrust	N	38
	Rated current	A	1.3
	Maximum thrust	N	148
Linear encoder	Encoder type		Absolute
	Resolution	nm	1
Stage	Weight of movable part	kg	19.81
	Bearing type		Aerostatic bearing

(a) Front view

(b) Side view

図1 電空ハイブリッドステージ

本装置を用いて得られた研究成果について、研究方法の(1)と(2)について、それぞれ記載する。

(1)報告者らが開発を進めてきた気体用高速高精度圧力制御システム（HPQR）を、電空ハイブリッドステージのバランスシリンダの内圧制御に適用し、従来一般的に使用されるダイヤフラム型レギュレータ（DHレギュレータ）を用いた場合とステージの定位性や応答を比較した。本実験の際の制御系の構成と実験装置の構成を図2に示す。

バランスシリンダの内圧をDHレギュレータ（FAIRCHILD社製，4063AU）とHPQRの2パターンのレギュレータで設定した後、リニアモータでステージを保持した状態で、レギュレータの上流に外乱を発生させた。与える外乱はレギュレータの上流側に設置したSP弁を全開放することで与えた（約100L/minの流量外乱）。この時のバランスシリンダの内圧を圧力センサ（JTEKT社製，PMS-5M-2-500K）、位置をリニアスケールで測定した。なお、今回発生させた流量外乱は実際に超精密工作機を扱っている環境で起こりうる流量外乱に対して大きいものとなっている。

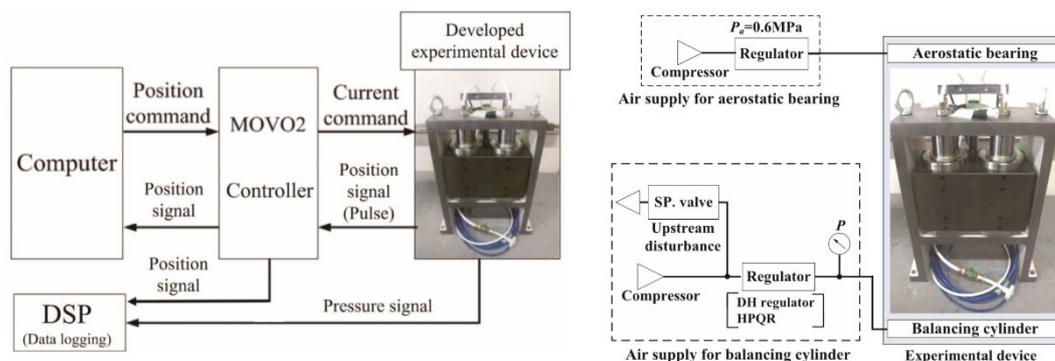


図2 制御系の構成と実験装置の構成（上流外乱実験）

実験結果を図3に示す。DHレギュレータでシリンダ内圧を調整した場合は、外乱に合わせてステージ位置が12~8nm程度変動していることがわかる。それに対して、HPQRにより制御した場合には外乱による位置変動が抑制されていることがわかる。シリンダ内圧については、DHレギュレータの場合は外乱発生時に約0.3kPa程度の圧力変動を確認した。一方、HPQRを用いた場合は外乱発生時に内圧に変化がないことがわかる。

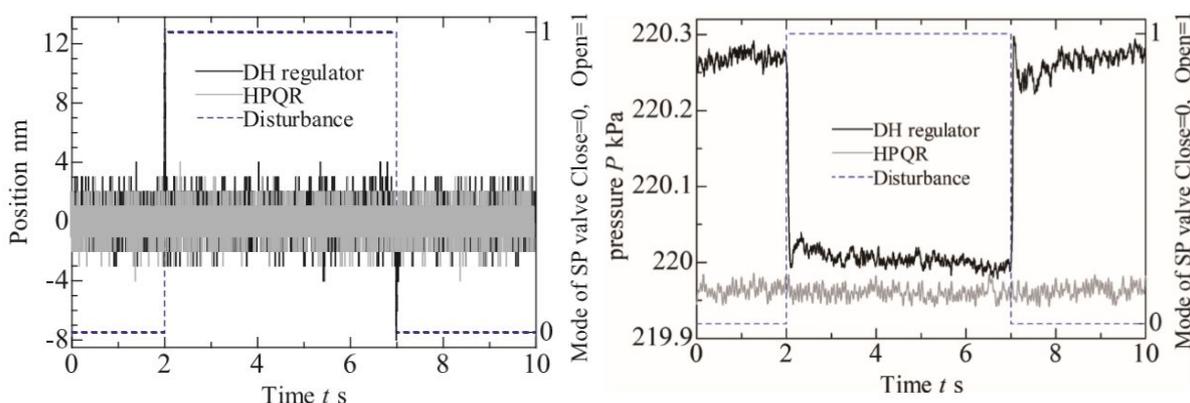


図3 実験結果（上流外乱実験）

次に、ステージの自重が任意で変動した場合に対応可能な制御系を構築する。提案する制御ブロック線図と実験装置の構成を図4に示す。この制御はHPQRの制御にトルク指令値の変動分を補償するフィードフォワード制御を付与した制御系（提案方法）である。フィードフォワードによる制御量の算出にはトルク指令値の信号を用い、トルク指令値 $T\%$ にゲイン $K_f = -0.3854\text{kPa}$ を掛けることで補償圧力 P_{cmp} を求める。その補償量を目標圧力に加算することでトルク指令値が0%になるようにシリンダ内圧を制御する。また、HPQRの制御を主としているため、外乱に対して高いロバスト性を持ち、圧力を高速かつ精密に制御することができる。

提案方法の有効性を評価するために、ステージ重量を変化させ、DHレギュレータを用いた場合、提案方法を用いた場合で比較する実験を行った。実験方法はステージをリニアモータで固定し、トルク指令値が0%になるようにシリンダ内圧を調整する。その後、実験開始10秒後にプレートに乗せた錘を取り外し、その時のシリンダ内圧とトルク指令値とステージ位置を測定した。2kg重量変動の場合の実験結果（トルク指令値とシリンダ内圧）を図5に示す。まず、DHレギュレータでシリンダ内圧を調整した場合は、トルク指令値に重量変動後に約60%の変動が見られ、重量の変動量に対応してリニアモータへの負荷が増加している。一方、提案方法をシリン

ダ内圧の制御に適用した場合、重量変動後のトルク指令値の変動を瞬時に補償できており、重量の変動量が異なる場合でもリニアモータの出力の軽減が可能であることを確認した。つまり、提案方法をバランスシリンダの内圧制御に適用することで、任意の重量変動に対してトルク指令値の変動を補償することが可能だといえる。また、その時のシリンダ内圧の結果を見ると、提案方法でシリンダ内圧を制御した場合では、供給圧力を瞬時に変化させ、ステージ自重とシリンダ内圧を釣り合わせようとしていることがわかる。

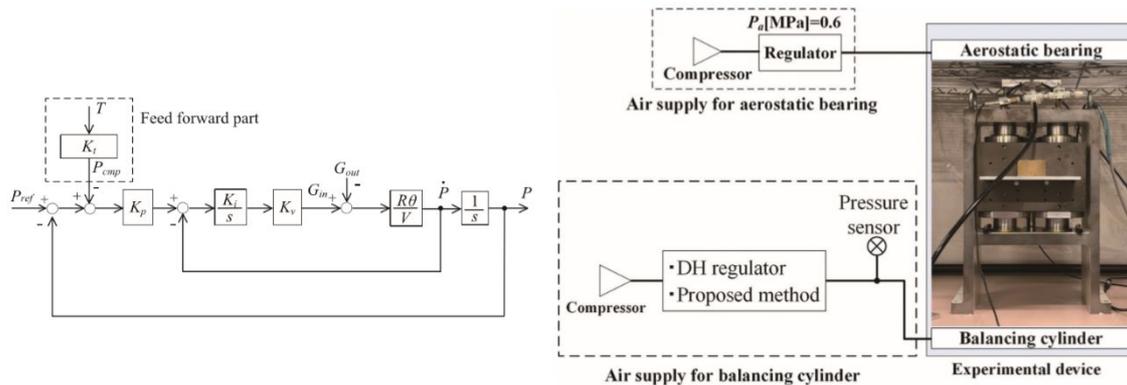


図4 ブロック線図と実験装置の構成（ステージの自重変動実験）

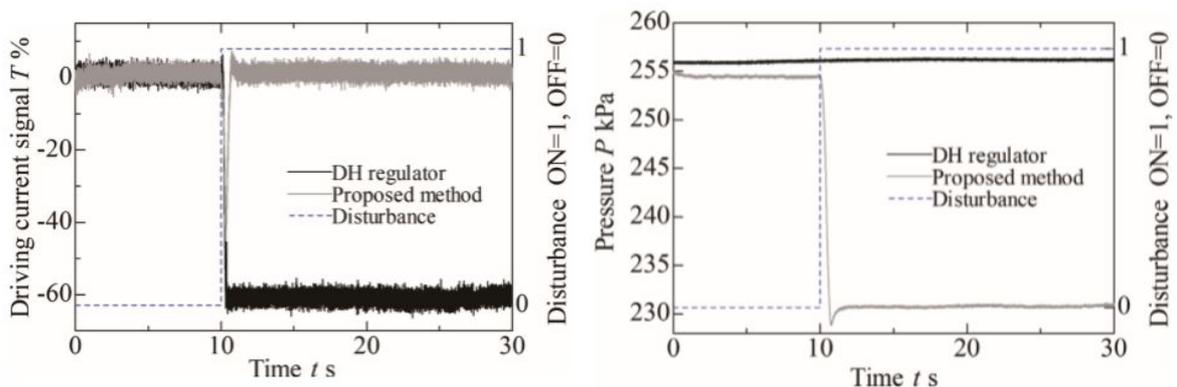
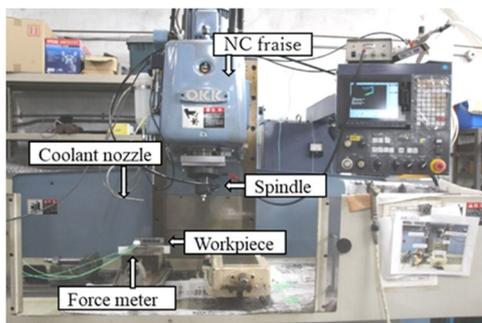


図5 実験結果（2kgのステージ自重変動）

(2) バランスシリンダ内圧を制御することにより鉛直方向の加工力を発生させることで、リニアモータの負荷の低減と小型化が可能な制御方式と、バランスシリンダ内圧とリニアモータのトルク指令値から外力を推定する方式の提案と有効性の検証するにあたり、まずNCフライス盤を用いて、0.5 mmの超鋼ドリルでアルミ材とSKD材を切削した際の鉛直方向の加工力を測定した。切削加工実験の様子と実験条件を図6に示す。この実験では、アルミ材をドリル加工する場合の鉛直方向の加工力は最大で約20N、SKD材の場合には約35Nであるとの結果を得た。

この結果を基に、図7に示す加工力に対するバランスシリンダの内圧制御方法のブロック線図と実験装置構成により実験を行った。図7の左図は、ステージの鉛直方向に加工力が生じた際に、HPQRからのバランスシリンダへの供給圧力とステージのリニアモータの駆動電流値から、加工力の値を推定し、バランスシリンダの内圧補償をする制御方法である。また、右図は(バランスシリンダとは別の)エアシリンダにより、ステージにドリル加工による鉛直方向の加工力を模擬した外力を与える装置構成である。



Work material	Aluminum	SKD61
Machine tool	Rakuraku mill	
	Electric Spindle	Air Turbine Spindle
Drill diameter [mm]	1	
Drill depth [mm]	2	
Rotational speed [min ⁻¹]	20000	
Feed per revolution [mm/rev]	0.030	0.0020
Step feed [mm]	0.5	
Cutting fluid	Semi-Dry	

図6 0.5の超鋼ドリルでアルミ材とSKD材を穴あけした際の鉛直方向の加工力の測定実験

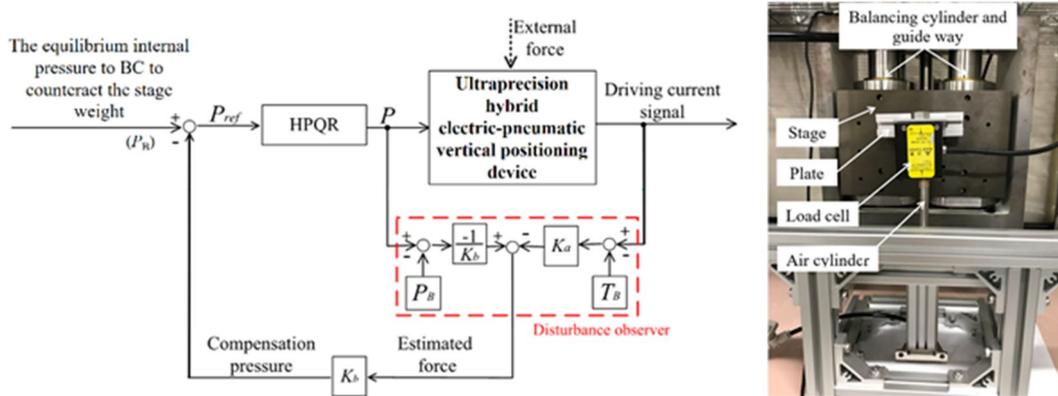


図7 加工力に対するバランスシリンダの内圧制御方法のブロック線図と実験装置構成

SKD 材をドリル加工した場合の約 35N の力をステージに印加した場合、バランスシリンダの内圧を DH レギュレータで一定値にするのみの従来の方法だと、リニアモータの電流制御信号の値が反力の発生のために出力が飽和してしまい、ステージの位置を目標軌道に追従させることができない(図8)。

それに対し、提案方法では、バランスシリンダの内圧が制御されることにより、リニアモータの電流制御信号の値が飽和することはなく、ステージは目標軌道に追従できている(図9)。また、鉛直方向の加工力(外力)について、提案方法による推定値とロードセルによる実測値がほぼ一致し、提案方法の有効性が示された。

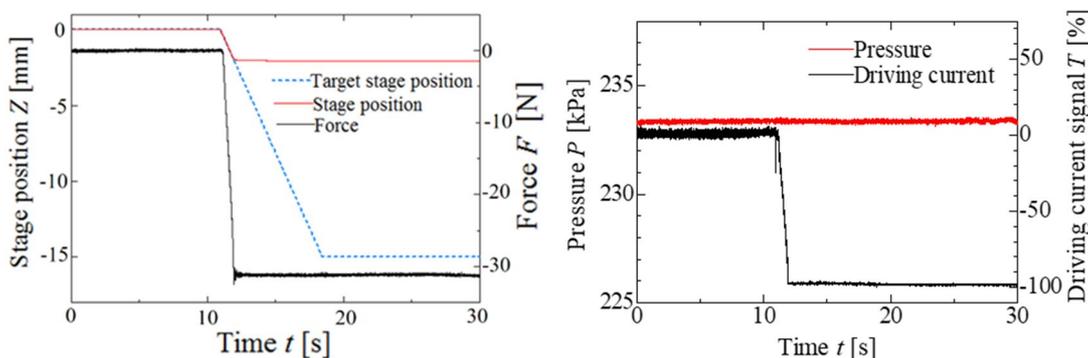


図8 従来方法による実験結果(ステージ位置・力・内圧・リニアモータ制御信号)

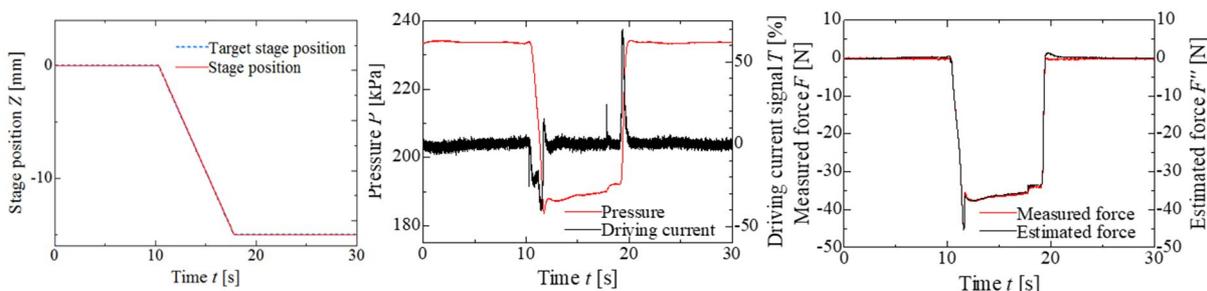


図9 提案方法による実験結果
(ステージ位置・シリンダ内圧と発生力・リニアモータ制御信号・力の推定値と実測値)

<引用文献>

大岩孝彰、勝木雅英：【超精密位置決め専門委員会】超精密位置決めにおけるアンケート調査、精密工学会誌、Vol.77、No10 (2011)
 田中克敏：超精密加工機械の高精度化の研究、博士学位論文(日本工業大学)、49/69 (2008)
 川嶋健嗣、藤田壽憲：ベローズとシリンダから成る粗微動空気圧アクチュエータによるサブナノポジショニング、アクチュエータ研究開発の最前線、株式会社エヌ・ティー・エス、pp. 136-142、(2011)
 平山朋子、佐々木勝美、矢部寛：超精密位置決め用空気圧サーボ軸受アクチュエータ(第1報) 精密工学会誌、Vol.74、No.10 (2008)
 柿沼康弘：センサレス切削力計測技術とその応用、精密工学会誌、Vol. 83、No. 3、p. 210 - 213 (2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 加藤 友規、西田 一矢、後藤 大樹、三村 政司	4. 巻 53
2. 論文標題 エアタービンを用いた空気圧式ボール発射装置の高機能化と性能試験	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 527 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.14953/jjsde.2017.2765	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 Kato Tomonori, Higashijima Kenya, Kuradome Yusuke, Noguchi Kohei, Ono Manabu	4. 巻 192
2. 論文標題 Improvement of dynamic characteristics of manipulator driven by a gas-liquid phase-change actuator using an antagonistic drive	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02015 ~ 02015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1051/matecconf/201819202015	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 Kato Tomonori, Otsubo Tatsuki, Shimazaki Kohei, Matsuguchi Shotaro, Okamoto Yusuke, Yazawa Takanori	4. 巻 1
2. 論文標題 Tool wear estimation method in milling process using air turbine spindle rotation-control system equipped with disturbance force observer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Hydromechatronics	6. 最初と最後の頁 384 ~ 402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1504/IJHM.2018.097288	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 築山義信、加藤友規、中垣瞬、徐夕衛	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置のバランスシリンダ内圧のフィードフォワード制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本フルードパワーシステム学会論文集	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5739/jfps.50.18	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 Hitoshi KINO, Akihiro KIYOTA, Nobuyoshi MIYAMOTO, Takumi INADOMI, Tomonori KATO, Hiroyuki FUJIOKA	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Basic Study of Heating Response Measurement for Nanosheet-particles/Polymer Composite Gel Actuator with Anisotropic Contraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.804.17	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 Yusuke OKAMOTO, Takanori YAZAWA, Tomonori KATO, Kazuya NISHIDA, Shinya MORIYAMA, Yukio MAEDA, Tatsuki OTSUBO	4. 巻 749
2. 論文標題 Study on Tool Wear In-Process Estimation for Ball End Mill Using Rotation Control Air Turbine Spindle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 94-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.749.94	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 HIGASHIJIMA Kenya, KATO Tomonori, SAKURAGI Kazuki, SATO Takahiro, ONO Manabu	4. 巻 11
2. 論文標題 Development of Manipulator Using a Gas-Liquid Phase-Change Actuator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JFPS International Journal of Fluid Power System	6. 最初と最後の頁 70 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5739/jfpsij.11.70	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 Wang Jin Hui, Yazawa Takanori, Gu Guo Chen, Kato Tomonori, Otsubo Tatsuki	4. 巻 894
2. 論文標題 Application of Diamond Fly Cutting to Improve Form Accuracy by In-Process Measurement and Control for Ordinary Milling Machines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Mechanics and Materials	6. 最初と最後の頁 21 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.894.21	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 Kino Hitoshi, Fukuoka Institute of Technology 3-30-1 Wajiro-higashi, Higashi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka 811-0295, Japan, Kiyota Akihiro, Inadomi Takumi, Kato Tomonori, Fujioka Hiroyuki, Miyamoto Nobuyoshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Step Response Characteristics of Anisotropic Gel Actuator Hybridized with Nanosheet Liquid Crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 647 ~ 656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.20965/jrm.2019.p0647	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16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Jinhui Wang, Takanori Yazawa, Guochen Gu, Tomonori Kato, Tatsuki Otsubo
2. 発表標題 Diamond Fly Cutting Applied to Improve Form Accuracy by In-process Measurement and Control on an Ordinary Milling Machine
3. 学会等名 International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies 2018 (IC3MT 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hitoshi KINO, Akihiro KIYOTA, Nobuyoshi MIYAMOTO, Takumi INADOMI, Tomonori KATO, Hiroyuki FUJIOKA
2. 発表標題 Basic Study of Response Measurement for Nanosheetparticles/Polymer Composite Gel Actuator with Anisotropic Contraction
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jarupat Sawangphol, Rachanart Soontornvorn, Hiroyuki Fujioka, Shinya Anraku, Nobuyoshi Miyamoto, Tomonori Kato, Hitoshi Kino, Akinori Hidaka, Hiroyuki Kano
2. 発表標題 Toward an Understanding of Nanosheet Object Motion from Noisy Microscopy Images Using Deep-Learning Approach
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomonori Kato, Kohei Shimazaki, Kenya Higashijima, Ryoji Tokunaga, Phonlasit Thinnakorn Na Ayuthaya, Pitak Thumwarin
2. 発表標題 Refinement of a Thai Flute-playing Robot in Thai Style
3. 学会等名 The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technologies (ICEAST2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomonori Kato, Kenya Higashijima, Yusuke Kuradome, Kohei Noguchi, Manabu Ono
2. 発表標題 Improvement of Dynamic Characteristics of Manipulator Driven by a Gas-Liquid Phase-Change Actuator Using an Antagonistic Drive
3. 学会等名 The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technologies (ICEAST2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徐有衛, 加藤友規, 島崎皓平
2. 発表標題 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの力制御に関する考察
3. 学会等名 2018年度精密工学会九州支部北九州地方講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Okamoto, Takanori Yazawa, Tomonori Kato, Kazuya Nishida, Shinya Moriyama, Yukio Maeda, Tatsuki Otsubo
2. 発表標題 STUDY ON SMALL-DIAMETER BALL END MILL MILLING OF AIR TURBINE SPINDLE BY ROTATIONAL SPEED CONTROL
3. 学会等名 The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenya HIGASHIJIMA, Tomonori KATO, Kazuki SAKURAGI, Takahiro SATO, Manabu ONO
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF MANIPULATOR USING A GAS-LIQUID PHASE-CHANGE ACTUATOR
3. 学会等名 The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshinobu TSUKIYAMA, Tomonori KATO, keita MATSUO
2. 発表標題 EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION OF HYBRID ELECTRIC-PNEUMATIC ULTRA-PRECISION VERTICAL POSITIONING DEVICE
3. 学会等名 The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 築山義信, 加藤友規, 中垣瞬
2. 発表標題 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の消費エネルギー測定
3. 学会等名 2017年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東島権弥, 加藤友規, 櫻木一樹, 佐藤孝洋, 大野学
2. 発表標題 気液相変化駆動ゴム人工筋アクチュエータによるマニピュレータの制御
3. 学会等名 平成29年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomonori Kato, Kohei Shimazaki, Songmoung Nundrakwang, Pavarit Chuprasert, Thumwarin Pitak
2. 発表標題 Proposal of the Concept of a Breathing Assist System for Saxophone Players with Breathing Problems
3. 学会等名 The 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomonori Kato, Tomohiro Tanaka, Youwei Xu, Kohei Shimazaki
2. 発表標題 Force Control for Hybrid Electric-Pneumatic Ultra-Precision Vertical Positioning Device
3. 学会等名 34th Annual Meeting of The American Society for Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島崎皓平, 加藤友規, 大坪 樹, 永尾宗三郎, 矢澤孝哲
2. 発表標題 エアタービンスピンドルの回転数制御における外力推定と切削抵抗に関する考察
3. 学会等名 2019年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徐 有衛, 加藤友規, 田中智博, 島崎皓平
2. 発表標題 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の力制御方法の提案と考察
3. 学会等名 2019年精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島崎 皓平, 加藤 友規, 大坪 樹, 古賀尉人, 松藤敏矢, 矢澤 孝哲
2. 発表標題 エアタービンスピンドルの回転数制御を用いた加工力推定に関する考察
3. 学会等名 2019年秋季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>福岡工業大学研究者情報 https://www.fit.ac.jp/research/search/profile/id/147</p>

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