昭和47年10月19日第4種学術刊行物許可　2019年3月15日発行（奇数月）　ISSN 1346−7719　フルードパワーシステム

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN
FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワーシステム

Mar.2019 Vol.50 No.2

特集「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」

JFPS 一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　http://www.jfps.jp

ISSN 1346-7719
第50巻　第2号　2019年3月

日本フルードパワーシステム学会誌

フルードパワーシステム

目　次

特集「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」

【巻頭言】
「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」の発行にあたって　塚越　秀行　64

【解説】
油圧駆動ロボットに役立つ油圧要素技術　田中　豊　65
振動駆動式マイクロ空気圧弁　平井　慎一　69
ラバーレス人工筋肉　齋藤　直樹　72
回生機構を持つ空気圧供給システム　佐々木大輔　75
クエン酸と炭酸水素ナトリウムの化学反応を利用した空気圧源　奥井　学，中村　太郎　78
マイクロロボットに有効な機能性流体　金　俊完　82

【会議報告】
山梨講演会2018におけるフルードパワー技術研究　吉田　和弘　86

【トピックス】
学生さんへ，先輩が語る―メーカーの技術職として働き始めて―　齋藤　鉄矢　88
Youは日本をどう思う？第８回：韓国から日本に来て　盧　俊榮　91
アメリカ生活を振り返って　大岡　正和　93

【研究室紹介】
信州大学　飯尾研究室（流体制御研究室）　宇佐見　咲，岡部　仁美　96

【企画行事】
2019年度企画行事紹介　藤田　壽憲，小林　亘　99
平成30年秋季フルードパワーシステム講演会開催報告　早川　恭弘　101

【会告】

学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付状況	105
学会誌表紙デザインの刷新にともなうデザインコンペのお知らせ	106
共催・協賛行事のお知らせ	107
その他	81，95，104，108

■表紙デザイン：山本　博勝　㈱豊島

一般社団法人　日本フルードパワーシステム学会

〒 105-0011 東京都港区芝公園３―５―22 機械振興会館別館102

TEL：03―3433―8441　FAX：03―3433―8442

E-Mail：info@jfps.jp

FLUID POWER SYSTEM

ISSN 1346-7719
Vol. 50, No. 2 March 2019

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Component Technology of Fluid Power Useful for Robots"

【Preface】
On the Special Issue "Component Technology of Fluid Power Useful for Robots" Hideyuki TSUKAGOSHI 64

【Review】
Breakthrough Technology of Hydraulic Components for Mobile Hydraulic Robot Yutaka TANAKA 65
Vibration-Driven Micro Pneumatic Valve Shinichi HIRAI 69
Rubber-less Artificial Muscle Naoki SAITO 72
Air Supply System with Retrival Mechanism Daisuke SASAKI 75
Pneumatic Source Using Chemical Reaction of Citric Acid and Sodium Bicarbonate Manabu OKUI, Taro NAKAMURA 78
Functional Fluids Effective for Microrobots Joon-wan KIM 82

【Conference Report】
Researches of Fluid Power Technologies in Yamanashi District Conference 2018 Kazuhiro YOSHIDA 86

【Topics】
Senior talks to students - Start Working as a Manufacturer's Technical Job - Tetsuya SAITOH 88
What do you think of Japan? 8th : I came to Japan from South Korea Joonyoung ROH 91
Looking Back on Life in USA Masakazu OOKA 93

【Laboratory Tour】
Shinshu University Iio Laboratory Saki USAMI, Hitomi OKABE 96

【JFPS Activities】
Introduction of Events of JFPS in 2019 Toshinori FUJITA, Wataru KOBAYASHI 99
Report of Autumn Conference of Japan Fluid Power System Society 2018 Yasuhiro HAYAKAWA 101

【JFPS News】
81, 95, 104, 105, 106, 107, 108

The Japan Fluid Power System Society
c/o Kikaishinko Building
3-5-22 Shiba-koen, Minato-ku, Tokyo, 105-0011, Japan

巻頭言

特集「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」の発行にあたって

著者紹介

塚越秀行（つかごしひでゆき）

東京工業大学大学院

〒152-8552 東京都目黒区大岡山2－12－1－S5－19

E-mail：htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了，同大学助手を経て，2004年同大学工学部助教授，准教授，現在に至る．レスキューロボット，流体アクチュエータの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

筆者がロボットの研究を志した当初，学術講演会などで研究発表を聴講すると，開発されたロボットの大半は電気モータで駆動されていた．その背景には，電動モータの優れた応答性・制御性に加えて，駆動音が比較的静かで実験室を汚さず扱いやすい，などの理由があったと推察される．しかし，実際の現場で役立つロボットが強く求められるようになってきた今日，電気モータだけでは必ずしも要求仕様を満たせない場合があることにロボット研究者は気づき始めている．実際，ここ数年のロボット系の学術講演会では，十数年前と比べて各段に多くのフルードパワーを活用した研究事例が報告されている．

医療・介護など身近な生活環境で作業者を支援するロボットや，保守点検・災害現場などの劣悪な環境で人間に代わって作業を行うロボットのニーズが高いのも事実である．これらの環境で活躍するロボットには，人体や対象物に損傷を与えることなく移動やハンドリングを安全に行える機能や，高出力を出しつつ力や位置を高精度に制御する技術が求められる．その要求に応えるために，フルードパワーを用いたロボット開発への関心が高まりつつある．

しかし，システム統合を専門とするロボット研究者には，フルードパワーシステムを構成する個々の要素技術に関する情報が意外と知られていない．油圧・空圧などの流体駆動系にはどのような課題が潜み，それがどのような手法で解決されようと試みられているのか，これらの情報を広く提供するのは当学会の使命と思われる．

そこで本特集号では，「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」と題し，フルードパワーで駆動されるロボットに有効な，あるいはこれから役立つと期待されるフルードパワーアクチュエータ・弁・駆動源などの各要素技術に関する最新情報を提供する．油圧・空気圧・機能性流体の各作動流体の課題に対して新しいアイデアで挑まれている研究者に，そのユニークな解決方法をご紹介いただき，フルードパワーの新たな可能性を模索するのが本特集号の目的である．

田中豊氏（法政大学）には，油圧駆動ロボットに役立つ油圧要素技術として，リニアアクチュエータに注目し，その性能評価を通して今後必要となる油圧アクチュエータの要素技術の動向を述べていただく．平井慎一氏（立命館大学）には，人間と同程度のサイズを持つ空気圧駆動ロボットシステムで要求される要素技術として，小型軽量な空気圧弁に着目し，その実現のために考案された振動駆動式無拘束ポペット弁とその駆動回路をご紹介いただく．齋藤直樹氏（秋田県立大学）には，柔軟性と安定な出力特性との両立を目指した空気圧アクチュエータとして，ラバーレス人工筋肉をご紹介いただき，その構成や動作特性，および応用例を述べていただく．佐々木大輔氏（香川大学）には，空気圧駆動系の省エネ化を実現するための要素技術として，容積可変タンクと小型コンプレッサとの組み合わせで構成された回生機構を持つ空気圧供給システムをご紹介いただく．奥井学氏ら（中央大学）には，空気圧駆動ロボットのモバイル化に向けた小型空気圧源として，炭酸水素ナトリウムとクエン酸の化学反応を利用した二酸化炭素の圧力発生装置をご紹介いただく．金俊完氏（東京工業大学）には，マイクロロボットを実現するために有効な要素技術として，機能性流体に関する技術の最新動向をご紹介いただく．

末筆ながら，ご多忙のなかご寄稿いただいた執筆者のみなさまに厚く御礼申し上げる．本特集号が，ロボットに役立つフルードパワーの要素技術に関する最新情報の提供に資すれば，望外の喜びである．

（原稿受付：2019年2月18日）

解説

油圧駆動ロボットに役立つ油圧要素技術

著者紹介

田中（たなか）　豊（ゆたか）
法政大学デザイン工学部
〒102-8160 東京都千代田区富士見２－17－１
E-mail：y_tanaka@hosei.ac.jp

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修了．その後，東工大精密工学研究所助手を経て，1991年法政大学講師，1992年同助教授，2002年同教授，現在に至る．2014年4月より法政大学情報メディア教育研究センター所長を兼任．工学博士（1991年 東京工業大学）

1. はじめに

日本で最初の産業用ロボット（川崎ユニメート）は油圧駆動であった．これは1969年のことであるから，ちょうど今年で50年になる．当時の日本は高度経済成長期のまっただ中，産業界では人手不足が大きな社会問題となっていたようで，こうした人手不足の状況が現在の日本と少し似ているのも興味深い．さらに初期の２足歩行ロボットの研究では油圧駆動が利用されており，1985年に筑波で開催された万国博覧会EXPO'85で話題を集めた“WHL（Waseda-Hitachi-Leg）-11”は，各脚６自由度を全油圧駆動した自立形２足歩行ロボット（身長：1.4m，体重：120kg）であった[1]．

その後1980年代後半になると，産業用ロボットは油圧駆動から電磁モータ駆動に置き換わっていった．しかし21世紀に入り，災害ロボットや人型ロボットの開発プロジェクトで，再び，油圧駆動が脚光を浴びてきている．

本稿では，油圧駆動ロボットの特徴を概観した後，リニアアクチュエータの性能比較を通して，今後必要となる油圧アクチュエータ要素技術の動向について述べる．

2. 定置形と移動形ロボット

ロボットシステムは大きく定置形と移動形の２つに分類できる．定置形ロボットは工場などで用いられる産業用ロボットが主流で，駆動用アクチュエータは電気モータなどの電磁式か空気圧式アクチュエータが広く用いられている．これは，取り扱いや価格的観点のほかに，電力や空気圧系統が工場内で比較的容易に得られ，設置が容易であることが大きな理由の一つであろう．工作機械やプレス機械など一部の産業用ロボットには油圧駆動式も見られるが，大きな出力が必要な一部の適用例に限られ，設置には専用の油圧源が必要となる．

一方，建設機械に代表される移動形ロボットは，アクチュエータの駆動に必要な電力・空気圧・油圧のいずれのパワー源も自らのシステム内に用意する必要がある．電磁式駆動の場合には原動機で駆動される発電機あるいは蓄電池，空気圧式駆動の場合にはコンプレッサや蓄圧タンク，油圧式駆動の場合には原動機で駆動される油圧ポンプあるいは油圧アキュムレータがその役割を担う．従って，どの駆動方式を選択するかは，主に必要となる最大出力レベルで決まる．もし小形で大きな出力が必要な場合には油圧駆動方式を選択せざるを得ない．最近，話題の災害ロボットやヒューマノイドロボットに油圧駆動が多く用いられている理由も，こうした出力レベルの観点からの必要性が大きい．こうしたアクチュエータの出力レベルの比較については４章で詳しく述べる．

3. 油圧駆動ロボット

油圧駆動の特長は高い出力密度と大きな瞬発力，耐衝撃性や堅牢性である．最近発表されている移動形油圧駆動ロボットは，こうした特長を活かしたものである．

例えば，革新的研究開発推進プログラムImPACTのタフ・ロボティクス・チャレンジ（TRC）では，極限の災害現場で，へこたれず，タフに仕事をして人々を救う遠隔自律ロボットとその周辺基盤技術として，タフ油圧アクチュエータや油圧駆動建設ロボットの研究開発が進められている[2]．鈴森らは，このTRCの要素技術開発の一環として，軽量で低摺動摩擦の小形油圧シリンダや油圧揺動モータ，マッキベン形油圧人工筋肉を開発している[3]．これらの

アクチュエータの性能や従来のアクチュエータとの比較についても次の４章で詳しく述べる．

ボストンダイナミックス社のPETMAN（Protection Ensemble Test Mannequin）は2009年に米国で発表された全油圧駆動２足歩行ロボットで，米国陸軍の化学防護服のテスト用人型ロボットであった．また2013年に米国で開催されたDARPAロボティクスチャレンジのロボットプラットフォームとして紹介された２足歩行ロボットATLASの原形でもある．いずれの２足歩行ロボットも最新の油圧駆動技術を導入した驚くべき高性能の２足歩行ロボットである．最新ATLASの性能については５章で詳しく述べる．

4. 直線運動形アクチュエータの性能比較

アクチュエータは直線運動形と回転運動形の２つに分類できる．電磁式の場合，電気モータはその多くが回転運動形であるのに対し，空気圧や油圧式は，ピストン・シリンダを用いた直線運動形である．回転運動形の油圧や空気圧モータもピストンの直線運動を回転運動に変換する原理で駆動される．最近，電磁式アクチュエータにリニアサーボモータと呼ばれる直線運動形が登場している．リニアサーボモータは，一部の工作機械などに用いられるようになってきているが，まだロボットへの適用事例は少なく，ロボットの電磁式アクチュエータは圧倒的に回転運動形が主流である．

坂間らは，市販のさまざまな種類のリニアアクチュエータのうちから，電磁式アクチュエータ（ACリニアサーボモータ：159種類，DCリニアサーボモータ：13種類），フルードパワーアクチュエータ（空気圧シリンダ：64種類，油圧シリンダ：29種類），電圧の印加で伸縮する圧電素子を積層した積層圧電アクチュエータ（44種類），磁界をかけることで歪みを生ずる超磁歪材料を用いた超磁歪アクチュエータ（８種類）について，各製品カタログから抽出したデータを用いてその性能比較を行っている[4]．本章ではこれらの直線運動形アクチュエータの性能を比較した調査結果を基に，ロボット駆動に適したアクチュエータを検討する．

各アクチュエータの特性は，そのアクチュエータ自身の質量m[kg]，体積V[m³]，最大推力F_{max}[N]，最大推力密度D_{max}($=F_{max}/V$)[N/m³]，最大ストロークS[m]，発生仕事量W($=F_{max}\cdot S$)[Nm] で整理する．

図１はアクチュエータの質量mに対する最大推力F_{max}である．多くのアクチュエータでは質量が大きいほど最大推力は大きくなる傾向を示し，質量と最大推力はほぼ比例関係にある．また同じ質量のアクチュエータ同士では，油圧シリンダの最大推力は極めて大きい．油圧シリンダの推力が大きいのは駆動する定格圧力が高いことに起因する．

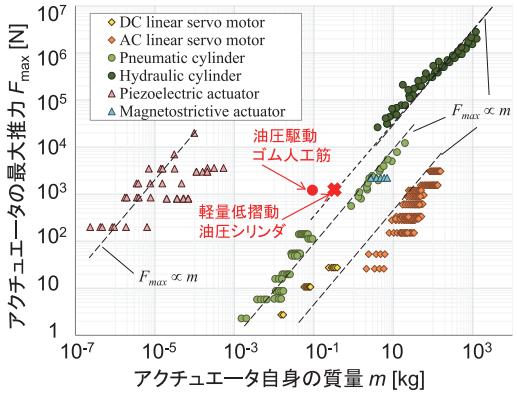


図１　アクチュエータの質量と最大推力の関係

しかし油圧シリンダの場合，自重が１kg～10kg程度の軽量なものが市販されていない．この質量範囲には空気圧シリンダがあるが，その最大推力は一桁以上小さい．このように定格圧力が高く小形軽量な油圧シリンダは市販されていないのが現状であり，小形軽量で高い圧力で駆動できるロボット用油圧シリンダの必要性は鈴森も指摘している[5]．

ここで，図１中に鈴森らが開発した小形軽量低摺動油圧シリンダの性能を×印でプロットした．この油圧シリンダは，設計の工夫とチタン・マグネシウム合金の採用などにより，質量が600gで最大推力が11kN（＠35MPa）の性能を有している．一方，同じTRCプロジェクトの中で大野ら[6]が開発したマッキベン形油圧人工筋肉は，油圧シリンダと駆動原理は異なるものの，自重が95g，最大推力12kN（＠7MPa）の性能を持っており，この性能は図中の○印でプロットされる．これらの油圧アクチュエータは災害ロボットプロジェクトの要素技術として新たに開発されたもので，今後の移動形油圧ロボットのアクチュエータに必要とされる特性を備えていると考えることができる．

次に図２にアクチュエータの最大推力密度D_{max}と質量mの関係を示す．最大推力密度は圧電アクチュエータが最も大きく，次に油圧や空気圧のフルードパワーアクチュエータと磁歪アクチュエータが続き，電磁アクチュエータは最も小さい値を示すことがわかる．また図１の結果では，油圧シリンダは単位質量あたりの最大推力は同程度の質量の他のアクチュエータに比べて高い値を示すが，単位体積あたりの最大推力においても高い値を示す．また小形軽量で制御弁を直動駆動するアクチュエータには圧電アク

チュエータが適していることも読み取れる．一方，ここでも小形軽量低摺動油圧シリンダやマッキベン形油圧人工筋肉は非常に高い性能を示し，最大推力密度は圧電アクチュエータと同程度の領域にプロットされている．

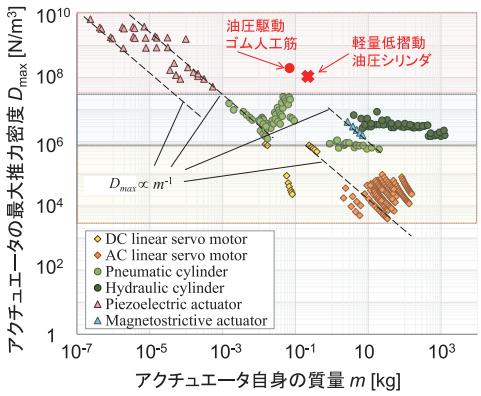


図２　アクチュエータの質量と最大推力密度の関係

図３にそれぞれのアクチュエータの質量mに対する発生仕事量Wの関係を示す．油圧シリンダは発生仕事量が大きく，その値は同程度の質量の空気圧アクチュエータと比較すると一桁，電磁アクチュエータや磁歪アクチュエータと比較すると三桁以上大きい．また油圧シリンダと圧電アクチュエータは図中の$W \propto m$の点線上に並ぶものが多く，その他のアクチュエータはこの直線よりも右下の領域にプロットされることから，油圧シリンダと圧電アクチュエータは単位質量あたりの発生仕事量も大きいことがわかる．一方，新たに開発された小形軽量低摺動油圧シリンダやマッキベン形油圧人工筋肉の性能は，同じ点線上にプロットされていることから，小形軽量で油圧駆動の特長を備えた優れたリニアアクチュエータであることがわかる．

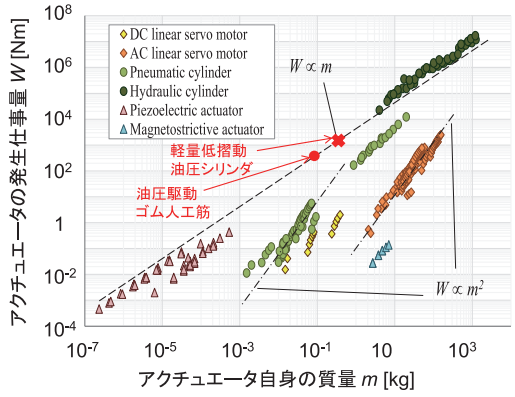


図３　アクチュエータの質量と発生仕事量の関係

5. 油圧システムの動向と展開

前章で述べたように，小形軽量で大きな出力を有する油圧アクチュエータの開発は，今後の油圧システム，特にロボット用油圧システムの要素技術として非常に重要である．さらに油圧源や制御弁の開発も重要となる．

ボストンダイナミックス社が開発した最新油圧駆動ロボットAtlas（身長1.5m，体重80kg）は不整地走行や跳躍・宙返り，巧みな荷物の仕分け作業などが可能である．この油圧駆動ロボットでは，図４に示すように，電池と電動モータ，小形歯車ポンプ，軽量小形アキュムレータ，油圧タンクで構成された５kgで最大５kWの小形油圧源が新たに開発されて搭載されている．従来のAtlas（身長２m，体重200kg）に比べ，この油圧源の質量は18％，体積では55％，熱的な負荷では45％，構成要素の数は16％削減されている．配管系・マニフォールドや脚筐体などの骨格系も軽量化が図られている．こうした小形軽量化は金属3Dプリンティング技術に寄るところが大きい．また内部漏れの少ない直動形小形油圧サーボ弁が新たに開発され，28関節のアクチュエータを駆動している[7]．

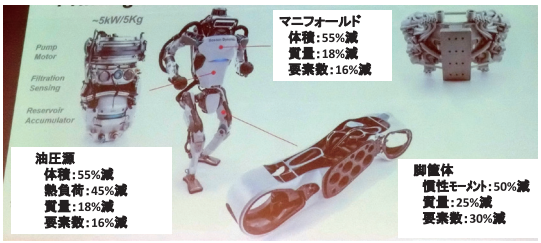


図４　油圧ロボットの小形軽量化の事例

これらの開発事例は，今後の油圧ロボット用駆動システムの動向を示すものとして興味深い．著者なりに，油圧駆動ロボットに必要な開発項目を挙げると以下のようになる．

(1)　油圧源の小形・軽量・高性能化
　個別技術：ポンプの小形・軽量化，アキュムレータの軽量化，油圧タンク容量の極小化と軽量化，原動機の小形・軽量化，エネルギー源（蓄電池）の高エネルギー密度化

(2)　油圧アクチュエータの高出力密度化
　個別技術：軽量素材の利用，小形軽量化，油圧を有効に活用した新駆動原理の開発

(3)　油圧サーボ弁の小形化・高速化と低内部漏れ
　個別技術：弁体の直動駆動，弁駆動用高速アク

チュエータの採用，油圧を有効に活用した新駆動原理の開発

⑷　油圧要素の耐衝撃性と堅牢性
　個別技術：高耐圧軽量素材の採用

⑸　センサ・アクチュエータの計測制御
　個別技術：複数のセンサ情報による協調制御やマルチタスク制御，AIなどを活用した柔軟な非線形制御

⑹　システム全体の軽量化と高剛性化
　個別技術：最新3Dプリンティング技術の活用，3Dプリンティング用高耐圧軽量素材の開発

上記のような開発項目が革新的な油圧駆動ロボットを実現する要素技術のキーテクノロジーとなるだろう．

6. おわりに

災害ロボットや人型ロボットの研究開発プロジェクトで油圧駆動の特長を活かした新しい潮流が話題となっている．本稿では，油圧駆動ロボットで今後必要となる油圧アクチュエータ要素技術の動向について紹介した．今後のフルードパワーの新たな可能性に期待したい．

最後に本稿をまとめるにあたり，データ収集やその整理にご協力いただいた青山学院大学理工学部の坂間清子博士に謝意を表す．

参考文献

1）加藤，高西，一柳，藤江，堀口，佐々木，渡辺，野上，全油圧駆動による2足歩行ロボットの実現，油圧と空気圧，Vol. 17，No. 1，p. 52-60（1986）
2）田所，ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジの概要，日本ロボット学会誌，Vol. 35，No. 10，p. 696-699（2017）
3）難波江，広田，井上，鈴森：ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジにおける超高出力油圧機器，油空圧技術，Vol. 56，No. 8，p. 23-29（2017）
4）坂間，田中，リニアアクチュエータの特性比較と評価，日本機械学会2015年度年次大会講演論文集DVD，No. 15-1，S1140104（2015）
5）鈴森，フルードパワーが拓く新しいロボティクス，計測と制御，Vol. 57，No. 11，p. 759-764（2018）
6）大野，油圧駆動の高出力ゴム人工筋，計測と制御，Vol. 57，No. 11，p. 799-802（2018）
7）田中，第11回IFK2018におけるフルードパワー研究の動向，フルードパワーシステム，Vol. 49，No. 4，p. 190-192（2018）

（原稿受付：2019年1月21日）

解説

振動駆動式マイクロ空気圧弁

著者紹介

平井慎一（ひらいしんいち）

立命館大学ロボティクス学科
〒525-8577 滋賀県草津市野路東１－１－１
E-mail : hirai@se.ritsumei.ac.jp

1990年京都大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学．2002年立命館大学理工学部ロボティクス学科教授となり，現在に至る．ソフトロボティクスの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本ロボット学会，IEEEなどの会員．博士（工学）

1. はじめに

本解説では，小型軽量な空気圧弁である振動駆動式無拘束ポペット弁を紹介する．小型軽量な空気圧弁の有効性を示すために，ロボットマニピュレータの先端に，空気圧駆動のロボットハンドを装着する場合を想定しよう．多くのロボットマニピュレータの内部には，空気圧を伝える径路が装備されている．内部径路の個数よりロボットハンドの空気圧アクチュエータの個数が少ない場合は，装備された径路を用いて空気圧をアクチュエータに伝達することが可能である（図１(a)）．この場合，空気圧や流量を制御する空気圧弁を，ロボットマニピュレータのベース側に置くことが可能であり，弁のサイズや重量に制限はない．一方，内部径路の個数よりロボットハンドの空気圧アクチュエータの個数が多く，空気圧弁をロボットマニピュレータのベース側に置く場合には，装備された内部径路以外の径路により，空気圧をアクチュエータに伝える必要が生じる（図１(b)）．この場合，空気圧を伝えるチューブがマニピュレータのベース側とハンド側を結ぶ必要があり，これらのチューブがロボットマニピュレータの運動を妨げる恐れが高い．すなわち，内部径路による伝達では駆動できるアクチュエータの個数に制限があり，外部チューブによる伝達ではチューブがシステムの運動を妨げる．

この問題を解決するひとつの方策は，空気圧弁を小型軽量化し，ロボットハンド側に設置することである（図１(c)）．動力源となる空気圧は，内部径路を通じて供給される．ロボットハンド側では，内部径路から供給される空気圧を分流し，空気圧弁を介して個々のアクチュエータを駆動する．すなわち，ロボットハンド側にアクチュエータの個数に応じた空気圧弁を設置することにより，マニピュレータのベース側とハンド側を結ぶチューブを設置することなく，内部径路の個数以上のアクチュエータを駆動することが可能になる．さらに，空気圧弁と空気圧アクチュエータとの間の空気圧の伝達経路が短くなるため，制御性の向上が期待できる．近年，ロボットハンドやウェアラブルロボットなどで，多くの空気圧アクチュエータを用いている．多くの空気圧アクチュエータから成るロボットシステムを駆動し制御するときには，小型軽量の空気圧弁が有効である．

人間と同程度のサイズを持つ空気圧駆動ロボットシステムにおいて，空気圧アクチュエータを駆動す

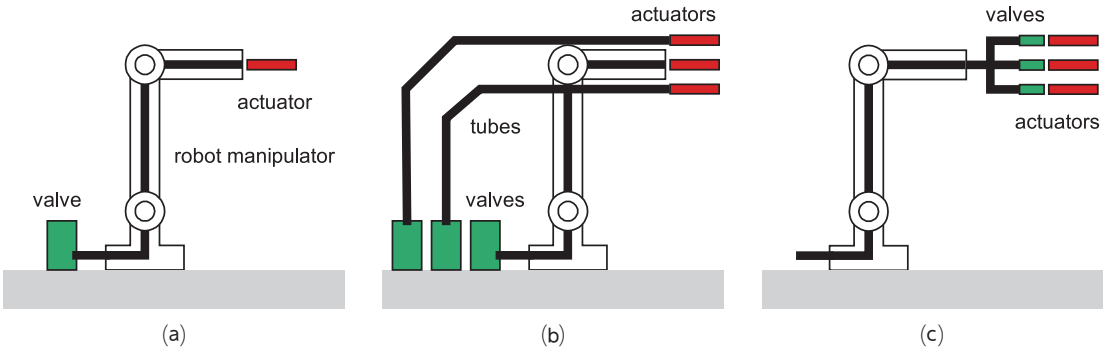


図１　空気圧弁によるロボットハンドの駆動

るためには，圧力0.5MPa程度で流量10L/min程度の空気圧を制御することが望まれる．著者らは，このような要求を満たす小型軽量な空気圧弁として，振動駆動式無拘束ポペット弁を提案し，研究開発を進めてきた[1)2)]．本解説では，振動駆動式無拘束ポペット弁とその駆動回路について述べる．

2. 振動駆動式無拘束ポペット弁

2.1 原　　理

空気圧弁を小型化するためには，構造が単純であることが望ましい．小型弁は熱膨張の影響を受けやすいため，熱膨張の影響を受けにくい構造が望ましい．これらの要請を満たす弁として，振動駆動式無拘束ポペット弁を提案した．振動駆動式無拘束ポペット弁は，ポペット，貫通穴を有する振動体，ケースから成る（図２(a)）．ポペットはケースの中に封入されており，名称の通りほかの部材とは接続されていない．構成部品が少なく単純な構造であり，ポペットが無拘束であるため，組立が容易である．

入力ポートは空気圧源に接続され，出力ポート側は大気圧に保たれる．入力ポート側と出力ポート側の圧力差のため，ポペットは振動体の貫通穴に押し付けられる（図２(b)）．これが閉状態である．ここで，貫通穴を有する振動体を振動させると，振動によって生じる慣性力によりポペットが跳躍し，ポペットと振動体との接触が断続的に失われる．結果として，入力ポートから印加された空気が，貫通穴を通って出力ポート側に流れる（図２(c)）．これが開状態である．すなわち，振動体の振動を制御することにより，弁の開閉を実現することができる．ポペットと振動体は接続されていないため，振動によって生じる熱で振動体が膨張しても，弁の開閉が可能である．

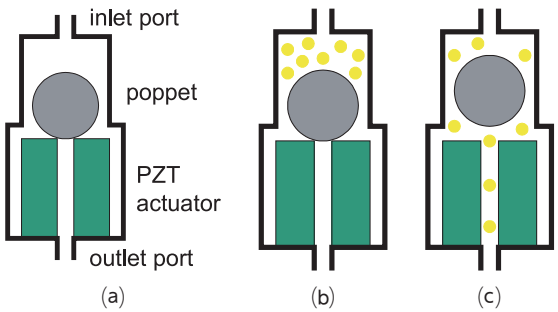


図２　振動駆動式無拘束ポペット弁の構造と動作

2.2 プロトタイプ

振動駆動式無拘束ポペット弁のプロトタイプの形状は，直径７㎜，高さ９㎜の円筒である（図３左）．振動体として，積層ピエゾアクチュエータ（富士セラミックス社製）を用いた．ピエゾアクチュエータのサイズは，３㎜×３㎜×２㎜，貫通穴の直径は0.3㎜，オリフィスの直径は0.5㎜である．

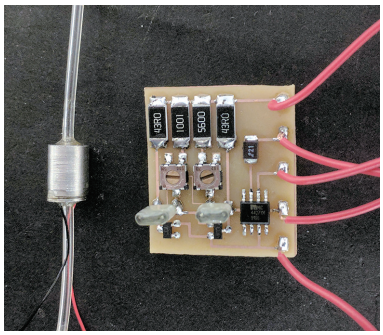


図３　振動駆動式無拘束ポペット弁とその駆動回路

試作した２個の振動駆動式無拘束ポペット弁において，印加する電圧の周波数と流量の関係を調べた．ファンクションジェネレータで矩形波を発生させ，それを増幅した信号をピエゾアクチュエータに印加する．入力ポートに0.5MPaの空気圧を加え，弁を駆動したときの流量を出力ポート側で計測する．計測した結果を図４に示す．駆動周波数が振動駆動式無拘束ポペット弁の固有振動数に一致するとき，大きい流量を得る．固有振動数の近くの周波数以外では，流量が急激に減少する．図に示すように，弁により固有周波数が異なる．ただし，このデザインの振動駆動式無拘束ポペット弁では，固有周波数は60 ～ 80kHzの範囲にある．

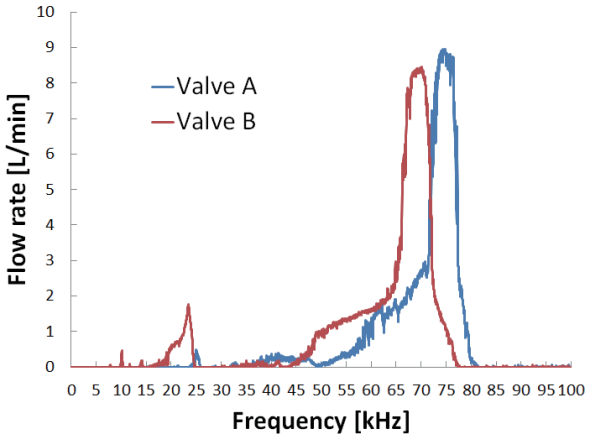


図４　駆動周波数と流量の関係

3. 振動駆動式無拘束ポペット弁の駆動回路

3.1 駆動回路

振動駆動式無拘束ポペット弁を駆動するためには，周波数60 ～ 80kHzの矩形波を生成する発振回路，発振回路で生成された矩形波を増幅する増幅回路が

必要である．増幅回路で生成された矩形波をピエゾアクチュエータに印加することで，空気圧弁が作動する．振動駆動式無拘束ポペット弁を駆動するときには，個々の弁における共振周波数の矩形波を生成する必要がある．したがって，１個の振動駆動式無拘束ポペット弁に対して，発振回路と駆動回路が必要となる．そこで，発振回路と駆動回路を一体化し，小型の駆動回路を試作した[3]．

試作した駆動回路（図３右）は，発振回路と増幅回路から成る．発振回路として，無安定マルチバイブレータ回路を採用した．この回路は，トランジスタ，抵抗，コンデンサから構成されており，小型化が容易である．駆動回路として，LCチューナーを採用した．この回路は，インダクタとゲートドライバーから構成されており，小型化が容易である．試作した駆動回路は，ピーク電圧５V，周波数60～80kHzの矩形波を，出力電圧30Vに増幅することができる．

試作した２個の振動駆動式無拘束ポペット弁を，試作した駆動回路で駆動し，その流量を計測した．弁Aの最大流量は8.5L/min，弁Bの最大流量は8.2L/minであり，ファンクションジェネレータを用いた場合と同程度の十分な流量を得ていることがわかった．

3.2　流量制御

振動駆動式無拘束ポペット弁は開状態のとき，流路の開閉が高速で繰り返されている．一方，閉状態のときには，流路は常に閉じられている．この見かけ上の弁の開閉に対してPWM制御を行うことで，流量を制御できる[4]．弁内の圧電素子を振動させポペットを跳躍させるため，周波数60～80kHz程度の矩形波（図５(a)）を用いる．ここで，PWM制御のためのパルス信号（図５(b)）を導入する．振動駆動式無拘束ポペット弁を含む空気圧制御系を構成するとき，系の帯域幅を10Hz程度と想定し，PWM信号の周波数をその10倍である100Hzとする．駆動用の矩形波とPWM信号をAND演算によって合成し，増幅回路に入力することで，流量制御用の信号（図５(c)）を得る．この信号を振動駆動式無拘束ポペット弁の圧電素子に印加する．PWM信号のデューティ比を制御することにより，流量制御が達成される．流量制御の結果を図６に示す．PWM信号のデューティ比により，流量を制御できることがわかる．

4. おわりに

本解説では，振動駆動式マイクロ空気圧弁とその駆動回路を紹介した．振動駆動式マイクロ空気圧弁ならびにその駆動回路は，構造が単純であり小型化が容易である．今後は，振動駆動式マイクロ弁を用いて，空気圧駆動のロボットシステムを制御することを試みたい．

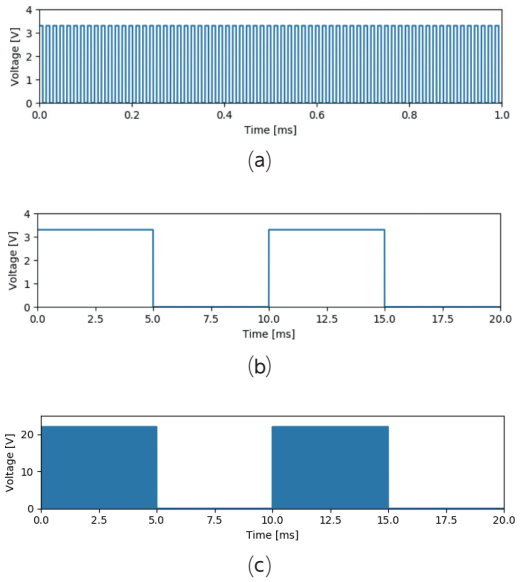


図５　流量制御用の駆動信号

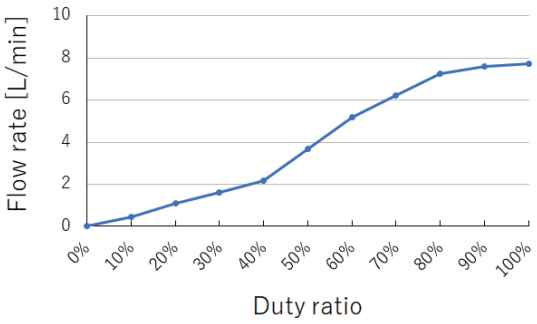


図６　流量制御の結果

参考文献

1）Uehara, S. and Hirai, S.：Unconstrained Vibrational Pneumatic Valves for Miniaturized Proportional Control Devices, Proc. 9th Int. Conf. on Mechatronics Technology（2005）

2）Jien, S., Hirai, S., and Honda, K.：Miniaturized Unconstrained On-Off Pneumatic Poppet Valve—Experiment and Simulation, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol. 14, issue 5, pp. 626-635（2009）

3）宮治和弥，平井慎一，振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の駆動用発振回路の開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会（2018）

4）平井慎一，野友亮，昇圧チョッパ回路を用いた無拘束ポペット弁の駆動回路，ロボティクス・メカトロニクス講演会（2018）

（原稿受付：2018年12月27日）

解説

ラバーレス人工筋肉

著者紹介

齋藤直樹（さいとう なおき）

秋田県立大学システム科学技術学部
〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老の口84－4
E-mail : naoki_saito@akita-pu.ac.jp

1998年秋田大学大学院鉱山学研究科博士前期課程修了，2008年より秋田県立大学准教授，現在に至る．空気圧の医療福祉分野への応用に関する研究開発に関心を持つ．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

近年，ロボットやメカトロニクスと人間の距離が近づくにつれて，機械側には「柔らかさ」や「親和性」などのこれまでの機械特性とは少々異なる特性が求められるようになってきた．こうした背景もあって，本質的にパッシブな特性を持つ空気圧を動力源とするアクチュエータがさまざま研究されている．本稿で紹介するラバーレス人工筋肉も，こうした背景から開発を始めたアクチュエータである．

空気圧人工筋肉の代表的なものにMcKibben型ゴム人工筋肉（以下，ゴム人工筋肉と呼ぶ）が挙げられる[1]．1960年代に提案され，手掌の拘縮患者の装具の動力源として使われたこともあるもので，軽く，圧力に応じて収縮力を変えられるだけでなく，パッシブなコンプライアンス特性を有し，圧力が印加されていないときにはゴムや外側を覆うポリエステル繊維程度の柔らかさになるので，人体の近くに配置する機械の動力源としてはあまり邪魔にならず，自由に動くことができるという利点がある．

一方で，ゴム人工筋肉はゴムチューブを膨らませてエアチャンバーとし，この変形によって，外側を覆うポリエステル製の網状スリーブのパンタグラフ機構による収縮変形を発生させ，収縮力を発生する．しかしゴムチャンバーを膨張させることから，一般的に0.3 ～ 0.5MPa以上の駆動圧力が必要となる．また，実際に使ってみると，ゴムは風船のように膨張させると引張残留ひずみが蓄積されていくことから，膨張のために必要な圧力が変動し，システムの出力が安定しにくいという厄介な特性があるということもわかった．

このような特性を回避し，安定した出力が得られるようにゴムチューブを非伸縮性の空気袋に変更したものが，ここで紹介するラバーレス人工筋肉である[2]．したがって，基本的な動作原理は従来のMcKibben型空気圧人工筋肉と何ら変わることがない．ただ，基礎特性ではゴム人工筋肉と比べて特徴的な傾向もいくつか見られた．ここではラバーレス人工筋肉の基本的な構造や特性について触れ，これまでに行ってきた応用の例をいくつか紹介する．

2. ラバーレス人工筋肉

2.1 構　造

ラバーレス人工筋肉の基本構造は，図1に示すように外側を覆うポリエステル繊維を編んで作ったスリーブと，その内側に挿入する非伸縮素材で作った空気袋，空気袋とスリーブの両端を留める樹脂製のアタッチメント，およびゴム管を留めるホースバンドで構成されている．

*1 PET-PE-Kv シート ポリエステル–ポリエチレン–ケブラー糸複合シート

図1　ラバーレス人工筋肉の構成部品

この中でも特に，空気袋の素材や作り方などが，駆動圧力の低圧化や長寿命化に関係し，これまでいくつかの素材を評価してきた[3]．そのなかで，現在使用している構成について図2に示す．空気袋はポリエチレンテレフタレート（PET）繊維シートを筒状に縫合加工し，内側表面にポリエチレン（PE）

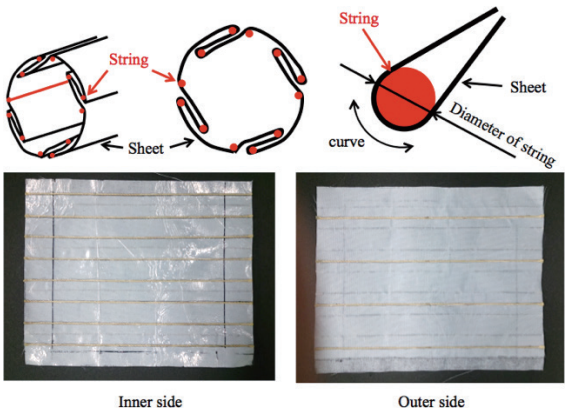


図２　ラバーレス人工筋肉内空気袋

図３　膨張時の空気袋

シートを貼ったものである．また，図３のように膨張収縮時の形状成形のためのケブラー繊維を表面に貼っている．軸方向のケブラー繊維は内圧が低下した際に空気袋素材のしわを作るためのものである．図２に示すように，糸の直径に沿ってシートが曲がることでシート素材の折れ曲がりを防ぎ，耐久性が向上する．また空気袋中央部の円周方向にもケブラー繊維を巻くことで，図３のように膨張時にくびれができるようになっている．このくびれにより空気袋は軸方向に収縮するので，外側の網状スリーブのパンタグラフ機構による変形と合わせて収縮する構造になっている．

2.2　出力特性

ラバーレス人工筋肉の特性として，圧力と収縮量の関係を図４に，生体筋でも用いられる等尺性収縮特性を図５に示す．

図４から，ラバーレス人工筋肉は印加圧力に対して非線形的に収縮量が変化するという，通常のゴム人工筋肉と同様の特性がある．また，通常のゴム人工筋肉に比べてヒステリシスループが大きい傾向がある．このヒステリシスループの原因は，ラバーレス人工筋肉の空気袋が排気能力を持たないためであり，本質的にこれを改善することは難しいと考えている．したがって，ヒステリシス特性を好まない，フィードバック制御系などにこのアクチュエータを利用するためには，拮抗駆動などで伸展を積極的に行う必要がある．

図５の等尺性収縮特性は，出力の大きさを比較するために，一般的なゴム人工筋肉の測定データも並べてある（図５中の破線）．等尺性収縮特性は，筋長を固定した状態で入力である圧力を与え，その際の収縮力を測定したもので，収縮力の静的出力特性を示しているといえる．この結果から，３つとも筋長が短くなるにつれて発揮できる収縮力が小さくなることが分かる．また，ラバーレス人工筋肉とゴム人工筋肉を比較すると，ラバーレス人工筋肉のほうが約５倍強の収縮力を発揮していることが分かる．このことから，ラバーレス人工筋肉のほうがより低い圧力で必要な力を出力できるといえる．

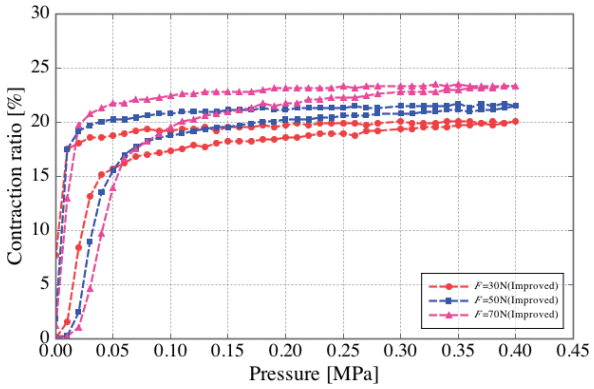


図４　圧力-収縮量の関係

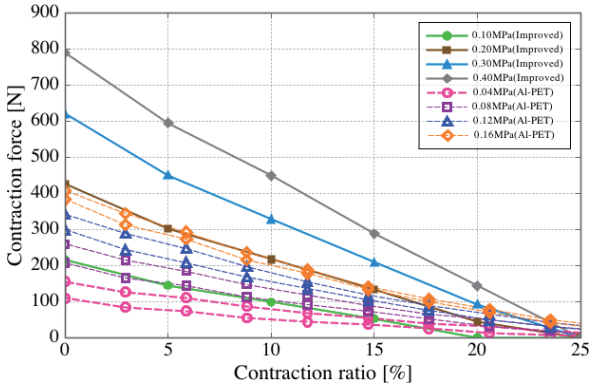


図５　等尺性収縮特性

3. 応　用　例

ラバーレス人工筋肉の応用例をいくつか紹介する．

１つ目は図６に示すロボットアーム[4]である．拮抗駆動で作動し，人間のように関節の硬さを変えながら姿勢制御を行うものである．ゴム人工筋肉でもこのような制御の実現の可能性は数多く紹介されており，それらと同様の用途で使うことが可能である．

２つ目は図７に示す上腕パワーアシスト装具[5]である．これはラバーレス人工筋肉が生体筋と同じ特性を持っている[3]ことに着目し，人間の動作に連動して人間の筋活動と同じ動作パターンになるように，ラバーレス人工筋肉への入力圧力を機構的に調節す

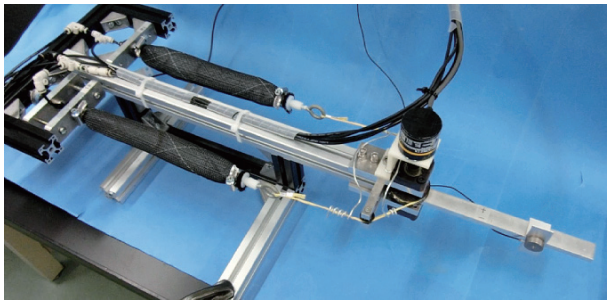


図６　ラバーレス人工筋肉を応用した拮抗駆動型ロボットアーム

図７　ラバーレス人工筋肉を応用した上腕パワーアシスト装具

ることで，人間の筋特性に類似した，自然なパワーアシストを目指すものである．センシングやフィードバック制御を行わないためコンピュータが不要で，シンプルなパワーアシストデバイスになるものと期待している．

３つ目は図８に示す体重免荷システム[6]である．人の体を吊り上げる程度の力が出力でき，かつ軽くて構造も柔らかいことから，日常生活の中で手軽に使えるような，かつ歩行補助ができるシステムを目指して開発を進めている．空気の圧縮性によるコンプライアンス特性がちょうどいい役割を発揮し，人に加える力を柔らかい印象にしている．改めて空気圧は人との親和性が高い動力源であることを感じている．

4. おわりに

ラバーレス人工筋肉について紹介した．現在も研究室で内製しているレベルを抜けていないが，徐々に特性も向上してきているし，さまざまな機械への応用にも耐えられるものになってきた．さまざまな分野への応用により，これからもこのアクチュエータの持つ良さを示していきたいと考えている．

一方で，この内製を逆手に取り，小学生などを対象にした実験教室で空気圧人工筋肉の製作を行い，

図８　ラバーレス人工筋肉を応用した体重免荷システム

作ったり原理を考えたりする楽しさを伝える活動を行っている．この活動を通して，将来の空気圧関連技術者が育ってくれることを夢見ている．

空気圧人工筋肉は構造が柔らかいために，従来の工業用製品に比べて耐久性の面など頼りなさそうに感じることもあるが，私達の生活のあらゆるところにアクチュエータが入った機械が普及すると考えられるこれからの時代には，安価で軽く，フレンドリー（気軽）で，近所で手軽に購入できるような位置づけのアクチュエータがあっても良いようにも思う．このラバーレス人工筋肉も，そのようなアクチュエータの一つになれるのではないかと期待している．

参考文献

1）Shulte, HF Jr.: The Characteristics of the McKibben Artificial Muscle. The application of external power in prosthetics and orthotics, National Academy of Sciences, Pub. 87, Append. H, Washington DC, p. 94–115,（1961）

2）齋藤直樹：空気圧ラバーレス人工筋の開発，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 43，No. 4，p. 102–108,（2012）

3）Naoki S., Toshiyuki S.: Structure of Rubberless Artificial Muscle and Evaluation of a Lifetime, Proceedings of the IECON2016, pp. 648–653,（2016）

4）Naoki S., Toshiyuki S.: Posture control considering joint stiffness of a robotic arm driven by rubberless artificial muscle International Journal of Automation Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 503–510,（2016）

5）齋藤直樹：ヒトの筋活動を考慮した人工筋肉パワーアシスト装置，計測と制御，Vol. 56，No. 4，pp. 271–275,（2017）

6）Naoki S., Toshiyuki S.: Evaluation of weight bearing reduction system driven by rubberless artificial muscle, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2D27, p. 1–6,（2017）

（原稿受付：2018年12月28日）

解説

回生機構を持つ空気圧供給システム

著者紹介

佐々木（ささき）　大輔（だいすけ）
香川大学創造工学部
〒761-0396 香川県高松市林町2217－20
E-mail : daisuke@eng.kagawa-u.ac.jp

2003年岡山大学大学院博士後期課程中退．同大学 助手，助教を経て，2015年香川大学工学部講師，2016年同准教授，現在に至る．空気圧ソフトアクチュエータを使ったウェアラブルロボットの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，IEEE，日本機械学会，日本ロボット学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

空気圧駆動のウェアラブルパワーアシストロボットを日常生活で使用するためには，ウェアラブルロボットの携帯性と同時に，空気源にも携帯性が求められる．しかし，コンプレッサの物理的な小型化は，吐出流量の減少などの出力低下を招き，これが小型空気圧供給システムを実現する上での問題となる．

そこで筆者らは，ゴム材料で構成し内圧によりタンク容積が変化する容積可変タンクを開発し，これを小型コンプレッサと組み合わせ図１に示す圧縮空気の供給，回生機構を持つ小型の空気圧供給システムを実現した[1)2)]．

以下では，開発した空気圧供給システムの構成を紹介したのち，本システムを実現する上での重要な構成要素である容積可変タンクの構造およびその特性について述べる．最後に，システム駆動時の消費電力の測定結果から，回生機構による省エネルギー化について説明する．

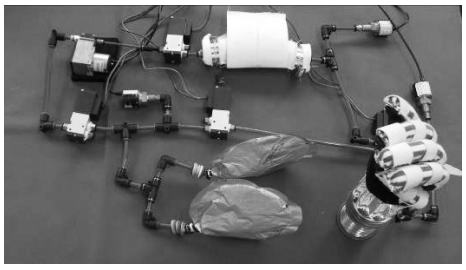


図１　小型空気圧供給システムの外観

2. 小型空気圧供給システムの概要[1)]

2.1　システム構成

図２に提案する空気圧供給システムの全体構成を示す．コンプレッサで生成される圧縮空気は供給機構を介してアクチュエータに供給される．また，アクチュエータから排気される圧縮空気は，回生機構を介してコンプレッサに供給され再圧縮される．以下では，各構成要素のシステム内での使用意図，役割，要素間の関連などの概要を述べる．

コンプレッサ

小型軽量な市販小型コンプレッサ（SQUSE社製MP-2-C）を使用する．回生システムに接続するために吸気口側に継手を取り付けている以外の変更は施していない．

供給機構

制御弁１

コンプレッサの排気先を供給用タンク，大気に切り換えるため使用する．

供給タンク

ゴム材料で構成し内圧によって内部容積が変化する容積可変タンク（以降　可変タンク）を使用する．圧縮空気流入時にはタンクが膨張することで，可変タンクを構成するゴム材料に弾性エネルギーを蓄積し，圧縮空気供給時にはゴム材料の弾性エネルギーを開放することで，タンク内の圧力変動を緩和できる．タンク内の圧縮空気をアクチュエータに供給した時の圧力降下を抑制できる

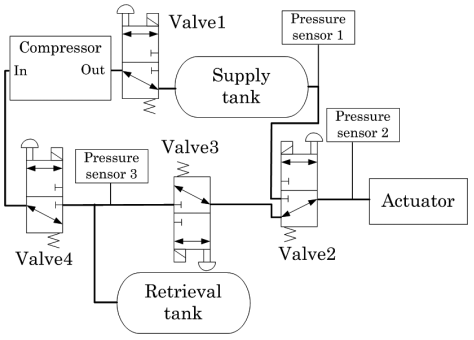


図２　小型空気圧供給システムの構造

ため，供給前のタンク内圧を低圧化することでコンプレッサの消費電力を低減できる．

制御弁２

アクチュエータへの圧縮空気の供給・排気に使用する．

アクチュエータ

本研究ではアクチュエータ（駆動対象）として筆者らの開発したパワーアシストグローブを使用する．

回生機構

制御弁３

アクチュエータからの圧縮空気の排気先を後述の回収用タンクあるいは大気に切り換えるため使用する．

回収タンク

アクチュエータから排気される圧縮空気を回収するため使用する．容積が一定のタンク（以降　固定タンク）を使用すると，回収タンク内圧が回収時には急増，再圧縮時には急減しタンク内圧の圧力変動が大きくなる．また，回収タンク内圧の圧力変動は，アクチュエータの排気特性の変動も引き起こす．そこで，回収時に所望のタンク内圧（以降　回収圧）で膨張する可変タンクを回収タンクにすることで，回収，再圧縮時のタンク内の圧力変動を緩和する．

制御弁４

コンプレッサの吸気先を回収タンク，大気に切り換えるために使用する．

2.2　容積可変タンク

供給タンクの外観を図３に示す．製作した供給タンクはゴムチューブを織りゴムで覆った構造である．織りゴムはゴムチューブの周方向に伸長するよう巻き付けている．本システムに使用したゴムチューブは内径24［㎜］，外径33［㎜］であり，両端の栓を除き実際にタンクが膨張する部分の全長は100［㎜］としている．ゴムチューブの過度の膨張を抑制するため，タンク周囲をナイロンバンドで覆い，周長の最大値が240［㎜］となるよう抑制している．

図４は供給タンクに流入した空気圧エネルギーとタンク内圧の関係である．空気圧エネルギーは，エアパワー[3] を積算することで求める．図４からわかるように，約30［J］以上の範囲では空気圧エネルギーの流入に対してタンク内の圧力変化が緩和されている．これはタンクから空気が流出する場合においても，圧力降下が少ないことを意味しており，この特性が可変タンクの特徴といえる．

回収タンクの外観を図５に示す．回収タンクはゴム風船をアルミフィルムで覆うことで過度な膨張を抑制する．ゴム風船の枚数で剛性が変化し膨張開始圧力の調整ができるため，回収圧を決定する予備実験の結果に基づき約30［kPa］で膨張するようゴム風船を６個重ねて使用した．

製作した回収タンクのエネルギー特性を図６に示す．実験結果からわかるように，10［J］以下の範囲では30［kPa］の圧力を維持しながら空気圧エネルギーを蓄積できる．アクチュエータの排気実験の結果に基づき，回収圧（30［kPa］）を超過しないよう２個の回収タンクを使用している．異なるアクチュエータを使用する場合には，排気実験を行い回収タンクの使用数を検討する必要がある．

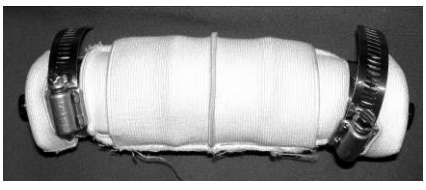


図３　供給タンクの外観

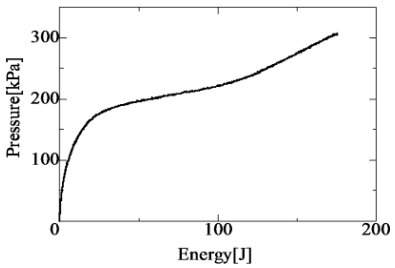


図４　供給タンクの空気圧エネルギー特性

図５　回収タンクの外観

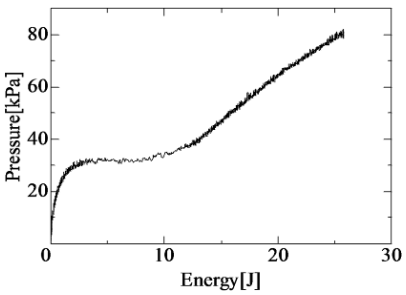
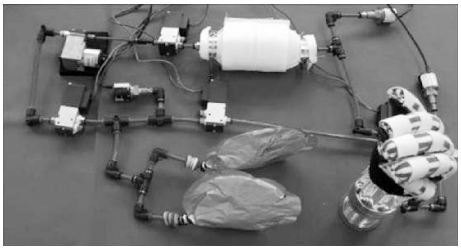


図６　回収タンクの空気圧エネルギー特性

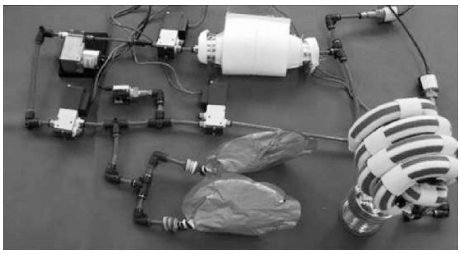
3. 駆動実験[1)]

回生機構による省エネルギー性能を，パワーアシストグローブを使用した駆動実験から評価を行った．実験手順を以下に述べる．

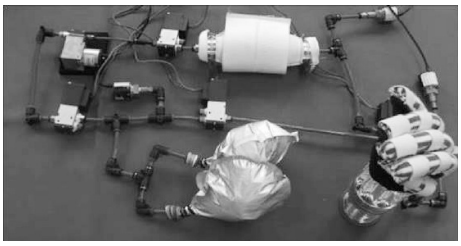
1．コンプレッサを駆動し供給タンクを加圧する．（図７(a)）
2．コンプレッサを停止して供給タンクを密閉状態で保持する．
3．パワーアシストグローブへ圧縮空気を供給する．（図７(b)）
4．パワーアシストグローブ内の圧縮空気を回収タンクへ排気する．（図７(c)）
5．回収タンク内の空気をコンプレッサにより再圧縮する．（図７(d)）



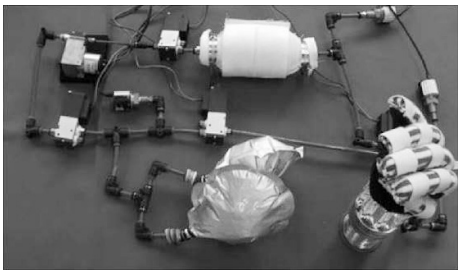
(a)　圧縮空気生成



(b)　圧縮空気の供給



(c)　圧縮空気の回収



(d)　再圧縮

図７　駆動実験

以上の手順を10回繰り返したものを１セットとして実験は３セット行った．図８は，回収タンクに容積固定タンク（３[l]）ならびに可変タンクを使用した時の各駆動回数における３セットの消費電力の平均値を示す．なお，回生機構の有無によらず，供給タンクは可変タンクを使用している．

測定結果より，１回めの駆動はコンプレッサ吸気口に接続した回生システム用配管による吸気損失の影響と考えられる約４%の消費電力の増加が確認されるが，２回め以降の消費電力は２～10回の９回分の平均で回生システムなしと比較すると約12%（固定タンク），29%（可変タンク）と低減されている．また，回収用タンクに可変タンクを使用した場合は，固定タンクを使用した場合と比較して消費電力を大幅に低減できることを確認した．

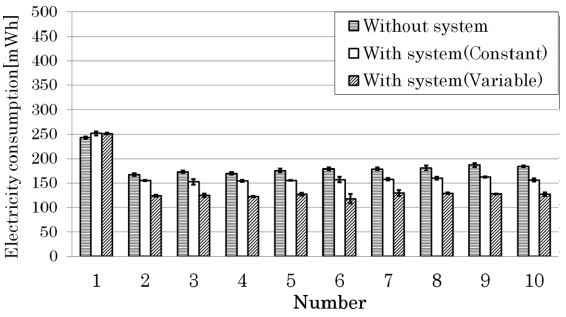


図８　システムの消費電力

4. おわりに

今回は，空気圧駆動のウェアラブルパワーアシストロボットに用いるため開発した回生機構を持つ小型空気圧供給システムを紹介した．

圧力変動を緩和可能な容積可変タンクがこのシステムを実現する上で最も重要な構成要素であることから，現在は容積可変タンクのモデル化および高機能化に取り組んでいる．

参考文献

1）佐々木大輔，則次俊郎，高岩昌弘，岩脇辰侑：空気圧駆動ウェアラブルデバイスのための小型空気圧供給システムの開発，日本ロボット学会誌，Vol. 31，No. 7，p. 659-668（2013）
2）佐々木大輔，高岩昌弘，瀧 翔太：空気圧駆動ウェアラブルデバイスのための小型空気圧供給システムの開発―第２報：空気圧エネルギーの推定と空気圧供給システムの制御―，日本ロボット学会誌，Vol. 33，No. 7，p. 490-496（2015）
3）蔡茂林，藤田壽憲，香川利春：空気圧駆動システムにおけるエネルギー消費とその評価，日本油空圧学会論文集，Vol. 32，No. 5，p. 118-123（2001）

（原稿受付：2018年12月28日）

解説

クエン酸と炭酸水素ナトリウムの化学反応を利用した空気圧源

著者紹介

奥井　学（おくい　まなぶ）

中央大学研究開発機構
〒1112-8551 東京都文京区春日1－13－27
E-mail : manabu.okui48@gmail.com

2014年東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻修了．日産自動車㈱などを経て2018年4月より中央大学研究開発機構機構助教．空気圧アクチュエータ，機能性流体関連の研究に従事．博士（工学）．日本フルードパワーシステム学会平成29年度学術論文賞等受賞．

中村太郎（なかむら　たろう）

中央大学理工学部
〒1112-8551東京都文京区春日1－13－27
E-mail : nakamura@mech.chuo-u.ac.jp

信州大学大学院工学系研究科博士後期課程修了．1999年，秋田県立大助手．2004年，中央大学理工学部専任講師．同大学准教授をへて2013年より同大学教授．2017年株式会社ソラリス設立，代表取締役CEO．文部科学大臣表彰若手科学者賞等受賞．人工筋肉などのスマートアクチュエータの開発と制御，生物を規範としたバイオロボティクスの開発に従事．博士（工学）．

1. はじめに

空気圧駆動は，柔軟な動作や軽量な構成を実現しやすい．これらの特性から，ロボットの分野においてもソフトロボット[1)-2)]やウェアラブルロボティクスへの応用が盛んである[3)-4)]．これらのロボットはモータ駆動にはない魅力が多く存在するが，ロボット外部から圧縮空気を供給する必要がある．小型空気圧源による圧縮空気供給が可能となれば，空気圧駆動ロボットの無線化・携帯化が可能となり，その応用範囲が大きく広がる．

筆者らは，空気圧駆動ロボットのモバイル化に向け，さまざまな方法での小型空気圧源を開発してきた[5)-7)]．本報ではその中のひとつであるクエン酸と炭酸水素ナトリウムの化学反応を利用した空気圧源についてご紹介させていただく．

2. 空気圧源としての特性

2.1 反応の基本原理

式1に炭酸水素ナトリウムとクエン酸の化学反応式を示す．紹介する空気圧源は本反応で生じる二酸化炭素を利用して空気圧アクチュエータを駆動する．反応物は全て無毒であり，入手・廃棄が容易である．また，中和反応自体は発熱反応であるが二酸化炭素の発生などを含めた反応全体は吸熱反応のため，発熱の恐れがない．

$$C_6H_8O_7+3NaHCO_3=Na_3C_6H_5O_7+3H_2O+3CO_2\uparrow \quad (1)$$

2.2 発生圧力と発生気体量

ロボットに用いる空気圧源は，軽量かつ小型であることが求められる．また，空気圧システムの駆動に十分な圧力が発生可能かどうかという点も重要である．そこで始めに，本空気圧源の発生可能な最大圧力と混合物質量あたりの発生積算流量を実験により調べた．

実験に使用した物質の分量を表1に，測定結果を表2に示す．実験では，表1に示す物質を500 mlの密閉容器に封入した後に混合を行い，圧力と発生気体量を測定した．なお，混合に使用した炭酸水素ナトリウムとクエン酸の量はそれぞれ0.3 mol，0.1 molにあたる．

結果より，圧力は1.1 MPa発生可能であり，空気圧システムの駆動に十分な圧力が発生可能なことが確認できた．また，発生気体の積算流量は6.54 NLであり，これは1 molの気体を22.4 Lとした場合の理論値である6.72 NLとほぼ一致した．これは長さ180 ㎜の軸方向繊維強化型人工筋肉を0.3 MPaの印可圧力で約14回駆動可能な気体量であり，携帯空気圧源として使用に耐えうるだけの流量を発生可能であるといえる．

表1　容器内で混合する物質量

Citric acid	19.2 g
Sodium bicarbonate	25.2 g
Water	300 ㎖

表2　積算流量と発生圧力の測定結果

Measured integrated flow	6.54 NL
Measured pressure	1.1 MPa

2.3　水量の影響

水を溶媒とした化学反応では，水の分量が反応速度に影響する．図１は，クエン酸9.6 g，炭酸水素ナトリウム12.6 g を容積500 mℓ容器に封入し，さまざまな分量の水と反応させた際の積算流量の時間変化を示している．水の分量は10 ml ~ 100 mlの間で変化させている．結果から，水の分量が25 mlまでは反応速度は濃度が高いほど早いが，水の分量が25 mlを下回ると反応速度が急激に低下することが分かった．そのため，本化学反応を空気圧源として使用する場合には，クエン酸と炭酸水素ナトリウムの濃度を上記実験条件での水の分量が25 mlの濃度，すなわち水１ Lあたりそれぞれの物質を２ mol，６ mol程度混合することが望ましいことが分かった．

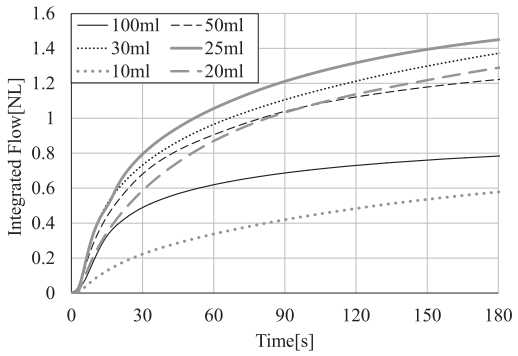


図１　水の分量と気体発生速度の関係[6)]

3. 反応の継続のための工夫

本化学反応は１ MPa以上の圧縮空気を発生できるため，必要な空気量分の物質をあらかじめ混合しておく場合には空気圧源内部の圧力が１ MPa以上となる可能性がある．容器内圧が１ MPa以上となる場合，タンクに高い耐圧性が必要となるためタンクの高重量化を招く．そのため，発生圧力を適度に保つために，クエン酸と炭酸水素ナトリウムを必要に応じて混合する必要があると考えた．

反応を継続させる手法はさまざまに考えられるが，本研究では図２に示す構成とした．システムはラバーアクチュエータ，２方弁，３方弁，レギュレータ，リリーフバルブ，増圧装置，クエン酸水溶液の入ったボトルA，炭酸水素ナトリウムと水の入ったボトルBから成る．ラバーアクチュエータはボトルBからの圧力により駆動される．増圧装置はラバーアクチュエータからの排気圧力で駆動され，ボトルA内のクエン酸水溶液をボトルBに注入する．これより，ボトルB内の圧力の過度の上昇を抑えつつアクチュエータを駆動する．

図３に増圧装置の構造を示す．増圧装置は軸方向に繊維を内包したゴムチューブ，単動空気圧シリンダ，ターミナルおよびチェック弁から成る．ゴムチューブは，軸方向に繊維を内容しているため空気圧印加時に周方向のみ膨張し，軸方向に収縮する．その際の収縮力でシリンダを駆動し，シリンダ内の流体を吐出する．この際，繊維内包チューブの特性により，吐出圧力はゴムチューブへの印加圧力よりも高くなる．

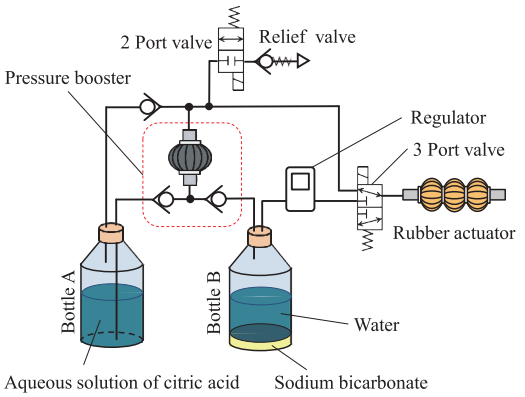


図２　化学反応継続システムの概要

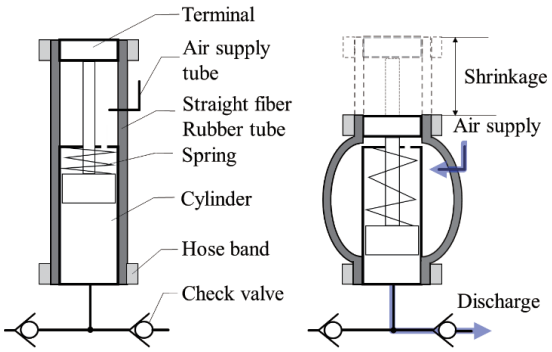


図３　増圧装置の構造[6)]

4. 空気圧アクチュエータの駆動

提案システムの有効性を確かめるため，空気圧人工筋肉駆動実験を行った．実験装置を図４に示す．実験装置は図２と同様の構成である．実験条件は表３に示すとおりである．図中中央部にある増圧装置は，繊維強化チューブをシリンダに被せ，シリンダのロッド側にターミナルを挿入し，ホースバンドにより両端をシールし製作した．サイズは210 mm × 20 mm × 30 mm程度，重さは122 g，１回の動作での吐出流量は0.78 mℓである．シリンダはSMC製単動シリンダCJPB10-10を用いた．

実験では，３方弁と２方弁を周期10 s，デューティ比50 %のパルス信号で同時に駆動した．本操作により人工筋肉と増圧装置が交互に駆動され，増圧装置が駆動されるごとにクエン酸飽和水溶液がボ

トルBに注入される．また，実験開始直後から人工筋肉の駆動及びクエン酸水溶液の注入が開始するように，ボトルAを0.15 MPa，ボトルBを0.35 MPaにあらかじめ加圧した．

実験の様子を図５に示す．人工筋肉と増圧装置が交互に加圧されている様子が確認できる．また，あらかじめ加圧したタンクだけでは人工筋肉駆動回数が６回であるのに対し，提案システムは23回の駆動に成功した．これより，提案手法の有効性が示されたと言える．

本実験で使用したクエン酸および重曹の分量は，完全に反応がおこると仮定すると6.72 NLの二酸化炭素を発生可能であり，これは理論上，本実験で使用する人工筋肉を44回駆動することが可能である．しかしながら実験で人工筋肉を駆動できた回数は23回であった．要因はクエン酸と炭酸水素ナトリウムが完全に反応していないことと考察できる．これは，実験終了後にボトルを振った際にボトルA内圧力が再び人工筋肉駆動圧力以上に上昇したことからも確認できた．

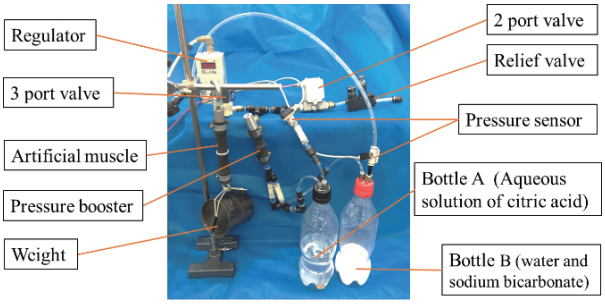


図４　人工筋肉駆動実験に用いた装置[6)]

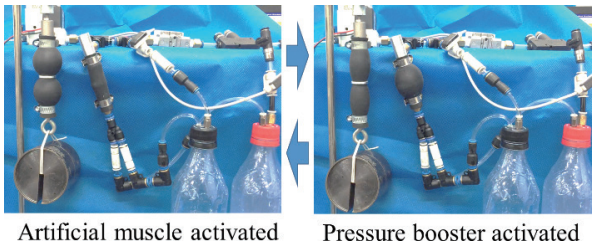


図５　人工筋肉と増圧装置が交互に駆動される様子[6)]

表３　人工筋肉駆動実験条件

Amount of citric acid in bottle A	19.2 g
Water in bottle A	26 ml
Sodium bicarbonate	25.2 g
Water in bottle B	24 ml
Volume of bottle A	0.5 L
Volume of bottle B	0.5 L
Volume of artificial muscle (pressurized)	0.15 L
Mass of weight	1.7 kg
Driving pressure of artificial muscle	0.225 MPa

5. 空気圧源としての位置づけ

筆者らは主要な圧縮空気生成手法空気圧源の携帯性について，流量密度［NL/g］と発生可能最大圧力［MPa］の２つの物理量から評価している[8)]．その携帯性を評価したチャートに，提案する化学反応を用いた空気圧源をプロットしたものが図６である．本図より，提案手法は高圧を発生可能だが，質量当たりの発生できる圧縮空気が少ないことがわかる．

提案手法は，１ MPa程度の高圧を非常に簡易な構成で発生できる．そのため，高圧が必要であるが必要空気量は小さいアプリケーション向きであると言える．一方で，アシストロボットの駆動のような，比較的低圧で消費空気量の多いものには不向きである．

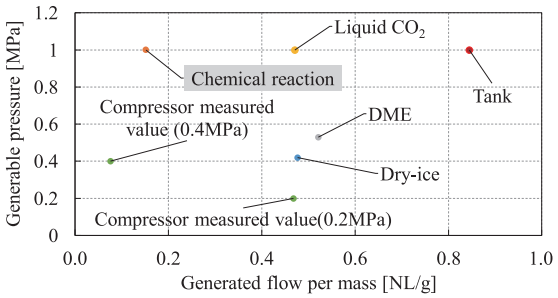


図６　空気圧の携帯性チャート

6. おわりに

本稿では，クエン酸と炭酸水素ナトリウムの化学反応を利用した空気圧源について紹介した．今後も流体駆動ロボットの無線化・携帯化に向け，圧力源に関する研究を行っていく．

謝辞

本研究は，国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の支援により実施された．

参考文献

1）Tolley, M.T, Shepherd. R.F, Mosadegh. B., Galloway. K.C, Wehner. M., Karpelson. M., Wood. R.J, and Whitesides. G.M.: A Resilient Untethered Soft Robot, Soft Robotics, vol. 1, p. 213-223 (2014)
2）鈴森康一，脇元修一：流体駆動ソフトメカニズムの設計，日本ロボット学会誌，vol. 29, no. 6, p. 484-487 (2011)
3）H. Sasanuma, H. Tsukagoshi, M. Okui: Socks type actuator that provides exercise for ankle and toes from the medical point of view, 2018 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Auckland, New Zealand, ThBT1.11, 2018.
4）A. Ohno, H. Nabae and K. Suzumori, :Static Analysis

of Powered Low-Back Orthosis driven by thin pneumatic artificial muscles considering body surface deformation, In Proc. of 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 39-44, (2015)
5）奥井 学，名倉 裕貴，飯川 伸吾，山田 泰之，中村 太郎，"炭酸水素ナトリウムとクエン酸の化学反応を用いた小型増圧ポンプを有する携帯型空気圧源の提案"，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 48, No 3, (2017.5)
6）奥井 学，名倉 裕貴，山田 泰之，中村 太郎，"圧縮空気生成手法の携帯性評価に基づくハイブリッド型携帯空気圧源の開発"，日本ロボット学会誌，Vol. 36, No. 3, pp. 233-241, (2018.4)
7）M. Okui, Y. Yasuyuki, T. Nakamura, :Proposal of Air Compressing Device using Walking Vibration Energy Regeneration for Pneumatic Driven Assistive Device, Proc. of The 21th International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2018), Panama, Panamacity, (2018.9)
8）M. Okui, Y.Nagura, S.Iikawa, Y.Yamada, T. Nakamura,:Evaluaion of Air Compressing Methods for Development of a Portable Pneumatic Power Source, Proc. of the 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, Fukuoka, Japan, 2 B14, (2017.10)

（原稿受付：2018年12月20日）

会　告　詳細は学会ホームページ（http:www.jfps.jp/）をご覧ください

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会　共催
2019年春季フルードパワーシステム講演会
開催日：2019年5月30日(木)・31日(金)

2019年春季フルードパワーシステム講演会は2019年5月30日(木)・31日(金)に機械振興会館（東京都港区）で開催されます．本講演会では，一般講演に加えて，特別講演やオーガナイズドセッション，製品・技術紹介セッション，技術懇談会などを企画しております．詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので，ご確認いただきますようお願いいたします．皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

2019年春季フルードパワーシステム講演会　併設セミナー
「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」
開催日：2019年5月30日(木)

2019年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを，2019年5月30日(木)に機械振興会館（東京都港区）で開催いたします．

医療・介護など身近な生活環境や，保守点検・災害現場など過酷な動作環境で人間の代わりに作業を行うロボットのニーズが高まりつつあります．本併設セミナーでは，それらのロボットに有効な，あるいはこれから役に立つと期待されるフルードパワーの各要素技術に対して，新しいアイディアで挑まれている研究者に，そのユニークな解決方法をご紹介いただき，フルードパワーの新たな可能性を模索する機会を設けます．

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします．

なお，日本フルードパワーシステム学会誌50巻2号（2019年3月号）が当日の講演資料となりますので，各自ご持参いただきますようお願いいたします．

皆様の積極的なご参加をお待ちしております．

2019年春季フルードパワーシステム講演会　併設企画
「製品・技術紹介セッション」
開催日：2019年5月31日(金)

春季フルードパワーシステム講演会の中で，企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただくオーガナイズドセッション「製品・技術紹介セッション」を企画しました．本企画は，製品にかかわる技術や検討課題などを学会主要行事の1つである講演会で発表していただき，会員間で問題意識を共有し，会員相互の研究・技術の促進を図ろうとするものです．また，本セッションの講演は「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります．企業関係の会員皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております．

解説

マイクロロボットに有効な機能性流体

著者紹介

金（きむ）　俊完（じゅうん わん）

東京工業大学大学院

〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259－J3－12

E-mail：kim.j.aa@m.titech.ac.jp

2005年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士後期課程修了．2005年から東京工業大学精密工学研究所助手（助教），2013年から同大学准教授，現在に至る．機能性流体，MEMS，マイクロマシン，超精密機械加工，メカトロニクスなどの研究に従事．博士（工学）．

1. はじめに

人間が活動できない微小な空間において，マイクロロボットの活用は期待されている．マクロ世界での不整地歩行において多数のセンサを用いた高度な制御を必要とするハードなロボットはシステムが複雑となりマイクロ化に不適切である．一方，柔軟なボディからなるソフトロボットは変形による対象物への追従や衝撃エネルギの吸収などの利点があり，マイクロ化が容易であるとともに複雑な制御なしで微小な空間での不整地歩行が可能である．しかし，このようなマイクロソフトロボットは主に空気圧駆動であり，外部にコンプレッサをもつため，システム全体の小形化は困難である．

このような背景から，筆者らのグループではマイクロロボットに有効な機能性流体に着目している．特に，直流電圧の印加で活発なジェット流を発生できる電界共役流体（electro-conjugate fluid, ECF）を用いたマイクロポンプを実現し，マイクロソフトロボットの駆動源として応用することを目指している．本報では，まず，高出力パワー密度を有するマイクロポンプを実現するために考案した新たな電極形状について紹介する．次に，開発した電極対からなるECFマイクロ液圧源を搭載するマイクロソフトロボットの事例を紹介する．

2. ECFマイクロポンプ

ECFマイクロポンプの特性はECF効果を発生させるECF電極対の形状によって大きく左右される．これまでに，筆者らのグループで検討されたECF電極対の形状として，のこ歯形電極対（図１左上）と針－リング形電極対（図１右上）がある．のこ歯形電極対はMEMS技術で製作が容易な平面形状であるが，その吐出圧力は低い．一方，針－リング形電極対は，吐出圧力は高いが，MEMS加工が難しい３次元構造体である．MEMS加工と高出力パワーを両立させるために，針－リング形電極対の形状を模倣し，３次元の三角柱－スリット形電極対（TPSE，図１下）を提案している[1)-2)]．三角柱－スリット形電極対は平面形状をその平面に垂直な方向に伸ばした高アスペクト比の構造体であるため，MEMS加工が可能である．また，針－リング形電極対のように急峻な電界勾配を有するため，高出力が期待できる．この電極対のラージモデルを放電加工によって試作し，その有効性を確認している[1)]．

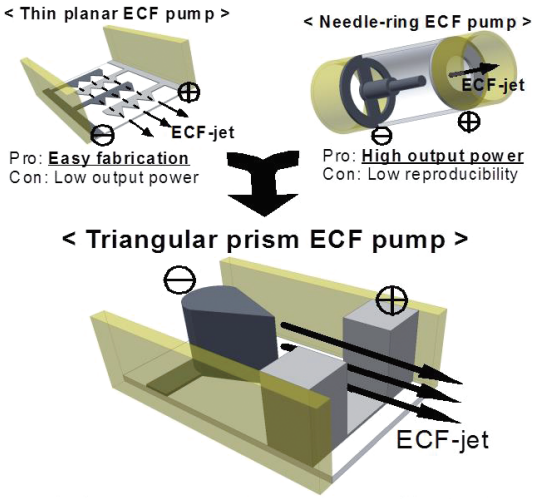


図１　三角柱－スリット形電極対（TPSE）の特長

三角柱－スリット形電極対の製作を実現するため，厚膜レジストでマイクロ鋳型を形成し，電気めっきにより電極を形成するMEMS製作プロセスを提案している（図２）．まず，チタンと金をガラスウェハに蒸着させ，フォトリゾグラフィを用いて電極パ

ターンを作製する．厚膜フォトレジストKMPRを用いて鋳型を形成する．ニッケルの電気鋳造（電鋳）を用いて電極対の形状を製作する．剥離剤を用いてKMPRを選択的に除去し，電極対の形状を完成させる．酸化などを防止するために電極全体を金でめっきする．最後に，異なる厚膜フォトレジスト，SU-８を用いて，流路を形成する．このMEMSプロセスにより製作した三角柱－スリット形電極対を図３右上に示す．このMEMS製作プロセスにより平面上に多数の電極対を集積することが可能となり，高出力パワー密度のECFマイクロポンプが実現できている．

さらなる高出力パワー密度を得るために，裏面露光による多層化プロセス[3]や新たな鋳型除去方法[4]を開発し，高アスペクト比化に成功したことで（図３下），３kVの直流電圧の印加時に，最高圧力55 kPaと無負荷流量1,800㎣/sを有するECFマイクロポンプ（25.3×5.8×1.5㎣）を実現している[4]．

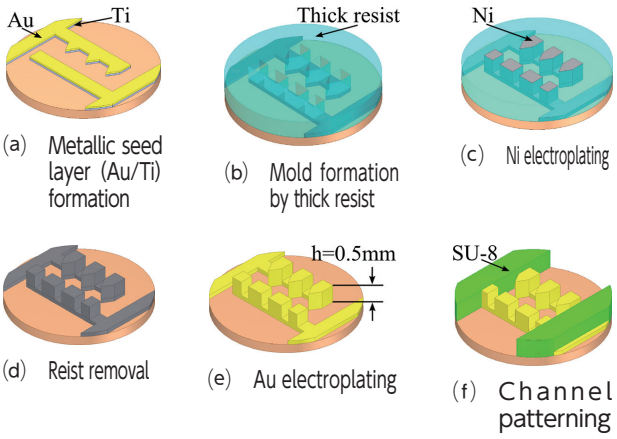


図２　三角柱－スリット形電極対のMEMS製作プロセス

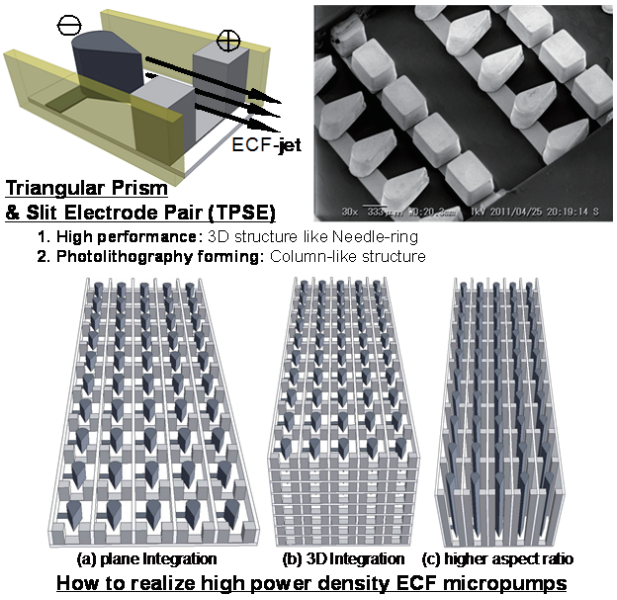


図３　製作した三角柱－スリット形電極対と３次元集積化

3. 複数材料造形によるECFフィンガ

第２章で紹介したECFマイクロポンプを搭載した新たなフィンガを提案している[5]．このECFフィンガは，図４のように，柔軟な材料の蛇腹構造体によるジョイント（２個）とECFマイクロポンプ（２個）を内蔵したフィンガボディで構成されている．ECFマイクロ液圧源で蛇腹構造のジョイントを加圧することで蛇腹が伸び，フィンガの関節が屈曲するメカニズムで動作する．

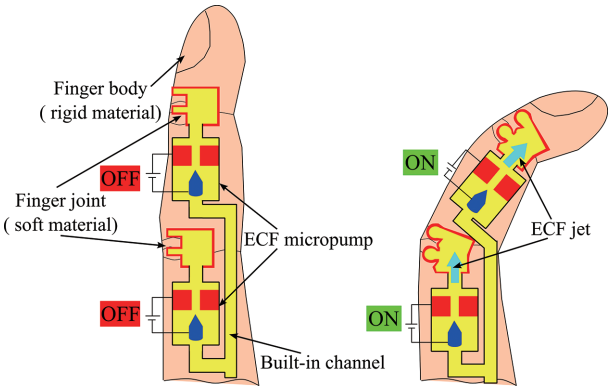


図４　提案されたECFフィンガの概念と動作原理

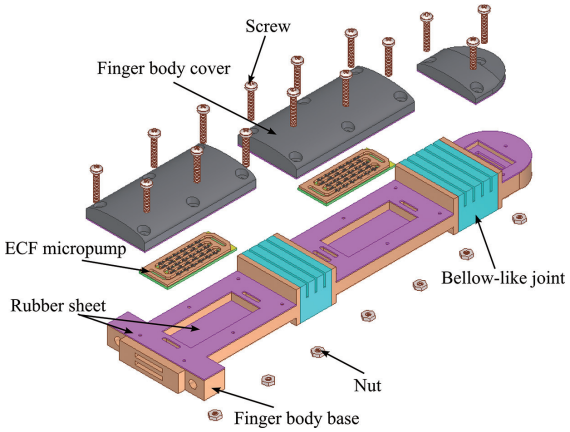


図５　設計されたECFフィンガの分解図

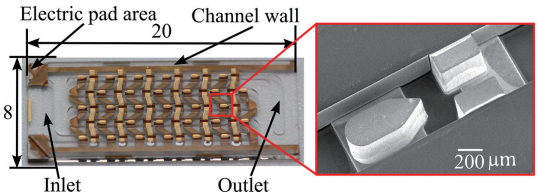


図６　製作したECFマイクロポンプ（左：光学，右：電子顕微鏡）

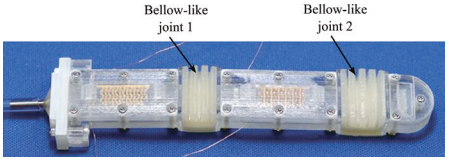


図７　複数材料造形で製作されたECFフィンガ

流体駆動フィンガは，固い材料で製作されるボディと柔らかい材料のジョイントで構成されているために，従来の機械加工により製作する場合には，組立てが必要であり，小形化には限界があった．筆者らのグループでは，Stratasys社のハイブリッド３Dプリンタ技術を導入することで，製作と同時に組立てができる新たな方法を提案している．図５で示すように，ECFマイクロポンプの搭載後の密封用の蓋以外の部品は一体形である．MEMS技術で製作したECFマイクロポンプチップ（直列30対のみ）の光学顕微鏡で撮影した写真を図６左に，電子顕微鏡（SEM）の拡大写真を図６右に示す．このチップを複数材料造形で製作したフィンガボディと一体化することで図７のようなECFフィンガが実現できる．

ECFマイクロポンプ（作動流体：FF-909EHA2）を用いて行った駆動実験を図８に示す．ECFマイクロポンプ１とポンプ２へ同時に0.9kVを印加したとき，X方向11.4㎜，Z方向5.2㎜の変位を得ることでき，その有効性を示している[5]．

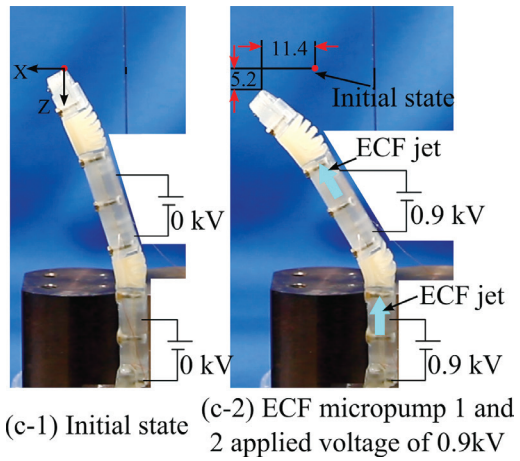


図８　ECFフィンガの動作実験（静特性）

4. 断面に２室を有するECFフィンガとハンド

ECFマイクロポンプを内蔵した断面に２室を有する拮抗形ECFマイクロフィンガを提案している（図９）[6]．ECFマイクロフィンガは，柔軟なゴムチューブと各部屋を加圧する２個のECFマイクロポンプ（図10）からなり，２室の部屋をもつチューブの各部屋の内圧をECFジェットにより制御することで，１自由度の出力変位が得られるソフトアクチュエータである．ここでは，針－リング形電極対（図10）を用いてECFジェットを発生させる．各部屋はECFマイクロポンプを介してコモンラインでつながっており，ECFが共用されている．この１つの部屋から他の部屋へとECFを移動させる拮抗駆動を用いることで，チューブの変形が容易になり，先端における変位がより拡大される．断面を２室とした，１自由度のECFマイクロフィンガを試作し，これらを３本組み合わせることで柔軟性を有するマイクロソフトハンド（図11）を実現している[6]．このECFマイクロフィンガの類似のものとして，空気圧で駆動されるフレキシブルマイクロアクチュエータ（FMA）が挙げられるが，作動流体が内部に封入された閉じた系である点，拮抗駆動により動作する点，圧力源を内蔵する点で異なる．

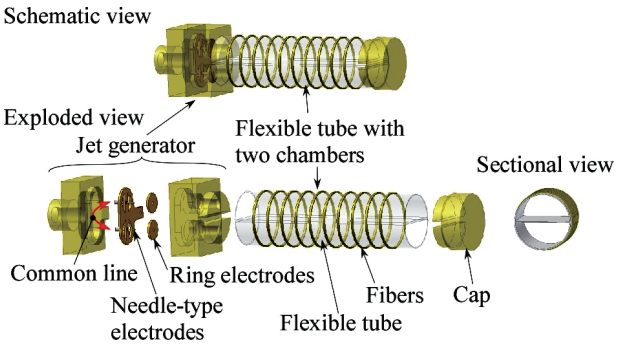
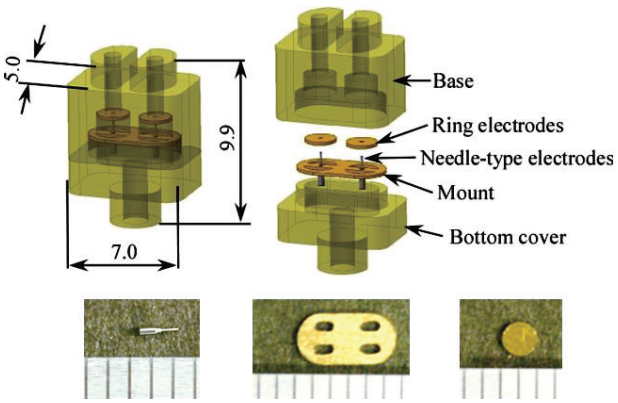


図９　ECFマイクロポンプを搭載するマイクロフィンガ



(a) needle electrode　(b) mount　(c) Ring electrode

図10　針－リング形電極対からなるECFマイクロポンプ

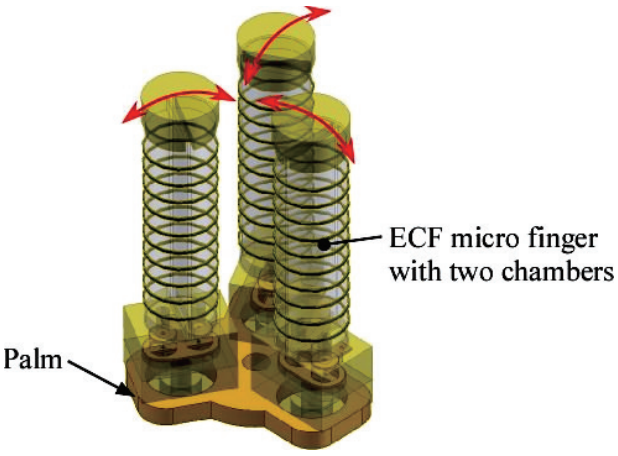
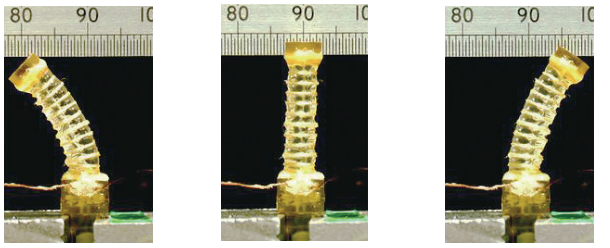


図11　断面に２室を有するECFマイクロハンド

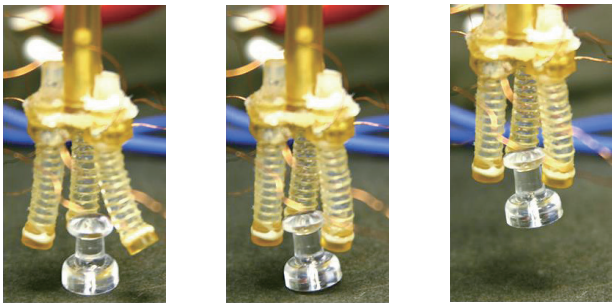
試作したフィンガチューブ（外径５㎜，長さ18㎜）とECFマイクロポンプにより，図12（b）に示すECFマイクロフィンガを試作し，特性実験を行う．０kVから５kVまで0.5kV毎の電圧を印加し，実験時に撮影した写真から変位を求める．作動流体をFF-1EHA2とし，フィンガの実験結果を図12に示す．実験結果より，4.5kVの電圧印加によるECFジェットの発生圧力を用いて右側の部屋を加圧することで，ECFマイクロフィンガは左側に9.2㎜変位する．反対に4.5kVを用いて左側のECFマイクロポンプを作動し，左側の部屋を加圧することで，ECFマイクロフィンガは右側に6.4㎜変位する．変位のばらつきはチューブの厚さの分布および巻いたアラミド繊維によるチューブ特性の誤差と，ECFマイクロポンプの電極間隔ずれによる圧力特性誤差，また封入してある液体の量の差から生じたと考えられる．左側から右側への合計変位は15.6㎜であり，拮抗形のマイクロソフトアクチュエータの有効性を明らかにしている[6]．

印加電圧を４kVに設定し，ダルマ形画鋲の針を取り外したものを用いて把持実験を行う．この画鋲は，上端直径が８㎜，重さ5.5mN（0.56gf）である．この物体を把持する様子を図13に示す．この結果からECFマイクロポンプのマイクロソフトアクチュエータへの有効性を明確にしている[6]．



(a)　right chamber　　(b)　initial　　(b)　left chamber

図12　断面に２室を有するECFマイクロフィンガの静特性



(a)　approach & open　　(b)　grip　　(c)　hold & lift

図13　断面に２室を有するECFマイクロハンドの把持動作

5. おわりに

物理的な性質とその寸法効果から，マイクロサイズで高出力パワーを有するアクチュエータは今までに存在しない．この条件を満たすアクチュエータは，高出力パワーを得意とするフルードパワーアクチュエータのマイクロ化で原理的には実現できるが，機械的な摺動部・駆動部があるポンプの小形化が困難なことから，その実現は簡易ではない．機能性流体であるECFを用いたマイクロポンプは摺動部・駆動部がないため，MEMS加工技術を融合することで，今までにない高出力パワー密度のマイクロ液圧が実現でき，これから多様なマイクロロボットへ応用できると確信している．この独自の技術を発展させ，さらなるブレークスルーを生み出していく．

参考文献

1）Kim, J.W., Suzuki, T., Yokota, S., Edamura, K.: Tube-type Micropump by Using Electro-conjugated Fluid (ECF), Sensors and Actuators A: Physical, Vol.174, p.155–161 (2012)
2）Kim, J.W., Nguyen, T.V.X., Edamura, K., Yokota. S., Triangular Prism and Slit Electrode Pair for ECF Jetting Fabricated by Thick Micromold and Electroforming as Micro Hydraulic Pressure Source for Soft Microrobots, International Journal of Automation Technology, Vol.10, p.470–478 (2016)
3）Han, D., Xia, Y., Yokota, S., Kim, J.W., UV-LIGA Technique by Back UV Exposure with Self-alignment for ECF (electro-conjugate fluid) Micropumps, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.27, p.125008 (2017)
4）Han, D., Yoshida, K., Kim, J.W., A Novel Hybrid Removal Technology for High-Aspect-Ratio SU-8 Micromolds in ECF (electro-conjugate fluid) Micropumps Fabrication by UV-LIGA, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.27, p.818–826 (2018)
5）Han, D., Gu, H., Kim, J.W. Yokota, S., A Bio-inspired 3D-printed Hybrid Finger with Integrated ECF (electro-conjugate fluid) Micropumps," Sensors and Actuators A: Physical, Vol.257, p.47–57 (2017)
6）Nagaoka, T., Mao, Z., Takemura, K., Yokota, S., Kim, J.W., ECF (electro-conjugate fluid) Finger with Bidirectional Motion and Its Application to a Flexible Hand," Smart Materials and Structures, Vol.28, p.025032 (2019)

（原稿受付：2019年２月19日）

会議報告

山梨講演会2018におけるフルードパワー技術研究

著者紹介

吉田和弘（よしだかずひろ）
東京工業大学科学技術創成研究院
未来産業技術研究所
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259－R2－42
E-mail : yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同大学助手，助教授（准教授）を経て2015年４月教授．2008年10月～2009年３月米国UCSB客員研究員，2015年7月～９月米国MIT客員研究員．流体マイクロマシン，機能性流体の研究に従事．JFPS，JSME，IEEEなどの会員．工学博士．

1. まえがき

山梨大学工学部（甲府市武田４－３-11）において，日本機械学会関東支部および精密工学会の共催で毎年行われている山梨講演会は，2018年は，10月20日（土）に行われた．本講演会では，OS（オーガナイズドセッション）「アクチュエータシステム」10件，OS「耐震・免震・制振」６件，OS「応用熱工学」12件，OS「フランジガスケット締結体の力学と密封性能評価」17件，OS「熱流体の可視化と計測」４件，OS「切削・研削・研磨加工」13件，OS「繊維強化複合材料の成形と評価」５件，一般セッション「ロボット・制御」６件，「計測・設計・生産」11件，「材料・加工」12件と，山梨大学ワイン科学研究センター，センター長，奥田徹教授による特別講演「高品質ワイン製造のための最新技術」を合わせて合計97件の講演が行われた．

フルードパワー技術関連の研究発表は，OS「アクチュエータシステム」（オーガナイザ：田中豊教授（法政大学），石井孝明教授（山梨大学）および著者）の３セッションで行われた研究発表のうちの7件である．その内訳は，液圧関連２件，空気圧関連３件，機能性流体関連２件である．図１に本OSの出席者の集合写真を示す．以下ではそれぞれの研究発表の概要について紹介する．

2. 研究発表の概要

2.1　液圧関連の研究発表

液圧関連では，アキュムレータおよびマイクロポンプに関する研究発表があった．

眞田らは，気体式アキュムレータの充填，放出に伴う損失エネルギーを評価するため，熱伝達だけでなく熱伝導まで考慮した数学モデルを提案している[1]．封入窒素ガスはファンデルワールスの状態方程式で表現し，ピストン形アキュムレータでは窒素と容器壁面の熱伝達により，ブラダ形では，窒素とブラダの間では熱伝達，ブラダ内では熱伝導により熱エネルギーの移動が生じるとしている．ブラダ形とピストン形を接続して放出，充填を行う実験結果との比較により，本モデルの有効性を確認している．

玉野井らは，液圧駆動マイクロロボットのための流体慣性を応用した圧電マイクロポンプについて，ポンプ室高剛性化による高出力化を実験的に検討している[2]．本ポンプは，往復ポンプの吐出側チェック弁を細長い管路に置き換えた構造で，流体慣性により吐出を継続させ高流量を得るものである．さらなる高出力化のためポンプ室高剛性化を提案し，ポ

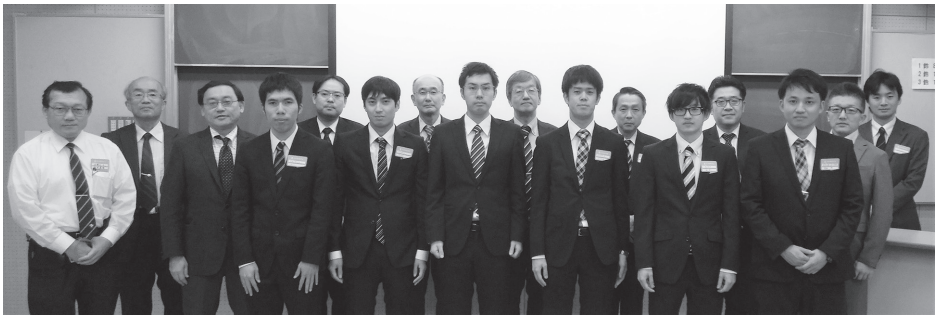


図１　山梨講演会2018のOS「アクチュエータシステム」の出席者

ンプ室材料の変更と寸法精度の向上により実現を図っている．直径9.5㎜の試作ポンプを用いた特性実験を行い，従来の２倍の高出力化を確認している．

2.2　空気圧関連の研究発表

空気圧関連では，システムに関する研究発表が３件あった．

下川らは，省エネルギーの空気圧駆動システムを実現するため，回転数制御されたポンプと方向切換弁を用い，エネルギー損失を生じる絞り弁を排除したシリンダ駆動システムを提案，構築している[3]．制御アルゴリズムを検討し制御系を構築するとともに，使用するポンプの吐出特性を実験的に検討し，十分な性能を有することを確認している．提案する空気圧シリンダ駆動システムを構築し，駆動制御実験を行った結果，やや遅れはあるものの，目標軌道に追従できることを確認している．

横山らは，空気圧ロッドレスシリンダの位置決めPID制御システムのゲイン調整法としてE-FRITを適用し，その効果を実験的に検証している[4]．E-FRITは，定常的に計測している運転データにもとづき最適なPID制御ゲインを決定するもので，プラントモデルを構築する必要がない簡便で高機能な手法である．本手法でシステムを構築し，ステップ応答実験を行った結果，オーバシュートおよび定常偏差がなく位置決め制御することができること，設定値により応答性を変更できることを確認している．

河野らは，高速電磁弁のPWM制御を用いた空気圧シリンダの速度制御手法を提案し，その有効性を実験的に検討している[5]．本システムでは，２ポートのオンオフ弁と３ポートの方向切換弁を組み合わせ，メータアウト回路を構成している．等温化圧力容器を用いて高速電磁弁の有効断面積を測定し，デューティ比に対し線形に変化する特性を明らかにするとともに，空気圧シリンダの駆動実験を行い，デューティ比が高い領域で，平衡速度で安定したシリンダ駆動が可能であることを確認している．

2.3　機能性流体関連の研究発表

機能性流体関連では，ブレーキおよびロボットに関する研究発表があった．

外川らは，マイクロマウスの走行性能を向上するため，電界印加で見かけの粘度が高くなる粒子分散系ERF（電気粘性流体）を用いたERブレーキを設計，試作し，その特性をシミュレーションにより検討している[6]．固定電極２枚で回転円板電極をはさみERFを満たしたものを３層積層した構造で，直径20.8㎜，高さ32.0㎜のERブレーキを設計，試作するとともに，マイクロマウスに搭載する駆動回路を設計している．ERブレーキのシミュレーションを行い，その制動特性を明らかにしている．

鳴海らは，不均一電界印加で活発な流動を生じるECF（電界共役流体）を作動流体としたマイクロポンプを搭載した昆虫形ソフトロボットを提案している[7]．関節用ソフトアクチュエータとしてシリコーンゴムとエラストマから成るバルーンアクチュエータをFEM解析にもとづき設計している．この関節用アクチュエータを２個有する脚６個を持ち，搭載したECFマイクロポンプ２個のポンプ制御で駆動するクモ形ロボットの概要を示すとともに，試作した脚１個の加圧時の動作を確認している．

3. あとがき

本稿では，山梨講演会2018のOS「アクチュエータシステム」において発表されたフルードパワー技術関連の研究について概観した．各研究発表は興味深いもので，活発に質疑応答が行われていた．また，本講演会では，特別講演「高品質ワイン製造のための最新技術」やワインの試飲会も行われ，関心を集めていた．2019年度の山梨講演会でもOS「アクチュエータシステム」を企画したいと考えている．多くの方々のご参加，ご発表をお待ちしている．

参考文献

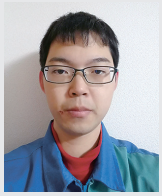
1）眞田一志，張書策，宮下修人：熱伝導を考慮した気体式アキュムレータの数学モデルに関する研究，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 155-156（2018）
2）玉野井佑昂，吉田和弘，嚴祥仁，金俊完：流体慣性を応用した圧電マイクロポンプの高出力化（ポンプ室高剛性化の実験的検討），山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 71-72（2018）
3）下川利樹，藤田壽憲，市川勝一，木村蒼太：ポンプ制御型空気圧駆動システムに関する研究，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 193-194（2018）
4）横山雄大，村山栄治，川上幸男：空気圧ロッドレスシリンダ位置決め制御におけるE-FRITによるPIDゲイン調整法，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 165-166（2018）
5）河野大，村山栄治，川上幸男，堀川昭芳，塩田浩司：PWM駆動を用いた高速電磁弁によるシリンダ速度制御回路の新提案，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 167-168（2018）
6）外川貴規，橘拓真，田中豊：小形ロボット搭載用ERブレーキの設計と試作，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 129-130（2018）
7）鳴海将，吉田和弘，金俊完：ECF マイクロポンプを搭載した昆虫形ソフトロボットの提案，山梨講演会2018講演論文集（CD-ROM），p. 159-160（2018）

（原稿受付：2018年12月5日）

トピックス

学生さんへ，先輩が語る
メーカーの技術職として働き始めて

著者紹介



齋藤鉄矢（さいとう てつや）

CKD株式会社コンポーネント本部
〒486-8530 愛知県春日井市堀ノ内町北一丁目850番地
E-mail : tetsu-saito@ckd.co.jp

2016年富山大学大学院理工学部修士課程修了．同年CKD入社，現在に至る．流体制御機器の設計・開発に従事．

1. はじめに

1.1　自己紹介

私は中学の頃から数学，物理が好きであった．大学では，得意分野を活かしつつ，幅広く学ぶため，機械工学を学んだ．大学時代は，モノづくりの一環として，グループで空飛ぶ車と題して，夏季休暇を使ってラジコンを製作した．富山大学大学院理工学部を修了して，愛知に戻り，専攻していた流体工学を活かせる弊社に入社し，現在はガス燃焼システムの設計開発に従事している．

1.2　企業紹介

弊社は自動機械装置（写真１）を柱として，使用する各機器の技術を発展させ（図１），電動機器，エアー機器，計測機器，薬液やガス用バルブなどの流体制御機器商品（写真２）に分かれ，さまざまな分野でFAに貢献している．

写真１　自動機械装置

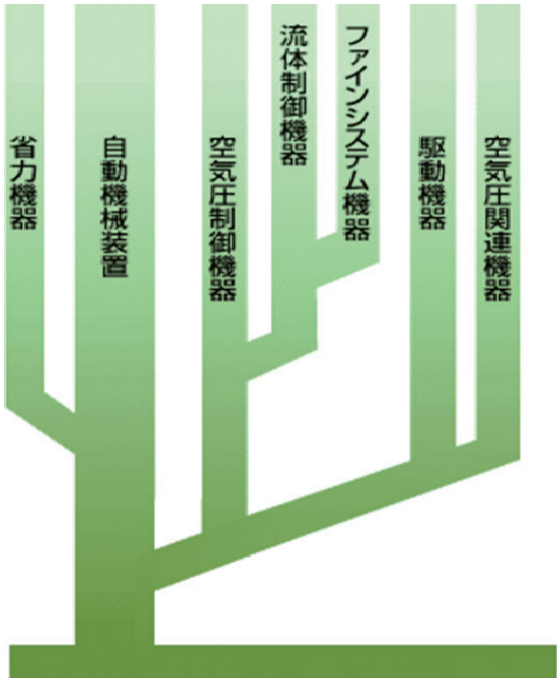


図１　弊社で取り扱う機器

写真２　機器商品

2. 就職活動

私は，地元で働くこと，研究を活かせることを重要視し，企業研究をする中で，弊社を知った．弊社を第１希望にしていたところ，大学の推薦があることを知り，推薦で応募することにした．しかし，万が一の場合も考慮し，一般応募でも数社受け，真剣に取り組んだ．この時の経験が活きて，本命では落ち着いて面接に臨むことができた．自信はあったが，内定の連絡を受け安堵したのを今でも覚えている．

3. 仕事紹介

3.1　所属と業務の紹介

私が所属しているのは，流体制御機器を主体とした技術部門であり，お客様の使用環境や用途に応じて，さまざまな流体を最適に制御する機器の設計・開発である．

技術部門の業務は，新製品の開発や評価だけでなく，特注ニーズに対する検証や仕様書・仕様図の作成から，現流品の品質改善，営業部門からの技術的な問い合わせへの対応など，さまざまである．

3.2　私の業務内容

私の業務は主に，現流品への対応であるため，他部門からの要請，問合せへの対応等も多く，１日のタイムスケジュールを立てても，計画通りに進められることは稀である．

そのような状況の中で，私が実施した製品の品質改善により，顧客満足度向上へ繋がった事例を１つ，紹介したい．製品は電磁弁といい，電気の力で流路の開閉動作を行うバルブである．

シンプルな構造であるがゆえに，一言に品質改善といっても容易ではない．使い勝手の向上につながる要素を見つけるため，FMEAやFTA，特性要因図などのQC手法を用いてキー因子・部位の絞り込みを行い，さらに，流路解析（図２）や磁場解析で効果や影響を予想した．試作品を製作し，現物で検証を行うことで実際の効果を確認した．狙い通りの結果が出たときの達成感は言葉で表すのが難しい．

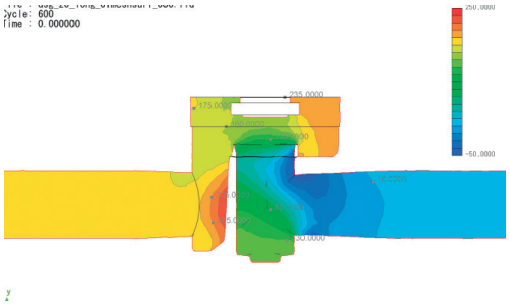


図２　流路解析を用いて影響を予想

3.3　もっとも苦労した体験談

もっとも苦労したことは，納期調整である．前述の品質改善業務において，効果の検証に時間がかかり，計画を見直したところ，評価品を製作する期間が短くなってしまい，各部品の製造をお願いしている協力企業へ，納期の調整などをお願いして回った．多大に尽力いただき，納期短縮できたことには本当に感謝しているし，とても頼りになると感じられた．

計画を変更した際には，もう間に合わせられないと思ったが，上司や諸先輩方から評価品の部材を，協力企業に届けるまでの時間短縮方法や，効率的な評価試験方法などの助言をもらい，成し遂げることができた．この経験は現在の業務にも大いに活かされている．

3.4　仕事のやりがい

もっともやりがいを感じるのは，自分の設計が反映された製品が量産となり，出荷され，世に出ていることを知る時である．苦労して，改善方法を考え，試作，検証を繰り返し，結果を出せたものほど，一層のやりがいを感じる．

学生の時の研究では，成果を報告できれば，終わりという印象だったが，会社では顧客満足度向上，すなわち社会貢献できたことを直に感じることができる．これは学生時代には味わうことのできなかった感覚である．

4. 会社の雰囲気や活動

4.1　職場の雰囲気

私の職場は，先輩や，上司と話しやすいだけではなく，他グループやチームの人とも相談しやすい環境である．椅子を近づけて，周りの人の所へ，相談しに行くようなことも，多々ある．（写真３）

また，他部門の方々とも話しやすく，担当機種の製造現場に赴き，直接，問題や異常がないかを聞いたり，工程を確認したりと，このような部門間の壁の低さも，日々改善の糸口を見つけることに一役買っているように思われる．

写真３　職場の様子

4.2　研　　修

研修プランも充実しており，入社時の導入研修やOJT教育などなどがあり，新入社員でも安心して業務にあたることができる．２年目，３年目と経験を積めば，さらに業務の進行度に合わせた研修もある．（写真４）

また，外部でのセミナーなどにも参加が可能であ

り，自身のスキルアップに対しては手厚いサポートがあるため，気になるセミナーなどには積極的に参加し，知識を増やし，業務につなげている．

写真４　研修の様子

4.3　社会貢献活動

弊社では，社会貢献活動として，大阪マラソンへのチャリティ出場や河川のクリーンアップ活動から，子供が参加できるモノづくり教室など，さまざまな活動を行っている．イベント事の多くは，社員の家族も参加可能となっていて，多くの人が地域と密着し，楽しみながら活動している．業務とは異なり，社会貢献を通して，地域の人々ともふれあうことができる貴重な機会であるので，私も可能な限り参加するようにしている．

写真５　河川のクリーンアップ活動

5. 社会人となって

5.1　入社して変化した考え方

入社して，業務に携わる前までは，社会人になったら，たくさんの仕事をこなし，何でも１人でできるようにならなければと考えていたが，実際に業務を行って，「ものづくり」の流れの中で，自身一人でできることの少なさと，関わる人の多さを実感した．それからは，お客様に対して，また関連部門の人たちに対して，自分に何ができるか，ということを考えながら業務に取り組むようになった．

5.2　休日の過ごし方

社会人となり，平日と休日のONとOFFがよりハッキリしたように感じる．特に休日の過ごし方は，学生の頃と異なっている．学生時代は，一日の大半を家で過ごす日が多かったのだが，最近では，社内外の仲間とともにイベントなどに参加することが増えるようになった．予定を立てたり，計画したりと，同じ趣味ではあるが，楽しみ方が変化し，学生の時以上に，リフレッシュできるようになった．

6. 学生へのアドバイス

会社説明会の場では，学生の皆さんから「学生時代に学んでおくべきことは何か？」といった質問を多くいただくが，その際私は，現在興味を持って研究していることや学んでいることに全力で取り組んでもらうことが一番だと回答している．なぜなら，そこで得た知識や経験は，必ず社会に出て役に立つからだ（間接的な場合が多いことは付け加えておく）．

しかしながら，社会に出てからの使用頻度が高く，学生時代にも役に立つ知識として，プレゼンテーション能力とQC手法を挙げたいと思う．プレゼンテーション能力とは，ストーリーの組立や資料の魅せ方，口調で，いかに自分の想いを相手に伝えることができるかである．論文発表やレポート作成時にも応用が利くし，もちろん会社でも，口頭での簡易報告から，書類での報告書提出まで，自分の意思を，簡潔明瞭に，解りやすく報告することが求められるので，学んでおいて損はない．

また，QC（品質管理）手法の勉強も非常に有用だ．これは，ものづくりにおいて必要不可欠なツールであり，すでに活用しているという方もいると思う．学生の研究においても問題解決する糸口を見つけるため，また，試験結果を整理する時にも使えるのでおススメしたい．

7. ま　と　め

私は大学時代から流体全般に携わり，あらゆる分野に関わっていると感じていたが，入社し，色々と勉強していくと，世界中の産業を支える技術にはもっと深く，広い範囲で知識を得ることが必要であると感じた．今後も，たくさんの人達との関わりを大切にし，さまざまな経験を積んでいきたい．

（原稿受付：2018年12月10日）

What do you think of Japan?（Youは日本をどう思う？）

第8回　韓国から日本に来て

著者紹介

ジュンヨン　ロ
Joonyoung Roh
日立建機株式会社先行開発センタ
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650番地
E-mail : j.roh.qy@hitachi-kenki.com

2011年東北大学機械知能・航空工学科卒．同年同大学大学院工学研究科修士課程に進学，2013年修了．2016年日立建機株式会社に入社し，現在に至る．情報化施工対応のICT建設機械の研究に従事．

1. はじめに

自己紹介：

韓国ソウルで生まれ，高校卒業までソウルで過ごした．卒業後，韓国と日本の政府間で推進した韓日共同理工系学部留学プログラムに選抜され，高校卒業後に韓国で６ヵ月，日本で６ヵ月の日本語研修を経て，東北大学工学部機械知能・航空工学科に入学した．その後，同大学大学院に進学し，ロボットハンドに関する研究を行い，バイオロボティクス専攻で修士学位を取得した．

学位取得後，兵役のため韓国に帰国し，２年間空軍で勤め，2016年に日立建機に入社した．現在，日立建機研究・開発本部先行開発センタで，ICT建設機械に関する研究に従事している．

来日の理由：

2005年当時，工学分野における世界大学ランキングをみると，韓国の大学に比べ上位にランクしている大学が多かった．

また，韓日共同理工系学部留学プログラムは，大学卒業まで，学費や生活費など，経済的サポートが保証されるプログラムであり，自分の視野を広げられる良い機会だと思い，日本への留学を決心した．

現在の所属機関とその研究／仕事内容：

現在，日立建機株式会社の先行開発センタで，情報化施工向けの建設機械に関する仕事をしている．情報化施工とは，施工現場の生産性向上や安全性を向上するためにICTを積極的に活用する施工法である．

情報化施工の中でも，施工現場の3D地形データの処理および利活用に焦点を合わせて研究している．

2. 日本の印象

2.1　来日直後の第一印象

来日直後の日本の第一印象は？：

ソウルと仙台を比較すると（ソウルは人口１千万人，仙台は100万人で単純には比べられないが）街が全般的に清潔で，静かな印象だった．

また，来日初期の各種登録手続きの際，時間がかかる印象を受けた．韓国は，「パリパリ（早く・速く）」文化が浸透しており，スピード感がある．たとえば，韓国の場合２日ぐらいでできるはずの処理に１週間ほどかかると聞き，驚いたことが多々あった．しかし，面白いことに，実際には３日ぐらいでき上がったと連絡が来ることが多かった．韓国では，１日で終わると言われて，実際２日かかったりすることも稀にあるので，時間に対する考え方の違いが面白かった．

2.2　研究室に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと：

大学生の部活に対する姿勢に驚いた．たとえば，部活のために，授業を休む学生，留年する学生，授業中に寝る学生などである．学生なら受講科目の勉強に専念すべきだと思っていたが，日本の学生は，勉強以外のことに専念するように見えた．

しかし，部活の引退後には，部活に注いでいた莫大なエネルギーをそのまま勉強や研究に注ぐ人が多く，それが日本社会を動かす原動力かもしれないと思った．

日本に滞在中に自分が最も変わった点は？：

日常でも技術的な話をすることに違和感がなくなった．そのおかげで，高校の友人からは“骨の髄までゴンドリになったね”とよく言われる．ゴンド

リとは，工学を専攻した男性を指す言葉で，特に技術分野の話題について知識が多く，熱く語る人のことを指す．日本語では，技術オタクが近い．

しかし，大学時代のサークルや研究室でも，現在の職場でも，技術分野に関して知識豊富な人が周りに沢山いるので，日本だと筆者は，まだまだ“ゴンドリ”の皮を被った程度だと思っている．

個人的には，このように技術に興味を持つ人が多くて，日常会話でも技術的な会話が多く，頻繁に技術的な議論できる環境が技術大国日本を作っていると思う．

2.3　生活に関して

日本の生活で困ったことは？：

現金しか扱っていない店が多くて，現金を持ち歩かなければいけないところが不便だった．最近は，対応するカードの種類も増え，クレジットカードが使える店も増えたので嬉しい．

日本の生活でよかったことは？：

趣味生活が豊富になった．日本では部活が盛んなせいか，趣味の種類が多く，インフラも整っている．そのため，ロードバイク，クラシックギターなどの趣味に興じることができた．また，筆者が大学時代を過ごした東北地方にはスキー場が多く，混雑していないスキー場で滑走を満喫することができた．

最も興味ある日本の文化：

各地域がブランド化されていることに興味がある．どの地域に行っても，その都市の名物やマスコットがあり，地域の魅力が発信されている．各地域で特徴がはっきりしていて，とても興味深い．

その中でも特に大学時代に過ごした仙台の食べ物が気に入っている．牛タンと笹かまぼこ，ずんだは大好物である．10月になると芋煮というサトイモを入れた鍋料理が恋しくなる．東北地方は，日本酒もおいしい銘柄が多く，今思い出すだけで飲みたくなってくるほどである．

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後はどんな予定？：

日立建機は，売り上げの約８割が海外での売り上げになっており，世界各地のお客様にニーズを満たす製品を提供している．このように世界がグローバル化していくなかで，世界トップレベルのエンジニアとして，お客様が満足でき，環境保全にも貢献できる製品を開発していきたい．

日本人へのメッセージ：

最近，外国人労働者の受け入れに関する議論が活発に行われている．もし，外国人労働者を多く受け入れることになり，どの国から労働者が入ってきても，今まで築いてきたMade in Japan，Designed in Japanのブランドを失わないでほしい．

このトピックス記事をきっかけに，読者の皆様にも，社会構成員の多様化が進んだ場合のメリットとデメリットは何か，日本の文化として何を継承すべきか，何を他文化とアレンジするべきか，どうすればMade in Japanの信頼性を確保できるかなど，考えていただければ幸いである．

（原稿受付：2018年12月 5 日）

写真１　乗鞍ヒルクライム大会にて（ゴール後）

写真２　日立建機新人研修で同期と．（左から２番目が筆者）

トピックス

アメリカ生活を振り返って

著者紹介

大岡（おお おか）　正和（まさ かず）
株式会社TAIYO
〒530-0002 大阪府大阪市東淀川区北江口１－１－１
E-mail : masakazu.ooka@parker.com

1999年株式会社TAIYO入社．装置製造部門，油空圧機器販売部門，海外営業部門を経てアメリカの現地法人TAIYO AMERICAへ出向．５年の駐在任務を終え，現在装置部門の北米営業担当として勤務．

1. はじめに

アメリカ駐在としてオハイオ州に赴任．５年間家族と共に生活したのはセントメアリーという町で，都市部までは車で１時間程かかるものの，生活に必要なものは揃っており非常に住みやすい環境であった．文化や習慣の違いに驚かされることが多々あったが，仕事仲間や友人にも恵まれ，楽しく過ごすことができた．

そんなアメリカでの生活を月ごとに振り返りつつ，紹介させていただこうと思う．しばしお付き合いいただければ幸いである．

2. アメリカにおける年間のイベント

2.1　1　　月

元旦当日の１/１は祝日であるものの，１/２からは大半の役所や会社は営業を開始しており，日本のような新年イベントなどはないに等しい．

年賀状に相当するクリスマスカードはすでに配達されているし，普通に出勤日なので寝正月など過ごせない．１年でもっとも日本を羨ましく思う時期である．

2.2　2　　月

２/14のバレンタインデーには日本と同じくチョコレートをプレゼントする習慣がある．ただしアメリカでは女性から男性ではなく，男性から女性に贈るのが基本とされている．

また，日本では職場でチョコレートを配るのは「義理チョコ」と称され，ときに否定的に語られることもあるが，アメリカではむしろこちらの方がメインのようである．

というのは，学校では男女関係なくクラス全員でチョコやキャンディの交換会が行われるし，先生やスクールバスの運転手さんにもプレゼントしたりするのである．

みんながみんなに感謝や好意を伝えて，みんなで幸せになろう，ということであろうか．非常にアメリカらしい良い習慣だと思う．

2.3　3　　月

日本では学校やほとんどすべての会社が年度末を迎えるが，アメリカでは３月が年度末となる組織は稀である．

学校は６月に学年末を迎え，新学年は長い夏休みの後，９月からのスタートとなる．会社も12月や９月を年度末とすることが多い．

一方アメリカではサマータイムというものがあり，３月～ 11月は時計の針を１時間進めておくことになっている．そういった意味ではアメリカでも３月は節目の月と言えるのかも知れない．

ちなみに「サマータイム」という呼称はアメリカでは通じにくく，「デイライトセービング（Day Light Saving）」と呼ぶのが一般的らしい．

2.4　4　　月

前述どおり，４月は新年度でも新学期でもない．

アメリカ中西部では雨が多く降り，「４月の雨が，５月から芽吹く植物を育む」といわれている．

また，誕生祭（Easter）というお祭があり，子供たちを集めてエッグハントなるイベントが催されている．

大きな庭一面にタマゴの形をしたカプセル（中身はお菓子や玩具）が大量にバラ撒かれており，それをスタートの合図で一斉に子供たちが拾い始めるというものである．

子供たちは各自手提げ袋やバケツを持参しており，それにタマゴを次々に放り込んでいく．特に集計して優勝者を決めるわけではないが，大勢の子供たちが夢中になってタマゴを回収する様は，ギャラリーである大人たちを大いに癒していた．

2.5　5　　月

ゴールデンウィークはないが，学校によっては５月中旬から夏休みに突入する．そのためこの時期に有給休暇を取って，家族で旅行に出かける人もいる．

母の日は日本と同じく第２日曜日であり，子供が手紙やプレゼントで母親に日頃の感謝の意を伝える習慣は日米共通である．

2.6　6　　月

日本のような梅雨はない．また，夏は日が暮れるのが非常に遅く，午後５時では真昼の明るさであり，午後９時頃でもゴルフができるほどには明るい．

父の日もちゃんとある．

2.7　7　　月

７/４は独立記念日であり，各所で記念イベントが催される．オハイオ州デイトンでは航空ショーが毎年開催される．戦闘機の編隊飛行のみならず，ドラッグレース仕様のトラックと戦闘機のスピード競争などのユニークな企画もある．

独立記念日の時期には運転を停止する工場も多く，子供は３ヶ月におよぶ夏休みの真っ只中である．この時期に旅行にでかける家族も多い．

2.8　8　　月

８/31で学校の夏休みが終わるのは日本と同じ．アメリカの学校からは夏休みの宿題のような物はほとんど出ないが，補習校（日本の教育課程をこなすため，土曜日にのみ授業を行う学校）から大量の宿題が出されるケースが多い．

写真１　デイトンの航空ショー

2.9　9　　月

学校の新学年が始まり，町中から子供の姿が消える．年によってはいきなり寒くなるが，暑いままのこともある．いずれにしても秋を感じる期間はほぼなく，いきなり夏から冬に変わる感覚である．

2.10　10　　月

最近は日本でもハロウィン関連のイベントを目にするが，コスプレ要素が先行しているようである．

こちらのハロウィンは子供が主役であり，お化けやヒーローやお姫様などに扮した子供たちが近隣の家庭を回りお菓子を受け取って回るといういわゆる「トリック　オア　トリート」が繰り広げられる．

写真２　ハロウィンの飾り

各家庭では庭先にカボチャを並べるが，手の込んだ飾りつけを施す家も少なくない．土の中から這い出そうとせんばかりのゾンビなどは，ホラー映画そのものであり大人でも怖い．

写真はカワイイ系の飾りつけである．

2.11　11　　月

11月の第４木曜日にはサンクスギビングという，いわゆる感謝祭というものがある．もともとは収穫物やそれで作った料理を原住民に振舞ったことが始まりといわれている．

現在では家族や親族が集まって共に過ごす日となっている．日本のお盆やお正月のような位置づけであり，一年で最大のイベントとされている．

お墓参りや初詣のようなイベントは伴わず，家でゆっくりと食事をしながら過ごすのが基本．定番メニューは七面鳥の丸焼きである．

また，その翌日の金曜日はブラックフライデーと呼ばれている．アウトレットモールやスーパーマーケットを始め，ほぼすべての店舗で安売りセールが

行われ，多くの店の前に行列ができる．

大型液晶テレビやブランド品のバッグなどは，この時期に購入するのがお得とされていたが，インターネット販売の発展により近年では売上げの伸びが芳しくないようである．

2.12　12　月

日本では基本的にサンタからもらえるプレゼントは１点のみであるが，アメリカではルールが異なる．子供たちはサンタクロースへの手紙として，欲しいもののリストを作成して靴下に入れて吊るす．

するとクリスマス当日には，そのリストの品がサンタクロースからのプレゼントとしてクリスマスツリーの下に届けられている，という寸法である．

さらには祖父母や親戚からもらったプレゼントもクリスマス当日までは未開封のままツリーの下に並べられるので，クリスマスの朝はプレゼントが山盛り状態となる．

リストのものがすべてもらえる場合もあるが，そうでない場合もある．

また，イブの夜にはサンタ用のクッキーとミルクをツリーの近くに置いておかねばならない．

クリスマスの朝，子供は空になったカップとかじられたクッキー（全部は食べないらしい）を発見することで，寝ている間にサンタがやって来たことを確信するからである．

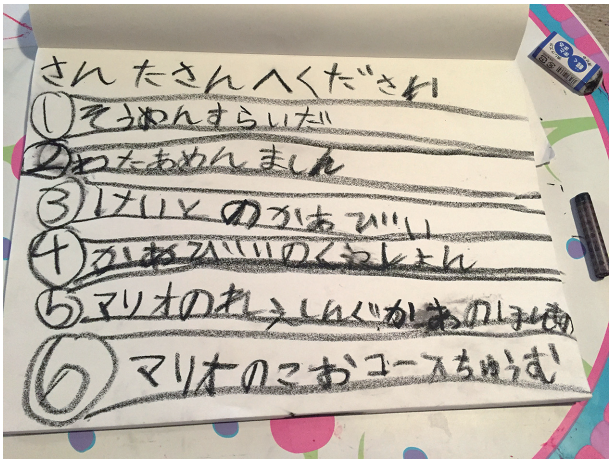


写真３　欲しいものリストの例

3. おわりに

以上オハイオ州での生活で体験したことを簡単に紹介させていただいたが，いかがだったろうか．少しでも現地での生活の楽しさを伝えることができていれば幸いである．

現地でお世話になった方々に，この場を借りて御礼申し上げ，文末の挨拶とさせていただく．

（原稿受付日：2019年１月11日）

会　告

会　員　移　動

会員の種類	正　会　員	海外会員	学生会員	賛助会員
会　員　数 （２月10日現在）	933	16	139	130
差引き増減	＋3	±0	＋1	±0

正会員の内訳　名誉員14名・シニア員46名・ジュニア員150名・その他正会員723名

〈新入会員〉

正会員

今村 幸人（川崎重工業株式会社）
丸田 和弘（株式会社小松製作所）
梅村 哲郎（KYB株式会社）

学生会員

小島 明寛（中央大学）

研究室紹介

信州大学　飯尾研究室（流体制御研究室）

著者紹介

宇佐見（うさみ）　咲（さき）

信州大学大学院総合理工学研究科工学専攻
〒380-8553 長野県長野市若里4－17－1
E-mail : 17w4010c@shinshu-u.ac.jp

2017年信州大学工学部環境機能工学科卒業，同年同大学大学院総合理工学研究科工学専攻機械システム工学分野入学．現在，修士２年生．研究室では，極低比速度用衝動水車に関する研究に従事．

岡部（おかべ）　仁美（ひとみ）

信州大学大学院総合理工学研究科工学専攻
〒380-8553 長野県長野市若里4－17－1
E-mail : 17w4015d@shinshu-u.ac.jp

2017年信州大学工学部環境機能工学科卒業，同年同大学大学院総合理工学研究科工学専攻機械システム工学分野入学．現在，修士２年生．研究室では，水圧用スプール弁に関するキャビテーションに関する研究に従事．日本フルードパワーシステム学会の学生会員．

1. はじめに

信州大学は，人文学部，教育学部，経法学部，理学部，医学部，工学部，農学部，繊維学部から構成されている総合大学である．大学の特徴の一つに長野県下にキャンパスが分散していることが挙げられる．全学部の１年次生は松本市で学び，２年次以降，教育学部・工学部は長野市，農学部は伊那市，繊維学部は上田市に引っ越すことになる．タコ足キャンパスのデメリットは，キャンパス間の移動が大変なことである．工学部生の場合，１年次の単位を落とすと，２年次以降に電車で片道約90分かけて松本キャンパスに通わなければならない．また，部活動やサークル活動をしている多くの学生は毎週松本キャンパスに集まって練習するため，電車代や外食代がかかる．一方，タコ足キャンパスならではのメリットもある．長野県は全域が観光地であり，他キャンパスの友人にその土地を案内してもらう楽しみがある．工学部は長野駅から徒歩15分であり，近隣には「牛にひかれて…」で有名な善光寺や近年パワースポットとして注目が集まる戸隠神社などがある．

本学では地域に根付いた活動に力を入れている．たとえば，自治体や地元企業との連携，市民向けの公開講座，学生による地域ボランティア活動など積極的に行っている．このことが評価され，信州大学は日本経済新聞社の「大学の地域貢献度調査」において毎年上位を獲得している．当研究室も例外ではなく，地元企業や自治体との協同による小型水車の開発，導入に関する技術サポート，地域住民による管理を意識したシステム構築や維持管理方法の指導などを積極的に行っている．

研究室は2018年11月現在，飯尾准教授のもと修士２年４名，修士１年３名，学部４年６名で研究活動に励んでいる．

２章以降で，研究内容と研究室の行事について紹介させていただく．

2. 研究紹介

当研究室では，流体工学を通して「創エネルギー」「省エネルギー」の実現に貢献する研究開発，社会貢献を目指している．現在，水圧システム，水車，水撃，トルクコンバータ，結晶合成とテーマは多岐にわたり，実験とCFDからアプローチをしている．ここでは，水圧システム，トルクコンバータ，水車についてご紹介する．

2.1　水圧システム

水圧システムは作動流体に水道水を用いる環境に配慮したクリーンなシステムである．そのため食品加工施設など衛生性や安全性に配慮が必要な場所に導入が進んでいる．平成27年より日本フルードパワー工業会主導のもとで，５つの大学，６つの企業で，ADS（Aqua Drive System）国際標準化推進委員会が企画され，当研究室では次に紹介するスプール弁に発生するキャビテーションに着目したテーマに取り組んでいる．

○スプール弁に発生するキャビテーション現象

キャビテーションは性能低下や振動騒音，壊食などの問題を引き起こす．アクチュエータの動作を制御するスプール弁の絞り部にはキャビテーションが

発生しやすい．そこでアクリル製のスプールモデルを用いてキャビテーション挙動を可視化し（図１），圧力流量特性や振動騒音特性との関係解明に取り組んでいる．

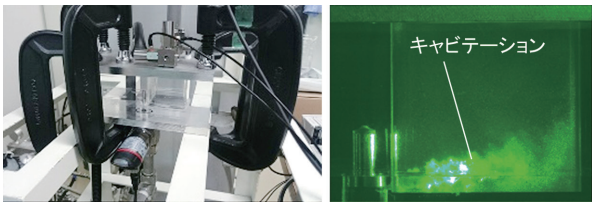


図１　キャビテーション評価装置と可視化の様子

○容積式圧力変換装置

本研究は，北川能先生から頂戴したテーマである．従来の水圧システムではポンプからの高圧水をアクチュエータの要求圧力に合わせて弁などで減圧して使用する．この減圧による損失の低減，さらに増圧も可能な容積式圧力変換装置（Active Charge Accumulator：ACA）の実用化研究に取り組んでいる．圧力変換特性の解明，シリンダ駆動への応用を進めている．

2.2　トルクコンバータ（T/C）

T/Cはトーラス内の油を介し，エンジンの動力をトランスミッションへ伝える動力伝達装置である．トーラスと呼ぶドーナツ状の流路内にあるポンプ，タービン，ステータの各要素を油が循環することで動力を伝達する．近年の自動車駆動機構の技術的要求の変遷により，T/Cの小型化と偏平化が求められている．特に偏平化はトーラス内部の流動状況の複雑化を招き，内部流動現象の評価や各要素の最適化に取り組んでいる．また，流動現象の複雑化により流体励振と思われる振動，騒音がT/Cから発生しており，その発生機構の解明，抑制方法の提案にも取組んでいる．

2.3　小水力発電

小水力発電に用いる水車，発電機，電力変換システムに関する研究である．小水力発電の特徴として，本来の水利用と共存する従属発電であること，発電出力に影響する流量や落差が大きく変化すること，環境負荷が小さいこと，多くの未開発包蔵水力が存在することが挙げられる．一方で，地点あたりの発電量が小さいため経済性に乏しく，製造から導入，維持管理までのすべてを低コストで実施することが求められている．それらを踏まえた上で，当研究室で研究開発している３種類の水車について紹介する．

○上水道パイプラインで発電する衝動水車

上水道地点には特に多くの未利用地点があり，その大半は高落差小流量の極低比速度地点である．上水道発電は既設の減圧弁代替が基本であり，これまで減圧弁で廃棄していた圧力エネルギーを水車で回収，発電することが特長である．設置に際して土木工事がほとんど不要であり，除塵も不要であるため，低コストでの導入の可能性を有している．ただし，上水道事業への悪影響がないこと，飲料水の衛生面への配慮が必須となる．これまでに，独自形状の衝動水車（図２）を提案し，ブレード形状やノズル角度と水車性能との関係を明らかにするとともに，水中で駆動させた場合には円板摩擦やブレードでの水のかく拌が損失を発生させることを明らかにした．筆者の一人は，これらの損失を低減する方法を提案し，その有効性を実験的に確認している．現在，その損失低減機構をCFD解析により解明すべく研究を進めている．

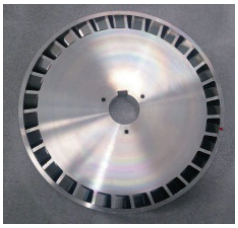


図２　衝動水車

○変流量に強いクロスフロー水車

クロスフロー水車はその簡便な構造から使用する部品数が少なく，製造コストが安価であり保守点検が容易であるため，従前から小水力発電に供されている．ガイドベーンとよぶ流量制御用の可動翼を調整することで幅広い流量で高い効率が得られることが特徴である．特に部分負荷運転時の性能低下を抑制するため，ケーシング形状を工夫した新しいクロスフロー水車（図３）を開発し，性能評価，内部流動の解明に取り組んでいる．

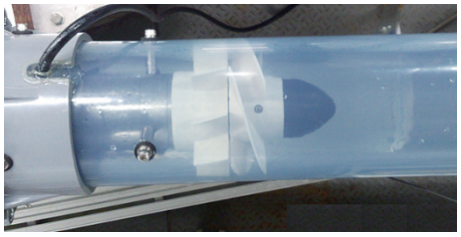
図３　クロスフロー水車

○低落差地点に導入する小型プロペラ水車

プロペラ水車は農業用水路のように低落差，大流

量地点に適用する水車である（図４）．

低コスト化の観点からランナベーンおよびガイドベーンが固定ピッチである．可動部であるランナと静止部であるケーシングの間には隙間が必要であり，加工精度と製作コストの面から隙間を小さくするには限界がある．ケーシングに段状の凹みを設ける簡便な方法により翼端漏れを抑制することで水車性能の向上を実現している．また，凹みの深さに好適値があり，漏れ抑制機構の解明に取り組んでいる．



（流れは左から右）
図４　小型プロペラ水車

3. 研究室行事

当研究室の年間行事は，７月の研究室対抗ソフトボール大会，８月のビアパーティ，９月の合同ゼミ合宿，10月の新メンバー歓迎会，12月の忘年会，２月のOB会，３月の卒業式がある．ここではビアパーティと合同ゼミ合宿について紹介する．

3.1　ビアパーティ

その名のとおり，ビールを楽しむイベントである．毎年，飯尾先生の自宅に学生や卒業生が集って開かれる．ビールサーバをレンタルして本格的に飲むイベントであり，今年も例年通り卒業生が集まりやすいお盆時期に催された．今年は例年以上に参加人数が多く卒業生を含めて30人近くが集まった．私たち学生にとって各種のお酒やご馳走が無料で楽しめるイベントであり，先生のご家族との交流も楽しみのひとつとなっている．今年も先生のお子さん達と昼はボードゲームを，夜は花火を楽しんだ．お酒の力も手伝って，ぶっちゃけ話で盛り上がり，ボードゲームはお子さん達が寝た後も夜遅くまで熱戦が続いた．飯尾家のアットホームな雰囲気の中でお酒やゲーム，おしゃべりなど思い思いの過ごし方ができる和やかな行事である．

3.2　合同ゼミ合宿

毎年９月は早稲田大学の軽井沢セミナーハウスにお邪魔して，２泊３日の合同ゼミ合宿が行われる．今年は，主催大学の早稲田大学宮川研究室のお世話

図５　ビアパーティの様子

になり，九州大学渡邉・津田研究室，東北大学伊賀研究室，室蘭工業大学内海研究室，本学の５大学が参加し，計76名の大所帯での合宿となった．合宿の一大イベントは船の設計コンテストと競艇である．今年は計９チームがエントリーし，船の設計や製作，プレゼン発表に臨んだ．当研究室からは４年生が２チームに分かれて参戦し，夏休みを使って船舶工学，実験計画法，流体解析方法を独習して，船を設計，製作した．この２チームが製作した船は図６の右から１番目と４番目である．そのうち一艇が総合３位入賞を果たした．そのほかに，バーベキュー，スポーツ大会，交流会と大いに盛り上がった．

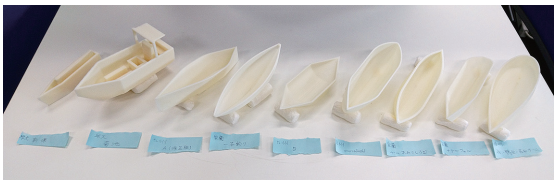


図６　製作した船

4. おわりに

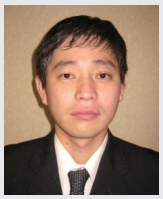
今回，原稿執筆依頼を頂戴し，これまで著者らが研究室に関係して取り組んできた日々を振り返ることができた．国内外での学会発表やいろんなイベントを通して，他大学の先生方，学生，多くの企業の方々などと交流できる機会はとても貴重であり，研究活動のモチベーション向上につながっている．自分たちが日々研究に邁進できるのは飯尾先生をはじめ，関係する多くの方々からの温かく心強いサポートがあるからだと感じている．本稿が掲載されるときには著者らは修了の予定である．この場をお借りして，これまでお世話になった関係の皆様に心より御礼を申し上げたい．

（原稿受付：2018年12月３日）

企画行事

2019年度企画行事紹介

著者紹介



藤田 壽憲（ふじた としのり）
東京電機大学工学部
〒120-8551 足立区千住旭町５
E-mail : tfujita@cck.dendai.ac.jp

1992年東京工業大学助手を経て，2002年東京電機大学助教授，2004年同大学教授，現在に至る．流体計測・制御，主として空気圧システムの解析，制御の教育・研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，計測自動制御学会などの会員．博士（工学）．

小林 亘（こばやし わたる）
岡山理科大学工学部
〒700-0005 岡山市北区理大町１－１
E-mail : kobayashi@are.ous.ac.jp

2015年芝浦工業大学大学院理工学研究科博士課程機能制御システム専攻修了．同大学ポスドク研究員，2016年岡山理科大学助教を経て，同大学講師，現在に至る．日本フルードパワーシステム学会，計測自動制御学会などの会員．博士（工学）．

1. はじめに

企画委員会は，委員長 藤田壽憲（東京電機大，学会理事），副委員長 和田重伸（CKD㈱），幹事 小林亘（岡山理大）を含め，学校側委員16名，企業側委員16名および学会事務局で構成されている．本委員会は，講演会およびセミナーなどの学会の集会事業の企画立案および実施を担当する．

本稿では，平成30年度の事業についてまとめるとともに，未確定な部分もあるが，2019年度実施予定の企画行事の内容を紹介する．

2. 平成30年度行事まとめ

2.1 春季フルードパワーシステム講演会

平成30年の春季フルードパワーシステム講演会は，主査を桜井委員（足利大），製品・技術紹介セッションの主査を和田委員（CKD㈱）としたワーキンググループ（以後，WG）で平成30年５月24日（木），25日（金）に機械振興会館において実施された．１件の特別講演，37件の講演（技術紹介セッション４件を含む）が行われた．参加者は112名であった．なお，この内24名は後述する春季講演会併設セミナーとあわせての登録であった．

2.2 春季講演会併設セミナー

春季講演会併設セミナーは，学会の企画事業を担当する企画委員会と学会誌の作成を担当する編集委員会との合同企画である．平成30年度の本セミナーは企画委員会が主導して実施した．企画委員会でテーマ案および原稿執筆者候補を選出し，編集委員会に諮り学会誌を制作していただく．この学会誌をテキストとして同じテーマのセミナーを実施する．本セミナーは主査を桜井委員（足利大）としたWGで春季講演会の１日目となる24日（木）に機械振興会館を会場として「フルードパワーにおける設計技術のトレンド―品質向上と最適化を目指して―」というテーマで実施した．４件の講演が行われ，参加者は34名であった．

2.3 特別教育講座

企画委員会が実施のサポートをしている特別教育講座「油圧機器・システムのモデリング入門―市販ソフトを利用するときに知っておくことはこれだ！―」が９月12日（水）に機械振興会館で実施された．

2.4 秋季フルードパワーシステム講演会

平成30年の秋季フルードパワーシステム講演会は，主査を早川委員（奈良高専）としたWGで平成30年10月25日（木），26日（金）に京都教育文化センターにおいて実施された．１件の特別講演，50件の講演が行われた．参加者は107名であった．

2.5 オータムセミナー

平成30年度のオータムセミナーは主査を藤田委員長（東京電機大），副査を和田副委員長（CKD㈱）としたWGで11月16日（金）に機械振興会館を会場として実施された．「知っておきたい空気圧システム設計技術の新常識」というテーマで３件の講演が行われ，参加者は24名であった．

2.6 ウインターセミナー

平成30年度のウインターセミナーは平成31年２月22日（金）に機械振興会館を会場として開催予

定である．テーマは「フルードパワーシステムと1DCAE」，主査を林委員（㈱IHI）としたWGで準備を進めている．本学会で設置している「1DCAEによるフルードパワーシステム設計に関する研究委員会」の活動内容から，注目すべきトレンド／トピックの紹介を行い，フルードパワーシステムにおける1DCAE適用の現状と今後の展開について理解していただく講座となっている．

3. 2019年度行事予定

3.1　春季フルードパワーシステム講演会

2019年の春季講演会は，主査を中尾委員（鹿児島大）としたWGで具体案を検討している．５月30日（木）～31日（金）に機械振興会館において開催することを予定している．31日（金）は，製品・技術紹介セッション（主査：張本委員）および本学会の総会も予定している．

3.2　春季講演会併設セミナー

2019年度の本セミナーは，編集委員会が主導で特集号の原案策定を行い，企画委員会がセミナーの実施を担当する．機械振興会館で５月30日（木）に開催を予定している．主査を清水委員（㈱日立製作所）としたWGにより準備を進めている．2019年３月号（Vol. 50，No. 2）の特集号のテーマを「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」とし，８件の原稿執筆の内諾を得ている．セミナーはこの学会誌をテキストとして実施し，４件の講演を予定している．

3.3　秋季フルードパワーシステム講演会

2019年の秋季講演会は，主査を加藤委員（福岡工大）としたWGでその具体案を検討中である．開催場所は富山を予定しているとのことである．本講演会についてのアナウンスは学会誌７月号の会告から開始する予定である．

3.4　オータムセミナー

2019年度のオータムセミナーは11月中下旬の間に実施を予定している．学会誌７月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定である．

3.5　ウインターセミナー

2019年度のウインターセミナーは2020年２月中旬から３月中旬の間に実施を予定している．学会誌11月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定である．

3.6　特別教育講座

本学会に設置されているOHC-Sim特別研究委員会が主催する特別教育講座の運営を企画委員会はサポートしている．2019年度も油圧システムにおけるモデリングに関する内容の講座を実施する方向で検討しているとのことである．実施時期は８月後半から９月初旬を予定しているとのことである．本講座の案内は学会誌７月号で行う予定である．

4. おわりに

本稿では平成30年度に実施した企画事業のまとめと，2019年度に予定している企画事業について述べた．本稿を執筆した時期が平成30年12月上旬であったため，不確定な部分が多々あることはご容赦願いたい．企画委員会は今後も会員の方々に満足いただける企画事業を実施するよう努力していきたいと考えている．会員の方々には学会ホームページで新しい情報をご確認いただくようお願いし本稿の結びとする．

（原稿受付：2018年12月10日）

企画行事

平成30年秋季フルードパワーシステム講演会開催報告

著　者　紹　介

早川（はやかわ）　恭弘（やすひろ）
奈良工業高等専門学校
〒639-1080　大和郡山市矢田町22

2006年奈良工業高等専門学校電子制御工学科教授，現在に至る．空気圧を用いた福祉介護機器開発の研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，IEEEなどの会員．博士（工学）．

1. はじめに

平成30年秋季フルードパワーシステム講演会が京都教育文化センター（写真１）において，10月25日（木）から26日（金）までの２日間，107名の参加者を得て開催された．本講演会では，一般講演，３つのオーガナイズドセッション（OS）において，合計50件の講演が行われ，26日の午後には特別講演が開催された．本講演会の概要を報告する．

写真１　京都教育文化センター

2. 各セッションの概要

2.1　オーガナイズドセッション

2.1.1　OS：空気圧ゴム人工筋の社会実装

本OSは，佐々木大輔先生（香川大学）により企画された．開催趣旨は，「空気圧ゴム人工筋は，ゴムで構成される構造から軽量，高出力，柔軟という特徴を有し，ウェアラブルロボットをはじめとする人間支援機械システムのアクチュエータとして注目を集めている．本OSは，社会実装という言葉をキーワードとして，空気圧ゴム人工筋の応用の現状ならびにさらなる社会実装促進のための最新の研究に関する講演発表によって構成する．」である．ここでは，ゴム人工筋の長寿命化，脚ロボット・運動矯正用トレーニングウエアの開発，スマート人工筋の製作方法などに関する合計６件の講演が行われ，活発な質疑応答が行われた（写真２）．

写真２　OS　空気圧ゴム人工筋の社会実装

写真３　OS　空気圧制御機器（アクチュエータ＆バルブ）のイノベーション

2.1.2　OS：空気圧制御機器（アクチュエータ＆バルブ）のイノベーション

本OSは，「空気圧制御システムにおいて大きな役割を果たす制御機器にアクチュエータやバルブがある．これらの機器は空気圧システム全体の性能を左

右する重要な機器である．本OSでは，ユニークな空気圧アクチュエータやバルブもしくは既存のアクチュエータや弁を使った新しい発想の制御方法など，今後の空気圧制御機器の新しい切り口や活用法について広く講演を応募します.」という主旨で企画された．オーガナイザーは，赤木徹也先生（岡山理科大学）が務めた．ここでは，エネルギー回収型増圧器，リニアステッピングアクチュエータ，ポータブルリハビリテーション機器，４ポート型低コストサーボ弁，微粒子励振型流量比例制御弁，リニアステッピングアクチュエータ，電動空圧ハイブリッドアクチュエータ，四面体型リハビリテーション機器，極軽量ソフトアクチュエータおよび配管検査ロボットに関する幅広い講演が10件行われ，活発な質疑応答がなされた（写真３）．

写真４　OS　油圧技術のロボット応用

写真５　一般セッション

2.1.3　OS：油圧技術のロボット応用

本OSは，玄相昊先生（立命館大学）により企画された．開催趣旨は,「産業ロボット，電気自動車，ドローンをはじめ，無人で動く実用ロボットのほとんどは電気モータで駆動されています．本OSでは，電動では困難でも油圧では可能なロボット応用に関する話題，油圧技術のロボット適用範囲に関する話題を広く募集します．油圧機械の代表である大型作業機械のロボット化や，新しい油圧アクチュエータに関する講演も含まれます.」である．ここでは，油圧アームの最適行列同定，油圧シリンダ出力の推定と制御，２足ヒューマノイドロボット向け油圧直接駆動システムの応答性，油圧アームの力センサレス直接教示および災害対応重作業ロボットなどに関する講演が５件行われ，活発な質疑応答が行われた（写真４）．

2.2　一般セッション（写真５，６）

2.2.1　空気圧

空気圧に関するセッションは，４つのセッションに分かれ，合計17件の講演があった．内訳は，管路の有限要素モデルに基づいた空気圧システムのH∞制御，多気筒型風力空気圧縮機，銅管内空気定常流コンダクタンス，ベーン型ボルテックスカップの吸引力，接続管路が流量計測に及ぼす影響，線形カルマンフィルタによる定常流量の推定，圧力センサ付マイクロエジェクタに関する研究などの空気圧機器・要素に関する講演，空気圧ゴム人工筋の内圧から歩行意図を検知するアシストスーツ，拮抗配置した空気圧人工筋における自律的なアクチュエータ間協調の実現，空気圧人工筋を用いた脚ロボットの跳躍運動入力の設計，新型ゴムアクチュエータ，空気圧式プロテクタ，空気圧ソフトアクチュエータを用いた眼科手術支援デバイス，空気圧人工筋を用いた装着型４自由度力覚提示装置の仮想現実空間内での主観評価，空気式リハビリ伸展装置，MRIなど特殊環境下で使用できるマニピュレータ，柔軟空気圧シリンダの湾曲状態における制御性能評価に関する研究などがあり，ゴム人工筋など柔軟アクチュエータを用いた講演が多かった．

写真６　一般セッション

2.2.2　油圧

油圧に関する講演は９件行われた．講演内容は，ベーンポンプ内のCFD解析，カルマンフィルタによ

る管内流れ推定法を応用した層流流量計システム，潤滑・機構・構造連成解析を用いた流体機械の信頼性・性能向上設計技術，油圧システム用新型圧力脈動抑制素子に関する研究があった．また，気泡の混入に関する講演としては，作動油の体積弾性係数の変化の実験的評価および油圧システムにおける応答性低下とサージ抑制に関する研究があった．さらに，CFDを用いた研究としては，油圧管路の脈動伝達特性の解析，気泡除去装置の性能評価～計算モデルと計算格子の影響～，CFD解析を用いた油圧システム内に滞留する気泡群の一次モデル定義式に関する講演があった．

2.2.3　水圧・機能性流体

水圧・機能性流体に関する講演が３件行われた．講演は，PWM制御法による磁気粘性流体バルブによる油圧アクチュエータの速度制御，非対称Bouc-Wenモデルを用いた水道水圧駆動人工筋のモデル化と適応モデル，Hammersteinモデルを用いた水圧シリンダシステムのモデル化と非線形モデル予測変位制御シミュレーションである．

今回，水圧・機能性流体に関する講演数が少なかったのが残念である．

写真７　特別講演会

写真８　技術懇談会会場

3. 特別講演

特別講演は，宗田好史先生（京都府立大学副学長）を講師としてお迎えし，「歴史都市の創り方―京都のまちづくりの現在―」という演題で実施された（写真７）．この講演では，京都のまちづくりに関して，歴史都市のつくり方，伝統文化の現代化と市民化および景観政策から芸術都市への転換に関して講演が行われた．現在の京都の街並みになるまでの経緯と，これからの方向性に関して興味深いお話を拝聴することができた．

4. 技術懇談会

技術懇談会は，26日（金）午後５時より，京都市伏見区にある「月の蔵人」で開催された．技術懇談会参加者は，当日，午後開催の特別講演会終了後，伏見の会場まで移動していただいた．伏見は，坂本龍馬に所縁のある場所であり，懇談会開催までの時間，観光をされた参加者も多かった．

会場の建物は，酒蔵の一つとして大正２年に建築されており，趣のある会場であった．伏見は，良質の地下水に恵まれており，会場周辺には，他にも京都を代表する日本酒のメーカーがある．

技術懇談会の参加者は60名であり，眞田一志会長（横浜国立大学）のご挨拶および平成30年春季フルードパワーシステム講演会最優秀講演賞受賞式後，中野和夫先生（芝浦工業大学）の乾杯（日本酒）でスタートし，活発な情報交換が行われていた．懇談会は，着座形式で行われた．最後の中締めは，田中豊副会長（法政大学）によって行われ，盛会裏に終えることができた．技術懇談会の様子を写真８に示す．

5. おわりに

本稿では平成30年秋季フルードパワーシステム講演会の概要について報告した．

本講演会は講演数50件，参加者数107名であった．例年，秋季講演会は11月末に開催されているが，11月の京都は観光ベストシーズンであり，参加者の宿泊確保が難しいことから，10月末開催となった．同時期に国際会議があったことから，一部の分野で参加者が少なかったのが残念である．しかし，参加者各位のご協力で盛会裏に終えることができた．

最後に，本講演会にご参加ならびにご協力いただいた方々に深く感謝申し上げます．

（原稿受付：2018年11月23日）

会　告

〈理事会・委員会日程〉

1月21日	基盤強化委員会
1月29日	理事会
2月 4日	企画委員会
2月15日	編集委員会

〈理事会報告〉

平成30年度第５回理事会

1月29日　14：00～16：00

機械振興会館　地下3階　B3-6　（出席者15名）

1）国際シンポジウム函館2020の開催準備状況
2）学会創立50周年記念事業
3）平成30年度フェロー推薦
4）平成30年度学会賞各賞の選考
5）基盤研究委員会規程制定
6）2019年度予算
7）学会の財政基盤の強化
8）会員の推移
9）各委員会からの報告
10）その他

〈委員会報告〉

平成30年度第４回基盤強化委員会

1月21日　15：00～17：00

機械振興会館地下3階　B3-7　（出席者9名）

1）会員サービス，会員数増加策
2）外部への情報発信
3）フルードパワー道場
4）フルードパワー・バーチャルミュージアム
5）研究委員会
6）その他

平成30年度第４回企画委員会

2月4日　15：00～17：00

機械振興会館　地下3階　B3-9　（出席者11名）

1）平成30年度実施の事業に関する報告・審議事項
　⑴平成30年度ウインターセミナー
　⑵その他
2）2019年度実施の事業に関する報告・審議事項
　⑴2019年春季講演会併設セミナー
　⑵2019年春季フルードパワーシステム講演会・総会
　⑶2019年春季講演会製品技術紹介セッション
　⑷2019年秋季フルードパワーシステム講演会
　⑸2019年度オータムセミナー
　⑹その他
3）その他審議・確認事項
　⑴2020年春季講演会併設セミナー
　⑵その他

平成30年度第５回編集委員会

2月15日　14：00～17：00

東北大学片平キャンパス

産学連携先端材料研究開発センター1階（出席者12名）

1）会誌特集号の現状と企画
　・Vol.50 No.2「ロボットに役立つフルードパワーの要素技術」
　・Vol.50 No.3「大学における水圧研究（仮）」
　・Vol.50 No.4「フルードパワーを支える製造技術（仮）」
　・Vol.50 No.5「医療現場でのフルードパワー（仮）」
　・Vol.50 No.6「高水圧を利用した世界（仮）」
　・Vol.51 No.1「異分野からフルードパワーの将来への提言」
　・Vol.51 No.2「フルードパワーエキスパートからフルードパワーの将来への提言」
2）その他
　・学会誌表紙デザインの刷新
　・トピックス

会　告

学会創立50周年特別会費（賛助金）の受付状況

2019年2月4日現在，学会創立50周年記念事業・行事に協賛し，特別会費（賛助金）のご協力をいただいた賛助会員および正会員各位はつぎのとおりです．関係者一同，心から感謝申しあげます．なお，特別会費は引き続き受付けておりますので，よろしくお願い申しあげます．

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会
会長（学会創立50周年記念実行委員会　委員長）　眞田　一志
理事（学会創立50周年記念実行委員会　幹事）　吉満　俊拓

［賛助会員］　50音順（敬称略）

イナバゴム㈱
SMC中国㈱
㈱神崎高級工機製作所
㈱阪上製作所
大生工業㈱
東京計器パワーシステム㈱
ナブテスコ㈱
フジサンケイビジネスアイ
㈱日立建機ティエラ
マックス㈱
㈱インターナショナル･サーボ・データー
川崎重工業㈱
㈱小松製作所開発本部
㈱ジェイテクト
㈱都筑製作所
TOHTO㈱
日本機材㈱
日本精器㈱
㈱不二越
三菱電線工業㈱
SMC㈱
川重商事㈱
㈱小松製作所油機開発センタ
ダイキン・ザウアーダンフォス㈱
東京計器㈱
豊興工業㈱
日本クエーカー・ケミカル㈱
日本ムーグ㈱
㈱増田製作所
ヤマシンフィルタ㈱

［正会員］　50音順（敬称略）

饗庭　健一
市丸　寛展
大見　康生
川上　幸男
小曽戸　博
蕭　欣志
高田　進
田中　豊
中井　政光
中山　晃
藤谷　秀次
山口　惇
レア・ルコント
天野　勝
伊藤　一寿
小笠原文男
川島　正人
斉藤　賢治
上達　政夫
高田　芳行
田中　義人
永瀬　徳美
成田　晋
前畑　一英
山田　宏尚
荒井　一則
上嶋　優矢
小澤　忠彦
川嶋　健嗣
齋藤　直樹
杉本　文一
高橋　建郎
千葉　誠
仲宗根隆志
西股　健一
増田　精鋭
横田　眞一
池尾　茂
大信田文司
柿山　稜
神田　国夫
佐々木政彰
鈴木　勝正
竹村研治郎
筒井　大和
中田　毅
張本　護平
丸山　勝徳
吉田　清久
石井　進
大科　守雄
風間　俊治
木原　和幸
佐藤　潤
鈴木　隆司
田中　和博
寺澤　孝男
永田　精一
肥田　一雄
三浦　孝夫
吉田　伸実
石崎　義公
大橋　彰
神倉　一
玄　相昊
眞田　一志
高崎　邦彦
田中　裕久
冨山　俊作
中野　和夫
広田　善晴
宮川　新平
吉松　英昭

会　告

学会誌表紙デザインの刷新にともなうデザインコンペのお知らせ

編集委員会委員長　塚越秀行

この度，学会創立50周年を迎えるにあたり，第51巻第１号（2020年１月発行予定）より，学会誌の表紙デザインを刷新いたします．ついては，下記要領によりデザインコンペを行いますので，参加希望者は下記の応募先までご応募ください．

・デザインコンセプト　「安全・安心な社会に貢献するフルードパワーシステム」
・表紙と背表紙のデザインをお願いします．裏表紙のデザインは必要ありません．
・デザインは二色，Ａ４．色は毎年変えています．
・現在の表紙と背表紙に掲載されている文字情報は残さずデザインに含めてください．
・提 出 物：下記の２点を電子ファイルでご提出ください．
　　１）デザイン案（PDF）
　　２）説明文（WORD，100字以内）
・応 募 先：日本フルードパワーシステム学会事務局
・提出期限：2019年５月20日
・提出物をもとに１件を選考し，数回の校正をへて，最終デザインを決定します．
・採択された方には，最終デザイン作成までの費用として５万円を支給いたします．
・採択された方のご氏名を会誌目次ページに毎号記載し，毎号の会誌１冊を本デザインが使用されている期間にわたり，無料で贈呈します．
・採択されたデザインの著作権は，当学会に帰属となります．

・問い合わせ先：日本フルードパワーシステム学会事務局
　〒105-0011　東京都港区芝公園3-5-22　機械振興会館　別館102
　E-Mail：info@jfps.jp
　TEL. 03-3433-8441　FAX. 03-3433-8442

以上

会　告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

Grinding Technology Japan 2019
主　　催：日本工業出版㈱，フジサンケイビジネスアイ
開 催 日：2019年3月18日（月）～ 20日（水）
会　　場：幕張メッセ　展示2ホール（千葉市美浜区中瀬2-1）
U R L：http://grind-tech.jp/

No.19-205 第８回日韓機素潤滑設計生産国際会議（ICMDT2019）
企　　画：一般社団法人 日本機械学会機素潤滑設計部門
開 催 日：2019年4月24日（水）～ 27日（土）
会　　場：SHIROYAMA HOTEL kagoshima（鹿児島県鹿児島市新照院町41-4）
U R L：http://www.icmdt2019.org/index.html

ロボティクス・メカトロニクス講演会2019（ROBOMECH2019 in Hiroshima）
企　　画：一般社団法人 日本機械学会機素潤滑設計部門
開 催 日：2019年6月5日（水）～8日（土）
会　　場：広島国際会議場（広島県広島市中区中島町1-5（平和公園内））
U R L：http://robomech.org/2019/

日本混相流シンポジウム2019
主　　催：日本混相流学会
開 催 日：2019年8月5日（月）～7日（水）
会　　場：福岡大学（福岡県福岡市城南区七隈８丁目19-1

No.19-13 Dynamics and Design Conference 2019
総合テーマ：「地球をめぐる海流のように」
企　　画：一般社団法人 日本機械学会機械力学・計測制御部門
開 催 日：2019年8月27日（火）～ 30日（金）
会　　場：九州大学伊都キャンパス（福岡県福岡市西区元岡744）
U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/dmcconf19/

EcoDesign 2019（第11回環境調和型設計とインバースマニュファクチャリングに関する国際シンポジウム）
主　　催：エコデザイン学会連合，産業技術総合研究所
開 催 日：2019年11月25日（月）～ 27日（水）
会　　場：パシフィコ横浜（神奈川県横浜市西区みなとみらい１丁目1-1）
U R L：http://ecodenet.com/ed2019/

第３回 安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議（COMPSAFE2020）
主　　催：COMPSAFE2020実行委員会
開 催 日：2020年3月8日（日）～3月11日（水）
会　　場：神戸国際会議場（兵庫県神戸市中央区港島中町6-9-1）
U R L：https://compsafe2020.org/

編 集 室

次号予告

――特集「大学における水圧研究」――

〔巻頭言〕「大学における水圧研究」発刊にあたって　山田　宏尚
〔解　説〕水圧駆動方式能動カテーテル　生田　幸士
水圧技術の基礎研究に関する取り組み（トライボロジーとキャビテーションを礎として）　風間　俊治
水圧シリンダの特性　柳田　秀記
水圧用流量制御弁におけるキャビテーション現象　飯尾昭一郎
水圧用リリーフ弁・圧力制御弁・静圧軸受　鈴木　健児
〔会議報告〕CMT2018におけるフルードパワー技術研究　吉田　和弘
計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向　中野　政身
第19回流体計測制御シンポジウムにおけるフルードパワー関連技術の研究動向　川上　幸男
〔トピックス〕トピックス学生さんへ，先輩が語る―油圧機械メーカーで働き始めて―　三枝　直人
Youは日本をどう思う？第９回：日本が大好きになった　侯　剛
〔研究室紹介〕秋田県立大学　メカノシステム研究室　齋藤　直樹
〔企画行事〕オータムセミナー（H30.11.16）　藤田　壽憲

2018年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長　塚越秀行（東京工業大学）
副委員長　村松久巳（沼津工業高等専門学校）
委員　飯尾昭一郎（信州大学）
伊藤雅則（東京海洋大学）
上野朝嗣（CKD㈱）
内堀晃彦（宇部工業高等専門学校）
加藤友規（福岡工業大学）
北村剛（油研工業㈱）
栗林直樹（川崎重工業）
上妻文英（KYB㈱）
五嶋裕之（㈱工苑）
齋藤直樹（秋田県立大学）
佐々木大輔（香川大学）
佐藤恭一（横浜国立大学）
委員　妹尾満（SMC㈱）
中野政身（東北大学）
中山晃（日立建機㈱）
藤田壽憲（東京電機大学）
丸田和弘（コマツ）
矢島丈夫（㈱コガネイ）
柳田秀記（豊橋技術科学大学）
山田真の介（㈱TAIYO）
山田宏尚（岐阜大学）
吉満俊拓（神奈川工科大学）
担当理事　伊藤和巳（KYB㈱）
学会事務局　成田晋
編集事務局　竹内留美（勝美印刷㈱）
（あいうえお　順）

会　告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写してください．ただし（公社）日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません．したがって，社外頒布用の複写は許諾が必要です．

権利委託先：（一社）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41　乃木坂ビル
TEL：03-3475-5618　FAX：03-3475-5619　E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接本会へご連絡ください．

フルードパワーシステム Vol.50 No.2

昭和47年10月19日第４種学術刊行物認可
2019年３月15日発行　　（奇数月）

〒105―0011 東京都港区芝公園三丁目五―二二　電話（〇三）三四三二―八四四一　FAX（〇三）三四三二―八四四二
編集兼発行人　一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会　振替口座　東京〇〇一一〇―三―一三三六九〇

東京都文京区白山一―一三―七　アクア白山ビル五階
印刷所　勝美印刷株式会社

本紙広告取扱　株式会社 産業企画　東京都港区新橋6-22-2 佐藤ビル　〒105-0004
TEL. 03-3437-0057　FAX. 03-3437-9868　www.sanki.asia　E-mail　sanki@sanki.asia