

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# システム

Jan. 2020 Vol. 51 No. 1

特集 「創立50周年記念企画—フルードパワーエキスパートからみる将来への提言—」

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「創立50周年記念企画 —フルードパワーエキスパートからみる将来への提言—

#### 【巻頭言】

学会創立50周年記念特集号の発行に寄せて	眞田 一志	4
----------------------	-------	---

#### 【解説】

創立50周年によせて	田中 豊	5
フルードパワーと情報：リアルとバーチャル	北川 能	7
研究と学会活動の回想，学会への期待—油圧分野	築地 徹浩	10
研究と学会活動の回想，学会への期待—フルイディクスが教えてくれたもの—	小山 紀	13
空気圧のイノベーションに向けて	則次 俊郎	16
研究と学会活動の回想，学会への期待—機能性流体分野—	中野 政身	20
JFPS学会50周年記念に寄せて—学会の未来への期待	北畠 多門	23
油圧機器設計の回想，油圧技術者／設計者への期待	肥田 一雄	25
筆者のフルードパワー 50年	宮川 新平	30

#### 【会議報告】

日本機械学会2019年度年次大会におけるフルードパワー技術研究	吉田 和弘	35
FLUCOME2019におけるフルードパワーの研究動向	早川 恭弘	37

#### 【会告】

学会創立50周年特別会費（賛助金）ご芳名		34
理事会・委員会報告		39
（一社）日本フルードパワーシステム学会賛助会員一覧表		40
2019年度ウィンターセミナー フルードパワーに利用できるマイコン技術 ～機器の駆動に関わるマイコン技術（ハード&ソフト編）～		41
第39期通常総会 学会創立50周年記念式典・セミナー・技術懇談会開催のお知らせ		41

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 2020年春季フルードパワーシステム講演会	41
日本フルードパワーシステム学会論文集50巻 (2019) 2号 発行のお知らせ	41
日本フルードパワーシステム学会論文集50巻 (2019) 抄録	42
会員移動	45
共催・協賛行事のお知らせ	45
次回予告	46

■表紙デザイン：浅賀 美希 勝美印刷㈱

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

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

### Special Issue “Proposals Toward the Future of Fluid Power from Experts”

**[Preface]**

For the 50th Anniversary Special Issue	Kazushi SANADA	4
--	----------------	---

**[Review]**

Greeting Message for the 50th Anniversary of JFPS	Yutaka TANAKA	5
Fluid Power and Information : Real and Virtual	Ato KITAGAWA	7
Recollection of the Research and Society Activity, Expectation to the Society- Oil Hydraulic Field -	Tetsuhiro TSUKIJI	10
Recollection of My Study and the Society Activities, and Expectance to the JFPS-The Legacy of Fluidics-	Osamu OYAMA	13
For the Innovation of Pneumatics	Toshiro NORITSUGU	16
Retracing my Own Research and Society Activity, Hope to JFPS -Field of Functional Fluids	Masami NAKANO	20
Toward the Future of JFPS Activity . . . 50th Anniv.	Tamon KITABATAKE	23
Recollection on Design Experience of Hydraulic Components, Expectation to Engineers on Hydraulics	Kazuo HIDA	25
My 50 years of Fluid Power Technology	Shinpei MIYAKAWA	30

**[Conference Report]**

Researches of Fluid Power Technologies in Mechanical Engineering Congress, 2019, Japan	Kazuhiro YOSHIDA	35
Research Trend of Fluid Power in FLUCOME2019	Yasuhiro HAYAKAWA	37

**[JFPS News]**

34, 39, 40, 41, 42, 45, 46

## 学会創立50周年記念特集号の発行に寄せて

## 著者紹介



さなだ かずし  
眞田 一志

横浜国立大学大学院工学研究院  
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5  
E-mail : sanada-kazushi-sn@ynu.ac.jp

1986年3月東京工業大学大学院理工学研究科修士課程制御工学専攻修了。1986年4月東京工業大学助手、1989横浜国立大学工学部生産工学科助教、2001横浜国立大学大学院助教授、2004年横浜国立大学大学院教授、現在に至る。2018年から、日本フルードパワーシステム学会長。

新年、あけましておめでとうございます。今年は、いよいよオリンピック・パラリンピックが開催されます。当学会でも、ビッグイベントが予定されており、5月に学会創立50周年記念講演会を、10月には函館で国際シンポジウムを開催します。あわせて、講演会、セミナー、研究委員会などの諸活動が活発に行われるよう、会長として務めてまいります。

当学会の前身である日本油空圧協会は1970年3月に設立され、1984年2月に社団法人日本油空圧学会が発足し、1989年3月には第1回の国際シンポジウムが東京で開催されました。2001年8月には、分野の多様化を受けて、社団法人日本フルードパワーシステム学会に名称を変更し、2012年4月には一般社団法人日本フルードパワーシステム学会へ移行しました。そして、今年2020年に学会創立50周年を迎えるにあたり、実行委員会を組織し、下記の記念事業を計画しました。

- 創立50周年記念式典の開催
- 記念誌の出版
- 機能性流体に関する入門テキストの出版
- 学会誌特集号の発行
- 学会事務局の設備更新事業

本記念事業の実施にあたり、正会員、賛助会員の皆様から、多大なるご支援をいただきましたことに、

誌上をお借りして、心より御礼申し上げます。

さて、本特集号は、この記念事業のなかの「学会誌特集号の発行」の一環として企画されました。本特集では、各分野における研究開発の経緯と将来に向けた貴重な提言を頂戴しました。ご多用にもかかわらず、記事の執筆にご協力いただきました皆様に御礼申し上げます。

学会創立50周年記念事業の一環として、本学会誌「フルードパワーシステム」の表紙デザインを公募しました。募集のコンセプトは、「安全・安心な社会に貢献するフルードパワーシステム」で、6件のデザイン案の応募があり、厳正かつ慎重な選考の結果、新しい表紙のデザインが決まりました。本号の表紙が、その新しいデザインによる第1号です。採択されたデザインコンセプトには、「穏やかな曲線はフルードパワーシステムによって作られた安心・安全な流体を可視化させたデザインになっています。また、この曲線は半永久的に続く模様であるためフルードパワーシステムが使用されている機械やモノの安心・安全、そして発展がいつまでも続いて欲しいという願いも込めています。」とあり、まさに創立50周年にふさわしいすばらしいデザインです。

さて、理工学に関連した科学・技術は急速に進歩しています。この時代の流れを先取りするよう、当学会においても、会員の皆様の英知を結集して、さまざまな改革を進めてまいりました。国際交流の深化と拡大、ITへの各種対応、研究委員会の活性化、基盤強化の取り組みなどに積極的に取り組んでまいりました。学会創立50周年記念事業が、当学会の明るい未来像を皆様とご一緒に描く契機となることを祈念して、巻頭言といたします。

(原稿受付：2019年11月1日)

## 解説

## 創立50周年によせて

## 著者紹介



た なか ゆたか  
田 中 豊

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所  
修士課程修了。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。  
工学博士（1991年東京工業大学）、  
（一社）フルードパワーシステム学会副  
会長、第11回JFPS国際シンポジウム  
実行委員長

新年明けましておめでとうございます。2020年の念頭にあたり、また学会創立50周年にあたり、副会長としてご挨拶を申し上げますとともに、学会の目指す将来の方向性について若干の私見を述べることにいたします。

## 1. 2020年を迎えて

戦後二度目の東京オリンピックが開催される2020年は、本学会にとって、1970年3月の日本油圧協会が発足から50年の節目の年にあたる。多くの会員の皆様のご支援・ご協力により、記念事業や記念行事が行われる。2020年5月には学会創立50周年記念式典も行われる。ご支援いただいた皆様や行事企画などに携わった皆様に、関係者一同、心より御礼申し上げます。

また2020年10月13日～16日の日程で第11回JFPSフルードパワー国際会議が北海道・函館で開催される。初めて北海道で開催される国際シンポジウムである。論文の申し込みや参加登録受けもすでに始まっている。世界中のフルードパワーの仲間達と交流を深める絶好の機会である。多くの皆様のご協力をお願い申し上げます次第である。

## 2. ロボット技術の進展

昨年の2019年も災害の多い年であった。台風が立て続けに関東に襲来し、多くの地域で風水害が発生した。被害を受けた地域は、いまだ復興が途上のところもあると聞く。一日も早く、元の生活に戻れ

ることを祈っている。

ところで先日、ある企業のトップが、人口減少と少子高齢化に直面する日本の現状を見たとき、もっとも必要であるはずの重労働や危険作業に関するロボット産業の出遅れに危機感を募らせている、との新聞記事<sup>1)</sup>を目にした。確かに、建設工事や災害現場、資源探索や危険作業現場で人に代わるロボットの実用化はまだ少ないように見えるのが現状である。

一方、研究者も実用化に向け、産官学が連携した取り組みを進めている。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)<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>や油圧駆動ロボットの研究開発が進められ、一部は実用化や製品化が進められている。この分野では、まさしくフルードパワー技術の出番となる。

また近年、ソフトロボティクスの研究が目ざされている。人間との親和性の高いソフトアクチュエータにはフルードパワーを利用する事例が多く、流体アクチュエータの魅力と可能性などが指摘され<sup>4)</sup>、フルードパワーの活躍に大きな期待が寄せられている<sup>5)</sup>。

さらに大手建設会社の重機の自動運転や自律運転技術を研究・開発する責任者への調査<sup>6)</sup>によれば、2020年代初頭には運搬系や敷きならし系作業における自動運転の現場適用が進み、掘削系や吊り上げ系の重機でも2025年ごろには実現するとの見方だそうである。これには5G通信技術や臨場感のある映像技術の実用化の進展も欠かせない。2020年代は、情報・制御技術やセンシング技術を駆使し、フルードパワーアクチュエータのユーザー企業であるゼネコンや建設機械メーカーによる重機の自動運転への大きな展開が予想されている。学会としても、こうした取り組みを積極的に広報活動や調査研究活動に取り込む必要がある。

## 3. 素材や加工技術の進展

流体を動力伝動の圧力媒体として利用するフルー

ドパワー技術において、小形化と高圧化は今後とも大きな技術トレンドとなる。そのためには、軽量で高耐圧な材料の開発が重要となる。また、いわゆる3Dプリンタによる付加造形法の加工技術<sup>7)</sup>の進展により、重さや流路形状の最適化を求めて、フルードパワーシステムの構成要素はその形状を大きく変えていくだろう。すでに自動車のバルブボディーはかなり複雑な流路形状の組合せで成り立っている。こうした設計技術や付加造形法が製造加工技術に展開され、フルードパワー要素の最適化や軽量化、高効率化が加速度的に進化していくだろう。さらに高圧化にともない、流体のシール素材技術もますます重要となる。学会としても、こうした関連技術の調査研究を積極的に進めていく必要がある。

#### 4. 本学会の役割

学会のホームページやパンフレットには、図1に示すような、多岐にわたるフルードパワーの役割と題する大樹のイラストが掲げられている。省エネルギーや地球環境保護、資源循環型社会形成、健康と福祉の充実をミッションに掲げ、油圧・空気圧・水圧・機能性流体の流体パワーを柱とした多岐にわたる分野を横断・包含する本学会の役割は、基盤技術と先端技術との融合により、今後ますます重要度を増すことになる。そのことに応えるためにも、本学会がフルードパワー工業会などと連携し、企業連合や大学・研究機関連合、専門家などからなる研究コ

ンソーシアムを設置し、これまで以上に、フルードパワーの動力伝動と制御に関する基盤技術の発展と伝承に寄与することが重要となる。

元号が「令和」に変わった最初の新年にあたり、また学会の創立50周年にあたり、今後ともフルードパワーシステム学会の活動に大いに期待するとともに、学会会員ひとりひとりが、自分に何ができるかを常に問いかけ、自ら発信していくことが重要であると考えている。

#### 参考文献

- 1) 高本陽一, 重労働ロボ産学官で育成を, 日本経済新聞, 29面, 2019年10月31日
- 2) 田所諭, 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, pp. 696-699 (2017)
- 3) 鈴木康一, 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, pp. 759-764 (2018)
- 4) 塚越秀行, 扁平チューブ形流体アクチュエータの魅力と可能性, 計測と制御, Vol. 58, No. 10, pp. 773-776 (2019)
- 5) 川嶋健嗣, フルードパワーのロボットへの展開, KYB 技報, 第53号, 2016年10月
- 6) 重機の自動運転「業界地図」, 日本経済新聞電子版, 2019年10月31日
- 7) 田中豊, 特集・3Dプリンティングとモノづくり, 油空圧技術, Vol. 58, No. 1 (2019)

(原稿受付: 2019年11月6日)

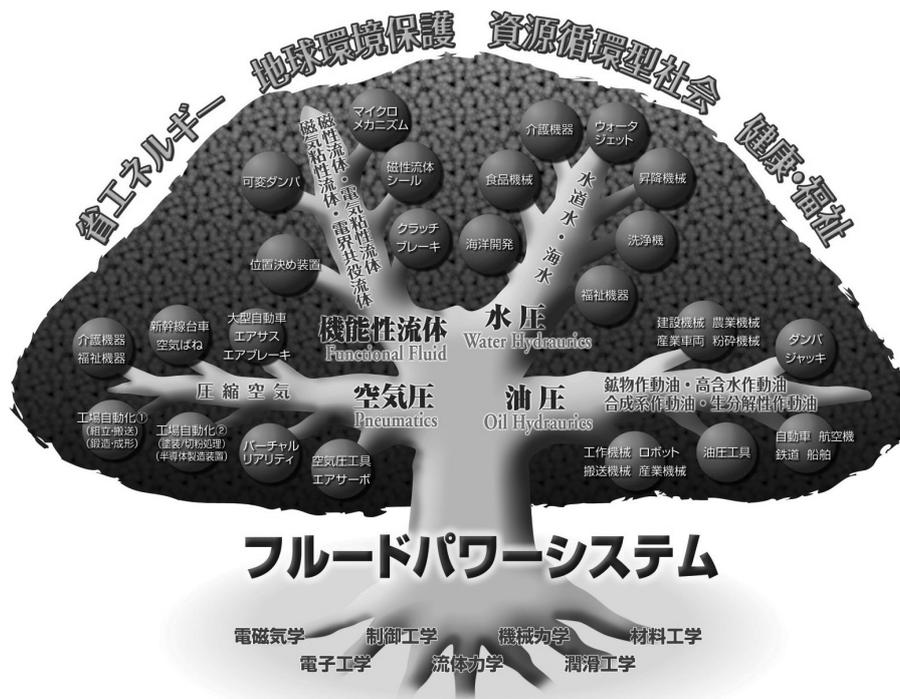


図1 多岐にわたるフルードパワーの役割

## 解説

## フルードパワーと情報：リアルとバーチャル

## 著者紹介



きた がわ あとう  
**北 川 能**  
東京工業大学名誉教授  
〒152-0023 東京都目黒区八雲3  
E-mail: kitagawa.ato@gmail.com

1970年東京工業大学大学卒業。東京都立工業高専講師、東京工業大学助手、助教授を経て、1991年同大学工学部教授、2013年同名誉教授。現在に至る。流体制御、流体駆動ロボット、生体協調流体システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会名誉員、工学博士。

## 1. はじめに

これからの移動通信方式として、次世代の5Gつまり5 generationについていろいろ語られている。来年から始まる予定で、その通信速度は現在の100倍にも達するといわれている。これによって社会はどのように変わっていくのだろうか。とはいえこれは情報といういわばバーチャルの最先端の世界のことである。一方、フルードパワーはリアルの世界における雄のひとつであろう。雄といっても縁の下の力持ちのようなもっとも泥臭い方の雄かも知れない。この両者にどのような接点があるのだろうか。フルードパワーの今後の発展を考える上でもまず5Gの今後を考えておく必要がある。

## 2. 次世代の5Gとは

移動通信の技術は、アナログ音声のみの1G（第1世代）、デジタル音声とメールの2G、データ通信による音声とメールと静止画の3G、これにさらに動画も可能にした4G、のように進展してきた。つぎの世代の5Gは、超高速大容量（eMBB）・超大量接続（mMTC）・超低遅延（URLLC）という特徴を持つデータ通信である。これらは何にでも超が付くような現在とはかなり違うものである。

まず超高速大容量eMBB（10～50Gbps）により、速度が現在の10～100倍になり、1本の映画が数秒でダウンロードできるようになる。つぎに超大量接続mMTC（ $10^6$ 個/km<sup>2</sup>＝1個/m<sup>2</sup>）により接続密度

が現在の100倍になり、自宅内だけでも数十の物がネット接続可能になる。さらに超低遅延URLLC（1ms）により、リアルタイムでの遠隔操作が可能になる。

この三つの超を可能にするため、5Gでは2種類の周波数の電波を用いる。従来の4Gで用いてきた6GHz以下の周波数帯のeLTE（低周波数帯）と、5Gから新しく使用する6GHz以上の周波数帯のNR（高周波数帯）である。この両方を用いることで3つの超が実現されるが、5Gが開始される2020年ころはeLTEの基地局の整備が先行し、2022年以降次第にNRの基地局が整備されてくるので、5Gが始まったからといってすぐに通信速度が100倍になるわけではない。数多く必要なNRの基地局の整備に時間がかかるためである。

実際の周波数としては、eLTEは3.7GHzと4.5GHz、NRにはまず28GHzが使用される。まず28GHzが選択されたのは酸素吸収による損失が他の周波数帯より少なく電波の届く距離が長いためである。

5Gのサービスが始まると、遠隔会議、遠隔手術、在宅勤務、IoT、自動運転、工事現場の無人化、危険な場所での無人作業、リアルタイム翻訳、情報リアルタイム表示、仮想現実、自動農業、防犯などさまざまなものが発展すると考えられている。その結果、①遠隔会議や在宅勤務が増え会社に集まる必要がなくなるので人の移動が減る。②遠くにいる名医の手術が受けられる。③自動運転により人の移動や物流の自動化が進展する。④VRが身近になり、実店舗ではなくVR店舗で買物できる。⑤超大量接続によるIoTにより、すべての「もの」がネットにつながる。ここに書いたことだけでなくもっと色々な想像すらできない社会的現象が起こるだろう。

今後、5Gを用いたサービスが各方面で盛んになり、BtoBtoXの時代になる。第1のBは通信事業者、第2のBはパートナー企業や大学でありさまざまなサービスを提供する側、最後のXは個人や法人でサービスを受ける側である。リアルの代表であるわれわれのフルードパワーの出る幕は、この第2のBのパートナー企業や大学として、どのようなサービ

スや社会への貢献ができるかという所にある。

本稿では、まずリアルとバーチャルの観点からフルードパワーと情報の接点を探ってみた。次節では超低遅延の5Gによって実現可能性がより高まるマジックヒューマンボディと私が呼んでいる遠隔操作ロボットについて述べる。

### 3. マジックヒューマンボディ

2011年3月11日に発生した東日本大震災により日本は壊滅的な被害を受けた。マグニチュード9という経験したことのない大きな地震であったが、地震に伴う津波の破壊力は衝撃的だった。そしてその津波によって引き起こされた福島第一原子力発電所の炉心溶融事故などはまったく予想もしないことであった。津波の多い海岸沿いの原発にもかかわらず炉心の冷却水系の電源を地下に設置するという設計はまことに不適切なものであった。アメリカ内陸のトルネード向けの対策をそのまま施していたともいわれている。建設時にはそうであったとしてもその後いくらでも改良できたはずが、それができなかったのは国内での言霊による圧力があったからに違いない。

人間が炉心溶融した原子炉に入って作業することは放射性物質で汚染されているため不可能であるが、ロボットなら可能になる。しかしそのような危険な場所で人間に代わって作業ができるロボットが事故当時の日本にはまったくなかった。今後はロボットを作るだけでなくそれを常に作業できる状態に整備し、操作できる人材を養成しておく必要がある。

原子炉にも寿命があり、今後20年ほどで日本にある原子炉の多くは廃炉の時期に差しかかる。したがって、放射性物質で汚染されている危険域内で作業することが絶対に必要になり、そのため人間に代わって人間と同様な作業が行えるロボットが必ず必要となる。このロボットの必要条件は多くあるが、少なくとも人間と同様な作業が可能で、人間と同程度の大きさであることは必要であろう。原発内の作業領域は人間の動作がやりやすいようにできているからである。

そして、その操縦方法はマスタースレーブ方式が

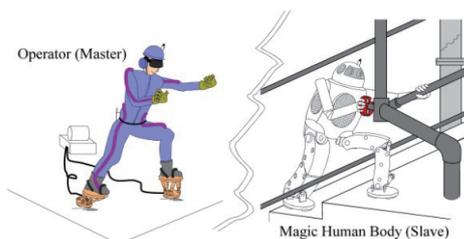


図1 マジックヒューマンボディ

良いと思う。

図1はその想像図である。マジックヒューマンボディと名付けた。マジックハンドの人体版という意味である。このスレーブロボットは少なくとも人間が行う程度以上の力作業ができる必要がある。またロボットのアクチュエータは、柔軟でオーバーロードにも耐え水濡れにも強いフルードパワー駆動が良いであろう。操縦者はマスターロボットを装着し、遠方から指示を与える。マスターロボットには、作業現場を3Dで再現するゴーグル（プロジェクター眼鏡）、現場の足場を再現する6軸プラットフォームに乗った駆動靴が備わっており、操縦者はこのゴーグルを被り、駆動靴を履くことで、あたかも現場で作業をしているように感じるようになる。そして自分のアバター（分身）であるスレーブロボットの作業を自分の作業のように感じる。そのためには力覚、視覚、触覚などの種々のフィードバックが必要となる。マジックヒューマンボディを実現するためには、このようなさまざまな情報を遅延なくやりとりする必要があり、超低遅延の5Gの技術が進展すればその実現に大きな力となる。

このようなフルードパワーの遠隔操作ロボット「マジックヒューマンボディ」ができれば原発に限らず、さまざまな危険域内における作業を人間と同じように行うことができるであろう。

### 4. 海洋エネルギーによる発電

今後の5G利用を進めるためにも電力の安定確保は重要である。しかし現在の日本では残念ながら多くの原発が停止されたままになっており、再生可能エネルギーの利用が叫ばれているが、これらは不安定な電源であるため電力の安定確保にはほとんど貢献していない。一方、日本は海に囲まれ、2000万kW以上の波力潮力の海洋エネルギーが発電に利用可能といわれている。しかしこれらはエネルギー密度が低く、そのままでは大規模な発電に向かない。フルードパワー技術を使ってこれらのエネルギー密度を高めることができれば、発電のための現実的なエネルギー資源となる。

図2に示すのは、海水を波力エネルギーによってたとえば6MPa程度に昇圧するものである。海岸に設置した装置にとってもっとも問題となるもののひとつは破損である。したがってその構造はなるべく単純なものが良い。その例のひとつとして、かつて我々の研究室で開発したACA<sup>1)</sup>というものがある。これは充填時と放出時で受圧面積を変えて増圧や減圧ができるアキュムレータである。この考え方を例えば比較的簡単に昇圧ができる。このような簡単な

機構はほかにもいろいろ考えられるであろう。

巨大な蓄電池ともいわれる揚水発電所，たとえば神流川発電所は650m余りの落差の上下の貯水池を結ぶ導水路にポンプ水車を設け，それによって駆動される発電機によって1機46万kWあまり，最大6機で280万kWにも及ぶ発電が予定されている．水力発電のもっとも大きな特徴の一つはその起動の速さであり，起動から最大出力までの必要時間が数分程度である．このような巨大なエンジンを数分で立ち上げ可能なのは水力発電だけである．

さて，ACAなどで6MPa程度まで昇圧揚水された海水は海拔600mの位置にある貯水池に蓄えられ，ここから一気に流れ落として水力発電を行うことにより大容量の電力を得ることができる．たとえば，毎分1トン（16L/s）の海水が使用できれば100kW程度の発電ができる．毎分100トンなら1万kWである．一旦池に貯めてから発電するので，ある程度安定した発電が期待できる．

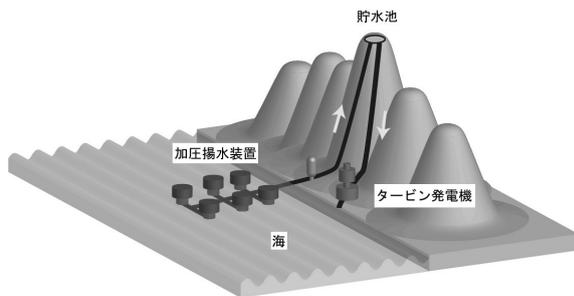


図2 昇圧式海洋波力発電

海洋における発電は波力だけでなく風力によるものも考えられる．日本では風力発電に適した陸地は多くないが，洋上風力発電が可能な場所が多いと思われる．洋上では図3に示す洋上浮体式の風力発電が利用しやすい．浮体式は上部に重量物があると不安定になるので，通常の風力発電のように回転翼の後に重い増速機や発電機を置くことができない．そこで，回転翼のすぐ後ろには油圧ポンプのみを置き，速度調整のための油圧モータや発電機は下部の浮体に設置することになる．図3(a)は各風車で直接発電する通常的方式である．一方，図3(b)は一旦海水をポンプでくみ上げ，以後は図2と同様に水力発電をする方式である．いずれも油圧ポンプや油圧モータ，水圧（海水）ポンプというフルードパワー技術が重要となる．図3(b)の集中方式では，昇圧した海水を一旦図2のように貯水池に貯めてから発電するので安定的な電力を得ることができる．

## 5. 知能流体

物の運動を制御し適当に動かすには，パワーだけ

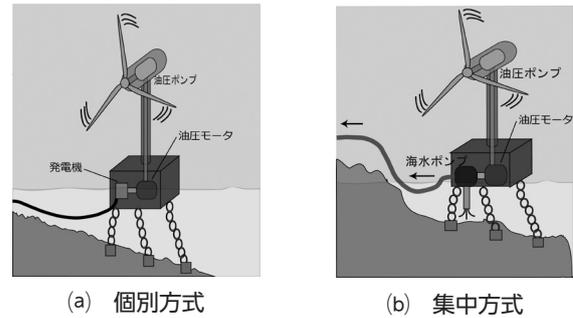


図3 洋上浮体式風力発電

でなく情報が重要である．これまでのフルードパワー技術は，それこそフルードパワーというほどであるから，流体にいかにも多くのパワーを詰め込んでそれをうまく利用できるかが中心的な関心であり，流体に情報も詰め込んでパワーだけでなく情報も使うなどということはまったく考えてこなかった．

現在研究が進められている機能性流体は，考えによっては流体に情報を詰め込んでいるともいえるが，これは揮発性メモリである．ある磁場や電場下において特有の性質を発揮するが，その場から抜けると元に戻る．少なくともその性質をずっと保持しているわけではない．揮発性ではなく，不揮発性メモリを有する流体があったら，一体どのようなことに利用できるであろうか．これはもう「知能流体」と言っても良いかもしれない．さらに進んだ知能流体にはどんな特徴が考えられるだろうか．

これからの5Gの時代，このような知能流体と5Gにはどのような接点があるであろうか．面白い特質を有する知能流体があったとして，その利用法を考えるのは楽しみなことである．

## 6. おわりに

フルードパワーをリアルの代表，これから盛んに利用されるであろう5Gをバーチャルの代表とし，その接点について今後の出現が期待されるいくつかのフルードパワーの応用例をもとに述べてみた．

ここに示したものはかなり荒唐無稽といえるものである．この中あるいはこの他のものでも5Gと結びついて役立つものが出ることを願っている．

### 参考文献

- 1) 芦金石，留滄海，齊藤理人，大坂一人，大場孝一，北川能：出力圧力が高速で変更可能なアキュムレータの開発とその応用，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 45, No. 1, p. 1-7 (2014)

(原稿受付：2019年11月5日)

## 解説

## 研究と学会活動の回想，学会への期待—油圧分野

## 著者紹介



つき じ てつ ひろ  
築 地 徹 浩

上智大学

〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1

E-mail: t-tukiji@sophia.ac.jp

1983年上智大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同大学助手、足利工業大学助教授、教授を経て、1999年上智大学理工学部教授、現在に至る。油圧工学、流体工学の研究に従事。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。工学博士。

## 1. はじめに

本学会が50周年を迎えられたことに対して、ここに謹んで祝意を表する。思い起こせば、日本油空圧協会の設立から、社団法人日本油空圧学会、社団法人日本フルードパワーシステム学会、一般社団法人日本フルードパワーシステム学会へと移行し、これまでの学会に対する歴史の重みを感じるとともに、今後本学会のますますのご繁栄を祈念する。

私が油圧の研究を始めたのは大学4年時の卒業研究からであり、学会事務局へ行ったのは大学院時代の事務局でのアルバイトからであった。ここでは、私が行ってきたこれまでの研究の中から特に油圧に関する研究、学会活動の回想および学会への期待について述べる。

## 2. これまでの油圧に関する研究

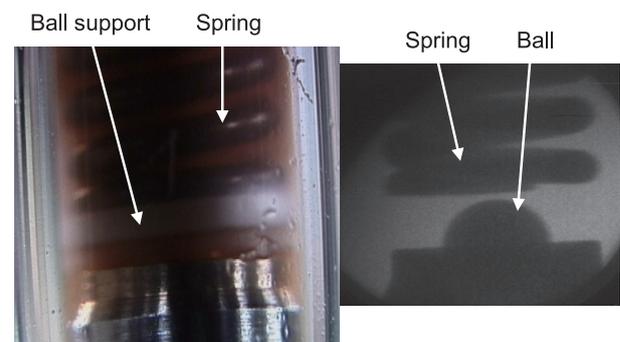
2.1 油圧制御弁<sup>1)</sup>

可視化技術を用いた油圧制御弁の開発に関する研究を学生時代から行ってきたが、ここでは形状が非常に単純であるボール弁に関する可視化技術を用いた研究について述べる。弁内部のボールやバネの動きを可視化するために、X線を用いてそれらの動きを透過撮影した。ボールの動きを見やすくするためにボールサポートは樹脂で製作されておりX線は透過する。X線はボール弁を透過して、イメージインテンシファイヤにあたる。そこでの画像が増感されたものがスクリーンにでき、その画像を高速度ビデオ

カメラで撮影した。また、デジタルビデオカメラでも撮影した。結果の一例として、上流圧力が9 MPaの時の可視化結果を図1に示す。左側の図は通常のデジタルビデオカメラ（取り込み間隔1/30 sec）で撮影した画像である。ピー音と言われているキャビテーション音を発してボールは振動し内部のボールは確認できない。右図は、高速度カメラを用いてX線撮影をした一コマである。バネとボールの輪郭が鮮明にとらえられている。画像より、ボール、ボールサポートおよびバネが連動してほぼ軸と垂直方向（横方向）に振動している様子があった。キャビテーション気泡も周期的に発生していた。以上の結果をもとに、振動や騒音を低減するためのボール弁が開発された。この研究で、2005年度財団法人油空圧機器技術振興財団顕彰を2006年5月26日に受賞した。

2.2 油圧ポンプ<sup>2)</sup>

油圧ポンプに関しては油圧制御弁の場合と同様に可視化技術を用いてベーンポンプやアキシシャルピストンポンプ内の流れや部品の動きの可視化解析を行ってきた。ここでは、アキシシャルピストンポンプ内のノッチからの噴流の流れ解析について述べる。本研究で製作したピストンポンプの断面図を図2に示す。可視化実験では、吸い込み行程から吐き出し行程に切り替わる際に、吐き出し側の高圧側から油がノッチを通してシリンダ内に流入する流れを撮影するため、その場所が可視化できるようにケーシ



(a) デジタルビデオカメラ (b) X線撮影

図1 ボール弁の内部の様子

ダ(a)とリアケースの一部(b)をアクリル材料で製作した。図はT方向(軸と垂直方向)から可視化可能な場合を示している。そのために、さらにシリンダブロックの弁板付近の一部(c)を透明アクリル材料で製作した。軸方向から可視化する場合には、シリンダブロック全体(c, d)を鉄(S45C)に、弁板(バルブプレート)(e)を透明アクリル樹脂のものとの交換する。

代表的な例として、5MPa、300rpmの場合の噴流キャビテーションの発生の様子の可視化実験とCFDシミュレーション結果を図3に示す。ピストン軸と垂直方向からの流れを撮影した結果をCFD結果とともに示している。撮影速度は500FPS(0.0002sec間隔)で、図の左側が実験結果であり、黄色に光っている雲のような部分がキャビテーション気泡である。ノッチ開度(h)が0.68mmと2.50mmの場合の各ノッチ開度における撮影結果である。対応する

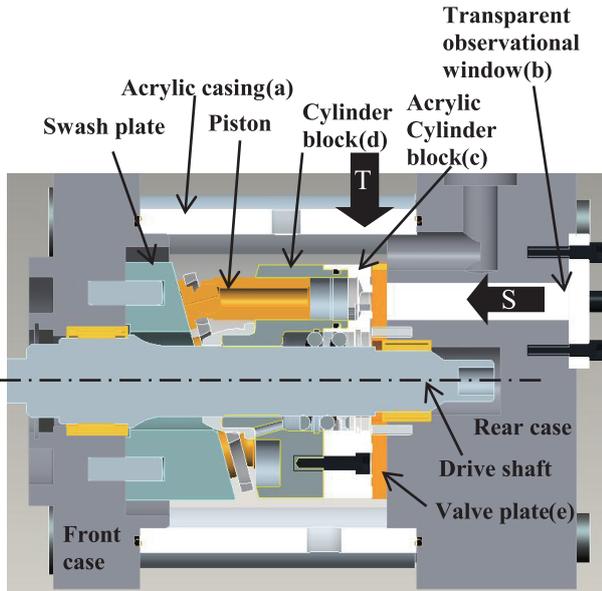
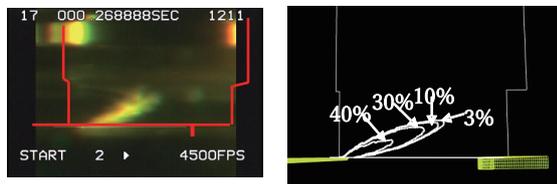
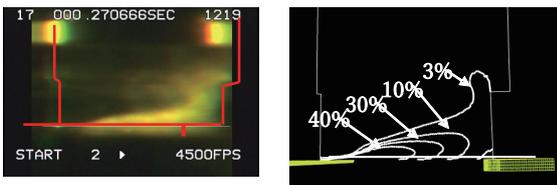


図2 可視化用アキシャルピストンポンプ



(a)  $h=0.68\text{mm}$



(b)  $h=2.5\text{mm}$

図3 ノッチ付近の気泡含有率 (5MPa, 300rpm)

CFDにより得られた噴流の中心断面での気泡含有率を図の右側に示している。実験結果の画像より、ノッチ開度が0.68mmの時は、キャビテーション噴流が弁板に対して約20度程度の角度を持って流入しているが、ノッチ開度が2.5mmの時、シリンダポート壁面に衝突する様子がわかる。この現象をCFD結果の気泡含有率の分布はよく表している。以上のように、実際の作動状態でのアキシャルピストンポンプ内のノッチ付近でのキャビテーション噴流の状態が、実験的な可視化技術とCFD技術によりとらえられており、CFDの解析精度が現在かなりの程度まで向上していることがわかる。本研究は、平成23年度、一般社団法人日本フルードパワーシステム学会の学術論文賞を受賞した。

### 2.3 マニホールドブロック内の管路

油圧回路やシステムの省エネルギー化を行うには、管路での損失を低減化することが必要である。したがって、油圧機器を接続するために用いられる管路においてもなるべく圧力損失を小さくするように設計することが重要である。一般に多くの制御弁が使用される油圧回路においては、制御弁を接続するための管や継ぎ手が多く必要になり、必要なスペースも広くなり、配管作業に時間を要す。近年、管や継ぎ手を減らすためにさまざまな手法が考案され、その中の一つにマニホールド方式がある。これは鉄製のブロック内部に穴をあけて管路を作成し、そのブロックに直接制御弁を接続して配管する方式である。この方式の長所は、配管に管や継ぎ手が不要になるため、スペースが削減でき、配管作業を減らすことができ、油漏れの危険性が減る点である。

このマニホールドブロックの管路内の流れ解析と設計に関する研究で、当時当研究室の大学院生の金澤恵里さんがFLUCOME2013でBest Student Paper Award<sup>3)</sup>をいただいた。

以上の内容を含めた油圧技術に関する研究結果の一部は最近の著者の著書<sup>4)</sup>で説明されている。

### 3. これまでの学会活動

私と本学会との最初の出会いは、大学院生時代の学会事務局でのアルバイトであった。当時は、油空圧協会の時代であり事務局も現在に比べると狭かった。学会誌の整理や会員名簿の作成など行ったことを覚えている。1984年に正会員になり、1986年7月から1998年5月まで編集委員会委員をさせていただいた。この期間に、多くの大学の先生や産業界の方と知り合いになり、編集委員会は油圧や空気圧の情報の共有などの希少な場であった。その後、論文集委員、企画委員、表彰委員、国際会議の組織委

員会委員，研究委員会委員などを務めさせていただいた。2012，2013年度には副会長，2014，2015年度には会長を仰せつかり，重要な責務を司った。当時副会長の北島多門氏と肥田一雄氏と学会の運営や活動に関してかなりの時間を費やし議論したことを覚えている。特に会長時代には，学会の方針として三つの方向を重点項目として掲げた。それらは，財政基盤，産学連携および学術基盤であった。

これらについて当時のことを具体的に述べると，まずは学会を支える必要なものは財政基盤であり，これを進めるには賛助会員を含めた会員の方々のご協力が必要で，当時は特に賛助会員のご協力をお願いした。産学連携については，工業会との連携を積極的に深め，“フルードパワー研究者リスト”および“出前講座”やセミナーなどを推進した。また，新たな研究委員会を立ち上げ，IFPEXでのカレッジ研究発表コーナーにおける大学関係者による研究成果の発表は，産学交流の良い機会になった。三つ目の学術基盤は学会として重要な基盤であり，学会としての存在意義を示すために必要不可欠である。昨今の社会的グローバル化にともない国際交流も含んだ形で“国際的学術基盤”と呼んでもいいであろう。本学会の学術基盤として，春と秋の国内講演会および国際シンポジウムを開催しており，本学会が主催している。春の講演会は総会とともに東京で開催され，秋の講演会は東京以外で開催される。国際シンポジウムをはじめ，恒例となった中国との日中ワークショップおよび若手研究者の派遣などをおして活発な交流があり，当時は新たに韓国の学会への使節団の派遣を行い，グローバル化を加速させた。

一方論文集については，2013年1月から電子投稿に移行したフルードパワーシステム学会論文集および英文論文集であるJFPS International Journal of Fluid Power Systemの発行に力を入れた。JFPS International Journal of Fluid Power SystemはJ-STAGEで公開されている。

#### 4. 学会への期待

本学会は，油圧，空気圧および機能性流体や水などを使用したエネルギー伝達技術を取り扱う専門学会であり，この技術を使用した産業分野は多岐にわたる。特に，油圧と空気圧技術は，現在ある程度成

熟しているかのように見える技術であるからでこそ，十分に信頼されている技術であり，未来にわたって必要不可欠な基盤技術である。近年，人工知能（Artificial Intelligence; AI）やモノのインターネット（Internet of Things, IoT）などの技術が急速に発達しており，その技術の応用分野が拡大しつつあるが，これまで蓄積された基盤技術をさらに利用していくことが重要である。われわれにとって現在そして未来にわたって必要で重要な基盤技術のひとつが油圧，空気圧技術であり，本学会の存在意義の大きさがわかる。

以上のような背景のもとに，油圧，空気圧技術を核とする本学会へ期待することは，これまで以上に産業界と大学との交流の場を提供することと，油圧，空気圧技術に関する学術的な活動をさらに進めることである。具体的な交流の場としては，講習会，講演会，国際シンポジウム，研究委員会，学会内の編集委員会等の委員会などがあり，学術的な活動としては，産学連携による研究活動，国内講演会や国際シンポジウムの実施，論文集の発行などがある。今後，以上の講演会および論文集の規模や質を高めていく必要がある。特に近年，社会的にグローバル化が進む中で，本学会においてもグローバル化を推進する必要があり，まずは本学会として，アジア地域における油圧，空気圧の技術や情報の拠点を目指してはいかがであろうか。

#### 参考文献

- 1) 築地徹浩，松本学，佐倉青蔵，永田精一，吉田太志：可視化技術を用いた油圧用ボール弁の改良，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 35, No. 6, p. 103-108 (2004)
- 2) 築地徹浩，高瀬拓也，野口恵伸：アキシアルピストンポンプ内のノッチからのキャビテーション噴流の可視化解析，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 42, No. 1, p. 7-12 (2011)
- 3) Kanazawa, E, Igarashi, D, Abe, O, Tsukiji, T and Yasunaga, K : Flow Analysis in a Pipe of a Manifold Block, Proceedings of the 12th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization, Paper No. OS1-02-3 (2013)
- 4) 築地徹浩：流体工学に基づく油圧回路技術と設計法，科学情報出版 (2018)

(原稿受付：2019年10月30日)

解説

# 研究と学会活動の回想、学会への期待 —フルイデックスが教えてくれたもの—

## 著者紹介



おやま 紀

明治大学理工学部  
〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1  
E-mail: oyama@meiji.ac.jp

明治大学理工学部教授、流体制御の研究に従事、日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員、工学博士

## 1. はじめに

私の会員番号の最初2桁は78なので、本学会（創立当時は油空圧協会）の創立8年後に入会したことになる。初めて学会行事に関わったのはこの年の春季講演会でスライド係を命じられたときである。

明治大学理工学部前任の原田正一先生が残した1970年10月発刊の会誌創刊号が手元にある。学会（協会）設立の趣旨である油空圧技術開発の支援のため、早速創刊号の会告に油圧と空気圧それぞれの講習会開催が案内されている<sup>1)</sup>。空気圧は2日の期間で、そのうち半日の講演は京都大学（当時）花房秀郎先生によるフルイデックスとなっている。また手持ちの会誌には欠本もあるためはっきりしないが、その中で最初の特集号企画は1978年9月号のフルイデックス応用特集号で当時のフルイデックスへの関心の大きさがわかる。

## 2. フルイデックス (Fluidics) とは

新しい会員の中にはフルイデックスのことをお知りにならない方もあるものと思うので簡単に説明する。フルイデックスすなわち日本語では純流体素子とは機械的に動く部品を使用せず、流体の流れを切換えたり制御したりする流体要素の総称である。流れの壁面への付着現象は1932年にCoandaにより見出されているが、1959年ごろHortonが図1のような二次元で拘束された流路パターンへの噴流付着現象を利用して流体の流れ方向を切換える増幅素子の特許申請し、それ以後がフルイデックスの発展期だ

といわれる<sup>2)</sup>。1960年代には各国の学会などでフルイデックスに関するセッションが取り上げられるようになり、企業でも注目されはじめ1980年の段階でフルイデックス関連の分類に500件を超える特許出願がされている<sup>3)</sup>。出願者の中には当学会の賛助会員企業が多数認められる。フルイデックスの応用研究に特化した集会として、英国で1965年からCranfield Fluidics Conferenceがほぼ2年間隔で開催された。わが国でも日本機械学会にフルイデックスの研究分科会が継続的に設置され、原理や応用に関する調査・研究が実施された。これらの研究は今見ても目がくらむばかりの魅力の宝庫だが、フルイデックスの特徴をよく表すと思う2例を紹介する。

民生用マイコン (i4004シリーズ) が現れたのは1971年である。これに先駆けて制御回路にすべてフルイデックスを使った空気圧式人工呼吸器が発表されている<sup>4)</sup>。フルイデックス発振素子の周波数により呼吸の周期を、二進カウンタチェーンとデコーダ回路で呼気/吸気の比率をそれぞれ調整できる。さらに強制呼吸モードと補助モードの切換え機能も持つ。制御回路を図2に示す。この当時、論理装置としてのフルイデックスの将来を予感させてくれた。

大きい出力や流量を扱う分野をパワーフルイデックスと呼ぶ。図3に示しているのは実にユニークな研究で煙突自体がフルイデックスであり、煙の流れる方向を上/下の煙突出口と下の容器へ交互に切換えてリング渦状の煙を吐き出す<sup>5)</sup>。リング渦は自身で移動してゆく性質があり、逆転層の天気などで煙が浮力を失って低く漂ってしまうようなときにも上昇させる効果を発揮する。当時の写真を見ると研究者たちがユーモラスな丸い形の煙の動きを熱心に観察している様子がおかしい。

## 3. 私とフルイデックス

私の学部時代の卒業研究は萩原辰弥先生の指導のもと、フルイデックス発振素子を使った寸法計測の課題であった。大学に奉職後最初に当学会から依頼された会誌解説は図4の全空気圧制御歩行ロボットのの記事で<sup>6)</sup>、これは八脚すべての歩行シーケンスを

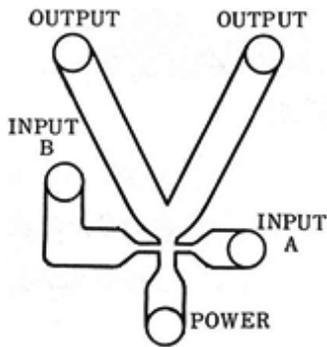


図1 Hortonの増幅素子<sup>1)</sup>

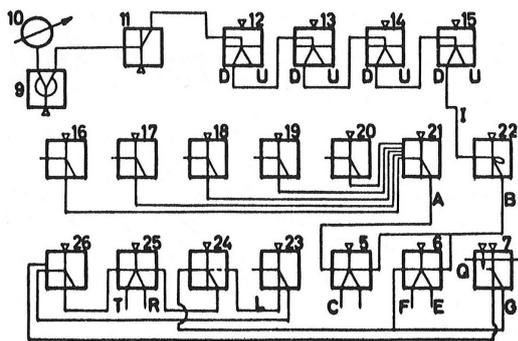


図2 Belforteの人工呼吸器制御回路<sup>4)</sup>

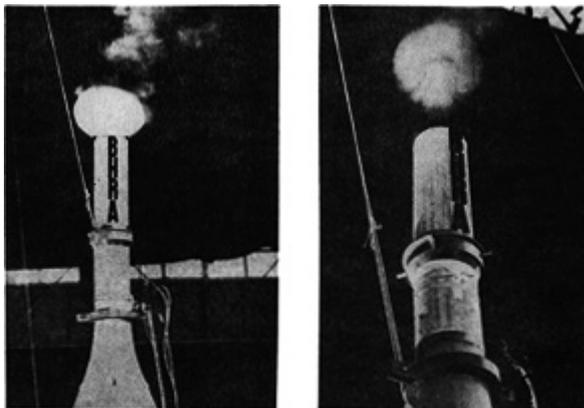


図3 Parkerらのフルイデック煙突<sup>5)</sup>

フルイデックスにより実現していた。本体が水平を保つよう制御しており、脚が何かに乗上げて傾いたときはその脚を縮めている。フルイデックスと傾斜センサを使った姿勢制御回路を図5に、制御回路全体の外観を図6にそれぞれ示す。

同じ解説にマイコンを制御用に用いた図7の四脚ロボットの記事も載せて貰った。脚を上げたときに重心位置が着地三脚を結ぶ三角形の中に入るようにしながら脚四辺を延び縮みさせる。マイコン回路を載せた基板はきわめてコンパクトに収まった。プログラムの変更により簡単に機能の追加が可能であり、論理装置としてのマイコンの優位性を知らされた。

一方でフルイデックスでしかできないこともある。

あるいはフルイデックスで提案された流体の干渉や付着の効果を利用する手法は、フルイデックスのカテゴリを超えてすでに利用されているものと考えられる。なぜならこの効果は他の手法により代替不可能だからである。小山は流体が持つ特性を有効に利用する方策のひとつとして、日本のフルイデックス研究における草分けのひとりの神奈川工科大学・山本圭治郎先生の指導を受けながら、同大・吉満俊拓先生と共同で図8に示すフルイデックスを用いた光流体変換器の研究を長らく実施してきた<sup>7)</sup>。光を吸収した媒体のわずかな発熱により流体粘度へ干渉が生じることを利用して、光で直接流体の流れ方向や圧力を操作できる。遠い将来かも知れないが、通信や制御信号がすべて光媒体で行われるようになると出番がくるのではないかな。

小山の研究室では学科3年生全員が実施するオムニバス方式の学生実験で、図9に示すフルイデックスを使った空気圧シーケンス制御の実習を行っている。電子式制御が万能と信じられている現状において空気圧式で同様のことが実行でき、またそのメリットがある事実を理解して貰いたいからである。始めてから40年経過して実験台はボロボロだが、フルイデックスは元気に活躍している。フルイデックスの特徴のひとつであった耐久性を実証した形になっている。

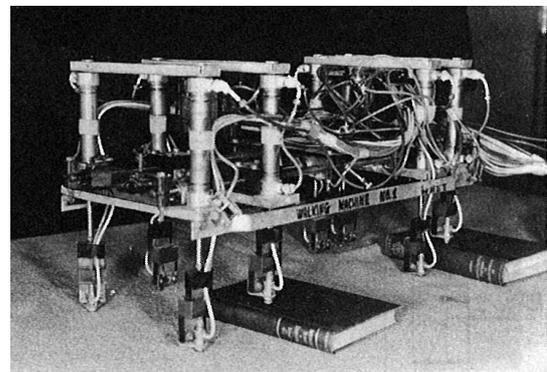


図4 全空気圧制御八脚歩行ロボット

#### 4. おわりに

フルイデックスが注目され始めてから60年が経過し当時の熱病はすっかり収まった(終焉した?) 感がある。フルードパワーでは一般に作動流体の全体的な流れ場を扱うことが多いが、フルイデックスは局所的な流体挙動に注目してその効果を利用することの有用性を教えてくれた。極端な言い方をすれば、統一的で確定的な「場」を基本としたアインシュタインの物理学に対して、素粒子の挙動に注目

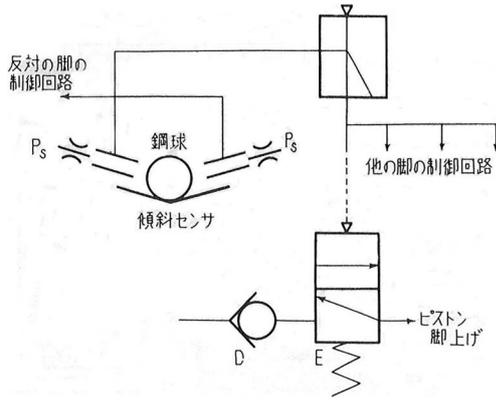


図5 八脚ロボットのフルイデックスを使った姿勢制御回路

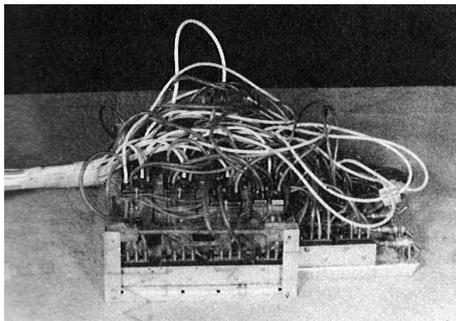


図6 八脚ロボットの制御回路全体

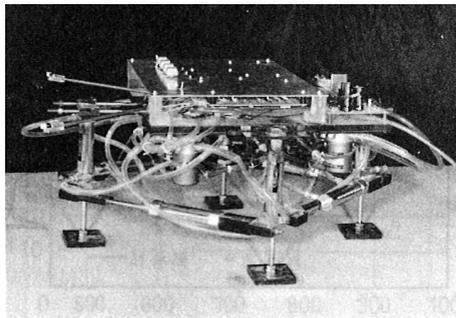


図7 マイコン制御四脚ロボット

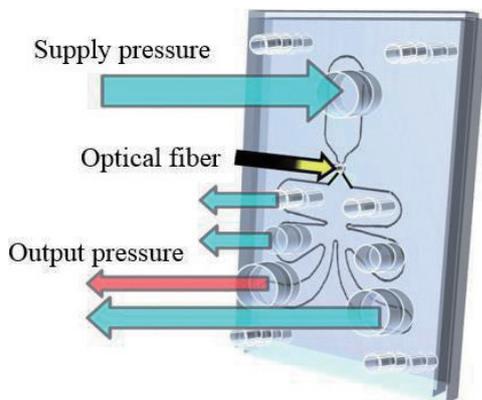


図8 フルイデックスを使った光流体変換器

してさまざまな現象を理解しようとする物理学の立場に相当するのではないかと勝手に考えている。素粒子までとはいわずとも、流れの規模が小さくなるほ



図9 フルイデックスを使った学生実験

ど流体の粘性効果などで局所的な作用が大きくなる。マイクロタス ( $\mu$ -TAS: micro-Total Analysis Systems) と呼ばれるバイオ・医療分野への微小流体素子技術が近年急速に進化している、この中でフルイデックスが注目されている。先日、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所から講演会の案内をいただいた。「マイクロフルイデックスを用いた超微粒子作製技術」(東京工業大学未来産業技術研究所・西迫貴志先生)、「ペーパーマイクロフルイデックス」(慶應義塾大学理工学部・ダニエルチッテリオ先生)、「ナノフルイデックス」(東京大学大学院工学系研究科・馬渡和真先生)の講演を見つけ大変心強かった。

当学会におかれても創立当時のフルイデックスのように新しい分野をどんどん取り込んで、それらを「肥やし」にしながままますます発展してゆくことを期待している。

参考文献

- 1) 日本油空圧協会編：会告，油圧と空気圧，Vol. 1, No. 1, (1970)
- 2) 尾崎省太郎，原美明：純流体素子入門，日刊工業新聞社，(1967)
- 3) 原美明，小川利訓：フルイデックス関連特許，フルイデックスの応用研究分科会成果報告書，日本機械学会，p. 38-41 (1980)
- 4) G. Belforte：LOGIC CIRCUIT OF ARTIFICIAL RESPIRATOR, Transaction of the TORTH CRANFIELD FLUIDICS CONFERENCE, BHRA, Vol. 1, p. M1\_1-12 (1970)
- 5) P.J. Parker, B.E.A. Jacobs：A FLUIDIC CHIMNEY, Transaction of the FIFTH CRANFIELD FLUIDICS CONFERENCE, BHRA, Vol. 1, p. B\_57-68 (1972)
- 6) 小山紀，原田正一：マイコンと空気圧による歩行機械の試作研究，油圧と空気圧，Vol. 11, No. 5, P. 276-281 (1980)
- 7) K. Yamamoto, O. Oyama, T. Yoshimitsu: Opto-Fluidic Control System, Proceedings of the FIFTH TRIENNIAL INTERNATIONAL SYPOSIUM on FLUCOME, Vol. 2, p. 541-544 (1997)

(原稿受付：2019年11月8日)

## 解説

## 空気圧のイノベーションに向けて

## 著者紹介



のり つく とし ろう  
則次俊郎

美作大学地域生活科学研究所  
〒708-8511 岡山県津山市北園町50  
E-mail : toshiro@mimasaka.ac.jp

1974年岡山大学大学院工学研究科修士課程修了。津山工業高等専門学校を経て、1986年岡山大学工学部助教授、1991年同教授、2013年津山工業高等専門学校長、2018年美作大学特任教授、現在に至る。空気圧を中心としたロボット工学の研究に従事。日本機械学会などのフェロー、工学博士。

## 1. はじめに

学会創立50周年おめでとうございます。このような記念すべき特集号へ寄稿の機会をいただき光栄に存じます。

さて、筆者が本学会に初めて参加したのは1980年の春季油空圧講演会（当時、日本油空圧協会）だと記憶している。機械振興会館で開催された講演会では、空気圧分野の研究発表は、横浜国大の田中裕久先生と私の研究の2件だけであり、油圧分野の研究発表とともに1セッションが割り当てられた。自身の発表終了後、隣の部屋で大勢が参加している油圧分野の講演室に入る勇気がなく、そのまま岡山へ帰ったことを覚えている。

あれから40年が経過し、空気圧に関心を持つ研究者が徐々に増加し、本学会において空気圧も市民権を得るようになった。これは自身の空気圧研究を進めるとともに、若い研究者を育ててきた多くの空気圧研究者のご尽力の賜物である。また、空気圧研究が早い時期からロボティクスやメカトロニクスと融合し、空気圧の特徴に留意した応用研究を取り入れたことも、空気圧への関心が高まった理由である。私にとっても空気圧のイノベーションを追求した40年であった。

以下では、筆者自身の空気圧研究を振り返るとともに、さらなるイノベーションに向けた空気圧研究の方向について私見を述べる。

## 2. 空気圧研究の始まり

津山高専在職時の1979年4月から1980年3月まで、京都大学オートメーション研究施設の花房秀郎先生の研究室へ留学した。留学間もなく、花房先生から空気圧シリンダの位置決めに関する研究テーマをいただいた。空気圧シリンダの高精度位置決めのためには最終停止動作の直前に安定な低速送り（クリープ速度）の実現が望まれるが、空気圧の減衰能不足のため容易でない。これを克服するため、図1の回路において、目標位置手前の両シリンダ室加圧によるピストン減速時に弁3を開き適当な絞り $S_3$ を介して両シリンダ室を一時的に結合することにより減衰能を向上させる方法を提案した。この成果は、日本機械学会論文集に掲載された<sup>1)</sup>。この論文が筆者の空気圧研究の始まりである。

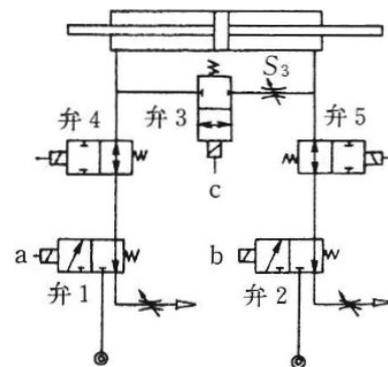


図1 減衰補償を付加した位置決め回路

その後も花房先生から「空気圧は、そのコンプライアンス（柔軟性）を活かした使い方をすべきだ。」とアドバイスをいただいた。後述する筆者の福祉介護分野への応用研究の原点である。

## 3. 空気圧サーボの高機能化

1982年から津山高専において本格的に空気圧サーボの研究を始めた。当時は空気圧アクチュエータの制御はオンオフ動作によるオープンループ制御が一般的であったが、筆者は空気圧アクチュエータの高機能化のためには連続動作によるフィードバック

ク制御の導入が不可欠であると考えいくつかの方法を試みた。

小型・高速のオンオフ電磁弁をPWM（パルス幅変調）駆動やPCM（パルスコード変調）駆動して電空比例弁を模擬することにより連続的なフィードバック制御を実現した。さらに、1983年ごろに国内空気圧機器メーカーから発売された電空比例流量制御弁を用いてラジアルピストン型空気圧モータの回転速度のフィードバック制御を試みた。負荷トルクの変動に対してモータの回転速度を目標速度に維持することができ、フィードバック制御の威力を実感した<sup>2)</sup>。

1986年4月に岡山大学の和田力研究室へ配置替えとなり、その後も空気圧サーボの研究を続けた。空気圧シリンダと4個の電空比例流量制御弁から構成される空気圧駆動装置を制御対象として、先端的な制御理論の導入による空気圧シリンダの位置決め精度や力制御性能の向上を試みた。最初に導入した最適制御理論では、電空比例流量制御弁の応答遅れ（当時、約40ms）を補償することにより制御性能を向上させた。当時のパソコンの処理速度の制限により制御系のサンプリング周期を10msとし、制御弁の遅れを4サンプリング分のむだ時間として処理した。

つぎに適応制御理論を適用した。極配置制御法を用いてパラメータ値が未知の空気圧シリンダ駆動系において安定な位置決め動作や力制御が実現された。また、駆動負荷の質量や外力変化に対して満足できる適応性能が確認された<sup>3)</sup>。この他、ポジカスト制御、ファジィ制御、ニューラルネットワーク制御などを応用し、それぞれの効果を検証している。これらの知見にもとづいて、企業との共同によりアクティブエアサスペンションや空気式精密除振台の振動制御について研究した。

これらと並行して、1990年ごろから企業との共同により2関節型空気圧ロボットの制御に関する研究を始めた。ロボットのアクチュエータは関節に直接取り付けられたロータリー型空気圧アクチュエータであり、制御弁にはPCM制御弁を用いた。制御手法にロバスト制御法のひとつであるスライディングモード制御を用いた。これによりロボットの制御性能の向上を図るとともに、ロボットの代表的な制御方式として注目されていたコンプラインス（柔軟性）制御や位置と力のハイブリッド制御を実施した。

さらに、1992年に大学院を修了後、岡山大学工学部助手（当時）として研究室に残った高岩昌弘君（現 徳島大学教授）を中心に外乱オブザーバを空気圧サーボ系に導入し、その高機能化に貢献した。また、外乱オブザーバを用いて制御される6組の空気

圧サーボ系を用いてスチュアート型パラレルリンクマニピュレータを構成して良好な制御性能を得ている。このパラレルリンクマニピュレータは、主に人間との接触をとまなう手首のリハビリテーションや感覚提示などに応用され、現在も研究が続いている。

現在、空気圧サーボの高機能化は著しく、筆者が京都大学や津山高専において空気圧サーボの研究を始めたころに比べると隔世の感がある。

## 4. 空気圧ゴム人工筋とパワーアシスト装置

### 4.1 マッキベン型空気圧ゴム人工筋

1980年代の中ごろブリヂストンが「ラバチュエータ」の製品名でマッキベン型空気圧ゴム人工筋を商品化した。筆者の研究室では、同社からロボットマニピュレータの提供を受けて制御性能向上に取り組んだ。

空気圧アクチュエータの柔軟性は人間と接触をとまなう作業に適すると考え、このマニピュレータをリハビリテーション支援ロボットに応用した。産業用ロボットに適用されるインピーダンス制御法を用いて各種の訓練運動モードを統一的に実現できることを示した<sup>4)</sup>。当時、この分野の研究はほとんどなかった。

その後、ブリヂストンが「ラバチュエータ」の生産を中止したが、一卷（たとえば30m）数千円のゴムチューブとFLチューブ（電線などを束ねて保護するためのネット状チューブ）を用いて任意の長さのマッキベン型ゴム人工筋を研究室で自作できることがわかった。「これを用いているいろいろなことができるようになる」と気持ちが高揚したことを覚えている。

筆者は農家の生れであり、空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストロボットの研究のきっかけは農作業の負担軽減であった。たとえば、桃の袋掛けなどでは両腕を頭上に掲げての作業が多く、空気圧ゴム人工筋を身体に取り付けて腕の保持ができれば好都合である。

図2に示すように、3本のマッキベン型空気圧ゴム人工筋を身体に取り付け、人工筋の収縮により腕



図2 装着型パワーアシスト装置研究の原点

の持ち上げと内転動作を支援する装置を試作したところ支援効果は十分であった。これが、筆者の装着型パワーアシスト装置研究の原点である。

#### 4.2 外骨格型パワーアシスト装置

その後、身体の各部位の動作を支援するパワーアシスト装置を開発した。立位保持装具にマッキベン型空気圧ゴム人工筋を取り付けて構成した立ち上がり動作支援装置を装着することにより、支援がない場合の約10%程度の負担で立ち上がることができた<sup>5)</sup>。この装置を岡山市内の社会福祉施設や岡山大学病院において下肢麻痺者に装着して、立ち上がりや歩行支援などの実証試験を行った。図3にその様子を示す。

また、2006年度、2007年度の経済産業省地域新生コンソーシアム事業「トイレ支援用パワーアシストウェアに関する研究開発」として産学官連携による研究開発を推進した。一連の研究開発は地域のマスコミ（TVや新聞）に取り上げていただいた。



図3 大学病院と連携した歩行支援装置の実証試験

#### 4.3 パワーアシストウェアへの展開

装置の軽量化や柔軟性のためには、人工筋を直接身体に装着できることが望ましい。立ち上がり動作などのような大きな支援力が必要でない場合には、外骨格のないパワーアシスト装置（パワーアシストウェアと呼ぶ）で十分対応できると考え、パワーアシストウェアへの展開を研究目的とした。

図4は、その一例のパワーアシストグローブを示す。筆者らの研究室で開発した湾曲型空気圧ゴム人工筋を手袋の指背の部分に取り付けたものである（図中の原型）。湾曲型空気圧ゴム人工筋は内部のゴ



図4 パワーアシストグローブ [原型 (左) と商品 (右)]

ムチューブを加圧することにより片側に湾曲する。これにより、指の握り動作や摘み動作の支援が可能であり、また、人工筋を上下逆に取り付けることにより指の伸ばし動作の支援にも利用できる<sup>6)</sup>。

パワーアシストグローブは、研究室での基礎研究を経て、2012年に岡山市内の企業により商品化されている。このグローブは、2014年から岡山市介護機器貸与モデル事業対象商品として一定の条件を満たす人に安価にレンタルされている。現在は、各種施設や展示会などにおいて広報活動を展開している。

大学では、引き続き、筋電とニューラルネットワークを用いて装着者の意思を反映する制御法<sup>7)</sup>などについて研究した。

この他、マッキベン型空気圧ゴム人工筋を直接に身体に取り付けることによる歩行支援や寝返り動作支援の可能性を示している。筆者の研究室で助教を務めた佐々木大輔君（現 香川大学准教授）は、引き続きパワーアシストウェアの研究開発を進めている。

外骨格を持たないパワーアシストウェアは、空気圧ゴム人工筋ならではの形態であり、小型、軽量、柔軟で安全なパワーアシスト装置としてさまざまな分野での応用が期待される。関連の研究成果について、文献8)、9)、10)などを参照いただくと幸いである。

## 5. 実用化に向けて

大学の研究成果がすぐに実用化されることは容易でない。学会への論文発表は研究者個人で対応できるが、研究成果を実用化するためには研究者個人では多くのハードルが存在する。

産学官連携は、これらのハードルを越えるためのひとつの方法である。わが国では、2002年頃から産学官連携の機運が高まり、コーディネータによる学の研究シーズと産のニーズのマッチングが進められている。筆者も、この時期に、岡山大学地域共同研究センター長として大学の産学官連携を推進する立場にあり、実用化への意識がより高まった。上記の社会福祉施設や岡山大学病院における実証試験や経済産業省地域新生コンソーシアム事業の実施などはその一環である。地域新生コンソーシアム事業では岡山市のダイヤ工業とご縁ができ、上記のパワーアシストグローブの商品化につながった。同社とは、現在も空気圧ゴム人工筋を用いた歩行支援装置や腰部支援装置などの実用化と社会への普及に向けた取り組みを続けている。

大学の研究成果を実用化するためには、社会の課題を念頭においた取り組みと価値観を共有する人との出会いも重要であると考える。

## 6. 課題解決のキーテクノロジーに

空気圧研究の特徴は、その対象を生産工場内に留めず、ロボティクスやメカトロニクスなどと融合することにより、広く異分野まで拡張した点である。種々の応用分野が考えられるが、たとえば、人間との接触が避けられない福祉介護分野では空気圧の柔軟性が有用である。

現在、福祉介護分野では介護現場の労働改善の一つの方策として介護ロボットの導入が喫緊の課題である。

現状の介護ロボットは、開発されている技術と利用者のニーズにギャップが生じるなど、広く普及しているとは言い難い状況である。筆者らは、このような状況に対応するため、2018年11月に美作大学を拠点として「介護ロボット研究会」を設置した。本研究会は産学官および福祉介護施設などとの連携組織であり、ロボット開発者と利用者が情報交換や協議をする場を設けることにより、現場のニーズを反映した介護ロボットの開発や製作、実用化の推進を図る。

図5は、厚生労働省と経済産業省が示したロボット介護機器の重点項目の一部であり、装着型の介助や移動支援のイメージである。このような用途において、空気圧は介護ロボットの課題解決のためのキーテクノロジーとなる。特に空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストウェアは介護者の負担軽減や被介護者のQOL向上などへの応用が期待される。



図5 ロボット介護機器の重点項目の例  
(厚生労働省・経済産業省資料より引用)

これらの実現のためには、基礎的な要素研究に加えて総合的な研究が求められる。介護ロボットを適切に制御するためには、たとえば、AI（人工知能）の導入が効果的な場合もあろう。実用的なシステムを完成するためには、空気圧分野のみに留まることなく、適切なマネジメントの下で総合的な異分野融合研究が求められる。

## 7. おわりに

空気圧研究を始めてから40年間の取り組みを紹介した。空気圧シリンダの位置決め、アクティブエアサスペンションや空気圧ロボットの制御、空気圧

ゴム人工筋の開発と装着型パワーアシスト装置への応用など、空気圧のイノベーションに向けて一連の研究を実施した。

工学研究には社会との関連が求められ、自分の研究が世の中でどう役立つか、その研究の先に何があるかなどを常に考えておく必要がある。このような観点から、空気圧の応用を意識して、企業や医療分野などとの共同研究を推進した。筆者らのこれまでの研究成果がどれほど社会の役に立ったのかは定かでないが、一人でも多くの研究者や技術者諸兄が空気圧に関心を持つ縁となれば幸いである。

これらの研究は良き指導者や研究室のスタッフと学生諸君の協力によるものであり、関係の皆様に厚くお礼を申し上げる。

また、本稿の執筆中に花房秀郎先生の訃報をお聞きした。冒頭で述べたように筆者を空気圧へ導いていただいたのは花房秀郎先生である。稿を閉じるにあたり、先生のご指導に心より感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 花房秀郎, 則次俊郎: 空気圧シリンダの高精度位置決めのための圧力制御方式, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 47, No. 415, p. 328-336 (1981)
- 2) 則次俊郎: 電空比例制御弁を用いた空気圧モータの速度制御, 油圧と空気圧, Vol. 16, No. 4, p. 288-295 (1985)
- 3) 則次俊郎, 和田力, 矢野坂雅巳: 空気圧サーボ系の適応制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 24, No. 11, p.1187-1194 (1988)
- 4) 則次俊郎, 安藤文典, 山中孝司: ゴム人工筋を用いたリハビリテーション支援ロボット (第1報 インピーダンス制御による訓練運動モードの実現), 日本ロボット学会誌, Vol. 13, No. 1, p. 141-148 (1995)
- 5) Toshiro Noritsugu, Daisuke Sasaki, Masafumi kameda, Atsushi Fukunaga and Masahiro Takaiwa: Power Assist Device for Standing up Motion Using Pneumatic Rubber Artificial Muscles, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 19, No. 6, p. 619-628 (2007)
- 6) 佐々木大輔, 則次俊郎, 山本裕司, 高岩昌弘: 空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 5, p. 640-646 (2006)
- 7) 小西秀和, 則次俊郎, 高岩昌弘, 佐々木大輔: “筋電”により人間の意思を反映したパワーアシストグローブの制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 1, p. 59-65 (2013)
- 8) 則次俊郎: 空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストウェアの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 4, p. 222-227 (2015)
- 9) 則次俊郎: 社会実装のための次世代アクチュエータ, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 9, p. 660-663 (2015)
- 10) 則次俊郎: 柔軟構造のフルードパワーアクチュエータの展望, フルードパワーシステム, Vol. 48, No1, p. 7-11 (2017)

(原稿受付: 2019年10月30日)

## 解説

## 研究と学会活動の回想，学会への期待—機能性流体分野

## 著者紹介

なかのまさみ  
中野政身

東北大学未来科学技術共同研究センター  
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1  
東北大学産学連携先端材料研究開発センター内  
E-mail : masami.nakano.b2@tohoku.ac.jp

1982年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同年山形大学助手，助教授を経て，1997年同教授，2008年東北大学教授流体科学研究所，2018年同教授未来科学技術共同研究センター，現在に至る。機能性流体，流体関連振動・騒音，振動制御などに関わるスマート流体制御システム工学に従事。

## 1. はじめに

日本フルードパワーシステム学会が創立50周年を迎えられましたことに心からお慶びを申し上げます。同時に，これまで本学会の発展に多大なご尽力されました諸先輩方に敬意を表します。

本学会に著者が入会したのは大学院博士後期課程の2年生の頃で，大変ありがたいことに当時青田刈りで山形大学工学部精密工学科の自動制御の講座に助手（現在の助教）として採用していただくことが内々で約束されておりました。博士論文研究が「産業用の高圧ガスバルブから発生する騒音・振動の解明と低減化」に関するものでしたので，どちらかという流体工学の分野の研究でした。自動制御の分野には直接的には関係していませんでしたし，特に，メカトロニクス・ロボティクスの分野を開拓してほしいとの要請もあったことから，これまでの自分の流体工学の研究分野（高速空気力学）を活かして，かつ制御工学分野との融合がある当時の日本油空圧協会への入会を博士課程の指導教員から勧めがあり入会しました。

博士後期課程で学位を取得後，山形大学に赴任してからは，メカトロニクス・ロボティクスの分野でそれまでの研究分野を活かせるということで，空気圧制御の研究に主に取り組みました。空気圧シリンダーや空気圧ゴム人工筋などの空気圧アクチュエータのモデリングと特性解析を手始めに実施し，かなりの精度で特性をシミュレーションできるようにし，

空圧シリンダーの位置決め制御，空気圧シリンダー駆動2リンクマニピュレータの姿勢によって変化するマニピュレータ定数に適応する適応制御，2リンク空気圧ゴム人工筋駆動マニピュレータによる力と位置のハイブリッド制御などの研究を実験とシミュレーションの両面から展開してきました。日本フルードパワーシステム学会には，上記の空気圧制御の分野ではなく，むしろその後1994年ごろから研究展開を始めた機能性流体関係の分野で，大きく係ることになりました。そのような関係で，今回も機能性流体分野での執筆依頼がありましたので，本学会との係りなども含めて，創立50周年にあたりフルードパワーにおける機能性流体分野の著者自身の研究（ER/MR流体フルードパワー）と学会活動を振り返るとともに，機能性流体分野の展望と本学会への期待を述べさせていただきます。

## 2. ER/MR流体フルードパワーの研究展開

## 2.1 ER/MR流体の創製とそのレオロジー・流動特性評価に関する研究

外部電場や磁場の作用のもとで流体のレオロジー特性が変化する粒子分散系ER (Electro-Rheological) 流体やMR (Magneto-Rheological) 流体の基本的レオロジー特性（定常，ヒステリシス，動的粘弾性（動的モデルの構築も含む）などの特性）と流動特性について検討し，それらの諸特性を把握して，その特性を活かした特徴的な応用機器の開発とその制御法の提案に結び付けている。壁面が相対運動するせん断流れやスクイーズ流れモード，固定壁面間の圧力流れモード（バルブモード）などにおけるER/MR流体のレオロジー・流動特性や電場や磁場に対する応答速度等の諸特性を測定する装置を考案・開発し，DC，AC，PWMなど各種の印加電圧信号に対するそれらの基本特性について実験的に検討し，粒子のクラスター形成，凝集，相分離現象などの発生と関連して流れモードや印加電圧信号の違いによって大きくER/MR効果が異なることを明らかにしている。特に，圧力流れモードでの定常流や往復振動流におけるER/MR流体のレオロジー特性を把

握し、その動的機械モデルを提案・構築して、圧力流れモードを用いたダンパの発生減衰力予測に活用してきた。また、MR流体の粒子沈降と使用に際してのシールの必要性を回避する目的で、スポンジ・不織布等の多孔質体にMR流体を含浸させたMR流体コンポジットを創製し、その往復せん断モードにおけるレオロジー特性の把握とその動的機械モデルの構築を行い、MR流体コンポジットを用いたせん断モードダンパの設計に供している。

各種用途に適した新規ER/MR流体の創製とレオロジー・流動特性に関する研究も実施してきた。新規ER流体に関しては、ER流体を作動流体とするMicro Fluid Power Systems (MFPS) の構築を目的に、そのアクチュエータを駆動するより微細な流路でも使用可能なER流体として、低い基底粘度でER効果もより高く時間的にも安定したER効果の得られる400nmのTiO<sub>2</sub>のナノ粒子分散ER流体を開発している。新規MR流体としては、分散媒として比較的高い粘度のシリコンオイルを用いた粒子沈降が回避できる高粘度MR流体、マイクロ粒子にナノ粒子を混合することにより比較的高いMR効果が得られるマイクロ・ナノ粒子混合MR流体、分散媒として液体を用いないでかつ流動性を高めた鉄粒子パウダーからなる高性能なドライMR流体などを新規に創製するとともに、開発した磁場印加型平行円盤レオメータによって、それらの磁気レオロジー・流動特性等を評価している。

## 2.2 ER流体のフルードパワー分野への応用展開

ER流体のフルードパワー分野への応用研究としては、まず、マイクロ粒子分散系ER流体を用いた拮抗型ベローズ可変減衰力ダンパを開発し、その除振テーブル用の除振脚への応用と振動制御について理論・実験両面から検討し、ダンパの発生減衰力を予測するとともに、ダンパの発生減衰力が印加電圧の2乗に比例することを考慮した振動体速度の平方根をフィードバックする非線形スカイフック制御を提案し、効果的に振動系を線形化でき高性能な振動制御特性を実現している。さらに、同じER流体ダンパを用いたタイヤ・車体からなる2自由度車両サスペンション系を構築し、ローパス・ハイパスフィルターを用いたタイヤおよび車体速度の非線形フィードバック制御を適用し、効果的なサスペンション制御系を提案している。

粒子分散系ER流体のMFPSへの応用を目的に、前述したように微小間隙を流れるER流体のレオロジー・流動特性を明らかにするとともに、フォトリソグラフィ法を用いて3ポートマイクロERバルブを製作し、2つのERバルブにPWM制御を適用して連

続流量制御を実現している。さらに、可動部にポリウレタン膜(30 $\mu$ m)からなるダイアフラムを用いた3ポートマイクロアクチュエータをフォトリソグラフィ法によって構築している。ダイアフラム制御ポートの上流および下流部にそれぞれERバルブを配置し、両ERバルブをPWM連続流量制御することにより、ダイアフラムの変位を制御する構造となっている。PID位置フィードバック制御により、バンド幅2.2Hzの高精度なERマイクロアクチュエータ制御を実現している。さらに、マイクロベローズ及びポリウレタン膜ダイアフラムを用いた2種のER流体マイクロアクチュエータからなる6個の触知ピンをもつER流体駆動点字表示システムを実現している。

## 2.3 MR流体のフルードパワー分野への応用展開

MR流体は、ER流体と比較して約50~80倍程度の大きなせん断応力を発生することと印加磁場を可変するために電磁石を必要とすることなどから、比較的サイズが大きくかつ大きな力を必要とする用途への応用が期待される。そのため、MR流体のフルードパワー機器への応用研究として、ダンパ、ブレーキ、クラッチなどのフルードパワー要素機器への応用とそれらを活用した各種のスマートマシンシステムに関する研究開発を行ってきた。

### 2.3.1 MR流体ダンパへの応用展開

MR流体を活用したダンパとして、上述した拮抗型ベローズER流体ダンパのER流体バルブ部を円筒状コイルとその発生磁界方向に対してMR流体が垂直に流れるように構成したジグザグ流路をもつMR流体バルブに変更し、2つのベローズ室内にMR流体を充填した拮抗型ベローズMR流体ダンパを開発し、除振制御への有効性を実証している。また、停電時にも信頼性をもって作動するMR流体を使ったダンパとして、電気的な制御系をいっさい使わずに、永久磁石とチェックバルブを用いて変位×速度の正負によって減衰力が変化するMR流体ダンパを開発し、その建築物の免震制御への有効性を実証している。建築物の免震・制振システムにMR流体ダンパを適用する際には、長時間静置時のMR流体中の分散磁性微粒子の沈降が信頼性などの実用上の問題となる。MR流体を多孔質体(不織布)に含浸させることで、この粒子沈降の問題が解決でき、かつ密閉のための流体シールが不要なMR流体多孔質コンポジットを活用した回転型MRブレーキとその回転を直動に変換するボールネジとからなる20 [kN]級の免震・制振用の直動型可変減衰力MRダンパ(最大全長800 [mm], ストローク $\pm$ 100 [mm])を開発している。

### 2.3.2 MR流体ブレーキへの応用展開

コイル巻線用の線材の張力制御装置への応用例と

して、線材がMR流体を含浸させた多孔質体（不織布）の中を直接通過することによりMR流体の抵抗力を受けて制動する機構を採用したMR流体コンポジットブレーキを用いたコイル巻線用張力制御装置を開発している。従来の回転プリー・ブレーキ系を用いた張力制御装置のブレーキ系の回転慣性に起因する張力変動を回避することができ、特に、線速の変動が著しい非円形コイルの巻線時に従来品に比して張力変動を1/5程度へ低減できている。

誘導電動機などを用いた簡便サーボ機構においては、停止時の回転慣性による停止位置のズレをなくする目的で機械的な摩擦式電磁ブレーキが多用されているが、これに替わるMR流体を用いた単盤型のモータ用励磁作動型および無励磁作動型電磁ブレーキを開発し、低騒音、耐摩耗性、長期安定性などの面で高性能なMR流体電磁ブレーキを実現している。

小型の多盤型MR流体ブレーキを膝継手に活用して随意に制御可能な大腿義足を開発している。使用者の随意制御の情報を取り出してMR流体を用いた可変制動力ブレーキによって膝の抵抗をコントロールし、義足使用者が随意に膝継手のLock・Yielding・Freeを切り替えて階段や坂道の昇降を交互のステップでスムーズに歩行することを可能としている。

MR流体クラッチ・ブレーキの比較的負荷の大きい動力伝達・制動系への応用の手始めとして、国内ブレーキメーカーとの共同で小型EV向けのMR流体ブレーキを設計・開発し、そのブレーキ特性を把握するとともに、実車（超小型EV）の4輪に搭載し走行試験を実施して、十分なブレーキ性能とブレーキフィーリング制御・ABS制御の適用など高い制御性があることを実証している。さらに、高負荷のエネルギー消散をとまうクラッチ・ブレーキへの適用を前提に開発した、通常のMR流体より幅広い温度範囲でかつより高い性能を発揮する流動性を高めた鉄粒子パウダーからなるドライMR流体を用いた車両用ブレーキも開発し、実車に搭載して試験走行を実施している。今後、スマートモビリティなどへの実用展開が期待される。

### 2.3.3 MR流体クラッチへの応用展開

MR流体クラッチは、印加磁場（コイル電流）によるトルクリミッター機能および一定トルクでの滑り回転機能を発揮するため、モータ等の他の動力源と組み合わせることによってバックドライバビリティが確保できようになり、人と接触して用いるロボット等の安全・安心の向上と確保に寄与することが期待できる。その例として、カップ型MR流体クラッチとモータからなるアクティブ負荷機を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システムを開発した。また、機能回復訓練用の下肢装着型パワーアシスト

装具のバックドライバビリティを確保することによって安全・安心の向上を目的に開発した、サーボモータと多盤型MR流体クラッチそして各種減速機からなるMR流体アクチュエータも開発している。

## 3. 本学会における活動と期待

### 3.1 研究情報の発信・交流の場としての学会

第2章の研究成果に関しては、本学会の春秋の講演会やJFPSフルードパワー国際シンポジウムにおいて特別講演をしたり企画したOSでの研究発表をしたり、さらに学会誌「フルードパワーシステム」の解説記事として寄稿したりして、著者自身の研究成果の情報発信と情報交換および関連情報の収集を行ってきた。これらの活動が可能だったのは、本学会がカバーするフルードパワーとして、油圧、空圧に加えて機能性流体をかかげており、学会内に機能性流体に関わるひとつの学術コミュニティが形成されていることによると思っている。今後、このコミュニティを一層広げるとともに、質・量ともに向上させ、その研究成果を産業界へとつなげることが期待される。本学会のひとつの強みは、油圧、空圧分野に特化した産業界が存在することであると考えている。この見地から、油圧、空圧分野での一層の産業界との連携が強化され、本学会が核となって機能性流体の分野でも大学の学術研究だけでなく機能性流体に関わる産業がひとつでも多く創出されることを期待している。

### 3.2 研究委員会での活動と期待

1996年から現在まで、本学会内に機能性流体に関する6つの研究委員会（各3年間）を継続して設置し、委員長として活発な調査研究活動を推進してきている。これらの研究委員会での活動を通じて、本学会の機能性流体を活用したフルードパワー技術分野の研究展開や発展、並びに学術的交流、そして機能性流体コミュニティの一層の拡充に関して何かしらの貢献ができたのではと思っている。機能性流体のフルードパワー分野への展開に関して一緒に活動してきた研究委員会のメンバーには心から感謝の意を表す。今後とも、このような研究委員会などを活用して、数多くの学術コミュニティを形成することによって、会員の各コミュニティへの参加および非会員の入会を勧誘するなどして、コミュニティの量と質を向上させることによって、学会の一層の発展が期待できる。

末筆ながら、本学会の益々の発展を祈念申し上げます。

（原稿受付：2019年12月1日）

## 解説

## JFPS学会50周年記念に寄せて—学会の未来への期待

## 著者紹介



きた ばたけ た もん  
北 島 多 門

株式会社NF1代表取締役  
〒141-0032 東京都品川区大崎2-9-2-1204  
E-mail: nf1corporation@p05.itscom.net

当学会：賛助会員、フェロー、正会員、元副会長・理事、1998—2018：SMC株役員・顧問、1994—1998：MMAJ理事、1991—1994駐英公使、1967—1991通産省（現 経産省）、中小企業庁等の職歴（1975：英国留学、1980—83在シドニー総領事館領事）

## 1. はじめに

「本学会50周年、心からおめでとうございます。」

本学会創立50周年を迎えて、お喜びの言葉を述べたい。本誌編集委員会から、私に、50周年記念誌に投稿をしてほしいとの依頼があった。私は、昨年（2018年）7月にSMC株式会社を退社しているので、「遠慮の気持ち」があった。しかし、本学会のこれからの50年を見据えると、学会活動の過去を思い出しつつ、将来に向けて何らかの視点や見方を提示できれば、と感じ、お引き受けをすることにした。

私は、本学会の正会員で「フェロー」にも登録されているが、退社後「株式会社NF1」を創設した。本学会の賛助会員に（株）NF1になることをお認めいただいた。その諸活動により、賛助会費を納めることができている。当会社としても、本学会のご発展を、一歩下がって心から祈っているのです。

## 2. 本学会活動への対する基本的認識

今後の50年に向かって、本学会の基本的認識や期待を述べてみたい。

「本学会とは、何か」、今一度、基本に戻り、学会活動を通じて感じたことを思い出し、現時点で再考した事柄を、解説論文ではなく、随筆調で述べたい。

もちろん、現在本学会で行われているイベントなどは、「これは、是」として、さらに「進化」、「深化」させていくことの重要性は十分にあり、適切対応が必要です。

以下、私なりの3つを述べたい。

- 1) 本学会は、フルードパワーの学術の基本の基を守り続ける場である。  
油、水、空気は今後50年も必須で、何ら変わらない。  
したがって、これらに関係する学術の必要性は変わらない。フルードパワーにかかる学術は、地味で基本的なものであり、目立たないものである。  
この基本認識をしっかり持って、本学会もその活動を展開し、強化していくことが重要。  
ついつい目先の技術動向に関心が集まり、それがあたかも本流であると考え、錯覚するかもしれない。そうなることは当たり前のことかもしれないが、本学会は、そのみのために存在しているのではないと考えることが重要です。
- 2) 本学会は、物事を見る眼、大きな視点、広い視野を持つことを養成する場である。  
現在の「管理社会」で、人を含むデータが管理されている。コンピュータの管理能力は、計り知れないものがあり、それから逃れられない。その中にいると、いつの間にか大きな視点、広い視野の「眼」が曇りがちである。  
「管理の粹」にとどまり続けると、ルーティン・ワークで生涯を終えてしまう。若い正会員の方々に、自由に触れ、議論し、討議する場を設けることはきわめて重要です。今から先をどう見るかという視点、幅広い考え方の形成ができるようにすることが必要です。  
管理する側、管理する仕組みを作る側に回らないと大きな新しい道を歩めない。そのためには大きな視点、広い視野を養う場が必要だ。本当の意味で、「頭脳を鍛える場」でもある。  
本学会には、それを期待したい。
- 3) 本学会は、現代の多様な価値を認める心を養い、絶えず挑戦する気概を養う場である。

AI（人工頭脳）や自動運転など最近の技術を実現しようとするれば、ハード面の装備が必ず必要ですが、そのハード装備を製造しようとする、工作機械、組立機械などのハードな設備が必要です。その設備が稼働するためには、フルードパワーが必須で、それを支援するフルードパワーの学術がどうしても欠かせません。

現代社会の産業技術の展開は、めざましいものがあり、一ヶ月前の最新の技術も、本日時点ではもう古いかもしれない。

フルードパワーの学術は、製品生み出しの「要素技術」といわれるように、その意味は、「基礎になり、きわめて重要な技術」という意味が込められている。

フルードパワーの部品は、シリンダー、バルブ、補機など、何万種類もあり、まさに多様に展開されている。

世界がこれだけ狭くなり、距離の概念がなくなり、データやりとりの分野は無限に拡張、発展している。その際、多様な考え方や多様な価値感を受け入れていかないととても追いついていけない。

特に、今後の世界は、人間一人一人の能力や個性が尊重される方向に動いていくでしょう。

多様な価値観、論理、学術などが、存在し続けようになり、容認することにならざるを得ない。その中で、「発展・成長」や「進化」、「深化」が行われると思われる。

本学会はこのような方向の中で、「生き延びていく必要」がある。そのためには、「多様性」を認め、「切磋琢磨」することが必要で、そのような機会の場を提供する本学会でありたい。

「切磋琢磨」、「挑戦」の気概も忘れてはならない。

### 3. 本学会が活動を展開するためには、財務基盤の強化が必要——50年後も変わらない

以上2.において、本学会への期待を込めて3点申し上げたが、その底流では、財政基盤は重要である。

本学会が創設されて、恒常的に財政を支援してこられたのが、SMC(株)の高田会長であり、本学会でも「高田賞」を設けるなど、そのご支援に应运ってきた。

これからの50年、本学会が発展、進化していく

ためには、財務基盤の強化は絶えざる課題です。

財務基盤の強化のため、財務基盤強化委員会が本学会の直属委員会として設置されている。

私は、本学会副会長を拝命した際、会社経営の視点から、当時の香川本学会会長（東工大）のもと、財務基盤強化の議論と実行に務めた。

財務基盤の強化のため、より充実した議論と実行が求められ、この課題を絶えず乗り越えようとする試行と努力が求められる。恐らく、どこまでやっても「これで完成」、「これで解決」ということはないのではないか。そのためには、

- 1) 皆様の忌憚のないご意見を出していただくこと
- 2) 本学会の魅力をいかに高めること

の基本を維持し、そのための議論と実行が重要です。

### 4. 締め言葉……最近の感想

気候などの天変地異が起き、最近では「二度あることは、三度あり」、「災害は、忘れた頃にやってくる」、「百年に一度有るか無いか……」などが聞かれ、「危機管理の重要性」が指摘されている。同意であるが、その通りに従順であると、「それで身が安全か」というと必ずしもそうではない。

「何でもあり」が正直なところだ。

また、社会のルールを守り、コンプライアンスが重要といわれる。同意であるが、ルール違反だから「アウト」、社会から締めだそうという議論が強すぎやしないか。「アウト」になったとしても、リターンマッチ・再挑戦の機会が与えられるようにすることが重要なことではないか。「閉塞感」や「停滞」は避けたい。学術の世界も、失敗はある。失敗を恐れず、果敢に再挑戦したい。学術の進歩においてもそんな「汪洋さ」がほしいと感じる。

「よくよく観察」

「よくよく吟味」

「よくよく鍛錬」

「よくよく精進」

は、本学会活動にも、当てはまることです。

本学会の今後50年の成長・発展、進化、深化を祈念したい。

再度、おめでとうございます！

(原稿受付：2019年11月5日)

## 解説

## 油圧機器設計の回想、油圧技術者／設計者への期待

## 著者紹介



ひだかずお  
肥田一雄

川崎重工業株式会社顧問  
〒651-2239 神戸市西区榎谷町松本234  
E-mail: hida\_k@khi.co.jp

(一社)日本フルードパワーシステム学会会員、  
(一社)日本機械学会会員。

## 1. はじめに

油圧機器の向け先分野をモバイル（建設機械、農業機械等の車輛）、インダストリ（産業機械、設備として稼働）と大別して考えると、モバイル分野での油圧機器の発展は、質も量も、主として油圧ショベルに牽引されてきたと感じる。「油圧ショベル大全」<sup>1)</sup>に以下のようなことが記されている。

「戦後、日本の油圧ショベルの大市場に多くの建設機械メーカーが参入し、競争環境のなかで切磋琢磨した結果、日本の油圧ショベルの技術レベルは設計技術、生産技術の両面で世界トップとなり、現在に至っている。また日本製の油圧ポンプ、コントロール弁等の油圧機器やディーゼルエンジンもそれら機器メーカー間の競争や建設機械メーカーとの協業により性能・コストの両面で世界トップクラスとなり、世界シェアも高い。」

油圧技術、油圧機器は全体システムの中で重要な役割を果たしているが、縁の下の力持ちであり、目立たない。油圧機器は本機に対し「補機」と呼ばれることもある。私は「構成機器」という名が良いのではと思う。油圧機器の設計者は機器の性能／機能を最高にしようと思うだけでは十分ではない。「構成機器」ゆえ、本機あるいは全体システムの性能／機能の向上に貢献しているか、そこを主に、第一に考えるように言ってきた。

## 2. 油圧機器設計の回想

私は1978年川崎重工に入社し、当時、油圧機械

事業部で油圧バルブの設計をスタートした。

## 2.1 油圧ショベル用のコントロール弁の設計

1983年から1999年まで油圧ショベル用のコントロール弁の設計を担当した。1983年当時、当社はショベル用ポンプ、旋回モータの製造実績は豊富であったが、本格的なショベル用コントロール弁を設計、製造（社内にて）したことはなかった。西神戸工場にはホーニング盤、スプール外径用研削盤、自動運転スタンドはなかった。設計ノウハウもなく、ショベルメーカーから教わってコントロール弁内の回路を決め、内部通路を設計した。そしてケーシング素材図を描いた。素材図を鋳物メーカーに持って行き、造ってもらえるメーカーを探すところから始めた。

数か月後、コントロール弁試作品ができ、ベンチで評価試験を重ねた。そして実車に搭載し、実車試験が始まった。大変であった。ショベルはブーム、アーム、バケット、走行、旋回と作動アクチュエータが多く、微操作、緩操作、高速操作、無負荷から重負荷と操作が多様である。負荷圧力も積込量、地面の硬さ、姿勢、作動速度により変わってくる。基本2つしかないポンプの吐出流量を、作動すべきアクチュエータにコントロール弁が振り分ける。複合作動の場合、どちらに多く、どちらに少なく、という配分要望があるが、それも動作、姿勢、負荷などで変わってくる。それらの要請をコントロール弁の各スプールのストローク—開口面積特性で満足させ

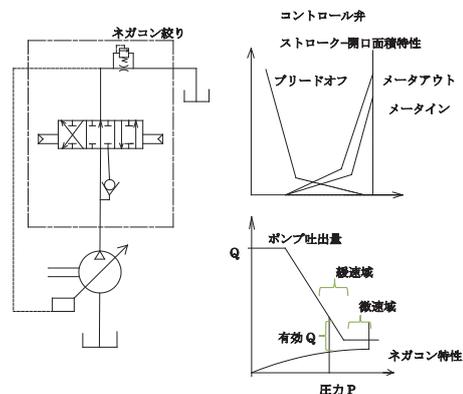


図1 ショベル用油圧システム：ネガティブコントロール方式

ていく(図1)。そういうノウハウは当社になかった。すべてをショベルメーカーから教わりつつやった。

実車テストといって何日もショベルの側にいた。操作を見ては、ショベルの上に登り、スプールを改善型に交換する。そしてまた操作を見て、オペレータ、評価者の意見を聞く。そして最後に、次回の実車テストに持ってくるスプールを検討し打合せする。その繰り返しであった。

ストローク-開口面積特性が十分にマッチしていないと、実機としての操作性が悪くなり、スムーズさが無くなり、ショックも多い。全体としての作業速度も遅くなる。「そういうショベルではオペレータが疲れる。ヒステリシス、ジャンピングの多いリモコン弁では、一日運転しているとオペレータの肩が凝る。そういう実機にはオペレータが乗りたがらない。」そういうことを聞かされながら、実車テストを繰り返していった。

その後、このスプールの開口面積特性を変更して作業性を良くしていく作業のことをTuningと呼ぶようになったが、当時は旋回の停止時、走行の停止時にはスムーズに、という以外、ショベルの操作性、作業性を良くしていくというニーズは当社内では全く理解されておらず、「なぜスプールの量産仕様が何回やっても決まらないのか」との社内からの批判に苦労した。

実際には、その後、量産が始まって、フィールドでの評価を聞き、操作性のさらなる改善のためにスプールをrunning changeしていくのである。それも初めての経験であった。

あわせてリモコン弁(油圧パイロット弁)も開発していた。当時は市場ではコントロール弁のスプールを駆動する方式として、まだリンクによる機械方式と油圧パイロット方式とが混在していた。油圧方式はまだあまり信頼されておらず、操作性の要求の厳しいユーザにはリンクによる機械方式を持って行

くとのことであり機械操作式のコントロール弁も試作した。しかしこの時のリモコン弁の開発の成功もあって(図2)、以後は機械レバー式コントロール弁のニーズはまったくなくなった。

そういうショベルメーカーの場内に行つての実車テストを日本で3社、韓国で3社、中国でも経験できた。いずれも当社製コントロール弁を初めて採用してみるというタイミングであったと思う。油圧機器の設計者とショベルメーカーの設計者が協同して、操作性の良いショベルに仕上げていきたいという強い思いはどのショベルメーカーにおいても共通であった。

油圧機器設計者の目指すべきものは、ショベルメーカーなど本機メーカーから見ての全体システム(当社製油圧機器を含んだ)に対する満足感であり、そして、ユーザ(オペレータ)がそのシステム・実機を操作しやすいと思う満足感である。油圧機器設計者は機器の性能/機能だけを見つめては不十分である。実車テストの経験からそのように思うようになっていった。

油圧機器は「構成機器」ゆえ、機器設計者には本機、全体システムを見て、触り、(可能なら)自分で操作することが重要である。現地・現物、目視、体感、自己操作である。油圧ショベルだけでなく、油圧プレス、射出成型機のような産業機械でも同じことが言えると思う。ただ油圧ショベルは、油圧システムで操作する自由度が高く、応答性、力強さ、正確性、微動作性が操作者によくわかる。私は油圧機器設計者にショベル用油圧機器の担当でなくても、ショベルの技能講習を受けて運転免許をもらい、実際に運転することを薦めてきた。私も技能講習を受け運転免許を持っている。10年、20年先、どんな電気油圧システムになっているのか、それは実際に操作してみることが一番早い理解方法と思う。

## 2.2 産業機械用大型ポンプ

2010年当社は大型の鍛圧機械分野での適用を想定し、斜板形高圧・大容量ピストンポンプの開発に着手した<sup>2)</sup>。(注NEDO助成事業、500MN大型鍛造プレスへの適用を目指した。)押しのけ容積500cm<sup>3</sup>、定格圧力45MPa、最高圧力50MPa。

これだけ高圧、大容量の産業用ポンプとしては、ドイツ製のものしか実績はなかった。

当社の事前検証試験をベンチにて行うが、実機と同じ作動油、負荷条件、実機並みの回路/配管で行うこととした。ただし、実機では1台の電動モータの前側、後ろ側にそれぞれ2台のポンプがタンデムで装着される。それが6セットあり、合計24台のポンプでシステムが駆動されるのに対し、ベンチ試験では電動モータの前側に2台タンデムで装着した。

Dynamic Characteristics (Neutral⇒Full lever : 5sec)

Advantage : Smooth control

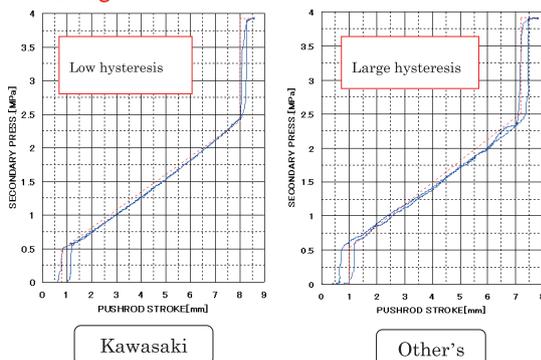
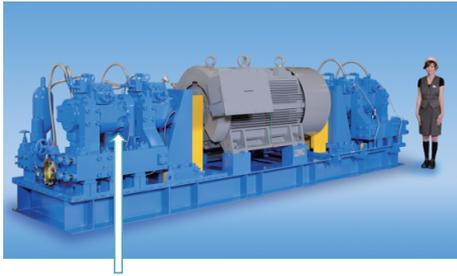


図2 リモコン弁の開発 ストローク-二次圧特性

ベンチ耐久試験も、その実機並み回路上で、実機操業を模擬した負荷条件を与えて行った。

それまでにポンプ単体での耐久試験は済ませていたが、実機並み回路上耐久試験で初めて見つかる課題もあり、事前検証の段階で対応出来ていた。ポンプの開発は完了し、2013年4月、500MN大型鍛造プレスは予定通り立ち上がった(図3)。高圧、大容量の産業用ポンプとして一つの実績を作ったと思う。

油圧ユニット(ポンプ4台)



超高压ポンプ K7VG500



- ・超高压(50MPa)
- ・大容量(500cc/rev)

図3 K7VG500ポンプ, ポンプユニット

### 2.3 斜板式高速油圧モータM7V

2019年当社製「斜板式高速油圧モータM7Vシリーズ」がJFPS技術開発賞をいただいた。本油圧モータは、将来への展開が期待される技術を盛り込

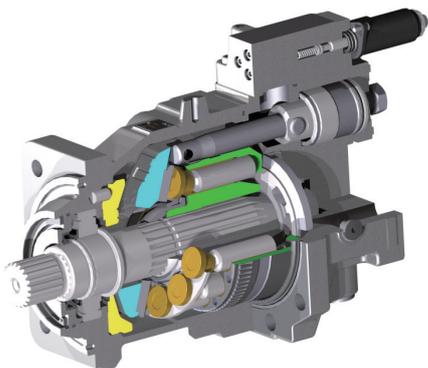


図4 斜板式高速油圧モータM7V構造

み、42MPaと高い定格圧力で $5,000\text{min}^{-1}$  (M7V112)を超える高速運転を実現している

これまで斜軸式ピストンモータでしか実現できていなかった高速回転領域である、そこでの斜板モータの実績を一つ作ったと思っている(図4)。

## 3. これからの油圧技術者、設計者への期待

### 3.1 通路の抵抗, 圧力損失, 流量係数 流体力学の原理, 原則へのこだわり。

与えられた式を使って計算するだけでなく、あるいは数値計算CFD計算を他者に委託するだけではなく、その式がどこから来ているか自分で考え、そこにこだわるようにして欲しい、と設計者に対し思うことが多かった。そのため、2019年当社設計者に対し、自分で以下のような流体力学に関する解説をした。

「その現場、現物大では流れに対し何が支配的か」同じ粘度の水の中でもイルカの泳ぎとゾウリムシの泳ぎは異なる。しかしイルカがゾウリムシの大きさまで小さくなれば、その周囲はゾウリ虫が感じるのと同じ粘い流体になる<sup>3)</sup>。(“現地、現物大での体感粘度”のようなものがあると説明した)

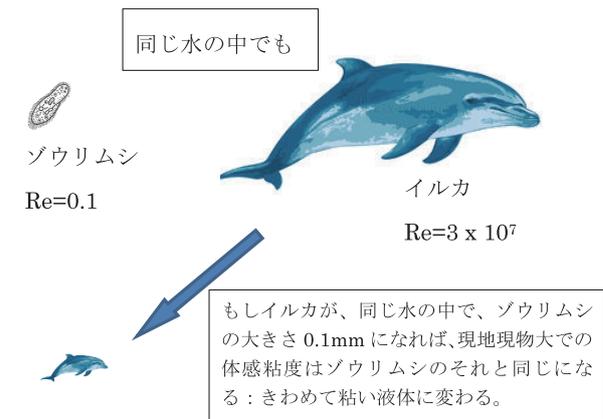


図5 同じ粘度の水の中でのイルカの泳ぎとゾウリムシの泳ぎ

#### ①ベルヌーイの定理<sup>5)6)</sup>

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.}$$

ベルヌーイの定理から広がり管、縮まり管、ベンド等の損失の式が導かれるが、基本的には動圧にある係数をかけたものとなっている。

$$\Delta p = K_* \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

ここまでは粘度 $\mu$ 、長さ $l$ が出てこない。

イルカの泳ぎの世界である。粘性は無視されており、慣性力を支配的に考える。(長さ $l$ の無い)ある局所の圧力損失：動圧分の一部損失である。

②円管内の通路損失<sup>5)6)</sup>

ハーゲンポアゼイユの式を使って、円管内の通路損失が表される(図6)。(層流の場合)ここで初めて、式中に粘度 $\mu$ 、長さ $l$ が出てくる。(ゾウリムシの泳ぎの世界に近くなったから。)

$$\Delta p = \frac{128\mu l}{\pi d^4} Q$$

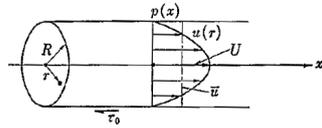


図6 円管内流れ 力の釣り合い

③層流, 乱流の両方を考えてダルシーワイスバッハの式でまとめる。ここで $\lambda$ :管摩擦係数

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

$\lambda$ の中に粘度 $\mu$ があり式中に長さ $l$ がある。

④広がり管, 細まり管, ベンド等それぞれの損失係数を $K_a, K_b, K_c$ とし, それらの局部損失を通路損失に加える。

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 + K_a \frac{1}{2} \rho v^2 + K_b \frac{1}{2} \rho v^2 + K_c \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$= \frac{\lambda}{d} \left( l + \frac{d}{\lambda} K_a + \frac{d}{\lambda} K_b + \frac{d}{\lambda} K_c \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

$l$ が実際管長,  $\frac{d}{\lambda} K_a, \frac{d}{\lambda} K_b, \frac{d}{\lambda} K_c$ がそれぞれの等価管長である。管径が均一で流速が $v$ で一定という大胆な仮定を置いているが, 粘性があって初めて起こる管内圧力損失と, 粘性に関係ない局部損失をたして全体圧損を簡便な形で表せている。(イルカとゾウリムシの世界の共存)

⑤ベンドの話

ベンドについて(図7)cのような形状でかつ $Re$ が大きければ $K_c \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$ の形(動圧の一部損失)で計算すればよい。bの形状で $Re$ が小さければ, aのように直管で同じ長さを持つとしてハーゲンポアゼイユの式で, 計算する。(曲がりの影響, すなわち曲がりでの動圧分の損失は無視できる。)

$$\Delta p = \frac{128\mu l}{\pi d^4} Q$$

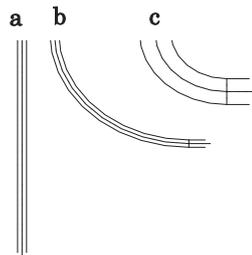


図7 ベンド, 細曲管 細直管

⑥絞りの流量係数(図8)

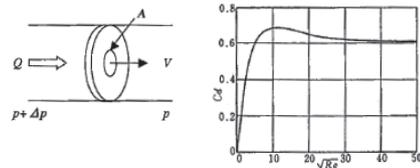


図8 絞りの流量係数<sup>8)</sup>

$Re > 10^2$ では流量係数は0.6から0.8であるが,  $Re$ が $10^2$ より小さくなれば0.6よりもさらに小さくなる。 $l$ が $d$ に比し無視できなくなると $Re$ の代わりにチョークナンバー $\sigma$ を横軸にとり整理するが,  $\sigma = \frac{d}{l} \cdot \frac{\pi}{4} Re$ であり,  $\frac{l}{d}$ が $10^{-1}$ のオーダーであることを考えれば, ここでも $Re$ が支配的である。

$v, Re, (\text{そして } \frac{1}{2} \rho v^2)$ を常に電卓で計算する

ようにしておく。 $Re$ が $10^2$ のオーダーになれば要注意で, 便覧, ハンドブックで流量係数 $c$ を見に行く。

3.2 振動問題への技術的こだわり

「油圧基幹技術」<sup>4)</sup>には「バランスピストン型リーフ弁のピー音はパイロット弁の自励振動であり, 約1000Hz, 程度と高く, 主ピストン部に設けた細孔を小さくする, パイロット弁シート部のシート径を小さくするなどの対策」が記されている。当社でもパイロット弁シート部上流に絞りを設ける, 主弁ピストンの重量を変える(ばね室容積を変更する)等, 種々の対策経験がある。ひとたびピー音が発生すると, 対策は試行錯誤に陥り, その抑制には多大な時間, コストを要していた。

2014年, 当社では主弁プランジャの動的CFD解析を行った<sup>9)</sup>。時々刻々と変わるプランジャの位置で, 流体力をCFD解析で求め, プランジャと壁面間の通路形状も時々刻々変わるので, セル形状を変形させる手法(メッシュモーフイング)を適用した(図9)。解析結果で5.3kHzの自励振動が起きていて, 実験での5kHzとほぼ一致した。別のCFD解析でインパルス応答を調べたが, 主弁プランジャのばね室の油の圧縮性ばね効果による主弁の固有振動数が4.5kHz付近にあることがわかった。その固有振動数が油通路の共鳴周波数と近接しているため自励振動が発生したと考えられる。

実車の負荷も関係する低周波(1Hz前後)<sup>4)</sup>の振動も多く経験した。そのひとつにネガコン方式のショベルで緩速度での旋回中に起きる振動がある。旋回速度が上がる→負荷圧が下がる→ポンプ圧が下がり, 旋回速度が下がる→ネガコン(余剰油)信号

も下がる→ポンプ吐出量が上がりポンプ圧が上がり  
→回転速度が上がる、という繰り返しである。

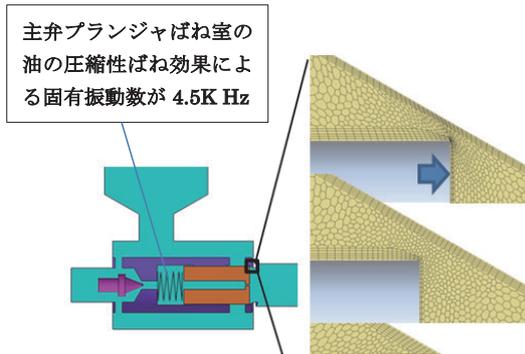


図9 リリーフ弁ピー音 CFD解析：メッシュモーフィン  
グによるプランジャ振動の考慮

コントローラ→電磁比例弁→ポンプの傾転量→実機の動き、の間で振動が起きるケースもある。低温、高温時、それぞれ異なった形態で振動が発生する事例も経験した。JSME振動学<sup>10)</sup>というテキストがあるが、その中に油圧システムの振動を扱っている例は見当たらない。油圧技術でも「振動学のテキスト」のようなものが望まれる。これから油圧技術の世界に入って来ようとする人が見られるようにしてほしい。

### 3.3 相似性・非相似性へのこだわり：シューを例に

ポンプ、モータのシュー（スリッパとも呼ばれる）は挙動が複雑で技術的にも興味深い。多くの研究、解析が行われている<sup>11)12)</sup>。ある局面での解析はできても、全体の挙動を連続的に解析するのは難しいと思える。文献<sup>12)</sup>によれば「あくまでも限定された条件下において物理現象を表現した数式に数値を代入してコンピュータで計算した結果であることは念頭においておくべき——。油圧機器のシミュレーション結果の活用には、経験の深い油圧技術者の目と勘が頼りになる。」目と勘はサイズを小から大まで横にらみすることで養われると思う（図10）。どの特性で相似性が成り立ち、どの特性では相似性が成り立たない、そしてそれは何ゆえか？ という検討を続けて欲しい。

油膜厚さ、材料強度の寸法効果、実物面粗さ、前述の現物大・体感粘度、等、相似性をなしたせなくする要因は多いが、そのうち何が支配的か検討す

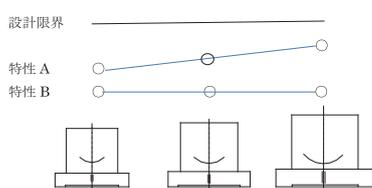


図10 シュー（スリッパ）小、中、大

る努力を続けてほしい。

## 4. おわりに

広がり管、縮まり管、バンド等の損失の係数は、機械工学便覧<sup>7)</sup>で見ると、原典は1926年から1958年の海外の論文である。機械工学便覧の編のタイトルも「水力学および流体力学」である。水を使っての水力学として古くから研究されてきていることがわかる。

油圧機器では-20℃でもリモコン弁は小径の配管を通して、コントロール弁に油で信号を送る。油圧ポンプもそれなりに油を吐出する。水ではそうはいかない。また今の油圧シリンダでは35MPaで水の場合よりはるかに大きな力を出せる。その結果、油圧ショベルがコンパクトにでき、トラックの荷台に乗せて災害現場まで運ぶことができる。現地では自分が通れる幅さえあれば、坂道を自分で作ってでも、小川を腕を使って乗り越えてでも、自分で作業現場まで走れるのである。そして狭いところでも力強く作業ができる。

「ショベル大全」に「1921年、ピエトロ ブルネリはブルネリ製作所を開設。仕事の関係で、よく建設現場を訪れた。その時に、電気モータや蒸気動力を用いた機械式ショベルが、土砂をトラックに積み込む動作がとても遅く、信頼性に乏しい作業を見て、油圧ショベルの発想が芽生えたとされる。設計を開始すると、市場に適切な油圧機器が存在しないという大きな壁に直面した。」とある。

隠れているが、（目に見えないところに有るが）油圧機器、油圧技術の必要性は昔も今もこれからも高い。

### 参考文献

- 1) 岡部信也、杉山玄六：改訂版 油圧ショベル大全、日本工業出版
- 2) 服部智秀：鍛圧機械用高圧大容量油圧機器について、油空圧技術（2018）
- 3) 白倉昌明、大橋秀雄：流体力学(2)、コロナ社
- 4) 日本フルードパワーシステム学会：油圧基幹技術—伝承と活用—JFPS編、日本工業出版
- 5) 石原智男：油圧工学、朝倉書店
- 6) 石原智男他：油圧工学ハンドブック、朝倉書店
- 7) 日本機械学会：機械工学便覧 改訂第6版分冊発行 第8編、水力学および流体力学
- 8) 日本フルードパワー工業会：実用油圧ポケットブック
- 9) 高橋正憲：油圧リリーフ弁の異音現象の非定常数値流体解析、油空圧技術（2015）
- 10) 日本機械学会：JSMEテキストシリーズ 振動学（2013）
- 11) 風間俊治：斜板式アキシャルピストンポンプ・モータを対象としたマルチランド・スリッパの数値モデリング、平成28年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集2016
- 12) 風間俊治：液圧機器摺動部の数値解析、油空圧技術2018. 8

（原稿受付：2019年11月4日）

## 解説

## 筆者のフルードパワー 50年

## 著者紹介



みや かわ しん べい  
宮川 新 平

(一社)日本フルードパワー工業会  
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8  
機械振興会館311号室

E-mail: miyakawa-shi@jfpa.biz

1970-1986年油圧技術、1987年以來世界の水圧技術の調査、ADS技術開発、製品化、市場調査、市場導入に従事、日本フルードパワーシステム学会評議員、日本フルードパワー工業会技術部長、水圧部会長、工学博士。

## 1. はじめに

フルードパワー技術との出会いは新入社員(1970年4月)の精密事業部での技術開発が始まりである。実務と研究を学んだ。その後当時の西ドイツ留学への機会を得て、油圧技術の研究手法を学ぶと同時に同研究室のベルギー人、トルコ人、ドイツ人そして日本人の異文化交流を経験する。帰国後、留学先の研究所所長W. Backe教授の紹介を得て欧米と日本を駆け巡る水圧技術調査と実際に学ぶ。新技術開発と新市場導入に向けて、これまでの油圧技術資料をすべて廃棄し、事前調査もない即断即決の水圧技術開発に着手する。「油圧・水圧の50年間」、多くの先生方と日本フルードパワーシステム学会、日本フルードパワー工業会と企業の方々から多大のご支援とご指導・ご鞭撻を賜った。ここに衷心より御礼を申し上げて「私のフルードパワー 50年の歩み」を「水圧技術30年」に絞って記述する。

## 2. 油圧技術と出会う

会社の主たる業務は海外との技術提携によるポンプ・モータ製造・販売であるが、筆者は「ブレーキ弁」に係るテーマを選択した。船用ウインチ、ステアリング、車両の旋回、走行などの機械装置へ応用である。研究、開発そして製品化、現場作業などの一連の業務を経験した。この業務は後々水圧技術立ち上げに役立つことになる。そこで起こる多くの現象から研究に携わる。テーマを決めたらやり抜くこ

との大切さを体験できた。

## 3. 一度目のドイツ留学

会社には留学制度がなく、他から奨学金が得られればと、サラリーマン研究員としては無理難題の条件付であった。そこで当時、西ドイツの「アレクサンダ・フォン・フンボルト留学財団」への応募である。本来は大学の識者が中心。民間からの応募は基本的にはない。一度目は不合格、二度目も不合格ならば退職と決めていた。運よく二度目で合格の通知。先生方の強いご支援をいただいた。会社も渋々認め、なかった留学制度の素案を人事から留学中に受け取る。会社には新たに留学制度が確立された。留学先は西ドイツ、アーヘン工科大学の流体駆動制御研究所(IHP)で主任所長はW. Backe教授である。研究テーマは「ブレーキ弁を含む油圧ウインチの閉回路」<sup>1)</sup>であった。期間はドイツ語研修(4か月)を含めて、1984年8月から1986年1月末であった。

この間、大学への入学手続きを行って他分野の研究所会議にも参加した。

## 4. 帰国直後に決めた「水圧技術開発」

帰国後事情は一変。研究所は本社から独立して別の組織になっていた。ご多分に漏れず、私の机と椅子はなかった。会社は専門分野である「油圧事業」から撤退をしていた。「油圧制御技術」を生かせるテーマはないか、頭を抱えた。所属会社は「水」技術を事業としているのに……。そんな中、独立した研究所の責任者に東工大名誉教授谷口修先生着任。「油を水に替えた水圧技術をやりたい」と単純にご意見を伺った。先生いわく「そうか、賛成だ。しかし、これは難しい開発だ。完成には30年は必要だ。それまで君は継続できるか、新しいモノは時間がかかるし市場もわからない、失敗したら君は人生を棒に振る、その時、僕はもうこの世にはいないぞ、それでもやるか」と。即座に「やります」と答えていた。これまでの油圧技術に係るすべての資料を廃棄して背後を絶った。事前調査なしで「水圧サーボ弁」<sup>2)</sup>の開発から始まった。

1997年5月、当学会に「水圧システム研究委員会」が設立され、現在も継続されている。3回にわたる特集号<sup>3)-5)</sup>や創立30,40年記念出版<sup>6)-7)</sup>がなされた。1999年7月には油空圧工業会に水圧部会が設置され、その後年度ごとに、十数回におよぶ特別部会、補助事業のもとに委員会が設立され今日まで継続されている<sup>6)</sup>。また、当工業会での活動は60周年記念特集号に集約されている<sup>8)</sup>。以上の事業推進は先生方、当学会との積極的な連携によるご指導、ご鞭撻の賜物である。

## 5. 留学で得られた識者との出会い

「アレクサンダ・フォン・フンボルト財団」による留学後は、当時の「東日本アレクサンダ・フォン・フンボルト協会（国内）」の理事を仰せつかり、お蔭で著名な方と出会う機会をいただいた。

写真1はドイツの現メルケル首相が環境大臣として1991年来日（3年後に首相に就任）、ドイツ大使館公邸で「ノルトライン・ウエストファーレン州の経財相と企業代表者」を囲み「赤ワイン」で乾杯のひと時である。この時、環境関連のドイツ大企業トップとの面識を得たのでドイツ訪問時の、水圧調査に多いに役立った。



写真1 中央が当時のメルケル環境大臣（右筆者）

写真2はアーヘン留学帰国後中国科学技術院長に就任された浙江大学長路（Lu）教授を訪問した時のものである。同教授は私と同じフンボルト留学生である。院長は「水圧技術」に関心があつく、「何か一緒に協力できないか」などの質問をいただいた。先生が学長であった浙江大学を訪問し、実験装置を見学させていただいたが共同研究は実現にいたらなかった。先生は面会時、ドイツ語も得意なこともあって付き添いの通訳の制止を押し切り、しばらく互いの恩師W. Backe教授の素晴らしいご指導・お人柄を共通話題にしながら留学当時を語ることができた。のちに産業総合研究所理事長訪問のため来日された。その時には夕食会などに随行させていただ

いた。そのほか、国内においてはやはりフンボルト留学を経験された、東京大学法学部長の石井紫郎教授が、当時「総合科学技術会議」（総理大臣主催2003. 3）の委員であったことから内閣府を訪問する機会をいただいた。「水圧技術」の産業への貢献に関しての紹介にご尽力いただいた。先生はのちに恩賜賞をお受けになっている。水圧技術推進には、技術、市場と同時に国際連携の必要性を強く感じた時であった。

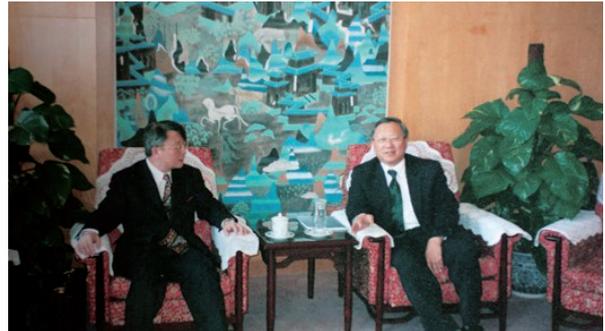


写真2 中国科学院にて路教授と面談

## 6. アーヘン工科大学滞在時の活動

W. Backe教授は2002年、ドイツ機械工業連盟（VDMA）で水圧部会を組織されていた。内容は専門雑誌（O+P）掲載の中で「日本における水圧技術」を話題にされ、筆者を紹介して下さっていた<sup>9)</sup>。訪問時は技術より「市場調査」の報告が主であった。1998年以降のドイツでの水圧技術調査、特に企業訪問も多くはW. Backe教授の紹介であった。その後、ドイツ企業から水圧ポンプユニットを購入、水圧モータ開発の依頼、水圧弁など実物を前にして多くを学んだ。ドイツのある街には水圧企業が多く存在する。その街を歩いていると多くの水圧企業の知人に出くわした。筆者の企業訪問を知人たちは知っていた。「水圧技術の基本的技術開発はドイツから」といっても過言ではない。W. Backe教授の大学退職後はほぼ毎年夏にご自宅を訪問することとなった。2009年8月W. Backe教授の80歳の誕生日、ご自宅にBurrows教授（英国Bath Univ.）とご一緒に招待していただいた。深夜までワインを飲みながら3人で「将来のフルードパワー」について議論したことは今でも忘れることはできない。Burrows教授は斜板式水圧ポンプを製品にした英国企業を紹介してくださった。1998年のことである。このことが水圧技術開発の方向を決めた重要な決定的一瞬であった。

ひとつ忘れがたい出来事がある。2011年の「3.11 東日本大災害」の時であった。会社からの帰宅途中

のことである。駅舎で、携帯電話が鳴った。W. Backe教授からの電話である。「日本で凄い災害が発生しているが、君は大丈夫か。義援金を払いたいのだがどこ宛てに送金すれば良いか」と。日本赤十字社であると告げた。写真3は2014年8月、先生の85歳の誕生日訪問の時である。先生は「君は水圧のパイオニアだ」と奥様とともに賞賛していただき、先生最後の書物<sup>10)</sup>にサインをして贈呈して下さった。写真は奥様が撮影して下さった。今となっては忘れ難い。

*Herrn Professor Miyakawa  
Guteglück zum Jubiläum 85  
Aachen,  
Aachen, 16. August, 2014  
K. Schmitz*



写真3 著書を贈呈いただく

## 7. 二度目のアーヘン工科大学滞在

2004年5月から再び「フンボルト財団」の支援でW. Backe教授 (IHP) の後継者であるMurrenhoff教授 (IFAS) のもとで研究し、水圧技術の調査活動を継続させていただいた。前任者は主に「水圧市場」の話題であったが、後継者は「ポンプ」の技術的話題が中心であった。主にポンプ効率に及ぼす影響因子に関する話題であった。ここでは関連資料が豊富であり、研究者とも直接面談して深い討論を行うことができた<sup>11)12)</sup>。「日本の水圧技術」についても二度にわたって紹介する機会をいただいた<sup>13)14)</sup>。アーヘン工科大学での水圧技術の調査は1987年以來、2018年3月までおよそ30年間におよんだが現在も継続している。この総まとめは2018年3月第11回IFKでMurrenhoff教授のご指示をいただいて報告することができた<sup>15)</sup>。調査はMurrenhoff教授の後継者のSchmitz教授に引き継がれた。筆者の滞在時から、面識のある方が後継者となった。写真4は2017年

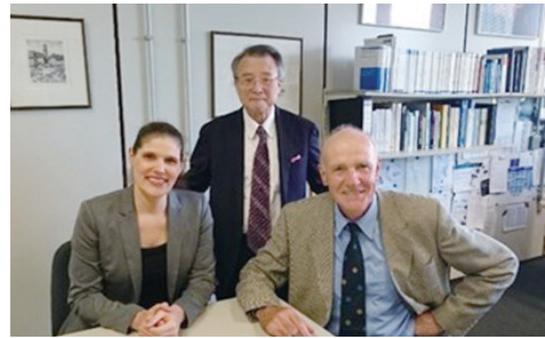


写真4 Prof. Murrenhoff (右), Prof. Schmitz (左) 教授室にて

5月訪問時、引継ぎの一年前である。

## 8. 新市場へ向けた経済学的手法を学ぶ

新技術は市場導入されて初めてその価値は評価される。水圧の市場評価は既にモニター機、製品として小規模量産化まで実証した<sup>6)12)</sup>。本格的事業としてはさらなる市場のセグメント化と顧客要求度の定量化が重要であると同時に「マーケティングエンジニア」の重要性を、身を持って経験した。この種の参考資料は少ない(MOTとは幾分異なる)<sup>16)-18)</sup>。「理」の技術と「情」の「モノ売り」が混在する「市場導入とコストの世界」に強い関心を持ち、虜になっている<sup>19)-21)</sup>。元会社研究所長谷口修先生ご発言の通り「水圧30年」になる。2020年3月末にはフルードパワーに関与して50年を迎える。

新市場は新技術開発との間で「情報というボール」を受け渡ししながら並走して生み出される。その途上での解決策がイノベーションにつながる。その道のりは長い。

### 参考文献

- 1) Miyakawa, S., Fujisawa, K., Dluzik, Aachen : Dynamisches Verhalten eines Hubwerkes mit einem geschlossenen Hydraulikkreislauf, O+P "Ölhydraulik und Pneumatik", 31 Nr. 8, p. 627-632 (1987)
- 2) Eizo Urata, Shimpei Miyakawa : United States Patent, HYDRAULIC SERVO-VALVE, Patent Number 5, 186, 213 Date of Patent : Feb. 16, 1993
- 3) 特集「水圧システムの開発に向けて」日本油空圧学会論文集, 日本油空圧学会誌, Nov, 1998 Vol. 29 No. 7
- 4) 特集「ADS—新水圧技術の今!」日本フルードパワーシステム学会論文集, 日本フルードパワー学会誌, July, 2013 Vol. 44 No. 4
- 5) 特集「大学における水圧研究」, 日本フルードパワー学会誌, フルードパワーシステム, May, 2019 Vol. 50 No. 3
- 6) 水圧駆動テキストブック, 日本フルードシステム学会創立30周年出版, 日本フルードパワーシステム学会, 2003年4月
- 7) アクアドライブ技術の進展, 日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版, 日本フルードパワーシステム学会

- ム学会, 2011年4月
- 8) 創立60周年記念特集号 技術編 水圧編, (一社)日本フルードパワー工業会, フルードパワー, VOL. 30 No. 2 2016. 5
  - 9) W. Backe : Gesprächsrunde Wasserhydraulik, O+P, "Ölhydraulik und Pneumatik" 46, Nr. 8, p. 464-481 (2002)
  - 10) W. Backe, H. Baum : Systematik fluidtechnischer Schaltungen, Fluidn, Shaker Verlag, 2013
  - 11) Stefan Rinck : Untersuchung und Optimierung Schnellaufender axial- und radialkolbenpumpen beim Betrieb mit wasserbasischen Drueckflüessigkeiten, RWTH Aachen 1992, Dissertation
  - 12) Stefan Gils : Einsatz, Konturierter und beschichteter Kolben-Buchse Paare in Axialkolbenmaschinen in Schrägscheibenaufweise, Nobember 2011, RWTH Aachen, Dissertation
  - 13) Shimpei Miyakawa : Anwendungen von Wasserantriebs-systemen, O+P "Ölhydraulik und Pneumatik", 47 (2003) Nr. 4, p. 256-260
  - 14) Shimpei Miyakawa : Aqua-Drive-System, O+P "Ölhydraulik und Pneumatik" 11-12/2010, p. 414-422
  - 15) Shimpei Miyakawa : Bond of 3+Decades of AvH Awardee at RWTH Researching Water Hydraulics, 11 IFK, March 19-21. 2018, Aachen, Germany
  - 16) 宮川 : イノベーションと環境マネジメント一体験的イノベーションの創造と事業化プロセス, 横浜国立大学環境情報研究院社会科学系講義, 2006年
  - 17) H. Marzian Schmidt : Von Vertriebs-ingenieur zum Markt-Ing. mit Kunden Gewinnen System, Springer, Sieghard, im Augst 1998
  - 18) Guenter Schuh : Business Engineerring Managementgrundlagen fuer Ingenieure, WZL, RWTH Aachen, Aprimus, im September 2014
  - 19) クレイトン・クリステンセン : 「イノベーションのジレンマ」, 伊豆原真由美訳, 翔泳社 初版5刷発行, 2002年8月8日
  - 20) 伊藤満 : 「イノベータのジレンマ」の経済学的解明, 日経BP社, 第1版第2刷発行2018年6月7日
  - 21) 平野淳, 潜在価値マーケティング, (株)幼冬社, 第1刷発行, 2018年8月20日

(原稿受付 : 2019年10月21日)

## 会 告

## 学会創立50周年特別会費（賛助金）ご芳名

2019年12月15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への感謝の意を込めまして、ここにご芳名を掲載させていただきます。関係者一同、心から感謝申し上げます。

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）

(株)IHI	イナバゴム(株)	(株)インターナショナル・サーボ・データ
SMC(株)	SMC中国(株)	川崎重工業(株)
川重商事(株)	(株)神崎高級工機製作所	KYB(株)
(株)小松製作所	(株)阪上製作所	(株)ジェイテクト
CKD(株)	勝美印刷(株)	住友重機械工業(株)
ダイキン・ザウアーダンフォース(株)	大生工業(株)	(株)TAIYO
(株)都筑製作所	東京計器(株)	東京計器パワーシステム(株)
TOHTO(株)	豊興工業(株)	ナブテスコ(株)
日本機材(株)	日本クエーカー・ケミカル(株)	フジサンケイ ビジネスアイ
日本精器(株)	(一社) 日本フルードパワー工業会	日本ムーグ(株)
日立建機(株)	(株)日立建機ティエラ	(株)不二越
(株)増田製作所	マックス(株)	三菱電線工業(株)
ヤマシンフィルタ(株)	油研工業(株)	(株)ユーテック
リバーフィールド(株)		

## [正会員] 50音順（敬称略）

饗庭 健一	天野 勝	荒井 一則	池尾 茂	石井 進	石崎 義公
市丸 寛展	伊藤 一寿	伊藤 和寿	井上 淳	上嶋 優矢	大内 英俊
大信田文司	大科 守雄	大橋 彰	大見 康生	小笠原文男	小木曾太郎
小澤 忠彦	落合 正巳	小山 紀	香川 利春	柿山 稜	風間 俊治
加藤 友規	神倉 一	川上 幸男	川島 正人	川嶋 健嗣	神田 国夫
北川 能	木原 和幸	玄 相 昊	小嶋 英一	小曾戸 博	斉藤 賢治
齋藤 直樹	酒井 悟	桜井 康雄	佐々木政彰	佐藤 三禄	佐藤 潤
佐藤 恭一	眞田 一志	嶋村 英彦	蕭 欣志	上達 政夫	杉本 文一
鈴木 勝正	鈴木 隆司	須原 正明	曾谷 康史	高岩 昌弘	高崎 邦彦
高田 進	高田 芳行	高橋 建郎	竹村研治郎	田中 和博	田中 裕久
田中 豊	田中 義人	千葉 誠	塚越 秀行	築地 徹浩	筒井 大和
釣賀 靖貴	寺澤 孝男	富山 俊作	中井 政光	永瀬 徳美	仲宗根隆志
中田 毅	永田 精一	中野 政身	中野 和夫	中山 晃	成田 晋
西股 健一	則次 俊郎	土師野 正	橋本 強二	林 光昭	張本 護平
肥田 一雄	広田 善晴	藤田 壽憲	藤谷 秀次	前畑 一英	増田 精鋭
丸田 和弘	丸山 勝徳	三浦 孝夫	峯岸 敬一	宮川 新平	村松 久巳
柳田 秀記	山口 惇	山田 宏尚	横田 眞一	吉田 和弘	吉田 清久
吉田 伸実	吉松 英昭	吉満 俊拓	レア・ルコント		

## 会議報告

# 日本機械学会2019年度年次大会における フルードパワー技術研究

## 著者紹介



よし だ かず ひろ  
吉田和弘

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

日本機械学会年次大会は，日本機械学会の全部門が一堂に会する国内講演会で，毎年9月に行われている。2019年度は「サステナビリティ」，「AI社会の機械工学」，「少子高齢化・人手不足を支えるテクノロジー」を大会テーマとして，9月8日～11日に秋田大学手形キャンパス（秋田市手形学園町1番1号）で行われた。今回は，日本機械学会の年次大会検討委員会を中心に会員にとって魅力的な講演会とするための検討が行われ，その結果が具体化された最初の講演会で，部門融合のオーガナイズドセッションの拡大，学生の発表のポスターセッションへの集約化などが行われ，計40室の平行セッション形式で行われた。

フルードパワー技術関連では，油圧関連2件，空気圧関連4件，水圧関連3件，機能性流体関連9件，合計18件の発表があった。以下では，各発表について概観する。

## 2. 研究発表の概要

### 2.1 油圧関連

油圧関連では，ポンプ1件，アクチュエータ1件，計2件の発表があった。

風間は，機械技術史・工学史のセッションにおいて，油圧ポンプに求められる性能を示し，油圧の往復ポンプ，ピストンポンプ，ベーンポンプ，歯車ポンプ，ねじポンプ，水圧の往復ポンプ，水圧プレス，遠心ポンプなどの開発史を紹介している<sup>1)</sup>。

塩田らは，人との高い接触親和性のため，油圧両ロッドシリンダのピストンを2分割し，その間に気泡を混合した油を封入した構造で，衝撃荷重による

圧力変動を抑えたアクチュエータを提案，試作し，その特性を実験的に明らかにしている<sup>2)</sup>。

### 2.2 空気圧関連

空気圧関連では，アクチュエータ4件の発表があった。

土屋，宇塚は，3個の空気圧ダイヤフラムにより歳差運動を行う歯車に歯数の異なる歯車を組み合わせ回転運動を得るニューテーションモータの高速化のため，歯車の歯数の変更とダイヤフラムの形状の改善を行い，その有効性を実験的に確認している<sup>3)</sup>。

小川らは，McKibben形人工筋のスリーブ繊維を導線とし，そのインダクタンス変化を変位計測に応用したスマート人工筋において，磁性流体を作動流体とすることでセンサ感度を高めた人工筋を提案，試作し，その特性を実験的に明らかにしている<sup>4)</sup>。

萩原らは，軸方向の3本とその周囲に巻かれた2本の人工筋からなる3自由度ソフトマニピュレータのため，人の腕に同様に配置した柔軟ひずみセンサを用いたウェアラブルインタフェースを提案，試作し，ボトルキャップの開動作などを実現している<sup>5)</sup>。

井村らは，柔軟容器に粒体を封入し負圧としたとき剛性が高くなるジャミング転移現象と人工筋を応用した可変剛性機能を有するロボットアームを提案し，材料を実験的に選定してロボットアームを試作し，物体把持実験により有効性を確認している<sup>6)</sup>。

### 2.3 水圧関連

水圧関連では，制御弁1件，モータ1件，マイクロポンプ1件，計3件の発表があった。

飯尾らは，水圧用スプール弁におけるキャピテーション現象を解明するため，透明アクリル樹脂を用いたスプールモデルを試作し，振動加速度の測定と可視化を行い，制御オリフィス前後の圧力条件が騒音特性に及ぼす影響を明らかにしている<sup>7)</sup>。

鈴木，大村は，放射線環境下で作業する廃炉作業用ロボットのため，カム機構により脈動を抑えた水圧用ラジアルピストンモータを提案し，カムフォロフ部分の試作，実験を行い，その特性を明らかにするとともに，分配弁について検討している<sup>8)</sup>。

巖らは，ぜん動マイクロポンプに用いるUV硬化性材料を用いたダイヤフラム形誘電エラストマーアクチュエータの高出力化のため，UV硬化性PDMSにシリコンオイルを添加しヤング率を低下させる手法を提案し，その有効性を実験的に確認している<sup>9)</sup>。

## 2.4 機能性流体関連

機能性流体関連では、基礎4件、アクチュエータ3件、加工2件、計9件の発表があった。

金滝らは、低分子ネマティック液晶の6個の粘性係数を求めるため、回転円板間の粘度のせん断速度依存性を水平配向と垂直配向について測定するとともに、Leslie-Ericksen理論にもとづくシミュレーションを行い、液晶分子の配向分布を解明している<sup>10)</sup>。

堀部、山本は、グラビア印刷のインクにも見られるShear-thickening粘性を示す粘弾性流体について、修正Bautista-Maneroモデルを組み込んだ有限体積法の数値解析を行い、流動状態、流動度および第1法線応力差の分布を明らかにしている<sup>11)</sup>。

杉岡らは、力覚提示デバイスに用いる小形EHDポンプの最適化による高出力化を図るため、テーパ形電極と円筒電極からなるEHDポンプについて、ポンプ内部の静電場解析を行うとともに、出力を向上できる新たな電極形状を提案している<sup>12)</sup>。

進藤らは、モータへの応用が期待される直流高電圧印加でジェット流を生じるECF（電界共役流体）の駆動電圧を低減するため、局所的に高電場が得られる四角柱電極を用いたデバイスを試作し、PIV（粒子画像流速測定法）により流れ場を測定している<sup>13)</sup>。

外川らは、マイクロマスの俊敏な加減速とスムーズな旋回を実現するため、電界印加で粘度制御可能な粒子分散系ERF（電気粘性流体）を用いた3枚の可動電極を有するブレーキを試作し、シミュレーションによりその有効性の確認などを行っている<sup>14)</sup>。

金らは、多様な物体の把持を行うため、ECFによる吸引形液圧源によるジャミング転移現象を用いたマイクログリッパを提案、試作し、空気圧に比べECFを用いた方が把持力が大きいことを実験的に示すとともに、さまざまな物体の把持を実現している<sup>15)</sup>。

小田らは、光の熱エネルギーによりnペンタンを相転移させ、その体積変化で複数のアルミ環により径方向の膨張を拘束した透明フッ素ゴムチューブを伸長させる光駆動アクチュエータを提案、試作し、その応答特性を実験的に明らかにしている<sup>16)</sup>。

森らは、情報機器に用いる微細溝の内壁部を高精度に仕上げるため、MCF（磁気混合流体）スラリーを永久磁石で支持する研磨手法を提案し、アクリルの幅20 $\mu\text{m}$ の微細溝に対し研磨を行い、表面粗さ18nmと研磨深さ600 $\mu\text{m}$ を実現している<sup>17)</sup>。

渡辺らは、ぜい性材料の高能率、高精度研磨の可能性があるMCFホイール研磨のメカニズムを解明するため、MCFスラリーに添加する $\alpha$ -セルロースの量を変えソーダガラスの研磨を行い、研磨時間とMCFスラリー形状の関係などを明らかにしている<sup>18)</sup>。

## 3. あとがき

日本機械学会2019年度年次大会におけるフルードパワー技術関連の研究発表について概観した。2020年度の講演会は名古屋大学で開催予定である。

## 参考文献

- 1) 風間俊治：油圧ポンプの技術と工学の小史，機学2019年度年次大会講論集（DVD-ROM），S20104，（2019）
- 2) 塩田秀人，坂間清子，北澤勇氣，菅原佳城，田中豊：作動油と空気を力伝達媒体とするアクチュエータの制御に関する研究，同上，J11116P（2019）
- 3) 土屋大樹，宇塚和夫：ニューターションモータの開発（歯車の仕様とダイヤフラムの改良による高速回転の実現），同上，J11101（2019）
- 4) 小川草太，脇元修一，神田岳文，大村健：インダクタンス変化型変位センサを一体化したスマート人工筋の磁性流体を用いた駆動，同上，J11114P（2019）
- 5) 萩原弘貴，脇元修一，神田岳文，古川匠太：柔軟ひずみセンサを用いたウェアラブルインタフェースによる3自由度ソフトマニピュレータ，同上，J11115p（2019）
- 6) 井村修司，脇元修一，神田岳文：ジャミング転移現象を利用した柔軟ロボットアームの可変剛性既往の検証，同上，S11120（2019）
- 7) 飯尾昭一郎，岡部仁美，吉田太志：水圧用スプール弁のキャビテーションに関する研究（制御オリフィス前後の圧力条件が騒音特性に与える影響），同上，S05101（2019）
- 8) 鈴木健児，大村裕太郎：放射線環境下で使用可能な低脈動型水圧モータの開発及び性能評価，同上，J11110（2019）
- 9) 巖祥仁，本同和人，吉田和弘，金俊完：誘電エラストマーアクチュエータの高出力化に関する研究（UV硬化性PDMSへのシリコンオイル添加の効果），同上，J11112（2019）
- 10) 金滝泰英，辻知宏，蝶野成臣：低分子ネマティック液晶の円板間せん断流れ，同上，S05307P（2019）
- 11) 堀部悠河，山本剛宏：Shear-thickening 粘性を示す粘弾性流体の数値流動解析，同上，S05306P，（2019）
- 12) 杉岡健一，村田尋斗，小柳健一，中山勝之：小型EHDポンプ内に生じる静電場解析，同上，S00105（2019）
- 13) 進藤俊太郎，小笠原尚輝，佐藤明，二村宗男：電界共役流体中に誘起されるジェットの効率化の条件，同上，S00112P（2019）
- 14) 外川貴規，橋拓真，田中豊：小形ロボット搭載用ERブレーキの試作と評価，同上，J11111（2019）
- 15) 金俊完，濱野真衣，吉田和弘：電界共役流体（ECF）を液圧源とするマイクロジャミンググリッパに関する研究，同上，J11113（2019）
- 16) 小田功，飯塚洋生，伊藤仁人：物質の相転移を利用した光駆動アクチュエータの開発，同上，J11103（2019）
- 17) 森俊樹，野村光由，呉勇波，土井聖将，野本憲太郎：磁気混合流体（MCF）を用いた微細内壁研磨技術の開発，同上，S13205P（2019）
- 18) 渡辺隆文，野村光由，鈴木庸久，藤井達也，呉勇波：MCFホイール研磨におけるスラリー形状による研磨性能への影響，同上，S13206P（2019）

（原稿受付：2019年9月17日）

## 会議報告

## FLUCOME2019におけるフルードパワーの研究動向

## 著者紹介



はや かわ やす ひろ  
早川 恭弘

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)。



写真2 会場からの風景

## 1. はじめに

FLUCOME 2019が5月27日(月)から30日(木)の4日間、イタリア・ナポリのUniversity of Naples Federico II Conference Centreで開催された(写真1)。会場は、ティレニア海に面しており、卵城(写真2)も近くにあった。本国際会議において、初日のオープニングの後、招待講演が行われ、その後、テクニカルセッションが3会場で開催された。二日目は、招待講演後、午前中は2会場でセッションが開催され、午後は、FLUCOMEの歴史に関して芝浦工業大学の伊藤先生が講演をされた。プログラムでは、東京工業大学名誉教授の香川先生も講演される予定だったが、ご都合によりキャンセルとなった。3日目は、テクニカルセッションとポスターセッションおよびバンケットが開催された。4日目は、午前中のみ講演が行われ、無事に終了した。

本国際会議における研究動向に関して、以下に報告する。

## 2. セッションの概要

今年開催されたFLUCOME2019は、招待講演3



写真1 会場風景

件、特別講演1件(FLUCOMEの歴史)および、以下の21セッションから構成された。

- 1) Acoustics, 2) Aerodynamics,
- 3) Environmental Flows, 4) Flow Control,
- 5) Flow Modeling, 6) Heat Transfer,
- 7) High Speed Flows, 8) Jets,
- 9) Jets Flow Control,
- 10) Micro and Biological Flows, 11) Miscellanea,
- 12) Multiphase Flows, 13) Optical Methods,
- 14) Passive Flow Control,
- 15) Pipe and Channel Flows,
- 16) Plasma Flow Control, 17) Poster,
- 18) Riblets, 19) Student Awards,
- 20) Swirling Flows, 21) Thermal Convection

## 3. テクニカルセッション

本国際会議は、音響、高速流体、航空力学、流れのモデル化、熱伝達、高速流体解析、熱対流、旋回流、流路などに関する講演が主となっている。以下に講演内容の概要をピックアップして説明する。

流量制御のセッションでは、表面誘電体バリア放電(SDBD)プラズマアクチュエータに関する研究<sup>1)</sup>、フリップフロップ・ジェットノズルの振動メカニズム解明に関する研究<sup>2)</sup>、軸対称ジェットの大きな渦構造を制御する研究<sup>3)</sup>などの成果報告が行われていた。また、増圧弁のエネルギー効率改善のために、エネルギー回生をともなう新構造の増圧弁を提案し、その有効性を実験および数値計算結果から明らかにしている講演<sup>4)</sup>が行われていた。

水圧駆動によるアクチュエータでは、水道水駆動McKibben型ゴム人工筋に関して、線形モデルと非対称Bouc-Wenモデルで構成されるゴム人工筋モデ

ルを提案し、サーボ機構を備えたモデル予測制御 (MPC) の有効性を示している報告<sup>5)</sup>があった。

生体に関する研究では、人体の肺モデル<sup>6)</sup>および、脳動脈瘤モデル<sup>7)</sup>に関する内容が報告されている。また、サイクリングマネキンの片足におけるドラッグクライシス現象を実験的に明らかにしている<sup>8)</sup>。さらに、競泳におけるスイマーの姿勢に関して、一定の深さを維持しながら泳ぐことができ、抵抗の少ない流線型の姿勢を提案し、シミュレーション結果が実験結果と一致していることを示している報告<sup>9)</sup>があった。また、ゴム要素を用いた歩行訓練システムについて報告されていた<sup>10)</sup>。

混相流関係では、複数の気泡間の相互作用に関して、剛壁に付着した気泡とその周辺で発生するキャビテーション気泡との相互作用を実験的に明らかにしている報告<sup>11)</sup>がなされていた。

流路関係では、非定常キャビテーション流のCFDモデリングを用いることにより、制御バルブ内でのキャビテーション侵食に関して、4タイプの侵食指標を適用して侵食を予測していた<sup>12)</sup>。また、数msの応答性を有する高速ソレノイド弁を用いて、等温化圧力容器内の圧力変化と質量変化の測定を行うことにより、高速流の挙動解析を行うための条件を明らかにしている報告<sup>13)</sup>があった。さらに、可溶性物質の輸送に関して、マイクロ流路形状の影響を考慮したペクレ数の関数が提案され、実験により有効性を示した報告<sup>14)</sup>が行われていた。

流量計測関係では、高精度の流量計測方法として、超音波流速分布計測 (UVP) 法が考案されており、測定範囲を拡張するための新しいアルゴリズムを実装した流量計測システムが提案されていた<sup>15)</sup>。

オリフィス関係では、流量のパラメータ (振幅、周波数、平均流量) を変化させた場合におけるオリフィス流量計の非定常特性を明らかにしている報告<sup>16)</sup>があった。また、オリフィス出口でのクラウド・キャビテーションの影響と、パイプに沿った下流での伝播と減衰について検討した研究<sup>17)</sup>が報告されていた。

EHD流体では、EHD流体を用いたポンプに関して、2次元CFD解析により、電極付近の流れの挙動が明らかにされていた<sup>18)</sup>。

電磁ブレーキに関しては、垂直結合電磁ブレーキ (VC-EMBr) と呼ばれる新しいタイプのEMBrに関して、鋳型内の垂直磁極の位置、鋳造速度、および異なるタイプのEMBrを考慮した数値計算法が提案されていた<sup>19)</sup>。

#### 4. おわりに

本稿では、FLUCOME 2019におけるフルードパワーの研究動向について紹介した。今回の会議は、JFPS春季フルードパワーシステム講演会と同時期に開催されたため、学会関係者の参加が少なかったのが残念であった。

最後に、会議報告の機会を与えていただいた方々に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

1) A A Abbasi, H Li, X Meng : Experimental Investigation

- of thermal properties of Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator for Steady and Unsteady Actuation, ID-120
- 2) K Hirata, N Tauchi, T Inoue, F Nagahata, T Noguchi : Experimental Study on Switching Mechanism of a Flip-Flop Jet Nozzle using Single-Port Control, ID-147
- 3) H Ishikawa, H Aono : Control of Vortex Formation in Axisymmetric Jet by DBD Plasma Disturbance, ID-241
- 4) J Lim, K Iida, K Tadano, T Kagawa : Numerical and Experimental Validation on Energy Efficiency of Pneumatic Booster Valves with Energy Recovery, ID-342
- 5) R Inada, K Ito, S Ikee : Modeling and Hysteresis Compensation Using Asymmetric Bouc-Wen model for Tap-Water Driven Muscle and Its Application to Adaptive Model Predictive Control, ID-144
- 6) B Schoeneberger, O Litfin, A Delgado : Research of pressure losses and volume flows in a 5-generation human lung model with experiment and numerical simulations, ID-56
- 7) K Katayama, T Kawakami, C Ichikawa, R Fujita, K Yamamoto, H Takao, Y Murayama, M Motosuke : Visualization of flow structures in the patient specific aneurysm model, ID-79
- 8) F Scarano, W Terra, A Sciacchitano : Investigation of the drag crisis on the leg of a cycling mannequin by means of robotic volumetric PIV, ID-355
- 9) S Imamura, S Ito, M Hiratsuka : Analysis for the fastest streamlined posture of swimmers, ID-324
- 10) Y Hayakawa, Y Kimata : Study on high-performance shoes for walking training system with human compatibility, ID-165
- 11) K Ohno, T Yamashita, K Sato, Y Tomita, H. Takezawa : Interaction between cavitation and gas bubbles near a rigid boundary, ID-118
- 12) K Saito, C Youn : Prediction of cavitation erosion occurring in a control valve using computational fluid dynamics, ID-133
- 13) T Funaki : Experimental study of generation and measurement of gaseous fluctuating flow, ID-319
- 14) F Togi, T Kubota, Ki Toyama, S Harada : Quantitative Evaluation of Solute Dispersion in Irregular-Shaped Micro-Channels, ID-146
- 15) N Shoji, H Takahashi, H Kikura : Novel Algorithm for High Flowrate Metering with Ultrasonic Pulsed Doppler Method, ID-298
- 16) H Takeishi, K Tadano, T Kagawa : Measurement of Unsteady Flow Utilizing Orifice Flow Meter, ID-277
- 17) C Esposito, M A Mendez, J-B Gouriet, J Steelant, M R Vetrano : Cloud cavitation instabilities downstream of an orifice, ID-192
- 18) T Tsukiji, T Tajima : Flow properties of EHD fluid in a simple flow channel, ID-84
- 19) E Wang : Fluid control of molten steel in continuous casting mould with magnetic field, ID-169

(原稿受付 : 2019年9月24日)

## 会 告

## 〈理事会・委員会日程〉

11月29日	理事会
12月 3日	企画委員会
12月 9日	基盤強化委員会
12月20日	編集委員会
12月24日	情報システム委員会

## 〈理事会報告〉

## 2019年度第4回理事会

11月29日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-6 (出席者19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周年記念事業の準備状況
- 3) 2019年 秋季講演会(富山)の開催報告
- 4) 2019年度 学会賞各賞・フェロー推薦受付状況
- 5) 規程類の改訂
- 6) 会員の推移
- 7) 次期国際シンポジウム実行委員長選任
- 8) 次期会長推薦受け付け
- 9) 各委員会からの報告
- 10) その他

## 〈委員会報告〉

## 2019年度第3回企画委員会

12月3日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-3 (出席者15名)

- 1) 2019年度実施の事業に関する報告・審議事項
  - (1) 2019年度オータムセミナー
  - (2) 2019年秋季フルードパワーシステム講演会
  - (3) 2019年度ウインターセミナー
- 2) その他審議・確認事項
  - (1) 2020年春季フルードパワーシステム講演会・総会
  - (2) 2020年度オータムセミナー

(3) 参加登録料の改訂

(4) フェロー推薦

(5) その他

## 2019年度第3回基盤強化委員会

12月9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
- 2) 外部への情報発信
- 3) フルードパワー道場14
- 4) フルードパワー・バーチャルミュージアム
- 5) 研究者リスト更新
- 6) その他

## 2019年度第3回編集委員会

12月20日 14:00～17:00

東京工業大学田町CIC 5階 (出席者14名)

- 1) 会誌特集号の現状と企画
  - ・Vol.51 No. 1 「創立50周年記念企画 フルードパワー エキスパートからみる将来への提言」
  - ・Vol.51 No. 2 「創立50周年記念企画 フルードパワー ユーザーからみる将来への期待」
  - ・Vol.51 No. 3 「ターボ機械最前線」
  - ・Vol.51 No. 4 「フルードパワーシステムにおけるクリーン化技術(仮)」
- 2) その他
  - ・会議報告
  - ・フェローの推薦
  - ・今後の特集について

## 2019年度第3回情報システム委員会

12月24日 15:00～17:00

東京工業大学田町CIC 5階 (出席者6名)

- 1) 学会HP更新状況
- 2) 理事会・委員長会議報告
- 3) 学会HPリニューアル
- 4) 会議報告
- 5) その他

## (一社)日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表

(株)IH  
アイシン・エイ・ダブリュ(株)  
(株)明石合銅  
曙ブレーキ工業(株)  
アズビル(株)藤沢テクノセンター  
アズビルTACO(株)  
(株)アドヴィックス  
アネスト岩田(株)  
イトン(株)  
出光興産(株)  
イナバゴム(株)  
イハラサイエンス(株)  
(株)インターナショナル・  
サーボ・データー  
(株)打江精機  
SMC(株)  
SMC(株)中国  
(株)NF1  
(株)荏原製作所  
(株)大阪ジャッキ製作所  
大瀧ジャッキ(株)  
鹿島通商(株)  
(株)桂精機製作所  
神威産業(株)  
川崎重工業(株)精密機械・  
ロボットカンパニー  
川崎油工(株)  
川重商事(株)  
(株)神崎高級工機製作所  
キャタピラー・ジャパン(合)  
協和シール工業(株)  
旭東ダイカスト(株)  
(株)クボタ  
(株)クレアクト・インターナショナル  
クロダニューマティクス(株)  
KYB (株)  
KYBエンジニアリング  
アンドサービス(株)  
KYB-YS(株)  
(株)工苑  
甲南電機(株)  
(株)古河製作所  
(株)コガネイ  
コスモ石油ルブリカンツ(株)  
(株)小松製作所  
(株)小松製作所試験センタ

(株)小松製作所開発本部  
(株)小松製作所油機開発センタ  
(株)阪上製作所  
(株)鷺宮製作所  
佐藤金属(株)  
三輪精機(株)  
三和テック(株)  
JXTGエネルギー(株)  
(株)ジェイテクト奈良  
(株)ジェイテクト刈谷  
CKD(株)  
(株)島津製作所  
勝美印刷(株)  
ジヤトコ(株)  
住友建機(株)  
住友重機械建機クレーン(株)  
住友重機械工業(株)  
住友精密工業(株)  
制御機材(株)  
千住金属工業(株)  
第一電気(株)  
ダイキン工業(株)  
ダイキン・ザウアーダンフォス(株)  
大生工業(株)  
(株)TAIYO  
タイヨーインタナショナル(株)  
ダイワ(株)  
(株)タカコ  
(株)タダノ  
調和工業(株)  
(株)都筑製作所  
TMCシステム(株)  
東京計器(株)  
東京計器パワーシステム(株)  
東京メータ(株)  
東北特殊鋼(株)  
東明工業(株)  
同和発條(株)  
特許機器(株)  
特許庁  
TOHTO(株)  
豊興工業(株)  
(株)豊田自動織機  
長津工業(株)  
中西商事(株)  
長野計器(株)

中村工機(株)  
(株)NaNaデザインワークス  
ナプテスコ(株)  
(株)南武  
日新濾器工業(株)  
ニッタ(株)  
日本アキュムレータ(株)  
日本機材(株)  
日本クエーカー・ケミカル(株)  
日本工業出版(株)  
日本精器(株)  
日本製鉄(株)交通産機品事業部  
日本電産トーソク(株)  
(一社)日本フルードパワー工業会  
日本ムーグ(株)  
(株)野村商店  
(株)ハイダック  
日立建機(株)  
(株)日立建機ティエラ  
(株)日立製作所  
廣瀬バルブ工業(株)  
フエスト(株)  
(株)フクダ  
(株)不二越  
フジサンケイビジネスアイ  
二見屋工業(株)  
ボッシュ・レックスロス(株)  
昌富工業(株)  
マサモト(株)  
(株)増田製作所  
マックス(株)  
松田鉄工(株)  
三菱電線工業(株)  
ヤマシンフィルタ(株)  
ヤマハモーターハイドロリック  
システム(株)  
油研工業(株)  
(株)ユーテック  
理研精機(株)  
リバーフィールド(株)  
(株)レンタルのニッケン  
ワールドインシュアランス  
ブローカーズ(株)

## 会 告

詳細は学会ホームページ (<http://www.jFPS.jp>) をご覧ください。

2019年度ウィンターセミナー  
フルードパワーに利用できるマイコン技術  
～ 機器の駆動に関わるマイコン技術 (ハード&ソフト編) ～  
開催日：2020年3月12日 (木)・13日 (金)

## 開催趣旨：

マイコンなどについて興味はあるが、具体的に何に使えるかわからない。また、業務に直接関係ないが概略は知りたいなど、これからマイコン (組込み技術) を始める方、もしくは一般的な知識として知りたいなど、マイコンを使ったことのない受講者に対してマイコン (組込み) 技術の概略がわかる講座を開催します。本講座では、実際の油空圧機器に用いられるマイコンの基本的な動作・機能を紹介するため、実際にマイコンを使った実習用ボードを作成し、機器を動かす実習も実施します。な

お、講座で製作した実習用ボードは持ち帰れます。この機会にマイコン (組込み) 技術に触れてみよう、その後も使ってみようという方のご参加をお待ちしています。

開催場所：高度ポリテクセンター

(千葉県千葉市美浜区若葉3-1-2)

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認ください  
たくさますようお願いいたします。

## 第39期通常総会

学会創立50周年記念式典・セミナー・技術懇談会開催のお知らせ  
開催日：2020年5月28日(木)、29日(金)

2020年3月に日本フルードパワーシステム学会は創立50周年を迎えます。これを記念して総会とともに、右記行事を開催します。詳細は学会ホームページをご覧ください。皆様のご参加をお待ちしております。

・5月28日(木)午前：記念セミナー

「50年間の製品から観るフルードパワー技術史」

・5月29日(金)午後：第39期通常総会

・5月29日(金)午後：記念式典、懇談会

いずれも会場は機械振興会館

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催  
2020年春季フルードパワーシステム講演会  
開催日：2020年5月28日 (木)・29日 (金)

2020年春季フルードパワーシステム講演会は2020年5月28日 (木)・29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、オーガナイズドセッションや技術懇談会などを企画する予定です。詳細は

学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認ください  
たくさ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。

日本フルードパワーシステム学会論文集  
50巻 (2019) 2号 発行のお知らせ  
(公開日：2019/11/15)

## 【研究論文】

- (1) 油圧アームの非定常流量要素の最適行列同定とオンライン推定への応用  
酒井 悟, 那花 優将, 永井 一輝
- (2) CFDによる油圧回路構成機器の脈動伝達特性の解析手法に関する研究  
一柳 隆義, 小谷 光生, 西海 孝夫
- (3) 天然ゴムの伸張結晶化を用いた軸方向繊維強化型空気圧人工筋肉の長寿命化  
小島 明寛, 奥井 学, 久道 樹, 只見 侃朗, 辻 知章, 中村 太郎

(URL) [https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/50/2/\\_contents/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jfps/50/2/_contents/-char/ja)

## 日本フルードパワーシステム学会論文集50巻 (2019) 抄録

微粒子励振型流量制御弁におけるねじり振動を利用した  
駆動原理の有効性評価  
Effectiveness of Driving Method using Torsional Vibration  
for Particle-Excitation Flow Control Valve

廣岡 大祐, 東 一毅, 古城 直道, 山口 智実  
Daisuke HIROOKA, Kazuki AZUMA, Naomichi FURUSHIRO, Tomomi YAMAGUCHI  
2019年50巻1号 p. 1-8 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.1) https://doi.org/10.5739/jfps.50.1

This paper reports a novel driving method for particle-excitation flow control valve. The valve that we have designed in previous reports can control air flow continuously with small size and light weight. Because the valve conditions air flow, using particle excitation by piezo vibration, the valve has potential for high response. However, in previous model, the vibration direction is opposite to air flow direction and a large scale vibration is necessary to open the valve. In this report, to decrease necessary vibration scale, we design novel driving mechanism using torsional vibration. The method generates vibration that is perpendicular to air flow by torsional vibration. First, we explain the designed mechanism and calculate the vibration scale to open the valve. And we design a prototype that can generate torsional vibration to check the mechanism. Additionally, we measure the vibration scale at valve opening condition in experiment and compare calculated and experimental results. Through this study, we show the advantage of the mechanism.

油圧機械式無段変速機的设计手法に関する研究  
(1-D・3-Dシミュレーションによる油圧騒音予測)  
A STUDY ON DESIGN METHOD FOR HYDRO-MECHANICAL  
CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION  
(Prediction of Noise Based on 1-D and 3-D Simulation)

大内田 剛史, 佐藤 恭一  
Takeshi OUCHIDA, Yasukazu SATO  
2019年50巻1号 p. 9-17 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.9) https://doi.org/10.5739/jfps.50.9

For agricultural tractor, these two performances have been very important; high efficiency and maneuverability because the operator has increasingly required the fewer fuel consumption and easier and more precise control of the tractor. Generally speaking, hydro-mechanical transmission (HMT) is well known for the high efficiency level and the step-less variable speed. However, HMT is hydraulic powered system then hydraulic noise may more often occur than the pure mechanical transmission.

Therefore, this paper shows how to predict the sound pressure level with only using the design parameters of HMT and transmission assembly parts. 1-D hydraulic circuit simulation model and 3-D FEM model of HMT have been developed, and the simulated results of the sound pressure level has been calculated. Moreover, the calculated sound pressure level has been validated by the actual measured data and the cause of prediction error has been found. These all results suggest the possibility that the hydraulic noise can be reduced in an optimal way at the design process, without any prototype testing.

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  
Feed-forward pressure control of balancing cylinder for hybrid electric-  
pneumatic ultra-precision vertical positioning device

築山 義信, 加藤 友規, 中垣 瞬, 徐 有衛  
Yoshinobu TSUKIYAMA, Tomonori KATO, Shun NAKAGAKI, Youwei XU  
2019年50巻1号 p. 18-24 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.18) <https://doi.org/10.5739/jfps.50.18>

One of the positioning methods in vertical direction of machine tools, a hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device has been developed and utilized. In this method, because the weight of the stage is supported by the pneumatic pressure of the balancing cylinder, the linear motor can drive the stage motion without so much affected by the weight of the stage. Therefore, lower electric energy consumption, less heat generation, higher power and speed, can be expected with the linear motor. However, hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device has a drawback. When the tool change occurs, the total weight of the stage changes. Then the pressure in the balancing cylinder should be adjusted accordingly. But the pressure adjustment takes a bit of time with the conventional method that uses a diaphragm type pressure regulator. In this paper, in order to enhance the performance of the hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device, 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 (HPQR) that was developed in our previous research. By the experimental results using a hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device, the validity of the proposed control method is evaluated and its superiority is indicated.

等温化放出法を用いた圧縮性流体用機器の流量特性試験法において  
大気圧の変化が及ぼす影響の考察  
Consideration of the Effects of Atmospheric Pressure Change in  
Determination of Flow-rate Characteristics of Components using  
Compressible Fluids by Isothermal Discharge Method

飯田 航平, 小林 敏也, 只野 耕太郎, 蔡 茂林, 藤田 壽憲, 肖 鋒, 香川 利春  
Kohei IIDA, Toshiya KOBAYASHI, Kotaro TADANO, Maolin CAI,  
Toshinori FUJITA, Feng XIAO, Toshiharu KAGAWA  
2019年50巻1号 p. 25-30 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.25) <https://doi.org/10.5739/jfps.50.25>

Using isothermal discharge is a new experimental approach to determine the flow-rate characteristics of compressible fluids, which has been registered as JIS B 8390-2 by Japanese Industrial Standards Committee. However, it is not clarified yet that to what extent the ambient atmospheric pressure affects the sonic conductance and critical pressure ratio measured by this method. In this study, a chamber with a sufficiently large capacity was attached to the downstream outlet, and a pseudo atmospheric pressure control device with an ejector was used to adjust the downstream pressure. Experiments were carried out with different values of downstream pressure lower than the ambient atmosphere. It was observed that the sonic conductance keeps constant in the choke range and is not influenced by the downstream pressure. Moreover, the variation in the critical pressure ratio is not significant under the experiment conditions.

## 油圧アームの非定常流量要素の最適行列同定とオンライン推定への応用 On-line validation of the unsteady flow blocks for hydraulic arms

那花 優将, 永井 一輝, 酒井 悟

Yusuke NABANA, Kazuki NAGAI, Satoru SAKAI

2019年50巻2号 p. 31-37 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.31) <https://doi.org/10.5739/jfps.50.31>

This paper discusses modeling and validation of unsteady flow blocks for hydraulic arms. The proposed model is similar to the look-up table but does not need any flow sensors. The proposed model is identified by experiment with a hydraulic arm and the nominal nonlinear model and compared with conventional model using the Bernoulli principle. The validity of the proposed model is confirmed via on-line validation experiment with the initial pressure measurement only.

## CFDによる油圧回路構成機器の脈動伝達特性の解析手法に関する研究 Research on analyzing method of pulsation transfer characteristics of hydraulic circuit components based on CFD

一柳 隆義, 小谷 光生, 西海 孝夫

Takayoshi ICHIYANAGI, Mitsuki KOTANI, Takao NISHIUMI

2019年50巻2号 p. 38-45 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.38) <https://doi.org/10.5739/jfps.50.38>

In recent years, the computational numerical analysis makes it possible to find out various kind of unknown phenomenon in the fluid power systems due to rapid improvements of computer. The three dimensional transient CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis can be a powerful tool for understanding the transient flow phenomenon inside pumps, valves and other hydraulic components. It can be also used for analyzing the pulsation phenomenon such as pressure and flow ripple in the hydraulic circuits. The aim of this report is to study on the analyzing method of the pulsation transfer characteristics of hydraulic circuit components by the CFD approach. A rigid pipe for the hydraulic line and a quarter wavelength side branch silencer are chosen as the analyzed hydraulic components. The transient CFD analysis is conducted to obtain the time history pressure and flow ripple at inlet and outlet of component. These time domain data are converted into the frequency domain by FFT, and the pulsation transfer characteristics which is represented by the four pole transfer matrix can be obtained as the frequency dependent characteristics. The results are compared with the theoretical and experimental results to verify the accuracy. The investigations about the CFD settings are also carried out to acquire the knowledge of calculation settings for pulsation phenomenon in the fluid power system.

## 天然ゴムの伸張結晶化を用いた軸方向繊維強化型空気圧人工筋肉の長寿命化 Prolonging the fatigue life of the Straight fiber type pneumatic artificial muscle by the strain-induced crystallization of Natural rubber

小島 明寛, 奥井 学, 久道 樹, 只見 侃朗, 辻 知章, 中村 太郎

Akihiro KOJIMA, Manabu OKUI, Itsuki HISAMICHI, Naoaki TADAMI,

Tomoaki TSUJI, Taro NAKAMURA

2019年50巻2号 p. 46-52 [DOI](https://doi.org/10.5739/jfps.50.46) <https://doi.org/10.5739/jfps.50.46>

Pneumatic rubber artificial muscle is attracting attention as an actuator having high cooperativeness with human because of its feature of being flexible and lightweight. The authors have developed Straight fiber type pneumatic artificial muscle (SF-ARM), which is a high power, highly displaced pneumatic rubber artificial muscle. Although SF-ARM has excellent contraction characteristics, it has a problem of short fatigue life. Therefore, in this study, focusing on strain-induced crystallization of natural rubber, the fatigue life of SF-ARM has been extended. First, strain-induced crystallization of natural rubber were confirmed by wide angle X-ray diffraction. Next, analysis of strain concentration in the vicinity of the crack was performed by the finite element method. Finally, a fatigue life test of SF-ARM was carried out to confirm the effect of prolonging the fatigue life by using strain-induced crystallization.

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 (12月10日現在)	911	14	149	130
差引き増減	+2	±0	+5	±0

正会員の内訳 名誉員15名・シニア員47名・ジュニア員138名・その他正会員711名

〈新入会員〉

正会員

村上 賢

川上 健太 (大電株式会社)

学生会員

大谷 優 (立命館大学)

谷口 友美 (立命館大学)

實生 雅之 (徳島大学)

横田 雅司 (徳島大学)

田上 亮太 (東京電機大学)

会 告

## 共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

**No.19-339 連続講習会「機械—電気の統合モデルによるモデルベース開発」**

企 画：一般社団法人 日本機械学会 交通・物流部門

開 催 日：2020年1月23日(木) 第4回 物理機能モデルによるモデル化 (機械と電気の簡単な事例)

会 場：日本機械学会会議室 (東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館5F)

U R L：https://www.jsme.or.jp/event/2019-41632/

**日本機械学会関西支部第366回講習会 実務者のための振動基礎と制振・制御技術**

主 催：一般社団法人 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門

開 催 日：2020年1月27日(月)～1月28日(火)

会 場：大阪科学技術センター 8階 中ホール (大阪府大阪市西区靱本町1-8-4)

U R L：http://www.jsme.or.jp/rmd/robomech2020/

**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 (神戸市中央区港島中町6-9-1)

U R L：https://compsafe2020.org/

**IIP2020 情報・知能・精密機器部門講演会**

企 画：一般社団法人 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門

開 催 日：2020年3月26日(木)～3月27日(金)

会 場：東京電機大学 東京千住キャンパス (東京都足立区千住旭町5)

U R L：http://www.jsme.or.jp/iip/

**ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 (ROBOMECH2020)**

主 催：一般社団法人 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門

開 催 日：2020年5月27日(水)～5月30日(土)

会 場：石川県産業展示館 他 (石川県金沢市袋島町南193)

U R L：http://robomech.org/2020/

## 編集室

## 次号予告

—特集「創立50周年記念企画—フルードパワーユーザーからみる将来への期待」—

【巻頭言】「創立50周年記念企画—フルードパワーユーザーからみる将来への期待」発行にあたって	塚越 秀行
【解説】	
機能性流体関係	袖山 博
鉄道車両になくてはならない空気圧システム	風戸 昭人
環境機械関係	佐志田 貴
フルードパワーユーザー（建設機械）から見る将来への期待	布谷 貞夫
医療関係	小林 正樹, 門脇 信傑
海洋関係	伊藤 雅則
【トピックス】学生さんへ、先輩が語る	奥井 学
Youは日本をどう思う?第13回:ベトナムから日本に留学して	トラントルンフォン
【研究室紹介】東京都立産業技術高等専門学校 大野研究室	津久井 康介
【企画行事】2020年度企画行事紹介	藤田 壽憲, 小林 巨
2019年秋季フルードパワーシステム講演会報告	加藤 友規

## 2019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)	委員	中野 政身 (東北大学)
副委員長	村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)		中山 晃 (日立建機株)
委員	飯尾 昭一郎 (信州大学)		藤田 壽憲 (東京電機大学)
	飯田 武郎 (株小松製作所)		丸田 和弘 (株小松製作所)
	伊藤 雅則 (東京海洋大学)		宮津 寿宏 (CKD株)
	梅村 哲郎 (KYB株)		矢島 丈夫 (株コガネイ)
	加藤 友規 (福岡工業大学)		柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
	北村 剛 (油研工業株)		山田 真の介 (株TAIYO)
	栗林 直樹 (川崎重工株)		山田 宏尚 (岐阜大学)
	五嶋 裕之 (株工苑)		吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
	齋藤 直樹 (秋田県立大学)	担当理事	伊藤 和巳 (KYBエンジニアリングアンドサービス株)
	佐々木 大輔 (香川大学)	学会事務局	成田 晋
	佐藤 恭一 (横浜国立大学)	編集事務局	竹内 留美 (勝美印刷株)
	妹尾 満 (SMC株)		(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。



## お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

\*下の振替用紙をご利用いただけます。

(なお、この振替用紙は会費納入・資料購入・セミナー等受講料など総てにご利用いただけます。)

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

(注) \*口座名はいずれも「シャ)ニホンフルードパワーシステムガッカイ」です。

\*誠に恐れ入りますが、振り込み手数料はご負担くださいますようお願い申し上げます。

\*上記2をご利用の方で、会社名・大学名にてご送金の方は、個人名・内容・振込金融機関名を、FAXまたはE-mailで学会宛にご連絡くださいますよう、お願い申し上げます。

FAX : 03-3433-8442

E-mail : info@jfps.jp

この受領証は、郵便局で機械処理をした場合は郵便振替の払込みの証拠となるものですから大切に保存してください。

### ご注意

この払込書は、機械で処理しますので、口座番号及び金額を記入する際は、枠内に丁寧に記入してください。

また、下部の欄(表面及び裏面)を汚したり、本票を折り曲げたりしないでください。

(日本郵政公社)

〒105  
0011

東京都港区芝公園三丁目五―二―二 機械振興会館別館一〇二 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―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―一〇―三一―二三三六九〇

東京都文京区白山一―二―三―七 アクア白山ビル五階  
印刷所 勝美印刷株式会社