

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

Nov.2017 Vol.48 No.6

日本フルードパワーシステム学会論文集

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

特集「災害現場で活用される
フルードパワー技術」

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「災害現場で活用されるフルードパワー技術」

【巻頭言】

「災害現場で活用されるフルードパワー技術」発行にあたって 中山 晃 304

【総論】

災害に強いフルードパワー 塚越 秀行 305

【解説】

原子力災害対応の小型双腕重機型ロボット 江川 栄治 310

バックホウ用遠隔操縦装置の開発 平野 高嗣 313

防災用エアージャッキの開発 山下 実里 317

フラップゲート式可動防潮堤の開発・実用化 谷尾 大地 320

低コストで多機能な油圧ハイブリッドロボット 玄 相昊 323

油圧駆動ハイパワー人工筋肉の開発とロボットへの応用 森田 隆介, 鈴森 康一 327

【会議報告】

ROBOMECH 2017におけるフルードパワー技術開発動向 高岩 昌弘 331

第15回スカンディナビア国際会議参加記 眞田 一志 333

【トピックス】

中国駐在員日記 田島 正之 337

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード 第6回 フルードパワー設計者のために必要な国際規格の紹介 大古 潤 340

【研究室紹介】

東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 バイオメカニクス分野 川嶋研究室 川嶋 健嗣 343

【企画行事】

平成29年春季フルードパワーシステム講演会報告	只野耕太郎 346
-------------------------	-----------

【会告】

平成29年度オートムセミナー	
「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」	349
平成29年度ウインターセミナーのお知らせ	
「フルードパワーに利用できるマイコン技術～危機の駆動に関わるマイコン技術～」	349
論文投稿規程, 論文執筆要綱の改定について	349
共催・協賛行事のお知らせ	350
資料一覧	351
フルードパワーシステム第48巻総目次	355
その他	319, 348, 358

■表紙デザイン：山本 博勝 株豊島

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

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

FLUID POWER SYSTEM

Contents

Special Issue "Fluid Power Technology at disastrous site"

[Preface]

On the Special Issue "Fluid Power Technology at disastrous site"	Akira NAKAYAMA	304
--	----------------	-----

[Survey]

Fluid Power Resistant to Disaster	Hideyuki TSUKAGOSHI	305
-----------------------------------	---------------------	-----

[Review]

Double-Arm Heavy Machinery-Type Robot for Nuclear-Power Disaster	Eiji EGAWA	310
Development of a Tele-Operated Device for Excavator	Takatsugu HIRANO	313
Research and Development for Lifting Bags	Misato YAMASHITA	317
Development of the Flap Gate Type Seawall	Daichi TANIO	320
Low-Cost and Multifunctional Hydraulic Hybrid Robot	Sang Ho Hyon	323
Development of Oil-Hydraulic Artificial Muscle and Application to Robotics	Ryusuke MORITA, Koichi SUZUMORI	327

[Conference Report]

Trend of Technology and Development in Fluid Power at Robomec 2017	Masahiro TAKAIWA	331
The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power	Kazushi SANADA	333

[Topics]

China Diary of Expatriates	Masayuki TAJIMA	337
Global Standards for Fluid Power Designers Part 6.Introduction of Global Standards for Fluid Power Designers	Jun OOGO	340

[Laboratory Tour]

Kawashima Group, Biomechanics Department, Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University	Kenji KAWASHIMA	343
---	-----------------	-----

[JFPS Activities]

Report on Spring Conference on Fluid Power Systems 2017	Kotaro TADANO	346
---	---------------	-----

[JFPS News]

319, 348, 349, 350, 351, 355, 358

巻頭言

「災害現場で活用されるフルードパワー技術」 発行にあたって

著者紹介



なか やま あきら
中山 晃

日立建機株式会社
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650
E-mail : a.nakayama.xo@hitachi-kenki.com

1991年東北大学工学部機械工学第二学科卒業、
同年日立建機株式会社入社、現在に至る。油圧
機器、システムの研究開発に従事。日本フルード
パワーシステム学会会員。

地震や台風などに起因する自然災害や、橋梁やトンネル等の建造物の老朽化に伴う事故にみられる災害現場においては、人命救助や災害復旧など迅速な対応が求められる。災害対応にはその過酷な現場環境のなか、出力密度の高いフルードパワー技術が多用されている。そこで、「災害現場で活用されるフルードパワー技術」と題して最近の関連技術の状況と今後の課題・展望について紹介する。

塚越氏には総論として、「災害に強いフルードパワー」と題して、フルードパワーの特性が災害対応の用途に適しており、その優れた特性の概要について述べて頂いた。また、現在取り組んでいる災害対応ロボットの適用事例についても紹介して頂いた。

災害現場は人が対応するには危険な環境であることが多く、二次災害の虞があるため、遠隔操作によるロボットが用いられている。

江川氏には、「原子力災害対応の小型双腕重機ロボット」と題して、福島第一原子力発電所の災害現場に投入された双腕型フルードパワー機械の概要について述べて頂いた。

平野氏には、「バックホウ用遠隔操縦装置の開発」と題して、汎用バックホウの運転席に遠隔操縦ロボットを搭載することで、汎用バックホウを遠隔操縦可能とする装置について紹介頂いた。従来の遠隔

操縦ロボットに対して、輸送性、搭載性、安全性の改善を施し、有事の際の即応性を向上している。

横井氏からは「救助用エアージャッキ」と題して、薄型軽量を実現するエアージャッキの構造と、空圧源として自転車用空気入れでも使用可能なエアージャッキについて紹介して頂いた。

谷尾氏からは、「フラップゲート式可動防潮堤の開発・実用化」と題して、水害による浸水時にその浮力によって自動的に起立するフラップ式陸閘の概要について紹介頂いた。

玄氏からは「低コストで多機能な油圧ハイブリッドロボット」の概要について紹介して頂いた。本システムは各々の機能が欲しい時に開回路システムと閉回路システムを適宜切替えることで、低速駆動域での精密位置決めと高負荷運転、高速駆動域では位置決め精度は低下するが超高速駆動を実現している。

森田氏、鈴木氏からは、油圧駆動ハイパワー人工筋肉の概要についてご紹介頂いた。従来は空圧用に使われていたマッキベン人工筋の材質を油圧対応にすることで、更なる大出力化を図った。

最後に、災害現場においては、厳しい作業環境、かつ時々刻々変化する状況において、十分に性能を発揮できない事例もあり、フルードパワー技術やその周辺技術の更なる発展が求められている。また、情報化施工にみられるICT (Information and Communication Technology) の導入によるフルードパワー機械の無人化、自動化技術においては急速に進歩を遂げている。災害対応技術においてもICTとAI (Artificial Intelligence) の融合による益々の技術の高度化に期待したい。

末筆ながら、ご多忙の中ご寄稿頂いた執筆者の方々に深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げます。

(原稿受付：2017年10月16日)

災害に強いフルードパワー

著者紹介



つか 越 秀 行

東京工業大学工学院

〒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）。

1. はじめに

災害への対応措置は、災害を未然に防ぐための防災、災害発生時の災害救助、災害後の復旧・復興など状況に応じて求められる作業内容は異なる。いずれの作業とも、自然と対峙する人間にとって過酷な作業環境が多く、機械の支援は不可欠である。そして、このような劣悪環境で活躍する機械には、フルードパワーが一翼を担っている事例が多い¹⁾。本稿では、災害対策・対応などに広く使われる機械とフルードパワーとの関連を概観したうえで、現在研究中の開発事例を通して災害対応におけるフルードパワーの新たな可能性を探る。

2. 災害対応に適するフルードパワーの特性

家電製品や産業用ロボットの多くは、電気モータで駆動されている。この背景には、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環境を汚さず扱いやすい、などの理由が挙げられる。一方、油圧・水圧・空気圧などのフルードパワーは、他のアクチュエータでは代替し難い以下の特異な性質を具えており、これらは災害時の作業に威力を発揮する。

1) 高いパワー密度とエネルギーの蓄積機能

流体エネルギーをチャンバー内に蓄積する機能は、重量物の持ち上げ動作に適する。持ち上げ力は、概ねチャンバーの断面積と圧力との積で定まるため、小型でも圧力を高めると大きな力の生成が可能とな

る。特に、マット型空気圧ジャッキは機構を不要とする扁平構造を有し、狭隘空間に挿入しやすいため、救助現場などで多用されている。

2) 膨張エネルギーによる高速動作

空気圧に代表される圧縮性流体は、加圧時にチャンバー内に封入された直後から、体積が膨張する。これにより、圧縮状態で流入した体積以上にチャンバーが変位し、瞬間的な高速動作の生成が可能となる。水難事故の救出時にロープを投げ込む救命索発射銃などに、この性質が利用されている。

3) 防爆性

可燃性ガスや可燃性液体の蒸気が空気中に放置された雰囲気では、ガスが電気火花や高温の物体などの点火源に触れると、爆発や火災が起きる懸念がある。このような環境では着火源の発生を避けるため、電気の使用に細心の注意を要する。一方、フルードパワーはこれらの危険性が少なく、優れた防爆機能を発揮する。2005年に起きたJR福知山線脱線事故現場では、ガソリンが散乱した環境でのレスキュー活動として、電気モータの使用を避け主に油圧機器が活用された。

4) 耐熱性

高温環境下の作業機材において、駆動部の作動流体や構造材の冷却用水として比熱容量の高い水を循環させると、温度上昇を軽減し耐熱性を高める効果が期待できる。特に火災現場において、消火用水を駆動系の作動流体にも併用できる水圧駆動機器の開発は、今後の進展が望まれる分野である。

5) 過負荷への対応

電動駆動の場合、過負荷が作用すると過電流が流れてモータが焼き切れる懸念がある。フルードパワーでは、リリーフ弁による圧力の逃げを設けることにより機構や構造の破損を回避し、過負荷に対応しやすくなる。

6) 形状適応性とバックドライバビリティ

一般に、空気をはじめとする圧縮性流体で駆動されるアクチュエータは、外力に応じて受動的にアクチュエータが変形し、バックドライバブルな機能を発揮する。また、圧縮性・非圧縮性の流体を問わず、

加圧/無加圧の切り替えによりアクチュエータを能動/受動の異なる動作モードに変更できる。受動モードでは外界に適応した挙動が生成しやすくなり、凹凸地形の移動やマニピュレーション作業において有効となる。

7) 無摺動構造の無段変速

救助活動の作業に応じて、高トルクモードから高速度モードまで動作の切換えを要する場合がある。これを摩擦式の無断変速機で実現しようとする、摩擦熱による発火が防爆の観点で不安要素となる。これに対して、油圧ポンプの斜板角度を変化させて作動油の流量を連続的に増減できる油圧駆動系は、変速機を用いずに無段変速を可能とする。

3. 災害対応ロボットへの適用事例

フルードパワーの新たな可能性を示す事例として、筆者らが研究中の災害対応ロボットの一部を紹介させていただく。

3.1 ジャッキアップ移動体

まず最初に、油圧の高いパワー密度とエネルギーの蓄積機能を利用した災害救助ロボットの開発例を紹介する。

全壊家屋の閉塞空間に閉じ込められた要救助者の捜索・救出は、震災直後に要求される重要な作業の一つである。現状では、ジャッキで持ち上げたりチェーンソーで切断したりしながら、レスキュー隊員が進入経路を切り開いて建物内に潜入する。しかし、余震環境下で倒壊家屋内に潜ることは二次災害を招く恐れがあり、隊員にとって精神的負担も大きい。それに対し、図1に示すように隊員に代わって建物内に潜入し、捜索と救出支援を行えるロボットが実現すれば、救助作業の安全確保と効率向上につながる。

その実現に向けて筆者らが開発したロボットが、移動と重量物のこじ開け動作との双方を行えるジャッキアップ移動体：Bari-bari-II（図2、表1）である。ロボット内に搭載したカメラ・マイク・スピーカーによる探査に加え、救出作業を支援する可動式支え木の役割も担う。

その構成は、ボディ部とプレート部とから成る。プレート部で障害物を押し上げながらボディ部が前進するプレートサポートモードと、ボディ部で障害物を支えながらボディ内でプレート部が前進するボディサポートモードとを交互に切り替わりながら移動する。この移動方式は、車輪型・クローラ型・インチウォーム型と異なり、上下両面に接地面が存在する場合でも、下面のみが接地する場合でも、推進反力を得ることができる。そのうえ、前方がステップ構

造になっているため、ステップの一段面を障害物の隙間に挿入できれば、移動と同時にこじ開け動作も生成可能となる。

重量物の持ち上げ動作は、油圧シリンダで生成することにした。定格圧力10.8MPa定格流量3l/minを出力するポンプ駆動用の電動モータは、直径300mm以上の外寸となるため家屋外に設置し、細径のホースを介して圧力エネルギーをロボットに供給する構成とした（図3）。

開発したBari-bari-IIは、質量25 kg、外寸480×276×140mmとなり、質量500kgの負荷を持ち上げた²⁾。高さ50mm程度の隙間をこじ開けて進入し、ジャッキアップ時の高さは最大300mm（人体が通れる程度の隙間）まで拡大できることを確認した（図4）。重量物を支えながら移動できる小型移動体は従来まで開発された事例がなく、災害時以外の用途にも期待されている。普及を広める方策として、交通事故車両内の要救助者の救出支援や、家屋を解体せずに移送する作業などへの併用が有効と考えられる。



図1 ジャッキアップ移動体による救助のイメージ

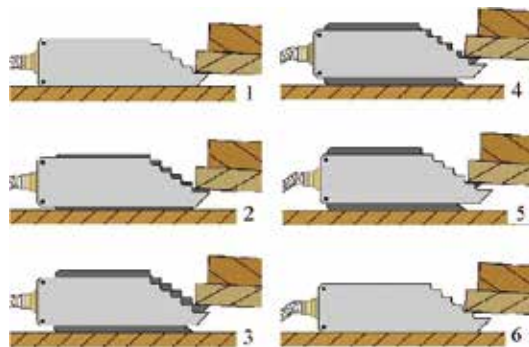


図2 狭隘空間のこじ開け動作

表1 開発したBari-bari-IIのスペック

item	Bari-bari-II
Size	480×276×140mm
Weight	25kg
Maximum payload	500kg
Maximum height	250mm
Minimum height to be able to be inserted	10mm
Step height to be able to cross over	60mm
Maximum velocity	700mm/min

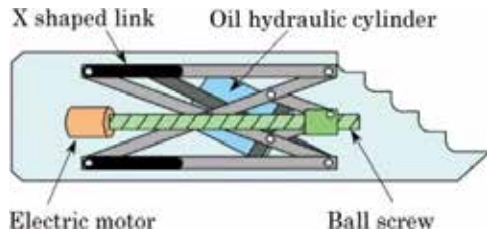


図3 Bari-bari-IIの構造



図4 Bari-bari-IIによるがれき下の移動

3.2 磁性ブレーキシリンダによる投擲

つぎに、空気圧の膨張エネルギーを利用した投擲（とうてき）を紹介する。

地震・テロなどの災害発生時に、危険建物内の情報を迅速かつ安全に収集する手段が求められる。その解決の一策として、投擲による探査装置の搬送に着目した（図5）。

投擲を生成する装置として、膨張エネルギーを利用できる空気圧シリンダが有用であるが、ここでは終端速度を高速化してより遠方に飛ばしやすいたMBシリンダ（Magnetic Brake Cylinder：磁性ブレーキシリンダの略称）を紹介する³⁾。図6(b)のようにキャップに永久磁石、ピストンに強磁性体を付加したシリンダに、タンクと小型切換弁を接続している。小型切換弁が排気状態のとき、ピストンは磁石に吸着してロッドは収納状態となる。加圧状態に切換えると、ピストンを押す空気圧の力が磁石の吸引力より大きくなった時点でピストンが磁石から脱離し、タンクからシリンダに大流量の圧縮空気が流入する。MBシリンダは、通常の空気圧シリンダ（図6(a)）と異なり、弁の応答性や有効断面積によらずロッドの終端速度の高速化を図りやすい。実験の結果、MBシリンダの方が同質量の従来型シリンダに比べて3～8倍程度遠い距離までチューブを投擲可能なことを確認した（図9、10）。

MBシリンダは、チャンバー内を二分し、各々を加圧するタイミングを2つの弁で調整することにより、投擲距離を制御する機能も有する（図7、8）。

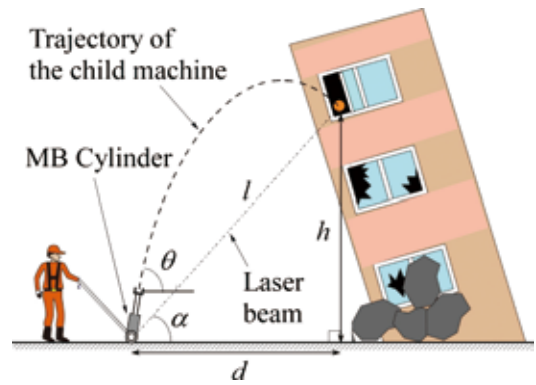


図5 センサボールを投擲して建物内を探査

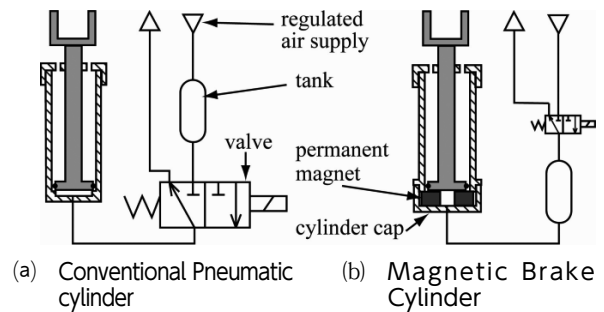


図6 従来型シリンダ(a)とMBシリンダの構造(b)

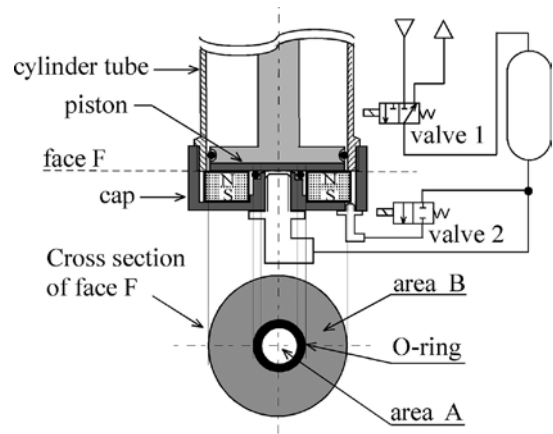


図7 MBシリンダの終端速度を制御する構造

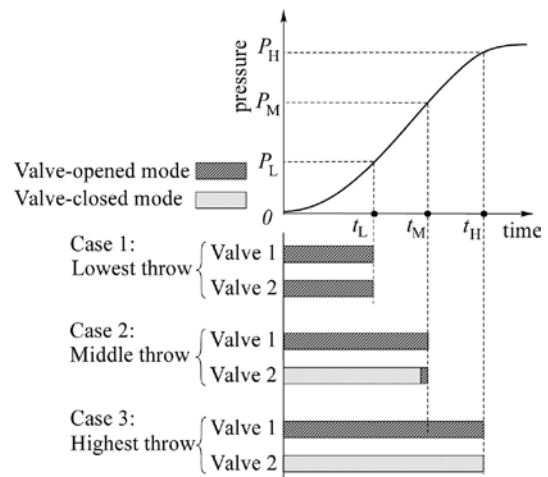


図8 MBシリンダで終端速度を制御する弁駆動



図9 開発したMBシリンダ

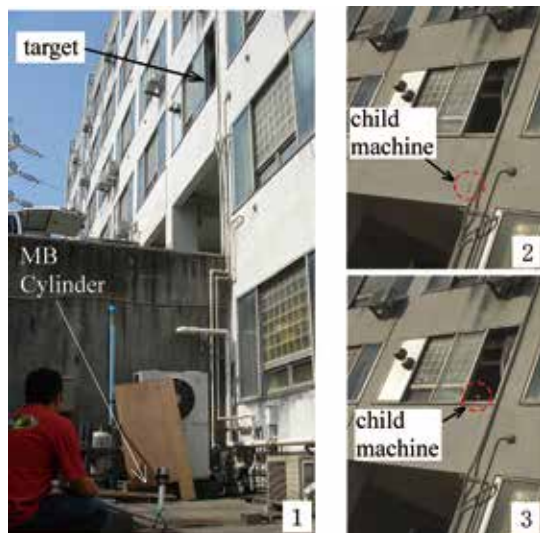


図10 MBシリンダで建物3Fにマイク付きカメラを投擲して探査

3.3 噴射を利用した土中探査ホース

フルードパワーの膨張エネルギーを災害対応機器に適用したもう一つの事例として、土中探査ホースを紹介する。

土砂崩れや雪崩などの災害により、閉塞空間に人が生き埋めになる事故が後を絶たない。現状では、救助隊員が剛体棒（ゾンデ）を挿入し、接触時の感触から要救助者の有無を判断している。しかし、土質や土圧などの条件により挿入時の感触が異なるため、短時間に判断できる精度には限界がある。また、障害物が剛体棒の進入を妨げる場合もある。

これらの課題を解決する方策として、カメラや赤外線センサなどの探査機を土中深奥部まで障害物を避けながら搬送する手段が有用と考えられる（図11）。その実現には、土中搬送時に生じる挿入抵抗の軽減と、搬送方向の操舵が求められる。

土中への挿入抵抗の軽減手法として、さまざまな方式が考えられるが、それらは以下のように整理される。すなわち、進行方向の前方の土を押し開ける方向として、前方もしくは側方式と後方とに大別される。それらはさらに、外殻形状の変形をとまなうもの、外殻形状は不変であるが可動部を要するもの、可動部が一切存在しないもの、などに分類され、そ

の各々の具体的な手法は図12に示す通りである。これらの手法に関して、筆者らが同サイズの円筒構造で比較実験を行ったところ、先頭から空気を噴射する方式が最も挿入抵抗を軽減することができた⁵⁾。

また、土中で進行方向を操舵する手法として、噴射方向の変更が有効であることも確認された。ホース先端の土圧が変わるため、押し込むだけで先端の進行方向を調整できるものと考えられる。



図11 土中探査ホースの作業イメージ

	variable outer shell		invariable outer shell
	mechanical drive		no mechanical drive
forward and sideward carrying	I	II	III
	telescopic motion	vibration	jet
	backward carrying	drilling	suction
backward carrying	IV	V	VI
	scratching	drilling	suction

図12 土中の挿入抵抗を軽減する方法の分類

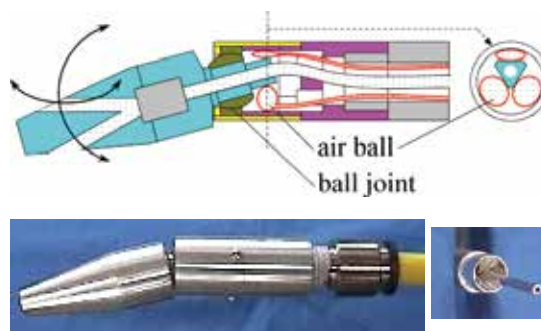


図13 方向操舵機能を有する噴射式ヘッドの構造（上）とその試作機（下）

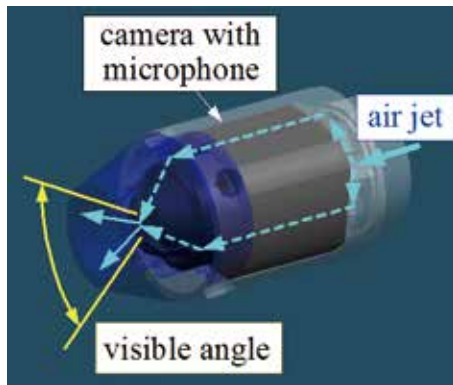


図14 カメラを搭載した先端構造

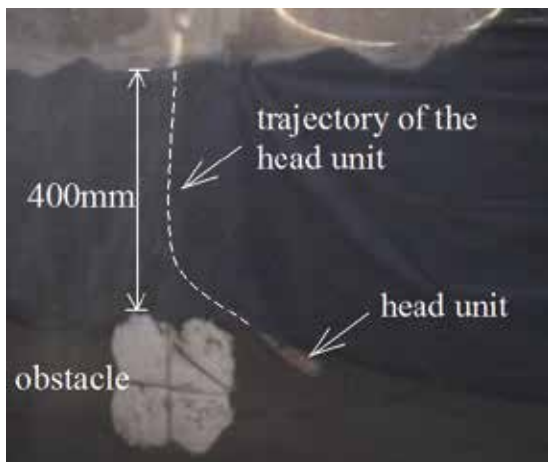


図15 土中の障害物をよけながら進む試作機

以上の機能を実現する噴射型土中探査ホースは、図13に示す構成となった。噴射方向は、小型ボール状の空気圧バルーンを加圧すると、ノズルの傾きが変わって制御できる。試作機の先端は、外径18mm、長さ11.1mm、質量68gとなった。先端には、LED付きのカメラを内蔵し、ノズル先端からの噴射は挿入抵抗の軽減だけでなく、カメラレンズの表面を清浄する機能も兼備するため、土中でも画像を取得しやすくなることが確認された。

0.25MPaの空圧源からの噴射と操縦者の押し込みにより、10秒間に土中の深さ450mmまで先端が進行した（図15）。また、装備したカメラからの画像をもとに障害物の存在を認識した際、噴射方向を調整することにより、障害物を避けながら進めるこ

とも確認された。

4. おわりに

災害対応機器における流体制御技術の有用性を述べた。また、筆者らが研究中の災害対応ロボットを通して、フルードパワーの新たな可能性も紹介した。本稿で述べた内容に加え、流体は人力から力学的エネルギーを簡便に取得しやすい特徴も具備している。人間工学の観点から、その変換方法は今後発展の余地が残されている。平時と災害時の双方に役立つ二刀流の災害対応機器として、さまざまな学問と融合しながら、フルードパワーの秘めた可能性が今後も引き出されていくことを願ってやまない。

謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、総務省消防庁の消防防災科学技術研究推進制度のご支援のもとで行われました。

参考文献

- 1) 塚越秀行 “災害に強い流体制御の応用技術” 計測と制御, Vol.54, No.9, 649-654 (2015)
- 2) Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, Masayuki Ito, Kuniaki Ooe, Ichiro Kiryu, and Takumi Kochiya: “Bari-bari-II Jack-up Rescue Robot with Debris Opening Function,” IEEE International Conference on Robotics and Automation ThB12.5 (2008)
- 3) Eyri Watari, Hideyuki Tsukagoshi, and Ato Kitagawa, Takahiro Tanaka, “Design of a Casting Device for a Tethered Payload Aiming Higher Access for Mobile Robots”, Transactions of the ASME, Journal of Mechanism and Robotics, Vol.3, Issue 4, 041002-1/041002-11 (2011)
- 4) Hideyuki Tsukagoshi, Kazutaka Fuchigami, Eyri Watari, Ato Kitagawa, “Deformable Anchor Ball for Thrown Referring to Octopus Suckers”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.4, 477-485 (2014)
- 5) 塚越秀行, 小山輝憲, 北川能, “人命探査を目指した土内推進ホースの開発（挿入抵抗の軽減と方向操舵の検討）,” 日本機械学会論文集（C編, 71巻, 704号, 1334-1341 (2005)

（原稿受付：2017年10月2日）

解説

原子力災害対応の小型双腕重機型ロボット

著者紹介

えがわ えいじ
江川 栄治日立建機顧客ソリューション本部
〒300-0013 茨城県土浦市神立町650

1988年東北大学工学部機械工学科卒業。1989年日立建機入社。現在に至る。油圧制御の研究、応用製品の開発、経営企画、ソリューション事業開発に従事。

1. はじめに

現在、福島第一原子力発電所には、原子力事故の収束に向けて各種ロボットが投入されている。当初は環境調査・測定を行うロボットが主に使用されたが、廃炉に向けての作業ステージの進行に伴い、重作業にも対応できるロボットへのニーズが高まってきた。

本機は、そうしたニーズを受けて、同一グループ企業の建設機械メーカーとプラント設備関連会社が共同開発した遠隔操縦式の小型双腕重機型ロボットである。建屋内でのガレキ撤去や遮へい体の設置等、比較的重量物を扱う作業への対応を目的として、接地面積1.5㎡、揚重能力300kgfを目標仕様として開発した(図1)。

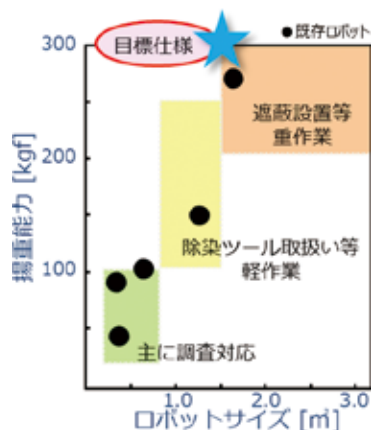


図1 目標仕様

2. 現場ニーズとシーズ技術のマッチング

2.1 現場ニーズ

現場ニーズとしては、建屋内通路等のガレキや干渉物の撤去が必要であり、小型かつパワフルな特性に加え、対象物以外の破損による二次災害を防ぐため、片手で押さえてもう一方で切断する等、丁寧な作業が可能な双腕型ロボットが必要とされ、かつ、ロボット自体がガレキにならないよう車体駆動系や構造物には高い信頼性が要求された。また、離れた場所からカメラ画像や線量等をモニタリングしながら効率的に遠隔作業を行うための高度な遠隔操縦システム、オペレータの育成、導入後のメンテナンスを含むロボットの現場運用が必要とされた。

2.2 シーズ技術とのマッチング

それらに対応するシーズ技術として、解体作業機やスクラップ処理機等、多くの応用製品開発の実績があり、2006年度～2010年度のNEDO委託事業「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」において13tクラス双腕作業機(図2)を開発した建設機械メーカー側が車体駆動系や構造物の開発を担当し、プラント設備の運転、監視および保全業務等の実績が豊富なプラント設備関連会社側が遠隔操縦システムの開発やオペレータの育成、ロボットの現場運用を担当した。



図2 13tクラス双腕作業機

3. 戦略的開発

3.1 トップダウンによる短期開発

今回のミッションは、原子炉へのアクセススペースを確保し、炉内の状況確認を早期実現するための準備作業に位置づけられ、時間的に猶予がないこともあり、開発は両社トップダウンにより、設計着手から車体開発、制御系開発、全体試験まで1年という異例の短期間で計画された。

3.2 異業種間における連携

言うのは簡単だが、実際にはグループ企業とはいえ畑違いの会社間である。設計段階でまずは互いの言語（専門用語）の共有からはじまり、粘り強く仕様の擦り合せを行うことで連携を深める必要があった。打合せを重ねるたびに次第に開発が加速して行き、最終的には完成まで1年という目標を何とか達成することができた（図3）。

年	2011	2012	2013	2014
設計	コンセプト 検討	詳細設計		
製作				
現地適用		・モックアップ ・操作トレーニング	6月 建屋内作業	

図3 開発スケジュール

4. 小型双腕重機型ロボットの特長

4.1 コンパクトボディに2本のアームを搭載

ロボット本体は短期開発と信頼性を両立するため、市販の油圧ショベルをベースに開発した。住宅工事等に用いられる2tクラス小型油圧ショベル（図4）は、走行用のクローラ幅が可変となっており、狭所の走行が可能となえ、幅を広げれば安定感のある作業が可能である。そこで、車体全体を支えるメインフレームやエンジン、走行部はそのまま流用しながら、2本のアーム取付部材やコントロールバルブ、油圧ホース類等がメインフレーム上にコンパクトに収まるよう3D-CADを駆使してレイアウト設計を行った（図5）。

表1にロボット本体の仕様を示す。狭所を走行できるよう、接地面積だけでなく、アームを折りたたんだときの高さも1500mmに抑えた。片方のアームに対する自由度は各4自由度であるが、アタッチメントの旋回動作等を加えるとさらに自由度は増える。2本のアーム先端に異なるツールを装着することを可能としたことで、現場での作業において、1本のアームでつかみ、他方のアームで切断作業を行なう

等、建屋内でのガレキ撤去、解体作業にも丁寧な対応を可能とした。



図4 2tクラス小型油圧ショベル

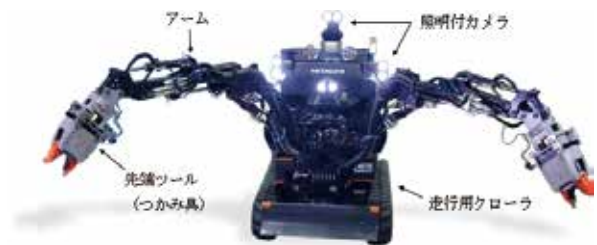


図5 小型双腕重機型ロボット

表1 小型双腕重機型ロボットの仕様（ロボット本体）

装置名	小型双腕重機型ロボット
重量	約2,500kg
外形寸法	幅 980 ~ 1,280mm (クローラー可変) 長さ 1,570mm 高さ 1,500mm (アーム込み最低)
最大作業高さ	約2,500mm (アーム先端ピン)
自由度	アーム各4自由度, 本体旋回1自由度
駆動方式	ディーゼルエンジンによる油圧駆動 定格出力 11kw/2400min ⁻¹
駆動時間	約15時間 (連続使用の場合)
吊上荷重	両腕約300kg/片腕約150kg
走行速度	約2.6km/h (最大)
操作方式	無線 (非常時: 有線)

4.2 多自由度に対応した油圧駆動システム

これらを同時に滑らかに動かすために、コントロールバルブとしては、圧力補償機能付の9連電磁比例弁を2台搭載した。また、油圧ホースの本数も多いため取り回しを工夫し、本体からの取り出しに

はホース振れを軽減するためにロータリージョイントを採用し、アームでの取り回しには複数のホースが干渉しないよう柔軟に束ねられるフレックスガイドを採用した。

動力源はディーゼルエンジンであり、燃料を満タンにすれば15時間の連続運転が可能である。以上より、大きさとしては人と同程度ではあるが、油圧ロボットであるがゆえ、両腕を使えば重さ300kgのものが扱えるパワフルな仕様となっている。

4.3 現場環境測定への対応

本体にはカメラの他に放射線線量計、温度／湿度計、酸素／水素濃度計、および、赤外線カメラを搭載している。これらのセンサ情報は遠隔操作盤へ常時表示され、本体周辺の建屋内環境をモニタリング可能で、これらのデータはハードディスクに保存できる。

4.4 遠隔操縦システム

運転操作は、遠隔操作盤から無線にて行われる(図6)。遠隔操作盤は、ロボットに搭載した6台のカメラ映像を切り替えながら、同時に5つのモニタに表示可能である。また、6台のカメラには、それぞれLED照明を搭載しており、暗闇となる災害現場である原子炉建屋内でのガレキ撤去作業等へ対応可能とした。

操作方法としては、走行操作は中央2本のレバーで行い、2本のアーム操作はマルチスイッチ付レバーを採用することで、それぞれ外側の左右1本ずつに集約し操作の簡便化を図った。



図6 遠隔操作盤

5. 適用作業例

本機は、対策作業をまとめる同一グループ企業の原子力関連会社を介し、ロボットの現場運用を担当するプラント設備関連会社側にて2013年7月から2014年3月にかけて、福島第一原子力発電所の原子炉建屋内において、ガレキの撤去作業に活用された(図7)。対象エリアは原子炉建屋1階部分であり、

ガレキの種類としては、ケーブル類、鋼材、ダクト類など、多種多様であったが、コンパクトな車体と2本のアームを活かし、原子炉建屋内の広範囲において、ガレキの撤去作業を予定通り行うことができた。

現地では、油圧ショベルベースならではの信頼性の高さと十分な作業力、双腕による広汎な作業への対応が評価されており、今後は後継機の導入に向けた取り組みが期待される。



図7 原子炉建屋内でのガレキ除去作業¹⁾

6. おわりに

油圧ショベルは見方によっては最も汎用的な操縦型ロボットであり、そのパワーと便利さから本来の土木作業だけでなく、他の解体作業や災害復旧作業等に用いられることも多い。言うまでもなく、その特長はフルードパワーシステムによるところが大きく、電動システムと比べて桁違いのパワー密度、リリーフ弁による過負荷防止、作動油による潤滑性、冷却性、コントロールバルブによる動力分配機能等、その魅力は数多い。

これに昨今急激に進化してきたICT、IoT技術を組み合わせると一見何でもできそうであるが、実際やってみるとあまり役に立たないことも多い。最新技術や情報が溢れ、何ができるかよりも何をやるかが重要な時代と思う。フルードパワーシステムの長所を上手く活かせるよう、これからもニーズとシーズのマッチングを図りながら戦略的開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 東京電力㈱「福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋1階ガレキ等の障害物の撤去作業について」2013年7月26日 http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130726_05-j.pdf

(原稿受付：2017年8月3日)

解説

バックホウ用遠隔操縦装置の開発

著者紹介



ひらの たか つぐ
平野 高 嗣

株式会社フジタ
〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2
修養団ビル
E-mail : takahirano@fujita.co.jp

2001年 神奈川工科大学工学部機械工学科卒、
2001年株式会社フジタ入社、現在に至る。現在、
建設部土木エンジニアリングセンター機械部
にて遠隔操縦装置の開発等に従事。

1. はじめに

近年、日本では地震や集中豪雨による氾濫や土砂崩れ等の自然災害が多発し、甚大な被害をもたらしている。有事の際の災害復旧は一刻を争うが、一般の建設機械の使用は二次災害の危険性から困難であり、安全な場所から重機を遠隔操縦して作業する必要性が高い場合が多い（写真1）。建機メーカーから遠隔操縦機能を組み込んだ無人化施工専用機が販売されているが、世間に出回っている台数も少なく大型であり、緊急時の機動性や調達に課題がある。これらを解決すべく、一般のバックホウに装置を取り付けるだけで遠隔操縦が可能となる『初代ロボQ』（写真2）を平成9年に開発したが、開発から20年が経ち、経年劣化によるトラブルや、使用部品の製造中止等の問題が発生している。

そこで、安全性・組立性・メンテナンス性を向上させた改良型『ロボQS』を他二社と共同開発した。本論は本装置の開発について述べる。



写真1 遠隔操縦による土砂災害復旧状況

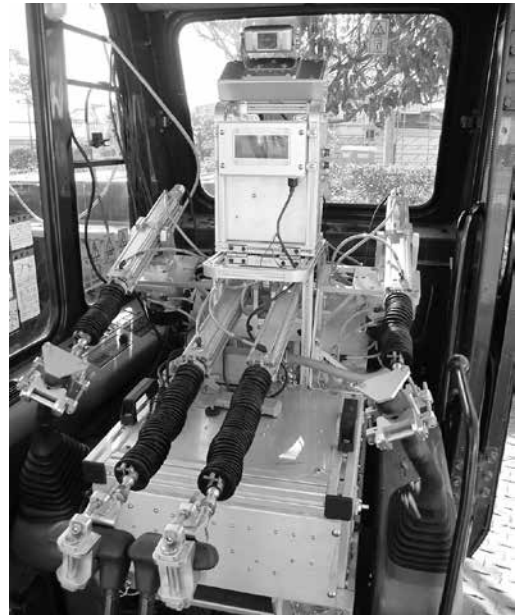


写真2 初代ロボQ

2. 基本仕様検討

2.1 基本仕様の検討

本装置は、バックホウを操縦するための走行レバー2本（前後方向）・作業レバー2本（前後左右方向）を、アクチュエータを通してそれぞれ把持し、操縦用ラジコンからの指令でアクチュエータを制御することで、遠隔操縦を可能とする装置である。無人化施工専用機はバックホウの油圧をダイレクトに制御するため、ラジコン操縦に対して敏感に反応をするが、本装置は操作レバーを把持してバックホウを制御するため、レバーの不感帯がそのまま反映され、ラジコン操縦でも実際に近い感覚で操縦ができる特徴がある。

基本仕様を検討するにあたり、適用規則及び標準は以下に準拠した。

- ・規則：電波法（施工規則）を遵守する。
- ・標準：ISO規格（国際標準化機構規格）
：JIS（日本工業規格）
：IEC規格（国際電気標準化会議規格）

2.2 基本仕様の決定

規則・標準を踏まえ、かつ初代ロボQと無人化施

工専用機の課題を解決すべく、ニーズ調査を行い、求められる機能を満足する基本仕様を次のように決定した。

2.2.1 遠隔操縦と搭乗操縦の簡易切替

災害現場での作業は、人が立入ることが可能な有人エリアから遠隔操縦重機を操縦するが、重機も有人エリアから二次災害の恐れがある作業場所へ立入って作業を行い、作業終了時は有人エリアへ戻す必要がある。ただ、有人エリアは狭隘で、他の車両や重機が多数いることが多く、有人エリアでの小移動は、直接搭乗して操縦した方が効率的であることが多い。しかしながら、初代ロボQは重機の運転席を取り外して搭載したため、必ず遠隔操縦での操縦を強いられた。本装置は運転席を取り外さず、措置を搭載したままでの搭乗操縦が可能な構造とする。

2.2.2 構成機器の簡素化

開発機械については、設置スペースの関係や要求スペックに応える機器が無いために、特注品や特殊部品が多くなる傾向にあり、故障や修理が必要な場合に部品調達に時間を要することが多い。本装置は市販品や極力一般に手に入りやすい部品で構成し、早急な故障対応を可能とする。

2.2.3 建設機械への取付方法改善

装置を組立・搭載する際、バックホウ本体への加工や穴開け、部品の脱着などの作業を要しないことが組立て者への負担軽減および搭載時間の短縮につながる。そのため、機種やメーカーを問わずバックホウへの改造等を施すことなく搭載可能な装置とする。また、各部品は一人で無理せず持てる重量とし、部品同士はボルト締結を無くしピンの差込による締結とし、装置の着脱に専用工具や技術を要さず、短時間で搭載できるようにする。

2.2.4 輸送性の向上

バックホウを本体ごと現地に搬入する必要がある無人化施工専用機に対し、汎用機に後付する初代ロボQは小型トラックで運搬できる利点があったが、エアコンプレッサーに含まれる「ガソリン・エンジンオイル・バッテリー」が空輸不可品目であり、空輸出来ない問題があった。本装置は更なる小型化を行い、宅急便での発送、ワンボックスカーで運べるサイズすると共に、空輸可能な部品のみで構成し、離島への早急な初動対応も可能とする。

2.2.5 その他

装置の動力は重機のDC24Vから得ることとし、容量は重機バッテリーの許容電流値以内とする。

物理的なバックホウの破損を除き、遠隔で緊急停止のON / OFFができるようにする。

3. 本装置の設計

設計を行うにあたり、装置の構成を要素別に分けて検討した。

3.1 アクチュエーションユニット

バックホウのレバーを動かすアクチュエータとそれを固定するフレームで更正される。アクチュエータユニットは走行ユニットと作業ユニットで別体とした。走行レバーには1自由度、作業レバーには2自由度のアクチュエータが必要になる。

3.1.1 アクチュエータの検討

走行・作業ユニットで使用するアクチュエータについて検討を行った。一般的なアクチュエータはその動力源により「油圧」、「空気圧」、「電動」に大別される。各駆動源別アクチュエータの特性を表1に示す。また、動作による分類としては、「直線運動（リニア）」と「回転運動（ロータリー）」に大別される。

表1 駆動源別アクチュエータの特性

	油圧	空圧	電動
速度範囲	超低速～高速	超高速も可能 低速には不向き	低速と超高速に不向き
応答性	◎	◎	○～◎
重量／大きさ	×	○	△
長所	・作動が確実 ・高応答制御が可能 ・エンジン原動に優位 ・大出力が可能	・シンプル＆安価 ・防爆 ・空気圧の供用化 ・過負荷でも安全	・制御性に優れる ・クリーン＆静音 ・電源があれば使用可であり付帯設備が皆無
短所	・重い ・ポンプが別途必要 ・油漏れの可能性 ・火災の危険性 ・油の粘度変化	・圧縮空気が必要 ・配管設備が必要 ・正確な位置制御や速度調整が困難	・大きな力になるほどサイズも大きくなる ・過負荷で損傷 ・プログラムが必要

駆動源の選定にあたり、油圧駆動に関しては油圧ポンプが必要となり、配管の接続が必要なこと、また大きく重量があるため対象外とした。空圧駆動は初代ロボQで採用しているが、別途コンプレッサー

を搭載する必要があることや、空気温度により物性が変化するために制御の安定性に掛けることがあるため、同じく対象外とした。電動駆動は過負荷で損傷する恐れがあるが、近年トルク制御が可能な電動アクチュエータが製品化されており、一番計量・コンパクトであることから、電動アクチュエータを採用した。

3.2 フレームユニット

アクチュエーションユニットのバックホウへの搭載と、装置搭載状態での搭乗運転を可能にするために、建機メーカーおよび機種によるサイズや操作レバーの配置・可動範囲を把握する必要がある。そこで今回、代表的な建機メーカー3社のバックホウについて実測を行った。なお、バックホウのサイズは調達性の良い0.5m³または0.8m³クラスを計測した。計測結果を元に走行・作業レバー用ユニットを固定するフレーム寸法や、ユニットの取付位置を決定した。なお、フレームはパイプフレーム構造の6分割とし、それぞれを差込式+ロックピン固定方式とし、位置調整用のピン穴を多数開けることで、ボルトレス・工具レスでの組立と3社の建機メーカーに装着可能とした。コントロールユニットを背もたれ背面に設置させるため、背面フレームは背もたれを前後から挟み込む機構とし強固に固定した。作業ユニット・フレームユニットを写真3に、走行ユニットを写真4に示す。

3.3 遠隔操縦ユニット

遠隔で操縦するためのラジコンと緊急停止用のラジコンで構成される。操縦用ラジコンと緊急停止用ラジコン共に使用する電波は、電波法による免許を



写真3 作業ユニット・フレームユニット



写真4 走行ユニット

要しない特定小電力方式とした。ただし使用する周波数帯を操縦用ラジコンは400MHz帯、緊急停止用ラジコンは1.2GHz帯と分け、万が一混信が発生してもどちらかの電波が届くようにした。操縦用・緊急停止用ラジコンを写真5に示す。

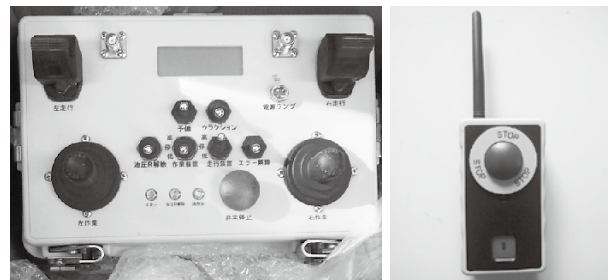


写真5 操縦用ラジコン（左）・緊急停止用ラジコン（右）

3.4 コントロールユニット

ラジコンからのデータを位置情報へセンシングするモータドライバや、装置全体の制御を行うプログラマブルコントローラ（以下、PLC）、制御リレー等で構成される。操縦用ラジコンからの操縦信号の入力に対し、各軸への出力にタイムラグが生じると特に走行操作は出だしてズレが生じ、扱いづらい装置となってしまう。そのため、アクチュエータを制御するモータドライバは、多軸同時制御が可能な物を選定した。また、PLCの通信方式はプログラムの処理速度が速い方式とし、信号の送受信の速度は100msec以内を目標とした。また、ノイズによる誤作動を防ぐために、幅広アース線の選定やアルミ板による盤内への侵入防護、アースの集約等の対策を実施した。コントロールユニットを写真6に示す。

3.5 安全設計

大型・高出力、かつ重量があるバックホウが万一遠隔操縦中に制御不能となった場合、重大災害に繋がる恐れがある。そこで本質的な安全設計として緊

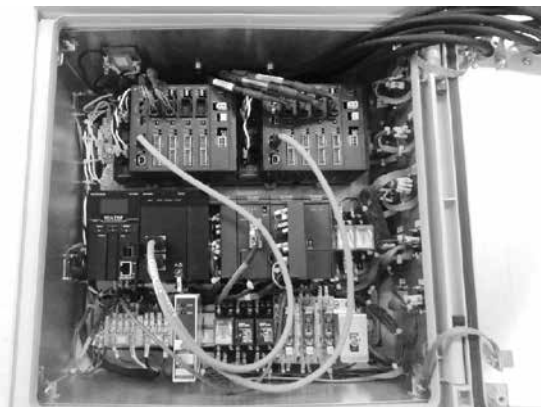


写真6 コントロールユニット

急停止の方式は、重機の油圧を停止させる（油圧ロックと称する）こととした。油圧ロックが機能すれば、バックホウはいかなる操縦をしても動くことは無い。安全性を考慮して油圧ロック回路に対して信号が出ていない状態が油圧ロックとなる回路構成とし、バックホウを動かす為には油圧ロック解除信号を出し続ける必要があるプログラムとした。また、PLCを介さずリレーのみで構成した油圧ロック解除の回路を別系統で組み込み、全部で4系統の緊急停止とした。

3.6 その他

各ユニットは運搬を考慮し、宅配便発送が可能なボックス6個に分割収納できるようにした。6個のボックスはワゴン車であれば積込可能である。

なお、一番重いユニットは走行アクチュエーションユニットで12.7kgであった。

また、本装置で使用する電子部品は、極力省電力品を使用し、全負荷状態での最大電流値を重機バッテリーの許容電流値以内に抑えた。

4. 機能検証

製作した装置の機能・耐久性を確認するため以下の試験を実施した。

- ・IP（International Protection）65試験
- ・温度試験
- ・連続稼動試験
- ・衝撃試験

上記試験を行い、ソフトの修正やハードの若干の損傷を確認したが、何れもその場で対応が可能な軽微なものであり、致命的な欠陥も無く試験をすべてクリアし、装置の性能を確認した。

本装置の装着状態を写真7に示す。



写真7 ロボQS装着状態

5. まとめ

今回、バックホウ用遠隔操縦装置『ロボQS』を3年掛かりで完成させ、有事の際の更なる迅速な初動対応が可能となった。本装置は一般のバックホウに限らず、ロングリーチ仕様や泥濘地仕様等のバックホウへの搭載も可能であること、また、幅広い機種へ搭載可能であるため、狭隘な場所や広大な場所等、使用箇所・用途に適したバックホウに搭載することも強みである。

今後、無人化施工専用機が減少する現状において、一般のバックホウに装着出来る遠隔操縦装置のニーズは高まっていくと思われる。

今後の課題としては、災害復旧現場では、巨礫の破碎や倒木の撤去作業が必要となることが多いため、ブレーカや解体用つかみ機、林業グラップル等、バケット以外へのアタッチメント操作への対応が必要と考える。

参考文献

- 1) 平成13年6月1日（基発第501号）厚生労働省労働基準局長：機械類の包括的な安全基準に関する指針
- 2) 平成21年度厚生労働省委託業務中央労働災害防止協会：機械設備のリスクアセスメントマニュアル
- 3) JIS B 9703 機械類の安全・非常停止
- 4) JIS C 0920 電気器具の外被の保護型式試験

（原稿受付：2017年8月7日）

解説

防災用エアージャッキの開発

著者紹介

やま した み さと
山下実里

株式会社横井製作所
イメージビル9階

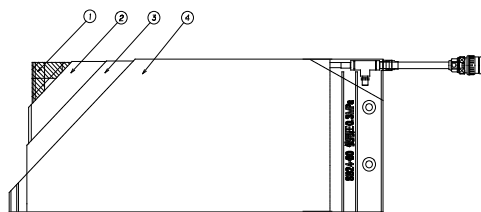
〒104-0041 東京都中央区新富1-8-9

滋賀大学卒業、2014年 株式会社横井製作所に入社、技術開発課兼営業推進課主任、主に救助用エアージャッキの製造・開発と、広報活動に従事、現在に至る。

1. はじめに

阪神淡路大震災や東日本大震災での被害を目の当たりにし、災害に対する意識の高まりと共に、さまざまな災害救助用品を備蓄する消防団や自主防災組織が増えている。倒壊物に挟まれた人の救助を目的とした災害救助用品としては、手動バール、機械式ジャッキ、エアージャッキ等がある。手動バールは、この原理を利用して救助を行うため、使用者の体重や力で能力が大きく左右されてしまう。機械式ジャッキは、大半の物が狭い隙間を広げる目的には適していない。また、手動バール、機械式ジャッキは金属等で出来ているために、容易に持ち運ぶことが困難である。また、現在流通している救助用エアージャッキに関しても、消防法が規定している救助工作車装備品としてのマット型エアージャッキが一般的である。これらは消防隊向けの超重量物の排除を目的としたもので、自主防災組織の誰もが手軽に扱える物にはなっていなかった。

このような現状の背景を鑑み消防団や自主防災組織の誰もが安全に扱える薄型軽量であるエアージャッキを開発したので、これについて紹介する。



①ナイロンバッグ（気密層） ②保護バッグ ③内装体（軸方向耐圧層） ④外装体（円周方向耐圧層）

図1 エアージャッキの構造

2. エアージャッキの構造

今回開発したエアージャッキの構造を図1に示す。エアージャッキ本体は、①ナイロンバッグ、②保護バッグ、③内装体、④外装体の4層構造からなる本体と、空気注入口であるクイックカップラと、本体内の圧力上限を設定する安全弁から構成されている。

エアージャッキの開発において、薄型軽量を前提として、耐圧性能と気密性能を同時に満足しなければならないという技術的課題があった。

この課題に対して、耐圧性能確保のための構造と気密性能確保のための構造を別々に設計し、組み合わせることで実現したので、以下説明する。

2.1 耐圧構造

現在流通しているエアージャッキは厚い合成ゴムを用いて耐圧性能を高めている。その結果、重量が重くなってしまふ。その解決策として、耐圧構造と機密構造を別構造とすることで、薄型軽量化と耐圧性能の両立を図った。

外装体には重量が重くなる要因であった合成ゴムではなく、薄くて軽い消防用ホースの素材を用いた。消防用ホースは耐圧性能および耐久性に優れており、円周方向の耐圧強度は十分確保できる。しかし、軸方向の耐圧強度は円周方向より弱い。そのために強固な治具を装着しては薄型軽量ではなくなる。そこで、図2に示すような外装体の軸方向が円周方向となる内装体の中に挿入する二重構造にすることで、軸方向耐圧強度を確保した。これによりエアージャッキ本体の全方向耐圧構造が実現できた。



図2 全方向耐圧構造

2.2 機密構造

前述のように、全方向耐圧構造によって強度的には満足できたので、内装体の内側には機密性能のみを確保できる構造で良い。薄型軽量の条件を満たし、

気密層として空気透過率の低い材質であるナイロン製のバッグを採用した。これにより薄型軽量は維持しつつ、容易に空気が漏れることのない、気密性の高いエアージャッキ本体とすることができた。

3. エアージャッキの特長

今回開発したエアージャッキの基本仕様を表1に、外観写真を図3に示す。その特長について以下説明する。

表1 エアージャッキの基本仕様

Type	A1	A2	A3	B1	B2	B3
寸法						
長さ	34	60	90	34	60	90
(cm)	幅	24				
質量 (kg)	0.5	0.8	1.2	0.5	0.8	1.2
最大揚程 (cm)	14					
最大荷重 (kgf)	4,000	8,000	12,000	1,700	3,400	5,100
大使用圧力(MPa)	0.7			0.3		



図3 エアージャッキの写真

3.1 薄型軽量コンパクト

薄くて軽い材質である消防用ホースを使用することで加圧前の厚さを19mmに抑えた。これによって、狭い隙間に挿入し、初期救助に力を発揮できる。

また、質量が0.5～1.2kgなので、誰でも簡単に持ち運びができ、緊急時に迅速な対応が可能となる。

さらに、薄型でコンパクトなため、収納時の保管場所の省スペース化が図れる。

3.2 耐圧性能

エアージャッキの最大使用圧力は表1に示す通り0.7MPaに設定した。その耐圧性能を評価するため、図4に示す耐圧試験を実施した。耐圧試験では、最大使用圧力の3倍である2.1MPaまでエアージャッキ本体を15秒間加圧し、試験終了後、本体に損傷がないことを確認した。



図4 エアージャッキの耐圧試験

3.3 自転車用空気入れ使用可能

このエアージャッキは一般的な自転車用の空気入れがあれば、動力源の無いあらゆる場所で使用可能である。また、自転車用空気入れで、最大使用圧力0.7MPaまで空気充填が可能であることを確認済みである。

一方、自転車用空気入れ使用時は過剰充填されることが想定されるため、安全弁を標準装備し、設定圧力以上の加圧ができないように安全性にも十分配慮した。

3.4 リフティング能力

エアージャッキの最大荷重は、接地面積と圧力で決定される。型式typeA3の最大荷重は、

接地面積（有効幅×有効長さ）×最大使用圧力＝最大荷重

$22(\text{cm}) \times 80(\text{cm}) \times 7(\text{kgf/cm}^2) \div 12,000\text{kgf}$

※0.7MPa=7 kgf/cm²

となる。

製品ラインナップとしては、幅を変えずに長さを変えることで、リフティング能力のバリエーションを増やし、用途に応じた使い分けが可能である。

3.5 ガスバリア性能

エアージャッキの気密性（ガスバリア性能）を評価するため、図5に示すガスバリア性耐久試験を実施した。試験荷重は500kg（1,000L水槽を片側ジャッキアップ状態）で、経過日数とエアージャッキ本体高さをプロットした試験結果を図6に示す。経年劣化状況も評価するため屋外で試験実施した。そのため外気温変動の影響もあるが、試験開始から約1年経過した時点で2mmの降下量であり、十分な気密性を維持しているのがわかる。今後も試験を継

続いていき、評価していく予定である。



図5 ガスバリア性耐久試験

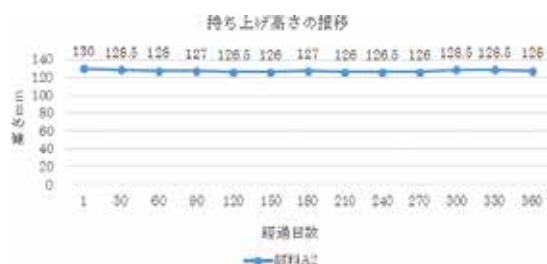


図6 ガスバリア性耐久試験結果

4. おわりに

国産の薄型軽量エアージャッキの開発に成功したが、商品化して間もないため、全国の自主防災組織向けの救助用資器材として認知されるまでには至っていない。防災訓練や、防災展示会に積極的に参加し、実際に使用してもらうことで、災害救助現場での有効性をアピールできるような広報活動を展開したいと考えている。

また、自主防災向けに限らず、リフティング機能が必要とする工場など幅広い用途への適用を視野に製品ラインナップ数を増やしていくことも検討していきたい。

(原稿受付：2017年8月23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 (10月10日現在)	956	16	128	131
差引き増減	+ 2	± 0	+ 2	± 0

正会員の内訳 名誉員15名・シニア員42名・ジュニア員191名・その他正会員708名

正会員

和田 晃 (立命館大学)

西田 信治 (川崎重工業株式会社)

学生会員

宮下 修人 (東京工業大学)

西川弘太郎 (岡山大学)

小浦 慧視 (放送大学)

解説

フラップゲート式可動防潮堤の開発・実用化

著者紹介



たに お だい ち
谷 尾 大 地

日立造船株式会社 社会インフラ事業本部
フラップゲート部 開発設計グループ
〒559-8559 大阪府大阪市住之江区南港北1-7-89
E-mail: tanio@hitachizosen.co.jp

2015年京都工芸繊維大学大学院博士前期過程
機械システム工学専攻修了。同年、日立造船(株)
入社。現在に至る。フラップゲート式防潮堤の
開発・設計に従事。

1. はじめに

当社は、平成15年度から湾口や港口、河口などに設置して、後背地への浸水を防止する施設、フラップゲート式津波・高潮防波堤¹⁾(図1)の開発を行っている。上記フラップゲートは海中への設置を想定したものである。その開発過程で得られた知見を活用し、陸へ適用したフラップゲート式陸閘は平成21年10月から開発を開始している^{2)~4)}。

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、死者・行方不明者約2万1千人、建物被害(全半壊、全半焼)約40万戸という甚大な被害をもたらした。未曾有の津波は、多くの海岸構造物を破壊するとともに、さまざまな課題を浮き彫りにした。中でも陸閘や水門閉鎖などに関係して多くの消防団員が殉職されたことは、今後解決すべき大きな課題となっている。

フラップゲート式陸閘は、浸水に伴う浮力を利用して開口部を自動閉鎖する。このためゲート操作の必要はなく、上記課題である操作員の危険を回避することが可能である。さらにその機構から、平常時は交通の邪魔にならず、遠隔操作装置も不要で維持管理の負担も少ないという特長を有する。

本稿では、従来技術の課題とフラップゲート式陸

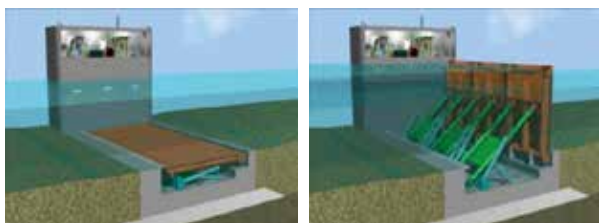


図1 フラップゲート式津波・高潮防波堤

閘における課題解決方法を解説するとともに、フラップゲート式陸閘の実用化状況を報告する。

2. 従来技術とその課題

これまで陸閘ゲートに採用されている技術とその課題を以下に示す。

2.1 機側操作方式

機側操作方式とは、陸閘が設置されている現場で、手動または電動などにより操作員が直接閉操作を行う方式である。その事例を図2に示し、本方式の課題を以下に示す。

- 地震の影響などにより操作員が現場に到着できないことがある。
- 地震による設備の故障により閉鎖できないことがある。
- 現場での陸閘操作は、操作員が逃げ遅れるリスクを伴う。



図2 機側操作方式(横引き陸閘)

2.2 遠隔操作方式

遠隔操作方式とは、津波などの影響が及ばない安全な場所から、陸閘を遠隔閉操作する方式である。機器構成例を図3に示し、本方式の課題を以下に示す。

- システムに電子機器類が多く組み込まれるため、定期点検では突発的故障を回避できない。
- 突発的故障のリスクを低減するためには、システムの冗長化(二重化)、時間計画保全(故障前の部品交換)、頻繁な管理運転による正常性の確認(アベイラビリティの向上)をせざるを得ない。

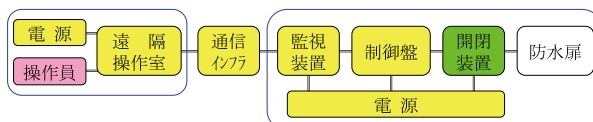


図3 遠隔(電動)操作の機器構成例

- ・結果的にシステムが複雑かつ部品交換頻度、管理運転頻度が多くなり、維持管理の負担が増大する。

2.3 河川用浮体式起伏ゲート

河川用浮体式起伏ゲートの作動原理を図4に、扉体起立完了時の様子と扉体急倒伏の様子を図5、図6に示す。本方式であれば動力や人の操作が不要となり、上記従来技術の課題は改善される。しかしその応答特性などから以下の問題があり、これまで陸上への適用が困難であった。

- ・津波などが作用すると扉体は加速度的に起立し、完全起立位置で急停止する際に、荷重支持・伝達する部材に衝撃的な力が作用する（図5）。
- ・水位低下時には扉体が急倒伏し、周囲の人への安全が確保できない（図6）。
- ・陸上に設置する場合には、交通荷重に対する強度および耐久性と水に浮く軽さの両立が困難である。



図4 浮体式起伏ゲートの作動原理



図5 扉体起立完了時の様子

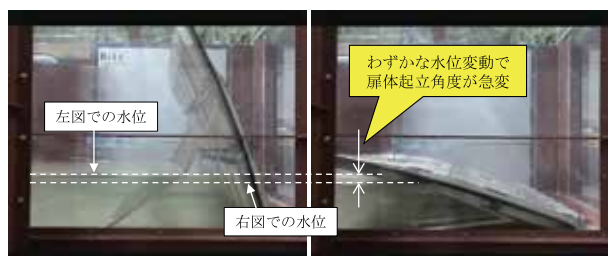


図6 扉体急倒伏の様子

3. フラップゲート式陸閘の概要

3.1 技術課題の改善

フラップゲート式陸閘は、前述の河川用浮体式起伏ゲートの作動原理を利用しつつ、その課題を改善した。

扉体浮力のみで起立させる方式の場合、扉体自重による転倒モーメントは扉体完全倒伏時に最大となり、扉体起立角度が大きくなるにつれて減少するという特性がある（図7）。この特性により、津波などが作用すると扉体は加速度的に起立し、完全起立位置で急停止する際に、荷重支持する部材に衝撃的

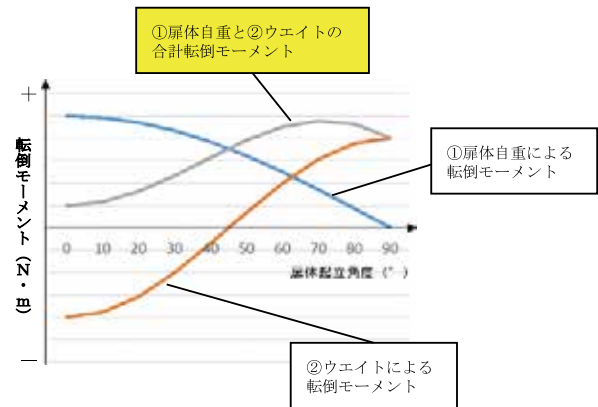


図7 扉体起立角度と転倒モーメントの関係

な力が作用する。また同特性から、水位低下時には扉体が急倒伏するという挙動を示す。

衝撃力を設計荷重とすれば設備重量の増加を招きコストアップにつながり、急倒伏動作をそのままにすれば、周囲の人への安全が確保できない。

フラップゲート式陸閘ではこれらを改善するため、図8に示す起立補助ウエイト方式を考案し、衝撃力を緩和するとともに、倒伏時の安全性向上を実現した。

また、倒伏した扉体上を車両が通行する場合、扉体には交通荷重に対する十分な強度と長期に亘る耐久性が求められる。これを鋼構造のみで実現する場合、扉体浮力を維持するためには、雨水などが扉体内部に浸水しないよう気密性を保持する必要がある。

そのため、①補強材により扉体重量が増加する、②定期点検時に扉体の気密性を確認する必要があり維持管理の負担が増加する、③定期点検では扉体内部への浸水リスクをゼロにはできないため、浮上失敗リスクを内包するなどのデメリットがある。

これらを改善するため、フラップゲート式陸閘では構造部材としても評価が可能な充填材を開発し扉体内部に配置することで、補強材の最小化と扉体内部への浸水防止を両立させている。

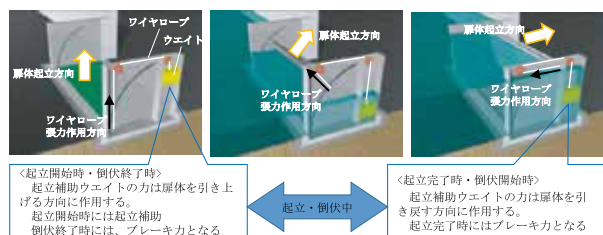


図8 起立補助ウエイト方式

3.2 フラップゲート式陸閘の長所

従来技術の課題を解決するフラップゲート式陸閘は、以下の利点を持つ。

- ・操作者が危険にさらされることがなく、かつ操作ミスや操作忘れ、操作遅れによる不稼動リスクも回避できる。
- ・突発的な故障リスクを内包する電子機器装置類を使用しないため、確実な作動が期待できる。



幅4m×高0.6m
(2013年5月完成 大阪府)



幅6.4m×高1.09m
(2014年12月完成 大阪府)



幅1.25m×高0.77m
(2015年1月完成 大分県)



幅5.0m×高2.18m
(2016年7月完成 岩手県)



幅20m×高3m
(2017年3月完成 徳島県)



幅15.0m×高2.3m
(2017年3月完成 茨城県)

写真1 施工事例

写真1 施工事例



写真2 大型neo RiSe作動試験 (幅15m×高3m)

- ・倒伏した扉体上を車両が通過できる十分な強度を備えており平常時の交通の妨げとならない。
- ・水位に追従して起立し開口部を閉鎖するため、浸水直前まで避難路として利用可能。
- ・遠隔操作方式と比較してメンテナンスが容易で、維持管理負担が大幅に縮減される。

3.3 フラップゲート式陸間の実用化状況

フラップゲート式陸間は2014年から採用が始まり、2017年8月現在は約90基（工事中含む）の採用実績がある。岩手県、茨城県、大阪府、徳島県、大分県等全国各地に設置されており、これまでの製作実績におけるサイズは幅1.25m～20m、高さ0.5m～4.1mである。既に施工完了している設備の一例を写真1に紹介する。2015年5月には現地据付前の大型実機を用いた流水作動確認試験により稼働信頼性の確認を実施している。その際の様子を写真2に示す。なお、本設備は施工完了しても実際に津波や高潮による浸水が生じないと設備は作動しない。そのため当社では、いつでもフラップゲート式陸間が流水により作動する様子を確認できるよう

“防災ソリューションラボラトリー”を完成させ、一般公開を行っている。昨今は海外からの見学者が増加傾向にあり、世界的にも水災害に対する関心が高まっている。

4. ま と め

近年、世界各地で地震津波や台風などによる巨大水災害が頻発している。また日本国内では短時間に大雨が降る傾向にあり、河川氾濫および都市部における内水氾濫（地下街の浸水等）といった水災害リスクが高まっている。被害軽減には事前の十分な備えが有効であるが、限られた財源の中で持続可能な対策を行うことが望まれる。このような状況の中、従来方式に比較してライフサイクルコストを大きく縮減する本技術が、今後の持続可能な防災・減災社会の構築に寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 下迫健一郎ほか，“フラップ式構造物の波浪および津波に対する水理特性”，港湾空港技術研究所資料，独立行政法人 港湾空港技術研究所，No. 1155（2007）
- 2) 木村雄一郎ほか，“陸上設置型フラップゲートの津波追従性能に関する検証実験”，H22年度土木学会全国大会第65回年次学術講演会，Ⅱ-065
- 3) 木村雄一郎ほか，“陸上設置型フラップゲートの波浪応答特性”，H23年度土木学会全国大会第66回年次学術講演会，Ⅱ-223
- 4) 乾真規ほか，“陸上設置型フラップゲートの段波津波に対する越流量特性”，H24年度土木学会全国大会第67回年次学術講演会，Ⅱ-219

（原稿受付：2017年8月7日）

解説

低コストで多機能な油圧ハイブリッドロボット

著者紹介



げん そう こう
玄 相 昊

立命館大学理工学部ロボティクス学科
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
E-mail: gen@fc.ritsumeai.ac.jp

1998年早稲田大学大学院修士課程修了, 2002年東京工業大学大学院博士後期課程修了, 同年東北大学大学院工学研究科助手, 講師を経て2005年ATR脳情報研究所研究員, 2010年4月立命館大学理工学部ロボティクス学科准教授, 現在に至る。博士(工学), 日本ロボット学会, IEEEなどの会員。

1. はじめに

ものづくり分野はもちろん, 介護・医療, 農林水産・食品, インフラ・建設などのサービス分野においてロボットの活躍が全盛期を迎えつつある。最近ではとくに, 沿岸, 水中, 山林を含む屋外, 人が侵入し難い宇宙空間, 廃炉原発, 災害現場などの極限環境において, 直感的な遠隔操作で精密に作業や点検ができるロボットが待望されている。

我々は多くの人が使いやすいと思うロボットの「最大公約数」は人と同サイズ, 同パワーの「等身大ロボット」であると考えている。しかし, 市販されている等身大ロボットは, 人サイズであっても人と同じだけのスピードと力を出せるものは存在しない。実際, 可搬重量が10kgを超えるものは人と比べてかなり大きい(土台だけでなく腕自体が大きい)。

現在, 産業用ロボットの主な駆動手段はモータ(希土類を使ったACサーボモータ)とギヤ(ハーモニックギヤや遊星歯車)の組み合わせであるが, 高い位置決め精度と引き換えに, 耐環境性と耐久性を備えるためのコストは極めて高くなってしまふ。しかし, 屋外での作業は「非定型」作業となるため, 必要パワー, 安全率, 機器サイズの見積もりは非常にシビアである。

過酷な災害現場でもっとも多用されている機械はロボットではなく, 油圧パワーショベルであろう。一般に油圧機器は吸収パワーに十分な余裕がある。しかし, 建機は安価な油圧バルブとオペレータによる操作を前提にしているため, 複雑な作業には熟練を要するが, 熟練者の数は減りつつある。現在のショベル高度化テーマのほとんどは, オペレータへの情報提示を目的としたICT援用技術である。

人命に関わる危険な場面でのロボット運用は, 今後もしばらくオペレータによる遠隔操作が基本となることに間違いはないが, 遠隔操作では達成が難しいローレベルの運動制御タスクを自動化することで, タスクの質を保証する必要がある。その意味で, 性能的には産業ロボットと建機のちょうど中間に位置し, 頑丈で使いやすいロボットを低コストに実現することが極めて重要であると著者は考える。

油圧ロボットといえはすぐ思いつく駆動手段はサーボ弁であろう。たとえば米Boston Dynamics社はサーボ弁を使って高性能な脚ロボットを試作しており, その高い性能は世界中の注目を集めた。我々も世界に先駆けて, 関節トルク制御によって, 未知路面や外力に対して柔軟に対応できる一連のロボットを独自に開発してきた¹⁾。確かにサーボ弁は優れた技術であるが, 高性能な油圧ロボットの実現にあたり, それ以外の選択肢はないだろうか?

一介のロボット研究者である著者としては, 現代に必要とされるロボットにおけるサーボ弁駆動の有用性を見直す傍ら, 新しい駆動方法を模索してきた。その過程で最近, 電動と油圧を効果的に組み合わせた新しい油圧ハイブリッド回路を発明した。以下, 本稿では, この新油圧回路をロボットマニピュレータに適用した例を紹介し, その可能性について展望を述べる。

2. 油圧ハイブリッドサーボブースター

2.1 油圧回路

新しい油圧回路は図1に示すものである。これは基本油圧回路として広く知られている増圧回路と閉回路を, 両方の良い特徴だけを組み合わせることで高速・高精度サーボ用回路として進化させたものである。4つのバルブ(V1~V4)からなる開回路(バルブブリッジとも呼ぶ)にサーボモータ駆動の両回転ポンプ(サーボポンプ)を挿入した複合回路で, この回路構成が基本特許となっている²⁾。

矢印が液体の流れを示しており, 4つのバルブを使って流量をOn/Offまたは連続調整することによって従来の開回路(メータインまたはメータアウト)として動作する(図1左)。欧州では独立メタリングと呼ばれ, 省エネの観点から研究が盛んに行われている³⁾⁴⁾。

つぎに, V3とV4で流れをせき止めてサーボポンプを駆動すれば閉回路モードとしても動作する(図

1 中央). これはいわゆるEHA (Electro Hydrostatic Actuator) としての使い方である. サーボポンプが小型であればあるほど, 高い負荷をかけながら精密に位置決めと加圧制御が可能である. 逆に, 速度は低くなってしまう.

最後に, 本回路の付加価値とも言える機能がブースト (増圧) モードである (図1 右). メインポンプから吐出された液体はサーボポンプでさらに圧縮され, 高い圧力でシリンダーピストンを押すことができる.

2.2 効 果

本回路は電動では大きいトルクを出そうとするとギヤが巨大になってしまうが, 油圧では逆にポンプが小さくなるという原理的な違いを利用している. これによって, 本技術は従来のEHAの欠点を部分的に克服している. EHAとの比較を表1に示す.

表1 EHAとH2SBの比較

	EHA (従来)	H2SB (新提案)
サーボポンプ	必 要	必 要
汎用ポンプ	不 要	必 要
チャージポンプ	必 要	不 要
アクチュエータ 最高圧力	サーボポンプ の最大圧力	サーボポンプと メインとの和
アクチュエータ 最大流量	サーボポンプ の最大流量	メインポンプの 最大流量

低压大流量のメインポンプ1つに対して, 複数の小型サーボポンプ (「サブポンプ」と呼んでも誤解はないと思うが, ここではサーボ用途に限定するため, 以下, サーボポンプと呼ぶ) を組み合わせて適用できるので, 多軸ロボットの駆動に特に好適である. V1からV4で用いるバルブの種類によって無数の実施例が考えられるため, 適用先に応じて柔軟に回路を設計することができる.

当初は単純なOn / Off弁による実装から開始⁵⁾, 油圧ショベルのコントロールバルブへの組み込み⁶⁾, 10トンプレスの位置決め・加圧力制御も達成した⁷⁾. 一連の研究成果を経て, 最近我々はこの回路を「油圧ハイブリッドサーボブースター (Hydraulic Hybrid Servo Booster; H2SB)」と命名した.

設計例として, 最高圧力が同じサーボポンプとメインポンプとで回路を構成した場合を考えよう. このとき, EHAが出せる速度範囲内ではEHAの2倍の力, 無負荷時にはメインポンプが出せる最高速度, そして位置決め精度はEHAと同じシステムが得られる. 遠隔配置した1つのメインポンプを最大パワーの半分で使うことはコスト的に大きなロスにならないが, アクチュエータに近接配置する多くのEHAを半分のパワーで使い続けるのはコストとスペースの

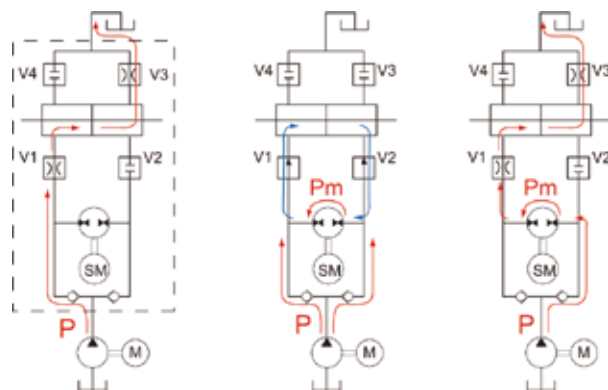


図1 H2SBの基本回路図 (左：開回路, 中：閉回路, 右：ブースト); 破線で囲まれた回路を並列接続することで多軸駆動に対応

無駄である.

また, 複数のアクチュエータを運用する際に, 運動のタイミングをずらしたり, アクキュムレータを活用して総流量を平滑すればメインポンプを小型化可能である. 必要な発揮力がEHAでも出せる範囲で十分な場合, 設計段階でシリンダ径を細くして速度をアップしつつコンパクト化が図れる (シリンダーのスケーリングはサーボポンプのそれよりも容易であるから).

3. 油圧ハイブリッドロボット

3.1 開発のねらい

本研究が目指すロボットの制御性能を図2に示す. これはH2SBの最初の多軸適用例である. 本ロボットは通常はメインポンプの流量範囲内でアクチュエータが高速に動くことに加え, 小型サーボポンプが出せる流量範囲内では超精密・高負荷制御ができるという特徴を持つ. したがって, 従来のロボットのように, 全速度域で高負荷精密制御するのではなく, 低速域での超精密制御を重視する. そして高速域では精密さを放棄する代わりに超高速を狙う. この考

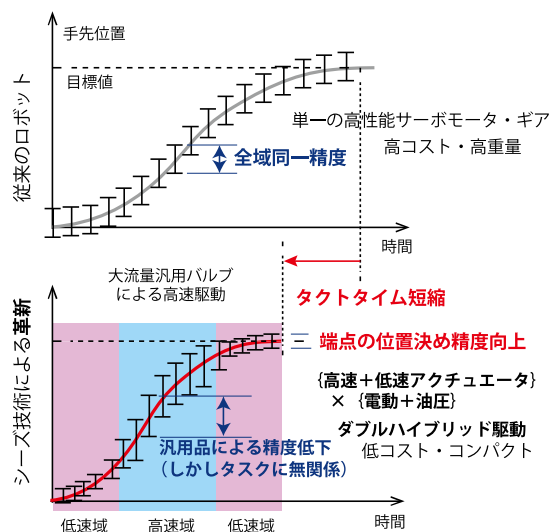


図2 本研究が目指すロボットの革新 (考え方と構成方法の違い→結果として得られる制御性能の違い)

え方の転換が大量生産品の利用を可能とし、コストを劇的に削減できる可能性がある。これらの可能性を調査すべく、簡単なマニピュレータを試作した。

3.2 マニピュレータの試作

試作したロボットの外観を図3に示す。これは鉛直平面内で動作する3軸マニピュレータである⁸⁾⁹⁾。

油圧回路は図4に示すとおり、共通の供給・戻りラインの間に各H2SBユニットを並列に配置しただけの構成である。各ポートの圧力やサーボモータの状態監視のために複数のセンサーが必要であり、かつ4つのバルブとサーボモータの制御が必要であることから、多入力多出力の高度な制御アルゴリズムに適応する小型デジタルコントローラを開発した¹⁰⁾。ロボットの仕様は表2のとおりである。

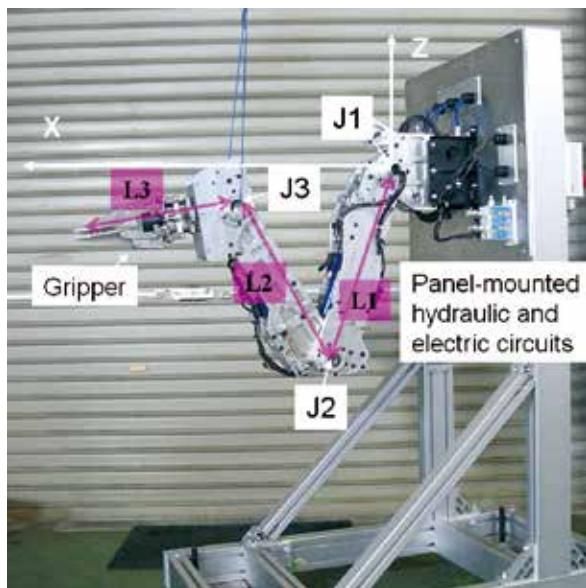


図3 ロボットの概観

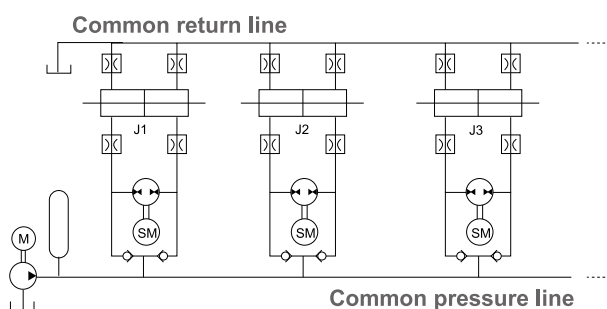


図4 ロボットの油圧回路図

3.3 軌道追従制御と関節トルク制御

以下、二つの実験例を簡単に紹介する。まず、EHAモードにおける簡単な位置軌道追従実験の様子を図5に示す⁸⁾。ここでは、ロボットが動作中にオペレータが外乱を加えている。ロボットはバックドライバビリティを有するため、外乱に対して柔軟に適用している様子がわかる。

つぎに、ロボットの関節トルク制御性能を示唆する重力補償実験の例を図6に示す¹¹⁾。EHAモードで

表2 ロボットの仕様

Component	Specification	Value
Main pump	Maximum Pressure	10 [MPa]
	Displacement	15 [L/min]
Servo motor	Maximum Continuous Torque	0.44 [N.m] at 5 [A]
	Maximum Continuous Speed	3200 [r/min]
Micro Pump	Displacement	0.18 [cc]
	Maximum flow rate	0.57 [L/min]
Position sensor	Resolution	100 [μ m]
Pressure sensor	Precision at 25°C	0.3% FS
Robot Link Parameter	Specification	Value
Length	L1/L2/L3	450/400/340 [mm]
Weight	m1/m2/m3	6.2/5.0/4.2 [kg]
Range	J1/J2/J3	-30 : 110 / -160 : 0 / -45 : 70 [deg]
Cylinder	Diameter	20/10 [mm]

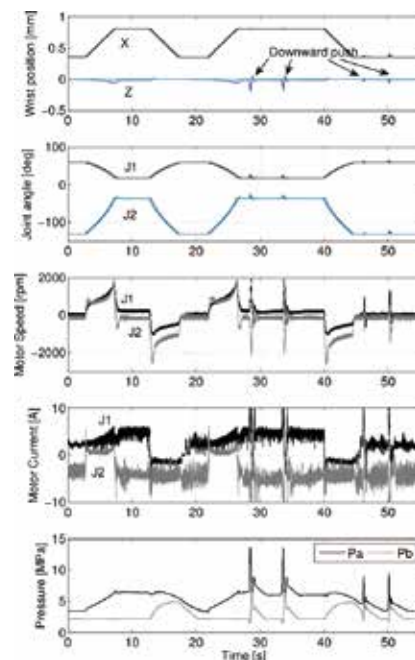
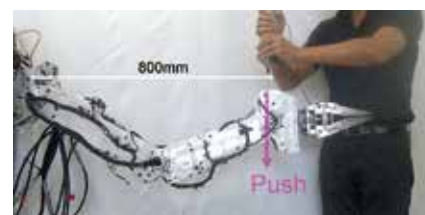


図5 EHAモードにおける手先軌道追従制御実験

は力が足りないため、ブーストモードを利用している。重力補償下でロボットは外力や衝撃に対してしなやかに追従することがわかった。定量的な応答性については目下調査中である。

EHAモードやブーストモードではスピードが出ないので、特に無負荷での手先の移動には開回路を用いるのだが、安価なバルブを利用したバルブブジジによる運動制御は意外と難しい。スピードが速すぎて、シリンダーのストロークエンドに達するまでの時間が短い割にはバルブの遅れが大きい。慣性負荷に対する制動技術も重要である。ソフト・ハード

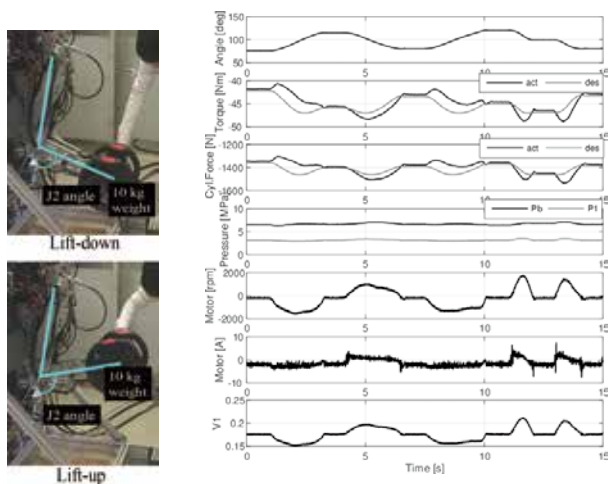


図6 ブーストモードにおけるトルク制御（重力補償）実験

の両面から研究すべき課題は多い。

4. おわりに

以上、本稿では、研究室で開発中の新しい油圧ハイブリッドロボットについて、その経緯と概要を紹介した。技術的詳細は学会で順次発表している。

本特集号のテーマは災害対応ロボットであるから、それに対する立場と本研究の意義について最後に述べておきたい。「災害は稀にしか発生しないからコストは度外視しても良い」という声をよく耳にするが、コストを軽視すると結局普及が妨げられ、ビジネス展開もできないことは明らかである。一部の専門機関の「伝家の宝刀」ではなく、市町村や個人が手に入れやすく、常時利用して修理もできる道具として普及を目指すべきではないだろうか。

駆動部はロボットの心臓であり、その革新による波及効果は計り知れない。屋外仕様の低コストでタフなロボットは応用が利く。止む無くオーバースペックなロボットの使用を強いられてきた場面や、高価でなかなか手が出せなかった屋外作業の自動化、省力化への展開が考えられる。油圧は駆動源と機構部が配管によって分離しているので、システムの再構成が容易であるという利点をもっと見直すべきである。

今後数年間、AIとVR技術の発達によって、さまざまな場面でロボット導入が急速に進むと言われているが、容易に導入できて安全に運用できる優れたハードウェアと制御技術を提供できるかどうかが我々エンジニアに問われている。

本研究に多大なるご協力をいただきました関係者様に謝意を表します。本研究の一部はJST ImPACT

タフ・ロボティクス・チャレンジ、ならびに科研費基盤研究(B)17H03208より助成を受けている。なお、本ロボットのほか、サーボ弁駆動ロボットやサーボプレス機等は9月開催のフルードパワー国際見本市(IFPEX2017)に動展示した。

参考文献

- 1) Hyon, S., Suewaka, D., Torii, Y. and Oku, N. : Design and experimental evaluation of a fast torque-controlled hydraulic humanoid robot, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 22, no. 2, pp. 623-634 (2017).
- 2) Hyon S., Mizui, H. and Mori Y. : Hydraulic drive circuit, US Patent 9458864 (PCT/JP2013/069900) (2016).
- 3) Jansson, A. and Palmberg, J. : Separate controls of meter-in and meter-out orifices in mobile hydraulic systems, SAE Transactions, vol. 99, no. 2, pp. 377-383 (1990).
- 4) Opendenbosch, P., Sadegh, N., Book, W. and Enes, A. : Auto-calibration based control for independent metering of hydraulic actuators, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 153-158 (2011).
- 5) Hyon, S., et. al. : Hydraulic hybrid servo booster and application to servo press, The 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, pp. 158-162 (2014).
- 6) 玄相晃, 野田史男, 井上皓平, 米田知生 : ブースト型純油圧ハイブリッドによるサーボショベルの提案, 第31回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, AC1H3-05 (2013).
- 7) Hyon, S., Li, W. and Mori, Y. : Realization of fast 10-ton servo press using hydraulic hybrid servo booster, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power (2017).
- 8) Hyon, S., Tanimoto, S. and Asao, S. : Toward compliant, fast, high-precision, and low-cost manipulator with Hydraulic Hybrid Servo Booster, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 39-44 (2017).
- 9) 谷本純一, 真下瑛一, 玄相晃 : 油圧ハイブリッドマニピュレータの試作, 第34回日本ロボット学会学術講演会, AC2U2-03 (2016).
- 10) 麻生翔太, 野村敏行, 玄相晃 : 油圧ハイブリッドサーボコントローラと片ロッドスライダへの適用, 第34回日本ロボット学会学術講演会, AC1X2-08 (2016).
- 11) Hyon, S., Tanimoto, S. : Joint torque control of a hydraulic manipulator with hybrid servo booster, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power (2017).

(原稿受付 : 2017年 8 月 19 日)

解説

油圧駆動ハイパワー人工筋肉の開発とロボットへの応用

著者紹介



もり た りゅう すけ
森田 隆介

東京工業大学
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1
E-mail: morita.rya@titech.ac.jp

2016年3月東京工業大学学士課程修了。2016年4月同大学修士課程に入学。現在に至る。空圧・油圧アクチュエータ及びそのロボット応用の研究に従事。日本機械学会、日本ロボット学会の学生会員。



すず もり こう いち
鈴森 康一

東京工業大学
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1
E-mail: suzumori@mes.titech.ac.jp

1990年横浜国立大学大学院博士課程修了。株式会社東芝を経て、2001年岡山大学教授。2014年東京工業大学教授。現在に至る。アクチュエータ、ソフトメカニズムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会正会員、日本機械学会フェロー、日本ロボット学会フェロー、工学博士。

1. はじめに

近年、災害対応用ロボットの研究開発が盛んに行われている。その中でもBoston DynamicsのBigDog¹⁾やIITのHyQ²⁾は油圧アクチュエータのパワーと高度な制御によって、災害対応等に不可欠な不整地の歩行などを可能としている。油圧駆動のロボットは、高圧による大出力、減速機を用いないことによる堅牢性、バックドライブバリエーションといったメリットを有し、極限環境が予想される災害現場での活躍も期待できる。しかし、従来の大きくて重い油圧アクチュエータはロボット用途に適しておらず、その小型・軽量化が求められていた。

一方で、流体圧により駆動するアクチュエータとして、マッキベン人工筋がある。マッキベン人工筋は内側のゴムチューブと外側の化学繊維で編まれたスリーブで構成される。動作原理としては、ゴムチューブ内に流体圧を加えることでチューブが膨張し、外側のスリーブの編み角が増加することで、軸方向に収縮するというものである。主材料がゴムや化学繊維であるために非常に軽量かつ柔軟な構造で

ありながら、大発生力を実現できるアクチュエータである。従来は、この特徴と空圧による圧縮性による安全性を活かして人間に関わる機械に用いられることが多かったが、水圧や油圧による高圧化を行った研究も報告されている。我々はこのマッキベン人工筋の油圧駆動型に注目し、高い圧力にも対応した油圧人工筋を開発した。これまで報告された人工筋では水圧では最大6 MPa³⁾、油圧では最大2 MPa⁴⁾しか印加できていないが、今回開発した油圧人工筋では最大18 MPaまで印加可能である。耐久性の観点から実際にはもう少し低圧で動かすことが多いが、それでも8 MPa駆動時に13 kNの最大収縮力を実現した。この油圧ならではの発生力と、軽量さ、柔軟さを兼ね備えた油圧人工筋により、これまで難しかった作業を行うロボットが実現可能である。

本記事では、開発した油圧人工筋の基礎特性とその評価について述べた後、ロボット機構への応用として現在検討中の2つの事例について紹介し、その有用性を述べる。

2. 油圧駆動ハイパワー人工筋

2.1 構造

筆者が企業と共同で開発した油圧人工筋⁵⁾は、通常のマッキベン型人工筋肉と同様に、内側のゴムチューブと外側の化学繊維で編まれたスリーブで構成される。図1にその概観を示す。内側のゴムチューブは、新たに開発した耐油性ニトリルゴムを用い、外径は14.7 mm、内径は9.5 mmである。このゴムは耐油性を持ちながら600%の変形が可能であり、ゴムを変形させながら駆動する油圧人工筋に非常に適している。また、スリーブは径1.0 mmのアラミド繊維が編み角25°で編みこまれており、人工筋の全体での外径は約17 mm、収縮部分の長さは400 mm、両端子の取付穴間の長さが500 mmである。耐油性の高いニトリルゴムを開発・適用し、高強度アラミド繊維と併用することにより耐圧・耐油性を高い次元で両立させたことで、これまでにない大きな力を発生する人工筋になったと言える。



図1 油圧人工筋概観

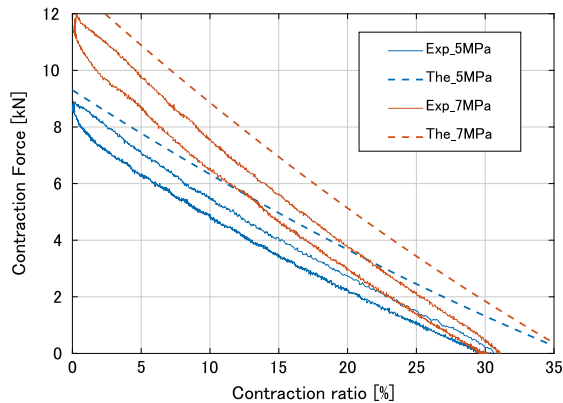


図2 油圧人工筋の収縮率-収縮力特性

2.2 静特性

Schulte⁶⁾によれば、マッキベン人工筋の内圧 p 、収縮率 ε 、収縮力 f の静的な関係は以下の式で表すことができる。ただし、 θ_0 ：人工筋スリーブ初期編み角、 d_0 ：人工筋初期外径である。

$$f = \frac{\pi d_0^2 p}{4 \sin^2 \theta_0} \{3(1-\varepsilon)^2 \cos^2 \theta_0 - 1\} \quad (1)$$

この式ではゴムの剛性やスリーブの摩擦、膨張時の端部形状効果などは考慮されていないものの、端的に人工筋の特性を示している式であり実験値ともよく一致することから、厳密なモデルを必要としない場合に多く用いられる。開発した油圧人工筋について、式(1)から求められる理論値と実験で測定された値を図2に示す。理論値よりも実験値の方がやや小さくなっているもののおおそ一致しており、7 MPaの印加で最大12 kN、定常駆動時の圧力5 MPaでも8.8 kNの収縮力が実現している。また、収縮率が大きくなるにつれて収縮力が減少していくため、本質的にバネと同様の特性を持つアクチュエータである。従って、能動的な制御を行わなくても受動的なコンプライアンスを有し、この油圧人工筋の大きな利点の1つとなっている。

2.3 評価

ここで、油圧人工筋と他の油圧アクチュエータを比較・評価する。評価手法はKuribayashi⁷⁾によって提唱されているForce Density per Mass (FDM) 及びEnergy Density per Mass (EDM) を用いる。これは、異なる種類のアクチュエータを比較・評価する一手法であり、FDMはアクチュエータの発生力

表1 油圧アクチュエータの基礎特性とその評価

	油圧人工筋	ISA v2 ⁸⁾	JISシリンダー ⁹⁾
内径 [mm]	9.5	16	40
質量 [kg]	0.252	0.92	5.84
ストローク [mm]	120	80	120
駆動圧力 [MPa]	5	20	21
最大発生力 [kN]	8.8	4	26.4
FDM [kN/kg]	34.9	4.35	4.52
EDM [kJ/kg]	2.10	0.348	0.542

を質量で除した値、EDMは一ストローク動作時の仕事量を質量で除した値である。これらの値が大きいほど、自身の質量に対して発生できる力が大きい。ため、ロボット用途として適する。特にマッキベン人工筋の場合、発生力が収縮量に応じて変化するため、シリンダーなどの他のアクチュエータと比較する場合にはEDMを用いるのが妥当である。一方、使用方法によってはストロークよりも発生力が重要となる場合もあるため、FDMによる評価も行う。比較するアクチュエータは、今回開発した油圧人工筋に加え、ロボット用の小型油圧シリンダーであるSeminiのISA v2⁸⁾、及び旧JIS規格に則ったシリンダー (NACHI : FH-SB3-40B120-ABD)⁹⁾である。なお、旧JIS規格に則ったシリンダーは、油圧人工筋と同ストロークのものうち、使用圧力が最高で径が最小のものを選定した。また、油圧人工筋は最大7 MPaの圧力をかけることが可能だが、耐久性を考慮して5 MPaでの比較とした。表に、これらの基本スペックとFDM、EDMの値を示す。人工筋は比較的低压での動作になるものの、シリンダーと遜色無い発生力を有し、加えて非常に軽量であることから、FDM、EDMともに大きな値となっている。従って、このFDM、EDMという評価基準において従来のアクチュエータよりも優れたスペックを有することが分かる。

3. 油圧駆動ハイパワー人工筋のロボット応用

油圧人工筋を用いたロボット応用として、「拮抗駆動タフロボットアーム」と「3自由度タフロボット手首関節」の二つの試作機について説明する。

3.1 拮抗駆動タフロボットアーム

一般にマッキベン型人工筋は1方向に収縮することしかできず、関節が往復運動をするためには(自由度+1)本の人工筋が必要になる。今回はその中で最も単純な1自由度の場合に着目、すなわち2つの油圧人工筋を1つの回転関節に拮抗配置した系の特性を検証する。特に、油圧人工筋の特徴の1つに

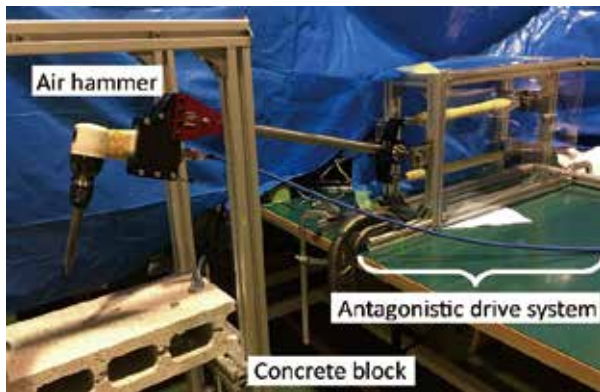


図3 拮抗駆動タフロボットアームによるコンクリートのはつり実験システム

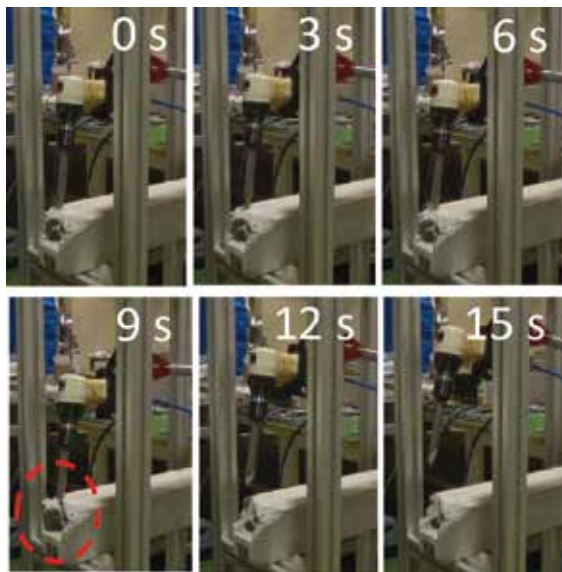


図4 コンクリートのはつり実験の様子

耐衝撃性があり、今までのロボットには難しいとされていたコンクリートのはつりのような非常に大きな衝撃が加わる作業が可能である。そこで、図3のように拮抗駆動タフロボットアームによって、コンクリートをはつりする実験系を構築した。油圧人工筋によって駆動するアーム先端にコンクリートはつり用の空気圧工具が取り付けられており、これを押し付けることでコンクリートをはつりする。図4にはつり実験の様子を示す。約9秒の押し付けによってはつりに成功しており、その後も正常に動作していることが分かる。これにより、実験的にではあるが油圧人工筋を用いたロボットアームの耐衝撃性を示した。

3.2 3自由度タフロボット手首関節

前節では1自由度のロボットアームについて述べたが、実際のロボットに適用する際には多自由度の動作が求められる。そこで我々が開発している3自由度手首関節の3DCADを図5に示す。図中のPitch軸とYaw軸がユニバーサルジョイントとなっており、

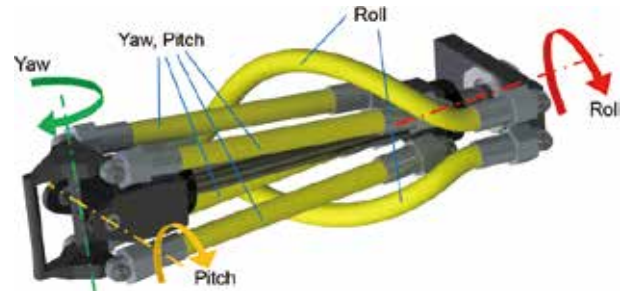


図5 3自由度タフロボット手首関節の模式図

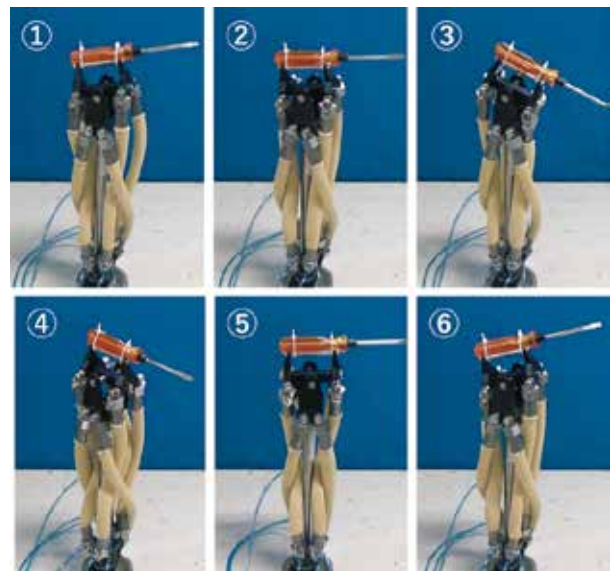


図6 空気圧 (0.5MPa) での動作の様子



図7 油圧 (1MPa) での動作の様子

4本の油圧人工筋を用いて2自由度の動作が可能である。更に、その構造全体を回転させるRoll軸が2本の油圧人工筋により動作する。このRoll軸は、いわゆる手首の捻れ回転であり、油圧人工筋の柔軟性を利用して構造自体に巻き付かせるような配置により、動作が実現している。実際の動作の様子を図6、7に示す。前者は0.5MPaの空圧による動作、後者は人工筋の捻れ配置により動作するRoll軸を1 MPaの油圧で駆動している。動作範囲は限られるものの、どちらも滑らかな3自由度の動作が実現できている。この機構を改良し、油圧人工筋の残りの特徴である軽量性・大発生力・コンプライアンス性を十分に活かせるものにしていく。

4. おわりに

従来の油圧アクチュエータ並の大発生力を維持しながらも、軽量・柔軟な油圧駆動ハイパワー人工筋を実現した。また、その特徴を活かせる機構として「拮抗駆動タフロボットアーム」と「3自由度タフロボット手首関節」の2つを試作し、前者は油圧人工筋の耐衝撃性、後者は柔軟性の有用性を示した。

この油圧人工筋は、シリンダーやベーンモータとは異なるタイプのアクチュエータであり、これを活用することで今までに無かったタフロボットの新しい分野が広がる。今後は、油圧人工筋の軽量性・柔軟性・大発生力・コンプライアンス性といった特徴を十分に活かせる機構への適用を行い、更なるロボット応用を進めていく。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)「タフ・ロボティクス・チャレンジ」により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。また、本研究で使用されている油圧人工筋の開発にあたり、ご協力頂いた株式会社ブリヂストンに深謝します。

参考文献

1) M. Raibert, K. Blankespoor, G. Nelson, R. Playter, The

- Bigdog Team : BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot, Proceedings of the 17th world congress, Vol. 17, No. 1, p. 10822-10825 (2008)
- 2) C. Semini, N. G. Tsagarakis, E. Guglielmino, M. Focchi, F. Cannella, and D. G. Caldwell : Design of HyQ-a hydraulically and electrically actuated quadruped robot, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 225, No. 6, p. 831-849 (2011)
- 3) Z. Zhang, J. Hou, D. Ning, X. Gong, Y. Gong : Modeling and experiments on the drive characteristics of high-strength water hydraulic artificial muscles, Smart Materials and Structures, Vol. 26, No. 5, (2017)
- 4) 横田真一, 小松健浩 : 宇宙環境マニピュレータ用フレキシブル・ハイドロウリック・アクチュエータ (FHA), 日本機械学会論文集C編, Vol. 57, No. 542, p. 3222-3227 (1991)
- 5) <http://www.bridgestone.co.jp/blog/2017020201.html>
- 6) Schulte : The Characteristics of the McKibben Artificial Muscle, The Application of External Power in Prosthetics and Orthotics, p. 94-115 (1961)
- 7) K. Katsutoshi : Criteria for the evaluation of new actuators as energy converters, Advanced robotics, Vol. 7, No. 4, p. 289-307 (1992)
- 8) C. Semini, M. Baker, K. Laxman, V. Chandan, T. Maruthiram, R. Morgan, M. Frigerio, V. Barasuol, D. G. Caldwell, G. Rey : A Brief Overview of a Novel, Highly-Integrated Hydraulic Servo Actuator with Additive-Manufactured Titanium Body, IROS 2016 Workshop: Force/Torque Controlled Actuation (2016)
- 9) <https://www.nachi-fujikoshi.co.jp/web/pdf/9505.pdf>

(原稿受付 : 2017年 8 月21日)

会議報告

ROBOMECH 2017における
フルードパワー技術開発動向

著者紹介

たか いわ まさ ひろ
高 岩 昌 弘徳島大学大学院社会産業理工学研究部
〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地
E-mail: takaiwa@tokushima-u.ac.jp

1992年岡山大学大学院工学研究科修了。同年岡山大学機械工学科助手。2002年同システム工学科講師。2007年同准教授。2015年徳島大学教授。現在に至る。空気圧サーボを中心とした人間支援型ロボットシステムの研究開発に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会・日本ロボット学会等の会員。博士（工学）。

1. 講演会の概要紹介

ロボティクス・メカトロニクス講演会2017（通称ROBOMECH 2017）が5月10日（水）～13日（土）まで、ビックパレット福島（福島県郡山市）において開催された。本講演会は（一社）日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催の講演会で、図1のように完全ポスター講演という特徴を有する。1988年の開催から数えて今年で第29回目となる。

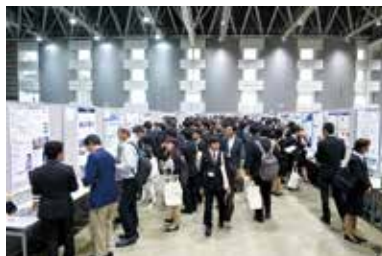
ロボティクス・メカトロニクス関連の講演会としては、（一社）日本ロボット学会の学術講演会、（公社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会とならび、国内における最も規模の大きい講演会の一つである。

講演会規模は年々拡大しており、今回は発表件数が1,274件、参加者総数は約1,900名を数えた。小生が実行委員として携わった2011年の岡山大会では、参加者が1,650名であった。それ以降も毎年参加者数を更新していたが、ここ数年でようやく発表件数ともに落ち着いてきた感がある。それにしても1,300件近い件数は他にあまり類を見ないマンモス講演会に違いなく、ロボメカ分野に対する関心の高さが伺える。また、毎回参加して思うのは発表者、参加者とも皆若いということである。ポスターセッションという形式が発表の敷居を下げているのかもしれないが、若者の理科離れが叫ばれる中、この傾向はこれからも継続して欲しいと強く思う次第である。

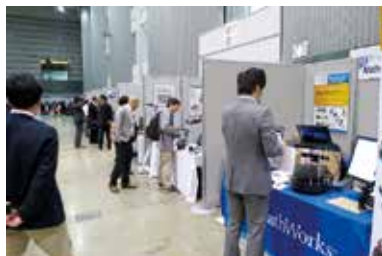
会期は4日間で、初日は例年通り、チュートリアル



(a) 会場全体風景



(b) ポスター講演の様子



(c) 機器展示の様子

図1 会場の様子

ルやワークショップが開催された。「RTミドルウェア講習会」や、「インターネットを利用したロボットサービス基盤としてのRSNP講習会」は例年開催されているので、興味があれば参加されたい。また、会期を通して中央のポスターを囲むように機器展示・カタログ展示が行われ、60ブース程が出展された。各ブースを回っての情報収集も例年の楽しみの一つである。

2. フルードパワー関連の研究動向

以下に、フルードパワー関連の講演の中から、興味深いものを著者が勝手に抜粋したものを示す。

鈴森ら¹⁾は、超軽量・超単純構造のジャコメッティロボティクスの概念を提案している。図2はヘ

リウムガスを充填したバルーン状の袋を細径人工筋でそれぞれ連結して、20mの長さまで拡張したものであり、複雑な高層建造物の内部まで進入し先端部のカメラで状況撮影できるものである。先端の位置精度は適当で風等の外乱にも大きく左右されるが、これまでの重厚長大のロボットアームとは全く逆のパラダイムに基づいた設計思想が興味深い。



図2 超軽量・超長尺ロボットの例

吉永²⁾は図3に示すエアージェットを用いた非接触物体操作を提案した。これまでは平面上単一剛体の位置と姿勢の制御や複数物体の位置制御を行ってきたが今回は軽量小型の物体を空中に浮上させ、3本のノズルで下からジェットを吹き、空間内の位置制御を行うものである。エアージェットはその流れの中に丸い物体を中心に引き込む流体力学的性質(コアンダ効果)を有しており、これを利用することで物体を噴流内に拘束している。非接触搬送というとボルテックスカップを思いつくが、噴流を利用する方法も一つであると感じた。



図3 エアージェットを用いた空間物体搬送



図4 吸盤を有するソフトフィンガー

橘³⁾は図4に示すようなシリコンゴムを用いたバルーン型空気圧アクチュエータの先端に吸盤を有するソフトフィンガーを提案した。吸盤部を負圧で引くことで対象物に吸着し、ソフト形状のため任意形状の対象物にも対応できる特徴を有する。

3. おわりに

本稿では、(一社)日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会について紹介した。筆者は東京工業大学の塚越秀行先生と一緒に「フルードパワーロボティクス」というOSを本講演会において企画している。本セッションにおける講演を参考文献4)~15)に示す。タイトルからも推察されるようにどの講演も流体駆動ならではの特徴を活用した興味深いものである。本OSは今後も継続して企画したいと思っているので、是非ともご発表を検討いただければ幸いである。なお、来年のRobomec 2018は北九州市において開催予定であることを申し添えておく。

参考文献

出典は全てロボティクス・メカトロニクス講演会'17講演論文集である。筆頭著者、題目、講演番号のみを記す。

- 1) 武市他：20mバルーン型ジャコメッティアームを用いたモックアップ施設における機能検証実験，1P2-D01
- 2) 吉永他：複数の空気噴流による3次元物体操作，2A2-B03
- 3) 橘他：タコを生体模倣した吸盤を有する空気圧アクチュエータに関する研究，2A1-N02
- 4) 山本他：中空構造を有した小型軽量の空圧回転体，2P1-D01
- 5) 奥他：携帯可能な空気圧源の開発を目的とした圧縮空気生成手法の評価，2P1-D02
- 6) 和田他：気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ第7報：柔軟PEFCの開発とバルーンアクチュエータの実現一，2P1-D03
- 7) 高川他：装着者の体重を利用した空気式歩行支援シューズの開発，2P1-D04
- 8) 中村他：人体荷重下を無摺動で滑り込むSlip-inマニピュレータの動作特性，2P1-D05
- 9) 越本他：壁面登攀型パワーアシストスーツに向けた小型遠心圧縮機の開発，2P1-D06
- 10) 満田：真空圧により硬化する伸縮性シート，2P1-E01
- 11) 吉田他：空気圧人工筋を搭載した二次元脚ロボットの足踏み動作における関節剛性の解析，2P1-E02
- 12) 宮木他：自励振動を誘発する柔軟小型バルブとその移動ロボットへの応用，2P1-E03
- 13) 井他：電気静油圧アクチュエータのトルク効率と内部漏れ流量のモデリング，2P1-E04
- 14) 小澤他：床反力測定による体重免荷システムの評価，2P1-E05
- 15) 石井他：空気浮上型索状ロボットの噴射方向の二軸能動化手法の提案，2P1-E06

(原稿受付：2017年9月2日)

会議報告

第15回スカンディナビア国際会議参加記

著者紹介


 さなだ かずし
 眞田 一志

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

昭和61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。昭和61年4月東京工業大学助手。平成10年横浜国立大学工学部生産工学科助教授。平成13年横浜国立大学大学院助教授。平成16年横浜国立大学大学院教授。現在に至る。博士（工学）。

1. はじめに

第15回スカンディナビア国際会議が、2017年6月7日（水）から9日（金）にかけて、スエーデンのリンチェーピン大学で開催された。スエーデン語のLinköpingの発音は、地元ではリンチェーピンと聞こえたので、以降“リンチェーピン”で統一する。会議の委員長は、Petter Krus教授である。スカンディナビア国際会議は、スエーデンとフィンランドで交互に、毎年開催されている。今回は、スエーデンの順番であった。参加者名簿によれば、参加者数は、計136名であった。その内訳は、表1のとおりである。ご当地のスエーデンが最も多く、ドイツ、フィンランド、ブラジルと続いている。日本からの講演発表は著者の一人だけであったが、聴講参加者が3名で、計4名であった。韓国からは1名のみ、中国も1名のみであり、アジア系が少ないのが印象的だった。

基調講演等はメイン会場で開催され、一般講演は2室平行で開催された。一般セッションとしては、産業応用セッションが3セッション（講演論文12件、以降括弧内は件数）、ポンプセッション(4)、モバイルシステムセッション(4)、デジタル油圧セッション(4)、システムセッション(5)、機器セッション(5)、独立メータリング（Independent metering）セッション(4)、シミュレーションセッション(4)、システムと制御セッション(3)、システムと機器セッション(3)であった。講演発表15分＋質疑応答5分

の割り当てであった。参加者の65%が企業から、35%が大学関係であった。講演発表の30%が企業から、70%が大学からであった。

表1 参加者の内訳

スエーデン	78
ドイツ	14
フィンランド	7
ブラジル	7
日本	4
米国	3
フランス	3
イギリス	3
デンマーク	3
カナダ	2
イタリア	2
スイス	2
オーストリア	2
ノルウェイ	2
オランダ	1
マケドニア	1
韓国	1
中国	1
計	136

2. 基調講演について

講演会は、実行委員長のPetter Krus教授の挨拶で開始された。著者は、今回、Petter教授からお誘いのメールをいただき、参加することにした。



図1 Petter Krus教授による開会のご挨拶

基調講演は、まったく資料が配布されず、プレゼンテーションがすべてであったため、どれだけ正確に報告できるか、少々怪しいところがあるが、ご容赦頂ければ幸いである。

1 件目の基調講演は、ドイツのJanette Kothe氏による講演“Fluid Power in Industry 4.0”であった(図2)。日本でも話題のIndustry 4.0であるが、Janette氏によれば“Connected Hydraulics”を標語に活動しており、1) 新しいインターフェース、2) 組み合わせ技術(Building Technology)、3) ソリューションビジネスモデルの3つをキーワードとしているとのこと発表であった。具体例として挙げられたのが、Production Performance Manager, Predictive Analysis, InsightLive Augmented Remote Supportというテーマであった。



図2 Janette Kothe氏による基調講演

2 件目の基調講演は、Monika教授による講演“Challenges and Opportunities in Pump Design”であった(図3)。ポンプの新しい設計手法と流体膜に関する新しい研究成果に関するプレゼンテーションであった。キーワードは、thermo-elastic fluid structure interactionであり、熱、流体弾性力学、材料変形、隙間を組み合わせ、最新の解析技術を駆使したポンプ設計手法の研究について、ご講演さ



図3 Monika教授による基調講演

れた。また、個別課題として、温度適応型ピストン(ピストン内にアルミを組み込んだもの)は摩擦損失を20%程度低減することなどが紹介された。最後に、ポンプ動力の向上には、高圧化、高角度化が望ましく、高速化はノイズに悪影響を与えることを強調されて、講演を終わられた。

3 番目の基調講演は、スウェーデンのReno Filla博士による講演“Future Trends for Heavy Vehicles”であった(図4)。講演内容は、無人化に関するものであった。1) 一つのシステムとして理解すること、2) オペレータと環境との関係、3) 複数の機械・複数のオペレータの関係、4) 国内外におけるエネルギーの運送とそのシステムの役割の理解、が重要であることを強調された。



図4 Reno Filla博士による基調講演

4 番目の基調講演は、Win Rampen教授による講演“Artemis Digital Displacement Series-Hybrid Transmissions for Rail Applications”であった(図5)。Rampen教授ご自身の略歴を紹介され、デジタルポンプの開発、Atremis設立(1994)にいたる経緯、鉄道の動輪駆動への応用事例などが紹介された。



図5 Win Rampen教授による基調講演

3. パネルディスカッションについて

「フルードパワーの将来」をテーマに、60分にわたってパネルディスカッションが開かれた(図6)。はじめに司会のMurrenhoff教授から、油圧分野はさまざまな工学分野の技術が融合された分野であり、次世代の人材を育成する教育が重要である、という発言から始められた。Monika教授にマイクが渡り、原理・原則を理解し、それらを正しい方向に使うこと、新しい市場を開拓することが重要である、と発言された。Peter Achten氏は、電気モータの市場規模は油圧機器より大きく、さらに歯車伝動の市場規模は電気モータより大きい。油圧分野は、歯車伝動を置き換えるよう、新規の市場を開拓するのがよい、と発言された。Janette Kothe氏は、油圧分野はmatureな分野であり、現状を打破し、イノベーションを取り込む姿勢が大事だと発言された。これに対して、Monika教授が発言され、油圧分野は決してmatureではなく、さまざまな分野の最新技術を取り込むことで新しい展開を見せている、先端技術であることを力説された。会場から拍手がわいたのは、印象的だった。話題は、再び、教育にもどり、油圧研究室が継続するためには、油圧の魅力を伝えることと、他の分野を取り込むこと、例えばロボットのなどがあげられた。また、研究業績としてJournal paperだけが評価される現状についても、さまざまな意見が交わされた。最後に、人材育成では、あくまで油圧を基礎としたうえで、制御やメカトロのわかる人材を育成する教育を目指すべきであり、AIやCloudなど新しい分野を取り込んでいけばよいというコメントで締めくくられた。60分が短いと感じるほど、白熱した議論が繰り広げられた。



図6 パネルディスカッション

4. 一般講演論文について

一般論文は、査読付と査読なしの2種類に分かれ

ており、投稿時に著者が選択した。当日はアブストラクトのコピーが配布された。アブストラクト集¹⁾には、査読付と査読なしが明記されていた。当初は、講演論文の配付資料がアブストラクト集だけであり、web配信なども行なわれていなかった。講演論文のpdfが、国際会議のホームページからダウンロードできるようになったのは、最終日であった。ただ、ダウンロードできるようになったファイルは著者が最終原稿として投稿したファイルそのものであり、まだ非公式の版である。正式には9月頃に、Linköping University Electronic Pressより、プロシーディングスとして公表される予定である。そのため、本稿では、会議中に紹介されたWEBからダウンロードした講演論文原稿を参考文献として掲示することを、ご了解いただきたい。

第1節でも紹介したように、一般講演は産業応用が多く、しかも油圧ショベルやホイールローダなどに関する、新しい油圧回路、制御手法、ハイブリッド、省エネ評価などのテーマの発表が多かった。

R. Follaらは、ホイールローダーの土砂積み込みの作業効率の最適化を目標として、バケットが土砂を掘削する際の土砂の積み込み状況を、Discrete Element Methodを適用してシミュレーション解析した結果を報告した²⁾。

Victor Irizarらは、ピストン形アキュムレータのガスの温度の解析を目的として、CFDを適用した研究について発表した³⁾。充填時および放出時におけるアキュムレータ内のガスの温度分布と速度分布を解析しており、アキュムレータ内でのガスの対流や壁面との間の熱伝達率の時間変化などを詳しく示した。

Alexanderらは、ホイールローダのトラクションコントロールについて発表した⁴⁾。タイヤのスリップ時の摩擦係数を、リアルタイムで推定する手法を提案し、実機試験で有効性を示した。本論文は、Global Fluid Power Societyが選出するBest Paper Award(最優秀論文賞)を受賞し、バンケットにおいて副賞(\$500)の目録が著者に渡された。

5. ソーシャルイベントについて

ウェルカムは、大学内の教員食堂で行なわれた。バンケットは市内のコンサートホールで開催され、リンチェーピン大学の混声合唱団が、地元の民謡をもとにアレンジした曲を披露し、会場は大変な盛り上がりであった。バンケットもおおよそ終わった頃に、退散した。すでに午後10時30分を回っていたが、あたりはまだ明かりが残っており、さすが北欧にきたという実感をもつことができた(図7)。

今回は、先生方と旧交を温め、また新しい知人を



図7 バンケット会場のコンサートホール
(午後10時30分撮影)

作るよい機会になった。また、10月に開催予定の福岡の国際シンポジウムについても、バンケットや休憩時間を使って、直接お話しすることが出来た。

テクニカルツアーは、最終日、6月9日(金)の午後に開催された。SAABのリンチェーピンにある戦闘機工場の見学、フォークリフトを製造しているToyota Material Handling工場見学、あるいはKrus教授の下で開発されている油圧シミュレーションソフトHOPSANのチュートリアル演習のなかから、各自選択することが出来た。著者は、SAABの見学に参加した。リンチェーピンにはSAABの戦闘機工場があり、スウェーデンの戦闘機グリペン(Gripen)を製造している。厳重なセキュリティ管理のもと、見学が行なわれた。具体的に見学させていただいたのは、戦闘機に使われている油圧回路全体の試験装置と、戦闘機グリペンの最終組み立て工場の2箇所だった。著者は戦闘機を見たのも初めてで、試験装置や組み立てラインは全くの初見であった。写真撮影禁止のため、映像をお見せすることができないのが、とても残念である。

油圧回路全体の試験装置は、戦闘機の油圧回路をそのまま実物で再現した装置である。試験室の壁には、油圧回路図が掲示されており、とても興味深く拝見した。試験は、飛行中の負荷をフラップなどの油圧装置に作用させて、その基本機能などを確認するために行なわれる。たとえばフラップにかかる空力負荷を、負荷再現用油圧シリンダで再現し、フラップ駆動用油圧シリンダに作用させることが出来

る。飛行中の戦闘機の運動や翼にかかる負荷などは、別室に設けられた運動シミュレータの信号を、負荷再現用のサーボアクチュエータに送ることで再現している。最近の言葉で言えば、戦闘機の油圧回路のHILS試験装置といえるかもしれない。

2箇所目は、戦闘機グリペンの最終組み立て工場の見学だった。翼や、空気取り込み口などの個別部品を組み合わせ、戦闘機を組み立てる最終工程の見学であった。1機ごとに、戦闘機のまわりに足場が組み立てられており、膨大な数の部品を間違いの無いように組み立てる必要がある。翼などの各所に油圧シリンダが組み込まれている様子を見ることができ、印象的なテクニカルツアーであった。なお、SAABは、リンチェーピン大学の油圧研究室の卒業生の就職先として、人気のある企業のひとつとのことである。

6. おわりに

今回は、2018年5月22日～24日、タンペレ大学で開催されることがアナウンスされた。産業応用の発表が多いのが特徴的であり、興味のある方は是非参加されることをお勧めする。

参考文献

- 1) Book of Abstracts, SICFP17 15th Scandinavian International Conference of Fluid Power, 2017.
- 2) R. Filla, B. Frank, Towards Finding the Optimal Bucket Filling Strategy through Simulation, The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP '17, June 7-9, 2017, Linköping, Sweden, <http://www.iei.liu.se/flumes/sicfp17/Papers?l=en>
- 3) Victor Irizar, Peter Windfeld Rasmussen, Olivier Doujoux Olsen*, and Casper Schousboe Andreasen, Modeling and Verification of Accumulators using CFD, The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP '17, June 7-9, 2017, Linköping, Sweden, <http://www.iei.liu.se/flumes/sicfp17/Papers?l=en>
- 4) Addison Alexander, Andrea Vacca, Real-Time Parameter Setpoint Optimization for Electro-Hydraulic Traction Control Systems, The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP '17, June 7-9, 2017, Linköping, Sweden, <http://www.iei.liu.se/flumes/sicfp17/Papers?l=en>

(原稿受付：2017年6月14日)

トピックス

中国駐在員日記

著者紹介



た じ ま ま さ ゆ き
田 島 正 之

株式会社小松製作所小山工場開発本部油機開発センタ
〒323-8558 栃木県小山市横倉新田400
E-mail : masayuki_tajima@komatsu.co.jp

2007年東京電機大学大学院工学研究科卒同年
株式会社小松製作所入社、開発本部油機開発セン
タ所属。2013年小松山推工程機械有限公司へ
赴任。2014年開発本部油機開発センタへ帰任、
現在に至る。



写真1 よく通ったスーパー

1. はじめに

私は2013年4月より1年間、中国山東省の済寧市の現地法人の工場に赴任していた。それまで中国へ行ったのは一度上海への旅行だけであったが、その時には中国で働くことになるとは思いませんでした。

中国という国をあまり知らない上に、普段触れることのない中国語、さらに日中関係も悪化していた時期であったため、不安を感じていたが、実際に仕事を通して多くの楽しく貴重な経験もすることができた。今回機会をいただいたので、中国での生活の一部をご紹介します。

2. 赴任地について

私が赴任したのは、山東省の済寧市という場所にある現地法人の工場である。済寧市は孔子や孟子を輩出した古くから栄えている山東省にある都市であり、上海から高速鉄道を利用して約5時間、上海と北京の中間あたりにある人口約800万人の内陸の地方都市である。会社の工場は市のほぼ中心部にあり、周りに住宅街もある場所にあった。当初は会社の寮に住んでいたが、老朽化と安全面の問題もあり、工場の目の前にある外国人駐在者用のアパートに私は住むこととなった。このアパートはスポーツジムや温水プールもある市政府が建設した外国人専用アパートのため、住環境として申し分なかった。

近くには日本の大手スーパーがあり、多くの食料や生活必需品を手に入れることができた。日本の食材はもとより日本のメーカの製品も数多く取り扱われ

ていたため、生活物資の調達に困ることはなかった(写真1)。価格帯は地元のスーパーと比較すると高めだが、地元の人たちで賑わっており、休日になると家族連れで溢れていた。

町を訪れるまでは中国の地方都市だとそんなに発展していないのだろうと考えていたが、街の中心部では至る所で工事が行われており、建設中のマンションの多さと高さには驚いた、中心部には小さな店が集まった商店街のようなものも残っており、どこか発展している中にも昔の姿が残っている部分もあった。都市部から離れると途中工事を放棄された建物が見られ、当時の中国の勢いの衰えも少し垣間見えたのかもしれない。

中国の道路には自転車があふれているイメージがあったが、筆者のだいぶ古いイメージなのか、バイク並みにスピードが出る電動自転車が多く走っていた。自動車も多く、通勤時間帯になると渋滞が発生することもあった。日本と比較すると交通マナーはよくなく、事故が起きないか心配するほど積載量オーバーをしているトラックをよく見かけた。

3. 食事情

過去の上海旅行の経験で、食事は問題ないと思っていたが、いざ生活してみると意外とハードルが高かった。中華料理といってもさまざまな地方料理があり、赴任した地域の山東料理は塩味が濃く、香辛

料がたっぷり使われているのが特徴だった。

味付けの濃い淡水魚や肉料理や香草（パクチー）がたっぷり入った麺類や野菜の炒め物、具のない饅頭が工場の昼食で出てくるのだが、普段食べ慣れていない香辛料が多く使われており、なかなか食が進まなかった。

最近、日本でもパクチーが流行し始めているが、やはり好き嫌い分かれる駐在者が多く、自分は好きにはなれず、よけながら食べていた。最後まで地元の料理には慣れず、赴任してから体重が落ちて、周囲に心配された。

ちょうど赴任し始めたぐらいから、工場の昼食で日本食が出始めたころでもあったため、たまに出るカレーライスや豚の生姜焼きがごちそうに感じられ、給食のカレーライスを楽しみにしていた小学生のころを思い出した。

4. 宴会での風景（写真2）

赴任して何度かお酒の席に参加したが、一番危惧していたのが、白酒（アルコール度数38%以上）である。

中国人とのお酒の席では必ず白酒が出てくる。地域独自のものもあるが、総じてアルコール度数が高い。中国のお酒は、紹興酒や青島ビールが有名だが、特に白酒は中国人との酒の席には必ず登場する。中国の宴会では、食べきれないほど料理を出し、料理が余ることがお客様に満足してもらったという考え方だ。お酒も同じなのか自分ではあまり飲まないのに、周りの人にはお酒を勧めることがよくある。特に日本人は、格好の飲ませる対象であり、何人もの人が白酒を注ぎにやって来る。自分の身を守るために、白酒の代わりにこっそり水を入れて何度か難を逃れることもした。

一番お酒を飲む機会だったのが、結婚式である。何度か現地スタッフの結婚披露宴に参加する機会もあった。披露宴の最中に、新郎新婦が白酒と小さいグラスをもって各テーブルに挨拶にくる。そのグラ



写真2 宴会の様子

スが6つもあるのだ。「6」という数字は中国で縁起のいい数字と考えられていて、新郎と6杯飲み交わすことになっている。新郎はあまり飲まず、ゲスト側は飲むことが多かった。

5. 休日の過ごし方

現地での休日の過ごし方は、はじめはバスや自転車です市内に買い物に行くことぐらいだったが、生活に慣れてくると現地のスタッフ達含め駐在員と市内にあるビリヤード場などに行くなど休日を楽しむことができた（写真3）。市内には、映画館や遊園地、ゲームセンターなどの娯楽施設もあり、週末は若者たちで賑わっていた。



写真3 ビリヤード楽しむ筆者

長期休暇では、中国国内の旅行にいく機会もあり、香港や青島だけでなく、敦煌の莫高窟や西安の兵馬俑など世界遺産も訪れることができた。それ以外にも華山と呼ばれる中国五山の一つに登ることもできたのが、いい思い出となった。この山の登山道で写真のように岸壁に非常に足場が設置されている箇所があり（写真4）、命綱をつけて渡る。しかもこの通路は一方通行ではなく、双方向であるため、狭い通路で道を譲りあうことになる。このようなところに道を作る中国人の開拓力には驚かされた。

6. 現地スタッフとのやり取り

仕事をしていく上で重要なのがコミュニケーションなのは言うまでもない。赴任前に2か月間中国語講座を受けていたが、焼き付け刃のため、赴任当初は日本語ができる現地スタッフに通訳をお願いしていた。帰任するころには、簡単な内容であれば片言で伝えたり、筆談したりで何とか現地のスタッフの方とコミュニケーションできるようになった。通訳以外のスタッフでも英語や簡単な日本語がわかる方もいて、現場で困った際に頼りになった。

工場で日本語教室や英語教室も開かれていて社員全



写真4 華山の風景

体で語学力向上に取り組んでいた。駐在員に対しても週に1回中国語の勉強会が開かれており、筆者も業務の合間で参加し、中国語の勉強に勤しんだ。

7. PM2.5問題

赴任していた地域はPM2.5の濃度が濃い地域であった。天気予報は晴れだが、太陽がかすんでいる日が続くことが多かった。そのため太陽電池付きの腕時計のバッテリーがなかなか充電されなかった。PM2.5の濃度が濃い日になると、10m先がかすんでいて視界が見えない日も多くあった。地元の方々も、外出する際はマスクをしているが、ガーゼのようなマスクが多く、PM2.5を防ぐようなマスクをしている人はほぼ見られなかった。

会社からPM2.5を防ぐマスクが支給されることがあり（写真5）、事務所内のスタッフが写真のマスク姿になる光景になったが、声のとおりが恶いため、



写真5 支給されたマスク

使用することをやめることとなった。

8. 中国での仕事

中国での主な仕事は現地の油圧機器の品質情報を集め、対応を現地スタッフへアドバイスをすること、その情報を日本に迅速に報告することであった。それ以外でも、中国国内の工場の品質向上活動の協力なども行った。

不具合調査や市場調査で実際に建機が稼働している現場に赴く機会もあり、日本にいる時にはなかなか見ることができない建機の使われ方を実感する機会を多く持つことができた。

また、2013年10月に北京で開かれた建設機械の見本市に調査隊の一員としても参加した。この見本市には、中国メーカーだけでなく海外のメーカーも出展しており、上海の建設機械展と並んで大規模な展示会である。高層ビルの建設ラッシュの影響なのか、鉱山用の建設機械よりも、高層建設用のコンクリートポンプ車などが多く展示されていた（写真6）。



写真6 北京での建設機械展

9. おわりに

中国に赴任した間は、開発設計の仕事と異なるため、戸惑うことも多くあったが、現地のスタッフをはじめ、国内の多くの方々にも協力頂いたおかげで無事に任期を全うすることができた。

一年間という短い期間だったが、色々な経験をすることができ、自身の成長もできた貴重な一年になったと感じている。

この駐在中に中国で知り合った方々は、今でも連絡を取っている。この縁をきっかけに、また中国に訪れたいと考えている。

最後にこのような貴重な体験の機会を与えてくれた上司や関係の方々に感謝の気持ちを伝えたい。

（原稿受付：2017年6月15日）

トピックス

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード 第6回 フルードパワー設計者のために必要な 国際規格の紹介

著者紹介



おお ぐ じゅん
大 古 潤

油研工業株式会社 研究開発部
〒252-1113 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34
E-mail: ju.oogo@yuken.co.jp

2007年神奈川大学工学部卒業、同年油研工業株式会社に入社、研究開発部に配属され現在に至る。主に油圧ポンプの開発に従事。

1. はじめに

本号に至るまでに、「フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード」と称して5回に渡り設計者が遵守すべき国際的ルールについて解説をしてきた。最終回となる今回は、ものづくりをする上で知っておくべき規格の中から、特にフルードパワー設計者と関わりの深い国際規格について紹介する。

2. 規格と標準

工業的な取決めについて述べる場合、日本語では「規格」と「標準」の2通りの表現がある。同様な意味の単語ではあるが、日常では若干異なるニュアンスで使い分けられているように感じる。記事の主旨とは異なるが、規格について述べるにあたり参考までにこの2つの言葉の違いについて述べる。

「規格」と「標準」は、英訳すると共に「standard」であるが、JISでは以下の様に定義分けしている。

「規格」の定義 (JIS Z8002:2006)¹⁾

与えられた状況において最適な秩序を達成することを目的に、共通的に繰り返して使用するために、活動又はその結果に関する規則、指針又は特性を規定する文書であって、合意によって確立し、一般に認められている団体によって承認されるもの。

「標準」の定義 (JIS Z8002:2006 付属書JA)¹⁾

a) 関連する人々の間で利益又は利便が公正に得られるように、統一し、又は単純化する目的で、もの（生産活動の産出物）及びもの以外（組織、責任権限、システム、方法など）について定め

た取決め。

b) 測定に普遍性を与えるために定めた基本として用いる量の大きさを表す方法又はもの（SI単位、キログラム原器、ゲージ、見本など）。

「規格」と対比される「標準」は定義のa)の方である。定義によると「規格」とは「標準」によって取り決められた文書であると言えるが、ほとんどの場合「規格」の代わりに「標準」という単語を使用しても差し支えは無く、逆もまた然りである。

3. 世界の標準（規格）

3.1 世界の標準

標準は地理上、政治上、または経済上の水準から表1に示す国際標準、地域標準、国家標準、団体標準の4階層に分類できる。

表1 世界の標準

分類	例	
	略称	管理組織
国際標準	ISO	国際標準化機構
	IEC	国際電気標準会議
	ITU	国際電気通信連合
地域標準	CEN	欧州標準化委員会
	CENELEC	欧州電気標準化委員会
	ETSI	欧州電気通信標準化機構
国家標準	BS	イギリス規格協会
	DIN	ドイツ規格協会
	ANSI	アメリカ国家規格協会
	GB	中国国家標準化管理委員会
	JIS	日本工業標準調査会
団体標準	ASTM	ASTM国際（旧名：アメリカ材料試験協会）
	IEEE	アメリカ電子電気学会
	NEMA	アメリカ電気工業会
	UL	アメリカ保険業者安全試験所
	SAE	アメリカ自動車技術者協会

表1に挙げた標準は代表例であり、この他にも多数の標準、および規格が存在する。多くの場合、同様の目的で規定された規格は国際規格に準拠しており、ほぼ同一の内容が規定されているが、内容が完全には一致しない場合もある点に注意が必要である。

3.2 国際規格との対応

対応の程度はISO/IEC Guide21-1:2005²⁾にて表2の様に分類されており、JISではハンドブックの目次、および各規格の序文に国際規格との対応の程度が記されている。

表2 国際規格との対応の程度^{2),3)}

対応の程度		JISでの記号
identical	一致している	IDT
modified	修正している	MOD
not equivalent	同等でない	NEQ

4. フルードパワーに関わる国際規格の紹介

以下にフルードパワー設計者に関わりの深い国際規格の一部を紹介する。現在、フルードパワー機器のユーザ、およびメーカは世界中に存在し、事業のグローバル展開が当たり前となっている。グローバル化が進む昨今の世界情勢の中、これらの国際規格に関する知識は、設計者に必須の知識となっている。

なお、参考に規格の図を掲載するが、規格に含まれる内容をすべて紹介すると膨大な頁数となるため、掲載する図は各規格の代表的なものに留めると共に、寸法一覧等は割愛させていただくことをご容赦いただきたい。

4.1 容積式油圧ポンプおよび油圧モータの取付 (表3, 図1, 2)

表3 「容積式油圧ポンプおよび油圧モータの取付」
ISOに対応するJIS規格番号^{2),3)}

国際規格	JIS規格番号 (対応の程度)
ISO 3019-※	JIS B 2292-※
※印の数字によって以下に細分化される。	
ISO 3019-1:2001	JIS B 2292-1:2005 (IDT)
メートル単位で表示するインチ系列	
ISO 3019-2:2001	JIS B 2292-2:2005 (IDT)
メートル系列	

油圧ポンプ、および油圧モータを固定するフランジ部分、およびトルクを伝達する軸端の寸法を規定する規格。「ISO 3019-1」は、もともとSAEが「SAE J744」にて規定していた規格をISOが国際規格に採用したものであり、こちらに準拠している場合はISOではなく「SAE J744」に準拠していると表す場合が多い。一方、単にISO規格に準拠しているという「ISO 3019-2」を指す場合が多い。

4.2 サブプレート取付形4ポート電磁切換弁 (表4, 図3, 4)

規格名は電磁切換弁となっているが、積層弁（モジュラー弁）の取付面寸法の規格としても広く普及している。

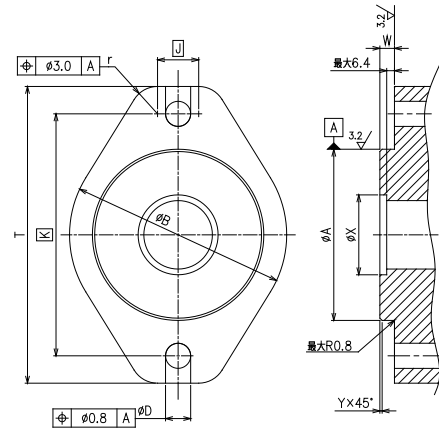


図1 ボルト穴2個フランジ³⁾

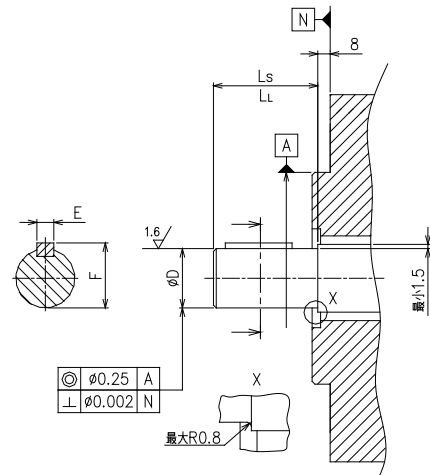


図2 キー付き円筒軸端³⁾

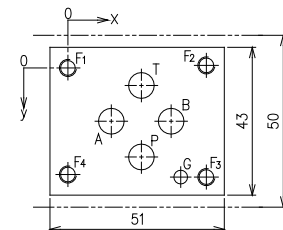


図3 ポート径最大7.5mmのパイロットポートなしの4ポート電磁切換弁取付面形状³⁾

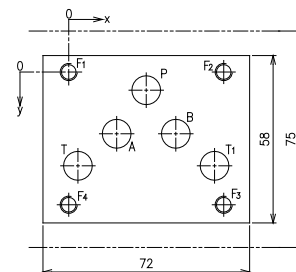


図4 ポート径最大11.2mmのパイロットポートなしの4ポート電磁切換弁取付面形状³⁾

表4 「サブプレート取付形4ポート電磁切換弁」
ISOに対応するJIS規格番号^{2),3)}

国際規格	JIS規格番号 (対応の程度)
ISO 4401:2005	JIS B 8355:2009 (MOD)

4.3 油圧シリンダの取付寸法 (表5, 図5)

推力を決定するシリンダチューブ内径, およびロッド径の組合せは本規格にて種類ごとに定められており, 一般に流通している油圧シリンダのほとんどが本規格に準じたチューブ内径, ロッド径にて製作されている。

表5 「油圧シリンダの取付寸法」
ISOに対応するJIS規格番号^{2),3)}

国際規格	JIS規格番号 (対応の程度)
ISO 6020-※	JIS B 8367-※
※印の数字によって以下に細分化される。	
ISO 6020-1:2007	JIS B 8367-1:2009 (MOD)
片ロッド-16MPaシリーズ-丸カバー形-溶接フランジ式及びねじ込みフランジ式 (内径25mm~500mm)	
ISO 6020-2:2006	JIS B 8367-2:2009 (MOD)
片ロッド-16MPaシリーズ-角カバー形-タイロッド締付式 (内径25mm~200mm)	
ISO 6020-3:2015	JIS B 8367-3:2009 (MOD) 注1
片ロッド-16MPaシリーズ-角カバー形-タイロッド締付式 (内径250mm~500mm)	
以下, JISはB 8367のまま番号が続くが, ISOは番号が異なる	
ISO 6022:2006	JIS B 8367-4:2008 (MOD)
片ロッド-25MPaシリーズ-丸カバー形-溶接又はねじ込みフランジ式 (内径50mm~320mmまで)	
ISO 10762:2015	JIS B 8367-5:2009 (MOD) 注2
片ロッド-10MPaシリーズ-角カバー形-タイロッド締付式 (内径40mm~200mm)	
ISO 16656:2004	JIS B 8367-6:2008 (MOD)
片ロッド-10MPaシリーズ-薄型 (内径32mm~100mmまで)	
注1) 最新のISO 6020-3は2015年版だが, JISがMODで対応しているのは1994年版である。	
注2) 最新のISO10762は2015年版だが, JISがIDTで対応しているのは1997年版である。	

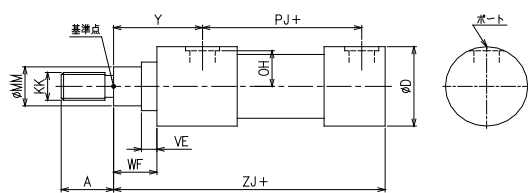


図5 片ロッド-16MPaシリーズ-丸カバー形³⁾

4.4 Oリング (表6, 図6, 7)

Oリングについては, ISOの他にもSAEが規定する規格「AS568」に準拠したOリングも広く普及しており, 「AS568」のOリングはISO準拠のOリングと比較して線径が細いという特徴がある。

5. おわりに

世界にはフルードパワー技術に関わる事柄だけでなく, あらゆる事柄について規格が存在する。それらは最適化を目指して日々変化しており, 最近の例

表6 「Oリング」ISOに対応するJIS規格番号^{2),3)}

国際規格	JIS規格番号 (対応の程度)
ISO 3601-※	JIS B 2401-※
※印の数字によって以下に細分化される。	
ISO 3601-1:2012	JIS B 2401-1:2012 (MOD) 注3
Oリング	
ISO 3601-2:2008	JIS B 2401-2:2012 (MOD)
ハウジングの形状・寸法	
ISO 3601-3:2005	JIS B 2401-3:2012 (MOD)
外観品質基準	
ISO 3601-4:2008	JIS B 2401-4:2012 (MOD)
バックアップリング	
ISO 3601-5:2015	JIS B 2410-:2005 (IDT) 注4
ゴム材料の選定指針	
注3) 最新のISO 3601-1は2012年版だが, JISがMODで対応しているのは2008年版である。	
注4) 最新のISO 3601-5は2015年版だが, JISがMODで対応しているのは2002年版である。	

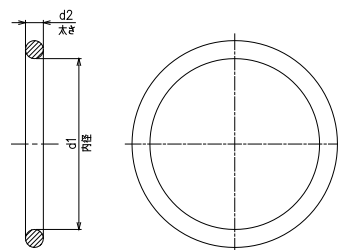


図6 Oリングの形状¹⁾

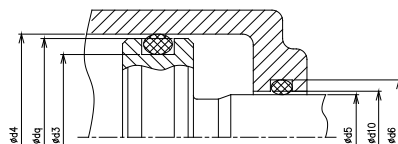


図7 運動用Oリング 円筒面のハウジング形状³⁾

としては組織のマネジメントシステムについての国際規格「ISO9001」「ISO14001」が2015年に改定されたことが記憶に新しい。

本号を含め6回に渡り「フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード」について紹介してきたが, 紹介してきた現在の規格・法規制等のルールも10年後, 20年後, 場合によってはもっと近い将来に大幅に変化する可能性は否定できない。こういった変化は, その時代の世界情勢に基づいた機械設計者に求められている変化であると言え, 我々設計者は常に最新の情報を得て, 変化に対して迅速かつ柔軟に対応していかなければならない。

参考文献

- 1) JISハンドブック国際標準化 (2017) (財)日本規格協会
- 2) <http://www.iso.org/> ISO本部ホームページ
- 3) JISハンドブック油圧・空気圧 (2017) (財)日本規格協会

(原稿受付: 2017年8月7日)

研究室紹介

東京医科歯科大学 生体材料工学研究所
バイオメカニクス分野 川嶋研究室

著者紹介

かわしま けんじ
川嶋 健嗣東京医科歯科大学
〒101-0062 千代田区神田駿河台2-3-10
E-mail: kkawa.bmc@tmd.ac.jp

1997年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。同大学助教授などを経て、2013年東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授。2014年大学発ベンチャー企業設立、現在に至る。流体計測制御、ロボット工学の研究に従事。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。博士（工学）。

1. はじめに

国立大学法人東京医科歯科大学は、JR中央線御茶ノ水駅の目の前にメインキャンパス（湯島キャンパス）がある。ここは、江戸時代幕府の昌平坂学問所があった由緒ある場所で、1928年に東京高等歯科医学校として発足した。現在は医歯学系の総合大学であるが、大学院修士課程には医歯理工学専攻、博士課程には生命理工学系専攻があり、理学系や工学系の学生も学ぶことができる。工学系の研究者にとっては、医学部や歯学部との先生方と密な医歯工連携研究が実施できることが魅力である。

筆者が所属する生体材料工学研究所は、図1に示すように、湯島とは神田川を挟んだ対岸の駿河台キャンパス



図1 駿河台キャンパス

ンパスにあり、昭和26年国内発の生体材料を研究する歯科材料研究所として発足した。現在は材料系、電気系、機械系、化学系や薬学系などの教員が所属し、幅広い領域を研究している。東京工業大学未来産業技術研究所、静岡大学電子工学研究所および広島大学ナノバイオ融合研究所とネットワークを組み、生体医歯工学共同研究拠点としても活動している。

2. 研究室の概要

当研究室は機械制御を基盤とした医療機器開発を目標に掲げている。筆者は現在東京工業大学特命教授の香川利春先生のご指導の下、圧縮性流体の精密な計測制御技術の研究からスタートしたことから、この基礎技術を大切にして、医療機器への応用研究を行っている。2013年から発足した研究室であり、現在スタッフとして菅野貴皓助教、宮寄哲郎助教と教育研究に取り組んでいる。また、東京工業大学特定教授の称号をいただき、東京工業大学只野耕太郎准教授とも密に連携している。さらに、東京電機大学藤田壽憲教授、芝浦工業大学川上幸男教授、伊藤和寿教授他には、学生交流を含めた共同研究を実施いただいている。現在、1期生が博士2年生であり、約20名が所属している。医学部や歯学部の学生も数か月間、当研究室に所属して研究を実施しており、工学系の学生にはとても刺激になっている。

研究室行事として、歓送迎会、図2に示す春のハイキング、夏のソフトボール大会、秋のゼミ合宿、忘年会や打ち上げ会を学生が企画し実施している。香川先生の伝統を受け継いで、スポーツを奨励し、



図2 高尾山ハイキング（2017年4月）



図3 研究内容の全体イメージ

毎年ソフトボール大会に向けて準備しているが、残念ながらなかなか好成績を挙げられていない。

3. 研究紹介

制御工学、ロボット工学や流体工学を活用して、人間と機械の融合、融和をキーワードに新しい医療デバイス、システムの開発を目指している。医歯学系大学の附置研究所に所属していることから、ものづくりをベースとした実用化や社会貢献がミッションである。

図3に研究内容の概略を示す。圧縮性流体の精密計測制御を実現するためのサーボ弁やソフトアクチュエータの提案、試作などの要素技術の研究開発、それらを応用する手術支援ロボットや動作支援ロボットなどの研究開発を行っている。特に近年、ソフトロボティクスの研究が国内外で盛んであるが¹⁾、空気圧はその主要な駆動方法の一つであり、当研究室でも力をいれて研究を行っている。また、医学部、他大学や企業との共同研究を積極的に推進している。以下にいくつかの研究事例を簡単に紹介する。

3.1 空気圧駆動ロボット鉗子

空気圧アクチュエータは軽量かつ直接駆動で比較的大きな力を発生できる点に着目し、低侵襲な外科手術用のロボット鉗子の駆動に空気圧シリンダを採用している。空気圧サーボ弁を用いた制御系を構成して、精密制御を実現している。

図4は本学の肝胆脾外科の先生方と共同研究を実施し、大型の手術ロボットではなく、執刀医が手に持って操作できるロボット鉗子を試作したものである²⁾。従来の鉗子では鉗子先端にグリッパしかなく、動作の自由度が不足していることが課題である。そこで、鉗子先端に2つの関節を有し、根元に配置した空気圧シリンダを用いてワイアを引っ張ることで先端の関節を駆動するロボット鉗子を試作している。

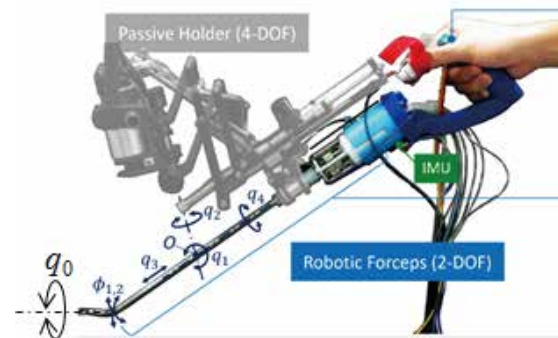


図4 空気圧駆動のマスタ・スレーブ一体型ロボット鉗子

鉗子の関節部には従来の剛体リンクではなく、柔軟構造体を採用している点も特徴である。

鉗子では縫合などの作業においてグリッパ部での回転運動が重要となり、ロボット鉗子においてそれを実現する直感的な操作方法が課題である。通常、ロボット鉗子の関節を屈曲させた状態で手首を回転させると、鉗子の軸回り（図4の q_4 ）の回転となり、グリッパ先端の位置は回転に伴って変化してしまう。そこで、筆者らは鉗子根元部にジャイロセンサを搭載し、ジョイスティックの操作で鉗子の屈曲角度を操作、かつ操作者が手首を回転させた際に、その値をセンサで読み取り、手首回転に合わせて屈曲角度を補正することで鉗子先端での回転（図4の q_0 ）を実現する制御を実装した。模擬臓器や動物での実験において提案する方法の有効性、特に臓器への押し付け力の低減効果を確認している。

3.2 柔軟構造体を用いた鉗子保持ロボット

低侵襲な外科手術では体表に開けた孔から鉗子などの器具を挿入する。よって、手術支援ロボットの体外での駆動部には、この孔を中心とする遠隔回転中心機構が求められる。従来のロボットでは剛体リンクを用いた機構が採用されている³⁾。この機構は剛性が高く正確な遠隔回転中心を実現できるが、呼吸や体内の気腹圧の変化などによって挿入位置がずれた場合に、大きな摩擦や皮膚への外力が発生する

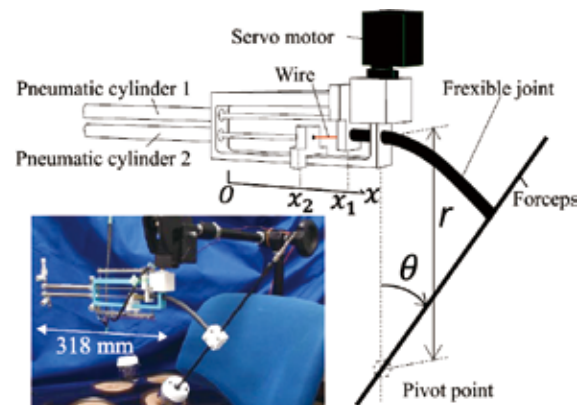


図5 柔軟構造体を用いた遠隔中心回転機構

危険がある。

そこで、柔軟構造体を空気圧シリンダで制御することで、挿入位置の高さ方向の変化にロバストな機構を提案している⁴⁾。図5にその概略を示す。柔軟構造体はねじれには高剛性であるが、曲げには柔らかさを有するように設計されている。構造体の中にワイヤが挿入されており、構造体の末端を空気圧シリンダで押し引きすることで挿入角度を制御し、ワイヤと結合したもう一つの空気圧シリンダで屈曲半径を調整することができる。パッシブな柔らかさを有していることに加え、ワイヤの張力制御によって遠隔回転中心を任意に変更できる。ドライ環境下および動物実験によって、不動点の位置がずれた場合に、挿入孔に作用する力を従来の剛体リンクのものより低減できることを実証している。

3.3 空気圧ゴム人工筋を用いた歩行アシスト装置

空気圧ゴム人工筋 (PARM) は、最近細径化したもの⁵⁾や油圧駆動で高出力化したもの⁶⁾が開発され、再度注目を集めている。当研究室でも、柔軟で軽量なことに着目して、図6に示す装着型の歩行アシスト装置を試作している。2つの関節にまたがるように空気圧ゴム人工筋を配置し、股関節と膝関節の遊脚時の振り上げ動作を支援するシステムである。アシスト装置では歩行者の動作と同期するためにその意図の検知が重要である。本アシスト装置の一番の特徴は、筋電や力センサなど、歩行意図を検知するセンサを装着部から排除したことである。空気圧アクチュエータのバックドライバビリティに着目し、空気圧ゴム人工筋の内圧変化から歩行のフェーズを推定する方法を提案し、遊脚期のアシストを実現している⁷⁾。装着部からセンサを排除したことで、装着を容易にすることができるとともに、耐環境性に優れたシステムとなっている。



図6 空気圧ゴム人工筋の圧力変化から歩行意図検知を行う歩行アシストシステム



図7 手術室での医師とのディスカッション風景

4. おわりに

本研究室は医歯学系大学の中にあることから、図7に示すように手術室に入って現場の医師の生の声を聞くことができる、試作したものをすぐ医師に評価いただけるなどの利点がある。特徴として、

- ・臨床現場が近く、医学部や歯学部と密な医歯工学共同研究が実施できる
- ・地下に動物実験が実施できる設備を有している
- ・3D内視鏡など最新の医療機器が完備している
- ・生体医歯工学共同研究拠点として他大学と積極的に研究できる環境にある
- ・大学発ベンチャー企業を設立しており、良い成果は実用化する道筋を持っている

などが挙げられる。健康長寿社会の実現に少しでも貢献できればとの思いで、日々取り組んでいる。最後に、上記を含め、共同研究を実施している大学や企業など関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 油空圧技術, Vol. 55, No. 3, 2016
- 2) Ryoken Miyazaki, et al., Pneumatically-Driven Hand-held Forceps with Wrist Joint Operated by Built-in Master Controller, IEEE ICMA 2016 conference, pp. 442-447, Harbin, China, Sep. 8th, 2016
- 3) 川嶋健嗣, 空気圧サーボシステムのロボットへの展開, フルードパワーシステム, Vol. 45, No. 4, pp. 158-162, 2014
- 4) Sho Yoshida, et al., A Novel RCM Mechanism Using Pneumatically Driven Flexible Joint for Laparoscopic Forceps Holder, IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016), pp. 1132-1137, New York, USA, August, 2016
- 5) <http://www.titech.ac.jp/news/2016/035222.html>
- 6) <http://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2017012601.html>
- 7) Takahiro Kanno, et al., A Walking Assistive Device with Intention Detection using Back-driven Pneumatic Artificial Muscles, Proc. of the 2015 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 565-570, Aug. 12, Singapore, 2015

(原稿受付：2017年7月21日)

企画行事

平成29年春季フルードパワーシステム講演会報告

著者紹介



ただのこうたろう
只野 耕太郎

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 神奈川県横浜市緑区長津田町4259
E-mail : tadano.k.aa@m.titech.ac.jp

2007年東京工業大学大学院総合理工学研究科
博士後期課程修了。同大学精密工学研究所研究
員、助教を経て、2013年同准教授、2016年組織
改編により同科学技術創成研究院未来産業技術
研究所准教授。現在に至る。手術支援ロボット、
空気圧制御の研究に従事。博士（工学）。

1. はじめに

本年5月25日（木）・26日（金）の2日間、機械振興会館本館（東京都港区芝公園3-5-8）において、平成29年春季フルードパワーシステム講演会が開催された。本講演会では、以下の2つのオーガナイズドセッション（OS）および製品技術紹介セッション、一般セッションが企画され、計35件の講演発表がなされた。

OS「機能性流体テクノロジーとその次世代FPSへの革新的展開」：10件

OS「フルードパワーシステムの制御」：8件

製品技術紹介セッション：6件

一般セッション「油圧・水圧」：7件

一般セッション「空気圧」：4件

また、5月26日（金）午前には、特別講演が開催されるとともに、会期前日の5月24日（水）の午後には、春季講演会併設セミナーが同会場にて開催されている。本稿では、5月25日・26日の2日間の講演会について、概要を報告する。

2. 各セッションの概要

2.1 OS：機能性流体テクノロジーとその次世代FPSへの革新的展開

本OSは中野政身先生（東北大学教授）と吉田和弘先生（東京工業大学教授）がオーガナイザを務められ、「ER流体、液晶、EHD・ECF、MR流体、磁性流体、および機能性ソフトマテリアルなどは、電磁



写真1 OS：機能性流体テクノロジーとその次世代FPSへの革新的展開



写真2 OS：フルードパワーシステムの制御

場等の外場に反応してその物理化学的性質が変化する機能性流体・ソフト材料です。これらの機能性流体・ソフト材料の創製・特性評価および活用のテクノロジーをベースに、アクチュエータ、ダンパ、ブレーキ、クラッチ、さらには各種システムへの応用と、次世代フルードパワーシステム（FPS）への革新的な展開に関する研究発表を募集します。機能性流体が拓く次世代フルードパワーシステムに関する情報交換の場としますので、奮ってのご発表および参加をお願いします。」との趣旨で企画された。基礎から応用までの計10件の発表があり、活発な質疑応答がなされた（写真1）。

2.2 OS：フルードパワーシステムの制御

本OSは、「要素技術や計算機の発達に伴い、フルードパワーシステムにおいてもさまざまな制御系が実装されるようになり、その機能、性能の向上が図られています。制御技術による貢献は、フルードパワーのさらなる発展、課題解決において、益々重要なものとなると考えられます。本OSでは、制御手法やシステム構成なども含め、基礎理論から応用



写真3 製品・技術紹介セッション



写真4 特別講演（東京工業大学：鈴森康一教授）

事例に至るまでフルードパワーの制御システムに関する講演を広く募集いたします。作動流体分野の垣根を越えた議論、情報交換の場といたく、各分野の皆様からのたくさんのご発表をお願いいたします。」との趣旨で、筆者を筆頭に伊藤和寿先生（芝浦工業大学教授）、眞田一志先生（横浜国立大学教授）、高岩昌弘先生（徳島大学教授）をオーガナイザとして企画された。分野として空気圧関連の内容に件数の偏りがあったが、制御方法からアクチュエータやバルブなどの要素まで多岐に渡ってフルードパワーの制御技術について8件の発表がなされた（写真2）。

2.3 製品技術紹介セッション

本セッションは、企業側からの講演会参加をより促し研究・技術の交流のさらなる促進を図ることを目的として企画されており、各社から製品の技術紹介、開発事例について6件の発表がなされた。本講演会では、企画委員の落合正巳氏（協立機電工業株式会社）が取りまとめと座長を務められ、各発表後には一般セッションに劣らない活発な質疑応答がなされていた（写真3）。

2.4 一般セッション：油圧・水圧

一般セッション「油圧・水圧」では、基礎技術に関する研究を中心に計7件の講演がなされた。そのうち6件が油圧に関するものであった。

2.5 一般セッション：空気圧

一般セッション「空気圧」では、OS「フルードパワーの制御システム」に多くの空気圧関連の講演が分散されたため少ない件数となったが、4件の講演が行われた。



写真5 平成28年秋季講演会最優秀講演賞の表彰



写真6 技術懇談会の様子

3. 特別講演

本講演会における特別講演は、講師に鈴森康一先生（東京工業大学教授）をお迎えし、「フルードパワーが拓く次世代ロボティクス」の演題で、「空圧細径人工筋肉」や「タフ油圧アクチュエータ」などのフルードパワーアクチュエータやその利点を最大限に活かしたロボットの研究開発事例が紹介された。会場は多くの聴講者でほぼ満席となった（写真4）。なお、本特別講演は学会の社会貢献の一環として、一般公開（参加費無料）とされている。

4. おわりに

5月26日（金）夕刻より通常総会に引き続き、技術懇談会が開催された。平成28年秋季フルードパワーシステム講演会（青森開催）の最優秀講演賞の表彰が行われた後（写真5）、小山会長のご挨拶により懇談会が開始された（写真6）。本講演会では、例年の春季講演会と比較して全体として少ない発表件数となったが、参加人数としては108名と盛会に終わることができた。懇談会の際にも多数の参加があり、活発な情報交換の後、名残惜しみながら閉会となった。

最後に、本講演会の主査を担当した立場として、参加および協力いただいたすべての方々はこの場を借りて深く感謝申し上げる。

（原稿受付：2017年6月23日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

11月 8日	基盤強化委員会
11月21日	理事会
12月 1日	編集委員会
12月 8日	企画委員会
12月20日	情報システム委員会

〈理事会報告〉

9月20日 15:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3-9号室 (出席者15名)

- 1) 国際シンポジウムの準備状況について
 - ・2017年 福岡
 - ・2020年 函館
- 2) 50周年記念事業状況について
- 3) 平成29年春季講演会最優秀講演賞受賞者の選考結果について
- 4) 投稿論文のWeb掲載への移行に伴う論文投稿規程の見直しについて
- 5) 事務局長後任人事について
- 6) 会員の推移について
- 7) その他

〈委員会報告〉

平成29年度第3回基盤強化委員会

6月21日 15:00～17:00

機械振興会館 B3-9 (出席者10名)

- 1) 会員サービス、会員数増加

- ・会員数について
- ・出前講義について

- 2) FP道場
- 3) フルードパワーミュージアム
- 4) IFPEX2017カレッジ研究発表コーナー
- 5) その他

平成29年度第2回情報システム委員会

9月21日 15:30～17:00 法政大学市ヶ谷キャンパス 新見附校舎9F (出席者5名)

- 1) 会議報告の担当について
- 2) HP更新作業について
- 3) HPの検索キーワードについて
- 4) その他

平成29年度第3回編集委員会

10月5日 14:00～17:00 東京工業大学田町CIC 5階リエゾンコーナー 501 (出席者11名)

- 1) 会誌特集号の現状と企画
 - ・Vol. 48 No. 6 「災害現場で活用されるフルードパワー技術」
 - ・Vol. 49 No. 1 「IFPEX2017」
 - ・Vol. 49 No. 2 「フルードパワーにおける設計技術のトレンドー品質向上あるいは機能・性能の最適化を目指してー」(企画委員会との合同企画)
 - ・Vol. 49 No. 3 「国際シンポジウム21017福岡」
 - ・Vol. 49 No. 4 「モーターサイクルにみるフルードパワー(仮)」
- 2) その他
 - ・新トピックスについて
 - ・今後の特集について

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

平成29年度オートムセミナー
「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」
 開催日時：平成29年11月27日(月) 13:15～16:40

開催趣旨：

ロボティクス分野でのアクチュエータは、電動モータが主流を占めてきましたが、最近ではその特性を活かしフルードパワーアクチュエータを用いたロボットの研究・開発が活発となっております。そこで本セミナーでは、ロボティクス分野でのフルードパワーの活用事例について、第一線で活躍されてい

る方々にご講演いただきます。

開催場所：機械振興会館本館地下3階B3-2

(東京都港区芝公園3-5-8)

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。
 皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

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

平成29年度 ウィンターセミナーのお知らせ
「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～」
 開催日時：平成30年3月23日(金) 10:00～16:30

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)技術の概略のわかる講座を開催します。また、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、実際に機器を動かす実習も実施します。この機会にマイコン(組込み)技術に触れ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。

会 告

論文投稿規程, 論文執筆要綱の改定について

会誌2016年11月号(Vol.47 No.6)の会告で既にご案内しておりますとおり、論文集は2017年11月号(Vol.48 No.6)をもって印刷による出版は終了します。2018年からはJ-Stageによる電子出版のみに一本化されます。これに伴いまして、論文投稿規程, 論文執筆要綱の改定を行います。詳細につきましては学会HPに掲載いたしますので、こちら(http://jfps.jp/O4_01.html)を参照下さい。また、掲載別刷料についても次表に示すとおり掲載料への見直しを行いました。大幅に値下げいたしましたので、会員の皆さまには奮って投稿頂きたく、よろしくお願い申し上げます。

掲載料 (単位：円)

頁 数 (部 数)	速報	技術論文 4頁以下	技術論文 6頁	研究論文 8頁以下	研究論文 10頁	研究論文 12頁
掲載料	0	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000

会 長 小山 紀
 論文集委員長 川上 幸男

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

トライボロジー会議2017秋 高松

開催日：2017年11月15日(水)～18日(土)

会場：サンポートホール高松 (〒760-0019 香川県高松市サンポート2-1)

申込み・問合せ：一般社団法人日本トライボロジー学会事務局

(東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館407-2号室)

TEL：03-3434-1926 FAX：03-3434-3556

E-mail：jast@tribology.jp

ホームページ <http://www.tribology.jp/> からお申込みいただけます。

No.09-17シンポジウム

動力伝達系の最新技術2017 ー快適性と環境性能を両立する最新の駆動ー

主催：公益社団法人自動車技術会

開催日：2017年11月28日(火)

会場：東京工業大学 大岡山キャンパス 大岡山西9号館2階 デジタル多目的ホール
(目黒区大岡山2-12-1)

問合せ先：シンポジウム事務局 Tel.045-453-2225 E-mail sympo@jsae.or.jp

【URL】<http://www.jsae.or.jp/sympo/2017/scdl.php>

2017年度計算力学技術者(CAE技術者)資格認定事業(固体力学分野の有限要素法解析技術者・熱流体力学分野の解析技術者・振動分野の有限要素法解析技術者)

「1・2級」認定試験 固体力学分野／熱流体力学分野／振動分野

【実施日】認定試験 2017年12月9日(土)

【申込】申込期間は、2017年8月1日(火)～8月17日(木)17時です。申込方法や申請書類などの詳細は、本会HP
(<http://www.jsme.or.jp/cee/comnintei.htm>) 上にてご確認ください。【受験料・受験会場】詳細はHP (<http://www.jsme.or.jp/cee/comnintei.htm>) をご確認ください。

付帯講習(技能編)※固体力学分野のみ

【実施日】付帯講習 2017年11月24日(金)

【申込】申込期間は、2017年8月1日(火)～8月17日(木)17時です。申込方法や申請書類などの詳細は、本会HP
(<http://www.jsme.or.jp/cee/comnintei.htm>) 上にてご確認ください。

【受験会場】慶應大学会場 慶應義塾大学理工学部(矢上キャンパス)〔横浜市北区日吉3-14-1〕

【受験料】詳細はHP (<http://www.jsme.or.jp/cee/comnintei.htm>) をご確認ください。

日本機械学会関西支部 第354回講習会

実務者のための騒音防止技術(展示、簡易実習付き)

開催日：2018年1月29日～30日、9：10～17：00

会場：大阪科学技術センター 8階 中ホール 〔大阪市西区靱本町1-8-4〕

電話(06) 6443-5324／地下鉄四つ橋線「本町」駅下車 北へ400m

定員：100名

申込締切：2018年1月22日(月)

関西支部ホームページ：<http://WWW.kansai.jsme.or.jp/> (申し込みはホームページから)

一般社団法人日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018

ROBOMECH2018 in Kitakyushu 地域から創生するロボティクス・メカトロニクス

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

会期：2018年6月2日(土)～5日(火)

会場：北九州国際コンベンションゾーン(北九州市小倉北区浅野地区)

会 告

資料一覧表

価格は、（一社）日本フルードパワーシステム学会事務局までお問い合わせください。

資 料 名	発行年月
平成元年春季油空圧講演会講演論文集	元年 5月
平成元年秋季油空圧講演会講演論文集	元年11月
平成2年秋季油空圧講演会講演論文集	2年11月
平成3年秋季油空圧講演会講演論文集	3年11月
平成4年春季油空圧講演会講演論文集	4年 5月
平成4年秋季油空圧講演会講演論文集	4年10月
平成5年春季油空圧講演会講演論文集	5年 5月
平成5年秋季油空圧講演会講演論文集	5年11月
平成6年秋季油空圧講演会講演論文集	6年10月
平成7年秋季油空圧講演会講演論文集	7年11月
平成8年春季油空圧講演会講演論文集	8年 5月
平成8年秋季油空圧講演会講演論文集	8年10月
平成9年春季油空圧講演会講演論文集	9年 5月
平成9年秋季油空圧講演会講演論文集	9年 5月
平成10年春季油空圧講演会講演論文集	10年 5月
平成10年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	10年11月
平成11年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	11年 5月
平成12年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	11年 5月
平成12年秋季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	12年10月
平成13年春季フルイドパワーシステム講演会講演論文集	13年 5月
平成13年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	13年11月
平成14年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	14年 5月
平成15年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	15年 5月
平成16年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年 5月
平成16年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	16年11月
平成17年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	17年 5月
平成18年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年 5月
平成18年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	18年11月
平成19年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年 5月
平成19年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	19年11月
平成20年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	20年 5月
平成21年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年 6月
平成21年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	21年11月
平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年 5月
平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	22年12月
平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	23年 5月
平成24年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24年 5月
平成24年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	24年11月

平成25年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	25年 5月
平成25年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	25年11月
平成26年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	26年 5月
平成27年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	27年 5月
平成27年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	27年11月
平成28年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	28年 5月
平成28年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集	28年10月
平成29年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集	29年 5月
平成11年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	11年10月
平成14年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	14年 6月
平成17年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 8月
平成20年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ講演会講演論文集	17年 4月
平成23年IFPEXフルードパワーシステム ワークショップ国際見本市論文集	23年 7月
平成26年第24回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	26年 9月
平成29年第25回IFPEXカレッジ研究発表展示コーナー論文集	29年 9月
フォーラム'91「賢い電子油圧制御をいかに実現するか」	3年 7月
フォーラム'92「ここまできた電子油空圧制御システム」	4年 7月
フォーラム'94「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その1」	6年 7月
フォーラム'95「油空圧駆動と電動駆動の現状と課題 その2」	7年 7月
フォーラム'96「油空圧技術を支えるトライボロジー」	8年 7月
フォーラム'97「21世紀を見つめた新技術開発」	9年 7月
フォーラム'98「オフロードビーグル用走行装置の動向」	10年 7月
フォーラム'99「技術開発におけるトラブル事例」	11年 7月
フォーラム2000「油空圧機器の省エネルギー化はこれだ！」	12年 7月
フォーラム2001「自動車における最新油空圧技術の動向」	13年 7月
フォーラム2002「電動かフルードか」	14年 8月
フォーラム2003「電動かフルードかⅡ」	15年 5月
フォーラム2003「最近の緩衝・制振・免振技術」	16年 5月
オータムセミナー「油空圧のセンシング技術」	元年10月
オータムセミナー「メカトロニクス関連センサ」	2年10月
オータムセミナー「油空圧を支える解析技術」	4年10月
オータムセミナー「油圧機器・システムにおける振動をいかに克服するか」	5年10月
オータムセミナー「油空圧制御と高速インターフェース技術の融合」	6年11月
オータムセミナー「油空圧におけるシミュレーション技術の現状と課題」	7年10月
オータムセミナー「最新制御理論の超活用法(油空圧システムと油圧制御の融合)」	8年 9月
オータムセミナー 2000「環境適合技術の動向」	12年 9月
オータムセミナー 2001「フルードパワーシステムに用いられる制御技術の動向」	13年 9月
オータムセミナー 2003「フルードパワーと環境・リサイクル」	15年10月
オータムセミナー 2004「食品機械におけるフルードパワーの利用と課題」	16年10月
オータムセミナー 2005「レスキューにおけるフルードパワーシステム」	17年10月
オータムセミナー 2006「生活に密着したフルードパワー」	18年10月
オータムセミナー 2007「鉄道におけるフルードパワー技術」 資料は『油空圧技術』Vol.49 No.4	
オータムセミナー 2008「フルードパワーシステムと環境・省エネルギー」	20年10月
オータムセミナー 2009「フルードパワーシステムのためのlinux開催環境」	21年10月
オータムセミナー 2010「BOPビジネスの可能性～CSRとビジネスの両立～」	22年11月
オータムセミナー 2011「パワートレインにおけるフルードパワー技術」	23年11月
オータムセミナー 2012「フルードパワー技術を生かす油圧作動油の最新動向」	24年11月

オートムセミナー 2013「鉄道車両とフルードパワー技術」	25年10月
オートムセミナー 2014「医療・福祉・介護分野でのフルードパワーを利用したロボティクス」	26年11月
オートムセミナー 2015「アクアドライブシステムの産業利用の現状」	27年11月
オートムセミナー 2016「生産技術に貢献するフルードパワー in トヨタ産業技術記念館」	27年11月
ウインターセミナー「油空圧システムの低騒音化のために」	2年 2月
ウインターセミナー「知っておきたい新しいアクチュエータ」	3年 2月
ウインターセミナー「200X年における電子油空圧はどうあるべきか Part2」	4年 2月
ウインターセミナー「新素材の油空圧への応用」	5年 2月
ウインターセミナー「空気圧の新たな可能性を求めて」	6年 2月
ウインターセミナー「人と環境に優しい油空圧—油空圧機器・システムの低騒音化技術—」	7年 2月
ウインターセミナー「油圧システムの高圧化に関する現状と将来」	8年 2月
ウインターセミナー「フルードパワーにおける流体の役割」	9年 2月
ウインターセミナー「ER流体の可能性とその油空圧技術への応用」	10年 1月
ウインターセミナー「ユーザは語る・自動化機器における駆動方式の現状と将来像」	11年 1月
ウインターセミナー「水圧システムの現状と応用事例・展望」	12年 1月
ウインターセミナー「省エネ、環境のためのセンシング」	13年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器・システムにおける省エネルギー化の方法」	14年 1月
ウインターセミナー「油空圧機器に係わる加工技術～共存する油空圧機器と加工技術～」	15年 1月
ウインターセミナー「メンテナンスエンジニアリング—ランニングコストを安く—」	16年 1月
ウインターセミナー「医療・福祉におけるフルードパワーシステムの応用動向」	17年 1月
ウインターセミナー「機械システムの安全性」	18年 2月
ウインターセミナー「家庭の中のフルードパワー」	19年 2月
ウインターセミナー「航空機とロケットへの応用」	20年 2月
ウインターセミナー「海と船のフルードパワー」資料は『学会誌』Vol.39 No.5	21年 2月
ウインターセミナー「フルードパワー機器・システムの小型化」資料は『学会誌』Vol.39 No.5	22年 2月
ウインターセミナー「福祉・医療環境における空気圧応用の現状と問題」	23年 2月
ウインターセミナー「圧縮空気エネルギーの有効利用技術」	24年 2月
ウインターセミナー「アクアドライブシステム（新水駆動圧技術）の現状と将来」	25年 2月
ウインターセミナー「大型機械と油圧技術」	26年 2月
ウインターセミナー「大型機械・大型施設で活躍するフルードパワー」	27年 2月
ウインターセミナー「フルードパワー技術を支える要素技術」	28年 3月
ウインターセミナー「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」	29年 2月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	元年 8月
教育講座「現代制御理論講座」（大学上級コース）	元年10月
教育講座「マイコン制御講座」（大学上級コース）	2年 8月
教育講座「トライボロジー講座」（大学上級コース）	3年 8月
教育講座「油空圧における鋳造技術講座」	5年10月
教育講座「空気圧システム入門」	10年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	11年 6月
教育講座「空気圧システム入門」	13年 6月
教育講座「トライボロジー講座」	14年 9月
教育講座「空気圧システム入門」	15年 5月
教育講座「空気圧システムの基礎」	15年 5月
第1回油空圧国際シンポジウム論文集	2年 1月
第2回油空圧国際シンポジウム論文集	5年 9月
第3回油空圧国際シンポジウム論文集	8年11月
第4回油空圧国際シンポジウム論文集	11年11月

第5回油空圧国際シンポジウム論文集	14年11月
第6回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (CD-ROM)	17年11月
第7回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	20年 9月
第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	23年10月
第9回JFPSフルードパワー国際シンポジウム論文集 (冊子, CD-ROM)	26年10月
学会創立20周年記念出版「油空圧の進歩100人の証言」	2年 5月
学会創立30周年記念出版「アドバンスドフルードパワー技術の基礎と応用」	15年 4月
分冊販売 油圧駆動の世界-油圧ならこうする—	
空気圧システム入門	
水圧駆動テキストブック	
日本フルードパワーシステム学会創立40周年出版	23年 4月
分冊販売 油圧システムのモデリングと解析手法	
Webシミュレーション解説	
アクアドライブ技術の進展	

フルードパワーシステム 総目次 (第48巻)

	号	通し頁		号	通し頁
【挨拶】			弾性流体潤滑理論 …八木 和行	4	187
年頭のご挨拶 …小山 紀	1	4	油圧作動油の耐摩耗性、およびそ	4	190
年頭にあって …{ 眞田 一志	1	5	の評価試験方法について …永俣 光洋	4	193
			転がり軸受の高速化技術 …藤井 健次	4	196
			工作機械摺動面のグリース潤滑 …大関 浩	4	199
			ワイブル分布の原理と機械材料お	4	199
			よびトライボロジーへの応用 …清水 茂夫	4	205
			カーボンオニオンによる潤滑特性	4	208
			の改善 …平田 敦	4	211
			水潤滑システムにおける低摩擦発	4	217
			現のための表面テクスチャリング …足立 幸志	4	
			表面微細構造により誘起されるマ	4	
			イクロ・ナノ気体潤滑機構 …米村 茂	4	
			MR流体用回転軸シールの開発 …鷲野誠一郎	4	
特集「柔軟構造のフルードパワーアクチュエータ」			特集「人に優しいフルードパワーの最新技術」		
「柔軟構造のフルードパワーアク			「人に優しいフルードパワーの最		
チュエータ」発行にあたって …塚越 秀行	1	6	新技术」発行にあたって …上野 朝嗣	5	242
柔軟構造のフルードパワーアク			バイオメカニクスの観点からの …木村 仁		
チュエータの展望 …則次 俊郎	1	7	快適な枕 …倉元 昭季	5	243
圧力駆動バルーンアクチュエータ			空気圧を利用した柔軟な線形状シ		
を利用したマイクロフィンガーによ…小西 聡	1	12	ステムとその医療応用 …西川 敦	5	247
る培養細胞組織の把持・解放操作			空気圧アクチュエータを用いた力		
液圧アクチュエータを用いた低侵…芳賀 洋一	1	15	覚呈示装置の開発～負圧を用いた…高岩 昌弘	5	251
襲医療機器 …吉田 和弘	1	18	受動型力覚呈示の提案～		
フレキシブルERバルブを用いた…			レスキュー用アシストスーツ …吉満 俊拓	5	255
マイクログリップ …和野 康一	1	21	パワーアシストスーツ …山本圭治郎	5	258
気液可逆反応を利用したガス圧…			空気圧アシストレッグ …小山 紀	5	262
アクチュエータ …和野 晃	1	26	人に優しい機械としての油圧手術台…津森 撰	5	265
螺旋状巻き付き空気圧駆動ソフト			空気圧要素を用いた鬱血褥瘡防止		
アクチュエータ …西岡 靖貴	1	29	マットの開発 …早川 恭弘	5	269
タコの吸盤を参考にした空気圧駆			低圧駆動型空気圧人工筋を用い		
動による投擲型柔軟吸着体…塚越 秀行	1	29	たアンブラグド・パワード…	5	274
Anchor Ball			スーツ …栗田 雄一		
			小川 和徳		
特集「フルードパワーに役立つセンシング技術」			特集「災害現場で活用されるフルードパワー技術」		
「フルードパワーに役立つセンシ			「災害現場で活用されるフルード		
ング技術」発行にあたって …塚越 秀行	2	60	パワー技術」発行にあたって …中山 晃	6	304
磁気式アブソリュートエンコーダ…佐藤 衛	2	61	災害に強いフルードパワー …塚越 秀行	6	305
の技術紹介 …中川晋一朗	2	64	原子力災害対応の小型双腕重機型…江川 栄治	6	310
磁歪式リニアセンサの技術紹介 …中川晋一朗	2	64	ロボット …平野 高嗣	6	313
柔軟空気圧シリンダ用変位センサ…赤木 徹也	2	67	防災用エアージャッキの開発 …山下 実里	6	317
の開発 …内一 哲哉	2	71	フラップゲート式可動防潮堤の開…谷尾 大地	6	320
電磁超音波共鳴法による高温配…			発・実用化 …玄 相昊	6	323
管の減肉モニタリング …高木 敏行	2	71	低コストで多機能な油圧ハイブ…		
ICT建機用ストロークセンサ付シ…影山 雅人	2	75	リッドロボット …森田 隆介	6	327
リンダの紹介 …中野 政身	2	78	油圧駆動ハイパワー人工筋肉の…		
磁場印加型レオメータの開発と…			開発とロボットへの応用 …鈴森 康一		
MR流体の磁気レオロジー計測…小山 紀	2	82	【ニュース】		
材質認識システムを備えた人工指…			日中若手研究者交流報告…小林 亘	4	221
			(FPTC2016, Hangzhou, China)		
特集「モデルベース開発とその活用事例」			【会議報告】		
「モデルベース開発とその活用事			ERMR2016におけるフルードパ…		
例」の発刊にあたって …塚越 秀行	3	118	ワー技術の研究動向 …竹村研治郎	1	32
フルードパワーシステムとモデル…眞田 一志	3	119	2016年度日本機械学会年次大会に…田中 豊	2	86
ベース開発 …秋葉 博幸	3	124	におけるフルードパワー研究の動向…柳 隆義	2	88
自動車業界でのモデルベースデザ…			Bath/ASME Fluid Power and…		
イン適用事例 …林 光昭	3	130	Motion Control 2016 参加記		
油圧システムのモデリング …大富 浩一	3	134	第34回日本ロボット学会学術講演		
1DCAEの考え方にに基づくモデル…佐藤 恭一	3	139	会におけるフルードパワー技術研究…佐々木大輔	2	90
ベース開発 …桜井 康雄	3	142	動向 …吉田 和弘	3	153
大学のフルードパワー研究・教育…明井 政博	3	145	山梨講演会2016におけるフルード		
におけるデジタルコントローラ…渡辺 信行	3	150	パワー技術研究		
の活用 …辻内 伸好	3	150			
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…					
コンパインのエンジン振動、騒…					
音低減へのCAEモデルの適用…					
HILS技術を用いた仮想走行試験…					
手法の基礎研究					
特集「フルードパワー分野におけるトライボロジーの展開」					
「フルードパワー分野におけるト					
ライボロジーの展開」発刊にあ…山田真の介	4	186			
たって					

[illegible]

日本フルードパワーシステム学会平成29年度受賞候補者募集	5	295	平成29年度ウインターセミナーのお知らせ「フルードパワーに利用できるマイコン技術～危機の駆動に関わるマイコン技術～」	6	349
一般社団法人日本フルードパワーシステム学会（JFPS）フェロー認定者推薦のお願い	5	296	論文投稿規程，論文執筆要綱の改定について	6	349
平成29年度オータムセミナー「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」	5	296	共催・協賛行事のお知らせ	6	350
共催・協賛行事のお知らせ	5	297	資料一覧	6	351
その他	5	294,298,299,300	フルードパワーシステム第48巻総目次	6	355
平成29年度オータムセミナー「ロボティクス分野におけるフルードパワー活用の現状と今後について」	6	349	その他	6	319,348,358

編集室

次号予告

—特集特集「IFPEX2017」—

〔挨拶〕年頭のご挨拶

年頭にあって

〔巻頭言〕「IFPEX2017」発行にあたって

〔解説〕IFPEX2017における空気圧分野の技術動向

IFPEX2017における油圧分野の技術動向

IFPEX2017における水圧分野の技術動向

鉄道車両におけるフルードパワー技術の応用

建設現場のIoT スマートコンストラクション

液浸露光装置の技術動向

ADSの更なる市場展開とその施策

新型ワイドレンジ副変速機付CVTの油圧システムについて

IFPEX2017カレッジ研究発表

〔会議報告〕日本機械学会MoViC2017におけるフルードパワー関連技術の研究動向

機械学会年次大会2017におけるフルードパワー関連技術の研究動向

〔トピックス〕特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム・・・改良構想から分類を考える1

Youは日本をどう思う? 第1回: インドネシアから日本に留学して

〔研究室紹介〕芝浦工業大学 伊藤研究室紹介

小山 紀

眞田 一志, 肥田 一雄

村松 久巳

吉満 俊拓

桜井 康雄

伊藤 和寿

鴨下 庄吾

小野寺昭則

江頭 裕之

宮川 新平

野武 久雄

坂間 清子

桜井 康雄

坂間 清子

木原 和幸

Ashlih Dameitry

古田 優悟, 伊藤 和寿

平成29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 伊 藤 雅 則 (東京海洋大学)
 上 野 朝 嗣 (CKD(株))
 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(株))
 木 原 和 幸 (財工業所有権協力センター)
 栗 林 直 樹 (川崎重工業)
 五 嶋 裕 之 (株工苑)
 佐 藤 恭 一 (横浜国立大学)
 妹 尾 満 (SMC(株))
 中 野 政 身 (東北大学)

委員 中 山 晃 (日立建機(株))
 成 田 晋 (KYB(株))
 藤 田 壽 憲 (東京電機大学)
 丸 田 和 弘 (株コマツ)
 矢 島 丈 夫 (株コガネイ)
 柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)
 山 田 真の介 (株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(株))

編集事務局 藤 谷 秀 次 (学会事務局)
 竹 内 留 美 (勝美印刷(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。

日本フルードパワーシステム学会論文集

第48巻, 第6号 (2017)

平成29年11月

目 次

研究論文

1. Numerical Simulation of Particle Trajectories in the Charge-injection Type of Electrostatic Oil Filter

Hideki YANADA, Shinji MATSUURA, Tomohiro YOKOYAMA,

Masahito NISHIKAWARA 39

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.48, No.6

November 2017

Contents

Paper

1. Numerical Simulation of Particle Trajectories in the Charge-injection Type of Electrostatic Oil Filter

Hideki YANADA, Shinji MATSUURA, Tomohiro YOKOYAMA,

Masahito NISHIKAWARA 39

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

研究論文

Numerical Simulation of Particle Trajectories in the Charge-injection Type of Electrostatic Oil Filter*

Hideki YANADA**, Shinji MATSUURA*** Tomohiro YOKOYAMA**
and Masahito NISHIKAWARA**

This paper reports the trajectories of contaminant particles in the charge-injection type of electrostatic oil filter, and the effects of the supply flow velocity, the oil viscosity, and the filter element shape on the particle collection efficiency are investigated. The flow and electric fields in the filter are numerically simulated based on an assumption about the charge injected by the emitter electrode. Then, the particles' trajectories are calculated by numerically solving their equations of motion with different initial positions at the inlet of the filter. The simulated particle collection efficiency is compared with its measured value. The numerical results agree qualitatively with the experimental results. This particle trajectory analysis will be useful for improving the structure of the charge injection type of electrostatic oil filter.

Key words : Charge injection, Electrohydrodynamics, Electrostatic filter, Oil saving, Particle trajectory

1. Introduction

To reduce trouble with hydraulic systems and other machines caused by contaminated oil and to lengthen the life of the oil, it is essential to remove not only coarse contaminant particles but also fine ones from the oil. An electrostatic oil filter can remove even submicrometre-sized contaminant particles, but its filtration speed is very slow. This is the greatest disadvantage of an electrostatic oil filter. In this filter, contaminant particles are captured by the electrodes and filter elements when a high D.C. electric field is applied. This is because solid particles are spontaneously charged in liquid¹⁾. If the charge of the contaminant particles can be augmented, the filtration speed can be increased.

Yanada et al. have proposed a charge injection type of electrostatic oil filter that utilizes the charge injection phenomenon²⁾ to increase the charge of contaminant particles. It was demonstrated that the filtration speed increases thanks to active charge injection into oil^{3,4)}. In addition, the effects of the shapes of both the electrodes and the filter elements on the filtration speed was investigated^{5,7)}. However, how contaminant particles are captured by electrodes and filter elements has not been clearly determined, and therefore,

how the shapes of both the electrodes and the filter elements and the operating conditions affect the filtration speed is not yet fully understood.

In the present study, the trajectories of particles in oil are numerically simulated by approximating filter configurations in two dimensions for simplicity as a first step. The particle collection efficiencies obtained in numerical simulations and experiments are compared under various oil temperatures and supply flow velocities.

2. Nomenclature

d_p	: diameter of a particle	m
D_i	: diffusion coefficient of ions	m ² /s
E	: electric field strength	V/m
E_{static}	: electrostatic field strength	V/m
E_{thres}	: threshold electric field strength	V/m
k	: proportional constant for injected charge density	C/(V·m ²)
m_p	: mass of a particle	kg
p	: pressure	Pa
q	: charge density	C/m ³
q_e	: charge density injected by emitter electrode	C/m ³
Q	: charge of a particle	C
t	: time	s
u	: x-component of flow velocity	m/s
v	: y-component of flow velocity	m/s
V	: flow velocity	m/s
V_p	: particle velocity	m/s
x	: x-coordinate	m
x_p	: particle position	m
y	: y-coordinate	m

*Manuscript received January 16, 2017

**Toyohashi University of Technology

(1 - 1 Hibarigaoka, Tempaku, Toyohashi, Aichi, 441-8580 Japan)

E-mail: yanada@met.tut.ac.jp

***Currently at Yanmar Construction Equipment Co., Ltd., Kumano Chikugo, Fukuoka, Japan

ε	: permittivity	F/m
μ	: viscosity	Pa·s
μ_i	: ionic mobility	m ² /(V·s)
ν	: kinematic viscosity	m ² /s
ρ	: density	kg/m ³
σ	: conductivity	S/m
ϕ	: electric potential	V

3. Filter models

Figure 1 shows schematics of the two types of model filter used in this study. The only difference between the two types is the shape of the filter element. The electrodes and filter elements have dimensions of 100 mm × 100 mm and are made of stainless steel. The emitter electrode is 0.3 mm thick, and the collector electrode and the filter elements are 0.5 mm thick. The collector electrode is a solid plate located in the centre. Two filter elements are placed symmetrically around the collector electrode. Two emitter electrodes are placed on the top and bottom. The distance between the emitter and collector electrodes is 10 mm. There are 72 triangular projections 6 mm in height on the emitter electrode, and they are placed at intervals of 15 mm in the supply flow direction and at intervals of 7 mm in the direction perpendicular to the supply flow.

Figure 2 shows cross-sections of the two types of filter. A lower half part of the periodic structure is depicted. Oil flows in the lateral direction. The positive and negative signs located above and below the filter element show the polarities of the charge induced on its surface. In this configuration, either the collector electrode or the surface of the filter element that faces the emitter electrode can capture positively charged particles. To augment positive charge amount on the particles, positive charges are injected by applying a positive potential to the emitter electrode.

4. Numerical simulations

The actual shapes of the filters are three-dimensional. An accurate three-dimensional numerical simulation is complex and time-consuming. In this study, as a first step in the particle trajectory analysis, the filters shown in Fig. 1 are modelled in two dimensions. For this simplification, it is assumed that the triangular projections do not obstruct the oil flow and that charge injection spots, i.e., triangular projection tips are approximated by wires with a square cross-section (0.3 mm × 0.3 mm) in a direction perpendicular to the plane of the page. Figure 3 shows a two-dimensional model of the Type 1 filter. The same voltage is applied to both the square wires and the emitter's surface, and it is

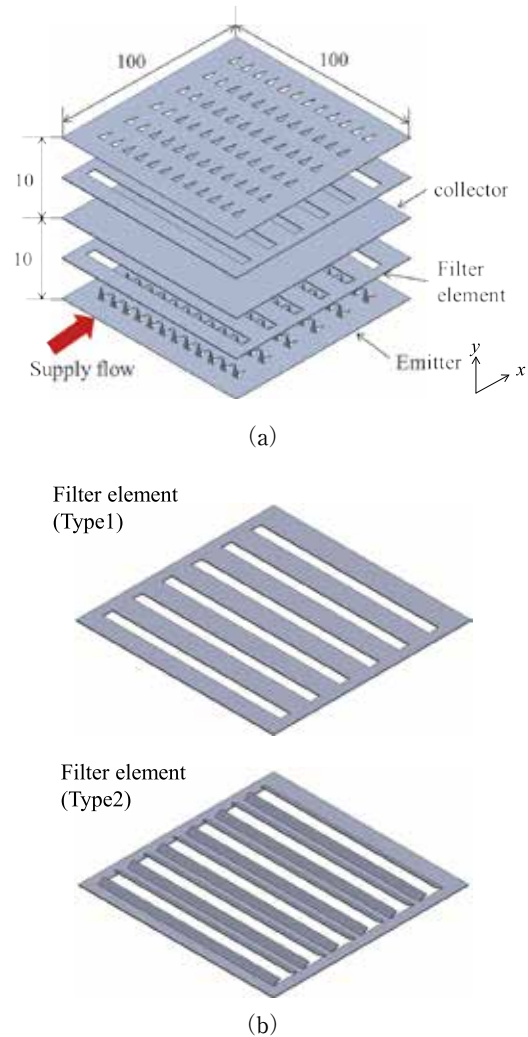


Fig. 1 Test filter. (a) Filter configuration (Type1), (b) Two types of filter element.

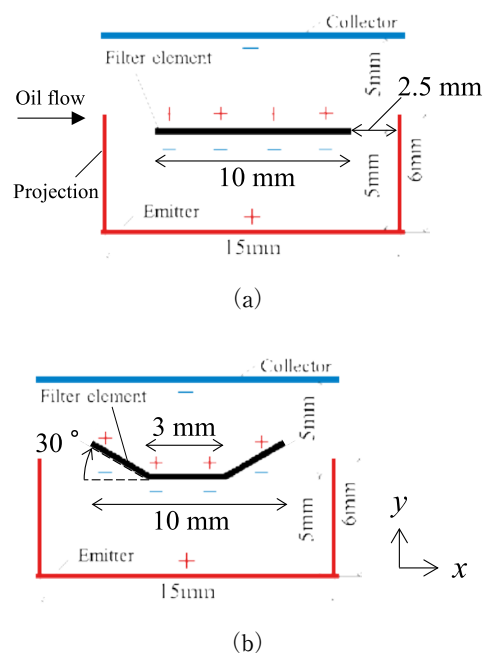


Fig. 2 Details of filter dimensions. (a) Type1, (b) Type2.

assumed that charges are injected from the upper half surface of each square wire. The numerical simulation's domain extends from the inlet to the outlet of the filter.

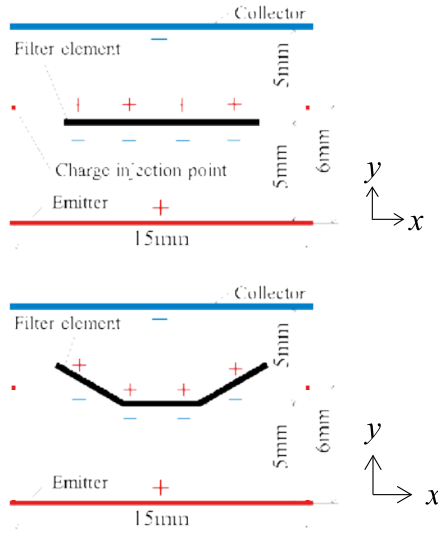


Fig. 3 Two-dimensional models for Type1 filter (top) and Type2 filter (bottom).

4.1 Fundamental equations

The following Eqs. (1) to (4) describe the flow and electric fields.

*Equation of continuity :

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

*Equations of motion (Navier-Stokes equation) :

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{V} - \frac{q}{\rho} \nabla \phi \quad (2)$$

*Charge conservation law :

$$\nabla \cdot [q(\mu_i \mathbf{E} + \mathbf{V}) - D_i \nabla q + \sigma \mathbf{E}] = 0 \quad (3)$$

*Gauss's law :

$$\nabla^2 \phi = -\frac{q}{\epsilon} \quad (4)$$

where $\mathbf{V} = (u, v)$ is the fluid velocity, ρ is the fluid density, μ is the fluid viscosity, q is the charge density, ϕ is the electric potential, μ_i is the ionic mobility, D_i is the diffusion coefficient of ions, σ is the conductivity of the fluid, and ϵ is the dielectric constant of the fluid. The last term on the right hand side of Eq. (2) represents the Coulomb force. The value of μ_i was calculated using the Walden's rule and was modified so that simulated ion drag flow patterns agreed with measured ones⁸⁾. The value of D_i was calculated using the Stokes-Einstein equation but the diffusion term is negligibly small compared with the other terms in Eq. (3). The values of the physical properties used in the simulation are shown later in Table 1.

4.2 Numerical simulation method

Equations (1) to (4) are discretized using a finite volume method and are then solved using the SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equations) algorithm. A boundary condition is imposed on the top half surface of the square wire, hereafter called the charge injection location, where the charge density is given by

$$q_e = k(E_{static} - E_{thres}) \quad (5)$$

where E_{static} is the mean of the electrostatic field strength on the charge injection location and E_{thres} is the threshold electric field intensity, i.e., the minimum electric field intensity for ion drag to take place. E_{thres} can be determined experimentally^{8,9)}. Equation (5) has been validated in the previous studies^{8,9)}. The value of k was determined by fitting the simulated flow velocities to the measured ones^{5,8)}. The values of E_{static} , E_{thres} and k are shown in Table 1.

The main boundary conditions are $\phi = \phi_0$ (applied voltage) on the charge injection locations and on the emitter's surface, $\phi = 0$ on the collector electrode, $\phi = \text{constant}$ on the filter element, $(u, v) = (0, 0)$ on all the solid surfaces, including the electrodes and filter elements, and a parabolic velocity profile at the inlet of the simulation domain.

4.3 Particle trajectory

The trajectory of a particle is obtained by numerically integrating the equations of motion for the particle. A Coulomb force and a drag force are exerted on each particle, and the equations of motion of a particle are

$$m_p \frac{d\mathbf{V}_p}{dt} = Q\mathbf{E} - 3\pi\mu d_p(\mathbf{V}_p - \mathbf{V}) \quad (6)$$

$$\frac{d\mathbf{x}_p}{dt} = \mathbf{V}_p, \quad (7)$$

where m_p is the mass of the particle, $\mathbf{V}_p = (u_p, v_p)$ is the particle's velocity, Q is the charge on the particle, d_p is the diameter of the particle, and $\mathbf{x}_p = (x_p, y_p)$ is the particle's position. The electric field intensity, $\mathbf{E}$, and the flow velocity, $\mathbf{V}$, are determined in advance by solving Eqs. (1) through (4). Particles in oil are usually very small, and their concentration is low; therefore, it is assumed that the particles do not influence the electric and flow fields. 199 particles are put at an interval of 0.05 mm from $y=0.05$ mm to $y=9.95$ mm at the inlet, i.e., at $x=0$, where $y=0$ mm is the emitter surface and $y=10$ mm is the collector surface.

The term on the left hand side of Eq. (6) is proportional to the cube of the particle's diameter and much smaller than the two terms on the right hand side, which are proportional to the particle's diameter (see Eq. (8)). Therefore, Eq. (6) is simplified to $Q\mathbf{E} - 3\pi\mu d_p(\mathbf{V}_p - \mathbf{V}) = 0$. The values of the flow velocity, $\mathbf{V}$, and electric field intensity, $\mathbf{E}$, are known only at

the grid points used for the computation of $\mathbf{V}$ and $\mathbf{E}$. The values of $\mathbf{V}$ and $\mathbf{E}$ at any $\mathbf{x}_p = (x_p, y_p)$ are interpolated using their values at the grid points surrounding the particle. When the distance between the centre of gravity of a particle and the surface of the collector or a filter element is shorter than the particle's radius, it is assumed that the particle has been captured, and the calculation of its trajectory is stopped.

The charge on a particle, Q , is related to its zeta potential, ζ , as follows : ¹⁾

$$Q \approx 2\pi\epsilon d_p \zeta. \quad (8)$$

The zeta potential is the potential of a particle relative to its surrounding liquid and usually ranges from a few tens to a few hundreds of mV in dielectric liquids. The charge on a particle is estimated by assuming a value for the zeta potential. A particle diameter of $2 \mu\text{m}$, which is the median diameter of the particles used in the filtration experiment described in the next section, is used in the simulation. However, the particle diameter does not influence the trajectory because both the Coulomb force and the drag acting on the particle are proportional to its diameter.

Table 1 shows the numerical simulation conditions used in this study. Applied voltage to the emitter is +10 kV. The zeta potential, oil temperature and supply flow velocity are varied to examine their effects on the particle collection efficiency. As the supply flow velocity varies from 0.37 to 1.48 cm/s, the mean time necessary for particles to pass through the space between the electrodes varies from 27 to 6.8 s.

5. Experimental apparatus and methods

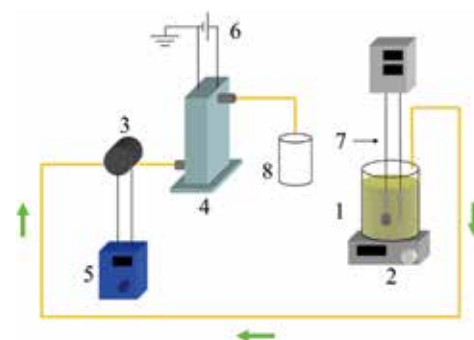
To evaluate the validity of the particle collection efficiency obtained from the numerical simulation, a filtration experiment was conducted using the experimental apparatus schematically shown in Fig. 4. Test oil in a reservoir was delivered to the electrostatic filter by a gear pump, and the oil that passed through the model filter was collected in a bottle in the single-pass filtration experiment. The experiments were conducted under the oil temperature and supply flow velocity conditions shown in Table 1.

The viscosity and density of the test oil used were the same as those shown in Table 1. The value of σ was measured by the authors using a liquid resistance instrument (ADVANTEST TR44) and the value of ϵ was cited from a handbook¹⁰⁾. Kanto loam soil (JIS type 1, class 11)¹¹⁾ was used as non-conductive contaminants of which median diameter is $1.6\text{--}2.3 \mu\text{m}$. The mass concentration of the contaminant particles was 0.75 g/L. The emitter and collector electrodes were connected to a positive potential (+10 kV) and earthed, respectively to inject positive charges because the particles

Table 1 Simulation conditions

Type of filter	Type1, Type2			
Particle diameter [μm]	2			
Applied voltage [V]	$+10 \times 10^3$			
Supply flow velocity [cm/s] (Transit time [s])	0.37 (27.0)	0.74 (13.5)	1.11 (9.0)	1.48 (6.8)
Particle charge [C] (ζ potential [mV])	$480e^*$ (300)	$800e^*$ (500)	$1120e^*$ (700)	
Oil temperature [$^{\circ}\text{C}$] (Viscosity [$\text{mPa}\cdot\text{s}$])	30 (40.9)	40 (26.6)	50 (15.5)	
Density [kg/m^3]	861			
Conductivity [S/m]	3.3×10^{-9}			
Relative permittivity [-]	22			
Ionic mobility [$\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$]	3.76×10^{-8}			
Diffusion coef.of ions [m^2/s]	1.02×10^{-9}			
E_{static} [V/m]	9.5×10^6 (Type1) 9.4×10^6 (Type2)			
E_{phres} [V/m]	0.2×10^6			
k [$\text{C}/(\text{V}\cdot\text{m}^2)$]	3.0×10^{-10}			

* e : elementary charge ($=1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$)



- | | |
|--------------|-------------------------|
| 1. Reservoir | 2. Stirrer |
| 3. Pump | 4. Electrostatic filter |
| 5. Inverter | 6. D.C. power supply |
| 7. Heater | 8. Sample bottle |

Fig. 4 Schematic of experimental apparatus for oil filtration.

were positively charged in the test oil.

In the filtration experiment, oil samples were collected at the outlet of the filter after the amount of time required for a volume of oil equal to the inside volume of the model filter to pass through elapsed after the voltage was applied. Each oil sample was filtered by a membrane filter of a pore size of $0.8 \mu\text{m}$ together with an enough volume of hexane and the mass concentration of the particles in the oil sample was measured¹²⁾.

6. Results and discussion

6.1 Electric and flow fields

Figure 5 shows examples of the simulated electric fields for the Type1 filter and the Type2 filter. The distributions of the electric field intensity are shown in Figs. 5(a) and (c), and those of the charge density are shown in Figs. 5(b) and (d). Downstream of the first charge injection location, i.e., the one located closest to the inlet, the distributions shown in Fig. 5 are repeated. The range of the electric field intensity shown in Figs. 5(a) and (c) is limited to 3 kV/mm, which clarifies the difference in the magnitude of the electric field in the simulation domain. The electric field is the strongest at the locations where charge is injected, where it is approximately 42 kV/mm. The electric field intensity on the collector electrode is higher than that on the filter element.

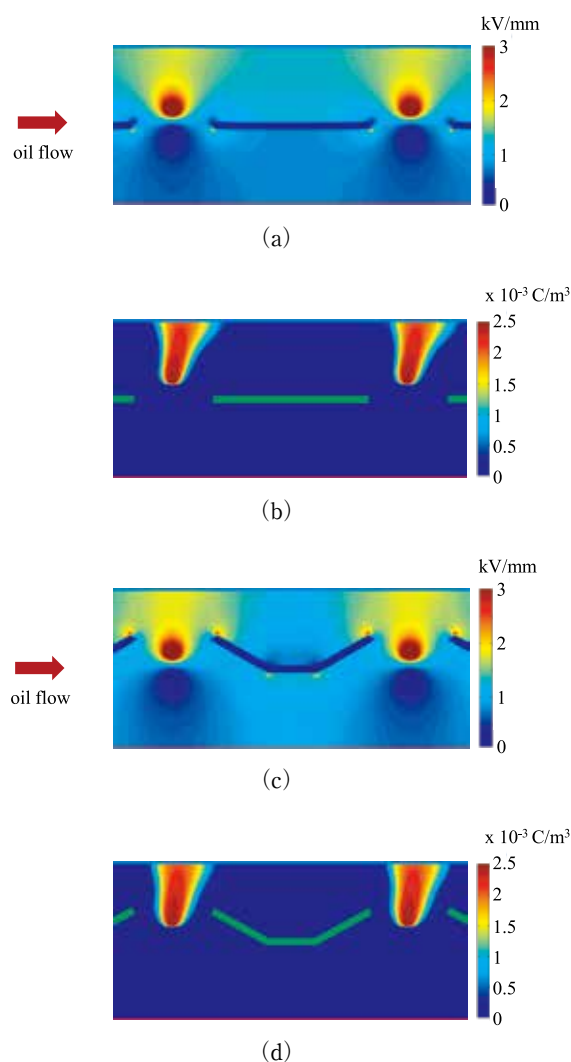


Fig. 5 Simulation results of electric field for Type1 and 2 filter. (a) electric field intensity distribution of Type1, (b) charge density distribution of Type1, (c) electric field intensity distribution of Type2, and (d) charge density distribution of Type2.

This distribution shows that particles are more easily captured by the collector electrode than by the surface of the filter element that faces the emitter electrode. The injected charges are relatively widely dispersed and are pushed downstream by the supply flow.

Figure 6 shows examples of the simulated flow field. Oil is supplied from the left side, is divided between the upper and lower sides of the filter element, and interferes with the ion drag flow generated at the charge injection locations. This flow pattern is almost repeated downstream of the first charge injection location. Therefore, the flow pattern near the outlet of the filter is omitted. Due to the effect of the ion drag flow generated at the first charge injection location, part of the supply flow is pushed back, and unless the supply flow velocity is high and the temperature is low (i.e., when the viscosity is high), the majority of the oil flows in the space below the filter element. For the Type1 filter, the flow velocity is almost the same along the upper and lower sides of the filter element downstream of the first charge injection location, as shown in Figs. 6(a) and (b). However, for the Type 2 filter (Fig. 6(c)), the inequality in the flow velocity along the upper and lower sides of the filter element continues until the outlet of the filter. The flow field is observed to be strongly affected by the filter element shape.

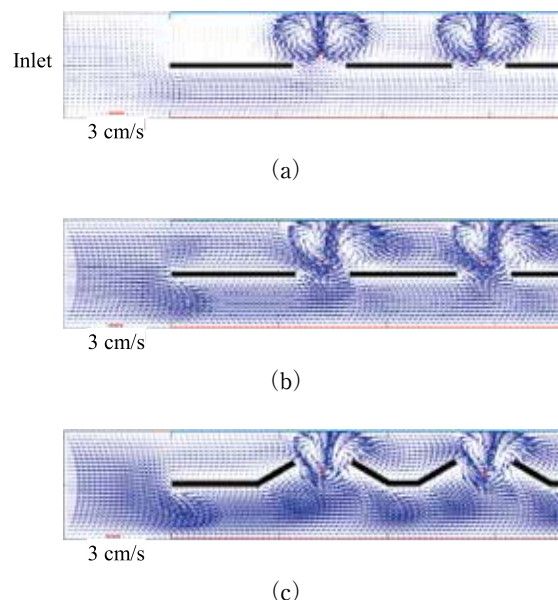


Fig. 6 Simulation results of flow field at 50 °C. (a) $U_{in}=0.37$ cm/s, Type1, (b) $U_{in}=1.48$ cm/s, Type1, (c) $U_{in}=1.48$ cm/s, Type2.

6.2 Particle trajectory

Figure 7 shows examples of simulated particle trajectories that correspond to the flow fields shown in Fig. 6. Black circles indicate the positions of captured particles. Particles are attracted to the collector electrode as the oil flows

downstream. When the supply flow velocity is low and the temperature is high (i.e., when the viscosity is low), as shown in Fig. 7(a), almost all the particles are pushed back by the ion drag flow generated at the first charge injection location and enter the lower side of the filter element. After that, some of the particles enter the upper side of the filter element downstream of the first charge injection location. Due to the ion drag flow generated at each charge injection location, particles near the collector electrode move away from it upstream of the charge injection location and then, are carried towards the collector electrode by the flow.

It is observed that only particles situated near the collector at the inlet are captured by the collector and that some of the particles near the middle of the inlet are captured by the filter element. The collector captures more particles than the filter element. This is because the electric field is stronger on the upper side of the filter element than on its lower side, as shown in Figs. 5(a) and 5(c). In addition, the result means that the filter elements used in this study do not work efficiently; their shapes must be improved.

In the numerical simulation, particles are hardly captured just above the charge injection locations. In practice, particles are densely captured above the triangular projections, where they form low hills (see Figs. 4 to 6 in Ref.(3)). In the present trajectory simulations, however, particles are not captured there. The actual flow and electric fields are three-dimensional and may be altered by particles that have already been captured by the collector or filter element. In addition, in this numerical simulation, the electric charge on

the particles is held constant throughout the simulation domain. However, the charge on the particles can be increased after they have passed all the charge injection locations. The simulation's accuracy needs to be improved by taking these suggestions into consideration.

6.3 Particle collection efficiency

The effects of the supply flow velocity and the oil temperature on the particle collection efficiency are shown in Fig. 8. The collection efficiency is defined as the ratio of the number of captured particles to the number of the particles at the inlet in the simulation. There are two groups containing three curves. One depicts the total collection efficiency with solid lines, and the other depicts the collection efficiency of the filter element with broken lines. The difference between the two groups indicates the collection efficiency of the collector electrode. The particle collection efficiency decreases as the supply flow velocity increases and the oil temperature decreases, which can be predicted. As described above, the particle collection efficiency of the filter element is much lower than that of the collector electrode.

The experimental results of particle collection efficiencies for oil temperatures of 30 and 50°C and different supply flow velocities are shown in Fig. 9. In the experiment, the collection efficiency is defined as the ratio of the mass density of the captured particles to the mass density of the particles in the reservoir. The measured collection efficiency agrees qualitatively with the simulated one, as shown in Fig. 8, although the former is much lower than the latter. The quantitative differences may result mainly from the two-

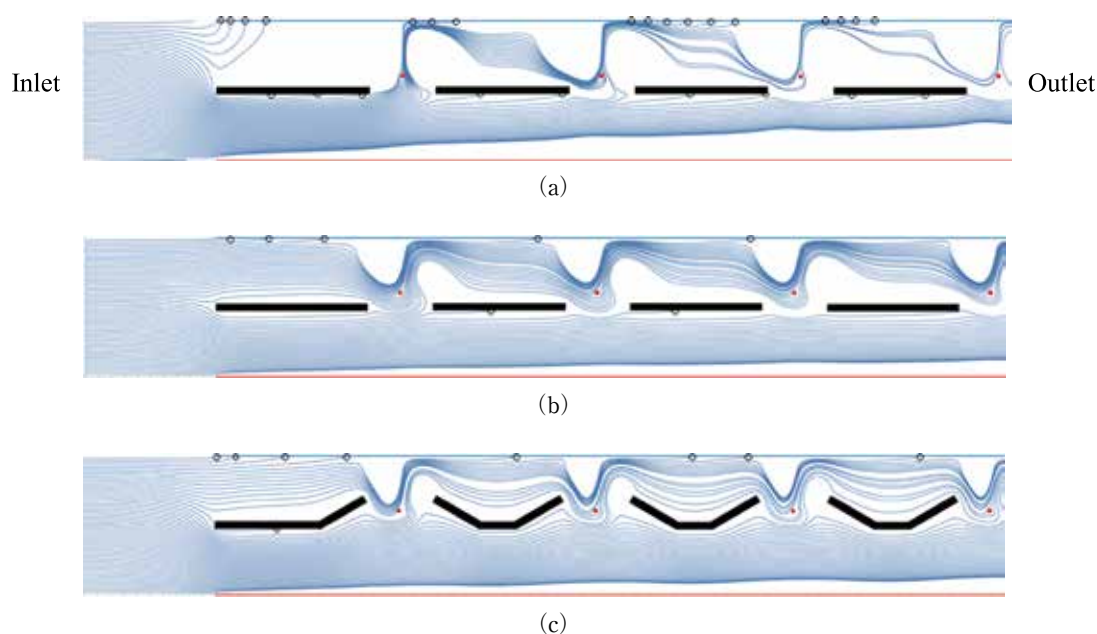
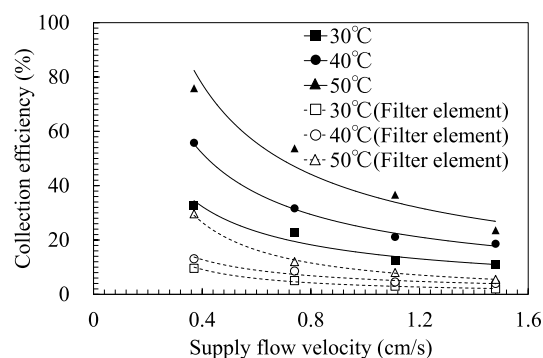
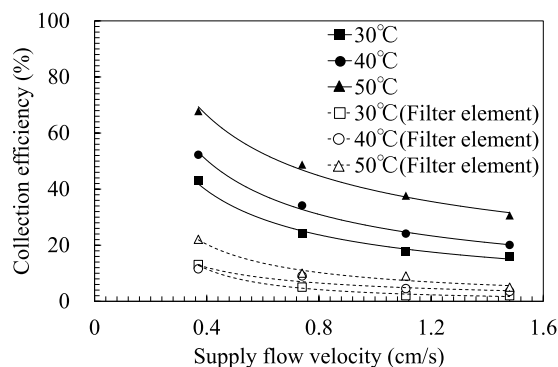


Fig. 7 Particle trajectories at 50°C and for $\zeta=300\text{mV}$. (a) $U_{in}=0.37\text{cm/s}$, Type1, (b) $U_{in}=1.48\text{cm/s}$, Type1, (c) $U_{in}=1.48\text{cm/s}$, Type2.



(a)



(b)

Fig. 8 Simulation results of particle collection efficiency for $\zeta=300$ mV. (a) Type1, (b) Type2.

dimensional approximation and the simplified assumption for the value of zeta potential (particle charge) used in the simulation. For the actual three-dimensional filter models, charges are injected from the triangular projection tips that are discretely located in z direction (see Figs. 1 to 3). Due to such a discrete nature, part of particles may not pass the region where charge density is high and the charges on those particles do not increase. In addition, an assumed value of zeta potential was used in the simulation and the value was kept constant throughout the simulation domain. It is considered that the charge amount on a particle increases within a certain limit whenever the particle passes high charge density regions. Such a situation was not taken into the present simulation.

A three-dimensional numerical simulation and correct information on the zeta potential of particles are needed to improve the simulation accuracy.

Figure 10 shows the effect of the zeta potential on the particle collection efficiency. It confirms that augmenting the charge on the particles is an effective way to increase the filtration speed. However, how much the charge on a particle is increased by charge injection has not yet been investigated and must be investigated.

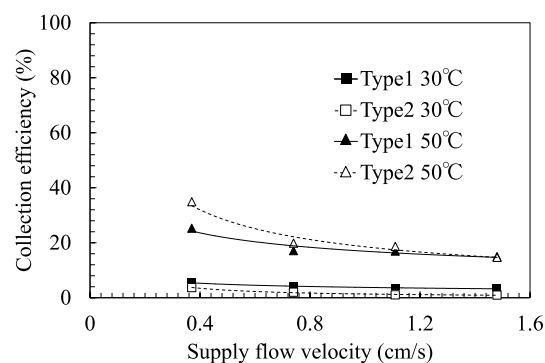


Fig. 9 Experimental results of particle collection efficiency.

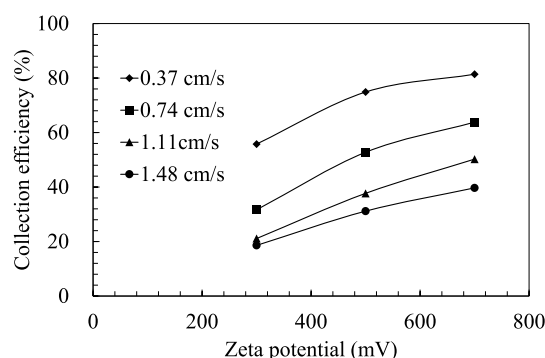


Fig. 10 Effect of zeta potential on particle collection efficiency at 40 °C (Type1, simulation).

7. Conclusion

In this paper, the electric and flow fields and the particle trajectories were numerically investigated using a two-dimensional model. The simulated particle collection efficiency was compared with the experimental results. The numerical simulations of the particle trajectories showed that the filter elements used in this study did not work efficiently, and the need to improve the filter element shape was noted. The results of the two-dimensional numerical simulation did not necessarily agree well with the experimental results. Qualitative agreement, however, was obtained and a filter structure with a better performance may be designed using the particle trajectory simulation. To more accurately predict the particle collection efficiency, a three-dimensional numerical simulation is needed, and variations in the amount of charge on the particles before and after charge injection must be investigated. These are subjects for a future study.

Acknowledgment

This work was supported by JSPS KAKENHI under grant number 25420088.

References

- 1) Kitahara A and Watanabe A. : Electrical phenomena at interfaces : fundamentals, measurements, and applications, New York : Marcel Dekker, Inc., (1984)
- 2) Felici NJ. : D.C. conduction in liquid dielectrics - A survey of recent progress (Part I), Direct Current Power Electron, Vol. 2, p. 90-99 (1971)
- 3) Yanada H and Tran KD. : Fundamental investigation of charge injection type of electrostatic oil filter, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 2, p. 119-132 (2008)
- 4) Tran KD and Yanada H. : Fundamental investigation of charge injection type of electrostatic oil filter (Effects of mechanical factors on filtration speed), Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 2, p. 971-984 (2008)
- 5) Yanada H, Okamoto T and Tran DK. : Fundamental investigation of charge injection type of electrostatic oil filter (Effect of filter element on filtration speed), Journal of Electrostatics, Vol. 69, p. 180-188 (2011)
- 6) Yanada H, Daiou Y and Ogi Y. : Improvement of filtration speed of charge injection type of electrostatic oil filter, Journal of Electrostatics, Vol. 70, p. 117-125 (2012)
- 7) Yanada H, Takagi S and Mamiya S. : Effects of electrode and filter element shapes on characteristics of charge injection type of electrostatic oil filter, Journal of Electrostatics, Vol. 74, p. 1-7 (2015)
- 8) Tran KD, Kojima Y and Yanada H. : Measurement and numerical simulation of flow and electric fields in charge injection type of electrostatic oil filter, Transactions of the Japan Fluid Power System Society, Vol. 40, p. 8-15 (2009)
- 9) Yanada H, Yamada T, Asai Y, et al. : Measurement and numerical simulation of ion drag pump characteristics, Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 5, p. 617-631 (2010)
- 10) National astronomical observatory (ed.), Rika nenpyo (chronological scientific tables), Maruzen Co., Ltd., p. 530 (1997)
- 11) JIS Z8901 : 1995. Japanese Industrial Standard. Test powders and test particles.
- 12) ASTM Standards F313 : 1983. Standard test method for insoluble contamination of hydraulic fluids by gravimetric analysis.

日本フルードパワーシステム学会論文集 総目次（第48巻）

【研究論文】

号 通し頁

ピンチ型空気圧サーボバルブの開発...	{ 石田 靖昌 只野耕太郎	1 1	空気圧ベローズにより駆動する微 動ステージの制御方法とナノ位置...	{ 藤田 壽憲 榊 和敏 宮崎 里美 宮崎 敬一	5 33
差圧センサ動特性試験のための圧 力発生器の試作	{ 阪本 大介 尹 鐘皓 香川 利春	2 9			
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	{ 奥井 学 名倉 裕貴 飯川 伸吾 山田 泰之 中村 太郎	3 17	Numerical Simulation of Particle Trajectories in the Charge-injection ... Type of Electrostatic Oil Filter	{ Hideki YANADA Shinji MATSUURA Tomohiro YOKOYAMA Masahito NISHIKAWARA	6 39
ボンドグラフ法による空気圧シス テムモデル化に関する一提案	{ 桜井 康雄 田中 和博 中田 毅	4 25			

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五十二 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―三三六九〇

印刷所 東京都文京区白山一―一三―七 アクア白山ビル五階
勝美印刷株式会社