

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

Jan.2015 Vol.46 No.1

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 「IFPEX2014」

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

【挨拶】

年頭のご挨拶	築地 徹浩	4
年頭にあって	小山 紀, 肥田 一雄	5

特集「IFPEX2014」

【巻頭言】

「IFPEX2014特集号」の発行にあたって	吉満 俊拓	6
------------------------	-------	---

【解説】

IFPEX2014における空気圧分野の技術動向	加藤 友規	7
IFPEX2014における油圧分野の技術動向	佐藤 恭一	11
IFPEX2014における水圧分野の技術動向	鈴木 健児	14
IFPEX2014空気圧セミナー	小山 紀	17
IFPEX2014油圧セミナー「油圧の魅力とその可能性に迫る」	田中 豊	20
IFPEX2014見学記（カレッジ研究発表コーナ）	吉満 俊拓	23

【ニュース】

第三回日中ジョイントワークショップおよび日中若手研究者交流報告	伊藤 和寿, 加藤 友規	26
---------------------------------	--------------	----

【会議報告】

MOVIC2014におけるフルードパワー技術研究動向	眞田 一志	30
FPMC2013におけるフルードパワー技術研究動向	金 俊完	32

【教室】

入門講座「トライボロジー」第4回：潤滑について	風間 俊治	34
-------------------------	-------	----

【トピックス】

学会と産業界との連携に向けて フルードパワー人材育成への産学連携 1	佐藤 恭一	37
------------------------------------	-------	----

【研究室紹介】

防衛大学校機械システム工学科流体システム講座	西海 孝夫, 一柳 隆義, 栗林 哲也	40
------------------------	---------------------	----

【コーヒーブレイク】

ブラマー氏の水圧機 はじめての水圧編	大橋 彰	43
--------------------	------	----

【会告】

平成27年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー		
「フルードパワーにおける故障予知技術」のお知らせ		46
フルードパワー道場10「トライボロジーの基礎知識」開催のお知らせ		46
日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催		
平成27年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ		46
平成27年春季フルードパワーシステム講演会併設企画		
「製品・技術紹介セッション」のお知らせ		46
平成26年度 ウインターセミナーのお知らせ		
「大型機械・大型施設で活躍するフルードパワー」		47
共催・協賛行事のお知らせ		48
その他	44, 45, 47, 49, 50	

■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

[Greeting Message]

New Year's Greetings	Tetsuhiro TSUKIJI	4
A Greetings of New Year from the Vice Presidents	Osamu OYAMA, Kazuo HIDA	5

Special Issue "IFPEX2014"

[Preface]

Editor's Prefatory Note for IFPEX2014	Toshihiro YOSHIMITSU	6
---------------------------------------	----------------------	---

[Review]

A Report on Tendency of Pneumatic Technologies in IFPEX 2014	Tomonori KATO	7
Technological Trend Review of Oil Hydraulics in IFPEX 2014	Yasukazu SATO	11
Trend of Water Hydraulics Technology in IFPEX2014	Kenji SUZUKI	14
The IFPEX2014 Seminar for Pneumatics	Osamu OYAMA	17
Seminar on Hydraulics in IFPEX2014	Yutaka TANAKA	20
IFPEX2014 Visit Report (University Research Announcement Corner)	Toshihiro YOSHIMITSU	23

[News]

Report on the 3rd China-Japan Joint Workshop on Fluid Power and Japan China Younger Researcher Exchange Program 2014	Kazuhisa ITO, Tomonori KATO	26
--	-----------------------------	----

[Conference Report]

Research Trends on Fluid Power in MOVIC2014	Kazushi SANADA	30
Researches Concerning Fluid Power Technology at the Bath/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control: FPMC 2014	Joon-wan KIM	32

[Lecture]

An Introductory Course of Tribology: 4. On Lubrication	Toshiharu KAZAMA	34
--	------------------	----

[Topics]

For Industry-Academic Society Collaboration Human Resource Development in Fluid Power by Industry-Academia Collaboration: Part 1	Yasukazu SATO	37
--	---------------	----

[Laboratory Tour]

Fluid System Laboratory, Department of Mechanical Systems Engineering, National Defense Academy	Takao NISHIUMI, Takayoshi ICHIYANAGI, Tetsuya KURIBAYASHI	40
---	---	----

[Coffee Break]

Bramah's Hydraulic Press : The First Hydraulic Apparatus	Akira OHASHI	43
--	--------------	----

[JFPS News]

44, 45, 46, 47, 48, 49, 50

挨拶

年頭のご挨拶

著者紹介



つき じ てつ ひろ
築 地 徹 浩

上智大学理工学部機能創造理工学科
〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1
E-mail : t-tukiji@sophia.ac.jp

1983年上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了（工学博士）、同大学助手を経て1997年4月足利工業大学工学部教授、1999年4月上智大学理工学部教授、2014年4月上智大学理工学部長、大学院理工学研究科委員長、2014年6月（一社）日本フルードパワーシステム学会会長現在に至る。

新年あけましておめでとうございます。年頭にあたり、ご挨拶を申し上げます。

日本フルードパワーシステム学会は、平成24年4月から新公益法人法に基づき一般社団法人へ移行して、これまでも増して自主性・独立性が求められています。

本学会では、会員として意義のある活動、成果の上がる活動が継続的に行われ、発展的に存続できる学会となることを目指しております。

昨年の会長就任のご挨拶で、安倍内閣の3つの矢に例え学会の3つの基本方針として産学連携、国際的学術基盤、財政基盤のそれぞれの強化を掲げさせていただきました。それぞれについて現状を述べさせていただきます。

まず、産学連携についてですが、昨年来、工業会との連携を積極的に深めて来ました。この絆を一層深めると同時に、昨年作成した“フルードパワー研究者リスト”を充実させ、産業界の皆さんが興味を持てるようなセミナーなどを企画し、より一層の内容の充実を図ってまいります。さらに、昨年9月にIFPEX2014が開催され、学会はカレッジ研究発表コーナーを主催しました。大学関係者による研究成果が発表され、産業界の皆様からさまざまな意見を頂戴しました。今年はこれらの意見を学会活動に反映させたいと考えています。

つぎに、国際的学術基盤についてですが、2014年8月に中国山西省の太原で第三回日中ジョイントワークショップと日中若手研究者の交流が行われま

した。ワークショップでは、中国と日本からそれぞれ5件ずつの研究発表があり、日中のフルードパワーシステム研究の最先端が発表されました。また、若手研究者交流として日本からは福岡工業大学の加藤先生がご講演され、私も招待講演をまいりました。この日中若手研究者の交流事業は2003年から続いており、今後グローバル化へ向かって進まなければならない学会にとって、フルードパワーの学術交流の意義ある事業になっています。

また、JFPSと中国のフルードパワーシステム学会との交流も行われ、王祖温会長とも旧交を温めあうことができました。日本からは大学院の学生たちもワークショップに参加しており、希少な経験になったことと思います。今後、学会のグローバル化はますます重要になるであろうことを痛感しました。

一方投稿論文につきましては、2013年1月から電子投稿に移行しましたが、現時点で順調に運用されています。また、学会が発行しているフルードパワーシステム学会論文集および英文論文集であるJFPS International Journal of Fluid Power SystemはHP（J-STAGE）で公開されています。今後、学術基盤の一つとして以上の講演会および論文集の投稿数を増やすとともに論文集の質を高めていく必要があると思います。

さらに、財政基盤については、会員数の増加につきますが、会員の皆様の絶大なご協力により、予想以上の成果を上げています。今後とも、会員皆さんのより一層の協力をお願いします。

以上の3つの基本方針のバランスを大切に、工業会や産業界との関係も大事にしながら、さらなる戦略的改善や提案を行い、これらの基本方針を推進してまいりたいと存じます。

最後になりましたが、フルードパワー技術の発展を目指し微力ながら最大限の努力していく所存であります。本年も会員の皆様のご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

（原稿受付：2014年9月29日）

年頭にあって

著者紹介



お や ま おさむ
小山 紀

明治大学理工学部
〒314-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1
E-mail: oyama@isc.meiji.ac.jp

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



ひ だ かず お
肥田 一雄

川崎重工業株式会社精密機械カンパニー
〒651-2239 神戸市西区榎谷町松本234
E-mail: hida_k@khi.co.jp

川崎重工業株式会社、(代)常務取締役 精密機械カンパニープレジデント、(一社)日本フルードパワーシステム学会 副会長、日本機械学会会員

1. はじめに

新年あけましておめでとうございます。年頭にあたり、平成26、27年度副会長を仰せつかりました私たちの連名でご挨拶を申し上げます。

旧年度は自然災害が相次ぎました。重機を使っての人命救出活動が報道されるたび、フルードパワー機器の重要性を思い知らされた年でもありました。

2. 取り組みについて

築地会長のもと以下の項目を実現することが我々の使命です。

2.1 学会基盤の強化

学会の健全な活動には、財政基盤の確立が必要です。当学会は香川前会長のもと会員増強に取り組み成果を上げています。しかし今後団塊世代の退職に

よる退会など、さまざまな不安定要因が考えられます。機会あるごとに会員増強のための行動をとります。

2.2 連携強化

学会が社会に対し存在意義を示すには、他組織との連携が必須です。工業会、産業界、他学会および外国機関との連携を強化します。特にフルードパワー工業会は不可欠のパートナーです。

2.3 運営の迅速化

「頼りにされる学会」であるには、会員からの要望や提案に対し直ちに対応する必要があります。築地会長の強い指導力のもと、各委員会などの意見を尊重しながら、学会内組織の垣根をこえた迅速な意思疎通を目指します。

2.4 開かれた学会に

理事会、委員長会議そして基盤強化委員会では、賛助会員へのサービスについての論議を始めています。たとえば共通性の高い基礎的研究は賛助会員企業と学会が共同で実施し、企業の負担を低減する方策もあり得ます。もちろん、企業間の思惑の相違などがあり得、実現には種々の困難がありそうです。しかし、困難だからこそ意義があるのではないのでしょうか。

賛助会員にとって参加することに価値のある企画、イベントなどを検討してまいります。

3. おわりに

学会運営には、なによりも会員の皆様のご理解・ご協力が必要です。どうかよろしくお願い申し上げます。

(原稿受付：2014年10月2日)

巻頭言

「IFPEX2014特集号」の発行にあたって

著者紹介

よし みつ とし ひろ
吉 満 俊 拓神奈川工科大学
神奈川工科大学創造工学部
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野1030
E-mail : yosimitu@rm.kanagawa-it.ac.jp

2000年明治大学大学院博士後期課程修了。同年神奈川工科大学工学部助手。現在は准教授。空気圧制御システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員。博士（工学）

2014年9月17日～20日に第24回フルードパワー国際見本市／IFPEX2014（〔社〕日本フルードパワー工業会、フジサンケイ ビジネスアイ共同主催）が東京ビックサイトにて開催された。今回の開催テーマは、「超える技術、価値ある未来のものづくり」であった。省エネ・省資源等環境対策技術フルードパワーとして、新技術や新製品が各社から多数展示出展された。また、「第7回総合検査機器展（日本検査機器工業会主催）」・「第26回計量計測展（日本計量機器工業会主催）」・「センサエキスポジャパン2014（フジサンケイビジネスアイ主催）」が同時開催された。

IFPEXは1963年に第1回が開催されて以来国内唯一のフルードパワー技術・関連機器の専門見本市である。前回のIFPEX2011は、東日本大震災の直後でもあり、大幅な電力制限が続く状況で開催されたが、今回は景気状況も上向きつつある中で行われ、多くの来場者が訪れられた。

本特集号では、IFPEX2014における最新の機器

のフルードパワー技術、関連・応用機器の動向を取り上げ、併せて行われた学会主催セミナー・カレッジ研究発表コーナーについて油圧分野では横浜国立大学の佐藤先生に、水圧・機能性流体分野は神奈川大学鈴木先生に、また、空圧分野では福岡工業大学の加藤先生に技術動向を解説いただいた。

また、本学会主催行事として、日本フルードパワーシステム学会セミナーを空気圧・油圧分野を2日に分けて開催した。空気圧セミナーでは、「空気圧の特徴とスポーツ器具への利用」・「空気圧の医療への利用」・「空気圧の介護への利用」と題した3件の講演が行われ、スポーツ・医療・介護という産業機器とは異なる分野における利用の実際と展望などが紹介された。油圧セミナーでは「油圧の特長と最新事例の紹介」・「油圧の潤滑の奥義」・「油圧ポンプ／モータの最新技術動向」・「油圧作動油の最新動向」の4件の講演が行われ、油圧の魅力と新たな可能性が紹介された。

最後に「フルードパワーシステム学会 カレッジ研究発表コーナー」について解説させていただいた。フルードパワーシステム学会では第17回IFPEX'95より学会会員研究室の研究内容を展示させている。今回も関係各位のご好意により、カレッジ研究発表コーナーが設けられた。発表コーナー展示内容・学生ツアーについて紹介させていただいた。

稿末ながら、ご多忙にもかかわらず本特集号の各記事をご執筆いただいた著者の皆様に心よりお礼を申し上げます。

（原稿受付：2014年11月17日）

解説

IFPEX2014における空気圧分野の技術動向

著者紹介



かとうとも のり
加藤友規

福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授、現在に至る。空気圧制御に関する研究に従事。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）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

2014年9月17日(水)～19日(金)の3日間に行われた国際油空圧見本市(IFPEX)2014では、多数の企業・大学による空気圧関連技術の展示・講演があった。企業による展示は、省エネルギー化・小型化・環境対策に主眼を置いたものが多かったように見受けられた。

学会誌の解説記事という性格もあるので、本稿ではIFPEX2014のなかでも特に、カレッジ研究発表展示コーナーの中での空気圧に関する技術・研究について、いくつかご紹介させていただくこととする。なお、誌面の都合もあり、関連技術のすべてを網羅してご紹介できないことについて、あらかじめご容赦いただきたい。

2. カレッジ研究発表展示コーナーにおいて見受けられた空気圧関連の技術と動向

2.1 コーナー概要

IFPEX2014におけるカレッジ研究発表展示コーナー（以下、同コーナー）は、「日本国内外の研究教育機関で多く行われている先端的な研究を、フルードパワーシステム関連の企業をはじめ多くの計測制御関連企業に対して広く発表していただくとともに、日本フルードパワーシステム学会の活動内容を多くの方々に知っていただくこと¹⁾」を目的として、企画された。同コーナーには全国の大学・高専から、23の研究室が参加し計35件の出展があった

(写真1)。同コーナーに出展する各研究室はあらかじめ講演論文を作成し、講演論文集²⁾として配布されたほか、IFPEX2014のウェブサイト(ダウンロード)³⁾により配信された。

同コーナーに出展された計35件のうち、著者が講演論文集の内容を基に数えた限り、16件が空気圧に直接あるいは間接的に関連した技術・研究に関するものであった。(ただし、展示の中にはたとえば油圧と空気圧を併用した技術や、一部に空気圧を活用したものなどもあり、上記はそれらの合計である。)その16件の中での技術動向としては、人間に直接装着して人間の作業を支援する器具や、リハビリや手術を支援するロボットなど、医療福祉・介護・ライフイノベーションに関するものが10件と半数以上を占めた。

以下では、16件の空気圧技術に関する展示発表の中から、ほんの一部の展示についてご紹介させていただく。

2.2 奈良高専・早川研究室

奈良工業高等専門学校(早川研究室)は、「高機能靴を用いた歩行訓練システムの開発」についてご発表され、高齢者に負担をかけることなく安心安全な歩行訓練を実現するために、歩行状態を計測し提示可能なシステム開発を行った事例をご紹介された。特に、Wi-Fi環境が整っていればAndroid端末で歩行状態を色相変化で視覚的に提示することが可能であ



写真1 カレッジコーナーの展示の様子

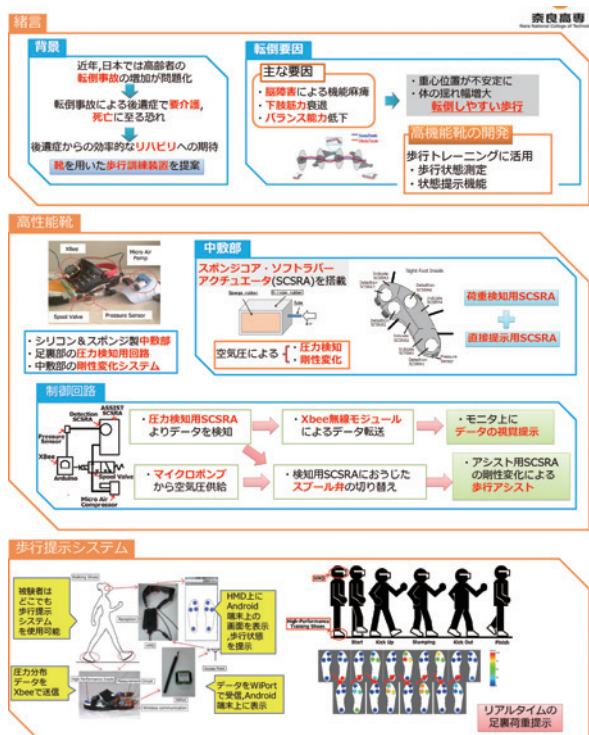


図1 奈良高専・早川研究室のご発表内容

ることを示された(図1)。

2.3 岡山大学 知能機械制御学研究室

岡山大学の知能機械制御学研究室は、「空気圧を用いた福祉支援システムの開発」についてご発表され、空気式パラレルマニピュレータを用いた手首リハビリ支援装置、パワーアシストウェア、回生機能を有する小型空気圧供給システム、空気式歩行支援シューズ、パワーアシストグローブ、などの事例をご紹介された(図2、写真2)。

2.4 芝浦工業大学 川上研究室

芝浦工業大学の川上研究室は、「CFDを用いた空気圧管路の流動解析」についてご発表され、円管路を流路解析モデルとして構築し、実験値とCFD解析の比較を行いながら、流動状況を可視化することに成功した事例についてご紹介された(図3)。

2.5 沼津高専 村松研究室

沼津高専の村松研究室は、「高齢者の姿勢保持と重心移動のための空気圧装置の開発」についてご発表され、空気圧装置のストッパに空気圧ゴム人工筋肉を接続し、これによって発生する引張力を活用し、静止立位の姿勢から股関節方略の姿勢に移る支援機能を空気圧装置に追加することができた事例についてご紹介された(図4)。

2.6 東京電機大学 藤田研究室

東京電機大学の藤田研究室は、「空気圧ベローズで駆動する微動ステージのナノ位置決め」についてご発表され、空気圧ベローズで駆動する静圧案内で



図2 岡山大学・知能機械制御学研究室のご発表内容

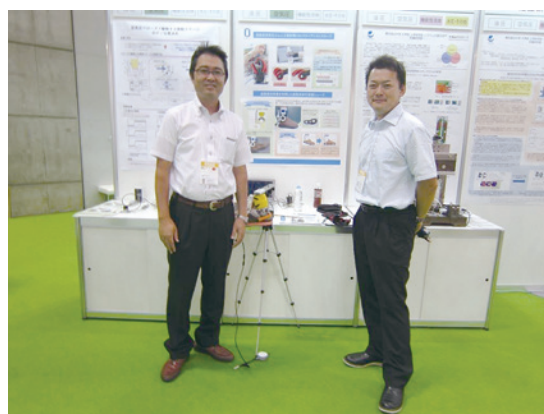


写真2 岡山大学 高岩先生と佐々木先生

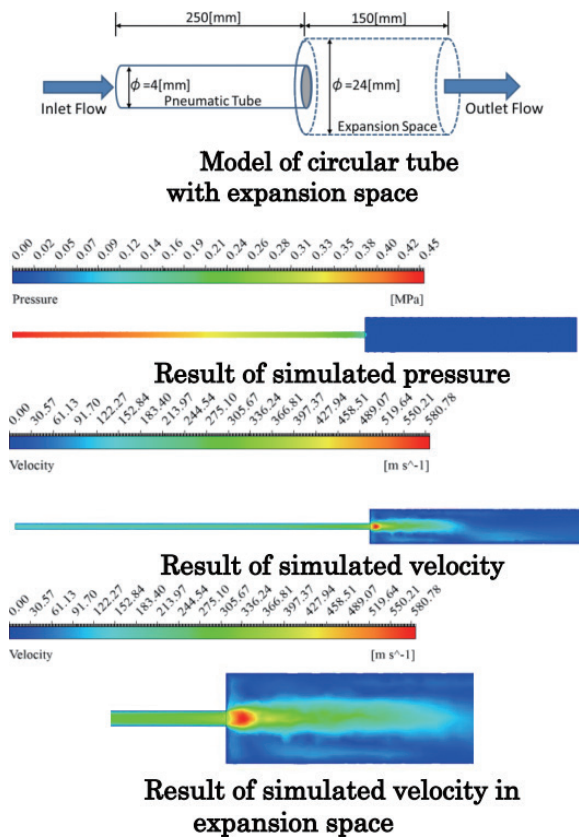


図3 芝浦工業大学・川上研究室のご発表内容

法が有効であると結論づけられた事例についてご紹介された(図6)。なお、同ロボットは実演展示も行われ、も行われ、大変好評であった。

また、同研究室は「手術支援ロボットの体内4自由度鉗子マニピュレータ」についてもご発表され、 β チタンの柔軟関節を2個結合することで、各関節2自由度、合計4自由度の屈曲が可能な鉗子を試作

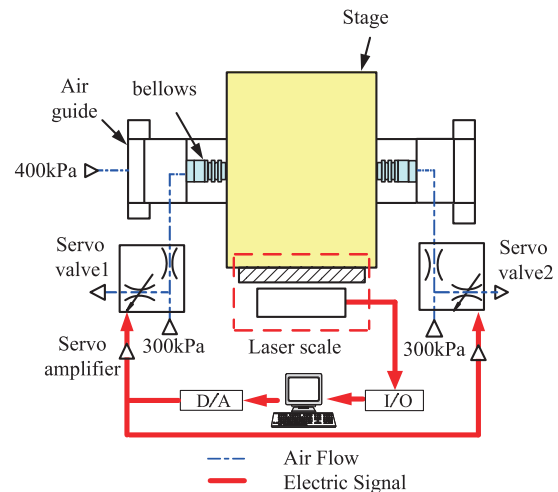


図5 東京電機大学・藤田研究室のご発表内容

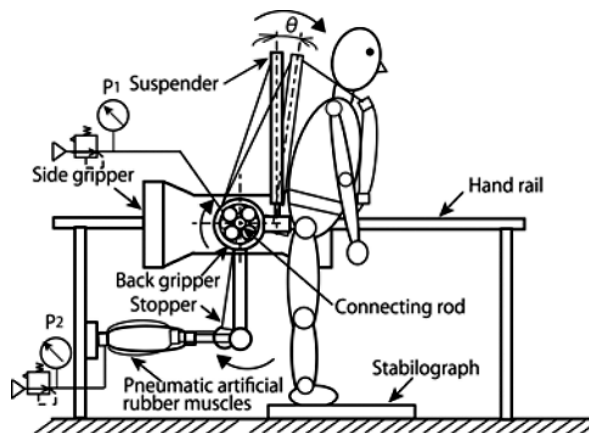


図4 沼津高専・村松研究室のご発表内容

支持されたステージの超精密位置決め制御を行った結果、良好な再現性を保ちながら 0.01 ± 0.9 [nm] の位置決め精度と1 [nm] の分解能を実現できた事例についてご紹介された(図5)。

2.7 東京医科歯科大学 川嶋・遠藤研究室

東京医科歯科大学の川嶋・遠藤研究室は、「内視鏡把持ロボットのためのモーションセンサを用いた非接触型操縦インターフェースの提案」についてご発表され、内視鏡外科手術における内視鏡把持ロボットについて、衛生面と操作の直感性に優れるモーションセンサを利用した操作を提案し、提案方

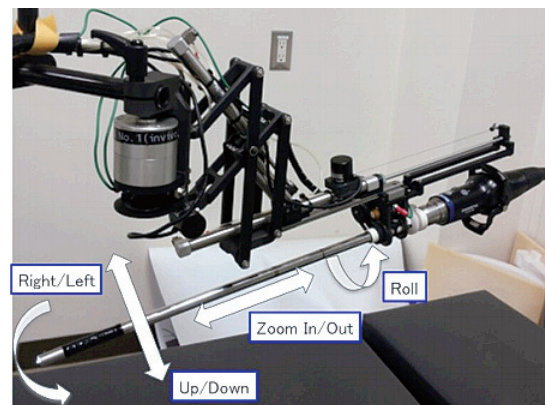


図6 東京医科歯科大学 川嶋・遠藤研究室のご発表内容 (Endoscopic robot)

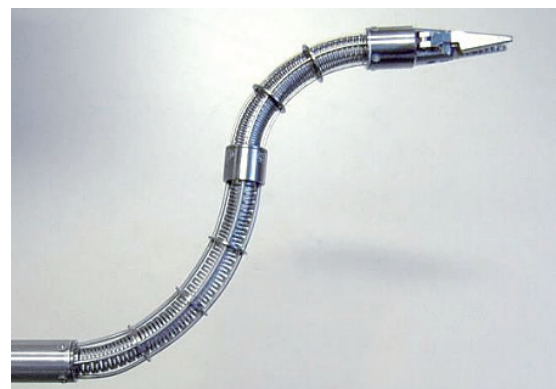


図7 東京医科歯科大学 川嶋・遠藤研究室のご発表内容 (4自由度鉗子)

し、関節の駆動に超弾性ワイヤと超弾性パイプを用いることでシンプルな機構を実現した事例と、さらにその制御系についてご紹介された(図7)。

2.8 東京工業大学 香川研究室

東京工業大学の香川研究室は、「エアパワーメータによる空気圧の消費エネルギー計測」についてご発表され、空気圧エネルギーをエアパワーメータにより測定可能であることと、工場などに空気圧エネルギーという考え方を導入することにより、無駄に捨てられているエネルギーを知ることが可能となり、より効率的な省エネルギーを実現することが可能となる、という事例についてご紹介された(図8)。

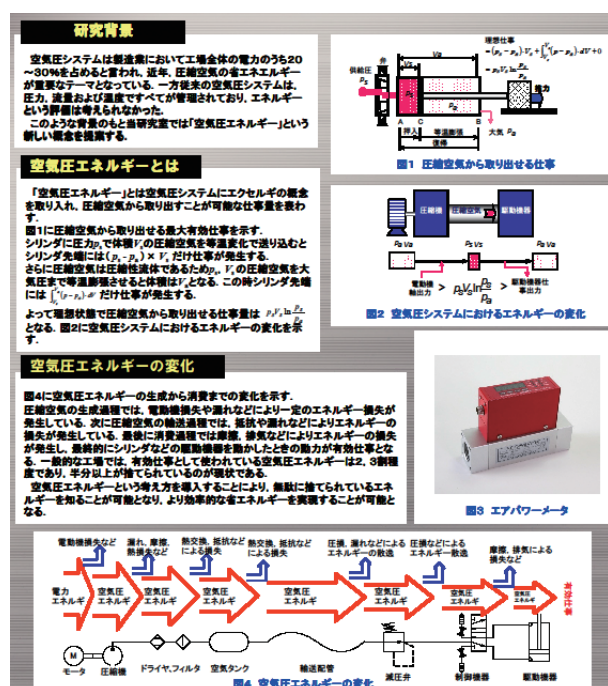


図8 東京工業大学・香川研究室のご発表内容



写真3 日本フルードパワーシステム学会セミナー【空気圧】

3. おわりに

本稿ではIFPEX2014のカレッジ研究発表展示コーナーの中の空気圧に関する展示のうちのいくつかについてご紹介させていただいた。繰り返しになり恐縮であるが、誌面の都合もあり、関連技術のすべてを網羅してご紹介できなかったことについて、何卒ご容赦いただきたい。

なお、IFPEX2014では、同コーナーのほかに、9月18日(木)午後には「日本フルードパワーシステム学会セミナー【空気圧】」が開催され、小山紀先生(明治大学)・川嶋健嗣先生(東京医科歯科大学)・吉満俊拓先生(神奈川工科大学)の3名の先生方がご講演された(写真3)。また、9月19日(金)午後には「IFPEXフォーラム【空気圧セッション】」が開催され、藤田壽憲先生(東京電機大学)と山本圭治郎先生(神奈川工科大学)の2名の先生方がご講演された。この2つのセミナー・フォーラムもカレッジ研究発表展示コーナー同様、大変盛況であった。

参考文献

- 1) 吉満俊拓: IFPEX2014カレッジ研究発表コーナー, フルードパワー, (一社)日本フルードパワー工業会, Vol. 28, No. 3, p. 11-12 (2014)
- 2) 第24回フルードパワー国際見本市カレッジ研究発表展示コーナー論文集, 日本フルードパワーシステム学会 (2014)
- 3) <http://www.jfps.jp/ifpex2014/college.html>

(原稿受付: 2014年10月6日)

解説

IFPEX2014における油圧分野の技術動向

著者紹介



さとう やすかず
佐藤 恭一

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: yasukazu@ynu.ac.jp

1992年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学講師、准教授を経て、2012年同大学院工学研究院教授、現在に至る。油圧動力の伝達、制御、メカトロニクスに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、自動車技術会などの会員。博士(工学)。

1. はじめに

第24回フルードパワー国際見本市 (IFPEX2014) が9月17日(水)から9月19日(金)の3日間に渡り、東京ビッグサイトで開催された。全体テーマとして『超える技術、価値ある未来ものづくり。』を掲げており、出展数は106ブース(台湾パビリオン21ブース含む)であった。また会期中は基調講演、IFPEXフォーラム(油圧セッション3件、水圧2件、空気圧2件)、日本フルードパワーシステム学会セミナー(油圧4件、空気圧3件)、特別技術セミナー(油圧3テーマ、10件の技術紹介)、特別コーナー(水圧コーナーとカレッジ研究発表展示)が開催された。会期中の来場者数は、事務局発表で36,050人(IFPEXウェブサイト<http://www.ifpex2014.jp/>から引用)であった。前回のIFPEX2011¹⁾の来場者数32,758人に対しては1割増ということになるが、前回は東日本大震災の3か月後の開催であった事情を考慮すると、来場者数を一概に比較するのは難しいであろう。また、前々回のIFPEX2008^{2),3)}の来場者数は61,482であったが、会期が4日間であり、同時開催展示会来場者を含むことから、これもまた一概の来場者数比較は難しい。展示会の規模としては、以前に比べて少しこじんまりとした感があるが、各ブースでのプレゼンテーションや来場者への説明は大変活気があるように感じた。

さて、展示会の全体像は、本誌の他の記事でも同様に紹介されるのでこれくらいで切り上げ、本報で

は、油圧分野に焦点を当てて、IFPEXを通じて見た技術動向を紹介し見聞記をまとめる。なお、数多くの出展社がそれぞれ特徴ある展示を行っており、紙面で紹介しきれない内容が多々あることをご容赦いただきたい。

2. 油圧動力源の高機能化・省動力化動向

油圧ポンプとその駆動源である電動モータとの組み合わせを工夫することにより、油圧ポンプの高機能化と省動力化が図られてきている。この動向は、10年以上前からみられるもので、IFPEX2005、2008、2011でも具体的な製品として紹介されてきたが、各社の特徴に応じて、そのバリエーションはますます拡張してきている。

電動油圧源の基本形を、誘導モータで固定容量ポンプまたは可変容量ポンプを一定回転数で連続駆動し、油圧回路の余剰流量をリリーフ弁により捨てて供給圧力を保つ方式とすれば、省動力化の面で進歩したものが、(1)インバータ制御の誘導モータと可変容量ポンプを負荷状況に応じて最適な回転数で可変速運転し、余剰流量を低減する方式であり、各社、インバータ駆動省エネ油圧源製品として紹介していた。



図1 可変容量ポンプユニット(常時運転)とアキュムレータ搭載間欠運転ポンプユニット積算・瞬時消費動力比較デモ

機器の油圧の保圧が主な用途の場合向けに、アキュムレータを搭載し、適時ポンプ運転停止を併用するポンプユニットも紹介されている（図1）。ポンプの間欠運転により瞬時と積算の消費電力が大幅に低減され、作動油の温度上昇も抑えることができる。タンクの油温上昇も室温に対して数℃であるため、多様な形状に成型できる樹脂タンクを適用できる可能性があることも興味深い。

制御性と省動力化の両面の進歩としては、(2)誘導モータに代わってサーボモータを駆動源とし、固定容量ポンプの精密な正逆両方向の回転数制御により必要流量を正確に制御し、油圧ポンプに従来の制御弁の流体動力の制御機能も持たせる形式であり、油圧閉回路で油圧アクチュエータに必要な油圧動力を供給し制御する方法がある（図2）。小形の油圧シリンダに対しては、サーボモータではなく、一般的な直流モータで回転数制御する方式により、モータ、ポンプ、アクチュエータが一体化したコンパクトな油圧アクチュエータユニットもある。さらに、省動力化を進めたものとしては、(3)サーボモータと可変容量ポンプの組み合わせにより、必要油圧動力の供給にモータ回転数制御とポンプ容量制御の両方を併用する形式がある（図3）。運転状態に応じて、電動モータと可変容量ポンプの双方の効率、回転数、トルク上限を考慮して、自動的にモータとポンプのどちらを主体に吐出流量を制御するかが選択される。

以上のように、電動機とポンプの多様な形式および制御方法の組み合わせの電動油圧源が提案されており、用途、要求性能、コストなどに応じて最適な電動油圧源が選択可能となっている。

3. 油圧ポンプ・モータの技術動向

油圧は小形で大きな出力が実現できる動力伝達手段であり、産業機械向け、建設機械向け、工場設備向けなどの大型機械用の機器を紹介している。油圧ポンプ（図4）では、各社、高圧化、高耐久、軽量化、低騒音、耐コンタミ、閉回路用などをキーワードに、性能向上を図った製品を紹介している。

産業機械駆動用モータとしては、低速、大トルク出力の特徴を活かし、駆動軸に対して直接取り付け、減速機を使用することなく、省スペース化、小慣性モーメント、高トルク性能を実現した頑健な駆動モータを紹介している（図5）。

また、電動との競合分野での油圧の長所を示している一例として、風力発電用機器の紹介がある。風車の回転動力を油圧動力に変換し、伝送された油圧動力で発電機を回転させる油圧ポンプ、モータで、機械式増、減速機を介さずに大トルクを吸収、発生

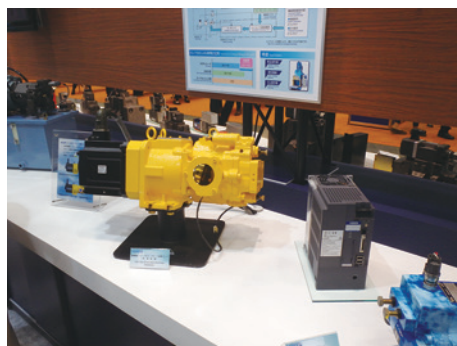


図2 ACサーボモータ駆動ポンプ（固定容量または二段容量切替ポンプの回転数制御）



図3 ACサーボモータ駆動可変容量ポンプ（モータ回転数とポンプ容量の両方の可変駆動）

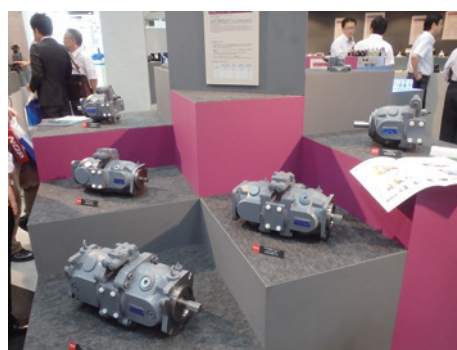


図4 各種高圧可変容量ピストンポンプ



図5 低速・大トルク油圧モータ

できる特徴を活かした機器である。

4. 油圧制御弁の技術動向

サーボ弁や電磁比例弁などの油圧制御弁では、従来からの弁構造による圧力、流量などの油圧制御機能に付加する形で、電気操作部のインターフェースに、各社、特徴ある機能向上、性能向上の紹介があった。弁本体にソレノイド駆動用のアンプや、弁内蔵センサーとのクローズドループ制御のコントローラを搭載する形式は、電磁弁の構成の一つとして確立している感がある。

弁本体に駆動用アンプを搭載していない電磁弁は、ソレノイドの端子と外部アンプを結線して使用するが、ソレノイド端子に接続するケーブルのコネクタにPWMアンプを内蔵することにより、アンプ搭載型電磁弁と同様の取り扱いができる形式の紹介もあった。電気操作のインターフェース部分は、今後も、配線取り回しの容易さ、コンパクト性、ネットワーク構成などで、多様な機能向上が期待できる。

弁を駆動するソレノイドにおいては、高応答性、省電力などの機能向上を特徴とした製品の紹介があった。弁の駆動方式については、従来のサーボ弁のノズルフラップ方式や、電磁比例弁の比例ソレノイドと構造を異にする、ボイスコイルアクチュエータを採用した直動リニアサーボ弁の紹介があり、カットモデルの展示により、内部構造の特徴や工夫を容易に理解することができた(図6)。

5. アジア企業出展

今回のIFPEXにおける油圧分野の出展は、国内企業がほとんどであり、海外企業の油圧技術動向までは言及できないが、海外企業の出展としては、台湾の21社の展示ブースが一区画にまとまり、台湾パビリオンを形成していた(図7)。一ブースの規模は小さいが、小型のポンプ、バルブ、シール類、継手類など展示があった。

6. おわりに

IFPEXでは、通常の企業の出展のほか、講演会、セミナーも開催されている。IFPEXフォーラムにおける油圧分野の演題は、「油圧ショベルの省エネルギー化の動向」、「ホイールローダの技術動向と省エネ化」、「大型工作機械を支える油静圧・油圧技術」である。特別技術セミナーでは、「産業機械の油圧技術トレンド」、「建設機械の油圧技術トレンド」のテーマに対し、各テーマ、5社からの講演があった。



図6 直動リニアサーボ弁のカットモデル



図7 台湾パビリオン

キーワードとして、産業機械の講演では「省エネ」、「省電力」、建設機械の講演では「安全性」、「耐久性」、「操作性」、「省エネ性」、「低騒音性」が挙げられており、油圧機器の現状の課題の把握と、今後強化すべき技術開発項目を考える上での参考となる。

本報では、筆者がIFPEXを通じて感じた油圧分野の技術動向をまとめた。一方、企業名や製品名を前面に出した技術情報の紹介は控えたため、各企業の出展ブースで紹介されている独自の技術や特徴的な製品をイメージする資料としては、本報はいささか物足りないかもしれない。出展企業のリストは、IFPEX2014のウェブサイトにて公開されているので、関心のある個々の技術については、さらに読者各位でご確認いただきたい。

参考文献

- 1) 西海孝夫：IFPEX2011における油圧機器・システムの技術動向，フルードパワーシステム，Vol. 42，No. 6，p. 326-330 (2011)
- 2) 大内英俊：IFPEX見学記（油圧駆動と水圧駆動），フルードパワーシステム，Vol. 39，No. 6，p. 243-245 (2008)
- 3) 佐藤恭一：IFPEX2008見聞記（油圧編），油空圧技術，Vol. 47，No. 9，p. 47-51 (2008)

(原稿受付：2014年10月27日)

解説

IFPEX2014における水圧分野の技術動向

著者紹介



すずき けんじ
鈴木 健児

〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋3-27-1
E-mail: suzuki@kanagawa-u.ac.jp

1995年神奈川大学大学院工学研究科博士前期課程修了。光洋精工株式会社、神奈川大学助手を経て、2013年同大学工学部助教、現在に至る。水圧駆動システム及びその構成要素の研究に従事。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）。



写真1 水圧テーマコーナー

1. はじめに

2014年9月17日（水）～19日（金）の3日間、IFPEX2014が東京ビッグサイトにおいて開催された。前回¹⁾、前々回のIFPEXと同様に、日本フルードパワー工業会（JFPA）の水圧部会を中心とし、水圧関係の製品を一堂に会した「水圧テーマコーナー」が設けられた（写真1）。JFPAでは従来より、水圧駆動システム技術をADS（Aqua Drive System）と呼称しており、「水が機械を動かす！」をキャッチコピーとして水圧技術の普及・啓蒙活動に注力している。今回は、前回よりも展示面積を拡大して内容も拡充され、製品紹介だけでなく実機での動体展示にも多くの見学者が訪れていた。本稿では、この「水圧テーマコーナー」での展示内容を中心として、水圧分野の技術動向について報告する。

2. 水圧テーマコーナー

今回の展示では、圧力水準によって区分けがなされ、水道水圧程度から3.5MPa程度までの低压ゾーン、7MPa程度までの中圧ゾーン、14MPa程度までの高压ゾーンにおいて、それぞれの製品例が展示された。また、コンセプトゾーンでは各社のデモ機や二自由度水圧ロボット²⁾が展示された。

前回の展示と比較して、今回は水圧の用途拡大が感じられる展示内容であった。水圧は動力密度および環境融和性が高くかつ衛生的という特長を有しているが、実際の応用例が少ないのが実情であった。

しかし、実用に耐えうる水圧機器の拡充とともに、水圧の実用例が徐々に増加してきたことを実感した。

2.1 水道水圧シリンダ式防水板

近年、ゲリラ豪雨による災害が増加しており、都市の地下空間や低地などでは浸水被害の危険性が高まっている。展示されていた防水板（写真2）は、地下駐車場や地下街の入口などに設置するもので、水道水圧によって動作させる。停電時でも、水道圧で止水板を動作させることができ、断水時には手動の空気ポンプ（自転車用の空気入れ）で、非常に小さな力で防水板を立てることが可能である。

漏電や延焼の恐れのない水圧駆動は、災害時のレスキュー用具などに適している。したがって、今後ますますこのような用途への応用が期待できる。



写真2 水道水圧シリンダ式防水板

2.2 低水圧用ラジアルピストンポンプ／モータ

双方向回転のポンプおよびモータが数種類開発され、動体展示されていた。これらの定格圧力は3 MPaで、構造はラジアルピストン式でケースが回転し、中心軸内部に吸排水の流路が設けられている。デモ用の展示では、ACサーボモータによって駆動するポンプとモータを直結し、バルブレスでのモータの回転制御を行っていた。

2.3 水圧リフト

- (1)高所作業用水圧リフト（写真3）：水圧三連プランジャポンプを使用した水圧ユニットと、テレスコープシリンダを組み合わせた高所作業用のリフトである。最高床高さは6.3mまでのものが製品化されている。電源はAC100VまたはDC12Vが選べる。125kgまでの乗員1名が、手元のリモコン操作によって自在に昇降可能である。
- (2)介護施設用水圧リフト（写真4）：車椅子のまま入浴するための装置に使用される。水圧シリンダは完全に水没させて搭乗部の下部にすべて収めることができ、浴槽外部には支柱などが無い。したがって浴槽の床だけを上下動させることができる。



写真3 高所作業用水圧リフト



写真4 介護施設用水圧リフト

2.4 食肉加工機械

高圧用途では、食肉加工機械への水圧の適用が実用段階に達している。丸刃物が回転しつつ前後運動する食肉スライサはビデオ展示であったが、肉を成型するためのプレス工程と一定の厚みにスライスする工程を1台で行う定貫スライサが動体展示されていた（写真5）。従来、これらの工程は2台の機械で行われており、油圧・空圧・電動が組み合わせられていた。成型プレスには大出力が必要なため油圧が使用され、押し出しには空圧、スライスには電動で、消毒洗浄のためにそれぞれ防水が必要であった。しかし、すべてに水圧を使用することで、これら複数の工程を1台で行うことが可能となった。



写真5 食肉加工機械（定貫スライサ）

2.5 水圧用パッキン

水の潤滑性と粘性はともに油に比べて非常に小さいため、しゅう動部を支持する軸受および外部漏れを防止するパッキンの重要性は非常に高い。特に使用頻度の高い水圧シリンダ用として、ピストンパッキン、ロッドパッキン、軸受、ダストシールが製品化されている。また、90°の揺動運動を行うためのベーン型揺動アクチュエータ用に、ベーンシール、シューシール、端面シールが試作され、デモ機が動体展示されていた。

パッキンの耐久性は、水圧アクチュエータの製品寿命を左右するため、非常に重要である。今後、更なる発展を期待したい。

2.6 水圧用ポンプ、モータ、バルブ

高水圧用のアキシャルピストンポンプや三連プランジャポンプ、低水圧用ベーンモータ、水圧サーボ弁および水圧電磁比例制御弁については、すでにいくつかの製品が揃っており、これらを使用すれば水圧システム構築は可能である。しかし、更なる水圧技術の用途拡大のためには、単純動作の切替弁だけでなく、より小型かつ安価で使いやすい四方弁形式の水圧比例制御弁の開発が望まれる。

3. IFPEXフォーラム（水圧セッション）

9月18日(木)に行われたフォーラムの水圧セッションでは、2件の講演が行われた。

1件目の講演は、渡辺将博氏（ワタナベフーマック株式会社）による「ADSを搭載した食品加工機械の製品化」である（写真6）。食品加工機械の安心・安全・衛生に対する要求が高まっている中、ISO22000, HACCP, EHEDG（欧州衛生工学設計グループ）などの適用が始まりつつある。これに対応するために、ADSを搭載した食品加工機械を開発した経緯及び概要が紹介された。

動力媒体に水道水を使用するため衛生的であること、冷凍肉のプレスに対応するための高出力が得られること、消毒洗浄のための防水対策が不要であることなど、水圧の特長が最大限に生かされており、この分野における今後の水圧機械の用途拡大が期待される内容であった。



写真6 水圧セッションでの講演（渡辺氏）

2件目の講演は、宮川新平氏（KYB株式会社 事業開発推進部, JFPA St-ADS委員会監事）による「St-ADSを採用した省エネルギー型安心・安全な全体システムの構築」である（写真7）。St-ADSとは、スチームタービン・アクアドライブシステムの略称である。工場排熱の有効利用を目的として、蒸気タービンとADSを組み合わせることでシステム全体の省エネルギー化を図るものであり、ADSの特長である安全・衛生・クリーンが要求される市場の要求に応える具体的な全体像が紹介された。

食肉処理施設は機械や施設の洗浄・消毒のため多量の温湯をボイラによって作り出しているが、同時に多量の蒸気を排出している。この未利用蒸気をSt-ADS技術によって利用し、作業機械を水圧駆動方式に切り替えることによって、衛生の高度化と大幅な省エネルギーが可能となる。これらはともにこれからの時代の要請に応えるものであり、今後の研究



写真7 水圧セッションでの講演（宮川氏）

開発および実用化が望まれる。

4. その他

水圧専用ではないが、圧力損失の小さな配管系の展示があった。これは管路の結合部が独自の構造で段差を無くしており、さらに直角エルボの部分に曲がり流路にするなどして、従来のねじ込み式の配管に比べて圧力損失が小さくなることを動体展示によってわかりやすく展示していた。

今後、あらゆる機械システムの省エネルギー化は避けられない課題である。ポンプ、モータ、バルブなどの構成機器単体での効率向上に加え、配管における圧力損失の低減も重要になると考えられる。

水と油とは物理的特性が異なるため、使用する流量に適した管路径も異なることが予想されるが、この分野において指標となる規格はまだ存在しないようである。水圧用として最適な管路・配管部品を日本からISOに提言できれば、それが世界標準となる可能性がある。

5. おわりに

水圧技術の特長が生かせる分野では実用段階に入ってきたようであり、今後の発展が期待される。

なお、今回の展示内容も含め、水圧技術の紹介や水圧機器のサプライヤーリストなど、水圧分野の技術についての最新情報は、JFPAの水圧部会が運営するブログ³⁾に詳しく掲載されている。

参考文献

- 1) 伊藤和寿：IFPEX2011における水圧技術動向，フルードパワーシステム，Vol.42, No.6, p.333-335 (2011)
- 2) 新・水圧技術を用いたロボティクスの新機軸応用に関するフィージビリティスタディ報告書，(社)日本フルードパワー工業会，22-F-3, (2011)
- 3) アクアドライブシステム（ADS）－水が機械を動かす，<http://aquadrive1999.blog129.fc2.com/>

（原稿受付：2014年10月3日）

解説

IFPEX2014空気圧セミナー

著者紹介



おやま 紀
小山 紀

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

1978年明治大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得後退学。同大学助手、助教授を経て、2000年同大学理工学部教授、現在に至る。空気圧制御の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、計測自動制御学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

1. はじめに

前回のIFPEX2011は東日本大震災の影響で電力事情が憂慮されたが、関係者皆様の尽力で無事開催されたことを思い出す。IFPEX2014の入場者数は前回を上回り盛況であった。本学会空気圧セミナーは開催日2日目の9月18日（木）の午後に実施された（図1）。統一テーマは「空気圧の意外な側面と人の生活に利用される空気圧」として、3名の講師が人の生活に関連する個々のテーマについて担当した。講師は東京医科歯科大学生体材料工学研究所・川嶋健嗣先生、神奈川工科大学創造工学部・吉満俊拓先生そして本稿著者の明治大学・小山である。会場は80名座れるようにセットされていた。開始当初は空気があったが、やがてほぼ満席となった。



図1 空気圧セミナーの様子（講師は川嶋先生）

以後それぞれの講演について簡単に報告する。

2. 空気圧の特徴とスポーツ器具への利用

小山は空気の状態や空気圧の特徴を紹介した。よく知られている圧縮性に起因する特性のほか、あたかも機能性流体のような使い方が可能なことを示した。すなわち外的要因、ここでは光強度により体積が変化する性質を利用した光音響効果や、粘性が変化することを用いた光流体変換などの例を紹介した。また大気の大気温度や気圧の変動を、空気圧エネルギー源として利用可能なことを実例により示した。

一方、空気は物体が絶えず触れている環境自体であることから、空気圧でなければならない操作がある。例として、野球のボールを空中浮遊させて打撃するティーバッティングマシン¹⁾の開発を紹介した。図2は真下からの空気噴流で、ボールが安定した浮遊ができることを示した原理図で、ボール位置が噴流の中心からずれるとマグナス効果が働いて、ボールは噴流の中心に戻される。

開発が終了したティーバッティングマシンで硬式野球ボールを浮遊させ、打撃を楽しんでいる様子を図3に示す。

3. 空気圧の医用への利用

川嶋先生の講演である。空気圧は比較的大きな力を発生できるから、減速機構を使わない直接駆動が

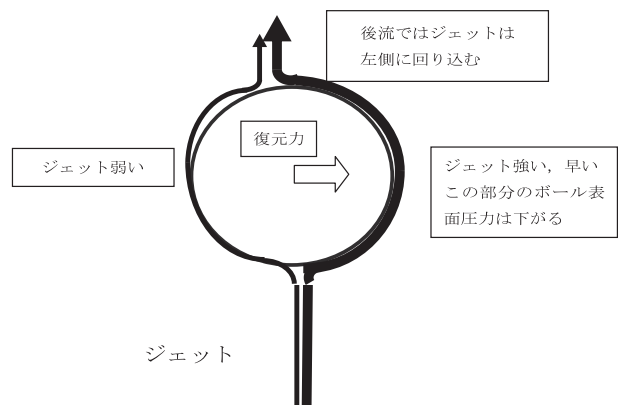


図2 垂直方向の空気噴流でボールが安定して浮遊する原理図



図3 空中浮遊式ティーバッティングマシンを使った打撃
(図提供: エム・アール・コーポレーション)

可能であり, そのため出力側で作用する力を入力側に伝えることができる. また空気圧アクチュエータには磁場の影響を受けない材質を使える. これらの利点を生かして, 川嶋先生らは腹腔鏡外科手術を支援する空気圧駆動ロボット²⁾を開発している.

図4は手術時に体内に挿入する空気圧駆動鉗子で, 先端部が2自由度動作をし, グリッパの開閉動作を含めると計3自由度を持つ鉗子マニピュレータである. 先端が独立した2自由度動作できるよう, 鉗子の構造には図下側のように円筒型弾性体を用い, 内部に通したワイアで屈曲動作をさせている. ワイアは対抗した2本ずつの空気圧シリンダによる拮抗駆動をおこない先端部の力操作を可能としている.

この鉗子マニピュレータを含む空気圧駆動支援ロボットシステムを図5に示している. 鉗子マニピュレータは術師が操作するマスタデバイスのスレイブ側として動作する. 鉗子を支える保持マニピュレータは回転3自由度, 挿入方向の併進1自由度を有しており, これらの動きもすべて空気圧駆動である. マスタデバイスは鉗子先端と同じ6自由度の関節をもち, 両手でこれを操作すると鉗子も同期して動く. 空気圧アクチュエータの動作精度はあまり高くはないといわれるけれど, 外科手術のように人が直接操作する場合は, 人の動きの誤差範囲に十分に留まっており, 軽量でありながら高出力な空気圧の有用性が顕著である.

これらのシステムは現在東京医科歯科大学で実用化を目指している. 国際ルールにより医療機器は人体に及ぼす危険度が高いほど実用化までのハードルが高いため, 現在のところ, 空気圧駆動内視鏡操作システムが先行して市場に出るそうだ. これは鉗子マニピュレータの代わりに保持マニピュレータには内視鏡カメラを装着し, 術師が頭部に着用したジャ

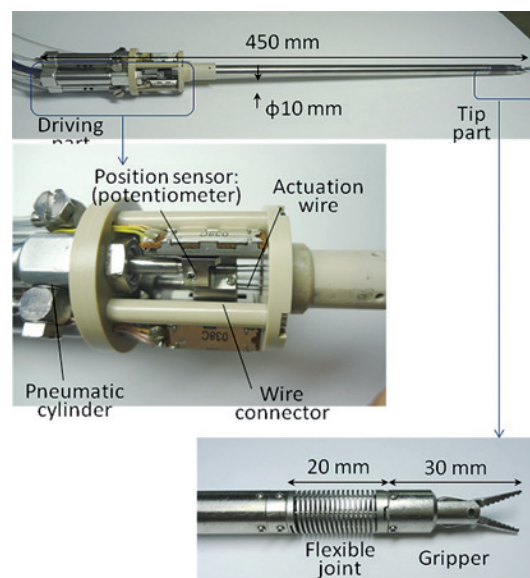


図4 空気圧駆動鉗子マニピュレータ (図提供: 川嶋先生)

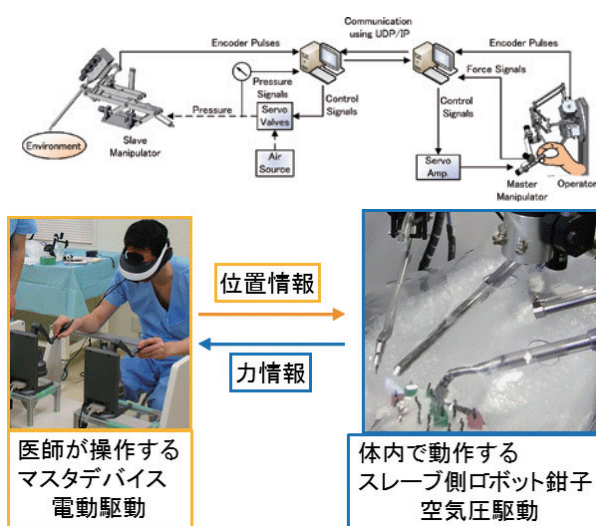


図5 空気圧駆動手術支援ロボット (図提供: 同上)

イロスコプを使って頭の動きを伝えて内視鏡の角度を操作する. 従来は内視鏡を保持して操作するだけの医師が加わっていたが不要になり, また術師の意図が直接内視鏡操作に伝達できる. さらに人が保持する場合発生していた内視鏡画面の揺れも抑制されるそうである.

4. 空気圧の介護への利用

ここは吉満先生の担当である. 介護・福祉用に最適な動力源として

- ・排気や汚染の危険がない
- ・人間特有の動作に対応した柔軟動作ができる
- ・コンパクトで保守点検が容易である

の条件を満たす必要がある. 空気圧機器はこれらに対応できるものとして有望である. 多くの研究者らの空気圧を使った介護・福祉用機器の研究があるこ

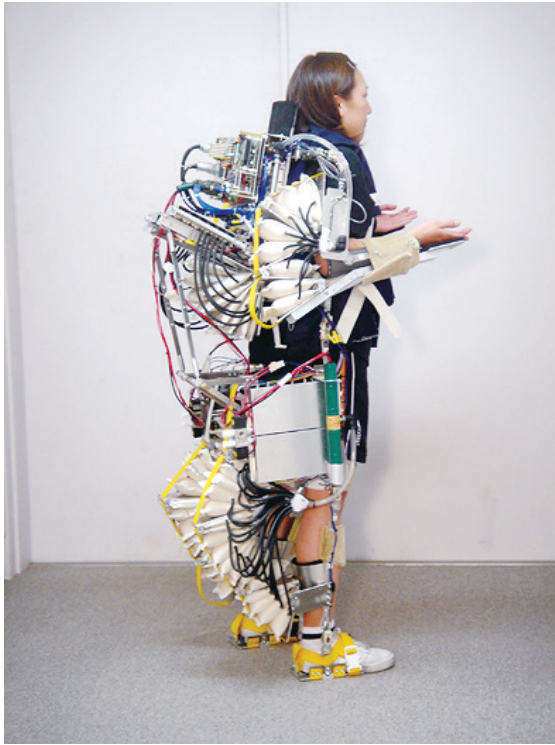


図6 空気圧パワードアシストスーツ (図提供：吉満先生)

との紹介があった。

介護者が直接着用する完全ウェアラブルパワードアシストスーツ³⁾を図6に示す。外殻に空気圧アクチュエータが取り付けられ、介護者の肘、腰および脚の動作を支援する。このために開発された空気圧アクチュエータはゴム製の圧力カフをジグザグ状に薄板に挟み込んだ構造で、通常の空気圧よりかなり低い圧力で動作する。アクチュエータは軽量の斜板式低圧マイクロエアポンプで駆動でき、ポンプもスーツに組み込まれている。支援する力は最大50パーセント程度であり、介護者がアシストスーツにより動かされているのではない。

介護者が発生している力の検出には、筋電波形などを使った方法が考えられるが、筋電の利用は介護者に電極を貼る煩わしさやノイズの影響などの困難もある。ウェアラブル空気圧パワードアシストスーツでは介護者の筋肉の硬さを圧電センサで計測して、発生している力を推定している。

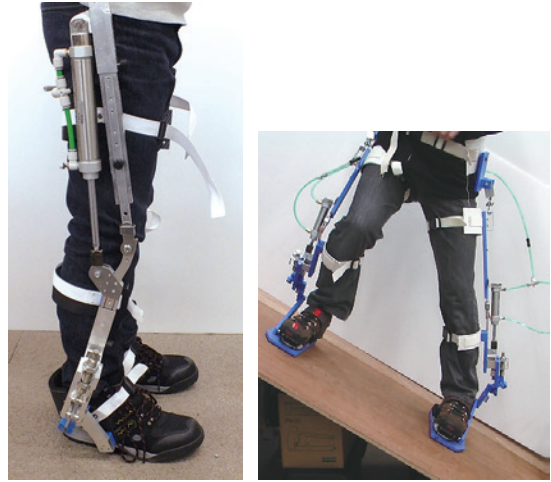


図7 空気圧レスキュー用アシストスーツ (図提供：同上)

図7は不整地などでの作業者の疲労を軽減し、浮き石を踏んだ時の捻挫予防をするなどの目的で開発されたレスキュー用アシストスーツである。空気圧はアクチュエータとして使うのではなく、軽量の空気圧シリンダをダンパとして利用し関節の急激な動きを保護している。

5. ま と め

空気はいうまでもなく、絶えず人に接している物質である。そのため空気圧の利用は古く、紀元前後には現在と同じ原理の、すなわち圧縮空気をノズルから吹き出して鳴らすパイプオルガンの図面が残されている。空気圧は動力源としてだけではなく、人の生活の中で今後も盛んに利用されてゆくであろう。

参考文献

- 1) 小山 紀：空中浮遊するボールを打つティーバッティングマシン，油空圧技術，Vol. 51, No. 6, p. 21-24 (2012)
- 2) 原口大輔，只野耕太郎，川嶋健嗣：柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 44, No. 6, p. 1763-1783 (2010)
- 3) 山本圭治郎，石井峰雄，兵頭和人：パワーアシストスーツの開発，JSME D&D2010, 649-1-4, (2010)

(原稿受付：2014年10月6日)

解説

IFPEX2014油圧セミナー 「油圧の魅力とその可能性に迫る」

著者紹介



た な か ゆたか
田 中 豊

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

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



写真1 セミナー会場の様子

1. はじめに

2014年9月17日から19日にかけて東京ビッグサイトにおいて開催されたIFPEX2014（第24回フルードパワー国際見本市）の会期最終日、日本フルードパワーシステム学会主催による油圧セミナー「油圧の魅力とその可能性に迫る！」が会場内のセミナー会場Bにおいて開催された。写真1に示すように、当日は100名ほど着席できる会場が常時満杯の盛況で、後ろには立ち見の参加者も見られた。本稿では、著者の企画と進行で進められたこのセミナーの4件の講演概要について述べる。

2. 油圧の特長と最新事例の紹介

まず著者により、油圧と電動や空気圧などのアクチュエータの性能比較を通して油圧の魅力が紹介され、油圧要素やシステムの最新事例を通してその動向や新たな可能性についての問題提起がなされた。

田中らは市販の油圧（11社474機種）・空気圧（6社477機種）・水圧（2社6機種）のフルードパワー駆動ピストンモータとAC（6社756機種）・DC（3社259機種）の電動駆動モータの性能データを調査¹⁾、図1に示すモータの自重 m とパワー密度 P_d の最新の調査結果²⁾を紹介した。油圧や水圧の液圧ピストンモータのパワー密度は、電動や空気圧モータに比べ1桁以上大きく、今後、図1の点線領域に相当する自重が100gでパワー密度が5W/g程度の液圧モータが実現できれば、大出力小形ロボッ

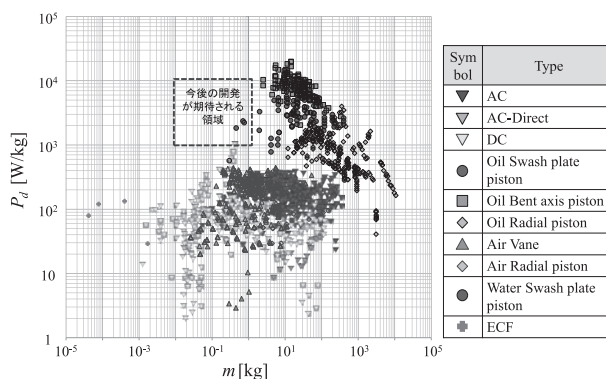


図1 各種アクチュエータのパワー密度の比較

トなどへの応用が期待できることが述べられた。さらに応答性を示す尺度であるパワーレート密度でも液圧モータや空気圧モータは電動モータに比べ優位であり、フルードパワーアクチュエータは電動と競合することなく、大きな出力密度と高応答性を有しており、より一層の小形化が、大きな可能性と新しい分野への展開を期待させることが指摘された。

後半では、材料開発と積層造形技術³⁾、エネルギー回生とアキュムレータ技術³⁾、油圧ハイブリッド建機⁴⁾、デジタル油圧変換器⁵⁾、油圧駆動人間型ロボットなどについての革新的な油圧要素とシステムの最新事例が紹介され、油圧の課題に取り組むプロジェクト立案の重要性や産官学による油圧の特長を活かしたFPコンソーシアムの設立や連携強化の重要性が述べられた。

3. 油圧の潤滑の奥義

つぎの講演は、室蘭工大教授の風間俊治氏により、油圧の特長を支える基盤技術としてのトライボロジー⁶⁾と克服すべき物理現象のひとつであるキャビテーション⁷⁾の観点から、油圧の魅力、奥義、動向が紹介された。

講演の前半では、図2に示すように容積式ポンプである油圧ポンプの圧力と速度の安定作動限界が(1)流体膜形成、(2)強度や変形、(3)発熱や熱平衡、(4)キャビテーション、で決まり、摺動部にはトライボロジー、相変化ではキャビテーションの壁が立ちはだかる事が紹介された。またトライボロジーの観点からは、作動流体(作動油)の改良や材料・表面処理の改良、静圧軸受の機構的な改良と最適設計⁸⁾がブレークスルーとなった事が指摘された。

後半では理論⁹⁾や技術開発の最新事例が紹介された。摺動部の圧力や温度による変形や絞り部のキャビテーションなどを考慮した連成モデルによる数値シミュレーション¹⁰⁾や理論・実験解析事例が紹介され、油圧ポンプ・モータ性能の予測が可能となりつつあることや、材料の表面加工としてのDLCや微細テクスチャ、キャビテーション壊食の防止策、作動油の低粘度化や高剛性化、気泡の分離除去などの技術開発事例が紹介された。油圧トライボロジーの世界の第一人者として、非常に示唆に富む内容の講演であった。

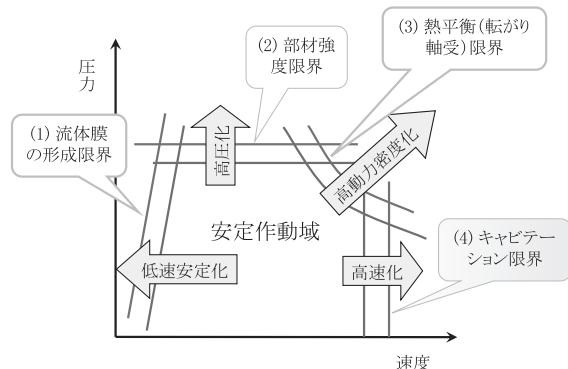


図2 油圧ポンプの安定作動域

4. 油圧ポンプ／モータの最新技術動向

3つ目の講演は、大見技術士事務所代表の大見康生氏により、油圧駆動システムの中心にあって重要機器である油圧ポンプ／モータの技術動向についての紹介があった。大見氏は長年、油圧機器メーカーで油圧ポンプ・モータの研究開発に携わってきた技術者で、その知識と経験に裏うちされた油圧ポン

プ・モータの性能の動向が解説された。

まず油圧ポンプ・モータ形式の分類と特徴、改良の要点が述べられた。油圧ポンプ・モータの出力は定格圧力と押しのけ容積(容量)、回転数の積で決まるため、高出力密度なポンプ・モータを開発するためには、高圧化、高傾転角度化(大容量化)、高速化、軽量化の技術課題を克服することが必要であることが指摘された¹¹⁾。

つぎにこれらの技術課題は、材料や表面改質技術による耐焼付き性の向上、部品寸法精度の向上、油圧バランスの最適設計、球面バルブプレートによる自吸性能の向上、斜板支持構造の改良などの対策の結果が大きいことが指摘された。図3は大見氏がこれまで開発に携わった斜板ポンプの性能の変遷である。技術課題の改良により、30年間で定格圧力は2.5倍、容量は1.5倍となり、出力密度は3.75倍に向上していることが紹介された。

さらに高効率化の観点からは、構成部品の諸元などからポンプ効率の予測がある程度可能となり、斜板式ポンプの最高効率は93%に達することなどが紹介された。また騒音の計測方法や振動測定方法が高度化し、筐体も含めた構造全体の振動シミュレーションが可能となったことが低騒音化に大きく寄与していることなどが紹介された。

最後に、油圧技術は歴史も古く、成熟した技術と言われているが、超小形ポンプ・モータなど新発想による新製品も生まれつつあり、油圧の本質を掘り下げ、計測や制御・解析技術を駆使してハイブリッド化することで、更なる付加価値の創造が期待できることが指摘された。

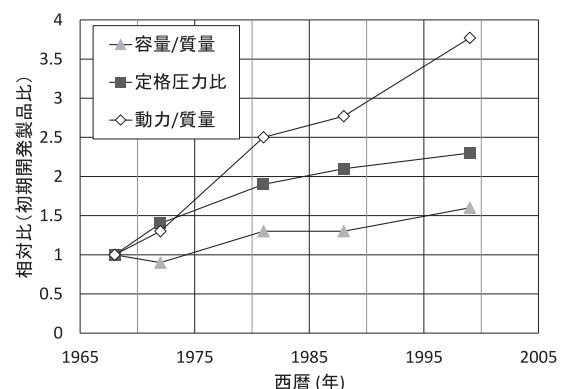


図3 ポンプ開発の変遷

5. 油圧作動油の最新動向

本セミナー最後の講演は、出光興産株式会社営業研究所主任研究員の藤浪行敏氏により、油圧作動油が油圧動力を伝える流体としての機能に加え、省エ

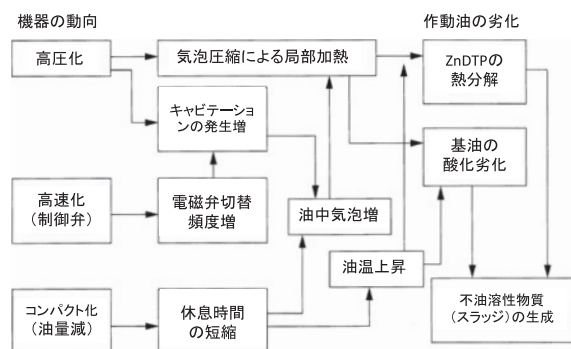


図4 亜鉛系作動油のスラッジ生成に対する影響因子

ネ・生分解・難燃性などさまざまな特性が付与された製品が登場していることを踏まえて、油圧作動油の最新技術動向の紹介が行われた。

最初に、油圧作動油の動向として油圧システムの高圧化・コンパクト化などにより油の使用環境が過酷になる中、耐摩耗剤として配合される亜鉛系の極圧添加剤（ジアルキルジチオリン酸亜鉛：ZnDTP）を原因とするスラッジや銅合金の腐食が問題視されてきたことが指摘された。図4にZnDTPのスラッジ発生の影響要因¹²⁾を示す。これらの対策として、スラッジの発生が非常に少ない非亜鉛系の耐摩耗型油圧作動油が開発されたことが紹介された、日本の作動油市場では、この非亜鉛系作動油の比率が増えつつあり、今後、世界でも使用が拡大していくことが予想されることが指摘された。

つぎに低温で粘度の増加を抑え始動時のエネルギーロスを低減したり、摺動部の摩擦係数を低減させたりする添加剤を配合した、省エネルギー型油圧作動油¹³⁾の市場が拡大していることが紹介された。

また2002年の消防法改正により、250℃以上の引火点を有する潤滑油が危険物（第4類第四石油類）から除外され、貯蔵や取扱いが容易になったことから、最近、高引火点型油圧作動油が開発されているとのことである。さらに生分解性油圧作動油の拡大や高剛性作動油などの今後の動向にも注視する必要があることなどが指摘された。

作動油は油圧システムの動力伝達媒体として、また摺動部の潤滑媒体として、その役割は大きい。油圧機器やシステムの研究者や技術者と作動油メーカーとのより一層の密な連携が必要である。

6. おわりに

本稿ではIFPEX2014の会場で開催された学会主催の油圧セミナー「油圧の魅力とその可能性に迫る！」の内容について紹介した。IFPEX2014の全体テーマである「超える技術、価値ある未来のものづくり。」を今後、日本が世界に先駆け持続的に発展させ、実現させていくにあたり、このセミナーの盛会は、本企画に携わった学会関係者として非常にうれしいことであるとともに、今後も学会が継続して、このような油圧セミナーを企画することが重要であることを痛感した。

参考文献

- 1) Tanaka, Y., Sakama, S., Nakano, K., Kosodo, H., Comparative Study on Dynamic Characteristics of Hydraulic, Pneumatic, and Electric Motors, Proc. ASME/BATH 2013 Symposium on Fluid Power & Motion Control, FPMC2013-4459 (2013).
- 2) Tanaka, Y., Sakama, S., Yokota, S., Nakano, K., Comparative Study on Performance of Fluid Power and Electric Actuators, Proc. 3rd China-Japan Joint Workshop on Fluid Power, pp. 53-57 (2014).
- 3) K. G. Strohmaier, P. M. Cronk, A. L. Knutson, J. D. Van de Ven, Experimental Studies of Viscous Loss in a Hydraulic Flywheel Accumulator Experimental Studies of Viscous Loss in a Hydraulic Flywheel Accumulator, Proc. IFPE2014 Technical Conference, No.6-1 (2014).
- 4) J. Zhang, Hydraulic Hybrid System for Swing Energy Recover and Reuse, Proc. IFPE2014 Technical Conference, No.19-2 (2014).
- 5) <http://digitalhydraulic.com/technology.html>
- 6) 山口惇：油圧機器の潤滑，潤滑，Vol. 31, No. 10, p. 658-690 (1986)
- 7) 加藤洋治：キャビテーション，槇書店 (2000)
- 8) 風間俊治：静圧軸受の最適設計，フルードパワーシステム，Vol. 33, No. 4, p. 210-215 (2002)
- 9) 風間俊治：フルードパワー機器のトライボロジーに関する理論の現状と研究の動向，フルードパワーシステム，Vol. 40, No. 4, p. 193-196 (2009)
- 10) Pelosi, M., Ivantysynova, M.: The Impact of Axial Piston Machines Mechanical Parts Constraint Conditions on the Thermo-Elastohydrodynamic Lubrication Analysis of the Fluid Film Interfaces, International Journal of Fluid Power, Vol. 14 (2013)
- 11) 大見康生，建設機械用油圧ポンプの高出力密度化，油空圧技術，Vol. 47, No. 7 (2008)
- 12) 松山雄一：油圧作動油からのランニングコスト低減，出光トライボレビュー，No. 27, p. 12 (2004)
- 13) 白神善隆：油圧作動油による省エネルギー，出光トライボレビュー，No. 27, p. 12 (2007)

（原稿受付：2014年10月2日）

解説

IFPEX2014見学記（カレッジ研究発表コーナー）

著者紹介

よし みつ とし ひろ
吉 満 俊 拓神奈川工科大学
神奈川工科大学創造工学部
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野1030
E-mail : yosimitu@rm.kanagawa-it.ac.jp

2000年明治大学大学院博士後期課程修了。同年神奈川工科大学工学部助手。現在は准教授。空気圧制御システムの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員。博士（工学）

1. はじめに

2014年9月17日～19日に第24回フルードパワー国際見本市／IFPEX2014（[社] 日本フルードパワー工業会、フジサンケイ ビジネスアイ共同主催）が東京ビッグサイト（東京国際展示場）にて開催された。今回も関係各位のご好意により、カレッジ研究発表コーナーが設けられた。本企画は、日本国内外の研究教育機関で多く行われている先端的な研究を、フルードパワーシステム関連の企業をはじめ多くの計測制御関連企業に対して広く発表していただくとともに、日本フルードパワーシステム学会の活動内容を多くの方々に知っていただくことを目的としている。毎回、多くの研究室が出展させてい



図1 カレッジコーナー概観

ただき、産学交流の場として好評をいただいている（図1）。

2. 展 示

大学や高等専門学校等の研究教育機関と企業との交流を深め、フルードパワーシステム技術の発展を促進するため、ポスター・機器展示を企画した。表1に出展研究室一覧とその展示内容を示す。北海道から九州まで全国のフルードパワーシステム学会会員の研究室から23の研究室・36の研究テーマが出展した。参加形態の分類は、ポスター展示（図2）・ポスターと機器の静物展示・ポスターと機器の動作展示（図3、4）となっている。



図2 ポスター展示

今回の発表について、空気圧分野では、福祉・医療分野に関する津山・奈良・沼津の各高等専門学校より3件の発表が行われた。また、岡山大学や明治大学による支援機器や足利工業大学による力センサ、東京医科歯科大学による医療支援機器など空気圧の柔軟性を積極的に利用した機器が多く発表された。

油圧分野では、足利工業大学や室蘭工業大学・法政大学らにより要素技術に関して発表された。出展内容に近いこともあり企業の方々の関心が高かったようである。

水圧・機能性流体分野では、芝浦工業大学による

水圧制御や、足利工業大学・上智大学・東京工業大学らによる機能性流体を用いた圧力源の研究や、東京電機大によるEHD現象を用いたアクチュエータ、横浜国立大学による磁気粘性流体制御に関する研究など多種多様な研究事例が発表された。



図3 ポスター・動態展示（油圧）



図4 ポスター・動態展示（空気圧）

3. 出展を通して

カレッジコーナーは通常の学術講演会や講習会などとは異なり、実際の機器を前にしながら研究の説明を行うことができるため、企業関係者に研究内容を直接アピールでき、興味を持つ企業関係者と研究のその後の方向に関連する意見交換を行うこともできた。加えて、学生諸君にとっても他に変えられない貴重な経験を与えてくれる場である。実験装置を動かすために必要な機器を調達し、普段の研究室とは異なる展示会場で動作させる。初めて見る来訪者に対してわかりやすい展示方法を工夫するなど、見せる技術を得られた。また、来訪者や先輩諸氏から質問や改善のアドバイスをいただき良い刺激をいただけた。

4. 学会主催セミナー・学生ツアー

第2日目・第3日目と2日に分けて空圧・油圧の最新技術動向についての学会主催セミナーが会場内ワークショップにて開かれた。おかげさまで両日とも多くの方々にお申し込みいただき盛況であった(図5)。



図5 学会主催セミナー

最終日には出展事務局主催の学生ツアーが開かれ、関東近県の大学生だけでなく高等専門学校や工業科高校より多数の生徒が見学ツアーに参加され、カレッジコーナーにも立ち寄っていただいた。説明に当たった学生らも自分たちよりも若い世代からの質問を受け良い刺激を受けたと感じた(図6)。



図6 学生ツアー

本企画は第17回IFPEX'95から始まったものであるが、おかげさまで各方面から非常に好評をいただいている。今後も産学交流の場として活用していただけることを期待している。

(原稿受付：2014年10月28日)

表1 IFPEX2014カレッジコーナー出展研究室・テーマ

学 校 名	研 究 室 名	出展研究室・テーマ
足利工業大学	工学部創生工学科 機械工学コース 桜井研究室	メッシュ電極形ECFポンプの電極間隔と性能の関係
足利工業大学	工学部創生工学科 機械工学コース 桜井研究室	顎関節症治療手技スカルケア実施時の力計測用センサーの動特性
足利工業大学	工学部創生工学科 機械工学コース 桜井研究室	漏れに起因する圧力低下抑制素子の提案
岡山大学	大学院自然科学研究科産業創成工学専攻 知能機械制御学研究室	空気圧を用いた福祉支援システムの開発
神奈川工科大学	創造工学部ロボットメカトロニクス学科 吉満研究室	レスキュー用アシストスーツ
芝浦工業大学	システム理工学部機械制御システム学科 伊藤研究室	水道水圧駆動マッキベン型人工筋のモデル化および変位制御
芝浦工業大学	システム理工学部機械制御システム学科 伊藤研究室	長管路を有する水圧システムにおけるシリンダのセンサレス速度制御
芝浦工業大学	機械制御システム学科 川上研究室	CFDを用いた空気圧管路系の流動解析
上智大学	理工学部機能創造理工学科 築地研究室	EHD流体を利用したポンプに関する研究
津山工業高等専門学校	電子制御工学科 谷口研究室	作業療法士の施術を目指した手指関節リハビリ装置の開発
東京工業大学	精密工学研究所 横田・吉田・金研究室	マイクロ液圧と機能性流体ECFを用いたマイクロ液圧源
東京工業大学	精密工学研究所 横田・吉田・金研究室	機能性流体ERFを用いたマイクロアクチュエータシステム
東京工業大学	大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 塚越研究室	Twin-tub式配管探索ロボット
東京工業大学	大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 塚越研究室	スライド式柔軟流体アクチュエータ
東京工業大学	大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 塚越研究室	飛行マニピュレータードア開け動作を目指してー
東京工業大学	精密工学研究所 香川・只野研究室	等温化容器を用いた差圧センサーの動特性試験装置の開発
東京工業大学	精密工学研究所 香川・只野研究室	エアパワーメータによる空気圧の消費エネルギー計測
東京医科歯科大学	生体材料工学研究所 川嶋・遠藤研究室	内視鏡把持ロボットののためのモーションセンサを用いた非接触型操縦インターフェースの提案
東京医科歯科大学	生体材料工学研究所 川嶋・遠藤研究室	手術支援ロボットの体内4自由度鉗子マニピュレータ
東京電機大学	工学部 機械工学科 医用精密工学研究室（三井研究室）	EHD（電気流体力学）現象を用いた流体型アクチュエータ
東京電機大学	工学部 機械工学科 藤田研究室	空気圧ベローズで駆動する微動ステージのナノ位置決め
奈良工業高等専門学校	電子制御工学科 早川研究室	高機能靴を用いた歩行訓練システムの開発
沼津工業高等専門学校	機械工学科 村松研究室	高齢者の姿勢保持と重心移動のための空気圧装置の開発
福岡工業大学	工学部 知能機械工学科 加藤研究室	HPQRを用いたエアタービンスピンドルの高ロバスト化と省エネルギー化
防衛大学校	システム工学群機械システム工学科 西海研究室	ヘルムホルツ型油圧サイレンサの容量形状と減衰特性
法政大学	デザイン工学部 高機能メカトロデザイン研究室	油中気泡の分離除去システム
法政大学	デザイン工学部 高機能メカトロデザイン研究室	油中気泡の分離除去による油圧システムの性能向上
法政大学	デザイン工学部 高機能メカトロデザイン研究室	気泡を含む油の体積弾性係数の測定
法政大学	デザイン工学部 高機能メカトロデザイン研究室	機能性流体による高機能メカトロシステムのデザイン
法政大学	デザイン工学部 高機能メカトロデザイン研究室	パラレルメカニズムの産業応用に関する研究
室蘭工業大学	大学院 もの創造系領域 風間研究室	フルードパワーサイエンス
明治大学	理工学部機械情報工学科 メカトロニクス研究室	ガス圧駆動による歩行支援装具
横浜国立大学	大学院工学研究院 眞田研究室	油圧制御技術とシミュレーション
横浜国立大学	大学院工学研究院 佐藤研究室	磁気粘性流体制御のための界磁機構の研究
横浜国立大学	大学院工学研究院 佐藤研究室	耐圧ベローズ気体ばね気密省エネシステムの研究
JFPS OHC-Sim 特別研究委員会	足利工大、九州工大、東電大、京都大 共同研究	油圧回路設計・動特性解析用シミュレーションパッケージ OHC-Sim Ver.2.7 with User Customized Function

ニュース

第三回日中ジョイントワークショップおよび 日中若手研究者交流報告

著者紹介



い とう かず ひさ
伊藤 和 寿

芝浦工業大学
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307
E-mail: kazu-ito@shibaura-it.ac.jp

1995年上智大学大学院博士前期課程修了。株式会社小松製作所、上智大学助手、鳥取大学准教授を経て、2011年芝浦工業大学教授。日本フルードパワーシステム学会、日本生物環境工学会、計測自動制御学会、電気学会等の会員。博士（工学）。



か とう とも のり
加藤 友 規

福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教。2012年同大学准教授。現在に至る。空気圧制御に関する研究に従事。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）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

日中間の研究交流事業は、JFPSの国際交流活動の中でも最も力を入れているものの一つであるが、2010年からは日中双方で5編ずつの研究論文を選出し、計10名が講演を行う日中ジョイントワークショップを開催している。第一回は蘭州工業大学、第二回は機械振興会館（2012年春季講演会に同期）でそれぞれ開催された。今回は太原理工大学（山西省）が幹事となって2014年8月14-15日に開催され、JFPSからは築地徹浩（上智大学教授、学会長）、池尾茂（上智大学名誉教授、元会長）、落合正巳（協立機電工業株式会社、元副会長）、田中豊（法政大学教授）、佐藤恭一（横浜国立大学教授）、高岩昌弘（岡山大学准教授）、小林亘（芝浦工業大学大学院博士課程学生）、坂間清子（法政大学大学院博士課程学生）、蕭欣志（油研工業株式会社OB）、范想想（法政大学大学院修士課程学生）、藤谷秀次（学会事務局長）、加藤友規、伊藤和寿（国際交流担当理事）の計13名が訪中した（以上、敬称略）。また、学会誌第45巻3号でも報告したが、2003年から始

まった日中若手研究者交流事業では、本年度は加藤友規が日本側若手研究者代表として中国側から招聘を受けた。

上記の二事業は、いずれも日中が互いの国内の学会に参加することで交流を促進することが狙いであり、それゆえ日中交流事業を除く一般講演はすべて中国語で行われるため、口頭発表内容はまったく理解できないもののスライド中の漢字や図表により要点は理解できるという不思議な状況である。以下、日程に沿って交流事業内容を報告する。

2. 第八回流体伝動および制御に関する学会

王祖温会長（大連海事大学学長）の挨拶で始まった学会は、参加者数350名、発表論文数115編（6分野）、参加大学28校、参加企業22社という規模であった。プレナリレクチャーでは、趙淳生院士（南京航空航天大学）が新型超音波モータの解析と設計について、楊華勇院士（浙江大学）が油圧試験装置の開発について、焦宗夏教授（北京航空航天大学）が航空機のフラップ用新型シリンダ制御系の開発について、それぞれ最新の研究成果に関する講演を行った。次いで、築地会長によるアキシシャルピストンポンプ部品のキャビテーション損傷メカニズムの解明を目的としたCFD解析および実験的可視化に関する講演が行われた（写真1）。

また沙宝森中国油圧工業学会会長は、現在の工業会



写真1 講演中の築地会長

の問題について論じた。興味深かったのは、現在の中国でもトップクラスの油空圧工学の研究室を卒業しても関連メーカーには入社せず、他業界の一般企業に就職する学生が急速に増えていることで、日本で20年ぐらいかけて起きてきた現象が、中国ではここ数年で起きているという点である。油空圧離れとも言えるこの状況は、今後も大きく成長するであろう中国のフルードパワー学会および市場にどのような影響を与えるかは注目に値する。

3. 太重榆次液压会社工場見学

プレナリレクチャーが行われた日の午後は、榆次液压工業有限公司への訪問が行われた（写真2）。同社は油研工業株式会社との合弁企業としてスタートし、現在では北京の華徳社と国内でトップ2の企業となっている。現在は約600名の従業員が、油圧ポンプ・モータ、バルブ、コンポーネントを設計、開発、製造している。



写真2 見学で訪問した榆次液压工業

我々が見学したのは鑄造部門であったが、鑄鉄を鑄型に流し込む際の一部の作業は人手で行われるなど、自動化がさほど進んでいない一方、日本国内ではほとんど発注のなくなった大型のコンポーネントが数多く出荷を待っている状況もあり、まさに30年前の日本を思わせるような印象であった（写真3）。現在も国内需要の半数以上を輸入品に依存する中国油圧業界は、高い品質の油圧機器、特に建機



写真3 油圧コンポーネント完成品保管場

用油圧機器を内製化するのが悲願であり、同社にも大きな期待が寄せられている。

4. 第三回日中ジョイントワークショップ

訪中した我々のメインイベントである日中ジョイントワークショップは、8月15日の午前中（8：30～12：00）に行われた。本ワークショップでは、日本側5件、中国側5件の計10件の講演があり、日中の講演が交互に行われた。なお本ワークショップの司会は浙江大学の徐兵教授と伊藤が担当した。10名の講演者名（敬称略）と題目を講演順に以下に記す。なお、本ワークショップのプログラム・論文集がすべて英語表記であったことより、中国側発表者の氏名を英語で記載させていただくことをご了承ください。

- 1) 高岩昌弘（岡山大学）：Development of Training Simulator for P.T. Using Pneumatic Parallel Manipulator
- 2) CHEN Guishun（上海交通大学）：Research on Double-axis Electro-hydraulic Proportional Loading System for Membrane Materials
- 3) 加藤友規（福岡工業大学）：Introduction of A Newly Developed Air Turbine Spindle with Rotation Control System for Ultra-precision Machining
- 4) WANG Tao（北京理工大学）：Study of the Friction Compensation for Pneumatic Servo System with A Booster Cylinder
- 5) 小林亘（芝浦工業大学）：Displacement Control of Water Hydraulic McKibben Muscle with Bouc-Wen Model
- 6) LIU Yinshui（華中科技大学）：Thermodynamic Modeling, Simulation and Experiments of An Axial Piston Water Hydraulic Pump
- 7) 佐藤恭一（横浜国立大学）：Electromagnetic Push-pull Bidirectional Actuator for Hydraulic Control Valve Operation
- 8) WANG Jinlin（蘭州理工大学）：Research on Visualization of Bubbles Flow in the Reservoir and Bubbles Separation
- 9) 田中豊（法政大学）：Comparative Study on Performance of Fluid Power and Electric Actuators
- 10) QUAN Lingxiao（燕山大学）：Vibration Characteristics Analysis of FSI Aviation Hydraulic Pipes Under Different Supporting Stiffness and Fluid Velocity

10件の講演の論文は、後述の若手招待講演の論

文と合せて計11件、約70ページの論文集として綺麗に製本され、参加者に配布された(写真4)。ワークショップでは、各講演について講演15分・質問5分の計20分が割当てられたが、どの講演の後にも会場側から沢山の質問があり、活発な議論が展開された(写真5)。また、ワークショップの閉会にあたり、司会を担当した伊藤が本ワークショップの意義と謝意を述べ、さらに今後の貴重な架け橋



写真4 日中ジョイントワークショップの講演論文集



写真5 日中ジョイントワークショップの様子



写真6 日中ジョイントワークショップ終了後の記念撮影

として今回日本から訪中した大学院生2名を紹介した。最後に、日中の関係者・講演者で記念撮影を行い(写真6)、ワークショップは無事に終了した。なお、写真6には24名しか写っていないが、これはワークショップの参加者のほんの一部であり、実際には会場内には約50名程度の参加者がいた。

5. 日中若手研究者交流事業

前述のとおり、日本フルードパワーシステム学会と中国機械工程学会流体伝動与控制分会は2003年から毎年、若手研究者交流事業を続けており、本年度は加藤が中国側から招聘され、特別講演を行った。この講演は日中共同ワークショップと同日の8月15日の午後(15:45～17:15)のセッションにて、閉会前の3件の特別講演のうちの2件目として実施された。演題は「Research on Pneumatics in Kato Laboratory, Fukuoka Institute of Technology」であり、講演時間25分・質問時間5分の計30分の講演であった(写真7)。講演ではまず、自己紹介と福岡工業大学の紹介をし、特に2012年11月に平成24年秋季フルードパワーシステム講演会が福岡工業大学を会場に開催されたことなどを紹介した。

その後、各研究テーマの紹介として、空気圧ゴム人工筋肉ロボットアームの遠隔操縦やリコーダー吹奏ロボット、鉄道台車の空気ばねの制御技術、などについて講演を行った。なお、閉会式直前のセッションということもあり、会場内はほぼ満席であった。

さて、日中のフルードパワーシステム研究者らの友好という点、お酒は抜きにはできない。特に会場となった太原は、中国三大白酒の一つである汾酒の産地であり、今回も中国側のリーダーや教授陣から手厚いもてなしをいただいた(写真8)。

会場には、現在の中国側リーダーの先生であったメンバの席も用意されており、80年代初頭から中野和夫先生(東京工業大学名誉教授、芝浦工業大学名誉教授)、高橋浩爾先生(上智大学名誉教授)を



写真7 日本側若手研究者代表として講演中の加藤



写真8 バンケット会場にて

良くご存じの史維祥先生（元西安交通大学学長）らも全日参加されていた。池尾先生と田中先生らと旧交を温めていらっしゃる姿は大変印象深く、学会交流における人と人とのつながりの強さと大切さを再認識した（写真9）。



写真9 バンケット会場出口にて（左から、池尾先生、史先生ご夫妻、田中先生、伊藤）

6. 総評およびアナウンス

今回帯同した二名の博士課程在籍者の紹介も含め、いわゆる中国側の長老世代から日本側の次々世代メンバまでの交流が図れたことは収穫であった。また、今回の交流活動では、定期講演会開催におけるJFPS事務局の支援のありがたさを強く感じる機会でもあった。つまり、中国の国内学会では、幹事校の教員、スタッフおよび学生らが開催事務の一切を担当することになっており、したがってその回によって、事前準備の要領、運営のコツ、支払いや領収書の管理、事務処理の堪どころなどの経験の有無に大きな差があるようである。今回の幹事校はこの辺りに大変なご苦勞をされているのが見て取れた。一方JFPSでは、企画委員会が年二回の定期講演会運営のノウハウを確実に継承、発展させており、また学会事務局にすべての経理を担当いただいているため、担当ワーキンググループは運営のみに専念できる。この差は非常に大きく、JFPSの素晴らしい事業分掌の一つであると再認識した。末筆ながら、現地での通訳および緊急時の対応をいただいた蕭老師と范さんに厚く御礼申し上げる。ありがとうございました。

なお、第4回日中ジョイントワークショップは、2年後の2016年に日本での開催を予定している。是非とも多くの方々にご参加いただきたく、今からお願い申し上げる次第である。

（原稿受付：2014年10月1日）

会議報告

MOVIC2014におけるフルードパワー技術研究動向

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 : ksanada@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。

1. はじめに

2014年8月4日から6日、札幌市にある札幌コンベンションセンターにおいて開催されたThe 12th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC2014)に参加した。本MOVICは、隔年で開催される運動と振動の制御に関する国際会議である。1992年に横浜で始まり、1994年、1996年、2002年は日本で、1998年はスイスで、2000年はオーストラリア、2004年は米国、2006年は韓国、2008年はドイツで開催されている。著者がオーガナイザーを担当したInvited Session “Future of Fluid Power”において、特別講演1件、および一般講演7件のフルードパワーに関する講演発表が行われた。今回、韓国から2名の先生にご講演をお願いできたことは特筆すべきことである。

2. 研究事例紹介

今回のInvited Sessionでは、韓国の李一永教授に基調講演を依頼した(図1)。電磁比例方向制御弁の制御特性を改善するための制御手法を考案し、実機実験により効果を明らかにした¹⁾。一般講演は20分であるが、基調講演には40分が割り当てられており、制御弁の特性改善のための、フィードバック・フィードフォワード制御系の構成法、オーバーラップによる不感帯の補償法、および実機実験による制御手法の効果の検証などについて、詳しくご講演いただくことができた。なお、李一永教授は、

2014~2015の任期でThe Korea Society of Fluid Power & Construction Equipmentsの会長を務めておられる。



図1 釜慶大学 李一永教授の特別講演

Tanakaら²⁾は、気泡が混入する油圧作動油の等価体積弾性係数を実測し、理論値と比較し、気泡混入の影響について考察した。

韓国のKorea Aerospace UniversityのHong教授³⁾(図2)は、DLCコーティングが、ピストンシュアの動力損失の低減効果に及ぼす影響について、実験的に明らかにした。

Katoら⁴⁾は、電動・空気圧ハイブリッド駆動によ



図2 Korea Aerospace University Yeh-Sun Hong教授の講演

る高精度垂直方向位置決め装置におけるバランス用シリンダの圧力脈動と位置決め精度の関係を明らかにし、高精度高速レギュレータ弁の効果を明らかにした。

Kazama⁵⁾は、斜板式アキシャルピストンポンプ、圧力平衡形ベーンポンプ、外接歯車ポンプについて、摺動部と作動油の温度を計測し、さまざまな運転条件における各部温度の傾向を明らかにした。

Kanezakiら⁶⁾は、歩行時の足裏荷重分布を実時間計測する高性能靴と、また歩行時の重心移動を再現できる評価装置を開発した。

Leeら⁷⁾は、粘弾性管路の波動伝播速度を測定する各種手法を実験的に調査してその長所と限界を整理し、新たな計測法を提案した。

Kishiら⁸⁾は、自動車用自動変速機の変速モデルを考案し、変速中のトルク相のトルクオブザーバによる制御手法、およびイナーシャ相の非干渉化制御を統合する手法を考案し、その効果をシミュレーションで明らかにした。

3. おわりに

今回、札幌で開催されたMOVIC2014は国際会議であるが、同様の国内講演会「運動と振動の制御」シンポジウムMOVIC2013は昨年九州産業大学において開催された。その講演会でもフルードパワーのオーガナイズドセッションを企画しており、今回の札幌での国際会議MOVIC2014のInvited Sessionの実施につながった。図3に、本Invited Sessionの参加者の集合写真を示す。フルードパワーのアクティビティをプレゼンスし続けることは重要であり、今後も同様の講演会があれば、継続して参加を検討し



図3 オーガナイズドセッション参加者

たい。次回の国際会議MOVIC2016は、2016年7月に、イギリスのサウザンプトン大学を会場として開催される予定である。

なお、本Invited Sessionの参加者が集い、サッポロビール園を会場として懇親の場を設けた。韓国の先生方もご参加くださり、ビールジョッキを片手に、新鮮なラム肉のジンギスカンと楽しい会話を堪能した。最後に、本セッションにご参加くださった先生方と学生の皆様に、誌上をお借りして謝意を表します。

参考文献

- 1) Ill-yeong Lee, Control schemes for an overlap type proportional directional control valve, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D21, 2014.
- 2) Yutaka Tanaka, Sayako Sakama, Hiroyuki Goto, Experimental investigation of effective bulk modulus of oil with entrained air bubbles, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D22, 2014.
- 3) Yeh-Sun Hong, Seong-Ryeol Lee, Chong-Hyeok Kim, Sang-Yul Lee, Effect of a DLC-thin film on improving the piston shoe's power losses under mixed friction operating conditions, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D23, 2014.
- 4) Tomonori Kato, Tetsuma Hirakawa, Shunta Honda, Hiromi Masuda, Investigation of pressure control in balancing cylinder for hybrid electric-pneumatic ultra-precision vertical positioning device, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D24, 2014.
- 5) Toshiharu Kazama, On thermal lubrication characteristics of hydraulic pumps-Comparison among piston, vane, and gear types, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D31, 2014.
- 6) Kazuma Kanezaki, Yasuhiri Hayakawa, Shogo Kawanaka, Shigeki Doi, Study on High-Performance Shoes for Walking Training, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D32, 2014.
- 7) Ill-Yeong Lee, A method for measuring frequency series wave speed in viscoelastic pipes, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D33, 2014.
- 8) Kazushi Sanada, Kazuki Kishi, Hideki Takamatsu, Kazufumi Toriya, Torque observer and decoupling control of automatic transmission, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2D34, 2014.

(原稿受付：2014年10月2日)

会議報告

FPMC2014におけるフルードパワー技術研究

著者紹介



きむ じゅうん わん
金 俊 完

東京工業大学 精密工学研究所
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町
4259-J3-12
E-mail : woodjoon@pi.titech.ac.jp

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

1. はじめに

Bath/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control（以下、FPMC）は、英国のバース大学（The University of Bath）とアメリカ機械学会（American Society of Mechanical Engineers, 以下、ASME）の共催で毎年秋に開催される国際的な研究交流集会であり、2009年から西暦奇数年にはASMEが主となりアメリカで、西暦偶数年にはバース大学が主になり英国で開催している。今年のFPMC2014は、バース大学がホストになり、学術ばかりでなく技術の視点からも情報交換を活発に行うことを目的に、(1) Fluids, lubrication and sealing, (2) Hydraulic pumps and motors, (3) Pneumatics, (4) Valves, (5) Novel hydraulic systems and components, (6) Digital hydraulics, (7) Efficient fluid power, (8) Modelling and fault detection, (9) Actuation and control, (10) Compact hydraulics and robotics, (11) Applications of fluid powerの11セッションにおける新たなアイデア、研究成果、今後の方向性を議論・討論した。1988年から開催され、今年で第27回を迎えるFPMC2014は、2014年9月10日から12日までバース大学のChancellors' Building（図1）で開かれた。FPMC2014の会議要約によると、本国際会議は、幅広い分野から42件の一般講演（図2）、1件の基調講演、技術情報交流会（図3）などで構成され、14カ国から70人以上の参加者らが活発な議論を行なった。本報告では、

これらの研究発表を要素技術と、応用システムの大枠に分類し、代表的な研究成果について紹介する。



図1 FPMC2014の会場であるChancellors' Building



図2 講演会場での発表の様子



図3 技術情報交流会の様子

2. フルードパワー技術に関する発表

2.1 フルードパワーの要素技術

FPMC2014では、要素技術の中、(1)オイル中の空気量の計測に関する研究、(2)仮想的可変容量形ポンプのためのソフトスイッチを紹介する。

Schrankらは、気泡発生などによるオイル中の空気量を測定することを目的として、機械的、光学的、電気的な方法を提案し、この効果を実験的に検討している¹⁾。自作のテストベンチを用いて、4種類の方法を試みた結果、これらの長所と短所(表1)を確認している¹⁾。

表1 オイル中の空気量の測定方法とその結果¹⁾

方法	努力	精度	流れへの影響
圧縮率	×	○	×
写真撮影	○	×	○
オリフィス流による密度	×	△	△
誘電率	○	×	○

Beckstrandらは、可変容量形ポンプの代替手段として提案された固定容量形ポンプと高速バルブを用いた仮想可変容量形ポンプの問題点を克服することを目的として、ソフトスイッチを用いた新たな仮想可変容量形ポンプを提案している²⁾。高速バルブの開閉に伴う圧縮エネルギー損失を減らすために、小容量の可変チェンバーを有するソフトスイッチを流体回路に設置し、この有効性を実験的に確認している²⁾。

2.2 フルードパワーの応用システム

FPMC2014で発表された応用システムの研究として、(1)偏心チューブ形マイクロアクチュエータとECFマイクロポンプを融合したECFハンドシステム、(2)波エネルギー変換装置用のフルサイズシリンダーの制御システムの構築について紹介する。

Kimらは、大きい曲げと高いパワーを特長とするマイクロハンドの実現を目的として、ECFジェットによる圧力と偏心チューブ形マイクロアクチュエータを融合したECFハンドシステム(図4)を提案している³⁾。この研究では、空気圧を用いて、2種類の異なる形状(図5)の偏心チューブ形マイクロアクチュエータの特性(図6)を明確にしている。また、ECFマイクロポンプを一体化したシステムでECFハンドの動作を実験的に確認している³⁾。

Hansenらは、デンマークの波エネルギー変換装置WAVESTARを開発することを目的とし、個別のフルサイズシリンダーからなるテストベンチを用いて制御方法を開発している⁴⁾。このシステムでは、バルブの高速スイッチングによる多様な動的問題が発

生していたが、伝送線路を小さな質量要素に分散させるモデルを用いて解決方法を検討している⁴⁾。

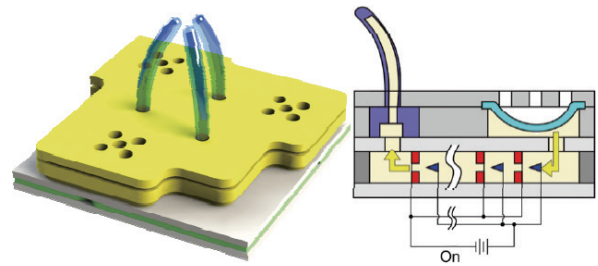


図4 ECFハンドの構成と駆動原理³⁾

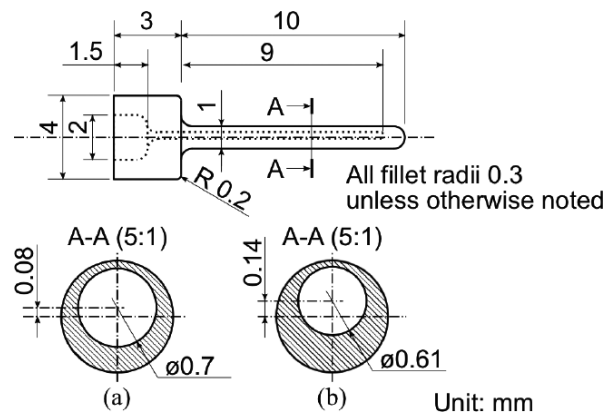


図5 偏心チューブマイクロアクチュエータの寸法³⁾

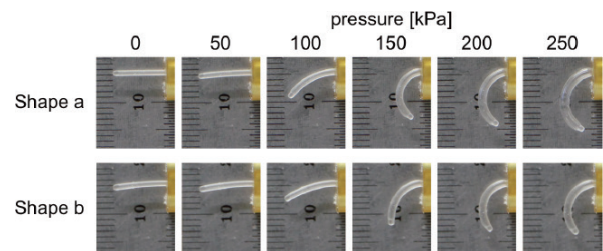


図6 偏心チューブ形マイクロアクチュエータの動作実験³⁾

3. おわりに

FPMC2014はフルードパワー関連研究のみの会議であり、参加者らによる深い議論ができる長所がある。今後、この分野でのさらなる発展を期待する。

参考文献

- 1) K. Scharank, H. Murrenhoff, and C. Stammen : Proc. of the ASME/BATH FPMC2014, p. V001T01A017-1-8 (2014)
- 2) B. Beckstrand and J. Van de Ven : Proc. of the ASME/BATH FPMC2014, p. V001T01A038-1-9 (2014)
- 3) J. KIM, S. Yokota, M. Satoh, and K. Edamura : Proc. of the ASME/BATH FPMC2014, p. V001T01A029-1-4 (2014)
- 4) R. Hansen, T. Andersen, H. Pedersen, and A. Hansen : Proc. of the ASME/BATH FPMC2014, p. V001T01A021-1-10 (2014)

(原稿受付：2014年12月17日)

教室

入門講座「トライボロジー」

第4回：潤滑について

著者紹介



かざ ま とし はる
風 間 俊 治

室蘭工業大学大学院
〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1
E-mail: kazama@mmm.muroran-it.ac.jp

1988年横浜国立大学大学院修了。2005年室蘭工業大学教授、現在に至る。主に、トライボロジー、キャビテーション、設計工学などの教育研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本トライボロジー学会、日本機械学会等の会員。博士（工学）。

1. はじめに

第1回から第3回の「表面」、「摩擦」、「摩耗」に続き、今回は「潤滑」の基礎について解説する。

2. 「潤滑」について

2.1 潤滑モード

しゅう動部の固体同士の摩擦や摩耗を低減させるために、両表面間のすきまに流体の薄い膜を形成させる。これを「潤滑」¹⁾という。しばしば以下の3つのモードに分けられる。なお、説明を簡略にするため、流体は液体潤滑剤（潤滑油、作動油）とする。

- i) 流体潤滑：潤滑油の粘度が支配的な潤滑状態である。すきまは表面粗さに比べて十分に大きく、粗さの影響は無視し得る。固体接触は生じない。軸受やしゅう動部に作用する荷重は、油膜に発生する圧力で支持される。摩擦力は、潤滑油の粘度で定まる。
- ii) 混合潤滑：潤滑油が介在するとともに、表面粗さ突起同士の干渉や接触が生じる潤滑状態である。すきまは表面粗さと同程度の大きさである。荷重は接触する粗さ突起と油膜の両方で支持される。摩擦力は、接触する粗さ突起部の固体摩擦、吸着膜のせん断応力、潤滑油の粘性摩擦などが複合された値となる。
- iii) 境界潤滑：固体の表面の層（表面層）やその表面に吸着する膜（吸着膜）の特性が支配的な潤滑状態である。荷重は接触する粗さ突起部で支

持される。摩擦力は接触する粗さ突起部の固体摩擦で概ね定まる。荷重や速度の大きい場合、突起変形やしゅう動発熱が顕著となり、局所的あるいは大局的に摩耗や焼付きに至る場合がある。

2.2 摩擦特性線図

以上の特性は、一般に図1の実線のようなグラフに整理することができる。横軸にしゅう動状態を表す無次元のパラメータ（軸受特性数） $G (= \mu U/w)$ 。ここに、 μ ：潤滑油の粘度、 U ：滑り速度、 w ：単位幅当りの荷重）を、縦軸に摩擦力 F の無次元量（摩擦係数） $f (= F/W)$ 。ここに、 W ：荷重）を採り、Stribeck線図と呼ばれる。すきまの大小との関連が強いので、すきま比（粗さに対するすきまの比） Λ と G の関係を同図に併記する。

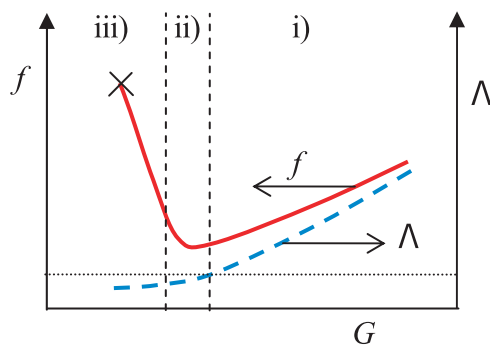


図1 潤滑モードとStribeck線図

3. 潤滑の数理モデル

3.1 すきま流れに対する仮定

ふたつの固体壁面に挟まれた狭い空間（たとえば、代表すきまと代表長さの比が 10^{-3} 程度）における流れ場に適用することを考える。一般的に用いられる仮定は以下の通りである。

- i) 粘性力が支配的である（慣性力は無視できる）
- ii) 体積力は働かない
- iii) 流れは層流である
- iv) 流体はNewton流体である
- v) すきまは十分に狭い

- vi) 流体と固体壁面との間に滑りは生じない
- vii) すきま方向に圧力変化はない
- viii) 流体の圧縮性は無視できる

3.2 Reynolds 方程式

図2を用いて、すきま h 内の流れを考える²⁾。図示のように x 軸と z 軸をとる。下面は静止、上面は x 軸方向に速度 U_2 （また、 z 軸方向に速度 W_2 ）で運動するとおく。

いま、仮定 i) と ii) より慣性力や体積力を無視すると、図中の微小要素（検査体積）に働く x 軸方向の力の釣り合いは次式となる。ただし、紙面の垂直方向に単位長さ1をとる。また、 p は圧力であり、 τ_{zx} は z 軸に垂直な面の x 軸方向に働くせん断応力である。

$$\begin{aligned} & -\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx\right) dz \times 1 + p dz \times 1 \\ & + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz\right) dx \times 1 - \tau_{zx} dx \times 1 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

上式を整理して

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (2)$$

ここで、仮定 iii), iv) より、Newton流体の層流に対する関係式

$$\tau_{zx} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3)$$

を式(2)に代入すれば、粘度 μ 一定のもとに、仮定 v) より x 軸方向の釣り合い式は

$$\frac{dp}{dx} = \mu \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (4)$$

仮定 vi) に基づいて、次の境界条件

$$\begin{aligned} u &= 0 \quad \text{at } z = 0 \\ u &= U_2 \quad \text{at } z = h \end{aligned} \quad (5)$$

を用いて、仮定 vii) のもとに、式(4)を z 軸方向に2

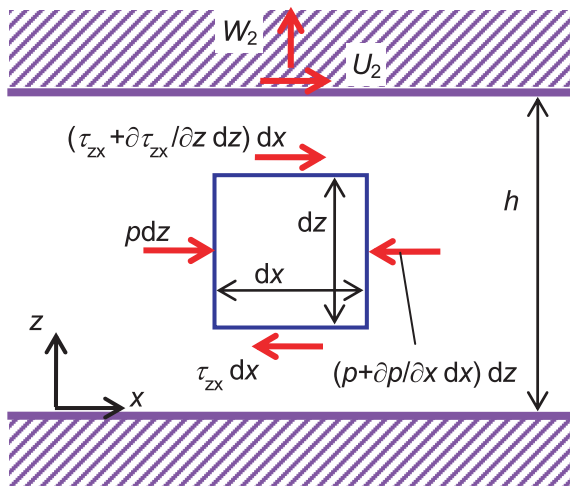


図2 流体中の微小要素に働く力

回積分すると、 x 軸方向の流速 u は

$$u = \frac{-1}{2\mu} \frac{dp}{dx} z(h-z) + \frac{z}{h} U_2 \quad (6)$$

連続の式（流れ場に対する質量保存則）は、仮定 viii) より、非圧縮性の場合

$$\frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz} = 0 \quad (7)$$

これをすきま方向に、つまり $z = 0 \sim h$ にわたり積分すると

$$\int_0^h \frac{du}{dx} dz + w|_0^h = 0 \quad (8)$$

式(6)を式(8)に代入して、さらに

$$\begin{aligned} w &= 0 \quad \text{at } z = 0 \\ w &= W_2 \quad \text{at } z = h \end{aligned} \quad (9)$$

を用いて、仮定 vii) のもとに整理すると

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = -6U_2 \frac{dh}{dx} + 12W_2 \quad (10)$$

これが、すきまの圧力分布を与える（1次元の）Reynolds 方程式である。

4. すきまの流れ

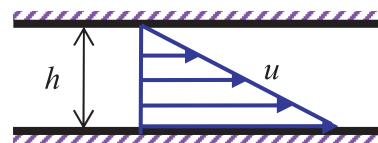
4.1 流速の分布

Newton流体とした場合、すきまの流れは図3に示すような、速度分布が直線状のせん断流れと放物線状の圧力流れの重ね合わせで取り扱うことができる。式(6)の第2項が前者、第1項が後者である。前者をCouette流れ、後者をPoiseuille流れとも呼ぶ。

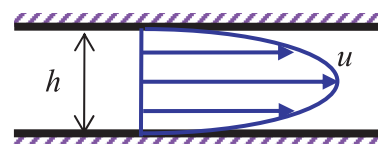
4.2 圧力の発生機構

すきまを構成する壁面の運動による圧力発生のメカニズムは、図4に示すような3作用に分類できる。

a) 絞り膜作用：2面の接近に伴い、そのすきま内部の流体が絞り出される際に、流体の粘性に基

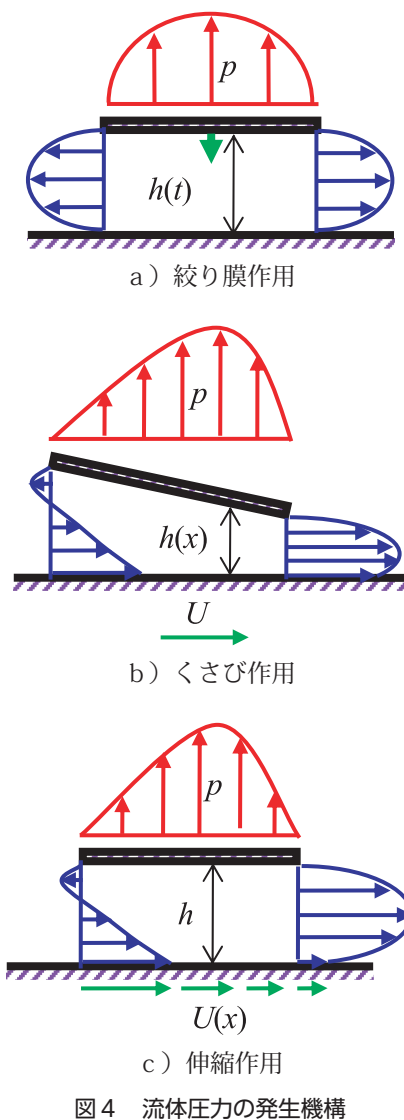


a) せん断流れ



b) 圧力流れ

図3 すきまの流れ



づく抵抗により圧力が発生する機構である。

- b) くさび作用：入口部のすきまよりも出口部のすきまの方が小さい場合、流体が押し込まれることにより圧力が発生する機構である。
- c) 伸縮作用：固体表面の滑り速度が滑り方向に減少する場合に生じる圧力発生機構である。

5. ク イ ズ

5.1 入門レベル【流れの重ね合わせ】

すきまを構成する壁面の一方が静止，他方が一定速度で滑り，かつその両端で圧力差がある場合の速度分布を描いてみよう。

5.2 基礎レベル【レイノルズ方程式】

図4の各作用に対するReynolds方程式はどのよ

うに表されるか。

5.3 応用レベル【圧力発生機構】

一様なすきまを構成する滑らかな剛体壁面の一方が静止，他方が上下運動なく一定速度で滑る場合，式(10)より（粘度一定であれば）圧力は生じない。圧力発生の可能性は考えられないだろうか。

附録

略解1

図3のa)，b)の速度 u を足し合わせて，下図となる。

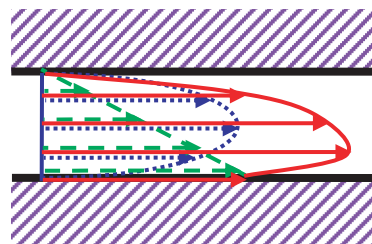


図5 流速分布

略解2

式(10)を参考に，図4のa)，b)，c)に対して，それぞれ

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = 12 \frac{dh(t)}{dt} \quad (11)$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = 6U \frac{dh(x)}{dx} \quad (12)$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = 6h \frac{dU(x)}{dx} \quad (13)$$

略解3

平行すきまであっても，滑り方向に温度が上昇する場合には，流体の熱膨張により圧力が発生する（熱くさび作用）。また，すきま方向に温度差がある場合には，流体粘度の差異より圧力が発生する（粘性くさび作用）³⁾。

参考文献

- 1) 堀幸夫：流体潤滑，養賢堂（2002）
- 2) 風間俊治：すきま流れの理論と液圧機器のトライボロジー，フルードパワーシステム，Vol. 39, No. 2, p. 103-106（2008）
- 3) 山本雄二，兼田もと宏：トライボロジー，理工学社（1998）

（原稿受付：2014年8月24日）

トピックス

学会と産業界との連携に向けて フルードパワー人材育成への産学連携 1

著者紹介



さとう やすかず
佐藤 恭一

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 : yasukazu@ynu.ac.jp

1992年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学講師、准教授を経て、2012年同大学院工学研究科教授、現在に至る。油圧動力の伝達、制御、メカトロニクスに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、自動車技術会などの会員。博士(工学)。

1. はじめに

フルードパワーに関わる研究開発成果を社会に広めてゆく、また、経済活動に直接結びつけていく活動のひとつに産学連携が挙げられる。大学などのアカデミックな研究活動と民間企業の商業活動・研究開発活動を結び付けるいわゆる共同研究や受託研究に限らず、学会と産業界との連携強化も産学連携の一形態であろう。そこで、当号より1年間の連載形式で産学連携に関するトピックスを企画し、学会と産業界との連携の取り組みや、大学・民間企業間の共同研究事例を紹介していく。当トピックスを通じて、フルードパワーが産と学に密接に関わる有用な技術であり、その両者を結び付ける産学連携の意義を示していければ幸いである。

今回は、日本フルードパワーシステム学会の常置委員会である基盤強化委員会が主体となって実施している企画の「フルードパワー道場」と、20年以上前から継続的に開催されており、通算120回を超える開催の「フルードパワーシステム特別研修会」の活動を紹介する。どちらも、企業の若手からベテランの多数の技術者、研究者が参加され、各自がフルードパワーに関わる研鑽を積み重ねるとともに、産・学、産・産の人の交流やネットワークづくりが行われており、学会と産業界の産学連携として活発な活動が進められている。

次回以降は次のようなトピックスを企画している。第2回では年1回開催されている「油空圧講座」を紹介する。企業の技術者、研究者を主な対象とした油空圧技術に関する講義と実技からなる教育講座である。昨今、大学では油圧、空気圧に関する講義が

少なく、または無くなっており、在学中にフルードパワーに関する教育を受けずにフルードパワーの企業に就職する技術者、研究者も多いと聞く。当講座は、油圧、空気圧技術を体系的に講義するとともに、実技も伴うユニークな講座であり、企業の新人教育の一部と連携がとられることも期待される。第3回は「出前講義」を紹介する。文字通り、大学教員が企業に出向いて行う講義であり、卓上実験装置を持参して、流体の諸現象の教育が行われている。第4回は日本フルードパワーシステム学会が公開している研究者リストを紹介する。企業で課題となっている研究、開発における問題の相談先、共同研究先を調べる上での有用なデータベースとなることが期待される。第5回は、海外における学協会と企業との強力な連携事例として、米国のNFPA (National Fluid Power Association)、CCEFP (The Center for Compact and Efficient Fluid Power) における産学連携の事例を取り上げる予定である。海外では、フルードパワー分野の産学連携が多様な形態で活発に行われており、日本の産学連携の状況から見ても見本となることも多いであろう。第6回(最終回)は、フルードパワーに関する大学と企業との共同研究の具体的な成功例を紹介する。

2. 「フルードパワー道場」の紹介

「フルードパワー道場」は年4回開催の教育、研修企画であり、学会の基盤強化委員会と企画委員会が交互に担当年のテーマを企画していた「若手育成フルードパワー道場」を前身とする。当初は、企業の若手技術者を参加対象としていたが、2013年度からは、基盤強化委員会が企画し、タイトルから「若手」を外し、幅広い年代を対象とした育成講座に発展している。2014年度は「フルードパワー道場9」が開催されているが、9は「若手育成フルードパワー道場」から通算して9年目ということである。

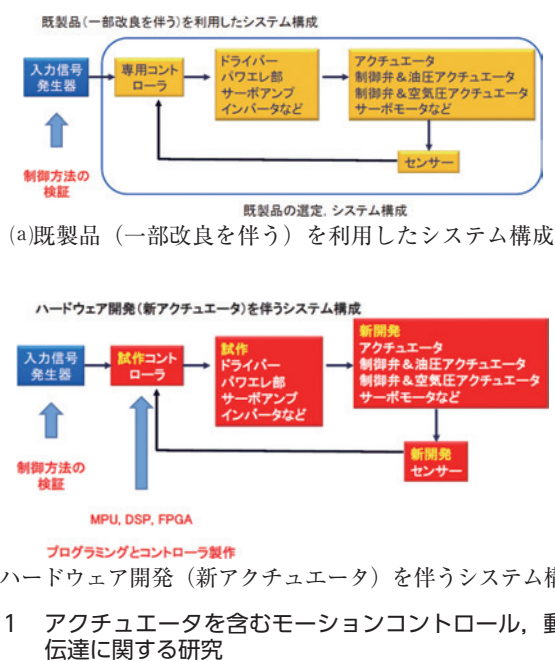
「フルードパワー道場」の発足趣旨は、直近の知識や経験の不足など、わが国のものづくり産業が抱える多くの問題が指摘されている状況の中、知識や経験を伝承し共有する面からも、明日のフルードパワーを担う技術者の方々に積極的に学会活動に参加し、企業と学会、企業と企業のヒューマンネットワークを築く交流の場を設けることが大切であると

の観点によるもので、これらの方々に企業と学会、企業間での橋渡しを担っていただく契機を提供する狙いがある。そこで、技術者に軸足を置いた横断的な交流を目指し、学会でなければできないサロンの雰囲気企画「若手育成フルードパワー道場」が2006年に発足した次第である。

これまでの年間テーマを表1に示す。筆者は、2013年度（8期）第3回の「フルードパワー道場」の講師を担当させていただく機会があったので、参考として、その講義内容を紹介したい。テーマは「研究・開発におけるデジタルコントローラの活用」であり、開発機器のコントローラをDSP（Digital Signal Processor）にて短時間に実現する手法の講義と、筆者の研究室の見学、および講義に関連した実習を行った。その概要は、アクチュエータの制御、駆動用のプログラムを作成する際、プログラムのコード書きはデバッグも含めて時間がかかる。そこで、プログラムコードは省略し、制御システムをブロック線図で表現してそれを直接DSPにアップロードして短時間でコントローラを構成する方法を講義し、そのデジタルコントローラを使った油圧アクチュエータ制御やHILS（Hardware-In-the-Loop Simulation）への適用事例を、研究室の装置を用いた実習を交えて紹介するというものである。図1に示すように、研究、開発において、既製品のアクチュエータを用いてシステム構成する場合、そのアクチュエータ用の既製品のドライバーやセンサー類も利用でき、研究者は、各機器の調整や、どのような入力信号を生成するかに注力できる。一方、新しいアクチュエータを開発するような研究開発過程では、それ用のドライバーやコントローラも併せて開発する必要がある。コントローラには、通常、MPU（Micro-processing unit）、DSP、FPGA（field-programmable gate array）などが用いられ、その素子に合わせて、プログラミングが行われる。この開発過程を、大学研究室特有のスケジュール管理の面から見ると、まず、学生一人が研究テーマを担当しているということ、企業との共同研究を除くと卒業研究、修士論文研究の年数回の審査での成果発表や、学会への論文投稿に向けた、中期的な研究スケジュールとなること、研究がまとまるのはその学生が卒業間際であるということ、などの特徴が挙げられる。この特徴ゆえに、研究テーマをさらに発展させて次年度に継続する場合、研究テーマの前任担当学生と後任担当学生間の不完全な情報共有、不完全な技術伝承が生じることがあり、大学教員の悩みの種となる。具体的には、実験上のノウハウ、コツが伝承されなかったり、作成者のみが理解でき第三者が理解に戸惑うプログラムが引き継がれたりして、研究の連続性の欠損、研究開発の非効率化が生じることがある。その解決策の一つに、システムモデルを用いた開発プロセス全体での学生間、学生と教員間の円滑なコミュニケーションがあるであろう。仕

表1 フルードパワー道場のテーマ

年度	期	テーマ
2014	9	モデルベース開発の事例
2013	8	フルードパワーに生かせる電子回路技術
2012	7	フルードパワーに生かせるメカトロニクス教室
2011	6	気になるフルードパワー—フルードパワーの前縁—
2010	5	フルードパワーの魅力発掘セミナー (毎回、個別のテーマを設定)
2009	4	
2008	3	
2007	2	
2006	1	
各期 年4回開催		
第1～7期：若手育成フルードパワー道場		
第8期～：フルードパワー道場		



様・要求決め、設計、実装、テストを開発プロセスの各段階に対応したモデルを用いて行う、いわゆる、モデルベース開発である。また、システムモデルをベースに、解析用のCAEモデルや、HILSのシミュレータのモデルへの展開も可能となる。当講義では、筆者の研究室の実験機器を用いて、HILSによるモータ駆動系のコントローラ設計の実演を行った（図2）。参加者からは、当講義で紹介した内容、特に不完全な情報共有、不完全な技術伝承については、企業でも同様に困っていることであるとの意見があり、大学と企業の研究開発過程における共通の課題について、活発に議論することができ、有意義な機会であったと思う。

「フルードパワー道場」では、年間テーマに沿って、興味深い講座の企画が進められている。通年

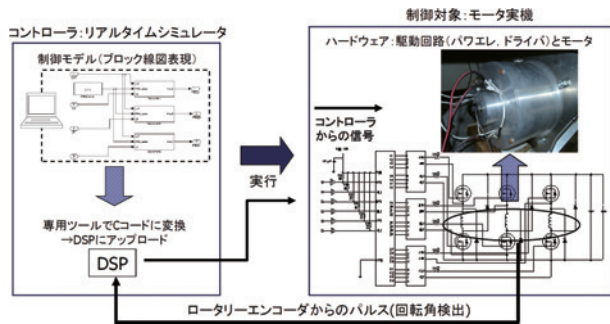


図2 HILSを用いたモータ駆動系開発(コントローラのシミュレータで多様な制御モデルを検証, およびドライバとモータのシミュレータで, 多様な仕様のモータ制御を検証)

(年4回)の参加登録と, 1回毎の参加登録が可能である。ぜひ, 学会・産業界の連携の一環として, 積極的にご参加を検討いただきたい。

3. 「フルードパワーシステム特別研修会」の紹介

「フルードパワーシステム特別研修会」(以下, 研修会)では, フルードパワーおよび周辺関連分野の知見の修得を通して参加委員の研鑽の場を提供することを目的とし, 新技術や研究の動向, 課題提起などについて, 第一線の講師による講演と参加者の活発な技術討議が行えるセミナー形式の会合を年5, 6回開催している。回によっては, セミナーに代えて, 参加者の関心である企業, 研究機関, 施設などの見学を企画し, 参加委員の見聞を広める活動も行っている。

委員は, 産(企業)と学(大学, 研究機関)により構成され, 学会ならではのテーマによる話題提供や, 見学先の選定が行われている。また, 年間を通して委員が固定されているので, もちろん代理参加も可能ではあるが, 同じ関心や課題を持つ研究者, 技術者の交流と, ネットワークづくりも促進される。

研修会の発足は, 当学会が前身の日本油空圧学会であった1990年7月である。その後, 開催回数を重ね, 2014年12月には第122回研修会を開催するに至った。前述の「フルードパワー道場」が, 当初は企業の若手技術者を対象としていたのに対し, 研修会は発足当初から, 中堅からベテランの技術者, 研究者を対象としており, フルードパワーに関してより踏み込んだ議論を行っている。研修会では, 参加委員は懇談を通して親交が深まり, 産学や企業間の垣根を低くして集中した意見交換ができるので, 単なる情報収集の機会だけではなく, フルードパワーに関わる人の交流としても有意義な会となっている。表2にこれまでの研修会の概要を示す。

表2 これまでのフルードパワーシステム特別研修会のテーマ

	テーマ
第122回	「加速器, 粒子測定の研究施設」高エネルギー加速器研究機構 見学と講演
第121回	「トンネル掘進機 製造の見学」見学と講演
第120回	「空気圧駆動を用いた手術支援ロボットシステム」見学と講演
第119回	「鉄道車両用電機品一製造事業所見学」見学
第118回	「流体工学・流れ可視化技術と精密加工技術」見学と講演
第117回	「ものづくり技術のグローバル化ー日本の建設機械製造業の国際競争力, 油空圧分野におけるISO活動体験記, 生産技術者の役割に対する日欧の理解のギャップ」講演
第116回	「空気圧を用いた福祉機器, ロボット, アシストスーツ」見学と講演
第115回	「機能性流体応用技術, 燃料電池技術, メカトロニクス関連の技術」講演
第114回	「大型自動車組立工場見学とハイブリッドシステムに関する技術講演」自動車メーカー 見学と講演
第113回	「空気圧メーカー 工場, 研究センター見学」空気圧メーカー 見学
第112回	「陸上装備のフルードパワー利用を含む研究試験設備」防衛省技術研究本部陸上装備研究所 見学
第111回	「水槽実験施設の最新技術」海上技術安全研究所 見学
第110回	「熱電発電技術, 空気圧応用技術, リラクタンスモータの動向」講演
...	

現在, 筆者が研修会の委員長を担当している。研修会は, 7月からの1年間の通年の参加登録であるが, 期の途中からでも, 参加を希望される場合は学会事務局, または委員長にご相談いただきたい。

4. おわりに

フルードパワーに関わる研鑽を積める場であり, また, 産・学, 産・産の人の交流やネットワークづくりが行われる, 学会と産業界の産学連携の活動を紹介した。次号以降も, 産学連携に関わる興味深い企画を紹介していくので, ご期待いただきたい。

(原稿受付: 2014年11月17日)

研究室紹介

防衛大学校機械システム工学科流体システム講座

著者紹介

にし うみ たか お
西海孝夫防衛大学校機械システム工学科
〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20
E-mail: nishiumi@nda.ac.jp

1976年青山学院大学理工学部機械工学科卒業、1979年成蹊大学大学院工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了、1983年成蹊大学助手、1992年防衛大学校助手などを経て、現在 同教授、油圧に関する教育研究に従事、日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会の会員、博士（工学）。

いち やなぎ たか よし
一柳隆義防衛大学校機械システム工学科
〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20
E-mail: ichiyama@nda.ac.jp

2001年神奈川大学大学院博士後期課程修了、同年防衛大学校機械システム工学科助手、同大学校助教、講師を経て、2014年同大学校准教授、現在に至る。流体伝播振動、流体計測の研究に従事、日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員、博士（工学）。

くり ばやし てつ や
栗林哲也防衛大学校理工学研究科後期課程
〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20
E-mail: ed12006@nda.ac.jp

2012年防衛大学校理工学研究科前期課程修了、現在、同校理工学研究科後期課程に在籍。油圧システムにおける圧力脈動に関する研究に従事、日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会の会員。

1. はじめに

防衛大学校は、自衛隊幹部を養成する教育機関として1952年に保安大学校として設立され、三浦半島の観音崎に近く、東京湾を眼下に望む景勝地にある。流体システム講座は、本科（学部相当）ではシステム工学群機械システム工学科に、研究科（大学院相当）では機械工学専攻熱流体応用工学大講座に所属しており西海孝夫 教授、一柳隆義 准教授、研究科後期課程学生2名（うち、民間企業よりの受託教育1名）、同前期課程学生1名、そして本科4学年の卒研学生5名から構成されている（図1）。

防衛大学校流体システム講座では、フルードパワーシステムの高性能・高機能化を目指し、とくに

油圧を中心として流体を扱う機器やシステムに係わる教育や研究に携わっている。本稿では、主な教育研究テーマについて、その概要と今までの研究成果を紹介する。



図1 流体システム講座のメンバー

2. 研究テーマ

2.1 油圧システムにおける圧力脈動の低減

油圧システムの低振動・低騒音化は、環境問題が叫ばれる中で、早期に解決が望まれる重要な課題の一つである。油圧システムの圧力脈動は、容積形ポンプからの吐出し流量脈動に起因して生じ、油圧管路内の流体を介して伝わり油圧騒音の主要因の一つとなっている。このような油圧回路にて発生する流体伝ば騒音を抑制することを目的として、圧力脈動を低減するための油圧回路設計の指針およびサイレンサの減衰性能に関する研究を行っている。

油圧管路内における圧力脈動の共振現象を避けるためには、ポンプの運転周波数と定在波の共振周波数が一致しないように接続管路の長さを設計することが重要となる。そこで、回路の終端条件をさまざまに変え、図2に示すような定在波の共振現象について調べている¹⁾。また、サイレンサに関しては、ヘルムホルツ型油圧サイレンサの容量部形状が減衰特性に及ぼす影響について研究している。とくに図3のような容量部が扁平形状の場合について新しい数学モデルを構築し、実験結果と比較している²⁾。

2.2 油圧サーボ系のニューラルネット制御

図4に示す人間の脳神経細胞の信号伝達特性を模擬したニューラルネットは、非線形特性を改善し柔軟な適応学習能力を有していることから、その適用

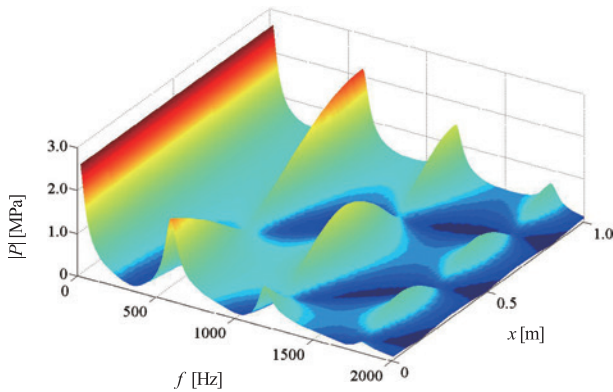


図2 管路中の定在波（終端が絞り弁の場合）

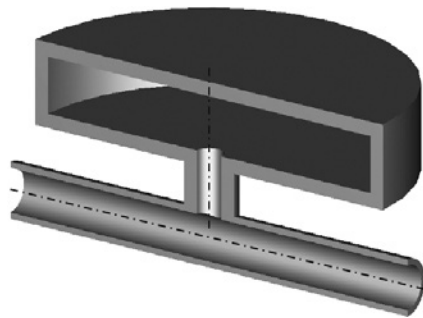


図3 容量部が扁平なヘルムホルツ型油圧サイレンサ

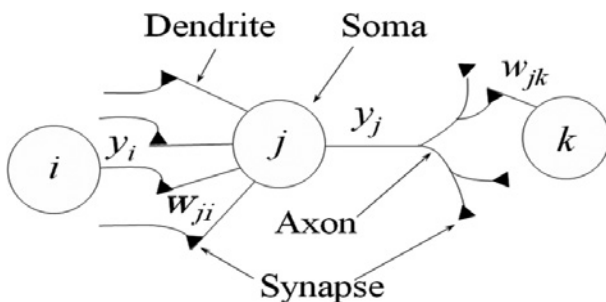


図4 ニューラルネット

研究が盛んになされてきた。この非線形写像能力を持つニューラルネット補償器を用い、種々の外乱に対してロバストな油圧サーボアクチュエータの速度および位置制御システムを構築し、油圧サーボ系における応答性や定常性の改善を図っている³⁾。とくに、非線形特性が強い油圧アクチュエータで問題とされている低速度領域での不感帯特性を克服するために、微小信号を重ねたニューラルネット補償器を導入することによって制御性能を大幅に向上させている。また、ニューラルネットとオブザーバを併用することによって油圧サーボ系の特性を向上させている⁴⁾。

2.3 自励振動法による油圧機器の動特性パラメータ推定

サーボバルブや油圧アクチュエータなど応答性の高い油圧機器の前段に非線形要素を設け、このシステムから生じる自励振動の波形から流体機器の動特性パラメータを容易に推定する方法、いわゆる自励振動法を提案している。また、リアルタイムで動特

性パラメータが推定できること、記述関数法によって解析的に係数が求められることを実験的に示している⁵⁾。本手法は、海外の研究者によって空気圧サーボにも適用されており、その有効性が確認されている。

2.4 横流体力を利用した流量測定法

図5に著者らが提案している流量測定法の基本原理を示す。本流量計は、片面の中央部がわずかに細くなった板状の受圧体が矩形管路内に置かれた構造となっている。流体が上下の流路すきまを流れると、流れの不均衡が原因となり、受圧体の両面には流量に比例した圧力差が生じる。この圧力差の分布は、中心O回りに流量 Q に比例した力のモーメントを発生するため、中心軸Oに生じるトルク T を検出することで流量 Q を計測することができる⁶⁾。

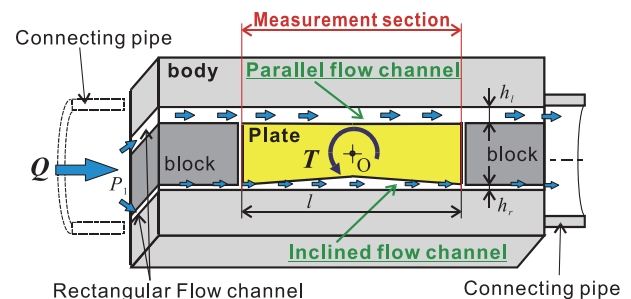


図5 流量測定法概念

2.5 容積形ポンプの内部挙動に関する研究

ベーンポンプのベーン挙動を理論的かつ実験的に調べ、ベーン先端が摺動面より離れ、容積効率の低下や騒音を誘発する現象を定量的に解明している⁷⁾。また、その要因であるポンプ室内の過剰な圧力上昇を低減するために可変容積室を設け、ベーンの離間を抑制することにより、効率向上や低騒音化を実現している。さらに、二対のベーンからなるデュアルベーンの挙動をシミュレーション解析し、実験結果と対比することで、本方式が流体潤滑特性に優れることを明らかにしている。そのほかに、ピストンポンプや歯車ポンプについても、現場で起こるさまざまなトラブルや物理現象の解明を目的に解析や実験を実施している。

2.6 パイロット用耐Gスーツの開発

航空機が飛行中に旋回運動などを行うとき、頭から脚方向への加速度負荷(G)が人体に働くと、血液が下部に集中して脳貧血状態となり、視覚障害や意識喪失などを引き起こす。図6に示す耐Gスーツの着用は、このような致命的な医学的症状の対策として、空気圧により下半身を圧迫して血液を上半身に送り、脳内血流量の低下を防ぐことにある。近年の航空機の性能向上にともない、高い応答特性を持つ耐Gスーツの開発が急務とされており、その構造や圧力制御方式の見直しを行っている⁸⁾。たとえば、パイロットの生体情報や航空機の飛行諸元をコンピュー

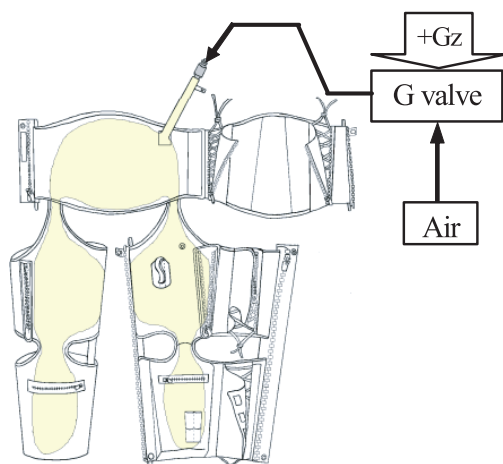


図6 耐Gスーツ

タで解析して、最適な圧力で耐Gスーツを作動させることを検討している。

2.7 油圧ロータリ制御バルブの基本特性

油圧ロータリ制御バルブは、スプールを軸方向では無く、回転方向に動かして作動油の流路を切替えるバルブで、いわゆる電気入力信号の関数として流量制御する直動形サーボ弁に属する。本バルブは図7に示すように、回転スプール、回転スリーブ、ボディの主要部品から構成されており、スプールとスリーブがそれぞれ独立して回転できるのが特徴である。この機構により、回転方向に対する機械式油圧フィードバックのサーボシステムが構成でき、変位制御だけでなくスリーブが回転することで角速度制御も可能となる。このようなバルブに対して、静特性試験を実施し、ポート配列の影響やスプールとスリーブ間のすきま寸法の影響などを調べ、流量制御特性の改善を図っている⁹⁾。

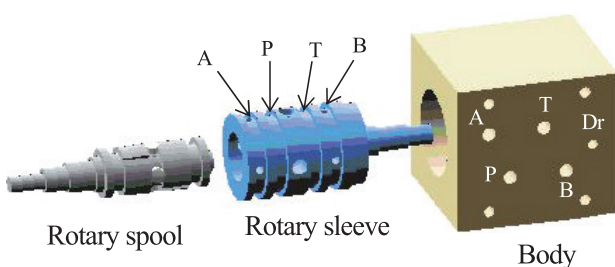


図7 ロータリ制御バルブの構造

3. おわりに

以上のように流体システム研究室では、ポンプやバルブなど流体機器の内部挙動の把握、人工知能を用いた油圧制御システムの構築、新たな流量計測法の提案、油圧サーボのシステム同定、流体システムの低振動や低騒音化などに関するフルードパワーの研究を進めている。『油圧機器・システムにおける諸問題の解決』などで民間企業からの受託研究・教育制度が確立しており、産学連携を図ることができ

る。

一方、教育科目としては、本科学生に対し流体力学、流体機械、機械システム要素設計、研究科学生に対し電気油圧制御特論、流体システム、流体動力システムの教育科目を担当している。それらの授業の中では、拙著^{10)~13)}を用いながら、機械システムの中で流体の力学や油圧がどのように重要な役割を果たしているかをアピールしながら、講義を行っている。

参考文献

- 1) 一柳, 栗林, 西海: 正規化終端インピーダンスの複素パラメータと油圧管路内圧力脈動の定在波の関連性(数値計算による共振モードの遷移の解析), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 44, No. 5, p. 102-109 (2013)
- 2) 栗林, 一柳, 西海: ヘルムホルツ型油圧サイレンサの減衰特性に関する研究(容量およびネックの寸法形状が減衰特性に及ぼす影響), 日本機械学会論文集, Vol.80, No. 814, 2014fe0150, p. 1-16 (2014)
- 3) 西海, 加藤, 原口, 一柳: 油圧サーボモータ系のモデリングにもとづくニューラルネットワーク角速度補償器の設計, 日本機械学会論文集B編, Vol. 71, No. 712, p. 2941-2948 (2005)
- 4) 加藤, 西海: ニューラルネットとオブザーバを用いた油圧サーボ系の制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 39, No. 5, p. 95-101 (2005)
- 5) 西海, 一柳, 加藤, 小波: 自励振動法を用いた油圧サーボアクチュエータ系の実時間パラメータ推定(積分要素と2次遅れ要素から成る近似伝達関数のオンライン同定), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 36, No. 1, p. 1-7 (2005)
- 6) 西海, 一柳, 小波: 管路内の静止テーパ物体に働く横流体力を利用した流量計の研究(静特性の解析と測定評価), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 35, No. 4, p. 63-69 (2004)
- 7) 西海, 小波, 前田: デュアルベーンポンプのベーン離間とその抑制, 日本油空圧学会論文集, Vol. 33, No. 7, p. 156-161 (2002)
- 8) 加藤, 西海: 航空機操縦者用空気圧耐Gスーツの圧力制御(耐スーツの圧力応答特性), 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, p. 38-40 (2008)
- 9) 一柳, 西海, 金道, 高谷: 油圧ロータリ制御バルブの基本特性, 日本機械学会2006年度年次大会講演論文集 Vol. 2, p. 325-326 (2006)
- 10) 小波, 西海: 油圧制御システム, 東京電機大学出版局 (1999)
- 11) 西海: 図解はじめて学ぶ流体の力学, 日刊工業新聞社 (2010)
- 12) 西海: 絵とき油圧の基礎のきそ, 日刊工業新聞社 (2012)
- 13) 西海, 一柳: 演習で学ぶ「流体の力学」入門, 秀和システム (2013)

(原稿受付: 2014年8月23日)

コーヒーブレイク

ブラマー氏の水圧機 はじめての水圧編

大 橋 彰

((一社) 日本フルードパワー工業会)

本格的な水圧機

前号¹⁾までは水を利用する装置の話が主体であり、圧力の利用は補助的なものだった。今回は本格的な水圧(油圧)の話、元祖・水圧プレスを紹介する。パスカルの原理のわかりやすい応用例でもある。

図1に英国の博物館に保存・展示されている水圧プレスを示し、図2に1795年のPatent Hydraulic Pressに記載されたイラストを示す²⁾。この図は油圧の歴史を語る上でよく引用される。図3は島津製作所創業記念資料館にあるブラマー氏水圧機模型であり、島津理化学器械目録500号(1937)には¥75.00の記載がある³⁾。このような模型を世に出した島津製作所には敬意を表したい。

原理についての説明はここでは不要と思われるが、これまでに取り上げてきた題材の流れをみると、井戸ポンプや消火用ポンプなどが水そのものの機能を使うための構造(機構)であるのに対し、この水圧機は水を本格的に圧力媒体として使用する最初の例ということになる。以後、1800年代に各種水圧機器・装置が発明され、1900年代にそれらが油圧に置き換わり、油圧駆動方式として飛躍的に発展する。そして今、再び水圧が環境融和性のある駆動方式として見直されていることはご承知のことと思う。

興味深いのは、理化学器械目録では、この水圧機とパスカルの原理説明器が液体力学の頁に分類され、吸上げポンプ、押しポンプ、消火ポンプなどの水ポンプが気体力学と分類されていることである。吸上、押し上の命名の由来がわかるような気がする。

なお、Joseph Bramah (1748-1814) は、イギリスの天才的発明家であり、水圧プレスのほかに水洗便所の改良版、高性能な錠前、パブのビール供給ポンプ、お札の番号印刷機など数多くの新しい装置を生み出した発明家として知られている。

さて、この続編として油圧機器のルーツめぐりを期待する方もおられるだろうが、稿ができ次第ということにし、ひとまず連載を終えさせていただく。

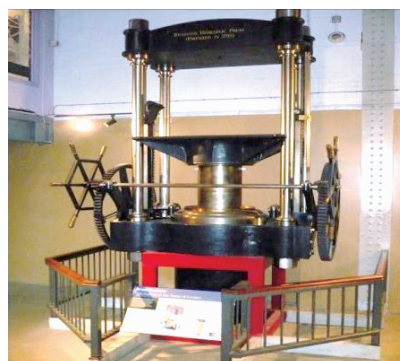


図1 水圧プレスの写真

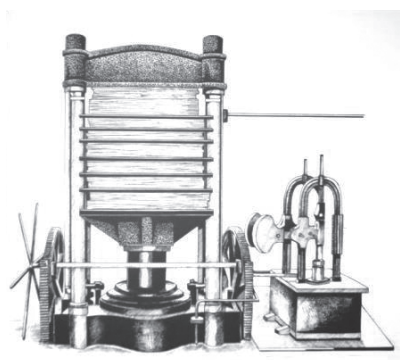


図2 水圧プレスのイラスト



図3 ブラマー氏水圧機模型

参考文献

- 1) 大橋, 手押し消防ポンプ しゅくみ編, フルードパワーシステム, Vol.45 No.6 (2014.11), p296
- 2) <http://www.priorycampus.co.uk/rhlg/roggins.php?p=bramah>
1795 Hydraulic Press, Patent No.2045-on display at Kelham Island Industrial Museum Sheffield
- 3) 島津理化学器械目録500号 (1937)

会 告

〈理事会・委員会日程〉

12月25日	委員長会議
1月22日	情報システム委員会
1月27日	理事会
1月28日	基盤強化委員会
2月3日	編集委員会

〈第3回理事会〉

11月25日 10:00～11:30 機械振興会館
地下3階B3—3号室（出席者14名）

- 1) フェロー認定推薦状況について
- 2) 第9回国際シンポジウム松江の開催報告
- 3) 第10回国際シンポジウム福岡の進捗報告
- 4) 学会ロゴマークの商標について
- 5) 会員の推移と入退会者について
- 6) 学会財務基盤の強化の進捗状況
- 7) 各委員会からの報告
- 8) その他

〈委員会報告〉

第3回委員長会議開催要領

11月10日 10:00～11:30 機械振興会館
地下3階B3—8号室（出席者4名）

- 1) 平成26年度フェロー認定者推薦状況について
- 2) 国際シンポジウム松江の開催報告
- 3) 国際シンポジウム福岡2017について
- 4) 学会ロゴマークの商標について
- 5) 学会の財務基盤の強化の進捗状況について
- 6) 各委員会からの報告
- 7) 今後の予定

第3回基盤強化委員会

11月13日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3—9号室（出席者12名）

- 1) 会員サービス、会員数増加について
- 2) 外部への情報発信について

- 3) フルードパワー育成道場について
- 4) フルードパワー・バーチャルミュージアムについて
- 5) HPのよろず相談について
- 6) 掲載広告について
- 7) その他

第3回企画委員会

12月5日 15:00～17:00 機械振興会館
地下3階B3—9号室（出席者17名）

- 1) 平成26年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・オータムセミナーについて
 - ・ウインターセミナーについて
 - ・その他
- 2) 平成27年度実施の事業に関する報告・審議事項
 - ・平成27年春季講演会及び併設セミナーについて
 - ・平成27年秋季講演会について
 - ・オータムセミナーについて
 - ・ウインターセミナーについて
 - ・その他
- 3) その他審議・確認事項
 - ・平成26年度オータムセミナー予告会告について
 - ・平成26年度ウインターセミナー本会告について
 - ・平成27年度春季講演会予告会告
 - ・WGの構成について
 - ・その他

第3回編集委員会

11月28日 14:00～17:00 東京工業大学大岡山キャンパス南5号館2F207会議室（出席者15名）

- 1) 学会誌特集号の現状と企画について
 - ・Vol.46 No.1「IFPEX2014特集号」
 - ・Vol.46 No.2「フルードパワーにおける故障予知技術」
 - ・Vol.46 No.3「国際シンポジウム21014（案）」
 - ・Vol.46 No.4「農業、食品関係（案）」
- 2) その他
 - ・トピックスについて
 - ・原稿確認マニュアルについて
 - ・Vol.46 No.5について
 - ・47巻表紙カラーについて

会 告

「名誉会員 竹中俊夫氏の逝去を悼む」

(平成26年11月1日ご逝去)



ご略歴

大正15年7月16日生

昭和22年 東京工業大学附属工業専門部機械科卒業

昭和25年 東京工業大学応用物理学コース卒業

昭和26年 東京工業大学助手

昭和37年 工学博士（東京工業大学）

昭和37年 東京工業大学助教授

昭和44年 東京工業大学教授

昭和51年 東京工業大学教務部長

昭和53年 東京工業大学工学部長・評議員

昭和60年 哈爾濱工業大学顧問教授

昭和61年 北京工業学院(現北京理工大学)顧問教授

昭和61年 西安交通大学顧問教授

昭和62年 東京工業大学名誉教授

昭和62年 武蔵工業大学教授

平成4年 (株)蔵前工業会専務理事・事務局長

平成9年 (財)手島工業教育資金団常務理事・事務局長

昭和54年～昭和55年 関東工学教育協会会長

昭和54年～昭和55年 (株)日本工学教育協会副会長

昭和59年～昭和63年 (株)日本油空圧学会副会長

昭和63年～平成2年 (株)日本油空圧学会会長

平成4年～ (株)日本機械学会名誉員

平成4年～ (株)日本油空圧学会名誉会員

本学会元会長 東京工業大学名誉教授 竹中俊夫先生は、病氣療養中のところ、去る11月1日88歳にてご逝去されました。

先生は昭和26年より長きにわたり、流量計測法ならびに油圧工学に関する先駆的研究を数多くされました。なかでも各種流量計測技術の開発や円すい弁をはじめとする流量制御弁の流量特性の解明さらに弁制御にともなう管内流れの過渡現象の解析と応用など、我が国の油圧工学の体系化を他に先駆けて行った研究者として最近の流体制御工学および技術に大きく貢献されました。

特に昭和30年代に行われた円すい弁の流量係数やスラストについてのきわめて詳細な実験ならびに解析によって得られたデータは、リリーフ弁をはじめとする多様な油圧制御弁に存在する円すい絞りの流量特性に密接に関連するもので、現在においても文献を遡って引用される基礎データとして、弁の設計や解析に欠くことのできない重要な資料となっています。

ここに竹中俊夫先生の油空圧工学ならびに本学会に対する長年にわたる多大なご貢献に対して深く感謝申し上げますとともに、ご冥福を心からお祈り申し上げます。

会長 築地 徹浩（上智大学）

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27年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー 「フルードパワーにおける故障予知技術」のお知らせ

開催日：平成27年5月27日（水）

開催趣旨：

平成27年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーは平成27年5月27日（水）に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本講演会では、フルードパワー分野における故障予知について、要素およびシステムの両面から企業の具体的な事例や最新の研究・技術開発成果についてご発表をいただ

きます。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認をいただきますようお願いいたします。

なお、日本フルードパワーシステム学会誌46巻2号（2015年3月号）が当日の講演資料となりますので、各自ご持参をいただきますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

フルードパワー道場10 「トライボロジーの基礎知識」開催のお知らせ

開催趣旨：

本学会は技術者に軸足を置いた横断的な交流を目指し「フルードパワー道場」を2006年度より開催しております。フルードパワーではシールや滑り軸受けなどが重要な構成要素です。しかしながらこれらの特性、すなわちトライボロジーに関わる知識の習得は、ノウハウにより阻まれることも多く困難を伴います。このような観点から2015年度のフルードパワー

道場10は「トライボロジーの基礎知識」と題した企画内容とします。

開催時期：2015年5月、8月、11月、2016年2月（予定）

参加費：5万円（4回分一括）（賛助会員企業の方なら、会員、非会員を問わず参加できます。）、1万8千円（1回参加のみ）

参加者定員：20名（定員になり次第締め切ります）

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 平成27年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ

開催日：平成27年5月28日（木）・29日（金）

開催趣旨：

平成27年春季フルードパワーシステム講演会は平成27年5月28日（木）・29日（金）に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、特別講演「自律型電動マルチロータヘリ・ミニサーバイヤーの現状と展望」・オーガナイズドセッション「機能性流体テクノロジー

の新展開」、「フルードパワーで支える医療、福祉の発展」・製品技術紹介セッションや技術懇談会などを企画する予定です。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認いただきますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

平成27年春季フルードパワーシステム講演会併設企画 「製品・技術紹介セッション」のお知らせ

開催日：平成27年5月29日（金）

開催趣旨：

本講演会では、企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただくオーガナイズドセッション（「製品・技術紹介セッション」）の通算16回目の開催を企画しました。本企画は、企業関係の方々に、現在、企業がお持ちの製品・技術あるいは検討課題などを、学会主要行事の1つである講演会で発表していた

だき、会員間で問題意識を共有し、会員相互の研究・技術の交流の促進を図ろうとするものです。また、本セッションの講演は、平成15年より表彰事業の1つとして設立された「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります。企業関係の会員みなさまの参加を心より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26年度 ウインターセミナーのお知らせ
「大型機械・大型施設で活躍するフルードパワー」
 開催日：平成27年3月2日（月）午後13時～16時20分

開催趣旨：

様々な分野で液压技術が活躍しております。昨年のウインターセミナーで大変好評であった「大型機械と油圧技術」の第二弾として、本セミナーにおいても、大型機械や大型施設で活躍する液压技術の現状と今後の可能性について展望したいと思います。

開催日時：平成27年3月2日（月）

午後13時～16時20分

開催場所：機械振興会館本館地下3階B3-1
 （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 員 移 動

会員の種類	正 会 員	海 外 会 員	学 生 会 員	賛 助 会 員
会 員 数 (12月10日現在)	940	15	124	136
差 引 増 減	- 1	0	0	0

(注1) 正会員の内訳 名誉員12名・シニア員38名・ジュニア員160名

正会員

江上 雅之

鈴木 圭子 (Free Thinking(株))

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

日本機械学会関西支部第336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）」 共 催：一般社団法人日本機械学会関西支部 開 催：2015年1月26日(月)～27日(火) 9:00～17:00 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)6443-5524／地下鉄四つ橋「本町」駅下車28番出口北へ400m〕	
No.15-204 「第6回機素潤滑設計生産国際会議 (ICMDT2015)」 主 催：一般社団法人日本機械学会（機素潤滑設計部門企画） 開 催：2015年4月22日(水)～25日(土) 会 場：沖縄コンベンションセンター（沖縄県） 問合せ先：〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦会館5階 一般社団法人日本機械学会 機素潤滑設計部門担当 高橋 綾 電話(03)5360-3504 FAX(03)5360-3507 E-mail:a.takahashi@jsme.or.jp	
No.15-205 2015年情報精密機器のメカトロニクスに関する日本・米国機械学会合同会議 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Precision Equipment (MIPE2015) 主 催：日本機械学会 情報・知能・精密機器部門（幹事団体） 米国機械学会 情報ストレージ・処理システム部門 開 催 日：2015年6月14日(日)～17日(水)（受付登録6月14日(日)夕方より予定） 会 場：神戸国際会議場（神戸市） 問合せ先：Conference chair 多川則男／関西大学／E-mail:tagawa@kansai-u.ac.jp Conference secretary 谷 弘詞／関西大学／E-mail:hrstani@kansai-u.ac.jp 小金沢新治／関西大学／E-mail:skoga@kansai-u.ac.jp URL:http://www.jsme.or.jp/conference/mipe15/	
No.15-11 第14回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2015) (機械力学・計測自制御部門 企画) 主 催：一般的社団法人日本機械学会 開 催 日：2015年6月22日(月)～24日(水) 会 場：栃木県総合文化センター（宇都宮市本町1-8） 講演会ホームページ:http://www.jsme.or.jp/conference/movic2015/	
No.15-7 Dynamics and Design Conference 2015 総合テーマ：「結束を新たに、未来を拓く」 主 催：一般社団法人機械学会 機械力学・計測制御部門 開 催 日：2015年8月25日(火)～28日(金) 会 場：弘前大学（青森県弘前市文京町1番地） URL:http://www.jsme.or.jp/conference/dmccconf15/	
第33回日本ロボット学会学術講演会開催案内 主 催：一般社団法人日本ロボット学会 会 期：2015年9月3日(木)、4日(金)、5日(土) 場 所：東京電機大学 東京千住キャンパス（〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番） URL:http://rsj2015.rsj-web.org/	

会 告

(一社)日本フルードパワーシステム学会 賛助会員一覧表

アイシン・エイ・ダブリュ(株)
 (株)明石合銅
 (株)曙ブレーキ中央技術研究所
 アズビル(株)湘南工場
 アズビルTACO(株)
 (株)アドヴィックス
 アネスト岩田株式会社
 イートン(株)
 (株)医器研
 (株)IHI
 出光興産(株)
 イナバゴム(株)
 イハラサイエンス(株)
 (株)インターナショナル・
 サーボ・データ
 (株)打江精機
 SMC(株)
 SMC(株)中国
 (株)荏原製作所
 (株)大阪ジャッキ製作所
 大瀧ジャッキ(株)
 (株)オプトン
 鹿島通商(株)
 KYB(株)
 KYBエンジニアリング・
 アンド・サービス(株)
 KYB-YS(株)
 (株)桂精機製作所
 神威産業(株)
 川崎重工業(株)
 川重商事(株)
 (株)神崎高級工機製作所
 キャタピラー・ジャパン(株)
 旭東ダイカスト(株)
 協和シール工業(株)
 極東開発工業(株)
 (株)クボタ
 クロダニューマティクス(株)
 (株)ケンチク舎
 (株)古河製作所
 (株)工苑
 甲南電機(株)
 (株)コガネイ
 コスモ石油ルブリカンツ(株)
 (株)小松製作所
 (株)小松製作所試験センタ
 (株)小松製作所研究本部

(株)小松製作所油機開発センタ
 (株)阪上製作所
 (株)鷺宮製作所
 佐藤金属株式会社
 三和テッキ(株)
 三輪精機(株)
 CKD(株)
 (株)島津製作所
 (株)ジェイテクト
 勝美印刷(株)
 JX日鉱日石エネルギー(株)
 ジヤトコ(株)
 新日鐵住金(株)交通産機品カンパニー
 住友建機(株)
 住友重機械工業(株)
 住友精密工業株式会社
 制御機材株式会社
 千住金属工業(株)
 第一電気(株)
 (株)TAIYO
 タイヨーインターナショナル(株)
 (株)タカコ
 (株)タダノ
 ダイキン・ザウアー・ダンフォース(株)
 ダイキン工業(株)
 ダイワ(株)
 大生工業(株)
 調和工業(株)
 (株)都筑製作所
 TMCシステム(株)
 (株)TNK
 テラル(株)
 天竜丸澤(株)
 トーヨーエイトック(株)
 東京メータ(株)
 TOHTO(株)
 東北特殊鋼(株)
 東明工業(株)
 DOOSAN CORPORATION
 東洋機械金属(株)
 同和発條(株)
 東京計器(株)
 東京計器パワーシステム(株)
 特許機(株)
 特許庁
 豊興工業(株)
 (株)豊田自動織機

中西商事(株)
 中村工機(株)
 長津工業(株)
 長野計器(株)
 ナプテスコ(株)
 ニッタ(株)
 日新器具工業(株)
 日本アキュムレータ(株)
 (株)日本アレフ
 日本機材(株)
 日本クーラー・ケミカル(株)
 日本工業出版(株)
 日本シリンダ共同事業(株)
 日本精器(株)
 日本電産トーソク(株)
 (一社)日本フルードパワー工業会
 日本ムーグ(株)
 (株)野村商店
 (株)ハイダック
 日立建機(株)
 (株)日立建機ティエラ
 (株)日立建機カミーノ
 (株)日立製作所
 日立住友重機械建機クレーン(株)
 広瀬バルブ工業(株)
 ピー・エス・シー(株)
 フジサンケイビジネスアイ
 フェスト(株)
 (株)フクダ
 (株)不二越
 二見屋工業(株)
 ボッシュ・レックスロス(株)
 昌富工業(株)
 マサモト(株)
 (株)増田製作所
 松巳鉄工(株)
 マックス(株)
 三菱電線工業(株)
 ヤマシンフィルタ(株)
 ヤマハモーター・ハイドロリック
 システム(株)
 油研工業(株)
 理研精機(株)
 ワールドインシュアランス
 ブローカーズ(株)

編集室

次号予告

—特集「フルードパワーにおける故障予知技術」—

〔巻頭言〕「フルードパワーにおける故障予知技術」発行にあたって
 〔総論〕 予知保全技術など産業オートメーション技術のサービス体系化について
 〔解説〕 色診断による潤滑油状態監視センサ
 作動油の清浄度センサ
 電動流量制御システムを利用した空気圧機器の故障予知
 ビッグデータを用いた異常時・正常時の比較による故障予知処理のアルゴリズム
 高度複雑システムの故障予兆検出技術
 油圧システムのリモートモニタリングによる保守方法
 〔会議報告〕 機械学会2014年度年次大会におけるフルードパワー技術研究動向
 ICMT2014におけるフルードパワー技術研究動向
 山梨講演会2014におけるフルードパワー技術研究
 計測自動制御学会・流体計測制御シンポジウムにおける研究動向
 〔教室〕 入門講座「トライボロジー」第5回：油剤について
 〔トピックス〕 特許文献を調べる・特許電子図書館の活用6…類似文献の検索2
 フルードパワー人材育成への産学連携2
 米国駐在日記
 〔研究室紹介〕 豊橋技術科学大学柳田研究室
 〔企画行事〕 平成27年度企画行事紹介
 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

栗林 直樹
 川田 誠一
 高橋 勉
 石塚 雅規
 齊藤 悠
 鈴木 英明
 中山 俊也
 岩崎 一実
 藤田 壽憲
 田中 豊
 大内 英俊
 尹 鍾皓
 風間 俊治
 木原 和幸
 吉満 俊拓
 澤西 利幸
 柳田 秀記
 山下 康雄
 良介

藤島 泰郎、

眞田 一志、

平成26年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 吉田和弘 (東京工業大学)	委員 中野政身 (東北大学)
副委員長 塚越秀行 (東京工業大学)	成田晋 (KYB株)
委員 伊藤雅則 (東京海洋大学)	藤田壽憲 (東京電機大学)
内堀晃彦 (宇部工業高等専門学校)	丸田和弘 (株コマツ)
小倉弘 (日立建機株)	村松久巳 (沼津工業高等専門学校)
加藤猛美 (株コガネイ)	柳田秀記 (豊橋技術科学大学)
加藤友規 (福岡工業大学)	山田真の介 (株TAIYO)
北村剛 (油研工業株)	吉満俊拓 (神奈川工科大学)
木原和幸 (財工業所有権協力センター)	担当理事 伊藤和巳 (KYB株)
栗林直樹 (川崎重工業)	山田宏尚 (岐阜大学)
五嶋裕之 (機械振興協会)	
佐藤恭一 (横浜国立大学)	編集事務局 藤谷秀次 (学会事務局)
妹尾満 (SMC株)	竹内留美 (勝美印刷株)
多田昌弘 (CKD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46巻, 第1号 (2015)

平成27年1月

目次

研究論文

1. 複数の空気圧容器への分岐管を用いた加圧特性

阪本 大介, 尹 鍾皓, 香川 利春 1

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.46, No.1

January 2015

Contents

Paper

1. Two Pneumatic Chambers Charging Characteristics with a Branch Pipe

Daisuke SAKAMOTO, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA 1

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

複数の空気圧容器への分岐管を用いた加圧特性*

阪本 大介**, 尹 鍾 皓***, 香川 利 春****

Two Pneumatic Chambers Charging Characteristics with a Branch Pipe

Daisuke SAKAMOTO, Chongho YOUN, Toshiharu KAGAWA

This paper considers the issue of the simultaneous charging of multiple pneumatic actuator chambers using branch pipes. A branch pipe shows complex properties even in steady state flows. Therefore, before carrying out calculations on an unsteady flow, its static characteristics had to be known by experiment. In this paper, experiments and simulations are carried out for the pressure charging process using a basic model of branch pipe system composed of two pneumatic chambers and one branch pipe. Simulation algorithm was made based on the staggered lattices for space discretisation and the upwind differences for time discretisation. The relative differences between the simulated and the experimented pressures in the chambers are less than five percent, which is observed only in a short time just after the start of the charging.

Key words : Transient response, Loss coefficient, Branch pipe, Actuator chamber

1. はじめに

空気圧駆動システムにおいて、複数のアクチュエータを駆動する場合、複数の圧力源を持つのではなく、一つの圧力源（空気圧縮機）から導いた配管を分岐させて、各アクチュエータに圧縮空気を送ることが、一般的に行われている。この方が、アクチュエータごとに圧力源を備えるよりも、装置製作コストにおいても、運転時のエネルギー効率においても、有利と考えられている。このことの正否はともかく、現状では、車両の空気圧ブレーキやサスペンションはもとより、工場内の固定設備においても、ほとんどすべての空気圧駆動系が、分岐管を通じてアクチュエータに空気圧動力を送り込んでいる。

分岐管における定常流れの圧力、ないし動力損失は水力関係では古くから調べられていて^{1),2)}、それらの結果は、定常流れならば空気圧に対しても適用できると考えられる。ところが、空気圧システムにおけるアクチュエータ駆動では、非定常流れになっている場合が多く、定常流れの場合はむしろ稀である。システムの設計にあたっては、アクチュエータにおける圧力の変化を予測する必要があるが、分岐管がどのように関わるかは、経験ないし試作実験に

よって処理されてきた。しかし近年は、空気圧システムにおける省エネ化や、設計コストの削減のために、より詳細な解析が要求されるようになってきた。過渡現象における分岐管の影響を、定常流れと同じ圧力の損失係数を用いて計算することが、水圧設備^{3),4)}やガスタービン回路⁵⁾に対して行われていることから、空気圧システムにおいても、同様の取り扱いが可能ではないかと予測される。そこで本研究ではこのことを検証するために、Fig. 1のような分岐管とアクチュエータを有する基本的なシステムをモデルとして、このアクチュエータに空気圧を充填するときの圧力応答を調べることにした。

2. 主な記号

A : 管路断面積	[m ²]
D : 管路直径	[m]
e : 単位質量あたりの内部エネルギー	[J/kg]
G : 質量流量	[kg/s]
P : 管路内圧力	[Pa]
R : 気体定数	[J/(kg・K)]
t : 時間	[s]
Se : 絞りの有効断面積	[mm ²]
u : 流速	[m/s]
x : 座標	[m]
θ : 温度	[K]
λ : 管摩擦係数	[—]
ρ : 密度	[kg/m ³]
ζ : 分岐損失係数	[—]
Δt : 時間刻み	[s]

*平成26年7月23日 原稿受付

**東京工業大学メカノマイクロ工学

(所在地：神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

(E-mail : sakamoto.daa@m.titech.ac.jp)

***東京工業大学精密工学研究所

****東京工業大学総合理工学研究科

Δx : 空間刻み	[m]
添え字	
i : 空間格子番号	[—]
j : 時間格子番号	[—]

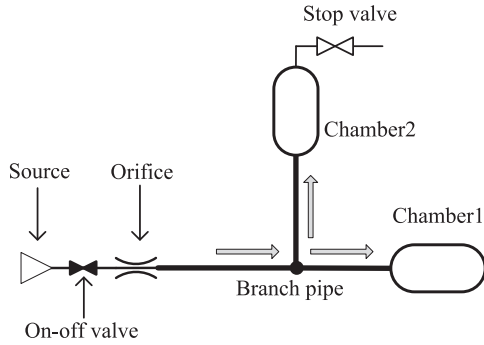


Fig. 1 A branch and two actuators

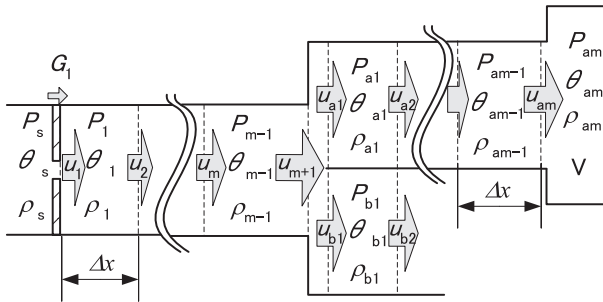


Fig. 2 Simulation model of a branch pipe system.

3. 計算方法

本論文では、分岐管を含む基本的な空気圧装置のモデルとして、Fig.1の回路を設定する。この回路では、圧力源から一定圧力の空気が供給されるものとする。Fig.1の回路は、分岐管回路を構成するために必要な最小限の要素として、固定絞り、圧力設定弁（減圧弁）、分岐継ぎ手、二つの空気室とこれらを結合する管路を用いて構成してある。管路系過渡現象の計算では、特性曲線法が古くから用いられているが、それに比べて新しい計算法として、スタッガード格子法がある。空間格子の大きさと時間格子の大きさの比は、特性曲線法では局所音速を取る必要があるが、スタッガード格子法では、この制約がないので、格子間隔の設定に熟練を要しない。著者らの研究室では、これまでに、曲がり管や径違い管、容量を伴わない分岐管⁶⁾における非定常流れのシミュレーションにおいて、スタッガード格子法が適用できることを確かめてきたので、本研究においても、この手法を採用する。Fig.2は、Fig.1の回路に対応して描いた計算のための記号を記した説明図である。この系においては、管路部の差分式と、境界条件の差分式が必要となる。

3.1 管路部分の計算

管路の各位置における圧力・密度・温度・流速の各パラメータ計算するために、風上差分法を用いる。この場合のシミュレーションのために、次に示す4つの式の差分近似式を導く^{7),8)}。

(流体の運動方程式)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\lambda}{2D} u^2 \quad (1)$$

(連続の式)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

(エネルギー方程式)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho A \left(e + \frac{u^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho u A \left(e + \frac{u^2}{2} + \frac{P}{\rho} \right) \right] \quad (3)$$

$$-\pi D h (\theta - \theta_a) = 0$$

(状態方程式)

$$P = \rho R \theta \quad (4)$$

基礎方程式を差分化した結果を以下に示す。Fig.3に管路の差分モデルを示す。空間刻みはスタッガード格子を用い、時間に関しては前進差分をとった。対流項は上流から下流への一方向流れを仮定し、風上差分をとった。

管路内流速は式(5)より計算する。式(5)中の u_{conv} 及び $\bar{\rho}$ はそれぞれ式(6), (7)により計算する。

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} u_{conv} - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\Delta t}{\Delta x} (P_{i,j} - P_{i-1,j}) - \frac{\lambda \Delta t}{2D} |u_{i,j}| u_{i,j} \quad (5)$$

$$u_{conv} = \frac{u_{i,j} + |u_{i,j}|}{2} (u_{i,j} - u_{i-1,j}) \quad (6)$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{i-1,j} + \rho_{i,j}}{2} \quad (7)$$

管路内の密度は式(8)により計算する。式(5)中の ρ_{conv} 及び $\bar{u}$ はそれぞれ式(9), (10)により計算する。

$$\rho_{i,j+1} = \rho_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_{i,j} (u_{i+1,j} - u_{i,j}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_{conv} \quad (8)$$

$$\rho_{conv} = \frac{\bar{u}_{i,j} + |\bar{u}_{i,j}|}{2} (\rho_{i,j} - \rho_{i-1,j}) \quad (9)$$

$$\bar{u}_{i,j} = \frac{u_{i,j} + u_{i+1,j}}{2} \quad (10)$$

管路内の温度は式(11)により計算する。式(5)中の θ_{conv} 及び $\bar{u}$ はそれぞれ式(12), (13)により計算する。

$$\theta_{i,j+1} = \theta_{i,j} - \Delta t \frac{4h(\theta_{i,j} - \theta_a)}{\rho_{i,j} C_V D} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \theta_{conv} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{(R\theta_{i,j})}{C_V} (u_{i+1,j} - u_{i,j}) + \frac{\lambda \Delta t}{2C_V D} |\bar{u}_{i,j}|^3 \quad (11)$$

$$\theta_{conv} = \frac{\bar{u}_{i,j} + |\bar{u}_{i,j}|}{2} (\theta_{i,j} - \theta_{i-1,j}) \quad (12)$$

$$\bar{u}_{i,j} = \frac{u_{i,j} + u_{i+1,j}}{2} \quad (13)$$

管路内圧力は式(14)により計算する。圧力は計算した温度と密度を状態方程式に代入して算出する。

$$P_{i,j} = \rho_{i,j} R \theta_{i,j} \quad (14)$$

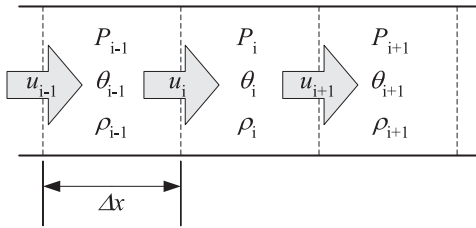


Fig. 3 Staggered lattice model for a pipe

3.2 境界条件の計算

(1) 分岐前後の計算

分岐部分の差分モデルをFig. 4に示す。分岐直後の流速は式(15)より計算する。式(15)中の u_{conv} 及び $u_{a0,j}$ それぞれ式(16)、(17)により計算する。

$$u_{a1,j+1} = u_{a1,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} u_{conv} - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta t}{\Delta x} (P_{a1,j} - P_{a0,j}) - \frac{\lambda \Delta t}{2D} |u_{a1,j}| u_{a1,j} - \frac{\zeta_a \Delta t}{2\Delta x} \frac{\rho_{m,j}}{\rho_{a1,j}} |u_{a0,j}| u_{a0,j} \quad (15)$$

$$u_{conv} = \frac{u_{a0,j} + u_{a1,j}}{2} (u_{a1,j} - u_{a0,j}) = (u_{a1,j}^2 - u_{a0,j}^2) \quad (16)$$

$$u_{a0,j} = u_{n,j} \quad (17)$$

分岐直前の流速は式(18)により計算する。

$$u_{n+1,j} = u_{a1,j} + u_{b1,j} \quad (18)$$

分岐直後の密度は式(19)により計算する。式(19)中の ρ_{conv} は式(20)により計算する。

$$\rho_{a1,j+1} = \rho_{a1,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_{a1,j} (u_{a2,j} - u_{a1,j}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_{conv} \quad (19)$$

$$\rho_{conv} = \frac{\bar{u}_{a1,j} + |\bar{u}_{a1,j}|}{2} (\rho_{a1,j} - \rho_{n,j}) \quad (20)$$

分岐直後の温度は式(21)により計算する。式(21)中の θ_{conv} は式(22)により計算する。

$$\theta_{a1,j+1} = \theta_{a1,j} - \frac{4h(\theta_{a1,j} - \theta_{air})}{\rho_{a1,j} C_V D} \Delta t - \frac{\Delta t}{\Delta x} \theta_{conv} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{(R\theta_{a1,j})}{C_V} (u_{a2,j} - u_{a1,j}) + \frac{\lambda \Delta t}{2C_V D} |\bar{u}_{a1,j}|^3 + \frac{\zeta_a \Delta t}{2\Delta x} \frac{\rho_{n,j}}{\rho_{a1,j}} |\bar{u}_{a0,j}|^3 \quad (21)$$

$$\theta_{a0,j} = \frac{\bar{u}_{a1,j} + |\bar{u}_{a1,j}|}{2} (\theta_{a1,j} - \theta_{n,j}) \quad (22)$$

式(15)の右辺第4項及び式(21)の右辺第5項は、分岐による圧力損失及び温度変化の項である。 ζ_a は分岐損失係数であり、流速比（流量比）の関数として、式(23)のように表すことができる。

$$\zeta_a = f\left(\frac{u_{a1,j}}{u_{n+1,j}}\right) \quad (23)$$

分岐損失係数と流量比の関係は分岐管の形状により異なるため、本シミュレーションを行うに先立ち、実験対象の分岐管の分岐損失係数を計測するなど、前もって情報を得ておく必要がある。

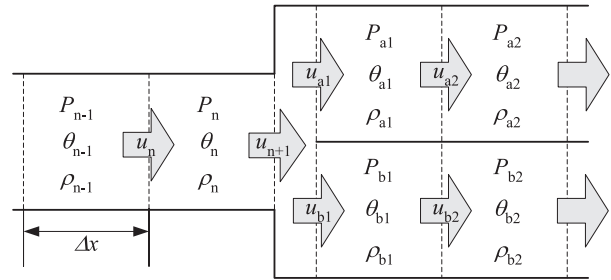


Fig. 4 Distributed parameter model of a branch pipe

(2) 入口部分の計算

入り口部分の計算モデルをFig. 5に示す。入口は固定絞りとし、絞りを通過する質量流量を(24)式により計算する。絞り下流の1番目の計算セルにおいて、流速 u_1 及び密度 ρ_1 はそれぞれ式(25)、(26)により計算する。

$$G_1 = \begin{cases} SeP_s \sqrt{\frac{\kappa}{R\theta_1} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} & \frac{P_1}{P_s} \leq 0.528 \\ SeP_s \sqrt{\frac{2\kappa}{R\theta_1 (\kappa-1)} \left[\left(\frac{P_1}{P_s}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_1}{P_s}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} & \frac{P_1}{P_s} > 0.528 \end{cases} \quad (24)$$

$$u_{1,j+1} = \frac{G_1}{A\rho_{1,j}} \quad (25)$$

$$\rho_{1,j+1} = \rho_{1,j} + \frac{G_1 - G_2}{A\Delta x} \Delta t \quad (26)$$

$$G_2 = A\rho_{1,j} u_{2,j} \quad (27)$$

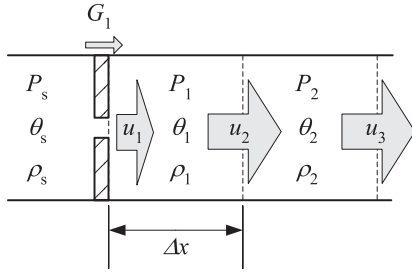


Fig. 5 Difference model at a pipe inlet

(3) 末端容量部分の計算

管路末端タンクの計算モデルをFig. 6に示す。管路末端のタンクは等温と仮定し、タンク内密度と圧力はそれぞれ式(28), (29)により計算する。

$$\rho_{m,j+1} = \rho_{m,j} + \frac{A \rho_{m-1,j} u_{m-1,j}}{V} \Delta t \quad (28)$$

$$P_{m,j+1} = \rho_{m,j+1} R \theta_m \quad (29)$$

$$\theta_{m,j+1} = \text{const} \quad (30)$$

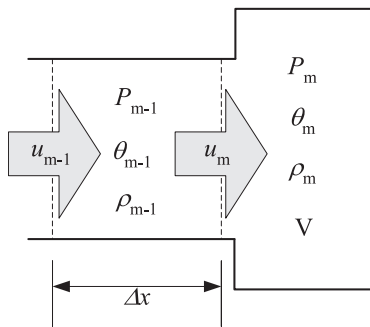


Fig. 6 Difference model at a chamber inlet

4. 実験及びシミュレーションとの比較

4.1 実験装置

今回の実験は、Fig. 1で想定した基本回路に対して行うものである。実験装置概要をFig. 7に示す。実験装置は分岐上流に電磁弁があり、分岐下流に等温化タンク（5L）が設置してある。本実験では、上流の電磁弁を開鎖し、分岐

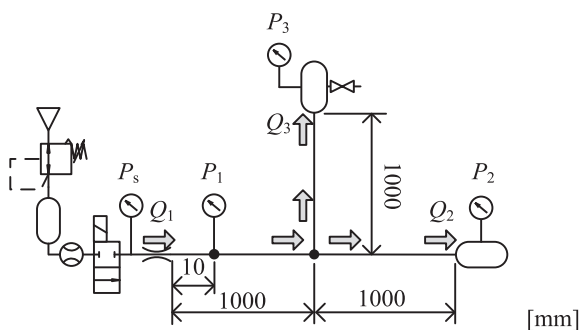


Fig. 7 Experimental setup

配管およびタンクからなる管路容量系に充填試験を行う。このタンクは、通常のアクチュエータ（シリンダやダイアフラムなど）の空気室、ないし容量を代表する。前述したが、非定常流の実験を行う前に、使用する分岐管の静特性を求めておく必要があるため、これをまず求める。

ここではJIS B 0203に規定される管用テーパねじ込み式継手・同径T型を用いた。今回使用する分岐管では、分岐前の流れに対して分岐後の流れは直角方向となる。接続している管路は圧力配管用炭素鋼鋼管STPG370（Sch40）の15A鋼管を用いた。この鋼管の内径は12.7mmである。また作動流体として空気を用いた。各測定箇所において、ゲージ圧力測定のためにキーエンス株式会社のAP-13sを装着し用いた。流量は層流式瞬時流量計（東京メータ）を用いて測定した。

この場合の分岐損失係数と流量比の実測値をFig. 8に示す。また、分岐損失係数の近似曲線を式(31)に示す。またその係数をTable 1に示す。 ζ_a が直進方向、 ζ_b が直角分岐方向の損失係数とする。Figure 8において、 ζ_a が ζ_b に比べて小さく、直進方向が流れやすいことがわかる。また、すべての流量比の範囲で分岐による圧力損失は直進方向の方が小さくなる。この損失係数を用いて、式(15)及び式(21)の分岐損失の項を計算する。

$$\zeta = \sum_{n=0}^4 A_n q^n, \quad q = Q_2 / Q_1 \quad (31)$$

Table 1 Coefficients of polynomial fit for loss coefficients ζ

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
ζ_a	1.3713	-0.3332	-2.9797	3.2884	0
ζ_b	2.5507	-2.3316	8.6715	-11.996	5.3163

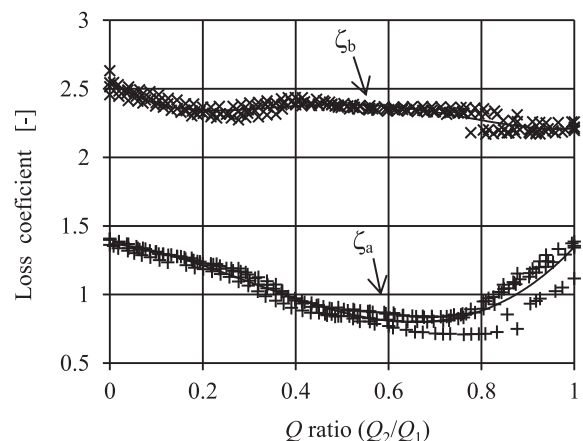


Fig. 8 Loss coefficient of the installed branch pipe

4.2 圧力充填実験及びそのシミュレーション

圧力充填実験の実験装置の寸法諸元をTable 2に示す。実験は次のように行う。まず、供給管路の電磁弁を閉鎖状態

として、管路の開放弁を開いて、管路及び二つのタンク内部を大気圧、大気温度とする。圧力と温度が平衡状態になってから、開放弁を閉じる。ついで圧力計測の開始と同時に、供給管路の電磁弁を開く。この実験に対するシミュレーションを、Table 2の数値を用いて実行しておく。

Fig. 9に3秒間の圧力変化の経過を示す。また、Fig. 10にシミュレーションとの比較を示す。

Fig. 10には、分岐下流の直進方向タンクの圧力 (P_2) 及び直角分岐方向下流タンクの圧力 (P_3) が示してある。また、Fig. 11に実験値と計算値の相対誤差を示す。相対誤差は式(32)により定義した量である。

$$Error = \frac{P_{sim} - P_{exp}}{P_{exp}} \times 100 \quad (32)$$

Table 2 Experimental condition

Time step [μ s]	1
Space step [m]	0.1
Supply pressure [kPa (abs)]	600
Initial pipe inside pressure [kPa (abs)]	100
Supply air temperature [K]	293
Initial temperature [K]	293
Piping length [m]	1.00
Pipe internal diameter [mm]	12.7
Effective sectional area [mm ²]	21.3
Critical pressure ratio of fixed orifice [-]	0.528
Tank capacity [l]	4.72

Fig. 10において、シミュレーションと実験は、 P_2 が P_3 より早く上昇している。直進方向の分岐損失係数が直角方向の分岐損失係数に比べて小さく、したがって、流れやすいためと考えられる。また、時間の経過とともに P_2 と P_3 の圧力差が小さくなっているが、これはタンク内の圧力上昇に伴い、流入流量（配管内流速）が小さくなり、分岐損失係数が分岐下流の圧力に与える影響が小さくなるためと考えられる。

Fig. 11は、シミュレーションと実験の誤差が過渡期間中においても、5%以下であることを示す。これは空気圧配管システムの設計に適用できる精度である。実験においては、絞り上流に圧力脈動が生じているが、その脈動はタンク内圧の変化にはほとんど影響を与えていない。

流量の計算結果をFig. 12に示す。Fig. 12の結果より、最初は直進方向の流量、 Q_2 が1,200 [l/min (ANR)] と直角方向の流量、 Q_3 が200 [l/min (ANR)] となり、流量比が0.8程度になる。その後時間の経過とともに、 Q_2 が減少し、 Q_3 が増加していく。約0.2秒後に Q_2 と Q_3 が等しくなり、その後は大小が反転する。その後減少し、約0.3秒の点で Q_2 と Q_3 はそれぞれ上下の極値を取る。その後は差を縮めながら減

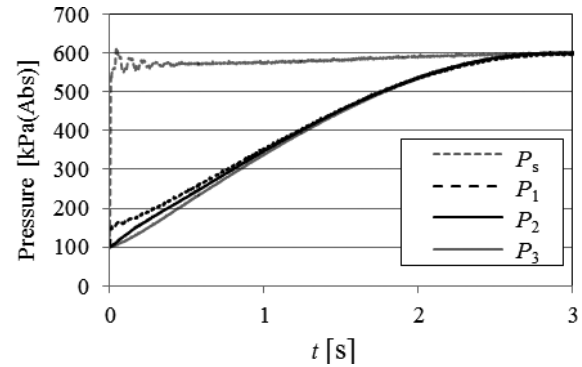


Fig. 9 Experimental result of pressure change in the model system

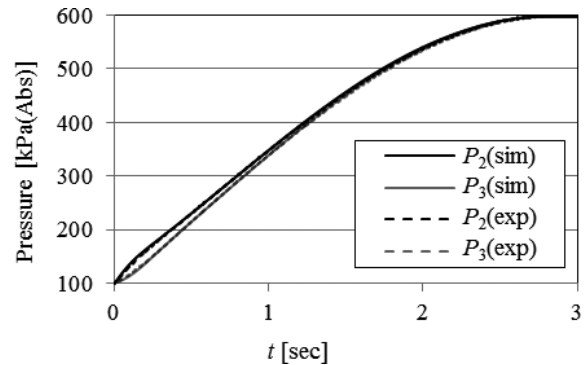


Fig. 10 Comparison of the experimental and the simulated pressures

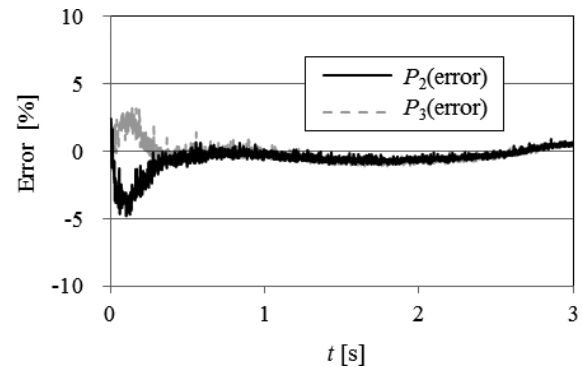


Fig. 11 Relative difference between the experiment and the simulation

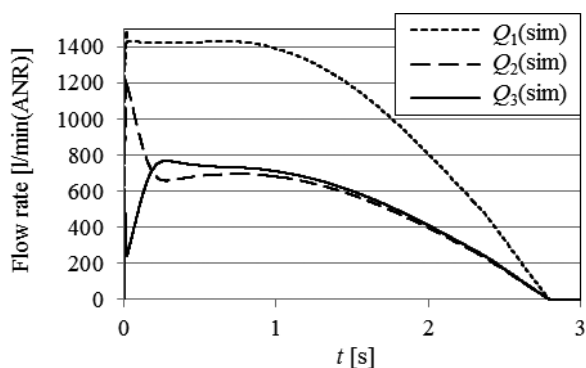


Fig. 12 The simulated flow rates in the model system

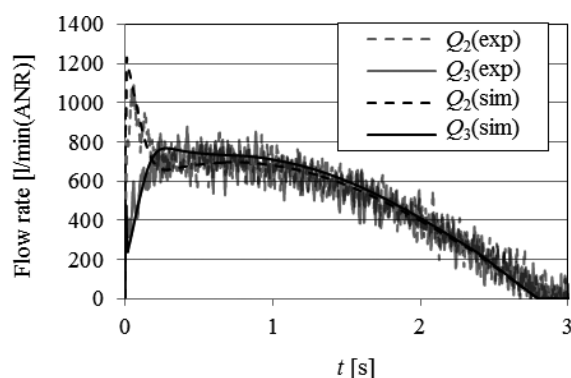


Fig. 13 Comparison of the flow rates by experiment and simulation

少していき、28秒付近で0になる。

流量の実験結果とシミュレーションの比較をFig. 13に示す。実験値では高周波のノイズが付随しているが、中間の値は実験値とよく一致していることが見られる。

以上の結果より、分岐通過後の下流容量室の圧力は実験とシミュレーションで良く一致しているといえる。直角方向のタンク圧力に比べて直進方向の下流タンク圧力が先に上昇していることから、直進方向の方が流れやすいと言える。これは、Fig. 8に示した分岐損失係数の特徴と良い対応をしている。よって、本実験で対象とした分岐管により分流している管路容量系においては、ここで採用したシミュレーション方法で分岐管下流の圧力・流量を予測することができるといえる。

5. ま と め

分岐管を通じて複数の容器に空気を充填する場合の圧力応答について、実験とシミュレーションを行い、両者が5%以内の誤差で一致することを確認した。シミュレーションにおいて採用した離散化の算法は、管路に沿う空間に関してはスタッガード格子法、時間微分は風上差分である。この算法によるシミュレーションは、容器の充填過程において、実験で得た圧力との相対誤差は5%以内にとどまり、配管システムの設計に利用できる精度であるといえ

る。一般的な使用に関しては、なお多くの事例において実験及びシミュレーションを行う必要があるが、ここで取り上げた装置の仕様は、比較的平凡な数値、いわば、実際の装置によく現れる値である。それゆえここで用いたシミュレーション手法は、多少寸法の異なる場合についての設計計算に使用して動作を推定するために役立つといえる。

謝 辞

装置の製作に関して多大なご助言をいただいた東日本旅客鉄道株式会社、藤野謙司様に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 伊藤英覚, 佐藤光正, 岡憲治: ねじ込み式ティーの分岐・分岐損失の完全特性, 日本機械学会論文集, Vol. 44, No. 387, p. 3902-3907 (1978)
- 2) 向井寛, 高津恭, 浅沼邦広: 分岐・分岐管路の圧力損失予測に関する研究, 日本機械学会2007年次大会講演論文集(2), p. 271-272 (2007)
- 3) Wylie, E.B. and Streeter, V.L., Fluid Transient, McGraw-Hill (1978)
- 4) 浦田暎三, 北川能, 流体過渡現象演習 4, 配管/74-4, p. 67-75 (1974)
- 5) Makino, K. et al: A study of the pulsating flow through a pipe branch (Numerical simulation by the method of characteristics), Gas turbine society of japan, Vol. 29, No. 3, p. 172-178 (2001)
- 6) Sakamoto, D., Chongho Youn, Kagawa, T: Pressure Change in Tee Branch Pipe in Oscillatory Flow, Advances in Mechanical Engineering, Article ID 257283, 11 pages (2013)
- 7) 川嶋健嗣, 藤田壽憲, 香川利春: 容器内圧力変化による圧縮性流体の流量計測法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 32, No. 11, p. 1485-1492 (1996)
- 8) 香川利春他3名: 圧縮性流体の管路容量系における非定常流れに関する研究, 計測自動制御学会論文集, Vol. 28, No. 6, p. 655-663 (1992)

会 員 各 位

平成27年 1月15日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

平成27年度会費納入のお願い

拝啓 時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

さて、平成27年度（自平成27年4月1日～至平成28年3月31日）の会費を、下記の通りご納入賜わりたくお願い申し上げます。なおすでにご納入くださいました場合は、何卒ご容赦ください。

敬 具

記

平成27年度
正 会 員 会 費 8,000円
(40歳未満で入会された方は、入会から
5年間にかけ4,000円となります。)
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・26年度以前の会費を未納の方は、新年度分（平成27年度）と併せてお振り込みくださいますようお願い申し上げます。
- ・会員名を必ずご記入ください。
- ・便利な自動振り込みは手数料が不要です。ご希望によりお申し込み書をお送り致しますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、宜しくお願い申し上げます。

以上

00東京

口座番号 (右詰めにご記入ください)

001103133690

金額

千百十万千百十円

加入者名

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

料金

特殊取扱

該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。

1. () 年度 () 会費

企業名・[]

2. () の代金

払込人住所氏名

(郵便番号)

(電話番号 - -)

裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁) (私製承認東第23957号)

各票の※印欄は、払込において記載してください。

払込取扱票

払込票兼受領証

口座番号

001103

右詰めにご記入ください

133690

加入者名

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

金額

千百十万千百十円

※

払込人住所氏名

(消費税込み)

受付局日附印

料金

円

特殊取扱

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

切り取らないで郵便局にお出しください。

お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

* 下の振替用紙をご利用いただけます。

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

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

(注) * 口座名はいずれも「社団法人 日本フルードパワーシステム学会」です。

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

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

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

ご注意

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

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

(日本郵政公社)

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五―三二 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

東京都文京区小石川一―三―七
印刷所 勝美印刷株式会社