

日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

フルードパワー システム

Mar.2012 Vol.43 No.2

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「国際シンポジウム2011」

——目 次——

特集「国際シンポジウム2011」

【巻頭言】

実行委員長からのメッセージ — 沖縄での国際シンポジウムを開催して 横田 眞一 69

【総論】

第8回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要 田中 豊 70

【解説】

プログラム・セッションの概要 早川 恭弘 74

展示の概要 桜井 康雄 77

JFPS Best Student Paper Award 佐藤 恭一 80

特別招待講演の概要 吉田 和弘 82

Fluid Power 2011「医療・福祉」セッションの講演 赤木 徹也 87

「ロボティクス・メカトロニクス」セッションの講演（基調講演を含む） 則次 俊郎 92

「機能性流体」セッションの講演（基調講演を含む） 築地 徹浩 96

「水圧」セッションの講演 北川 能 101

フルードパワーに関する第8回JFPS国際シンポジウムの感想と印象記 Andrew Schenk（翻訳 近藤瞳） 106

参加学生から見た第8回JFPS国際シンポジウム 山口 彰浩 110

参加学生から見た今回の国際シンポジウム 坂間 清子 113

参加企業から見た今回の国際シンポジウム — ポンプそして人生（IV） — 小曾戸 博 116

【ニュース】

日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウム2014紹介 香川 利春 120

日中若手研究者交流と特別講演会の報告 田中 豊 122

中国機械工程学会流体伝動与控制分会第五期委員会が発足 蕭 欣志 124

【FPIC会議報告】

山梨講演会2011におけるフルードパワー技術研究動向 田中 豊 125

SICE Annual Conference 2011（OS：FLUCOM-J）および第12回流体計測制御シンポジウムにおけるフルードパワー技術研究動向 小山 紀 128

【企画行事】

平成23年度 オータムセミナー開催報告「パワートレインにおけるフルードパワー技術」 成田 晋 130

【コーヒーブレイク】

こんなことありませんか？ 小山 紀 76

【会告】

平成24年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ 64

平成24年春季フルードパワーシステム講演会 オーガナイズドセッションの講演募集案内 66

平成24年春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」 67

触れて学べる！ 入門者向き実習講座「油空圧技術」 68

共催・協賛行事のお知らせ 91

各委員会名簿 119, 127

若手育成フルードパワー道場7「フルードパワーに生かせる電子回路技術」開催のお知らせ 121

その他 63, 86, 132

■表紙デザイン：山本 博勝（株）豊島

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

Vol. 43, No. 2

March 2012

—Contents—

Special Issue “International Symposium 2011”

【Preface】

A Message Letter of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power
from the Chair of Executive Committee Shinichi YOKOTA 69

【Survey】

Summary of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Yutaka TANAKA 70

【Explanation】

Abstract of Program Session Yasuhiro HAYAKAWA 74

The Outline of Exhibition in the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power
Yasuo SAKURAI 77

JFPS Best Student Paper Award Yasukazu SATO 80

Outline of the Special Lectures Kazuhiro YOSHIDA 82

Presentation of the Session “Medical and Welfare Equipments” in Fluid Power 2011
Tetsuya AKAGI 87

Presentation of the Session “Robotics and Mechatronics” Toshiro NORITSUGU 92

Presentation of the Session “Functional Fluid” Keynote Speech Tetsuhiro TSUKIJI 96

Presentation of the Session “Water Hydraulics” Ato KITAGAWA 101

Thoughts and Impressions on the 8th JFPS Symposium on Fluid Power Andrew Schenk 106

The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power from the Viewpoint of a Participating Student
Akihiro YAMAGUCHI 110

Report of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Sayako SAKAMA 113

The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power from Participating Industry —Pump and
Life (IV) — Hiroshi KOSODO 116

【News】

The JFPS International Symposium in Matsue 2014 Toshiharu KAGAWA 120

Report on Japan-China Exchange Program for Young Scientists and Special Lecture in 2011
Yutaka TANAKA 122

Organize Fifth Committee of Fluid Power Transmission and Control Institution CMES
Xinzhi XIAO 124

【FPIC Report】

Research Trend of Fluid Power Technology in Yamanashi Conference 2011 Yutaka TANAKA 125

Report of the SICE Annual Conference 2011 (OS: FLUCOM-J)
and the 12th SICE Symposium on Fluid Osamu OYAMA 128

【JFPS Activities】

2011 JFPS Autumn Seminar Report Susumu NARITA 130

【Coffee Break】

Osamu OYAMA 76

【JFPS News】

63, 64, 66, 67, 68, 86, 91, 119, 121, 127, 132

会 告

〈理事会・委員会日程〉

3月8日	基盤強化委員会
3月13日	委員長会議
3月22日	情報システム委員会
3月30日	理事会・評議員会
4月6日	編集委員会
5月11日	企画委員会

〈第5回 理事会〉

1月27日 15:00～17:00 機械振興会館5S-2

(出席者17名)

- 1) 一般法人移行準備状況について
- 2) 次期会長の人選について
- 3) フェロー候補者の選考結果について
- 4) 学会賞選考結果について
- 5) 日中若手研究者交流事業の派遣研究者推薦について
- 6) 会員の推移と入退会者について
- 7) その他

〈委員会報告〉

第4回基盤強化委員会

12月20日 15:00～17:00 機械振興会館6-60

(出席者10名)

- 1) 会員サービスについて
- 2) 若手フルードパワー道場について
- 3) フルードパワー・バーチャルミュージアムについて
- 4) 2012年度フェロー推薦について

第5回委員長会議

1月20日 15:00～17:00

法政大学市ヶ谷キャンパス

(出席者6名)

- 1) 一般法人移行準備状況について
- 2) 次期会長の人選について
- 3) フェロー候補者の選考結果について
- 4) 学会賞選考結果について
- 5) 研究委員会“油圧の基盤技術—その継承と活用—”の成果の出版について
- 6) その他

第4回企画委員会

2月3日 15:00～17:00

キャンパスイノベーションセンター(田町)

(出席者14名)

- 1) 平成22年度立案企画の定期事業に関する報告・審議事項
 - ①若手育成FP道場6WGの報告
 - ②その他
- 2) 平成23年度立案企画の定期事業に関する報告・審議事項
 - ①ウインターセミナーについて
 - ②日中ワークショップについて
 - ③平成24年度春季フルードパワーシステム講演会について
 - ④企画・編集合同企画(併設セミナー)について
 - ⑤平成24年度秋季フルードパワーシステム講演会について
 - ⑥教育講座について
 - ⑦WGの構成について
 - ⑧その他
- 3) 確認事項
 - ①会誌3月号の予定会告記事
・平成24年度春季フルードパワーシステム講演会関連
 - ②その他

第5回編集委員会

2月17日 14:00～17:00

キャンパスイノベーションセンター(田町)

(出席者14名)

- 1) 学会誌特集号の現状と企画について
Vol. 43 No. 2(3月号)～Vol. 43 No. 6(11月号)について審議した
- 2) トピックスの進捗状況について
- 3) 単発の解説記事について
- 4) その他

会 告

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24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24年5月24日(木)、25日(金)

講演募集要項

平成24年春季フルードパワーシステム講演会を下記のとおり開催します。本講演会は通常の一般講演に加え、フルードパワーの魅力にフォーカスしたオーガナイズドセッションとして、「マイクロとマクロでブレークスルーを支えるフルードパワー」、「フルードパワーシステムのトライボロジーとその周辺技術」、「生体協調システムとしてのフルードパワー」を企画しました。また、24日午後は編集委員会と企画委員会の合同企画による併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」を、25日午後は特別企画として、23日に開催されます日中ワークショップのため中国からお招きした研究者による特別講演を予定しております。本講演会が参加者皆様の情報交換ならびに交流の場となれば幸いです。どうぞ奮ってご参加いただきますようご案内申し上げます。

1. 開催日時：平成24年5月24日(木)～25日(金) 9:00～17:00(予定)
2. 会 場：機械振興会館 本館
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (<http://www.jspmi.or.jp/about/access.html>)
3. 講演の種類：学術講演。基本的に講演内容はフルードパワーシステムの分野に関連するものに限り、ます。
4. 講演申込者の範囲：共催両学会の会員およびその会員を含むグループ。ただし、講演者は会員に限り、ます。
5. 講演申込要領：
 - (1) 申込方法：講演申込者は、当学会のホームページ (<http://www.jfps.jp>) 上で講演申込を行ってください。詳細はホームページをご覧ください。
(注) 郵送、FAXでの申込は受けつけません。また、講演申込後の講演タイトル等の変更は認めませんのでご注意ください。
 - (2) 講演申込締切日：平成24年3月28日(水) (注) 参加登録は別途必要です。7. 項をご参照ください。
 - (3) 前刷原稿の書式：1 題目につき3 頁(図・表含む)。サンプルファイルを学会ホームページ (<http://www.jfps.jp>) からダウンロードしてご使用ください。なお平成21年度の春季講演会より前刷り原稿フォーマットが大幅に変更されておりますので、ご注意ください。
 - (4) 前刷原稿締切日：平成24年4月11日(水) 必着
締め切りを論文集作成に必要な最小日数で設定しました。締切日に未着の原稿は論文集に掲載できない場合がありますので、ご注意ください。
 - (5) 前刷原稿提出方法：PDF化した原稿ファイルを学会ホームページ (<http://www.jfps.jp>) 上からご提出ください。詳細はホームページをご覧ください。PDF化に際しましては図・写真の画質にご注意ください。なお、ファイルサイズは2 MBまでです。
6. 講演会の形式：
 - (1) 講演時間：1 題目につき20分(講演15分、討論5分)です。
 - (2) 座 長：会員の中からあらかじめ見識ある方を人選します。
 - (3) 講演論文集：申込講演の前刷原稿をオフセット印刷し、一冊に編集します。
 - (4) 討 論：講演発表時に5分間の討論の時間を設けてありますが、さらに講演会終了後1ヶ月間は会員より「書面による討論」を受け付けています。講演者はその討論に対して学会へ書面をもって回答することを原則とします。
 - (5) 論文集への投稿：講演者は講演会終了後の討論締め切後、「日本フルードパワーシステム学会論文集」に投稿できます。
7. 参加登録：
 - (1) 講演会の参加者は参加登録が必要です。また、講演者は前刷原稿締切日(平成24年4月11日(水))までに事前登録が必要です。参加登録は、学会ホームページ (<http://www.jfps.jp>) 上で行ってください。詳細はホームページをご覧ください。
 - (2) 登録料：登録料には各種講演の聴講料および講演論文集1冊の代金が含まれます。なお、講演会の参加登録者は、

5月25日16：30から開催予定の技術懇談会に参加することができます。

事前登録（平成24年5月9日（水）まで 厳守）の方は、つぎの表に示す割引料金となります。

※ただし講演者の方は上記7.（1）の通り、前刷原稿締切日（平成24年4月11日（水））までに事前登録をお願いいたします。

	正会員・賛助会員 企業の社員	名誉員・シニア員・ ジュニア員・学生会員	日本フルードパワー工業会会員企業の 社員、共催・協賛団体の会員(正会員)	一般
講演会	18,000円	10,000円	20,000円	23,000円
併設セミナー	14,000円	5,000円	16,000円	19,000円
講演会+併設セミナー	30,000円 ¹	13,000円	34,000円	40,000円

講演会と併設セミナーを同時に事前登録されますと、併設セミナー分の登録料が2,000円割引となります。

平成24年5月10日（木）以降（講演会当日を含む）にご登録の場合は、つぎの表に示す料金となります。

	正会員・賛助会員企業の社員	名誉員・学生会員	日本フルードパワー工業会会員企業の 社員、共催・協賛団体の会員(正会員)	一般
講演会	20,000円	15,000円	22,000円	25,000円
併設セミナー	15,000円	7,000円	17,000円	20,000円

シニア員、ジュニア員の割引料金は事前登録の場合のみ適用されます。事前登録締切り以降の場合は、正会員での受付となります。

会員資格について不明な点は、学会事務局までお問い合わせください。

また、同一の講演者が複数の講演を行う場合、2件目以降は、1講演につき7,000円が加算されます。

- (3) 別売り講演論文集料金：登録料に含まれる1冊の講演論文集とは別に論文集を購入される場合、正会員・名誉会員・賛助会員企業の社員は6,000円、フルードパワー工業会会員企業社員、協賛・共催団体社員は8,000円、一般は10,000円にて、当日受付において購入できます。また、学会ホームページ（<http://www.jfps.jp>）から講演論文集申込書をダウンロードしE-mailに添付して学会宛（info@jfps.jp）に送信する方法でも購入できます。ただし、発送は講演会終了後となります。

8. 連絡先：(社)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

E-mail info@jfps.jp TEL 03-3433-8441 FAX 03-3433-8442

(1) 郵便振替貯金 00110-3-133690

(2) 三井住友銀行 日比谷支店(普)7611417

*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。

会 告

平成24年春季フルードパワーシステム講演会
 オーガナイズドセッションの講演募集案内

「ミクロとマクロでブレークスルーを支えるフルードパワー」
 「フルードパワーシステムのトライボロジーとその周辺技術」
 「生体協調システムとしてのフルードパワー」

(社)日本フルードパワーシステム学会 企画委員会

平成24年度の春季フルードパワーシステム講演会では、オーガナイズドセッションとして「ミクロとマクロでブレークスルーを支えるフルードパワー」、「フルードパワーシステムのトライボロジーとその周辺技術」および「生体協調システムとしてのフルードパワー」を企画しております。皆さまからの多くのご参加をお待ちしております。

・「ミクロとマクロでブレークスルーを支えるフルードパワー」

オーガナイザー：伊藤 和寿（芝浦工業大学 教授）、竹村 研治郎（慶応義塾大学 専任講師）

液体の性質を活かし、非常に小さな部品を製造／加工する装置から大型構造物を建設／解体する機械までをさまざまな条件下で駆動／制御するフルードパワーは、産業界で広く活躍しています。本OSでは、これらにさらなる技術革新をもたらす研究の最新の動向について議論できる講演を、基礎から応用まで広く募集いたします。

・「フルードパワーシステムのトライボロジーとその周辺技術」

オーガナイザー：小曾戸 博（株式会社タカコ 開発部技師長）、風間 俊治（室蘭工業大学 教授）

省エネルギーや環境問題が叫ばれる社会情勢下において、高効率化や信頼性などを下支えるトライボロジー技術はますますその重要度が高くなっています。本学会の先輩諸氏は、すでに50年前にフルードパワーにおけるトライボロジーを重要視し、研究委員会を設立しましたし、その流れは現在も続いています。本OSでは、さらにシステムやその周辺技術についてまで幅を拡げて、最新動向についての講演を募集いたします。

・「生体協調システムとしてのフルードパワー」

オーガナイザー：赤木 徹也（岡山理科大学 准教授）、高岩 昌弘（岡山大学 准教授）

高齢化や若年労働力不足等を背景に、人とのインタラクションを伴う動作に機械システムを応用しようとする機運は年々高まっています。本OSでは、医療・福祉・介護から情報・娯楽に至る分野まで、人の支援技術としてのフルードパワーという観点で基礎から応用に関する講演を広く募集いたします。

講演申込方法、講演原稿書式、申込および原稿の提出期限などはすべて一般講演と同じですので、講演募集要領をご参照ください。なおオーガナイズドセッションに講演を申し込まれる場合は、申込手続きの備考欄に「OSミクロとマクロでブレークスルーを支えるフルードパワー」、「OSフルードパワーシステムのトライボロジーとその周辺技術」、「OS生体協調システムとしてのフルードパワー」、と明記してください。

お問い合わせ先：(社)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

E-Mail info@jfps.jp TEL. 03-3433-8441 FAX. 03-3433-8442

会 告

日本フルードパワーシステム学会 主催
平成24年春季講演会併設セミナー
「電動とフルードの社会貢献」

(企画・編集委員会合同企画)

開催日時：2012年5月24日(木) 13:00～17:00 (予定)

開催場所：機械振興会館 本館 (東京都港区芝公園3-5-8)

趣 旨：平成23年5月に予定されていた春季講演会併設セミナー「電動とフルードの社会貢献」は、5月号会告でお伝えした通り、東日本大震災の影響により、中止のやむなきに至りました。そこでこのたび、改めて学会誌第42巻2号の特集号「電動とフルードの社会貢献」にご執筆された方々の中から講師を数名(7名を予定)お招きし、平成24年春季講演会併設セミナーとして企画させていただくことになりました。電動とフルードのアプリケーションの棲み分け、昨今の環境保護の問題なども含め、相互の新たな利用価値を考える機会として、本セミナーをご活用願えれば幸いです。

なお、本セミナーは学会誌を担当する編集委員会と、講演会やセミナーの企画を担当する企画委員会の合同企画事業の第9回目です。

春季講演会との併設開催ですので、フルードパワーシステムの最新情報を得る絶好の機会であります。ぜひ春季講演会とセットでの参加登録をお勧めします。

受 講 料：本誌中の平成24年春季フルードパワーシステム講演会会告の「7.参加登録」をご参照ください。

テキスト：学会誌42巻第2号(平成23年3月発行)をテキストとして使用します。ご持参ください。

申込方法：当学会のホームページ(<http://www.jfps.jp>)から行ってください。

お問い合わせ：(社)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

当日のプログラム (予定)

- 13:00～13:05 企画委員長挨拶 大内英俊 (山梨大学)
- 13:05～13:35 「鉄道台車の空気圧を用いたサスペンション制御技術」
住友金属工業株式会社 根来尚志 氏
- 13:35～14:05 「超精密加工・計測分野におけるフルードパワー技術」
長崎大学 矢澤孝哲 先生
- 14:05～14:35 「超大型電動式油圧シヨベル」
日立建機株式会社 藤田浩二 氏
- 14:35～15:05 「グリーンメカトロニクスと液圧システム」
名城大学 大道武生 先生
- 15:05～15:15 休憩
- 15:15～15:45 「オートマチックトランスミッションに用いられる電動機器」
日本電産トソク株式会社 安田智宏 氏
- 15:45～16:15 「小型電動グリッパの機能と特徴」
株式会社TAIYO 大石貴弘 氏
- 16:15～16:45 「パワーステアリングの技術動向」
株式会社ジェイテクト 山内健太郎 氏
- 16:45～16:50 編集委員長挨拶 眞田一志 (横浜国立大学)
司会：加藤友規 (福岡工業大学)

会 告

触れて学べる！ 入門者向き実習講座

「油空圧技術」

空気圧システム制御の実務 (M1303)

主催：社団法人 日本フルードパワーシステム学会

協力：独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構

大阪職業訓練支援センター（ポリテクセンター関西）

募集要項

方針：企業においてはじめて油空圧技術に携わる人材を対象とした導入教育。座学で学んだ内容を実習で体験し、興味と理解を深める教育をおこなう。

期間：平成24年6月13日(水)～15日(金)

会場：ポリテクセンター関西（大阪府摂津市三島）<http://www3.jeed.or.jp/osaka/poly/>

対象：以下の要件を満たす者

- (1) 原則として企業に勤務し、事業主の推薦ならびに保証のある者
- (2) 工業高校、普通科高校、大学を卒業、もしくはこれと同等の学力があると認められる者

研修概要：参加者は油圧と空気圧の双方の講義と実習を受けることができます。

- (1) 講義 6月13日(水) 9:15～16:00

・油空圧技術の特徴 ・基礎公式 ・作動油と圧縮空気の性質

講師：横浜国立大学 教授 眞田 一志 先生

明治大学 教授 小山 紀 先生

- (2) 実習 14日(木)および15日(金) 9:15～16:00

- ① 油圧実習：主な油圧機器と油圧回路

講師：ポリテクセンター関西 正木 克典, 中西 英明

- ② 空気圧実習：主な空気圧機器と空気圧回路

講師：ポリテクセンター関西 正木 克典, 中西 英明

定員：24名（定員になり次第締め切らせていただきます）

研修費用：1名につき 12,100円（消費税込み）お申し込みと同時に下記にお振込みください。

*受講料には、講義のほか教科書、教材費、実習受講費も含まれています。

*研修費用振込先：三井住友銀行 日比谷支店（普）7611417

名義：シャダンハウジン ニホンフルードパワーシステムガッカイ

修了証書：講義と実習の修了者には、(社)日本フルードパワーシステム学会より、修了証を授与します。

申込方法：(社)日本フルードパワーシステム学会事務局にお問い合わせください。

申込期限：平成24年5月31日(木)

問合せ先：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丁目5番22号 機械振興会館 別館102

TEL：(03)3433-8441 FAX：(03)3433-8442 E-mail：info@jfps.jp

巻頭言

実行委員長からのメッセージ — 沖縄での国際シンポジウムを開催して*

横田 眞一**

平成23年10月25日から4日間、沖縄宜野湾市の海浜沿いにある沖縄国際コンベンションセンターで、第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウムを開催した。4日間とも、おかげさまで天候に恵まれ、快晴無風で、沖縄にしては清々しい季候であった。参加者は、フルードパワーの最新研究について討論すると共に、沖縄の風光、文化を堪能できたと思う。沖縄での開催は委員長の強い要望でできた。10月下旬であれば、海水浴も可能で、台風の上陸・接近はほとんど無いとの過去10年の情報をもとに日時を決定した。第1回の実行委員会は3年前の平成21年5月に法政大で催され、以降11回にわたり随時開催された。幹事には法政大教授の田中豊先生（現、学部長）をお願いした。2回の会場下見と平成22年8月の中国油空圧学会総会出席を通じて、沖縄での会の成功を確信した。中国の先生がたも沖縄の開催に大きな興味をもっていただいた。外国にPlenary Lecturerをお願いする直前に、東北地方を中心に大地震と未曾有の津波が到来し、それにより原子力発電所事故が引き起こされた。とても外国の要人に講師をお願いできる状況ではなく、通知を一時保留した。その後、状況の沈静化が見られたので、依頼状を出したが、やはり軒並み断り状がいろいろな理由をつけて返された。致し方ないとは思ったが残念であった。結局、日本の先端研究をしている先生方に講師をお願いした。

外国からの参加者の減少が懸念された。来ていただく限りは、できるだけもてなそうという方針を、実行委員会で決め、プレツァー、バンケット、ポストツァーを充実させた。こういう状況を理解した一企業からの寄付にも大変助けられた。ここに厚く謝意を表したい。結果として、ヨーロッパからの常連がほとんど見えず、日本人100名、外国人70名（主に中国、韓国）の出席者となった。

特別講演をお願いしたProfessor K. Stelsonには、1年前に学会に来られたときからお願いしていたこともあり、ご夫人同伴で出席していただくことができた。Stelson教授は、今回学生対象の最優秀論文賞が用意されていることを知り、学生を連れてこなかったことを残念がり、次回はぜひとも学生共々出席したいと話していた。講演の中では、省エネに関連して、「もったいない」の日本語をうまく紹介していたのが印象的であった。また奥様は、バンケットに参加者の中でひとりだけ和服で現れ、まわりの賞賛を浴びていた。

実行委員などとの会食を、特別講演講師のProfessor K. Stelson,およびProfessor Fu Xinほかをお呼びして、たたみの上での懇談をしたが、交流には大変有意義であったと感じた。

最後になるが、今回8回目のシンポジウムをどうにか成功裏に終了できたことについて、出席者を始め、講師各位、実行委員、越膳事務所、スポンサー諸氏に、この場をお借りして深甚の謝意を表する。

[著者紹介]

よこ た しん いち
横田 眞 一 君

1975年東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻修士卒、同大学助手、助教授を経て、1995年同大学精密工学研究所教授。機能性流体を応用したマイクロアクチュエータ・センサ・システムの創成研究に従事。日本機械学会フェロー、日本フルードパワーシステム学会、日本AEM学会評議員、日本ロボット学会などの会員、工学博士。

E-mail : syokota@pi.titech.ac.jp

*平成23年11月15日 原稿受付

**東京工業大学 精密工学研究所

(所在地 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-41)

第8回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要*

田 中 豊**

1. はじめに

第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウムは2011年10月25日から10月28日まで、沖縄県宜野湾市の沖縄コンベンションセンターにおいて開催された。この会議はほぼ3年に1回、日本で開催されるフルードパワーシステムに関する国際会議で、今回も欧米やアジア各国の9の国と地域から、研究者や技術者など総勢170名ほどの参加者と108編の論文発表が行われた。著者はこの会議の幹事と運営分科会主査として、会議の準備から開催期間中の様々な行事の運営を担当した。本稿ではこの会議の全体概要について報告する。

2. 開催までの準備状況と会場

平成20年度（2008年）の学会理事会で東京工業大学の横田眞一教授（後に学会会長）が実行委員長に就任することが決まり、その決定を受けて、2009年4月30日に第1回実行委員会が招集された。この会議において実行委員会が組織され、2011年10月下旬に沖縄で第8回の国際シンポジウムが開催されることが決定した。

実行委員会の構成は、実行委員長に横田眞一教授、副委員長に上智大学の築地徹浩教授、幹事および運営分科会主査に著者、論文分科会主査に横浜国大の眞田一志教授、プログラム分科会主査に奈良高専の早川恭弘教授、展示分科会主査には足利工大の桜井康雄教授、財務分科会主査には東京工大の吉田和弘准教授、ウェブ分科会主査には慶應大の竹村研治郎講師が就任した。開催までの1年半の間に合計11回の実行委員会を開催し、会議の広報や論文、運営、プログラム、展示などについて審議、実行した。

アブストラクト段階での査読が佳境に入っていた第8回実行委員会（2011年3月7日）後の間もなくの3月11日、東日本大震災が発生し、津波やその後の原発事故、風評被害等でシンポジウムの開催の是非

も含めて検討を行ったが、時期と開催場所の観点から予定通り開催することとして準備を継続した。結果として、アブストラクト段階での申し込みがあった内の30%程度が本論文の投稿を見送るか辞退する旨の連絡があったことは非常に残念である。またその後の欧州経済危機の影響もあり、直前になり参加をキャンセルする欧州の関係者もいた。

会場の沖縄県宜野湾市にある沖縄国際コンベンションセンターは、那覇空港から14km、那覇市内から10kmの距離にあり、会場のすぐ裏にはエメラルド色の海と白い砂浜のビーチが広がっている。会議はセンターの会議棟A、Bを使用して行われた。

3. 参加者の構成

図1はこれまでのJFPS国際会議¹⁾と今回の会議の参加登録者数の推移をまとめた結果である。震災の影響もあり、また世界各地で秋の同時期にフルードパワーとモーションコントロールに関する国際会議が目白押しで開催されることもあり、残念ながら今回の参加者数は国内外ともに減少した。国別参加者数内訳は、中国25、韓国11、台湾6、フィンランド5、イタリア4、アメリカ3、フランス2、ドイツ1、日本116であり、前回と比較して、国外では中国や韓国、台湾などのアジア勢の参加者の割合が増加し、欧州勢が減少したのが最大の特徴である。米国についてはCCEFP関連の交流もあり、今回も特別講演にミネソタ大学のKim Stelson教授をお招きしたが、欧州勢については、日本の研究者との間で一部、世代交代が始まっており、研究者間の新しい

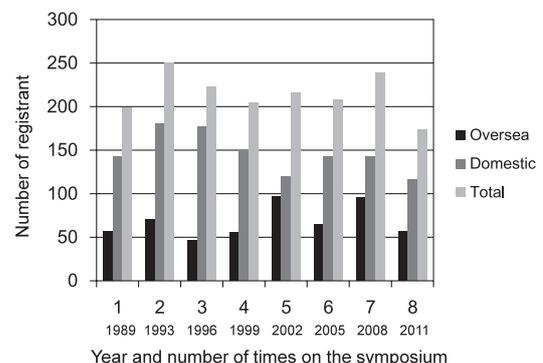


図1 JFPS国際シンポジウム参加登録者の推移

*平成23年12月9日 原稿受付

**法政大学デザイン工学部

(所在地 〒102-8160 千代田区富士見2-17-1)

交流形成が強く望まれる。

4. 会議の構成

会議は当初、2.5日間の技術講演が企画されたが、沖縄での開催の特徴を活かし、参加者にとって現地での時間を有効に活用してもらおうとの観点から、特別講演や基調講演、技術セッションを2日間に凝縮してまとめ、3日目は技術見学会を設定した。

会議は初日のオープニングセレモニーから始まった。写真1はオープニングセレモニーの様子である。実行委員長横田教授のご挨拶の後、来賓として日本フルードパワー工業会を代表して事務局長の鎌原徹氏（写真2）にご祝辞を頂戴した。その後、会議

へのご支援とご後援を賜った、日本フルードパワー工業会殿、沖縄コンベンションビューロー殿、NSKメカトロニクス財団殿、SMC(株)殿と各共催・協賛団体が司会より紹介され謝辞が述べられた。

今回の国際シンポジウムでは、最初と最後に2つの特別講演、4つの基調講演とオーガナイズドセッション、その他複数の技術セッションを含む合計28セッションが配置され、特別講演はA棟のホールで、技術セッションはA棟とB棟の4つの講演室を使って活発な発表と討論が展開された。また初日の特別講演の後には、参加者全員による集合写真撮影が行われた。写真3はその様子である。

講演と並行して企業展示も行われた。また今回の



写真1 オープニングセレモニーの様子



写真2 来賓祝辞（工業会の鎌原徹氏）



写真3 会場前における集合写真

会議では初めて、学生が発表した優秀な論文に対して表彰が行われた。これら技術セッションプログラムの構成や特別講演、基調講演、各技術セッション講演、企業展示や学生表彰の様子などは、本特集号の別掲の解説記事をご参照いただきたい。

5. 懇親の場

国際シンポジウムでは、研究者間の交流をより一層深めるため、懇親の場の設定がもう一つの重要な企画の一つである。今回の会議では、オープニングアドレス前日の夕方から、会場のA棟ホールでウェルカムパーティーが開催され、会議二日目の夜には会場近くのラグナガーデンホテルの宴会場において、バンケットが開催された。

写真4は会議前日のウェルカムパーティーの様子である。パーティーでは運営委員会の企画により、これまでの7回分のシンポジウムの記録写真が正面スクリーンに映し出された。各人、旧交を温め3年ぶりの再会を懐かしむとともに、最新の技術に関する思いや近況を語り合うなど、明日からの会議の盛り上がりを感じさせる交流のひと時となった。

また二日目夕方の学生表彰式に続くバンケットでは、ミス沖縄からのパーティー開会メッセージの後、



写真4 ウェルカムパーティーの様子

写真5に示す沖縄獅子舞による会場全体を巻き込んだセレモニーを経て、実行副委員長の築地先生の手授け（写真6）と音頭による、これまた沖縄ならではの泡盛の鏡開きと、北川前会長のご発声による乾杯セレモニー（写真7）が行われた。もちろんこの泡盛はバンケットで振る舞われたが、水割りで若干薄めであったのが著者には心残りであった。パーティーの後半では、これも沖縄を代表する踊りのエイサー（写真8）が舞台上で披露された後、写真9に示すように沖縄の盆踊りであるカチャーシーを参加者全員が輪を作ってテーブルの周りを踊り回り、会場のフルードパワーの輪による参加者の熱気は一気に高まった。最後に次回のシンポジウムの開催場所が次回実行委員長の東工大・香川利春教授よりアナウンスされ、実行委員長の横田教授の閉会の辞でバンケットは無事終了した。

6. テクニカルツアー

今回の会議では、国内外の参加者に沖縄の様子を少しでも味わってもらうため、会議前日の10月25日にプレテクニカルツアー、会議終了後の10月28日にはポストテクニカルツアーを会議参加者全員に対して参加登録費に含める形で企画し、大へん好評で



写真5 バンケットにおける沖縄の獅子舞



写真6 築地副委員長による挨拶



写真7 泡盛による鏡開きと乾杯



写真8 バンケットにおけるエイサー踊り



写真9 参加者全員による踊りの輪



写真10 プレツァーの様子（首里城前にて）

あった。

最初のプレツァーは、ウェルカムパーティー前の限られた時間に、会場からバスを手配し、那覇市内の首里城へのツアーが企画された。前日から沖縄入りした参加者の多く、特に海外からの登録者が多く参加した。写真10は首里城前の一コマである。参加者の皆様には伝統ある沖縄の琉球文化の足跡を堪能していただけたことと思う。また最終日の見学ツアーはバスで北へ2時間ほどにある、美ら海水族館の見学会が企画された。こちらは沖縄の海と回遊大水槽というアクア技術を堪能していただいた。こちらにもほとんどの登録者が参加し盛会であった。

7. おわりに

2011年10月に沖縄で開催された第8回フルードパワー国際シンポジウムの全体概要について紹介した。

会議の運営には、学会事務局と実行委員の方々、業務委託先の越膳事務所の方々をはじめ多くの関係者のお世話になった。この場を借りて御礼申し上げる。なお次回の2014年の第9回フルードパワー国際シンポジウムは、島根県松江市において開催される予定で、すでに準備が始まっている。再び多くのフルードパワー研究者が集うことを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 田中豊：JFPS国際シンポジウムの歴史，日本フルードパワーシステム学会誌，Vol. 37, No. 1, pp. 17-18 (2006)

[著 者 紹 介]

た なか ゆたか
田 中 豊 君



1985年東京工業大学大学院修士課程修了，その後東工大精密工学研究所助手を経て，1991年法政大学講師，1992年同助教授，2002年同教授，現在，法政大学デザイン工学部システムデザイン学科教授，工学博士（1991年東京工業大学）。

E-mail : y_tanaka@hosei.ac.jp

プログラム・セッションの概要*

早川 恭弘**

1. 任務および委員構成

プログラム分科会は、各種アナウンスメント、講演プログラム作成を主な任務としている。構成メンバーは、幹事に芝浦工業大学 伊藤先生、委員として岡山大学 高岩先生、岡山理科大学 赤木先生にお願いをし、Preliminary Announcement, First Announcement, Second Announcement, Third Announcement, Final Programおよび詳細プログラム作成を行った。また、プログラム概要、詳細プログラムをHPで公開した。

2. アナウンスメントの作成

2.1 Preliminary Announcement

国際会議開催に関する最初のアナウンスとして、Preliminary Announcementを作成し、2009年12月に本学会会員、過去の国際シンポジウム参加登録者にメール配信した。また、FPNetにリンクを依頼し、中国の油空圧学会に情報を送った。ここで、メール配信に関しては、プログラム分科会幹事の伊藤先生および運営分科会主査の田中先生が担当して行った。さらに、Preliminary AnnouncementをHPにアップロードした。

また、2009年秋季講演会において、参加者にPreliminary Announcementを配布し、シンポジウム次期開催場所の告知を行った。

2.2 First Announcement

プログラム分科会が作成し、2010年3月に運営分科会主査の田中先生より配信された。First Announcementでは、Best Student Paperに対する表彰の告知を行った。また、以下のオーガナイズドセッション名を記載し募集のアナウンスを行った。

1. Functional Fluids
2. Medical and Welfare Equipments
3. Robotics and Mechatronics
4. Water Hydraulics

さらに、講演論文アブストラクト、投稿に関する期限を設けた。

Key Dates :

- Deadline of abstract submission : January 15, 2011
- Notification of abstract acceptance : March 15, 2011
- Deadline of paper submission : June 1, 2011
- Early registration on or before : August 31, 2011
- Notification of final paper acceptance : September 30, 2011

ただし、アブストラクトの提出締切日は、申込み状況から月末の29日まで延長された。

2.3 Second Announcement

Second Announcementは、原案をプログラム分科会が作成し、連絡先、レイアウトおよび文書の書体を含め、越膳事務所が情報を集約し作成を行った。配信は、越膳事務所より2010年10月に行われた。ただし、Second Announcement PDF版をメール添付で行うとスパムメールとして拒否されることが多いことから、テキスト形式で送り、ホームページで詳細を確認いただくことにした。

ここで、Second Announcementでは、シンポジウム専用HPおよびメールアドレス、登録料リスト、講演テーマトピックス、展示案内、実行委員の紹介、沖縄へのアクセス方法の紹介を行っている。以下に講演テーマのトピックスを示す。

1. Functional Fluids (OS)
2. Medical and Welfare Equipments (OS)
3. Robotics and Mechatronics (OS)
4. Water Hydraulics (OS)
5. Applications of control theory
6. Basic theory and technologies
7. Energy saving and environment
8. Fluid components and systems
9. Hydraulic units and air compressors
10. Information technology and fluid power systems
11. International exchange and education
12. Micro/nano machines
13. New industrial applications of fluid power systems

*平成23年11月15日 原稿受付

**奈良工業高等専門学校
(所在地 〒639-1080 大和郡山市矢田町22)

14. Others

また、Second Announcement作成と同時に、各オーガナイズドセッションのオーガナイザーを決定し、依頼を行った。

1. Functional Fluids (築地先生 (上智大学))
2. Medical and Welfare Equipments
(香川先生 (東京工業大学))
3. Robotics and Mechatronics
(則次先生 (岡山大学))
4. Water Hydraulics (北川先生 (東京工業大学))

さらに、一般講演以外に、招待講演を2件、各オーガナイズドセッションに関する基調講演を4件、実施することが決定された。

2.4 Third Announcement

Third Announcementでは、プログラム概要の公開を行うことから、2011年5月上旬からプログラム作成準備を開始した。ここで、アブストラクトの提出締切り日は1月末であったが、3月に発生した震災の影響により、海外からの講演申込みキャンセルが多数発生した。そこで、論文提出締切りが6月1日であることから、プログラム作成においては、プログラム作業時点でキャンセルされていない講演名と著者名(アブストラクト時に登録されたデータ)を使用した。ただし、6月1日の論文提出締切り後において講演名と著者名を確認した結果、アブストラクト提出時の講演名、著者名と論文提出時の内容が異なっている論文が数件あることが判明し、修正を行った。各講演名、著者名の確認に関しては、最終原稿提出まで作業が続くことから、業者が一括して確認するなど効率的な流れを検討する必要がある。

講演論文の査読結果を踏まえ、研究分野ごとにプログラム概要を作成した。プログラム作成にあたっては、最終原稿提出後も海外からの講演キャンセルがあったことから、二日間ですべての講演(特別招待講演、基調講演および一般講演)とパンケットが終了するように調整した。また、展示ブースの見学時間を確保するため、昼食時間に展示見学時間を組み込み、最低70分間とした。また、コーヒープレイクを20分間とし、できるだけ多くの参加者が展示ブースを見学できるよう配慮した。

プログラム作成に関しては、以下の点を考慮して行った。

- 1) 日本から投稿された論文と海外からの論文をできる限り均等に分ける。
- 2) 最終論文が未着の講演の配置に関して、キャンセルの場合も踏まえ、配置を工夫する。
- 3) 国別にできる限り均等に分ける。

- 4) 各分野のトピックスに関して、空気圧、油圧、水圧、機能性流体、その他ごとに分ける。
- 5) 同じ所属の論文をできる限り均等に分ける。

以上の項目を踏まえ、概要と同時に詳細プログラムを作成した。概要プログラムは、2011年7月にHPにアップしたが、シンポジウム開催直前まで、キャンセルの連絡が入ったことから、その都度修正を行った。

ここで、詳細プログラムに関しては、プログラム分科会幹事の伊藤先生、委員の高岩先生、赤木先生が中心となって作成した。ただし、プログラム作成に関して、フォントによる文字化けが数か所発見された。文字化けの問題に関しては、分科会側では対応できないため、確認修正依頼を越膳事務所に行った。

また、各セッションの座長、副座長候補者に対しては、7月から8月上旬にかけて分科会幹事、委員の先生方から内諾を取っていただき、8月中旬には詳細プログラム案(座長、副座長名記入)が完成した。同時に、8月上旬までに座長、副座長に対する正式承諾書および注意事項アナウンス資料、講演者に対するアナウンス資料を作成した。

しかし、Purdue大学 IVANTYSYNOVA教授がシンポジウムに参加されるとの情報が8月下旬に入ったことから、急遽座長の入れ替え作業を行い、8月末までに講演プログラム案を完成させた。しかし、10月になっても一般講演辞退の連絡が入り、その都度、プログラム修正を行った。

また、以下の特別招待講演者および基調講演者に対し、講演原稿執筆依頼を8月末締切りで越膳事務所より行った。

第1日目招待講演者：米国 Prof. Stelson

第2日目招待講演者：中国 Prof. Fu

OS 基調講演者

Medical and Welfare Equipments：

川嶋先生 (東工大)

Robotics and Mechatronics：

一柳先生 (菊池製作所)

Functional Fluids：中野先生 (東北大)

Water Hydraulics：宮川氏 (KYB)

同時に、座長、副座長、講演者に対する書類(承諾書、注意事項など)を関係者に配信するよう越膳事務所へ依頼を行った。(講演者への注意事項アナウンス書類配信依頼：8月13日、座長・副座長承諾書配信依頼：8月23日、座長・副座長への注意事項アナウンス書類(担当セッションの論文ダウンロードアドレス記載)配信依頼：9月11日)

2.5 Final Program

今回のシンポジウムでは、講演プログラム、会場レイアウト、講演アブストラクトから構成されるアブストラクト集以外に、各種イベントの時間や発表情報、会場レイアウトなどが記載された簡易版としFinal Program（当日配布するA3見開きの簡易版）を作成した。下記の内容から構成されており、参加者に好評であった。

- 1) Schedule at a Glance
- 2) Floor Map と Laguna Hotel Map
- 3) Exhibition
- 4) Event

Final Programは、久保田氏が上記のデータを集約し、デザインおよび印刷を行った。また、アブストラクト集に関しては、越膳事務所がデータを集約し印刷を行った。シンポジウム参加者への配布物は、印刷製本締切り間際まで講演キャンセルの連絡が入るなど対応に追われたことから、業者がすべてのデータを集約し作業を進める流れが効率的であった。

3. 当日の運営

各講演会場では、学生が2名配置され、プロジェクター設置と調整、計時、照明、質疑応答時のマイ

ク手配、各セッションプログラムの掲示、講演会場写真撮影などの作業を行った。当日は、運営分科会委員、プログラム分科会委員が中心となって各講演会場を担当し、諸問題に対応した。

シンポジウム開催期間中、参加登録しているが来日されなかった海外参加者が数名おられた。また、来日されているのに会場で講演辞退の申し出を行った海外参加者もあり、結果的に、講演数が大幅に少なくなったセッションが出てしまった。

最後に、プロムラム分科会の運営に関しまして、ご協力いただいた方々に心から御礼申し上げます。

[著者紹介]

はやかわ やすひろ
早川 恭弘 君



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

E-mail : hayakawa@ctrl.nara-k.ac.jp

コーヒーブレイク

こんなことありませんか？

小山 紀

最近見なくなった遊びの一つに「あやとり」がある。輪にした紐を指や手に絡め、動物などさまざまな形にしてゆく。のどかな一人遊びであることも、人が組み上げた形を、もう一人が指で絡めながら取り上げる対戦戯であることもある。取り上げた指に絡むはずの紐が、抜けて形が崩れたら負けである。

先日、家族にスーパーでの買い物頼まれ、両手に沢山のレジ袋を待つはめになった。重い袋の手提

げ部分はだんだん細くなり指に食い込む。ポアソン比か……などと余計なことを考えているうち痛さに耐えられなくなる。反対の手で持とうと、袋を吊り下げたまま指を動かし移し替えた途端、袋の一つがむなしく落下。瞬間、遠いあの時の、あの子の勝ち誇った声が聞こえたような気がした。

皆さん、こんなことありませんか？

解 説

展 示 の 概 要*

桜 井 康 雄**

1. はじめに

本学会主催の国際シンポジウムにおける展示セッションの基本的な位置づけは、世界に向けた日本企業からのフルードパワー技術や製品の情報発信である。そのため、技術者による製品あるいは技術紹介というような目的に限定せず、説明員として企業の技術者だけではなく営業あるいはマーケティング関係の部署からも参加しやすい形態および雰囲気作りを目指した。このような展示セッションの実施にあたり、第8回国際シンポジウム沖縄2011の展示分科会は、主査を桜井康雄（足利工業大学）、幹事を藤田壽憲先生（東京電機大学）とした2名の構成とし、本学会事務局の支援を受け、事業を実施した。

本稿では、本シンポジウムの展示セッションの概要を紹介する。

2. 展示セッション概要

2008年に富山で実施された展示セッションでは首都圏から離れた富山国際会議場で実施されたにもかかわらず、19社22区画の参加があった。

本シンポジウムの開催地はさらに首都圏から離れた沖縄（会場：沖縄コンベンションセンター）であったため、前回の国際シンポジウムの出展企業数

から2割減らした15社を出展目標とし、2011年1月より募集を開始し、同年4月に2次募集を行った。しかしながら、リーマンショック以降の経済状況、同年3月の東日本大震災の影響のためか、申し込み企業数の出足は満足のものではなかった。しかしながら、本学会理事をはじめ関係各位のご協力を得て、最終的には、参加していただいた企業数は15社（共同出展企業を1社とカウント）17区画となった。

本シンポジウムの展示室は、会議棟Bの会議場B2とした。このフロアには講演室CおよびD、この棟の2階には講演室Bが配置されており、シンポジウム参加者の流れが良い場所であった。また、この部屋は外からの搬入経路も確保しやすい場所に位置しており、この部屋専用の隣接する小部屋もあったため、展示品を送る際に使用した梱包材の置き場も確保できた。

図1に本シンポジウムでの展示ブース1区画の詳細図を示す。本シンポジウムにおいては、1枚あたり幅1.2m高さ2.1mのパネル2枚と奥行き0.6m高さ0.7m幅1.8mの1脚の机で1区画の基本構成とした。出展企業名パネルは主催者側で作成し、このパネル

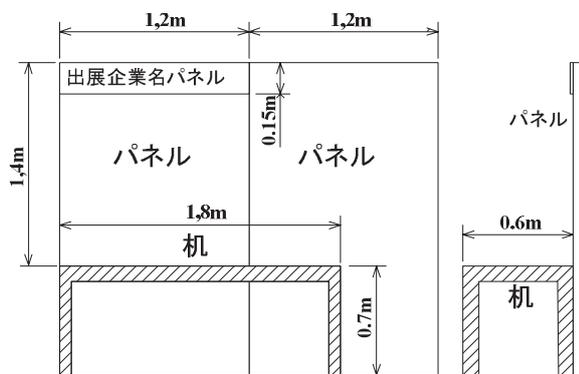


図1 展示ブース1区画の詳細図

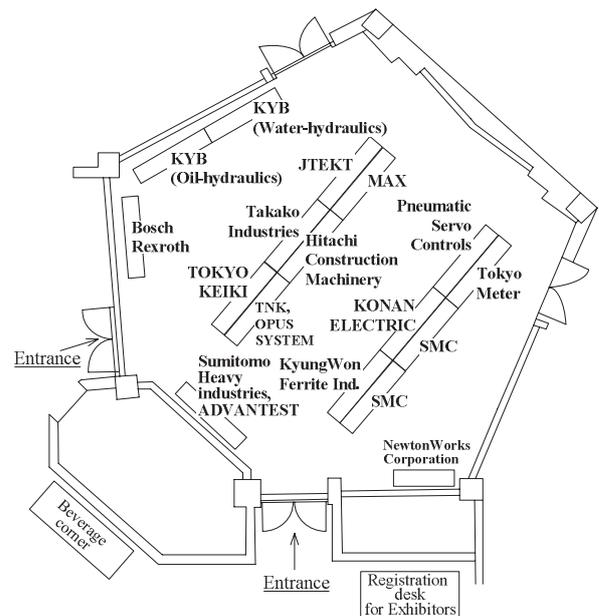


図2 展示会場レイアウト図

*平成23年12月5日 原稿受付

**足利工業大学工学部

(所在地 〒326-8558 栃木県足利市大前町268-1)

表1 出展企業, テーマ, キーワード (油圧, 水圧)

1 : Company name 2 : Theme of exhibition 3 : Key words
〈Oil-hydraulics〉
1 : Bosch Rexroth Corporation 2 : Low speed, High torque Motor from Bosch Rexroth 3 : Motor, Pump, Optimization, Reliability
1 : Hitachi Construction Machinery 2 : Double-Front Working Machine 3 : Robot, Mechatronics, Construction, Machinery
1 : JTEKT Corporation 2 : Steering systems 3 : Automobile Equipment, Energy Saving, Pump Control, Tribology, Bearing
1 : KYB Corporation 2 : Electro-Hydraulic Energy Saving System for Hybrid Construction Machinery 3 : Hybrid System, Hydraulic Assist Pump, Energy Saving, Regeneration Motor
1 : Takako Industries, Inc. 2 : Micro Piston Pump 3 : Energy Saving, Pump, Motor, Actuator, Robot, Contamination
1 : TNK CORPORATION/LTD, OPUS SYSTEM Inc. 2 : Bubble Elimination Technology 3 : Bubble, Flow Visualization, CFD, Hydraulic Systems
1 : TOKYO KEIKI INC 2 : Energy Saving System 3 : Energy Saving, Hydraulic Power Source, Hydraulic Power Unit
〈Water-hydraulics〉
1 : KYB Corporation 2 : Aqua Drive System 3 : Servo Valve, Proportional Control Valve, Pump, Motor, Industrial Machine

の色はブルーを基調とし、油圧、水圧、空気圧、その他で濃淡を分けた。

図2に当日のレイアウトを示す。本展示セッションでは、油圧・水圧と空気圧・その他をそれぞれまとめるようなレイアウトとした。また、動作展示を行うブースは、デモンストレーションを見学する参加者の場所を確保するため、できる限り離すよう配慮した。展示の準備は、シンポジウム前日の14:30~18:00、初日の8:30~9:30を利用して行い、主査、幹事およびアルバイトの学生5名で展示の準備の手伝いを行った。

表1に油圧および水圧関連のテーマで出展していただいた企業の一覧、テーマおよびキーワードを示す。油圧および水圧関連では7社8区画の出展があった。ポスターと動作展示が3社、ポスターと静止機器展示が2社、ポスターとカタログ展示が2社であった。

表2に空気圧およびその他のテーマで出展していただいた企業の一覧、テーマおよびキーワードを示す。

表2 出展企業, テーマ, キーワード (空気圧, その他)

1 : Company name 2 : Theme of exhibition 3 : Key words
〈Pneumatics〉
1 : Konan Electric Co., Ltd. 2 : Company Guide 3 : Solenoid Valve for Heavy-Duty, Actuator for Power Generating Plant, Wrapping machines, Control Panels, Solenoid Valve for Various Fluid
1 : KyungWon Ferrite Ind. Co., Ltd. 2 : Piezoelectric Valve for Pneumatics 3 : Valve, New Material, Agricultural Machinery
1 : MAX CO., Ltd. 2 : Pneumatics Tools and Air Compressor 3 : Equipment, Construction Machinery, Pneumatic Power Source
1 : Pneumatic Servo Controls Ltd. 2 : Pneumatic Servo Valve & Servo Actuator 3 : Pneumatic Servo, Servo Valve, Servo Actuator, Motion Control, Precision
1 : SMC Corporation 2 : New Products 3 : Energy Saving, Actuator, Motor, Temperature Control, Static Electricity Elimination Equipment, Vacuum Equipment
1 : Sumitomo Heavy industries, Ltd., ADVANTEST CORPORATION 2 : Ultra Precision Pneumatic Servo Stage 3 : Actuator, Position Control, Servo Valve, Control Method
1 : Tokyo Meter Co., Ltd. 2 : Air Power Meter, Quick Flow Sensor 3 : Measurement, Sensor, Unsteady Flow
〈Others〉
1 : NewtonWorks Corporation 2 : Simulation Software 3 : ADINA, SimulationX

空気圧およびその他のテーマで8社9区画の出展があった。ポスターと動作展示が3社、ポスターとカタログ展示が5社であった。その他はシミュレーションソフト関連の企業からの展示である。また、韓国の企業¹⁾からの出展もあり、一般講演とリンクする内容の展示であった。

前回の国際シンポジウムと同様、表1および表2に示した内容は、その企業のHPアドレスを追加し、9月下旬に本シンポジウムのHPに掲載した。また、これと同じ内容をProceedingsにも掲載した。なお、前回同様、企業のHPアドレスにはリンクを張り、展示に参加していただいた企業の宣伝効果を少しでも高めるよう配慮した。

本シンポジウムでは、展示のみを見学する時間帯(展示コアタイム)を特に設けず、ランチタイムお

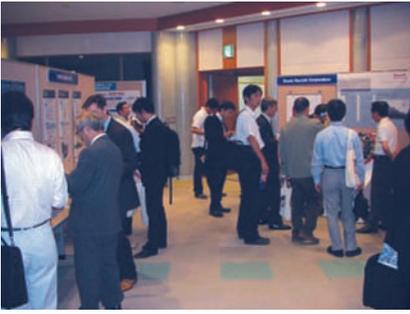


写真1 展示見学の様子-1

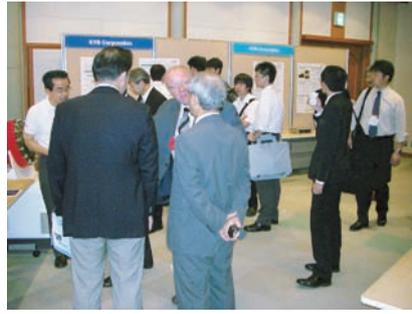


写真2 展示見学の様子-2

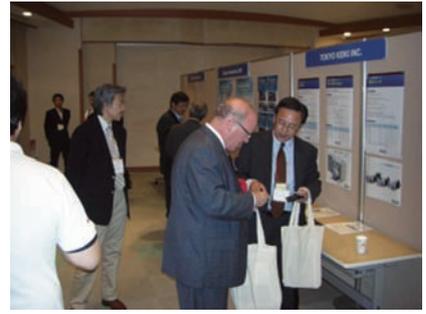


写真3 展示見学の様子-3

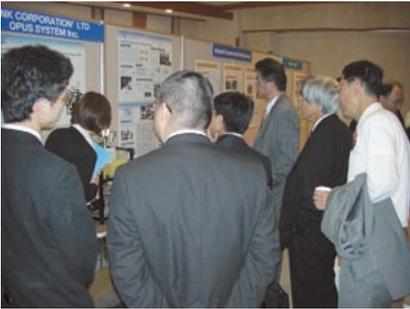


写真4 展示見学の様子-4



写真5 展示見学の様子-5



写真6 展示見学の様子-6

よびコーヒープレイクと併せて展示のコアタイムとした。そのため、コーヒーなどの飲み物をサーブするコーナーを図2に示すように、展示室の外に設け、見学者の流れを作るよう配慮した。

初日のコーヒープレイクの際には来場者はまばらであった。しかしながら、ランチタイムからは展示会場を訪れる人数が徐々に増加し、展示説明員を配置したブースでは熱心な説明と活発な質疑応答が行われ始めた。写真1～6にその様子を示す。

3. おわりに

本稿では第8回国際シンポジウム沖縄2011の展示セッションの概要を述べた。経済状況が不透明で東日本大震災の影響で大変厳しくお忙しいと推察される中で、本セッションに出展していただいた企業殿、参加企業の募集に大変な努力を払っていただいた本学会理事各位、展示分科会幹事の藤田壽憲先生、本シンポジウム実行委員各位および学会事務局に、厚く御礼申し上げる。

次回の国際シンポジウムは2014年に香川利春先生(東京工業大学)を実行委員長として、島根県松江市で実施する予定となっている。この頃には、世界

の経済情勢も落ち着き、東日本大震災で様々な被害にあわれた地域の復興も進展し、本シンポジウムの展示セッションに多くの企業が参加できる環境が整っていることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) Kyung Won Ferrite Ind. Co., Ltd.

[著 者 紹 介]

さくら い やす お
桜 井 康 雄 君



1986年上智大学大学院博士前期課程修了。富士重工業(株)、上智大学助手等を経て2000年足利工業大学講師、2001年同大学助教授、2007年同大准教授、2009年同大教授、現在に至る。油空圧システムの動特性解析、ECFを利用したシステムの開発に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会の会員。博士(工学)。

E-mail : ysakurai@ashitech.ac.jp

JFPS Best Student Paper Award*

佐藤 恭一**

1. はじめに

第8回フルードパワー国際シンポジウムでは、フルードパワーシステムの発展に寄与する先駆的な論文を執筆し、かつ、シンポジウムの場で優れた講演発表をされた学生参加者に対し、厳正な審査の上、「JFPS Best Student Paper Award」を授与した。今回、筆者はシンポジウム実行委員会表彰委員会の一員としてこの学生表彰に関わったので、以下、その選考過程を報告するとともに、受賞者を紹介する。

2. 選考過程

当シンポジウムで学生表彰を設けることは、Call for Papersや当シンポジウムのWEBサイトで告知しており、アブストラクトの投稿と同時に、学生表彰への応募を受け付けた。当シンポジウムでは、一般、学生合わせて約140件のアブストラクト投稿があり、その後のアブストラクト査読によるスクリーニングや著者からのフルペーパー（正論文）提出の取り下げによる件数減を経て、最終的に約120件のフルペーパーが提出された。このうち約50件が学生表彰への応募を伴う論文であった。

まず、学生表彰の第一次審査として、一般、学生の区別のない当シンポジウムの査読プロセスでフルペーパーの評価が行われた。具体的には、複数のレフリーによる各種評価項目および総合判定のポイント化である。このポイントを論文の質を定量的に評価したものとし、学生表彰応募者のポイント順の上位20%を第一次審査通過者とした。

第一次審査により論文の質は評価されたが、学生の論文の場合、指導教員や研究グループとの共著であることがほとんどであるため、学生の論文への寄与度を明確に判断することは難しい。学生表彰は学生個人に与えられる賞であることから、第二次審査では、シンポジウム会場で論文を自身の研究テーマとしての的確に講演発表できているかどうかを審査し

た。審査委員は、あらかじめシンポジウム実行委員会から指名された複数名で、会場で審査対象の学生の講演発表を聴講して、講演発表の明快さ、スライドのわかりやすさ、論理的な展開、時間配分、質疑応答の明確さなどの観点で評価を行った。

第一次審査通過者全員の第二次審査が終了後、表彰委員会を開催し、第一次審査、第二次審査の評価結果を踏まえて審議し、「JFPS Best Student Paper Award」受賞者6名を決定した。

3. JFPS Best Student Paper Award受賞者

受賞者は、以下の6名である。

氏名（所属），“論文題目”の順

- ・ Jinshi LU (Tokyo Institute of Technology), “Study on N-level Pressure Hybrid Power Supply Hydraulic Servo System with High Efficiency and High Response”¹⁾
- ・ Akira OZAWA (Yokohama National University), “An Indirect Measurement Method of Transient Pressure and Flow rate in a Pipe Using Steady State Kalman Filter”²⁾
- ・ Akihiro YAMAGUCHI (Keio University), “An In-Pipe Mobile Robot Using Electro-Conjugate Fluid”³⁾
- ・ Andrew SCHENK (Purdue University), “An Investigation of the Impact of Elastohydrodynamic Deformation on Power Loss in the Slipper Swashplate Interface”⁴⁾
- ・ Kento MORI (Keio University), “The Control of a Bellows Actuator Using Electro-conjugate Fluid”⁵⁾
- ・ Tatsuyuki IWAWAKI (Okayama University), “Development of Portable Energy-saving Type Air Supply System Using Variable Volume Tank”⁶⁾

4. 受賞式

授賞式は、シンポジウム三日目（10月27日）のバンケットに先立ち、バンケット会場で執り行われた。授賞式司会の眞田一志横浜国立大学教授より、学生

*平成23年12月6日 原稿受付

**横浜国立大学大学院工学研究院

(所在地 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)



写真1 横田実行委員長より表彰状を授与される受賞者 (Schnenk氏)



写真2 横田実行委員長と受賞者各氏 (Yamaguchi氏, Ozawa氏, Mori氏, Lu氏, Iwawaki氏, Schnenk氏), 表彰状授与を手伝わされたミス沖縄嬢

表彰選考の経緯説明につづいて受賞者の名前が発表された。会場ではパンケット参加者全員が着席している中、受賞者は自分が受賞したことを初めて知るといふサプライズがあり、受賞者名の発表に合わせて一人ずつステージに登壇した。引き続き、横田眞一東京工業大学教授・シンポジウム実行委員長より受賞者に表彰状が授与された(写真1, 2)。

5. おわりに

当シンポジウムの発表論文約120件中、約50件は学生表彰に応募された論文であり、学生の活発なシンポジウムへの参加を伺い知ることができる。いずれの論文も当シンポジウムの査読プロセスを通過し採択された学術的あるいは実用的貢献度の高いものであり、講演発表にも相当の準備をして臨まれたのであろう。最終的には6名の受賞者に絞られたが、受賞に漏れた方も含めて上位者の評価は僅差であった。今後の学生諸氏のさらなる活躍を期待したい。

参 考 文 献

- 1) Jinshi LU, et al. : Study on N-level Pressure Hybrid Power Supply Hydraulic Servo System with High Efficiency and High Response, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 1A3-1, p. 79-84 (2011)
- 2) Akira OZAWA, Kazushi SANADA : An Indirect Measurement Method of Transient Pressure and Flow rate in a Pipe Using Steady State Kalman Filter, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 1B1-1, p. 104-109 (2011)
- 3) Andrew SCHENK, Monika IVANTYSYSNOVA :

An Investigation of the Impact of Elastohydrodynamic Deformation on Power Loss in the Slipper Swashplate Interface, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 1C2-5, p. 228-234 (2011)

- 4) Akihiro YAMAGUCHI, et al. : An In-Pipe Mobile Robot Using Electro-Conjugate Fluid, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 2B1-2, p. 456-463 (2011)
- 5) Kento MORI, et al. : The Control of a Bellows Actuator Using Electro-conjugate Fluid, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 2B3-1, p. 488-494 (2011)
- 6) Tatsuyuki IWAWAKI, et al. : Development of Portable Energy-saving Type Air Supply System Using Variable Volume Tank, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power Okinawa 2011, 2D3-1, p. 665-670 (2011)

[著 者 紹 介]

さとう やすかず 君
佐藤 恭一



1994年横浜国立大学大学院博士課程修了。同年同大学講師、1998年同助教授。現在、同大学院工学研究院准教授。メカトロニクス、電気・流体・機械系の動力伝達と制御の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、自動車技術会などの会員。博士(工学)

E-mail : yasukazu@ynu.ac.jp

解 説

特別招待講演の概要*

吉田和弘**

1. はじめに

The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa 2011では、全参加者が一つの大きな講演会場に会して、Stelson教授（米国、ミネソタ大学）による省エネルギーに関する講演と、Fu教授（中国、浙江大学）によるキャビテーションに関する講演の2件の特別招待講演が行われた。本稿では、それらの概要を紹介する。

2. Stelson教授の講演

2.1 Stelson教授について

Kim A. Stelson教授は、1982年に米国マサチューセッツ工科大学で博士号を取得し、現在、米国ミネソタ大学においてNSF（National Science Foundation、全米科学財団）の補助金により設立されたCenter for Compact and Efficient Fluid Power (CCEFP)¹⁾のセンター長である²⁾。同センターは、省エネルギー、人間スケールの自立形フルードパワーなど、コンパクト、高効率で有効な次世代フルードパワーシステムの実現を目指している。

2.2 講演の概要³⁾

本シンポジウム会期の2日目（講演の初日）のオープニングセレモニーに引き続き、Stelson教授の特別招待講演は、講演時間50分で行われた（写真1参照）。

本講演は、「Saving the World's Energy with Fluid Power」と題し、世界の省エネルギーに貢献するフルードパワーの最近の研究について解説された。以下にその概要を紹介する。

まず、世界の省エネルギーに貢献するフルードパワーについて概観している。現在の世界の状況については、石油の不足、地球温暖化、世界的な政治の不安定などのエネルギーに関係する問題点を指摘している。米国エネルギー省の2008年の統計によると、

フルードパワーシステムは、米国におけるエネルギー伝達の2.3~3.0%を占めている。ただし、フルードパワーシステムの効率は、応用により6~40%、平均で21%でかなり低い。今後5年間の5%の効率の改善は、年間90~110億ドルのエネルギーコストの節約と、年間3300万トン以上のCO₂排出量の削減をもたらす。今後15年間に15%効率を高めることができれば、年間190~250億ドルのエネルギーコストの節約と、毎年9000万トン以上のCO₂排出量の削減ができるとしている。エネルギー効率の改善による、フルードパワーの産業機械、移動機械、および風力タービンへの応用における省エネルギーの効果を強調している。またフルードパワーの特徴について述べ、長所は、フレキシブルな配管、双方向動作、無段変速、高トルク、高発生力、および高パワー密度、短所は、低効率、騒音、蓄積エネルギー変化、および熟知されていないこととしている。

つぎに、CCEFPにおいてテストベッドを構築し、検討しているものの中から、省エネルギーに関連した三つの研究事例について紹介している。CCEFPは、フルードパワーの顕著な省エネルギーを目指した研究を実施しており、1)現在の応用におけるエネルギー効率の顕著な改善、2)低燃費の油圧ハイブリッド乗用車による交通分野の効率の改善、3)



写真1 Stelson教授の講演の様子

*平成23年11月28日 原稿受付

**東京工業大学精密工学研究所

(所在地 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-R2-42)

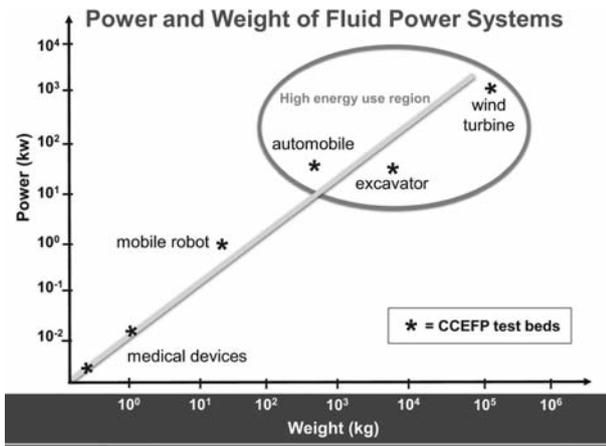


図1 フルードパワーシステムのパワーと重量
[文献3]より転載]

配管のない携帯可能な人間サイズのフルードパワーデバイスの開発、および4) ユビキタス性の向上、を目標としている。図1は、CCEFPテストベッドにおけるパワーと重量を示す。これらのテストベッド、すなわち、医用デバイス、移動ロボット、乗用車、パワーショベルおよび風力タービンは、検討するパワーおよび重量のレンジをカバーするように注意深く選定されている。

第1に、大形移動油圧機械の一つであるパワーショベルについて述べている。パワーショベルは、推進動作、ステアリング動作など多数の動作を間欠的に行う油圧回路を持つオフロード移動油圧機械の代表である。典型的な掘削サイクルを行うパワーショベルのエネルギー収支は、エネルギーの40%以上が回生の可能性なく制御弁において失われることを示している。容量制御は、制御弁を可変容量ポンプに置き換えることにより、絞りによる損失を除去することができる。可逆的な容量制御アクチュエーションでは、一つの動作回路からのエネルギーを直ちにもう一つの動作回路で使用することができる。アキュムレータへのエネルギー蓄積を加えることにより、さらに大きなエネルギーを節約することができる。実験用容量制御小形パワーショベルにより、燃料消費を約1/2に低減できることが示されている。

第2に、フルードパワーの新しい応用として油圧ハイブリッドカーについて述べている。清掃車や市内バスなどの、より大形の車両への応用において、油圧ハイブリッドカーは電気ハイブリッドカーに比べかなり高い効率と低いコストであることを示しており、ニューヨーク市は、300台の油圧ハイブリッド清掃車の準備を進めている。さらに、乗用車への応用開発も進められている。

油圧ハイブリッドカーは、HMT (Hydro

Mechanical Transmission) およびアキュムレータを用いたエネルギー回生システムにより、高い効率のシステムを実現することができる。ハイブリッドシステムによる省エネルギーは、制動時のエネルギー回生、エンジンオフを含むエンジン操作方法による効率の改善、およびエンジンの小形化により実現される。

油圧ハイブリッドの構成には4種類ある。すなわち、並列形、直列形、入力結合HMT形、および出力結合HMT形であり、HMTは動力分割式伝動機構とも呼ばれる。並列形は、油圧回生ユニットが従来の機械式伝動機構に加えられたもっともシンプルな構成である。並列形油圧ハイブリッドカーは、高い伝動効率を持つが、エンジンの操作性は低く、効率を限定している。直列形油圧ハイブリッドカーは、機械式伝動機構をHST (Hydrostatic Transmission) に置き換えたものである。HSTは無段変速であり、直列形は並列形に比べエンジンの操作性は高いが、HSTにおけるエネルギー損失がエンジン効率の改善効果より大きくなる可能性がある。これが、高い効率のポンプおよびポンプ・モータが直列形油圧ハイブリッドカーの性能向上に必要な理由である。市場に新たに登場した自動車の中で、並列形は清掃車に、直列形は配達車に応用されている。

HMTは並列形および直列形の魅力的な代替品であり、入力結合形または出力結合形とできる。HMTは、機械と油圧の二つの動力の伝達経路がある。HMT形ハイブリッドカーは、高い効率で無段変速とできるため、並列形および直列形よりも高い燃費性能を有する可能性がある。

コンパクトでエネルギーを蓄積するために、従来のガスを用いたアキュムレータではなく、弾性体にエネルギーを蓄積するアキュムレータが開発されている。また、エンジンとポンプのユニットも開発されている。

第3に、風力タービンについて述べている。風力は、米国エネルギー省が2030年までに電気エネルギー源の20%を占めるという目標を設定しているように、今後、重要なエネルギー源となる。発電機は風車よりかなり速く回転しなければならないため、風力タービンには増速伝動機構が必要である。現在は、一定速比のギアボックスを使用し、パワーエレクトロニクスで制御しているが、ギアボックスは重く、高価で、信頼性が低い。信頼性の低下は、風によるいろいろな方向の動的負荷による疲労により生じる。

HSTは、風力タービンのため、ギアボックスに



写真2 Fu教授の講演の様子

代わる魅力的な手法を提供する。HSTは、ギアボックスと比べ軽く安価で、疲労を避けるために静圧軸受を用いることにより、ギアボックスより信頼性を高くすることができる。HSTは、ギアボックスと比べ効率は低い、無段変速をロータの空力効率を増加するように利用できるようにするため、全効率を高くできる可能性がある。また、無段変速により、パワーエレクトロニクスによる効率の低下およびコストを除き、同期発電機を使用することができるようになる。HSTは、また、発電機を風の衝撃負荷から分離することにより発電機寿命を延ばすクッション効果を有する。一つの新しい試みは、HSTをナセル内に配置したポンプと、発電機と制御器とともに地上の高さに配置した油圧モータに分離することである。この試みにより、ナセルの重量を減らすとともに、メンテナンス、修理および交換のためのすべての主要な要素へのアクセスを容易にすることができる。

最後に、フルードパワー技術は有用であり、日本の文化である「もったいない」の精神を発揮し、新技術により効率の向上を図ることが重要であると述べている。

3. Fu教授の講演

3.1 Fu教授について

Xin Fu教授は、1998年にオーストラリアレオベン大学で博士号を取得し、現在、中国浙江大学のState Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Controlおよび機械工学科に所属し、フルードパワーシステムの振動・騒音、マイクロフルードパワーシステム、および流量計測の研究を進めている⁴⁾⁵⁾。

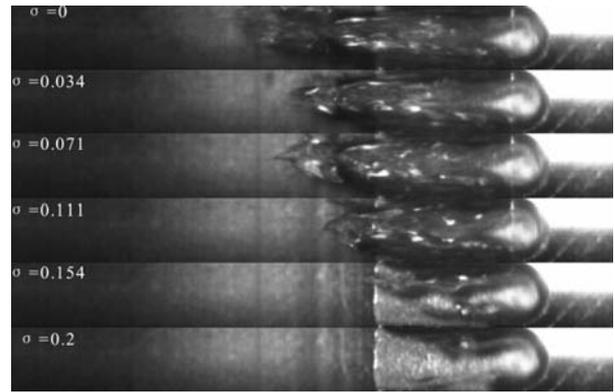


図2 キャビテーション指数 σ に対するU形ノッチにおけるキャビテーション [文献5)より転載]

3.2 講演の概要⁵⁾

本シンポジウムの会期3日目の学生表彰式およびバンケットの直前に、Fu教授の特別招待講演は、講演時間50分で行われた(写真2参照)。

本講演は、「A Fundamental Research of Cavitations in Hydraulic Components」と題し、油圧機器内のキャビテーションの基礎的研究について解説された。さらに、中国におけるフルードパワー産業の現状について紹介された。以下にその概要を紹介する。

3.2.1 油圧機器内のキャビテーションの基礎的研究

まず、油圧機器内のキャビテーションの基礎的研究の概要について述べている。

キャビテーションの発生場所、騒音発生メカニズム、および表面壊食のメカニズムを検討課題とし、キャビテーション現象から単一の気泡の挙動までを解明し、油圧キャビテーションのより良い制御を実現することが本研究の目的である。キャビテーションの発生場所については、油圧機器の中から油圧制御弁を取り上げ、スプールのU形ノッチおよびV形ノッチにおけるキャビテーション気泡発生を観測を行っている。騒音発生メカニズムについては、キャビテーションが気相-液相流れまたは液体と気泡であるとし、気相-液相流れにおいて、沸騰時のように温度変化が生じる場合、またはノッチ部のキャビテーションのように圧力変化が生じる場合に騒音が発生するとしている。表面壊食メカニズムについては、固体表面上の液体において、キャビテーション気泡が崩壊することによりエネルギーが解放され生じるとしている。

つぎに、キャビテーション現象について検討している。

まず、ノッチ内におけるキャビテーション発生メカニズムについて検討している。従来のキャビ

テーションの定義として、液体の慣性力による局所的な圧力低下により生じる気相—液相領域とし、主要パラメータとしてキャビテーション指数 σ について説明している。V形ノッチおよびU形ノッチにおけるキャビテーションを高速度カメラにより観測している（図2参照）。V形ノッチの場合、角のエッジ部において、個別に発生した運動する気泡がクラスタを形成するという観測結果に基づき、液体の慣性力とエッジ部のせん断応力によりキャビテーションが生じるとしている。U形ノッチの場合は、個別に運動する気泡が生じて底部に固定した大きな空洞を形成し、回転する周期的な吹き出しを生じている。さらに速度場を数値流体解析で求め、液体中の慣性力とノッチ内の対称的な渦によりキャビテーションが生じるとしている。

つぎに、キャビテーションおよび騒音の主要パラメータについて検討している。ノッチにおける出口圧力、入口圧力、ノッチ開口面積、ノッチサイズ、および圧力変化を挙げ、騒音レベルを測定し、各パラメータの影響を実験的に明らかにしている。U形ノッチの場合、出口圧力の増加に対し、キャビテーションは大きく変化する、騒音レベルはある値で最大となる、流量にはほとんど影響しない。入口圧力の増加に対しては、キャビテーションは強くなる、騒音レベルには大きく影響しない、流量は比例して増加する。ノッチ開口面積の増加に対しては、キャビテーションには大きく影響しない、騒音レベルは増加する、流量は比例して増加する。ノッチサイズの一つの深さの増加に対しては、キャビテーションは大きく変化する、騒音レベルは増加する、流量は大きくなる、という結果を示している。V形ノッチについても同様の結果を得ている。さらに、出口部における圧力および速度場の挙動を示すとともに、流量が、キャビテーション開始点において推定値からずれ、キャビテーションが完全に発達したときに飽和することを示している。

つぎに、キャビテーション騒音の特性について検討している。最大の騒音レベルはキャビテーション指数が臨界値より小さいとき（ただし、最小ではない）に生じること、ノッチごとに騒音レベルが最大となる周波数は大きく異なること、気泡の大きさと騒音周波数の関係、U形とV形のノッチの騒音周波数の差異について明らかにしている。さらに、V形ノッチにおけるひゅうひゅう鳴る音について、乱流時には周波数は一定であること、キャビテーション流れで著しく大きくなること、流量の増加に対し騒音が最大となる周波数は低下することを示している。

さらに、キャビテーションおよび騒音の制御のた

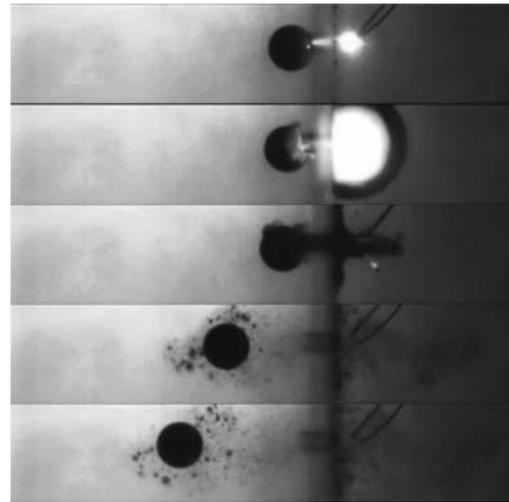


図3 単一の気泡の崩壊 [文献5) より転載]

めの提案を行っている。ノッチの深さと開口面積を減少し、流路抵抗を高めることで、圧力変化、キャビテーションおよび騒音レベルを低下できるとしている。

つぎに、単一の気泡の挙動について検討している。

まず、気泡がどのように発生するかを検討するため、液体中の空気の小球である気泡と、薄い空気膜に覆われた液体であるアンチバブルについて説明し、マイクロプローブによる電気分解を用いたマイクロ気泡、電気スパークを用いた通常サイズの気泡、および表面活性剤を用いた液面への噴出を用いたアンチバブルの生成方法について述べ、その様子の動画を示している。

つぎに、どのように気泡が崩壊するかについて検討するため、通常サイズの気泡の自由空間、固体表面近傍、および管内での崩壊の様子を観測している（図3参照）。また、アンチバブルの崩壊の様子を観測し、空気膜が小さな気泡に崩壊すること、および渦のリングが形成されることを示すとともに、一定である崩壊速度の近似式を導出している。

さらに、どのように気泡が液体中に存在するかを検討し、気泡サイズの時間変化の測定結果を示している。

最後に、キャビテーションはまだ未知の部分が多い神秘的な現象であると述べている。

3.2.2 中国におけるフルードパワー産業の現状

つぎに、中国におけるフルードパワー産業の現状について概観している。

中国国内の機械産業の生産高は2010年に34%増加している。また、2010年の大形および中形トラクタ、発電機器、CNC加工機械（67%増加）、自動車（32%増加）、産業機械（38%増加）などの活発な発展のデータを示している。2011年は、機械産業15%、

フルードパワー製品18%（油圧製品22%，ハイドロダイナミクス製品15%，空気圧製品18%，シール17%）の増加である。さらに、2005年～2010年の機械産業製品およびフルードパワー製品の分野別の生産高の推移、2010年のフルードパワー製品の分野別の市場規模、2005年～2010年のフルードパワー製品の輸入量および輸出品の推移を示している。さらに、2005年～2010年の油圧製品、ハイドロダイナミクス製品、空気圧製品、およびシールの生産高の推移、2010年の油圧製品、ハイドロダイナミクス製品、空気圧製品、およびシールの機器別内訳を示している。以上により、大きく発展している中国のフルードパワー産業の現状を明らかにしている。

4. おわりに

The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa 2011で行われたStelson教授およびFu教授による特別招待講演は、近年とくに注目を集めている省エネルギー技術と、フルードパワー技術において重要なキャビテーション現象の最近の研究成果に関するもので、多くの研究者および技術者の関心を集めていた。本稿によりその一部でも伝えることができれば幸である。

参 考 文 献

- 1) <http://www.ccefp.org>
- 2) <http://www.me.umn.edu/people/stelson.shtml>
- 3) Stelson, K. A. : Saving the World's Energy with Fluid Power, Proc. 8th JFPS Int. Symp. on Fluid Power, Okinawa 2011, p. 1-7 (2011)
- 4) http://me.zju.edu.cn/english/teacher_show.php?id=39
- 5) Fu, X. : A Fundamental Research of Cavitation in Hydraulic Component, Proc. 8th JFPS Int. Symp. on Fluid Power, Okinawa 2011, p. 8 (2011)

[著 者 紹 介]

よし だ かず ひろ
吉 田 和 弘 君



1989年東京工業大学大学院博士課程制御工学専攻修了、1996年同大学精密研究所助教授（現、准教授）、現在に至る。2008年10月～2009年3月米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校客員研究員。流体マイクロマシン、機能性流体の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、IEEEなどの会員、工学博士。
E-mail : yoshida@pi.titech.ac.jp

会 告

会 員 移 動

会員の種類	名誉会員	正 会 員	海外会員	学生会員	賛助会員
会 員 数 (1月20日現在)	13	911	14	153	104
差 引 増 減	0	+ 1	+ 1	0	- 1

正会員

置塩 直史 (JX日鉱日石エネルギー(株))

梶原 伸治 (近畿大学)

海外正会員

朴 大 光 (韓吉Hightechpia)

解 説

Fluid Power 2011「医療・福祉」セッションの講演*

赤木 徹也**

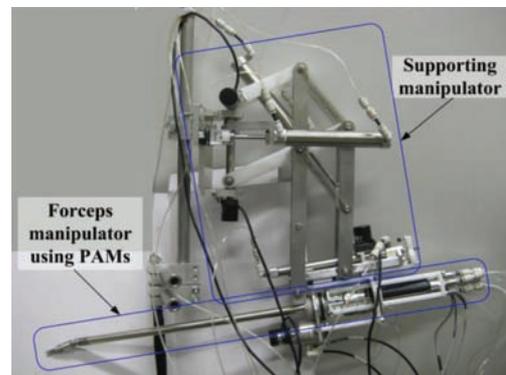
1. はじめに

第8回JFPSフルードパワー国際シンポジウムにおいて、医療・福祉関係のセッションとして、東京工業大学の香川利春教授をオーガナイザーとして、Medical and Welfare EquipmentsのOSが10月26日に2セッションで開催された。このセッションの副座長として参加した小生が、参加者の一人として、このセッションの内容を報告する。セッションでは、基調講演1件を含む、計7件の講演が予定され、講演者も日本、イタリア、中国、マケドニア共和国からなどさまざまであったが、震災の影響からか、後述する2件のキャンセルがあった。また、内容に関しても医療応用や高齢者・障がい者支援機器、介護支援機器、マッサージ機器など医療・福祉に関する国内外の研究成果が盛り込まれ、すべての講演に共通して、空圧源を動力としているところが本セッションの特徴のように思われる。つまり、空圧を動力源としたこれら医療と福祉に関する国内外の研究成果を一堂に会することができたのも、この会議の特徴と言える。本解説では、基調講演を含め発表された講演内容（キャンセルされた講演内容を含む）について、著者の独断と偏見で『医療応用』、『身体動作支援機器』、『リハビリテーション機器』に分類して著者名とともに紹介する。

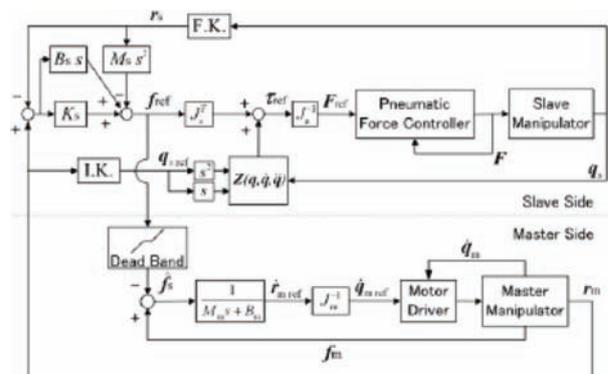
2. 医療応用

医療応用としてまず紹介したいのは基調講演で行われた東京工業大学川嶋健嗣氏ら¹⁾による講演である。講演内容は空気圧アクチュエータを用いた触覚を有する腹腔鏡手術のためのマスタースレーブロボットシステムについてである。腹腔鏡手術ロボットとして現在商用ベースのものは「ダヴィンチ」が有名であるが、まさにそれに匹敵するともいえるロボットの開発といったセンセーショナルな内容であった。ロボットは図1(a)に示すように空気圧駆動

の鉗子マニピュレータとそれを支えるサポートマニピュレータから構成される。「ダヴィンチ」との大きな違いは、触覚のフィードバックのために通常必要となる鉗子部分の力センサを、制御系にオブサーバを構成(図1(b)参照)することで、鉗子先端につける必要のない圧力センサから推定できる点で



(a) 腹腔鏡手術スレーブロボット



(b) バイラテラル制御のブロック線図



(c) 豚を使用した腹腔鏡手術

図1 腹腔鏡手術用マスタースレーブロボット

*平成23年11月4日 原稿受付

**岡山理科大学工学部知能機械工学科

(所在地 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1)

ある。また、制御系としてもインピーダンス制御を組み込むなど、空気圧サーボ系として非常に洗練されている。また、図1(c)に示すように実際に豚の内臓を使った試験を行うなど、実用化に限りなく近い段階まで開発ができていく印象を受けた。今後の課題としては、現在の空気圧サーボ系で実現できている触覚0.5Nの分解能を上げたいとのことである。読者の皆様にも、ぜひ、論文などを取り寄せ一読していただきたい研究である。

3. 身体動作支援機器

身体動作支援機器に関して2件の講演が行われた。これら2件の講演は、主に下肢特に歩容のアシストを行うものである。このうち、大連理工大学のHaifan Wu氏ら²⁾は、平行空気圧重量ベアリングによる歩行アシストロボットの開発について講演を行った。これは、自転車のサドルのついたフレームに、空気圧シリンダを脚に並行に複数本取り付け、靴底にあるフットプレート歩容に合わせて押すことで、膝などに障害を抱えた高齢者の歩行をアシストするものである(図2参照)。

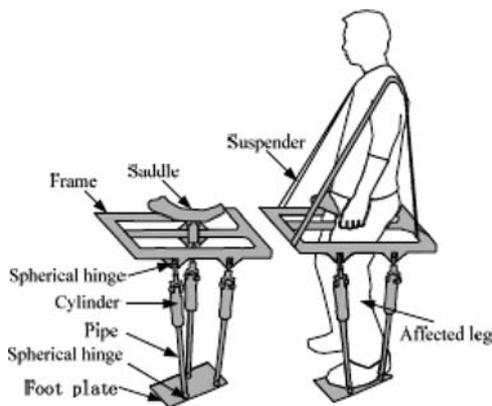
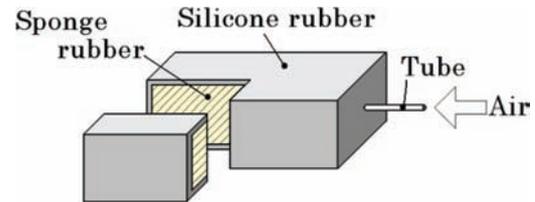


図2 Haifan Wuらによる歩行支援ロボット

また、このような外骨格による歩行支援ではなく、もっとコンパクトに靴のみで転倒などを予防する研究として、奈良工業高等専門学校の前川恭弘氏ら³⁾による講演があった。講演は靴底のソールに、図3(a)に示すスポンジの外側をシリコンゴムでコーティングした特殊なソフトアクチュエータを用い、アクチュエータ内の空気圧を制御することで、使用者の足の接地角度を制御し、転倒を防止するものである。将来的には歩容により生じる足の踏込をポンプの動力に使用する予定で、現状では血圧計に使われている小形のポンプを使用している(図3(b)参照)。現状でも弁、コントローラ、ポンプを含めたすべてのシステムが靴に集約されており、さらに、歩容補助に必要な左右の足の相互情報通信はXBee

(ZigBee通信モジュール, 2.4GHz帯, 通信距離100m)を使用した無線通信で行われている。また、携帯電話のLi-ionバッテリーを使用して、1日程度駆動できるといった優れたものである。つまり、1足1足が独立した駆動システムとして成り立ち、さらに24時間単位の長時間使用できる点が非常にユニークで、今後の発展に期待が持てる。



(a) スポンジコアソフトゴムアクチュエータ (SCSRA)



(b) 無線機とポンプを搭載した試作靴の外観

図3 高性能中敷きを用いた靴

4. リハビリテーション機器

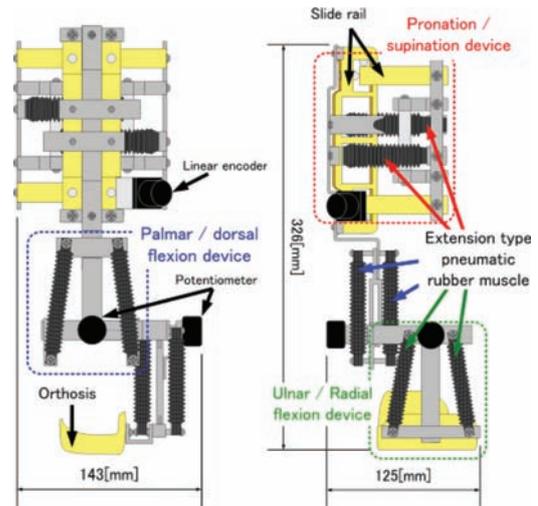
リハビリテーション機器として、上肢をターゲットにしたものが2件、下肢および腰に関してが2件あった。まず、上肢に関しては、岡山大学の高岩昌弘氏ら⁴⁾が図4に示す空気圧平行リンクマニピュレータを用いた筋電による手首リハビリテーション装置の開発について講演した。これは図4(a)に示す6本の低摩擦シリンダを用いた6自由度の平行リンクマニピュレータを用いて、それぞれのシリンダに対して図4(b)に示す駆動システムを構成し、手首のリハビリテーション動作を、理学療法士に代わって行うシステムの開発をめざした研究内容である。その評価に筋電を使用(図4(c)参照)し、単なるリハビリテーション動作の獲得だけではなく、患者に加わる負荷(筋電信号)を加味しながら駆動するため、外乱オブザーバをベースとする位置・力サーボ系を構成している。講演では、筋電信号から逆にマニピュレータを動かすなどユニークなビデオも紹介されていた。これら空気圧サーボ系も前述の基調講演と同様、優れた制御系を構成していることも注目すべきであるが、これらに空気圧駆動システ

ムの利点（コンプライアンス性など）を加えたヒューマンインターフェイスを実現しており、この論文も一読していただきたい。

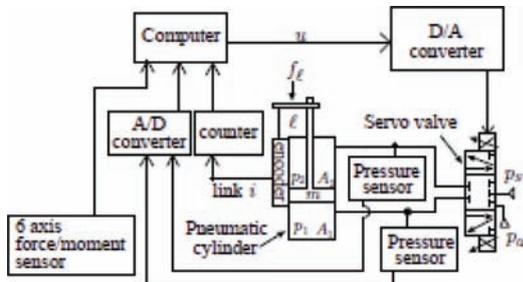
ティーを有しながら、肘・肩の屈曲／伸展、内転／外転などの複雑な動作を実現している。



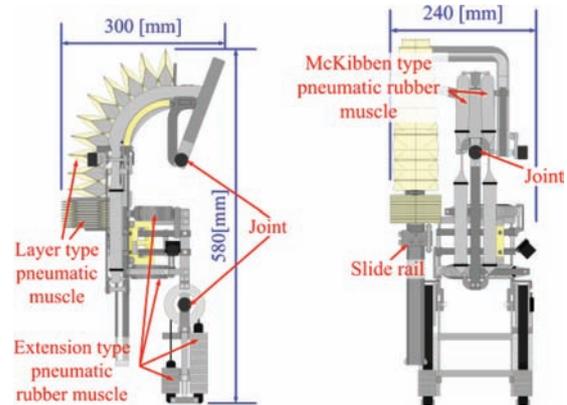
(a) パラレルリンクマニピュレータ



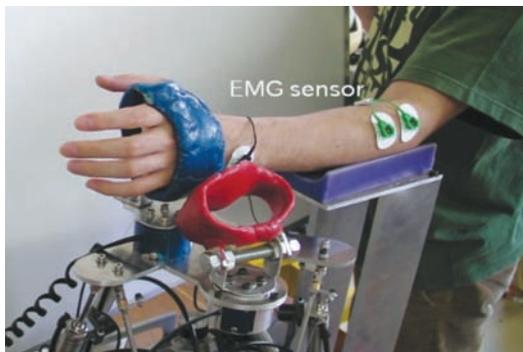
(a) 肘・手首用ウェアラブル駆動システム



(b) 空気圧駆動回路

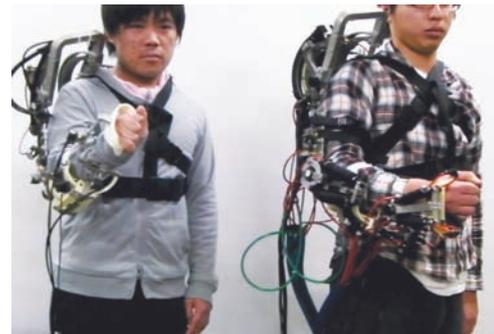


(b) 肩関節用ウェアラブル駆動システム



(c) EMGを用いた手首のリハビリ

図4 手首リハビリテーション機器



(c) トレーニング機器外観

図5 空気圧人工筋を用いたトレーニング機器

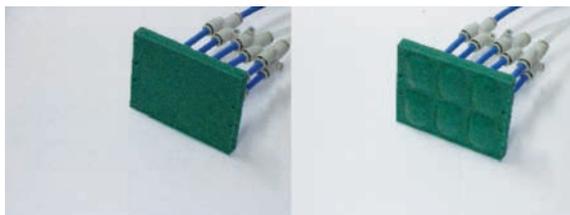
また、同大学の佐々木大輔氏⁵⁾は、図5に示す空気圧ゴム人工筋を用いた上肢のためのウェアラブル・マスタースレーブ・トレーニング機器の開発について講演した。講演では、繊維拘束により伸びる際に発生力を生じる特殊なゴム人工筋を用いた肘、手首部分のウェアラブル駆動システム（図5(a)参照）の開発や、積層型の空気圧人工筋を用いた肩関節駆動システム（図5(b)参照）について報告があった。いずれも外骨格についたこれらの新しいソフトアクチュエータを用いて、ウェアラブル駆動システムとして重要な柔軟性やバックドライアイアビリ

また、これと同じく外骨格を有したりリハビリテーション機器として、マケドニアのGoce Delce大学のNatasa Koceska氏やイタリアのAquila大学のFrancesco Durante氏ら⁶⁾が、下肢つまり足の歩容のリハビリテーションのための空気圧駆動外骨格について報告する予定であったが、講演キャンセルのため詳しい内容は把握できなかった。そこで、講演

前刷りから概要のみ紹介する。このシステムは図6に示す片足2自由度（2本の空気圧シリンダ）を有する外骨格下肢駆動システムをトレッドミル上で歩く被験者に装着し、歩容のリハビリテーションを支援する機器である。これらの駆動システムはファジールールを組込んだリアルタイムコントローラ（PC104）で制御している。



図6 空気圧駆動歩行リハビリテーション機器



(a) エアポケットを有するアクチュエータ



(b) マッサージ機器の装着

図7 腰痛治療のためのマッサージ機器

また、イタリアAquil大学のMichele Gabrio Antonelliら⁷⁾により腰痛治療のための先進的空気圧マッサージ機器の設計についての講演が予定されていたが、これも同じく講演者不在でキャンセルになったため、講演前刷りから概略のみ紹介する。これは図7(a)に示すシリコンゴムでできたエアポケットを有するアクチュエータを複数個用い、腰痛治療を行うシステムを構成している（図7(b)参照）。各アクチュエータは複数の圧力室（エアポケット）

を有しており、論文ではその製作方法と、手を使ったマッサージにおける圧力を測定し、それを実現するためのアクチュエータの駆動パターンについて言及していた。

5. おわりに

以上、フルードパワーに関する医療・福祉関係の講演について紹介した。この医療・福祉分野は今後、先進国での高齢化社会の進行に伴って、非常に重要であり、産業としても成長することが約束されている分野である。こういった分野に電動技術だけでなく油空圧技術を導入することに大きな意義があると思われる。今回の国際シンポジウムでは、フルードパワー分野からのアクセスについて特に集約できたものと思われ、非常に有益であった。特に、電気駆動系に比べて位置決め精度が悪いと思われてきた空気圧駆動系が空気圧サーボにより大幅に改善され、なおかつ空気圧システムが有するコンプライアンスなどもウェアラブル駆動システムやインピーダンス制御などに対しても強力で有益なツールになっていると思われる。今後この分野の発展に期待するところである。

参考文献

- 1) Kawashima, K., Tadano, K. : Master Slave Robot System for Laparoscopic Surgery with Haptic Perception Using Pneumatic Actuators, Proc. Fluid Power 2011, p. 9-14 (2011)
- 2) Wu, H., Hu, C. : Development of a Novel Parallel Pneumatic Weight Bearing Walking Assist Robot, Proc. Fluid Power 2011, p. 38-42 (2011)
- 3) Hayakawa, Y., Taguchi, Y., Tooyama, Y. : Development of High Performance Shoes with Human Compatibility, Proc. Fluid Power 2011, p. 51-57 (2011)
- 4) Takaiwa, M., Noritsugu, T., Sasaki, D. : EMG Based Wrist Rehabilitation Using Pneumatic Parallel Manipulator, Proc. Fluid Power 2011, p. 72-78 (2011)
- 5) Sasaki, D., Noritsugu, T., Takaiwa, M. : Development of Wearable Master-slave Training Device for Upper Limb Constructed with Pneumatic Artificial Muscles, Proc. Fluid Power 2011, p. 58-63 (2011)
- 6) Koceska, N., Koceski, S., Zobel, P.B., Durante, F. : Pneumatically Actuated Exoskeleton for Gait Rehabilitation, Proc. Fluid Power 2011, p. 43-50 (2011)
- 7) Antonelli, M., G., Zobel, P.B., Durante, F., Raparelli, T. : Design of an Innovative Pneumatic Massage

Device for Low Back Pain Treatment, Proc. Fluid Power 2011, p. 64-71 (2011)

[著者紹介]

あか き てつ や 君
赤 木 徹 也 君



1998年岡山理科大学大学院工学研究科博士課程修了。1998年津山工業高等専門学校助手、2005年岡山理科大学講師、2008年岡山理科大学准教授、現在に至る。組込み技術を用いた流体制御機器、流体アクチュエータの開発、メカトロニクスの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会・計測自動制御学会・日本ロボット学会等の会員。

E-mail : akagi@are.ous.ac.jp

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

協賛行事

第12回 日本機械学会 機素潤滑設計部門講演会

主 催：一般社団法人 日本機械学会
開 催：2012年 4月23日(月)～24日(火)
会 場：愛媛県県民文化会館（ひめぎんホール） 〒790-0843 愛媛県松山市道後町2-5-1
http://www.ecf.or.jp/m_facilities/index.html

TECHNO-FRONTIER 2012

主 催：社団法人 日本能率協会
期 期：平成24年 7月11日(水)～13日(金) 10:00～17:00
会 場：東京ビックサイト（有明・東京国際展示場）東展示場 4-6 ホール

日本混相流学会年会講演会2012

主 催：日本混相流学会
開 催：2012年 8月9日(木)、10日(金)、11日(土)
会 場：東京大学柏キャンパス（千葉県柏市柏の森）
ホームページ：<http://www.jsmf.gr.jp/nenkai2012/index.html>

Dynamics and Design Conference 2012 総合テーマ：「システムを考える。境界を越えて。」

主 催：一般社団法人 日本機械学会
開 催：2012年 9月18日(火)～21日(金)
会 場：慶應義塾大学日吉キャンパス（横浜市港北区日吉4丁目1-1）
申込方法：<http://www.jsme.or.jp/conference/dmconf12/>

キャビテーションに関するシンポジウム（第16回）

主 催：日本学術会議 第3部（予定） 第16回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会
（委員長：東京大学大学院教授・松本洋一郎）
開 催：平成24年11月23日(金・祝)、24日(土)
会 場：金沢工業大学（〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1）
連 絡 先：金沢工業大学工学部機械工学科 佐藤恵一 教授
TEL：076-248-9214 FAX：076-294-6734 e-mail：cav16@mlist.kanazawa-it.ac.jp

解 説

「ロボティクス・メカトロニクス」セッションの講演（基調講演を含む）*

則 次 俊 郎**

1. はじめに

「ロボティクス・メカトロニクス」セッションでは、基調講演1件、一般講演20件が発表された。国別の内訳は、日本14件、中国4件、台湾、韓国、イタリアがそれぞれ1件であった。また、分野別に大別すると、油圧6件、空気圧15件であり、油圧では重機への応用研究、空気圧では、空気圧サーボ系の各種ロボットへの応用、空気圧人工筋、エネルギーセービング、レスキューロボットなどの研究成果が報告された。欧米からの参加者が少なくやや寂しいセッションであったが、21件の講演内容はいずれもそれぞれの分野を代表する先端的な研究成果であり、ロボティクス・メカトロニクスにおけるフルードパワー技術の位置づけを理解するに十分なセッションであった。本稿では、上記の分類に従い、それぞれの講演の概要を紹介する。

2. 油圧分野

油圧分野では、バンディングマシン、建設機械、油圧回路の制御、油圧人工筋などの研究成果が発表された。論文題目、著者名、所属、概要を示す。

K-2 (基調講演) Development of Hydraulic Controlled Bending Technology for Bent Pipe of Plant without Thickness Reduction
Ken Ichiryu*

*Mechatronics Laboratory, Kikuchi Seisakusho Company

各種プラント配管用の大口径管（直径50-60mm以上）の曲がり管を製造するマシンを開発したものである。誘導加熱を使用するとともに、曲がり時の管肉厚の減少を防ぐため、管軸方向の圧縮力を油圧サーボにより精密制御している。写真1に、一柳氏の基調講演の様子を示す。

1D3-1 Master-Slave Control for a Construction Robot Teleoperation System (Evaluation of an



写真1 基調講演の様子

Operation System with Video Cameras and Force Feedback)

Lingtao HUANG*, Hidetoshi KATO**, Takuya KAWAMURA*** and Hironao YAMADA***

*Mechanical and Civil Engineering Division, Gifu University, **Denso Corporation Company, ***Human and Information Systems, Gifu University

災害現場などの人間が入れない環境において建設ロボットや重機を遠隔操縦するためのマスター・スレーブ制御に関する研究である。スレーブには油圧シヨベルを用いて、操作性を向上させるための操作者への力フィードバックの効果が議論されている。

1D3-2 Research on Hardware-In-the-Loop Simulation System

Qiang Feng*, Qingfeng Wang*, Wen Gong*

*The State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University

油圧パワーシヨベルのシミュレーションシステムを提案したものである。その特徴はシミュレーションにハードウェア要素が入る点であり、シミュレーション性能や信頼性が向上するとされている。

1D3-3 Development of Large Scale-Bi-Lateral Manipulator for Heavy Industries

Hiroshi Yoshinada*, Shu Takeda*, Kenji Okamura*, Shinichi Yokota**

*KOMATSU Ltd., **Precision and Intelligence

*平成23年12月15日 原稿受付

**岡山大学大学院自然科学研究科

(所在地 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1)

Laboratory, Tokyo Institute of Technology

油圧シヨベルなど建機のマスター・スレーブ制御に関する研究であり、スレーブマニピュレータは電油サーバメカニズムにより駆動される。マスターマニピュレータとして3次元ジョイスティックが使用され、マスターを通してスレーブへ作用する力の1/100-1/400が操作者にフィードバックされるバイラテラル方式としている。

1D3-4 Fixed Point versus Floating Mathematics in Embedded System Programming for Fluid Power Mechatronics Components Control : a Real Case Study

Massimiliano RUGGERI*, Matteo FRACASSI**, Massimo MARTELLI* and Massimo DIAN*

*IMAMOTER, Institute for Agricultural and Earthmoving Machines, National research Council of Italy, **Research and Development Dept., Tecnoord S.r.l. Company

電気油圧駆動システムの制御系設計に関する研究であり、組み込み制御プログラムの実行において固定小数点方式と浮動小数点方式を比較している。その結果、制御弁などのメカトロニクス機器の実時間制御においては、固定小数点方式が有利であると述べている。

1D3-5 Bundling Several Extending/ Contracting Muscle to Power Soft Mechanism

Kazuhiro IWATA*, Koichi SUZUMORI*, and Shuichi WAKIMOTO*

*The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

マッキベン型人工筋に基づいて、収縮型と伸長型人工筋を製作し、これらを束ねることにより任意方向への湾曲動作が可能な人工筋を試作したものである。油圧で駆動し、1.0 [MPa] の加圧により160 [deg] の湾曲角度と、人工筋先端で40 [N] の発生力が得られている。

3. 空気圧分野

3.1 空気圧サーボ系の制御と応用

空気圧シリンダを用いたサーボ系の制御と応用に関して7件の研究成果が発表された。

1D2-3 Development of Quadruped robot with Pneumatic Actuator

Zilei ZHAO*, Toshiro NORITSUGU*, Masahiro TAKAIWA* and Daisuke SASAKI*

*The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

空気圧シリンダを用いた4足歩行ロボットの試作

と制御に関する研究である。それぞれの脚部は3自由度の空気圧サーボ系で構成され、歩行時にはロボット全体で12組のサーボ系が協調して動作する。外乱オブザーバが効果的に利用されるとともに、脚部接地時にコンプライアンス制御を導入することによりロボットの安定化を図っている。レスキューロボットなどへの応用が期待される。

2D1-1 Development of Complex Hybrid 3D Robot with Parallel Links via Nonlinear Pneumatic Servo System for Path Tracking Control

Mao-Hsiung CHIANG¹* and Hao-Ting LIN*

*Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

ロッドレスシリンダを用いた3組の空気圧サーボ系によるパラレルリンクロボットの制御に関する研究である。目標軌道追従性能を向上させるため、フーリエ級数に基づいた動的モデル推定法と適応スライディングモード制御法を提案し、実験によりその有効性が示されている。

2D1-2 Development of a Pneumatically-Driven Forceps Manipulator Using a Flexible Joint

Daisuke HARAGUCHI*, Kotaro TADANO* and Kenji KAWASHIMA*

*Precision and Intelligent Laboratory, Tokyo Institute of Technology

空気圧シリンダで駆動され、柔軟ジョイント用いた鉗子マニピュレータを開発したものである。PID動作に基づいて位置制御が実行されるとともに、鉗子先端に作用する外力がシリンダ室圧力より推定されている。実験により有用性が評価されている。

2D1-4 Softness Display Based on Low Friction Pneumatic Cylinder

*Zhongsheng SUN, Xiaoning LI, Liangpeng Kou and Yan TENG

*SMC Pneumatics (Nanjing) Technical Center School of Mechanical Engineering Nanjing University of Science & Technology

低摩擦空気圧シリンダを用いてソフトネス呈示装置を開発したものである。空気圧サーボ系を構成して、シリンダの発生力がその変位に比例するように制御している。柔軟なハプティックインターフェース、バーチャルリアリティさらに医療分野への応用が期待されるとしている。

2D2-1 Control Design for Antagonistic Drive with Pneumatic Actuators

Mizuki KOMIYA*, Kenji KAWASHIMA*, Kotaro TADANO*, Toshiharu KAGAWA*

*Precision and Intelligent Laboratory, Tokyo

Institute of Technology

2本の空気圧シリンダをワイヤとプーリを用いて拮抗構造として、これによりプーリの回転角度制御を実施したものである。ワイヤの張力と制御弁が性能に及ぼす影響を実験により考察している。

2D2-3 A study on Force Reflecting Joystick Control Using Virtual Force Sensor for Applications to Excavators

Nguyen Thanh TRUNG**, Dinh Quang TRUONG* and Kyoung Kwan AHN*

*School of Mechanical and Automotive Engineering, University of Ulsan

空気圧シリンダを用いたパワーショベルの開発を目標としてバイラテラルマスター・スレーブシステムを提案したものである。マスターはジョイスティック構造とし、スレーブに作用する負荷力を操作者に帰還させるためのアクチュエータとして空気圧モータを内蔵している。これにより操作者は実際の作業状態を感じながら操作ができる。実験では、MR流体ダンパを用いて負荷力を発生させている。

2D2-4 Dynamic Friction Characteristics of Pneumatic Actuators and Their Mathematical Model

Xuan Bo TRAN* and Hideki YANADA**

*Mechanical & Structural Systems Engineering Toyohashi University of Technology, **Department of Mechanical Engineering Toyohashi University of Technology

空気圧シリンダの動的摩擦特性を種々の動作条件下で測定するための実験装置を開発し、ピストン速度とシリンダ室内圧力が摩擦特性に及ぼす影響を考察している。また、摩擦特性を表す修正LuGreモデルの妥当性を検証している。

3.2 空気圧人工筋

空気圧人工筋PAM (Pneumatic Artificial Muscle) のロボットやアシスト装置への応用に関して3件の研究成果が発表された。

1D2-1 Research on the Spherical Joint Robot Driven by the Pneumatic Muscle Actuator

Yu LIU*, Tao WANG* and Wei FAN*

*School of Automation, Beijing Institute of Technology

人間の肩関節を模した3自由度の球面関節を有するロボットを開発している。空気圧人工筋の高い出力重量比と柔軟性に注目し、駆動用アクチュエータとして使用している。その基本特性について議論し非線形特性と応答遅れに対応するため、数学モデルを必要としない適応制御法が使用されている。

2D3-3 Development of Jump Assist System using Pneumatic Rubber Muscle

Kotaro TADANO*, Hiroshi ARAYA**, Kenji KAWASHIMA*, Chongo YOUN*, Toshiharu KAGAWA*

*Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology, **Technology Development Division HQ, NSK Ltd.

下肢装具に空気圧ゴム人工筋を取り付けたジャンプアシスト装置を開発している。空気圧ゴム人工筋によりジャンプ時の瞬間的なアシスト力を発生させるものであり、効果的なアシストのタイミングを決定するため加速度センサを使用している。装置の重量は約2.8kgであり、アシストにより最大で28cm程度ジャンプ高さが増加している。

2D3-4 The Decoupling Control for PMA-Driven Serial Mechanism

Tao WANG*, Hao LIU*, Wei FAN*, Tong ZHAO*

*School of Automation, Beijing Institute of Technology

空気圧人工筋を用いたテンドン機構の非干渉化制御に関する研究であり、計算トルク制御法の効果が議論されている。

3.3 エネルギーセービング

エネルギーセービングに関連して2件の研究成果が発表された。

1D2-2 Development and Application of Alternative Direction Air Compressor

Takuya FUJIKAWA*, Osamu OYAMA* and Toshihiro YOSHIMISTU**

*Department of Mechanical Engineering, School of Science and Technology, Meiji University **Department of Mechatronic Robot Kanagawa Institute of Technology

エネルギーセービングの観点から、給気と排気方向が可変のコンプレッサを開発したものであり、空気圧モータを電動機で駆動することにより実現している。電動機により空気圧モータの回転方向や回転速度を変えることにより、コンプレッサからの給排気方向と吐出流量を連続的に調整できる。

2D3-1 Development of Portable Energy-Saving Type Air Supply System using Variable Volume Tank

Tatsuyuki IWAWAKI*, Toshiro NORITSUGU*, Daisuke SASAKI* and Masahiro TAKAIWA*

*Graduate School of Natural Science of Technology, Okayama University

アクチュエータへ供給する空気圧を調整する制御

弁の上流側へ圧縮空気を供給するために容積可変のタンクを設置する。タンクを弾性体とし、タンク膨張時のタンク自体に蓄えられる弾性エネルギーを利用することにより、タンクの小型化とともに必要なタンクの初期充填圧力を低く抑えることによりエネルギーセービングを行う。

3.4 空気圧の応用

空気圧の楽器演奏やレスキューロボットへの応用など3件の研究成果が発表された。

2D1-3 Control of Blown Air for a Soprano-Recorder-Playing Robot using Unsteady Flow Rate Measurements and Control Techniques

Tomonori KATO*, Yoshiyuki KAWAMURA*, Tatsuya FUNAKI**, Kenji KAWASHIMA*** and Toshiharu KAGAWA***

*Department of Intelligent Mechanical Engineering, Fukuoka Institute of Technology,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, *Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

人間の自然な音声を発生するソプラノレコーダー演奏ロボットを試作したものである。非定常流量計測と流量制御技術の開発により、人間の演奏時と同等の非定常流量制御が実現されている。

2D2-2 Burrowing Rescue Robot Referring to a Mole's Shoveling Motion

Takashi KOBAYASHI*, Hideyuki TSHUKAGOSHI*, Shunsuke HONDA*, Ato KITAGAWA*

*Department of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology

土中に挿入して被災者を探索・救助するレスキューロボットの実現を目指して、モグラの穴掘り動作を参考にした土中推進機構を開発している。穴掘り動作は、2つの空気圧モータでそれぞれ独立に駆動される2つのアームにより実行される。これにより、ロボットの進行方向の変化が可能である。

2D3-2 Mobile Robot by a Drawing-out Type Actuator for Smooth Locomotion inside Narrow and Curving Pipes

Kenichi HOSAKA*, Hideyuki TSUKAGOSHI* and Ato KITAGAWA*

*Department of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology

倒壊家屋内の狭く、曲がった経路や管路を移動する探索・救助用レスキューロボットの開発を目的とした研究である。フラットチューブを用いてロボット先端部のステアリング機構を構成し、チューブへの空気圧の加圧により進行方向が制御できる。

4. おわりに

「ロボティクス・メカトロニクス」セッションで発表された基調講演も含めて21件の研究内容の概要を紹介した。油圧はその高出力を活かした建機などへの応用において、バイラテラル型マスター・スレーブシステムの構築に関する研究が特徴的であった。空気圧はその柔軟性を活かした応用研究が多く、多自由度ロボットや触覚呈示、医療機器への応用が見られた。フルードパワー技術は、ロボティクス・メカトロニクスにおいても重要な要素技術であり、今後ともこの分野の研究開発をさらに推進していく必要があると考える。

写真2はセッションの様子を示す。参加者の多くは日本人であったが、英語でのプレゼンテーションや質疑応答も浸透してきたようである。筆者自身も国際会議ならではの緊張感を味わうことができ、大変有意義なシンポジウムであった。実行委員長の横田先生を始め、お世話いただいた皆様に心より感謝申し上げます。



写真2 セッションの様子

[著者紹介]

のり つぐ とし ろう
則 次 俊 郎 君



1974年 岡山大学大学院工学研究科修士課程修了。津山工業高等専門学校助手、講師、助教授を経て、1986年岡山大学工学部助教授、1991年同教授、2005年 大学院自然科学研究科教授、現在に至る。空気圧制御、人間支援ロボットなどの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会などの会員、日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会のフェロー、工学博士（京都大学）。

E-mail : toshiro@sys.okayama-u.ac.jp

解 説

「機能性流体」セッションの講演（基調講演を含む）*

築 地 徹 浩**

1. はじめに

今回の第8回JFPS International Symposium on Fluid Power, OKINAWA 2011において、機能性流体に関して3つのセッションが生まれ、Keynote Speechを含めて10件の講演があった。本報では、それらを分類し研究動向を述べるとともに、講演内容について簡単に説明する。

2. 講演内容の分類

電場に反応する代表的な機能性流体として、分散系ER (Electrorheological) 流体, EHD (Electrohydrodynamics, 電気流体力学) 流体, ECF (Electro-conjugate Fluid, 電界共役流体), フッ素系液体, 液晶, ERゲルなどがある。磁場に反応する機能性流体としては, MR (Magnetorheological) 流体, 磁性流体, MCF (Magnetic compound fluid), 液晶などがあげられる。電場や磁場によって変化する機能性流体の特性は, 大きく二つに分けられる。その一つは, 流体に電場を印加すると流体が流動を始める現象である。この現象で古くから知られているものに, EHD流体があり, フロリナートなどがこの性質を有しており, ある種の液晶もこの性質を持っている。近年ECFが発現する流動が注目されており, 応用研究も盛んに行われている。この誘起される流動を利用して, ポンプやモータなどの応用機器に関する研究が行われている。他の一つは, 電場や磁場を印加することにより, 機能性流体中の粒子がクラスター構造を作る特性であり, 分散系ER流体やMR流体がこの特性を有する。電磁場印加により配向変化を起こす液晶もこれに含まれる。このようなクラスター構造の生成により, 機能性流体の見かけの粘度などの変化が生じる。このクラスター構造生成の特性を利用してクラッチやダンパなどの応用研究が行われている。

近年, 基礎研究としては, 機能性流体の流動原理,

表1 研究分類

文献番号	流体の種類	外場			メカニズムの利用法		分野	
		電場	磁場	流動を利用	クラスター構造を利用	基礎	応用	内容
1	粒子分散系 ER流体, MR流体	○	○		○		○	小形点字表示, ダンパー
2	液晶	○					○	流路内流動
3*	ECF	○					○	ロボット
4	ECF	○					○	マイクロレート ジャイロ
5	液晶	○			○		○	マイクマシン
6	ECF	○					○	噴流発生器
7	ECF	○					○	噴流発生器
8*	ECF	○					○	ベローズアク チュエータ
9	EHD流体	○					○	シミュレーション
10	MR流体		○		○		○	界磁機構
総数		9	2	7	3		6	4

*最優秀学生論文賞受賞

材料開発, 特性計測などの研究が行われており, 応用研究としては, ポンプ, 弁, マイクロレートジャイロ, マイクロレンズ, モータ, 平面研磨, ロボットハンド, 小形点字表示, ブレーキ, ダンパなどに関する研究が行われている。

本国際会議での機能性流体のオーガナイズトセッションでの研究発表を上述の内容で分類したものを表1に示す。全部で10件の講演（キーノート講演¹⁾も含む)があった。その中で, 電場印加による機能性流体の特性の変化やそれを利用した応用研究は8件で, 磁場印加によるものは1件, 両方1件であった。これにより, 電場印加による研究が多いことがわかる。つぎに, 流動を利用した研究は7件, クラ

*平成23年11月28日 原稿受付

**上智大学理工学部

(所在地 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1)

スター形成構造を利用した研究は3件で、流動を利用した研究が多い。さらに、基礎研究か応用研究かについては、基礎6件、応用4件でほぼ同数であった。

3. 講演内容

以下に内容について説明する。まず、東北大学の中野教授のキーノート講演¹⁾に関しては、粒子分散系ER流体とMR流体の基本特性の比較がなされ、二つの応用例が紹介された。特性の比較を表2に示す。MR流体のせん断応力が大きいことがわかる。講演の様子を図1に示す。つぎに、粒子分散系ER流体を用いた応用例として小形点字表示システムが紹介された。現在、圧電アクチュエータを用いた点字表示システムが販売されているが、圧電材料の変位は非常に小さく、点字に必要な変位を実現するために変位拡大機構を用いる必要があり、小形化に適さない。そこで、本研究ではERマイクロバルブの特性を活かし、高速応答性・高出力と小形・低消費電力を実現する点字表示システムが開発された。点字表示システム用に開発したダイヤフラムアクチュエータの構成図を図2に示す。フォトリソグラフィによって電極間隙 h の流路をガラス板上に作成し、加圧したER流体を流す。下流側は大気圧に開放されている。この流路の上流側と下流側にITO膜で形成した長さ L_e の電極部を設け、ER流体バルブとしている。この上流側のバルブ1と下流側のバルブ2の間にピン駆動部を設ける。上部ガラス板には穴を設け、バルブによって制御される圧力をピン駆動部に伝達する。ピン駆動部はトッププレート、ベースプレート、厚さ0.1mmの天然ゴム膜およびピンからなる。両プレート間にゴム膜をはさみ、押さえつけるようにネジで締め付け固定しており、ゴム膜は両プレート間でのER流体の漏れを防止するシールの役割も担っている。トッププレートには直径1.6mmの穴が設けてあり、直径1.5mmのピンがダイヤフラム部にかかる力を受けて穴の中で上下に摺動する。バルブ1と2に印加する電圧を制御することによってピンの高さを変化させることができる。すなわち、バルブ2に電場を印加し流路を閉じ、バルブ1を開放することで、ER流体に加えられた圧力によりダイヤフラムがトッププレートの穴に沿って膨らみ、ピンが押し上げられる。一方、バルブ1を閉鎖し、バルブ2を開放した場合には、ダイヤフラムが復元力によって元の形状に戻りピンが下がる。

さらに、MR流体を用いた応用例として、パッシブ式MRダンパ¹⁾が示された。MRダンパの大きな利点は、外部からの電源・制御装置によって、ダン

表2 ER流体とMR流体の特性比較

	ER Suspension	MR Suspension
Max. yield stress	2-5kPa	50-100kPa
Max. field	~4kV/mm	~250kA/m
No-field viscosity	0.1-1.0Pa·s	0.1-1.0Pa·s
Operable temp. range	+10 to +90°C (ionic, DC)	-40 to +150°C
Response time	< milliseconds	< milliseconds
Density	1-2g/cm ³	3-4g/cm ³
Power supply	2-5kV/1-10mA	2-25V/1-2A



図1 講演の様子

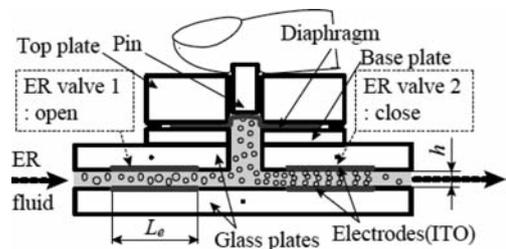


図2 ダイヤフラムアクチュエータの構成図

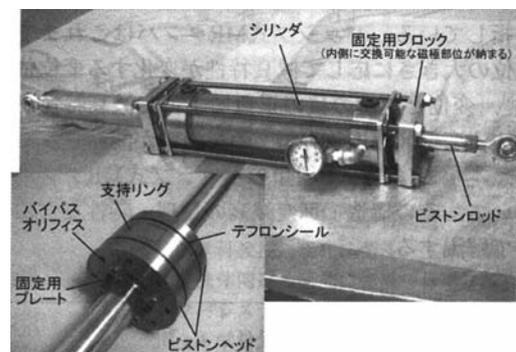


図3 パッシブ式MRダンパの外観

パ内にあるMR流体の流路に印加する磁場をコントロールすることによって、減衰特性を自在に変えられることである。この研究では、減衰特性の可変性をパッシブな構造を得ることが可能なパッシブ式

MRダンパを開発し、振動抑制効果が高く、信頼性やコスト、メンテナンス性にも優れる免震・制振デバイスの実現を目指している。

パッシブ式MRダンパの外観とピストン部分の写真を図3に示す。本ダンパでは、ピストンヘッド、シリンダおよびピストンロッドの強磁性体部分には炭素鋼を用いている。また、永久磁石は取り出し可能になっており、リング形のネオジウム磁石あるいはフェライト磁石を用いている。また、ピストンヘッド両側の固定用プレートとピストンヘッドの間の支持リングによって二つのピストンヘッドは支持・固定されており、ピストンヘッドとシリンダの内壁の間には比較的摩擦の小さいテフロンシールが設けられている。ピストンヘッドには、変位に応じた磁場が印加される環状流路と、流れの向きに応じて開閉するチェックバルブが設置されたバイパス流路が設けられている。ここで、バイパス流路は流路径が大きく、磁場もほとんど印加されないため、圧損は常時小さい。これらの構造によって、本ダンパでは変位と速度の積の符号に応じて減衰力の強弱が変化する特性を持つ。

パッシブ式MRダンパの減衰特性が変化するメカニズムを図4に示す。図4上図 ($V_r > 0$) では、ダンパが中立位置から伸び方向に動作している様子を示しており、このときMR流体は右のピストンヘッドではバイパス流路、左のピストンヘッドでは磁場が印加されていない環状流路を流れるため、MR効果によるせん断応力の増加を受けず、減衰力は比較的小さい。一方、図4下図 ($V_r < 0$) はダンパが伸び状態から中立位置に戻る時を示しており、このときMR流体は左のピストンヘッドではバイパス流路、右のピストンヘッドでは磁場が印加されている環状流路を流れるため、MR効果によって環状流路におけるせん断応力は増加しており、比較的大きい減衰力が発生する。

一般講演の内容について以下に簡単に述べる。

児玉らは²⁾、平行平板間に満たされたネマティック液晶に、直流電場を印加した場合の液晶の流れを観察し、一方向の流れが誘起されることを示した。

山口らは³⁾、図5に示すようなECFを用いた管内移動ロボットを試作している。本論文は、最優秀学生論文賞を受賞した。

今村らは⁴⁾、耐衝撃性を有し小形で安価なジャイロとしてECFを用いたECFマイクロレートジャイロを提案し、実験的に特性の検討を行った。検出原理を図6に示す。ECFマイクロレートジャイロは、ECFジェットによるポンピングで発生したECFの噴流のコリオリ力により偏流する度合いをホットワ

イヤブリッジにより検出することで角速度を検出するジャイロである。

吉田らは⁵⁾、図7に示すような流体駆動形管内作業マイクロマシンの開発研究を行っている。

王らは⁶⁾、図8に示すような三角柱—スリット形電極の形状パラメータについて検討した。

金らは⁷⁾、MEMS技術を用いて図9に示すようなニードル電極とリング電極を組み合わせた種々のECFジェット発生器を製作し、それらの特性を調べている。

森らは⁸⁾、ECFポンプの制御モデルを提案し、こ

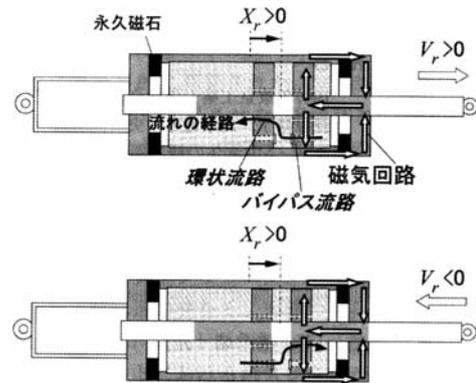


図4 MR流体の流路と磁気回路

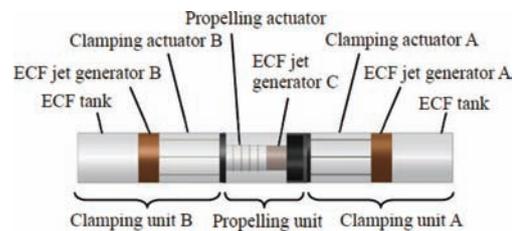


図5 管内移動ロボットの概念図

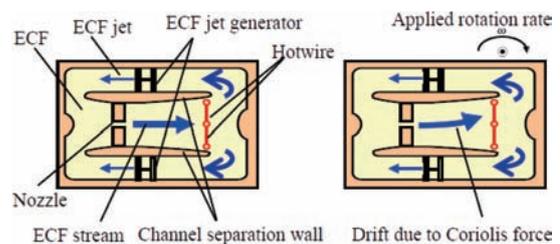


図6 ECFマイクロレートジャイロの検出原理

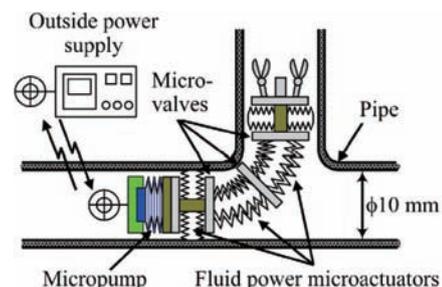


図7 流体駆動形管内作業マイクロマシン

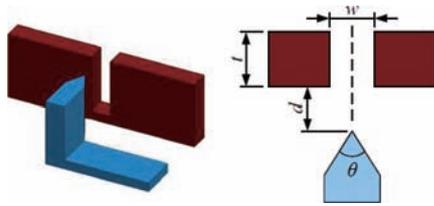


図8 マイクロ三角柱—スリット形電極

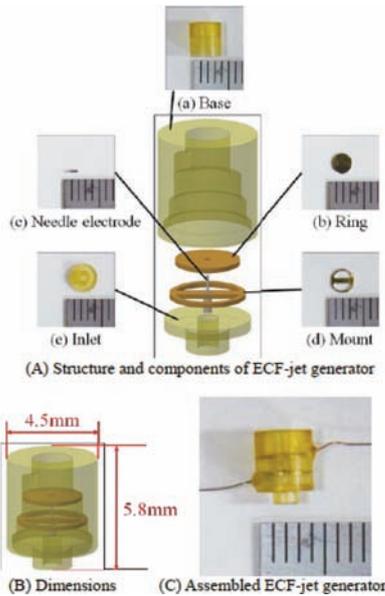


図9 ECF噴流発生器

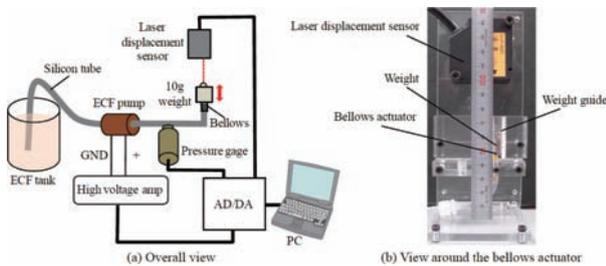


図10 実験装置全体とベローズアクチュエータ

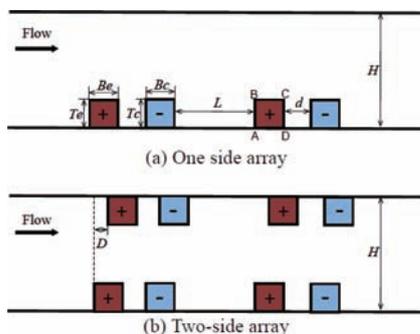


図11 イオンドラッグポンプ

れを用いて圧力制御系を設計した。さらに、ECFを用いたベローズアクチュエータの特性を調べている。実験装置の全体図とベローズアクチュエータを図10に示す。本論文は、最優秀学生論文賞を受賞し

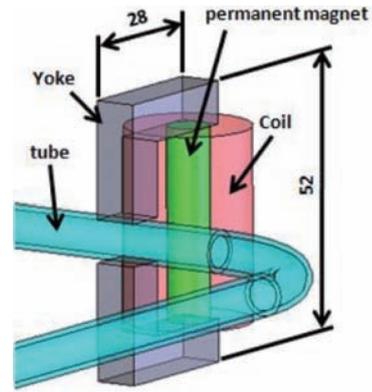


図12 MR流体用ハイブリット界磁機構

た。

柳田は⁹⁾、図11に示すようなイオンドラッグポンプ内の電場を印加した場合の流動解析を行っている。

佐藤¹⁰⁾は、界磁電力の省電力化を目的に、電磁石による磁界と着・減磁した永久磁石材料による磁界とを併用したMR流体用ハイブリット界磁機構（図12参照）を提案し、その省電力性能と諸特性を報告した。

4. 終わりに

機能性流体に関する研究は、流体の開発、開発された流体の特性評価およびその流体を用いた応用機器の開発の三つに大きく分けられる。本国際シンポジウムの講演において、特性評価などの基礎研究と応用研究がほぼ同数でありバランス良く研究が行われていることがわかる。電場に反応する機能性流体の開発においては、なるべく低電圧で高速流動や大きな力を発現する高効率な流体の開発が望まれているところであり、これが実現すると応用機器の研究範囲がこれまでよりも飛躍的に拡大するであろう。さらに、機能性流体でしかできない機器や機械装置を開発することも重要である。

参考文献

- 1) Masami NAKANO : Smart Fluid Power Systems Utilizing Electro-/Magneto-Rheological Fluids, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, OKINAWA 2011, pp. 22-25 (2011)
- 2) Kenta KODAMA, Tetsuhiro TSUKIJI and Shun NISHIMURA : Study on Liquid Crystalline Flow Induced by Direct Current Electric Field, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, OKINAWA 2011, pp. 448-455 (2011)
- 3) Akihiro YAMAGUCHI, Kenjiro TAKEMURA,

解 説

「水圧」セッションの講演*

北川 能**

1. はじめに

水圧のオーガナイズドセッションは、3つのセッションからなり、10編の論文が発表された。これらの論文のうち1編は基調講演であり、他の9編は一般講演である。9編のうち2編はポンプ、3編は制御弁、2編は水圧制御系、残る2編はその他について述べている。ここでは発表された論文の概要を章ごとに分けて紹介する。

2. 基調講演

基調講演はAqua Drive System : a technology using tap water and its applications¹⁾と題し、宮川新平氏により発表された(写真1)。まずADSの歴史、応用範囲、市場展望などを述べている。近年、地球温暖化防止が重要な課題になっており、グローバル化と多様化が進む複雑な世界の市場に対して、省エネと環境に優しい特性を有する製品を市場へ投入すれば、必ず歓迎されることになる。環境親和性とメンテナンスの容易さが決め手となる。水道水を使用したアクアドライブシステム(ADS)が1980年代から研究されるのはこのような背景がある。図1に示すように水の応用範囲は広く、低圧大流量の渦巻きポンプから高圧小流量の容積形ポンプの領域



写真1 Keynote speech by Dr. Miyakawa

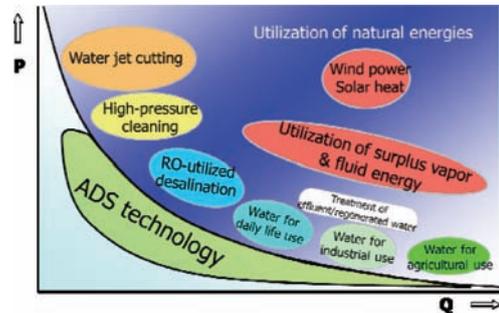


図1 World of water utilization in a pressure-flow rate relationship

までADSは関連している。ADSは環境や人に対して安全な水道水を媒体に使うこと、最先端の材料やコンピュータ技術を利用していることが特徴である。

つぎにADS技術の発展について、その重要なコンポーネントである水圧ポンプ・モータ、水圧電磁比例制御弁、水圧サーボ弁を取り上げて説明している。図2に示すポンプについては、開発した斜板式アキシャルピストンポンプの基本的な構造に静圧軸受けが用いられ、ステンレススチールとレジンやDLCからなるしゅう動面が使用されていることなどによって十分高い効率を有することが示されている。

図3は14MPa、20L/minの電磁比例弁であり、スプールが静圧軸受けで支持されており良好な流量特性を有している。

開発された2段式の水圧サーボ弁を図4に示す。



図2 Appearance of the water hydraulic pump

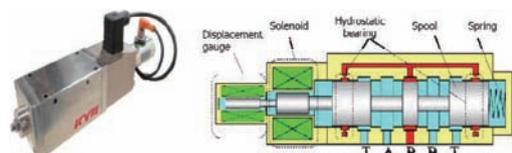


図3 Electromagnetic proportional solenoid valve

*平成23年12月25日 原稿受付

**東京工業大学大学院理工学研究科

(所在地 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

このサーボ弁ではスプールはやはり静圧軸受けで支持されており、さらに大きな特徴は静圧軸受けから流出する水が1段目を構成するノズルフラップに導かれている点である。このように静圧軸受けから漏れ出る水を制御機構に再利用する点がこの弁のユニークな点である。

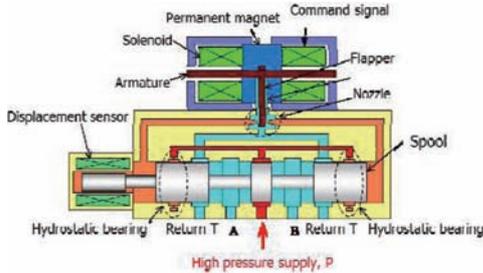


図4 Water hydraulic servo valve

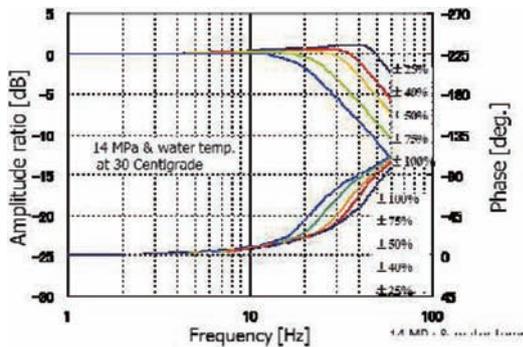


図5 Frequency characteristics of the servo valve

図5は水圧サーボ弁の周波数特性である。定格流量の25%から100%まで、十分な制御特性を有する。

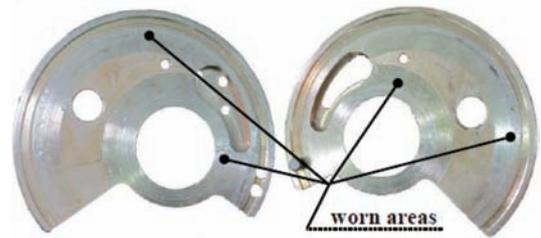
最後にこれらのコンポーネントの応用例として2つの例を示している。一つは食品加工企業で使用されている食肉加工機械で、この機械は電磁比例弁で制御されたADSで駆動されている。もう一つの例は必要に応じた圧力変動(波)を発生するものでサーボ弁と電磁比例弁が使用されている。清潔さを必要とする加工機では油圧は汚れを落とすための手間が大変であるが、水圧は非常に有利である。

このようにADSは水道水を媒体とし、今後はコジェネレーションなどとの結合によって環境親和型の社会を発展させる技術となることを述べている。

3. 水圧ポンプ

水圧ポンプに関しては2つの発表が行われた。一つOptimization of floating plate of water hydraulic internal gear pump²⁾(著者:Hua ZHOU, Wei SONG)と題し、水圧用内接歯車ポンプのフロー

ティングプレートの最適化に関するものである。フローティングプレートはポンプの摩耗補償と高容積効率を実現する重要な部品であるが、水圧用内接歯車ポンプの設計法は確立していない。水圧用内接歯車ポンプとして油圧用内接歯車ポンプを用いて実験を行った結果は図6に示すように、フローティングプレートが大きく摩耗していることが示されている。一方、有限要素法によって、フローティングプレートの接触応力と変形を解析し、摩耗の原因を分析している。これをもとに背圧室の形が最適化され、フローティングプレートの摩耗が改善することを示している。



(a) back floating plate (b) front floating plate

図6 Worn floating plates

もう一つはThe co-simulation of the axial piston pump for seawater reverse osmosis desalination³⁾(著者:ZHAI Jiang, ZHOU Hua)と題したもので、逆浸透膜方式の海水淡水化システム(SWRO)の高圧ポンプに関する研究である。このシステムでは、高圧ポンプはもっとも重要な部品の一つである。往復ポンプや遠心ポンプと比べてアキシャルピストンポンプは高効率、低ノイズ、小形という利点がある。このため小形や中形の海水淡水化システムではアキシャルピストンポンプが使用されている。この論文では、そのシステムで使用されるアキシャルピストンポンプの構造改善と最適化設計のため、ポンプにおける機械構造と流体の混合モデルを作成し、シミュレーションを行っている。ADAMSとANSYSでは、ポンプの重要なコンポーネントのモデルを作成し、それらの動力学特性を調べている。AMESimでは、図7に示すようなポンプのモデル

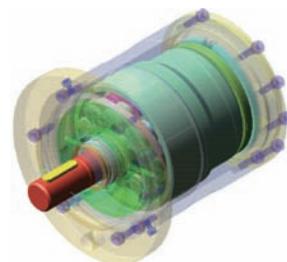


図7 The solid model of the pump

を作成してシミュレーションし、ポンプの構造改善と最適化設計を行っている。

4. 水圧制御弁

水圧制御弁に関しては3つの発表が行われた。一つはDevelopment of water hydraulic proportional valves driven by positive cam mechanism⁴⁾ (著者：Kenji SUZUKI他)と題したステッピングモータを用いたカム駆動による比例制御弁の研究である(図8)。

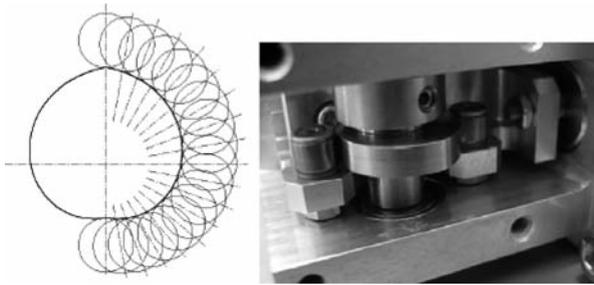


図8 Cam profile and positive cam mechanism

製作した試作弁を用いたカム機構の実験の結果、まずステッピングモータの回転角とスプール変位が非常に線形性が良くヒステリシスがほとんどないことが示されている。つぎに中立点付近の圧力ゲイン、無負荷時の流量特性、負荷時の流量特性を実験的に調べ、いずれも良好な特性を示すことを確認している。最後に図9に示す静圧軸受けの位置制御への応用例を示し、負荷によらず位置を保持できることを実験的に示している。

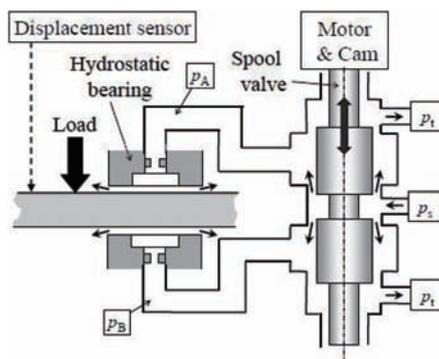


図9 Control of displacement of hydrostatic support

もう一つはEffect of parameters on frequency characteristics of proportional control valve using tap water⁵⁾ (著者：Futoshi Yoshida 他)と題し、水圧用電磁比例制御弁の各種パラメータが制御系に及ぼす影響を解析した研究である。この論文は図10に示す水圧用電磁比例制御弁を対象として伝達関数

を導出し、PI制御による制御方法について検討を行っている。実験ならびに解析によって、ダンピングオリフィスの直径、比例ゲインと積分時間が弁の周波数特性に影響することを示し、その結果をもとに水圧電磁比例制御弁の性能改善と最適化設計を行うことができることを示している。

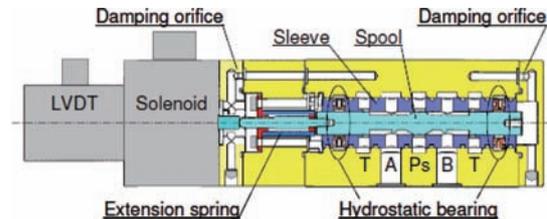


図10 Structure of the proportional control valve

最後の一つはWater hydraulic high-speed solenoid valve and its application⁶⁾ (著者：Akihito Mitsuhashi他)と題した水圧用高速電磁弁に関する研究である。まず初めに図11に示す水圧用高速電磁弁をPWM制御に用いた場合の振動と騒音を改良するための吸振器の最適化を行い、吸振器容量と入口絞りを求めている。

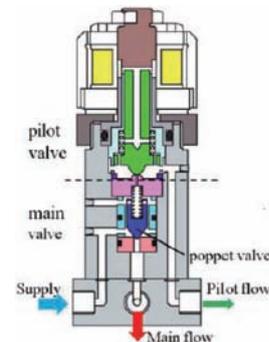


図11 Water hydraulic HSSV

つぎにこの弁を用いてシリンダの位置制御を行い、通常の高速度電磁弁を使用した場合に比べて振動の少ない制御ができることを示している。

5. 水圧制御系

水圧制御系に関しては2つの発表が行われた。一つはDesign of speed control system of water driven stage⁷⁾ (著者：Toshiaki Sano他)と題した水圧駆動ステージに関する研究である。小形のレンズなどの精密加工に用いる工作機械では、加工表面向上のためにステージの速度制御が重要となる。この研究では図12に示す水圧駆動ステージの速度制御を行うため水圧比例制御弁を用い、PI制御によるフィードバック制御によって速度を一定に保つことができることを示している。

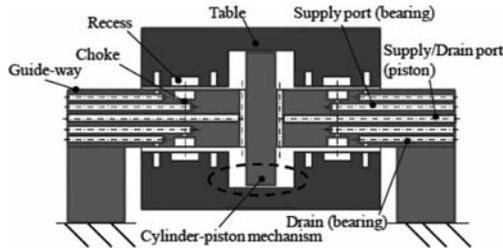


図12 Water driven stage

もう一つの発表はStudy on energy efficiency of water hydraulic fluid switching transmission⁸⁾ (著者: Wataru Kobayashi他) と題した水圧スイッチング動力伝達システム (FST) に関する研究である。この研究ではFSTの伝送効率を改善するために、第2の駆動源としてアキュムレータを使用し、無駄エネルギーを再利用する方法を検討している。論文では、図13に示したFSTシステムに対し、評価指標として二つのエネルギー効率のインデックスを定義し、シミュレーションと実験を行っている。その結果からアキュムレータの容積、圧力とフライホイールの回転速度がFSTの効率に影響を与えることを示している。そして、このシステムでは速度制御の誤差が5%以下に、回収エネルギーが運動エネルギーの約25~38%になることを示している。

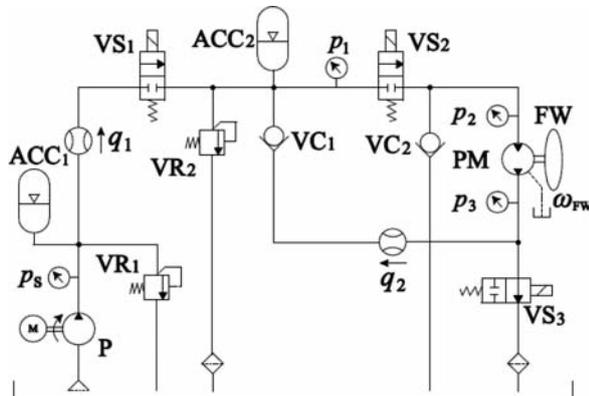


図13 Water hydraulic FST circuit

6. その他

その他に2つのユニークな発表があった。その一つはResearch on the viscous loss of underwater tool⁹⁾ (著者: Yinshui LIU他) と題し、水中で使用する機器の粘性摩擦損失を調べた研究である。水中で使用されたアブレイブディスクソーなどの大形水中機器では、空気中で使用されるツールと比較して、粘性損失を考慮することが必要である。特に回転速度が大きい場合はこの粘性摩擦損失は大きい。この

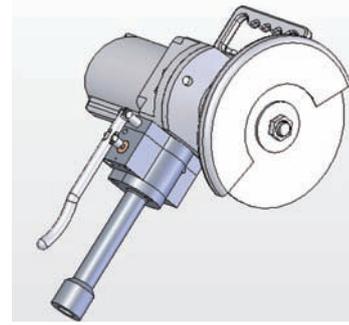


図14 Seawater hydraulic abrasive disk saw

論文では、水中ツールの粘性摩擦損失を調べるために、図14に示すアブレイブディスクソーを駆動する水圧システムを用いて実験を行ない、ディスクソーの直径ならびに回転速度と粘性摩擦損失の関係を実験的に求めている。そして実験より得られたデータをもとに、アブレイブディスクソーの粘性摩擦損失を求める実験式を示している。

もう一つの発表はSensitivity analysis of data analysis process in hydraulic forklift¹⁰⁾ (著者: Tomi Krogerus他) と題した水圧フォークリフトのデータ分析における感度解析の研究である。まずフォークリフトの動作のシミュレーションのモデルを構築している。つぎに測定したデータを分類するために、Self-Organizing Maps (SOM) により、教師なし学習を行い、それを用いたテストによりモデルの有効性を示し、水圧フォークリフトの解析プロセスに一般性があることを確認している。

7. おわりに

概説したように基調講演では水圧技術の過去から現在未来への道程が水圧の存在意義とともに語られ、今後の発展への期待が示された。そしてその後のセッションでは個々のコンポーネントの開発やそれを利用した制御系について多くの知見が発表された。このセッションのオーガナイザとして、今後、水圧技術が進展するためにこれらの研究発表をもとにさらに多くの研究が進むことを期待している。

参考文献

- 1) Shimpei Miyakawa: Aqua Drive System: a technology using tap water and its applications, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, K-4 (2011)
- 2) Hua Zhou, Wei Song: Optimization of floating plate of water hydraulic internal gear pump, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2C4-2 (2011)

Thoughts and Impressions on the 8th JFPS Symposium on Fluid Power*

Andrew Schenk**

1. INTRODUCTION

Fluid power is a critical technology used in applications such as automobiles, constructions equipment, manufacturing, and aerospace only to name a few. However, due to the compactness and excellent integration of fluid power systems, they are often hidden from public view. Thus, it was a pleasure for the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power to spotlight advanced uses of fluid power in industrial presentations while also reporting on the academic research propelling fluid power technology into the twenty-first century. I had the honor of attending and presenting at the conference held in Okinawa, Japan in October 2011 and in this review article I would like to share with you my insights and experience.

2. PRESENTATIONS

Over 100 papers were presented at the 8th JFPS conference in just two days. Four parallel sessions enabled all the papers to be presented in such a short period of time and because the sessions were grouped by topic, it allowed attendees to focus on presentations immediately related to their area of interest. Of course the downside to this format is that a single person was only able to attend a portion of the presentations.

The conference began with a special lecture by Prof. Kim Stelson entitled *Saving the World's Energy with Fluid Power*¹⁾. The paper highlighted a 2010 study conducted at Oak Ridge National Laboratory which found that 2.3 to 3.0 percent of all energy in the U.S.A. was transmitted through

fluid power with an average efficiency of 21%. The paper concluded that there exists a large potential to improve the overall efficiency of fluid power with significant energy and dollar savings as a result. It was an excellent presentation to open the conference because it highlighted the fact that fluid power is not a fully matured technology, but rather much work is still needed.

As my research focus lies in hydraulic pump modeling I primarily attended the breakout sessions for 'Fluid components and systems'. All the speakers I listened to did an excellent job presenting their research.

The official language of the conference was English and thus all papers, presentations, and questions/answers were in English. What makes this fact so impressive is that I was one of the few people attending the conference who spoke English as a first language. I would like to personally thank the other attendees for making the effort to use English throughout the entire conference even though it would have been easier at times for people to speak in their native languages. This effort did not go unnoticed and as a result I felt very welcomed and comfortable throughout the event.

It is simply not possible to comment on each presentation I attended due to the length of this review article, but I would like to mention a few in particular. Although my present work is in oil hydraulics, I see a great future potential for water hydraulics to replace many of the oil fluids in use today. There are numerous advantages to using water over oil, the greatest of which is a significant increase in environmentally friendliness. The keynote speech by Shimpei Miyakawa entitled *Aqua Drive System: A Technology Using Tap Water and its Applications*²⁾ highlighted recent advances in water based hydraulics and some of the newest applications.

*平成21年12月17日 原稿受付

**Maha Fluid Power Lab., Purdue University
(所在地 1500 Kepner Drive, Lafayette, IN 47905, USA)

With the vast amount of research in the area of micro-electromechanical systems, clearly there is a trend to miniaturize systems for use in many new technologies. This area of miniaturization is also present in the fluid power community often in the form of function fluids. The presentations in the session on functional fluids were excellent, especially the papers *Control of Bellows Actuator using Electro-conjugate Fluid*³⁾ and *Numerical Simulation of Ion Drag Pump Characteristics*⁴⁾.

3. VENU

The conference was held in the Okinawa prefecture at the Okinawa Convention Center. The particular venue worked well for a conference of this size as there were both large rooms for special lectures while also having many smaller rooms to hold each of the breakout sessions.

During the breaks between sessions and at meal times, it was a pleasure to network and speak with so many different researchers. Being only a PhD student, I did not know many individuals attending the conference beforehand. Fortunately, everyone I met during my visit was extremely friendly and there are a number of people with similar research I now plan to continue to stay in contact with.

The closing banquet was held at a hotel nearby to the Convention Center. It featured an exciting cultural presentation with dancing and music. Following the festivities, the Best Student Paper Award was presented to six students. This was my personal highlight as I was one of the recipients of the award for the paper I presented.



Fig. 1 The 8th JFPS Symposium Best Student Paper Award Recipients

Figure 1 is a photo of the best award recipients posing with Miss Okinawa and Prof. Shinichi Yokota.

4. CONCLUSION

It is unfortunate that more researches from outside the Asian continent did not travel to the JFPS symposium. The opportunity to meet with so many prominent researchers at one time is an extremely unique opportunity. Personally, this was my first visit to Japan and I was extremely impressed with the friendliness of people, the culture, and the delicious food. I look forward to returning to Japan soon for business, the 9th JFPS conference, or pleasure. I would like to thank JFPS for allowing me to write this review article and would like to suggest to all who read this to attend the 9th JFPS conference in 2014.

REFERENCES

- 1) Stelson, K. 2011. Saving the World's Energy with Fluid Power. *Proceedings of the 8th JFPS Symposium*, S-1.
- 2) Miyakawa, S. 2011. Aqua Drive Systems: A Technology Using Tap Water and its Applications. *Proceedings of the 8th JFPS Symposium*, K-4.
- 3) Mori, K., Yamaguchi, A., Takemura, K., Yokota, S., Edamura, K. 2011. Control of Bellows Actuator using Electro-conjugate Fluid. *Proceedings of the 8th JFPS Symposium*, 2B3-1.
- 4) Yanada, H., Isohata, Y., Tsuruta, K. 2011. Numerical Simulation of Ion Drag Pump Characteristics. *Proceedings of the 8th JFPS Symposium*, 2B3-2.

[INTRODUCTION OF AUTHOR]

Andrew Schenk



Andrew Schenk received his BSME degree from Kettering University in 2009. He is now a Ph.D. student at Purdue University under the advisement of Prof. Monika Ivantysynova. His present research is in the area of computational mechanics and its application to the tribological modeling of axial-piston hydraulic machines. Andrew's work is part of a research project with the National Science Foundation's funded Engineering Research Center for Compact and Efficient Fluid Power.

フルードパワーに関する第8回JFPS国際シンポジウムの感想と印象記

1. はじめに

フルードパワーは自動車、建設機器、製造業、そして航空宇宙産業をはじめとするアプリケーションにおいて用いられる重要な技術である。しかし、フルードパワーシステムのコンパクト性や優れた集積統合性のために、しばしば世間の目から隠されている。そのため、第8回JFPSフルードパワー国際会議において、21世紀へとフルードパワーシステムを推進する学術研究についてレポートするとともに、産業界におけるフルードパワーの先端的利用にスポットをあてることは喜ばしいことである。この度、私は2011年10月に日本の沖縄で開催されたこの国際会議に出席し、プレゼンテーションを行う栄誉を与えられた。本稿において、私の見解と体験を皆様にご紹介する。

2. 講演発表

第8回JFPS国際会議では、たった2日間で100件を超える論文の講演が行われた。4つの並行したセッションにより、非常に短い持ち時間ではあったが、全ての論文が講演された。また、セッションはトピックごとにグループ化されたため、出席者は自分の関心が高い分野に関連した講演に重点を置くことができた。もちろん、この形式のマイナス面は、一人の人が全講演の内の一部にしか出席できなかったことである。

たことである。

本会議はステルソン教授 (Prof. Kim Stelson) による特別講演 *Saving the World's Energy with Fluid Power*¹⁾ から始まった。この論文は、アメリカ合衆国の総エネルギーの内の2.3~3.0%は平均効率21%のフルードパワーによって伝達されていることを指摘したオークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Laboratory) で行われた2010年の研究に焦点をあてていた。論文によれば、大幅なエネルギーとコスト削減とともに、フルードパワーの包括的な効率性を向上する大きな潜在性が存在すると結論付けていた。この論文は、フルードパワーは十分に成長した技術ではなく、さらに多くの研究が必要とされている事実を強調しており、会議のオープニングに相応しく、素晴らしい講演であった。

私の研究の焦点は油圧ポンプのモデリングであるため、私は優先して油圧要素機器とシステム (Fluid components and systems) のセッションに出席した。聴講した全ての講演者が素晴らしい研究発表を行っていた。

会議の公用語は英語であり、そのため、すべての論文、講演、そして質疑応答が英語で行われた。とても印象的だったのは、私が第一言語として英語を話す数少ない出席者だったという事実である。他の出席者の皆様には、時には自分たちの母国語で話すほうが簡単であったときでさえも、会議全体を通し

て英語を話す取り組みをしてくれたことに大変感謝している。この尽力は気づかないわけではなかったが、結果として、イベントを通して、私はとても歓迎され、居心地良く過ごせた。

本稿の長さに関りがあり、私が出席したそれぞれの講演発表へのコメントを書くことは難しいため、特にいくつかの講演について取り上げたい。私の現在の研究は油圧関係であるが、今日使用されている多くの油圧に代わって水圧技術が持つ素晴らしい未来の潜在性を目の当たりにした。油よりも水を利用することには非常に多くの利点があり、最も優れていることは環境適合性である。宮川氏による基調講演 *Aqua Drive System : A Technology Using Tap Water and its Applications*²⁾ は、流体力学と最新の応用方法に基づいた水圧分野における近年の発展を明らかにした。

マイクロエレクトロメカニカルシステムの分野における膨大な数の研究をもとに、明らかに多くの新技術への利用に向けて、システムを小形化する傾向がある。この分野における小形化はフルードパワーの世界にも存在し、しばしば機能性流体の形式に見られる。機能性流体セッションでの講演は素晴らしく、特に、*Control of Bellows Actuator using Electroconjugate Fluid*³⁾ と *Numerical Simulation of Ion Drag Pump Characteristics*⁴⁾ が優れていた。

3. 開催会場

会議は沖縄県の沖縄コンベンションセンターで開催された。今回の開催会場には、本会議に相応しく特別講演用の大ホールと各セッションを開くための多くの小規模な部屋があった。

セッションと食事の間の休憩では、とても多くの研究者たちと関わり、話すことができたことが嬉しかった。私はただのPhDの学生であり、事前に知っていた会議の出席者は多くなかった。幸いにも、私が滞在した期間に出会った人々は皆、とても友好的であった。また、同様の研究をおこなっている人も

多く、現在継続して連絡を取る計画をしている。

閉会のバンケットはコンベンションセンターのすぐ近くにあるホテルで開かれた。式では、ダンスと音楽によるエキサイティングな文化的パフォーマンスが行われた。この催しに続いて、最優秀学生論文賞が6人の学生に授与された。私も講演した論文に対して賞を頂いた学生の一人であるため、この受賞式が目玉となった。図1は実行委員長の横田眞一教授とミス沖縄とともに並んだ優秀講演賞の受賞者の写真である。

4. おわりに

アジア大陸以外からの研究者がJFPSシンポジウムに訪れなかったことは残念だった。非常に多くの優れた研究者と一度に会える機会は、本当に珍しいことである。個人的には、今回初めて日本を訪れ、人々の好意、文化、そして美味しい食事に本当に感銘を受けた。仕事のため、第9回JFPS会議のため、または楽しみのために、再び日本を訪れることをとても楽しみにしている。私に本稿執筆の機会を与えてくださったJFPSに心より感謝申し上げる。そして、この記事を読んでくださった皆様に、2014年の第9回JFPS国際会議に出席されることを提案したい。

著者の紹介

Andrew Schenk は2009年にKettering Universityで学士および修士号を取得した。彼は現在、Purdue UniversityのProf. Monika Ivantysynovaの下で指導を受けているPh.Dの学生である。現在の研究は、計算力学とアキシアルピストンを用いた油圧機器のトライボロジーモデリングの分野である。Andrewの研究はNational Science Foundationの助成を受けているEngineering Research Center for Compact and Efficient Fluid Powerとの研究プロジェクトの一部である。

(翻訳：近藤瞳 法政大学)

参加学生から見た第8回JFPS国際シンポジウム*

山口 彰 浩**

1. 緒 言

The 8th JFPS International Symposium on Fluid Powerは10月25日から10月28日まで、沖縄コンベンションセンター¹⁾(沖縄県宜野湾市)において開催されたフルードパワーに関する国際シンポジウムである。JFPS International Symposium on Fluid Powerは3年に1回開催される国際シンポジウムであり、世界各国からフルードパワーに関する研究者・技術者が参加し活発な議論を行う。

筆者は、本国際シンポジウムにおいてAN IN-PIPE MOBILE ROBOT USING ELECTRO-CONJUGATE FLUID²⁾という題目の研究発表を行った。また、招待講演、基調講演、技術セッションおよびテクニカルビジットなどの各行事に参加し、フルードパワーに関する最新の研究情報を得るとともに、国際的なコミュニケーション能力を養い、沖縄の文化を学んだ。以降に、参加学生から見た今回の国際シンポジウムを、参加学生を代表し行事ごとに紹介する。

2. 招待講演

本国際シンポジウムでは、2件の招待講演が行われた。招待講演は発表45分、質疑応答5分であり、10月26日および10月27日の2日間にわたって行われた。

特に印象に残った招待講演はProfessor Kim A. Stelson (University of Minnesota) によるSAVING THE WORLD'S ENERGY WITH FLUID POWER³⁾である。講演内容の詳細は割愛するが、筆者の研究分野であるフルードパワーと現在世界的に非常に関心の高いエネルギー問題の関連性を学ぶことができ、大変意義深い内容であった。講演の最後には図1に示すように“もったいない Mottainai Energy is too precious to waste. We can do better.”という言葉が大きく掲げられ、“もったいない”と

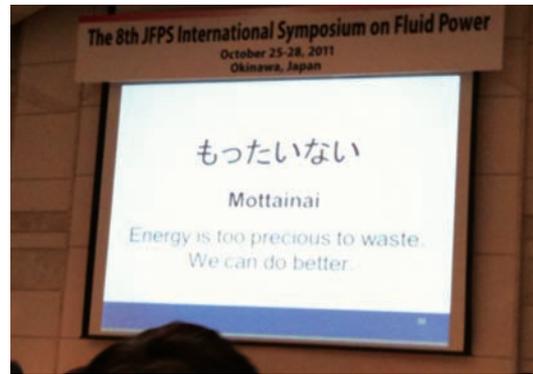


図1 Professor Kim A. Stelson による招待講演に使用されたスライド(もったいない Mottainai Energy is too precious to waste. We can do better.)

いう独自の概念⁴⁾を持つ日本で研究を行う研究者として、今後のエネルギー問題に積極的に関与してきたいと強く感じた。

3. 基調講演

本国際シンポジウムでは、4件の基調講演が行われた。基調講演は発表35分、質疑応答5分であり、10月26日および10月27日の2日間にわたって行われた。

特に印象に残った基調講演はProfessor Masami Nakano (Tohoku University) によるSMART FLUID POWER SYSTEMS UTILIZING ELECTRO-/MAGNETO-RHEOLOGICAL FLUIDS⁵⁾である。本基調講演では電気粘性流体(Electro-rheological Fluid, ERF)および磁性流体(Magneto-rheological Fluid, MRF)に関して、基礎的な性質やERFを用いた点字表示装置およびMRFを用いたダンパなど、基礎から応用まで幅広く説明されており、大変興味深い内容であった。また、随所に効果的な動画が使用されておりERFおよびMRFの基礎的な性質や応用を直観的に理解することができた。

4. 技術セッション

本国際シンポジウムの技術セッションでは、フルードパワーに関する約100件の研究発表が行われた。発表の形式は口頭発表であり、発表者には15分

*平成23年11月4日 原稿受付

**慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻
(所在地 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)



図2 筆者の研究発表の様子



図3 バンケットにおいて披露されたエイサー

間の発表時間および5分間の質疑応答時間が与えられている。技術セッションは10月26日および10月27日の2日間にわたって行われた。

本国際シンポジウムはフルードパワーに関する研究発表が行われるため、機能性流体やソフトアクチュエータといった筆者の研究と非常に関連性の強い研究が多数行われた。このため、技術セッションに参加することにより、機能性流体およびソフトアクチュエータに関する最新の研究情勢および研究情報を数多く得ることができた。また、研究内容に関することだけでなく、発表資料の構造や発表の流れ、質疑の受け答えなど、国際的な研究者としての効果的な発表手法を学ぶことができた。

筆者は電界共役流体²⁾とよばれる機能性流体に関する研究を行っているため、機能性流体およびソフトアクチュエータに関する研究発表の中でも、特に電界共役流体に関する研究発表は一段と興味深い内容であった。電界共役流体に関する研究発表は全6件行われ、全6件の発表を通じて印象的であったことは、多くの研究者が電界共役流体に強い関心を寄せており、活発なディスカッションが行われていたことである。空気圧や油圧、他の機能性流体と比較して電界共役流体に関する研究例は少ないため、電界共役流体の知名度は比較的高くはないと考えてい



図4 Best Student Paper Award受賞者(左:筆者, 右: Kent Mori (Keio University))

た。しかし、多くの質疑が飛び交い活発な議論が行われる様子から、電界共役流体に関するフルードパワー研究者の関心が世界的に向上していることを実感し、自身の研究のやりがいや責任、将来性などを改めて強く認識した。実際に、筆者の研究発表の場合、質疑応答が時間内では収まらず、技術セッション終了後に発表会場外などにおいて引き続き議論を行った。なお、図2は筆者が発表を行っている様子である。

以上より、筆者は本国際シンポジウムの技術セッションを通じて、フルードパワーに関する研究情報を得るとともに、効果的な発表手法を学んだ。また、電界共役流体に関する技術セッションから筆者が行っている研究の意義を再認識した。さらに、自身の研究発表およびディスカッションを通じて国際的なコミュニケーション能力の向上を実感した。

5. ウェルカムパーティーおよびバンケット

ウェルカムパーティーは沖縄コンベンションセンターにおいて10月25日に、バンケットはラグナガーデンホテル⁶⁾(沖縄県宜野湾市)において10月27日にそれぞれ行われた。

ウェルカムパーティーでは、会場前方のスクリーンに本国際シンポジウム以前のJFPS International Symposium on Fluid Powerの様子が投影されており、自身が参加している国際シンポジウムの歴史の深さを知ることができた。また、ウェルカムパーティーは立食形式であったため、世界のフルードパワーに関する研究者と容易に接触することができ、研究者間のネットワーク構築の絶好の機会となった。

バンケットでは、獅子舞の演舞、泡盛の樽の鏡開き、エイサー、カチャーシーなどが行われ、沖縄の文化に触れることができた。バンケットの内容の一例を図3に示す。会食・歓談の際には、会場前方のスクリーンに本国際シンポジウムの様子が投影され

ており、本国際シンポジウムを振り返り反省することができた。また、バンケットの冒頭ではBest Student Paper Award の表彰式が行われ6名が受賞した。大変光栄なことに筆者は6名のうちの1人に出選され、Best Student Paper Award を受賞することができた。本国際シンポジウムのような世界的にレベルの高い学会において、素晴らしい賞を受賞したことに大変感激し、Best Student Paper Award に恥じぬよう今後も研究に励みたいと研究意欲が格段に向上した。図4はBest Student Paper Award受賞者の一部である。

6. テクニカルビジット

テクニカルビジットは10月28日に行われ、海洋博公園⁷⁾(沖縄県国頭郡)内の沖縄美ら海水族館を訪れた。海洋博公園内には沖縄美ら海水族館の他に、エメラルドビーチ、海洋文化館、おきなわ郷土村・おもろ植物園、熱帯・亜熱帯都市緑化植物園など多数の施設が存在し、テクニカルビジットに参加することにより沖縄の自然や文化を学ぶことができた。

7. 結 言

本稿では、「参加学生から見た第8回JFPS国際シンポジウム」という題のもとThe 8th JFPS International Symposium on Fluid Power を参加学生の視点から紹介した。本稿によりフルードパワーに関する研究やJFPS International Symposium on Fluid Power への関心がより一層高まれば幸いである。

参 考 文 献

1) <http://www.oki-conven.jp/>

- 2) Akihiro Yamaguchi, Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura : AN IN-PIPE MOBILE ROBOT USING ELECTRO-CONJUGATE FLUID, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 456-463 (2011)
- 3) Kim A. Stelson : SAVING THE WORLD'S ENERGY WITH FLUID POWER, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 1-7 (2011)
- 4) プラネット・リンク : もったいない, マガジンハウス社, 東京 (2005)
- 5) Masami Nakano : SMART FLUID POWER SYSTEMS UTILIZING ELECTRO-/MAGNETO-RHEOLOGICAL FLUIDS, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 22-25 (2011)
- 6) <http://www.laguna-garden.jp/>
- 7) <http://oki-park.jp/index2.html>

[著 者 紹 介]

やま ぐち あき ひろ
山 口 彰 浩 君



2010年慶應義塾大学工学部機械工学科卒業。現在、慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻修士課程2年。機能性流体、ソフトアクチュエータの研究に従事。日本機械学会学生会員。
E-mail : sunnisun5@z5.keio.jp

解 説

参加学生から見た今回の国際シンポジウム*

坂 間 清 子**

1. はじめに

2011年10月25日から28日まで、沖縄コンベンションセンターにてthe 8th JFPS International Symposium on Fluid Powerが開催された。写真1は会場の入り口の写真である。筆者は、この国際会議へは、講演者としてだけでなく、学生スタッフとしての参加でもあった。日本国内で開催された学会ではあるが、国際会議での講演であったということはもちろん、学会の運営にほんの一部だけでも携われたことは、筆者にとって貴重な経験となった。本稿では、講演者と学生スタッフの両方の視点からこの国際会議に対する私見を述べる。

2. 講演者としての参加

筆者は、10月26日のFluid Component and System-1のセッションに参加し、油圧システムの油中気泡を除去する気泡除去装置についての講演を行った¹⁾。写真2は筆者の研究発表の様子である。このセッションでは、多くの方にご聴講いただき、質疑の場だけでなく、セッション終了後にもたくさんのご意見を頂戴することができた。今後研究を進めていく上で参考になる点が数多くあり、非常に得るものが多い場となった。また、同セッションでご講演されていた横浜国立大学教授の眞田一志先生のご講演²⁾は、同じ数値解析を行っている筆者としては、研究の内容だけでなく、結果のまとめ方や見せ方についても参考になる点が多くあり、非常に勉強になった。英語での発表ということに対する課題もあるが、それ以前に、多くの方に理解していただくための工夫が今後さらに必要であることを実感した。また、海外から参加された先生や学生の質疑やご講演を聞く中でも勉強になる点が多くあった。話の展開やまとめ方など、日本人との違いを実感し、筆者にとっては反省すべき点がいくつも見つかった。次回に活かせるよう、今後しっかり勉強していこう



写真1 会場入り口



写真2 発表セッションの様子

と思う。

3. 学生スタッフとしての参加

今回の国際会議には、慶應大学から2名、東京工業大学から2名、法政大学から13名の計17名の学生がスタッフとして参加した。写真3は実行委員の先生方と学生スタッフの集合写真である。学会に学生スタッフとして参加するのは今回が初めてであり、運営の裏側を見ることは非常に新鮮なことであった。また、学生スタッフとして参加することで、学会に参加された方とお話する機会も増え、ただ講演者として参加する以上に学会を楽しむことができた。

学生スタッフは、受付やクローク、講演室、展示などの役割を分担し、筆者は、展示セッションの担

*平成23年12月1日 原稿受付

**法政大学大学院デザイン工学研究科システムデザイン専攻
(所在地 〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1)

当として参加した。展示セッションでは、13の企業が展示を行った。写真4と写真5は展示セッションの様子である。展示セッションでも、発表セッションと同様に活発な議論がかわされていた。また、海外から参加された方も興味深くご覧になっている様子であった。小規模な展示スペースではあったが、多くの方がこの展示セッションで意見交換を行うことができたのではないだろうか。筆者自身も各ブースでさまざまなお話を伺うことができ、今後研究を進めていく上で参考となる発見が多くあった。学生スタッフとしてではなく、参加者としての感想となってしまうが、展示セッションでは、実際に機器が動いている様子がわかりやすく展示されており、普段見ることのできない機器内部の様子を見ることができたり、発表セッションではあまり聞くことのできない些細なことでも質問することができたりと、企業の方が情報収集を行う場としてだけでなく、学生の勉強の場としても非常に貴重な場であった。しかし、実際には学生の来場者は少なく、その点については少し残念に感じた。

また、今回学生スタッフとして参加することで、



写真3 スタッフの集合写真

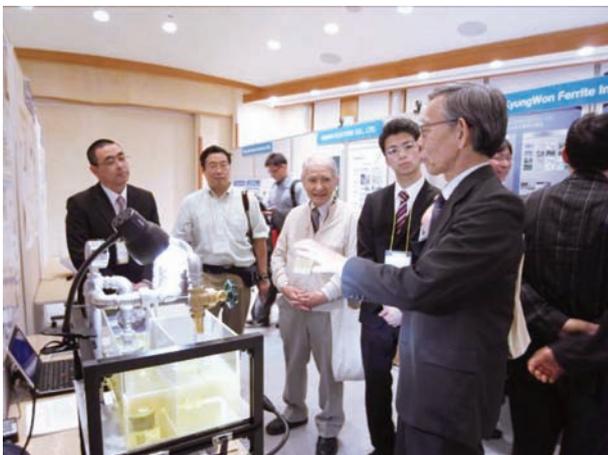


写真4 展示セッション(1)

ほんの少しではあるが各企業の展示の準備作業を見ることができ、その様子はたいへん興味深かった。筆者の研究室でも展示会へ出展したことがあるが、企業の方の展示は、細かいところまで注意が行き届いており、参考にしたい点が非常にたくさん見つかった。今後また展示会へ参加する機会があれば、今回学んだことを活かしていきたいと思う。

4. 国際シンポジウム全体を振り返って

今回の国際シンポジウムでは、講演の場や展示会場だけでなく、コーヒープレイクの時間や講演会終了後も参加者の間で活発な議論が行われていることが印象的であった。また、ウエルカムパーティーやバンケット、テクニカルビジットなどの場も、非常に多くの方が参加され、参加者同士の交流を深める場となった。写真6はバンケットの様子である。筆者は、今回の国際会議で初めて沖縄を訪れたが、バンケットの食事、エイサーやカチャーシー、テクニカルビジットの美ら海水族館など、学会を通して沖縄らしさに触れることができ、日本国内で開催された国際会議であったにも関わらず、海外から参加された方と同じぐらいそれぞれのイベントを楽しむことができた。おそらく、筆者と同じように感じた日本人は少なくないだろう。そして、そのことがより参加者同士の交流を深めるきっかけとなったのではないだろうか。ただ、筆者としては学生同士の交流が少なかったことが少し気になる点であった。筆者にとって、学生スタッフとしてこの学会に参加できたことは、他大学の学生スタッフと交流を深める場となり、それぞれの研究室の話や、研究の話聞くことで、自身の研究意欲を刺激するきっかけとなった。しかし、その他の場で、他大学の学生と関わりをもつ機会はほとんどなかった。おそらく、多くの学生がそうであっただろうが、非常にもったいない



写真5 展示セッション(2)



写真6 バンケット

ことであると思う。展示会場についていえば、2011年7月に東京ビッグサイトで開催された、フルードパワー国際見本市³⁾のように、学会の中で行われる展示でも、学生の展示コーナーが設けられていると、学生も足を運びやすくなり、学生同士の意見交換も行いやすくなるのではないだろうか。展示コーナーに限らず、学会を通して、他大学の学生と交流を持つことができるイベントなどがあると良いと思う。

5. おわりに

本稿では、講演者としての視点と、学生スタッフとしての視点から、この国際シンポジウムについての私見を述べた。筆者にとって、このシンポジウムに二つの立場で参加できたことは、これまでの国内の講演会以上に学ぶことの多い場となり、非常に貴重な経験となった。それぞれの場で、新たに取り入れていきたいと思う点や、これまでの自分のやり方について反省すべき点が多く見つかったが、これらを今後の研究の進め方だけでなく、講演会での発表の仕方や展示会での来場者への展示の見せ方に活かしていきたいと思う。

今回の国際シンポジウムへの参加にあたり、筆者の指導教授である法政大学田中豊先生には、発表を

行うにあたって多くの助言を頂き、さらに、学生スタッフとしての参加という貴重な場を与えていただいた。心より感謝申し上げる。また、展示セッションにおいては、担当の足利工業大学教授桜井康雄先生と、東京電機大学教授藤田壽憲先生にはたいへんお世話になった。心より謝意を表す。

参考文献

- 1) Sakama S., Suzuki R., Tanaka Y. and Tanaka N. : Optimal Design of Bubble Eliminator by Numerical and Experimental Investigation, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 182-187 (2011)
- 2) Sanada K. and Yamaguchi N. : CFD Analysis of Inlet Flow Around an Impeller of an Oil-Hydraulic Pump, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 188-195 (2011)
- 3) <http://www.ifpex2011.jp/>

[著者紹介]

さかま 清子 君
坂間 清子 君



2011年法政大学デザイン工学部システムデザイン学科卒業。現在、法政大学大学院デザイン工学研究科システムデザイン専攻修士1年。油圧機器に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会の学生会員。

E-mail : sayako.sakama.4r@stu.hosei.ac.jp

解 説

参加企業から見た今回の国際シンポジウム —ポンプそして人生 (Ⅳ)—*

小曾戸 博**

1. はじめに

高額な航空券やホテル代を払って、筆者が今回のシンポジウムに出席した背景には、アメリカ・ミネソタ大学のキム・ステルソン教授の来日と切っても切れない関係がある。したがって、少し偏るかも知れないが、教授とその周辺との関わりを中心に述べる。

ステルソン教授は、シンポジウムの冒頭に特別講演をされたが、Center for Compact and Efficient Fluid Power (以後CCEFPと略す)の最高責任者を兼ねており、講演の内容はその活動の紹介であった。この詳細については、別掲の記事があるので、参照願いたい。

さらに、本シンポジウムで、筆者が注目した論文についても要点を紹介する。

2. シンポジウムに懸けた思い

特別講演に関するProceeding で、フルードパワーは、大量のエネルギーを伝達しているが、その効率は著しく低く、平均値は21%である。したがって、より効率の良いフルードパワー技術を使うことによって、エネルギーを節約し、無駄を減らし、環境を改善し、しかも新しいビジネスを生み出す途轍もない機会が生じる可能性がある、と述べ、アメリカの研究機関の調査結果による具体的数値を紹介している。仮に5%だけ上昇できれば、5年間で90~110億ドルの節約になるという。

そのために、CCEFPは、①現行のアプリケーションに使われているフルードパワーのエネルギー効率を劇的に改良すること。②燃費効率の良い油圧ハイブリッド乗用車を開発して、輸送分野の効率を改善すること。③遠隔操作形で、等身大程度のフルードパワー器械を開発すること。④フルードパワーをより受入易くして、広く行渡らせること。というように明確に目標を定めている。

このような課題は、アメリカに特有のものでなく、

フルードパワーに携わるもの者に共通する普遍的なものであり、それらに真正面から取り組んでいる。しかも、図1に示すように、連邦機関、国立研究所、大学、企業の4つの要素が、がっちりとスクラムを組んで、強力な協力体制の下に運営されている。

すなわち、産学官の理想的な形態で、フルードパワーの興隆と、さらに新しい潮流を創ろうとしているので、広く情報を得るためには、このようなCCEFPの動向に目を向けていなければならないというのが、筆者の基本的な考えである。

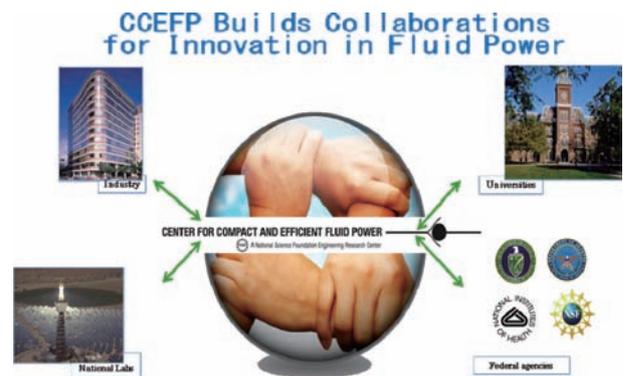


図1 CCEFPの協力体制

2.1 当社とCCEFPの関係

CCEFPの概要については、2010年7月に学会主催で開催されたステルソン教授の来日講演会で紹介された。筆者は、その重要性を認識して、直ちに社長等に説明し、10月には共にミネソタ大学を訪問して、参加の意向を表明した。現在は56企業がメンバー登録をしているが、アジアでは当社だけである。

2011年3月にラスベガスで開催された『IPFE』に、当社も出展したが、その会場でCCEFPの年次総会も同時に開催された。ポスターセッションでは、全研究テーマ(28項目)の進捗状況が発表され、その際にも教授やスタッフとも親しく歓談する機会があった。

その席上、教授の当社への訪問希望が表明された。その後もCCEFP活動への意見交換や試供品の提供などで、20通以上のメールや書簡を交換するなどの協力関係を続けてきた。

*平成23年12月12日 原稿受付

** (株)タカコ 技術本部 開発部 技師長
(所在地 〒619-0240 京都府相楽郡精華町祝園西1-32-1)



図2 ステルソン教授夫妻の当社訪問



図3 信楽の陶芸工房でのステルソン夫人

このような経過を踏まえて、教授が今回の国際シンポジウムに来日されるのを機に、当社への来社訪問となった。図2に示すように、10月18日に夫人を伴って来社された。その後、教授は、滋賀工場を見学された後、約50名の社員に、CCEFPの背景やその活動状況を約1時間にわたって講演された。この間に夫人は、信楽の陶芸工房で、図3のように、楽しそうに粘土を捏ねておられた。夕方は、当社の若い社員も交えて、京都駅周辺での夕食会となり、親密の度を深めた。

なぜ、このような記述を長々とするかと云えば、学界と産業界の連携が叫ばれる中であって、相互理解の場をいかに設けるかによって、先々で大きな違いが出るからである。このような背景の後に沖縄入りをした。

CCEFPの具体的な活動状況については、筆者の『技術開発賞』受賞時の解説記事である文献(1)などを、参照してもらいたい。また、当社での講演の内容は、特別講演で話されたものとはほぼ同じであるので省略するが、さらに最新の情報を交えて、近く学会誌などでより詳しく紹介する予定である。

2.2 展示会出展

別記事にあるように、シンポジウム会場では会社

製品の展示会も同時に開催された。当社は、産学の相互理解の支援と、かつ営業的効果を期待して、ラスベガス、ハノーヴァー、東京IFPEXなどでの国際展示会にも出展した『小形ポンプ』を展示した。20名程の会社関係者や中国・韓国の先生、研究者の他に、図4に示すように、ステルソン教授と台北大学・朱教授や、パデュ大学のモニカ・イヴァンテセノワ教授の来訪もあった。

モニカ教授には、前回の富山での国際シンポジウムの際、筆者が編集委員長として携わっている工業会発行の『油圧ポケットブック（赤本）』を進呈してあり、旧知である。今回は、“手の平サイズの0.4cmポンプ”のスケルトンモデルを使いながら、球面弁板の特長やアプリケーションの提案例などを説明したら、『お土産にちょうだい』と熱望された。そこで、図5のように、バンケットの際にプレゼントしたら、跳び上がって喜ばれた。多くの参加者の中、ハッキングされ照れくさかったが、自らの開発品をそこまで評価されたことは、嬉しかった。

モニカ教授は、CCEFP活動の中で、省エネルギー

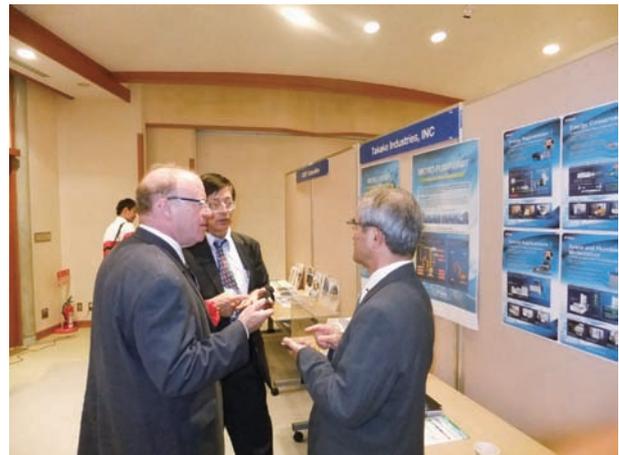


図4 製品展示場におけるステルソン教授，朱教授



図5 バンケット会場でモニカ教授へ世界最小ポンプのプレゼント

ショベルのプロジェクトリータを務めているほか、多くの案件にも関係して、中心的役割を果たしている。また、ドイツ系の企業や製品にも詳しいからであると推測されるが、斜軸式にも強い関心を持っている。ラスベガスのIFPEでの特別講演では、所長を務めているマハ研究所での具体的なデータを示しながら、斜板式に対する斜軸式の優位性（効率、信頼性）を盛んに力説していた。筆者も斜軸式には、J・トーマ博士直伝の思いがあり、最新の設計技術と製造技術を活用すれば、価格的にも十分対抗できる可能性があり、今後さらなる情報交換をし、連携を強める方向で動きたいと思っている。

3. 注目した論文

今回発表された論文のうち、特に注目したものはつぎのとおりであり、省エネルギー関係が多い。

① 1A3-2 Development of a novel hydrostatic transmission system for braking energy regeneration H.T. Do他 韓国 Ulsan大学
アキュムレータを使って、ブレーキエネルギーの回生をする新システムの提案である。

可変ポンプと可変モータを使って、流量の結合構成を産機や建機の複雑な要求を満たすことのできるようにしたシステムで、シミュレーションと実験で調査した。エネルギー回生に関するシステムシミュレーションでの回生率は32～66%であり、実験では22～59%であった。

② 1C2-1 Pressure drop of pipe flow in a manifold block O. Abe他 上智大学

一体形と積層形のバルブブロックについての圧力降下を、CFD法を使って比較検討した。両方のタイプとも主な圧力降下は角部で起こるが、一体形では、二つの角部があった場合に、その間隔と上流側の角部の角度が影響する。一体形の断面は円形だが、積層形の断面は矩形のため圧力降下は、より小さい。アクリル模型を使って可視化すると、CFDの解析結果は、実験値と良く一致し、CFDの有効性は確認できた。

③ 2A4-2 Development of energy saving excavator J. I. Yoon他 韓国 Ulsan大学

6軸の準独立電気—油圧アクチュエータを使って省エネ効果を持つ新タイプのショベルを提案している。ブームやアーム、バケットでは、上昇位置で蓄えられた位置エネルギーを下降の際、電気エネルギーに変換し、旋回体のブレーキ時の運動エネルギーも、電気エネルギーに変換する。

提案したシステムを評価するための実験機を開発し、シミュレーションと実験によって、約50%回生

されることを証明した。

④ 2A4-3 Energy saving of hydraulic pump unit by idling stop with accumulator S.Ota他 東京首都大学

アキュムレータを油圧ポンプユニットに連結し、圧力スイッチと圧力保持機能を使うことによってアイドルングストップの作動をさせる。このようにアキュムレータに連結した間欠作動形ポンプを、インヴァータ制御形ポンプユニット、可変容量形油圧ポンプユニットと比較試験した。負荷サイクルを変えられる試験で、負荷率が4%の場合、本提案のユニットの効率は、インヴァータ形より8倍、可変容量形より18倍良かった。その上、負荷比率の影響をほとんど受けず、ほぼ一定の効率が得られ、省エネにもっとも効果がある。

⑤ 2C1-3 Practical performance of high bulk modulus oil T. Tsubouchi他 出光興産

高体積弾性係数作動油の実性能を研究したもので、圧力応答が良く、ポンプの容積効率が良いばかりでなく、油の温度制御性が良いという特性がある。温度上昇は、鉱物油より体積熱容量が大きいため、20%低い。また溶解空気量が極端に低いために、超音波振動によってさえ、空気泡は発生せず、酸化安定性や耐磨耗特性についても十分は実用特性を持つ。そのため色々な新しいアプリケーションに広がる可能性がある。

この作動油については、ステルソン教授も、CCEFPの研究テーマに使用してみたい旨のコメントをしていた。

4. おわりに

真珠湾攻撃から70年目の節目の年であり、政治的にも何かと話題になる沖縄でのシンポジウムに、内外からフルードパワーに関心を持つ多くの研究者が集まって成功裡に終了した。しかし、若くして犠牲になった彼女達も忘れてはならないとの思いも募り、図6の地に赴き、頭を垂れてきた。

当社での講話でも、特別講演でも、ステルソン教授の締めくくりは、

“The best way to predict the future is to create it (Abraham Lincoln)”

であった。

未来を予見する源は、情報であり、しかも“生き生きした最新版”をいかに採って、どう展開するかがポイントである。

今回のシンポジウムでは、多くの研究者や会社関係者が、CCEFPの最高責任者やモニカ教授、さらに、中国や韓国、イタリア他の大学の先生や研究者



図6 ひめゆりの塔 記念碑

と接触する機会ができたのであるから、このチャンスを利用して、わずかな手掛かりから、太いチャンネルに育て上げることが望まれる。その意味では、筆者にとっては、ステルソン教授やモニカ教授と知り合ってから一つの集約点でもあり、同時に中国や韓国他の関係者を含めた形での、次期2014年松江での国際シンポジウムに向けての出発点でもあり、チャンネル作りの構想を練りつつある。

“情報に価値を見え出さなかった国の行く末の悲劇の一つ”を、沖縄の地で見ると共に、フルードパワーに携わる企業人として、“あるべき姿”につい

での思いを新たにした。

冒頭で断ったように、CCEFPを信奉した偏った拙文であるが、言外に含まれる意味、すなわち、日本におけるフルードパワー関係の学界や産業界の研究開発の在り方、および産学連携の在り方についての参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 小曾戸博, ポンプそして人生 (Ⅲ), 学会誌緑陰特集号 (電子版), Vol. 42, No. E1, E41

[著 者 紹 介]

こそど ひろし
小曾戸 博 君



1967年静岡大学工学部修士課程修了, 工学博士 (東京大学), 平成22年度学会技術開発賞
(株)タカコ 技術本部 開発部 技師長
E-mail : h-kosodo@takako-inc.com

会 告

(社)日本フルードパワーシステム学会 各委員会名簿

理 事 会

会 長	横 田 眞 一 (東京工業大学)	伊 藤 寛 (株)ジェイテクト)
副 会 長	香 川 利 春 (東京工業大学)	田 中 豊 (法政大学)
	高 田 芳 行 (SMC株)	中 野 政 身 (東北大学)
	築 地 徹 浩 (上智大学)	布 谷 貞 夫 (コマツ)
理 事	大 内 英 俊 (山梨大学大学院)	早 川 恭 弘 (奈良工業高等専門学校)
	大 科 守 雄 (日立建機株)	早 瀬 敏 幸 (東北大学)
	小 山 紀 (明治大学)	藤 田 壽 憲 (東京電機大学)
	榊 原 康 生 (油研工業株)	宮 川 新 平 (KYB株)
	桜 井 康 雄 (足利工業大学)	監 事 饗 庭 健 一 (東京計器株)
	眞 田 一 志 (横浜国立大学)	陸 浦 淳 二 (CKD株)
	鈴 木 勝 正 (東京都市大学)	柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)
	高 崎 邦 彦 (株)TAIYO)	

ニュース

日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウム2014紹介*

香川利春**

今回の日本フルードパワーシステム学会国際シンポジウムは2014年に島根県の松江で開催の予定である。図1に松江の位置、図2に松江への空路アクセス、図3に会議会場となるくにびきメッセの外観を示す。ここではこの機会に、図4に示す島根県についての歴史的遺産を中心にご紹介する。

出雲の国（島根県地方）は全国屈指の古代の鉄の生産地であった。朝鮮半島や中国との地の利によっ

て交易と交流が生まれて、弥生時代中期においては、鉄の流通と消費量が増えて、流通ルートが拡大し、強力な国家が誕生した。出雲の国の強大な国家権力と経済を支えていたのは出雲の国で生産される砂鉄の資源によってである。その後出雲の国と大和の国との争いが大きな権力闘争となり、八岐大蛇神話、国譲り神話、因幡の白ウサギ神話などとなって現代に語り継がれている。

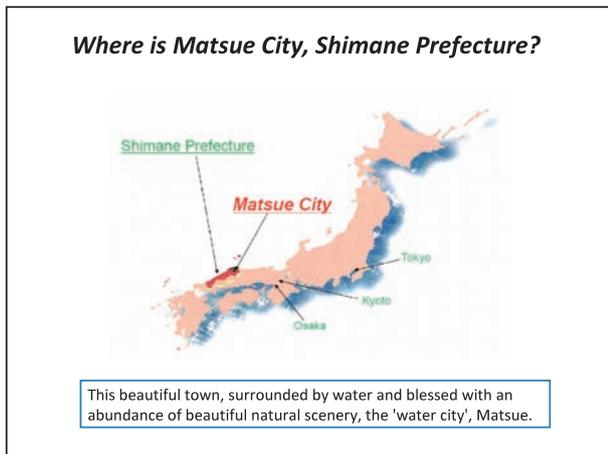


図1 島根県松江市



図3 くにびきメッセ



図2 松江へのアクセス



図4 松江周辺の歴史的な名所・旧跡

*平成23年12月1日 原稿受付

**東京工業大学精密工学研究所

(所在地 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R2-45)

砂鉄と豊富な森林からできる木炭を用いた日本固有の製鉄（たたら製鉄）技術で作られた鉄は、刀や矢じりなどの武器そして鋏などの農耕器具などの製品が作られた。たたら製鉄は大砲や軍艦の装備品にも使用された。たたら製鉄技術は、日本の近代化の中で果たした役割は大きく日本の基幹産業として受け継がれている。

歴史的名所では出雲大社が挙げられる。全国の神様が11月に集合するとの話で飛行機とホテルも満杯となる時期がある。歴史と神話の地域であり、ラフカディオハーン：小泉八雲の生活した松江の記念館も当時の日本を知る貴重な資料を提供している。

松江城、宍道湖など風光明媚なスポットもあり、学会での疲れを癒して、歴史のタイムスリップする機会を与えてくれる。

2014年に多くのフルードパワー研究者が集うことを期待している。

[著者紹介]

か がわ とし はる
香 川 利 春 君



1974年東京工業大学制御工学科卒業。同年度北辰電機製作所入社。76年東京工業大学工学部制御システム工学科助手、同講師、同助教授を経て、現在同大学精密工学研究所教授。流体計制御システム、流体計測、生体計測に関する研究に従事。計測自動制御学会、日本機械学会、日本シミュレーション学会などの評議員及び日本フルードパワーシステム学会副会長を務める。工学博士。

会 告

若手育成フルードパワー道場7

「フルードパワーに生かせる電子回路技術」開催のお知らせ

(基盤強化委員会合同企画)

開催趣旨：

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おります。知識や経験を伝承し共有する面からも、日本フルードパワーシステム学会では明日のフルードパワーを担う若き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考えております。また、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できればと願っています。

そこで、技術者に軸足を置いた横断的な交流を目指し、日本フルードパワーシステム学会でなければできないサロニックな雰囲気の新企画「若手育成フルードパワー道場」を2006年度より開始し大変好評を得ております。

2012年度は「フルードパワーに生かせる電子回路技術」と題し、フルードパワーにマイコンなど電子回路を組み込む（エンベデッド）際に必要な知識を提供します。エンベデッドは機器の高機能化に必須であることは公然の事実ですが、生産のグローバル化時代においてはノウハウをブラックボックスにして独自性を保つための強力な武器ともなり、今後新たな進展をすることは確実です。電磁弁の1個ごとにマイコンが内蔵される時代が来るかもしれません。このような場合、機械技術者に必要となる組込用マイコンやプログラマブル高機能集積回路（FPGA、CPLD）や開発ツール、デジタル電子回路を言語で記述するVHLなどの実践的知識を提供します。講師として、敢えて専門家でなく、メカトロ化の必要に迫られて自ら知識を習得した機械技術者を迎え、機械技術者にとって障壁となる事項やこれのクリアなどについて語ってもらいます。また可能な限り実習を含めます。

会場は芝公園の機械振興会館内を予定しております。教室終了後は講師を囲んで懇談会を開催します。講師および参加者同士と情報を交換する貴重な機会です。奮っての参加をお願いいたします。

開催時期：2012年5月、8月、11月、2013年2月の年間合計4回。開催月は予定。

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。）

参加者定員：20名（定員になり次第締め切ります）

以上

ニュース

日中若手研究者交流と特別講演会の報告*

田 中 豊**

1. はじめに

日本フルードパワーシステム学会では、国際交流事業の一環として、平成15年（2003年）より、中国の機械学会に相当する中国機械工程学会流体伝動及制御分会との間で、研究者の人材交流を進め、毎年交互に双方の若手研究者交流を実施し、これまで双方で延べ8名の研究者交流が行われてきた。また2010年からは日中の研究者・技術者による日中国際共同ワークショップも始まっている。

また平成19年（2007年）からは、国際的センスを有する日本人、また、日本を良く理解する親日のフルードパワー海外研究者をこれまで以上に養成し、日本の研究成果を広く海外へ発信するために、広く国内外から奨学生を募集し、奨学金を授与することにもなった。今後も、アジア地域を中心に、優秀な国際派人材の交流と育成を戦略的に進めることが、時代を担うフルードパワー研究者・技術者の維持確保には不可欠である。

特に日本と中国の若手フルードパワー研究者・技術者の交流は、主に中国からの留学生の形で二十数年続けられてきた経緯がある。この最初の頃の留学生は、中国帰国後の現在、大学の学長や副学長、学会会長、研究所長などとしてフルードパワー研究の第一線で活躍している。さらに、フルードパワー関連企業の多くは中国に生産拠点や研究拠点を設置し交流も深い。しかし、巨大市場中国全体の様子は、日本から見ると未知数の部分も多く、今後の中国の動向は、学会のみならず、産業界からも興味あるものとなる。日中の交流は学会としても優先順位の高い、大切な事業である。

2. 本年度の若手研究者交流事業

今年度は日本側が中国の若手研究者を招聘し交流を深める年であり、3年に1度、学会が主催する国際シンポジウム（沖縄）の開催とも重なることもあ



写真1 趙教授と横田会長・香川副会長
(東工大すすかけ台門前にて)

り、本シンポジウム期間を含む2011年10月24日～11月2日の10日間の日程で、中国の学会側からの推薦により、吉林大学の趙丁選（Prof. Zhao Ding Xuan）教授をお迎えした。

趙教授は1965年生まれの46歳、中国のフルードパワー、特に建設機械や自動車、シミュレータ研究に大きな影響力を持つ新進気鋭の研究者である。1992年に吉林工業大学で工学博士の学位を取得された後、主に吉林大学で教育研究に従事され、1998年からの2年間、日本の岐阜大学（当時の武藤教授と山田教授の研究室）へ留学滞在した経験をお持ちの親日家で、現在は吉林大学大学院の筆頭副学長の要職を務めておられる。

今回は奥様ご同伴での来日となり、沖縄の国際シンポジウムは、プレテクニカルツアーやウェルカムパーティー、特別講演、各技術セッション、バンケット、ポストテクニカルツアーのフルスケジュールへの参加をご招待した。またその後3日間、ご夫妻を東京にお招きし、学会事務局への表敬訪問、東京工業大学大岡山キャンパスの北川・塚越研究室、すすかけ台キャンパスの横田・吉田研究室と香川・川嶋研究室（写真1）、上智大学四谷キャンパスの築地研究室、法政大学市ヶ谷キャンパスの田中研究室の見学などを精力的に実施した。

また滞在最後の11月1日（火）の夕方には、法政大学市ヶ谷田町校舎において、学会主催の特別講演

*平成21年12月12日 原稿受付

**法政大学デザイン工学部

(所在地 〒102-8160 千代田区富士見2-17-1)



写真2 講演中の趙教授

会が開催された。写真2に趙教授の講演の様子を示す。講演は「中国の建設機械産業とフルードパワー制御技術」と題して、中国近年の建設機械産業の発展状況、主な建設機械種類とそのフルードパワー制御技術の応用状況や問題と欠点、中国経済の発展につれた建設機械とそのフルードパワー制御技術の未来と課題、ご自身のチームの最新の研究テーマなどの話題について、流暢な日本語で1時間ほど行われた。油圧企業や建設機械関連企業、大学関係者など43名の参加者があり、中国の教育研究の現状や問題点などに関する趙教授の率直な感想なども語られ、最近の中国情勢などに関する質疑応答などたいへん盛会であった。終了後は法政大学ボアソナーダタ

ワー 25階に会場を移し、東京の夜景を肴に、趙教授ご夫妻と参加者を囲んだフェアウェルパーティーが行われ、夜遅くまで深い日中交流のための懇談は大いに盛り上がった。写真3は最後の記念撮影である。

3. おわりに

趙教授のお話によると、2012年8月初めに中国のフルードパワーに関する国内学会が長春市の吉林大学を会場に行われる予定とのことである。長春市は旧満州国の首都で日本とのかかわりも深い。来年度は日本から中国へ若手研究者を派遣する順番で、中国側は日本の若手研究者をこの会議へ招聘することを計画しているとのことである。また2012年5月には、日本側の主催による第2回フルードパワーに関する日中国際共同ワークショップが東京で開催される計画である。日中の今後のさらなる交流の深化が期待される。

最後に今回の趙教授ご夫妻の日本滞在に際し、研究室の見学対応など多くの方々にお世話になった。この場を借りて感謝申し上げます。

[著者紹介]

たなか ゆたか
田中 豊君

P70参照



写真3 フェアウェルパーティーでの記念写真

ニュース

中国機械工程学会流体伝動与控制分会第五期委員会が発足*

蕭 欣 志**

中国機械工程学会流体伝動与控制分会 (FPTCI/CMES) は、第四期委員会の任期到来に伴い、昨年の8月に定期大会が開かれ、第五期委員会が発足し、新委員が選任された。任期は4年である。同学会は日本フルードパワーシステム学界との交流の歴史は古く、特に2003年に両学会が交流協定を締結してからは、日中若手研究者の隔年相互招請を行う国際講演会の開催が定期化し、また、2010年からは日中のフルードパワーに関する国際共同ワークショップの隔年相互開催が決まり、交流が一層活発になって来ている。今年5月には、第二回国際共同ワークショップが東京で開催される。ここに同学会誌「液圧与気動」2011年9月号と同学会のウェブサイトに掲載されている、第五期委員会発足の記事から要旨と新しく選任された主要委員名(敬称略)を紹介する。

中国機械工程学会流体伝動与控制分会は1987年に、中国機械工程学会の下に設けられた支部組織として設立されている。主に流体制御分野の学术交流、専門研修、書籍の編集、展示会及びコンサルディング等の活動を行っている。同分会はすでに、四年に一回の国際学術会議と二年に一回の国内学術会議の開催及び不定期の各種シンポジウムと専門研修班の開催が定着している。事務局(中国:秘書処)は北京機械工業自動化研究所内に置いている。

分会の第五期委員会は101名の委員で組織され、主任委員に王祖温が再任された。第一回会議で、執行副主任委員に孔祥東、王慶豊の2名、副主任委員に李宝仁、杜旭東、楊華勇、鄭尚龍、郭洪凌、焦宗夏、韓俊偉の7名、名誉主任委員に王益群、名誉委員に高田芳行、高級顧問に龔烈航、黄人豪、李洪人、劉樹道、聶崇嘉、王長江、王文鼎、王占林、吳百海、蕭欣志、許仰曾、楊爾莊、朱玉泉の13名、特別顧問に陳鷹、総幹事(事務局長に相当)に郭洪凌(兼任)、副総幹事に趙曼琳が選出された。

分会は四つの専門部会、三つの作業部会と一つの作業グループを持ち、それぞれの部会主任、副主任が新しく選任された。

- 液圧専門委員会(油圧専門部会、所属委員合計48名)は、主任に王慶豊、副主任に権龍、李躍文、姜継海、李運華、秘書長(部会事務局長、以下同

じ)に徐兵。

- 気動専門委員会(空気圧専門部会、所属委員合計23名)は、主任に何楓、副主任に包鋼、陶国良、秘書長に張錫文。
- 液力専門委員会(流体動力専門部会、所属委員合計16名)は、主任に鄭尚龍、副主任に馬文星、閆清東、鄒鉄漢、秘書長に李叔萍。
- 水液圧専門委員会(水力専門部会、所属委員合計19名)は、主任に楊華勇、副主任に周華、劉銀水、弓永軍。
- 青年工作委員会(青年作業部会、所属委員合計31名)は、主任に蔡茂林、副主任に徐兵、張立傑、冀宏、李松晶、熊偉、李叔萍、秘書長に王涛。
- 軍工作業委員会(軍需産業作業部会、所属委員合計16名)は、主任に韓俊偉、副主任に瀋衛国、秘書長に李松晶、副秘書長に楊慶俊。
- 国際交流合作工作委員会は、主任に焦宗夏。
- 微流体工作組(微流体作業グループ)は、主任に傅新。

また、今回の会議で、2012年の第七回全国流体伝動与控制学術会議を吉林大学で開催することを確認し、開催を主催する吉林大学から、受入準備状況の報告と参加招請が出された。

同分会秘書処(事務局)とのコンタクト

住所: 中国北京市徳勝門外教場口9号楼208室

郵便番号: 100120

電話番号: 010-62050843

E-Mail: zhaoml@riamb.ac.cn

ウェブサイト: <http://www.yeyanet.com/>

[著者紹介]

Xiao 蕭 Xin zhi 欣 志 君



元油研工業株式会社
JFPS会員、FPTCI/CMES会員

*平成24年1月11日 原稿受付

**元油研工業株式会社

FPIC会議報告

山梨講演会2011におけるフルードパワー技術研究動向*

田 中 豊**

1. はじめに

日本機械学会関東支部・精密工学会共催による山梨講演会2011が10月22日（土）に甲府市の山梨大学で開催された。例年、この時期の甲府は比較的天候が安定しているのが普通であるが、今回はめずらしく朝から時より激しい雨の降るあいにくの天候であった。対象は機械工学・精密工学に関する全分野で、今回は全体で6つのオーガナイズドセッションを含めて129件の講演があり、学生を含めて224名が参加登録した。オーガナイズドセッションの1つである「フルードパワーによる駆動と制御（オーガナイザー：大内英俊（山梨大学）、田中豊（法政大学））」では、3つのセッションに8大学から合計14件の講演発表があり、活発な質疑応答が行われ盛況であった。写真1は最終セッションを終えての参加者の集合写真である。以下にこのOS講演内容を簡単に紹介する。

2. OS講演の紹介

ムスタフら¹⁾は、近接スイッチを利用して簡便な手法で空気圧シリンダを中間位置決めする手法について提案・検討している。フィードバック用位置センサを用いず、シリンダの途中に設けた複数の近接スイッチでシリンダの位置や速度を検出し、その情報を基に二段階で制動をかけ目標位置に停止させている。3kgの負荷を積載した場合でも中間位置停止が可能なることを実験的に示している。

佐藤ら²⁾は、空気圧を動力源に用いた管内走行マイクロロボットによる大腸検査方法を提案している。このマイクロロボットは摩擦ブレーキ機構により腸管壁との間で保持と解除を繰り返しながらインチウォーム方式により管内を走行する。新たに改良試作した摩擦ブレーキ機構の発生する力と管壁に与える影響について実験を行い、駆動ベローズ内圧を調整することで管壁に与える圧力を制御できることを



写真1 最終セッションの講演を終えての記念撮影

明らかにしている。

勝又ら³⁾は、吸着ブレーキを用いたイモムシ型管内走行ロボットのけん引力特性について検討している。このロボットは3つの駆動用マトリックスベローズと4つの吸着ブレーキより構成される。吸着ブレーキの吸盤厚さを種々変えて実験を行い、26.3Nの最大牽引力が得られることを示している。

浜尾ら⁴⁾は、ヘビの体構造とアコーディオン運動と呼ばれる動きを模倣したロボットを提案・試作し、そのブレーキ機構について検討している。ロボットは前後のブレーキ機構と変位駆動機構で構成され、S字状に屈曲運動を繰り返しながら管内を走行する。走行と牽引に大きな影響を及ぼす前後のブレーキ機構の摩擦力の特性を検討し、管路内径の違いによる最大牽引力を実験的に明らかにしている。

飯島ら⁵⁾は、空気圧駆動式の管内走行マイクロロボットの屈曲駆動用に用いられているマトリックスベローズの変位と荷重の非線形な関係を実験的に検討し、有限要素法による解析結果と比較している。実験と解析の結果、使用したベローズは負圧力により全長が短い方が見かけの厚さが厚くなり、曲げ剛性が高くなることと、解析に用いた有限要素モデルの有効性が示されている。

坂間ら⁶⁾は、油圧システムに使用する油中気泡を除去する装置において、装置全体を複数のアクリルブロックで作成した可視化実験装置を用いて、装置内部の流れを詳細に可視化している。放気口径を種々変えた条件で実験を行い、気泡の挙動や除去性能に与える影響を明らかにしている。また可視化実

*平成22年11月7日 原稿受付

**法政大学デザイン工学部

(所在地 〒102-8160 千代田区富士見2-17-1)

験の結果は別途行った流れの数値解析の結果とも定性的によく一致することを示している。

中尾ら⁷⁾は、旋回流を用いたマイクロバブル発生装置について、旋回流発生ノズルの内部に形成される気柱の挙動に注目し、ノズル内部の可視化実験結果を報告している。流量の増加にともない旋回速度は比例的に増加し、形成される気柱直径は空気を自吸する場合に増加することを明らかにしている。

赤羽ら⁸⁾は、旋回流を用いた非接触搬送装置において、渦室内部の同心軸上に形状の異なる円柱を設置し、旋回流の偏心を抑制し安定化を試みている。圧力変動を測定するため、作動流体に水を用いた相似な流れの実験を行い、圧力変動の大きさは、円柱の高さよりも直径が大きくなるほど抑制効果が顕著であることを示している。

近藤ら⁹⁾は、平面運動パラレルメカニズムの脚底部の平面運動を実現するために採用した空気圧静圧軸受を用いた2軸ソーヤモータの特性を実験的に検討している。モータは土台上を25 μ m程度で浮上し、滑らかに動作することと、位置決め特性には運動方向や静圧軸受への供給圧力に依存した特性があることを明らかにしている。

小山ら¹⁰⁾は、ロータリーベーン空気圧縮機を応用して、ローターの回転方向を切り替えることによる吐出と吸引口の切り替えが可能な双方向型空気圧コンプレッサを提案し、実験装置を試作して効率や特性の検討を行っている。実験の結果、回転駆動力の伝達に問題はあつたものの、コンプレッサ単体としての効率が48~65%であることを明らかにしている。

小澤ら¹¹⁾は、油圧管路系における圧力と流量の時空間分布を得るために、管路の最適化有限要素モデルを用いたカルマンフィルタを提案し、非定常流量の測定と推定の実験から手法の有効性を検討している。3点の圧力測定データからカルマンフィルタを用いて100Hzの正弦波状変動流量と215Hzのポンプ脈動周波数成分が重畳した非定常流量変動を実時間で精度よく推定できることを明らかにしている。

田中ら¹²⁾は、電極間に高電圧を印加するとジェット流が発生する電界共役流体 (ECF) について、この現象を用いたマイクロポンプの特性を実験的に検討している。直流電圧をステップ状に印加すると電極間に微小電流が流れ、同時に吐出圧力も比較的速い応答を示すこと、負電極の板厚が吐出圧力に影響をおよぼすことを明らかにしている。

吉田ら¹³⁾は、ゴム製流路内に平行平板電極対が一定間隔で設置され柔軟に屈曲できるフレキシブルERバルブ (FERV) と、これと平行に配置された内側にひだを持ち伸縮動作するゴム製アクチュエー

タを一体化したマイクログリッパを提案している。有限要素解析によりアクチュエータの構造を検討し、矩形断面で大きな変位が得られることを明らかにしている。またFERVとアクチュエータを一体化した全長10mmのマイクログリッパを試作し、その特性を検討している。

増田ら¹⁴⁾は、ECFジェットを圧力駆動源に用いた両方向に駆動できるマイクロシリンダを提案している。このシリンダはECFジェット発生部としての針状一リング状電極対とシリンダロッドを駆動するダイヤフラムアクチュエータを一体化した構造で、全長23.4mmである。5kV印加時に発生力0.43N、出力変位0.77mmを実現できることが示されている。

3. おわりに

講演セッションの他に、午前と午後のセッションの間には特別講演会が設定され、山梨大学の武田哲明教授による「福島原発事故後の原子力エネルギー利用の行方」と題する講演会が行われた。事故後の学会活動やご本人の地域住民としての感想、今後の原子力政策、原子力の人材育成、将来のエネルギーなど時節柄、微妙な話題を時折厳しい表情で講演する様子が印象的であつた。本講演会は毎年、10月末の土曜日に開催される。フルードパワーの研究を行う学生や若手技術者の皆さんの学会発表の登竜門としてぜひご活用願いたい。

参考文献

- 1) Mohammad MUSTAFFA, 大内, 近接スイッチを利用した空気圧シリンダの位置決め制御 (負荷積載の影響), 山梨講演会講演論文集 (以下同じ), pp. 28-29, 2011.
- 2) 佐藤, 坂本, 大野, 腸壁に与える影響を考慮した管内走行マイクロロボット (摩擦ブレーキ機構の試作と力学的解析), pp. 30-31, 2011.
- 3) 勝又, 浜尾, 大野, 吸着ブレーキを用いたイモムシ型ロボットの牽引力特性実験, pp. 32-33, 2011.
- 4) 浜尾, 大野, ヘビを模倣した管内走行ロボットのブレーキ機構に関する基礎研究, pp. 34-35, 2011.
- 5) 飯島, 坂本, 大野, 空気圧駆動式管内走行ロボットの屈曲アクチュエータの動作解析, pp. 36-37, 2011.
- 6) 坂間, 三科, 鈴木, 田中, 気泡除去装置内の流れの可視化, pp. 38-39, 2011.
- 7) 中尾, 飯尾, 香川, 池田, マイクロバブル発生装置の内部流動の可視化, pp. 40-41, 2011.
- 8) 赤羽, 飯尾, 黎, 香川, 池田, 旋回流を用いた非接触搬送装置に関する研究 (渦室内部への円柱設

置による圧力変動の抑制), pp. 42-43, 2011.
 9) 近藤, 田中, 静圧空気軸受を用いた平面アクチュエータの駆動特性, pp. 44-45, 2011.
 10) 小山, 吉満, 宮内, 双方向型空気圧コンプレッサの開発と応用, pp. 46-47, 2011.
 11) 小澤, 眞田, カルマンフィルタによる管路の状態推定に関する研究, pp. 48-49, 2011.
 12) 田中, 酒井, 横田, 枝村, 電界共役流体の電気的特性に関する実験的検討, pp. 50-51, 2011.
 13) 吉田, 原, 巖, 横田, フレキシブルERバルブを用

いたマイクログリッパ, pp. 52-53, 2011.
 14) 増田, 巖, 横田, 吉田, 枝村, ECFジェット圧力駆動マイクロシリンダの試作および特性解明, pp. 54-55, 2011.



[著者紹介]

田中 豊君 P70参照



会 告

(社)日本フルードパワーシステム学会 各委員会名簿

企画委員会

- | | | |
|------|---------------------|----------------------|
| 委員長 | 大内英俊 (山梨大学) | 小松英寿 (株コガネイ) |
| 副委員長 | 高崎邦彦 (株TAIYO) | 鈴木健児 (神奈川大学) |
| 幹事 | 桜井康雄 (足利工業大学) | 風戸昭人 ((公財)鉄道総合技術研究所) |
| 委員 | 饗庭健一 (東京計器株) | 妹尾満 (SMC株) |
| | 赤木徹也 (岡山理科大学) | 高岩昌弘 (岡山大学大学院) |
| | 荒井一則 (フジサンケイビジネスアイ) | 竹村研治郎 (慶應義塾大学) |
| | 伊藤和寿 (芝浦工業大学) | 只野耕太郎 (東京工業大学) |
| | 内堀晃彦 (宇部工業高等専門学校) | 田中豊 (法政大学) |
| | 遠藤弘 (コマツ) | 成田晋 (KYB株) |
| | 大見康生 (川崎重工業株) | 早川恭弘 (奈良工業高等専門学校) |
| | 落合正巳 (協立機電工業株) | 兵藤訓一 (東京計器株) |
| | 加藤友規 (福岡工業大学) | 山崎大生 (東京都市大学) |
| | 川嶋健嗣 (東京工業大学) | 和田重伸 (CKD株) |
| | 川島正人 (東北特殊鋼株) | 顧問 小山紀 (明治大学) |
| | 高後哲也 (日本電産トーソク株) | |

基盤強化委員会

- | | | |
|-----|-----------------------|----------------------|
| 委員長 | 小山紀 (明治大学理工学部) | 大科守雄 (日立建機株) |
| 幹事 | 佐藤恭一 (横浜国立大学) | 中里雅一 (KYB株技術本部) |
| 委員 | 眞田一志 (横浜国立大学) | 大場孝一 (油研工業株) |
| | 川上幸男 (芝浦工業大学システム理工学部) | 藤田壽憲 (東京電機大学工学部) |
| | 東川智信 (株TAIYO) | 西股健一 (SMC株技術本部) |
| | 布谷貞夫 (コマツ) | 和田重伸 (CKD株生産本部) |
| | 佐藤毅彦 (東京計器株) | 吉満俊拓 (神奈川工科大学) |
| | 斎藤賢治 (日本大学) | 香川利春 (東京工業大学精密工学研究所) |

情報システム委員会

- | | | |
|-----|----------------|---------------------|
| 委員長 | 藤田壽憲 (東京電機大学) | 久保田 浩 |
| 幹事 | 竹村研治郎 (慶應義塾大学) | 小藪栄太郎 (苫小牧工業高等専門学校) |
| 委員 | 一柳隆義 (防衛大学校) | 田中豊 (法政大学) |
| | 巖 祥仁 (東京工業大学) | 塚越秀行 (東京工業大学) |
| | 小山紀 (明治大学) | 野口恵伸 (KYB株) |
| | 川上幸男 (芝浦工業大学) | 吉田和弘 (東京工業大学) |

FPIC会議報告

SICE Annual Conference 2011 (OS: FLUCOM-J) および
第12回流体計測制御シンポジウムにおけるフルードパワー技術研究動向*

小山 紀**

1. FLUCOME-J

FLUCOM-J はSICE Annual Conference 2011 のオーガナイズドセッションとして9月16日(金)に開催された。計測自動制御学会(SICE)は今年で創立50周年を迎え、このConferenceにおいても記念講演など式典が開催されていた。会場は早稲田大学の西早稲田キャンパスである。以下簡単にFLUCOM-Jの発表を報告する。

Ozawa(横国大)ら¹⁾はカルマンフィルタを使って管路内非正常流量を計測する手法を提案した。Chalermrat(東工大)ら²⁾は都市ガスの流量制御装置であるガスガバナのパイロット部に積分要素を付加し、さらにこの部分の特性モデルをフードフォワードさせることにより動作精度を向上させている。Ishizuka(明治大)ら³⁾は空気圧歩行支援装具の空気供給源の代わりに、東工大の北川が開発したドライアイスパワーセルを用いた時、十分に実用的な歩行可能歩数を確保できることを示した。Liら⁴⁾は空気ベアリングで浮上させたテーブルの軌跡制御に関し、制御系を線形化した7次モデル、および5次、3次モデルを使いフィードフォワード補償した時の位置精度変化を明らかにした。Nakao(鹿児島大学)ら⁵⁾は同氏らが提唱するMeasurement-integrated(MI) Simulation法を、従来試みなかったオリフィスの締切比が異なる管路について適用した結果を報告している。

2. 流体計測制御シンポジウム

計測自動制御学会の産業応用部門大会が10月15日(火)に東京工業大学の大岡山キャンパス内の2会場で開催された。ここで第12回流体計測制御シンポジウムが併設された。今回は東工大の北川先生による基調講演⁶⁾がおこなわれた。内容は油圧アキュムレータの新たな利用方式や設計方法の提案である。

油圧回路に目的に応じて複数のアキュムレータを設置することにより、制御系の応答性が増すことと省エネルギー化が可能となることが示された。また、多段シリンダ構造を持つアキュムレータを提案し、複数のアキュムレータに置き換えられることを示している。

シンポジウムは4つのセッションにわけて実施された。吉満(神奈工大)ら⁷⁾は山岳などの救出活動で脚部の持続的な支援と、不意の足首捻挫から保護する目的で空気圧シリンダを利用したアシストスーツを提案している。本山(芝浦工大)ら⁸⁾は、磁性流体(MR流体)を効果的に動作させる目的で、シリンダ内に流路と電磁石を組込んだショックアブソーバを開発している。原口(東工大)ら⁹⁾は圧縮力を受けても座屈しないワイヤを対向式に設置し、関節をプッシュ・プル方式で駆動する空気圧鉗子マニピュレータを報告した。山本(電機大)ら¹⁰⁾は静圧ガイドで浮遊させたステージを空気圧ベローズで駆動し、新たにレーザスケールと組み合わせて、1nmの精度で位置決めができることを示した。

芦(東工大)ら¹¹⁾は油圧供給回路に異なる圧力を与えた複数のアキュムレータを並列に置き、必要に応じて切替えながら供給する回路を提案している。通常供給方式より制御系の応答速度が向上するとしている。吉澤(東工大)ら¹²⁾は地震時の垂直揺れを免震するため、平常時は建物をロックし地震時にはロックを抑制しダンパを機能させる水圧アクチュエータによる機構を提案した。伊藤(防衛大)ら¹³⁾は油圧ポンプの脈動を除去するヘルムホルツ共鳴器は従来単独周波数の脈動しか除去できなかったのに対し、多段式にして複数の所望の共鳴周波数を与える方式を提案した。鈴木(翔)(明治大)¹⁴⁾らは空気圧歩行支援装具の歩行状態を検出するセンサの検討を行い、ジャイロセンサを導入することでより精度のよい歩行判別が可能であるとした。鈴木(康)(明治大)ら¹⁵⁾は同じく歩行支援装具に膝関節曲げセンサを導入し、体の支持期の正確な推定が可能であることを示した。清水(一関高専)ら¹⁶⁾は層流型比例増幅素子(LPA)をフィードバック発振させ

*平成23年12月5日 原稿受付

**明治大学理工学部

(所在地 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1)

て流量計測をするセンサについて、内部形状と発振周波数との関係を詳細に求めた。佐川 (TMCシステム) ら¹⁷⁾は水撃により発生する圧力で電気力を用いることなく水を圧力タンクに汲み上げ、水の圧力で空気を加圧する空気圧圧縮機を提案している。小澤 (横国大) ら¹⁸⁾は管路モデルとカルマンフィルタを使った状態推定手法を提案し、管路上流と下流およびその中間においた圧力センサから管路内非定常流量を計測可能としている。金 (東工大) ら¹⁹⁾は都市ガスの低圧ラインにおく圧力ガバナのパイロット部に、ベンチュリ機構を使用し、この回路の設計パラメータに関する特性変化を明らかにした。中村 (東工大) ら²⁰⁾は隙間に旋回流を与え空気浮上させて、非接触状態でガラス板を搬送させる装置について供給圧やガラスの重さによる浮上量の検討を行っている。

なお、同日に併設された一般講演にもフルードパワー関係が含まれているので、報告しておく。田中 (明治大) ら²¹⁾は空気圧駆動による人工指にヒトの触覚を模擬させるため、指に組込んだセンサの信号を神経系の発火伝達現象を再現したニューラルネットワークで処理した結果、材質の識別が可能であるとしている。永島 (明治大)²²⁾らは温度により磁力が変化する感熱磁性体と、永久磁石との相互作用を利用して熱によりスイッチング可能な弁を開発し、感熱磁性体に光を吸収させた光流体変換器を提案している。

参 考 文 献

(表記は省略型、1) から 5) はProceedings of SICE ANNUAL CONFERENCE 2011, 6) から22) は2011年度産業応用部門大会講演論文集)

- 1) OZAWA et al. : A Kalman filter for estimating transient pressure and flow rate in a pipe
- 2) Chalermrat et al. : Gas Governor Pilot valve with Integral and Feedforward structure
- 3) Ishizuka et al. : Development of Walking assist system with Dry-Ice Power Cell
- 4) Li et al. : Trajectory control of pneumatic servo table with air bearing
- 5) Nakao et al. : MI Simulation of an Orifice Flow in a Circular Pipe with Different Beta Ratios

- 6) 北川 : 〈基調講演〉 高効率な油圧サーボシステムを実現する新型アクチュエータ
- 7) 吉満ら : レスキュー用アシストスーツ
- 8) 本山ら : MRショックアブソーバの開発
- 9) 原口ら : 超弾性合金ワイヤのプッシュ・プル機構を用いた空気圧鉗子マニピュレータの開発
- 10) 山本ら : 空気圧ベローズで駆動する静圧案内微動ステージの超精密位置決め
- 11) 芦ら : N圧ハイブリッド油圧源を用いたサーボシステムの高応答性の検証
- 12) 吉澤ら : 戸建のための水圧駆動垂直揺れ免震装置のロック抑制特性
- 13) 伊藤ら : 多段ヘルムホルツ型油圧共鳴器の可変共振機構に関する検討
- 14) 鈴木ら : 空気圧駆動式歩行支援装具の開発
- 15) 鈴木ら : 空気圧歩行支援システムの開発
- 16) 清水ら : LPAフィードバック発振流量センサの発振周波数に関する一考察
- 17) 佐川ら : 水撃を用いた空気圧縮機の開発
- 18) 小澤ら : 油圧管路内の流量と圧力のカルマンフィルタによる推定
- 19) 金ら : 低圧動差圧方式ガスガバナに用いられるベンチュリ機構に関する研究
- 20) 中村ら : ボルテックス型ベアリング要素を用いたガラス基板の浮遊搬送に関する研究
- 21) 田中ら : 人間の感覚感性機能を備えた人工指の開発
- 22) 永島ら : 新しい光一流体変換器の開発研究

[著 者 紹 介]

お やま おさむ
小 山 紀 君



1978年明治大学大学院工学研究科博士後期課程単位修得後退学。同大学助手、専任講師、助教授を経て、2000年同大学工学部教授。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、日本機械学会などの会員。博士 (工学)。

E-mail : oyama@jisc.meiji.ac.jp

企画行事

平成23年度 オータムセミナー開催報告
「パワートレインにおけるフルードパワー技術」*

成 田 晋**

1. はじめに

平成23年度オータムセミナー「パワートレインにおけるフルードパワー技術」を平成23年11月18日（金）に、キャンパスイノベーションセンター東京（東京工業大学田町キャンパス敷地内）において開催した。以下に、開催趣旨および当日行われた4件の講演内容の概要を報告する。

2. 開催の趣旨

近年、地球環境保護に向けた動きが加速する中、環境面での各種規制への対応が急がれている。パワートレインにおいても一層の伝達効率向上、小型・軽量化が求められると同時に、より快適な走りに対する要求も高まり、自動変速機の多段化、無段変速化、AMT化、HEV化、さらには要素の伝達効率向上が進んできている。

こうした状況において、パワートレインに関する重要な要素技術の1つとして、フルードパワー技術の果たす役割も重要度を増してきている。

こうした背景から、本セミナー「パワートレインにおけるフルードパワー技術」を企画した。本セミナーでは、自動車、農業機械、オフロードマシン、水圧のそれぞれの分野に関し4名の講師に講演をお願いし、パワートレインの最新技術動向を解説していただいた。

3. 講演の概要

3.1 自動車用AT, CVT, DCT, AMTと流体制御

横浜国立大学 田中裕久氏

はじめに、横浜国立大学の田中裕久先生から、「自動車用AT, CVT, DCT, AMTと流体制御」というテーマで講演していただいた。

自動車のパワートレインには内燃機関と変速機の組合せから電気駆動とのハイブリッド、さらに変速機なしのEVまで多様化してきており、今回の講演

では、主に従来からある駆動系の燃費向上を目的とするAT, CVT, DCT, AMTの最新の動向とその流体制御技術について紹介していただいた。

CVTは負荷が小さいと効率が悪いので高速道路では燃費が悪く、高速道路が整備されており長距離を車で移動することが多いヨーロッパや北米ではCVTが普及していない。あるいは、同じCVTでも自動車メーカーによって制御方法が異なっている等々、普段身近な乗り物である自動車のトランスミッションに関するテーマであったため、非常に興味深い内容であった。



写真1 講演される田中先生

3.2 高効率無段変速機

ヤンマー（株） 大内田剛史氏

つぎに、ヤンマー（株）の大内田氏から、「高効率無段変速機」というテーマで講演していただいた。農業用トラクタの操作性・快適性・作業能率・作業精度に対する高レベルなユーザーニーズに対応するた



写真2 質問に答える大内田氏

*平成24年1月31日 原稿受付

**KYB株式会社 HC事業本部技術統轄部
(所在地 〒252-0328 神奈川県相模原市
南区麻溝台1-12-1)

め、高効率な機械－油圧式の無段変速機を開発され、この無段変速機の特徴と動作原理、環境／省エネ技術について紹介していただいた。

遊星歯車機構を使用しない機械－油圧式動力伝達装置（HMT）で、従来にない新しい構造のトランスミッションであるため、開発時のさまざまな課題と、その課題を一つずつ解決していくプロセスを分かりやすく丁寧に説明していただいた。

3.3 オフロードマシン用のHST

ザウアーダンフォース・ダイキン(株) 須原正明氏 つづいて、ザウアーダンフォース・ダイキン(株)の須原氏に「オフロードマシン用のHST」のテーマで講演していただいた。HST (Hydrostatic Transmission) は、制御性に優れた無段変速機として建設車両、農業機械などの走行装置に使用されており、高圧化、効率向上などの機器の改良、主機の要求を満たすアプリケーション技術の確立などによりその用途は着実に広がってきており、ザウアーダンフォース・ダイキン社における製品・応用例をもとにHSTの特徴、構成機器、アプリケーション事例などについて紹介していただいた。

須原氏の長年にわたる経験をもとにしたHSTの様々なアプリケーション事例からHSTの高効率化追求、HMTシステムといった最新の技術内容までHSTを知らなかった人が理解できる、内容豊富な分かりやすい講演をしていただいた。

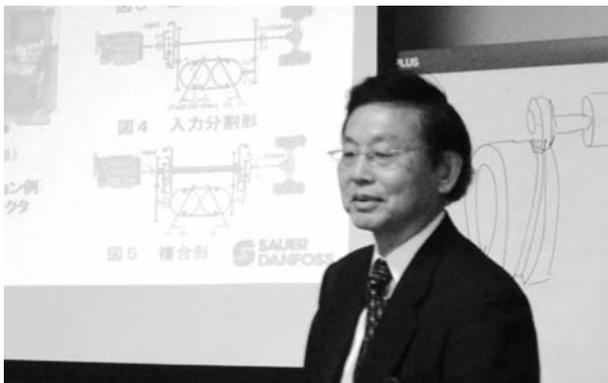


写真3 講演される須原氏

3.4 水圧システムにおける動力伝達

芝浦工業大学 伊藤和寿氏

最後に、芝浦工業大学の伊藤先生に「水圧システムにおける動力伝達」のテーマで講演していただいた。水圧システムでは可変容量型のポンプ・モータが実用化されておらず、従来油圧システムで行われてきたような動力伝達あるいは省エネ手法を適用することは難しく、FST (Fluid Switching Transmission) 手法を中心に、水圧システムで回転負荷の速度制御および省エネ化を

実現する方法について具体的に紹介していただいた。

まだ、実用化前の実験室レベルの技術ではあるが、シミュレーション解析から実験にいたるまで、水圧システムによる動力伝達という新しい技術について、



写真4 講演される伊藤先生
興味深く聴講させていただいた。

4. おわりに

講師の方々のご協力を得て、滞りなくセミナーを終えることができた。協賛として(社)自動車技術会、(社)日本トライボロジー学会にもお願いをしてセミナー参加者を募っていただいたお蔭か、会場がほぼ満席になる27人もの方々に参加していただいた。参加者のリストを見ると、油圧メカはもちろんフルードパワーのメカ以外の方々や学生の方も参加されており、今までのセミナーでは参加されなかった方々が参加されたことで、多少なりともフルードパワーシステム学会の存在をアピールすることができたのではないかと思う。

セミナー参加者に対するアンケート結果においても、普段あまり接することのない油圧を使った伝達系に関するテーマ、製品として実用化された技術に関するテーマが好評であったとともに、どのテーマも最新の開発動向が盛り込まれており有意義であったとの感想が多く、セミナー参加者に興味を持って聴講していただけたのではないかと思う。

最後に、本セミナーの企画・運営にあたり、ご協力いただいた関係各位に感謝し、報告を終える。

[著者紹介]

なり た すすむ
成 田 晋 君

1983年豊橋技術科学大学大学院修了。1983年萱場工業株式会社(現KYB)入社。主に、油圧ピストンポンプ・モータの開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。
E-mail: narita-sus@kyb.co.jp

編集室

次号予告

—特集「フルードパワーシステムと地震対策」—

「フルードパワーシステムと地震対策」発行にあたって
 フルードパワー技術を用いた免震・制震について
 高層ビル用制震ダンパ
 阿佐ヶ谷プロジェクト—3次元免震建物の開発と建設—
 鉄道車両用地震時脱線防止対策左右重力ダンパ
 遠隔操作建設ロボット
 レスキューロボット（油圧or空気圧、救助）

〔FPIC会議報告〕ICMT2011におけるフルードパワー技術研究
 FLUCOME2011におけるフルードパワー技術研究動向
 〔教室〕おもしろ油圧機構 第6回 方向制御弁
 おもしろ空気圧 「高分子膜式エアドライヤ」
 産業オートメーション技術における国際標準化
 —CADデータ交換の諸問題とISO10303 (STEP) 規格—
 アメリカ駐在日記
 ICP/IPを用いたネットワーク通信の基礎
 学生によるフルードパワー企業見学記

金 俊完
 露木 保男
 栗野 治彦
 高橋 治
 鈴木 貢
 山田 宏尚
 塚越 秀行
 巖 祥仁
 香川 利春
 大橋 彰
 桑名 伸好
 五嶋 裕之
 山田真の介
 内堀 晃彦
 阿部 利章

平成24年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 眞田 一志 (横浜国立大学)
 副委員長 吉田 和弘 (東京工業大学)
 委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)
 内堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)
 大橋 彰 (油研工業(株))
 小倉 弘 (日立建機(株))
 加藤 友規 (福岡工業大学)
 木原 和幸 (財工業所有権協力センター)
 金 俊完 (東京工業大学)
 五嶋 裕之 (機械振興協会)
 佐藤 恭一 (横浜国立大学)
 妹尾 満 (SMC(株))
 多田 昌弘 (CKD(株))
 西海 孝夫 (防衛大学校)

委員 藤田 壽憲 (東京電機大学)
 丸田 和弘 (株コマツ)
 村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)
 柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)
 山田 真の介 (株TAIYO)
 山田 敏夫 (株コガネイ)
 山田 宏尚 (岐阜大学)
 山之内 健司 (KYB(株))
 吉満 俊拓 (神奈川工科大学)
 担当理事 中野 政身 (東北大学)
 早瀬 敏幸 (東北大学)
 宮川 新平 (KYB(株))
 編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局)
 竹内 留美 (勝美印刷(株))

(あいうえお 順)

会告

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写してください。ただし(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。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

権利委託先：(中法) 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43巻, 第2号 (2012)

平成24年3月

目次

研究論文

1. 単純適応制御の水圧サーボシリンダシステムへの適用
山田 剛史, 伊藤 和寿, 池尾 茂 23
2. 空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータのモデル予測制御
永瀬 純也, 佐藤 俊之, 嵯峨 宣彦, 鈴森 康一 30
3. 三次元内部流動様式を考慮した油圧シリンダ内部の
一次元温度予測法
富岡 弘毅, 城田 勇介, 田中 和博, 瀧脇 正樹 39

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.43, No.2

March 2012

Contents

Paper

1. Application of Simple Adaptive Control to Water Hydraulic Servo Cylinder System
Tsuyoshi YAMADA, Kazuhisa ITO, Shigeru IKEO 23
2. Predictive Functional Control of a Tendon-driven Actuator Using a Pneumatic Balloon
Jun-ya NAGASE, Toshiyuki SATOH, Norihiko SAGA, Koichi SUZUMORI 30
3. Precise and Practical 1D Analysis Method of Temperature in an Oil-hydraulic Cylinder Chamber considering 3D Internal Flow
Kouki TOMIOKA, Yusuke JOTA, Kazuhiro TANAKA, Masaki FUCHIWAKI 39

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

研究論文

単純適応制御の水圧サーボシリンダシステムへの適用*

山田 剛史**, 伊藤 和寿***, 池尾 茂****

Application of Simple Adaptive Control to Water Hydraulic Servo Cylinder System

Tsuyoshi YAMADA, Kazuhisa ITO, Shigeru IKEO

In this research, the positioning control of a water hydraulic servo cylinder system with the simple adaptive control (SAC) is discussed. Conventional model reference adaptive control (MRAC) also achieves good tracking performance for cylinder control, but the controller structure is much more complicated and has less robustness for disturbance in real application. Compared with MRAC, SAC has simpler and lower order structure, i.e. higher feasibility. However, no result has been reported on SAC application for water hydraulics. In this paper, we examined and evaluated the control performance of SAC on a water hydraulic servo cylinder system, and it was confirmed that SAC gives 1) better tracking performance compared with PI control, and 2) comparable control precision and higher robustness compared with MRAC.

Key words : Water hydraulics, Servo cylinder system, Positioning control, Simple Adaptive Control, Model Reference Adaptive Control

1. 緒 言

水圧技術は電気、油圧、空気圧に比べ低環境負荷であることや高い安全性、清浄性を有していることから環境問題への意識の高まりと共に第四の駆動源として認識されるに至った。特に90年代後半、材料や加工技術の発展により水圧機器の高精度化、長寿命化、高い流速や圧力での使用が可能となるなどの改善が施されたが、システム全体としては依然として多くの未知の物理パラメータを有しており、アクチュエータ内には摩擦や漏れ流量による強い非線形性が存在している。これに対し、多くの研究グループにより適応制御理論の応用によってこれらの影響を補償する試みが行われている¹⁾⁻³⁾。

モデル規範型適応制御 (MRAC) はその一つの手法としてこれまでにさかんに研究されており、電気システムだけでなく、油圧や水圧システムにおいてもMRACが適用された結果⁴⁾⁻⁶⁾が多く報告されている。しかしこれらのうちのほとんどが実験室レベルのものであり、現時点で一般的な工業用機械に適用された実績は少ない。これはMRACのコ

ントローラ構造の複雑さ、およびノイズやドリフト現象等に対する低いロバスト性に起因すると判断される。実際にサーボシリンダの制御をMRAC手法により行った場合、比較的良い制御精度は得られるが、制御器には多くの時変パラメータが要求され、さらに初期条件あるいは外乱によっては簡単に安定性を失う場合があることが知られている。

これに対しKaufmanらの研究グループは、単純適応制御 (SAC)⁷⁾と呼ばれる新しい適応制御システムを提案した。この制御手法は単純な2自由度制御系、すなわち与えられた参照信号への追従を目的とするフィードフォワードループおよびシステムの安定性を保証するフィードバックループの二つから構成されており、適応パラメータの数を抑えられるのが特長である。また、SAC手法は当初制御対象に概強正実性 (ASPR) と呼ばれる条件を要求していたが、これは現在では適切に選んだ並列フィードフォワードシステム (PFC) を制御対象に挿入することによって回避できることが知られており、これによりSACの適用範囲は広いものとなった。この手法による電気、油圧、空気圧に対する適用結果は既に報告されている^{8),9)}が、摩擦や漏れ流量による強い非線形性を有する水圧システムにおいては全く知見が得られていない。

そこで本論文では、水圧サーボシリンダシステムに対してSACを適用し、位置決め精度およびロバスト性を検討する。具体的には、提案された制御器の有効性、および一般的なPI制御手法、MRAC手法との比較検討を行う。その際パラメータ変動や入力外乱に対してのロバスト性の比較も行い、SACの水圧系への適用可能性を明らかにする。

本論文の構成は以下の通りである。まず始めに水圧サー

*平成23年4月18日 原稿受付

**鳥取大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻機械工学コース

(所在地 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

***芝浦工業大学システム理工学部機械制御システム学科

(所在地 埼玉県さいたま市見沼区深作307)

(E-mail : kazu-ito@shibaura-it.ac.jp)

****上智大学理工学部機能創造理工学科

(所在地 東京都千代田区紀尾井町7-1)

ポシリンダシステムの数学モデルを導出し、問題を定式化する。次いでシステムのASPR性を保証するPFC、およびSAC制御器の構成について述べ、目標値追従性およびロバスト性について、実験によりPI制御手法およびMRAC手法との比較・評価を行う。

2. 主な記号

- A : シリンダ断面積
- k_1 : 流量ゲイン
- k_2 : 圧力流量係数
- K : 体積弾性係数
- K' : サーボ弁ゲイン
- M : 負荷質量
- P_i : 各シリンダ室圧力 ($i=1, 2$)
- P_L : 負荷圧力
- Q_L : 負荷流量
- u : 制御入力信号
- V_0 : シリンダ中間位置のシリンダ内体積
- V_i : 各シリンダ室体積 ($i=1, 2$)
- y : シリンダ変位

3. 水圧サーボ系のモデル化

対象とする両ロッド形水圧サーボシリンダ系の概略図をFig. 1に示す。

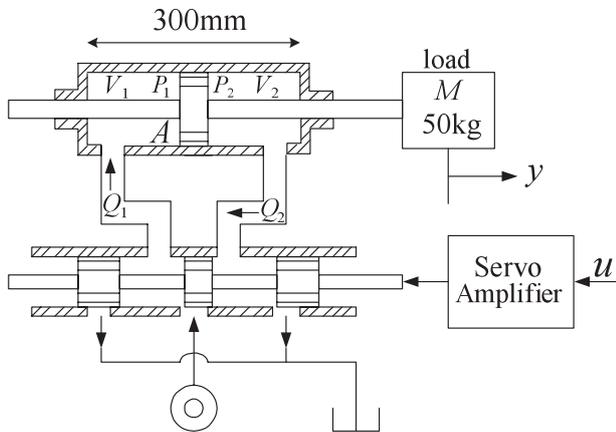


Fig. 1 Water Hydraulic Servo Cylinder System

各物理量の時間信号をラプラス変換したものに $\hat{\cdot}$ 記号を付すことにすると、連続の式より以下の式を得る。

$$\hat{Q} = A s \hat{y} + \frac{V_0}{2K} s \hat{P}_L \tag{1}$$

一方、摩擦を無視したシリンダの運動方程式より

$$A \hat{P}_L = M s^2 \hat{y} \tag{2}$$

サーボ弁への印加電圧と流量の関係より

$$\hat{Q}_L = k_1 K' \hat{u} - k_2 \hat{P}_L \tag{3}$$

以上の関係から \hat{u} から \hat{y} までの伝達関数は以下ようになる。

$$G(s) = \frac{k_1 K'}{\frac{V_0 M}{2KA} s^3 + k_2 \frac{M}{A} s^2 + A s} = \frac{k}{s^3 + a_1 s^2 + a_2 s} \tag{4}$$

ここで $a_1 = 2Kk_2/V_0$, $a_2 = 2KA^2/V_0M$, $k = 2Kk_1K'A/V_0M$ である。本論文の目的は、 a_1 , a_2 , $k > 0$ を未知あるいは不確かさを含むとした仮定の下、シリンダ変位 y を目標変位 y_m に追従させる適応制御入力 u を構成することである。

4. SACの構成

適応制御の目的は、制御対象の出力 $y(t)$ を理想的な出力 $y_m(t)$ に追従させる適応制御入力を設計することである。この目的を達成するSAC系の構成をFig. 2に示す。

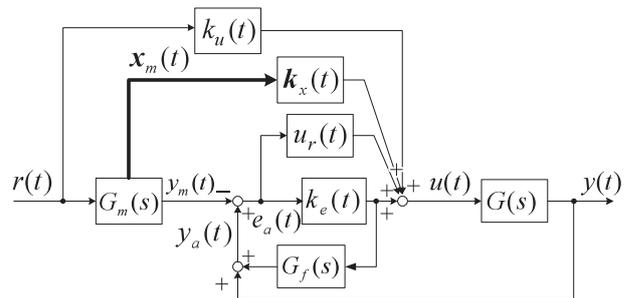


Fig. 2 Block Diagram of SAC System with PFC

図中で $G_m(s)$ は制御対象 $G(s)$ に依存せず任意に決めることができる規範モデルであり、 $r(t)$ は規範モデル入力である。SAC補償器の構成は一つのフィードバック制御器と二つのフィードフォワード制御器からなっていることが特徴である。

追従制御を達成するためにSACでは、Command Generator Tracker (CGT) の概念を導入している¹⁰。CGTは、与えられた規範モデルに既知のシステムが完全追従するためのフィードフォワード制御入力の一構成法を与えるものである。従ってCGTは制御対象のパラメータによって構成されるが、制御対象のパラメータは未知であるため実際には実現できない。SACはこのフィードフォワード制御入力を誤差信号から適応的に生成することを目的としており、これがFig. 2における二つの適応経路 $k_x(t) \in R^3$, $k_u(t) \in R$ に相当する。一方Kalman-Yakubovicの補題より、もし誤差システムが強正実 (SPR) 性を満たせば、誤差システムの状態変数を必要とせず適応制御入力と適応パラメータの調整則が導かれる¹¹。これは適応制御理論において一般的な結果であるが、SACでは制御対象に求める条件をSPRからASPRへと緩和することができる。すなわち制御対象は、定数ゲイン出力フィードバックを含むシステムがSPR性を満たせば良いため、実際のシステムへの適用範囲を広げることができる。ASPR条件は以下の条件を満たすことと等価である¹²。

- (a) 最小位相系である

- (b) 相対次数が0または1
(c) 最高位係数が正である

Fig.2中の出力フィードバックゲイン $k_e(t) \in R$ はASPRであるシステムの安定性を保証するために導入されており、このパラメータも適応的に更新される。しかし実際のシステムにおいては相対次数が2以上となることが多いために上記の条件(b)が満たされず、直接的にこのASPR条件を満たすことは難しい。実際、本研究で対象とする式(4)は水圧サーボシリンダシステムの相対次数が3であることを示しており、他の一般的なシステム同様にASPR条件を満たさない。この問題を解決するために、Fig.2のようにフィードフォワードシステム $G_f(s)$ を制御対象に並列に挿入する。これにより、並列補償器を含めた制御対象を間接的にASPR条件を満たすようにすることができる。この並列フィードフォワード補償器 (Parallel Feedforward Compensator: PFC) の設計はSACシステムにおいて非常に重要であり、追従誤差の収束性に大きな影響を及ぼす。本論文では、制御対象の相対次数に関する情報のみを必要とし、かつ実装が容易な次のラダーネットワーク型 (Ladder Networks Type) PFC⁸⁾を用いた。

$$G_f(s) = \frac{\delta\beta_1 s}{(s+\alpha_0)(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)} + \frac{\delta^2\beta_2 s}{(s+\alpha_0)(s+\alpha_1)} \quad (5)$$

ここで δ は十分小さな正定数、 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 > 0$ であり、 β_1, β_2 は多項式 $\beta_2 s^2 + \beta_1 s + k$ がフルビッツ多項式となるように選定する。また、 k は物理定数より求めた理論値を用いる。このPFCにより、拡張系 $G_a(s) = G(s) + G_f(s)$ はASPRとなることが示されるので、SACを構成することができる。ただしPFCを挿入することで拡張系の誤差 $y_a - y_m = e_a \rightarrow 0$ は保証されるが、これは本来の制御目的 $y - y_m = e \rightarrow 0$ を達成するものではないことに注意が必要である。この対策としてPFCを十分小さく選ぶ、つまり δ を最適な範囲で小さく選定することで定常偏差を小さくすることができる。以上のことから、この手法の課題は δ の適切な選定にあり、それにより $G_a(s)$ のASPR性が保証されるだけでなく、 $G_f(s)$ による上述したような分路効果の影響を抑制することができる。幾何学的には、 δ を不適切に大きな値に選定してしまうと拡張システムのベクトル軌跡がある周波数で左半平面内に入ることに対応するため、ASPR条件を満たさなくなる。例えば制御対象のパラメータ変動範囲が既知ならば、ある $\delta_0 > 0$ が存在し、それより小さな範囲で δ を小さく選べば分路効果は減少する。

以上のことからSAC制御入力 u および適応調整則は、リアプノフ法により以下のように与えられる。

$$u(t) = u_1(t) + u_r(t) \quad (6)$$

ここで

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \mathbf{k}(t)^T \mathbf{z}(t) \\ \mathbf{z}(t) &= [e_a(t) \quad \mathbf{x}_m(t)^T \quad r(t)]^T \\ \mathbf{k}(t) &= [k_e(t) \quad \mathbf{k}_x(t) \quad k_u(t)]^T \\ \begin{cases} k_e(t) &= k_{p_e}(t) + k_{l_e}(t) \\ \mathbf{k}_x(t) &= \mathbf{k}_{p_x}(t) + \mathbf{k}_{l_x}(t) \\ k_u(t) &= k_{p_u}(t) + k_{l_u}(t) \end{cases} \\ \begin{cases} k_{p_e}(t) &= -\Gamma_{p_e} e_a(t)^2 \\ \mathbf{k}_{p_x}(t) &= -\Gamma_{p_x} \mathbf{x}_m(t) e_a(t) \\ k_{p_u}(t) &= -\Gamma_{p_u} r(t) e_a(t) \end{cases} \\ \begin{cases} k_{l_e}(t) &= -\Gamma_{l_e} e_a(t)^2 - \sigma k_{l_e}(t) \\ \mathbf{k}_{l_x}(t) &= -\Gamma_{l_x} \mathbf{x}_m(t) e_a(t) - \sigma \mathbf{k}_{l_x}(t) \\ k_{l_u}(t) &= -\Gamma_{l_u} r(t) e_a(t) - \sigma k_{l_u}(t) \end{cases} \\ \sigma &= \frac{\sigma_1 e_a^2(t)}{1 + e_a^2(t)} + \sigma_2 (\sigma_1 \geq 0, \sigma_2 > 0) \end{aligned} \quad (7)$$

また、外乱に対するロバスト性向上のために $u_r(t)$ を次のように選ぶ。

$$u_r(t) = \begin{cases} -\gamma(t) \operatorname{sgn}(e_a(t)), & |\gamma(t) e_a(t)| > \varepsilon \\ -\gamma^2(t) e_a(t) / \varepsilon, & |\gamma(t) e_a(t)| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (8)$$

ここで

$$\begin{cases} \gamma(t) &= \gamma_l(t) + \gamma_p(t) \\ \gamma_p(t) &= \gamma_1 |e_a(t)| \\ \dot{\gamma}_l(t) &= \gamma_2 |e_a(t)| - \sigma_2 \gamma_l(t) \\ \gamma_1, \gamma_2 &> 0 \end{cases} \quad (9)$$

この制御則の特長は、適応パラメータ k_e, k_x, k_u の個数が制御対象の次数に依存せず、出力誤差と規範モデルの次数にのみ依存することである。つまり規範モデルの次数を n_m とするとSACの適応パラメータ個数は $n_m + 2$ である。これに対しMRACのそれは $2n_m$ となり、例えば適応ゲイン自体の更新も行う最小自乗型のアルゴリズムを採用した場合には、 $n_m^2/2 + n_m/2$ に増える。従って $n_m \geq 3$ ではSACの方が低次なシステムとなり、以降 n_m の増大に伴いその差が明確となる。またMRACの規範モデルの相対次数は制御対象の相対次数と等しいかそれ以上である必要があるため、例えば制御対象が3次である本論文のシステムでは適応パラメータ個数は6個以上となるが、SACは上述したように規範モデルは制御対象のモデルに依存せず決定することができるため、制御対象が3次系であっても規範モデルは2次系に選ぶことで、MRACに比して低次で簡単なアルゴリズムとなる。サーボ系に実装する場合にはこのようなアルゴリズムほど小さなサンプリング時間で精度良く近似できるため、応答が高速な水圧サーボ系の制御にSACが適していることが分かる。

5. 実験結果

ここでは、シリンダ位置制御の実験結果を示し、SACの制御性能を単純なPI制御と一般的な適応制御手法である最小自乗型更新則によるMRACと比較することによって評価

する。規範モデル入力 $r(t)$ は振幅10mm, 周期6sの矩形波とし、供給圧力を7MPa, シリンダの慣性負荷を50kgとし一定とした。また実験システムの各機器の基本仕様をTable 1に示す。性能比較したPI制御のコントロールゲインは限界感度法をもとに試行錯誤的に選定を行い、制御開始直後の追従性改善のためAnti-Windup機構¹³⁾を導入している。また、規範モデルは以下のものを用いた。

$$G_m(s) = \frac{1.697 \times 10^6}{s^3 + 358.1s^2 + 4.272 \times 10^4 s + 1.697 \times 10^6} \quad (10)$$

一方、SACの各制御パラメータは以下のように選んだ。

$$\begin{aligned} \Gamma_{L_e} &= 3.0 \times 10^{-4}, \Gamma_{L_u} = 4.0 \times 10^{-3}, \Gamma_{L_x} = 5.0 \times 10^{-4} I_3 \\ \Gamma_{P_e} &= \Gamma_{P_u} = 1.0 \times 10^{-3}, \Gamma_{P_x} = 1.0 \times 10^{-3} I_3 \\ \alpha_0 &= 5.0, \alpha_1 = 5.0, \alpha_2 = 5.0 \\ \beta_1 &= 10, \beta_2 = 0.2, \delta = 1.0 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

ただし、 I_3 は3次の単位行列とする。また、各パラメータの選定は以下の指針に基づいて行った。まず Γ_{L_u} が最も定常偏差の低減に効果が認められたため、これを他のパラメータに比べ大きく選ぶ。また、 Γ_{L_e} は定常状態における安定性に影響するが、過大に取り過ぎると振動が発生し、逆に過少に選んだ場合には定常偏差が小さく出来なくなるため、試行錯誤的に最適な値を選定した。さらに Γ_{L_x} は追従性への影響が顕著には見られなかったため、 Γ_{L_e} と同程度の大きさとした。比例適応ゲインである Γ_{P_e} , Γ_{P_u} , Γ_{P_x} は過渡応答の向上のためにやや大きな値を選定しているが、ある値以上では改善が見られなくなるため、効果の期待できる範囲内に留めた。さらにPFCのパラメータである δ は、予備実験を行った上で分路効果の影響が十分小さくなるよう 1.0×10^{-4} とした。

Table 1 Specification of the experimental set-up

module	specification
power unit	14MPa, max $21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$
servo valve (nozzle-flapper type)	$1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}@7\text{MPa}$ bandwidth 60Hz
motor (axial piston type)	$15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{rev}$
pulse encoder	resolution $5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$
water temperature	$30 \pm 5^\circ\text{C}$ (tap water)

5.1 目標値追従性能

Fig. 3に位置追従制御結果を、Fig. 4にその結果を拡大したものを示す。またFig. 5に追従誤差を示す。ここでは、比較を容易とするため1mm幅の結果を示している。また、全ての実験においてシリンダの初期位置は-150mmとした。PI制御の場合のみ、実験開始直後の立ち上りにおいて18mm程度の大きなオーバーシュートが見られる。これは適切な

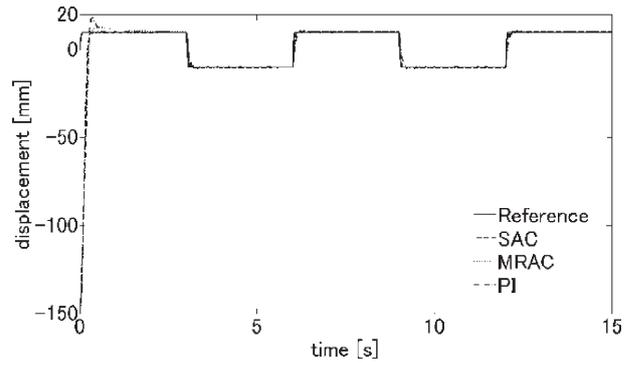


Fig. 3 Position Tracking Performances

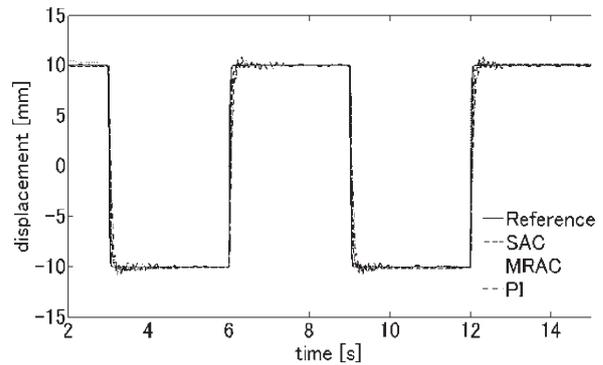


Fig. 4 Closed-up Result of Position Tracking Performance

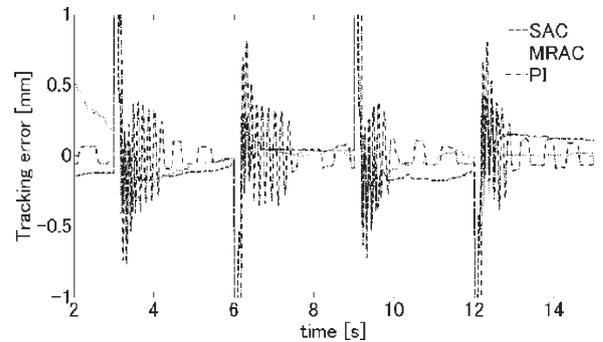


Fig. 5 Closed-up Tracking Error

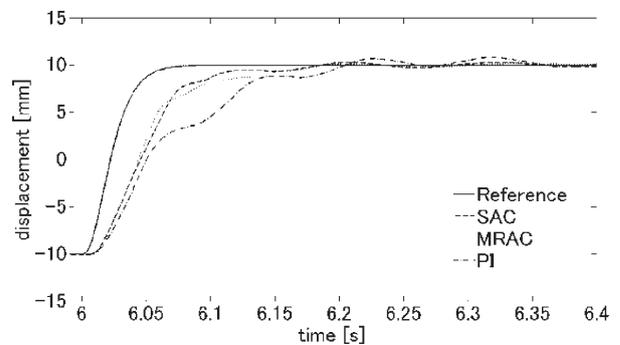


Fig. 6 Closed-up Tracking Performance in Transient Response

積分ゲインの選定が難しいことによる。定常状態時の偏差は正側で+0.003mm, 負側で-0.007mmであり、この定常偏差

はシリンダの移動方向に依存する摩擦特性の違いによる影響と考えられるが、これらの結果は制御法によって大きな違いは見られない。このことから単純なPI制御でも良好な定常応答が得られる一方、同制御手法では比較的整定時間が大きく、さらにコントローラゲインの調整にも大きな工数が必要となる。Fig. 6に過渡応答における実験結果を拡大したものを示す。過渡応答においてSACは単純なPI制御に比べて良好な追従をしており、MRACと同等程度の追従を果たしていることが分かる。また、MRACではサンプリング時間を0.5msまでしか小さくできない一方、SACでは0.2msまで小さくすることが可能であった。このことからSACはMRACに比べ計算負荷が小さいことが確認される。

5.2 パラメータ変動に対するロバスト性

次にパラメータ変動に対する各制御法のロバスト性を比較する。本論文ではパラメータ変動として供給圧の変動とシリンダの慣性負荷の変動に対して検討を行う。

5.2.1 供給圧変動に対するロバスト性

Fig. 7-Fig. 9に供給圧変動下での各制御手法の位置追従性能の実験結果を示す。全ての制御手法において供給圧を7MPaとして各制御パラメータの選定を行い、実験時には供給圧を、9MPaおよび5MPaへと変更して実験を行った。

PI制御においては供給圧が高圧側に変動したときに2s間程度の振動が続いている。これは選定した積分ゲインが大きいため起こると考えられるが、一方でこれを解消すると整定時間が大きくなる。MRACも同様、過渡応答における振動が見られるが、PI制御に比べ非常に短時間で消失す

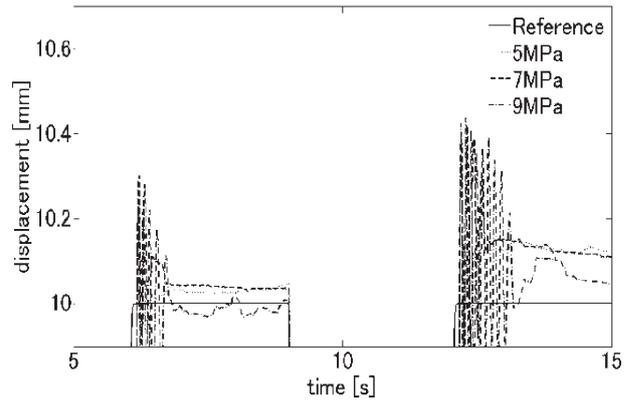


Fig. 9 Robustness for Supplied Pressure Change with SAC

る。この振動は初期状態での誤差が大きいため適応制御系においては避けられず、このことはSACでも同様である。一方SACの振動時間もPI制御に比べ非常に短い。MRACに比べわずかに長く続いている。このことからSACはPI制御に比べ大きく、MRACと同等程度のロバスト性を有していることが分かる。しかしSACでは供給圧が変動した際に定常偏差が大きくなっている。これは上述したようなPFCを導入したことによる分路効果の影響であると考えられる。

5.2.2 慣性負荷変動に対するロバスト性

Fig. 10-Fig. 12にシリンダの慣性負荷変動下での各制御手法による位置追従性能の実験結果を示す。負荷が50kgで各制御パラメータを選定し、その後負荷を100kgに変更して実験を行った。

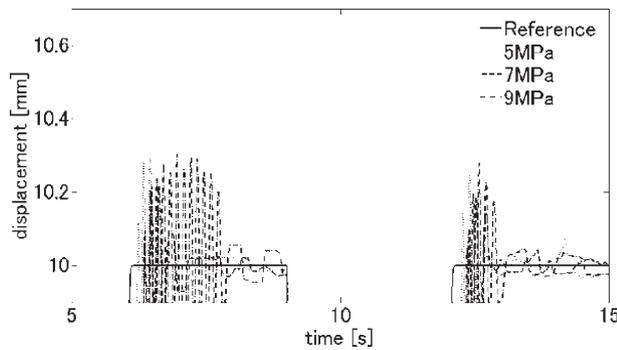


Fig. 7 Robustness for Supplied Pressure Change with PI Control

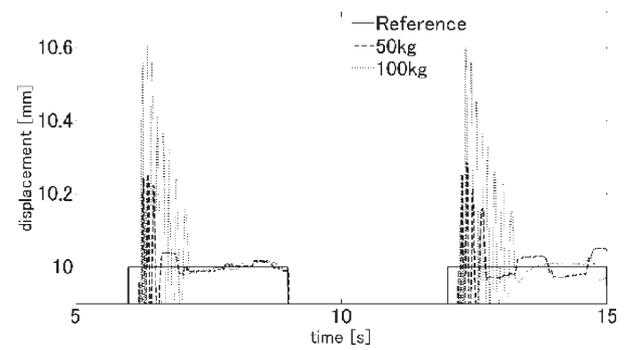


Fig. 10 Robustness for Load Mass Change with PI Control

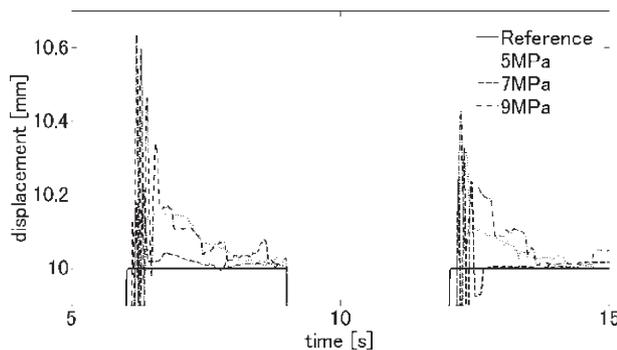


Fig. 8 Robustness for Supplied Pressure Change with MRAC

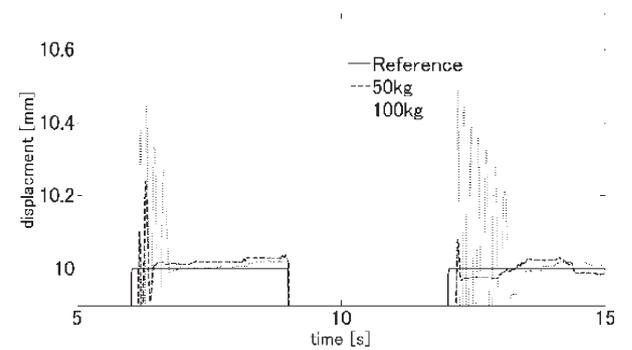


Fig. 11 Robustness for Load Mass Change with MRAC

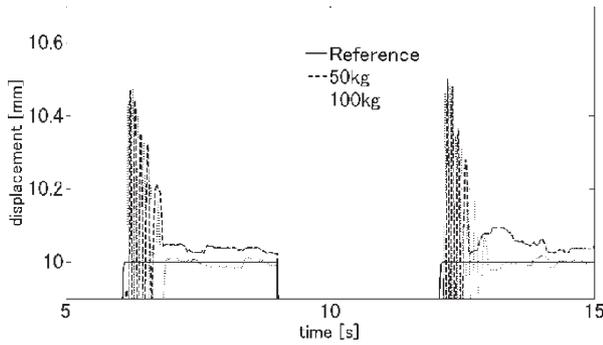


Fig. 12 Robustness for Load Mass Change with SAC

PI制御の場合、負荷が50kgのときに比べ過渡応答時の振動が長く続いていることが分かる。また、そのときのオーバーシュートも大きく増大している。これは慣性負荷の増加による影響が直接的に整定時間の遅れに現れたと考えられる。同様に負荷変動に対してMRACでも過渡応答時の振動が見られるが、そのときのオーバーシュートはPI制御に比べ小さく抑えられていることが分かる。これは適応パラメータの更新によりパラメータ変動を適切に補償できているためである。一方、SACでは50kgの場合と比べても振動時間の増大が見られず、オーバーシュートもPI制御に比して小さく抑えられていることが分かる。このことからSACは負荷変動に対してもPI制御に比べ、ロバスト性を有していることが分かる。

5.3 入力外乱に対するロバスト性

水圧サーボ弁では水の低い粘性に起因する漏れ流量の発生に対処するため、弁をオーバーラップにする等の対策が施されているが、一方でこれによる不感帯の発生が避けられないことが指摘されていた。本研究に使用したサーボ弁でも、入力電圧における実測値でスプール変位の正側で0.3V、負側で0.4V程度の不感帯が存在することが実験的に分かっている。これに対しては、実験開始前に毎回手動操作によりスプール位置をスリーブ中央位置に調整し、不感帯幅を両側に振り分けてから実験を行っている。しかしこの調整作業は常に完全に行われるとは限らず、不感帯幅がスピールの移動方向に対してばらつくことになる。この影響は例えば積分器の挿入により解消することが可能であるが、結果的に過渡応答が悪化することが考えられる。ここでは入力外乱の一例としてサーボ弁システム内に存在する実際の不感帯とは別に、Fig. 13に示すように、PC内で模擬的に不感帯 (Disturbance1: 幅 $\pm 1.0V$ およびDisturbance2: $\pm 1.5V$) を入出力関係に与え、各制御手法におけるロバ

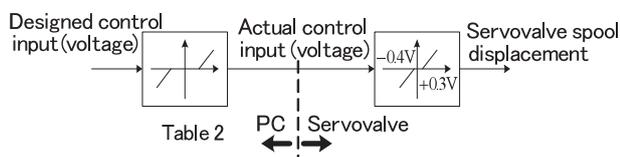


Fig. 13 Model of Dead Zone

ト性を検討した。Fig. 14-Fig. 16にこれらの入力外乱を印加したときの各制御法による位置追従制御結果を示す。

まずPI制御では、不感帯の増大により静摩擦によるスティックスリップ現象が顕著に現れていることが分かる。さらに不感帯幅が大きくなるにつれてスティックスリップ現象の幅も同様に大きくなっている。これは積分器の影響によるものと考えられるが、不感帯幅が未知であることから過渡応答の直接的な改善は難しい。一方MRACではPI制御に見られるようなスティックスリップ現象は確認されず、不感帯の変化による大きな影響は見られないが、不感帯幅が大きくなるにつれて過渡応答が悪くなるのが分かる。SACでもMRACの結果とほぼ同様であるが、不感帯幅の増加にともなう過渡応答の悪化は見られないことが分かる。

以上のことからSACは不感帯を模擬した入力外乱に対しては、MRACと比較しても高いロバスト性を有していることが分かる。

6. 結 言

本論文では、単純適応制御 (SAC) 系を水圧サーボシリンダシステムへ適用し、その制御性能を評価するため、水圧サーボシリンダシステムの数学モデルを基にSAC制御器の設計を行った。得られた制御器により性能評価実験を行い、単純なPI制御、従来法であるモデル規範型適応制御 (MRAC) との比較により以下のことが確認された。

- ・定常偏差は正側で+0.003mm、負側で-0.007mmであり、これは各制御手法による大きな違いは見られなかった。過渡応答ではSACはPI制御に比べ良好な追従を果たし、MRACに比して同等程度の追従性であった。
- ・パラメータ変動に対してのロバスト性の検討のため、供給圧や慣性負荷を変化させた場合、SACはPI制御に比べ非常に高いロバスト性を有しており、MRACに比して同等程度のロバスト性を有している。
- ・水圧サーボ弁において特に問題となり易い不感帯を模擬した入力外乱に対するロバスト性の検討実験を行った。SACはPI制御に比べ影響予測の観点からロバストであり、また過渡応答においてはMRACよりもロバスト性が確認

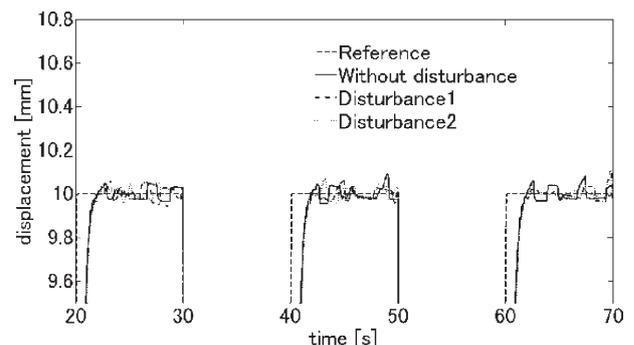


Fig. 14 Robustness for Input Disturbance with PI Control

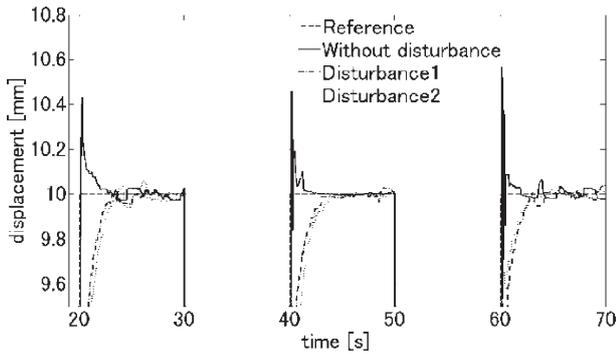


Fig. 15 Robustness for Input Disturbance with MRAC

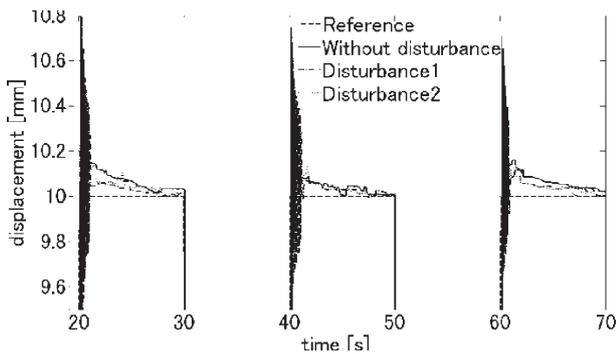


Fig. 16 Robustness for Input Disturbance with SAC

された。

以上の結果よりSACはMRACに比べ構造が簡単で計算負荷が小さいにも関わらず、同等程度の制御性能が得られ、ロバスト性を有していることが確認された。このことから高速な応答が必要なサーボ系への適用も十分実用的なものであることが確認された。

今後は定常偏差や過渡応答時のPFCを挿入したことによる分路効果の影響がどの程度存在するのかを明らかにする必要がある。また、出力外乱の存在の下でのMRACとの性能比較も望まれる。

参考文献

1) Sanada, K.: A Method of Designing a Robust Force Controller of a Water-Hydraulic Servo System, IMech.Eng., Part 1, System and Control Engineering, p. 135-141 (2002)

2) Laamanen, A., Nurmia, M., Koskinen, K. and Vilenius, M.: Two different control methods for digital flow control

unit, Proc. of 5th Scandinavian Int. Conf. on Fluid Power, SICFP'03, Tampere, Finland (2003)

3) Ito, K., Ikeo, S.: Robust Speed Control of Water Hydraulic Servomotor System with Load Fluctuations, Proceedings of the 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization FLUCOME'03, No. 091 (2003)

4) 則次俊郎, 和田力, 矢野坂雅巳: 空気圧サーボ弁の適応制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 24, No. 11, p. 1187-1194 (1988)

5) 山橋浩三, 池尾茂, 高橋浩爾: 直接法モデル規範型適応制御理論の電気油圧サーボシステムへの適用, 油圧と空気圧, Vol. 20, No. 7, p. 625-632 (1989)

6) Ito, K., Ikeo, S., Takahashi, K., Kanamori, N.: Robust Control Performance Comparison on Water Hydraulic Servo Motor System, Fluid Power and Motion Control FPMC2008, p. 149-162 (2008)

7) Barkana, I.: Parallel feedforward and simplified adaptive control, Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing, Vol. 1, No. 2, p. 95-109 (1987)

8) 岩井善太, 江頭豊一, 日野満司, 高橋将徳, 京和泉宏三: 単純適応制御(SAC)手法の油圧サーボシステムへの位置制御への応用, 日本機械学会論文集C編, Vol. 61, No. 590, p. 3991-3998 (1995)

9) 京和泉宏三, 藤田行茂, 岩井善太, 水本郁朗: 一般産業用空圧シリンダの位置決め制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 35, No. 6, p. 97-102 (2004)

10) Broussard, J. R., O'Brien, M. J.: Feedforward Control to Track the Output of a Forced Model, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 25, No. 4, p. 851-853 (1980)

11) Steinberg, A., Corless M.: Output Feedback Stabilization of Uncertain Dynamical Systems, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 30, No. 7, p. 1025-1027 (1985)

12) Barkana, I.: Positive-realness in Multivariable Stationary Linear Systems, Int. J. Control, Vol. 42, No. 6, p. 1491-1505 (1985)

13) 和田信敬, 佐伯正美: 入力飽和システムのAnti-windup制御, システム制御情報学会誌, Vo. 46, No. 2, p. 84-90 (2002)

研究論文

空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータのモデル予測制御*

永瀬 純也**, 佐藤 俊之***, 嵯峨 宣彦**, 鈴森 康一****

Predictive Functional Control of a Tendon-driven Actuator
Using a Pneumatic Balloon

Jun-ya NAGASE, Toshiyuki SATOH, Norihiko SAGA, Koichi SUZUMORI

In recent years, Japanese society has been aging, engendering a labor shortage of young workers. Robots are therefore expected to be useful to perform tasks such as day-to-day work support for elderly people. Therefore, a tendon-driven balloon actuator has been developed for the robot hand in such environments. In this study, we have evaluated characteristics of force control of a balloon actuator using a predictive functional control (PFC) system. Predictive functional control is one of the models based on predictive control (MPC) schemes, which predict the future outputs of the actual plant over the prediction horizon and compute the control effort over the control horizon at every sampling instance. In this paper, PFC control performance of a 1-link finger using a pneumatic balloon actuator is reported.

Key words : Predictive Functional Control, Tendon driven System, Pneumatic balloon, Soft actuator, Robot hand.

1. 緒 言

現在, 日本は超高齢社会に突入しており, 高齢者人口の割合は今後さらに伸びていくと予想されている. そのため若年労働力の減少の懸念から, 介護や福祉, リハビリテーションなど, 人間と密接に関わりあう環境におけるロボットの活躍が期待されている. 実際に実用化されているものも存在し¹⁾, ロボットハンドにおいては筋電義手²⁾が実用され始めている. 2021年には日本の総人口における高齢者の割合が30%にまで達する見込み³⁾であり, 介護・福祉を目的としたロボットハンドの産業界における需要は今後さらに伸びていくと予想される.

このようなロボットハンドは人間に対する安全に配慮する必要があり, かつ人間との親和性も重要な要素となる. そのため, 軽量化による衝撃力の低減や, 人間との接触部に受動変形要素を有する空気圧人工筋を用いたロボットハンドの研究⁴⁾⁻⁷⁾が多く行われている. このような中で, 我々は従来の空気圧人工筋に対して, 自重比対ストローク比および自重比対発生力比の高い, 空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータ⁸⁾ (以下, バルーンアクチュエータ)を開発し,

それをロボットハンドに応用した⁹⁾.

通常, ロボットハンドは, 柔軟な対象物を握り潰さないように, また物を器用に操るために, 把持力制御が必要不可欠である. しかしながら, バルーンアクチュエータを含むゴム製の空気圧人工筋の場合, ゴムの非線形性やモデル変動などの影響を受けるため, 一般に精密な制御が困難である. そのため, 空気圧人工筋に対してはスライディングモード制御やH_∞制御などのロボスト制御系の適用¹⁰⁾⁻¹²⁾が試みられてきた. しかしながら, ロボスト制御は複雑で難解であるといったことから産業界にはほとんど浸透していないというのが現状であり, 今なおPID制御系が産業界では主流である. しかしPID制御は構造が単純で扱い易いという特徴を有するものの, 非線形性やモデル変動を有する制御対象に対しては, 良好な制御性能を達成するゲインを見出すことは, 多くの手間と時間を要する.

そこで本研究ではバルーンアクチュエータに, 制御則が比較的シンプルでかつロボスト性の高い, Predictive Functional Control^{13),14)} (以下, PFC)の適用を試みた. PFCはモデル予測制御法の一つであり産業界向けに開発されたものである. 一般に, モデル予測制御はサンプル時間毎に非線形最適化問題を解く必要があり計算負荷が高いために, サンプル時間の長い化学プラントなどに適用されている. これに対してPFCは, 制御則が基本関数のみで構成されるため計算負荷が小さく, また調整パラメータが一つのみであるためチューニングが比較的容易である. また, 内部モデルを有するため, モデル変動や外乱に対して高いロボスト性を有する. 本論文では, バルーンアクチュエータを用いた1リンクフィンガモデルのPFC力制御実験およびPID制御系と

*平成23年4月27日 原稿受付

**関西学院大学理工学部

(所在地 兵庫県三田市学園2-1)

(E-mail: J.Nagase@kwanseiac.jp)

***秋田県立大学システム科学技術学部

(所在地 秋田県由利本荘市土谷字海老乃口84-4)

****岡山大学自然科学研究科

(所在地 岡山県岡山市北区津島中3-1-1)

の比較評価により、バルーンアクチュエータを用いたロボットハンドのための力制御系としての評価を行う。

2. Predictive functional control

本節ではPredictive Functional Control (PFC) の考え方と理論について述べる。Fig. 1にPFCの概念図を示す。PFCはまず、第1ステップとして、現在のサンプリング時刻におけるプラント出力を起点とし、目標値への理想的な近づき方をあらわす曲線である参照軌道を設定する。第2ステップではプラントモデルを使って計算されたプラント出力の将来予測値を用い、参照軌道上に設定してある一致点での誤差（プラント出力の予測値と、一致点における参照軌道の値との差）を最小化する制御則を決定する。そして、求めた操作量の式に時刻 k を代入して、得られた操作量をプラントに加える。最後に、次のサンプル時刻 $k+1$ において、時刻を k に置きなおし、ステップ1に戻る。ただし、実際にはこの順序通りに実行するわけではなく、参照軌道の形や一致点をあらかじめ決めておけば、ステップ2で求めるべき制御則は解析的に得られるので、実際にオンラインでサンプル時刻ごとに行っているのは、制御則に含まれるいくつかの未知係数を決め、操作量をプラントに適用しているだけである。

次に、むだ時間要素を含むPFC¹⁵⁾の制御則導出について述べていく。PFCでは、以下に示される離散時間系の状態方程式および出力方程式を、SISOプラントの内部モデルとして用いる。

$$x_M(k+1) = A_M x_M(k) + B_M u(k) \quad (1)$$

$$y_M(k) = C_M x_M(k)$$

ここで、 $x_M \in \mathbb{R}^n$ は状態変数、 $u \in \mathbb{R}$ は操作量、 $y_M \in \mathbb{R}$ はモデル出力である。また、モデル出力 $y_M(k)$ は時刻 $k+d$ における実プラント出力の予測値 $\hat{y}_p(k+d)$ であり、 d はプラントに含まれるむだ時間を L 秒とした際にこれに対応するサンプル数 $\text{int}(L/T_s)$ を示す。このとき、参照軌道は以下のように与えられる。

$$y_R(k+d+i) = c(k+d+i) - \alpha^i (c(k+d) - \hat{y}_p(k+d)) \quad (2)$$

$$i = 0, 1, \dots$$

ここで、 $\alpha \in \mathbb{R}^n$ は参照軌道の調整パラメータで $0 < \alpha < 1$ となるように選ばれる定数であり、文献16)と同様に次式のように選ぶ。

$$\alpha = e^{-3T_s/T_{CLRT}} \quad (3)$$

ここで T_{CLRT} は希望する閉ループ応答時間をあらわし、設定値の95%に応答が到達するために必要な時間をあらわす。PFCでは、この希望閉ループ応答時間 T_{CLRT} が設計パラメータとなる。また T_s はサンプリング周期である。ここで評価関数を、一致点における誤差に基づき次式のように定義する。

$$D(k) = \sum_{j=1}^{n_h} \left\{ \hat{y}_p(k+d+h_j) - y_R(k+d+h_j) \right\}^2 \quad (4)$$

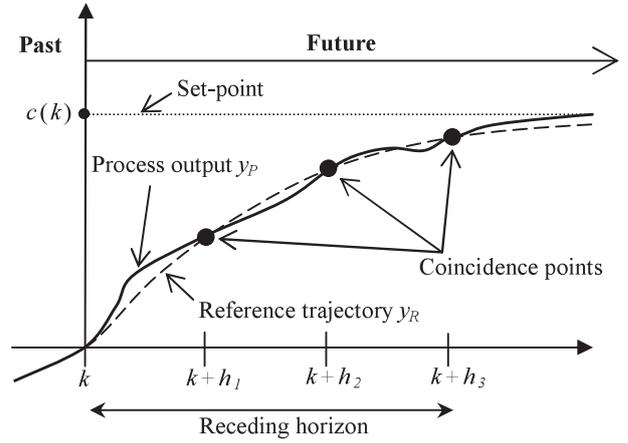


Fig. 1 Principle of predictive functional control

ただし、 h_j は一致点を表しており、 n_h は一致点の数である。一致点は任意であるが、本研究では、文献16)に示される以下の三点を用いる。

$$(h_1 \ h_2 \ h_3)^T = \left(\frac{T_{CLRT}}{3T_s} \quad \frac{T_{CLRT}}{2T_s} \quad \frac{T_{CLRT}}{T_s} \right)^T \quad (5)$$

また、予測誤差 $e(k+d)$ は次式で表される。

$$e(k+d) := \hat{y}_p(k+d) - y_M(k) \cong y_p(k) - y_M(k-d) \quad (6)$$

各サンプル時刻における操作量は、以下のように基本関数の重ね合わせで表されるものとする。

$$u(k+i) := \sum_{l=1}^{n_b} \mu_l(k) U_{B_l}(i) \quad (7)$$

ここで n_b は基本関数の数、 μ_l は未知係数である。また U_{B_l} は基底関数であり通常、次式のような多項式基底が適用される。

$$U_{B_l}(i) = i^{l-1}, i = 0, 1, \dots \quad (8)$$

実際に適用する操作量は $u(k+i)$ の最初の要素、すなわち、

$$u(k) := \sum_{l=1}^{n_b} \mu_l(k) U_{B_l}(0) \quad (9)$$

のみである。いま、時刻 $k+i$ におけるモデル出力 y_M を、次式のように強制応答 y_F と自由応答 y_{UF} に分解する。

$$y_M(k+i) = y_F(k+i) = y_{UF}(k+i) \quad (10)$$

このとき、強制応答は次式で表わされる。

$$y_F(k+i) = \sum_{l=1}^{n_b} \mu_l(k) y_{B_l}(i) \quad (11)$$

ここで、 y_{B_l} は基底関数 U_{B_l} に対応する応答である。一方、自由応答は以下のように表わされる。

$$y_{UF}(k+i) = C_M A_M^i x_M(k) \quad (12)$$

いま、時刻 $k+d+i$ における予測誤差が次式の様な多項式で近似されるものと仮定する。

$$\hat{e}(k+d+i) = e(k+d) + \sum_{m=1}^{d_e} e_m(k+d) i^m \quad (13)$$

ただし、 d_e および e_m は多項式近似の次数、および現在と過去の誤差データを用いて計算される未知係数をそれぞれ表している。同様に、将来の設定値は以下の多項式で表わす

ことができる.

$$c(k+d+i) = c(k+d) + \sum_{p=1}^d c_p(k+d)i^p \quad (14)$$

ここで, d_c と c_p はそれぞれ多項式近似の次数および未知係数である. 以上の式を用いて, 評価関数 $D(k)$ を最小化するような最適操作量は次式で与えられる.

$$u(k) = k_0 \left\{ c(k+d) - y_p(k) \right\} + \sum_{m=1}^{d_c} k_m c_m(k+d) - \sum_{m=1}^{d_c} k_m e_m(k+d) + \tilde{v}_x^T x_M(k) + \tilde{v}_{xd}^T x_M(k-d) \quad (15)$$

ここで k_0 , \tilde{v}_x , k_m , および \tilde{v}_{xd} はそれぞれ以下の通りである.

$$k_0 = v^T \begin{pmatrix} 1 - \alpha^{h_1} \\ \vdots \\ 1 - \alpha^{h_{n_b}} \end{pmatrix}, \quad \tilde{v}_x = - \begin{pmatrix} C_M(A_M^{h_1} - \alpha^{h_1}I) \\ \vdots \\ C_M(A_M^{h_{n_b}} - \alpha^{h_{n_b}}I) \end{pmatrix}^T v$$

$$k_m = v^T \begin{pmatrix} h_1^m \\ \vdots \\ h_{n_b}^m \end{pmatrix}, \quad \tilde{v}_{xd} = - \begin{pmatrix} (\alpha^{h_1} - 1) C_M \\ \vdots \\ (\alpha^{h_{n_b}} - 1) C_M \end{pmatrix}^T v \quad (16)$$

ただし, (16)式における v は次式で表わされる.

$$v = (y_B(h_1) \cdots y_B(h_{n_b}))^T \left(\sum_{j=1}^{n_b} y_B(h_j) y_B(h_j)^T \right)^{-1} U_B(0) \quad (17)$$

ここで,

$$y_B(h_j) = (y_{B_1}(h_j) \cdots y_{B_{n_b}}(h_j))^T, \quad U_B(0) = (1 \ 0 \ \cdots \ 0)^T \quad (18)$$

3. 空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータを用いた1リンクフィンガシステム

3.1 空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータ

本研究で扱う空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータ(以下, バルーンアクチュエータ)の写真をFig. 2に, バルーンの仕様をTable 1にそれぞれ示す. バルーンアクチュエータは, 特に自重比に対する発生力比およびストローク比が高い⁹⁾という特徴を有するため, ロボットハンド内部のような比較的狭いスペースに搭載しても, ハンドを駆動させるための十分なストロークや力が発生可能である.

バルーンアクチュエータは空気圧駆動で, 圧縮空気が送り込まれるバルーンとその外周に沿って巻きつけられた帯状の腱から構成される. このバルーンは, 断面寸法が長径21mm, 短径9mmおよび長さが20mmの扁平状の円形シリコンチューブで, バルーンの片側が塞がれており, もう片側は圧縮空気の給排気を行うためのホースが取り付けられている. また, 腱はポリプロピレン製であり, バルーンと接触する側の面には摩擦低減の目的で伸縮性のあるナイロン繊維を貼り付けてある. バルーンの両端は仕切り板によって位置が固定されており, バルーン側面の一方にはバルーンの膨張方向変位を拘束するための壁を設けている. 本アクチュエータの駆動原理は, バルーンに圧縮空気を給気することでバルーンが膨張し, その周囲に配置されている腱がその膨張とともに膨らむことで先端に引張り力を発生し

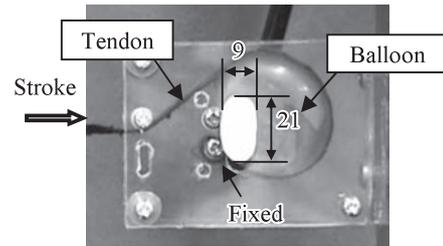


Fig. 2 Tendon driven balloon actuator

Table 1 Specification of a balloon

Material	Silicone rubber	
Length	25mm	
	Long diameter	Short diameter
Outer diameter	21.0mm	9.0mm
Inner diameter	17.8mm	5.8mm

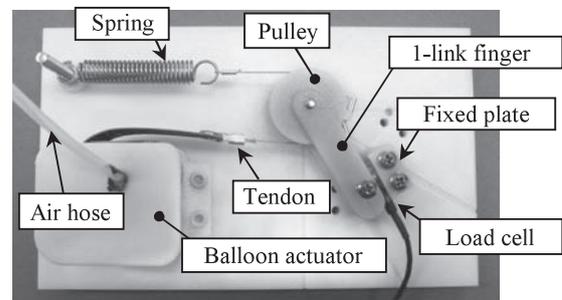


Fig. 3 Photograph of 1-link finger system using balloon actuator

て腱駆動を実現している.

3.2 1リンクフィンガシステム

本研究では, このバルーンアクチュエータを用いた1リンクフィンガシステムを製作し, 制御実験を行うことにより, PFCのロボットハンドのための力制御系としての評価を行う. Fig. 3に本実験で取り扱った1リンクフィンガシステムの写真を示す. このフィンガシステムは, 主にバルーンアクチュエータ, 引張バネ, およびフィンガで構成される. アクチュエータ-引張バネ拮抗型システムである. 駆動原理は, 引張バネの復元力を用いることによりフィンガを対象物に接近させて接触力を発生させ, 引張バネと拮抗したバルーンアクチュエータの発生力を用いることにより, それとは逆方向に力を与えることで接触力を減少させる機構となっている. これは, ロボットハンドの動作中においてシステムが異常停止した場合でも, バネの復元力により把持力を確保でき, 対象物の落下を防ぐことを目的としたフェールセーフ設計としているためである.

フィンガの設計においては, フィンガの可動角度はヒトの手の指とほぼ同じ 90° とし, この角度の時の, 1リンクフィンガシステムにおけるバルーンアクチュエータのストローク量と, 3リンクのフィンガを有するロボットハンド

にバルーンアクチュエータを内挿したときのストローク量が一致するように、プーリ径を検討し、半径を11mmとした。また、引張バネについては、バルーンアクチュエータに最大空気圧の0.2MPaを印加したときにフィンガの角度が可動角度上限の90°になるようにバネの仕様を検討し、結果、バネ定数が1.0N/mm、初張力が5.3Nの引張バネを選定した。

次に、1リンクフィンガの物理モデルについて述べる。Fig.4に本実験で扱う1リンクフィンガモデルを示す。バルーンへの入力圧力から腱の引張力の発生までの過程を考えると、厳密なモデル化を行うには、空気の伝播速度や圧縮性、バルーン材料の非線形性、バルーン-腱間の摩擦、および腱の粘弾性など、応答特性に起因する様々なパラメータを考慮する必要がある。ただし、それらを全て考慮して正確にモデル化を行うことは一般に困難である。今回はPFCとPIDの比較評価が主な目的であることと、次章のFig.7に示す1リンクフィンガのステップ応答波形の形状から、アクチュエータの入力圧力に対する発生力を一次遅れ系で近似することが妥当であると考えた。そこでFig.4においてフィンガと対象物が接触している状態、すなわち $r^2 k \theta \geq rF$ を満たすときの接触力 F_{cont} を次式で与えた。

$$rF_1(t)IF_{cont}(t) = 0 \tag{19}$$

$$F_1(t) + \alpha F_1(t) = \beta p_1(t) \tag{20}$$

ただし、

$$F_1(t) := F_0(t) - F(t) \tag{21}$$

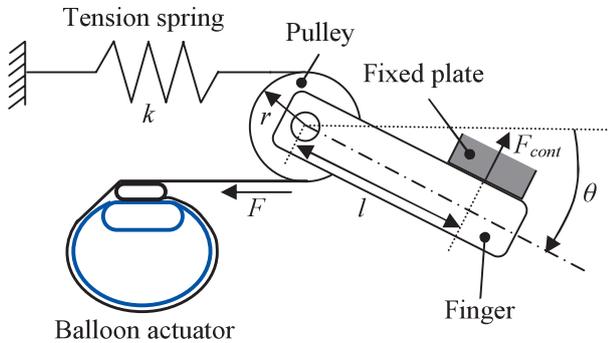


Fig. 4 1-link finger model using balloon actuator

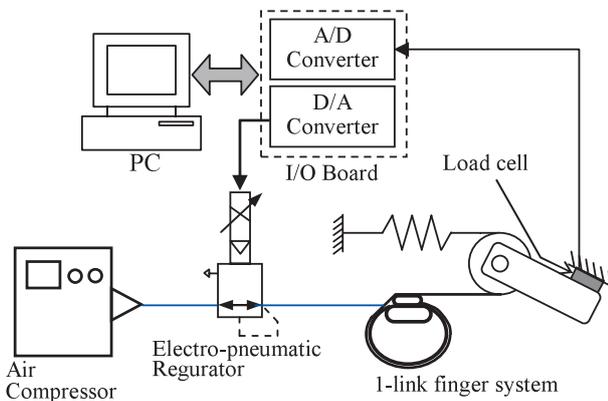


Fig. 5 Experimental system of force control of 1-link finger using balloon actuator

$$p_1(t) := p_0(t) - p(t) \tag{22}$$

ここで、 r はプーリ半径、 k は引張バネのバネ定数、 θ は引張バネの自然長におけるフィンガの角度を0°とした時のフィンガ角度、 F_{cont} は対象物との接触力、 F はアクチュエータの発生力、 F_0 は $F_{cont}=0$ の時のアクチュエータ発生力、 p は印加圧力、 p_0 は $F_{cont}=0$ の時の印加圧力、 l はプーリ中心からフィンガ先端部までの距離（本実験では30mm）であり、そして α および β は、それぞれ p_1 に対応する未知係数を表している。本研究では、これらのモデルのパラメータ同定を、実機を用いた同定実験により行う。

4. 制御実験

4.1 実験装置

Fig.5に本実験で使用した実験装置の概略図を示す。バルーンアクチュエータに供給する圧縮空気はコンプレッサー（YC-4：八重崎空圧製）から取り込み、間に介した電空レギュレータ（ETR200：コガネイ製）によりバルーンアクチュエータへの印加圧力を制御する。また台座に剛体のプレートにフィンガ先端の軌道上に固定する。そして、プレートとフィンガ先端の接触力を小型ロードセル（LMBT-A-100N：KYOWA製）により測定し、I/Oボード（Q4 PCI board：Quanser製）を介してPCに信号を取り込む。また、サンプル時間は0.002sとした。

4.2 モデルの同定

前章で述べた物理モデルにおける式(19)、(20)のパラメータを、実験により同定する。本研究で扱う制御対象は、バルーンアクチュエータ-引張バネ拮抗型の1リンクフィンガであるため、フィンガが対象物と接触する時の印加圧力は、その時のフィンガの角度 θ によって異なる。そのため、印加圧力 p に対する接触力 F の関係は、対象と接触する時のフィンガ角度 θ が変わると大きく変化してしまう。そこで本研究では、フィンガが対象と接触する時の印加圧力を基準圧力 p_0 とおき、これと印加圧力 p との差 p_0-p を入力とし、この時の接触力 F_{cont} を出力としたときの伝達関数モデルを考えた。従って、本モデルは式(19)、(20)より、次式のような1次遅れ系の伝達関数 $G(s)$ で表わされる。

$$G(s) = \frac{(l/r)(\beta/\alpha)}{s/\alpha + 1} \tag{23}$$

ここで、 $(l/r)(\beta/\alpha)$ はゲイン K 、および $1/\alpha$ は時定数 T をそれぞれ表している。本研究では、プレートをフィンガ角度30°においてフィンガと接触する位置に固定し、その時の圧力 p_0-p に対する接触力 F_{cont} のステップ応答特性を測定し、その波形をカーブフィットすることにより、上式の伝達関数モデルの同定を行った。各圧力 p_0-p における同定結果をFig.6に示す。結果、ゲイン K については35.0~47.5、時定数 T については0.54~0.60となり、印加圧力によって多少のばらつきが見られた。今回は各パラメータの中央値を採り、ゲイン K を41.3、時定数 T を0.57sと同定した。また、本研究

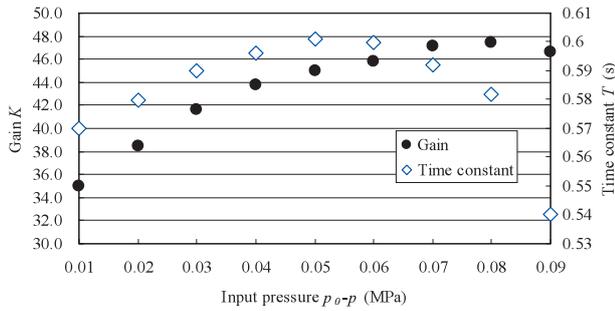


Fig. 6 Identified parameters in transfer function

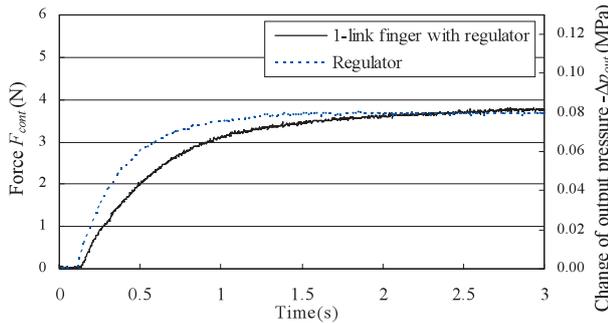
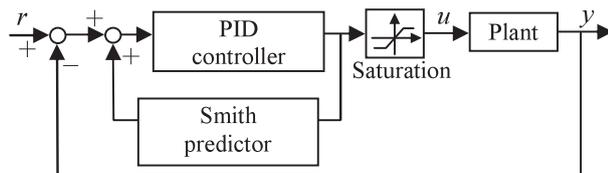
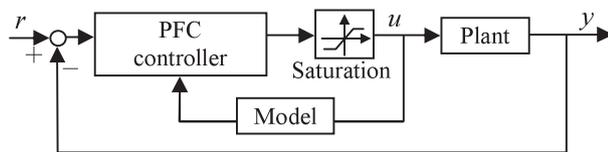


Fig. 7 Step response of 1-link finger with regulator and only regulator



(a) PID control system with smith predictor



(b) PFC control system

Fig. 8 Block diagram of control system used in this study

で扱うPFC制御系においては式(1)のような離散系状態空間モデルが必要であるため、同定した式(23)の連続系伝達関数モデルを0次ホールドにより離散化後、状態空間モデルに変換した。

Fig.7の実線は、1リンクフィンガシステムにおける電空レギュレータへの指令電圧に対するフィンガの接触力 F_{cont} のステップ応答を示している。また破線は指令電圧に対する電空レギュレータからの出力圧力の変化量 Δp_{out} のステップ応答である。Fig.7から、本制御対象には主に電空レギュレータの応答特性にむだ時間が存在することがわかる。そこで、PID制御系にはむだ時間補償の一つであるスミス補償を適用したものを使用する。スミス補償とはプラントモデルを用いて見かけ上の制御対象の特性を変えて、むだ時

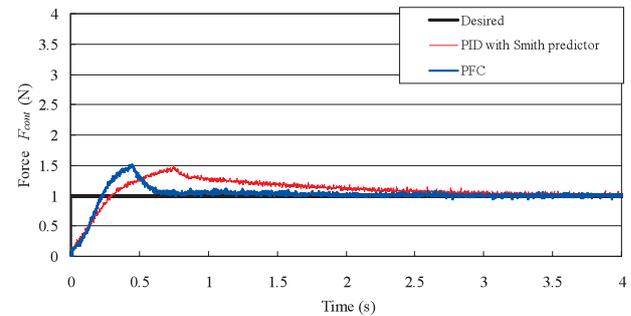
間を制御ループの外側に出して、1次遅れ系として制御しようとする考え方である。スミス補償型のPID制御系を適用するには、むだ時間の伝達関数 $G_L(s)$ が必要である。そこで、実験により測定したむだ時間からPADE近似を用いて伝達関数化を行った。ステップ応答の測定により、1リンクフィンガのむだ時間は0.12sであったため、これを2次のPADE近似により伝達関数 $G_L(s)$ を求めた結果、次式の通りとなった。

$$G_L(s) = \frac{s^2 - 50s + 833.3}{s^2 + 50s + 833.3} \quad (24)$$

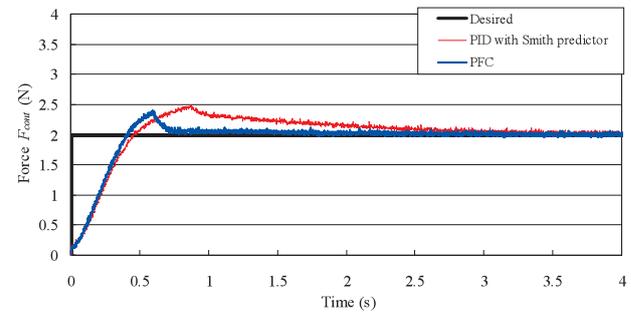
なお、スミス補償型PID制御系の構造については文献(17)の通りだが、本論文では省略する。

4.3 実験方法

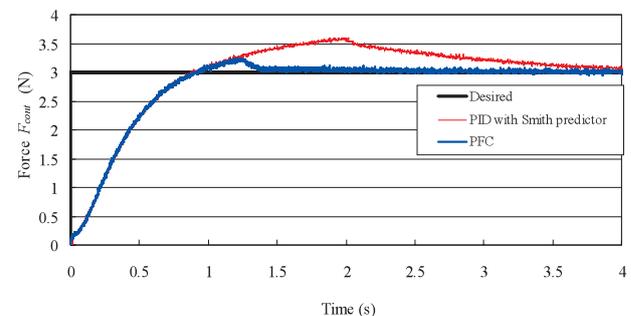
本実験で取り扱うスミス補償型PID制御系、およびPFC制御系のブロック線図をFig.8に示す。本1リンクフィンガはアクチュエータへの印加圧力の増加により接触力を減少させ、また印加圧力の減少により接触力を増加させる機構



(a) $F_r = 1N$



(b) $F_r = 2N$



(c) $F_r = 3N$

Fig. 9 Experimental result of force control when angle of finger is 30°

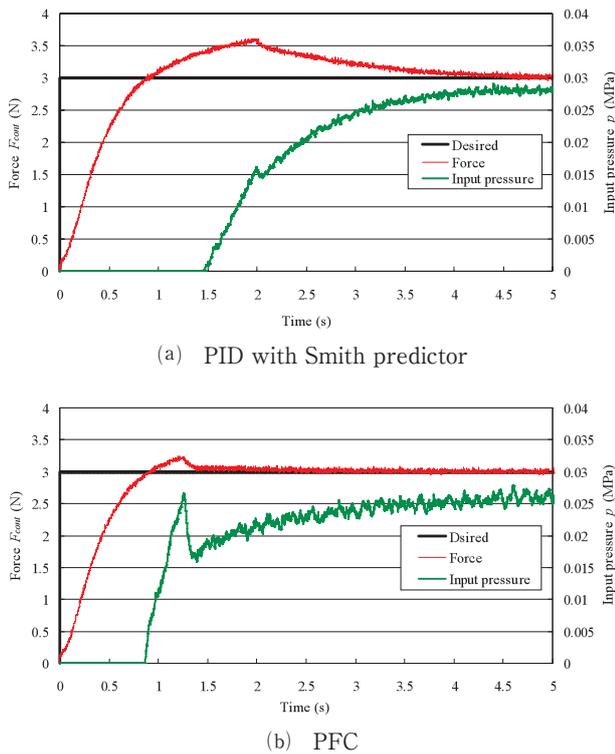


Fig. 10 Force and input pressure when angle of finger is 30°

となっている。そのため、対象物と接触直後は、圧力の指令値が負圧になる可能性がある。しかしながら、本実験システムにおける圧縮空気の供給源はコンプレッサーであり負圧を与えるものでないため、印加圧力 p に関して以下の制約条件が存在する。

$$p \geq 0 \tag{25}$$

そのため、PID制御系においては、PIDコントローラとプラントの間に式(25)を満たすリミッターを設けた。またPFC制御系においても、PFCコントローラからの出力直後にリミッターを設け、リミッターからの出力をプラントに入力するとともに、内部モデルにも入力した。PFCは、このリミッターからの出力を内部モデルにも与えることで、操作量に制約条件を容易に考慮することが可能となる¹⁸⁾。

実験では、まずバルーンアクチュエータに0.2MPaの圧力を印加し、プレートと反対方向にフィンガを駆動させて非接触状態にする。次に、その状態から印加圧力を1秒間に0.02MPaずつ減少させながら、フィンガ先端を対象物に近づけていき、フィンガがプレートと接触後、力制御を開始させた。フィンガが接触する時のフィンガ角度は30°、60°、90°の3条件に設定し、それぞれにおいて目標値をステップ状に1N、2N、3Nとそれぞれ与えた時の制御特性を調べた。

PIDコントローラの各パラメータは、ステップ応答法を用いて求めた後、試行錯誤的に調整を行った。PFCコントローラの調整パラメータは、基本的には、前述したように希望する閉ループ応答時間 T_{CLRT} のみであるため、このパラ

メータを減少させるほど速応性は向上するものの、プラント出力のノイズ成分やモデル化誤差の影響を受け易くなりロバスト安定性が低下する恐れがある。そこで、振動的な応答とならない最小の T_{CLRT} を実験的に求めた。PIDおよびPFCのパラメータ調整の結果、PIDについては比例ゲインを-12、積分時間を0.45s、および微分時間を0.06sとし、PFCにおいては T_{CLRT} を0.10sに設定した。

4.4 実験結果

Fig.9に、フィンガを角度30°において対象物のプレートと接触させた時の、PID制御系およびPFC制御系による力制御実験の結果を示す。Fig.8より、オーバーシュート量を比較すると、目標値が1Nおよび2Nにおいては、いずれにおいても約0.5Nのオーバーシュートが見られたが、目標値が3Nの時においては、PID制御においては約0.6Nのオーバーシュートが見受けられ、PFC制御についてはその半分以下の約0.25Nであった。次に、整定時間を比較すると、PID制御については、目標値の低い順から、2.5s、2.4s、3.4sであり、またPFC制御においては、0.7s、0.7s、1.3sであり、いずれの目標値においてもPFC制御の方が、PID制御に比べて整定時間が約2秒短い結果となった。特に、目標値3Nにおいては、オーバーシュート量および整定時間ともに、PID制御の方が、顕著に低い制御特性を示す結果となった。

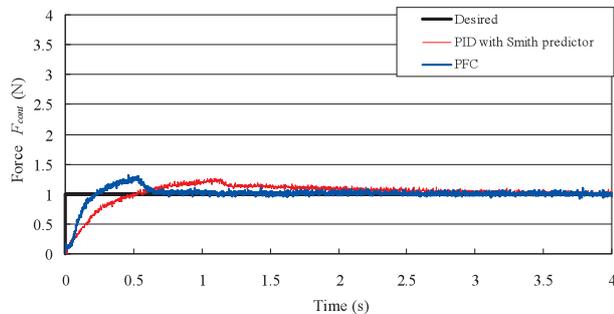
この理由について考察する。Fig.10は目標値3Nにおける、PFC制御およびPID制御の場合のそれぞれの印加圧力と接触力を示した図である。Fig.10においてまずPID制御においては、制御開始からしばらくは、印加圧力がリミッターで制限した下限値の0MPaであり、約0.4Nオーバーシュートした約15秒後から、ようやく印加圧力が上昇し始めて接触力を減少させている。一方PFC制御においては、制御開始後の印加圧力は下限値の0MPaであるものの、接触力が目標値付近となる約0.8秒で印加圧力が上昇し始めている様子が見受けられる。これは、(25)式に示す制約を設けたことによりPID制御においては積分コントローラによるウィンドアップ現象が生じたため、PIDはPFCに比べて過大なオーバーシュートが生じていると考える。また目標値が1Nおよび2Nの場合は、3Nの場合ほどPFCとPIDとでオーバーシュート量に顕著な差は見られないが、これは、目標値が1N、2Nの時は目標値に達するための印加圧力の減少量が比較的小さいため、制約条件の影響を受けにくかったためであると考えられる。

しかしながら一方で、特に目標値3NにおいてPFC制御とPID制御に顕著な差が見られた他の要因として、制約条件に加えて、モデル化誤差の影響も考えられる。すなわち、目標値1Nおよび2Nの場合における印加圧力範囲においては、制御対象のモデル化誤差が大きいと、結果的にPIDとPFCでオーバーシュートに関して顕著な差が見られなくなった可能性が考えられる。そこでこの可能性について考察していく。本研究では制御対象を1次遅れ要素でモ

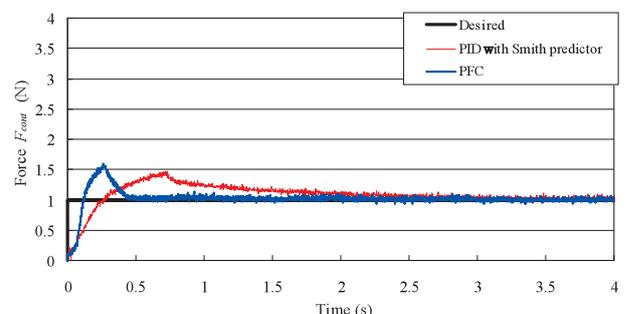
デル化したため、制御パラメータには時定数 T およびゲイン K が存在する。同定実験においては、各印加圧力においてそれぞれのパラメータにバラツキが見られたため、本研究ではそれらの中央値をモデルパラメータとして同定した。同定実験により見られたバラツキは、時定数 T については0.54s~0.60s、ゲイン K については35.0~47.5であった。時定数については同定値が0.57sであるため、バラツキはわずかに $\pm 0.03s$ である。ここで議論しているのは、制御特性に大きな影響を与えた要因についてであるが、同定値0.57sに対するバラツキ $\pm 0.03s$ が、制御特性に大きな影響を及ぼしたとは考えにくい。したがってここではゲイン K についてのみ言及していくことにする。実験により同定したゲイン K は41.3であるが、Fig.6より、実際は印加圧力によってゲイン K に35.0~47.5のバラツキが見られる。ゲイン K が同定パラメータの41.3を示すときの p_0-p 値は、Fig.6より約0.03MPaであることがわかる。また、この0.03MPaより圧力が増加す

るに伴い、ゲイン K は41.3から離れていくことがわかる。すなわち、制御時における p_0-p 値が0.03MPaより離れるほど、制御対象のモデル化誤差が大きくなり制御性能の低下を招きやすくなることになる。本PFC制御実験における印加圧力 p_0-p の範囲は、フィンガがプレートと接触した瞬間を除けば、目標値1N時においては、0.03MPa~0.09MPa、また目標値3N時においては0.06MPa~0.09MPaであった。このことから目標値3Nの時のほうが1Nの時に比べて制御対象のモデル化誤差が大きいはずであり、前述において懸念した、目標値1Nおよび2Nの時において、3Nの時に対してモデル化誤差の影響で制御性能が低下したという可能性は低いと考えられる。

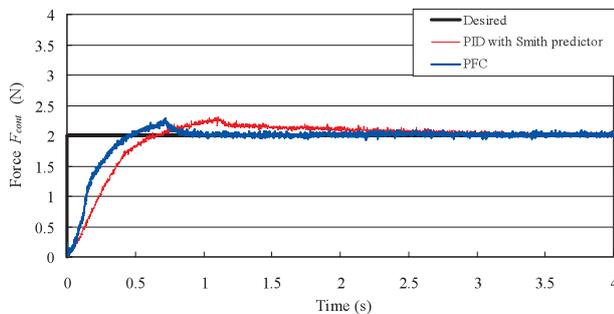
Fig.9より、目標値1Nおよび2NにおいてPFCとPIDでオーバーシュートに関してあまり差は見られないものの、整定時間に関しては差が見受けられ、PID制御の方が、整定時間が1.8s程長いことがわかる。PIDパラメータの調整に



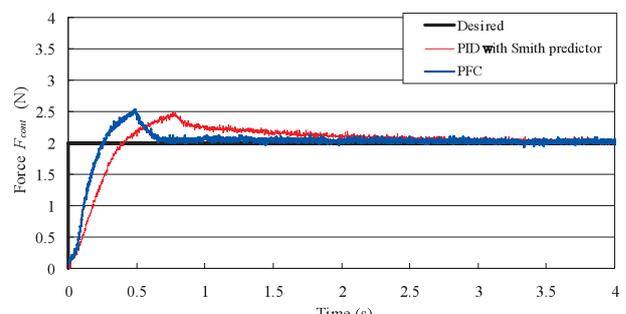
(a) $F_r=1N$



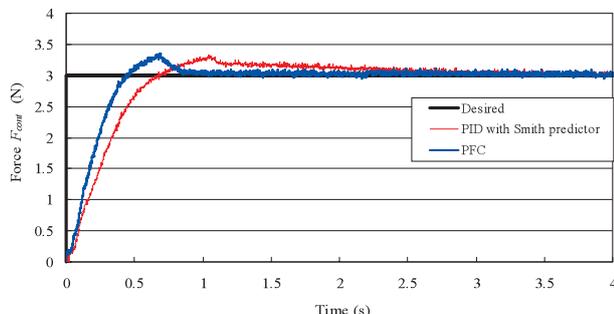
(a) $F_r=1N$



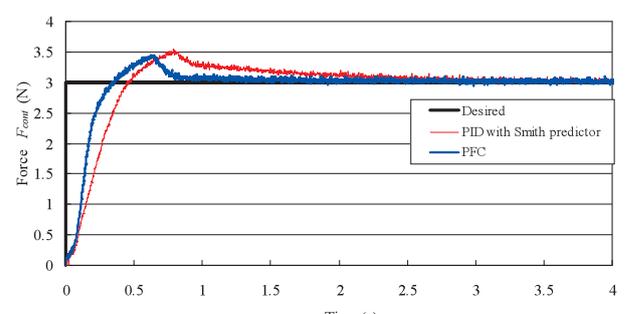
(b) $F_r=2N$



(b) $F_r=2N$



(c) $F_r=3N$



(c) $F_r=3N$

Fig. 11 Experimental result of force control when angle of finger is 60°

Fig. 12 Experimental result of force control when angle of finger is 90°

より、Fig. 8の結果よりもPID制御における整定時間の短縮は可能であったが、このPIDパラメータにおいて目標値3Nの時の制御特性を確認すると不安定な応答となった。つまり制約条件の影響を最も受けやすい目標値3NにおけるPIDパラメータが、制約条件の影響をあまり受けない目標値の時の制御特性にも影響を及ぼす結果となった。

バルーンアクチュエータはシリコンゴムを膨張させて駆動させるため、ゴムの非線形性の影響で膨張量の違いによって力の応答特性が異なり、制御特性に影響を及ぼす恐れがある。そこでフィンガが対象物と接触する時の角度 θ をそれぞれ60°、90°としたときの制御特性を実験により確認した。Fig. 11およびFig. 12に実験結果を示す。オーバーシュート量はいずれの角度においても、30°の場合と同等の結果を示した。整定時間については、PID制御においては1.8s~2.1sであり、またPFC制御においては0.4s~0.8sとなり、角度を変えてもPFC制御の方がPID制御に比べて1s以上、整定時間が短い結果となった。また、対象物と接触する時のフィンガ角度を変化させても制御特性が低下しないことを本実験により確認できた。

5. 結 言

本研究では空気圧バルーン型腱駆動アクチュエータを用いた1リンクフィンガのPFC制御による力制御特性を調べ、PID制御との比較評価を行った。以下に得られた結果をまとめる。

- (1) バルーンアクチュエータを用いた本フィンガシステムは、空気圧の減圧により接触力を高める機構となっているが、空気の供給源はコンプレッサーであるため、入力圧力は0 MPa以上という制約条件が存在する。これの影響を受けて、積分器を有するPID制御系では、立ち上がり時に入力飽和することで積分器に入力が蓄積してしまい、結果、ワインドアップ現象が発生する問題が生じる。本研究では、このような問題に対して、積分器の無かつ制約条件を容易に考慮可能なPFC制御系を適用することで、PID制御系に比べ良好な制御特性が得られることを実験により確認できた。
- (2) 実験においては、PID制御系においては制御量が整定するまで約1.8~3.4sの時間を要していたが、PFC制御系においては整定時間は約0.4s~1.3sとなり、PFC制御系の方が最大で約2.1s素早く収束する結果となった。また、実験条件によっては、PID制御の方がPFC制御に比べて2倍以上のオーバーシュートが見受けられた。
- (3) バルーンアクチュエータはゴムを膨張させて力を発生させるが、フィンガが対象と接触するときのフィンガ角度によってゴムの膨張量が異なるため、ゴムの有する非線形性の影響を受けて制御特性が低下する恐れがあるが、本制御実験において、フィンガの角度を変えても力制御特性の低下が見受けられないことを確認で

きた。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費 若手研究 (B) (課題番号 23760246) の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) Suzuki, K., Mito, G., Kawamoto, H., Hasegawa, Y., Sankai Y.: Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patient with Robot Suit HAL, Climbing and Walking Robots, p. 383-408 (2010)
- 2) http://www.h-e-ico.jp/Products/e_m_g/ph_sh_2.html
- 3) <http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest03/newest03.asp>
- 4) Suzumori, K., Iikura, S., Tanaka, H.: Applying a Flexible Microactuator to Robotic Mechanisms, IEEE Control Systems, Vol. 12, No. 1, p. 21-27 (1992)
- 5) Noritsugu, T., Kubota, M., Yoshimatsu, S.: Development of Pneumatic Rotary Soft Actuator Made of Silicone Rubber, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 13, No. 1, p. 17-22 (2001)
- 6) <http://www.shadow.org.uk/products/newhands.html>
- 7) http://www.festo.com/cms/en-gb_gb/5001.htm
- 8) Saga, N., Nagase, J., Kondo, Y.: Development of a Tendon-Driven System Using a Pneumatic Balloon, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 18, No. 2, p. 139-145 (2006)
- 9) 永瀬純也, 嵯峨宣彦: 空気圧バルーンを用いた腱駆動ロボットハンドの開発, 計測自動制御学会産業論文集, Vol. 9, No. 11, p. 76-83 (2010)
- 10) Van Damme, M., Vanderborght, B., Van Ham, R., Verrelst, B., Daerden, F., Lefeber, D.: Proxy-Based Sliding Mode Control of a Manipulator Actuated by Pleated Pneumatic Artificial Muscles, proc. of 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, p.4355-4360 (2007)
- 11) Tondu, B., Braikia, K., Chettouh, M., Ippolito, S.: Second order sliding mode control for an anthropomorphic robot-arm driven with pneumatic artificial muscles, 2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, p. 47-54 (2009)
- 12) Yaegashi, K., Saga, N., Satoh, T.: Control of robot arm using pneumatic artificial muscle with spherical joint, Proc. of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation, p. 1093-1098 (2005)
- 13) Richalet, J., Abu el Ata-Doss, S., Arber, C., Kuntze, H. B., Jacobasch, A., Schill, W.: Predictive functional control: application to fast and accurate robot, Proc. of IFAC 10th World Congress, p. 251-259 (1987)

-
- 14) Richalet, J. : Industrial applications of model based predictive control, *Automatica*, Vol. 29, No. 5, p. 1251-1274 (1993)
- 15) Satoh, T., Saito, N., Saga, N. : Predictive functional control with disturbance observer for pneumatic artificial muscle actuator, *Proc. of the 1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics* (2010)
- 16) Dieulot, J. Y., Benhammi, T., Colas, F., Barre, P. J. : Composite predictive functional control strategies, Application to positioning axes, *International Journal of Computers, Communications & Control*, Vol. III, No. 1, p. 41-50 (2008)
- 17) Smith, O. J. : A Controller to Overcome Dead Time, *ISA Journal*, Vol. 6, No. 2, p. 28-33 (1959)
- 18) ジャック・リシャレ, 江口 元 : モデル予測制御—PFC (Predictive Functional Control) の原理と応用— (小崎恭寿男 監修), 104, 日本工業出版 (2007)

研究論文

三次元内部流動様式を考慮した油圧シリンダ内部の一次元温度予測法*

富岡 弘毅**, 城田 勇介***, 田中 和博****, 瀧脇 正樹****

Precise and Practical 1D Analysis Method of Temperature in an Oil-hydraulic Cylinder Chamber considering 3D Internal Flow

Kouki TOMIOKA, Yusuke JOTA, Kazuhiro TANAKA, Masaki FUCHIWAKI

It is important to study a precise and practical way to predict temperature rise of oil hydraulic systems. It is interesting whether internal flow patterns have any effect on the temperature change in a cylinder. Nowadays, commercial CFD (Computational Fluid Dynamics) codes give accurate solutions of temperature as well as flow patterns. The authors have calculated the flow pattern in a cylinder using a reliable CFD code and have found that there is characteristic vortex flow with a strong three-dimensional effect on the flow pattern, and the internal flow patterns can be classified into two flow regions, a 3D vortex flow pattern and a 1D parallel flow pattern. So, it becomes possible to predict precisely and practically the temperature change in a cylinder by incorporating the difference of the internal flow patterns with a modeling method based on a lumped parameter system. A new method for prediction of temperature rise in a cylinder is proposed in this study.

Key words : Oil-Hydraulic Cylinder, Temperature Prediction, CFD, Lumped parameter system, Vortex flow pattern

1. 緒 言

小型化、高圧化が進む近年の油圧装置においては、その装置の熱容量や放熱面積が小さくなるために、高負荷状態や長時間の運転状態では各コンポーネントが高温になりやすい。作動油が高温になるとシステムの故障や停止、作動油の劣化等を招く可能性が増大する。そのため設計段階での油圧システムの温度予測は重要である。油圧システムの熱特性を数値計算によって得るためには、各コンポーネントでの熱発生や熱移動を考慮しなくてはならない。近年、様々な研究者により油圧システムの熱発生・熱移動を考慮した温度予測が行われてきた。Johanssonら¹⁾は航空機用油圧アクチュエータシステムのモータからの発熱、油路からの放熱等を考慮したシステム内の温度解析を行った。山本ら²⁾はクレーン車の油圧回路における熱発生や放熱を考慮して温度解析を行っている。また、富岡ら³⁾は油圧配管内の作動油と配管そのものと間の熱移動を考慮に入れた温度

予測に関する新しい考えを提案している。これらの研究は集中定数系のシステムモデルを利用して遂行されている。本研究は、上記の富岡らの研究³⁾に引き続いて行われたものである。

一方、数値流体力学（以下、CFD）に関する汎用解析コードは近年大きく発展してきており、流体解析のみならず熱解析にも大きな力を発揮している。著者らは、信頼できる汎用コード⁴⁾を用いてシリンダ内部の流動解析を行い、三次元的流れの要素が非常に強いことを知った。また、そのシリンダ内の流動様式が三次元的流動様式と一次的流動様式を持つ二つの領域に大別できることもわかった。したがって、これらの流動様式が温度変化に大きな影響を及ぼしていると考えられるが、CFD解析は膨大な時間を必要とする解析手法でありこれを常に利用するのは現実的ではない。

そこで本研究では、その内部流動様式の特徴を考慮に入れたシリンダの温度予測を適切に行える現実的な一次元モデル化手法を提案する。このモデル化手法により、計算コストが大幅に削減できる事が期待される。

2. 主な記号

A	: シリンダ室内面の放熱面積	[m ²]
a	: ポート一辺の長さ	[m]
b	: 側壁からポート中心までの長さ	[m]
c_p	: 定圧比熱	[J/(kgK)]
D	: シリンダ内径	[m]

*平成23年5月31日 原稿受付

**日東電工(株)生産技術開発センター

(所在地 愛知県豊橋市中原町字平山18)

***キャノン(株)周辺機器事業本部

(所在地 静岡県裾野市深良4202)

****九州工業大学大学院情報工学研究院機械情報工学研究系

(所在地 福岡県飯塚市川津680-4)

(E-mail : kazuhiko@mse.kyutech.ac.jp)

E : 内部エネルギー	[J]
H : エンタルピー	[J]
h : 熱伝達率	[W/(m ² K)]
N : ピストンの往復運動周期	[s]
P : 圧力	[Pa]
Q : 体積流量	[m ³ /s]
R_c : 標準ポート径	[m]
\dot{q} : 流入熱量	[W]
T : 温度	[K]
t : 時間	[s]
U : 速度ベクトル	[m/s]
V : シリンダヘッド室体積	[m ³]
v : 速度	[m/s]
W : 外部へ行う仕事率	[W]
x : 遷移位置	[m]
z : 管軸方向距離	[m]
δ : クロネッカーのデルタ	[-]
λ : 熱伝導率	[W/(mK)]
μ : 粘性係数	[Pas]
ν : 動粘性係数	[m ² /s]
ρ : 密度	[kg/m ³]
下付き添字	
c : シリンダ室	
in : 流入時	
p : ピストン	
$1D$: 一次元計算	
$3D$: 三次元計算	

3. 数値解析手法

3.1 油圧シリンダの温度予測一次元モデル

Fig. 1にシリンダヘッド室周りの熱バランスの概略を示す。シリンダ室の温度は、流入・流出する作動油の熱量、作動油の容積変化、及びシリンダハウジングへ放熱される熱のバランスを考慮する事で算出される。熱力学の第一法則より以下の式が成り立つ。

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dH}{dt} + \dot{q} - W \quad (1)$$

流入・流出ポートにおいて作動油の圧力損失が無く、作動油が外部へ仕事をしないと仮定すると、シリンダ室における内部エネルギーの変化率は以下の式で示される。

$$\frac{dE_c}{dt} = c_p \rho Q T_i + h A_c (T_{wall} - T_c) \quad (2)$$

if $Q > 0$ (流入時) $T_i = T_m$

$Q \leq 0$ (流出時) $T_i = T_c$

ここで示すように、 T_i は作動油がシリンダへ流入する場合は流入作動油の温度 T_m 、作動油がシリンダから流出する場合はシリンダ室内の温度 T_c と定義する。

一方、シリンダピストンの動作に伴いシリンダ室の容積

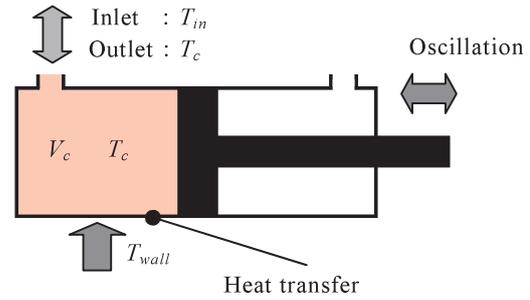


Fig. 1 Heat balance in a cylinder

が時間的に変化するので、シリンダ室内の内部エネルギーの変化率は以下の式で示される。

$$\frac{dE_c}{dt} = c_p \rho \frac{dV_c T_c}{dt} = c_p \rho \left(T_c \frac{dV_c}{dt} + V_c \frac{dT_c}{dt} \right) \quad (3)$$

式(2)、式(3)よりシリンダにおける温度変化は以下の式で示される。

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{c_p \rho V_c} \left\{ c_p \rho Q T_i + h A_c (T_{wall} - T_c) - c_p \rho T_c \frac{dV_c}{dt} \right\} \quad (4)$$

式(4)において、右辺第1項はピストンが移動する事により流入もしくは流出する熱量、第2項はシリンダ内部とハウジングとの間で移動する熱量、第3項はシリンダ要素の体積変化の各々の影響を示したものである。式(4)を数値解析する事によりシリンダ室の温度 T_c を予測する事ができる。

3.2 CFDの支配方程式

本研究では、提案する一次元温度予測手法（以下、一次元モデル）の妥当性の検証をCFDによる三次元熱流動解析（以下、3D-CFD）の結果との比較により行う。3D-CFDは世界的に広く利用されており、信頼されている解析コード⁴⁾は信頼できる結果をもたらすものとする。3D-CFDの支配方程式を式(5)~(7)に示す。式(5)は連続の式、式(6)はNavier-Stokes方程式、式(7)はエネルギー方程式を示す。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = \nabla \cdot \left(-P \delta + \mu (\nabla U + (\nabla U)^T) \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} - \frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U H) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (7)$$

なお、離散化手法は有限体積法を用い、格子形状は六面体の構造格子を用いる。

4. シリンダ温度予測一次元モデルの特性調査

4.1 解析対象および解析条件

式(4)の特性を調査するための例として、Fig. 2に示すシリンダの解析モデルを示す。このモデルは、複動ピストン型シリンダのヘッド側を模擬しており、シリンダ内径が100mm、初期長さが500mm、流入・流出ポートの大きさは10×10mm²の正方形である。境界条件として、ポートにゲージ圧0Paを与え、ピストンを周波数0.1Hz、振幅100mm

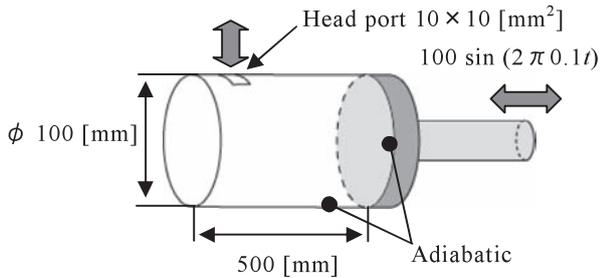


Fig. 2 Test model of cylinder

Table 1 Analysis conditions

Physical Properties	$\rho = 860$ [kg/m ³], $\mu = 0.027$ [Pas] $\lambda = 0.13$ [W/(mK)], $c_p = 1894$ [J/(kgK)]
Turbulence Model	SST (Shear Stress Transport) ⁵⁾
Time Step	1D (Eq. (4)) : 1.0×10^{-5} [s]
	3D-CFD : 1.0×10^{-2} [s]
Boundary Conditions	Inlet : $T_{in} = 40$ [°C], $P = 0.0$ [Pa] Wall : Adiabatic, Non-Slip Wall
Cylinder Motion (sin wave)	Frequency : 0.1 [Hz] Amplitude : 100 [mm]

のsin関数で振動させる。温度の初期条件として室内に20°Cを与え、流入する作動油の温度は40°Cとする。本研究ではシリンダ内におけるエネルギー収支の影響のみを考慮するため、シリンダ面に断熱条件を与える。3D-CFDにおける格子数はNodes数が61000、Element数が57000である。解析条件と作動油の物性値をTable 1に示す。

4.2 温度予測の結果

まず、シリンダ室全体を一要素としてモデル化した一次元モデルと3D-CFDとのシリンダ室内の体積平均温度に関する計算結果の比較をFig. 3に示す。この図において横軸は時間、縦軸はシリンダ内作動油の温度を示す。破線は3D-CFDによる体積平均温度、実線は一次元モデルの結果を示す。この図から、流入時(75~125s)では一次元モデルと3D-CFDでの温度上昇幅は同様であるが、流出時(125~175s)では一次元モデルの温度が一定であるのに対して3D-CFDでの温度が低下している。この場合、一次元モデルでは流入熱量がシリンダ室内全てに瞬時に拡散されるというモデルであるために領域全体で温度が平均化される結果、流出時には温度変化がない。一方、3D-CFDでは流入した高温の作動油が流入・流出ポート付近にとどまり、流出時にその高温の作動油から流出するため体積平均温度が低下する。この違いが一次元モデルと3D-CFDの誤差要因となっている。よって、シリンダの温度予測において、シリンダ室を一要素として式(4)を計算するのみでは予測精度が十分でない事が明らかになった。

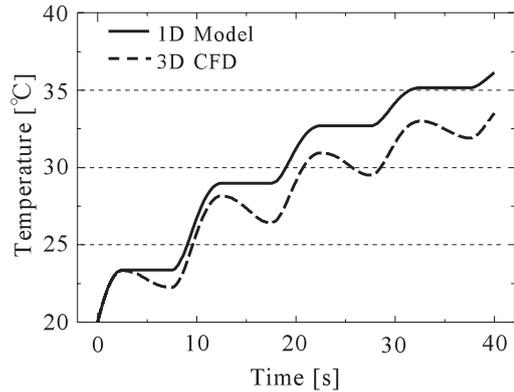


Fig. 3 Temperature change at cylinder

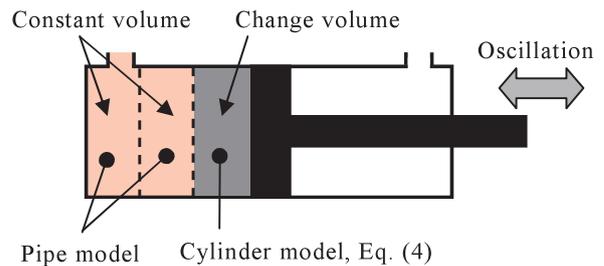


Fig. 4 Cell-dividing model of cylinder (3 cells)

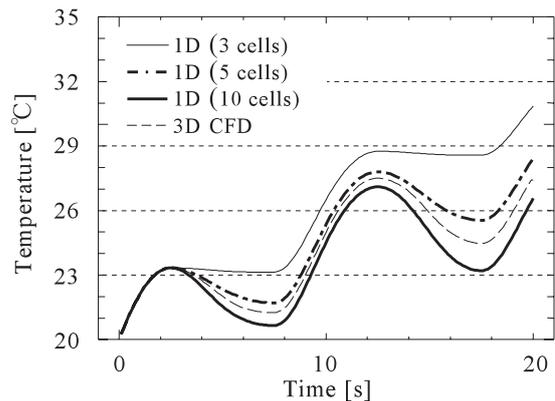


Fig. 5 Comparison between 3D-CFD and 1D-Model Analysis

4.3 解析領域分割数が温度予測精度に及ぼす影響

一般に、集中定数系でシステムをモデル化する際、要素分割数を増やすと高精度の解が求まることが知られている。そこで、本節では一次元モデルの予測精度を向上させるために、解析領域を管軸方向へ複数分割する事により温度分布を予測する計算を、3、5、10分割の3種類について行った。なお、この計算ではFig. 4に示すように、容積が変化する要素は最もピストンに近い要素のみであり、他の要素は一定体積とした。よって、この要素のみ式(4)を用いて計算を行い、その他の要素では式(4)の最終項を除いた式を用い解析を行う。シリンダ室を3、5、10分割した一次元モデルからと3D-CFDから得られたシリンダ体積平均温度を比較した結果をFig. 5に示す。3分割、5分割と分割数が増加するにつれて一次元モデルは3D-CFDの結果に漸近するが、10分割時には逆にその差(以下、誤差)が大きくなる。

次に、分割数と誤差の関係をFig. 6に示す。横軸は解析領

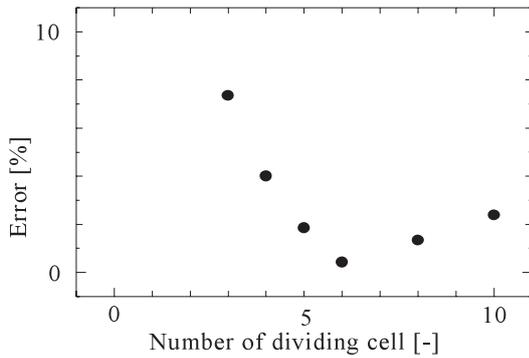


Fig. 6 Prediction error of temperature at cylinder

域分割数, 縦軸は式(8)で定義される体積平均温度の無次元誤差 (2周期平均) を示す.

$$Error = \frac{1}{2N} \int_0^{2N} \frac{|T_{3D} - T_{1D}|}{T_{3D}} dt \quad (8)$$

Fig. 6より, 分割数が6分割までは誤差が減少するが, それ以上では誤差が次第に増加する事がわかる. この原因は一次元モデルの分割方法に問題があると考えられる.

Fig. 7に, ピストンが最大変位-100mmから中立位置 (初期位置, 変位 0 mm, ピストン移動速度が最も速い位置) に移動した場合の, 3D-CFDの結果から得られたシリンダヘッド室内の流線を示す. この図において, シリンダ端部から管軸方向に100mm間隔で目印を設けている. この図から, ポートに近い領域では強い三次元渦流れが生じ, その流れ場が管軸方向へ移動するに従い減衰し一次元平行流に遷移している, すなわち, シリンダ室内の流れ場は渦を伴う三次元流れ場領域と一次元流れ場領域に大別してモデル化できる事が分かる. Fig. 5では, 温度分布が複雑で不均一になる三次元渦流れ場領域を単純分割して一次元でモデル化したために不適切な結果になったと考えられる.

5. シリンダモデルの改良

本研究で提案する新しい一次元モデルにおいては, 計算領域を三次元流れ場領域と一次元流れ場領域に分割し計算を行う. 3D-CFDで得られたシリンダ内部流れ場 (Fig. 7) から, 三次元流れ場領域から一次元流れ場領域に遷移する位置 (以下, 遷移位置) は200mm付近であると判断し, 0 mm ~ 200mmは三次元流れ場領域, 200mm以降は一次元流れ場領域として, 一次元流れ場領域のみ3, 5, 10分割し, それぞれにおいて計算を行った結果をFig. 8に示す. 一次元流れ場領域の分割数が3, 5, 10と増加するにつれ, 一次元解析が3D-CFDの結果に漸近する. よって, 一次元モデルの作成では, 三次元流れ場領域は分割せず一要素でモデル化し, 一次元流れ場領域のみ複数分割する事で温度予測精度が向上する事が明らかになった.

次に, 遷移位置の変化に伴う, 分割数と予測精度の関係をFig. 9に示す. この図において, 横軸は解析領域の分割数, 縦軸は式(8)を用いた誤差[%]を表す. このグラフから遷移

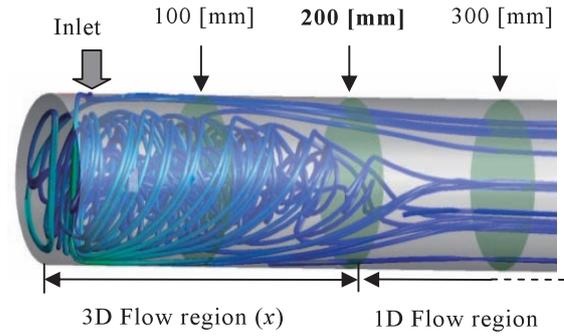


Fig. 7 Streamlines at cylinder chamber

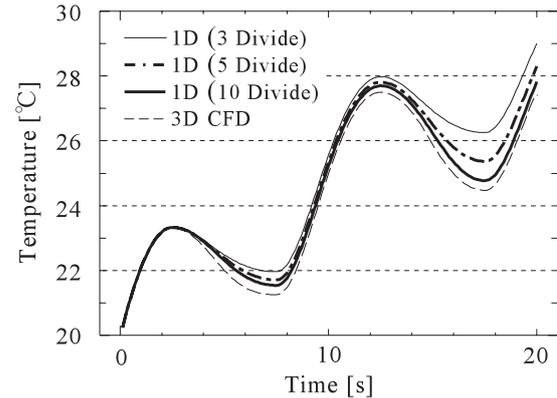


Fig. 8 Temperature change at cylinder

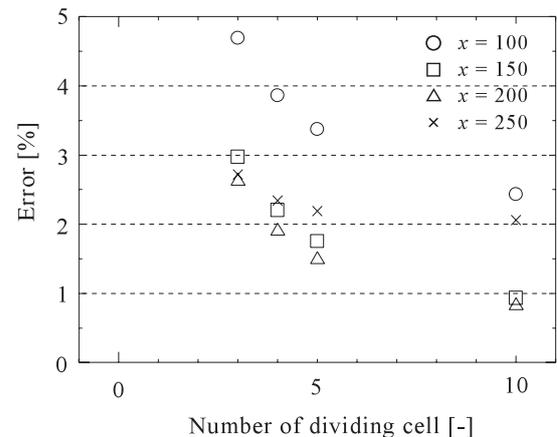


Fig. 9 Error of Temperature at Cylinder

位置xが200mmの時, いずれの分割数の時でも誤差が最小となる. この場合は, これは遷移位置が200mm付近にあるためだと考えられる. 以上より, シリンダモデルを用いて精度良く温度予測を行う場合, 一次元流れ場領域の分割数のみならず, 遷移位置xの決定も重要である事が明らかになった.

6. シリンダ一次元モデルの一般化

一次元モデル作成に必要な遷移位置の値は物性値や形状によって変化する. そのため, 提案した一次元モデルが汎用性を持つためには遷移位置決定法の一般化が不可欠である. そこで, これ以後は円形ポートを基準にして考えていくこととする. 参考のため, Fig. 10に円形ポートの3D-CFD

計算用格子図を示す。計算精度を向上させるため、円形ポートの付近はテトラメッシュを用いている。

本研究では、各パラメータにおける長さの次元に対して、その方向依存性を考慮した方向性次元解析^{6),7)}を適用して遷移位置決定の一般化を行った。遷移位置に影響を及ぼす三次元流れ場領域での渦の大きさはピストン移動速度にも依存すると考えられるので、本研究ではピストン速度は一定とした。Table 2に計算条件を示す。

次に3D-CFDから算出する遷移位置の定義について述べる。円形ポート径=10mmの場合の管軸方向各断面における管軸方向渦度の分布をFig. 11に示す。この図において、横軸は管軸方向位置、縦軸は管軸方向渦度の最大値に対する各位置断面内における管軸方向渦度の割合を示す。この分布図はポート形状に依らずほぼ同様となる。本研究では3D-CFDより算出した管軸方向渦度の最大値から95%減衰する位置を遷移位置と定義し、ピストン移動開始から流れ場が安定する3秒後の値を遷移位置として決定した。

遷移位置に影響するパラメータをFig. 12に示す。本研究では方向性次元解析を適用するため、各パラメータにおける長さの次元を $[L_x]$, $[L_y]$, $[L_z]$ の三軸方向に分離して考える。各パラメータの次元はシリンダ内径 $D [L_z]$ 、ピストン移動速度 $v_p [L_x/s]$ 、ポートでの流入速度 $v_{in} [L_z/s]$ 、ポート径 $a [L_x]$ 、シリンダ端部からポート中心までの長さ $b [L_x]$ とした。また作動油の物性値の影響を考慮するため、作動油の粘性係数 $\mu [kgL_z/L_xL_y]$ 、及び作動油の密度 $\rho [kg/L_xL_yL_z]$ をパラメータとして選択した。これらのパラメータをもとに Buckingham の π 定理をもちいた方向性次元解析を行うと、以下の無次元数の関係式が導出される。

$$F\left(\frac{D}{a}, \frac{\rho D v_p}{\mu}, \frac{\rho D v_{in}}{\mu}, \frac{b}{a}, \frac{x}{a}\right) = 0 \quad (9)$$

式(9)より、遷移位置 x を無次元化した x/a は、 v_p を代表速度としたレイノルズ数と D/a の積 $(D/a) \cdot (\rho D v_p / \mu)$ 、 v_{in} を代表速度としたレイノルズ数 $\rho D v_{in} / \mu$ 、及び b を a で無次元化した b/a の3つの無次元数の関数になる事が分かる。3D-CFDの結果から得られた遷移位置と一致するように各未知定数を決定すると $\rho D v_{in} / \mu \geq 2.3 \times 10^4$ を境に以下の2式が導出される。

(i) $\rho D v_{in} / \mu \geq 2.3 \times 10^4$

$$\frac{x}{a} = 1.44 \left(\frac{D}{a} \cdot \frac{\rho D v_p}{\mu}\right)^{-0.014} \left(\frac{\rho D v_{in}}{\mu}\right)^{0.19} \left(\frac{b}{a}\right)^{0.27} \quad (10)$$

(ii) $\rho D v_{in} / \mu < 2.3 \times 10^4$

$$\frac{x}{a} = 0.015 \left(\frac{D}{a} \cdot \frac{\rho D v_p}{\mu}\right)^{-0.69} \left(\frac{\rho D v_{in}}{\mu}\right)^{0.96} \left(\frac{b}{a}\right)^{0.098} \quad (11)$$

Table 2 Conditions for dimensional analysis

Cylinder diameter	$D=0.07, 0.1, 0.15$ [m]
Piston velocity	$V_p=0.05, 0.1, 0.15$ [m/s]
Kinematic viscosity	$32 \times 10^{-6}, 11.5 \times 10^{-6}$ [m ² /s]

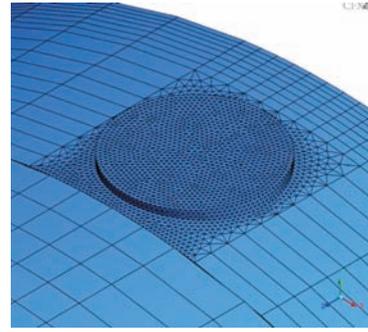


Fig. 10 Grid generation with tetra type mesh around inlet port

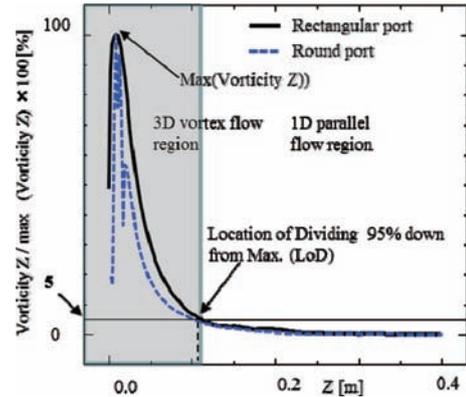


Fig. 11 Location of dividing flow patterns (10x10[mm²] in Rectangular port and =10[mm] in Circular port)

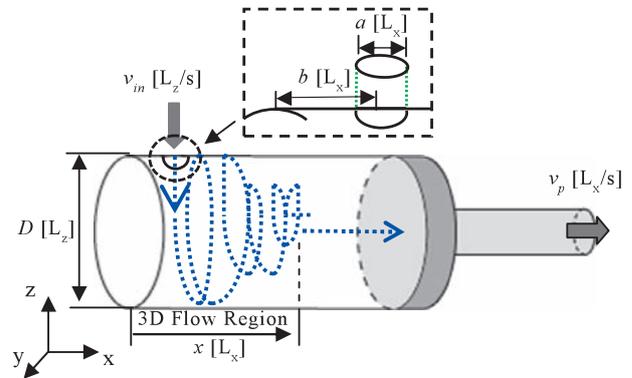


Fig. 12 Parameters of dimensional analysis

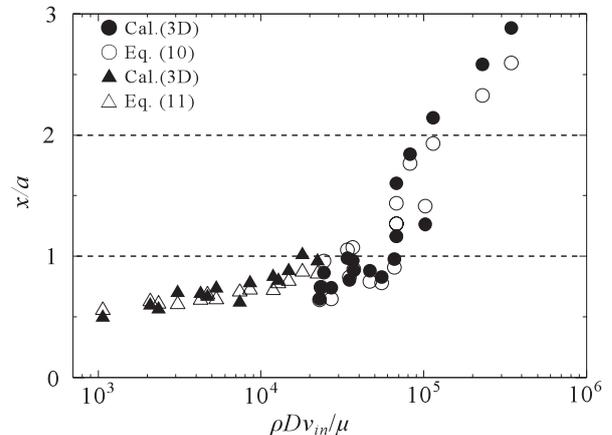


Fig. 13 Non-dimensional directional analysis

x/a のレイノルズ数依存性を確認する。式(10)、式(11)から得られた x/a (上記のレイノルズ数領域(i)(ii))に対して、各々○印と△印で表示)と3D-CFDから得られた x/a (レイノルズ数の各領域(i)(ii))に対して●印と▲印で表示)を比較したグラフをFig. 13に示す。この図において、横軸は v_m を代表速度としたレイノルズ数 $\rho D v_m / \mu$ 、縦軸は遷移位置 x/a を表す。レイノルズ数が 10^5 近傍を境にしてグラフの傾きが異なっている。これはレイノルズ数が 10^5 を超えると三次元渦流れ場がピストン方向に拡張され、渦の形成過程に違いが出てくるためである。この図から、上記の2式で予測された遷移位置の値と3D-CFDより得られた結果との差は最大で約14%であり、両者はよく一致している事が分かる。よって、この予測式を用いれば遷移位置が算出可能である事が明らかになった。

そこで、一般的なシリンダ形状に対する予測式の適用可能性をカタログ⁸⁾を参考に調査した結果をFig. 14に示す。この図において横軸はシリンダ径 D 、縦軸は標準ポート径 R_c を D で無次元化した R_c/D を表す。標準ポート径とはシリンダの型と D から規定されているポート径である。本研究におけるポート径 a の決定の仕方は以下の方法によった。

- (1) 16種の D に対する許容ピストン移動速度 v_p を選出。
- (2) シリンダの型と D から R_c を読み取る ($a=R_c$)。
- (3) 配管での平均流入速度 v_m を計算する。 $v_m > 7.0\text{m/s}$ の場合は出力が低下するため、この場合にはポート径を1規格大きなものに再設定して繰り返し計算する。
- (4) $v_m < 7.0\text{m/s}$ を満足するポート径を最終的に決定。

これにより決定されたシリンダ (26種) の全てについて3D-CFD計算した結果と式(10)、(11)での予測結果との対応をFig. 14は示している。カタログに掲載されているシリンダの型は何種類もあるが、ここではクッション室がない低圧(35MPa程度)駆動の省スペース型油圧シリンダを扱っており、 R_c/D の値を基準として三種類Series A, B, Cに集約して比較した。

この図から、大きめの D の場合は式(10)で、小さめの D の場合は式(11)で遷移位置を表現することが可能である事がわかる。この結果より、調査したシリンダ形状は提案された予測式の適用範囲内にあり、遷移位置の予測が可能であると言える。今回提案した予測式は、少なくともクッション室がない場合については一般的なシリンダ形状に対して適用可能である事が明らかとなった。

最後に計算時間について述べる。一次元計算 (10分割) と3D-CFDの計算時間を比較した結果をTable 3に示す。今回の計算では、実時間で20sを解析するのに3D-CFDでは $1.9 \times 10^5\text{s}$ を要したのに対し一次元計算は10s程度であり計算コストが大幅に削減できている。また、一次元計算と三次元計算の体積平均温度の誤差は一次元計算において式(10)と式(11)を用いて遷移位置を設定した場合約1%程度となり、一次元計算においても高精度の解析が実行可能な事が明らか

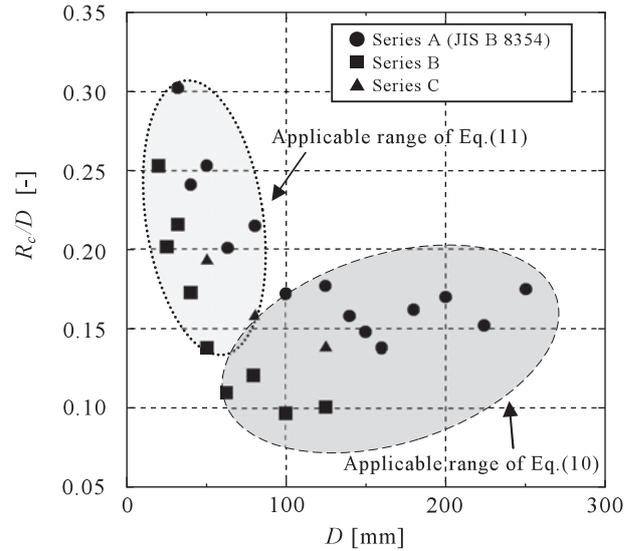


Fig. 14 Area of prediction equation

Table 3 Calculation time and error

CPU Power	Calculation time		Error
Pentium Xeon 3.6 GHz	1D Analysis (10 cells)	10 [s]	1 [%]
	3D-CFD	1.9×10^5 [s]	

になった。

7. 結 言

油圧シリンダにおける集中定数系一次元モデルを用いた温度予測手法の提案を行った。

- (1) シリンダヘッド室全体を一要素とする一次元モデルは温度予測の計算モデルとしては不適切である。
- (2) シリンダ内の温度予測においては、要素分割数を単純に増やしても予測精度は向上しない。高精度の予測には、三次元渦流れ領域と一次元平行流れ領域とを大別して、前者を一要素としてモデル化し、後者を要素分割することが重要となる。
- (3) 方向性次元解析により一次元モデルにおける高精度温度予測手法の一般化を行った。本研究で提案した式(10)、(11)は、シリンダ内での遷移位置の算出を可能とし、これを利用した一次元モデルは少なくとも実用の省スペース型シリンダには適用可能である事が明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) JOHANSSON B, ANDERSON J, KRUS P: Thermal Modeling of an Electro-Hydrostatic Actuation System, Recent Advance in Aerospace Actuation System and Components, June 13-15, Toulouse, France (2001)
- 2) YAMAMOTO K, TANAKA K, NAKANISHI M, TARUMI S: Analysis of Dynamic Behavior of a

- Hydraulic and Pneumatic Suspension Including Temperature Change Effect, Proceedings of 5th Tri. Int. Symp. on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME97), Vol. 1, p. 457-462 (1997)
- 3) 富岡弘毅・田中和博・四元博章・永山勝也：油圧配管における熱発生・熱移動解析と動特性解析との結合，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 36, No. 3, p. 165-170 (2005)
 - 4) ANSYS CFX-Solver, Release 10.0 : Theory, p. 26-27, ANSYS Europe (2005)
 - 5) Menter, F. R. : Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Model for Engineering Applications, AIAA JOURNAL, Vol. 32, No. 8, p. 1598-1605 (1994)
 - 6) 甲藤好郎・小出勉：方向性次元解析と相似解に関する覚書，航空技術研究所資料，Vol. 9, p. 1-12 (1963)
 - 7) 智田喜久二：流体と固体の伝熱が連成する熱伝達について一方向性次元解析の立場からする一般的検討一，日本機械学会論文集 (B), Vol. 40, No. 335, p. 2020-2026 (1974)
 - 8) 太陽鉄工株式会社，油圧機器総合カタログ，Vol. 9 (2005)

〒105
|
0011 東京都港区芝公園三丁目五-1-2 電話(03)3433-8441 FAX(03)3433-8442
編集兼発行人 (株)日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京0001003133690

印刷所 東京都文京区小石川1-3-7
勝美印刷株式会社