

## 日本フルードパワーシステム学会誌

JOURNAL OF THE JAPAN

FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# フルードパワー システム

Jan.2016 Vol.47 No.1

日本フルードパワーシステム学会論文集

TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

特集「農業に貢献するフルードパワー」

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワーシステム

## 目次

### 【挨拶】

|         |             |   |
|---------|-------------|---|
| 年頭のご挨拶  | 築地 徹浩       | 4 |
| 年頭にあたって | 小山 紀, 肥田 一雄 | 5 |

### 特集「農業に貢献するフルードパワー」

#### 【巻頭言】

|                         |       |   |
|-------------------------|-------|---|
| 「農業に貢献するフルードパワー」発行に当たって | 柳田 秀記 | 6 |
|-------------------------|-------|---|

#### 【解説】

|                     |              |    |
|---------------------|--------------|----|
| 農業機械における油圧技術        | 中川 修一        | 7  |
| 空気ジェットを利用した米粒などの選別機 | 加藤 猛美, 土澤 聡明 | 12 |
| ロボットハンドによる農作物の収穫支援  | 伏見 卓也        | 15 |
| マッスルスーツによる農作業支援の検討  | 小林 宏         | 18 |
| 温室内環境の均質化に使用される循環扇  | 畔柳 武司        | 22 |

#### 【ニュース】

|  |       |    |
|--|-------|----|
| The KSFC 2015 Autumn Conference on Drive and Control 参加記 | 伊藤 和寿 | 25 |
|--|-------|----|

#### 【会議報告】

|                                   |       |    |
|-----------------------------------|-------|----|
| 日本機械学会2015年度年次大会におけるフルードパワー技術研究動向 | 桜井 康雄 | 29 |
| FPM2015におけるフルードパワー技術研究動向          | 小林 亘  | 31 |

#### 【トピックス】

|            |       |    |
|------------|-------|----|
| 中国（上海）駐在日記 | 阪本 晴康 | 33 |
| 米国ボストン滞在記  | 吉田 和弘 | 36 |

#### 【研究室紹介】

|                       |            |    |
|-----------------------|------------|----|
| 法政大学高機能メカトロデザイン研究室の紹介 | 田中 豊, 坂間清子 | 39 |
|-----------------------|------------|----|

**【会告】**

---

|  |                |
|--|----------------|
| 共催・協賛行事のお知らせ                             | 21             |
| 平成27年度 ウィンターセミナーのお知らせ「フルードパワー技術を支える要素技術」 | 28             |
| 平成28年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー             |                |
| 「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」のお知らせ      | 28             |
| 第10回JFPS国際シンポジウムのお知らせ                    | 44             |
| その他                                      | 42, 43, 45, 46 |

■表紙デザイン：山本 博勝 (株)豊島

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL : 03-3433-8441 FAX : 03-3433-8442

E-Mail : info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

**[Greeting Message]**

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

**Special Issue "Fluid Power Contributing to Agriculture"****[Preface]**

|  |               |   |
|--|---------------|---|
| On the Special Issue "Fluid Power Contributing to Agriculture" | Hideki YANADA | 6 |
|--|---------------|---|

**[Review]**

|   |                                 |    |
|---|---------------------------------|----|
| Hydraulic Technology in Agricultural Machinery                  | Shuichi NAKAGAWA                | 7  |
| Rice Sorters by using an Air Jet                                | Takemi KATO, Toshiaki TUCHIZAWA | 12 |
| Harvest Support for Crop Via Robot Hand                         | Takuya FUSHIMI                  | 15 |
| Study on Assist for Farm Work by Muscle Suit                    | Hiroshi KOBAYASHI               | 18 |
| Air Circulator for Creating Uniform Microclimate in Greenhouses | Takeshi KUROYANAGI              | 22 |

**[News]**

|  |              |    |
|--|--------------|----|
| Report on The KSFC 2015 Autumn Conference on Drive and Control | Kazuhisa ITO | 25 |
|--|--------------|----|

**[Conference Report]**

|  |                  |    |
|--|------------------|----|
| Researches on Fluid Power on the Annual Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers in 2015 | Yasuo SAKURAI    | 29 |
| Research Trend of Fluid Power in FPM2015   | Wataru KOBAYASHI | 31 |

**[Topics]**

|   |                   |    |
|---|-------------------|----|
| Representative Diary in Shanghai, China | Haruyasu SAKAMOTO | 33 |
| Overseas Research in Boston, USA        | Kazuhiro YOSHIDA  | 36 |

**[Laboratory Tour]**

|  |                              |    |
|--|------------------------------|----|
| Mechatronics System Design Laboratory, Hosei Univeristy<br>日本機械学会2015年度年次大会におけるフルードパワー技術研究動向 | Yutaka TANAKA, Sayako SAKAMA | 39 |
|--|------------------------------|----|

**[JFPS News]**

21, 28, 42, 43, 44, 45, 46

## 挨拶

## 年頭のご挨拶

## 著者紹介



つき じ てつ ひろ  
**築 地 徹 浩**

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

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

新年あけましておめでとうございます。年頭にあたり、ご挨拶を申し上げます。

日本フルードパワーシステム学会は、平成24年度に一般社団法人へ移行して3年半が経過し、一般社団法人としての学会運営も順調に行われています。また、私は会長を仰せつかってから約1年半が経過いたしました。その間、学会が会員の皆様にとってより魅力的なものであるようにとの思いからさまざまな施策に取り組んでまいりました。特に産学連携の強化、国際的な学術基盤の強化、財政基盤の強化等に力を入れてまいりました。新年にあたり、それぞれの現状と抱負を述べさせていただきます。

先ず産学連携については、これまで、工業会との連携を積極的に深めて来ました。この培われてきた絆を一層深めると同時に、“フルードパワー研究者リスト”および“出前講座”やセミナーなどのより一層の充実を推進してまいります。また、昨年度から始まった研究委員会『国内外のフルードパワーシステム研究開発動向調査委員会』は、国内外の研究開発動向を調査し、国内で注力すべき研究開発テーマを探究することを目的にしており、産学連携に貢献していくものだと確信しています。

次に国際的な学術基盤についてです。学術基盤は、学会としての存在意義を示すために必要不可欠です。

特に、昨今の社会的グローバル化にともない国際的な学術基盤が重要となっています。学会では、春と秋の国内講演会および3年に一度の国際シンポジウムを主催しています。春の講演会は総会とともに東京で開催されますが、秋の講演会は東京以外で開催されます。

一方、論文投稿につきましては、2013年1月から電子投稿に移りましたが、論文数の減少には頭を悩ましているところです。フルードパワーシステム学会論文集および英文論文集であるJFPS International Journal of Fluid Power SystemをJ-STAGEで公開する等、さまざまな論文数増加のための試みを始めています。今後、論文投稿数を増やすには、学術基盤の一つである講演会および論文集の規模や質を高めていく必要があると思っています。ちなみに、一昨年松江市で開催された国際シンポジウムでの優秀論文がJFPS International Journal of Fluid Power Systemに掲載されておりますのでぜひご覧ください。

また、昨年に引き続き、グローバル化の強力なツールである、学会の英文HPを充実させていきたいと考えています。

財政基盤の強化は、会員数の増加につきませんが、一進一退の傾向が続いています。今後とも、会員皆さんのより一層の協力をお願いします。

以上述べてきましたように、今後も引き続き、本学会での3つの方針すなわち財政基盤・産学連携・国際的な学術基盤のそれぞれの強化を進めてまいります。

最後になりましたが、フルードパワー技術の発展を目指し、微力ながら最大限の努力をしております。本年も会員の皆様のご理解とご協力を賜りますようよろしくお願い申し上げます。

(原稿受付：2015年10月1日)

## 挨拶

## 年頭にあたって

## 著者紹介



お やま おさむ  
小 山 紀

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

明治大学理工学部専任教授、(一社)日本フルードパワーシステム学会副会長、(一社)日本機械学会、(公社)計測自動制御学会、(公社)日本設計工学会などの会員、工学博士。



ひ だ かず お  
肥 田 一 雄

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

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

## 1. はじめに

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

昨年度の新年のあいさつでは多発した自然災害に触れました。今年も大規模な水害が発生しました。洪水で溢れた水がポンプで汲み出されるシーンが報道されるたび、フルードパワー機器が人の生活復旧支援に必須である事実を再度確認されました。

## 2. この2年間の取り組み

築地会長のもと、以下について取り組んでいます。すでに成果が表れたものもあります。

## 2.1 学会基盤の強化

学会の財政基盤の確立には会員数の増強がもっとも重要です。活動を活性化し、新たな分野からの会員獲得を図る必要があります。しかし一方で、団塊世代の退職による急激な退会者増加が危惧される状況であることも事実です。永続して会員であるメ

リットの実質化・明確化を急務としています。

## 2.2 連携強化

中国とイベントを通じた招聘、派遣事業を定常的に実施しています。本年度韓国でおこなわれた建設機械関連の講演会には、築地会長から命を受け、国際委員会が会員に対し積極的に参加を募りました。

最近、アジアのある国から本学会に連携依頼がありました。これから発展しようとする国では、フルードパワー技術は非常に注目されている対象であることを知りました。工業会とも連携の上、これらの国に対しても連携を強化して行きたいと考えております。

## 2.3 運営の迅速化

会員からの要望や提案に対し直ちに対応できるよう心がけています。築地会長の強い指導力のもと、学会内組織の垣根をこえた迅速な意思疎通が図られています。以下の新たな研究委員会が迅速に立ち上がったのもその成果といえます。

## 2.4 開かれた学会に

賛助会員への新たな形態のサービスを始めています。賛助会員企業が関心を持つ事項を学会が積極的に受け入れます。そのひとつとして外国におけるフルードパワー研究に関する調査がありました。理事会で迅速な審議が行われ、今年度4月に研究委員会「国内外のフルードパワーシステム研究開発動向調査委員会」として発足させました。今後とも賛助会員にとって価値のある企画、イベントなどを検討してまいります。

## 3. おわりに

学会運営には、なによりも会員の皆様のご理解・ご協力が必要です。どうかよろしくご協力をお願いします。

(原稿受付：2015年9月25日)

## 「農業に貢献するフルードパワー」発行に当たって

### 著者紹介



やなだ ひで き  
柳 田 秀 記

豊橋技術科学大学  
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1  
E-mail: yanada@me.tut.ac.jp

1982年豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学教務職員、1992年同助教授、2012年同教授、現在に至る。電気力を利用した絶縁性液体の浄化と流動、摩擦のモデリング等の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。工学博士。

日本における農業従事者数は年々減少し、平均年齢は上昇している。平成22年度時点の調査によると従事者数は約205万人、平均年齢66.1歳、年齢構成のピークは70歳以上の層にある<sup>1)</sup>。日本の人口構成における若年層の減少に伴い、日本人の平均年齢も上昇しているが、農業従事者の平均年齢は日本人の平均年齢を20歳上回っている。改めてこのような統計情報を見ると、日本の農業の将来が心配である。

人力や畜力に頼っていた時代の重労働から農作業者を解放し、また、農作物の生産性を高めるために農業機械が開発されてきた。その源流は明治時代に遡れるそうであるが、広く普及するようになったのは、終戦後の高度成長期のようなものである。トラクタ、コンバイン、田植機に代表される農業機械の走行駆動系や作業系には油圧システムが使われており、高度な油圧制御や車速制御などが導入され、作業時間の大幅な短縮などに貢献している。また、CO<sub>2</sub>排出削減が求められる中、農業機械も効率を高めるなどの改善が行われている<sup>1)</sup>。

筆者の大学の周辺には多くのビニールハウスがある。内部の温度や湿度などの調整は作物の効率的な生育やコストに大きく影響するはずである。太陽光を浴びるハウス内の空調は容易ではないと推測されるが、数値流体力学(CFD)などを利用することでハウス栽培における生産性の向上が試みられている。

稲や麦のように規則正しく生育している作物の収穫とは異なり、りんご、みかん、イチゴなどの収穫は機械化が容易ではない。この収穫作業も作業者の負担になっているが、この収穫作業にも種々の技術

開発が試みられている。人の目と手に勝るのはなかなか容易ではないようであるが、カメラを用いて生育状況を識別し、作物を一つ一つ自動で収穫するシステムが考案されている。収穫作業を行うアクチュエータに空気圧が利用されている。

今日のように農業従事者の高齢化が進行している時代にあっては特に、農業の機械化・ロボット化に加えて、農作業者の筋力を補助する装具の開発が重要である。当学会においても、主として空気圧を使用した動作補助具の研究結果が多く発表されている。従来は主に福祉・介護という視点から取り組まれていたように思うが、筋力補助具を農作業などに応用する取り組みがなされている。

収穫後の工程として、収穫した作物の中から不良なものを除外する作業が必要になる。特に米粒などの細かい物の中から同程度の大きさのごみなどを除外する作業は難しそうに思えるが、空気ジェットを利用して除去を可能にする技術が開発されている。

以上のように、農業にはフルードパワー技術や流体解析技術が利用され、農作業の効率化、生産性の向上、作業者の負担軽減に貢献している。本特集ではこれらの話題に関する最新の情報を紹介している。中川修一氏には農業機械の油圧技術と騒音問題について、畔柳武司氏には循環扇による温室内環境の均質化についてご解説頂いた。そして、収穫用空気圧アクチュエータについて伏見卓也氏に、空気圧を利用した筋力補助具について小林宏氏に、また、空気ジェットによる米粒などの選別技術について加藤猛美氏・土澤聡明氏にご解説いただいた。

ご多忙の中、ご執筆をお引き受けいただき、興味深い記事をお書き頂いた執筆者の皆様には厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 農林水産省、農業機械をめぐる現状と対策、(2013)  
[http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/kikai/16/pdf/data2\\_2.pdf#search='%E8%BE%B2%E6%A5%AD%E6%A9%9F%E6%A2%B0+%E8%BE%B2%E6%9E%97%E6%B0%B4%E7%94%A3%E7%9C%81](http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/kikai/16/pdf/data2_2.pdf#search='%E8%BE%B2%E6%A5%AD%E6%A9%9F%E6%A2%B0+%E8%BE%B2%E6%9E%97%E6%B0%B4%E7%94%A3%E7%9C%81)

(原稿受付：2015年11月13日)

## 解説

## 農業機械における油圧技術

## 著者紹介



なか がわ しゅう いち  
中川修一

ヤンマー株式会社 中央研究所 研究センター  
〒521-8511 滋賀県米原市梅ヶ原2481番地  
E-mail: shuichi\_nakagawa@yanmar.com

1997年九州大学農学部農業工学科卒業、ヤンマー(株)入社、中央研究所に配属、2007年米国Rice University客員研究員を経て2015年現在、同社主幹研究員。流体、音響、伝熱工学の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、自動車技術会の会員。

## 1. はじめに

我が国の農業生産額、農業所得、農業就業人口は、いずれも低調に推移している<sup>1)</sup>。食料自給率においても、供給熱量ベース、生産額ベースともに、ここ10年横這いである<sup>2)</sup>。自給率の最適値には議論の余地があるが、国内農業が活性化しているとは言い難い。経済学の同時方程式モデルを用いた統計的アプローチによって、都道府県別の食料自給率に関する説明変数が報告されている<sup>3)</sup>。その文献の中では、食料自給率に寄与が高い説明変数はトラクターの普及台数であり、農家や農業法人への融資や助成が効果的と述べられている。このように農業機械が、国内農業の活性化の一助となり得ることが示唆されている。海外では、欧米の大規模営農、アジア諸国における旺盛な農作業の機械化、賃耕、賃刈り業者の存在など、国内とは状況が異なる。しかしながら、効率的な食料生産の実現という農業機械の役割は何ら変わらない。したがって、油圧によって作業を行う農業機械が、国内外の状況に貢献していくには、油圧技術の高度化に負うところが大きい。

農業機械の騒音レベルは、同等出力の乗用車や建設機械と比較して高い傾向にある。日本産業衛生学会では、聴力保護の立場から暴露時間に対するA特性音圧レベルの許容値を勧告している<sup>4)</sup>。1日あたり8時間暴露の場合は85dB以下、24時間暴露の場合は80dB以下が許容値である。図1は、生物系特定産業技術研究支援センターが型式検査成績表として公開している2006年から2010年のトラクター運

転者耳元位置の騒音レベルである<sup>5)</sup>。キャビンを有する機種(Cabin)は70dBから85dB程度であるが、運転者にとって快適と言えるレベルにはない。また、キャビンを持たない機種(Rops)では、短時間で聴覚障害が生じ得る90dB前後である。他の音源とともに油圧システムに起因する騒音が寄与しており、低騒音化が急務である。

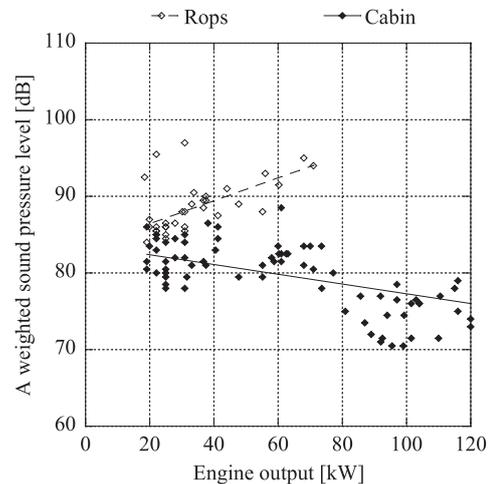


図1 トラクターの運転者耳元位置騒音 (けん引走行7.5km/h)

また、近年では、機械騒音の音質が重要視されている<sup>6)</sup>。不快な音や気になる音は、人にストレスや疲労を与えるが、危険をともなう農作業において、運転者のストレス低減は安全性にかかわる。

本稿では、農業機械とその役割を支える油圧技術を紹介し、その代償として生じる騒音問題について述べる。なお、農業機械は多種多様で、乗用車などと比較して一般論が成立しにくい。したがって、限定的な内容となることをご容赦いただきたい。

## 2. 農業機械の紹介

農業機械の代表格はトラクターと言える。担う農作業の汎用性から他の農業機械と比較して普及台数が多い。主な機能として、(i)けん引、(ii)作業機への回転動力の伝達、(iii)作業機への油圧動力の伝達がある。ここで作業機とは、トラクター本体に取り付け

られ、土壌などの作業対象に対して仕事を行う機械である。

(i)けん引をともなう作業の代表例は、図2に示すプラウと呼ばれる犁による耕起であり、機械化前は家畜によるけん引が行われていた。重負荷作業となることが多く、エンジンには低速トルク、トランスミッション（TM）には伝達効率が要求される。



図2 トラクターによるプラウ作業

(ii)回転動力を必要とする作業機としては、図3に示すロータリが良く知られている。回転軸に設けられた耕うん爪による碎土、整地作業を担う。エンジンからPTO（Power Take-Off）と呼ばれる出力軸への動力伝達は歯車機構によるが、ロータリの昇降および水平制御は油圧システムが担う。



図3 トラクターによるロータリ作業

(iii)油圧動力を必要とする作業機としては、図4に示すローダがある。バケットを油圧アクチュエータで動かし、建設機械のホイールローダのような作業が可能となる。

そのほか、車両としての基本機能（走る、曲がる、



図4 トラクターによるローダ作業

止まる）には、TMに加え、パワーステアリングやブレーキに油圧システムが装備されている。

トラクターによる土壌整備の次工程に、苗の植付け作業がある。稲作では田植機、畑作では野菜移植機などが用いられる。土壌と作物のインターフェースとなるこれらの機械は、作物に応じた複雑な機構を有し、ロボットの色合いが強い。植付け部の昇降に油圧システムが用いられるほか、トラクターと同様に、車両の基本機能に油圧システムが利用されている。

育成した作物を収穫する機械には、コンバインや野菜収穫機がある。ここでコンバインとは、図5に示す作物の刈り取り機能、脱穀機能、選別機能の複合機であり、機械化前は鎌、千歯扱き、唐箕が用いられていた。刈り取り部の昇降に油圧システムが使われており、作物の刈高さを一定に保つために制御系が構築されている。車両本体には水平制御装置が装備され、姿勢制御がなされている。国内では走行部に履帯が用いられることが多く、直進用の静油圧式



図5 コンバインによる収穫作業

TM (HST) と旋回用のHSTが装備されている。また、高度なリンク機構と組み合わせて、乗用車のようなステアリングホイールによる操舵システムを装備するHSTシステムもある<sup>7)</sup>。

### 3. 車両機能に関する油圧技術

基本的な機能として、高いけん引力と農作業に応じた最適な車速が求められる。したがってTMには、伝達効率、最適な車速を実現し得る変速比、操作性が求められる。

歴史的に古い種類として、クラッチ操作による動力のオンオフを必要とする歯車伝達機構がある。伝達効率が高い反面、変速時のクラッチ操作が面倒である。また、有段変速比のために、農作業にふさわしい車両速度と必要動力が得られるエンジン回転速度とのマッチングが限定的となり、作業性の低下やエンジンを含めたパワートレインとしての省エネ性が最適となりにくい。

ついで、1980年代頃に歯車の同期機構を有した歯車伝達機構が登場した。滑らかな変速が可能となり、作業性が向上した。その後すぐに、歯車への動力伝達機構に油圧クラッチを設けた種類が現れ、変速時に動力のオンオフ用クラッチを操作する必要がなくなった。なお、有段変速比の課題は残っているが、多段化による改善が進んでおり、今なお現役の技術である。さらに近年では、Volkswagen社が量産乗用車用として世界に初登場させたデュアルクラッチトランスミッションの類が農業機械にも搭載された。

一方、農業機械における油圧式TMは、1970年代以前から研究されていたが<sup>8)</sup>、HSTおよびHSTと遊星歯車を組み合わせた油圧機械式TM (HMT) が2000年前後から順次量産化された。無段変速化されたことにより、作業性と操作性が向上した。ただし、HSTとしての全効率が70%程度<sup>7)</sup>であるため、伝達効率がやや犠牲となった。新しいHMTとして、図6に示すような遊星歯車を用いず、入出力軸が同軸上にあるHMTがここ10年で現れた。バルブプレートが無く、高低圧をスプールによって切り替えられるため、バルブプレートとプランジャブロック間の摺動抵抗や漏れがないこと、全体が作動油に浸かっておらず、攪拌抵抗がないこと、遊星歯車がないことなどから、一般的なHMTと比較して伝達効率が向上した。

トラクターにおいては今なお、歯車式TMを装備する機種と油圧式TMを装備する機種が両方存在することから、それらの一長一短はどちらも捨てがたいことが示唆されている。

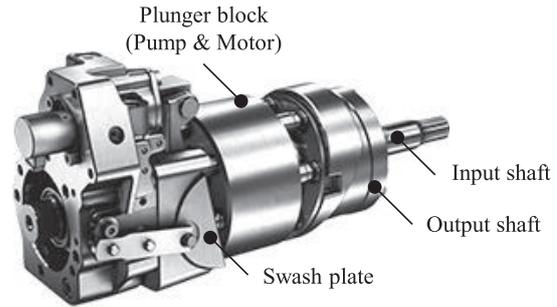


図6 新しい構造のHMT

コンバインにおいては、収穫作業時に前後進の繰り返しが多用されるため、斜板の角度調整で前後進が得られるHSTがTMとして主流となっている。

海外での普及台数が多い農業機械にローンモアがある。芝および雑草の刈取りや集草という作業の特徴から、旋回性が要求されるが、HSTを搭載することによって半径ゼロの旋回を可能にしている。

### 4. 作業機能に関する油圧技術

農業機械は、自走のみの運転モードと農作業をともなう運転モードがあるため、作業機の昇降が必要である。TMとは別の油圧ポンプを搭載し、アクチュエータによって作業機を昇降する。また、制御系と連動し、農作業に応じた高さ調整がなされる。作業に水平性が要求される場合には、図7のように油圧アクチュエータによる水平制御が行われる。

昇降と水平制御に一つの油圧ポンプ用いる場合は、分流弁が用いられる。油圧ポンプの流量は、エンジン回転速度と連動するが、応答性が必要な水平制御用アクチュエータには一定流量が求められるため、優先的に定流量が供給される。一方、昇降用アクチュエータには余剰流が供給されるよう設計される。



図7 作業機の水平制御

アクチュエータの作動は、方向制御弁で行われるが、オンオフ電磁弁や電磁比例弁が用いられる<sup>9)</sup>。さらに、タンデム型の油圧ポンプを採用して、昇降/水平制御の油圧回路とパワーステアリングの油圧回路に対してワンポンプシステムとする機種もある。システムが簡素化される一方で、パワーステアリングはエンジン低速時においても操舵に必要な流量を確保するよう設計されているため、エンジン高速時には作動油が過剰供給となり、エネルギー損失となる。このように用途が異なる複数のアクチュエータに対して、作動油の供給を一つの油圧源で賄う場合、すなわち弁制御方式の場合には、エネルギー損失が生じがちであり、さらなる工夫が求められている。

## 5. 農業機械に使用される作動油

農業機械のリリーフ圧設定としては20MPa前後が多い<sup>10)</sup>。また、国内向けトラクターについては、四季を問わず稼働するため、ある程度広い温度範囲で使用されることが想定されている。これらの点では、農業機械の作動油は建設機械と似た使用環境にあるが、TMの潤滑油として兼用されることがある<sup>11)</sup>。したがって一般的な作動油と比較して、ギヤ油としての機能を加えられたものがある。ISO粘度グレードはVG46前後、粘度指数は150前後の作動油が多く、粘度指数が200を超えるものもある。

## 6. 農業機械での油圧技術と騒音

図8に、エンジン出力30kWクラスのキャビン搭載トラクターにおける運転者耳元騒音に対する各音源の寄与率を示す。音圧計測時の条件は、エンジン定格回転速度、走行速度ゼロ、油圧機器は操作なしであり、この機種はTMにHMTを装備している。同図より油圧系からの寄与が最大で、吸排気音を含むエンジン系の寄与よりも高い。この機種は、静粛性の面で先進的な部類であり、キャビンおよびディーゼルエンジンが防振支持され、従来寄与が高かった

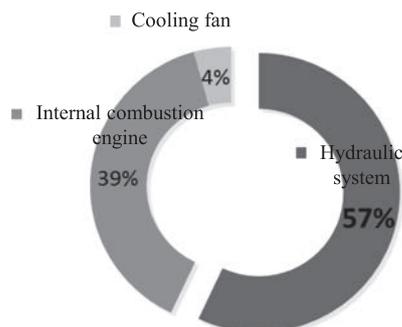


図8 トラクターの運転者耳元騒音における音源の寄与率

エンジン系の騒音が抑制されている。今後、原動機の一部もしくは全部に電気モーターが使われることになると、原動機の騒音がさらに低下し、油圧系の騒音が相対的に高くなることが予想できる。

HSTをはじめとする油圧式TMの低騒音化については、バルブプレートにノッチを設け、プランジャに予圧縮を加える方法など<sup>12)</sup>、一般的な油圧機器で行われる対策が施されている。ただ、依然として歯車機構のTMと比較すると騒音レベルは高く、さらなる改善が期待されている。

作業機用やパワーステアリング用の油圧システムでは、サイドブランチ<sup>13)</sup>やヘルムホルツ共鳴器<sup>14)</sup>による圧力脈動の減衰方法が良く知られているが、油圧ポンプの回転速度が可変となる農業機械では、数百Hzにわたる広帯域の脈動に対して効果的かつ安価な対策が求められている。

また、低騒音化の観点から油圧回路を設計するには、圧力脈動の計算が必要である。計算に必要な油圧ポンプの流量脈動と内部インピーダンスについては、油圧ポンプの固有特性であり、これら特性の計測方法がISO10767に規定されている。また、農業機械メーカーが低脈動の油圧ポンプを選定するにあたって、このポンプ固有特性の評価は便利である。各油圧ポンプの固有特性をISOに準拠して計測するのは面倒であるため、効率などと同様に、油圧ポンプの製造元より入手できる仕組みが求められている。

図8に示す機種ではファン騒音が抑制されているが、農業機械は、乗用車と比較して作業時、すなわち重負荷時の走行速度が低く、エンジンルーム内の冷却をファンによる送風に依存している。また、多くは、作動油を冷却するために空冷のオイルクーラを装備しており、冷却風量を確保するためにファンが増速され、騒音が増大している。この風量確保と低騒音化の二律背反問題については、大きく二つのアプローチがある。

一つ目は、音源の対策である。乗用車の冷却ファンを対象に、ファン周りの流れ場を制御し、低騒音化を行った研究<sup>15)</sup>や、ローンモアのブレードを対象に、数値流体解析による音源の可視化と低騒音化を行った研究<sup>16)</sup>などが、農業機械のファン騒音低減化に応用されている。

二つ目は、エンジンルームの遮蔽である。冷却風量を確保しつつ、音源を内包するエンジンルームを遮蔽するために、内部の流れ場が工夫されている<sup>17)</sup>。近年では数値流体解析による設計検討が行われているが、逆解析の手法を応用し、冷却風量を目的関数として、エンジンルームの開口率に関する設計感度を得る方法が提案されている<sup>18)</sup>。

今後はこれらに加えて、作動油の発熱量を抑えるアプローチが必要と考えられる。発熱量の抑制にともなうオイルクーラの低容量化は、ファン騒音の低減が期待できるが、このアプローチは省エネルギー化と軌を一にしており工学的に価値が高い。

物理音響としての側面のほかに、運転者の疲労防止を目的とした心理音響の取り組みが必要とされる。シャープネスを用いた甲高い音の評価や、ラフネスを用いた変動感の評価などに加え、油圧機器の動作時と非動作時における音圧差などが評価され、運転者のストレス低減に向けた取り組みがなされている。将来的に原動機が電動化した場合には、物理音響として油圧系の寄与が高くなるうえに、心理音響面での課題発生が予想される<sup>19)</sup>。

## 7. おわりに

食料生産を支える農業機械は、人の営みにおける基幹的な機械と言える。国内農業の発展や世界的な食糧問題に対してさらなる一助となることが期待されており、それを支える油圧システムの高度化が今いっそう求められている。本稿では、多種多様という言葉がふさわしい農業機械について、大同小異と割り切って油圧技術およびその周辺技術としての騒音問題を紹介した。80点を得る努力とそこから100点に到達する努力が異なるように、成熟産業と言える農業機械およびそれを支える油圧技術の高度化は、高い難易度の克服が求められており、大同小異の小異に目を向けた取り組みが必要と考える。したがって、工学的に汎用性が高い研究はもとより、対象とする機械特有の限定的条件下での研究についても、油圧技術および騒音抑制技術などの周辺技術の研究成果が期待されている。

最後に、農業機械について情報提供いただいたヤンマー株式会社、アグリ事業本部、開発部の各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 今野聡, 農業機械を取り巻く情勢, 農業機械学会誌, Vol. 74, No. 6, pp. 386-393 (2012)
- 2) 平成26年度食料需給表, 農林水産省大臣官房食料安全保障課, (2015)
- 3) 山口三十四, 中川雅嗣, 衣笠智子, 日本の都道府県別食料自給率の決定と農業生産構造, 農林業問題研究, Vol. 46, No. 3, pp. 313-324 (2010)

- 4) 日本産業衛生学会, 許容濃度等の勧告 (2014年度), 産業衛生学雑誌, Vol. 56, pp. 162-188 (2014)
- 5) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, 生物系特定産業技術研究支援センター型式検査成績表, <http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/test/tstkmn/index.html>
- 6) 中島一, 極低騒音型油圧シヨベルの開発と商品化, 平成22年度中国地方建設技術開発交流会資料, (2010)
- 7) 日高茂實, 強制デフ式操舵システムの開発 (第3報) -実機に合わせた操作技術の追求-, 農業機械学会誌, Vol. 68, No. 1, pp. 128-135 (2006)
- 8) 伊藤義典, 猿丸敏之, 車両用油圧駆動装置の特性解析, 日本機械学会論文集 (第2部), Vol. 42, No. 356, pp. 1185-1198 (1976)
- 9) 堤俊雄, 谷野昌洋, 山北次郎, 農業用トラクタ作業機の油圧バルブ制御方式-比例ソレノイドの電流補正制御-, 農業機械学会誌, Vol. 69, No. 3, pp. 83-90 (2007)
- 10) 農業機械の評価と最新機械の動向, 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構生物系特定産業技術研究支援センター, 革新的農業技術習得研修テキスト, (2004)
- 11) 紙森拓弥, 農業機械用潤滑油の統一規格化への取り組み, 潤滑経済2015年2月号, No. 597, pp. 34-37 (2015)
- 12) Edge, K. A., Designing quieter hydraulic systems-Some recent developments and contributions, Proceedings of the Japan Fluid Power System Society, International Symposium on Fluid Power, Vol. 1999, No. 4, pp. 3-27 (1999)
- 13) 一柳隆義, 小嶋英一, 竹下清一郎, 実システムにおける“可变共振モード形サイドブランチ”共鳴器の最適設定, 日本機械学会論文集C編, Vol. 67, No. 659, pp. 2204-2211 (2001)
- 14) 栗林哲也, 一柳隆義, 西海孝夫, ヘルムホルツ型油圧サイレンサの減衰特性に関する研究 (容量およびネックの寸法形状が減衰特性に及ぼす影響), 日本機械学会論文集, Vol. 80, No. 814, pp. 1-16 (2014)
- 15) 赤池茂, 菊山功嗣, 自動車用冷却ファン騒音の低減について, ターボ機械, Vol. 21, No. 9, pp. 558-566 (1993)
- 16) 中川修一, 齋藤昌弘, 半開放型スクロールケーシングを有する回転機械の騒音同定と制御に関する研究, 日本機械学会論文集B編, Vol. 79, No. 803, pp. 1232-1242 (2013)
- 17) 船橋茂久, 中村和則, 両吸込ターボファンを用いた低騒音エンジン冷却システムの開発, 日本機械学会論文集B編, Vol. 66, No. 644, pp. 1120-1125 (2000)
- 18) 中川修一, 桃瀬一成, 池島薫, ノンパラメトリック感度解析を用いた産業車両におけるエンジンルームの熱管理手法, 日本機械学会論文集B編, Vol. 79, No. 805, pp. 1774-1783 (2013)
- 19) 中川修一, 一柳隆義, 西海孝夫, 油圧システムの温度変化による圧力脈動の挙動, 日本フルードパワーシステム学会平成27年春季フルードパワーシステム講演会論文集, pp. 97-99 (2015)

(原稿受付：2015年11月11日)

## 解説

## 空気ジェットを利用した米粒などの選別機

## 著者紹介

かとう たけみ  
加藤 猛美株式会社コガネイ  
〒184-8533 東京都小金井市緑町3-11-28  
E-mail: katoh-tm@koganei.co.jp

1982年日本工業大学電気工学科卒。同年株式会社コガネイに入社。空気圧電磁弁、比例制御弁の開発、要素研究開発に従事。現在に至る。日本フルードパワーシステム学会、日本フルードパワー工業会。

つちざわ としあき  
土澤 聡明株式会社コガネイ  
〒399-4102 長野県駒ヶ根市飯坂2-6-1  
E-mail: tsuchisawa@koganei.co.jp

1997年日本文理大学工学部航空工学科卒。同年株式会社コガネイに入社。小型空気圧電磁弁、高速バルブの開発に従事。現在に至る。日本フルードパワー工業会。

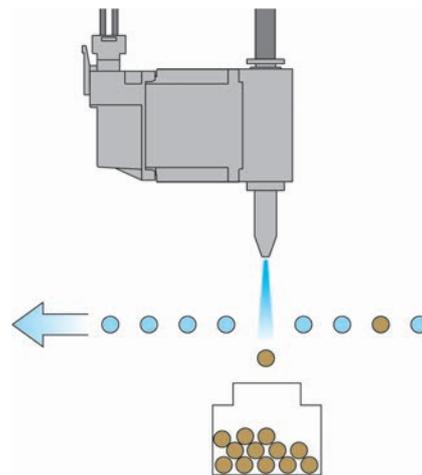
## 1. はじめに

私達の食生活で主食といえば、やはりご飯の比率が高いであろう。1970年代前半頃まで、炊き上がったご飯を食べたときに「ガリッ!」と、歯に衝撃を受けて思わず口の中から小石を取り出した経験のある方は少なくはないであろう。脱穀や精米時に、小石が混入し気付かずにそのまま炊き上げたため、美味しい食事が一瞬にしてまずくなってしまったのではないだろうか。

現在市販されているお米では、このような嫌な経験をすることはほぼ皆無になったのではないと思う。それは、空気ジェットを利用した選別機などにより精米後の小石や異物などを取り除いているからだといえる(図1)。

空気ジェットによる米粒の選別機には、異物を検出する画像処理装置と空気ジェットを出す電磁弁とが搭載されており、大量の米粒などを選別するために高速画像処理と高速作動する電磁弁(以下高速電磁弁)の技術が不可欠である。そして、この技術は食品以外に電気部品のチップ抵抗などの選別機などにも応用されている。

そこで、今回、空気ジェットを利用した米粒の選別機と本技術を応用した他の用途について解説する。



&lt;色々な食品ワーク&gt;

製菓類, パスタ, 茶葉類, オキアミ, ちりめん  
穀物類(米, 麦, 豆類, トウモロコシ等)  
乾燥野菜(加葉等)...

図1 選別機の商品ワーク

## 2. 空気ジェットを利用した米粒の選別機

選別機は、米粒の色や形を高速画像処理にて良否の判別を行い、高速で作動する高速電磁弁にて不良の米粒や異物などを空気銃のごとくピンポイントで排除する。このことから、選別機のパフォーマンスは高速で流れる大量のワークからいかに速く不良品だけを排除できるかということになる。

秒速数メートルで流れるワークに対し、不良品だけを的確に排除するためには、高速電磁弁の応答時間の高速化とそのバラツキの最小化が必要である。例えば、良品と不良品が交互に混ざり合うワークが5mm間隔で秒速2メートルの速さで流れる場合、選別工程には2.5msecの間隔で流れてくることになる。この領域で不良品だけを排除しなければならない。

図2の“高速電磁弁のノズル出口圧力波形”を見ていただきたい。上段に示すのが駆動用の電圧波形、

中段に示すのがノズルから吐出された時の圧力波形である。電圧がONしてから圧力が立ち上がるまでの時間が①、電圧をOFFするまでの保持時間が②、電圧をOFFにしてから圧力が立下がるまでの時間が③、ノズルから吐出された圧力の大きさを④。そして下段に示すのが、理想状態の圧力波形である。

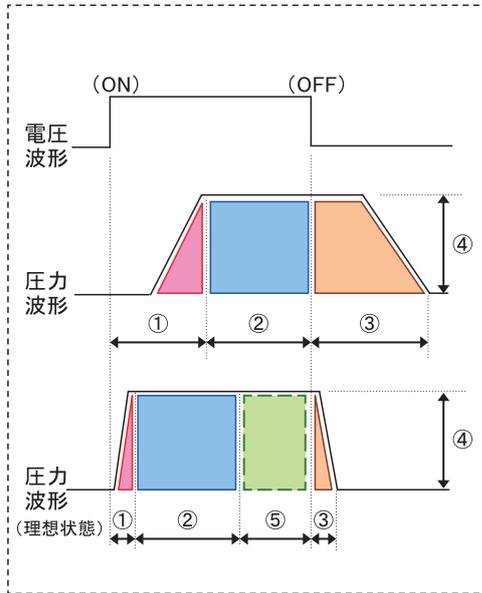


図2 ノズル出口付近の圧力波形

図2の内容から、

- ①：不良品を確実にキャッチする時間
- ②：不良品を確実に排除する印加時間
- ③：共連れを極限まで少なくする時間
- ④：不良品を確実に排除する必要圧力（ワークの大きさや質量等で設定）
- ⑤：通電時間の短縮を検討出来る時間と捉えることができる。

特に①③の時間は、高速電磁弁の性能に大きく関わる部分であり、色彩選別機のパフォーマンスに直結するパラメータである。下段に示す理想状態の圧力波形は、今後、高速電磁弁が目指すところであり、選別精度および生産処理能力の向上に貢献すると考える。

### 3. 空気ジェットに使用される高速電磁弁

シリンダなどのアクチュエータを駆動させる一般的な電磁弁は、ワークの把持や移動などに使用されることが多いため、作動回数は毎秒1回以下であることが多い。しかし、選別機に使用される高速電磁弁は使用する圧力にもよるが、毎秒数百～1000回で高速作動する必要があるため、一般の電磁弁と構造が異なる。また、ワークが農作物の場合、水やほこりがある場所で使用されることが多いため、耐環

境性能について考慮する必要がある。

#### 3.1 高速電磁弁の構造

一般に、空気圧電磁弁の弁体構造はポペット形とスプール形の2種類に分類される。高速電磁弁では、弁体が弁座に対して垂直方向に動くポペット形が採用されており、空気の流路を開閉する構造となっている（図3）。

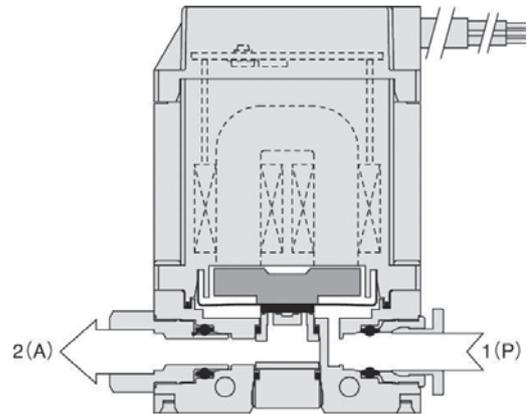


図3 高速電磁弁ポペット形

特徴として、ソレノイドには短いストロークで大きな吸引力を得ることのできる平板型を採用しており、弁体の移動距離が短く応答時間の高速化が可能である。また、摺動部が少ないため耐久性にも優れている。

#### 3.2 耐環境性

生産加工ラインや装置自体の設計にもよるが、高速作動弁は加工品のカスや油、洗浄水などが直接かかる悪環境下に設置されることが多い。この対策として、写真1の防水パッキン付きコネクタを採用することで電磁弁内部への水やほこり侵入を防ぐことができる。



写真1 コネクタは防水パッキン付き

### 4. 空気ジェット技術を応用した他の用途

工場内でのエアブローは、切削油や切粉の除去、塵やほこりの除去、冷却などを目的としている。特

に、切削油や切粉、および塵やほこりの除去などでは、高速作動弁による空気ジェット技術を応用した間欠ブローエアの衝撃波が引き剥がし効果としてとても有効である。間欠ブローエアは、高速作動弁をON / OFFさせたパルス状のエアであるため連続ブローに比べてエア消費量が格段に減らすことができる(図4)。たとえば、ON / OFFデューティ比を50%とすれば、消費エアはほぼ50%削減できる。また、引き剥がし効果により作業時間が短縮可能であるため、工数の削減も期待できる。

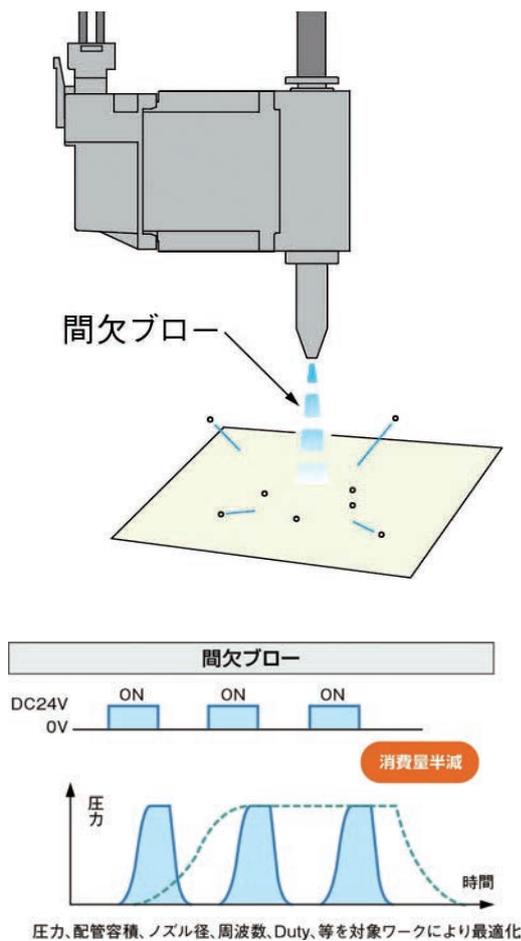


図4 間欠ブローのイメージ

## 5. おわりに

圧縮空気は、シリンダなどのアクチュエータを駆動させるだけではなく、エアを直接吹きかけて穀物や作物の選別、皮剥きなどに使用することができる流体であると言える。

また、最近では貿易の自由化などにより生産コストの削減や食の安全がとても大きな問題となっている。そこで、人手不足で悩む国内農家および世界のあらゆる土地で安全な食材を生産し続けられるよう、私達空気圧機器メーカーはさらなる技術革新で社会に貢献できる機器を開発していかなければならないと考えている。

### 参考文献

- 1) 土澤聡明：空気圧用高速電磁弁の応用，日本フルードパワー工業会，Vol. 28，No. 1，p. 43-46 (2014)
- 2) 桑野創太郎，大木弘一：電磁弁，油空圧技術，日本工業出版，Vol. 49，No. 6，p. 36-37 (2010)

(原稿受付：2015年10月28日)

## 解説

## ロボットハンドによる農作物の収穫支援

## 著者紹介



伏見 卓也

フェスト株式会社

〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早瀬1-26-10  
E-mail: takuya.fushimi@festo.com

1999年武蔵工業大学 電子通信工学科卒、東芝情報制御システム(株)、(株)ヨコオを経て、2007年フェスト(株)に入社、セールスエンジニアとして現在に至る。

## 1. はじめに

農作物は工業製品とは異なり、その完成形は一品一様の大きさ、柔らかさといったバラつきを持っている。この課題に対する取り組みは、すでに食品製造業での工業化が進む2次生産（加工）現場においては多くのセンサおよびフルードパワー技術を駆使することでの高精度・高効率化がされている。しかしながら、実際の1次生産（農作業）現場においてはその工業化の推進による高効率化がまだまだ進んでいない研究および実証段階であるのが現状である。そこで今回は、この課題解決に寄与するロボットハンド技術として、すでに2次生産現場で実績のあるグリッパ技術を1次生産現場へ導入するべく取り組みについて紹介する。

## 2. 農作物バラつきへの対応

## 2.1 フィングリッパの開発

上述農作物に対する課題を解決するには、一品一様の大きさ、表面状態、柔らかさなどのバラつきに柔軟に対応できるグリッパ技術が必要になる。一方で農業者の手による収穫は非常に有能で、農作物に負担とならないような力、向きなどあらゆる人体が持つ感覚、いわばセンサを駆使して行われこれらの課題に柔軟に対応していた。

この柔軟性を持ったグリッパ技術の追求が、フィングリッパの開発へとつながった。フィングリッパの開発は、弊社の生物工学と連携した製品開発プロセスの一環で行われ、これは生物工学という新しい

切り口から製品開発、技術的なアプリケーションへの応用へとつなげる考え方で現在まで多くのプロジェクトにより生産性の向上に寄与してきた。

## 2.2 フィングリッパの構造

フィングリッパのハンド構造は、先端を合せた三角形となる2本の柔らかいバンドからなり、そのバンド同士は一定間隔に配置されたブリッジとの組合せにより成り立っている（図1）。この柔らかく強度を持った構造は農作物等の対象物を掴むという横からの圧力を受けた際、その形状に自然となじむように成形され、過剰負荷のない把持力として変換される（図2）。



図1 フィングリッパのハンド構造

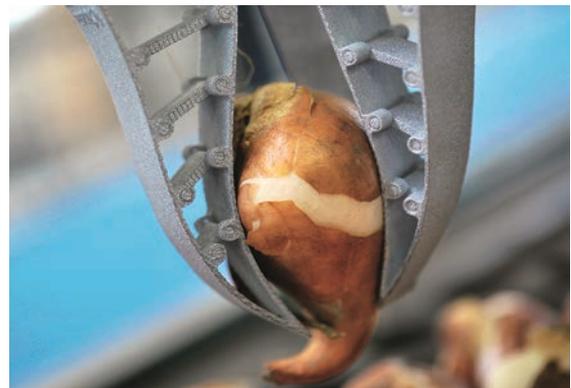


図2 ハンドによる農作物の把持

これは、農作物固有の外形、表面状態などのバラつきに柔軟に対応するとともに、農作物に与える負担を最小限に抑え、農業者の手による収穫のような把持を可能にした。

すでに農業の2次生産（加工）現場では、農作物の大きさ毎の分別や箱詰めロボットなどのハンドとして活用されているフィングリッパは、食品産業のみならず、工業分野においても電球などその対象物に過度な負荷を嫌う商品の把持にもロボットハンドの先端として活用されている。

### 3. 収穫支援への応用

農業の1次生産現場における農業従事者の高齢化対策や生産性の更なる向上を図る上でも、その現場におけるロボット技術の導入による高効率化を求める声は多い。

ここでは、ヨーロッパで行われた研究プロジェクト“CROPS (Clever Robots for Crops)<sup>1)2)</sup>”に参画した内容を紹介します。CROPSプロジェクトは高度技術の組合せが可能なモジュール（センサ、アルゴリズム、噴霧、グリッパ）を複合技術として開発することを目的にEU各国の産学が共同で進めるプロジェクトで、フィングリッパの技術も収穫ロボットの先端に取り付けられその一翼を担った（図3）。

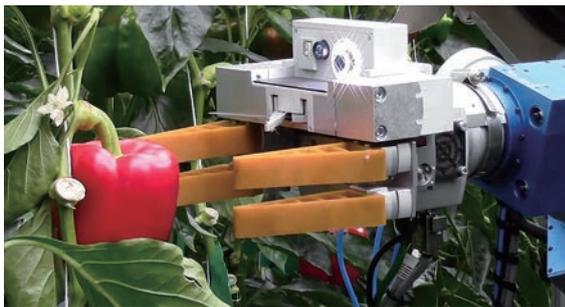


図3 収穫ロボットのハンドへの応用例

フィングリッパのハンドは、材質を粉体成形により製作されるポリアミドとゴム成形によるポリウレタンの2種類から、またハンド自体の長さは45mm, 85mm, 125mmと3種類から、その肉厚も0.7mm, 0.9mm, 1.1mmと3種類から、収穫される農作物の大きさ、柔らかさや表面状態により選択される。今回のプロジェクトでは、パプリカを対象物としてポリウレタンゴムのハンドにて実施された。

3Dカメラでその位置から外形サイズ、色調が認識され収穫時期と判断されたパプリカに、先端に収穫用カッタと空気圧グリッパおよびフィングリッパハンドを組み込んだ多関節ロボットにて収穫される。収穫ロボットは、植栽された木々の間に引かれたプラットフォームを軸に農地を自由に行き来することが可能で収穫のみならず、農作物および農地自体の監視機能にも有効に作用し自動化への貢献が期待される。

また、本プロジェクトによる経済的な観点から試

算した実現性について、完全なるロボット化による収穫の自動化は、6秒の収穫サイクルタイムおよび5年のロボットライフサイクル程度を定義することで、その投資償却が可能と試算された。なお、ひとつのロボットで現存するパプリカ畑1.4ヘクタールをカバーすることが可能となる。

### 4. 今後の更なる取組み

このように、フィングリッパの技術は食品産業および工業界の自動化・高効率化に寄与してきたが、これにとどまらずさまざまな産業分野にも応用可能な技術開発を2つ、今後の更なる取組みとして以下に紹介する。

#### 4.1 フィングリッパに感覚を持たせる

これは、非常に高い柔軟性を持つフィングリッパハンドの表面に曲面对応が可能な薄型歪センサを装着することで、掴むだけであったフィングリッパを掴んで“検知”するフィングリッパへと進化させる取組みとなる。このインテリジェントセンシング機能を用いることで、その対象物を把持するまでに必要な力、エネルギーを試算したり、その対象物の大きさ自体を検出することが可能になる。更にそのデータは、無線インターフェイスにてシームレスな処理を可能にしている（図4<sup>1)</sup>）。



図4 インテリジェントセンシング機能

想定する応用分野は主に食品産業で、制御された把持力で安全に農作物を収穫することができる。更に食品産業のみならず工業分野にも応用しアプリケーションの幅が広がることに期待する。

#### 4.2 フレックスシェイプグリッパ<sup>1)</sup>

先に紹介した、生物学と連携した製品開発プロセスで同じく開発したフレックスシェイプグリッパ（図5）を紹介する。

これは、カメレオンの生体工学を基盤に開発したグリッパで、カメレオンが舌で獲物を包み込むようにキャッチする所からヒントを得て開発された。フレックスシェイプグリッパはその原理上、広範囲



図5 フレックスシェイプグリッパ

に及ぶグリッパ部に弾性シリコンを採用し非常に高度な柔軟性を用いることで、1回の把持動作で複数の対象物を把持することも可能にする（図6）。

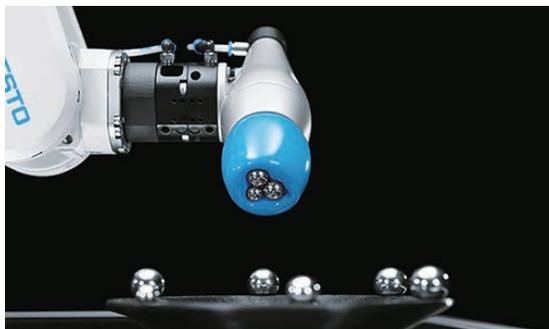


図6 複数対象物の把持

この技術の応用範囲は非常に大きく、食品産業はもちろんのこと多岐にわたる産業界での応用で更なる高精度・高効率化の躍進が期待される。

## 5. おわりに

農業の工業化が進み、研究段階から少しずつではあるが実用化に向けての取組みが世界各国で活発になっている中、特にロボットハンドによる収穫支援という観点からロボットおよびフルードパワー技術を基盤にした技術開発を今後も継続的に提案し続け食品産業および工業界への更なる貢献を図りたい。

### 参考文献

1) Festo AG & Co. KG

<http://www.festo.com/net/startpage/>

[http://www.festo.com/cms/en\\_corp/14014.htm](http://www.festo.com/cms/en_corp/14014.htm)

[http://www.festo.com/cms/en\\_corp/14404.htm](http://www.festo.com/cms/en_corp/14404.htm)

[http://www.festo.com/cms/en\\_corp/14254.htm](http://www.festo.com/cms/en_corp/14254.htm)

18th September, 2015

2) Wageningen UR Greenhouse Horticulture.

CROPS

[http://www.crops-robots.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5&Itemid=1](http://www.crops-robots.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=1)

18th September, 2015

（原稿受付：2015年10月5日）

解説

# マッスルスーツによる農作業支援の検討

## 著者紹介



こばやし ひろし  
**小林 宏**  
 東京理科大学 / (株)イノフィス  
 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1  
 E-mail : hiroshi@kobalab.com

1995年東京理科大学大学院博士課程修了。同大学講師、助教授を経て、2008年同大学工学部教授、現在に至る。大学発ベンチャー株式会社イノフィス創業者、取締役CTO。「生きている限り自立した生活を実現」する装置の開発に従事。IEEE、日本機械学会等の会員、博士(工学)。

## 1. はじめに

「動けない人を動けるようにする」ことを目的に、著者は2001年から、人間の動作を物理的に支援する着用型の筋力補助装置：マッスルスーツ®（東京理科大学発ベンチャー株式会社イノフィスの登録商標）の開発を行っている（図1）<sup>1)-5)</sup>。2000年初頭は人型ロボットが花盛りで、ロボットに関する沢山の展示会が開催され、マッスルスーツ（当初は腕補助用）も何度か出展し、メディアに頻繁に取り上げられた。著者としては「動けない人を動けるようにする」ことを目的にしていたにもかかわらず、メディアは一方的に「介護者支援」ということで社会に発信した。ところが、介護に関わる方からの反響は全くなく、複数の企業の方から、「労働環境改善に使えないか」というお問い合わせを頂いた。企業にとって、安全と労働環境改善は重要なテーマであり、常に検討していることが背景にある。そこで、実際に工場などに行って腕補助用マッスルスーツを試して頂き、効果は確認して頂いたが、採用には至らなかった。しかしながら、このような機会を通じて、ほとんどの肉体労働者が腰痛に悩まされていることを改めて認識し、腰補助に特化したマッスルスーツの開発を2006年から開始した。そして、2014年11月11日から一般販売を始めた。

## 2. 腰補助用マッスルスーツ

マッスルスーツの最大の特徴は、日常生活での利

用を考え、主にゴムとナイロン繊維から構成されているため軽量・柔軟で、空気圧を用いることで非常に大きな引張り力を発生するMcKibben型人工筋肉を採用していることである（図2）。図に示すように、McKibben型人工筋肉は、ナイロン製の繊維コードを格子状に編んだスリーブでゴムチューブを覆い、スリーブの両端を金属でかしめるという非常に簡単な構造となっている。ゴムチューブ内に圧縮空気を注入すると、ゴムチューブは半径方向に膨張し、このとき生じる円周方向の張力が繊維コードにより軸方向の強力な収縮力に変換される。製品化した腰補助用マッスルスーツで採用しているものは、直径1.5インチ（約38mm）、自然長300mm、150gであり、0.5MPa（約5気圧）の加圧で最大180kgfの収縮力を発生する。



腰+腕補助用      腰補助用

図1 着用型筋力補助装置：マッスルスーツ

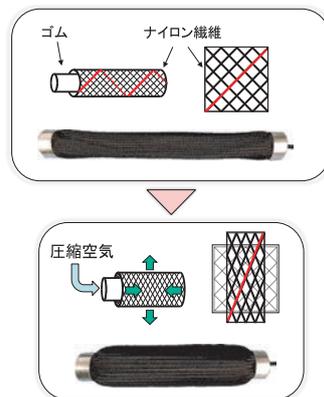


図2 McKibben型人工筋肉

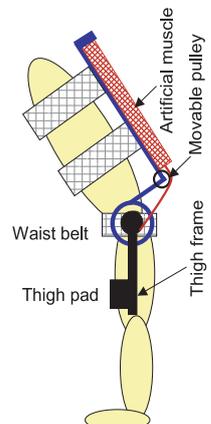


図3 動作原理

動作原理を図3に示す。黒い円で表すプーリー（固定プーリー）の周りを白抜き色の円が回転する。白抜き色の円には背中フレームが接続されており、人工筋肉の上部一端を背中フレーム上部に固定し、他端につけたワイアをプーリーを介して固定プーリーに接続する。これにより、人工筋肉の収縮力が背中フレームの固定プーリー回りの回転力に変換され、上半身を起こす力となる。また、固定プーリーから腿フレームを伸ばし、それに取付けた腿前面を覆う腿パットにより、上半身を起こす力の反力を受ける。この構造では、上半身を起こすトルクを腿で直接受け、腿に対して上半身を回転させ、腿と上半身がまっすぐになるように補助力が働く。そのため、腿を直立状態で上半身を起こす動作、及び、上半身を直立状態にして腰を落として荷物を脚の力で持ち上げる動作のどちらにも補助力を発生し、結果として腰への負担を軽減する。

腰補助用マッスルスーツでは、労働基準法の第6章（衛生基準）をもとに、常時取り扱う重量は最大でも30kg程度と考え、補助力30kgfを実現するために、上部に30kg（約300N）が集中しても補助できるトルクである120Nmを補助力の目安とした。このトルクを実現するために、最大収縮力が1,800Nの人工筋肉を4本使用している。また、新たに用意した軽補助モデルは、ユーザの声を反映し、人工筋肉を2本として補助力を弱め（最大補助力23kgf）、その代わりに25%軽量化を実現した。

補助力の強さに加え、脱着の容易さも非常に重要な要素である。マッスルスーツは、背負った後に腰ベルトを締め、腿パッドを腿の前に持ってくるだけで装着が完了するため、慣れると10秒程度で装着でき、ワイシャツを着るよりも早く装着も脱着もでき、この脱着の容易さもマッスルスーツの特徴の一つである。マッスルスーツの特徴をまとめると、以下ようになる。

- (1) 空気圧式McKibben型人工筋肉で十分な補助力と滑らかな動きを実現
- (2) 持ち上げる場合も降ろす場合も補助が可能
- (3) 椎間板圧縮力と持上げ時の腰の負担を約1/3に軽減
- (4) 用途に応じたインターフェース（呼気スイッチ、タッチスイッチなど：図4）を用意
- (5) 簡易な脱着（10秒程度）

紙面の都合上、それぞれの詳細は割愛するが、(4)について簡単に補足する。装着した装置により筋力を減らすためには、装置に体を預け、自分でスイッチを入れ、装置が動き出してからそれに合わせて体を動かす必要がある。自分が先に動いてしまうと、

補助効果が不十分となる。そのため、スイッチが重要になるが、これまでの試行錯誤により、口にくわえて吸う吐くでスイッチのON/OFFを行う呼気スイッチ、あごや頬で触れるとスイッチが入るタッチスイッチなどを用意している。



タッチスイッチ

呼気スイッチ

図4 インタフェース

### 3. 農作業補助の検討

マッスルスーツは、現時点で出荷台数としては約1,000台であり、工場、介護、物流など、200社程度に試して頂いており、問い合わせは途絶えない状況となっている。

一方、農業に関しては、「平成26年度農林水産業におけるロボット技術導入実証事業（大規模導入実証）」に関連し、現在、長崎県で2台、愛媛県、岩手県でそれぞれ50台、実証試験を行っている。図5は、みかん農家が実際に行う作業をイメージした図で、マッスルスーツを使用していただいた際の効

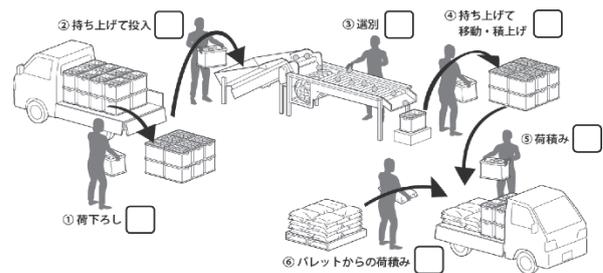


図5 みかん農家用のアンケート用紙



(a) 米作農家パレット積載



(b) りんご農家パレット積載

図6 マッスルスーツ使用例

果を□内に数値で記入していただくためのアンケート用紙である。図6はパレットへの積載時の使用例である。

実証試験を始めて分かったことであるが、農業は、専門メーカーがあるように、かなり自動化・省力化が進んでおり、一般的に思われるほど、肉体労働は残されていない。肉体労働は、やはり収穫物の上げ下ろしが中心となるが、マッスルスーツは腰の筋力を補助する装置で、腰補助の効果は実感していただけるが、コンプレッサ、および、コンプレッサとマッスルスーツをつなぐチューブ（図6(b)の楕円内に示す）が不可欠となり、作業場所が限定されるという欠点がある。そのため、農作業へのマッスルスーツ適用は、今の段階では、ごく一部の適用場所を除き、難しいと言わざるを得ない。それでも現在、実証試験を進めており、適用場所を模索してはいる。まだプロジェクトの途中の段階ではあるが、使用者からいただいたこれまでの課題をまとめると、概ね次のようになる

- ① コンプレッサ、チューブが邪魔
- ② スイッチが扱いにくい
- ③ 重い
- ④ 脱着に時間がかかる

興味深いことに、これらの意見は、他の全ての分野で頂いている課題と完全に一致している。ただし、④については、上述のように本来は時間がかからないので、使用説明に工夫がいと考えられる。ただ、いずれにせよ、これらの意見を解決できれば、あらゆる分野に広まっていく可能性がある。

研究開発を進めてきた結果、完全ではないが、①～③を解決する方法にめどがついた、すなわち、コンプレッサもチューブも、スイッチも不要で、重さについても、現在5kg以上のところ、3.5kg程度に大幅な軽量化が実現できそうである。12月初旬の国際ロボット展では、この全ての課題を解決したモ

デルを出展する予定である。

一方、マッスルスーツは、今まで健常者の筋力補助が目的であったが、リハビリや筋力トレーニングにも利用できることが明らかになってきた。スクワットや腿を上げる歩行イメージトレーニングなどで使用するが、軽度の片麻痺で脚がきちんと上がらない方が、一度の利用で上がるようになったり、正座できない人が一度の利用で正座できるようになったりと、即効性の効果があることが明らかになってきている。

#### 4. おわりに

著者が開発し、製品化した腰補助用マッスルスーツについて、その概要と販売実績、農作業への適用の取り組みについて簡単に記述した。現在マッスルスーツは、肉体労働を伴うあらゆる分野、職種で試していただいているが、大きな力を発生するために空気圧が不可欠なため、コンプレッサと圧縮空気を送るチューブが必要という根本的な短所があり、農作業を含むどの分野においても、このことがボトルネックであることが明らかになっている。天井からチューブを垂らすなど、運用面での対応をいただいてもいるが、本質的な問題解決に至っていない。しかしながら、研究開発を進めた結果、同じマッスルスーツを用いるが、コンプレッサを必要としないで最大25kgfの補助力を発生でき、かつスイッチやセンサを必要としない装置の実現にめどがついた。今後は、この新装置を広めると共に、用途に応じた使い分けを提案していきたい。

少子超高齢社会を背景に、生活支援のためのロボットに大きな期待が寄せられているが、実際に使える装置の実現は非常に難しい。エンドユーザに使用して頂きながらニーズを拾い上げ、課題を明確にし、その課題を解決し、より良い、本当に使ってもらえる製品を、引き続き開発していきたい。

#### 参考文献

- 1) Hiroshi Kobayashi, Taisuke Matsushita, Yusuke Ishida and Kohki Kikuchi : New Robot Technology Concept Applicable to Human Physical Support —The Concept and Possibility of the Muscle Suit (Wearable Muscular Support Apparatus) —, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 14, No. 1, (2002), pp. 46-53.
- 2) Hiroshi KOBAYASHI, Akitaka UCHIMURA, Yujiro ISHIDA, Taichi SHIIBA, Kazuaki HIRAMATSU, Makoto KONAMI, Taisuke MATSUSHITA, and Yutaka SATO : Development of Muscle Suit for Upper Body —Realization of Abduction Motion—, Advanced Robotics, Vol. 18, No. 5, (2004), pp. 497-513.
- 3) 小林宏, 鈴木秀俊, 伊庭雅弥, 長谷川翔 : 上肢動作補助用マッスルスーツの肩機構開発と姿勢制御手法の提

案, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 4, pp. 376-385 (2006-4).

- 4) Hiroshi Kobayashi, Takamitsu Aida, and Takuya Hashimoto, Muscle Suit Development and Factory Application, International Journal of Automation Technology, Vol. 3, No. 6, pp. 709-715 (2009.11).
- 5) Yoshiki Muramatsu, Hiroyuki Kobayashi, Yutaka Sato,

He Jiaou, Takuya Hashimoto, and Hiroshi Kobayashi : Quantitative Performance Analysis of Exoskeleton Augmenting Devices —Muscle Suit— for Manual Worker, International Journal of Automation Technology, Vol. 5, No. 4, pp. 559-567 (2011.5)

(原稿受付：2015年11月8日)

## 会 告

### 共催・協賛行事のお知らせ

#### 協賛行事

一般社団法人日本機械学会 関西支部 第342回講習会 「事例に学ぶ流体関連振動（トラブル事例相談付き）」

共 催：機械力学・計測制御部門

開 催 日：2016年1月25日(月) 9:10～17:00 26日(火) 9:10～17:00

会 場：大阪科学技術センター8階中ホール（大阪市西区靱本町1-8-4 / (06)6443-5324 (代) / 地下鉄四つ橋線「本町」駅下車 北へ400m

申 込 先：大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル内

TEL：06-6443-2073 FAX：06-6443-6049 E-mail：info@kansai.jsme.or.jp

#### TECHNO-FRONTIER 2016

会 期：2016年4月20日(水)～22日(金)

〈展示会〉10:00～17:00 〈技術シンポジウム〉10:00～17:00

会 場：幕張メッセ（国際展示場） 展示ホール4-8；展示会, 国際会議場；技術シンポジウム

主 催：一般社団法人 日本能率協会

#### エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム (EcoDePS) 2016

開催日時：2016年12月7日(水)

開催場所：東京理科大学森戸記念館（東京都新宿区神楽坂1-3）

主 催：エコデザイン学会連合

後 援：エコプロダクツ大賞推進協議会（予定）

幹事団体：特定非営利法人エコデザイン推進機構

組織委員長：細田 奈麻絵 物質・材料研究機構グループリーダー／東京大学教授

実行委員長：木下 裕介 産業技術総合研究所研究員

事務局：エコデザイン推進機構／エコデザイン学会連合事務局（イトレイ株）

#### Dynamics and Design Conference 2016 ～ 交わりは解を導く～

開 催 日：2016年8月23日(火)～26日(金)

会 場：山口大学常盤キャンパス（山口県宇部市）

WEBページ：<http://www.jsme.or.jp/conference/dmccconf16/>

講演申込締切：2016年2月22日

申込方法：募集分野：上記ホームページにてご確認ください。

発表採択通知：2016年3月中旬（予定）

論文提出締切：2016年6月中旬（予定）

問合せ先：D&D2016実行委員会 dd2016@jsme.or.jp

実行委員長 渡辺 亨（日本大学）

幹 事 高崎 正也（埼玉大学）

## 解説

## 温室内環境の均質化に使用される循環扇

### 著者紹介



くろ やなぎ たけ し  
畔 柳 武 司

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
近畿中国四国農業研究センター  
〒765-0053 香川県善通寺市生野町2575  
E-mail : tkuro@affrc.go.jp

2004年筑波大学大学院農学研究科修了。同年、農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センターに採用。現在に至る。園芸施設の環境制御に関する研究に従事。農業食料工学会、園芸学会などの会員。博士（農学）。

### 1. はじめに

温室とは、作物の栽培空間を日射透過性の被覆資材で覆い、その内部の気温・光・水分・二酸化炭素などを調節することで、作物の栽培に適した環境を提供する施設である<sup>1)</sup>。日本国内の温室の設置面積は、49,090haであり、近年は減少傾向にあるものの、中国、スペイン、韓国、トルコに次ぐ面積を持つとされている<sup>2-4)</sup>。

温室の環境調節では、換気、暖房、冷房、遮光、加湿、除湿、二酸化炭素施用などを行う機器が必要に応じて導入されている。それらの機器が単独あるいは複数で動作することによって、気温、湿度、日射、二酸化炭素濃度などが作物の生育に適した範囲に制御される。温室の環境調節を行うおもな設備の中で、導入面積の統計があるのは、加温設備、二酸化炭素発生装置、自動天側窓開閉装置、換気扇であるが、その中でも加温設備は最も導入面積が大きく、全施設面積の約44%（21,600ha）に導入されている。加温方法は、灯油やA重油などを燃焼して空気を直接加熱し、温められた空気を暖房機に組み込まれた送風機によって温室内へ供給する温風暖房方式が主流である。加温設備が導入された温室のうち、約90%で温風暖房機が使用されている<sup>2)</sup>。

温風暖房機を用いる場合、温室内環境を均質にするために、プラスチックフィルム製のダクトを用いた配風が行われる。効果的なダクト配置の検討は進められているものの<sup>5)</sup>、その配置は温室内の暖房機

の位置、対象作物、栽培方式などの制約を受けるため、ダクト配置の工夫だけで暖房時の温室内環境を均質化することは難しい場面が多い。そこで、そのような気温等の勾配を解消することを目的に、小型の送風機である循環扇の利用が薦められるようになった<sup>6,7)</sup>。循環扇の導入面積に関する統計はないものの、現在では、温室の規模や加温設備の有無を問わず、日本全国の多くの温室で循環扇は使用されていると考えられる。

循環扇のおもな利用目的は、温室内で生じる気温勾配の解消<sup>8)</sup>であるが、作物の葉濡れの解消<sup>9)</sup>から好湿性病害の抑制<sup>10,11)</sup>まで期待されることがある<sup>12)</sup>。病害を誘発する作物の葉濡れは、温室の屋根に生じる結露の落下、葉への結露、溢液現象（葉縁からの排水）、が原因となって生じる。このうち、溢液現象による葉濡れは、トマトの場合、植物体付近において0.3m/s程度の気流速を確保することによって抑制することができる<sup>9)</sup>。好湿性病害の抑制に関しては、循環扇を使用することによって温室内で発生するトマトの灰色かび病<sup>10,11)</sup>、葉かび病<sup>11)</sup>が抑制されるとの報告があるが、そのメカニズムの詳細については必ずしも明らかになっていない。

### 2. 温室で用いられる循環扇

#### 2.1 特徴

温室で用いられる循環扇の多くは、軸流型のプロペラファンであり、水平方向に送風する。デザインは様々であるが、ほとんどの製品ではプロペラの周りがメッシュ状あるいは円筒形のカバーで覆われており、一部の製品では吹き出し口には固定翼が装着されている。直径は35～45cm、電源はAC100VあるいはAC200V、消費電力は50～130Wの製品がほとんどである。製品の性能として、仕様書などには風量や気流の到達距離が記されている場合がほとんどであるが、その測定方法は統一されていない。温室内における循環扇の配置は、温室の規模や栽培作物、導入目的に左右されるため、導入する側の事情や感覚に頼ることが多いが、導入指針となる情報をまとめた設置マニュアルも作成されている<sup>13)</sup>。そ

の中の例としては、「トマトのように草丈のある作物を生産する温室で、室内の気流速を0.3m/s程度で流動させるとともに、日中の気温分布をより小さくするには温室1,000㎡当たり約10台の循環扇が必要」という情報が提供されている。運転は連続的に行われることが多いが、暖房機と連動して動作させることもある。

### 2.2 性能指標

循環扇の性能をあらわす数字として、風速分布図と風量がある。しかし、風速分布は測定された空間の大きさに依存するため、製品間の比較は困難である上に、設置予定の温室で運転したときと風速分布が異なる可能性もあり、仕様書に記載していない製品もある。一方、風量はm<sup>3</sup>/minの単位で、ほとんどの製品の仕様書などに記載されている。国内ではJIS C 9601に従って測定・算出された数値を記載している製品もあったが、多くの仕様書には測定・算出方法は記載されていない。国外では、ANSI/AMCA 230-99のようにJIS C 9601とは評価方法が根本的に異なる場合があるため、市販されている循環扇の性能を比較することは必ずしも適切とは言えない。

そこで、筆者は、循環扇の前方となる空間に1m格子状の測定区画（幅6m、奥行き25m、高さ3m）を設け、6機種種の循環扇を対象として、熱線風速計を用いて計728点の風速を測定し、0.2m/s以上の風速が観測された地点の割合を気流の到達範囲とする指標を算出した<sup>14)</sup>。この気流の到達範囲と、各製品の仕様書にある数字の相関関係を調べたところ、風量とは相関はなく、消費電力と有意な正の相関関係が認められた（図1）。このように循環扇の性能を比較するには、消費電力を用いる方法が簡便である。一方で、この方法では著しく効率の悪い製品を区別することはできないので、留意しなければならない。

### 2.3 作物群落による遮蔽

温室内に植物体があることによって、循環扇が発

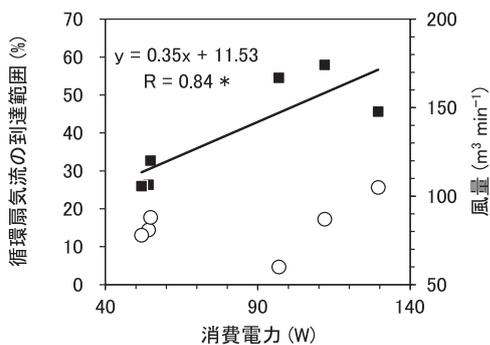


図1 循環扇の消費電力と気流到達範囲 (■) および仕様風量 (○) との関係<sup>14)</sup>

生させる気流は著しく減衰する<sup>8,15)</sup>。例えば、植物体のない温室で循環扇を運転させると、22m離れた位置で観測された風速は0.33m/sであったが、草丈1.8mのトマトが2本/m<sup>2</sup>の栽植密度で存在することによって、同地点での風速は0.04m/sに減少する<sup>8)</sup>。循環扇気流の到達範囲は、循環扇の周辺にわずかに植物体があるだけでも小さくなる。例えば、循環扇の前方に、高さ1.8m、幅0.4mのトマト群落を載せた栽培ベッドを複数設置すると、気流の到達範囲の実測値は17～27パーセントポイント減少した<sup>15)</sup>（図2）。そのため、温室内に適度な気流を発生させるためには、温室の規模と併せて、室内で栽培する作物を考慮して、循環扇の配置や台数を調整しなければならない。

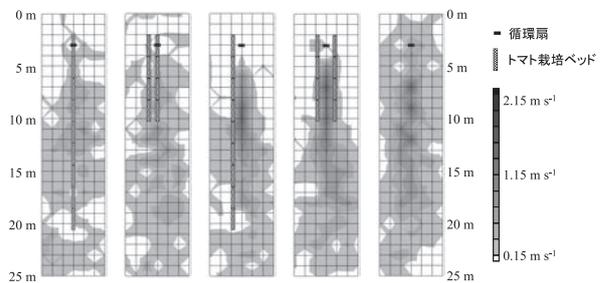


図2 作物群落による循環扇気流の阻害<sup>15)</sup>

### 3. 数値流体力学解析の利用

循環扇の配置をより詳細に検討する方法として、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) によるシミュレーションがある。温室内気流分布の推定に利用されて以来<sup>16)</sup>、多くの解析が積み重ねられ、内容もより現実の温室に即したものとなっている。植物による気流阻害という現象は、植物とそれを取り巻く空気は均質な多孔質体に置換え、圧力損失を与えることで再現される<sup>17)</sup>。作物群落内で生じる熱・水蒸気の移動現象は、多孔質体内の風速、温度、湿度、その空間へ入射する日射量から植物の蒸散量と対流伝熱量を計算し、メッシュ毎に付与することによってCFD解析に取り入れられた<sup>18)</sup>。CFD解析で再現される温室環境は、実際の環境に近づきつつあり<sup>19)</sup>、循環扇等の設備配置を検討するツールとして使用することができる段階にある。

先述の作物群落の配置4条件を対象としたモデル実験のシミュレーションでは、風速の実測値と比較することで計算精度を検証した<sup>15)</sup>。循環扇の能力を再現するために静圧流量特性曲線、作物群落が循環扇気流を阻害する特徴を再現するために葉面積密度と群落形状を境界条件などの入力値として使用した。得られる風速の計算値は、メッシュサイズに対して

依存性を示し、0.1m以下のメッシュサイズで分割すると実測値の傾向をよく再現でき(図3), 作物群落が循環扇気流の到達範囲に及ぼす影響などを比較できる見込みが得られている(図4)。

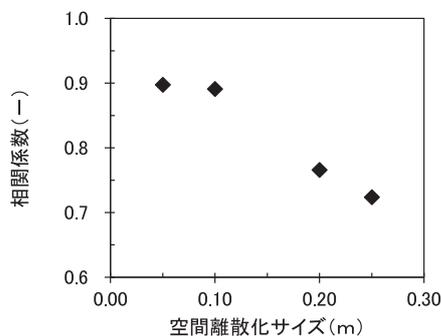


図3 CFDによる風速の計算値と実測値の相関<sup>15)</sup>

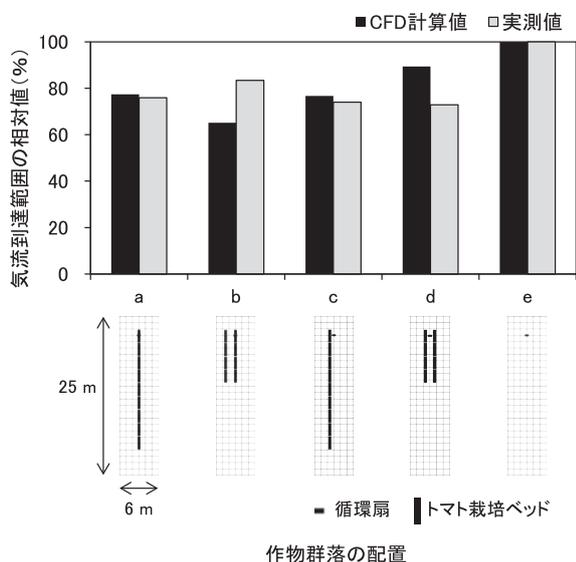


図4 作物群落が循環扇の気流到達範囲に及ぼす影響<sup>15)</sup>

#### 4. おわりに

温室における循環扇の長所は、安価かつ設置が容易な点にある。一方、循環扇単体で利用されるよりも、暖房機や二酸化炭素発生装置と併用されることが多く、夏季の冷房として循環扇の吹き出し口に水の噴口を取り付けた装置も市販されている。こうした場面における循環扇の効果は、暖房、冷房、二酸化炭素施用と比較すると間接的であることから、いかにして費用対効果を適切に評価するかという課題が残されている。

#### 参考文献

1) 日本施設園芸協会：施設園芸・植物工場ハンドブック，農山漁村文化協会，p. 24-35 (2015)  
 2) 農林水産省：園芸用施設及び農業用廃プラスチックに

関する調査，農林水産省 (2009)  
 3) International Society for Horticultural Science : Protected cultivation in Turkey, *Chronica Horticulturae*, Vol.55, No. 2, p. 21-26 (2015)  
 4) 王秀峰：中国における施設園芸の現状と展望，*施設と園芸*, Vol. 119, p. 51-55 (2002)  
 5) Ibuki, R., Behnia, M. : Optimization of Air Flow Circulation with Branching Perforating Duct and Fan System, *Acta Horticulturae*, Vol. 1008, p. 241-247 (2013)  
 6) 新郷泰弘，長谷川景尉子：攪拌扇の特性と利用上の留意点，*施設と園芸*, Vol. 129, p. 40-46 (2005)  
 7) 野々下知泰：省エネと収量アップにつながる循環扇の多目的利用技術，*施設と園芸*, Vol. 138, p. 31-33 (2007)  
 8) 石井雅久，奥島里美，森山英樹，降幡泰永：循環扇が温室内の気流・気温分布に及ぼす影響，*植物環境工学*, Vol. 24, No. 3, p. 193-200 (2012)  
 9) Kuroyanagi, T., Yoshikoshi, H., Kinoshita, T., Kawashima, H. : Use of Air Circulation to Reduce Wet Leaves under High Humidity Conditions, *Environ. Control Biol.*, Vol. 51, No. 4, p. 215-220 (2013)  
 10) 松浦昌平，星野滋，川口岳芳：循環扇を用いた送風処理が測定トマトの病害発生と生育・収量に及ぼす影響，*広島農技セ研報*, Vol. 76, p. 11-17 (2004)  
 11) 関根崇行，相澤正樹，永野敏光，高橋智恵子：小型還流ファンによるトマトの灰色かび病と葉かび病の抑制効果とその作用機作の検討，*北日本病虫研報*, Vol. 58, p. 46-53 (2007)  
 12) Kuroyanagi, T. : Current Usage of Air Circulators in Greenhouses in Japan, *Japan Agricultural Research Quarterly*, Vol. 50, No. 1, p. 7-12 (2016)  
 13) 石井雅久，森山英樹，奥島里美，畔柳武司，川嶋浩樹：温室における循環扇の設置マニュアル，国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構，pp. 15 (2015)  
 14) Kuroyanagi, T. : Evaluation Indicator for Greenhouse Air Circulator Performances, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, Vol. 6, No. 4, p. 197-202 (2013)  
 15) Kuroyanagi, T. 2013 : Validation of CFD Simulation of Airflow from an Air Circulator above Crops, *Acta Horticulturae*, Vol. 1008, p. 213-220 (2013)  
 16) Okushima, L., Sase, S., Nara, M. : A support system for natural ventilation design of greenhouses based on computational aerodynamics, *Acta Horticulturae*, Vol. 248, p. 129-136 (1989)  
 17) Lee, I.B., Short, T.H. : Two-dimensional Numerical Simulation of Natural Ventilation in a Multi-span Greenhouse, *Transactions of the ASAE*, Vol. 43, No. 3, p. 745-753 (2000)  
 18) Boulard, T., Wang, S. : Experimental and numerical studies on the heterogeneity of crop transpiration in a plastic tunnel, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 34, p. 173-190 (2002)  
 19) Bournet, P. E., Boulard, T. : Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 74, No. 2, p. 195-217 (2010).

(原稿受付：2015年10月5日)

## ニュース

# The KSFC 2015 Autumn Conference on Drive and Control 参加記

## 著者紹介



いとうかずひさ  
伊藤和寿

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

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



写真1 日中韓からの参加者による記念写真  
(KSFC2015インターナショナルセッション会場前、釜慶大学校)

## 1. はじめに

韓国でも日本と同様に毎年春秋の年二回、The Korean Society for Fluid Power and Construction Equipment, すなわち、韓国フルードパワーおよび建設機械学会（執筆者訳、以下KSFC）によるフルードパワーに関する国内学会が開催されている。2015年の秋の講演会KSFC 2015 Autumn Conference on Drive & Controlは10月22-23日に釜山・釜慶大学にて開催されたが、これに同期して23日にKSFCで初めてのインターナショナルセッションが併設された。今回はこれについて報告したい。

## 2. 参加概要

One Dayセッション形式で開催されたこの大会には、JFPSから築地徹浩（上智大学教授、学会長）を始めとして、横田眞一（東京工業大学名誉教授、元会長）、眞田一志（横浜国立大学教授）、田中豊（法政大学教授）、金俊完（東京工業大学准教授）、坂間清子（法政大学ポスドク研究員）、Pham Ngoc Pha（芝浦工業大学ポスドク研究員）、末松潤一（上智大学大学院生）、藤谷秀次（学会事務局長）、伊藤和寿（芝浦工業大学教授、国際交流担当理事）（以上、敬称略）の計10名が参加し、また中国からの参加もあった（写真1）。

日韓の研究者交流は、1970年代後半から東京工業大学の竹中先生および辻先生が中国との交流と共に積極的に始められ、特に辻先生はご退官後に韓国

で研究指導もされたと伺っている。KSFC現会長の李一永教授（釜慶大学）を始め、今回の学会の実行委員長長の安耿寛教授（蔚山大学）、さらに韓国機械研究院（KIMM）の朴重濠博士など、東京工業大学で博士号をお取りになった先生方や、同大への滞在経験をお持ちの先生方が多い。当初釜山大学を中心として油圧の研究が盛んに行われていた時代で、その後上智大学にも慶南大学の廉萬午教授や李一永教授も短期滞在されるなど、研究交流が広がっていった経緯がある。現在は今回参加された金准教授が同大に勤務されており、脈々と韓国とのつながりが継続されていることは周知の通りである。

今回のインターナショナルセッションは、昨年11月に第9回のJFPS国際シンポジウムが松江で開催された際、参加された李会長がセッション開催のお話を築地会長にされた際、日韓で開催を計画されてはとの提案がなされたことを機に実現に向けて動き出した。本年3月にJFPS会員にも本インターナショナルセッションのCall For Paperが流れたが、その後8月に中国ハルビンにて開催された第7回FPM（International Conference on Fluid Power and Mechatronics）にて中国からも参加の意思表示があり、規模の拡大を経て今回の開催に至った。

### 3. 講演概要

韓国ではフルードパワーシステム学会はその名称の一部に「Construction Equipment」を含むことからわかるように圧倒的に油圧分野を中心に進められており、学術的には空気圧その他の研究はほとんど行われていないことが特徴である。ただし近年では日本と同様、油圧関連の研究テーマでは大型の競争的資金をほとんど取れなくなっている上、ここ数年だけで五つの大学から油圧の研究室が姿を消すなど、韓国のフルードパワーを取り巻く環境にも大きな変化が出ているようである。安先生のお話では、韓国の大学では、教授が退職するとその設備、機器や研究環境は全て廃棄され、新しい研究者を迎えるのが一般的とのことである。一長一短はあるが、日本のようなシステムは、今のような時代にはうまく機能するとも考えられる。

今回のセッションでは、発表された計33件の講演のうち、油圧関係は25件、水圧4件、空気圧3件、機能性流体1件、という内訳であった。筆者の参加したセッションにおける、主な発表論文タイトルは以下の通りである。

KSFCからは、Gerotorポンプのポート形状設計に関する研究、油圧サーボ弁の動特性改善に関する研究、ダンピングオリフィスを利用した二ステージ型リリーフ弁の特性解析に関する研究、電気油圧サーボ弁の性能に及ぼす流体力の影響に関する研究、高圧海水プランジャポンプのボール型チェック弁の設計に関する研究、油圧パワーショベルの一般的な運転パターンにおける低燃費化に関する研究、斜板型アキシャルピストンポンプのハイブリッド定圧制御に関する研究、電気油圧アクチュエータの実時間故障診断制御に関する研究、接触力制御におけるマルチセンサに基づく低次元化モデルの導入に関する研究、などの報告がなされた。

中国の研究者(CMES)らからは、Fluid-Structure Interactionを利用した流体マフラーの数値解析と形状最適化に関する研究、高圧直動電空サーボ弁の中立点近傍における流量特性評価に関する研究、グローブ弁の騒音解析と形状最適化に関する研究、などの報告がなされた。

日本の参加者からは、6件の講演が行われた。上智大学の末松様からは、ベーンポンプ内の油圧流動の数値解析に関する研究発表が行われた(写真2)。東京工業大学の金先生からは、ECFマイクロポンプの出力密度向上に関する研究、三橋様からは、空気圧を利用した火災防止装置のラジアルスリットのすきま測定器に関する研究、の報告が行われた。法政大学

の坂間博士からは、気泡が混入した作動油の実体積弾性係数に関する報告がなされた(写真3)。



写真2 末松潤一様(上智大学)の講演



写真3 坂間清子博士(法政大学)の講演

横浜国立大学の眞田先生からは、ディーゼル船舶エンジンのDDVC方式燃料噴射制御性能についての研究発表がなされた。芝浦工業大学のPham博士からは、供給圧力変動に対する水圧モータの単純適応制御の性能評価に関する研究報告がなされた(写真4)。



写真4 Pham Ngoc Pha博士(芝浦工業大学)の講演

セッションの夕方開催された夕食会では、韓国および日本の学会長の挨拶（写真5）に引き続き大会報告がなされ、韓国から16件、中国から9件、日本から6件、アメリカおよびカナダから1件ずつ、70名を超える参加者により第一回の開催が成功であったことが報告された。



写真5 夕食会で挨拶されるKSFC李一永会長（左）およびJFPS築地徹浩会長（右）

また、講演表彰では東京工業大学の金先生が最優秀論文賞を受賞された（写真6）。日韓の架け橋として活躍される金先生に相応しい受賞であった。



写真6 李会長から最優秀論文賞を授与された金俊完先生（右）

その後は日韓中のフルードパワー研究者らが和やかに食事をしながら、日本への留学時の思い出話や将来の国際的な産学の協力関係について話が弾んだ（写真7）。2017年には福岡でJFPSの国際シンポジウムも開催される。今回は記念となる第10回大会であり、夕食会会場でも真田実行委員長は海外の参加者に積極的に参加依頼の働きかけをされておられた。

#### 4. 帰国の途について

今回のセッションへの参加を通し、再認識したことがいくつかあった。



写真7 夕食会における日韓の参加者ら

まず、国際交流はとにかく自分が現地に足を運び、また日本に来て頂いて、研究者同士や学生同士が「会って話す」ことが重要であるという点である（写真8）。日本のフルードパワーの学術的、技術的なレベルは現在も世界中が注目しており、彼らのイメージに各分野の日本人代表者の顔が浮かぶようにしておく必要がある。次に、国際交流を育てていくには長い時間が必要という点である。日韓の交流は冒頭で述べたように多くの先人らが少しずつ発展させ、35年以上を経て大きく花開いた。我々も次々世代に何かを残すべく、今から行動を起こす必要がある。

第三点は、ダイバーシティの観点から日韓は女性研究者の進出が大きく遅れているという点である。今回中国からは女性研究者が数名参加していたが、日韓からは合わせて唯一坂間博士のみであった。2014年10月に公表された世界経済フォーラムの「ジェンダー・ギャップ指数2014」によれば、日本は経済、教育、政治および保健分野を総合した男女格差の大きさが142ヶ国中104位<sup>1)</sup>（韓国は117位）という衝撃的な状況にあるが、理工系分野ではこれよりもさらに低い状況であろうと推察され、事実今



写真8 帰国日午前中の釜山散策にて（海東龍宮寺）

回のインターナショナルセッションがその証左の一つである。これも国際交流と同じく時間がかかる。女性研究者を増やすにはまず女子学生を増やす必要がある。女子学生会員へのアフーマティブ・アクション等の取組みの検討があっても良いであろう。

末筆ながら、今回のKSFC2015への参加では、滞在のアレンジ、セッション運営者との連絡および現地での案内等、金先生に大変にお世話になりました。

紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

#### 参考文献

- 1) 内閣府男女共同参画局ホームページ  
[http://www.gender.go.jp/public/kyodosankaku/2014/201412/201412\\_04.html](http://www.gender.go.jp/public/kyodosankaku/2014/201412/201412_04.html)

(原稿受付：2015年11月7日)

## 会 告

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

### 平成27年度 ウィンターセミナーのお知らせ 「フルードパワー技術を支える要素技術」

#### 開催趣旨：

産業のあらゆるシーンを支える油空圧機器にはいろいろな要素技術が使われています。本セミナーでは油空圧機器に使用される要素技術について、具体的な事例を解説するとともに今後の技術動向についてご紹介する予定です。

開催日時：2016年3月18日（金）13：00～16：20

会 場：機械振興会館：地下3階 B3-1  
東京都港区芝公園3-5-8

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

### 平成28年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー 「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」のお知らせ 開催日：平成28年5月25日（水）

#### 開催趣旨：

平成28年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーは、平成28年5月25日（水）に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本併設セミナーでは、今後、フルードパワーシステムを発展させていくための重要な基幹技術の一つとなるIoT, ICTについて解説いただくとともに、その基盤技術となる情報センシング技術、情報通信技術、遠隔制御技術について

の解説、さらに生産設備や建設機械における具体的な事例について解説していただきます。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認をお願いいたします。

なお、日本フルードパワーシステム学会誌47巻2号（2016年3月号）が当日の講演資料となりますので、各自ご持参いただきますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

## 会議報告

# 日本機械学会2015年度年次大会における フルードパワー技術研究動向

## 著者紹介



さくら い やす お  
**桜井 康雄**

足利工業大学工学部  
〒326-8558 足利市大前町268-1  
E-mail: ysakurai@ashitech.ac.jp

昭和61年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了。富士重工業(株)、上智大学助手等を経て平成12年足利工業大学講師、平成13年同大学助教授、平成19年同大准教授、平成21年同大教授、現在に至る。

## 1. はじめに

2015年度日本機械学会年次大会が9月13日(日)から16日(水)まで北海道大学工学部において「Be Ambitious! ~機械工学の新たな挑戦~」というテーマのもと2,286名の参加者を得て開催された(図1)。法政大学・田中豊先生、徳島大学・高岩昌弘先生と筆者で機素潤滑設計部門のOSとして「フルードパワー研究の新展開」を企画した。このOSは15日(火)に3セッション、16日(水)に1セッション開催され、合計21件の講演が行われた。

他のセッションにもフルードパワー関連の講演が散見されるが、本稿ではそのOSの講演内容について簡単に紹介する。

## 2. フルードパワー関連の研究動向

### 2.1 セッション1：ニューアクチュエータ

このセッションでは6件の講演が行われた。高岩



図1 会場

ら<sup>1)</sup>は負圧を用いたパッシブ型力覚提示装置を提案し、パワーアシスト機器としての応用の可能性を検証した結果を示した。岡本ら<sup>2)</sup>はスパーサー一体型メッシュ電極ECFポンプの性能および小型化を図った結果を報告した。松岡ら<sup>3)</sup>はラバーソフトアクチュエータを駆動するため気液相変化により発生する圧力を利用することを提案し、その駆動特性を実験的に検討した。山平ら<sup>4)</sup>は空気の圧縮による柔軟性を持つラバーレス人工筋肉を用いた体重免荷システムを提案し、力学平衡モデルを用いた移動方向検出機構の妥当性を検討した結果を示した。赤木ら<sup>5)</sup>は前の研究で提案した空気圧用低コストサーボ弁の問題を解決した結果およびその弁の解析モデルを提案しその妥当性を検討した結果を示した。齋藤ら<sup>6)</sup>はラバーレス人工筋肉拮抗駆動システムが本来有する柔らかさを考慮した位置制御系を提案するとともにその有効性を実験的に検討した結果を示した。

### 2.2 セッション2：空気圧

このセッションでは4件の講演が行われた。早川ら<sup>7)</sup>は歩行状態提示および触覚提示機能を有する高機能靴を用いた歩行訓練システムを開発した結果を示した。谷口ら<sup>8)</sup>は小型の空気圧ソフトアクチュエータの開発を行うとともにそれらを用いた手指関節用リハビリ装置を開発した結果を示した。福田ら<sup>9)</sup>は高分解能のリニアエンコーダ、低流体ノイズサーボ弁および速度・加速度フィードバックを加えた制御系を持つ空気圧ベローズにより駆動される3自由度微動ステージの運動制御特性を明らかにした。村中ら<sup>10)</sup>は空気圧シリンダの低速域の制御特性改善のため、LuGre摩擦モデルを組み込んで同定した空気圧サーボシステムのモデルを用いて設計した単純適応制御系の性能をシミュレーションおよび実験により検討した結果を示した。

### 2.3 セッション3：油圧

このセッションにおいては5件の講演が行われた。林ら<sup>11)</sup>は再生可能エネルギー利用分野の動力伝達機構にHSTが利用される場合を想定し、その構成要素である低速/高トルク油圧ポンプへのDFP (Digital Fluid Power) 方式の適用の可能性を実験的に検討

した。五嶋ら<sup>12)</sup>はコリオリ流量計の密度測定機能を用いた油圧システム中の作動油の油中気泡量測定の可能性を検討した結果と気泡の含有量と油圧システムの関係を示した。眞田ら<sup>13)</sup>はDirect Drive Volume Control (DDVC) を利用した船舶用燃料噴射システムによる燃料噴射量制御特性をシミュレーションにより明らかにした。増田は<sup>14)</sup>2種類のポンプモードを有する航空用ターボ・ファン・エンジンの燃料計量システムにおいて、モード切り替えの際に発生する大きな圧力変動に対する対策の有効性をシミュレーションにより検討した結果を述べた。風間ら<sup>15)</sup>は離間を生じ易くしたベーンポンプを用い、ベーンの離間現象に着目しつつカムリングの温度と加速度を同時計測した結果を報告した。

## 2.4 セッション4：水圧・計測制御

このセッションでは6件の講演が行われた。小林ら<sup>16)</sup>は水道水駆動マッキベン型人工筋の負荷変動および収縮方向の切替えに対してロバストな制御手法として、RLSアルゴリズムを用いた適応モデル予測制御を提案し、その有効性を実験的に検討した結果を示した。伊藤ら<sup>17)</sup>は非圧縮性流体の圧力の微小振幅を表した管路モデルに基づき空気圧制御システムの $H_{\infty}$ 制御器の設計を行い、その性能を実験により検証した結果を述べた。笹尾ら<sup>18)</sup>は直線の軌道上をロケットエンジンあるいはジェットエンジンで加速するロケットスレッド設備の開水路ブレーキの抗力係数および制動中の振動を実験的に評価した結果を報告した。鈴木<sup>19)</sup>は構造を単純化して低コスト化をめざした水圧用ロータリー型サーボ弁を提案・試作するとともにその静特性を評価した結果を示した。中尾<sup>20)</sup>は液体の管路内非定常流れにおいて、壁面圧力の計測値と特性曲線法を用いて流量の推定を行う場合、計測値に含まれるノイズが推定値におよぼす影響を数値実験により検討するとともにスペクトラルサブトラクション法によるノイズの影響の低減を試みた。伊藤ら<sup>21)</sup>は圧力源からの液圧を複数の異なる圧力に高効率に変換可能なActive Charge Accumulatorの数学モデルを提案するとともにその妥当性をシミュレーション結果と実験結果の比較により示した。

## 3. おわりに

本稿では2015年度日本機械学会年次大会で開催されたOS「フルードパワー研究の新展開」において発表された21件の講演論文の概要を紹介した。

本OSは一室で行われるため、フルードパワーの全分野に関する講演を聴講することができる大きな魅力ではないかと感じた。2016年の年次大会は9月11日(日)～14日(水)までの4日間にわたり九州大学伊都キャンパスを会場として「新たな価値の創造を担う機械工学」をキャッチフレーズとして開催される予定である。また、この年次大会においても機素潤滑部門でフルードパワー関連のOSが開催される予定となっている。本OSに参加していただいた方々に謝意を表して本稿の結びとする。

## 参考文献

日本機械学会2015年度年次大会講演論文集 (DVD)

- 1) 高岩他3名：負圧を用いたパッシブ型力覚提示装置の開発
- 2) 岡本他3名：新型メッシュ電極ECFポンプの改良
- 3) 松岡他4名：気液相変化型ラバーソフトアクチュエータの開発
- 4) 山平他2名：人工筋肉による体重免荷システムの移動方向検出機構の検討
- 5) 赤木他2名：チューブの屈曲を利用した低コストサーボ弁の試作と解析
- 6) 齋藤他1名ラバーレス人工筋肉拮抗駆動システムにおける柔らかさを考慮した位置制御
- 7) 早川他3名：高機能靴を用いた歩行訓練用提示システムに関する研究
- 8) 谷口他1名：筋リラクゼーションと関節可動域訓練を両立する手指関節拘縮予防リハビリシステムの開発
- 9) 福田他2名：空気圧ベローズを用いた3自由度微動ステージのナノ位置決め
- 10) 村中：空気圧マニピュレータによる制御性能に関する研究
- 11) 林他1名：油圧式変速機構における低速／高トルク・デジタル油圧ポンプの開発
- 12) 五嶋他2名：コリオリ流量計を用いた油中気泡量の測定
- 13) 眞田他1名：回転数制御油圧アクチュエータによる船舶用燃料噴射率制御
- 14) 増田：定圧型油圧源を有するジェットエンジン燃料制御機構の燃料ポンプ切り替えのシミュレーション
- 15) 風間他2名：油圧ベーンポンプのカムリングの温度と振動の計測
- 16) 小林他2名：適応モデル予測制御を用いた水道水駆動マッキベン型人工筋の変位制御
- 17) 伊藤他2名：管路を有する容器内圧力の $H_{\infty}$ 制御
- 18) 笹尾他2名：ロケットスレッド用減速システムとしての開水路水ブレーキの実験的研究
- 19) 鈴木：水圧用ロータリー型サーボ弁の開発及び性能評価
- 20) 中尾：液体管路の4端子モデルと壁面圧力の多点計測を用いた高精度流量推定に関する基礎検討
- 21) 伊藤他4名：実験および理論的アプローチによるACAの基本特性評価

(原稿受付：2015年10月9日)

## 会議報告

## FPM2015におけるフルードパワー技術研究動向

## 著者紹介



こばやし わたる  
小林 亘

芝浦工業大学大学院  
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307  
E-mail: i030671@shibaura-it.ac.jp

2015年芝浦工業大学大学院博士課程修了。現在、同大学ポスト・ドクター。水圧駆動システム、リハビリテーションシステムに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

## 1. はじめに

2015年8月5日から7日、中国のハルビンにて、国際会議「2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM2015)」が開催された。著者はこの会議に参加させていただいたので、ここにご報告させていただく。

## 2. 国際会議の概要

## 2.1 FPMについて

FPMは、その名の通りフルードパワー技術およびメカトロニクスに関する国際会議であり、中国の北京で1991年に第1回目が開催されて以来、4年おきに中国国内で開催されている。なお、ハルビンは1999年に開催された第3回の会場であり、今回が16年ぶり2回目の開催となる。

## 2.2 会場と会議の概要

会議および企業展示はハルビン市街の北を流れる松花江にある太陽島のSun Island Garden Hotelにて行われた（写真1）。また、テクニカルツアーとして、ハルビン工業大学のフルードパワー関連の研究室および学内の航空宇宙ミュージアムへの見学ツアーが開催された。

クロージングでの主催者側の発表によると、108件の講演があり、5日から三日間にわたり講演発表が行われた。国別の内訳は、中国から84件、ロシアから6件、デンマークから6件、日本から4件、韓国から4件、パキスタンから2件、イギリスから1件、ブラジルから1件であった。また、会場内の

大ホール（写真2）では5つのキーノート・スピーチのセッションが構成され15件の講演が行われた。



写真1 会場のSun Island Garden Hotel



写真2 会場内の大ホール

## 3. 研究発表の動向

本会議では、油空圧コンポーネント、機能性流体、フルードパワーの省エネルギー技術、水圧技術、ヘルスケアロボティクスをはじめ幅広い分野から、16のテーマによる24のセッションが設定された。ここではそのうちのいくつかの研究について紹介する。

Roemerら<sup>1)</sup>は、高速スイッチング弁内において発生する流体力の解析に用いられるCFDの手法としてflow-induced fluid forceとmovement-induced fluid forceを考慮した流体力モデルを提案し、提案モデルのパラメータをCFDの解析結果に基づいて同定可能であることを示した。

Guoら<sup>2)</sup>は、エレクトロハイドロリックアク

チューエータの制御手法として、状態フィードバックに基づいた適応バックステップ制御を適用し、未知のパラメータや外乱による動特性の変化を補償する手法について紹介した。

Tarasov<sup>3)</sup>は、ハイドロスタティックサーボドライブの省エネルギー化に関して、変速機におけるパワーロスを考慮した数値シミュレーションにより、制御入力の最適値を明らかにしトータルでのエネルギー消費を抑える手法について提案した。

Xu<sup>4)</sup>は、アキシャルピストンポンプのスイッチプレートにおいて発生するチャニングロスのモデル化と解析手法について提案した。そして、シミュレーションにより、チャニングロスの影響因子について明らかにした。

Fan<sup>5)</sup>は、マイクロマウスコンテストで使用される自律ロボットを対象とし、ER流体を用いたブレーキ装置を開発した。また、試作したブレーキ装置において十分な制動力が得られることを明らかにした。

Ahn<sup>6)</sup>は、ハイブリッド油圧掘削機の省エネルギー化手法として、ブームが有する位置エネルギーを再利用する手法について提案し、従来の手法に比べ大幅なエネルギー消費の削減が可能となることを示した。

#### 4. アワードパーティ

6日の夜には会場を移しアワードパーティが開催された。アワードパーティでは伝統的なロシア料理が振る舞われ、生演奏をバックにロシアの伝統舞踊が催された(写真3)。ハルビンがある黒竜江省はロシアとの国境に接する中国最北東部に位置し、建物をはじめ至るところにロシアとの関係が色濃く残る土地である。このパーティでもその長い歴史が垣間見える有意義なものであった。また、パーティの最後には最優秀賞の発表があり、日本から参加していた法政大学の范理想さんが最優秀学生賞を受賞した(写真4)。



写真3 アワードパーティの様子



写真4 最優秀学生賞受賞記念(左から、王先生、范さん、田中先生)

#### 5. おわりに

2015年8月に中国黒竜江省ハルビンにて開催されたFPM2015について、会議の概要とフルードパワーに関する研究発表の動向の一部について紹介した。最後に、フェアウェルパーティにおいて、次回のFPMは4年後の2019年に湖北省東部に位置する武漢市の华中科技大学で開催されることがアナウンスされ、华中科技大学のフルードパワーに関連する研究動向およびエクスカージョンが企画される河北省の観光地などについての紹介があったことを添えて本会議報告としたい。

#### 参考文献

- 1) Daniel B. Roemer et al. : Modeling of Movement-Induced and Flow-Induced Fluid Forces in Fast Switching Valves, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 978-983 (2015)
- 2) Qing Guo, Tian Yu, Dan Jiang : Adaptive Backstepping Design of Electro-hydraulic Actuator Based on State Feedback Control, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 888-891 (2015)
- 3) Oleg Tarasov : The Experience of Creating Compact Energy Efficiency Hydrostatic Servo Drive, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 603-609 (2015)
- 4) Bing Xu et al. : Modeling and Analysis of the Churning Losses characteristics of Swash Plate Axial Piston Pump, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 22-26 (2015)
- 5) Xiangxiang Fan et al. : Design and Fabrication of ER Braking Device for Micromouse, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 729-733 (2015)
- 6) Kyoung K. Ahn : Study on Energy Regeneration System for Hybrid Hydraulic Excavator, Proc. of the 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics, p. 1349-1354 (2015)

(原稿受付 : 2015年10月5日)

## トピックス

## 中国（上海）駐在日記

## 著者紹介



さか もと はる やす  
**阪本晴康**  
 TAIYO PARKER FLUIDPOWER  
 (SHANGHAI) CO., LTD  
 No. 299 Tuoqing Road, Qingpu  
 District, Shanghai, 201700, China  
 E-mail : hsakamoto@parker.com

1987年摂南大学工学部機械工学科卒業、同年株式会社TAIYO入社。油空圧機器設計、生産管理、事業開発に従事。2013年太派液圧気動（上海）有限公司に出向、現在に至る。

## 1. はじめに

私は、2013年12月より現地法人の事業所がある中国上海市に駐在している。

これまで海外といえば出張のみで、駐在の経験はなく、中国についても2001年に1週間ほど、出張で来たことがある程度であった。当然、中国語が話せるはずもなく、中国の文化や習慣などの知識もない、手探りの状態での赴任であった。今回、駐在員日記の執筆依頼をいただいたので私の約2年間の駐在員生活を紹介させていただく。

## 2. 上海での食生活

上海に赴任してまず感じたのは、調理するときを使う油の多さである。少しオーバーかも知れないが、肉料理にしても野菜料理にしても食材が油に漬かっているといった感じである。そんな料理をほぼ毎日、会社の食堂で食べるため、夕食はどうしても日本料理に走ってしまう。

しかし、物価の高い上海で、日本料理を食べると、お酒も含めると200元ほどかかる、200元を現在のレートで換算すると4,000円近くになり、毎日宴会をしているような金額になってしまう。

円安の現在、上海で食事や買い物をするとき、日本円に換算すると手が出なくなってしまう。節約のため、週末は自炊を心がけているが、食材を買うにも、安全性を考えると、日系や欧米系のスーパーに足が向かう。結果高い食材で一人分の量を作って、

食材を余らせてしまうこともあるので、あまり節約にはなっていない気がする。

中国では、日本では食べられないような料理に出会える。駐在経験の多い人に聞くと、蟬や蠍なども食べたことがあると聞いた。私が上海で食べた珍しい料理は兔料理で、四川省の料理だそうである。兔料理の中でも人気があるのは、兔の頭だそうで、ほとんどの客が、注文していた。食べ方は、頭の表面の肉をしゃぶるように食べた後、頭を二つに割り、中身もしゃぶり尽くすといった少しグロテスクな食べ方で、日本人にとっては、敬遠したくなる料理である。味は、甘辛く味付けしてあるが辛味が強い。骨ばかりでありあまり食べるころはないが、興味のある方は、上海に来られた際、是非食べていただきたい（図1）。



図1 兔料理（頭）の看板

## 3. 上海ぶらり歩き

上海は、人口約2500万人の中国有数の都市であり、日本人駐在者は約6万人と言われている。観光で有名なのは、外灘と呼ばれる黄浦江沿いのビル郡や旧外人居留地の建物で夜景が綺麗である。その他、豫園や田子坊という寺や古い住宅街を小さな店の集まりにした商店街が有名である。

地元の人が行くところでは、上海動物園、野生動物園や朱角鎮という古い水路の町などがあり、休日は人で賑わっている。少し変わったところでは、上

海影視樂園という、映画の撮影用に作った町がある。日本では、京都の太秦映画村が観光用の映画撮影所としては有名である。

上海の南に位置する松江區にあり、市内から地下鉄とバスで約90分かかかる。場所的に日本人は少なく、私が訪れた際も日本人を見かけることはなかった。

古い上海の町並が撮影用として再現されており、実際に映画が撮影されている。敷地内には、古い路面電車(図2)が走っており、実際に乗ることもできる。

また、結婚式用の撮影も頻繁に行われており、若いカップルたちが古い町並みを背景に思い思いのポーズで写真に収められていた。中国人にとっては、記念写真が大切だそうで、こういった観光地で結婚用の写真を撮っている場面をよく見かける。



図2 路面電車

#### 4. 工場移転 (従業員)

私が赴任した2013年12月は、工場が嘉定区という上海市内から北西に約30km離れた地区の工業団地にあった。2003年2月に設立され約11年この場所で操業してきたが、翌年の2014年6月には、上海市内から西に約40km離れた青浦区にある工業団地に移転することが決まっていた。赴任してからの半年は、従業員への説明と移転に応じてもらうための賃金・福利厚生などの条件交渉および工場移転に関する市政府への届出と許認可を得る事に忙殺された。

まず頭を痛めたのは、従業員が移転について来てくれるかどうかであった。同じ上海近郊で距離的には約35km離れた場所だが、従業員のほとんどは嘉定区の工場近隣に住居を構えているため、自宅から工場まで10分から20分あれば着く。しかし、青浦区に移転すると、地下鉄やバスなどの公共交通機関が使えず、シャトルバスで通勤することになる。

シャトルバスを利用すると通勤時間は1時間余りかかるため、33名の従業員のうち、幹部を除くほとんどの従業員は行かないとの回答であった。しかし、スムーズに移転し、お客様に迷惑をかけないためにも、できるだけ多くの従業員に移転について来てもらう必要があった。従業員一人ひとりとカウンセリングを繰り返し、賃金・福利厚生など条件面の交渉を行った。

そんな中、移転を3ヵ月後に控えた3月中旬、現場の従業員が条件面などへの不満からストライキ状態に陥りかけた。私のデスクの周りに従業員が押しかけ、移転に対する不満をぶちまけた。当然言葉はわからないので通訳を通す事になるが雰囲気で相当不満を持っていることはわかった。現場従業員の代表と話し合いを持ち、期限を決め改めて条件提示をすることでその場は収まったが、不満をもった従業員がまじめに働くはずもなく、その時期の生産量は大幅に落ちた。

対策としては、不本意ながら現場にテレビカメラを設置し従業員を監視し怠業があれば会社規程に則り処分することを通告することで、何とかストライキを避けることができた。その後、関係者の協力と新たな条件を提示することで納得はしてもらったが、結果的に現場従業員の1/3は移転と同時に会社を去ることになった。

任務である工場移転を進める一方で従業員の気持ちも理解できた。その間で板ばさみになり、しばらくは眠れず、食欲も落ち体重が5kg以上落ちた。

紆余曲折があった中で、工場移転に協力してくれた従業員ならびに関係者の方には、この場を借りてお礼を申し上げる(図3, 4)。



図3 青浦区の新工場



図4 新工場の正面

## 5. 中国の景気

これまで年平均10%以上の成長を続けてきた中国だが昨年頃から7%前後の成長に落ち着き、世界各国では中国の成長の鈍化が報道されている。元高による輸出の減少や株価の下落などにより、景気は悪化の一途をたどっていると言われている。

確かに我々の属している第2次産業においては、過剰な設備、在庫などの影響により設備投資、生産が減少しているため、景気の悪化を肌で感じる。

しかし飲食・サービスなどの第3次産業は、順調に成長している。したがってまだら模様ではあるが、全体としては成長している状態で、高級品を扱うデパートは増えているし、これまで高嶺の花であった日本料理店にも中国人が増えてきている。連休になれば旅行客も多く、日本でも「爆買い」が大きく報道されるように、購買意欲はまったく落ちていないと感じられる。これまでの「とにかく安く、沢山買って、輸出して」という高成長モデルから、成長度は下がるが「質の良いもの・サービスを提供し、内需を拡大する」といったモデルに転換している経過の中で起こっている状態であり、ある意味中国政府としては、想定していた状況なのかも知れない。これまでの世界の工場から世界の市場へと変わっており、輸出型日系企業の撤退や統廃合が増加していると聞く。やはり中国国内の販売を伸ばすビジネスモデルでなければ今後は生き残れないのではないだろうか。

## 6. 駐在員の目から見た日中関係

尖閣諸島の問題以降、日中関係は悪化しており、

日本でも反日や抗日運動がよく報道されているが、実際に駐在して感じた日中関係を述べる。ただし、たった2年ほどの駐在経験における感想であることをはじめにお断りしておく。

私も上海に駐在するまでは、多くの日本人がそうであるように、ほとんどの中国人も日本のことが嫌いなのだろうと考えていた。確かに、テレビでは抗日をテーマにした戦争ドラマが多く、9月3日の戦勝70年記念軍事パレードの前後には朝から晩まで、どのチャンネルを見ても抗日戦争のドラマばかり放送していた。日本の政治家の一言一句を取り上げ報道することもよく見られる。しかし、こちらの人は、日本は歴史的には悪いことをしたが、日本の製品やサービスは好きといった割り切があり、露骨に反日感情を剥き出しにすることは、少なく感じる。現に先ほどの爆買いではないが、中国から日本への旅行者は増えるばかりである。

一方、日本においては、中国の景気悪化の影響で、世界経済も悪化するなどの中国を悪者にする報道が目立つ様に、中国を批判する論調が強いと感じる。その報道や論調に日本人は、影響され過ぎているのではないだろうか。私個人的には、中国人の持つ反日感情よりも、日本人の持つ中国に対する悪い印象の方が強いように感じる。当然ながら、日本の文化と中国の文化は異なり、歴史問題も介在するから受け入れ難いことも多々あるが、今後中国の影響が大きくなる流れのなか、相手を理解する上で、もっと交流しても良いと思う。

## 7. 最後 に

上海に駐在してまだ2年ということもあり、言葉の問題、考え方の違いで戸惑うことが多い。仕事面においても、意志の疎通がうまくいかず日々問題が発生し気を抜くことができない。特に単身の駐在員は、孤独になりがちでメンタル的に落ち込む時も多いと思う。私は、辛いときや落ち込んだときは「明日は明日の風が吹く」と切り替えるように心がけている。駐在員にとっては、ビジネススキルよりも切り替ができる能力がもっとも大切であると最近感じている。

私自身、あと何年中国に駐在するかはわからないが、中国には有名な観光地が沢山あるし、食べたことのない料理もあるので時間の余裕を見つけて、各地を旅行し見聞を広めたいと考えている。

(原稿受付：2015年11月26日)

## トピックス

## 米国ボストン滞在記

## 著者紹介



よし だ かず ひろ  
吉田和弘

東京工業大学精密工学研究所  
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42  
E-mail : yoshida@pi.titech.ac.jp

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

## 1. まえがき

2015年7月2日～9月29日の約3ヶ月間，大学業務の一環として，米国マサチューセッツ工科大学（Massachusetts Institute of Technology. 以降，MIT），CSAIL（Computer Science & Artificial Intelligence Laboratory）所長のDaniela Rus教授の研究室DRL（Distributed Robotics Laboratory）において在外研究を行う機会を得た。本稿では，そのときの経験についてご紹介したい。

## 2. 派遣先と活動内容

2.1 MIT<sup>1)</sup>

MITは，米国ボストンに1861年に創立された著名な理工系大学である。図1に示す校章では，右側の人物が本を，左側の人物がハンマーをもち，MITがモットーとする「理論と実践」を象徴している。ノー



図1 Rogers Buildingロビーに掲げられた校章

ベル賞受賞者を85名輩出している（1987年生理学・医学賞受賞の利根川進氏を含む）世界トップクラスの大学である。現在，Architecture & Planning, Engineering, Humanities, Arts, & Social Science, Management, Scienceの5学部を有している。

キャンパスは，地下鉄レッドラインのKendall駅に隣接しており，680,000㎡，すなわち東京ドーム15個分の面積を有する。広大な面積を有する米国の大学の中では，大きい方ではない。

学生数は，2014-2015年で，学部生4,512名（このうち女子学生46%），大学院生6,807名（同32%），合計11,319名である。出身国，人種は様々で，世界から優秀な学生が集まっている。留学生は学部生436名，大学院生2,748名であり，アジアからの留学生が49%を占めている。日本人学生が多くいると考えていたが，実際は少ない印象で，意外であり残念であった。最近の若者の内向き指向が反映されているものと思われる。アジア圏では，中国および韓国の留学生を非常に多く見かけ，活力の違いを感じた。

職員は，2015年現在で，教員1,830名（このうち教授，准教授，助教は1,021名（女性22%）），その他の職員10,010名，合計11,840名である。

学内の建物は，部屋の通路に面した壁がガラス張りであり内部を外から見えるところや，実験スペースが通路と仕切られていないところもあり，開放的な印象であった。学生が訪問者をガイドするキャンパスツアーも活発に行われていた。

また，MITには日本語に興味を持つ学生，職員も



図2 CSAILが入っているRay and Maria Stata Center



図3 DRLメンバー（一部）。中央の女性が Daniela Rus教授，その右が宮下博士，左が著者

多く，毎週1回，昼食を取りながら日本語を中心に会話を楽しむJapanese Lunch Tableというイベントが行われていた。著者も何回か参加し，楽しい時間を過ごした。

## 2.2 DRL<sup>2)</sup>

計算機科学と人工知能の研究教育を行うCSAILは，キャンパスの中央やや北側に位置する非常にユニークな外観をした図2に示すRay and Maria Stata Center (Building 32)内にあり，Rus教授のDRLはその3階にある。この建物は，外観だけでなく内部構造もユニークで，1階部分は天井が高く，空中を蛇行するような階段および渡り廊下が見え，本物の自動車が高い位置に飾られていた。

DRLの構成メンバーは，Rus教授，ポスドク研究員（アメリカ，イスラエル，韓国，スペイン，中国，ドイツ，トルコ，日本，他多数），博士課程学生，修士課程学生，UROP（学部生研究機会プログラム）により夏季休暇時に在籍した学部学生，および秘書であり，CSAILの中で最大規模の研究室である。図3にメンバー（一部）の集合写真を示す。

研究室は，中央に実験装置および学生の机が置かれた広いスペースの周囲に，教授のオフィス，ポスドク研究員の複数の居室が配置された構造である。その他に，通路に面したオープンな実験スペースがあり，UROP学生および著者はここで実験を行った。

DRLの研究内容は，ホームページ<sup>2)</sup>にあるように，自己組立ロボット，折り紙ロボット，ソフトロボット，協調組立システム，ネットワークシステムなど，ロボティクスを中心とした幅広いものである。アイデアが優れているものが多く，ハードウェアはそれほど重視されていないようである。したがって，アイデアの漏洩に細心の注意が払われていた。

研究室は，教授とポスドク研究員の間で打ち合わせを行い研究の方針を決定し，ポスドク研究員が学生の指導をするといった方法で研究活動が行われて



図4 教授宅で行われたパーティの様子

いた。夏季休暇の時期を除いて，毎週1回，全メンバーが集まり，昼食を取りながら各自パワーポイント1枚（動画を含む）を用いて研究の進捗状況を報告する会が設けられ，密度の高いディスカッションが行われていた。

所属メンバー間の仲が良く雰囲気良く，快適に研究生活を送ることができた。学年の終了時期に，卒業等，移動するメンバーのための送別会に参加したが，それは大きなケーキを食べながら巣立つ人の思い出を楽しく語り合うものであった。図3は，後述の宮下博士と著者の送別会の際の集合写真である（このときは他にもイベントがあり，全メンバーが集まることはできなかった）。また，教授宅で，現所属メンバー，卒業生およびその家族を集めたパーティも開催された（図4参照）。総勢30名以上が参加し，大いに盛り上がった。

## 2.3 研究内容

著者は，ポスドク研究員の宮下修平博士，Shuguang Li博士とともに，マイクロロボットに関する研究を行った。本研究のロボットは，DRLで開発された4個のコイルを有する3次元磁界発生器を用い，ロボットに搭載した永久磁石を遠隔で操作することによりロボットを動かすものである。すでに発表されている，加熱により平面の状態から自動的に折れ曲がり立体形状となる自己変形機能を有する折り紙ロボット<sup>3),4)</sup>に関連するものである。ただし，研究内容の詳細については，未公表のため割愛させていただきます。

ロボット自体は簡単な構造であるため，思いついたアイデアをすぐに試してみることができた。本研究に関する限り，面白い動作をするものを実現することを重視し，必要性についてはそれほど深く検討せずに行った。久しぶりの感覚で，研究を楽しむとともに，多くの新たな知見を得ることができた。

また，Rus教授，宮下博士，Li博士をはじめ優秀な研究者と交流を深めることができたことは，貴重な経験であった。



図5 ボストン美術館



図6 クインシーマーケット



図7 ダックツアーの水陸両用バス



図8 ビール工場

### 3. ボストンでの生活

著者が滞在した7月～9月のボストンは、日差しは強いが乾燥しているため過ごしやすく、地下鉄が便利で快適であった。たとえば、ローガン国際空港から市内へは、シルバーライン（バス）またはシャトルバスから地下鉄に乗り継いで、容易に移動することができる。

食生活についてはなじみきれないところがあった。シーフードが有名な土地柄で、ロブスターやクラムチャウダーなどおいしい料理があるのであるが、量と価格がやや問題であった。またチップ制度も面倒であった。著者は、MITまで徒歩約15分のアパートに居住していたが、その近くに日本や韓国の食材を豊富に扱うスーパーマーケットがあり、ここにかなりお世話になった。

英語環境の日常生活は、英語を身につけるには適しており、グローバル化が進む現在、とくに若いときに留学を経験することは非常に有意義であると思った。海外から見ることにより、日本国内ではわからない世界の中での日本の位置付けがわかってくる点でも有意義である。

週末にはボストン観光に出かけた。ハーバード大学、ボストン美術館（図5）、クインシーマーケット

（図6）、ダックツアー（図7）、フリーダムトレイルなどを楽しむとともに、著者が好む地ビールの工場見学（今回の滞在に先立つ6月の事前打ち合わせのとき）（図8）を行い、見聞を広めることができた。

### 4. あとがき

本稿では、著者の米国ボストンでの3ヶ月の経験について紹介させていただいた。今後、多くの日本の若者がグローバルに活躍することに期待している。

最後に、今回の在外研究をサポートしていただいた東京工業大学およびその関係者、客員研究員として受け入れていただいたRus教授、共同で研究をさせていただいた宮下博士、Li博士、およびDRLメンバー、著者が不在のときに学会活動をサポートしていただいた皆様に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) <http://web.mit.edu/facts/index.html>
- 2) [http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/index.php?title=Main_Page)
- 3) Miyashita, S., Guitron, S., Ludersdorfer, M., Sung, C. R. and Rus, D. : An Untethered Miniature Origami Robot that Self-folds, Walks, Swims, and Degrades, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 1490-1496 (2015)
- 4) <https://youtu.be/ZVYz7g-qLjs>

（原稿受付：2015年11月13日）

## 研究室紹介

## 法政大学高機能メカトロデザイン研究室の紹介

## 著者紹介



た なか ゆたか  
田 中 豊

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

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻修士課程修了。その後、東工大精密工学研究所助手を経て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、2002年同教授、現在に至る。工学博士（1991年東京工業大学）。



さか ま さやこ  
坂 間 清 子

法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター  
〒184-0003 東京都小金井市緑町3-11-15  
E-mail : sayako.sakama.83@hosei.ac.jp

2015年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博士後期課程修了。現在は同大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センターのポスト・ドクター。油中気泡の除去に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

## 1. はじめに

本稿では法政大学デザイン工学部の高機能メカトロデザイン研究室を紹介します。学会誌編集委員会の企画趣旨に沿って、まず2章では研究室の卒業生が学生の目線から研究室の様子などを紹介します。3章では、研究室の成り立ちの経緯や現在の研究テーマなどを教員から紹介します。

## 2. 卒業生から見た研究室

## 2.1 研究室の概要

法政大学デザイン工学部システムデザイン学科の高機能メカトロデザイン研究室（田中豊研究室）には、現在、学部3年生（秋学期より所属）10名、学部4年生9名、修士課程1年生2名、修士課程2年生1名の計21名の学生が在籍しています（2015年10月現在）。写真1は研究室の最近の集合写真です。本章の筆者である坂間は、2010年9月～2015年3月まで当研究室に在籍し、現在も博士研究員（PD）として田中先生のご指導を仰ぎながら研究室の学生と一緒に研究に取り組んでいます。田

中研究室の研究テーマは、環境調和形の油圧動力伝達システムや機器要素内の流れのデザイン、運動機構のデザイン、マイクロメカトロシステムのデザイン、人間の感性とインタフェースデザインの4つのテーマに分類され、高機能なメカトロシステムのデザインに関する幅広いデザイン工学分野を研究テーマとしています。

写真2は、月に一度実施される研究報告会の様子です。研究報告会には外部の方にもご参加いただき、田中先生からの（厳しい）ご指摘、ご質問だけでなく、外部の方からの客観的なご意見やご質問をいただくことで、学会発表の練習のような緊張感のある雰囲気の中で行われます。しかし、報告会終了後の懇親会はいつも和気あいあいとした雰囲気で行われており、学生はメリハリのある環境の中で研究に取り組んでいます。また研究室では、年に2～3回の



写真1 田中研究室の集合写真



写真2 研究報告会の様子



写真3 夏合宿

ゼミ合宿，毎年秋に行われるOB・OG会，学位授与式当日にカラオケパーティールームを貸し切って行われる研究室卒業記念パーティー等，先生と学生と一緒に参加するイベントが多くあります。田中研究室は先生と学生の距離の近い研究室ですが，このようなイベントが，先生と学生の距離を縮めるきっかけになっているのだと思います。写真3は2015年9月の夏合宿で訪れた富山県黒部ダムでの一コマです。

## 2.2 研究室に入った理由と現在の研究テーマ

筆者は，大学に入学した当初から田中先生の授業を受講する機会が多く，先生の講義の仕方や学生との接し方が好きで田中先生のもとで研究に取り組みたいと考えるようになり，田中研究室への所属を希望しました。研究テーマを決める際は，“油圧”に興味を持ったことで，油圧動力伝達システムの油中気泡の分離除去に関する研究<sup>1)-3)</sup>に従事することにしました。最初は強く希望する研究テーマがあって田中研究室を希望したわけではなかったため“なんとなく”始めた研究でしたが，田中先生の熱心なご指導のおかげで研究はすぐに楽しくなり，最終的に本研究で博士の学位を取得し，ポスト・ドクターになった現在も研究を継続して進めています。

## 2.3 田中先生について

田中先生は，人とのつながりを大切にする先生です。可能な限り多くの学生が学会に参加できるように研究の指導をし，また，他大学の先生や学生と共同で取り組めるゼミ課題を設定したり，産学連携での研究活動の場を学生に提供したりすることで，研究室の中だけではなく，学生が多くの研究者や外部の方々とのつながりを持てるよう，さまざまな工夫をしてくださっています。さらに，先生ご自身も学生との交流の場を大切にしてくださり，忙しい合間をぬって学生の研究や進路の相談に乗ってくださいます。そんな田中先生は，フルードパワーシステム学会に所属されている多くの先生方と同じように，専門とする分野や所属にかかわらず，たくさんの方と

懇親の場を持つことを大切にされています。卒業生の多くは，研究のことだけでなく，懇親会等で田中先生にご教授いただいたことは，社会に出てからとても役にたっているとOB・OG会で話しています。

特に筆者の場合，オーパスシステムの鈴木隆司博士やウナック研究所の福岡新五郎博士，機械振興協会の五嶋裕之博士など多くの外部の研究者の方々に普段から親身なご指導いただき，自分の視野を広くするのにとても役立っており，感謝しております。

## 3. 研究室の成り立ちと研究テーマ構成

### 3.1 成り立ちの経緯

本章の筆者の田中は，1991年4月に法政大学に着任し，今年で研究室を主宰して26年目を迎えます。着任時は工学部機械工学科（小金井地区）に在籍し，メカトロニクス研究室で学生の指導や油圧・水圧や空気圧に関する流体制御や流体計測，遠隔操作やバーチャルリアリティに関する研究テーマを展開していました。着任当時は，学部学生との年齢が一回りも違わなかったこともあり，羽目を外してよく飲んで騒いだことが懐かしく思い出されます。当時の研究テーマは参考文献<sup>4)</sup>に詳しく紹介されています。

その後，著者は大学より在外研究の機会が与えられ，2000年5月から翌年の3月まで，米国のユタ大学工学部計算科学科John Hollerbach教授の研究室で客員助教授として，恵まれた環境の下，雄大な米国西部の大自然を満喫しました<sup>5)</sup>。当時の米国は9・11テロの起きる前，空港のセキュリティーチェックなども大らかで，多くの日本の皆様を空港内の搭乗ゲートまで出迎え，車で市内や大学研究室，国立公園などへ案内したことなどを懐かしく思い出します。

帰国後，工学部の学部改組の最中の学科主任や学部執行部主任などの学内業務に携わり，ハイテクリサーチセンター整備事業によるマイクロ・ナノテクノロジー研究センターの開設（2003年）や新しい理系デザイン教育研究を行うシステムデザイン学科の設立（2004年），理工系教育の一部を都心の市ヶ谷地区へ展開する企画に関わりました。2007年には工学部の一部を分離して市ヶ谷地区に設置したデザイン工学部の開設に参画し，システムデザイン学科の教員として市ヶ谷地区に高機能メカトロデザイン研究室を開設し，現在に至っています。本稿の共著者の坂間は，この新学部システムデザイン学科の第1期の卒業生です。

### 3.2 研究テーマ

高機能メカトロデザイン研究室を開設してから，

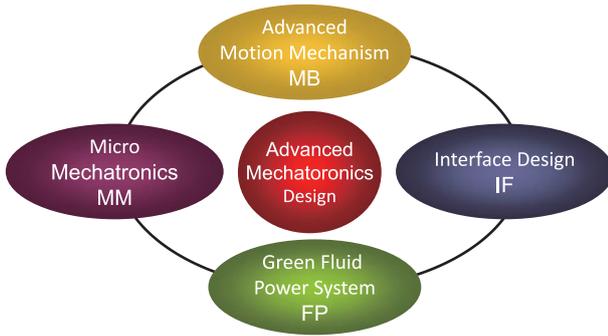


図1 研究室のテーマ分類

志望する学生の気質や知的好奇心が機械工学科の時と異なることもあって、従来からの流体制御に関する研究を基本としながら、研究の方向をモノづくりに関わる総合デザインという視点からとらえ直して整理し、4分野に研究テーマを分類して学生の研究指導にあたっています。

高機能メカトロデザイン研究室の研究テーマは、図1に示すように4つの分野、すなわち、次世代モーションメカニズム（略してMB）、インタフェースデザイン（IF）、グリーンフルードパワー（FP）、マイクロメカトロデバイス（MM）で構成されています。

MB分野はパラレルメカニズムを用いた運動機構のデザインとその産業分野に応用する研究が中心です。パラレルメカニズムが持つ運動特性を利用して巧みな運動や姿勢変化をとまなう高機能な次世代機械システム<sup>6)7)</sup>を実現します。

IF分野では、人間の感覚や感性とデザインの関係性の検討、人間の動きや反応を計測分析してインタフェース機器の設計に活かす研究を展開しています。

FP分野が最も本学会と関係が深い分野です。この分野では、油圧動力伝達システムの高効率・高性能化、油中気泡がキャビテーションや油の剛性におよぼす影響などを研究しています。気泡分離除去装置の試作と高圧実験装置による検証実験やフィールド試験、流れの数値解析や可視化実験等を通し、高性能な油中気泡分離除去システムが実現されています。

MM分野では、機能性流体が次世代マイクロフルードパワー素子実現のためのキーテクノロジーであると捉え、機能性流体パワーの特長を活かした小形で高性能な高出力マイクロメカトロデバイスの開発研究<sup>8)</sup>や機能性流体の一種であるER流体を用いた小形ロボット用ソフトブレーキの研究<sup>9)</sup>などを展開しています。

また既存のアクチュエータ全般（油圧・水圧・空気圧式、電磁式、その他の新しい駆動原理）の性能について、製品や試作品のデータを収集し、さまざま

な評価指標で比較分析検討する調査研究<sup>10)</sup>を継続して実施しています。著者らはこうした調査研究が、高性能なアクチュエータを開発するため、また将来にわたるアクチュエータ開発のロードマップを策定するためにきわめて重要な研究と捉えています。

#### 4. おわりに

著者の一人の坂間も紹介しているように、当研究室は国内外の学会講演会や展示会・技術説明会・技術交流会等に皆で積極的に参加し、発表や説明対応、交流を通して、研究成果を広く発信することに努めています。こうした機会は学生の皆にも好評です。

これらの経験を踏まえた上で、田中研究室のモットーは「自分のため」と「他人のため」の一致、すなわち「自他の一致」を常に意識し、「全機して調和した姿勢を保つように心がけよう！」です。自他一体感を持ち、わがまま勝手ではなく、相手の立場に立つことができる、共に喜び、共に苦しむことができる、そんな心を持った「全機」した姿勢が、心と体を健全に保つためのもっとも大切なことと常々思っています。当研究室の卒業生や在籍学生は皆、このことを常に胸に刻み、日夜、仕事や研究に取り組んでいるものと確信しています。今後共、関係各位のご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Y. Tanaka, S. Sakama, R. Suzuki, : "Bubble Elimination from Working Oils for Environmentally Friendly Hydraulic System Design", Int. J. Automation Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 488-493 (2012).
- 2) 坂間清子, 鈴木隆司, 田中豊 : 気泡除去装置の設計と評価に関する研究 (第2報 スパイラル係数を用いた放気口径と流出口径の選定), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 45, No. 5, p. 79-84 (2014).
- 3) S. Sakama, H. Goto, H. Higashi, R. Suzuki, Y. Tanaka, : "Air Bubble Separation and Elimination from Working Fluids for Performance Improvement of Hydraulic Systems", Proc. IFPE 2014 in Las Vegas, Paper-No. 27-1 (2014)
- 4) 田中豊, 解説 : 研究室ではこのようなテーマの研究を展開します, 油圧と空気圧, Vol. 27, No.7, pp. 896-897 (1996).
- 5) 田中豊, ユタ通信・アメリカソルトレイクシティ発行, 日本機械学会誌, Vol. 104, No. 988, pp. 210-211 (2001).
- 6) Y. Shiga, Y. Tanaka, H. Goto, H. Takeda, : "Design of Six Degree-of-freedom Tripod Parallel Mechanism for Flight Simulator", Int. J. Automation Technology, Vol. 5, No. 5, pp. 715-721 (2011).
- 7) H. Goto, K. Ichiryu, Y. Tanaka, : "3D Tube Forming and Applications of a New Bending Machine with Hydraulic Parallel Kinematics", Int. J. Automation Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 509-515 (2012).
- 8) Y. Tanaka, S. Yokota, : "Design and Fabrication of Micro Pump for Functional Fluid Power Actuation

System”, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs Part III Micro Actuators, Chapter 14, pp. 153-164, Springer (2010).

- 9) X. Fan, S. Sakama, T. Togawa, Y. Tanaka: “Design and Fabrication of ER Braking Device for Micromouse”, Proc. 7th Int. Conf. on Fluid Power and Mechatronics (FPM2015), IEEE No.CFP1599K-USB,

pp. 729-733 (2015).

- 10) Y. Tanaka, S. Sakama, S. Yokota, K. Nakano, : “Comparative Study on Performance of Fluid Power and Electric Actuators”, Proc. 3rd China-Japan Joint Workshop on Fluid Power, pp. 53-57 (2014).

(原稿受付：2015年10月12日)

## 会 告

# 会 員 移 動

| 会員の種類               | 正 会 員 | 海外会員 | 学生会員 | 賛助会員 |
|---------------------|-------|------|------|------|
| 会 員 数<br>(12月10日現在) | 950   | 16   | 145  | 133  |
| 差 引 増 減             | +2    | 0    | +11  | 0    |

正会員の内訳 名誉員12名・シニア員37名・ジュニア員153名・その他正会員748名

### 正会員

米川 典秀 (カヤバシステムマシナリー株式会社)  
相部 徹 (川崎重工業株式会社)

齋藤 哲平 (株式会社日立製作所)

### 学生会員

戸松 匠 (東京都市大学)  
飯塚 彩人 (芝浦工業大学)  
伊藤 健二 (信州大学)  
岡部 仁美 (信州大学)  
中枿 直貴 (鹿児島大学)  
舟知 亮祐 (法政大学)

杉本 克文 (大阪大学)  
中西 大輔 (大阪大学)  
庄司 輝秋 (神奈川工科大学)  
前田 和久 (信州大学)  
畑 真人 (鹿児島大学)

## 会 告

## 〈理事会・委員会日程〉

|       |           |
|-------|-----------|
| 1月14日 | 情報システム委員会 |
| 1月22日 | 基盤強化委員会   |
| 1月26日 | 理事会       |
| 2月 4日 | 編集委員会     |
| 2月 5日 | 企画委員会     |
| 3月10日 | 委員長会議     |

## 〈理事会報告〉

10月27日 15:00～17:00 機械振興会館

5階5S-2号室 (出席者12名)

- 1) 次期会長の人選について
- 2) フェロー認定推薦状況について
- 3) 第10回国際シンポジウム福岡の進捗報告
- 4) 第4回日中ジョイントワークショップ開催について
- 5) 平成27年度学会賞候補者選考について
- 6) ベトナムとの国際交流について
- 7) マイナンバー制度について
- 8) 会員の推移と入退会者について
- 9) 学会財務基盤の強化の進捗状況
- 10) 各委員会からの報告
- 11) その他

## 〈委員会報告〉

## 平成27年度第4回編集委員会

12月10日 14:00～17:00 東京工業大学田町CIC

5階リエゾンコーナー 501 (出席者13名)

- 1) 前回議事録の確認
- 2) 学会誌編集計画
  - ・ Vol.47 No.1 「農業に貢献するフルードパワー」
  - ・ Vol.47 No.2 「IoT, ICTを活用したフルードパワーシステム」
  - ・ Vol.47 No.3 「海洋開発・港湾建設に活用されるフルードパワー (仮)」
  - ・ Vol.47 No.4 「作動油の劣化対応 (仮)」
  - ・ Vol.47 No.5 「フルードパワーを活用した大規模研究開発 (仮)」
- 3) その他
  - ・ トピックスについて

- ・ 執筆依頼時に送る評価基準について (修正版の確認)
- ・ 情報システム委員会よりのご提案
- ・ 資料一覧
- ・ 48巻表紙カラーについて

## 平成27年度第3回企画委員会

12月18日 15:00～17:00 機械振興会館

地下3階B3-9号室 (出席者15名)

- 1) 平成27年度実施の事業に関する報告・審議事項
  - ・ 平成27年秋季講演会について (最優秀講演賞等)
  - ・ オータムセミナーについて (報告等)
  - ・ ウィンターセミナーについて
  - ・ その他
- 2) 平成28年度実施の事業に関する報告・審議事項
  - ・ 平成28年春季講演会併設セミナーについて
  - ・ 平成28年春季講演会について
  - ・ 第4回日中国際共同ワークショップについて
  - ・ 平成28年秋季講演会について
  - ・ オータムセミナーについて
  - ・ ウィンターセミナーについて
  - ・ その他
- 3) その他審議・確認事項
  - ・ 予告会告, 会告について
  - 平成27年度ウィンターセミナー
  - 平成28年度春季講演会併設セミナー

## 平成27年度第3回委員長会議

12月25日 10:00～12:00

機械振興会館地下3階B3-7号室 (出席者10名)

議題

- 1) 次期会長人選について
- 2) 国際シンポジウム福岡の開催準備状況について
- 3) 秋季講演会の準備状況について
- 4) 第4回日中ジョイントワークショップ開催について
- 5) 平成27年度でロー認定推薦状況について
- 6) マイナンバー制度について
- 7) 学会の財務基盤の強化の進捗状況について
- 8) その他

## 報告事項

- 1) 各委員会からの報告
- 2) その他

## 会 告

(一社)日本フルードパワーシステム学会  
賛助会員一覧表

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

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

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

編集室

次号予告

—特集「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」—

|  |                    |
|--|--------------------|
| 〔巻頭言〕「フルードパワーシステムを変えるIoT, ICTの最新技術」発行にあたって | 成田 晋               |
| 〔解説〕Internet of Things時代における変化とその対策        | 森 大輔               |
| フルードパワーの情報センシング技術                          | 眞田 一志              |
| マイコンと周辺機器の情報通信基盤技術                         | 赤木 徹也              |
| 遠隔操作に関わる一般論とバイラテラル・マルチラテラル制御について           | 三好 孝典              |
| エアパワーメータを活用した空気圧システムの省エネルギー化               | 加藤友規, 山本 円朗, 小林 敏也 |
| クラウド時代のメンテナンス・サービス                         | 細矢 征史              |
| 衛星通信を利用した建設機械のグローバル遠隔監視システム                | 関口 和浩              |
| 荒堀削から仕上げ整地まで自動アシスト制御するICT油圧ショベル            | 大岩 憲史              |
| 〔会議報告〕山梨講演会におけるフルードパワー技術研究                 | 吉田 和弘              |
| ASME/Bath2015に参加して                         | 眞田 一志              |
| 〔トピックス〕特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許文献を見る1      | 木原 和幸              |
| 〔展望〕60周年を迎えての抱負・学会への期待                     | 藤原 達也              |
| 〔研究室紹介〕芝浦工業大学 川上研究室                        | 川村 隼人              |
| 〔企画行事〕平成28年度企画行事紹介                         | 眞田 一志, 桜井 康雄       |
| 平成27年度オースタムセミナー開催報告                        | 川島 正人              |

平成27年度「フルードパワーシステム」編集委員

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| 委員長 吉田 和弘 (東京工業大学)   | 委員 中野 政身 (東北大学)     |
| 副委員長 塚越 秀行 (東京工業大学)  | 成田 晋 (KYB株)         |
| 委員 伊藤 雅則 (東京海洋大学)    | 藤田 壽憲 (東京電機大学)      |
| 内堀 晃彦 (宇部工業高等専門学校)   | 丸田 和弘 (株コマツ)        |
| 小倉 弘 (日立建機株)         | 村松 久巳 (沼津工業高等専門学校)  |
| 加藤 猛美 (株コガネイ)        | 柳田 秀記 (豊橋技術科学大学)    |
| 加藤 友規 (福岡工業大学)       | 山田 真の介 (株TAIYO)     |
| 北村 剛 (油研工業株)         | 吉満 俊拓 (神奈川工科大学)     |
| 木原 和幸 (財工業所有権協力センター) | 担当理事 伊藤 和巳 (KYB株)   |
| 栗林 直樹 (株川崎重工業)       | 山田 宏尚 (岐阜大学)        |
| 五嶋 裕之 (機械振興協会)       | 編集事務局 藤谷 秀次 (学会事務局) |
| 佐藤 公哉 (CKD株)         | 竹内 留美 (勝美印刷株)       |
| 佐藤 恭一 (横浜国立大学)       |                     |
| 妹尾 満 (SMC株)          | (あいうえお 順)           |

会告

複写される方へ

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

権利委託先:(一社)学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL:03-3475-5618 FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

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

# 日本フルードパワーシステム学会論文集

第47巻, 第1号 (2016)

平成28年1月

## 目次

### 研究論文

1. 気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータの  
製作  
加藤友規, 本多駿太, 程 明昭, 櫻木一樹, 大野 学 1

TRANSACTIONS OF  
THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.47, No.1

January 2016

Contents

Paper

- 1 . Fabrication of a Miniature Rubber Muscle Actuator Driven by Gas-Liquid  
Phase Change

Tomonori KATO, Shunta HONDA, Mingzhao CHENG,  
Kazuki SAKURAGI, Manabu ONO

1

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

## 研究論文

## 気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータの製作\*

加藤 友規\*\*, 本多 駿太\*\*, 程 明昭\*\*  
櫻木 一樹\*\*, 大野 学\*\*\*Fabrication of a Miniature Rubber Muscle Actuator Driven  
by Gas-Liquid Phase ChangeTomonori KATO, Shunta HONDA, Mingzhao CHENG,  
Kazuki SAKURAGI, Manabu ONO

The ultimate goal of this research is to develop an artificial micro muscle in which a tiny compressor is installed. Pneumatic actuators, such as pneumatic artificial rubber muscle (PARM) or rubber bellows, have been widely used in many industrial and research fields, since they have merits such as being compact and lightweight. However, the size of the compressor driving the actuator is relatively large. In order to solve this problem, the authors have been researching soft actuators driven by the gas-liquid phase change (GLPC) of fluorocarbon. Fluorocarbon ( $C_5F_{11}NO$ ) is a substance that has a relatively low boiling point (50 [°C]) and a low heat of evaporation (104.65 [kJ/kg], whereas that of water is 2,260 [kJ/kg]). In this research, PARM driving experiments utilizing the GLPC were conducted, and a PI control system was built to test step response and frequency response of actuator. The frequency response up to 4.0 [Hz] was clarified and the corner frequency of approximately 1.5 [Hz] was confirmed.

**Key words :** Pneumatics, Pneumatic artificial rubber muscle, Gas-liquid phase change, Pressure control

## 1. 緒 言

空気圧駆動のロボットに使用される空気圧アクチュエータの一種である空気圧ゴム人工筋 (Pneumatic artificial rubber muscle, 以下PARM) は、筋肉の収縮原理を模したものであり、Fig. 1に示すように空気圧をPARM内部に供給し、圧力を上昇させることで径方向に膨張し、軸方向に収縮して変位を生じる。PARMは軽量でやわらかく、同径のエアシリンダと比較して数倍の引っ張り力を発揮できる (軽量高出力) という特徴や防爆性や姿勢保持の点で優れており、柔軟な接触動作が要求される対人間用ロボットなど、パワーアシスト機器やマニピュレータへの適用の研究が進められている<sup>1)2)</sup>。しかし問題点として、PARMの駆動源として使用されるコンプレッサは大型で、Fig. 2に示すように周辺装置等を組み合わせると装置全体の小型化が困難になることが挙げられる。空気圧アクチュエータが直面するこの問題の解決策として、コンプレッサを使用しない気液相変化により駆動

されるアクチュエータに関する研究が進められているが<sup>3)</sup>、気液相変化を用いてPARMを駆動する際は、0.3 [MPa gauge] 以上の圧力発生に約200秒の時間を必要としており、圧力応答性の改善が課題となっていた<sup>4)</sup>。

そこで、著者らは応答性の改善<sup>5)</sup>を目的とし、本論文では気液相変化により駆動されるアクチュエータについて、特に力制御に注目した。まず、PARMの一般的な特性を測定し、次に気液相変化による圧力発生を確認して、PARMの駆動実験を行った。さらにPI制御系を適用し内圧制御を

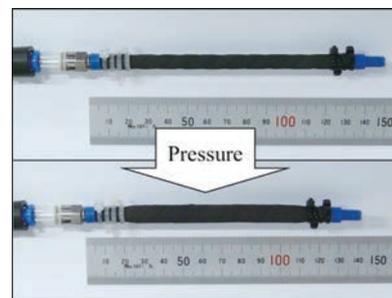


Fig. 1 Pneumatic artificial rubber muscle

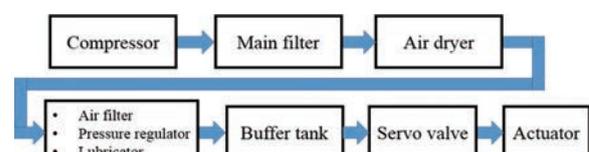


Fig. 2 Pneumatic system

\*平成27年6月3日原稿受付

\*\*福岡工業大学大学院工学研究科

(所在地：福岡県福岡市東区和白東3-30-1)

(E-mail: t-kato@fitac.jp)

\*\*\*東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

(所在地：東京都品川区東大井1-10-40)

行った。最後に気液相変化により駆動されるPARMの動特性を把握するため周波数応答実験を行い、性能を検証した。

## 2. 主な記号

|                |         |                        |
|----------------|---------|------------------------|
| $A_f$          | : 力の振幅  | [N]                    |
| $A_p$          | : 圧力の振幅 | [Pa]                   |
| $E$            | : 電圧    | [V]                    |
| $f$            | : 周波数   | [Hz]                   |
| $F$            | : 力     | [N]                    |
| $G$            | : ゲイン   | [dB]                   |
| $P$            | : 圧力    | [Pa]                   |
| $P_{ref}$      | : 目標圧力  | [Pa]                   |
| $\dot{P}$      | : 圧力微分値 | [Pa/s]                 |
| $R$            | : 抵抗    | [ $\Omega$ ]           |
| $t$            | : 時間    | [s]                    |
| $V$            | : 体積    | [cm <sup>3</sup> ]     |
| $W$            | : 消費電力量 | [J]                    |
| $\dot{W}$      | : 消費電力  | [W]                    |
| $\varepsilon$  | : 収縮率   | [-]                    |
| $\theta$       | : 液温    | [ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| $\angle\phi_f$ | : 力の位相  | [ $^{\circ}$ ]         |
| $\angle\phi_p$ | : 圧力の位相 | [ $^{\circ}$ ]         |

## 3. 気液相変化アクチュエータ

### 3.1 気液相変化の概要

気液相変化の概要をFig. 3に示す。気液相変化とは、気体から液体、液体から気体へと物質を相変化させる現象である。液体は、熱を与えられると沸騰が始まり、気体に変化する。その際に、体積が膨張し、容器内に圧力を発生させる。加熱を停止すると熱が奪われ凝縮し液体に戻る。その際に体積が収縮し、圧力が下降する。

### 3.2 気液相変化アクチュエータの概要

気液相変化アクチュエータの概要図をFig. 4に示す。気液相変化アクチュエータとは液相が気相へ変化する際、体積が膨張する現象を利用したアクチュエータである。装置に取り付けた自作のコンスタンタン製のヒータ（材料：TOKYO WIRE WORKS LTD,  $\phi 0.231$  [mm], 単位長さあたりの抵抗値16.02 [ $\Omega/\text{m}$ ])に電力を与えることで、加熱された液体が膨張した後、沸騰し気体へ変化する。その際に体積が膨張し発生する圧力によってアクチュエータが駆動する。また、装置から熱を取り除くと、変化していた気体は液体に戻り体積は収縮する。気液相変化を用いたアクチュエータは、コンプレッサレスのためPARMの長所を生かしたまま、装置全体の小型化が可能となる。

### 3.3 作動流体

本研究では作動流体にフッ化炭素 ( $\text{C}_5\text{F}_{11}\text{NO}$ ) を用いた。水とフッ化炭素の比較をTable 1に示す。フッ化炭素は沸点が大気圧下において50 [ $^{\circ}\text{C}$ ] と低く、蒸発熱が104.65 [kJ/

kg] と水の22分の1程度しかないため、僅かな熱エネルギーの供給・放出で相変化する。熱膨張率は、20 [ $^{\circ}\text{C}$ ] において0.00154 [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ] であり、水の約7倍である。また、毒性がなく不燃性で安全である。

## 4. PARMの静特性実験

本章では、PARMのモデル化を行う。PARMを錘を取り付けた状態で駆動させ、その時のPARMの静特性を測定する実験を行った。本研究で使用したPARM (FESTO MXAM-5-AA) はFig. 1に示したものである。このPARMの各寸法は自然長100 [mm], 外径6.76 [mm], 内径4.76 [mm] である。実験装置を Fig. 5に示す。PARMはポテンシオメータ付きの低摩擦レールに取り付けられ、先端にプーリを介して錘を取り付けた。

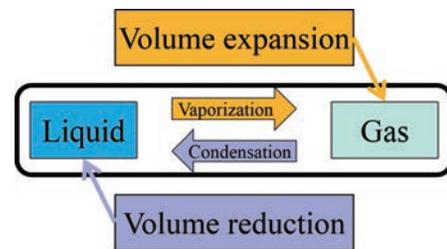


Fig. 3 Gas-liquid phase change

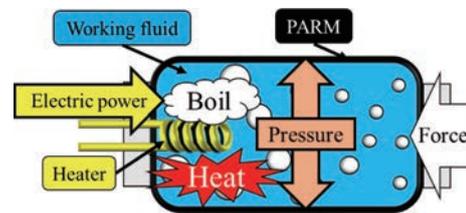


Fig. 4 Gas-liquid phase change system

Table 1 Characteristics of working fluid

| Working fluid (Chemical formula)                    | Boiling point (1 atm) [ $^{\circ}\text{C}$ ] | Heat of vaporization [kJ/kg] | Coefficient of thermal expansion [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ] |
|---|--|------------------------------|--|
| Fluorocarbon ( $\text{C}_5\text{F}_{11}\text{NO}$ ) | 50   | 104.65                       | 0.00154  |
| Water ( $\text{H}_2\text{O}$ )                      | 100  | 2,257                        | 0.00021  |

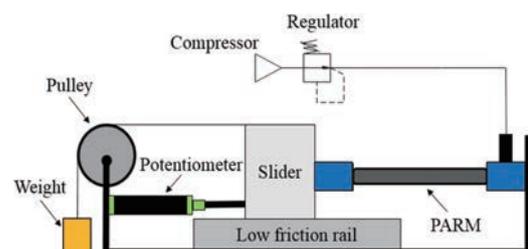


Fig. 5 Experimental apparatus

錘の質量を0.5 [kg] ( $F=4.9$  [N]), 2 [kg] ( $F=19.6$  [N]), 3 [kg] ( $F=29.4$  [N]) とし, PARMの内圧  $P$  を  $0 \rightarrow 0.4 \rightarrow 0$  [MPa gauge] と変化させ, その際PARMの変位をポテンシオメータで測定し, PARMの内圧と収縮率の関係を探した。

実験結果をFig. 6に示す。外力  $F$  と PARMの収縮率  $\varepsilon$  と内圧  $P$  の関係は補正係数を用いた(1)式で表すことができる<sup>6)</sup>。

$$F = P(a_1\varepsilon + a_0) - (b_1\varepsilon + b_0) \quad (1)$$

実験結果より上式の各係数を最小二乗近似を用いて,  $a_1 = 23042$ ,  $a_0 = 103$ ,  $b_1 = 15269$ ,  $b_0 = -10.1$  と求めた。

同様にFig. 5の実験装置を使用し, 錘の質量を0.5 [kg] ( $F=4.9$  [N]), 2 [kg] ( $F=19.6$  [N]) とした場合のPARMの収縮率  $\varepsilon$  と体積  $V$  の関係を測定した。測定結果をFig. 7に示す。PARMの収縮率と体積の関係は, PARMに加えらるる荷重によらないことが過去の研究で報告されており<sup>7)</sup>, 最小二乗近似により(2)式で近似することとした。

$$V = -69.08\varepsilon^2 + 24.08\varepsilon + 1.75 \quad (2)$$

以上は一般的なPARMの静特性のモデル化であり, 本論文の次章以降で本章の全ての結果を利用するわけではないが, 本論文で使用するPARMを駆動するには, 0.2 [MPa gauge] から0.4 [MPa gauge] 程度の内圧力を発生すればよいことがわかる。

## 5. 気液相変化によるPARM駆動実験

### 5.1 圧力発生実験 (オープンループ)

気液相変化による圧力の発生の様子を観察するため, 固定容器を用いて圧力発生実験を行った。今回の目標圧力は

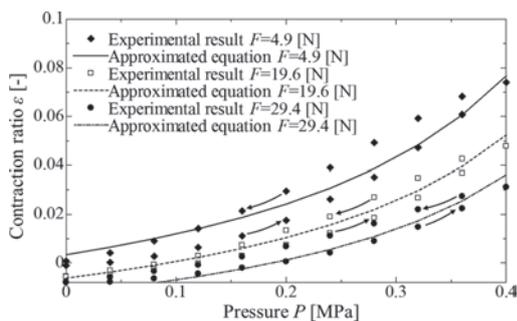


Fig. 6 Static characteristics of PARM

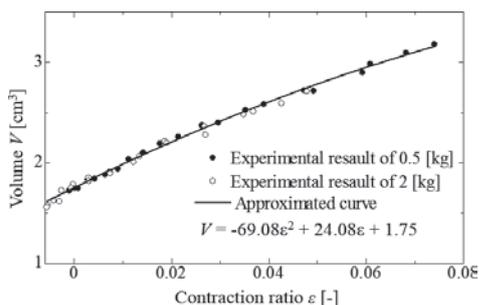


Fig. 7 Volume change of PARM

PARMの駆動に使用する0.35 [MPa gauge] である。実験装置をFig. 8に示す。本章における実験では, 30 [cm] の固定容器 (円筒部材質: アクリル, 高さ: 42.4 [mm], 内径: 30 [mm], 側面積: 3,996.1 [mm<sup>2</sup>]; 上下面材質: アルミ, 上下総面積: 1,413.7 [mm<sup>2</sup>]) に, 前述のフッ化炭素を満タンに充填した。作動流体は装置下部のコンスタンタン製のヒータ (抵抗値3.7 [Ω]) に電力を与えることにより加熱され沸騰する。また, 装置上部には圧力センサ (SMC PSE510-R06) を取り付けました。

実験においてはオープンループにて, ヒータに電力を331 [W] (電圧35 [V], 電流9.46 [A]) 与えることで, 固定容器内の圧力を大気圧状態から上昇させる実験を行った。圧力の上昇過程をFig. 9に示す。この実験結果より, 気液相変化による圧力の発生を確認した。

### 5.2 PARM駆動実験 (オープンループ)

気液相変化を用いてPARMの内圧を0.3 [MPa gauge] から0.35 [MPa gauge] まで変動させる実験を行った。実験装置をFig. 10に示す。PARMは固定容器の上部に取り付け, さらにPARMの上部には力を測定するロードセル (TCLZ-50NA) を取り付けました。また, 作動流体は固定容器とPARM内部を満たすように充填した。前節と同様に, 実験は電力を331 [W] (抵抗3.7 [Ω], 電圧35 [V], 電流9.46 [A]) とした。この実験では, 一度固定容器内圧力が0.35 [MPa gauge] に達した後にヒータへの電力供給を遮断し, 0.3 [MPa gauge] まで降下させた。その後, ふたたび0.3 [MPa gauge] から電力を供給し, 0.35 [MPa gauge] まで容器内圧力を上昇させ, 0.35 [MPa gauge] に達した際に電力を遮断し圧力を降下させ, この時の固定容器内の圧力を測定した。

測定された固定容器内の圧力値と算出した圧力微分値を示した実験結果をFig. 11に示す。固定容器内圧力が0.3 [MPa gauge] から0.35 [MPa gauge] まで上昇するのに要した時間は0.21 [s], 下降に要した時間は2.3 [s] であった。また, 電力供給を開始した直後の容器内圧力の圧力微分値は0.54 [MPa/s], 電力遮断後は-0.11 [MPa/s] であることを確認した。この圧力微分値より, PARM駆動のロボットシステムを1~2 [Hz] 程度の動特性で動かせる可能性を示した。

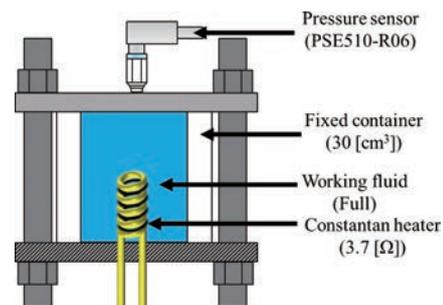


Fig. 8 Experimental device

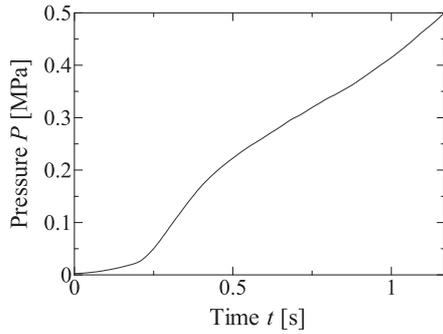


Fig. 9 Experimental result (time-pressure)

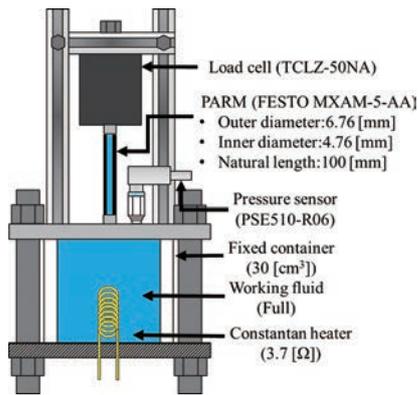


Fig. 10 Experimental device with load cell

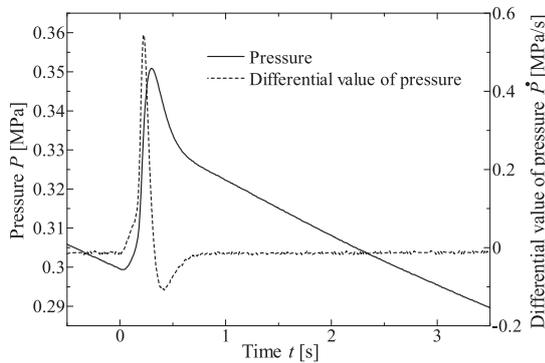


Fig. 11 Experimental results

## 6. PARMの駆動実験 (フィードバック制御)

### 6.1 装置構成と実験方法

Fig. 10の装置を対象に内圧制御実験を行った。本実験では、PI制御系を構成し、各ゲイン値を比例ゲイン400 [V/Pa]、積分ゲイン3 [V/(Pa·s)] とし、目標圧力 $P_{ref}$ は0.3→0.35→0.3 [MPa gauge] とした。また作動流体は20 [cm] から34 [cm] (満タン) まで2 [cm] 刻みで実験を行った。全体の装置構成をFig. 12、ブロック線図をFig. 13に示す。DSP (MTT s-BOX) を用いて制御信号 (電圧0 ~ 10 [V]) をアンプの役割である電源に与え、ヒータには0 ~ 35 [V] の電圧が印加される。ヒータの熱により容器内の作動流体が加熱され、気液相変化が発生する。気液相変化により発生した圧力を圧力センサ (SMC PSE510-R06)

により計測し、DSPへ圧力センサの信号を送ることで圧力フィードバックを行った。データロガーを用いて記録した値は、圧力 $P$ 、ヒータの電圧 $E$ 、PARMの出力 $F$ 、液温 $\theta$ である。

### 6.2 実験結果

各液量に対する圧力上昇と下降の時定数をFig. 14に示す。この結果では30 [cm] の場合の圧力上昇と下降の時定数が最も小さいといえる。30 [cm] の場合の実験結果 (圧力 $P$ 、電圧 $V$ 、出力 $F$ 、液温 $\theta$ ) をFig. 15に示す。目標圧力0.35 [MPa gauge] に上昇する際の時定数は0.12 [s] となった。この時、空冷による損失分を補償し、沸騰状態 (95 [°C] 以上) を維持するために定常的に必要な電圧は約15 [V] であった。その後、目標圧力0.3 [MPa gauge] に下降する際の時定数は0.32 [s] となった。このことから圧力の上昇と下降に関して、従来よりも応答性と制御性が共に向上した制御方法を実現したといえる。同じ圧力0.3 [MPa gauge] を維持するために、実験開始直後と50 [s] 以降を比較して、50 [s] 以降で電圧が下がっているのは液温が上昇したためだと考えられる。また、0.35 [MPa gauge] に維持している時のPARMの出力は26.4 [N] であった。

### 6.3 消費電力量

気液相変化を用いてPARMを駆動させた際に電圧 $E$ を測定し、そこから消費電力量 $W$ を(3)式を用いて求めた。

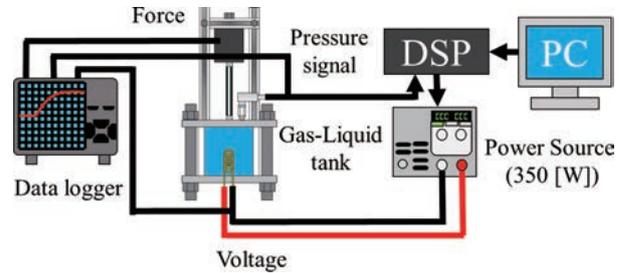


Fig. 12 Experimental configuration

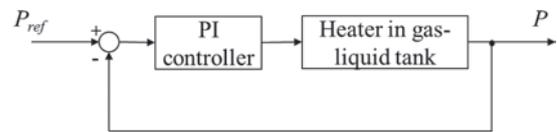


Fig. 13 Block diagram

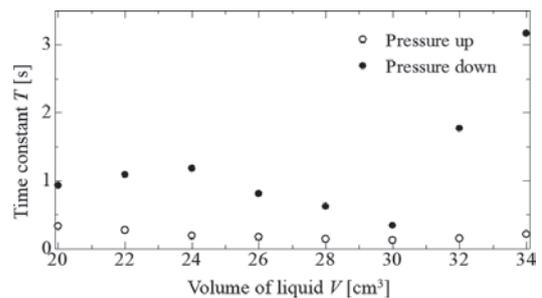


Fig. 14 Experimental result (volume-time constant)

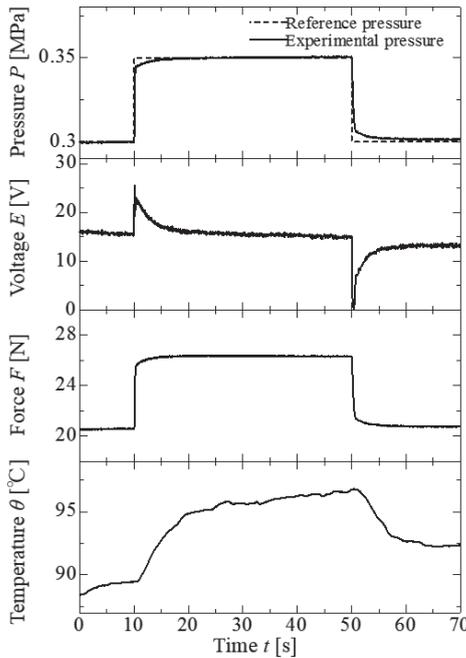


Fig. 15 Experimental results

$$W = \int \frac{E^2}{R} dt \quad (3)$$

電圧 $E$ と消費電力 $\dot{W}$ 、消費電力量 $W$ をFig. 16に示す。70秒間の消費電力量は4.39 [kJ]と求められた。

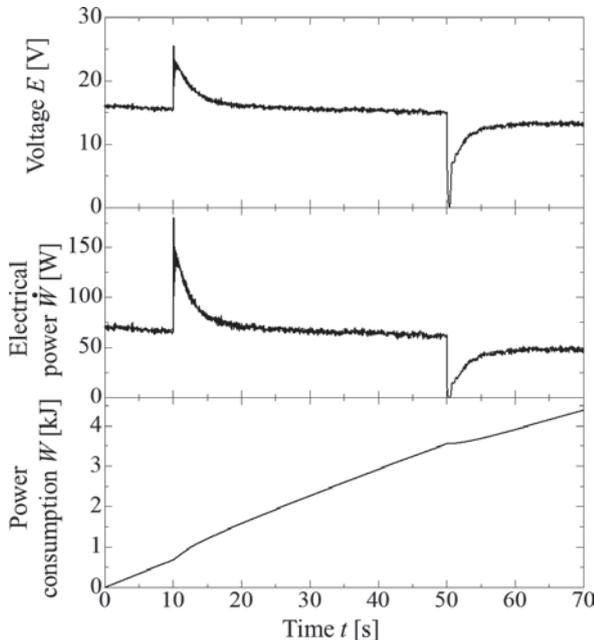


Fig. 16 Power consumption

## 7. 周波数応答実験

### 7.1 実験条件

本章では、気液相変化により駆動されるPARMの動特性を把握するため、前章と同様にFig. 12の実験装置を用いて周波数応答実験を行った。この時、比例ゲインは $K_p=1,200$

[V/Pa]、積分ゲインは $K_i=1.8$  [V/(Pa·s)]とし、目標圧力 $P_{ref}$ は式(4)のように定義した。

$$P_{ref} = 0.325 + 0.025\sin(2\pi ft) \quad (4)$$

周波数は0.1 [Hz] から4.0 [Hz] までとし、圧力と力の応答を記録した。

### 7.2 実験結果

目標圧力 $P_{ref}$ を入力値とし、圧力 $P$ を出力値として、ゲインと位相を求め、ボード線図を作成した。その結果をFig. 17に示す。位相は3.0 [Hz] の時 $-85.7$  [°]となり一次遅れ系の収束位相 $-90$  [°]より大きくなるため、システムは3.0 [Hz] まで概ね、折点周波数1.5 [Hz] の一次遅れ系で近似できる。周波数1.5 [Hz] の場合の実験結果をFig. 18に示す。

### 7.3 圧力と力の相関性

周波数1.5 [Hz] の場合の圧力と力の関係をFig. 19に示す。各周波数の場合の圧力の振幅 $A_p$ 、力の振幅 $A_f$ 、圧力の位相 $\angle\phi_p$ 、力の位相 $\angle\phi_f$ を測定し、圧力・力・周波数の関係を求めた。その結果をFig. 20に示す。このグラフより、圧力と力の振幅比は一定ではない。また4.0 [Hz] の際に力の位相は圧力の位相より約15 [°] 遅れている。これは、PARMの粘弾性<sup>8)</sup>が原因ではないかと考えられるが、詳細

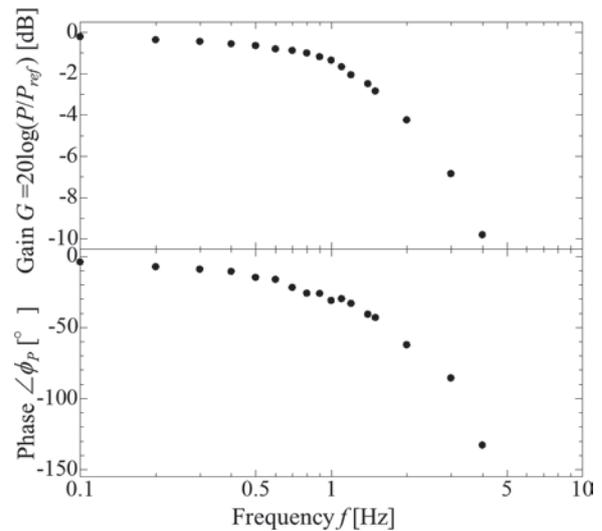
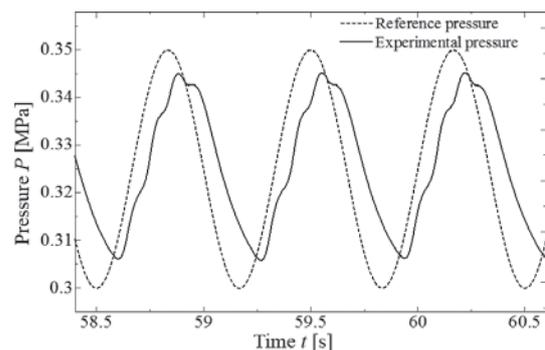


Fig. 17 Bode diagram

Fig. 18 Experimental result for  $f=1.5$  [Hz]

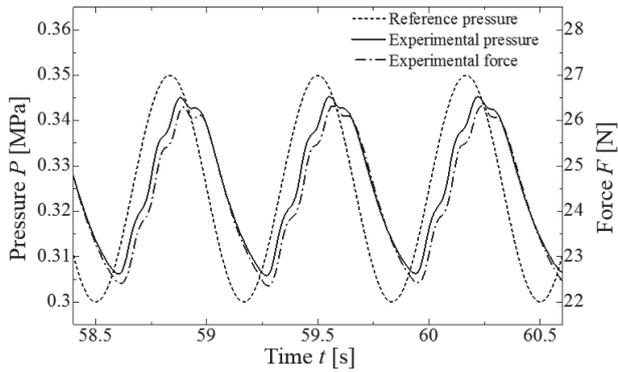


Fig. 19 Relationship between pressure and force for  $f=1.5$  [Hz]

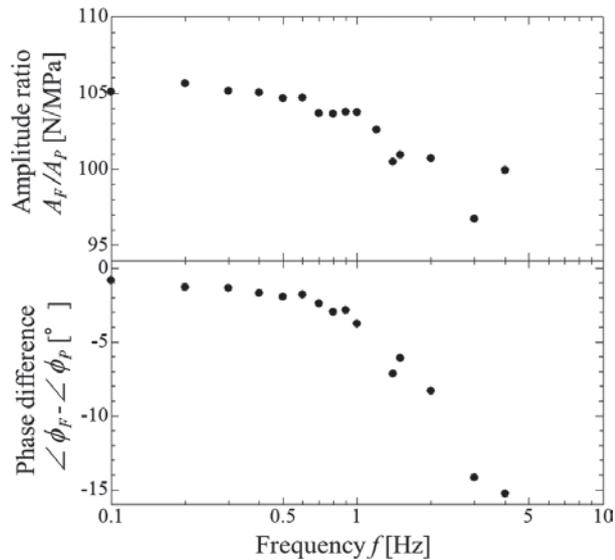


Fig. 20 Relationship between pressure and force (frequency domain)

は今後の研究課題である。今後、力制御を行う時には何らかの位相の補償が必要であると考えられる。

## 8. 結 言

本論文では、気液相変化により駆動される高応答なアクチュエータの力制御を実現することを目的とし、装置の製作および制御系を適用し、PARMの駆動実験を行い、性能を検証した。

まず、PARMの静特性を求め、内圧・収縮率・力の関係式と収縮率・体積の関係式を得た。次に、気液相変化を用いた圧力発生実験を行い、気液相変化による圧力の発生を確認した。

その後、圧力のPI制御系を構成し、PARMの内圧を気液相変化により制御する実験を行った。ステップ応答実験の

目標圧力は $0.3 \rightarrow 0.35 \rightarrow 0.3$  [MPa gauge]であり、内圧を変動させた際の圧力、電圧、PARM出力、液温を測定した。目標圧力 $0.35$  [MPa gauge]に上昇する際の時定数は $0.12$  [s]、目標圧力 $0.3$  [MPa gauge]に下降する際の時定数は $0.32$  [s]となった。また、PARMの出力は制御を行うことで、約 $26.4$  [N]の保持に成功した。この内圧制御を行った場合の消費電力量は $4.39$  [kJ]と求められた。

さらに、周波数応答実験を行い、圧力・力・周波数の関係を求めた。これらの結果より、気液相変化により駆動されるPARMは、数ヘルツの動特性を要するロボットアームや鉗子などの制御に十分適用できる可能性が示された。

## 参 考 文 献

- 1) 則次俊郎：空気圧アクチュエータ，日本ロボット学会誌，Vol. 15, No. 3, 355/359 (1997)
- 2) Kenji Kawashima, Takahiro Sasaki, Toshiyuki Miyata, Naohiro Nakamura, Masato Sekiguchi and Toshiharu Kagawa：Development of Robot Using Pneumatic Artificial Rubber Muscles to Operate Construction Machinery, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 16, No. 1, 8/15 (2004)
- 3) 松田信一，大野学，泉俊之，加藤重雄：金属ベローズ型気液相変化アクチュエータ（内視鏡下外科手術用処置具への利用），精密工学会誌，Vol. 71, No. 6, 723/728 (2005)
- 4) 吉澤達哉，加藤友規，大野学，加藤重雄：気液相変化駆動式ゴム人工筋アクチュエータの基礎特性，日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集，67/68 (2010)
- 5) 本多駿太，加藤友規，程明昭，小笠原利樹，大野学：気液相変化により駆動されるゴム人工筋アクチュエータの製作，春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，97/99 (2014)
- 6) 藤本真作，小野敏郎，逢坂一正，趙子磊：空気圧ゴム人工筋のモデリングと拮抗駆動型システムの制御系設計，日本機械学会論文集（C編），73巻730号，1777/1785 (2007)
- 7) 香川利春，藤田壽憲，山中孝司：人工筋アクチュエータの非線形モデル，計測自動制御学会論文集，Vol. 29, No. 10, 1241/1243 (1993)
- 8) 加藤友規，大野学，東知明，只野耕太郎，川嶋健嗣，香川利春：ゴムベローズを用いた高減衰空気圧ゴム人工筋の提案と特性解析，日本フルードパワーシステム学会論文集，42巻6号，114/119 (2011)

会 員 各 位

平成28年1月15日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

平成28年度会費納入のお願い

拝啓 時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

さて、平成28年度（自平成28年4月1日～至平成29年3月31日）の会費を、下記の通りご納入賜わりたくお願い申し上げます。なおすでにご納入くださいました場合は、何卒ご容赦ください。

敬 具

記

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

お 願 い

- ・27年度以前の会費を未納の方は、新年度分（平成28年度）と併せてお振り込みくださいますようお願い申し上げます。
・会員名を必ずご記入ください。
・便利な自動振り込みは手数料が不要です。ご希望によりお申し込み書をお送り致しますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、宜しくお願い申し上げます。

以上

払込取扱票 (東京) 口座番号 001103133690 金額 8000 加入者名 一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会 通 信 欄 該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。 1. ( )年度 ( )会費 企業名・[ ] 2. ( )の代金 払込人住所氏名 (郵便番号) (電話番号) 受付局日附印

## お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

\* 下の振替用紙をご利用いただけます。

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

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

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

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

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

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

### ご注意

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

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

(日本郵政公社)

〒105  
|  
0011 東京都港区芝公園三丁目五―三二 電話(〇三)三四三―八四四一 FAX(〇三)三四三―八四四二  
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三一―三三六九〇

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