

## 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.2017 Vol.48 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「柔軟構造のフルードパワー  
アクチュエータ」

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 | 小山 紀         | 4 |
| 年頭にあって | 眞田 一志, 肥田 一雄 | 5 |

### 特集「柔軟構造のフルードパワーアクチュエータ」

#### 【巻頭言】

|                              |       |   |
|------------------------------|-------|---|
| 「柔軟構造のフルードパワーアクチュエータ」発行にあたって | 塚越 秀行 | 6 |
|------------------------------|-------|---|

#### 【総論】

|                        |       |   |
|------------------------|-------|---|
| 柔軟構造のフルードパワーアクチュエータの展望 | 則次 俊郎 | 7 |
|------------------------|-------|---|

#### 【解説】

|                                                |             |    |
|------------------------------------------------|-------------|----|
| 圧力駆動バルーンアクチュエータを利用したマイクロフィンガーによる培養細胞組織の把持・解放操作 | 小西 聡        | 12 |
| 液圧アクチュエータを用いた低侵襲医療機器                           | 芳賀 洋一       | 15 |
| フレキシブルERバルブを用いたマイクログリッパ                        | 吉田 和弘       | 18 |
| 気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ                          | 鈴木 康一, 和田 晃 | 21 |
| 螺旋状巻き付き空気圧駆動ソフトアクチュエータ                         | 西岡 靖貴       | 26 |
| タコの吸盤を参考にした空気圧駆動による投擲型柔軟吸着体: Anchor Ball       | 塚越 秀行       | 29 |

#### 【会議報告】

|                            |       |    |
|----------------------------|-------|----|
| ERMR2016におけるフルードパワー技術の研究動向 | 竹村研治郎 | 32 |
|----------------------------|-------|----|

#### 【教室】

|                                   |      |    |
|-----------------------------------|------|----|
| 入門講座「エネルギー工学」第三回: 火力発電と環境対策・地球温暖化 | 江間 敏 | 34 |
|-----------------------------------|------|----|

#### 【トピックス】

|                                        |       |    |
|----------------------------------------|-------|----|
| レンズ風車とそのクラスタ化による新しい風車システム—マルチレンズ風車の開発— | 大屋 裕二 | 37 |
|----------------------------------------|-------|----|

フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード 第1回 「ISO12100」

機械類の安全性 ―設計者のための一般原則― リスクアセスメントおよびリスク低減 北村 剛 41

インド駐在員日記 松崎 顕介 44

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3 木原 和幸 47

## 【会告】

平成28年度 ウィンターセミナー「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」 51

平成29年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー

「フルードパワーに役立つセンシング技術」 51

日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催

平成29年春季フルードパワーシステム講演会 51

平成29年春季フルードパワーシステム講演会併設企画

「製品・技術紹介セッション」 51

書籍案内 オーム社刊「油圧・空気圧回路～書き方&設計の基礎教本」 52

共催・協賛行事のお知らせ 53

その他 50, 54, 55, 56

■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                           | Osamu OYAMA                | 4 |
| Greetings of New Year from the Vice Presidents | Kazushi SANADA, Kazuo HIDA | 5 |

**Special Issue "Fluid Power Actuator with Flexible Structure"****[Preface]**

|                                                                     |                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|---|
| On the Special Issue "Fluid Power Actuator with Flexible Structure" | Hideyuki TSUKAGOSHI | 6 |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|---|

**[Survey]**

|                                                         |                   |   |
|---------------------------------------------------------|-------------------|---|
| Outlook on Fluid Power Actuator with Flexible Structure | Toshiro NORITSUGU | 7 |
|---------------------------------------------------------|-------------------|---|

**[Review]**

|                                                                                      |                             |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|
| Micro-fingers Using a Pneumatic Balloon Actuator for Cellular Aggregate Manipulation | Satoshi KONISHI             | 12 |
| Minimally Invasive Medical Equipment Using Hydraulic Actuator                        | Yoichi HAGA                 | 15 |
| Microgrippers Using Flexible ER Valves                                               | Kazuhiro YOSHIDA            | 18 |
| Hose-free Pneumatic Actuator Using Reversible Chemical Reaction                      | Koichi SUZUMORI, Akira WADA | 21 |
| Helical-winding Pneumatic Soft Actuator                                              | Yasutaka NISHIOKA           | 26 |
| Anchor Ball: Deformable Anchor Ball for Thrown Referring to Octopus Suckers          | Hideyuki TSUKAGOSHI         | 29 |

**[Conference Report]**

|                                                       |                  |    |
|-------------------------------------------------------|------------------|----|
| State of the Art of Fluid Power Technology in ERM2016 | Kenjiro TAKEMURA | 32 |
|-------------------------------------------------------|------------------|----|

**[Lecture]**

|                                                                                                                                       |             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----|
| An Introductory Course of Energy Engineering :2. Environmental Countermeasure in Thermal Electric Power Generation and Global Warming | Satoshi EMA | 34 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----|

**[Topics]**

|                                                                                        |                   |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|
| A Multi-Rotor System Using Wind Turbines with Brimmed Diffuser                         | Yuji OHYA         | 37 |
| Global Standards for Fluid Power Designers Part 1. [ISO12100]                          |                   |    |
| Safety of Machinery -General Principles for Design- Risk Assessment and Risk Reduction |                   |    |
|                                                                                        | Takeshi KITAMURA  | 41 |
| Matsuzaki's Diary in India                                                             | Kensuke MATSUZAKI | 44 |
| Investigation of the Patent Documents/ Japan Platform for Patent Information           |                   |    |
| -Patent Literature Reference 3                                                         | Kazuyuki KIHARA   | 47 |

**[JFPS News]**

|                            |
|----------------------------|
| 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 |
|----------------------------|



## 挨拶

## 年頭のご挨拶

## 著者紹介



おやま おさむ  
小山 紀

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

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

明けましておめでとうございます。年頭にあたりましてご挨拶を申し上げます。

平成27年（2015年）にギリシャ金融危機に端を発したEU脱退問題が起きたことは記憶に新しいところです。昨年6月には遂に英国が国民投票の結果より脱退にかじ取りし、日本を巻き込んだ世界的な波乱を予感させました。国内においては熊本、鳥取の地震や相次いだ台風上陸など、自然災害に悩まされた年でもありました。

本学会におきましても、グローバル化による産業構造変化や、急激な高齢化社会への移行による影響があることを見逃せません。これから来るかもしれない激震に耐えうるよう、学会の基盤を整備しなければなりません。そのために本学会が存在していることのメリットを実質化しておく必要があります。

学会の使命は「知識の交換や情報提供により研究の進歩・普及を図り、学術の発展に寄与する」（定款より、一部略）ことです。国際を視野にした知識の交換や情報提供が何よりも重要でしょう。昨年より賛助会員企業へのサービスに軸足を置いた産学共同研究委員会「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」が活動を開始しました。5月には第4回日中国際共同ワークショップを開催し、中国からの9名を含む計40名の参加者を得て、有効な情報と意見交換をおこなうことができました。11月の中国浙江省2016FPTCでの若手交流事業には中国からの招聘者として1名を派遣しました。また本年10月には第10回国際シンポジウムを福岡で開催します。奮ってのご参加をお願いします。国外

機関との連携では、昨年4月にベトナムThe National Institute of Patent and Technology ExploitationとMOUを締結しています。

国内での産学連携につきましては、学会講演会、研究委員会、セミナー、フルードパワー道場などを通じておこなっていますが、今後さらなる連携強化をはかってまいります。特にフルードパワー工業会とは関係を一層強化していきます。

学会の会員数増減について、現在は横ばいの状態です。増強をはかるには、会員でいることのメリットを実質化することが急務です。目に見える形での会員サービスを実施していきます。昨年は上記中国との若手交流事業について、中国からの招聘分とは別に新たに1名を会員から公募し応募者を派遣しました。また、ベテラン会員が学会の会合へ積極的に参加しやすい環境を整備するため、永年会員制度を発足させています。さらに一層の会員サービスに向けて、是非とも会員の皆様からご要望をお寄せください。もちろん、新たなサービスを開始するには出費が伴います。会員増強による収入増で補うのがベストですが、現状では健全な財政運営を保全するため経費節減が必要です。その一環として、来年から論文の電子化を実施します。従来、学会誌と合本の形で発行していた論文誌を廃止しますが、論文は引き続きJ-StageにWEB公開されます。会員の皆様のご理解をお願いします。

有名な「もはや戦後ではない」の経済白書が出されて昨年でちょうど50年でした。この間、科学技術に対する社会の期待や信頼に変化があったことは否めません。しかし、人のために技術が必須であることは明白な事実です。フルードパワー技術者は信念を持って、そして信頼を裏切らない技術を確立してゆくことが求められます。本学会も3年後の平成32年に創立50年を迎えます。次の50年につながるフルードパワー創成を目指しつつ、半世紀にわたる活動成果とその意義を社会に伝える機会です。

最後になりましたが、学会運営にはなによりも会員皆様のご理解・ご協力が必要です。どうかよろしくお願ひ申し上げます。（原稿受付：2016年10月26日）

## 挨拶

## 年頭にあたって

## 著者紹介



さなだ かずし  
**眞田 一志**

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

昭和61年3月東京工業大学大学院理工学研究  
科修士課程制御工学専攻修了。昭和61年4月東  
京工業大学助手。平成10年横浜国立大学工学部  
生産工学科助教授。平成13年横浜国立大学大学  
院助教授。平成16年横浜国立大学大学院教授。  
現在に至る。



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、明けましておめでとうございます。年頭にあたり、副会長として、ご挨拶を申し上げます。

## 2. 国際シンポジウム開催

本年10月には、当学会主催の国際シンポジウムが開催されます。今回が記念すべき第10回のシンポジウムであり、記念講演会を計画しています。海外の著名教授の招待講演のほか、オーガナイズドセッション、ポスターセッションなど、多彩な視点から、研究開発の成果が紹介されるものと期待し、副会長として、その成功のために尽力して参ります。

## 3. 海外動向と国際交流

2016年は、ドレスデンでのシンポジウム、インドフルードパワー学会の講演会やイギリスバース大学のシンポジウムなどの国際会議に、本会員の皆様も参加され、国際交流を深められました。今年は、浙江大学のシンポジウム、ASME/Bathシンポジウムをはじめとした国際会議が予定されており、これ

らの国際会議への参加を通して、研究開発の最先端の情報を得るとともに、各国の研究者との絆をさらに深めて参ります。

## 4. 基盤強化

当学会に限らず、主要な学会でも基盤強化（年齢構成、論文WEB化、産学連携）は喫緊の課題となっています。

会員の年齢構成の高齢化に対しては、シニアの会員の皆様に、ひきつづき当学会に継続して参加していただく施策や、若手研究者・技術者の当学会への勧誘の両面作戦が必要です。

当学会では、研究論文の完全WEB化も検討されています。WEBに掲載することで、簡単に検索でき、引用される機会が増えます。英文であれば、世界中の研究者から検索、引用され、研究に対する評価が向上することになります。

産学連携については、フルードパワー工業会と連携してさまざまな活動を進めてまいります。そのひとつの例として、当学会の大学教員と連携して実施した研究成果を国際シンポジウムで発表することが計画されています。

基盤強化には、まだまだ課題がありますが、大きな成果が得られるよう、副会長として尽力して参ります。

## 5. 50周年に向けて

1970年に日本油空圧協会が発足し、当学会はまもなく50周年を迎えます。半世紀にわたる当学会の道程を振り返り、さらに将来を見据えたビジョンを示すことが求められています。今年は、50周年の記念事業の準備が始まります。小山会長のもと、準備に伴うさまざまな課題を、副会長として対策して参ります。

2017年が会員の皆様にとって良い新年となりますことを祈念し、副会長の新年のご挨拶といたします。

(原稿受付：2016年9月30日)

## 「柔軟構造のフルードパワーアクチュエータ」 発行にあたって

### 著者紹介



つか 越 秀 行

東京工業大学大学院  
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-S5-19  
E-mail: htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学助手を経て、2004年同大学工学部助教授、准教授、現在に至る。レスキューロボット、流体アクチュエータの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

超高齢化社会をむかえた我が国において、医療・介護・農作業・保守点検など、身近な生活環境で人間を支援するロボットのニーズが高まりつつある。これらの環境で活躍するロボットにおいて、人体や対象物に対し、マニピュレーション・アシスト・探査などの作業を安全に行える機能の搭載が最重要課題となる。

その実現には、外部環境を計測するセンサ・信号処理・運動制御などの各要素技術の進化に加えて、接触する対象に損傷を与えない柔軟構造のアクチュエータの創製が欠かせない。

近年、最先端の柔軟素材を用いた様々なタイプの「ソフトアクチュエータ」が開発されている。高分子ゲルアクチュエータ、導電性高分子アクチュエータ、エラストマーアクチュエータ、カーボンナノチューブアクチュエータ、などが開発事例として挙げられる。各々に個別の特徴があり、その長所を生かした様々な応用が模索されている。ただし、これらはいずれも電気エネルギーから機械エネルギーに変換する機能がアクチュエータ内に含まれる。このため、駆動力を増すための設計を試みると、素材の厚みや太さも増し、柔軟性を損ねる場合も生じる。

一方、フルードパワーアクチュエータは一般に、アクチュエータの外部に設けた圧力源から伝送された流体エネルギーをもとに、機械エネルギーをダイレクトに取り出せる。そのため、アクチュエータ自体は圧力源と独立して設計でき、柔軟性を保ちつつ出力／重量比の高い動作を生成しやすい。

その反面、圧力源や制御機能も含めたシステム全

体の構成では課題が残されている。弁を含めたシステム全体の柔軟化・小型化・軽量化は流体駆動系の永久のテーマである。また、多自由度駆動系における配管のスリム化も不可避の課題であろう。

そこで本特集号では、「柔軟構造のフルードパワーアクチュエータ」と題し、柔軟性に優れたフルードパワーアクチュエータの最新情報を紹介する。なかでも、外界への適応性に優れたアクチュエータの設計や、柔軟性を損ねないための弁・配管・駆動源の構成に注目し、これらに関して斬新なアイデアで挑まれている研究者に、そのユニークな解決方法をご紹介いただくのが本特集号の目的である。

則次俊郎氏（津山高専）には、総論として柔軟構造のフルードパワーアクチュエータの可能性と課題を解説していただいた後、様々なタイプの空気圧人工筋をご紹介いただく。小西聡氏（立命館大学）には、わずか直径数百 $\mu\text{m}$ 程度の塊である培養細胞組織を把持・解放するための空気圧駆動マイクロアクチュエータをご紹介いただく。芳賀洋一氏（東北大学）には、生理食塩水を用いた液圧駆動の低侵襲医療機器として能動屈曲カテーテルや径可変内視鏡フードをご紹介いただく。吉田和弘氏（東工大）には、機能性流体の一つであるERF（electro-rheological fluid）の粘度を変化させて制御する弁内蔵のマイクログリッパについてご紹介いただく。鈴森康一氏ら（東工大）には、弁や圧力源の機能も内在したアクチュエータとして気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータをご紹介いただく。西岡靖貴氏（滋賀県立大学）には、ユニークな動作を生じる螺旋状巻き付き空気圧駆動ソフトアクチュエータをご紹介いただく。最後に塚越秀行（東工大）は、タコの吸盤を参考とした構造を導入し、凹凸面に適応しながら吸着する空気圧駆動の柔軟吸着体を紹介する。

末筆ながら、ご多忙のなかご寄稿いただいた執筆者のみなさまに厚く御礼申し上げる。本特集号が、柔軟構造のフルードパワーアクチュエータに関する最新情報の提供に資すれば、望外の喜びである。

（原稿受付：2016年11月21日）



# 柔軟構造のフルードパワーアクチュエータの展望

## 著者紹介



のり つぐ とし ろう  
則次俊郎

津山工業高等専門学校  
〒708-8509 岡山県津山市沼624-1  
E-mail: toshiro@tsuyama-ct.ac.jp

1974年岡山大学大学院工学研究科修士課程修了、津山工業高等専門学校助手、講師、助教授を経て、1986年岡山大学工学部助教授、1991年同教授、2005年同大学院自然科学研究科教授、2013年岡山大学名誉教授、津山工業高等専門学校長、現在に至る。ロボットに関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会会員、日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会のフェロー、工学博士。

## 1. はじめに

2014年5月のOECD閣僚理事会での安倍総理大臣のロボット革命宣言に端を発し、現在、わが国はロボットブームと言える状況であり、関連の新聞誌上等において「ロボット」の文字を目にしない日はない。同年に立ち上げられた「ロボット革命実現会議」では、2020年までにサービスロボットの市場を20倍にすることが議論されている<sup>1)</sup>。

「段階の世代」の人々が75歳以上（後期高齢者）となる2025年ごろには医療・介護・福祉の負担増加、生産年齢人口の減少などによる社会保障財政の悪化が、2025年問題として危惧されている。このような課題に対応する手段として、高齢者や障害者の自立した日常生活や介護支援、リハビリテーション支援、さらに、生産工場や農林水産業などにおいて重作業を支援するいわゆる人間支援ロボットの開発と実用化が求められる。

この種のロボットは、人間と身近で、あるいは人間を直接の作業対象とすることが多い。そのため、一般の産業用ロボットと比べて人間に対する安全性や快適性が強く求められ、ロボットを駆動するアクチュエータも適切に選択する必要がある。すなわち、適度な柔軟性やバックドライバビリティが求められ、このような特性を持つアクチュエータがソフトアクチュエータあるいは本特集における柔軟構造アクチュエータである。ソフトアクチュエータは人工筋

肉とも呼ばれ、形状記憶合金、高分子材料、空気圧などを用いたものが研究開発されている。

本稿では、本特集号の主旨を鑑み、空気圧人工筋に関するこれまでの筆者らの研究成果に基づいて、柔軟構造フルードパワーアクチュエータの可能性や課題を展望する。

## 2. 柔軟構造フルードパワーアクチュエータの特徴

バックドライバビリティを実現する方法はつぎの3つに大別される。

### ① アクティブ制御による方法

電動モータなどの従来型剛体アクチュエータとトルクセンサや力センサを組み合わせたコンプライアンス（スティフネス）制御系を構成する。

### ② 動作媒体の柔軟性を利用する方法

空気圧シリンダのシリンダ内空気の圧縮性などの受動的柔軟性を利用する。

### ③ 弾性材料を利用する方法

ゴムなどの弾性材料を用い、本体の材質や構造が柔軟なアクチュエータを利用する。例えば、バルーン型アクチュエータや本特集で対象とする柔軟構造アクチュエータはこの範疇に入る。

図1に柔軟構造アクチュエータのイメージを示す。簡単のため1次元モデルとする。アクチュエータ本体が弾性体で構成され、アクチュエータに入力されたエネルギーと負荷側からの反力とのバランスにより動作変位が決定される。アクチュエータは図中の $k$ （剛性）が小さい（剛性が低い）ほど柔らかくバックドライバビリティが高い。また、負荷側からの反力によるエネルギーを弾性エネルギーとしてアクチュエータ本体に保存できる。

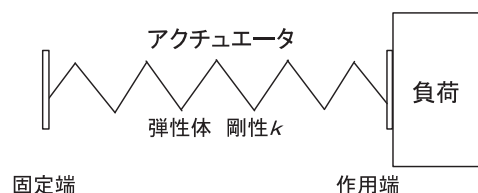


図1 柔軟構造アクチュエータのイメージ

一般に低剛性アクチュエータは、高精度で高速な位置や速度の制御には不向きであるが、人間の柔軟な筋肉は手や指に緻密な動作をもたらす。人間の知能がその由縁である。柔軟構造アクチュエータの利点を十分に発揮するためには、人間の知能と同様に適切な制御方策が求められる。

以下では、このような特徴を備えたアクチュエータとして空気圧ゴム人工筋に注目し、筆者らがこれまでに開発したいくつかの人工筋ならびにこれらを用いた装着型パワーアシスト装置（パワーアシストウェア）を紹介するとともに、今後の方向を展望する。

### 3. 空気圧人工筋

空気圧人工筋と呼ばれるものには多くの種類が存在する。一般に、ゴムなどの弾性材料で構成されたチューブやバルーンなどの内部に圧縮空気を供給し、その膨張力によりアクチュエータとしての運動エネルギーを発生する。この時、ゴム素材の繊維強化や弾性特性に異方性を与えることにより、人工筋の運動モードを特定する。

#### 3.1 マッキベン型空気圧ゴム人工筋

マッキベン型空気圧人工筋が代表的であり、図2に示すように、ゴムチューブを編んだスリーブで覆ったものである。スリーブのメッシュ状の繊維強化により、ゴムチューブを加圧するとゴムチューブの半径方向の膨張力が軸方向の収縮力に変換される。

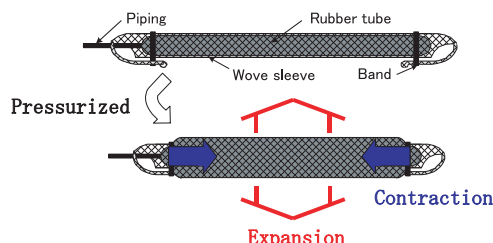


図2 マッキベン型空気圧ゴム人工筋の構造と動作

試作したマッキベン型空気圧ゴム人工筋の特性を図3に示す。市販のゴムチューブをFLチューブで覆ったものであり、図は、外径11.6mm、内径8.0mm、長さ793mmのゴムチューブを使用したものである。600kPa加圧時の収縮率は24.8%、軸方向の収縮力は343Nである。人工筋の重量は70gであり、アクチュエータとしての出力/重量比がきわめて高い。

#### 3.2 細長ゴム人工筋 (Muscle string) の製造

細長のマッキベン型ゴム人工筋の製造法として図4(a)のような製紐機を利用する方法を提案し、特許公開している<sup>2)</sup>。21のリールからゴムチューブを供給し、その周囲に強化繊維を編み込む。図4(b)は製紐機を用いて製造した細長ゴム人工筋 (Muscle

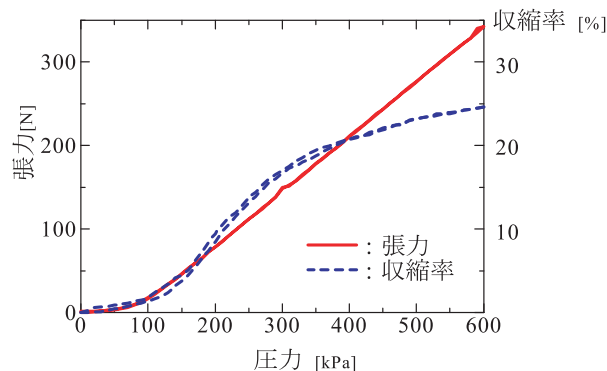


図3 試作したマッキベン型空気圧ゴム人工筋の特性

stringと呼ぶ) である。内部のゴムチューブは内径1.8mm、外径3.2mmのシリコンゴム、強化繊維はポリエステル製である。試作したMuscle stringは人工筋としての性能を有することが確認されている<sup>3)</sup>。本製造法は確立されたものではないが、将来、Muscle stringの大量生産が求められる場合に有効な手段であると考ええる。

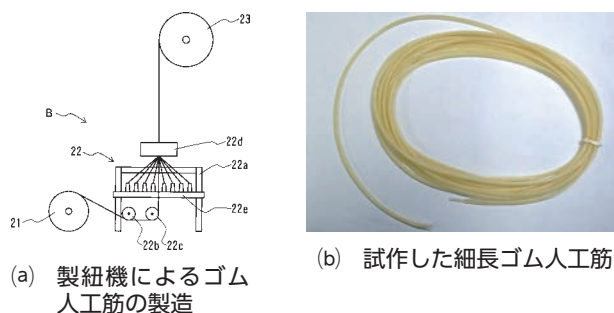
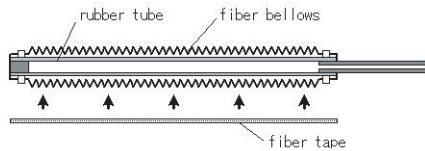


図4 細長ゴム人工筋 (Muscle string) の製造法

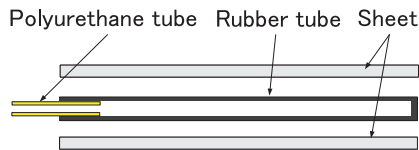
#### 3.3 湾曲型人工筋

図5(a)はゴムチューブを繊維ベロースで覆ったものである。ゴムチューブを加圧すると、ゴムチューブの半径方向の膨張はベロースにより抑制され軸方向にのみ伸張する。この時、図のように人工筋の下側の伸びを抑制することにより上側のみが伸張して下方向への湾曲動作が得られる。

図5(b)の人工筋は、図5(a)と同様に上面と下面の弾性に差を設けることにより湾曲動作を行う。織ゴムは幅方向に伸びにくく軸方向に伸び易い性質を有する。このような織ゴムでゴムチューブの上下面を挟むことにより、ゴムチューブ加圧時に半径方向の膨張を抑制し、軸方向への伸張動作が得られる。上下面の織ゴム枚数に差を持たせることにより、軸方向への伸張動作と湾曲動作が同時に得られる。上側の織ゴム内に伸張しにくいナイロンバンドなどを縫い付けることにより湾曲動作のみが得られる<sup>4)</sup>。



(a) 湾曲型空気圧ゴム人工筋



(b) シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋

図5 2種類の湾曲型空気圧ゴム人工筋

### 3.4 ツイスト型人工筋

図6は図5(b)と同構造のゴム人工筋に螺旋状に繊維を巻き付けたものであり、ツイスト型ゴム人工筋と呼ぶ。巻き付けた繊維の方向には拘束されるため伸張しにくく、繊維方向と垂直な方向には拘束がないため伸張しやすい。この結果、ゴムチューブ加圧時にひねり動作が生じる。加圧力により捻り角度や発生トルクを制御できる。



(a) 加圧前



(b) 加圧後

図6 ツイスト型空気圧ゴム人工筋

## 4. パワーアシストウェアへの展開

空気圧ゴム人工筋の軽量・柔軟な特徴を活かした身体装着型パワーアシスト装置への応用が可能である。筆者らはこのような観点から人工筋を直接に身体に装着して身体の種々の動作を支援する装置を開発している。一連の研究は衣服状支援装置（パワーアシストウェアと呼ぶ）の実現を目的としている。

### 4.1 空気圧ゴム人工筋の装着

図7は、3本のマッキベン型人工筋を身体に直接取り付け、右肩から右手首に掛けての2本の人工筋の収縮により右腕の持ち上げ動作が支援できる。また、左肩から右手首に掛けて斜めに掛けた人工筋を同時に収縮させることにより右腕の内旋動作が支援できる。

図8は長尺の人工筋を脚部に設置し、寝返り動作支援への応用を試みたものであり、下肢の屈曲動作の支援が可能である。本装置に関する研究は<sup>5)</sup>、筆者らのアイデアの提案と可能性を示すに留まっているが、柔軟・軽量なゴム人工筋は常時着用が可能であり、実用的な寝返り支援への応用が期待される。

また、図9(a)は一本の細長ゴム人工筋を両端で折り返して製作した平面状ゴム人工筋である。市販の



図7 肩部動作支援装置



図8 寝返り動作支援への応用



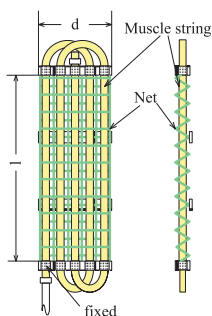
滑り止めネットを用いて網目状構造としている。発生力は折り返し本数に比例する。図9(b)は図9(a)の人工筋2枚を肩サポーターに取り付けたものである。人工筋を加圧することにより図7と同様に腕の持ち上げと内旋動作の支援が確認され、この種のパワーアシストウェアの可能性が示されている。

図10(a)はツイスト型人工筋を腰の左右に取り付けて腰部のひねり動作を支援するパワーアシストウェアを構成したものである。図10(b)は左方向回転の場合に脊柱起立筋の筋電位を測定した例である。同じ回転動作において、支援がある場合には筋電位が減少しパワーアシストウェアの支援効果が確認できる。

図7～図10は大掛かりな装置を使用することなく支援効果が得られる。これは、空気圧ゴム人工筋ならではの利点であり、柔軟・軽量かつ簡易で安価なパワーアシスト装置としての実用化が期待される。支援可能な動作範囲や支援力の増加、身体への取り付け方法の工夫などについて今後の継続研究が望まれる<sup>6)</sup>。

## 4.2 パワーアシストグローブ

手袋の指背に湾曲型ゴム人工筋を取り付けることにより指の曲げ動作や把握力を補助できる。図11は図5(a)の人工筋を用いた研究室レベルのプリミティブなものであり、パワーアシストグローブと命



(a) 平面状人工筋

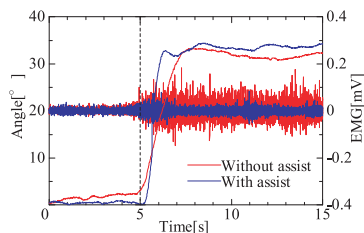


(b) 肩部動作支援装置

図9 パワーアシストウェアへの応用



(a) 腰部ひねり動作支援



(b) 筋電による支援効果の検証

図10 ツイスト型空気圧ゴム人工筋を用いた腰部動作支援

名した。基礎研究と施設等での試験を経て2011年に産学連携によりパワーアシストグローブを商品化した（<http://www.daiyak.co.jp/product/detail/280>）。図12は商品化したパワーアシストグローブを示す。筆者らの湾曲型空気圧ゴム人工筋の技術と連携企業（岡山市内のサポーターメーカ）の縫製技術との融合により、軽量、コンパクトで柔軟なパワーアシストグローブが実現されている。指の握り動作やつまみ動作を支援できる。エネルギー源にCO<sub>2</sub>ボンベを使用し、装置一式を携帯可能としている。98cc ボンベを使用した場合、総重量は約700g、使用可能回数は約200回である。手指の筋力が低下した高齢者や身障者の日常生活動作やリハビリテーションなどへの応用が可能である。ゴム人工筋の屈曲方向を逆にすることで手指の伸展動作の支援も可能であり、手指の拘縮緩和訓練などへの応用も期待される。

現在、展示会への出展や医療機関への紹介などによる普及活動を実施している。また、このグローブは岡山市総合特区事業「介護機器貸与モデル事業」の対象機器に選定されている。この事業は、介護保険給付の対象となっていない介護機器について、2014年1月から岡山市が貸与料の9割程度を支給して市内の要介護者等に貸し出すものである。



図11 大学の研究室で試作したパワーアシストグローブ

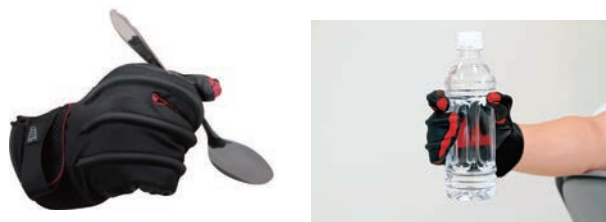


図12 商品化されたパワーアシストグローブ

## 5. 今後の展望と課題

### 5.1 制御系の構成

柔軟構造フルードパワーアクチュエータは、その柔軟性に基づく受動的なバックドライバビリティに

より、たとえば、身体との接触を伴う生活支援ロボットなどへの応用が期待される。この種の用途で求められる対象物に対する接触力は、空気などの動作流体の圧力により容易に制御できる。反面、柔軟性は制御系の剛性の低下をもたらし、自由空間における高精度な位置決めや高速な応答には不向きである。柔軟構造フルードパワーアクチュエータのこのような特質を十分理解した上で利用すべきである。また、駆動系の構成において、必要に応じて適切な制御理論を導入することが効果的である。さらに、高機能化のため人工知能（AI）などの適用もチャレンジングで興味ある課題である。

## 5.2 駆動源

空気圧アクチュエータには駆動源である圧縮空気が必要である。工場や病院などの施設においては、空気圧縮機を集中管理し、施設内に配管すればよい。また、図12のパワーアシストグローブのような消費エネルギーが小さい場合には、ボンベなどの利用も有用である。このとき、ボンベを弾性体としてボンベ本体への保存エネルギーを利用するなどの工夫も考えられる<sup>7)</sup>。

小型・軽量圧縮機の開発とともに、電気バッテリーに相当する小型・軽量で高圧の圧縮空気ボンベの開発が望まれる。また、液体窒素やドライアイスなどの気化ガスの利用も興味ある課題である。

## 6. おわりに

いくつかの空気圧ゴム人工筋とそれらを用いたパワーアシストウェアを紹介した。これらの特徴は軽くて柔らかいことであり、日常生活のQOL向上、介護やリハビリテーション、各種作業などにおいて、手軽に着用できるパワーアシスト装置として期待される。ハードな外骨格を有しないため、軽量・コンパクトなサポーター感覚で使用でき、インナーウェアとして衣服の下に人知れず装着できる可能性もある。

外骨格を用いないため、人工筋発生力の身体への伝え方に工夫が必要である。図7、図8、図10の

ように人工筋を身体に直接に装着する方法、図9や図12のようにサポーターや手袋などに人工筋を取り付ける方法など、身体部位やその動作によってそれぞれ適切な方法が考えられる。

パワーアシストグローブは支援対象部位を内包でき、力の伝達が面接触による点での確な機構である。また、図7や図8あるいは図10のように、複雑な機構を伴わない人工筋単体による動作支援が原点である。さらに、この種の技術がより進化し、図4のような大量生産されたMuscle stringで編んだ衣服状のパワーアシストウェアの実現も期待される。

本稿を通して、柔軟構造フルードパワーアクチュエータ、および、その一つの応用対象として空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストウェアに関心を高めていただければ望外の喜びである。

## 参考文献

- 1) 佐藤知正：人と協働するロボット革命最前線，エヌ・ティー・エス，pp. 3-15 (2016)
- 2) 則次：流体アクチュエータ，流体アクチュエータの製造方法，流体アクチュエータを備えた筋力補助装置，及び流体アクチュエータで構成した拘束具，特願2005-259988，特開2007-68794
- 3) 坪田，則次，高岩，佐々木，大谷：Muscle stringを用いたアクティブサポーターの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，1P1-N-117 (2005)
- 4) 荒金，則次，高岩，佐々木，猶本：シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋の開発とパワーアシストウェアへの応用，日本ロボット学会誌，Vol. 26，No. 6，pp. 674-682 (2008)
- 5) 寺田，則次，高岩，佐々木：空気圧ゴム人工筋を用いた寝返り支援装置の開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，2P2-E07 (2011)
- 6) 則次俊郎：空気圧ゴム人工筋を用いた身体動作支援装置の最新動向，計測と制御，Vol. 50，No. 1，pp. 30-35 (2011)
- 7) 佐々木，則次，高岩，岩脇：空気圧駆動ウェアラブルデバイスのための小型空気圧供給システムの開発，日本ロボット学会誌，Vol. 31，No. 7，pp. 659-668 (2013)

(原稿受付：2016年10月18日)

## 解説

# 圧力駆動バルーンアクチュエータを利用した マイクロフィンガーによる培養細胞組織の把持・解放操作

## 著者紹介



こにし さとし  
小西 聡

立命館大学理工学部  
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1  
E-mail: konishi@se.ritsumeai.ac.jp

1991年東京大学工学部卒業，1993年同大学大学院博士課程前期課程修了，1996年同後期課程修了，博士（工学）。1996年立命館大学理工学部講師，1999年助教授，2006年教授，現在に至る。MEMS、マイクロマシンの研究に従事，電気学会，日本機械学会，応用物理学会，日本コンピュータ外科学会，IEEE等の会員。

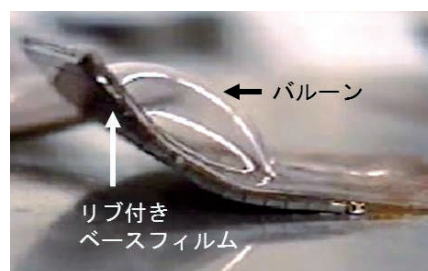


図1 第1世代の曲げ動作PBA

## 1. はじめに

筆者らはマイクロマシンを生体とのインタフェースとしてバイオメディカル分野に応用する研究を進めてきた。精密機械等による機械の小型化の流れとともに，集積回路を製造する半導体微細加工技術を援用して機械要素を製作すること（マイクロマシーニング技術）ができるようになり，マイクロマシンの可能性も広がってきた<sup>1)</sup>。フォトリソグラフィーを基本とするマイクロマシーニング技術により，Si基板上にマイクロセンサやマイクロアクチュエータがバッチプロセスで形成され，Micro Electromechanical Systems (MEMS) という分野が発展してきた。信号処理回路との一体化も進み，自動車や情報機器，携帯機器への応用も進んだ。MEMSの領域は，バイオケミカル分野にも拡張し，構造材料にはガラス基板やポリマー薄膜が多く利用されるようになった。

筆者らは，MEMSの中でも能動的なデバイスであるマイクロアクチュエータの研究開発に取り組んできた。生体への能動的なアプローチにおいて，アクチュエータは重要な役割が期待される。アクチュエータの中でも小型化において高い力密度を持つ圧力駆動バルーンアクチュエータ<sup>2)</sup>に注目し，圧力駆動バルーンアクチュエータ (Pneumatic Balloon Actuator, PBA) を提案した<sup>3)</sup>。現在，第3世代にまで発展をみている。図1に第1世代の曲げ動作PBAを示す。Siのリブ構造を有したポリイミドフィルム上にシリコンラバー製のバルーン構造が形成され，加圧時に

反り上がることができる。マクロな領域を含めさまざまな圧力駆動アクチュエータが報告される中でも，MEMSおよびその微細加工技術であるマイクロマシーニング技術を用いた圧力駆動マイクロアクチュエータとしては新規的なものとなった。

さて，マイクロマシンの応用として関心が高まっているバイオの分野では<sup>4)</sup>，近年，細胞工学の発展とともに再生医療研究が活発になっている。細胞組織の移植治療のような革新的医療とともに，培養した細胞組織を創薬評価に用いる研究も注目されている<sup>5)</sup>。創薬研究では，より生体に近い細胞組織を培養するために，三次元培養に関心が高まっている。中でも細胞の凝集体である培養細胞組織が有望視されている。培養細胞組織は直径数百 $\mu\text{m}$ 程度の塊である。

細胞工学の実用化が進められるにあたり，今後は培養して作り上げた細胞組織の操作技術がさまざまな場面で重要となると考えられ，さまざまな操作技術が研究開発されている<sup>6)</sup>。筆者らも早くより，大きさ $10\mu\text{m}$ 程度の単一細胞の操作に関してさまざまな技術を研究開発してきた。細胞吸引固定計測MEMSチップ<sup>7)</sup>や細胞磁気誘導培養MEMSチップ<sup>8)</sup>などがある。単一細胞よりサイズが大きい培養細胞組織の操作に関しては，流体制御型操作デバイスを報告している<sup>9)</sup>。図2に実現した流体制御型の培養細胞組織操作デバイスを示す。通常培養細胞組織は，マイクロウェルプレート内で形成される。流体制御型操作デバイスは，このマイクロウェルプレートのウェル構造を用いて，ウェル内の培養細胞組織をウェル内壁に沿って移動させてデバイスのトラップに誘導する。



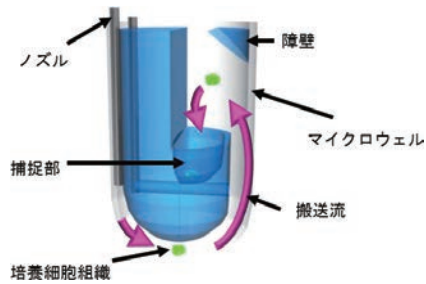


図2 流体制御型培養細胞組織操作デバイスイメージ

一方、対象を直接把持して操作することへのニーズも高い。マニピュレータの分野でチョップスティック型のロボットなどが早くに報告されている<sup>10)</sup>。筆者らも、培養細胞組織の直接操作に強く関心を持ち開発した、本稿の主題であるマイクロフィンガーについて解説する<sup>11)</sup>。

## 2. マイクロフィンガー

### 2.1 圧力駆動バルーンアクチュエータ (PBA)

PBAは当初曲げ動作のものが設計され、2000年の第1世代の報告より発展を続け、現在の第3世代はシリコンラバーの薄膜構造でできている<sup>3)12)13)</sup>。また曲げ動作に加え、捩じり動作<sup>14)</sup>、伸縮動作<sup>15)</sup>といったさまざまな動作が可能なPBAも報告してきた。いずれもフォトリソグラフィーをベースとしたマイクロマシーニングによる微細構造を利用して形成した数百 $\mu\text{m}$ 厚の薄膜多層構造となっている。

### 2.2 PBAによるマイクロフィンガー

現在主として用いている第3世代の曲げ動作PBAは、上下二枚のシリコンラバーフィルムを接合してできている。複数のPBAを一括で製作し、個別に切り出している。片側のシリコンラバーには、バルーン部と圧力供給流路の構造がパターンニングしてある。フィルムの厚みを変えたり、物性を変えたりすることにより、二枚のシリコンラバーフィルムの剛性に差を設けておく。バルーン部の内圧を上げた際には、この剛性の差により固いフィルム側に曲がる。曲げ動作PBAを複数組み合わせると多自由度のマイクロ



図3 マイクロハンドロボット (みゅーたん)

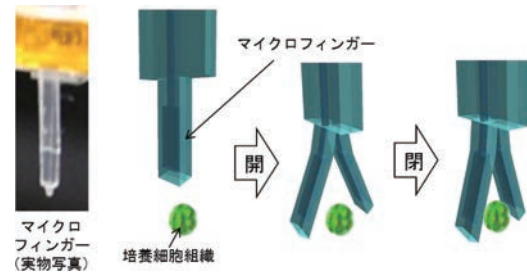


図4 培養細胞組織操作マイクロフィンガーの動作

フィンガーを実現し、さらに五指のマイクロハンドロボットを実現している。長さ7mm、幅1mm、厚さ100 $\mu\text{m}$ の指は、数十から百kPa程度の圧力で曲がる。手動のシリンジポンプでも駆動が可能である。この五指のマイクロハンドをコア技術としてマスタースレーブ型のシステムを構築して実現したマイクロハンドロボット“みゅーたん”は、2005年の愛知万博で一般にデモ展示するに至っている(図3)。

### 2.3 培養細胞組織操作マイクロフィンガー

前述の五指のマイクロハンドに対して、培養細胞組織をつまむ機能を重視し、曲げ動作PBAによるマイクロフィンガーを2つ組み合わせてツールを構成することにした(図4)。2つのPBAマイクロフィンガーを根元で接合し、圧力駆動時に開くように設計してある。2つのPBAマイクロフィンガーを接触して重ねた場合、PBAの構造材料であるシリコンラバーどうしは接着しやすく、剥がれにくくなる。2つのPBAの先端部における強い接着を防止するために、本研究ではPBA表面にパリレンフィルムを成膜してある。本研究で設計、製作したマイクロフィンガーは、長さ800 $\mu\text{m}$ 、幅560 $\mu\text{m}$ 、厚さ100 $\mu\text{m}$ 程度である。

## 3. マイクロフィンガーによる培養細胞組織の操作

培養細胞組織を操作するに際して、マイクロフィンガーの弾性により培養細胞組織を把持した際に加わる荷重を把持力として評価した。培養細胞組織の半径分(100 $\mu\text{m}$ )変形させたときのマイクロフィンガー構造の復元力は30 $\mu\text{N}$ であった。この値は、培養細胞組織に顕著なダメージを与えるレベルよりも十分小さいことも確認している。

つぎに、実現したツールを用いた培養細胞組織の把持・解放操作について紹介する。操作評価実験当初、培養細胞組織を把持することは容易であったが、解放動作が不安定であった。培養細胞組織と接触するマイクロフィンガーの材料はパリレンであり、撥



水性が高い。培養細胞組織は細胞の凝集体であり、マイクロフィンガーとの接触面は細胞膜となることから、疎水性が高いと考えられる。したがって、パリレンと細胞膜間に、疎水性相互作用が働くことで培養細胞組織が接着し、解放操作が困難であったと考えられる。そこで本研究では、マイクロフィンガー表面を親水化し、疎水性—疎水性相互作用による接着力を抑制することにより、培養細胞組織の解放操作の実現を試みた。親水化の方法として、VUV (Vacuum UV) 処理を施すことにした。VUV処理の結果、マイクロフィンガー表面の接触角は $40^\circ$ となり、把持・解放操作ともに可能となった。図5に、マイクロウェル内で直径 $250\mu\text{m}$ 程度の培養細胞組織を把持した状態のマイクロフィンガーを示す。

実現した培養細胞組織操作マイクロフィンガーの操作環境として、ウェル数96個のマイクロウェルプレート内の培養細胞組織（直径約 $200\mu\text{m}$ ）を対象として取り上げ、操作を行う系を構築した。三軸位置決めステージによりマイクロウェルプレート内の底部に存在する培養細胞組織に対してマイクロフィンガーを位置決めする。マイクロフィンガーの開閉には、電空レギュレータおよび電磁弁を用いて圧力の調整を可能とした。これらの系により、マイクロウェルプレートに対して連続した操作に成功している。

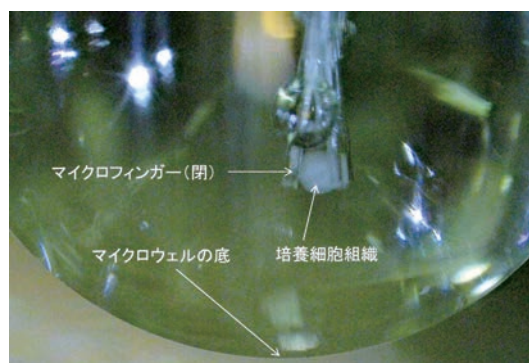


図5 マイクロフィンガーによる把持操作

#### 4. おわりに

培養細胞組織の操作のために研究開発したマイクロフィンガーについて紹介した。シリコンラバー製で柔らかく、圧力駆動の優れた点を活かしている。MEMSの微細加工技術であるマイクロマシニング技術を用いた圧力駆動マイクロアクチュエータ(PBA)を小さな指の駆動に用い、培養細胞組織との表面接触特性も考慮した設計を施すことにより、ダメージフリーの把持／解放操作を実現することに成功している。

#### 参考文献

- 1) 藤田博之著：EE Text センサ・マイクロマシン工学，オーム社，(2005)
- 2) D. Volder, M., Reynaerts D. : Pneumatic and hydraulic microactuators : a review. Journal of Micromechanics and microengineering Vol.20, p.1-18 (2010)
- 3) Konishi, S., Kawai, F. and Cusin, P. : Thin Flexible End-Effector Using Pneumatic Balloon Actuator, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 89, p. 28-35 (2001)
- 4) 北森武彦他 “マイクロ化学チップの技術と応用”，丸善株式会社 (2004)
- 5) 田畑泰彦監修：ものづくり技術からみる再生医療，シーエムシー出版，(2011)
- 6) 福田敏男，新井史人監修：細胞分離・操作技術の最前線，(2008)
- 7) 鈴木健悟，田邊真人，江崎隆博，小西聡，岡弘章，尾崎亘彦：細胞電気信号一括計測用バイオセンサ，電気学会論文誌E, Vol. 125, No. 5, p. 216-221 (2004)
- 8) Kunishida, J., Tonomura, W., Sato, J., and Konishi, S. : PARALLEL FOCUSING AND SWITCHING OF LEAKAGE FLUX FROM MAGNETIC LOOP FOR ON-CHIP PATTERNING OF MAGNETICALLY LABELED CELLS, Proceeding of International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, p.194-197 (2011)
- 9) Konishi, S., Teramachi, Y., Shimomura, S., Tonomura, W., Tajima, S., Tabata, Y. : Cellular aggregate capture by fluidic manipulation device highly compatible with micro-well-plates, Biomed Microdevices Vol.17, No.48, 6 pages, DOI : 10.1007/S10544-015-9953-x (2015)
- 10) Tanikawa, T., Arai, T. : Development of a micro-manipulation system having a two-fingered micro-hand, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.15, No.1, p.152-162 (1999)
- 11) Konishi, S., Shimomura, S., Tajima, S., Tabata, Y. : Implementation of soft microfingers for a hMSC aggregate manipulation system, Microsystems and Nanoengineering (Nature publishing group), 2, 15048 (2016).
- 12) Lu, Y. W., Kim, C.J. : A Microhand for Biological Applications, Applied Physics Letters, Vol. 89, No. 16, 164101 (2006)
- 13) Jeong, O. C. and Konishi, S. : All PDMS Pneumatic Microfinger with Bidirectional Motion and Its Application”, IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 15, No. 4, p. 896-902 (2005)
- 14) Gorissen, B., Chishiro, T., Shimomura, S., Reynaerts, D., De Volder, M., Konishi, S. : Flexible pneumatic twisting actuators and their application to tilting micromirrors, Sensors and Actuators A Vol 216 p.426-431 (2014)
- 15) Chishiro, T., Ono, T., Konishi, S. : PANTOGAPH MECHANISM FOR CONVERSION FROM SWELLING INTO CONTRACTION MOTION OF PNEUMATIC BALLOON ACTUATOR” Proceeding of IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, p.532-535 (2013)

(原稿受付：2016年10月12日)

## 解説

## 液圧アクチュエータを用いた低侵襲医療機器

## 著者紹介

は が よう いち  
芳賀 洋一東北大学大学院工学研究科  
〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6  
E-mail: haga@bme.tohoku.ac.jp

1992年東北大学医学部卒業。1994～1996年東北厚生病院勤務。1996年東北大学大学院工学研究科助手。2003年講師。2004年東北大学先進工学研究機構（TUBERO）助教授。2008年東北大学大学院工学研究科教授となり現在に至る。

## 1. はじめに

液体の出し入れに伴う体積変化と圧力変化を用いた液圧アクチュエータを、体内で検査、治療に用いる低侵襲医療機器、特に低侵襲手術ツールに利用する試みを著者の事例を中心に解説させていただく。

小さな道具を体内に挿入し検査および治療を行う低侵襲医療が広く行われている。この低侵襲医療の際に体内に挿入し用いられる医療機器として、内視鏡、カテーテル、ガイドワイヤーなどがある。また、内視鏡の鉗子口と呼ばれる穴にさまざまな機能を持った鉗子などのツールが挿入され内視鏡手術に用いられる。これらの医療機器、医療ツールは消化管や血管など3次元的に複雑な形状をした臓器内の空間に安全に挿入されるようにシャフト部は柔軟に曲がるようになっている。そのため、医療機器の先端付近で屈曲や開閉などの動作を行い手術治療などを行う際には、一般に体外からワイヤーを用いて牽引することが行われる。しかし、ワイヤーを内蔵するシャフト部が細く柔らかいとワイヤーの牽引力によりシャフト部が屈曲、座屈し、先端に変位と力が伝わらないばかりか、体内におけるシャフトの予想外の動きが生じ危険である。これを避けるために、消化管内視鏡においては、シャフト部に輪形状の金属部品を可動軸により何個も直列に接続し用いる複雑な構造にする必要があり、複雑化に伴い1本当たりの組立コストが無視できなくなるため滅菌消毒し繰り返し使用される。一方でカテーテル、ガイドワイ

ヤーおよび内視鏡ツールのほとんどは血液や組織の感染を防ぐため1回使い捨て（ディスポーザブル）であり、機構を複雑化するには細径であることおよびコスト上の制限があり、一部のワイヤー屈曲機構付きカテーテルや把持鉗子では機構を単純化し機能や精度を妥協しているのが現状である。

これら低侵襲医療機器先端にマイクロアクチュエータを搭載することでワイヤー牽引の課題を解決することができ、曲がりくねった先で精密で、より安全な検査、治療が可能になると期待される。マイクロアクチュエータとして電磁、静電、形状記憶合金などさまざまな原理と構成があるが、圧力変更を用いたアクチュエータは変位量と発生力のいずれも大きくできる点で有利であり、さらに電氣的駆動や発熱を伴わない点において漏電や温度上昇の対策を必要とせず安全性の確保が容易であり、医療機器として製造販売する際の許認可上も利点がある。医療用アクチュエータとして空気や液体などの流体を利用したものがいくつか提案されている<sup>1)</sup>。空気圧を用いることもできるが、圧縮による体積の縮小が発生力と精度を低下させることから我々は非圧縮性流体として主に液体を用いている。また、体内で用いる医療機器やツールは体内で安全に用いることができる生体適合性を持った材料で構成されるが、液圧アクチュエータは金属やポリマーのチューブやコイル、板、接着剤などによって構成されることが多く、生体に対して安全な材料で作製し易い利点もある。出し入れする液体は生体へ触れる場合を想定し生理食塩水を用いる。

## 2. 作製した液圧駆動手術ツール

現在までに著者らが試作、評価した液圧アクチュエータを用いた医療機器および医療ツールについて以下に述べる。

## 2.1 能動屈曲カテーテル／ガイドワイヤー

カテーテル及びガイドワイヤー内の液体を陽圧または陰圧にすることで、その先端の屈曲を体外からコントロールする能動屈曲カテーテルを試作した<sup>2)</sup>。フェムト秒レーザーを用いて図1左上のように加工したNi-Ti製超弾性合金パイプの外側に薄肉のシリ

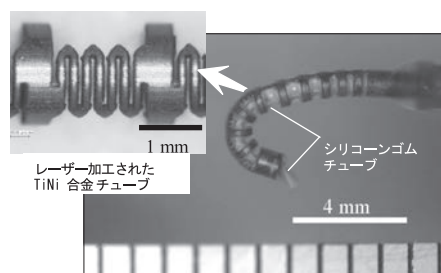


図1 陰圧駆動による能動屈曲カテーテル

コーンゴムチューブを被せ、先端部のシリコーンゴムを先へ少し出した構造になっている。カテーテル内に生理食塩水を満たし、それを体外から吸引することで先端のシリコーンゴムチューブが弁となり閉じ、さらに吸引すると内圧低下により側壁のシリコーンゴムチューブが内側に入り込み、カテーテルは図1右下のように下側へ屈曲する。吸引量を調節することで屈曲角度を任意に変えることができる。外径0.9mm、駆動部長さ9mmで、最大屈曲角度160°であった。これにより従来では挿入が困難な部位、例えば進行方向に対して鋭角に曲がった血管分岐などへも比較的容易に挿入できるようになることを目指した。

逆に陽圧にすることで屈曲する機構も開発した。図2に試作した能動屈曲ガイドワイヤーを示す。ガイドワイヤーとは先端が柔らかい針金状の器具で、カテーテルに先行して血管の先に進められ、その後カテーテルを目的部位まで導く目的で利用される。金属コイルの表面に生体適合性ポリマーであるポリパラキシリレン（パリレン）が成膜され、液体の注入に伴いコイルが伸長し、それに応じてアコーディオン構造のようにポリマー膜が開く。図2下の図のようにコイルの1側面両端にワイヤーを固定することで伸長を抑制すると屈曲する。パリレンは気相で複雑な形状にも均一な膜厚で精度良く成膜できるので外径360 $\mu$ mの細径な屈曲機構が実現でき、駆動部長さ16.8mmにおいて、図2右上写真のように注入圧に応じて屈曲し、圧力1,000kPaにより最大屈曲角度101°、曲率半径10.0mmであった。直線状態で先端をフォースゲージに接触させ計測した発生力は圧力800kPaにおいて17.6mNであった<sup>3)</sup>。

ほぼ同様な機構と原理で試作した、液圧駆動を用いた能動屈曲カテーテルを図3に示す<sup>4)</sup>。写真の例では血管内で用いられる市販のガイドワイヤーを挿入した状態で、557kPaの加圧により屈曲角度90°を維持することができた。

## 2.2 径可変内視鏡フード

消化管内で用いる内視鏡の先端に装着する円筒形状のフードに図4のように液圧アクチュエータを用いて開口径を可変できるようにした径可変フードを

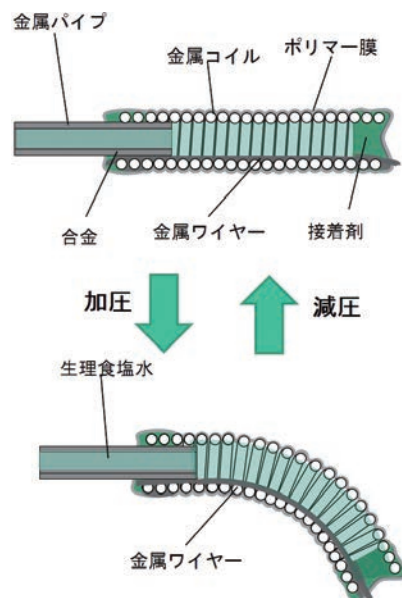
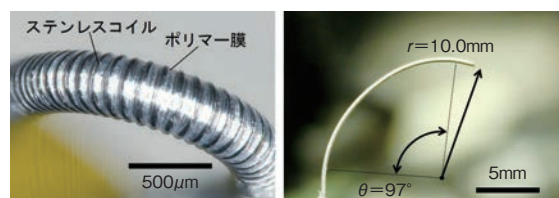
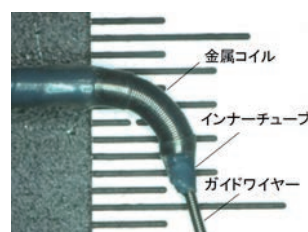
図2 液圧駆動能動屈曲ガイドワイヤー（先端外径360 $\mu$ m）

図3 陽圧駆動能動屈曲カテーテル（先端外径1.04mm）

開発している<sup>5)</sup>。これは、がん化した胃粘膜層を内視鏡と電気メスを用いて切除し治療する低侵襲手術の際に、切開を加えた病変部粘膜の下へ内視鏡先端を潜り込みやすくすること、潜り込み後の鉗子や電気メスを用いた治療の際に積極的に粘膜部を持ち上げて視野と術野を広く確保することを両立するもので、内視鏡シャフト側面に装着したチューブを介して体外のシリンジから生理食塩水を出し入れして開閉を行う。これらの試作と評価には3Dプリンタを積極的に利用し開発期間の短縮を行っている。

## 2.3 液圧駆動把持鉗子

把持鉗子は内視鏡手術において体内で臓器を把持するために用いられる医療器具であり、先端部の把持機構の駆動には一般に体外からのワイヤーによる牽引が用いられている。しかし脳内で用いる神経内視鏡など細径の軟性内視鏡と組み合わせて用いた場合、ワイヤー牽引に伴う予期しないシャフト部の屈





図4 液圧駆動径可変フード（先端の外径が9～14mmに可変）  
（上）内視鏡を用いた病変と粘膜の切除と内視鏡フード  
（中）内視鏡先端へ装着した径可変フード  
（下）径可変フード：3枚羽根（左），2枚羽根（右）

曲，シャフト部屈曲による把持力低下，などの問題が生じる．図5に示すように，お互いに引き合うように配置した2個の永久磁石と体外からのバルーンインフレーターによるバルーンの膨張制御により，シャフト部の屈曲に影響を与えない把持機構を試作した<sup>6)</sup>．バルーンカテーテルは体外から生理食塩水などの液体を送って体積を変化させる代表的な医療

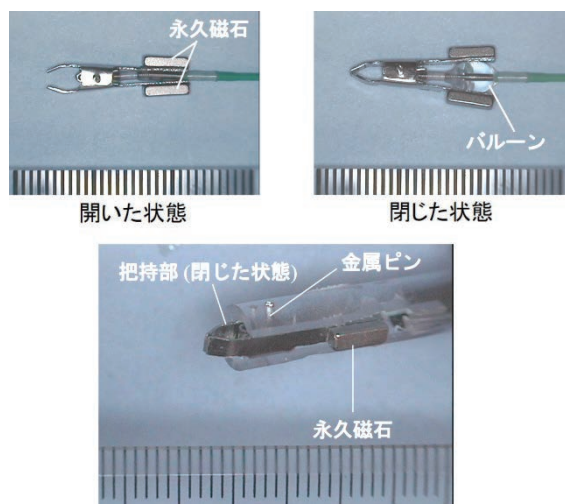


図5 液圧駆動と磁気を用いた把持鉗子

器具であり，狭窄した血管の内側でバルーンを膨張させ内腔を広げる治療や，膨張させたバルーンを引き抜いて内頸動脈内部の狭窄部を内膜ごと抜去する際に用いられる．

### 3. 液圧アクチュエータの課題と今後

液圧アクチュエータの欠点は多方向の屈曲や直列に関節が複数個並んだ多関節などに発展させると独立した複数の流路が必要になり構造が複雑化すること，それに伴い小型化，細径化が難しくなることである．共通の流路に切り換え弁を用いて多関節化を試みた例はあるが<sup>7)</sup>，弁の小型化，流路の接続に課題が残る．液圧アクチュエータは比較的安定した発生力と変位が出せるが，流路が細くかつ複雑な形状になると空気の混入なく液体を入れることが難しくなることも課題である．使い捨てを前提とした医療機器では組立コストの考慮も重要となる．今後，3Dプリンタの積極的な利用や伸縮部の新たな構造の提案などが早期の実用化のために役立つと期待される．

#### 参考文献

- 1) De Greef, A., Lambert, P., Delchambre, A. : Towards flexible medical instruments : Review of flexible fluidic actuators, Precision Engineering, Vol. 33, No. 4, p. 311-321 (2009)
- 2) Haga, Y., Muyari, Y., Mineta, T., Matsunaga, T., Akahori, H., Esashi, M. : Small Diameter Hydraulic Active Bending Catheter Using Laser Processed Super Elastic Alloy and Silicone Rubber Tube, 3rd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology, p. 245-248 (2005)
- 3) Matsuo, M., Abe, K., Suda, S., Matsunaga, T., Haga, Y. : Micro Hydraulic Bending Actuator for Minimally Invasive Medical Device, The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers' 2013) & Eurosensors XXVII, (2013)
- 4) 岸田学, 松永忠雄, 三木章伍, 江刺正喜, 芳賀洋一 : 液圧駆動を用いた能動屈曲カテーテル, 第50回日本生体医工学会大会, p. 297 (2010)
- 5) Matsuo, M., Iijima, K., Matsunaga, T., Haga, Y. : Development of hood with hydraulically variable tip diameter for endoscopic submucosal dissection, Sensors and Actuators A, Vol. 232, p. 267 (2015)
- 6) 芳賀洋一, 高橋幸大, 中村慎吾, 上川秀士 : 液体駆動と磁気を用いた把持鉗子の開発, 第43回日本エム・イー学会大会プログラム・論文集, p. 263 (2004)
- 7) Ikuta, K., Ichikawa, H., Suzuki, K., Yamamoto, T. : Safety Active Catheter with Multi-Segments Driven by Innovative Hydro-Pressure Micro Actuators, Proc. of The 16th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2003), p. 130 (2003)

(原稿受付：2016年11月18日)

# フレキシブルERバルブを用いたマイクログリッパ

## 著者紹介



よし だ かず ひろ  
**吉田和弘**

東京工業大学 科学技術創成研究院  
未来産業技術研究所  
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-42  
E-mail: yoshida@pi.titech.ac.jp

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同大学助手，助教授（准教授）を経て2015年4月教授，2008年10月～2009年3月米国UCSB客員研究員，2015年7月～9月米国MIT客員研究員，流体マイクロマシン，機能性流体の研究に従事，JFPS，JSME，IEEEなどの会員，工学博士。

## 1. ま え が き

柔軟性に優れたフルードパワーアクチュエータとして，ERF（electro-rheological fluid）を用いたマイクログリッパについて紹介する。

発電所や化学プラントの細管内でメンテナンス作業を行う管内作業マイクロマシンの作業用マイクロハンド，人と接する医療用マイクロデバイスなどのため，柔軟性が高いマイクロアクチュエータが求められており，ラバーアクチュエータが活発に研究されている<sup>1)</sup>。本稿では，ERFの流れを印加電界による粘度変化により制御するフレキシブルERバルブ（flexible ER valve，以降FERV<sup>2)</sup>と呼ぶ）を液圧ラバーアクチュエータに搭載したマイクロフィンガを用いたマイクログリッパについて紹介する。

## 2. FERVを用いたマイクログリッパ

ERバルブで十分な圧力変化を得るためには，電極の流路方向の長さを確保することが必要である<sup>3)</sup>。したがって，ラバーアクチュエータに搭載するためには，ERバルブ自体が柔軟なFERVが必要である。

著者らは，樹脂を主な材料とした薄いカンチレバー構造で，厚さ方向に柔軟に屈曲可能なカンチレバー形FERVを応用したマイクログリッパを提案，試作し，その屈曲動作を確認している<sup>2)</sup>。しかし，その剛性がまだ高いため先端変位は小さく，物体の把持にはさらなる改善が必要である。

そこで著者らは，軸方向に分割したERバルブをゴム製流路で接続した，電極分割形FERV（Divided-Electrode type FERV：DE-FERV）を提案し，マイクログリッパへの応用を図っている<sup>3)4)</sup>。シリコンゴムの一種であるPDMS（Polydimethylsiloxane）のヤング率はカンチレバー形FERVの材料のSU-8の1/500以下であり，高い柔軟性が得られる。

提案するグリッパのマイクロフィンガを図1に示す。内側にひだを有し径方向の膨張を抑え大きな伸縮変位を得る液圧ラバーアクチュエータの内圧をDE-FERVで制御し，屈曲動作を行うものである。

## 3. マイクログリッパのラージモデル<sup>3)</sup>

提案するマイクログリッパの妥当性を確認するため，長さ10mmのフィンガを有するラージモデルを試作し，特性実験を行った。

試作したDE-FERVの構造および寸法を図2に示す。電極と配線を一体化した電極部品はニッケル，ゴム製流路はPDMS，絶縁体はエポキシ系接着剤で

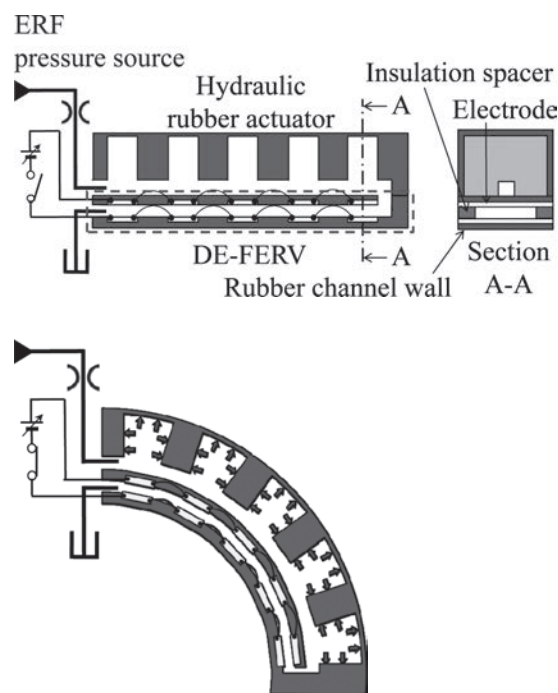


図1 A microfinger of microgripper using DE-FERV

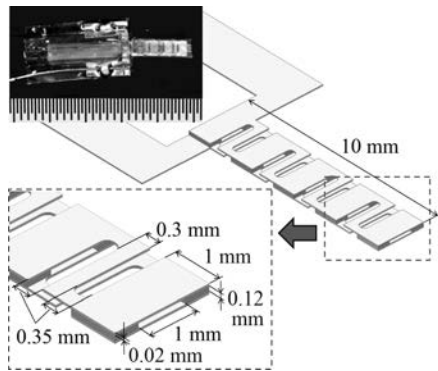


図2 Fabricated DE-FERV large model

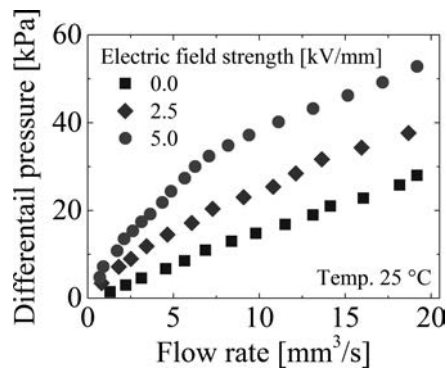


図3 Static characteristics of the DE-FERV large model

ある。製作プロセスは以下の通りである。

- 1) 電極部品を機械加工で製作する。配線は、FERVの屈曲による軸方向の伸縮のため、Z形である。
- 2) 電極部品の上に離型剤を塗布したSUS304製スペーサを置き、電極部品の両端のエポキシ系接着剤により上側の電極部品を固定し、電極対を構成する。
- 3) 型に電極対、PDMSシートおよび液状PDMSを入れ、熱硬化させる。電極部品周囲をエポキシ系接着剤により補強し、最後にスペーサを引き抜く。

試作したDE-FERVの静特性実験の結果を図3に示す。ERFは、ネマティック液晶（メルク・ジャパン株、MLC-6457-000）である。ERバルブ間のゴム製流路における圧力損失分を除くとER効果の大きさ（最大粘度と基底粘度の比） $K_{ER}=7.8$ であり、従来と同等であることが確認された。

液圧ラバーアクチュエータの断面形状について、図4の4種類を取り上げ、FEM解析により検討した。図4では、各液圧室の長さ $l_c=1$  mm、膜厚 $t_c=0.1$  mmである。本検討の結果、長方形を選定した。

試作したフィンガラジモデルの印加電圧に対する先端変位を図5に示す。電界無印加のとき、供給圧力により変位が生じている。先端変位変化1 mmが

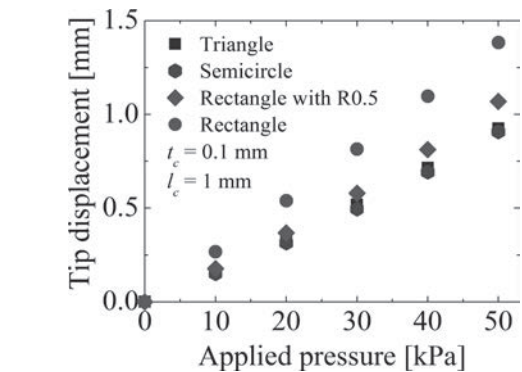
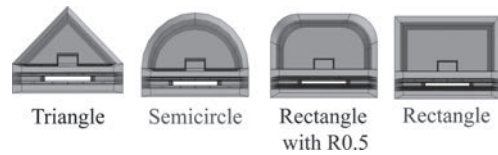


図4 Cross sections of hydraulic rubber actuator large model

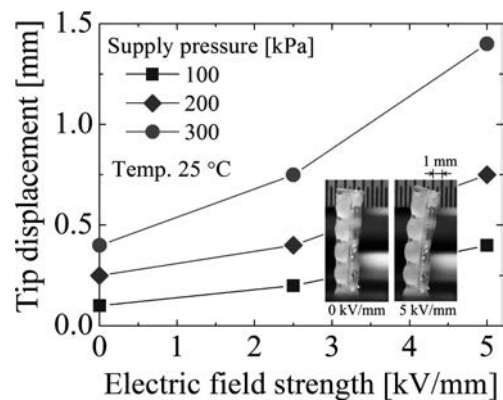


図5 Static characteristics of the microfinger large model

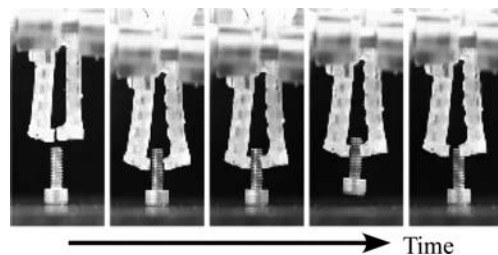


図6 Motion of the microgripper large model

得られた。このフィンガ2本から成るグリッパの把持実験の様子を図6に示す。長さ5 mm、質量0.23 gのM2ねじを持ち上げることができた。

#### 4. MEMS技術を用いたマイクログリッパ<sup>(4)</sup>

長さ3 mmのマイクログリッパのため、MEMS技術を用い、長さ3 mmのDE-FERVを試作した。

図7に示す構成部品を用い、大きな先端変位が得られる寸法をFEM解析により検討した。その結果、 $b=1$  mm,  $h=0.8$  mm,  $b_h=h_h=0.1$  mm,  $w_c=0.1$  mm,



$t_e=15\mu\text{m}$ ,  $t_c=10\mu\text{m}$ とした。

DE-FERVの主要部品である電極対のMEMSプロセスを図8に示す。2段階の電鍍プロセスを開発し、厚さの異なる電極と配線を製作する。提案するMEMSプロセスは以下の通りである。

- (1) シリコン基板の上にチタンと金から成るシードレイヤをパターンニングする (図8(1)-(3))。

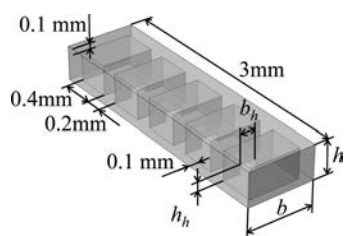
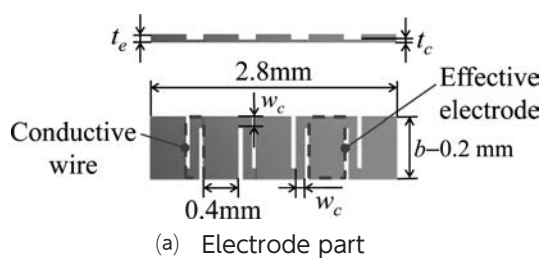


図7 Parts of microfinger

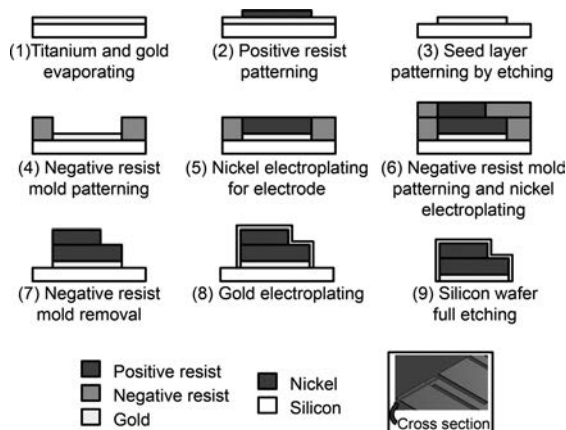


図8 MEMS Fabrication process of electrode part

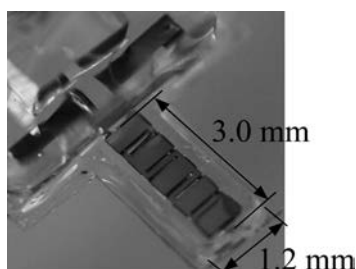


図9 Fabricated DE-FERV

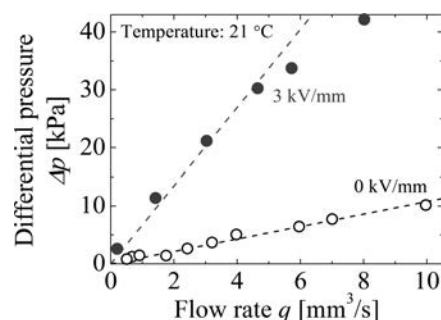


図10 Static characteristics of the DE-FERV

- (2) フォトレジストKMPRの鋳型を用いて第1段階のニッケル電鍍を行う (図8(4)-(5))。
- (3) 第2段階のニッケル電鍍を行う (図8(6)-(7))。
- (4) 金メッキを行う (図8(8))。
- (5) シリコン基板をエッチングして電極部品を取り出す (図8(9))。

製作した電極部品2枚をフォトレジストSU-8のスペーサを介して接合し、さらにPDMS製の流路を形成することでDE-FERVを製作した。

試作したDE-FERVを図9に、静特性実験結果を図10に示す。ただし、図10では流路部の圧力損失を弁差圧測定値から差し引いている。この実験結果から、ER効果の大きさ $k_{ER}=6.3$ が得られ、ERバルブとして機能することが確認された。

## 5. あとがき

本稿では、DE-FERVを用いたマイクログリッパについて紹介した。従来の機械加工を用いて長さ10 mmのフィンガを有するグリッパを試作し、その妥当性を実験的に確認するとともに、MEMS技術を用いて長さ3 mmのDE-FERVを試作し、その有効性を実験的に示した。読者の参考になれば幸である。

### 参考文献

- 1) De Volder, M., Reynaerts, D. : Pneumatic and hydraulic microactuators ; a review, J. of Micromechanics and Microengineering, 20, 043001 (18pp) (2010)
- 2) Yoshida, K., Ide, T., Kim, J.-W., Yokota, S. : A microgripper using flexible electro-rheological valves, WAC2010 CD-ROM Proc. (CD-ROM), (2010)
- 3) Yoshida, K., Hara, S., Eom, S.I., Yokota, S. : A novel soft microgripper using divided-electrode type flexible ER valves, Bulletin of JSME, Mechanical Engineering J., 2-6, Paper No. 15-00340 (2015)
- 4) Yoshida, K., Tsukamoto, N., Kim, J.-W., Yokota, S. : A study on a soft microgripper using MEMS-based divided electrode type flexible electro-rheological valves, Mechatronics, 29, pp. 103-109 (2014)

(原稿受付：2016年10月3日)

## 解説

## 気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ

## 著者紹介



すず もり こう いち  
**鈴 森 康 一**

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

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



わ だ あきら  
**和 田 晃**

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

2014年岡山大学大学院修士課程修了、2014年10月に東京工業大学博士課程に転入学、現在に至る。空圧アクチュエータ、小型空圧源の研究に従事、日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、日本ロボット学会、IEEE等の会員。

## 1. はじめに

風船に空気を入れると膨れる。この単純な原理を利用したのが空圧ラバーアクチュエータである。このアクチュエータの動力は風船で言えば風船内部の空気圧であり、この圧力が高いほど大きな力を出せる。

このアクチュエータを動かすためには以下5つの機能が必要である。

- 圧縮空気を作る「コンプレッサ」
- 圧縮空気の流量を維持する「タンク」
- 圧縮空気の圧力を調整する「レギュレータ」
- 圧縮空気の流れを切り替える「バルブ」
- 圧縮空気をアクチュエータに届ける「空圧配管」

これらが大型かつ大重量になるため空圧アクチュエータは一般には持ち運びが難しい。

この問題を解決するために、まずaの「コンプレッサ」を小型化する研究が行われてきた。これまでの圧縮空気を作る主流な方法はメカニカルな機構によって空気を容積圧縮することである。機構は複雑な構造で小型化が難しく、材質は金属等の剛体で構成されて重くなりがちである。この機構を動か

すために電磁モータを用いる場合は、アクチュエータを動かすためにアクチュエータを動かすといった効率の悪い形となる。この方法では結論として、実用的に空圧アクチュエータを動かす場合、コンプレッサは空圧アクチュエータよりも大型かつ大重量になる場合が多い。そこで、これまでにメカニカルな機構を用いずに容積圧縮する方法が提案されてきた。ドライアイスを溶かす方法<sup>1)</sup>、金属に含ませた水素を使う方法<sup>2)</sup>、過酸化水素水を分解してガスを発生させる方法<sup>3)</sup>、化学反応によってガスを発生させる方法<sup>4)</sup>等である。これらの方法は複雑なメカニカル構造は必要ないため小型化に優れている。さらにaの機能以外にもb, c, dの機能を含むものがあり、aを小型化するだけでなく空圧アクチュエータのシステム全体を小型化する工夫がなされてきた。これが実現すれば、そのシステムをアクチュエータに直付けする、または中に入れ込むことが可能になりeが不要になる。空圧アクチュエータの中は圧縮空気が入るだけであり、この無駄なスペースを有効利用していけばよい。しかしながら、上記の先行研究の問題点として、取り扱いの面倒な材料を用いていること、b, c, dの機能が著しく低いこと、ガスを発生させるために材料を常に供給する必要があり駆動時間を長くする場合にはその量が多くなり重くなることがある。

以上のような背景から、筆者らは水の電気分解によってガスを発生させる方法に着目し、研究を行ってきた。特長は液体から気体に変化する状態変化とその逆の変化を電気により制御でき、発生するガス量を正確に制御できることである。この反応は上記の先行研究と比較して、使用する材料の取り扱いが面倒ではなく、b, c, dの機能が優れており、搭載する材料の量は駆動時間が増えても変わらないため軽量になる。

## 2. 水の電気分解／合成反応

## 2.1 原 理

水の電気分解のような化学反応によるガス発生と例えば、水酸化ナトリウム等の電解液に金属を沈め

て行なう方法が広く知られている。しかしながら、可逆反応は必ずしも容易ではなく、電極腐食や金属等の析出も起こり得る。そこで著者らは「固体高分子形燃料電池 (PEFC)」による電気分解に着目した<sup>5)</sup>。これは電解液の代わりに電解質膜を使用しており、その電解質膜の表と裏には白金等が付着している多孔質触媒層とメッシュ電極を形成している (図1)。これを水 (純水) につけて、電極を電池につなげば電気分解が行なわれる (図2)。電解液の代わりに電解質膜を用いているため、水は電解質膜と白金の両方にくっついている状態すなわち三相界面で化学反応が起こる。その後電極に抵抗や充電されていないコンデンサをつなげれば逆向きに電流が流れる。このとき発生させたガスは電極表面で吸収されて水に戻り、系全体としては燃料電池として働く。この反応を化学式で表すと以下となる。



このように単位電子あたりに発生する水素と酸素のモル数が決まっている。この式から 1 g の水から

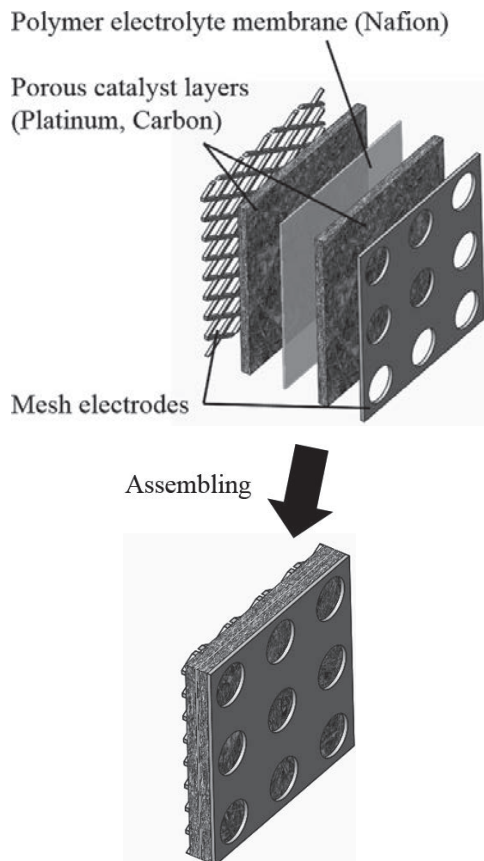


図1 固体高分子形燃料電池 (PEFC) の構造

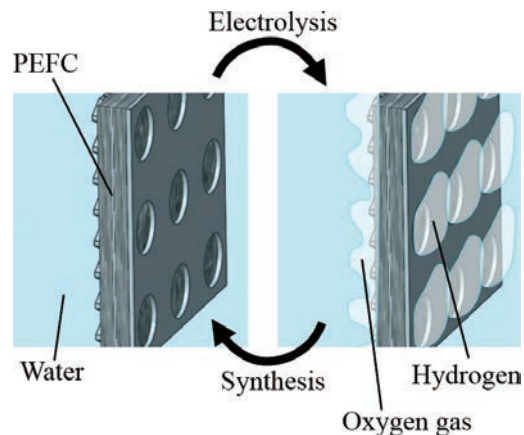


図2 PEFCにおける気体発生と吸収の様子

は標準状態で1.2lの水素と0.6lの酸素を発生できることがわかる。

## 2.2 発生圧力の理論式

ガス圧源の性能として必要なのは発生圧力と流量である。これについては式(4)で導ける<sup>5)</sup>。この式で着目したいのは、発生圧力 $p$ とアクチュエータ内部の空気室体積 $V$ 、電流 $i$ である。発生圧力は空気室体積が小さいほど、また電流が大きいほど高くなる。流量については圧力が一定の場合に電流に比例する。

$$p = \frac{3}{4} \cdot \frac{RT}{V \cdot e \cdot N_A} \int i dt \quad (4)$$

流れた電流から求められる圧力の理論値とその実験値を比較したのが図3であり、それらが一致するためこの式は妥当性があるとわかる。図3では

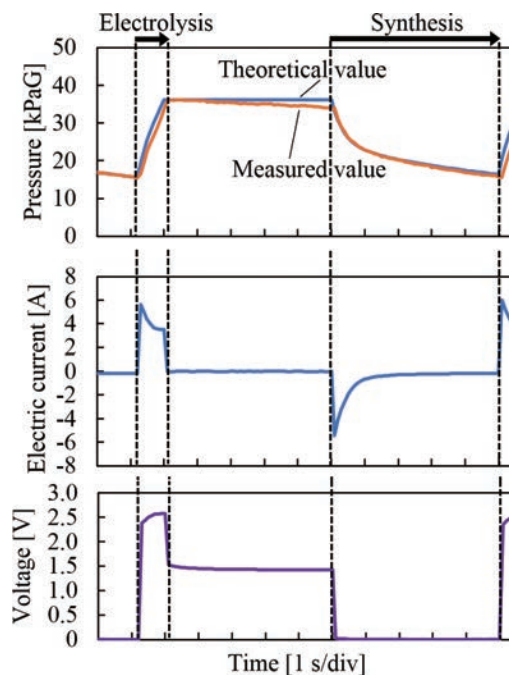


図3 発生圧力の理論値と実験値の比較 (図上)。そのときの電流と電圧 (図中央と下)



30kPaG付近で実験を行っているが500kPaG付近でもこの原理が有効であることは確認されており、空圧アクチュエータを十分駆動できるポテンシャルを持っていることがわかっている。また、図3においてガス吸収が遅いが、35kPaGから25kPaGに下降するときは非常に速い。この特性から、圧力を大気圧まで下げずにある程度圧力が残った状態で運転させれば、比較的速く往復運動ができる。

### 2.3 エネルギー回生

この原理で水素と酸素から水を生成するとき、PEFCは電気を発生する。その電気エネルギーを二次電池に回収してつぎの電気分解の電力として利用すれば省エネルギーになる。そこで実験を行なったところ、結果として20%の省エネルギー化に成功している<sup>6)</sup>。

### 3. 空圧アクチュエータへの搭載

まず始めにFlexible microactuator<sup>7)</sup>と呼ばれる空圧アクチュエータの内部にこのPEFCを配置し、提案した原理が可能か検証した<sup>8)</sup>。ここで課題となったのはPEFCの重ね合わせる方法とその硬さである。

従来のPEFCの重ね合わせ方法はメッシュ電極の外側から7 mm程度の厚さの亚克力板で両側からボルトとナットで締め付けて電解質膜と多孔質触媒層、メッシュ電極を密着させる（図4）。この締め付けが弱いとPEFCに流れる電流が少なくなり、気体発生速度が低下する。しかしながら、この亚克力板が大きいので排除した。締め付け力は弱いを全体を押し付けず4辺のみ固定してコンパクトにした。締め付け力が弱いため、気体発生速度は約10分の1になるがまずこの方法で駆動させた（図5）。

アクチュエータの応答性を考えると、PEFCをできるだけ多く空圧アクチュエータ内の空気室に配置した方が気体発生量も多くなり、圧力は上がり易くなる。しかしながら、従来のPEFCは硬いため、空圧アクチュエータ内部に敷き詰めた際にアクチュエータ自身の柔軟性がなくなるといった問題がある（図6）。そこで現在、柔軟なPEFCの開発を専門家

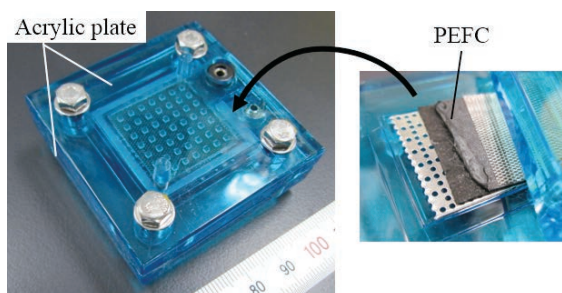


図4 従来のPEFC固定方法

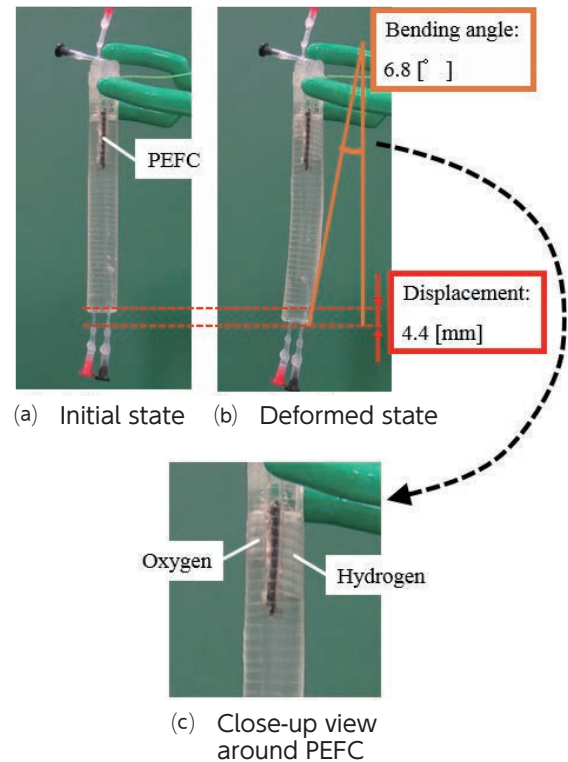
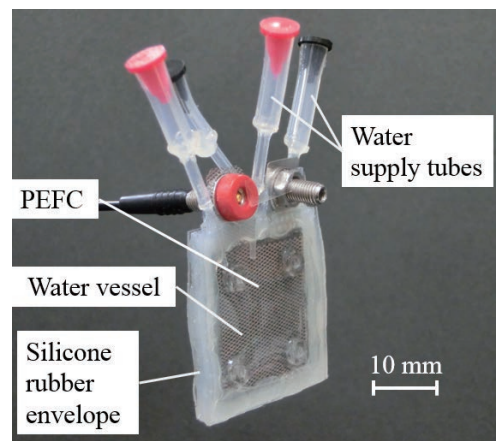
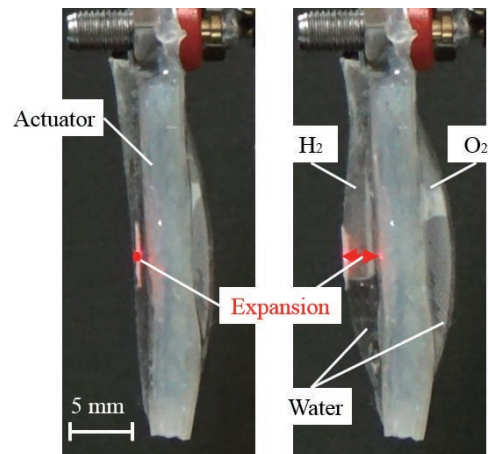


図5 PEFCをコンパクトにしてアクチュエータに搭載した例<sup>8)</sup>



(a) Overview of the actuator



(b) Initial state (c) Inflating actuator

図6 PEFCの面積比率を大きくした例<sup>6)</sup>

と協力して進めている。

これまでに製作したロボットが図5と図6である。図5のPEFC面積は  $24 \times 12 \text{ mm}$  であり、 $0.2 \text{ mm/s}$  で伸張する。かなり駆動が遅いため以下2点の変更を行なった。まず、PEFCの締め付けをさらに強くして(PEFC自体に穴を開けてボルトとナットで締結する)、気体発生速度を上げた。さらにアクチュエータ内部の空気室体積をできるだけ小さくして、圧力を上がり易くした(図6)。挙動としては風船のように膨らみ、 $0.6 \text{ mm/s}$  で膨張動作を行なう。

#### 4. 携 帯 化

この原理は1で述べた機能aからeを一まとめにすることが可能である。空圧アクチュエータ内部にPEFCを配置し、電流を制御するための小型基盤と電池を搭載すれば携帯可能なロボットを実現できる(図7)。この開発にあたり、以下2点の新しい試みも行なった。

この原理をさまざまな空圧アクチュエータに搭載してその知見を得たかったため、低圧で駆動する空圧アクチュエータに搭載した。駆動圧に達するまでのガス量が少ないので、流量が低くてもこれまでよりも速く動くのではないかといいねいである。

もう一つの試みは瞬発動作を実現することである。現状ではこのアクチュエータの応答性は化学反応によって決定される。さらなる応答性の向上のため、今回は「タンク」機能をロボットに付与し、ガスを溜めて高圧にして一気に出力する機構を作り込んだ。その機構が図8のPEFCの下側にある半円球状部分である。タンク内が高圧になると半円球状が地面の向きに凹になっている状態から凸に変化する。この座屈現象により瞬間的に高出力を発生でき、ジャンプが可能となる。

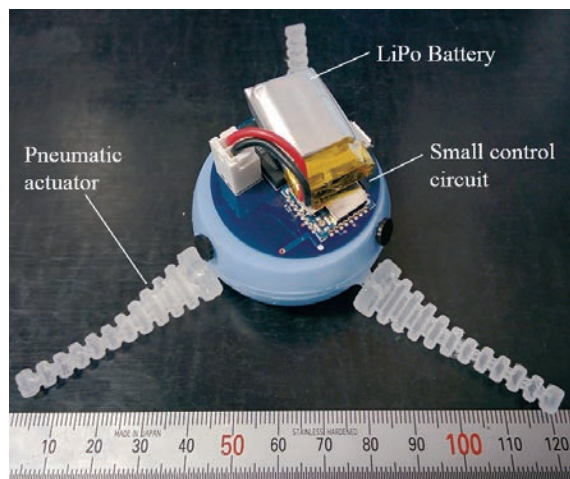


図7 携帯ロボットの概観<sup>9)</sup>

低圧で駆動するアクチュエータの駆動を図9に示す。このとき搭載したPEFCの製作が悪かったため気体発生速度が落ちていたが、数十秒で上げ下げでき、かなり実用的なタスクもできるのではないかと考えている。

座屈現象を利用したジャンプの様子を図10に示す。この動作を図7のロボットで実現したかったが内部のPEFCの問題により現状ではまだ実現できていない。この写真は図7のロボットからアクチュエータと小型基盤、電池を取り外し、空圧配管をつなげて圧縮空気で動かしたときのものである。このように原理的にはジャンプが可能である。

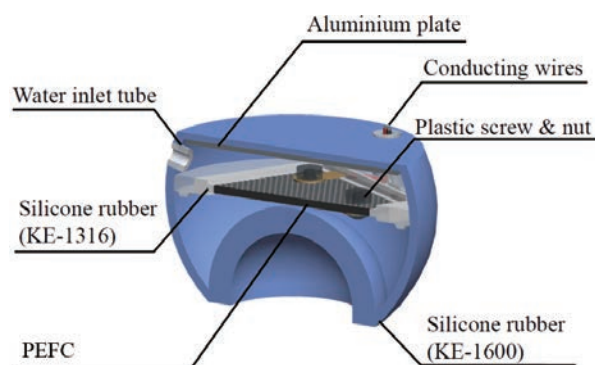


図8 ロボットの内部構造<sup>9)</sup>

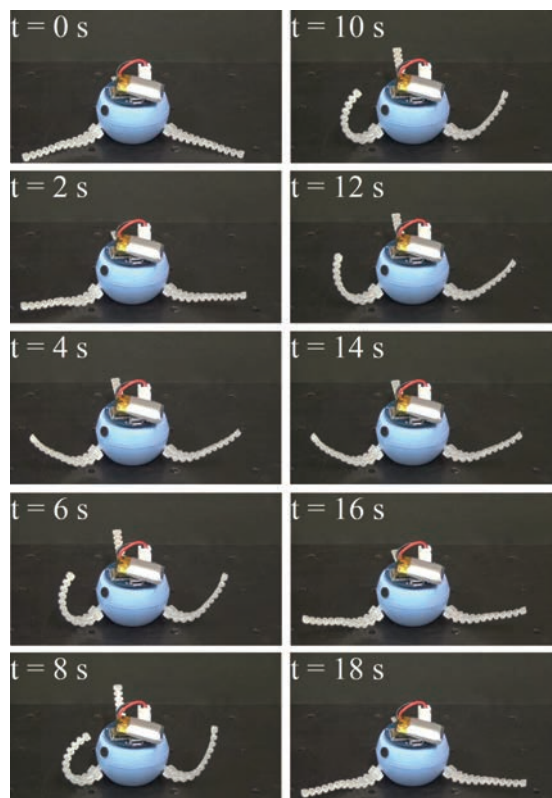
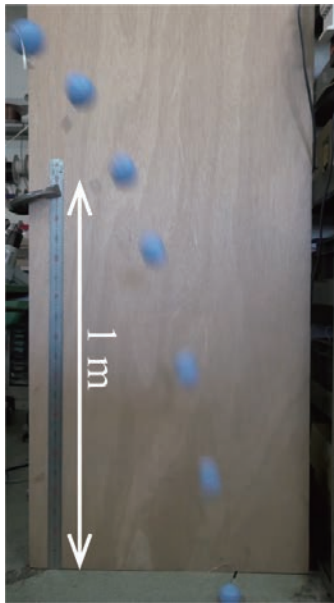


図9 アクチュエータ駆動時の様子<sup>9)</sup>



図10 瞬発力を利用したジャンプ<sup>10)</sup>

## 5. おわりに

PEFCによる水の電気分解／合成反応の基本原理の確認と基礎特性の計測を行ないモデル化に成功している。その特性を考慮して空圧アクチュエータにPEFCを内蔵して駆動させ、携帯化に成功した。今後はMcKibben型人工筋肉にこの原理を適用して駆動させる予定である。また、PEFCの性能を落とさない重ね合わせ方法を確立して安定した動作を実現できるようにする。

### 謝辞

本研究の一部は、挑戦的萌芽研究(24656171)ならびに科研基盤(A)(26249028)によって実施した。

### 参考文献

- 1) H. Wu, A. Kitagawa, H. Tsukagoshi, Development of a portable pneumatic power source using phase transition at the triple point, 6th JFPS International Symposium on Fluid Power 2005, No. 6, p. 310-315, 2005.
- 2) G. Lloyd, K. Kim, Smart hydrogen/metal hydride actuator, Proceedings of the 2006 International Association for Hydrogen Energy, p. 247-255.
- 3) C. Onal, X. Chen, G. Whitesides, D. Rus, Soft mobile robots with on-board chemical pressure generation, International Symposium on Robotics Research (2011).
- 4) T. Yamamoto, Development of portable chemical gas generator for pneumatic actuators, in: 22nd Bioengineering Conference, 2010, p. 0955.
- 5) K. Suzumori, A. Wada, S. Wakimoto, New mobile pressure control system for pneumatic actuators, using reversible chemical reactions of water, Sens. Actuators A : Phys. Vol. A 201, p. 148-153, 2013.
- 6) A. Wada, H. Nabae, T. Kitamori, K. Suzumori, Energy regenerative hose-free pneumatic actuator, Sens. Actuators A : Phys., Vol. 249, p. 1-7, 2016.
- 7) K. Suzumori, S. Iikura, H. Tanaka, Applying a flexible microactuator to robotic mechanisms, IEEE Control Syst., Vol. 12, No. 1, p. 21-27, 1992.
- 8) A. Wada, H. Kametani, K. Suzumori, S. Wakimoto, Development of a hose-free FMA driven by a built-in gas/liquid chemical reactor, Int. J. of Automation Technology Vol. 10, No. 4, 2016.
- 9) T. Kitamori, A. Wada, H. Nabae, K. Suzumori, Untethered Three-Arm Pneumatic Robot using Hose-free Pneumatic Actuator, 2016 IEEE/RSJ International conference on Intelligent Robots and Systems, 2016.
- 10) 北守隆旺, 和田晃, 難波江裕之, 鈴森康一: 球殻の座屈現象を利用した跳躍および投擲が可能なソフトメカニズム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 2P1-13b6, 2016.

(原稿受付: 2016年10月10日)



# 螺旋状巻き付き空気圧駆動ソフトアクチュエータ

## 著者紹介



にし おか やす たか  
西 岡 靖 貴

滋賀県立大学  
〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町2500  
E-mail: nishioka.y@mech.usp.ac.jp

2009年日本学術振興会特別研究員DC2, 2011年岡山大学大学院博士課程修了, 同年, 立命館大学理工学部ロボティクス学科助手, 2013年より滋賀県立大学工学部機械システム工学科助教, 現在に至る, ソフトアクチュエータ及び福祉機器応用に関する研究に従事, 博士(工学)。

## 1. はじめに

近年の福祉ロボット開発において, 人とロボットの調和を促進するための技術開発・研究が多くみられる。その中において, ソフトアクチュエータ開発は, 高い安全性を得ることを目的とした, 軽量性と柔軟性の向上に着目した研究と位置付けられる。

我々は, 特に軽量化と低圧域駆動に着目し, プラスティックフィルムを用いたプリーツ構造を有する極軽量ソフトアクチュエータの開発を実施している<sup>1)</sup>。本アクチュエータは, 薄膜状でも十分な引張強度を有するプラスチックフィルムで構成される空気室をもつ。薄膜であるため, ある程度大型になっても非常に軽量である。また, 空気圧を加圧した際に材料の変形による復元力は極めて小さい。そのため, 一般的な空気圧アクチュエータの十分の一程度の圧力で駆動可能である。これは, システム全体としても軽量化を図ることが可能と思われる。

袋構造を構成する片側の薄膜にプリーツを加工したものをを用いることで, 屈曲運動の生成に成功している。加圧時にプリーツと呼ばれる折り込み部が展開することで, 大きな屈曲運動を実現している。この屈曲運動を利用したロボットハンドを図1に示す。全体重量としては130 [g] 程度だが, 10 [kPa] 程度の低圧力で約500 [g] のペットボトルの把持に成功している<sup>2)</sup>。

このようなロボットハンドが物体を把持する時の把持力の増加に対して, 接触面積を大きくする方法

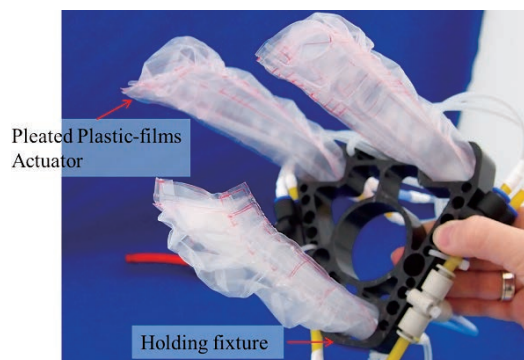


図1 プリーツ構造を有するソフトグリップ例<sup>2)</sup>

に着目した。小型かつ接触面積を大きくする方法の一つとして螺旋状に巻き付く運動の生成の構想に至った。本報では, 屈曲型アクチュエータを基盤技術とした, 2種類の構造による螺旋状巻き付き運動を生成するアクチュエータについて解説する。

## 2. 折り込みの傾きによる巻き付き運動の生成<sup>3)</sup>

### 2.1 構造・原理

本アクチュエータの構造を図2に, 製作方法を図3に示す。2枚のプラスチックフィルムの各端辺を

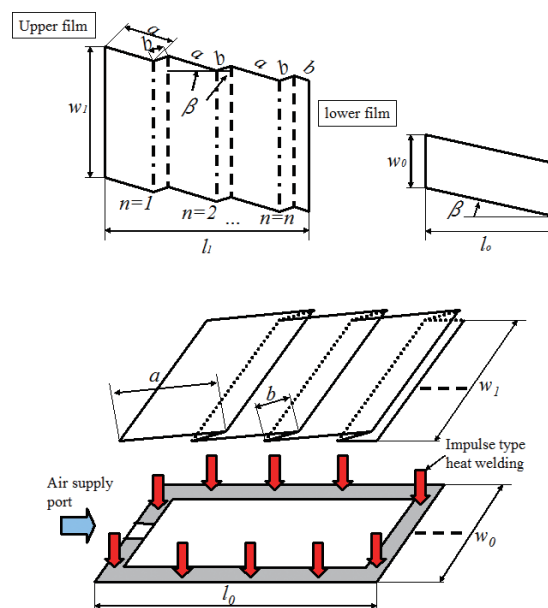
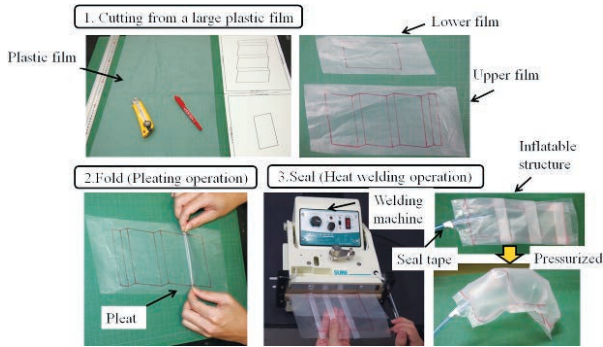
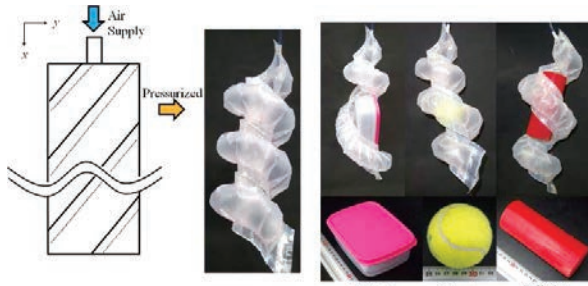


図2 折り込みの傾きによる巻き付きの生成例<sup>3)</sup>

図3 製作方法<sup>3)</sup>図4 巻き付き運動による把持例<sup>3)</sup>

熱溶着することで、袋構造にしている。1辺のみ空気供給チューブを差し込む面積だけ、マスキングにより熱溶着していない。片側のフィルムは何も折り込みのない平面状のものであるが、もう片側はプリーツと呼ばれる折り込み構造が施されている。折り込みピッチ  $a$  [mm] で山折りした後、 $b$  [mm] だけ折り込み、谷折りをする。これを1プリーツとし、設計する屈曲角度に応じて  $n$  回繰り返す構造である。

屈曲運動のみの場合は、この折り線が長手方向に対して垂直である。この折り線を  $\beta$  だけ傾けることで、螺旋状に巻き付く運動が得られる。設計時のパラメータによって得られる最終形状の導出法については、簡易モデルにより既に示している<sup>3)</sup>。巻き付き運動を用いた生成例について図4に示す。このように螺旋状に巻き付くことで、さまざまな3次元物体の把持が可能となる。

## 2.2 発生力特性

本アクチュエータを用いた把持力を図5に示す実験装置により測定した。塩化ビニル製のパイプ材を本アクチュエータにより把持する。パイプには力測定用のフォースセンサが取り付けられ、動かないように固定されている。把持しているアクチュエータを引っ張り、動き始める直前の測定力を把持力とする。本実験で使用した3種類のアクチュエータのパラメータを表1に示す。折り込み回数が異なる、全長の違いによる発生力の変化、および対象の直径による発生力の変化を測定し、その結果を図6に示す。

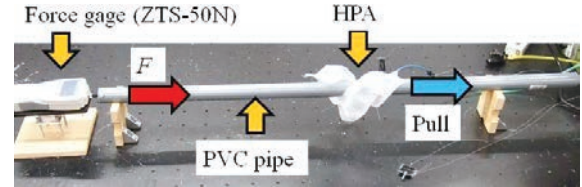
図5 巻き付きソフトアクチュエータによる把持力測定実験<sup>3)</sup>

表1 3種類のサンプルアクチュエータ

|          | $a$<br>[mm] | $b$<br>[mm] | $n$ | $w_0$<br>[mm] | $w_l$<br>[mm] | $\beta$<br>[deg.] |
|----------|-------------|-------------|-----|---------------|---------------|-------------------|
| sample 1 | 32          | 13          | 10  | 50            | 100           | 30                |
| sample 2 |             |             | 20  |               |               |                   |
| sample 3 |             |             | 30  |               |               |                   |

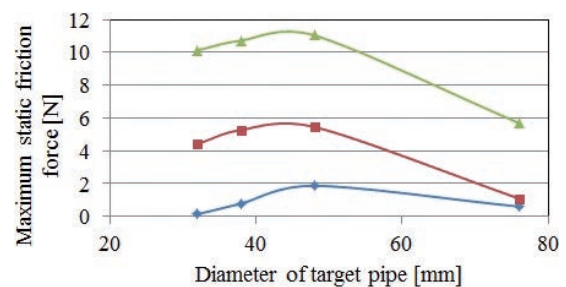


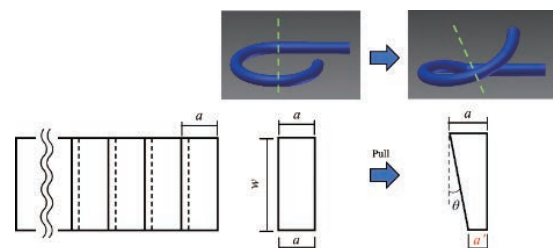
図6 把持力測定結果

本実験結果より、対象物の直径に把持力が依存することがわかる。本アクチュエータは加圧によって形状は最終形状に一意に決まる。よって、最終形状に合わせて、最も高くなる把持対象物径が存在する。ただし、結果より把持可能な範囲が広く、これは対象物が未知の場合に有効となる可能性がある。

## 3. ワイヤード駆動による巻き付き運動の生成<sup>4)</sup>

### 3.1 巻き付き運動の生成原理

本アクチュエータは2次元平面で屈曲する、図1で用いているアクチュエータにワイヤード駆動方式を複合させたものである。図7の様に、屈曲型アクチュエータの長辺の片側のみ短くすると、2章と同じようにプリーツが斜めに折り込まれたような形と

図7 ワイヤードの引張による巻き付き運動生成<sup>4)</sup>

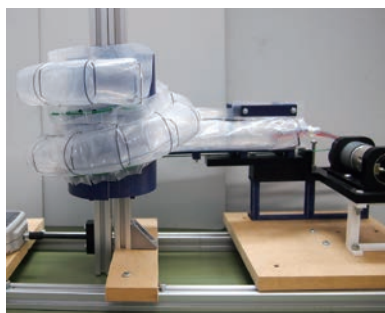
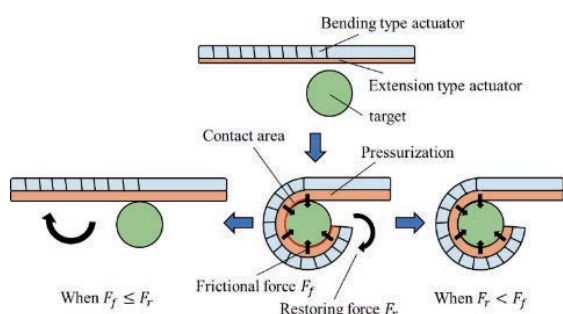


図8 ワイヤ駆動を利用した時の把持時の様子

なる。長辺の片側に繊維を編み、それを小型DCモータで引っ張ることで螺旋状に巻き付き運動が得られる。図8に巻き付いた後の様子を示す。

### 3.2 伸展型アクチュエータの複合

本アクチュエータには伸展型アクチュエータとして利用する単純袋構造が、アクチュエータと対面して配置されており、図9のような2つの機能を有する。伸展型の利用は、アクチュエータの初期形状を決めることができる。また、対象物を把持した状態で、伸展型アクチュエータを加圧すると、復元力より対象物との摩擦力が大きい場合に限り、より高い把持力を得ることができる。

図9 伸展駆動型アクチュエータの利用による効果<sup>4)</sup>

### 3.3 実験システム

本機構の把持力について増加の効果を確認するため、図10に示す実験システムを用いた。2つの半円筒状対象物の片側にはフォースセンサが固定されている。2つの半円は干渉しないようになっており、運動方向も拘束している。本実験結果を図11に示す。伸展型アクチュエータに関しては、屈曲型アクチュエータの圧力に対して大きい圧力を印加すると、把持力が低下する傾向が見られた。これは伸展方向への復元力に関与する力が大きくなるためと考えられる。ワイヤ駆動を用いた際には引張率に比例した把持力の向上が見られた。ワイヤ駆動と組み合わせることで、直径100 [mm] の把持対象物に対して、伸展空気室を1 [kPa]、屈曲空気室10 [kPa]、全長ワイヤに対して40%引っ張った時、約3 [N]

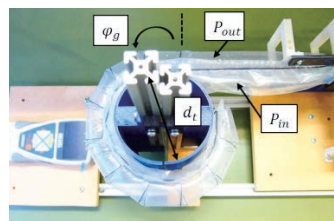
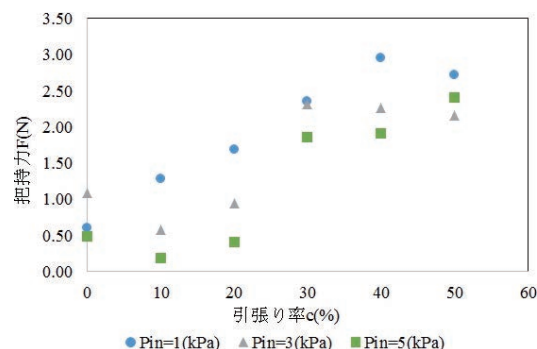
図10 把持力に関する実験装置<sup>4)</sup>

図11 ワイヤ駆動および伸展空気室を併用した時の結果

の把持力が得られた。

## 4. おわりに

極めて軽量の構造を有することを目的としたプラスチックフィルムを用いたソフトアクチュエータによる、グリップのための螺旋状巻き付き機構を提案した。接触面積の増加による把持力の向上効果については、2種類の構造共に良好なものが得られている。応答性やシステムの小型要件より、機構を選択する必要がある。本構造より極めて軽量かつ把持力/重量比の高いソフトグリップの実現可能性が期待できる。

### 参考文献

- 1) Y. NISHIOKA et al., "Proposal of an Extremely Lightweight Soft Actuator using Plastic Films with a Pleated Structure", *19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, pp. 491-496, Auckland, New Zealand, 28-30 November 2012
- 2) Y. NISHIOKA et al., "Experimental production of a Pneumatic Soft and Lightweight Gripper utilizing Pleated Plastic-films Actuators", *The Twelfth International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization (FLUCOME 2013)*, OS 4-01-4, 11/2013
- 3) H. AMASE et al., "Mechanism and Basic Characteristics of a Helical Inflatable Gripper", *The 2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2015)*, pp.2559-2564, 2015
- 4) 川野ら "ワイヤ駆動を利用した螺旋状巻き付きインフレーターブルグリップの提案", ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-05a2, 2016

(原稿受付：2016年10月5日)



## 解説

# タコの吸盤を参考にした空気圧駆動による 投擲型柔軟吸着体：Anchor Ball

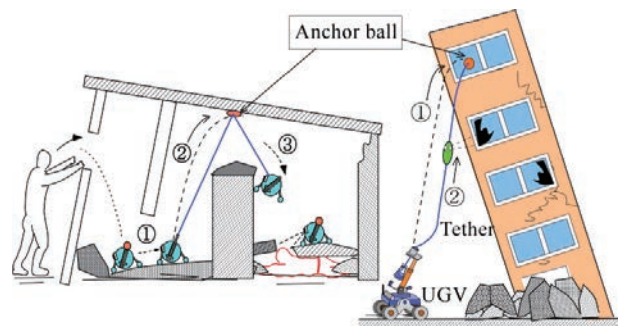
## 著者紹介



つか 越 秀 行

東京工業大学大学院  
〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-S5-19  
E-mail: htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp

1998年東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了。同大学助手を経て、2004年同大学工学部助教授、准教授、現在に至る。レスキューロボット、流体アクチュエータの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。



(a) Retrieving method (b) Sliding method

図1 Anchor Ballを利用した情報収集作業

## 1. はじめに

火災・地震・テロなどの災害発生時には、無人移動ロボットによる安全かつ迅速な情報収集作業が求められる。車輪型やクローラ型の移動ロボットは、同程度のサイズの飛行型に比べてペイロードが大きくさまざまな探査機器を搭載しやすい。その反面、凹凸不整地の踏破や建物中高層階へのアクセスには対応しづらい欠点もある。

その打開策として、テザー（ここでは、ロープやチューブなどを含む総称とする）の活用が挙げられる。すなわち、空中に投擲（とうてき）したテザーの一端を外部環境に固定し、移動ロボットがテザーを巻き取りながらアクセスする方式（巻取り式）や、テザーに沿って探査機をスライドさせる方式（スライド式）である（図1）。これらの実現には、テザーの一端を環境に固定できる機能が欠かせない。

本稿では、多様な凹凸面への高い吸着能力を示すタコの吸盤を参考とし、「Anchor Ball（アンカーボール）<sup>1)</sup>」と名付けた投擲可能な柔軟吸着体（図2）の開発事例を紹介する。

## 2. タコの吸盤に基づく発想

タコの吸盤は中央のドーム部と縁の漏斗部から構成されている。吸着初期では、漏斗部を壁面に接触させてシールする。つぎに、ドーム部周囲の筋肉を縮めると内部の体積が膨張するため負圧が生成される（図3(a)）。各吸盤の閉じた系内で個別に負圧を



図2 Anchor Ballの外観

生成できるため、他の吸盤と流路を共有することはなく、それゆえ凹凸面でも気密性を保ちやすい。さらに、筋肉を弛緩させるとドーム内の体積と圧力は初期状態に戻り、瞬時に離脱動作を実現できる。

上述の原理を簡便かつ軽量の構成で再現する手法として、以下の多孔式吸盤を導入した。すなわち、粘着性弾性膜、多孔プレート、カップ、チューブから成る構造である（図3(b)(c)）。吸着初期では、多孔式吸盤が壁面に接触すると、弾性膜の粘着力により壁面と吸盤間がシールされる（仮吸着）。つぎに、真空発生器（真空ポンプやエジェクタ）によりカップ内を大気圧 $P_0$ から圧力 $P_2$ に減圧すると、各孔の弾性膜がカップ内側に凹む。その結果、弾性膜と壁面との間の体積が膨張するため、圧力は $P_1$ に減少して吸着力が生成される（本吸着）。

このように弾性膜を介して間接的に負圧を生成する手法を「間接吸引」とし、吸盤内の空気を直接吸引する従来手法と異なる吸引方式として提案した<sup>2)</sup>。間接吸引は、直接吸引と比べて次の2つの優位性を有する。i) 複数の小型吸盤を密に配置した構成に

において、気密性を保つ吸盤だけに負圧を生成させることができる。各吸盤に個別に弁を設ける必要がなく、軽量の構成を実現しやすい。ii) 真空発生器の流路は吸盤内のチャンバーから隔離されているため、流体機器に埃が入りづらく防塵性を保ちやすい。

間接吸引は以上の利点を有するため、Anchor Ball以外の用途にも有用性を発揮する。筆者らの提案以降、腹腔鏡下手術において臓器を持ち上げる装置<sup>4)</sup>や、凹凸を有した物体を自在に把持するハンド<sup>5)</sup>など、さまざまな用途への応用も報告されている。

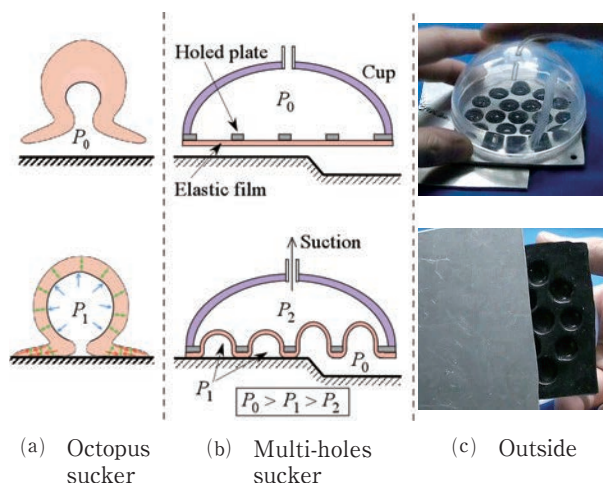


図3 間接吸引の基本原理解

### 3. Anchor Ballの構成と原理

Anchor Ballの外側は、自然長の5倍程度に伸ばしても復元可能な超柔軟素材の弾性膜により球形に覆われ、その一部には空圧チューブと接続するジョイントを設ける。また、ボールの内部は、多数の円筒パイプと無数の粒子から構成されている。円筒パイプは、前述の多孔プレート役割を担うために設けており、多様な平面形状に適応するように取り付けられている。円筒パイプの一端は弾性膜の内壁に固定され、他端は布で覆われている。この布は、粒子の通過は許容せず、空気の通過のみを許容するために設けられている。一方、粒子は、Anchor Ballに外力が作用した際に、流動できる程度の量が充填されている。

つぎに、Anchor Ballの動作手順を示す(図4)。1) 投擲されたAnchor Ballは球形に近い形状を保ちつつ壁面に近づく。2) 壁面に衝突すると接触面に沿って平板状に潰れ、弾性膜の粘着力により仮吸着となる。3) 内部を吸引すると、各円筒パイプで弾性膜が内側に凹み、間接吸引により本吸着となる。このとき、負圧状態のAnchor Ball内部は大気圧で押されるため粒子間の流動性はなくなり、Anchor

Ballは固化して剛性が増す。4) Anchor Ballの内部を大気圧に戻すと、弾性膜の凹みは消滅して吸盤の吸着力は0となり、Anchor Ballは壁面から離脱する。

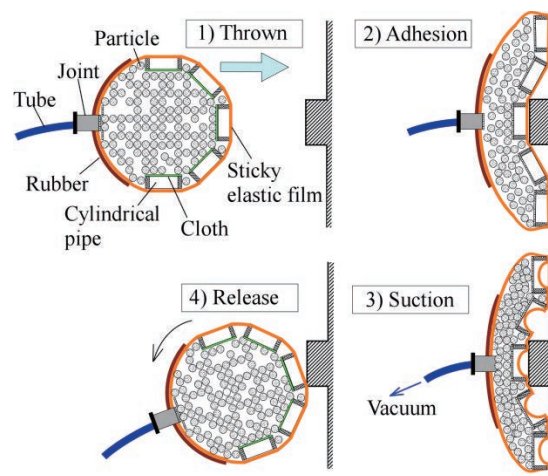


図4 動作原理

### 4. 試作機

Anchor Ballの表面を覆う弾性膜として、厚さ  $t = 2 \text{ mm}$  のウレタンゲルを用いた。ゲージ圧-86kPaまで内部を吸引したときの吸盤1個当たりの吸引力は約5Nを示した。20Nの支持力を実現するために、合計15個の吸盤を三層構造で配置した。また、直径3mmの発砲スチロール製ビーズを充填した。以上のように構成されたAnchor Ballは図2に示す形状となり、質量48gとなった。

試作したAnchor Ballをアクリル製の平板に投擲し、仮吸着・本吸着・離脱の動作を確認した(図5)。仮吸着の開始後、約1s後に弁を操作してAnchor Ball内を吸引した結果、本吸着状態に遷移

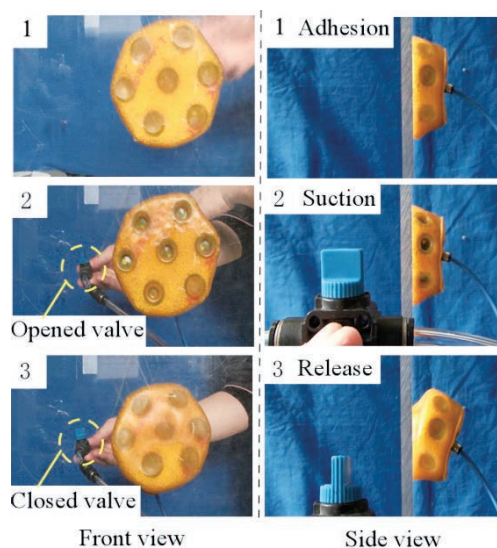


図5 仮吸着・本吸着・離脱の動作



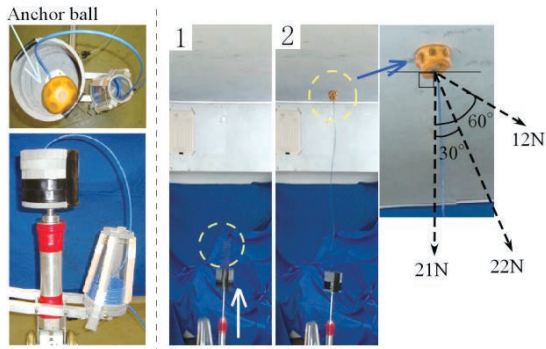


図6 投擲装置（左）と天井面に投擲した様子

した。その後、再度弁を操作してボール内を大気圧に戻すと離脱した。コンクリート面でも同様の動作が確認された。

磁性ブレーキシリンダによる投擲装置でAnchor Ballを天井に投擲した様子を図6に示す。テザーの牽引方向によって支持力は異なる。また、窓枠の凸面にも投擲後吸着可能なことを確認し、このときは11Nの垂直方向の支持力が計測された。

## 5. 流体ロープウェイとの融合

図1(b)に示した投擲式流体ロープウェイ<sup>3)</sup>と融合した運用実験を行い、建物中層階の内部の画像情報の取得を試みた。システムは、投擲・回収装置、柔軟チューブ、Anchor Ball、ゴンドラ探査機、バッテリーで駆動されるコンプレッサーなどを搭載した無人搬送車UGV（Unmanned Ground Vehicle）からなる。

操作は以下の手順で行われた。(i)オペレータの遠隔操作により、UGVが建物近くまでアプローチして静止した。(ii)つぎに、投擲装置に搭載した距離傾斜センサの情報をもとに目標位置を算出し、投擲の傾斜角を調整した。(iii)UGVから高さ7m水平距離8mの3Fの窓をさがけてAnchor Ballを投擲した。(iv)目標位置から400mm程度の誤差は生じたものの、Anchor Ballを標的の窓に吸着させてチューブの一端を固定した。さらに、回収装置によりチューブを500～1,000mm程度回収してチューブの張力を調整した。(v)チューブ内を0.4MPaの空圧で加圧すると、ゴンドラ探査機はチューブに沿って最高速度2m/sで移動した。(vi)その間、搭載カメラにより建物外から窓越しに建物内を撮影し、オペレータは遠隔地点にしながら建物内の様子を確認することができた。

## 6. おわりに

タコの吸盤を参考に開発した柔軟構造の吸着体を紹介した。投擲されたテザーの一端を建物の壁面に

固定し、ロボットのアクセス動作を支援するツールとして期待されている。今後は、壁面に衝突したタイミングを検知し、内部を自動的に減圧する機能などを検討する予定である。

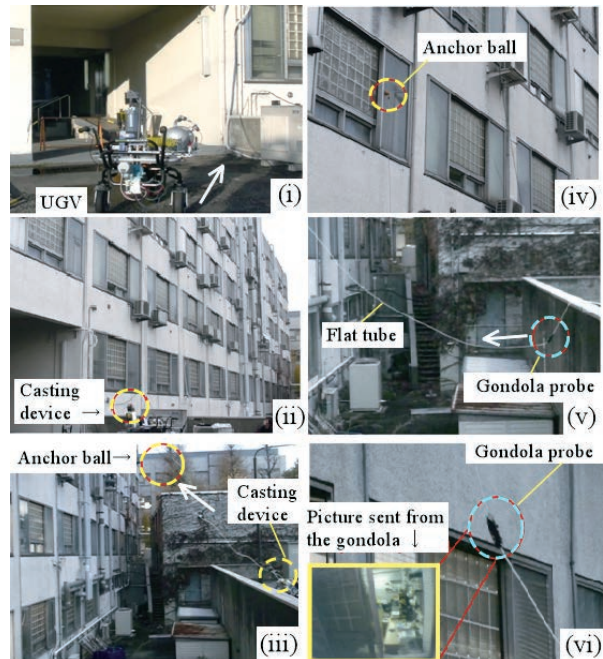


図7 投擲したチューブを壁面に固定して建物内の情報収集を行っている様子

## 謝辞

本研究は、総務省消防庁の消防防災科学技術研究推進制度のご支援のもとで行われました。

## 参考文献

- 1) Hideyuki Tsukagoshi, Kazutaka Fuchigami, Eyri Watari, Ato Kitagawa, "Deformable Anchor Ball for Thrown Referring to Octopus Suckers", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 26, No. 4, 477-485 (2014)
- 2) 洲上和峻, ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能, "危険建物内のレスキュー活動を支援する投擲式吸着体の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会2011, 2A1-J11 (2011)
- 3) Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, Ato Kitagawa, "Fast Accessible Rescue Device by Using a Flexible Actuator", International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), 1175-1180 (2012)
- 4) 桑原宏介, 塚越秀行, 北川能, "タコの吸盤を参考とした臓器を吸着把持するソフトフィンガー", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 1A1-B14 (2013)
- 5) 菊池智史, 高橋智一, 鈴木昌人, 青柳誠司 "自由曲面の把持可能なフレキシブル吸盤型ハンドの開発" 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 1A1-K03 (2013)

(原稿受付：2016年11月16日)



## 会議報告

## ERMR2016におけるフルードパワー技術の研究動向

## 著者紹介



たけ むら けん じ ろ う  
竹 村 研 治 郎

慶應義塾大学  
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1  
E-mail: takemura@mech.keio.ac.jp

2002年慶大院後期博士課程修了。2002年慶大機械工学科助手、2003～2008年東工大精研助手、助教、2008～2012年慶大機械工学科専任講師を経て、2012年より准教授、現在に至る。機能性流体などの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会などの会員。博士（工学）。

## 1. はじめに

2016年7月4～8日に韓国インチョン市のRamada Songdo Hotelにて15th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2016, <http://www.ermr2016.org>)が開催された(図1)。ERMRと略される本会議は2年ごとに開催され、電気粘性流体(ERF)や磁気粘性流体(MRF)を中心とした機能性流体の研究者が一堂に会する国際会議である。15回目を迎えた2016年はInha UniversityのSeung-Bok Choi教授を大会委員長としてThe Korean Society for Noise and Vibration Engineering(<http://www.ksnve.or.kr/english/>)が主催し、21カ国から197件の研究発表が行われた。



図1 ERMR2016会場入口の様子

会議の全体プログラムは表1のようであり、全日の午前午後にプレナリーレクチャーが配置された。

中日(7月6日)は午前中のオーラルセッションの後、午後は半日のエキスカッションとバンケットであった。以下に、ERMR2016における機能性流体研究の研究動向を報告する。

表1 全体プログラム

| 午前                                       | 午後                                             |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 7/3 (日)                                  | レジストレーション                                      |
| 7/4 (月) オープニング<br>プレナリーレクチャー1<br>オーラル発表  | プレナリーレクチャー2<br>オーラル発表<br>ポスター発表<br>ウェルカムレセプション |
| 7/5 (火) プレナリーレクチャー3, 4<br>オーラル発表         | プレナリーレクチャー5, 6<br>オーラル発表<br>ポスター発表             |
| 7/6 (水) プレナリーレクチャー7<br>オーラル発表            | エキスカッション<br>バンケット                              |
| 7/7 (木) プレナリーレクチャー8, 9<br>オーラル発表         | プレナリーレクチャー10, 11<br>オーラル発表                     |
| 7/8 (金) プレナリーレクチャー12<br>オーラル発表<br>クロージング |                                                |

## 2. プレナリーレクチャー

ERMR2016では、実質的にすべての日の午前午後にプレナリーレクチャーが行われた。6カ国の大学から12件の講演があり、演題もERFやMRFの基礎研究から機能性エラストマーや機能性流体の制御、応用まで多岐に渡った。これらのプレナリーレクチャーの演題を見ても、機能性流体関連の研究動向が広がりを見せていることがわかる。以下に、全12件の講師と演題を紹介する。

(1) Prof. Rongjia Tao (Temple Univ.)

Electrorheological Effect Leads to Healthier

and More Tasteful Chocolate

- (2) Prof. Daniel J. Klingenberg (Univ. Wisconsin, Madison)  
A Jamming-like Mechanism of Yield Stress Enhancement in MR Suspension Mixtures of Magnetizable and Nonmagnetizable Particles
- (3) Prof. Weijia Wen (Hong Kong Univ. Science and Technology)  
Other Potential Applications of ER Fluid
- (4) Prof. Faramarz Gordaninejad (Univ. Nevada)  
Nonreciprocal Phononics using Hyperelastic Magnetoelastic elastomers
- (5) Prof. Juan de Vicente (Univ. Granada)  
Model Magnetorheology and Unconventional Flows
- (6) Prof. Norman M. Wereley (Univ. Maryland)  
Insights and Approximations for Adaptive Energy Absorption using Magnetorheological Energy Absorbers
- (7) Prof. Masami Nakano (Tohoku Univ.)  
Development of MR Fluid Brake for a Super-compact Electric Vehicle
- (8) Prof. Yongsok Seo (Seoul National Univ.)  
Static Yield Stress and Stability of ER/MR Fluids
- (9) Prof. Xinglong Gong (Univ. Science and Technology of China)  
Recent Advance in Shear Thickening Fluid and Shear Thickening Gel
- (10) Prof. Yu Tian (Tsinghua Univ.)  
Origin of Shear Stress in MR/ER Effect
- (11) Prof. Weihua Li (Univ. Wollongong)  
Development of Multi-Layer Magnetorheological Elastomer Devices for Structural Control
- (12) Prof. Kyoung Kwan Ahn (Univ. Ulsan)  
Modeling Technique of MR Damper and its Application to Sensorless Control System

### 3. テクニカルセッション

テクニカルセッションは2部屋パラレルで行われ、全部で30セッションが開催された。筆者は最後の2日間のみの参加であったため、残念ながら会期前半のセッションに参加することはできなかったが、機能性流体に関する基礎から応用まで多くのセッションが企画された。以下にERF, MRF, その他に分類してセッション名を紹介する。なお、分類およ

びセッション名のあとの数字は講演件数である。

#### 【ERF (15)】

- ER Fluids: Materials and Characteristics (6)
- ER Materials and Characteristics (3)
- Novel ER Materials and Characteristics (3)
- Applications of ER Fluids (3)

#### 【MRF (53)】

- MR Fluids: Materials and Characteristics (3)
- MR Suspensions and Characteristics (7)
- MR Elastomers and Characteristics (8)
- MR Elastomers and Gels: Materials and Physical Properties (4)
- MR Materials and Applications (3)
- Engineering Applications of MR Materials (24)
- Novel MR Materials (4)

#### 【その他 (14)】

- Ferrofluids (2)
- Smart Fluid based Energy Saving and Harvest (2)
- Stimuli-responsive Biomaterials and Colloids (4)
- External-sensitive Functional Materials (6)

これらのセッション名および発表件数を見ると、ERFやMRFの材料研究も行われているが、MR材料の工学的応用に関する研究が24件と際立って多く、機能性流体関連の研究者の多くがMRFを応用したデバイス開発に取り組んでいるようである。また、MRエラストマーやMRゲルといったセッションも開催され、従来の機能性流体の枠にとらわれない研究テーマも発展しつつあると言える。その他に分類されるセッションでは、電場や磁場に限らない物理的刺激に対して応答するバイオマテリアルやコロイド、流体の研究も広がりを見せている。

なお、ここではオーラルセッション82件の研究動向を紹介したが、このほかにポスターセッションにて103件の研究発表が行われた。

### 4. おわりに

本稿ではERMR2016のプレナリーレクチャーおよびテクニカルセッションを中心に機能性流体分野の研究動向を紹介した。ポスターセッションを含めて197件すべての研究内容を網羅したわけではないが、少なくともMR材料の工学的応用に多くの関心が集まっているようである。2年後のERMR2018は米国ワシントンD.C.にて開催される予定である。本学会からも多く皆さまが機能性流体に関する新たな知見をご発表いただくことを期待したい。

(原稿受付：2016年8月24日)

## 教 室

# 入門講座「エネルギー工学」

## 第三回：火力発電と環境対策・地球温暖化

## 著 者 紹 介



え ま さとし  
江 間 敏

沼津工業高等専門学校  
〒410-8501 静岡県沼津市大岡3600  
E-mail: ema@numazu-ct.ac.jp

1977年東京工業大学大学院修士課程修了。国鉄（現JR）勤務、鉄道技術研究所を経て、1986年沼津高専勤務、2015年同高専退職（名誉教授）、現在嘱託教授。電力工学、浮上式鉄道の研究に従事、電気学会上級会員。

## 1. はじめに

この講座の後半では火力発電所における環境対策設備とりわけ酸性雨（ $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ ）、塵埃（じんあい）対策について述べる。続いて世界の緊急の課題となっている $\text{CO}_2$ 等による地球温暖化の問題について説明する。

## 2. 地球を取り巻く環境の悪化

地球が誕生して46億年、私たちの住む（青い惑星）地球はさまざまな環境の悪化に直面している。大気汚染（オゾン層の破壊、酸性雨等）、温室効果ガス（ $\text{CO}_2$ 等）排出による地球温暖化等である（図1）。初めに火力発電と関係のある酸性雨対策について述べ、つぎに温室効果ガスにより、この100年間で地球が $0.8^\circ\text{C}$ 上昇した地球温暖化について述べる。



図1 地球を取り巻く環境の悪化

## 3. 火力発電と環境対策設備

## 3.1 火力発電と環境保全

火力発電所の環境対策設備には、ボイラ排煙による大気汚染防止、水質汚濁防止、騒音防止などの各種設備が設けられている。ここでは大気汚染防止設備——排煙脱硝・脱硫装置、集じん装置について説明する。大気汚染防止には、物質の発生を抑制する方法と除去する方法とに分けて考えることができるが、後者の除去する方法について説明する。

## 3.2 酸性雨と排煙装置

地球温暖化ガス（ $\text{CO}_2$ など）と共に酸性雨対策も重要である。その発生メカニズムと影響は図2の通りである。酸性雨とはpHが5.6以下の雨のことであり、この雨が湖沼、河川に流れ込み有害金属濃度の上昇を招く、植物、森では光合成、樹木の根等に悪影響を与える。

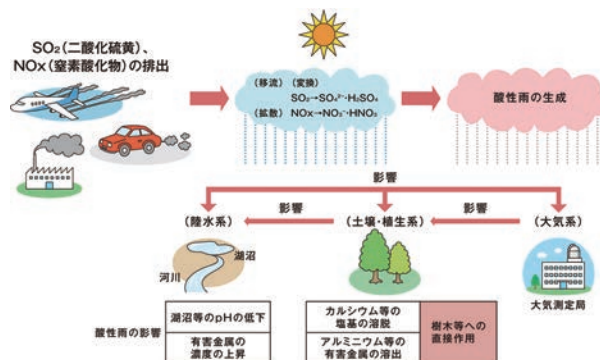


図2 酸性雨発生の仕組みと影響

石炭や重油の中に含まれる窒素（N）や硫黄（S）は燃焼時に空気中の酸素（ $\text{O}_2$ ）と化学反応を起こし $\text{NO}_x$ や $\text{SO}_x$ となる。これらは酸性雨の原因となり自然界の生態系に影響を与えるため、これらの除去装置が設置されている。 $\text{NO}_x$ （窒素酸化物）を少なくさせる排煙脱硝装置（アンモニア選択接触還元法）が、用いられる。また $\text{SO}_x$ （硫黄酸化物）を少なくさせる排煙脱硫装置（湿式の石灰石—石膏（せっこう）法など）も設置されている。



### 3.3 電気集じん装置

微粉炭燃焼ボイラでは、200メッシュ程度の細かい粒子を浮遊燃焼させるため、灰や燃焼ガスとともに放出される量がきわめて多く、数十%に及ぶことがある。このため、煙道の途中に灰の空中飛散を防ぐようにするため、集じん装置を設けている。集じん装置には電気的な集じん法と機械的な集じん法があるが、装置が簡単で集じん効果が大きい乾式の電気集じん装置が広く用いられている。電気集じん器は直流の高電圧下（数万ボルト）で生じるコロナ放電を利用して灰を集める方式で、この集じん効率は機械式のサイクロン集じん器より大きく98%程度であるが、サイクロン集じん器と併用することが多い。

## 4. 火力発電と地球温暖化

### 4.1 地球温暖化がもたらす様々な環境問題

地球温暖化は1950年頃から発展途上国の経済活動等により増加を始め、この100年間で平均気温が0.8℃上昇し、図1の通りさまざまな地球環境悪化を招いている。近年わが国でも記録的な集中豪雨に見舞われたり、砂漠化が進むことにより中国大陆から飛来する黄砂も増える傾向にある。たとえば（海水面の上昇）問題では、グリーンランド、南太平洋の島々の水没の危機、オランダ、バングラデシュ等の低地の国々も同様である。以下、さまざまな環境問題を起こしている温暖化について検討していく。

### 4.2 温室効果ガスと気温上昇

CO<sub>2</sub>等は太陽からの熱が宇宙に逃げるのを防ぐ役目をしており、温室効果ガスとも呼ばれている。この温室効果ガスが増加し、地表に戻す再放射が多くなり地球温暖化を招いている（図3）。

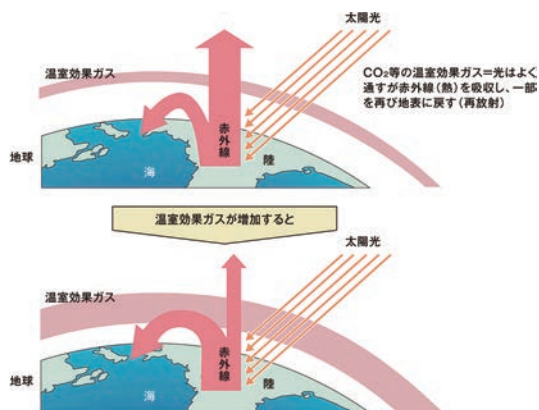


図3 温室効果のしくみ

この温室効果ガスは第二次世界大戦以降増えはじめ、この100年間で平均気温が0.8℃上昇しており、今後も上昇することが予想される（図4）。

この温室効果ガスには、CO<sub>2</sub>が一番関係し、つぎ

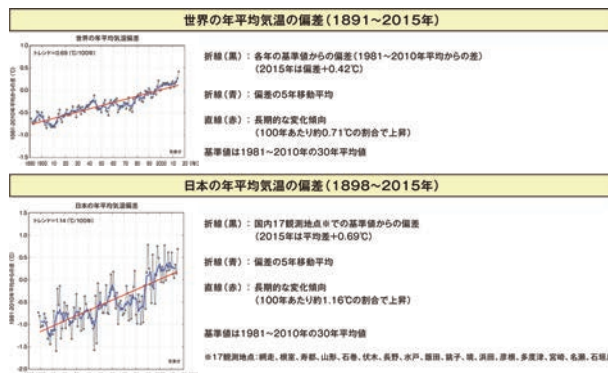


図4 平均気温の変化

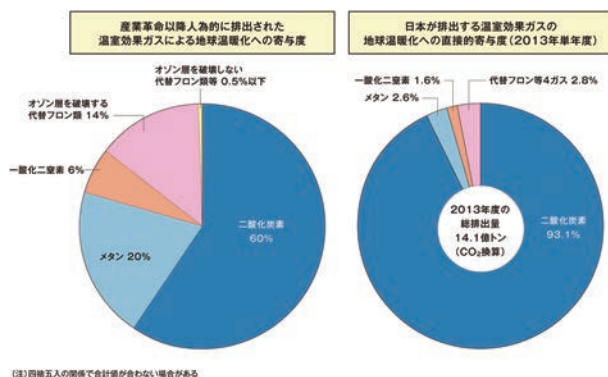


図5 温室効果ガスの地球温暖化への寄与度

にメタン、一酸化二窒素等である（図5）。

### 4.3 火力発電と業種別CO<sub>2</sub>排出量

火力発電のCO<sub>2</sub>排出量は原子力、水力、再生可能エネルギー等と比べ、断トツに多い。発電燃料別では、石炭⇒石油⇒LNGの順である（図6）。

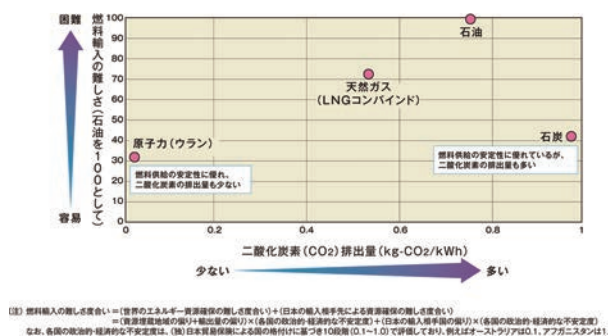
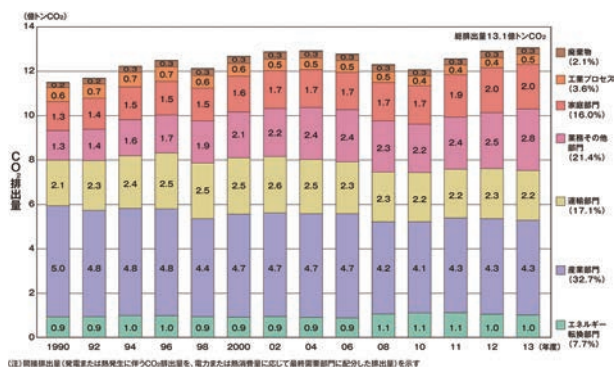
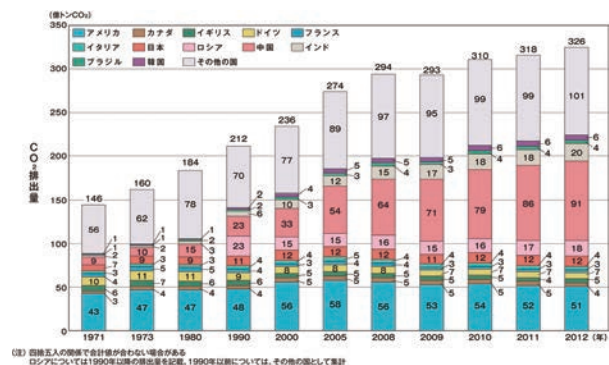


図6 CO<sub>2</sub>排出量とエネルギー資源調達から見た各種電源

業種別にCO<sub>2</sub>発生源を見てみると、エネルギー転換部門に限れば約8%であり、産業部門、運輸部門で半分を占める（図7）。

### 4.4 世界のCO<sub>2</sub>排出量と温暖化への取組み

国別にCO<sub>2</sub>発生源を見てみると、経済成長著しい中国が断トツであり、アメリカと続き日本は世界5位で、12億トンである。世界のCO<sub>2</sub>排出量は40年で2倍となっている。（図8）。

図7 部門別CO<sub>2</sub>排出量の推移図8 世界のCO<sub>2</sub>排出量の推移

この温暖化問題に対し、世界の国々は毎年国際会議 (COP等) を開いている。2015年パリで開催された国連のCOP21では、世界中の国が一致して地球温暖化対策に取り組むパリ協定が採択、翌年発効された。

#### 4.5 電気事業でのCO<sub>2</sub>排出抑制対策

供給側からはCO<sub>2</sub>の低減・低炭素社会に向け、再生可能エネルギーの開発・普及、安全大前提での原子力発電、熱効率向上を始めとする電力設備の効率向上等がある。供給側と需要側 (使用者) が一体となって進める事柄は、LEDを始めとする高効率電気機器の普及、電気自動車、次世代送配電ネットワーク (スマートグリッド) の開発・普及等が求められている。

#### コラム 自然現象 (気象学) から熱力学を学ぶ ～富士山ウォッチング (図9)～

火力発電を学ぶには、熱力学の基礎知識が必要である。カルノーサイクル、ガスタービンのブレイトンサイクル等イメージが捉えにくいのが、断熱変化は

気象現象によく見られる。

夏、地上で湿った空気が熱せられると、膨張して密度が小さくなり、上昇気流が生じる。上空は気圧が低いので、空気は急に膨張し、【断熱膨張】となって温度が下がる。水蒸気が凝結して氷の粒になり、【雲ができる】。積乱雲はこうしてできる。下降気流の場合は、断熱圧縮で温度が上がり、雲が消える。水蒸気を含んだ湿った空気が山を越えたときに、山の風下側に乾いた暖かい風となって吹き降ろす【フェーン現象】も断熱変化と考えられる。

駿河・伊豆の国 (静岡県東部) には昔から、富士山にかかる雲で明日の天気予想をすることがある (日和見) (図10)。先人の自然に対する観察力に感心する。



図9 富士山ウォッチング (江間撮影, 富士川ISA)



図10 富士山にかかるさまざまな雲

#### 参考文献

- 1) 江間敏, 甲斐隆章: 電力工学, コロナ社, 2章 (2003年)  
図1は上記文献
- 2) 日本原子力文化財団: 原子力・エネルギー図面集2016  
図2～図8は上記文献

(原稿受付: 2016年7月26日)



## トピックス

# レンズ風車とそのクラスタ化による新しい風車システム —マルチレンズ風車の開発—

## 著者紹介



おおや ゆうじ  
**大屋 裕二**

九州大学応用力学研究所  
〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1  
E-mail: ohya@riam.kyushu-u.ac.jp

1981年九州大学大学院工学研究科応用力学専攻博士後期課程単位修得中退。同大助手、熊大助手、九大助教授を経て、1997年同大学応用力学研究所教授。現在に至る。風工学、風力エネルギーの研究に従事。日本流体力学会、日本風工学会、日本風力エネルギー学会などの会員。博士(工学)。

## 1. はじめに

九州大学応用力学研究所を中心に風力エネルギーの有効利用に関する研究を行っている。特色は、風エネルギーを集中させて風力発電の効率を飛躍的に高めた新しいタイプの風力発電システムの開発である。最初のステップは、風車ロータが集風体で覆われるつば付きディフューザ風車（レンズ風車と名付けた）の開発である。数年に亘る研究の結果、従来の風車と比べ、2～5倍の発電出力の増加を達成し、小型（1～3kW機）、中型（100kW機）のレンズ風車を開発した。次のステップとして、レンズ風車を基本ユニットとしてクラスタ化し、静粛性を維持して大出力化を図る3～7基構成の集合風車、マルチロータシステム（MRS）の研究を開始した。ここ数年、研究開発の基本コンセプトは「小は大を兼ねる」というキーワードである。基本的には小・中スケールの風車を用いる。環境影響・社会受容性に配慮し、これらを適切規模へクラスタ化して必要なスケール、必要な発電容量へ組み合わせるという発想である。

## 2. レンズ風車とは

風車による発電量は風速の3乗に比例する。地形や構造物の流体力学的性質をうまく利用して風を増速させ、風エネルギーを局所的に集中することができれば発電量は飛躍的に増加する。本研究では、風のエネルギーを効果的に集めるにはどのようにすればよいか、集められた風から有効にエネルギーを取り出すにはどのような風車にすればよいかということの研究目的とした。

## 2.1 「つば」という渦形成板のアイデア

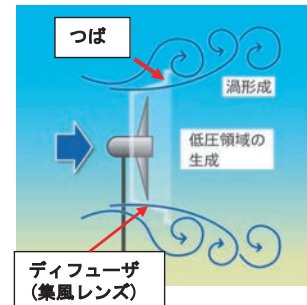


図1 風レンズのメカニズム（集風型風車）

風車ロータをディフューザで覆う風車を考案した。ディフューザとは入口から出口に向かって拡大する管である。さらにディフューザ出口周囲に「つば」と称して渦形成板を取り付けてみた。「つば」はその強い渦形成のため背後に低圧部を生成し、風は低圧部をめがけて流れ込んでくる。そのため、ディフューザ入口付近では大きな増速効果が得られる。図1にそのメカニズムを示す。このように集風加速体としての「つば付きディフューザ」（風レンズ）が生まれた<sup>1),2)</sup>。レンズ風車の長所をあげると、

- ① 2～5倍の高出力を達成（風エネルギーの集中を利用）。数倍という出力はディフューザの長さ、および「つば」高さに依存する。
- ② 風車騒音の大幅低減（翼先端渦がディフューザ内壁の存在で反対向きの誘導渦を生成し干渉して弱まる。騒音源の渦が抑制されるので空力音が大幅に低減する<sup>2)</sup>）。
- ③ 鳥が風車に衝突するバードストライクを減じる（鳥は集風体「輪っか」が見える。その中に飛び込まない）。
- ④ 優れた景観性（丸い「輪」が「和」を呼ぶ）。

風レンズのメカニズムは空気中も水中も同様に働き、「レンズ水車」として、河川、潮流発電にも応用することができる。従来水車の2～5倍の出力を獲得できる。

## 2.2 コンパクトなレンズ風車の開発

現在、小型風車においては軽量化、低コスト化、強風時の安全性、および中型風車への適用を目指して、よりコンパクトなつば付きディフューザ（ディフューザの長さが短く、極端な場合、ほとんどリング状の風レンズになる）の最適形状を検討している。



図2にロータ直径2.5mのコンパクトレンズ風車とその野外発電性能結果の一例<sup>1)</sup>を示す。

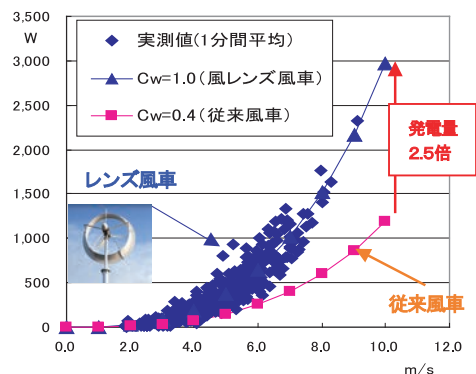


図2 コンパクトレンズ風車の野外実験結果(定格風速10m/s, 定格出力3kW機)

### 3. レンズ風車のクラスタ化—マルチレンズ風車—

#### 3.1 マルチロータシステムとは

近年、風車は8-10MW機開発の超大型機への志向にあり、これは羽根材料の革新に支えられてきた<sup>3,4)</sup>。しかし、風車における2乗3乗則(発電量は大きさの2乗、コストと重量は3乗に比例)による大容量化に対する制約は古くから認識されており、マルチロータ風車による制約の回避が試みられてきた<sup>3,4)</sup>。

図3に示すようにマルチロータシステムとは基本ユニットの風車を複数個、同じ垂直面内にタワーで支持した集合風車システムで<sup>3)</sup>、MW級の大きな出力を得るものである。表1に示すように理論的にはMW定格の単体風車に比べ、重量比、コスト比で $1/\sqrt{n}$  ( $n$ はロータの個数)になる。また、風荷重変動が平滑化され、強風による局部疲労破壊に強くなる<sup>4)</sup>。ごく最近では大手風車メーカーのVestasが225kW機×4基のマルチロータ風車を試作している<sup>5)</sup>。

マルチロータ風車では複数個の風車を近づけて配置する。Smuldersら<sup>6)</sup>の実験結果より、通常の風車でも適当に近づけて配置することで、風車間の干渉のため、単独の時よりも大きな出力となることが期待される。ロータ翼の周囲に輪(ディフューザ)が

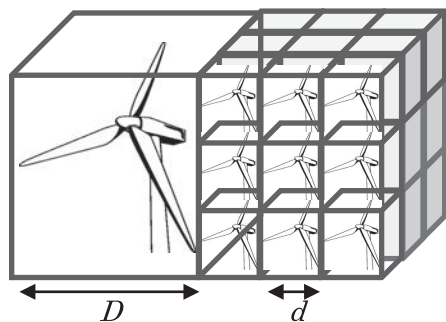


図3 シングル風車とマルチロータ風車、発電量 $D^2 \sim n \cdot d^2$ とする。 $D \sim \sqrt{n} \cdot d$ の関係を下の表1に代入する。

表1 シングル風車とマルチロータの諸量の比較

|        | シングルロータ       | マルチロータ                                       |
|--------|---------------|----------------------------------------------|
| ロータ数   | 1             | $n$                                          |
| ロータ直径  | $D$           | $d$                                          |
| 全発電量   | $\propto D^2$ | $\propto n \cdot d^2$                        |
| 全風車質量  | $\propto D^3$ | $\propto n \cdot d^3 \propto D^3 / \sqrt{n}$ |
| 全風車コスト | $\propto D^3$ | $\propto n \cdot d^3 \propto D^3 / \sqrt{n}$ |
| 発電コスト  | $\propto D$   | $\propto d \propto D / \sqrt{n}$             |

あるレンズ風車では、風車間の干渉は翼のみの風車より強いので、通常風車より大きな出力増加が予想される。ここでは高効率、静粛なレンズ風車をマルチロータシステムへ適用し、基礎研究としての風洞実験、3kWレンズ風車を基本ユニットとした10~20kWのマルチロータ風車の実用化を紹介し、100kWの中型レンズ風車を基本ユニットとしたMW級のマルチロータシステム(Multi Rotor System (MRS), クラスタ風車)の可能性を検討する。

#### 3.2 レンズ風車を用いたマルチロータの実験

##### 3.2.1 実験装置と計測法

近接配置の風車群の例とパラメータを図4に示す。ロータ翼はトルク計を通じて回転数制御モータに接続されている。風車間の距離 $s$ は $0 \sim 0.3D_{brim}$ の範囲で変化させた。風洞実験に用いた風車はロータ直径 $D_{rotor}=510$  [mm]、集風体外径 $D_{brim}=696$  [mm]のコンパクトディフューザにディフューザスロート部内径 $D_{throat}$ の10%高さのつばをつけたレンズ風車である<sup>1)</sup>。複数配置は、2基並列(2SBS)、3基並列(3SBS)、3基直角三角形(3-90deg)、3基正三角形配置(3-60deg)の種々のケースで、ここでは3基直角三角形(3-90deg)の実験結果を報告する。

複数配置時と単体配置時の風車の発電出力、抗力を比較するため、最初に各風車の単体配置での発電出力係数( $C_p$ )、抗力係数( $C_d$ )を測定し、その後に複数配置での同時計測を行った。 $C_p$ 、 $C_d$ の算出には式(1)、式(2)を用いた。 $U_0$ は流入風速[m/s]、 $P_{turbine}$ は風車出力[W]、 $F_{drag}$ は風車抗力[N]、 $\rho$ は空気密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $A$ はロータ面の面積[m<sup>2</sup>]である。また、図4、5(右側)のように複数基の風車で測定した $C_p$ の平均値を $\bar{C}_p$ 、 $C_d$ の平均値を $\bar{C}_d$ と定義した。

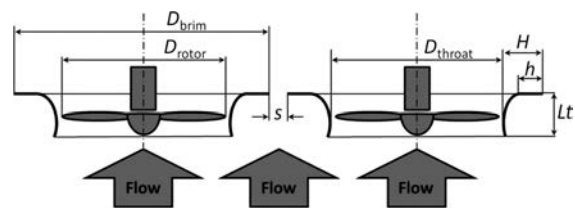


図4 並列配置の2基のレンズ風車、すきま比 $s/D_{brim}$ 、すきま $s$ とレンズ外径 $D_{brim}$

$$C_p = \frac{P_{\text{turbine}}}{\frac{1}{2} \rho U_0^3 A} = \frac{T_r \omega}{\frac{1}{2} \rho U_0^3 A} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{F_{\text{drag}}}{\frac{1}{2} \rho U_0^2 A} \quad (2)$$

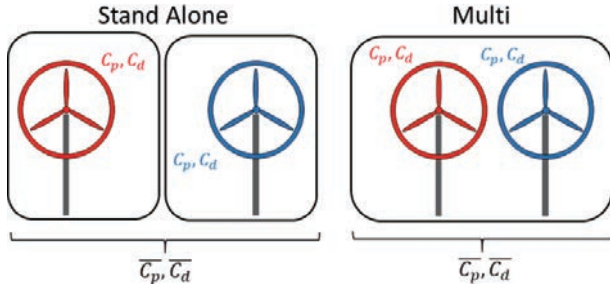


図5 単独配置計測での平均値と複数配置での同時計測の平均値

レンズ風車を複数配置し、 $C_p$ 、 $C_d$ の単体配置時からの変化率を算出した。複数配置時に全風車同時測定した $C_p$ 、 $C_d$ 、 $\overline{C_p}$ 、 $\overline{C_d}$ に対し、単体配置時からの変化率をそれぞれ $\Delta C_p$ 、 $\Delta C_d$ 、 $\Delta \overline{C_p}$ 、 $\Delta \overline{C_d}$ と定義する。

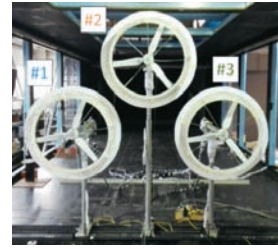
### 3.2.2 3基の直角三角形配置 (3-90deg)

レンズ風車を3基直角三角形 (3-90deg) に配置し、 $C_p$ 、 $C_d$ の単体時からの変化率を測定した。図6は $s/D_{\text{brim}}=0.11$ の風車配置を示したものである。風車は上流から見て左側から#1、#2、#3とする。この配置の時、 $s/D_{\text{brim}}$ は#1、#2のすきま間隔と#2、#3のすきま間隔のことである。図7に各配置間隔で得られた $\Delta \overline{C_p}$ 、 $\Delta \overline{C_d}$ を示す。 $\Delta \overline{C_p}$ 、 $\Delta \overline{C_d}$ は、 $s/D_{\text{brim}}=0.22$ 付近で $\overline{C_p}$ は最大で約12.3%の増加、 $\overline{C_d}$ は最大で約5.7%増加する。図8、9にマルチロータレンズを形成する各風車の $\Delta C_p$ 、 $\Delta \overline{C_p}$ と $\Delta C_d$ 、 $\Delta \overline{C_d}$ を示す。図8より、中央風車#2、両側の#1、#3の順で $C_p$ の増加率が大きい。図9より、 $\Delta C_d$ については、風車#1、#2ほぼ同等であるが、やはり#3がかなり小さい。

ディフューザをつけていない時の通常風車によるマルチロータ風車の出力は、種々の配置で1～3%程の平均出力増加が見られ、小さな増加であった<sup>7),8)</sup>。

## 4. 10kWマルチレンズ風車を用いた野外実験

新エネルギー・産業技術総合開発機構NEDOのプロジェクトで、図2のような小型3kWレンズ風車を3基用いた10kW マルチレンズ風車を試作し、北九州市の響灘サイトに建設した (図10)。下側2つの風車は中央風車のナセルから80度開きで配置し、3.2.2節とほぼ類似で設計した。風況ポールは3連マルチレンズ風車から22m離して設置した。図11に2106年4月から9月までの設備利用率 (総発電量/(10kW・期間)) の結果を示す。実線は大型風車における代表例である。5m/s以下の低風速域はほぼ同等だが、高風速域になると固定ピッチに対する強風時制御 (短絡停止の時間が必要) の影響



$$\Delta C_{p_i} = \left( \frac{C_{p_i}}{C_{p0i}} - 1 \right)$$

$C_{p_i}$ はi 風車のマルチ配置の値、

$C_{p0i}$ はi 風車の単独配置の値

図6 レンズ風車配置 (3-90deg) と増加率 $\Delta C_p$ の定義

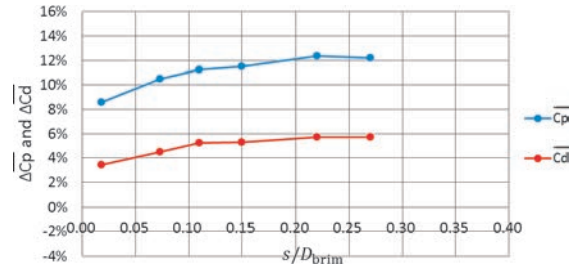


図7 3-90degにおける $\overline{C_p}$ 、 $\overline{C_d}$ の変化率 $\Delta \overline{C_p}$ 、 $\Delta \overline{C_d}$

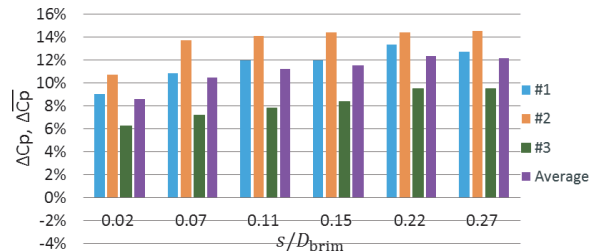


図8 3-90degにおける各風車の $C_p$ 、 $\overline{C_p}$ の変化率 $\Delta C_p$ 、 $\Delta \overline{C_p}$

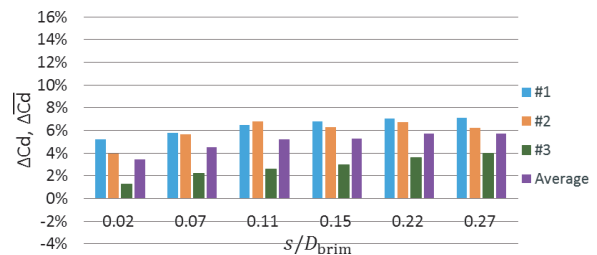


図9 3-90degにおける各風車の $C_d$ 、 $\overline{C_d}$ の変化率 $\Delta C_d$ 、 $\Delta \overline{C_d}$



図10 北九州市響灘に建設した10kWマルチレンズ風車 (2016. 3月)

等でやや低下する。

## 5. ま と め

高効率なつば付きディフューザ風車 (レンズ風車) の集風メカニズムとその特長を説明した。レン

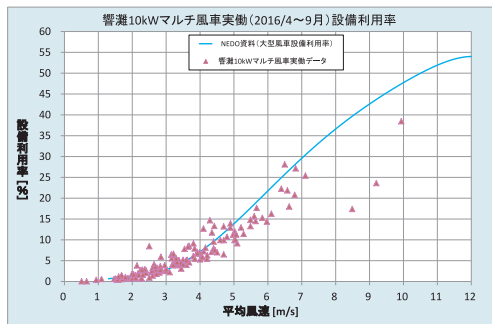


図11 10kWマルチレンズ風車の設備利用率 (2016年4月～9月)

ズ風車を同一鉛直平面内に近接配置した新しい風車システム「マルチレンズ風車」を提案した。レンズ風車を用いたマルチロータシステムで、近接した風車同士の周囲流れが干渉し、個々の発電出力、抗力に大きな影響を与えることを明らかにした。幸いに個々の出力係数は大幅に増加し、全体出力が単独レンズ風車の合計よりも12～13%増加した。抗力係数は半分程度の5～6%程度の増加であった。3基の最適配置、さらに多数基のマルチ化について検討中である。

レンズ風車を基本ユニットとしたマルチロータ化は次の点で有利である。1) 最初からレンズ構造体が装着されており、個々のレンズ風車は集合接続が容易、2) レンズ風車の集風原理(リングの渦形成で低圧化し流れを引き込む)がマルチロータ化でさらに強化され、全体出力が大幅に増加する。この増加の程度は、ディフューザ長さ、つば高さに依存する。4基、5基、多数マルチでは増加率が向上する傾向にある。複数の3次元物体の後流干渉なので複雑で非定常である<sup>7),8)</sup>。現在、CFDにて2個、3個配置の流れ解析を行っているが、風洞実験と同様に個々の風車は発電性能、風荷重が異なる。これは垂直面配置の物体群の後流干渉問題と同様である<sup>9),10)</sup>。

レンズ風車の100～300kW級の中型機を基本ユニットとしてMW級のマルチレンズ風車を検討中である。騒音面では、従来の単体MW風車と比べ格段と静かなマルチMW風車が期待できる。大型機に伴う低周波騒音の問題からも解放される。将来はMW機スケールで図12のような風景が現れることを期待する。

#### 参考文献

- 1) Ohya, Y., Karasudani, T.: A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens

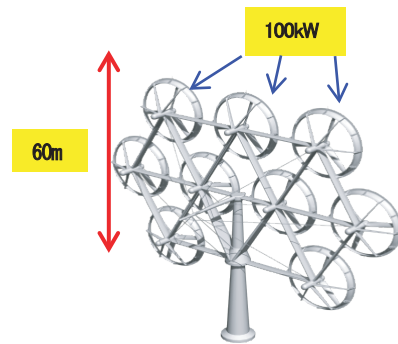


図12 100kWレンズ風車×9基による1MWマルチレンズ機(上図)、あるいは300kW×3基構成の1MWマルチレンズ風車(下図)

Technology, Energies 3 (2010) 634–649.

- 2) Abe, K., et al.: An experimental study of tip-vortex structures behind a small wind turbine with a flanged diffuser, Wind and Structures, (2006) 413–417.
- 3) Jamieson, P., et al.: Multi-Rotors: A solution to 20 MW and Beyond?, DeepWind, 19–20 (2012 Jan.) Trondheim, Norway.
- 4) Jamieson, et al.: Innovative Turbine Concepts—Multi-Rotor System, InnWind EU, Deliverable 1. 33, Spt. 2015.
- 5) News release from Vestas Wind Systems A/S, 20 April 2016 <https://pbs.twimg.com/media/Ci0b7gyUUA3E4h.jpg:large>
- 6) Smulders, P.T., Orbons, S. and Moes, C.: Aerodynamic interaction between two wind rotors set next to each other in one plane, EWEK, Hamburg, October 1984.
- 7) Göeltenbott, U., Ohya, Y., Yoshida, S., Jamieson, P.: Flow interaction of diffuser augmented wind turbines, Proceedings of TORQUE 2016, Munich, October 2016.
- 8) Ohya, Y., Mivazaki, J., Göeltenbott, U., Karasudani, T., Yoshida, S. and Jamieson, P.: Power augmentation of shrouded wind turbines in a multi-rotor systems, Proceedings of 2nd ICNGWE, Lund, August 2016
- 9) Ohya Y., Okajima A., and Hayashi M.: Wake Interference and Vortex Shedding, Encyclopedia of Fluid Mechanics 8, Ch. 10, (1986) 324–338.
- 10) Ohya, Y.: Bluff body flow and vortex — its application to wind turbine, IUTAM symposium, Fukuoka 2013, Fluid Dyn. Res. 46–6 (2014) 061423–1–12.

(原稿受付：2016年10月3日)



## トピックス

# フルードパワー設計者のためのグローバルスタンダード 第1回「ISO 12100」機械類の安全性—設計のための一般原則—, リスクアセスメントおよび、リスク低減

## 著者紹介

きた むら たけし  
**北 村 剛**〒251-0013 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34  
油研工業株式会社戦略製品開発プロジェクトチーム  
E-mail : ta.kitamura@yuken.co.jp

1989年油研工業株式会社に入社、研究開発部・販売促進部を経て、2014年戦略製品開発プロジェクトチームに配属、現在に至る。主に、油圧ポンプの開発に従事。

## 1. はじめに

今回からフルードパワー設計者のグローバルスタンダードと題して、連載を行う。今では当たり前のように耳にするグローバルという言葉であるが、グローバルという言葉の裏で、実は設計者は知らぬ間に設計条件に制約を受けている。設計とは「アイデアを形にし、世の中が必要とする製品を作ること。」であるが、グローバル化における設計とは、加えて、多様化する世界の中で、異なる文化を持つ人々がお互いの文化的違いや価値観を受け入れ、共有しながらものづくりを行うということになる。

ここでいう「共有しながら……」が規定や指令にあたる。設計者はISOなどの国際規格に安全規則や環境指令などを考慮しながら、設計検討を行わなければならない。世界が必要とする製品とは法令や規定に準拠している製品とも、取ることができる。今回、全6回を計画し、以下の3つの観点から連載を行う。

- ・フルードパワーに関連する機械安全規則
- ・フルードパワーと国際指令
  - ①環境負荷物質対応 ②高効率モータ規制
  - ③排ガス規制とエンジン対応技術
- ・設計者のための国際規格（国際設計ルール）

機械設計を行うためにはさまざまな知識が必要となる。工業系の学生は機械工学など、物をつくる知識は兼ね備えていると思うが、世界に向けて製品を送り出すためにはこれから述べるルールに従わなければならない。

今回は国際規格である「設計のための一般原則、リスクアセスメントおよびリスク低減」ISO12100について機械を設計するための安全に対するルールを解説する。

## 2. 機械設計と機械安全における国際動向

日本国内において機械設備における労働災害は死傷者全体の4分の1を占めている。その8割が機械の安全対策を怠ったことが原因とされている。

技術の進歩と共に新しい機械が常に開発され、日本の高度成長期を担ってきた。それと同じくして機械・装置が原因となる事故が増え続けているのも事実である。

新しい機械が開発されるとそれまでの安全規格では対処ができなくなる。さらに新しい安全技術が構築されても規格化が難しく柔軟に対応できないといったジレンマを抱えていた。

欧州諸国でも産業革命以来同じ問題を抱えていたが、英国を中心に製造者や使用者の自主的な対応を踏まえ、発想の転換を進めることで、事業者・労働者だけでなく設計者・製造者の義務を考慮した安全規格を模索してきた。

その結果、EU諸国としての整合性を図りながら、EN292を基本として、2003年に国際安全規格ISO12100は成立している。

また、日本においてもJIS B9700として国際規格との整合を取っており、「機械は必ず故障する。そして人は必ずミスをする」という観点から安全確保の規定を厳しく規定して、機械の保護方案を策定している。労働安全衛生法では機械の包括的な安全基準に関する指針が定められている。

ISO12100も2010年にはISO12100-1（機械の安全性-第1部；基本用語，方法論），ISO12100-2（機械の安全性-第2部；技術原則）にISO14121-1（機械類の安全性リスクアセスメント第1部；原則）を加え、3つの規格が統合され、現在に至っている。

## 3. 国際安全規格の構成

現在の機械安全に関する国際標準規格は、IECお

よびISOが共同でガイドライン（IEC/ISOガイド51）を作成しており、ISO12100の規格をA規格（共通規格）として機械安全の広い範囲を三階層に分類し、規定されている（図1）。

これは新たに新技術が搭載された機械設備が導入されても、適用できる規格構造となっている。

図2は弊社工場の機械設備である。参考までにどのような安全規格が該当しているかを記す。この設備もさまざまな国際規格に従って成立している。

安全規格はあらゆる分野にもれなく適用できる体系で構成されている。このように安全規格を適用することで、使用者の安全を確保することも設計者としての責務である。

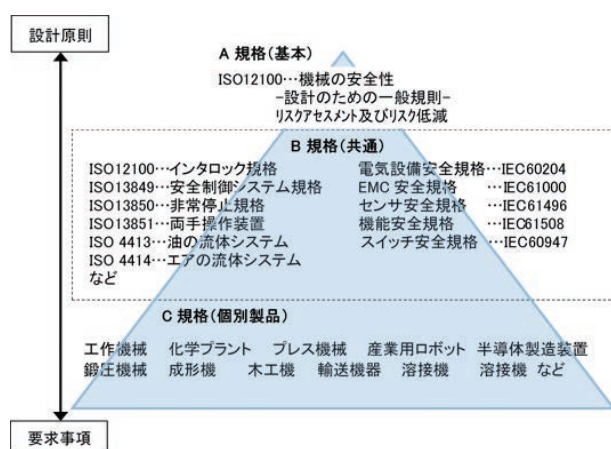


図1 国際安全規格安全規格

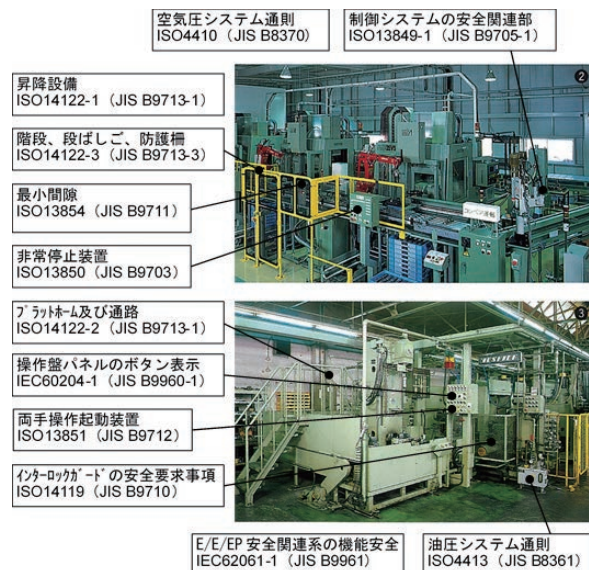


図2 機械設備と国際安全規格

## 4. 国際規格ISO12100とは

### 4.1 機械安全の考え方

ISO12100は、国際規格の構成の中ですべての機械類に適用できる基本概念、設計原則を取扱う規格

である。

この規格という安全とは絶対的な安全を意味しているのではない。リスクアセスメントにより、リスクを適応可能な最小限に抑えることである。

リスクアセスメントとは潜在的な危険源又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するための手法である。機械装置には常にリスクが潜んでいる。機械に存在するリスクを見積り、確率論的に評価して、それに見合った安全対策を施す必要がある。

この規格では安全性を実現するために、三段階のふりかけを行っている。これをスリーステップメソッドという。

第一ステップ：設計の段階で危険源を低減する。

機械設計上、考慮すべき内容を適切に選択し、危険源をつくらない安全側設計とし、人への危険源を削減する。

第二ステップ：リスクの大きさに応じた安全装置の付加（ガード、センサーなどの防護装置）

第三ステップ：情報提供

（警報装置、表示・標識、取扱説明書など）

設計者・製造メーカはリスクを明確にすることで、残ったリスクをユーザに伝えることが重要である。ユーザはその情報を基に安全対策を施し、安全を確保する。この方策はリスクを低減する上でもっとも効果的な方策と考えられている。

## 4.2 安全方策と機械設計

機械設計を行う場合、設計者は設計段階で機械の安全方策の手順に従い、機械の安全性を確保しなければならない。ISO12100は設計者のために安全方策の手順と手段が記載されている。

機械の企画・構想ができた段階で、まずは設計する各種機械の制限から決定する。

①使用上の制限

②スペース上の制限 など

ここから、機械の意図する仕様に基づいて、リスクアセスメントを実施していく。設計者は引き起こされる可能性のすべての危険源を予測し、リスク査定後は限りなく残留リスクを減らさなければならない（図3）。

この安全規格は設計者のための規格であり、グローバルに通用する製品を開発するためにはこの規格に準拠することを認識しなければならない。

## 5. おわりに

日本は技術革新と優れた生産技術力により、製造・品質のレベルが飛躍的に向上してきた。安全性に対するリスクも技術でカバーできる力を持っている。しかし、機械の故障や人的ミスを皆無にするこ

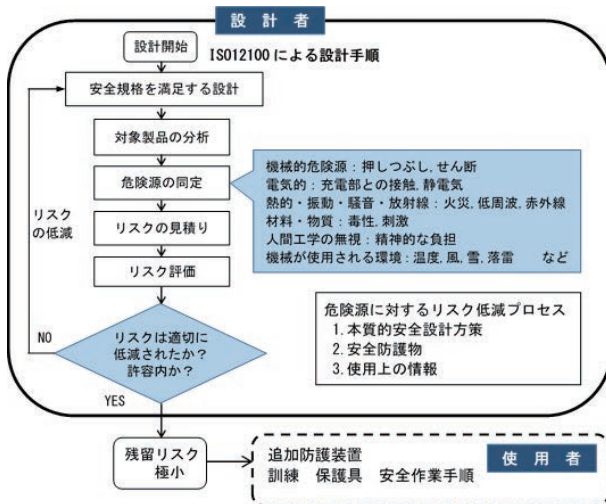


図3 リスク低減を達成する基本フロー

とは不可能である。

また、欧米諸国と比較すると安全・リスクに対する考え方、事故責任のあり方、保険制度さまざまな側面から見た考え方に違いがある。

今や世界標準を考慮していない機械設計・設備はグローバル社会では取り残されてしまう。

日本でも国際的な安全規格であるISO12100に整合させ、JIB B9700と共に「機械の包括な安全基準に関する指針」が作成された。しかし、国内には安全規格に基づく設計法令が少なく、まだまだコストパフォーマンスに優れた製品が求められている。

技術革新により私たちの暮らしは自動化が進み、暮らしやすい時代になっている。その裏には多くの危険が潜み、安全対策技術も必要不可欠である。ど

んなに技術が進歩しようとも、ヒューマンエラーはなくなることはない。

冒頭で記述した世の中が必要とする製品とは、設計者が必要な安全方策を施した上で、適切な設計を行い、残留リスクを明示することである。

使用者はその情報を潜在リスクとして予測することにより、労働災害を防止できる。

日本の企業は製造業の持続発展の為、海外市場を視野に入れることが必然になってきている。まだまだ世界には成長市場が残されている。

このようなグローバル市場に製品を展開するにはコストダウンは勿論のこと、インフラとしてのグローバルITの整備や共通認識が持てる標準化が不可欠である。近年では特に、経済情勢の大きな変動に左右されない為に、国際規格に則った設計指針が必要になる。

ISO12100に準拠した製品設計は製造業が国際競争への持続的発展のために必要な販売戦力の一つでもある。

#### 参考文献

- 1) 向殿政男：機械安全規格と欧州規格の動向，標準化と品質管理，Vol. 157, No. 11, p. 30-34 (2004)
- 2) 宮崎浩一，向殿政男：機械安全，(財)日本規格協会，(2007)
- 3) JIS ハンドブック 機械安全 (財)日本規格協会，(2014)
- 4) <http://www.jspmi.or.jp> (財)機械振興協会

(原稿受付：2016年10月4日)



## トピックス

## インド駐在員日記

## 著者紹介

まつ ぎき けん すけ  
松 崎 顕 介Yuken India Limited  
No. 16-C, Doddanekundi Industrial Area,  
II Phase, Mahadevapura, Bangalore-560048.  
E-mail : ke.matsuzaki@yuken.co.jp2004年東海大学工学部卒，2007年油研工業(株)  
入社。

## 1. はじめに

2013年3月にバンガロールに赴任して3年半が過ぎた。最初の1年間は長かった。慣れない土地で何もかもが初めてで、日本とはまったく異なるこの地での1年間は、今思い出しても長かったと感じる。しかし2年目以降は早く過ぎたように感じる。赴任当初に3年以上インド駐在をしている先輩駐在員の方を見て、自分もそうなる事が想像できなかった事を覚えているが、今では自分も4年目を迎えている。インド駐在中堅者の立場から、インドでの生活について紹介していきたい。

## 2. 言葉

インドでは州ごとに言語が異なり、細かく分けると500以上になるという。筆者はインド各地の顧客を訪問する事が多い。日本人が現地の言葉を話すとお客さんが喜ぶからと、同伴するスタッフから訪問前に現地語を教えられる。おかげでいくらかの言葉は覚えたものの色々な州の言葉を少しずつ覚えているだけのため、筆者のインド語レベルは中途半端で会話にはならない。似ている言葉もあるが基本的には各州の言語は文法含め異なる。

筆者がこれまでに会ったインド人のほとんどは、自分が育った州の言葉を第一言語とし、隣接する州の言葉、ヒンディー語、英語と数言語を話す。ビジネス文書、公用文書、社内会議はほぼ英語のみで行なわれる。発音に癖があると言われるインド英語だが、彼らの英語能力がかなり高い事は伺える。

筆者は駐在前、公用語であるヒンディー語はほとんどのインド人が話すものと思っていた。もちろんほとんどの人が話せる言葉ではあるが、人によって得意不得意があるという事に驚いた。そこには州間の歴史的背景もあるようだ。

## 3. 気 候

日本のニュースでインドの暑さを取り上げられる事があると思う。50度を超える地域は実際にある。しかし筆者が滞在しているバンガロールは高原の上に位置し、標高は920mある。そのため、年に数か月40度近くまで気温が上がる事はあるものの、その時期以外は暑さも湿度もなく大変過ごしやすい。四季を楽しめないという事を除けば、バンガロールの気候は日本よりも快適であると言えるだろう。

バンガロールの気候を特記したが、広大な土地を有するインドのほとんどの地域は暑く、そして蒸し暑い。3年半が過ぎ慣れ親しんだ事、他州の猛烈な暑さからの解放という事から、出張を終えバンガロールに戻ってくると、日本に帰った時と同じように安堵する自分がいる。

時期を選べるのであれば、11月から3月までの間の訪印をお勧めする。

## 4. 食 事

インド料理と言えばカレーだ。インドでは毎食カレーが出てくるのかと聞かれるが、この質問には毎回困る。日本のようなカレーを想像すれば答えはNoになるが、インドで言うカレーと考えればほぼ毎食カレーが登場する。

国内出張が多い筆者は、インド各地の料理を楽しむ事ができる。手で食べる、カレーが出てくる事はインド全土で共通だが、味付けや料理の内容は州によって異なる。ただし、ほとんどのインド料理は日本人には辛い。辛くしないようにと頼んでも辛いので、注意が必要だ。

カレーと言えばナンと思う方が多いと思うが、インド人はあまりナンを食べない。ナンに似ているが小麦の成分が異なるチャパティやロティといわれる

ものをインド人は食す（図1）。筆者はナンの方が美味しいと思うのだが、健康志向の強い現地の方たちは、チャパティやロティを好んで食べている。



図1 当社食堂の昼食（20ルピー≒30円）

## 5. 交 通

インドの主要交通手段は車である。以前は小型車が大多数を占めていたが、最近では大型車、外国産車の割合が増えてきている。車が多くなると交通渋滞が発生する。インドの渋滞は現地人でもよめない。渋滞がなければ1時間で到着できる距離でも、酷い渋滞に捕まると2時間掛かったり、3時間掛かかる事もある。空港に向かう際や顧客とのアポイントがある際には余裕を持って出発しなければならない。交通渋滞に加えマナーの悪さもインドの特徴の一つだ。車線はあってないようなもの、逆走車は毎日見かける。交通マナーの悪さが渋滞を引き起こしている場面も多い。筆者はインドで運転をした事があるという日本人に会った事がない。日本で運転に慣れてしまうと、インドで車の運転をしてみようとも思えない（図2）。

現在、インドの主要都市ではメトロという市街を走る高架鉄道事業が進められており、一部の区間では運行を開始している。このメトロが発展すれば、インドの生活が変わるだろうと筆者は大きな期待をしている。



図2 バンガロール内の交通渋滞

## 6. IT 産 業

最近ではインドというとカレーの次にITが盛んな事も挙げられるだろう。筆者のいるバンガロールはインドでもっともITが盛んな都市である。今インドでは、ITによって新しい文化が生み出されている。IT企業は若者に人気だ。綺麗なオフィスで働けて給料も高い。街で見かける綺麗なオフィスビルは大抵IT企業のものだ（図3）。インドの女性は伝統衣装であるサリー等を身にまとう事が多いが、IT企業のビルの周りでは洋服を着ている女性が多い。IT企業で働く女性だ。高級なレストランで若者の集団を見る事がある。彼らもまた、IT企業で働く若者らしい。

インドで近代的な一面を見ると、そこにはITの存在がある事が多い。



図3 バンガロールITの中心International Tech Park. 通称ITPL

## 7. 娯 楽

インドには娯楽がないと言われる事が多い。確かに日本と同じような娯楽を求める事はかなり難しい。しかし、インドにはインドの娯楽がある。

筆者は現地社長の計らいで会員制ゴルフクラブの会員になっている。日本にいればゴルフクラブの会員になる事は難しいだろうし、会員になりたいとも考えなかつたろう。ゴルフはそこそこに、週末は見るからに裕福そうな現地人に紛れ、セレブ気分を満喫しながらクラブで食事をする事は、筆者の週末の楽しみの一つである。

筆者がインドに来てからの3年半の間に多くのショッピングモールやカフェができています。カフェで読書をしながらゆっくり時間を過ごす、日本ではなかなかできなかった休日の過ごし方を筆者はインドで学んだ。インドでの自分流の娯楽を見つける事ができると、週末の過ごし方が大きく変わった。

また、インドは多くの歴史がある国である。日本



に通ずるものもある。そんな歴史に触れ合いながら観光地に足を運ぶのも面白い（図4）。



図4 インドと言えばタージマハル。建立された理由ともなる恋愛物語は感動すら覚える

## 8. 業務・生活

当社からインドへ駐在している日本人は筆者だけである。インドに来る前は海外営業部に所属しており、インドでも営業の仕事をするものと思っていた。しかし日本と同規模で同じ製品目を生産している現地社で日本人一人となれば、営業だけをやっていればいいという訳にはいかない。開発部門と仕事をすることもあれば、生産部に生産性を上げるためのアドバイスを求められることもある。経理の仕事を頼まれることもある。経営案件に関わられたりもする。専門外の事ばかりだが、日本側の協力を得ながらなんとかやっている。大変ではあるがやりがいがある。おそらく日本にいたら今のような多岐にわたる仕事を一人で任せてもらえるという事はなかっただろう。事実日本にいた時よりもさまざまな部署の人と関わる機会が増えた。それはインド側だけでなく日本側でも同じだ。

日系企業の進出増に伴いインドに駐在する日本人の数も増えているが、普段生活をしていて日本人の方と会う事は稀だ。日本人一人で大変ではないかとよく聞かれるが、親日な国として有名なインド、当社スタッフも皆親切にしてくれるため、今まで問題を感じる事は特に無かった。しかし、そうは思ってもやはり日本人の方と会うと安心する。日本人同士で集まる機会は楽しい。お互いのインドでの苦労話で毎回盛り上がる。

物品についても困る事は特に無い。日本でなければ手に入らないものは当然あるが、生活に必要な物はほとんどインドで調達可能である。もちろん日本の物とは質は異なるが。今はネットのおかげで日本にいる知人と簡単に連絡を取る事が出来る。すべてではないが日本のテレビ番組を見る事もできる。大きな不自由はない。30年前にインドに来ていた先輩方の話を聞くと、今の自分の環境はものすごく恵まれているのだと、毎回気付かされる。

## 9. インド経済

インド市場の今後の成長には世界各国が以前より注目している。しかし今のインドは数年前に各国が予想したような成長を続けているだろうか。

筆者がインド地域の担当になったのは6年ほど前の事である。その頃中国とインドの両方に出張した事のある人達は口を揃えて、「今のインドは10年前の中国に似ている。今後10年間でインドは今の中国のようになる」と言っていた事を覚えている。先日この言葉を言っていた当社スタッフのうちの一人が5年ぶりにインドを訪問する機会があった。彼は20年前の中国を知り、10年前のインドを知っている。今現在、インドは10年前に想像したような成長を成し遂げているかと聞いてみたところ、10年前、5年前、そして今を比べると変化は見受けられるものの中国のように想像した程の変化はなかったと言う。

当社現地社の外部取締役や私の顧客の多くは現在のインド経済をポジティブに見ている。急成長には急暴落の可能性も潜んでいる。今のインドは緩やかだが着実に成長している。今後数年間では好成長をもたらす要因も揃っており期待ができると思う。筆者もその通りだと思う。そういう意味ではインドが大きく成長するのはこれからの10年なのかもしれない。20年かかるかもしれないし、30年かかるかもしれない。しかしインドは確実に、そして着実に成長している。

## 10. おわりに

多くの日系企業では、インドというどうしても敬遠される傾向にある。実際に駐在員同士の会話でもそれは垣間見れる。上述してきたようにインドは変わってきており、日本人が住みやすい環境も整いつつある。とはいえ、皆さんが懸念する古きインドも残っている。どちらかというとそちらの方がまだまだ多い。綺麗なショッピングモールの周りは古きインドが広がっている事もある。言い換えれば古きと新しきを同時に楽しむ事ができると言えよう。

筆者がこれまでの3年半の間で一番感じている事は、インドではやったらやっただけ返ってくる市場であるという事である。成長を続ける国で筆者もまた、成長させてもらっている事を実感している。筆者のインド生活があと何年になるかはわからないが、インドで過ごす最後の日まで、インドと同じように緩やかでも着実に成長していきたいと思っている。

（原稿受付：2016年10月5日）



## 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3

## 著者紹介



き はら かず ゆき  
**木原和幸**

工業所有権協力センター  
〒135-0042 東京都江東区木場1-2-15  
E-mail: k-kihara@sctv.jp

1974年神戸大学工学部計測工学科卒。東京計器入社、パワーコントロール研究室長、油空圧技術部長等を経て、現在に至る。比例弁、サーボ弁、ピストンポンプ等の油圧機器とそれらを制御するコントロールシステム等の開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

## 1. はじめに

前稿までに国際特許分類（IPC）および日本における特許の分類の大まかな概要を紹介し、具体的な事例として、低騒音、高圧化、耐コンタミ性に関する特許文献をキーワードから検索する方法を示した。さらに、アクチュエータと流体回路に関連して、わかりにくい点も示した。前々稿と前稿では実際の特許文献として比例電磁式制御弁とポンプ関連の特許文献例で、どのようなFI、Fタームが付与されているかを示した。本稿では、油圧、空圧、水圧のような一般的な作動流体ではなく、特殊流体、具体的には電気粘性流体などを用いたアクチュエータの例を紹介する。

## 2. 特許文献1

最初に紹介する特許文献は、特開2009-36216電気粘性流体アクチュエータであり、マイクロ化に適した構成の位置決め制御が行えるアクチュエータが課題である。技術分野、請求項1、代表図、解決手段を示す。

【技術分野】電気粘性流体を利用した電気粘性流体アクチュエータに関する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】電気粘性流体の流路を形成する、固定電極板及び該固定電極板に対して電極間隔方向に変位自在となった可動電極板と、前記固定電極板及び可動電極板間に電圧を印加するための電圧源と、前記固定電極板及び可動電極板によって形成される前記流路の上流側または下流側のいずれか一方に設けられた固定絞りとを具備する電気粘性流体アクチュエータ。

図1に代表図（構成図）を示す。

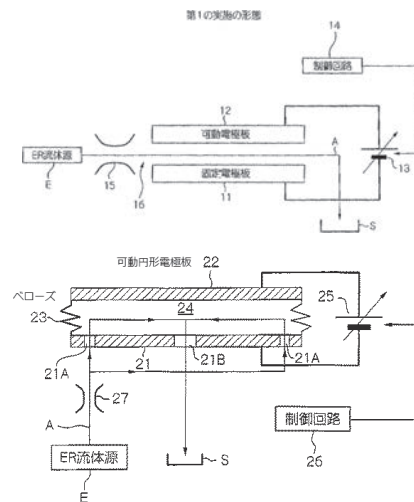


図1 代表図

【解決手段】電気粘性流体アクチュエータは電気粘性流体を利用するものであって、電気粘性流体の流路を形成する、固定電極板および該固定電極板に対して電極間隔方向に変位自在となった可動電極板と、固定電極板および可動電極板間に電圧を印加するための電圧源と、固定電極板及び可動電極板によって形成される流路の上流側または下流側のいずれか一方に設けられた固定絞りとを具備するものである。このような電気粘性流体アクチュエータにおいては、可動電極板自体が駆動部として機能し、またその変位位置は電圧源の出力電圧によって決まるので、付加的な駆動部およびその変位センサは必要とされず、このため電気粘性流体アクチュエータのマイクロ化を容易に行うことができる。

特許情報プラットフォーム<sup>1)</sup>から本特許文献の経過情報の出願情報を参照すると、付与されているFIは下記である。

①F15B15/10@G

②F15B21/06

①はテーマコード3H081のアクチュエータである。表1に3H081のFIの抜粋を示す。

すなわち、①を上位から簡略して表現すると、流体作動装置で、構造に特徴があり、ダイヤフラム形で、ベローズを用いたアクチュエータとなる。

付与されているFタームを表2に示す。

表1 テーマコード3H081のFI抜粋

|                                                         |
|---------------------------------------------------------|
| F15B15/00部材をある位置から他の位置へ移すための流体作動装置；それと組み合わせた伝動装置        |
| F15B15/02・流体作動要素の動作を，最後に作動される部材の動作に変換するための手段に特徴のある機械的設計 |
| F15B15/08・モータユニットの構造に特徴のあるもの                            |
| F15B15/10・・・ダイヤフラム形のモータ                                 |
| F15B15/10@Aダイヤフラムが1つのもの〔C～Fが優先〕                         |
| F15B15/10@Bダイヤフラムが2つ以上のもの〔C～Fが優先〕                       |
| F15B15/10@C作動流体の給排口に特徴があるもの                             |
| F15B15/10@Dロッドの貫通部に特徴があるもの                              |
| F15B15/10@Eロッドのダイヤフラムへの取付構造に特徴                          |
| F15B15/10@Gベローズを用いたもの                                   |
| F15B15/10@Hゴム袋を用いたもの                                    |
| F15B15/10@Zその他のもの                                       |

表2 付与されている3H081のFターム

|            |      |               |
|------------|------|---------------|
| 型式         | AA15 | ダイヤフラム形       |
|            | AA17 | ベローズ形         |
| 駆動手段       | BB05 | 特殊流体          |
|            | BB12 | 電気または磁気       |
| 目的または効果    | CC23 | 小形化，軽量化，簡素化等  |
|            | CC25 | 精度向上（位置決め等）   |
| 各部材の形状又は構造 | DD14 | 出力部材が可撓性のあるもの |
|            | DD38 | 制御装置          |
| 制御（調整）     | FF01 | 位置制御          |

②はテーマコード3H082の流体回路(2)である。表3に3H082のFI抜粋，表4に付与されているFタームを示す。

表3 テーマコード3H082のFI抜粋

|                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------|
| F15B20/00流体アクチュエータ系用の安全装置                                       |
| F15B21/00流体アクチュエータ系の一般的特徴；このサブクラスの他のいずれのグループにも包含されない流体圧系またはその細部 |
| F15B21/02・記憶装置または時限装置によるプログラム制御装置をもつサーボモータ系；そのための制御装置           |
| F15B21/04・流体の特性に関連して用いられる特殊な手段，例．逃がし，粘度変化の補償，冷却，ろ過，かくはん防止のためのもの |
| F15B21/06・特殊流体の使用，例．液体金属；このような流体を用いるための流体圧系の特殊な応用またはそのための要素の制御  |

すなわち，一般的特徴として，特殊流体を使用した流体回路となる。

表4 付与されている3H082のFターム

|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 目的または効果    | AA19 | 加工又は組立性向上    |
|            | AA23 | 精度向上         |
|            | AA25 | 小形，軽量または簡単化  |
| 基本となる流体圧回路 | BB14 | 方向制御回路       |
|            | BB29 | フィードバック手段を有す |
| 駆動手段       | CC07 | 磁性流体         |
|            | CC14 | 電気又は磁気的手段    |
| その他の一般的特徴  | DE05 | 位置制御         |

なお，本文献のFI，Fタームはほぼ適切であるが，電気粘性流体に関する文献として，CC07磁性流体は完全一致とは云えない．上位のCC05特殊流体が付与されている文献も多いと考えられる。

### 3. 特許文献2

もう一つの特許文献は特開2013-160238アクチュエータシステムであり，高パワー密度とともに，構造の簡素化と小型化を実現することが課題である。

技術分野，請求項1，代表図を示す．解決手段は請求項と同等のため省略する。

【技術分野】管内作業を行うマイクロマシン等を使用するアクチュエータシステムに関する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】電界または磁界によって粘度が高まる機能性流体を内部に収容し，内部の前記機能性流体の量が増加または減少したときに動作するアクチュエータと，前記機能性流体を内部に収容し，内部の前記機能性流体に対して陽圧と陰圧を定期的に交互に繰り返し与える交流圧力部と，前記アクチュエータと前記交流圧力部との間に設けられ，前記機能性流体を流通させる配管と，前記配管に対して設けられ，前記配管の内部の前記機能性流体に対して電界または磁界を印加する印加部と，を備え，前記印加部は，前記交流圧力部が内部の前記機能性流体に対して陽圧を与えているときよりも陰圧を与えているときのほうが，前記配管の内部の前記機能性流体に対して印加する電界または磁界の強度を大きくすることで，前記アクチュエータの内部の前記機能性流体の量を増加させて当該アクチュエータを駆動し，前記交流圧力部が内部の前記機能性流体に対して陽圧を与えているときよりも陰圧を与えているときのほうが，前記配管の内部の前記機能性流体に対して印加する電界または磁界の強度を小さくすることで，前記アクチュエータの内部の前記機能性流体の量を減少させて当該アクチュエータを駆動することを特徴とするアクチュエータシステム。

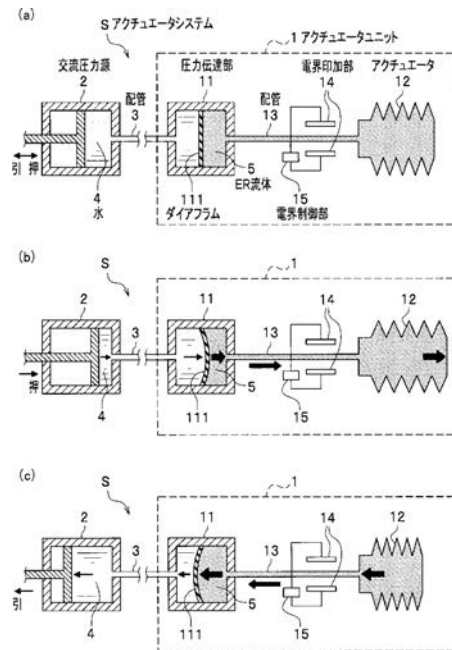


図2 代表図

付与されているFIは下記である。

①F15B21/06

②B81B3/00

①のFIは特許文献1と同じであるが付与されているFタームは異なる。表5にFタームを示す。

表5 付与されている3H082のFターム

|              |      |                |
|--------------|------|----------------|
| 目的または効果      | AA25 | 小形，軽量または簡単化    |
| 駆動手段         | CC05 | 特殊流体           |
|              | CC14 | 電気又は磁気的手段      |
| 流体特性に関する特殊手段 | DB35 | 主流路            |
| 振動（パルス）発生    | DD07 | ポンプによるもの       |
|              | DD12 | 電気，磁気的手段を有するもの |
| 用途           | EE20 | その他            |

②はテーマコード3C081マイクロマシンである。表6に3C081のFI抜粋，表7に付与されているFタームを示す。

表6 テーマコード3C081のFI抜粋

|                                                |
|------------------------------------------------|
| B81B1/00可動の，または可撓性の要素がない装置，例．マイクロ毛細管装置         |
| B81B3/00可撓性の，または変形可能な要素，例．弾性のある舌片または薄膜，からなる装置  |
| B81B5/00相互に移動可能な要素，例．スライド可能な，または回転可能な要素，からなる装置 |
| B81B7/00マイクロ構造システム                             |

表7 付与されている3C081のFターム

|         |      |                      |
|---------|------|----------------------|
| 目的または効果 | AA11 | 小型化，高集積化             |
| 形状，構成   | BA48 | 直線運動するもの（着目点が直線往復運動） |
|         | BA53 | 静電力                  |
|         | BA54 | 電磁力                  |
|         | BA56 | 流体圧                  |
| 用途      | EA41 | アクチュエータ              |

本文献のFI，Fタームはほぼ適切と考えられる。

## 4. おわりに

本稿で紹介した特許文献1は実施例にベローズがあるため3H081の分野のベローズ形アクチュエータのFI，Fタームが付与され，特許文献2は技術分野にマイクロマシンが明記されているので，テーマコード3C081のFI，Fタームが付与されたと考えられる。本稿に示す以外の電気粘性流体などの機能性流体を用いた特許文献においても，本稿に記載のテーマコード，FI，Fタームが参考になると考えられる。

本稿をより良く理解するために，参考文献<sup>2)~11)</sup>に示す特許文献を調べるを参照されたい。

### 参考文献

- 1) 特許情報プラットフォーム <http://www.j-platpat.inpit.go.jp/web/all/top/BTmTopPage>
- 2) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用1…特許の基本，フルードパワーシステム，Vol. 44，No. 4，p. 241-243（2013）
- 3) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用2…特許の基本，フルードパワーシステム，Vol. 44，No. 6，p. 362-364（2013）
- 4) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用3…日本の分類・テーマコード1，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 2，p. 81-83（2014）
- 5) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用4…日本の分類・テーマコード2，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 4，p. 184-186（2014）
- 6) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用5…類似文献の検索1，フルードパワーシステム，Vol. 45，No. 6，p. 285-287（2014）
- 7) 木原和幸：特許文献を調べる・特許電子図書館の活用6…類似文献の検索2，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 2，p. 90-92（2015）
- 8) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…特許電子図書館のサービス終了，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 4，p. 179-181（2015）
- 9) 木原和幸：特許文献を調べる・特許情報プラットフォーム…アクチュエータと流体回路，フルードパワーシステム，Vol. 46，No. 6，p. 270-272（2015）
- 10) 木原和幸：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，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 2，p. 82-84（2016）
- 11) 木原和幸：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2，フルードパワーシステム，Vol. 47，No. 4，p. 187-190（2016）

（原稿受付：2016年7月31日）



## 会 告

## 〈理事会・委員会日程〉

|        |           |
|--------|-----------|
| 12月20日 | 委員長会議     |
| 1月13日  | 情報システム委員会 |
| 1月17日  | 理事会       |
| 1月27日  | 企画委員会     |
| 2月 3日  | 編集委員会     |
| 2月14日  | 基盤強化委員会   |

## 〈理事会報告〉

11月22日 15:00～17:00 機械振興会館  
地下3階B3—3号室（出席者16名）

- 1) 国際シンポジウム福岡について
- 2) 平成28年秋季講演会について
- 3) 平成29年度フェロー認定者推薦について
- 4) 賛助会員への連絡方法について
- 5) 学会財務基盤の強化の進捗状況について
- 6) 会員の推移について
- 7) その他

## 〈委員会報告〉

## 平成28年度第3回委員長会議

11月1日 15:00～17:00

機械振興会館6S—1号室（出席者7名）

- 1) 国際シンポジウム準備状況について
- 2) 平成28年秋季FPS講演会準備状況について
- 3) フェロー推薦状況について
- 4) 学会財務基盤の強化の進捗状況について
- 5) その他

## 平成28年度第4回編集委員会

12月1日 14:00～17:00

機械振興会館 地下3階 B3—3号室（出席者16名）

- 1) 会誌特集号の現状と企画
  - ・ Vol.48 No.1「柔軟構造のフルードパワー・アクチュエータ」
  - ・ Vol. 48 No. 2「フルードパワーに役立つセンシング技術（仮）」
  - ・ Vol. 48 No. 3「モデルベース開発（仮）」
  - ・ Vol. 48 No. 4「トライボロジーの応用（仮）」

- ・ Vol. 48 E1（電子出版号）「緑陰特集」
- ・ Vol. 48 No. 5「福祉・介護分野におけるフルードパワーの最新技術（仮）」
- ・ Vol. 48 No. 6「災害現場で活用されるフルードパワー機械と周辺技術（仮）」

## 2) その他

- ・ 会議報告
- ・ トピックスについて
- ・ 記事一覧
- ・ 48巻表紙カラー

## 平成28年度第3回企画委員会

12月2日 15:00～17:00

機械振興会館地下3階B3—3号室（出席者15名）

## 1) 平成28年度実施事業について

- ・ 平成28年秋季講演会
- ・ 最優秀講演賞
- ・ オータムセミナー
- ・ ウィンターセミナー
- ・ その他

## 2) 平成29年度実施事業について

- ・ 平成29年春季講演会併設セミナー
- ・ 平成29年春季講演会
- ・ 企画行事一覧（会誌用）
- ・ その他

## 3) その他

- ① 予告会告・会告について
  - ・ 平成28年度ウィンターセミナー（1月号）
  - ・ 平成29年春季講演会併設セミナー（1月号）
  - ・ 平成29年春季フルードパワーシステム講演会（1月号）
 ※会誌1月号（48—1号，1/4頁版原稿提出締切12月5日予定）
- ② その他

## 平成28年度第3回基盤強化委員会

12月6日 15:00～17:00

機械振興会館地下3階B3—7号室（出席者10名）

- 1) 会員サービスについて
- 2) 外部への情報発信について
- 3) FP道場11について
- 4) バーチャルミュージアムについて
- 5) 研究委員会について
- 6) その他

## 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28年度 ウィンターセミナー 「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」

## 開催趣旨：

本セミナーでは自動車の動力伝達機能に欠かせないCVTに用いられている油圧技術に焦点をあてます。最新型のCVT技術の具体的な事例および技術の変遷について解説するとともに今後の技術動向についてもご紹介します。

開催日時：2017年2月17日(金) 13:15～16:40

会 場：機械振興会館：地下3階 研修2  
東京都港区芝公園3-5-8

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

## 会 告

## 平成29年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー 「フルードパワーに役立つセンシング技術」 開催日：平成29年5月24日(水)

平成29年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを、平成29年5月24日(水)に機械振興会館（東京都港区）で開催いたします。

フルードパワーの高性能化・高機能化を図るうえでさまざまな物理量のセンシング技術が必要とされ始めており、計測すべき情報の種類や役割も多様化し、それに伴うセンシング技術も近年飛躍的に進化しています。本併設セミナーではフルードパ

ワーに活用され始めた、もしくはこれから活用される可能性の高い、センシング技術の最新情報を紹介していただきます。

詳細は学会ホームページにて、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48巻2号（2017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 告

## 日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会 共催 平成29年春季フルードパワーシステム講演会 開催日：平成29年5月25日(木)・26日(金)

平成29年春季フルードパワーシステム講演会は平成29年5月25日(木)・26日(金)に機械振興会館（東京都港区）で開催されます。本講演会では、一般講演に加えて、特別講演・オーガナイズドセッション・製品技術紹介セッションや技術懇

談会などを企画する予定です。詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認いただきますようお願いいたします。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

## 会 告

## 平成29年春季フルードパワーシステム講演会併設企画 「製品・技術紹介セッション」 開催日：平成29年5月26日(金)

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

識を共有し、会員相互の研究・技術の交流の促進を図ろうとするものです。また、本セッションの講演は、平成15年より表彰事業の1つとして設立された「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります。企業関係の会員みなさまの参加を心よりお待ちしております。

## 会 告

## 書籍案内 オーム社刊 「油圧・空気圧回路～書き方&設計の基礎教本」

この度、一般社団法人 日本フルードパワー工業会では、当会の編集による油圧・空気圧回路に関する実務書をオーム社より発行しましたのでご紹介します。

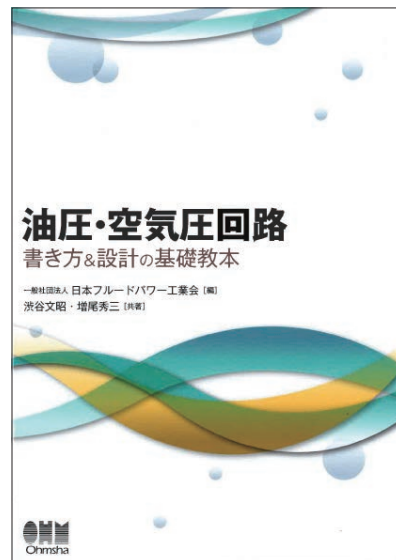
内容は、右図表紙の副題に示されている通り、回路の書き方と設計の教本といえるものです。フルードパワーシステムを構成するための、図記号、関連企画、機器の構造・機能などの知識、基本回路から実際の装置に適用された応用回路まで、幅広く網羅されています。設計に際して座右に置ける書であり、同時に、これから油圧・空気圧を学ぼうとする方々から中堅技術者、さらに既にご使用いただいているユーザの皆様方まで活用できる基礎教本でもあります。

著者は、会員企業の第一線ベテラン技術者である、東京計器(株)渋谷文昭氏とCKD(株)増尾秀三氏です。冒頭には、著者による「各編の校正&学習ポイント」というガイドもあり、読みすすめやすい工夫が盛り込まれています。特に、

- ① 全編を通してわかりやすい図表がふんだんに使われている
- ② 回路や図記号のていねいな解説がされている
- ③ 側注部にキーワードが解説されている

などの特長があり、大変見やすく、読みやすく感じられる紙面構成になっています。是非、お二人の力作を手にとってみてください。

購入に際しては、当会で注文書を兼ねたチラシを用意して一括注文するなどの便を図りますので、ご希望の方は下記にお問い合わせ願います。



## 記

購入方法：JFPA会員企業、同「フルードパワー」協賛会員の皆様、JFPS会員の皆様には、購入の際の便を図ります。ご希望の方は、下記までお問い合わせ願います。

問合せ先：一般社団法人 日本フルードパワー工業会 編集事務局担当 大橋 彰  
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-3 機械振興会館311号  
TEL：(03) 3433-5392 FAX：(03) 3434-3354 E-mail：ak.ohashi@jfpa.biz



## 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348回講習会 実務者のための振動機素と制振・制御技術

開催日：2017年1月23日(月) 9:00～17:00, 1月24日(火) 9:00～16:10

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 / 地下鉄四つ橋線「本町」駅下車, 28号線出口北へ400m]

申込先：一般社団法人日本機械学会関西支部 〒550-0004 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

No.17-10 II2017 情報・知能・精密機械部門 (IIP部門) 講演会

主催：一般社団法人日本機械学会

URL: <http://www.jsme.or.jp/iip>

期 日：2017年3月14日(火), 15日(水)

会場：東洋大学 白山キャンパス (〒112-8606 東京都文京区白山5-28-20)

講演締切日：2017年1月6日(金) <http://iip.conf.itatlas.jp/login>

原稿締切日：2017年2月10日(金)

TECHNO-FRONTIER 2017 (専門技術展および技術シンポジウム)

会 期：2017年4月19日(水)～21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：エコデザイン学会連合

後 援：一般社団法人日本能率協会

「EU Green Gateway to Japan」プロジェクト

日 程：2017年7月1日～2019年12月

場 所：東京

主 催：欧州連合 (EU)

運営事務局：(一社) 日本能率協会産業シンクセンター

## 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) | 968   | 15      | 135     | 134     |
| 差 引 き 増 減           | +5    | ±0      | -9      | ±0      |

正会員の内訳 名誉員14名・シニア員40名・ジュニア員190名・その他正会員725名

## 賛助会員

株式会社レンタルのニッケン

## 正会員

筑後 寛之（コマツ）

劉 継虎（株式会社ジェイテクト）

新美 彰崇（半田重工業株式会社）

野口 英昭（株式会社小松製作所）

趙 菲菲（津山高等専門学校）

## 学生会員

奥井 学（中央大学）

平原 雄一（横浜国立大学）

増田 恵太（横浜国立大学）

米田 涼（豊橋技術科学大学）

小西 亮輔（豊橋技術科学大学）

岡野 健（豊橋技術科学大学）

張 書策（横浜国立大学）

黒田 亮（横浜国立大学）

吉田 雄飛（横浜国立大学）

中村 裕朔（豊橋技術科学大学）

小林 和暉（豊橋技術科学大学）

釵持 幸芳（芝浦工業大学）

## 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)  
 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・データー  
 (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)ケンチク舎成増  
 (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)  
 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)  
 制御機材(株)  
 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・ザウアーダンフォス(株)  
 ダイキン工業(株)  
 ダイワ(株)  
 大生工業(株)  
 調和工業(株)  
 (株)都筑製作所  
 TMCシステム(株)  
 (株)TNK  
 テラル(株)  
 天竜丸澤(株)  
 トーヨーエイトック(株)  
 東京メータ(株)  
 TOHTO(株)  
 東北特殊鋼(株)  
 東明工業(株)  
 DOOSAN CORPORATION  
 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)  
 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  
 日本ムーグ(株)  
 (株)野村商店  
 (株)ハイダック  
 日立建機(株)  
 (株)日立建機ティエラ  
 (株)日立建機カミーノ  
 (株)日立製作所  
 日立住友重機械建機クレーン(株)  
 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  
 フェスト(株)  
 (株)フクダ  
 (株)不二越  
 二見屋工業(株)  
 ボッシュ・レックスロス(株)  
 昌富工業(株)  
 マサモト(株)  
 (株)増田製作所  
 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)  
 リバーフィールド(株)  
 (株)レンタルのニッケン  
 ワールドインシュアランス  
 ブローカーズ(株)



## 編集室

## 次号予告

## —特集「フルードパワーに役立つセンシング技術」—

〔巻頭言〕「フルードパワーに役立つセンシング技術」発刊にあたって

〔解説〕磁気式アブソリュートエンコーダの技術紹介

磁歪式リニアセンサの技術紹介

柔軟空気圧シリンダ用変位センサの開発

電磁超音波共鳴法による高温配管の肉厚モニタリング

CIT建機用ストロークセンサ付シリンダの紹介

MR流体測定用磁場印加型レオメータの開発

材質認識システムを備えた人工指

〔会議報告〕機械学会2016年度年次大会におけるフルードパワー技術研究動向

第34回日本ロボット学会学術講演会におけるフルードパワー技術研究動向

〔教室〕入門講座「エネルギー工学」第四回：水力発電と再生可能エネルギーなど

〔トピックス〕クラウドロボティクスプラットフォームを開発する大学発ベンチャー企業

機械安全—パフォーマンスレベルPLと平均危険側故障時間MTTFd—

〔研究室紹介〕室蘭工業大学 機械システム設計学研究室（フルードパワーに関する学生との研究活動）

〔企画行事〕H29企画行事紹介

秋季講演会（H28.10.19,20）

塚越 秀行

佐藤 衛

中川晋一朗

赤木 徹也

内一 哲哉, 高木 敏行, 浦山 良一

影山 雅人

中野 政身

小山 紀

田中 豊

佐々木大輔

江間 敏

岡本 悠

高野 一治

風間 俊治

桜井 康雄

田中 豊

## 平成28年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 塚越 秀行（東京工業大学）  
 副委員長 村松 久巳（沼津工業高等専門学校）  
 委員 伊藤 雅則（東京海洋大学）  
 上野 朝嗣（CKD株式会社）  
 内堀 晃彦（宇部工業高等専門学校）  
 加藤 友規（福岡工業大学）  
 北村 剛（油研工業株式会社）  
 木原 和幸（財工業所有権協力センター）  
 栗林 直樹（川崎重工業）  
 五嶋 裕之（機械振興協会）  
 佐藤 恭一（横浜国立大学）  
 妹尾 満（SMC株式会社）  
 中野 政身（東北大学）

委員 中山 晃（日立建機株式会社）  
 成田 晋（KYB株式会社）  
 藤田 壽憲（東京電機大学）  
 丸田 和弘（株式会社コマツ）  
 矢島 丈夫（株式会社コガネイ）  
 柳田 秀記（豊橋技術科学大学）  
 山田 真の介（株式会社TAIYO）  
 山田 宏尚（岐阜大学）  
 吉満 俊拓（神奈川工科大学）  
 担当理事 伊藤 和巳（KYB株式会社）

編集事務局 藤谷 秀次（学会事務局）  
 竹内 留美（勝美印刷株式会社）

（あいうえお 順）

## 会告

## 複写される方へ

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

権利委託先：（一社）学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

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

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

# 日本フルードパワーシステム学会論文集

第48巻, 第1号 (2017)

平成29年1月

## 目次

### 研究論文

1. ピンチ型空気圧サーボバルブの開発

石田靖昌, 只野耕太郎 1

# TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

Vol.48, No.1

January 2017

## Contents

### Paper

- 1 . Development of a Pinch-type Pneumatic Servo Valve

Yasumasa ISHIDA, Kotaro TADANO 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

## ピンチ型空気圧サーボバルブの開発\*

石田 靖 昌\*\*, 只 野 耕太郎\*\*\*

## Development of a Pinch-type Pneumatic Servo Valve

Yasumasa ISHIDA, Kotaro TADANO

Pneumatic servo valves are key components in pneumatic servo systems. In multi-degree-of-freedom systems such as robot systems, a lot of servo valves are installed. Nozzle flapper-type servo valves are not suitable for these systems because they release air all the time, so that air consumption is too large. Spool-type servo valves currently used allow leakage of air from a sliding portion of a spool. Therefore, in robot systems, vibration and noise of compressors are big problems. Reducing leakage of servo valves can solve these problems and save energy. In this study, we develop a 4-port pinch-type pneumatic servo valve controlling flow by pinching air tubes, aiming at a leak-less servo valve. Almost all existing pinch-type valves are 2 or 3 port and proportional valves, aiming to control flow of slurry and medicine. There are no 4-port pinch-type servo valves. Experimental results showed that the leakage was lower than 1.7% of the rated flow rate and dynamic characteristics was approximately 30 Hz. We conducted position control experiments of a pneumatic cylinder using the prototype valve and showed the effectiveness.

**Key words :** Servo Valve, Pneumatic, Leakage, Flow Control, Cylinder

## 1. 緒 言

空気圧サーボバルブは空気圧システム全体の性能を決める重要な構成要素である。ロボットシステムのような多自由度システムにおいては多数のサーボバルブを使用する。現在一般に広く使用されているサーボバルブはノズルフラップ型サーボバルブとスプール型サーボバルブに大別できる。ノズルフラップ型サーボバルブは構造上、常時大気にリリースがあるため空気の消費量が多い。スプール型サーボバルブはノズルフラップ型サーボバルブに比べ空気の消費量は少ないがスプールの摺動部からの漏れによる損失がある。そのため多数サーボバルブを使用するシステムでは大きなコンプレッサが必要となり、システム全体の小型化の妨げになるとともに騒音や振動が課題となっている。サーボバルブの漏れを減少させて空気の消費量を低減することでコンプレッサの負荷を軽減でき、これらの問題を改善するとともに省エネルギー化が期待できる。

これまでに、スプール型バルブのラップ量を大きくすることで漏れを減らしたサーボバルブの開発<sup>1)</sup>が行われているが不感帯を拡大するという問題点がある。スプールを用

いないサーボバルブとしてはロータリ型サーボバルブの開発<sup>2)</sup>も行われてきた。しかし、上記のバルブはいずれも流路に摺動部が存在するため漏れをゼロにすることは困難である。外部への漏れの無いバルブとして振動駆動型のポペットを利用したバルブの研究<sup>3)-5)</sup>も多数行なわれているが、現状では流量の調整が難しく、精密な制御が求められるためロボットシステムには不向きである。また、外部への漏れの無いバルブとして振動駆動型のバルブのほかに、チューブを閉塞させて流量を制御するピンチ型バルブがある。従来のピンチ型バルブは流体がバルブに触れない利点を生かして、血液や薬品などの液体や粘度の高いスラリー状の流体の制御を目的としているため、2, 3 ポートのバルブやON-OFFバルブ、比例バルブがほとんどであり、4 ポートのピンチ型サーボバルブは例をみない。また、チューブを利用したバルブとして、赤木らはチューブの屈曲を利用したサーボバルブの開発<sup>6)</sup>を行っている。ウェアラブルで低コストである一方、ロボットシステムで用いるには応答性が不十分である。そこで本研究ではロボットシステムでの使用に適した、漏れの無い空気圧サーボバルブの実現を目的とする。運動特性がよく、応答性に優れたカム機構を用いた閉塞機構をもつ4ポートのピンチ型空気圧サーボバルブを開発する。

本論文では、まず試作したバルブの構造の説明をし、次に流量特性と運動特性の評価実験をするとともに試作バルブを用いてシリンダの位置制御を行い、試作したサーボバルブの有用性を示す。

\*平成28年4月12日 原稿受付

\*\*東京工業大学工学院機械系

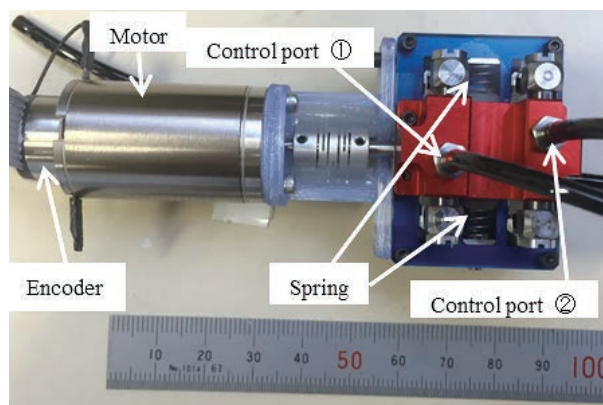
(所在地：神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

(E-mail: ishiday.af@m.titech.ac.jp)

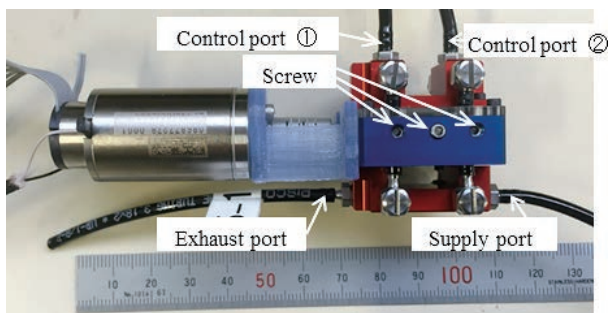
\*\*\*東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所

## 2. ピンチ型空気圧サーボバルブ

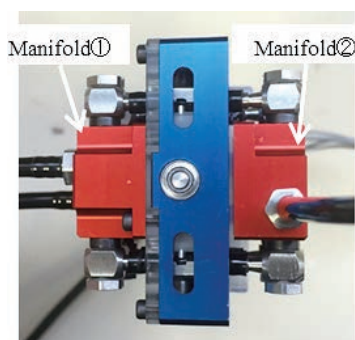
本研究で試作したバルブの外観をFig. 1に示す。試作バルブは空気圧配管用のポリウレタンチューブ (PISCO製 UB-1/8-B:内径2mm 外径3.18mm), サーボモータ (MAXON製 DCX22X EB SL 12V), エンコーダ (MAXON製 ENX16 EASY : 1024パルス), チューブを閉塞させるカム機構部, モータと機構部を保持する樹脂製の治具で構成される。カム機構は運動特性が良く高速運動にも耐えることができる。カム角度の制御にはステッピングモータなどを用いるという選択もあるが高い応答性と分解能からサーボモータとエンコーダにより系を構築している。バルブのゼロ点の調整はFig. 1に示す側面の調整ねじによって行う。Fig. 2にカムピンチ構造のモデルを示す。ローラのカムフォ



(a) Top view



(b) Side view



(c) Front view

Fig. 1 Pinch-type servo valve

ロワを介し機構によるチューブを閉塞している。カムの回転角度に応じてチューブの閉塞量を変化させて流量を制御する。回転方向により供給, 排気どちらかのポートのみの流量を制御する。Fig. 3にばねを用いたノーマルクロース機構のモデル図を示す。楕円形状のカムが回転した際にばねが押し縮められ, ばねの復元力によりカムが中立位置に戻る方向に力が働くことでノーマルクロースを実現してい

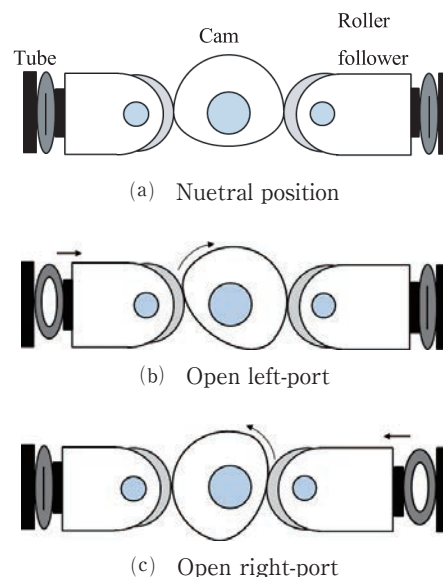


Fig. 2 Cam mechanism model

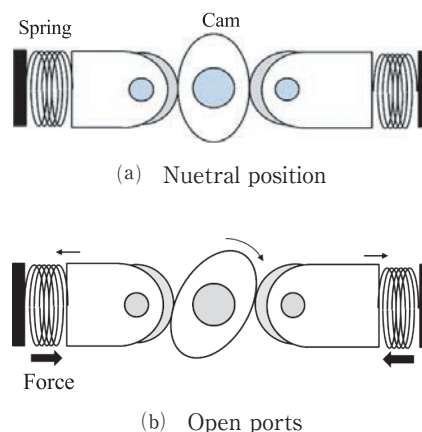


Fig. 3 Normal-close mechanism

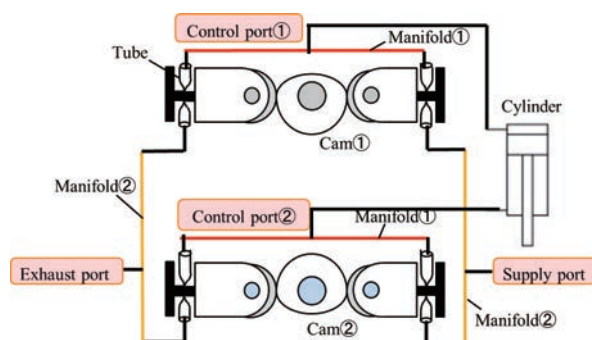


Fig. 4 Ports connection by manifolds

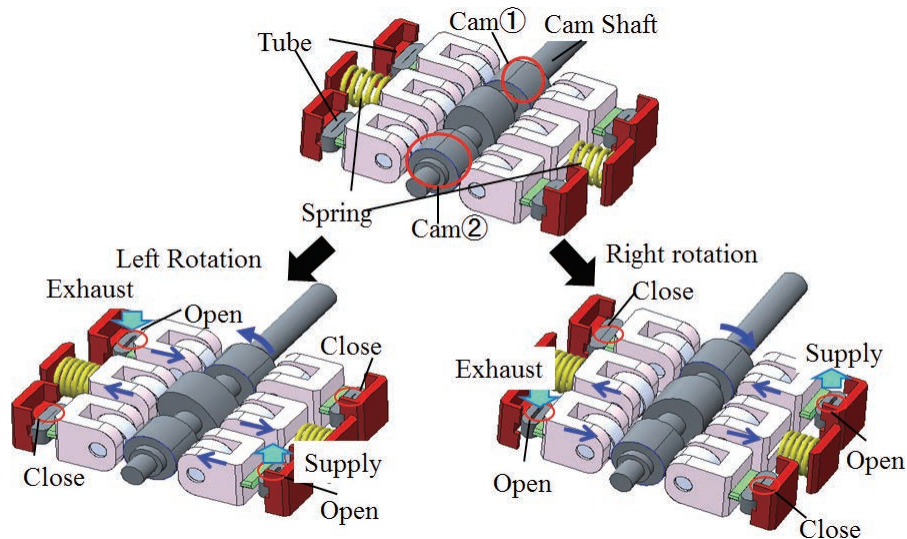
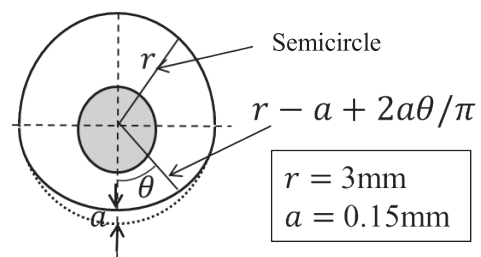
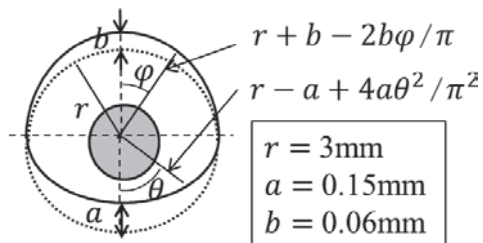


Fig. 5 Structure model of the developed pinch-type valve

る。Fig. 4に配管の接続例を、Fig. 5に機構部全体の構造図を示す。試作したバルブは4ポートを実現するためにカムシャフトには流量制御用の2つのカムとノーマルクロズ用のカムを持つ。流量制御用の2つのカムは同様の形状で180°位相をずらした配置になっている。これによりFig. 4に示すように供給、排気ポートを一方向に寄せて、配管の接続を容易化させることで、小型のマニホールドとした。カムシャフトは一体構造であり、モータとはダイレクトで接続している。Fig. 1とFig. 4のManifold①、②は一致する。バルブ駆動時のカム回転角の可動域は中立位置を中心に $\pm 80^\circ$ までとした。

### 3. バルブの流量特性

バルブの流量特性を調べるため、カム回転角に対する有効断面積の計測を行った。有効断面積の計測は等温化压力容器を用いて容器内の圧力変化から計測を行っている<sup>7)</sup>。カム回転角を $5^\circ$ 刻みで変化させて計測を行った。制御性の面からカム回転角と有効断面積は線形な関係性であることが望ましい。また、ゼロ点において漏れをなくするためにチューブを閉塞させる場合、不感帯が生じやすい。これらはカムの形状に依存するため、カム形状の検討を行った。まず、Fig. 6に示すようにカム回転角度に対してチューブの押しつけ量が線形な関係になるカムを試作して有効断面積の変化を計測した。ここでカムの短径は必要となる最大流量から決定している。最大流量は著者らが開発している手術ロボット<sup>8)</sup>での使用を想定して決定した。このカムを用いたときの結果をFig. 8に示す。カム角度 $0^\circ$ とはFig. 2(a)に示す中立位置である。Fig. 8において実線は有効断面積を増加させていったときの計測結果で、破線が減少させたときの結果である。有効断面積が $0.05\text{mm}^2$ 以上においてカム回転角と有効断面積は線形な関係がみられるが、 $0.05\text{mm}^2$ 以下の流量帯においては非線形な関係であり、 $-5^\circ$

Fig. 6 1<sup>st</sup> developed camFig. 7 2<sup>nd</sup> developed cam

から $10^\circ$ 程度付近で不感帯が存在した。流量が最大となる $\pm 80^\circ$ のときを定格流量として、バルブを閉じた状態である $0^\circ$ における漏れ量は最大で定格流量の12%であった。 $0^\circ$ 近傍で流量の変化が小さかったことが不感帯の帯域を広げていると考えられる。そこでFig. 7に示すカムでは $0^\circ$ 近傍で角度変化に対して流量の変化を大きくするために押し付け量が回転角度の2乗で変化する形状とした。また、Fig. 6に示すカムを用いたとき、半円側の閉じた状態であるチューブにおいて漏れがあった。そこで、開く必要のない際に確実に閉じておくために、Fig. 7におけるカムでは半円ではなく少し膨らませた形状とした。Fig. 7に示す $b$ の値を大きくすることで漏れを減らすことが出来るが、同時にカムの回転負荷が大きくなる。負荷が大きくなりすぎない範囲で $b$ の長さを決定した。Fig. 9に試作バルブにおけるカム回転角と有効断面積の関係を示す。グラフの



Control port①, ②はFig. 1に示すものと一致する. 不感帯は $-5^{\circ}$ から $0^{\circ}$ 程度であり不感帯域を縮小させた. 有効断面積が $0.15\text{mm}^2$ 以下の流量帯で線形な関係性である一方,  $0.15\text{mm}^2$ 以上の流量帯では非線形な関係を示す結果となった. 漏れに関しては閉じた状態である $0^{\circ}$ においてポート①では最大で定格流量の1.7%, ポート②では1.1%であった. また, カム形状は左右対称であり, 試作バルブにおいて2つの制

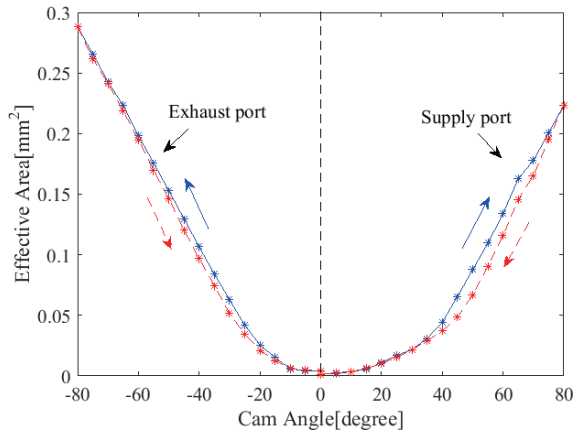
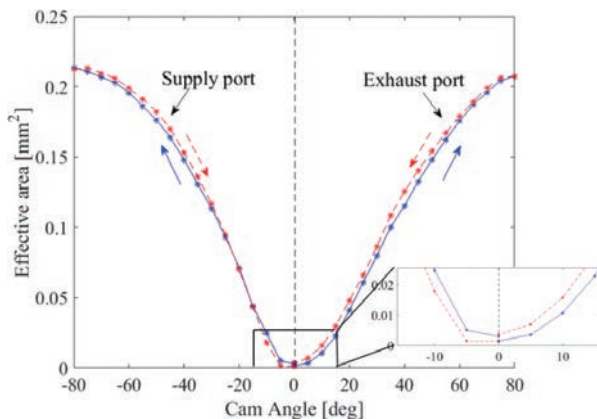
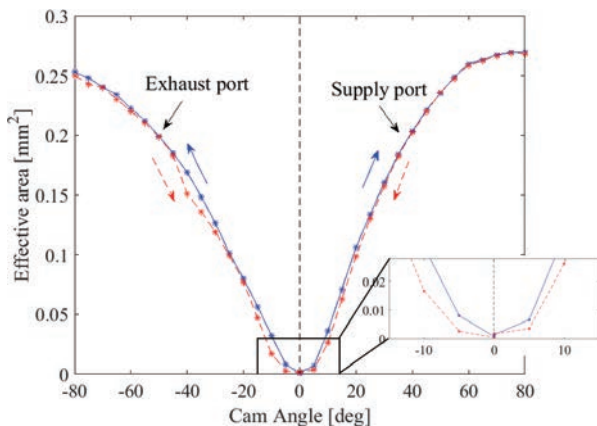


Fig. 8 Static characteristic of the developed valve with 1<sup>st</sup> developed cam



(a) Control port ①



(b) Control port ②

Fig. 9 Static characteristics of the developed valve with 2<sup>nd</sup> developed cam

御ポート用のカムは同様の形状で設計しているがFig. 9の計測結果ではグラフが非対称で供給, 排気ポートでカム回転角に対して異なる有効断面積を示しており, 2つのポートで最大有効断面積が $0.03\text{mm}^2$ 以上異なっていることが明らかになった. これはバルブの静特性の計測結果であるためカムの押し付け量で特性が決まる. そのため最大有効断面積のずれはカムの加工精度の影響による誤差であると考えられる. Fig. 8の結果より, 有効断面積が $0.05\text{mm}^2$ 以上においてチューブの押し付け量と有効断面積が線形な関係であると仮定できる. 押し付け量に対する有効断面積の変化は $2.7\text{mm}^2/\text{mm}$ であることから加工による押し付け量の誤差は $0.01\text{mm}$ 程度であると考えられる. 著者らが開発している参考文献8)のロボットシステムで用いられているのスプール型サーボバルブ (FESTO社製MPYE-5-M5 -010-B) でも同様の計測を行った結果をFig. 10に示す. 5ポートバルブであるが, 1つの制御ポートに対してのみ計測結果を示す. 最大有効断面積は $2.2\text{mm}^2$ 程度あるため, ラップ領域のみのグラフを示す. 漏れは最大で定格流量の1.8%であった. 以上の結果より, バルブが閉じた状態において定格流量に対する漏れ率は既存のサーボバルブと同等でありながら, 漏れ量を10分の1以下にした. 開発したサーボバルブを用いることで空気消費量の低減ができることを確認した.

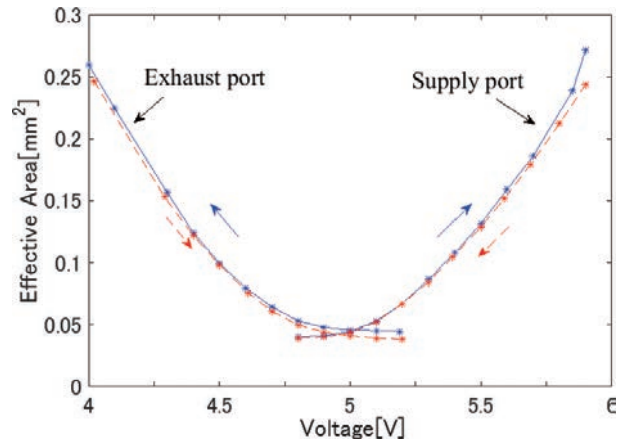


Fig. 10 Static characteristics of the spool-type valve

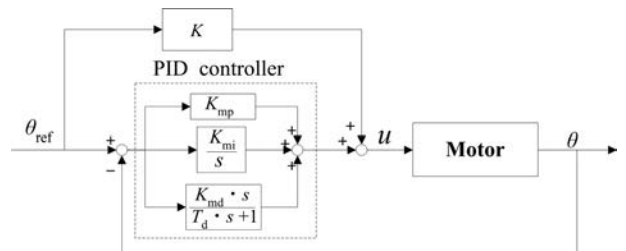


Fig. 11 Block diagram of cam angle control

Table 1 Gain parameters of cam angle control

| $K$         | $K_{mp}$  | $K_{mi}$    | $K_{md}$      | $T_d$    |
|-------------|-----------|-------------|---------------|----------|
| 11.9[V/rad] | 14[V/rad] | 60[V/s/rad] | 0.05[V/rad s] | 0.01 [s] |

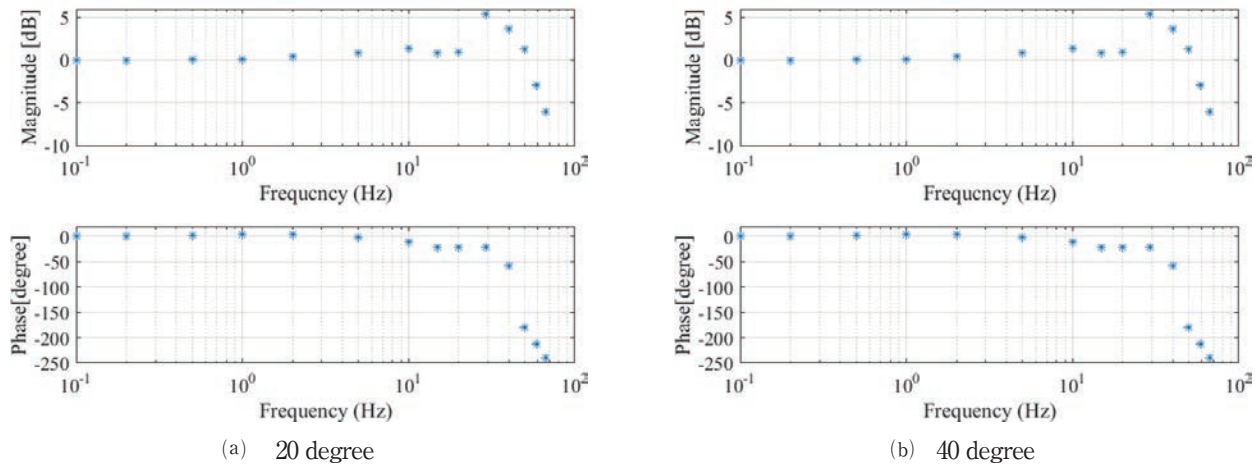


Fig. 12 Frequency response of cam angle control

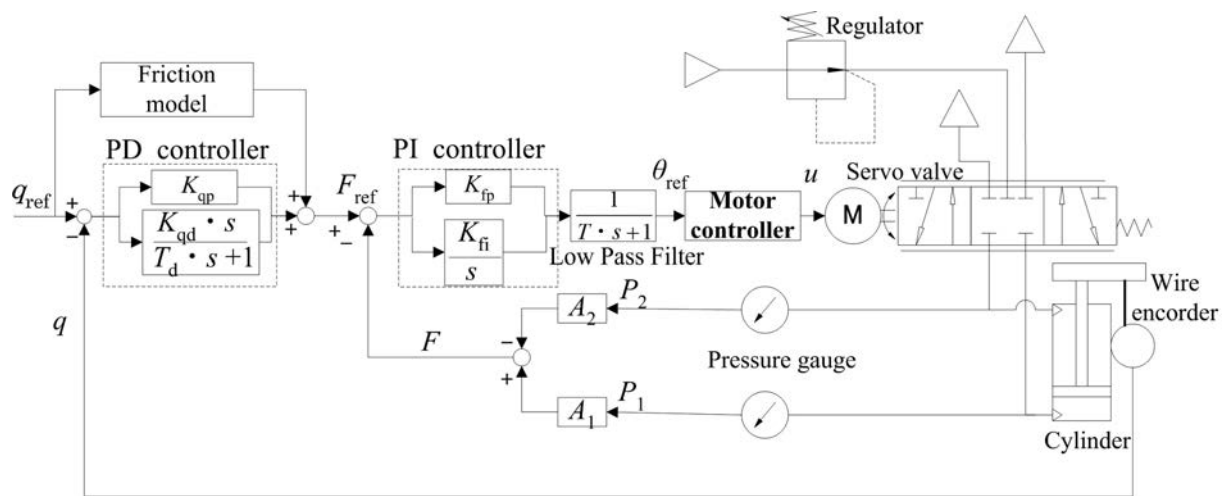


Fig. 13 Block diagram of position control of a pneumatic cylinder

#### 4. カム角度制御の周波数応答

試作したサーボバルブの応答性を調べるためにカム角度制御の周波数応答の計測を行った。ゼロ点の調整を行いチューブを適切な閉塞量にし、供給ポートに600kPa (abs)の空気を供給して実験を行った。カム角度の目標値は最大回転角の25%と50%にあたる、角度振幅20°と40°の正弦波とした。Fig. 11に角度制御のブロック図を、Table 1に制御ゲインを示す。角度制御はPID制御にばね力補償のフィードフォワードを加えて行った。Fig. 11中のモータとはモータコントローラ、モータ、エンコーダを含んだブロックであり、図中の $\theta$ はエンコーダで読み取った値である。モータの出力トルクはモータコントローラへの入力電圧 $u$ に比例しており、比例定数は74mNm/Vである。モータとカムはダイレクトで接続しているため、モータ角度とカム角度は同じである。Fig. 12に角度振幅20°と40°のときのボード線図を示す。2つのボード線図よりバンド幅は角度振幅20°のときは50～60Hz、40°のときは40～50Hzであるが位相遅れが90°を大幅に上回っており、目標値に対する追従は30Hz程度までであることが確認できる。応答性はサーボ

Table 2 Gain parameters of position control of a pneumatic cylinder

| PD controller |             |         | PI controller |              |
|---------------|-------------|---------|---------------|--------------|
| $K_{qp}$      | $K_{qd}$    | $T_d$   | $K_{fp}$      | $K_{fi}$     |
| 3.3[N/mm]     | 0.02[N/mms] | 0.01[s] | 0.2[rad/N]    | 3.5[rad s/N] |

モータの動特性に依存するため、応答性を向上させるためにはより高応答のモータを選定する必要がある。

#### 5. 試作バルブを用いたシリンダの位置制御

試作したバルブを用いてシリンダの位置制御実験を行った。Fig. 13にシリンダの位置制御のブロック図を、Table 2に各制御ゲインを示す。それぞれの制御ゲインは試行錯誤的に求めている。シリンダには低速シリンダ (SMC製 CJ2XB10-30RZ) を使用しており、受圧面積 $A_1$ 、 $A_2$ はそれぞれ78.5mm<sup>2</sup>、66.0mm<sup>2</sup>である。シリンダの位置はワイヤ式エンコーダ (MTL製 MLS-12-1500-250) で計測し、圧力センサにはSMC製PSE540を使用した。バルブへの供給圧力は減圧弁により600kPa (abs)とした。シリンダの各部屋の圧力 $P_1$ 、 $P_2$ と受圧面積 $A_1$ 、 $A_2$ からシ

リンダの駆動力 $F$ を計算し、駆動力 $F$ のフィードバックを行っている。またシリンダの摩擦補償として駆動力の目標値 $F_{ref}$ にフィードフォワードを行っている。センサのノイズがコントローラによって増幅されるためカム角度目標値 $\theta_{ref}$ には時定数 $T$ が $0.01s$ の1次遅れフィルタをかけている。ノイズの増幅率は $1 \sim 2$  degree/kPaであり、ノイズにカム角度が追従して系が不安定になるため、時定数 $T$ は系が安定になる範囲で最小にした。シリンダの位置目標値は手術ロボットなど精密な動作を想定して、振幅 $3\text{ mm}$ で周波数が $1\text{ Hz}$ と $0.1\text{ Hz}$ の2通りの正弦波で実験を行った。Fig. 14に実験結果を示す。グラフにおいてシリンダの位置、駆動力、カム角度では実線が実測値、破線が目標値を示している。圧力は実線が $P_2$ 、破線が $P_1$ を示している。カム角度における1点鎖線はカム角度目標値のローパスフィルタをかける前の信号である。目標値が $0.1\text{ Hz}$ の時に最大位置誤差 $0.13\text{ mm}$ 位相遅れが $4.7^\circ$ 以下、 $1\text{ Hz}$ の時には最大位置誤差 $0.26\text{ mm}$ 位相遅れ $0.06^\circ$ 以下であり、良好な追従性能を確認した。一方、駆動力

とカム角度の応答が振動的であることが確認できる。Fig. 14(b)の7から10秒付近においてカム角度の振動は $4\text{ Hz}$ 以下であり、カム角度制御の周波数応答の計測結果より十分に追従できる範囲であることが分かる。チューブを開く際に働く力はチューブの弾性力とチューブ内の空気圧による力でカムから力は受けないためカム角度の変化に対してチューブの開きが遅れていると考えられる。これは今後、解析を行い明らかにする必要がある。本研究における試作機は手術ロボットなど精密な動作を想定して定格流量を小さくしているため、振幅 $3\text{ mm}$ 、周波数 $4\text{ Hz}$ 程度の正弦波目標値においてシリンダの速度が限界に達する。径の大きなチューブを使うことやカムの径を変えて定格流量を増やすことでシリンダの位置制御において、より高いバンド幅を実現できる。

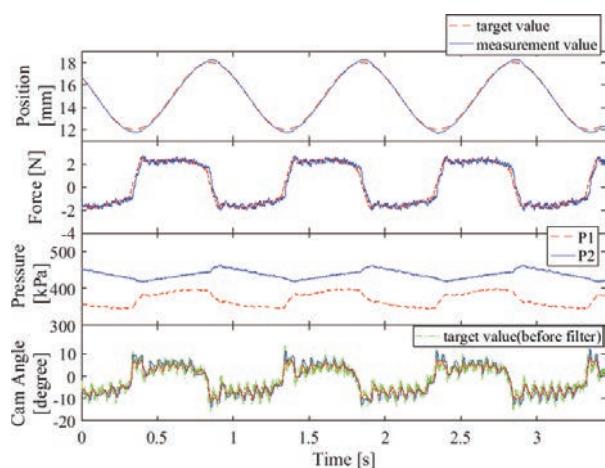
今後はシリンダの制御における消費流量の計測を行い従来のサーボバルブと比較、評価を行う。

## 6. 結 言

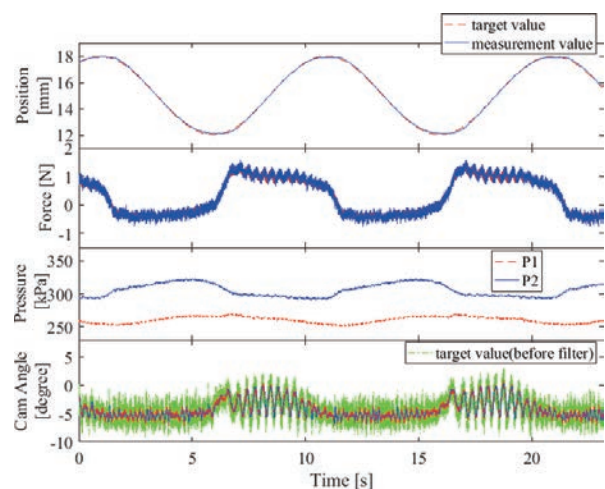
本研究では漏れの無いサーボバルブを目的としてカムを用いた閉塞機構を持つ、4ポートのピンチ型空気圧サーボバルブの開発を行った。まずカム形状の検討を行い流量特性の計測を行った。流量特性の計測結果より既存のバルブに比べ漏れを10分の1以下にし、空気消費量の低減を実現した。次にカム角度制御の周波数応答を計測して、 $30\text{ Hz}$ 程度の応答性を確認した。最後に試作バルブを用いたシリンダの位置制御実験では位置応答の良好な追従を確認し、バルブとしての有用性を示した。しかし駆動力とカム角度の応答が振動的であり、今後応答の遅れの原因を解析しバルブの応答の向上を目指す。

## 参 考 文 献

- 1) 神谷祐樹, 渡辺聖矢, 青木秀典, 大道武生, ロングオーバーラップ水圧サーボ弁の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 1A1-F10(1)-1A1-F10(4) (2011)
- 2) 野上忠彦, 中村一郎, 貞森博之, 下釜宏徳, 佐藤博之, 直動型ローラリサーボ弁の開発 (第1報, ロータリサーボ弁の構造と特性), 日本機械学会論文集 (C編), 61巻584号 (1995)
- 3) S. Uehara and S. Hirai, Unconstrained Vibrational Pneumatic Valves for Miniaturized Proportional Control Devices, Proceeding of 9<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics Technology (2005)
- 4) T. Akagi, S. Dohta and S. Katayama, Development of Small-Sized Flexible Pneumatic Valve Using Vibration Motor and Its Application for Wearable Actuator, 15th International conference on Mechatronics and



(a) 1 Hz



(b) 0.1 Hz

Fig. 14 Experimental results of position control of a pneumatic cylinder with the pinch-type valve



- Machine Vision in Practice pp 441-446 (2008)
- 5) D. Hirooka, K. Suzumori, T. Kanda, Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator, *Sensors and Actuators A : Physical* 155, pp 285-289 (2009)
- 6) A. Ono, T. Akagi, S. Dohta and A. Nasir, Improvement of Low-cost Wearable Servo Valve Using Buckled Tube, *Proceedings of the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power*, Matsue, pp 669-674 (2014)
- 7) 香川利春, 川嶋健嗣, 藤田壽憲, 田中豊, 榊和敏 : 等温化压力容器を用いた有効断面積の計測法, *油圧と空気圧* 第26巻 第1号, pp. 76-81 (1995)
- 8) K. Tadano and K. Kawashima : Development of a Master-Slave System with Force-Sensing Abilities using Pneumatic Actuators for Laparoscopic Surgery. *Advanced Robotics*, vol. 24, issue 12, pp. 1763-1783. (2010)

会 員 各 位

平成29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29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29年度（自平成29年4月1日～至平成30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29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年間にわたり4,000円となります。)  
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・28年度以前の会費を未納の方は、新年度分（平成29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、宜しくようお願い申し上げます。

以上

| 払 込 取 扱 票 |  |                                                                                         |  |                    |  |   |  |   |  | 払込票兼受領証 |  |             |  |                    |  |                 |  |                        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |
|-----------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------|--|---|--|---|--|---------|--|-------------|--|--------------------|--|-----------------|--|------------------------|--|---|--|---|--|--|--|--|--|
| 00        |  | 東京                                                                                      |  | 口座番号 (右詰めにご記入ください) |  |   |  |   |  |         |  |             |  | 金 額                |  | 千 百 十 万 千 百 十 円 |  | 千 百 十 万 千 百 十 円        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |
| 0         |  | 0                                                                                       |  | 1                  |  | 1 |  | 0 |  | 3       |  | 1           |  | 3                  |  | 3               |  | 6                      |  | 9 |  | 0 |  |  |  |  |  |
| 加入者名      |  | 一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会                                                                  |  |                    |  |   |  |   |  |         |  | 料 金         |  | 特 殊 取 扱            |  | 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。<br>1. ( ) 年度 ( ) 会費<br>企 業 名・[ ]<br>会 員 名・[ ]<br>2. ( ) の代金 |  |                    |  |   |  |   |  |         |  | 払込人住所氏名     |  | 払込人住所氏名            |  |                 |  |                        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |
| ※         |  | (郵便番号 )                                                                                 |  |                    |  |   |  |   |  |         |  | 受 付 局 日 附 印 |  | (消費税込) 受 付 局 日 附 印 |  |                 |  |                        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |
|           |  | (電話番号 - - )                                                                             |  |                    |  |   |  |   |  |         |  | 料 金         |  | 円                  |  |                 |  |                        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |
|           |  |                                                                                         |  |                    |  |   |  |   |  |         |  | 特 殊 取 扱     |  |                    |  |                 |  |                        |  |   |  |   |  |  |  |  |  |

裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁)(私製承認第23957号)

各票の※印欄は、払込において記載してください。

切り取らないで郵便局にお出しください。

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

## 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五十二 電話(〇三)三四三三―八四四一 FAX(〇三)三四三三―八四四二  
編集兼発行人 一般社団法人日本フルードパワーシステム学会 振替口座 東京〇〇―一〇―三一―三三六九〇

印刷所 勝美印刷株式会社  
東京都文京区白山一―一三―七 アクア白山ビル五階