

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワー

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# システム

July 2025 Vol. 56 No. 4

特集「進化するロボットハンド」

日本フルードパワーシステム学会誌

# フルードパワーシステム

## 目次

### 特集「進化するロボットハンド」

#### 【巻頭言】

「進化するロボットハンド」発刊にあたって 遠藤 勝久 140

#### 【解説】

ラバーアクチュエータを活用したソフトロボットハンドの把持特性 坂本 勝也 141

近接覚センサ内蔵型ロボットハンド“Think hand F” 小山 佳祐 145

力拘束と形態拘束を活用したソフトグリップ 西田 健 149

バネとリンク機構を用いた定把持力空気圧グリップ 松野 孝博 154

非接触グリップ 坂 洋明 158

マグネットグリップ 北林 亨 161

油圧タフ多指ロボットハンドの複腕建設ロボットへの搭載と評価試験  
井手 徹, 鈴森 康一 165

#### 【フェローの声】

Koski medal と Micro Hydraulics 横田 眞一 169

#### 【会議報告】

第33回MAGDAコンファレンスにおけるフルードパワー技術研究 吉田 和弘 172

#### 【トピックス】

Youは日本をどう思う？第24回：モルディブから日本に留学して イルシャム サウズラ 174

ベンガルール駐在員日記 橋本 拓 176

#### 【企画行事】

2024年ウィンターセミナー開催報告「フルードパワーシステムへのIoT活用およびDX推進の基礎技術」  
横田 雅司 179

## 【会告】

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 共催・協賛行事のお知らせ                          | 153 |
| 理事会・委員会報告                             | 181 |
| 日本フルードパワーシステム学会 2025年秋季フルードパワーシステム講演会 | 181 |
| 2025年度オータムセミナー「フルードパワーを支える最新の制御理論」    | 181 |
| 論文区分「レター」新設のお知らせ                      | 181 |
| 会員状況                                  | 182 |
| 公益財団法人油空圧機器技術振興財団令和7年度研究助成募集のお知らせ     | 183 |
| 次回予告                                  | 184 |

■表紙デザイン：浅賀美希 勝美印刷株

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-22 機械振興会館別館102

TEL：03-3433-8441 FAX：03-3433-8442

E-Mail：info@jfps.jp

JOURNAL OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY

# FLUID POWER SYSTEM

## Contents

### Special Issue "Evolving Robot Hands"

#### [Preface]

|                                             |                |     |
|---------------------------------------------|----------------|-----|
| On the Special Issue "Evolving Robot Hands" | Katsuhisa ENDO | 140 |
|---------------------------------------------|----------------|-----|

#### [Review]

|                                                                                                               |                            |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|
| Grasp Characteristics of Soft Robot Hand Utilizing Curb-Type Rubber Actuator                                  | Katsuya SAKAMOTO           | 141 |
| "Think hand F" Robot Hand with Built-in Proximity Sensor                                                      | Keisuke KOYAMA             | 145 |
| Soft Gripper with Force Closure and Form Closure                                                              | Takeshi NISHIDA            | 149 |
| Constant Grasping Force Pneumatic Gripper Using Springs and Linkage Mechanism                                 | Takahiro MATSUNO           | 154 |
| Non-contact Gripper                                                                                           | Hiroaki SAKA               | 158 |
| Magnetic Gripper                                                                                              | Toru KITABAYASHI           | 161 |
| Multi-finger Hydraulic Tough Hand Attached to the Dual Arm Construction Robot and its Evaluation Test Results | Tohru IDE, Koichi SUZUMORI | 165 |

#### [Fellow Voices]

|                                  |                 |     |
|----------------------------------|-----------------|-----|
| Koski Medal and Micro Hydraulics | Shinichi YOKOTA | 169 |
|----------------------------------|-----------------|-----|

#### [Conference Report]

|                                                      |                  |     |
|------------------------------------------------------|------------------|-----|
| Researches of Fluid Power Technologies in MAGDA 2024 | Kazuhiro YOSHIDA | 172 |
|------------------------------------------------------|------------------|-----|

#### [Topics]

|                                                                               |                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|
| What do you think of Japan? 24th : Studying Abroad in Japan from the Maldives | Irsham SAUDULLA | 174 |
| Diary in Bengaluru                                                            | Taku HASHIMOTO  | 176 |

#### [JFPS Activities]

|                                                                          |                |     |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|-----|
| 2024 Winter Seminar Report                                               |                |     |
| "IoT Utilizing Method and DX Basic Technologies for Fluid Power Systems" | Masashi YOKOTA | 179 |

#### [JFPS News]

153, 181, 182, 183, 184

## 「進化するロボットハンド」発刊にあたって

### 著者紹介



えん どう かつ ひさ  
遠 藤 勝 久

SMC株式会社

〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2

E-mail: endo.katsuhisa@smc.com

1992年明治大学大学院工学研究科博士課程修了、1993年SMC株式会社入社。現在、技術統括部に所属、技術本部の統括業務に従事。日本フルードパワーシステム学会、計測自動制御学会、電気学会の会員、博士（工学）。

産業用ロボットの先端にはロボットハンド（グリッパ）が取り付けられ、多種多様な対象物を掴むために使用される。その種類は吸着タイプと把持タイプに大別され、用途に合わせ色々なものが用いられている。何れのロボットハンドも進化を続け、かつてはできなかったことができるよう改善されてきている。

本特集では、さまざまなロボットハンドに対して、どのような工夫、改善がなされ、進化してきているかを解説する。また、基礎的な原理部分から最新の技術動向を説明するとともに、どのようなところで役立てられるかの用途例なども紹介する。

まず、坂本勝也氏（株式会社ブリヂストン）には、湾曲型ラバーアクチュエータの特性を説明いただくとともに、それを用いたロボットハンドを解説いただいた。これは、湾曲型ラバーアクチュエータ4本を円周方向に等間隔で配置したもので、さまざまな形状、重さの対象物、さらにパウチのような形状が変化する対象物を、一つのハンドでさまざまな姿勢で把持することができる。

続いて、小山佳祐氏（大阪大学）には、近接覚センサを内蔵したロボットハンドについて解説いただいた。これは、柔軟な指先機構により、高速接触時の衝撃力を緩和しつつ、機構の変位を非接触センサで計測することで、手探り的な動作を実現することができる。

西田健氏（北九州市立大学）には、改質MR流体を利用したソフトグリッパについて解説いただいた。

このグリッパは、対象表面の形状への倣いによる形態拘束と、内部粒子の固化などによる力拘束を同時に発生させるものである。従来のジャミング転移グリッパの課題に対する解決策を示すとともに、より簡素な構造を持つバルーングリッパや電磁グリッパの説明、および3Dプリンティング技術を活用した形態拘束と力拘束を両立させる設計手法を概説いただいた。

松野孝博氏（近畿大学）には、電子的なセンサや制御装置を用いることなく、変位に依存せず一定の力を出力するグリッパについて解説いただいた。これは、一本のリンクとコイルバネで構成されるクリスティー式サスペンションに、平行リンクを追加したもので、グリッパの指先部分に適用される。

坂洋明氏（SMC株式会社）には、ベルヌーイ効果によりワークを吸引するグリッパについて解説いただいた。これは、圧縮空気をワークに噴出して吸着力を得るものであり、ワークを吸着してバランスしている状態では、ワークとは接触せず、距離が離れているため、吸着痕が付かないという特徴がある。

北林亨氏（CKD株式会社）には、ピストンに永久磁石を取り付け、作動させ、その吸着力を利用して、ワークの吸着・離脱を行うマグネットグリッパについて解説いただいた。ワークの材質は強磁性体のみ（鋼板）に限られるが、穴の開いた加工材や、油分や粉塵が付着した素材も吸着可能である。

井手徹氏、鈴木康一氏（東京科学大学）には、複腕建設ロボットに取り付けられるロボットハンドについて解説いただいた。指は全部で4本あり、外側の2本を回転することで、物体を把持するハンドモードと、砂利掘り等を行うバケットモードの2つを切り替えることができる。

最後に、ご多忙にもかかわらず、ご寄稿いただいた執筆者の皆様に深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げる。

（原稿受付：2025年5月21日）

## 解説

ラバーアクチュエータを活用した  
ソフトロボットハンドの把持特性

## 著者紹介



さか もと かつ や  
**坂本勝也**

株式会社ブリヂストン

〒187-8531 東京都小平市小川東町 3-1-1

E-mail: katsuya.sakamoto@bridgestone.com

2000年北海道大学工学部応用物理学卒業、  
2006年株式会社ブリヂストン入社。現在は、同社  
ソフトロボティクス ベンチャーズ ソフトロボ  
ティクス製品開発推進課 課長

## 1. はじめに

現在広く普及している産業用ロボットはさまざまなタスクをこなしているが、ロボットアームだけでは作業はできないため、ロボットハンドも重要な要素となっている。一般的な産業用ロボットは一つのタスクを繰り返し実行するためタスクに適したロボットハンドが設計されて使われる場面が多い。また高速・高出力が要求される場面が多いことから高剛性・高把持力な専用ロボットハンドが使用される傾向にある。一方で産業用ロボットとは別に、特定用途向けサービスや人と協働でさまざまなタスクをこなす特化型ロボットが普及し始めている。これらのロボットでは、さまざまな大きさ、形、重さの対象物を柔軟で器用な人間の手のように複数のタスクに対応したロボットハンドがもとめられている。ロボットハンドは、吸着パットを利用するハンド・2指開閉ハンド・ソフトロボットハンド・ベルヌーイグリッパなどさまざまな種類のハンドがあり<sup>1)</sup>、産業用ロボットおよび特化型ロボットのそれぞれの用途に合わせて選択し使用されている。多種多様な対象物を柔らかく把持するために弾性材料を用いた流体圧駆動のアクチュエータ<sup>2-4)</sup>で構成されるソフトロボットハンドが検討されている。

ソフトアクチュエータはさまざまな構造のものが提案されているが、McKibben型ラバーアクチュエータは、その構造のシンプルさと耐圧性の高さや信頼性の高さから広くつかわれているソフトアクチュエータであるといえる。McKibben型ラバーア

クチュエータは、構造上高い圧力に耐えることが可能なため大きな力を発生することができるとともに摺動摩擦が小さいことから極めて小さな力を制御することも可能である。さらにわれわれは従来からあるMcKibben構造の収縮型ラバーアクチュエータを改良した湾曲型ラバーアクチュエータの開発とこれを用いたソフトロボットハンドの開発を行ってきた<sup>5)</sup>。

本稿ではMcKibben構造をベースとした湾曲型ラバーアクチュエータの特性を説明するとともに、湾曲型ラバーアクチュエータを用いて作成したロボットハンドについて紹介する。

## 2. 湾曲型ラバーアクチュエータ

## 2.1 湾曲型ラバーアクチュエータの構造

McKibben構造のラバーアクチュエータをベースとした湾曲型ラバーアクチュエータの構造を図1に示す。一般的な収縮型ラバーアクチュエータと異なるところは、ゴムチューブとスリーブの間に軸方向への圧縮に強く、軸に垂直な方向へは変形する板バネとなる金属板を周方向の一部に配置することである。導入ポートから流体を注入し加圧するとスリーブの糸の角度が変化し軸方向に収縮しようとするが、周方向の一部に配置された板バネ部分は収縮することができない。板バネのない部分は収縮することから板バネ部分を背中側にして全体が湾曲する。また流体の圧力を解放すると板バネの復元力により元通りまっすぐな状態に戻ることができる。

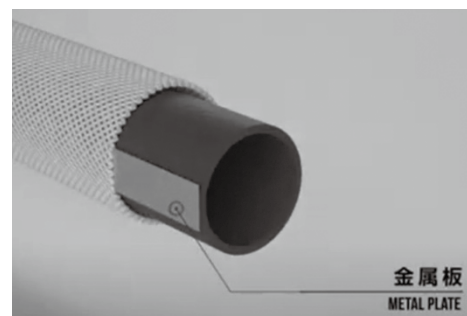


図1 湾曲型ラバーアクチュエータの構造

## 2.2 湾曲型ラバーアクチュエータの特性

収縮型ラバーアクチュエータの収縮力については、式(1)のシュルツの式が有名である。

$$F = \frac{\pi D_0^2 P}{4} \frac{2}{\sin^2 \theta_0} \{3(1-\varepsilon)^2 \cos^2 \theta_0 - 1\} \quad (1)$$

収縮力 $F$ は収縮率 $\varepsilon$ と印加圧力 $P$ によりあらわされる。一方で湾曲型ラバーアクチュエータの曲げ方向の力については、収縮力を曲げ方向に変換している構造から曲率と印加圧力の関数となることが予想される。さらに板バネの曲げ剛性も影響する。実際に作成した湾曲型ラバーアクチュエータの特性を一例として示す。加圧していない直線状態のラバーアクチュエータを加圧していき曲げ方向の力（湾曲力）の計測を行った。図2に計測装置を示す。

本計測に使用したラバーアクチュエータはスリーブの径が11mm、湾曲部の長さが130mm、スリーブの初期編み角が30°、板バネは厚さ約0.5mm、幅6mmでありアクチュエータに空気圧の重量は約50gであった。ラバーアクチュエータに空気圧を印加したときの印加圧力と湾曲力の関係を図3に示す。0.6MPaまで加圧してもラバーアクチュエータが破損することは無く10N以上の湾曲力を発生することができている。McKibben構造をベースとしているため、50gという極めて軽量のアクチュエータで10Nを超える大きな湾曲力を発生することができている。

図2の計測装置にてラバーアクチュエータの動作時間も計測しており、0MPaから0.5MPaに圧力を

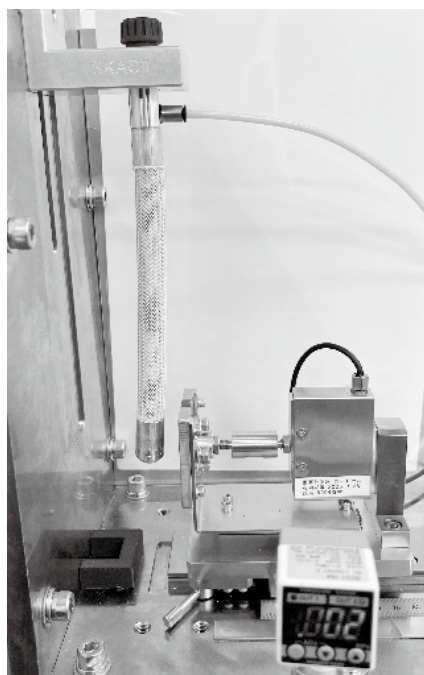


図2 湾曲力計測方法

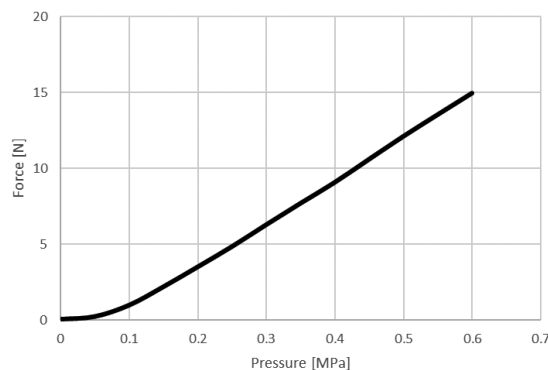


図3 湾曲型ラバーアクチュエータの印加圧力に対する湾曲力

印加しラバーアクチュエータの内部圧力が0.5MPaに達するまでにかかる時間は約0.3sであり、0.5MPaから0MPaに大気開放しラバーアクチュエータの内部圧力が0MPaに達するまでの時間は約0.5sであり、湾曲型ラバーアクチュエータをロボットハンド用途として活用するにあたって、十分な動作速度を有している。

ラバーアクチュエータの柔軟性の評価として、外力による変形試験からの復元性の計測を行った。図4に試験装置を示す。この計測は湾曲型ラバーアクチュエータをロボットハンドとして活用する際に使用するシリコンゴムを装着した状態で実施した。ラバーアクチュエータに空気圧を印加しない状態で0.0MPaと0.1MPa印加した状態の2水準で図5のように外力（圧縮）を加えたのちの開放し形状および湾曲力を計測した。

図5(a)および(b)のとおりここではロボットハンドとして使用する際に想定しうる変形量として20mm圧縮を加えたのちに、圧縮を解放すると元の形状に復元していることを示す。湾曲力についても変形試験後も0.5MPa印加時に約12Nとなっており、湾曲

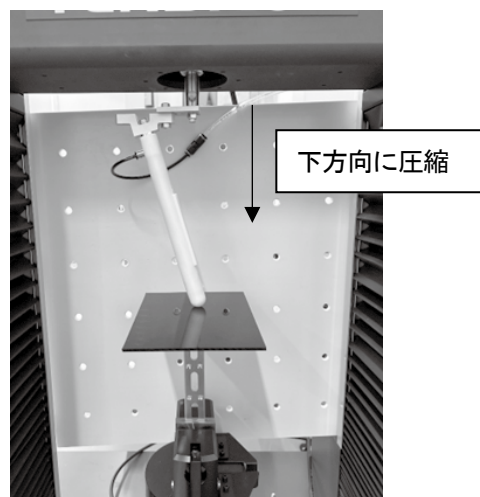
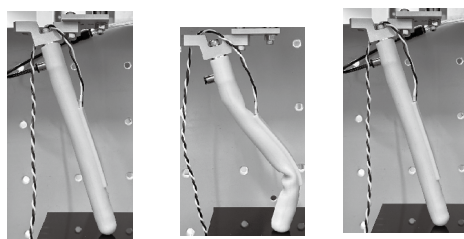
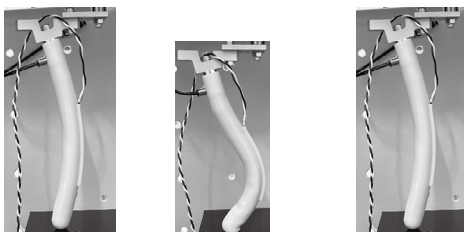


図4 外力による変形試験装置



(a) ラバーアクチュエータの空気圧0.0MPa時の変形試験前（左）と20mm圧縮時（中）と変形試験後（右）



(b) ラバーアクチュエータの空気圧0.1MPa時の変形試験前（左）と20mm圧縮時（中）と変形試験後（右）

図5 外力による変形試験

型ラバーアクチュエータが柔軟性を有していることがわかる。

### 3. 湾曲型ラバーアクチュエータを用いたソフトロボットハンド

#### 3.1 ソフトロボットハンドの把持特性

2.1で示した湾曲型ラバーアクチュエータ4本を円周方向に等間隔で配置したロボットハンドを製作した。ロボットハンドの重量は外装カバーを含めて約600gとなる。図6に5kgの鉄球を把持して持ち上げる様子を示している。この時の印加圧力は0.55MPaであった。

図7は同ロボットハンドを用いて、日用品の代表的な形状の対象物を持ち上げている様子を示してい

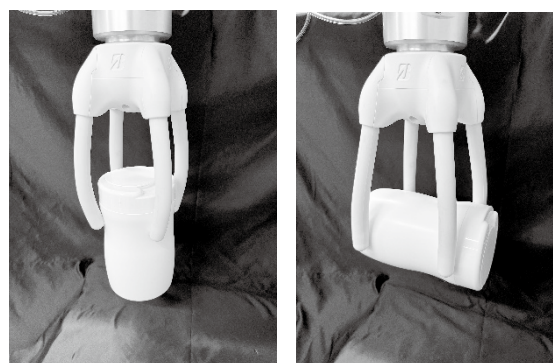


図6 ソフトロボットハンドで5kgの鉄球を把持している様子

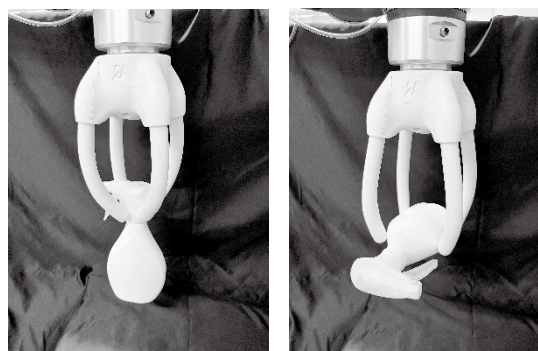
る。図7(a)箱形状・図7(b)円柱形状・図7(c)スプレーボトル形状・図7(d)パウチ形状。この時の印加圧力は0.2～0.5MPaである。本結果からさまざま



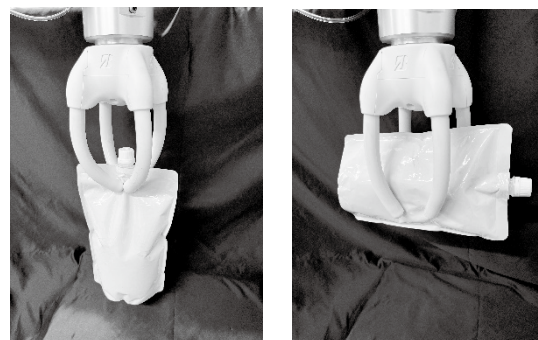
(a) 箱形状



(b) 円柱形状（対象物を縦置きした状態で把持（左）と横置きした状態で把持（右））



(c) スプレーボトル形状（対象物を縦置きした状態で把持（左）と横置きした状態で把持（右））



(d) パウチ形状（対象物を縦置きした状態で把持（左）と横置きした状態で把持（右））

図7 ソフトロボットハンドで対象物を把持している様子

な形状および重さの対象物を把持でき、パウチのような形状が変化する対象物まで、一つにハンドでさまざまな姿勢で幅広く把持可能であり、汎用性の高さを確認できた。

#### 4. おわりに

本稿ではMcKibben構造のラバーアクチュエータをベースとした湾曲型ラバーアクチュエータとこれを用いたソフトロボットハンドについて説明した。ロボットハンドとしては、約600gと軽量にもかかわらず約5kgまで可搬重量があり、柔軟性も高く、一つのロボットハンドでも極めて汎用性が高く、さまざまな形状の対象物や形状が変化する対象物をいろんな姿勢で把持が可能であることが示された。ロボットを用いたピッキング作業では、対象物ごとに専用ハンドで対応することが多いが、湾曲型ラバーアクチュエータを用いたソフトロボットハンドでは複数の対象物を一つのハンドで対応できるため、これまでロボットによる自動化が困難であったタスク

への適用も期待できる。

#### 参考文献

- 1) ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会：マニピュレーション委員会・ロボットハンドガイドブック Rev1 (<https://www.jmfrri.gr.jp/wp-content/uploads/2025/03/RR1ロボットハンドガイドブック基礎編Rev1.pdf>)
- 2) 鈴森康一：フレキシブルマイクロアクチュエータに関する研究（第1報，3自由度アクチュエータの静特性），日本機械学会論文集（C編），55巻，518号，pp. 2547-2552（1989）
- 3) 佐々木大輔・則次俊郎・山本裕司・高岩昌弘：空気圧ゴム人工筋肉を用いたパワーアシストグローブの開発，日本ロボット学会誌，24-5，640/646（2006）
- 4) 大城竣・高嶋一登・則次俊郎・向井利春：“形状記憶ポリマーシートを用いた空気圧ゴム人工筋肉の湾曲角度制御”，計測自動制御学会SI部門講演会SICE-SI2018予稿集，pp. 1790-1795（2018）
- 5) 大野信吾・他：湾曲型ゴム人工筋肉の提案とその特性評価，計測自動制御学会SI部門講演会SICE-SI2019予稿集，pp. 2778-2781（2019）

（原稿受付：2025年4月7日）

## 解説

# 近接覚センサ内蔵型ロボットハンド “Think hand F”

## 著者紹介



こやま けい すけ  
小山 佳祐

大阪大学大学院  
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3  
E-mail : koyama.keisuke.es@osaka-u.ac.jp

2017年電気通信大学大学院情報理工学研究 科  
知能機械工学専攻博士課程修了。2017年東京大  
学大学院情報理工学系研究科特任助教。2019年  
大阪大学大学院基礎工学研究科助教。現在に至  
る。2022年9月から株式会社Thinker取締役を兼  
務。博士（工学）。

## 1. はじめに

近年、ヒューマノイドロボットによるヒト作業の模倣デモンストレーションが活発的に公開され、ソーシャルネットワークサービス上を賑わせている。しかし、小型部品のばら積みピッキングや、部品組立タスクといった、「速さ」と「正確さ」が求められる作業への応用例はない。これは、ヒト作業者であれば無意識化のうちにいう事ができる「高速かつ緻密な手探り動作」が未だにロボットにとって難しいことが一因と考えられる。より具体的には、ハンド指先と対象物間の接触維持の問題と、高速動作時に生じる衝撃力の問題が未解決であり、これらの問題を解決できる新技術が必要とされると考えている。

これまでに私はロボットに高速な手探り動作機能を付与するための次世代ロボットハンド “Think hand F”<sup>1)</sup> の研究開発を行ってきた（図1）。Think hand Fは柔軟な指先機構により、高速接触時の衝撃力を緩和しつつ、機構の変位を非接触センサ（近接覚センサと呼んでいる）で計測することで手探り的な動作を実現する。ハンド指先と物体とを接触させながら、手探り的に位置制御を行えるため、部品間の狭い隙間に指先を差し込むことができる。また、ゆで卵のような柔軟食品を潰さずにピックアップできる特徴がある。

本稿では、Think hand Fおよび、基盤技術である近接覚センサについて解説したあと、応用例を簡単に紹介し、今後の展望を述べる。



図1 Think hand Fの外観

## 2. Think hand Fの構成

Think hand Fの各指先はゲーム機のジョイスティックのように3次元的に変位する機構を持つ。この機構により、衝撃力の緩和が可能であり、また、機構の変位計測が可能である。

図2に指先構造の模式図を示す。物体と指先パーツが触れる前は、指内の柔軟機構により、指先パーツと柔軟機構平板は一定姿勢に維持されている。一方、対象物と指先が接触すると、指先に傾き角度や押し込み方向に移動量が発生し、同時に指先パーツと接続された柔軟機構平板にも変位が生じる。この変位情報を近接覚センサで計測する仕組みである。従来の力覚センサと比較して許容変形量が十倍以上であり、接触時にインパルス応答的な衝撃力が発生し辛い特徴がある。また、柔軟機構は複数のメカニカルなバネで構成されていることから耐久性に優れている。さらに、近接覚センサに基づく非接触計測により、分解能が高い手先位置制御が可能である。

具体的には、近接覚センサは距離方向を0.1ミリメートル分解能で計測でき、傾き角度方向は0.5度分解能であり、計測周期5ミリ秒でこれらの変位情報を計測できる。

### 2.1 近接覚センサ

Think Hand Fの各指内に内蔵されている近接覚

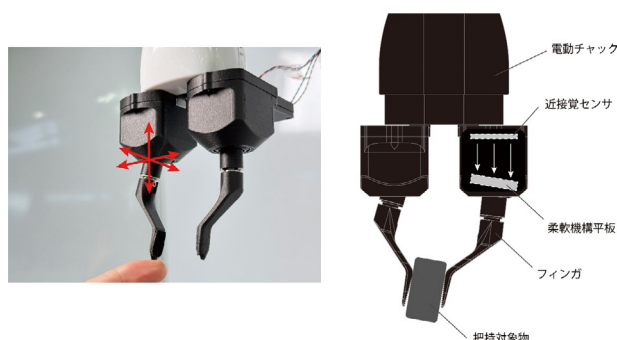


図2 Think Hand F変位方向と構造の模式図

センサ<sup>2)</sup>は、拡散反射式の4つの赤外線投受光素子(フォトリフレクタ、図3)を用いて計測対象物との距離および角度を200Hzで計測する。センサ基板本体は15mm×55mm×2.5mmと薄型・小型であり、指先に内蔵した際にハンド全体のサイズをコンパクトに構成可能である。近接覚センサによって各指先のねじれ角度と押し込み変位量を計測し、アーム手先と一定位置・姿勢になるようにフィードバック制御を行う。

### 3. 把持戦略

Think hand Fを用いたばら積みピッキングの把持戦略について説明する。把持戦略は、XY平面内での位置決め、Z方向アプローチ、フィードバック制御ベースのアーム手先位置・姿勢調整と、把持判定から構成される(図4)。

#### 3.1 XY平面内での位置決めとZ方向アプローチ

まず、最初に、2Dカメラを用いて把持対象物の位置を認識し、XY平面内でのアーム手先位置を決定する。次に、アーム手先Z方向にThink Hand Fを移動させて把持対象物にアプローチさせつつ、指先と把持対象物との接触タイミングを変位情報から検知する。このステップにより、自動的にZ方向の高さ調整が行われることから、3Dカメラ不使用でXYZ空間内での位置決めを可能としている。

安価な2Dカメラで3次元的なばら積みピッキングを実現できる点がメリットの一つである。

#### 3.2 フィードバック制御ベースのアーム手先位置・姿勢調整と把持判定

そして、物体と指先が接した状態で、センサフィードバックベースでのアーム手先位置・姿勢調整を行う。ここでは、2指の変位情報を近接覚センサで5ms周期ごとに計測し、各指先における変位情報が左右対称となるようにアーム手先位置・姿勢を逐次的にリアルタイム制御する(図5)。制御する手先方向は、X、Y、Z並進方向と $R_x$ 、 $R_z$ 方向の姿勢方向であり、センサ値を使用して現在位置・姿勢

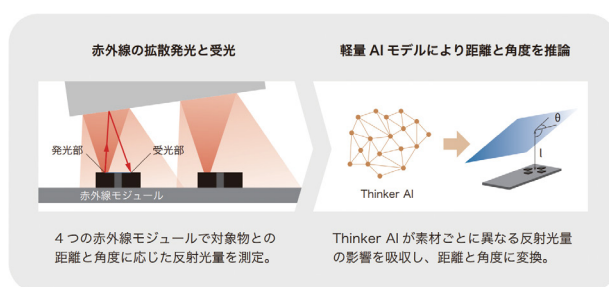


図3 近接覚センサの投受光素子の反射光イメージと計測値処理

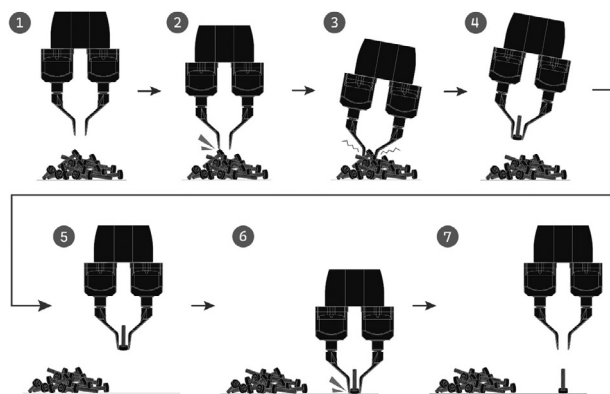


図4 Think Hand Fを用いたばら積みピッキングの把持戦略

を基準に $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$ 、 $\Delta R_x$ 、 $\Delta R_z$ だけ逐次的に移動する。制御式中の $G_x$ 、 $G_y$ 、 $G_z$ 、 $G_{rx}$ 、 $G_{rz}$ は制御ゲインであり、 $d_i$ 、 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ ( $i=1, 2$ )は各指の近接覚センサで計測した距離、傾き角度値である。

各指先の変位情報を左右対称となるようにアーム手先位置・姿勢を調整することで、物体形状に沿って自動的に指先を沿わせる動作を生成できるほか、把持方向のみに柔軟機構のバネ反力を発揮できるようになり、ピックアップの成功率が向上する効果がある。

最後に、近接覚センサで計測した変位情報に対し、閾値判定を行うことで、把持対象物を確実に指先で挟んでいるか判定する。把持していないと判定された場合は、再度XY平面内でのアプローチ位置の決定から動作をやり直すことで、把持対象物を確実に把持し、搬送することが可能となる。

また、搬送先において、机面などにソフトタッチしながら物体をプレースすることも可能である。デモンストレーションレベルでの簡易的なピックアンドプレース作業では、物体を搬送先に移動させた後、空中でハンド指先を開閉し、物体を落下させてプレースするケースが多いが、物体によっては落下による変形や傷、バウンドによる位置ずれが問題になる。

Think Hand Fはテーブル面と指先、または物体が接触したタイミングを押し込み量の計測値から検出可能であることから、プレースする際も手先Z方

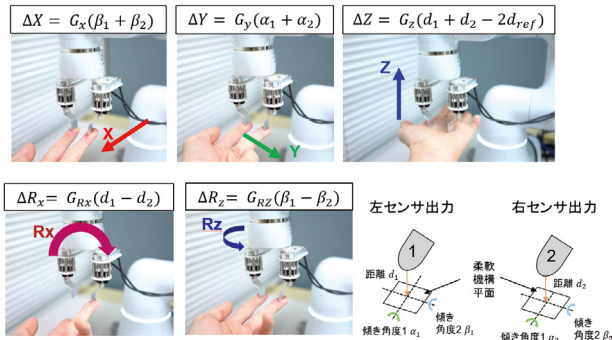


図5 フィードバック制御ベースの手先位置・姿勢制御

向の接触検知と自動的な位置調整ができる。

このほか、搬送先がテーブル面やコンベアのような平面ではなく、専用の小型ケースである場合においては、ケースの内側面に指を添わせることで安全に配置することも可能である。

#### 4. フィードバック制御ベースの位置・姿勢制御の効果検証

ばら積みピッキングにおけるフィードバック制御ベースの位置・姿勢制御の効果を検証するために比較実験を行った。実験では、M6 ボルトを対象として3段程度、ボルトが積み重なるようにばら積みして配置した。このボルトに対して、1トライアル当たり10個だけピックアップを行う試行を10セット行い、把持のリトライ回数と搬送時間を記録した。なお、この実験では、2Dカメラは使用せず、XY平面内でのアプローチの初期位置はランダムとした。

実験結果を図6に示す。各グラフは横軸がピックアップをリトライした回数であり、縦軸は搬送時間である。また、左グラフは比較用であり、Z方向の位置制御のみで実行してピッキングを行った際の結果である。一方、右グラフは5種類の位置・姿勢制御を同時に実行した際の結果である。左グラフより、Z方向の位置制御のみでは、最大のリトライ回数は10回であり、搬送時間も中央値が39秒要している。

一方、5種類の位置・姿勢制御を使用した場合は、最大リトライ回数は6回であり、搬送時間の中央値も31秒程度と明らかに短縮されている。これは、複数方向の位置・姿勢制御を同時にセンサフィードバック制御することで、ボルト間の隙間に指先が差し込まれやすくなった結果であると考えられる。また、各指先が左右対称な把持姿勢に調整されることで、ボルトを持ち上げた際に把持方向のみに柔軟機構のばね反力が働いた結果、安定的に搬送できたことも有利に働いたと考えられる。

本実験の通り、2Dカメラを使用しないシステムの場合、Z方向にアプローチを開始する際のXY位

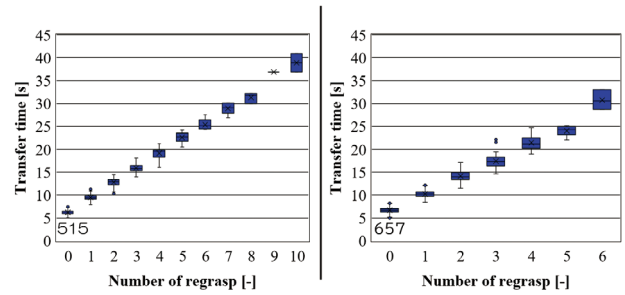


図6 (左) Z方向の位置制御のみ実行してピッキング, (右) XYZ・Rx, Rz方向の位置・姿勢制御を同時実行してピッキング

置はランダムとなるため、最大で31秒程度の搬送時間を要する。一方、2DカメラでXY平面内での位置検出を行った場合は、最大のリグラスプ回数は0～1回程度となり、10秒程度で搬送することができる。比較的安価な2Dカメラで3次元的なばら積みピッキングが可能となる点や、ロボットハンドにおける「突き指」の問題を解消できる点で他技術と比べて優位性があると考えられる。

#### 5. Think Hand Fの応用

Think Hand Fは、大学で研究開発を進めているほか、ロボット活用の裾野を広げるために株式会社Thinker（阪大発スタートアップ）により社会実装の取り組みを行っている。Think Hand Fは指部分の柔軟性と変位計測ベースのフィードバック制御により、ロボットハンドの「突き指」の問題を完全に防止できることから、物体の大きさ、形状や高さ方向に不確かさがある作業で特に活用例が多い。

図7にThink hand Fによるピッキングデモの一部を示す。同図（左上）の通り、一般的なボルトなどの小部品をピックアップできるほか、（右上）柔軟食品（殻を剥いたゆで卵）のばら積みピッキングも可能である。また、（左下）の通り、環境光が変化する状況下においても透明部品をピックアップでき、（右下）のように透明部分と金属部品が入り混じったコネクタ部品のピックアップも可能である。

具体的な活用先の相談としては、自動車部品や部品のばら積みピッキングがあるほか、パーツフィーダでは扱いにくい表面が繊細な小型部品のピックアップ作業の自動化がある。また、切削油や植物油で濡れた滑りやすい物体の把持作業や、食品や農作業の関係では、大きさの不揃いな食品・野菜などに対し、自動的なピッキング機能の実現が期待されている。

#### 6. まとめと今後の展望

本稿では、Think Hand Fの基本構成と把持戦略

を述べ、活用例を簡単に紹介した。Think Hand Fは、いわゆるロボットハンドの「突き指」の問題を完全に防止することができ、従来のロボットハンドでは難しかった手探り的なピッキングが可能である。指部分の構造自体もユニークであり、柔軟機構で接触時の衝撃力を緩和できることに加えて、内部に配置した近接覚センサで変位をリアルタイム計測する点が特徴的である。

現在、柔軟機構のカスタマイズ性の向上方法やフィードバック制御ゲインの自動チューニングなどの研究を複数のNEDOプロジェクトの支援の下、実施している。特に、フィードバック制御のゲインはピッキングの速度に影響を及ぼすため、自動的に最適ゲインにチューニングする手法をNEDO DTSU（ディープテック・スタートアップ支援事業）プロジェクトの中で研究開発している。将来的には非ロボットエンジニアでも容易にロボットシステム立ち上げができ、家電のように簡単なボタン操作のみでピッキング作業を行えるようにすることが一つの目標である。

#### 参考文献

- 1) 小山佳祐, 万偉偉, 原田研介. 高速・高精度近接覚センサとRCC機構を用いたビジョンセンサレスばら積み

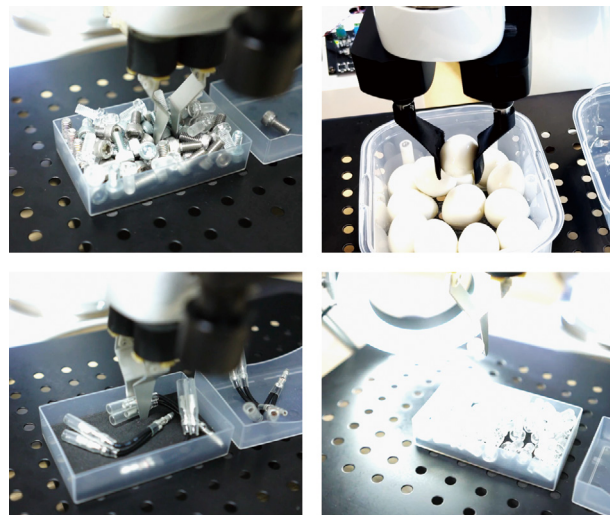


図7 Think hand Fによるばら積みピッキングの様子。  
(左上) 透明・金属ボルト部品, (右上) 殻を剥いたゆで卵,  
(左下) コネクタ部品, (右下) 外乱光環境下における透明  
部品のピッキング

ピッキング. 第40回日本ロボット学会学術講演会,  
2F2-02, 2022.

- 2) 小山佳祐, 高速・高精度近接覚センサの開発とロボットマニピュレーションへの応用, 日本ロボット学会誌, 2022, 40巻, 5号, pp. 393-398, 2022.

(原稿受付: 2025年4月7日)

## 解説

## 力拘束と形態拘束を活用したソフトグリッパ

## 著者紹介



にしだ 健

北九州市立大学  
〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1  
E-mail: t-nishida@kitakyu-u.ac.jp

2002年九州工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同大学助手、助教授を経て、2013年同大学院准教授、2020年九州工業大学特任教授、2022年北九州市立大学国際環境工学部教授、2024年(株)ろほあぶり代表取締役、日本ロボット学会などの会員、博士(工学)

## 1. はじめに

製造の自動化において、人間の器用さを模倣するロボットハンドへの要望は高まっており<sup>1)</sup>、柔軟素材や流体制御を用いるロボットハンド(グリッパ)が数多く提案されるようになってきた<sup>2,3)</sup>。それらの多くは、柔軟膜に封入された気体・粉体・流体の内圧を制御することで、発生力や柔軟膜の変形を調整し、従来困難とされていた対象物の把持や操作を可能にする。本稿では、それらの把持の原理を解説しつつ、著者がこれまでに開発したソフトグリッパの設計と特性を紹介する。

## 2. 物体を把持するメカニズムの分類

まず、ソフトグリッパの把持特性を明確にするために、物体把持のメカニズムを「力拘束」と「形態拘束」に分類して整理する。ソフトグリッパは、柔軟膜の変形による形態拘束と、内部粒子の固化による力拘束を同時に発生させる。そして、それを駆動する物理現象もさまざまである。

## 2.1 力拘束

力拘束とは、対象との接触面での抗力や、それに伴って発生する摩擦力を利用して対象を把持する方式である。この方式は、適切な接触面が確保できれば対象を把持できるため、対象の変化に対する汎用性が高い。一方で、摩擦係数はグリッパと対象の相性によって変化するため、多様な対象物に共通する必要最低限の摩擦係数を事前に知ることは困難であ

る。したがって、多くの製造の場面では、安全性を重視するために、その数値は低く見積もられ、過大な把持力を発生させる大きなアクチュエータが選定されるケースが多い。そして、その冗長性は連鎖的にロボットシステム全体を大型化させるケースが多い。

## 2.2 形態拘束

形態拘束は、対象の形状に沿った掬い上げや包み込みによる把持方式である。この方式は、対象に力を加えずに把持や操作が可能であるため、アクチュエータの小型化が可能である。しかし、対象の形状に適したグリッパを事前に製作しておく必要があり、対象の姿勢や形状が次々と変化するケースには適応が困難である。

## 3. 改質MR流体グリッパ

以下ではまず、著者が開発した改質MR流体グリッパについて解説する。

## 3.1 ジャミング転移グリッパの長所と短所

2010年に発表された「ユニバーサルジャミンググリッパ」は革新的な把持技術であった<sup>4)</sup>。このグリッパは、粉体(例:挽いたコーヒーの粉)を封入した柔軟部を対象物に押し当てて変形させてから内部の空気を吸引すると、その形状のまま固化する。この現象はジャミング転移現象と呼ばれ、この現象によって発生させた形態拘束により対象を把持することができる。また、柔軟膜内部に空気を送ると、

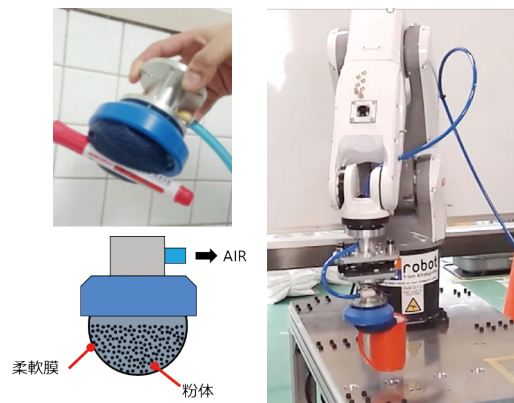


図1 試作したジャミング転移グリッパ

柔軟膜は再び軟化して対象を解放することができる。この把持方式では、対象の詳細な形状計測が不要であり、適応的な把持が可能となる（図1）。しかし、本方式には以下の課題があった：

1. 把持性能に影響を与える設計パラメータが多く、それらの決定のための試行錯誤が不可欠
2. 適切な押し当て力が存在するため、力制御が必要
3. 封入する粒子の粒径や量によって、適切な押し当て力が変化するため、把持シーケンスの設計が複雑

これらの課題に克服するため、著者は把持力をリアルタイムにフィードバックする機構を備えたグリッパを開発した<sup>5)</sup>。しかし、以下の課題がさらに明らかになった：

1. 柔軟膜の耐久性が重要
2. エアポンプの騒音とエネルギー効率の低さ
3. 産業現場で真空ポンプの使用制限

### 3.2 MR流体を利用するグリッパの開発

上述の課題解決のために、ジャミング転移現象に代わる柔軟膜の固化メカニズムを探索した結果、磁場によって固化を制御できるMR（Magnetorheological）流体に着目した。

最初に、ソフトグリッパの駆動原理としてMR流体が利用できるか確認するために、MR流体と電磁石、シリコン膜を利用した実験を実施した。市販されている複数のグレードのMR流体を試したが、もっとも高い鉄粒子密度を持つものでも十分な固化強度を得ることはできなかった。そこで、さまざまな添加物を加えてMR流体の固化強度を向上する試行錯誤を実施した。その結果、極小マイクロ発砲ビーズ（ビーズクッションの内部に使われる）を添加すると大幅にMR流体の固化強度が上昇することを発見した。その後の研究で明らかになった固化強度向上の原理は文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

つぎに課題となったのは、改質MR流体の十分な固化に必要な0.3 T以上という高い磁束密度である。強力な磁場を発生させる電磁石は必然的に重量が増加するため、軽量かつ効率的な磁場発生を可能にする電磁石の開発が必要であった。改質MR流体の磁力透過性などを計測し、磁束密度のシミュレーションを繰り返すことで電磁石の開発に成功した。

加えて、MR流体に含まれる油分によって膨潤しない柔軟膜素材の開発が必要であった。その硬度や厚み、形状、表面加工など数多くの設計パラメータの選定と試験を行い、長期的な性能の安定化を試みた。その試行錯誤で見出された水素化ニトリルゴムは、形成のための加工の際に160℃から200℃の加

硫工程や加熱工程の変形を考慮した精密な金型の製造が必要であるため、その成形のための試行錯誤は時間、費用、労力の面で困難を極めた。グリッパとしての機能を最大化するための形状設計を行い、何度もの試作の後に柔軟膜の開発に成功した。

これらの試行錯誤の末に、電力のみで静穏かつ高速に駆動するソフトグリッパの開発に成功した<sup>6)</sup>。本グリッパは、図2に示すようにシンプルな構造で対象形状に対する高い適応性を有する。

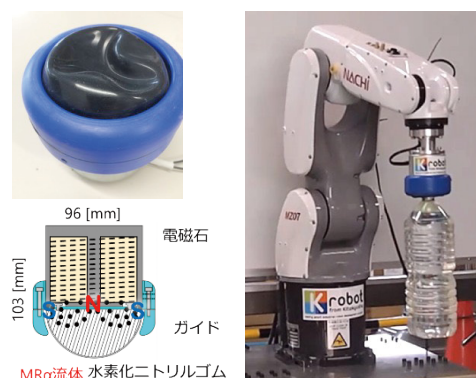


図2 改質MR流体グリッパ

### 3.3 MR流体を利用するグリッパの改良

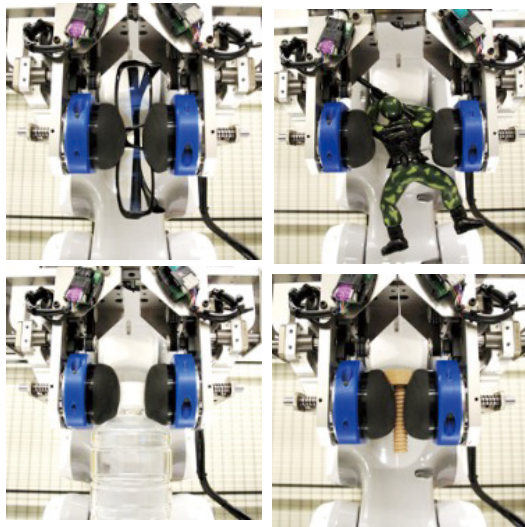
産業界に対して、これまでの開発に対するインタビューを実施したところ、種々の性能の改善の必要性が指摘された。特にメンテナンス性に対する要望が強く、15万回程度の運用保証や、消耗品の交換が数分で終了する機能への要望が強かった。また、小型の対象物を把持する機構や、1 mm以内の繰り返し搬送精度などへの要望が多かった。そこで、それらの要望に対応するべく、柔軟膜の形状の改良や改質MR流体を封入した柔軟膜部分の小型化に取り組んだ。

産業応用のために取り組んだこれらの開発は多岐にわたったが、それらの中でも最大の難題は、磁場の発生源の小型化であった。高い磁束密度を維持したままの電磁石の小型化は原理的に不可能であった。そこで、0.3 T以上の磁束密度を発生するネオジム磁石の位置をモーターで移動させることで、MR流体に供給する磁束密度を制御する仕組みを考案した。この原理を用いて最初に開発したのが、図3に示すパラレルグリッパである<sup>7)</sup>。ネオジム磁石を改質MR流体に近接させたり剥離したりする機構によって、柔軟膜内の改質MR流体の固化を制御する。さらに、小型化に成功した柔軟膜部を二つ向かい合わせに配置し、それらを平行チャックで開閉するパラレルグリッパを構成した。柔軟膜部が柔らかい状態で平行チャックを閉じて対象物を挟み込んで形状を

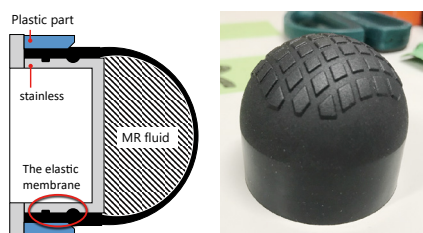
倣わせて包み込み、その後、ネオジウム磁石を移動させて柔軟膜部分を固化させる。ネオジウム磁石を近接・剥離するための力を発生するサーボ機構の小型化には数多くの工夫が必要であった。また、対象の解放時の設置精度を向上させるために、柔軟膜と対象との張り付きを防ぐための工夫として、柔軟膜表面にサンドブラスト処理やパターンを施した。

これらの開発を基盤として、さらなる機構の小型化を志向したフィンガータイプグリッパを開発した<sup>8)</sup>。このグリッパは、直径25mmの筒状の筐体に、ネオジウム磁石とヨークで構成される磁束回路を封入し、その先端部に改質MR流体を充填した柔軟膜部（直径25mm）を備える（図4）。初期状態では、筐体下部に磁力が発生せず、柔軟膜部は柔らかい。しかし、ACサーボモータによって筐体内部のヨークを180度回転させると、磁力線が筐体下部に流れ、0.3 Tの磁力が発し、柔軟膜部分の改質MR流体が固化する。この機構により、形状が複雑な微細なプラスチック製品でも安定して把持することが可能となった。

加えて、これらの二種類のグリッパは、電動平行チャックの開閉用のモータの電流を監視する機能を備えており、挟み込む力の制御が可能である。



(a) 多様な形状の物体を把持する様子

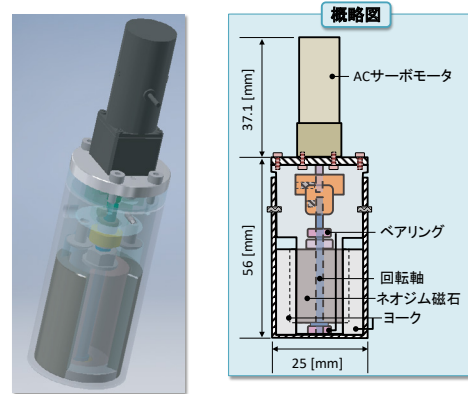


(b) 柔軟膜部の構造と外観

図3 パラレルグリッパ



(a) 多様な形状の物体を把持する様子



(b) 小型磁力回路の構造

図4 フィンガータイプグリッパ

## 4. 改質MR流体グリッパからの発展

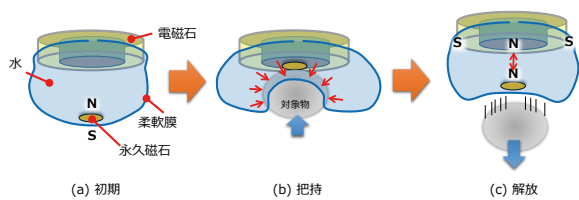
### 4.1 変形保持システム

上述の改質MR流体グリッパは構造が複雑であり、製造やメンテナンスの手順も複雑であるため、よりシンプルで安価なグリッパを求めるニーズも多く寄せられた。そこでつぎに、より簡素な構造を持つソフトグリッパの開発を検討した。

その第一段階として、風船、電磁石、永久磁石で構成されたバルーングリッパを開発した<sup>9)</sup>。このグリッパは、ロボットの押し付け力を利用して対象物を包み込み、永久磁石が電磁石に吸着することで把持状態を維持する。対象を解放する際には、電磁石に通電して永久磁石を反発させることで解放する。このグリッパは非常に簡易な構成でありながら、ソフトグリッパの基本的な把持機能を備えている（図5）。

つぎに、柔軟膜内部にスポンジを封入した電磁ブレーキ式グリッパを開発した<sup>10)</sup>。このグリッパは、バルーングリッパと同様に、ロボットの押し付け力を利用して対象物を包み込み、その変形を保持する方式である（図6）。具体的には、対象物を把持した状態で電磁ブレーキを作動させることにより、柔軟膜部の変形を固定し、把持状態を維持する。このグリッパも非常に簡易な構成でありながら、基本的な把持機能を有しており、シンプルなメカニズムで安定した把持が可能である。

これらのソフトグリッパの簡易化の研究を通じて、対象物の形状に適応する指先の変形と押し付け力の



(a) 把持から解放の流れ



(b) 多様な形状の物体を把持する様子

図5 バルーングリップ

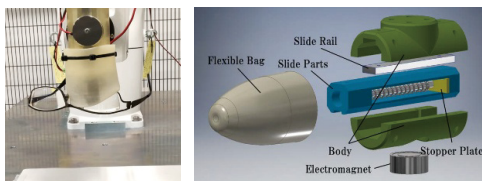


図6 電磁ブレーキグリップ

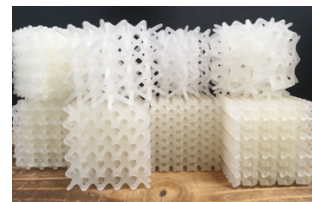
保持が、力拘束と形態拘束の同時発生を維持する原理であることを確認した。

#### 4.2 3Dプリンティングによるソフトグリップ

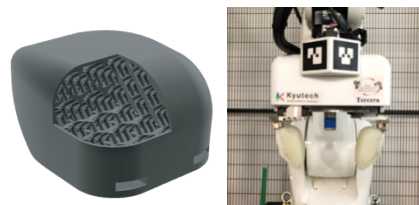
これらの研究を通じて、ソフトグリップが対象物に押し付けられる際に変形のみが発生し、その後、一定の変形状態を保持できれば、形態拘束と力拘束が同時に発生することが、共通の把持メカニズムであることが明らかになった。

そこで、一定の力の範囲内では主に変形が進行し、その範囲を超えると反発力が発生する構造を、エラストマ素材を用いて3Dプリンタで成形できるかを検討した。その結果、三次元のメッシュ構造（ラティス構造）をソフトグリップの柔軟膜内部に形成することで、上述の要件を満たせることを確認した（図7）。この構造により、拘束力を一定に保ちつつ、変形による形態拘束を調整できる設計が可能である。さらに、3Dプリンタでは異なる構造や変形特性を局所的に配置することが可能であるため、機能の最適化が可能であることも確認した。たとえば、指先には柔軟性を抑えて爪のように掴める硬度を与え、一方で指の腹部分は柔軟性を持たせるといった設計が可能である。また、柔軟構造の表面にはラティス構造を持たせず、高い耐摩耗性や耐久性を確保することもできる。

ただし、ラティス構造には多数の設計パラメータが存在し、利用するエラストマの種類に合わせて調



(a) さまざまなラティス構造



(b) ラティス構造を持つソフトグリップ

図7 3Dプリンティングによるソフトグリップ

整する必要がある。さらに、大量生産性には課題が残されている。

## 5. おわりに

本稿では、ソフトグリップの開発を通じて明らかになった把持メカニズムの原理を解説し、さまざまな物理現象を応用した把持技術を概観した。特に、改質MR流体を利用したグリップについて詳細に解説し、従来のジャミング転移グリップが抱える耐久性やエネルギー効率の課題に対する解決策を示した。また、柔軟膜内部の構造を工夫し、エラストマ素材を用いた3Dプリンティング技術を活用することで、形態拘束と力拘束を両立させる設計手法についても概説した。また、本稿を通じて、ソフトグリップの設計では単に柔軟性を持たせるだけでなく、変形の保持と適応性を考慮した構造が重要であることを示した。今後は、産業応用を視野に入れ、さらなる性能向上と実用化に向けた技術の発展が期待される。

#### 参考文献

- 1) 西田健：可逆な自動化，人工知能，37巻，3号，pp. 286-291 (2022)
- 2) 西田健：産業用ロボットのためのソフトグリップ，日本ロボット学会誌（ロボ學），37巻，1号，pp. 42-45 (2019)
- 3) Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D., Shea, H. : Soft Robotic Grippers, Adv. Mater., Vol. 30, Issue 29, 1707035 (2018)
- 4) E. Brown, N. Rodenberg, J. Amend, H.M. Jaeger, "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material," Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 107, No. 44, pp. 18809-18814, 2010.
- 5) 西田，重久，川島：フォースフィードバック機構を有するユニバーサルジャミンググリップの開発，日本ロボット学会学術講演会予稿集，RSJ2014AC3N3-04 (20014)

- 6) Nishida, T., Okatani, Y., Tadakuma, K., Development of Universal Robot Gripper Using MR $\alpha$  Fluid, Int. Journal of Humanoid Robotics, Vol. 13, No. 14, 1650017 (2016)
- 7) Tsugami, Y., Barbie, T., Tadakuma, K., Nishida, T. : Development of universal parallel gripper using reformed magnetorheological fluid, Proc. of Asian Control Conference, pp. 778-783 (2017)
- 8) Nishida, T. : Development of Universal Gripper with Viscous Variable Fingertip, Proc. of Int. Symp. on Artificial Life and Robotics, pp. 494-500 (2023)
- 9) 津上, 桑野, 西田 : 磁力を用いる構造が簡単な柔軟ロボットグリップ, 日本ロボット学会誌, Vol. 38, No. 8, pp. 520-524 (2018)
- 10) Kuwano, T., Nishida, T. : Development of Flexible Robot Gripper Holding Deformation by Electromagnetic Brake, Proc. of Int. Conf. on Control, Automation and Systems, pp. 690-693 (2019)

(原稿受付：2025年4月7日)

## 会 告

## 共催・協賛行事のお知らせ

### Dynamics and Design Conference 2025 (D&D2025)

主 催：日本機械学会  
 開 催 日：2025年8月25日(月)～8月28日(木)  
 会 場：琉球大学千原キャンパス（沖縄県中頭郡西原町字千原1番地）  
 U R L：https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/dmccconf25

### 第43回日本ロボット学会学術講演会

主 催：日本ロボット学会  
 開 催 日：2025年9月2日(火)～9月5日(金)  
 会 場：東京科学大学大岡山キャンパス（東京都目黒区大岡山2-12-1）  
 U R L：https://ac.rsjs-web.org/2025/

### 混相流シンポジウム2025

主 催：日本混相流学会  
 開 催 日：2025年9月3日(水)～9月5日(金)  
 会 場：神戸大学工学部（兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1）  
 U R L：http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2025/

### 第68回自動制御連合講演会

主 催：日本機械学会（幹事）、計測自動制御学会、システム制御情報学会、他  
 開 催 日：2025年11月1日(土)～11月2日(日)  
 会 場：名古屋大学東山キャンパス（愛知県名古屋市千種区不老町）  
 U R L：https://www.jsme.or.jp/conference/rengo68/

### EcoDesign2025 第14回環境調和型設計とインバースマニファクチャリングに関する国際シンポジウム

主 催：エコデザイン学会連合  
 開 催 日：2025年11月12日(水)～11月14日(金)  
 会 場：早稲田大学国際会議場（東京都新宿区西早稲田1-20-14）  
 U R L：https://ecodenet.com/ed2025/

### 第33回ライフサイクル工学に関する国際生産工学アカデミー会議 (CIRP LCE 2026)

主 催：CIRP（国際生産工学アカデミー）  
 開 催 日：2026年3月11日(水)～3月13日(金)  
 会 場：鎌倉プリンスホテル（神奈川県鎌倉市七里ガ浜東1丁目2-18）  
 U R L：https://www.mmij.or.jp/events/21820.html

各行事の最新情報は、主催者のホームページまたは各行事のURLからご確認ください。

# バネとリンク機構を用いた定把持力空気圧グリッパ

## 著者紹介



まつ の たか ひろ  
松 野 孝 博

近畿大学工学部機械工学科  
近畿大学次世代基盤技術研究所  
〒739-2116 広島県東広島市高屋うめの辺 1  
E-mail : ma-tsuno@hiro.kindai.ac.jp

2017年立命館大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同大学専門研究員、助教を経て、2023年近畿大学工学部機械工学科講師。ソフトロボティクス、センシングなどの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会などの会員。博士（工学）。

## 1. 緒 言

エアシリンダを用いたチャックやグリッパは、生産工場において広く利用されており、寸法の再現性が高い剛体物を安定して把持できる。一方で、これらのシステムでは、寸法にばらつきがある脆弱な物体を微小な力で把持することが困難である。エアシリンダの出力を低減するためには印加圧力を下げる必要があるものの、最低作動圧力が存在するため、その低減には限界がある。また、グリッパの閉じ量に対して把持物体の寸法にばらつきがある場合、把持力が大きく変動し、把持物体の落下や破損につながる可能性がある。把持力の変動を抑制するために、グリッパの指先に柔軟材やバネを設置する方法が考えられるが、把持力そのものの変動を完全に防ぐことはできない。さらに、空気圧システムは空気圧縮性に起因する制御の難しさがあり、精密な定力把持を実現することが困難である。駆動方式を電動モータに変更すれば把持力の制御は可能となるが、指先にセンサを設置する必要があり、高応答性の制御システムも求められるため、システム全体の複雑化を招く。

これらの課題を解決するために、本研究では定荷重機構に着目し、電子的なセンサや制御装置を用いることなく、変位に依存せず一定の力を出力する機構を構築することを目的とする。本機構を既存の空気圧グリッパの指先に適用することで、受動的に定力把持を実現可能なグリッパを提案する。代表的な

定荷重機構として、巻き尺状の板バネが挙げられる。しかし、この機構では定力出力に必要なストロークが長くなるため、グリッパの指先が大型化し、形状的にも適用が困難である。現状では、空気圧グリッパに適用可能な定荷重機構は存在しない。

そこで本研究では、クリスティー式サスペンションに着目し、この機構を応用することで受動的に定力把持を実現するグリッパを開発する<sup>1)</sup>。さらに、提案する定把持力グリッパにおいて、任意の目標把持力を設定可能とする手法を提案する。また、目標把持力の可変化を実現するために、空気バネに着目する<sup>2-4)</sup>。空気バネは、バネ本体の弾性変形と内部の空気圧縮によって復元力を発生させる機構であり、内部圧力を調整することで、バネ全体の剛性を疑似的に変更することができる。本研究では、提案する定把持力グリッパのコイルバネ部分を可変剛性の空気バネに置き換えることで、目標把持力を可変にできる定把持力グリッパを実現する。

## 2. クリスティー式サスペンションを用いた疑似定把持力グリッパ

本研究では、受動的に定力を満たす機構を実現するために、図1(a)に示すクリスティー式サスペンションに着目する。クリスティー式サスペンションは、一本のリンクとコイルバネで構成される単純な機構であり、リンク先端を大変位させることで、非線形な変位-力関係を生み出す特性を持つ。本研究では、この特性を利用し、バネの設置位置を適切に設計することで、疑似的に定力を実現する。

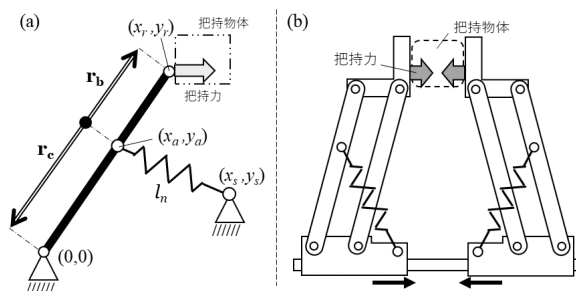


図1 (a)クリスティー式サスペンション、(b)提案した定把持力グリッパ<sup>1)</sup>

提案する疑似定把持力グリッパの構成を図1(b)に示す<sup>1)</sup>。本グリッパは、クリスティー式サスペンションに平行リンクを追加した構成である。なお、本提案はグリッパの指先部分に適用可能な機構であり、駆動方法には制約がない。本研究では、市販の空気圧グリッパを用いて、提案機構を駆動する。

ここで、 $|r_b|=0.03\text{m}$ ,  $|r_c|=0.02\text{m}$ ,  $x_s=0.05\text{m}$ とし、コイルバネのバネ定数 $k$ を $357\text{N/m}$ 、バネの自然長 $l_n$ を $0.025\text{m}$ 、バネの設置位置 $y_s$ を $-0.03 \sim 0.02\text{m}$ の範囲で $0.01\text{m}$ ずつ変化させた際の解析結果を図2に示す<sup>1)</sup>。バネの設置位置により変位-力関係の増加、減少傾向が変化することが確認できる。また、図2に示す結果では $y_s=-0.01\text{m}$ のとき定荷重に近くなることがわかる。

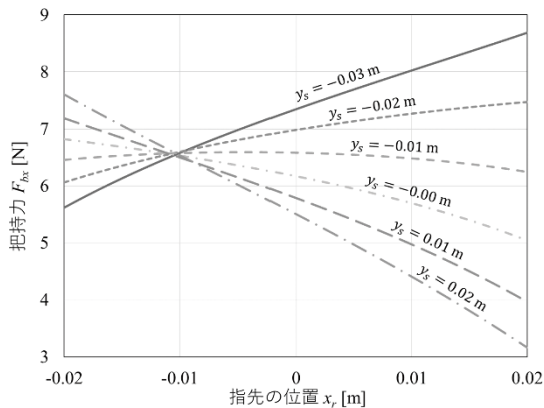


図2 指先の変位、バネの設置位置と把持力の関係<sup>1)</sup>

### 3. 空気バネを用いた把持力の可変化

#### 3.1 把持力の変更方法

本章では、グリッパの把持力を可変にできる方法を提案する。把持力は対象物の特性に応じて異なる値が求められるが、把持対象物ごとに異なるグリッパを設計・使用することは非効率である。本研究では、空気バネを利用することで、定把持力グリッパの目標把持力を可変化する手法を実現する。空気バネは、内部に印加する空気圧を調整することで、バネ全体の剛性を疑似的に変更可能である。定把持力グリッパのコイルバネを空気バネに置き換えることで、把持力を任意に変更可能なグリッパを実現できる。空気バネの空気圧は、電空レギュレータを用いることで容易に制御可能である。本研究では、定把持力グリッパに組み込み可能な空気バネを新たに設計・製作し、目標把持力を任意に調整できるグリッパを構築する。

#### 3.2 空気バネの構成

本研究では、ベローズ型の引きバネを3Dプリンタで製作する方法を提案する。従来の金属製ベローズや成形品と比較し、短期間で多様な仕様のバネを

製作できる点が利点である。図3に提案するベローズ型引きバネの構造を示す<sup>5)</sup>。提案する空気バネは、ベローズ本体、キャップ、外殻部品で構成され、すべて3Dプリンタで製作可能である。ベローズ本体は熱可塑性ポリウレタン (TPU) を用いて作製する。造形時の安定性を考慮し、ベローズ下面をプリンタの造形テーブルに接地させた状態で出力する。さらに、オーバーハング部の角度を45度以上に設計することで、サポート材を使用せずに造形可能とした。ベローズと空気供給チューブを接続するためのキャップ部品は、別途3Dプリンタで製作し、組み立て後にシリコン系接着剤を用いて接合する。キャップの材質に特に制約はない。製作したベローズ本体は、外殻部品に組み込まれる。外殻部品は、ベローズの圧縮方向の変位を伸長方向の動作に変換するとともに、リンク機構に組み込むための取り付け穴を有する。外殻部品の材質には剛体材料を用いる。空気バネに圧力を印加しない場合、ベローズ本体の弾性がバネ剛性として機能する。また、ベローズ内部に負圧を印加することで、バネ剛性を低減でき、それに伴い把持力を調整可能となる。ただし、3Dプリンタで造形されたベローズの剛性は、設計段階で正確に予測することが困難であるため、空気バネのバネ定数および印加圧力に対する剛性の変化は実験的に評価する。

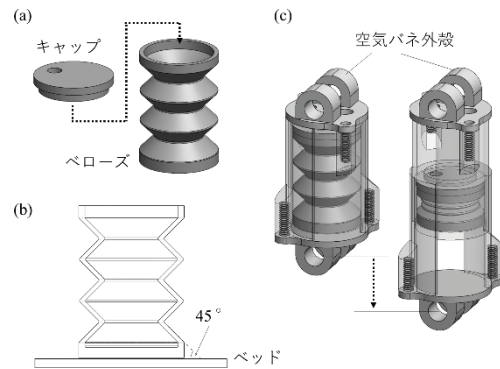


図3 (a)提案する空気バネの構成、(b)柔軟部品の断面形状、(c)外殻部品に組み込んだ空気バネの外観<sup>5)</sup>

### 4. コイルバネを用いた定把持力グリッパの検証

#### 4.1 実験方法

製作した定把持力グリッパを図4に示す<sup>5)</sup>。本節ではコイルバネを用いて実験を行う。リンクの長さを $|r_b|=30\text{mm}$ ,  $|r_c|=20\text{mm}$ 、バネの設置位置を $(x_s, y_s)=(50\text{mm}, -10\text{mm})$ と設定した。使用したコイルバネのバネ定数は $357\text{N/m}$ 、バネの自然長 $l_n$ は $25\text{mm}$ である。また、指先の駆動には市販の空気圧グリッパを使用し、空気圧グリッパへの印加圧力は $60\text{kPa}$ に

設定した。

製作したグリッパの把持力を評価するため、ロボットアームに取り付け、実験を実施した。把持力の測定には、力覚センサを内蔵した複数の異なるサイズの物体を用いた。力覚センサの両端にスペーサーを設置し、幅40mmから100mmの物体を10mm間隔で準備した。これらの物体をグリッパで把持し、各サイズにおける把持力を計測した。

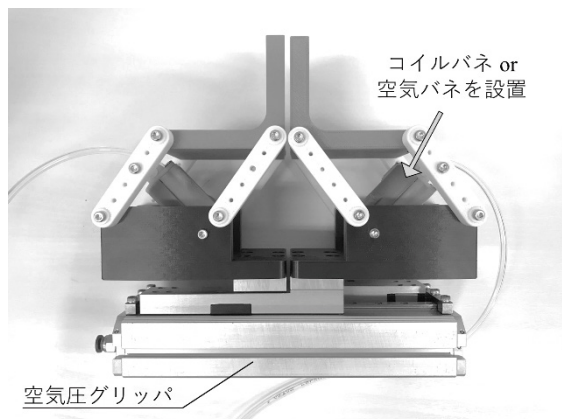


図4 コイルバネ、あるいは空気バネの設置が可能な定把持力グリッパの実機<sup>5)</sup>

## 4.2 実験結果

計測結果を図5に示す<sup>5)</sup>。把持力は、把持物体の幅が40mmの場合に最小値6.3Nを示し、90mmの場合に最大値7.0Nを記録した。把持物体のサイズによる把持力の変動幅は0.7Nであり、この範囲内で受動的な定把持力を実現できたことが確認された。

また、理論値と実測値を比較した結果、すべてのサイズの把持物体において、実測値が理論値を上回る傾向が見られた。この要因として、軸やリンク同士の摩擦の影響が考えられる。把持力をより正確に設計するためには、摩擦を考慮したモデルの構築が望ましいものの、摩擦を正確にモデル化することは困難である。そのため現実的な対策として、バネの

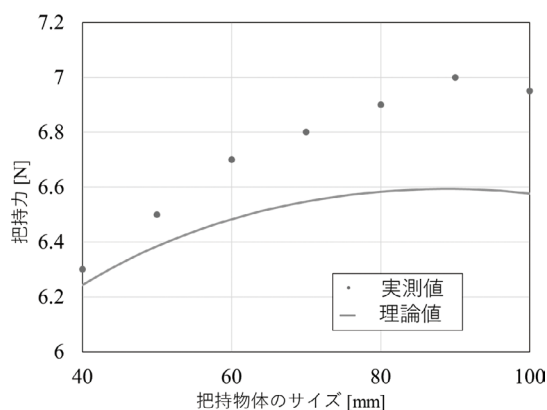


図5 コイルバネを用いた定把持力グリッパの把持力実測値と理論値<sup>5)</sup>

自然長や設置位置の微調整が可能な構造への改良や、可変剛性バネの導入が有効であると考えられる。

## 5. 空気バネを用いた定把持力グリッパの検証

### 5.1 実験方法

本章では、空気バネおよび空気バネを用いた定把持力グリッパの特性を検証する。まず、製作した空気バネを図6(a)<sup>5)</sup>に示す。ベローズ本体をショア硬度95AのTPUで作製し、キャップおよび外殻部品をポリ乳酸(PLA)で作製した。これらの部品は、すべて3Dプリンタを用いて印刷した。空気バネは、エジェクタを介して電空レギュレータに接続されている。エジェクタに印加される圧力と生成される負圧の関係は仕様書に基づき既知であり、電空レギュレータの設定圧力を変更することで、空気バネに加わる負圧を任意に調整することが可能である。本実験では、2つの空気バネを製作し、それぞれ $\alpha$ および $\beta$ と呼称する。つぎに、空気バネを組み込んだ状態の定把持力グリッパを用いる。エアグリッパおよびその他の部品は、第4章で用いたものと同一である。ただし、エアグリッパ用の電空レギュレータと空気バネ用の電空レギュレータは独立しており、それぞれの圧力を個別に制御できる構成とした。なお、各電空レギュレータへの圧力供給には共通のタンクを使用している。

### 5.2 空気バネの検証

まず、空気バネの変位-力関係を評価する。空気バネの片側に力覚センサを設置し、1.5mmずつ変位を加えながら測定を行った。印加圧力は0, -10, -20, -30, -40kPaの5種類とし、それぞれの条件下でバネ定数を計測した。製作した空気バネの剛性を近似的に導出するため、変位0~19.5mmの範囲における測定結果を切片0の一次式で近似し、その傾きを空気バネのバネ定数として解釈した。この計測は、製作した2個体( $\alpha$ および $\beta$ )の空気バネについて実施した。

図6(b)に計測結果を示す。印加圧力が低下するにつれてバネ定数も単調に減少することが確認された。これにより、印加圧力を制御することでバネ剛性の調整が可能であることが示された。さらに、製作した空気バネの個体差について検証した。その結果、個体 $\beta$ のバネ定数が個体 $\alpha$ よりも小さいことが確認された。これは、3Dプリンタによるベローズ印刷時に生じた個体差の影響であると考えられる。

### 5.3 実験結果

空気バネを用いた定把持力グリッパの把持力について検証する。まず、グリッパの把持力の理論値を導出する。各印加圧力におけるバネ定数を図6(b)に示す値とした場合、理論的に算出される把持力を図6(c)に各種線で示す。この結果より、各印加圧力に

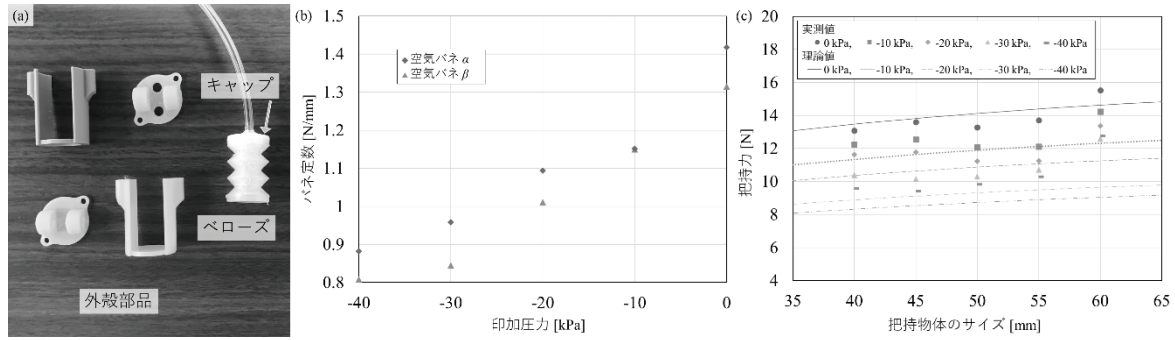


図6 (a)3Dプリンタで製作した柔軟な空気バネ本体と外殻部品、(b)空気バネ部品の印加圧力-バネ定数関係の実測結果、(c)空気バネを用いた定把持力グリッパにおける印加圧力ごとの把持力実測値および理論値<sup>3)</sup>

において、把持物体のサイズに依存せず一定の把持力が得られることが理論的に示された。つぎに、実際の把持力を測定する。測定方法は、第4章で実施したものと同様に、ロボットアームに製作したグリッパを取り付け、力覚センサを把持して把持力を計測する。力覚センサの両端にスペーサーを設置し、幅40mmから60mmの物体を5mm間隔で用意した。

測定結果を図6(c)に示す。まず、グリッパの定力把持について検証する。把持物体の幅が40~55mmの範囲では、印加圧力にかかわらず把持力はほぼ一定に維持されている。把持力の最大値と最小値の差は0.7N未満であり、第4章で示したコイルバネを用いた定把持力グリッパと同等の性能を示した。一方で、把持物体の幅が60mmになると、把持力が大きく増加し、定力把持が維持できないことが確認された。特に、印加圧力が-40kPaの場合、把持力の最大値と最小値の差が3.3N以上となり、定力把持が維持できていないことが明らかとなった。この原因として、製作した空気バネは変位が大きくなると非線形性が顕著に現れることが挙げられる。

最後に、把持力の理論値と実測値の誤差について検証する。圧力を印加しない状態で幅40~55mmの物体を把持した場合、理論値と実測値は概ね一致した。一方で、幅60mmの物体を把持した場合、理論値と実測値の誤差は1.6Nとなり、誤差が最大となった。また、空気バネに-40~-10kPaの圧力を印加した場合も、幅60mmの物体において誤差が最大となった。この要因として、空気バネの変位が大きくなると非線形性が強くなることが考えられる。また、コイルバネを用いた定把持力グリッパと同様に、軸やリンク間の摩擦の影響も誤差の一因であると推察される。

## 6. 結 言

本研究では、クリスティー式サスペンションを利用した疑似定把持力グリッパを提案し、その設計および特性を検証した。本機構は、リンクとコイルバネを用いた受動的な定力把持を実現し、空圧、油圧、

電動など多様な駆動方式に対応可能である。また、目標把持力を可変にするため、ペローズ型空気バネを導入し、印加圧力の調整によるバネ剛性の変化を活用した把持力の可変化を実現した。3Dプリンタを用いた空気バネの製造手法を提案し、そのバネ定数の評価を行った。さらに、空気バネを用いた定把持力グリッパの性能を検証し、把持物体の大きさが40~55mmの範囲では、安定した定力把持が可能であり、コイルバネを用いた定把持力グリッパと同等の性能を示した。また、空気バネに印加する圧力に応じて把持力を変更できることを確認した。一方で、把持力の理論値と実測値には誤差があり、この原因として摩擦の影響が考えられる。把持力の設計には摩擦の影響を含む解析モデルが必要となる。また現実的な解決策として、空気バネの剛性調整で目標の把持力へ修正することができる。これは、コイルバネを用いた定把持力グリッパにはない利点である。

## 参考文献

- 1) Matsuno, T., Development of pseudo-constant force gripper using Christie suspension, The Proceedings on Autumn Conference of Japan Fluid Power System Society 2023, pp. 141-143.
- 2) Hayakawa, Y., Kawamura, S., Basic Performance of an Antagonized Pneumatic Bellows Actuator, Transactions of the Japan society of mechanical engineers, Series C, Vol. 61, No. 581, 1995, pp. 115-123.
- 3) Yamashita, Y., Ikeda, M., Upgrading Pantograph Performance Using Variable Stiffness Devices, Transactions of the Japan society of mechanical engineers, Series C, Vol. 78, No. 789, 2012, pp. 527-534.
- 4) Yamashita, Y., Ikeda, M., Dynamic Characteristics Control of Pantographs Using Variable Stiffness Springs, Railway Technical Research Institute Report, Vol. 24, No. 4, 2010, pp. 37-42.
- 5) Matsuno, T., Hayakawa, Y., Hirai, S., Proposal of a variable stiffness pneumatic spring that can be fabricated with a 3D printer, The Proceedings on Spring Conference of Japan Fluid Power System Society 2024.

(原稿受付：2025年4月4日)

## 解説

## 非接触グリッパ

## 著者紹介



さか ひろ あき  
**坂 洋 明**

SMC株式会社 開発7部  
〒300-2493 茨城県つくばみらい市絹の台4-2-2  
E-mail : saka.hiroaki@smc.com

2016年群馬大学大学院理工学専攻修士課程修了、2016年SMC株式会社入社、真空機器製品開発、日本フルードパワーシステム学会会員。

## 1. はじめに

ここで説明する「非接触グリッパ」は、圧縮空気をワークに噴出して吸着力を得る機器のことを指す。今回、非接触グリッパの原理、特性、使用方法と製品概要について説明をさせていただく。

## 2. 開発背景

従来、ピックアンドプレイス用のワーク把持機器として、ワークを挟んで保持する「エアチャック」や、吸盤でワークを真空吸引して保持する「吸着パッド」等が用いられている。これらの把持方法に加えて圧縮空気をワークに噴出して吸着力を得る「非接触グリッパ」が注目されている。

「非接触グリッパ」は、その名の通り、非接触でワークを吸着できるため、従来から半導体ウエハ、太陽電池セル、ガラス基板等で使用されてきた。これらの製品は、ワーク把持時の物理的な接触によるダメージ、破損、パーティクル、接触吸着による吸着痕を嫌うワークである。ワークを吸着してバランスしている状態では非接触グリッパとワークは接触せず、距離が離れているため吸着痕が付かない。また、上流でろ過されたクリーンなエアを供給することでパーティクルを防止することができる利点があり、このようなワークの搬送や固定のアプリケーションに使用されてきた。

しかしながら、非接触グリッパの性能向上に伴い、吸着パッドでは吸着が困難な穴あきのワークや薄布やスポンジのような通気性があるもの、表面に凹凸

のあるものや、エアチャックでは把持が困難なビニールやフィルム、食品のようなワークが変形するものを把持、搬送できるようになった。この場合、非接触グリッパとワークは接触して吸着することが多い。さらに、従来、非接触グリッパを使用する上で課題であった搬送時の横ずれや薄いワークを吸着する際の音の発生などが、様々に工夫されたアタッチメントを備えることで解決されている。

非接触グリッパは、真空ポンプやエジェクター等の真空発生源を必要としない点や、機器内に周囲環境の空気を吸引しないため、粉塵、水分等により目詰まりを起こさず、メンテナンスフリーで長期の使用が可能であることから、食品の分野にも使用の範囲が広がっている。

## 3. 原理

非接触グリッパは、供給ポートへ圧縮空気を供給すると、吸着面側に設置されたノズルからエアが噴出し、それによって生み出される流体効果（ベルヌーイ効果）によりワークが吸引される。また、同時に、ノズルから放出されるエアが、ワークを押し退けようとする反発力が発生する。ワークを吸引する力（以降、リフト力と呼ぶ）と反発力、また、ワークの重量がバランスし、ワークとの間にエア層が形成されることによって非接触把持を可能としている（図1）。

非接触グリッパのリフト力の発生の原理は、以下のように考えられている<sup>1)</sup>。

本体の内側から外側に向けられたノズルから噴出されたエアは、非接触グリッパとワークの間を通過して大気へ放出される。噴出されたエアはノズルの

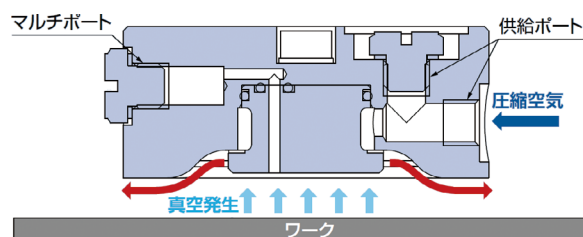


図1 動作原理<sup>2)</sup>

内側と非接触グリッパとワークの空間の空気を押し出し、その空間の圧力が減圧されることで、ワークが吸引される。また、ボルテックスやサイクロンタイプと呼ばれる方式では中心から偏心した位置にノズルが配置され、噴出されたエアによって旋回流が生じ、その旋回流による遠心力が加わることで、さらに中心部が減圧され、より高いリフト力が発生する(図2)。

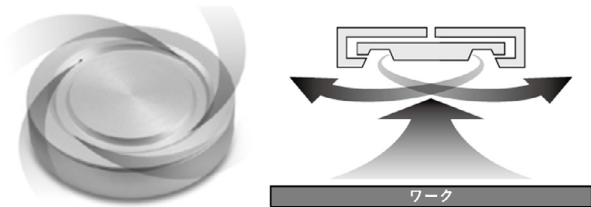


図2 サイクロン方式<sup>2)</sup>

## 4. 特 性

非接触グリッパが発生させるリフト力は、ノズル径が一定であれば、供給圧力が高い程、より高いリフト力が得られる。ワークの吸着面で発生している真空圧力の分布は、中心部で真空度が高く、中心から離れるにつれ真空度が低くなり、外縁部で大気圧となる(図3)。

リフト力は発生する真空度とその領域面積に比例して大きくなる。また、リフト力はワークとの距離が近づくにつれて大きくなり、約0.3mmでピークとなる。さらに接近するとリフト力は低下し、ゼロ付近ではワークを押し退ける反発力が上回る(図4)。吸着パッドを使用する場合は、一般的にワークと吸着パッドの吸着面を接触させてシールさせることでリフト力を得る。それに対して非接触グリッパの場合、ワークとの距離が離れていてもリフト力が発生するため、ワークとの距離が「リフト力>ワークの重量」となる範囲でワークを吸い上げることができる。それを利用して離れたワークの固定にも使用することができる。

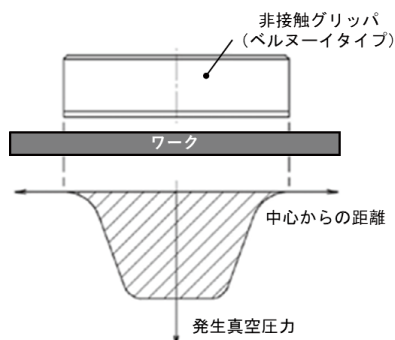


図3 吸着面圧力分布

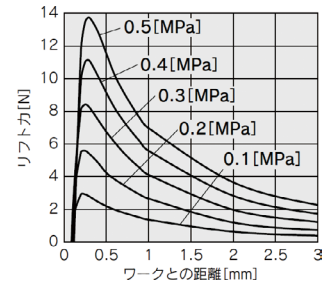


図4 ワークとの距離とリフト力の関係<sup>2)</sup>

## 5. 製品機能

各社製品に付加する機能やオプションがある。ここでは一例を示す。

### 5.1 センサ

製品に圧力センサや光電センサを付けることでワークを吸着しているか否かを判別することができる。圧力センサは非接触グリッパのワーク吸着面とワークとの間に発生する真空圧力を検出することで吸着時のワークの有無を判定する(図5)。

光電センサはワークに向けて光を照射し、ワークの距離や光の遮断を検知し、ワークの有無を判定する。

センサを用いることでロボットの動作制御やワークの脱落等のエラーを監視することができ、生産ラインの効率化を図ることができる。



図5 センサポート<sup>2)</sup>

### 5.2 ストップパ

非接触状態でワークを吸着して搬送する場合、ワークには拘束力が働かないため、滑り落ちてしまう。そのため、非接触グリッパのワーク吸着面にストップパとなるゴム等を付けたタイプを各社取り揃えている。ワーク吸着時にワークがストップパに接触するため、その摩擦力で滑りを防止する。ストップパとなるゴムにESD対策を施すことで半導体等の破損・不良を防止する製品も開発されている(図6)。



図6 ストップパ<sup>2)</sup>

### 5.3 吸込み防止カバー、振動抑制カバー

布や紙、フィルムなどの薄いワークを吸着する場合、高周波の音が発生する場合がある。これはワークが変形して吸着面に引き込まれ、ボディへの接触と離脱を繰り返すためであり、各種カバーを備えることで、これを抑制することができる（図7）。

また、ノズルから噴出したエアによる過度な吹き付けが防止されるため、スポンジ生地などの軟らかい食品でも表面に傷を残さずに吸着することができる。



図7 振動抑制カバー<sup>2)</sup>

### 5.4 コアンダグリップ付

非接触グリップパの特性上、放出したエアが周囲の物を吹き飛ばし、ピックアップに悪影響を及ぼす場合がある。特に軽量ワークのピックアップでは対象ワークに向かう途中で吹き飛ばしたり、対象ワークを吸着できたとしても周囲に配置された他のワークを吹き飛ばして散乱させてしてしまうことがある。これに対してコアンダ効果を利用して放出されたエアの流れをワークとは反対側の上方へ導くことでワークの吹飛ばしを抑制する製品が開発されている（図8）。

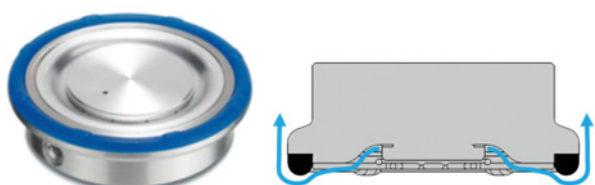


図8 コアンダグリップ付<sup>3)</sup>

### 5.5 ガイド

近年の産業用ロボットの発達によりパラレルリンクロボット等による高速搬送が増えている。ロボットハンドとして非接触グリップパを使用するケースも多く、このような場合は、ロボットによる搬送時の高い加減速度が加わってもワークが離脱しないよう、

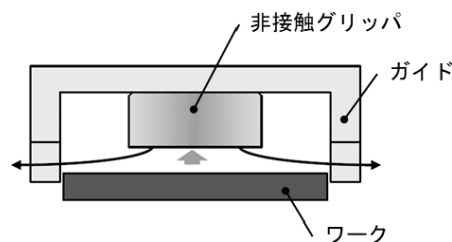


図9 ガイド<sup>2)</sup>

滑りを防止するガイドの使用を推奨している（図9）。

## 6. おわりに

近年、非接触グリップパは、ワーク形状が定まらず、凹凸があるものや通気性があるものを吸着できること、また、異物を内部に吸引しない利点から、食品の吸着搬送に使用されることが増えている。接触部品への食品衛生法規格やFDA（米国食品医薬品局）規格へ対応し、異物混入検査のため金属検出機に対応する製品も発売されている。

非接触グリップパは前述の通り、様々なメリットを持つ一方、デメリットも存在する。高いリフト力を発生するには空気消費流量を多く供給する必要がある。工場の省エア、低圧化が要求される今、製品性能の効率化を図り、空気消費流量を削減することが重要な課題である。この課題を解決していけば非接触グリップパの更なる使用拡大が見えてくる。

産業界の吸着搬送へ非接触グリップパが手助けできれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 黎シン、徳永英幸、蔡茂林、船木達也、川嶋健嗣、香川利春：旋回流を用いた非接触搬送系に関する研究（第1報ボルテックス・チャックの基礎特性）、日本フルードパワーシステム学会論文集38(1), P1-6, (2007)
- 2) SMC株式会社. WEBカタログ「ベルヌーイグリップパZNC」, <https://www.smcworld.com/catalog/New-products/mpv/s100-145-ZNC/data/s100-145-ZNC.pdf> (2025.5.29参照)
- 3) SMC株式会社. WEBカタログ「ベルヌーイグリップパ/コアンダグリップ付ZNC-C」, <https://www.smcworld.com/catalog/New-products/mpv/S100-156-ZNC-C/data/S100-156-ZNC-C.pdf> (2025. 5.29参照)

（原稿受付：2025年4月8日）

## 解説

## マグネットグリッパ

## 著者紹介

きた ばやし とおる  
北 林 亨CKD株式会社  
〒480-0102 愛知県丹羽郡扶桑町大字高雄字南郷356  
E-mail: t-kitabayashi@ckd.co.jp

1993年CKD株式会社入社，技術部門でシリンダ設計に従事。

## 1. はじめに

省人化による産業ロボットの普及に伴いその先端に使用されるロボットハンドの需要が高まっている。本稿はそのロボットハンドの1つであるマグネットグリッパを紹介する。

まずはそのキーパーツである永久磁石のしくみを述べた上で、マグネットグリッパにどのように利用され、どのような特徴に結びついているかを後述する。

## 2. 使用用途・構造

マグネットグリッパは電磁石を利用したものや永久磁石を外部に設けたものなど存在するが、ここでは内部に永久磁石を設け、エアを駆動源にしたものを紹介する。マグネットグリッパの使用用途を図1に、構造を図2に示す。

構造は至ってシンプルで、ピストンに永久磁石を取り付け、作動させることで、永久磁石の吸着力を利用し、ワークの吸着・離脱を行なっている。永久磁石の性能がマグネットグリッパの要となっている。

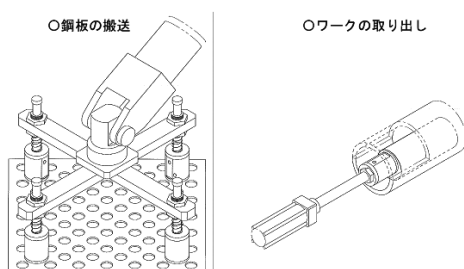


図1 マグネットグリッパ使用用途

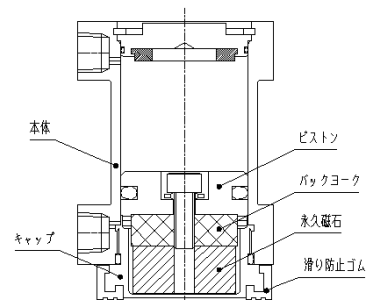


図2 マグネットグリッパの構造

## 3. 永久磁石について

永久磁石と言えば、小学生の頃に理科の実験で使用し、誰もがなじみがあるものかと思う。しかし、そもそも磁石の吸着力はどこから発生しているのか？棒磁石の中央には砂鉄が付かないが2本に切断したら中央であった部分がS極又はN極になり砂鉄が付くようになるのはなぜか？鋼は吸着するが、アルミやステンレス鋼が吸着しないのはなぜか？など、説明できる人は極めて少ないのではないだろうか。

ここでは、私自身が抱いていた上記問いの答えに導けるよう、マグネットグリッパに使用されている永久磁石だけを言及するのではなく、一般的な永久磁石の作用について述べたい。

## 3.1 磁力とは

磁石には磁極（S極・N極）が存在し、同極同士は反発し異極同士は引き合う力が発生する。これは電気の正負の電荷と同様に磁極に磁荷が存在すると考える。その引力となる磁気力は電気力と同様、次式にて表せる（図3）。

$$F = km (m1 \times m2) / r^2$$

$$km = 1 / (4 \pi \mu_0)$$

$\mu_0$ ：真空の透磁率

$m1, m2$ ：磁荷 (Wb)

$r$ ：磁荷間の距離 (m)

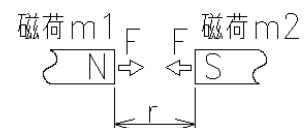


図3 磁気力

N極からS極に磁場（磁

界）が発生し、ある任意の点における磁場の強さ・方向を表したものを磁束（図4）といい、その密度を磁束密度という。

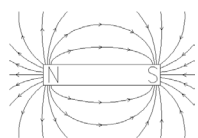


図4 棒磁石の磁場（磁束）

電気とは異なり、磁気の単極は存在しない。

### 3.2 永久磁石のしくみ

まず、鉄が磁石に付く仕組みを簡単に説明する。そもそも、磁石に付く主な元素（強磁性体）は、鉄・コバルト・ニッケルのみである。これらの元素は強い磁気モーメントを持っている。磁気モーメントは小さな磁石と考えてほしい。磁場の無い環境下ではその磁気モーメントがそろっていないため、磁力は打ち消し合った状態となっている。鉄同士が付かない理由である。磁場のある環境下では図5のように磁気モーメントがそろうことで磁化される。言い換えると、鉄が磁石に付くのは磁石の磁束によって、鉄が磁石となり、異極同士が引き合って付くわけである。

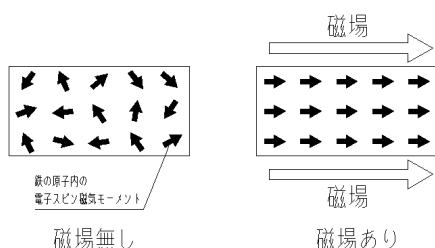


図5 鉄が磁石に付くの状態

磁石に鉄板を付けた場合の吸着力は、磁石に同じ大きさの磁石を付けた場合の吸着力と等しく、これは磁化された鉄は磁石と同様な働きをしていることを意味する（図6）。

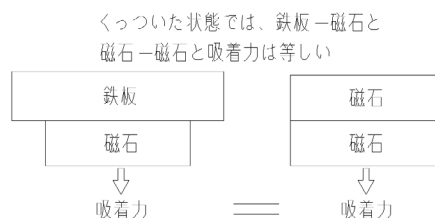


図6 鉄が磁化する作用

永久磁石はこの磁気モーメントの向きを常にそろえたものであり、言い換えると強磁性体の元素に他の元素を介在させ不揃いの状態に戻らないようにしたものである。そのため強力な希土類の永久磁石の主成分は強磁性体元素であり、ネオジム磁石の成分

は鉄66%・ネオジム33%・ボロン1%と、サマリウムコバルト磁石（以降サマコバ磁石）はコバルト64%・サマリウム36%といずれも強磁性体の鉄・コバルトが磁力の源となっている。

前述した磁気モーメントについて簡単に説明する。電荷が流れるとアンペールの法則（右ねじの法則）で磁場が発生する。これが原子レベルで起こっており発生した磁場が磁気モーメントである。

もう少し説明すると、電子がスピンすることで、磁場を発生させており、そのスピンは右回り（磁場は上向き）と左回り（下向き）の2方向が存在する（図7）。



図7 電子スピンと磁場

各電子殻（K, L）において、電子はパウリの排他原理によって、上向きスピンと下向きスピンの対で磁場は打ち消し合って配置される。M殻においては、フント則によってスピンの対を作らなくてもよい場合、磁気モーメントが最大になるように電子は埋まっていく。この配列が対を成さないため、不對電子となり、磁気モーメントとなる。元素としては、M殻での不對電子を4個持つ鉄、3個持つコバルト、2個持つニッケルのみが強磁性体となる理由である。

### 3.3 永久磁石の種類

現在主に産業分野で使用されている磁石はセラミック磁石のフェライト磁石、合金磁石のアルニコ磁石、希土類磁石のサマコバ磁石とネオジム磁石、他ボンド磁石であるゴム磁石とプラスチック磁石である。

ボンド磁石を除いた4つの磁石の特性を表1に示す。特性における吸着力比は同形状で代表的なグレードのものでの吸着力を比較し、フェライト磁石を1とした時の比の値である（保磁力の小さいアルニコ磁石は省いている）。ネオジム磁石が他の磁石と比較してかなり大きな吸着力であることがわかる。生産量を質量で比較すると安価なフェライト磁石が

表1 各種磁石の特性

|       | フェライト磁石 | アルニコ磁石 | サマコバ磁石 | ネオジム磁石 |
|-------|---------|--------|--------|--------|
| 分類    | セラミック磁石 | 合金磁石   | 希土類磁石  | 希土類磁石  |
| 磁束密度  | △       | ○      | ◎      | ◎      |
| 安定性   | ○       | △      | ◎      | ◎      |
| 機械的強度 | ○       | ◎      | △      | ○      |
| コスト   | ◎       | ○      | △      | △      |
| 吸着力比  | 1       | —      | 5      | 10     |

73%，強力なネオジウム磁石が26%とその2つがほとんどを締める。アルニコ磁石は計測器や電動機に、サマコバ磁石は高温環境下用と一部の用途に需要がある。

もっとも強いネオジウム磁石は、1984年に日本人によって発明され、磁石の性能を拡大に飛躍させたことで、急激に需要が拡大している。

### 3.4 永久磁石の形状

磁石の吸着力を上げるためには、磁束密度を上げるか吸着面の面積を大きくする必要がある。

永久磁石を厚くすると磁束密度とともに吸着力は上がっていくが、ある程度の厚さで飽和する。φ30のネオジウム磁石の厚みを変えていった時の吸着力と厚みとの関係を図8に示す。

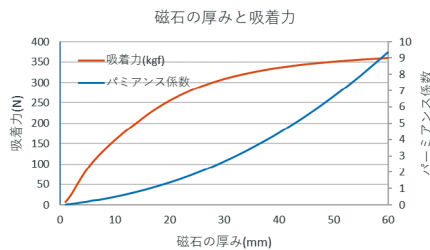


図8 磁石の厚みと吸着力の関係

そのため、さらに吸着力を上げるためには、磁石単体の形状を変えるだけでなく、分割し配列を変えたり、鉄板を付けたりする方策がとられる。この鉄板のことをヨークと呼ぶ。磁石の形状による係数をパーミアンス係数として表すが、その詳細の記載は省略する。

吸着力だけでなく、離れた点での引力（吸引力）もヨークの有無・磁石の配列によって、大きく影響される。

## 4. マグネットグリッパでの永久磁石

マグネットグリッパはロボット先端で使用されるケースが多いため、軽量であることが求められる。吸着力はもちろんのこと、離脱に必要な力や離脱時の残磁による影響も考慮し、より軽量の形状・構造で設計する。

永久磁石は一般的には最も強いネオジウム磁石が使用され、吸着力が大きくなるようにヨークを設け、磁石の分割数・配列が工夫される。

設計方法としては吸着力をソフトによるシミュレーションによって計算し、実機にて評価を行う。磁石配列の事例を図9に、空間磁束密度評価の事例を図10に、その磁石配列時のシミュレーションによる吸着力の結果を図11に示す。

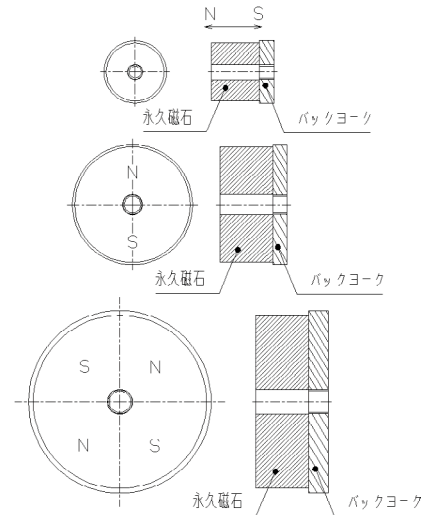


図9 磁石配置の事例

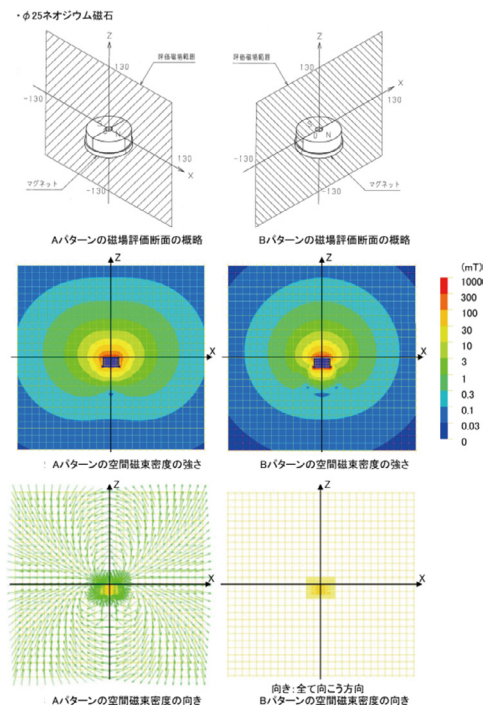


図10 磁石の空間磁束密度評価のシミュレーション結果事例

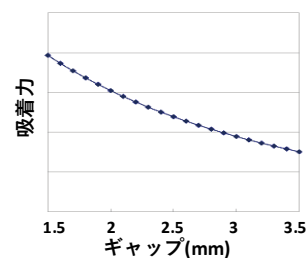


図11 磁石の吸着力のシミュレーション結果事例

磁石の配列としては、縦方向と横方向を混合して使用したハルバッハ配列といった特殊な配列もあり、磁石の性能をより有効に利用し、より吸着力を上げることが可能である（図12）。

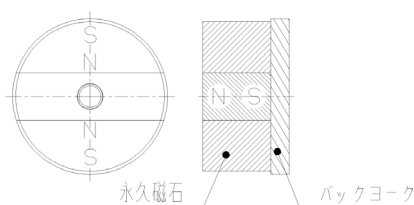


図12 磁石配置の事例（ハルバツハ配列）

ネオジム磁石は衝撃荷重には弱く脆いため、直接当たらないように設計する。しかし、吸着力は3.1項で示した式 $F = k_m (m_1 \times m_2) / r^2$ の通り、磁石とワークとの距離の2乗に反比例するため、その隙間量はできる限り小さくなるよう設計する。

吸着力はスラスト方向にしか働かないため、吸着したワークのラジアル方向への力は弱く、その力（せん断力）を上げるために設置面は摩擦係数を上げるような工夫をする。

## 5. マグネットグリッパの特徴

永久磁石の非接触での吸着力を利用している特性からマグネットグリッパは、同様の使い方をする吸着パットと吸着力の特性を比較した場合、下記特徴を持つ。

- ①ワークの材質は強磁性体のみ（鋼板）
- ②穴の開いた加工材でも吸着可能
- ③油分や粉塵が付着した素材も吸着可能
- ④ワークの間に介在物が存在しても吸着が可能
- ⑤ワークの厚みによって吸着力は変わる
- ⑥ワークが薄い場合、2枚取りとなる場合がある

上記特徴を持つため、さまざまなパターンを想定した検証が必要である（図13-図17）。

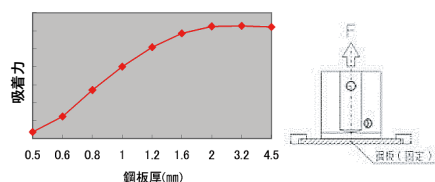


図13 鋼板の厚みと吸着力

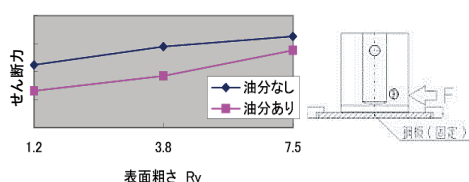


図14 せん断力

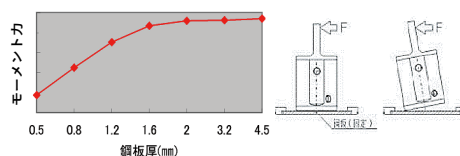


図15 モーメント力

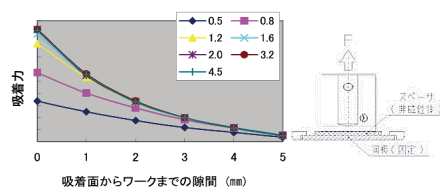


図16 ワークまでの隙間がある時の吸着力

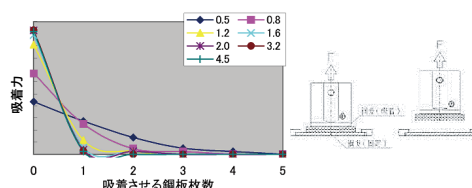


図17 鋼板の枚数と吸着力

## 6. マグネットグリッパの今後の展開

協働ロボットとの連携強化、多様なワークに対してのアタッチメントの拡張など、より特定の顧客のニーズに合わせた製品展開が求められる。

## 7. おわりに

本寄稿の依頼を受け、以前から気になっていた永久磁石について改めて調べる良い機会となった。鉄が磁石付く理由だけでかなり深い知識が必要である。

3項で記載した3つ目の問いのステンレス鋼が付かない理由については、興味を持たれた方はWebなどで調べていただきたい。

革命的な強さであるネオジム磁石や汎用的に使用されているフェライト磁石の発明者が日本人であり、磁石研究が日本のお家芸であることを誇らしく思う。

油空圧業界としても従来の技術力に加え、他分野の技術力を利用することで、より顧客のニーズに応じた製品を作り続けている。本稿がその他分野への興味に少しでも貢献できたら幸いである。

### 参考文献

- 1) トコトンやさしい磁力の本 著者山崎耕造 日刊工業新聞社発行
- 2) すごい!磁石 著者宝野和博 本丸諒 日本実業出版社発行
- 3) NeoMag磁石ナビ  
[https://www.neomag.jp/mag\\_navi/magnavi\\_top.html](https://www.neomag.jp/mag_navi/magnavi_top.html)

（原稿受付：2025年4月3日）

## 解説

油圧タフ多指ロボットハンドの複腕建設ロボットへの  
搭載と評価試験

## 著者紹介



井手 とおる

東京科学大学  
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1  
E-mail: IDE.Toru.n4x@research.f-rei.go.jp

1981年東京大学大学院工学系研究科航空学専攻修士課程修了。富士重工(株)(現株SUBARU)入社。2015年より東京工業大学鈴森研究室研究員として現在に至る。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)。



鈴森 康一

東京科学大学  
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1  
E-mail: suzumori.k.aa@m.titech.ac.jp

1984年横浜国立大学大学院修士課程修了。1984-2001年株式会社東芝勤務。この間、1990年横浜国立大学大学院博士課程修了。1999-2001年財団法人マイクロマシンセンター。2001-2014年、岡山大学教授。2014年より東京工業大学教授。現在株式会社s-muscleと株式会社H-MUSCLEの代表取締役。ならびに新学術領域「ソフトロボット学」領域代表、日本フルードパワーシステム学会会員、日本機械学会フェロー、日本ロボット学会フェロー、工学博士。

## 1. はじめに

2014年から2018年にかけて実施された内閣府総合科学技術・イノベーション会議主導によるImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ(TRC)において、さまざまなロボット・プラットフォーム開発が行われたが、その一つに図1に示す複腕建設ロボット<sup>1,2)</sup>がある。その2本の腕の一方(アップアーム)は繊細動作、もう一方(ロアアーム)はタフで強力な動作を行い、災害現場での作業とともに通常の建設現場における作業も可能となることを想定している。

このロアアームの先端に本研究室で開発された油圧タフ多指ロボットハンド<sup>3,4)</sup>を取り付け、TRCフィールドテストにおいて災害現場を模擬した環境で土砂除去、物体把持などの評価試験を行い良好な結果を得た。ここではこの油圧タフ多指ロボットハンドについて紹介する。

## 2. 油圧タフ多指ロボットハンド

## 2.1 特徴

このハンドは通常のバケットと同じように2本のピンでアーム先端に取り付け、バケットと同じように全体をピッチング動作させるのであるが、最大の特徴は、図2に示すようにさまざまな物体を把持するハンドモードと、砂利掘り等を行うバケットモードの2つを備えることである。指は全部で4本あるが、外側の2本(回転指)を根元で同時に回転することで2つのモードを切り替える。また、タフさを重視して機能を単純化し、センサ類はハンド把持力制御のための油圧センサを1個用いるのみで、エンコーダ等は一切用いていない。

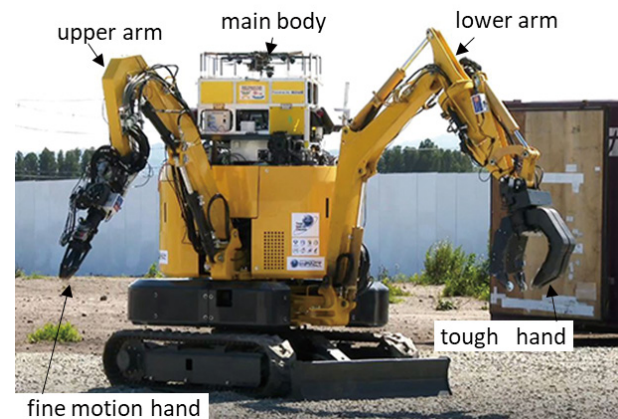


図1 Dual-arm construction robot

## 2.2 構造

図3にハンド指のリンク構造を示す。回転指の関節は1個、固定指は3個であるが、固定指の3関節の内2つはリンク棒でつながっており自由度は2である。指の先には滑り止めのためギザギザの付いたアルミ製部品が取り付けられている。

指の関節は各自由度ごとに1本の低摺動油圧シリンダ<sup>3)</sup>により駆動される(内径φ22, ロッド径φ14, ストローク37mm)。各回転指はそれぞれの根元上側に設置された揺動モータにより回転し、回転指根本内部に設置されたスィベルジョイント(図4左、4

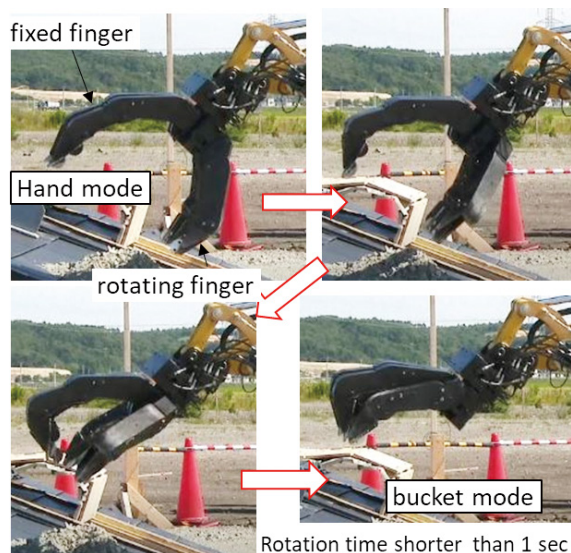


図2 Bucket mode and hand mode

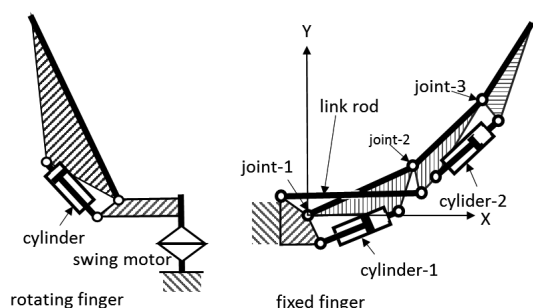


図3 Linkage connections of finger joints

ポートの内2ポートを使う)を介して油圧が導かれる。

各指は板厚4mmの鉄板の溶接箱構造をしており、内部に土砂等が入り込まないように関節部は回転軸部を除き3面とも2重のスライド壁構造になっている。この箱の内部空間は非常に狭い。そのため、内部を通る油圧ホース、ホースアダプタは全て1/16'のものを用いており、必要な箇所小型のスィベルジョイント(図4右)を用いている。重量はhand assy全体(バルブブロックassyは含まない)で約90kgである。

### 2.3 油圧系

軽量化およびタフさを損なわないようハンド油圧系は機能を極力単純化している。図5にハンドの油圧回路を示す。元圧はロボット本体から21MPaで供給される。また、ロボット本体からの供給電流が限られているため、電氣的に制御するバルブはノズルフラップパ型の小型サーボバルブ(消費電流30mA/個, 7Lt/min@7MPa)を4個用いている。

バケットモードとハンドモードの切替は、1個のサーボバルブを3位置切替バルブとして2個の揺動モータを同時に回転させて行う。

ハンドモードでは、固定指・回転指の計4個の根

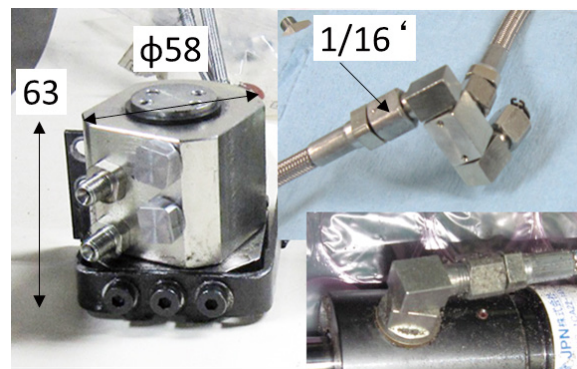


図4 Swivel joints

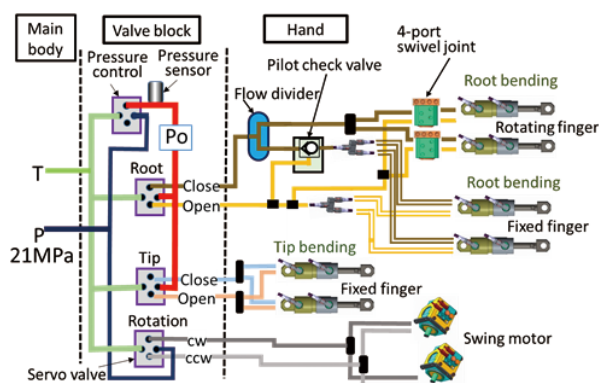


図5 Hydraulic control system

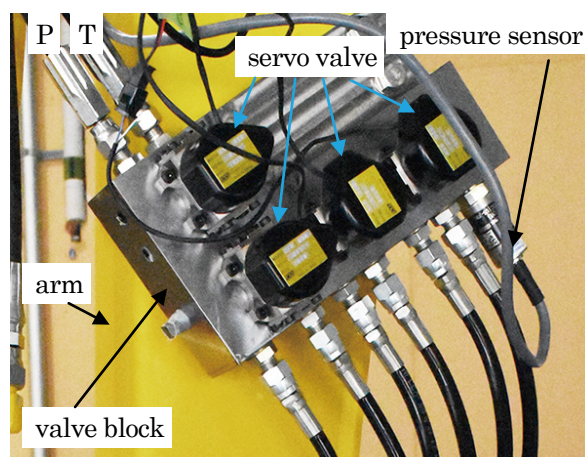


図6 Servo valves on valve block

元関節が1個のサーボバルブで同時に開閉する。また、固定指2本の先端関節も1個のサーボバルブで同時に開閉する。これら指開閉用バルブも3位置切替バルブとして動作させ、さらに、供給する油圧(図中のPo)を別のサーボバルブと油圧センサでフィードバック制御することで把持力および開閉速度を可変としている。すなわち、物を掴んでいないときは供給圧を上げることで開閉速度が速くなり、下げれば遅くなる。固定指根元関節回路には、回転指側からの把持力により固定指が押し戻されないようパイロットチェック弁が設けてある。さらに、物

を掴みにいくときの固定指と回転指の開動作速度の差を小さくするため 1 : 1 の分流弁が設けてある。バケットモードではバケット形状を保持するのみでハンドとしては特別な制御は行わない。

図6に示すように、これらサーボバルブ4個と油圧センサはバルブブロックに取り付けロアアームに固定しているが、パイロットチェック弁および分流弁はハンド本体に取り付けてある。指先端把持力は最大900N/1本である。

切り換えバルブとして使うサーボバルブのスプールには適当なオーバーラップを設けてあり、関節回転を途中の位置で固定することが可能である。油圧制御用のバルブはオーバーラップを0としている。

## 2.4 制御系と操作方法

ハンドの制御系を図7に示す。ハンドはロボット本体とは離れたコクピットから、無線による遠隔操作でロボット本体のコントローラ(100 x 40 x 76)を介して、ロアアームに取り付けたハンドコントロールボックスで制御する。ハンドに対する操作指令は、(1)モード切替、(2)ハンドモードでの指の開閉(掴む、放す)、(3)把持力および指開閉速度の調整、(4)先端関節の開閉、(5)ハンドモードでの指全関節の開固定(指開きっぱなし)である。(2)と(3)については、図8に示すように、コクピットのオペレータが操作するロータリスライダの回転角により、切換バルブの開閉方向の選択と油圧制御サーボバルブによる油圧調整により行う。また、ハンドモードとバケットモードの切り替えに要する時間は1秒程度である。

## 3. 建機ロボットに装着しての試験

### 3.1 ハンドモードでの物体把持

ロアアームの先端に取り付けたタフハンドで種々の物体を把持した様子を図9に示す。これらは床に

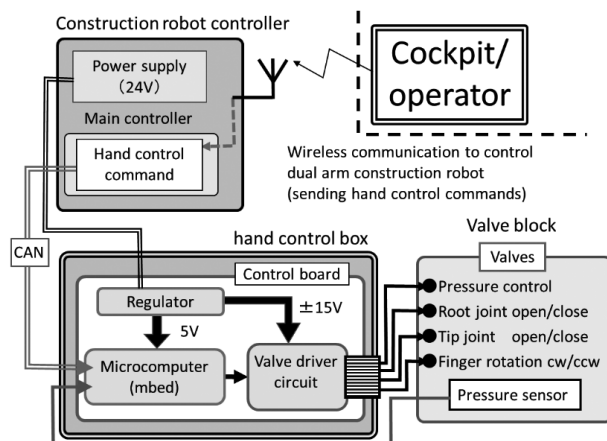


図7 Control system configuration

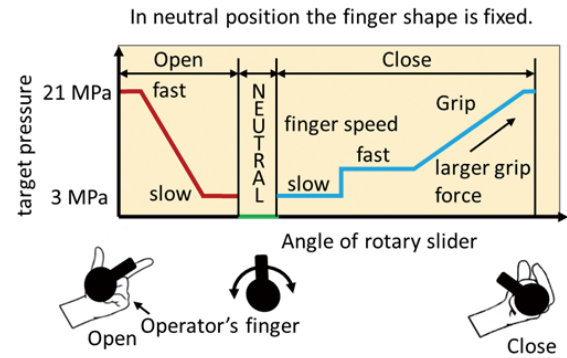


図8 Finger open-close control

置いた物体を把持し1.5m持ち上げ、ハンドを90°程度前側に傾け、元に戻し床に置くという動作を行ったもので、途中不安定にならなければ評価はgoodとした。紙製のパイプから固いコンクリート製のテトラポッドまで、さまざまな硬さ・形状の物体に対する把持試験の評価結果を表1に示す。いずれも良好な結果が得られた。

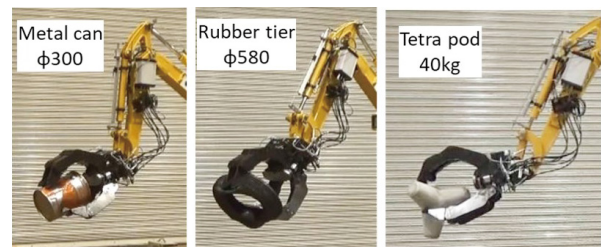


図9 Pinching test

表1 Offered objects for grip and pinching test

| object             | weight (kg) | size (mm)    | estimation |
|--------------------|-------------|--------------|------------|
| short plastic pipe | 1           | φ 220×L230   | good       |
| thin paper pipe    | 1           | φ 85×L1,200  | good       |
| metal can          | 2           | φ 300×L360   | good       |
| fat paper pipe     | 4           | φ 300×L1,260 | good       |
| tire               | 5           | φ 580×H135   | good       |
| concrete block     | 8           | 390×100×190  | good       |
| long plastic pipe  | 13          | φ 220×L2,000 | good       |
| rock               | 20          | 400×200×200  | good       |
| tetra pod          | 40          | 450×450×450  | good       |

### 3.2 バケットモードでの砂利掘り

テストフィールドでのバケットモードによる土砂掘り試験の様子を図10に示す。狙い通りハンドがバケットとして機能していることがわかる。

### 3.3 災害現場を模擬したフィールドでの試験

福島RTF (Robot Test Field) において、複腕ロボットのロアアームにタフハンドを取り付け、アッパアームに装着した微細動作ハンドとの協働で、災害現場で想定されるシナリオに沿ったタスク試験を



図10 Gravel scooping in bucket mode

行った。すなわち、家屋が倒壊しその屋根が地面まで落ちているが、その下には要救護者が残されている、屋根の上には土砂がかぶさっておりこのままでは救護隊員が活動できない、このような状況で要救護者を救い出すための屋根下空間を確保するというものである。その模様を図11に示す。

まず(1)屋根上の土砂をタフハンドのバケットモードで取り除き、つぎに(2)ハンドモードに変換して全指を開き状態固定にして、指を屋根と地面の土砂で埋まった隙間に挿入して屋根を持ち上げ、(3)アッパアームでジャッキを屋根と地面の間に設置することで空間を確保するというタスクを、大きな問題なく遂行することができた。

土砂取り除きと屋根持ち上げの2つの作業をハンドのモード切替により連続して行うことで、効率のよい作業が可能になったといえる。

#### 4. 結 言

ここで紹介したタフハンドはバケットモード、ハンドモードの2つのモードを有することで様々な物体を掴み、さらに土砂を掬うことも可能である。また、センサ類をハンドに搭載しないことで土砂の中に侵入しても問題なく作動し、少々荒っぽく扱っても大丈夫ということは、タフさ・丈夫さにとっては重要なことと考える。これは油圧建機のタフさにある程度の器用さも兼ね備えたハンドと言える。ただし、現状ではハンド指の被把持物に対する形状倣いが不足し、ピンチングはできるがグリップが十分ではない等性能的にはまだ改善の余地があるが、油圧を用いたタフなハンドとして将来的に大きな可能性を秘めているのではないかと考えている。

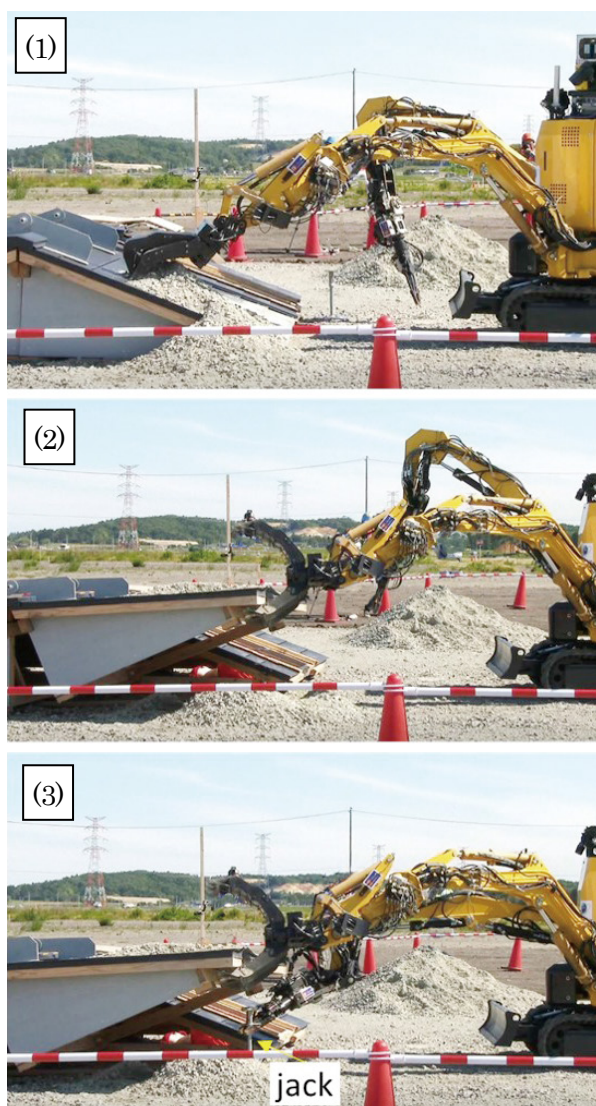


図11 Task of rescue in RTF

#### 参考文献

- 1) 吉瀬裕 横小路泰義 永谷圭司 昆陽雅司 山下淳 田中正行, “ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ (TRC) 建設ロボット”, Robomech2018, 2A1-J02
- 2) 吉瀬裕; ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジにおける複腕建設ロボット”, 日本ロボット学会誌vol 35 No. 10 pp. 711~715, 2017
- 3) 井手徹, 難波江裕之, 廣田善晴, 山本明菜, 鈴森康一; “小型低摺動油圧アクチュエータの開発と多指タフロボットハンドへの応用” 第35回日本ロボット学会学術講演会, 2F1-04
- 4) 井手徹, 難波江裕之, 廣田善晴, 山本明菜, 鈴森康一; “油圧タフ多指ロボットハンドの複腕建設ロボットへの搭載と試験評価” 日本ロボット学会誌vol 38 No. 3 pp. 296~301, 2020

(原稿受付: 2025年3月16日)

## フェローの声

## Koski medalとMicro Hydraulics

## 著者紹介



よこ た しん いち  
横 田 眞 一

東京科学大学  
〒226-8501 神奈川県横浜市長津田町4259R2-1  
E-mail: syokota.pi2@gmail.com

1975年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同大学助手、助教授を経て、1995年同大学精密工学研究所教授、2006年同大学精密工学研究所所長、2015年退職、名誉教授、現在に至る。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、日本機械学会などの会員。工学博士

四年前になるがKoski medalをASMEより頂戴した。日本人として初めてとのことで大変光栄なことであった。このメダルに冠されたKoski氏とは、Sun Hydraulicsの創始者で、Hydraulicsの分野で広く活躍され2008年に79歳で亡くなられたRobert E. Koski氏のことである。Koski medal は2007年からKoski氏のHydraulicsへの貢献を記念して設けられたものである。Koski氏とは1998年にBath大で開催されたPower Transmission and Motion Control (PTMC)で同じテーブルを囲んでお話をしたことがある(写真1)。またこのメダルはASMEからのものであるが、Fluid Power & Motion Control (FPMC)はBath大が始めたPTMCをもとに創られたもので、当時IMechEの会長でありBath大のDeanを務めていたClifford R. Burrows先生の尽力により、2007年から、ASMEとBath大は共にFPMCを毎年USAとBathに交互に場所を替えて開催している。



写真1 1998年のPTMCで、(右から、Palmberg教授、Koski氏、筆者、小嶋教授)



写真2 Burrows先生一家と(1996)

Burrows先生には、1992年のBathでのPTMCでお会いしその年東工大の研究室に訪問された時から、不思議なご縁があり、お付き合いいただいた。

1993年には、筆者がAustraliaのMonash大にDransfield教授を訪ねた時お会いし、1994年には、FranceのToulouseで開催のFLUCOMEで、1996年東京での第1回ISFP-JSFPとBath PTMC(写真2)で、1998年Bath PTMCで、2002年には東工大の研究室をEdge教授とともに訪問された時、また、2003年英国Loughborough大でのMechatronics会議では、たまたま別の用件で来ていたBurrows先生に大学の宿舍の朝食で偶然お会いした(写真3)。



写真3 Burrows先生とLoughborough大で(2003)

また2005年の中国杭州の浙江大ICFPなどで、お会いして歓談した。特に、2005年の杭州では、筆者のECFを用いたマイクロアクチュエータに関する内容の特別公演を聞いていただいた直後、強い興味

を示していただき、講演資料を所望されたので、その場で丸ごと謹呈した。その後すぐ、教授より連絡があり、ECFに関する論文のIMechEへの投稿を勧められた。2006年にIMechEより、その論文に対してD.J. Groen賞を頂戴した。ただ、この段階ではまだECFを用いたマイクロアクチュエータの研究については緒について数年経たばかりであった。

筆者はControlとHydraulicsに興味があり、故東工大名誉教授池邊洋先生のもとで、研究者の道に入らせていただいた。とはいうものの、現状のサイズの機器には研究対象としてある意味限界を感じていた。巨大なHydraulicsも魅力的ではあるものの、マイクロサイズのHydraulicsにより興味を感じていた<sup>1)</sup>。わたしのなかのMicro Hydraulicsとは、どちらかというMicro Fluid Power Control Systemである。研究の方向性をMicroに向けて検討していた折に、ECFに偶々邂逅した。マイクロサイズのHydraulicsを実現するにはマイクロポンプとマイクロバルブが不可欠である。また、良好な微小化特性が求められる。ECFにはその可能性があると感じた。

ECFは誘電液体の一種でありどちらかというかなり低い導電率を示すもので、それで満たされた容器内に電極対を挿入すると、電極間にジェット流が発生する。これは見かけの現象であり、詳しくは、電極対により発生する電界分布に応じて流れが発生する。この原理としては、今のところ、誘電液体に働く「Onsager効果」<sup>9)</sup>と「電荷注入現象」と考えられている。Onsager効果と電荷注入現象は大きな差があり、Onsager効果は電界の方向には依らないが、電荷注入現象は電界の方向に依存する。電極対を管内に直列に並べてポンプ作用を求めた時、Onsager効果による流れは加算で増加するが、電荷注入現象による流れは、相殺してしまう。マイクロポンプに用いる際はOnsager効果による分を検討することがより重要となる。管路と電極対でマイクロポンプが構成できる可能性が生まれた。

こうして、Micro Hydraulicsに用いる可能性のあるマイクロポンプについて、精力的に検討する機会を得た。このマイクロポンプはいまだ未知の世界であったので、やることはたくさんあった。吉田教授、慶応大竹村教授、金俊完教授、法政大田中教授、枝村氏および大学院学生らとともに研究会もつくり、基礎研究および応用研究<sup>2-10など)</sup>を遂行した。

丁度期を一にして、東大の樋口先生、鈴森先生などと共に提案していた文科省科学研究費の特定領域研究「アクチュエータ」が採択されその一部を任されることになり、研究を遂行するための資金面で大いに助けられた。

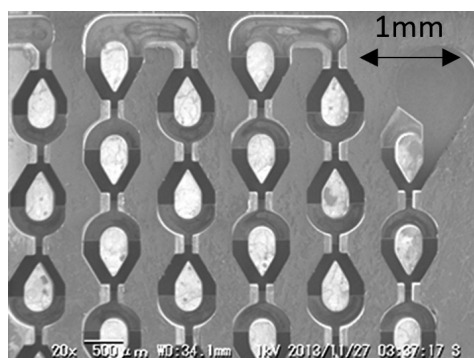


図1 高集積高圧マイクロポンプ（電極対アレイ（部分）のSEM写真）

成果の一例を紹介すると、金教授らにより試作された、微小化特性に優れたECF高集積高圧マイクロポンプ<sup>7)</sup>がある。図1に、その電極対アレイの部分のSEM写真を示す。その全体寸法はカバーを除いて縦10mm横10mm厚さ2mmであり、基本的な電極対ギャップは100μmで、その空間に78もの電極対を直列に集積している。形状についても微小化特性実験の知見をもとにして変更を加えている。このポンプは電極対への印加電圧1.5kVで、0.36MPaの圧力が得られた。このポンプを用いてLeuven大の偏心チューブアクチュエータを0.3Mpaの圧力で180度曲げるまで駆動できることが確かめられた（図2）<sup>7)</sup>。またさらに電極対を微小化および集積化すると、大幅に高圧化と高出力密度化が図れることが分かった。一筋縄ではいかないものの、将来的にはこの高集積高圧マイクロポンプの微小化を突き詰めていくと高出力マイクロポンプの実現が見えてくる。



図2 高集積高圧マイクロポンプによる偏心チューブアクチュエータの駆動

それらの結実がいくつかの論文として纏まってきた。そして結果が少し形をなしてきたときに、またIMechEよりD.J. Groen賞を頂戴してから5年後の2011年にBurrows先生より連絡があり、IMechEからBramah Medalを頂戴した。この賞に冠された

Bramah氏は発明家で、油圧シリンダなどで知られている。さらに9年のちに、ASMEよりKoski medalを頂戴した。私としては、Burrows先生が手配してくれたものと感じている。たまたまBurrows先生の訃報を、時期を同じくして受けた。直接お会してお話をしたかったが、大変残念な思いがある。2014年のBathでお会いしたのが最後となった(写真4)。

これらの研究成果は、当然ながら筆者一人でなしえるものではなく前述の研究会に参加された方々皆と共に得た成果である。

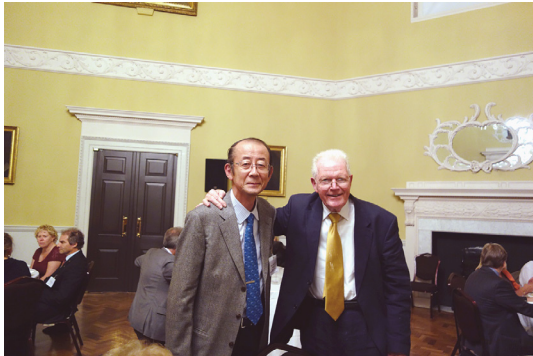


写真4 Burrows先生とBath大FPMCで(2014)

Microの領域で有効な流体制御すなわちHydraulicsを確立できるかどうかは、ひとえにMicroにより向いた道具を見出せるかどうかにある。

筆者が運よくMicro Hydraulicsのひとつの扉を覗く機会を得たものの、まだまだものになるには、先が長い気がしている。今後このMicro領域に興味ある若い研究者が現れ、さらにこの領域の先を開拓してくれることを期待して筆を措きたい。

#### 参考文献

- 1) 吉田, 横田: 流体パワーを用いたマイクロアクチュエータに関する研究(第1報, 微小化に適したアクチュエータ方式の検討と管内走行機械への応用), 油圧と空気圧, 25-2 (1994) pp. 281-288.
- 2) 横田, 吉田, 岡安, 川上, 大坪, 枝村: ECFジェット冷却を用いたSMA駆動マイクロポンプ, 機論, 66-650C, (2000) pp. 3516-3522
- 3) S. Yokota, K. Edamura: New Construction of an Electro-Conjugate Fluid-jet Driven Micromotor with Inner Diameter of 2mm, Proc. IMechE, Part I: the Journal of Systems and Control Engineering, 220-4, pp. 251-256, (2006) [the D. J. Groen Prize 2006 from the IMechE]
- 4) K. Takemura, F. Yajima, K. Edamura, S. Yokota: Integration of Micro Artificial Muscle cells using Electro-conjugate Fluid, the Journal of Sensors and Actuators A, 144-2, pp. 348-353, (2008)
- 5) 尾川, 横田, 枝村, 竹村: 電界共役流体を用いた2軸液体マイクロレートジャイロの開発, 機論, 77-773C, pp. 204-211, (2011) [日本機械学会論文賞]
- 6) J-W Kim, T. Suzuki, S. Yokota, and K. Edamura: Tube-type micropump by using electro-conjugated fluid (ECF), the Journal of Sensors & Actuators A. Physical, 174, pp. 155-161, (2012)
- 7) J.-W. Kim, M. Satoh, S. Yokota, K. Edamura: Micropump-Integrated Eccentric Tube Type Microactuator by Electro-Conjugate Fluid, Proc. ACTUATOR2014, (2014)
- 8) D. Han, H. Gu, J-W Kim, S. Yokota, K. Edamura: A bio-inspired 3D-printed hybrid finger with integrated ECF (electro-conjugate fluid) micropumps, the Journal of Sensors and Actuators A, 257, pp. 47-57, (2017)
- 9) Y. Tanaka, R. Suzuki, K. Edamura, S. Yokota: Design and Fabrication of Micro Gripper Using Functional Fluid Power, the Intl. Journal of Automation Technology (IJAT), 16-4, pp. 448-455, (2022)
- 10) J-W Kim, Y. Tanabe, S. Yokota: Comprehending Electro-conjugate Fluid (ECF) Jets by Using the Onsager Effect, the Journal of Sensors & Actuators A, 295, pp. 266-273, (2019)

(原稿受付: 2025年4月3日)

## 会議報告

## 第33回MAGDAコンファレンスにおける フルードパワー技術研究

### 著者紹介



よし だ かず ひろ  
**吉田和弘**

東京科学大学 総合研究院 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，2024年10月大学統合により東京科学大学教授。機能性流体，パワーマイクロロボットの研究に従事。JFPS，JSME，IEEEなどの会員，工学博士。

### 1. ま え が き

2024年11月18～19日に東京科学大学において，第33回MAGDAコンファレンス in 東京～電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス～（MAGDA2024）が開催された。本講演会は，日本AEM学会（The Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics）主催で毎年秋に開催されている電磁現象および電磁力に関する国内学術講演会である。

本講演会は，OS-1 超電導とその応用・低温利用，OS-2 磁気浮上・磁気軸受・ベアリングレスモータ，OS-3 回転機・モータドライブ，OS-4 数値電磁界解析と高密度電磁応用技術，OS-5 電磁現象の生体・医療福祉機器応用，OS-6 非破壊検査・逆問題，OS-7 材料の劣化損傷検出と材料評価，OS-8 次世代アクチュエータ，OS-9 環境発電，OS-10 電磁機能性流体・材料とバイオ・ロボティクスへの応用の合計10件のOS（オーガナイズドセッション）における85件と特別講演1件の計86件の口頭発表，ポスター発表37件，合計123件の発表が行われた。

フルードパワー技術関連では，やや広く解釈して，機能性流体関連7件，空気圧関連2件，ポンプ関連5件，合計14件の発表があった。本稿では，各発表の概要について紹介する。

### 2. フルードパワー技術関連の発表内容

#### 2.1 機能性流体関連

機能性流体関連では，電界印加で粘度が高くなる

ERF関連1件，磁界印加で粘度が高くなるMRF関連2件，磁界に吸引される磁性流体関連3件，磁界・熱応答性ゲル関連1件，合計7件の発表があった。

長谷川らは，ERFの流れを固定電極による印加電界で制御するERバルブにおいて，流路をつづら折り状として幅を大きくし，6mm<sup>3</sup>の超小型でありながら十分なER効果が得られる積層形ERマイクロバルブを搭載した長さ20mmのソフトアクチュエータを開発し，特性実験を行っている<sup>1)</sup>。

佐藤らは，全置換磁気浮上人工心臓の左右心ポンプ流量バランス制御に用いる，永久磁石と電磁石を併用し印加磁界を制御するハイブリッドMR流体変速機において，軸方向と径方向の磁界を用い径方向磁力の低減と十分な変速性能を有する構造を開発し，その有効性を実験的に明らかにしている<sup>2)</sup>。

丹羽らは，遠隔医療で触診を可能とするため，保磁力が異なる永久磁石を組み合わせ電磁石により空間に出力する磁束密度を制御する永電磁石を用い，指先装着型デバイスに封入したMRFに磁界を印加し指で押したときの抵抗を変化させ，硬軟感を提示するデバイスを提案し，磁界解析を行っている<sup>3)</sup>。

加藤らは，磁界と温度勾配で流れを発生できる感温性磁性流体において，その母液よりも沸点が低い液体を混合した非共沸感温性磁性流体を用い，磁性微粒子の分散安定性を保ちつつ得られる沸騰二層流を応用するため，プール沸騰における熱伝達特性と磁場による影響を実験的に明らかにしている<sup>4)</sup>。

上野らは，磁界で制御できる磁性流体（MF）を電極とし，誘電体バリア放電（DBD）によりイオン風を発生するプラズマアクチュエータの高出力化を図るため，MF電極と絶縁電極の対を連続配置したMulti-MF-DBDプラズマアクチュエータを提案し，その有効性を実験的に明らかにしている<sup>5)</sup>。

朝香らは，磁性流体（MF）を放電電極としたMF-DBDプラズマアクチュエータにおいて，円環状磁石によりMFを保持し，円環中央に向かうイオン風から円環と垂直方向にイオン風を発生させる構造を提案し，入力電圧に対するイオン風速および効率について実験的に明らかにしている<sup>6)</sup>。

寺地らは、N-イソプロピルアクリルアミド (NIPA) からなる熱応答性ハイドロゲルに磁性ナノ粒子 (MNP) を添加した磁界と熱に応答するゲルにおいて、MNPの配向状態 (ランダム分散と鎖状配向) と濃度がゲル収縮率、収縮異方性および圧縮応力に与える影響を実験的に明らかにしている<sup>7)</sup>。

## 2.2 空気圧関連

空気圧関連では、アクチュエータ関連で2件の発表があった。

澤村らは、出力密度が高い空気圧駆動の蛇腹を用いた2自由度モータを主動力とし、高応答なローレンツ力を用いた2自由度モータで動作を補償する空電ハイブリッド2自由度モータの分散型マクロ・ミニアクチュエーションを提案し、ステップ応答解析によりその妥当性を明らかにしている<sup>8)</sup>。

坂田らは、重篤な呼吸不全に対し酸素ガス溶解度が高い液体を大腸内に灌流させガス交換を行う腸換気法のため、撚った伸縮性シリコンチューブ3本の順次の空気圧印加により捻転しながら送液チューブをけん引する大腸内推進ソフトロボットを開発し、ブタの動物実験によりその有効性を確認している<sup>9)</sup>。

## 2.3 ポンプ関連

ポンプ関連では、粘性流体ポンプ1件、血液ポンプ4件、合計5件の発表があった。

金澤と十河は、薬剤、血液剤、食料品 (ジャム等)、射出成型剤などの粘性流体をポンピングするため、2条のスクリュウ型インペラを磁気反力を用いた軸受で支持したブラシレスDCモータポンプの軸安定性およびポンピング特性について、流体解析および磁気解析を行い、明らかにしている<sup>10)</sup>。

谷平らは、植込み型補助人工心臓に用いるアキシャル型磁気浮上血液ポンプにおいて、磁気吸引力と血液による粘性減衰のみを考慮した力学モデルでは不十分であることを指摘し、インペラ、ケーシング間のスクイーズ効果を考慮した理論解析を行い、実機特性との比較により、その有効性を示している<sup>11)</sup>。

加藤と土方は、磁気浮上型血液ポンプの流量を疾患心臓の拍動に同期して制御するため、大静脈および左心房を模擬した2個のコンプライアンスタンクを有する体循環シミュレータを開発、応用し、磁気軸受に構成した外乱オブザーバで拍動を推定する手法の有効性を実験的に明らかにしている<sup>12)</sup>。

林と土方は、補助人工心臓において十分な流体隙間を実現するため、推力と磁力を併用し完全パッシブ浮上可能なアキシャルモータを用いた軸流血液ポンプを提案し、試作した推力測定用実験機の実験により、インペラの軸方向変位に対し推力が変化し正剛性が得られることを確認している<sup>13)</sup>。

長らは、磁気浮上型小児用補助人工心臓において長期循環補助治療における血栓形成抑制のための変動回転駆動を実現するため、人工心臓試験機を模擬循環閉回路に接続し、血液ポンプ変動回転時の磁気支持性能および入力電力特性を実験的に評価し、インペラの非接触支持などを確認している<sup>14)</sup>。

## 3. あとがき

本稿では、MAGDA2024におけるフルードパワー技術関連の発表について紹介した。MAGDAコンファレンスは毎年秋に開催されており、電磁機能性流体などフルードパワー技術関連の発表も行われている。読者の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 長谷川豪太, 吉田和弘, 金俊完: 積層形ERマイクロバルブを用いたソフトマイクロアクチュエータの特性評価, MAGDA2024講演論文集, pp. 151-152 (2024)
- 2) 佐藤樹, 北山文矢, 長真啓, 増澤徹: 軸方向と径方向の磁場を併用したハイブリッドMR流体変速機, 同上, pp. 101-102 (2024)
- 3) 丹羽駿介, 奥山武志, 田中真美: 磁場を用いた硬軟感提示デバイスのための永電磁石に関する研究, 同上, pp. 175-176 (2024)
- 4) 加藤誠己, 岩本悠宏, 井門康司, 三谷敦己: 非共沸感温性磁性流体のプール沸騰における熱伝達特性, 同上, pp. 177-178 (2024)
- 5) 上野翔, 朝香祐輔, 桑原拓也: 磁性流体プラズマアクチュエータの連続配置がイオン風速に及ぼす影響, 同上, pp. 167-168 (2024)
- 6) 朝香祐輔, 上野翔, 桑原拓也: 磁場による磁性流体誘電体バリア放電プラズマアクチュエータの放電電極形状の制御, 同上, pp. 169-170 (2024)
- 7) 寺地秀介, 櫻井淳平, 秦誠一, 岡智絵美: 磁性ナノ粒子含有熱応答性ゲルの収縮異方性: ゲル中MNP濃度の影響, 同上, pp. 173-174 (2024)
- 8) 澤村優斗, 部矢明, 井上剛志: 分散型マクロ・ミニアクチュエーションにおける空電ハイブリッド多自由度モータの制御特性検証, 同上, pp. 153-154 (2024)
- 9) 坂田北登, 松井綸花, 進士忠彦, 高山俊男, 藤井祐, 米山鷹介: 腸換気システム用ソフトロボットの開発, 同上, pp. 238-239 (2024)
- 10) 金澤功明, 十河憲夫: 粘性流体用磁気ベアリングを用いた流体ポンプの試作検討, 同上, pp. 24-25 (2024)
- 11) 谷平健心, 増澤徹, 長真啓, 北山文矢: アキシャル型磁気浮上血液ポンプにおけるスクイーズ効果の検討, 同上, pp. 95-96 (2024)
- 12) 加藤比呂, 土方亘: 左心室のコンプライアンス特性を考慮した体循環シミュレータの開発と磁気浮上型血液ポンプによる拍動推定, 同上, pp. 99-100 (2024)
- 13) 林寛隆, 土方亘: アキシャルモータを用いた血液ポンプ用推力・磁力ハイブリッド浮上機構の開発, 同上, pp. 14-15 (2024)
- 14) 長真啓, 増澤徹, 北山文矢, 長澤優樹, 佐藤遼一郎, 築谷朋典, 水野敏秀, 梅木明秀, 西中知博: 磁気浮上型小児用補助人工心臓の血液ポンプ変動回転駆動時におけるインペラ支持性能, 同上, pp. 34-35 (2024)

(原稿受付: 2025年4月7日)

# What do you think of Japan? (Youは日本をどう思う?)

## 第24回 モルディブから日本に留学して



### 著者紹介



イルシャム サウズラ  
**Irsham Saudulla**

横浜国立大学大学院  
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5  
E-mail: irsham-saudulla-xd@ynu.jp

2021年マレーシア国際イスラム大学 工学部メカトロニクス専攻卒業。2024年横浜国立大学 理工学部 機械・材料・海洋系工学専攻 博士課程前期入学。金属ペロローズアクチュエータ・圧縮機の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会 学生会員。

## 1. はじめに

### 1.1 自己紹介

私はモルディブで生まれ育ったが、中学校卒業後にマレーシアへ移住し、約10年間滞在している。趣味はグラフィックデザインである。また、スキューバダイビングや釣りも好きであるが、日本に来てからはあまり楽しむ機会がない。中学校まではモルディブで過ごし、高校から学士課程まではマレーシアで学んだ。学士課程ではメカトロニクスを専攻していた。

### 1.2 来日の理由

私は修士号を取得するために来日した。日本の技術的な発展に深い関心を持っており、特にメカトロニクスが日本で生まれた分野であることから、日本での学びを決意した。最先端の研究環境に身を置き、専門知識を深めることができる点が、日本を選んだ大きな理由である。

### 1.3 現在の所属機関とその研究/仕事内容

現在、私は横浜国立大学大学院の機械工学教育分野、博士課程前期に所属しており、佐藤研究室で修士号取得を目指して研究生活を送っている。研究テーマは金属ペロローズを用いた空気圧システムに関するものであり、本技術の応用と効率向上について研究を進めている。自身の研究では、金属ペロローズ

をアクチュエータおよびコンプレッサとして応用することに取り組んでいる。

## 2. 日本の印象

### 2.1 来日直後の第一印象

日本の道路の清潔さや歩行のしやすさに非常に驚いた。モルディブでは、道路が整備されていない場所も多く、歩行が大変な場合があるためである。最も大きな課題は言語の壁であった。来日当初は日本語をほとんど話せなかったため、生活する上で苦労することが多々あった。現在は少しずつ改善されているが、まだ十分に日本での生活を円滑に送るレベルには至っていない。

### 2.2 研究室／職場に関して

日本の職場や学問における体系的かつ計画的な進め方には感銘を受けた。私の母国では都市が非常に小さいため、移動にかかる時間が短く、予定変更にも柔軟に対応する文化が根付いている。一方で、日本では時間厳守が強く求められ、計画的に物事を進めることの重要性を学んだ。

### 2.3 日本に滞在中に自分が最も変わった点

日本での学びを通じて、時間厳守と計画的な取り組みの重要性を強く意識するようになった。また、問題解決においても、より自主的に考え、日本の細部までこだわる姿勢に適應することができた。さらに、公共の場での配慮を学び、礼儀や調和を重んじる日本の文化を深く理解するようになった。写真1は、研究室の卒業式での集合写真である。この写真は、私が研究室の一員として、仲間と良い関係を築いていることを示している。

### 2.4 生活に関して

もっとも大きな課題は言語の壁であった。来日当初、日本語を話すことができず、日本では日本語のみでの会話が主流であるため、コミュニケーションに大きな困難を感じた。しかしながら、横浜国立大学の教授や研究室の学生達が英語を話せる環境で



写真1 研究室の仲間の卒業を祝う式典のひととき（著者は最下段の一番左です）

あったため、大変助かった。また、食生活に関して、私はイスラム教徒であるため、ハラール食品のみを摂取している。豚肉やアルコールを含まない食品を選ぶ必要があり、さらに、鶏肉や牛肉はイスラム教の方法で処理されたものに限られる。幸いにも、魚は自由に食べることができるため、日本での寿司文化を大いに楽しんでいる。また、日本国内にはハラール食品を取り扱う店舗も増えてきており、必要な食材を購入することが可能になっている。写真2は、研究室旅行で伊豆を訪れた際の写真である。研究室のメンバーと親睦を深めることは、日本での留学生活の良い思い出となっている。



写真2 伊豆、静岡への研究室旅行での集合写真

## 2.5 日本の生活でよかったこと

日本社会における思いやりの文化には深く感銘を受けた。交通ルールの遵守、列への整然とした並び方、公の場での礼儀など、周囲の方々への配慮が根付いている点は素晴らしいと感じている。私自身もこのような精神を取り入れ、より良い生活を送れるよう心掛けている。また、日本の公共交通機関の利便性は大変素晴らしく、国内移動が容易である点も魅力的である。さらに、日本の治安の良さには安心感を覚えている。

## 2.6 最も興味ある日本の文化

日本の伝統文化と現代文化が融合している点に強い興味を抱いている。職人文化には特に感銘を受けており、食文化や工芸品、技術分野においても完璧を追求する姿勢を大変尊敬している。また、花見や紅葉狩りなどの季節の行事も、日本ならではの美しい文化の一つである。温泉文化にも関心があるが、公衆浴場で裸になることに抵抗があるため、十分に体験できていない。

## 3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

### 3.1 今後の予定、出身国に戻る予定

今後の具体的な計画はまだ決まっていないものの、日本で適した職に就き、引き続き生活を続けていきたいと考えている。特にメカトロニクスや空気圧システムに関連する分野での就職を希望している。

### 3.2 日本人へのメッセージ

日本での生活を通じ、多くの貴重な経験をさせていただいている。日本の方々の礼儀正しさと勤勉さに心より感謝申し上げます。

（原稿受付：2025年4月7日）

## トピックス

## ベンガルール駐在員日記

## 著者紹介



はしもと たく  
橋本 拓

Wipro Kawasaki Precision Machinery Pvt Ltd  
〒560074 15, Sy. No. 35 & 37, Kumbalgodu  
Industrial, Kengeri Hobli, Bangalore, India  
E-mail : hashimoto\_tku@global.kawasaki.com

2005年関西学院大学商学部修了。同年建設機械製造メーカーへ入社。その後2018年より川崎重工業精密機械Div. に入社し、調達業務に従事。2024年4月 Wipro Kawasaki Precision Machinery Pvt Ltd に出向。現在に至る。

## 1. はじめに

2024年4月より駐在しているインドのベンガルールの街と日々の暮らしを中心に紹介していく。インドは日本の面積の約9倍で、世界7位の面積を有する。その南部のカルナータカ州に位置するベンガルール（旧称バンガロール）は標高約920mの高原都市である。人口840万人を抱えるインド第3位の都市であり、IT産業の中心地として有名だが、実は製造業も盛んである。1947年にイギリスから独立した後、バンガロールは国営の重工業、航空産業、宇宙産業、防衛産業の工場群が置かれ、現在では日系自動車工場なども進出している。高地のため気候は比較的穏やかで涼しく、年間を通して過ごしやすい土地である（図1）。

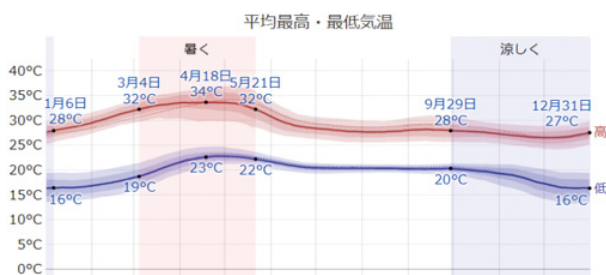


図1 ベンガルールの年間平均気温

## 2. 北インドと南インドの違い

インドへ赴任後、驚いたことのひとつがデリーを中

心とする北インドとベンガルールを中心とする南インドでは、さまざまなものが大きく異なっているということだ。気候はもちろんのこと、民族、言語、歴史、文化など彼らを表す土台そのものが異なっており、両者が会話を成立させるにはお互いが英語を話す必要がある。渡航前に知っていたインドは、主に北インドのことであり日本で入手容易なインドの情報は北インドのことなのだと赴任後に実感した。南インド（ベンガルール）の特徴としては以下のようものが挙げられる。

- ・地理：デカン高原が広がり、東ガーツ山脈と西ガーツ山脈に囲まれている。
- ・気候：温暖で寒暖差が少なく、年間の平均最高気温は27℃（1月）～34℃（4月）、平均最低気温は16℃（1月）～23℃（4月）、モンスーンによる雨季がはっきりしている。
- ・言語：タミル語、テルグ語、カンナダ語が主に話され、英語が共通語となっている。
- ・宗教：ヒンドゥー教が主流だが、キリスト教やイスラム教も広く信仰されている。
- ・料理：ナンよりもお米と合わせてカレーを食べることが多く、ドーサやイドリが有名。
- ・歴史：古代から続くドラヴィダ文化が根付いている。

また、地理的にバンガロールからデリーは飛行機で3時間ぐらいかかるが、これはバンコクに移動するのとあまり変わらない。そのため、駐在員が日本食材を調達しに行く場所として、しばしばバンコクが選ばれている（図2）。

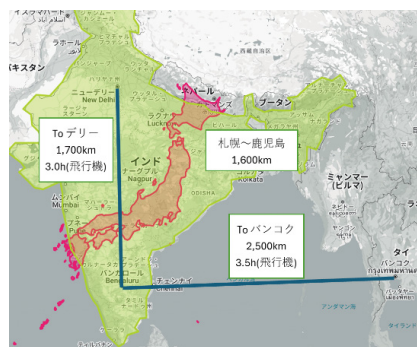


図2 インドと日本を重ね合わせた地図

### 3. ベンガルールでの暮らし

インドでの衣食住への対応は当然のことながら日本で生活する時とは異なる(図3)。ご存じの通り、ヒンドゥー教では牛は神聖な生き物であり、食べることを禁じている。また、イスラム教も広く布教されているため、豚肉もスーパーなどでは見られない。食肉は鶏と羊(もしくは山羊)がベースとなる。インドはベジタリアンが多く、工場でもベジミールが採用されている。世界全体のベジタリアン人口の半分以上はインド人であり、インド以外に住むベジタリアンの総数よりも多い。また鶏肉や魚などの動物性たんぱく質を摂取している人々でも祭式の前日は食肉を避けることがあり、他にも週末など特定日のみ肉を食べるという人も珍しくない。そのためレストランはベジ/ノンベジを分かりやすく表記しており、人々に配慮されている。ベジタリアンはインド全体の20-30%と言われているが、感覚的にはもう少し多い気がしている。



図3 各種スパイスの量り売りの様子

ベンガルールは都市部ということもあり洋服を着ている人が過半数を占めているが、それでもサリーやクルタといった民族衣装を身に着けている人々も多く見かける。いずれも原色を基調とした鮮やかな柄でインドのエネルギー感を物語っている。アパートメントの敷地内で遊ぶ子どもは、たまに裸足で駆け回っておりたくましさを感じさせる。服飾メーカーやスポーツメーカーはインド国内ブランドの他、外資系ブランドも数多く見られる。ここ数年で都市部において増加傾向にあるショッピングモールは平日休日を問わず賑わっているようだ。ただ、インドではどこでも人が多いため、これが平常運転なのかもしれない。

家探しの時に聞いた話だが、インドでは新築よりもある程度築年数が経過した物件が好まれるようだ。というのも彼らは住みながら、住居の不具合を適宜

改善していくため、新築だともいえない不具合に見舞われることがある。と教えてもらった。

雨季(6月～10月)と乾季(11月～5月)がはっきりしており、特に3月からは気温も上がり夏本番を迎える(図4)。乾季の終盤と気温の上昇が重なるため、毎年節水が呼び掛けられている。今のところ生活に困るようなことはないが、近年は雨季の始まりが遅れ、降水量が減少傾向であるため、インド全体で水不足に危機感を持っている。

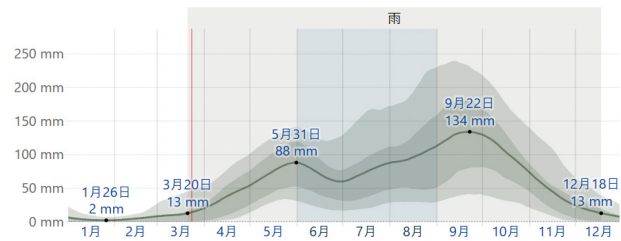


図4 ベンガルールにおける平均月間降雨量

### 4. 社内の様子

当社はインド国内の顧客向け油圧ポンプ、油圧モータを生産、販売している。作業員も事務所スタッフもみな若く、間接部門の平均年齢は32才前後である。彼らと一緒に働いていると、家族とヒンドゥー教の祭事を大事にしていると感じられる。10月から11月は祭りの季節であり、社内においてもアユダプージャという儀式を行う(図5)。この儀式は祭壇を設置してバラモンを招き、生産設備や、治工具、検査器具などに祈りを捧げる。その後10月末から始まる祭りであるディワリ(Diwali)は「光の祭典」とも呼ばれており、インドで最も重要な祭りの一つである。聞いた話では、デリー近郊ではディワリの際に鳴らす花火と爆竹の量が膨大で、それが大気汚染の原因の一つとも言われている。



図5 社内のアユダプージャの様子

前述の通り工場でもベジミールが採用されているが、すべて社内で調理を行っている。右手を使って

食べる人が多いが、北インド出身の人などはスプーンを使っている人もいる。パパドゥは豆や米と挽いた粉から作る薄焼き煎餅のようなもので、パリパリとしていて美味しい。チャパティは全粒粉から出来た平べったいパンで、手で一口大にちぎり、カレーをすくって食べる。白米が基本だが、日によってはビリヤニに変わったりもする。それらにラッサムやサンバルなどを混ぜ合わせて食べる（図6）。



図6 当工場内での昼食

インドでは「隣の州は別の国」とも言われるため、同じ現地語を母語としない場合はインド人同士でも英語で会話を行うが、当社内でも同様である。徐々にインド英語に慣れてきたが、お互い第二外国語同士でもあるので何とかコミュニケーションを図ろうとする意思が見て取れる。ただし、電話口でのインド英語は難易度が格段に上がり、常に困難を極める。

## 5. インドビジネスの特徴

インドは2023年に人口世界一となり、生産年齢人口（15才～64才）は10億人に迫る勢いである。同政府が2014年9月に発表した国家プログラムでは、国内の製造業を促進し、経済成長を図ることを目的とした「Make in India」が現在も進行中であり、これにより製造業は順調に発展を遂げている（図7）。また、インドではコロナ禍をきっかけにネットデリバリーが急速に発達し、人々の生活に欠かせないものとなっている。これを支えているのが豊富な生産労働人口を基盤とするギグワーカーで、近年増加傾向である。インドでIT産業が発達した要因の一つにカースト制度からの脱却が挙げられているが、同制度では自分が生まれたときに持った名字で、ある程度職業が決まってしまうところがある。

一方でIT産業など近年生まれた職業はカースト制度の影響を受けにくいため、カースト制度の枠を超えた新しい可能性を提供し、多くの人々に成功の機会を与えている。



図7 Make In Indiaのロゴ

## 6. おわりに

インドに来てから度々耳にする言葉が「ジュガール（Jugaad）」と「2ミニッツ」である。前者はインドで広く知られている独創的な問題解決のアプローチで、簡単に言えば、限られたリソースや状況の中で創意工夫を凝らして問題を解決することを指す。ハック（hack）と似た意味合いだと考えられる。後者は「ちょっと」を意味する言葉で、レストランで料理が出てこない時にウェイターに尋ねると「2minutes」と返されるが、実際に2分で来ることはない。また、同僚から少し話す時間があるかと尋ねられる時には「Do you have 2minutes?」と言われたりもする。

インドに来てもうすぐ1年が経とうとしているが、常に感じているのは熱気と活気。どこに行っても人が多く、客よりも店員の方が多く店も見かけるし、近所の踏切は手動である。この世界一の人口を抱えるインドという国は最大のマーケットでもあり、最大の生産地でもあるということが実感できる。どこにビジネスの勝機があるのか、日本がどう関わっていくべきか、という目でこれからもインドで業務に励んでいきたいと思う。

### 参考文献

- 1) 一冊でわかるインド史（水島司著 2024）
- 2) バンガロール日本人会HP（<https://www.bangalore-nihonjinkai.com>）
- 3) GraphToChart（<https://graphtochart.com/population/japan-transition.php>）
- 4) 銃・病原菌・鉄（ジャレド・ダイヤモンド著 1997）
- 5) 食と文化の謎（マーヴィン・ハリス著 2001）

（原稿受付：2025年3月24日）

## 企画行事

## 2024年ウィンターセミナー開催報告 「フルードパワーシステムへのIoT活用 およびDX推進の基礎技術」

## 著者紹介

よこ た ま さ し  
横 田 雅 司岡山理科大学  
〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1  
E-mail: m-yokota@ous.ac.jp

2019年静岡理科大学大学院システム工学専攻修士課程修了。2022年徳島大学大学院知的力学システム工学専攻博士後期課程了。同年4月岡山理科大学助教。2025年4月岡山理科大学講師。現在に至るメカトロニクス機器、パワーアシスト装置の研究に従事。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）

およそ22名の方にご参加いただいた。

2024年度ウィンターセミナー  
フルードパワーシステムへのIoT活用およびDX推進の基礎技術  
開催日時：2025年3月14日（金） 10:00～17:00

プログラム：以下の内容でマイコン「ESP32」を用いて実習を行います。

10:00-10:10 挨拶

10:10-11:10 午前実習1「ESP32の紹介および開発環境の構築」

11:10-12:10 午前実習2「IOポートやAD変換などの基礎操作」

12:10-13:30 休憩

13:30-15:00 午後実習1「BluetoothやWiFiの通信機能の使い方」

15:00-16:30 午後実習2「ESP32を用いたデータクラウドの構築と応用」

16:30-17:00 全体質疑、アンケート

図1 ウィンターセミナープログラム

### 1. はじめに

2025年3月14日（金）に2024年ウィンターセミナー「フルードパワーシステムへのIoT活用およびDX推進の基礎技術」がオンライン上で開催された。本セミナーは、フルードパワーシステム学会セミナー始まって以来のオンライン形式実習セミナーとなった。まずは、ご参加いただいた皆様、セミナー運営にご尽力いただいた企画委員の皆様、学会事務局の皆様には厚く御礼申し上げる。また、この場をお借りして会員の皆様にご報告とともに心よりの感謝申し上げる。本稿では、本セミナーの開催の様子および講演内容について報告する。

### 2. セミナー概要

近年、OpenAI社のChatGPTなどの生成AIが公開されてからさまざまな業界でAIやIoT（Internet of Things）への関心が高まっており、国をあげてIoTを活用したAI技術やDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進する動きが活発化している。また、研究業界でもIoTを活用してデータ収集や実験の効率化・自動化を図るLA（ラボラトリーオートメーション）が注目されており、AIやIoT技術の需要は年々増している。しかしながら、「AI技術を導入したいが、データが収集できていない」「LAに興味があるが、始め方がわからない」等の問題がある。そこで、本セミナーでは、AI技術やDX推進でもっとも重要な「データ収集・蓄積」「可視化」に焦点を当て、IoT機器開発に用いられるマイクロコンピュータ「ESP32」を活用して実習を通じて学習を行った（図1）。本セミナーは、完全オンラインで実施され、個人参加13名、団体参加3団体の合計

### 3. セミナー内容

#### 3.1 ESP32の紹介および開発環境の構築

始めに、マイクロコンピュータ「ESP32」と機能などを紹介し、事前に配布したオリジナル回路基板を説明した。この回路基板は、岡山理科大学 情報理工学部のオリジナル回路基板であり、講義や学内ロボットコンテストなどで用いられている（図2、3）。

また、ESP32のプログラムを作成するために必要な開発環境（Arduino IDE）の構築などを行い、実際にプログラムの書き込み作業を行った（図4）。

#### 3.2 IOポートやAD変換などの基礎操作

つぎに、マイクロコンピュータ「ESP32」のIOポートやパルス幅変調（PWM）、アナログ・デジタルコンバータ（ADC）などの機能について説明した。

はじめにデジタル出力を使用してLEDを点灯および消灯を行い、PWM機能を用いてLEDの明るさを段階的に変化させた。また、回路基板に搭載されている圧電スピーカを用いてPWM機能で矩形波を出

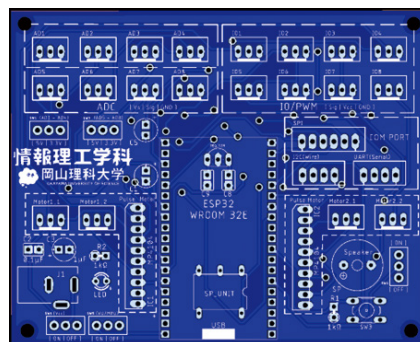


図2 オリジナル回路基板（岡山理科大学 情報理工学部）

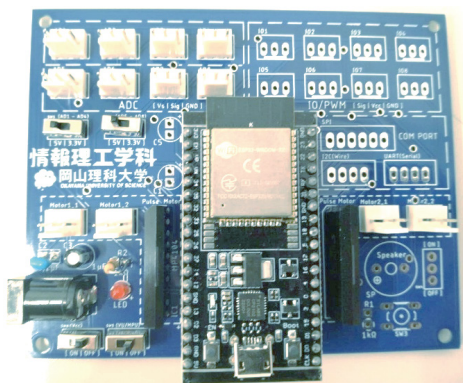


図3 配布した回路基板



図4 開発環境 Arduino IDE

力することで8bit音を鳴らした。他にも、ESP32のADC機能を用いて可変抵抗器（ボリューム）の電圧を読み取り、ボリュームの回転角に応じてLEDの明るさを変化させた（図5）。

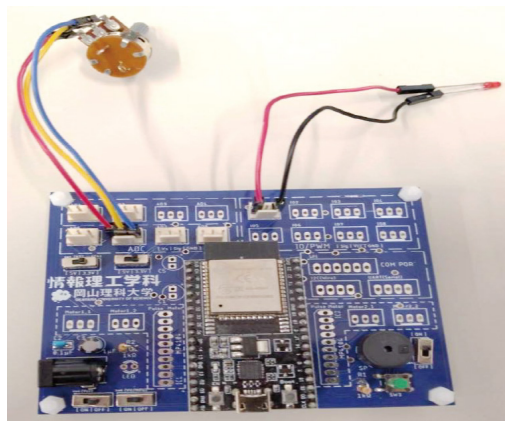


図5 LEDと可変抵抗器を接続した回路基板

### 3.3 BluetoothやWiFiの通信機能の使い方

マイクロコンピュータ「ESP32」のBluetoothやWiFiなどの機能について説明した。Bluetooth機能を用いて、パソコンやスマートフォンに接続し、遠隔でLEDの点灯および消灯を行えるプログラムを作成した。また、ESP32のWiFi機能とコミュニケーションアプリ「LINE」の通信システム「LINE Notify」を用いて、ESP32からコミュニケーションアプリ「LINE」にネットワーク経由でメッセージを送るプ

ログラムを作成した（図6）。



図6 LINEを用いた通信システム

### 3.4 ESP32を用いたデータクラウドの構築と応用

ESP32のWiFi機能を用いて、Google Cloud上にあるGoogleスプレッドシートにアクセスし、ESP32で取得したセンサ値を保存するクラウドシステムを構築した（図7）。GAS（Google Apps Script）を用いて、Googleスプレッドシートにセンサ値を追記して保存するプログラムを作成した。オンライン形式の実習だったこともあり、ネットワーク設定など難航した時もあったが問題なくシステムを構築することができた（図8）。



図7 Google Cloudを用いたデータクラウドシステム



図8 オンライン形式セミナーの様子

## 4. おわりに

2024年ウィンターセミナーは個人参加13名、団体参加3団体の合計およそ22名のご参加を得て、盛大に開催された。フルードパワーシステム学会セミナー始まって以来のオンライン形式実習セミナーという新しい形式で模索した中で、皆様のご協力のもと、大過なく終了できたことを心より感謝申し上げます。今回のセミナーがフルードパワー技術発展の一助となれば幸いです。

最後にご多忙の中、ご参加いただいた皆様、ならびに本セミナー開催にあたりご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

（原稿受付：2025年4月10日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

|       |           |
|-------|-----------|
| 4月22日 | 情報システム委員会 |
| 6月2日  | 編集委員会     |

〈委員会報告〉

2024年度第4回情報システム委員会

4月22日 15:00～16:00

オンライン、参加者10名

- (1) ホームページの更新案件について
- (2) ファイル共有ツールの導入について

2025年度第1回編集委員会

6月2日 13:30～16:00

機械振興会館 (B3-7)+オンライン、参加者17名

- (1) 会誌特集号の現状と企画
  - 1) Vol.56 No.4:「進化するロボットハンド (仮)」
  - 2) Vol.56 No.E1 (電子出版号):「緑陰特集」
  - 3) Vol.56 No.5:「フルードパワーにおける商品化技術 (仮)」
  - 4) Vol.56 No.6:「フルードパワーのモノづくりの紹介 (仮)」
- (2) その他
  - 1) 会議報告
  - 2) 事務局からの提案
  - 3) トピックスの検討
  - 4) 57巻1号特集の企画
  - 5) 委員長会議・理事会の報告

日本フルードパワーシステム学会  
2025年秋季フルードパワーシステム講演会  
開催日: 2025年12月4日(木)・5日(金)

2025年秋季フルードパワーシステム講演会は2025年12月4日、5日に徳島大学常三島キャンパス(徳島市)で開催します。本講演会では一般講演に加えて、日中若手研究者交流事

業における中国側招聘研究者による記念講演を企画しています。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

2025年度オータムセミナー  
「フルードパワーを支える最新の制御理論」  
開催日時: 2025年10月28日(火) 13:00～17:00

情報技術の発展に伴い、フルードパワーで用いられる制御則も大きな発展を遂げています。本セミナーでは、システム同定およびモデルベース制御系の設計や、非線形性を有するシステムに対してデータ駆動とモデルベース制御の融合と関連についての最新研究を紹介します。さらに、汎用型空気圧アクチュエータの超精密位置決め制御や実装プラットフォームの構築法

についても紹介します。

本セミナーはオンラインでの開催を予定しております(※会場での開催はございません)。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心よりお待ちしております。

論文区分「レター」新設のお知らせ

日本フルードパワーシステム学会論文集(和文論文集)のさらなる活性化のために、2025年1月22日より論文の区分から速報を廃止し、新たな区分としてレター(4ページ以下)を新設しました。

詳細は下記の論文規程をご覧ください。

[https://www.jfps.jp/DL/ronbun\\_kitei.pdf](https://www.jfps.jp/DL/ronbun_kitei.pdf)

皆様の論文投稿をお待ちしております。

## 会 告

## 会 員 状 況

2025年5月31日現在

| 会員の種類   | 正会員（人） | 海外会員（人） | 学生会員（人） | 賛助会員（社） |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 会員数     | 768    | 7       | 84      | 117     |
| 前号からの増減 | +25    | -1      | +10     | ±0      |

## 〈新入会員〉

## 正会員

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 小林 卓巳（秋田県立大学）         | 船木 洋平（日立建機株式会社）         |
| 武石 桐生（埼玉大学）           | 北野 友規（ヤンマーホールディングス株式会社） |
| 藤井 智哉（住友建機株式会社）       | 川村信太郎（東京計器株式会社）         |
| 浅井 辰哉（SMC株式会社）        | 足立 悠真（SMC株式会社）          |
| 石倉 圭悟（SMC株式会社）        | 市毛 裕輝（SMC株式会社）          |
| 伊藤 光貴（SMC株式会社）        | 大城 勇司（SMC株式会社）          |
| 加納 康裕（SMC株式会社）        | 小林 和志（SMC株式会社）          |
| 小林 宏明（SMC株式会社）        | 小森谷尚之（SMC株式会社）          |
| 佐藤 樹（SMC株式会社）         | 佐藤 想（SMC株式会社）           |
| 佐藤 直輝（SMC株式会社）        | 佟 驍航（SMC株式会社）           |
| 波根 竣介（SMC株式会社）        | 平田 朋也（SMC株式会社）          |
| 三浦 航（SMC株式会社）         | 山路 大貴（SMC株式会社）          |
| 山田 祐人（SMC株式会社）        | 山村 翔太（SMC株式会社）          |
| 長谷川達也（新潟トランスス株式会社）    | 岡村 康弘（株式会社都筑製作所）        |
| 宮下 和文（株式会社都筑製作所）      | 京田 史郎（株式会社都筑製作所）        |
| 小松 勇気（株式会社都筑製作所）      | 藤森 利章（株式会社都筑製作所）        |
| 新井 遼（農業・食品産業技術総合研究機構） |                         |

## 学生会員

|               |               |
|---------------|---------------|
| 阿部 侑大（芝浦工業大学） | 菰沢 慎（芝浦工業大学）  |
| 塚田 遥仁（芝浦工業大学） | 猿田 拓士（岡山理科大学） |
| 難波 祐紀（岡山理科大学） | 羽廣 拓真（岡山理科大学） |
| 三宅 祐生（岡山理科大学） | 田村 優貴（岡山理科大学） |
| 平田 俊介（岡山理科大学） | 神月英二郎（プリマス大学） |
| 上野 翔（日本工業大学）  | 松谷 一矢（日本工業大学） |
| 長谷川勇矢（信州大学）   | 早川友志朗（信州大学）   |
| 今井 悠喜（信州大学）   | 山崎 啓太（東京電機大学） |
| 木嶋 恭佑（東京電機大学） | 岩田 主浩（東京電機大学） |
| 仁科 然斗（東京電機大学） | 梅田 篤武（東京電機大学） |
| 中山 響（東京電機大学）  | 上村 仁之介（東京大学）  |
| 大谷 凌平（徳島大学）   |               |

## 会 告

## 公益財団法人油空圧機器技術振興財団 令和7年度研究助成募集のお知らせ

公益財団法人油空圧機器技術振興財団では、毎年、油圧・空気圧機器及びこれらに関連した研究に対して研究助成金を交付しており、今年度も、以下のとおり助成金を交付する研究者を募集いたします。

詳細は、当財団ホームページの「研究実施者募集要綱」をご覧ください。（<http://zaidan.taiyo-ltd.co.jp/outline.html>）

### 1. 募集期間

令和7年9月1日(月)から令和7年10月31日(金)まで

### 2. 助成対象となる研究

油圧・空気圧機器（※）及びこれらの機器と周辺機器から構成される駆動システム、並びにこれを補完し、あるいはこれと併用する駆動システムの開発、生産、利用に関する技術の研究

（※）水圧・ガス圧をはじめとする流体圧機器を含みます。

### 3. 助成金額

100万円/件

### 4. 交付予定件数

5件程度

### 5. 応募資格

大学又は高等専門学校に所属する42歳以下（令和8年3月31日現在）の若手研究者（※）を対象とします。

（※）博士後期課程の大学院生を含みます。

### 6. 応募方法

「研究助成金交付申請書」に記載の上、郵送により提出して下さい。申請書等の様式は、当財団のホームページからダウンロードしてご利用下さい。

### 7. お問い合わせ先

公益財団法人油空圧機器技術振興財団

〒533-0002 大阪市東淀川区北江口1-1-1

(株)Parker TAIYO大阪工場内

TEL：06-6340-5885 E-mail：zaidan@blue.ocn.ne.jp

## 編集室

## 次号予告

## —特集「フルードパワーにおける商品化技術」—

【巻頭言】「フルードパワーにおける商品化技術」発行にあたって

佐々木大輔, 北村 剛

【解 説】

スマートフォンを用いた油圧作動油の簡易劣化診断

青木 慎治

TOKUFASTbot (トクファストボット) に関する開発秘話

中上 匠

水グリコール系作動油のリサイクル技術

兼松 直弘

水圧パワーユニットと水圧バルブ

田邊 康伸

ピーク圧を利用したエアブローによる省エネ手法

佐々木博章

センサレス技術によるソレノイド変位検出と制御可変機構

緒方 裕盛

【連 載】制御工学(2) 産業界において広く利用されるPID制御～P制御の概念とその特徴～

三谷祐一朗

【会議報告】The 10th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology  
におけるフルードパワー関連技術の研究動向

金 俊完

【トピックス】中国荊州駐在日記

伊藤 拓造

【企画行事】春季併設セミナー

金 俊完

## 2025年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 村 松 久 巳 (沼津工業高等専門学校)

委 員 藤 原 啓 晃 (川崎重工業(株))

副委員長 藤 田 壽 憲 (東京電機大学)

丸 田 和 弘 (株都筑製作所)

委 員 飯 尾 昭一郎 (信州大学)

水 上 和 哉 (CKD(株))

遠 藤 勝 久 (SMC(株))

溝 口 周 秀 (コマツ)

加 藤 友 規 (法政大学)

村 岡 裕 之 (株コガネイ)

北 村 剛 (油研工業(株))

山 田 宏 尚 (岐阜大学)

窪 田 友 夫 (カヤバ(株))

山 本 久 嗣 (富山高等専門学校)

五 嶋 裕 之 (株工苑)

吉 満 俊 拓 (神奈川工科大学)

齋 藤 直 樹 (秋田県立大学)

担当理事 伊 藤 隆 (カヤバ(株))

佐 藤 恭 一 (横浜国立大学)

学会事務局 佐々木 大 輔 (香川大学)

谷 口 浩 成 (大阪工業大学)

編集事務局 前 畑 一 英

中 野 政 身 (株 SmartTECH Lab.)

竹 内 留 美 (勝美印刷(株))

中 山 晃 (日立建機(株))

(あいうえお 順)

## 会 告

## 複写される方へ

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

権利委託先：(一社) 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

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

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

個人会員各位

2025年 7月15日

一般社団法人 日本フルードパワーシステム学会

2025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、2025年度（2025年4月1日～2026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、なにとぞご容赦ください。

敬 具

記

2025年度  
正 会 員 会 費 8,000円  
シニア員 4,000円  
ジュニア員 4,000円  
(40歳未満で入会された方は、入会から  
5年間にかけ4,000円となります。)  
学生会員会費 2,000円

お 願 い

- ・2024年度以前の会費を未納の方は、新年度分（2025年度）とあわ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いたしますので、FAXまたはE-mailにてご一報いただきたく、よろしくお願い申し上げます。

以上

00東京

口座番号 (右詰めにご記入ください)

金 額

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

該当するものに○をつけ、お振込の内容をご記入ください。

1. ( ) 年度 ( ) 会費

企 業 名・[ ]

会 員 名・[ ]

2. ( ) の代金

払込人住所氏名

(郵便番号 )

(電話番号 - - )

裏面の注意事項をお読みください。(郵政事業庁)(私製承認第23957号)

各票の※印欄は、払込において記載してください。

払 込 取 扱 票

払込票兼受領証

口座番号

0 0 1 1 0 3

右詰めにご記入ください

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

金 額

千 百 十 万 千 百 十 円

※

払込人住所氏名

(消費税込み)

受 付 局 日 附 印

料 金

円

特殊取扱

記載事項を訂正した場合は、その箇所に訂正印を押してください。

切り取らないで郵便局にお出しください。

受付局日附印

## お振り込み先金融機関一覧

1. 郵便振替貯金 00110-3-133690

\*下の振替用紙をご利用いただけます。

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

2. 三井住友銀行 日比谷支店 (普) 7611417

(注) \*口座名はいずれも「シャ) ニホンフルードパワーシステムガッカイ」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、FAX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。

FAX : 03-3433-8442

E-mail : info@jfps.jp

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五-21 機械振興会館別館101 電話(03)3433-8441 FAX(03)3433-8442  
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 東京00110-31233690

東京都文京区白山1-23-7 アクア白山ビル五階  
印刷所 勝美印刷株式会社