

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

Sep. 2025 Vol. 56 No. 5

特集「フルードパワーにおける商品化技術」

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「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 北村 剛, 佐々木大輔 188

【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 189
TOKUFASTbot（トクファストボット）に関する開発秘話 中上 匠 193
水グリコール系作動液のリサイクル技術 兼松 直弘 197
水圧パワーユニットと水圧バルブ 田邊 康伸 201
ピーク圧力を利用したエアブローによる省エネ手法 佐々木博章 204
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 208

【教室】

制御工学 連載(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 213

【会議報告】

ICMDT2025におけるフルードパワー技術研究動向 金 俊完 216

【トピックス】

中国荊州駐在日記 伊藤 拓造 218

【企画行事】

2025年春季講演会併設セミナー報告 金 俊完 221

【会告】

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	196
2025年度オータムセミナー「フルードを支える最新の制御理論」	196
論文区分「レター」新設のお知らせ	196
共催・協賛行事のお知らせ	212
理事会・委員会報告	223
2025年度（第44期）通常総会終了	224
2024年度 学会賞表彰	225
会員状況	226
賛助会員一覧表	227

■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 "Productization Technology for Fluid Power"

[Preface]

On the Special Issue "Productization Technology for Fluid Power"	Takeshi KITAMURA, Daisuke SASAKI	188
--	----------------------------------	-----

[Review]

Simple Degradation Diagnosis of Hydraulic Fluid using a Smartphone	Shinji AOKI	189
Secret Story Behind the Development of TOKUFASTbot	Takumi NAKAUE	193
Water Glycol Hydraulic Fluid Recycling	Naohiro KANEMATSU	197
Power Unit for Water Hydraulic Use, Water Hydraulic Valves	Yasunobu TANABE	201
Energy Saving Method by Air Blow using Peak Pressure	Hiroaki SASAKI	204
Solenoid Displacement Detection and Variable Control Mechanism using Sensorless Technology	Hiromori OGATA	208

[Lecture]

PID Control Widely Used in Industry: The Concept and Characteristics of Proportional Control	Yuuichiroh MITANI	213
--	-------------------	-----

[Conference Report]

Research Trends in Fluid Power Technology at ICMDT 2025	Joon-wan KIM	216
---	--------------	-----

[Topics]

Diary of a Resident in Jingzhou, China	Takuzo ITO	218
--	------------	-----

[JFPS Activities]

Report on the Affiliated Seminar of the JFPS Spring Conference 2025	Joon-wan KIM	221
---	--------------	-----

[JFPS News]

196, 212, 223, 224, 225, 226, 227

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

著者紹介



きた むら たけし
北村 剛

油研工業株式会社 研究開発部
〒252-1113 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34
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・品質保証室を経て，2022年研究開発部に赴任，現在に至る．主に，油圧ポンプの開発に従事．



さ さ き だい すけ
佐々木 大輔

香川大学創造工学部
〒761-0396 香川県高松市林町2217-20
E-mail: sasaki.daisuke@kagawa-u.ac.jp

2003年岡山大学大学院博士後期課程中退後同大学 助手，助教を経て，2015年香川大学講師，2016年同准教授，2021年同教授，現在に至る．空気圧ソフトアクチュエータを使ったウェアラブルロボットの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，IEEE，日本機械学会，日本ロボット学会などの会員．博士（工学）．

市場が求めるニーズは何か，何に留意し設計・開発をしなければならないのかなど，製品を開発するにあたり読者の皆様も常日頃から頭を悩ませているのではないだろうか．そこで，賛助会員の皆様の情報収集にお役立いただくため，商品開発を行う上での基礎技術と市場特有の要求事項は何かという点に着目した内容を今回企画した．

本企画では，幅広い情報をお伝えすべくフルードパワー分野に限定せず，フルードパワーに係わる製品・周辺技術・システムサービスなども対象としている．また，今回は会員間の具体的な情報交換の場の提供を目的から通常の企画とは異なり具体的な商品名なども必要に応じ記載いただいている．

本企画ではまずはじめに，油圧機器の安定稼働・予知保全の効率化という観点から青木慎治氏（出光興産株式会社）に潤滑油の劣化・汚損をスマートフォンにより現場で簡便診断可能な技術に関して解説いただいた．

電磁アクチュエータの性能向上は，フルードパワーの発展に大きく寄与する．中上匠氏（三菱電機

株式会社）には，高性能モーター生産のための巻線機の高速・高精度位置決め技術とAIによる画像処理技術を活用したパズルキューブ早解きロボットTOKUFASTbotの開発秘話をご寄稿いただいた．

これまでも特集されてきたように持続可能・循環型社会への貢献はフルードパワー分野においても求められている．そこで，兼松直弘氏（株式会社MORESCO）には潤滑油リサイクル動向および兼松氏が取り組まれた水グリコール系作動液のリサイクル技術に関して解説いただいている．

環境設備や食品製造設備など幅広く応用可能な水圧製品として関西ものづくり新撰2024特別賞を受賞した水圧パワーユニットに関して，田邊康伸氏（廣瀬バルブ工業株式会社）にご寄稿いただいている．

佐々木博章氏（SMC株式会社）には，工場の消費電力削減，省エネルギー化という観点から，ピーク圧を利用したインパクトブローガン，インパクトブローバルブについて製品概要を交えてご説明いただいている．工場内の様々な場面で利用されているエアブローの省エネルギー化は，工場全体の省エネ化に大きく寄与すると感じた内容である．

本企画の最後は緒方裕盛氏（油研工業株式会社）には，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と言うタイトルで，電磁弁可動部のセンサレス位置推定に関して解説いただいている．汎用機器の高付加価値化に加えて情報端末としてのフルード機器の活用という観点からも大変興味深い内容である．

会員の皆様はフルードパワーに関連する具体的な情報を提供するこのような企画は今後も引き続き行って行きたいと考えている．次回に向け会員の皆様には紹介したい製品技術，興味のある技術などの情報を編集委員会にお寄せいただければ幸いである．

最後に，ご多忙にもかかわらず，本企画にご賛同いただき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7月23日）

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

著者紹介

あおき しんじ
青木 慎治出光興産株式会社
潤滑油二部 先進・ソリューション開発課
〒100-8321 東京都千代田区大手町一丁目2番1号
E-mail : shinji.aoki.3140@idemitsu.com2008年大阪教育大学大学院教育学研究科修了。
同年出光興産株式会社入社、電子材料の構造解
析や潤滑油の商品開発、ならびに潤滑油の品質
保証や原材料調達等のサプライチェーンマネー
ジメントに携わり、2020年より新規事業創出に
従事。2023年より現在の所属、日本トライボロ
ジー学会の会員。

1. はじめに

油圧機器は建設機械、工作機械、射出成形機、プレス、風力発電設備など、あらゆる産業分野で使われている。油圧作動油は、油圧機器の中で動力を伝える媒体として使用されているが、その他にも下記のような、一般的に潤滑油に求められる役割がある。

- 潤滑：摺動部や回転部の摩擦や摩耗を抑制する
- 防錆：金属の錆や腐食を防ぐ
- 冷却：油圧機器内に溜まった熱を除去する
- 洗浄：摩耗粉や外来夾雑物をフィルターへ運ぶ
- シール：ポンプやシリンダー内部の隙間を防ぐ

油圧機器の故障原因の約6～7割は作動油の劣化や汚損が原因と言われている^{1,2)}。そのため、作動油の状態を把握して適切に管理することが、油圧機器の安定稼働に繋がる。

ここでは、作動油の劣化・汚損状態診断を、現場で簡便かつ定量的に実施する新たな技術について紹介する。

2. 作動油の点検・診断における課題

作動油の点検項目やその頻度は、現場の実態を考慮して決定するが、現場における代表的な日常点検項目としては、オイルレベルや油漏れ確認の他、サンプリングによる作動油の診断が行われる。現場診断

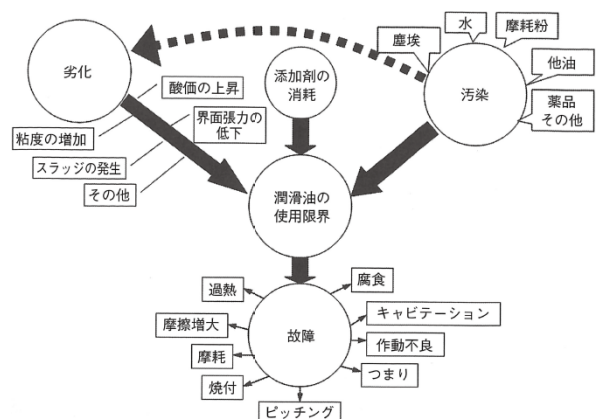
では、現場担当者の目視による外観観察として、色味の変化、夾雑物や濁りの有無が確認される。また、ときには五感を活用して、手触りによる粘り気の変化や、においの変化によって異常を察知することもある。ただし、これらの現場診断では定性的に評価することしかできず、人による差が生じてしまう。昨今の製造業における労働人口減少が進むことによって熟練員が不足すると、現場診断における判断が更に難しくなる。

一方で、定量的な評価を行うには、分析機器のある試験機関に作動油サンプルを送る必要があり、時間もお金もかかる。そのため、保有する設備の重要度にもよるが、全ての設備の作動油を試験機関に供試するのはコスト面から現実的ではない。また、異常が疑われる場合には、現場で直ぐに判断する必要があり、試験機関による分析結果を待つのでは仕事が滞ってしまう。そこで、現場で簡便かつ定量的に診断する手法があれば、油圧機器の予知保全を効率化できると考えた。

3. 作動油の変質

3.1 劣化と汚損

作動油の現場診断手法に移る前に、作動油（潤滑油）が使用中にどのように変質するかを押さえておく。油圧システム内の作動油は、高温や高せん断下に晒されるとともに、水や塵埃、摩耗粉などの異物混入が避けられないため、劣化と汚損が生じる（図1）。

図1 作動油の変質と機械の故障²⁾

劣化については、主に酸化劣化によって色が褐色に変化し、粘度や酸価が増加、過度に進行するとスラッジと呼ばれる不溶物の生成に至る。粘度増加やスラッジ生成はフィルターを閉塞させ、酸性物質の増加は機器の腐食に繋がるため、機器損傷トラブルを引き起こす要因となる。

汚損については、水分が錆の発生や、油膜切れによる潤滑不良の原因となる。塵埃や摩耗粉等の固形異物は、摺動面の摩擦を増大させる。

上記の通り、作動油は、作動油自身が酸化劣化して使用限界に達する場合と、汚損されて使用できなくなる場合がある。そのため、作動油の点検・診断方法としては、劣化度と汚損度に着目する必要がある。

また、より厳密には、作動油の機能を高めるために配合されている摩擦調整剤等の添加剤の消耗や、粘度指数向上剤のせん断による機能低下も無いとは言えないが、後述する酸化防止剤以外の各種添加剤の消耗・機能低下については、作動油メーカーおよび機器メーカーが適切な設計を行っていることから、劣化と汚損に比べて影響は小さいと考える。

3.2 作動油の外観

作動油には、作動油の酸化劣化を抑制するために酸化防止剤が配合されており、酸化防止剤が適切に機能していれば、作動油の顕著な劣化は起こらず、動粘度や酸価等の変化は小さい。そのため、酸化防止剤の残存率を把握することができれば、作動油の寿命を予測することができると言える。一方で、作動油の色相変化は、使用開始初期から生じ、劣化状態を把握する手掛かりとなることから、従来からも色は点検項目に入っている³⁾。しかし、作動油の色は、作動油の種類によって異なることや、人間の五感による判定であることから、管理基準の設定が難しい。

では、なぜ色相変化が作動油の使用開始初期から生じるのかについて考えると、色の変化は主に酸化防止剤の消耗による変質に起因する⁴⁾ためであり、色は前述した酸化防止剤の残存率＝作動油の寿命を示唆していることになる。従って、色相変化と酸化防止剤残存率の関係を明らかにし、色の管理基準を明確に設定することができれば、有用な診断手法となる。加えて、作動油の汚損は、水分混入による濁りや、塵埃や摩耗粉等の混入による夾雑物となって外観に現れる。

これらのことから、作動油の外観を詳細に解析することで、作動油の劣化と汚損の度合いを定量的に診断することができると考えた。さらに、我々人間が物を見ている“目”は、光を受容する感覚器であり、目の構造はカメラとよく似ていると言われるこ

とから、カメラの撮影画像を活用することで実現できると考えた。

4. スマートフォンを用いた診断技術

スマートフォンを用いて作動油（潤滑油）の劣化度と汚損度を現場で簡便かつ定量的に診断可能な技術を、福井大学との共同研究により開発した⁶⁻⁸⁾。本技術により、スマートフォンに標準搭載されているカメラで作動油の画像を撮影するだけで、図2に示すように作動油の劣化度（推定寿命と表記、詳細は4.2参照）と汚損度（異物面積率と表記、詳細は4.3参照）を診断することができる。



図2 スマートフォンを用いた判定結果例

4.1 撮影モジュール

本技術ではスマートフォンで撮影した作動油の画像を用いるため、撮影画像の繰り返し精度を担保する必要がある。カメラの写真は、周辺環境の明るさによって色味が変化するとともに、被写体との距離によって大きさが異なる。そこで、サンプル容器を兼ねて撮影環境を一定に保つために、底部にLED光源を設置し、外部からの光を遮断するための「撮影モジュール」を図3のように設計した。撮影モジュールの上部には、夾雑物の解像度を高めるためにマクロレンズを設置している。

撮影モジュールの開発においては、如何にして均一な光を油サンプルに照射するかが肝である。複数のLEDを設置して面光源とすることも考えたが、LEDの入手性等も考慮して最終的には単一の点光源

にしたため、拡散板の形状を工夫することで、照射光の均一性を担保した。LED光源自体も、より白色に近いもの、つまりはRGBの値がいずれも255に近いものを採用した。この理由は、作動油は劣化に伴って着色することで、図4に示すように、それぞれ0から255の256階調で表されるRGB値が低下していくが、白(255, 255, 255)に近い方がRGB値で表現できる色の範囲が広くできるためである。

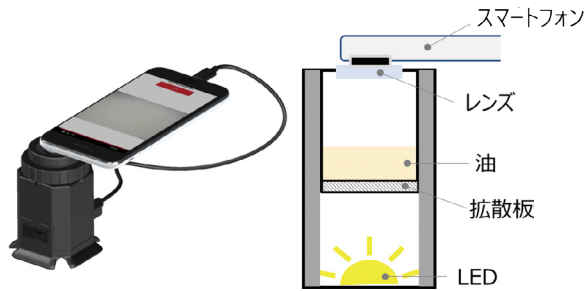


図3 撮影モジュール

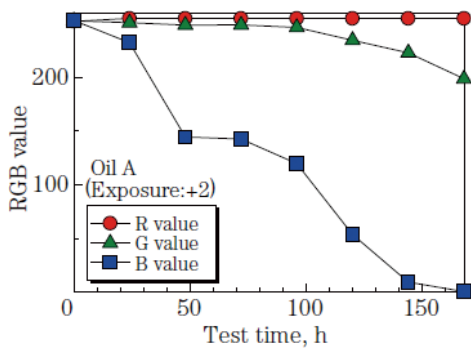


図4 一般的な作動油の加速劣化試験におけるRGB値の変化⁷⁾

4.2 劣化度の算出

採取した作動油サンプル2 mlを撮影モジュールに入れ、LED光源による白色光を透過させた画像をスマートフォンで撮影するだけで、作動油の劣化度を推定寿命（新油を寿命100%としたときの割合）として算出する設計としている。

実際には、撮影画像を光の三原色であるRGB値に変換し、得られたRGB値から酸化防止剤残存率を算出する解析を行う。そのために、劣化作動油のRGB値を説明変数にし、別途機器分析によって得た酸化防止剤残存率を目的変数とした重回帰分析を行うことで、色から酸化防止剤残存率＝作動油寿命を予測する計算式を導出した。導出した計算式は、図5に示すように、現場実機から回収した50個の作動油サンプルを用いて、RGB値から推算した酸化防止剤残存率（横軸）と、機器分析によって実測した酸化防止剤残存率（縦軸）の間に高い相関関係があることを確認している。

RGB値を用いた色診断の手法は、作動油の状態を

定量化する手法として、これまでも実用化されている⁵⁾が、作動油の寿命判断は使用者がしなければならない。本技術では、個々の作動油製品に応じた判定パラメータを作動油メーカーが導入することで、酸化防止剤残存率の算出を可能とした。

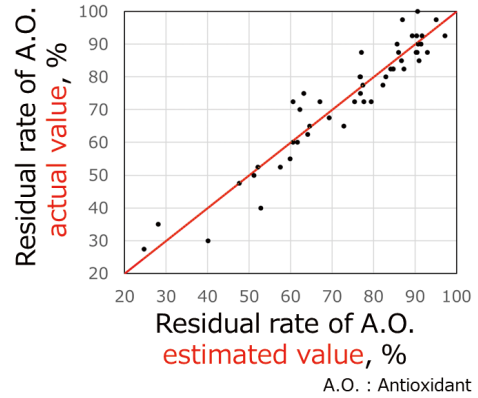


図5 実機回収作動油50サンプルの酸化防止剤残存率の相関例

4.3 汚損度の算出

劣化度算出に用いる撮影画像から、別の解析を行うことで汚損度も算出できる。作動油中に塵埃や摩耗粉のような溶解しない夾雑物があると、その部分は光を透過しないため、撮影画像には影として映る。撮影画像に対して、デジタル画像の最小単位であるピクセル毎に、黒または白の二つの色に割り当てる二値化処理を実行する。黒いピクセルの連なりやその数から、夾雑物の大きさと数を計算する（図6）。

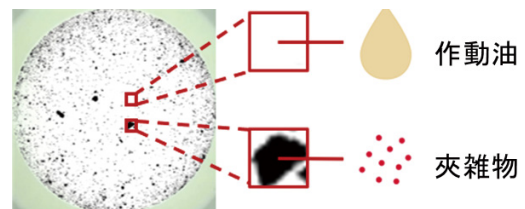


図6 夾雑物解析の例

この二値化処理において、黒と白の二つに割り当てると述べたが、始めから黒と白の2種類になるわけではなく、0から255の値をもつ輝度ヒストグラムを取得した後、どの輝度を閾値に黒と白に割り当てるかを決定しなければならない。夾雑物の無い作動油では、図7の(1)のように輝度ヒストグラムはシャープな形状を示すが、夾雑物を混入させた(2)と(3)では形状がブロードとなる。このように形状がブロードになっているショルダー部分の変化割合を求め、閾値を決定するためのアルゴリズムを考案して導入した。その結果、図8に示すように、意図的に添加した夾雑物の重量（横軸）と、撮影画像の解析

による面積率（縦軸）は直線関係にあり、本解析方法が妥当であることを確認している。

汚損度の診断結果としては、異物面積率（%）（撮影画像に占める異物の面積比率）と、夾雑物の大きさ5-25, 26-50, 51-75, 76- μm 毎の数が算出される。なお、汚損度の計測においては、サンプリングが重要であり、診たい油圧機器の状態を正確に現したサンプリングになるよう留意する必要がある。

前項の劣化度は、作動油製品毎の判定パラメータが必要となるが、汚損度に関しては測定対象固有の判定を必要としない。

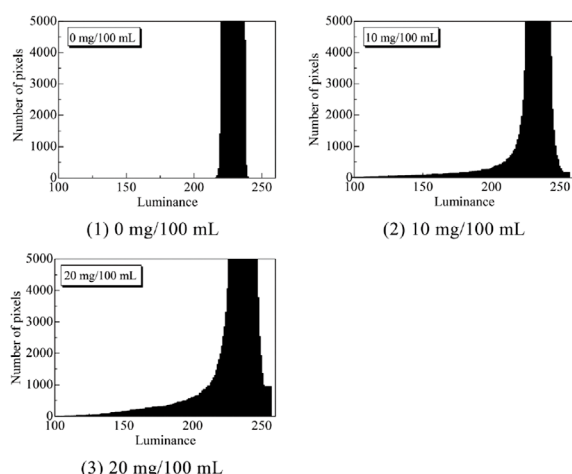


図7 関東ローンを混入させた作動油の輝度ヒストグラム⁸⁾

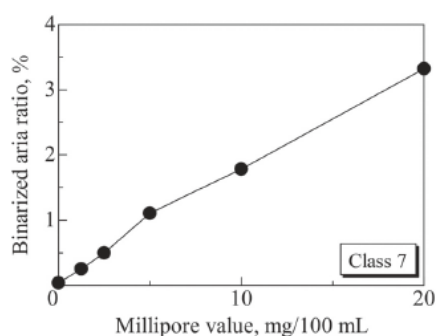


図8 混入させた関東ローンの重量と撮影画像解析による面積率の関係図⁸⁾

4.4 モバイルアプリの開発

ここまでに説明した画像解析が自動で行えるよう、スマートフォンに搭載するモバイルアプリを開発した。アプリの開発においては、使用者が操作に迷うことがないユーザーインターフェースとなるように心掛けた。例えば、図2に示したアプリ画面の下段に設置した操作アイコンを図9に拡大したが、ホーム画面から設定→撮影→未送信データ→履歴の順で操作する設計とした。また、モバイルアプリで測定したデータは、クラウドシステムにて、複数の現場

担当者や保全統括者などの関係者間のデータ共有が容易であり、履歴も含めてパソコンでも管理できる。



図9 モバイルアプリの操作アイコン

5. おわりに

今回紹介した技術は、現場で作動油の劣化・汚損度を診断する手法として、簡便さを追求して開発したものである。特に、部品工場における工作機械のように機器の台数が多い場合には、全ての作動油を試験機関に供試したり、個別のセンサを設置するのはコスト面から現実的ではなく、これまで作動油の状態監視が進みにくかったように思われる。本手法は簡便かつ定量的な判断ができるため、そのような生産現場での活用が期待される。また、鉱山のような遠隔地で使用される建設機械においても、現場で即時診断できるメリットは大きいと考える。

油圧機器における作動油は、人間の身体で言えば「血液」であり、油圧機器の生産性を向上させるには、作動油の適切な管理が欠かせない。本技術を活用することで、機器の異常を早期発見し、設備の安定稼働に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 岡部平八郎, 山口惇: 作動油ハンドブック, 潤滑通信社 (1985)
- 2) 出光興産 潤滑油二部潤滑技術二課: 一から学ぶ工業潤滑剤, 日刊工業新聞社 (2019)
- 3) 不二越ハイドロニクスチーム: 新・知りたい油圧 基礎編, ジャパンマシニスト社 (1993)
- 4) 開米貴: 潤滑油の酸化劣化に伴うDBPCの化学変化, 石油学会誌, Vol. 21, No. 2, p. 89-93 (1978)
- 5) 高橋勉: 色診断による潤滑油状態監視センサ, フルードパワーシステム, Vol. 46, No. 2, p. 58-60 (2015)
- 6) 中村秀弥・本田知己・今智彦・奥山元気・関口浩紀・小別所匡寛: 潤滑油画像解析法による色を用いた潤滑油酸化診断技術, トライボロジスト, Vol. 68, No. 6, p. 398-410 (2023)
- 7) 中村秀弥・本田知己・今智彦・奥山元気・関口浩紀・小別所匡寛: 潤滑油画像解析法による色を用いた劣化診断技術の創出に向けた潤滑油撮影装置の開発, 設計工学, Vol. 58, No. 10, p. 441-454 (2023)
- 8) 中村秀弥・本田知己・今智彦・奥山元気・関口浩紀・小別所匡寛: 潤滑油画像解析法によるオンサイト潤滑油中固形粒子計測技術, トライボロジスト, Vol. 69, No. 2, p. 119-133 (2024)

(原稿受付: 2025年6月17日)

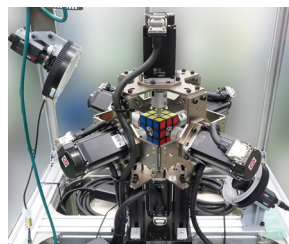
解説

TOKUFASTbot（トクファストボット）に関する開発秘話

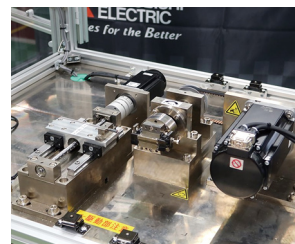
著者紹介

なか うえ たくみ
中 上 匠三菱電機株式会社コンポーネント製造技術センター
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1
E-mail: Nakau.Takumi@ea.MitsubishiElectric.co.jp

2003年東京工業大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年より三菱電機株式会社。現在は同社コンポーネント製造技術センターでモーター製造設備の研究開発に従事。



(a) パズルキューブを早解きするロボット



(b) 巻線機

図1 パズルキューブを早解きするロボットと巻線機

1. はじめに

油圧システムの省エネ化にはその圧力発生源であるポンプ駆動モーターの省エネ化が必須であり、高効率なモーターを製造するための製造技術は間接的に油圧システムのエネルギー効率向上に寄与することになる。例えば高速で正確にコイルを巻線する技術と巻線されたコイルをステーターに隙間なく挿入する技術によってトッランナー基準適合の三相モーターが実現した。こうした高性能モーターを製造する上でキーとなるのがコイルを製造する装置である巻線機である。普段は巻線機の技術開発を担当している我々のチームがパズルキューブを高速で解くロボットを開発し、パズルキューブを約0.3秒の速さで解くことに昨年成功した。

パズルキューブを早解きするロボット（図1(a)）と巻線機（図1(b)）、一見すると接点のない二つの装置に共通しているのが、本稿で述べる高速・高精度位置決め技術とAI画像処理技術である。特に高速・高精度位置決め技術は巻線機のコア技術の一つであり、より高性能なモーターを生産するために進化させてきた。また、AIを活用した画像処理技術は製造上の異常検知など様々な工程で有効な技術である。

2. キューブ早解きロボットに使われた設備技術

2.1 ロボットの動作と構成

ロボットでパズルキューブを解くためには、(1)ビジョンセンサ（カメラ）によって各マスが何色に

なっているかを認識する、(2)各軸を回転させる順序を計算する、(3)各軸を実際にアクチュエータで動作する、の順番が必要である。ロボットの構成を図2に示す。動作手順に従って各コンポーネントがどのような役割を担っているかを次に述べる。

(1)それぞれがキューブの3面を捉えられるように2台のビジョンセンサをキューブの角部に向けて配置している。スタートと同時に撮像を開始し、各マスの色情報を産業用パソコンへ送信する。パソコン上のAIプログラムが各マスを6色に分類し、死角にあるマスの色も推定して全54マスの状態を決定する。

(2)54マスの状態を基にパソコン上の解法探索プログラムでパズルの解法手順を導く。右面と左面のように同時に動かしても干渉しない組合せ、キューブのずれによる引っ掛かりが少ない回転方向など、各軸の動作を決定して2.2節に述べるカムデータの番号に変換し、iQ-Rシーケンサに送信する。

(3)シーケンサが受信したカム番号をモーションユ

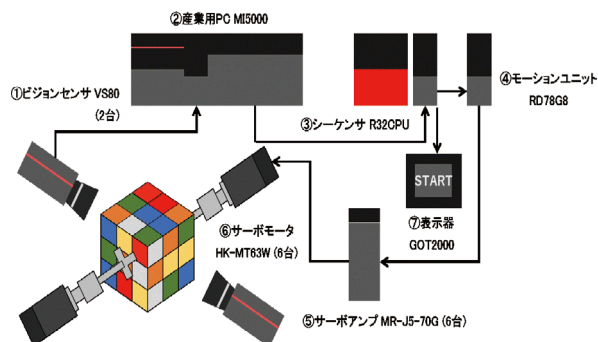


図2 FA機器を搭載したロボットの構成

ニットに逐次送信し、モーションユニットが6軸のサーボモーターを同期制御する。各サーボモーターの出力軸に取り付けられた爪を各面中央のマスに嵌(は)めて回転させる。

2.2 高速・高精度位置決め技術

動作時間を短縮するためにモーターの動作速度を大きくすると、オーバーシュートや振動を引き起こして、整定するまでの時間がかえって長くなることもある。また、整定するまでに角度がずれたキューブ(図3)を無理に回転させると破損につながるため、整定時間の短縮が動作速度向上における最重要な課題になる。

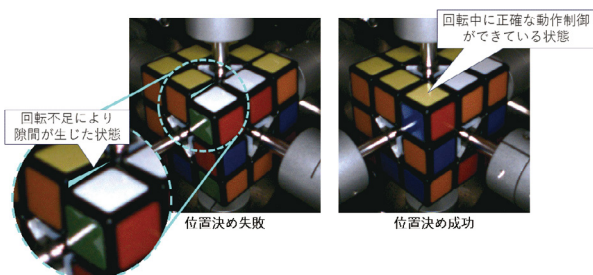


図3 パズルキューブの位置決め

整定時間が悪化する要因には、主に(1)機械系、(2)サーボシステムの制御、(3)ジャークの三つがある。

(1)機械系：超低慣性でパワーレートの大きいサーボモーターを、リジッドカップリングでキューブを掴(つか)む爪と直結させて剛性を高めるとともに、キューブの組み付け時の遊びを徹底的に低減した。

(2)サーボシステムの制御：今回採用したサーボアンプのワンタッチ調整の機能を活用し、労せずに約0.5秒(相当)の動作時間を達成した。さらに、マシンアナライザ機能やデジタルオシロ機能などを使って手動によるゲイン調整を行い、最大トルク(定格トルクの3倍)で駆動しながら短時間で整定する動作を実現した。

(3)ジャーク：ジャーク(サーボモーターを回転させる際の加速度の変化量)が大きすぎると振動の原因になるため、速度・加速度をコントロールした運動曲線をモーションユニットに登録してカム制御を行い、ジャークを抑制した。カムは90°正転、90°逆転、180°、待ち、など数種類の動作に分割して事前に用意した。解法に従ってパソコンがカム番号を選択してシーケンサに送信し、モーションユニットに最初のカム番号を書き込んでサーボモーターを動かす。最初のカムの動作が終わる前にシーケンサが次のカム番号を書き込むことで、滑らかな動作を可能にした。また、連続した回転動作を間髪入れずに行うためには同期制御も重要である。軸の動作完

了を検出することなく次の軸を起動してもぶつかることがないため、スキャンタイムの影響を受けずに動作時間を縮めることができた。

2.3 AIによる高速色認識技術

パズルキューブを早解きするためには、短時間で各マスの色を認識して解法を探索する必要がある。今回は、認識精度を若干落としてでも速度の速い方法を模索した。また標準的なパズルキューブに使われている6色(白、青、緑、赤、オレンジ、黄)の中で、オレンジは赤や黄に色味が近いため誤認識しやすいことも課題になった。

まず、k-PCA (Kernel-Principal Component Analysis) アルゴリズムを用いて色を分類するモデルを作成し、約5,000枚の画像から教師なし学習を行った。図4(a)に学習用画像のRGB (Red Green Blue) 値の分布を三次元グラフで示す。各点は画像中のピクセルに対応するRGB値を示しており、同じ色のマスの中でも明るい領域から暗い領域に掛けて広がりを持った分布になる。赤いマスとオレンジのマスが隣接しており、分類するための境界の決定が難しいことが分かる。図4(b)はk-PCAで二次元の特徴量空間に写像したRGB値の分布である。赤とオレンジの群に隙間ができ、計算量が多く低速な手法ながらも正しく見分けることが可能になった。

高速性が必要な実行時のAIは古典的な2層パーセプトロンとし、特徴量空間を用いずRGB値から直接に色分類を行うモデルとして計算量を削減した。さらにCPUのSIMD (Single Instruction Stream-Multiple Data Stream) 演算を活用して実行時間を短縮した。まず、低速・高精度モデルから生成した学習データを用いた知識蒸留を行い、再び約5,000枚の画像を用いてファインチューニングを行った。ファインチューニング後の高速モデルによる分類結果を図4(c)に示す。隣接した赤とオレンジ色の群が塗り分けられており、分離するための境界を学習で獲得できたことが示されている。作成した高速モデルの誤認識率は0.1%程度であった。

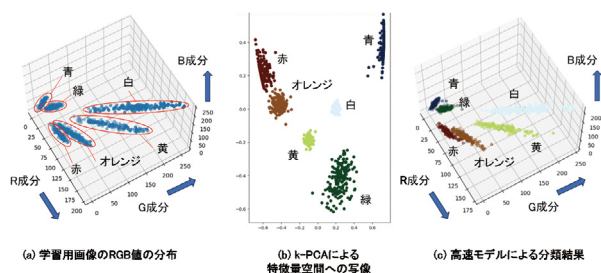


図4 画像のRGB値の分布

3. モーター製造用巻線機を支える設備技術

3.1 巻線機の構成と動作

最も基本的なスピンドル巻線機を例に述べる。図5に巻線機の主要部を示す。材料となる電線を、ノズルを通してワークに導き、 θ 軸でワークを回転させることでコイル状に巻き取る。巻き取るときには電線の位置を少しずつ正確にずらす必要があるためX軸でノズルを動かす。 θ 軸、X軸ともサーボモーター駆動であり、同期制御できる。

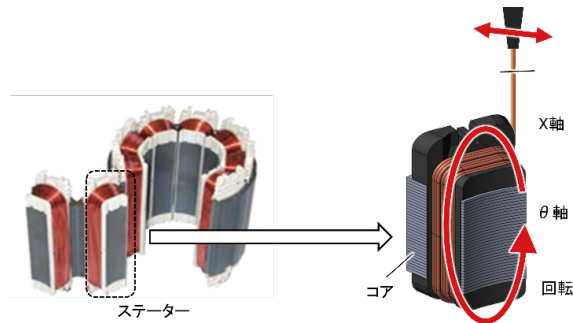


図5 巻線の主要部

3.2 高速・高精度位置決め技術

モーターの性能向上を目指して、決められた空間により多くの電線を巻き取るためには図6のように隙間なく正確に電線を並べていく必要がある。モーターに用いられる四角いコイルを巻く際に最も電線の密度が高くなる巻線方法は、図7に示すように3辺で電線を平行に並べて、残る1辺でノズルを動かして電線の位置を1本隣にずらす巻線方法である。ワークの回転は非常に高速なためノズルも高速で動かして止める技術が必要になる。

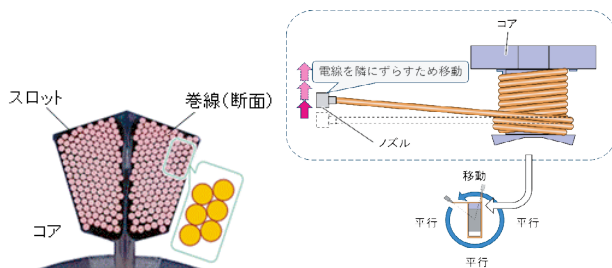


図6 隙間なく並べられた巻線 図7 巻線密度を高くする巻線方法

しかし、動作速度を単に大きくするだけではオーバーシュートや振動を起こして整定できなくなり、巻線機の場合にはコイルの寸法外れや線同士のこすれ等を引き起こす。この場合もキューブ早解きロボットと同様で、機械、制御、ジャークの三つが対策になる。

(1)機械系は低慣性で高剛性な設計と、ガタ・遊びの低減を徹底する。最高回転数の高いサーボの特性を生かして減速比を大きめにする、高剛性なカップリングを採用する、などで可能になる。

(2)制御系のチューニングについては、ワンタッチ調整で十分な結果が得られるようになった。デジタルオシロ機能を使い、サーボモーターの位置のグラフを取得することでノズルなどが正しく追従していることを確認できる。

(3)モーションユニットのカム制御を活用することでジャークの少ない動作が実現できる。また、ノズルを動かすタイミングがワークの回転角度に対して早まる、又は遅れると電線が予期せぬ場所に引っ掛かり、やはり品質不良を引き起こすおそれがある。モーションユニットの同期制御を使用して θ 軸とX軸の動きを同期させることで、キューブ早解きロボットと同様にシビアなタイミングでも正確に動作させることができる。

3.3 AI画像処理技術

巻線後のコイルの寸法などを、ビジョンセンサを使って検査することがある。今後、MELSOFT VIXIOを始めとしたAI外観検査技術を導入することで、これまで正常品との差異が識別困難であった異常の検知も期待できる。例えば図8に示すように、巻き乱れたコイルと正常品のコイルとの外径寸法の差はほとんどないが、AIによる画像処理を施すと、巻き乱れを認識できることが分かる。

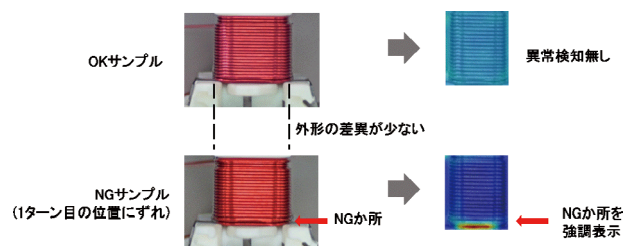


図8 AI画像処理技術による巻線NGの検知

4. TOKUFASTbot開発秘話

ここまでキューブ早解きロボットと巻線機が同じ技術基盤に拠っていることを説明してきた。実はこうした巻線機の技術をデモンストレーションし、広く知っていただくことがTOKUFASTbotの開発意図であった。

今回の開発を主導した一人の若手技術者（TOKUFASTbot=TOKUFAST Accurate Synchronized motion Testing Robotの名前の由来となった徳井君）は常々、我々の巻線技術に関して「自称」世界一を名乗っていたがそれを証明する手段を得られていなかった。

そんな彼がある時、ロボットによるキューブ早解き世界記録のネット動画を偶然に見つけて「自分たちが普段扱っている巻線機の動作の方が速い!」と言いつ出したのが事の始まりである。

世界最速のロボットを作って技術を証明したいという突拍子もない相談を受けた直属上長のみならず、以前より世界一を証明してみると焚きつけていた二次上長やセンター長の理解もあり、また一緒にプロジェクトへ参加する他の若手技術者の育成や当社FA機器の性能検証としての側面も鑑みて即日開始したのが本プロジェクトであった。

結果として世界中に対して望外のアピールの場を得られたことはご存じのとおりであるが、同胞技術者の方々には今回の記事を通じて裏にある技術的側面も知っていただきたいというのが筆者の高望みである。

参考文献

- 1) 三菱電機技報 パズルキューブと早解きと巻線機のコア技術 2024年 Vol. 98, No. 9

(原稿受付: 2025年6月17日)

会 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する制御プラットフォーム

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

皆様の論文投稿をお待ちしております。

解説

水グリコール系作動液のリサイクル技術

著者紹介



かね まつ なお ひろ
兼 松 直 弘

株式会社MORESCO
〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町5丁目5-3
E-mail: kanematsu@moresco.co.jp

2000年岐阜大学大学院工学研究科物質工学専攻修了、博士（工学）。同年、株式会社MORESCO入社し、作動油などの特殊潤滑油の研究開発に従事。現在、サーキュラープロダクツ担当として自社製品のリサイクルに取り組んでいる。

1. はじめに

近年、世界的な人口増加や経済成長による環境問題の深刻化や自然災害の激甚化の影響が顕著になってきている。また、大量生産・大量消費、大量廃棄への問題提起がなされるようになってきた。そのような環境下において循環型経済の考え方はカーボンニュートラルや持続可能な成長を促すSDGs（Sustainable Development Goals）を実現するための手段として期待されている¹⁾。フルードパワー市場においても持続可能な社会づくりに貢献をしていく必要があり、当解説では作動油などの潤滑油リサイクル動向及び著者らが取り組んだ水グリコール系作動液のリサイクルの概要と検討してきた課題について述べる。

2. 製品リサイクルについて

2.1 ライフサイクル

一般的な製品ライフサイクルを図1に示した。

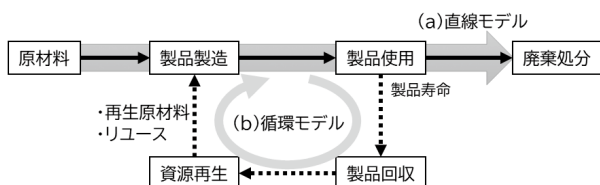


図1 製品のライフサイクル(a)直線モデル、(b)循環モデル

製品は原材料から製造され、製造された製品は顧客で使用され、製品性能が発揮できなくなる（製品

寿命に至る）と新しいものに交換される。製品寿命に至ったものはこの先2つのルートのいずれかを進むことになる。

図1(a)では焼却処理などの中間処理、最終処分（残渣埋立）を経て、廃棄処分するルートである。この場合、使用済み製品を構成している資源は再び利用することはできない。（廃棄処理過程で熱エネルギーなどへ転換され活用される場合もあるが、ここでは実体のある資源そのものとしての活用ができないという意味である）。

もう一つは図1(b)で示したような循環するルートである。製品寿命に至ったものを回収し、資源再生を行う。そこから得られた再生原材料などを製品製造に利用する。この場合、図1(a)よりも資源の有効利用ができる。持続性の観点では回収～資源再生と原材料で使用するエネルギーやGHG（Greenhouse Gas）発生量が原材料を超えないように留意することが重要である。また、製品回収したもの全てを再生することができないケースもあるのでその点も留意する必要がある。現在、循環モデルを適用することが難しいケースにおいても、再生技術の進展により適用可能となることも十分に考えられる。

2.2 潤滑油のリサイクル動向

日本における油圧作動油を含む潤滑油全体としてのリサイクル状況について、2022年度のデータによると、使用済み潤滑油として91万kLが排出されており、そのうち72万kLが回収されている。使用済み潤滑油の回収率は79%である。回収された潤滑油のうち54万kLが再生重油として再生されており、主に工業炉向けの燃料として利用されている²⁾。

これを潤滑油製品のライフサイクルにあてはめると、最初の製品は図1(b)で循環し、再生後は燃焼して消費されてしまうため、図1(a)に相当する。最初の製品から見れば2回製品化し、利用されていることから、再生無しの場合と比較すれば資源を有効に利用できていると言える。しかしながら、燃料へ再生すると必然的に燃焼することになるため、形ある資源から熱エネルギーとして消費され、多量のGHG排出源となってしまう。環境負荷を低減や資源の有

効利用をするためには、燃料以外として再生原料もしくはリユース可能な状態とすることが望ましいと考えられる。

再生原料化は海外では既に実施されており、表1のとおり欧州、米国では燃料化されるよりも、再生基油としてマテリアルリサイクルされている方が多い状況である。日本でも使用済み潤滑油の再生基油化についての取り組みが始まっている。

表1 潤滑油リサイクルの状況³⁾

単位：万kl

	米国	欧州	日本
潤滑油 販売量	935	425	155
発生した使用済み潤滑油量 (①)	522	207	73
回収された使用済み潤滑油量	359 69%	170 82%	60 82%
再生基油原料への利用量	186 36%	111 54%	0 0%
燃料への利用量	173 33%	58 28%	60 82%

パーセンテージは発生した使用済み潤滑油量 (①) に対する、それぞれの項目数量の割合である

3. 水グリコール系作動液のリサイクル技術

潤滑油全体では鉱物油系を主成分とする製品が多いことから鉱物油に注目したりリサイクルの実施や検討が中心となっているが、ここでは鉱物油以外を主成分とする潤滑油製品のマテリアルリサイクルの事例として、著者らが研究開発を行い、2016年より実用化された水グリコール系作動液のリサイクル (以下、本リサイクル) について述べる。

3.1 水グリコール系作動液について⁴⁾

水グリコール系作動液の組成例を図2に示す。水グリコール系作動液は鉱物油を主成分とする石油系作動油と組成が大きく異なり、水、グリコール、添加剤 (増粘剤、防錆剤、潤滑添加剤、消泡剤、着色剤など) で構成されており、すべての成分が水、グリコールに溶解している。

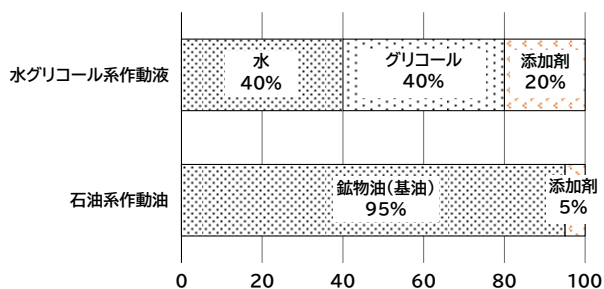


図2 作動油の組成例

粘度グレードはISO VG32～46程度であり、鉄系金属の腐食を防止するためにpH 9～11程度のアルカリ性となっている。

水を含有することから燃焼しにくい性質を有していることから難燃性作動油に分類され、高温雰囲気下で生産活動を行う鉄鋼設備や鋳造設備の安全対策 (火災延焼防止) として使用されていることが多い。

3.2 水グリコール系作動液のリサイクル概要

水グリコール系作動液も前述したライフサイクルと同じように、原材料から製品を生産し、油圧装置に充填され油圧回路内を循環して使用される。使用によって劣化が蓄積し、所定の粘性が維持できない場合や劣化生成物が蓄積しpHが低下するなど、予め設定してある使用範囲を逸脱した時に製品寿命に達したとみなして、作動油の交換が行われる⁵⁾。製品寿命としては油圧装置や稼働条件、作動油の補充状況により異なるが概ね数年程度であることが多い。

製品寿命となった水グリコール系作動液は従来リサイクルされず廃棄処理をされていた (図3上半分) が、このライフサイクルに製品回収、資源再生化の仕組みを導入し、再生原料としてグリコールと水を回収し、再び製品へ利用するマテリアルリサイクルを実現している (図3下半分)。しかしながら抽出、精製工程で残渣が発生するため、その残渣を廃棄処理する必要がある⁶⁾。

表2に本リサイクルを実施することによる環境への影響と製品使用ユーザーへの影響についてまとめた。資源の有効利用と共に温暖化ガスの排出量は従

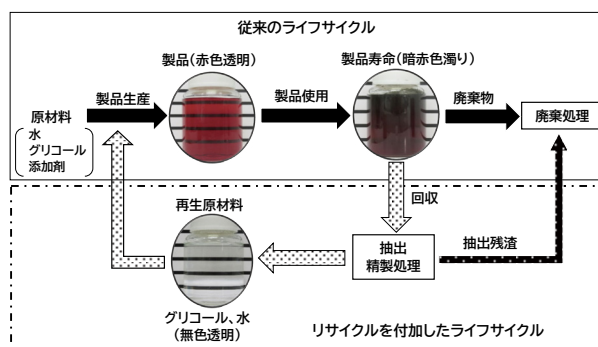


図3 水グリコール系作動液のリサイクル概要

表2 本リサイクルを実施することによる影響

環境への影響

- ・温暖化ガスの排出抑制
産業廃棄物処理による燃焼処理の抑制による (Scope3 (間接) 排出の抑制)
- ・資源の有効活用

製品使用ユーザーへの影響

- ・産業廃棄物の排出削減
- ・産業廃棄物処理費用の削減
- ・マニフェスト運用の手間の削減
- ・CO₂排出 (Scope3 (間接) 排出) 削減

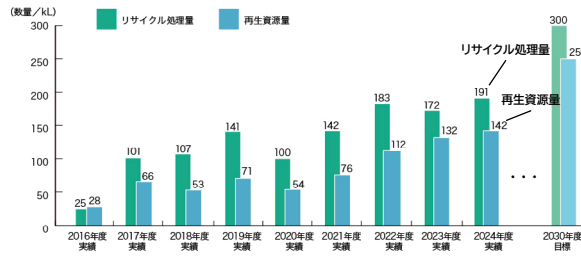


図4 本リサイクルの実績

来どおりの産業廃棄物処理よりもリサイクルをした方が少なくなる⁷⁾。

本リサイクルの実績を図4に示した。2016年開始時点からは増減を繰り返しながら全体としては回収量、処理量ともに増加傾向を示しており、2024年は回収量、処理量ともに最も多くなった⁶⁾。

3.3 リサイクル実施への課題

このマテリアルリサイクルを実現するあたり技術面、物流や運用面、法律など広範囲にわたる課題を解決する必要があった。具体的には以下のようなものが挙げられる。

- ①使用済み製品から再生原材料の抽出方法（再利用可能な物質の取り出し方）
- ②再生原材料の利用方法
- ③使用済み製品の廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法）における扱い
- ④使用済み製品の回収物流
- ⑤回収対象とする使用済み製品の品質確保
- ⑥経済的合理性

リサイクルは環境貢献や社会貢献の位置づけとして実施する意義は十分にあるが、一方で事業を継続的に運営していくことも重要であるため経済的な合理性も考慮する必要がある。

3.3.1 再生・利用技術（①・②）

使用済み水グリコール系作動液からどのようにリサイクルできるのかを見出すことが必要であることから、使用済み製品の性状や成分の詳細分析から取り組んだ。先に述べたとおり寿命に至った製品はpHや動粘度が所定の使用範囲から逸脱していることから、構成成分は化学的な変化が起きていると示唆される。せん断力や摩擦摩耗などの機械的な力、熱、酸素、圧力の影響を複合的に受けることで水グリコール系作動液成分の分解反応が促進され酸性物質が生成する。その結果pHの低下や粘度の低下となって現れることが分かった。一方で主成分の水については劣化の影響はほとんどなく、グリコールについても劣化の影響が小さいことが分かった。これらの結果から使用済み製品から劣化生成物を取り除くことができれば、水、グリコールを再生原材料として

抽出することができると着想した。

グリコールの抽出・精製方法を種々検討したところ蒸留法が最も実用的な方法であると判断した。この方法において、蒸留ができないもの（劣化生成物や外部コンタミ成分を含む）は蒸留残渣として全体の20～30%程度発生する。これらは現時点では産業廃棄物として廃棄せざるを得ないが、この残渣からさらに有効成分を抽出する方法について現在研究開発を行っており、さらなる廃棄物の低減に取り組んでいる。

再生原材料の利用面に関して、再生原材料であるグリコール、水の比率が抽出毎に一定とならないが、これは使用済み製品中の水、グリコール成分比率が回収先の使用状況に依存しているためである。そのため、製品生産の原材料として利用する際には配合量の調整が必須となる。これは調整式を予め設定しておくことで調整は容易になる。

3.3.2 廃棄物処理法上の取り扱い（③）

使用済みとなった作動油は産業廃棄物となるため廃棄物処理法に従って処理をしなければならない。すなわち排出者が廃棄物処理を委託する場合には各自治体で許可を受けた廃棄物処理事業者が処理を行わなければならないが、効率的な再生利用の促進などを目的とした特例制度が制定されている。

特例制度の一つである広域認定制度は製品の製造事業者が申請し、自社製品が産業廃棄物となったものの回収、処理に関して、地方自治体ごとで取得が必要な廃棄物処理業の許可取得が不要となる制度である。ただし、産業廃棄物処理設備で処理する場合には設置許可が必要である。この制度を利用することで産業廃棄物の収集、運搬、処理を製造事業者で実施することが可能となる⁸⁾。

一方で有価物であれば廃棄物ではないので廃棄物処理法は適用されないが、有価物か廃棄物の判断は、物の性状、排出の状況、取扱い形態、引取価値の有無及び占有者の意思等を勘案して総合的に判断することとなっている。判断の目安として、売却代金と運搬費などを相殺しても、排出側に収入があれば有価物とみなされる可能性が高いが、詳細は地方自治体の環境担当部署への相談が必要である⁹⁾。

本リサイクルは使用済み水グリコール作動液の廃棄物処理法の適応範囲について地方自治体へ相談、確認を行い有価物として取り扱いをしている。

3.3.3 回収物流（④）

使用済みの製品を消費者からメーカーへ向かう物流であり静脈物流や回収物流と呼ばれている。（通常の製品はメーカーから消費者への物流であり動脈物流と呼ばれている）¹⁰⁾

前項で述べたように使用済み製品を産業廃棄物とみなすのか、有価物とみなすのかにより物流運用方法が大きく異なるので、まずは使用済み製品の法律上の取り扱いを明確にする必要がある。

本リサイクルでは顧客先で新油への入替作業で抜き取った使用済み製品は、有価物として取り扱うため販売店と連携して動脈物流の帰り便などを活用して処理工場まで運搬している。

3.3.4 回収品の品質 (5)

リサイクルを円滑に実施するためには回収する使用済み製品の品質が大きく関係する。本リサイクルにおけるグリコール抽出処理を円滑に行うために受入品質を設定している。水分やコンタミ（鉱油分）、pHを指標として設定しており、著しい劣化や多量のコンタミが混入しないようにしている。また通常使用時から定期的な潤滑管理サービスを提供しており、水分異常やアルカリの消耗、コンタミ混入が発生した際には適切な調整や処置方法を提案している。こういった潤滑管理サービスを通じて作動液としての性能が低下したとしても、リサイクルを適用できるようにしている。

4. 最後 に

水グリコール系作動液のリサイクルを事例としてリサイクルの概要と実施に際しての課題に関して述べてきた。課題を解決しながらよりよい運用方法を目指し、資源の有効利用およびよりよい地球環境への取り組みを加速していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 経済産業省：循環経済ビジョン2020, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/junkai_keizai/pdf/20200522_02.pdf
- 2) 全国オイルリサイクル共同組合：令和5年度環境省委託事業 令和5年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業のうち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業（うち、廃油のリサイクルプロセス構築・省CO₂化実証事業）基油再生のための使用済み潤滑油回収システム開発等事業 成果報告書, p. 3
- 3) ENEOS株式会社：令和5年度環境省委託事業 令和5年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業のうち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業（うち、廃油のリサイクルプロセス構築・省CO₂化実証事業）（廃潤滑油を利用した潤滑油基油へのリサイクルプロセス構築）成果報告書, p. 10-11
- 4) (一社) 日本フルードパワー工業会：実用油圧ポケットブック2020版, 第4章 p. 252-258
- 5) (一社) 日本フルードパワー工業会：実用油圧ポケットブック2020版, 第8章 p. 388-389
- 6) 株式会社MORESCO HP：グリコールのマテリアルリサイクル <https://www.moresco.co.jp/products/materialcycle.php>
- 7) (一社) サステナブル経営推進機構：IDEAデータベースの排出原単位を利用しGHG排出量の算出を行った
- 8) 環境省HP：環境再生・資源循環, 広域認定制度関連 <https://www.env.go.jp/recycle/waste/kouiki/index.html>
- 9) 東京都環境局：よくある質問 基本編 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/inquiry/faq/resource/faq_02
- 10) 郵便局HP：静脈物流とは？動脈物流との違いや必要性についてわかりやすく解説 https://www.post.japanpost.jp/bizpost/column/domestic3/reverse_logistics/#sec03

(原稿受付：2025年7月1日)

解説

水圧パワーユニットと水圧バルブ

著者紹介

た なべ やす のぶ
田 邊 康 伸

廣瀬バルブ工業株式会社 技術・開発課

〒522-0033 滋賀県彦根市芹川町436

E-mail : yasunobu.tanabe@hirose-valves.co.jp

2004年廣瀬バルブ工業株式会社入社、主に油圧バルブ、水圧バルブなどの開発・設計業務に従事。

1. はじめに

当社は油圧バルブの製造販売メーカーである。その一方で2001年頃から日本フルードパワー工業会の水圧部会メンバーとして、水圧バルブについても開発・研究を進めている。バルブ屋なので水圧バルブに特化して開発を進めていたが、今回新たに水圧パワーユニットを製作した。これはバルブメーカーである当社において新たな取り組みの一つである。バルブにおいて「流体を完全に遮断する技術」¹⁾が生まれて100年になるが、当社の水圧バルブを活かした水圧パワーユニットについて紹介する。

2. 水圧ユニットの開発経緯

当社はこれまで油圧だけでなく水用高压バルブの開発に取り組んでいた。従来の水用高压汎用バルブとは、ストップバルブ、スロットルチェックバルブ、ボールバルブ、インラインチェックバルブを示す。用途としては、洗浄機やウェータージェット機、製鉄所のデスケリングなど水を高压に吐出して作業を行う機械に多く採用頂いていた。また送水を目的とした水圧機械は市場に浸透しているが、日本フルードパワー工業会が推し進めている「水が機械を動かす」新しい水圧市場へ展開するには、要素の充実が不可欠であった。

2000年より水圧システム研究委員会（現フルードパワー工業会水圧部会）に加わり、先に挙げた通り、水用バルブを当社は持ち合わせていたが、システム設計を行う上で重要視される切換弁や圧力調整弁といった水圧バルブの開発を進めた。その後、水

圧バルブ単体の販売を進めていたが、バルブの製造販売だけでは新たな水圧市場の開拓に得られる情報が乏しい現状があった。そこで自社の水圧ユニットを製作し、ユーザーに水圧を試してもらう環境を整えるため、水圧ユニットの設計・開発を行うことに至った。

3. 水圧パワーユニット

3.1 基本的性能

水圧パワーユニットの外観を写真1、基本回路を図1に示す。



写真1 水圧パワーユニット

当社が製作した水圧パワーユニットの基本性能は以下の通りである。

電動機：15kW

最高使用圧力：14MPa

最大流量：57.6L/min

at 1,800rpm 理論値

流体：水道水

弊社はプランジャーポンプを用いた水圧試験ユニットを所有していた。（写真2）今回の水圧パワーユニットは、海外製水用固定容量アキシャルピストンポンプを用いている。プランジャーポンプを採用しなかった理由として、①脈動の発生②装置の

大型化③騒音が挙げられる。設置面積あたりの仕事量を上げるためにも、ポンプをステンレス製タンク内に組み込みユニットのコンパクト化を図った。

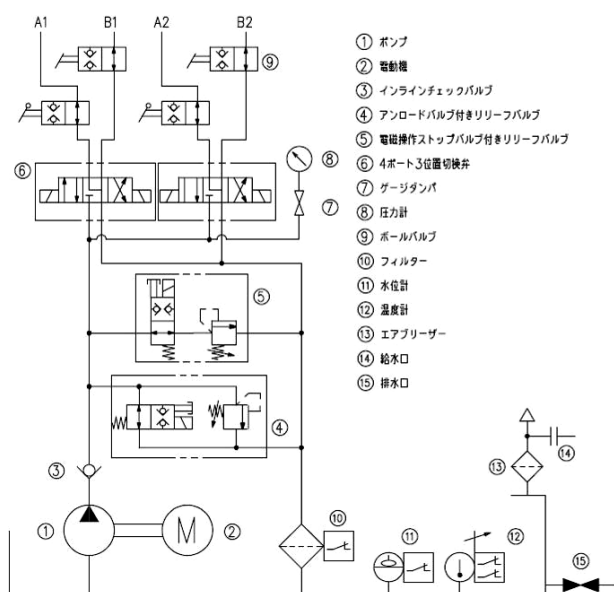


図1 水圧パワーユニット 回路図

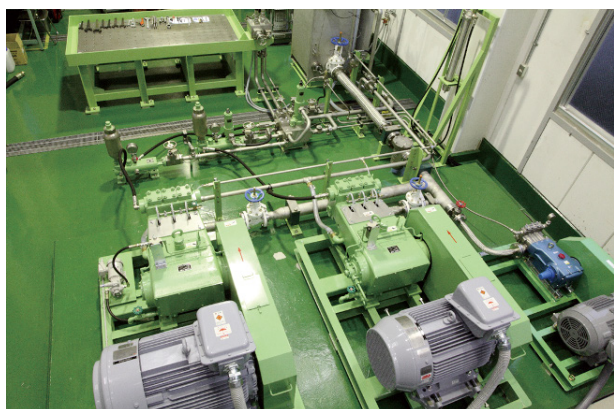


写真2 水圧試験設備

4. 水圧バルブ

4.1 ABT接続4ポート3位置電磁操作切換弁

水圧システムを設計する上で重要視されるのは切換弁である。水圧は油圧と比べて漏れやすく、実際に比較してみると油と比べ水は50～100倍の漏れ量であった。これが油圧と同形状の水圧切換弁が商品化されていない理由である。新たに当社のコア技術である「流体を遮断する技術」を用いて、中圧域（5～14MPa）でも操作が可能なポペット式のABT接続4ポート3位置電磁操作切換弁の開発に成功した。（写真3、特許取得）これはABT接続に限られているが、現在オールポートクローズタイプなど新たなバルブの開発にも着手している。

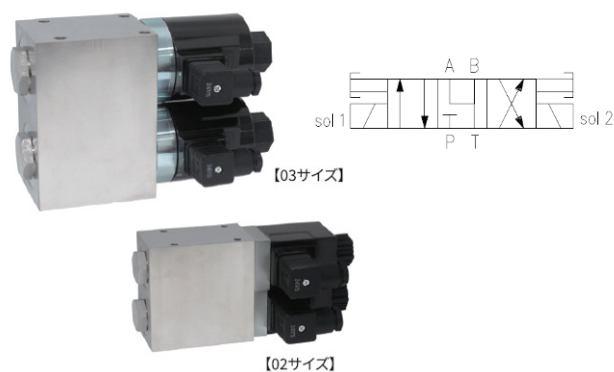


写真3 ABT接続4ポート3位置電磁操作切換弁

4.2 電磁操作ストップバルブ

当社の「流体を遮断する技術」を用いて、高圧でも電磁操作により開閉できるバルブを開発している。先に挙げた切換弁にもこの技術を組み込んでおり、電磁切換弁の基本となるバルブである（写真4）。

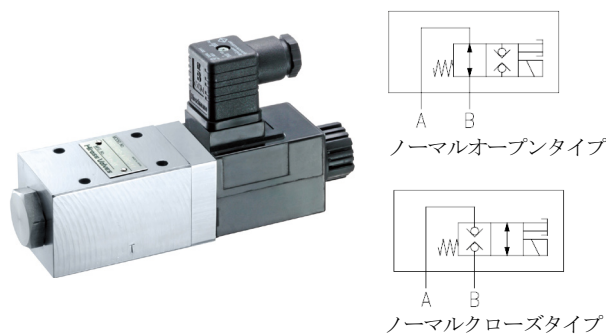


写真4 電磁操作ストップバルブ

4.3 リリーフバルブ

送水を目的とした水圧回路にはすでにリリーフバルブが使われており、構造の多くは直動形であり、その位置付けは安全弁である。当社では、直動形の構造にダンパ機構を設けて圧力を制御する目的の要素として商品化している（写真5）。振動を制御していることを特長とする。02サイズのオーバーライド特性を図2に示す。直動でありながらバランスピストン形に近い特性である。採用例には試験設備、食品加工機械、産業機械などがある。



写真5 直動形リリーフバルブ

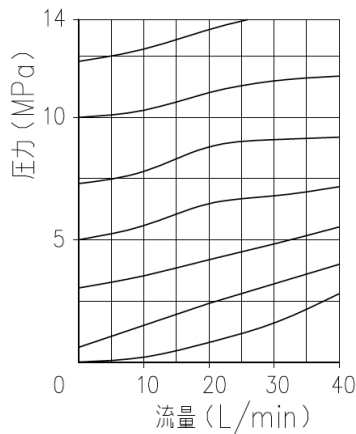


図2 オーバーライド特性

4.4 フローコントロールバルブ

フローコントロールバルブ（写真6）は流量調節用絞り部と圧力補償部から構成される。当社ではメンテナンス性が良好で構造がシンプルな流量調節用絞り穴を固定とする構造を採用している。水で機械を動かす場合、流量調節用絞り穴を可変としたほうが使いやすいとの声も多くなり、調整範囲が広いフローコントロールバルブも現在開発中である。図3にバルブの流量—圧力特性の一例を示す。



写真6 フローコントロールバルブ

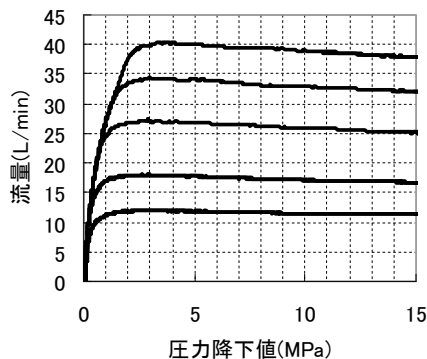


図3 流量—圧力特性

4.5 パイロットチェックバルブ

水で機械を動かす場合、油圧同様アクチュエータ

の位置保持や負荷を安全かつ確実に保持し、意図しない動きを防ぐ必要があり、パイロットチェックバルブ（写真7）は必要不可欠な要素である。本弁にも「流体を遮断する技術」を用いて、開発に至っている。水門、試験装置、シール製造装置などに採用実績がある。



写真7 パイロットチェックバルブ

5. おわりに

水圧パワーユニットは経済産業省近畿経済産業局から、「関西ものづくり新撰2025」²⁾の特別賞を受賞した。「関西ものづくり新撰」は関西のものづくり中小企業の新産業・新市場の創出を促進するため、企業が新たに開発した製品・技術などを発掘し、選定されている。今回油圧方式の欠点である油漏れの心配がない画期的な製品として、環境設備や食品製造設備など幅広く応用は可能と評して頂いた。機械を動かす要素として水圧は新しく採用され始めているが、油圧製品に比べると精密な制御が出来ないなど、まだまだ、多くの課題を抱えている現状がある。20年前とは異なり、多様な企業が水圧の製品を開発して市場に出回る世の中になってきている。幅広い圧力域で水圧は使用されるため、用途によって、水圧の可能性は多岐に渡っている。当社は中圧域（5～14MPa）の水圧の可能性を模索しながら、水圧製品を世の中に広め、社会に貢献していく。

参考文献

- 1) 井口務：水用高圧汎用バルブ，日本フルードパワーシステム学会誌，Vol. 44，No. 4，p. 23-26（2013）
- 2) 「関西ものづくり新撰2025」を選定しました！，経済産業省近畿経済産業局
<https://www.kansai.meti.go.jp/3-5sangyo/shinseihin/2025/sentei.html>

（原稿受付：2025年6月23日）

解説

ピーク圧力を利用したエアブローによる省エネ手法

著者紹介

さ さ き ひろ あき
佐々木 博 章

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: sasaki.hiroaki@smc.com

2003年関西大学工学部卒、2003年4月SMC株式会社入社。現在開発第8部所属。主に省エネ製品の開発に従事。

1. はじめに

工場で使用される電力の内、エアコンプレッサの消費電力の占める割合が多く、省エネルギー化には空気消費量の削減が不可欠である。用途割合で見ると、エアブローは多種多様の用途があり、エアブローガンや加工機内のブロー、設備の清掃など様々なところで使用され、工場の空気消費量の約42%を占めるといわれている（図1参照）。

本報では、エアブローの効率化に貢献する新しい手法として、ピーク圧を利用したエアブローについて紹介する。

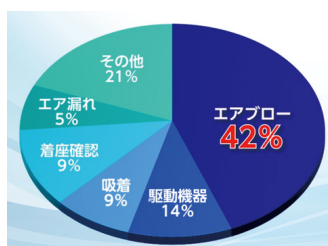


図1 工場の空気消費量の用途割合

2. エアブロー作業の問題点

エアブロー作業において、空気消費量が多くなる理由として以下のことが挙げられる。

- ①ノズルからの吐出圧力が弱く、仕事を達成するまでに長時間エアブローを行う。
- ②エアブロー作業の基準が不明確なため、作業者の判断で過剰にエアブローを行う。

これらの対策としては、まず吐出圧力を改善し、短時間でエアブロー作業を行うことが必要となる。しかし、吐出圧力の改善には1次側配管サイズや供給圧力の見直しが必要となる。また、作業者によって変わるエアブロー作業の時間を制限することは容易ではない。

これらを解決するためには、ピーク圧を利用したエアブローが効果的である。ピーク圧とはエアブローの始めに吐出される高い圧力のことである。

3. ピーク圧を利用したエアブロー

エアブロー作業の原理に着目すると、エアブローは物体を移動させる作業と言える。物体は動き始めに一番強い力が必要であり、動き出した後は弱い力で移動する。この「静摩擦>動摩擦」の原理を利用してエアブローを行うことが効率的と言える。その際の吐出圧力のイメージを図2に示す。

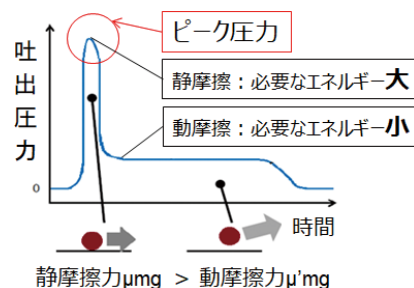


図2 物体の移動に必要な吐出圧力イメージ

4. インパクトブローガン

4.1 製品概要

ピーク圧を高めるためには、瞬間的に高い圧力のエアを吐出する必要がある。エアブローガンを例にすると、従来品はレバー操作によってダイレクトにバルブの弁体部をスライドさせて開閉するため、作業者の操作具合によってバルブの開閉スピードとブロー時間が変わる。また配管の圧損により高いピーク圧力は得られない。

それに対し、インパクトブローガンは、バルブの駆動がパイロット式となっている。そのため、どの

ようにレバー操作しても、常に一定でかつ瞬時にバルブを全開にすることが可能である。さらにブローガン本体にタンクを内蔵しているため、1次側配管の圧損に左右されず、常に高いピーク圧力が吐出可能となっている。図3にインパクトブローガンの外観を示す。



図3 インパクトブローガン

4.2 アジャスタ機能付

バリエーションの一つとして、アジャスタ機能付がある。これは、吐出圧が強すぎる場合に弱くする調整機構である。アジャスタ機能付の外観を図4に示す。

アジャスタにはメモリがついており、数字で調整量の管理が可能であるため、作業者によるバラツキを抑え、エアブロー作業の手順の明確化への活用が期待される。また、メモリ部の破損防止のため、保護カバーを設けている。

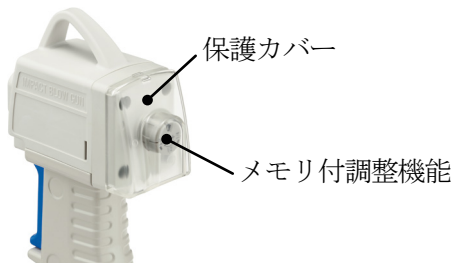


図4 アジャスタ機能付

4.3 パルス機能付

もう一つのバリエーションとして、パルス機能付がある。パルス機能付の外観を図5に示す。従来の製品はインパクトブローを連発する場合、その都度レバーを握り直す必要があったが、パルス機能付はレバーを握り続けている間、パルス状にインパクトブローを吐出する。また、内蔵のニードルを調整することで吐出頻度を変更することが可能である。これにより、作業者の負担軽減が見込まれる。

5. インパクトブローの効果

5.1 ピーク圧力（吐出圧力）の比較

従来のブローガンとインパクトブローガンを用い

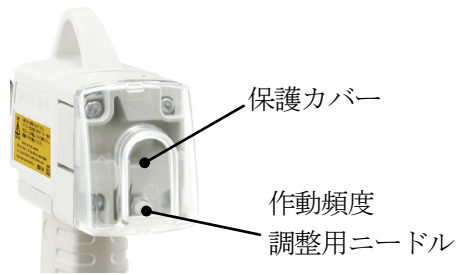


図5 パルス機能付

てエアブロー時のピーク圧力（吐出圧力）の波形を比較した。図6、図7に圧力波形を示す。その結果、従来ブローガンに対し、3倍のピーク圧（当社比）が得られた。

試験条件)

供給圧力：0.5MPa、ノズルからの距離：10mm

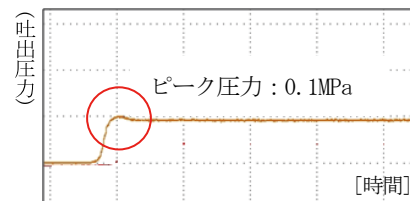


図6 従来ブローガン波形
*ノズル径：Φ2mm

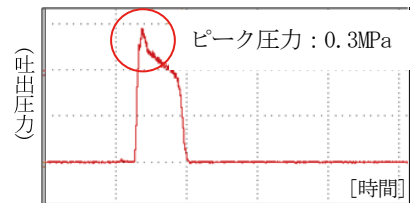


図7 インパクトブローガン波形
*ノズル径：Φ10mm

5.2 実作業での比較

次に実際の加工機内の切粉飛ばしのエアブロー作業を想定し、従来のブローガンとインパクトブローガンでの比較を行った。その結果、空気消費量：87%，作業時間：97%の削減（当社比）となった。図8に試験時の様子を示す。

試験条件)

供給圧力：0.5MPa

試験結果)

- ・従来ブローガン
エア消費量6.3L，作業時間：3.1秒
- ・インパクトブローガン
エア消費量0.8L（－87%），作業時間0.1秒（－97%）

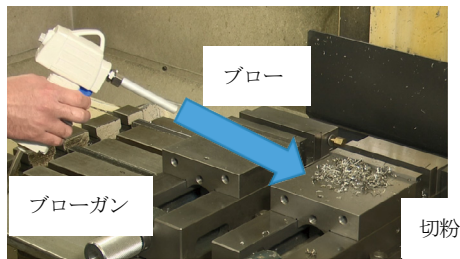


図8 試験状態（加工機内）

6. インパクトブローバルブ

前述のインパクトブローガンは手動で操作するタイプの製品であるが、電気信号で操作するタイプのインパクトブローバルブもラインアップしている。

インパクトブローバルブは電気信号で作動を制御できるため、加工設備内などの狭いスペースに設置することが想定される。そのため、コンパクトな設計となっている。（図9、10参照）

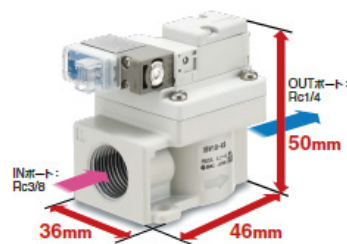


図9 インパクトブローバルブ 電磁弁搭載形



図10 インパクトブローバルブ エアオペレート形

上述した通り、インパクトブローを行う上でタンクは重要な役割を持つ。ガンタイプは製品にタンクを内蔵しているが、バルブタイプはコンパクト設計となっているため、製品にタンクを内蔵していない。バルブタイプはユーザーで配管する一次側の配管容積をタンクと見立てることで、高いピーク圧を吐出するコンセプトとなっている。

そのため、ユーザーで配管内径や容積を調整することで、吐出するピーク圧を調整することが可能となっている。供給圧力や配管内径・容積違いにおけるピーク圧の違いを図11、12に示す。

試験条件）

供給圧力：0.5MPa

一次側配管内径：Φ13mm、Φ10mm、Φ8mm

一次側配管容積：50cc、100cc

二次側ノズル：専用ノズル（50mm）

ピーク圧測定位置：ノズル開口部より10mm、50mm

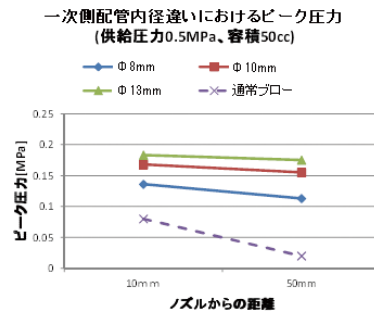


図11 一次側配管容積：50cc時のピーク圧

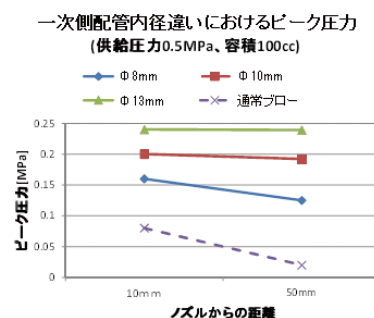


図12 一次側配管容積：100cc時のピーク圧

7. アプリケーション例

7.1 加工機内のブロー（図13参照）

加工中に刃物に絡まった切粉をワーク交換時にエアブロー等で除去する際、切粉が取れにくく、多量のエア消費と多大な作業工数を要している。そこで、下記のように設備内部にインパクトブローバルブを設置し、従来の作業とインパクトブローバルブを用いた作業の比較検証を行った結果、エア消費量は93%、作業時間97%の削減（当社比）となった。

試験条件）

供給圧力：0.5MPa

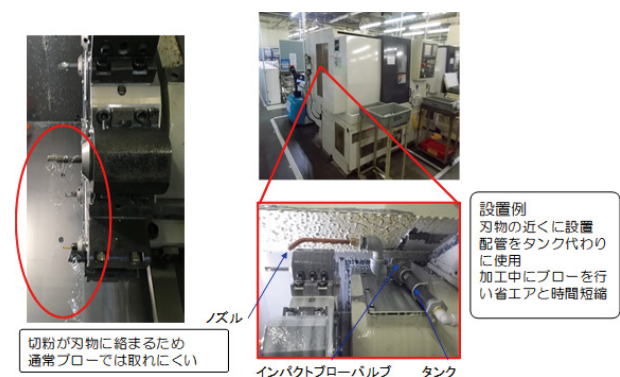


図13 加工設備でのアプリケーション例

試験結果)

- ・従来作業（従来ブローガン）
エア消費量8.0L，作業時間：4.0秒
- ・対策後（インパクトブローバルブを使用）
エア消費量0.6L（－93%），作業時間0.1秒（－97%）

7.2 プレス板のブロー（図14参照）

プレス板をパッド等で吸着して搬送するという工程があるが、プレス板が油分等により2～3枚の板が貼りついた状態で搬送してしまい、設備が停止するという事例がある。

貼りついたプレス板を分離するため、エアブローを行っているが、多くのエアを消費し、作業時間も多くなっている。そこで、インパクトブローバルブを用いた作業にて比較検証を行ったところ、エア消費量は93%，作業時間97%の削減（当社比）となった。

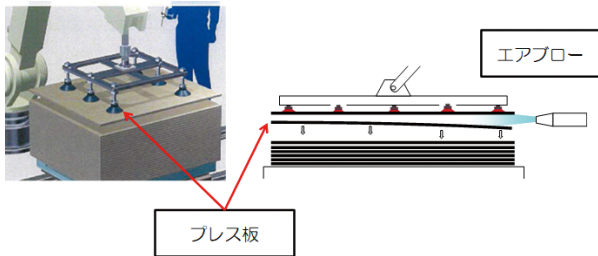


図14 プレス板はがしでのアプリケーション例

試験条件)

供給圧力：0.3MPa

試験結果)

- ・従来作業（従来ブローガン）
エア消費量6.0L，作業時間：3.0秒
- ・対策後（インパクトブローバルブを使用）
エア消費量0.4L（－93%），作業時間0.1秒（－97%）

7.3 その他のアプリケーション例

その他のアプリケーション例として、金型の清掃、洗浄後の水切り乾燥、不良排出などが挙げられる。

8. オプション

強いピーク圧を吐出することで空気消費量の削減、作業時間の短縮を図ることが可能となったが、吐出時の音が大きいという課題がある。その対策として、仕事量は大きく落とさず、消音効果を持たせた消音ノズル（図15）を用意している。また、切粉等の跳ね返りによる作業者の負傷を防止できるよう、チップガード（図16）も用意している。

消音ノズル有無による作動音

＊供給圧力：0.5MPa時，当社測定条件による。

消音ノズル無：95dB

消音ノズル有：78dB

また、アメリカの労働規格としてOSHA規格があり、内容としては以下の通りである。

- ・作動音：90dB以下 規格No. 1910.95
- ・ノズル先端を押さえた際に内圧が30psi（0.21MPa）以上に上昇しないこと。
規格No. 1910.242b
- ・ブローガンを使用する際にチップガードを設けること。 規格No. 1910.242b

オプションの消音ノズル、チップガードを使用することで、OSHA規格にも対応可能となっている。



図15 消音ノズル



図16 チップガード

また、これまではインパクトブローと通常ブローの両方を行いたい場合、専用のガンを各1台用意するか、インパクトブローガンの先端ノズルを交換することで対応していたが、切換ノズル（図17）を使用することによりハンドル操作のみでインパクトブローと通常ブローの切換が可能となった。

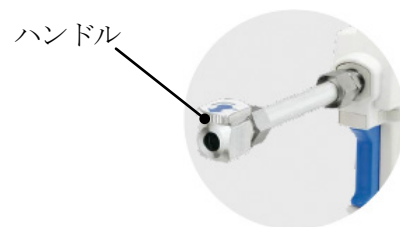


図17 切換ノズル

9. 最後 に

エアブローは多種多様の用途があり、工場の至る所に使用されている。そのため、エアブロー作業の空気消費量を削減することが、工場の省エネ化に最も効果的である。

今回紹介したインパクトブローガン・インパクトブローバルブがエアブロー作業全体の見直しのきっかけとなり、工場の省エネ化に貢献できれば幸いである。

（原稿受付：2025年6月23日）

解説

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

著者紹介



緒方 裕盛

油研工業株式会社
〒252-1113 神奈川県綾瀬市上土棚中4-4-34
E-mail: hi.ogata@yuken.co.jp

1996年大阪教育大学大学院教育学研究科物理学専修修了、油研工業株式会社入社。サーボ制御システム設計に従事、2004年より同研究開発部で油圧制御コントローラ・アンプ開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員

1. はじめに

センサレスとは物理量の検出機構（センサ）を使用せず（レス）に物理量を推定する事を意味し、一般的に工業製品では回転型モータを対象として角度センサを使用しない速度制御が想起される。このモータ回転数を制御するためにセンサレスで角度検出する技術は1980年代にエアコンで商品化され、産業用においても1990年代から製品化されて、現在では回転数や角度決めなどに高精度と追及するモータを除いて、幅広く適用されている。

このような技術的な背景から、フルードパワー機器で幅広く使用される電磁ソレノイド・アクチュエータに対してもセンサレスで可動鉄心の位置を検出して油圧制御の精度を高めようとする志向があった。

2. フルードパワー機器のセンサレス技術

2.1 センサレス検出

物理量の検出機構から考えると「センサレス」とは実態に即しておらず、センサ専用の検出機構に対して、アクチュエータを構成する電磁石への駆動電流と電圧の変化から可動部の位置推定によって代替している事から「アクチュエータ・センシング」が実態である。ここでアクチュエータとしての構造が全く異なっている回転型モータとソレノイドにおいても、電磁式アクチュエータとして共に電磁気力を介した作動原理から、広義に共通の検出原理が適用可能となり、回転型モータと比較して構造や電磁気的な作動がシンプルなソレノイドでは可動部の位置

推定も容易となることが推測される。

2.2 ソレノイドで作動するフルードパワー機器

フルードパワー機器ではソレノイドへの駆動電流のオン/オフによって流路を切り換える「電磁切換弁」（以下では電磁弁）が数量的に多く使用されており、ソレノイドへの駆動電流の増減によって圧力や流量を増減させる「比例電磁式制御弁」（以下では比例弁）も数多く商品化されている。

現状で商品化されているフルードパワー機器としては「電磁弁」の切換状態を検出する、または「比例弁」の制御精度を向上させるためには何らかのセンサを付加した製品が存在するが、「センサレス」技術を用いた機器は一般的には存在しないようだ。

何故、センサレス技術で可動部位置の推定が比較的容易なソレノイドを用いた商品化は成されなかったかを推し量りつつ、当社で開発中の製品を例として商品化までの道のりや、新たな技術を商品に付与していく過程などについて述べていきたい。

3. 電磁弁でセンサレス

3.1 電磁弁の基本的な作動

電磁弁ではソレノイドのコイル電流による磁界によって固定鉄心と可動鉄心が磁化され、両鉄心の間隔が狭まる方向へと推力（以下では吸引力）が発生する。この吸引力で弁内部のスプールやポペットを動かして、フルード流路の切換えや開閉機能を実現している。一般的な電磁弁ではソレノイドのコイルへ、交流または直流電源を印加することで作動するよう設計されている。

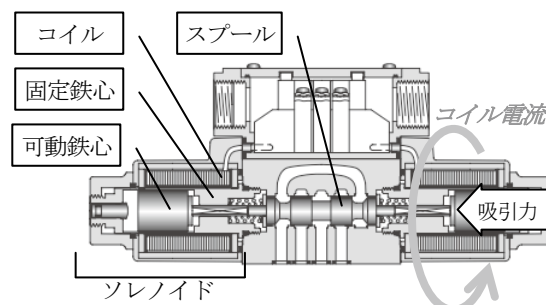


図1 電磁弁の要素部品名称と作動概要¹⁾

3.2 電磁弁の作動をセンサで検出

電磁弁は電源印加すれば作動するシンプルな弁ではあるがフルード内のコンタミネーションなどで作動不良が発生する。汎用の電磁弁では実際に流路が切換えられたか、または開閉などの作動が確実であるかを確認するには、母機システムの作動状態や圧力・流量変化など別途に検出しなければならない。

昨今の機械業界では機能安全の要求が高まっており、電磁弁を母機として重要な機構の制御に用いる場合には、電磁弁自体に切換を検出する機構を内蔵し、機械としての安全性や確実性を向上させる市場ニーズがあり、近接スイッチを内蔵してスプール切換状態を検出可能とした電磁弁が商品化されている。



図2 近接スイッチ付き電磁弁

3.3 近接スイッチの作動原理

さてセンサの一種である近接スイッチだが、検出原理には複数の方式があり、その中でソレノイドのコイル電流により可動鉄心のような電気導体を検出するのは誘導方式となる。一般的に誘導式の近接スイッチでは発振回路で駆動される検出コイルによる交流磁界にて検出対象に誘導電流を生じさせ、磁気損失によるインピーダンス変化を検出している。

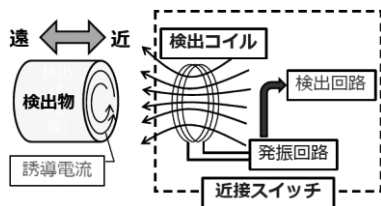


図3 誘導式の近接スイッチ作動イメージ

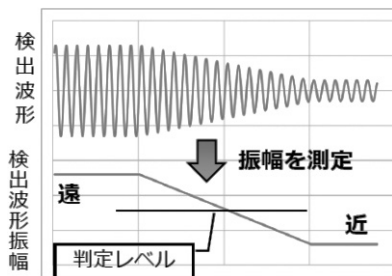


図4 近接スイッチの検出波形と判定の関係

3.4 電磁弁の作動をセンサレス検出²⁾

ここで近接スイッチの検出原理に類する技術を用

い、電磁弁ソレノイドにて「センサレス」で可動鉄心（検出物）位置をコイル駆動波形で検出し、電磁弁としての切換状態を判定したい。

電磁弁のソレノイドはコイル電流に比例した吸引力を発生させることから、電流制御において駆動電流に検出波を重畳させ、可動鉄心位置で変化する検出波電圧によって変位検出する方式が合理的である。

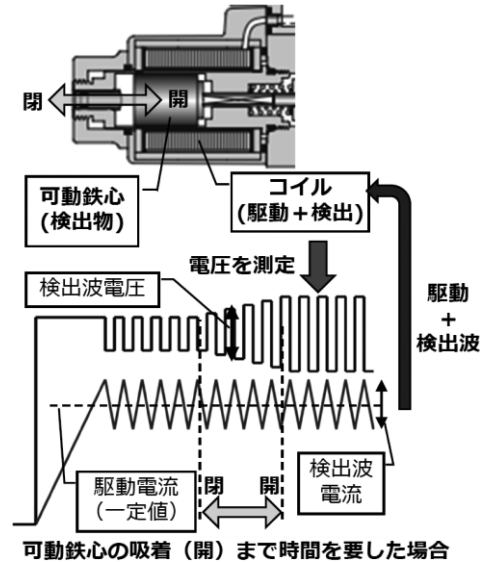


図5 電磁弁で可動鉄心位置を検出する

このセンサレス検出対象としてはソレノイド作動によりフルード制御機構を駆動している電磁弁であれば適用可能である。しかし市場流通している電磁弁のソレノイドでは、当然ながらセンサとしての特性は考慮されず、可動鉄心の吸引力を最適化しているため、磁気特性の直線性などは確保されない。むしろ磁気飽和に近い領域が効率的であるから、可動鉄心位置に対して検出波電流に応答する電圧には変曲点を有する特性が多いと推測される。

3.5 電磁弁センサレス変位検出アンプ

電磁弁で切換検出するためソレノイドが専用設計では価格競争力は無く、商品性は成立しない。汎用で市場流通量が多い標準電磁弁を対象と出来なければ、「センサレス」ではなくセンサ付きで充分である。そこでセンサレスで電磁弁のスプール切換検出するアンプでは、単に検出電圧の振幅のみでの変位判定ではなく、変曲点を有するソレノイド特性でも変位検出を可能とするため、電磁弁としての作動に影響の無い範囲で駆動電流レベルと検出電流波形を変化させて、可動鉄心変位を推定する必要がある。

このような駆動と検出の電流を実現するには電流制御性能が高く、検出波電圧の振幅を高速・高応答に計測可能なアンプが必要となる。これは高応答比例弁アンプに高速計測と変位検出機能を付加した内

容で、廉価なアンプでの商品化は難しい。

このためセンサレスで可動鉄心変位を検出するアンプには追加設置コストに対して、相応な付加価値が必要である。そこで単に切換判定のみではなく、可動鉄心変位を推定する機能によって、可動鉄心が完全に吸着しているか、不完全で間隙を生じているか、または若干しか変位しないなどの電磁弁の健全性の判定機能が考えられる。これは近接スイッチ付きには無い付加価値となる。



図6 電磁弁センサレス変位検出アンプ試作品

また昨今の機能安全には、機械を作動後に異常検知ではなく、機械の作動前に健全性を検知との要求が有る。これは駆動電流を可動鉄心が動かないレベルまで下げて変位検出のみとすると、電磁弁のスプール3位置型では中立位置にあることが確認可能となり、例えばポンプ起動前の安全確認などの用途が考えられる。このように商品化に際しては、汎用性・コスト・付加価値を適切なバランスとすることが重要だが、当社としても模索中である。

4. 比例弁でセンサレス

4.1 比例弁での方向・流量制御について

比例弁では専用ソレノイド（以下では比例ソレノイド）は可動鉄心の変位で推力が変化せずに、コイル電流に比例した推力を得られるよう設計され、この推力とフルード制御機構の受圧力や流体力、ばね力などを対向させて比例的に圧力や流量を制御する。

ところが比例電磁式方向・流量制御弁のスプール変位センサ搭載機種（以下ではセンサ付き比例弁）では指令信号に対してスプール開度を比例的に制御するが、制御流量は弁差圧（以下では ΔP ）の平方根を乗じて効くため、大半のフルードパワー機器のシステムで比例的とならない。そこでシリンダ負荷変動などによって ΔP が変化しても流量 $\propto$ シリンダ速度が変化しないように高精度と安定性を求めたシステムではシリンダなどに位置センサを組み込み、クローズドループ制御が一般的である。

4.2 センサ付き比例弁のセンサレス制御

当社ではセンサ付き比例弁の開発に注力してきた

経緯があるため、センサレス技術を適用して、性能面では劣るもののコスト競争力の向上を図りたい。

この実現性を考えるため、性能指標としてヒステリシスや繰り返し性の精度と周波数特性に着目して、当社センサ搭載機種の精度0.1～0.5%かつ周波数特性30～80Hzに対して、センサレスで精度1%以下かつ周波数特性25Hz以上を目標と仮定する。

センサレス制御においてもスプール変位推定値でフィードバック制御（以下ではNFB制御）が必要となり、仮定目標の実現にはセンサレス検出精度の直線性・再現性と周波数特性として理想的には10倍以上の特性が望ましい。

これを当社製品で5mm程度の可動鉄心ストロークに対するセンサ分解能に換算すると精度 $5\mu\text{m}$ 以下かつ周波数特性250Hz以上となる。

比例ソレノイドは可動鉄心変位で推力変化が少ない特性のため、検出波電流に対する検出電圧変化が少なくなる事が制約となり精度達成は難しい。更にセンサレス検出の周波数特性に対して100倍の検出波25kHz以上が望ましいが、比例ソレノイドのインダクタンスは大きすぎて検出電圧変化が僅少となる。

このように現状ではセンサ付き比例弁へのセンサレス技術適用は商品性以前に技術面で難がある。

4.3 センサ無し比例弁の概要と特性

一方で比例電磁式方向・流量制御弁ではスプール変位センサの無い機種（項題と以下ではセンサ無し比例弁）が汎用的であり、市場的にはセンサ付き比例弁とは桁違いに使用数量が多いと言われている。センサ無し比例弁は指令信号に対して制御流量が比例的に制御され、弁差圧-流量特性（以下では ΔP -Q特性）は機種毎に造り込まれている。

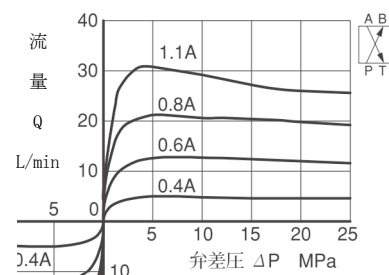
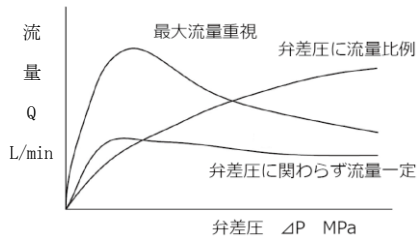


図7 当社センサ無し比例弁の ΔP -Q特性例¹⁾

これはフルードパワーシステムではセンサ無し比例弁はオープンループ制御での使用を想定しており、 ΔP -Q特性が重視される。この特性は比例ソレノイド推力とスプール形状として設計される流体力、ばね力のバランスで設計されており、各種システムの要望に応じれるよう様々な ΔP -Q特性のセンサ無し比例弁が商品化されているようだ。

図8 センサ無し比例弁： ΔP -Q特性の種類³⁾

このように各種システムの多様な特性の要望に対して、都度にスプール形状を設計・検証していく開発、さらに実システムの現地調整などには多大なコストと期間が必要となる。

4.4 センサ無し比例弁の流量精度向上は困難

比例電磁式流量調整弁などでは流量制御部の ΔP を安定化させる機構を有しているが、一般的にセンサ無し比例弁は流体力の変動に応じてスプール開度を変化させて、所望の ΔP -Q特性を実現している。

これは逆にスプール開度から流体力が推定可能である事を意味し、対向しているソレノイド推力は駆動電流から換算すれば、間接的に ΔP を推定可能で、既知のスプール諸元から流量が推定される。

このようにセンサレスで ΔP と流量が推定できれば、流量制御の精度向上に活用したくなる。しかし前述（4.2項）同様に比例ソレノイドでセンサレス検出した場合の性能では流量に対するNFB制御は成立し難く、やはりセンサ無し比例弁にセンサレス技術適用の商品化の道は無いのかと思える。

4.5 センサ無し比例弁の ΔP -Q特性可変を具現化

ここでシステム側の視点から見ると、センサ付き比例弁ではシリンダなどの速度を制御するためには、シリンダには位置センサ、クローズドループ制御のモーションコントローラなどが必須となる。当社でもシステム全体として商品提供を注力していた分野であり、高性能・高付加価値となるが、高価な個別仕様の少量生産となる場合が多い。

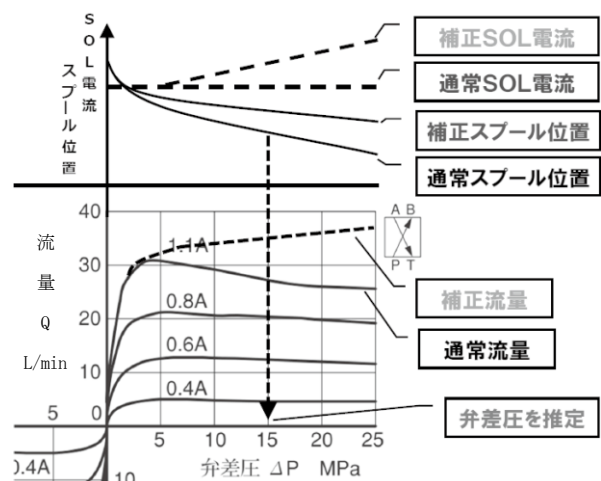
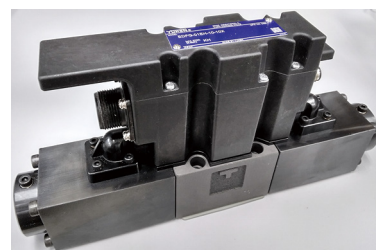
これに対してセンサ無し比例弁はシリンダなどの速度、つまり流量に対しての精度要求レベルは緩く、シリンダ位置センサやコントローラも不要なオープンループ制御でシステム要求を満たし、低価格で多量生産の傾向となる。当社の商品では単一機種にて ΔP -Q一定特性のみであって、市場のボリュームゾーンには対応できていなかった。

ここで既存の様々な ΔP -Q特性を有したセンサ無し比例弁に対して、スプールなど機構部品交換なしで、 ΔP -Q特性を調整可変と出来れば、高精度化とは異なる商品化の道があり、市場要求に応える事が叶うのではないか。

センサレスでスプール変位を検出して ΔP を推定して、そこから流量推定でNFB制御ではなく、流量特性の補正に限定して用いることで、センサ無し比例弁としての精度1～5%と周波数特性25Hzに対して、同レベルなセンサレス検出性能でも ΔP -Q特性の可変が実現可能となる。

比例弁では特性改善のためにソレノイド駆動電流にディザと称する100～200Hz振動成分を印加するのが定石であるため、電磁弁センサレス変位検出アンプとは異なり、一般的なソレノイド電流駆動方式に可動鉄心の変位によるディザ振幅の微小変化を検出する回路の追加のみで、スプール変位検出が可能となり、 ΔP -Q特性の可変機能を付加したセンサ無し比例弁を実現した。

このように比例弁においてはセンサレス変位検出の精度・応答性の追求ではなく、比較的に低い精度・応答性でも適用範囲を広げる商品開発を行った。

図9 ΔP -Q特性の補正イメージ図10 開発中のセンサレス ΔP -Q特性可変の比例弁

5. センサレスの先にあるフルードパワーの進化

電磁弁センサレス変位検出アンプ、及びセンサレス ΔP -Q可変の比例方向・流量制御弁の実現には従来商品には不要であったマイクロコンピュータ（以下ではMCU）が必須である。このMCUの低価格化

と高性能化によって普及価格帯を目指せる商品化が可能となった。またセンサレス検出での切換判定や ΔP - Q 特性可変以外の機能追加も可能となる。

これにより汎用的に使用されているフルードパワー機器に対して付加機能とともに情報収集機能なども併せ持つことも可能となり、ここから他フルードパワー機器の進化を促して、フルードパワー業界の活性化に寄与していきたいと願う。

参考文献

- 1) <https://www.yuken.co.jp/> (accessed on 2025/06/23)
- 2) 永野卓：電磁切換弁の状態検出，日本フルードパワーシステム学会誌，Vol. 54, No. 4, p. 9-11 (2023)
- 3) 大貫勇人：比例電磁式方向・流量制御弁 センサレス位置検出による流量特性の可変，油空圧技術，Vol. 64, No. 5, p. 10-14 (2025)

(原稿受付：2025年6月23日)

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

SICEセミナー「モデルベース制御系設計 ～モデリングから制御系設計までを系統的に学ぶ～」2025

主 催：計測自動制御学会

開 催 日：2025年9月24日(水)～9月25日(木)

会 場：Zoomによるオンライン開催

U R L：<https://www.sice-ctrl.jp/jp/wiki/wiki.cgi/c/semi?page=design2025>

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。

教室

制御工学 連載(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～

著者紹介



三谷 祐一朗

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

1993年立命館大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。1995年沼津工業高等専門学校助手、講師、准教授を経て、2015年同高専教授。制御工学、搬送制御の研究に従事。日本機械学会、計測自動制御学会の会員。博士（工学）。

1. はじめに

連載(1)では、フィードバック制御の必要性について、実験例を通じて説明した。例えば、DCモータの回転速度や小箱内の温度において、得たい制御量（目標値）の大きさに比例して、制御入力（操作量）の大きさを変えるだけでは、正確に制御することができない事例を紹介した。ここでは、連載(1)の3にて紹介したフィードバック制御とは、具体的にどのような手法なのか、制御工学の基本的な概念を用いながら、わかりやすく説明する。

工業界における制御の多くは、PID制御が用いられている。PID制御とは、Proportional（比例）、Integral（積分）、Derivative（微分）の頭文字を取った、それぞれ比例・積分・微分演算を用いた制御手法であり、古典制御に分類される。

世の中には、PID制御以外の制御手法も数多く存在する。それは、PID制御よりも高い制御効果を求めるからであり、場合によってはPID制御手法では制御できないこともある。それでもなお、工業界にPID制御が多く使われる理由の一つに、直感的にわかりやすく、経験に基づいた制御パラメータの調整ができる、という点が挙げられる。PID制御における制御パラメータとは、P、I、D制御の、それぞれの強度を決める定数であり、それらの定数値を変えると制御効果も変化する。その決め方は数学的な理論に基づいているが、そのような知識を持ち合わせていなくても、経験的な調整により、ある程度の制御性能が発揮できることが、PID制御器が広く使われる理由の一つと言える。ここでは、そのような経験

に基づく調整のイメージが持てるような説明を行う。

2. Pフィードバック制御の概念

2.1 フィードバック制御とは何か

フィードバックという、社会における反響や意見のようなイメージを連想するかもしれない。そこには必ず、市民のような対象に対して何らかの「働きかけ」が存在し、その働きかけに対する「結果」のことを、フィードバックと称している。例えば、市民から取るアンケートはその一例である。フィードバックを得ることの重要な意義は、「結果」に基づいて「働きかけ」を改善する事であろう。また、よりよい社会を築くためには、再びアンケートを取り、その結果から、さらに「働きかけ」の改善を行うことを繰り返せば良い。

制御の世界のフィードバックも、それに似ている。つまり、ある制御対象に何らかの物理的な作用を与え、その結果から、与える物理的な作用に修正を加える。これを繰り返すことで、そこから得られる結果を目標に近づけることができる。ここで重要になるのは、改善の方法であり、それがすなわち制御手法（制御則）である。ここでは、P制御と称する手法によるフィードバック制御について説明する。

2.2 P制御の考え方

P制御は、冬場の空調機の動作を思い浮かべるとイメージしやすい。例えば、現在の部屋の温度が10℃であり、空調機の設定温度を20℃とした時、空調機がフルパワーの強度100%（最大の温風量）で稼働したとする。しばらくして部屋の温度が15℃に上昇すると空調機の強度は50%に低下し、その後温度が19℃の時に強度が10%になり、ついに温度が設定温度20℃に達した時に強度が0%、つまり空調機は停止、という動作をしたとする。この現象を、式を使って表現してみる。部屋の現在の温度を T ℃、設定温度を T_r ℃、空調の強度を u %とするならば、それらの関係は式(1)のように書くことができる。

$$u = K_p \times (T_r - T) \quad (1)$$

ここで、 K_p は定数であり、上記の例では $K_p = 10$ となる。このとき、設定温度と現在の温度の差 $T_r - T$ に比例した制御を行っており、 K_p は比例定数である。この定数 K_p のことを「Pフィードバックゲイン」

と言い、このような制御手法のことを「P制御」と称する。この定数 K_p の値を変えることで、空調機の性能が変わる。例えば K_p を大きくすれば、誤差に対して制御入力を大きく与えることができる。

2.3 ブロック線図

制御工学における重要な概念の一つに、「ブロック線図」がある。ブロック線図とは、制御に用いる信号の流れや関係を表した図であり、制御系の設計や性能の評価などに用いられる。

図1に、2.2にて説明したフィードバック制御のブロック線図を示す。ここでは、制御対象が部屋、制御器が空調機、制御量が部屋の温度 T 、操作量が空調機の強度 u 、目標値が設定温度 T_r 、誤差が e である。ブロック線図において、黒丸は信号の分岐、白丸は信号の合流を表す。白丸に合流する矢印付近に書かれた符号は、その矢印が表す信号の、合流時の符号である。つまり合流後の誤差 e は、

$$e = (+T_r) + (-T) = T_r - T \quad (2)$$

となる。図に示すように、制御量 T を測定してフィードバックし、目標値 T_r との誤差 e より操作量 u を制御器が求めて制御対象に与え、その結果 T をまたフィードバックして次の操作量を決める、という信号の流れになっている。2.2にて説明した制御においては、制御器の部分はP制御であり、誤差 e を K_p 倍するという単純な計算を担っているに過ぎない。

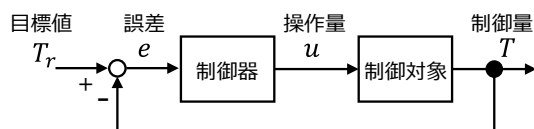
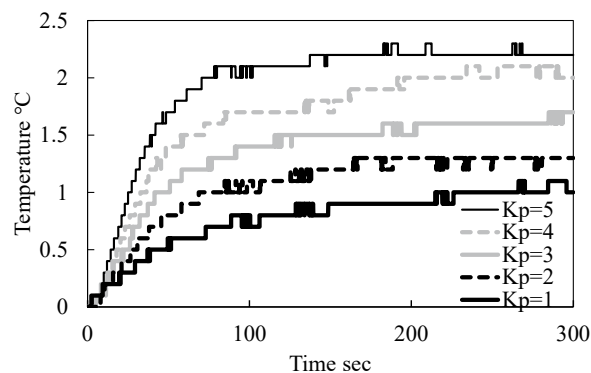


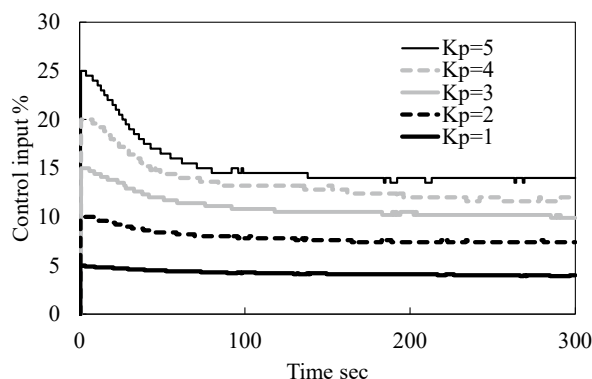
図1 フィードバック制御ブロック線図

3. 温度のP制御実験とその特徴

上述した制御理論に基づき、連載(1)の2.1にて紹介した温度制御装置を用いて、目標温度に到達させる制御実験を行った。結果を図2に示す。(a)が温度、(b)が制御入力、それぞれの時間的な変化を表している。グラフの波形が階段状に見えるのは、測定できる温度の最小単位が 0.1°C であることに起因する。なお、ここに示す図(a)は連載(1)における実験と同様に、測定温度から実験開始時の温度を引いた値を用いて作成した。Pフィードバックゲイン K_p の値を1～5の異なる値に設定し、5とおりの実験を行った。また、実験結果を比較しやすいように、各実験における目標値はすべて、実験開始時の温度に対して 5°C 高い値に設定した。ここで、このような目標値を一定とする制御のことを「定値制御」と言う。その結果、制御入力 u の値は、式(1)に従っていることが分かる。例えば $K_p = 5$ の時、図(b)の時刻ゼロ付近に注目すると、 $T_r - T = 5$ としたので、式(1)より、 u



(a) 温度の変化



(b) 制御入力の変化

図2 P制御実験結果 (制御入力: 小)

$= 5 \times 5 = 25$ となり、図(b)中の値に一致する。

ここで図2より、P制御の重要な特徴に気が付く。それは、制御量が目標値に一致しない、ということである。図2の(a)を見ると、フィードバックゲインが最も大きな $K_p = 5$ の時でも、温度はおよそ 2.2°C 止まりであり、 2.3°C 程度の誤差が残っている。この誤差のことを「定常偏差」と言う。定常偏差とは、定値制御において、制御量が一定値に収束した時の目標値との差のことを言う、さらにあと2点、P制御の重要な特徴がある。1点目は、フィードバックゲインを大きくするほど、制御量は目標値に近づき、定常偏差が減少する、ということである。これは、P制御が誤差に比例した制御入力を計算する手法であることから理解できる。2点目は、フィードバックゲインが大きい程、制御量の立ち上がりが早い、ということである。したがってここまでの実験では、Pフィードバックゲイン K_p をなるべく大きくするのが得策であるように思われる。

そこで、 K_p を図2よりさらに大きくした場合の結果を図3に示す。図2と同様、(a)が温度、(b)が制御入力の時間的な変化を表しており、目標値の取り方やグラフの作成方法も図2と同様である。ただし、図に示す3とおりの K_p の値は、いずれも制御入力 u が、制御開始直後の誤差5に対して100%を超える値に設定している。図(a)より、 K_p を大きくするほ

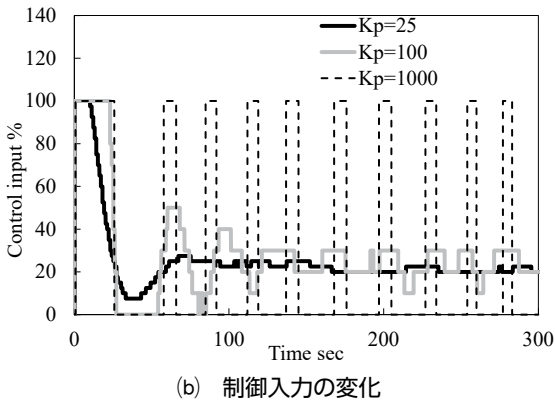
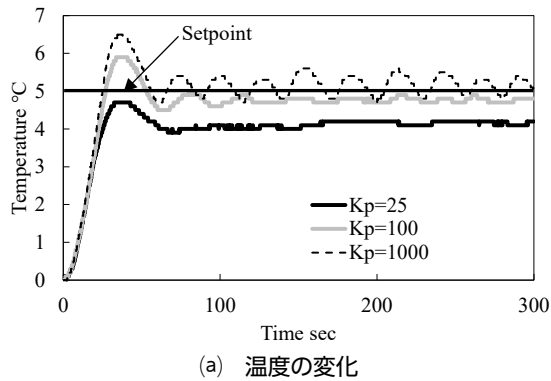


図3 P制御実験結果（制御入力：大）

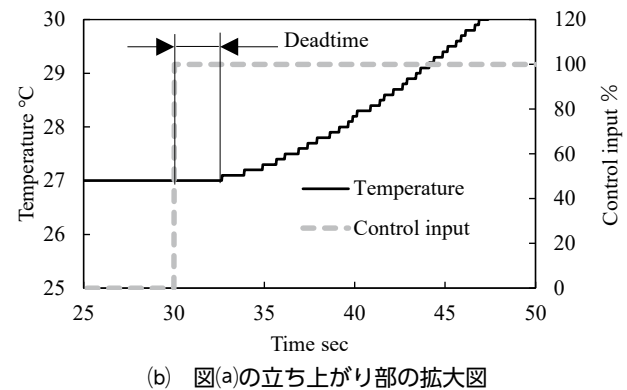
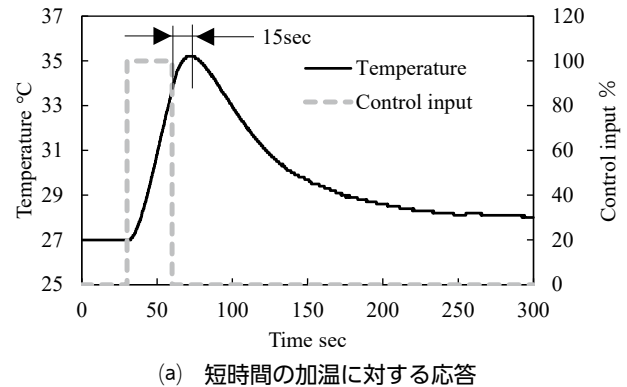


図4 熱伝達の遅れの影響

ど制御量が目標値に近づくという傾向は図1と同様であるが、 $K_p=100$ ではオーバーシュート（制御量が目標値を超えること）しており、 K_p を大きくするほど制御量が振動的になっていることが分かる。そして $K_p=1000$ とすると制御量は持続的に振動し、一定値に収束しなくなる様子が見られる。このとき、図(b)より、操作量は0%と100%を行き来するような変化をしている。すなわちP制御においては、 K_p を大きくし過ぎて制御量が100%を超えるような値となる時、このように、好ましくない制御結果となる場合があることに注意する。

上記のような、制御結果が振動的になる原因を簡単に説明する。図4(a)に、短時間の加温（制御入力を30秒間一定：100%）に対する温度の時間的変化を示す。制御入力を灰色の破線、温度を実線で示した。なお、加温は実験開始30秒後に始めた。その結果、加温開始まで一定だった温度は、加温開始後に急上昇し、30秒間の加温を停止後も約15秒程度上昇を続け、その後下降している様子が見られる。つまり、加温を停止したにもかかわらず、しばらく温度上昇が続くことが分かる。一般に、制御しようとする温度の変化は、熱源の変化に対して遅れて生じる。それは、熱源に対して温度センサが離れた位置にあり、熱の伝導が遅れることが、その一因である。

それとは別にもう一つ、制御において重要になる事が結果に見られる。図4(b)に、加温した直後の温

度変化を拡大したものを示す。加温を開始した時刻30秒の時点で、すぐに温度が上昇せず、温度が上昇し始めるまでに約3秒程度の遅れがあることが分かる。これも熱伝導の遅れに起因する。このような、入力に対する出力の遅れを「むだ時間」(Deadtime)と言い、むだ時間を生じさせる要素（対象）のことを、「むだ時間要素」と言う。むだ時間要素を含む制御対象においては、入力に対する制御量に遅れが生じる。その結果、フィードバックゲインを大きくすると、図3のように振動的になることがあり、場合によっては不安定になる（振動が発散する）ことさえ起こり得ることに注意が必要である。

4. おわりに

ここでは、PID制御のうち、もっとも単純なP制御の概念とその特徴について、温度制御の事例を通じて説明した。P制御を用いれば、温度を目標値に収束させることはできないが、フィードバックゲインをある程度大きくすることで、素早く目標値に近づけることは可能である。その調整は、オーバーシュートや振動を起こさない最大の値とすることが、一つの方法であると言えよう。次回はI、D制御およびP、I、D制御の組み合わせについて述べる。

（原稿受付：2025年6月5日）

会議報告

ICMDT2025におけるフルードパワー技術研究動向

著者紹介



きむ じゅうん わん
金 俊 完

東京科学大学大学院
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町
4259-J3-12
E-mail: kim.j.aa@m.titech.ac.jp

2005年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士後期課程修了。2005年から東京工業大学助手（助教）、2013年から同大学准教授、2023年から教授、2024年10月から東京科学大学教授、現在に至る。機能性流体、MEMS、メカトロニクスなどの研究に従事。博士（工学）。

1. はじめに

International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT) は、日本機械学会基礎潤滑設計部門と大韓機械学会生産設計部門の共同で西暦奇数年に開催される国際研究交流集会である。ICMDTは過去20年間にわたり、機械設計、機械要素、アクチュエータシステム、トライボロジーなどの分野における研究成果と技術情報の国際交流の場を提供してきた。ICMDT2025は、2025年4月23日から25日までアクリエひめじ（姫路市文化コンベンションセンター）で開かれた（写真1）。第10回となる本会議では、幅広い分野から4件の基調講演、144件の口頭発表、106件のポスター発表、技術情報交流会などが行われ、世界各国から学界および産業界の研究者が姫路に集い、活発な議論が交わされた（写真2）。



写真1 ICMDT2025の会場（アクリエひめじ）

本報告では、ICMDT2025で発表された多数の研究成果のうち、フルードパワーシステムに関連する発表を、1) 機能性流体、2) 空気圧、3) 油圧・水圧の大枠に分類し、代表的な研究成果について紹介する。



写真2 ICMDT2025幕開けを飾るウェルカムレセプション

2. 機能性流体とフルードパワー技術

ICMDT2025では、Electrorheological (ER) fluids 関連で2件、Electrohydrodynamics (EHD) 関連で2件の研究発表があり、それらを紹介する。

基調講演3（写真3）では、狭所で力作業を行うパワーマイクロロボットを対象に、電界で粘度が変化する液晶系電気粘性流体（ERF）を使ったマイクロ液圧技術を紹介した。10 μ m～10mmスケールでは液圧シリンダが最も高い出力密度を示すとの解析結果を示し、ERFによる高密度エネルギー伝送の利点を強調した。またMEMS製ERマイクロアクチュエータは0.97Nの推力と10.4mmの変位を実現できると説明した。さらに、柔軟性を保つ積層ERマイクロバルブと交流圧源を組み合わせ、多自由度駆動システムを構築し、世界最高クラスである1.6 Wを達成する流体慣性（FI）マイクロポンプを開発して配管内ロボットで走行実証を行うなど、高出力油圧電源の実現可能性を示した¹⁾。

Ishizekiらは、電界で粘度が変化するER流体を利



写真3 東京科学大学の吉田和弘先生の基調講演の様子

用し、積層ERマイクロバルブを先端に内蔵した柔軟マイクロフィンガを試作した。交互圧駆動により単一配管で液圧を供給し曲げ動作を実証した。実験で得た変位・体積変化・圧力の静特性は数値解析と良好に一致し、多自由度マイクロアクチュエータ構築に有効で、省配管マルチフィンガロボット実現へ寄与する成果である²⁾。

Zhuらは、高出力パワー密度ECFマイクロポンプのために、MEMSプロセスでSU-8を熱分解し導電性カーボン化した高アスペクト比ニードル電極アレイを開発した。従来の機械加工針ーリング電極対が抱えていた再現性と集積性の課題を克服し、200 μm 高・120 μm 径の針電極を多数アレイ状に形成することで性能向上と量産性を両立した。提案手法は次世代ECFマイクロポンプの小形・高性能化を大きく前進させる有望技術である³⁾。

Changらは、Extended reality (XR) ハプティクス向けElectrode-embedded electroosmotic pump (EEOP) の流量向上を目的に、穴径・導体面積比など4因子を最適化した。250VDC駆動で従来比188%の流量を達成し、穴／導体比19.3–32.9%が最適域と判明した。試作タクトイルアクチュエータで有効性を実証し、微小・省電力触覚デバイスへの応用可能性を示した⁴⁾。

3. 空気圧とフルードパワー技術

ICMDT2025では、空気圧で1件、空気圧ハイブリッドで1件の研究発表があり、それらを紹介する。

Sasanumaらは、McKibben人工筋3ユニットから成る配管内走行用ソフトコンティニュウムロボットを対象に、繊維スリーブへ電源・カメラ配線を編み込み一体成形する手法を提案した。配線は推進構造も兼ね、部位ごとに編角を調整して尺取運動を実現した。直径7.5mm、長さ240mmの試作機は内径10mm

パイプ内を9.5mm/sで走行し映像送信を確認した。配線取り回しと製造効率を簡素化した⁵⁾。

Saudullaらは、電動ボールねじリニアモータで位置決めし、薄肉メタルベローズ空気シリンダで無摩擦に推力を生成する電空ハイブリッドリニアアクチュエータを開発した。位置 $\pm 30\text{mm}$ 三角波と推力 $\pm 500\text{ N}$ 正弦波を追従させる試験で高精度の位置・力制御を実証し、長行程時の圧縮空気消費を大幅に削減した。さらに漏れゼロのベローズコンプレッサを用いた閉回路で0.5 MPaを維持し、モータ消費電力を抑える追加省エネ効果を示し、産業用長ストローク駆動の高効率化に寄与することを確認した⁶⁾。

4. 油圧・水圧とフルードパワー技術

ICMDT2025では、水圧関連で1件の研究発表があり、それを紹介する。

Suzukiらは、水圧駆動ロボット向けラジアルピストンモータ用に、ロータリディスク式分配弁を開発した。弁ディスクの回転で4気筒への給排水を同期切替し、前後転を実現する構造とした。低粘度水での漏れ抑制のため微小すきま・無パッキン化を図り、推力を排除する回転円板方式を採用した。試作弁を組み込んだモータでは無負荷回転・流量特性に加え、体積・機械効率を計測し、正逆転での漏れ差異が効率に与える影響を解析した。さらに弁単体の内部漏れ量、ドレン流量、摩擦トルクを圧力差に対して評価し、最適運転条件を提示した。これにより、高信頼水圧モータ駆動源としての有用性を示した⁷⁾。

5. おわりに

国際学術会議ICMDT2025は機械設計・要素関連の会議であり、フルードパワーを用いた研究発表は少ない。今後、フルードパワーシステムに関する研究が増え、この分野での発展を期待する。

参考文献

- 1) K. Yoshida, Proc. of ICMDT2025, KS2-1, pp. 47–48 (2025)
- 2) K. Ishizeki et al., Proc. of ICMDT2025, ThA1-5, pp. 60 (2025)
- 3) Y. Zhu et al., Proc. of ICMDT2025, ThA1-4, pp. 58–59 (2025)
- 4) H.F. Chang et al., Proc. of ICMDT2025, ThA1-1, pp. 52–53 (2025)
- 5) S. Sasanuma et al., Proc. of ICMDT2025, ThPS1-12, pp. 326–327 (2025)
- 6) I. Saudulla et al., Proc. of ICMDT2025, ThPS1-15, pp. 332–333 (2025)
- 7) K. Suzuki et al., Proc. of ICMDT2025, ThPS1-11, pp. 324–325 (2025)

(原稿受付：2025年7月31日)

トピックス

中国荊州駐在日記

著者紹介



いとう たく ぞう
伊藤 拓 造

Hubei Henglong & KYB Automobile Electric
Steering System CO., LTD
湖北省荊州市荊州开发区沙岑路108号
E-mail: ito-taku@chl.com.cn

2003年、名古屋工業大学機械工学科卒業。同年、カヤバ株式会社に入社し、基盤技術研究所に勤務。その後、自動車用パワーステアリング設計部門にて設計・開発業務に従事。2023年より中国の合併企業へ出向し、現在に至る。

1. はじめに

私は2023年5月から、中国湖北省荊州市に駐在している。過去に4年間、家族と共にスペインに駐在した経験があるが、今回は子供たちも大きくなり、2度目の海外駐在は単身である。家族と離れ、中国語も分からない環境での生活。正直なところ、駐在を希望していたわけではないが、これも新たな挑戦として受け止めた。本稿ではそんな私の中国での暮らしや、そこで感じたことについて記していきたい。

2. 駐在地について

2.1 関羽の城・荊州

まずは、駐在地である湖北省荊州市について紹介したい。中国の歴史好きなら、「荊州」と聞いてピンとくるかもしれない。この地は、三国志で名高い蜀の武将・関羽が、魏や呉の攻勢に対し戦略的な要所として守っていた拠点である。そのため、この荊州市にも関羽を祀る関帝廟があり、廟内には堂々たる関羽像が安置されている。劉備・張飛とともに桃園の誓いを結び、生涯を通じて義を貫いた関羽は、今もなお地元の人々や観光客に深く敬われている。



写真1 灯りに照らされる古城の風格、夜の荊州城

2.2 荊州市の概要

荊州市の人口は約600万人で、中国の中では比較的大きな都市に分類される。地理的には上海から西に約1,000km、湖北省の省都・武漢からは、「高铁」と呼ばれる中国版新幹線で、約1時間半でアクセス出来る。航空路線は国内線のみだが中国の主要都市と結ばれている。日本へ行く際は乗り継ぎが必要になるものの、アクセスはそれほど悪くはない。



写真2 三国志の舞台・荊州の位置

2.3 荊州市の気候と長江の風景

気候は四季の変化が明確で、5月頃から気温が上がり半袖で快適に過ごせるようになる。夏は高温多湿で非常に蒸し暑く、冬は最低気温が氷点下まで下がることもあり、しっかりと寒さを感じる。

荊州はアジア最長の大河、長江（揚子江）のすぐそばに位置している。古くから交通の要衝として発展し、水源も豊かなことから農業も盛んな地域である。地図上ではきわめて内陸に位置しているが、その川幅は広く、現在も河川水運が活発に利用されているため、大きな貨物船が行き交う様子をよく見かける。長江沿いの眺めは素晴らしく、特に夕日は美しい。川沿いを歩いていると、仕事のことを忘れ、自然と心が安らぎ、リフレッシュされる。

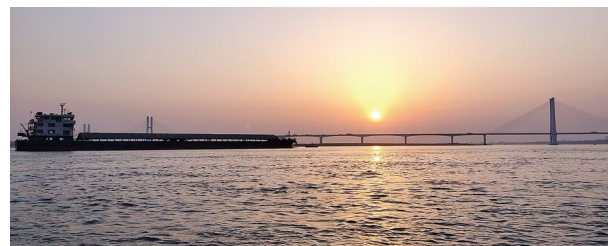


写真3 長江に沈む黄金の夕日

3. 生活環境

3.1 異国での食生活編

異国の地で暮らす上で気になるのが食生活である。私は勧められれば基本的に何でも食べる事にしているが、思っていたよりも大体の料理が私の舌に合い、美味しく感じられる。その結果、気づけば体重は1年で約10kg増加。妻や子供には「どんな贅沢な暮らしをしているの？」と疑われるほどである。

さて、湖北省の食事の印象を聞かれたら、私は迷わず「油が多め、唐辛子也多め、とにかく辛い！」と答えるだろう。ちなみに、過去に駐在していたスペインは、私にとって「オリーブオイルとパン、そしてワインの国」であり、当然ながら印象は違う。駐在当初、あまり考えずに唐辛子や中国山椒などの辛い食材を避けて食べていたので、毎度翌朝は地獄であった。美味しいのは間違いないが、気を付けて食べなければ後悔することになる。



写真4 痺れる辛さ！激辛料理と火鍋

湖北省の料理の中で、油を使わず辛くないものとして有名なのが「レンコンのスープ」と「かまぼこ」である。特にレンコンのスープは胃に優しく、日本からの出張者でお酒に飲み疲れた人や、辛いものが苦手な人へおススメしている。魚介類は内陸のため、淡水の魚介が中心となる。日本人にとって珍しい食材といえば、「カエル」と「ザリガニ」である。特に荊州では春から夏にかけて「ザリガニ」をよく食べる。このザリガニ、味はとても美味しい。しかし、食べる部分はごくわずかで、食卓には食べ終わった大量の殻が山のように積み上がることになる。



写真5 駐在仲間とザリガニを夢中で食べる様子

3.2 移動編

ご存じの方もいるだろうが、中国の交通機関はとにかく運賃が安い。バスはわずか1、2円で遠くまで行くことが出来、タクシーも日本のように高くはない。どの交通手段もアプリを使えば中国語が分からなくても簡単に目的地までたどり着ける。さらに、レンタルの自転車や電動バイクも非常に便利で、アプリさえ登録すれば、旅先でも気軽に利用出来る。移動の選択肢が多く、手軽に使えるのは中国ならではの魅力の一つかもしれない。



写真6 街角にずらりと並ぶレンタル電動バイク

3.3 買い物編

買い物は、店舗で商品を見付けることが出来なくても、ネットショッピングを利用すれば、ほとんど何でも手に入る。中国のネットショッピングは日本以上に発展していると言ってもよいだろう。あらゆるジャンルの物が揃っており、日本の物も少々高めの価格設定だが購入出来る。ほとんどの商品が3日以内に配送される上、送料無料のケースも多い。この価格で売っていて本当に利益が出るのだろうかと思わず心配になることもある。



写真7 荷物受取場所、毎日大量の荷物が届く

4. 長江大学での日本語教室

現在、私は他の駐在者と共に週1回、業務を終えた後に長江大学に行き、日本語教室の課外活動を行っている。司会進行はすべて学生たちが担当し、毎回テーマに沿った討論やゲームが行われる。参加者は日本語学科の学生が多いが、英語学科をはじめ、他の学科の学生もいる。日本語のレベルはさまざまだが、中にはまるで日本に住んでいたかのように流

暢に話す学生もいる。授業はすべて日本語で進められるため、中国語が分からない私でも問題は無い。テーマは主に日本に関するもので、アニメや漫画の話題が多く、日本の文化に好意的な印象を受ける。ゲームには罰ゲームが付き物で、ゲームに負けた学生は恥ずかしがりながらも堂々と歌を歌ったり、一発芸を披露したりする。日本の学生たちは果たして同じような事が出来るだろうか。日本人と中国人のアイデンティティの違いを目の当たりにし、彼らの姿に力強さと逞しさを感じる。

また、年に1～2回は先生やその子供たちも招いてパーティーが開かれる。みんなで寿司や餃子を作り、食べて、喋る。和やかで楽しいひと時である。



写真8 手作り寿司で大盛り上がり！にぎやかな宴



写真9 手作りの皮で楽しむ本格餃子パーティー

5. 旅 行

私は独身時代にバックパッカーとして一人旅を楽しんでいたほどの旅好きである。多くの駐在員がその国の有名スポットを訪れるように、私も様々な場所を巡ってきた。これまでに訪れた旅先の中から、特に印象に残っている場所をいくつか紹介したい。



写真10 西安の旅・始皇帝の兵馬俑（左）と西安の名物B級グルメ「肉夾饃」（右）



写真11 洛陽の世界遺産・中国三大石窟-龍門石窟



写真12 世界遺産・泰山（左）と孔子の町・曲阜（右）

中国の世界遺産の数は世界第二位の59件を誇り、多くの観光地がある。どれも歴史や文化が詰まった魅力的な場所ばかりである。壮大な自然が広がる場所もたくさんあり、次はどこへ行こうかと考えるだけでワクワクする。

6. さいごに

冒頭に書いたように、当初はあまり乗り気ではなかった中国駐在。しかし、いざ来てみると仕事のプレッシャーや苦勞もあるが、意外にも楽しんでいる自分がいる。普段の生活においても、不便さを感じる事は全く無い。もし、駐在を迷っている方がいたら、ぜひその一步を踏み出して欲しい。新しい環境に身を置くことで、視野が広がり、人生がより豊かになる。そして、自分の可能性も大きく広がっていくだろう。

（原稿受付：2025年6月16日）

企画行事

2025年春季講演会併設セミナー報告

著者紹介



きむ 俊 完

東京科学大学大学院
〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町
4259-J3-12
E-mail: kim.j.aa@m.titech.ac.jp

2005年東京科学大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士後期課程修了。2005年から東京工業大学助手（助教）、2013年から同大学准教授、2023年から教授、2024年10月から東京科学大学教授、現在に至る。機能性流体、MEMS、メカトロニクスなどの研究に従事。博士（工学）。

1. はじめに

令和7年6月19日（木）、機械振興会館（〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8）地下3階 研修1室において、2025年春季講演会併設セミナー「磁気機能性流体の基礎と応用」が日本フルードパワーシステム学会主催・日本機械学会共催で開かれた。本併設セミナーでは、磁性流体（MF）と磁気粘性流体（MRF）を混合した磁気混合流体（MCF）の基礎から進化と実用化、MCFを発展させたハイブリッド流体（HF）、近年注目を集めている磁気機能性ナノ流体の応用研究が企画され、計4件の講演発表がなされた。参加人数は30名、4団体であり、参加者は大変興味深く聴講していた。

本記事では、2025年春季講演会併設セミナーについて、その概要を報告する。

2. 磁気機能性流体の基礎と応用

2.1 磁気混合流体を応用した研磨における加工除去量特性—流体力学的特性を用いた除去深さ分布の予測—

講師の西田均先生（富山高等専門学校、名誉教授）から約40分の講演がなされ（写真1）、その要約は以下である。磁気機能性流体（MCF）は、磁性流体（MF）と磁気粘性流体（MRF）の特性を有するため、MFより磁場印加によるせん断応力の増加が大きく、MRFより磁性粒子の分散性に優れている。MCFを用いた研磨は複雑形状や円筒内面にも高い加

工性を示すが、平面度を確保するには除去深さ分布の定量予測が不可欠である。本講演では、MCF中の磁気力を加工圧力、ビンガム流体特性を加工速度として解析し、修正プレストンの式と組み合わせた除去量・深さ分布予測法を提示している。理論式と加工試験結果の比較によりモデルの妥当性を検証し、磁場強度や工具条件が除去分布に及ぼす影響を定量化している。得られた知見は目標表面精度達成に向けた条件設計指針となり、MCF研磨の高精度化と応用拡大を後押しする。本手法は平面だけでなく曲面・内面にも適用可能で、プロセスシミュレーションや自動制御への展開が期待されている。



写真1 講演発表の様子（富山高等専門学校 西田均先生）

2.2 磁気混合流体を応用した円筒内面マイクロ加工技術

講師の山本久嗣先生（富山高等専門学校、准教授）から約40分の講演がなされ（写真2）、その要約は以下である。磁気混合流体（MCF）の高い磁場応答性を利用し、砥粒を分散させたMCF加工液をリング状磁石工具に保持して円筒内面を研磨するマイクロ加工法が紹介されている。MCF加工液は2001年の提案以来、多様な研磨プロセスへの応用が進み、特に内面加工の高精度化は期待されている。本手法では磁場中で生成する磁気クラスタが加工圧力源となり、その形態が加工特性に大きく影響している。本講演では、磁場強度、工具回転数、流体量を変化させた実験により、クラスタ生成・崩壊挙動と除去量・表面粗さとの相関を可視化し、条件最適化の指針を提示している。本手法を用いることで、円筒度が改善され、高精

度仕上げ技術としての有用性が示されている。さらに、短尺磁石を用いた工具ではセルフセンタリング効果により真円度が一層向上することも指摘されている。



写真2 講演発表の様子（富山高等専門学校 山本久嗣先生）

2.3 ハイブリッド流体（HF）とその最前線

講師の島田邦雄先生（福島大学、教授）から約40分の講演がなされ（写真3）、その要約は以下である。ハイブリッド流体（HF）は三種の溶媒からなる新しい磁気機能性流体で、磁場応答性に加えてイオン性導電性を備える。HFやMCFを混練したHFゴム・MCFゴムは自己起電力を生じ、外部電源を要しない圧力・ひずみセンサ材料として有望である。本講演ではバイオミクシ構造を取り入れた柔軟ゴム型人工センサの試作結果が示され、高い追従性と安定した電気出力が確認されている。HFは磁場制御性、導電性、成形自在性を併せ持つ点が評価され、研磨プロセス、エネルギーハーベスタ、医療デバイスなど多様な工学分野での応用が期待されている。機能性流体の新領域を拓く素材として、さらなる特性解明と応用開発の進展が望まれている。

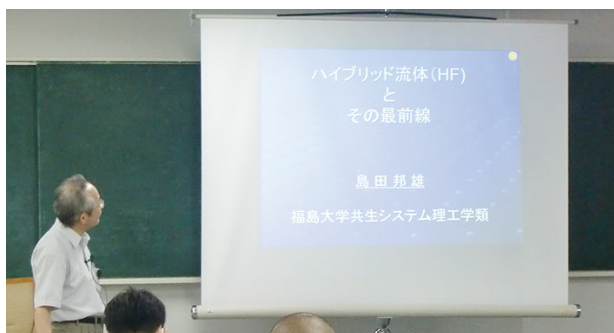


写真3 講演発表の様子（福島大学 島田邦雄先生）

2.4 磁気機能性ナノ流体を用いた新しい水電解技術

講師の岩本悠宏先生（名古屋工業大学、准教授）から約40分の講演がなされ、その要約は以下である。1960年代の開発以降、磁性流体力学が確立され、多分野で応用が進展している。粒径約10nmの強磁性粒子を水などに安定分散させた磁気機能性ナノ流体は、非一様磁場下で非磁性体に磁気浮力を与

える特性を持つ。この磁気浮力を利用し、水電解時に発生する気泡（酸素と水素）を磁場勾配で迅速に排出して電極表面を再露出させる新方式を紹介している。磁気強度が大きくなると、気泡が電極近傍から離脱することで、電解量が向上することを実験的に確認している。この磁気浮力により、微小重力環境下でも、低電圧で高効率な水電解が見込まれている。本技術は水素製造や燃料電池システムへの波及が期待される一方、磁場設計や流体安定性など解決課題も残るため、産学・異分野連携による研究開発の深化が求められている。

3. おわりに

本併設セミナーには30名が参加し、磁気機能性流体を核に基礎理論から最新応用までを幅広く紹介する4件の講演発表が行われた（写真4）。聴講者からのアンケートには「最新状況が理解できた」「開発に役立つ情報を得た」「応用の広さに驚いた」など前向きな感想が多数寄せられ、4件の講演発表すべてが均等に「非常に良かった」と高い評価を得た。加工、計測、エネルギー変換への展開や企業との連携を望む声が目立ち、本セミナーが研究と実用化の橋渡しとして機能したことがうかがえる。

頂戴したご意見は、今後のテーマ設定や運営改善に反映し、本学会が異分野・産学連携を促進する場としてさらなる価値を提供できるよう努めたい。併設セミナーで得られた知見は共同研究や技術移転の契機となることが期待される。



写真4 2025年春季講演会併設セミナー会場の様子

なお、著者は本学会企画委員会の一員として本併設セミナーの主査を務めた。本セミナーは企画委員会と編集委員会の共同企画であり、具体的な立案は編集委員会が担当した。本セミナーは、企画委員、編集委員、事務局各位ならびに参加者各位のご尽力により、極めて実り多い催しとなった。ここに衷心より深く謝意を表するとともに、今後とも引き続き変わらぬ支援を賜りたい。

（原稿受付：2025年7月31日）

会 告

〈理事会・委員会日程〉

6月2日	編集委員会
6月20日	理事会
7月25日	基盤強化委員会
7月28日	国際シンポジウム実行委員会
7月29日	企画委員会
7月31日	編集委員会

〈理事会報告〉

2025年度第1回理事会

6月20日 11:50～12:50

機械振興会館 (B3-2)+オンライン, 参加者22名

- (1) 2024年度理事会みなし決議について
- (2) OHC-Sim特別研究委員会再開準備事業について
- (3) 総会準備状況について
- (4) 評議員会開催について
- (5) 会員推移について
- (6) 国際シンポジウム姫路2027準備状況について
- (7) 日中韓ジョイントワークショップ報告について
- (8) 各委員会からの報告
- (9) その他

〈委員会報告〉

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
 - ①Vol.56 No.4: 進化するロボットハンド
 - ②Vol.56 No.E1 (電子出版号): 緑陰特集
 - ③Vol.56 No.5: フルードパワーにおける商品化技術 (仮)
 - ④Vol.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トピックスの検討
 - ②57巻1号特集の企画

2025年度第1回基盤強化委員会

7月25日 10:30～12:00

オンライン, 参加者12名

- (1) 海外在住会員について
- (2) 2025年度キャリア支援セミナーについて
- (3) 会員の推移
- (4) その他

第2回国際シンポジウム実行委員会

7月28日 16:00～17:30

オンライン, 参加者10名

- (1) スケジュールについて
- (2) 現地視察について
- (3) 論文の取り扱いについて
- (4) 補助金, 助成金について
- (5) WEBサイト公開について
- (6) その他

2025年度第1回企画委員会

7月29日 15:00～16:30

オンライン, 参加者30名

- (1) 2025年春季講演会の報告
- (2) 2025年春季講演会併設セミナーの報告
- (3) 2025年秋季講演会について
- (4) 2025年度オータムセミナーについて
- (5) 2025年度ウィンターセミナーについて
- (6) 2026年春季講演会および併設セミナーについて
- (7) 2026年秋季講演会について
- (8) 2026年度オータムセミナーについて
- (9) その他

2025年度第2回編集委員会

7月31日 14:00～17:00

機械振興会館 (B3-1), 参加者19名

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - ①Vol.56 No.E1 (電子出版号): 緑陰特集
 - ②Vol.56 No.5: フルードパワーにおける商品化技術
 - ③Vol.56 No.6: 油圧機器を支えるものづくり技術
 - ④Vol.57 No.1: 人間を支援するニューマティックス (仮)
 - ⑤Vol.57 No.2: 空気圧機器を支えるものづくり技術 (仮)
 - ⑥Vol.57 No.3: フルードパワーのためのAIリテラシーと応用 (仮)
- (2) その他
 - ①著者からの問い合わせ対応について
 - ②今後の特集・トピックス・研究室紹介・連載について

会 告

2025年度（第44期）通常総会終了

1. 日 時：2025年6月20日（金）
15時30分～16時50分
2. 場 所：東京都港区芝公園3丁目5番地22号 機械振興
会館 地下3階 研修2会議室
3. 議事の経過および結果
15：30開会、事務局より、出席者数、HPからの議案承認者数、およびはがきによる委任状の数を報告し、その総数が定款の定め（総正会員の過半数）を上回り、本総会および本総会の審議結果（2024年度決算）は成立することが報告された。ついで、田中豊会長からあいさつが行われたのち、定款第16条「総会の議長は、会長がこれにあたる」にもとづき議長となった。議長は、議事録署名人として、東京計器(株)：兵藤訓一殿、川崎重工業(株)：吉川博志殿を指名したのち、議事に入った。
(報告事項)
 - ・報告1：2024年度事業報告（2024年度事業報告書）の件
 - ・報告2：2025年度事業計画（2025年度事業計画書）の件
 - ・報告3：2025年度収支予算（2025年度収支予算書）の件

報告1～3に対し、川上副会長、および塚越理事から説明および報告があった。

(議案)

・第1号議案：2024年度決算（貸借対照表、正味財産増減計算書、財産目録〔財務諸表に対する注記、附属明細書を含む〕、監査報告）の件

第1号議案に対し、塚越理事から説明および報告があったのち、採決を行った結果、全会一致で可決承認された。

以上で総会を終了し、10分間の休憩の後、日本フルードパワーシステム学会賞などの受賞式が行われた。

2025年度（第44期）通常総会は、多数の出席者を得て盛会裡に終わり、17時00分より技術懇談会が開かれ、なごやかな雰囲気の中にすべての行事が終了した。

※本会告の掲載が遅くなりましたこと、お詫び申し上げます
(学会事務局長)

会 告

2024年度 学会賞表彰

一般社団法人日本フルードパワーシステム学会2024年度の学会賞の受賞者が決まりました。

2025年6月20日（金）に開催された2025年度（第44期）通常総会の議案審議終了後に授賞式が行われ、受賞者に表彰状、盾、副賞などが贈られました。

下記に各受賞者を記載します。なお、各位のご所属は、受賞決定時のものとしておりますので、ご了承下さい。

名誉員推挙

・奈良工業高等専門学校 早川 恭弘 殿

フェロー称号授与

・本田技研工業株式会社 浅野 哲史 殿
・横浜国立大学 眞田 一志 殿
・日立建機株式会社 中山 晃 殿

学会賞表彰

学術論文賞

「斜軸式アキシアルピストンモータにおけるピストンリングのシール特性と合口部からの漏れ流量予測」

・東京工業大学 矢内 柊平 殿
藤井 智哉 殿
京極 啓史 殿
株式会社小松製作所 山本 浩 殿
東京工業大学 菊池 雅男 殿
田中 真二 殿

技術開発賞

「スプール式水圧用切換弁」

・NACOL株式会社 下山 弘高 殿
牧田 拓也 殿
杉村 健 殿

「空気圧駆動による力覚フィードバック機能を有する手術支援ロボット」

・リバーフィールド株式会社 只野耕太郎 殿

技術功労賞

・SMC株式会社 張本 護平 殿

学術貢献賞

・芝浦工業大学 川上 幸男 殿

SMC高田賞

「Precise Position Control for General-purpose Rotary Type Pneumatic Actuators for Various Types of References」

・徳島大学 Lim Wen Chiang 殿

「Concurrent Learningに基づく水圧人工筋の線形近似モデルと適応変位制御」

・芝浦工業大学 鶴原 理司 殿

公益財団法人 油空圧機器技術振興財団顕彰

「デジタル油圧の建設機械向けパイロット元圧回路への応用に関する研究」

・横浜国立大学 名倉 忍 殿
眞田 一志 殿

株式会社小松製作所 柳田 悠太 殿

最優秀講演賞

2024年春季フルードパワーシステム講演会において、特に優秀な講演発表をされた受賞者

社会人部門

「Precise Position Control for General-purpose Rotary Type Pneumatic Actuators for Various Types of References」

・徳島大学 Lim Wen Chiang 殿

「双方向湾曲型ラバーアクチュエータを脚として用いた移動体の提案」

・株式会社ブリヂストン 大野 信吾 殿

学生部門

「Concurrent Learningに基づく水圧人工筋の線形近似モデルと適応変位制御」

・芝浦工業大学 鶴原 理司 殿

「強化学習を用いた電動油圧駆動システムの高効率制御」

・横浜国立大学 阿部 悠人 殿

※本会告の掲載が遅くなりましたこと、お詫び申し上げます（学会事務局長）

会 告

会 員 状 況

2025年7月31日現在

会員の種類	正会員（人）	賛助会員（社）	学生会員（人）	海外会員（人）
会員数	769	118	84	6
前号からの増減	+1	+1	±0	-1

〈新入会員〉

正会員

赤木 秀匠（SMC株式会社）

成田 晋

大西 亘（東京大学）

林 利和（三菱重工株式会社）

賛助会員

株式会社アイシン

学生会員

任 燦熾（横浜国立大学）

柴野 太郎（横浜国立大学）

MUHAMMAD ATIF BIN BADRUL HISHAM（横浜国立大学）

会 告

賛助会員一覧表

(株)IH
 (株)アイシン
 (株)明石合銅
 アズビル(株)藤沢テクノセンター
 アズビルTACO(株)
 (株)アドヴィックス
 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
 エコ技術研究所(株)
 ACS(株)
 SMC(株)
 SMC中国有限公司
 (株)NF1
 ENEOS(株) 潤滑油カンパニー
 (株)大阪ジャッキ製作所
 大瀧ジャッキ(株)
 オカダイナストリ(株)
 鹿島通商(株)
 (株)桂精機製作所
 神威産業(株)
 カヤバ(株)
 川崎重工業(株)精密機械・
 ロボットカンパニー
 川崎油工(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)
 協和シール工業(株)
 旭東ダイカスト(株)
 (株)クボタ
 (株)工苑
 甲南電機(株)
 (株)古河製作所
 (株)コガネイ
 コスモ石油ルブリカンツ(株)
 (株)小松製作所開発本部
 (株)小松製作所試験センタ

(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)
 産経新聞社
 三輪精機(株)
 三和テック(株)
 (株)ジェイテクト
 (株)ジェイテクトフルードパワーシステム
 CKD(株)
 (株)島津製作所
 ジヤトコ(株)
 勝美印刷(株)
 新電元メカトロニクス(株)
 住友重機械建機クレーン(株)
 住友重機械工業(株)
 第一電気(株)
 ダイキン工業(株)
 ダイキン・ザウアーダンフォース(株)
 大生工業(株)
 タイヨーインタナショナル(株)
 ダイワ(株)
 (株)タカコ
 (株)タダノ
 ダンフォース(株)
 (株)都筑製作所
 東京計器(株)
 東京計器パワーシステム(株)
 東京メータ(株)
 東北特殊鋼(株)
 東明工業(株)
 東レエンジニアリング(株)
 特許機器(株)
 特許庁
 TOHTO(株)
 (株)豊田自動織機
 長津工業(株)
 中西商事(株)
 長野計器(株)

中村工機(株)(株)
 NACOL(株)
 ナブテスコ(株)
 (株)南武
 日新濾器工業(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)
 日本製鉄(株)交通産機品カンパニー
 (一社)日本フルードパワー工業会
 日本ムーク(株)
 (株)野村商店
 (株)ハイダック
 (株)Parker TAIYO
 ピー・エス・シー(株)
 日立建機(株)
 (株)日立建機ティエラ
 廣瀬バルブ工業(株)
 フェスト(株)
 (株)フクダ
 (株)不二越
 二見屋工業(株)
 (株)ブリヂストン
 ボッシュ・レックスロス(株)
 昌富工業(株)
 (株)増田製作所
 マックス(株)
 松巳鉄工(株)
 三國機械工業(株)
 三菱電線工業(株)
 ヤマシフイルタ(株)
 ヤマハモーターハイドロリックシステム(株)
 (株)山本金属製作所
 油研工業(株)
 (株)ユーテック
 横河計測(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

編集室

次号予告

—特集「油圧機器を支えるものづくり技術」—

【巻頭言】「油圧機器を支えるものづくり技術」発行にあたって	丸田 和弘
【解 説】	
建設機械用油圧機器の製造工程紹介	岡村 康弘
油圧バルブ 砂型鋳造品の製造工程と生産技術	安藤 昌之
『ピストンポンプ・モータ』を支えるピストンASSYのものづくり技術	河野 義彦, 高辻 和正
油圧シールの製造技術	原 雄一郎
建設機械用油圧リターンフィルタの製造技術	堀内 崇史
油圧電磁比例制御弁用ソレノイドの製造	柳戸 潤也
【フェローの声】空気圧技術の来歴と今後の発展	香川 利春
【会議報告】日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2025におけるフルードパワー関連技術の研究動向	塚越 秀行
【トピックス】駐在員日記	奥村 裕太
【企画行事】春季講演会	酒井 悟

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。

〒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 東京00-110-31233690

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