

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

Mar. 2023 Vol. 54 No. 2

特集「フルードパワーとハイブリッド」



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「フルードパワーとハイブリッド」

【巻頭言】

「フルードパワーとハイブリッド」発行にあたって 村岡 裕之 56

【総論】

油圧ハイブリッド技術の最新動向 田中 豊 57

【解説】

油圧ポンプ回転数制御システムへの単純適応制御の適用 小川 恭右 62

ボンドグラフ法を用いた電空ハイブリッドアクチュエータのシステムモデル表現 肥後 寛 66

電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置 加藤 友規 71

空圧・電動ファクトリー 齊藤 悠 75

空気と水で動かす空水圧ハイブリッドロボット 玄 相昊 79

【会議報告】

山梨講演会2022におけるフルードパワー技術研究 吉田 和弘 83

【トピックス】

学生さんへ、先輩が語る—今できることを精一杯やる— 畑中翔太郎 85

Youは日本をどう思う？第21回：13年目での日本生活 李 晶 88

【企画行事】

2023年度企画行事紹介 桜井 康雄, 小林 亘 90

2022年度オースタムセミナー開催報告「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」
名倉 忍 92

【会告】

2023年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ	91
2023年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー「フルードパワーとハイブリッド」	94
2023年春季フルードパワーシステム講演会併設企画「製品・技術紹介セッション」	94
理事会・委員会報告	95
共催・協賛行事のお知らせ	96
日本フルードパワーシステム学会 英文論文の投稿規程改定のお知らせ	97
会員移動	97
次号予告	98

■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 "Fluid Power and Hybrids"

[Preface]

On the Special Issue "Fluid Power and Hybrids"	Hiroyuki MURAOKA	56
--	------------------	----

[Survey]

Recent Technical Trend on Hydraulic Hybrid Systems	Yutaka TANAKA	57
--	---------------	----

[Review]

Application of Simple Adaptive Control to Hydraulic Pump Rotation Speed Control System	Kyosuke OGAWA	62
System Model of Pneumatic-Electro Hybrid Actuator using by Bondgraph	Hiroshi HIGO	66
Hybrid Electric-Pneumatic Vertical Positioning Device	Tomonori KATO	71
Coexistence of Pneumatic and Electric Equipment in Factories	Yutaka SAITO	75
Air-Hydraulic Hybrid Robots Driven by Air and Water	Sang-Ho Hyon	79

[Conference Report]

Researches of Fluid Power Technologies in Yamanashi District Conference 2022	Kazuhiro YOSHIDA	83
--	------------------	----

[Topics]

Senior talk to students—Do the Best I Can Now—	Shotaro HATANAKA	85
What do you think of Japan? 21th : Japan Life in the 13th Year	Li Jing	88

[JFPS Activities]

Introduction of Events of JFPS in 2023	Yasuo SAKURAI, Wataru KOBAYASHI	90
The Report of JFPS Autumn Seminar in 2022	Shinobu NAGURA	92

[JFPS News]

91, 94 95, 96, 97, 98

「フルードパワーとハイブリッド」発行にあたって

著者紹介



むら おか ひろ ゆき
村 岡 裕 之

株式会社コガネイ
〒399-4102 長野県駒ヶ根市飯坂2-6-1
E-mail: muraoka@koganei.co.jp

2000年東京電機大学大学院理工学研究科機械工学を卒業、同年株式会社コガネイに入社。現在は開発本部SC開発部に所属し、フッ素樹脂製の薬液供給ポンプを主とする設計開発業務に従事。

電動アクチュエータは、その特徴である高い応答性と高精度な制御に対し、保持力が小さく、負荷を保持するためには多くの電力を消費するという欠点がある。一方で、フルードパワーは高出力という特徴に対し、高精度制御がむずかしいなどの欠点があるが、このふたつを組み合わせることによって、それぞれの欠点を補完するハイブリッドシステムの研究・開発が多く進められてきた。

本特集では、「フルードパワーとハイブリッド」と題して、現在の電動アクチュエータとフルードパワーのハイブリッド化がどのように進化し新たな付加価値が見いだされたかを活用例とともに紹介する。

はじめに、小川恭右氏（川崎重工業株式会社）に「油圧ポンプ回転数制御システムへの単純適応制御の適用」と題して、ポンプを駆動するモータの回転数を、油圧機器による制御を介さずに直接圧力・流量の制御ができる制御システムについてご説明いただいた。本解説では、調整負荷の軽減を目的とし、ロバスト性の向上やゲイン調整の容易さなどの解決策を、現代制御の単純適応制御に着目し、油圧ポンプ回転数制御システムでの圧力制御手法に適用して、ゲイン調整の自動化の取り組みについて解説いただいた。

つづいて、肥後寛氏（九州工業大学）には、「ボンドグラフ法を用いた電空ハイブリッドアクチュエータのシステムモデル表現」と題して、電空ハイブリッドアクチュエータに搭載されるサーボモータの容量の選定に有効であるシステムの動特性解析に

ついて説明していただいた。本解説では、ボンドグラフ法を用いて電空ハイブリッドアクチュエータの数学モデルを作成し、サーボモータに作用する動力の動特性を解析した例について解説していただいた。

加藤友規氏（福岡工業大学）には、超精密加工を行う上で重要な基盤技術のひとつである超精密位置決め技術として、非球面加工機の鉛直ステージに使用される、電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージに関する研究について「電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置」と題し、電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの研究に関して、装置の概要といくつかの成果について解説いただいた。

齋藤悠氏（株式会社コガネイ）には「空圧・電動ファクトリー」と題して、空気圧機器と電動機器の共存というハイブリッドについて、ミニ工場「空圧・電動ファクトリー」を参考に使用例を解説していただいた。

最後に玄相昊氏（立命館大学）に「空気圧と水で動かす空圧ハイブリッドロボット」と題して解説をいただいた。先進国・途上国に関わらず、サービス分野におけるロボットのニーズの高まりや、最近では人が侵入し難い極限環境において、直感的な遠隔操作で精密に作業や点検ができるロボットが待望されている。電動アクチュエータ、油圧アクチュエータ、水圧ロボットとある中、油とポンプ、サーボ弁を利用しない水圧駆動方法はないか？との問いに応えるアイデアが「エアハイドロサーボ」であり、水圧ロボットの現在進行形のチャレンジについて解説していただいた。

本特集で紹介した事例の、今後ますますの発展を期待するとともに、フルードパワーのハイブリッド化の進化によってフルードパワー技術のますますの発展を期待したい。

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へ深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げます。

（原稿受付：2023年2月2日）



油圧ハイブリッド技術の最新動向

著者紹介



た なか ゆたか
田 中 豊

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

1985年東京工業大学大学院総合理工学研究科修了。その後、東工大精密工学研究所助手を経て、1991年法政大学講師、1992年同助教授、2002年同教授、現在に至る。工学博士（1991年東京工業大学（一社）フルードパワーシステム学会副会長

1. はじめに

著者は本会誌の第41巻 第4号（2010年7月）の特集号「油圧ハイブリッドの技術動向」において、総論・油圧ハイブリッドの技術動向と題し、油圧方式と電気方式の特長を整理した上で、両者の特徴を融合させた油圧ハイブリッドの技術動向についていくつもの事例を紹介した¹⁾。あれから12年、干支でいう一巡が経過し、フルードパワーのハイブリッド技術も着実に進化してきている。さらに最近では油圧駆動の利点が見直され、ロボットなどへの適用が再び模索されている²⁾³⁾。本稿では最近の事例を基に油圧ハイブリッド技術の最新動向を紹介する。

2. ハイブリッド技術の特徴と分類

ハイブリッドというキーワードを用いたフルードパワーに関連した最新技術は大きく分けて次の4つの方式に分類できる。

1つ目は電動モータと油圧ポンプを組み合わせることで一体化し、バルブレスで油圧アクチュエータを駆動する方式であり、従来からEHA（Electro-Hydraulic/Hydrostatic Actuator）と呼ばれて航空機などで利用されてきた⁴⁾。この方式は航空機の小型軽量化や分散化・効率化を追求するために取り入れられており、近年ではロボットへの適用も試みられている⁵⁾。また農業機械用として製品化もされている⁶⁾。

2つ目はポンプ駆動に新素材を用いて小形シリンダのような流体アクチュエータを駆動する方式で、スマートハイブリッド電気油圧アクチュエータ

（Smart Hybrid Electrohydraulic Actuator）と呼ばれている⁷⁾。この方式も航空機への適用を念頭に置いて開発が進められてきている。

3つ目は電動アクチュエータと油圧アクチュエータをシステム内で別々の目的で組み合わせて使用し、両者の長所や短所を補う形で融合した方式で、組み立て作業用双腕ロボットの駆動システムに用いられている⁸⁾。

4つ目はエネルギー回生による省エネルギーを追求した油圧ハイブリッド方式である。アキュムレータをエネルギー回生に用いた事例⁹⁾や従来のオープンセンター弁と定圧力源を用いた省エネハイブリッド建機の事例¹⁰⁾などがある。

次章以降ではこれら4つの方式の事例について詳しく紹介する。

3. EHA方式

図1に一般的な油圧駆動方式とEHA駆動方式の比較を示す。図1(a)に示す一般的な油圧駆動方式では、エンジンや電動モータなどの原動機で油圧ポンプを回し、所望の圧力と流量の油圧パワーを集中して作り出す。その後、駆動部に配置された各アクチュエータに配管を介して油圧が分配され、サーボ弁などの高速駆動弁により油圧シリンダや油圧モータなどの油圧アクチュエータが駆動制御される。アクチュエータ駆動制御に油圧を利用することで高出力密度が実現でき、アクチュエータの配置自由度も高い¹¹⁾。

一方、EHA方式では図1(b)に示すように、同じ数の油圧アクチュエータを駆動するのに電動モータを

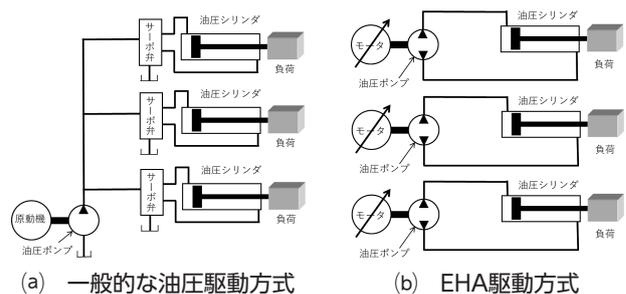


図1 駆動方式の比較

双方向油圧ポンプと組合せ、個々のアクチュエータを分散駆動制御する。サーボ弁のような弁制御を電動モータと油圧ポンプの回転数とトルク制御で代替するため、各アクチュエータが占める質量や体積の割合は大きくなるものの、集中方式に比べエネルギー効率が高い点に特長がある。また分散配置されるため、ポンプや配管の障害時の影響が局所的で、航空機などのアクチュエータ駆動に適している⁴⁾。

文献5)ではEHA方式のロボットへの応用事例がレビューされている。この中では、分散配置による信頼性が高い、効率や制御性が良い、出力密度が高い、歯車減速機によるバックラッシュが回避できるためバックドライバビリティが高い¹²⁾¹³⁾などの利点が挙げられている。一方で、油漏れや騒音、ロボットに適用できる市販の小形油圧要素が少ないなどの欠点も指摘されている。

K社はDCモータで歯車ポンプを双方向に回転駆動させ、油圧シリンダを動作させるEHA方式のミニモーションパッケージを製品化している。従来品に比べて、高压領域におけるポンプ効率を大幅に改善し、油圧シリンダを小径化しながら高压高効率化により推力をアップして小形化を図ったことが報告されている⁶⁾。

4. スマートハイブリッド流体アクチュエータ

EHA方式のポンプ駆動に電動機ではなく新素材アクチュエータを用いた方式が提案され、文献7)でさまざまな事例がレビューされている。このハイブリッドアクチュエータは米国DARPAの小形ハイブリッドアクチュエータプログラム (Compact Hybrid Actuators Program: CHAP) による成果とのことである¹⁴⁾。

図2にスマートハイブリッド流体アクチュエータ

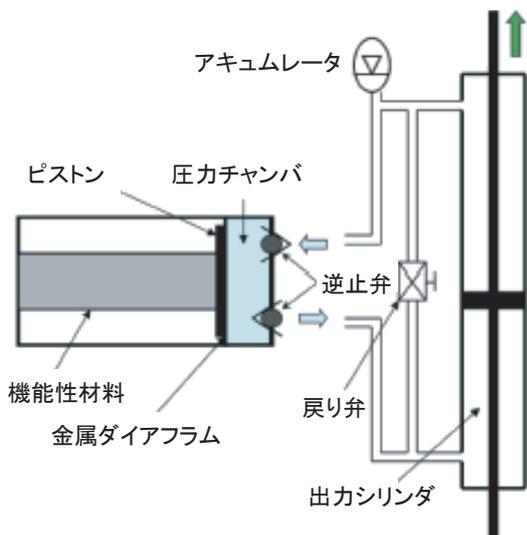


図2 スマートハイブリッド流体アクチュエータの構成

の動作原理図を示す。機能性材料が金属ダイアフラムを介して圧力チャンバ内の流体を加圧し、逆止弁を通してシリンダを上方向に押し上げる。図2は原理図なので一方向の駆動しか実現できないが、バルブなど回路を工夫することで双方向の駆動も可能である。金属ダイアフラムを駆動する機能性材料としては、積層圧電素子 (PZT) や積層電歪素子 (PMN)、磁歪素子 (Terfenol-D, Galfenol) が用いられた¹⁵⁾。なお積層圧電素子を用いた同様のマイクロポンプの研究として、朴らは共振駆動を利用した出力密度の高い圧電ポンプを開発している¹⁶⁾。

流体圧駆動は小形化と高出力密度が可能で、近い将来、さまざまな技術とのハイブリッド化による新たな高出力アクチュエータへの展開が期待される。

5. 駆動方式の棲み分けによるハイブリッド化

最近、油圧駆動の高出力性能が見直され、ロボットなどへの適用例が盛んである。特に定置形より移動形システムにその特長が見出されている。Boston Dynamics社が開発したBigDog¹⁶⁾やAtlas¹¹⁾は全油圧駆動を採用しており、油圧駆動の利点が活かされている。

一方、高橋らはセル生産方式の製造ラインに利用される組み立て作業用双腕ロボットに対し油圧と電動のアクチュエータを組み合わせたハイブリッド型を提案している⁸⁾。

図3にこの油圧—電動ハイブリッド駆動型双腕ロボットの構成を示す。大きな負荷のかかる上腕部3軸の駆動と腰の曲げ動作には油圧アクチュエータ、細かな作業を行う前腕部3軸の駆動と腰の回転動作には電動アクチュエータを組み合わせ、シリアルリンク機構による双腕アームと本体を構成した。この油圧電動ハイブリッドロボットは、人間と同程度の肩幅の大きさで、片腕での可搬質量50kgを実現したことが報告されている。

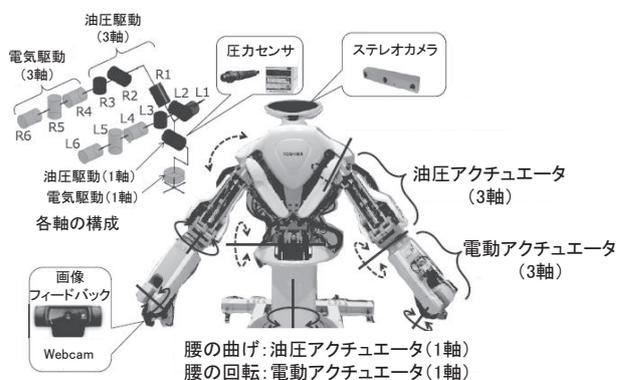


図3 油圧—電動ハイブリッド駆動型双腕ロボット

フルードパワーを利用していないが、S社は電動

モータと弾性要素をハイブリッドに組み合わせた直列並列弾性アクチュエータ (Series-Parallel Elastic Actuator: SPEA) を新たに開発し、4脚歩行ロボットに搭載して可搬質量20kgを実現したことが報告されている¹⁸⁾。

このように今後も新たなハイブリッド化によるロボット用高出力アクチュエータの開発が展開されることが期待される。

6. ハイブリッド化によるエネルギー回生方式

6.1 油圧エネルギーの回生方式

油圧システムにおけるエネルギー回収蓄積は蓄積エネルギーの形態と要素機器の構成から、図4に示すように大きく3つの方式に分類できる¹⁹⁾。図4(a)は油圧ポンプ/モータとアクキュレータの組み合わせによる流体エネルギー方式、(b)は発電機/電動機と蓄電池による電気エネルギー方式、(c)は油圧ポンプ/モータとフライホイールによる運動エネルギー方式である。文献²⁰⁾によれば、油圧アクキュレータはエネルギー密度よりもパワー密度に優れており、蓄電池はパワー密度よりもエネルギー密度に優れている。またフライホイールは両者の中間に位置しているとのことである。

国内の建機メーカーは、従来捨てていた油圧エネルギーを回生して再利用するための電気油圧ハイブリッドシステムを実用化している。このハイブリッドシステムでは、ショベルの旋回時の制動エネルギーを旋回用油圧モータに直結した発電機で電気エネルギーとしてコンデンサに回収する図4(b)の構成を用いている。詳細は本特集号掲載の別解説を参照いただきたい。一方、米国の建機メーカーの1社はショベルの旋回時の制動エネルギーを油圧アクキュレータに蓄積する図4(a)の方式を採用し、次の旋回時に再利用している。

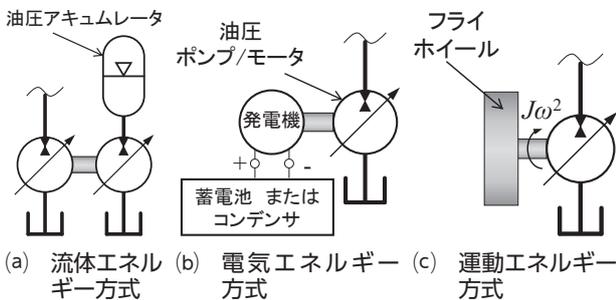


図4 エネルギー回収蓄積方式の分類

6.2 パワースプリットハイブリッド油圧ショベル

従来の小形油圧ショベルにおいて、原動機によるロードセンシング付き油圧ポンプの駆動にパワースプリットハイブリッド方式を適用することが提案さ

れている⁹⁾。

図5にシステム回路構成図を示す。原動機と油圧ポンプの間に遊星歯車減速機を介して機械的動力伝達経路と油圧HST動力伝達経路を並列に並べてポンプへの動力を分割分担し、エンジンである原動機のサイズを小さくして、できるだけ効率の良い回転数範囲での運転頻度を上げることが試みている。また旋回用油圧ポンプ/モータにアクキュレータによるエネルギー回生を併用したハイブリッド化によりさらなる省エネルギー化を図っている。

シミュレーションモデルを用いた試算によれば、従来のロードセンシング付き油圧ショベルに比べ、エンジンの大きさが20%ほど削減され、消費燃料が16.4%ほど低減できることが報告されている。

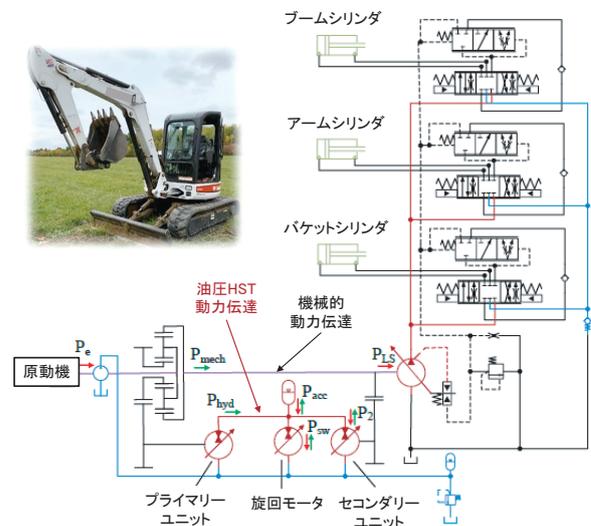


図5 パワースプリットハイブリッド方式油圧ショベルの回路

6.3 OC/CPハイブリッドシステム

油圧ショベルの地ならしや掘削動作は図6に示すような2つの基本動作モードに分類できる。ロール

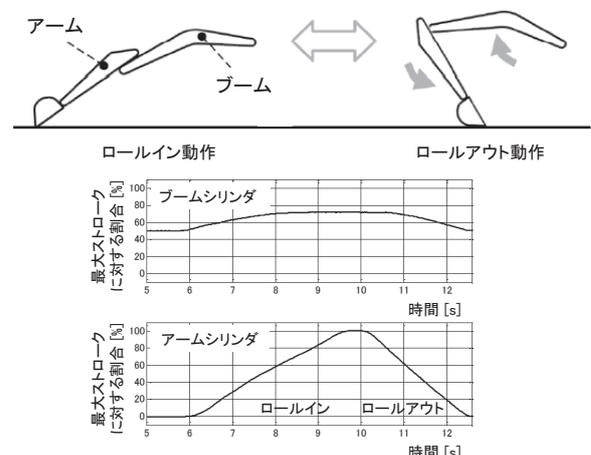


図6 油圧ショベルの基本動作とシリンダ変位

イン動作ではブームとアームの油圧シリンダは両者とも伸長する。一方、ロールアウト動作では両シリンダは収縮する。この時、アームの油圧シリンダは最も縮んだ状態から最大ストローク近くまでフルストローク変位するのに対し、ブームの油圧シリンダは中立位置から最大ストロークの2割程度までしか動作しない。基本動作に応じた油圧シリンダへの油量は大きく異なることがわかる。

この基本動作に対して省エネルギーとなるハイブリッドシステムが提案されている¹⁰⁾。図7にオープンセンターバルブシステム(OC-System)と定圧力源油圧システム(CP-System)を組み合わせたハイブリッド油圧システムの回路構成を示す。実線で囲まれた従来のOC-Systemの4つの制御弁に点線で囲まれた5つのオンオフ弁が付加された構成である。ここで制御弁1と制御弁2は従来のOC-Systemのみで動作するシステムとハイブリッド方式との比較を行うために配置されており、ハイブリッドシステム方式では動作を必要としない。

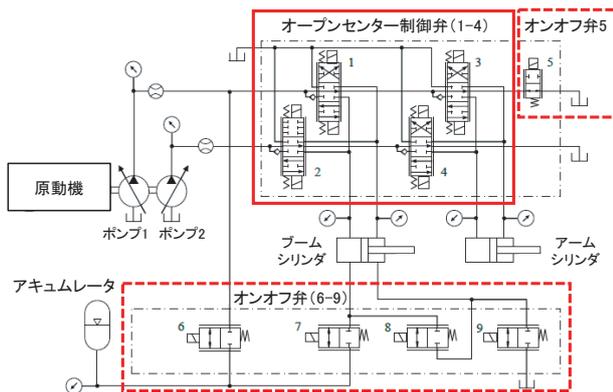


図7 OC/CPハイブリッドシステムの油圧回路構成

表1 ハイブリッドシステムにおける油の流れ

動作	ポンプ1	ポンプ2	アキュムレータ
ロールイン	アーム	アーム	ブーム
ロールアウト	アキュムレータ チャージ	アーム (ロッド側)	回生チャージ (ブームより)

ハイブリッドシステムにおけるロールイン動作とロールアウト動作の油の流れを表1に示す。ハイブリッドシステムにおけるロールイン動作の場合、オープンセンター制御弁3と4が動作してポンプ1とポンプ2を合わせた油量がアームシリンダのキャップ側へ導かれ、アキュムレータからの油量がオンオフ弁7によりブームシリンダのキャップ側へ導かれ、両シリンダは伸長動作する。ブームシリンダのロッド側からの流量はオンオフ弁9を通してタ

ンクへと戻る。

ロールアウト動作の場合、制御弁4のみが動作してポンプ2からの油量がアームシリンダのロッド側へ導かれアームは収縮動作する。一方、オンオフ弁5が閉じられ、ポンプ1からの油量はオンオフ弁6を通してアキュムレータをチャージする。またオンオフ弁7と8が動作し、ブームシリンダのキャップ側からの流量の一部がオンオフ弁8によりロッド側へ導かれブームが収縮するとともに、残りの流量はオンオフ弁7を通してアキュムレータへと回生される。

実験室レベルの動作実験によれば、OC-SystemとCP-Systemを併用したハイブリッドシステムはOC-Systemのみを用いた場合に比べて、ポンプを駆動するエンジンの燃料消費量を16%ほど削減できることが報告されている¹⁰⁾。

7. おわりに

最近の事例を基に油圧ハイブリッド技術の最新動向を紹介した。油圧駆動の高出力密度の特長を活かしながらエネルギー消費を軽減する多くのハイブリッド化の試みは、油圧駆動が見直される要因のひとつとなっている。油圧駆動の本来の姿である高圧化や高強度化を追求しながら小形化を図るアクチュエータ技術としてハイブリッド化はますます重要な技術となってきている。今後のさらなる進化を期待したい。

参考文献

- 1) 田中豊, 油圧ハイブリッドの技術動向, フルードパワーシステム, 第41巻, 第4号, pp. 183-187, 2010.
- 2) 進藤智則, 復権する油圧駆動ロボ, 日経Robotics, 2015年10月号, <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/mag/15/00140/00044/> (2022年12月5日参照)
- 3) 玄相昊, 高速かつ柔軟な油圧式2足歩行ロボット, フルードパワーシステム, 第45巻, 第1号, pp. 12-15, 2014.
- 4) S. Frischemeier, Electrohydrostatic Actuators for Aircraft Primary Flight Control-Types, Modelling and Evaluation, Proceedings of the Fifth Scandinavian International Conference on Fluid Power, 1997, pp. 28-30.
- 5) Karanovic, V., Jocanovic, M., & Jovanovic, V., Review of development stages in the conceptual design of an electro-hydrostatic actuator for robotics. Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 11, No. 5, pp. 59-79, 2014.
- 6) 田中大介, 製品紹介・ミニモーションパッケージ5型, KYB技報, 第61号, pp. 50-54, 2022.
- 7) Anirban Chaudhuri and Norman Wereley, Compact hybrid electrohydraulic actuators using smart materials: A review, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 23, No. 6, 597-634, 2011.
- 8) 高橋宏昌, 他6名, 油圧一電動ハイブリッド駆動型双腕ロボット, 日本ロボット学会誌, Vol. 34, No. 1, pp. 33-39, 2016.
- 9) Mateus Bertolin, Andrea Vacca, A Power-Split Hybrid

- Transmission to Drive Conventional Hydraulic Valve Controlled Architectures in Off-road Vehicles: The Case of a Mini-Excavator, Proc. The 11th JFPS International Symposium on Fluid Power Hakodate, GS6-03, 2022.
- 10) Seiji Hijikata, Philipp Weishaar, Roland Leifeld, Katharine Schmitz, Experimental Evaluation of System Efficiency for a Hydraulic Hybrid Architecture of Excavators, MM Science Journal, Vol. 2018, Issue 03, pp. 95-103, 2018.
 - 11) 田中豊, 油圧駆動ロボットに役立つ油圧要素技術, フルードパワーシステム, 第50巻, 第2号, pp. 65-68, 2019.
 - 12) Hiroshi Kaminaga, Junya Ono, Yusuke Nakashima, and Yoshihiko Nakamura, Development of Backdrivable Hydraulic Joint Mechanism for Knee Joint of Humanoid Robots, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1577-1582, 2009.
 - 13) Mitsuo Komagata, Tianyi Ko, Ko Yamamoto, and Yoshihiko Nakamura, Experimental Study on Critical Design of Electro-Hydrostatic Actuators Small in Size and Light in Weight, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 32, No. 5, pp. 911-922, 2020.
 - 14) Ephrahim Garcia, Smart structures and actuators: past, present, and future, Proc. SPIE 4698, Smart Structures and Materials, Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, 2002.
 - 15) Shaju John, Jayant Sirohi, Gang Wang and Norman M. Wereley, Comparison of Piezoelectric, Magnetostrictive, and Electrostrictive Hybrid Hydraulic Actuators, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 18, pp. 1035-1048, 2007.
 - 16) 朴車濠, 横田眞一, 吉田和弘, 共振駆動を用いた高パワー密度の圧電マイクロポンプ, 日本機械学会論文集C編, 65巻, 631号, pp.1071-1077, 1999.
 - 17) Marc Raibert, Kevin Blankespoor, Gabriel Nelson, Rob Playter, BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot, Proc. of the 17th World Congress IFAC, pp. 10822-10825, 2008.
 - 18) Y. Kamikawa et al., Tachyon: Design and Control of High Payload, Robust, and Dynamic Quadruped Robot with Series-Parallel Elastic Actuators, 2021 IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 894-901, 2021.
 - 19) 田中豊, 油圧システムにおける省エネルギー技術の展望, ターボ機械, 43巻, 5号, pp. 303-307, 2015.
 - 20) Seppo Tikkanen, et.al., Hydraulic Hybrid Systems for Working Machines and Commercial Vehicles, Proc. National Conference of Fluid Power, pp. 531-536, 2008.

(原稿受付：2022年12月12日)

解説

油圧ポンプ回転数制御システムへの単純適応制御の適用

著者紹介



おがわ きょう すけ
小川 恭 右

川崎重工株式会社 精密機械・ロボットカンパニー
精密機械ディビジョン 技術総括部
システム技術部 産業装置課
〒651-2239 神戸市西区榎谷町松本234
E-mail : ogawa_kyosuke@khi.co.jp

2012年広島大学大学院工学研究科機械システム工学専攻修士課程修了, 2012年川崎重工株式会社入社, 現在に至る. 油圧システム及びコントローラ的设计・開発に従事.

1. はじめに

当社では電油ハイブリッドシステムとして、油圧ポンプ回転数制御システム（写真1）を製品化している。本システムはポンプを駆動するモータの回転数を必要な動力に応じて制御することで、油圧機器による制御を介さずに直接圧力・流量の制御ができることが特徴である。本システムの制御において、調整負荷の軽減を目的として、ロバスト性の向上やゲイン調整の容易さなどのユーザ要求がある。これらの解決策として、比較的簡単な構成で実現できること、2自由度制御系であるため安定性・応答性を両立させやすいことから、現代制御の単純適応制御¹⁾(SAC: Simple Adaptive Control)に着眼し、油圧ポンプ回転数制御システムでの圧力制御手法に適用して、ゲイン調整の自動化に取り組んできた。

SACの実用化にあたり、安定化において重要な働きをする並列フィードフォワード補償器(PFC: Parallel Feedforward Compensator)のオンラインチューニング²⁾を行うことで、負荷の特性が変動する場合への対応を行い、ロバスト性と応答性の両立を進めてきた。しかし、適応ゲインの調整に時間がかかるという問題点があった。そこで、ゲイン調整の簡素化として、油圧システムの特徴を考慮した制御手法の改良(以下、改良SAC)を図り、製品化を実現した。

本稿では、改良SACを搭載したコントローラ(写真1-右)を用いて、実機に適用した結果を紹介する。



写真1 油圧ポンプ回転数制御システムとコントローラ

2. 制御手法

2.1 単純適応制御¹⁾

図1に基本的なSAC(規範モデルが1次遅れ系の場合)のブロック図を示す。

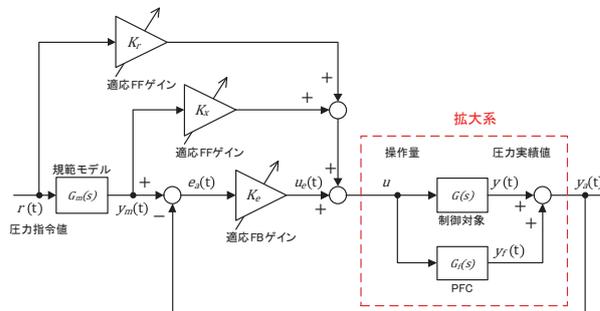


図1 基本的なSACのブロック図(1次遅れ系)

SACは規範モデル $G_m(s)$ に追従するように3種類のゲイン(K_e , K_f , K_x)を適応的に調整する制御方式である。SACの特徴は、制御対象にPFCを付加して制御系の安定性を確保することで、非常に簡単な構成で適応制御系を構成していることである。PFCの役割をおおまかにいえば、制御対象の応答遅れを補うような擬似的な出力を発生させることで、拡大系(制御対象+PFC)としては応答遅れがないように見せかけるものである。適応ゲイン K_e , K_f , K_x は規範モデルが1次遅れ系の場合、次式に示す比例+積分型調整則にしたがって調整する。

$$K_e = \gamma_e \int_0^t e_e^2(\tau) d\tau - \sigma \int_0^t K_e(\tau) d\tau$$

$$K_r = \gamma_r \int_0^t r(\tau) e_a(\tau) dt$$

$$K_x = \gamma_x \int_0^t y_m(\tau) e_a(\tau) dt$$

ここで、 σ は適応ゲイン K_e の発散を防ぐためのフィードバックゲインとなり、係数 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ を用いて、次式で示すように偏差に応じて調整する。

$$\sigma = \beta_1 + \frac{\beta_2 e_a^2(t)}{\beta_3 + e_a^2(t)}, (\beta_1 \geq 0, \beta_2, \beta_3 > 0)$$

2.2 PFCのオンラインチューニング²⁾

PFCは拡大系が概強正実 (ASPR: Almost Strictly Positive Real) 条件を満たすように設計する。この条件を満たすには、厳密な方法ではないが、拡大系の位相遅れを全周波数領域において180度未満にすればよい。たとえば、油圧システムの圧力制御のような積分系の制御対象に対しては、PFCを1次遅れ系とし、図2のように制御対象の位相遅れが180度以上となる周波数領域でゲイン特性が「制御対象 < PFC」となるようにすればよい。しかし、このときに低周波領域でも「制御対象 < PFC」となってしまうと、拡大系としては応答性がよくても制御対象自体の応答は悪くなる。

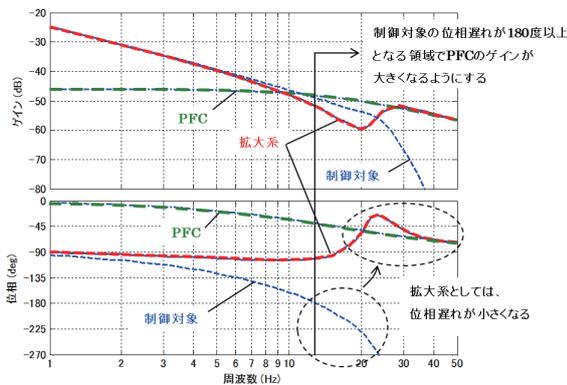


図2 PFCの設計方法

そこで、当社では制御対象の周波数特性を逐次同定し、その結果に基づいてPFCをオンラインで自動調整することで、応答性を改善する手法を検討した。

以下に具体的な調整方法を示す。

- ①逐次同定手法により、制御対象を3次程度の線形ブラックボックスモデル $G(z)$ で推定する。

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}} z^{-km}$$

- ② $G(z)$ の位相遅れが φ_p [deg]となる周波数 ω_p とそのときのゲイン K_p を数値探索にて求める。

- ③PFCのゲイン K_f と折れ点周波数 ω_f を以下のように調整する。

$$G_f(s) = \frac{K_f \omega_f}{s + \omega_f} (K_f = \alpha_k K_p, \omega_f = \alpha_f \omega_p)$$

PFCオンラインチューニングの効果について、シミュレーション結果を用いて紹介する。シミュレーション条件としては異なる2つの状態a, bに対して、SACを適応して圧力制御を行う。なお、状態aと状態bでは制御対象の容量が異なり、ゲイン換算で約40倍の変動がある。図3にPFCを固定としたSACによる波形を、図4にPFCのオンラインチューニングを行ったSACによる波形を示す。波形を比較すると、PFCを固定としたSACの波形では状態bの場合に応答性が悪くなっている。一方、PFCのオンラインチューニングを行ったSACでは、異なる制御対象に対しても良好な結果が得られている。

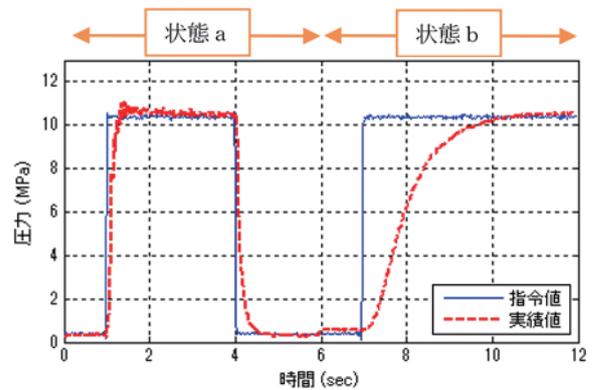


図3 PFCを固定としたSAC

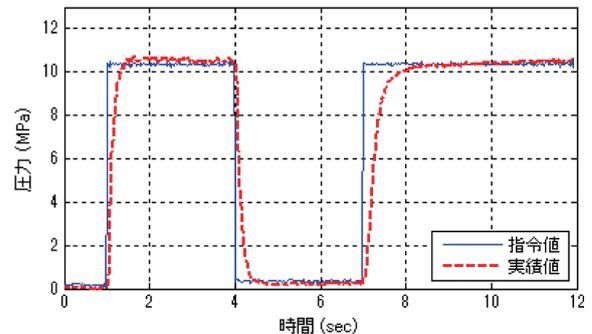


図4 PFCのオンラインチューニングを行ったSAC

3. 油圧システムの特性を考慮した制御手法の改良

油圧システムの圧力制御では、制御対象の特性変動が大きい一方で、高い応答性や精度が求められる場合が多い。そこで、前述のPFCのオンラインチューニングに加え、油圧システムの特性を考慮して調整則を見直した改良SACを検討した。改良SACのブロック図を図5に示す。なお、改良SACでは応答性向上のためにPFCはフィードバックループのみに作用するように変更した。

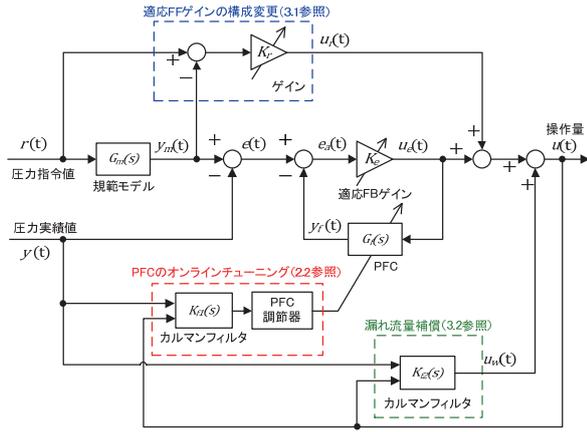


図5 改良SACのブロック図

3.1 適応FFゲインの構成変更

適応ゲインの適応速度を向上するために、図1で示したブロック図を単純化することを考える。油圧システムの圧力制御では制御対象が積分系となり、定常状態で操作量 u はゼロとみなせるため、適応FFゲインは $K_r = -K_x$ に収束すると仮定できる。そこで、改良SACでは、2つある適応FFゲインをひとつにまとめ、次式で示すように調整則を変更することで、適応速度を大幅に向上させている。

$$K_e = \gamma_e \int_0^t e_a^2(\tau) d\tau - \sigma \int_0^t K_e(\tau) d\tau$$

$$K_r = \gamma_r \int_0^t f(\tau) e_a(\tau) d\tau$$

$$f(\tau) = \begin{cases} +1 & r(t) - y_m(t) > 0 \\ 0 & r(t) - y_m(t) = 0 \\ -1 & r(t) - y_m(t) < 0 \end{cases}$$

3.2 漏れ流量補償

定常状態で実質操作量をゼロと仮定したが、実際には漏れ流量などの影響により、定常偏差をゼロにできない。定常状態に発生している操作量 u とそのときの圧力 y の関係からカルマンフィルタにより漏れ流量特性を推定して、フィードフォワード的に補償を行う。漏れ流量特性は次式で近似して、その係数 a 、 b を推定する。

$$u_w = ay + b$$

このとき、漏れ流量補償は規範モデル出力 y_m を用いて、 $y = y_m$ として補償を行う。

4. 評価試験

改良SACを搭載したコントローラを用いて、適応ゲインの自動調整について実機評価試験を行った。写真2に試験装置の外観を示す。

試験装置は油圧ポンプ回転数制御システムを用いたパッケージユニットとシリンダユニットの構成と

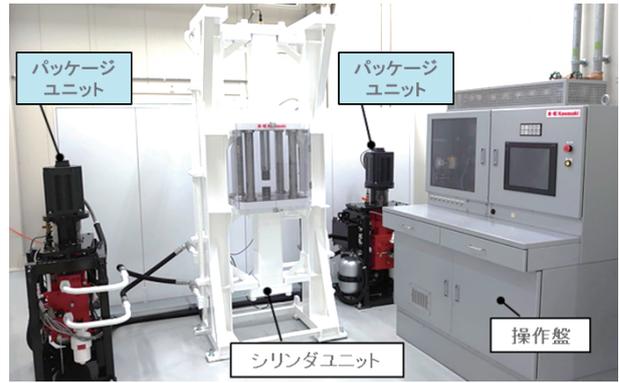


写真2 試験装置

なり、両高圧・両回転に対応しているクローズ回路用油圧ポンプを用いることで、直接アクチュエータの力・方向・速度を制御している。

本試験装置に改良SACを用いた際の圧力制御調整過程の波形を図6に示す。なお、調整過程がわかりやすいよう、適応ゲイン K_e 、 K_r の初期値を調整し、意図的にオーバーシュートを発生させている。調整前後の適応ゲインの比較を表1に示す。

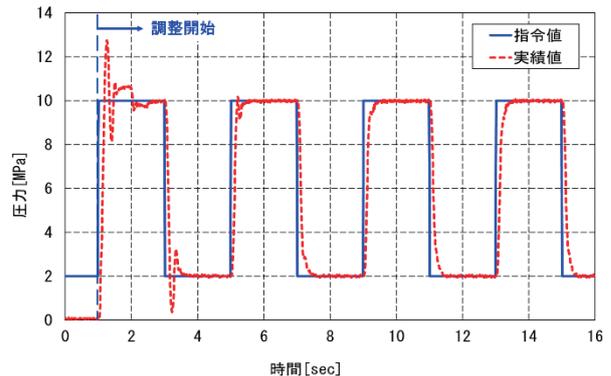


図6 改良SACによる調整過程の波形

表1 適応ゲインの調整結果

適応ゲイン		調整前	調整後
K_e	適応FBゲイン	25	17.92
K_r	適応FFゲイン	8	3.72
a	漏れ流量補償ゲイン	1	0.18
b	漏れ流量補償バイアス	1	0.62
K_f	PFCゲイン	1	0.06
ω_f	PFC折れ点周波数	10	16.14

図6より、改良SACを用いることで、大きなオーバーシュートが発生している状態からでも3回程度で最適な波形に収束していることが確認できる。

また、調整後の改良SACと古典制御のPID制御で

応答を比較した。図7にPID制御の波形を、図8に改良SACの波形を示す。なお、PID制御では2MPaから10MPaの昇圧過程で最適になるよう調整した。

波形を比較すると、PID制御の波形は調整した部分では最適な波形となっているが、高圧側で応答性低下が、低圧側や降圧方向で若干のオーバーシュートが見られる。改良SACでは良好な応答性を保ったまま、目標圧力や動作方向によらないロバストな波形が得られている。

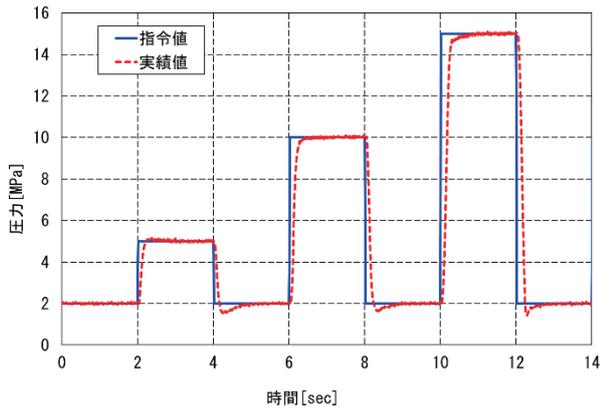


図7 PID制御での計測波形

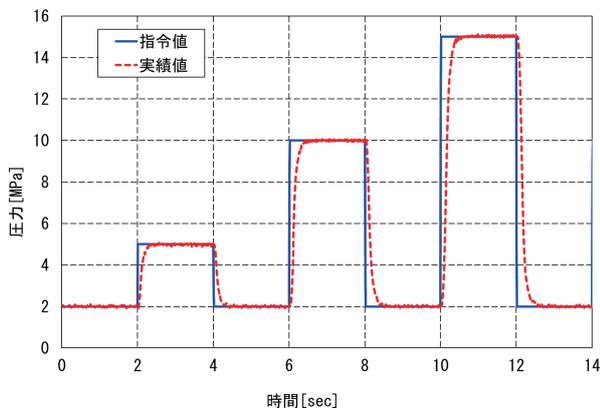


図8 改良SACでの計測波形

5. おわりに

本稿では油圧ポンプ回転数制御システムの圧力制御に対して、適応ゲインの調整速度を向上した改良SACを検討し、その特徴について紹介した。改良SACを搭載したコントローラを実機に用いることで、適応ゲインが速やかに収束し、かつ良好な応答が得ることができた。SACによる自動調整により、ゲインの調整負荷を軽減することが期待できるため、今後もさらなる適応拡大を進めていく。

参考文献

- 1) 岩井善太, 他: 単純適応制御SAC, 森北出版 (2008)
- 2) 正岡孝一, 他: 特性変動の大きい油圧システムへの単純適応制御の適応, フルードパワーシステム講演会論文集 p. 22-24, (2016)

(原稿受付: 2022年12月5日)

解説

ボンドグラフ法を用いた電空ハイブリッドアクチュエータのシステムモデル表現

著者紹介



肥 後 寛

九州工業大学大学技術部技術 4 係
〒820-8502 福岡県飯塚市川津680-4
E-mail : higo@tech-i.kyutech.ac.jp

1999年九州大学総合理工研究科博士前期課程修了。九州工業大学技術職員を経て、2021年同大学技術専門員。油圧制御、モデリング、空気圧システムの研究に従事。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。修士。

1. はじめに

空気圧アクチュエータは空気を持つ圧縮性の影響により、高負荷で精密な位置決めを行うためには複雑な空気圧サーボシステム¹⁾が必要である。そこで近年、空気圧と電気モータを組み合わせた電空ハイブリッドアクチュエータが提案されている^{2),3)}。このアクチュエータは負荷を空気圧で支持し、サーボモータで位置決めを行う。このシステムにより高出力がかつ、精密な位置決めを比較的容易に実現することが可能となる。このような電空ハイブリッドアクチュエータを設計する際の注意点として、搭載されるサーボモータの容量が小さすぎるとサーボモータが急停止し、アクチュエータの起動停止や暴走等の予期できない事故につながる恐れがあり、逆に容量が大きすぎるとシステム全体のコストが増大することになる。従ってサーボモータの容量の選定は、設計時に十分、検討される必要があり、その際、システムの動特性解析の実施が有効である。そこでモータに作用するトルクを正確にシミュレーションするための数学モデルを導出することが重要となる。

システムの表現方法のひとつにボンドグラフ法⁴⁾がある。この手法はパワーの流れを基にシステムをモデル化する方法であり、ボンドグラフのルールに従ったグラフ表現を用いて、物理システムをモデル化すれば、さまざまな系が混在するシステムであっても統一的に表現し、さらに一連の手続きを実行することにより、そのシステムの状態方程式を自動的に導出することができる。したがってブロック線図

で利用される伝達関数の概念を意識することなく、システムの記述が可能となっていることが特長である。

本稿ではボンドグラフ法を用いて電空ハイブリッドアクチュエータの数学モデルを作成し、サーボモータに作用する動力の動特性を解析した例について紹介する。

2. 電空ハイブリッドアクチュエータ

電空ハイブリッドアクチュエータは、図1に示すようにACサーボモータ、シリンダ、ボールねじ、ロッド、空気圧供給部から構成される。サーボモータとボールねじの回転軸はカップリングによって連結され、ロッドはナットに連結されている。サーボモータが作動し、ボールねじが回転するとロッドが上下に移動する。一方、負荷はシリンダのロッド側から供給される空気圧によって支持されており、この機構により比較的低容量のサーボモータでも重負荷の移動を正確に行うことが可能となっている。

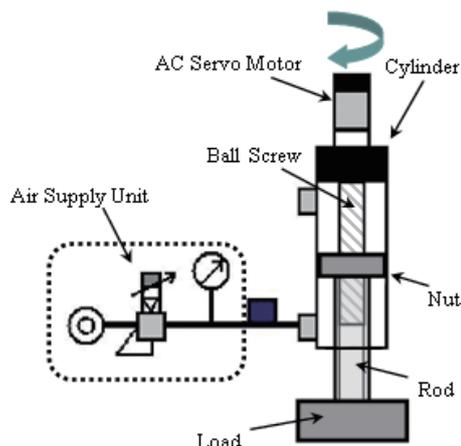


図1 電空ハイブリッドアクチュエータの構造

3. ボンドグラフ法によるシステム表現

3.1 ボンドグラフ法

ボンドグラフ法は、1959年マサチューセッツ工科大学のPaynter氏によって考案されたシステムの

グラフ表現手法である⁴⁾。一般的なシステムでは、電気系・機械系・流体系などが混在している。ボンドグラフ法では、これらさまざまなシステムにおけるパワーの流れに着目しグラフ表現を行い、システムの動特性を解析する。各素子をボンドと呼ばれる線分で結ぶ。これはパワーの伝達経路を表現しており、このボンドは、エフォートとフローと呼ばれる2つの変数を持ち、このエフォートとフローの積はパワーとなる。またエフォートとフローの積分値はそれぞれモーメントとディスプレイスメントと呼び、系ごとの各量を表1に示す。図2に示すようにボンドの左右のどちらかにストロークを付けることによって、エフォートとフローの因果関係を決定する。

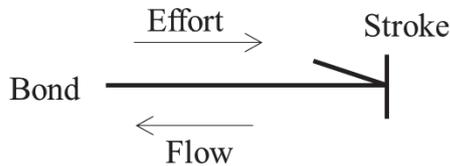


図2 エフォートとフロー

表1 各系におけるエフォートとフロー

	機械系	流体系	電気系
Effort	力	圧力	電圧
Flow	速度	流量	電流
Momentum	力積	圧力モーメント	磁束リンケージ
Displacement	距離	体積	電荷量

表2 各素子の説明

	機械系	流体系	電気系
SE素子	作用力	ポンプ (圧力一定)	電圧源
SF素子	作用速度	ポンプ (流量一定)	電流源
R素子	摩擦	絞り	電気抵抗
I素子	質量	質量	コイル
C素子	ばね	アキュムレータ	コンデンサ
TF素子	歯車	シリンダ	変圧器
GY素子		遠心ポンプ	

表3 接点の説明

	Effort	Flow	表記
1 接点	$\sum_{i=1}^n Effort_i = 0$	$Flow = const.$	
0 接点	$Effort = const.$	$\sum_{i=1}^n Flow_i = 0$	

次にシステムの特徴を表す素子について説明する。ボンドグラフ法において電気系、機械系、流体系における各素子の具体的な説明を表2に示す。また素子には系の変換を表すTF素子、GY素子がある。TF

素子は、エフォート同士、フロー同士が変換される場合であり、例えば一次電圧が二次電圧に比例するような変圧器やピストンの移動速度が流量に比例するシリンダ等を表す。一方GY素子は遠心ポンプ等の回転数(フロー)が吐出圧(エフォート)に比例する場合などに用いられる。

最後に接点の概念について説明する(表3)。システムにはパワーの分岐点や合流点が存在し、それらの点を0接点や1接点で表現する。ここで、0接点はエフォートが共通する点でありフローの総和が0となり、一方、1接点は逆にフローが共通する点であり、フローの総和が0になることを意味している。

図3は、バネ-マス-ダンパシステムの物理モデルと対応するボンドグラフモデルを示している。物理モデルとボンドグラフモデルは互いに良く似ていることがわかる。

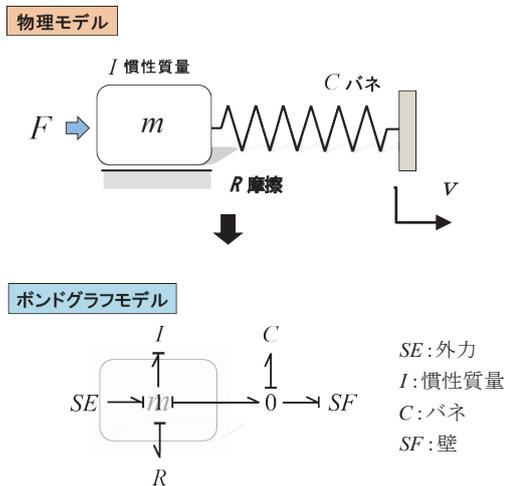


図3 物理モデルとボンドグラフモデル

3.2 電空ハイブリッドアクチュエータモデル

図4は機械系および空気圧系のシステムモデルを示している。電空ハイブリッドアクチュエータのモ

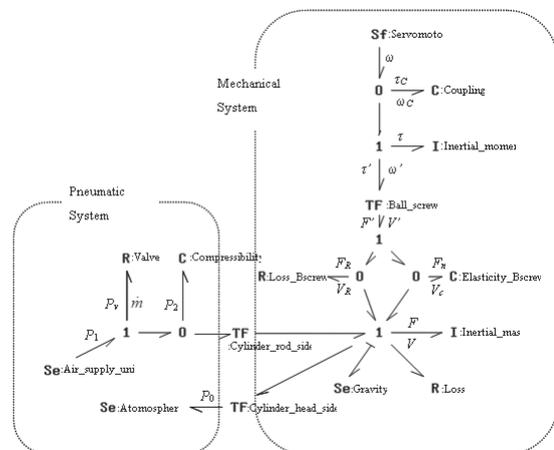


図4 ボンドグラフモデル

デル表現および、各素子の意味と定義式について以下に記述する。

3.3 空気圧系

Se: Air_supply_unit素子, Se: Atmosphere素子は、それぞれ圧力源（コンプレッサー）、大気圧一定条件を意味し、圧力 P は以下の式で表される。

$$P = \text{const}(\text{given}) \quad (1)$$

R: Valve素子は電磁弁での動力損失を意味している。本研究では弁をオリフィス形式で表現した。質量流量 \dot{m} の定義式を以下に示す。但し A_e はオリフィスの有効断面積、 k は比熱比、 R は気体定数、 T は温度、 P_1 と P_2 はそれぞれバルブの上流および下流側の圧力を示している。

$$0 \leq \frac{P_2}{P_1} < 0.528 \text{ の場合}$$

$$\dot{m} = A_e P_1 \sqrt{\frac{k}{RT_1} \left\{ \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right\}} = R(P_1) \quad (2-a)$$

$$0.528 \leq \frac{P_2}{P_1} \leq 1 \text{ の場合}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= A_e P_1 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{RT_1} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right\}} \\ &= R(P_1, P_2) \end{aligned} \quad (2-b)$$

C: Compressibility素子はシリンダ内の流体の圧縮性を示している。圧力 P と流量 \dot{m} との関係の定義式を式(3)に示す。上付添え字 $t-1$ は刻み時間1ステップ前の計算結果を示す。 V_0 は初期時のシリンダの体積、 A はシリンダの断面積、 V はシリンダの移動速度である。

$$P_2 = \frac{k}{V_0 + A_x} \int (RT^{t-1} \dot{m} - P_2^{t-1} AV) dt \quad (3)$$

またシリンダ内の空気温度は断熱変化を仮定し、次式で求めた。

$$T = T^{t-1} \left(\frac{P_2}{P_2^{t-1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (4)$$

TF: Cylinder_rod_side素子, TF: Cylinder_head_side素子は空気圧系と直線運動系での動力変換を示しており、シリンダ内の圧力 P と体積流量 Q をシリンダの力 F と速度 V に変換する。シリンダ断面積を A すると次式で表現できる。

$$F = AP_2 \quad (5)$$

$$Q = AV \quad (6)$$

3.4 機械系

Se: Gravity素子は荷重にかかる重力による力 F_g を表現しており、次式で定義した。 M は荷重の質量である。

$$F_g = Mg \quad (7)$$

R: Loss素子はナットとシリンダ内壁間、およびロッドとシリンダの摩擦損失を示す。式(8)は動摩擦による摩擦力を示し、式(9)は静止摩擦による摩擦力 F を示す。 V はシリンダの移動速度である。

$$(V < -0.01 \text{ or } 0.01 < V)$$

$$F = CV \quad (8)$$

$$(-0.01 < V < 0.01)$$

$$F = \text{const.} \quad (9)$$

ただし、R: Loss素子の定義式(8)で用いられる摩擦係数 C は理論的に求めることが困難であるため、実験により摩擦係数 C を決定した。

I: Inertial_mass素子は荷重慣性の影響を表現しており、次式で定義した。 F はシリンダに作用する力である。

$$V = \frac{1}{M_I} \int F dt \quad (10)$$

C: Elasticity_Bscrew素子はナットの軸方向剛性を表現しており、次式で表現した。 V_c はシリンダの移動速度、 K_n はナットの軸方向剛性係数である。

$$F_n = K_n \int V_c dt \quad (11)$$

R: Loss_Bscrew素子はナットとボールねじの隙間による動力損失を表現しており、次式で表現した。 V_R はシリンダの移動速度、 C_B はナットの摩擦係数である。

$$F_R = C_B V_R \quad (12)$$

TF: Ball_screw素子は直線運動系から回転運動系への動力変換を表現しており、次式で表現した。 ω 、 ω' は軸の角速度、 V' はナットの変動速度、 τ' は軸トルク、 l はボールねじのリード長である...

$$V' = \frac{l}{2\pi} \omega' = \frac{l}{2\pi} (\omega - \omega_c) \quad (13)$$

$$\tau' = \frac{l}{2\pi} F' \quad (14)$$

I: Inertial moment素子はねじ軸の慣性モーメントによる動力の蓄積を表現している。式(15)は慣性モーメントの導出式である。 I_z は軸の慣性モーメント、 M_0 はシリンダ軸の質量、 r_0 はボールねじの半径である。

$$\omega' = \frac{1}{I_z} \int \tau dt \quad (15)$$

ただし、

$$I_z = \frac{1}{2} M_0 r_0^2 \quad (16)$$

C: Coupling素子はカップリングの回転方向の剛性による動力の蓄積を表現している。式(17)は定義式である。 K_c はカップリングの剛性係数、 ω_c はカップリングの入力軸と出力軸に作用する角速度の差である。

$$\tau_c = K_c \int \omega_c dt \quad (17)$$

Sf: Servomotor素子はモータの角速度を表現しており、任意の関数または実験値を与えた。

3.5 状態方程式と解析

得られたボンドグラフモデル(図4)より、ボンドグラフ法における接点の保存式を用いると連立常微分方程式(式(18)~(24))が導出される。これらの方程式に特性式(1)~(17)を組み合わせることで、システムの完全な状態方程式を導くことができ、数値解析を利用して、この方程式を解くことによりシステムの動特性解を得ることができる。こうした一連の作業を効率的に行うためにさまざまなアプリケーションソフトウェアが開発されており、その一つであるBGSPを紹介する。BGSPは、日本で開発されたボンドグラフシミュレーション用ソフトウェアであり数値解析手法としてルンゲクッタ法を用いている。ボンドグラフモデルの作成、特性式の定義、動特性解析、状態方程式の導出が可能となっており、Simtec⁵⁾のホームページからダウンロードすることにより手軽に利用することができる。

$$\omega_c = \omega - \omega' \quad (18)$$

$$\tau = \tau_c - \tau' \quad (19)$$

$$V_c = V_R = V' - V \quad (20)$$

$$F = P_2 A - P_0 A - CV + F_R + F_n - Mg \quad (21)$$

$$F' = F_R + F_n \quad (22)$$

$$P_v = P_1 - P_2 \quad (23)$$

4. 動特性シミュレーション

4.1 シミュレーションモデルの検証

シミュレーションモデルおよび、シミュレーションパラメータの妥当性を検証するために解析結果と実験結果との比較を行った。図5に示された実験システムを用いて、シリンダを上下に1サイクル運動させた時のサーボモータの角度、トルクを測定した。得られた角度から計算されたアクチュエータの移動距離の様子を図6に示す。この結果より、アクチュエータは上昇、停止、下降時には、ほぼ直線的に動作しているが、起動時と停止時において速度が若干変化していることがわかる。

次にサーボモータの回転角を時間微分することにより得られた角速度の時間変化を図7に示す。この結果から、特に起動時において角速度が大きく変動していることがわかる。

この速度波形を図4に示すボンドグラフのSf: Servomotor素子に入力し、サーボモータに作用するトルクの動特性解析を行った。このときの実験と解析の結果の比較を図8に示す。図6と図8の①の

領域は荷重上昇時、②の領域は荷重停止時、③の領域は荷重下降時を示している。この結果より①の領域で実験と計算が良い一致を示していることがわかる。③の領域では実験と計算の間で若干の誤差が生じている。これはシリンダ内の圧力が一定に制御できておらず、電磁弁の排気時の予測が十分でなかったためである。また②の領域では同じ条件で実験を行うと、実験値に多少のばらつきが見られた。これはサーボモータが停止する際、軸がねじれて停止してしまうことにより発生するトルクであり、このねじり量は再現性がないため、このトルクを正確に解析することは困難と考えられる。このため実験値との完全な一致は得られなかったが、サーボモータが回転している領域においては、軸動力の実験値と計算値は多少の誤差はあるものの、おおむね一致しているといえる。したがって、本モデルはサーボモータの軸トルクを十分に予測できると考えられる。

4.2 サーボモータの軸動力の解析

軸回転数を300, 600, 900rpmで変化させた場合のサーボモータの軸動力の実験結果と計算結果をそれぞれ図9と図10に示す。質量は30kg、質量の移動量は15cm、で1サイクル動作させた。したがって(a)300rpmでは約9秒、(b)600rpmでは約5秒、(c)900rpmでは約3.5秒で一連の動作が終了している。これらの実験および解析結果より回転数に比例して軸動力も大きくなっていることがわかる。各回転数において実験値と解析値は同様の傾向が確認できた。一方、軸動力の最大値は上昇時と下降時で異なる値が得られた。これはシリンダの摩擦特性が上昇時と下降時で違う特性を持っているためであると考えられる。

図11にサーボモータ回転数と軸動力の最大値との関係を示す。この結果より予測値と実験値は概ね一致していることがわかる。このことから本研究で得られた数学モデルを用いることにより、事前に電空ハイブリッドアクチュエータに使用するサーボモータの容量を適切に予測することが可能であると考えられる。

5. 結 言

電空ハイブリッドアクチュエータの構造およびメリットについて紹介し、使用するサーボモータの容量の検討が必要であることを説明した。またシステムを記述する手法としてボンドグラフ法について紹介した。さらにこの手法を用いて電空ハイブリッドアクチュエータの解析について実験および解析結果を比較した。両者は、ほぼ一致することが確かめられ、このモデルを用いて、設計時にサーボモータの

軸動力の予測を行うことが可能となり、適切にサーボモータの容量を選定することが可能になった。

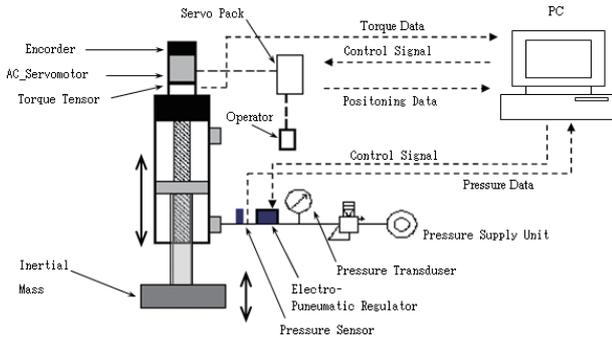


図5 実験システム

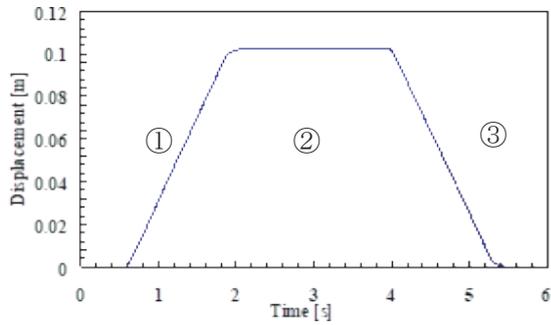


図6 アクチュエータの移動量

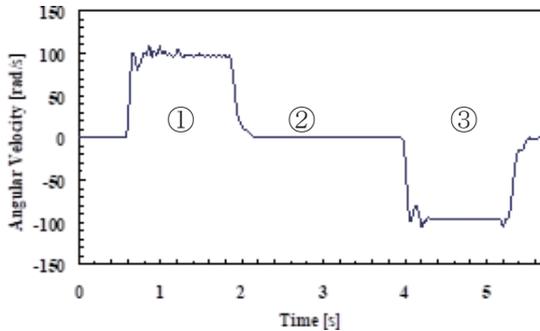


図7 サーボモータの角速度

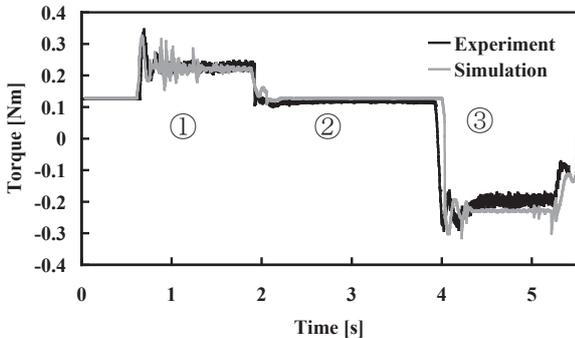


図8 サーボモータに作用するトルク変動

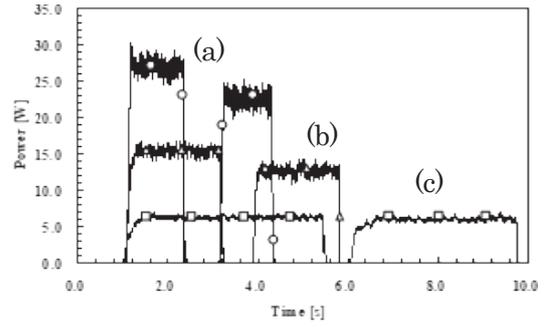


図9 サーボモータの動力 (シミュレーション)

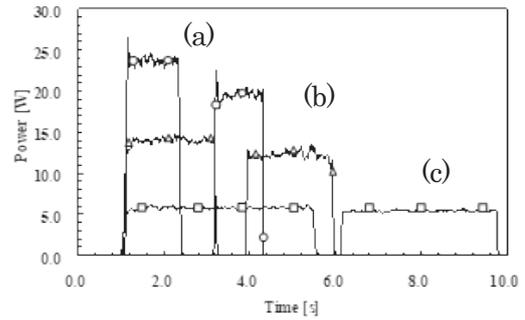


図10 サーボモータの動力 (実験)

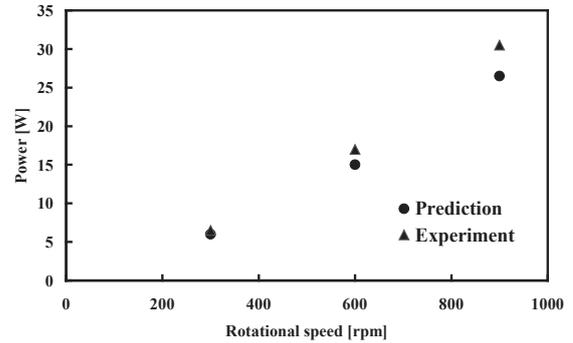


図11 動力と回転数の関係

参考文献

- 1) 川嶋元士：空気圧シリンダのミクロンオーダーの位置決め，油圧と空気圧，24-7，755/61（1993）
- 2) 中田毅，桜井康雄，田中和博：電気・空気圧複合駆動システムとその制御法に関する研究，日本フルードパワーシステム学会論文集，39-1，13/18（2008）
- 3) 肥後寛，桜井康雄，田中和博，中田毅：電空ハイブリットアクチュエータのシステムモデルとその動特性解析，日本フルードパワーシステム学会論文集，39-6，1/7（2008）
- 4) Dean C. Karnopp, Donald L. Margolis, Ronald C. Rosenberg：Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems WILEY-INTERSCIENCE, (2012)
- 5) Simtec, <http://simtec.jp/>

(原稿受付：2022年12月5日)

解説

電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置

著者紹介

かとうとも のり
加藤友規福岡工業大学工学部知能機械工学科
〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東3-30-1
E-mail: t-kato@fit.ac.jp

2007年東京工業大学大学院博士課程修了。都立高専助手～助教を経て、2010年福岡工業大学助教、2012年同大学准教授、現在に至る。空気圧制御に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員（現在、理事・国際交流委員長を担当）、博士（工学）、技術士（機械部門）。

1. はじめに

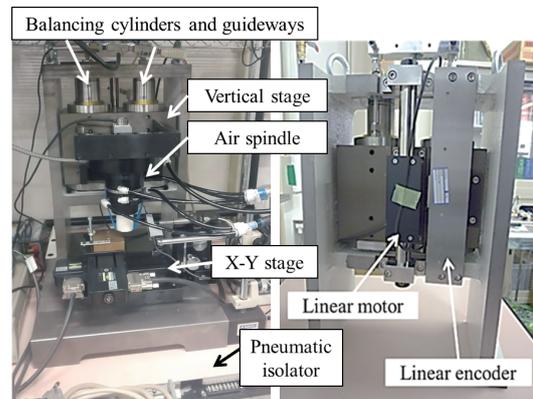
超精密加工を行う上で、超精密位置決め技術は重要な基盤技術のひとつであり、求められる超精密位置決め精度は年々高くなっている。現在、精密加工では1 μ m、超精密加工では数nm～10nm程度の超精密位置決めが必要と考えられており¹⁾、最近の超精密工作機械のなかには、位置のデジタル表示の最小桁が0.1nmであるものも登場している。これらの要求を満たすための手段として、超精密工作機械の位置決めにはさまざまな方式が用いられているが、著者らはある非球面加工機の鉛直ステージに使用される、電空ハイブリッド方式の超精密鉛直位置決めステージに関する研究を進めている。この方式は、鉛直ステージを駆動するのに電動のリニアモータを使用し、ステージの自重補償には空圧式バランスシリンダを使用しており、ナノレベルの高精度な位置決めを実現している。

この方式の特徴として、リニアモータがステージの自重の影響を受けることなく動作することが可能であるため、リニアモータの省電力化や熱の発生抑制、制御性の向上や最大動作速度の向上といった効果を期待できる点が特徴として挙げられる。

本記事では、著者らが近年実施している電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの研究に関して、装置の概要といくつかの成果をご紹介します。

2. 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージ

著者らが研究に使用している電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の外観を図1に、仕様を表1に示す。この装置の主な構成としては、ステージの移動にコアレス型リニアモータ（GHC社製、S250D）、ステージの自重補償器として空気静圧案内を用いたバランスシリンダ、位置センサとして分解能1nmのアブソリュート型リニアスケール（HEIDENHAIN社製、LIC4017）を採用している。特徴としては、バランスシリンダの静圧面を可能な限り平滑化し、スティックスリップと熱の影響を抑えている。また、コアレス型リニアモータは構造上、可動子と固定子の間に接触部が存在しないため、応答性が良く摩擦力が発生しない。また、コアレス型リニアモータでは可動子と固定子間に働く磁気吸引



(左) 正面

(右) 背面

図1 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージ

表1 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの仕様

Linear motor	Rated thrust [N]	38
	Rated current [A]	1.3
	Maximum thrust [N]	148
Linear encoder	Encoder type	Absolute
	Resolution [nm]	1
Stage	Weight of movable part [kg]	19.81
	Bearing type	Aerostatic bearing

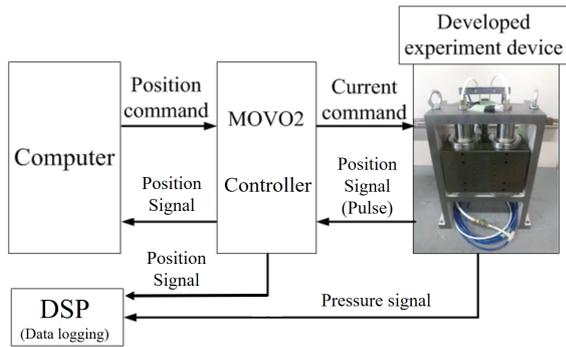


図2 制御系の構成

力を打ち消すように磁極を配置できるため、モータの出力ノイズとなりえるコギング力が発生しないという特徴を持つ。

制御に関するシステム構成を図2に示す。実験装置に内蔵されているリニアエンコーダで計測した位置はPCからDSPとドライバ両方の機能を持つMOV02 (Servoland社製, SVFH-H3-DSPNMK) に送られる。リニアエンコーダから送られた位置と、コンピュータから送る目標位置指令値をもとにMOV02がリニアモータへ電流指令を送る。

3. HPRとNF弁を用いたバランスシリンダ内圧制御

著者らは、気体用超精密高速応答圧力レギュレータ (HPR) とノズルフラップ型サーボ弁 (NF弁) を用いた装置構成に、PI制御とフィードフォワード制御 (FF制御) を適用した圧力制御構成を適用す

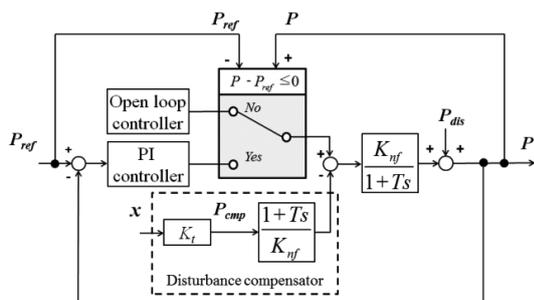


図3 HPRとNF弁を用いた内圧制御のブロック線図

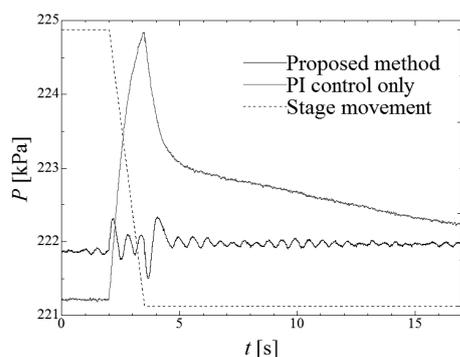


図4 HPRとNF弁を用いた内圧制御の場合の実験結果

ることを提案し、その有効性を評価した²⁾³⁾。提案した圧力制御方法のブロック線図を図3に示す。この制御系により、NF弁が持つ非線形性が補償される。この圧力制御方法を適用してステージを駆動した場合と従来方法 (PI制御のみ) の場合での実験結果を図4に示す。この結果より、PI制御のみの場合と比べ、提案方法により制御した場合はステージ駆動による内圧変動の影響に加え、ヒステリシスの影響が大幅に抑制できていることがわかる。なお、本方式は特許出願され特許登録されている⁴⁾。

4. ツールの自重変動補償のためのバランスシリンダ内圧のフィードフォワード制御

電空ハイブリッド方式を用いた工作機械でツールチェンジを行う場合、一般的に位置決めステージ部分にスピンドルなどのツールを取り付ける。しかし、ツールの有無や種類によってステージ全体の重量が変化するため、その都度、ステージ重量と釣り合わせるためにシリンダへの供給圧を最適圧に調整する必要がある。一般的には減圧弁のハンドル部分を手動やモータで回して調整を行うが、圧力が安定するまでに時間を要してしまうなどの問題がある。そこで、任意のステージ重量変動に対応して高速にシリンダ内圧を最適圧に制御する方法を提案した⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

提案方法のブロック線図を図5に示す。この制御はHPRの制御にトルク指令値の変動分を補償するFF制御を付与した制御系である。フィードフォワードによる制御量の算出にはリニアモータのトルク指令値の信号を用い、トルク指令値 $T\%$ にゲイン K_f を掛けることで補償圧力 P_{cmp} を求める。その補償量を目標圧力に加算することでトルク指令値が0%になるようにシリンダ内圧を制御する。また、HPRの制御を主としているため、外乱に対して高いロバスト性を持ち、圧力を高速かつ精密に制御することができる。

本提案方法の有効性を評価するために、図6に示す実験装置構成にて、ステージ重量を変化させ、一般的なダイヤフラム型 (DH) レギュレータを用いた場合、提案方法を用いた場合で比較する実験を行った。実験方法としてはまず、ステージをリニア

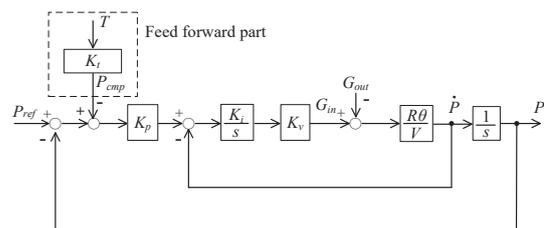


図5 ツールの自重変動補償のためのFF制御のブロック線図

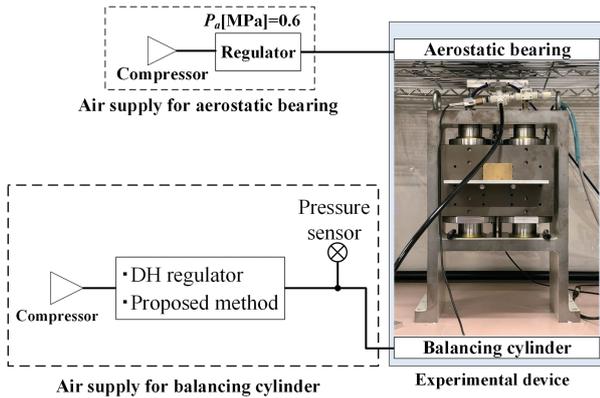


図6 ツールの自重変動補償のためのFF制御の有効性の評価実験の装置構成

モータで固定し、トルク指令値が0%になるようにシリンダ内圧を調整する。その後、実験開始10秒後にプレートに乗せた錘を取り外し、その時のシリンダ内圧とトルク指令値とステージ位置を測定した。また、本実験では1kgと2kgの錘を使用した。

記事のページ数の都合上、ここでは1kgの重量変動の場合の実験結果について記載する。トルク指令値の結果を図7に、シリンダ内圧の結果を図8に示す。図7に示すトルク指令値より、DHレギュレータでシリンダ内圧を調整した場合は、重量変化を加えた制御開始10秒時にトルク指令値が約30%変動しており、リニアモータへの負荷が増加していることがわかる。一方、提案方法では重量変動の影響を補償できており、瞬時にトルク指令値を0%に復帰させることができている。つまり、リニアモータの出力の軽減に成功したといえる。また、その時のシリンダ内圧の結果(図8)を見ると、DHレギュレータを用いた場合はステージ重量変動後も一定圧を供給し続けているため、ステージ自重とシリンダ内圧とのバランスが崩れ、結果的にモータの負荷が増加した。提案方法ではトルク指令値が変動した瞬間に圧力を約12kPa変化させており、トルク指令値が0%になるように圧力補償を行っていることがわ

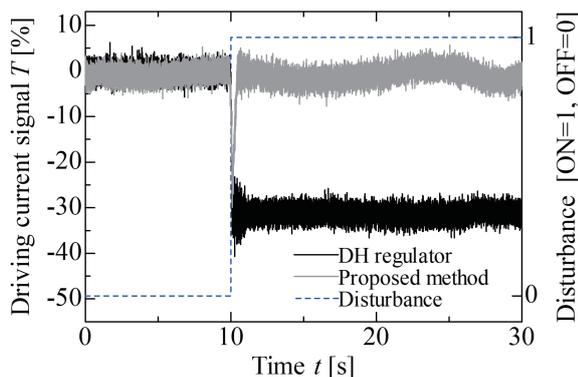


図7 実験結果(重量変動1kg, 電流制御信号)

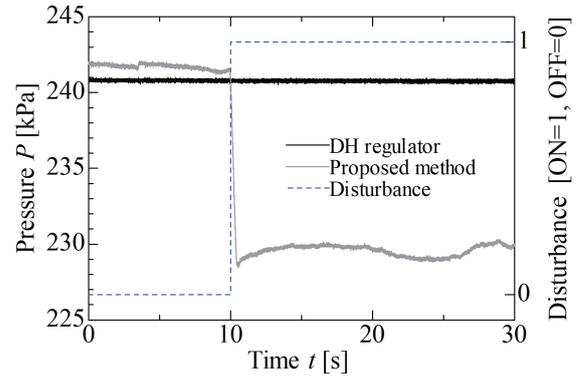


図8 実験結果(重量変動1kg, バランスシリンダ内圧)

かる。

また、参考文献6)では、この図7・図8の場合とほぼ同様の実験を行った場合について、リニアモータの消費電力、DHレギュレータ及びHPRの消費エアパワー・リニアモータ消費電力とエアパワーの合算値(つまりトータルシステムの消費エネルギー)を比較している。図9に合算値の比較のグラフを示す。提案方法は特に、ステージ上の重量変動が生じた後にリニアモータの消費電力が抑えられることから、消費エネルギーの合算値が従来方法に比べて低いという結果を得ている。

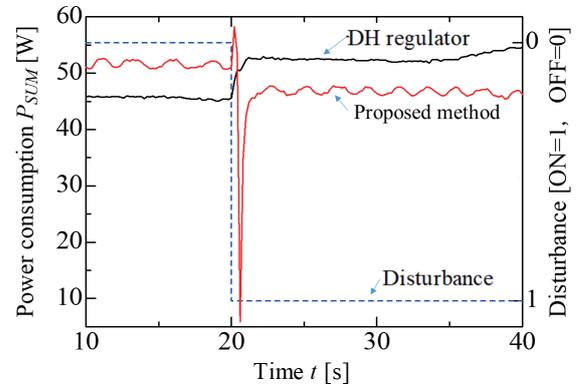


図9 消費エネルギーの合算値の比較

5. 電動ハイブリッドによるステージの力制御と外乱オブザーバによる発生力の推定

著者らは近年、電空ハイブリッド超精密鉛直位置を用いて発生力を制御する際に、リニアモータの制御電流だけでなく、バランスシリンダの内圧制御を併用する試みを研究している(図10)。本方式では、リニアモータの発生力の上限値を超えた力の発生が一時的に必要な場合にリニアモータを大型化することなく、既存の装置で対応可能となり、装置小型化や低コスト化の面でメリットがあると考えられる。

さらに、外乱推定オブザーバを用いて、リニア

モータの制御電流・バランスシリンダ内圧・位置信号からステージの鉛直方向の発生力を推定する試みを進めており、図11の例では、1 N以内程度の精度

で発生力が推定できていることがわかる⁸⁾。

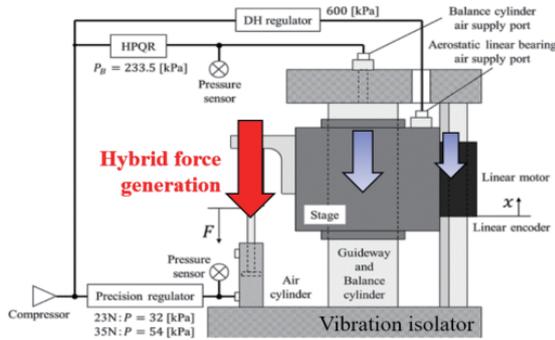


図10 電空ハイブリッドによるステージの力制御

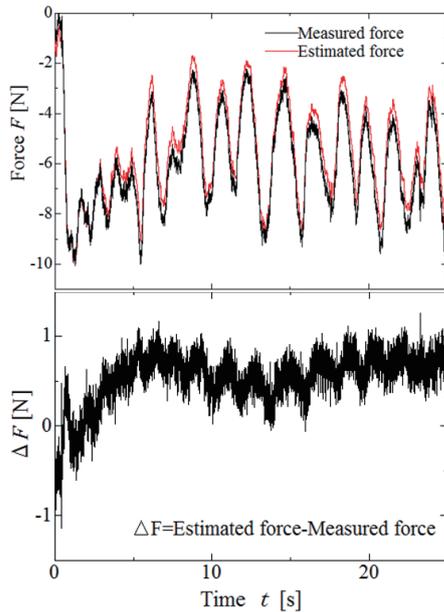


図11 外乱オブザーバによるステージの発生力推定

参考文献

- 1) 大岩孝彰, 勝木雅英:【超精密位置決め専門委員会】超精密位置決めにおけるアンケート調査, 精密工学会誌, Vol. 81, No. 10, p. 904-910 (2015)
- 2) 加藤友規, 平川鉄磨: HPRとNF弁を用いた電空ハイブリッド超精密鉛直位置決めステージの制御, 平成27年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p. 4-6 (2015)
- 3) Kato, T., Hirakawa, T.: Proposal of a Novel Pressure Control Method for Air Cylinders Used in Hybrid Electric-Pneumatic Ultra-Precision Vertical Positioning Device, Proceedings of the Thirtieth Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering (ASPE2015), p. 522-525 (2015)
- 4) 田中克敏, 福田将彦, 益田大海, 加藤友規, 平川鉄磨: 主軸ヘッド昇降装置および工作機械, 特許第6638915号 (2020)
- 5) 築山義信, 加藤友規, 中垣瞬: 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置の消費エネルギー測定, 2017年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2017) アブストラクト集, p. 379-381 (2017)
- 6) Yoshinobu TSUKIYAMA, Tomonori KATO, keita MATSUO: EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION OF HYBRID ELECTRIC-PNEUMATIC ULTRA-PRECISION VERTICAL POSITIONING DEVICE, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power 2017, 2D42 (2017)
- 7) 築山義信, 加藤友規, 中垣瞬, 徐有衛: 電空ハイブリッド超精密鉛直位置決め装置のバランスシリンダ内圧のフィードフォワード制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 50, No. 1, p. 18-24 (2019)
- 8) Tomonori Kato, Youwei Xu, Tomohiro Tanaka, Kohei Shimazaki: Force Control for Ultraprecision Hybrid Electric-Pneumatic Vertical-positioning Device, International Journal of Hydromechanics, Vol. 4, No. 2, pp. 185-201 (2021)

(原稿受付: 2022年11月26日)

解説

空圧・電動ファクトリー

著者紹介



さいとう ゆたか
齊藤 悠

株式会社コガネイ
〒184-8533 東京都小金井市緑町3-11-28
E-mail: saitoh-yk@koganei.co.jp

2003年秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科卒業。同年株式会社コガネイ入社。空気圧アクチュエータ・電動制御機器・ポンプの開発に従事。日本フルードパワーシステム学会会員。

工場の生産工程におけるFA機器を取り巻く環境は変化している。2000年以前、空気圧機器は大量生産をサポートする中核にいたが、それ以降はニーズの多様化による多品種少量生産や環境面、規制緩和を背景に、1台で複数の位置に移動できる電動機器、近年では多軸で構成される産業用ロボット・協働ロボットが台頭している。これはここ数年の導入台数実績¹⁾(図1)と傾向からもうかがえる。



図1 2016～2021年産業用ロボット年間導入台数(2022～2025年は見通し)

また、上記ロボットと同じく市場拡大傾向にあるAMR(自律走行搬送ロボット)²⁾も、物流倉庫や工場において自動搬送で省力化を実現している。

一方、空気圧機器はロボットハンドリングまわり等で独自の強みを活かし電動機器とデメリットを補完し共存している。

本稿では、現代工場での空気圧機器と電動機器、主にロボットとの共存と使用例について、2021年

開催の第26回フルードパワー国際見本市IFPEX2021当社ブースで展示したミニ工場「空圧・電動ファクトリー」を参考に解説する。

2. 電動機器と空気圧機器それぞれの強み

はじめに、電動機器と空気圧機器それぞれの強みについて概括する。

生産工程において電動機器の強みは、複数位置への移動をはじめとする制御性に優れている点である。空気圧機器は2点間の移動が基本で、多位置形のアクチュエータを用いても3、4点が実用上の限界である。電動機器はこの強みを活かし、単体でも稼働範囲内の複数地点へ搬送できる。

また、空気圧源やエア配管が不要であるので配線だけで済むこと、エネルギー変換効率が高いことが挙げられる。

このような強みを持つ電動機器は、以前は直動形や直交形が多かったが、近年はスカラロボット・パラレルリンクロボット・多関節ロボットなどの多軸の産業用ロボットとして、より人間に近い動きや形態で普及している。ここ数年は小形化が進み、卓上サイズのもがメーカーより多数製品化されている。また、規制緩和による協働ロボットの登場も相まって、設置や取り扱いをはじめさまざまな面で導入しやすい環境になっている。

これに対し空気圧機器の強みは、出力に対して軽いことである。空気圧機器はモータや減速機のような重量物が不要で、圧縮空気から力への変換も簡素にできるため、電動機器より軽量・高出力の機器が製作可能である。特にマニピュレータ先端でハンドリング機器として使用する場合、マニピュレータに加わる負荷が少なく済む。負荷が少なければ、装置自体の小形化や工程サイクル短縮、1回あたりの搬送物重量を増やすといった検討ができる。

この他にも、低コスト、構造が簡素で扱いやすい等が挙げられる。また、ティーチングの設定や調整が不要で、セットアップが簡便である。

一方、エネルギー変換効率については、圧縮空気生成時やエアリークでロスが生じるため、電動機器

同等の効率を得るのはむずかしい。しかしながら、空気圧機器は待機状態や停止した状態で仕事をしているとき、例えば、把持や押しつけをしている場合は空気を消費していないため、この時間が長いほど省エネといえる。また、圧縮空気を低い圧力で使用することで空気消費量は減り、省エネ効果は高まる。

3. 空圧・電動ファクトリー

3.1 概要

「空圧・電動ファクトリー」はIFPEX2021において、空気圧機器と電動機器が共存したミニ工場を模擬し表現したことからこのように名付けた。空圧・電動ファクトリーの中では、ロボットと空圧・電動双方のロボットハンドリング機器による自動組立・検査(図2)、AMRによる製品搬送と自動エア供給を実機で表した。これらの機器について解説する。

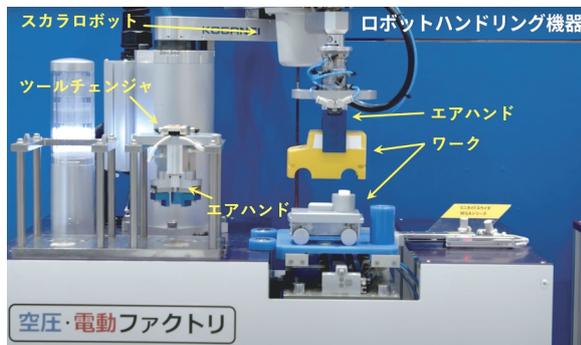


図2 ロボットハンドリング機器展示品

3.2 ロボットハンドリング機器³⁾

ロボットハンドリング機器と一口で言っても使用か所によって役割は異なる。今回は製品化されている機器3機種について紹介する。

ツールチェンジャ(図3)は自動でエンドエフェクタを交換する機器である。二対1セットで、一方をマニピュレータ側に取り付け、もう一方をエンドエフェクタ側に取り付ける。ツールチェンジャを接続していないロボットは同一の仕事しかできないが、ツールチェンジャを接続すると工程ごとにエンドエフェクタを交換し複数の仕事をこなせるようになる。図4の使用例では、エアハンド・電動ハンドによる把持、そして吸着パッドによる吸着搬送が可能である。ツールチェンジャには搬送物やエンドエフェクタ等の機器重量が加わるため、軽さ以外にも高可搬重量や曲げ・ねじりに対する強度も求められる。

つぎに、自動調芯機(図5)はワーク挿入や圧入時の芯ずれ(位置誤差)を自動で吸収して調芯する機器である。特に図6に示すはめ合いを用いて部品の位置決めを行う場合に有効である。自動調芯機能

があると搬送機器の位置決め精度に依存しなくてよいという利点がある。搬送時停止位置がずれたとしても、自動調芯機の誤差吸収範囲内であれば補正する。これにより、許容外の停止位置で誤って仕事をした

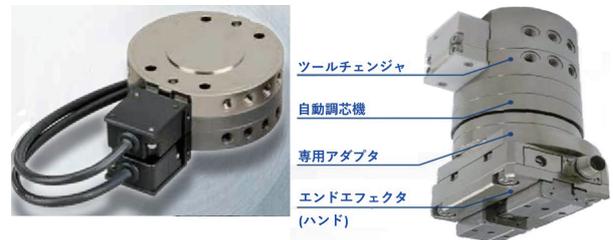


図3 ツールチェンジャ外観(空圧式)と構成例

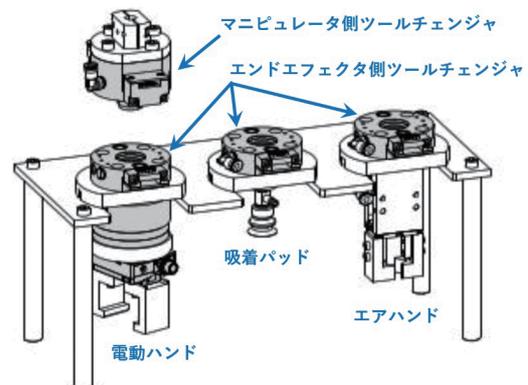


図4 ツールチェンジャ使用例

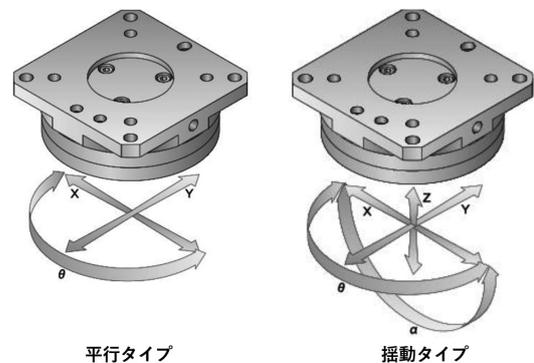


図5 自動調芯機外観(空圧式)および移動方向

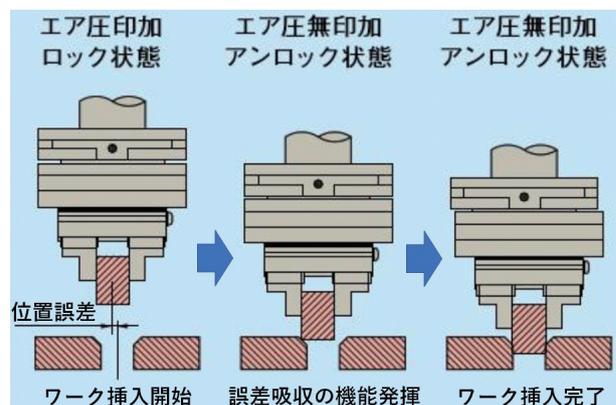


図6 自動調芯機の使用例

ときに生じる過負荷異常や部品の破損を防止できる。

そして、もっとも先端に取り付くエンドエフェクタには、把持や対象物の形状に倣ってつかむことを目的としたハンド（あるいはグリッパ）、負圧を利用する真空吸着機、ガラスや半導体ウェーハを接触せず搬送する非接触搬送機等がある。

ハンドは空圧式のエアハンドと電動式の電動ハンドがある。エアハンドは一般に軽量で把持力が高い。電動ハンドは制御性が良いため、把持力を変更したり任意の位置で保持したりする際に有用である。図7はエアハンド4形式と電動ハンド3形式の把持力と製品質量をプロットしたものである。図8はこれらの製品質量を把持力で除したもの（出力重量比）を値の小さい方から並べた。把持力が同等であるハンドB同士、ハンドC同士をそれぞれ比較すると、電動ハンドに対してエアハンドの値は57～58%であった。本結果からもエアハンドの方が単位把持力あたりの製品質量が少ないことが確認できる。

真空吸着する場合は、エンドエフェクタとして吸着パッドが用いられる。負圧はエジェクタや真空ポ

ンプで発生させ、配管を經由し吸着パッドで仕事する。近年は小形軽量・ユニット化が進み、エジェクタ・圧力センサ・吸着パッドが一体化した吸着ユニット（図9）、正負圧ポンプ・圧力センサ・切替用バルブが一体化した真空ポンプユニット（図10）が登場している。これらはマニピュレータ先端にアダプタを介して簡単に取り付けられる。また、配管容積を小さく抑えることができ、空気消費量の低減が図れる。

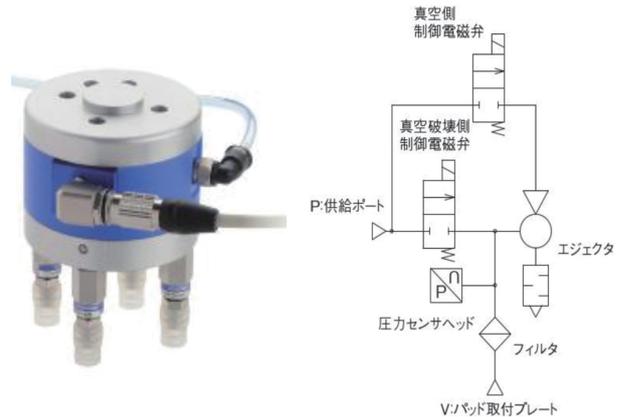


図9 吸着ユニット外観および空気圧回路図

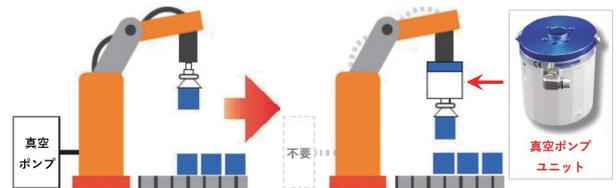


図10 真空ポンプユニット外観および使用例



図7 エアハンド・電動ハンドの把持力と製品質量 (当社製NHC1D, EW2H比較)

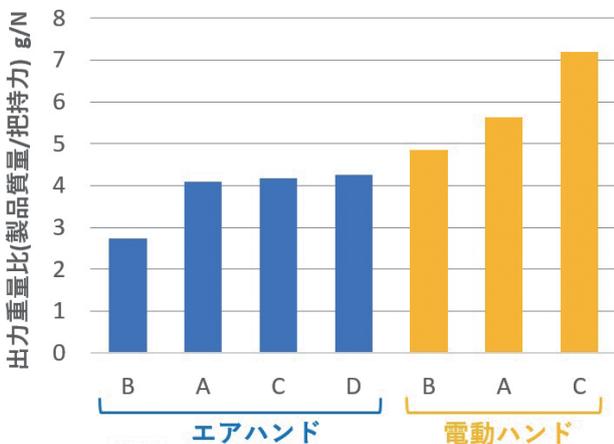


図8 エアハンド・電動ハンドの出力重量比 (当社製NHC1D, EW2H比較 図7のハンド計7形式にて)

3.3 AMR（自律走行搬送ロボット）と自動エア供給機

現代日本の抱える人手不足に対するソリューション機器として注目のAMRは、主に倉庫での荷物搬送といった構内物流で活躍している。近年はロボットアームの付いたものが登場している。ロボットアーム付AMRは搬送以外の作業能力を有し、前述のロボットハンドリング機器と組み合わせると、製造工場における組立・検査・搬送等の省力化・自動化が期待される。

AMRはバッテリー駆動しており、電動機器との相性が良いが、パワーが必要なシーンでは空気圧機器が求められる。このような場合、圧縮空気をどのように供給するかが課題となる。この解決策として、圧縮空気を自動充填できる自動エア供給機（図11）とエアタンクを用いた方法がある。具体的には、AMRにエアタンクを搭載し、ここからAMRに搭載した空気圧機器へ圧縮空気を供給する。タンク内の圧力が

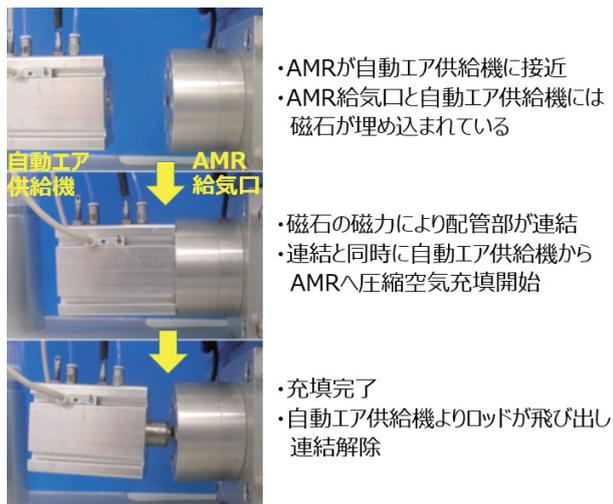


図11 自動エア供給機外観および充填方法

低下した際は、工場内に設置した自動エア供給機で充填する。充填時間はタンク容量・圧力・流量等に依存するが、20Lタンクでも数十秒で充填完了する。

4. おわりに

産業用ロボットやAMRは今後も市場拡大していくことが予測される。これは同時に付随するロボットハンドリング等の機器への需要や要求が増えていくことにもつながる。これらの要求を満たすとともに、よりロボットと親和性の高い空気圧機器が今後もつくられFAに貢献することに期待したい。

参考文献

- 1) IFR World Robotics 2022 https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf
- 2) 株式会社矢野経済研究所：AGV/AMR（搬送ロボット）市場に関する調査(2022年),2022年8月17日発表
https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3047
- 3) 塩田浩司：ロボット向けハンドリングツール，フルードパワーシステム，Vol. 53, No. 3, p. 27-29 (2023)

(原稿受付：2023年2月6日)

解説

空気と水で動かす空水圧ハイブリッドロボット

著者紹介



げん 玄 そう こう 相 昊

立命館大学理工学部ロボティクス学科・教授
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
E-mail: gen@fc.ritsumeai.ac.jp

1998年早稲田大学大学院修士課程修了。2002年東京工業大学大学院博士後期課程修了。同年東北大学大学院工学研究科助手、講師を経て2005年ATR脳情報研究所研究員。2010年4月立命館大学理工学部ロボティクス学科准教授、2020年4月同・教授。現在に至る。博士(工学)。日本ロボット学会、IEEEなどの会員。

1. はじめに

先進国・途上国に関わらず、介護・医療、農林水産・食品、インフラ・建設などのサービス分野におけるロボットへのニーズがますます高まっている。最近ではとくに、沿岸、水中、山林を含む屋外、人が侵入しがたい宇宙空間、廃炉原発、災害現場などの極限環境において、直感的な遠隔操作で精密に作業や点検ができるロボットが待望されている。しかし、ロボットの代表的なアクチュエータである電動アクチュエータのハードウェア的な脆弱性（ギヤなしでは実用的なトルクが出せない、耐環境性が低い等）がボトルネックとなり、適用がむずかしくたりコストが合わなかったりして、電気式のロボットは導入が敬遠されるケースが多く存在すると予想される。

その点、油圧アクチュエータは構造が単純で、高圧化によって大きな力を出すことが容易で、耐久性も高い。油圧ショベルはわかりやすい例であるが、世界の注目を集めている米Boston Dynamics社の油圧ロボットは油圧アクチュエータの可能性を存分に示した¹⁾。われわれも世界に先駆けて、油圧による力制御によって、未知外力に対して柔軟に対応できる一連のロボットを独自に開発してきた²⁾。しかし、残念なことに、油圧式は油のべたつき、ゴミの付着、匂い等から、使う人や環境に与えるネガティブな側面が強い。流体機械では多かれ少なかれ、作動液が可動部から外部へ漏れるため、特殊環境作業ではと

もかく、1滴の油漏れも許されない用途では油圧は使用できない。

ならば、同じ液圧駆動でも、鉱物作動油のかわりに、簡単に手に入る無害で透明無臭な水道水を用いた水圧を使えばよいと考えるのは自然である。しかし、水圧駆動の技術的ハードルは高い。最大の障害は潤滑不足による摩耗と高体積弾性ゆへのキャビテーションである。その悪影響を受けるのが、従来の水圧サーボ技術の要である「水圧ポンプ」と「水圧サーボ弁」である。過去に国内においても精力的に研究され³⁾、各メーカーにより製品化はされているが⁴⁾、コスト面からロボット市場とのマッチングは取れていないと考えられる。そのため、原発向けの試作開発⁵⁾や食品機械への適用等に留まり（On/Off動作が多い）、電動や油圧に性能・価格面に対抗しうる水圧ロボットは、現在に至るまで実用化されていない。駆動部全体を油中に密封した電動ロボットも存在するが⁶⁾、破損や劣化による漏電リスクは最後までつきまとう。

油とポンプとサーボ弁が障害であるならば、それらを利用しない水圧駆動方法はないか？この問いに応えるアイデアが「エアハイドロサーボ」である。以下、著者らの水圧ロボットの現在進行形のチャレンジについて紹介する。

2. 空水圧ハイブリッドロボット

2.1 エアハイドロサーボプレス

図1に示すのは古くから存在する「空油増圧器」と呼ばれる機構を用いたプレス機械の模式図である。高速ストローク動作ではエアの圧力がそのままロッドに伝わるが、加圧動作時はエアの数倍もの圧力をロッドへ伝えることができる。

著者らの過去の研究では、この機構に空気圧サーボ弁を用いてフィードバック制御により精密位置制御、精密加圧制御を達成し、これを「エアハイドロサーボプレス」と命名した⁷⁾。当時は作動流体として鉱物油や生分解性作動液を利用したが、液体は容器内に密封されているため、水質の劣化にさえ気をつければ、水道水も利用できる。

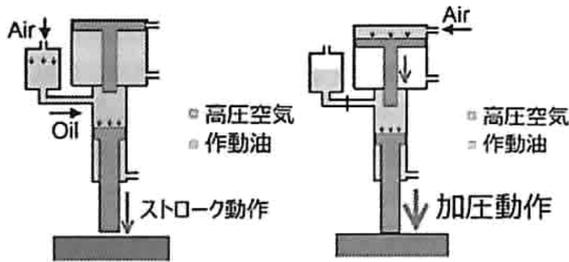


図1 エアハイドロ機構を利用したプレス機

2.2 ロボットへの展開

上述のヒドロブースタを2台1組で用いて、ひとつのロボットの関節を拮抗駆動しようとするアイデアを2019年に提案した^{8) 9)}。図2にその模式図を示す。これを空液サーボブースタ (Air-Hydraulic Servo Booster; AHSB) と命名した。空気圧サーボ弁でピストンを操作することにより、先端のプランジャから押し出される圧液を液圧シリンダの両チャンバに導き、10MPa以上の実用圧力を容易に得ることができる。内蔵されたピストンの面積と先端のロッドの面積との比が空-液増圧比となる。圧力は増加するが、逆に流量は減少するので、AHSBは一種の減速機の働きをする。適度な減速比はフィードバック制御に有効である。

本研究ではAHSBの作動液として水道水を選んでいる。水は鉱物作動油よりも粘性が低いので、ピストンしゅう動部における漏れ量は増大するが、逆に、管路内の摩擦による流体抵抗は低く抑えることができ、空気混入にさえ気をつければ剛性は比較的高いので、長い配管を用いた遠隔操作に好適である。

AHSBをロボットに適用する際は、水圧シリンダの各チャンバ圧を制御する圧力サーボ系を構成する。関節のトルク目標値から目標シリンダの推力を計算し、しかるべく圧力分配則によって目標圧力を定め、圧力サーボ系に与える。キャビテーションを抑制するための与圧を加えている。スライディングモード制御を適用した結果については論文⁹⁾を参照された

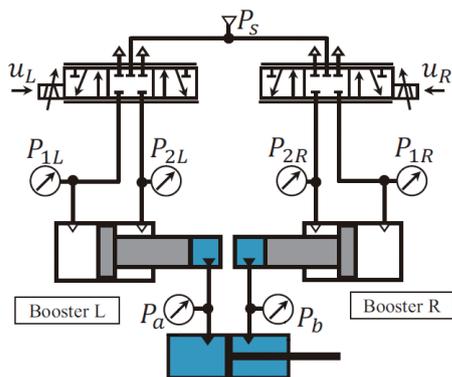


図2 エアハイドロサーボブースタ (AHSB) の回路図

い。ロボットの関節位置を制御する場合も、圧力サーボにもとづくカスケード制御とする。

これまでに、AHSBの制御系設計や状態推定の他、図3に示すような1軸の簡易ロボットアーム (ホース長20m, 発揮トルク70Nm) における基本的な遠隔トルク制御とインピーダンス制御に成功している¹⁰⁾。また、AHSBをひとつにまとめた図4のような構成にもチャレンジしている。

2.3 水陸両用マニピュレータへの挑戦

著者らが空液ハイブリッドロボットに期待する特徴を以下に列挙する：

- ① 完全無害で安全：水道水と空気圧を利用するため、汚染や感電の心配がない。
- ② 清潔 (丸洗い可能)：可動する本体は脱着可能でかつ電気部品を含まないので、水中利用可能で、丸洗いができる。
- ③ 軽量：AHSBと電装系を内蔵した「駆動ユニット」とロボット本体とが配管 (パイプやホース) によって分離されているため、ロボット本体は軽量で機敏に動く。
- ④ 丈夫：ロボット本体はシンプルで部品点数が少なく、ギヤを用いないために衝撃にも強い。
- ⑤ 大きな可搬重量：本体重量と同等の可搬重量を持つ。

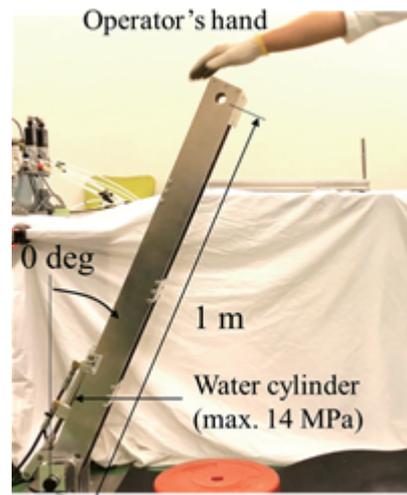


図3 1軸アームのトルク制御実験

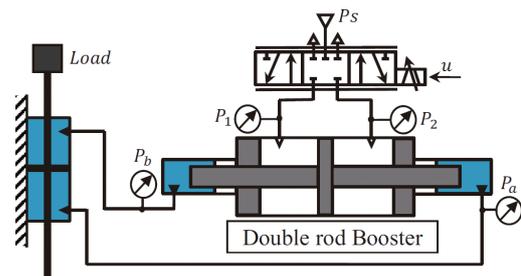


図4 2つのブースタを1つにまとめた回路

- ⑥ トルク制御：圧力フィードバックによって実現（外力に柔軟に対応，ダイレクトティーチングを介した運動学習への応用）。
- ⑦ 遠隔操作に好適：水は剛性が高いため，長距離配管でも伝達応答の劣化が少ない。
- ⑧ 低コスト：液圧バルブ不使用．ロボット本体機構は単純なので，製作・修理が容易．駆動ユニットは保守容易で再利用可能。
- ⑨ 安全：電源喪失時はタンクに残った残圧で動く（残量ゼロの場合はハンドポンプ利用．水圧部はマニュアル操作可能）．空気の元圧を調整することで回路圧を安全に規制可能。

単純で丸洗いができ，水没可能，完全無害な水圧ロボットが実現すれば，冒頭で述べた分野に大きなインパクトを与えるかもしれない．これを単なる願望で終わらせるのではなく，実際に作って見ようということで，水中でも動作する水陸両用マニピュレータの開発に乗り出した¹¹⁾．昨年のIFPEXに参考出展した2軸ロボットアームを図5に示す．スリムな40×60mmサイズの角パイプに収めたこのロボットは「水力君」と命名した．本体質量は4kgと軽量であるが，強度面で不安が残るため，改良を行っている．現在，これを双腕ロボットに拡張してROVに搭載し（図6），何らかの水中作業デモを実施すべく，取り組んでいる．



図5 水力君1号（3軸ロボット）

3. おわりに

関連研究を少し紹介しながら本稿を締めくくりたい．パスカルの原理を利用して，近位のピストンを

操作して遠位のピストンにつながれた負荷を駆動する方法は一般にHydro-Static Transmission (HST) と呼ばれている．マスタ側のピストンはさまざまな方法で駆動できるが，人の手で操作する方法は医療器具で利用されている．これは手元のマスタピストンを介してスレーブに加わる反力を感じることができるマスタスレーブ系である．かつて船の操舵装置は水圧のHSTであった．ただし純水では潤滑性が悪いため，グリセリンなどの添加物を加えて利用される例が多い．

マスタを電気モータで駆動して，MRI検査装置に利用した例もある¹²⁾．最近，ピストンの摩擦を減らすために，ベロフラムを用いた方法が提案され，エンターテインメントや医療分野への適用が模索されている¹³⁾．さらには，電動モータとMRクラッチを用いてマスタシリンダを駆動する方法も提案されている¹⁴⁾．本稿で紹介した駆動方法は，単にマスタピストンをエアサーボで駆動するHSTの一種であると言える．電動よりも制御性は劣るが，既に述べたように，高負荷，安全，ローコストが特徴になると考えている．

本研究にご協力をいただきました関係者様に謝意を表します．本研究はNSKメカトロニクス技術高度化財団ならびに，JST START 大学・エコシステム推進型 スタートアップ・エコシステム形成支援，JPMJST2181より助成を受けている．

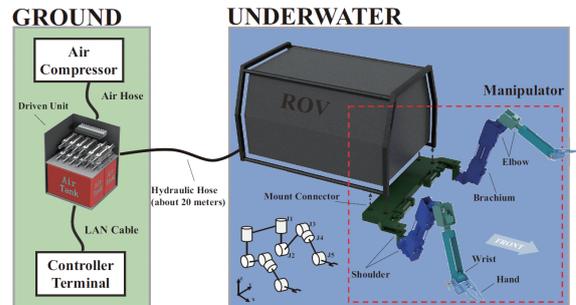


図6 双腕マニピュレータ（水力君2）による水中作業構想

参考文献

- 1) Boston Dynamics社ホームページ <https://www.bostondynamics.com>
- 2) Hyon, S., Suewaka, D., Torii, Y. and Oku, N. : Design and experimental evaluation of a fast torque-controlled hydraulic humanoid robot, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 22, no. 2, pp. 623-634 (2017).
- 3) 日本フルードパワー工業会，新水圧技術（ADS：Aqua-Drive-System）を用いたロボティクスの新基軸応用に関するフィージビリティスタディ報告書（2011）。
- 4) E. Trostmann, Water Hydraulics Control Technology, Dekker (1996).
- 5) 平野克彦，黒澤孝一，筋肉ロボット，日本ロボット学

- 会誌, vol. 36, no. 6, pp. 408-411 (2018).
- 6) Terribile, A., Prendin, W., Lanza, R., 1994. An innovative electromechanical underwater telemanipulator-present status and future development, OCEANS'94, vol. 2, pp. 188-191 (1994).
 - 7) 玄相昊, 野田史男, 森悦宏, 水井晴次: エアハイドロサーボ (第2報): サーボプレスへの適用, 平成26年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集 (2014).
 - 8) 玄相昊, 谷口友美, 大谷優: 空気圧で操作する水圧アクチュエータ, 平成31年秋季フルードパワーシステム講演会, pp. 32-34 (2019).
 - 9) Hyon, S. and Akama, K. : Air-Hydraulic Servo Booster Toward Submersible Water-Driven Robots, IEEE Robotics and Automation Letters, vo. 6, no. 2, pp. 1966-1972 (2021).
 - 10) 赤間一太, 玄相昊: 水圧ロボットアームの空油圧サーボブースターによるインピーダンス制御, 第21回システムインテグレーション部門講演会, pp. 2932-2933 (2020).
 - 11) 安井一嘉, HanXiao, 玄相昊: 軽量な水圧駆動水中口ロボットアームの設計と基礎実験, 第22回システムインテグレーション部門講演会 (2021).
 - 12) G. Ganesh, R. Gassert, E. Burdet, and H. Bleuler : Dynamics and control of an MRI compatible master-slave system with hydrostatic transmission, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1288-1294 (2004).
 - 13) J.P. Whitney, M.F. Glisson, E.L. Brockmeyer, and J.K. Hodgins: A low-friction passive fluid transmission and fluid-tendon soft actuator, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2801-2808 (2014).
 - 14) C. Véronneau, J.P.L. Bigué, A. Lussier-Desbiens, and J. S. Plante : A High-Bandwidth Back-Drivable Hydrostatic Power Distribution System for Exoskeletons Based on Magnetorheological Clutches, IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 3, no. 3, pp. 2592-2599 (2018).

(原稿受付: 2022年12月8日)

会議報告

山梨講演会2022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

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

1989年東京工業大学大学院博士課程修了，同
大学助手，助教授（准教授）を経て2015年4月
教授，2008年10月～2009年3月米国UCSB客員研
究員，2015年7月～9月米国MIT客員研究員，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

日本機械学会関東支部主催，精密工学会および山梨大学共催で，毎年秋に山梨大学で開催されている山梨講演会が2022年10月29日に開催された。回復基調にはあるがいまだ影響が大きい新型コロナウイルス感染症のために，今回もZoomを用いたオンライン開催であった。

本講演会では，オーガナイズドセッションのアクチュエータシステム1～2，切削・研削・研磨加工，応用熱工学1～3，フランジガasket締結体の力学と密封性能評価，繊維強化複合材料の成形と評価，流体工学，および一般セッションの計測・制御・ロボット，材料工学・材料力学・その他，設計・生産・その他における合計46件の発表と，特別講演「バーチャルエンジニアリングがもたらす製造業の大変革」（理化学研究所 内田孝尚氏）の合計47件の発表が4室並列で行われた。

フルードパワー技術関連では，少し広く解釈して8件の発表があった。以下では，それぞれの概要を紹介する。

なお，本講演会の発表資料としては，予稿集と講演論文集の2種類が発行された。予稿集は，すべての発表を収録し講演会参加者のみに配布されるもので，機械学会は著作権の譲渡を求めない。講演論文集は，掲載を希望する発表だけを収録し講演会終了後に発行されるもので，著作権は機械学会に帰属し，J-Stageで公開される。本稿では，できるだけ講演

論文集を引用し，一部予稿集を引用することにする。

2. フルードパワー技術関連の発表の概要

眞田らは，デジタル油圧昇圧回路における弁特性の影響について，シミュレーションにより検討している¹⁾。デジタル油圧昇圧回路は，慣性効果が大きい細長い配管（慣性配管）の下流に切換弁およびアキュムレータを設置し，切換弁の開閉動作で供給圧力以上の圧力を得るもので，本研究では切換弁として高速なサーボ弁を用いている。まず，慣性配管の分布定数系モデル（最適化有限要素モデル）などを用いてシステムをモデル化している。次に，サーボ弁を制御するPWM信号の搬送周波数およびデューティ比，サーボ弁の定格流量および時定数を変えて，アキュムレータ圧力のシミュレーションを行い，それらの影響を明らかにしている。

久保らは，空気圧マイクロシステムの圧力源として，マイクロシートバルブを用いた高出力空気圧マイクロポンプを提案し，マイクロシートバルブの試作および特性実験を行っている²⁾。まず，シート状弁体を浮揚動作させる構造で，大きなオーバーラップで弁閉鎖時の漏れを，浮揚動作で弁開時抵抗を低減させるマイクロシートバルブを用い高出力化を図った圧電往復マイクロポンプを提案している。つぎに，主要要素であるマイクロシートバルブのシリコン製ケースをMEMS技術で製作し，シート状弁体を収め，ガラス製弁座と陽極接合することにより試作し，順方向および逆方向の流路抵抗を測定し，その特性を明らかにしている。

北野らは，マイクロマウス競技会の自律小形ロボットの高度な運動制御のため，電界印加で粘度が上昇する粒子分散系ERF（電気粘性流体）を用い，小径で十分な制動トルクが得られる二重円筒形ERブレーキを提案，検討している³⁾。まず，二重円筒形ERブレーキの構造を示し，ERFのせん断応力とせん断速度の関係を用いて制動トルクの数学モデルを構築している。つぎに，ERブレーキとDCモータと組み合わせたシステムの数学モデルを構築し，ERブレーキを動作させたときの制動動作のシミュレーションを行っている。このシミュレーションをERブレーキの軸方向

長さを変えて行い、その最適寸法を明らかにしている。

長谷川らは、狭い空間で作業を行うマイクロロボットのため、積層形ERマイクロバルブを搭載したソフトマイクロアクチュエータを提案し、積層形ERマイクロバルブの試作、実験を行っている⁴⁾。まず、狭い流路に安定して流すことができる液晶系ERFの粘度上昇が高せん断速度で低下することを指摘し、ソフトマイクロアクチュエータの柔軟性を阻害することのない小形サイズでERバルブを実現するため、電極部の流路を折り返して流路幅を大きくした積層形ERマイクロバルブを提案、設計している。つぎに、設計したERバルブの電極部をワイヤ放電加工により試作してERバルブを構成し、その弁制御特性を実験的に明らかにしている。

片岡らは、強力な静磁界、高周波電磁パルスおよび傾斜磁界のスイッチングで断層撮影を行うMRIの環境下で被験者に変形を能動的に与えるため、不均一電界で強いジェット流を生じるECF（電界共役流体）を用いたアクチュエータについて検討している⁵⁾。まず、本アクチュエータにはMR環境での正常な動作とMRI画像へのノイズが小さいことなどが望まれることを指摘し、強力な磁界下での動作を可能とするため非磁性材料の銅の電極を機械加工で製作したECFポンプを提案している。つぎに、三角柱—スリット形電極対を直列に2対、並列に3対配置した小形ポンプを試作し、その発生圧力および発生流量を測定し、その可能性を明らかにしている。

矢島らは、ECFマイクロレートジャイロのパッケージングのためのシーリング手法を提案、開発している⁶⁾。ECFジャイロは不均一電界により発生したECFの流れをノズルによりジェット流とし、これを横に並ぶ2個のホットワイヤに当てる構造で、回転運動によるコリオリ力で生じるジェット流の偏りから回転速度を計測するもので、機械的可動部がなく耐衝撃性を有している。まず、PDMSの表面をプラズマ酸化処理とシランカップリング剤でシラン化し、SU-8表面との共有結合によりシーリングする小形化に適した手法を提案している。つぎに、提案手法を用いて小形化を図ったECFジャイロを試作し、ECFを封入したパッケージングに成功している。

石井らは、シール形スラスト軸受の潤滑特性に及ぼすディンプルの深さ方向形状の影響について、実験およびシミュレーションにより検討している⁷⁾。検討するスラスト軸受は、相対運動する一方の潤滑面にディンプルを施したもので、ディンプル部の動圧効果により入口側で負圧、出口側で正圧を生じ、負圧が大きいとキャビテーションによる気泡が生じて油膜力は正になり、非接触を保つことができる。

まず、ディンプル深さ形状が異なる3種類の試験片の相対運動を行い、油膜力、摩擦トルクを測定し、しゅう動面の観察を行い、その特性を明らかにしている。つぎに、シミュレーション解析を行い、実験と同様の傾向を示すことを確認している。

三和らは、潤滑特性を向上するため潤滑面に円形ディンプルを施したスラスト軸受の流体潤滑特性におけるヒステリシス特性について実験的に検討している⁸⁾。まず、一定の油膜厚さ、回転数および潤滑油温度という条件下で、負荷容量および摩擦トルクを測定でき、潤滑面に発生するキャビテーション気泡を観察することができる実験装置、試験片および実験方法について説明している。つぎに実験結果として、負荷容量と回転数の関係に生じるヒステリシス現象を示すとともに、ディンプルが多いほど負荷容量が大きくなりヒステリシスが大きくなること、ディンプル深さが大きいほどキャビテーション気泡が発生しにくくなることなどを示している。

3. あとがき

本稿では、山梨講演会2022で発表されたフルードパワー技術関連の発表について概観した。山梨講演会は毎年秋に行われている。2023年は、新型コロナウイルス感染症の状況が改善し、対面形式で実施できるようになることを願っている。

参考文献

- 1) 眞田一志, 長友雄太郎, 児玉和哉, 名倉忍, 柳田悠太: デジタル油圧昇圧回路における弁特性の影響について, 山梨講演会2022予稿集, A12, (2022)
- 2) 久保隆顕, 吉田和弘, 金俊完: マイクロシートバルブを用いた高出力空気圧マイクロポンプの提案, 山梨講演会2022講論集, A11, (2022)
- 3) 北野友規, 佐藤悠太, 外川貴規, 田中豊: 小形ロボット用二重円筒形ERブレーキの提案, 山梨講演会2022講論集, A13, (2022)
- 4) 長谷川豪太, 吉田和弘, 金俊完: 積層形ERマイクロバルブを搭載したソフトマイクロアクチュエータの提案, 山梨講演会2022講論集, A21, (2022)
- 5) 片岡遼, 吉田和弘, 金俊完: ECFジェット効果を用いたMR環境下で使用できるアクチュエータに関する基礎研究, 山梨講演会2022講論集, A22, (2022)
- 6) 矢島洋平, 吉田和弘, 金俊完: ECFマイクロレートジャイロの高性能化に向けた基礎研究, 山梨講演会2022講論集, A23, (2022)
- 7) 石井亮太, 三和怜央, 宮永宜典, 富岡淳: シール型スラスト軸受の潤滑特性に及ぼすディンプルの深さ方向形状の影響, 山梨講演会2022講論集, D22, (2022)
- 8) 三和怜央, 宮永宜典, 富岡淳: ディンプル軸受における流体潤滑特性のヒステリシス特性 (ディンプル個数及びディンプル深さの影響), 山梨講演会2022講論集, D23, (2022)

(原稿受付: 2022年12月5日)

トピックス

学生さんへ、先輩が語る —今できることを精一杯やる—

著者紹介



はた なか しょうたろう
畑 中 翔太郎

CKD株式会社
〒512-1303 三重県四日市市小牧町字高山2800
E-mail: s-hatanaka@ckd.co.jp

2017年三重大学工学部電気電子工学科を卒業、同年にはCKD株式会社に入社。配属から現在に至るまで設計・開発部門に所属し、空気圧バルブのコイルアクチュエータ部を主に設計開発業務に従事している。日本フルードパワーシステム学会の会員。

1. はじめに

1.1 自己紹介

私は幼少期から生粋の理系であった。通学時に車のナンバープレートで四則演算したり、祖父のゴルフネットを花火で燃やして炎色反応を発見したが、こっぴどく怒られた、といった具合である。そんな私は高校受験において、失敗を経験している。それは、理系科目しか勉強せず、文系科目には目をつぶって受験に臨んだのである。当時の私は、受験の合格に興味がなく、ひたすら好きなことだけをやっていたに違いない。見事に高校受験に失敗した私は、大学受験では同じ過ちを繰り返しまいと、しっかりと計画を立て、持ち前の実行力で希望の大学に入学することができた。その後、縁あってCKD株式会社に入社し、現在に至るまで空気圧機器(図1)の設計・開発業務に携わっている。



図1 空気圧機器の一例

1.2 会社紹介

弊社は1943年に日本航空電機として設立され、1945年に中京電機と社名変更し、真空管や蛍光灯の製造装置など自動機械装置の製造・販売からスタートした。その後、空気圧機器・流体制御機器などFA機器を幅広く手がけ、モノづくりの現場に貢献してきた(図2)。



図2 小牧本社

1.3 職場紹介

私が所属するフルードシステムBUでは空気圧機器や流体制御機器、調圧機器を取り扱っている。私が担当している空気圧機器は四日市工場(図3)を生産拠点としており、同工場では調圧機器や空気圧シリンダの生産も行っている。そして、春には見事な桜が咲き誇り、夏と秋には虫のさざめきが聴こえ、冬には数cmは積雪するような土地であるため、工場内の景色だけでも四季を感じることができる。



図3 四日市工場

2. いま、学生生活を振り返って

学生生活を振り返ってみると、膨大な時間のほとんどを部活動に費やしていた。なぜかと考えてみると、好きなことであり、上達具合や戦績といったわかりやすい目標があったからではないだろうか。その反面で、勉学には価値を見出せずにいた。なぜなら、勉学の必要性がわからず、近年ではスマートフォンの普及により娯楽が満ちあふれ、過剰な情報量に振り回されるため、勉学に割く時間はないと判断したのだろう。そんな学生時代の経験はむだではなく、人格形成や友人作りにおけるかけがえのない空間であったことは間違いない。しかし、強いて後悔したことを挙げるとするならば、社会に出る時、社会に出て5年後、10年後といった将来設計について考えてこなかったことである。今ならスマートフォンで少し調べるだけで無数に情報を得ることができるだろう。そうすれば将来に備えておくべきこと、今からできること、今やらねばならぬことが湯水の如く湧き出てくることに間違いない。

人生100年時代、学生でいられる期間は小学校から大学卒業まで20年とないのである。

3. 業務紹介と社会人として心がけていること

3.1 業務紹介

私が所属する部隊は、既存製品の改良や新規製品の開発を担当している。開発業務では、市場のニーズ、材料や工法、検査、組立方法に合わせた設計を行う必要がある。製図をするだけであれば、素人でもできてしまうが、開発業務には幅広い知識と経験が必要になってくるため、非常に奥が深く、花形と言われるだけあって非常にやりがいのある仕事であることは間違いない。開発業務に勤しんで6年、既存製品開発当時の背景や競合他社の製品、世の中の情勢や最新技術などさまざまなものに興味が湧いてきて、いかにして設計に活かすことができるか思案する日々である。気付いた時には、幼少期から培った好奇心を糧に自主的、積極的に業務に取り組むようになっており、自然と成果を上げられるようになっていた。

私は設計開発業務を通して、CAE解析を用いたコイル設計や射出成形による樹脂部品、ばね、切削、プレス、鍛造などさまざまな工法の部品設計を幅広く経験した。今後も知見を広げていき、社会貢献できるような人物を志していきたい。

3.2 業務を進める際に心がけていること

私が業務を進める際に心がけていることは、2点あり、「目的」と「計画」である。新人の頃、私は

「目的」と「手段」を混同することが多々あった。たとえば、評価試験を行う際に、試験を行うことを「目的」としている場合、結果が間違っているにもかかわらず「目的」になり得るが、本来は正しいアウトプットを得ることが「目的」である。もっといえば、良い製品を開発し、会社に利益をもたらす、社会貢献することが「目的」であり、試験を行うことは「手段」でしかないのだ。正しい「目的」があれば、必然的に正しい仕事ができる。正しい仕事をするだけでむだがなくなり、業務効率を上げることができる。逆に言うと、「目的」が間違っていると進むべき道を誤ったり、事象の深堀りをするのが困難になる。

2つ目が「計画」である理由は、業務を進めるにあたって、納期が無視することができない要素であることが挙げられる。私は社会に出るまで、納期という言葉は、漫画やドラマの世界でしか馴染みがなかったが、社会に出た途端にとっても身近な存在になった。学生の間はせいぜい課題の締切くらいで、間に合わなかったところで、自己責任でどうにでもなった。それが社会ではどうだろう。責任は個人単位だけではなく、組織単位、企業単位と膨れ上がる。業務において納期は厳守すべき対象であり、前提として、「計画」に矛盾があってはならないのだ。当たり前のことをいっているように思えるが、これがやってみると非常に難しいのである。特に経験のない業務では工数が読めなかったり、他部門や外部機関が関わってくるとなかなか思いどおりに進まない場面が多々ある。新人の頃、業務の一環で外部委託を行った際、委託している間は、自分の仕事は中断だと認識していた。結果、納期を過ぎても委託先から連絡はなく、全体の納期に支障をきたすことになった。他責ともとれるが、私自身の本来の「目的」はその先にあり、外部委託は「手段」でしかないといたため、私は委託先を逐一フォローし、計画どおりに業務を進めることが求められていたのである。また、時にはどうしても計画どおりにいかない時もある。正直なところ、完璧な計画書など存在せず、計画は常に修正される。しかし、最終的な納期を変えることが許されないのが社会人である。問題が発生した際は迅速に対応したり、代替案を並行して進めたり、時には周囲の手を借りるなど対策はさまざまである。

大事なことは、「目的」を達成するためにどのようにして「計画」どおり進めることができるかである。

4. おわりに

ここまで学生さんへ向けた偉そうな内容ばかりであったが、社会人の休日の過ごし方についても記していく。

私は運動や旅行が趣味であるため、休日はゴルフに出かけたり、夫婦で遠出をしている。

近々の夢はゴルフでホールデビューすることである。打ちっぱなしだけではただの球叩きに過ぎず、ウェアや小道具はすでに買い揃えているためである。

旅行ではグランピングにてBBQや焚火を嗜みながら、愛くるしい小動物たちと一夜を共にしたり、某夢の国では年甲斐もなくカチューシャを身に付け、アトラクションやショーを楽しんでいる。

このように社会人になってからでも十二分に趣味を満喫することができるのである。冒頭でも述べたが、なんとなく時間を浪費するのではなく、はかない学生生活を有意義な時間にするために、“今”できることを精一杯やってもらいたい。



図6 アミューズメントパーク

(原稿受付：2022年11月21日)



図4 グランピング会場



図5 プレーリードッグ

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

第21回 13年目での日本生活



り しょう
李 晶

カヤバ株式会社AC事業本部（岐阜北駐在）
〒509-0298 岐阜県可児市土田2548番地
E-mail : ri-sho@kyb.co.jp

著者紹介

1. はじめに

自己紹介：

私は中国南部の広東省東莞市で生まれ育った。香港から近いこともあり小さい頃から日本のアニメ（当時は広東語吹替えだったが）に興味を持ち始め、そこから日本という国自体に興味を待ち始めた。最初は交換留学で訪れた石川県，その後は10年間住んで働いていた東京都と神奈川県，そして今年の夏に転勤で来た岐阜県，これまで日本のいろいろな地域で生活していた。

来日の理由：

私は子供の頃から好きだった日本のアニメを字幕なしで見られるために教科書を買って勉強したり，家庭教師を雇ったりして，忙しい高校生活の気分転換として日本語を学び始めた。その後大学で日本語を専攻し，大学3年生の時の交換留学で日本に来て以来，日本で過ごしてきた。

現在の所属機関とその研究/仕事内容：

現在，私はカヤバ株式会社のオートモーティブコンポーネンツ（AC）事業本部の岐阜北工場駐在として働いている。担当業務は事業および工場の業績管理や日常運営であり，同時に各種プロジェクトにも参画している。

事業および工場の日々の活動を管理し，目標に向けていかに活動を進めるのか，問題発生の際にいかに関係者と迅速にコミュニケーションを取り，原因分析して対策を講じていくのか，ひとりでは決して

達成できないミッションをいかにチームで取り組んでいくのかなど，挑戦的だがやりがいのある仕事で充実した日々を過ごしている。



写真1 夫と京都観光したとき一枚（左が著者）

2. 日本の印象

2.1 来日直後の第一印象

来日直後の日本の第一印象は？：

日本に来て最初に感じたのは，やはり日本は安全で清潔な国であることだ。また日本人は礼儀正しく，他人への配慮がある点も生活において非常に心地よく感じた。一方で，配慮があるからか，生活圏の外から来た人との間に少し距離感も感じた。

2.2 研究室/職場に関して

日本人の考え方や働き方で驚いたこと：

全員がそうとは言えないが，日本人はどこか完璧を求める傾向があると思う。古くから匠精神を追求してきたことも背景のひとつと思うが，それがあからこそ現在の高品質の代名詞であるメイド・イン・ジャパンにつながってきたのではないだろうか。

一方で，日本は世界主要国の中でも女性の活躍度が低いと評価され，政治面や経済面等においてまだまだ女性の参画が不十分と言われている。私の出身

国である中国では夫婦共働きは普通との考えがあるが、日本では寿退社の言葉があるほど、少し前までは女性は結婚したら家庭に入ることに驚きを覚えていた。ただ最近では女性活躍推進や働き方自体の変化により、状況がすでに大きく変わっているかもしれない。

日本に滞在中に自分が最も変わった点は？：

日本に来てから最初感じていた他人への思いやりや配慮に少しずつ慣れていくと同時に、自分も同じような行動を取るようになっていくと感じた。仕事面のみならず生活面でも相手の立場に立ち、相手の望むことは何か、相手に迷惑をかけないために自分は何をすべきかを常に考えるようになった。

2.3 生活に関して

日本の生活で困ったことは？：

帰国すると「日本での生活は何か不便な所はないの？」と聞かれることが多いが、すぐに答えが出るのはいつもゴミの分類とゴミ出しであった。日本で生活すると、このゴミは何に分類してどこにどのように捨てればいいのか、よく頭を悩まされていた。ようやく覚えた時にまた引っ越しして、もう一度覚えなければならぬと、本当に困っていた時の記憶は今でも鮮明に残っている。

中国でも最近はゴミの分類とリサイクル活動に動き出し、少しずつその流れを拡大していると感じた。しかしそのルールはまた日本と違い、もし帰国したらまた新しい処理方法を覚えなさいといけなくなると憂鬱でたまらない。

また、日本に来て少し時間が経つと、母国語である中国語（私の場合、北京語と広東語両方となる）がだんだん下手になることに気づいた。休みを使って実家に帰る際はよく友達に「中国語下手ね」と言われる。今はこの問題を解決するために普段は中国語の小説やドラマを積極的に見るよう心がけている。

日本の生活でよかったことは？：

多くの外国人も同じ考えがあると思うが、やはり日本は安全で安心、そして清潔な国であり、非常に居心地が良いと私も思う。また、日本に来てからずっとマンション暮らしのため、日頃のあいさつや周囲への騒音に気を付けるなど、周りとの付き合いを保ちながら適度な距離をおいて生活することも快適さにつながっているのではないだろうか。

最も興味ある日本の文化：

私は日本の四季を楽しむ文化に感心している。春の花見、夏の花火、秋の紅葉狩り、冬の雪まつり、季節ごとに催すイベントを楽しむことで自然と親しみ、時の流れを感じることは素晴らしいと思う。

私の出身地は中国の南地域であり、冬はほとんど



写真2 京都の紅葉との一枚

雪が降ったことはないの、最初に石川県で雪を見た時は興奮した。その後スキーやスノーボード等にも挑戦し、雪がある冬を満喫することができた。



写真3 会社の同期とスキーを楽しんでいる時の一枚（最後列の真ん中が著者）

3. 抱負と日本の方々へのメッセージ

今後はどんな予定？ 出身国に戻るのはいつ？：

来日してあっという間に13年が過ぎようとしている。現時点では帰国の予定はなく、今後はもし機会があれば駐在するなど、他の国で仕事や生活を経験してみたいとも思う。

日本人へのメッセージ：

今までは多くの人に親切にいただいたおかげで楽しく日本で過ごしてきたことができた。この場を借りて心から感謝申し上げたいと思う。

今年は日中国交正常化50周年記念の年であり、新型コロナウイルスの影響で国をまたぐ往来は依然難しい面もあるが、今こそお互いを思いあって、共にこの難関を乗り越えよう。

(原稿受付：2022年12月14日)

企画行事

2023年度企画行事紹介

著者紹介



さくら い やす お
桜井 康雄

足利大学工学部
〒326-8558 栃木県足利市大前町268-1
E-mail : sakurai.yasuo@g.ashikaga.ac.jp

1986年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了。富士重工業(株)、上智大学助手等を経て2000年足利工業大学講師、2001年同大学助教授、2007年同大准教授、2009年同大教授、2018年足利大学教授、現在に至る。博士(工学)。



こ ばやし わたる
小林 亘

岡山理科大学情報理工学部
〒700-0005 岡山市北区理大町1-1
E-mail : w-kobayashi@ous.ac.jp

2015年芝浦工業大学大学院理工学研究科博士課程機能制御システム専攻修了。同大学ポストク研究員、2016年岡山理科大学助教を経て、同大学講師、現在に至る。日本フルードパワーシステム学会、計測自動制御学会などの会員。博士(工学)。

1. はじめに

企画委員会は、委員長 桜井康雄(足利大)、副委員長 兵藤訓一(東京計器(株))、幹事 小林亘(岡山理大)を含め、学校側委員16名、企業側委員16名および学会事務局で構成されている。本委員会は、講演会およびセミナー等の学会の集会事業の企画立案および実施を担当する。

本稿では、2022年度の事業についてまとめるとともに、未確定な部分もあるが、2023年度実施予定の企画行事の内容を紹介する。

2. 2022年度行事まとめ

2.1 春季フルードパワーシステム講演会

2022年の春季フルードパワーシステム講演会は、主査を伊藤委員(芝浦工大)とし、2022年5月26日(木)、27日(金)にオンライン開催(Zoom)にて実施された。31件の講演が行われ、参加者は87名(個人申込81名、団体申込6件)であった。オンラインでの開催ということで、個人81名の参加に加えて6件の団体申し込みがあり、オンライン

開催における参加の容易さが見受けられた。

2.2 春季講演会併設セミナー

2022年の春季講演会併設セミナーは、主査を張本委員(SMC(株))とし、春季講演会の1日目となる2022年5月26日に開催された。「進化を続ける空気圧機器」というテーマで講師5名による講演が行われ、参加者は39名(個人26名、団体1件、講師5名)であった。

2.3 秋季フルードパワーシステム講演会

2022年の秋季フルードパワーシステム講演会は、主査を竹村委員(慶大)とし、2022年11月10日(木)、11日(金)に海峡メッセ下関(山口県)にて実施された。45件の講演が行われ、参加者は111名であった。特別講演では「藤井龍蔵 日本光学技術の礎を築いた男」と題して、下関市立歴史博物館の松田様よりご講演いただいた。

2.4 オータムセミナー

2022年度のオータムセミナーは、主査を名倉委員(コマツ)としたWGで、12月15日(木)にオンライン開催(Zoom)にて開催予定である。「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」というテーマで4件の講演を予定している。

2.5 ウィンターセミナー

2022年度のウィンターセミナーは、主査を小林委員(岡山理大)としたWGで、2023年3月にオンライン開催(Zoom)にて準備を進めている。「機械学習の基礎とフルードパワーシステムへの応用」というテーマで、機械学習の基本的な仕組みとフルードパワーシステムへの適用事例を紹介するセミナーとして実施する予定となっている。

3. 2023年度行事予定

3.1 春季フルードパワーシステム講演会

2023年の春季講演会は、主査を趙委員(岡山理大)としたWGで具体案を検討している。5月25日(木)、26日(金)に機械振興会館において開催することを予定している。

3.2 春季講演会併設セミナー

2023年の春季講演会併設セミナーは、学会の企

画事業を担当する企画委員会と学会誌の作成を担当する編集委員会との合同企画である。当該年度の本セミナーは編集委員会が主導で特集号を作成することになっている。本セミナーは主査を落合委員（協立機電工業(株)）としたWGで、春季講演会の1日目となる25日（木）に機械振興会館を会場として「フルードパワーとハイブリッド」というテーマで実施する予定となっている。

3.3 秋季フルードパワーシステム講演会

2023年の秋季講演会は、主査を下岡委員（岡山大）としたWGで具体案を検討している。

3.4 オータムセミナー

2023年度のオータムセミナーは、10月または11月の実施を予定している。内容については企画検討段階であるためご紹介できないが、学会誌7月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定であり、ご期待いただきたい。

3.5 ウィンターセミナー

2023年度のウィンターセミナーは、2024年2月から3月の間に実施を予定している。内容について

は企画検討段階であるためご紹介できないが、学会誌11月号の会告から本セミナーの案内を開始する予定であり、ご期待いただきたい。

4. おわりに

本稿では2022年度に実施した企画事業のまとめと、2023年度に予定している企画事業について述べた。本稿を執筆した時期により、未確定な部分が多々あることはご容赦願いたい。

2022年もコロナ禍により、オンライン開催が主流となったが、秋季講演会は山口県にて久しぶりの対面形式での開催となった。講演会では飲食を伴わない形式での表彰式・名刺交換会も企画され、盛況のうちに終えられた。企画委員会では、今後もますます会員の方々に満足いただける企画事業になるよう改善していきたいと考えており、開催方法やセミナーのテーマ希望等があれば学会事務局までご連絡していただくようお願いし、本稿の結びとする。

（原稿受付：2022年11月30日）

会 告

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

2023年春季フルードパワーシステム講演会のお知らせ

開催日：2023年5月25日（木）、26日（金）

2023年春季フルードパワーシステム講演会は、機械振興会館（東京都港区）で開催いたします。本講演会では、一般講演に加えて、併設セミナー・製品技術紹介セッションを企画いたします。

・一般講演：2023年5月25日（木）、26日（金）

・併設セミナー：2023年5月25日（木）

・製品・技術紹介セッション：2023年5月26日（金）

また、詳細は学会ホームページに随時掲載いたしますので、ご確認いただけますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

企画行事

2022年度オートムセミナー開催報告 「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」

著者紹介



なぐら しのぶ
名 倉 忍

コマツ

〒323-8558 栃木県小山市横倉新田400
E-mail : shinobu_nagura@global.komatsu

1997年コマツ入社。現在開発本部油機開発センタに勤務。油圧システム、バルブ開発に従事。日本フルードパワーシステム学会の会員。



2022年度オートムセミナー フルードパワーシステムにおけるMBD活用

2022年12月15日（木）13:00~17:00

13:00 - 13:10	開会のあいさつ
13:10 - 13:55	モデルベース開発と想定設計手法の連携による手戻りゼロの実現に向けて ダッソー・システムズ株式会社 工藤 啓治 様
14:00 - 14:45	FEM モデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEへの実装に関する取り組み カヤバ株式会社 高谷 浩章 様
14:45 - 15:00	休憩
15:00 - 15:45	マイニングシヨベルのモデルベース開発 日立建機株式会社 佐藤 慧 様
15:50 - 16:35	1DCAEを用いた油圧シヨベルの性能開発へのモデルベース開発の適用 コマツ 桐谷 友輔 様
16:35 - 17:00	閉会のあいさつ

図1 オートムセミナープログラム

1. はじめに

2022年度オートムセミナー「フルードパワーシステムにおけるMBD活用」を、2022年12月15日に完全オンラインで開催した。本稿では、本セミナーの開催の様子および当日行われた講演内容の概要について報告する。

2. セミナーの概要

製品への要求、設計への要求は年々増加する一方、働き方改革や製品サイクルの短縮化により開発期間の短縮等の制約も多くなり、効率の良い開発が求められている。そのためモデルベース開発（MBD）の適用が考えられるが、MBDの目的を単に実験の代替手段と考える人が多いのが実情ではないだろうか。MBDは設計自由度の高い構想段階からシステム全体（メカ+フルードパワー+制御）の評価を行い、抜け・漏れ・手戻りなく効率的に設計を行う手法である。本セミナーでは、フルードパワーシステム開発におけるMBDの考え方から活用事例までを取り上げ、4件のテーマで各テーマ45分の講演が行われた（図1）。

本セミナーは、完全オンラインで行われ、個人参加21名、団体参加9団体、講師4名の参加で開催された。また団体参加ではアンケート結果より61名以上の方に聴講いただいた。

3. 講演内容

3.1 モデルベース開発と想定設計手法の連携による手戻りゼロの実現に向けて

最初にダッソー・システムズ株式会社の工藤啓治氏により、「モデルベース開発と想定設計手法の連携による手戻りゼロの実現に向けて」という題目で講演をいただいた。

設計要求が多様かつ複合的になり、従来の属人的経験や実績による設計では対応困難な状況になってきており、結果として事前想定が不十分なために後工程で大きな手戻りが生じ設計開発期間やコストが増える要因となっている。その対応としてMBDや想定設計の必要性について事例を交えて講演いただいた。

設計の初期段階において設計への要求や活用シナリオのさまざまな多様性や変動可能性を想定しておき、それらに対応可能な多数の設計案の組み合わせをシミュレーション、特にパラメトリックに表現した1D-CAEを用いて事前検討を行い、実現可能な設計案に絞り込み、常に選択可能な状態で設計を進める想定設計が重要である。これにより冗長性が高く手戻り最小の設計案をいつでも検討でき、想定カバー範囲が広ければ広いほど、限りなく手戻りゼロに近い設計プロセスを実現できるものと考えていることが示された。

さらに講演の後半では、HVACルーバフィンの多目的最適設計の事例をもとに、500の設計変数の組み合わせの多目的解からどのように知見を得るか、

またHEVの1Dシミュレーションのパラメータスタディの事例では、最適設計と想定設計のデータの見方の違いについて解説いただき、最後に今後は森全体を見るようなデータ・サイエンス的な見方・思考・スキルが大切になることを講演いただいた。

3.2 FEMモデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEへの実装に関する取り組み

カヤバ株式会社の萬谷浩章氏により、「FEMモデルの機械学習モデルへの縮退化と1DCAEへの実装に関する取り組み」という題目で講演をいただいた。

1D-CAEにてシステムを検討し、3Dの形状検討にシームレスに移行できることが理想であるが、1D-3D連成計算では計算時間が膨大となってしまうことから、3Dモデル、ここではFEMモデルを機械学習により縮退化し1D-CAEへ実装する取り組みについて、自動車用ショックアブソーバを事例とし、前半に技術構築時の課題と解決過程について、後半に実際の設計ラインナップへの技術展開について紹介いただいた。

自動車用ショックアブソーバでは、積層リーフバルブを用いており、リーフバルブの外径・板厚・枚数や締付軸力をパラメータとして設計を行っているがその組み合わせは膨大であり、まずは技術構築のため、微小変形理論を用いたFEM解析を用いて学習用データセットを準備し、高精度に再現できる機械学習モデルを構築した。構築の過程での工夫した点なども紹介いただいた。

つぎにPythonを用いた機械学習モデルの1D-CAEへの実装方法について、1D-CAEで得られたリーフバルブへの負荷圧力をTCP/IP通信を用いてPythonへ渡し、Pythonの機械学習モデルで推論、結果を再度TCP/IP通信を用いて1D-CAEへ戻す方法で実装し、実際に1D-CAEを構築し非因果モデルと接続し実用性の確認ができたことが述べられた。

最後に設計ラインナップへの技術展開として、より多くの種類のリーフバルブを実際の大変形理論を用いた学習データセットを用いて機械学習を行い、ショックアブソーバの減衰力-速度特性を実測データとの比較で高精度に予測できたことが紹介された。

3.3 マイニングショベルのモデルベース開発

日立建機株式会社の佐藤慧氏により、「マイニングショベルのモデルベース開発」という題目で講演をいただいた。

本体質量120ton～800tonのマイニングショベルは、巨大・高額な製品であるため実験機・試作機を用いた実機検証が困難であり、かつ露天掘り鉱山のような対応する大規模な試験環境の構築や海外が主である実機稼働での評価が困難であることから、

マイニングショベルの開発ではMBDの適用が必須と考えており、その活用状況について事例を交えて紹介いただいた。

マイニングショベルの1D-CAEモデルは、制御、動力源（エンジンまたは電動モータ）、油圧バルブ、アクチュエータ、機構部からなり、制御パラメータ設計では、デジタル化による制御パラメータの増大やソフトウェア開発工数の増大、生産性と燃費といったトレードオフの関係にある要求の実現のため、設計探査（最適化）ツールを適用していることが示された。

つぎにモデルの部署間や他社間での共有や機種展開を容易にするために、モデリングガイドラインを策定し、それに沿ったモデル構築やパラメータの設定・管理を行っていること、また解析ソフトに不慣れな設計者でも容易に扱えるようGUIベースのPre-Postツールを作成し、パラメータ設定の効率化、ミス低減、解析条件と解析結果とモデルと一緒に設計記録として保管できるようにする等、MBDを活用するための管理面での仕組みづくりについて紹介された。

また最後に、ショベルの遠隔操作・自動化システム開発での活用事例では、今まで紹介してきたモデルとショベル周辺環境モデル、自動化制御モデルと組み合わせ、3D LiDARモデルを用いたダンプ検知機能開発と積込アシスト制御機能開発に拡張されていることが紹介された。

3.4 1DCAEを用いた油圧ショベルの性能開発へのモデルベース開発の適用

最後にコマツの桐谷友輔氏により、「1DCAEを用いた油圧ショベルの性能開発へのモデルベース開発の適用」という題目で講演をいただいた。

従来の油圧ショベルではハードの特性でショベルのメイン性能を決めており、また基本的な作業能力や燃費といった性能が価値を生んでいたが、現在ではハードはシンプル化する流れであり、ハードと組み込みシステムにより性能確保をしておき、作業能力や燃費といった基本性能に加えて、安全装置や故障検知、運転支援や自動化といった $+\alpha$ の価値も重要となっている。そのため実機での網羅的な検証を実施することが困難であり、車両開発部門で1DCAEを始めとしたモデルベース開発に着手しており、構想設計段階で車両全体モデルを構築し、モデルを共通言語としてコンポーネント開発部門との仕様のすり合わせを行っている。

具体的にはまず車両開発部門で各要求項目に対し必要な検討を行い、各コンポーネントに特性を割り当て、仕様を連絡、つぎにコンポーネント開発部門

が要求仕様をもとに詳細設計を実施，コンポーネント開発部門での詳細設計が進み，各コンポーネントの特性が固まってきた段階で，車両開発部門で各コンポーネントでの詳細検討結果を用いた結合テストを実施，車両品質目標の達成，未達の確認を行い，未達の場合には，コンポーネントの再設計や，ほかのコンポーネントへの性能割り付け，車両スペックの見直しなどにより仕様確定を行うことが紹介された。

また現在より多くのシチュエーションに対応したモデルベース開発環境の構築に向けた取り組みとして，土壌掘削計算エンジンやゲームエンジンとの連携によるアラウンドビュー画像や人検知システムの実機レス確認など，比較的すぐに実現できるものから，息の長いものまで，開発のフルバーチャル実機レス化に向けての取り組みを紹介いただいた。

4. おわりに

今回，新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から完全オンラインでのセミナー開催となったが，多くの方にご参加いただき，また各講演後には活発な質疑応答が行われ，改めてMBDへの関心の高さがうかがわれた。MBDの考え方から，活用価値，そして具体的な企業での活用事例に至るまで，とても刺激になる内容だったと思う。今回のセミナーが日本のフルードパワー技術発展の一助となれば幸いである。

最後にご多忙の中，講演を引き受けていただいた講師の皆様，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各位に深く感謝申し上げます。

(原稿受付：2022年12月26日)

会 告

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

2023年春季フルードパワーシステム講演会 併設セミナー 「フルードパワーとハイブリッド」 開催日：2023年5月25日（木）

2023年春季フルードパワーシステム講演会併設セミナーを2023年5月25日（木）に機械振興会館（東京都港区）で開催いたします。

昨今，省エネルギー対応として，あらゆる産業分野でハイブリッド化が図られてきており，フルードパワーシステムにおいてもさまざまな形でハイブリッド化が進められてきています。

本セミナーでは，フルードパワーが他の動力源と結びついた

ことにより新たな付加価値が見いだされた活用事例を紹介いたします。

詳細は学会ホームページに随時掲載いたします。

なお，日本フルードパワーシステム学会誌54巻2号（2023年3月号）が当日の講演資料となりますので，各自ご持参いただけますようお願いいたします。

皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

2023年春季フルードパワーシステム講演会併設企画 「製品・技術紹介セッション」 開催日：2023年5月26日（金）

春季フルードパワーシステム講演会の中で，企業関係の方々に製品・技術の紹介をしていただく「製品・技術紹介セッション」を企画しました。本企画は，製品に係わる技術や検討課題などを学会主要行事のひとつである講演会で発表していただき，

会員間で問題意識を共有し会員相互の研究・技術の促進を図ろうとするものです。また，本セッションの講演は「最優秀講演賞」社会人部門の審査対象となります。企業関係の会員皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております。

会 告

〈理事会・委員会日程〉

12月22日～28日	論文集委員会
1月17日	理事会
1月12日～20日	論文集委員会
2月1日	企画委員会
2月2日	編集委員会
2月10日	情報システム委員会
12月7日	企画委員会

〈理事会報告〉

2022年度第5回理事会

1月17日 15:00～17:00

Web開催（参加者21名）

- (1) 国際シンポジウム広島2024開催準備状況
- (2) 2022年秋季講演会開催報告
- (3) 2023年春季講演会開催準備状況
- (4) 2022年度学会賞・フェロー推薦受付状況
- (5) 会員の推移
- (6) 規程類の改訂
- (7) 各委員会からの報告
- (8) その他

〈委員会報告〉

2022年度第7回論文集委員会

12月22日～28日

書面審議（参加者12名）

- (1) 論文投稿希望者からの質問回答について
- (2) ITAの修正案について
- (3) iThenticate導入のHP周知について

2022年度第8回論文集委員会

1月12日～20日

書面審議（参加者12名）

- (1) ITA最終案の理事会への提議について

2022年度第3回企画委員会

2月1日 15:00～16:30

Web開催（参加者23名）

- (1) 2022年秋季講演会開催報告について
- (2) オータムセミナーについて
- (3) ウィンターセミナーについて
- (4) 日中韓共同ワークショップについて
- (5) 2023年春季講演会開催準備状況について
- (6) その他

2022年度第4回編集委員会

2月2日 10:00～11:10

Web開催（参加者21名）

- (1) 会誌特集号の現状と企画
 - 1) Vol.54 No.2「フルードパワーとハイブリッド」
 - 2) Vol.54 No.3「医療福祉技術を支えるフルードパワー」
 - 3) Vol.54 No.4「フルードパワーにおける品質向上技術の活用（仮）」
 - 4) Vol.54 No.E1「緑陰特集」
 - 5) Vol.54 No.5「駆動源から見たゴム人工筋の新展開（仮）」
 - 6) Vol.54 No.6「機能性流体フルードパワーシステムのフロンティア展開（仮）」
- (2) その他
 - 1) 会議報告
 - 2) 今後の特集について

2022年度第3回情報システム委員会

2月10日 11:00～12:00

Web開催（参加者6名）

- (1) 学会HPの更新状況
- (2) 会議報告について
- (3) その他

会 告

共催・協賛行事のお知らせ

共催・協賛行事

<p>日本混相流学会 混相流国際会議2023 (ICMF2023) 主 催：日本混相流学会 開 催 日：2023年4月2日(日)～4月7日(金) 会 場：神戸国際会議場（兵庫県神戸市中央区港島中町6-9-1） U R L：http://www.jsmf.gr.jp/icmf2022/</p>
<p>日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 (ROBOMECH2023 in Nagoya) 主 催：一般社団法人 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 開 催 日：2023年6月28日(水)～7月1日(土) 会 場：名古屋国際会議場（愛知県名古屋市熱田区熱田西町1-1） U R L：https://robomech.org/2023/</p>
<p>第51回可視化情報シンポジウム 主 催：一般社団法人 可視化情報学会 開 催 日：2023年8月8日(火)～8月10日(木) 会 場：グランドパーク小樽（北海道小樽市築港11-3） U R L：https://www.vsj.jp/symp2023/</p>
<p>日本混相流学会 混相流シンポジウム2023 主 催：日本混相流学会 開 催 日：2023年8月24日(木)～8月26日(土) 会 場：北海道大学札幌キャンパス（北海道札幌市北区北13条西8丁目） U R L：http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2023/</p>
<p>第41回日本ロボット学会学術講演会 主 催：一般社団法人 日本ロボット学会 開 催 日：2023年9月11日(月)～9月14日(木) 会 場：宮城県 仙台国際センター展示棟（宮城県仙台市青葉区青葉山無番地） U R L：https://ac.rsj-web.org/2023/</p>
<p>EcoDesign2023 第13回環境調和型設計とインバースマニュ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：2023年11月29日(水)～12月1日(金) 会 場：奈良県コンベンションセンター（奈良県奈良市三条大路1-691-1） U R L：https://ecodenet.com/ed2023/</p>

新型コロナウイルスの影響で協賛行事の開催予定が変更になっている場合があります。
 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。

会 告

日本フルードパワーシステム学会
英文論文の投稿規程改定のお知らせ

本学会英文論文誌「JFPS International Journal of Fluid Power System」のSubmission Rules（論文投稿規程）をInstructions to Authorsとして全面的に改定いたしました。あわせてCopyright Transfer Agreement（著作権譲渡契約書）の提出もお願いすることになりました。ホームページや各種ファイルにつきましては、順次、更新作業を進めております。

ご理解のほど、お願いいたします。ご投稿される際には最新版をご使用ください。

本学会論文誌への積極的なご投稿をお待ちしています。引き続き、よろしくお願い致します。

論文集委員会

会 員 移 動

会員の種類	正会員	海外会員	学生会員	賛助会員
会員数 (2月10現在)	830	8	116	127
差引き増減	+1	±0	±0	±0

正会員の内訳 名誉員16名・シニア員68名・ジュニア員81名・その他正会員665名

〈新入会員〉

正会員

佐藤 弘明（株式会社小島鐵工所）
吉見 浩司（川崎重工業株式会社）

鈴木 幸治（株式会社ブリヂストン）

編集室

次号予告

—特集「医療福祉技術を支えるフルードパワー」—

【巻頭言】「医療福祉技術を支えるフルードパワー」発行にあたって	齋藤 直樹
【解説】	
補助人工心臓の設計のための数値流体解析	矢野 哲也
空気圧を利用した手術支援システム	只野耕太郎, 川嶋 健嗣
空気圧人工筋を用いた身体運動支援システム	宮崎 哲郎
油圧を用いた短下肢装具の開発	山本 澄子
マイクロ流体システムを用いた細胞融合技術	山西 陽子, 鳥取 直友
空気圧を利用したリハビリテーションデバイス	高岩 昌弘
MR流体を用いた繊細ハプティックデバイスの開発と医療ロボットへの挑戦	菊池 武士, 高野 哲仁, 池田 旭花
【会議報告】	
第23回流体計測シンポジウムにおけるフルードパワー関連技術の研究動向	宮崎 哲郎
【トピックス】	
学生さんへ、先輩が語る—学生時代に大切にしていたこと、開発職の魅力について—	松内 泰樹
【企画行事】	
2022年秋季フルードパワーシステム講演会開催報告	竹村研治郎

2022年度「フルードパワーシステム」編集委員

委員長 柳 田 秀 記 (豊橋技術科学大学)	委 員 妹 尾 満 (SMC株)
副委員長 山 田 宏 尚 (岐阜大学)	谷 口 浩 成 (大阪工業大学)
委 員 飯 尾 昭 一 郎 (信州大学)	中 野 政 身 (東北大学)
飯 田 武 郎 (コマツ)	中 山 晃 (日立建機株)
岩 田 将 男 (CKD株)	藤 田 壽 憲 (東京電機大学)
加 藤 友 規 (福岡工業大学)	丸 田 和 弘 (コマツ)
北 村 剛 (油研工業株)	村 岡 裕 之 (株コガネイ)
窪 田 友 夫 (KYB株)	吉 見 浩 司 (川崎重工業株)
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 (KYB株)
佐々木 大 輔 (香川大学)	学 会 事 務 局 成 田 晋
佐 藤 恭 一 (横浜国立大学)	編 集 事 務 局 竹 内 留 美 (勝美印刷株)

(あいうえお 順)

会 告

複写される方へ

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