

展 望

2024 年度の油圧分野の研究活動の動向*

坂間 清子**

* 2025 年 6 月 20 日原稿受付

**法政大学デザイン工学部，〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33

1. はじめに

2024 年，日本機械学会誌の連載企画「絶滅危惧科目－基盤技術維持のための再考」の第 6 回として，「油圧・空気圧の過去・現在・未来」が取り上げられた¹⁾．かつては多くの大学や高等専門学校でフルードパワーに関する講義が開講されていたが，現在ではその数は大きく減少している．また，多くの産業分野において油圧機器は電動機器へと置き換えられつつある．一方で，フルードパワーは依然として産業界において不可欠な技術であり，学会等では興味深い研究成果が数多く報告されている．本稿では，2024 年度に発表されたこれらの研究について，今後のフルードパワー技術の発展を見据えて①要素技術，②制御技術，③故障診断・予知保全，④モデリング・シミュレーション，⑤エネルギー効率化，⑥応用事例の 6 つのカテゴリーに分類して紹介する．なお，本稿では国内研究者による研究を中心に紹介する．海外で進められている研究については，「JFPS2024 広島における油圧分野の研究動向」²⁾でも紹介されているため，そちらも参照されたい．

2. 油圧分野の研究

2.1 要素技術

油圧機器の要素技術に関する研究では，ポンプ，アクチュエータ，バルブなどを対象に，機器の特性評価や性能向上，新たな機器の開発に関する研究が進められている．

Yanai ら³⁾は，建設機械用斜軸型アキシアルピストンモータのピストンリングの摩擦特性を測定・解析し，圧力や形状の影響を評価した．名倉ら⁴⁾は，建設機械のパイロット油圧源向けに高压対応のロータリーバルブを開発し，省エネ型圧力制御を実現している．Hyon ら⁵⁾は，建設現場での使用を想定した油圧駆動モジュールロボットの結合機構と制御技術を開発し，再構成と高出力動作を実現した．Shimada ら⁶⁾は，クローラ式建機フローティングシールにおける偏心と油漏れの関係を実験と解析で評価した．Kazama ら⁷⁾は，液体の粘度・相変化を利用して流量を制御する新たなバルブを試作し，特性を評価した．Takemoto ら⁸⁾は，FEM 解析によりラジアルピストンポンプ軸受の摩耗を抑制する構造を検討した．Sasaki ら⁹⁾は，各ポートのラップ特性を個別に調整可能な 4 ポート可変重合スプール型油圧制御弁を開発し，その制御手法を検討している．Feng ら¹⁰⁾は，油圧式人工筋の構造特性と制御上の課題を評価するため，7 自由度ロボットに適用し実験的に検証した．林¹¹⁾は，回転スプール形式により高速 PWM 動作を可能とする油圧制御弁を試作し，動作確認を行った．高坂ら¹²⁾は，グリコール系作動油中の添加剤の違いがリニアソレノイドバルブのシート摩耗に与える影響を評価し，摩耗抑制に有効な添加剤の組合せを確認した．久保田ら¹³⁾は，油圧機器内部の配管設計上の制約を解決するために，放電加工を用いて他の穴の内部に細穴を創成する新たな装置を開発している．また，JFPS 春季講演会の製品技術紹介セッションにて，中村ら¹⁴⁾は，日本と欧米の油圧フィルタに対する考え方と使用方法の違いについて紹介している．

2.2 制御技術

制御技術に関する研究では，高効率化を目的とした新規性の高い制御手法の提案が数多く進められている．なお，本分類で紹介する研究の多くは⑤エネルギー効率化にも関連するが，ここでは制御手法そのものの

に焦点を当てた研究を中心に取り上げる。

Oda ら¹⁵⁾は、モジュール式油圧サーボブースタを用い、複数のポンプとバルブによるマルチモーダル制御を行い、高効率なロボットアクチュエータ制御を実現した。Namai ら¹⁶⁾は、ギアポンプの流量制御により制御弁を用いずに油圧システムの流量安定化を図り、省エネルギー化と性能向上の可能性を実験的に検証した。Kumabe ら¹⁷⁾は、非線形油圧アームのマスターフォロワ制御で力センサなしのピン挿入制御を実現し、従来の課題を解決した。Yamada ら¹⁸⁾は、油圧ポンプの変位制御に可変制約付き適応型モデル予測制御を適用し、整定時間と追従誤差を大幅に削減する手法を提案した。Abe ら¹⁹⁾は、効率マップおよび強化学習に基づく制御手法を提案し、バルブレス電動油圧システムの効率的な運転点を導出することで、従来法を上回る高効率な制御を実現した。Wakitani ら²⁰⁾は、モデルベース制御とデータ駆動補償を組み合わせた階層型制御系設計手法「スマート MBD」を提案し、油圧ショベル実機でその有効性を検証した。平岡ら²¹⁾は、油圧ショベルの操作者支援のため、作業データに基づいてアシスト率を自動調整する制御系を構築し、実機を用いて検証した。

2.3 故障診断・予知保全

故障診断・予知保全に関する研究としては、倉迫ら²²⁾による、建設機械に搭載可能なオンラインセンサを用いた作動油やエンジンオイルの状態監視のための性状計測の可能性検証に関する研究や、Ivantysyn ら²³⁾による、高速温度計測によりアキシアルピストンポンプの熱挙動を把握し、温度データに基づく状態監視および効率予測を目指した研究などが挙げられる。ここで紹介した例は多くないものの、他のカテゴリーに分類される研究の中にも本カテゴリーと関連するものは多く、注目度の高い分野である。

2.4 モデリング・シミュレーション

機器の設計や制御の高効率化を目的として、モデリングやシミュレーションに関する研究は長年にわたり活発に行われており、2024 年度の油圧分野の研究においても多くの成果が発表されている。

服部ら²⁴⁾は、複数の油圧支持系と大型望遠鏡構造を連成モデル化し、伝達関数に基づく設計法を提案した。Masuda ら²⁵⁾は、ターボファンエンジン用圧力制御弁の減衰オリフィスの動特性を CFD とボンドグラフでモデル化し、解析した。Shimizu ら²⁶⁾は、油圧エレベータの低速域におけるマフラによる圧力脈動低減効果を設計パラメータから予測するモデルを開発した。Komaya ら²⁷⁾は、油中気泡の圧縮・減圧時の動的挙動を可視化と実験で解析し、溶解空気を考慮した等価バルク係数モデルを提案している。Zhang ら²⁸⁾は、非線形油圧シリンダモデルの線形近似誤差を最小とする平衡点を探索し、汎用的な設計指針を提案した。Arai ら²⁹⁾は、油圧シリンダの力制御用インテグレータに対し高周波数帯の位相遅れを補うモデルを提案・検証している。Sakurai ら³⁰⁾は、筆者らが開発した圧力脈動低減素子の設計を容易にするための 1D シミュレーション用数学モデルとその適用手法を提案し、実験結果との比較によってその妥当性を検証した。Mitamura³¹⁾らは、作動油に気泡が混入した条件におけるリニアソレノイドバルブの挙動を測定・解析し、1D シミュレーションモデルの構築と検証を行った。

2.5 エネルギー効率化

エネルギー効率化に関する研究としては、Caldwell³²⁾らによる掘削機の CO₂排出削減を目的としたデジタル制御型油圧ポンプ技術による燃費およびエネルギー効率の改善に関する研究、Nguyen³³⁾らによるハイブリッド油圧ショベル向け高効率動力分配機構と回生システムを統合した新たなパワートレイン構成に関する研究、Menegatti³⁴⁾らによる水素エンジン搭載油圧ショベルの実用化に向けたハイブリッド電油システムと MPR 技術（作動条件に応じて最適な圧力を使い分ける油圧供給技術）による応答性と効率の改善に関する研究などが挙げられる。本カテゴリーは、特に他のカテゴリーと密接に関連する研究が多く、エネルギー・環境問題への対応という観点からも広く注目されている分野である。

2.6 応用事例

最後に油圧を利用した応用事例に関する研究を紹介する。

Sato ら³⁵⁾は、歯科医療従事者の姿勢改善を目的として、多方向への傾斜が可能な歯科用ツールの新規傾斜機構を開発・評価した。Nakamura ら³⁶⁾は、建設機械に搭載したセンサを用いて掘削現場を3次元的にリアルタイム可視化し、自動掘削に向けた環境情報基盤の構築技術を提案・評価した。Nagai ら³⁷⁾は、遠隔操作油圧ショベルの切り替え時における操作負荷を視覚的 UI によって軽減するインタフェース技術を提案した。佐藤ら³⁸⁾は、操縦席を建機と同期回転させる遠隔操作 UI を実装・検証し、操作性向上と酔い軽減効果を実証した。田中ら³⁹⁾は、廃棄物再資源化装置の攪拌駆動に油圧モータを導入し、負荷変動下での安定運転を可能にする方式を提案・検討した。また、JFPS 春季講演会の製品技術紹介セッションにて、丸山⁴⁰⁾は、建機向け汎用コントローラについて、浦井ら⁴¹⁾は、油圧ポンプ・モータ・制御部を一体化した高トルク駆動システムについて紹介した。

3. おわりに

本稿では、2024 年度に発表された油圧関連の研究を整理・紹介し、当分野の研究動向を概観した。昨今油圧技術に関する研究は減少傾向にあるが、油圧機器に起因する課題の解決を目的とした基礎的研究から、新たな応用展開を目指した先進的な技術開発まで、依然として多様な取り組みが見られる。今後も油圧分野における研究の活性化とさらなる発展が期待される。

参考文献

- 1) 早川恭弘, 第6回 油圧・空気圧の過去・現在・未来(絶滅危惧科目ー基盤技術維持のための再考ー), 日本機械学会誌, 127 巻, 1267 号, pp.38-39 (2024)
- 2) 田中豊, JFPS2024 広島における油圧分野の研究動向, フルードパワーシステム, Vol.56, No.2, pp.56-58
- 3) Shuhei YANAI, Tomoya FUJII, Keiji KYOGOKU, Hiroshi YAMAMOTO, Masao KIKUCHI, Shinji TANAKA, Friction Characteristics of Piston Rings in Bent-axis-type Axial Piston Motors, JFPS International Journal of Fluid Power System, Vol. 17, No.1, pp.10-21 (2024)
- 4) 名倉 忍, 柳田 悠太, 眞田 一志, 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, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 56 巻, 1 号, pp.1-11 (2025)
- 5) SangHo HYON, Ryo ANDO, Eiji SONO, Shunichi SUGIMOTO, Yasushi SAITOU, Hyblock: Hardware Realization and Control of Modular Hydraulic Robots with Dowel Connectors, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3609-3615 (2024)
- 6) Masaru SHIMADA, Yuji HORINO, Kanji SAMUKAWA, Futo SUZUKI, Akira SUMITANI, Masao KIKUCHI, Keiji KYOGOKU and Shinji TANAKA, Effect of Contact Conditions on Oil Leakage in Floating Seals, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 1D2-03 (2024)
- 7) Toshiharu KAZAMA, Yuma SASAKI, Development of a Valving Element-Free Valve (Proof-of-Concept Study Using Hydraulic Oil and Municipal Water), Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2C1-02 (2024)
- 8) Shoichi TAKEMOTO, Toshiharu KAZAMA, Yusuke KITAMOTO, FEM Analysis for Optimal Design of Radial Piston Pump Bearings, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2D3-02 (2024)
- 9) Arata SASAKI, Yasukazu SATO, Development of 4-Port Independent Variable Lap Spool Valve with Rotational and Linear 2DOF Spool Motion, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-09 (2024)
- 10) Yunhao FENG, Tohru IDE, Hiroyuki NABAE, Gen ENDO, Ryo SAKURAI, Shingo OHNO, Koichi SUZUMORI, Exploring Multi-DOF Hydraulic Muscle-Driven Power Soft Robot: Design, Characteristics, and Applications, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-13 (2024)
- 11) 林光昭, 回転スプールによる油圧 PWM 制御弁, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.50-52 (2024)
- 12) 高坂涼太, 梅原徳次, 野老山貴行, 張鋭璽, 岡村孝一, 船橋知彦, 玉谷佳丈, 安部恒平, 若松智之, 林哲也,

- 福田純一, グリコール系作動液バルブ面高速流動における腐食とキャビテーションの相乗作用による異常摩耗に及ぼす添加剤の影響, 機素潤滑設計部門講演会講演論文集, 2024.23 巻, 1A3-5 (2024)
- 13) 久保田竜太, 石田徹, 溝渕啓, 放電加工による穴内面への細穴創成, 設計工学, 59 巻, 12 号, p. 597-608 (2024)
- 14) 中村則雄, 蔡帛原, 江畑雄介, 日本と欧米の油圧フィルタに対する考え方と使用方法の違い, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.137-139 (2024)
- 15) Kengo ODA*, Haruchika OTANI*, Sang-Ho HYON, Optimal Trajectory Planning and Mode Switching for Manipulator Driven by Modular Hydraulic Servo Booster, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2A1-03 (2024)
- 16) Ryota NAMAI, Yuki CHINO, Yukio KAWAKAMI, Research on Performance Improvement of Hydraulic System by Flow Control of Gear Pump, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-10 (2024)
- 17) Kota KUMABE, Satoru SAKAI, Ryo ARAI, Ryo UMEMOTO, Master-Follower Peg-in-Hole Local Experiment using Nonlinear Hydraulic Arms, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-12 (2024)
- 18) Tsuyoshi YAMADA*, Kazuhisa ITO, Parameter Design of Variable Control Input Constraints with Model Predictive Controller for Displacement Control of Axial Piston Pumps, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-04 (2024)
- 19) Yuto ABE, Yasukazu SATO, Highly Efficient Electro-hydraulic Drive System Control based on Efficiency Map and Reinforcement Learning, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-15 (2024)
- 20) Shin WAKITANI, Mikiya SAKO, Toru YAMAMOTO, Yohei OHNO, Hiromu KISHI, Natsuki YUMOTO, Kazushige KOIWAI, Design of a Hierarchical-Type Control System Based on Smart MBD Approach and its Application to Hydraulic Excavator, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36, No.4, pp. 909-917 (2024)
- 21) 平岡京, 山本透, 洪水雅俊, 小岩井一茂, 山下耕治, データ駆動型 Shared Management による油圧ショベルの操作支援制御系の設計, 計測自動制御学会論文集, 60 巻, 5 号, pp. 345-351 (2024)
- 22) 倉迫彬, 秋田秀樹, 本田充彦, 萩原美伸, 本田知己, オンラインセンサを用いた潤滑油状態監視のための性状計測の可能性検証, トライボロジスト, 70 巻, 2 号, pp. 105-114 (2025)
- 23) Roman Ivantysyn, Wieland Uffrecht, Alexander Kuntze, Jürgen Weber, Efficiency Forecasting in Axial Piston Pumps: Leveraging High Speed Fluid Temperature Correlations for Condition Monitoring, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2D3-01 (2024)
- 24) 服部友哉, 佐藤訓志, 山田克彦, 複数の油圧系と大型構造物の連成システムのモデル化と設計, 日本機械学会論文集, 90 巻, 938 号, 24-00132 (2024)
- 25) Seiei MASUDA, Yasushi MATSUNAGA, Akari TAKEGAWA, Fumio SHIMIZU, Kazuhiro TANAKA, Modeling and simulation of damping orifices for pressure control valves, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 1A2-03 (2024)
- 26) Juri SHIMIZU, Takashi MATSUDO, Tatsuya MATSUMOTO, Toshiki IWASAKI, Development of a Predictive Model for Muffler-Induced Pump Pulsation Reductions (Experimental Verification Using Hydraulic Elevators), Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 1A2-04 (2024)
- 27) Kodai KOMAYA, Eiki WAKO, Yutaka TANAKA, Sayako SAKAMA, Dynamic Behavior of Hydraulic Oil with Entrained Air Bubble during Compression and Decompression Processes, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 1D2-05 (2024)
- 28) Yanbin ZHANG, Satoru SAKAI, Ryo ARAI, Teruo KATO, On the Linear Approximation of Nonlinear Nominal Hydraulic Cylinder Dynamics, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-05 (2024)
- 29) Ryo ARAI, Satoru SAKAI, Yanbin ZHANG, Kota KUMABE, Modeling Improvement for Hydraulic Force Servo via Nominal Integrator, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-06 (2024)
- 30) Yasuo SAKURAI, Norikazu HYODO, Proposal of Mathematical Model for Oil-hydraulic Component to Reduce Pressure Pulsation, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-07 (2024)

- 31) Takehiko MITAMURA, Yasukazu SATO, 1D Simulation of Automotive Transmission Valve System Behavior for Air-bubble-contained Transmission Oil, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-14 (2024)
- 32) Niall CALDWELL*, Riccardo MADAU*, Matteo PELLEGRINI*, Hisatoshi SAKURAI, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2A1-02 (2024)
- 33) Van Hien Nguyen, Duc Thanh Phan, Kyung Shin Kwak, Kyoung Kwan Ahn, Advanced Power-Split Continuously Variable Hybrid Powertrain, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2A2-03 (2024)
- 34) Elena MENEGATTI, Mateus BERTOLIN, Andrea VACCA, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, 2A2-04 (2024)
- 35) Atsuki SATO, Hiyori YUASA, Minami TANAKA, Yukio KAWAKAMI, Development of a Seat Tilting Mechanism for Dental Professionals Stool with Hydraulic Cylinders, Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power, P1-11 (2024)
- 36) Ryo NAKAMURA, Masato DOMAE, Takaaki MORIMOTO, Takeya IZUMIKAWA, Hiromitsu FUJII, Dynamic Visualization of Construction Sites with Machine-Borne Sensors Toward Automated Earth Moving, Journal of Robotics and Mechatronics, 36 巻, 2 号, pp.294-308 (2024)
- 37) Masaki NAGAI, Junya MASUNAGA, Masaru ITO, Chiaki RAIMA, Seiji SAIKI, Yoichiro YAMAZAKI, Yuichi KURITA, Visual Presentation Interface to Reduce Effect of Machine Switching for Teleoperated Hydraulic Excavators, Journal of Robotics and Mechatronics, 36 巻, 2 号, pp. 309-319 (2024)
- 38) 佐藤勇起, 和田隆広, 建機と同期した操縦座席の回転が遠隔操作時の運動主体感とシミュレータ酔いに与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 30 巻, 1 号, pp. 3-12 (2025)
- 39) 田中豊, 風澤俊哉, 片山智之, 急速発酵乾燥資源化装置駆動部の油圧化の提案, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.76-78 (2024)
- 40) 丸山嵩洋, 建機向け汎用新型コントローラ(CX2500 シリーズ)の紹介, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.140-141 (2024)
- 41) 浦井隆宏, 山本真大, 佐々木隆治, ヘグランド Fusion ドライブシステム, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.142-144 (2024)

著者紹介



さかま さやこ

坂間 清子 君

2015 年法政大学大学院デザイン工学研究科博士後期課程修了。青山学院大学助教, 産業技術総合研究所研究員, 主任研究員を経て, 2025 年より法政大学助教。油圧システムの解析, 油圧機器の開発等に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会, 日本機械学会などの会員。博士(工学)。

E-mail: sayako.sakama.56@hosei.ac.jp