

## 展 望

## 平成 28 年度の油圧分野の研究活動の動向\*

佐藤 恭一\*\*

\* 平成 29 年 7 月 6 日原稿受付

\*\*横浜国立大学大学院，〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

## 1. はじめに

本報では，平成 28 年度（2016 年 4 月～2017 年 3 月）に発行されたフルードパワーシステムに関わる代表的な出版物に掲載された論文をレビューし，油圧分野に関する主に国内の研究活動動向を報告する．調査対象は，本学会の日本フルードパワーシステム学会論文集，JFPS International Journal of Fluid Power System，春季，秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，および日本機械学会論文集とし，これらのなかから，いくつかの油圧分野の論文について紹介する．

## 2. 平成 28 年度の油圧分野の研究

平成 28 年度における油圧研究は，日本フルードパワーシステム学会論文集と JFPS International Journal of Fluid Power System では 5 編，春季フルードパワーシステム講演会では 7 編，秋季フルードパワーシステム講演会では 14 編，日本機械学会論文集では 8 編の論文が掲載されていた．これらを便宜上，(A) 油圧システム・制御，(B) 油圧要素・省エネルギー，(C) シミュレーション・解析の 3 つのカテゴリーに分類し，主な研究について概要を示す．なお，複数のカテゴリーに関わる論文は，筆者の主観でいずれか一つのカテゴリーに振り分けていることをご了承いただきたい．

## (A) 油圧システム・制御

- ・ 眞田は，船用ディーゼルエンジンの固定容量ポンプ，油圧シリンダ，AC サーボモータからなる DDVC 方式による燃料噴射装置について，その燃料噴射量を目標値との偏差を用いたフィードバック制御により制御可能であることをシミュレーションにより示すとともに，エンジン稼働中の各種変動要因に対するロバスト性の検討が課題であること提起している<sup>1)</sup>．
- ・ 松本らは，作動油の体積弾性係数，漏れ係数を含む物理パラメータを未知とする油圧アームのオンライン同定法を提案し，同定シミュレーションと同定実験の双方により提案手法の有効性を検証している<sup>2)</sup>．また，同研究グループでは，1 自由度油圧アーム制御のための新しい無次元モデルを提案し，制御対象のパラメータ数の低減および数値シミュレーションの計算時間が低減されることを示している<sup>3)</sup>．酒井は，油圧アーム制御のためのモデルについて，油圧シリンダのキャップ圧力とロッド圧力の断面積の重み付き和（和圧）を制御量とする制御系設計に着目し，和圧を抑制する制御はシリンダの位置制御の安定性に有効であることを示している<sup>4)</sup>．
- ・ 八木らは，油圧ショベルのブームシリンダの油圧エネルギーを，アキュムレータを介してポンプのサククションラインに回生する回路を二つ提案し，シミュレーションと実験により，その性能比較を行っている<sup>5)</sup>．また，同研究グループでは，このアキュムレータが回収したエネルギーをポンプのサククションラインに回生する回路の実験結果をもとに，実現象を十分に再現可能なモデルを構築し，ブームシリンダ操作性がアキュムレータ保持圧に依存しない手法を提案している<sup>6)</sup>．
- ・ 戸松らは，パワーショベルの目標形状に対する追従にモデル予測制御を用い，ブーム，アーム，バケットシリンダの同時作動時にポンプの最大流量を超過しない制約条件を付加して，バケット先端の追従制御に効果が得られることを，実機実験で検証している<sup>7)</sup>．また，同研究グループでは，モデル予測制御とサーボシステムを組み合わせたサーボモデル予測制御により，油圧ショベルの掘削時に地中の未知の物体に接触し，油圧ショベルの最大出力で対処できない場合に，物体を回避できることをシミュレーシ

ンで確認している<sup>8)</sup>。

- ・ 正岡らは、サーボモータ駆動型油圧ポンプを用いた油圧システムの油圧制御に単純適応制御を適用し、この制御の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のオンラインチューニングにより、特性変動があるシステムに対しても良好な制御が行えることを示している<sup>9)</sup>。
- ・ 杉本らは、油圧マニピュレータのシミュレータを構築し、周波数応答法を利用してモデルの非線形性について確認するとともに、構造的な非線形を持つ油圧マニピュレータシステムに対して、線形モデルとして同定を行うことの妥当性について検証している<sup>10)</sup>。また、同研究グループでは、油圧マニピュレータを高精度で制御するモデルベース制御に向けて、伝達関数モデルを構築するためのシステム同定を行い、正弦波入力を用いた周波数応答から伝達関数の次数を予想し、むだ時間の測定結果を利用することで、実験データとよく一致する伝達関数を得ている<sup>11)</sup>。

#### (B) 油圧要素・省エネルギー

- ・ 浮田らは、流路中の多孔のオリフィスと微粒子で構成される超小型油圧制御弁（流量制御弁）の実現の可能性を実証している。これは、オリフィスを塞ぐ微粒子を、微粒子に振動を励起することにより粒子をオリフィスから離間させ、オリフィス通過流量を制御するものである<sup>12)</sup>。
- ・ 中川らは、外接ギヤポンプを対象に、ポンプ内の作動油の有効体積弾性係数の計測値が、管路内と比較して低い値となることを報告し、有効体積弾性係数が低くなる要因を考察している<sup>13)</sup>。
- ・ 坂間らは、作動油中に混入する微細な気泡を効率よく除去する気泡除去システムを開発することを目的に、気泡除去に有効な微細気泡の膨張を促す流路形状を提案し、数値解析により気泡除去性能を評価している<sup>14)</sup>。また、同研究グループでは、気泡除去装置の小型化を図るにあたり、気泡を含む作動油が流入する流入部長さが気泡除去性能や圧力損失に及ぼす影響を、数値解析を用いて検討している<sup>15)</sup>。
- ・ 風間は、ピストンポンプのしゅう動面に複数のグループやランドを有するスリップの潤滑モデルを構築し、挙動と特性を数値解析により検討しており、そのモデルは大きく変動する供給圧力、偏心荷重にもとづくスリップの傾き、固体接触を含む混合潤滑状態を考慮している<sup>16)</sup>。
- ・ 清水らは、油圧アクチュエータ（シリンダ）の必要流量をポンプで直接制御するポンプコントロール方式の油圧閉回路について、外部負荷が変動する場合でも、シリンダの速度変動が発生しないアシスト回路付き閉回路システムを開発し、アクチュエータ駆動開始時に発生するショックを抑制する制御を適用した。これにより、アクチュエータ駆動開始時の管路内圧力変化を 1/9 に低減できることを確認している<sup>17)</sup>。
- ・ 佐藤らは、従来、ポンプコントロール方式の油圧閉回路用ポンプの駆動に用いられている AC サーボモータに代わり、永久磁石、レアアースを用いないスイッチトリラクタンスモータをサーボモータとして適用した閉回路流量制御を報告している<sup>18)</sup>。
- ・ 桜井らは、油圧源を切り離れた密閉容積内で一定時間圧力を保持するための圧力低下抑制素子を開発しており、その構造、形状の改良を行うとともに、圧力脈動の低減効果も有することを示している<sup>19)</sup>。
- ・ 渡部は、振り子式波力発電装置の振り子の運動を油圧ポンプで油圧動力に変換し、油圧モータ、発電機により発電する動力伝達系の油圧変速機について、理論背景、関連機器の構造設計、将来展望を報告している<sup>20)</sup>。
- ・ 山下らは、電力系統内で用いられる電力用遮断器の電気接点を開閉する油圧操作機構について、油圧回路内の高低圧切替えを開路・閉路動作の瞬時のみに限定した常時高圧安定回路方式の油圧操作装置を開発し、ピストンが開路端からラッチに保持されるまでの戻り動作時における弁等の開閉動作振動について検討を行い、油圧回路定数が戻り動作の動作安定性に及ぼす影響や要因を解析している<sup>21)-23)</sup>。
- ・ 中川らは、定常運転状態の油圧システムにおいて、油圧管路内に発生するポンプ誘起の圧力脈動が経時変化する現象に着目し、その要因として考えられる温度変化の特性は、作動油と混入空気との密度比および大気圧下の作動油の体積弾性係数の温度変化の影響、作動油中の音速の変化の影響によることを示している<sup>24)</sup>。同研究グループでは、農業用や建設用車両の騒音の一因として、油圧システムの圧力脈動に影響を及ぼす作動油中の音速に着目し、実稼働時の油圧システムにおける作動油温度および圧力との関

係を実験によって調査し、作動油の空気混入率と音速との関連性を考察している<sup>25)</sup>。

- ・ KONDO らは、油圧制御弁操作用の電磁比例ソレノイドについて、磁気回路部に 2 か所の推力発生部を有し、同体格の従来の電磁比例ソレノイドと比較して 2.5 倍の高推力を発生できるものを開発している<sup>26)</sup>。

### (C) シミュレーション・解析

- ・ 江尻らは、自動車用トルクコンバータのロックアップクラッチの締結時の運動について、設定された供給・排出油圧スケジュールのもとで、ロックアップクラッチの慣性質量を考慮した非定常流れ解析を行っている<sup>27)</sup>。
- ・ 清水らは、スプール弁内部のすきま流れの様子を、汎用熱流体解析ソフトウェアを用いた三次元数値流体解析により調査し、実験結果との比較から、十分な精度で内部流動を捉えることができることを示している<sup>28)</sup>。さらに、同研究グループでは、スプルーボディ間の微小すきま流れを考慮した三次元数値流体を行い、スプールに働く軸方向流体力に対するすきまの影響を検討している<sup>29)</sup>。
- ・ 瀬戸らは、ガス遮断器用油圧操作器について、機器のリンク機構部を考慮した油圧系、ソレノイド電磁場等との統合運動解析を検討し、高精度で解析ができ、機器の設計に有用であることを示している<sup>30)</sup>。
- ・ 森田らは、電動化建設機械を対象に、電動機で駆動する車体の運動解析には、作業機のリンク機構部である剛体システムとリンク機構を駆動する油圧システムを連成して解析する必要があることを示し、電動機実機の負荷試験のため、剛体システムと油圧システムの HILS システムを構築している<sup>31)</sup>。

## 3. おわりに

平成 28 年度における本学会等で発表された油圧関連の主な論文の概要を紹介することで、国内の油圧分野の研究活動動向の報告とする。今回、調査範囲を国内で発表された論文としたため、残念ながら、海外の研究活動動向までは言及できていない。本報が緑陰特集電子出版号に公開された 2 か月後には、本学会主催の The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, Fukuoka<sup>32)</sup>が開催され、国内外より 160 編を超えるフルードパワー関連の研究が発表される予定であり、欧米、アジア等のグローバルな範囲での研究活動動向を把握する機会となることが期待される。

## 参考文献

- 1) 眞田：DDVC 方式燃料噴射装置による船用ディーゼルエンジンの噴射量制御，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol.47, No.3, p.15-21 (2016)
- 2) 松本，酒井：油圧アームのオンライン物理パラメータ同定，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol.47, No.5, p.31-37(2016)
- 3) 酒井，西脇：油圧アーム制御のための無次元化について，平成 28 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.77-79(2016)
- 4) 酒井：油圧アームの劣駆動和圧依存摩擦の低減制御法，平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.75-77(2016)
- 5) 八木，伊藤，P. N. Pha：サクシオンブースト式エネルギー回生による油圧ショベルの高効率化，平成 28 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.74-76(2016)
- 6) 八木，伊藤，P. N. Pha：サクシオンブースト式エネルギー回生による油圧ショベルの制御性能および回生効率改善に向けた検討，平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.78-80(2016)
- 7) 戸松，野中，関口，鈴木：パワーショベルのポンプ最大流量を考慮したモデル予測制御の実験的検証，平成 28 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.80-82(2016)
- 8) 戸松，野中，関口，鈴木：モデル予測制御による油圧ショベルの掘削時における地中障害物回避，平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.87-89(2016)
- 9) 正岡，藤本，加藤，大塚：特性変動の大きい油圧システムへの単純適応制御適用，平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.22-24(2016)
- 10) 杉本，大須賀，石川，吉灘，小谷，松尾：制御系設計のための油圧マニピュレータの開発と線形化モデル同定手法の評価，平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.81-83(2016)

- 11) 松本, 大須賀, 石川, 吉灘, 小谷, 松尾: 6 軸油圧マニピュレータのシステム同定, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.84-86(2016)
- 12) 浮田, 鈴森, 難波江, 神田, 大藤: 微粒子励振型流量制御弁による油圧制御, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.47, No.6, p.39-46 (2016)
- 13) 中川, 一柳, 西海: 外接ギヤポンプの構成要素および作動条件が有効体積弾性係数に与える影響, 平成 28 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.11-13(2016)
- 14) 坂間, 田中: 油圧動力伝達システムにおける微細気泡の除去方法の提案, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.6-8(2016)
- 15) 舟知, 坂間, 田中: 気泡除去装置の形状パラメータの最適化(流入部長さの影響), 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.9-11(2016)
- 16) 風間: 斜板式アキシアルピストンポンプ・モータを対象としたマルチランド・スリッパの数理モデリング, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.3-5(2016)
- 17) 清水, 齋藤: アシスト回路付油圧閉回路におけるシリンダ駆動開始時の圧力補償制御, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.19-21(2016)
- 18) 佐藤, 角谷, 鄭: 油圧ポンプ駆動用 SR モータのサーボ機能付加による油圧閉回路流量制御, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.25-28(2016)
- 19) 桜井, 兵頭, 饗庭: 圧力低下抑制素子の改良とその素子を利用したポンプの圧力脈動の低減, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.29-31(2016)
- 20) 渡部: 振り子式波力発電装置における油圧変速機による貢献, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.38-40(2016)
- 21) 山下, 中嶋, 平野, 杉山, 吉積: 遮断器用油圧操作装置の動作時間安定に関する研究(常時高圧保持による動作安定方式の安定性), 日本機械学会論文集, Vol.82, No.834, p.15-00432, [DOI: 10.1299/transjsme.15-00432](2016)
- 22) 山下, 平野, 中嶋, 杉山, 吉積: 遮断器用油圧操作装置の動作時間安定に関する研究(高速油圧操作装置を 2 台用いた同期/順次駆動方式の検討), 日本機械学会論文集, Vol.82, No.838, p.15-00539, [DOI: 10.1299/transjsme.15-00539](2016)
- 23) 山下, 平野, 杉山, 吉積: 遮断器用油圧操作装置のダッシュポット制動特性の検討, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.838, p.16-00050, [DOI: 10.1299/transjsme.16-00050](2016)
- 24) 中川, 一柳, 西海: 油圧管路内のポンプ誘起の圧力脈動に及ぼす油温の経時変化の影響, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.845, p.16-00287, [DOI: 10.1299/transjsme.16-00287](2017)
- 25) 中川, 一柳, 西海: 実稼働時の油圧システムにおける作動油中の音速に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.847, p.16-00520, [DOI: 10.1299/transjsme.16-00520](2017)
- 26) H. KONDO, R. TAKEUCHI, Y. WAKASAWA: A Study of a Cylindrical Two-Step Pole Type Electro-Magnetic Proportional Actuator, JFPS International Journal of Fluid Power System, Vol.9, No.1, p.1-10[http://doi.org/10.5739/jfpsij.9.1] (2016)
- 27) 江尻, 竹内, 岡田: 自動車用トルクコンバータのロックアップクラッチの動特性解析, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.845, p.16-00365, [DOI: 10.1299/transjsme.16-00365](2017)
- 28) 清水, 植木, 田中: スプール弁内部の流動特性とすきま流れの検討, 平成 28 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.71-73(2016)
- 29) 清水, 植木, 田中: 微小すき間を考慮したスプール弁に働く軸方向流体力の検討, 平成 28 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.35-37(2016)
- 30) 瀬戸, 橋本, 海老澤, 小野寺: 統合動作解析によるガス遮断器用油圧操作器の設計手法, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.47, No.3, p.23-30 (2016)
- 31) 森田, 今西: 剛体・油圧連成解析を用いた電動機 HILS システムの開発, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.845, p.16-00234, [DOI: 10.1299/transjsme.16-00234](2017)

32) <http://www.jfps.jp/net/10thjfps/index.html>

### 著者紹介



さとう やすかず

佐藤 恭一君

1992 年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。同大学講師，准教授を経て，2012 年同大大学院工学研究院教授，現在に至る。油圧動力の伝達，制御，メカトロニクス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: [sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp](mailto:sato-yasukazu-zm@ynu.ac.jp)