

展 望

平成 28 年度の水圧分野の研究活動の動向*

伊藤 和寿**

* 平成 29 年 6 月 23 日原稿受付

**芝浦工業大学システム理工学部, 〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

1. はじめに

水圧システムは油圧, 空気圧にはない多くの魅力的なメリットが認知され, 食品加工, 半導体加工機械およびリハビリテーションへの応用に代表されるように独自の市場を形成するに至った. 一方で, 世界的には基礎研究そのものはやや小休止している感がある. これは 2015 年以降, フルードパワー研究の世界的な研究雑誌である *International Journal of Fluid Power* に水圧機器および水圧システムに関する研究論文が掲載されていないことからもうかがい知ることができる. しかし日本国内では水圧システム研究者らによって目に見える形で研究が継続されており, また実応用においても一歩ステージが進んでいる. 本報では, 平成 28 年度に国内で報告された水圧関連技術および業界の研究動向をまとめる.

2. ハードウェアの研究成果

水圧機器の研究は制御手法と並んで車の両輪として重要であり, 今後も継続的な研究が必要である.

吉田ら¹⁾は, 水圧用スプール弁におけるキャビテーション現象について把握することを目的として, 透明スプールを用いた可視化を行い, その圧力-流量特性を実験的に評価した. ハイスピードカメラによりキャビテーションを可視化した結果より, 弁の上下流の圧力差および開口幅の双方が大きくなるほどキャビテーションの体積と到達距離が増大することが確認されたほか, 5MPa までの差圧範囲内ではキャビテーションの発生状況は圧力-流量特性にほぼ影響を及ぼさないことが明らかとなった.

鈴木²⁾は, 超精密加工機械のステージの速度制御への応用を目的とした, 低水圧での小流量制御用圧力補償型電磁流量調節弁の設計および静特性の性能評価結果を報告している. 通常の電磁比例弁では圧力差によって流量が変化するが, 水圧ステージの速度を一定に保つためには, 負荷変動等により弁の前後の圧力差が変化しても流量が一定となるような圧力補償機構が必要となる. 弁の差圧が 0.2-1.0MPa の範囲では, 圧力変化に対する流量変化を小さく抑制できており, 電磁弁への印加電圧のみにより流量を制御できることを実験によって確認している. さらに, 弁内部の絞り径を変えることで, 制御可能な流量範囲も調整できることを示した.

伊藤³⁾らは, 受圧面積の差を応用することでゴム人工筋の駆動に必要な 2 倍程度の水道水圧の昇圧を行う増圧装置を開発した. 受圧面積の異なるピストンを利用する従来のものとは異なり, ベローズを用いるために水圧システムで問題となる漏れの発生を完全に解決し, 初期型で問題となった被増圧側で発生しやすいベローズの蛇行防止機構効果も確認している. 実験結果からは, ほぼ設計値である 0.29MPa(G)の増圧が確認された一方, ケーシング内側とベローズ外周との摩擦により圧力の整定には 10 秒程度を要しており, 今後は応答性の改善および増圧器を人工筋に接続した場合の収縮率制御特性の確認が課題となる.

小林⁴⁾らは, 市販されている小形のシリンジを複数用いた増圧器を提案し, マッキベン型人工筋の変位制御特性を実験により検証している. 受圧面積比に注目した点で文献 3 の成果と共通しているが, 組込みシステムの開発により人工筋の位置制御系をきわめてコンパクトに実現している. 実験では 6 本のシリンジを用い, 600kPa の設計値に対して 580kPa の増圧が確認されており, また周波数応答におけるバンド幅は 0.25Hz 程度あることも明らかにされているが, シリンジ部で発生する摩擦の影響が大きいとしている. 提案された

増圧器による人工筋の制御では、PD コントローラにより振幅 12.5mm、周期 0.1Hz の正弦波への良好な追従が実現されている。

3. 省エネルギー化に関する成果

水圧システムでは、可変流量型ポンプは一部製品化されているもののその選択肢は非常に狭く⁹⁾、油圧システムで一般的に用いられている省エネルギー化手法のような有効策にはなっていないのが現状である。システムの効率を低下させる主要因は、過大な供給圧力の発生に加えて弁部における絞り損失であるため、回路構成の工夫と適切な制御手法の組合せによる手法の優位性は変わらないと考えられる。

Pham ら⁵⁾はブリードオフ回路に注目し、水圧モータ制御において流量制御弁により必要供給圧力を最小化する回路を提案し、シミュレーションによる従来法との省エネルギー性の評価を行っている。発想は、ロードセンシングの概念に基づき、モータの駆動に必要な前後差圧を適切に制御するというものである。省エネルギー性の比較は、①従来のサーボ弁を用いたシステム、および②メータイン回路によるシステム、の二つに対して行っているが、②では①で生じる行きと戻りの両方で生じる絞り損失のうち、戻り側の弁部圧損が大幅に低減可能な特徴がある点が重要であり、提案回路では行きおよび戻りの両方の損失を低減可能なことに留意する。加速、等速、減速の三フェーズからなる単純な駆動パターンを想定し、同等な制御性能が確保されることを前提とすると、シミュレーション結果より、提案回路では①の約 1/3、②の約 1/2 の必要エネルギーで駆動が実現されることが明らかとなった。今後は適切なエネルギー回収装置を併用することによる、さらなるエネルギー効率改善が課題となる。

4. フルードパワー工業会との連携

フルードパワーコンポーネントに限らず、世界市場における競争には規格、すなわち標準化についての提案ができるかどうか大きな鍵になる。日本フルードパワー工業会 (JFPA) では、2015 年度より経済産業省に対して「省エネ型水圧システムに関する国際標準化」を提案し、以下の項目の標準化を進めている。すなわち、①用語、②利便性、③安全性、④安定性、⑤性能に関する統一試験条件、および⑥水質、汚染度、フィルタのろ過精度等、信頼性評価、の五点である。これには、水圧機器開発の実績を持つ企業グループと大学の研究機関が協力してデータ採取と解析を行っており、その結果を基にアクアドライブシステム (以下 ADS) の国際標準化として、国際標準化項目と技術面・運用面の対応、「水の特質」と国際標準化のための技術・運用的側面、ADS 機器・システムに対する具体的運用施策、の提案を狙いとするものである。我が国における水圧機器の研究開発は多くの実績があるが、これまで大学および企業での研究実績が統一されておらず、折角蓄積されたデータが世界規格として活かせなくなる可能性がある。ヨーロッパの研究機関に先んじて規格を提案することは、今後の日本の水圧システム企業にとっては非常に重要となる。

5. むすびに

以上で解説したように、数は多くないものの本年度も今後の発展が注目される研究成果が公開されており、水圧システムには研究の余地が多く残されている。なお、この原稿を執筆している 2017 年度 6 月時点では水圧システムの研究論文が数件見られており、来年度の研究動向報告はより充実したものとなると期待される。

参考文献

- 1) 岡部仁美, 吉田太志, 飯尾昭一郎, 水圧用スプール弁におけるキャビテーション現象, 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.5-7 (2016)
- 2) 鈴木健児, 低水圧での小流量制御用圧力補償型電磁流量調節弁の設計および性能評価, 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.8-10 (2016)
- 3) 古田優梧, 伊藤和寿, 小林 亘, 受圧面積比を利用した水道水駆動ゴム人工筋用ペローズ型増圧器の開発, 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.12-14 (2016)
- 4) 小林 亘, 堂田周治郎, 赤木徹也, 伊藤和寿, 原田翔太, 水道水圧用増圧器の開発とその応用, 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.15-17 (2016)

- 5) Pha Ngoc Pham, Kazuhisa Ito: Energy-saving technology for water hydraulic motor system (First report: simulation result), Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.4, Paper No.16-00403 (2016)
- 6) Markus Rokala, Analysis of Slipper Structures in Water Hydraulic Axial Piston Pumps, Ph.D Thesis, Tampere University of Technology (2012)

著者紹介



いとう かずひさ

伊藤 和寿君

1995 年上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年コマツ入社。2001 年上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了, 同年同大学理工学部機械工学科助手。鳥取大学准教授を経て, 2011 年芝浦工業大学システム理工学部機械制御システム学科教授, 現在に至る。非線形制御理論とその機械システムへの応用, 水道水を用いた環境融和型水圧システムの制御と省エネルギー化の研究, 農業工学の実応用に関する研究に従事。日本フルードパワーシステム学会, 計測自動制御学会, 生物環境工学会の会員。博士(工学)。

E-mail: kazu-ito@shibaura-it.ac.jp