

展 望

平成19年度の水圧分野研究活動の動向*

塚越 秀行**

* 平成20年7月11日稿受付

** 東京工業大学大学院理工学研究科，〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

1. はじめに

19世紀の産業革命に発展した水圧駆動技術は、20世紀に出現した油圧駆動技術にひとたび座を明け渡したものの、21世紀に入り新たな技術進化を遂げ、再び注目されつつある技術となっている。そのような21世紀版水圧駆動技術は、油圧の動作特性の改善というよりは、むしろ環境問題や安全衛生事項を解決する手段として、一部の特殊な産業分野で適用され始めてきた。半導体基板加工や食肉加工現場などへの導入がその一例である。一方、このような産業分野に特化した適用領域とは別に、ここ数年で、より身近な生活レベルに溶け込んだ「生活支援型水圧システム」とも呼ぶべき革新的技術も、大学や企業などから提案されつつある。本報では、19年度に注目を浴びた水圧分野の研究動向を実用化研究と開拓研究の両面から調査し、当該分野の新たな方向性を探ることとする。

2. 従来型コンポーネントを基盤とする商品開発および実用化研究

一般家庭に供給されている水道水圧を駆動源としたさまざまな水圧駆動システムの市場も開拓されつつある。そのうち、昨今話題になった商品、あるいは実用化研究をいくつか紹介する。

＜防災システムへの応用＞

トワ機器株式会社は、水道水圧を利用した防水板を商品化している¹⁾。集中豪雨による浸水を防ぐための装置で、建物の出入り口、地下街、地下駐車場、など建物の入り口が道路より低い場所への設置に適するとされている。防水板は、使用圧力範囲0.1～1MPaの片ロッド式水圧シリンダを複数本用いて駆動される構成となっている。

ノムラフォーシーズ株式会社も、同様に水道圧で駆動される防水板を商品化している²⁾。自動浸水感知装置で浸水の危険がある状況を察知すると、床面に収納された止水パネルが水道水圧で自動的に立ち上がり、建物や車を浸水被害から守る機能を備えている。

東京工業大学の北川・留らのグループは、一戸建ての垂直揺れ水圧駆動免振装置を提案している³⁾。家屋の下に弾性体の役割をするコイルスプリングとダンパの役割をする水圧シリンダを設け、直下型地震が生じた非常時に地震波を能動的に吸収し、家屋の垂直揺れを最小限に抑える免振システムである。アキュムレータ内に貯えられた高圧水圧源を駆動源とし、研究グループが独自に開発した水圧用2段式高速電磁弁でシリンダを制御するシステムを目指している。まだ研究段階ではあるが、防災関係者からの関心を集めているようである。

＜洗面設備への応用＞

泉工業株式会社は、水道水圧で駆動するシリンダを利用して、水圧昇降洗面台を商品化している⁴⁾。250mm長の範囲内で洗面台の高さを無段階に調整でき、背の高い大人から車椅子生活の高齢者や子供まで、足や腰に負担をかけることなく洗顔できることを目的としている。制御や駆動に水道水圧のみを使用するため動作音が静かで、電気ノイズを発生しないため精密医療機器に影響を及ぼす懸念がなく、万一の断水時にも洗面台が自然に下らない、などの特徴を有している。また、この装置には、使用した水を一旦中水タンクに貯め、トイレ洗浄水にも再利用する機能も取り入れられている。そのため、水道水のランニングコストを抑え、同時に節水の効果も期待できる。さらに、同じような水圧駆動システムを自動開閉扉に適用することも同社

は提案しており、一般家庭のみならず公共施設のトイレの扉としても期待されている。

3. 新しい駆動原理による新領域の開拓研究

水圧分野の要素技術を新たに開発し、新領域への適用に挑む研究も報告されている。ここでは、水圧駆動技術と水の制御技術の両面から新領域の開拓研究を紹介する。

＜医療機器への応用＞

名古屋大学の生田らは、水圧駆動方式による能動カテーテルを開発している⁵⁻⁶⁾。心臓の冠動脈や脳血管の低侵襲治療のためのカテーテル治療として、現行ではガイドワイヤによる駆動方式が採用されているが、内部が狭く歪曲して分岐が多い微細血管内での使用が困難となっている。そのため、体内挿入時にカテーテルの体幹自体を湾曲させ、進路を選択できる能動カテーテルの開発が求められていた。

そこで生田らは、電気配線を不要とし、破損時に血管内での漏電の懸念もない水圧駆動（作動流体として生理食塩水）のカテーテルを提案した。この能動カテーテルは先端にシリコンゴム製のベローズ型アクチュエータを有しており、水圧の制御によって体幹の湾曲具合を調整できる。また水圧を伝搬する送液ラインが一つだけであるため、関節数を増やしても系が肥大化しない特長がある。このシステムの実現のために、帯域圧力駆動弁（Band Pass Valve：BPV）を開発した。BPVは加圧開放弁（High Pass Valve：HPV）と加圧閉鎖弁（Low Pass Valve：LPV）と呼ばれる一対の弁から構成されており、ある大きさの圧力を加えた時にのみ開状態になる性質をもっている。そして各関節に異なる駆動圧力帯のBPVを接続すれば、圧力の大きさに応じた関節のみを独立に屈曲させることが可能となり、一入力多出力の系が実現される。BPVはハイブリッドマイクロ光造形法によって、光硬化性樹脂内にシリコンゴム部品を内包することで作製されている。

＜バイオテクノロジー分野への応用＞

岡山大学の鈴森らは、水を含むさまざまな液体を対象とし、2種類以上の流体を混合・攪拌するマイクロミキサーの研究を行っている⁷⁻⁸⁾。昨今、バイオテクノロジー分野でMEMSを用いた技術が注目を集めている。その1つとして、微小空間内の液体中に乱流や層流を作り出し、液体の反応効率を向上させる技術が課題となっていた。

鈴森らは、2液の混合と螺旋状層流界面の形成を目的とした、アクチュエーター一体型のマイクロロータリーリアクタを開発した。螺旋状層流界面の形成は、2液の反応表面積と反応距離が増大し、反応効率が向上するといった利点がある。大きさは全長59mm、最大直径は15mmである。構造はステンレス製の2つの供給口と1つの取り出し口があり、石英ガラスで作られた外筒の中にはサマリウムコバルト永久磁石で作られたローターがピボット軸受けで支えられている。螺旋状層流界面を形成することにより2液の反応表面積が増大し、また反応距離が直線と比べて長くなるために反応効率が向上すると考えられている。また、このような構造をとることにより外部に他のアクチュエータを必要とせず、構造が簡単なため小型化・量産化を実施しやすく、生産コストも安くなるなどの利点があげられている。

＜リハビリへの応用＞

筆者らは、家庭用水道圧で自励振動を生成する新しいチューブアクチュエータを開発した⁹⁻¹⁰⁾。その基本となるチューブは、無加圧状態では断面が潰れ、内部を加圧すると周長を一定に保ったまま円形に近づく偏平チューブである。この偏平チューブを2つに折り、根元が離れないように拘束を加えた構成がFRT(Flat Ring Tube)である。FRTの一端から内部を水道圧で加圧すると、チューブの上流側が弓なりにしなり、曲率の限界に達すると座屈し、その座屈点は流体経路を遮断したまま下流側に移動する。さらに加圧しつづけると、上流側に再び座屈点が生じるため、弁を使わなくとも周期的な振動現象が生じる。これは、他のチューブでは生じない偏平チューブ特有の現象である。振動数は流量にほぼ比例し0.5Hz～70Hzのレンジで調整でき、また同じ流量でもチューブが長いほど低くなる。なお、動作はホームページで公開されている¹⁰⁾。

このような自励振動は、無限回転運動も生成できる。FRTの内側に軸受けで支えられたシャフトをあてると、きわめて簡易構造で流体圧モータおよび回転式流量センサを構成できる。一方、FRTの外側から回転自在のローラーを当てると、流れと同じ方向に無限回転を生成する。そのため、これを人体皮膚表面に当てると、血管内の血流促進効果を期待できるため、マッサージデバイスへの適用を試みている。5分間肩に当て

ると、筋血流が12%上昇し、その効果が30分持続することが筋血流計の測定より確認された。またサーモグラフィによる測定からも、皮膚表面の体温を上昇させる効果も確認されている。従来までの電気を使うマッサージ機と異なり、電磁波を一切発生しないため、ペースメーカー使用者や妊婦にも安心して適用できる。現在、大学病院におけるfMRIを用いた実験により、リハビリとしての効果も検証されている。

4. おわりに

以上、本稿では平成19年度に話題となった水圧分野の研究動向について報告した。上記のように、昨今の水圧分野の研究は、産業領域への適用にとどまらず、生活支援型システムを目指した要素技術やシステム構成技術の両面から展開されている。電気エネルギー技術が不得意とする領域で、水圧技術が我々の生活基盤を支えるようになる日も間近かもしれない。今後の水圧分野研究の発展に期待したい。

参考文献

- 1) <http://www.towakiki.co.jp/rei.htm>
- 2) <http://www.4cs.jp/index.html>
- 3) 留 滄海, 佐藤彰洋, 北川 能: 一戸建ての垂直揺れ水圧駆動免振装置の提案, 日本地震工学会大会—2007梗概集, pp. 118–119 (2007).
- 4) <http://www10.ocn.ne.jp/~mizusys/products/aqua/stand/merit.html>
- 5) 生田幸士, 松田喜勝, 矢島大輔: 多目的チャンネルをもつ水圧駆動多自由度能動カテーテルの研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007講演論文集, CD-ROM 1 A2-J07 (2007)
- 6) http://www.bmse.mech.nagoya-u.ac.jp/researches/robotics-e/hydraulic_catheter-e.html
- 7) 古澤宏明, 鈴森康一, 神田岳文, etc.: 螺旋状層流界面形成マイクロロータリーリアクタの開発, 電気学会論文誌E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 27, pp47–52 (2007)
- 8) http://www.act.sys.okayama-u.ac.jp/kouseigaku/research/furusawa_micro_rotary_reactor_07/micro_rotary_reactor-j.html
- 9) Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, Keisuke Tambo, Hiroyuki Chiba: A Fluid Self-excited Oscillation Peculiar to Flat Ring Tube and its Application to Wearable Robots, Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2007) ThD12.9 (2007)
- 10) <http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/>

著者紹介



つかいし ひでゆき 君
塚越 秀行 君

1998 年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員, 1999 年東京工業大学助手, 2004 年同大学院助教授, 現在に至る。2001 年～2004 年科学技術振興事業団さきがけ 21 研究員兼任。ウェアラブル・フルードパワー, レスキューロボットの研究に従事。第 1 回競基弘賞受賞。平成 19 年度文部科学省若手科学者賞受賞。博士 (工学)。

E-mail: htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp