

展 望

平成 18 年度の水圧分野研究活動の動向*

北川 能**

*平成 19 年 6 月 18 日原稿受付

**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

環境問題への関心が日々増している現在，水の環境親和性がより注目され，水圧の研究・開発は地道ではあるが着実に進められている．そこで本稿では，平成 18 年度における水圧の研究・開発事例を紹介する．水圧研究の最新動向を垣間見ることができれば幸いである．以下ではまず，水圧コンポーネント，制御理論の応用，次世代ユニバーサルアクアドライブシステム（UniADS）のフィージビリティスタディについて示し，つぎに筆者の研究室における研究の一端を述べる．

2. 水圧コンポーネント

対象とする水圧コンポーネントには水圧ポンプ，水圧制御弁，水圧アクチュエータがある．水圧ポンプについては，今年は研究・開発の新しい報告例はないが，水圧制御弁と水圧アクチュエータに関しては 2 件の講演発表があった．

<水圧制御弁>

中島ら¹⁾は，水圧用ロジック弁の O リングによる摩擦抵抗が水圧ロジック弁の性能に与える影響が大きいことに注目し，O リングの摩擦抵抗を考慮した水圧用ロジック弁の切換特性シミュレーションモデルを構築している．形状が異なる 2 種類のロジック弁を対象にシミュレーションと実験の両面から検討を行った結果，開放過程では実験結果とシミュレーションがよく一致することを確認している．しかし，閉鎖過程においては摩擦力の影響が大きいためまだ大きな差があり，更なる検討の余地があると報告している．

<水圧アクチュエータ>

宮崎ら²⁾は，水圧駆動の福祉介護分野などへの応用を広めるため，簡単に持ち運べるポンプ制御形水圧アクチュエータを開発している．ポンプはプラスチック製の双方向モーター一体型歯車ポンプを採用し，シリンダは空気圧シリンダを流用することにより軽量な水圧システムの構築を可能にしている．ポンプの不感帯をシングモイド関数を用いた補償により，ステップ応答における偏差を補償しない場合の 1/10 程度に抑えることができることを示し，一般的な空気圧システムと同程度の出力，動特性，精度を有する水圧アクチュエータを実現している．

3. 制御理論の応用

伊藤ら³⁾は，水圧モータシステムに特有な強い非線形摩擦と大きな漏れに着目し，外乱オブザーバ併用型スライディングモード制御を水圧モータの制御に適用し，その効果の確認を行っている．すなわち外乱オブザーバとスライディングモード制御を組み合わせることにより，過渡応答特性を改善しながら高精度な回転角度制御ができることを実験的に確認し，過渡特性と定常特性の両立ができる水圧モータ制御システムを実現している．

4. UniADS フィージビリティスタディ

UniADS（ユニバーサルアクアドライブシステム）は，安心・安全な社会の実現に本質的な整合性をもつ水圧駆動を取り込むことを目的とし，水圧駆動によって，空気圧駆動，電気駆動そして油圧駆動の出力レベルを包含しようとする一元化された駆動システムのことであり，世界で唯一，初めての概念に基づくものである．このような駆動システムが実現して工場に導入されれば，すべての駆動システムが水圧で一元化される

ので、現場における環境対応や省エネルギーだけでなくメンテナンススキルの向上などさまざまな利点が期待できる。このスタディは、UniADS 実現の第 1 段階として、水道配管網圧力を基本圧力として構成した場合の UniADS について、そのフィージビリティを明らかにすることを目的としている。

このスタディは日本フルードパワー工業会の主導により、横浜国立大学山口惇名誉教授を委員長、上智大学の池尾茂教授および筆者を副委員長とし、4 大学・高専および 18 社の企業の協力体制のもと、平成 16 年度から平成 18 年度までの 3 年間にわたって実施された。

スタディは以下の 4 項目を中心に行われた。1) 変動する水道配管網圧力に対する対応。2) 増圧手法の確立。3) エネルギーの有効利用法の開発。4) 水道圧・低圧用アクチュエータ開発と試験。

具体的なスタディにおける UniADS の構成は下記の通りである。1) 定圧装置：圧力変動のある水道圧から一定圧 (0.25MPa) を得る装置。2) 増圧装置：圧力を 0.25MPa から 3.5MPa (14 倍) にする装置。3) エネルギー有効利用法：エネルギーの回収回生を行い、有効利用する方法。4) UniADS アクチュエータ：水道圧・低圧用水圧シリンダ、水圧モータ。

これらを含む UniADS 全体図と装置の写真を図 1 に示す。

3 年間の関係者の努力が実り、各装置を組み合わせた全体運転を実施した結果、機能を確認し得るデータが得られ、水道配管網圧力を基本圧力として構成した場合の UniADS のフィージビリティを明らかにするという所期の目的が達成された⁴⁾。2007 年 4 月には UniADS に興味をもつ政府機関・業界関係者が集まり、成果報告会が盛大に行われた。その写真を図 2 に示す。

5. 筆者の研究室の研究例

筆者の研究室では水圧の生体親和性・環境親和性を生かし、水圧の福祉分野および防災技術分野への新しい展開の可能性を探りながら、研究・開発を行っている。ここではそのうち、アクアハンド、手動式指圧制御弁、自励振動式切換チューブおよび水圧駆動免震装置を紹介する。

アクアハンドは肩こりを解消できるだけの力を生成し、なおかつ人体を傷めない柔軟構造をも兼備した特徴を有する水道圧駆動アクチュエータである。このアクチュエータは筆者らが独自に考案したウレタン製の扁平チューブをアーチ形状の発泡塩化ビニール板の溝に挟む構成（これをスプリットドライブという）になっている。水道圧加圧前後の写真を図 3 に示す。水道水で加圧すると約 30[N]の握力を得ることができる。通常、人間の肩もみは 30~50[N]で行っていることから、人間に近い握力が生成できたものと考えられる。

アクアハンドの力制御を目的として、手指で加えた力に比例して出力圧力が変化する手動式指圧制御弁（減圧弁）を製作した。これにより自分の好みの力加減を再現することができる。その写真と動作原理を図 4 と図 5 に示す。指圧制御弁に加えた力 F とアクアハンドに供給される圧力 P_c の関係はほぼ線形になり、指圧制御弁に力を加えるほど大きな握力でアクアハンドに肩もみをさせることができた。これによって、従来のレギュレータと比較してマッサージの強さをより簡便に調整することが可能となり、アクアハンド使用者の要求に応じたマッサージが可能になった。

アクアハンドの駆動に用いた扁平チューブは、ある形で拘束すると切換弁の機能を発揮する。2 本の扁平チューブを水道圧源に並列接続し、下流側のある点でそれら 2 本のチューブを紐で縛って、大きく膨らまなように拘束する。この状態で、拘束部よりさらに下流側の任意の点でどちらか一方の扁平チューブをつまんで水を流れにくくしようとするとき、“つまんで流れにくくしたはずのチューブからは水が流れるのに、つまんでいない方のチューブからは逆に水が流れなくなる”という、直感とはまったく逆の奇妙な現象が起こる。この現象は 2 本のチューブを紐で縛った拘束部分での変形に起因している。つまりこの拘束部では、下流側をつままれたチューブの内圧が上がるために若干膨らみ、つままれていない方のチューブを押しつぶして水を流れにくくするのである。このような機能は、一種の負荷感応型切換弁の機能とみなすことができる。このような拘束部を有する扁平チューブの各々に流体アクチュエータを接続すると、特にセンサや弁を装備しなくても、内圧の変化に応じて自動的に ON-OFF 駆動を生成することができ、著しく簡便な流体駆動システムを構築することが可能となる。

以上述べた 3 件の研究例は水道圧駆動のアクチュエータと弁である。一方、高圧域における水圧の新しい応用分野への展開も行っている。その一例として水圧の高出力と環境親和性を生かし、直下地震の垂直揺れ

が吸収可能な一戸建て家屋の能動型水圧駆動免震装置がある⁵⁾。この装置には、筆者の研究室ですでに開発した PWM 制御が可能な水圧高速電磁弁⁶⁾を用いる。このシステムの実現可能性についてはシミュレーションによって確認しており、現在その実現を目指している。

6. おわりに

本稿では、平成 18 年度に行われた水圧分野の研究動向について述べた。この年は直接水圧に関連する国際会議があまりなかったため研究発表数は少なかったものの、水圧システムの研究は多方面で着実に進められており、近い将来、産業界にとっても生活者にとっても水圧駆動技術は重要で身近な物になるものと期待される。

参考文献

- 1) 中島・落合・伊藤・池尾：水圧用ロジック弁の切換え特性，平成 18 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp76～78 (2006)。
- 2) 宮崎・藤田・田中・中田：ポンプ制御形低水圧アクチュエータ，平成 18 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp37～39 (2006)。
- 3) 伊藤・高橋・池尾・高橋，外乱オブザーバ併用型スライディングモード制御による水圧モータ制御系の設計，平成 18 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp19～21 (2006)。
- 4) 社団法人 日本フルードパワー工業会，水道配管網圧力を利用した次世代型ユニバーサルアクアドライブシステム (UniADS) の開発に関するフィージビリティスタディ報告書，(2006)。
- 5) 留・北川：直下地震の垂直揺れが吸収可能な一戸建ての能動型水圧駆動免震装置の提案，平成 18 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp91～93 (2006)。
- 6) S-H Park, A Kitagawa, M Kawashima : Water Hydraulic High-Speed Solenoid Valve. Part1: Development and Static Behaviour, Proc. I. Mech. E. Vol.218 Part I: Journal of Systems and Control Engineering, pp399-409 (2006)。

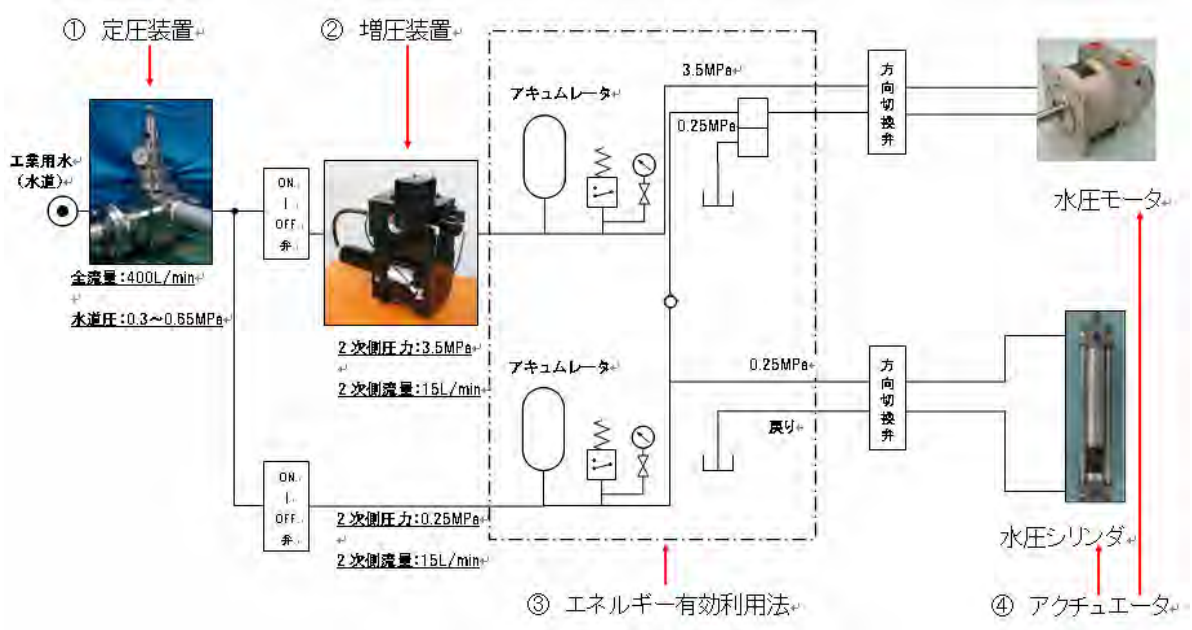
著者紹介



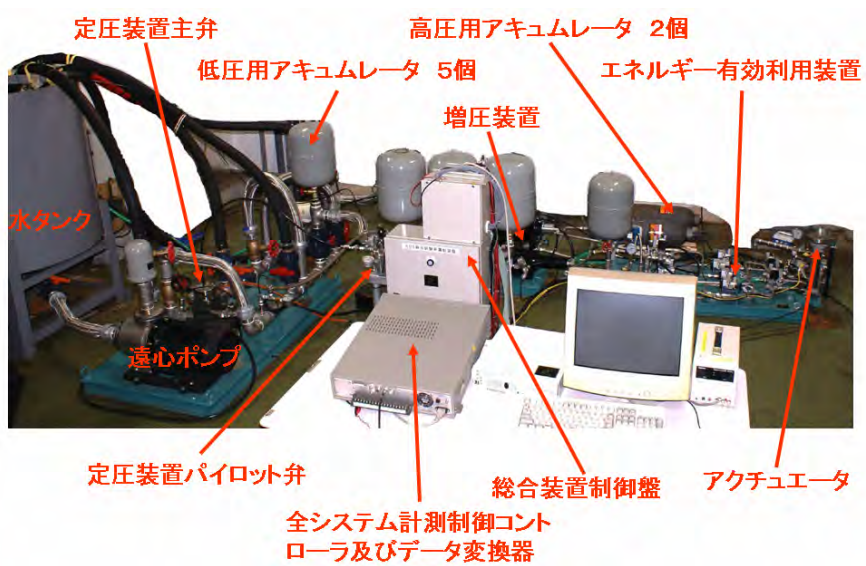
きたがわ あとう

北川 能 君

東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻教授，流体制御，流体駆動ロボット，生体協調流体システム等の研究に従事。日本フルードパワーシステム学会・日本機械学会・計測自動制御学会等の会員，工学博士。



a) 全体図

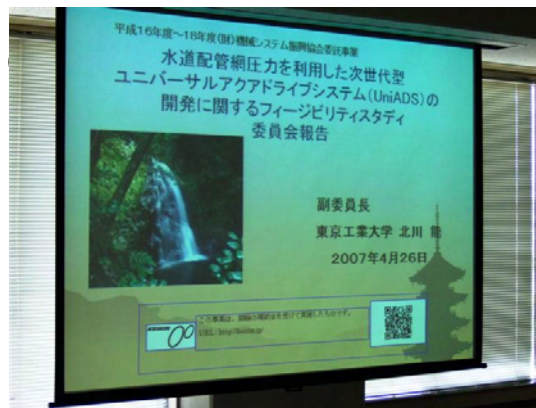


b) 装置写真

図1 UniADS の構成



a) 山口委員長の冒頭挨拶



(b) 筆者の成果報告

図 2 UniADS 成果報告会の写真

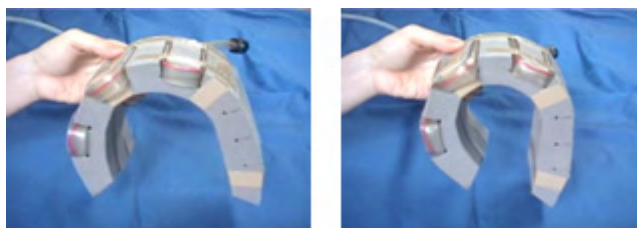


図 3 アクアハンド



図 4 開発した手動式指圧制御弁

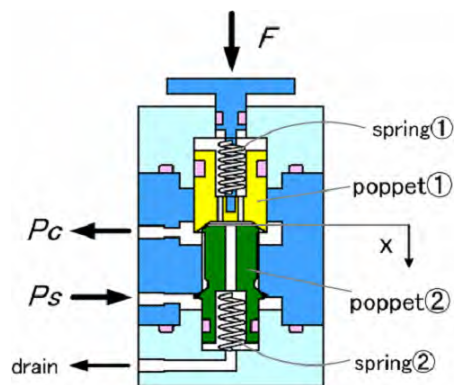


図 5 手動式指圧制御弁の動作原理図