

解 説

平成 15 年度の空気圧分野の動向*

藤田 壽憲**

* 平成 16 年 7 月 5 日原稿受付

** 東京電機大学 工学部, 〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2

1 はじめに

本稿では、日本フルードパワーシステム学会が主催する春季と秋季講演会の講演論文集、および論文集に掲載された論文から、また国外については平成 15 年 8 月にイタリアで開催された第 7 回の流体の計測制御と可視化に関する国際会議 (7th FLUCOME '03) の Proceedings にある論文から、平成 15 年度における空気圧分野の研究動向を調べ述べる。2 章では多くの研究者のグループが取り組んでいる現在において研究の大きな流れにある研究を取り上げ、3 章ではそれ以外のオリジンリティあふれる研究について紹介する。また企業における技術動向についても、空気圧機器や空気圧に関連した新製品情報から探り、4 章に技術動向として併せて述べる。

2. 全体的な研究動向

地球温暖化ガスの排出削減から再燃した空気圧システムの省エネルギーへの要求は、製造された圧縮空気のうちシリンダ駆動で消費される量は意外と少なく、これよりもダスト除去や乾燥のためのエアブロー、ならびに配管からの空気漏れ量が多いとの認識が広がったことから、空気圧シリンダ駆動以外の部分に移っている。これに伴い、空気消費量を減らす駆動法の技術開発や研究は、藤澤ら¹⁾など、いくつかは継続されているものの、一段落した感がある。現在の課題は、日本独自の空気圧機器の流量特性測定法・表示法を国際規格にまで発展させることであり、この取り組みに関する研究が春季・秋季の講演会で数セッションを占めるなど企業・大学とも活発であった。例えば、妹尾ら²⁾や寺島ら³⁾などは、国際規格の表示法で表せない速度制御弁や管路、絞りが直列に接続したときの流量特性を、新たなパラメータを導入し拡張した形で表示する方法の有効性を調べ、その有効性を示している。また、黒下ら⁴⁾や川嶋ら⁵⁾は、流量計を用いずに、図 1 の測定装置を用いて機器を通して容器に空気を充填したときの圧力応答を計測し、それを直線と正弦曲線に最小二乗近似させたときのパラメータから流量特性を計測する手法が研究されている。その完成度から、これらの成果が、国際規格として提案される日も近いと思われる。

また空気圧の有する柔らかさを活かした新たなソフトアクチュエータを開発し、それを介護・福祉機器などに応用していこうとする研究も引き続き盛んであった。塚越ら⁶⁾は、先に提案された加圧すると、湾曲動作が生じるアクチュエータに、図 2 a) の構造のように遊星ギアを取り付け、ワイヤ変位に拡大して双方向の高トルクを発生させることに成功している。同図 b) のように肩・肘の複関節への着脱も簡便に行える構造であり、手足に障害ももつ老人の動作支援や介護などのパワーアシストの実現に近づけている。このアクチュエータは断面が予め潰れた状態で螺旋状に巻いたチューブの所定の位置に形状変化を拘束する部材を取り付けた螺旋状空圧アクチュエータを、遊星ギアを用いてワイヤ変位に拡大して高トルクを発生させている。櫛ら⁷⁾は、先に開発したシリコン外殻型発泡ゴムアクチュエータの変位を拡大するために、内部のスポンジをくり抜いた構造に見直し、さらにゴム材料の検討も行っている。同時に床ずれ防止マットに応用することを目的として、これに必要な位置と力の制御性能について明らかにしている。その他、ソフトアクチュエータではなく、直接、空気圧シリンダを用いた介護・福祉機器に関する境野ら⁸⁾や及川ら⁹⁾などの研究も見られた。

現在、文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクトが進められているところであるが、震災時や災害現場では、通常の電力供給が見込めないことから、一部で空気圧を利用したロボットの開発が進められて

いる．図3 a) は，そのひとつであり，建設機械を遠隔操縦するためのロボットである¹⁰⁾．操作者は建設機械に取り付けたカメラの映像を見ながらロボットに位置指令を与えるが，建設機械のレバーの反力をフィードバックすることで操作性の向上が期待できる．そこでマスタスレーブシステムを構築し，それについて調べている．マスタアームにも，やはり図3 b) のようにゴム人工筋が採用され，容易な力制御とアームの著しい軽量化を可能としている．これによりロボットは簡素化され，アームの重量と建設機械への取り付け時間は半分以下となっている．また震災で崩れた瓦礫の中の不整地を踏破して，被害状況を把握したり，被災者を発見したりする目的のレスキューロボットも開発され，障害物を回避する際には空気圧シリンダによりロボット跳躍させている¹¹⁾．より高い走破性を実現するためには，少ない圧縮空気でも，より高く跳躍させる必要があるが，空気圧シリンダの挙動とロボットの運動を解析することにより，従来に比べ60%ほど跳躍高度を向上させている．

3．個別の研究動向

上述以外の研究動向を次に述べる．空気圧システムはヒューマンインターフェイスに優れていると言われるが，その特性を生かして図4のように指先に力覚を提示する装置の研究も行われている¹²⁾．生体組織の粘弾性特性を模擬した場合の有効性が検証されており，将来的にはしこりの判別など医療現場における触診の訓練システムの応用が考えられているようである．空気圧の使用を制限する要因として空気圧源の問題がある図5はドライアイス昇華させることにより人間に携帯できる程度のサイズと重量の圧力源を可能としたものである¹³⁾．0.4[MPa]の圧力を0.5[Nl/min]の流量で2～3時間も供給可能であるという結果が示されている．この結果は，空気圧源の問題を一気に解決できる可能性があり，福祉機器などのウェアラブルアクチュエータや，レスキューロボットなどに見られる移動ロボットへの応用が大いに期待される．圧電素子は高速であるが変位量が小さい欠点があり，単純に弁体を駆動するだけではシリンダなどの駆動は困難である．そこで細田ら¹⁴⁾は圧電素子にバネとマスを取り付け，圧電素子により打撃力を連続的に発生させ，弁体を跳躍動作することにより弁の変位量を増大させるオンオフ弁が提案され，実際にシリンダが駆動可能であることが示されている．

これまでのように空気圧サーボに関連した研究も引き続き多く存在し，制御手法に適応制御を用い性能向上を図った研究が見られた¹⁵⁾．また近年，空気圧サーボの実用化例が増えているが，その際に問題となるサーボアクチュエータの発熱量や消費流量に関する基礎的な研究もみられた．消費流量については図6のように，サーボ系の極を決める α と β との間に相関があることが明らかになり，極を決めるとステップなどの入力に対する消費流量を図表から求める方法が示されている¹⁶⁾．光-空気圧変換素子の研究も柴田ら¹⁷⁾など継続されており，光素子の駆動方法を見直したり，動特性を特定する要因を明らかにしたりすることにより性能の改善を試みている．また空気圧と電動アクチュエータを組み合わせることにより，空気圧の高出力と電動の高精度を実現するハイブリッド型アクチュエータでは，それぞれをどのように制御すればよいかという問題が出てくるが，糸賀ら¹⁸⁾などのように今年度はこの問題点に取り組んだ研究が中心であった．

国外については多種多様な研究が見られた．韓国の釜慶大学の張らは図7のように2本のシリンダを用いて位置と力を同時に制御する手法について研究を行っている¹⁹⁾．このように対象や目的に合わせた制御手法の確立や，高度で知的な制御手法を適応する研究がいくつかみられた．またイタリアのトリノ工科大学のグループではゴムを用いた弾性アクチュエータに関する研究が行われており²⁰⁾，図8は，そのひとつであり，長さ方向の一辺に薄板を取り付けることにより変形に方向性を持たせ，果実を収穫するハンドに応用している．フィンランドのラッペンランタ工科大学のPessiらは，汎用のメカニカルシミュレーションソフトのADAMS上に空気圧機器の要素を構築して，その有効性を検証している²¹⁾．汎用ソフトウェアの利便性はますます向上しており，他の国際会議でも類似の研究が見受けられ，今後は異種ソフト間の連成解析の手法など，その利用技術に関する研究も重要性を増すものと思われる．これら以外にも，まだまだ注目すべき分野や研究もあったがページの関係で割愛する．春季と秋季の講演会だけではあるが，それらの概要が当学会誌の34巻4号290頁からと6号444頁からにまとめられているので参考とできる．

4．企業の技術動向

ここ一年の空気圧機器各社の新製品を概観してみると、フィールドバスへ対応した電磁弁のシリーズ化、省エネ・省スペースに対応したチューブとフィッティングの小型化といった動きは共通して見られるもの、従来からの製品の発展上にあり特に目立ったものはなかった。ただMEMS技術を応用した超小型の流量センサが春季講演会の製品・技術紹介セッションで発表されたのが印象に残った²²⁾。この流量センサの核となるのはMEMS技術を用いて製作された図9のセンサチップであり、これにより真空による部品の吸着確認を、従来の圧力センサに比べ著しく高速に、しかも正確に行えるようになったという。MEMS技術は、搬送・組立部品のマイクロ化に対応した新しい空気圧システムの構築にもつながる可能性もあり、空気圧システムが一変することを予感させる。

一方、90年代後半より実用化されてきた空気圧サーボに関しては、さらに素晴らしい性能を持つものも出てきた。図10のその空気圧サーボはピストンを静圧軸受により浮上させ位置と荷重を制御する機能を有するアクチュエータであり、50[N]の定格荷重に対して1/100以下の高い荷重精度と、 $\pm 5[\mu\text{m}]$ という驚くべき位置決め性能を達成している。制御指令もサーボモータ感覚で簡単に行えるようで、半導体製造装置関連に採用が決まっているという。空気圧システムの新たな領域を開拓できる技術として高く評価できる。

5．まとめ

平成15年度の研究動向のキーワードは流量特性計測、福祉・介護機器、レスキューロボットであった。空気圧の福祉・介護機器やレスキューロボットへの応用は、ここ数年の動向であるが、これまで活発であった省エネルギーに代わりに、国際規格に関連して流量特性計測が加わった形となった。技術動向では従来の技術に加え、少数ではあるがMEMS技術の応用製品など革新的なものが出来た。研究動向でも、萌芽的ではあるが、従来とは異なる研究分野が見られ、今後はそれらの発展の動向が注目される。

なお原稿作成に際し、電子データをご提供いただいた沼津高専・黒下先生、東京工業大学・塚越先生、川嶋先生、岡山大学・高岩先生、CKD・野澤氏、住友重機械工業・榊氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤澤，小山，吉満：空気圧シリンダにおける空気回生回路の効果，平成15年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 122/124.
- 2) 妹尾，張，小根山：空気圧機器の流量特性に関する研究，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 105/107.
- 3) 寺島，最上，小根山：空気圧機器の流量特性評価法について，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 99/101.
- 4) 黒下(幸)，田代，黒下(清)：充填法による大気放出空気圧機器の流量特性の測定，平成15年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 92/94.
- 5) 川嶋，石井，船木，香川：等温化圧力容器を用いた充填法による空気圧機器の流量特性計測法，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 34, No. 2 (2003)，pp. 34/39.
- 6) 塚越，鎌田，北川：身体への簡易着脱式棒状アクチュエータ：Tail-armの開発，平成15年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 65/67.
- 7) 櫛，早川，森下：シリコン外郭型発泡ゴムアクチュエータを用いた床ずれ防止マットの開発のための基礎研究，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2002)，pp. 126/128.
- 8) 境野，眞田：パワーアシスト椅子のリンク機構の最適設計に関する研究，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol. 35, No. 2 (2004)，pp. 23/29.
- 9) 及川，飯村，佐々木，金，加藤，濱：空気圧を利用した歩行支援装置の試作，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 81/83.
- 10) 佐々木，宮田，川嶋，香川：空気圧ゴム人工筋を用いたマスタスレーブシステム，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 87/89.
- 11) 塚越，田中，北川：跳躍・回転移動体の開発 - 第6報：跳躍高度を高める足先構造 - ，平成15年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 84/86.
- 12) 高岩，則次：空気式指先力覚提示装置を用いた対象物の弾性特性認識，平成15年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2003)，pp. 59/61.

- 13) 北川, 塚越, 呉, 朴: 固気相変化を利用した新形携帯空気圧源の開発, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 123/125.
- 14) 細田, 大内, 長田: 積層形圧電アクチュエータの連続跳躍動作を利用した空気圧オンオフ弁によるシリンドラの微小駆動, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 141/143.
- 15) 生井, 川上, 糸川, 中野: 空気圧サーボ系性能改善への試み, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 129/131.
- 16) 藤田, 宮島, 川嶋, 香川, 榊, 佐々木: 空気圧サーボシステムの消費流量, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 144/146.
- 17) 柴田, 中田: 光 - 空気圧システムの制御に関する研究, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 114/116.
- 18) 糸賀, 中田, 桜井, 田中: 電気・空気圧複合駆動システムの制御, 平成 15 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 120/122.
- 19) K. W. Kim and J. S. Jang : Position and Force Simultaneous Control of a Pneumatic Cylinder Driving System, Proceedings of the 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FULCOME), (2003), CD-ROM(ISBN 0-9533991-4-1)
- 20) M. Carello, C. Ferraresi, and C. Visconte : A New Flexible Pneumatic Finger for a fruit-Harvesting Hand, Proceedings of the 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FULCOME), (2003), CD-ROM(ISBN 0-9533991-4-1)
- 21) P. Pekka and R. Asko : Modelling of Penumatic Systems Utilizing Different Mass Flow Modelling Methods, Proceedings of the 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FULCOME), (2003), CD-ROM(ISBN 0-9533991-4-1)
- 22) 伊藤: 超小形流量センサの製品紹介, 平成 15 年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, (2003), pp. 153/154.

著者紹介



ふじた としのり

藤田 壽憲君

金沢大学大学院修士課程修了。その後、金沢市技術員、石川職業訓練短期大学校講師、東京工業大学助手を経て、2002 年より東京電機大学工学部助教授となり、現在に至る。その間、流体計測・制御(主に空気圧)の教育・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、計測自動制御学会などの会員。博士(工学)。

email : tfujita@cck.dendai.ac.jp

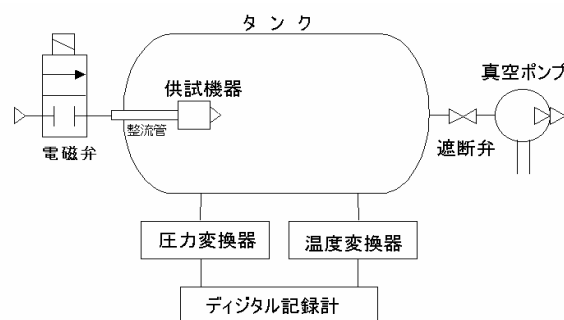
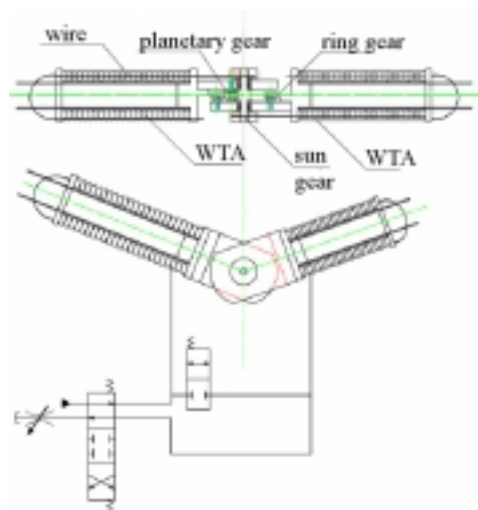
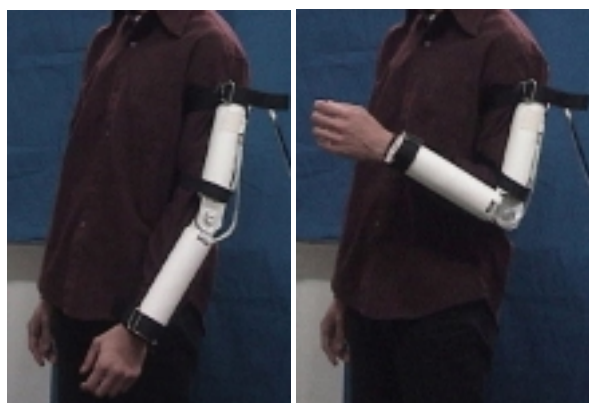


図 1 充填法による空気圧機器の流量特性測定装置⁴⁾

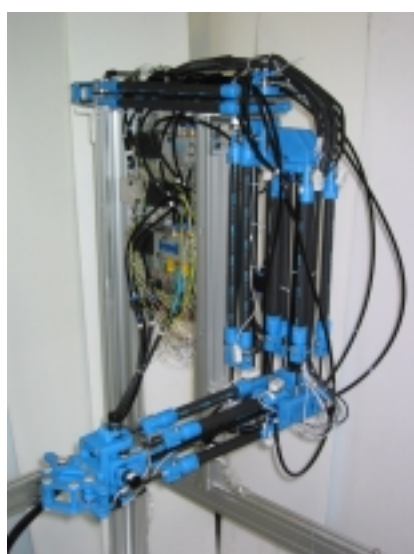


(a) Tail-arm の構造



(b) 身体への装着時の状態

図2 身体への簡易着脱式棒状アクチュエータ：Tail-arm⁶⁾

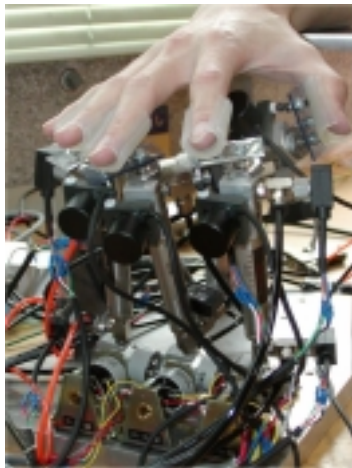


(a) 空気圧ロボットアーム

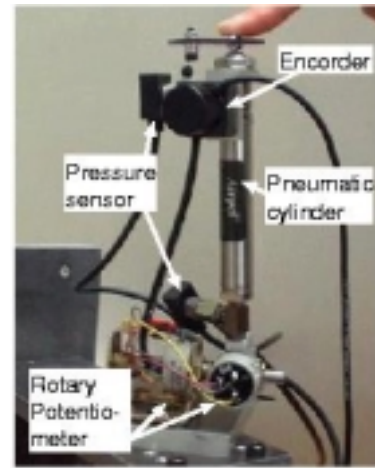


(b) マスターアーム

図3 空気圧ゴム人工筋を用いたマスタスレーブシステム¹⁰⁾



(a) 装置全体



(b) 提示ユニット

図4 空気式指先力覚提示装置¹²⁾

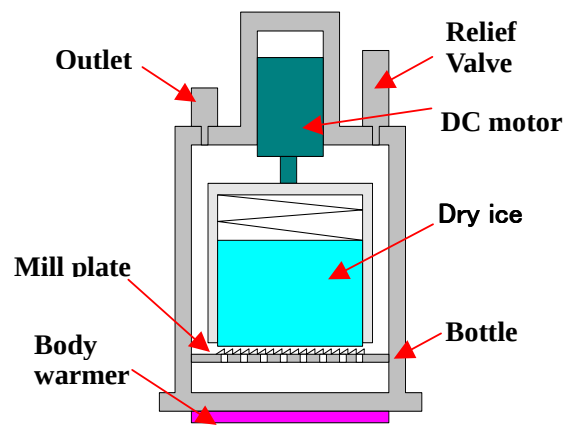


図5 固気相変化を利用した携帯型空気圧源¹⁰⁾

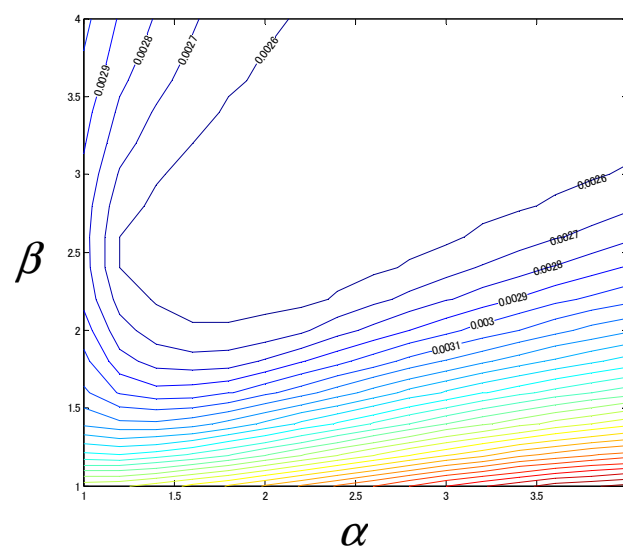


図6 空気圧サーボ機構の消費流量¹⁶⁾

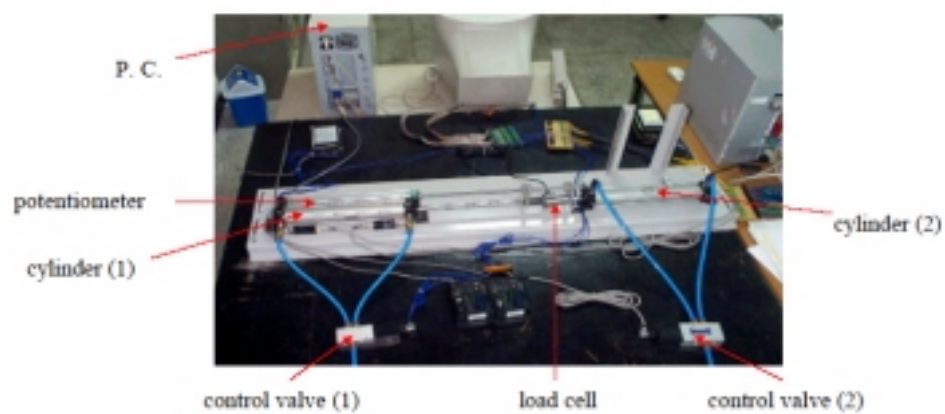


図7 位置と力を同時に制御する実験装置¹³⁾



図8 弾性体空圧アクチュエータ果実収穫用ロボットハンドへの応用²⁰⁾

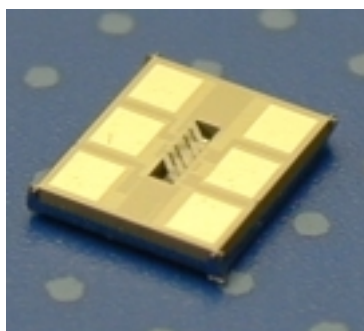


図9 MEMS 技術を応用した流量センサチップ²²⁾



図 10 高精度位置決め・荷重制御を実現した空気圧サーボアクチュエータ