

## 随 筆

# SMC 賞を受賞して\*

門田和雄\*\*

\*平成 22 年 5 月 31 日原稿受付

\*\* 東京工業大学附属科学技術高等学校，〒108-0023 東京都港区芝浦 3-3-6

## 1. はじめに

この度、日本フルードパワーシステム学会の SMC 賞を受賞させていただき、たいへん光栄に思うとともに、学会創立 40 周年記念式典において表彰を受けたことに対して、たいへん身の引き締まる思いである。ここに関係各位に謹んでお礼を申し上げたい。本稿では、今回の受賞対象になった論文「等温化した空気圧ゴム人工筋の体積からの収縮率推定」内容の概要を述べるとともに、この間の研究生活について述べたいと思う。

## 2. 空気圧ゴム人工筋の基礎特性について

空気圧ゴム人工筋は、柔軟性もち質量対出力比が高いことから、パワーアシストロボットなどへの適用が増加している。本研究においても、これをパワーアシスト用のロボットアームに適用することを目的として研究を進めた。空気圧ゴム人工筋の基礎的な特性として、圧力と収縮率との関係においては空気の充填時と放出時において、大きなヒステリシスが発生することが知られており、本研究においても最初にこのことを確認する実験から開始した。実験装置の概要を図 1 に示す。種類の負荷において実験を実施した結果、いずれの負荷においてもヒステリシスが見られ、これは空気圧ゴム人工筋のゴム特性に起因するものと考えた。このヒステリシスは、空気圧ゴム人工筋をロボットアームに適用してその圧力から収縮率を推定しようとしたときに、空気の充填時と放出時で異なる値を示すことを意味する。逆にいうと、充填時と放出時においてヒステリシスを伴うことなく圧力と収縮率の関係を推定できれば、この関係を用いてある圧力におけるロボットアームの変位や角度を推定できることになる。一般的には、ロボットアームの角度を知りたいときには関節部分にロータリーエンコーダなどを用いるが、空気圧ゴム人工筋に充填・放出する空気に関する圧力や流量などの物理量からそれを推定できれば、ロボットアームの関節部のセンサレス化が実現でき、関節部の防塵・防水化にもつながる。

そこで、本研究では、圧力や流量などの物理量の測定から空気圧ゴム人工筋の収縮率の推定ができないかを検討し、空気圧ゴム人工筋の体積と収縮率の関係を求めた結果、空気の充填時と放出時で負荷の大きさによらず両者がほぼ一意の関係を表すことができたため、この関係を用いて空気圧ゴム人工筋の収縮率推定を行った。なお、最初の実験における体積測定は各圧力、各負荷において、ノギスを用いて空気圧ゴム人工筋の外径を測定した。

## 3. 空気圧ゴム人工筋の体積からの収縮率推定

空気圧ゴム人工筋の体積と収縮率の関係にヒステリシスがないことがわかったとしても、毎回その外径をノギスで測定しているようでは実用的ではない。そのため、空気圧ゴム人工筋の体積を、その初期体積や圧力、また空気圧ゴム人工筋に流し込む空気の流量などから求める関係式を導いた。この関係式を用いれば、圧力と流量を測定することにより、空気圧ゴム人工筋の収縮率を推定できることになる。本提案手法を模式図で表したものが図 2 である。

ここで、圧力は汎用の圧力センサで測定できるが、流量をどのように測定できるかが問題になったが、本研究室では双方向の流量測定が可能な層流型高速応答流量計を開発していたため、これを活用することで、流量を精密に測定することができた。

以上のような方法を用いて、空気圧ゴム人工筋の体積からの収縮率推定を 3 種類の負荷(1.25kg, 2.50kg, 5.00kg)に対して、3 種類の最大流量(5, 7, 10L/min)それぞれについて、充填・放出の実験を実施した。図 3 に負荷が 5.00kg の場合の流量の時間応答波形を示す。しかし、この実験ではヒステリシスが発生してしまった。この原因は充填・放出において、空気圧ゴム人工筋内に温度変化が生じており、体積の推定が正しく行われていないのではと考え、空気圧ゴム人工筋の内部に線径 50 $\mu$ m の銅線を単位体積あたり 300kg/m<sup>3</sup>となるように封入し、等温化を行った。その結果、つぎに行った実験ではヒステリシスが見られなくなった。負荷 5.00kg において等温化を行った場合の体積と収縮率の関係を図 4 に示す。

そこで、この関係をロボットアームでの関節角度の推定に用いて実験を行った。ロボットアームの関節部には推定値との比較を行うため、ロータリーエンコーダを取り付けて角度を測定した。ロボットアームの先端部に 2.50kg と 5.00kg のおもりを取り付けて、流量 5L/min で空気を 20s 充填した後に放出する実験を行った結果、図 5 に示すように測定値と推定値の差は最大でも 2deg 以内であるという結果が得られた。実験に用いたロボットアームの写真を図 6 に示す。本結果より、等温化した空気圧ゴム人工筋の体積からの収縮率推定が可能であるとの結論が得られた。

#### 4. 研究生活について

私が空気圧機器に出会ったのは、平成 9 年に日本機械学会の百周年記念で開催されたロボットコンテストに本校機械科の生徒たちが出場したときに、この大会を運営していた東京工業大学の研究室の方に、電磁弁で空気圧シリンダを動かすことを教えていただいたときである。このとき箱をつかんで持ち上げるという課題に対して、電気モータの回転運動ではなく、強力な直線運動を直接取り出すことができるアクチュエータである空気圧シリンダを用いることにとっても魅力を感じた。

その後、直接往復運動を取り出すことができる空気圧シリンダのメリットを活かして、鍵盤ハーモニカやリコーダなどを用いた自動演奏ロボット、紅茶や味噌汁などの自動食品製造機を生徒たちと共に開発してきた。本研究に取り組むきっかけとなったロボットに柔軟性のある動きをさせるための空気圧ゴム人工筋は、初期の頃は自転車のチューブにたこ糸を巻き付けて手作りで作成していた。その後、より高性能な空気圧ゴム人工筋を使用して建設機械の操縦や手術ロボットなどを開発している研究室が東京工業大学にあるということで、香川・川嶋研究室を訪問させていただいたのが 4 年前のことである。この出会いがご縁となり、平成 19 年度の 4 月から 3 年間、香川・川嶋研究室に社会人博士課程の学生としてとして入学させていただき、本研究を含めた空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストロボットの研究に取り組んできた。

この 3 年間は、本務である東京工業大学附属科学技術高等学校での業務も特に免除されているわけではなかったもので、時間のやり繰りに苦労する日々であった。当初は研究室があるすずかけ台キャンパスで実験を行っていたのだが、時間の都合上、勤務先である田町キャンパスで実験を開始するにあたっては、アナログ入出力ボードのセッティングや流量計の使い方など、わからないことだらけで苦労した。そんなときにわざわざ出向いていただいた指導教員の先生方や研究室の皆さんには感謝の気持ちで一杯である。

田町キャンパスで学ぶ機械系の高校生たちは、流体力学や機械制御の授業で空気圧システムを学び、空気圧を用いたさまざまなものづくりに取り組んでいる。3 年次になると大学の卒業研究にあたる「課題研究」とよばれる科目があり、空気圧機器を用いた研究に取り組むグループも毎年 2~3 つはある。週 4 時間ある通常授業内での研究はもちろん、放課後、エアコンプレッサーのスイッチを作動させることから活動をはじめ元気な高校生たちに刺激を受けながら、私自身も何かしら本研究を継続・発展できるような取り組みができればと思う。

#### 5. おわりに

空気圧の研究室に出入りさせていただくようになってからは、空気の圧力や流量などを精密に測定することが難しいということを実感する日々の毎日であった。さらに、その測定値を用いてフィードバック制御ができるようになるまでは、さまざまな苦労が続いた。しかし、少しずつイメージしていたデータがきれいに測定できるようになり、適切な制御を行うことができるようになるにつれて、研究がおもしろく感じるようになってきた。その成果が評価され、SMC 賞の授賞式やその後の懇親会では、これまで学会誌や参考文献で

お名前を存じ上げていた先生方と実際にお会いして、さまざまなお話をうかがうことができる貴重な機会を得られたことは、とても嬉しいことである。

本論文を執筆するにあたり、丁寧なご指導をいただきました東京工業大学精密工学研究所の香川利春教授と川嶋健嗣准教授に、この場をお借りして深く感謝申し上げたい。

### 著者紹介



かどた かずお  
門田 和雄 君

1991 年東京学芸大学教育学部技術科卒業，1993 年同大学院教育学研究科修士課程（技術教育専攻）修了．2010 年東京工業大学総合理工学研究科博士課程（メカノマイクロ工学専攻）修了．現在，東京工業大学附属科学技術高等学校機械システム分野教諭．機械技術教育の実践と研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，日本ロボット学会などの会員．博士（工学）．

email:kadota@hst.titech.ac.jp

URL: <http://www1.hst.titech.ac.jp/~kadota/>

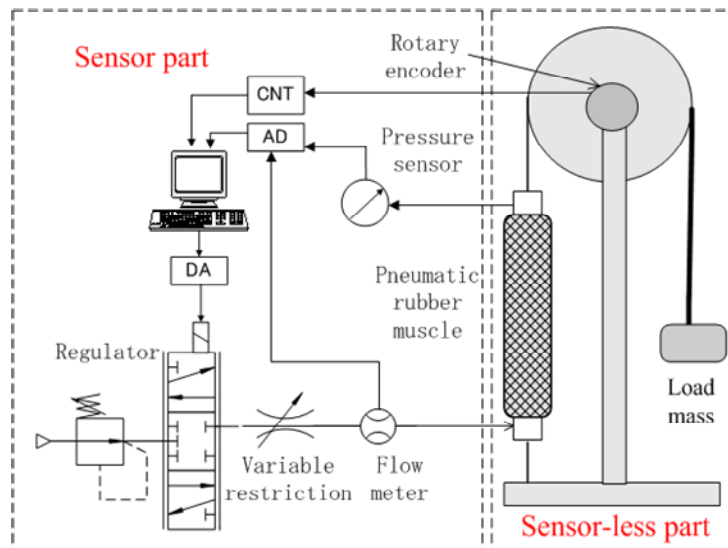


図 1 Experimental apparatus

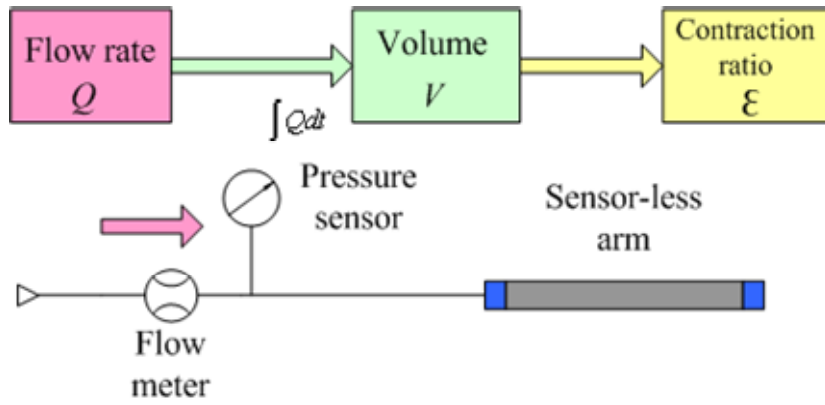


図 2 Schematic diagram of the proposed method

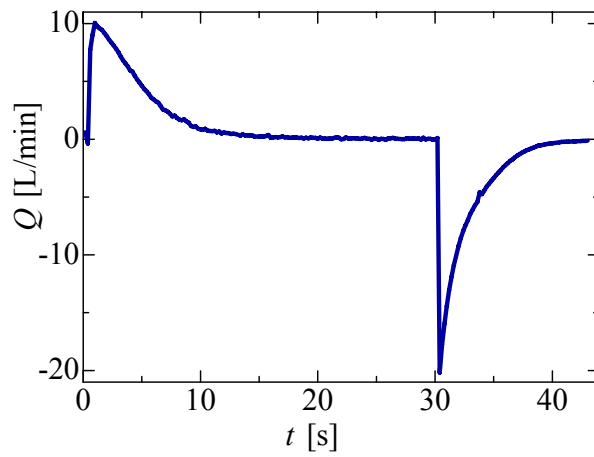


図 3 Example of time response wave of time

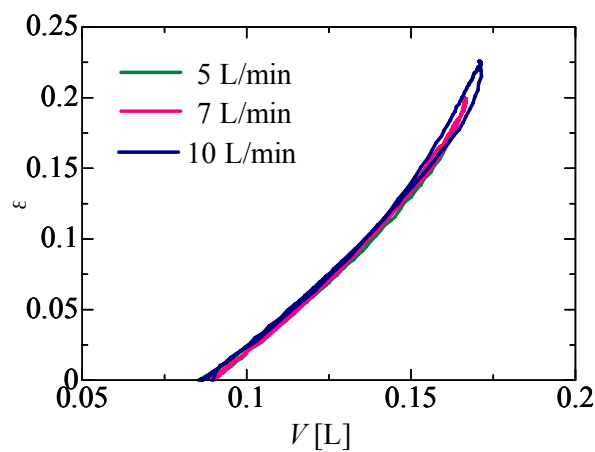


図 4 Experimental results of estimated volume vs. contraction ratios(Load mass 5.00kg isothermal)

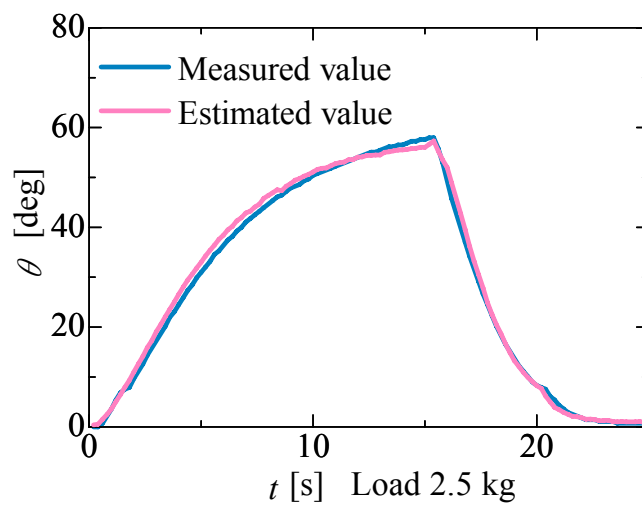


図 5 Experimental results of measured value - estimated value

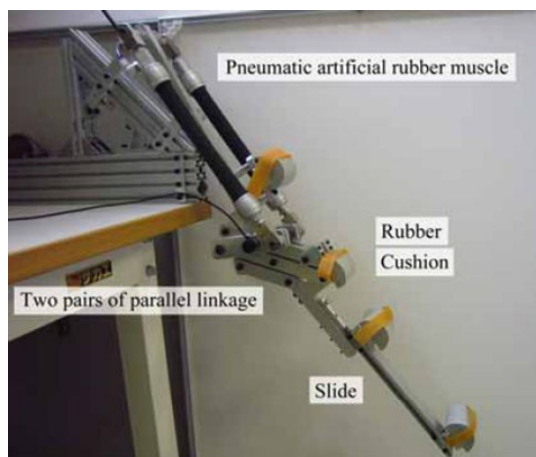


図 6 Picture of the robot arm