

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760207

研究課題名(和文) マイクロ流体回路を用いた空気圧アクチュエータ制御による自律ロボット駆動系の開発

研究課題名(英文) Drive system of pneumatic actuators for autonomous robot using microfluidic circuit

研究代表者

川合 健太郎 (Kawai, Kentaro)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90514464

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロ流体回路を構成する素子として、スライドバルブを用いたノーマリークローズ型マイクロバルブを開発した。減圧弁機能としては、MEMS圧力センサを組み込み、フィードバック方式でスライドバルブを高速に切り替えることで圧力調節を実現した。流体回路を電子回路で用いられるデジタル回路として構成することで、演算機能を持たせることも実現した。電気信号によるシリアル入力を、マイクロ流体回路内をデマルチプレクサとして構成することで、並列的な動作を必要とする人工筋に対しパラレルな出力が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Normally-closed slide valve of type was developed for directional control valves as a component of microfluidic circuit. Reducing valve is realized by integrating MEMS pressure sensor into microfluidic circuit and fast switching with feedback control. Parallel output of pneumatic actuators from electrical serial input was obtained by demultiplex-type microfluidic circuit.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス 流体回路 空気圧アクチュエータ 方向制御 マイクロバルブ

### 1. 研究開始当初の背景

ロボット産業は、急速に進む少子高齢化による労働力の減少や作業負荷の増大への対応するため、サービス業等の第三次産業への発展が見込まれている。市場規模は、第二次産業である製造分野が80%以上を占める現在の1兆円から、2035年には約10倍の9.7兆円(うちサービス分野が50%)まで成長すると予測されている(経済産業省・NEDOによるロボットの将来市場予測：平成22年)。このようなサービス分野へ用いられる次世代型ロボットの特徴として、人の身近で働いても安全であること、軽量・小型・高トルクであること、耐久性が高いこと、自然な挙動に近いことが挙げられる。現在ロボットに駆動力を与えるアクチュエータとしては主に電気モータ、油圧、空気圧の3種類が用いられているが、このうち空気圧駆動は従来の人型・動物型ロボットで多用されてきた電気モータに比べて重量に対する比出力に優れ、軽く、力強いロボットが実現できる。また、アクチュエータに伸縮性があるので動作異常時のロックがなく、フェイルセーフ性も高い。さらに部品が安価で交換・保守のメンテナンスも容易など、次世代型ロボットとして求められる駆動系として最適である。一方で、現状において国内外で開発されている空気圧駆動ロボットは、動力として空気圧アクチュエータを用いるロボットの開発やその動作制御についてであった。これらはアクチュエータ動作のため空気圧の制御に使用するレギュレータや、圧力印加の制御に用いられるバルブなどの空気圧部品を多数搭載せねばならず、次世代型ロボットの要件である小型化や軽量化の障壁となっていた。

### 2. 研究の目的

本研究では跳躍や疾走のような自然な挙動を行う動物型・人型ロボットを実現するため、半導体微細加工技術により作製されるマイクロ流体回路によって駆動流体を制御するシステムを構築する(図1)。従来では空気圧駆動に用いられていた減圧弁(レギュレータ)、方向制御弁(バルブ)の機能を小型化・集積化したマイクロ流体回路を開発することで、小型のロボットでもアクチュエータの動作に必要な空気圧駆動系の搭載が可能となる。マイクロ流体回路はソレノイドアクチュエータを介して電氣的に制御を行う。ノーマリーオープン型のバルブでは、マイクロバルブの開閉動作時に、バルブを閉じた状態を維持する消費電力が大きくなってしまいうため、ノーマリークローズ型のマイクロバルブを開発する。マイクロ流路はロボットに搭載する必要性から脆性材料であるシリコンやガラス、変形材料であるゴム等ではなく、樹脂材料で作製する必要があり、樹脂への流

路構造作製と、流路構造を密閉・積層するための接合の研究を行う。空気圧アクチュエータを多数同時に制御する動作実証を行う。

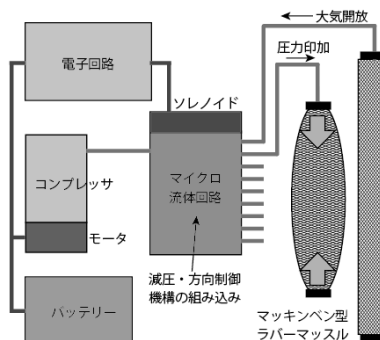


図1 マイクロ流体回路による駆動システム構成図

### 3. 研究の方法

ノーマリークローズ型のマイクロバルブは構造が複雑となるために多層接合により3次元的な素子構成にすることでこれを実現する。ソレノイドとばね構造の組み合わせによって、方向制御弁だけでなく減圧弁機能を実現する(図2)。

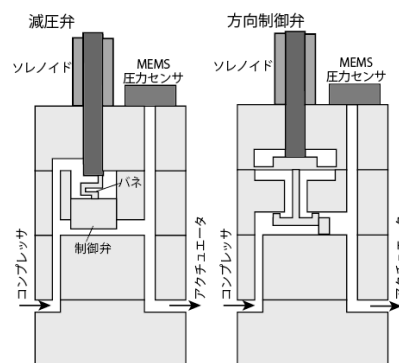


図2 ノーマリークローズ型マイクロバルブの模式図

樹脂の接合はマイクロサイズの構造体を持つ本研究の場合、高温での接合が行えないためガラス転移点付近の低温接合を行う。複数の樹脂基板をアライメントし、一括で接合するため、樹脂材料に近紫外光の照射と薬品による表面処理を行い、表面のマイクロ構造を保ったまま高圧の空気に耐えるマイクロ流体回路の作製を行う。

各素子同士を回路として多数集積化したマイクロ流体システムの構築を行い、ソレノイドへの電気信号を制御するプログラムとして、Lab-view と FPGA(Field-Programmable Gate Array)を用いた動作の制御を行う。

### 4. 研究成果

当初は縦型のノーマリークローズ型バルブを作製する予定であったが、高圧に対するリークの問題からスライドバルブに構造を変更した。作製プロセスは図3の通りである。

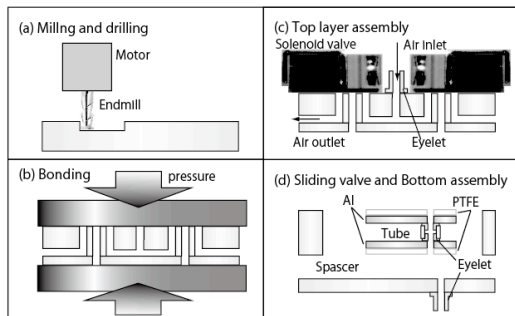


図3 ノーマリークローズ型スライドバルブの作製プロセス

ノーマリークローズ型スライドバルブはソレノイドバルブとエアシリンダによって滑りの往復動作を行う。すべり面にはPFTEを使用することで摩擦の効果を低減した。リークに対する密着性はスペーサ間のチューブとネジの締め具合によって調節できる仕様となっている。ノーマリークローズ型スライドバルブの特性は図4のセットアップによって検証を行った。

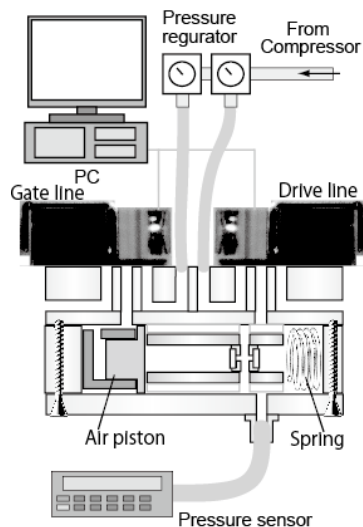


図4 ノーマリークローズ型スライドバルブの実験セットアップ

ノーマリークローズ型スライドバルブのスイッチング特性を図5に示す。ソレノイドバルブに対する信号入力に対し、10~30msの遅れで動作した。立ち下がりはばねにより戻り動作を行っているため、応答がやや遅い傾向が見られた。圧力計測からリーク無くスイッチングできることが確認された。減圧弁機能についても計測を行ったところ、最大で60Hz程度のスイッチングを確認した。より高速なスイッチングのためには戻り動作にも

アクティブな動力を用いるか、強いばねを使うことでスイッチング速度を改善できると考えられる。

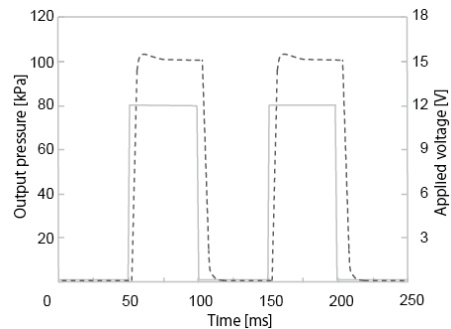


図5 信号入力に対する圧力応答

ノーマリークローズ型スライドバルブを集積化し、図6に示すマイクロ流体回路を作製した。アドレス制御型とデマルチプレクサ型の流体回路を構成した。Lab-viewとFPGAからの外部信号により複数の空気圧出力を並列制御できることを確認した。

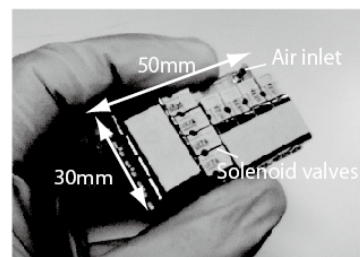


図6 ノーマリークローズ型スライドバルブを集積化したマイクロ流体回路

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

川合 健太郎, 有馬 健太, 森田 瑞穂、「マイクロ流体回路を用いた空圧人工筋高出力ロボットの作製」、2014年度精密工学会春季大会学術講演会、pp.255-256、東京 (2014年3月)

“Efficient and Scalable Liquid Handling in Micro/Nano-fluidic System for biomedical applications”, K. Kawai, J. Uchikoshi, K. Arima, and M. Morita, Abstracts of Collaborative Conf. on 3D & Materials Research (CC3DMR 2013), Jeju, Korea, pp.192-194 (June, 2013). (招待講演)

K. Kawai, J. Uchikoshi, K. Arima, and M. Morita, “Normally-closed valve integration

for pneumatic actuators”, Proc. The 17th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2013), Barcelona, Spain, pp.554-557 (June, 2013). 査読有

川合 健太郎, 打越 純一, 有馬 健太, 森田 瑞穂、「ロボット駆動のためのマイクロバルブ集積化制御回路の開発」、2013年度精密工学会春季大会学術講演会、pp.079-1080、東京 (2013年3月)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川合 健太郎 (KAWAI Kentaro)  
大阪大学大学院 工学研究科 精密科学・応用物理学専攻 助教  
研究者番号：90514464

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：