

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760137

研究課題名(和文) 極細径サーボラバーアクチュエータの開発

研究課題名(英文) Miniature pneumatic rubber actuator with sensor

研究代表者

脇元 修一 (Wakimoto, Shuichi)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：40452560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：空気圧によるラバー構造体の変形を出力として利用するアクチュエータは空圧ラバーアクチュエータと呼ばれ、軽量・柔軟・低価格といった特長を有する。本研究では空圧ラバーアクチュエータへのセンサの搭載、およびアクチュエータの小型化を実施した。軸方向への収縮変位、および湾曲変位を発生する2種類の異なる空圧駆動ラバーアクチュエータを対象とし、各々の小型化に成功するとともに検出原理の異なるセンサの搭載を達成した。

研究成果の概要(英文)：Actuators which use deformation of rubber structure by pneumatic pressure as output are called pneumatic rubber actuators, and in general they have advantages of light weight, flexible and low production cost. In this research, miniaturization and mounting the sensor for the pneumatic rubber actuators have been done. Two kinds of actuators, contracting type and bending type, are focused and mounting the sensor and miniaturization have been achieved respectively.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：空気圧 ソフトセンサ ソフトアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

近年、医療・福祉・バイオ分野などへの機械システムの導入が活発に試みられている。このような分野では生体など脆弱で不定形な物体が対象となるため、従来の剛体から成る機械システムでは安全性が不十分となることが考えられる。

一方でラバー構造体に空気圧を印加し、その際に生じるラバー構造体の変形を利用するアクチュエータは一般に空圧ラバーアクチュエータと呼ばれ、ラバー構造と空気の特性に起因する高い柔軟性を有する他、低価格、軽量といった特長を持つ。このため、高い安全性を実現することが可能であり、上記したような脆弱な物体を対象とする分野での機械システム構築に際して高い有効性を持つアクチュエータと成り得る。

これまでに様々な動作形態の空圧ラバーアクチュエータの開発が実施されている。中でも代表的な動作形態は収縮と湾曲である。前者ではマッキベン型やワルシャワ型といったアクチュエータが開発されており、後者ではニューマチックフィンガやフレキシブルマイクロアクチュエータといったアクチュエータが開発されているほか、研究代表者も2方向湾曲型ラバーアクチュエータと呼ぶ正・負圧により双方向に湾曲が可能なアクチュエータを考案している。

これらのアクチュエータの実用性をより高めるためには、アクチュエータ自体の小型化やソフトセンサの搭載によるスマート化が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、空圧ラバーアクチュエータへのセンサ搭載と空圧ラバーアクチュエータ自体の小型化を目標として実施した。本研究期間ではセンサの搭載と小型化を同時に実現したアクチュエータの開発には至っていないものの、当初計画では、軸方向へ収縮動作を行うアクチュエータのみを対象として実

施する予定であったのに対し、湾曲型のアクチュエータへも対象を広げて研究を実施した。

3. 研究の方法

研究の実施内容は、(1)収縮型ラバーアクチュエータに関する①センサ搭載、②アクチュエータの小型化、(2)湾曲型ラバーアクチュエータに関する①センサ搭載、②アクチュエータの小型化に大別される。以下、これらの実施内容について各々、報告する。

(1) 収縮型ラバーアクチュエータ

①センサの搭載

空気圧の印加によって発生する収縮量を検出するためのセンサを有する収縮型ラバーアクチュエータの開発を行った。図1はアクチュエータの基本構造を、図2はアクチュエータの構成部材を示している。周囲に8つの空間を有するラバーチューブを用い、この空間に樹脂の薄板を挿入し、両端を封止する構造となっている。樹脂薄板上にカーボンフィラーと樹脂バインダーを含有する導電性塗料からなる導電性薄膜を製膜することでセンサとしての利用を試みた。

図3に樹脂薄板に成型した導電性膜と製作した収縮型ラバーアクチュエータを示す。空圧印加によって樹脂薄板に曲げが生じこれによってアクチュエータは収縮する。このため、導電性膜をひずみゲージと同原理のセンサとして用い電気抵抗値の変化を測定することでアクチュエータの収縮量を検出することが可能である。

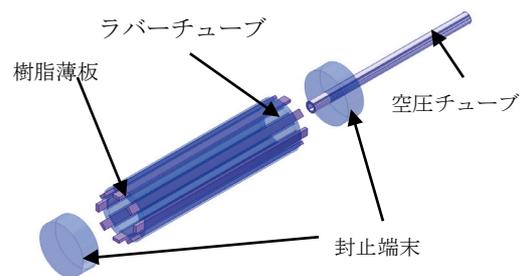


図1 収縮型ラバーアクチュエータの構造

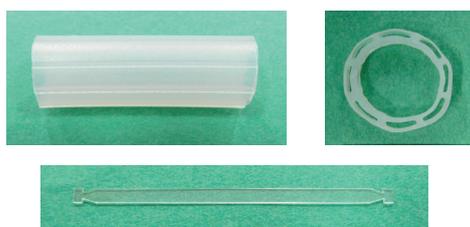


図 2 収縮型ラバーアクチュエータの構成部品

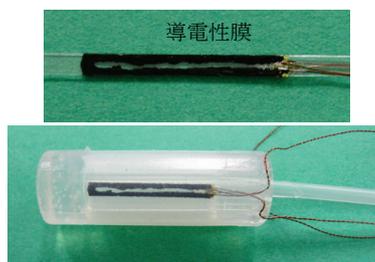


図 3 センサを搭載した収縮型ラバーアクチュエータ

②小型化

収縮型ラバーアクチュエータの小型化は異硬度ラバー複合手法と型成型手法を考案し実施した。前者は硬度の異なるラバー材料のみで実現するという従来にない構造と製作方法にチャレンジしたものである。本手法では材料非線形と幾何学的非線形を考慮した非線形有限要素法を用いることで、最適な異硬度ラバーの組み合わせと形状の導出を行い、これに基づいたアクチュエータの製作を行った。図 4 に解析によって導出したアクチュエータ構造とこれに基づき製作したアクチュエータを示す。

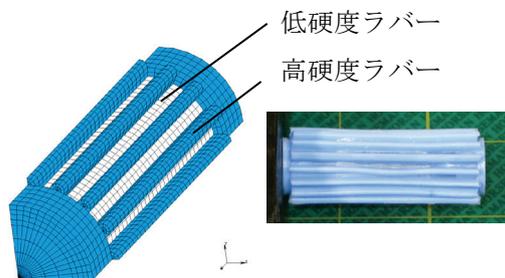


図 4 異硬度ラバー複合による最適設計と製作したアクチュエータ

後者では、繊維を複合するマッキベントタイプの収縮型アクチュエータの小型化を目指

したものであり、小型化にともなって困難になる正確な繊維配置を微細機械加工を用いたモールドを製作することで解決している。モールドには繊維を配置するための螺旋凸形状が加工されており、これによってラバーチューブには繊維を配置するための同形状の凹部が成型される。これに沿って繊維を巻きつけることで正確な繊維配置を実現している。

図 5 は製作した外径 1mm の収縮型アクチュエータであり、正確な繊維配置が実現されていることが分かる。

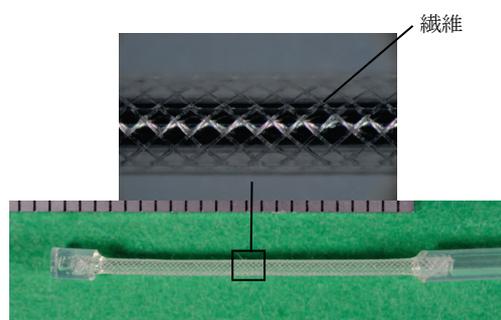


図 5 外径 1mm の収縮型ラバーアクチュエータ

(2)湾曲型ラバーアクチュエータ

①センサの搭載

研究代表者はこれまでに蛇腹形状ラバーと板形状ラバーを張り合わせ、内部空間に空気圧を印加することで図 6 に示すように湾曲動作を実現するラバーアクチュエータの開発を行っている。本アクチュエータは正・負の空気圧で 2 方向への湾曲動作を実現することが可能であるが、本研究では負圧による湾曲動作を対象とし、センサの搭載を実施した。



図 6 湾曲型ラバーアクチュエータの動作

センサには圧電高分子材料 P(VDF/TrFE)

を用いた。本材料は特定の有機溶媒に溶解させることができ、この溶液を揮発させることで任意形状に形成を行うことが可能である。板形状ラバー側にアクチュエータの湾曲量を検出するためのセンサを、蛇腹状ラバー側に把持力を検出するためのセンサを搭載したアクチュエータを図7のようにそれぞれ製作した。



湾曲量検出センサを有するアクチュエータ



把持力検出センサを有するアクチュエータ

図7 センサを搭載した湾曲型ラバーアクチュエータ

②小型化

湾曲型ラバーアクチュエータは蛇腹形状ラバーと板形状ラバーをそれぞれ成型によって製作し両者を接合する必要がある。そのため小型化を実施する際には蛇腹形状ラバーと板形状ラバーの接合強度が問題となる。本研究では十分な接合強度を確保するためにラバー構造体に接着しろを構築することでアクチュエータの小型化を行った。図8は製作した湾曲型ラバーアクチュエータでありアクチュエータ部の厚さが0.2mm、長さが3mmとなっている。

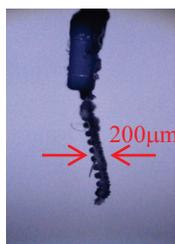


図8 小型湾曲型ラバーアクチュエータ

4. 研究成果

本研究期間では小型化とセンサ搭載を同

時に実現するには至らなかったものの、収縮型、湾曲型のアクチュエータに対してセンサの搭載と小型化を各々、達成することが可能であった。

以下、3で述べた研究の方法の各項目に対しての結果を(1)、(2)で報告し、(3)でまとめと今後の展望について述べる。

(1) 収縮型ラバーアクチュエータ

①センサの搭載

図9は図3で示したアクチュエータの駆動の状態を示しており、収縮変位が生じていることが分かる。図10はステップ状に空気圧を印加した際にレーザーセンサで計測されたアクチュエータの収縮量とブリッジ回路を通して検出されたセンサ出力電圧を示す。立下りにおいてのセンサの追従性に遅れがみられるものの、アクチュエータの収縮量の検出が可能であった。

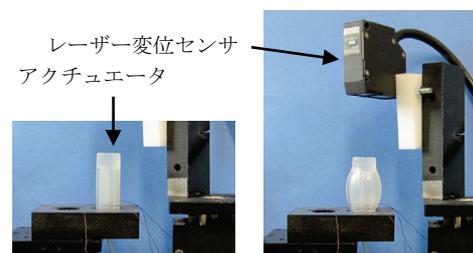


図9 アクチュエータの収縮動作

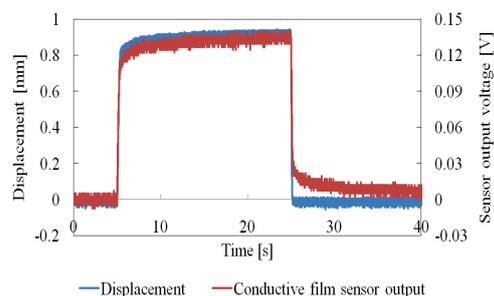


図10 変位とセンサ出力電圧の関係

②小型化

新規の製作手法である異硬度ラバー複合手法では2種類のラバー材料が混合することなく高精度で製作することが困難であったため、直径15mmのサイズに留まった。しかしながらラバー材料のみで収縮型アクチュ

エータの実現に成功しており，最大収縮変率は 44kPaG 印加において約 19%であった。

一方，型成型手法では図 5 で示したように外径 1mm のアクチュエータを実現しており，この変位特性を計測した。図 11，図 12 に圧力-変位特性，圧力-収縮力特性をそれぞれ示す。600kPaG 印加時に収縮率 11%，最大収縮力 234[mN]を実現した。

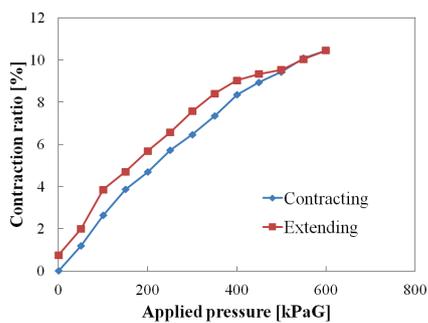


図 11 印加圧力と変位の関係

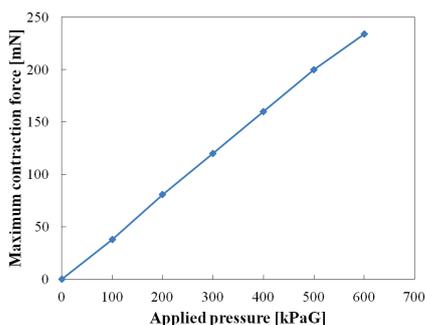


図 12 印加圧力と収縮力の関係

(2) 湾曲型ラバーアクチュエータ

① センサの搭載

湾曲量検出センサを搭載したアクチュエータに負圧を印加し湾曲動作を発生させた際のセンサの出力電圧を図 13 に示す。負圧を増加させ湾曲量が増大するのに伴って出力電圧が増加していることが分かる。

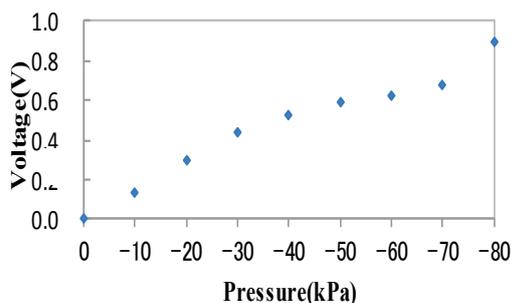


図 13 印加圧力と湾曲量検出センサの出力の関係

図 14 は把持力検出センサを搭載したアクチュエータで物体を把持した際の様子を示す。また，図 15 は印加圧力とセンサ出力の関係を示す。アクチュエータに-70kPaG の負圧を印加して湾曲運動をさせた場合に物体の把持が実現されており，その際に把持力検出センサから電圧が出力されている。さらに負圧を増加させることでセンサ出力が増大しており，把持力を検出可能であることが分かる。



図 14 把持検出センサを搭載したアクチュエータの物体把持実験

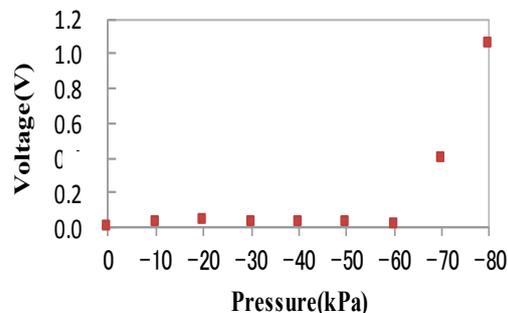


図 15 印加圧力と把持力検出センサの出力の関係

② 小型化

図 8 で示した厚さ 0.2mm の湾曲型アクチュエータの駆動の様子を図 16 に示す。図 16(a)は 130kPaG 印加時，(b)は-70kPaG 印加時の状態を示す。また，図 17 はアクチュエータ先端の軌跡を示しており，正・負の空気圧によって 2 方向への湾曲動作が実現されていることが確認できる。



(a) 130kPaG (b) -70kPaG

図 16 小型湾曲型アクチュエータの駆動

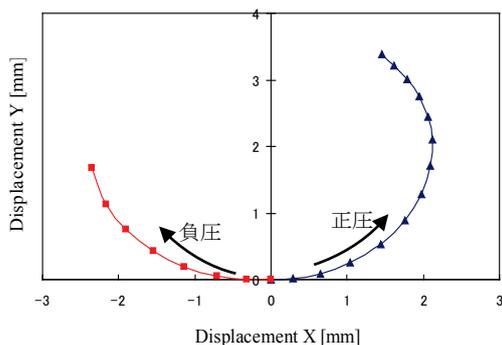


図 17 小型湾曲型アクチュエータ先端の正・負圧による移動軌跡

(3) まとめと展望

本研究では収縮型、湾曲型の空圧ラバーアクチュエータへのセンサの搭載とアクチュエータの小型化を実施した。センサの搭載ではアクチュエータの柔軟性を損なうことなくその動作を検出可能な高分子材料からなるセンサを実現しており、アクチュエータの駆動状態が検出可能であることを確認した。

小型化では、収縮型では直径 1mm、湾曲型では厚さ 0.2mm の極小サイズのアクチュエータを製作し、空気圧印加による駆動を実現した。

今後は本研究によって得られたセンサ搭載と小型化のノウハウを活かし、小型のセンサ搭載型ラバーアクチュエータの実現を目指す。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 10 件)

(1) 吉岡諒, 脇元修二, 鈴木康一, バイアス付加型 2 方向湾曲ラバーアクチュエータの変位特性, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2013 年 12 月 19 日, 神戸

(2) 吉岡諒, 脇元修二, 鈴木康一, 2 方向湾曲動作を実現可能とする空気圧ラバーアクチュエータの高出力化に関する研究, 日本ロボット学会学術講演会, 2013 年 9 月 6 日, 東京

(3) 森和也, 脇元修二, 鈴木康一, 異硬度ゴム複合による空気圧ラバーアクチュエータの開発, 日本ロボット学会学術講演会, 2013 年 9 月 6 日, 東京

(4) 吉岡諒, 脇元修二, 山本陽太, 鈴木康一,

2 方向湾曲動作を実現する空気圧マイクロラバーアクチュエータの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 5 月 24 日, 筑波

(5) 市川竜也, 神田岳文, 鈴木康一, 脇元修二, 山本陽太, ソフトアクチュエータに搭載した圧電高分子柔軟センサによる把持検出, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2012 年 12 月 20 日, 福岡

(6) 山本陽太, 脇元修二, 鈴木康一, 和田晃, 細径マッキベン型アクチュエータの開発, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 11 日, 金沢

(7) 市川竜也, 神田岳文, 鈴木康一, 脇元修二, 山本陽太, ソフトアクチュエータの変位検出のための圧電高分子柔軟センサに関する研究, 本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012 年 5 月 29 日, 浜松

(8) Yohta Yamamoto, Shuichi Wakimoto, Koichi Suzumori, Evaluation of Electro Conductive Film and Strain Gage as Displacement Sensor for Pneumatic Artificial Muscle, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2011.12.9, Thailand

6. 研究組織

(1) 研究代表者

脇元 修一 (WAKIMOTO SHUICHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 40452560