

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：24201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760216

研究課題名(和文) 折紙幾何学設計を用いた空気圧駆動超軽量・柔軟アクチュエータの開発

研究課題名(英文) Development of an ultra-lightweight flexible pneumatic actuator using an origami geometric design method

研究代表者

西岡 靖貴 (Nishioka, Yasutaka)

滋賀県立大学・工学部・助教

研究者番号：70609734

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：極低質量化を実現するために、プリーツと呼ばれる折り込み構造を有するフィルム製アクチュエータの形状設計手法をモデル化及び実験的検討により導出した。プリーツは単純な折り込み構造であるが、その折り込み量や折り込みピッチを変化させることで容易にアクチュエータ形状が幾何学的に設計できることを示した。また、プリーツ構造を持つ屈曲型アクチュエータのサイズの異なるものを製作し、変位や力、発生力特性測定実験を実施した。さらに本アクチュエータの応用例として3自由度機構、巻き付き型アクチュエータなどを実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：To realize an extremely lightweight actuator, a design method of an actuator made of plastic films with pleated structures was indicated by experimental evaluations and theoretical models. The pleated structure has some parameters which are pleats pitch, inter-folding amount and a number of pleats. It is easy to design several 3-dimensional shapes. In addition, it makes clear standard characteristics of these actuators experimentally.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボティクス分野の動向として、産業分野だけでなく、生活支援分野への参入が多く見られる。このような分野には、特にロボットの「本質的安全性」が重要なキーワードとなる。

上記を達成する手段として、「軽量化」及び「柔軟化」に着目しているのが空気圧駆動ソフトアクチュエータを利用した研究例である。多くのソフトアクチュエータはゴムで製作されており、コミュニケーションロボットの腕や手の部分への利用を目的としているものが目立つ。

2. 研究の目的

このような研究背景を受けて、本研究ではアクチュエータの「極低質量化」の実現を目的としている。アクチュエータの質量を極めて削減することで、物体や人に衝突した際の安全性を確保することを狙う。

従来のソフトアクチュエータでは、耐久性を考慮した際にゴム空気室の厚みの低減に限界が生じる。その結果、アクチュエータ自身の剛性を保持することが困難な重量になりがちである。本研究では、この空気室の材料を変更することで、柔軟かつ「極低質量化」を実現する。

具体的には、材料にプラスチックフィルムを用いることを提案する。プラスチックフィルムは厚みが $0.05\text{--}0.2\text{mm}$ であり、ゴム空気室の厚みと比べて 5 分の 1 から 10 分の 1 程度に削減可能である。また、非伸縮性材料であるため、低圧駆動が可能、張力による剛性の発揮といった特徴も期待できる。

3. 研究の方法

本研究を達成するため、3 つ研究項目に分けて実施する。下記、それぞれの項目について記述する。

(1) 「極低質量化」ソフトメカニクス設計理論確立

本研究の主要課題項目である。プラスチックフィルム材料を使用する際には、構造変形とその生成方法を確立する必要がある。非伸縮性材料であるため、アクチュエータとしての動作のために、ゴム材料の様に材料変形は利用できない。また 2 次元平面に近いフィルム材料から 3 次元形状をどのように生成するかが大きな課題である。

本課題に対して、折り紙幾何学設計と熱溶着手法による袋形状の生成によって本課題を解決する。

(2) 各種アクチュエータの製作と評価実験

上記設計手法に基づき、アクチュエータを数種類製作し、それぞれの評価実験を実施することで、その特性の明確化と設計手法の妥当性を検証する。

(3) 多自由度ソフトメカニクス製作及び制御実験

各種アクチュエータと従来技術を統合した多自由度ソフトメカニクスを製作し、また基礎制御実験を実施することで、本アクチュエータのロボットへの有効性を示す。

4. 研究成果

本申請課題では、項目 (1) の理論を確立するために、項目 (2) における実験結果を反映することで、理論を固めることを図った。また、設計手法の精度の向上、及び検証すべき項目の追加により、項目 (1) に必要な時間を当初よりも要した。申請書にも記載しているように、項目 (3) に要する時間を項目 (1) に代替することで取り組んだ。下記、それぞれについて報告する。

(1) 「極低質量化」ソフトメカニクス設計理論確立

試作したアクチュエータの折紙構造は、プラスチックフィルムへ施す折り加工で大別すると、下記 3 種類となる。

- ① ダイヤモンドパターン構造
- ② 蛇腹折り構造
- ③ プリーツ折り構造

① 図 1 の様な伸長型のアクチュエータの試作を試みた。しかし、空気室の密閉が一部困難なこと、また厳密な折り加工が困難であった。② フィルム全体に山折りと谷折りを繰り返し折り込み、アコーディオンの様な形状にした後、両端を熱溶着することで密閉した。本アクチュエータは図 2 に示すように、加圧することで蛇腹部が展開し、径方向に膨張することで長手方向に収縮運動が生成できる。③ ② を応用させたものが図 3 に示す屈曲型のアクチュエータである。片側を平らなシートにすることで表面積の差により、内部に加圧した際に屈曲形状を生成できる。多様な形状を生成できる可能性、またその容易な製作方法から、本アクチュエータを主体に進めることに決定した。以後、プリーツ構造を持つアクチュエータの設計手法について報告する。

プリーツ構造を有するアクチュエータの構造を図 4 に示す。また、設計パラメータについて下記に示す。

- a : プリーツピッチ
- b : プリーツ折り込み部長さ
- n : プリーツの数
- l_0 : 下シートの x 軸方向長さ
- l_1 : 上シートの折り込む前の x 軸方向長さ
- w_0 : 下シートの y 軸方向長さ
- w_1 : 上シートの y 軸方向長さ

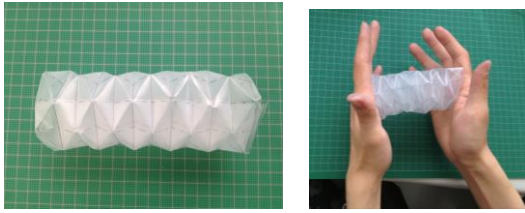


図1 ダイヤモンドパターン構造

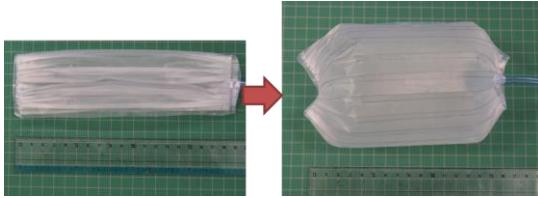


図2 蛇腹折り構造による収縮運動生成

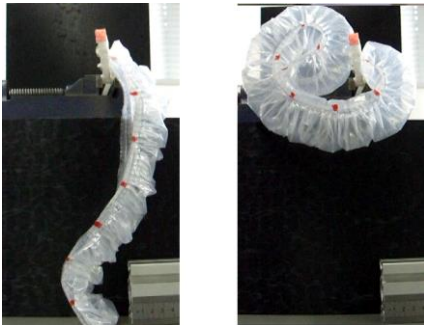


図3 片面プリーツ構造による屈曲運動生成

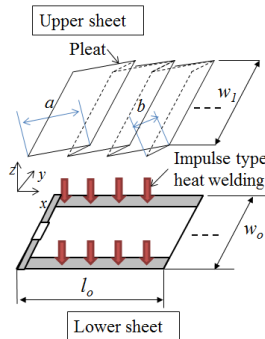


図4 プリーツ構造の設計パラメータ

ここで、 l_0 と l_1 に関しては、プリーツに関するパラメータの a 、 b 、 n によって式(1)と式(2)のように決定される。

$$l_0 = (a-b)n + a \quad (1)$$

$$l_1 = (a+b)n + a \quad (2)$$

a 、 b 、 n の組み合わせは本2式より一意に決まる。よって、独立パラメータは4つとなる。次に、アクチュエータの屈曲形状を図5のようにモデル化する。屈曲形状を要素ごとに分割し、そのときの区間数を i とする。その区間における下フィルムの長さの上フィルムの長さの比をプリーツ密度 D で式(3)の様に定義する。

$$D_i = \frac{l_{1i}}{l_{0i}} \quad (3)$$

各区間の屈曲角度を、梁の曲げモデルの近似により導出する。このモデリングにより幾何学的に式(4)～式(6)が求められる。

$$R\varphi = l_1 \quad (4)$$

$$r\varphi = l_0 \quad (5)$$

$$R - r = h \quad (6)$$

これらの式から式(7)の屈曲角度が求められる。

$$\theta_i = \frac{1}{2h}(l_{1i} - l_{0i}) \quad (7)$$

ここで、 h はアクチュエータの直径となる。アクチュエータの直径については、図6に示す円形断面に近似することで、式(8)の様に求められる。

$$h = \frac{w_1 + w_0}{\pi} \quad (8)$$

式(6)を式(5)に代入することで式(9)が導出される。

$$\theta_i = \frac{\pi l_{0i}}{2(w_1 + w_0)}(D_i - 1) \quad (9)$$

これにより、アクチュエータの大きさに関するパラメータ w_0 、 l_0 を決定し、設計したい角度を入力することで設計パラメータ l_1 、 a 、 b 、 n が導出できる。また、本論では2次元平面内のモデリングに関するものであり、 w_1 に関しては実験的に求められた式(10)で統一している。

$$w_1 \approx 1.8w_0 \quad (10)$$

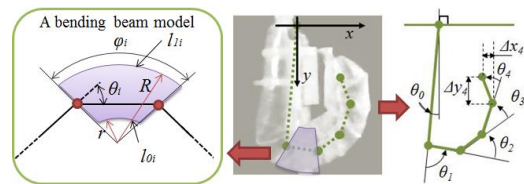


図5 屈曲形状のモデル化

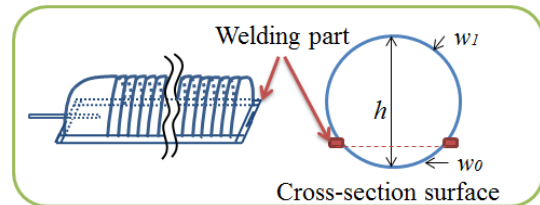


図6 断面形状のモデル化

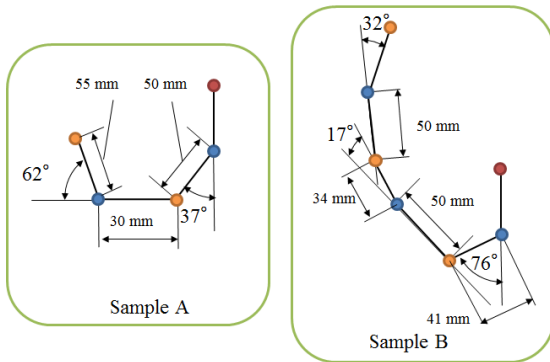


図7 屈曲形状の設定

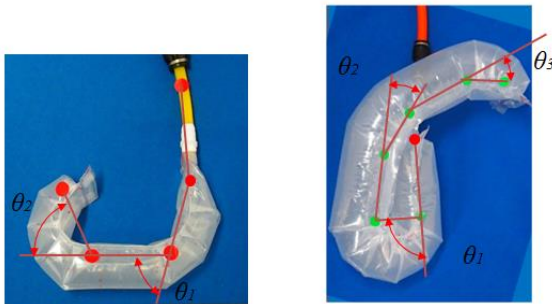


図8 製作結果

表1 理論値との誤差

i	A		B		
	1	2	1	2	3
θ_{th} [degree]	38.5	64.2	76.4	17.3	32.1
θ_{ex} [degree]	37.2	68.4	93.6	24.5	39.3
error [degree]	1.3	4.2	17.2	7.2	7.2

(2) 各種アクチュエータの製作と評価実験

本アクチュエータの設計手法について、モデル化の妥当性を確認するため、試作及び実験を行った。図7に示す様な屈曲形状を設定した場合、製作した実物を図8に示す。また、その時の角度の設計誤差を表1に示す。角度の算出は画像処理により測定した。

実験の際に加圧した圧力は約 20[kPa]である。この圧力は本アクチュエータの耐圧限界であることを実験的に求めている。最大誤差として 17.2[degree]が得られた。これは特に屈曲角度が大きく、しわが発生していることが原因と考えられる。本モデルにはしわのモデルは導入していない。その他の部分に関しては、7.2[degree]以内には収まっており、屈曲形状及び断面形状のモデルに関しては妥当であると考えられる。

(3) 多自由度ソフトメカニクス製作及び制御実験

屈曲型極軽量ソフトアクチュエータを用いた3自由度の平行リンク機構を図9に

示す。先端位置のピッチ、ロール及びz軸方向の並進が可能である。1つのアクチュエータが約 300[mm]程度であり、比較的大型のものでも、本体が極めて軽量なため設置の自由度が高く、高い安全性も期待できる。制御実験に関する項目に要する時間は、研究期間内の優先度を考慮し、(1)の設計手法の確立に使用した。図の動きはオープンループで駆動させた様子である。

また、多自由ではないが、応用として螺旋状に巻き付く動作を生成するものを図10に示す。本アクチュエータはプリーツを軸方向に対して斜めに加工している。図の様人体へ巻き付くウェアラブル機構への応用も期待できる。



図9 3自由度平行リンク機構



図10 巻き付き型アクチュエータ

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)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 坪井寿恵, 西岡靖貴, 川村貞夫, “非伸縮軟質材料を用いたプリーツ構造を有する極軽量ソフトアクチュエータの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’12, 2012/05, 静岡
- ② 町田智, 西岡靖貴, 川村貞夫, “空気圧駆動極軽量マニピュレータの試作”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’12, 2012/06, 静岡
- ③ 金慧鍾, 西岡靖貴, 川村貞夫, “空気圧駆動極軽量 2 自由度マニピュレータの試作”, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012/09, 北海道

④上江洲愛, 西岡靖貴, 川村貞夫, “プリーツ折り込み構造による極軽量ソフトメカニズム-第2報: 折り込み構造の解析-”, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 2012/09, 北海道

⑤西岡靖貴, 川村貞夫, “プリーツ折り込み構造による極軽量ソフトメカニズム-第3報: 拮抗駆動型の位置決め特性-”, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 2012/09, 北海道

⑥Yasutaka NISHIOKA, Megumi UESU, Hisae TSUBOI, Sadao KAWAMURA, ” Proposal of an Extremely Lightweight Soft Actuator using Plastic Films with a Pleated Structure”, 19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 28-30 November 2012, New Zealand

⑦西岡靖貴, 上江洲愛, 川村貞夫, “プリーツ折り込み構造による極軽量ソフトメカニズム-第4報: 屈曲形状の設計方法-”, 第13回 SICE システムインテグレーション部門講演会, 2012/12, 福岡

⑧上江洲愛, 西岡靖貴, 川村貞夫, “プリーツ折り込み構造による極軽量ソフトメカニズム-第5報: アクチュエータ形状のモデリング-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'13, 2013/05, 茨城

⑨西岡靖貴, 天瀬英之, 平光立拓, 安田寿彦, “折り込み角度の設計による収縮型・巻き付き型極軽量ソフトアクチュエータの試作”, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 2013/09, 神奈川

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 流体圧アクチュエータ

発明者: 西岡靖貴, 川村貞夫

権利者: 学校法人立命館

種類: 特許

番号: 2014-20462 (公開)

出願年月日: 2014年2月3日 (公開)

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西岡 靖貴 (NISHIOKA, Yasutaka)

滋賀県立大学・工学部・助教

研究者番号: 70609734