

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	プリーツ/バッグ複合構造による屈曲型ソフトアクチュエータの開発
Title	The proposal of hybrid soft actuator from pleats and contraction structures
著者	平光立拓, 西岡靖貴, 安田寿彦
Author	Tatsuhiko Hiramitsu, Yasutaka Nishioka, Toshihiko Yasuda
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2015講演論文集, , , 1A1-A04
Journal/Book name	Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 1A1-A04
発行日 / Issue date	2015, 5
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

プリーツ/バッグ複合構造による 屈曲型ソフトアクチュエータの開発

The proposal of hybrid soft actuator from pleats and contraction structures

○学 平光 立拓 (滋賀県立大) 正 西岡 靖貴 (滋賀県立大)
正 安田 寿彦 (滋賀県立大)

Tatsuhiro HIRAMITSU, University of Shiga Prefecture, thiramitsu0@gmail.com
Yasutaka NISHIOKA, University of Shiga Prefecture
Toshihiko YASUDA, University of Shiga Prefecture

The mass is a very important factor for robots used in life space. Such as safety, portability, quickness and high compliance. As a method of lightweight for robots, several soft actuators made of rubber material have been developed. But, the pressure energy expended in elastic deformation of chamber material. In our researches, very lightweight and flexible pneumatic actuator has been developed by using inelastic films. We already developed bending type actuator using pleats structure. This actuator can bend in rigid link less. Therefore, can develop of power assisting orthotics that don't require the exoskeleton. This paper describes a new bending type soft actuator with pleats and bags structures. More powerful actuator by contraction of bags structure would help to make wearable robot.

Key Words: soft actuator, pneumatic, orthosis

1. 緒言

近年アシストスーツなどに代表される様々なウェアラブルロボットが研究されている。一般的なアシストスーツでは人に力を伝達するために、金属製あるいは硬質樹脂製の外骨格が必要とされる。外骨格は発揮される高トルクを十分に人体に伝達するために高剛性なものである必要があり、起動していない時には人の動きを妨げてしまう。これを柔軟かつ軽量の構造にすることによって、事故が発生した場合にも本質的に安全な装具を実現できるようになる。

我々はこれまでに非弾性材フィルム製の袋を利用した様々な空圧駆動アクチュエータの研究・開発を行ってきた[1, 2]。その一つに屈曲型アクチュエータ(以下、屈曲型)がある。プラスチックフィルムを用いた袋状の梁の上面のみにプリーツ(折込)加工を施すことによって、単体で屈曲動作を実現している。構造の柔軟性、軽量性、低圧駆動といった特徴から人の傍で駆動する様々なロボット/装具への利用に有効であると考えている。

今回、屈曲型の下面部分を収縮する構造にすることにより変位及びトルクの性能向上を図った。この収縮構造は二枚のプラスチックフィルムを重ねて溶着することによって製作されており、単純かつ柔軟な構造となっている [3]。本稿はこの複合構造型アクチュエータ(以下、複合型)の構造解説及び実験的性能評価について報告するものである。

2. プリーツ/バッグ複合構造による 屈曲型ソフトアクチュエータ

本アクチュエータの構造模式図を図1に示す。プラスチックフィルムを三枚重ねた構造になっており、二つの空気室が構成される。この二つの空気室をそれぞれプリーツチャンバ、バッグチャンバと呼ぶ。プリーツチャンバを構成する二枚のシートのうち、外側の第一シートは他の二枚と比べて大きなものとなっており、折込加工が施されている。内部に圧力を印加すると折込が展開し、その長さの違いによって屈曲変形する。第二シート、第三シートは溶着によって長方形空気室を複数構成しており、圧力を印加することによって軸方向の収縮変形する。膨張時も薄く曲折可能な構造になっており、全体の屈曲駆動を妨げない。

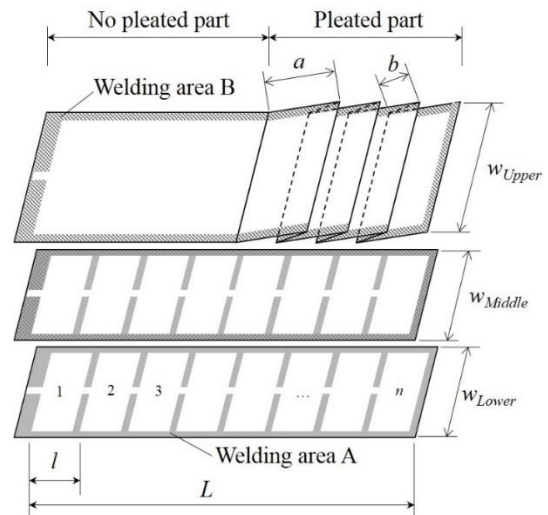


Fig.1 The Bending type actuator hybrid of two structures

従来のプリーツ構造式屈曲型では屈曲回転の中心軸がアクチュエータ内部に存在していた。これにより屈曲動作した際にはアクチュエータの内側に皺が生じ、自己干渉し屈曲動作を妨げていたと考えられる。今回バッグ構造によって、この皺の発生箇所を限定・減少させた。バッグ間の溶着部に十分な間隔があるため自己干渉が発生せず、屈曲動作を妨げなくなる。複合構造型アクチュエータの諸量を以下に示す。

W_{Upper} [mm]	: 上シート幅
W_{Middle} [mm]	: 中シート幅
W_{Lower} [mm]	: 下シート幅
l [mm]	: 要素長さ
b [mm]	: プリーツ長さ
n [-]	: 長さ方向要素数
p_{Bags} [kPa]	: バッグチャンバ内圧
p_{Pleats} [kPa]	: プリーツチャンバ内圧
δ [mm]	: プリーツに対するバッグ関節位置

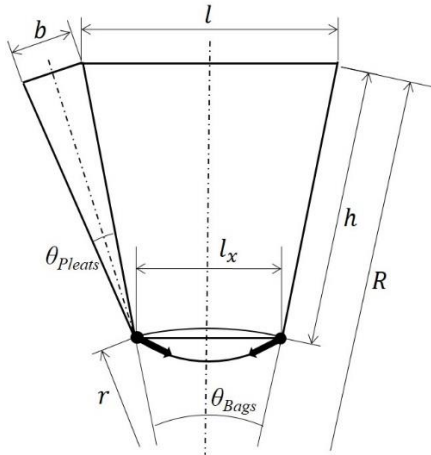


Fig.2 An element model of hybrid structure

3. 複合構造の屈曲原理

本アクチュエータの単位要素の屈曲平面における幾何学モデルを図2に示す。ただしバッグ端部とプリーツ回転軸の距離 δ は0の場合である。また、プリーツ部の回転軸が溶着位置の高さにあるとする。フィルムが非伸縮性であるため、断面形状は周長 $(w_{Upper} + w_{Middle})$ の円形になると近似できる。このとき上シート幅と中シート幅の比を γ とすると、溶着部から上シートまでの高さ h は次のように求められる。

$$\gamma = \frac{w_{Upper}}{w_{Middle}} \quad (1)$$

$$h = \frac{w_{Upper} + w_{Middle}}{2\pi} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{\gamma+1}\right) \right\} \quad (2)$$

プリーツ部では長さ b のプリーツが展開することによって角度 θ_{Pleats} 屈曲変形する。

$$\theta_{Pleats} = \frac{b}{h} \quad (3)$$

バッグ部によって長さ a の要素の内側長さが l_x まで収縮することによって角度 θ_{Bags} 屈曲変形する。つまり複合構造にすることで屈曲角度は θ_{Bags} だけ増加する。

$$\theta_{Bags} = \frac{l - l_x}{h} = \frac{\lambda}{h} = \frac{\epsilon}{h} \quad (4)$$

式(2)~(4)より、本アクチュエータの屈曲角度 θ_{Hybrid} は、式(5)で表される。

$$\theta_{Hybrid} = \theta_{Pleats} + \theta_{Bags} = \frac{2\pi b + \epsilon}{(w_{Upper} + w_{Middle}) \left\{ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{\gamma+1}\right) \right\}} \quad (5)$$

4. 特性評価実験

4.1 実験モデル

屈曲型アクチュエータ全体を図3に示すような可変回転弾性を有するシリアルリンクモデルであると考える。ただし回転対偶はプリーツおよびバッグからなる単要素である。 n 個の回転対偶およびリンクで構成された屈曲型を根元で固定し、先端に法線方向荷重 F を負荷する。各回転対偶で角度 θ_i に線形な弾性トルクが発生し外力 F と釣り合う。各リンク長さを L_i 、各回転対偶における変形角度を θ_i 、根元側の根元リンクと先端リンクの相対角度を θ とする。

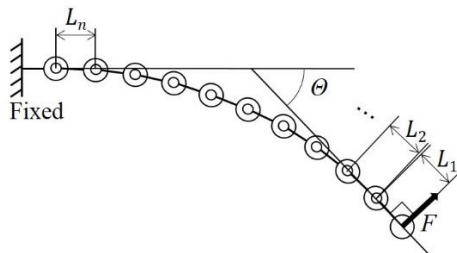
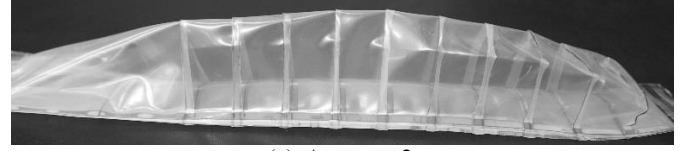


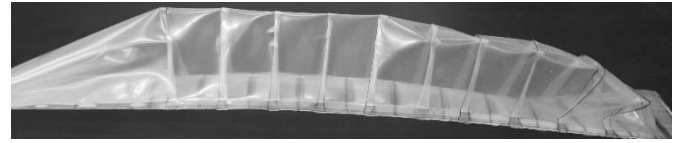
Fig.3 Schematic diagram of experimental model

Table 1 Parameters of actuators

	Pleats part					Bags part			Deviation
	w0	w1	a	b	n	w	l	n	δ
1	30	50	19	2	10	-	-	-	-
2	30	50	19	2	10	30	15	10	0
3	30	50	19	2	10	30	15	10	7.5



(a) Actuator_2

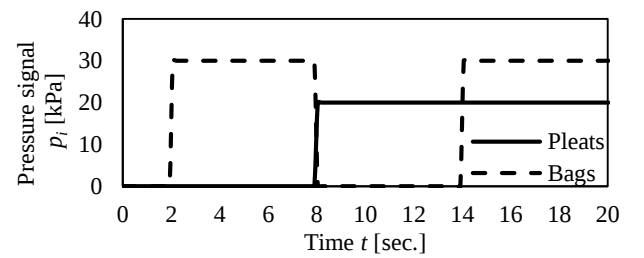


(b) Actuator_3

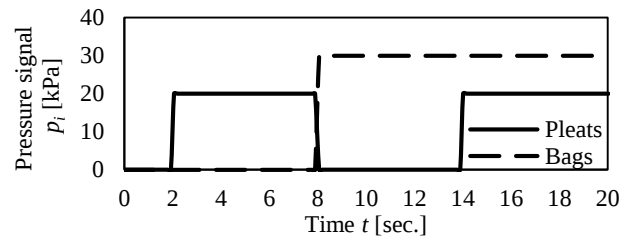
Fig.4 The actuators used in the experiments

4.2 実験結果

実験に用いたアクチュエータの寸法パラメータを表1に、実際に製作したアクチュエータを図4に示す。マーカーを取付け、RGBカメラを用いた色重心計測によって先端及び第一関節の座標を取得し、根元部分からの相対角度を算出した。ただし、各チャンバへの圧力印加は電磁弁を用いてデジタル入力した。複合構造型への入力信号は図5に示す二種類のデジタル信号である。プリーツ/バッグ両チャンバへ同様に圧力印加する前にそれぞれのチャンバへ交互に独立して印加する。6秒ごとに入力を変更しているが、各状態で十分な時間であり定常状態に達していると判断する。この定常状態における角度に着目する。ただし、バッグ構造を用いていないActuator_1へは2秒時点から20[kPa]をステップ入力している。このときの各アクチュエータの無負荷時の先端角度の変化を図6に示す。



(a) Signal type A



(b) Signal type B

Fig.5 Input pressure signals to actuators

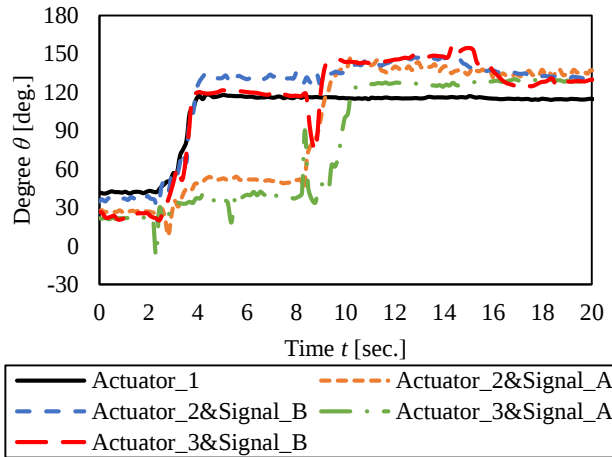


Fig.6 An example of bending degree of the hybrid type actuators

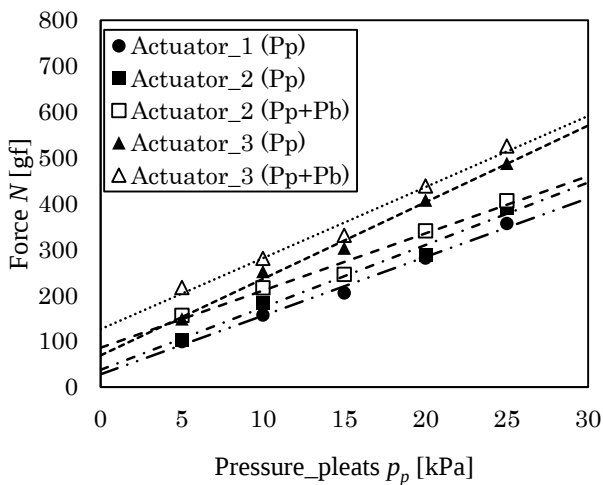


Fig.7 Normal direction force at the tip of bending actuators

アクチュエータの太さが充分にある場合、バッグ部の収縮によってプリーツ部は変形しない。このため直前の駆動のままプリーツ部の長さはほぼ変化せず、バッグ部のみ収縮するため内外の長さの差が生じて屈曲変形する。プリーツ部とバッグ部を併用したとき、プリーツのみの時より屈曲角度が大きい。その差は先端角度で約37[deg.]であり、約30%増加している。バッグ部の追加による剛性変化は小さく、複合構造のものと単純なプリーツ構造のみのものではプリーツ部による屈曲角度に大差ない。

次に、各構造の発揮トルクを推定・算出した。アクチュエータが屈曲していない状態で電子量りを用いて先端法線方向に幾何拘束する。この状態で圧力を印加し、その時の先端法線方向力 F_{tip} を測定する。プリーツチャンバへ印加圧力は $p_p=5, 10, 15, 20, 25$ [kPa]とし、複合構造のバッグチャンバへの印加圧力 p_b は p_p より10[kPa]高く設定する。

プリーツ、バッグの順に圧力を印加した際の先端法線方向力 F_{tip} を図7に示す。従来のプリーツ構造のみのアクチュエータと比べて、総じて力が増加している。プリーツチャンバのみへの印加でも力が増加しているのは、従来存在した皺の影響が考えられる。これまで屈曲型の内側に生じていた皺では自己干渉が発生し、屈曲を妨げる働きをしていた。バッグ間は一見皺に似ているが、溶着部に長さがある。皺に比べて自己干渉が発生しにくいいため、反力が生じず、より屈曲しやすくなると考えられる。またバッグ間溶着部の位置によっても差があることがわかる。実際のプリーツ部根元は一点で重なっておらず、展開の際、バッグ部に曲げモーメントが加わる。バッグ間とは異なりバッグ自体には曲げ剛性があるためプリーツの屈曲運動を妨げてしまうことが考えられる。

5. 結言

より軽く、拘束感の少ない装具への利用が期待できる単体で屈曲駆動可能な空圧駆動式のソフトアクチュエータの新構造を考案し、その有効性を実験的に確認した。非弾性フィルムのみで構成されているため、軽量性・柔軟性に優れ、また低圧での駆動が可能である。加えて構造が単純にもかかわらず、単体で曲がるという動きを実現していることから、硬いリンクを必要としない安全性・低拘束感に優れた装具への利用が考えられる。

プリーツ(折込)構造が展開すると共に、バッグ構造が収縮することによって、より大きく屈曲する。プリーツ単体で構成された構造より先端角度で約37[deg.]大きく屈曲し、約30%増加した。先端部における法線方向力を測定したところ、複合構造にすることで最大168.7[gf]増加した。駆動部質量あたりの力の大きさを1.36[N/g]であり、プリーツのみの構造と比べて1.48倍になっている。また、バッグチャンバへの圧力を行わない場合でも出力は増加した。これは従来存在した自己干渉が減少したことによって、構造自体が屈曲しやすくなっていると考えられる。このバッグ間溶着部の位置によって力・変位双方で変化があった。プリーツ位置とバッグ間溶着部の位置が一致している場合、屈曲角度はより大きくなる。逆に互い違いにずれている場合、発生トルクが大きくなる。つまり複合構造によって性能は上昇するが、その使用方法に応じて適当な設計をすることが求められる。

文 献

- [1] 西岡靖貴, 安田寿彦, "極軽量ソフトアクチュエータを利用した軽量かつ柔軟な前腕支援装具の提案", 第15回システムインテグレーション部門講演会, pp.1543-1544, 2014/12
- [2] Yasutaka 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, pp.491-496, Auckland, New Zealand, 28-30 November
- [3] 平光立拓, 西岡靖貴, 安田寿彦, "低圧駆動可能かつ極軽量なシート状収縮型ソフトアクチュエータ", 第32回ロボット学会学術講演会, 2014/09, RSJ2014, 1M1-01