非伸縮軟質材料を用いた プリーツ構造型極軽量ソフトアクチュエータの開発

Development of an Extremely Lightweight Soft Actuator having Pleated Structures by using Plastic Films

坪井 寿恵 (立命館大) 〇正 西岡 靖貴 (立命館大)
正 川村 貞夫 (立命館大)

Hisae TSUBOI, Ritsumeikan University
Yasutaka NISHIOKA, Ritsumeikan University, nishioka@fc.ritsumei.ac.jp
Sadao KAWAMURA, Ritsumeikan University

Recently, robotics has been applied to not only industrial areas but also cooperative works with humans. For example, life support robots and entertainment robots are developed. The purpose of this research is the development of a safety robot in cooperative works with humans by using an Extremely Lightweight Soft Actuator. The Extremely Lightweight Soft Actuator using pleated plastic films is driven by pneumatic pressure. The design method and the application to the soft actuator are novel approaches. We will describe the design method of the Extremely Lightweight Soft Actuator in this paper.

Key Words: Pneumatic Actuator, Soft Actuator, Extremely Lightweight, Pleat

1. 緒言

ロボティクスに関する研究は多く行われており、近年では産業分野だけでなく生活支援、エンターテインメント、医療・介護分野といった人と直接触れる分野への導入を検討しているものも多くみられる[1][2]。これらを含む多くのロボットは質量が重く、固い材料で構成されているが、運動速度やコンプライアンスを制御することで、人と接触する環境における安全性を保障している。

一方で人との高い親和性を持つ、柔らかいゴム材料で開発された、空気圧駆動ソフトアクチュエータを医療・介護分野などへ応用する研究例も多くみられる[3]。このようなアクチュエータは、材料自身や作動流体のコンプライアンスにより人との親和性が高い。しかし、ゴム材料のため一定の重量が必要であること、ゴムの弾性力に作動流体の力を奪われ、極低圧での駆動が難しい場合があることなどへの課題もある。

本研究では質量を極限まで小さくし、かつ柔軟である極軽量ソフトアクチュエータを開発することで、ロボットの本質的な安全性を追求し、人との協調動作を行う環境下へのロボットの応用を目指す。アクチュエータの極軽量化により、センサ類の誤作動やロボットの転倒・横転時においても人との事故につながる可能性を限りなく小さくすることが可能と考えられる。

2. プリーツ構造型極軽量ソフトアクチュエータ

2.1 設計概念と基本構成

本研究で提案するソフトアクチュエータの極軽量化には、材料の体積を小さくするため薄膜状の高分子材料を用いる。十分な内圧に対する強度を持たせるため、密度が小さい材料の中でもヤング率が超弾性材料程は低くない、低密度ポリエチレンを使用する。また、金属材料では薄膜化は可能だが、ヤング率が高く、柔軟性は低い。

本論で述べる極軽量ソフトアクチュエータは、図1に示すように平面状のシート材料にプリーツ加工を施すことで、屈曲動作を実現する。また、設計に使用する各パラメータを下記に示す。このうち、 l_0 と l_1 は a , b , n によって決定される従属パラメータである。表面積の異なる2枚のシート材料で袋

Fig. 1 Structure of Pleated Extremely Lightweight Soft Actuator (P-ELSA)

形状を熱溶着により構成する。袋内部に空気圧を加圧すると異なる表面積のため、2枚のシートに発生する力に差が生じる。プリーツ構造を持つ表面積の大きいシートは、加圧した際に各プリーツが広がり、袋全体が大きな屈曲運動を示す。

- a : プリーツ上部長さ
- 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

2.2 プリーツによる屈曲原理

単一のプリーツ部の2次元平面幾何モデルを図2に示す。図中に示すABCDは熱溶着部、A'B'C'D'は拘束がない袋中央部のプリーツの各点をそれぞれ示している。プリーツ部における山と谷をB, Cとしており、A, Dはその点と重なる点としている。加圧前にA'B'C'D'はそれぞれ重なっているが、加圧することで各点は移動する。各点は溶着部によりy方向に距離の拘束があるため、x-z平面においては円弧軌道上を移動する。このような単一のプリーツの広がりによって $d\theta$ 分屈曲することが可能となっており、複数のプリーツを加工することで大きな屈曲が可能となる。

Fig. 2 Bent mechanism of a pleated structure

3. アクチュエータ駆動実験

実際に開発したアクチュエータの加圧前と加圧後の様子を図3に示す。図中で使用しているアクチュエータは長さ l_0 が 300[mm]、幅 w_0 が 50[mm]、供給配管を含む重さ 13.2[g]を実現している。図3では 10[kPa]の空気圧を印加している。図3からも分かるようにプリーツ部が拡大することで 360 度以上の大きな屈曲を実現している。

図4は本アクチュエータを拮抗駆動型として製作したものである。非伸縮材料であるため単一のアクチュエータではオン/オフ駆動となる。しかし、アクチュエータを並列に配置し、2つの内圧を拮抗的に駆動させることで連続的な動作を実現できる。図5は3本の拮抗駆動型にしたものを並列に配置した、ピッチ角、ロール角、z軸方向の並進を可能とする3自由度アームである。全ての拮抗駆動型の外側空気室に 11[kPa]の加圧で、z軸方向に最大 4.8[N]の引張力を確認した。このような低圧域においてもある程度の力を発生可能であり、小型ポンプで駆動が可能といった利点がある。シール面の改善をすることで、より高い圧力を印加可能と考えられ、更なる発生力の向上が期待される。また、1本の拮抗駆動型アクチュエータの長さは 300[mm]で、全体の質量は供給配管を含んで 107[g]である。

Fig. 3 Pressurized P-ELSA

Fig. 4 Working of antagonistic P-ELSA

Fig. 5 Parallel arranged P-ELSA as the 3 D.O.F. arm

Fig. 6 Spiral gripping by using P-ELSA

また、プリーツ加工に設計パラメータを追加することで様々な動作を追加できる。一例として図6に螺旋運動を実現したものを示す。プリーツピッチは同じでも、回転方向に対してある一定の角度でプリーツを加工することで、人の腕に巻きつくような螺旋運動を実現している。

4. 結言

人との協調作業時における本質的な安全性を追求した、極軽量ソフトアクチュエータを開発した。本アクチュエータは高分子材料である低密度ポリエチレンの熱溶着で製作した空気圧アクチュエータである。薄膜状の高分子フィルムにプリーツ加工を行うことで大きな屈曲動作を実現した。フィルムは薄く、アクチュエータの大部分が作動流体であるため、1つのアクチュエータの全長 300[mm]に対して重量 13.2[g]といった極軽量化を実現した。

文 献

- [1] Toshiharu Mukai, Masaki Onishi, Tadashi Odashima, Shinya Hirano, and Zhiwei Luo, "Development of the Tactile Sensor System of a Human-Interactive Robot "RI-MAN" ", *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS*, VOL. 24, NO. 2, 2008
- [2] Kenji KANEKO, Kanako MIURA, Fumio KANEHIRO, Mitsuharu MORISAWA, Shin'ichiro NAKAOKA, and Shuuji KAJITA, "Cybernetic Human HRP-4C", *9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 2009
- [3] Koichi Suzumori, "Elastic materials producing compliant robots", *Robotics and Automation Systems* 18, pp.135-140, 1996