

人の付属肢骨格に能動的に装着する軽量・柔軟なアクチュエータ

Lightweight and flexible actuator to wear actively for appendicular skeleton of humans

2031010



研究代表者

滋賀県立大学

助教

西岡 靖 貴

[研究の目的]

近年のロボティクス分野における動向として産業機器だけでなく、医療・福祉機器、ヘルスケア機器等への応用が目立つ。中でも筋力支援システムや生体信号計測機器開発などにみられる装着型の機械システムが多く見られる。このような装着型機械システムには「身に着けやすさ」が重要な課題となる。本研究では「身に着けやすさ」に着目したアクチュエータ開発を目的とする。研究代表者らは、「身に着けやすさ」に対して「軽量性」と「柔軟性」、「能動的な装着」に着目して課題を解決する。アクチュエータを含む機械システムが軽量かつ柔軟であれば衣服のように常時身に着けることが可能と考えられる。さらに、能動的に装着することで、疲労や怪我も持った人、高齢者に対しても「身に着けやすさ」が高いと考える。

研究代表者らはこれまでに、折り込み加工を施したプラスチックフィルムを用いた袋構造による屈曲型極軽量ソフトアクチュエータを開発している。本アクチュエータの折り込み部を斜めに配置すると、螺旋状に巻きつく動作が設計可能と考えられ、上記課題の解決案として期待できる。本報では、アクチュエータ形状・発生力の設計手法、及びヘルスケア機器や他アプリケーションへの応用例について報告する。

[研究の内容, 成果]

アクチュエータの構造・原理

図1に本アクチュエータの構造を示す。本アクチュエータはポリエチレンフィルムを2枚使用した袋形状である。片側のシートにはプリーツと呼ばれる折り込み加工をしているため、空気圧を内部に印加すると表面積の違いから屈曲動作を実現する。折り込みは幅方向に対して折り込み角度 β 傾けて加工されている。

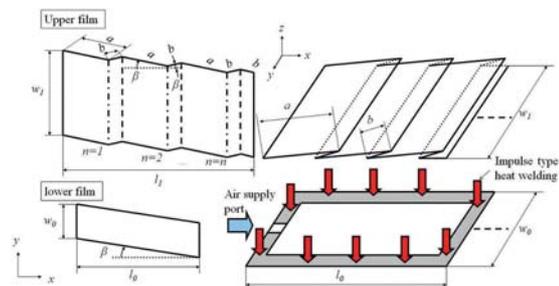


図1 巻き付き型アクチュエータの構造

- a : プリーツピッチ ($b < a$)
- b : プリーツ折り込み部長さ
- n : プリーツの数
- w_0 : 下シートの幅方向長さ
- w_1 : 上シートの幅方向長さ ($w_1 > w_0$)
- β : 折り込み角度 ($0 \text{ deg.} \leq \beta < 90 \text{ deg.}$)

その手順としては、まず図中に示す様に、フィルムから階段状に切り抜いたものを片側の

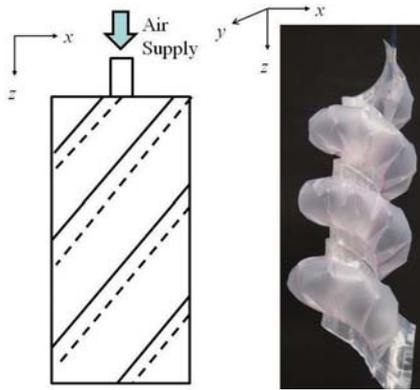


図2 アクチュエータを加圧した時の様子

フィルムとして使用する。切り抜いたものを線に沿って折り込むことで下のフィルムと同じ台形状になる。この大きさのことなる2枚の台形状のフィルムを溶着することで袋形状になる。図2に袋の内部に加圧した時の様子を示す。

形状設計モデル

巻き付き角度, 巻き付き径, 巻き付きリードについて, それぞれ形状に関するモデルにより幾何学的に導出した。それぞれのモデル化の方法について図3~5に示す。図3は1要素の巻き付き角度を梁の曲げモデルから導出している。その結果, 巻き付き角度 ϕ は式(1)で示される。

$$\phi = \frac{4\pi bn}{(w_0 + w_1) \left\{ \cos \left(\frac{\pi w_0}{w_0 + w_1} \right) + 1 \right\}} \quad (1)$$

図4は図3の要素を上部から見た様子である。この時の巻き付き内径 d は式(2)で示される。

$$d = D - 2h = 2 \left\{ \frac{a+b}{\phi_i} - \frac{w_0 + w_1}{\pi} \right\} \cos \beta \quad (2)$$

D は巻き付き外径を, h はアクチュエータの断面の厚みについて円形断面に近似することで導出している。それぞれ式(3), 式(4)に示す。

$$D = 2R = \frac{2(a+b)}{\phi_i} \cos \beta \quad (3)$$

$$h = \frac{w_0 + w_1}{\pi} \cos \beta \quad (4)$$

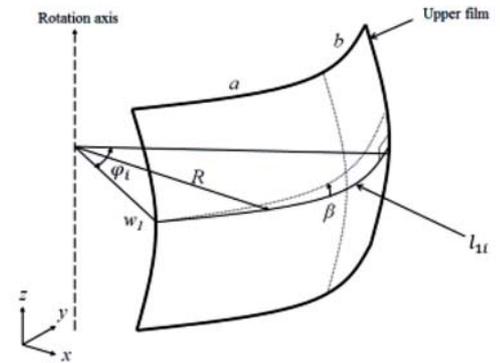
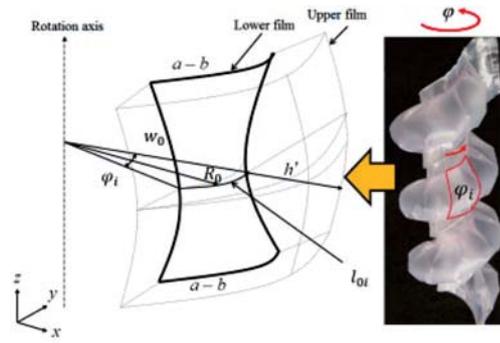


図3 巻き付き角度を導出するための曲げモデル

図5のモデルでは, コイルねじの幾何学からアクチュエータ全体の巻き付きリード L_T を式(5)の様に導出している。

$$L_T = L \frac{\phi}{2\pi} = (a-b) n \sin \beta \quad (5)$$

また, L は1巻あたりのリードを示している。

$$L = \pi D_0 \tan \beta = \frac{2\pi(a-b)}{\phi_i} \sin \beta \quad (6)$$

これらの様に巻き付き型アクチュエータの特性を示す3つのパラメータを幾何学的に近似し

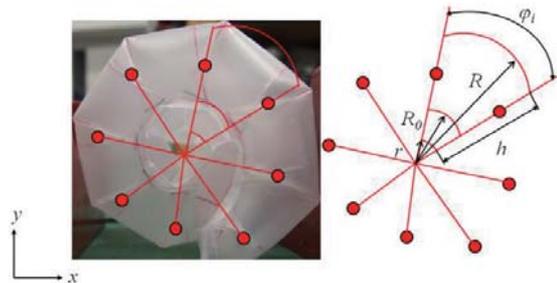


図4 巻き付き径を導出するためのモデル

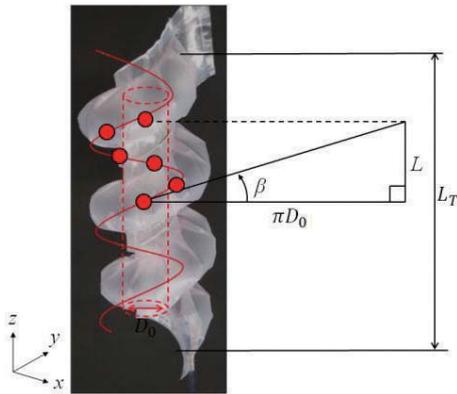


図5 巻き付きリードを導出するためのモデル

たモデルにより、平面における折り込みに関するパラメータを独立に決めることで導出可能となる。

モデルの妥当性検証実験

本モデルの妥当性について、上記3つのパラメータについて実験的に検証した。サンプルとして使用した3種類のアクチュエータの設計パラメータを表1に示す。また、表2に各アク

表1 実験用アクチュエータの設計パラメータ

| | a [mm] | b [mm] | n | w_0 [mm] | w_1 [mm] | β [deg.] |
|----------|----------|----------|-----|------------|------------|----------------|
| Sample 1 | 34 | 15 | 20 | 50 | 100 | 10 |
| Sample 2 | 34 | 15 | 20 | 50 | 100 | 30 |
| Sample 3 | 55 | 13 | 10 | 100 | 200 | 60 |

表2 モデルによる理論値との検証結果

| | | ϕ [deg.] | D [mm] | L_T [mm] |
|----------|--------------------|---------------|----------|------------|
| Sample 1 | theoretical value | 960 | 116 | 67 |
| | experimental value | 960 | 116 | 135 |
| Sample 2 | theoretical value | 960 | 102 | 193 |
| | experimental value | 960 | 100 | 190 |
| Sample 3 | theoretical value | 208 | 187 | 364 |
| | experimental value | 200 | 128 | 420 |

チュエータのモデルによる理論値と実験により確認された実験値をそれぞれ示す。実験結果より、本モデルによる妥当性が確認された。ただし、計測精度については、機械的な目視測定のため多少の誤差がある。また、誤差の大きいものは、フィルムのしわをモデルに考慮していないためと考えられる。それぞれのアクチュエータの加圧前と加圧後の様子を図6に示す。各アクチュエータの重量は、それぞれ 14.3 [g], 24.7 [g], 35.3 [g] である。本アクチュエータの試作には HDPE フィルムを使用した。

発生力の計測実験

本アクチュエータの巻き付きに関する発生力として、図7に示す様な実験方法で把持力を測定した。円筒物に巻き付けたアクチュエータを引張り、円筒物に固定しているフォースゲージで力を測定する。その時にアクチュエータが動く寸前の力を把持力とした。図8に横軸を円筒物の外径、縦軸を把持力とした実験結果を示す。本実験結果より、巻き付きに最適な径があることと、対応可能な対象物の径の範囲が広く取れることが示された。

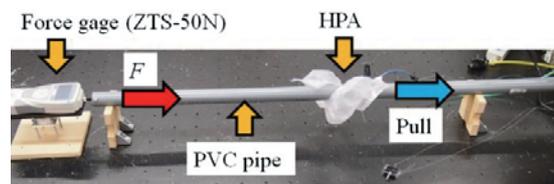


図7 力測定実験システム

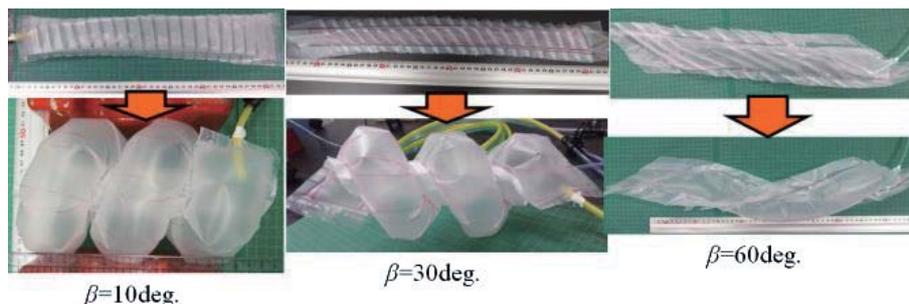


図6 駆動実験結果

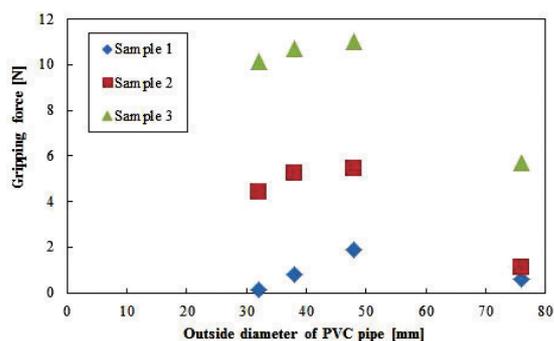


図8 力測定実験結果

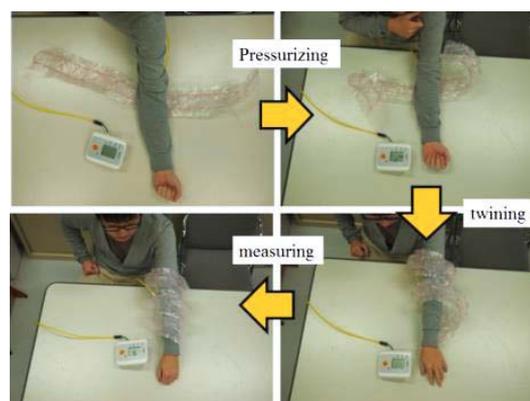


図9 能動的に装着する血圧計カフへの応用例

[今後の研究の方向, 課題]

本アクチュエータの設計手法の確立について達成した。また、力の測定実験から巻き付き対応径の広さが確認された。これは例えば人の腕の様に、不均一かつ不定型なものでもある程度の力を発生して、巻き付くことが可能と考えられる。図9に血圧計のカフとして利用した実験例を示す。自力でカフを固定することが困難な

高齢者や非健常者に対して、能動的に人の腕に装着するカフは有用であると考えられる。今後は、このようなヘルスケア機器だけでなく、ロボットグリッパとしての有効性も期待できる。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 天瀬英之, 西岡靖貴, 安田寿彦, “螺旋状巻き型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 '14, 2A1-N05, 2014