

報告日 2016年(平成28年)6月27日

報告者 埼玉大学 大学院理工学研究科 助教
山口 大介

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名 (日本語)

液体窒素温度環境下で駆動可能なガス圧ソフトアクチュエータの開発

(2) 研究者氏名

山口 大介 埼玉大学 大学院理工学研究科 助教

(3) 研究概要 (日本語)

本研究では、極低温環境において柔軟性を保ち、破損無く動作可能なソフトアクチュエータについて研究を行った。特に、①指のような湾曲駆動を行うアクチュエータの試作・評価、②2つの空気室を持つ拮抗駆動型アクチュエータの動作確認、③アクチュエータの主材料であるポリイミドフィルム同士の溶着技術の確立および溶着装置の開発について実施した。その結果、液体窒素温度環境(−196℃)におけるアクチュエータの駆動を実現した。本アクチュエータを基盤技術として活かすことで、極限環境用ロボットの開発が可能となり、「人の柔らかさ」を「人が立ち入ることの出来ない環境」に適用する、新たな取り組みを実現することができる。

(4) キーワード

フィルモテイクス, ソフトアクチュエータ, 極低温, 液体窒素, 空圧アクチュエータ

(英文)

(1) Research title

Development of Soft Actuator using Gas Pressure for Liquid Nitrogen Temperature

(2) Name of researcher with title of position

Daisuke Yamaguchi, Assistant professor, Saitama University

(3) Summary

This study proposes a soft actuator for ultralow temperature environment.

The actuator has softness like a human at ultralow temperature. We have succeeded in the following results:

- (1) A film actuator like a human finger was fabricated and evaluated.
- (2) A two-air-chamber-type actuator was fabricated and driven by antagonistic driving method.
- (3) A welding method for Polyimide films without an adhesive was developed.

From these results, we have succeeded in developing a soft film actuator for liquid nitrogen temperature environment. By applying the actuator technology to robots, a softness like a human will be achieved in some extreme environment.

(4) Key Words

Filmotics, Soft actuator, Cryogenic temperature, Liquid nitrogen temperature, Pneumatic actuator

2. 本研究の意義・特色

現在、液体窒素温度（ -196°C ，以下 LN2 温度）における凍結した細胞などを遠隔で操作するためには、金属を主材料としたアクチュエータが用いられている。しかし、金属を主材料とするため機械的剛性が高く、破損の危険性が高いことから、低温脆性を生じた試料の操作には適していない。

一方で、破損が生じる物体のハンドリングには、ゴム等の柔軟材料を主材料としたソフトアクチュエータが使用されている。しかし、ソフトアクチュエータはその使用材料が顕著な低温脆性を生じる事から、LN2 温度領域におけるソフトアクチュエータを実現した例はない。

これに対して本研究では、LN2 温度においても柔軟性を保ち駆動可能な LN2 温度用ソフトアクチュエータを実現した。LN2 温度は細胞や臓器等の長期保存、有害・爆破物質の保存、超伝導磁石に関する研究など様々な分野において使用されており、本研究は応用先が広い基盤技術と言える。また本研究で開発したポリイミドフィルムの貼り合わせ技術は、アクチュエータ製作以外にも応用可能であり、産業分野において高い有用性を持つと考えられる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果（本文）

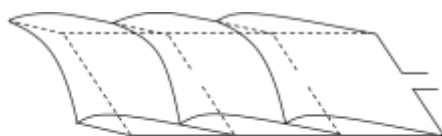
本研究では、以下の 3 項目について研究を行った。

3.1 湾曲動作を行う液体窒素温度用ソフトフィルムアクチュエータ

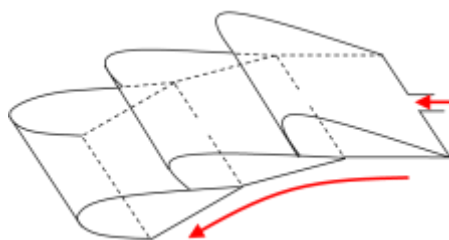
試作したフィルムアクチュエータの外観図を図 1 に示す。アクチュエータは 2 枚のポリイミドフィルムの貼り合わせによって製作した空気室を有している。一方のフィルム

はプリーツ折が施されており，内部に印加したガスによってプリーツが展開することで，指のような湾曲動作を行う．試作したフィルムアクチュエータを図 2 に示す．LN2 環境における駆動に耐える必要があることから，ガス印加のための配管とアクチュエータは，金属線によるかしめをおこなっている．またチューブには低温耐性を持つテフロンチューブを用いた．

試作したアクチュエータについて，LN2 温度における駆動評価を行った．LN2 温度における駆動の様子を図 3 に示す．駆動環境温度 -195°C ，印加圧力 21.7kPa において指先における発生力 78mN を実現した．これによりこれまで不可能であったソフトアクチュエータの LN2 温度領域における駆動を実現し，また低温における柔軟性を有することが確認できたことから，低温における脆性材料のハンドリングを行うデバイスへの応用が期待できる．



(a) ガス印加前



(b) ガス印加後

図 1 液体窒素温度用ソフトフィルムアクチュエータの構造



(a) ガス印加前



(b) ガス印加後

図 2 試作したフィルムアクチュエータ



図3 試作したアクチュエータの液体窒素温度環境における駆動の様子

3.2 拮抗型ソフトフィルムアクチュエータ

3.1 で述べたアクチュエータは、陽圧および陰圧の印加によって1方向への湾曲動作を行う。一方で、ガス圧を大気圧に戻した際にも原点位置に戻らないという課題があった。加えてより複雑動作やアクチュエータの剛性変化を行うためには、空気室を複数配置した拮抗駆動を行うとよい。そこで本研究では、最も単純な空気室の拮抗配置である2つの空気室が対抗した拮抗型ソフトフィルムアクチュエータを製作した。

試作した拮抗型アクチュエータの構造概略図を図4に示す。3枚のフィルムの貼り合わせによって2つの空気室を製作しており、非常に単純な構造を有している。両側のフィルムはプリーツ折りが施されており、一方の空気室にのみガス圧を印加する事で湾曲動作を、両方向にガス圧を印加し圧力差を生じさせることで剛性変化および原点への復帰が可能となる。

試作したアクチュエータの駆動の様子を図5に示す。2つの空気室それぞれ個別にガス圧を印加する事で両方向への駆動が実現されていることを確認した。また、拮抗駆動を行う事で原点に復帰する動きが確かめられ、目的としていた動作を実現した。3枚のフィルムの貼り合わせのみで制御が容易に可能なフィルムアクチュエータを製作可能である事から、今後、ロボットハンド、ロボットアームへ応用することで有効性を発揮すると考えられる。

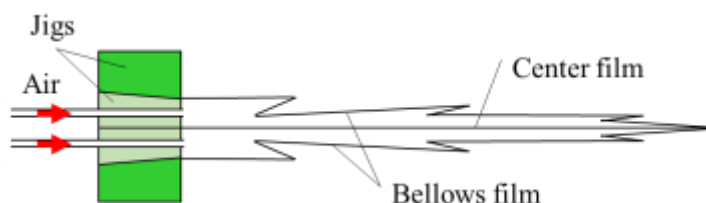
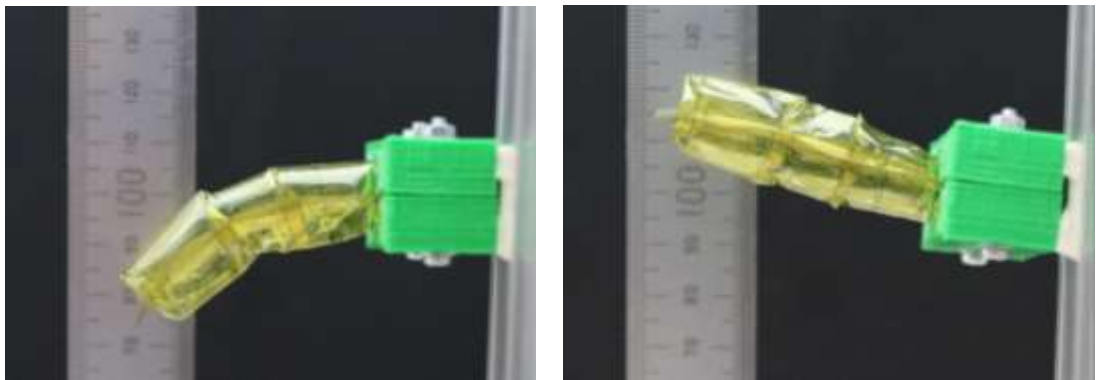
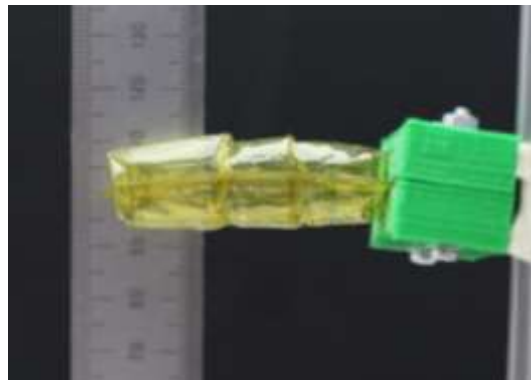


図4 拮抗型アクチュエータの構造



(a) 上部空気室のみガス圧を印加した場合 (b)下部空気室のみにガス圧を印加した場合



(c) 拮抗駆動によりゼロ点復帰を実現した様子

図 5 試作した拮抗型アクチュエータの駆動の様子

3.3 ポリイミドフィルム溶着装置

本ソフトフィルムアクチュエータは、ポリイミドフィルムの貼り合わせにより駆動源となる空気室を構成している。一方で、より複雑な構造の実現、およびより発生力を上昇させるためには、ポリイミドフィルムの貼り合わせ技術に関して改善を行う必要がある。そこで本研究では、フィルム溶着に関して、温度、圧力および溶着時間を制御可能な専用溶着装置を開発した。

開発したポリイミドフィルム溶着装置を図 6 に示す。ポリイミドは非常に優れた耐候性、機械的性質等を持っているため、従来、異種材料に限らずポリイミドフィルム同士の溶着においても接着剤（接着層）が必要不可欠であった。しかし本研究では、上記溶着条件を選定することで、ポリイミドフィルム同士の接着剤レスでの溶着に成功している。

図 7 に溶着に成功した試験片を示す。剥離試験を行うことによって、アクチュエータに最適となる溶着条件を選定した。これによりポリイミドフィルムを使用したアクチュエータの性能向上が期待される。またフィルム厚さ、枚数などを変更した際の溶着条件の選定が可能となり、複雑な構造を有するアクチュエータの実現が期待される。



図6 製作したポリイミドフィルム溶着装置

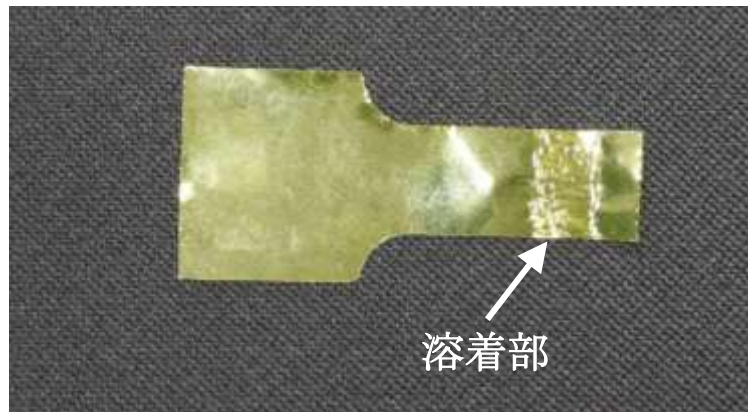


図7 ポリイミドフィルム剥離試験用試験片

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

山口 大介 埼玉大学 大学院理工学研究科 助教

5. 研究実施時期

2015年（平成27年） 3月1日から 2016年（平成28年） 3月31日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- [1] D. Yamaguchi, T. Hanaki, R. Kamimura, Y. Ishino, M. Hara, M. Takasaki, and T. Mizuno, “Pneumatic Actuator using Polyimide Film for Liquid Nitrogen Temperature”, Actuator 2016, P46, 2016.06.13.
- [2] T. Hanaki, D. Yamaguchi, Y. Ishino, M. Hara, M. and Takasaki, T. Mizuno, “Driving Performance of Soft Film Actuator for Liquid Nitrogen Temperature Environment”, The 19th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2015), C11, 2015.11.28.
- [3] D. Yamaguchi, T. Hanaki, Y. Ishino, M. Hara, M. Takasaki, and T. Mizuno, “Fabrication and Evaluation of Soft Film Actuator for Low Temperature Environment”, The 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, TH-D-2-2, 2015.05.23.
- [4] 山口大介, 花木樹也, 上村峻太郎, 石野裕二, 原正之, 高崎正也, 水野毅, “極限環境に適用可能なソフトアクチュエータの基礎特性評価”, 第 28 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 18A2-5, 2016.05.18.
- [5] 上村峻太郎, 山口大介, 花木樹也, 原正之, 石野裕二, 高崎正也, 水野毅, “極低温環境用空圧フィルムアクチュエータの性能向上を目的としたポリイミドフィルム溶着状態の評価”, 2016 年度精密工学会春季大会, F20, 2016.03.15.
- [6] 山口大介, 花木樹也, 上村峻太郎, 原正之, 石野裕二, 高崎正也, 水野毅, “拮抗駆動型液体窒素温度環境用ソフトアクチュエータの試作と評価”, 2015 年度精密工学会秋季大会 学術講演会, P02, 2015.09.04.
- [7] 山口大介, 花木樹也, 石野裕二, 原正之, 高崎正也, 水野毅, “宇宙環境における使用を目的としたソフトアクチュエータの提案と試作”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P2-U03, 2015.05.18.
- [8] 花木樹也, 山口大介, 石野裕二, 原正之, 高崎正也, 水野毅, “ポリイミドフィルムを用いた液体窒素温度環境用ガス圧ソフトアクチュエータの試作と評価”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1A1-A05, 2015.05.18.

7. 内外における関連研究の状況

近年、ロボットと人が同じ空間において作業を行う共存化が進められており、またリハビリテーションや医療分野では、人をアシストするロボットウェアなどが開発されている。こういった分野では、人に対する安全性確保という意味合いから、人に似た柔らかさを持ったソフトアクチュエータが用いられている。一方、本研究は人とロボットの共存とは対称的に、人が活動不可能な極限環境に人の特性（ここでは柔軟性）を取り入れる基礎研究である。極限環境を応用した技術は今後も増加すると考えられ、従来のソ

フトアクチュエータ関連技術を極限環境に活かすための基礎研究を進めることが重要と考える。

8. 今後の発展に対する希望

本研究では、液体窒素温度領域においても柔らかさを維持可能な、ソフトアクチュエータを実現した。今後、本アクチュエータを基盤技術として活かすことで、使用目的に合わせた特殊作業用ロボットの開発が可能と考える。また、アクチュエータ製作のために開発したポリイミドフィルム溶着技術をアクチュエータ以外の分野に応用することで、例えば、極限環境に対応したバルブ、特殊配管といった機械要素の高性能化が期待でき、産業分野に貢献できると考える。