

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20908

研究課題名(和文)液体窒素温度におけるポリイミドフィルムの特性評価とソフトアクチュエータへの応用

研究課題名(英文)Characteristic evaluation of polyimide film at liquid nitrogen temperature and application for soft actuator

研究代表者

山口 大介(YAMAGUCHI, Daisuke)

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00735657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、液体窒素温度付近で柔軟に駆動可能なソフトアクチュエータについて研究を行った。

極限環境で駆動可能なソフトアクチュエータを実現するために、本研究ではポリイミド(PI)フィルムの溶着技術の開発・評価を行った。本技術により、PI製バルーン、および湾曲動作を実現するPI製ソフトアクチュエータを実現した。

開発したアクチュエータは、これまでのソフトアクチュエータでは実現不可能であった -195度付近において駆動を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a soft actuator that can be flexible near liquid nitrogen temperature (77K).

To realize a soft actuator for an extreme environment, a welding technology of polyimide (PI) films was fabricated and evaluated. By using this technology, PI balloon and PI bending soft-actuator were realized.

The actuator has succeeded in driving around -195 degrees Celsius, which was impossible to realize with conventional soft actuators.

研究分野：ロボティクス、メカトロニクス、アクチュエータ工学

キーワード：ソフトアクチュエータ メカトロニクス フィルモティクス 極低温 液体窒素 極限環境 ポリイミド 溶着技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 医療、食品加工、生体試料の保存など様々な分野において極低温環境、特に液体窒素温度環境の利用が進められている。一方で現在、液体窒素温度付近で使用されているアクチュエータのほとんどが、金属を主な構成材料とする硬いアクチュエータであり、低温脆性を生じた生体試料などのハンドリングが困難である。

(2) 空圧ソフトアクチュエータは、ゴム材料と空気の柔らかさにより、人体や生体試料に対して高い安全性を有するアクチュエータである。一方で、低温においては樹脂に転移・変質が生じるため、これまで低温環境において使用可能なソフトアクチュエータの実現例はない。

(3) 研究代表者は、従来不可能とされてきた耐寒性が非常に高いポリイミド (PI) フィルム同士の溶着に成功している。本溶着技術によって、耐寒性の低い接着剤など樹脂材料を使用しない空気室を作る事が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、背景 (1) の課題を解決するために、背景 (2) の空圧ソフトアクチュエータについて、背景 (3) で挙げた PI フィルム溶着技術を応用し製作することで、液体窒素温度 (-196°C) 付近において駆動可能な液体窒素温度環境用ソフトアクチュエータの確立を目的とする。そのために基礎課題、本課題、発展課題と段階的に研究を分け、実施した。

3. 研究の方法

(1) 基礎課題：PI フィルム溶着評価

研究代表者がこれまでに開発した PI フィルム溶着に関して溶着強度の評価を室温および低温において行った。一般的に液体窒素温度付近の低温でのフィルム剥離試験は実施されないことから、本研究では図 1 に示す専用の液体窒素温度環境用引張試験機を製作した。試験片および固定治具は液体窒素デュワー瓶内部に取り付けられており、液体窒素から気化したばかりの低温窒素ガスによって冷却される。

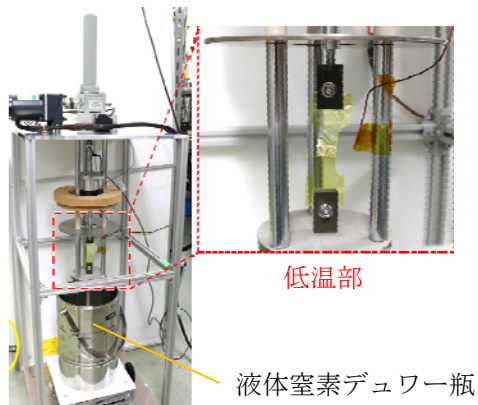


図 1 液体窒素温度環境用引張試験機

溶着強度について、本研究では剥離試験によって評価した。接着強度と同じく、剥離試験時の剥離方向によって溶着強度は大きく変化すると考えられたため、T 字剥離、せん断剥離の 2 種類について評価を行った。

(2) 本課題：PI フィルムバルーン

バルーン型アクチュエータを製作するために、図 2 に示す PI フィルム溶着装置を製作した。本装置では、高温に加熱した金型を交換することによって、様々な形状の空気室を製作することができる。

試作したバルーン型アクチュエータについて図 3 に示す。基礎課題から、剥離方向によって溶着強度が異なる事が確かめられたため、バルーンとした際に溶着面がそれぞれの剥離方向となるアクチュエータを製作した。T 字剥離型バルーンでは、2 枚のフィルムを重ね、溶着することで空気室とした。せん断剥離型バルーンでは、1 枚のフィルムを輪となるように側面で溶着し、先端部に栓をかしめることで T 字剥離部がないように製作している。

発展課題において、液体窒素温度付近でアクチュエータの駆動評価を行うために、図 4

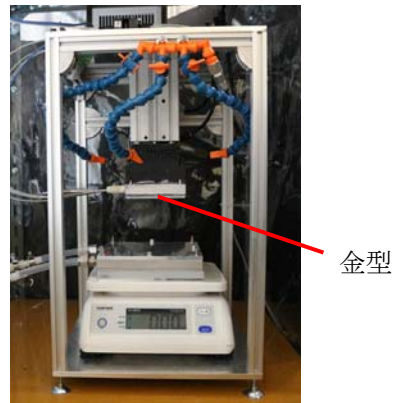


図 2 PI フィルム溶着装置



(a) T 字剥離型バルーンアクチュエータ



(b) せん断剥離型バルーンアクチュエータ

図 3 バルーン型アクチュエータ (2 種)

に示す液体窒素温度用空圧ソフトアクチュエータ評価装置について製作を行った。-196°C付近では、空気中の水蒸気、酸素などが固化・液化するため空圧アクチュエータの駆動が困難である。そこで、冷媒に使用した気化後の窒素ガスをシリンジで回収し、アクチュエータの駆動に使用する仕組みを製作した。また液体窒素温度付近での発生トルクを測定するために、フォースゲージを装置外部に取り付け、低温部に設けたロッドを押し上げることで、先端における発生力の測定を行う。

(3) 発展課題：湾曲型アクチュエータ

湾曲駆動を行うアクチュエータについて試作を行い、液体窒素温度付近において駆動評価実験を行った。試作したアクチュエータを図5に示す。本アクチュエータは、T字剥離型バルーンの方のフィルムを蛇腹状に折り込み溶着することで製作している。内部にガス圧が印加されることで蛇腹が展開し湾曲動作を生じる。アクチュエータの空気室は、幅8mm、1関節辺り20mm間隔で3つの関節を配置した。先の装置を用いることで、室温および低温環境において、アクチュエータの発生トルクについて評価を行った。

フォースゲージ

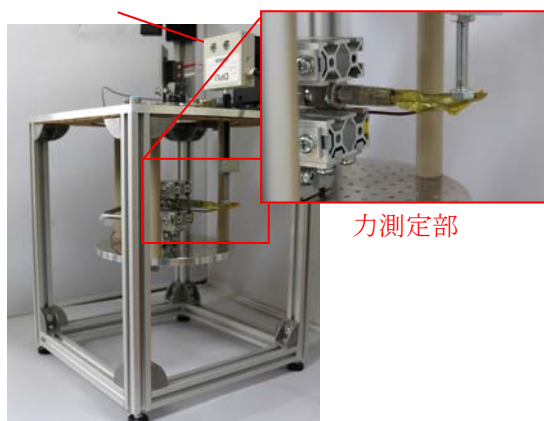


図4 液体窒素温度用空圧ソフトアクチュエータ評価装置



図5 蛇腹型アクチュエータ

4. 研究成果

(1) 基礎課題：PIフィルムの溶着評価

剥離試験後の試験片の状態を図6に示す。T字剥離試験片の場合、剥離が進展する様子が見られた。一方で、せん断剥離試験片の場合、溶着による局所的な変形が生じた箇所を中心として急激に破断が生じた。

温度と溶着強度の関係について述べる。室温での評価では、剥離強度はT字剥離の場合0.52kN/m、せん断剥離の場合4.0kN/mとなり、7.6倍の差が見られた。-100度および-160度において評価を行ったところ、T字剥離試験片では剥離強度に室温と大きな違いは見られなかった。一方で、せん断剥離試験片は、温度が低下するほどに溶着強度が上昇する傾向が見られた。これは、図2の試験片の様子からもわかるように、せん断剥離の場合には破断による破損が主に測定されており、低温となる事で破断強度が上昇し、結果として溶着強度が上昇したと考えられる。

本研究で開発した溶着技術は世界的に見て本研究室のみが有しており、また接着剤・前処理レスでの溶着を行える事から、PIフィルムの特性を最大限に活かせる可能性を持っている。本課題で示した成果は、PIフィルムを使用した空気室を構成するために必要な基礎特性であり、特に低温において特性が向上するという知見は従来得られていない成果であることから、PIフィルムを使用した空気室の特殊環境での有用性を示す結果の一つと言える。

(2) 本課題：PIフィルムバルーン

室温において空気室に空気圧を印加し、破損が生じる耐圧について比較を行った。せん断剥離型では、T字剥離型と比較して3.2倍の耐圧を示した。それぞれの破損箇所は、T字剥離型で先端部、せん断剥離型で側面中央部であることから、いずれも溶着強度に依存した破損であることが確かめられた。また基礎課題より得られた溶着強度を基に、理論値の計算を行ったところ実験結果と一致した。

これにより、用途に合わせたPIフィルム製空気室の耐圧設計が可能となったことで、その応用先を検討する事が可能となり、これまでのフィルム製品に置き換えることで、よ



(a) T字剥離試験片



(b) せん断剥離試験片

図6 剥離試験片の試験後の様子

り大きな耐圧、より高い耐極限環境特性を有した空気室および空圧機器の開発が可能となる。

(3) 発展課題：湾曲型アクチュエータ

液体窒素温度付近におけるアクチュエータの湾曲の様子を図7に示す。湾曲の様子については、これまでに開発していた低温評価装置を用いた。本実験から、ガス圧を印加する事で、室温と変わらずに湾曲動作を生じる事が確認された。

本研究で開発した装置を用いて、 -142°C および 25°C の温度環境における発生トルクの評価を行った。発生トルクの評価では、1関節あたりの発生トルクを評価するために、関節の拘束を行っている。いずれの温度においても、印加圧力と発生トルクの関係に大きな違いは見られず、印加圧力 30kPa において 3mNm であった。

以上の実験から、本研究で試作したアクチュエータの駆動特性が明らかとなり、低温環境において駆動するソフトアクチュエータとして世界最低温度を有していた。

以上、(1)～(3)の結果より、本研究で開発した技術によって、宇宙環境や極低温環境といった極限環境に適用できるソフトアクチュエータを設計・製作が可能となり、ソフトアクチュエータ・ソフトメカニズムの適応領域の拡大が期待できる。

また本技術を用いることで、惑星探査機用エアバッグ気室の開発・検討についても行っており、今後、具体的な応用を目指している。



図7 液体窒素温度付近での湾曲の様子

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 12 件)

- ① 山口大介、花木樹也、高井和貴、石野裕二、原正之、高崎正也、水野毅、液体窒素温度環境用空圧フィルムアクチュエータの成形加工による製作、ロボティクスメカトロニクス講演会 2017、2017 年
- ② Daisuke Yamaguchi, Tatsuya Hanaki, Ryotaro Kamimura, Yuji Ishino, Masayuki Hara, Masaya Takasaki, and Takeshi Mizuno, Pneumatic Actuator

using Polyimide Film for Liquid Nitrogen Temperature, Actuator 2016, 2016.

- ③ 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、2016 年.
- ④ 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、2016 年.
- ⑤ Tatsuya Hanaki, Daisuke Yamaguchi, Yuji Ishino, Masayuki Hara, Masaya Takasaki, Takeshi Mizuno, Driving Performance of Soft Film Actuator for Liquid Nitrogen Temperature Environment, The 19th International Conference on Mechatronics Technology, 2015.
- ⑥ Daisuke Yamaguchi, Tatsuya Hanaki, Yuji Ishino, Masayuki Hara, Masaya Takasaki, and Takeshi Mizuno, Fabrication and Evaluation of Soft Film Actuator for Low Temperature Environment, The 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 2015.

[図書] (計 1 件)

- ① 山口大介、技術情報協会、アクチュエータの新材料、駆動制御、最新応用技術、2017、530-536

[その他]

- ① 研究業績ホームページ
(<http://s-read.saitama-u.ac.jp/researchers/pages/researcher/sTqbdxYy>)
- ② 山口大介、日本工業出版、油空圧技術 2018 年 2 月号、2018、3-7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 大介 (YAMAGUCHI, Daisuke)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：00735657

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし