

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14874

研究課題名（和文）複雑形状を有するPIフィルムに対する溶着技術の開発と空圧モータへの応用

研究課題名（英文）Development of welding technology for PI films with complicated shape and applying to pneumatic motor

研究代表者

山口 大介（Yamaguchi, Daisuke）

岡山大学・自然科学学域・助教

研究者番号：00735657

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ポリイミド（PI）は、高い機械的特性や耐熱性を有する樹脂材料であるが、一方で、その高すぎる耐熱性・耐薬品性から、溶着が困難であり、優れた特性を活かしきれていなかった。本研究では、溶着用金型の接触部における平行度・表面粗さに大きく依存しない、PIフィルム同士の前処理・添加剤レス溶着を実現した。本溶着技術によって、複雑な立体形状を有するPIフィルムを溶着し、3次元構造を有するPI製空気を實現した。また製作した気室を駆動源に適用することで、回転型の空圧モータを製作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来困難とされてきたポリイミドフィルム同士の溶着について、一定の知見を得た。開発した溶着技術を利用することで、任意形状のポリイミド製気室が製作可能となり、エアバッグやインフレーター構造体に高い耐極限環境性を付与することが可能となる。また他の溶着が困難な樹脂材料に本技術を適用することで、金属部品の樹脂化による軽量化や、より軽量・高性能な樹脂の利用を促進し、排出ガス問題、エネルギー問題解決への一助となる。また開発したモータは、耐極限環境性の高い構成材料のみで構成されていることから、宇宙環境などの極限環境内において曝露状態で使用可能な駆動源である。

研究成果の概要（英文）：Polyimide (PI) is a resin material with high mechanical properties and heat resistance. On the other hand, its high heat resistance and chemical resistance make it difficult to weld. Therefore, the excellent properties of PI have not been fully utilized. In this study, welding of PI films without pre-treatment or additives was achieved, which is not dependent on the parallelism and surface roughness of the contact area of the welding die. Using the welding technology, PI films with complex three-dimensional shapes were welded together to realize a PI air chamber with a three-dimensional structure. The fabricated air chamber was applied to pneumatic actuators, and a rotating pneumatic motor was realized.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：アクチュエータ ポリイミド 極限環境 モータ 空圧 溶着

1. 研究開始当初の背景

ポリイミド (PI) は、高い機械的特性 (機械的強度, 耐摩耗性等), 高耐熱性 (4K~570K), 高耐薬品性 (酸性・アルカリ性・有機溶剤) を有する樹脂材料であり, スマートフォンのアンテナや電子機器, 人工衛星や惑星探査機などの宇宙機の保護カバー等に使用されている. 一方で, その高すぎる耐熱性, 耐薬品性から, 樹脂材料の利点である溶着が困難といった課題があり, PI の持つ耐極限環境性を活かすきれない, 形状に限界があるなど, 溶着技術において課題が存在した.

本研究ではこれまでに, 実現が困難とされてきた前処理・添加剤フリーな PI フィルム同士の溶着技術を開発した. 本技術は世界的に本研究室のみが有する固有の技術であり, 月面探査機用エアバッグや世界最低駆動温度 (78K) を実現した空圧ソフトアクチュエータを開発している. これらのように新たな溶着技術を導入することで, これまでの駆動限界を超えた機械要素・アクチュエータを実現してきた.

2. 研究の目的

一方で, これまでに開発した溶着技術では, フィルムを押しつける金型同士の平行度・表面粗さに依存して溶着強度が低下し, 空気室の耐圧性能の低下, 破損箇所の増加, 複雑な形状の溶着に必要な精密位置決めが困難, といった技術的課題があった. そのため, 製作可能なアクチュエータや空気室は単純な構造に限られ, その応用先にも限界が存在した.

そこで本研究では, 複雑な形状を有する厚さ $25\mu\text{m}$ の PI フィルムに対して, 溶着部の平行度・表面粗さに大きく依存しない前処理・添加剤レス溶着を開発し, 3次元構造を有する PI 製空気室を実現する. さらに空圧モータへ応用することで, 極限環境用回転駆動源を実現することを目的とする.

3. 研究の方法

(1) フィルム溶着技術の改良

① 表面粗さ・平行度に大きく依存しない溶着

図1に本研究で試作した溶着方法を示す. これまでに開発した溶着技術では, ヒータにより加熱した金型を2枚のフィルムに押し付ける事で溶着を行っていた. この方法では, 先に述べた課題が存在する. そこで, 金型とPIフィルムの間に耐熱グリスを塗布することで, 表面粗さを緩和した. 加えて, 金型と圧力印加機構の間に低弾性材料を挿入することで平行度を受動的に補正する構成とした.

② 加熱部・加圧部を分離した構造

成形された立体的な構造を避けて溶着箇所を設ける必要があることから, 溶着金型の溝部に成型部が入る必要があり, それぞれの位置合わせを行う必要がある. 一方で, 高温用送り機構ではガタつきが大きく, 複雑形状を溶着するための精密位置決めが困難であった. そこで予め室温において金型およびフィルムを組み立て, 予圧を印加した状態から加熱が可能, 加熱部と加圧部を分離した構造に変更する. 加熱にはインパルスヒータを用いることで, 急熱・急冷を可能とする.

(2) 気室製作および空圧モータ

① 立体的な空気室の成型加工

熱間圧空成型をおこなうことでPIフィルムを立体成型する. 上記の改良するフィルム溶着技術を用いることで, 成型したフィルムと未成型のフィルムを溶着し, 複雑な動きを生み出す空気室を製作する. 立体形状の端部では正確な位置決めと溶着を行う必要がある.

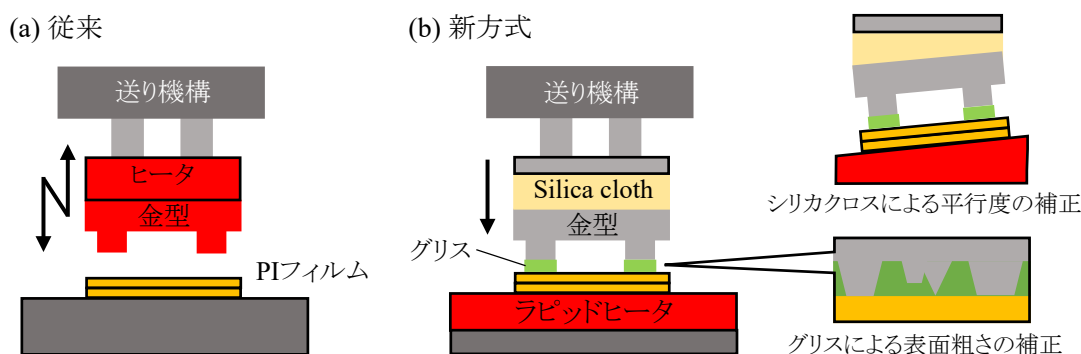


図1 従来溶着技術の課題と本研究の溶着技術

② 空圧モータの試作

複雑形状を有する空気室を駆動源とする空圧モータを試作し、特性の評価を行う。図2に試作するモータの概略を示す。円周上に配置された気室を交互に展開させることによって、上部に取り付けられたロータを搬送し、回転動作を行う。

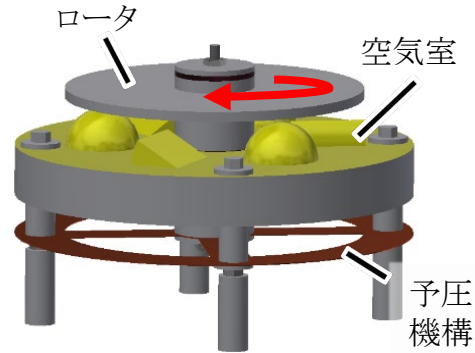


図2 試作モータの概略

4. 研究成果

(1) 溶着技術について

① 表面粗さ・平行度に大きく依存しない溶着の実現

本研究では従来の樹脂溶着と比較して高温領域での溶着を実施することから、耐熱約 1000°Cを有するシリカクロスおよびボロンナイトライド配合グリスを、それぞれ平行度補正用のクッション材および表面粗さの緩和剤として利用した。これにより、溶着部の平行度・表面粗さに大きく依存しない溶着を実現した。

② 加熱部・加圧部を分離した構造の実現と立体形状を持つフィルムの溶着

当初計画ではインパルスヒータによって加熱を行い、短時間での加熱を実現する予定であったが、金型の熱容量を計算した結果、目標仕様に達しないことが判明した。そこで、金型同士を位置決めピンで正確に位置決めし、金型外周に配置したボルトナットの締め付けトルクによって予圧を調整する加圧部と、金型内へヒータを直接挿入する手法をとることで、加熱部・加圧部を分離した構造を実現した。本機構を用いることで、複雑な立体形状を持った成型されたフィルムに対しても溶着を実現した。

(2) アクチュエータへの応用

① 立体的な空気室の製作

上記の溶着技術を用いて、熱間圧空成型を行った立体形状を持つフィルムと未成型のフィルムの溶着を行った。図3に製作した気室を示す。溶着した気室に対してチューブを配管することで、1枚のシート上に同時に2種類、合計6つの気室の製作に成功した。気室の個数が増えた場合においても、同様の手法を用いることで同時に製作が可能である。溶着条件となる温度、加熱時間、金型形状を変更して溶着を実施し、はく離試験による強度を評価することで、気室製作に最適な溶着条件の選定を行っている。

② モータへの適用

上記、製作した気室を使用して空圧モータを製作した。製作した空圧モータを図4に示す。気室には、ロータ搬送用とロータ固定用の2種類の気室があり、ロータ搬送用気室には金属製のフィンが設けられている。搬送用気室と固定用気室を交互に駆動する事で、フィンによるロータの送り運動と固定用気室によるロータの固定を繰り返す事で、ロータはステップ運動を行う。また回転軸とケーシングの間に板バネを設ける事で、回転運動を取り出すロータと気室の運動を回転方向に変換するフィンの間に予圧を印加し、気室の変形による軸方向へのロータの振動を低減している。

特性評価の結果、最大瞬間トルク 0.7mN/m、最大平均回転数 0.95rps と、想定より低出力であった。この原因として、フィンとロータの間に生じる滑り、回転軸の軸方向への周期的な振動による損失が考えられた。そこで、気室をロータに対して周方向に配置し、外歯車・内歯車の歯数差を利用して回転するワブルモータについて、動作確認用モデルの試作および検討も進めた。気室に対して筐体および周囲の構造が大型化する傾向が強いことから、全体設計および機械要素の選定を大きく変更する必要がある。

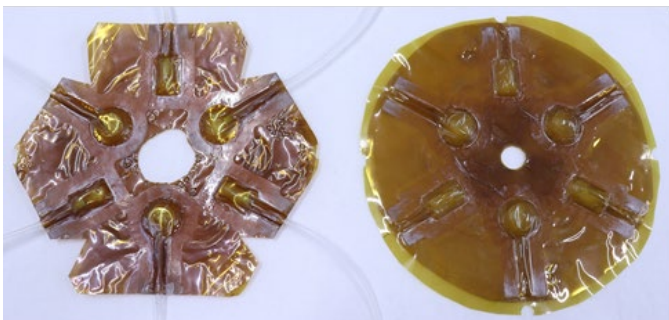


図3 モータ用気室

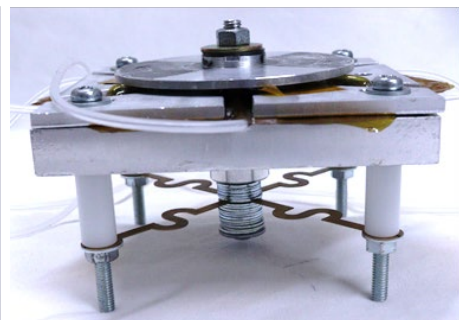


図4 製作した空圧モータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平賀暉章, 山口大介, 脇元修一, 神田岳文
2. 発表標題 ポリイミド製空気室を用いた空圧ワブルモータの試作
3. 学会等名 2022年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村圭吾, 山口大介, 脇元修一, 神田岳文
2. 発表標題 極限環境用空圧アクチュエータ材料としてのポリイミドフィルムの特性評価
3. 学会等名 2021年精密工学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅大貴, 山口大介, 脇元修一, 神田岳文
2. 発表標題 3Dプリンティングにより製作した樹脂型を用いたポリイミドフィルムの熱間圧空成型
3. 学会等名 2021年精密工学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口大介, 森敬志, 石野裕二, 高崎正也, 水野毅
2. 発表標題 複雑形状を有するポリイミド製空気室の簡易製作法と気室のモータへの適用
3. 学会等名 2020年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤陽祐, 山口大介, 高崎正也, 石野裕二, 水野毅
2. 発表標題 金型を必要としないポリイミドフィルム同士の溶着とパルーンの試作
3. 学会等名 精密工学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田拓希, 山口大介, 高崎正也, 石野裕二, 水野毅
2. 発表標題 ジャミング転移を用いたポリイミドフィルム製可変剛性要素の特性評価
3. 学会等名 精密工学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田浦魁晟, 山口大介, 高崎正也, 石野裕二, 水野毅
2. 発表標題 2枚の成型したポリイミドフィルムから構成される空圧アクチュエータの試作
3. 学会等名 精密工学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------