

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14108

研究課題名(和文) 生体-機械インターフェースの為のモノリシック微小ソフトロボット作製技術の開発

研究課題名(英文) Monolithic micro soft robot for human-machine interface

研究代表者

佐々 文洋 (Sassa, Fumihiro)

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：30722681

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)：生体アシストデバイスによる知覚・身体機能の支援・拡張技術は、来たる超高齢化社会における労働力不足に対する有望な技術的解決策である。AI、ロボット、生化学分析技術の発展する現在、その機能のボトルネックは機械と生体をつなぐインターフェースにある。課題の本質は常に成長・変形する生体と、動くことのない機械との齟齬からくる身体への侵襲性である。本計画では微小チップ上の化学分析ロボットである μ -TASのテクニックを応用し、生体に寄り添う、柔らかく・動的に位置ずれを修正する生き物のような生体-機械インターフェース設計・作製のための基盤技術を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本計画で構築したモノリシックソフトマイクロロボット作製技術は、体への違和感、メンテナンスに伴うリスクを極限まで低減した、人にやさしい生体-機械インターフェースの実現を目的としており、これからの高齢化社会を支えるアシストデバイスのキー要素になると考える。

また、本技術はインターフェースのみならず、小型ロボット作製技術の新しい方針の一つとなりうる。

研究成果の概要(英文)：Supporting and enhancement of physical capability with body assistant devices for elderly people is a promising way to solve the problem of labor shortage caused by aging society which many countries are facing. With advancing of artificial intelligence, robotics and biosensing technology's, the function of bottleneck of body assistant devices are focused to interface between body and machine. An essence of the problems is invasiveness of body caused by mismatching between body which is always deforming or growing and unmoving machines. In this project, we have developed fabrication techniques of patternable softmicro robot for body-machine interface.

研究分野：BioMEMS

キーワード：モノリシックロボット 熱駆動アクチュエータ アクチュエータフィルム 化学センサ 生体-機械インターフェース

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(高齢化社会と身体・知覚機能支援デバイスについて)

内閣府作成「高齢社会白書平成 29 年版」によれば我が国の人口は 2010 年を境に減少に転じ、65 歳以上の人口割合いわゆる高齢化率は 25%を超えた。この傾向は長く続き 2060 年には人口は 8600 万人となり、高齢化率は 40%を超えると予測されている。もし、国民の労働人口を 65 歳以下と限定した場合には国の生産性は明白に破綻する。即ち**国民の長寿と健康の維持、高齢者も生き生きと働く社会の実現**は、日本の社会を存続させるための必須条件である。この実現のカギとなるのは**機械による常時健康管理、身体・知覚機能の補完・拡張技術**である。眼鏡や補聴器は言うに及ばず、運動機能支援のためのロボットアシストスーツ、人工内耳、また常時健康状態をモニタリングするための微小化学分析装置 μ -TAS など、さまざまな技術がこれまでに提案され、一部では実用化も推し進められている。誰もがいざれ迎える老化、これに伴う身体機能の衰え・健康リスクを、このようなデバイスの支援によって補完し、若い時と同様に楽しく働けるようにするシステムは科学技術が提供できる高齢化社会に対する解決策である。

(生体-機械インターフェースについて)

上記支援デバイスの人体とのインターフェースは、装着型、粘膜接触型、体内インプラント型とさまざまである。機能や動作原理の異なるこれらデバイスに共通する課題は、**使用時の違和感・人体への侵襲性**である。強い異物感を持ち、頻繁にメンテナンスのための外科処置を必要としては万人に受け入れられることは無理である。**考慮すべきは人間(生体)と人工物(機械)との差異である**。生体は柔らかく、成長や老化に伴い変形する。また、細胞・組織レベルで動くことで、その時の最適状態に位置合わせをし、損傷を受ければ自分自身で修復を行う。一方、機械は通常、固く、変形に弱い。位置ずれ、損傷に対しては無力である。相反する性質を持つ二つのシステム(生体と機械)が共存するためには、どちらかが、(この場合当然)機械が合わせ、生体のような性質、即ち、**柔らかく・動き・自己修復する性質を持つ必要がある**。例えば、粘膜に設置する機械の場合、人間の動作に伴い伸縮し、位置ずれを起こした場合には能動的に動き位置合わせをする。一部機能が壊れた場合には代替の部位と再接続し、機能を維持してくれるような機械である。この生き物のような機械-生体インターフェース(図1)があれば、使用者は快適に長期間メンテナンスフリーで 사용할ことが可能となる。

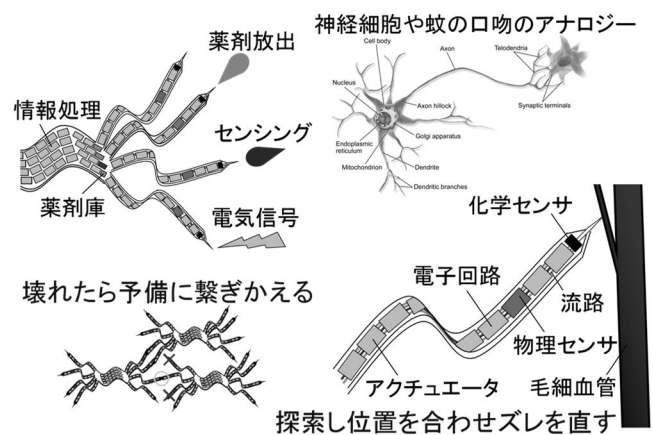


図 1.本研究で提案する微小ソフトロボット技術による生き物のような生体インターフェースのコンセプト

2. 研究の目的

人体への違和感、メンテナンスに伴うリスクを極限まで低減した、人にやさしい生体-機械インターフェースの実現を目的とし、**生き物のような柔らかく・動く、モノリシックプロセスによる微小ソフトロボット作製の基盤技術を開発する**。

3. 研究の方法

開発する積層型モノリシック微小ロボットはフレキシブルな基板上に作製された、**1.柔軟なセンサ・電気回路層**、**2.骨格を含むアクチュエータ層**、**3.薬剤や生体サンプルを搬送する流路層**の三層から構成される。これらの各要素技術の大部分は過去申請者が開発した積層型 μ -TAS において確立されており、これらを微小ロボット作製という観点で再構成することが本研究の要点である。

4. 研究成果

開発した熱駆動ソフトアクチュエータフィルムの構造を図 2A に示す。フィルムは柔軟かつ熱膨張係数の高い伸縮層と、柔軟な熱膨張係数の低いサポート層からなるバイモルフ熱アクチュエータ層と、緩衝層として PDMS 層を介したヒーター駆動電極層を積層張り合わせすることで構成される。

緩衝層にヤング率の低い PDMS 層を用いることによって、アクチュエータ層は駆動電極層との間にはバイモルフ効果による機械的な制限を受けずに屈曲・変形することが可能となる。

積層アクチュエーターフィルムの作製には、伸縮層にポリプロピレン (PP) 35 μm 、サポート層には紙およびアルミホイルを用いた。各層の接着には熱硬化接着剤を用いた。ここで接着剤として PDMS を用いた場合には温度変化に対し、bimorph アクチュエータ層はほとんど変形しなかった。

ここで、PP 層は事前にフラットな状態で形状を固定し 100 で加熱し、熱収縮を起こしたものをを用いた。

アクチュエータフィルムの各層は接着剤を塗布後 2 kg の重りを乗せたフラットな板で一定温度 (60、80、100) に昇温したホットプレートに 30 分押し当てることで接着した。以降ではこのときの温度を接着温度と呼ぶ。駆動用電極層は PDMS 緩衝層自体を接着剤とし、80 に設定したホットプレートを用いて同様の方法で接着した。ここでは駆動用電極層としてアルミホイルをカットしたものをを用いた。ここでは bimorph アクチュエータ層の評価のために PDMS 緩衝層及び駆動電極層を持たないフィルムを 4 mm x 50 mm にカットした試料および、図 2B に示す寸法にカットした電極層を持つデバイスを作製した。この重さは 35 mg であった。

ホットプレートを用いてアクチュエータフィルムの評価を行った。ここでは電極層の電気抵抗値は 0.7 Ω であった。ここではこのカンチレバーに 2 V の電流を印可したとき、電圧印可と同時に瞬時に全体が屈曲し、先端の点は最大で 10.5 mm の変位を示した。

本研究では、0.1 g/mm^2 の軽く、2 V の低消費電圧で駆動可能で反復利用可能なアクチュエータフィルムを作製した。フィルムは容易に加工可能であり、印刷技術とも対応と考えられる。本フィルムは二次元パターンを施すことで加工技術の許す限りの微小化、他店アクチュエータ化が可能であり、組み立て工程の不要なモノリシックロボットを作製することができる。

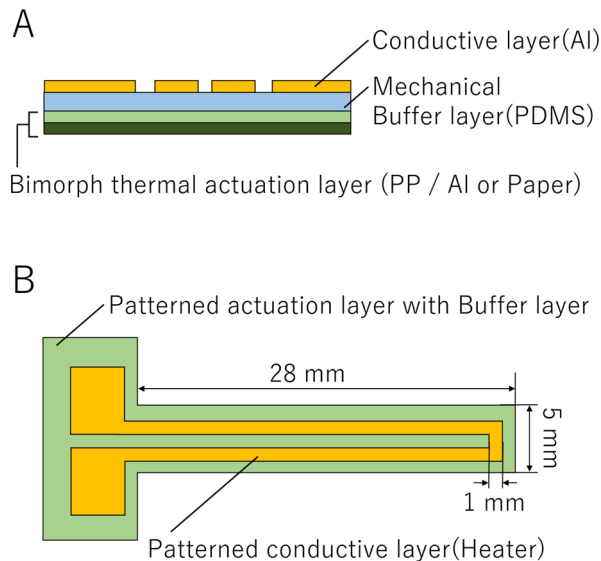


図 2. 開発したソフトロボット

以降ではこのときの温度を接着温度と呼ぶ。駆動用電極層は PDMS 緩衝層自体を接着剤とし、80 に設定したホットプレートを用いて同様の方法で接着した。ここでは駆動用電極層としてアルミホイルをカットしたものをを用いた。

ここでは bimorph アクチュエータ層の評価のために PDMS 緩衝層及び駆動電極層を持たないフィルムを 4 mm x 50 mm にカットした試料および、図 2B に示す寸法にカットした電極層を持つデバイスを作製した。この重さは 35 mg であった。

ホットプレートを用いてアクチュエータフィルムの評価を行った。作製したどのフィルムにおいても接着時温度においてフラットになり、室温 (25) においては伸縮層側に屈曲した。また各フィルムは 50 回以上の反復した昇温および冷却においてもその変形量に変化は見られなかった。しかし、3 時間セルフに静置したところ、紙をサポート層として用いたフィルムは室温においても作成時よりも大きな曲率半径を持った。またこのフィルムを接着温度に加熱した場合においてもフラットな状態には変形しなかった。一方でアルミホイルをサポート層としたものでは 1 週間経過後も元の特性より変化することはなかった。これは紙のサポート層が雰囲気中の水分から吸湿し、膨潤するためと考えられる。これらのフィルムの曲率は各層の厚さと熱膨張係数およびヤング率により決定され、フィルムを薄層化することでより大きな曲率を得ることが可能と考えられる。

駆動電極と緩衝層を持ったカンチレバー構造のアームの評価を行った。ここでは電極層の電気抵抗値は 0.7 Ω であった。ここではこのカンチレバーに 2 V の電流を印可したとき、電圧印可と同時に瞬時に全体が屈曲し、先端の点は最大で 10.5 mm の変位を示した。

本研究では、0.1 g/mm^2 の軽く、2 V の低消費電圧で駆動可能で反復利用可能なアクチュエータフィルムを作製した。フィルムは容易に加工可能であり、印刷技術とも対応と考えられる。本フィルムは二次元パターンを施すことで加工技術の許す限りの微小化、他店アクチュエータ化が可能であり、組み立て工程の不要なモノリシックロボットを作製することができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 F. Sassa, G. C. Biswas, H. Suzuki	4. 巻 20
2. 論文標題 Microfabricated electrochemical sensing devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lab on a Chip	6. 最初と最後の頁 1358-1389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c9lc01112a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Fumihito Sassa and Kenshi Hayashi
2. 発表標題 Flexible Thermal Actuator Film for Monolithic Soft Micro Robot Process
3. 学会等名 IEEE Sensors 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 F. Sassa, C. Liu, K. Hayashi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 18
3. 書名 Gas, and Biosensors for Internet of Things and Related Applications	

〔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
---------------------------	-----------------------	----