

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04054

研究課題名（和文）災害救助活動の支援を目的とした柔軟変形ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of soft deformation robot aiming to support rescue use

研究代表者

青木 岳史（Aoki, Takeshi）

千葉工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：20397045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、災害現場の不整地上を進行波によって移動可能な2次元形状の板状柔軟移動体の開発を行った。板状柔軟移動体は2方向への屈曲が可能なユニットは井桁状に配置する構造とし、屈曲動作を規則的に行うことで進行波を生成して全方向への移動を実現した。本研究では複数節の連結を可能とするために内部へ空気圧供給用の配管を配置した屈曲ユニットの開発と、進行波の生成を自動的に行う自励弁の開発を行った。さらに高柔軟素材である2液混合型シリコーンを出力可能な3Dプリンタの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は近年盛んに行われているソフトロボティクスの研究分野に属しており、具体的な成果として2方向への移動が可能な2次元形状の板状柔軟変形移動体を開発した点と、進行波の生成によって全方向移動を実現した点に学術的な意義がある。また従来提案されていた空気圧自励弁よりも流量を拡大し、複数の気室の切り替えに発展させた点に新規性がある。研究成果の社会的な貢献としてレスキュー分野での応用を目指し、本研究では期待されるフィールドでの動作の実現までを確認した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a two-dimensional flexible plate-shaped moving robot that can move on uneven ground at disaster sites by traveling waves. It has a structure in which units that can bend in two directions are arranged in square mesh, and traveling waves are generated by regular bending motions to move to all directions. And, we developed a bending unit with air pressure supply pipes inside to enable the connection of multiple sections, and a self-excited valve to generate traveling waves. In addition, we developed a 3D printer that can output two-component silicone which is a highly flexible material.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ソフトロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自然界には、自身の単純な形態を柔軟に変形させて運動する生物が存在し、これら生物の形態や機能を模した柔軟に変形するロボット(ソフトロボット)が実現できれば、従来は不可能であった形態での作業が可能となりその効果は大きいと考える。しかし柔軟変形ロボットを実現するためには多自由度で構成する機構を実現するだけでなく、お互いに干渉し合う機構要素を連続的に制御する必要があり、これが学術的な研究課題である。

近年、流体圧を用いたソフトロボティクスの研究分野は海外を中心に盛んであるが、根幹となる技術について新規性のある研究は少ない。そこで本研究では、これまで実現されていなかった空気圧で駆動する2次元形状の柔軟変形ロボットの実現を目指すこととした。

2. 研究の目的

本研究では、災害救助活動での被災者の搬送作業や瓦礫による狭隘空間の拡張作業の支援を目的とした2次元形状の柔軟変形ロボットを開発する。多数の屈曲ユニットで構成する柔軟変形ロボットは、胴体で発生する複数の進行波の合成によって不整地上での全方向移動を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、(1)2方向屈曲ユニットの開発と板状柔軟変形移動体の開発、(2)高軟質素材が造形可能な3Dプリンタの開発、(3)複数連結可能な屈曲ユニットの開発、(4)空気圧自励弁の開発を行った。

4. 研究成果

(1)2方向屈曲ユニットと板状柔軟変形移動体の開発

2方向への屈曲が可能な屈曲ユニットを開発し、小型・高出力の変形機構とするために空気圧駆動を採用した。また複数の屈曲ユニットを連結した場合には各ユニットへ空気圧を供給するための配管が必要となるため、複数本の配管を屈曲ユニットの内部へ内蔵した。従来の射出成型を用いた製造法では複雑な内部の配管の再現は難しく、本研究では3Dプリンタを含む開発環境を新たに構築し、柔軟素材であるTPE(熱可塑性エラストマー)を用いて造形した。本研究で開発した2方向屈曲ユニットを図1に示す。



図1 2方向屈曲ユニット

2方向屈曲ユニットを井桁状に24個組み合わせ、480mm×480mmの面状柔軟変形移動体を開発した。縦横2方向への進行波を生成するために12個の5ポート電磁弁で吸排気の切り替えを行う。図2へ面状柔軟変形移動体の動作実験を示す。移動速度は制御周期を1Hz、供給圧力を0.3MPaの時に9.1mm/sであった。制御周期を速くした場合は進行波の数は増えるが、床面との滑りが増大するために移動速度の向上は見られなかった。

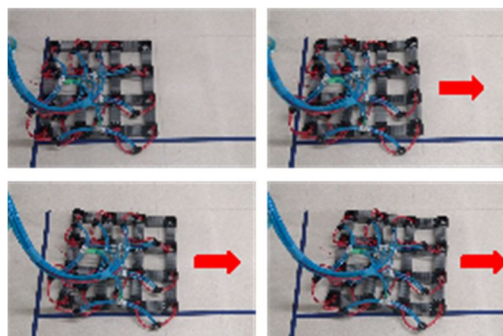


図2 面状柔軟変形移動体による動作実験

(2)高軟質素材が造形可能な3Dプリンタの開発

これまで試作を行ってきたTPEでは、層間の剥離による空気漏れや、素材硬度により屈曲動作に高圧な空気圧が必要となる問題点があった。そこで高軟質素材であるPDMSという2液硬化型シリコンの出力が可能な射出機構の開発を行った。シリコンの硬化はノズルから吐出され、各層の上に乗りながら硬化が始まるため、層間の結合力を高くすることができる。また高軟質素材という特性上、低圧での加圧でも大きく膨らむことができるため、低圧での動作が可能であり、屈曲の変位を増大させたモジュールを開発することができる。

2液硬化型シリコンの射出機構は、空圧シリンジと素材攪拌用スタティックミキサーで構成し、シリコンはスタティ

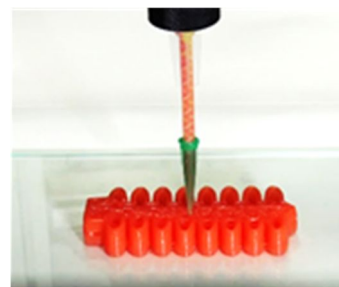


図3 2液硬化型シリコンによる造形

ックミキサーの内部で静的に攪拌され、ノズルの先端から射出する。図3に示すように射出機構を3Dプリンタに実装し、造形実験を行った。実験よりスタティックミキサーでの2液攪拌、およびヒートプロアによる硬化促進の影響を確認することができたが、正常に造形を行うことはできなかった。図4に高柔軟素材で造形した屈曲ユニットの動作実験を示す。屈曲はできているが気室の壁厚が一定ではないため、先端が膨張している。2液硬化シリコンでの造形では、液体から固体へ変化する際の転移点を温度により緻密にコントロールする必要があり、今後の課題とする。



図4 高柔軟素材による造形物

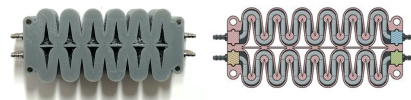


図5 連結可能な屈曲ユニット

(3) 複数連結可能な屈曲ユニットの開発

研究当初は内部に配管を持つユニットを3Dプリンタで直接造形していたが、TPEの積層で内部の配管までを同時に造形した場合は内部での空気漏れを防ぐことができなかった。そこで複数の気室からなる屈曲部の構造を連続的に接続された単一の構造とし、内部に複数本の配管用シリコンチューブを搭載した。配管用シリコンチューブは屈曲部の内部ではフローティングされた状態であり、屈曲動作を妨げない。また、これまではTPEを用いていたが、柔軟性には劣るが層間の結合力がより強いために薄肉での造形が可能であり、かつ気密性の高い造形が可能な熱可塑性(TPU)を用いることへ変更した。図5に造形した新しい屈曲ユニットと、その内部構造を示す。

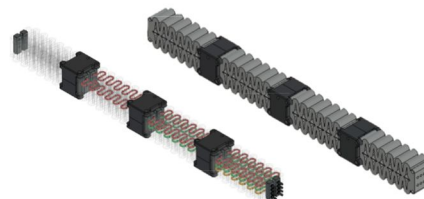


図6 4節連結構成

図6に示すように屈曲ユニットを4節連結し、動作実験を行った。内部のシリコンチューブは各節まで空気圧を供給し、外部の電磁弁によって制御を行う。進行波の生成によって図7のように推進できることを確認した。さらに4節を1組とし、2組8節構成での動作実験も実施した。連結状態で少ない電磁弁によって推進可能であることを確認したが、空気圧の供給流量に限界があり、制御周期を速くすると供給不足により振幅が減少することが判明した。今後は井桁状に再構成し、板状柔軟移動体へ発展させる。

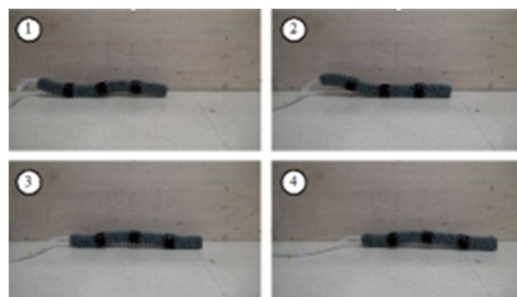


図7 進行波による移動(4節構成)

(4) 空気圧自励弁の開発

空気圧自励弁は吸気弁と排気弁で構成し、屈曲ユニットでの進行波の生成を自動的にを行うことを目的とする。自励弁は接続する2つの気室の圧力に応じて吸排気弁を切り替えることにより、2つの気室を交互に加圧することができる。この動作を間欠的に行うことが重要であり、本研究では板バネの飛び移り座屈を利用した切り替え機構を開発した。自励弁内部の流路は柔軟なシリコンチューブを使用し、座屈した板バネによる折り曲げにより流路を遮断することによって閉弁時の気密性を確保した。切り替えは屈曲ユニットの気室と接続する板バネ横に配置した小気室によって行い、小気室の膨張によって板バネの座屈方向を切り替える。図8にこの自励弁による切り替え特性を示す。さらに屈曲ユニットと小気室の組み合わせによって図9へ示すように複数の屈曲ユニットをシーケンシャルに駆動することに成功した。今後は自動的に進行波の生成を行う。

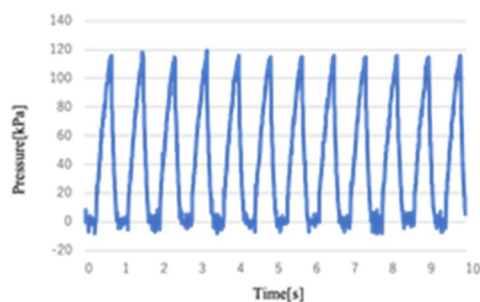


図8 空気圧自励弁による動作実験

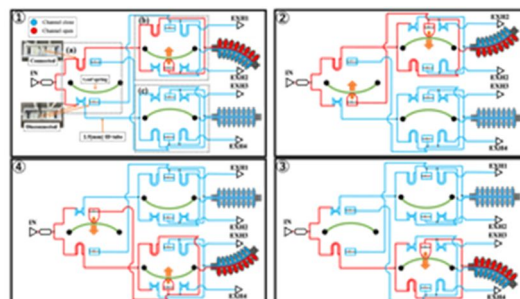


図9 自励弁の組み合わせ動作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青木岳史, 井口拳太, 羽田拓也
2. 発表標題 複数節を連結可能な柔軟変形移動体の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羽田拓也, 青木岳史
2. 発表標題 2方向屈曲アクチュエータのための空気圧自励弁の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羽田拓也, 青木岳史
2. 発表標題 面状柔軟変形移動体のための空気圧自励弁の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井口拳太, 羽田拓也, 青木岳史
2. 発表標題 空気圧を用いた柔軟変形移動体の開発: 3Dプリンタを用いた高軟質素材で成形された屈曲モジュールと空気圧自励弁の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林壘, 青木岳史
2. 発表標題 クモヒトデを模倣した連続体脚ロボットの開発: 捻転動作を行う連続体脚及び楕円ボールジョイントの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井口拳太, 岩谷義明, 青木岳史
2. 発表標題 空気圧を用いた柔軟変形移動体の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2018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