

報告日： 2023 年 9 月 28 日

報告者： 岡山大学 学術研究院

環境生命自然科学学域 助教

山口 大介

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名

レーザ彫刻を用いたゴム成型を必要としないラバーアクチュエータ製作手法

(2) 研究者氏名、職名

山口大介, 助教

(3) 研究概要

本研究では, レーザ彫刻によるゴムへの除去加工を利用した「ゴム成型を必要としない空圧ラバーアクチュエータ製作手法」について研究を行った. シリコーンゴムに対する CO₂ レーザ加工機を利用したレーザ彫刻の加工条件および, 気室の形成に必要となるエキシマ光接合条件について評価を行った. 得られた加工・接合条件を用いて簡易な空気室を製作し, アクチュエータとして十分な耐圧性を有していることを確認した. また蛇腹構造を有するアクチュエータを試作・評価した. これらにより, ゴムへのレーザ彫刻加工によるラバーアクチュエータ製作手法を確立し, そのフィージビリティを示した.

(4) キーワード

ソフトアクチュエータ, レーザ加工, 彫刻加工, 空圧アクチュエータ, ゴム

(英文)

(1) Research title

Fabrication method for rubber actuators without rubber molding using laser engraving

(2) Name of researcher with title of position

Daisuke Yamaguchi, Assistant professor

(3) Summary

This study investigated a fabrication method for pneumatic rubber actuators that does not require rubber molding, based on subtractive machining of rubber by laser engraving. The processing conditions for laser engraving of silicone rubber using a CO₂ laser processing machine, as well as the excimer-light bonding conditions required for forming airtight chambers, were evaluated. Using the obtained machining and bonding conditions, a simple pneumatic chamber was fabricated, and its pressure resistance was confirmed to be sufficient for actuator applications. In addition, a prototype actuator with

a bellows structure was fabricated and evaluated. These results established a fabrication method for rubber actuators based on laser engraving of rubber and demonstrated its feasibility.

(4) Key Words

Soft actuator, Laser process, Laser engraving, Pneumatic actuator, Rubber

2. 本研究の意義、特色

近年、ゴムの柔軟性を活かし、構造と空圧アクチュエータを一体化した空圧ラバーアクチュエータが研究されている。ラバーアクチュエータの製作では、加工対象であるゴムが柔軟すぎるため、金属や樹脂に対する加工とは異なり切削等による除去加工が困難である。

従来のラバーアクチュエータの製作方法は大きく分け、①液状化ゴムを型に流し入れるゴム成型、ここ数年で印刷可能材料の拡大によって急速に発展している②3D プリンタでラバー材料を印刷する手法が主流であった。ゴム成型の場合、大量生産が容易だが、型の製作に時間・コストがかかるため、試作開発・オーダーメイドなどの一品モノの製作が不得意である。他方、3D プリンタを利用する場合、複雑形状が容易に製作でき、短納期・低コストであるが、使用材料に制限があり応用範囲が限定される。

そこで本研究では、レーザ加工によるゴムへの除去加工を利用した「ゴム成型を必要としない空圧ラバーアクチュエータ製作手法」について研究を行った。これにより、現在主流の 2 つの製作方法の間を埋めた、新しいラバーアクチュエータ製作方法を提案し、アクチュエータ製作を通してフィージビリティを検討した。

3. 実施した研究の具体的内容、結果

本研究では、以下の項目について研究を行った。

3.1 ゴムへのレーザ彫刻加工条件の検討

シリコンゴムへのレーザ彫刻加工の条件について実験的に検討した。変更するパラメータは、レーザ出力、走査速度、焦点距離とし、表面の状態、形状および加工量から、ラバーアクチュエータ製作に適した加工条件を探索した。

図 1 に硬度 30°（デュロメータ A）のシリコンゴムに対するレーザ彫刻加工の結果一例を示す。加工条件によって、表面が焦げ厚み方向に凹凸が生じる条件、焼失して目的形状を成形困難という条件が存在した。

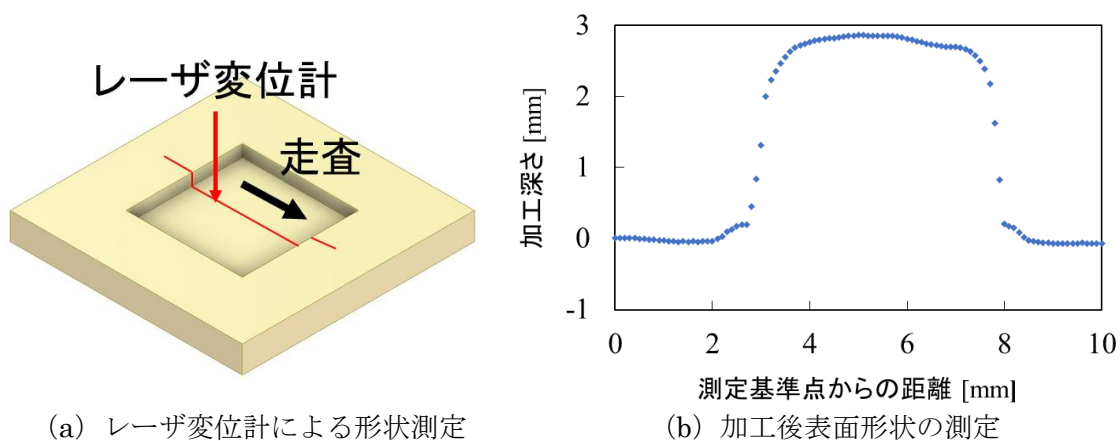
図 2 に加工形状の評価結果の一例を示す。レーザ変位計を 0.1mm 間隔で走査することで断面形状を測定し、底部の平均深さを取ることで加工量を評価した。

これらの測定・評価を行う事によって、次節以降で製作するラバーアクチュエータの加工条件を選定した。



(a) 表面に凹凸がある例 (b) 成形に失敗している例 (c) 形状成形に成功した例

図 1 シリコンゴムに対するレーザー彫刻加工結果の一例



(a) レーザ変位計による形状測定

(b) 加工後表面形状の測定

図 2 加工形状の評価方法と測定結果の一例

3.2 ソフトアクチュエータの製作条件の選定

3.1 節で得られた加工条件を元に 1 気室の簡易な空気室を製作し、①レーザー彫刻による空気室製作が可能か、②ラバーアクチュエータとして十分な耐圧を有するかを確認した。

図 3(a)に従来のラバーアクチュエータ製作方法との製造工程の比較を示す。従来必要であった型製作の工程を削除し、直接、成形対象であるシリコンゴムを加工することができることから、ゴム構造体の製作が高速で行える。図 3(b)に空気室の製作手順の概要を示す。レーザー加工機を利用し、シリコンゴムシートの表面に空気室と送気チューブ取り付け部を彫刻加工する。次に、加工したシートと未加工のシートの両方にエキシマ光を照射し、照射面同士を貼り合わせ、加圧し一定時間置く。最後に余分な部分を切り取り、送気用チューブを配管することで、ラバーアクチュエータとなる。

図 4 に試作した気室および耐圧試験の様子を示す。レーザー彫刻加工およびエキシマ光接合を用いた本手法によって、空気室を有したラバー構造体を製作可能であることを確認し

た．また試作した空気室に対して空圧を印加して耐圧試験を行い，ラバーアクチュエータの駆動に十分な 60kPa の空圧を印加しても，空気漏れ・破損が無いことを確認した．これらより，本手法はラバーアクチュエータの製作が可能な条件を満たしていることを示した．

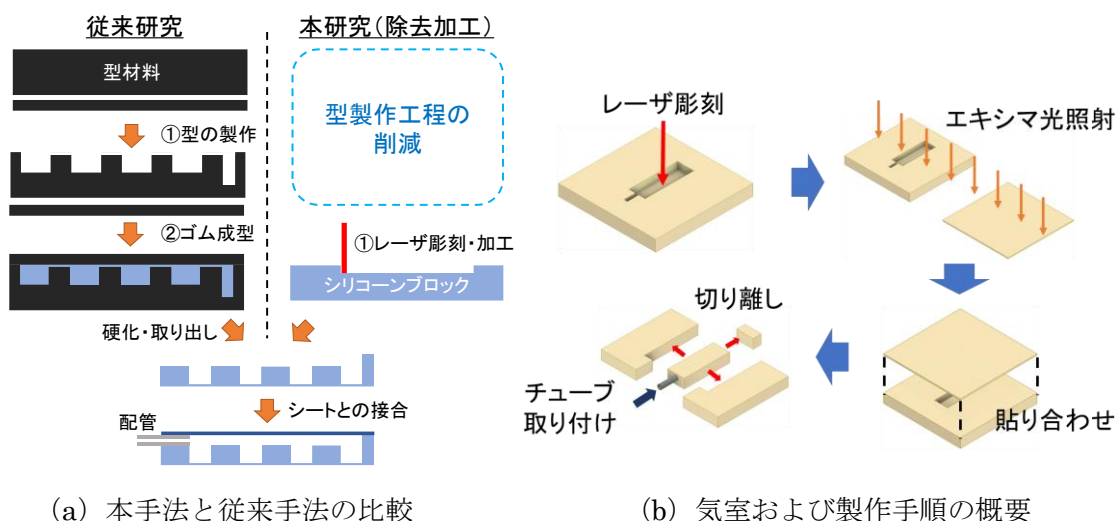


図 3 レーザ彫刻加工を用いた気室・ラバーアクチュエータの製作手順

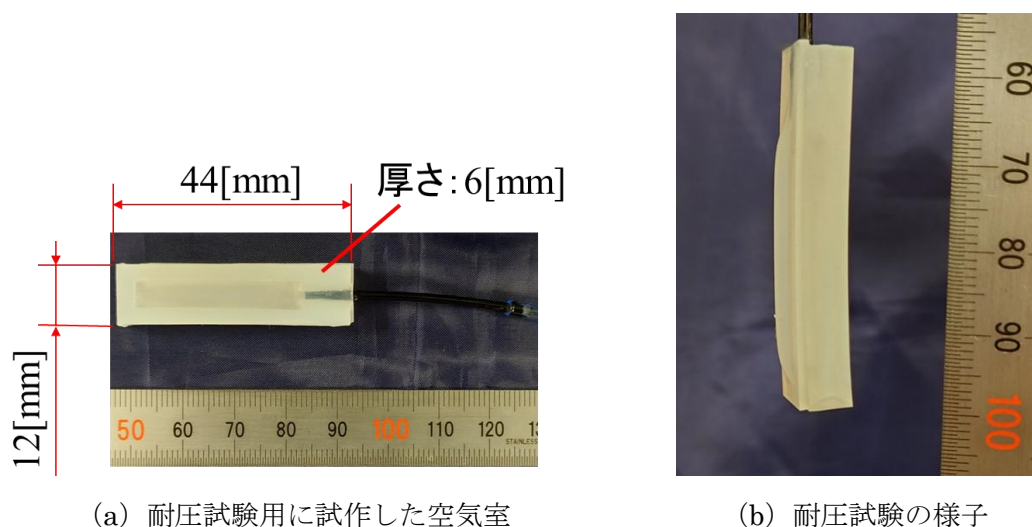


図 4 レーザ彫刻加工を用いた気室・ラバーアクチュエータの製作手順

3.3 湾曲型ラバーアクチュエータの製作

3.2 節で確立した手法を用いて，蛇腹構造を有するラバーアクチュエータを試作した．本研究で試作した段違い溝アクチュエータの彫刻加工形状を図 5 に示す．溝部が 2 段の構造となっており，深い溝となっている 3 カ所のみが膨張する気室として機能することで，小型の気室を 3 つ有したアクチュエータとなる．今回の試作では，市販されている硬度 30° (デュロメータ A)，厚さ 1.0mm のシリコンゴムシートに彫刻加工を行った．また未加

工のシリコーンゴムシートは厚さ 1.0mm の物を使用している．彫刻加工およびエキシマ光照射により製作した段違い溝アクチュエータを図 6 に示す．設計通りの彫刻加工が行え，また配管用の溝を設ける事で配管を接続し，アクチュエータとしている．

アクチュエータを駆動した様子を図 7 に示す．空圧を印加する事で，彫刻加工を施した最薄部が膨張し，湾曲変形を起こすことが確認された．70kPa では湾曲するほどの膨張を生じないが，最大印加圧力 93kPa において，105 度の湾曲角度を実現した．また最大印加圧力 93kPa 居置いてアクチュエータ先端において 0.32N の発生力を得た．

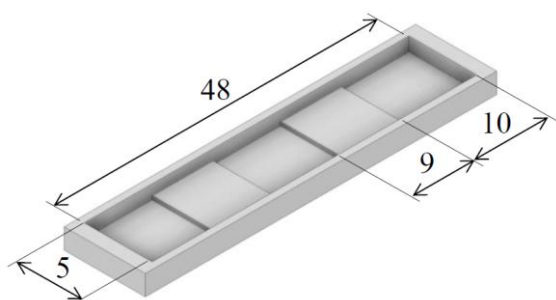


図 5 彫刻加工形状

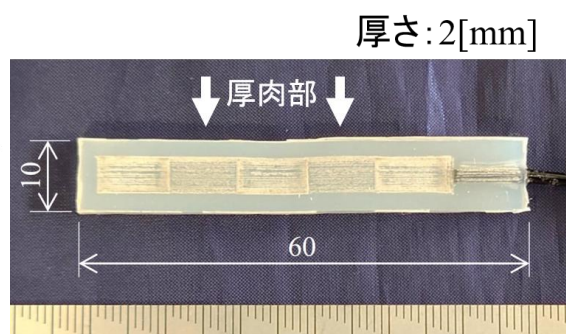
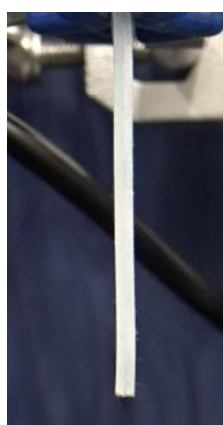
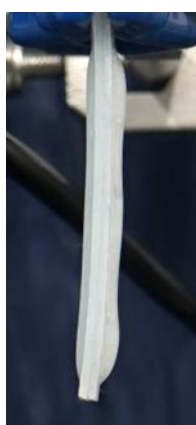


図 6 製作したアクチュエータ



(a) 0kPa



(b) 70kPa



(c) 90kPa

図 7 試作アクチュエータの駆動

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

山口大介	岡山大学	学術研究院	環境生命自然科学学域	助教
神田岳文	岡山大学	学術研究院	環境生命自然科学学域	教授
脇元修一	岡山大学	学術研究院	環境生命自然科学学域	准教授

5. 研究実施時期

2022 年 4 月 1 日から 2023 年 3 月 31 日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) 川口智也, 山口大介, 脇元修一, 神田岳文: レーザ加工によるゴムへの凹凸形状の実現とアクチュエータの試作, 2022 年秋季フルードパワーシステム講演会, 4, 海峡メッセ下関 (山口県下関市), pp.10-12, 2022.11.10 発表.
- (2) 山口大介, 川口智也, 脇元修一, 神田岳文: レーザ彫刻加工によるゴム製ソフトアクチュエータの製作, 日本機械学会 2023 年度年次大会, J111-04, 東京都立大学 南大沢キャンパス (東京都八王子市), pp. 3512-3515, 2023.9.6 発表.

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を初めとして人をアシストするロボットが開発されている. これらの分野では, 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. ソフトアクチュエータの一種に, アクチュエータ全体をラバーで構成し, 圧力印加によって駆動するラバーアクチュエータがある. ラバーアクチュエータの製作方法は, ①液状化ゴムを型に流し入れるゴム成型, ② 3D プリンタでラバー材料を印刷する手法の 2 つが主流であった. 本研究では, レーザ加工によるゴムへの除去加工を利用した「ゴム成型を必要としない空圧ラバーアクチュエータ製作手法」を提案した. これにより, 現在主流の 2 つの製作方法の間を埋めたラバーアクチュエータ製作方法を研究した.

8. 今後の発展に対する希望

市販されているバルク材を利用することから使用材料の制限が少なく, アクチュエータ以外のゴムを利用する部品製造にも利用可能な技術であることから, 技術の転用範囲が広い. また本手法は, Society 5.0 で提唱されたデジタルファブリケーション技術をラバーアクチュエータへ適用したものであり, 例えば義手のような装具類において, アクチュエータの機械的親和性・柔軟性と, デジタルファブリケーションの生産の柔軟性という両柔軟性を活かすことができ, 一人ひとりに最適化されたオーダーメイド装具を当日中に提供するなど, 社会ニーズの変化にタイムリーに対応できると期待している.