

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	細径マッキベン型人工筋肉の駆動によって損傷を修復するソフトロボットにおける切断面寸法の移動性能への影響
Title(English)	Effect of Component Parameters on Crawling Performance for Self-Repairing Soft Robot Actuated by Thin McKibben Muscles
著者(和文)	謝孟飛, 難波江裕之, 鈴森康一
Authors(English)	Mengfei Xie, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

細径マッキベン型人工筋肉の駆動によって損傷を修復するソフトロボットにおける 切断面寸法の移動性能への影響

Effect of Component Parameters on Crawling Performance for Self-Repairing Soft Robot Actuated by Thin McKibben Muscles

○学 謝 孟飛（東工大） 正 難波江 裕之（東工大） 正 鈴森 康一（東工大）

Mengfei XIE, Tokyo Institute of Technology, xie.m.ab@m.titech.ac.jp

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

This paper describes a soft robot that aims to achieve fully autonomous repair of large-scale damages and can be extrapolated to other systems. The use of self-healing materials is proposed as a solution for the issue of soft robots being vulnerable to sharp objects, which has been previously reported. This study presents a soft robot capable of repairing large-scale damages without external intervention. In previous studies, we demonstrated its ability to repair material removal and deep cuts, but the crawling performance of this robot was not discussed. Here, the correlation with crawling performance is determined by changing the component parameters of the self-repairing soft robot, and then the optimal size of the self-repairing soft robot is determined.

Key Words: Soft Robot, Thin McKibben Muscle

1 緒言

ソフトロボットは柔軟な構造により高い形状適応能力を持つが、構成材料がゴムなどの柔らかい材料 [1] であるため、外部からの損傷を受けやすいという課題があった。この問題を解決するため、近年、自己修復材料を用いたソフトロボットの研究が行われている [2][3]。自己修復材料 [4] は損傷部を自発的に補修し元の状態に回復する能力を持つ。自己修復ソフトロボットは、形状適応能力と損傷耐性を兼ね備え、新たなロボットシステムとして期待されている。

従来の自己修復ソフトロボットは損傷後に切断面同士が接触するような小規模な損傷に対しては、切断面同士の接触と一定時間の接触状態の維持により、元の状態への回復が可能である [2]。しかし、切断面同士の接触が難しい大規模な損傷に対しては、外部からの補助介入が不可欠であった [3]。これまでに筆者らは、細径マッキベン型人工筋肉 (SM40, S-muscle) と自己修復材料 (Wizard GEL) を用いて代表的な 2 種類の大規模な損傷に対して外部からの補助を必要とすることなく自己修復可能なソフトロボットについて報告した [5]。提案するロボットは、未知の環境を探索する際に損傷を受けた場合、提案した方法に従って自己修復し、探索任務を完了することが期待されている。従来研究ではロボットの修復性能までを対象にしたが、本論文ではロボットの移動性能を対象とする。そのため、同一構造で異なる構成材料のロボットと同一構成材料で異なる断面寸法のロボットを試作し、駆動実験を行い、ロボットの移動性能を評価する。そして、ロボットの最適な移動特性を実現するための構造について議論する。

本稿の残りの章では、2 章で、提案するロボットの構造と駆動実験について述べる。そして、各ロボットの移動性能の評価について 3 章で説明する。最後に、結論と今後の展望について述べる。

2 提案するロボットの構造と駆動実験

提案するロボットを図 1 に示す。本ロボットは細径マッキベン型人工筋肉 (SM40, S-muscle) により駆動される。また、表 1 に寸法を示す。さらに、以下のような切断面寸法を決定する変数を定義する。

$$c = \frac{a}{b} \quad (1)$$

本ロボットの駆動システムは図 2(a) に示すように、エアポンプ (SLP-07EED, アネスト岩田)、電磁弁 (24V 025M10F, コガネ

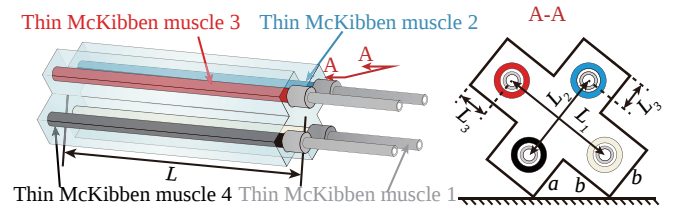


Fig.1 Prototype of the soft robot. Here, $b + 2a = L_2 + 2 \times L_3$ and $3b = L_1 + 2 \times L_3$

Table 1 Dimensions of the soft robot

L [mm]	L_1 [mm]	L_3 [mm]	b [mm]
100	20	5	10

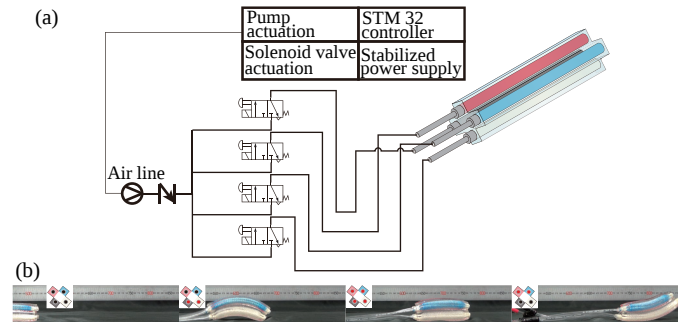


Fig.2 (a) Diagram of the scheme used to control the self-repairing soft robot. (b) Photograph sequence of the self-repairing soft robot crawling on the textured surface.

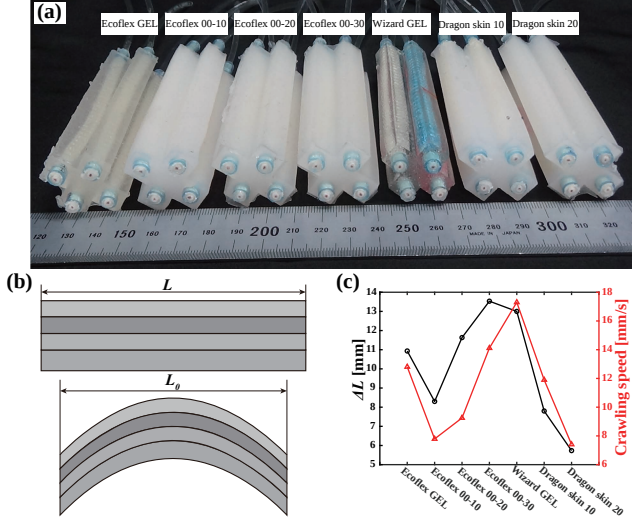


Fig.3 (a) Robot having the same structure as a self-repairing robot. (b) Crawling model diagram. (c) The crawling results of each robot.

イ), 安定化電源 (EX-750L2, 高砂製作所), マイクロコントローラ (NUCLEO-F401RE) から構成されている。さらに, 細径マッキペン型人工筋肉に空圧を印加することにより, 図 2(b) のような直進運動を実現できる。

3 提案するロボットの移動性能検証

3.1 構成材料の影響

図 3(a) に構成材料を変化させて製作したロボットを示す。構成材料としてゲル材 (Ecoflex GEL), シリコンゴム (Ecoflex 00-10, Ecoflex 00-20, Ecoflex 00-30, Dragon skin 10, Dragon skin 20), および自己修復材料 (Wizard GEL) を使用し, 構造 ($L_2=16$ mm, $a=8$ mm, $c=0.8$) は先行研究 [5] と同様としている。また, 図 3(b) に示すようにロボットの駆動前後の状態により, ロボットの歩幅を定義する。

$$\Delta L = L - L_0 \quad (2)$$

図 2(b) に示す駆動方法により, 試作したロボットを駆動する。図 3(c) に, 実験から得られた各ロボットの歩幅と移動速度の関係を示す。図 3(c) から自己修復材料 (Wizard GEL) で試作したロボットがシリコンゴム (Ecoflex 00-30) と類似した運動特性を持っていることがわかる。

3.2 断面寸法の影響

図 4(a) に断面寸法を変化させたロボットを示す。材料としてシリコンゴム (Ecoflex 00-30) を使用し, 先行研究 [5] と異なる断面形状 ($c=0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 1$) を持つロボットを試作した。試作したロボットは図 2(b) に示す駆動方法によって駆動される。図 4(b) に, 実験から得られた各ロボットの c と移動速度の関係を示す。図 4(b) から c が大きくなると移動速度が低下する傾向が見られる。

ロボットは移動中に図 5(a) に示されるように 2 つの状態があり, 各状態でロボットの重心から地面までの距離を以下のようになる。

$$h_1 = \frac{3a+b}{2} \cos(\arctan c), h_2 = a + \frac{b}{2} \quad (3)$$

ここで, 2 つの状態の距離が一致すること ($h_1 = h_2$) をロボットの移動安定性の判別条件として使用する。したがって, 切断面法に関連する安定性の判別式を以下に定義する。

$$f(c) = \arctan c - \arccos \frac{1+2c}{1+3c} \quad (4)$$

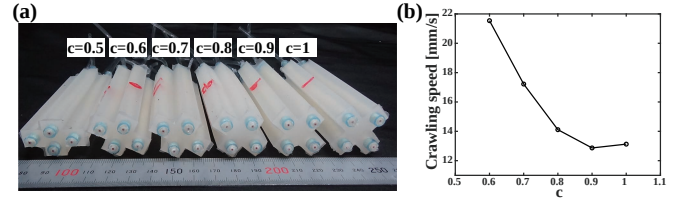


Fig.4 (a) Robots with different cutting surface sizes. (b) The crawling results of each robot.

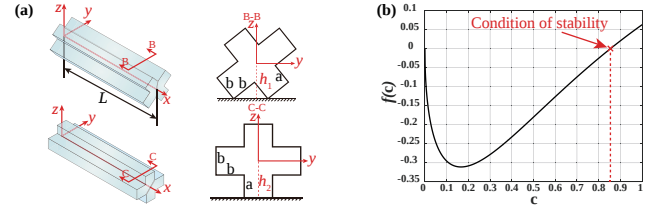


Fig.5 (a) Schematic diagram of different states of the robot. (b) The judgment condition of mobile stability.

安定性を満たした結果を図 5(b) に示す。図 4(b) の結果と合わせて, 本稿で提案するロボットは, $c=0.8$ の際に最適な移動性能を有すると考えられる。

4 結言

本稿では, 提案するロボットの移動性能への影響について述べた。シリコンゴム (Ecoflex 00-30) と自己修復材料 (Wizard GEL) から試作したロボットは, 類似な移動性能を有することが判明した。切断面法において, c が 0.8 になると, ロボットは最適な移動性能を有することが明らかになった。

今後は, 最適な移動性能を有し, 損傷探知および自己修復可能なロボットを開発していく予定である。

5 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23H05445 の助成を受けたものである。また, 自己修復材料を提供いただいたユシロ化学 (株) に感謝する。

参考文献

- [1] Park, S., Mondal, K., Treadway III, R. M., Kumar, V., Ma, S., Holbery, J. D., and Dickey, M. D. "Silicones for stretchable and durable soft devices: Beyond Sylgard-184," *ACS applied materials and interfaces*, pp. 11261–11268, 2018.
- [2] Terryn, S., Brancart, J., Lefebvre, D., Van Assche, G., and Vanderborght, B. "Self-healing soft pneumatic robots," *Science Robotics*, vol. 2, no. 9, p.eaan4268, 2017.
- [3] Jiang, F., Zhang, Z., Wang, X., Cheng, G., Zhang, Z., and Ding, J. "Pneumatically actuated self-healing bionic crawling soft robot," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 100, pp. 445–454, 2020.
- [4] Harada, A., Kobayashi, R., Takashima, Y., Hashidzume, A., and Yamaguchi, H. "Macroscopic self-assembly through molecular recognition," *Nature chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 34–37, 2011.
- [5] 謝孟飛, 難波江裕之, 鈴森康一. 運動によって体の損傷を修復するソフトロボットの試作, 第 24 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2023), 第 24 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 予稿集, 公益社団法人 計測自動制御学会, pp. 2124–2125, Dec. 2023.