

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	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
Title(English)	Prototype a Self-Healing Soft Robot for Independently Healing of Damage through Movement
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)	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, , , pp. 2124-2125
Citation(English)	, , , pp. 2124-2125
発行日 / Pub. date	2023, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2023 The Society of Instrument and Control Engineers

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

○謝 孟飛 (東京工業大学), 難波江 裕之 (東京工業大学), 鈴森 康一 (東京工業大学)

Prototype A Self-Healing Soft Robot for Independently Healing of Damage through Movement

○ Mengfei XIE (Tokyo Tech), Hiroyuki NABAE (Tokyo Tech), and Koichi SUZUMORI (Tokyo Tech)

Abstract: Self-healing soft robots have shown enormous potential to recover functional after healing the damages. For relatively small-scale damage the inherent elastic response of the material reintroduces the crack surfaces into contact, allowing healing can be easily achieved. However, when these soft robots operate in unstructured environments, they are exposed to events that may result in large damages. In such cases the healing is not possible without bringing both crack surfaces into contact. This reconnection is crucial for achieving effective healing and restoring the robot's functionality. This paper introduces the thin McKibben artificial muscles actuated self-healing soft robot successfully bring both crack surfaces into contact without external interventions and conducted tests have demonstrated its feasibility.

1. 緒言

ソフトロボットは高い形状適応性を有するとともに、人間と機械の接触において危険性を低減可能なことから、マニピュレーション^[1]や移動ロボット分野^[2]で多くの研究が行われている。しかし、多くのソフトロボットは、ゴムなどのような柔軟で変形可能な材料^[3]で構成されているため、鋭利な物体に弱く、損傷による機能低下を引き起こしやすい。このような問題に対して、自己修復材料により自己修復機能を有するソフトロボットが提案されている^[4]。既存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さな損傷に対して、一定時間接触状態が保たれることで、元の状態に回復する機能を備えている^[5,6]。しかし、切断面同士の接触が難しい大きな損傷に対しては、外部からの補助が必要となることが多い^[1,7]。

Seyedreza らによって提案された湾曲アクチュエータは、形状記憶合金と自己修復材料を利用して製造され、切断面同士の接触が難しい大きな損傷を外部からの補助無しに修復されることが実証された^[8]。しかし、低い修復率、限られた損傷しか修復できないため、より幅広い応用に適用可能で高い修復率を備えるソフトロボットが期待されている。

本稿では、細径マッキベン型人工筋肉と自己修復材料を用いることにより、切断面同士の接触が難しい大きな損傷に対しても外部補助無しに修復が可能なソフトロボットを提案する。また、実験により性能の評価を行う。

2. 提案するロボットの構造と運動特性

提案するソフトロボットを図 1 に示す。本ロボットは細径マッキベン型人工筋肉 (SM40) と自己修復性材料 (ウィザードゲル, ユシロ化学 (株)) から構成されている。また、表 1 に寸法を示す。

本ロボットの駆動システムは図 2 に示すように、エアポンプ (SLP-07EED, アネスト岩田 (株)), 電磁弁 (24V KOGANEI025M10F, コガネイ (株)), 安定化電源 (EX-750L2, 高砂製作所), マイクロコントローラ (NUCLEO-F401RE, STMicroelectronics) から構成されている。さらに、細径マッキベン型人工筋肉に空圧を印加することにより、直進運動、回転運動など多様な運動方式を実現できる。図 3 に試作機の動作の様子及び

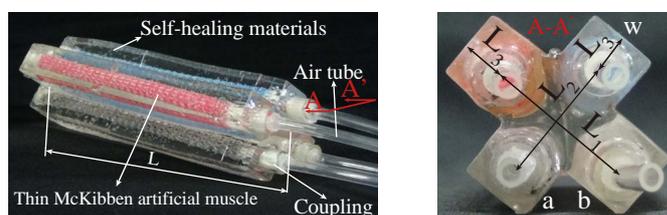


Fig.1 Prototype of the novel self-healing soft robot.

Table 1 Parameters for novel self-healing soft robot.

L [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	L ₃ [mm]	a [mm]	b [mm]	w [mm]
100	20	16	5	8	10	10

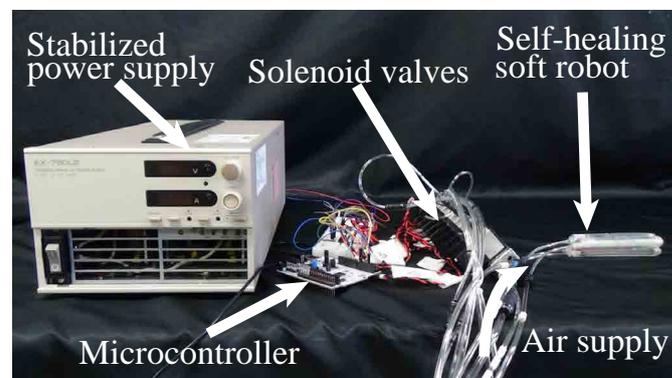


Fig.2 Self-healing soft robot drive system.

各状態での空圧印加パターンを示す。本ロボットは 1 回で 17 mm (体長の 17%) 前進することができ、約 20 mm/s の速度を実現できる。

3. 提案するロボットの修復性能検証

3.1 構造の一部が除去された損傷の修復

図 4 に示すように構造の一部が除去される損傷を受けた場合、損傷面が接触するように、全ての細径マッキベン型人工筋肉に空圧を印加することで修復を行う。0.4 MPa の空圧を 30 分間印加した後の状態を図 4 に示す。図 4 に示す修復後の状態を見ると、全体としては修復が行われているが、部分的に修復が不十分な箇所が見て取れるものの、修復後のロボットによる駆動実験

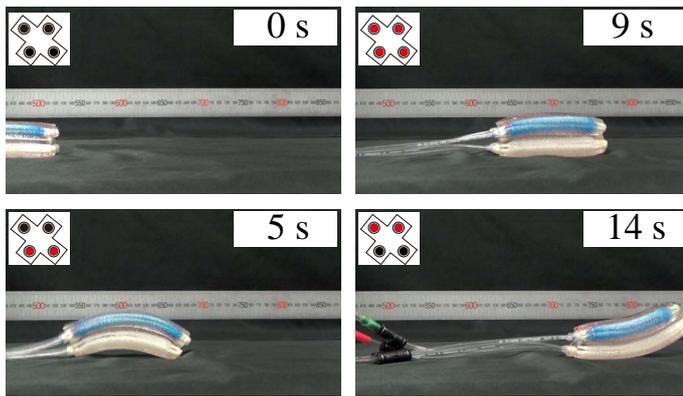


Fig.3 Photo sequence of the virgin self-healing soft robot crawling on horizontal table. Here, red portion: actuated; black portion: deactivated.

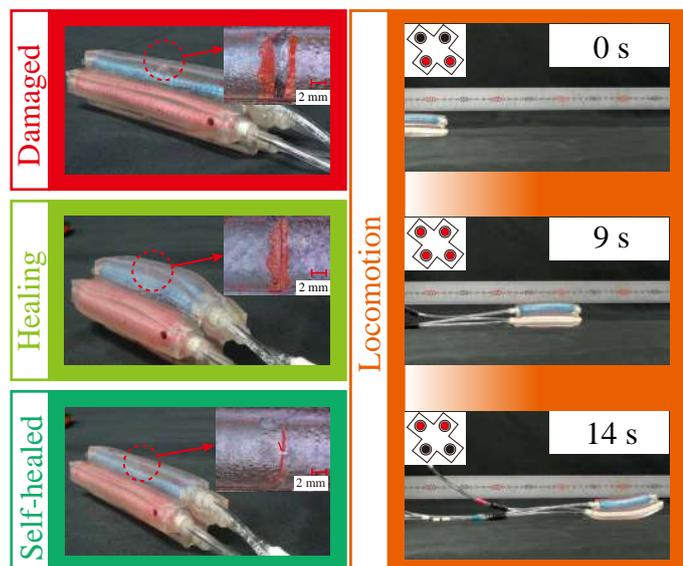


Fig.4 Healing process and locomotion test of self-healing soft robot has removed a portion of structure. Here, red portion: actuated; black portion: deactivated.

では、損傷前の状態と同等の移動速度を確認した。

3.2 人工筋肉の平行方向に受けた損傷の修復

図 5 に示す細径マッキベン型人工筋肉に平行方向に 50 mm の損傷を受けた場合、図 5 に示すような動作パターンにより、ロボットを回転させ、重力の作用で切断面同士を接触させる。回転運動によって接触させ、24 時間静置した試作機を用いて動作試験を行った。図 5 に示すように、修復後に移動動作が可能であること、またその速度が損傷前と同等であることが確認できた。

4. 結言

本稿では、切断面同士の接触が難しい大きな損傷に対して、細径マッキベン型人工筋肉と自己修復材料から構成される、外部からの補助を必要とせず自己修復可能なソフトロボットを提案した。また、試作したロボットを用いて、2 種類の損傷に対して外部からの補助を必要とせず、自己修復可能であることを示した。損傷後の動作試験では、損傷前の移動速度である 20 mm/s と同等の性能を実現できることを確認した。

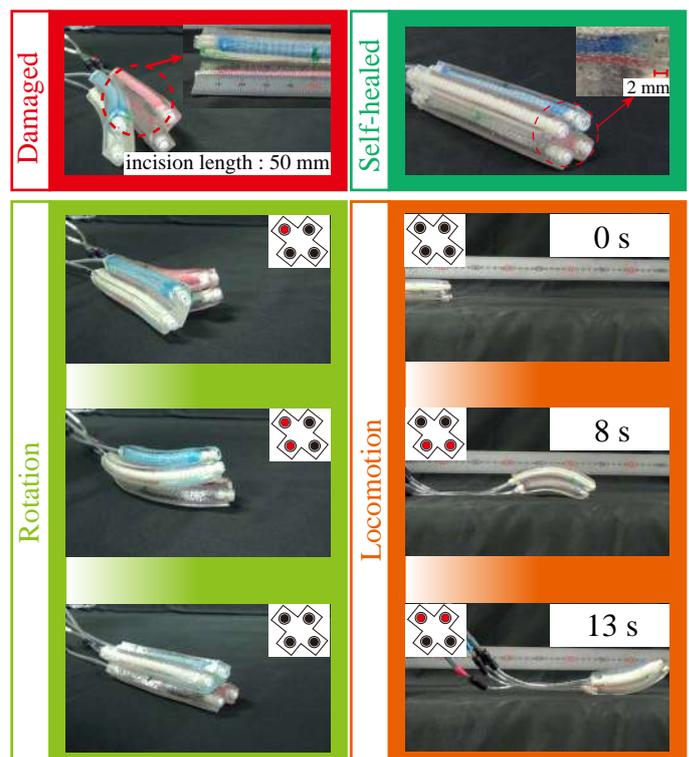


Fig.5 Healing process and locomotion test of self-healing soft robot with incision. Here, red portion: actuated; black portion: deactivated.

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] Ellen Roels et al.: “A multi-material self-healing soft gripper”. *2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, pp. 316–321, (2019).
- [2] Marcello Calisti, Giacomo Picardi, and Cecilia Laschi: “Fundamentals of soft robot locomotion”. *Journal of The Royal Society Interface*, p. 20170101, (2017).
- [3] Sungjune Park et al.: “Silicones for stretchable and durable soft devices: Beyond Sylgard-184”. *ACS applied materials & interfaces*, pp. 11261–11268, (2018).
- [4] Seppe Terryn et al.: “Self-healing soft pneumatic robots”. *Science Robotics*, eaan4268, (2017).
- [5] Seppe Terryn et al.: “Room temperature self-healing in soft pneumatic robotics: Autonomous self-healing in a diels-alder polymer network”. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 44–55, (2020).
- [6] Hong-Qin Wang et al.: “A variable-stiffness and healable pneumatic actuator”. *Materials Horizons*, pp. 908–917, (2023).
- [7] Seppe Terryn et al.: “A review on self-healing polymers for soft robotics”. *Materials Today*, pp. 187–205, (2021).
- [8] Seyedreza Kashef Tabrizian et al.: “Assisted damage closure and healing in soft robots by shape memory alloy wires”. *Scientific Reports*, p. 8820, (2023).