T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	インフレータブルトーラスを用いた象の鼻型パワーソフトロボットアーム
Title(English)	Power Soft Robotic Arm Inspired Elephant Trunk with Inflatable Torus
著者(和文)	児玉大翔, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Hiroto Kodama, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	第23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. 2799-2800
Citation(English)	Proceedings of the 23rd SICE System Integration Division Annual Conference, , , pp. 2799-2800
発行日 / Pub. date	2022, 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) 2022 The Society of Instrument and Control Engineers

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

インフレータブルトーラスを用いた象の鼻型パワーソフトロボットアーム

○児玉　大翔（東工大），難波江　裕之（東工大），遠藤　玄（東工大），鈴森　康一（東工大）

Power Soft Robotic Arm Inspired Elephant Trunk with Inflatable Torus

○ Hiroto KODAMA(Tokyo Tech), Hiroyuki NABAE(Tokyo Tech),
Gen ENDO(Tokyo Tech), and Koichi SUZUMORI (Tokyo Tech)

Abstract : Unlike conventional robots, a soft robot that can adapt to its shape is expected to be a robot that can be used for civil engineering work at disaster sites and other locations where the environment is difficult to predict. The soft robot arms that have been developed so far have difficulty in generating the large force required for civil engineering work. In this study, a power soft robot arm inspired elephant trunk using inflatable torus, which can achieve both high force and flexibility, was proposed and prototyped. In driving experiments, the prototype succeeded in bending in the left-right and upward directions was confirmed.

1.　緒言

従来のロボットとは異なり形状適応が可能なソフトロボットは，災害現場など環境が予測しにくい場所での土木作業にも活用できるロボットとして期待されている．これまで開発されてきたソフトロボットアーム [1][2][4][5] はしなやかに動くことができるが，土木作業で求められるような大きな力を出すことが難しい．そのため，高出力と柔軟性を兼ね備えたパワーソフトロボットが求められる．

本稿では，象の鼻が，長手方向の筋肉で引張応力を，鼻の断面において放射状に分布する筋肉で圧縮応力を支えることに注目し，この構造を真似て，圧縮力をインフレータブルトーラスで，引張力をロープあるいは油圧人工筋肉 [3] で受けるパワーソフトロボットアームを提案する（図 1）．

2.　象の鼻型アームの曲げ剛性と構造

片持ち梁は先端に下向きの荷重が作用すると，ある断面において上半分には引張応力，下半分には圧縮応力が働く．それにより，上半分には引張ひずみ，下半分には圧縮ひずみが生じる．このとき，曲げ剛性とは，それぞれの応力に対する抵抗力だといえる．つまり，アームの上半分に縮む力，下半分に伸びる力を発生させることで高い剛性が得られる [4]．これを参考に．図 2 のように圧縮力をインフレータブルトーラスで，引張力をワイヤあるいは油圧人工筋肉で受けるパワーソフトロボットアームの構造を提案する．本稿では，インフレータブルトーラスとして浮き輪を，ワイヤの代用としてロープを使用した．図 1 のようにアームを試作したこのアームは表 1 のように 6 種類の浮き輪をそれぞれ 3 個ずつ重ねている．基部の板に重ねた浮き輪を取り付け，先端に板を取り付けている．浮き輪同士及び浮き輪と板は接着剤により接着されている．基部と先端の板には先端の浮き輪の内径と等しい円周上に 3 個の穴が空いており，それぞれの穴にロープが通されている．浮き輪の内圧は 0.05 MPa，総質量は 7 kg，全長は 3 m，先端の板の質量は 1 kg である．

Fig. 1: Prototype using floats.

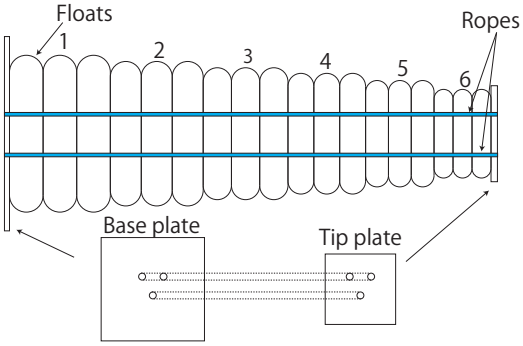

Fig. 2: Structure of the proposed arm.

Table 1: Outer and inner diameter of floats.

Float number	1	2	3	4	5	6
Outer diameter [mm]	890	790	710	610	500	390
Inner diameter [mm]	380	350	320	280	250	190
Thickness [mm]	765	660	585	495	375	300

(a) Bending up

(b) Bending to the left

Fig. 3: Bending up and to the left

3. 動作実験

3.1 左右方向への曲げ

上側のロープを左右それぞれ引っ張ることで図 3a のように左右に屈曲させることができた．しかし，左右に曲がった状態から反対側のロープを引っ張ったところ，ロープを浮き輪に沿うようにガイドさせていないため，元の状態に戻すことはできなかった．

3.2 上方向への曲げ

上側の 2 本のロープを引っ張ったところ，浮き輪の自重により上に屈曲させることができなかった．そこで，浮き輪の外側に沿うようにガイドさせながらロープを取り付け，引っ張ったところ図 3b のように上に屈曲させることができた．浮き輪に沿うようにガイドできていない部分があるため，すべての浮き輪に対して沿うようにガイドさせることでさらに屈曲させることができると考えられる．自重によりアームはたわんでいるが，インフレータブルトーラスの内圧を高くすることでたわみを小さくすることができると考えられる．実際に，浮き輪の内圧を 0.05 MPa まで次第に上げていくと，たわみが少しずつ小さくなっていった．浮き輪では内圧を高くすると破裂してしまう．そのため，内圧を高くしても破裂せず，空気の漏れないインフレータブルトーラスを開発することで自重自重によるたわみを小さくすることができる．さらに，内圧を高くすることで大きな引張による圧縮力を支持することができるようになり，曲げ剛性を大きくすることができる．

4. 結言

本稿では、インフレータブルトーラスを用いた象の鼻型パワーソフトロボットアームを浮き輪を用いて試作し，左右方向と上方向の動作確認を行った．ロープを浮き輪の外側に沿うようにガイドさせることで 90 deg 以上屈曲させることができた．インフレータブルトーラスの内圧を高くすることで，自重によるたわみを小さくすることができると考えられる．さらに，大きな引張による圧縮力を支持することができるようになり，曲げ剛性を大きくすることができる．そのため，今後は内圧を高くしても空気が漏れないインフレータブルトーラスを開発し，油圧人工筋肉で引っ張ることで大きな力を発生させることを目指す．

5. 謝辞

本研究は，JST【ムーンショット型研究開発事業】グラント番号【JPMJMS2032】の支援を受けたものである．

参考文献

[1] M. Cianchetti, A. Arienti, M. Follador, B. Mazzolai, P. Dario, and C. Laschi. Design concept and validation of a robotic arm inspired by the octopus. *Materials Science and Engineering: C*, Vol. 31, No. 6, pp. 1230–1239, 2011. Principles and Development of Bio-Inspired Materials.

[2] W. McMahan, V. Chitrakaran, M. Csencsits, D. Dawson, I.D. Walker, B.A. Jones, M. Pritts, D. Dienno, M. Grissom, and C.D. Rahn. Field trials and testing of the octarm continuum manipulator. In *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, pp. 2336–2341, 2006.

[3] Hiroyuki Nabae, Morizo Hemmi, Yoshiharu Hirota, Tohru Ide, Koichi Suzumori, and Gen Endo. Super-low friction and lightweight hydraulic cylinder using multi-directional forging magnesium alloy and its application to robotic leg. *Advanced Robotics*, Vol. 32, No. 9, pp. 524–534, 2018.

[4] Koichi Suzumori, Shuichi Wakimoto, Kenta Miyoshi, and Kazuhiro Iwata. Long bending rubber mechanism combined contracting and extending tluidic actuators. In *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4454–4459, 2013.

[5] Taigo Yukisawa, Satoshi Nishikawa, Ryuma Niiyama, Yoshihiro Kawahara, and Yasuo Kuniyoshi. Ceiling continuum arm with extensible pneumatic actuators for desktop workspace. In *2018 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, pp. 196–201, 2018.