

先端伸展式トーラス型投入機構

Torus Type Tip-Extending Insertion Mechanism

○渡辺 将広*, 藤本 敏彰*, 清水 杜織*,

多田隈 建二郎*, 昆陽 雅司*, 田所 諭*

○Masahiro Watanabe*, Toshiaki Fujimoto*, Tori Shimizu*,

Kenjiro Tadakuma*, Masashi Konyo*, Satoshi Tadokoro*

*東北大学

*Tohoku University

キーワード： 機構 (Mechanism), 伸展トーラス (Torus Extension)

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

東北大学大学院情報科学研究科 応用情報科学専攻 渡辺将広

Tel: 022-795-7025, Fax: 022-795-7023, E-mail: watanabe.masahiro@rm.is.tohoku.ac.jp

1. はじめに

瓦礫内や体内などの狭隘部へ侵入する移動体の構成としてトーラス構造がある。トーラス構造を用いると、取り囲む表面の全ての点を等速度で移動させることができる。このため、円周方向の全ての点で駆動力を生成できる移動体を構成でき、狭隘部でも環境と摺動することなく推進することができる。

このトーラス構造を利用して、これまで伸展アームやグリッパ、移動体などが提案されてきた[1]-[5]。柔軟な袋構造を利用し、狭隘部への侵入や物体の把持を実現している。

一方、本研究ではトーラス型の投入機構を提案する。空気圧により、投入する物体を袋の内部で格納・保持し、狭隘部でも環境と摺動することなく素早く送り込むことができる。本稿では、ウレタンの膜で構成された投入機構の試作機を製作し、小型移動体を投入する実験の結果を報告する。さらに、トーラス構造の伸展動作と湾曲動作を両立させる

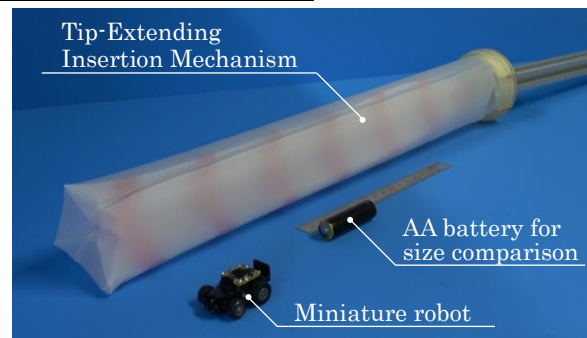


Fig. 1 Overview of the proposed torus type tip-extending insertion mechanism

手法として、円筒膜の蛇腹折りとローラ、ワイヤを利用した方式を提案する。そして、ワイヤを牽引するために、軽量・コンパクトで単位体積当たりの仕事量が期待できる、加圧により収縮する蛇腹機構を提案する。

2. 先端伸展式トーラス型投入機構

先端伸展式トーラス型投入機構を Fig. 2 に示す。提案機構は、管状の柔軟袋と、その袋の内側の先端と接続されているワイヤ、袋の気密性を保持するための袋の端部に設置された蓋で構成される。

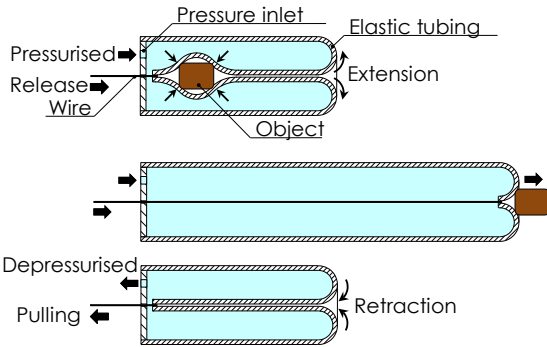


Fig. 2 Basic principle of torus type tip-extending insertion mechanism

投入物体は予め袋の内部に位置し、袋の加圧と膨張により、袋内で保持・格納されている。物体は袋の伸展動作とともに先端に向かって搬送され、先端に来ると袋によって押し出され投入される。その先端の伸展動作は、袋内部を加圧し根本でワイヤを送ることにより行う。また、ワイヤを牽引することにより回収動作が可能である。

さらに、物体の投入位置は格納位置によって制御できる。このため、単一の物体の投入だけでなく、複数の物体を一定間隔ごとに投入するような連続投入作業も可能である。

3. 試作機の構成

先端伸展式トーラス型投入機構を試作した。袋の材料として厚さ 0.2mm のポリウレタンシートを使用し、円柱の母線となる部分を溶着して袋状に加工した。袋の直径は 60mm、伸展時の長さは約 800mm、収納時は約 450mm である。

試作機を用いて先端を伸展させたときの側面からの様子を Fig. 3 に示す。圧力が 5kPa を超えると先端が伸展することを確認した。袋先端の折り返し部ではしわが見られ、シート同士の摺動による抵抗が発生するため 5kPa 以下の圧力では伸展しなかった。

また、伸展時の先端部の様子を Fig. 4 に示す。空気圧による袋の膨張で小型移動体の保持・格納・先端への搬送を確認した。なお、移動体の大きさは、 $20 \times 30 \times 48\text{mm}$ である。



Fig. 3 Basic tip-extending motion

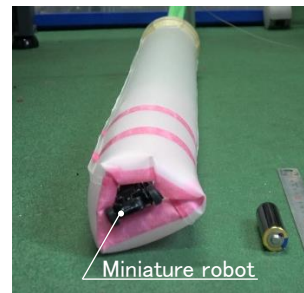


Fig. 4 Tip holding a miniature robot

4. 試作機の投入実験

試作機を用いて、高所狭隘部への小型移動体の投入実験を行った。Fig. 5 に示すように、天井の格子状構造物の先の狭い通路に向けて移動体を投入させた。装置の柔軟な空気袋でできているため、構造体に接触した場合でも内部の移動体を衝撃から防ぐことが可能となった。

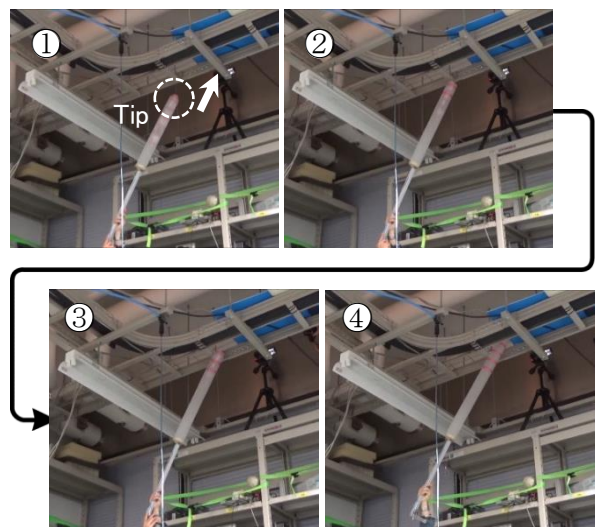


Fig. 5 Inserting a robot into a high, narrow and complicated environment. (Bottom side angle view.)

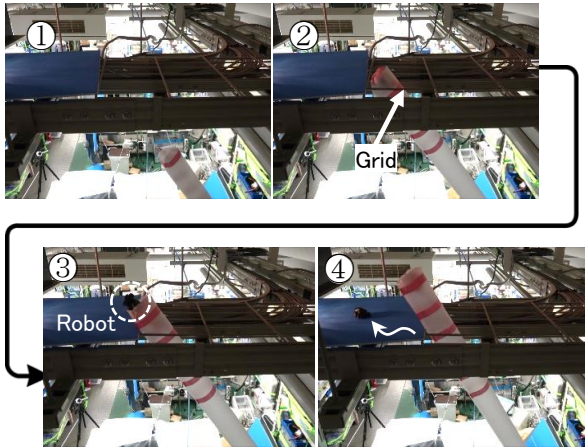


Fig. 6 Inserting a robot into a high, narrow and complicated environment. (Top side angle view.)

投入実験時の天井部の様子を Fig. 6 に示す。物体は袋の柔軟性により、自身の直径(60mm)よりも小さい幅となる $45 \times 144\text{mm}$ の格子を通過した。そして、袋の先端から小型移動体を投入させることができた。以上により、提案する投入機構の有効性を確認できた。

5. トーラス型投入機構の拡張

5.1. トーラス構造の湾曲機構

現行の投入機構は直線的な伸展動作のみが行える。しかし、袋の先端や胴体を能動的に湾曲させる運動が実現できれば、投入先の範囲の拡大や投入先の位置や先端の姿勢を調節することにより、より安全に物体を投入させることができると期待できる。

トーラスの湾曲機構として、空圧を利用した方式 [6][7] やワイヤで牽引するもの [8][9] が提案されている。しかし、これらは大径化が困難なことや大きな曲率が生成できないこと、3次元的な全方向湾曲が困難なこと、袋の厚さにより繰り出しの抵抗が大きくなること、内部構造と袋との間に摺動が生じること、湾曲動作と伸展動作の同時生成が困難なことが課題となっていた。

そこで、本研究では蛇腹折りした円筒袋とその内部のワイヤ駆動式の湾曲装置で構成される機構を提案する (Fig. 7)。蛇腹構造により、ワイヤ牽引時に大きな曲率が期待でき

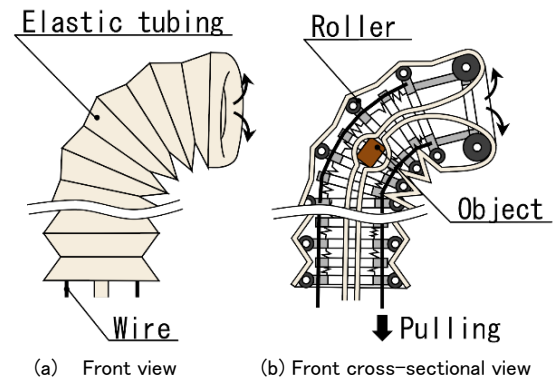


Fig. 7 Bellows type bending torus mechanism

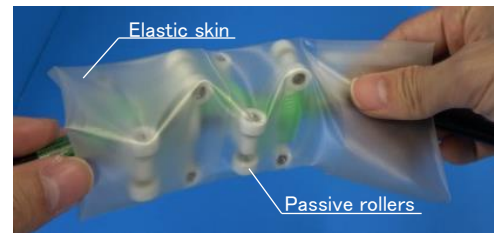
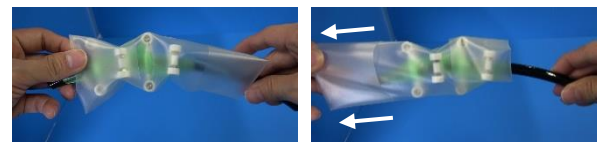


Fig. 8 First prototype of the bellows type bending torus



(a) Bending motion



(b) Linear motion of the skin

Fig. 9 Basic motion test of bellows type bending torus

る。また、蛇腹構造は湾曲装置の外周に設けられた複数のローラを袋に押し付けて突っ張ることで生成する。このため、湾曲時でも袋は内部の装置のローラとのみ接触し、袋の伸展動作時の摺動抵抗が軽減される。

Fig. 8 に試作機を示す。円筒形状のウレタンシート袋を製作し、その内部でローラを突っ張らせて折り目の“山”を作り、全体として袋を蛇腹折り形状にした。今回は製作の簡易化のため、断面が矩形になる蛇腹折を採用した。湾曲や袋の繰り出し動作でも大きな抵抗なく動作できることを確認した (Fig. 9)。

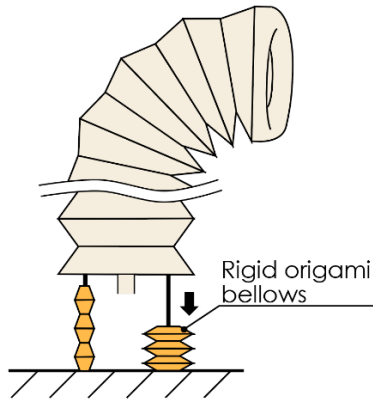


Fig. 10 Bending motion by linear contraction of the actuator

5. 2. 収縮機構

次に、湾曲機構のワイヤ牽引装置を検討する。袋の伸展動作と同様に、流体圧で駆動する軽量で高出力な装置があればシステムの簡便化できる(Fig. 10).

一方、剛体折り紙構造を利用し、加圧により伸展する機構が提案されている[10][11]. 加圧により、大きなストロークが生成できることが特徴である。

これに対し、本研究では剛体折り紙構造に着目し、加圧により“縮む”蛇腹機構を提案する(Fig. 11). これまで提案されている McKibben 型ゴム人工筋[12]や軸方向の繊維とゴムを利用した人工筋[13]とは異なり、加圧前の体積がゼロであることと、加圧時に大きなくびれが発生しない。このため、加圧後の太さが従来と同じでも圧力室の体積変化が大きくなるため、原理的には従来よりも単位体積あたりの仕事が大きな、コンパクトで高出力な人工筋が実現できる。

さらに、提案手法の蛇腹は剛体プレートとヒンジで構成できる。このため、従来の人工筋で問題となるゴムの劣化やヒステリシロス、耐圧、非線形特性を軽減できる可能性がある。

Fig. 12 に提案する蛇腹構造の試作機を示す。初期状態は扁平であり、内部の体積の増加とともに軸方向の収縮することが確認された。

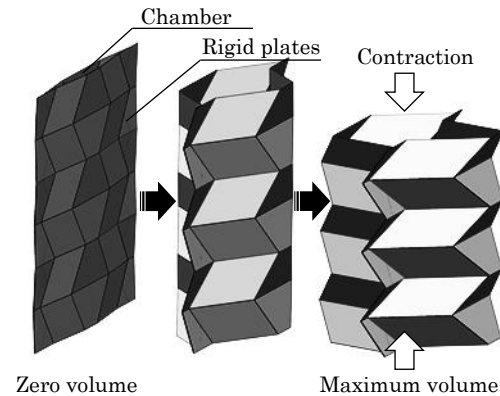


Fig. 11 Contraction motion of the proposed rigid origami bellows by internal fluid pressure

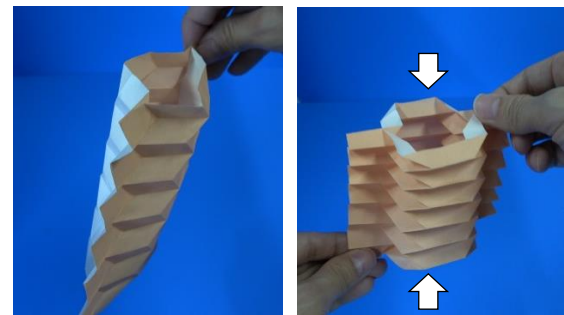


Fig. 12 Contraction motion of the prototype bellows

今後は材料と製作方法の検討、リンクの長さや幅、折り方などのパラメータによって収縮率やカー変位特性がどのように変化するのか解析する予定である

6. まとめと今後の課題

本研究では、先端伸展式トーラス型投入機構を提案し、試作した実機を用いて小型移動体の投入実験を実施し、提案構造の有効性を確認した。今後は湾曲機構を含めた実機の試作と動作実験を行っていく予定である。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。

参考文献

- [1] 多田隈建二郎, 多田隈理一郎, 勅使河原誠一, 溝口義智, 長谷川浩章, 寺田一貴, 高山俊男, 小俣透, 明愛国, 下条誠, “全方向包括式なじみグリッパー基本概念の提案と機械モデルの第一次試作—,” 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 11-01, 2008.
- [2] 藤田政宏, 高根英里, 野村陽人, 小松洋音, 西田健, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭, “無摺動式トールラス型伸展指機構 — 密集環境内における軟弱・脆弱対象物としての幼鶏体の抱擁的把持を目的とした効果器—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2P1-D07, 2017.
- [3] Chin Tai Loh, Hideyuki Tsukagoshi “Pneumatic Big-Hand Gripper with Slip-in Tip Aimed for the Transfer Support of the Human Body”, IEEE international Conference on Robotics and Automation, 2014.
- [4] D. Mishima, T. Aoki, S. Hirose “Development of Pneumatically Controlled Expandable Arm for Search in the Environment with Tight Access”, Proc. Int. Conf. on Field and Service Robotics, FSR2003,315-320, 2003.
- [5] H. Kimura, F. kajimura, D. Maruyama, M. Koseki, N. Inou, “Flexible Hermetically-Sealed Mobile Robot for Narrow Spaces Using Hydrostatic Skeleton Driving Mechanisim. Proc”, IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Sys, pp4006-4011, 2006.
- [6] Hideyuki Tsukagoshi, Nobuyuki Arai, Ichiro Kiryu, and Ato Kitagawa, “Tip Growing Actuator with the Hose-shaped Structure Aiming for Inspection on Narrow Terrain”, International Journal of Automation Technology, Vol.5, No.4, 516-522, 2011.
- [7] 中村知行, 塚越秀行 “人体荷重下を無摺動で滑り込む Slip-in マニピュレータの提案,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-04a6, 2016.
- [8] Kim, Y., Cheng, S., Kim, S., and Iagnemma, K., “Design of a Tubular Snake-like Manipulator with Stiffening Capability by Layer Jamming,” Proceedings of the IEEE International Conference on Robots and Systems, 2012.
- [9] Laura H. Blumenschein, Lucia T. Gan, Jonathan A. Fan, Allison M. Okamura, and Elliot W. Hawkes, “A Tip-Extending Soft Robot Enables Reconfigurable and Deployable Antennas,” IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 3, Issue: 2, April 2018.
- [10] Tomohiro Tachi, Koryo Miura, “Rigid-foldable Cylinders and Cells,” Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: J. IASS, 53(174): 217-226, December 2012
- [11] 三浦公亮、舘知宏, 流体機械要素, 特開 2012-092956. 2012-05-17.
- [12] Schulte, HF, “The characteristics of the McKibben artificial muscle,” The Application of External Power in Prosthetics and Orthotics. Washington, DC: National Academy of Sciences, Appendix H, Publication 874, pp.94-115, 1961
- [13] Morecki A and Nazarczuk K., “Some Problems of Bioelectric Control of Natural and Artificial Limbs,”

The Active Mechanical Engineering Quarterly,
Warsaw, Poland, 1969.