

# 腕・手連続効果器における 全方向反射的湾曲メカニズム

## Omnidirectional Reflexive Bending Mechanism for Arm-Hand Integrated Effector

○高根英里, 山本知生, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭

○Eri Takane, Tomonari Yamamoto, Kenjiro Tadakuma,  
Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro

東北大学

Tohoku University

キーワード : 反射, 機構, 全方向

連絡先 : 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

情報科学研究科 応用情報科学専攻 田所研究室, 高根英里

Tel.: (022)-795-7025, Fax.: (022)-795-7023, E-mail: takane@rm.is.tohoku.ac.jp

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

災害現場に侵入するロボットにおいて、様々な形状、材質の物を把持するメカニズムが必要とされている。この機構は、道を阻む瓦礫の除去や、被災者を救出する際に役に立つ。また、素早く対象物を把持することで、把持機構にとどまらず、瓦礫の一部を体の支持に用いるブラキエーションの様式で移動する移動機構にも利用可能である。よって、このような状況で用いる把持機構においては、素早く対象物のある方向に姿勢を変化させる機能が必要とされている。

様々な対象物を把持する従来研究として、作動機構を利用したソフトグリップ[1]

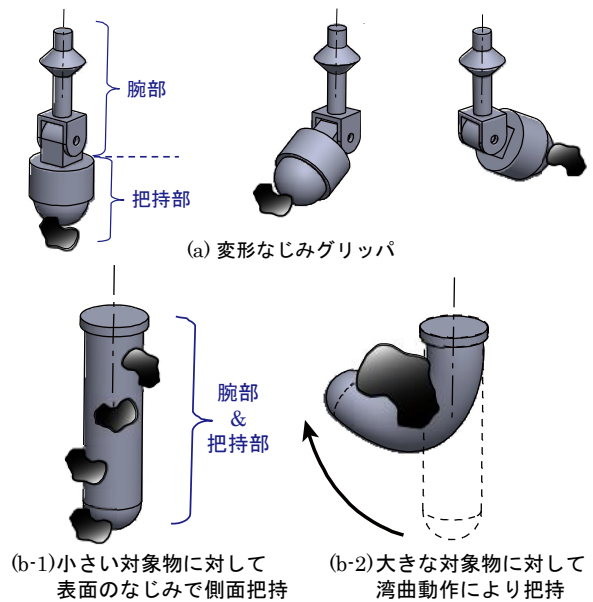


Fig1 従来の把持機構の問題点および腕・手連続メカニズム

や、トーラス構造を利用した包み込みグリップ[2]、粒子のジャミング現象を利用した可変剛性グリップ[3][4]、リンク機構を利用したなじむ指[5]などが挙げられる。

しかし、これらは、把持部分が限定されているため、図1(a)のように、対象物の方向へ向きを変える必要がある。そのために腕部を有し、関節にアクチュエータやセンサが複数用いられた構成となっている。そこで、関節を有しない、ハンド部とアーム部の境目のないメカニズムが提案されている[13]。この機構は、図1(b-1)に示すように、実機構の寸法に対して小さい対象物には、姿勢を変えることなく、表面のなじみにより把持を可能とする。一方で、図1(b-2)のように、大きい対象物に対しては、全体を湾曲し包み込むことにより、把持を実現する。これにより、どの方向にある物体にも対応可能となる。

今回の研究は、腕・手連続エンドエフェクタの反射的湾曲機能に関するものである。

## 1.2 研究目的

全体が湾曲し様々な対象物を包み込み把持する観点から、連続形状の索状体の研究が従来より、取り組まれている[6,7]。これらは対象物に巻き付くことにより、動作を行うもので、中でも、環状に配置した空気室の内圧を変化させることにより姿勢を変える機構を採用したものが多く研究されている[8-12]。

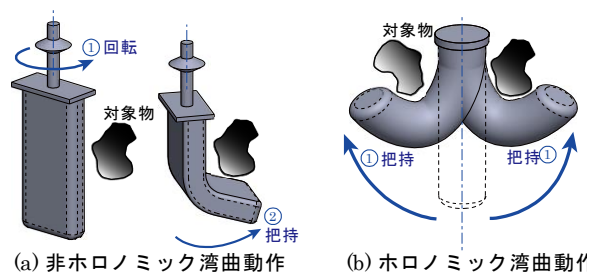


Fig.2 非ホロノミックおよびホロノミック湾曲動作

しかし、これらには把持する対象物を検知するためのセンサや、電磁バルブなど、電子部品を使用する必要があるため、火気厳禁の場所や、高放射線下での使用が不可能である。

上記問題点を解決するために、本論文では、完全機械式で反射的に素早く把持対象の方向に湾曲する機構を提案する。この提案する機構は簡単な構造をしているため、実装が容易で故障率低減も期待できるという利点も有する。

具体的には、提案する湾曲機構を、接触感応式連動バルブ機構を用いて実現する。試作機的设计、実機実験を通して提案する機構の有効性や今後の課題の抽出を行う。

## 2. 反射的湾曲と接触感応式連動バルブ機構の基本原

### 2.1 反射的湾曲の基本動作

対象物が構造に接触したら、その方向に姿勢を変化させる完全機械式の反射的湾曲機構を考えた際に、図2(a)のように、1方向にだけ湾曲する構造物を回転させることにより、非ホロノミックな全方向湾曲を実現する方法が考えられる。しかし、接触した後には回るという動作により、接触後から把持するまでの時間に遅れが生じる問題がある。よって今回は、図2(b)の対象物の方向に直接湾曲するホロノミック方式を採用する。

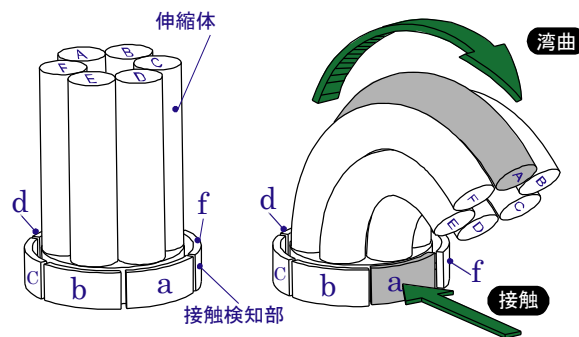


Fig.3 全方向反射的湾曲メカニズムの基本原

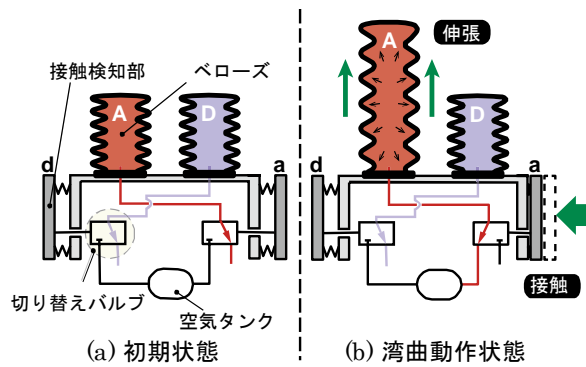


Fig.4 接触感応式連動バルブ機構の原理

Table 1 第一次試作機の仕様

使用した ベローズ (伸縮体)	硬度	50
	内径/外径	20/35 mm
	自然長	195 mm
	最小長さ	90 mm
	最大長さ	280 mm
	材質	クロロプレンゴム
試作機全体	内圧	20 kPa
	重量	1552 g
	全体直径	130 mm
	最小長さ	210 mm
	最大長さ	390 mm
	湾曲半径	169 mm

## 2.2 接触感応式連動バルブ機構

前述の反射的湾曲動作を実現する方法として、ワイヤやリンクを用いる手法が考えられるが、今回は実機を簡易的に構成する観点から、空圧方式を採用した。

図3に全方向反射的湾曲メカニズムの基本原則を示す。複数の伸縮体を、空圧方式を本原則に適用するにあたり、伸縮体として円周状に配置する。対象物が接触した位置(図3のa)と対角上にある伸縮体(図3のA)の内圧を高め伸張させる。これにより、この円状構造物は接触した方向に湾曲する。ただし、ベローズの断面形状は円と限らない。

前述の動作を実現するにあたり、具体的な接触感応式連動バルブ機構の原理を図4に示す。接触部には機械式切替え弁が配置され、例えば図中のaが押されることによって対角上の伸縮体としてのベローズAが



Fig.5 全方向反射的湾曲メカニズムの第一次試作機の外観

タンクと繋がり内圧を高め、結果としてベローズAが伸張する。これが提案する反射的湾曲メカニズムの基本原則である。切替え弁とベローズが連動した構造である、この手法を接触感応式連動バルブ機構と定義する。

## 3. 一次実機構成

提案する反射的湾曲メカニズムを具体的に設計し、図5に示す実機の試作を行った。この試作機の仕様を表1に示す。今回は、実機構築容易性の観点から図4に2つ示しているバルブ・ベローズ連動ユニットを6つ円周状に配置した。分解能を高めるには、このユニット数を増やすことで対応可能である。

次に、この実機を用いた実験を通して、姿勢の時間変化の計測と、連動バルブ機を含めたホロノミックな全方向反射的湾曲機能の確認を行う。

### 3.1 姿勢計測

試作した実機の湾曲特性を取得するために、モーションキャプチャにより動作計測を行った。マーカを図6のように実機にとりつけ、自重で図中左側に傾いた姿勢を初期状態とし、右側から外部接触を与えた。次に内圧を5kPa, 10kPa, 15kPa, 20kPaと設定した場合のそれぞれの湾曲動作を計測した。その結果、ベローズ部が接触した方向に湾曲するという提案した基本動作が行えることを確認できた。図7は各内圧における最大湾曲時の姿勢を示している。内圧が高いほど曲率半径が小さくなっていることがみてとれる。また、それぞれの内圧における姿勢の時間的変化をみるために、図8を示す。これにより、付加する内圧が高いほど湾曲動作が速くなる事が分かる。しかし、20kPaの場合は、最大湾曲の際の曲率が大きい為故に、15kPaよりも最大湾曲に達するまでの時間を要することが観察された。

さらに、頂点に取り付けたマーカのZ座標の変化における誤差に対する自乗平均平方根を見ることにより、接触方向に捩じれを生じずに湾曲しているかを確認する。表2にその解析結果を示す。この表から、内圧が高いほど自乗平均平方根が小さくなっているがみてとれる。つまり、印加する内圧が高いほどZ軸方向への移動量が少ない。すなわち、剛性が高まるため捩じれ量が少ないことが分かる。

### 3.2 全方向への反射的湾曲動作

複数の外部接触方向に湾曲する機能を確認するため、多方向から対象物を順に接触させる実験を行った。その時の様子を図9に示す。本実験の結果、接触方向に直接反射的に湾曲する動作が網羅的に観察された。それゆえ、ホロノミックに全方向への反射的湾曲動作が実現できたといえる。

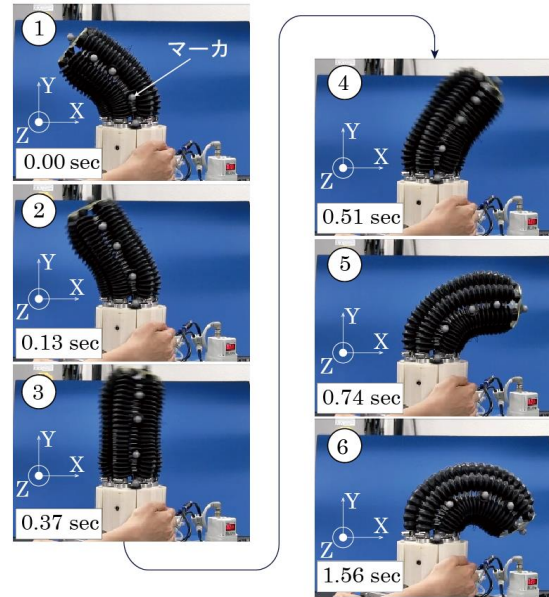


Fig.6 モーションキャプチャによる姿勢計測の様子

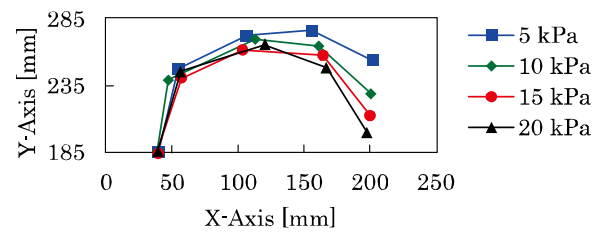


Fig.7 印加内圧による最大湾曲姿勢

Table 2 内圧とZ座標の変化における誤差に対する自乗平均平方根の関係

印加内圧[kPa]	誤差に対する自乗平均平方根
5	9.78
10	7.88
15	6.65
20	4.3

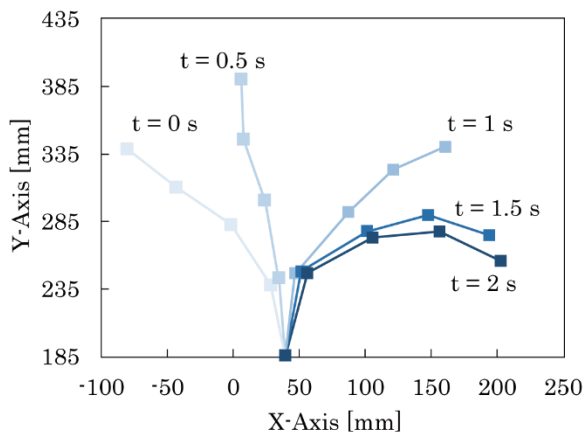


## 4. まとめ

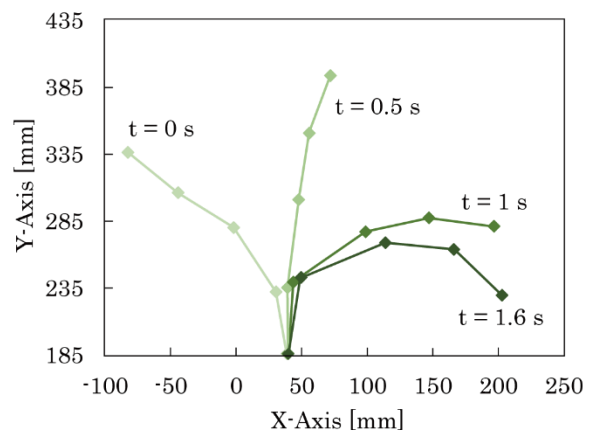
本研究では、従来区別して構成されていた把持機構と腕の境界が存在しない連続的な構造を提案した。この提案する構造および全方向反射的湾曲機能の実現のため、今回は完全機械式である接触感応式連動バルブ機構およびそれを用いた反射的湾曲メカニズムを考案した。また、実機的设计・試作、および湾曲姿勢の評価、全方向へ反射的に湾曲可能である基本的特性を確認でき

たことより、提案した機能を実現したといえる。

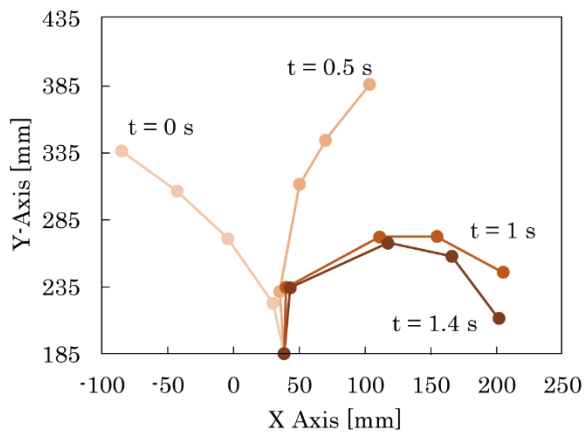
今後は、切換え弁の小型化および微力作動化、対象物に対しての根元部一箇所の接触感応のみだけではなく、構造物全体での接触感応も可能となる構成とする事が挙げられる。さらに、今回の全方向反射的湾曲機能に、表面のなじみ機能および可変剛性機能を付加した次なる手・腕連続メカニズムを構成する予定である。



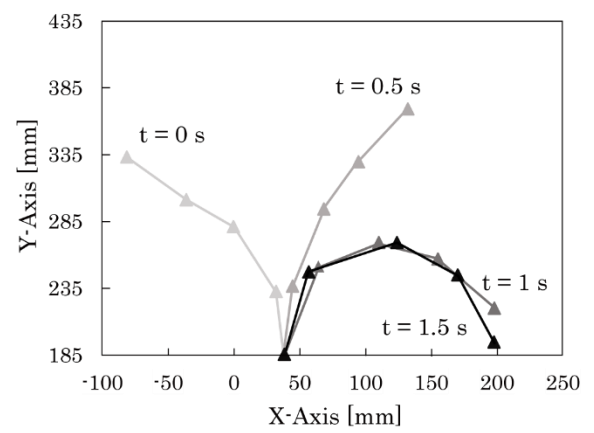
(a) 内圧 5kPa での時間 (t) による湾曲姿勢



(b) 内圧 10kPa での時間 (t) による湾曲姿勢



(c) 内圧 15kPa での時間 (t) による湾曲姿勢



(d) 内圧 20kPa での時間 (t) による湾曲姿勢

Fig.8 時間変化に対する湾曲姿勢変化: (a) 5 kPa では 2 秒で最大湾曲に到達. (b) 10 kPa では 0.6 秒で最大湾曲に到達. (c) 15 kPa では 1.4 秒で最大湾曲に到達. (d) 20 kPa では 1.5 秒で最大湾曲に到達.

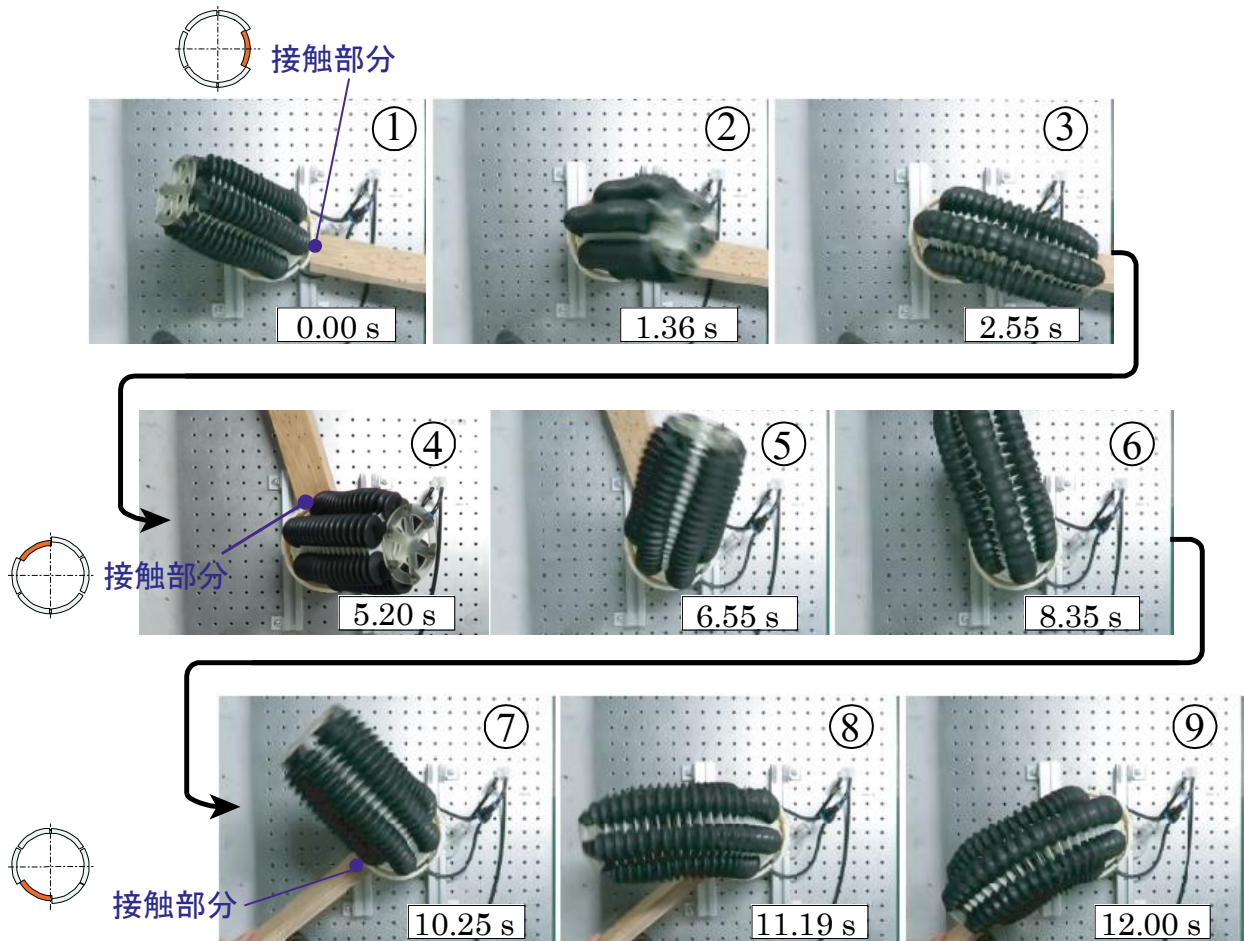


Fig.9 全方向への反射的湾曲動作の様子(上面図)

## 参考文献

- 1) 広瀬茂男:連結差動機構とその応用, 設計製図, vol. 21, no. 10, 362/366, (1986)
- 2) T多田隈建二郎, 多田隈理一郎, 勅使河原一, 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ripper- 基本概念の提案と機械モデルの第一次試作-, 日本ロボット学会, 1E1-01, (2008).
- 3) Bancon G, Huber B: Depression and Grippers with Their Possible Applications. 12th ISIR, Paris, 321/329 (1982)
- 4) Brown E, Rodenberg N, Amend J, Mozeika A, Steltz E, Zakin, M R, Lipson H, Jaeger H M: Universal Robotic Gripper Based on the Jamming of Granular Material. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 107, 18809/18814 (2010)
- 5) Clement M G, Thierry L: US Patent 5,762,390, 9 Jun 1998 (1998)
- 6) Walker I D (2013) Continuous Backbone "Continuum" Robot Manipulators. ISRN Robotics, Vol 2013, Article ID 726506. <http://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/726506/>. Accessed 30 Nov 2015.
- 7) Hirose S (1987) Biologically Inspired Robots. Industry Committee, Japan.
- 8) Rolf M, Steil J J: Efficient Exploratory Learning of Inverse Kinematics on a Bionic Elephant Trunk. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol. 25, 1147/1160 (2014)
- 9) 鈴森康一:フレキシブルマイクロアクチュエータに関する研究(第1報, 3自由度アクチュエータの静特性), 日本機械学会論文集, 55巻, 518号, 2547/2552 (1989)

- 10) Otherlab. <https://otherlab.com/>. Accessed 26 Jun 2015.
- 11) W. McMahan, B. A. Jones, and I. D. Walker: Design and implementation of a multi-section continuum robot: Air-Octor. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3345/3352 (2005)
- 12) Tsukagoshi H, Kitagawa A, Segawa M : Active Hose: An Artificial Elephant's Nose with Maneuverability for Rescue Operation. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2454/2459 (2001)
- 13) Cheng N G, Lobovsky M B, Keating S J, Setapen A M, Gero K I, Hosoi A E, Iagnemma K D : Design and Analysis of a Robust, Low-cost, Highly Articulated Manipulator by Jamming of Granular Media. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4328/4333 (2012)