

# 飛び移り座屈を利用した軽量ソフトグリッパの開発

## 第4報 把持対象の多様化

Development of a Lightweight Soft Gripper using Snap-Through-Buckling  
Diversification of grasped objects

○正 花守 拓樹 (九大) 正 河村 晃宏 (九大)  
正 倉爪 亮 (九大)

Hiroki HANAMORI, Kyushu University, hanamori@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Akihiro KAWAMURA, Kyushu University

Ryo KURAZUME, Kyushu University

Soft grippers have attracted attention as a method that can grasp objects of different shapes, sizes, and hardness with a simple configuration, and many examples have been proposed. Although some of the previous studies have shown that the soft gripper can perform enveloping grasping, which can distribute the load when grasping with a large contact area, there are structural limitations to this method. In this study, we propose a soft gripper that can open and close gripping parts of various structures with a simple configuration. The proposed soft gripper opens and closes by the snap-through-buckling that occurs in the actuator part on the hemispherical shell. This makes it possible to simplify the structure and maintain the open or closed state of the gripper.

**Key Words:** Soft Robot, Robot Hand, Envelope Gripping

### 1 緒言

形状やサイズ、硬度の異なる物体を把持するためには、誤差を許容するための複雑な機構や高度な制御が要求される。ソフトグリッパは、こうした物体をシンプルな構成で把持することができる手法として注目を集め、多くの事例が提案されてきた [1]。その中で、特に大きな接触面積によって接触時の負荷を分散する手法として、包み込み把持がある。繊細で傷つきやすい物体の把持に有効な包み込み把持を行うソフトグリッパには、大きく開閉可能な指型 [2] [3] や、対象を膜で包み込むことができるジャミンググリッパ [4] などがある。指型のソフトグリッパは、空気圧によって大きく屈伸する指で対象になじむことができるが、指状のアクチュエータを隙間なく並べるとは構造上難しい。一方、ジャミンググリッパはゴム膜を変形させて対象を隙間なく包み込むことができるが、大きく開閉することができないという構造上、把持部以上の大きさの物体を包み込むことは難しい。必用隙間なく並べられた指を大きく屈伸させて対象を包み込むためには、従来の手法とは異なる構造が必要となる。

我々はこれまで、単純な構成で円周状に並べられた指を開閉することができるソフトグリッパを提案する (図1)。提案するソフトグリッパは、半球殻状のアクチュエータを凹もしくは凸状に変形させることで、アクチュエータに接するように並べられた指を同時に開閉することができる。また、アクチュエータを変形させる際に生じる飛び移り座屈現象によって、ソフトグリッパの開、閉それぞれの状態を幾何学的に維持することが可能となる。本研究ではこれまでに、提案手法の適用範囲を限定したケースにおいて最適な把持部の形状を模索する手法について、検証を行ってきた [5] [6]。本稿では、把持部を様々な形状で設計することができるという提案手法の特徴を生かし、適用範囲を広げた様々な応用例を提案する。

### 2 ソフトグリッパの概要

#### 2.1 構造と動作原理

提案するソフトグリッパはエラストマ材によって一体造形されており、図2のように役割に応じてフレーム部、アクチュエータ部と把持部に分類することができる。フレーム部とアクチュエータ部はエアチャンバを構成しており、半球殻状のアクチュエータ部の外周部分に、複数の指で構成された把持部が接続されている。アクチュエータ部はフレーム部と比較して変形しやすくなるように設計されているため、エアチャンバの圧力を高くすることで、凸状のアクチュエータ部を凹状に変形させることができる。これ

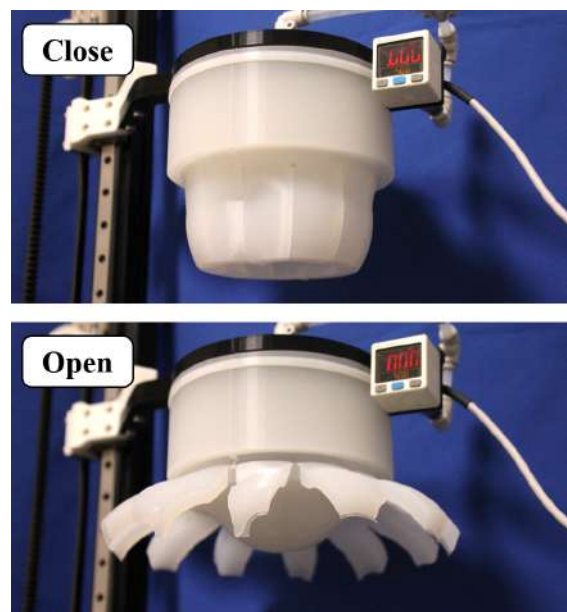


Fig.1 Appearance of Soft Gripper.

により、凸から凹へと形状が変化したアクチュエータ部に連動して全ての指が大きく開く。把持部を閉じる方法には、エアチャンバ内の圧力を低くする方法と、エアチャンバの密閉を破壊した状態でアクチュエータ部を把持対象に押し付ける方法の2つがある。前者は負圧によって把持部に閉じる力を発生させることができ、後者はセンサレスな把持を実現できるという特徴がある。また、アクチュエータ部の形状が遷移する際に発生する飛び移り座屈現象によって、エアチャンバの密閉が破壊されている状態であっても開、閉それぞれの状態を構造的に維持することができる。

#### 2.2 製作手法

本研究ではこれまでに、硬化前のエラストマ材を3Dプリンタなどで造形した型に流し込んで硬化させる手法を用いてソフトグリッパを製作してきた [5] [6]。特殊な3Dプリンタによってソフトグリッパを直接造形する手法と比較して必要な部品の点数が多い手法ではあるが、3Dプリンタ特有の物性の異方向性が生じな

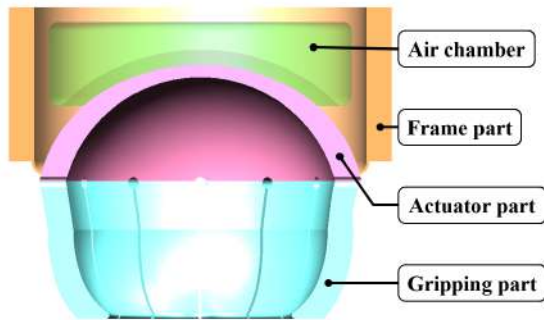


Fig.2 Approximate shape and size of the Soft Gripper.

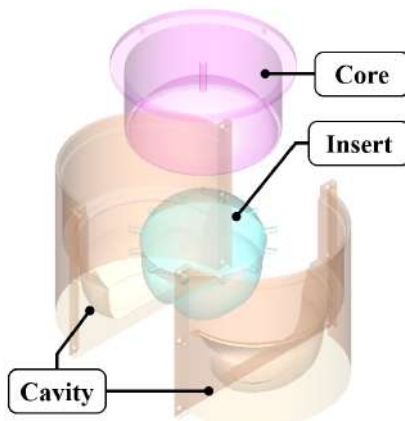


Fig.3 Appearance of mold.

という利点がある。ソフトグリップを製作する際にはまず最初に、2種類のエラストマ材を攪拌して硬化を開始する。攪拌時に生じた気泡は真空層を用いて取り除かれる。次に、図3に示されるような3Dプリンタによって造形され、組み立てられた型にエラストマ材を流し込み、硬化させる。型はキャビティ(図のオレンジの部分)とコア(図の紫の部分)、入れ子(図の水色の部分)に分割することができる。こうした構成にすることで、ソフトグリップの形状を部分的に変更したい場合に型全体を造形する必要がなくなる。

### 3 多様な把持対象への応用

本研究ではこれまでに、把持対象に合わせてフレーム部およびアクチュエータ部の形状を決定するという手順で、桃を把持するソフトグリップを設計してきた。提案するソフトグリップの把持部には構造的な制約が少なく、自由度の高い設計を行うことができる。本報ではこの特性を生かし、桃のような球形に近い物体の他に、形状の異なる物体を把持する2種類のソフトグリップを製作した。1つ目は、苺のように小さく、非球形の物体を把持するソフトグリップである。苺のような三角錐状の物体を地面に置いた状態で把持するために、前述の設計手法を応用して図4のようなソフトグリップを製作した。このように、対象の形状や大きさ、姿勢に関わらず、共通のプロセスでソフトグリップを設計することが可能となっている。2つ目は、きゅうりのような棒状の物体を把持するソフトグリップである。きゅうりのように全体を包み込むことが難しい物体を把持する場合は、アクチュエータ部の形状を決定する際に、把持対象の正接する内接球ではなく、把持対象の断面に正接する内接円の直径を基準とするとして設計する。次に、把持部の概形を決定する際には、全体を覆うように設計するのではなく、アクチュエータ部の大きさを基準として駆動可能な範囲のみに把持部を配置するように設計する。このように設計手法の一部を変更して、図5のようにきゅうりを把持することができるソフトグリップを製作した。

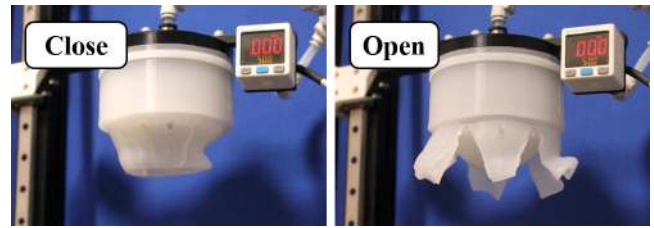


Fig.4 Soft Gripper for strawberry.



Fig.5 Soft Gripper for cucumber.

## 4 実験

まず最初に、ソフトグリップを開くために必要な圧力を確認するために、駆動圧力測定を行った。駆動圧力測定では、エアコンプレッサーと、アクチュエータ部およびフレーム部が構成するエアチャンバ内の圧力を測定するためのデジタル空圧計を利用した。測定の結果、桃を把持するソフトグリップは5[kPa]、苺を把持するソフトグリップは5[kPa]、きゅうりを把持するソフトグリップは3[kPa]で開くことを確認できた。

次に、製作されたソフトグリップが物体を把持することができるかを確認するための実験を行った。実験では、ソフトグリップを垂直に上下させることができる昇降機を利用して、図6に示すような物体の把持を繰り返し行った。把持物体はそれぞれソフトグリップの設計時に基準とした物体を模した形状となっており、その重さも実際の果物と同程度になるよう調整されている。実験では、桃、苺、きゅうりそれぞれのグリップが、対象のピックアッププレースを10回繰り返すことができることを確認した(図7)。

## 5 結論

本報では、単純な構成で円周上に隙間なく並べられた指を開閉することができるソフトグリップを提案した。アクチュエータ部に接してさえいれば指の形状は問わず開閉できるという特性を生かし、把持対象それぞれに合わせて把持部を設計することで、様々な形状の物体を実際に把持することができるソフトグリップを製作することができた。

## 参考文献

- [1] R. Daniela and T. Michael T, "Design, fabrication and control of soft robots," *Nature*, 521.7553: 467-475, 2015.
- [2] B. Khulan and Y. Dongwon, "Soft robotic gripper with chambered fingers for performing in-hand manipulation," *Applied Sciences*, 9.15: 2967, 2019.
- [3] Panagiotis Polygerinos, Zheng Wang, Johannes, T. B. Overvelde, Kevin C. Galloway, Robert J. Wood, Katia Bertoldi, and Conor J. Walsh, "Modeling of soft fiber-reinforced bending actuators," *IEEE Transactions on Robotics*, 31.3: 778-789, 2015.
- [4] Eric Brown, Nicholas Rodenberga, John Amendb, Annan Mozeikac, Erik Steltz, Mitchell R. Zakind, Hod Lipsonb, and Heinrich M. Jaegera, "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107.44: 18809-18814, 2010
- [5] 花守拓樹, 河村晃宏, 倉爪亮. "飛び移り座屈を利用した軽量ソフトグリップの開発 第3報 把持対象にかかる局所的な負荷を分散する爪形状の提案" 第40回日本ロボット学会学術講演会. 3H1-03. 2022.9.5-9

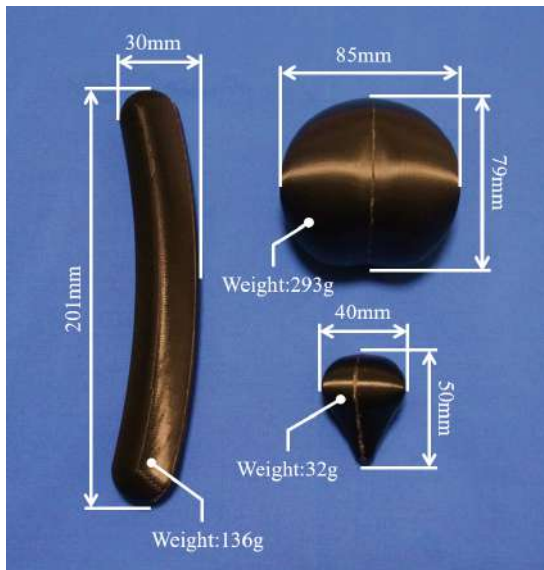


Fig.6 Appearance and dimensions of objects.

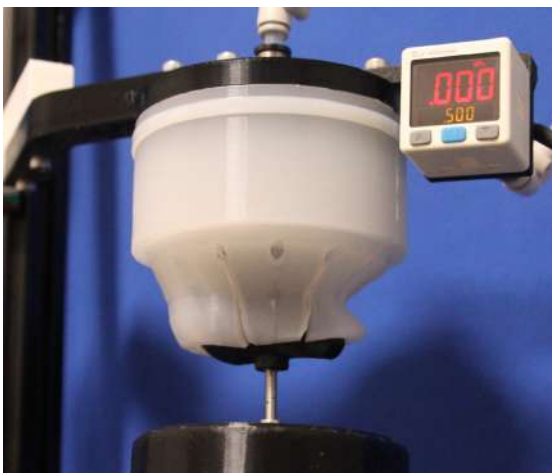


Fig.7 Appearance of grasp experiment.

- [6] Hiroki Hanamori, Akihiro Kawamura, Ryo Kurazume “Soft enveloping gripper driving numerous fingers by 3D snap through buckling mechanism” IECON 2023–49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, 2023.