

# 柔軟食品の高速搬送を目的としたソフトロボットハンドの開発

## Development of a Food Handling Soft Robot Hand for a High-speed Pick-and-place Task

○学 山中 悠太 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)  
正 鈴森 康一 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)

Yuta YAMANAKA, Tokyo Institute of Technology, yamanaka.y.af@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

In recent years, industrial robots have been applied to food production because of its huge potential market. Although cooking large amount of foods are done by specially designed cooking machines, dishing up the cooked foods remains as a labor-intensive task. To solve this problem, we propose a new food handling robot hand composed by soft actuators which can handle easily damaged natural food and convey it at high speed. In this paper, characteristic of the soft actuator was shown and bending mechanism was analyzed by FEM. In addition, the proposed gripper was evaluated by conveying experiments with some food samples.

**Key Words:** Soft actuator, Food handling, Finite element method, High-speed conveying

### 1 緒言

食品の製造現場では労働人口の減少, 単純作業を嫌う労働ニーズの変化により人手不足に陥っており, 機械による自動化の必要性が高まっている. 調理や包装の工程では自動化が進んでいるが, 食品を直接ハンドリングする必要のある工程では自動化が進んでいない. この理由として, 食品の様々な形状を持ち, 柔らかく傷つきやすいという特性から従来の産業用ロボットハンドではハンドリングが困難であることが挙げられる.

これらの問題を解決するために, 様々なロボットハンドが提案されてきた. 例として, 繊維状の食品の把持と盛り付けの美観を考慮した Tsummori-hand[1], 包装されたものや平面を有する食品の把持に適した真空吸着パッド [2], 弾性糸を用いてカップ入り食品の把持を行うバイండిングハンド [3] およびソフトアクチュエータを用いたソフトロボットハンド [4] などがある. しかし, 弁当や総菜の工場など少量多品種生産を行う現場では, 多様な形状をもつ食品に対してそれぞれ別のロボットハンドを導入しようとするれば手間やコストがかかる. そこで本研究では, 高いコンプライアンスを持ち形状適応性に優れたソフトアクチュエータを用いたソフトロボットハンドを研究対象とする. ソフトロボットハンドはその特性から, 食品の把持による変形を抑制することが可能であり, 大きさや形状のばらつきにも対応しやすいと

考えられる. また, シリコンゴムなどの安価な材料を用いて製作することができるため, 他のロボットハンドでは困難である使い捨ての運用なども可能である. 加えて, 空圧で駆動するため油圧駆動や潤滑を伴う機構駆動に比べ衛生的であり, 食品を扱う上で適している. これらを考慮して, より汎用的な食品の把持に特化したソフトロボットハンドを開発することを目標とする.

また, 食品の製造現場では 1 分間あたり数百個の搬送が必要とされることが多い. したがって, 本研究では実際の食品工場への導入を想定し, 食品を把持した状態での高速搬送についても検討を行う.

本稿では, ソフトアクチュエータの試作を行い, 全長変更の効果について, 有限要素法に基づく屈曲シミュレーションで検証する. さらに, 単軸リニアアクチュエータとロボットアームを組み合わせて, 製作したロボットハンドによる把持・搬送実験を行う.

### 2 提案するソフトアクチュエータ

#### 2.1 構造概要と動作原理

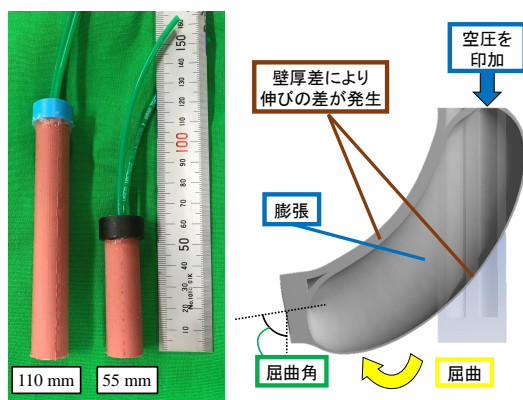
今回試作したソフトアクチュエータを図 1 に示す. このアクチュエータは, 屈曲をするシリコンゴム本体部分, 端部封止キャップおよび空圧供給用チューブからなる. なお, チューブと逆側の端部 (先端部) は一液性のシリコンゴムで接着されている. また, 本体部分のシリコンゴムには, Elastosil M4601 (密度:  $1.13\text{g/cm}^3$ , ショア A 硬度: 26) を用いた. 基本的な構造および動作原理は文献 [5] に示すフレキシブルマイクロアクチュエータを参考にし, 径方向の膨張を抑止するための繊維を省くことで, 安価で容易な製作を可能にした. また, 端部封止キャップに設けられた接着溝により, 気密性の向上と空圧印加時のキャップの脱落防止の効果が確認された.

動作原理についても図 1 に示す. このアクチュエータは内部の圧力室にチューブを通じて作動流体を流し込み圧力を制御することによって屈曲を行う. 圧力室は内部で 2 室に分かれており, 片側に圧力を印加すると, 圧力を印加した圧力室が膨張し, 壁厚の薄い外壁が内壁よりも伸びることで屈曲が実現される.

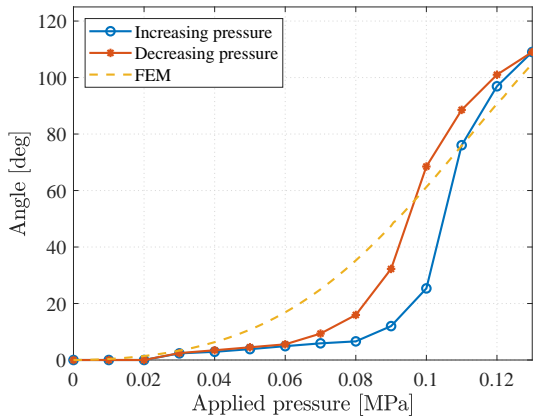
#### 2.2 製作方法

本体部分はシリコンゴムを型で一体成型することにより製作し, 3D プリンタで出力した端部とシリコン接着材を用いて接着した. 手順を以下に示す.

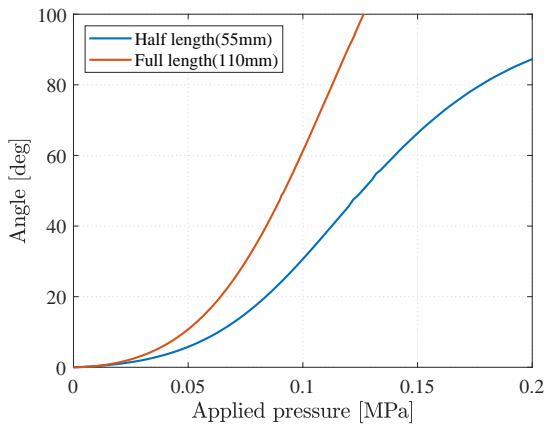
1. 本体部分に用いる 2 液性のシリコンゴムを所定の割合で混合し, 装置を用いて十分に攪拌する.
2. モールドにシリコンゴムを流し込んだ後, チャンバーに入れて減圧する.



**Fig.1** Overview of the proposed soft actuator and the operating principle



**Fig.2** Relationship between applied pressure and bend angle of the proposed soft actuator ( $\phi 16$ , 110 mm)



**Fig.3** Result of the bending simulations of the proposed soft actuators ( $\phi 16$ )

- 十分に気泡を取り除くことができたならモールドを閉じ、クランプで押さえつける。
- 常温で24時間程度硬化させた後、モールドから本体部分を取り外し端部を接着する。

### 3 有限要素法による屈曲動作シミュレーション

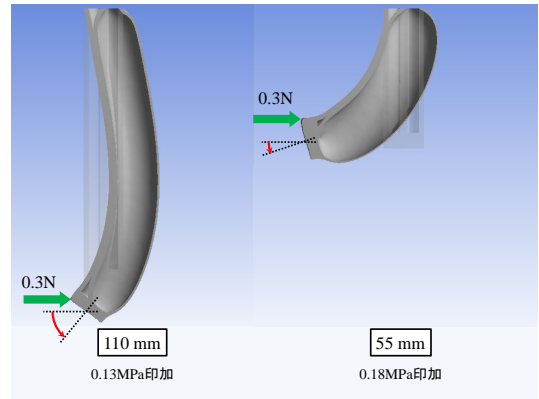
#### 3.1 解析結果の実機との比較

全長等の諸設計パラメータがソフトアクチュエータの動作特性にどのような影響を与えるのかを検討するために有限要素法による解析を行った。解析は汎用FEM解析ソフトANSYSで行い、材料は超弾性モデルの一つである2次のYeohモデルを用いた。

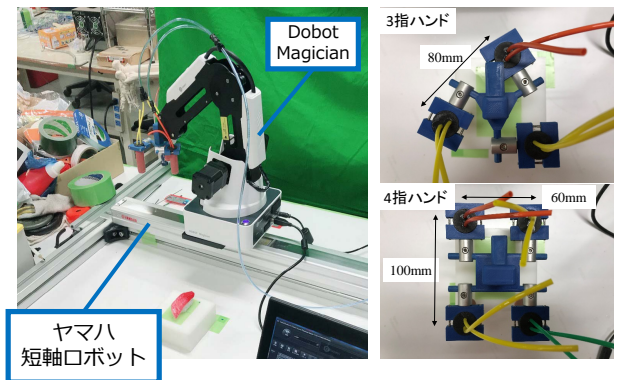
まず、解析の妥当性を検討するため、実機より得られた計測データと解析データを比較する。図1にある110 mmのソフトアクチュエータに、0 MPa から0.13 MPaまで0.01 MPa刻みで圧力を印加したときの屈曲角をFig.2を示す。これより、解析結果が実機と近い挙動を示すことがわかる。さらに、屈曲角が90°になる0.12 MPa付近ではよく一致しているといえる。ソフトアクチュエータは屈曲角90°付近での駆動を想定しているので、本解析は妥当であると考えられる。

#### 3.2 全長の小型化による剛性変化の検証

110 mm, 55 mmのソフトアクチュエータに、0.01 MPa刻みで圧力を印加したときの屈曲角を図3に示す。これより、90°の屈曲角を得るには110 mmで約0.13 MPa, 55 mmで約0.18



**Fig.4** 屈曲角 90°の状態では水平方向へ 0.3N 負荷したときの様子



**Fig.5** Overview of the experimental apparatus

MPa 印加すればいいことが分かる。さらに、110 mm と 55 mm のソフトアクチュエータそれぞれに 0.13 MPa, 0.18 MPa を印加した後、長手方向に対して垂直な方向に 0.3 N を負荷したときの解析結果を図4に示す。これより、0.3 N の負荷に対して 110 mm では屈曲方向で大きくたわんでいるのに対し、55 mm ではたわみが小さいことが理解できる。したがって、全長を1/2に小型化したことによって屈曲方向の剛性が増加したといえる。

本稿では提案したソフトアクチュエータを用いた高速搬送について検討するため、より剛性の高い55 mmのものが実験検証に適していると考えられる。したがって、以降では55 mmのソフトアクチュエータを用いて検討を行う。

### 4 把持・搬送実験

#### 4.1 実験装置

図5に示すように、試作したソフトアクチュエータ、汎用卓上ロボットアーム DOBOT Magician および YAMAHA 単軸ロボット T6L-20-600-3L-SR1-X05N-B を用いて、ハンドアームシステムを製作した。ハンドで対象を把持した状態で単軸ロボットを300mm間を最高速度1.333m/sで10往復させることで高速搬送を再現した。なお、ハンドは3指と4指を用意し、図6にある食品サンプルについて、からあげと中とりでは3指を、クロワッサンとステーキでは4指をそれぞれ使用した。

#### 4.2 実験方法

食品サンプルを図7に示す Point 1~3 に中心を合わせて設置し、それぞれ10回ずつ前述した方法で把持・搬送を行い成功回数を記録した。中心から変位した点 (Point 2,3) に対象を設置するのは、ハンドの有するコンプライアンス性を確認するためである。なお、対象を把持して搬送初期位置まで落とさなければ把持成功、単軸ロボットが10往復しても対象を落とさなければ搬送

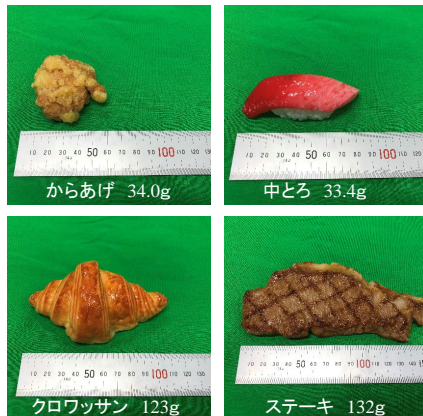


Fig.6 Food samples of the grasping target

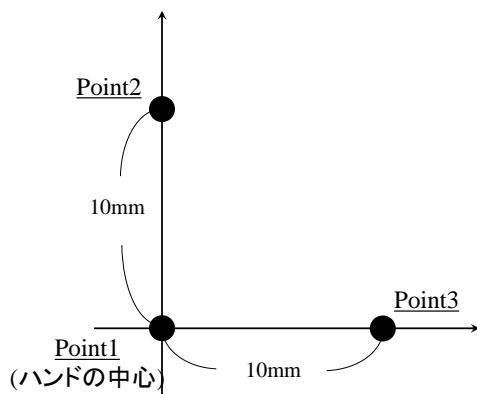


Fig.7 Set of the target positions

成功とした。また、卓上ロボットアームは把持姿勢でハンドの中心が Point 1 に一致し、ソフトアクチュエータが床に接触しないようにダイレクトティーチングで目標軌道を作成した。実験はすべて同様の目標軌道を用いて実施した。Point 1 にあるからあげを把持・搬送する様子を図 8 に示す。

#### 4.3 実験結果および考察

3 指ハンドを用いたからあげ、中とろの把持・搬送実験の結果を図 9 に示す。表の右側は対象とハンドの位置関係を表している。これより、からあげ、中とろに関しては、中心からのずれをある程度許容して把持・搬送が可能であるといえる。ただし、中心からの変位方向によっては対象が指の間をすり抜けてしまい、安定して把持を行えなかった。なお、からあげは円形とみなし、回転を考慮しなかった。

また、4 指ハンドを用いたクロワッサンとステーキにおいては把持・搬送ともに数回を除いてほぼすべて失敗した。これは食品サンプルが実物よりも重いことや、把持するための十分な摩擦力が発生できず、ハンドの中で対象が滑っていることに依ると考えられる。したがって、これらの安定的な把持を実現するためには、ソフトアクチュエータと対象の接触面積を大きくすることが必要といえる。

#### 5 結言

本稿では、ソフトアクチュエータの試作を行い、全長の変更による効果について有限要素法に基づく屈曲シミュレーションで検証した。さらに、食品工場での使用を想定して把持および高速搬送の実験を行い、試作したハンドの有用性を確認した。今後は、前節で述べたように、対象とソフトアクチュエータの接触面積を増加させる手法について検討し、より様々な大きさや重さの対象を把持できるように改良を行う。

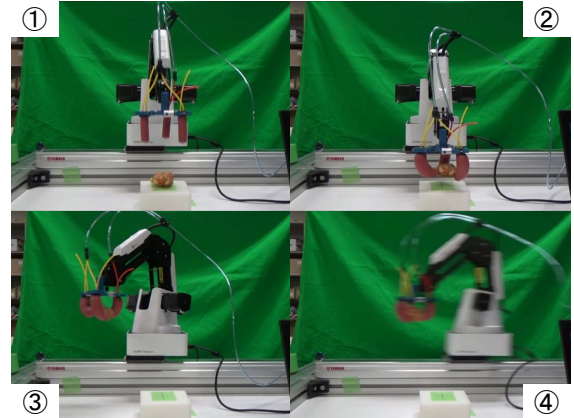


Fig.8 Overview of the grasping and conveying experiment of the "karaage" sample

からあげ	把持	搬送
Point1	10/10 (100%)	9/10 (90%)
Point2	6/10 (60%)	2/10 (20%)
Point3	10/10 (100%)	10/10 (100%)

中とろ	把持	搬送
Point1	10/10 (100%)	10/10 (100%)
Point2	10/10 (100%)	9/10 (90%)
Point3	10/10 (100%)	10/10 (100%)

中とろ 回転	把持	搬送
Point1	8/10 (80%)	4/10 (40%)
Point2	10/10 (100%)	10/10 (100%)
Point3	5/10 (50%)	1/10 (10%)

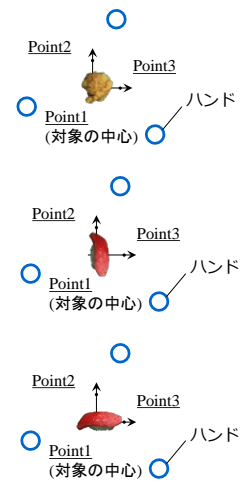


Fig.9 Results of the grasping and conveying experiment

#### 6 謝辞

本研究を進めるにあたり、協力を頂いた株式会社インダに深謝する。

#### 参考文献

- [1] G. Endo and N. Otomo, "Development of a food handling gripper considering an appetizing presentation," 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Stockholm, pp. 4901-4906, 2016
- [2] シュマルツ 株式会社 <http://www.schmalz.co.jp>, Jun, 2018
- [3] H. Iwamasa and S. Hirai, "Binding of food materials with a tension-sensitive elastic thread," 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Seattle, pp. 4298-4303, 2015
- [4] Soft Robotic Inc <https://www.softroboticsinc.com>, Jun, 2018
- [5] 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 (C 編) 55 巻 518 号, pp. 2547-2552, 1989