T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	柔軟食品の高速搬送を考慮した膜構造を有するソフトロボットハンドの開発
Title(English)	Development of a Food Handling Soft Robot Hand with Membrane Considering a High-speed Pick-and-place Task
著者(和文)	山中 悠太, 鈴森 康一, 難波江 裕之, 遠藤 玄
Authors(English)	Yuta Yamanaka, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2020, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

柔軟食品の高速搬送を考慮した膜構造を有するソフトロボットハンドの開発

Development of a Food Handling Soft Robot Hand with Membrane Considering a High-speed Pick-and-place Task

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

Yuta YAMANAKA, Tokyo Institute of Technology, yamanaka.y.af@m.titech.ac.jp
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, 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 and membranes which can handle easily damaged natural food and convey it at high speed. In this paper, we developed the soft robot hand with membranes (Mendako-hand) and evaluated the grasping and conveying performance with a food sample and some actual breads as targets.

***Key Words*:** Soft actuator, Food handling, Membrane grasping, High-speed conveying

1　緒言

産業用ロボットの新たな適用先として食品，医薬品，化粧品が大きな潜在市場を持つといわれている．中でも，食品の加工・生産工程は労働集約型であり，多くの人出を必要としており，自動化のニーズが高まっている．例えば，弁当工場の生産ラインでは，ラインにそって多くの人が並び，食品を 1 品ごとにつかみ所定の場所に盛り付けるという作業を繰り返している．調理や包装の工程と異なり，このように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，様々な形状を有し，柔らかく傷つきやすいという食品の特性から従来の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．さらに，人件費と比較したときの設備導入および維持コストの問題もあり，産業用ロボットの導入は容易ではない．

従来，食品を把持し，搬送するためのエンドエフェクタとして，2 指開閉グリッパ [1]，真空パッド [2]，ベルヌーイチャック [3]，ソフトロボットハンド [4] などが検討されてきた．特に，平井らのバインディングハンドは弾性糸により線状に接触面積を増加させることで，平らな部分がなく変形しやすいカップ入りの食材を把持することに成功している [5]．しかし，複雑な形状や重い食材に対して線接触のみで安定的な把持・搬送を実現することは困難だと推察される．これに対し，弾性シートのような面構造を用いて，面接触で食材を把持する方法が考えられる．この場合，食材との接触面積がより増加するうえ，面構造で食材を包みこむような把持が可能となり，多様な形状の食材を汎用的に扱うことができると予想される．

本稿では従来のエンドエフェクタと比較して，より多様な形状の食材を把持・搬送できる把持機構の実現を目指し，面接触で対象を把持するソフトロボットハンドの開発および面構造の有効性について検証を行ったので，これを報告する．

2　開発したソフトロボットハンド

食品は品目ごとに柔らかさや表面状態が異なるうえ，機械部品などに比べて同品目の中でも個体差が大きい．点接触で把持を行う場合，把持の成否が対象の表面形状や姿勢に大きく依存するうえ，高速搬送時にはソフトロボットハンド自体の変形もある．したがって，安定した把持と高速搬送を実現する方法の 1 つとして，対象とハンドの接触面積を増加させる方法が有効であると考えられる．

そこで，図 1 に示すような，柔軟指とその間に張られた柔軟な膜構造で構成される把持機構を開発した．本把持機構は，深海生物のメンダコに着想を得たもので，筆者らが開発した空圧で駆動するソフトアクチュエータの指，シリコーンゴムを用いたシート状の膜構造，および ABS 相当の硬さをもつ樹脂製の爪からなる．本研究では，この開発した把持機構をメンダコハンドと呼称する．メンダコハンドの最大の特徴は，柔軟指と膜構造によって，対象と面接触をする点にある．対象の下に指先を潜り込ませるための爪と膜構造によって，食材を包みこむような把持が可能となり，対象の形状や表面特性に大きく依存することなく，多様な形状の食材を汎用的に扱うことができると考えられる．

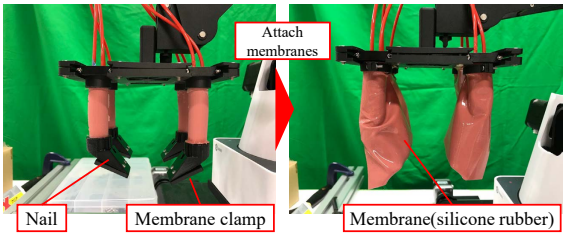

Fig.1 Developed 4-finger Mendako-hand.

面接触で物体を把持する手法としては，Ho が提案した把持機構などがある [6]．この把持機構は，柔軟板状部品に固定された伸縮しないフィルムとラック・ピニオン機構で構成され，柔軟板状部品を引き延ばすことでフィルムの形状を変化させて把持を行う．しかし，伸縮しないフィルムを柔軟板状部品に押し付けるように把持することから，把持機構自体は柔軟性を持っておらず，この点が提案するメンダコハンドと異なっている．

3　把持・搬送実験

3.1　実験装置

開発したメンダコハンドの食品把持に対する有効性を検証するために把持･搬送実験を行った．実験装置は，先端に試作したハンドを取り付けた汎用卓上ロボットアーム (DOBOT, Magician) および単軸リニアロボット (YAMAHA, T6L-20-600-3L-SR1-X05N-B) から構成される．ロボットアームの手先位置を制御し，対象に接近して把持を行い，対象を把持した状態で単軸リニアロボットを駆動し，ハンドをアームごと往復させることで食品工場における高速搬送を再現した．なお，単軸リニアロボットは 300 mm 間を最高速度 1.33 m/s，1.2 Hz で往復するように制御した．

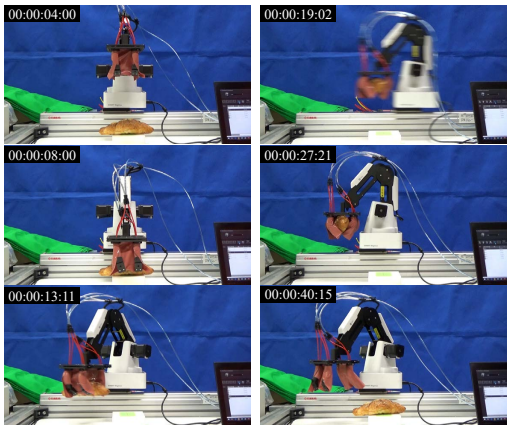

Fig.2 Snapshot of the croissant pick-and place by improved Mendako-hand.

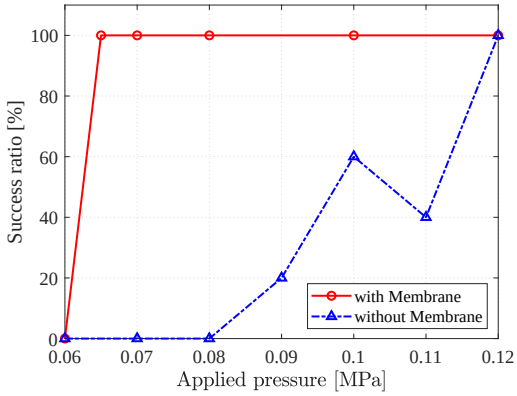

Fig.3 Success ratio of the grasping by Mendako-hand and the 4-finger hand.

Table 1 Success ratio of pick-and-place of breads.

	Mendako-hand [%]	4-finge hand [%]
Butter roll	100	80
Croissant	100	80

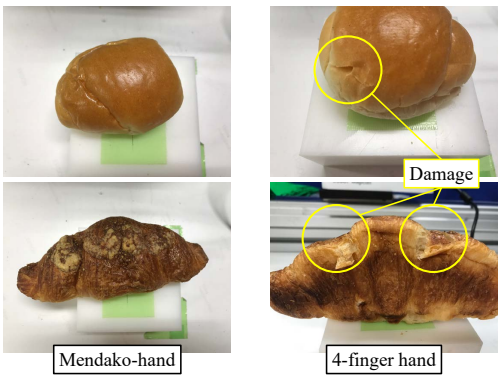

Fig.4 Shape of butter roll and croissant after the experiment.

3.2 実験方法

台に置かれた対象を把持した後，短軸ロボットを 10 往復させ，再び初期位置に置くという一連の取り置き動作を，把持対象を変更して 5 回ずつ行い，成功回数を記録した．なお，対象はクロワッサンの食品サンプル (ポリ塩化ビニル製，質量約 120 g)，実際のバターロール (質量約 30 g) およびクロワッサン (質量約 50 g) の 3 種として，メンダコハンドおよび比較対象の膜構造を取り外した 4 指ハンドのそれぞれを用いて実験を行った．実際のクロワッサンを対象としたときの実験の様子を，図 2 に示す．また，最も質量の大きいクロワッサンの食品サンプルについては，アクチュエータの印加圧を変化させたときの，膜構造の有無による成功率の比較をおこなうため，印加圧を 0.06~0.12 MPa で 0.01 MPa 刻みで変化させ，それぞれについて把持の成功回数を記録した．

3.3 実験結果および考察

まず，クロワッサンの食品サンプルについて，膜構造がある場合とない場合それぞれの各印加圧ごとの把持成功率を図 3 に示す．これより，膜構造がある場合は印加圧力が低い場合でも安定して把持を行うことができることが分かる．これは，対象との接触面積が大きくなっていることに起因すると考えられ，対象に与える把持による圧力も小さくなるため，開発したメンダコハンドは，柔軟食品を扱う際に有効であるといえる．さらに，印加圧力が低くなることで，把持・搬送のタクトタイムを短縮できるという利点もある．

次に，実際のバターロールおよびクロワッサンの成功率を表 1 に示す．これより，メンダコハンドは実際のパンの取り置き動作も安定して行えるといえる．また，多少の設置角度のずれはあったが，対象を置く際に裏返るといった大きな姿勢変化は見られなかった．4 指ハンドを用いた場合も成功率は低くないが，メンダコハンドを用いた場合と比較して，取り置き後の対象の形状に差が見られた．メンダコハンドと 4 指ハンドを用いた取り置き後のバターロールとクロワッサンを図 4 に示す．メンダコハンドでは，バターロールの縦方向の微小な変形は見られたが，対象の表面に大きな傷はなかった．一方，4 指ハンドでは，バターロールとクロワッサンの両方で表面の生地が裂けている様子が確認された．

以上の結果より，メンダコハンドは柔軟食品の把持に対する有効性が示された．

4 結言

本稿では，対象と面接触することにより柔軟食品を扱うことのできるメンダコハンドを開発し，食品サンプルおよび実際のパンを用いた実験によって有効性を示した．今後は高い伸長性と耐久性を兼ね備えた柔軟布の開発およびその固定方法の検討に取り組んでいく．

参考文献

[1] A. Pettersson, T. Ohlsson, S. Davis, J. O. Gray, T. J. Dodd, A hygienically designed force gripper of flexible handling of variable and easily damaged natural food products, Innovative Food Science and Emerging Technologies, Vol.12, Issue 3, pp.344-351, 2011.

[2] 冨沢哲雄，大矢晃久，油田信一，小柳栄次，生鮮食料品を対象とした遠隔ショッピングロボットシステム-商品把持機構の設計と構築-，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会予稿集，1A1-N-027，2005.

[3] S. Davis, J.O. Gray, and D.G. Caldwell, An end effector based on the Bernoulli principle of handling sliced fruit and vegetables, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.24, Issue 2, pp.249-257, 2008.

[4] S. Wakimoto, K. Suzumori, and K. Ogura, Miniature Pneumatic Curling Rubber Actuator Generating Bidrectional Motion with One Air-Suply Tube, Advanced Robotics, Vol. 25, pp. 1311-1330, 2011.

[5] 平井慎一, 食品ハンドリング用ロボットハンド, 計測と制御，第 56 巻，10 号，pp. 787-791, 2017

[6] Van Anh Ho, Grasping by wrapping: Mechanical design and evaluation, 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 6013–6019, 2017.