

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	食品把持機構
Title(English)	Food Handling Mechanism
著者(和文)	遠藤玄
Authors(English)	Gen Endo
出典(和文)	日本ロボット学会誌, Vol. 37, No. 6, pp. 495-498
Citation(English)	Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 37, No. 6, pp. 495-498
発行日 / Pub. date	2019, 7
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

解説

食品把持機構

Food Handling Mechanism

遠藤 玄* *東京工業大学工学院

Gen Endo* *School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

産業用ロボットは自動車産業の発展とともに成長してきたが、市場が飽和するにつれ、電機産業やいわゆる三品産業（医薬品、化粧品、食品）に適用範囲を拡大しつつある。

この中でも食品の加工・生産工程は労働集約型で多くの人手を要している。例えば図1に示す弁当工場では、多くの人が手作業で盛り付け作業を行っている。食品は専用の調理機により大量に準備し、各作業者手元のコンテナに入れている。この中から、食品を一品ごと、あるいは小分けに掴み、所定の場所に盛り付けている。多種多様、柔軟不定形な食品を壊れないように優しく掴み、それを素早く綺麗に所定の場所に置く。このような複雑かつ繊細な作業は現状、人手に頼らざるを得ない。

ところが、その労働環境といえは、決して恵まれてはいない。単純な作業の繰り返しである上に、作業環境の室温は食品の鮮度を保つために低く設定されることがしばしばである。さらにコンビニなどでの早朝からの販売に間に合わせるためには、勤務時間が深夜から始まる場合もある。このような労働環境に加えて、近年の労働人口の減少や、単純労働を嫌う働き方のニーズ変化により、食品加工の現場では慢性的な人手不足の状態に陥っている。

労働力不足を外国人労働者を受け入れることで解決するという施策もあるが、人手不足の大きな要因の一つである労働環境そのものの改善策ではない。社会の要請に対し、筆者のようなロボット研究者、技術者が貢献できることは、今一度「robot[†]」そもそもの語源に立ち返り、人手による単純労働をロボットによって代替する方法を考案することである。

本稿では食品、とりわけ包装前の食材を直接つかみ、搬送することを目的とした機構について実用事例、研究事例を紹介する。

2. 実用の把持機構

本節では実際の生産現場で用いられている把持機構について述べる。工場内での実施形態は企業秘密であることが



図1 ライン生産方式による弁当の盛り付け [1]

多く、実情を把握することは困難であるが、公知の中から筆者の把握する限り実用されている把持機構を紹介する。

2.1 開閉グリッパ

空気圧シリンダにより開閉することにより食品を挟み込む、あるいはすくい上げるように把持を行う。食品加工機械では位置決めや不良品の排除などに空気圧アクチュエータは広く使われていることから、把持機構としても多く用いられる。多くの場合、食品に応じた専用の形状を指先に取り付けることで把持を行う。冷凍餃子 [2] や精肉 [3] [4] [5] などの把持例がみられる。低コストで空圧により把持力が制御でき、応答性も高い一方、開閉動作は基本的にオンオフ制御であり、正確な把持のためには食品ごとの治具の作りこみが必要である。

2.2 真空パッド

サクシオンカップとも呼ばれる。ベローズあるいは吸盤を食品に押し付け、負圧で引くことにより吸着を行う。食品搬送で最も一般的に用いられている方法である。食品に合わせてパッド数・配置・形状を工夫することで、チョコレート [8]、冷凍ハンバーグ [9]、厚揚げ [10] などの様々な食品の搬送に用いられている。吸着力が大きく負圧でその大きさを制御できる、食品に柔軟に適応し傷つけにくい、応答が速いなどの利点を持つ。一方で、空気を吸引することから食品によっては吸入配管内の頻繁な洗浄が必要となるなどの欠点もある。

2.3 ペルヌーイチャック

真空パッドとは逆に、圧縮空気を狭い空隙に吹き込むことで、流速の高い流体中の圧力降下（ペルヌーイの定理）を利用して吸着する方式である（図2）。非接触把持という著しい特徴から、シリコンウエハの搬送で利用されてきた。

原稿受付 2019.3.20

キーワード: Food Handling, End Effector, Gripper

*東京都目黒区大岡山 2-12-1

*2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan

†チェコ語の robot (つまらない仕事) とスロバキア語の robotnik (労働者) を組み合わせた造語

近年では厚揚げのパック詰めなどに適用例がある。把持機構と食品が接触せず、食品周りに均等な吸着力が発生できるため、衛生的で食品を傷めない利点がある。一方で真空パッドに比して吸着力が小さい、大流量を必要とする、応答が遅い、騒音が大きいなどの欠点もある。

2.4 ソフトハンド

シリコンなどの柔軟素材で構成される構造物内部に空圧を印可することで生じる変形・屈曲を利用することで把持を行う方式をソフトハンドと呼ぼう。

ソフトハンドの研究については後述するが、実用段階にあるものとしてはハーバード大のスピンオフベンチャーである Soft Robotics 社による mGrip [11] が挙げられる。長手方向に複数配置された蛇腹状の空圧チャンバと、同様に長手方向に伸びない部材を組み合わせた構成であり、空圧を印可することにより一方の蛇腹が伸び、他方が伸びないことで屈曲し把持を行う機構である。どのような食品製造工程に実際に利用されているかは明らかではないが、すでに 100 社以上に納品されているとのことである [13]。本グリップは不定形の食品に対して柔軟に適応し、耐久性、応答速度も高い利点がある。一方で、高コストであるという欠点もある。同様の製品は Soft Robot Tech 社からも販売されている [14] [15]。

またニッタ社による Softmatics [16] は、掌底部の空圧チャンバを減圧することにより屈曲させ、これにより指部を開閉する機構となっている。ハムや焼豚などの把持に導入されている [18]。気密のチャンバであるため駆動空圧を食品近傍で吸引/解放しないため、衛生面で優れるとともに、圧力制御や指の数、長さにより把持特性を調整できる利点がある。一方で把持力が小さい、繊細な指先間隔の制御ができないなどの欠点もある。

3. 把持機構の研究

本節では食品を対象とした把持機構の研究について概観する。

3.1 開閉グリップ

Pettersson らは把持力制御可能な平行開閉グリップの 2 指を、磁気カップリングを用いて駆動することでアクチュエータ部分を気密として滅菌が可能な機構を提案している [19]。同じく Pettersson らは平行開閉グリップの指先に、磁性流体を封入した袋と電磁石を取り付けることで、食品形状に

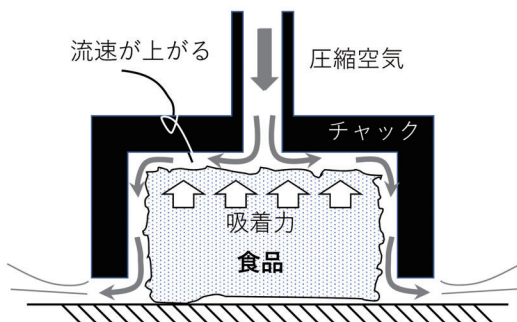


図 2 ベルヌーイチャックの原理

倣って柔軟に指先を変形させたのちに、粘性を上げてしっかりと把持する機構を提案し、野菜や果物の把持搬送が可能であることを報告している [20]。また内田らは平行リンク機構による 2 指グリップの指先に、非圧縮性流体であるジェルを封入した袋状の指先機構を取り付け、流体の内圧を制御することでポテトチップスや豆腐の把持を実現している [21]。坂本、金子、東森らは食品の粘弾性をモデリングし、2 指グリップで巻き寿司を把持した際の変形について論じている [22] [23]。同様の研究興味に基づき、谷口、平井らは寿司のシャリの把持搬送を検討している [24]。

3.2 真空パッド

真空パッドは野菜や果物などの把持に適用されている。富沢らは、2 自由度の指先に真空パッドを取り付けた指を 4 指用いることで、スイカ、リンゴ、桃、キウイなどの把持を検討している [25]。またトマトの収穫などの農業用ロボットにもしばしば用いられている (例えば [26])。

3.3 ベルヌーイチャック

Davis らはベルヌーイの定理を用いた吸着デバイスを試作し、サンドウィッチの具材としてスライスされたトマトとキュウリの搬送実験を行い、空気を吹き出すことにより具材を乾かす効果があるとともに、1 台で 2 人の作業者に相当する作業が実現できたと報告している [27]。

3.4 ソフトハンド

ソフトハンドでは鈴森によるフレキシブルマイクロアクチュエータ (FMA) の先駆的研究が知られる。シリコンチューブの内側を隔壁で区切り、3 つの気室となるように構成するとともに、アラミド繊維によりチューブ周方向の膨張を抑制することで、気室に空圧を印加すると軸方向に伸びる特性を実現できる。それぞれの気室に印加する圧力

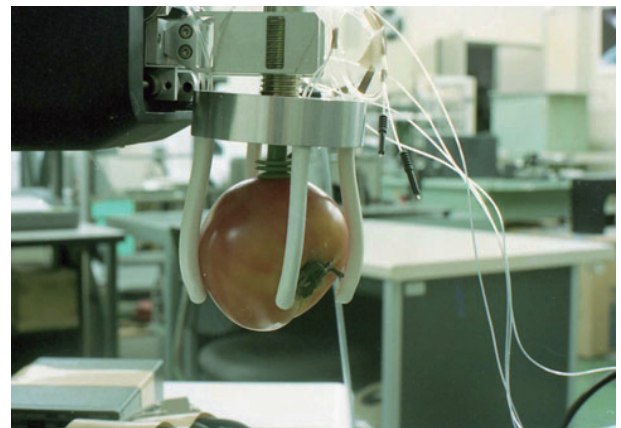


図 3 FMA と真空パッドの組み合わせによるトマト把持

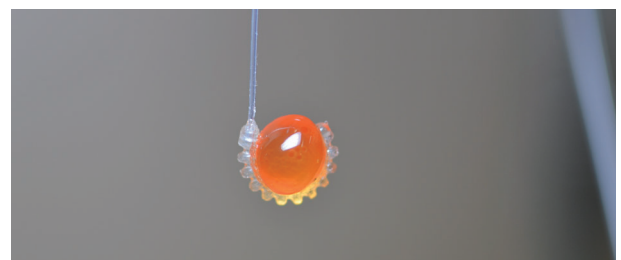


図 4 大湾曲ラバーアクチュエータによるイクラ把持

を制御することで2自由度の屈曲と軸方向の伸展の計3自由度を実現できる[29]。図3は、真空パッドとFMAを組み合わせてトマトを把持している[30]。また脇本らはシリコンをベローズ状に成型し、その側面に板状のシリコンをエキシマ光により接着することで、およそ10mmの微小な指を製作し、空圧を印加することでイクラを把持することに成功した(図4)[31]。

平井らは空圧印加により屈曲するソフトハンドを三次元プリンタにより製作することを提案している。2種類の硬さの異なる素材をプリントすることで簡便にソフトハンドが製作でき、から揚げ、鮭の切り身、卵焼きなどが把持できたことを報告している[28]。さらに平井らは、把持に要するエネルギーを減らすため、伸びの少ないフィルムと予め引き延ばされたエラストマを貼り合わせることで、外力が働かない状態では常に屈曲しているソフトハンドを提案している。指の伸展はフィルムに添わせるように貼り付けられた糸を引っ張ることにより行う。提案機構でレモン、マッシュルーム、バナナなどが把持できたことを報告している[28]。

3.5 特殊機構

坂本らは、2本の串を突き刺して食品を把持する Piercing ハンドを提案し、ハンバーグを把持できることを実験的に示している[32][33]。

また直接の食材把持ではないが、食材の入ったカップを把持するために、平井らは対象物の周囲を弾性糸で囲み、その糸を絞ることにより把持する手法を提案し、4指の試作機により位置誤差があったとしてもセンタリングしながら食品入りカップを掴むことができることを実験により明らかにしている[28]。

4. ツンモリハンド

以上、現在までに開発されてきた、実用・研究段階の食品把持機構をみてきたが、日本の弁当惣菜は多種多様であり、上記の機構では対応しきれない食品もある。その中でも特に、スパゲティ、春雨などの麺類や、切り干し大根やヒジキ、キャベツの千切りなど繊維状の食品を定量的に把

持することは従来のエンドエフェクタでは困難である。

さらに食品では「いかに美味しそうに見えるか」が大きな商品価値であることから、定量性のみならず「美味しそうなお美観」を整えることが重要である。盛付のお美観という観点からの開発は、筆者の知る限り今までに行われていない。ところで和食の盛付では、立体的に高く盛り付けると美しく見えると言われている。ワサビや切り干し大根、ヒジキの煮つけ等の場合は円錐状に「ツンモリ」と盛ることによって高さを出すことが美しい盛付とされている。

本節では、従来のエンドエフェクタでは把持困難な繊維状の惣菜を定量的に把持可能で、なおかつ、お美観よく円錐状に盛り付けることの出来る把持機構を紹介する。

惣菜を円錐状に置くためには、軸対称の把持機構であることが望ましい。また弁当箱の隅にも置くことが出来るように、把持機構は弁当箱の上からアクセスし、指部は出来るだけ細いことが望ましい。また、粘性の高い惣菜の場合、重力だけでは指部から容易に離れないことも予想されるため、指部を抜くように惣菜を剥がす機構があると良い。以上の考察から、遊星歯車機構により同期して開閉する多指把持機構と、上下方向に直動する板により食品を押し出すスライド機構を開発した。棒状の指が外側から内側に寄るように同期して動くため、食品を中央に集めるようにして把持することから、円錐状の形状を作りやすい。また棒状の指で内包される体積で把持量が決まることから、指の開き具合や食材への差し込み深さを調整することにより、量の盛りわけもできる[34]。図6にひじきの煮つけを盛り分けた様子を示す。ひじきはおおむね円錐形状になっており、指の開き具合を調節することで把持量を変えられることが分かる。

5. おわりに

本稿では様々な把持機構を紹介した。翻って、日本人は通常、箸でなんでも掴んでいる、という事実も忘れてはならない。箸は円柱状の極めて単純な2本の棒である。これで豆であろうが豆腐であろうが、うどんであろうがご飯であろうが、あらゆるものを把持してしまう。つまり制御さえ

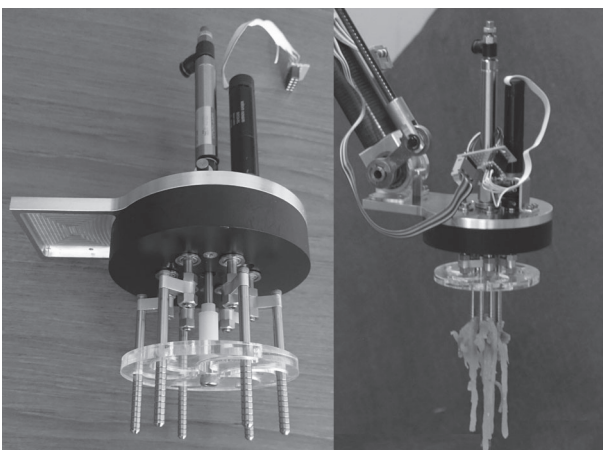


図5 2自由度食品把持ハンド「ツンモリハンド」



図6 ひじきの煮つけの把持量調節

十分に発達すれば、特殊な把持機構は必要ない、という証拠である。実際、日頃箸を使う習慣のないフランス料理の厨房では、トンガやヘラ、肉をひっくり返すための専用のフォークといった様々な形状の調理器具が多数ある。これに対し和食の厨房では、そのような多種多様な調理器具はない。その理由は日本人にとっては箸一つで事足りるからである。

ところで高度な制御を行うには、力覚などのセンサ系と十分高い制御特性が必要となる。これがコストを押し上げる結果となり、生産現場に導入されるには至っていない。ビジョンなど比較的安価なセンサ情報に基づき制御する方法が上手く見つければ、今までの特殊機構は必ずしも必要なくなるかもしれない。簡単な把持機構であっても、把持戦略や運動学習によってタスクを達成する手法（例えば [35] [36]）の発展が期待される。

しかしながら当面は専用の把持機構を作りつつ、いかにその適用範囲を広げていくかを検討することが生産現場においては最善の方策であろう。

参 考 文 献

- [1] http://livedoor.blogimg.jp/i_zu2/imgs/9/b/9bb04ad6.jpg
- [2] 宇都宮餃子が出るまで マルシンフーズ <https://www.youtube.com/watch?v=8wz0dCt5a68>
- [3] SCHUNK LMG Food Gripper <https://www.youtube.com/watch?v=ST0x-gN08Xo>
- [4] Applied Robotics Chicken Gripper <https://www.youtube.com/watch?v=Z08aLpU76GE>
- [5] Applied Robotics Meat Gripper <https://robotssystem.co.th/accessory/food-gripper/img/FDAmeatGripperDataSheet.pdf>
- [6] http://www.schmalz.co.jp/fileadmin/schmalz/country-pages/jp/pdf/VT_main-2018-Edition_9/vt-vacuum_components-2018_08-P0100_0103-suction_pad_packaging-spb4-spb4f-cp-01.pdf
- [7] シュマルツ株式会社 包装機・薬粧・食品向けアプリケーション <http://www.schmalz.co.jp/applications/packaging.html>
- [8] High Speed OMRON Adept Quattro Robots Used in Chocolate Manufacturing <https://www.youtube.com/watch?v=W1blxbw-7ek>
- [9] ニチレイフーズがハンバーグ生産の新工場でパラレルリンク型12台、包装前工程で冷食業界初、日経 Robotics, No.8, pp.??-??, 2016
- [10] 馬場景子, 相模屋食料がロボット14台で豆腐製造を効率化 新工場の厚揚げ生産にもパラレルリンク型ロボ, 日経 Robotics, No.7, pp.6-10, 2016
- [11] Soft Robotics mGrip <https://www.softroboticsinc.com/mgrip>
- [12] United States Patent Application Publication, US 2016/0075036 A1, 2016
- [13] 馬場景子, 柔らかいグリップを手掛ける米 Soft Robotics 社食品や化粧品分野で100社以上に導入進む, 日経 Robotics, No. 35, pp.??-??, 2018
- [14] <http://en.softrobottech.com/>
- [15] <http://www.idec-fs.com/srt/>
- [16] ニッタの新技術 食品ハンドリング向けロボットハンドの開発 https://www.nitta.co.jp/new_technology/#sec02
- [17] ロボットハンド SOFTmatics™の実用試験開始について https://www.nitta.co.jp/?post_type=news-release&p=21766
- [18] 馬場景子, 日本ハムが焼豚などの把持に新型ソフトハンド, 日経 Robotics, No36, pp.4-10, 2018
- [19] A. Pettersson, T. Ohlsson, S. Davis, J. O. Gray, T. J. Dodd, A hygienically designed force gripper for flexible handling of variable and easily damaged natural food products, Innovative Food Science and Emerging Technologies, Vol.12, Issue 3, pp.344-351, 2011.
- [20] A. Pettersson, S.Davis, J.O. Dodd, T. Ohlsson, Design of a magnetorheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes, Journal of Food Engineering, Vol. 98, Issue 3, pp.332-338, 2010.

- [21] 内田真裕, 渡辺哲陽, 丸山量志, 非圧縮性流体指からなるロボットハンドによる壊れやすい対象物の把持, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No.8, pp.747-754, 2013
- [22] 坂本直樹, 湯谷政洋, 東森充, 金子誠, Maxwell モデルで近似できる粘弾性物体の最適ハンドリング, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No.1, p.166-172, 2007.
- [23] 東森充, 食品の粘弾性モデリングと変形操作への活用, バイオメカニズム学会誌, Vol.40, No.2, pp.91-96, 2016.
- [24] 谷口祐介, 平井慎一, ロボットハンドによるレオロジー物体のピックアンドプレース, 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, 1A2-J03, 2012.
- [25] 富沢哲雄, 大矢晃久, 油田信一, 小柳栄次, 生鮮食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.
- [26] 堀家龍一, 門田充司, 難波和彦, 山本親史, 大規模生産施設におけるトマト収穫ロボットの研究-エンドエフェクタの改良-, 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-A01, 2011.
- [27] 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.
- [28] 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
- [29] 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自由度マイクロ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.
- [30] 鈴森康一, 脇元修一, 流体駆動ソフトメカニズムの設計, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 6, pp. 484-487, 2011.
- [31] S. Wakimoto, K. Suzumori, and K. Ogura, Miniature Pneumatic Curling Rubber Actuator Generating Bidirectional Motion with One Air-Supply Tube, Advanced Robotics, Vol. 25, pp. 1311-1330, 2011.
- [32] 坂本直樹, 東森充, 辻敏夫, 金子真, Piercing に基づく食品のハンドリング, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 1C4-5, pp.1177-118, 2006.
- [33] 坂本直樹, 東森充, 辻敏夫, 金子真, 逆締め付け効果を利用した Piercing 型ハンドリングの提案, 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, 2A1-F06, 2007.
- [34] G. Endo, N. Otomo, Development of a Food Handling Gripper Considering an Appetizing Presentation, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4901-4906, 2016.
- [35] 平間翔太, 上田隆一, 中川友紀子, 中川範晃, ばら積みされたから揚げの検出およびマニピュレーション, 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-D03, 2018.
- [36] AI 制御で“塩のさじ加減”が可能な協働ロボット、オール愛知で抹茶も点てる <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1810/18/news041.html>

遠藤 玄 (Gen Endo)

2000年東京工業大学機械物理工学専攻博士課程修了。2000年ソニー(株)入社。2007年東京工業大学理工学研究科特任助教を経て、2008年同大機械宇宙システム専攻助教。2014年東京医科歯科大学生体材料工学研究所准教授、2015年東京工業大学機械宇宙システム専攻(現工学院)准教授。ロボット機構の研究開発に従事。博士(工学)。(日本ロボット学会正会員)