

食品ロボットハンドリングの比較実験に向けた食品サンプルの製作と活用

○勝野 颯太（立命大） 平井 慎一（立命大）

食品特有の個体差によるバラツキや、力学特性等の問題により、同一条件での食品ロボットハンドリングの評価実験が困難である。本報告ではパスタを対象食品として、液体シリコンを用いたパスタの食品サンプルの造形を試みた結果を、曲げ形状の比較と共に示す。比較によって、パスタを曲げ剛性の近いシリコンで再現できることがわかった。そして、実際にパスタと造形物を用いた食品ロボットハンドリング実験の様子を比較し、ハンドリング評価実験での食品サンプルの活用による問題解決を提案する。

1. 緒言

日本の労働者不足は深刻である。食品業界でも同様で、人手不足を補うために自動化が必要である。自動車をはじめとする多くの工業製品の製造現場では、ロボットが人手の代わりを担う技術は多く取り入れられている。しかし、食品製造現場ではまだロボットの活躍は、工業製品の製造現場に比べて少ないため、ロボットの活躍が期待されている[1]。食品ハンドリングに関する研究はこれまで多く行われてきた。共通してあげられる食品把持の難点は食品の特性にある[2]。食品の特性は、個体差による形状のばらつきがあることと、食品の種類によって力学特性が異なること、鮮度によって状態が変化し続けることである。そこで、本研究では食品用ロボット開発に必要な、食品の難点を再現した食品サンプルの製作とハンドリング実験での活用について述べる。

2. 食品サンプルの必要性

食品ハンドリングに用いられているグリッパの開発現場では、これまで実際に食品を用いて実験が繰り返されていた。しかし実験の中で、食品を用いると、グリッパ本体や実験環境が汚れる、対象食品を実験の度に準備する必要など、開発に取り組む時間以外のコストが大きい。図1に食品ハンドリング後に環境が汚れた状況を示す。また、実物の食品は、繰り返し実験で用いると形状が変化することがある。また、劣化などに伴う保存期間が限られており、長期間にわたって同じ食品を実験で使うことは難しい。食品の旬や個体差、レシピなどによる食品のばらつきによって、全てのパラメータが等しい食品を複数用意することはできない。すなわち、グリッパ開発現場では、実験の度に比較条件が異なる環境の中で開発に取り組んでいることになる。特に、繰り返し実験する環境において、対象物の状態が常に同じでないと定量的な評価ができない。そこで、食品サンプルを活用し、ハンドリング実験の条件を統一する方法が提案されている。現状市販されている食品サンプルは蠟や塩化ビニールを材料に使い、見



図1 ハンドリング作業後の状況



図2 使用したパスタ

た目のみに特化した造形がされている。実際の食品は、力学的な特性がそれぞれ異なり、油を多く含むものや、脆弱なもの、粘着性が高いものなど様々である。故に、食品の形状と力学的な特性が再現され、繰り返し実験に使用できる食品サンプルが必要である[3]。

3. パスタの食品サンプル造形

本論文では、形状に個体差等のばらつきが少なく構造が単純で、形状再現が容易なパスタを対象食品とした。

3.1 パスタの詳細

図2に使用したパスタを示す。使用したパスタは市販の1.6[mm]パスタである。茹でる前の1.6[mm]パス

タは、計測した結果、直径 1.6[mm]の円形断面、長さ 250[mm]だった。茹でた後は、直径 2.1[mm]、長さ 270[mm]~280[mm]であった。個体差や茹でムラによって違いが多少生じることもあった。

3.2 シリコン製パスタの造形方法

前節で計測した茹でた後のパスタを、液体シリコンで再現することを試みた。断面を直径 2.1[mm]の円形、全体の長さを 270[mm]と目標設定する。パスタの形状に液体シリコンを硬化させるために、三次元プリンター(PRUSA MK3)を用いて PLA 樹脂フィラメントにてモールドを作った。シリコン製パスタの造形方法は、モールドに上部から液体シリコン(Smooth-On Ecoflex00-20)を流し込む方式である。図 3 に造形方法を、図 4 にモールドの断面形状を、図 5 に完成したシリコン製パスタを示す。液体シリコンを硬化させる際に、射出成形と同様の方式を用いた場合、空気が混入し気泡が造形物の中に残ってしまうことがある。気泡を造形物の中に残さず、気泡を除去(以降、脱気)しやすい方法を優先するために、図 4 で示すような、完全な円形ではないモールドの断面形状になった。この方式の結果、完成品のクオリティーを下げるほどの気泡が含まれたことは、数回製作した段階では無かった。液体シリコンに顔料(Smooth On Silc Pig)を混合させることで、図 6 で示すような色付けができることも確認した。

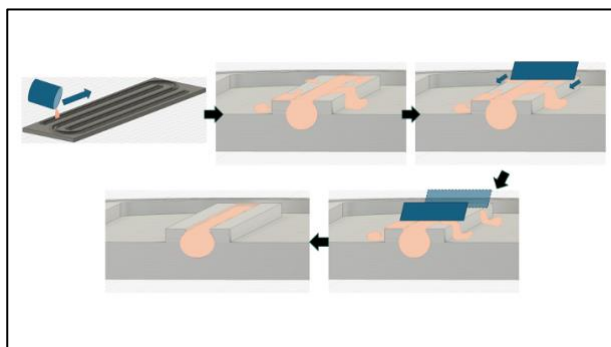


図 3 単一モールド造形方法

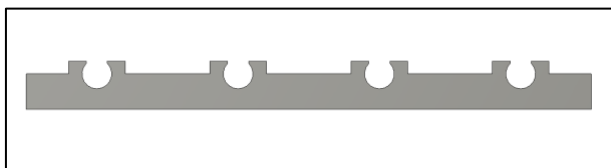


図 4 単一モールドの断面図



図 5 単一モールド造形による造形物

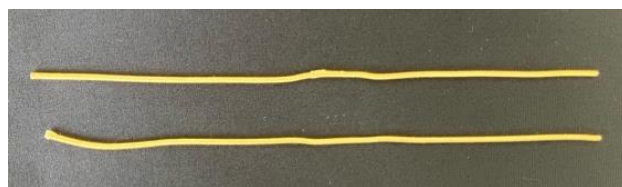


図 6 単一モールド造形による造形物(色付き)

表 1 シリコンの詳細

シリコン名 (Smooth-On 社製 品)	比重(g/cc) (ASTM D- 1475)	硬度シェアコード A (ASTM D-2240)	硬化時間 (23°C)
Dragon Skin Fx-pro	1.062	2A	40 分
Dragon Skin 10	1.07	10	5 時間
Dragon Skin 20	1.08	20	4 時間
Ecoflex 00-20	1.07	00-20	4 時間
Ecoflex 00-50	1.07	00-50	3 時間
Ecoflex GEL	0.98	000-35	2 時間

4. 食品と食品サンプルの比較

4.1 曲げ形状比較

3.2 節の造形方法で、複数種類の液体シリコンを用いたシリコン製パスタを製作した。使用したシリコンは Smooth-On 社製品であり、それぞれ異なる硬度の計 6 種類である。表 1 に使用したシリコンの名称と比重、硬度をそれぞれ示す。製作したシリコン製パスタ 6 種類と市販パスタの曲げ形状の比較結果を本節で示す。アルミフレームにカメラ (Intel REALSENCE DEPTH CAMERA D435) と計測対象物を固定し、パスタを垂れ下げる形式で曲げ形状を撮影した。計測装置を図 7 に示す。パスタを垂れ下げる長さによって、曲げ形状は変化する。したがって、本節ではパスタの固定位置から 50[mm]の長さで垂らした際の曲げ形状に注目する。以上の条件で撮影した画像を図 8(a)~(f) に示す。図 8(g) は塩分濃度 0%で茹で、図 8(h)は塩分濃度 3%で茹でた市販のパスタである。具体的に曲げの形状を比較するために、画像を拡大し、麺の上部、下部をそれぞれトレースし、形状比較した。麺の上部と下部の詳細は図 9 に、トースした比較結果はパスタ上部の比較を図 10 (a) に、パスタ下部の比較を図 10 (b) に示す。

4.2 シリコン製パスタの把持確認

パスタの硬さに関して、茹でる際の塩分濃度は 1%までは影響がないとされている[6]。そこで、一般的な料理を想定した際に、茹でる際の塩分濃度は 1%前後であると仮定する。塩分濃度 0%のパスタに図 10 の結果で最も曲げ形状が類似していたシリコン (Ecoflex 00-20)を使用して、パスタ 100[g]を茹でた状況を再現した。今回再現したパスタは、100[g]あたり約 140 本であった。そこで 3.2 節で示した方法でシリコン製パスタを 140 本造形した。図 11 に造形した 140 本のシリコン製パスタを示す。造形した 140 本のシリコン製パスタと市販のパスタのグリッパによる把持確認をした。使用したグリッパは剪断食品把持

に適しているとされるニードルグリップ[4][5]の先端部分が金属釘に変更されているものである。グリップ本体は途中に真空発生器(日本ピスコ社 VUH05-64A) を挟みながら、空気圧コンプレッサ (JUN AIR コンプレッサ)と接続した。使用したグリップ及び真空発生器を図 12 に示す。グリップを手で持ち、手動で空気圧を加えてパスタの把持した様子を図 13 (a) に示す。同様の方法で、既存の食品サンプルの把持の様子を図 13 (b) に、製作したシリコン製パスタの把持の様子を図 13 (c) に示す。

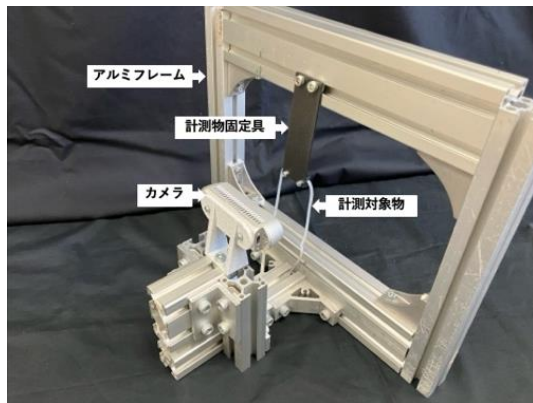


図 7 曲げ形状計測装置



図 8 パスタ曲げ撮影結果

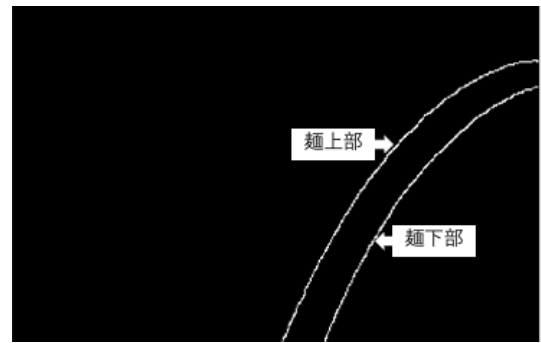
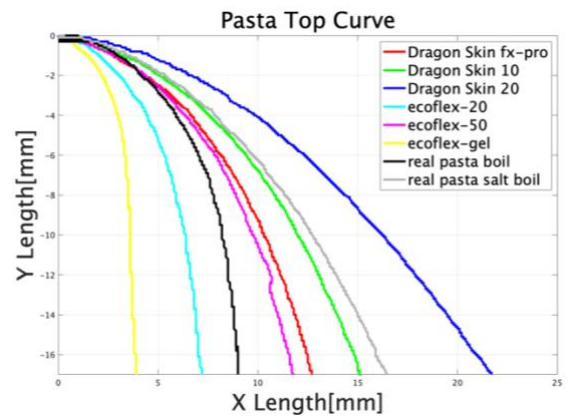
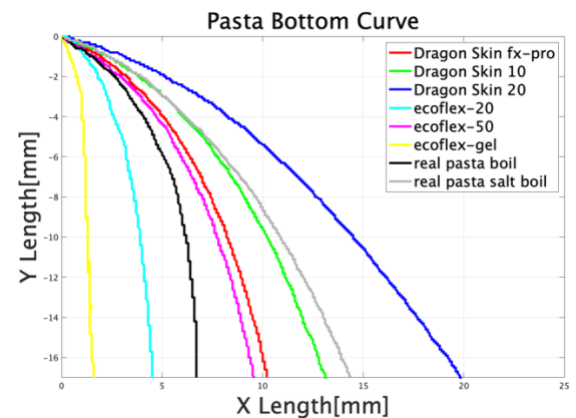


図 9 パスタ上部, 下部 詳細



(a) パスタ上部比較



(b) パスタ下部比較

図 10 パスタ下部比較



図 11 シリコン製パスタ 140 本

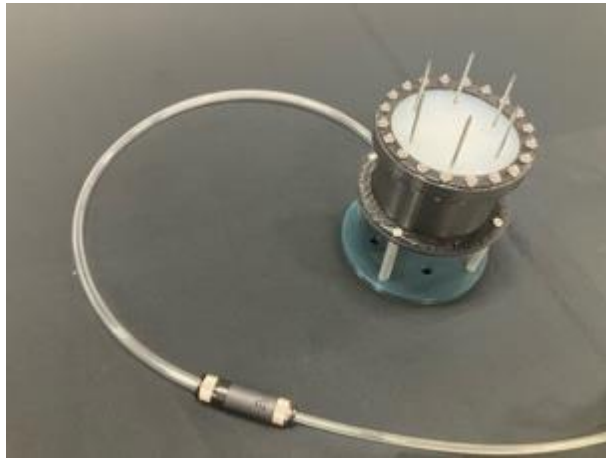
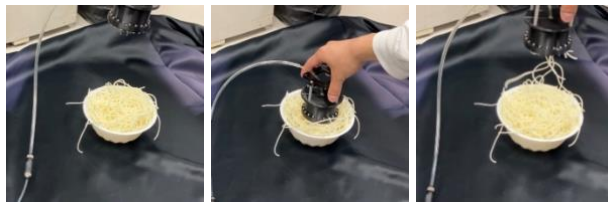


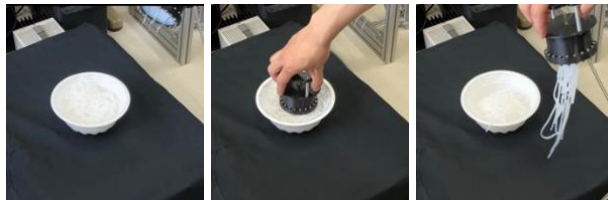
図 12 ニードルグリッパ



(a) 市販パスタを用いた把持



(b) 食品サンプルを用いた把持



(c) シリコン製パスタを用いた把持

図 13 ニードルグリッパ

5. 結言

本報告では、パスタの食品サンプルを製作する試みとグリッパを用いた把持の様子を示した。

3 章でのシリコン製パスタを製作した試みでは、完全な円形断面で造形することが理想であった。射出成形で使用される分割密閉式のモールドも試したが、気泡が完成品のクオリティーを著しく下げてしまっていた。そこで、3.2 節で示した方法で気泡の問題をクリアしたところ、製作工程もモールドに液体シリコンを注ぐのみで、大量造形にも向いていることもわかった。

4 章では、シリコン製パスタと市販のパスタの比

較した。茹でる際に塩分濃度を 0%と 3%と変えたことで、Fig. 10 のような変化が現れるのであれば、食品サンプルで再現したいレシピによって使うべきシリコンの種類は変わると考える。Fig. 10 の結果からは、塩分濃度 0%の際は Ecoflex 00-20 を、塩分濃度 3%の際は Ecoflex 00-50 を使用することが適していると推測できる。しかし、パスタはレシピによって大幅に表面の摩擦特性が異なる。カルボナーラ等のクリーム系やペペロンチーノ等のオイル系ではフォークで持ち上げた際の絡みの様子が異なることは容易に想像できる。これらの再現には、シリコンオイルや液体パラフィン等を絡める方法などを検討している。レシピによる違いがグリッパによる把持には大きく影響するため、食品サンプルでもレシピに応じた特性の違いを曲げ形状以外のパラメータも考慮して再現する必要があると考える。

4 章ではさらに、ニードルグリッパを用いた把持の確認を示した。Fig. 13 では把持の様子が既存の食品サンプルよりシリコン製パスタを把持した様子が市販のパスタの把持に近いことがわかる。この結果からグリッパ開発の現場での簡易的な把持確認で、シリコン製パスタは利用できると考える。このようにして、食品サンプルをグリッパ開発環境で利用することが、本研究の目標である。4.2 節の把持は、グリッパを手で持ち、手動で空気圧を加えて実験したものであり、実験の条件を統一できていない。したがって、定量的な評価は行なっていない。今後は、ロボットアームを用いた実験を評価して、より再現性の高い食品サンプルの製作を試みる予定である。

参 考 文 献

- [1] 川村貞夫, “今後の製造業のロボット研究に期待”, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 5, pp. 298-299, 2015
- [2] 平井慎一, 王忠奎, “ソフトロボットハンドによる食品ハンドリング”, 日本ロボット学会誌, Vol. 37, No.6, pp. 489-494, 2019
- [3] 勝野颯太, 平井慎一, 松野孝博, “関数展開を用いた食品形状のモデリングと形状バリエーションの生成”, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023, 2023
- [4] Zhongkui Wang, Yui Makiyama, and Shinichi Hirai, A Soft Needle Gripper Capable of Grasping and Piercing for Handling Food Materials, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.33, No.4, pp.935-943, 10.20965/jrm.2021.p0935, Aug., 2021
- [5] Yui Makiyama, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai, A Pneumatic Needle Gripper for Handling Shredded Food Products, 2020 IEEE Int. Conf. on Real-time Computing and Robotics, pp.183-187, 10.1109/RCAR49640.2020.9303279, online, Sept. 28-29, 2020
- [6] 村上恵, ゆで水に添加する食塩の濃度がスパゲティの硬さに及ぼす影響, 日本家政学会誌, Vol.66, No.3, pp.120-128, <https://doi.org/10.11428/jhej.66.120>, 2015