

食品自動盛り付けのための食品認識と自動把持

○学 薛軼同（立命館大学） 正 王忠奎（立命館大）
正 仇哲（立命館大） 正 平井慎一（立命館大）

1. 序論

近年、少子高齢のため、人手不足の問題が深刻している [1]。本研究では、食産業の人手不足の問題に注目し、食産業にロボットの導入によって、ロボットが人の代わりに、食品の盛り付け作業を行うシステムを開発する。先行研究 [2] では画像処理を用いて食品の輪郭を抽出し、重心位置を算出した。3 本の棒を有するロボットハンドを使い、天ぷらを把持し、盛り付け皿に天ぷらを順番に盛り付け実験を行った。しかし、天ぷら種類の認識は行っていなかったため、自動盛り付け作業を行う際に、天ぷらを決めた順番でトレイに配置する必要がある。また、先行研究で採用したロボットハンドは 3 本の金属棒で構成され、1 本当たりの力が大きいため、天ぷらを潰してしまうことがあった。

そのため、本稿では深層学習を用いて天ぷら種類の認識を行い、トレイの任意場所に配置された天ぷらの位置を取得できる。また、天ぷらを下から掬いあげることができるロボットハンドを提案し、天ぷらを損傷せずに把持できるシステムを提案する。

2. 問題設定

問題設定として、把持対象は 3 種類の天ぷら（エビ、カボチャ、レンコン）と設定する。実験の環境配置と盛り付けのイメージは図 1 に示している。盛り付け作業を行う際、図 1a のようにロボットアーム、トレイ、盛り付け皿を配置し、3 種類の天ぷらの間に一定の距離を取り、任意順番と姿勢で、トレイに配置する。ロボットはエビ→カボチャ→レンコンの順に把持作業を行い、図 1b のような状態で、皿に天ぷらを盛り付ける。高速で作業を実現するため、産業ロボット（MELFA、三菱電機社）を用いてシステムを構築した。

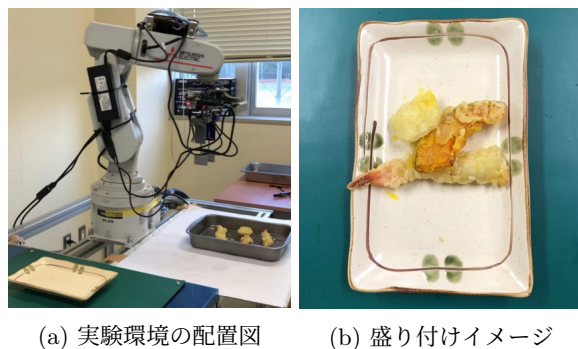


図 1: 問題設定

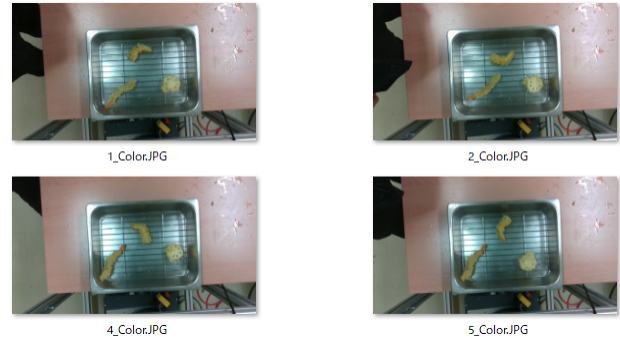


図 2: 写真データの例

3. 天ぷら種類の認識と位置算出

3.1 学習データ

目標の検出速度と精度を考慮して、本研究は YOLOv4[3] を利用する。トレーニングのため、3D カメラ（RealSense Depth Camera D435i）を用いて、180 枚の写真データを用意した。カメラはロボットの手先に設置し、一定の高さから撮影する。撮影した写真の例は図 2 に示す。認識結果の例は図 3a に示している。各天ぷらの種類の認識は成功している。

3.2 把持位置の算出

図 3 のように、深層学習の認識結果より、Bounding Box を生成し、認識された天ぷらが Bounding Box の中に囲まれる。同時に、name, top, bottom, left, right 五つの情報が取得できる。Bounding Box の中心を計算して天ぷらの中心と認める。実際の天ぷらの中心と位置ずれが発生するが、ロボットハンドで対応する。

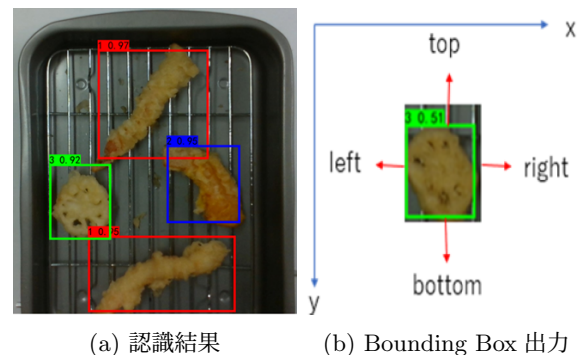


図 3: YOLOv4 によるターゲットの検出

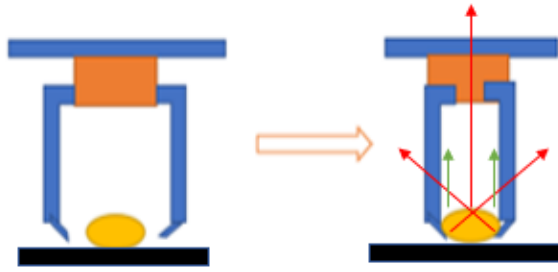


図 4: ハンドのイメージ図

4. ロボットハンド

4.1 ハンド設計

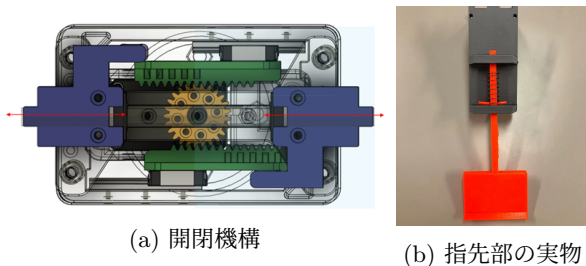
より小さい把持力で天ぷらを安定的に把持するため、図 4 左に示すハンドを提案する。特徴としては、ハンドの先に斜めになる指先を設けて、天ぷらを把持する際に、図 4 右の赤矢印のような把持力が発生する。摩擦力のみで把持しにくい対象物でも把持できると想定している。

開閉動作を実現する機構は図 5a に示している。ラックピニオン機構を用いて、モータの回転運動を直線運動に変換し、ハンドの開閉動作を実現する。モータの電流を制御することで把持力を調整する。

製作したハンドの指先部は図 5b に示している。灰色とオレンジ色の部分は 3 D プリントで製作した。カメラで対象物の高さを計測する際に生じた誤差を考慮する必要がある、ハンドとテーブル面の接触を想定して、衝撃を吸収するために、ハンドにばね機構を入れた。

4.2 ハンドの把持実験

製作したハンドを用いて、エビ、カボチャ、レンコンに対してそれぞれ 5 回の把持実験を行った。実験動作として、天ぷらをトレイに決めた位置に置き、ロボットアームを指定した位置に行かせ、ハンドの閉じて天ぷらを把持する。3 秒後に天ぷらを 10mm 持ち上げる。天ぷらを把持できる場合が成功、落とした場合が失敗と判定する。実験で本物の天ぷらを使用した。実験の結果は表 1 に示している。エビとレンコンは 5 回把持実験が全部成功した。カボチャについて、1 回の把持失敗があった。カボチャが薄いため、把持した際に転がりが発生して、カボチャが立つようになって、指先の隙間から落下した。



(a) 開閉機構

(b) 指先部の実物

図 5: 開閉機構と指先の実物

表 1: 把持実験結果

	一回目	二回目	三回目	四回目	五回目
エビ	○	○	○	○	○
カボチャ	○	○	×	○	○
レンコン	○	○	○	○	○

5. 盛り付け実験

盛り付け実験の一連の動作として、天ぷらをランダムにトレイに置き、ロボットアームを指定位置に行かせ、写真を撮影し、天ぷらの認識と位置算出を行い、ロボットハンドを天ぷらの位置に移動させ、モータを制御してハンドを閉じ、天ぷらを把持して持ち上げる。その後、盛り付け皿の上部に移動させ、事前に決めた盛り付け位置と姿勢で天ぷらを盛り付ける。実験は 10 回を行い。そのうち、7 回が成功し、3 回が失敗した。実験結果として、認識と把持の成功率は 80% 以上。盛り付けの方は、エビとレンコンの把持成功率が高く、カボチャの盛り付け成功率が低い。盛り付け時間は 2 分 6 秒がかかった。

6. 結言

本稿では、深層学習による天ぷら認識からハンド機構の統合による食品盛り付けロボットシステムに関する研究内容を紹介した。天ぷらの種類についての認識ができ、天ぷらを掬いあげることができるハンドを提案し、把持動作を確認した。自動盛り付け実験を通して、システムの有効性を検証した。今後の研究ではハンドの改良とバラ積みピッキングの状態での食品認識を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人: NEDO) によって実施された。

参考文献

- [1] Z. Wang, S. Hirai, S. Kawamura, "Challenges and opportunities in robotic food handling: a review", *Frontiers in Robotics and AI: Soft Robotics*, 8:789107. Jan., 2022.
- [2] 寺下昇吾、王忠奎、新村猛、川村貞夫, "ロボットアームによる天ぷら盛り付け作業システムの実現", *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集 (CD-ROM)*, (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集 (CD-ROM)), p.ROMBUNNO.1P2-B06, 2020
- [3] A. Bochkovskiy, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection", *arXiv*: 2004.10934v1