

# 多様な食品に対応したハンドリング技術の開発

井川 久, 川島 圭太, 宮島 沙織, 中西 洋介

## Development of Handling Technology for Various Kinds of Foods

Hisashi IGAWA, Keita KAWASHIMA, Saori MIYAJIMA, Yohsuke NAKANISHI

### 抄 録

食品製造業では、農産物や水産物など多種多様な原材料を扱うことが多いため、多くの人員により手作業で行われている工程が数多く存在する。昨今の人手不足を解消し、生産性を向上させるためには、ロボットの活用による自動化が必要である。ロボット導入に適した工程として、コンベアで搬送されてくる各種食品の移載作業工程が挙げられる。個々の食品がコンベア上で分離した状態で搬送されてくる場合、比較的容易に移載作業の自動化が可能である。しかし、食品が重なり合うなどバラ積みされた状態で搬送されてくる場合には、食品の位置認識や把持の難易度が高くなるため移載作業の自動化の難易度は高くなる。

本研究では、食品製造業で多くの人手を要している移載作業の自動化を目的とし、深度データからバラ積みされた食品の把持個所を認識する技術と、様々な食品の把持を可能とするソフトロボットハンドを開発した。

**キーワード：**自動化, ハンドリング, バラ積み, ビンピッキング, ソフトロボットハンド, 画像処理

### Abstract

The food manufacturing industry often handles a wide variety of raw materials, such as agricultural and marine products, and many processes are performed manually by a large number of workers. Automation using robots is necessary to solve the recent labor shortage and to improve productivity. Processes that are suitable for robot introduction include those in which foods are individually separated and those after packaging and filling. However, when foods are irregularly shaped and stacked in pieces, automation by robots is difficult because of the difficulty in recognizing and grasping the position of the food.

In this study, we developed a technology to recognize the gripping point of foods stacked in pieces from depth data and a soft robotic hand that can grip various foods, aimed at automating transfer operations that require a lot of manpower in the food manufacturing industry.

**KEY-WORDS :** Automation, Handling, bulk stacking, Bin Picking, Soft Robot Hand, Image Processing

## 1. はじめに

食品製造業では、多種多様な原材料を扱う必要があることから自動化の実現には高いハードルが存在しており、人手作業の工程も数多く存在する。生産工程別の状況をみると、「原料処理」、「製造・加工」、「包装・充填」工程では専用の自動化装置の導入が進んでいるものの、対象物（以下、ワーク）を自動化装置へ投入する作業や、次の工程へ移す作業工程では未だ多くの人手を要している。こうした人員を要する工程の自動化を実現し、労働生産性を高めるためにもロボットの導入を進めていく必要があると考える。

ロボット導入に適した工程として、ワークが定形の容器に入っている状態で扱う工程や、包装・充填された対象物を扱う工程が挙げられる。しかし、ワークが不定形かつ重なり合っている工程では、ワーク位置の認識やハンドリングの難易度が高くなるため、ロボットによる自動化は困難となる。

本研究では、食品製造業で多くの人手を要している工程間の移載作業の自動化を目指し、重なり合った不定形状ワークの把持個所認識技術と、様々なワークを把持するソフトロボットハンドを開発した。

重なり合ったバラ積み状態の中からワークを一個取り出す作業はビンピッキング<sup>1),2)</sup>という研究分野として確立してお

事業名：経常研究

課題名：多様な食品に対応したハンドリング技術の開発

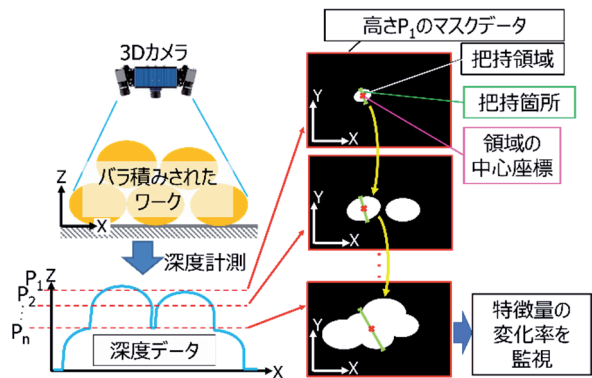


図1 3Dカメラによる対象物の把持箇所認識技術

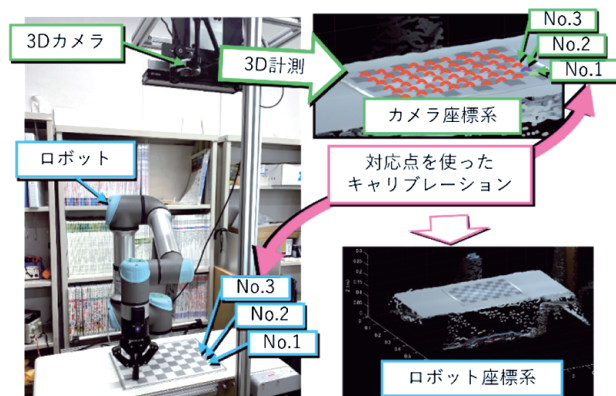


図3 ロボット座標系へのキャリブレーション

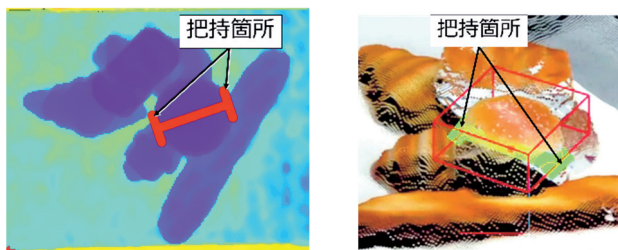


図2 深度データと3次元点群上における把持箇所

り、自動車の製造工程や電子機器の組立工程において適用が進んでいる。これらの工程で扱うワークはCADデータを有する既知の定型物であり、バラ積み状態からピッキングする際には2Dや3Dカメラで撮影したワークの画像データとCADデータを照合するテンプレートマッチングなどの画像処理を施すことによりワークの把持箇所を認識する。一方で、食品製造業で扱うワークは不定形状でCADデータがないため、これまでの画像処理手法を適用することは難しい。昨今では、深層学習による不定形状ワークの個別認識についても盛んに研究が進められているが、学習するためのデータセットをワークごとに用意する必要があるため、未知のワークへの対応は困難である。そこで本研究では、3Dカメラから得られた深度データを使って、未知ワークの把持箇所認識を可能とする技術を開発し、把持試験により有効性の検証を行った。

一方、工業製品など表面が滑らかなワークのピッキングを行う場合、ワークを把持するためのエンドエフェクタとしてエア吸引による吸着ハンドが採用されることが多い。吸着ハンドは点で把持することが可能であり、ワーク同士が重なり合うなど把持できる領域に限られる場合でも、ワークを容易に把持できるためである。また、把持動作の開始から完了までの時間が短いため、タクトタイムの短縮も可能である。しかし、食品製造業で扱うワークは壊れやすい場合や、コロッケなど表面に衣が付着している場合があるため吸着ハンドの適さない場面が多い。そこで、これらの様々な不定形ワークを安定して把持可能な、空気圧駆動型のソフトロボットハンドを開発したので、動作原理や製造方法、さらに性能評価試験結果について報告する。

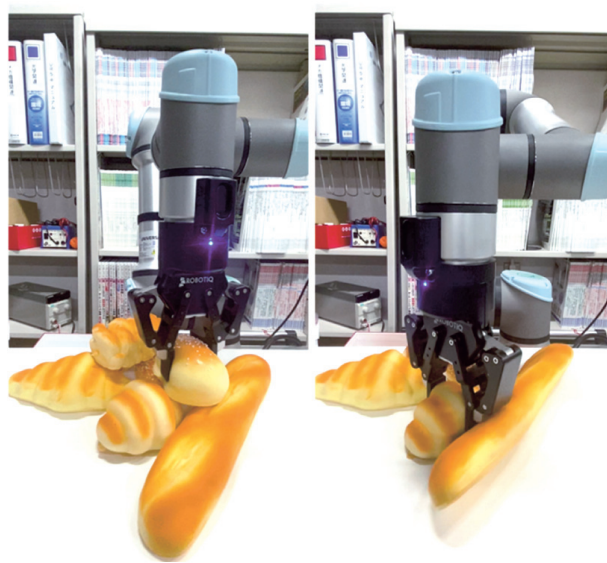


図4 把持試験の様子

## 2. バラ積みされたワークの把持箇所認識技術の開発

### 2.1 深度データを用いた把持箇所認識

バラ積みされたワークの把持箇所を認識する際、ワークがCADデータを持たない不定形状である場合においても深層学習による領域分割技術を用いて把持箇所を認識することが可能である。しかし、ワークごとに大量のデータセットを用意する必要があるため、未学習のワークへの適用は時間と労力を必要とする。そこで、あらかじめデータセットを用意することなく未学習ワークの把持箇所を検出するために、3Dカメラから得られた深度データを使ってワーク領域を分割し、把持箇所を認識する技術を開発した。

図1に、3Dカメラによる対象物の把持箇所認識技術の模式図を示す。処理手順としては、バラ積みされたワークを3Dカメラで撮影して深度データを取得する。深度データからワーク最上部の領域が含まれる高さ  $P_1$  の断層画像をマスクデータとして抜き出す。マスクデータから把持領域と把持箇所、領域の中心座標などの特徴量を抽出する。この段階では、把持箇所のXY座標（平面位置）は求まっているが、Z

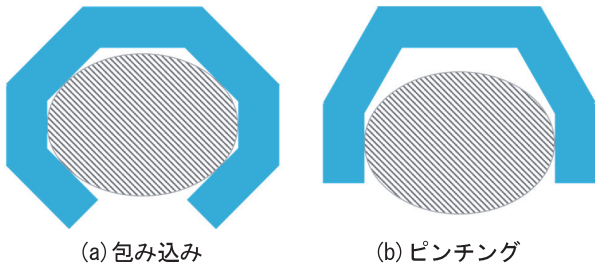


図5 把持モード

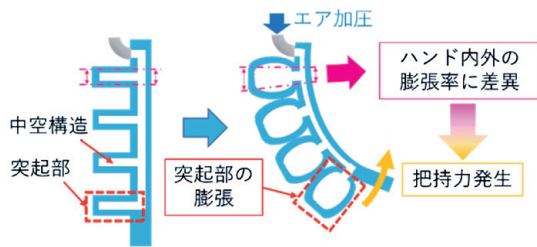


図6 動作原理

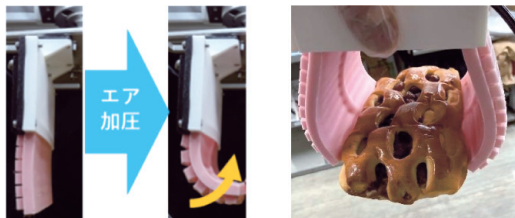


図7 実機による把持動作の様子

軸方向の位置（高さ）は求まっていない。次に、 $P_1$  よりも低い位置  $P_2$  のマスクデータを取得し、 $P_1$  と同様に各特徴量を抽出する。 $P_1$  と  $P_2$  の各特徴量の変化率を計算し、あらかじめ設定したしきい値以内であることを確認する。 $P_2$  以降徐々に抜き出す高さを下げてゆき、高さ  $P_n$  の断層画像のように、各特徴量が大きく変化した際に、高さ  $P_{n-1}$  を把持高さとして最終的な把持箇所が決定する。図2に、深度データと3次元点群上において、本手法により検出した把持箇所を示す。

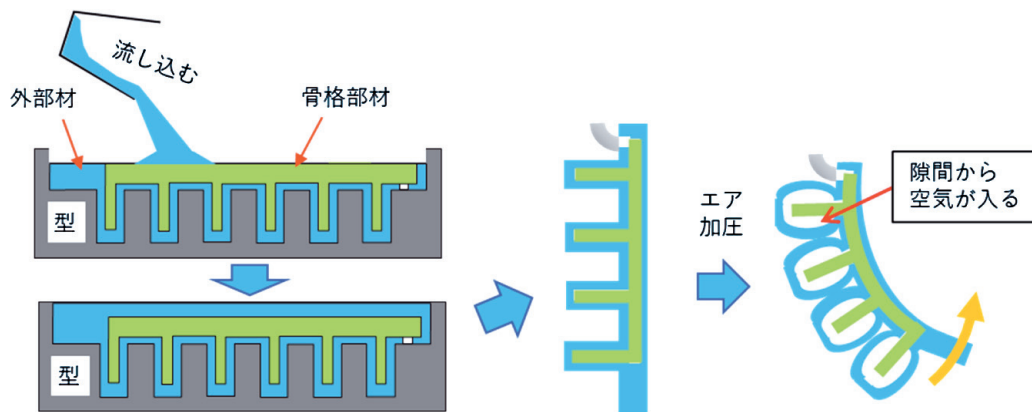


図9 新たな製造工程

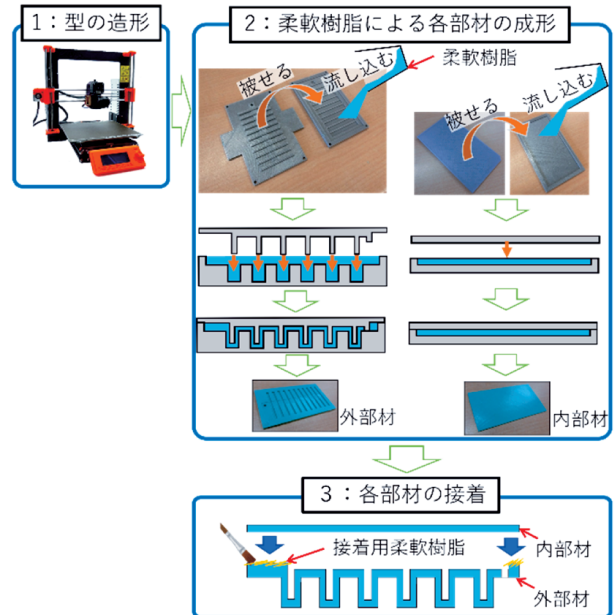


図8 従来の製造工程

## 2.2 把持試験

本手法の有効性を確認するために、ロボットによる把持試験を実施した。試験の流れとしては、バラ積みワークの直上約1mの位置に3Dカメラを設置し、取得した深度データから把持箇所を算出、ロボットへ把持箇所の3次元座標とハンドの姿勢を送信することで把持を実現する。ロボットへ座標や姿勢を送信する際、あらかじめチェッカーボード上の対応点を使ったキャリブレーションを実行することで、カメラ座標系をロボット座標系へ変換している（図3）。図4に、把持試験の様子を示す。把持試験を実施した結果、設置したバラ積みワークのすべてを把持することができたが、隣接したワークとの隙間が狭い場合にハンドが隣接ワークに接触するなど、一部課題が残された。また、本試験では一般的に使用されている電動ロボットハンドを使用したため、ワークに過剰な力を与え損傷させる可能性がある。そのため、柔軟かつ不定形状なワークを扱う際には、柔軟な把持を可能とするハンドが必要となる。



### 3. ソフトロボットハンドの開発

本研究で対象とするワークは柔軟・不定形状な食品であるため、ピンピッキングでよく使われる吸着ハンドによる把持は難しい。そこで、食品を把持対象ワークとした場合の安定した把持を実現するために、エア駆動型ソフトロボットハンドを開発した。

#### 3.1 把持モード

ワークを把持するモードとして、代表的なものに包み込みとピンチング(図5)が挙げられる。壊れやすいワークの場合には包み込みが適するが、一方でタクトタイムの短縮や、把持・配置の位置決め精度が求められる場合には、ピンチングのモードとなるようにハンドの構造を考慮する必要がある。

#### 3.2 動作原理

エアを使って動作させるソフトロボットハンドは構造が複雑となるため、3Dプリンタを用いてゴム系樹脂を積層させることで造形する手法<sup>3)</sup>があるが、積層痕から裂けるなど強度に課題がある。そこで、シリコンなどの柔軟樹脂を成形用の型に入れて成型することで、対象物を把持する上で十分な強度を有するソフトロボットハンドを開発した。図6に、ソフトロボットハンドの動作原理の模式図を示す。突起部を複数持ち、内部は中空となっているため、エアで加圧することにより突起部が膨張する。突起部の膨張によりハンドの内側と外側の膨張率に差異が生じることで、ハンド自体が湾曲し把持力が発生する。図7に製造したハンドの把持動作の様子を示す。

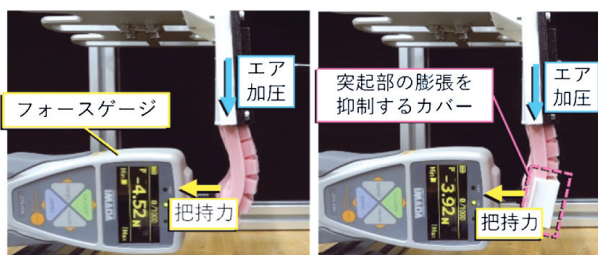


図10 把持力試験

表1 空気圧試験

加速度 m/sec <sup>2</sup>	カバーなし				カバーあり			
	リンゴ	ミカン	アボカド	コロッケ	リンゴ	ミカン	アボカド	コロッケ
2.5	○	○	○	○	○	○	○	○
5.0	○	○	○	○	○	○	○	○
7.5	○	○	○	○	○	○	○	○
10.0	○	○	○	△	○	○	○	○
12.5	○	○	○	△	○	○	○	○
15.0	○	△	○	△	○	○	○	○
17.5	×	△	△	△	○	○	○	○
20.0	×	△	×	△	×	○	○	×

○：把持維持、×：落下、△：巻き込み

#### 3.3 製造方法

図8に、ソフトロボットハンドの従来の製造工程を示す。まず、シリコンなどの柔軟樹脂を成形するための型を3DプリンタによりPLA (Poly Lactic Acid: ポリ乳酸) 樹脂で造形する。次に、柔軟樹脂のSMOOTH-ON製シリコンゴム Dragon Skin30<sup>4)</sup>を流し込み、型を被せることで、ソフトロボットハンドを構成する内部材と外部材を成型する。これら2部材間にDragon Skin30を塗布し、接着させることでエア駆動型のソフトロボットハンドが完成する。製造したハンドをエアで加圧することで把持動作は可能であったが、しばらく動作させたところ、接着した箇所からの破損が確認された。

そこで、構造と製造工程を見直し、新たにハンド内に骨格部材を入れて成型することで、ハンドの剛性及び強度向上を実現させた。図9に、改良した新たな製造工程を示す。従来の製造工程と同様に型を使って外部材を成型するが、使用する柔軟樹脂をDragon Skin30より硬度が高いSMOOTH-ON製のSmooth-Sil 940<sup>5)</sup>へと変更した。新たに3Dプリンタにより柔軟樹脂のHottyPolymer(佛製HPフィラメントスーパーフレキシブルタイプ<sup>6)</sup>)で骨格部材を造形し、外部材とともに型に設置する。外部材と同じ柔軟樹脂のSmooth-Sil 940を型に流し込み成型することでソフトロボットハンドが完成する。このように、ハンド内部に骨格部材を設置すること、2部材間の接着工程を廃止することにより、ハンド本体の剛性及び強度が向上した。従来の製造工程によるハンドの構造

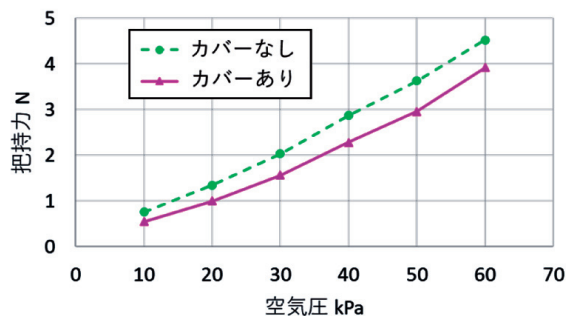


図11 空気圧と把持力の関係

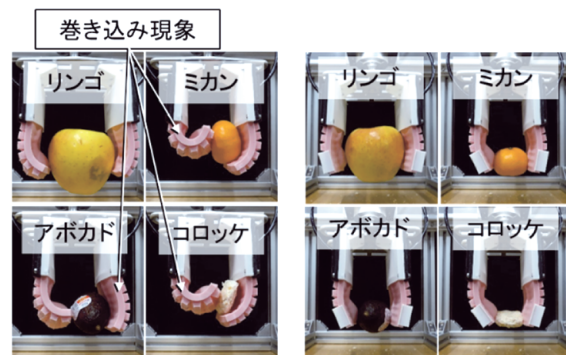


図12 ワーク把持試験 (空気圧 60kPa)

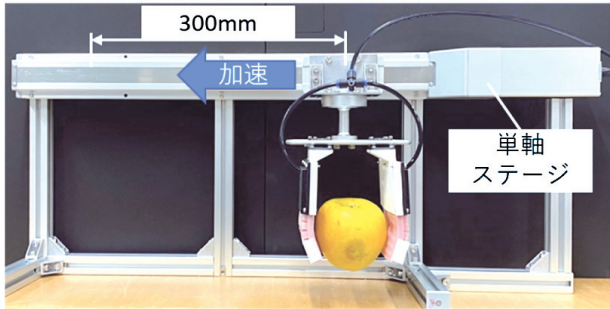


図13 加速度試験（空気圧 50kPa）

と比べると中空ではないが、骨格部材と外部材はそれぞれ異なる材料を使っているため互いに接着はしない。そのため、エアの加圧により骨格部材の隙間から空気が入ることで突起部は膨張し、ハンドの把持動作が可能となる。

### 3.4 評価試験

開発したソフトロボットハンドの性能を検証するため、各種評価試験を行った。ハンドへ加える空気圧を変えてハンド先端に生じる把持力の計測を行った。図10に、実験環境を示す。把持力の計測はイマダ製デジタルフォースゲージZTS-50Nを使用した。ハンドの形状が把持動作へ与える影響を検証するために、ハンド先端まで突起部があるもの（以下、カバーなし）、ハンド先端側の突起部の膨張を抑制するカバーを装着したもの（以下、カバーあり）の2種類のハンドを用意した。図11に、空気圧と把持力の関係を示す。カバーなしに比べてカバーありの把持力は15～38%低い結果となった。これは、カバーありの場合、把持力を発生させる突起部の個数が少なくなったためと考えられる。

次に、ワークを把持するのに必要な空気圧を求めるための把持試験を実施した。ワークとしてリンゴ（351g）、ミカン（87g）、アボカド（127g）、冷凍コロケ（32g）を用意した。表1に、空気圧試験の結果を示す。カバーなしの結果について、徐々に空気圧を上げていき、全ワークを把持したのは50kPaだったが、60kPaでワークを巻き込む現象が観察された。カバーありは40kPaで全ワークの把持が可能で、巻き込み現象は発生しなかった。

図12に、空気圧60kPaを加えた時のワークの把持状態を示す。カバーなしがワークを巻き込む現象については、ハンド先端まで均一に湾曲することでワークと接触する領域が小さくなったためと考えられる。一方、カバーありはハンド先端側が湾曲しないためにワークとの接触領域が大きくなり、結果として安定した把持状態を実現していると考えられる。

続いて、ワークを把持した状態で水平方向に一定の加速度を加えた時の把持状態を評価する加速度試験を行った。図13に、加速度試験の環境を示す。試験方法としては、ハンドに50kPaの空気圧を加えてワークを把持し、所定の加速度を与えて加速させた後に所定の加速度で減速させ、300mm移動

表2 加速度試験

加速度 m/sec <sup>2</sup>	カバーなし				カバーあり			
	リンゴ	ミカン	アボカド	コロケ	リンゴ	ミカン	アボカド	コロケ
2.5	○	○	○	○	○	○	○	○
5.0	○	○	○	○	○	○	○	○
7.5	○	○	○	○	○	○	○	○
10.0	○	○	○	△	○	○	○	○
12.5	○	○	○	△	○	○	○	○
15.0	○	△	○	△	○	○	○	○
17.5	×	△	○	△	○	○	○	○
20.0	×	△	×	△	×	○	○	×

○：把持維持、×：落下、△：巻き込み

したところで停止させたときの把持状態を観測する。加速度を与える装置は、SMC製の単軸ステージLEFS32S3H-500B-S2A11を使用した。

表2に、加速度試験の結果を示す。カバーなしの結果について、加速度を上げていき、全ワークの把持を維持したのは7.5m/sec<sup>2</sup>までで、約1Gとなる10m/sec<sup>2</sup>ではワークの巻き込み現象が観察された。巻き込み現象を把持維持と見なした場合、加速度15m/sec<sup>2</sup>までは把持状態を維持することが可能であることを確認した。一方でカバーありについては、全ワークの把持維持は17.5m/sec<sup>2</sup>まで可能であり、巻き込み現象は発生しなかった。

カバーなしの場合、加える空気圧に対して先端に生じる把持力は高いが、ハンド先端まで湾曲するためワークと接触する領域が小さくなり、把持状態が不安定となることがわかった。また、加速度が与えられるなど外力が加わった場合には巻き込み現象が生じる。ピンチングモードでワークを把持する場合、巻き込み現象が発生するとハンドとワークそれぞれの位置や姿勢の把握が難しくなり、ワークを配置する際の位置決め精度が低下する。一方で、カバーありの場合は巻き込み現象が発生しないため把持状態が比較的安定しており、高い加速度を与えてもハンドとワークの位置や姿勢を維持できることを確認した。

以上の結果から、ワーク配置の精度が求められる場合にはピンチングモードでの把持が適しているため、カバーありのようなハンド先端の湾曲を抑えるハンド構造にすることが望ましい。

## 4. おわりに

本研究では、食品製造業で多くの人手を要している移載作業の自動化を目的として、バラ積みワークの把持個所認識技術と空気圧駆動型のソフトロボットハンドを開発した。

把持箇所認識技術として、深層学習による手法があるが事前に大量のデータセットを用意する必要がある。そこで、未学習ワークへ対応するために、深度データから把持箇所を認識するアルゴリズムを開発した。把持試験により本手法の有

効性を確認したが、ハンドが隣接ワークに接触するなど一部残された課題については今後対応していく予定である。

また、多様な形状のワークを把持するために、シリコン系の柔軟樹脂を成形し、空気圧を加えることで動作するソフトロボットハンドを開発した。さらに、構造と製造工程を見直し、内部に骨格部材を入れることで強度向上を実現した。また、把持試験や加速度試験の結果について述べ、把持モードに応じたハンドの設計指針を示した。今後は、ソフトロボットハンドの耐久性の向上や製品化を視野に入れた改良に取り組む予定である。

## 参考文献

- 1) 荒井 翔悟：「ピンピッキング&キッティングのためのロボットシステム」, 日本ロボット学会誌, 37巻, 10号, pp. 938-942 (2019)
- 2) Chungang Zhuang, Zhe Wang, Heng Zhao, et.al: “Semantic part segmentation method based 3D object pose estimation with RGB-D images for bin-picking”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 68 (2021)
- 3) 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, 56巻, 10号, pp. 787-791 (2017)
- 4) サック株式会社, “Dragon Skin<sup>®</sup>シリーズ”, [http://sac-corp.co.jp/products/DRAGON\\_SKIN\\_TI.pdf](http://sac-corp.co.jp/products/DRAGON_SKIN_TI.pdf) [accessed Jun. 22, 2022]
- 5) サック株式会社, “Smooth Sil<sup>TM</sup>シリーズ”, [http://sac-corp.co.jp/products/Smooth-Sil\\_TI.pdf](http://sac-corp.co.jp/products/Smooth-Sil_TI.pdf) [accessed Jun. 22, 2022]
- 6) ホッティーポリマー株式会社, “HPフィラメント スーパーフレキシブルタイプ”, [https://www.hotty.co.jp/products/hottypost\\_17/](https://www.hotty.co.jp/products/hottypost_17/) [accessed Jun. 24, 2022].