

脆弱な食品を把持可能なバイディングハンド

Binding hand for grasping fragile foods

河野 有哉 (立命館大学)
正 王 忠奎 (立命館大学) ○正 平井 慎一 (立命館大学)

Yuuya KONO, Ritsumeikan University
Zhongkui WANG, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In recent years, the aging of society has caused a decline in the working population, which is a serious social problem. The food production industry tends to require manpower due to the high-mix low-volume production. Thus, automation of handling by robots is urgently needed to solve the serious human power shortage. In particular, foods with fragile characteristics, such as marine products, are considered to be difficult to grasp. Therefore, this paper proposes a method for stable grasping of fragile objects. We fabricated a binding hand and conducted grasping experiments on 10 kinds of food products. The experimental results were compared, and the conditions for stable grasping were discussed. In addition, we expect that the deflection of the binding hand affects the grasping results. We attempted to predict the grasping results by calculating the deflection from the model of the beam and comparing it with the actual measured values.

Key Words: soft robot, grasping, binding

1. 緒言

近年、深刻な社会問題としてあげられる高齢化社会による労働人口減少への対応策として、ロボットを導入しようとしている企業が増えている。農林水産省食料産業局の調査によると、食品製造業の欠員率は製造業全体と比べて、2倍以上高いことが明らかになっている。食品生産業は多品種少量生産でありながら、製造や点検、包装といった工程では人の目や手作業に頼らなければいけないことが多く、人手が必要となる傾向がある[1]。このように、深刻な人手不足を解決するために、ロボットによるハンドリングの自動化が急務となっている。従来のロボットハンドでは柔らかな物体を把持するときに、把持物体のばらつきや、位置・力制御の誤差により把持物体の形状を変える恐れがあり、食品への対応が難しいと考えられている[2]。

本研究では、把持の自動化が難しいとされている水産物などの脆弱な対象物の安定把持を目的としている。脆弱な対象物は大きな力を加えたときに、変形が大きくなることが問題点としてあげられる。そこで、指による把持ではなく、紐で囲うようにして把持するバイディングハンドを製作し、様々な大きさや脆弱さの食品の把持実験を行い、結果を比較することで安定把持への条件を検討する。

2. バイディングハンド

先行研究[3]を基に、図1に示すようなバイディングハンドを製作した。バイディングハンドは空気圧シリンダ、接続部、手先部から構成される。工場での使用を想定しているため、駆動方式は空気圧駆動を用いる。空気圧駆動は任意の場所で止めることができないため、ハンドの閉じ量を制御できないというデメリットがある。そこで、空気圧シリンダと手先部の間に接続部を設置する。接続部の先端にあるストッパーの長さを変えることで、ハンドの閉じ量を変更できるようにする。手先部は3Dプリンタで製作する。2本のロッド間にシリコンゴムひもを通し、下部に掬い込み板を取り付ける。これにより、ハンドを閉じることで、図2のようにシリコンゴム紐が対象物の形状に応じて変形しバイディングを行う。加えて、掬い込み板による下からの力で支えることで対象物を包み込むように把持する。

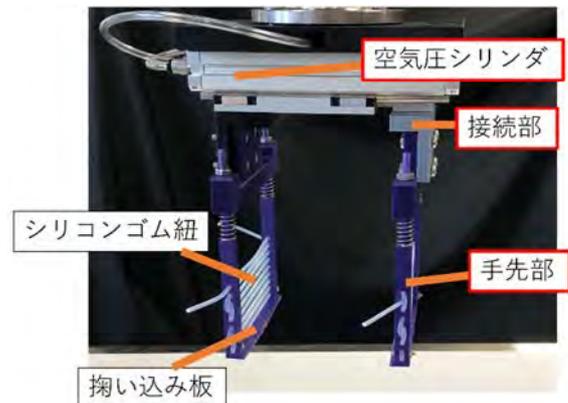


Fig. 1 Binding hand

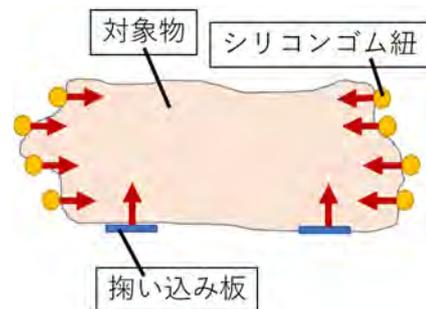


Fig. 2 Force on object

3. 把持実験

3.1 実験目的と方法

製作したバイディングハンドの性能を検証するために、様々な大きさや脆弱さの食品を用いて把持実験をする。バイディングハンドをロボットアームに取り付けて、ピックアンドプレースを対象物ごとに10回ずつ行い、成功数を記録する。対象物を把持したまま落とすことなく運搬し、地面に置くことができれば把持成功とする。ハンドの閉じ量を変えて成功数を比較する。なお、閉じ量はハンドが対象物に接触してから、空気圧シリンダが停止するまでの距離と定義する。

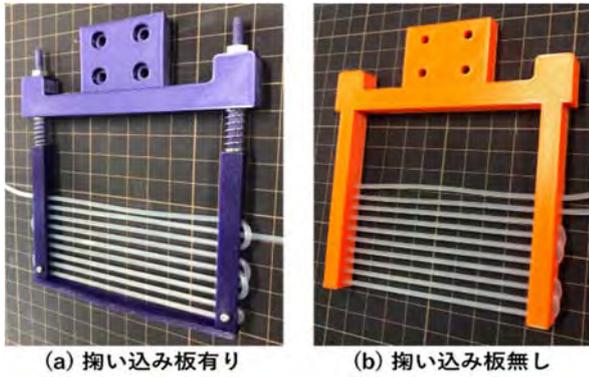


Fig. 3 Appearance of the tip section



Fig. 4 Object of the experiment

Table 1 Object Information

対象物	寸法[mm]	重さ[g]	弾性率[MPa]
アジ(大)	60×60×8	59.73	0.0216
アジ(中)	50×58×12	40.92	0.0216
アジ(小)	35×59×9	30.18	0.0216
タコ	56×30×24	26.37	0.038
カキ	35×46×11	14.5	0.0145
マシュマロ	28×23×19	3.49	0.0422
6Pチーズ	51×51×7	18.01	0.519
カマボコ	50×50×19	43.37	0.121
うずらの卵	29×12×12	9.67	0.26
厚揚げ	50×50×21	39.28	0.0236
コロッケ	60×74×21	78.51	0.614
ベーコン	50×45×40	128.03	0.42

また、掬い込み板の有用性を比較するために、図3のように掬い込み板が無い手先部を製作し、把持結果を比較する。実験に使用した対象物を図4に示す。対象物の寸法、重さ、弾性率をまとめて表1に示す。

3.2 実験結果と考察

掬い込み板がある場合の把持結果を表2、無い場合を表3に示す。バイディングハンドは閉じ量を調整することでほとんどの対象物を安定して把持できることが分かる。しかし、

Table 2 Results with scooping board

対象物	閉じ量	成功数	
アジ(大)	3	2	
	8	10	
	13	10	
	18	7	
アジ(中)	3	10	
	8	10	
	13	10	
	18	8	
アジ(小)	3	10	
	4	10	
	3	0	
	8	7	
マシュマロ	13	10	
	1	10	
	6Pチーズ	4	10(欠け4)
	カマボコ	3	10
うずらの卵	厚揚げ	2	10
	コロッケ	3	10
	ベーコン	3	10(欠け2)
	3	10(欠け2)	

Table 3 Results without scooping board

対象物	閉じ量	成功数
アジ(大)	13	0
	18	0
	18	0
アジ(中)	13	0
	18	0
アジ(小)	13	0
	18	0
タコ	14	0
	19	0
カキ	13	0
	18	0
マシュマロ	1	7
	6	10
6Pチーズ	14	0
	19	0
カマボコ	8	0
	13	3
うずらの卵	18	10
	2	0
厚揚げ	7	7
	12	10
コロッケ	13	0
	18	0
ベーコン	8	0
	13	10
18	13	0
	18	0

弾性率が最も小さい対象物であるカキや長さが最も大きな対

象物であるアジ(大)は閉じ量が小さいと把持できない場合があった。これは、中央部に発生するたわみが大きくなりすぎて自重に耐えることができなくなり、掬い込み板から落ちてしまったためだと考えられる。よって、これらの対象物は閉じ量を大きくして、掬い込み板を中央付近まで押し込んで把持する必要があると考えられる。また、アジ(大)とアジ(中)は閉じ量を大きくしすぎるとシリコンゴム紐の間に挟まり把持に失敗する場合があった。さらに、弾性率の大きな対象物である6Pチーズとブロックベーコンは把持の際に下部を削ってしまう場合があった。掬い込み板には固い材料であるPLAを用いているため押し上げる際に、大きな力がかかってしまうためであると考えられる。全体的に掬い込み板の有無を比べると、明らかに掬い込み板がある方の把持成功率が高いことが分かる。よって、掬い込み板は脆弱な食品を把持する際に有効的に作用していると考えられる。

4. たわみによる把持結果の予測

バインディングハンドで把持する際、対象物の下部と接触するのは掬い込み板に触れている部分のみなので中央付近にたわみが生じる。把持が失敗する1つの要因として、対象物のたわみが大きくなりすぎて掬い込み板では支えきれなくなることがあげられる。そこで、対象物のたわみを把持前に計算することができれば、安定した把持ができる閉じ量を事前に設定することができるのではないかと考えた。把持後の対象物をはね出し単純梁だとみなすと、たわみの大きさを v とすると、以下のような式から求めることができる。

$$v = \frac{5wl^4}{384EI} - \frac{wa^2l^2}{64EI} \quad (1)$$

ここで、 w は単位長さ当たりの自重、 l は掬い込み板間の距離、 E は弾性率、 I は断面二次モーメント、 a はハンドの閉じ量である。自重、弾性率、断面二次モーメントは対象物ごとに一定であるため、閉じ量によりたわみが変わることが分かる。梁のモデルが対象物のたわみを正確に表しているかを検証する。対象物にはアジを使用する。梁のモデルで計算するにあたり必要なアジの数値を表4に示す。シリコンゴム紐の有無と掬い込み板の幅を変えて、アジを把持する際のたわみを計測し、梁のモデルによる計算値と比較する。比較したグラフを図5に示す。シリコンゴム紐を通してある場合、すべての閉じ量において、たわみの計測値は梁のモデルの計算結果より2.5mm以上大きいことが分かる。一方で、シリコンゴム紐を外した場合、梁のモデルの計算結果とたわみの計測値の誤差はほとんど無いことが分かる。自重の影響によるたわみに加えて、シリコンゴム紐によりアジが内側に押されて変形することによって、中央部に想定よりも大きな負荷がかかっているためだと考えられる。また、掬い込み板の幅の大きさによるたわみの計測値の違いはほとんど見られなかった。把持する際に、アジの先端は上方向に反るように変形しているため、アジと掬い込み板が接触する部分は掬い込み板の幅の大きさによらず小さくなるため、影響が小さかったのではないかと考えられる。これらの結果より、バインディングハンドで把持した際の対象物のたわみを事前に計算して予測することは困難であると分かった。原因として、梁のモデルだけではバ

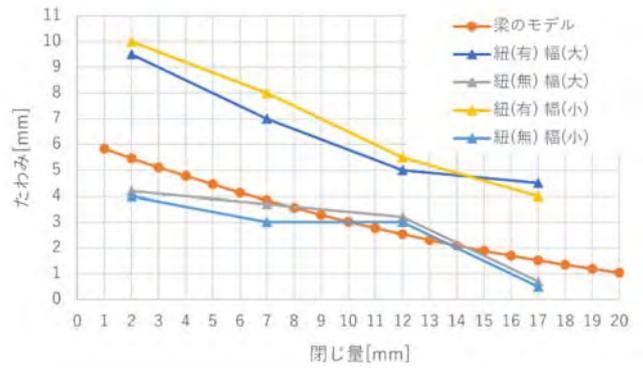


Fig. 5 Comparison of calculated and measured

インディングにより側面から押される力を考慮できておらず、自重以上の負荷が中央部にかかってしまうためだと考えられる。そこで、たわみを事前に予測するためには、バインディングによる影響も考慮したモデルを考える必要があると結論付ける。

5. 結言

本研究の目的は脆弱な食品の安定把持である。バインディングハンドを製作し、10種の食品の把持を実験的に評価した。実験結果より、閉じ量を調整することでほとんどの対象物の把持に成功した。しかし、弾性率が小さい対象物や長さが大きな対象物は閉じ量によっては把持に失敗する場合があった。加えて、対象物のたわみを用いて把持結果の予測を試みた。梁のモデルを用いてたわみを計算したものの、バインディングによる影響を考慮できておらず、実際の計測値と大きな誤差が生じたためたわみを事前に計算することができなかった。今後の展望は、シリコンゴム紐による周囲からの力における、たわみへの影響を明確にすることである。現在のシリコンゴム紐と断面積や張力が違うシリコンゴム紐でたわみの計測値を比較することで、バインディングのたわみへの影響を考察し、正確にたわみを計算できる式を導出したい。

6. 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」(管理人: NEDO) によって実施された。この場をお借りして、関係者に謝意を表す。

参考文献

- [1] 農林水産省, “食品製造業における労働力不足克服ビジョン”, July 2019.
- [2] 岩政恒史, 平井慎一: “Bindingに基づく柔軟紐ハンドによる把持操作”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014(0), 3SP1-S02(1)-3P1-S02(4), May 2014.
- [3] 古田晴規, 王忠奎, 平井慎一: “掬い込みバインディングハンドの提案” 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2A1-03, October 2020.

Table 4 Horse mackerel figure

w[N/mm]	l[mm]	E[MPa]	I[mm ⁴]
8.67	64-a	0.0205	1486