

# 感圧導電糸を用いた食品のバイディング

岩政 恒史 平井 慎一 (立命館大学ロボティクス学科)

## 1. はじめに

食品のハンドリングは、多くを人手に頼っている。現在、日本では、毎日数百万食の弁当が製造されている。弁当 (図 1(a)) は、多くの食材入りのカップ (図 1(b)) を含む。このようなカップのハンドリングは、人が行っている。しかしながら、人件費の高騰でこのようなハンドリングが困難になっている。また、弁当は消費地の近くで製造する必要があり、海外生産は不可能である。このような背景から近年、食品のハンドリングの自動化が求められている。

多くの食品は柔らかく、変形しやすい。さらに、食品は形状や寸法のバラつきが大きい。これらの課題のため、従来のオートメーション技術による食品の自動ハンドリングは困難である。このような課題を解決するために、著者らはバイディングを用いて、食材入りのカップをハンドリングすることを提案した。本報告では、バイディングを用いた食品のハンドリングについて述べる。

## 2. バイディング

物体の把持に関して、フォースクロージャの概念が提唱された (図 2(a)) [1, 2]。フォースクロージャでは、ロボットハンドの指が物体に接触する。物体に加えら

れる力とモーメントが釣り合うように、指の配置を決定する。別の概念として、ケーシングが提唱された (図 2(b)) [3, 4, 5]。ケーシングでは、指は物体の周りに配置され、物体とは接触しない。ただし、物体は指で囲まれた領域から脱出することができない。以上のフォースクロージャとケーシングは、基本的に剛体の把持に関する概念である。

物体の把持においては、指が物体に接触し、そのときの接触領域を通して指が物体に力を加える。柔軟物体の把持においては、過度な変形を抑制する必要がある。そのためには、接触面積を増加させ、物体に作用する応力を小さくすればよい。そこで、指で食品を把持する代わりに、食品の周囲に弾性糸を配置し、その弾性糸で食品を把持する (図 2(c))。これをバイディングと呼ぶ。バイディングの概念は、移動ロボットで操作されるロープによる物体の把持として提案された [6]。本研究では、バイディングのためのロボットハンドを試作し、評価する。

## 3. バイディングのためのロボットハンド

図 3 に、食材を含むカップのバイディングのためのロボットハンドを示す。このハンドは、4本の指、感圧導電糸、2個の DC モータから構成される。感圧導電糸は4本の指に取り付けられ、カップを包みながら把持する。感圧導電糸は、伸縮によってその抵抗が変化する。したがって、抵抗を計測することにより、感圧導電糸の伸縮を推定することができる。

1個の DC モータが、4本の指の開閉 (図 4) に用いられる。開閉する4本の指は、最大で 135 mm 四方の正方形 (図 4(a)) を、最小で 45 mm 四方の正方形 (図 4(b)) を占める。他方の DC モータは感圧導電糸の巻き取りに使われる。4本の指の開閉に応じて感圧導電糸を

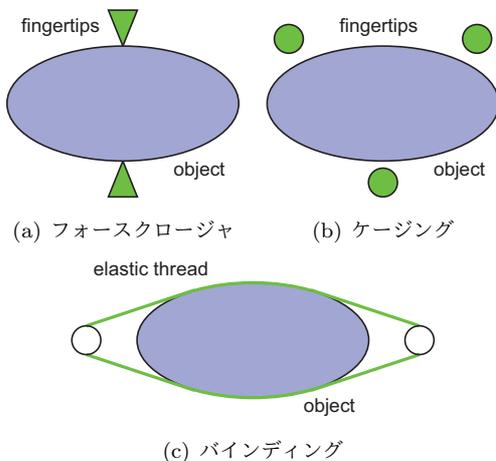


(a) 弁当内のカップ



(b) 豆入りのカップ

図 1 弁当



(c) バイディング

図 2 把持の概念

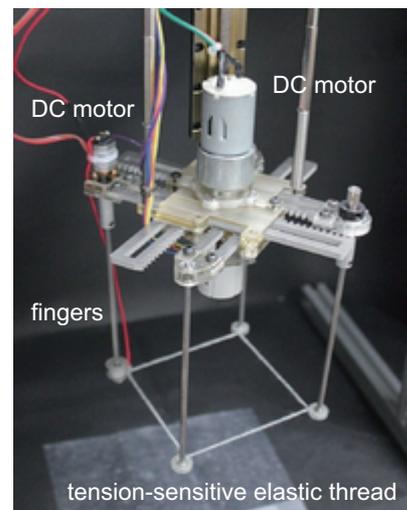
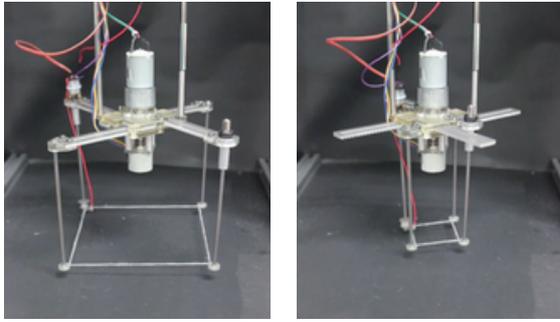
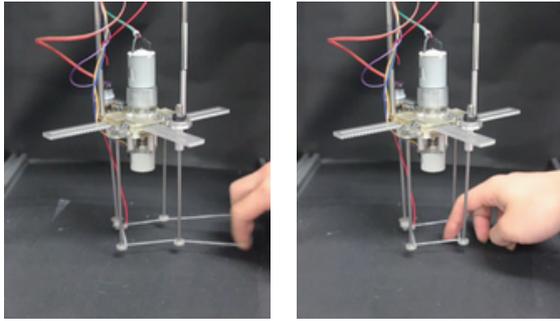


図 3 カップのためのバイディングハンド



(a) 開状態 (b) 閉状態

図4 4本の指の開閉



(a) 繰り出し (b) 巻き取り

図5 感圧導電糸の繰り出しと巻き取り

巻き取ることで、適切な張力を維持することができる。感圧導電糸の抵抗を計測し、フィードバックすることにより、感圧導電糸に外力が作用した場合においても、適切な張力を維持できる。図5に示すように、外力が作用すると感圧導電糸を繰り出し(図5(a)), 外力がなくなると感圧導電糸を巻き取る(図5(b))。

#### 4. 感圧導電糸

本研究で用いている感圧導電糸は、導電性のステンレス繊維30%と絶縁性のポリエステル70%の混紡である。感圧導電糸が伸びると、導電性繊維の密度が増し、結果として糸の抵抗が減少する。したがって、感圧導電糸の抵抗を計測することにより、導電糸の伸縮、さらには導電糸に作用する力を推定することが可能である。

バイディングハンドにおいて感圧導電糸の巻き取りに用いられているDCモータを、感圧導電糸の抵抗を基に制御する。DCモータのトルクは、モータ制御用ドライバIC(TA7291P)への指令電圧により定められる。時刻 $t$ における糸の抵抗値を $R(t)$ 、時刻 $t$ における抵抗の目標値を $R_d(t)$ 、ドライバICへの指令電圧を $V_m$ とする。以下のPID制御則を用いる。

$$V_m = K_P(R_d - R) - K_D \dot{R} + K_I \int_0^t \{R_d(\tau) - R(\tau)\} d\tau$$

ここで、 $K_P$ 、 $K_D$ 、 $K_I$ は、比例ゲイン、微分ゲイン、積分ゲインである。ゲインの値を調整し、 $K_P = 2.7 V/\Omega$ 、 $K_D = 0.8 V s/\Omega$ 、 $K_I = 0.001 V/\Omega s$ と定めた。抵抗の目標値を、250 $\Omega$ から500 $\Omega$ まで50 $\Omega$ 間隔で、続いて500 $\Omega$ から250 $\Omega$ まで50 $\Omega$ 間隔で与えた。図6に示す

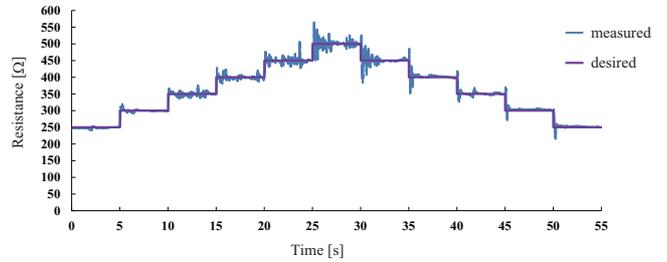


図6 感圧導電糸の抵抗の応答

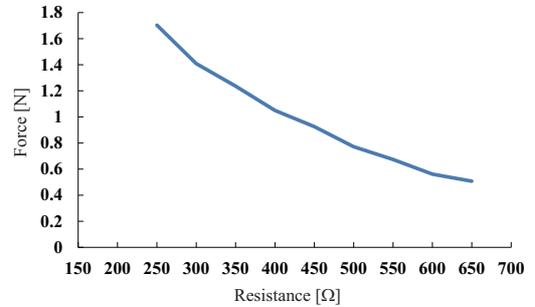


図7 感圧導電糸の抵抗と糸に作用する力の関係

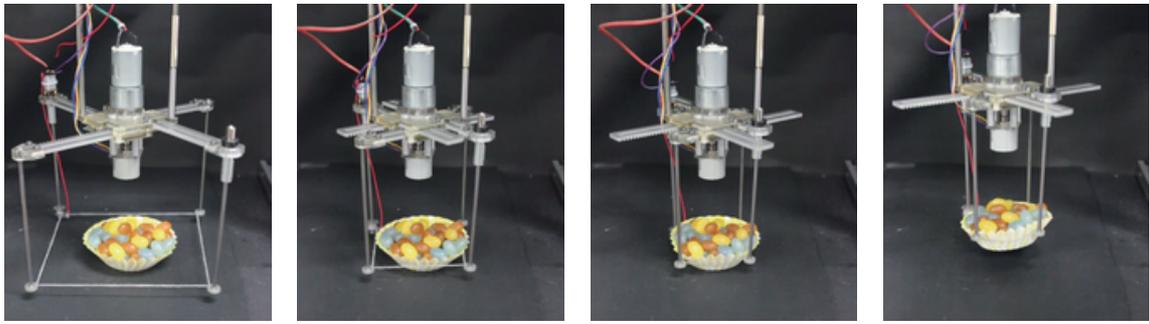
ように、計測値は目標値に追従する。ただし、抵抗の目標値が大きくなると、オーバーシュートが大きくなることがわかった。

感圧導電糸の抵抗と糸に作用する力の関係を調べた。一軸の力覚センサ USL06-H5-50N を組み込んだ、一辺70mmのポリカーボネート製の立方体をバイディングハンドで把持する。そのときの感圧導電糸の抵抗値と、力覚センサで計測した力の計測値の関係を、図7に示す。この結果を用いると、感圧導電糸の抵抗値から把持力を推定することができる。

#### 5. 評価実験

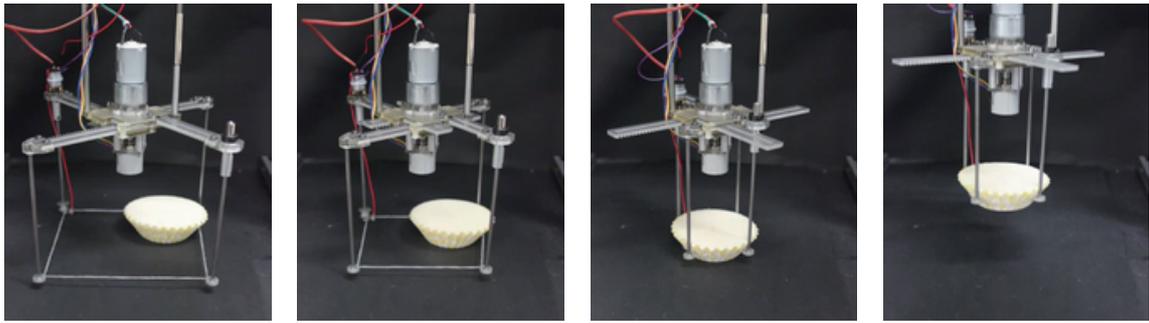
試作したバイディングハンドが、食材を含むカップを把持できるか否かを実験的に検証した。図8に、ゼリービーンズを含むカップを把持した結果を示す。カップは防水紙性である。ゼリービーンズを含むカップの上面の半径は80mm、底部の半径は47mm、高さは25mm、重量は56gであった。図8(a)に示すように、カップはバイディング領域の中心にある。4本の指が閉じられ(図8(b))、次いで感圧導電糸がカップを把持する(図8(c))。隣接する指の間隔が45mmに達したとき、指の開閉を止めた。図8(d)に示すように、ハンドはカップを持ち上げることができた。

図9に、バイディングハンドがバイディング領域内のカップを、領域の中央に案内する過程を示す。カップ内はシリコンゴムで充填されているおり、カップの重量は88gであった。初期状態でカップの位置は、中心からずれている(図9(a))。バイディングが始まると、感圧導電糸がカップに接触する(図9(b))。このとき、感圧導電糸とカップとの接触領域はカップの周囲を囲っておらず、結果として接触力がカップをバイディング領域の中心に案内する(図9(c))。接触領域がカップを囲んだとき、ハンドはカップを把持する。ハンドはカップを持ち上げることができた(図9(d))。



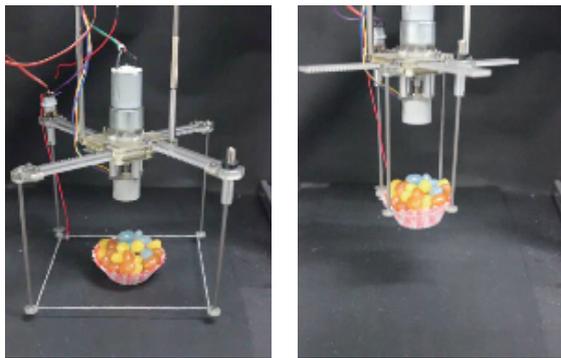
(a) 初期状態 (b) バインディング開始 (c) バインディング完了 (d) 持ち上げ

図8 ゼリービーンズを含むカップの把持



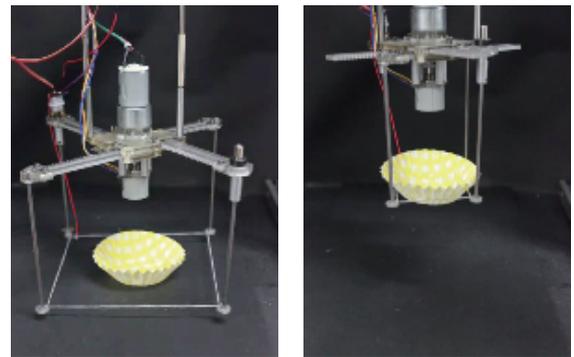
(a) 初期状態 (b) バインディング開始 (c) バインディング完了 (d) 持ち上げ

図9 バインディング領域内での位置決め



(a) 初期状態 (b) 持ち上げ

図10 半径65mmのゼリービーンズ入りカップの把持

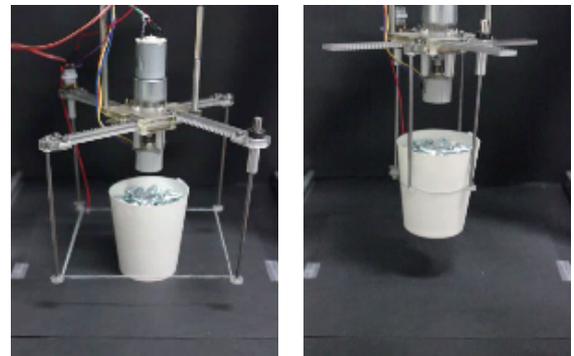


(a) 初期状態 (b) 持ち上げ

図11 カップ(1g)の把持

図10に、サイズの異なるゼリービーンズ入りカップの把持を示す。ゼリービーンズを含むカップの上面の半径は65mm、底部の半径は35mmであった。図10(b)に示すように、ハンドはカップを持ち上げることができた。図11に、空のカップの把持を示す。カップの上面の半径は80mm、底部の半径は47mm、重量は1gであった。図11(b)に示すように、ハンドはカップを持ち上げることができた。図11に、ねじをいれた紙コップの把持を示す。紙コップの上面の半径は65mm、底部の半径は51mm、重量は512gであった。図11(b)に示すように、ハンドはねじをいれた紙コップを持ち上げることができた。

バインディングハンドは、カップや紙コップのように上面が底面より大きい対象物を把持することができ

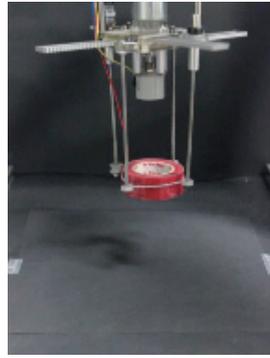


(a) 初期状態 (b) 持ち上げ

図12 ねじをいれた紙コップ(512g)の把持



(a) 初期状態



(b) 持ち上げ

図 13 テープ (27g) の把持



(a) 初期状態



(b) 持ち上げ

図 14 テープ (102g) の把持

る。ただし、摩擦力が十分であれば、円柱状の対象物を把持することができる。図 13 に、テープの把持を示す。このテープの半径は 51 mm、重量は 27 g であった。図 13(b) に示すように、ハンドはテープを持ち上げることができた。図 14 に、別のテープの把持を示す。このテープの半径は 93 mm、重量は 102 g であった。図 14(b) に示すように、ハンドはテープを持ち上げることができた。

## 6. おわりに

本発表では、バインディングを基にした食材入りカップの把持について述べた。バインディングにおいては、弾性糸が把持対象物を囲むことで、接触面積を増すことができ、結果として把持対象物の変形が小さくなる。さらに、バインディングの過程で、バインディング領域内にある把持対象物は領域の中心に案内され、結果として位置決めが成される。本報告で示したように、サイズや重量の異なるカップ、円柱状の対象物を把持することができた。

## 参 考 文 献

- [1] Van-Duc Nguyen, *Constructing Force-Closure Grasps*, Int. J. of Robotics Research, Vol. 7 No. 3, pp. 3–16, June 1988.
- [2] Lluís Ros, Josep M. Porta, and Raúl Suárez, *Synthesizing Grasp Configurations with Specified Contact Regions*, Int. J. of Robotics Research, Vol. 30 No. 4, pp. 431–443, April 2011.

- [3] Elon Rimón and Andrew Blake, *Caging 2D Bodies by 1-Parameter Two-Fingered Gripping Systems*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1458–1464, Minneapolis, Minnesota, U.S.A., April 1996.
- [4] Peam Pipattanasomporn and Attawith Sudsang, *Two-finger Caging of Concave Polygon*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2137–2142, Orlando, Florida, U.S.A., May 2006.
- [5] Satoshi Makita and Yusuke Maeda, *3D Multifingered Caging: Basic Formulation and Planning*, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2697–2702, Nice, France, Sep. 2008.
- [6] Bruce Donald, Larry Gariepy, and Daniela Rus, *Distributed Manipulation of Multiple Objects using Ropes*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 450–457, San Francisco, California, U.S.A., May 2000.