

指・バイディング系連動ロボットハンドにおける バイディング系の張力と把持力の関係検証

Verification of relationship between tension and grip force of binding thread
in finger / binding interlocking robot hand

○岡田 育実（立命館大） 平井 慎一（立命館大）

Ikumi OKADA, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

There are various foods such as fried chicken and hamburger in a box lunch. Foods have large variations in shapes and contain a lot of flexible objects. Therefore, it is difficult to grasp with a robot hand. In this research, we made a robot hand which grips objects based on binding. This hand grasps by surrounding the object with elastic yarn. We propose a mechanism in which the opening and closing of the hand and the winding of the binding yarn are linked. We also examine the relationship between the tension of the binding yarn and the force applied to the object.

Key Words: Robot Hand, Elastic Thread, Binding

1. 緒言

本研究では、食品産業に着目した。現在、日本における弁当の製造は1日当たり数百万食以上である[1]。このような弁当の詰め合わせをはじめとする食品ハンドリング作業の多くは現状、人の手に頼る状況である。しかし少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や人件費の高騰を考慮すれば、食品ハンドリングは自動化が求められる分野のひとつであると言える。食品は大きさや形状のばらつきが激しく、柔軟物体も多く含む。しかしながら、広く普及しているロボットアームとエンドエフェクターは一定寸法の剛体を扱うことに長けており、食品ハンドリングは困難な作業であると考えられる。従来のロボットハンドでは食品への対応が難しかったため、把持物体のばらつきや制御誤差を許容できるロボットハンドによるハンドリング技術が求められている。

以上より、本研究では食品をはじめとする柔軟物体の把持を簡易化させる構造の提案、製作を行う。そして、製作したハンドを用いて把持部分の性能について検証、評価を行う。

2. バイディング(Binding)

2.1 原理と特徴

先行研究では、バイディングを用いたハンドが製作された[2]。バイディングとは、フォースクロージャ(Force closure)とケーシング(Caging)の特徴を生かすような物体の把持手法である。フォースクロージャとは、図1に示すように、把持物体との間に滑りが発生しないことを条件とし、ハンドリング物体に作用する任意の外力に対して力とモーメントの平衡式が成立する状態を満たす物体の拘束方法である[3]。実際にはハンドリング操作時に外力と接触面での摩擦力が発生するため、把持指の位置や把持力が把持物体にどの程度影響するかに関しては事前に分析する必要がある。また、ケーシングとは図2に示すように、対象物とハンドの接触点で成す閉鎖領域に対象物を閉じ込める幾何学的な物体拘束手法である[4]。ケーシングは把持物体の自由度を完全に奪う必要が無く、接点の位置制御のみで物体拘束が可能である。位置制御のみでの物体拘束が可能なることから力制御が不要である。

本研究で扱うバイディングのモデルを、図3に示す。本モデルでは、把持物体の周囲に連続した弾性糸を設置し、その弾性糸で把持物体を縛り付ける手法である。把持物体にか

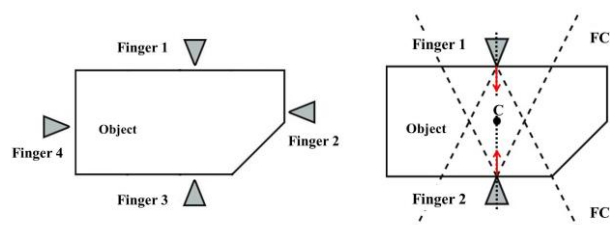


Fig. 1 Force closure

Fig. 2 Caging

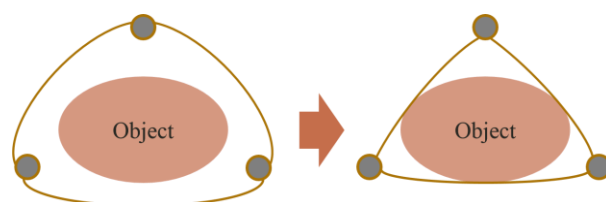


Fig. 3 Binding

かる応力を小さくすることで、必要以上の変形をさせず、確実性の高い把持操作を実現することを目的としている。また、弾性糸と把持物体の接触面が増加させることによって、対象物との接触部にかかる圧力を分散させることができる。

2.2 従来のバイディングハンドにおける課題

先行研究では、図4に示すようなハンドを製作した[2]。剛体物からなる4指の間に把持物体をバイディングする弾性体から成る紐状の把持部分(以降バイディング糸と記す)で構成された、2自由度のバイディングハンドである。バイディング糸は感圧導電性カパリング糸を使用しており、糸にかかる張力や圧力の変化を電気抵抗として出力し、把持力を計測するセンサの役割も持つ。また、バイディング糸の巻取り量をモータで制御することで、糸の張力を一定に保つ。モータは、ハンドの開閉機構と糸の巻取り機構にそれぞれ1つずつ使用した。先行研究では、バイディング糸のヒステリシス特性が課題として挙げられた。ハンドのセンサ用いた感圧導電性糸はヒステリシス特性があり、力が加わる前と加わった後の抵抗値に誤差が生じた。そこで、センシング本研究ではセンサ機能を持たない弾性糸を用いたバイディング

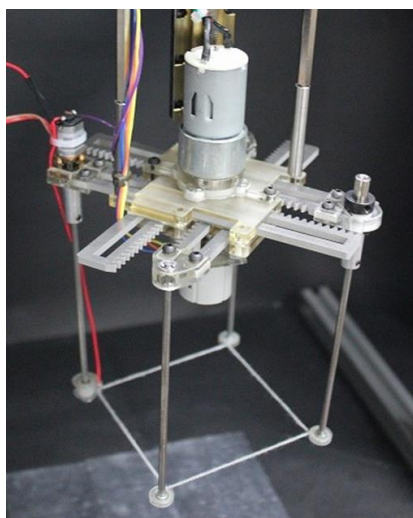


Fig. 4 Previous research (Binding Hand)

を行う。また、アクチュエータ 1 つでハンドの開閉とバインディング糸の張力調節を行うことで、システムの簡易化を計る。

3. 指・バインディング糸連動機構の提案

本研究では、1 自由度で指とバインディング糸の巻取りを行う機構を提案する。ハンドの概観を図 5 に示す。実機の最大時の大きさは底面直径 203 mm、高さ 192 mm であり、重量は 428 g である。把持可能範囲は最小で直径 42 mm、最大で直径 91 mm である。ハンドは、剛体物から成る 3 指の間にバインディング糸が張られており、3 指の開閉とバインディング糸の巻取りを 1 つのアクチュエータで同時に行う。3 指の開閉によってバインディング糸を把持物体の外形に沿って接触させながら把持物体を把持する。先行研究の 4 指のバインディングハンドでは、長方形形状の物体を把持する際に 4 辺のうち対辺しか接触できない、または 4 辺で接触していても各辺の糸から加わる把持力が均一にならないことがあったため、3 指による把持構造とした。バインディング糸の巻取りプーリは、直径を変えることによってバインディング糸の張力調節が可能である。

4. 比較したバインディング糸

本研究では、複数種類の弾性糸を用いて、伸び率の違いが把持力にどのように影響するかを比較する。以下の実験に用いた弾性糸は、純綿水糸（タコ糸）とシリコンゴムひもである。詳細を表 1 に示す。

Table.1 Yarn type

名称	外径 [mm]
純綿水糸	1.0
シリコンゴムひも	2.0

5. バインディング糸の弾性係数計測

本章は、バインディング糸それぞれの弾性係数の計測を行う。

5.1 計測方法

弾性糸を一定速度で引っ張った時の圧力センサにかかる糸の張力変化を計測する。弾性係数を求める式を式(1) に示す。

$$F = kx \quad (1)$$

F はバインディング糸にかかる力、 k は弾性係数、 x はバインディング糸が自然長から伸びた長さである。糸の引張力を計測することで、弾性係数を求める。実験のシステムを図 6 示す。

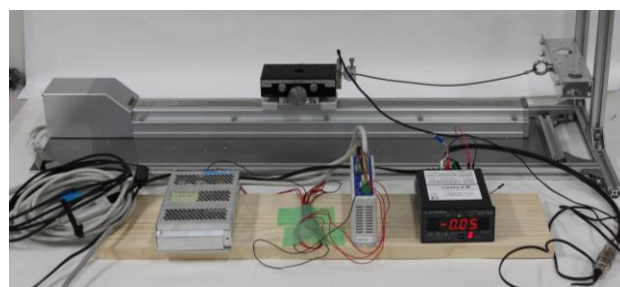


Fig. 6 Measurement of elastic modulus

5.2 結果と考察

純綿水糸の結果を図 6、シリコンゴムひもの結果を図 7 に示す。縦軸がバインディング糸にかかる力、横軸がリニアステージでバインディング糸を引っ張った自然長からの距離をそれぞれ示す。

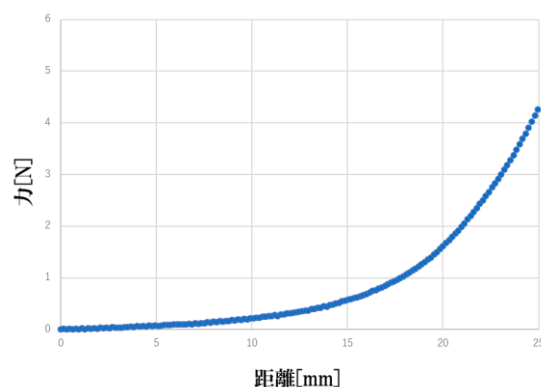


Fig. 7 Force and distance (Pure cotton yarn)

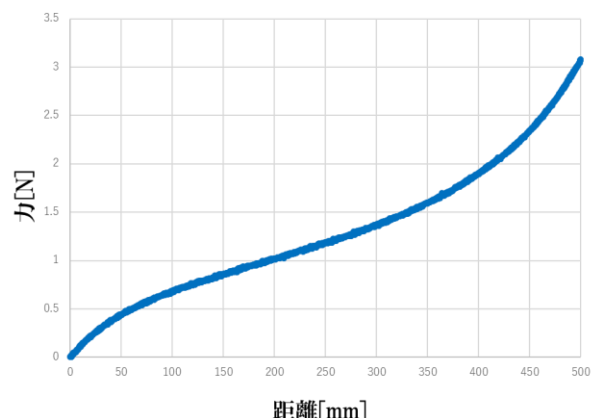


Fig. 8 Force and distance (Silicon yarn)

純綿水系は、目標引っ張り値の 450mm に到達する前に糸が実験装置から外れてしまった。シリコンゴムひもは、傾きが減衰状態から徐々に増大していくことが得られた。次章の張力と把持力の関係検証では、最大変位が 270mm であるため、本稿ではグラフにおける自然長からの距離 0~270 mm の範囲を評価に用いる。

6. バインディング糸の張力と把持力の関係

把持時にバインディング糸にかかる張力と把持物体にかかる力の関係について検証する。ハンドの開閉は式(2)に示すPID制御則を用いた。以下にその制御式を示す。

$$V_m = K_p(P_d - P_x) + K_d\dot{P}_x + K_i \int (P_d - P_x) dt. \quad (2)$$

式(2)において、 V_m は DC モータを駆動させるモータドライバ IC から出力する電圧であり、 P_d はポテンシオメータにおける目標角度値、 P_x は現在のポテンシオメータの角度値である。 K_p 、 K_d 、 K_i はそれぞれ比例ゲイン、微分ゲイン、積分ゲインを表す。

6.1 計測方法

圧力センサを取り付けた六角形状の把持物体に対して、ハンドの 3 指の開閉量を一定にしたままを行い、バインディング材の張力を変化させる。その時に圧力センサにかかる把持力を測定する。バインディング糸の長さは、ハンドの拘束領域が中間値を取る 66.5 mm の時に自然長となる 570 mm から 10mm ずつ短くして計測を行った。また、糸巻き取りプーリの直径は変えずに計測を行った。把持物体の概観を図 9 に示す。

6.2 結果と考察

純綿水系は、ハンドの開閉を行った際に糸の長さ、伸びが足りず把持物体を掴むことができなかった。解決策として、プーリによる糸の巻き取り量を変えることでハンドの開閉に使われる長さに対応できると考えられる。

シリコンゴムひもによる実験結果を Fig10 に示す。ハンドを開く時と閉じる時では、ハンドの開閉距離における把持物体にかかる圧力が異なるという結果が得られた。また、張力が小さくなると把持力も小さくなった。把持力にばらつきがあった。これは、各プーリの摩擦によってバインディング糸が均一に伝達できていなかったこと、把持物体がハンドの中

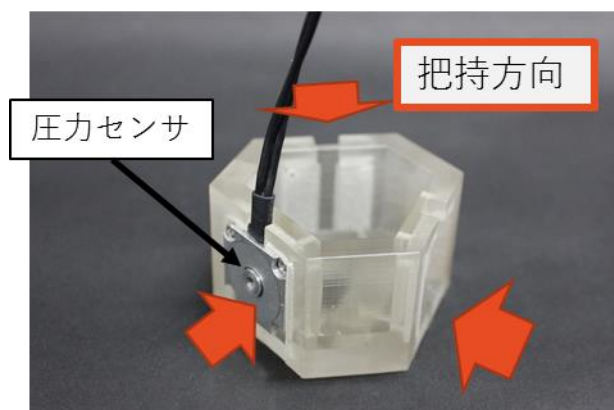


Fig. 9 Force and distance (Silicon yarn)

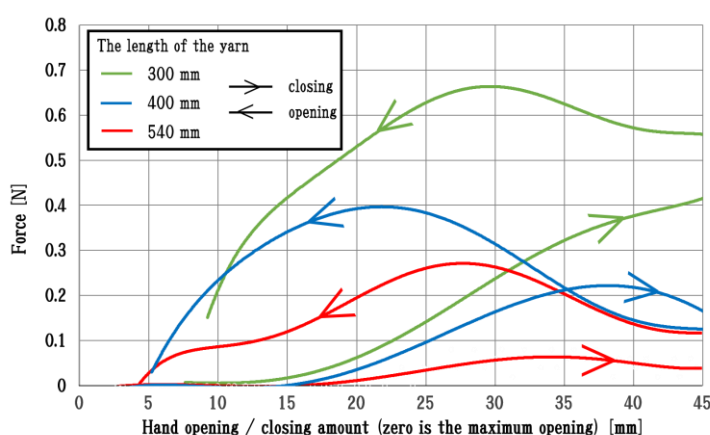


Fig. 10 Hand holding force (Silicon yarn)

心からずれていたことが考えられる。

7. 結言

本報告では、バインディングに基づいた指とハンドの製作を行った。指とバインディング糸が連動する機構を搭載したバインディングハンドの提案をした。また、弾性係数が異なる 2 種類の弾性糸を用いて、張力と把持力の関係を計測した。

今後の課題として、バインディング糸の伝達経路を見直し、糸を巻取るプーリの直径を変化させた際の把持力の検証を行う。また、把持物体、バインディング糸に加わる力の検証、バインディング糸に他の材質を用いた際の把持評価を行う。

参考文献

- [1] “日本のコンビニ弁当の行方と環境への取り組み,” 慶應義塾大学 細田衛士研究会, 事前レポート, 2011.
- [2] 岩政恒史: “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, “3P1-S02(1)” - “3P1-S02 (4)”, 2014 年.
- [3] 平井慎一, 若松栄史: “ハンドリング工学,” コロナ社, 2005.
- [4] E.Rimon and A.Blake: “Caging planar bodies by one-parameter two-fingered gripping systems,” Int. J. of Robotics Research, vol.18, no.3, pp.299-318, 1999.