

複数の弾性糸による巻取り無しバイディング

○岡田 育実, 三森 友貴, 平井 慎一 (立命館大学)

Unwinding binding with multiple tensioned threads

○Ikumi OKADA, Yuki MIMORI, and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan University)

Abstract: We propose a structure that does not wind up the yarn when opening and closing with multiple elastic threads, and report a robot hand prototype that applies it. One unit is an elastic thread stretched around the ends of two rigid rods. Multiple units are placed around the object. As the units move, the elastic thread area expands and contracts. Based on the proposed method of tensioning the binding thread, we produce a linear robot hand that creates a triangular binding area with three elastic threads. This paper proposes a new binding structure and creates and evaluates a prototype.

1. 緒言

食品をはじめとした柔らかく壊れやすい物体を扱うエンドエフェクタとして、本研究室ではバイディングという拘束手法が考案された[1]。バイディングとは、把持物体を弾性糸で囲い緩く縛るように物体を拘束する。弾性糸の柔軟性により多様な外形状の物体を壊さず掴める特徴から、コンビニ弁当などに入っているカップや壊れやすい物体を扱う自動生産への応用などが期待されている。

バイディングハンドを Fig.1 に示す。従来のバイディングハンド[1-3]は、バイディング領域を広狭する際に糸巻取りプーリまたは機構的な伝達により、弾性糸の張力を調節していた。これは、ハンドが弾性糸で囲まれたエリアを狭める際に弾性糸を張っていた 2本の棒の距離が狭まることで、弾性糸の張力が緩むことを防ぐ役割を担っている。しかし、先行研究[3]にて、表面の摩擦係数が高い弾性糸をプーリで伝達させることは、伝達経路によっては糸とプーリの間に摩擦が生じ各辺の張力が同値にならないことが分かった。これにより、糸が把持対象物に加える力は不安定化し、伝

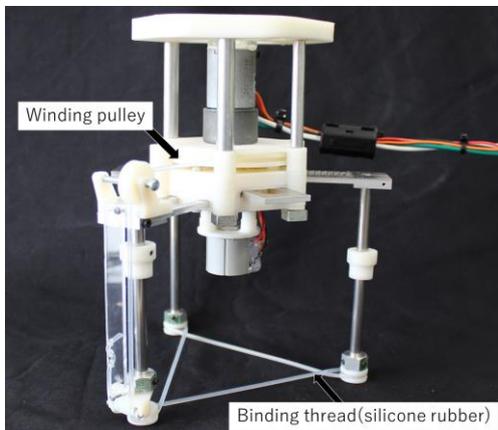


Fig.1: Binding hand with winding mechanism[3].

達が行えなかった場合は糸がプーリから落下することもあった。そこで本研究では、バイディングハンドの弾性糸の伝達を極力なくすため、糸で囲まれたエリアを広狭する際に弾性糸を巻取らないバイディング糸の張り方を提案する。2本の剛体棒の先端に張られた弾性糸を 1 ユニットとし、把持物体を囲むように複数配置する。そして物体に対しユニットを動かすことで、弾性糸で囲まれるエリアを広狭させるものである。この張り方により、弾性糸は伝達プーリを使うことなく把持を実現する。

本稿では、このバイディング糸の張り方を用いた直動バイディングハンドを試作し、把持実験から弾性糸の配置による物体把持への影響を検証する。

2. 提案機構のコンセプト

2.1 バイディング

提案するバイディング糸の張り方の説明をするにあたり、バイディングの特徴を述べる。バイディングのモデル図を Fig.2 の示す。バイディングとは、Fig.2 の赤色で示す紐状の素材（以降弾性糸と呼ぶ）を物体の周囲に配置し、弾性糸で構成される領域を狭め物体に押し当てることで物体を縛り付ける手法である。弾性糸と物体は線状に接触するため、物体の接触部にかかる圧力を分散でき必要以上の変形をさせず拘束できる。Fig.2(a)は物体をバイディング糸で囲んだ状態、Fig.2(b)は棒が物体に近づくことでバイディング糸が物体と接触している状態である。この時、バイディング糸は物体が置かれた平面と水平なある面に存在している。

2.2 提案するバイディング糸の配置

提案するバイディング糸の張り方と張った糸の配置例を Fig.3 に示す。従来のバイディング糸の張り方は、把持物体の周囲に配置された複数の剛体棒の先に

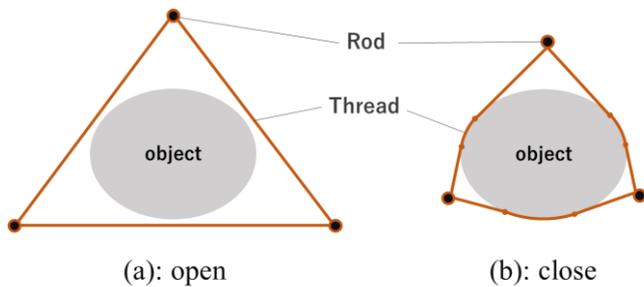


Fig.2: Binding model.

1本の糸がn角形状になるように張る方法であった。これに対し新しい張り方は、Fig.3のような複数の弾性糸を使ってバイディングを実現する。2本の剛体棒の先端に垂直に固定したバイディング糸を1ユニットとし、複数のユニットで把持物体を囲むように配置する。そして、それぞれのユニットを動かすことで、弾性糸で物体に接触しすくい上げる。この張り方により、弾性糸は伝達プーリを使わず物体を把持することができる。この張り方を使って物体をバイディングする方法は、弾性糸ユニットの個数、物体とユニットの初期位置、物体に対するユニットの移動経路により、様々なバリエーションが考えられる。一例として、3ユニットをFig.3(b)のように配置する場合は、物体中心から放射状に動かす方法や、いずれかの1ユニットを固定し2残りの2ユニットを動かす方法も考えられる。また、Fig.3(c)のように複数ユニットの弾性糸を交差させた状態のまま物体に近づく方法も考えられる。反対に、Fig.3(a)のように物体をバイディングしてもユニット同士が交差せず、物体の全方位を弾性糸で囲わない場合も考えられる。これに関しては、従来の1本の弾性糸でバイディングを行う方法にはなかった点である。

3. 提案配置を用いた試作機

3.1 従来と試作機のバイディング糸の張り方の比較

2章で提案したバイディング糸の配置方法を使った試作機を作成する。Fig.4は試作機を側面と底面から

見た際のモデル図である。Fig.4内の青色で示すパーツ及びバイディング糸は広狭時でも動かない固定部、赤色は広狭に合わせて動くスライド部、黒色のバイディング糸を固定する棒は赤、青色のそれぞれに固定されている。今回、従来のバイディングハンドと性能を比較するため、提案する張り方の中でも3本のバイディング糸で物体を囲む手法を選択した。また、従来機構に比べ機構をより単純化するため、青色のバイディング糸2本は固定し、赤色の1ユニットのみをY座標方向に動かす。この動作により、Fig.4内の3本のバイディング糸に囲まれたエリアの面積は増減する。このエリア内に物体が入るようハンドを移動させ、バイディングを行うことで物体を把持する。なお、後の把持実験よりこの把持機構でも従来のハンドと遜色なく性能を発揮できることが分かっている。更に、青色のバイディング糸は交差している。理由は2つあり、1つ目はFig.3(b)のように交差せず隙間が空いた糸が物体に対して移動しないとなるとバイディングできる物体に限られるためだ。2つ目は、従来のハンドとバイディングする条件を合わせるためである。これらの時、固定された2本のバイディング糸は、交差した点から15mm程度先で別の棒に固定されている。これは、物体把持時にバイディング糸の変形から棒が物体に接触する可能性を最低限排除したためである。

3.2 試作したバイディングハンドの概要

製作した試作機の概観をFig.5、機構の詳細をFig.6に示す。Fig.5、Fig.6の座標系は、原点を示しているのではなく、方向のみを示すために用いている。このハンドは1つのDCモータを用いた1自由度機構である。モータ出力軸に接続するギアと、Fig.6内の赤色のユニットに固定されたラックギアが噛み合うことで、赤色ユニットは補助板(Fixed part②)の溝の拘束を受けFig.6のY軸方向に動く。バイディング糸で作られる内側の領域は、最大内接円直径が81mmと巻き取り機構を持つバイディングハンド[3]の内接円直径と同値となるよう設計した。また、ハンドは3本の糸が交わる点ま

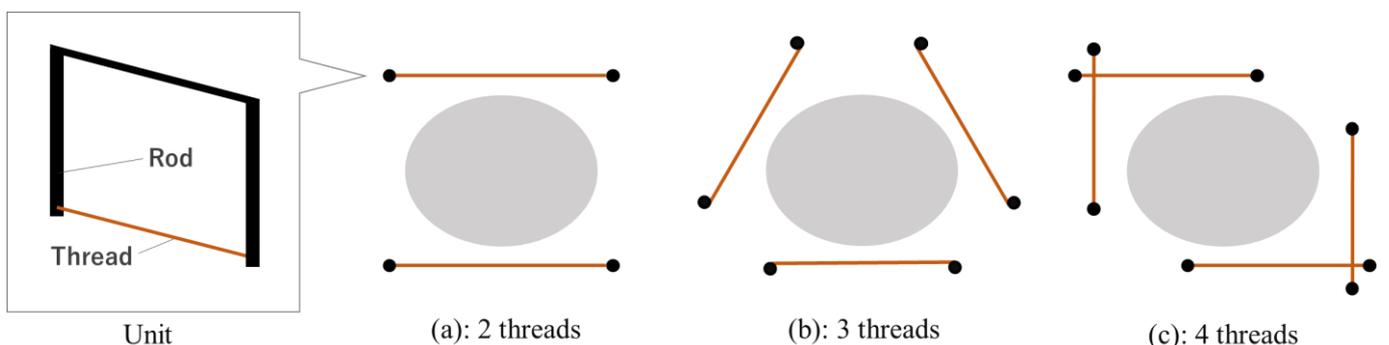


Fig.3: Binding thread placement.

で動くことができるので、完全に閉じることができる。弾性糸の伝達においては、どの従来ハンドも弾性糸の伝達方法が複雑であったが、本機構は棒に開けた弾性糸の径より 0.1mm 小さい 3 点の穴に糸を蛇行させるように通すのみの簡単な手法とした。この弾性糸の固定方法は機構が簡易化したことで部品点数も減り、加工、

組み立て時間も従来の機構に比べ短縮することができた。

また、Fig.7 に食品の入ったカップの積み上げの様子を示す。ハンドはロボットアームに取り付けられており、上下の移動が可能である。Fig.7(a)で物体の周りを囲み、Fig.7(b)で 3 辺のうち 1 辺の糸が動き物体が床面をすべるように押されて残りの 2 本の糸に接触しバインディングする。そして Fig.7(c)ではすくい上げるように持ち上げる。

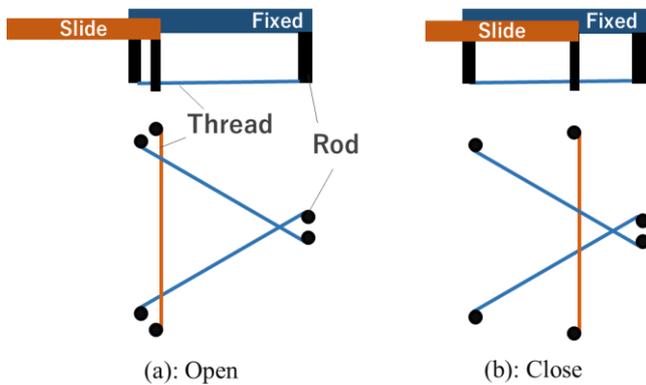


Fig.4: Binding mechanism model of proposed placement method.

3.3 把持実験

試作機を使用して把持実験を行う。この実験を行うことで、機構の影響、把持可能な重量、把持可能な物体形状の 3 項目を評価指標とし、従来の張り方と比較する。

本実験にて把持対象とした物は、半分に切られたゆで卵、唐揚げ、木製ボール、お弁当のプラスチックカップ (30 g, 40 g, 50 g)、紙コップ (30 g, 40 g, 50 g) の 5 品種、9 パターンである。これは、巻き取り機構を持ったバインディングハンド[3]が把持実験を行った際に使った把持対象物と全く同じである。ゆで卵と唐揚げは食品サンプルを使った。また、プラスチックカップと紙コップには小豆が入れ、重量が異なる 3 パターンを用意した。実験の流れは、初めにハンドが物体をバインディングする、次に 500 mm 先の点に搬送、最後に物体を置く、という動作を 1 回とし、その間に物体をバインディングし、落とさず移動させることができれば把持成功とする。この動作を各把持物体に対して 5 回ずつ実施する。

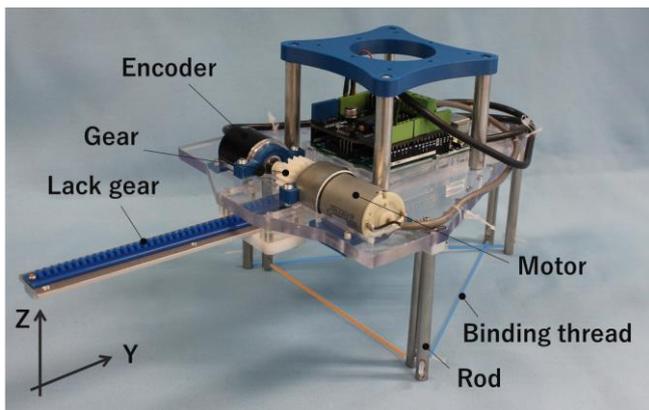


Fig.5: Overview of the prototype.

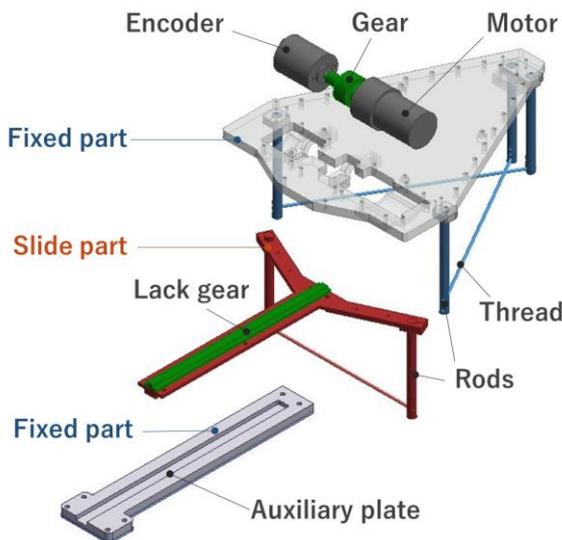


Fig.6: Exploded view of the mechanism.

実験結果を Table.1 に示す。唐揚げ、木製ボール、プラスチックカップ、紙コップは 5 回のうち 5 回とも把持に成功した。このことから、把持重量に関しては従来のハンドと同等であると言える。しかし、ゆで卵は 5 回中 1 度だけ把持することができなかった。把持できなかった時の様子を Fig.8 に示す。この理由として、本機構では糸が物体に同時に接触しなくなったからである。従来機構は、糸が中心に向かって閉じることで、糸が同時に物体に接触し、真ん中に置かれた物体を滑らせることなくバインディングする。これに対して、今回の機構は、動く 1 辺の弾性糸が先に物体に接触し、物体が床面をすべるように押されることで残りの 2 辺の弾性糸に接触しバインディングする。これらの特徴から、床面との摩擦が大きい、転がりやすい物体を把持するには、ハンド中心から放射状に広狭する機構の方が向いていると考える。また、今後は弾性糸の材質、断面形状を変えて把持性能がどのように変化するか確かめたい。

4. 結言

本稿では、新しいバイディング糸の張り方とその配置方法を提案した。2本の棒の先端に張られた弾性糸を1ユニットと呼び、そのユニットを物体の周りに複数配置する方法でバイディングを行った。この中でも3ユニットを組み合わせる配置方法に注目し、バイディングハンドを試作した。従来の機構では棒がハンド中心から放射状に動いていたが、今回の試作機では3辺のうち1辺のみが辺に対して垂直に動くことでバイディングを行っている。このハンドを使い、把持を行う際の機構の影響、把持可能な重量、および物体形状の3項目を評価指標として把持実験をした。実験より、糸が物体に同時に接触しない本機構では糸の接触する順番が把持性能に関係することが分かった。

今後は、提案するバイディング糸の張り方に対する把持可能な物体を分類する。また、把持物体の形状や柔軟性に合わせ張力を変更できる機構を設置したい。

参考文献

- [1] Hisashi Iwamasa and Sinichi Hirai, Binding of Food Materials with a Tension-Sensitive Elastic Thread, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.4298-4303, Seattle, Washington, May, 2015
- [2] MIMORI Yuki, Wang Zhongkui, Hirai Shinichi: "A Novel Binding Hand with Closed Loop Thread Capable of Grasping Small-Diameter Objects", 2019 IEEE International Conference on Soft Robotics, MoBT2.4, 2019.
- [3] Okada Ikumi, Wang Zhongkui, Hirai Shinichi: "Gripping Force Modeling of a Binding Hand", 2019 IEEE International Conference on Soft Robotics, WeAT1.5, 2019.

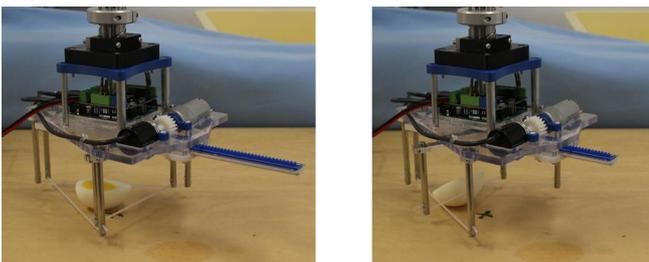
Table.1: Object information and EXPERIMENTAL results

Object	Dimension [mm]	Weight [g]	Previous method (n = 5) [%]	Proposed method (n = 5) [%]
Egg	58×46×29	22	100	80
Chicken	42×36×48	20	100	100
Wooden ball	58×58×58	30	100	100
Plastic cup filled with beans	65×65×28	30	100	100
		40	100	100
		50	80	100
Paper cup filled with beans	73×73×78	30	100	100
		40	100	100
		50	80	100



(a): Open (b): Close (c): Pick up

Fig.7: Picking up a cup (50 g) using a prototype.



(a): Open (b): Close

Fig.8: Boiled eggs that failed to binding.