

指・バイディング系連動ロボットハンドの平面把持力検証

○岡田育実（立命館大学） 平井慎一（立命館大学）

1. 諸言

食品などの柔軟な物体の製造の自動化への応用を意識して、バイディングという把持手法が提案された。バイディングとは、弾性糸で物体を囲い込むことで、緩く縛りつけるように物体を把持する手法である。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、お弁当の自動生産への応用などが期待されている。

バイディングを実現するハンド機構が開発されてきた一方で、バイディングの把持力モデルが存在せず、物体に加わる力の推定ができないという問題が存在した。そこで、先行研究[1]ではバイディングにおける不特定指本数での把持力を一般化するモデルを提案した。しかし、実機と比較した際、シミュレーションの把持力が実機の把持力を上回るデータが得られた。

本稿では、シミュレーションの把持力が実機把持力を上回った原因を明らかにし、より正確な把持力推定を実現する。そのため、実験に用いている指開閉と糸巻取りを連動させた機構のモデルを組み込んだ新しい平面把持力モデルを作成する。また、このシミュレーションの結果を実機と比較することで、平面把持力に差異が生じる原因について考察を行う。

2. 指・バイディング系連動機構

図1は指・バイディング系連動機構[2]を搭載したバイディングハンドである[1]。バイディング糸を把持物体の外形に沿って接触させながら物体を把持する。図(a)は機体概観、図(b)はバイディング糸巻取機構である。機体中央のDCモータの回転により、2つの動作を1つのモータで実現する。1つ目の動作は糸を張った指の開閉である。指が端部に固定されたラックギアに動力を伝えることで、剛体棒先に張られたバイディング糸で構成される3角形領域が広狭する。2つ目の動作は糸の巻取りである。指の開閉に伴う糸のたるみを防ぐために、図(b)のよ

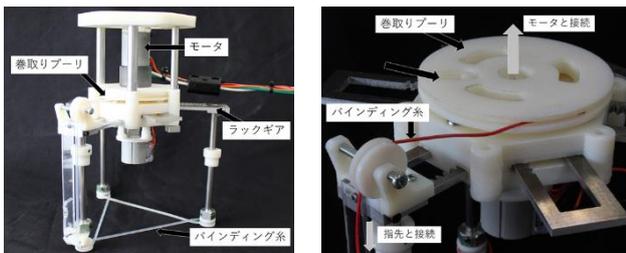


図1 指・バイディング系連動機構を搭載したバイディングハンド
(a): 外観 (b): 巻取り機構

うにモータからラックギアに動力伝達をするギアに取り付けられた巻取りプーリが回転し、バイディング糸の巻取る。

3. 平面把持力の比較

3.1 シミュレーション

本節では、指バイディング系連動機構における糸の伸びの幾何モデルを提案する。先行研究[1]では、バイディング糸と物体が接触した際の力のモデルを導出する。このモデルに、指の開閉とバイディング糸の巻取りを考慮した張力モデルを導入することで、実機に依拠した把持力モデルを導出した。図2は、伸びない糸を緩みなく機体に張ると仮定した際の、糸の巻取りを考えない場合(A, B)と、考えた場合(C, D)のモデル図である。図2A, Bでは、指を中央に向かって閉じると、指間に張り切れないう糸が余ってしまう。一方、図2C, Dでは、指を閉じると指間に張り切れないう糸の長さ、またはそれ以上に巻取りプーリの巻取り量が多く糸を巻取れば、糸が余ることはない。Bでの余った糸の長さを d_s 、Dでの巻取られた糸の長さを d_w とすると、糸が緩まず機体に張るための条件は次のようになる。

$$d_w \geq d_s \quad (1)$$

d_w が d_s より大きくなると糸の経路に対して糸の総長が足りなくなってしまう。しかし、実際には弾性のある糸は引張られるように経路に張られるため、バイディング糸に初期張力がかかる。その上で物体と接触すると更にバイディング糸が伸び、図3のような力の関係から物体に平面把持力が加わる。

先行研究のシミュレーションは、以上のような指の開閉に伴う糸の伸び量の変化を考慮して糸の巻取り量を考えていなかった。本稿では、伸び量 D_n を用いて幾何的な糸の伸びの推定量を計算することで、理論的な糸の巻取り量と伸び量の関係性を明らかにした。

$$D_n = d_w - d_s + d_{fg} \quad (2)$$

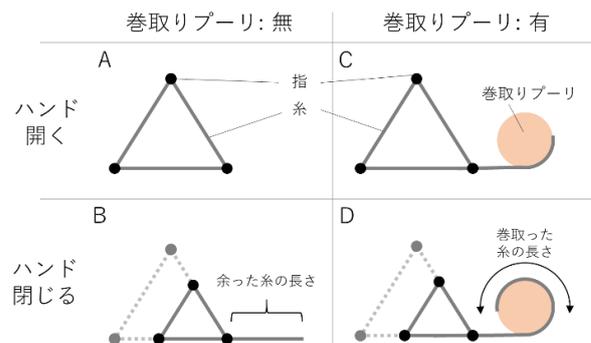


図2 指の開閉とバイディング糸の関係

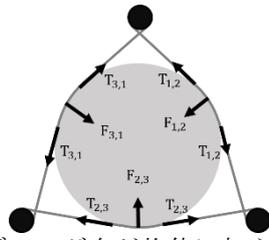


図3 バインディング糸が物体に加える力の関係

この時、 d_{fg} は糸が物体に接触した際の糸の伸び量である。

なお、以前のシミュレーションに引き続き、以下の内容を仮定している。

- ・把持物体は円柱状剛体で、側面に斜面はない。
- ・把持物体はバインディングハンドの把持領域の中央に存在し、バインディング糸は把持物体に加える力は均一である。
- ・バインディング糸は緩みなく張られ、張力は巻取り後も糸の全領域において一様である。
- ・バインディング糸の変位-張力関係は実機に使用した糸を計測したデータを使う。

3.2 実機計測

実機計測のシステム構成を図4に示す。図(a)は計測器、図(b)は平面把持力計測システムのモデル図である。計測器は、図(a)のように3個の圧力センサに円弧状の糸接触部を取り付け、底面から見た際に円柱形となるようにバインディングハンドの中央に固定した。これにより、ハンドを開閉させると計測器の糸接触部にバインディング糸が触れる。このとき、バインディング糸が円弧パーツに加える力、すなわち平面把持力を計測する。糸接触部には摩擦を減らすため、マスキングテープを巻いた。バインディング糸にはシリコンのゴム紐を使用した。計測は、指の最も開いた状態から指が物体に接触するまで閉じる動作を1回とし、この動作を10回行った。

3.3 結果

シミュレーションと実機計測の結果を図5、図6に示す。図5は弾性糸を3方向から物体に押し付けた際の平面把持力の総和についてシミュレーションと実機計測を比較したグラフである。総和を見るとシミュレーションと実機計測の結果は一致しなかった。また、図6は実機計測においてバインディング糸で構成された各辺の力を圧力センサA,B,Cで計測したグラフである。各ラベルを比較すると、糸ごとに平面把持力のばらつきがあることが分かった。ばらつきが生じた実験時の記録映像を観察すると、圧力センサB,Cに接する弾性糸の間にある伝達プーリにおいて、指を閉じた際に弾性糸が緩み、巻付けていた伝達プーリから外れてしまっていることが分かった。

弾性糸は、A,B,Cの順で巻取りプーリに近い構造である。糸のゆるみの位置と図6の平面把持力の大小関係から考えて、糸の伝達時の摩擦の影響が著しく大きいと考えられる。なぜなら、巻取り位置から近い順に平面把持力が大きいという結果は、糸の巻取

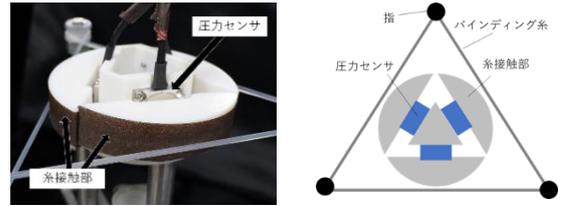


図4 実機計測のシステム構成
(a): 計測器 (b): モデル図

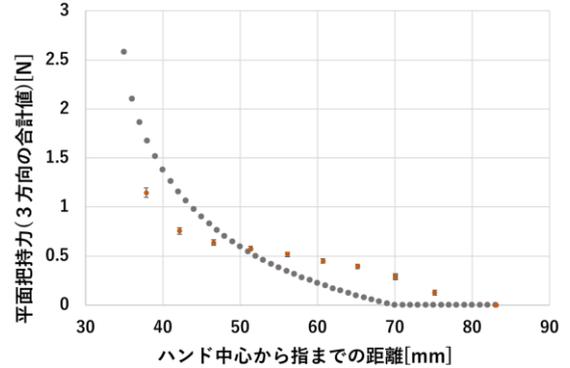


図5 計測結果①: 平面把持力の総和

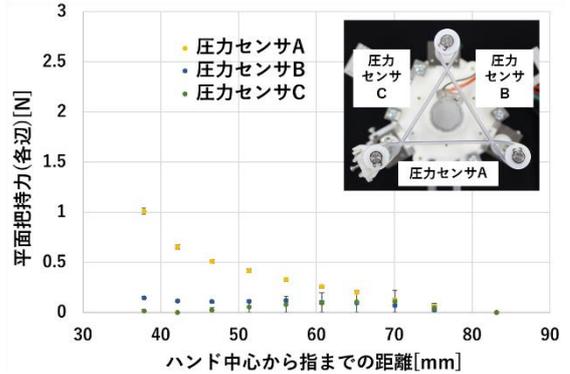


図6 計測結果②: 各辺の平面把持力

りが指の摩擦に阻害された場合に一致するためである。よって、プーリでの柔軟な弾性糸の伝達は、糸張力を不安定化させることが分かった。

4. 結言

指・バインディング糸連動機構を考慮した平面把持力モデルについて、シミュレーションと実機計測の比較を行った。実機計測では、摩擦の影響で各辺の平面把持力にばらつきがあった。これは、弾性糸と指、計測器の間の摩擦が影響していると言える。今後はプーリを使わず弾性糸の両端を固定した機体の1辺を模した実験器を作成し、そこで計測した平面把持力をシミュレーションと重ね、整合性を確かめる。

参考文献

- [1] Okada Ikumi, Wang Zhongkui, Hirai Shinichi: "Gripping Force Modeling of a Binding Hand", 2019 IEEE International Conference on Soft Robotics, WeAT1.5, 2019.
- [2] 岡田育実、平井慎一: "指・バインディング□連動ロボットハンドにおけるバインディング□の特性評価", ロボティクスメカトロニクス講演会 2018, 1P2-I11, 2018.