

外部との接触によるロック機構を用いた 多関節指ロボットグリッパの開発

○ 名手 一生 (立命館大) 王 忠奎 (立命館大) 平井 慎一 (立命館大)

1. 緒言

近年のロボットの普及に伴い、多種多様なロボットグリッパが開発されている。その駆動原理はモータ駆動や空気圧駆動をはじめとし、多岐にわたる [1], [2]。しかし、これらはロボットアームとは別に、モータやコンプレッサなどのアクチュエータを必要とし、追加のコストを要する。また、付け替えが煩雑であり専門的な知識を要する場合もある。そこで本研究では、指にロック機構をもち、グリッパ自体にアクチュエータを必要としないグリッパを考案した。指のロック、ロックの解除はともに地面との接触を利用して行われる。このグリッパの設計方法を確立するため、変形形状のモデリングと実験検証を行った。



図1: ロック式グリッパ

2. ロック式グリッパ

2.1 グリッパの特徴

本研究で開発されたグリッパは、複数指の多関節グリッパである。開発したグリッパを図1に示す。各指は図2a, 2bで示す部品から構成される。部品を連結してつくられる指を図2cに示す。指の内側には図2dで示すプレートが通っている。最大の特徴は、グリッパにアクチュエータを搭載しないことである。グリッパの開閉動作には、ロボットアームによるエネルギーを利用する。図3で示すように、本グリッパは地面に圧迫されて変形すると、指の関節とプレートの曲率半径の違いから、プレートが相対的に前進する。この関係を用い、ロック機能とロック解除機能を同時に実現している。アクチュエータの削減から、ロボットグリッパの低コスト化や、導入の促進が期待される。また、本グリッパは地面との接触が前提である。そのため従来のグリッパのように、地面との接触による破損を危惧する必要がない。さらに、物体の下に指を潜り込ませて把持するため、軟体物などの把持への適応も期待される。

2.2 ロックをかける原理

ロック機構は各指に存在し、プレートと指の先端のパーツとの接触で機能する。指の先端のパーツには図2eに示すように2種類の突起、突起A、突起Bが存在する。図4a, 4b, 4cではロックが機能する原理を示す。グリッパを降下させ指の先端が地面に接触すると、図4aに示すように指の先端のパーツが内側に屈曲する。突起Aはプレートの円形の穴と重なりプレートと接触しないため、プレートの先端は突起Bよりも外側に位置する。さらにグリッパを降下させプレートが前進した状態を図4bで示す。この状態では、突起Aはプレートと接触する。しかし、図4bのプレートと突起Bの位置関係より、プレートは湾曲しながら突起Bに乗り上げる。さらにグリッパを降下させた状態を図4cに示

す。この状態では突起Aがプレートの四角形の穴にはまり、ロックが機能する。ロック状態ではプレートは後退しないため、指にかかる荷重によって関節が伸展することはない。

2.3 ロックを解除する原理

ロックの解除は、ロックが機能した状態からさらに変形が進行すると機能する。図4d, 4e, 4fではロックが解除される原理を示す。ロックが機能した状態では、突起Aの形状からプレートは後退しないが前進は可能である。ロックが機能した状態からさらにプレートが前進した状態を図4dに示す。突起Aは再びプレートと接触し、プレートは突起Aから右向きの力を受ける。図4eは図4dの状態からわずかにプレートが前進した状態で、グリッパの最下点である。この状態が、突起Bがプレートの円形の穴と重なっている。プレートは突起Aから右向きの力を受けているため、プレートは突起Bにはまる。これ以降はグリッパを上昇させる。プレートが後退し、突起Aとプレートの四角形の穴が重なっている状態を図4fに示す。この状態では、プレートの先端部が突起Bより右側にあるため、突起Aはプレートの四角い穴にはまらない。そのためプレートは、ロックを機能させることなく後退することができる。

3. 変形形状のモデリング

3.1 モデリング

指の内側にはプレートが通っており、指が地面と接触するとプレートは屈曲する。そのため、各関節の屈曲角度はプレートの復元力により一意に定まる。本研究では、図5に示すように各関節に回転ばねが存在すると仮定して、指が地面と接触した際の指の変形形状

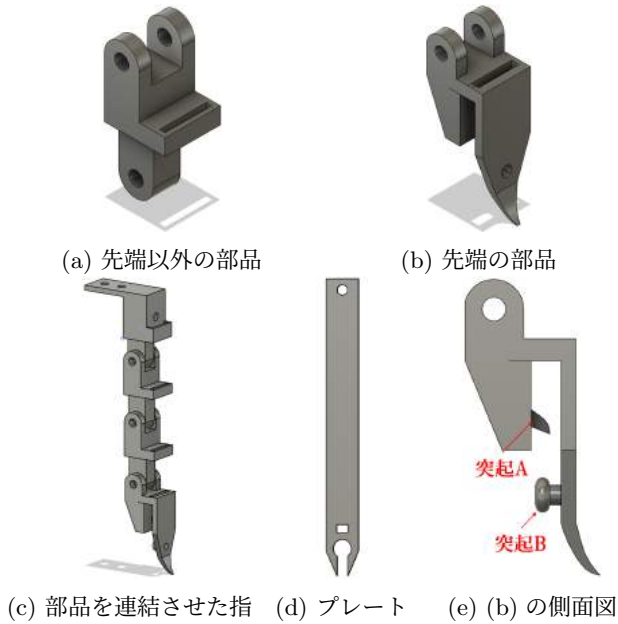


図2: 指を構成する部品

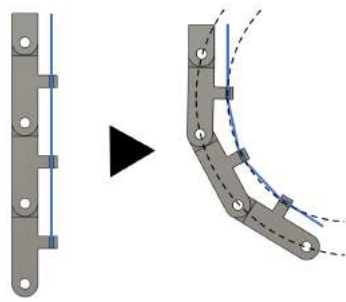


図3: 指とプレートの曲率の関係

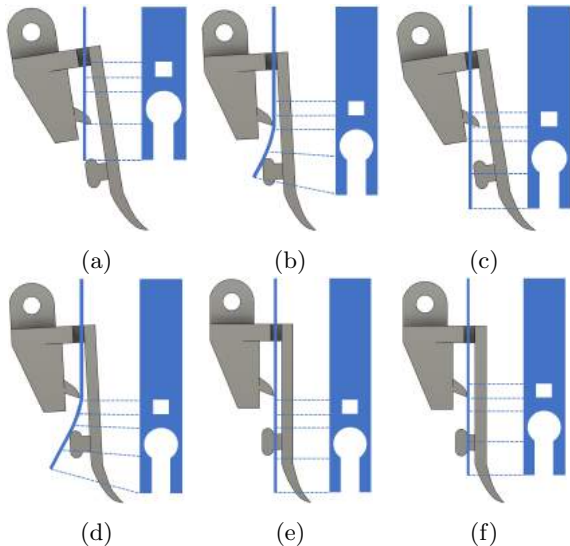


図4: ロック機構の原理

を計算する。

関節間の距離を l 、関節の数を n 、 n 番目の関節の回転角度を θ_n 、ばね係数を k 、指の変形によって蓄えら

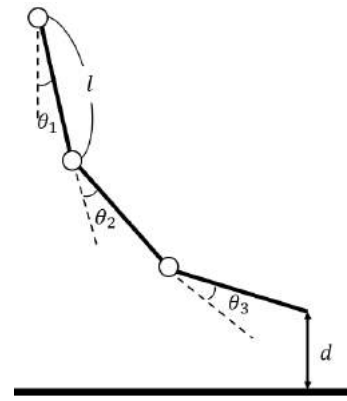


図5: 指のモデル

れるエネルギーを E とする。すると、

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n k \theta_k^2 \quad (1)$$

指の先端が地面に接触してから降下した距離を d とすると、

$$d = nl - \sum_{i=1}^n \cos \left(\sum_{j=1}^i \theta_j \right) \quad (2)$$

と表現できる。このとき式 (2) の条件のもと、 E が最小となる θ を求めることで、変形形状を計算する。

3.2 シミュレーション結果

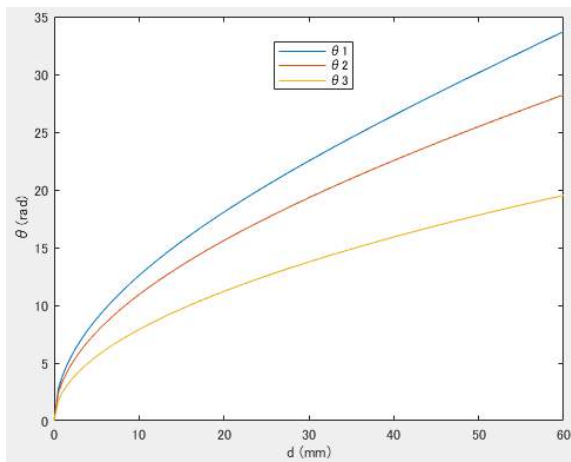
本研究で作成されたハンドは $l = 25 \text{ mm}$ 、 $n = 3$ である。これらを代入し、 d を段階的に変化させたときの θ の計算結果を図 6a に示す。また、指の変形形状のシミュレーション結果を図 6b に示す。

3.3 実験検証

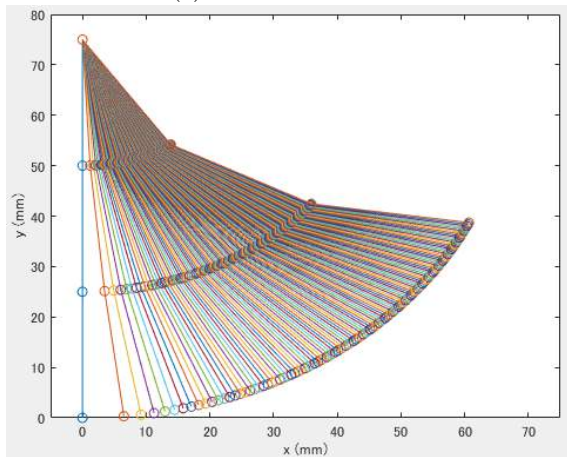
実際の指の各関節の回転角度を計測するために、指の変形状態をカメラで撮影し、各関節の回転角度を画像のピクセル座標から計算した。図 7 に示すように、指が地面に接した状態から 10 mm ずつ降下させ 6 枚の画像を撮影した。このとき、 $d = 60 \text{ mm}$ でロックが機能した。計算結果のグラフを図 8a に、理論値と比較したグラフを図 8b に示す。図 8b より、 $d < 40$ では実測値と理論値が大きく異なる。しかし、 $d \geq 40$ では比較的誤差が小さい。この原因は、 $d < 40$ ではプレートに外力が働いているためである。図 4b の状態がこれに相当する。よって、 $d \geq 40$ では上記のモデルが適用できるが、 $d < 40$ では適していない。

4. 結言

本論文では、グリッパの開閉にアクチュエータを必要としないロック式グリッパを提案した。地面との接触を利用することで、ロックとロックの解除を同時に実現した。指の変形形状は弾性変形をとまなうプレートによって規定される。本研究では、プレートを回転ばねで近似することで、変形形状を計算した。今後の研究では、指に荷重がかかった状態の変形形状を計測し、実用的なグリッパの設計を行う。

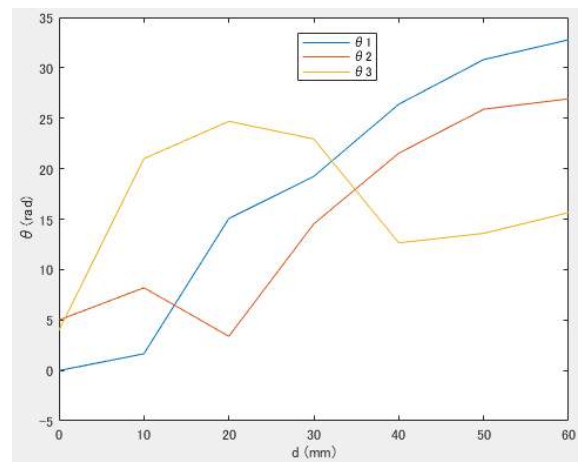


(a) 各関節の回転角度

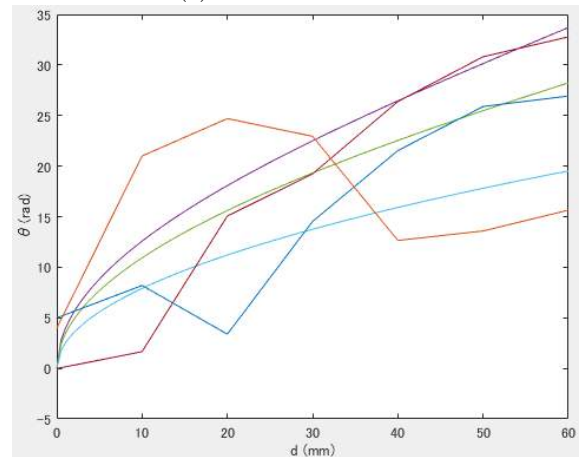


(b) 指の変形形状

図 6: 指の変形シミュレーション



(a) 各関節の回転角度



(b) シミュレーションとの比較

図 8: 実際の回転角度

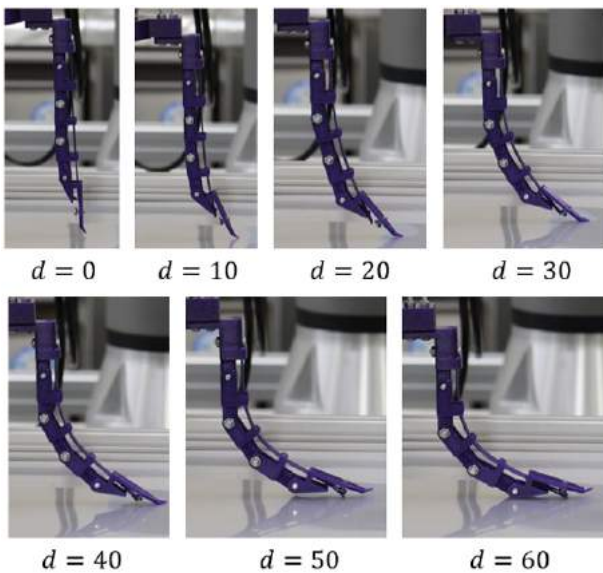


図 7: 指の変形画像

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] 小澤隆太: “ワイヤ駆動ロボットハンド”, 日本ロボット学会誌, vol. 39, no. 9, pp. 819–822, 2021.
- [2] 平井慎一: “食品ハンドリング用ロボットハンド”, 計測と制御, vol. 56, no. 10, pp. 787–791, 2017.

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