

# ロボットハンドの関節構造の改良

北海道札幌啓成高等学校 理数科（2021年入学）4班

小谷松楓 今野華凜 榊山愛奈 来都優美

This study is based on prior research conducted by senior researchers on the development of robotic hands. Considering the increasing demand for humanoid robots in medical and industrial fields, design improvements were made with the aim of broader practical applications. A finger model mimicking the structure of the human finger was created, and the effects of different joint designs on flexion and extension movements were examined. Experimental results showed that joint structures connected by interlocking mechanical parts without the use of magnets exhibited superior stability and durability, making them suitable for a wide range of applications.

キーワード：ロボットハンド、ヒューマノイドロボット、3Dプリンター、球関節

## ○目次

- ・序論
- ・実験方法
- ・結果
- ・考察
- ・結論、今後の展望
- ・まとめ
- ・謝辞
- ・引用文献

## 1. 序論（はじめに）

### 1.1 研究の背景

現在、ヒューマノイドロボットは世界中で急速に研究開発が進んでおり、災害現場での救助活動や危険区域での作業、宇宙空間での探査・メンテナンス、さらには医療・介護の分野に至るまで、さまざまな場面での活用が期待され注目を集めている。また、エンターテインメントや教育、サービス業など、人と直接関わる領域においてもそのニーズは高まっており、日本ではレジの案内係やホテルのフロント業務など、接客業への導入が進んでいるのが現状である。このような背景から、より人間に近い自然な動作や機能を実現することが求められており、その一環として人間の骨格や筋肉の構造を模倣したリアルなロボットハンドの開発は重要なテーマとなっている。本校の理数科の先輩が取り組んだ『人体模倣を取り入れた簡易な筋骨格ヒューマノイドの開発』という先行研究から大きな影響を受け、私たちもこの分野に可能性を感じ、ロボットハンドの改良と応用についての研究を開始するに至った。

### 1.2 研究の目的

私たちは、人間の手の構造にできるだけ近づけたロボットハンドを開発することで、医療分野や産業分野をはじめとする多様な現場での需

要に応えられるのではないかと考えた。特に医療分野では、手術支援ロボットやリハビリテーション機器などにおいて、より人間らしい繊細な動作を実現することが求められており、産業分野でも複雑な作業を自動化する上でロボットハンドの高性能化は不可欠である。先輩の先行研究では、安価な材料を用いて誰でも製作可能なロボットハンドの開発を目指していたが、指の動作範囲が限られるといった課題が残されていた。そこで私たちは、この課題を解決し、さらに実用化に向けて幅広い分野で活用できるようにするため、指の関節構造や可動域の拡大、耐久性の向上など、ロボットハンドの動作性能と信頼性をより高めることを目的として研究を進めることとした。

### 1.3 着眼点

先行研究では、主にプラ板や厚紙など身近で安価に入手できる材料のみを用いてロボットハンドが作成されていたため、比較的簡単に製作できる一方で、強度や耐久性の面においては課題が残っていた。そこで私たちは、より実用性を高めるために3Dプリンターを活用し、部品の精度を上げるとともに、強度や安定性を向上させたロボットハンドの製作に取り組むことにした。また、指の動作範囲が限られてしまうという従来の問題点に着目し、人間の指に近い自然な動きを実現するためには、関節部分の構造が重要であると考えた。特に関節部の自由度を確保することが柔軟な屈曲・伸展動作につながると仮定し、関節部に球関節を採用することで、従来よりも滑らかで多方向の動きを可能にできないかを検証することを着眼点とした。これにより、より実用的で多様な作業に対応できるロボットハンドの設計を目指した。

## 2. 実験方法と結果

## 2.1 実験①

### 2.1.1 方法

はじめに、手指の形を模倣するために独自で測定した指の各関節間の比率に基づき、指の第一、第二、第三関節に分けて指の模型を作成した。関節部分には凹凸構造を設け、少ない部品数で組み立て可能な構造とした。また、人間に近い指の曲げ伸ばしの動作を再現するため、腱の役割を担う糸を通す糸穴を設けた。なお、糸の操作は人の手で行った。



写真 1. 関節の凹凸構造

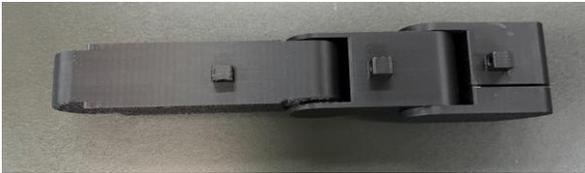


写真 2. 最小の部品数で作成した指

### 2.1.2 結果

3D デザインの段階から、関節の凹凸構造に工夫をして噛み合わせることで、部品を確実に固定でき、折り曲げられるようになった。また糸の接続部分を設けることによって糸による動作を可能にした。また関節ごとの太さが変わっている。

## 2.2 実験②

### 2.2.1 方法

次に指の動作の自由度を上げるために、関節構造を変更し、ボールジョイントを用いた球関節にした。ただし、ここではボールジョイントを再現するために直径 6mm の円柱状のネオジウム磁石と鉄球を磁力によって接続する構造とした。模型の設計は写真 1 とは異なり、磁石がはまる穴を関節の間に作り、接着剤を用いて磁石を固定した。また、指の側面にテープを使用し動作に一定の制限をつけた。実験①と同様に糸による操作を可能にした。そして、第一、第二、第三関節の比率を全て統一し、全体的な指の大きさを実験①よりも約 5cm 小さく設計した。



写真 3. 球関節を用いた指と関節部分

### 2.2.2 結果

すべての関節に球を使うと、指全体の質量が大きくなった。さらに、磁石は関節の凹部にしっかりと固定しないと、磁石同士がくっついてしまい、磁石で挟んでいた球体が外れてしまった。

## 2.3 実験③

### 2.3.1 方法

実験②で作成した指をより曲げ伸ばししやすくするため、鉄球を取り外し、ネオジウム磁石のみで関節を接続する構造とした。さらに、曲げるときに部品同士が干渉してうまく動作しなくなることを防ぐために、干渉部分を糸のこで削り落とした。また、糸を通すためにストローで糸穴を作成した。



写真 4. 磁石のみで接続した指

### 2.3.2 結果

関節を磁石のみで構成することで、より単純な構造で曲げ伸ばしが容易に行えるようになったが、人間のような滑らかな動きは再現できなかった。

## 2.4 完成品の作成

### 2.4.1 方法

実験①～③の結果から比較的容易に作成可能であった実験③の指を用いて、3D プリンターで作成した手のひらと接続した。また、指の可動域を広げるため、手のひらと指の間の関節にのみ鉄球を用いた。さらに、指の重さで手のひらとの接続部が外れないように、ゴムと紙粘土を

手の筋肉に見立て、補強材として使用した。なお、薬指と小指は紙粘土で模型を作成した。



写真 5. 完成品

#### 2.4.2 結果

時間的制約により親指の作成を行えなかったため、物体を掴むことはできなかった。だが、人指指と中指は同時に動かすことができたため、親指を作成することで、軽量の物体であれば掴めると考えられる。

#### 3. 考察

本研究では、物体を掴むことは実現できず動作のみの考察にとどまったため、手のひら全体の動作ではなく指のみでの動作に着目して考察を行う。実験①～③にかけて、関節部分の構造を簡略化することができたが、実験①のように複雑な構造の方が指の曲げ伸ばしをより滑らかに行うことができると考える。しかし、第三関節の接続が糸だけでは鉄球を使っての動作や固定が困難になり、安定性に欠けてしまう。また関節ごとの太さが変わってしまい、小型化するには困難になると考えられる。

すべての関節に鉄球を使うことによって、鉄球の重さで指の関節が過度に曲がってしまい、伸ばすことが難しくなった。このことから、関節の可動範囲の制限が困難になってしまうことがわかった。したがって、鉄球と磁石の使用方法を考え直す必要があると思われる。以上から、第三関節にのみ球体を使い、第一・第二関節には磁石を用いる構造とすることによってロボットハンドの安定性が向上すると考えられる。

#### 4. 結論・今後の展望

実験②、③のような磁石を使ったロボットハンドの構造では医療現場などでは使用にリスクが伴う場合もあると考えられる。そのため、実

験①のような滑らかに動かすことができ、丈夫で安全なものの方が多様な分野で活用できるロボットハンドが作成できると考えられる。今後は、母指の構造を確定させ、関節部の強度を向上するために接着方法などを再検討していきたい。

#### 5. まとめ

近年のヒューマノイドロボットの需要の高まりを背景に、本研究では先行研究で作成されたロボットハンドを医療や産業などの分野で活用できるように改良することを目的としていた。そこで、人間の指の構造を模倣した指の模型を作成し、関節構造の違いによる曲げ伸ばしの動作の変化について検討した。

実験を通じて、関節部の構造を段階的に簡略化しつつ、動作を滑らかにするための設計を行った。これにより、磁石のみを用いた関節構造はシンプルで動作も可能であることが確認されたが、人間の指のような滑らかな動きの再現には限界があることが明らかとなった。さらに、磁石の使用は医療現場などでの分野で活用するには安全面に課題があり、実用性に欠けることが示された。

一方で、構造は複雑であるが、動作の安定性や耐久性に優れた実験①の指の方が、多様な分野での応用に適しているとわかった。また、関節の構造は指の可動範囲や安定性、強度に大きな影響があることも確認された。今後は、親指の追加やモーターなどによる自動制御機構の導入を通じて、より実用的で高性能なロボットハンドの開発を目指していく。

#### 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、先田先生をはじめ、多くの先生方にご指導をいただきましたことに心より感謝申し上げます。

#### 7. 参考文献

- (1) 札幌啓成高校理数科 (2017 年入学) 「人体模倣を取り入れた簡易な筋骨格ヒューマノイドロボットの開発」