

## 3本指を有するマジックハンド型器具の開発

### Development of magic hand type instrument with three fingers

○竹政昂輝\*, 高橋和孝\*\*, 南斉俊佑\*, 星崎みどり\*, 清水宏明\*, 長縄明大\*

○Koki Takemasa\*, Masataka Takahashi\*\*, Shunsuke Nansai\*  
Midori Hoshizaki\*, Hiroaki Shimizu\*, Akihiro Naganawa\*

\*秋田大学, \*\*秋田県立循環器・脳脊髄センター

\*Akita University, \*\*Akita Cerebrospinal and Cardiovascular Center

キーワード: マジックハンド型器具 (magic-hand) 手術器具 (surgical instrument)  
リンク機構 (linkage mechanism) 変位縮小 (displacement reduction)

連絡先: 〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院理工学研究科  
長縄 明大, Tel.: (018)-889-2726 E-mail: naganawa@gipc.akita-u.ac.jp

## 1. 緒言

近年, 医療分野においては, ロボット技術や情報技術等を導入した医工連携によるものづくりも増えており, より付加価値のある機器の開発・設計が行われている<sup>1)</sup>. 特に, 患者の負担を軽減する低侵襲や非侵襲というワードに着目し, 機器・器具開発が行われており, 低侵襲の手術用ロボットにおいては, マニピュレータの径を細くしたり, 多自由度化を実現するための研究が進められている<sup>2)</sup>. これらの機器や器具においては, ワイヤで駆動するか, あるいはリンクで駆動するかに分けることができるが, リンク駆動の方が動作の再現性や剛性, 耐久性が高いことが利点として挙げられ, 従来脳外科用手術器具もリンク駆動に位置づけられるものが多い<sup>3)</sup>.

脳神経外科領域の手術器具は, マイクロ持針器やバイポーラ鑷子といった器具が用いられているが, これらは2本指に相当するものであり,

組織や針, ガーゼ等を把持することが目的となっている. その一方で, 人間の手のように3本指以上で屈曲・伸展や内転・外転の動作を実現できる器具があれば, 器具先端部で組織の把持・切開等が行えるようになり, 手術効率を向上することができ, さらに, 2本指の器具より安定的に物体を把持することができるようになると考えられる.

著者らは, ヒトの指で駆動する多指多関節ハンドの開発を進めている<sup>4)</sup>. その特徴は, 手術現場において生体組織を把持した際の触覚を得るため, モータ等の電気的要素を用いることなく, リンク機構のみで駆動する点にあり, 術者の指の動きに同調してハンド先端部を操作することができるマジックハンド型の器具であることである. 本研究では, 先行研究<sup>4)</sup>の結果を踏まえ, 3本指のマジックハンド型器具において, リンク機構や把持部の見直し, さらに, 力の伝達特性等の評価を行ったため, その結果について報告する.

## 2. マジックハンド型器具の概要

### 2.1 設計コンセプト

Fig. 1 にマジックハンド型器具の概要を、また、Table 1 に設計したマジックハンド型器具の寸法を示す。本研究では、親指、人差し指、中指の3本指で操作することができる器具について検討する。マジックハンド型器具は、術者の操作部、および操作の様子を伝達するシャフト、対象物体を把持する把持部で構成され、ハンドを動かす際には、操作部のリングに指を入れ、指を屈曲・伸展させて操作する。

Fig. 2 に各関節の名称を示す。物体を把持等するときには、ハンドは屈曲・伸展動作を行うが、器具に反映させる関節をMP関節、PIP関節の2つに制限する。その理由は、PIP関節とDIP関節は独立して屈曲・伸展を行うことができず、一連の動作として作用するためである。なお、MP関節は屈曲・伸展方向と内転・外転方向の2自由度、PIP関節は屈曲・伸展方向の1自由度とした。屈曲・伸展を行うことで、把持部も同調して動き、術者が意図した指の動きをマジックハンド型器具の先端で再現することが可能である。把持したい場合は屈曲、離したい場合には伸展を行うことで直感的に操作することができる。なお、本研究では、ハンドの設計は3次元CADを用い、また、部品の造形は3Dプリンタを用いて作成した。

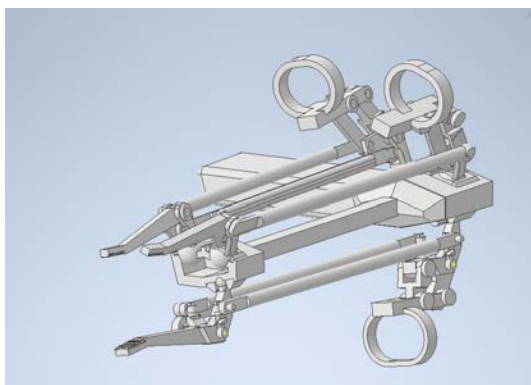


Fig. 1 マジックハンド型器具の概要

Table 1 マジックハンド型器具の寸法

全長	175mm	
	把持部	操作部
指先から IP 関節	42mm	30mm
IP 関節から MP 関節	12mm	32mm



Fig. 2 各関節の名称

### 2.2 動作原理

本研究では、マジックハンド型器具の操作は、リンク機構を用いて行えるよう設計した。その結果、平行リンク機構を各関節に用いることで、それぞれ独立した動きを可能にしている。

Fig. 3 にMP関節の動作原理を示す。図に示すように、青色の平行リンク機構を用いて屈曲・伸展動作を行うことで、把持部も同じ変位だけ動作させることができる。

Fig. 4 にPIP関節の動作原理を示す。図に示すように、黄色の平行リンク機構を用いて屈曲・伸展動作を行うことで、把持部も同じ変位だけ動作させることができる。このとき、操作部の平行リンク機構でPIP関節の屈曲・伸展動作を伝えることができる。その後、操作部と把持部をつなぐ平行リンク機構が駆動することで、把持部にも同じ動作を伝達させることができる。このようにして、術者の指に対して把持部が微小空間でも同様な動きを可能にしている。

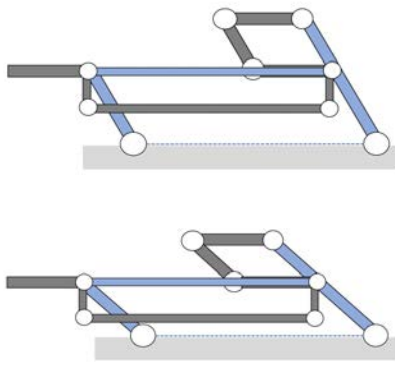


Fig. 3 MP 関節の動作原理

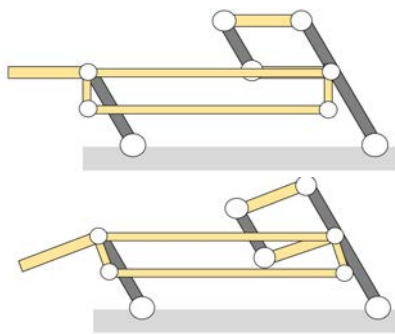


Fig. 4 PIP 関節の動作原理

## 2.3 要求仕様

マジックハンド型器具の各指において要求される仕様を以下に示す。

### 2.3.1 人差し指と中指の要求仕様

人間の指の場合、人差し指の MP 関節の屈曲可能角度は 70 度、伸展可能角度は 40 度である。また、中指の MP 関節の屈曲可能角度は 80 度、伸展可能角度 55 度である。しかし、MP 関節の自動的な伸展可能角度は 0 度であり、自ら大きく動かすことはできない。また、PIP 関節の屈曲可能角度は各指ともに 100 度、伸展可能角度は 0 度である。さらに、内転外転については、人差し指は 30 度で、中指は 5 度である<sup>5)</sup>。マジックハンド型器具の装着時は、PIP 関節を 45 度屈曲した状態を想定している。一方、マジックハンド型器具のハンド先端部は、微小空間への侵

入を想定しているため、ハンドの各指同士の距離は小さくなることに加え、把持する対象物は、10 mm 以下と設定して設計をしているため、屈曲可能角度は各関節 45 度、伸展可能角度は 5 度再現できれば把持は可能である。内転・外転については、指を軽く広げた状態で装着するため、各 5 度を可動するよう設計する。

### 2.3.2 親指の要求仕様

人間の指の場合、親指の MP 関節の屈曲可能角度は 60 度、伸展可能角度は 10 度である。また、IP 関節の屈曲可能角度は 80 度、伸展可能角度は 10 度である。親指については、CM 関節と呼ばれる、第 1 手根中手関節での可動域を再現することが有用である。親指が手のひらに近づく運動が屈曲、離れる運動が伸展となるが、屈曲、伸展可能角度はともに 50 度である<sup>5)</sup>。人差し指および中指の条件と同様に設計するため、屈曲可能角度は 45 度、伸展可能角度は 5 度を要求する仕様とする。CM 関節は装着時から屈曲可能角度を 10 度、伸展可能角度を 20 度とする。

## 3. 動作検証

作成したマジックハンド型器具の概要を Fig. 5 に示す。作成したマジックハンド型器具の各関節の、操作角度に対する変位角度を調べる。

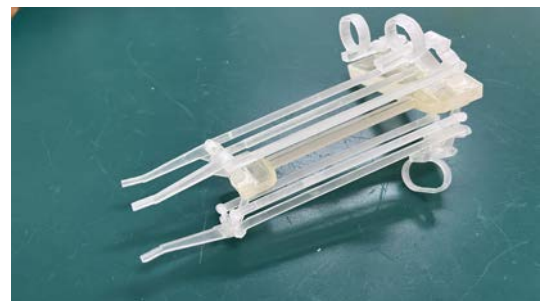


Fig. 5 作成したマジックハンド型器具の概要

### 3.1 人差し指, 中指の変位角度

設計製作したマジックハンド型器具の各関節の変位角度の動作検証を行った。Fig. 6 に人差し指と中指の MP 関節の屈曲・伸展の様子を示す。Fig. 6 の下図に MP 関節を屈曲した後の様子を示しており、MP 関節の屈曲可能角度は、装着時から 20 度、伸展可能角度は、装着時から 5 度である。

Fig. 7 に、人差し指と中指の PIP 関節の屈曲・伸展の様子を示す。Fig. 7 の下図に PIP 関節を屈曲した後の様子を示しており、PIP 関節の屈曲可能角度は、装着時から 45 度、伸展可能角度は、装着時から 15 度である。屈曲・伸展を行う際に同じ角度の変位を確保することができる。内転・外転についても同様に Fig. 8 に示すように、操作した角度分、把持部でも動作していることが確認できる。なお、内転外転可能角度は各 5 度であった。要求仕様は、屈曲可能角度は各関節 45 度、伸展可能角度は 5 度としていたため、MP 関節以外は条件を満たしていた。また、内転・外転についても要求角度を満たしていたが、MP 関節の可動域をより大きくするためには、干渉箇所、動作範囲の確保などが挙げられる。

Table 1 に示したように、MP 関節から PIP 関節の長さを 3 分の 1 程度に縮小している。このため、人間の指では侵入することのできない微細な空間へ、マジックハンド型器具を挿入して、対象物を把持することができる。なお、現在は、3 分の 1 程度であるが、より縮小することで微小空間での手術にも対応することが可能である。

### 3.2 親指の変位角度

Fig. 9 に、親指の MP 関節の屈曲・伸展の様子を示す。Fig. 9 の下図に MP 関節を屈曲した後の様子を示しており、MP 関節の屈曲可能角度は、装着時から 20 度、伸展可能角度は、装着

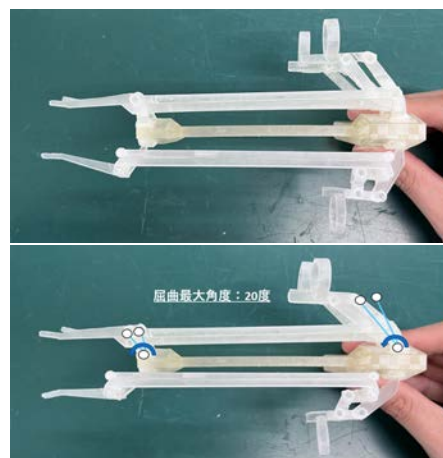


Fig. 6 MP の屈曲伸展の様子

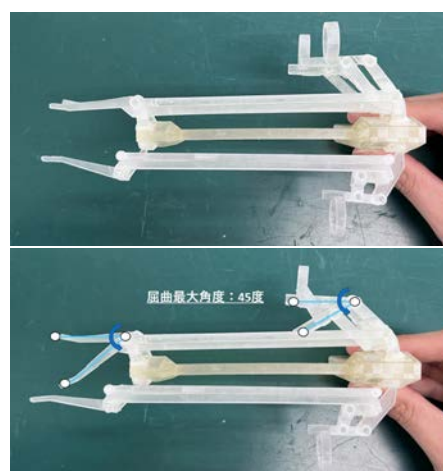


Fig. 7 PIP の屈曲伸展の様子

時から 0 度である。

Fig. 10 に、親指の PIP 関節の屈曲伸展の様子を示す。Fig. 10 の下図に MP 関節を屈曲した後の様子を示しており、IP 関節の屈曲可能角度は、装着時から 20 度、伸展可能角度は、装着時から 15 度である。MP 関節、IP 関節ともに、操作側の変位角度をハンド先端でも再現できている。CM 関節の動作も同様に Fig. 11 に示すように、20 度の屈曲伸展が可能である。MP 関節において、可動域が小さく評価された。ボールジョイントの接合部および、シャフトの干渉による原因だと考える。マジックハンド型器具の周囲の大きさを小さくして、器具自体をスリム化する必要があるが、可動域の確保のためにも、平行リンク機構の配置位置の再検討をする。



Fig. 8 MPの内転外転の様子

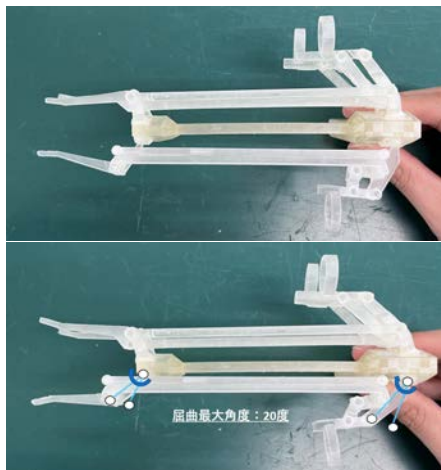


Fig. 9 親指のMPの屈曲伸展の様子

CM関節の屈曲伸展については、要求仕様を満たすことができた。屈曲については、10度大きく可動してしまったため、動作範囲に制限を設けた設計をする必要がある。また、術中に器具の大きな遊びを生じてしまうことも、手術効率の妨げとなるため、改良する必要がある。

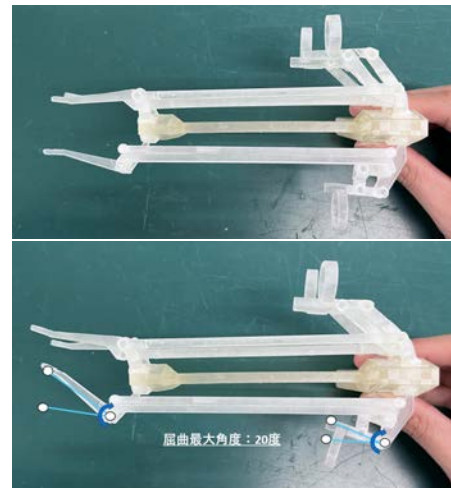


Fig. 10 親指のIPの屈曲伸展の様子

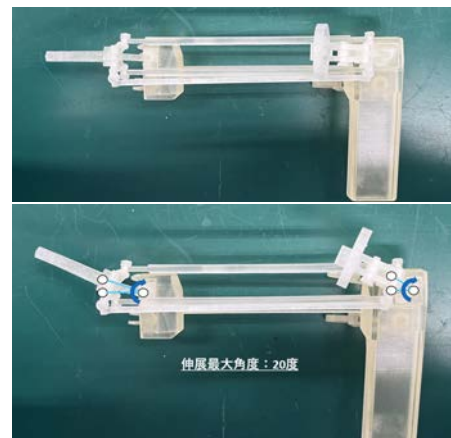


Fig. 11 親指のCMの屈曲伸展の様子

### 3.3 把持力の測定

設計製作したマジックハンド型器具の把持力を測定した。人間の指の操作力は力センサにより測定し、また、マジックハンド型器具の発生力はフォースゲージにより測定した。Table 2に主な使用センサを示す。なお、力センサは、アンプと評価基盤を介してPCに接続され、印加される力を記録する。同様に、フォースゲージもPCに接続し、印加される力を記録する。Fig. 12に実験の様子を示す。

#### 3.3.1 操作力、発生力の測定

Fig. 13に人差し指（あるいは中指）における測定結果を、また、Fig. 14に親指における測

Table 2 装置構成

No.	品名
1	ショックセンサ T07S1-WM155-X1-P2A (タッチエンス (株))
2	力センサ ZTA-20N (イマダ (株))
3	PC SG100E (EPSON)



Fig. 12 実験の様子

定結果を示す。発生力は、操作力と比較し減衰して測定された。これは、力を伝達するシャフトのたわみによるもの、また、各パーツ同士の接合にゆらみが出ていることが原因として考えられる。術中を想定したときに、強い力ではなく、微細な力を加える必要があることから、力を伝達するシャフトの剛性を強くしすぎる必要はなく、微小な力で操作しているときにたわみが生じない剛性にとどめる程度で十分である。しかし、微細な力で操作した時にも力の損失が出ていることから、力の伝達ロスの原因を解明し、操作力に近い、力を出力させる必要がある、3D プリンタの精度上、パーツ同士の多少のクリアランスが生じる。リンク機構の動作時にクリアランスがあると、生じている隙間分の伝達ロスが生じ、力の損失も生まれてしまう。パーツ同士のクリアランスをごく微小なものにし、かつ摩擦も最小限に抑えた設計をすることが必要である。また、平行リンク機構の力のかかる向

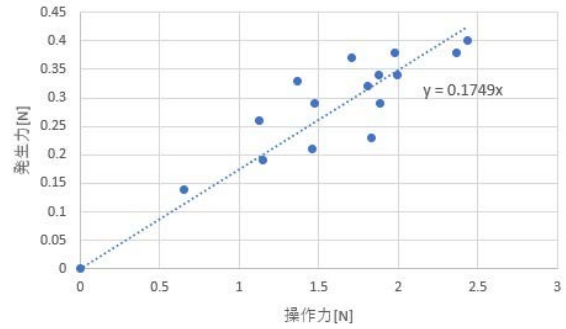


Fig. 13 操作力と発生力の関係

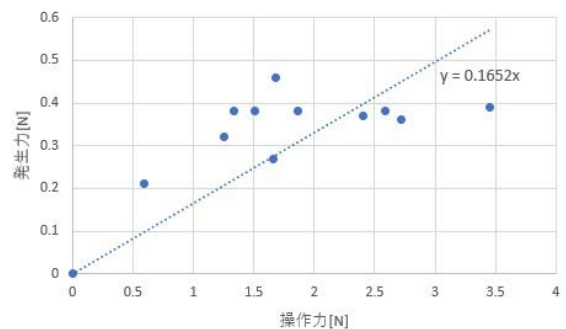


Fig. 14 親指における操作力と発生力の関係

きに対しての面積が小さいことも原因として挙げられる。今後は、リンク機構にかかる力を分析し、パーツの寸法の変更も行い、力の伝達ロスを軽減する設計を行う予定である。

#### 4. 結言

本研究では、マジックハンド型器具の設計および評価を行った。各関節の可動域は、想定した可動域にほぼ到達していたため、人間の指の動きを再現することが可能であり、同調した動きを実現することができる。しかし、力の損失が、マジックハンド型器具の把持部で起きているため、設計時の改良、3D プリンタで用いる材料の検討を行い、必要十分な力を発生させることのできるハンドを製作し、術者の操作性の向上や手術作業の効率化を図ることができる器具を設計する予定である。

## 参考文献

- 1) T. Goto, et al.: Clinical application of robotic telemanipulation system in neurosurgery, J.Neurosurgery, pp.1082-1084(2003)
- 2) 只野耕太郎, 住野亘, 川嶋健嗣: 空気圧駆動を用いた力覚提示機能を有する多自由度鉗子の開発: 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.5, pp.538-545(2009)
- 3) 山下紘正, 金大永, 波多伸彦, 土肥健純: 多節スライダ・リンク機構を用いた腹部外科手術鉗子マニピュレータの開発, J JSCAS, vol.5, no.4, pp. 421-427(2003)
- 4) 杉山達央, 高橋和孝, 清水宏明, 長縄明大: ヒトの指で駆動する多指多関節ハンドの開発, 第55回日本生体医工学会東北支部大会講演論文集, pp. 9(2021)
- 5) 朝倉誠造: 手の百科事典, 朝倉書店, pp18-19(2017)