

ワイヤ・プーリ駆動ハンドの開発

大塚 彰 辻 敏夫 武田 幹雄 坂 和正 敏

ワイヤ・プーリ駆動ハンドの開発

大塚 彰¹⁾ 辻 敏夫²⁾ 武田 幹雄³⁾ 坂 和正 敏²⁾

キーワード 前腕切断, 体外力源能動義肢ハンド, ワイヤ・プーリ機構

抄録

義手のハンドの指関節を屈曲・伸展させるための制御にワイヤ・プーリ駆動方式を採用した電動義肢手先具を開発した。指関節の駆動機構としては、2関節同時駆動とし、示指から小指までの多指駆動を行えるようにした。これらの駆動機構の結果、異径断面物の把持が可能となり、人の把持形態に近い物の握りを行える。この際の特徴は、1個の動力力源で、従来の指1本に対して1個の動力力源で制御するハンドに近似する機能を与えた点にある。さらに、ワイヤ・プーリ駆動により、人の手の他動的な柔らかさを表現することができた。

1. はじめに

義手のハンドおよび産業用ロボットハンドは、いずれも人の上肢（とくに、手部）の代用として開発されるものである。しかし、その使用目的の違いにより、機能・形状・重量・機械特性などの性格は異なる。

とくに、上肢義肢は、使用する上肢切断者の欠損した手の補填として使用されるため、とりわけ人に似た機能・形態が求められる。

義手、とくに、外力駆動義手のハンドに要求される開発課題は、①機能性、②軽量化、の2点に加えて、③装飾性が挙げられる。

本稿においては、相反する機能性と軽量化（換言すれば、高機能を求めれば重量は必然的に大き

くなる）に主眼を置いた開発につき、述べていく。

著者らは、1998年第14回日本義肢装具学会において、指の屈曲の制御にワイヤ・プーリを使用し、伸展に戻りバネを使用した試作電動ハンドを紹介した¹⁾。

このハンドは、示指から小指の4指を1個のモータにより駆動し、把持対象物の外形にならった異径物把持機能を有し、無駆動時における各指の機械的な柔らかさ、換言すれば他動的な柔らかさ（物にまたは物が当たった時に指の関節が動く）などの特徴を持つものであった。しかし、制御性の不良、外観の不適切性、1kgという重量面などの問題があった。

そこで、今回、これらの長所を継承しながら問

2000年9月6日受付

Development of externally powered prosthetic hand with a wire-pulley drive

1) 広島県立保健福祉大学理学療法学科 〒723-0053 三原市学園町1-1

Department of Physical Therapy, Hiroshima Prefectural College of Health Science

1-1 Gakuen-machi, Mihara-shi, Hiroshima, 723-0053 Japan

Akira OTSUKA (RPT)

2) 広島大学工学部

Toshio TSUJI (ENG), Masatoshi SAKAWA (ENG)

3) 広島県立東部工業技術センター

Mikio TAKEDA (ENG)

題点を解決するハンドを開発したので、とくに、ハンドの機構を中心に報告する。また、義手の制御は、ニューラルネットワーク学習方法による筋電制御とした²⁾。現在、2入力6動作までは識別可能³⁾であるが、本報告においては筋電制御方式の具体的な説明については割愛する。

2. 今回の試作ハンドモデルの概要

試作したハンドモデルは、機構としては多指・多関節駆動とし、異径物把持機能を継承し、個々の指の屈曲・伸展をワイヤ・プーリ駆動で制御することとした。本ワイヤ・プーリ駆動の利点の1つは、義手の末梢重量を中枢寄りに分散できることである。本ハンドモデルでも駆動力源を超音波モータとして、拇指と他4指に計2個使用している。

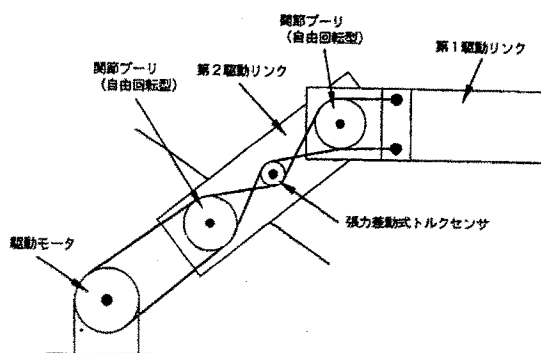
試作した義手は前腕義手であり、その運動軸数は、手指の開閉と手関節の橈・尺屈および前腕の内・外の3軸である。

著者らが目指す義手のハンドの駆動・機構システムとしては、5指および指各関節ごとに専用の駆動力源を配置するのは制御を複雑にするので、駆動力源としてモータ1個で指の複数関節さらに複数指の駆動が可能な機構システムを考えた。この考え方は筋電制御システムの基本的な考え方にも通じるものである。すなわち、少数電極に対して、筋電位の振幅成分と周波数成分から求める多シグナル採取の多機能の制御である。

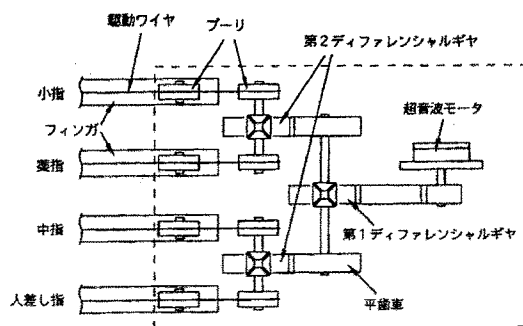
以下、駆動方式につき述べていく。

2-1 ワイヤ・プーリ駆動方式の利点と欠点

市販の電動義手のハンドの駆動機構には、モータの動力をリンク経由で指関節に伝えるリンク方式が多い^{4,5)}。一般的にリンク方式は、機械的な構造であるために信頼性が高く、剛性に優れ把持力も大きい。しかし、各指および指の各関節を可動とした時、その構造は複雑となり重量も増してくる。これらに比較して、ワイヤ駆動方式は、モータの動力をリンクや継ぎ手といった機械的要素から独立して伝達できる。また、動力伝達に関してリンクなどの新たな機構の追加を必要としないためにハンド機構部の構造を簡略化できる。さらに、モータを中枢寄りに設置でき、末梢重量の軽減を図ることが可能である。これらの点がワイ



a 複数関節駆動機構の概念図



b 多指駆動 (異径物把持) の原理図

図1 ハンドの駆動機構

ヤ・プーリ方式の利点である。一方、欠点としてはプーリなどとの摩擦やワイヤのバネ特性により動力伝達系にヒステリシスが生じ、高速・高精度位置決めが困難であり、加えて、関節トルクや剛性の制御が困難である。

しかし、義手のハンドには産業用ロボットのような速度や精度は要求されることが低い点から、逆にワイヤのバネ特性を利用することによって、人の手特有の柔らかさを求めることができる。

以上のことから、ワイヤ駆動方式は、形状的にも重量的にも制約の大きな義肢のハンドの動力伝達方式として適していると考えた。

2-2 ハンドの指関節駆動機構 (複数関節駆動機構)

指関節の駆動には、金子⁶⁾らが提唱する、「たすき掛け方式のワイヤ・プーリ駆動式」を採用した。

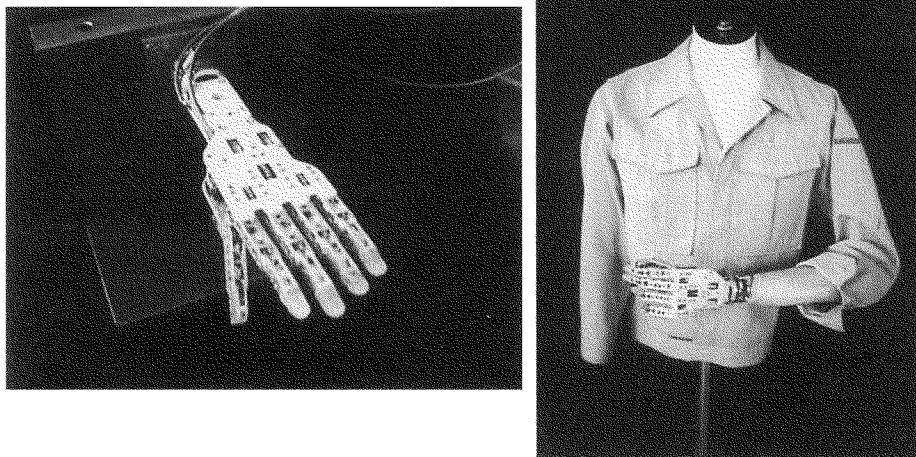


図 2 試作ハンド外観とマネキン装着外観

指の多関節駆動機構としては、人の手指の関節である MP 関節と PIP 関節に運動を与え、DIP 関節は軽度屈曲位固定とした。本機構により 1 本のワイヤで 2 関節を同時に駆動できる点が大きな特色となる。

具体的に図 1-a に示す概念図にて複数関節同時駆動機構を説明する。屈曲側および伸展側のワイヤを第 1 駆動リンクと第 2 駆動リンクの自由回転関節プーリにたすき掛けして、ワイヤを第 1 駆動リンクに固定し、適正な初期張力を与える。ここで、第 2 駆動リンクの中央に自由回転プーリを配置しこれを挟むように 2 本のワイヤを互いに交差させる。この状態で駆動モータを正転させれば、屈曲側の張力は大きく、また伸展側の張力は小さくなり、2 本のワイヤに張力差が生じる。この張力差によって第 1 リンクおよび第 2 リンクが駆動されハンドの指が屈曲する。モータを逆転することでハンドの指は伸展される。

2-3 多指駆動機構（異径断面物の把持機構）

前回の発表ハンドでは、指 1 本あたりのワイヤを屈曲のみに使用し、伸展は戻りバネを使用し、1 方向の滑り機構を用いることでこれを実現していた。本ハンドにおいては、指 1 本あたり屈曲と伸展の 2 本のワイヤとなるために、異なる機構を用いた。

本ハンドには、自動車の駆動力伝達系に採用されているディファレンシャル・ギア機構を用いることとした。

今回採用した機構の原理図を図 1-b に示す。すなわち、示指と中指の間および環指と小指の間、さらにそれらの間の計 3 個のディファレンシャル・ギアを用いた。

例えば、ここで環指と小指の運動を拘束した場合においても、第 1 ディファレンシャル・ギアにより示指と中指に動力を伝達できる。さらに示指の運動に対して拘束をしても、第 2 ディファレンシャル・ギアにより中指に動力を伝達できる、というものである。

本方式により、形状が異なる対象物（異径断面物）の形状にならって包み込む把持が実現できた。

3. 試作ハンドモデルと装着の実際

3-1 試作ハンドモデル

試作ハンドに与えた機能としては、① ハンド手指の把持機能、② 手関節継ぎ手の橈・尺屈機能、③ 前腕の回内・外機能の 3 自由度である。各機能はユニット化として、ユーザーの希望で自由に取り外し可能となる構造とした。

駆動力源としては超音波モータを採用し、拇指に 1 個、4 指に 1 個、橈・尺屈に 1 個、回内・外に



図 3 義肢装着の実際：義肢によるジュース缶の操作



図 5 異径物把持機能の実際を示す

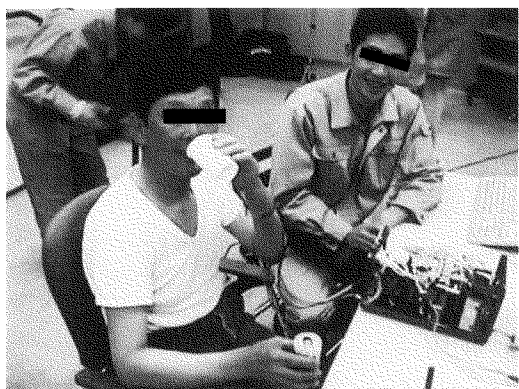


図 4 義肢による紙コップの把持

1 個の計 4 個を配した。駆動機構としては、拇指および 4 指にワイヤ・プーリ駆動を、手関節の橈・尺屈にギアドライブ機構を、前腕回内・外にプラネタリー・ギアドライブ機構を用いた。

試作ハンドモデルの大きな開発目標は軽量化にあり、その解決方法としては、①無駄な空間を極力排除して全体をコンパクト化する、②指尖部の樹脂化する、③手の甲プレートの樹脂化する、④ギアの一部を金属から樹脂に変更する、などの対応で重量が約 500 g と大幅な計量化が図られた。この重量は、3 自由度のすべての機構を含めてのものである。また、ハンドの大きさもほぼ人の手と同等のサイズを実現することができた(図 2)。

3-2 装着の実際

図 3 は、左手関節離断症例(切断から約 30 年経過、初めての動力義肢装着)に実際に装着した際を示す。若干義手側が長くはなるが、図に示すようにジュースを注ぐなどの両手動作もスムーズに行うことができ、対象者の満足度は高いものとなった。

図 4 は、紙コップを義手により把持しているようすを示す。紙コップのような柔らかい対象物も握り潰すことなく義手を制御できることも確認できた。ドアノブの旋回動作も可能である。

図 5 には、異径物把持機能の実際としてのグラスを把持したようすを示すが、グラスの形状に沿った把持形態がより強固で安定した把持固定力を提供する。

4. まとめ

① ワイヤ・プーリ駆動電動義手のハンドを開発し、人の手の柔らかさを得た。

② ハンドは多関節駆動・多指駆動とした。これにより異径断面物の把持を可能とした。

③ ハンドの重量を目的重量まで軽減することができた。

④ 前腕切断者でフィールドテストを行い、実用化の可能性を認めた。

(本開発は地域産官学共同事業として行われたことを付記する。)

文献

- 1) 大塚 彰ほか：外力駆動上肢義肢の開発～とくに、ワイヤ・プーリ駆動ハンドに関して～，第14回日本義肢装具学会学術大会講演集，344-345，1998
- 2) Tsuji, T. et al.: A maximum likelihood neural network based on a long-linearized Gaussian mixture model, IEEE International Conference on Neural Networks, 2479-2484, 1995
- 3) 大賀 誠ほか：バイオメカニクスによる筋電制御システムの開発と応用化研究（第4報）～筋電義手制御システムの開発～，広島県立東部工業技術センター研究報告書，12号：26-30，1999
- 4) 野島元雄ほか：市販製品の特徴と最近の使用状況，日本義肢装具学会誌，9（4）：353-362，1993
- 5) 赤澤堅造ほか：筋電前腕義手の制御方式日本義肢装具学会誌，9（4）：363-367，1993
- 6) 金子 真：器用な多指ロボットハンドの開発，日本ロボット学会誌，16（5）：617-619，1998