

義手とロボットハンド

前田 祐司

広島県立保健福祉大学保健福祉学部理学療法学科

抄 録

近年の超高齢化，労働や交通災害による障害者の増加に対する福祉分野への技術の利用は急務といえる。人間が作業を行うためには，上肢は欠くことのできない身体の一部であるが，不幸にして上肢を失った人たちや機能が低下した高齢者には義手や支援用ロボットハンドなどによる技術開発が必要である。本報告では，人間の上肢を代替する動力義手，生活や社会復帰などの支援・補助するロボットハンドの研究について概観する。

キーワード：義手，動力義手，ロボットハンド，マニピュレータ

1) まえがき

人間の四肢の代替機器として義手の研究開発が行われ、多くの四肢欠損（切断）者に寄与してきた。近年のメカトロニクス分野に関する研究の進展から、義手を利用する人達に有益な動力義手の開発が望まれている。一方、人間の作業を支援あるいは補助するロボットハンドの研究が進められている。従来の産業用ロボットの応用技術として進められていたが、最近では独自の人間型ロボットの研究開発が中心となり数例の試作機が提示されている。人間型ロボットにおいても四肢に関する技術的な展開は、従来の産業用ロボットの領域を越えていない。特に、人間の5指を有する手掌部の研究開発は重要な研究課題となっている。

筆者は、これまでに四肢欠損者のうち研究開発例の少ない、高位の肩部切断者を対象とした多自由度動力義手の研究¹⁾を進めてきた。また、人間の作業を支援あるいは補助する、人間型ロボットハンドの研究開発²⁾を行ってきた。これらの動力義手およびロボットハンドなど、人間の四肢をメカトロニクス技術で模倣する研究について概観する。

2) 義手

2-1) 義手について

義手は切断部位、用途および駆動方式などによって分類される。切断部位は、四肢の手掌部、前腕部、肘部、上腕部および肩部などで分けられる。用途は装飾用義手、作業用義手、能動義手および動力義手などである。装飾用義手は、切断者が切断以前に有していた四肢に外観が類似した義手で機能は持たない。作業用義手は作業目的に適合した形状や機能を有し、一般的に作業目的に合った専用の手先を取り付けられる構造になっている。能動義手は、体内力源を利用し、ケーブルによって動作可能な継手や手先を有する機構を有している。動力義手は、主として電動モータを体外力源として採用し、駆動指令源として筋電などによって動作を行う方式である。駆動方式による分類は装飾用義手のように機能が無い固定式、動作は行えるが力源を持たない遊動式、能動義手のように残存力源から動作させる能動式、体外力源として電力、油圧およびガス圧（空圧）などを用いて動作を行う動力式がある。さらに、手掌部は能動式、腕部は動力式としたハイブリッドタイプの義手³⁾も研究している。

2-2) 動力義手と研究開発課題

過去には、サリドマイドによる薬禍によって障害を持った人たちのために、機能を有する動力義手の研究が行われた。一方、近年のメカトロニクス技術の進展

から動力義手に対する期待が高まり、自由度の少ない手義手、前腕義手などは実用化が進められている。指令信号源としては、生体の微弱な電気現象である筋電を利用し、制御を行う方式が多い。

動力義手の研究開発を進めるにあたって、下記のような課題がある。

- ・ 装飾性
- ・ 機能性
- ・ 軽量化
- ・ 信頼性
- ・ 安全性
- ・ 装着および脱着の容易性

上記のうちでも装飾性、機能性および軽量化は動力義手開発の重要な課題であり、四肢欠損者の利用の可否に係る問題といえる。しかし、機能性と軽量化は相反する条件で高機能とすれば重量が増し、軽量の義手を考慮すると機能性の低い義手になることが一般的である。従って、機能性と軽量の義手の適合を検討しながら設計することになる。義手の構造として、内骨格型あるいは外骨格型を選定するとともに、義手重量の軽減を図るためにも機構の簡略化、アクチュエータの選定、構造材の選定などが設計段階で重要である。

アクチュエータは、一般的に電気、油圧、ガス圧、あるいはハイブリッド化した機種が検討されることが多い。動作させる各部位に対して、アクチュエータの配置と歯車やケーブルなど駆動動力伝達方式の検討が必要となる。

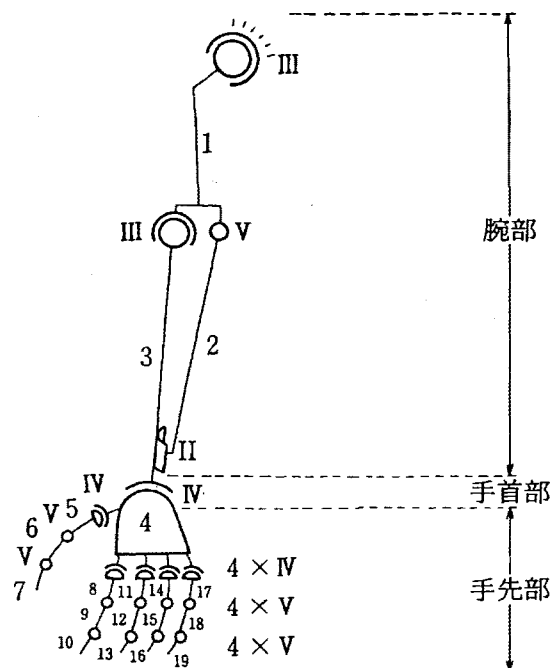


Fig.1 Arrangement of Degree of Freedom

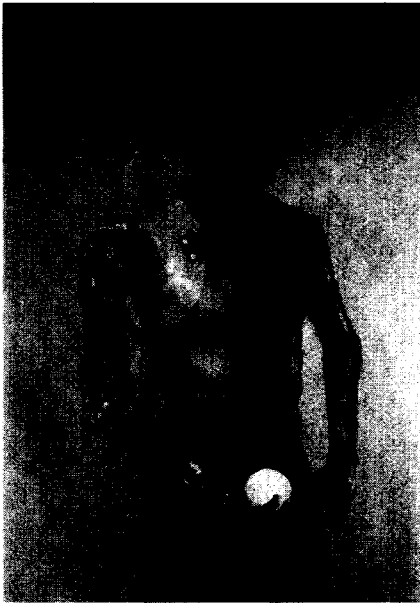


Fig.2 Whole View of the Prosthetic Arm

2-3) 動力義手の開発例

2-3-1) 多自由度動力義手

肩離断の上肢切断者を対象とした、多自由度動力義手の研究開発例について述べる。

多自由度動力義手を開発するための設計として、自由度数および自由度配置、アクチュエータの選定を行った。

図1に示すように、上肢の構造モデルについてA. Moreckiらは27の自由度数(対偶数)があると提案⁴⁾している。肩部3、肘部、前腕回内外部、手首部2、手掌部は1指4で5本指であることから20、総数は27である。肩部から手首部までの6自由度で手先の方向決めと位置決めを行い、手掌部の指は対象物を把持あるいは接触動作などを行う機能を有している。

図2は、研究開発した多自由度動力義手である。自由度数はA. Moreckiらが提案した27の自由度数を有している。

肩部や肘部のように高い出力が必要な部位のアクチュエータには油圧式を採用し、その他は軽量の電気モータを選定した。

人間の骨に相当する構造材は軽量の炭素繊維を使用している。義手は成人男子の寸法とし、本体重量は1.65kgで人間の皮膚に相当するゴム製グローブと上腕に制御ユニットを装着して、総重量は約2kgである。

開発した多自由度動力義手の評価を行い、問題点を抽出した。肩部の3自由度を考慮すると、人間の場合はボールジョイントの機構を有しており、できる限り中心軸を1点に集中させることが動作状態における人間の上肢と義手の類似性を高めることになる。また、3自由度の動作を行うアクチュエータを肩部あるいは上腕部に配置することは、容積の上からも困難である。

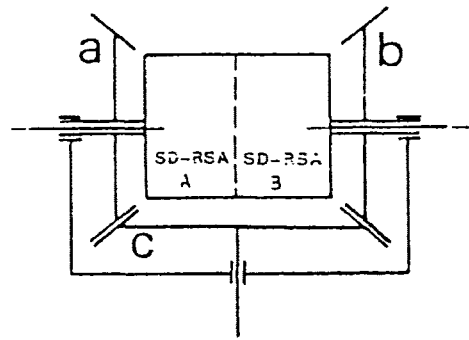


Fig.3 Compound Type RSA and Bevel Gear System

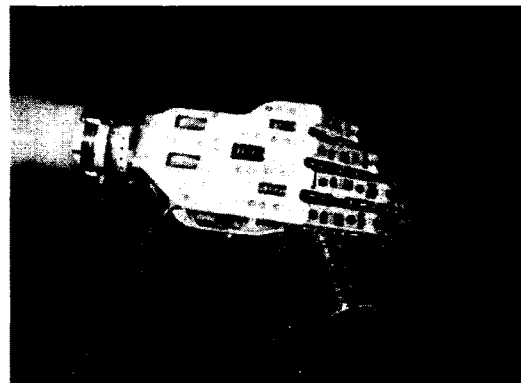


Fig.4 Prosthetic Hand

以上の評価結果から、複数の自由度を1個のアクチュエータ、あるいはそれに近い機構で再現できる方式を検討した。図3は、1個のロータリーサーボアクチュエータと傘歯車による複合型アクチュエータシステムである。

2-3-2) 前腕動力義手

動力義手の研究開発において、義手を操作する指令信号源の多くは生体の微弱な電気信号を利用する筋電信号を増幅して利用する筋電制御である。

広島県立東部工業技術センターを中心に、広島県立保健福祉大学および広島大学等を含む地域産学官共同研究として、図4に示す筋電制御型前腕動力義手の研究開発⁵⁾を行った。アクチュエータには超音波モータを採用し、筋電入力でニューラルネットワークによる制御動作実験を行い、成果を報告している。超音波モータを採用した理由として、次の項目を挙げている。

- 1) 外部磁界の影響を受けない
- 2) 低速、高トルク
- 3) コンパクトな構造
- 4) 静粛運転が可能
- 5) 電源OFF時の自己保持特性

図5に示すように、アクチュエータから指関節間での動力伝達には歯車、プーリーを介したケーブル駆動

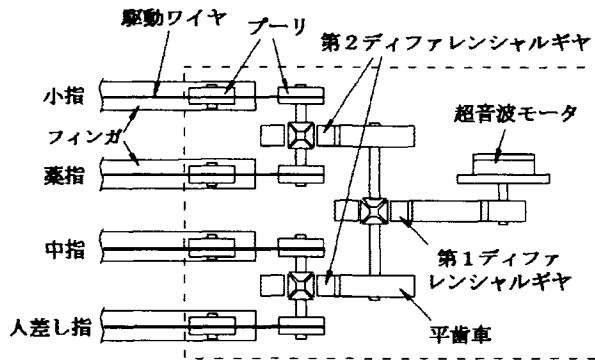


Fig.5 Mechanics of Prosthetic Hand

方式を用いている。図で示すように、4指に対して2指づつの動力伝達が分離され、かつ2指に対する駆動も同様に差動歯車系を採用していることから、複雑な形状の対象物に対しても安定な把持が行える機構になっている。このような方式に関連した機構としては、筆者らが過去に試作したばねによる機構がある。

筋電義手の制御には周波数情報を利用し、動作実験を行っている。

3) ロボットハンド

3-1) ロボットについて

従来のロボット技術は、産業の自動化技術として研究が行われ、広範囲な実用化技術として自動車産業や家電産業などに寄与してきた。一方、宇宙分野への貢献として高度な研究開発が行われ、月面探査の移動車や宇宙ステーションの構築に使用する大型マニピュレータの技術に採用されている。

近年、高齢者や身体障害者の増加に伴う福祉分野への応用が検討され、人間型ロボットや移動支援ロボット、ケア用ペットロボットなど広範囲な技術展開が進められている。

3-2) ロボットハンドについて

ロボットハンドの開発課題は前記した義手に類似しているが、人間に直接装着する義手と人間が間接的に操作するロボットハンドでは前者の方が厳しい条件となる。ロボットハンドの開発課題としては機能性、操作の容易性、安全性などが重要な課題となる。装飾性や軽量化も重要な開発課題であるが、義手に要求されるほどの厳しい条件とはならない。

義手の場合、人間の上肢に類似した形状や外観が要求されるが、ロボットハンドでは作業目的に適合した形状、自由度と自由度配置、手掌部の機構などが設計される。

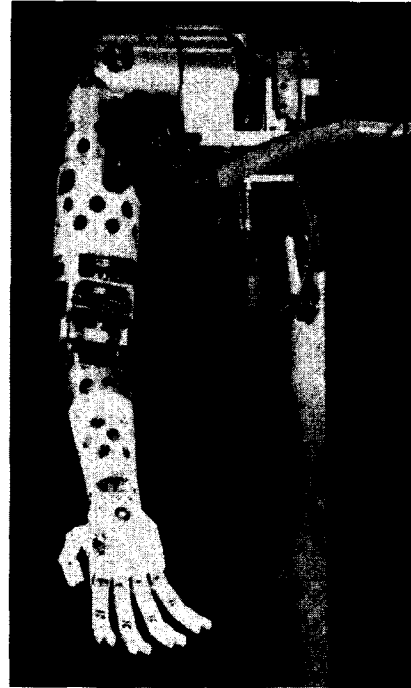


Fig.6 Anthropomorphic Robot Hand

3-3) 人間型ロボットハンドの開発例

図6は、人間の上肢について機能性を重視し、自由度数と自由度配置を類似させた人間型ロボットハンドである。27の自由度(対偶)数を有し、23個のアクチュエータで動作させている。肩部を動作させる3個のアクチュエータは体幹側に配置し、20個は上腕の内部に取り付けている。アクチュエータから各部位の軸までの駆動動力伝達方式として、肩部と肘部は歯車を使用し、肘より手掌部まではプーリーを介したケーブル駆動方式を採用して軽量化を図っている。

構造材はアルミ合金と高分子材を使用し、重量の軽減を行っている。特に、高分子材は自由度数の多い指部の軽量化を進めるため、手掌部の数多くの部品に採用している。金属製の軸受から自己潤滑性の高い高分子材料を採用することにより、大幅な重量の軽減が行えた。

ロボットハンドの総重量は、肩部固定の取り付け具を含め26.5kgで、上腕から手掌部までの重量は約5kgである。

開発した人間型ロボットハンドの評価として、人間に類似した形状と自由度の配置を行ったことから、人間の上肢と同様な動作状態を再現することが可能となった。肘部より手掌部の軽量化を行ったことから、肩部や肘部のモーメントを低減し、必要なトルクを減少させたことから、総重量を軽減することができた。特に、アクチュエータから動作を行う各部位への駆動動力伝達に、ケーブル駆動方式を採用したことから軽量化を進め機能性を高めることができた。さらに、肘お

よび前腕内を経由する手掌部までのケーブルについて、肘部や前腕回内外部の動作時に他の関節が影響を受けない構造を設計した。この非干渉構造により、各関節の動作に対して、他の関節が影響を受けないことを確認している。

4) おわりに

人間の上肢の代替機器として動力義手、高齢者および障害者を支援・補助などに使用できるロボットハンドについて述べた。人間の上肢は柔軟な動作、器用な動作など機械装置では再現が困難な面もあるが、機構によっては人間を超える機能を付与することも可能である。

自由度の少ない手義手、前腕義手は実用化されているが、肩離断のような高位欠損者に適応できる多自由度動力義手の実用化は進んでいない。多自由度動力義手では、主に駆動指令源の問題が障害となっている場合が多い。動力義手の実用化には装飾性、機能性、操作性を高めかつ軽量化を進める努力が今後必要である。

義手は人間に直接装着することから装飾性や軽量化が重視されるが、生活支援や補助を行うロボットハンドは作業を目的とすることから機能性、簡易な操作性が要求される。また、対象とする作業によっては、マイクロマニピュレータのような小型の機種から人間の上肢以上のサイズが必要となる。

義手もロボットハンドも片持ち支持であることから、手掌部に近い位置ほど重量を軽減しなければならない。従って、アクチュエータの配置、駆動系の設計、構造材の選定、センサの選定と付与方法などが重要である。

今後の機構技術、コンピュータ技術、アクチュエータ技術、センサ技術および材料技術などにより、さらに人間の上肢に類似した外観や機能を有する軽量の義手、高齢者や障害者の生活支援や社会支援に役立つロボットハンドが開発されるとともに手術支援ロボットなど医療分野にも期待ができる。

文 献

- 1) Maeda Y. Development of whole arm prosthesis. Journal of Robotics and Mechatronics, 273-278, 1992
- 2) Maeda Y. Development of Anthropomorphic Robot. Journal of Robotics and Mechatronics, pp.343-348, 1992
- 3) 大塚他 体内力源能動義肢ハンドの開発, 日本義肢装具学会誌, 15: 332-339, 1999
- 4) Morecki, A. et al. Some problem of controlling live upper extremity and biprosthesis by myopotential external control of human extremities ; Proceeding of

the Symposium on ETAN, 1967

- 5) 大賀他: 超音波モータを用いた2電極入力ー5指可動型筋電制御義手の開発, 第21回バイオメカニズム学術講演会予稿集, バイオメカニズム学会, 523-526, 2000