



# 適合性および実用性を重視した義足・義手の評価と設計に関する研究

北山, 一郎

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1998-03-11

(Date of Publication)

2012-07-13

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2222

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3141267>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002222>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	また やま いち ろう 北 山 一 郎	(兵庫県)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)	
学位記番号	博ろ第172号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成10年3月11日	
学位論文題目	適合性および実用性を重視した義足・義手の評価と設計に関する研究	

審査委員	主査 教授 多田 幸生	
	教授 藤井 進	教授 赤澤 堅造

### 論文内容の要旨

近年、コンピューターをはじめとする電子技術や高分子材料の発達により、人工の手足(義手・義足)の研究も飛躍的に進歩しつつある。特に、これらの技術を生かした義足歩行改善のためのソケット設計やメカトロニクス化、あるいは、使用者のニーズに適する義手の機構開発、動力化、人工的な皮膚感を有する手(装飾手袋)の開発などは各国において積極的に行われ、研究が進められている。

本論文は、これら新しい技術を義手、義足(両方あわせて義肢)へ適応するための各種義肢部品の評価研究およびそれらの結果を基に設計した義肢部品の開発研究の成果をまとめたものである。

また、本論文は、義足の研究をまとめた前半と義手の研究をまとめた後半で構成されている。前半では、義足の代表的な部品である膝継手、義足とヒトとの接点であるソケット、およびこれら義足の構成要素の幾何学的な位置関係であるアライメント、の3点を研究対象とし、それらの最適な設計をめざして研究を行った。

後半では、義手を使用する切断者の能力、現用の義手の機能性を最初に調べ、これから得られた結果をもとに新たな義手システムの開発を実施した。最後に、義手の標準化の問題の中から、能動手先具の耐久性と装飾手袋の耐汚染性の問題を取り上げ、それらを調べる装置の開発などを行った。

各章の内容は、以下の通りである。

第1章では、義肢を研究することの意義と現用の義肢システムが有する課題について述べた。

第2章では、使用者と義肢との接点であるソケットの問題を取り上げ、高度な適合技術を必要とする大腿義足ソケットの作製において、ソケットと義足使用者の断端との間の接触圧をソケットの変形量を観測することで間接的に推定する手法を示し、実際のソケットに対して推定の有効性を確認した。これは、コンピュータ援用によるソケットの自動設計において、新たなツールとして使用できる手法である。

第3章では、義足における各部品の位置関係であるアライメントの問題を取り上げ、これを評価する手法として、ソケットから得られる時系列データを周波数領域で観測することでアライメントの変動の程度を調べる新たな方法を提案した。これにより、アライメントが乱れたことで義足の適合状態

が悪くなった場合、データのスペクトルの変動が大きいことなどの知見を得た。

また、章の後半では、第2章につづきソケットの問題を取り上げ、大腿義足ソケットの形状の特徴的な量に注目しそれを数値化することで、形状の定量化を行う手法を提案した。

第4章では、義足の膝継手の問題を取り上げ、最初に、歩行の際に膝を制御している空気圧シリンダなどの各機構の基本的な特性を調べ、空気圧シリンダ、油圧シリンダ、バネにより、膝の制御特性が異なることを示した。それらの機構の内、制動装置（ダンパー）としての役目とバネとして役目をあわせて持っている空気圧シリンダに注目し、その力学モデルを示し、それを組み込んだ大腿義足の力学モデルを提示し、実際の実験でこれらモデルの有効性を確認した。そのモデルを基に設計変数最適化法を応用し、歩行状況に応じた空気圧シリンダの制御パラメータを決定する手法、および、最初の歩行により適すると思われる制御パラメータを仮に設定し、その後使用者の訴えと歩行状況の観測結果を基に制御パラメータを修正しながら収束させていく方法、の2つの手法を提案した。前者の手法による義足を最適制御型インテリジェント大腿義足と呼び、後者の手法による義足を記憶再生型インテリジェント大腿義足と呼ぶ。ともに切断者によるフィールドテストによってそれぞれの有効性を確認した。

第5章では、健常者および上肢切断者の動作を取り上げ、上肢切断者が健常な手でハンドルを操作する時の制御能力を健常者のそれと比較し、義手に要求される機能について考察を行った。ついで、日常生活動作における健常者の動作を分析し、円筒握りと側面つまみの把持形態が手の機能として有効性が高いことを示した。また、日常生活における動作においては、必ず両手を使用しないとできない動作は少ないが、多くの動作で両手を使用していることがわかり、片手のみでの生活では非常に不自由であることが分かった。加えて、現用の義手の機能評価テストを実施し、能動フックは外観性には劣るが機能的には優れていること、また一方で滑りやすいものの把持は能動ハンドや電動ハンドが有効であるなどの結果を得た。

第6章は、第5章での結果を基に、現状の義手部品の問題を取り上げ、これを解決する実際的な方法を示した。最初に、4節リンク機構による肘継手の開発を行い、フィールドテストで有効性を確認した。また、滑車を利用した義手の動力伝達機構、摺動性に優れた部品の導入などで、能動義手の機能の向上を実現した。これらもフィールドテストで有効性を確認した。本章の後半では、電動義手の普及と高機能化をめざした研究開発を実施した。実施に先立ち、前章の結果から片側切断者および両側切断者に必要とされる義手の仕様を決定し、これに基づいて新たに設計、試作した電動義手を提示した。

第7章は、義手の耐久性と耐汚染性の問題を取り上げ、耐久性を必要とする能動義手手先具の評価法の提案とそれに基づく試験機の制作、それを使用した現状の義手部品の耐久性の評価を行った。また、耐汚染性を必要とする装飾手袋に対して、汚染の程度を簡易的に評価する手法を提案し、実際の耐候性試験などでその有効性を調べると同時に、試験結果から現状の装飾手袋の問題点を考察した。

第8章は、本研究の結論として得られた知見を総括し、義手および義足の評価法と設計手法の今後の課題について考察した。

## 論文審査の結果の要旨

義肢（義手と義足）の究極の目的は、失った手足と同じものが生体的に復元できることにあるが、それは現在の技術では、まだ困難である。現状では、義肢は、機械的な機構部品を中心としたマシー

ンで代替され、構造物の機能、運動の機能、外観としての形状を再現される。このシステムは、切断者とマシーンである義肢およびこれらのインターフェイスからなる一種のマシーナシステムを構成し、健常者と同等の動作、機能が果たせることが目標となる。使用者にとって適合性および実用性の高い義肢を開発・設計するためには、現状の義肢システムを正しく認識評価し、その結果に基づいて、新たに付加すべき機能の抽出とそれを実現する義肢の開発が可能となる。

本論文は、このような目的のもと、義肢の評価においてこれまで実施されていなかった項目や問題点に対し、新たな手法を提案し、また、それらの結果から得られた義肢システム設計の開発研究の成果をまとめたものである。前半では、義足の代表的な部品である膝継手、義足とヒトとの接点であるソケット、および、これら義足の構成要素の幾何学的な位置関係であるアライメント、の3点を研究対象とし、それらの最適な設計をめざして研究を行っている。後半では、義手を使用する切断者の能力、現用の義手の機能性を最初に調べ、これらから得られた結果をもとに、新たな義手システムの開発を行っている。最後に、義手の標準化の問題の中から、能動手先具の耐久性と装飾手袋の耐汚染性の問題を取り上げ、それらを調べる装置の開発などを行っている。

各章の内容は、以下の通りである。

第1章では、義肢を研究することの意義と現用の義肢システムが有する課題について述べている。

第2章では、使用者と義肢との接点であるソケットの問題を取り上げ、高度な適合技術を必要とする大腿義足ソケットの製作において、ソケットと義足使用者の断端との間の接触圧をソケットの変形量を測定することで間接的に推定する手法を示し、実際のソケットに対して推定の有効性を確認している。これは、ソケットのコンピュータ援用の自動設計に利用できる新たなツールとして使用できる手法である。

第3章では、義足における各部品の幾何学的位置関係であるアライメントの問題を取り上げ、ソケットから得られるひずみの時系列データを周波数領域で観測することによりアライメントの変動の程度を推定する手法を提案している。これにより、アライメントが乱れたことで義足の適合状態が悪くなった場合、データのスペクトルの変動が大きいことなどの知見を得ている。

また、章の後半では、第2章につづき、ソケットの問題を取り上げ、大腿義足ソケットの形状の特徴的な量に注目し、それを数値化することで、形状の定量化を行う手法を提案している。

第4章では、義足の膝継手の問題を取り上げ、最初に、歩行の際に膝の遊脚相制御を行っている空気圧シリンダなどの各機構の基本的な特性を調べ、空気圧シリンダ、油圧シリンダ、バネにより膝の制御特性が異なることを示している。それらの機構の内、制動装置としての役目とバネとしての役目をあわせて持っている空気圧シリンダに注目し、その力学モデルを提示し、実際の実験でこれらのモデルの有効性を確認している。そのモデルを基に、歩行状況に応じた空気圧シリンダの制御パラメータを最適化によって決定する手法、および、あらかじめ決められた変数における歩行結果を観察しながら対話的手法で設計変数を収束させる方法、という新しい2つの手法を提案している。前者の手法による義足を最適制御型インテリジェント大腿義足と呼び、後者の手法による義足を記憶再生型インテリジェント大腿義足と呼ぶ。ともに切断者によるフィールドテストによってそれぞれの有効性が確認されている。

第5章では、健常者および上肢切断者の動作を取り上げ、上肢切断者が健常な手でハンドルを操作する時の制御能力を健常者のそれと比較し、義手に要求される機能について考察を行っている。また、日常生活動作における健常者の上肢の動作分析を行い、円筒握りと側面つまみの把持形態が手の機能として最も多く見られ、これらの把持形態が義手を設計する上で有効であることを示している。

第6章では、第5章での結果を基に、現状の義手部品の問題を取り上げ、これを解決する実際的な方法を示している。最初に、4節リンク機構による肘継手の開発を行い、フィールドテストで有効性を確認している。また、滑車を利用した義手の動力伝達機構、摺動性に優れた樹脂チューブの利用などで、能動義手の機能の向上を実現している。これらもフィールドテストで有効性を確認している。本章の後半では、電動義手の普及と高機能化をめざした開発研究を実施している。実施に先立ち、前章の結果から、片側切断者および両側切断者に必要とされる義手の仕様を決定し、これに基づいて新たに電動義手を設計、試作している。

第7章は、義手の耐久性と耐汚染性の問題を取り上げ、耐久性を必要とする能動義手手先具の評価法の提案とそれに基づく試験機の製作、それを使用しての現状の義手部品の耐久性の評価を行っている。また、耐汚染性を必要とする装飾手袋に対して、汚染の程度を簡易的に評価する手法を提案し、実際の耐候性試験などでその有効性を調べると同時に、試験的結果から現状の装飾手袋の問題点を考察している。

第8章は、本研究の結論として得られた知見を総括し、義手および義足の評価法と設計手法の今後の課題について考察している。

以上、本研究は、適合性および実用性を重視して、義足・義手を評価し、そのあるべき姿について検討し、適合性、実用性に優れた新しい義肢の設計に関する研究をまとめたものであり、義足・義手の設計に関して重要な知見を得たものとして評価ある集積であると認める。

よって、本研究者は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。