

報告番号	甲 第	号
------	-----	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 劣駆動メカニズムのタスクベース設計法の研究

氏 名 鎌田 翔一郎

論 文 内 容 の 要 旨

義手は、上肢の機能や外観の再現を目的とした義肢であり、上肢切断者に広く利用されている。現在、上肢切断者の症状や生活環境、使用目的に合わせた様々な種類の義手が存在する。日本では、外観のみの再現を主目的とした装飾用義手が特に多く利用されている。義手の中には、機能と外観の両方を考慮し、人間の意図を筋電信号で推定してバッテリーのエネルギーで駆動する筋電義手もある。しかし、日本国内では利用者はなかなか増えていかない。人間の手は、多自由度な構造をしている。そして、その特徴を生かして様々な対象物を把握したり、操ったりすることができる。だが、これまでに販売されている筋電義手の多くは低自由度で非常に単純な機構で設計されていて、そのようなタスクを達成することはできない。

人間の手の機能を再現することを目指したロボットハンドの研究は、数十年に渡り行われてきた。これまでに、人間の手の指のような関節の機構をもち、各関節をそれぞれ独立したアクチュエータで駆動させる方式のロボットハンドが多く研究されてきた。各関節を個別のアクチュエータで駆動させると、各関節を高精度に制御できるという利点がある。しかし、そのような設計コンセプトのロボットハンドは、そのまま義手へ転用することはできない。なぜなら、現在ロボットに用いられているような電動モータなどのアクチュエータは人間の筋肉に比べて出力重量比が低く、利用者が可搬できる重量に制限しながら作業に十分な出力を得ることが難しいためである。

近年、劣駆動機構をもつロボットハンドの研究も盛んに行われている。ここで、劣駆動機構とは、入力次元より出力次元の方が高い機構のことである。劣駆動機構を用いることによって、駆動する関節数に対してアクチュエータの数を低く抑えることができる。また、多くの劣駆動機構をもつロボットハンドは、関節の部分に弾性要素を与えることにより機構自体に柔軟性をもたせている。それにより、単純な制御でも握力把握などを容易に行っている。しかし、劣駆動機構を系統的に設計する方法はこれまでに提案されていない。そのため、複数の種類の把持動作、例えば、精密把握と握力把握の両方を達成できる劣駆動ロボットハンドを設計することは難しかった。

第1章では、以上のような社会的背景や先行研究を踏まえて、研究の目的を決定し課題解決のアプローチについて述べた。本研究では、義手用ロボットハンドをできるだけ低質量に設計するための手法を提案することを目指した。先に述べたように、義手用のロボットハンドを低質量に設計しようとする場合、アクチュエータを数多く用いることはできない。しかし、日常生活では様々な大きさや形状の対象物を把握したり、操ったりする必要があるので関節数を極端に抑えることもできない。そこで、新たな劣駆動機構をもつメカニズムを設計する方法を提案し、義手用ロボットハンドへの適用することを考える。劣駆動機構をもつメカニズムは、各関節を独立に駆動させることができないため、あらゆる運動を作業領域内で達成できるわけではない。そのため、タスクに必要な関節の運動ができるように設計しないと、無意味なものを設計することになってしまう。そこで、本研究では、タスクベースなアプローチによる設計方法を提案することを目指した。

第2章ではまず、本研究で設計する劣駆動機構メカニズムの概要について述べた。ここでの劣駆動機構は、低次元なアクチュエータの変位を線形加算して高次元な出力に変換するという機能をもつ。本論文では、その機構を線形従属劣駆動機構とよぶ。線形従属劣駆動機構を少数のアクチュエータと多関節マニピュレータの間に入れることにより、メカニズムを構成する。また、第2章では新しい線形従属劣駆動機構の実現方法を提案した。その機構は、ワイヤ-プリー系の機構である。提案した機構内には複数の動滑車と定滑車がある。動滑車は変位の加算器の役割を果たしている。アクチュエータに接続されるプリーの直径の比を変更することにより、アクチュエータの角度の重みづけを変更することができる。

第3章では、タスクが運動学で定義されて与えられる場合に、第2章で説明した劣駆動機構メカニズムを設計する方法について述べた。ここで与えられるタスクは、マニピュレータの手先の軌道で定義された。第3章で説明した手法では、はじめは各関節が独立したアクチュエータに接続されていて、正確に位置制御されている多関節なマニピュレータを仮定する。そして、そのマニピュレータがタスクを正確に達成するときの関節角度の時系列を計算する。その関節角度の時系列を低次元空間に射影し、運動を低次元化する。第3章では、設計に用いることができる低次元化の方法を2つ紹介した。1つ目の方法は、主成分分析 (Principal Component Analysis) を用いた方法である。2つ目の方法は、BPLP (Back Projection for Lost Pixels) 法を用いた方法である。BPLP 法とは、元々は欠損情報のある画像を復元するための手法である。いずれの方法で低次元化した場合も、低次元な独立変数の時系列を線形変換することで元の高次元な関節角度の時系列を近似的に表すことができる。主成分分析で低次元化した場合の独立変数は主成分であり、BPLP 法で低次元化した場合の独立変数は関節角度である。そして、ここでは低次元化のときに得られる変換行列を線形従属劣駆動機構のパラメータとして用いる。本論文では、主成分分析を用いて設計されたメカニズムをPCDM (Principal Component Drive Mechanism)、BPLP 法を用いて設計されたメカニズムをBPDM (Back Projection for lost joints Drive Mechanism) とよぶ。PCDM とBPDM を比較すると、PCDMの方がBPDMより高精度にタスクを達成できる。設計されたPCDMを動作させる場合、アクチュエータの操作量は、設計に用いられた主成分である。また、設計されたBPDMを動作させる場合のアクチュエータの操作量は、設計に用いられた関節角度である。そのため、PCDMの線形従属劣駆動機構では、アクチュエータの変位をすべての関節角度に変換しなければならない。一方で、BPDMの線形従属劣駆

動機構は、アクチュエータの変位を低次元化のときに独立変数として用いなかった関節角度のみ変換すればよい。そのため、BPDMの線形従属劣駆動機構よりもPCDMの線形従属劣駆動機構の方が複雑になる。さらに第3章では、運動の低次元化によって生じる復元誤差を最小にするようなリンク長さを最適化問題で探索する方法についても説明した。最後に、設計した機構を用いてシミュレーションを行い、小さな近似誤差でタスクを達成できることを示した。

第4章では、タスクが運動学と静力学で定義される場合に、メカニズムを設計する方法について述べた。設計されるメカニズムは、第2章で説明したメカニズム中に弾性要素を加えている。ここで与えられるタスクは、マニピュレータの手先のリンクの軌道と手先が対象物に加える接触力で定義された。第4章で説明している手法では、はじめは各関節が独立なアクチュエータに線形ばねを介して接続されていて、各アクチュエータは正確に位置制御ができるマニピュレータを仮定する。弾性要素を含むマニピュレータでは、運動学と静力学の問題が連成する。その性質を利用して、マニピュレータの手先の位置を決めるための関節角度の時系列と対象物に力を加えるための関節角度の時系列を同時に低次元化して劣駆動機構を設計する方法について説明した。低次元化の方法は、第3章で説明した2種類の低次元化方法を用いた。それから、リンク長さとはばね定数を設計することにより、運動低次元化によって生じる復元誤差を最小にするように設計する。第3章では、単一タスクを達成するメカニズムの設計方法しか扱っていなかったが、第4章では、複数のタスクを達成するメカニズムを設計するときの関節角度の時系列の扱い方についても説明した。そして、同様の考え方を利用して、複数のタスクを定義した場合にタスクの重要度を考慮した重みづけをする方法についても説明した。最後に、シミュレーションを用いて設計例を示すことにより、本提案手法の有効性を示した。本章での設計例では、2つの異なるタスクを達成する単一の2次元ロボットハンドを設計した。リンク長さとはばね定数の最適化やタスクの重みづけをすることにより、運動の低次元化に伴う誤差を小さくした。第4章で提案された設計手法で設計されたメカニズムは、弾性要素をメカニズム中にもっていることで少々の誤差があってもタスクを達成できる。そのことをシミュレーションによって確かめた。

第5章では、第4章で説明した設計手法を用いて、実際に義手を設計することを想定した3次元のロボットハンドの設計例について述べた。第5章で設計したロボットハンドは、3本の指をもち、各指に4つの関節をもっている。各指の関節は、人間の指を模擬するように与えた。実際の義手には、様々な対象物を把握したり、操ったりすることができるなどの機能が求められる。ここでの設計例では、2本の指先で小さな対象物を把握する動作と3本の指で抱え込むように大きな対象物を把握する動作と円柱型の対象物を3本の指の先で把握してそのままひねる動作の3つをタスクとして与えた。第5章では、4つのアクチュエータで駆動するロボットハンドを設計した。シミュレーションにより、設計された3次元のロボットハンドが設定されたタスクの運動を達成できることを確かめた。本研究の手法で設計されたロボットハンドでは、各関節にかかるトルクはメカニズム中のすべてのアクチュエータに分配される。そこで、第5章で設計されたロボットハンドのアクチュエータに必要なトルクを算出した。

最後に第6章では、第1章から第5章までの内容を総括して本論文の結びとした。