

氏 名 稲葉 智也

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第4551号

学位授与の日付 平成24年 3月23日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 人間協調空間における剛性可変・二関節筋駆動システムの制御

論文審査委員 教授 則次俊郎 教授 五福明夫 教授 鈴森康一

### 学位論文内容の要旨

日常生活・福祉・医療支援作業を支える様々なロボット技術が注目を集めている。そこで本研究は人間との協調空間で用いるロボットの開発を目的としている。まず初めに何らかの作業を行う自立したロボットそのものが人間協調空間において運用され、人間と接触が生じたときに安全性が確保されている必要があるという意味。次に人間支援装置のような人間と0距離でロボットを運用するために安全性が確保される必要があるという2点で研究を行った。この2つの点を満足するために本研究は人間を初めとする生体の筋骨格構造に注目した。

第4章ではロボットと人間の接触という問題を解決するために、ハードウェア上で関節剛性を変化できることが、外界に対する安全性や巧緻的な動作を実現する上で有効である。そのため非線形弾性要素を有するアクチュエータ (Actuator with Non-Linear Elastic System, 以下 ANLES) が以上の問題を克服する上で有効であると考えた。ANLES を用いた拮抗駆動型関節を開発し、実験による検証を行った。その結果、マニピュレータの剛性可変機能を有する関節として拮抗駆動型関節が有効であることを示した。まず初めに ANLES を設計製作し、設計通りの非線形弾性特性がほぼ得られていることを確認した。そしてその ANLES を用いた拮抗駆動型1自由度関節機構を開発し剛性制御実験により関節剛性が調節可能であることを実証した。また、拮抗駆動型関節の角度制御を行う上では初期剛性を制御するのが有効であると考え、初期剛性を利用した開ループ角度制御方式を提案し、実験によりその有効性を示した。さらに、アームの質量をオンラインで同定する方法を提案し、実験で確認した。厳密に関節剛性を一定に維持しないながらも、質量負荷のオンライン同定を組み合わせることで関節角度を実用上、十分な程度に制御できることを示した。

第5章では人間と0距離でロボットを運用するために安全性が確保される必要があるという問題を解決するために空気圧ゴム人工筋を用いた身体着用型パワーアシストウェアの開発を目的として、二関節筋のみを用いての静的な釣り合い制御を扱う。空気圧ゴム人工筋は空気の圧縮性等の性質から支援装置への応用が期待されており、二関節筋のみで制御することによって単関節筋の拮抗構造に比べて、小型・軽量化が図れるなど実用化のために寄与する利点がある。結果として身体着用型パワーアシストウェアの開発を目的としたバイオメトリック骨格機構を作成し、空気圧ゴム人工筋を用いての静的な釣り合い制御のシミュレーションを行い、二関節筋と人工筋の配置場所の関係から静的な釣り合いを満足するために必要となる収縮力を算出できた。この結果より人間の下肢の長さに等しい2リンクの倒立振子を製作した。製作した実験装置を用いて静的な釣り合い実験を行い二関節型空気圧ゴム人工筋で静的な釣り合いを保ち、提案システムに自己平衡性が存在することを実証できた。また、リンク先端部において装置の姿勢を維持するために必要な力を計測し、支援効果により実際に力が減少していることを確認でき、支援装置として期待できると考えられる。

第6章では支援装置を制御するために最適制御法を導入する。ゲインを決定するための基準を導入する必要がある。研究成果として最適ゲイン決定のためシミュレーションを実行した。その結果、最適レギュレータ、0型サーボの最適ゲインを得ることができた。

## 論文審査結果の要旨

日常生活・福祉・医療支援作業などを支える様々なロボット技術が注目を集めている。そこで、本研究は人間との協調空間で用いるロボットの開発を目的として、次の2つの課題①、②を設定している。①何らかの作業を行う自立したロボットが人間協調空間において運用され、人間と接触が生じたときの安全性の確保。②身体着用型動作支援装置のような人間と0距離でロボットを運用する際の安全性の確保。本論文は、これらの課題に対応するための剛性可変ならびに二関節筋駆動システムの制御に関する研究成果をまとめたものである。

第1章で論文の構成、第2章で関連研究、第3章で本研究の基礎となるアクチュエータについて述べている。

第4章では、上記①の課題を解決するために開発したハードウェア上で関節剛性を変化できる非線形弾性要素を有するアクチュエータ (Actuator with Non-Linear Elastic System, 以下 ANLES) について述べている。試作機を用いた実験により、剛性可変機能を有するロボットマニピュレータの関節として拮抗駆動型関節が有効であることを示し、ANLES を用いた拮抗駆動型1自由度関節機構により関節剛性が調節可能であることを実証している。また、初期剛性を利用した開ループ角度制御方式を提案し、実験によりその有効性を示している。さらに、ロボットアームの質量をオンラインで同定する方法を提案し、これを導入した制御系を構成することにより実用上満足できる関節角度制御が実現されている。

第5章では、上記②の課題を解決するため、小型・軽量・柔軟な空気圧ゴム人工筋を用いた身体着用型パワーアシストウェアの開発を目的としている。人工筋の配置を二関節筋構造とすることにより、単関節筋による拮抗構造に比べて、より小型・軽量化が図れるなどの利点がある。本研究ではバイオミメティック骨格機構モデルを作成し、空気圧ゴム人工筋による静的な釣り合い制御のシミュレーションを行うとともに、人間の下肢の長さに等しい2リンクの倒立振子を試作している。試作した実験装置を用いて静的な釣り合い実験を行い二関節型空気圧ゴム人工筋で静的な釣り合いを保ち、提案した二関節筋駆動システムに自己平衡性が存在することを実証している。また、リンク先端部において装置の姿勢を維持するために必要な力を測定し、支援効果により維持するために必要な力が減少していることが確認され、本駆動システムの支援装置としての応用が期待できることを示している。

第6章では支援装置の効率的な制御系設計のために最適制御法を導入している。最適ゲイン決定のためシミュレーションを実行し、最適レギュレータと0型サーボ系の最適ゲインが決定されている。

第7章では、以上の研究成果をまとめている。

以上のように、本研究の成果は学術上ならびに実用上きわめて有意義であり、その成果をまとめた本論文は、博士(工学)の学位論文に値するものと判断する。