

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 浅野 悠紀

本論文は、「人体模倣筋骨格ヒューマノイドにおける脚構造の構成法と動作実現」と題し、筋肉のように張力によって骨格を駆動する構造をもつ筋骨格ヒューマノイドにおいて、人の代表的な筋と骨格を模倣し、全身の負荷を支える脚構造における人体模倣の特色を与え、屋外などでも様々な動作実験を可能とすることを目指して行った構成法とそれにより行うことが可能となった動作実現を示したもので、8章からなる。

第1章「序論」では、研究の背景と目的について述べ、人体の身体構造を模擬する人体模倣筋骨格ヒューマノイドについて論じ、本研究の位置づけと本論文の構成について述べている。

第2章「人体模倣筋骨格ヒューマノイドの構成論と動作実現」では、本研究での筋骨格ヒューマノイドの構成論と動作実現に関して、身体設計と動作実現の二つに分けてそれぞれの人体模倣の考えを示している。身体設計における人体模倣では、人体解剖学的な観点からの人の筋骨格構造を比較検討し、身体プロポーション、骨格関節構造、筋配置、関節特性のそれぞれにおいてどのような人体模倣の身体設計を行うかを述べている。動作実現における人体模倣では、実環境での動作実現を目指し、環境接触動作、屋外環境動作、踏み出し動作などこれまでの筋骨格ヒューマノイドでは困難であった動作を設定し、人体の動作実現プロセスに学び、全身に冗長に分布するセンサを利用するバランス戦略と身体負荷を分散させる柔軟な筋制御を考慮する全身動作実現システムについて論じている。

第3章「脚構造における人体機能抽出に基づく骨格構造設計」では、人体模倣骨格設計のための人体機能の抽出に基づき、身体プロフィール等の身体制約の中で動作実現の可能性を考え行動の多様性を与える脚構造での人体模倣の設計方針をまず述べ、脚構造における、大腿骨・下腿骨、膝、足のそれぞれにおける設計方針と実装を示している。大腿骨・下腿骨では、電源一体内蔵型の骨格による骨格のエネルギー貯蔵機能と放熱機能を与える設計実装を示している。膝関節では、膝伸展時における回旋自由度の強制拘束機構と十字靭帯を模倣する大可動域関節構造を備えた設計実装を示している。足部では、環境への柔軟性を与える人体での多骨連結構造に着目し、5本の足趾に受動的な拘束と全体として能動駆動可能な機構を与えた構成の設計実装を示している。

第4章「人体模倣筋構造の構成と制御」では、人体模倣筋骨格ヒューマノイドの筋駆動システムにおいて、人体模倣筋配置を構成するための筋構造と筋制御について述べている。関節出力として、踏み出し動作が行える関節トルクと関節速度性能を設計要件とし、それらを実現する筋アクチュエータの選定について論じている。また、システム安定性とメンテナンス性を保ちつつ高い運動性能を実現するために、筋アクチュエータに必要な要素群を高密度にパッケージ化し、ワイヤの多方向への高張力駆動と拮抗駆動時の高速追従性を検証する制御実験を示している。さらに、環境への接触動作などによる身体負荷の増加や、筋冗長度が増すことによる筋負荷の偏りに対し、身体負荷の緩和と本来備わる関節トルク生成のための位置と力の目標指令による筋制御により冗長筋の負荷分散を行う方法を述べ、段差登り・上腕挙上・踏み出し動作での評価を行っている。

第5章「全身分布型センサの活用に基づく姿勢安定化戦略」では、ヒューマノイドのバランス制御におい

て通常用いられる6軸力センサが人体模倣時の狭い足幅には適合し難いことを指摘し、冗長な全身分布力センサ系による姿勢安定化を目指し、筋張力ZMPと足底力覚ZMPの計算方法を示し、人による腰股関節足首を用いる姿勢安定化戦略に基づくバランス戦略を提案している。人体模倣筋骨格ヒューマノイドでの姿勢安定化実験として、筋張力ZMPと体幹背骨駆動による姿勢安定化、筋張力ZMPおよび足底力覚ZMPの足首股関節駆動による姿勢安定化、足底力覚ZMPと足趾駆動による姿勢安定化の実験を示している。

第6章「人体模倣筋骨格ヒューマノイドの身体設計と人体模倣度評価」では、人体模倣筋骨格ヒューマノイド 隼志郎、隼悟郎の具体的な身体構成について説明し、人体模倣度として人体との類似度を身体設計における人体模倣の4つの項目について人体とヒューマノイドの比較を行い考察を示している。

第7章「人体模倣筋骨格ヒューマノイドによる動作実現」では、本論文で論じてきた人体模倣型の身体構成法と動作実現システムの評価を行うため、開発してきた人体模倣筋骨格ヒューマノイドのソフトウェアシステムと動作実現実験について述べている。電源内蔵による屋外環境での立位姿勢安定化動作、バルブ片腕回転動作時の姿勢安定化動作、腕の壁面接触を保った状態での踏出動作、着座時の大腿部拘束姿勢での膝回旋冗長自由度を利用するペダル操作、脚回旋自由度を利用する踏出動作、脚と腕を協調した寝返り動作などの動作実現を行い、人体模倣型の多自由度身体構成、筋構成、バランス制御、システム安定化の評価を行っている。

第8章「結論」において、各章で述べた内容をまとめることで本研究を総括し、その成果と貢献を述べている。

以上、これを要するに、本論文は、筋骨格ヒューマノイドの研究開発において、人の冗長筋骨格構造とその中での自由度拘束機能等へ着目し、身体プロファイルを保ちつつ動作実現の幅を拡大してゆく人体模倣の考えを示し、全身の負荷を支える脚構造において、骨構造、膝構造、足構造へその考えを適用した構成法を示し、電源系も内蔵して自立姿勢安定化可能な全身筋骨格ヒューマノイドとして構築することで環境接触動作、屋外環境動作、踏出動作などの動作実現から人体模倣のヒューマノイド行動研究への基盤として展開可能なシステムを示したもので、知能機械情報学上貢献するところ少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。