

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 上月 豊隆

本論文は、「筋骨格ヒューマノイドの関節駆動構造における機能統合構成法に関する研究」と題し、等身大筋骨格ヒューマノイドの身体設計において、求められる機能とそれを実現する要素数は多大となるが、必要な構成要素を空間的に配置し搭載するのではなく、構成要素を多機能化し、システム構成を簡略化する構成法が必要であることから、各要素の素材、形状、特性等を多面的に捉え同時に複数の機能を満たす要素を構成する方法を機能統合構成法とし、関節駆動構造にその構成法を適用し等身大筋骨格ヒューマノイドの実現を通してその統合法の評価を示したもので、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、ヒューマノイドの活動領域と可能性を広げるために必要な機能と実装課題について論じ、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「筋骨格ヒューマノイドの関節駆動構造における要求機能」では、筋骨格ヒューマノイドを構築する上での課題を整理し、従来のヒューマノイドハードウェアシステムの設計法は、要素技術・部品を組み合わせるに留まったその統合法に課題があることを指摘し、システム全体を考慮した全体のアセンブリに関する検証が必要という考えから構成要素を多機能化する機能統合構成法による設計アプローチを提案している。中でも筋骨格ヒューマノイドによる柔軟性の発揮・運動に大きく関係する関節駆動構造における機能統合構成法の適用を進めることについて述べている。

第3章「広可動域・多自由度駆動のための筋骨密着型関節構造の構成法」では、従来の筋骨格ヒューマノイドで機能ごとに関節、プーリ、リンク部と区別しそれらの組み合わせで実現されていた関節構造と比較し、人体の骨格と筋の付着関係を分析し、筋が骨に沿って関節を駆動する人体模倣の骨形状を利用することで、広可動域と多自由度駆動能力を得る筋骨密着関節構造に基づく構成法を示している。

第4章「可変剛性関節駆動のための筋腱複合体制御システムの構築」では、多自由度の筋骨格構造を柔軟に駆動可能とする可変剛性関節駆動構造の構成法について述べている。まず、人の腱および筋組織の粘弾性特性について述べ、非線形バネと張力制御による筋腱複合体の制御法とその性能評価実験を示し、全身で100本を越える筋ユニットが必要となる等身大筋骨格ヒューマノイドのために、重量、サイズ、外装、メンテナンス性を考慮して設計実装した筋腱駆動モジュールについて述べている。

第5章「ポーラス構造による伝熱・排熱機能を統合した骨構造の構成法」では、ロボットの骨格部分は、ロボット全体に占める体積・重量・表面積の割合は大きいものの、製造技術等の制約により十分に有効に利用出来ておらず、構造部材としてだけでなく、その体積・表面積を利用する機能統合を考えることで、人体の皮膚の発汗による冷却メカニズムと同様に、骨内部を水路として利用し、表面の気化熱による冷却機能を付加する多孔質のポーラス構造をもつ骨格設計法を提案し、その実装法と冷却効果の評価実験を示している。骨の表面と内部のそれぞれのポーラスの密度を変えることで内部を水路とし、表面からは気化する構造とする構成法を示し、密度に応じて水の透過、気化状況、構造強度、冷却効果の評価実験を示し、ポーラス構造を利用する水冷循環システムに関して考察を行っている。

第6章「筋骨密着構造・筋腱複合体・伝排熱機能を統合した関節駆動構造の実現」では、第3、4、5章

で示した機能統合法を合わせもつ肩関節上腕構造を示し、機能統合の考えを備えた脊椎胸郭構造も備えた等身大筋骨格ヒューマノイドについて述べている。機能統合を重ねた設計を取り入れることで小型・簡易な構成で十分な強度と熱対策が可能な骨格の設計を可能にするとともに、環境と接触可能な外装まで取り入れた身体設計を提案している。

第7章「等身大筋骨格ヒューマノイドにおける機能統合関節駆動の評価実験」では、骨格要素・駆動要素・熱対策等といった関節駆動構造における諸要素についての機能統合を進めることで人体寸法を模擬した構成を崩さずに動作生成可能な身体が構築可能となったことを示し評価実験を示している。外力に対する柔軟応答と高負荷動作が両立可能な構成となり、応用実験として全身柔軟性を発揮する環境接触動作を行い、等身大筋骨格ヒューマノイドとして広可動範囲を利用する関節動作が可能な身体が構築されていることを示している。

第8章「結論」において、各章で述べた内容をまとめ、本研究を総括している。

以上、これを要するに、本論文は、多自由度の筋骨格型身体を備える等身大ヒューマノイドにおいてそのプロファイル、可動範囲、柔軟性、運動能力等を人に近づけるには、身体を構成する要素に複数の機能を担わせることでシステムの複雑化・大型化を回避する機能統合構成法が重要であるとの考えから、関節構造において、筋が骨に沿って関節駆動力を得るようにする骨形状設計、構造強度を保ちつつ伝熱排熱機能を統合する骨の多孔質化、筋腱複合筋ユニットによる可変剛性関節制御などを実現する構成法を示し、筋骨格等身大ヒューマノイドとして広関節可動域・柔軟応答性・駆動持続性を評価する動作実験によりその有効性を評価したもので、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。