

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 袖山 慶直

本論文は、「筋骨格型ヒューマノイドにおける多自由度柔軟肩構造の開発と行動実現研究」と題し、人体の骨格や筋の構造と動きの柔軟さを備える等身大筋骨格型ヒューマノイドにおいて、肩の構造を多自由度柔軟肩構造として構成する方式を人体に近い構成法から機能を抽象化した構成法まで比較検討し、実システムの試作を行い、人や外界と接触したり衝撃力を受ける動作を肩と腕の構造を利用して実現する方法を示し、その肩構造を備えた筋骨格型ヒューマノイドの行動実現の可能性を示したものであり、8章からなる。

第1章「序論」では、従来のロボットハードウェアデザインに対する新たな設計手法としての筋骨格型ヒューマノイドの構成法を論じ、本研究におけるアプローチについて述べている。

第2章「ヒューマノイドに求める存在と身体機能デザイン」では、福祉分野での活動を通して、ヒューマノイドがその良さを最大限に活かすアプリケーションの1つは、被介護者個人の趣味趣向や個性に委ねられた一見些細でも多様な身辺支援作業を行うことであると洞察し、それを実現する為のアプローチを考察している。「鼻や顔、背中が痒い」「姿勢を変えたい」等という要求に応えるためには、①多様な動作や、②人との接触、③人への親和的な印象を与えることが求められ、それを実現する為、①大きな自由度と可動域を備え、特異点無く、手先の可操作性楕円体の大きなリンク構造が実現する自然な動き、②人との接触を実現する力制御可能な筋駆動による柔軟な動き、③人との形態と動作の同型性を活かした親和性の高い外観意匠設計が重要であると論じている。

第3章「人体筋骨格構造に学ぶヒューマノイド柔軟身体構造デザイン」では、人体の筋骨格駆動、体幹脊椎構造、肩甲骨鎖骨構造に関してヒューマノイドがその利点に倣うことで得られる効果について纏めており、人体における広い可動範囲と柔軟性をもたらす効果について詳細に記述し、これをヒューマノイドにおいて抽象化し適用することの意義と実現性について述べている。

第4章「人体構造に倣う筋骨格型ヒューマノイドの全身構造構成法」では、人体構成に倣い、既存のロボットにはない冗長多自由度筋骨格、柔軟多節脊椎、肩甲骨鎖骨構造等といった構成要素を持つ事で、身体に広可動域と柔軟性を獲得することを目指した、ヒューマノイド小太郎について詳説し、人体構造の抽象化により、実現された構造の有効性について述べている。

第5章「柔軟多自由度大可動空間を有するヒューマノイドの設計開発」では、小太郎において課題となっていた、骨格間摩擦、筋経路摩擦、モータの温度上昇等の問題を解決し、骨格自由度、筋配置等の構成の抽象化レベルでの最適化を行い、自由度を少なく、筋配置をより工学的に効果的なものとする事で、能動的可動域が大きくロバストな全身行動の実現を目指したヒューマノイド小次郎の開発プロセスを詳説している。

第6章「筋骨格型ヒューマノイドにおける多自由度柔軟肩構造の開発」では、ロボット手先を用いた環境や人との柔らかな接触を実現可能とする多自由度柔軟肩構造の実装法について論じ、3通りの抽象度における肩構造の構成法に関して示している。最終試作となる小次郎の肩部では、リンク数は人と同様の構造を残しつつ関節部の構造を単純化し、自由度数を絞って劣駆動性を排することによって制御性を向上させ、更に

摩擦の問題を解決した。そして実装した肩構造を用いて可動域と柔軟性に関する評価実験を行い、人と同等の大きな能動的可動域の獲得、肩を駆動する10本の筋を用いた力制御による肩の柔軟馴染み動作を示し、得られた効果について論じている。

第7章「ヒューマノイドに求めた存在様式の行動実現」では、身近些事支援行動の実現に求められるのは、動作の多様さと人と接触可能な柔軟さであるとし、広い可動域／動作の再現性／動作の継続性／大きな可搬重量／負荷最適化／可操作性の拡大／大きな手先速度／両腕拘束時の可動域確保／外力に対する手先の逆可動性であると指摘している。これらの実現可能性を総合的に評価する全身行動実験群（クランク回し／机拭き／太鼓叩き／餅つき／背中拭き／肩たたき）を行いこれらの効果を、肩の広可動域と柔軟性の観点から確認し考察を述べている。

第8章「結論」では、各章で述べた内容をまとめつつ本研究を総括し、人の側で真に活躍の期待できるヒューマノイドロボットハード開発の、今後の発展方向について述べている。

以上、これを要するに本論文は、人の傍らで多様な作業を柔らかく遂行する機能を有する等身大ヒューマノイドの構成法として、全身の外観と生成動作における人との類似性に基づく親和性が重要であると考え、人体が備える肩甲骨鎖骨構造による多自由度と柔軟性をロボットの身体に付与することで、行為の多様性、人との親和性を実現する新たな身体構成法とその行動実現法を示したものである。行動実現評価実験において実現された行動は外界との衝撃力を吸収する身体構造を必要とするものであり、これまでのヒューマノイド研究では示されなかったものとなっており、学際情報学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（学際情報学）の学位請求論文として合格と認められる。