

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 渡邊孝一

本論文は「人とのコミュニケーションを目的としたトレイグジスタンス・マスタスレーブシステムの研究」と題し、6章からなる。これまでに、遠隔のロボットを臨場感を有して制御するトレイグジスタンスのマスタスレーブシステムに関する研究が行われてきているが、コミュニケーションを目的としたトレイグジスタンスのマスタスレーブシステムを設計する際的设计指針はいまだ得られていない。本論文は、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムを利用した人とのコミュニケーションを実用化するためのプラットフォームを構築することを目標とし、そのために必要な頭部および腕部の各部位が満たすべき条件を明らかにして、実際の統合システムを構築したものであり、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムの設計論への道を拓いている。

第1章「序論」は緒言で、まずトレイグジスタンス・マスタスレーブシステムと臨場感について概説し、人とのコミュニケーションを人や物体との接触を伴う相互作用がある場合とない場合に分け、それぞれが必要とする要素について体系的に論じている。すなわち、相互作用がない場合では、(1)動作の範囲(2)追従性(3)各部位の相対関係の保持の3点を必要な要素とし、相互作用がある場合では、(1)力の共有(2)関節の柔軟性の2点を必要な要素として、その着眼点のもと、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムにおけるスレーブの機能を再検討し、頭部では動作の範囲や追従性が、腕部では関節の柔軟性がそれぞれ重要な要素であることを示している。それらの知見からトレイグジスタンス・マスタスレーブシステムをコミュニケーションに利用する際に有効な設計法を導いて行くという、本研究の目的と立場と意義とを明らかにしている。

第2章は、「操縦者とスレーブロボットとの間の寸法不一致の影響に関する考察」と題し、各部位の設計論に先立って、スレーブロボットが持つべき寸法範囲を検証している。既に、操縦者とロボットの寸法は異なるが全体として相似形である場合は、スケーリングによって対処可能であることが知られている。しかし、寸法が相似では無い場合はスケーリングにより対処が出来ず、その影響も明らかになっていない。そこで、スレーブロボットの上半身に限定して、上腕寸法、前腕寸法、肩寸法、首寸法、視点寸法の5つの部位の寸法に対して、対応する操縦者の各部位の寸法に比べその寸法を変化させた場合の影響をポインティングタスクの性能によって調べ、その結果、どの部位に対しても操縦者の寸法から1.0~1.2倍ほどの寸法範囲でタスク性能が低下しないことを確認している。また、上腕寸法においては1.0倍よりも1.2倍においてタスク性能が向上しており、他の部位は同じで上腕の寸法のみが操縦者の寸法よりも1.2倍程度大きい上腕を持つロボットを設計することの優位性が示唆されたとしている。

第3章は「頭部システム的设计・実装・検証」と題し、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムを構成する身体各部位のなかで頭部に着目し、第1章で掲げたコミュニケーション要素を実現するために必要な設計要求として、頭部においては特に運動領域と追従性が重要であるとの観点

から、従来の頭部回転 3 自由度を持つロボットヘッドの運動領域は人間の頭部がとりえる運動領域に対して狭く、正しい視覚情報の提示が行えない点を問題として捉えている。なお、議論を本質的な部分に絞り込むため、本論文ではロボット全体の移動を排除した着座状態での頭部の運動領域に限定し議論を進めている。着座状態での人間がとりえる運動領域をカバーするため、3 自由度の頭部を 3 自由度の腰部に相当するリンク機構の先端に取り付けることにより頭部全体の運動を可能とする機構に着目し、ハードウェア側で自由度を 6 自由度に拡張した頭部・腰部一体型ロボットヘッド **TORSO** を用い、自然な立体視の提供による高解像度な遠隔 3 次元映像再現のための **TORSO** の設計パラメータに準拠した最適設計 **HMD** (頭部搭載型ディスプレイ) を構築し、それらを組み合わせたトレイグジスタンス視覚システムである ``**TORSO-HMD** システム"を実現し、それを用いて実証実験を行っている。結果、ターゲットタスクにおいて従来の 3 自由度ロボットヘッドと比べて高速かつ安定してタスクを遂行できることを確認している。さらに、**TORSO** が持つ自由度を詳細に検証し、着座の作業の場合には、6 自由度までは必要なく、首の上下の並進 1 自由度を除いた 5 自由度で十分なタスク性能を示すことを明らかにしている。

第4章は「腕部システム的设计・実装・検証」と題し、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムを構成する各部位のなかから腕部に着目し、コミュニケーション要素において対人接触における本質的安全性を実現することが重要であるとの観点から、柔軟性の要素が緊要であるとしている。電気式や油圧式のアクチュエータを用いて柔軟性を実現するためには、大量のセンサや複雑な制御が必要となり、危険性やコスト、実現可能性の面で有利とは言えないことから、空圧アクチュエータにより構築された空圧アームが本質的安全性の観点から有望であると主張している。提案の空圧アームの有効性を検証するために空圧アームによるマスタスレーブシステムを構築し、従来の DC モータによるロボットアームに比べて遜色の無い動作性能を実現しながら、力センサ等の外部接触情報を用いることなく柔軟な回避動作を行えることを示している。さらに、バイラテラルシステムを実装し握手動作を行い、従来の電気式アームと同様に力の共有が可能であることを実証している。

第5章は「頭部・腕部の統合システム実装」と題し、第3章で提案した **TORSO-HMD** システムに対し第4章で提案した空圧アームシステムを実装しトレイグジスタンス・マスタスレーブシステムを構築している。人間らしい動きを表現可能なシステムが完成し、操縦者はロボットのアームを自身の腕のように感じるなど高い臨場感を得ることができ、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムのための空圧による新しい頭部・腕部統合システムが実現されたとしている。

第6章「結論」は結語で、本論文の結論をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本論文では、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムを用いた人とのコミュニケーションの実用化にむけて、頭部の自由度、腕部の寸法、柔軟性などの設計条件の解明を図り、それに基づき実証システムを構築し実証実験を行って、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステム設計論への道を拓いたものであって、システム情報学、特にロボット学及びバーチャルリアリティ学に貢献するところが大きい。

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。