

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 関 弘和

本論文は、「高齢者支援を目的とした計測制御システムの研究～福祉制御工学の確立を目指して～」と題し、これからの深刻な高齢社会において、高齢者や障害者に対する工学的支援を行う「福祉制御工学」という新しい学問体系を確立することを大きな目標としながら、とくに計測と制御の技術を基盤とした支援の可能性を追究したものである。

第1章「福祉制御工学の確立を目指して」は序論であって、本研究の背景や目的を述べ、本研究では、大きく三つの項目、すなわち、腕（パワーアシストロボット）、足（電動パワーアシスト車椅子）、目（高齢者モニタリングシステム）を扱うことを述べ、これらが、人間が計測制御システムの中に含まれたり対象となったりする特徴をもち、被験者を用いた実験的考察が必要であると主張している。

第2章「高齢者支援を目指したパワーアシストロボットとその制御」では、パワーアシスト動作に登場する三者（操作者、機器、環境）の望ましい関係、要求項目、用途と制御手法から見た形態を分類している。とくに新しい要求事項として、操作者が環境側の挙動や重さを感じることができると、さまざまな人間、環境、場面に対応できること、などを指摘している。また、力センサを使わずに外乱オブザーバで推定する手法を提案し、コストや構造面での優位性を述べている。

第3章「操作者・ロボット・環境間のインタラクションに注目したパワーアシストロボットの制御法」では、この三者間の関係に注目したパワーアシスト制御法を提案し、被験者を用いた実験的検討を行っている。パワーアシストの方法として、位置制御ベース型と力制御ベース型があることを示して実験的な比較検討を行い、力の増幅、操作性、安定性はもちろん、環境側の情報を感じられる、設計の自由度がある、という要求項目において考察を加え、高齢者支援への適用可能性に関するいくつかの指針を示している。

第4章「操作者が感じる操作性の向上を目指したパワーアシストロボットの制御法」では、いわゆるインピーダンス制御のパラメータを可変にすることによって操作性の向上を行う手法を示している。しかしこれを力センサレスで実現する際、慣性変動によって制御系の安定性が大きく左右されることを、根軌跡による解析で示すとともに、アシスト動作開始時にロボットを数回揺らして慣性値を同定すれば、小さいインピーダンスパラメータも安定性をおびやかすことなく採用できることなどを、実験的にも示している。

第5章「電動パワーアシスト車椅子の現状と多側面からの解析」では、パワーアシスト車椅子の基本構造や力学的解析結果を説明するとともに、購入した車椅子による走行実験を用いた多側面からの解析を行い、問題点を明らかにしている。

第6章「電動パワーアシスト車椅子の新しいアシスト制御法の検討」では、パワーアシスト車椅子の制御について検討し、ここでも、操作者の入力トルクにもとづいて位置や速度の規範値を作る位置制御ベースと、力の規範値を作る力制御ベースが考えられることを述べている。車椅子の場合、当然ながら、乗り心地やアシスト比の設定、上り坂や下り坂、さまざまな路面での安定した走行が要求されるため、その検討を行っている。

第7章「様々な走行場面に対応する電動パワーアシスト車椅子の多機能制御法」では、後方転倒防止を考慮した安全な走行制御や、段差を越える際に必要なウィリー動作の補助制御について検討し、実機実験と被験者を用いた検討を行い、今後のパワーアシスト車椅子の高機能化と普及を促進するであろう有益な提案を行っている。

第8章「高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた人間の異常動作検出」では、簡単なCCDカメラを用いて、一人暮らしの高齢者の非日常的な動きを自動的に検出する新しいモニタリングシステムを提案している。最初に、自己組織化マップ(SOM)を用いて、高齢者の普段の様子や動作パターンを学習し、次に、統計資料に基づいて分類した4つの非日常動作を、固有空間法を用いた画像間相関により検出するアルゴリズムを提案、実際にいくつかの動作をカメラで撮影して解析を行い、手法の有効性を確認している。

第9章「カメラ画像を用いた産業用ロボットの異常動作検出」では、第8章の手法を産業用ロボットの異常動作検出に応用した試みについて述べている。ロボットの制御系に依存しない独立したモニタリングシステムは、高信頼性の実現に不可欠である。異常動作の検出アルゴリズムは、固有空間法・パラメトリック固有空間法に基づいているが、ロボットの速度解析に黄金分割比を用いた探索法を導入することにより、異常検出時間を大幅に短縮している。

第10章は結言であって、「福祉制御工学」の確立を目指した本研究をまとめ、各研究項目に対する結論と今後の課題、将来の可能性を示すとともに、福祉工学と福祉制御工学の将来について議論している。

以上これを要するに、本論文は、高齢者支援を目的とした計測制御システムが、人間が主体となることによって生じる備えるべき要件を明らかにし、新しい学問分野として「福祉制御工学」の確立が必要であることを述べ、具体的な支援技術として、腕（パワーアシス

トロボット), 足 (電動パワーアシスト車椅子), 目 (高齢者モニタリングシステム) に関する特徴あるいくつかの手法を開発するとともに, 被験者を用いた評価を行ってその有効性を実証したもので, 電気工学, 制御工学上貢献するところが少なくない。よって, 本論文は, 博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。