

審査の結果の要旨

論文提出者氏名：呉 世訓

本論文は、「Fundamental Research on Human-friendly Motion Control (人間親和型モーションコントロールに関する基礎研究)」と題し、福祉機器を設計・製作する上での規範となる「人間親和型モーションコントロール」という概念を提唱し、制御工学の観点からその本質的技術課題を探究し、主としてパワーアシスト車椅子を具体的な適用例として、その有効性を実証したものであり、英文で記述された以下の7章よりなる。

第1章 (Introduction) は序論であり、高齢化社会の現状と問題点を示し、福祉における工学的支援の必要性を述べている。人間親和型モーションコントロールとは、人に快適感と安心感を与える動きを実現するものであり、人間自身が行っている制御とも深い関係があることを述べている。とくに、電気モータを筋肉システムに、制御器中のオブザーバを神経システムになぞらえることにより、本論文ではフィードバック制御とオブザーバ設計に関する研究を行うとしている。

第2章 (Generalization of Feedback Control for Human-friendly Control Design) では、電気モータを人間親和的に動かすためのフィードバック制御設計をインピーダンス制御の観点から見直し、インピーダンス制御が、位置制御、速度制御、力制御などを一般化した形であることを示している。その上で、制御器設計上の指針を考察している。さらに、フィードバック制御における新しい二つのトピック、非整数次インピーダンスと二関節筋モデルのモーションコントロールへの応用可能性に触れている。

第3章 (Development of Observer-based Sensor Fusion Method and its Application to Operational State Observer) では、人間親和型モーションコントロールの神経部であるオブザーバ設計に関する議論を、実際の設計例をもって行っている。具体的には、車椅子運転に必要な情報を定義し、エンコーダ、ジャイロスコープ、加速度センサを利用し、前後方向の速度、車体の傾き角度、そして外乱を推定する運転状態オブザーバを設計している。センサーフュージョンによって、ジャイロスコープのドリフト現象や低速における速度観測の問題点などを克服しており、その有効性を実験によって確かめている。

第4章 (Human-friendly Design of Disturbance Attenuation Control for Wheelchair) では、産業応用分野で用いられる外乱抑圧制御と異なり、福祉機器における人間親和的なフィードバック制御系では、外乱の影響を誤差の大きさを評価するのではなく、実現されるインピーダンスの特性が、反力を通じて人間にどう受け取られるかを考えなければならないと主張している。具体例として、乗り物では、前後方向は速度制御、左右方向は力制御にするのが望ましいことを述べ、ここでは、車椅子のための二種類の外乱制御器をインピーダンスの概念を利用して設計を行い、実験によってその有効性を確かめている。

第5章 (Development of Sensor-free Power-assist Control as Disturbance Amplification Control) では、人間親和型モーションコントロールのもう一つの重要概念である外乱増幅制御を提案している。人間の出す力はモータ制御にとっては外乱となるので、もし強い外乱抑制制御が人間の身近で利用される機器に利用されると非常に危険な状況を招くことになる。従って場合によっては人間の力を増幅する制御が必要になるが、この外乱増幅制御もインピーダンス制御の観点から実現することが可能であることを示し、例として車椅子用のトルクセンサレスパワーアシスト制御系の設計と実験を行っている。

第6章 (One Hand Propulsion Control as Time-varying Impedance Control) では、人間親和型の制御器設計の例として時変インピーダンス制御を扱い、車椅子の片手漕ぎ制御器を例として設計している。左右方向のインピーダンスを決めるフィードフォワードとフィードバック制御を提案し、車椅子の進む方向が決められるようにした。このインピーダンスパラメータの決定には、人間の力の勢いを入力とするシグモイド関数を用い、片手漕ぎを実現している。

第7章 (Conclusion) は結論であり、人間親和型モーションコントロールの概念や本論文で実現したいくつかの方策をまとめ、将来展望を述べている。本論文は、あるシステムを統合的に人間親和型に設計する一般論を述べているのであって、具体例としてパワーアシスト車椅子に焦点を当てているが、他の福祉機器のみならず、健常者用の一般機器にも応用すべきであることを強調している。

以上これを要するに、本論文は、福祉機器の設計・製作において重要な指針となる「人間親和型モーションコントロール」という概念を提唱し、インピーダンス制御やオブザーバによるセンサフュージョンなど制御工学の観点からその本質となる技術を探究し、実験によって有効性を示したものであり、電気工学、制御工学、および、福祉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。