

## 論文の内容の要旨

論文題目 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)

氏名 吳 世訓

この学位論文は人間親和型モーションコントロールの確立を目指している。近頃様々な福祉機器が注目を浴びているが、制御工学的な観点からそれらの機器をどのように制御するかというソリューションを与えることを目的に、以下の三つの対策を本研究では行った。

- (1) 人間親和型モーションコントロールに必要な条件を提案する。
- (2) フィードバック制御を人間親和型モーションコントロールの観点から再考する。
- (3) パワーアシスト車椅子を具体的な適用例として用いて様々な人間親和型コントロールを適用する。

この人間親和型モーションコントロールは人間に快適感と安心感を与える動きを取り扱っていて、人間が行っている制御とも深い関係がある。それは、人間のような筋肉と神経システムを必要としているということでもある。適切に制御しているモータを筋肉システムに、また制御器の中のオブザーバを神経システムとして利用することができるのである。ということで、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。

モータを人間親和的に動かすため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多数のフィードバック制御（位置制御、速度制御、力制御）の一般化した形であることを示した後、その観点から制御器をどう設計するかということを考察した。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を人間親和型のモーションコントロールの観点から紹介した。

これらの考えに基づき、いくつかのアドバンス制御をパワーアシスト車椅子に適用した。

まず、車椅子の運転状況をモニタリングするオブザーバを設計した。前述したように、車椅子を安全に走らせるために神経システムが必要であり、そのため多数のセンサーを用いることも考えられる。しかし、必要なだけセンサーを利用することは合理的でないだけでなく、そのセンサーが直接必要な情報を提供しない限り、またセンサー自体が弱点を持っているときに正確な情報を得るにも不十分である。この問題を解決するためにオブザーバ設計をベースとしたセンサーフュージョン手法を提案した。この手法は人間親和型モーションコントロールに必要なセンサー（神経）システムを改善する方法になる。

車椅子運転に必要な情報を定義し、それを得るためのオブザーバを設計した。この提案する運転状況オブザーバはエンコーダ、ジャイロスコープ、加速度計を利用し、前後方向の速度、車体の傾き角度、そして外乱を観測する。このオブザーバはジャイロスコープのド

リフト現象と低速における速度観測の問題点などを克服したものであり、その有効性が実験によって確かめられた。

得られた情報を利用し、外乱抑制制御器を設計した。産業応用のためには多数の外乱抑制制御器が利用されているが、それらは外乱を完全に抑制するのを目的としており、そのまま福祉機器に利用するのは難しい。乗り物に乗っている人間は前後方向には速度制御に、左右方向には力制御に慣れている。この特徴を車椅子のような乗り物の外乱抑制制御を設計するとき考慮すべきである。これを考慮し、車椅子のための二種類の外乱抑制制御をインピーダンスの概念を利用して設計した。前後方向の速度ベースの外乱抑制制御と左右方向の力ベース外乱抑制制御がそれである。これらの制御器は実験によってその有効性が確かめられた。

人間親和型モーションコントロールのもう一つのトピックは外乱増幅制御である。人間自体がモータの制御から見た場合には外乱となるので、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人間の動作に反する方向でモータが動くことになり、とても危険な状況を招くことになる。この理由で時には人間の力を増幅する制御が必要になるのである。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、その例として車椅子用のトルクセンサーレスパワーアシスト制御器を設計し、実験を行った。

最後に人間親和型制御器設計例として時変インピーダンス制御器を設計した。自分の動作を見ていると人間は時変制御を行っていることが簡単にわかる。車椅子の片手漕ぎ制御器を時変制御器の例として設計した。左右方向のインピーダンスが一つ変数を持って変えられるフィードフォワード制御とフィードバック制御を提案し、車椅子の方向がその変数によって決められるようにした。このインピーダンスを決める変数は人間の力の勢いを入力とするシグモイド関数によって決められるようにし方手漕ぎを実現した。

この論文で提案した制御例は、一つのシステムを統合的に人間親和的に設計することができることを見せるためパワーアシスト車椅子に焦点を合わせているが、同一な考え方を他の福祉機器に拡張して応用することも可能なのである。