

審査の結果の要旨

提出者氏名 藤原茂喜

本論文は「パワーアシストカートに関する研究」と題し、人の操作力を検出し、モータでその力を補助することにより、最大 700 kg の手押し台車を、あたかもスーパーマーケットの買い物カートを操るようにならかつ安全に操作できる電動カートの開発を目的として行った研究の成果を纏めたものである。

本論文は、次の 7 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、パワーアシストに関する従来研究を概観し、本研究の背景と研究目的について述べている。

第 2 章「パワーアシスト用力センシングハンドル」では、人の操作力を検出する力センサの開発に関して行った研究を述べている。操作力によって生じる板バネの変位を渦電流式非接触変位センサで検出し、これを力に換算する方式を提案している。操作性、出力安定性、温度変化、湿度変化、および低ヒステリシス特性の点で、従来のひずみゲージを利用する力センサに比べて実用面において優れていることを示している。この力センサは、操作ハンドルに簡便に取り付けることができ、3 個の変位センサを使うことにより $XY\theta$ の 3 自由度の力（トルク）の検出を行っており、商品化されたパワーアシストカートに利用されている。

第 3 章「2 自由度駆動型パワーアシストカート」では、前後、旋回方向の 2 自由度の操作力を検出し、重量車両の駆動力をモータのトルク制御によってアシストする方式のパワーアシストカートについて行った研究について述べている。平地での良好な走行に加え、アシストゲイン（力検出値をモータの駆動力で補助する増幅率）を力検出値に応じて変更することにより、坂道でも楽に登坂できることを示し、制御方式の有効性を実証している。また、上限の速度を超えた場合に、操作感を急に重くすることによって、設定値以上に速度が大きくなるようにする工夫をすることにより安全なシステムと実現している。

第 4 章「全方向移動型パワーアシストカート」では、パワーアシスト制御技術とホロミックな全方向移動技術を組み合わせることによって、前後、左右、旋回の 3 自由度の操作力を検出して、全方向に軽快に駆動できる電動カートの開発について述べている。坂道へ斜めに進入しても 4 輪が問題なく接地するサスペンション構造、全方向移動機構をパワーアシスト駆動でスムーズに動作させる制御手法などを提案している。長辺の長い台車の短辺側をもって、横移動させる場合には、4 輪キャスターの手動台車で経験するように操作が難しくなる。そこで、左右方向への操作力と両手の偶力がほぼ等しくなるように制御することにより、横方向の移動における操作

感が格段に向上できる方法を考案し、その有効性を検証している。

実際の車両の制御方法として、両手で力センシングハンドルを保持した場合には押し操作が多いとして全方向移動制御を選択し、片手で力センシングハンドルの中央を保持した場合は引き操作が多いとして仮想 2 自由度駆動制御を選択する方法を提案している。これにより、長距離移動での片手引き操作時のふらつきが大幅に解消され、一方、エレベータ内などで微妙な操作をしたいときは全方向移動を可能とした。

これらに加えて、ユニバーサルホイールのフリーローラの芯材を樽形にすることにより、走行振動を激減させた。また、ユニバーサルホイールのバレル間に保護用プロテクタを設けることで、段差乗り越えの耐久性を飛躍的に向上させている。

第 5 章「パワーアシストカートの衝突回避機能」では、壁などの障害物との衝突が回避できるパワーアシストカートについて、新しい衝突回避方法を提案している。

まず、車両周辺の障害物の検知法として、車両先端で横向きに取り付けた超音波センサの検出値と、車両の移動軌跡の推定値を組み合わせることにより、全車両側面の障害物情報を検出する方法を提案している。また、衝突回避方法としては、自動組立に関する研究で発展した弾性中心 R C C の考え方を上手く適用している。具体的には旋回中心の位置を移動させることで、内輪差や外輪差の衝突の回避を実現している。

この衝突回避機能により、接触事故を気にせず、大型重量台車を女性でも気楽に操作できるようにすることが出来ている。

第 6 章は本論文の結論であり、本研究で得られた成果についての総括を行っている。

第 7 章はパワーアシストカートおよびこれに関する研究開発の将来展望を行い、さらに取り組まなければならない課題について述べている。

このように、本論文でなされた研究において、パワーアシストカートの設計と制御に関する多くの考案をおこない、その有効性を実証している。特に、操作感や安全性に関して得られた多くの知見は、人とロボットが共存する社会で起こる問題の解決に役立つものと考えられ、学術面での成果が高く評価できる。また、本研究に述べられた研究成果にもとづいて商品化されたパワーアシストカートは病院等における配膳車として既に利用されており、わが電動アシスト配膳車の 95% 以上のシェアを占めており、産業界における貢献も大きい。

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。