

## 論文の内容の要旨

論文題目                    パワーアシストカートに関する研究

氏      名                    藤   原   茂   喜

これからのロボットは人と隔離された空間で作業するのではなく、人と一緒になって作業を行うことが求められている。ロボットと呼ぶには少し無理があるが、その例としてパワーアシストの自転車や、車椅子（当研究の実用化と同時期）が実用化されている。

本研究では、力の代替としてのパワーアシスト技術に着目し、その実用化を目指したシステムを提案する。そのひとつが人手で運ばれる数百 [ kg ] 相当の重量台車である。

本研究の目的は、軽自動車レベルの重量のある手押し車両を、モータの存在を意識させず、まるでスーパーの買い物カートを操作する感覚で、軽快に手動操作できるパワーアシストカートを開発することである。

その第一の応用対象として、Fig.1 に示す保温保冷機能のある配膳車を選定する。従来の電動タイプは、あらかじめ速度を設定し、操作ハンドルに設置されたスイッチのオン・オフで駆動／停止を行わせる方式である。しかし、下記課題がある。



Fig.1. Overview of a meal delivery cart

- ・ 重量機械の動きに人が合わせるため、恐怖感がある
- ・ コーナリング前の減速や微妙な操作が困難である
- ・ 旋回はディファレンシャルギヤを介した手動旋回になるため重く、特にエレベータへの出し入れ等の微妙な操作が困難である

これらの課題に対し、パワーアシストカートは、メインスイッチと非常停止スイッチ以外のスイッチやレバーは存在しない。そして、操作者によるハンドルへの力の大きさとその方向により、車体の速度と進行方向が自動的に決定される。よって、モータの存在を意識させず、あたかも軽量台車のように楽に操作できると想定される。

まず、パワーアシストにおいて、基幹要素は人の操作力を検出する力センサである。できる限り周囲の環境変化に影響されないセンサが必要である。力センサが誤検出すると、重量車両が暴走する危険性があるため、最重要な対象である。そこで、操作力に応じて生じる板バネの変位を、渦電流式変位センサで測定する方法を提案する。操作性、出力安定性、温度変化、湿度変化、ヒステリシスに優れた、構造が簡単な力センサである。

また、たとえば、50 [N] の操作力に対し、変位としては最大でも約 0.3 [mm] なので、操作者にはその変位がわからない程度である。これにより、アクセルを踏んでいるような、いかにも駆動させている感覚をもたせずに、操作力を検出することが可能になる。

操作ハンドルの形状は一般の台車に多い横バー型であり、台車との接続部にこの力センサを備えている。操作方向は、2 自由度（前後、旋回）および 3 自由度（前後、左右、旋回）の検出ができる 2 種類のハンドルを試作・検証した。

次にパワーアシスト制御技術を車両に適用し、前後、旋回の 2 自由度の操作力を検出し、その力をアシストできる 2 自由度駆動制御型パワーアシストカートについて述べる。

前輪 2 輪をキャスト、後輪 2 輪をそれぞれモータで駆動できる方式とし、操作力の検出値に、アシストゲイン（操作力に対するモータの力増幅率）をかけてモータによる補助力とする。

平地で良好な操作感となるアシストゲインを設定していても、坂道の乗りでは、重く感じられ、操作感が悪化する場合がある。その対策として、アシストゲインを力検出値に応じて変化させることとする。坂道でも、平地よりほんの少し大きめの操作力で登坂できるようになる。

重量車両を、一人で軽快に操作できてしまうための安全対策が必要である。速度超過しそうな場合は、操作感を急に重くすることで、設定値以上の速度がでない安全なシステムである。

特殊な例として、操作ハンドルが 1 台の車両に前後 2 ヶ所あるパワーアシストカートにて、たとえ前後から二人が同時にハンドルを握っても、危険にならない安全性を実現する。

このように、多くの課題を解決した結果、最大で 700 [kg] もの重量台車に対し、軽快な操作感を実現している。

次に通路での幅寄せ移動や縦列駐車等を容易にするために、より運動性能を高める必要

が生じた。第2段階として、パワーアシストカートを、2自由度駆動車両から、横移動やその場回転できるホロミックな全方向移動車両（ODV：Omni-directional Vehicle）に発展させ、その操作性をさらに向上させることとする。

車輪としては、Fig.2に示すユニバーサルホイールを車両の四隅に、前進方向に対し、45°の角度を持たせて配置する。



Fig.2 Universal Wheel

まず、坂道へ斜めに進入しても4輪が必ず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する。

また、細長い長方形台車の短辺側をもって、横移動させる場合、操作が難しくなることは、容易に想像できることである。パワーアシスト制御でも同様である。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、操作感が格段に向上することを提案し、検証する。

4輪キャスターの台車を引き操作すると、左右によくふらつく。パワーアシストでも同様である。その対策として、全方向移動制御（押し操作）と仮想2自由度駆動制御（引き操作）に、切替できるようにすることを提案する。仮想2自由度制御とは、あたかも2自由度駆動制御型パワーアシストの動きを制御で実現するものである。両手で力センシング・ハンドルを保持した場合は押し操作が多いものとして全方向移動制御、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自由度駆動制御とする。把持部の検知は、ハンドルに光電センサを配置することで実現する。引き操作時に全方向移動車両のコーナーでの走行性を良好にする方法として、前後・旋回は速度制御であるが、横移動のみ目標位置を0とする位置制御の手法を提案し、実験によりその効果を検証する。パワーアシスト制御の有無にかかわらず、全方向移動車両のコーナリング特性や、直進性をも良好にする非常に有効な方法であると考えられる。

全方向移動において、前後・左右独立に速度の制限値を設定しても、操作者が操作したい方向と、車両が駆動する方向が一致するように補正計算する方法を提案する。

急な加速をさせても、恐怖感なく、また、加速が遅く感じることもない、速度の大きさに応じた加速度制限機能を提案する。

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る。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る。

これら多くの項目を検証していったことにより、全方向移動機構においても、軽快な操作感を実現した。

このように操作が簡単になり、便利になった反面、操作ミスに起因する障害物、特に壁面との接触事故の危険性が増加した。

この課題を解決するために、最も接触事故の多い壁などの固定物を対象として、自動的

に障害物との衝突を回避する技術について述べる。

障害物と車両との距離を測定できる超音波センサを、Fig.3 に示すように車両の四隅に 2 個ずつ配置し、その障害物と衝突が回避できる全方向移動型パワーアシストカートについて、独自の衝突回避方法を提案する。

まず、超音波センサの送信タイミングをランダムに発信させることにより、同一車両内、または他の車両の複数の超音波センサがあっても、相互干渉したり、誤検出のない信頼性の高い衝突回避用センシング・システムを構築する。

車両先端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、車両側面に多くの距離センサを並べなくても、障害物を推定できることを提案する。

独自の衝突回避方法として、旋回中心（純モーメントを力センシング・ハンドルに与えた場合、車両旋回の中心となる点）を自由に設定できる全方向移動機構の特性を利用する。その旋回中心をコーナー角に最も近い車両中心軸上に設定することにより、内輪差による衝突が回避できることを提案し、検証する。同様に外輪差による衝突回避も、旋回中心の位置の移動方法で可能であることを提案する。

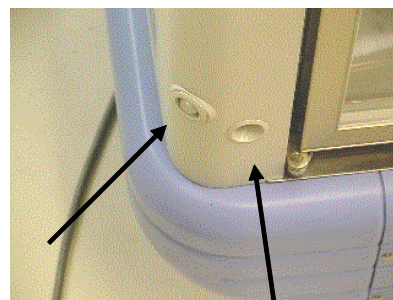
また、超音波センサの検出範囲は扇形に広がるため、車両の端に設置された状態では、正面の障害物か、側面のそれかを検知することが困難である。車両進行方向に対する壁の角度を  $45^\circ$  を境に判定できることを考案し、検証する。これにより、正面か側面の障害物かの判断が付きやすくなり、側面の壁の近くを並行に動作する場合や、エレベータへの出入りでも、急に減速することはなくなり、操作性の向上に役立つ。

これらを実現することで、超音波センサの数を少なくできる（計 8 個）。また、万一、超音波センサが誤検出しても、最大 700 [ kg ] にもなる車両が、操作者に恐怖感を与えない制御方式をとることができる。

2 自由度駆動制御のパワーアシストカートにおいても、超音波センサを利用し、壁との衝突回避方法を実現したことについて述べる。

内輪差の衝突回避において、車輪駆動用モータのエンコーダ情報に基づく旋回角度の制御にしたため、超音波センサの誤動作があっても、操作者に危険を及ぼすようなことのない、安全な制御システムを提案し、検証する。

このように、2 自由度駆動制御型パワーアシストカートにおいても、衝突回避機能を持たせることができることを示した。



**Fig.3 Ultrasonic sensors**