

# パワーアシスト積載運搬台車の研究開発（まとめ）

平野 聡\* 若生 進一\* 佐川 克雄\*

## 1. 緒言

生産現場では、少子高齢社会の進展に伴い、軽作業などへの高齢者就労を支援する装置開発が求められている。

このような背景から、平成10年度から12年度の3年間、物を運ぶ動作の、押す、引く、持ち上げる力をモータで補助をする「パワーアシスト積載運搬台車」の研究開発を実施した。

本研究の開発工程は、平成10年度にパワーアシスト技術開発に用いるため、パワーアシスト実験台車と移載実験装置の試作を行い、平成11年度には開発した実験装置を用いたパワーアシスト技術の開発、及び圧力分布センサの試作を行い、平成12年度には圧力分布センサの評価とマルチスイッチへの応用、及び研究成果の応用を目指した配膳台車の開発を福祉機器特別研究会と連携して実施した。

そこで、研究開発経過と平成12年度に開発を実施したパワーアシスト配膳台車、ならびに圧力分布センサ評価及びマルチスイッチへの応用について報告する。

## 2. 研究開発経過

まず、台車で運搬作業をアシストすることを想定し、従来の手押し台車と同じ感覚で操作出来ることを目標としたパワーアシスト実験台車の試作を行った<sup>1)</sup>。

構成は、図1に示すように、ハンドルコラムに取り付けた歪みゲージ、操舵輪に取り付けたタコジェネ、タコジェネからの信号を取り込む制御用パソコンからなる。この制御用パソコンにより、人が台車を押す力と走行速度を求め、あらかじめ設定したアシスト係数（人の力の整数倍）から計算されるモータ力を発生するために必要なモータ印加電圧を制御している。

また、手動台車を停止させるときに、引いてブレーキをかけるのと同じように、進行方向と逆向きに加える力に応じて減速力をアシストする発電ブレーキ回路を追加し、人の減速力に応じた発電ブレーキ力の制御も合わせて行うようにしている<sup>2)</sup>。

以上から、ハンドルを押すと走り出し、走行中に力を加えなければ惰性走行し、引くと止まるという手動台車と同様の運搬感覚を実現するパワーアシスト技術を開発した。

なお図中のマルチスイッチについては、圧力分布センサと合わせて後述する。

次に、物を持ち上げる作業のアシストを目的とした、パワーアシスト移載実験装置を試作した。

構成は図2に示すように、握り部センサにより人が動かしたい方向の力を上下方向及び横方向に分けて制御用パソコンに取り込み、ワイヤ巻き取り用サーボモータ及び横移動用サーボモータそれぞれのドライバにパルス信号を送信してパワーアシスト制御を行っている<sup>2)</sup>。

開発した移載実験装置のパワーアシスト技術の特徴は、荷物を吊り上げた状態で位置を保持する必要があることから、実験台車の制御方式とは異なり、握り部センサにかかる人の力によりモータ速度を決定する制御方式とな

っている。

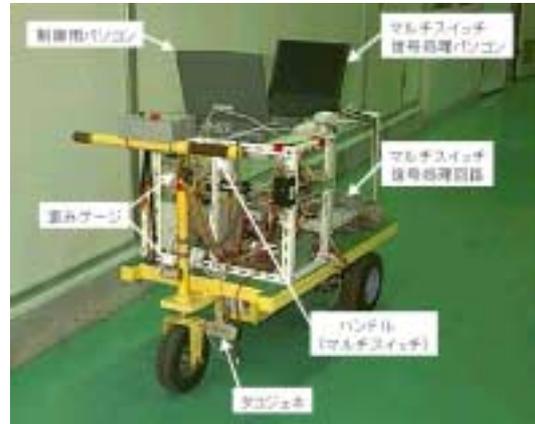


図1 パワーアシスト実験台車



図2 パワーアシスト移載実験装置

## 3. パワーアシスト配膳台車

研究成果の応用を目指し、本研究と連動している福祉機器特別研究会において平成11年度から会員企業5社からなる開発グループを組織し、地元の病院でのニーズ調査等を踏まえ、パワーアシスト実験台車の技術に応用した病院向け配膳台車の開発に的を絞ることにした。開発したパワーアシスト配膳台車を図3に示す。開発手順は、配膳台車開発に必要な技術開発、走行実験、及び操作性に関する評価の順に行った。

### 3.1 装置構成

まず、現地調査の結果から、積載される配膳物の重量を150kgと想定した。次に装置構成は、人がハンドルに加える推力の検出部とモータに付属するロータリエンコーダからの信号を、制御用のマイコンCPUに取り込むことにより、モータドライバ及び発電ブレーキ回路それぞれを制御する構成としている。また制御方式は、実験台車の技術を適用し、手動台車と同様な操作感覚を持つ構

\*システム応用部

成とした。



図3 パワーアシスト配膳台車

### 3.2 技術開発

配膳台車は、主にハンドルを引いて使用することを想定している。そこで、ハンドルにかかる人の引く力を測定する方法について検討した。その結果、人の推力測定は、ハンドル両端の支持部材に発生する歪み量を検出することにより行った。歪み量を検出する歪みゲージの配置と測定回路は、水平方向力及び鉛直方向力を同時に測定出来る構成とした。以後、水平方向力及び鉛直方向力のことをそれぞれ、水平力成分(推力)、鉛直力成分と呼ぶことにする。

パワーアシスト制御は、実験台車により開発した発電ブレーキ回路の制御も含めたパワーアシスト技術<sup>2)</sup>を導入し、配膳台車の制御回路、及び図4に示すような制御フローにもとづいた制御ソフトの開発を行った。

### 3.3 パワーアシスト走行実験

開発した配膳台車の走行時の入出力測定、解析、及びアシスト係数の検討を行うために、3人の被験者による走行実験を行った。3人の被験者それぞれの身長は、次のとおりである。

- 被験者1：178cm
- 被験者2：162cm
- 被験者3：166cm

#### (1) パワーアシスト走行時の制御入出力測定

図5に被験者1によるパワーアシスト走行時の制御入出力の測定例を示す。

図より、人の推力に比例してアシスト力を発生させるモータ制御電圧は、入力である推力によく追従し、またブレーキ力(負の推力)に応じた発電ブレーキ制御電圧も同様に追従していることから、パワーアシスト制御が良好に行われていることが確認された。

#### (2) 人の動作と推力検出部からの信号との関係

各被験者によるパワーアシスト走行実験を行い、ハンドルに加えられた力を測定した。その時の、人がハンドルに加えた腕の力(人が押し引きで感じる力)と水平力成分及び鉛直力成分の関係を図6に示す。ここで、F1、F2はそれぞれ押し、引きの時に人がハンドルに加えた腕の力を示し、Fx1、Fx2はそれぞれ押し、引きの水平力成分である。

図7は、人がハンドルに加えた腕の力の大きさと、腕の力と水平力成分とがなす角度との関係を示したものである。図7より、押しの場合は、ハンドルに加えられる力が

大きくなるにつれ、角度も増加することが分かる。つまり、ハンドルに力をかけて押すほどに、水平力成分の割合が減少し、人の感覚では見かけ上、重く感じることになる。

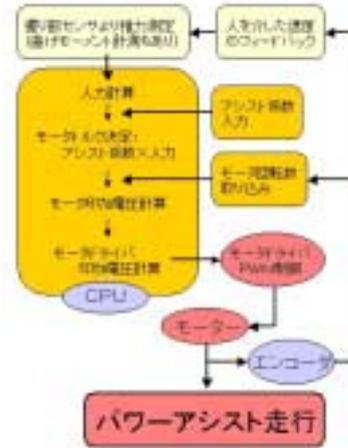


図4 制御フロー

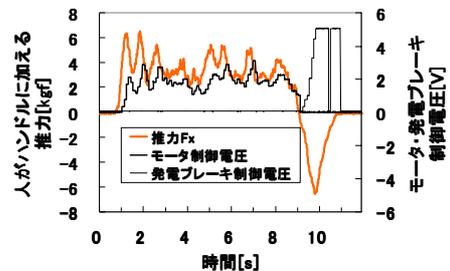


図5 走行時の制御入出力測定例

#### F1 = F2の場合

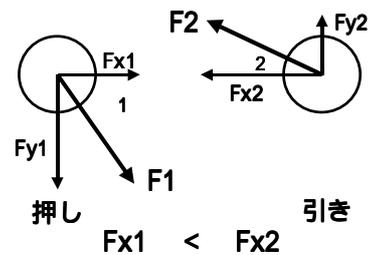


図6 ハンドルに加わる力の関係

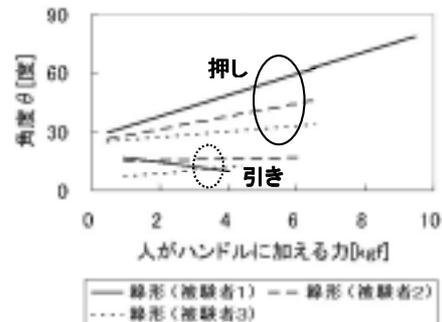


図7 力の大きさと角度との関係

また、角度の増加率は、被験者の身長によっても違い、身長が高いほど増加率は大きくなっている。この原

因として考えられるのは、ハンドル高と身長との関係であり、身長に対してハンドル高が低いと増加率が大きい。

一方、引きの場合については、ハンドルに加えられる力が増加しても、若しくは身長の違いがあっても、角度の変化は小さく、ハンドルに加えられる力の大半が水平力成分として働き、押しの場合とは逆に、人は軽く感じることになる。

以上のことから、図6に示すように、押し引きでハンドルに加わる力の大きさを同じく $F_1 = F_2$ とした場合であっても、パワーアシスト走行時の水平力成分は、押しよりも引きのほうが大きく、走行実験時の人の感覚でも引きのほうが軽く感じられ、押しと引きとを同じ感覚にするには、引きのアシスト係数を、押しに比べて小さい値に設定するとよいことが分かった。それに加え、操作をする人の身長の違いにより、水平力成分の大きさに違いが発生し、操作者によっては重く感じることも分かった。

よって、想定される操作者の体格に応じた、押し引きのアシスト係数の設定と、設計時のハンドル高さ検討の重要性が明らかになった。

#### 4. 圧力分布センサのマルチスイッチへの応用

高齢者の就労を支援する装置は、力のアシストだけでなく、その操作が簡便であることも大切な要素である。

本研究では、実験台車の操作を簡便化するため、台車のハンドルに圧力分布センサを巻き付け、多目的スイッチ(マルチスイッチ)としての装置試作を行った<sup>3)</sup>。

今後様々な福祉機器開発において、人と機械のインタフェースの重要性が高まると予想されることから、圧力分布センサをマルチスイッチへ応用する際に問題となる、圧力分布センサの特性及びスイッチとしての応用方法について、評価実験を行い検討することにした。

##### 4.1 圧力分布センサの特性評価方法

圧力分布センサのシステム構成は、図8に示すように、加えられる圧力に応じて抵抗値が変化する感圧導電性ゴムシートをフレキシブル基板で挟んだ圧力検出部、圧力検出点間の電氣的干渉を取り除くための走査及び検出点からの信号を処理する信号走査処理回路部、圧力検出点マトリックスについて走査し処理された信号をデータとしてパソコンに取り込んで画面に圧力分布を表示するソフトウェアとパソコンからなる。

圧力分布センサをマルチスイッチへ応用する際に問題となった点は、圧力分布センサそのものの圧力印加に対する出力電圧特性、及び圧力スイッチとして用いた場合の適切なしきい値の設定方法であった<sup>4)</sup>。

そこで図9に示す構成の装置で以下2種類の測定実験を行った。測定は、圧力分布センサマトリクスから任意に6点を選び、それらマトリクス各点に対し、パソコンでステッピングモータを位置制御しながら、ロードセルのロッドをアクリル板を介してセンサに押しつけ圧力を印加した。次に測定は、まずロードセルからの歪み量を歪みアンプ内蔵の記録計で取り込んで力(kgf)に変換してから、各マトリクスからの出力電圧と同時に測定し、記録する方法とした。

##### (1) 印加圧力と出力電圧特性

マトリクス各点における出力電圧のばらつきを測定することを目的として実験を行った。

方法は、感圧導電性ゴムのヒステリシス特性を考慮し、

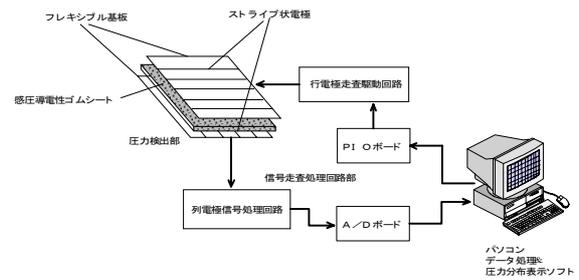


図8 圧力分布センサシステムの構成

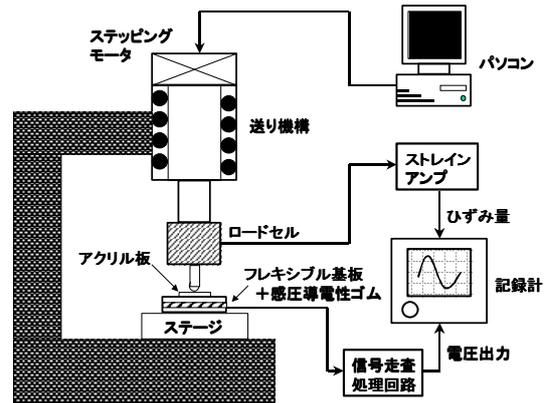


図9 実験装置の構成

まず印加圧力を $0.1 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の間で5段階に定める。次に圧力各段階の組み合わせを乱数により決定し5パターンを設定した。そして、各パターンごとに測定される各マトリクスからの出力電圧値を合計したものを印加圧力を合計した $2.6 \text{ kgf/cm}^2$ に対する測定値とし、これら5つのパターンによる5回の測定を、先に選んだ6点のマトリクスごとに行った。その際、パターン間の測定時間間隔は30分以上おいて測定を行っている。

結果は、マトリクス位置の違いによる測定値のばらつきが大きく、力センサとして実用にならないことが確認された。

##### (2) 圧力印加速度と出力電圧特性

各マトリクスに対して人が握って繰り返し圧力を加えることを想定し、握り方によって異なる圧力印加速度に対する出力特性を測定することを目的として実験を行った。実験は、周期の異なる3つのSIN波により圧力を印加し、各マトリクスからの出力電圧を測定する方法を用いた。この実験も先に選んだ6点のマトリクス全てについて行った。なお、振幅は、 $1.1 \text{ kgf}$ 、周期Tは、 $3.5 \text{ sec}$ 、 $8 \text{ sec}$ 、 $14.5 \text{ sec}$ とし、それぞれSIN波3周期分の半波成分を繰り返し印加している。

図10に各点の圧力に対する出力電圧を重ね合わせたグラフを示す。

この結果から、圧力印加に対応する出力電圧値が、圧力印加速度(周期の長さ)の違いにより大きく違うことが分かった。また、周期の始めと終わりとても出力電圧値が違ってくる。このことから、圧力分布センサは力センサとしては利用できないことが示された。

しかし、センサの面状構造という点に着目すると圧力スイッチの集合体として考えることが出来る。そこで次に、各マトリクスを圧力スイッチとして適用するために、しきい値設定方法の検討を行うことにした。

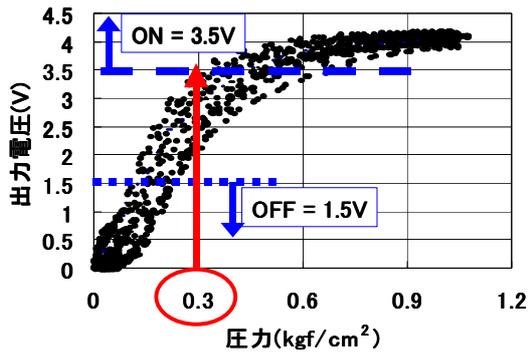


図10 出力電圧重ね合わせ

#### 4.2 マルチスイッチへの応用

まず、タクトイルシート方式の圧力分布測定器をハンドルに巻き付け、ハンドルを握って押し引きする際の圧力分布を測定することを行った。図11に圧力分布の一例を示す。

次に、得られた各マトリクスの圧力値について、適当な圧力区間を定め、各圧力区間ごとに該当するマトリクス数(圧力点数)をヒストグラムにし、ハンドルに加える力の大きさ順に並べて比較した。ハンドルを押す場合の一例を図12に示す。圧力区間 0.3~0.6kgf/cm<sup>2</sup> のマトリクス数に注目すると、人がハンドルに加える力の増加に従いマトリクス数も比例して増えていく傾向がみられ、ハンドルを引く場合でも同様であるが、圧力区間 0.3kgf/cm<sup>2</sup> 以下のマトリクス数では傾向が見られない。

これにより、圧力分布センサは、マトリクス各点において、圧力値 0.3kgf/cm<sup>2</sup> 付近に出力電圧のしきい値を設定し、これを超えるマトリクス数を数えることにより、センサマトリクス部分に対し、人がかける力の大小によ

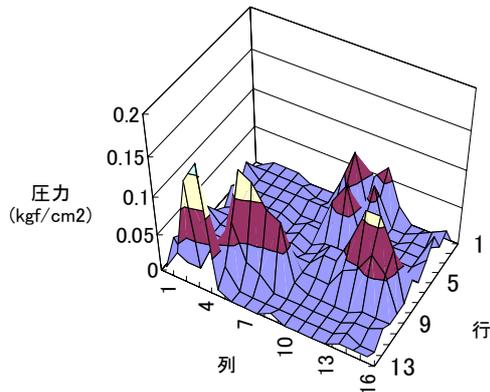


図11 人の握り圧力分布例

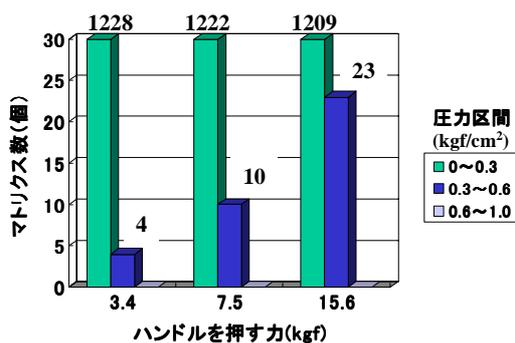


図12 ハンドルを押す力と圧力区間の点数

って切り替わる圧力スイッチ集合体として適用可能であることが示される。

次に、マトリクスからの出力電圧について、しきい値設定方法は、図10に示すように、圧力値 0.3kgf/cm<sup>2</sup> に対応する電圧をON = 3.5V と設定すればよい。

また、マトリクス各点において、ON-OFF を安定に切り替える動作をさせるためには、OFF になるしきい値を設定しヒステリシス特性を持たせる必要がある。図10の例では、OFF=1.5V と設定し、ON-OFF が安定に切り替わるようにした。

以上のことから、圧力分布センサは、適切なしきい値設定を行った圧力集合スイッチとしての適用であれば、人の握り方の違い等に左右されない動作の安定したマルチスイッチを実現出来ることになる。

しかし、配膳台車の開発においては、コストや信頼性確保の問題が発生し、マルチスイッチを不採用とした。

#### 5. まとめ

平成10年度から開始した「パワーアシスト積載運搬台車」の研究開発は、2つの実験装置を試作してパワーアシスト技術の研究開発を行ってきた。この研究開発の結果、最終年度となる本年度は以下の成果が得られた。

- (1) パワーアシスト配膳台車の開発は、実験台車の技術を応用し、福祉機器研究会の開発グループと連携して実施した。
- (2) 配膳台車は、良好なパワーアシスト走行が出来ることを走行実験により確認した。
- (3) ハンドルに加えられる人の推力の大きさと方向を評価した結果、人の体格に応じたアシスト係数設定及びハンドル高さ設計が、重要であると分かった。
- (4) 圧力分布センサは、センサ特性の評価実験により、圧力スイッチの集合体とみなすことができ、適切なしきい値設定であれば、動作の安定したマルチスイッチが実現可能なことを示した。

開発したパワーアシスト配膳台車について、今後は病院や施設等でのモニタ評価等を実施しながら製品化支援を行っていく予定である。

#### 謝辞

圧力分布センサの開発にあたり、独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門(旧生命工学工業技術研究所)主任研究官の佐藤滋氏に研修をとおしてご指導いただいたことをここに深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 佐川, 中嶋, 平野, 大高, パワーアシスト積載運搬台車の研究開発, 茨城県工業技術センター研究報告, Vol. 27, 28-29(1999)
- 2) 佐川, 平野, 若生, パワーアシスト積載運搬台車の研究開発(第2報), 茨城県工業技術センター研究報告, Vol. 28, 27-29(2000)
- 3) 平野, 若生, 佐川, パワーアシスト電動台車の開発, 日本機械学会関東支部茨城講演会講演論文集, 263-264(2000)
- 4) 平野, 若生, 佐川, 感圧導電性ゴムのロバスト性評価 - 圧力分布センサの開発 -, 精密工学会2001年度春期大会学術講演会講演論文集, 482(2001)