

平成 31 年 4 月 24 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06426

研究課題名 (和文) 電動アシスト車いすのユーザ特性適応型制御法と操作訓練システムの開発

研究課題名 (英文) Development of User Characteristics Adaptation Control and Operation Training System of Power-Assisted Wheelchair

研究代表者

関 弘和 (SEKI, Hirokazu)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：90364900

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,400,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究は、電動アシスト車いすのユーザ操作特性適応制御システムの開発を目的として実施した。具体的には、障害や病気により左右腕の操作特性が異なる使用者において、その特性をファジィ推論に基づき事前学習し、推定された目標位置に車いすを走行させる制御システム、さらに簡易な視覚フィードバック型操作訓練システムにより習熟度を向上させることにより意思通りの確実な直進旋回走行が実現できることを示した。実際の障害者による評価実験を実施し、目標走行位置と停止位置の距離誤差が25cm程度に収まる結果が得られ、実用レベルに近い走行精度を実現するシステムが構築できたと言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、電動アシスト車いすのユーザ操作特性適応制御システムの開発を目的として実施した。片麻痺や頸椎損傷などの障害や病気により左右腕の操作バランスが均一でない使用者に対し、その操作特性を事前学習し意図する目標走行位置を推定する制御手法を開発し、さらに安定的に操作できるよう習熟度を向上させるための視覚フィードバック型操作訓練システムも実現した。実際の上肢障害者に対し実用的なレベルの精度でアシスト車いすの走行が可能であることを示すことができたことから、使用者の利便性向上や車いすの普及、さらには高齢者や障害者の自立的で豊かな社会生活をもたらす、社会的意義の大きい成果が得られたと考える。

研究成果の概要 (英文) : This study aims at realizing a driving control system of power-assisted wheelchairs corresponding to the user operation characteristics. Since the users with unbalanced force of right and left arms due to some disability and illness are difficult to drive as he/she requests, this research realized a driving control system to direct to the estimated position based on the pre-modeled fuzzy inference and an easy visual feedback type operation training system to improve the user's proficiency. Some experiments using a real disabled person was conducted and the remarkable results were obtained which shows the proposed systems provide the high driving accuracy close to the practical level.

研究分野：システム制御工学

キーワード：制御システム 電動アシスト車いす ユーザ特性適応制御 操作訓練システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

電動アシスト車いす（図 1）は、搭乗者の入力した力を電気モータにより補助して走行するものである。筋力の落ちた高齢者・障害者でも利用でき、行動範囲を広げるものとして期待は大きい。ヤマハ製 JW-II が有名であるが、実際には段差の踏破、坂道や不整地での走行、操作性向上など様々な問題点も存在する。社会的インフラのバリアフリー化だけでなく、車いす自体の高性能化・多機能化により健常者と同じように行動できるようにすることが重要であるが、現在実用化されているものは、左右の操作トルクに対しそれぞれ単純にアシストトルクを追加するという制御が基本であり、学術的な立場からも様々な新しいアプローチが必要と考える。

本研究課題の着想に至った経緯として、実際の電動アシスト車いす使用者へのインタビューがある。使用者から見た操作上の問題点についてヒアリングを行ったが、その中の一つとして、頸椎損傷、片麻痺、怪我、利き腕、癖、その他様々な身体的特性により左右腕の操作力が異なり、直進旋回の意図通りの車いす操作が難しい（例えば片方の手を握ることができない障害者はハンドリムを手のひらで擦るようにして操作する）という問題点が明らかとなった。またこのような問題点に注目した学術研究はほとんど見当たらなかった。以上の経緯に基づき、代表者がこれまで電動車いすの研究開発で得た知見や経験を生かす形で、使用者の利便性向上や新たなユーザ増加、さらに高齢者や障害者の自立的ではつらつとした社会生活をもたらすという大きな社会的意義のある課題への取り組みを決めた。

2. 研究の目的

本研究は、高齢者や障害者の移動支援機器の一つである電動アシスト車いすのユーザ特性適応制御システムと視覚フィードバック型操作訓練システムの開発を目指す。電動アシスト車いすは頸椎損傷や片麻痺、その他の障害をもつ使用者にとって、自らハンドリムを操作することによる上肢機能や筋力の維持とリハビリ効果が期待される一方、左右腕が不均一な操作力となる場合は意図通りの直進旋回走行が難しい。本研究ではこのような個々人のユーザ操作特性に適応した走行制御システム、さらには使用者が安定的に意図通りの方向へ走行できるよう促す訓練システムを開発する。具体的課題として、目標基準点の設定と操作データ収集・分析、目標走行位置推定および走行制御法の開発、視覚フィードバック型訓練支援システムの開発などであり、それらの成果を基に実際の障害者による実地評価試験を行い、提案する新しいシステムの有効性を実証していく。

3. 研究の方法

電動アシスト車いすのユーザ特性適応型制御システムと操作訓練システムの開発という研究目的を達成するため、目標走行基準点の設定、障害模擬時の操作トルクデータ収集・分析、車いすの制御実験装置の製作、ユーザ操作特性の学習および目標位置推定手法の開発、推定位置への走行制御法の開発、簡易な操作訓練システムの開発、実際の障害者による評価実験の順に実施する計画を立案した。具体的には以下のような方法で研究を進める。

最初に使用者の左右輪ハンドリムの操作特性を把握するため、操作トルクデータの収集方法を検討する。この際、前方にいくつかの目標走行基準点を設定し、それらの各点へ走行しようと操作した際のトルクデータを収集し、これをユーザ特性学習データとする。基準点をどの地点に何個設定すれば任意の地点への走行精度や使用者の負担軽減の点で最適であるかを明らかにし、また操作トルクデータの分布や範囲、習熟度の高さなども分析する。

次に、収集した学習データを基に操作者の意図通りの走行を実現する制御手法を開発する。また使用者の操作習熟度を向上させ走行精度を高めるための新しい試みとして、推定した走行軌道をディスプレイ上にリアルタイムに表示し、これを見ながら目標地点への操作感覚を訓練できるような視覚フィードバック型操作訓練システムを開発する。画面上にどのような物理量やグラフを提示すれば訓練の効果が高まるか、訓練期間や頻度なども合わせて検討する。最後に、実際の障害者による実地試験を行い走行精度等について評価する。

4. 研究成果

(1) 目標基準点の設定と操作トルクデータ収集

最初に、車いすの一漕ぎ走行領域内に目標走行基準点をいくつか設定する。これらの点は、使用者がそこに到達したいときに入力する左右輪の操作トルクデータを学習用として事前収集しておくための代表点であるとともに、後の操作訓練においてもこれらの基準点を対象として操作する訓練を行うこととなる。そのため基準点の数や配置は重要であり、少なすぎれば基準点以外の任意の地点への走行精度が劣化する可能性があり、逆に多ければ学習データ収集や操作訓練における使用者の負担が増加する。これらを考慮した上で本研究では図 2 のように 9 つの基準点を設定した。なお出発位置を原点とおく。基準点の配置については、まず健常の同伴者と並走することを想定し人の歩行速度（約 4.5km/h）と同程度の速度で走行するよう市販機を用いて実験検証をしたところ、一漕ぎで 3m 程度の走行となったため、これを直進方向の最大距離と設定した。また左右方向への旋回時（基準点 2、3、4、6）も 3m 以内に基準点を設定するようにし、さらに旋回角度が極端に大きい地点（基準点 4、6、7、8 よりも手前の領域）への走行は、現実的にはその場旋回をしたあとに直進走行をして到達することが普通であると考えられるため、全体として図 2 のような菱形の配置とした。次に基準点間の間隔の設定につ

いては、前述のように操作訓練時の負担軽減のため基準点の数が多いことにならないよう注意し、車いす 1 台分のサイズを間隔の目安とした。JIS 規格では電動車いすの最大長が 1.2m、最大幅が 0.7m とされている中、今回使用した実験装置では前者が 0.8m 程度、後者が 0.62m 程度であることから、基準点間の前後・左右の間隔を、車いす 1 台分を包含する前後 1m、左右 0.7m と設定した。



図 1 電動アシスト車いす

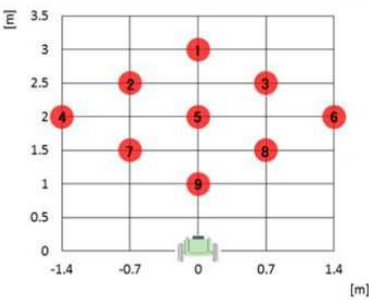


図 2 走行基準点の設定

次にこれらの基準点へ使用者が走行する際の左右輪操作トルクデータを収集し、これを二次元グラフで可視化することで、操作可能なトルク量などを分析した。さらに、データ取得の段階はまだハンドリム操作に不慣れな時期であるため基準点ごとにうまく漕ぎ分けてトルク値が明確に分散して分布するとは限らず、例えば 9 点の中のある 2 点のトルク値が似通っていることもありうるということが明らかとなった。この問題は目標位置推定制度や操作訓練効果に悪影響を及ぼすと考えられるため、この中で分布が近い、つまり漕ぎ方が似通っているいくつかの参照値に対し、両者を遠ざけるような適切な修正を加えたものを以下に述べる目標位置推定モデルや操作訓練に使用することとした。

(2) ファジィ推論による目標走行位置推定

使用者ごとに事前収集した操作トルク学習データを基に目標走行位置を推定する手法を開発する。今回は左右ハンドリムの一漕ぎ操作トルクデータの積分値の和と差に注目し、これらを入力変数としたファジィ推論モデルを設計し、使用者の意図する目標地点を推定する。ファジィ推論を用い操作トルク特性をメンバシップ関数で表現することにより、左右バランスや全体の操作力など使用者ごとの多様な操作特性やその変化が明確に示され人が理解しやすく、車いす使用開始後にも柔軟に再設計できる。最初に操作トルク積分値の和と差を入力変数として、これらを図 3 のように「BB」から「SS」まで 5 つのシンボルに対応した Π 型メンバシップ関数によりファジィ化する。メンバシップ関数の作成方法については、まず被験者ごとに各基準点に向かって 3 回ずつ一漕ぎで操作をしてもらい、このときの左右の操作トルク積分値の和と差の平均値を求めておく。この 9 組のトルクデータに対し、和と差それぞれにおいて大きいものの 3 つの平均を BB のグレード値上限に達する点、小さいものの 3 つの平均を SS の上限に達する点、中間の 3 つの平均を M とし、B は M と BB の中間、S は SS と M の中間を頂点と定める。図 4 はメンバシップ関数の一例であるが、片半身障害を模擬しているため左右非対称な関数となっており、個々人の操作特性を適切に表現できる。また目標位置推定のため、2 次元位置座標についても図 2 の横方向を X 軸、進行方向を Y 軸としてそれぞれについて「BB」や「SS」等でファジィ化する。

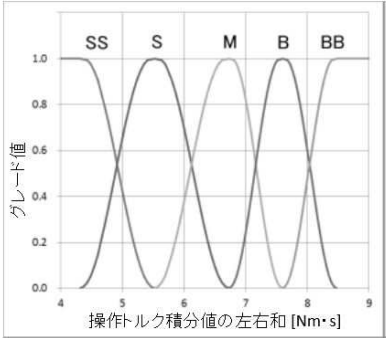


図 3 メンバシップ関数の例

和 差	SS	S	M	B	BB
SS	SS	SS	SS	SS	S
S	S	M	M	SS	S
M	M	M	M	M	M
B	BB	BB	B	B	M
BB	BB	BB	BB	BB	BB

図 4 X 軸推定ルール例

次にこれらの入力変数の各シンボルから目標位置を推定するファジィルールを設計する。設計したメンバシップ関数に前述の 9 組のトルクデータを入力してそれぞれグレード値に変換させ、例えば和が「BB」で差が「M」であれば目標地点は「1」というように、9 つの各基準位置が推定されるようルールの欄にシンボルを入れていく。しかしこれだけでは全ての欄は埋まらないが、残りの欄についてはその周囲のルールに埋められた複数のシンボルの範囲内でシミュレーション検証により調整しながら適切に埋めていく。こうして完成したファジィルールの一例を図 4 に示す。最後に代数積加算重心法を用いて非ファジィ化し目標走行位置の X 座標、Y 座標をそれぞれ推定する。

目標位置が推定された後、その地点へ車いすを誘導する制御を行う。この走行制御においては前進速度と姿勢角速度の指令値を設計し、これを左右輪角速度に変換してそれぞれフィードバック制御を行うが、ハンドリムを操作し車いすが加速している時間はまだ目標位置の推定が

行われていないため、適切な加速走行を行うための仮想インピーダンス制御を適用する。次にハンドリムを離し目標位置が推定された後はその地点まで導くため、スタート位置と推定位置を結ぶ直線との距離誤差や、推定位置における姿勢との誤差等から姿勢角速度の修正量を決定し、また前進速度については推定位置までの残り距離が 1.5m となるまでは一定速度を維持、その後は乗り心地を考慮して 3 次関数の減速指令値を生成する。

(3) 視覚フィードバック型操作訓練システム

上述のようなユーザ操作特性対応型走行制御を用いた場合でも、設計した操作特性モデルに沿った操作トルクを使用者が確実に与えられなければ意図通りの走行はできない。そこで使用者の操作習熟度を向上させ走行精度を高めるための試みとして、図 5 に示すような仮想的な操作訓練システムを開発する。これはハンドリムの操作トルクデータを PC に取り込み、そのトルク量や推定目標位置の情報をリアルタイムにディスプレイ上に表示するものである。本システムでは車輪を浮かし空転させ実際に車いすは走行させないことで、屋内で実施可能であり使用者の負担も軽減している。使用者はディスプレイを見ながらハンドリムを操作し、もし意図した位置と異なる位置が推定された場合には漕ぐ力を修正して再度操作し(例えば目標よりも左の地点が推定されれば右側トルクを弱めるなど)、このような訓練を繰り返し行うことで目標位置に到達するために必要な左右操作トルクを安定的に入力できるよう操作感覚をつかんでいく。

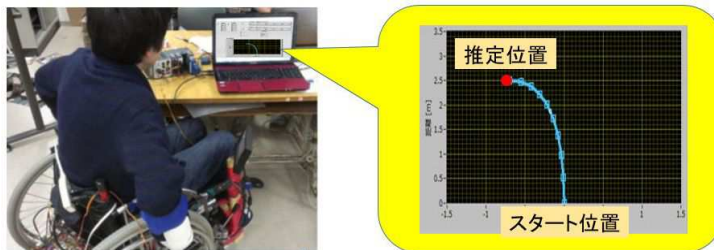


図 5 視覚フィードバック型操作訓練システム

(4) 実験検証の結果

開発した走行制御システムおよび操作訓練システムの有効性を示すため、実際に上肢障害を有する被験者により実験検証を行う。この被験者は先天性多発性拘縮症を有する 20 代男性であり、特に右手の関節運動に不自由があるため、本研究の趣旨に沿う被験者と言える。なお本研究内容および実験の遂行については千葉工業大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を得ている。実験の手順であるが、事前学習データの取得、走行評価実験(従来手法である一次遅れ系アシスト制御による実験、および提案手法を用いた実験)を 1 日目に行った後、2、3 日目に操作訓練を実施、4 日目に走行評価実験(提案手法)、5、6 日目に再度操作訓練を実施し、7 日目に最後の走行評価実験(提案手法)を実施した。

9 つの基準点へ 3 回ずつ走行を行った計 27 回の実験において、基準点と停止位置の距離誤差の平均値の推移を図 6 に示す。ファジィ推論による走行位置推定走行制御の適用により誤差は 50cm 程度まで減少し、さらに操作訓練の実施により最終的に 25cm 程度にまで減少した。ここで、健常者が市販の電動アシスト車いすを用いて同様の基準点への走行を行った際の距離誤差平均が 40cm 程度であったことから考えても、本実験の距離誤差は十分に実用レベルに匹敵する結果であると言える。また各基準点への走行軌跡の例を図 7 に示す。全ての基準点へ確実に走行させることが可能になったことが明らかに見て取れる。

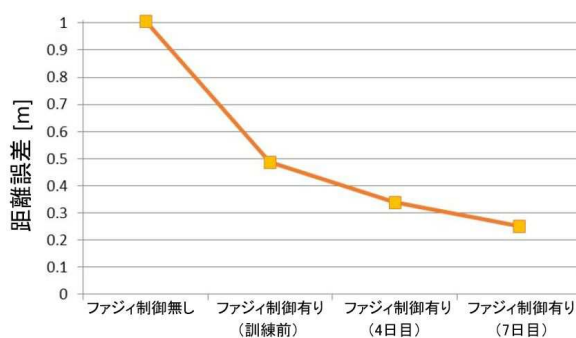


図 6 停止位置の距離誤差推移

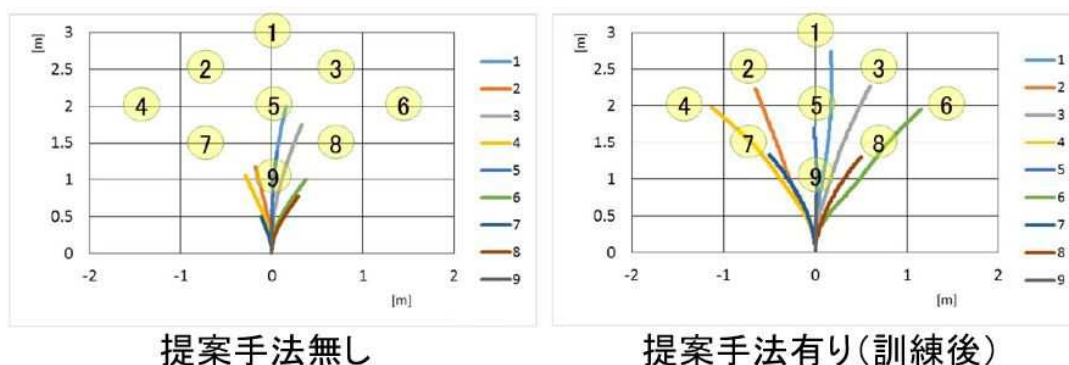


図 7 走行軌跡の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 関 弘和、倉本 達矢、電動アシスト車いすの目標位置推定型走行制御法と操作訓練システムの提案、システム制御情報学会論文誌、査読有、Vol. 32、2019（掲載決定）
- ② 関 弘和、ユーザ評価マップに基づく電動アシスト車いすの外乱路面走行制御法、システム制御情報学会論文誌、査読有、Vol. 30、No. 8、2017、pp. 314-322
DOI: 10.5687/iscie.30.314

〔学会発表〕（計7件）

- ① 深山 諒、金山 光希、岡崎 光晃、関 弘和、電動アシスト車いすのファジィ推論型高効率走行制御法と操作パターンによる検証、ファジィシステムシンポジウム 2018、WD1-2、2018
- ② 佐井田 梓、蛭田 崇寛、関 弘和、嗜好推定マップに基づく電動アシスト車いすのファジィ推論型快適走行制御、ファジィシステムシンポジウム 2018、WG1-4、2018
- ③ 山根 亮佑、関 弘和、電動アシスト車いすの路面外乱レベル適応型直進旋回走行制御法、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017、6Tp3-4、2017
- ④ 倉本 達矢、関 弘和、電動アシスト車いすの走行精度および操作安定性向上のためのファジィ推論型走行制御、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017、6Tp3-2、2017
- ⑤ 関 弘和、五十嵐 肇、電動アシスト車いすの省電力化と走破性向上を目的としたファジィ推論型走行制御法の提案、日本福祉工学会第20回学術講演会、308、2016
- ⑥ 倉本 達矢、関 弘和、電動アシスト車いすのユーザ特性対応型走行制御と視覚フィードバック型操作訓練システム、LIFE2016、3P1-C03、2016
- ⑦ 山根 亮佑、實川 晃宏、瀬野 孝志、関 弘和、電動アシスト車いすの外乱レベル適応型走行制御法、LIFE2016、3A1-D06、2016

〔図書〕（計2件）

- ① 関 弘和 他、ロボット制御学ハンドブック、近代科学社、2017、pp. 784-786
- ② 関 弘和 他、五感インタフェース技術と製品開発 事例集、技術情報協会、2016、pp. 232-239

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。