

[36]

氏名	鈴木立人
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	博第471号
学位授与の日付	平成26年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Assistive System Based on Autonomous Propelling Model for Attendant Propelled Wheelchairs
論文審査委員	主査教授 宇津野 秀夫 副査教授 小谷 賢太郎 副査教授 谷 弘詞

## 論文内容の要旨

本論文は、高齢介助者に対する介助用車いすの補助動力制御について高齢者の多岐にわたる押付け力特性の評価と健康維持を考慮し、各高齢者の個人的な押付け能力を規範モデルとし必要時のみ補助を行う制御手法とその検証で構成された全5章からなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景、目的、従来の研究および本研究の概要を述べている。第2章では、介助用車いす操作で一番操作負担が大となる縦勾配に着目し、登りと下りの場合で介助者の必要操作力と介助者が無意識に決定する車いすの駆動速度について、テスト路面における縦勾配上の介助用車いす操作試験から得られた知見を述べている。介助者の主観的な負担感各介助者体力と路面による操作負荷の差で決定されるため、5名の複数被験者による試験より操作負荷状況を検証している。また、介助操作時の姿勢に着目し、7リンク力学モデルを用いて各関節トルク負荷について検討を行っている。縦勾配の傾斜角度は平坦( $0^\circ$ )を含む、最大 $6.9^\circ$ までの3段階であり、路面表面はコンクリートタイルを用いている。本試験のために計測用介助用車いすを開発し、各ハンドルに6軸のロードセルを設置し左右の操作力の検出および、後輪速度をエンコーダにて検出している。また、車いす重量に加えて3段階の追加重りにて車いす質量を変化させている。車いすの登り操作は全被験者において勾配の増加や追加おもりの増加による操作負荷増加により車いす速度の低下が生じる知見を得ている。またこの車いすの低下傾向はspearman検定により立証を行っている。本試験結果において登り時の操作負荷 $F$ と車いす速度 $V$ の関係が線形な関係となることを示している。下りの場合は車いすの速度維持に重力を利用できるため、車いすの速度傾向が被験者の操作手法に応じて変化することを示している。また押付け、引張り操作時に介助者の体重を有効利用するため、操作姿勢が勾配や操作負荷に応じて変化する知見を得ている。関節負担は操作負荷に応じて上昇し、低関節負担となる操作力上限について設定できる知見を得ている。本章で得られた縦勾配上の介助用車いすの押付け駆動/引張り制動動作の総合的な知見は次の第3章から続く各研究手法へ繋がっている。第3章では、日常下の運動基礎体力を低負担感で継続が出来る最大之力-速度特性と考え、本論文では自律駆動特性と定義している。日常運動強度での自律駆動特性の力-速度/ト

トルク-角速度線図を得るため、計算機で再現した操作負荷を安定して与え長時間継続可能な定常押付け歩行動作時の動作点を逐次求める手法を本論文で新しく提案し、試験装置を開発している。個人的な体力の指標として力-速度特性はスポーツ選手の体力評価として従来用いられており、自転車ペダリングの最大トルク-角速度特性の評価やトレッドミル力走時の引張り力が評価されている。これら従来の手法は機器側の角速度、あるいは速度を固定した状況下で最大トルク、あるいは最大力を検出し、短時間最大努力時における個人的な体力特性を得る事は可能であるが日常下の運動強度の評価は行えず、また評価試験が高負荷運動強度であり低体力の被験者には不向きである。本論文では新しく開発した装置を用い日常運動強度における自律押付け歩行特性の評価を行い、主観的運動強度がほぼ10%~30%程度となる自律駆動特性の力速度線図を得ており、最大発揮動力は体力的に恵まれた被験者で40W程度という知見を得ている。本手法は従来評価が不可能であった日常運動強度下の各個人の自律駆動特性評価を可能とし、日常使用の移動補助用福祉機器設計に寄与できると考えられる。同手法の応用例として手動車いすにおける間欠手動リム駆動、およびハンドサイクルにおける連続腕クランク駆動時の自律駆動特性評価検証を行い、最大機械動力が間欠手動リム駆動で8W程度、連続腕クランク駆動8W程度となる知見を得ている。

第4章では、介助者が車いすを操作する際の支配的な運動特性と許容する操作負担の調整機能を定量的に推定して、自律駆動特性を含めた巨視的な運動解析モデルの構築と検証を行っている。車いすの補助動力支援機構の設計時には仕様に基づく多様な性能を評価する必要があり、本論文では介助者と車いす系を共働する一体系として解析し、行路環境や固体差等により変化する介助者の操作や運動特性をモデル内の要素として実現している。併せて、介助者の知覚した操作負担に対する経験則的な判断に基づく自律駆動・制動動作と歩み動作の複合的な身体運動についても要素として実現している。モデル化を図る際には、定常的な平衡状態下での特性に着目し、歩み動作により生じる車いすの操作力と速度の周期的な変動成分は平滑化して解析している。介助者の発揮力とその伝達特性は、提案・試作した電動歩行機式の運動解析装置を用いて推定している。また、操作時の身体的な負担は、心拍数を指標とする相対的運動強度により評価している。系統的な検証と解析結果より、介助者-車いす系において広範な負担に対する操作特性と運動解析モデルを構築しており、本論文で提案した運動解析モデルによる解析は実路・実機での試験結果とも一致し、車いすの付置機構の性能評価と設計に活用できることを示している。

第5章では、押付け歩行動作に着目し自律駆動特性を規範モデルとする補助動力システムの提案・検証を行っている。本論文で提案する補助動力制御手法は、第3章で評価を行った介助用車いすの日常運動強度における操作者の押付け力-車いす速度特性を自律駆動押付け力特性として規範モデル化し、介助者操作状況がこの自律駆動特性を上回った場合に補助力を発生する支援システムを構築している。この提案システムより、健康状態に応じて幅広く分布する高齢介助者の基礎体力に対して補助力を発生でき、各個人に大きく依存する操作負担感を一律に軽減することができる。また高齢介助者の体力維持を考慮し、出来る限りの自立性を支援することも同時に達成でき、従来の操作力に比例した補助力を発生する比例式補助制御手法とは大きく異なる特徴があることを述べている。試作した実機を用いて提案した補助制御手法の検証を行い、従来の比例式制御手法と比較し操作負担感

はほぼ変わらず、各個人の自律駆動特性の力-速度線図範囲内で介助用車いすを操作することが可能であり、健康維持に必要な操作負荷を与えつつ省エネルギー化が達成できることを示している。本提案手法により各種移動補助用福祉機器において、個人的な体力を考慮し必要時のみ補助力を発生させ、健康維持と省エネルギー化が可能となる補助動力支援システムが構築できることを示している。

第6章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、高齢者各個人の基礎運動能力に適応し、健康維持の観点から必要時に操作補助を行う介助用車いす補助動力制御手法について論じたもので、介助者の自律的な駆動特性評価を行う手法の提案と装置開発および検証を行い、自律駆動特性の規範モデルを用いた補助動力制御手法の有効性を計算および実験で検証し、以下の研究成果を取りまとめたものである。

1) 日常運動強度での自律駆動特性の力-速度/トルク-角速度線図を得るため、計算機で再現した操作負荷を安定して与え長時間継続可能な定常押付け歩行動作時の動作点を逐次求める手法を本論文で新しく提案し、試験装置を開発している。開発した装置を用い日常運動強度における自律押付け歩行特性の評価を行い、主観的運動強度がほぼ10%~30%程度となる自律駆動特性の力速度線図を得ており、最大発揮動力は体力的に恵まれた被験者で40W程度という知見を得ている。本手法は従来評価が不可能であった日常運動強度下の各個人の自律駆動特性評価を可能とし、日常使用の移動補助用福祉機器設計に寄与できると考えられる。同手法の応用例として手動車いすにおける間欠手動リム駆動、およびハンドサイクルにおける連続腕クランク駆動時の自律駆動特性評価検証を行っている。

2) 介助者が車いすを操作する際の支配的な運動特性と許容する操作負担の調整機能を定量的に推定し、自律駆動特性を含めた巨視的な運動解析モデルの構築と検証を行っている。系統的な検証と解析結果より、介助者-車いす系において広範な負担に対する操作特性と運動解析モデルを構築しており、本論文で提案した運動解析モデルによる解析は実路・実機での試験結果とも一致し、車いすの付置機構の性能評価と設計に活用できることを示している。

3) 日常運動強度での介助用車いす操作者の押付け力-車いす速度特性を自律駆動特性として規範モデル化し、介助者操作状況がこの自律駆動特性を上回った場合に補助力を発生する補助支援システムを提案・検証している。試作した実機を用いて提案した補助制御手法の検証を行い、従来の比例式制御手法と比較し操作負担感はほぼ変わらず、各個人の自律駆動特性の力-速度線図範囲内で介助用車いすを操作することが可能であり、健康維持に必要な操作負荷を与えつつ省エネルギー化が達成できることを示している。本提案手法により各種移動補助用福祉機器において、個人的な体力を考慮し必要時のみ補助力を発生させ、健康維持と省エネルギー化が可能となる補助動力支援システムが構築できることを示している。

以上のように、本論文は介助者の自律的な駆動特性評価を行う手法の提案および装置開発を行い、自律駆動特性を規範モデルとし必要時のみ駆動補助を行う補助制御手法を提案し、

実験でその妥当性、有効性を実証したものであり、学術上、實際上寄与するところが少ない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年12月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。