

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700662

研究課題名(和文) 要介護高齢者の自発行動を促す移動支援機器の開発

研究課題名(英文) Development of a mobility device to promote self-produced locomotion for the elderly in need of care

研究代表者

二瓶 美里 (NIHEI, Misato)

東京大学・新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：20409668

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者の加齢に伴う身体機能の低下を防ぎ、活動意欲を維持しながら自由に行動することが可能な移動支援機器や環境の提供は、高齢者が自尊心を保ちながら自立した生活をするうえで重要である。本研究では、先行研究における高齢者施設への電動車椅子導入障害要因分析に基づき、要介護高齢者の自発的な移動活動を促す、低負担の身体運動で操作が可能な手動車椅子の駆動動作を応用した操作インタフェースを有する電動車椅子を開発した。将来的には、支援機器開発の一つの手法として、本研究で実施する自発性や活動意欲の向上を促進する支援機器開発の方法論を提案していく。

研究成果の概要(英文)：Provision of such as mobility devices or environment to let elderly people be able to act freely while keeping their motivations as well as preventing age-related decline in physical function is important when the aged operate independent living maintaining his/her self-respect. This study aims to develop a newly operational system SLIDE FLEX on the basis of our earlier study, which applied touch-slide sensor based on obstructive factor analysis when adopting powered wheelchair to elderly facilities. Slide Flex is the electric wheelchair which encourages spontaneous transferal activities of elderly people who require nursing care, as well as having operational interface which manual wheelchair's propelling movement. We are planning to make a proposal of methodology, for development of the assistive products to accelerate geriatric self-motivation or conation for activities in the future.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

科研費の分科・細目：福祉用具・支援機器

キーワード：移動支援機器 車椅子 高齢者

## 1. 研究開始当初の背景

日本では、他国に類を見ない高齢化が進行しており、高齢者に対応した生活支援機器は今後さらに重要性を増すと考えられる。高齢化に伴い何らかの支援を必要とする介護保険認定者 467 万人(2009)のうち、近年、要支援 1、2 から要介護 1、2 レベルの高齢者の増加が顕著に認められるが、このようなレベルの身体・認知機能を有する高齢者を対象とした支援機器の開発は順調に進められているとはいえない状況にある。そのような高齢者を対象とした支援機器を開発し、導入するには、対象者の持つ疾患や障害、褥瘡などの身体機能の多様性や認知機能の低下やうつといった認知・心理的な問題を正確に把握しつつ、対象者の要望に沿って、導入プロセスにおける様々な選肢を考慮しながら開発を進めるという包括的な対応を図る必要がある。

一方で、新しい支援機器は臨床現場で受容されにくいケースが多い。特に、現場では身体機能を補償する役割の支援機器に対しては、使用することによる身体機能低下を懸念する声があり、また、移動に関していえば、介助者の目の届かない範囲への自立移動は不安全でリスクが高いと考えられている。このように、臨床現場では機器導入のメリットよりデメリットを重視する傾向が少なからず存在することも事実であり、しばしばエビデンスに基づかない判断がなされることがある。このような状況を踏まえると、高齢者を対象とした支援機器を開発し、導入するには前述の包括的な対応に加え、開発の段階で可能な限りデメリットを排除し、導入効果やメリットをより具体的かつ総合的に示していく必要がある。

## 2. 研究の目的

高齢者の加齢に伴う身体機能の低下を防ぎ、活動意欲を維持しながら自由に行動することが可能な移動支援機器や環境の提供は、高齢者が自尊心を保ちながら自立した生活をする上で重要である。本研究では、先行研究における高齢者施設への電動車椅子導入阻害要因分析に基づき、要介護高齢者の自発的な移動活動を促す、低負担の身体運動で操作が可能な手動車いすの駆動動作を応用した操作インタフェースを有する電動車椅子を開発することを目的と

する。将来的には、支援機器開発の一つの手法として、本研究で実施する自発性や活動意欲の向上を促進する支援機器開発の方法論を提案することを目指す。

## 3. 研究の方法

上記目的達成のために、下記に示す 3 つの項目について、次に示す方法で研究を進めた。

### (1) 車椅子駆動運動の分析とインタフェース形状の検討

日常生活場面における高齢者(片マヒや関節可動域の制限がある者を含む)の手動車いす駆動動作の観察を行い、加齢による影響を受けにくい手続き記憶を利用した駆動動作方法を決定する。これらを基に、高齢者の身体・認知・記憶特性に合わせた操作インタフェース形状を決定する。また、高齢者の車椅子駆動動作の生体力学、運動学、運動力学的比較解析を行い、推進ストローク動作や駆動時の手・肘・肩関節運動に関連する動作特性を明らかにすることで、手動車いすの駆動運動が心身機能におよぼす影響や期待できる効果を明確化する。

### (2) 操作インタフェースおよび電動車椅子の開発

本研究で開発する操作インタフェースは、手動車いすの駆動動作を利用した、触れる程度の力で安定した操作が可能な大型タッチパッド式インタフェースである。まず、(1)で得られたインタフェース形状のモックアップを作成し、電動車椅子シミュレータを用いて走行場面を提示し、それに合わせて駆動動作を行う想定実験を行う。その動作分析結果を基にさまざまな障害に適応調整可能な直進・旋回等の方式を検討し、動作の検出に必要な具体的な設計仕様を作成する。次に、それらの仕様を満たすタッチパッド式インタフェースを開発し、性能評価を行う。また、操作系、制御系、駆動系の統合を行う。車両部や全体の構成は、先行研究の施設調査で抽出した高齢者を対象とした屋内用電動車椅子の要求仕様に基づき、車両速度や加速度、全長、全幅、座位姿勢、操作姿勢、屋内走行環境等を考慮した仕様とする。

(3)開発したシステムの妥当性検証の実験および結果の比較による検証

普段手動車いすを使用している高齢者を対象とした試用評価を行い、基本的な走行や日常生活で行う応用的な走行の評価および改良を行う。その際に、先行研究で作成した操作能力評価を適用する。次に、本研究で開発するインタフェースの操作が、身体機能に与える影響を調べるため、基本走行や応用走行時の身体の運動計測を行う。また、十分な安全性の評価を行った上で、実用場面における想定対象者による予備的な介入評価を行う。さらに、申請者が作成している臨床介入評価プロトコルを基に実証評価を行い、本システムによって日常生活活動に関する身体機能の維持、ユーザビリティの評価、福祉機器の満足度評価、最終的には自発性の促進に関する評価を含めた総合的な評価および普段使用している手動車いすの総合的な評価との比較検証を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 車椅子駆動運動の分析とインタフェース形状の検討

手動車椅子の駆動動作が身体機能維持に及ぼす影響を調べ、また、高齢者の車椅子駆動動作の分析結果を基にインタフェース形状を決定した。手動車椅子の駆動動作は、三次元動作計測装置で計測し、それらの関節可動量や身体機能などの項目について整理した。図1に高齢者の手動車椅子駆動動作の分析概要について示す。次に、インタフェース形状については、高齢者の駆動動作と身体寸法データベースを基に分析を行い、数種類のモックアップを用いて比較検討を行った(図2)。その結果、左右のアームサポートに取り付けることができる形状を機能モデル形状として決定した。

- ・ 車いす利用高齢者11名の走行映像の分析 要求機能抽出
- 分析内容:動作の特徴、速度、ストローク、操作周期



図1 高齢者の車椅子駆動動作の分析



図2 モックアップの比較検討

高齢者 15 名を対象とした直進操作特性の把握実験を行い、関節可動域や運動特性と操作時に生じる左右差について検討を行った。また、その結果を基に、高齢者の手掌における動的弁別能力の評価実験(図3)を行い、感覚フィードバックを生じさせる付加機能を提案した。

それらを含めて、ユーザビリティ(操作しやすさ、取り扱いやすさ)およびインタフェース形状のコンパクト化を追加の要求機能として決定した。

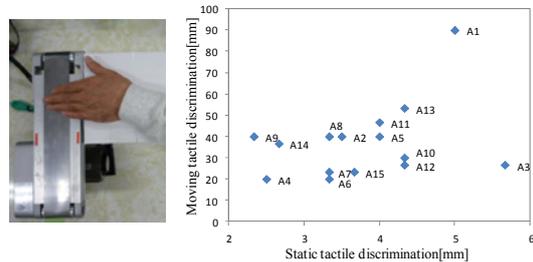


図3 動的弁別能力の評価実験

##### (2) 操作インタフェースおよび電動車椅子の開発

タッチパッド式操作インタフェースの開発および性能評価を行った。操作インタフェースは静電容量式(CSD方式)で、操作者が触れた部分の位置・変位・速度を基に3つのモードとして操作系に利用可能なインタフェースである。また、駆動系と統合し、速度操作モードについては、慣性走行モデルを組み込んだ車両モデルを作成した。操作インタフェースの構造および原理を図4に示す。

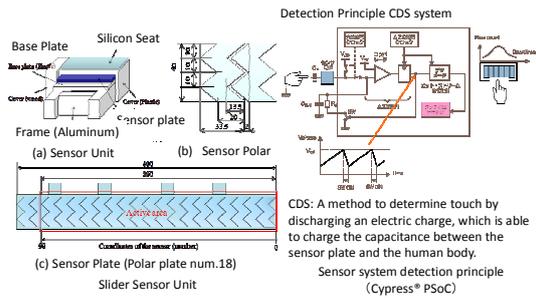


図4 操作インタフェース

次に、電動車椅子の機能評価および高齢者による試乗評価を行った。試作した静電容量式センサを改良し、開発した簡易操作シミュレータを(図5)用いて有効性の検証を行った。

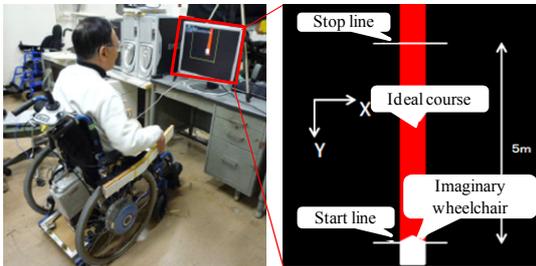


図5 簡易操作シミュレータ

操作しやすさを向上させるため、高齢者の手掌における動的識別能力の把握実験結果から、操作感覚をフィードバックさせる付加機能として、操作性の向上を見込める凸線フィルムを提案した。提案した凸線フィルムを図6に示す。



図6 動的識別能力に基づく凸線フィルム

簡易シミュレータによる有効性の検証として、直進性操作特性の把握実験結果から、関節可動域や運動特性と操作時に生じる左右差について検討を行い、制御アルゴリズムを改良し、さらに、臨床場面での取り扱いを考慮し、開発した機能モデルをベースに、取り扱い易くするための基板のコンパクト化を行った。

(3)開発したシステムの妥当性検証の実験および結果の比較による検証

・医療専門職による評価

昨年度までに作成した機能モデルを用いて、専門職である作業療法士2名による試乗評価および想定ユーザの適用性に関する調査を行った。

その結果、基本的に操作方法やシステム構成に関して大きな問題はなく、基本構成は現状のシステムで良好な評価結果が得られた。また、活動量軽減が可能なゲイン設定、直進性と旋回性が両立したパラメータ設定、想定外の挙動の防止といった制御システムに関する要求が得られた。

次に、想定ユーザについての調査では、二次障害と廃用防止のバランスが難しく、手指の変形が大きい場合があることから、リウマチ者への適合性が高い可能性があることがあげられた。また、心身状況変化に合わせて操作に使用するセンサ範囲などを変えることで、ALS患者への適用性が高い可能性があるという意見が挙げられた。頸髄損傷患者においては、生理的老化によって手動操作が困難になった者への適用可能性もあるという意見が挙げられた。

検討課題として、速度やゲイン等の制御パラメータと運動効果の関係性の明確化、利用条件を踏まえた適切なパラメータ設定方法の検討、施設内高齢者に限らないユーザや使用環境などの機器適用範囲の明確化、ユーザと操作方法を踏まえた形状等のマッチング方策とそれを実現可能にするデバイス構造の実現、が挙げられた。

・想定ユーザによる評価

想定ユーザの一つであるリウマチ患者による試用評価を実施した。対象者はムチランス型の関節リウマチ患者の女性1名(61歳、電動車椅子利用歴12年)である。身体特徴は、上肢長が10cmほど短く、特に肩関節の関節可動域が大きく制限されていた。

試乗の結果、直進動作など走行が可能であった部分もあったが、操作が困難な部分もあることが明らかになった。操作が十分に達成できなかった要因としては、下記のような項目が抽出された。①プロトタイプ寸法と協力者の身体寸法の不一致、②それによる接触面積の減少、③関節の動揺性、発揮力の低下、④体幹の安定。

これらの問題を解決する課題と改良点としては、センサユニット長の縮小、操作に対する出力ゲインを大きくすること、片手による操作の実装、手動ブレーキ、があげられた。

・上肢運動器の機能維持効果

健康者3名に対して実施した3次元位置計測

装置や筋電計を用いた運動計測結果の分析を行った。評価には手動車椅子 (Invacare 社製) とプロトタイプによる比較を行い、プロトタイプの操作では、位置比例制御方式 (PP 法)、変位比例制御方式 (DP 法)、速度比例制御方式 (VP 法) と出力ゲインをそれぞれ 0.5、1.5 に設定して行った。

評価対象は、3次元動作解析システム (Motion Analysis) を用いて関節角度、可動域を算出し、筋電位は Web-700 を用いて三角筋前部、三角筋後部、三角筋中部、上腕二頭筋、上腕三頭筋、尺側手根屈筋、長橈側手根伸筋の左右 14ヶ所を計測した。図 7 に 3次元動作解析を用いた操作ストロークの一例を示す。

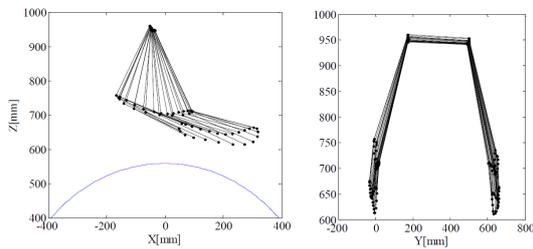


図 7 運動計測結果の一例

その結果、運動による運動器機能への効果は期待できるが、筋力維持が可能な負荷には不十分であることが示された。しかし、負荷のレベルを 3 種類の操作方法によって調整できること確認することができた。したがって、低負荷な操作によって活動性向上を実現する可能性が示された。

さらに、これまでに行った評価から、取付調整部や形状などユーザインタフェース部に関する課題と狭路場面における細かい操作性の低下の課題が明らかになった。そのため、制御系の修正とデザインモデルの開発を行った。

制御系の修正は、操作熟練者の手動車椅子の走行動作から、狭路場面の減速動作や接近動作を分析することで、操作パラメータを決定することとした。計測実験の対象者は、日常的に手動車椅子を利用している若年車椅子利用者 5 名で、テーブルや椅子、棚など日常生活で行う動作を抽出し、狭路場面における操作・走行特性を分析した。計測実験の様子を図 8 に示す。この結果、減速動作は接近対象との距離に依存し、接近角度には依存しないという減速パターンを明らかにした。テーブル接近時の減速パターンの一例を図 9 に示す。



図 8 手動車椅子利用者による対象物へのアプローチの実験

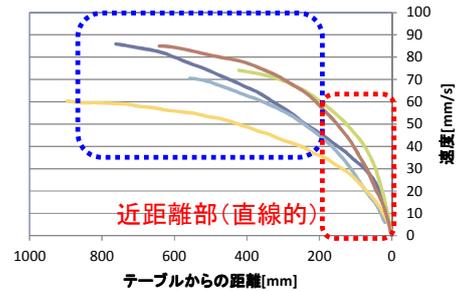


図 9 テーブル接近時の減速パターンの一例

#### ・デザインモデルの開発

デザインモデルの開発では、手掌の握り形状に合わせ、かつ滑りやすい素材と形状考案した。また、高さ調整を可能とするため、ユニバーサルアームを取り付けられる形状とし、関節可動域に合わせて前後の長さを調節できるようにスライダを組み込んだ。また、操作部に入るように基板やコネクタの小型化を試みた。これにより、上肢長や関節可動域の違いによる細かい調整を実現することができた。試乗評価では手指による操作が機能モデルより滑らかにできることを確認し、制御系の修正においては、周辺環境を把握して最大速度や加減速ゲインを自動調整可能な機能を付加した。

最終的には想定ユーザでの介入的な総合評価には至らなかったが、健常者にて走行特性の評価を実施した結果、操作性が向上したことを確認することができた。



図 10 デザインモデルの試乗走行

なお、本研究は東京大学倫理審査委員会の承認のもとに実施した。また、実験においては十分な説明を行い、インフォームドコンセント、同意を得て行った。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

- ① 嶋津祐太、二瓶美里、鎌田実、スライド式操作型車椅子における触覚フィードバック付加が操作性に及ぼす影響、LIFE2013、2013 年 9 月 3 日 (山梨) (ライフサポート学会若手奨励賞)
- ② Misato Nihei, Naohiko Harue, Minoru Kamata, A New Mobility Interface for the Elderly to Expand Scope of Activities - the Slide Flex, IEEE/RSJ IROS2012, 2012 年 10 月 8 日 (ポルトガル)
- ③ 二瓶美里、春江尚彦、鎌田実、静電容量式スライドセンサを用いた電動車いすの操作系の開発、第 27 回リハ工学カンファレンス、2012 年 8 月 24 日 (福岡)

[その他]

ホームページ等

<http://www.sl.t.u-tokyo.ac.jp>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

二瓶 美里 (NIHEI MISATO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号:20409668