

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2009年～2010年  
 課題番号：21760188  
 研究課題名（和文） 近距離移動における後期高齢者の操作能力の抽出と電動車いす移動システムの提案  
 研究課題名（英文） Analysis of the Operation Abilities of Older Persons while Driving a Handle Type Electric Wheelchair and Proposal of the Operator Assistance System  
 研究代表者  
 小竹 元基（Motoki Shino）  
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
 研究者番号：10345085

## 研究成果の概要（和文）：

後期高齢者の安全な移動を確保する移動システムの構築を目指し、日常生活の移動における実行動の問題点の抽出とその要因である身体特性の分析を行った。その結果、交差点における歩行者、信号に対する安全不確認や歩道から車道へ進入する際の後方への安全不確認が不十分であることが明確になった。その際の要因の一つとして、視覚的な有効視野や抑制機能といった注意と関係する能力との関連性を明確にした。そこで、支援方策の一つとして、さまざまな注意機能が必要とする場面として、後方からの対象物の接近に対して自動ブレーキをかける支援方策を提案し、その有効性を検討した。

## 研究成果の概要（英文）：

To clarify the cause of older persons' unsafe behaviors while driving a handle type electric wheelchair, we extracted unsafe behaviors of older persons by measuring video image data while driving the electric wheelchair in the real situation and measured driving abilities that is relation with the cause of unsafe behaviors. As a result, we found that non-confirming behavior was the most number of unsafe behaviors while driving and that older persons' divided attention, the useful field of view and the inhibition performance were declined. Therefore, we clarified that their declined performance was influenced the unsafe behaviors such as non-confirming behavior. Then, we proposed the driver assistance system which avoids collisions with the obstacle that approached from the rear side.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：人間生活環境，後期高齢者，電動車いす，操作能力，安全，不安全行動，支援

## 1. 研究開始当初の背景

加齢に伴う足腰等の身体能力の低下により日常生活での移動に不自由をきたした高齢者のモビリティを確保する移動手段として、電動車いすが普及している。電動車いす安全普及協会の調べによると、出荷台数の推移は増加傾向にある。電動車いすの累計出荷台数（2008年度）は約53万台であり、ハンドル形電動車いすが約40万台で全体の約76%を占めている。電動車いすの普及に伴い、電動

車いすに関わる事故は近年増加傾向にある。電動車いすに関わる事故には、交通事故と単独事故及び歩行者との衝突事故の2種類がある。電動車いす利用者の単独事故及び歩行者との衝突事故は交通事故扱いとならないため、警察署等への届出・相談等により警察官が認知した件数となるが、その値も増加傾向にあり、小さな事故も含めると数千件に及ぶ。今後、更なる高齢社会になることを考えると、電動車いすは更に普及し、それに関わる事故もさらに増加する可能性がある。そのため、

電動車いすに関わる事故を低減することは重要な社会的課題である。

## 2. 研究の目的

本研究では、後期高齢者の安全な移動を確保する移動システムの構築を目指し、歩道内を移動するハンドル形電動車いすの事故調査を他の調査事項も含め整理することにより製品としての実態と、高齢者の実環境での操作行動、身体機能、生活様式との関連性を明確にし、どのようなリスクのある運転行動から事故に至る可能性があるか、問題点の抽出を行い、その特性に基づく移動支援方を検討することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、不安全行動を事故につながり得る運転行動と定義し、ドライバーが不安全行動を起こすことによって起こる事象に注目する。現状の問題点として、不安全行動の発生要因は明確になっておらず、そのデータも存在しない。本研究では、それらの行動はドライバー・移動体・環境の3つの要素が影響すると考え、移動体をハンドル形電動車いす、ドライバーを高齢者、環境を歩行空間として研究を進める。その中で特にドライバーと環境の要素に注目し、高齢者の運転に関わる能力低下が原因で不安全行動が起こるのではないかと考え、その関連性から高齢者が不安全行動を起こす原因を明確にする。また、本研究では、高齢者一般についての議論ではなく、実験に協力してもらった高齢者の範囲内での議論である。ここで、電動車いすの運転に関わる能力を運転能力と定義する。

### (1) 高齢者の不安全行動の抽出

電動車いすを運転している高齢者が、実環境の中でどのような不安全行動を起こしているのかわからないため、実際の走行データを自動的に採取可能な計測システム(図1)を開発し、そこで得られた走行データから不安全行動を抽出した。被験者は、表1に示す普段からハンドル形電動車いすを使用している、都内在住の70歳から93歳までの高齢者4名(E1~E5)を対象に、日常の走行データを計測した。被験者には、研究内容、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントをえている。計測したデータは、前方、顔、操作部の3箇所の映像を一つに合成した映像データである。

そこで、計測した走行データを基に抽出した不安全行動を表1に示す。表より、安全不確実が最も多いことがわかった(165件/213件)。また、全ての被験者ではないが、自動車の走行を妨害する、信号無視をする、段差に乗り

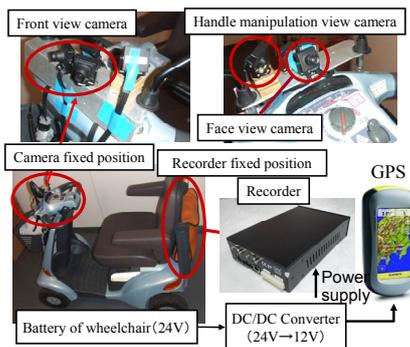


図1 運転行動計測システム

表1 運転時間と不安全行動の回数

Subject	E1	E2	E3	E5
Driving time [hour]	20	12	14	10
Freq. of unsafe behavior	74	53	50	36
Safety unconfirmation	56	46	40	23
Car driving obstruction	10	3	3	3
Ignoring a traffic signal	6	2	6	4
Difference running aground	2	0	0	2
Contact of bicycle and pedestrian	0	2	1	2
others	0	0	0	2

上げる、自動車歩行者の妨害をするといった不安全行動も見られた。不安全行動が起こる場所としては、交差点が最も多いことがわかった。

### (2) 不安全行動と運転能力の仮説

不安全行動の発生要因を明確にするには、不安全行動を起こすまでの過程を考える必要がある。そのため、ドライバーが知覚・判断・操作する過程で、運転能力の低下が原因で不安全行動が起こると考え、ドライバーが移動体で移動する過程を図2に表現した。

抽出した不安全行動から、確認行動が特徴ある要素であると考え、その行動を決定する判断が重要な要素であると考えた。確認行動は視覚的な行動であるため、本研究で扱う運転能力についても視覚に関する能力を考え、加齢に伴い低下する運転能力を抽出した。抽出した運転能力を表2にまとめる。その中で、本モデルをもとに抽出した不安全行動213件について、モデルの要素と運転能力の関係を整理すると図3のように表される。ハザード知覚には、有効視野・分割的注意、リスク知覚には、深視力・分割的注意、確認行動と操作行動には抑制機能がそれぞれ影響していると考えられる。

表2 加齢に影響する運転能力

Driving ability	Definition
UFOV	認知に寄与する周辺視野
Divided attention	2つ以上の課題を同時に遂行できる能力
Selective attention	不必要な情報は排除し、ある必要な情報に注意を向ける能力
Inhibition	不適切な反応を抑制し、次の反応への待機を可能にする機能
Depth perception	遠近感や立体感の能力

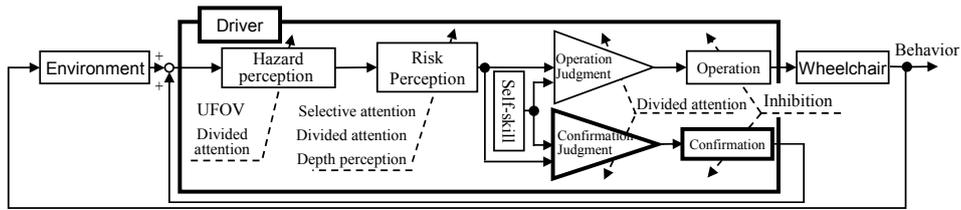


図2 運転行動過程と影響する運転能力

(3) 運転能力の把握

運転能力の計測として、有効視野、分割的注意、抑制機能の計測を行った。被験者には、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントをえた。図3に示す、52inchの液晶ディスプレイ上に表示された情報に対して、ジョイスティック、ボタン操作でタスクを行う。計測方法を以下に示す。



(a) 課題表示ディスプレイ (b) 操作系  
図3 運転能力把握のための実験装置

① 実験内容

有効視野・分割的注意能力の計測

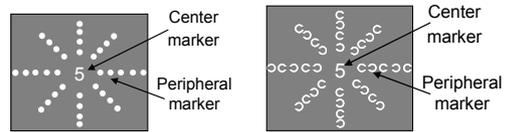
有効視野は、ある1点を注視した状態で、その周りに視覚的な刺激を与え、刺激に反応できるかどうかの課題を行うことで計測する。また、分割的注意能力は、視覚的な刺激に対して、同時に二つのものを処理する課題を行うことで計測する。そこで、それらを計測するために必要な中心視課題と周辺視課題、分割的注意課題を構築した。実験手順としては、中心視課題、周辺視課題、分割的注意課題の順に行う。試行回数は、中心視課題が1試行、周辺視課題と分割的注意課題は2試行である。

◎中心視課題：画面中央に1~9までの一桁の数字がランダムに一つ提示され、提示された数字を口頭で答える課題である。提示時間は100msで、提示間隔は1秒であり、計測時間は3分間である。

◎周辺視課題：画面中央を中心として放射状に周辺マークをランダムに提示し、画面中央の「+」印に視線を固定した状態で、灰色の画面上に提示された周辺マークが見えたら反応する課題とした。提示する周辺マークとして、白い丸のマークと白いランドルト環の2種類で課題を行った。白い丸のマークに対してはボタンを押して反応し、ランドルト環のマークに対しては、左右開いている向きを弁別する課題とした。また、周辺に提示するマークは、画面中央に視線を固定しやすくするため、4秒間かけて徐々に輝度を上げ、4秒間かけて徐々に輝度を下げるといった提示方法で行った。画面の中心、目、マーク提示位置の成す角を定義し、周辺マークの提示位置とし

て、水平方向についてはその角度が10°、20°、30°、40°、50°の5箇所、垂直方向についてはその角度が10°、20°、30°、33.5°の4箇所、45°の方向についてはその角度が10°、20°、30°、40°の4箇所の位置にマークを提示した。計測時間は1試行3分間であり、この間に全ての提示位置に、ランダムにマークを提示させた。

◎分割的注意課題：図4のように、中心視課題と周辺視課題を同時に行う課題とした。これ以降では、便宜上、周辺マークが白い丸の場合を分割的知覚課題、ランドルト環の場合を分割的処理課題とする。



(a) 白丸タイプ (b) ランドルト環タイプ

図4 分割的注意能力課題

抑制機能の計測

抑制機能は、不適切な反応を抑制し、次の反応への待機を可能にする機能である。そのため、視覚的な刺激の中からターゲットを検出する課題を行う最中に、時々関係の無い視覚的な妨害刺激を呈示し、この妨害刺激の有無によるターゲットの検出までの時間差により計測する。図5に示すように、初期画面では灰色のサークルが6個、円周上に等間隔に並んでおり、灰色の文字がサークルの中に書かれている。その画面から標的画面に変化した際の灰色のサークルの中にある文字がCであるかCの逆(左右反転)であるかを弁別する。標的画面では5つのサークルのラインは赤になり、中の8が文字に変わる。その際、妨害マークを与える条件として、5つの赤いサークルと全く同じ文字を含んだ白いサークルを時計の2、4、8、10時の場所のいずれかに出現させる。そこで、妨害マークが追加される条件と追加されない条件により弁別時間を計測する。

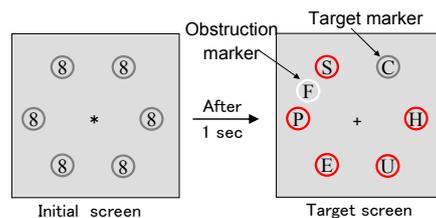


図5 抑制機能計測課題

得られた実験結果をまとめると、以下の通りである。

## ②実験結果

### 有効視野、分割的注意特性

- ・周辺マーカに対して反応しにくい位置は、個人差があり、共通して上方向は反応しにくい。

- ・同時に複数のものを処理する分割的な課題に対して、周辺マーカに対する間違いが増え、周辺課題に対する処理精度が大きく劣る。

(図6)

- ・正確に反応できた周辺マーカに対する反応時間は、中心視から離れるほど長くなる。

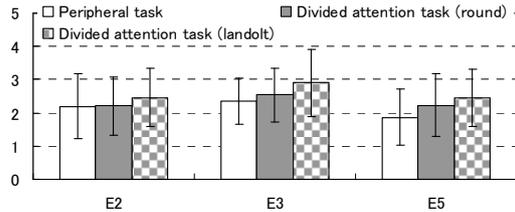


図6 各課題における反応時間

### 抑制機能

図7に結果を示す。図5に示すような妨害刺激のある条件の有無により、被験者 E2 ではその差が見られないが、被験者 E3, E5 は、反応時間が約 0.1 秒遅れた。有意差検定を行った結果、5%水準で有意差があることがわかった。この結果から、被験者 E2 では抑制機能の低下が見られないが、被験者 E3, E5 は注意すべき対象でないものに注意を向け、反応が遅れることがわかった。

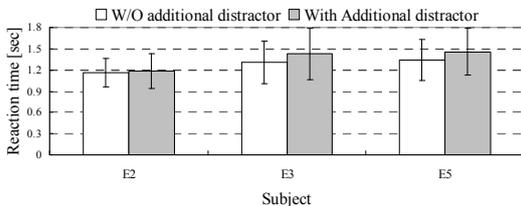


図7 抑制機能課題における反応時間

### (4) 不安全行動と運転能力の関連性

#### ①実運転行動分析

運転行動計測システムで採取した各被験者の不安全行動と各被験者の運転能力の特性から不安全行動が起こる要因を考察する。

#### 歩行者用信号無視に伴う車両との接触

信号のある交差点において、横断歩道を横断する場面である。横断歩道を渡る際、歩行者用信号が赤であるにも関わらず、信号を無視して横断歩道を渡る行動である。横断歩道を横断する際の確認行動に注目すると、図8に示すように、フェーズ1-4では、左右の安全確認を行い、歩行者信号が赤にかわったことに気がつかず、フェーズ5で顔をあげることで赤信号を確認している。左右の安全確認をす

る際、歩行者用信号をハザード情報として知覚できなかったため、信号が赤であることに気づかず、信号無視をしてしまったと考えられる。運転能力からも、分割的知覚課題による上方向の情報の欠落や分割的処理課題による間違いが多いことと対応しており、複数のものを同時に処理する状況下での、処理能力の低下や有効視野の狭窄が要因である可能性がある。

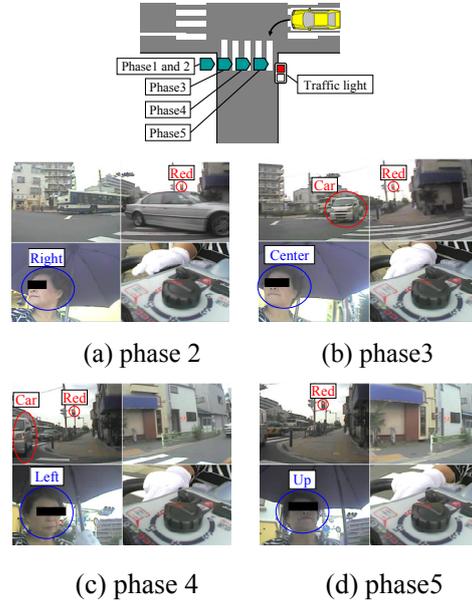


図8 不安全行動の一例 (被験者E2)

#### 歩道から車道に進入した際に自転車と接触

自車が車道脇を走行中、側方を通過した自動車に注意を向け、そのまま左側に注意が向いた状態で交差点を進入し、右側から接近する自転車に気づかず、接触ニアミスする行動である。横断歩道手前から横断するまでの行動について観察する。図9に示すように、交差点から側方の車道を通過した自動車を知覚し、その状態で交差点に進入したため、交差点前方や、交差点左右の安全確認をするという行動をとることができず、右方から接近した自転車と接触しそうになったと考えられる。運転能力からも、抑制機能の低下が確認行動に影響を与え、分割的知覚課題による上方向と右方向の情報の欠落や分割的処理課題における有効視野の狭窄等と対応しており、交差点手前の複数のものを同時に処理する能力の低下が要因の一つであると考えられる。

#### ②高齢者を模擬した運転行動の把握

加齢による高齢者の分割的注意能力の低下が原因で不安全行動が発生する可能性があることがわかった。そこで、安全性を考慮し、ハンドル形電動車いす用DSを用いた実験を行う。しかし、DSへの慣れ・酔い等の問題から、高齢者がDSの操作を行うことは難しかったため、若者により高齢者の分割的注意能力の劣化状態を模擬させ、実験を行なうことを試みた。

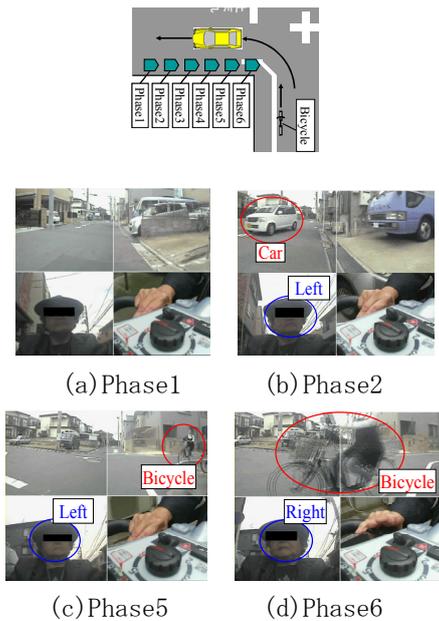


図9 不安全行動の一例 (被験者E5)

### 実験内容

実験コースとして、市街地を模擬した環境をコンピュータグラフィックスの技術を用いて作成した。ドライブレコーダによりえられた不安全行動が発生しやすい環境として、信号や交通車両、歩行者などを配置し、動作させた。被験者には実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得た。実験コースを走行する際には、実際の交通規則に従って走行するように指示し、適宜休憩を挟んで実験を行った。高齢者は、脳内の情報処理資源の量が減少しているため、複数のものを同時に処理することが困難になると言われている。そこで、その模擬手法として、脳内で情報を処理するための処理資源の量を副次課題（音声課題）を与えることにより減少させ、副次課題の有無の条件による運転行動を分析した。

### 実験結果

実験の結果、音声課題ありの条件で不安全行動が数回表れた。その一例として、交差点の横断歩道手前で歩行者用信号が赤に変わる条件（図10）において、音声課題なしの条件では歩行者信号の変化に対応し、交差点手前で停止したが、音声課題ありの条件では赤信号を無視し、交差点に進出した。このときの被験者の確認行動と操作行動を分析するため、交差点手前のある地点からの頭部仰角と自車速度の時系列変化に注目した。音声課題なしの条件（図11）では安全に信号を確認しているが、音声課題ありの条件（図12）では、交差点手前では信号の確認を行わず、横断途中で顔を上げ信号を確認していることがわかる。このような確認行動の遅れにより、信号無視の不安全行動が発生したと考えられる。

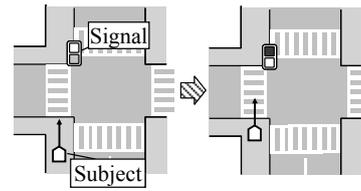


図10 横断歩道手前での信号の変化シーン

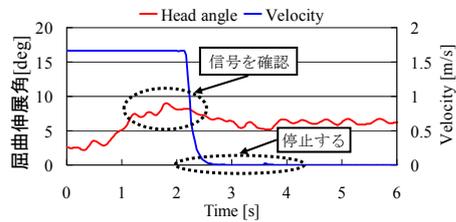


図11 横断歩道時の確認行動と車体速度 (通常時)

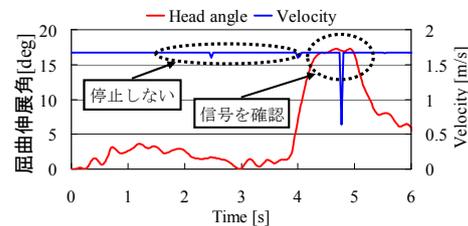


図12 横断歩道時の確認行動と車体速度 (分割的注意能力低下時)

### (5) 実環境における支援方策の一提案

ハンドル形電動車いすは、歩行者として扱われるため、運転免許も存在しない。そのため自動車の高齢者講習のような教育制度を導入することも困難な状況である。これらの状況を踏まえ、ハンドル形電動車いすの機能拡張により、移動の安全性を高めることを目指す。

#### ① 支援場面の選定

運転行動計測システムによりえられた実環境データの分析結果から、支援を行う場面として、図13に示すように進路変更ともなう車道への進入、後方からの対象物との接触状況を選定した。本条件下では前方の状況を確認しながら、周辺の環境を認識する必要があり、分割的な注意能力が必要となる。

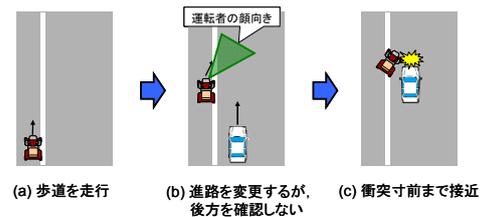


図13 車道への飛び出し時に危険となるシーン

## ② 運転支援方策とシステムの提案

支援場面における支援の考え方として、運転者に運転の決定権を与える、ドライバ主権の考えを踏まえ、危険な状況になった場合、ぎりぎりまで車両を停止させることで危険な状況を回避する操作介入支援方策を提案する。具体的には、以下のように衝突を回避するような運転支援方策を提案する。実験車両と衝突判定のイメージを図14に示す。

- (1) 車両の後方から接近する自動車（歩行者等）の位置、速度を車両に搭載したレーザ式測域センサで検知する
- (2) 検出された自動車（歩行者等）の位置、速度から、車両と自動車（歩行者等）が衝突するかどうか判定する
- (3) 車両と自動車（歩行者等）が衝突すると判定された場合、何秒後に衝突するか判定する
- (4) 衝突するまでの時間が閾値以下であれば、車両を停止させ、衝突を回避する

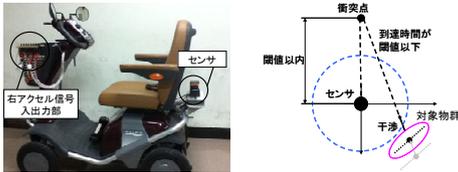


図14 実験車両と衝突判定のイメージ

## ③ 動作検証実験

車両を1km/hで走行させ、後方から歩行者が4km/hで接近するという条件でシステム動作を確認した。その際の電動車いすと歩行者の位置関係、挙動の様子を図15に示す。図より、ドライバが車線変更を行おうとした際、車両が歩行者の接近を検知し、車両を停止させることができ、接触を防ぐことができた。

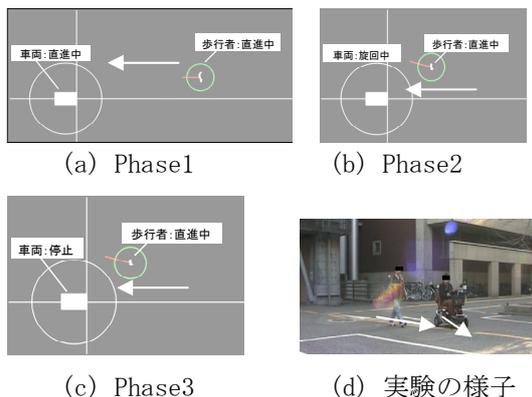


図15 支援方策の動作検証実験

## 4. 研究成果

高齢者がハンドル形電動車いす運転時に起こす不安全行動について、運転能力と走行

環境の両面から要因を解明するため、実際の生活環境下における走行データ計測、運転能力計測を行った結果、以下に示す知見を得た。

1. 走行データから高齢者が起こす不安全行動を抽出した結果、安全不確認が最も多いことがわかった。
2. 電動車いすを操作する上で必要な運転能力として、有効視野・分割的注意能力・抑制機能を挙げ、それらの能力を評価可能な手法を構築した。
3. 分割的注意、有効視野、抑制機能の運転能力の特徴が実環境における不安全行動に影響する可能性を示した。
4. 分割的注意能力が必要とされる支援場面として、進路変更時の後方対象物に対する接触を防ぐ操作介入支援方策を考案し、その有効性を検討した。

本研究でえられた高齢者のデータは実環境での問題点を示す貴重な産物であり、実データをもとに、高齢者の身体特性と関連性を持たせ、得られた知見は唯一である。また、運転能力を考慮するこれらの知見は、ハンドル形電動車いすユーザへの教育支援への展開のみではなく、高齢者の移動を設計する上で要件の一つとしても貴重な知見となる。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

- (1) 藤田浩徳, 小竹元基, 井上正太郎, 鎌田実, 高齢者のハンドル形電動車いす運転時における不安全行動と運転能力の関連性, 日本機械学会 第19回交通・物流部門大会講演論文集, No.10-54, pp.291-294, 2010
- (2) 小竹元基, 井上正太郎, 藤田浩徳, 鎌田実, 高齢者の安全な移動を目指したハンドル形電動車いすの運転特性の把握, 日本機械学会 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 - WWLS (Welfare, Wellbeing, Life Support) 2010 -, No.10-52, CDROM, 2010

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

小竹元基 (Motoki Shino)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号: 10345085