

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760168
 研究課題名（和文）
 個々の搭乗者特性に応じた快適走行を実現するテイラーメイド電動車いすの開発
 研究課題名（英文） Development of Taylor Made Electric Wheelchair Realizing Comfort Drive for Various Passenger
 研究代表者
 野田 善之 (NODA YOSHIYUKI)
 豊橋技術科学大学・工学部・助教
 研究者番号：60426492

研究成果の概要（和文）：

本研究では、車いす搭乗者の揺れ抑制を考慮した電動車いす走行制御システムの開発を行う。車いす搭乗者の挙動は体格や傷害度合いが異なり、搭乗者に応じた車いす走行が必要となる。そこで、本研究では、車いす搭乗者の体格や筋力を表現できる搭乗者挙動数理解モデルを提案する。このモデルは、背もたれへの接触も考慮されているため、実際の搭乗者挙動を高精度に表現できる。提案モデルを用いて、搭乗者揺れ抑制走行制御システムを開発する。また、開発した走行制御システムに対して、快適性に関するアンケートによる主観評価、および発汗量による客観評価を実施し、搭乗者揺れ抑制と快適走行の関係を明確にする。そして、人体挙動シミュレータを用いて、筋力が低下した搭乗者に対しても、提案走行制御が有用であることを示す。

研究成果の概要（英文）：

This study is concerned with a driving control system for electric wheelchair considering sway suppression of passenger's body. Since the passenger's posture behavior differs according to the frame and disability, the wheelchair's driving control is required to adopt the passenger's character. Therefore, in this study, the passenger's posture behavior model considering the passenger's frame and muscle strength is proposed. Since the model is involved that the passenger's body contacts to the backrest, the passenger's behavior can be represented by the proposed model precisely. By using the proposed model, the wheelchair driving control system is developed. Then, the developed wheelchair driving control system is evaluated a ride quality by subjective assessment and sweat measurement as objective evaluation. Furthermore, by using the passenger's behavior simulator, the proposed driving control system is constructed to the wheelchair taking the passenger with muscle weakness, and then the effectiveness of the proposed driving control is demonstrated in the simulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム

1. 研究開始当初の背景

電動車いすは下肢の不自由な障害者や高齢者の移動手段として利用されており、日本国内では、おおよそ15万台の利用があると推測されている。また、今日の少子高齢化社会において、電動車いすの需要はさらに高まるものと考えられている。このような背景から、近年、高機能化した電動車いすが開発されている。しかし、電動車いすで移動する際に、急加減速などの不適切な動作指令を駆動モータへ与えると搭乗者の上体が揺れ、搭乗者に不快感や恐怖心を与えてしまう。とくに、重度の障害者が電動車いすを利用する際、搭乗時の上体の姿勢保持ができず、転倒する場合がある。このような問題に対して現在では、搭乗者の腰と胸部の2点をベルトで固定することで、姿勢の安定化を図っている。しかし、このような搭乗者への固定は、搭乗者の心的負担を大きくしている。そのため、重度の障害者も心的負担を受けずに、安全、そして、快適に利用できる電動車いすの開発が求められている。

電動車いすの走行に関する研究は数多く行われている。ジョイスティックの操作から電動車いすが動作するまでの応答性を変化させて、アンケートにより操作性の評価を行った研究や搭乗者挙動を単振子の線形近似モデルで表現し、搭乗者の揺れを抑制する最適制御を適用した研究などが行われている。申請者は、頭部と胸部に加速度センサーを取付け、数種類の走行パターンに対して、搭乗者の頭部と胸部挙動を計測し、走行後に主観評価による快適性の評価を実施している。その結果、前進加速時には背もたれがあるため、高加速にしても快適性に影響がなく、前進減速時の減速度を大きくすると搭乗者の上体が大きく揺れ、不快になることが明らかとなった。しかし、これらの研究を含め、多くの研究が搭乗者の体格や障害部位（下肢が不自由、または、胸から下が不自由などの障害部位によって搭乗者挙動が異なる。）を考慮した搭乗者挙動の解析や多様な搭乗者に応じた電動車いすの走行制御システムの開発とまでは至っていないのが現状である。これらの研究が実施できなかった理由として、搭乗者の挙動解析のための基礎実験を数多く実施することが必要となるが、障害者にとって危険を伴う実験となるため、実施できなかったと考えられる。

一方で、近年では、自動車設計などの分野で、人体挙動シミュレータに関する研究開発が進められている。例として、機構解析ソフトウェアADAMSを用いて、人間の歩行をシミュレーションした研究が報告されている。また、人体挙動シミュレータMADYMOを用いた自動車衝突時の乗員挙動解析や乗り心地解析が行われている。これらのシミュレーション技術を利用して、電動車いす搭乗者挙動を再現し、多くの実験を行うことなく、搭乗者の挙動解析を実施し、電動車いすの開発に活かすことが期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、人体挙動シミュレータを援用して、搭乗者の体格や障害部位などの搭乗者特性に応じた快適走行を実現するテイラードメイド電動車いすを開発する。特に、人体挙動シミュレータによる車いす搭乗者の挙動解析、解析結果を基に、搭乗者の上体揺れを抑制し、快適走行を実現する車いす走行パターンを導出、および生体信号評価による電動車いす走行パターンの評価を実施する。

3. 研究の方法

本研究は、つぎに示す研究プロセスを進めていく。

(1) 健常者を対象とした電動車いす走行実験

健常者を搭乗者として、基礎データ取得のための走行実験を行う。標準体型健常者を搭乗者として、異なる走行加速度や加減速周期の走行実験を行い、搭乗者の頭部と胸部の挙動を加速度センサー(MEAS社製4630)、およびモーションキャプチャー(VICON社製MX40)

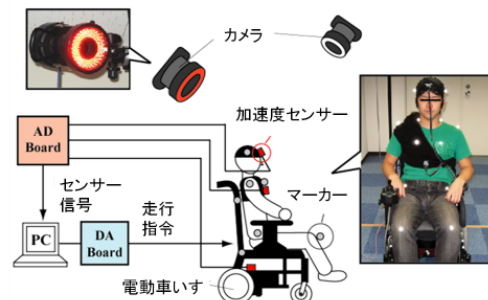


図1 搭乗者挙動計測システム

を用いて、計測する。そして、体格の異なる搭乗者に対しても同様に走行実験を行う。図1に本研究で構築した搭乗者挙動計測システムを示す。

(2) 人体挙動シミュレータによる車いす搭乗者挙動シミュレータの構築

人体挙動シミュレータ(TNO Automotive社製MADYMO)を用いて、搭乗者挙動シミュレータを構築する。MADYMOは体格や筋力パラメータの調整が可能であり、マルチボディダイナミクス技術により、高速演算処理が可能である。(1)の走行実験に対して、シミュレーションパラメータを同定し、体格とシミュレーションパラメータの関連データベースを構築する。

(3) 搭乗者特性を考慮した搭乗者挙動数理モデルの構築

搭乗者挙動数理モデルを図2に示す背もたれを考慮した2重倒立振子モデルで表現する。2重倒立振子モデルは、車載時の車いす搭乗者の上下振動に対する挙動モデルとして用いられた研究がある。本研究では、車いす走行方向に対する搭乗者挙動モデルを構築する。標準体型を含む様々な健康搭乗者に対して、パラメータ同定を行い、体格とモデルパラメータの相関解析を行う。

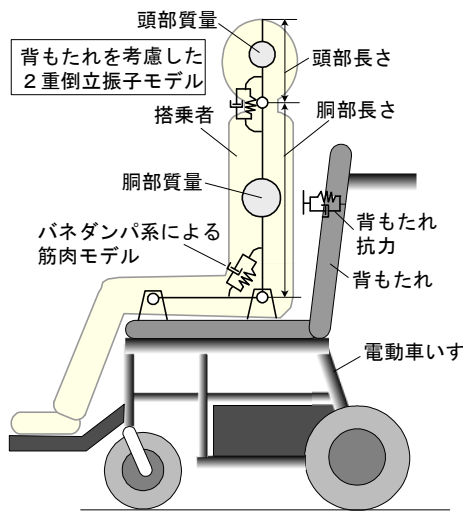


図2 搭乗者挙動数理モデル

(4) 主観評価による快適性評価

(1)の健康者を対象とした走行実験の後に、SD法による快適性評価を行う。走行加速度の変化や加速度周期に対して、SD法による快適性の傾向が表面化した段階で、一対比較法で有意差検定を行う。本主観評価による快適性評価は、研究代表者の過去の研究成果で有用性が示されている。

(5) 生体信号計測による快適性評価

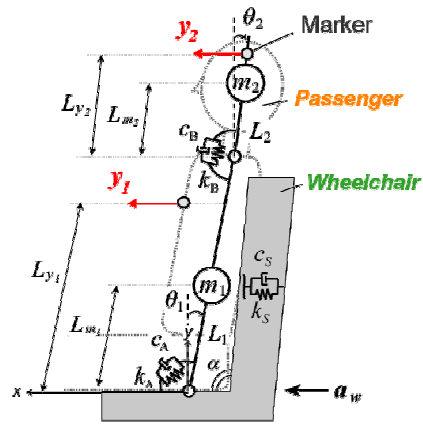


図3 搭乗者挙動数理モデル

(1)の走行実験時に、心拍と発汗計測を行う。心拍データを基に、周波数解析を行いR-R間隔の変動を計測する心拍変動解析やカオス解析を行い、快適性評価を行う。心拍と快適性に関する研究は数多く報告されている。また、発汗と快適性の関連に関しては、車いすを不安定な状態にした場合の搭乗者に対して発汗計測した研究があり、心的負担に対して、発汗量が多くなることが報告されている。これらの生体信号と主観評価による快適性評価との相関解析を行う。

4. 研究成果

(1) 搭乗者特性を考慮した搭乗者挙動数理モデルの構築

本研究では、電動車いすにおける快適走行パターンを設計するための搭乗者特性を考慮した搭乗者挙動数理モデルを構築した。この数理モデルの特徴は、搭乗者上体の背もたれへの接触を考慮した挙動モデルであり、加速時の挙動と減速時の挙動が異なることが表現でき、より詳細な搭乗者挙動が表現できる。搭乗者挙動数理モデルを以下に示す。

本研究で提案する背もたれを考慮した搭乗者挙動モデルを図3に示す。本モデルは頭部、胸部からなる集中質量系の2重倒立振子で搭乗者を表現し、各関節にはそれぞれ筋肉を表すバネ・ダンパ(k_A, c_A, k_B, c_B)を付加している。車いすの背もたれ抵抗力もバネ・ダンパ(k_S, c_S)によって表現し、胸部角度が α [deg]以上で搭乗者に作用するものとする。 θ_1, θ_2 はそれぞれ胸部と頭部の角度、 m_1, m_2 は胸部と頭部の質量、 L_1, L_2 は胸部と頭部の長さ、 L_{m1}, L_{m2} は各関節から質点までの距離、 L_{a1}, L_{a2} は実験において搭乗者挙動を計測するために取り付け加速度センサーまでの距離、 y_{a1}, y_{a2} は胸部と頭部の加速度、モデルへの入力である a_w は電動車いすの走行加速度である。本搭乗者挙動モデルの状態方程式を(1), (2)式に、出力方程式を(3), (4)式に示す。

$$\ddot{\theta}_1 = A_{11}\dot{\theta}_1^2 + A_{12}\dot{\theta}_1 + A_{13}\theta_1 + A_{14}\dot{\theta}_2^2 + A_{15}\dot{\theta}_2 + A_{16}\theta_2 + B_1a_w + E_1 + \Lambda_1 \quad (1)$$

$$\ddot{\theta}_2 = A_{21}\dot{\theta}_1^2 + A_{22}\dot{\theta}_1 + A_{23}\theta_1 + A_{24}\dot{\theta}_2^2 + A_{25}\dot{\theta}_2 + A_{26}\theta_2 + B_2a_w + E_2 + \Lambda_2 \quad (2)$$

$$y_{a1} = C_{11}\dot{\theta}_1^2 + C_{12}\dot{\theta}_1 \quad (3)$$

$$y_{a2} = C_{21}\dot{\theta}_1^2 + C_{22}\dot{\theta}_1 + C_{23}\dot{\theta}_2^2 + C_{24}\dot{\theta}_2 \quad (4)$$

ここで、 $A_{11} \sim A_{26}$ 、 B_1 、 B_2 、 E_1 、 E_2 、 $C_{11} \sim C_{24}$ は一般的な 2 重倒立振子のモデルから導出される各係数である。また、状態方程式中の Λ_1 、 Λ_2 は車いすの背もたれを考慮したものであり、(5)、(6) 式に示す胴体角度 θ_1 に依存する項である。

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0 & (\theta_1 < \alpha) \\ \frac{k_S\theta_1 + c_S\dot{\theta}_1}{m_2L_1^2\{\cos^2(\theta_1 - \theta_2) - 1\} - m_1L_m^2} & (\theta_1 \geq \alpha) \end{cases} \quad (5)$$

$$\Lambda_2 = \begin{cases} 0 & (\theta_1 < \alpha) \\ \frac{(k_S\theta_1 + c_S\dot{\theta}_1)L_1 \cos(\theta_1 - \theta_2)}{m_2L_1^2L_{m2}\{\cos^2(\theta_1 - \theta_2) - 1\} - m_1L_m^2L_{m2}} & (\theta_1 \geq \alpha) \end{cases} \quad (6)$$

(1)～(6)式の搭乗者挙動数理モデルは、頭部質量や胴部質量、筋力を示すパラメータ、背もたれ抗力のパラメータなどの搭乗者の特性を考慮したモデルとなっており、障害者の障害度合いに応じたパラメータを導入することで、障害をもつ搭乗者の挙動表現が可能となる。

(1)～(6)式の搭乗者挙動数理モデルを用いたシミュレーション結果と図 1 に示す搭乗者挙動計測による実験結果を図 4 に示す。図 4 において、上図は車いす走行加速度であり、中図は頭部挙動、下図は胴部挙動である。上中下図のそれぞれにおいて、青線は実験結果であり、赤線は本研究で提案された搭乗者挙動モデルによるシミュレーション結果であり、緑線は従来モデルによるシミュレーション結果である。走行パターンは加速度と減速度を同じ大ききで走行させている。したがって、従来モデルは背もたれの影響を考慮していないために、加速時の搭乗者挙動と減速時の搭乗者挙動が同一となっている。しかし、実験結果からも明らかなように、背もたれの影響で、加速時の挙動は、減速時の挙動と比較して、抑えられていることが確認できる。

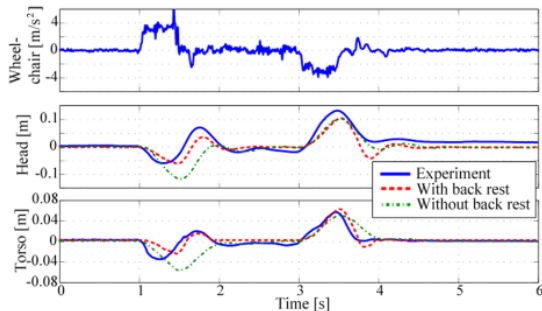


図 4 搭乗者挙動の実験結果とシミュレーション結果

本研究で提案する搭乗者挙動モデルは背もたれの影響が考慮されているために、実験結果と同様の挙動となっている。この結果から、本研究で提案した搭乗者挙動モデルが高精度に搭乗者挙動を表現していることが確認できる。

(2) 搭乗者揺れ抑制を考慮した車いす走行制御システム

提案した搭乗者挙動モデルを用い、走行に伴う搭乗者挙動を抑制する快適走行パターンを設計することで電動車いす快適走行制御を実現する。走行パターンは目的関数を(7)式のように走行加速度の各サンプリング値とし、(8)式に示した評価関数 $J(x)$ を最小とする最適化問題を逐次二次計画法を解くことにより求める。挙動を抑制し、最も移動時間が短いパターンを構築するため、評価関数は θ_1 と θ_2 に関する項と全走行時間 T の項とする。また、車いすの仕様を加味し、走行加速度 $2.5[\text{m/s}^2]$ 以下、走行パターンに含まれる周波数成分 $3.0[\text{Hz}]$ 以下の制約条件を付加した。

$$\mathbf{x} = (a_0, a_1, a_2 \dots a_T) \quad (7)$$

$$\min_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = w_1 \int_0^T \theta_1^2 dt + w_2 \int_0^T \theta_2^2 dt + w_3 T \quad (8)$$

図 5 に設計した走行パターンによって走行実験を行った結果を示す。図 5 において、上図は車いすの加速度を示し、中図は頭部挙動、下図は胴部挙動を示す。上中下図のそれぞれにおいて、赤線は設計パターンによる実験結果、青線は台形速度パターンによる走行結果である。設計した走行パターンによって特に減速時において搭乗者挙動を抑制できていることがわかる。

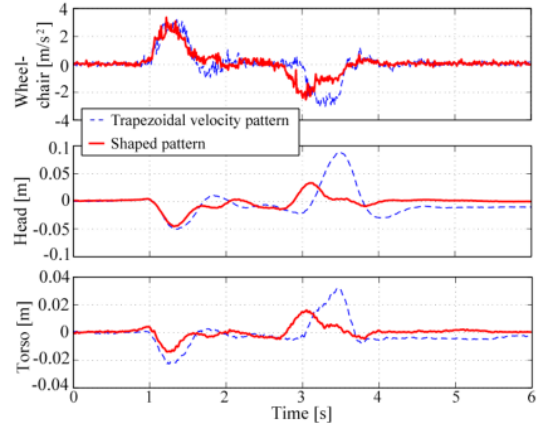


図 5 車いす走行実験における搭乗者挙動

(3) 車いす走行に対する快適性評価

(2) に示した搭乗者の上体揺れを抑制した車いす走行制御の有用性を検証するために、車いす走行に対する快適性評価を行う。本研究では、主観評価として、SD法による

アンケート評価, および客観的評価として, 発汗評価を行う。

主観評価では, 5名の健常者を対象に, 車いす走行におけるアンケート評価を行った。図5にアンケート評価の結果を示す。快適性に関する各項目に対して, 6段階で評価してもらい, その平均値を図6に示している。評価値が大きいほど, 外側にプロットされる。図6において, 赤線が本研究で提案する搭乗者揺れ抑制を考慮した車いす走行に対するアンケート結果であり, 青線が台形速度カーブによるアンケート結果である。この結果からもわかるように, 本研究で提案した搭乗者の揺れ抑制を考慮した車いす走行制御を用いた車いす走行が, 搭乗者の揺れ抑制を考慮していない台形速度カーブによる車いす走行より快適走行が実現していることが確認できる。

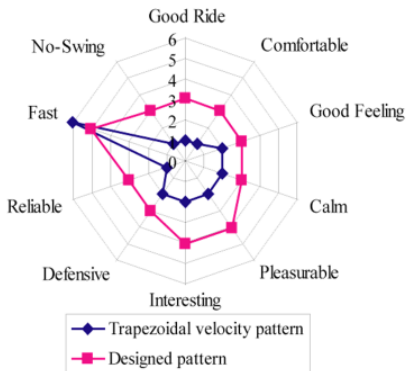


図6 SD法による車いす走行の快適性評価

また, 車いす走行に対する発汗評価を行う。図5に示す2つの走行パターンについて, 搭乗者の発汗評価を行った結果を図7に示す。図7において, 上図は頭部挙動を示し, 中図は胸部挙動を示す。下図は発汗量を示す。赤線は台形速度カーブによる車いす走行を行った結果を示し, 青線は, 提案走行制御システムによる車いす走行を行った結果を示す。ストレスや緊張によって生じる精神性発汗を計測したものであり, 発汗量が多いほど, 緊張していることを示す。この結果より, 搭乗者挙動の小さい提案走行制御システムが, 搭乗者の発汗量が少なく, 快適走行がなされていることが確認できる。

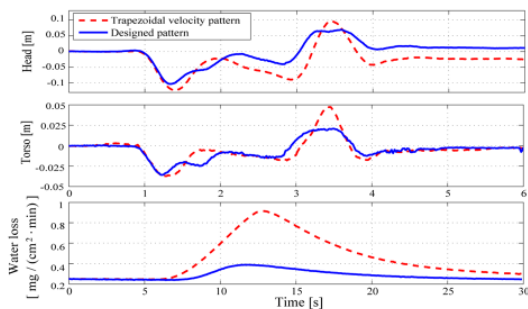
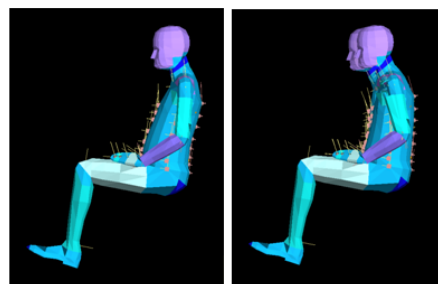
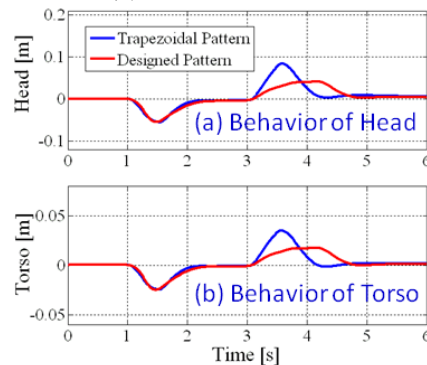


図7 車いす走行に対する発汗量評価

(4) 人体挙動シミュレータによる筋力低下した搭乗者に対する揺れ抑制走行制御

(2) に示した搭乗者揺れ抑制を考慮した車いす走行制御システムを障害者が搭乗している車いすへ適用し, その有用性を検証する。ここで, 実際に本実験を実施することは困難であることから, 人体挙動シミュレータを用いて, 健常者に対して筋力を半減させた搭乗者に対する揺れ抑制走行制御システムを構築する。人体挙動シミュレータには, MADYMOを用いる。

MADYMOを用いて, 健常者に対する車いす走行シミュレーションを行った結果を図8に示す。図8において, (a)は搭乗者頭部挙動を示し, (b)は胸部挙動を示す。(a), および(b)において, 青線は台形速度カーブで車いす走行した際の搭乗者挙動であり, 赤線は本研究で提案する走行制御システムによる車いす走行の搭乗者挙動である。(c)は加速時における搭乗者の最大挙動を示し, (d)は減速時の搭乗者の最大挙動を示す。この結果より, 図5に示す車いす走行実験と同様に, 提案走行制御システムを用いることで, 搭乗者の上体揺れを抑制した走行が実現できることが確認された。

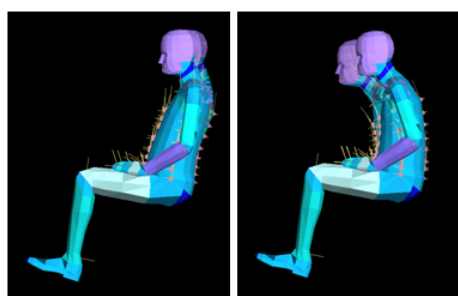
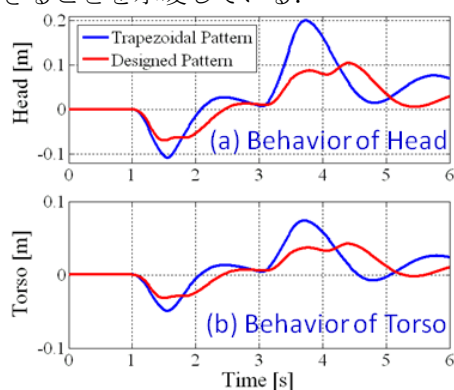


(c) Acceleration (d) Deceleration

図8 人体挙動シミュレータを用いた健常者に対する車いす走行シミュレーション

つづいて, 人体挙動シミュレータの搭乗者モデルの筋力を健常者に対して半減させ, 本研究で提案する搭乗者揺れ抑制を考慮した車いす走行制御システムを構築した。筋力を半減された車いす搭乗者に対して, 車いす走行シミュレーションを行った結果を図9に示す。図9において, 図の配置は図8と同様

である。図8と図9の台形速度カーブによる搭乗者挙動の結果を比較すると、筋力低下搭乗者モデルの上体揺れが大きく現れていることが確認できる。しかし、提案する揺れ抑制走行制御システムを導入することで、搭乗者の上体揺れを健常者の場合と同程度まで抑制した走行が確認できる。この結果は、搭乗者の特性に応じて、本研究で提案する車いす走行制御で走行パターンを設計することで、搭乗者の揺れを抑制し、快適走行が実現できることを示唆している。



(c) Acceleration (d) Deceleration

図9 人体挙動シミュレータを用いた筋力低下搭乗者に対する車いす走行シミュレーション

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ①野田善之, 佐藤勇太, 寺嶋一彦, 電動車いす走行における搭乗者挙動と快適性, 設計工学, 第43号6巻, pp.315-321, 2008.

[学会発表] (計3件)

- ①D. Yamagami, Y. Sato, Y. Noda, T. Miyoshi, K. Terashim, Wheelchair Driving Control with Passenger's Posture Behavior Suppression and Evaluation of Comfort of Ride by Emotional Sweating, International Conference on Advanced Computer Control, 30-35, 2009.
 ②Y. Noda, D. Yamagami, K. Terashima, Wheelchair Driving Control Considering

Sway Suppression to Passenger's Posture and Evaluation of Ride Quality, Preprints of the 9th International Symposium on Robot Control (SYROCO'09), (2009) 739-744.

- ③Y. Noda, D. Yamagami, K. Terashima, Wheelchair Driving Control with Sway Suppression of Passenger's Posture and Evaluation of Comfortable Ride by Emotional Sweating, International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2009), (2009), 529-534.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ:

<http://www.syscon.pse.tut.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者 野田善之

(NODA YOSHIYUKI)

豊橋技術科学大学・工学部・助教

研究者番号: 60426492