

不安定な手動車いすの有効性

米田 郁夫¹・坊岡 正之²・橋詰 努³・李 虎奎⁴・奥 英久⁵・藤澤正一郎⁶

(¹健康福祉学部, ²広島国際大学, ³東洋大学, ⁴芝浦工業大学, ⁵神戸学院大学, ⁶徳島大学)

(平成28年12月22日受理)

Recommendation of using unstable wheelchair

Ikuo YONEDA¹, Masayuki BOOKA², Tsutomu HASHIZUME³, Hokyoo LEE⁴, Hidehisa OKU⁵ and Shoichiro FUJISAWA⁶

¹*Nishikyushu University*

²*Hiroshima International University*

³*Toyo University*

⁴*Shibaura Institute of Technology*

⁵*Kobe gakuin University*

⁶*The University of Tokushima*

(Accepted: December 22 , 2016)

Abstract

It is important for the manual wheelchair users to be able to move maneuvering their wheelchairs with ease in their daily living. Maneuverability of manual wheelchair depends not only on the environmental conditions where the manual wheelchair runs but also on mechanical efficiency of manual wheelchair. So, it seems to be very important to comprehend influences of road/floor conditions and mechanical specifications of manual wheelchair on running performance or maneuverability of wheelchair.

In this study, specially designed manual wheelchair equipped with torque meters on the hand-rims and rotary encoders in the axles of the driving wheels was constructed. Using the experimental manual wheelchair, the influences of environmental conditions on running performance and maneuverability of the wheelchair were investigated. Many test runs were conducted on various conditions of road/floor surface, such as hard, soft, and side slope. Using data obtained in the test runs, resistance force that hinders the wheelchair's moving for various road conditions could be calculated. And, the load on the wheelchair driver could also be evaluated by calculating time-integration of driving force that means momentum. Then, the difficulty/easiness of maneuvering the wheelchair might quantitatively be evaluated by momentum needed to propel the wheelchair 1 m.

In the result, it is cleared that running efficiency and maneuverability of manual wheelchair would be improved by shifting the position of rear driving wheels forward. Shifting the rear driving wheels forward would make the manual wheelchair easy to tip backward. However, the problem could be resolved by equipping the anti-tipping bar in the unstable manual wheelchair.

キーワード：手動車いす，操作性，駆動輪位置

Key words : Manual wheelchair, Usability, Positioning of rear wheels

1. はじめに

移動は必要不可欠な日常生活動作の1つである。移動できなければ、潤いのある日常生活を送ることは困難である。移動の形態には、歩行による移動と自転車や自動車など用具や機械を使った移動がある。言うまでもなく、日常生活において、もっとも基本となるのは歩行による移動である。したがって、歩行が困難あるいは不可能になった場合、何らかの方法で移動機能を確保する必要がある。

加齢、下肢機能不自由などにより歩行が少し困難になったときの補助用具としては、杖、歩行器、歩行車などがある。歩行がかなり困難あるいは不可能になった場合、移動機能を確保する補助用具としては車いすがある。本論では、手動車いすの車輪配置による走行操作性の違いに焦点を当てる。

2. 楽に操作できる手動車いすの重要性

移動は、日常生活においてきわめて頻繁に行われる動作であるので、移動の自由度が制限されると日常生活に大きな支障を来す。一般的に、日常的な移動のための負担はできるだけ軽くして、労力の多くは他のいろいろな生活動作や作業のために使う配慮が必要である。こうした配慮は手動車いす使用者にとってはより一層重要となる。

車いす操作時の負担に影響する要因としては、車いす自体の機械的性能、使用環境、使用者と車いすの適合が考えられる。筆者らは、これまでに、手動車いすの走行操作性に影響する環境要因や車いすの機械的要因を明らかにするために、段差や縦断勾配（スロープ）などが車いす操作に及ぼす影響¹⁾²⁾³⁾、駆動輪の取り付けアライメントやタイヤ空気圧が車いすの走行効率に及ぼす影響⁴⁾⁵⁾を、走行実験によって定量的に評価し、その成因やメカニズムについて考察してきた。

手動車いすの走行操作性は、駆動輪の取り付け位置によっても影響を受けることが推測される。本論では、走行実験によって収集した定量的データによって、手動車いすを動かすときの「労力」（詳細は後述）を求め、それを基に、駆動輪取り付け位置による走行操作性の違いについて評価・考察する。

3. 計測用車いす

手動車いすを走行操作するときの労力を定量的に評価するために、図1に示す計測用車いすを用いて各種走行実験を行った。



図1 計測用車いす

3.1 センサー付駆動輪

計測用車いすの駆動輪は一般的な手動車いすで使われているものをベースとして用いている。それに改造を加えて、以下のセンサーを組み込んでいる。

なお、駆動輪のタイヤは空気圧式で、空気満充填時の直径は600mm（呼び径24in）である。ハンドリム直径は544mmである。

(1) トルク計測

車いす搭乗者が駆動輪を回転させるための左右のハンドリムには市販のトルク変換器（株式会社共和電業製 TPR - S - 100NMS22）が取り付けられている。それにより、ハンドリムを通して駆動輪を操作するときの力をトルク値として計測することができる。トルクの定格容量は100 N・mであり、許容過負荷はその120%である。トルク計測値の非線形性およびヒステリシスは±1.0%である。

(2) 駆動輪回転数計測

トルク変換器にはロータリ・エンコーダ（株式会社小野測器製）が内蔵されており、駆動輪の回転数を計測することができる。分解能は2000P/Rである。

3.2 車いすフレーム

車いすフレームは、実験計測用であることを考慮して、軽量で剛性の高い固定フレーム方式にしている（特注品）。フレーム部材はすべてアルミ合金製パイプである。

座面とバック・サポートはナイロン製布で構成している。なお、座面は、幅370mm、奥行き380mmであり、バック・サポート高さは400mmである。

前節で説明したセンサー付き駆動輪車軸の車いすフレームへの取り付け位置は、前後方向に20mmピッチで変えることができるようになっている（図2）。

キャスター輪は各種直径のものを使用可能であるが、本研究においては直径130mm（呼び径5in）のソリッド・

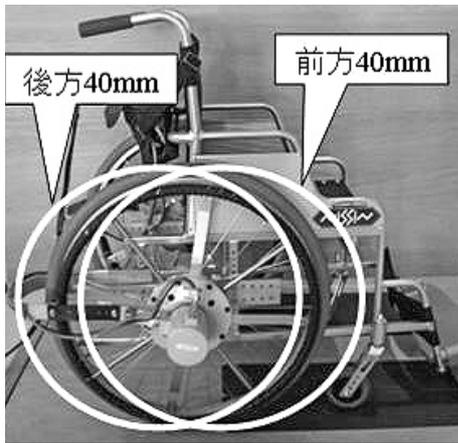


図2 駆動輪車軸取り付け位置

タイプを使用している。

この固定式車いすフレームにトルク変換器付き駆動輪を取り付けたときの重量は245N（質量25kg）である。

3.3 データ収集システム

左右ハンドリムのトルク・データは増幅してA/Dコンバータを介してパーソナル・コンピュータに取り込まれる。左右駆動輪の回転数データは、パルス・カウンタで処理してパルス数データに加工されてパーソナル・コンピュータに取り込まれる。データ収集のサンプリング時間は20msに設定している。

4. 手動車いす走行操作時の労力

4.1 手動車いす走行操作パターン

図3は、ハンドリムを操作しながら計測用車いすを推進させたときの駆動力および走行距離のデータの例である。駆動力（ハンドリム接線力）はトルクをハンドリム半径で除した値、走行距離は駆動輪回転数データを基に計算した値である。図3の駆動力のグラフから明らかなように、操作者は、ハンドリムに力を加える期間（駆動期）とハンドリムから手を離す期間（惰走期）を繰り返しながら手動車いすを走行させていることがわかる。

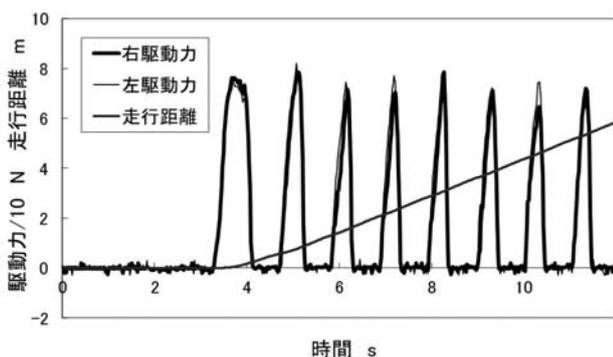


図3 走行実験データ例

4.2 労力の定義

手動車いすによる走りやすさを定量的に評価しようとするとき、ある距離を走行するためにどのくらいの「労力」が必要かを指標にするのが適当である。

Cooperは、手動車いすの工学的問題を解くのに、運動量は重要なパラメータの1つであるとしている⁶⁾。Rugglesらは、手動車いすの走行操作特性を定量的に評価するパラメータの1つとしてトルク・時間曲線の面積（時間積分）つまり角運動量を用いている⁷⁾。

本研究では、手動車いす走行操作時の労力を定量的に評価する量として運動量を用いる。すなわち、図3のような駆動力曲線グラフと時間軸で囲まれた部分の面積を求め、それを手動車いす走行操作時の労力と定義する。実際には、駆動力データをもとに、時間間隔20msで台形近似により面積を計算する。

4.3 負担率の定義

前述したように、手動車いすの走行操作は、駆動期と惰走期が交互に周期的に繰り返される動作である。そこで、駆動開始時から次の駆動開始時までを1周期として、各周期の運動量と走行距離を計算する。例えば、図3に示したデータについて、計算した各周期の運動量と走行距離を順次積算して、走行距離を横軸、運動量を縦軸にしてグラフにプロットしてみると図4のようになる。

図4から、走行距離と運動量（労力）は線形関係にあると言ってよい。したがって、この直線グラフの傾きは1m走行するのに要する労力である。本論では、この直線グラフの傾きを、新たに「負担率」と定義し、手動車いすの走行操作のしやすさを評価する指標として用いる。

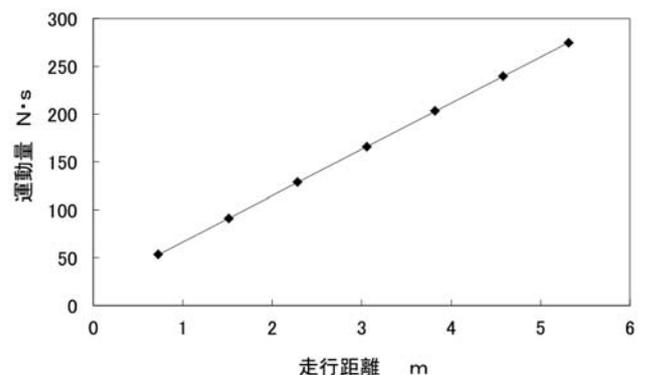


図4 走行距離と運動量の関係

5. 走行実験

本論で報告する走行実験においては、駆動輪車軸の取り付け位置を以下の3通りに設定して（図2）データを収集した。

標準位置 : バック・サポート (背もたれ) 直下
 前出し位置 : 標準位置より前方40mm
 後出し位置 : 標準位置より後方40mm

5.1 水平路面走行実験

5.1.1 実験走行路

実験室内に、以下に示すような3種類の実験走行路を設定した。走行路の寸法はいずれも幅1.8m、長さ7.2mである。

硬路面 : 路面材質; 硬質塩化ビニル・シート (実験室床面)

準軟路面 : 路面材質; パイル長4.5mmのループパイル・カーペット (床面に敷設)

軟路面 : 路面材質; パイル長14.5mmのカットパイル・カーペット (床面に敷設)

5.1.2 被験者

被験者は以下に示す健常者4名である。

A : 男性健常者; 年齢53歳; 体重725N (質量74kg)

B : 女性健常者; 年齢32歳; 体重480N (質量49kg)

C : 男性健常者; 年齢22歳; 体重635N (質量65kg)

D : 男性健常者; 年齢31歳; 体重970N (質量99kg)

5.1.3 走行実験内容

(1) 直進自由走行

被験者は計測用車いすに搭乗し、3種類の各実験走行路上を、ハンドリムを操作しているいろいろな速度で7回ずつ直進走行する。被験者には、背筋を伸ばしたアップライト姿勢で車いすに座り、走行中もできるだけその座位姿勢を維持するよう指示する。これは、座位姿勢の変化による計測値への影響を可能な限り排除するためである。

(2) 1ストローク走行

被験者は、ハンドリムを1回だけ駆動して手を離し車いすが自然に停止するのを待つ。各被験者および各路面につき、駆動力をいろいろに変えて7回試行する。

5.2 横断勾配路面走行

5.2.1 実験走行路

実験室内に、以下のような仕様の横断勾配 (片流れ) をもつ実験走行路面を構成した。

長さ : 4.5m

幅 : 1.8m

横断勾配 : 5% (約2.9°)

走行路面材料 : 厚さ30mmベニア合板に硬質塩化ビニル・シートを貼付

5.2.2 被験者

被験者は以下に示す健常者3名である。

E : 男性; 年齢56歳, 体重666N (質量68kg)

F : 女性; 年齢35歳, 体重480N (質量49kg)

G : 女性; 年齢24歳, 体重441N (質量45kg)

5.2.3 走行実験内容

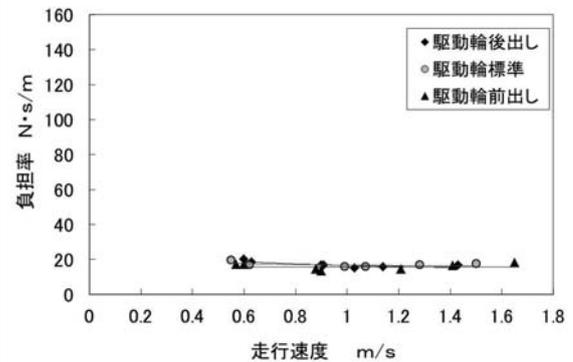
計測用車いすを、横断勾配実験走行路上に、最大傾斜線に対して直角に、下り斜面を右側に見るように配置する。すなわち、右駆動輪は横断勾配実験走行路の谷側に、左駆動輪は山側に位置することになる。その計測用車いすに、被験者は背筋を伸ばしたアップライト姿勢で搭乗し、横断勾配実験走行路上を、ハンドリムを操作して、車いすの直進が維持されるように走行する。

6. 結果

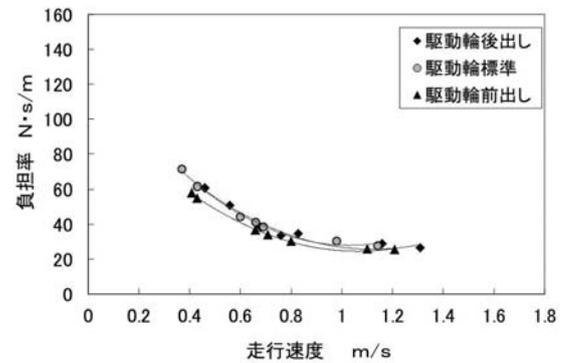
6.1 水平路面走行実験結果

6.1.1 直進自由走行

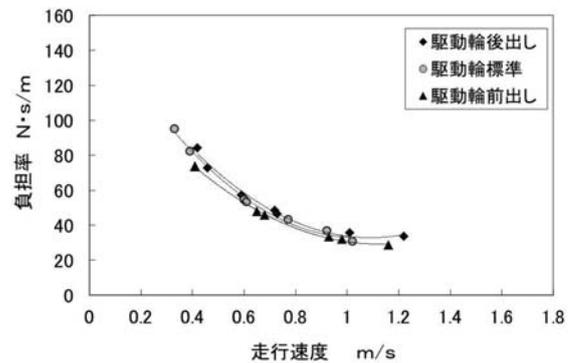
収集したデータから、走行距離とハンドリム駆動に要



(a)硬路面

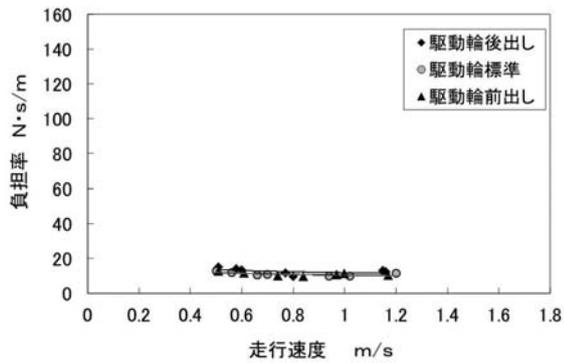


(b)準軟路面

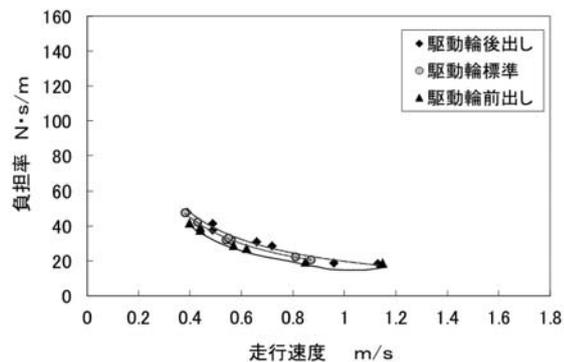


(c)軟路面

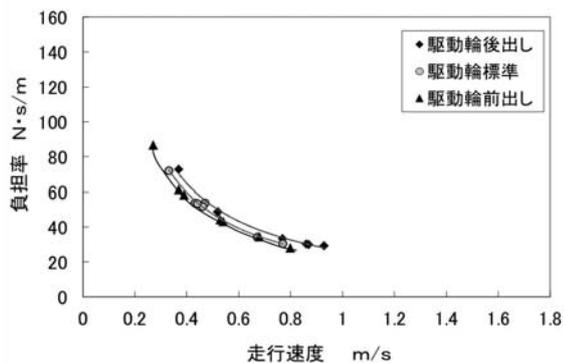
図5 水平路面走行における負担率 (被験者A)



(a)硬路面

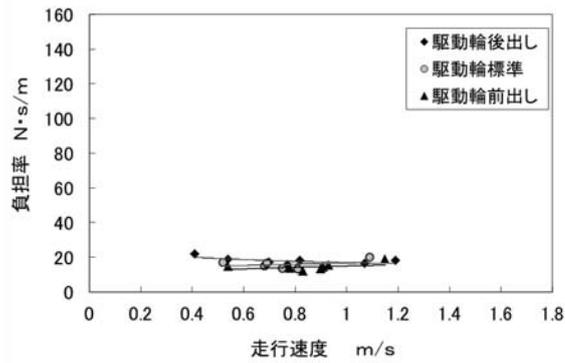


(b)準軟路面

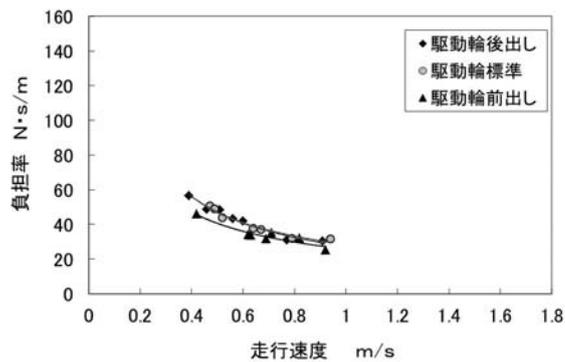


(c)軟路面

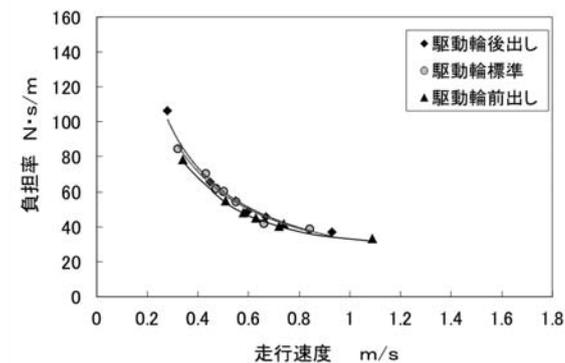
図6 水平路面走行における負担率
(被験者B)



(a)硬路面



(b)準軟路面



(c)軟路面

図7 水平路面走行における負担率
(被験者C)

した運動量を求め、その結果を基に負担率(1 m走行あたりの運動量)を算出した。結果を図5～図8に示す。

図5から、被験者Aについては、軟路面において、駆動輪位置後出し、標準、前出しの順に負担率がわずつつ小さくなっていく傾向が見られる。準軟路面においては、標準位置と後出し位置で違いは見られないが、前出し位置の場合に負担率が少し小さくなっている。硬路面においては、駆動輪位置による負担率の違いは見られない。

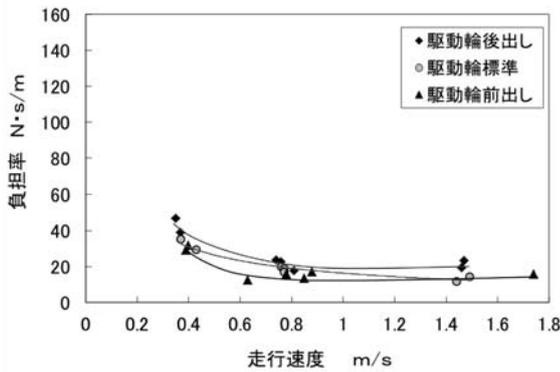
図6から、被験者Bについては、軟路面および準軟路面において、駆動輪後出し、標準、前出しの順に負担率が少しずつ小さくなっていく傾向が見られる。硬路面においては、駆動輪位置による負担率の違いは見られない。

図7から、被験者Cについては、軟路面および準軟路

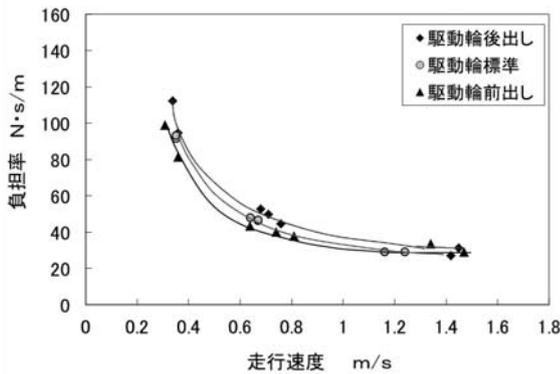
面において、駆動輪標準位置と後出しとで負担率の違いはほとんど見られないものの、前出しにすると負担率が少し小さくなる傾向が見られる。硬路面においては駆動輪位置による負担率の違いは見られない。

図8から、被験者Dについては、軟路面および準軟路面において、駆動輪後出し、標準、前出しの順に負担率が小さくなっていく傾向が見られる。硬路面においても、後出し、標準、前出しの順に負担率が小さくなっていく傾向が見られる。また、硬路面においては、速度0.8 m/s以上の領域では走行速度による負担率の違いはないが、速度0.8 m/s以下の領域では、走行速度が小さくなると負担率が若干大きくなる傾向が見られる。

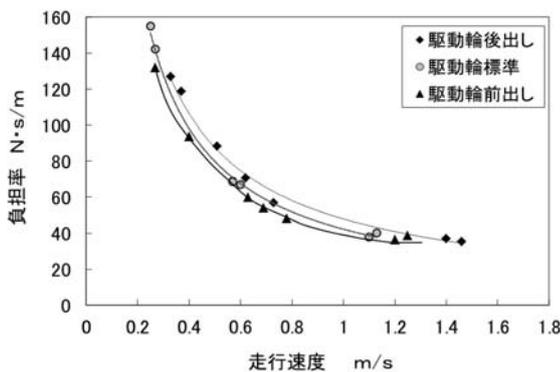
以上の結果をまとめると、被験者および路面条件によっては、駆動輪標準位置と後出し位置とで負担率の違いが見られない場合もあるが、駆動輪前出し位置にする



(a)硬路面



(b)準軟路面



(c)軟路面

図8 水平路面走行における負担率
(被験者D)

と、全被験者において若干ではあるが負担率の減少が見られる。

以上より、全般的に、駆動輪前出しにすることで、少しではあるが車いすの走行効率の向上あるいは走行抵抗の減少が望めることが示唆される。

6.1.2 1ストローク走行

駆動輪車軸位置により走行効率に違いがあるかを確認するために実施した1ストローク走行実験の結果を示す。

図9は、収集したデータから、左右トルク、走行距離、走行速度を算出した結果の例である。図9から、走行速度はハンドリムから手を離れた瞬間から直線的に減少することが明らかである。したがって、速度を微分した加速度は一定値になる。この場合、加速度は負になるので、

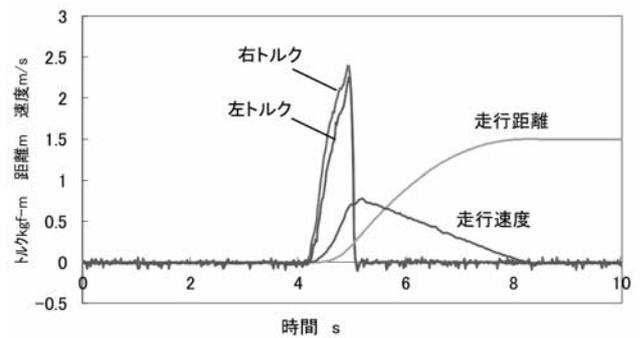


図9 1ストローク走行データ例

車いすの走行を阻害する抵抗を示す指標と考えることができる。

図10～図13に、全被験者の1ストローク走行実験によって得られたデータから、実験条件ごとに算出した加速度の平均値と標準偏差を示す。なお、算出した加速度は負であるが、グラフでは見やすくするために符号を変えて、すなわち減速度として示してある。

全被験者について、算出した減速度の平均値を見ると、いずれの路面条件においても、駆動輪車軸を前出し位置に取り付けたときが最も小さく、後出し位置のときが最も大きな値を示している。駆動輪車軸前出し位置と標準位置の間では、統計的な有意差はないと判定されるものの、平均値については前出し位置で小さくなっていることから、駆動輪の車軸を前出し位置にすると、走行抵抗は小さくなることが推測できる。

6.2 横断勾配路面走行実験結果

図14は横断勾配(片流れ)路面を走行したときのデータの例である。手動車いすで、下り斜面を右側に見るよう横断勾配路面を走行するときは、直進を維持するために、左右ハンドリムに加える力のバランスを大きく変えて走行していることが分かる。この場合、右側に流れる路面を走行しているので、車いすが右下の方に流れないように、右ハンドリムに大きな力を加え、左ハンドリムには逆方向の力を加えて直進走行している。

収集したデータから、各被験者の負担率を計算すると図15のようになる。図15には、比較のために、水平硬路面走行時の負担率計算結果も加えている。

図15から、いずれの被験者においても、駆動輪車軸を前方に取り付けた場合の方が、負担率はかなり小さくなっており、走行操作性が改善されていることが示唆される。また、横断勾配路面を走行するときも、水平な準軟路面および軟路面を走行するときと同様、走行速度を大きくした方が負担率は小さくなり、走行しやすくなっていると推測できる。

次に、各実験走行について、左右ハンドリムに加えた駆動力のピーク値(負の駆動力の場合はボトム値)の平

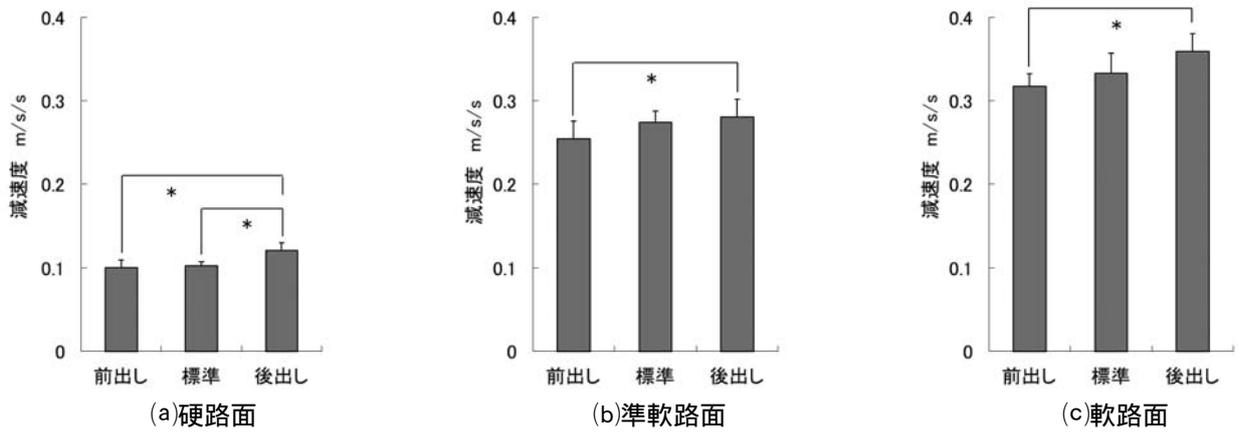


図10 水平路面における減速度(被験者A)* ; < 0.05

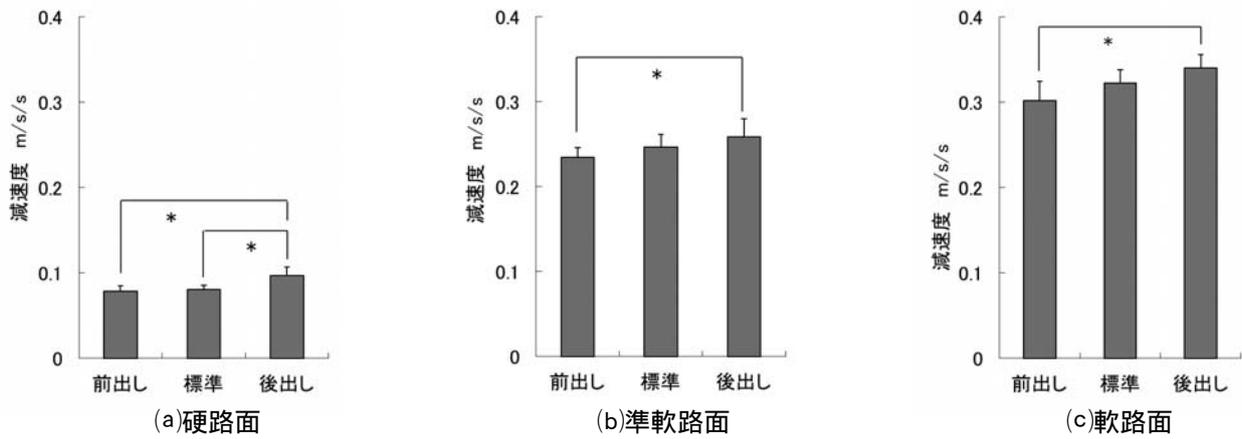


図11 水平路面における減速度(被験者B)* ; < 0.05

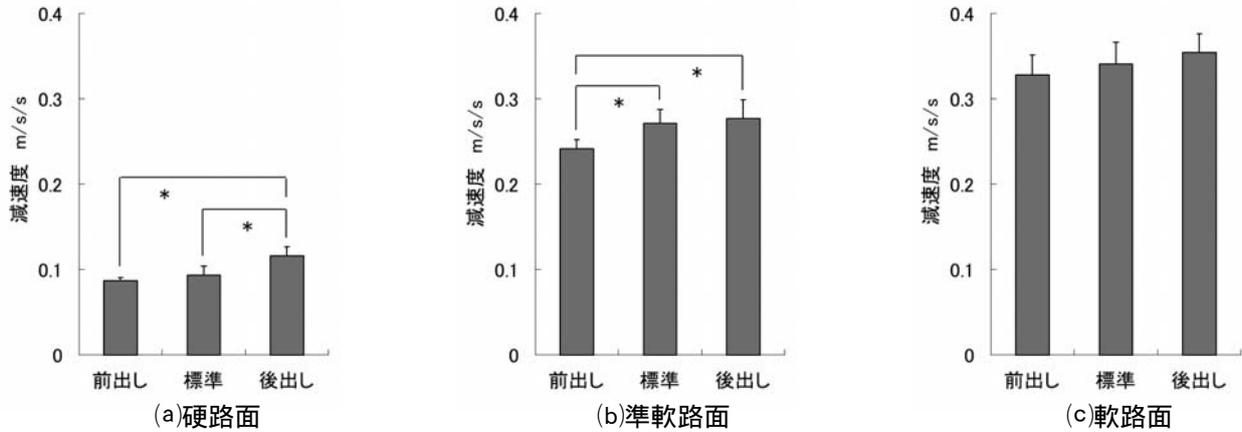


図12 水平路面における減速度(被験者C)* ; < 0.05

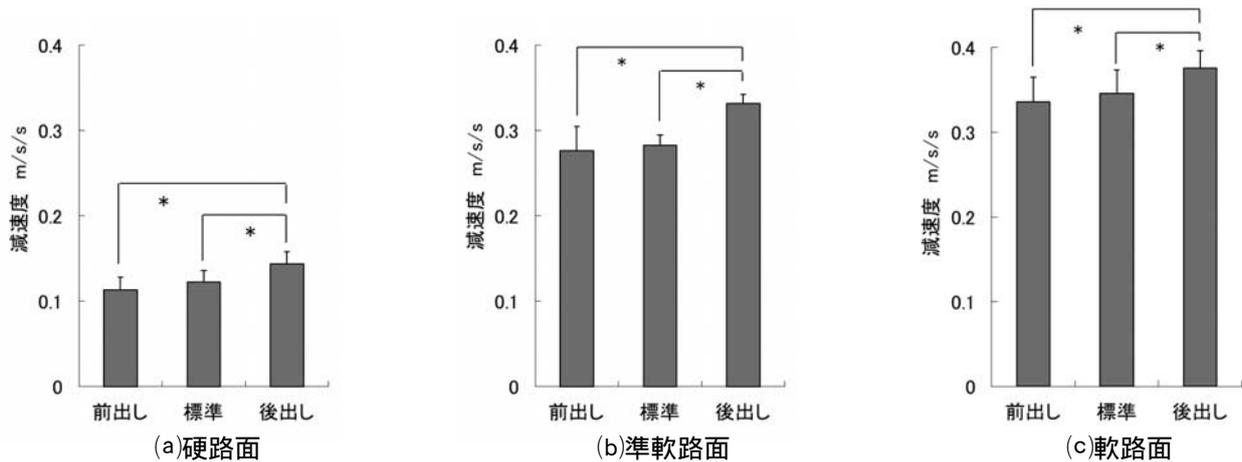


図13 水平路面における減速度(被験者D)* ; < 0.05

均値を求めると図16のようになる。

図16から、いずれの被験者においても、駆動輪車軸を前方に取り付けた方が、右ハンドリムに加える駆動力は小さくなり、左ハンドリムに加える駆動力(ブレーキ力)も小さくなっており、操作負担が小さくなっていることが明らかである。左右駆動力パターンからも、駆動輪を前方に取り付けることによる操作性の向上が裏付けられる。

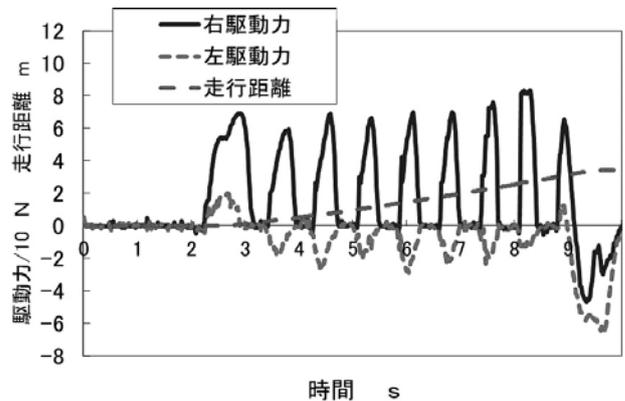


図14 横断勾配路面走行データ例

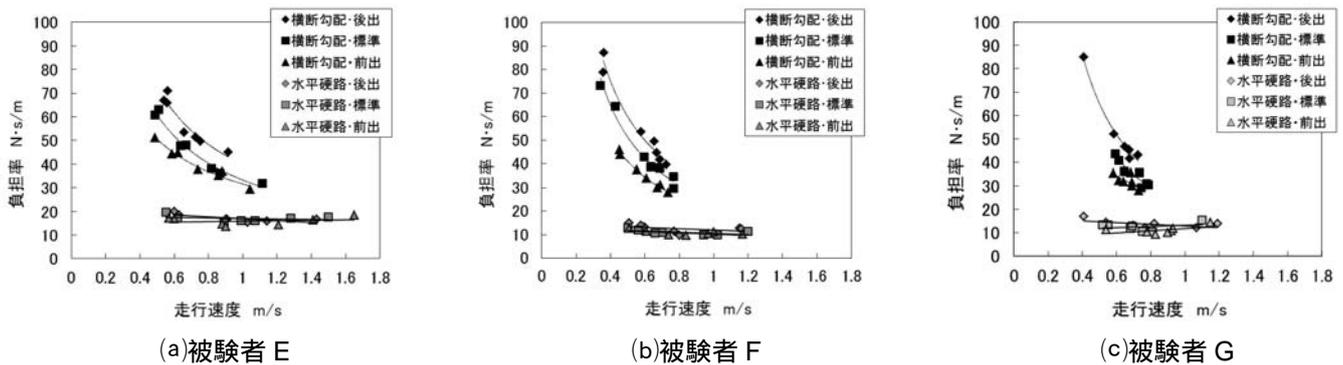


図15 横断勾配路面走行における負担率

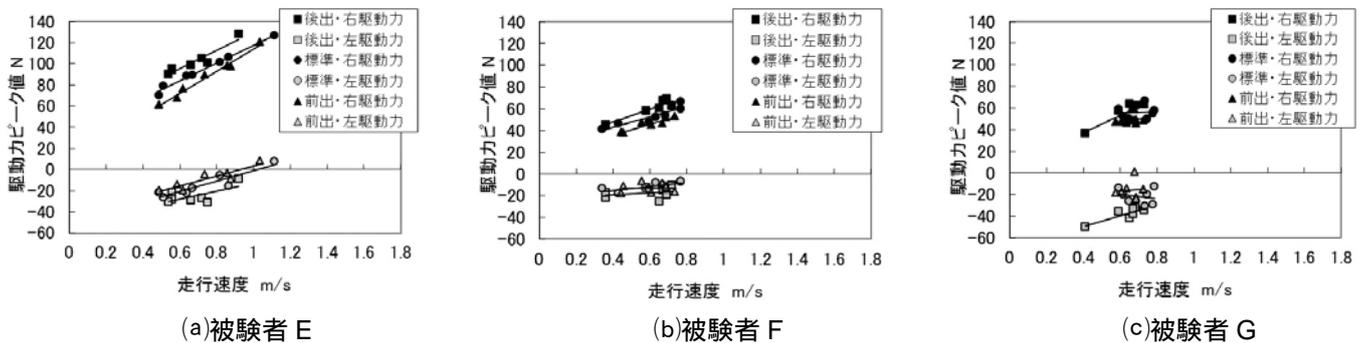


図16 横断勾配路面走行における駆動力パターン

7. 考察

計測用車いすによる走行実験により、手動車いすの場合、駆動輪車軸取り付け位置を前方にした方が、水平路面においても横断路面においても、走行効率が良くなり、したがって、走行操作性が向上することが明らかになった。その理由について考察する。

7.1 水平路面

駆動輪車軸取り付け位置と走行抵抗の関係は図17に示すようなモデルで説明することができる。

図17のパラメータの内容は以下のとおりである。

N_1 : 前輪(キャスター)への荷重(路面からの抗力)

N_2 : 後輪(駆動輪)への荷重(路面からの抗力)

μ_1 : 前輪の転がり抵抗係数

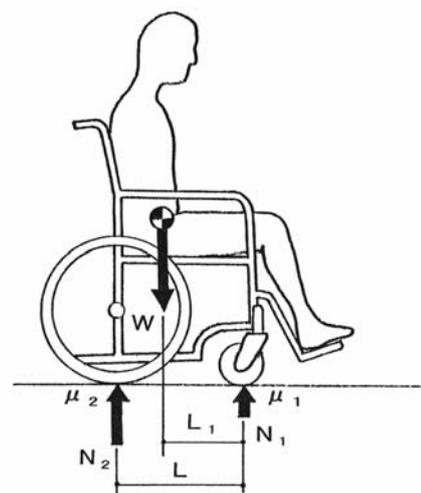


図17 車いすの重心位置と走行抵抗

μ_2 : 駆動輪の転がり抵抗係数

L : 車いすのホイールベース

L_1 : 車いす・搭乗者の重心と前輪接地点との水平距離

W : 車いす・搭乗者の全重量

手動車いすの場合、走行速度が小さく、空気抵抗などは無視できるので、走行抵抗の大部分は車輪の転がり抵抗に起因すると仮定することができる。したがって、手動車いすで水平路面上を走行するときの走行抵抗 R は次式で表すことができる。

$$R = \mu_1 \cdot N_1 + \mu_2 \cdot N_2 \quad (1)$$

次に、鉛直方向の力および重心回りのモーメントのつりあい条件から、以下の式が得られる。

$$W - N_1 - N_2 = 0 \quad (2)$$

$$N_1 \cdot L_1 - N_2 \cdot (L - L_1) = 0 \quad (3)$$

式(2)および(3)から、 N_1 、 N_2 は以下のように求まる。

$$N_1 = W \cdot (1 - \alpha) \quad (4)$$

$$N_2 = W \cdot \alpha \quad (5)$$

ただし、

$$\alpha = L_1 / L \quad (6)$$

式(4)、(5)を式(3)に代入して、改めて走行抵抗 R を求めると、次式のようになる。

$$R = W \cdot \{ \mu_1 - \alpha \cdot (\mu_1 - \mu_2) \} \quad (7)$$

一般的に、車輪の径が小さい方が転がり抵抗は大きい⁹⁾ので、前輪（キャスト）の転がり抵抗係数 μ_1 の方が径のより大きい駆動輪の転がり抵抗係数 μ_2 より大きいと考えてよい。したがって、式(7)から、 α が大きい方が走行抵抗 R は小さくなる。すなわち、式(6)および(7)から、車いす・搭乗者の重心が駆動輪車軸に近い方が車いすの走行抵抗 R は小さくなる。駆動輪車軸を前方に移すと、重心が駆動輪車軸に近づくことになる。

以上のことから、手動車いすの駆動輪車軸を前出し位置にすると走行抵抗が少し小さくなることの説明になる。

7.2 横断勾配路面

図18は、Brubaker ら⁹⁾が示した横断勾配 θ の路面上を車いすが走行している状況の模式図である。

車いす・搭乗者の全重量を W、車いす・搭乗者の重

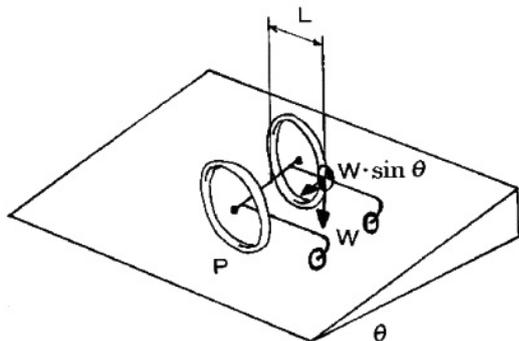


図18 横断勾配上の車いす

心と左右駆動輪車軸との間の距離を L とすると、横断勾配路面においては、重力によって、次式に示すような車いすを谷側の方に旋回させるモーメント M が発生する。

$$M = W \cdot L \cdot \sin \theta \quad (8)$$

駆動輪車軸を前出し位置にすることによって、式(8)における L は小さくなる。それにより、重力による旋回モーメント M は小さくなる。横断勾配路面を走行するときの、車いすに作用する外乱としての重力に起因する旋回モーメントが小さくなれば、それだけ直進が維持しやすくなるので、負担率が小さくなると考えることができる。

さらに、駆動輪車軸を前出し位置にすると、駆動輪車軸と車いす・搭乗者の重心が接近するので、当然のことながら慣性モーメントは小さくなる。そのため、車いすをより小さい駆動力で旋回させることができる。この特長は、水平路面だけでなく横断勾配路面での車いすの走行操作性の向上という点でも発揮される。例えば、横断勾配路面で車いすが側方に流されそうになったとき、軽い力で修正することができる。

7.3 走行速度と負担率の関係

硬路面走行時には、走行速度にかかわらず、負担率は小さいが、準軟路面、軟路面、横断勾配路面を手動車いすで走行する場合、走行速度を大きくすると負担率は小さくなることが明らかになった（図5～図8および図15）。ここで、その理由について考察を加える。

走行実験データから、走行速度と駆動力ピーク値および駆動期時間の関係を求めてみると、走行速度と駆動力ピーク値はほぼ比例し、走行速度と駆動期時間はほぼ反比例することが分かっている。図19、図20は結果の一例である。つまり、走行速度が速くなると、駆動力ピーク値が高くなり、駆動期時間は短くなる。

走行速度と駆動力パターンの関係および走行抵抗を模式的に表すと図21のようになる。ただし、図21(a)および(b)の駆動力時間積分値（運動量）と走行抵抗は等しいと

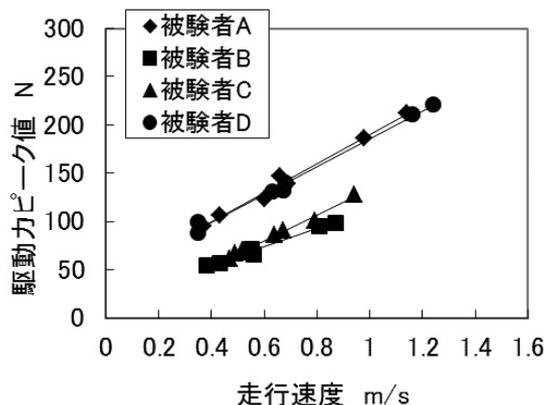


図19 走行速度と駆動力ピーク値の関係

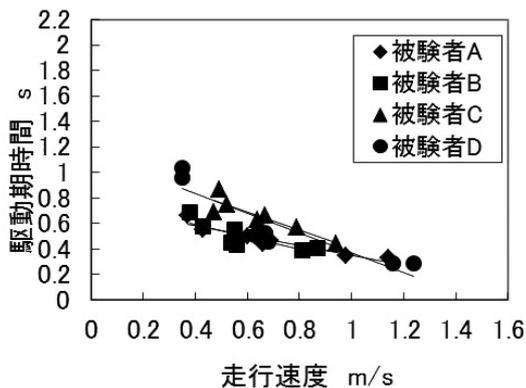


図20 走行速度と駆動期時間の関係

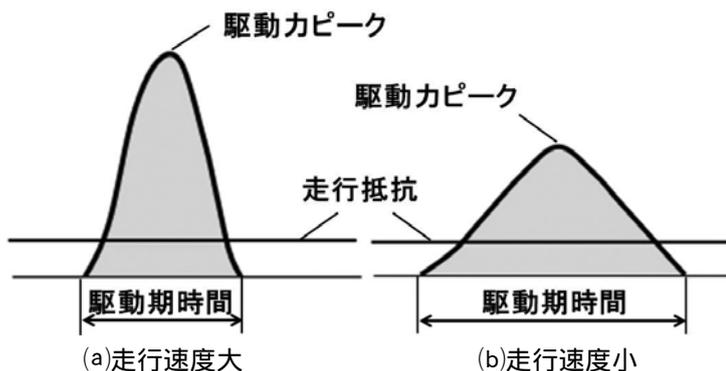


図21 走行速度と駆動パターンとの関係

する。

図21に示した駆動力のうち車いすを走行させるのに寄与するのは走行抵抗より高い部分である。したがって、同じ運動量であれば、走行速度を大きくする駆動パターンの方が走行抵抗に打ち消される量は小さくなる。以上のことより、準軟路面および軟路面においては走行速度を大きくする方が負担率は小さくなるということが説明できる。また、硬路面のように走行抵抗がかなり小さい場合は、走行抵抗に打ち消される駆動力の割合が小さくなり、駆動パターンによる負担率の違いは小さくなると思われる。

8. 結論とまとめ

計測用車いすによる走行実験により、手動車いすの駆動輪車軸の取り付け位置を前方にし、車いす・搭乗者の重心に近づけると、水平路面においては走行抵抗が小さくなり、横断勾配路面では、車いすを路面の谷側に流すように作用する旋回モーメント（外乱）が小さくなり、走行操作性が改善されることが明らかになった。

駆動輪車軸を前出し位置にすると、後方に転倒しやすくなる問題点もある。つまり、不安定な車いすになる。しかし、それでも走行操作性が格段に向上するという特徴は不安定な車いすになるという欠点を補って余りある。最近の手動車いすのデザインは駆動輪車軸取り付け

位置を前方にしたものが多くなっているのは理に適っている。

さらに、駆動輪車軸の取り付け位置を前出しすると、車いすの全長は短くなる。車いすの全長が短くなると、旋回に要するスペースが小さくなり、住宅内等での使い勝手が向上するという利点も生まれる¹⁰⁾。

高齢者も走行効率が高く、走行操作性が向上する駆動輪車軸を前出し位置にした「不安定な手動車いす」を使うことを薦めたい。駆動輪車軸を前出し位置にした車いすは後方転倒しやすいというこの問題点は、車いすに後方転倒防止バーを装着することで解消できる。

参考文献

- 1) 糟谷佐紀, 米田郁夫, 阪東美智子, 末田統, 藤澤正一郎: 手動車いす操作における段差抵抗の尺度化に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第602号, 7-11, (2006)
- 2) 米田郁夫, 糟谷佐紀, 阪東美智子, 末田統, 藤澤正一郎, 奥英久, 鎌田実: 手動車いすによる縦断勾配走行時の負担と操作難易度評価, 日本機械学会論文集(C編) 71巻701号, 237-244, (2005)
- 3) Tsutomu Hashizume, Hiroshi Kitagawa, Hokyoo Lee, Hisatoshi Ueda, Ikuo Yoneda and Masayuki Booka: Biomechanics and Physiology for Propelling Wheelchair Uphill Slope, Assistive Technology Building Bridges, IOS Press, 447-454, (2015)
- 4) 米田郁夫, 糟谷佐紀, 阪東美智子, 末田統, 奥英久: 駆動輪アライメントが手動車いす操作負担に及ぼす影響, 日本機械学会第2回福祉工学シンポジウム講演論文集, 197-200, (2002)
- 5) Masayuki Booka, Ikuo Yoneda, Tsutomu Hashizume, Hokyoo Lee, Hidehisa Oku and Shoichiro Fujisawa: Effect of Tire Pressure to Physical Workload at Operating Wheelchair, Assistive Technology Building Bridges, IOS Press, 929-934, (2015)
- 6) R. A. Cooper: Wheelchair selection and configuration, Demos Medical Publishing Inc. (1998)
- 7) D. L. Ruggles, T. Cahalan and K. N. An: Biomechanics of wheelchair propulsion by able-bodied subjects, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol.75, May, pp 540-544, (1994)
- 8) 自転車実用便覧(第4版), 自転車産業振興協会, (1982)
- 9) C. E. Brubaker, C. A. McLaurin and I. S. McClay, Effect of side slope on wheelchair performance, Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol.23, No.2, pp 55-57, (1986)

- 10) 糟谷佐紀, 室崎千重, 米田郁夫, 阪東美智子, 末田統, 藤澤正一郎: 車いす使用者の移動スペースに関する研究(その1) 通路・開口幅と車いす全長の相関関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp 799-800 (2006)