

各種環境バリアが車いす使用者に強いる負担量の評価法およびバリア走破装置の開発に関する研究

Study on Evaluating Influences of Barriers and Developing Usable Devices to Negotiate the Barriers for the Manual Wheelchairs

米田郁夫 糟谷佐紀 福井有朋 井上 結

YONEDA Ikuo, KASUYA Saki, FUKUI Aritomo, INOUE Yui

阪東美智子（国立保健科学院健康衛生部）、奥 英久（岡山理科大学工学部福祉システム工学科）

BANDO Michiko (National Institute of Public Health)、OKU Hudehisa (Okayama University of Science)

末田 統、藤澤正一郎（徳島大学大学院エコシステム工学専攻）

SUEDA Osamu、FUJISAWA Shoichiro (The University of Tokushima)

キーワード：

手動車いす、バリア走破、定量的評価、開発

Keywords:

Manual wheelchair, Quantitative evaluation of negotiating barriers, Development of devices

Abstract:

It is important for the manual wheelchair users to be able to move around operating their wheelchair with ease in everyday life. So, it is necessary to construct barrier-free conditions at sidewalks, streets and other public facilities. However, it seems that there is actually little possibility to clear all the barriers that obstruct movement of manual wheelchairs. Especially, it is necessary to slope the sidewalks sideways for drainage.

This paper concentrates the issue on negotiating the 5%-side-slope surface by the manual wheelchair.

Using specially designed experimental manual wheelchair, influences of slide-slope on maneuverability of the wheelchair were investigated, and results as follows were acquired.

When running on the side-slope surface, the load/distance rate becomes lower by shifting the position of driving wheels forward, and the slower the manual wheelchair runs, the higher the load/distance rate.

And furthermore, it became clear that excluding the swiveling function of casters make the manual wheelchair's running on the side-slope surface remarkably easy. That suggests new mechanism for negotiating the side-slope surfaces.

1 はじめに

移動は、それ自体が日常生活の中で目的動作であることはほとんどない。しかし、それは日常生活動作の中で最も重要な動作の一つである。移動ができなければ、他のほとんどの生活動作に支障を来たすからである。したがって、加齢や身体障害のために歩行が困難あるいは不可能になった人ができるだけ支障なく日常生活を送れるようにするためには、円滑に移動できるよう技術的手段が講じられることが必要不可欠である。

とくに、手動車いすを使用しなければならない人の移動の円滑さを確保するためには、いろいろな配

慮が必要となる。例えば、段差や柔らかい路面あるいは凹凸のある路面などの環境条件は車いすにとって大きなバリアとなる可能性がある^{1)~4)}。横断勾配（片流れ）路面や縦断勾配（スロープ）路面も手動車いすの円滑な移動を阻害する環境要因である⁵⁾⁶⁾。

したがって、性別や国籍、障害の有無などにかかわらずだれもが地域社会で安全に豊かに暮らせるユニバーサル社会の構築のためには、まちや施設をバリアフリーにしてだれもが移動しやすい環境にすることが必要である。

ところで、いわゆるハートビル法や交通バリアフリー法が施行され、まちや施設のバリアフリー化が進みつつある。低い段差は、比較的簡単な改修工事でも手動車いすでも楽に通れるようにできる可能性がある。あるいは、ミニスロープの設置で対応できることもある。しかしながら、現実には、コストの面などから環境整備だけでは解決できない問題もある。車いす側にバリアを楽に通るための工夫の可能性についても考える必要がある。

本研究では、いろいろな環境バリアが車いす使用者に強い負担量データを計測、蓄積するとともに、車いす側にバリア通るための機構を考案し、その有効性を定量的に評価する。さらに、自走型及び介助型車いす使用者の操作力データを収集し、操作力を基にした許容環境バリアを推定するシステムの可能性についても考察する。

今年度は、手動車いすで横断勾配路面を通り抜けるときの負担を計測するとともに、より楽に通るための走行機構について考察した。

2 手動車いすによる横断勾配走行時の負担の計測

2.1 走行実験

横断勾配路面における操作負担を調べるために、実験路を構成し、計測用車いすによる走行実験を行った。

2.1.1 計測装置

ハンドリム操作力を計測するトルク変換器と車軸の回転数を計測するロータリ・エンコーダを装備した駆動輪を装着した計測用車いす⁷⁾を使用した。

2.1.2 実験走行路

歩道の横断勾配（排水勾配）が現行の基準⁸⁾である2%（1/50）以下であれば、多くの手動車いす使用者にとって、それほど大きな負担にはならない。しかしながら、まちには2%を超えて、5%（1/20）以上になる横断勾配がまだ多く存在するのが現実で

ある。横断勾配が5%程度になると、手動車いすの走行操作負担はかなり大きくなる⁵⁾。

そこで、本研究では、実験室内に以下のような仕様の実験走行路（図1）を構成した。

横断勾配：5%（1/20）

路面長さ：4.5m

路面幅：1.8m

路面材質：木製平板に塩ビシートを貼付



図1 横断勾配実験走行路

Fig.1 Experimental track with side-slope.

2.1.3 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、右駆動輪が横断勾配実験走行路の谷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。

駆動輪の取り付け位置は以下の3通りに設定する。

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

各被験者は、3通りの駆動輪取り付け位置条件について、速度を変えて7回ずつ走行する。

2.1.4 被験者

被験者は以下の健常者3名である。

被験者A：男性56歳；体重666N

被験者B：女性35歳；体重480N

被験者C：女性24歳；体重441N

2.1.5 操作負担の定量的評価尺度

本研究では、手動車いす走行操作時の負担を定量的に評価する量として運動量を用いる。すなわち、

駆動力データを時間積分し、それを操作者が手動車いすを操作するときの負担を評価する量とする。実際には、駆動力データをもとに、時間間隔20msで台形近似により時間積分値を計算する。そして、1 m 走行するのに必要な負担（運動量）を負担率⁴⁾と定義し、手動車いすを走行させるための操作負担の定量的評価尺度として用いる。

2.2 実験結果と考察

2.2.1 操作パターン

図2は各被験者が計測用車いすで5% (1/20) 横断勾配実験走行路を直進維持走行したときのデータの例である。

また、収集した実験データから、各試行における走行速度と駆動力ピークの平均値を求め、グラフにすると図3のようになる。

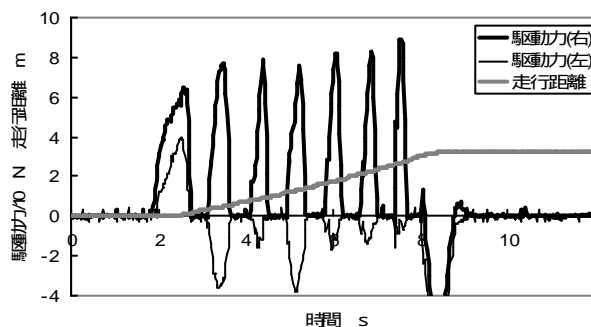
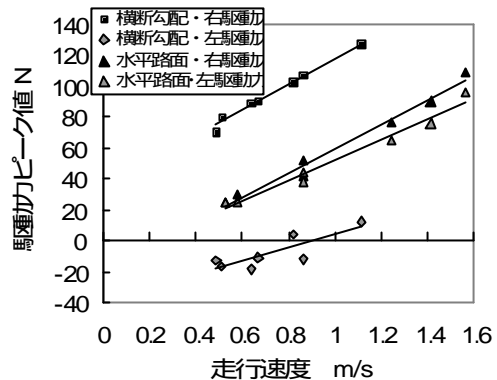


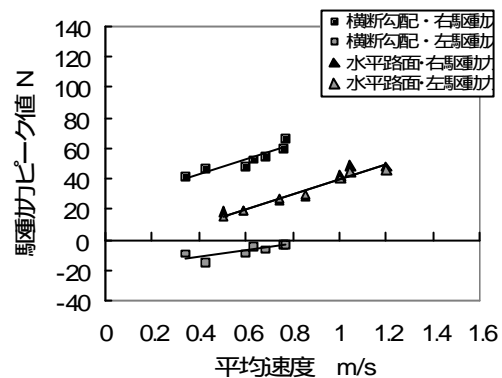
図2 横断勾配路面における走行実験データ例
Fig.2 An example data when running on the side-slope surface.

手動車いすで水平路面を直進維持走行するときは、左右駆動輪ハンドリムにほぼ等しい大きさの力を規則的に加えるが、横断勾配路面においては、山側より谷側の駆動輪により大きい駆動力を加える操作パターンになる。それは、走行中車いすが谷側に流されるのを防ぐためである。本実験では、ほとんどの場合山側の左駆動輪には逆方向の力すなわち制動力を加える操作パターンになっている(図2および図3)

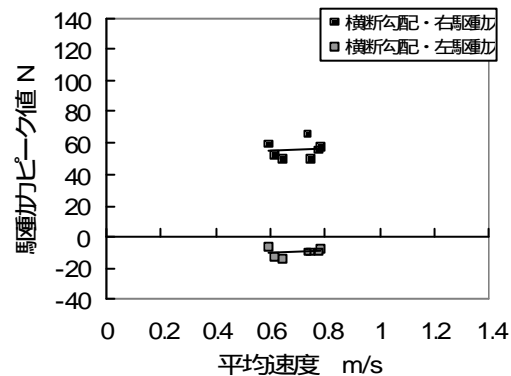
3名の被験者ともに、左右駆動輪への駆動力はかなり不均衡にして走行していることが分かる。被験者Aの場合、比較的速く走行する場合は谷側(左側)の駆動輪にはわずかに正の駆動力を加えているが、速度が小さいときは負の駆動力を加えている。被験者BおよびCの場合は、谷側の駆動輪への駆動力はいずれも負になっている。



(a) 被験者 A (Subject A)



(b) 被験者 B (Subject B)



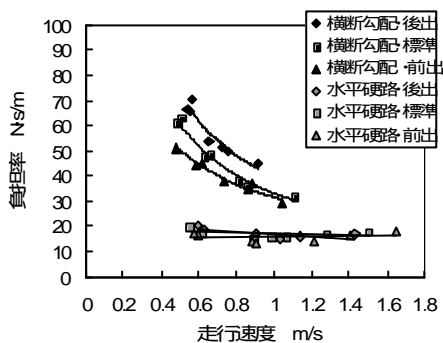
(c) 被験者 C (Subject C)

図3 横断勾配路面走行時の駆動力ピーク値
Fig.3 Driving force peak in running on the side-slope surface.

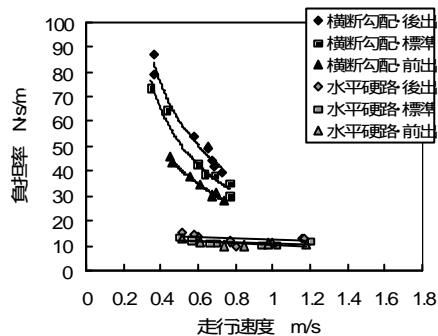
2.2.2 駆動輪位置と負担率

収集した走行実験データから、負担率を計算した結果を図4に示す。なお、被験者AおよびBについては、水平硬路面においても走行実験を行っているため、そのときの負担率の計算結果も示している。

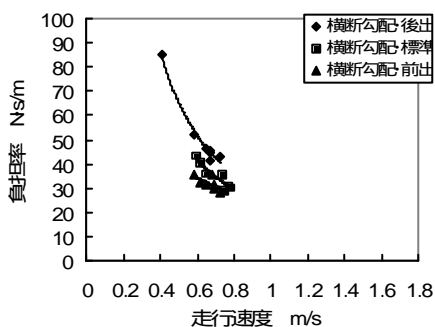
図4から、水平硬路面に比べて5%横断勾配路面においては、全般的に負担率がかなり大きくなっていることが明らかである。



(a) 被験者 A (Subject A)



(b) 被験者 B (Subject B)



(c) 被験者 C (Subject C)

図4 横断勾配路面走行における負担率
Fig.4 Load/distance rate in running on the side-slope surface.

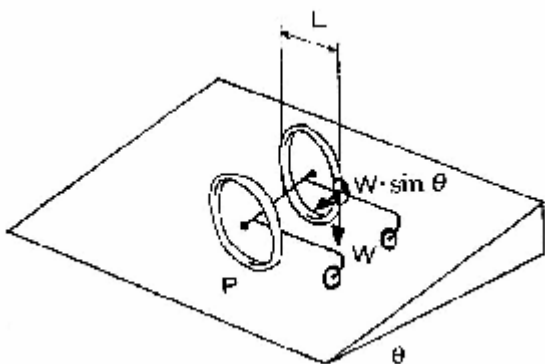


図5 横断勾配路面上の車いすに作用する力
Fig.5 The force acting to the wheelchair on the side-slope surface.

また、横断勾配においては、走行速度が小さいと負担率は大きくなっていることも明らかである。それに対して、水平硬路面を走行するときは、走行速度に関係なく負担率はほぼ一定である。これらのことは、手動車いすの速度を上げて走行することができないユーザーすなわちハンドリムを駆動する力が弱いユーザーにとっては、横断勾配路面は大きなバリアになるということの意味する。

次に、駆動輪車軸の取り付け位置と負担率の関係を見てみると、3名の被験者ともに、駆動輪を前出し位置にしたとき最も負担率が小さく、以下、標準、後出し位置の順に大きくなっている。その理由については、Brubaker ら⁹⁾が示した図5のような模式図で説明することができる。

手動車いす・搭乗者の全重量をW、車いす・搭乗者の重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、式(1)に示すような谷側の駆動輪の接地点を中心として車いすを谷側の方に回転させるモーメントMが発生すると考えることができる。

$$M = W \cdot L \cdot \sin \theta \quad (1)$$

手動車いすの駆動輪車軸を前出し位置にすることにより、図5におけるLは小さくなる。したがって、式(1)により、重力による回転モーメントMは小さくなる。

手動車いすで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回転モーメントM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。

3 負担軽減機構開発へのアプローチ

横断勾配路面上を走行中の車いすが外乱としての回転モーメントの影響を受けやすいのは、前輪にキャストを使っているためである。視点を変えると、前輪キャストの首振り機能を除去することによって、手動車いすによる横断勾配路面の通り抜けがより楽になると考えられる。

そこで、キャストの有無によって、手動車いすの横断勾配路面上での走行における負担が変わるか否かを検証するために、追加実験を行った。そして、実験結果をもとに、新しい手動車いす走行機構の可能性を考察した。

3.1 追加実験 キャスタによる影響の検証

3.1.1 キャスタ機能除去計測用車いすの構成

計測用車いすの前輪キャストの首振り機能を除去するために、左右キャスト付近に図6に示すようなキャストと同じ径の固定輪を取り付ける。その際、固定輪の取り付け方法は、元のキャスト輪が床面よりわずかに浮いた状態なるように調整する。つまり、固定輪を増設することにより、計測用車いすの走行中にキャストが機能していない状況を作ることができる。

以降、固定輪を増設した状態の計測用車いすを固定輪走行モード車いす、キャストが機能している状態を通常走行モード車いすと称する。



図6 キャスタ機能除去のための固定輪の増設
Fig.6 Set of non-swiveling wheels in place of casters.

3.1.2 実験概要

(1) 直進維持走行実験

固定輪走行モード車いすにより、2.1.2節で説明した5%横断勾配実験走行路において2.1.3節と同様の直進維持走行を行う。

被験者は2.1.4節に示した3名である。

(2) 1ストローク走行実験

通常走行モードおよび固定輪走行モード車いすそれぞれについて、1ストローク走行実験を行う。

1ストローク走行とは、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配置し、被験者は車いすが直進するように左右ハンドリムを1回だけ駆動するものである。

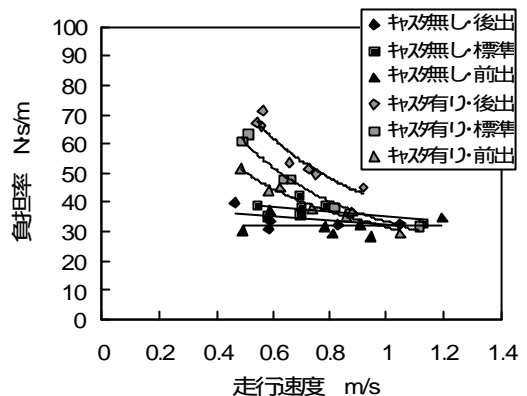
なお、1ストローク走行実験も、3通りの駆動輪車軸取り付け位置について、駆動力をいろいろに変えて7試行ずつ行う。また、通常走行モード車いすによる走行実験では、キャスト輪は予め前進走行する向きに初期設定しておく。

被験者は2.1.4節に示した3名である。

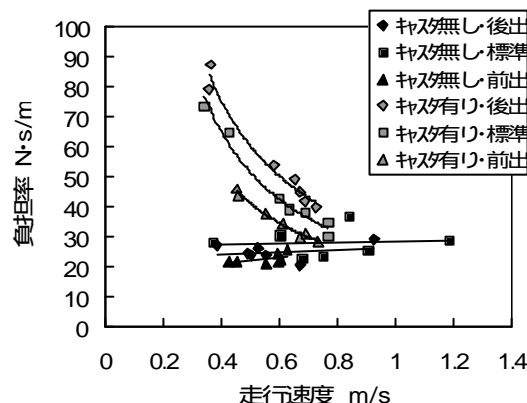
3.2 追加実験結果

(1) 直進維持走行

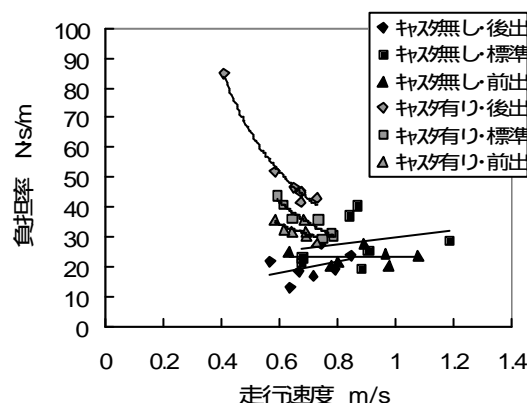
固定輪走行モード車いすで横断勾配実験走行路を直進維持走行したときの負担率の計算結果を図7に示す。比較のために通常走行モード車いすでの結果(図4)も併記している。



(a) 被験者A (Subject A)



(b) 被験者B (Subject B)

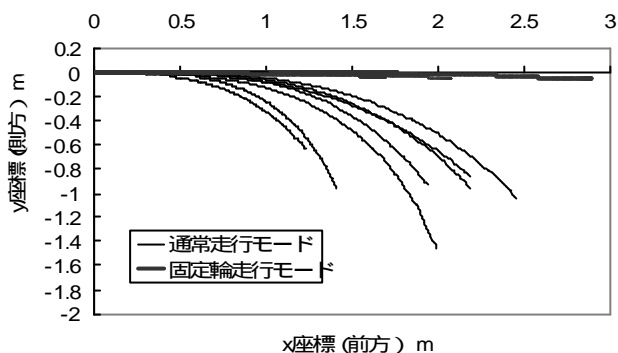


(c) 被験者C (Subject C)

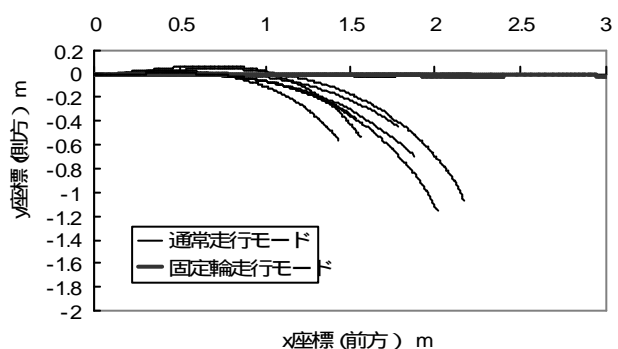
図7 固定輪増設による負担率の低下

Fig.7 Decrease of load/distance rate by setting of non-swiveling wheels.

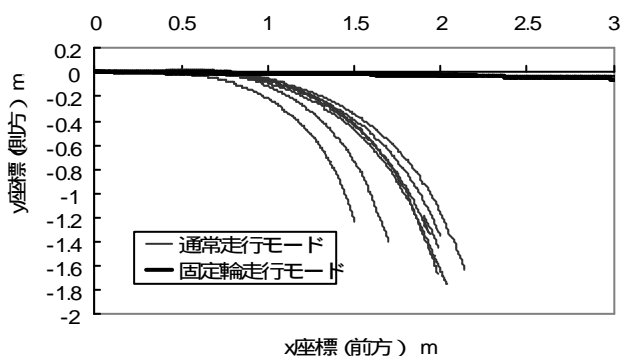
図7から、固定輪走行モード車いすで横断勾配路面を走行するときの負担率は、通常走行モード車いすの場合に比べてかなり小さくなっていることが明らかである。また、いずれの被験者においても、固定輪走行モード車いすでは、通常走行モード車いすの場合より速度を大きくした実験走行を行えていることが分かる。



(a) 被験者 A (Subject A)



(b) 被験者 B (Subject B)



(c) 被験者 C (Subject C)

図8 横断勾配路面における1ストローク走行時の軌跡(駆動輪;標準位置)

Fig.8 Traces of one-push test running on the side-slope surface (Driving wheels; standard position).

(2) 1ストローク走行

図8は、駆動輪車軸が標準位置のときの走行実験での駆動輪回転数データをもとに、走行軌跡を幾何学的近似計算法¹⁰⁾によって求めた結果である。

通常走行モードの場合は、横断勾配実験走行路において進行右方向の谷側にかかり流されるのに対し、固定輪走行モードの場合は、同じ路面上を谷側に流されることなく直進が維持されていることが明らかである。このことが、固定輪走行モード車いすの横断勾配路面上での走行操作のしやすさにつながり、負担率が小さくなったと考えることができる。

なお、駆動輪前出しおよび後出し位置についても同様の走行軌跡になることが確かめられている。

3.3 固定輪走行モード手動車いすの可能性

追加実験の結果から、横断勾配路面上を手動車いすで走行する場合、キャストの機能を何らかの方法で除去することができれば、その使用者の負担は小さくなるということが具体的に明らかになった。

手動車いすのキャストの機能を除去する方法としては、図6のような固定輪を増設する方法が考えられる。ただし、横断勾配路面ではキャストの機能を除去して走行し、通常の路面ではキャストの機能を有効にして走行するといった切り換えが簡単にできることが必須であるので、固定輪を支えている支柱を何らかの方法で伸縮させる必要がある。

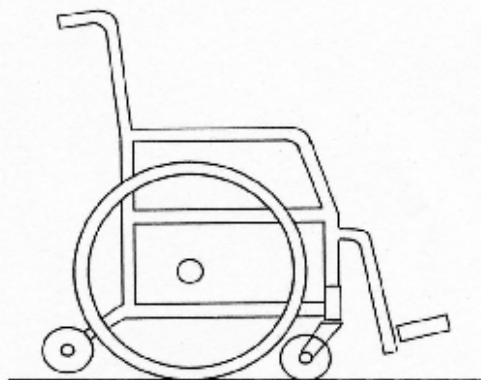
さらに簡単な方法として、6輪型手動車いす(図9)を改造することが考えられる。



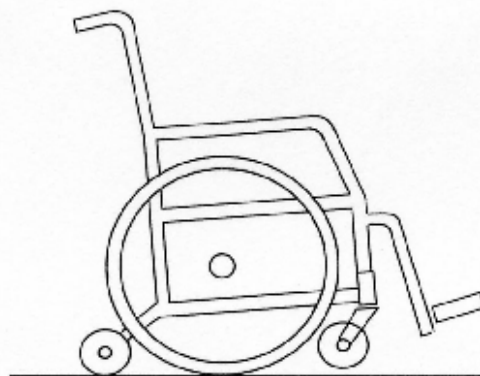
図9 6輪型手動車いす

Fig.9 The manual wheelchair with six wheels.

6輪型手動車いすは、もともと手動車いすの全長を短くして旋回スペースを小さくすることを目的として開発されたものである。全長を短くするために、駆動輪車軸取り付け位置を極端に前方にし、転倒を防ぐために左右駆動輪の後方にキャストを増設している。この6輪型手動車いすは、普段は駆動輪と前



(a) 通常走行モード (Casters mode)



(b) 固定輪走行モード (Non-swiveling wheels mode)

図 10 走行モード切り換え型手動車いすの概念

Fig.10 The concept of new manual wheelchair being able to run by four non-swiveling wheels.

方のキャストを接地させて走行する。そして、搭乗者が体重を後方にかけて車いす全体が後方に傾き、前方のキャストを持ち上げることができる。この機能は、段差を越えやすくするためのものであり、前方のキャストを上げた状態で走行することは想定していない。

そこで、6輪型手動車いすの後方のキャストを固定輪に置き換えることによって、横断勾配路面上を安定に走行できる可能性がある。すなわち、搭乗者の体重移動によって、図 10 に示すように、キャストの機能を使った通常走行モードと、キャストの機能を除去した固定輪走行モードを切り換えて使うことができる。この機能は、搭乗者自身が駆動する自走式手動車いすだけでなく、介助者が手押しで動かす介助用車いすにも有効と思われる。

4 まとめ

実験室内に設置した勾配 5% (1/20) の横断勾配実験走行路において、計測用車いすによる走行実験を行った。

その結果、手動車いすで横断勾配路面を通り抜ける場合、走行速度を大きくした方が負担率は小さくなることが明らかになった。

また、駆動輪車軸を前出し位置にした方が負担率は小さくなることが明らかになった。これは、駆動輪車軸を前出しすることで、重心と駆動輪車軸間距離が短くなり、それにより外乱としての重力による旋回モーメントが小さくなるためと考えられる。

さらに、キャスト機能を除去することにより、手

動車いすによる横断勾配路面走行が格段に楽になることが追加の走行実験により確かめられた。その結果をもとに、6輪型手動車いすをベースとして、通常走行モードとキャスト機能を除去した固定輪走行モードを体重移動で切り換えられる車いすの可能性を提示した。

車いす使用者にとって、水平で平坦な路面は理想的であるが、現実には、雨水の排水などのために、歩道に横断勾配をつけることは避けられない。これまでの研究から⁵⁾、横断勾配が道路構造令に規定された 2% 以下であれば、多くの手動車いす使用者にとってそれほど大きな負担ではないと考えられる。しかし、とくに歩道には、2% を超える横断勾配が多く存在し、また、それらをすべて一朝一夕になくすることができるとは考えにくい。

こうしたことから、環境のバリアを取り除く努力をするのは当然のこととして、一方で、現実に存在するバリアを楽に通じ抜けられるようにするための車いすの機構や補助機器の開発あるいは工夫の可能性を考えることも当面は必要である。

参考文献

- 1) 米田郁夫、橋詰努ほか：車いす走行特性に関する研究、日本機械学会第 74 期通常総会講演会講演論文集 () pp.344-345、1997
- 2) 阪東美智子、米田郁夫ほか：環境要因が車いす操作に及ぼす影響～床材の違いによる旋回走行負荷の定量的評価～、第 16 回八工学カンファレンス講演論文集、pp.21-24、2001

- 3) 糟谷佐紀、米田郁夫ほか：動作に着目した住宅空間設計のガイドラインに関する研究(その1) - 車いす使用者の操作能力を考慮した住宅整備指針の構築(第二報 -)、平成 14 年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告書、pp.119-126、2002
- 4) I. Yoneda, S. Kasuya, et al. : Quantitative evaluation and analysis of influences of floor conditions and position of rear wheels on maneuvering the manual wheelchair, Assistive Technology?Shaping the Future, AAATE 2003, IOS Press, pp.147-151, 2003
- 5) I. Yoneda, S. Kasuya, et al. : Quantitative Evaluation of Influences of Road Condition on Maneuvering Manual Wheelchair, Proceedings of TRANSED2004, pp.653-661, 2004
- 6) 米田郁夫、糟谷佐紀ほか：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、pp.237-244、2005
- 7) 米田郁夫ほか：高齢者・障害者の移動機器の最適処方に関する研究開発(その1) - 走行環境と車輪アライメントが車いす操作に及ぼす影響の定量的評価 -、平成 13 年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告書、pp.137-141、2001
- 8) 道路構造令の解説と運用、日本道路協会、2004
- 9) C. E. Brubaker, et al. : Effect of side slope on wheelchair performance, Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol.13, No.2, pp.55-57, 1986
- 10) 米田郁夫、阪東美智子ほか：環境要因が車いす操作に及ぼす影響～ 巡回走行の定量的評価手法に関する一考察～、第 16 回八工学カンファレンス講演論文集、pp.469-472、2001