

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)

Research and Development on Assistive Devices of Mobility for Aged and Disabled People

— 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 —

— Quantitative evaluation and analysis of influence of floor conditions and wheel alignment on running performance of manual wheelchair —

米田 郁夫、西岡 基夫、糟谷 佐紀
奥 英久 (岡山理科大学)

YONEDA Ikuo, NISHIOKA Motoo, KASUYA Saki (Hyogo Assistive Technology Research and Design Institute)
OKU Hidehisa (Okayama University of Science)

キーワード：車いす、計測・評価、解析

Keywords: wheelchair, measuring and evaluating, analysis

Abstract:

In this study, we constructed the special wheelchair equipped with torque meters and rotary encoders at the large wheel axles. Using this wheelchair, we intend to evaluate the running performances of the wheelchair quantitatively.

We constructed three types of experimental tracks, made of solid material, thin carpet and thick carpet respectively. Then, we investigated the influences of floor surface conditions on the characteristics of the wheelchair's running performance at various wheel-alignments.

We calculated the momentum needed for running 1 m by the wheelchair from the data collected in the test running. The results show that the less momentum per 1 m, the faster the wheelchair runs on the carpet, and that the wheelchair with the large wheels attached a little ahead has slightly less rolling resistance. And, it obtained that the wheelchair with the large wheels attached in 1.8 degrees toe-in needs 15~20% more momentum per 1 m than one with normal wheel alignment.

1. はじめに

日常生活において自由に移動できることはきわめて重要である。そのため、歩行機能が著しく低下あるいは不可能になった場合、移動の自由を確保するために何らかの補助用具を使う必要がある。

移動補助用具の中でも車いすは最も一般的で重要な用具である。車いすは、比較的長時間連続して毎日使用することが多いので、本来きちんと処方されるべき用具である。身体条件と適合しない車いすは効率的に駆動できないために使用者により大きな負担を強いることになる。また、車いす使用者の身体的負担を軽減するために、車いすと環境が適合することや車いす自体の走行効率を良くすることも重要である。

こうしたことを踏まえて、本研究では車いすと身体条件の適合の問題、車いすと走行環境との適合の問題、車いす自体の走行効率向上の問題などについて科学的に追及することで、移動補助用具とくに車いすを合理的に設計、処方するための手法を明らかにすることを目的とする。

本年度は、路面環境が車いす走行に及ぼす影響と車いすの車輪アライメントが走行効率に及ぼす影響を定量的に評価した。

2. 研究方法

ハンドリムを操作して走行するときのハンドリム操作力（トルク）および駆動輪回転数を計測する

ことができる計測用車いすを用い、路面条件、駆動輪アライメントをいろいろ変えて走行試験を行う。得られたトルクおよび駆動輪回転数データから、操作者が発揮した操作力、車いすを走行させたための負担量（今回は運動量で評価）、走行距離、走行速度などを求め、使用環境や車いす自体の物理的パラメータ（今回は主として車輪アライメント）が車いす走行操作に及ぼす影響を定量的に評価する。

2.1 計測用車いすの仕様

使用した計測用車いすの概要は以下のとおりである。

ハンドリム操作力計測：

トルク変換器（共和電業製 TPR-S-100NMS22）

駆動輪回転数計測：

ロータリ・エンコーダ（分解能 2000P/R）

駆動輪直径（呼び径）：24 インチ

キャスター輪直径（呼び径）：5 インチ

車体フレーム：

固定式（折りたたみ不可）

座幅 370mm

駆動輪前後方向取付け位置可変（20mm ピッチ）

駆動輪上下方向取付け位置可変（15mm ピッチ）

2.2 試験走行路

実験室内に幅 1.8m、長さ 7.2mで、路面材質の異なる 3 種類の試験走行路を設定した。

路面材質は次の(a)~(c)である。

(a)長尺塩ビシート

実験室の床面材質

以下、硬路面と称す

(b)パイル長 4.5mmのループパイルカーペット

実験室床面に敷設

以下、短毛カーペットと称す

(c)パイル長 14.5mmのカットパイルカーペット

実験室床面に敷設

以下、長毛カーペットと称す

なお、いずれの試験走行路面とも水平である。

2.3 被験者

今回は、環境や車いす自体の物理的条件が走行に及ぼす影響を把握することに視点を置くため、被験者は以下に示すような健常者 4 名とした。

被験者 A：男性 53 歳、体重 725N（質量 74kg）

被験者 B：女性 32 歳、体重 480N（質量 49kg）

被験者 C：男性 33 歳、体重 930N（質量 95kg）

被験者 D：男性 22 歳、体重 617N（質量 63kg）

2.4 試験走行内容

被験者は、駆動輪アライメントをいろいろに設定した計測用車いすに骨盤を直立した座位姿勢で乗車し、ハンドリムを操作しながら各試験走行路上を直進走行する。試験走行は、各路面条件および各駆動輪アライメント条件につき 7 回ずつ走行速度をいろいろに変えて行う。

駆動輪アライメント条件を以下のとおりとする。

駆動輪車軸前後方向位置：

標準位置；座面後端直下

前出し位置；標準位置より 40mm 前方

後出し位置；標準位置より 40mm 後方

駆動輪車軸取り付け角度：

標準角度；サイドフレームに直角

トゥイン角度；左右駆動輪に 1.8° のトゥイン角がつくように設定（図 1）。

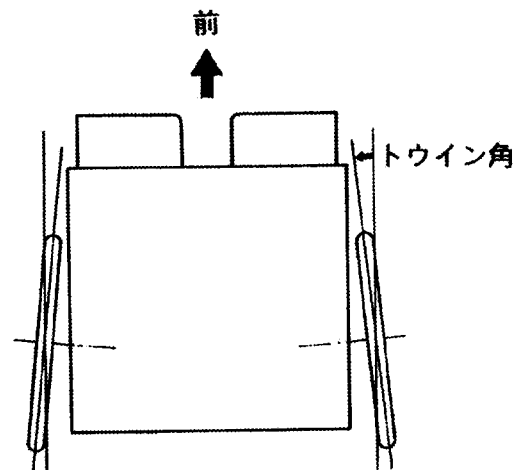


図 1 トウイン角のついた車輪

Fig.1 Wheel-alignment in toe-in angle

2.5 データ処理

計測用車いすによって得られる駆動輪トルクと駆動輪の回転数データから、車いすの走行距離、走行速度、走行させるのに要した運動量などを計算によって求め、定量的評価のための指標とする。

3. 結果

3.1 路面条件による走行負荷の違い

図 2 は計測用車いすで自由走行したときの操作力（推進力）、走行距離、速度パターンの一例である。操作力はトルクをハンドリムの半径で除し、速度は走行距離を時間微分したものである。操作力も車いすを走行させるときの負荷の尺度になるが、時間や距離の要素が入っていない。走行負荷の尺度としては、操作力×時間特性をもとに時間で積分した運動

量もしくは操作力-走行距離特性をもとに距離で積分したエネルギーの方がより合理的である。

ここでは、車いすを走行させたときの運動量Mを収集データをもとに台形近似計算式(1)から計算する。

$$M = \sum \{F_{k-1}(t) + F_k(t)\} \cdot \Delta t / 2 \quad \dots(1)$$

ただし、F(t)は操作力データ、Δtは計測サンプリング時間である。

車いす走行操作は手でハンドリムに力を加える駆動期とハンドリムを持ちかえる間の惰走期を繰り返す周期運動である。1周期ごとの運動量と走行距離を計算してそれらを積算してグラフにプロットした例が図3である。プロットが直線状に並んでいるのが分かる。各試験走行のデータを回帰分析してみると、ほとんどすべてについて回帰係数が0.99以上(P=0.0001以下)であった。したがって、運動量と走行距離は比例すると考えて良い。

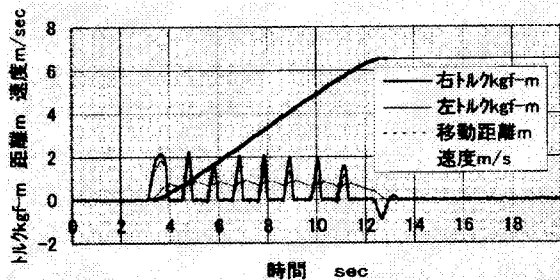


図2 走行データ例
Fig.2 Example of data of wheelchair running

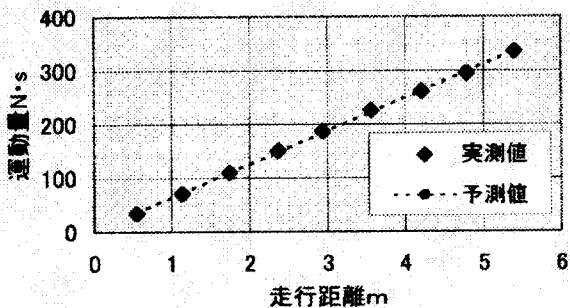


図3 運動量と走行距離の関係の一例
Fig.3 Calculation of momentum and running distance

グラフ(直線)の傾きは1m走行するのに必要な運動量を示し、走行しやすさの尺度となる。この傾きを負担率と定義する。路面条件が同じでも走行速度によって負担率が変換ることが考えられる。そこで、各試験走行について負担率と平均速度を求めた。

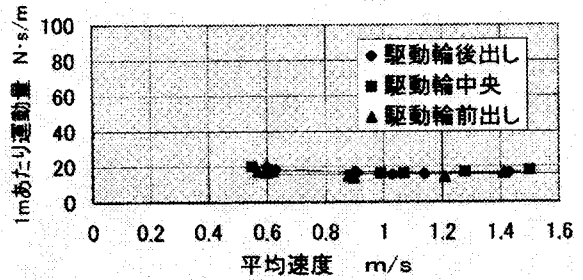


図4 硬路面における負担率
Fig.4 Momentum needed for running 1m on a hard floor

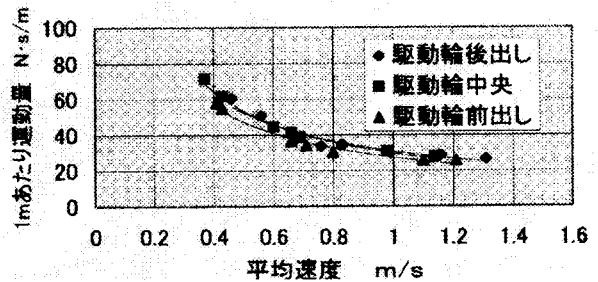


図5 短毛カーペットにおける負担率
Fig.5 Momentum needed for running 1m on the thin carpet floor

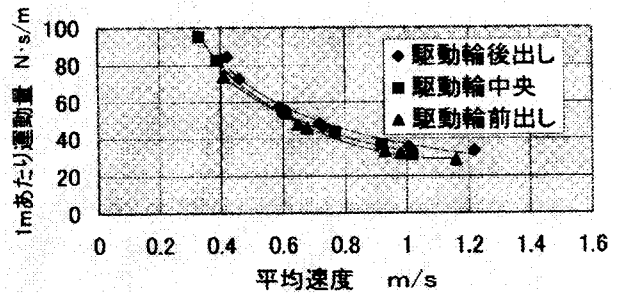


図6 長毛カーペットにおける負担率
Fig.6 Momentum needed for running 1m on the thick carpet floor

3.2 駆動輪位置による走行負荷の違い

今回の実験では、駆動輪の前後方向取付け位置によっても負担率にわずかではあるが違いが見られた。

図4~図6は、それぞれ硬路面、毛足4.5mmカーペット、毛足14mmカーペットにおいて、駆動輪標準位置、前出し位置、後出し位置によって走行したときの被験者Aについての負担率計算結果である。

硬路面では、駆動輪位置による負担率の違いはない。カーペット路面では、駆動輪を前出し位置にした方が負担率はわずかに小さくなる傾向がある。この傾向は他の被験者の試験走行データでも見られた。

3.3 トウ角が走行負荷に及ぼす影響

左右駆動輪に1.8°のトウ角(トウイン)をつけて試験走行したときの負担率を計算した一例として、被験者Aの結果を図7～図9に示す。

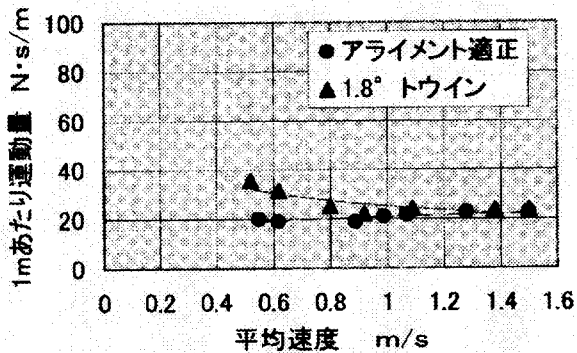


図7 駆動輪トウインでの負担率(硬路面)
Fig.7 Momentum needed for running 1m on the hard floor by the wheelchair having 1.8 toe-in alignment

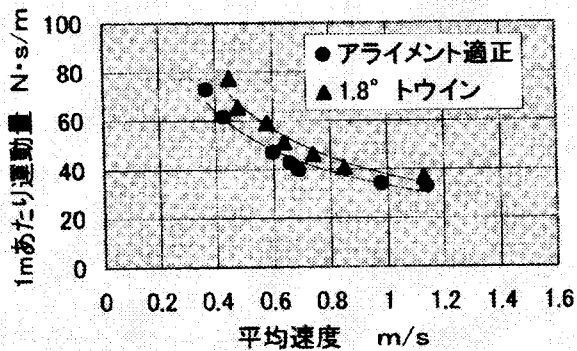


図8 駆動輪トウインでの負担率(短毛カーペット)
Fig.8 Momentum needed for running 1m on the thick carpet floor by the wheelchair having 1.8 toe-in alignment

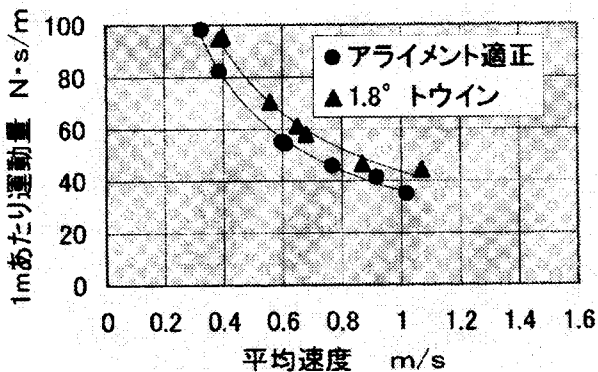


図9 駆動輪トウインでの負担率(長毛カーペット)
Fig.9 Momentum needed for running 1m on the thick carpet floor by the wheelchair having 1.8 toe-in alignment

車いすの駆動輪にトウ角がつくと、被験者Aの場合、硬路面上を速度を上げて(1.3m/s以上)走行すれば負担率が大きくなることはない。しかし、走行速度が小さいと硬路面でも負担率はかなり大きくなり、例えば、走行速度が0.8m/sのときは、30%程度の負担増となる。カーペット路面上を走行するときは、走行速度に関係なく、トウ角ゼロの場合より15～20%程度負担率が大きくなる。このような傾向はいずれの被験者の結果においても見られた。

4. 考察

車いすを走行させるときの負担の大きさは当然のことながら転がり抵抗と関係がある。車いすで走行するとき、カーペット路面より塩ビシート製の硬路面の方が負担は少ないのは(図4～6)、カーペット路面では転がり抵抗が大きいためである。そして、毛足4.5mmのカーペットより毛足14mmのカーペットの方が転がり抵抗が大きい。

さらに、カーペット路面では、走行速度を小さくすると負担率がかなり大きくなるが、走行速度を大きくして通り抜けると、走行効率は比較的大きいことが分る(図4～6)。したがって、転がり抵抗の大きいカーペット路面であっても、速度を上げて走行することができれば、負担率だけから判断するとそれほど問題がないように思われる。しかし、実際には速度を大きくするには、操作力(推進力)も大きくする必要がある。図10および図11は被験者Aの各試験走行について、駆動輪標準位置での平均速度と操作力ピーク値および周期を求めてグラフにしたものである。平均速度と操作力ピーク値には非常に高い正の相関が見られ、周期とは比較的高い負の相関が見られる。他の被験者についても同様の結果になった。以上の結果から、走行速度を大きく保つには操作力のピーク値を大きくしてピッチを上げてハンドリムを操作する必要がある。そのためには、応分の上肢機能が要求される。

次に、カーペット路面では駆動輪取付け位置を前方にすると負担率がわずかに小さくなる傾向が見られるが(図6、7)、それは、以下のように説明できる。一般的に、車輪の径が大きい方が転がり抵抗は小さい。車いすの車輪は径の大きい駆動輪(後輪)と径の小さいキャスター輪(前輪)からなる。したがって、車いす・乗車者の重量を転がり抵抗の小さい駆動輪で多く受ける方が全体の転がり抵抗は小さくなる。ところで、駆動輪取付け位置を前方に移すと、重心位置が駆動輪により近くなり、駆動輪への荷重配分がより大きくなる。つまり、駆動輪を前出

しすることで負担率が小さくなることが考えられる。

平坦な硬路面では、車輪径による転がり抵抗の違いはほとんどないと考えられる。したがって、駆動輪取付け位置による影響はないと考えて良い。

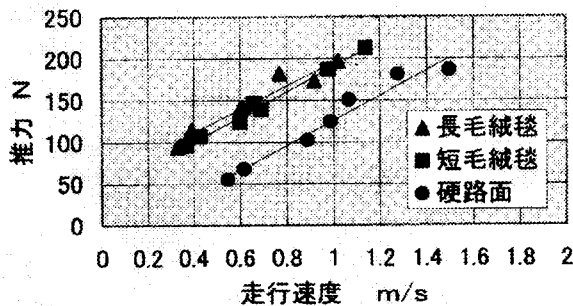


図10 走行速度と推力ピーク値(駆動輪標準位置)
Fig.10 Peek pushing force vs speed
(large wheels; normal position)

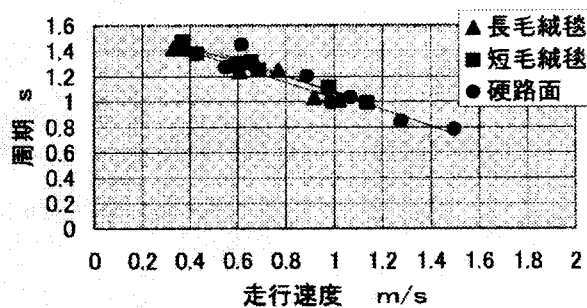


図11 走行速度と駆動周期(駆動輪標準位置)
Fig.11 Driving cycle period vs speed
(large wheels; normal position)

次に、駆動輪にトゥ角がつく車いすの走行に悪影響を及ぼすといわれている。沖川は駆動輪に 5° のトゥインおよびトゥアウト角をつけて官能試験を行い、駆動輪にトゥ角がつくことによって走行感が著しく悪くなることを明らかにしている¹⁾。今回、われわれは計測用車いすの駆動輪に 1.8° のトゥイン角をつけて、走行効率にどのような影響があるかを調べ、トゥ角がつくことによって負担率が大きくなることが明らかになった。これは、以下のように説明できる。

すなわち、駆動輪にトゥイン角がつけられているということは、走行中常に横滑り角が生じているということを意味する。車輪に横滑り角が生じていると、車輪の直径、走行速度、車輪への荷重によって差があるが、必ず進行方向に対して直角の方向の力すなわちコーナリング・フォースが発生する²⁾。車いすの駆動輪にトゥイン角がついていると、常にコーナリング・フォースが発生していることによって、

その分前進方向への推進力が分散することになり、走行効率が低下する。駆動輪にトゥ角がついて走行効率が低下する状況は、例えば車いすフレームの剛性が小さいと実際に起こりうる。走行効率を大きくするうえで、剛性を高める車いす設計が重要であることが示唆される。

5. おわりに

車いす利用者にとって、車いすを楽に走行操作できることは重要である。車いすを楽に操作できるようにするためには、走行環境の整備、車いす自体の走行効率の向上、使用者の身体条件と車いすとの適合を図る必要がある。そして、そうした問題を科学的に追及することが重要である。

今回は、計測用車いすを使って、走行環境による走行負荷の違い、駆動輪アライメントと走行効率の関係を定量的に評価することができた。今後、さらに使用者の身体条件と車いすの適合に関する問題についても科学的に明らかにする必要があると考えている。

参考文献

- 1) 沖川悦三：車いすの構造と走行性能，第10回リハ工学協会車いすSIG講習会テキスト，pp22-32，1999
- 2) 自転車実用便覧第4版，自転車産業振興協会，p88，1982