

# 船舶バリアフリーのための実験用車いすの開発

平田宏一（正，海上技術安全研究所）

今里元信（非，海上技術安全研究所）

宮崎恵子（非，海上技術安全研究所）

## 1. まえがき

昨今，高齢者及び身体障害者を対象としたバリアフリー機器に関連する研究が活発に行われている．著者らは，動揺条件下における旅客船内での車いす走行についての研究を進めており，快適性及び安全性の評価，さらには船舶の利便性向上を目指している．本報では，手動車いすの基本的な運動特性を把握するために開発した実験用車いすについて報告する．さらに，実験用車いすを用いて，傾斜装置における走行実験を実施し，手動車いすの基本特性の測定を試みた．

## 2. 実験用車いすの開発

### 2.1 設計指針及び基本構造

実験用車いすは，市販の汎用手動車いすに，左右車輪の駆動トルクと回転角度の測定装置を取り付ける構造とした．実験用車いすは船内での走行実験を想定し，その取り扱いやすさを考慮して，全ての測定機器の電源に乾電池または充電式電池を使用することとした．さらに，測定用ノートパソコンを車いすに搭載することで完全なワイヤレス化を行った．また，多くの研究・教育機関での利用しやすさを考え，できるだけ安価な測定機器を使用し，低コスト化を図ることとした．

一方，設計時の問題として，(i) ハンドリムと車輪と

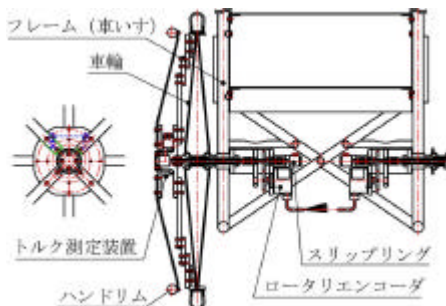
の距離が短いため，トルク測定装置の形状に制限を受け，配置が難しくなること，(ii) 一般の回転機械と比べて車輪の回転数変動がかなり大きいため，車輪の回転角度の測定精度に十分な配慮を要すること，(iii) トルク測定装置が車輪の回転運動に伴い回転するため，信号線のとりまわしが難しくなること等があげられた．

### 2.2 基本構造

図1は以上の検討に基づき設計・試作した実験用車いすの外観及び主要測定部の構造，図2は測定装置系統，表1は主な構成部品を示している．本実験用車いすは，駆動トルクを測定するための汎用箔ひずみゲージと回転角度を測定するためのロータリエンコーダが取り付けられている．これらの測定データを処理するノートパソコンは，車いすの操作者自身が測定操作する場合は座席前方に，他の者が測定する場合は座席後方に配置される．ホイートストンブリッジ，動ひずみアンプ及びマイクロコンピュータは，座席後方に配置されている．



(a) 外観



(b) 測定部の構造

図1 実験用車いす

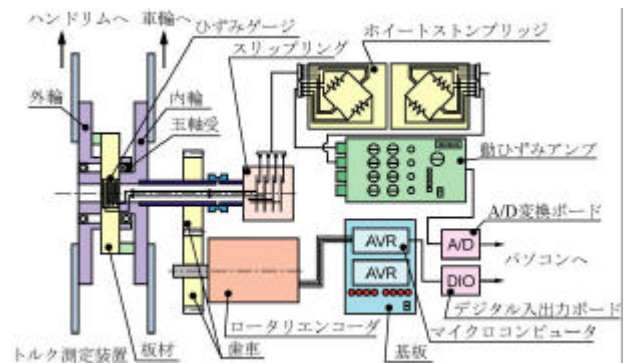


図2 測定装置系統

表1 主な構成部品

番号	品名	個数	仕様・規格
1	車いす	1	日進医療器，TY-1
2	ひずみゲージ	1	共和電業，KFG-5-120-C1-11 L1M2R
3	接着剤	1	共和電業，CC-33A
4	ブリッジボックス	2	共和電業，DB120P
5	動ひずみアンプ	1	ティアック，SA-30A
6	スリップリング	2	遠藤工業，SPM-22-4P-02
7	ロータリエンコーダ	2	オムロン，形 E6C2-CWZ3E，2000P/R
8	歯車	4	協育歯車，S80B50+0506
9	ベアリング	4	NSK，6807ZZNR
10	ベアリング	4	NSK，MF126ZZ
11	ベアリング	4	NSK，MF106ZZ
12	カップリング	4	オムロン，形 E69-C06B
13	マイクロコンピュータ	2	ATMEL，AT90S2313-10PC
14	A/D変換カード	1	コンテック，AD12-8(PM)
15	デジタル入出力カード	1	コンテック，PIO-24W(PM)
16	ケーブル	2	コンテック，PCA37P-1.5
17	パーソナルコンピュータ	1	Panasonic，Let's Note CF-B5V

### 2.3 駆動トルクの測定

車輪の駆動トルクを測定する方法として、軸のねじれを直接測定する方法や市販のトルク計を用いること等が考えられたが、本実験用車いすにおいては、駆動トルクを板材の引張力・圧縮力に変換し、板材のひずみを汎用箔ひずみゲージで測定することとした。手動車いすの駆動トルクの最大値は、運転条件によって大きく変化する。ひずみゲージは、安価であるばかりでなく、板材の厚さや幅を変更することで測定範囲を幅広く設定できるという特徴がある。

図3にトルク測定装置の外観を示す。車輪に接続された内輪とハンドリムに接続された外輪とは玉軸受で支持されている。内輪と外輪の間には、アルミニウム合金製の板材（A2024S，厚さ1.5 mm，幅16 mm）を取り付け、その表・裏両面にひずみゲージを接着し、引張力及び圧縮力により生じるひずみを検出する。

前述の通り、トルク測定装置が車輪の回転運動に伴い回転するため、信号線のとりまわしには十分な配慮を要した。本実験用車いすにおいては、車輪とフレームとを固定しているシャフトに直径6.5 mmの穴をあけ、それにステンレス鋼製パイプ（外径6 mm，内径4 mm）を貫通させている。ひずみゲージの信号線は、パイプの中を通り、端部に配置したスリップリングに接続される。さらにホイットストーンブリッジ及び動ひずみアンプを介して、ノートパソコンのA/D変換ボードに入力され、処理される。なお、パイプ両端は玉軸

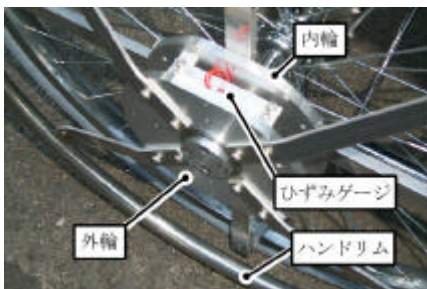


図3 トルク測定装置

受で支持されており、そこでの摩擦力は極めて小さい。

トルク測定装置の検定を行う場合、図4に示すようにトルク測定装置の外輪に長さ300 mmのアームを取り付ける。図5は試作直後に2回の検定を行った結果である。1回目と2回目の検定の間には数時間の走行を行っている。これより、左右車輪ともに十分な再現性があり、検定を行った範囲（-25 ~ 25 Nm）で概ね直線的な電圧変化となっていることがわかる。

また、試作直後の運転試験より、内輪と外輪を支持している玉軸受の剛性は十分であり、ハンドリムに横方向（駆動方向に垂直）の外力を与えても、測定値はほとんど影響を受けないことが確認された。

### 2.4 回転角度の測定

手動車いすの車輪は、一般の回転機械に比べて、回転数が低く、回転数変動が大きい。したがって、車輪の回転角度から速度や走行軌跡を求めるためには、回転角度を高い精度で測定する必要がある。このような検討に基づき、回転角度の測定には、1回転に2000パルスが発生するインクリメンタル形ロータリエンコーダを使用した。図6に示すように、ロータリエンコーダは、回転軸から歯車を介して取り付けられている。ロータリエンコーダが発生する2相のパルスは、マイクロコンピュータに入力され、12ビットの信号に変換された後、ノートパソコンのデジタル入出力ボードに取り込まれる。

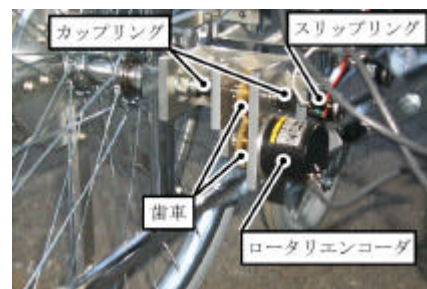


図6 回転角度の測定装置



図4 トルク測定装置の検定

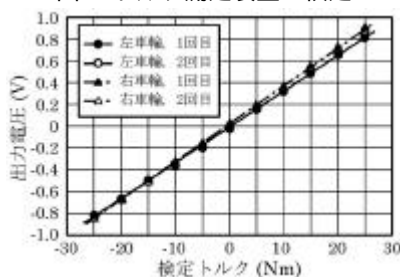


図5 検定結果

## 3. データ処理方法

### 3.1 測定プログラム

ノートパソコン上の測定プログラムは、A/D変換ボード及びデジタル入出力ボードに取り込まれた駆動トルク及び回転角度から、速度や走行軌跡、仕事率、各

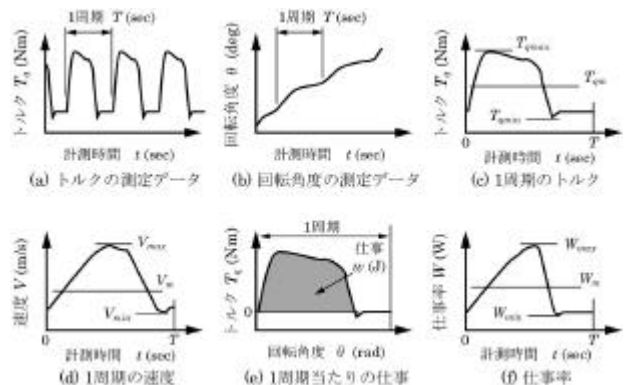


図7 トルク，速度，仕事率のデータ処理方法



変動率等を計算する。測定時、ノートパソコンの画面には速度及び走行軌跡等のグラフや詳細な測定結果が表示され、実験時の取り扱いやすさが考慮されている。

駆動トルク及び回転角度は、設定したサンプリング周波数（以下の実験では 50 Hz）で取り込まれる。手動車いすの運動は周期的な変動を有するため、測定プログラムによって駆動開始から次の駆動開始までの 1 周期毎のデータが抽出され（図 7(a)~(d)参照）、以下のデータ処理が行われる。

### 3.2 速度、仕事率及び変動率

各車輪の瞬時速度  $V(\text{m/s})$  は、サンプリング周波数  $f_s(\text{Hz})$ 、車輪の回転角度変化  $\Delta\theta(\text{rad})$  及び車輪の半径  $R(\text{m})$  より次式で求められる。

$$V = \Delta\theta R f_s \quad (1)$$

1 周期当たりの仕事  $w(\text{J})$  は、図 7(e) に示すように駆動トルク  $T_q(\text{Nm})$  を回転角度  $\theta(\text{rad})$  で積分することにより求められる。したがって、各車輪の平均仕事率  $W_m(\text{W})$  は、周期  $T(\text{s})$  を用いて次式により算出される。

$$W_m = w/T \quad (2)$$

同様に、瞬時仕事率  $L(\text{W})$  は、トルク  $T_q(\text{Nm})$  を回転角度  $\theta(\text{rad})$  で積分し、単位時間  $1/f_s$  で除することで求められる（図 7(f)）。

また、1 周期のデータに着目し、速度  $V$ 、トルク  $T_q$  及び仕事率  $W$  の最大値、平均値及び最小値をそれぞれ添字  $max$ 、 $m$ 、 $min$  で表すと、次式の変動率が定義される（図 7(c), (d), (f)参照）。

$$d_v = (V_{max} - V_{min})/V_m \quad (3)$$

$$d_T = (T_{qmax} - T_{qmin})/T_{qm} \quad (4)$$

$$d_W = (W_{max} - W_{min})/W_m \quad (5)$$

### 3.3 走行軌跡と旋回特性

本研究は船舶の動揺下における車いすの挙動を調べることを目指しているため、横方向の運動、すなわち走行軌跡や旋回特性に着目する必要がある。次章に述べる走行実験では傾斜面を横断することで、横方向の静的な不釣合を生じさせている。図 8(a) に示すように、走行軌跡は、左右車輪の回転角度変化から得られる走行距離より求められる。ただし、タイヤと床面の間で滑りが発生した場合は測定不能となる。

また、図 8(b) に示すように、走行軌跡から蛇行の大きさを表す指標となる旋回角度差  $\Delta\alpha$  (deg) が求められる。さらに、左右車輪の単位時間当たりの旋回角度変化から旋回角速度  $\beta(\text{deg/s})$  が求められる。旋回角速度の最大値  $\beta_{max}$  は、旋回運動の激しさを表す指標となると考えられ、この値が大きいほど暴走の危険性が高いものと考えられる。

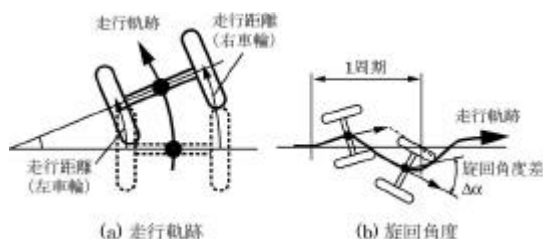


図 8 走行軌跡と旋回特性

## 4. 傾斜装置における走行実験

### 4.1 傾斜時の走行特性

実験用車いすを試作した後、床面が 5.5 m × 5.5 m の実験用傾斜装置<sup>1)</sup>において走行実験を行った。図 9 は、測定結果の一例として、傾斜角度  $\theta$  が 7 deg の斜面において、縦断走行（登坂）及び横断走行（左下がり）を行った場合の駆動トルク  $T_q$  と速度  $V$  を示している。これより、縦断走行と横断走行では、トルクの与え方や左右車輪の速度の特性が大きく異なっていることがわかる。本実験用車いすを用いることによって、このようなデータを容易に測定することができる。

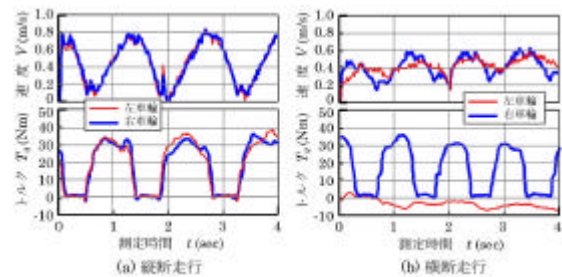


図 9 測定結果の一例

### 4.2 縦断走行

図 10 は、縦断走行における傾斜角度  $\theta$  に対する周期  $T$  及び 1 周期で進む距離  $L$  の関係を示している。これより、周期  $T$  及び走行距離  $L$  は傾斜角度  $\theta$  の増加に伴い低下していることがわかる。これは、登坂走行において、短い周期で操作を行うことにより無負荷状態 ( $T_q = 0$ ) の時間を短くし、重力の影響による後進を防ぐためである。また、重力が後進方向に働き、無負荷状態における慣性による前進距離が短くなるため、1 周期で進む走行距離  $L$  が短くなる。

図 11 は、縦断走行における傾斜角度  $\theta$  と平均速度  $V_m$ 、最高速度  $V_{max}$  及び速度変動率  $d_v$  の関係を示している。これより、速度  $V_m$  及び  $V_{max}$  は傾斜角度  $\theta$  の増加に伴い低下していることがわかる。また、変動率  $d_v$  は、ばらつきが大きいものの傾斜角度  $\theta$  の増加に伴い上昇している。これは、傾斜角度が大きいほど、一定速度での走行が困難になることを示しており、走行時の快適性が損なわれるものと考えられる。

図 12 は同条件における傾斜角度  $\theta$  とトルク  $T_q$  及び

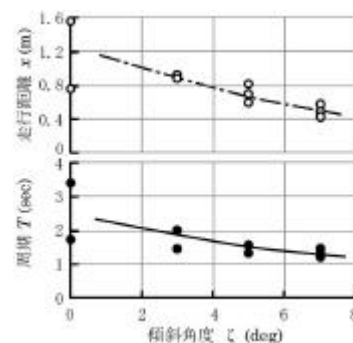


図 10 傾斜角度と周期及び走行距離の関係（縦断走行）

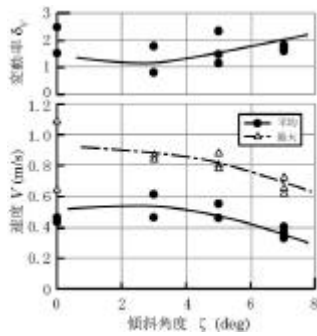


図 11 傾斜角度と速度の関係（縦断走行）

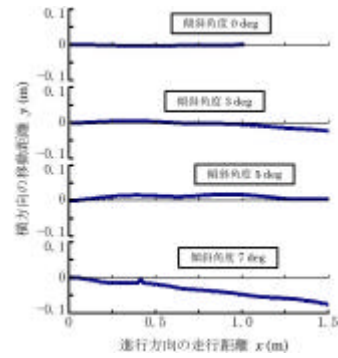


図 14 横断走行における走行軌跡

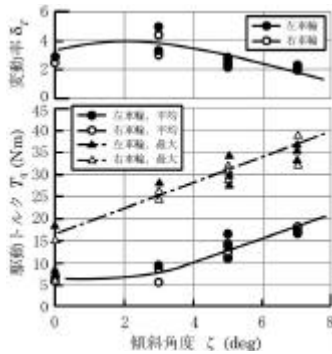


図 12 傾斜角度と駆動トルクの関係（縦断走行）

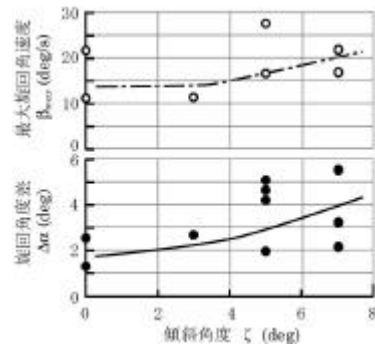


図 15 横断走行における旋回特性

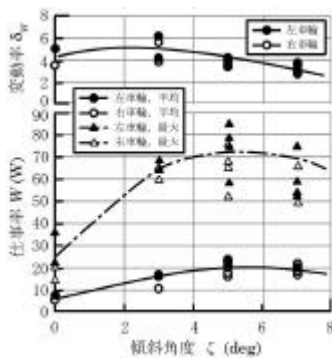


図 13 傾斜角度と仕事率の関係（縦断走行）

の場合は概ね直進走行であるのに対し、傾斜角度  $\zeta$  が大きくなるに従って左方向（下向き）への移動量が増加していることがわかる。走行軌跡は操作者の技量や操作方法に大きく影響を受けるため、詳細に考察することは難しい。しかし、走行軌跡が傾斜角度に大きく影響を受けていることは明らかである。

図 15 は傾斜角度  $\zeta$  と旋回角度差  $\Delta\alpha$  及び左方向の最大旋回角速度  $\beta_{max}$  の関係を示している。これより、旋回角度差  $\Delta\alpha$  及び最大旋回角速度  $\beta_{max}$  は、ばらつきが大きいものの、傾斜角度  $\zeta$  が大きくなるに従って増加する傾向にあることがわかる。図 14 と同様、手動車いすの旋回特性は操作方法の影響を大きく受けるため、本実験結果から暴走の危険性について詳細に考察することは難しい。

## 5. あとがき

本報では、船舶バリアフリーを目指して実験用車いすを開発し、傾斜装置における走行実験を実施した。その結果、本実験用車いすは駆動トルクや走行軌跡を容易に測定できることが確認された。また、快適性及び安全性を評価するには至らなかったものの、手動車いすの基本特性を測定することができ、様々な知見が得られた。今後、動揺下の船舶内で実験を行い、車いす利用者が安全かつ快適に船内を移動できるよう、研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 今里元信, 宮崎恵子, 平田宏一, 旅客船内での車いす利用に関する研究, 日本設計工学会東北支部, 平成 12 年度研究発表講演会, (2000), p.48-49.

トルク変動率  $d_T$  の関係, 図 13 は、傾斜角度  $\zeta$  と仕事率  $W$  及びその変動率  $d_W$  の関係を示している。これより、平均トルク及び最大トルクは傾斜角度の増加に従って増加しているが、平均仕事率及び最大仕事率は傾斜角度が 3 deg 以上でほぼ一定となっていることがわかる。これは、操作者が発生可能な仕事率に上限があることや傾斜角度が大きい場合に後転の危険があり仕事率を大きくできないこと等に起因していると考えられる。しかし、測定値のばらつきが大きく、詳細については明らかではなく、車いすの特性を評価するためにはさらに多くの測定データを解析する必要がある。

### 4.3 横断走行

図 14 は、傾斜角度  $\zeta$  を 0, 3, 5 及び 7 deg とした場合、横断走行（左下がり）における走行軌跡を示している。同図における横方向の移動距離  $y$  は右方向（登る方向）を正としている。これより、傾斜角度  $\zeta=0$  deg