

移動補助具の安定性を評価する機器の開発

新里浩司* 田中智大*

Development of Equipment that Evaluates Stability of Movement Assistance Tools

NIISATO Kouji*, TANAKA Tomohiro*

抄録

車いすやストレッチャーのような移動補助具を評価する基準の一つとして「動的安定性」に着目した。測定環境として移動速度を一定とするためにトレッドミルを使用し、さらに、トレッドミルのベルト上に、標準化された障害物として視覚障害者誘導用ブロック（以下、誘導ブロック）を配置した。そして、トレッドミルに固定された移動補助具が一定の速度でその誘導ブロックを乗り越える際に受ける揺れ（加速度）や接触面での摩擦力、垂直抗力、接触面の傾斜角度の動的（時間的）変化について、力覚センサ、ジャイロセンサ、加速度センサを組み込んだ機器により計測し、移動補助具の動的安定性について定量的な評価が可能な機器を開発した。

キーワード：移動補助具，動的安定性，評価基準，標準化

1 はじめに

高齢化社会の進行や介護保険制度の導入、障害者福祉の拡充などにより、近年、高齢者や障害者を対象とした福祉製品は急速に普及している。しかし、福祉製品を選定する上で重要となる評価基準については、未整備の部分が多く標準化が遅れている。既に標準化されているものも寸法や耐久性といったメーカー側の視点に立った基準が多く、使い勝手や安全性などユーザー側の視点に立った基準は皆無であった¹⁾。近年、その点が見直され、JIS規格などにおいても、ユーザー側の視点に立った評価基準づくりが急務となっている。

そこで本研究では、福祉製品の中でも移動補助具に着目し、移動補助具の動的安定性を定量的に評価する手法を検討し、評価機器の開発を行った。

2 各パラメータの測定方法

2.1 摩擦力、垂直抗力の測定

図1に示すとおり、平行に配置されたプレートの上の四隅に三軸力覚センサ（ニッタ社製 PD3-32-05-080）を取り付け、プレート上に分銅を乗せる。揺れなどにより分銅に慣性力が働いた場合、この力覚センサのXY軸の値から、分銅とプレート（接触面）との間に働く力、すなわち摩擦力が測定できる。この場合、静止摩擦、動摩擦どちらの場合も測定が可能である。また、同時にZ軸の値から垂直抗力も測定できる²⁾。

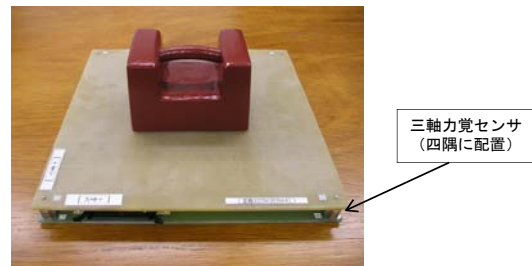


図1. 摩擦力・垂直抗力の測定装置

* 福祉・デザイン部

2.2 傾斜角度の測定

一軸ジャイロセンサ（シチズンミヨタ社製 CGS138）と静電容量型三軸加速度センサ（立山科学工業社製 TGM2WLA050）を組み合わせ、傾斜角度の測定を行った。ジャイロセンサと組み合わせることで、静電容量型加速度センサ単体では測定できない移動体の傾斜角度について、測定が可能となる³⁾。

ここで、ジャイロセンサの出力信号を $\dot{\theta}_g$ 、静電容量型加速度センサの出力信号を θ_a とする。加速度センサからの出力信号をローパスフィルタに、ジャイロセンサからの積分出力信号をハイパスフィルタに入れ、合成をすると、傾斜角度 θ は次式のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{1+Ts} \theta_a + \frac{Ts}{1+Ts} \int \dot{\theta}_g \\ &= \frac{1}{1+Ts} \theta_a + \frac{T}{1+Ts} \dot{\theta}_g \end{aligned} \quad (1)$$

ここで T は時定数で、 $T = 2\pi f_0$ 、 f_0 はカットオフ周波数である。

(1)式より、

$$\begin{aligned} \theta + Ts\dot{\theta} &= \theta_a + T\dot{\theta}_g \\ \theta + T\dot{\theta} &= \theta_a + T\dot{\theta}_g \\ \dot{\theta} &= -\frac{1}{T}\theta + \frac{1}{T}\theta_a + \dot{\theta}_g \end{aligned} \quad (2)$$

となり、(2)式を離散化して、

$$\begin{aligned} \frac{\theta_{k+1} - \theta_k}{\Delta t} &= -\frac{1}{T}\theta_k + \frac{1}{T}\theta_a + \dot{\theta}_g \\ \theta_{k+1} &= \theta_k - \frac{1}{T}\theta_k \Delta t + \frac{1}{T}\theta_a \Delta t + \dot{\theta}_g \Delta t \end{aligned} \quad (3)$$

となり、(3)式において、 $\omega = 1/T (= 2\pi f_0)$ とおくと、

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \omega \theta_k \Delta t + \omega \theta_a \Delta t + \dot{\theta}_g \Delta t \quad (4)$$

となる。(4)式をプログラミングし、サンプリン

グタイム毎に収集されるジャイロセンサと加速度センサの出力信号から、傾斜角度を算出した。この傾斜角度の値は、カットオフ周波数 f_0 の値により誤差が生じるため、図2に示す装置により検証を行った。ロータリーポテンシオメータの実測値とプログラム出力との比較を行い、 f_0 の変化による測定誤差を検証した。測定結果を図3に示す。これにより、最も誤差の少ない 0.005Hz とした。

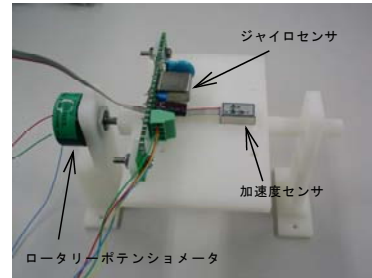


図2. カットオフ周波数の測定装置

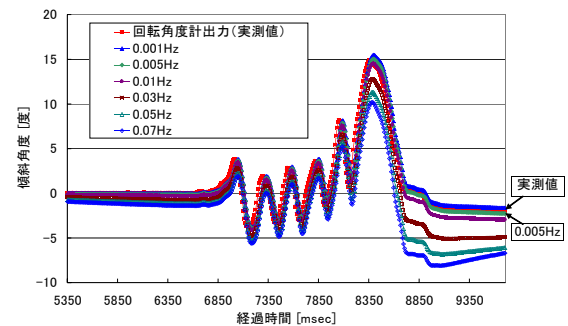


図3. カットオフ周波数の変化による角度特性

2.3 揺れ（加速度）の測定

圧電型三軸加速度センサ（ワコー社製 PEA304）により、XYZ 軸の値から、各軸の揺れ（加速度）を測定した。

3 測定機器

3.1 測定座標系

XYZ 軸方向の測定座標系は、プレートの慣性系を基準とし、各座標の向きを図4に示すとおり定義した。また、傾斜角度は図5に示すとおり、XY 各軸が水平面に対して傾いた角度とし、X 軸の傾斜角度 θ_x の向きは、Y 軸を正の方向に向かって見たときに時計回りとなる向きを正と定義した。また、Y 軸の傾斜角度 θ_y の向きは、X 軸を正の

方向に向かって見たときに反時計回りとなる向きを正と定義した。



図4. 測定座標系
(矢印の方向を正とする)

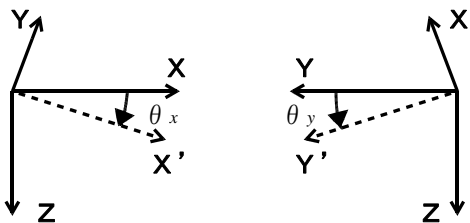


図5. 傾斜角度の定義
(矢印の方向を正とする)

3.2 検出部

平行に配置されたプレートの各四隅に三軸力覚センサを取り付け、さらに下側のプレート上に一軸ジャイロセンサ及び、静電容量型三軸加速度センサ、圧電型三軸加速度センサを固定した。なお、回転軸が二方向あるため、一軸ジャイロセンサは互いが直交する向きに2個取り付けた。

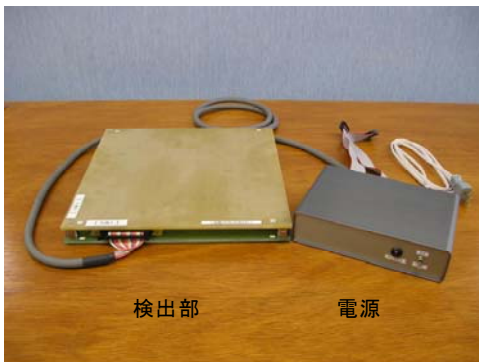


図6. 試作した検出部及び電源

3.3 安定性評価プログラム

NATIONAL INSTRUMENTS 社製 LabVIEW8.2 により、安定性評価プログラムの開発を行った。

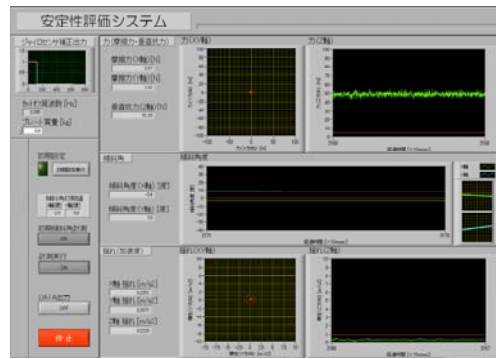


図7. 安定性評価プログラム

入力信号として、

- ・力覚センサ (4 個) の XYZ 軸の各出力
- ・ジャイロセンサ (X、Y 軸回転) の各出力
- ・静電容量型加速度センサの XYZ 軸の各出力
- ・圧電型加速度センサの XYZ 軸の各出力

を設定した。前述の測定方法により、摩擦力、垂直抗力、傾斜角度、揺れ (加速度) が算出できるが、その値には検出部のプレート自体の影響が含まれる。そのため、以下の処理をプログラムに追加することで、この影響を解消した。

(1) プレートの慣性力の影響

圧電型加速度センサにより得られる加速度とプレートの質量により、プレートの慣性力を算出し、測定値から減算する。

(2) プレートの重力の影響

検出部の傾斜角度の変化により、プレートの重力の XYZ の各成分が変化するため、初期値との差が測定誤差となる。

ここで、ジャイロセンサと静電容量型加速度センサから得られるプレートの X、Y 軸の傾斜角度をそれぞれ θ_x 、 θ_y とすると、移動方向が Y 軸方向であるため、 $\theta_x \doteq 0$ と近似できるので、プレートの重力の XYZ 成分 g_x 、 g_y 、 g_z はそれぞれ、

$$g_x = 0$$

$$g_y = g \sin \theta_y$$

$$g_z = g \cos \theta_y \quad (g : \text{重力加速度})$$

と表せる。この算出値と初期値との差を測定値から減算する。

4 車いすの動的安定性評価実験

試作した評価機器を用いて、標本として車いすの動的安定性評価実験を行った。

4.1 実験方法

車いすの座面に評価機器の検出部を固定し、さらに車いすをトレッドミル（酒井医療社製 SPR-7040）に固定する。検出部のプレート上に5kgの分銅を乗せ、トレッドミルのベルトを3km/hで回転させる。そして、トレッドミルのベルト上に誘導ブロック（JIS T 9251）を配置し、車いすの誘導ブロックを乗り越える際の分銅とプレートの摩擦力や分銅にかかる垂直抗力、座面の傾斜角度、プレートの揺れ（加速度）の動的（時間的）変化を測定する。なお、サンプリングタイムは10msecとした。



図8. 実験風景

4.2 実験標本

本実験に使用した車いすの仕様を表1に示す。

表1. 実験に使用した車いすの仕様

	車いす A	車いす B
メーカー	日進医療器(株)	日進医療器(株)
機種	R S	I R
前輪直径	150 mm	100 mm
後輪直径	570 mm	590 mm
タイヤ空気圧	約 3.5 kgf/cm ²	約 3.5kgf/cm ²
前後輪 車軸間距離	450 mm	500 mm
座面傾斜角度 (Y 軸方向)	7 度	1 8 度
外 観		

4.3 実験結果及び考察

本実験結果について、力（摩擦力、垂直抗力）特性を図9に、傾斜角特性を図10に、揺れ（加速度）特性を図11に、それぞれに示す。

力特性において、車いす A に比べ、車いす B のほうが Z 軸成分（垂直抗力）が大きいことが確認できた。これは、前輪の直径の違いによるものと考えられる。車いす A の前輪の直径（150mm）に比べ、車いす B の前輪の直径（100mm）は小さいため、誘導ブロックを前輪が乗り越える際に、より大きな上下動が発生し、それにより、大きな垂直抗力が発生したものと考えられる。

また、当初、トレッドミルのベルトの移動方向と直交している X 軸成分においては値の変動はないと予想していたが、力特性及び、揺れ特性において、X 軸成分の値にも変動がみられた。これは、本実験ではサンプリングタイムを 10msec と高頻度としたため、車いすの両輪が誘導ブロックを同時に乗り越えるのではなく、片輪が誘導ブロックを乗り越えた際に X 軸方向に「うねり」のような動きが発生したことによるものと考えられる。

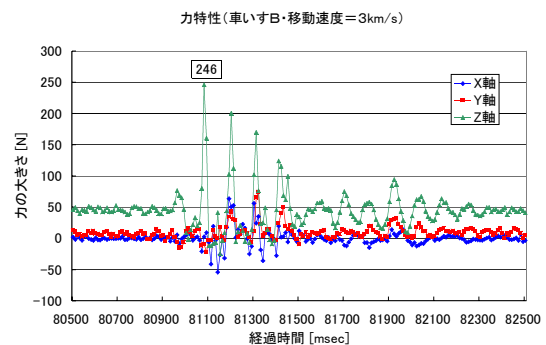
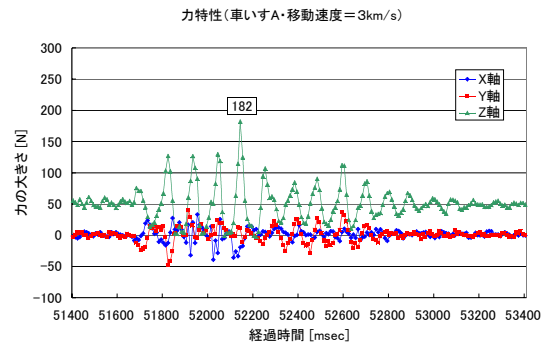


図9. 力（摩擦力・垂直抗力）特性
（上＝車いす A、下＝車いす B）

本実験結果の評価として、例えば、前述の力特性について、

「本評価方法によれば、車いす A は最大 182N、車いす B は最大 246N の垂直抗力を受ける。」
 といったように移動補助具（車いす）の動的安定性に関して定量的な評価が可能となった。

5 まとめ

移動補助具の安定性を評価する機器を試作し、車いすの動的安定性評価実験を行った。その結果、同一の分銅 (5kg) を乗せて、同一の速度 (3km/h) で、標準化された誘導ブロックを乗り越えるという同一条件の元で、摩擦力及び、垂直抗力、座面の傾斜角度、揺れ (加速度) といった移動補助具の動的安定性の指標に関して、定量的な評価をすることが可能となった。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導をいただきました、独立行政法人産業技術総合研究所松本治先生に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS ハンドブック 38 高齢者、障害者等 アクセシブルデザイン，(2006)
- 2) 田中智大，関根俊彰：すべり検出システムの精度向上と実用化，埼玉県産業技術総合センター研究報告，**4**，(2006) 18
- 3) 多摩川精機(株)編：ジャイロ活用技術入門，工業調査会，(2002) 112
- 4) (株)豊田中央研究所：乗り心地評価装置，特許第 3518238 号

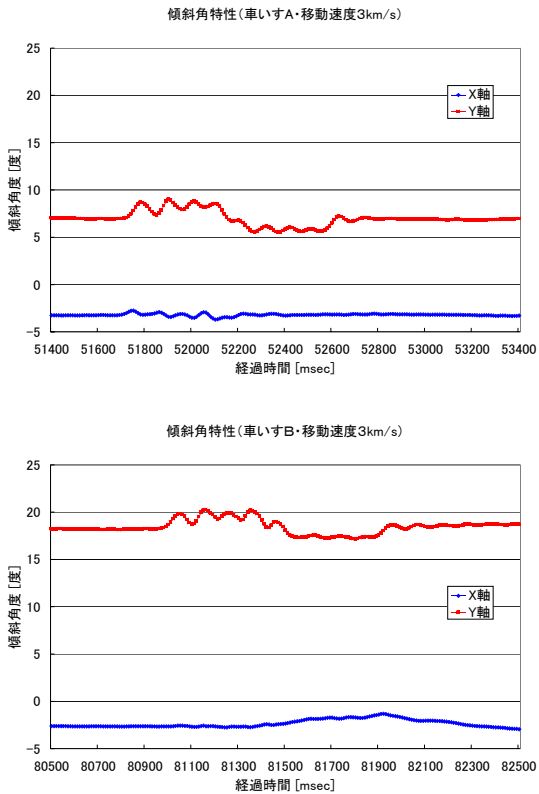


図10. 傾斜角特性
 (上=車いすA、下=車いすB)

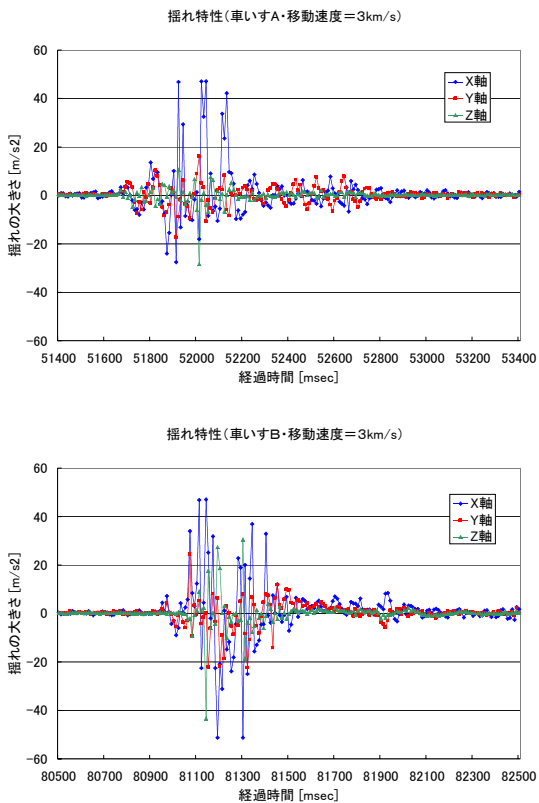


図11. 揺れ(加速度)特性
 (上=車いすA、下=車いすB)