

Fig.7.3.6 前輪リンク方式改良型の静荷重に対するストローク量（実験・計算・シミュレーション）

#### 考察

Fig.7.3.6 より、計算及びシミュレーションが実現現象を再現できていることがわかった。シミュレーションでは、50mm 段差を乗越える事ができており、実現現象をうまく再現できているのであれば超えることが出来るはずである。さらに、この構造は仮想直径 737mm であることから、約 74mm の段差を許容することができるのである。これらは、実験（許容する段差高さを測定するもの）にて確かめていく事とした。ここで、バネ定数  $0.1\text{N}\cdot\text{m}/\text{deg}$  のトーションスプリングは数 kg の荷重が掛かると前輪部が地面に接触してしまうので、使用する際は後輪軸よりやや後方にハンドル部（使用者が体重を乗せるところ）に置く事で、前輪部と地面の接触は間逃れると考えた。

#### 7.4 前輪リンク方式改良型の段差乗越え実験

前輪リンク方式改良型について、許容する段差乗越え高さ（50mm＝目標値）を測定する事を目的とした。また、段差を乗越える際の前輪部の挙動変化を捉えることとし、同時に昇降時の振動の様子を測定した。

実験を行うにあたって、3号機を歩行器に取り付けなければならない。これには、NW-1 フレームにボスを溶接し、ハンドル部は使用者の体格差を考慮した上で 700mm～1000mm（ボルト穴は 50mm 間隔、場合によってシムで 1mm 間隔の調整が可能）の高さ調整を可能とし、そこには力センサを取り付けるといった改良を加えた。また、本来肘掛けタイプのものであるが次期開発歩行支援機はハンドタイプであるので、そのように製作した。以下に、その写真を示した。

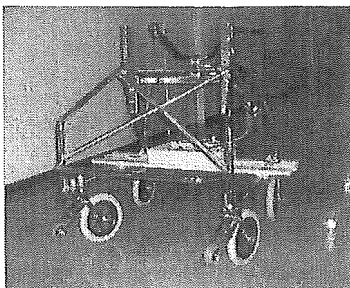


Fig.7.4.1 NW-1 改良型



Fig.7.4.2 前輪部（2号機搭載）

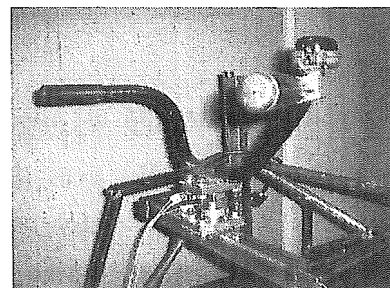


Fig.7.4.3 カセンサ部

#### 実験装置及び用具

- ・ 歩行器改良型 (NW-1)
- ・ JPEL 製 ノートパソコン
- ・ OROS 製 PC FFT アナライザ OR25
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 3軸測定加速度ピックアップ (IL NO.7)
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 POWER UNIT MODEL 480B02×2
- ・ KISTLER 製 カセンサ (4自由度：並進方向3軸及び鉛直軸回転方向)
- ・ 5mm厚の板×10枚 (購入元：株式会社ヒコネ)
- ・ ガムテープ (板固定用)
- ・ 工具 (ハンドル取り付け及び前輪取り付け用)
- ・ ビデオカメラ

#### 実験手順及び測定項目

まず、歩行支援機にカセンサ及び3軸加速度ピックアップを取り付けた。歩行支援機を1.5km/h(歩行器使用者の平均速度)になるように速度を調整(あらかじめ被験者に左記速度になるように数回練習させた。)しながらまっすぐ動かした。また、ハンドル部下方に装着したカセンサによって並進方向3軸と鉛直軸周りのトルクを測定するが、1号機での走行の際に最大で140N程度であり、平均でも90N程度であったため、この値(90~140N)をメドに走行するようにした(これもあらかじめ被験者に練習)。これは、シミュレーション実行の際、ハンドル部に14kgの質量を与えたため、後にシミュレーションの値を比較・検討する際の重要な設定値である。さらに、前輪が各高さの板を昇降するまでのデータ(被験者が歩行支援機に及ぼす力及び前輪部及びフレーム各部に発生する加速度)を測定した。加速度ピックアップの装着位置は、前輪部付近及びハンドル部とした(x:前後軸方向、y:左右軸方向、z:鉛直軸方向)。ここで重要となるのが、段差に衝突したときの前後加速度である。この値を0.5G(1Gまで許容)までに抑える事が目標である。最後に、実験風景を示した。

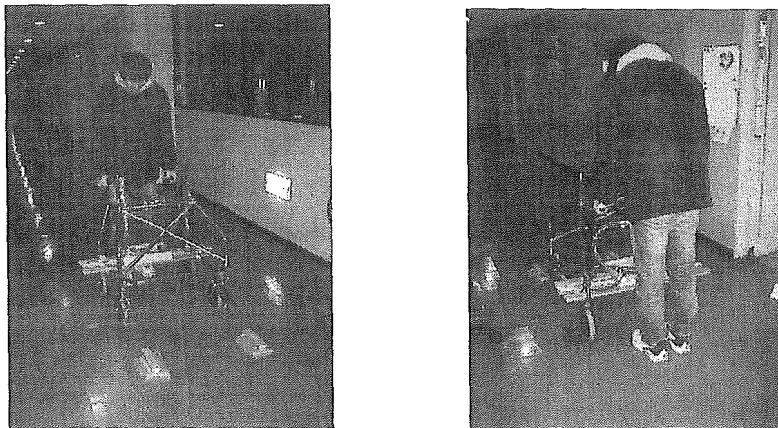


Fig.7.4.4 実験風景

#### 実験条件

PC FFT アナライザ(OR25)の設定

入力 1ch. センサ名称 : PCB\_IL7\_X

センサタイプ: Acceleration, (m/s<sup>2</sup>)

感度:  $1.03355 \times 10^{-3}$  (V/(m/s<sup>2</sup>))

レンジ: 100 (mV)

入力 2ch. センサ名称 : PCB\_IL7\_Y

センサタイプ: Acceleration, (m/s<sup>2</sup>)

感度:  $1.01468 \times 10^{-3}$  (V/(m/s<sup>2</sup>))

レンジ: 100 (mV)

入力 3ch. センサ名称 : PCB\_IL7\_Z

センサタイプ: Acceleration, (m/s<sup>2</sup>)

感度:  $1.03355 \times 10^{-3}$  (V/(m/s<sup>2</sup>))

レンジ: 100 (mV)

※ 入力 1ch、2ch、3ch は、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸方向の加速度を測定。

カップリング: ICP

周波数レンジ: 0~100 (Hz)

周波数分解能: 0.25Hz

オーバーラップ: 0%

ウインドウ関数 1: レクタングュラ

ウインドウ関数 2: レクタングュラ

FFT 分解能: 801

トリガモード: レベル

対象データ: スペクトル

アームモード: フリーラン

トリガモード: レベル (入力レベルチャンネル: ch2 入力レベル: 1%)

ディレイ: -1 [s]

平均数: 1

リフレッシュレート: 1

## 実験結果

まず、タイヤ部及びハンドル部に加速度ピックアップによって測定した加速度データを以下に示した。

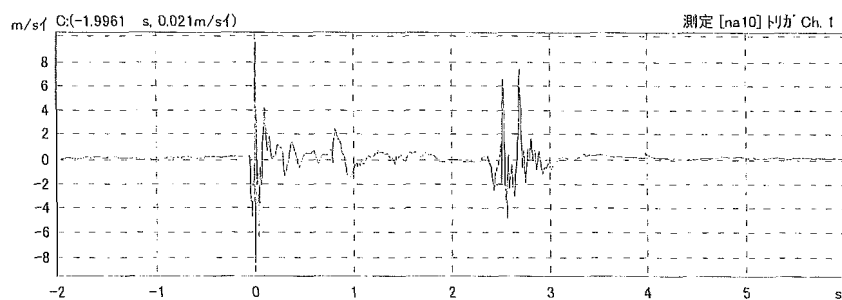


Fig.7.4.5 X 軸 (タイヤ部の前後加速度)

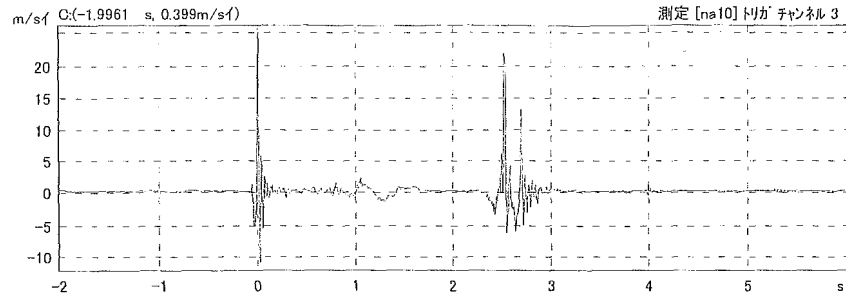


Fig.7.4.6 Z 軸（タイヤ部の上下加速度）

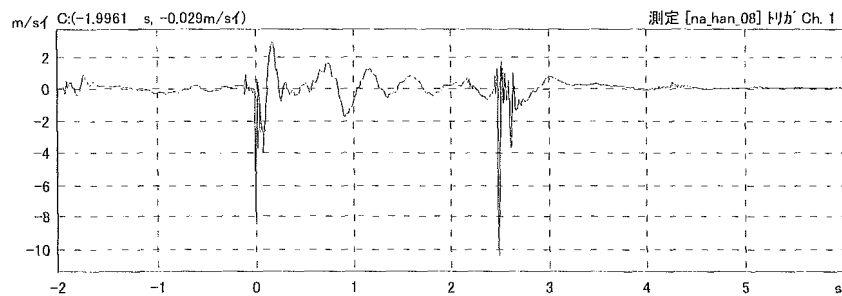


Fig.7.4.7 X 軸（ハンドル部の前後加速度）

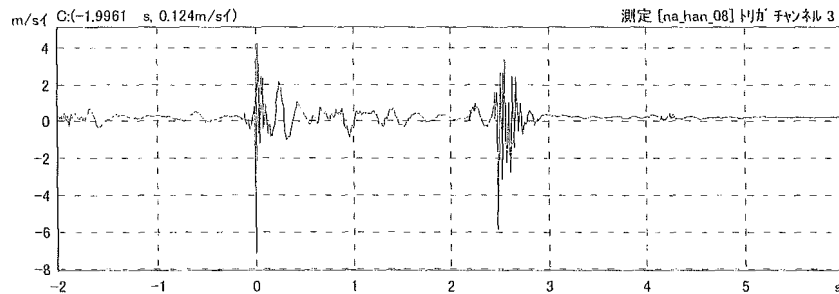


Fig.7.4.8 Z 軸（ハンドル部の上下加速度）

上図は、最初の入力は前輪が段差に衝突した時、次に段差から前輪が着地したときのものである。タイヤ部では、前後加速度は衝突時に  $10\text{m/s}^2$ 、着地時に  $7.8\text{ m/s}^2$ 、上下加速度は衝突時に  $25\text{m/s}^2$ 、着地時に  $22\text{m/s}^2$ であった。またハンドル部では、前後加速度は衝突時に  $9\text{m/s}^2$ 、着地時に  $10.5\text{ m/s}^2$ 、上下加速度は衝突時に  $9.5\text{m/s}^2$ 、着地時に  $8\text{m/s}^2$ であった。段差昇降実験は 10 回行ったが、いずれも上図に近い結果を得たのでその一部を載せた。

また以下に、ハンドル部に搭載した力センサによって測定された荷重を示した。

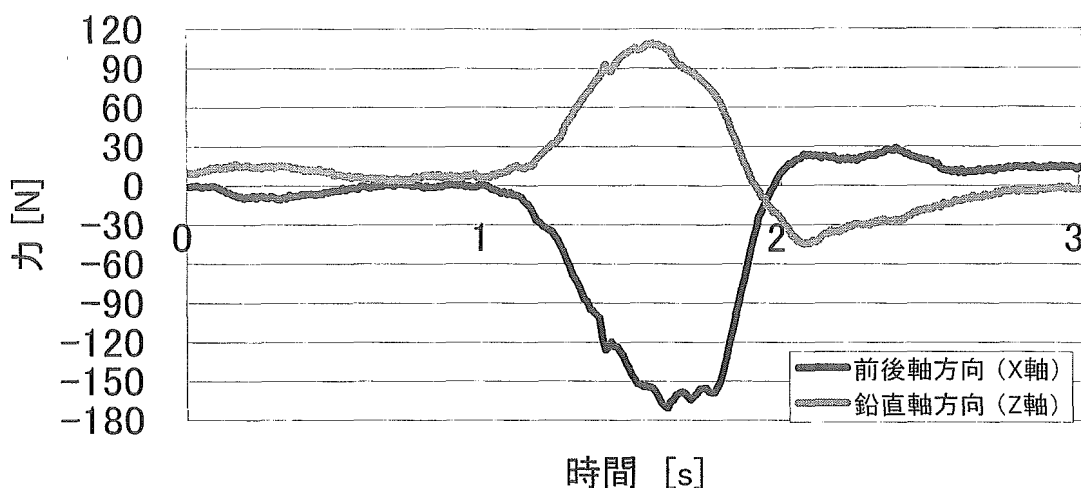


Fig.7.4.9 段差乗越え時に発生させるハンドル部からの荷重

50mm 段差を乗越えた際、歩行支援機を押し力は 170.1N であった。また、歩行支援機にかけた体重（荷重）は 109.1N であった。

#### 考察

段差昇降時（前輪の段差衝突時及び着地時）の前後及び上下加速度は、使用者が感じる部分（ハンドル部）にて理想値  $5\text{m/s}^2$  には抑える事が出来なかったが、許容値  $10\text{m/s}^2$  に抑える事が出来た。着地時には  $10.5\text{m/s}^2$  という値を示しているが、RMS 値を取ると  $7.4\text{m/s}^2$  であることから、許容値内に収まっていると考える事が出来る。Fig.7.4.5～8 の衝突時～着地時における加速度は、前輪機構に減衰させるものが空気入りタイヤ及びトーションバネの端に装着したゴムしかないため、十分に減衰されずに残ってしまったためと考えた。

Fig.7.4.9 では、段差を乗越える際に歩行支援機にかけた力を示したが、歩行支援機を押し力は 170.1N であり、シミュレーション時では 165N であった。0.5% の誤差はあったもののほぼ同等の値を得た。ここで、95%tile にある水平荷重は、129N であるために筋力の低い方にとっては 50mm の段差を乗越えられない可能性がある。これは、第 3 者によってフィーリングを確認していただくと共に、よりスムーズに段差を乗越えるための改良が必要と考えた。

#### 7.5 前輪リンク方式改良型の許容段差高さ測定実験

屋外用の歩行支援機では、段差を乗越える場面が多々ある。現在では、ちょっとした段差においても走行不能になってしまうのが現状である。一般に、50mm の段差を乗越える事が出来れば、ほぼ支障がなく使用できる。しかし、玄関先の段差などは 100mm～150mm と非常に高く、そこを進むことが出来ずに屋外へ出る事ができない方も多々おられる。今後、許容する段差高さをより高くするため、現状の前輪構造にて許容する段差高さを特定することは非常に重要であると考えた。

3号機にて、50mm 段差を乗越える事が出来た。また、 $\phi 75$  タイヤと  $\phi 200$  タイヤの接線を仮想的に円で結ぶと、直径 737mm の円となる。許容段差乗越え高さは、約  $[\text{直径} / 10]\text{mm}$  なので、73.7mm であると推定できる。しかし、これは理想状態での場合である。

## 実験装置

- ・ NW-1 改良型 (日進医療器株式会社 製)
- ・ 段差となる木の板 (5mm 厚を重ねて使用)
- ・ トーションスプリング (0.1N・m/deg)
- ・ 前輪リンク方式改良型

## 実験方法

前輪リンク方式改良型を NW-1 改良型のものに装着した。ここで、前輪部のインシヤル高さは 60mm とした。被験者が NW-1 改良型に 90~140N の荷重を乗せた状態で段差 (20mm から 5mm きざみ) を乗越えていった。歩行速度は任意とし、段差を乗越える際に反動をつけずに行った。また、段差にぶつかってから乗越える際、後輪が浮いてしまった時点で終了とした。後輪が浮いてしまった際、段差の約 5cm 手前から反動をつけて段差乗越えを行い、その可・不可を評価した。これを各バネ定数で実験し、許容する段差高さを検証した。

評価項目は、○：スムーズに乗越え可能、△：ひっかかるが乗越え可能、▲：反動付きで乗越え可能、×：乗越え不可能の 4 項目とした。



Fig.7.5.1 実験風景



Fig.7.5.2 段差の様子

## 実験結果

Tab.7.5.1 各タイヤの段差乗越え性能表 (支援有)

番号	名称	段差高さ [mm]																		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
1	開発案	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	△	△	△
2	φ200 タイヤ	○	○	○	○	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Tab.7.5.2 各タイヤの段差乗越え性能表（支援無）

番号	名称	段差高さ [mm]																	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1	開発案	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	△	△	△	△	△
2	φ200 タイヤ	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

○：スムーズに乗越え可能、△：ひっかかるが乗越え可能

▲：反動付きで乗越え可能、×：乗越え不可能

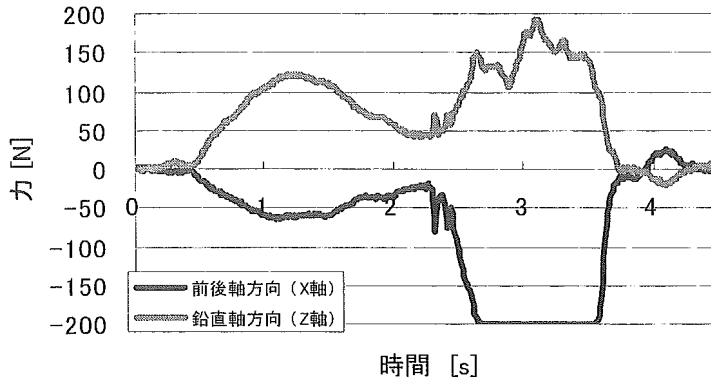


Fig.7.5.3 60mm 段差乗越え時に人が歩行支援機に及ぼす力

考察

まず、Tab.7.5.1 及び 2 を見ると、スムーズに乗越えられる段差高さは 70mm であった。これは、仮想直径 737mm（この 1/10 が理論許容段差乗越え高さ）に当てはまる値となった。表には示していないが、反動をつければ 200mm 段差を乗越える事も可能であった。通常の走行では前輪部が段差にひっかかってしまうために乗越えられない。200mm 段差を乗越えた条件として、ハンドル部に体重を 25kg 以上（60kg の人の 40%免荷時）かけ、前輪部は段差に乗った状態で反動をつけて後輪部を乗り上げた。このとき、ハンドルは後輪軸より後方に位置させ、使用者が体重をかけると前輪が浮き上がるような機構を採用した。しかし、使用者によってはこのような力を発生できない場合もある。Fig.10.5.3 ではハンドル部にかかる力を示したが、前方に押す力は 200N 以上にもなる。力センサでは 200N までしか測定できないが、95%tile を許容するためには、この値を 130N まで抑えなければならない。75mm より高い段差を乗越える場合には反動が必要であるが、130mm 付近になると前輪が段差を乗越えた瞬間に後輪を支点として歩行支援機が横転してしまった。これらは、姿勢制御に加え、モーターにてアシストすれば対処できると考えた。実際に、簡易的ではあるがモーターを想定することを前提に後輪軸ロアフレームを手で押し、段差を乗越えたがその力は 200mm 段差で 50~100N 程度であった。モーターの最大トルクは 5N・m であるので、十分なアシスト効果が期待できると考えた。

最後に、段差が高くなるほど前輪部が段差を乗越えたときのトーションスプリングの反力により、歩行支援機の前方向への加速度が大きいものとなった。これには、減衰機構を設けるとともに、今後搭載されるモーター及び ER 流体との制御を組み合わせるための検証が必要であると考えた。

## 8. 前輪リンク方式改良型の第3者評価

### 8.1 目的

本研究では運動機能が低下した高齢者、あるいは歩行機能に軽度の障害をもつ歩行障害者を対象とし、さらに廃用症候群を回避すると共に歩行機能の維持・向上を図るため、移動支援として被支援者の歩行移動を支援する歩行支援機の開発を目指している。本研究では、段差乗越え及びその際の前後加速度吸収に焦点を絞り、それらの性能について追求した。ここでは、開発した前輪構造を歩行器（NW-1改良型）に搭載した状態で、第3者に各前輪での段差昇降性や振動吸収性などの比較・評価をして頂き、また評価を踏まえた上で改良の方向性を見出す事を目的とした。

### 8.2 被験者の特徴・歩行器の仕様

被験者について

- ・ 高齢者キット（70～80歳の方を想定）を装着させた学生男女10名程度
- ・ 老人ホーム若しくは在宅高齢者（70歳以上の方）に男女10名程度

使用した歩行器

- ・ NW-1改良型（スチール製スペースフレーム）  
ホイールベース（590mm）×トレッド（668mm）×ハンドル高さ（700～1000mm調整式）  
前輪：開発した構造、後輪：8inches（ $\phi 203.4$ ）  
（比較用：コスモネティ（主に、屋外で使用される歩行補助車））  
重量：15kg

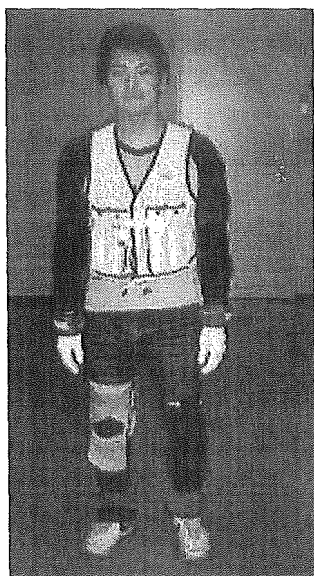


Fig.8.1 高齢者キットを装着した被験者

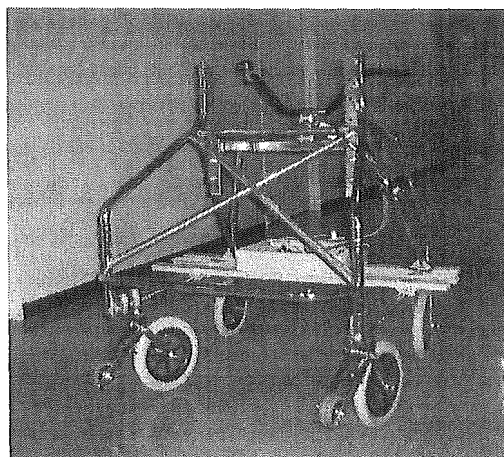


Fig.8.2 開発した前輪搭載の歩行器



被験者データ：性別、年齢、身長、体重、(健康状態など)

Tab.8.1 被験者の特徴

番号	性別	年齢 [歳]	身長 [cm]	体重 [kg]
1	男	22	170	75
2	男	22	173	67
3	男	23	173	65
4	男	20	171	66
5	男	21	175	68
6	男	21	172	62
7	男	62	176	61
8	女	22	155	50

番号	性別	年齢 [歳]	身長 [cm]	体重 [kg]
9	男	22	177	70
10	男	24	185	80
11	男	21	174	73
12	男	20	179	82
13	女	22	156	70
14	女	22	160	50
15	男	21	166	51

### 8.3 歩行器及び被験者の条件

歩行器に関して

ハンドル高さ：700～1000mm まで 50mm ずつ調整可能（必要であれば、1mm 単位で調整可能）  
 なので、被験者の使いやすい高さに設定。

前輪構造：前輪を① 8 インチタイヤ、②前輪構造を搭載。（後輪は 8 インチタイヤ）

被験者及び動作に関して

高齢者キットを装着有無（学生男女 10 名程度に限る）で行った。

姿勢：ハンドルを持ち、自然な姿勢

服装：動きやすいもの（靴は履き慣れているもの。但しハイヒールなどは不可）

歩行速度：被験者の任意の速度

坐位バランス

上半身の動きによる多方向への上体の傾きに対して耐え得る体幹筋力がある方

立位バランス

体幹及び下肢の筋力は、立位を保持できる方

下肢の各関節の拘縮が少ない方

下肢の知覚障害がない方

身体各部、ことに下肢の各関節に痛みがない、若しくはあっても少ない方

上肢機能

体重を支えるために必要な上肢機能は、ハンドルを持つ側の上肢が健常、若しくはそれに近い状態である方（各関節に拘縮が少ない、痛みがない、知覚障害がない事）

### 8.4 歩行場所

1. 50mm 段差 (振動吸収性、段差昇降性)
2. 凹凸路 (振動吸収性、悪路走破性)
3. クランク (旋回性)
4. 180° 旋回 (旋回性)

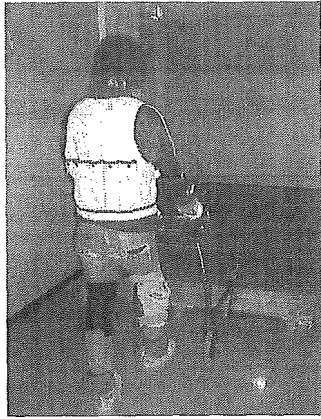


Fig.8.3 50mm 段差

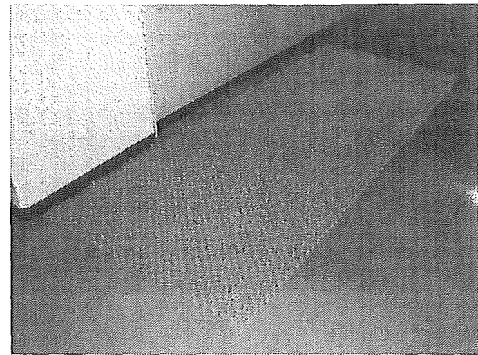


Fig8..4 凹凸路 (ガーデニング用)

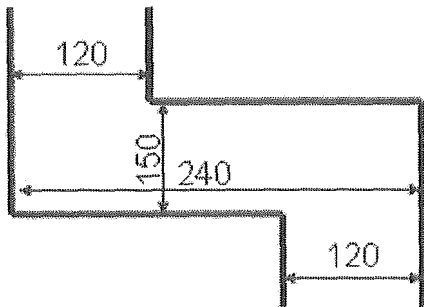


Fig.8.5 クランク

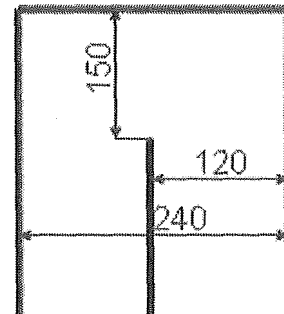


Fig.8.6 180° 旋回

上記の 5 つの路面について、被験者に検証して頂いた。検証を効率よく進めるため、室内にこれらを配置することとした (下図参照)。50mm については木材を使用し、凹凸路についてはガーデニング用の仕切り板を使用して再現した。また、コスモネティは 20mm 程度の段差高さしか乗越えられないため、20mm 厚の板も配置した。クランク及び 180° 旋回の寸法は、国土交通省による「道路利用者の基本的な寸法」より用いた。一般道路を通行する際に必要な幅で、杖使用者 (2 本) の場合は 120 mm 以上が望ましいとされる。また、車椅子が 360° 回転できる最低寸法が 150mm であることから Fig.5 及び 6 のようなものとした。

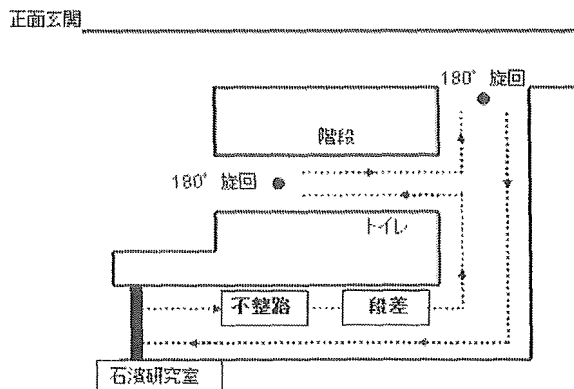


Fig.8.7 評価経路

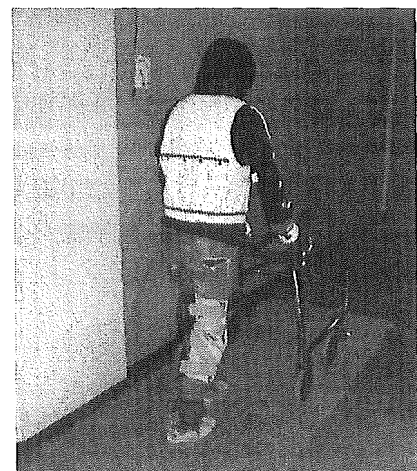


Fig.8.8 実験風景

### 8.5 評価手順

まず、評価指標にあるものの理解をさせた。次に、コスモネティ（屋外用歩行補助車）にて上記の路面を走行した。走行後、チェックシートにその評価を書き込んだ。同様に、NW-1 改良型（前輪リンク方式改良型が搭載されたもの）にて各路面を走行した。走行後、チェックシートにその評価を書き込んだ。この評価では、各走行の際に被験者の感じたことを言って頂いた。

### 8.6 評価指標

- 振動吸収性（振動の感じ易さ）・・・感じ易い 1 2 3 4 5 感じにくい
- 段差昇降性（段差の乗越え易さ）・・・乗越えにくい 1 2 3 4 5 乗越え易い
- 旋回性（曲がり易さ）・・・曲りにくい 1 2 3 4 5 曲り易い
- 悪路走破性（凸凹路面の走り易さ）・・・走りにくい 1 2 3 4 5 走り易い
- 総合評価・・・悪い 1 2 3 4 5 良い

各性能における評価は、上記の通り 5 段階で行うものとした。また、評価項目として万人にも理解できるように（）内のものを使用した。

### 8.7 評価結果

上記の評価指標に基づき、15名の男女に評価していただいた結果を以図に示した。

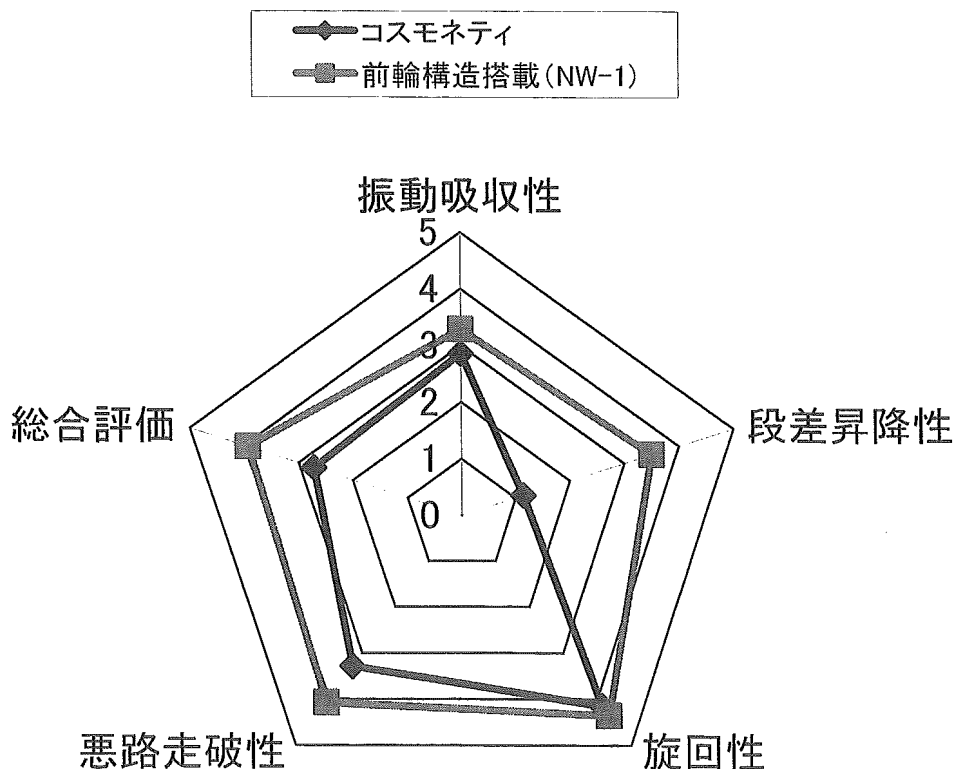


Fig.8.9 各歩行器での感性評価結果

また、評価して頂いている最中に、感じた事をその場で言って頂いた。

#### (1) コスモネティ

##### 段差昇降性（段差の乗越え易さ）

- ・ 段差にぶつかった際、衝撃が来て手が痛い。
- ・ 着地の際、衝撃が来て手が痛い。
- ・ 前輪を持ち上げないと段差を乗越える事が出来ない。
- ・ 段差から降りる時に歩行器が前方に倒れてしまう。
- ・ 方輪ずつよじる感じで上る事が出来た。

##### 旋回性（曲がり易さ）

- ・ 違和感がなく、自然な感じで曲がる事が出来る。
- ・ フラフラする。
- ・ 歩行器が先行するので、まがりづらいときがある。
- ・ 先に歩行器を曲げて、それについていく形になるので違和感がある。

##### 悪路走破性（凸凹路面の走り易さ）

- ・ 車輪がひっかかってしまう。
- ・ フロントタイヤが溝にはまってしまい、抜けるまでに苦勞した。

#### (2) NW-1 改良型（前輪構造搭載）

##### 振動吸収性（振動の感じ易さ）

- ・ コスモネティより手に振動を感じない。
- ・ 振動が柔らかくなった。
- ・ フロントタイヤからの振動は少なく、リアタイヤから伝わってくる振動が気になった。

##### 段差昇降性（段差の乗越え易さ）

- ・ 後輪を支点として前輪が浮いてしまう場合があり、怖い。
- ・ 体重のかけ方にコツがある。
- ・ 乗越えられるが、歩行器を前に押す力が大きい。
- ・ スムーズに乗越える事が出来た。
- ・ 着地時にもショックが少ない。
- ・ 勢いをつけると、よりスムーズに上る事が出来る。
- ・ 乗越えた後、スプリングの反力がくる。

##### 旋回性（曲がり易さ）

- ・ コスモネティより曲がりにくい（後輪の内側や前輪の外側が壁と接触しそうで気になる）。
- ・ 旋回中心となる後輪の内側が安定しており、曲り易い。
- ・ イメージ通りに曲がる事が出来た。

##### 悪路走破性（凸凹路面の走り易さ）

- ・ 速度を上げると、手に伝わる振動が軽減する。

## 8.8 考察

Fig.8.9 より、コスモネティと比較して前輪構造を搭載した NW-1 歩行器の方が段差昇降性に優れる事がわかった。これは、コスモネティの前輪（ $\phi 200$  ソリッドタイヤ）では 50mm 段差は乗越えられないことから言えるが、乗越え可能な 20mm 段差においても前輪構造搭載の NW-1 の方がスムーズに乗越えていたからであると考えた。しかし NW-1 は、段差は乗越えられるが前方に押す力を大きくしなければ乗越えられない、また乗り上げた時にトーションスプリングによる力が抜けるためにそのフリクションで歩行器が前に勢い良く動いてしまう、前輪が段差を乗り越えて歩行器が傾いた際に体重をかけると後輪を支点として歩行器が倒れてしまいそうになるために安心感に欠けるといった評価を得た。これには、駆動力（モーター）やブレーキ、センサーなども含めて実験を行う事が望ましいと考えた。推測ではあるが、これが実現すればモーターによる駆動力にて段差を乗越える際に歩行支援機を押す力は低減し、加速度や速度をセンシングするためにトーションスプリングによる力が抜けて歩行支援機に急な加速度がつく際には、ER ブレーキが働くために歩行支援機が先行していく事はないと考えた。段差乗上げ時の転倒については、主にハンドル部が後輪より 100mm 程度後方に位置しているために転倒性をより高めてしまう結果となってしまった。これには、重量配分及びハンドルの位置によって決まるため、重心を低く（現状では、地上より 300mm 程度）保つと共に、ハンドル部を後輪軸上に配置すれば転倒の可能性は低減するものと考えた。

振動吸収性については、NW-1 改良型が空気入りタイヤを装備していることやトーションスプリングを搭載していることから、路面からの振動をより吸収してコスモネティよりも良い結果を得た。特に、段差と接触した際に前輪構造のリンクによって衝撃が緩和されることを実際に感じ取って頂く事が出来た。

旋回性については、どちらもキャスター機能を備えているために大差はなく、双方共にイメージ通りに曲がる事が出来るという評価を得た。ちなみに、キャスタートレールはコスモネティが 56mm、前輪構造が 80mm である。ここで、キャスタートレールが大き過ぎると直進安定性に欠くことになるが、本評価結果からは直進時にふらついたりすることがなかったため、許容内にあると判断した。

悪路走破性については、空気入りタイヤ及びトーションスプリングを搭載している NW-1 の方が良い評価を得た。しかし、この路面がもっと悪いものになると前輪のリンクが上下に動く可能性がある。それは、不整路を想定したガーデニング用の仕切り板（14mm）に乗り上げる際、何度か前輪部と地面が接触してしまうケースがあった（トーションスプリングのバネレートが低いために路面状況に対して過敏に反応してしまう危険性がある）からである。またここには記載していないが、NW-1 にて直進している際に前輪がフワフワした感じになるという意見を得た。これより、ハンドル位置を後輪軸上に配置することで改善されるが、トーションスプリングのバネレートも考慮すべきであると考えた。しかし、バネレートを上げると段差を乗越える際に前輪部に力を伝えるためにより大きな力が必要であるため、バランスを考える必要がある。

総合評価では、NW-1 の方が良い結果を得たが、このほとんどが段差昇降性によるものであることが言える。今後は、前後重量配分の追求や各機能を付加した上での実験をしていくことが必須であると考えた。

以上

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
	なし						

(注) 学会の論文集は総括研究報告の「G. 研究発表」に記載

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
	なし				