

## 応用論文

## 車体傾斜感覚の影響を考慮した車椅子シミュレータの開発

坂東直行<sup>\*1</sup>, 山田宏尚<sup>\*1</sup>, 仲野宏司<sup>\*1</sup>, 武藤高義<sup>\*1</sup>

Development of Wheelchair Simulator with the Consideration of the Feeling of Body Attitude

Naoyuki Bando<sup>\*1</sup>, Hironao Yamada<sup>\*1</sup>, Koji Nakano<sup>\*1</sup>, Takayoshi Muto<sup>\*1</sup>

**Abstract** — In this study we developed a wheelchair simulator, which has visual presentation, force feedback and reproduction of motion, using virtual reality technology. The position and attitude of the wheelchair are presented to the operator as the motion of a six-axis motion base. Through a head-mounted display, a computer graphics system provides the operator with scenery that changes in accordance with the wheelchair's operation. We evaluated, firstly, relation between human's consciousness and feeling when force feedback and reproduction of motion were presented. Consequently, it was clarified that sense of force feedback and reproduction of motion complement each other. Moreover, we evaluated the performance of the simulator, which simulates the movement of wheelchair based on the mathematical equation. As the results, the simulator proved adequate quality for presentation of the feeling.

**Keywords :** Wheelchair, Simulator, Welfare Equipment, Motion Base, Virtual Reality

## 1. 緒言

現在、日本は超高齢化社会を迎え、65歳以上の高齢人口はピーク時の2050年には35%を超えるといわれる。高齢者はなんらかのかたちで障害を抱えている場合が多く、障害を持ってでもできるだけ障害のない人と同様の生活を実現することを保障する社会の価値・物理的構造、サービスを整備していく理念であるノーマライゼーションを社会に浸透させることは急務である[1]。ノーマライゼーションの達成にはいくつかの課題があるが、ハンディキャップのある人にとって障壁（バリア）が取り除かれた状態であるバリアフリー化を推進することもそのひとつである。「高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律」（通称ハートビル法）[2]において、「高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる建築物の建築の促進のための措置を講ずることにより建築物の質の向上を図り、もって公共の福祉の増進に資することを目的とする。」との理念が定められるに至り、バリアフリー化は「福祉

のまちづくり」として、国や自治体が行きとる社会福祉の課題となっている。

公共施設などにバリアフリーを実現しようとするとき、既に存在する施設にバリアフリーの機能を加えるのであれば、その場に出向いて評価を行うことができる。しかし、建造前の施設にバリアフリーの機能を持たせようとする場合、事前に十分な評価をすることは難しい。これは、バリアフリーを実現するためには、ヒト自身による感覚的な評価が必要であるが、感覚的な評価を、存在しないモノに対して行うことが困難なためである。

このような現状において、VR（Virtual Reality）が有効である。VRを用いて、構想段階の施設等の利便性を評価できればこれらの問題を解決できるものと考えられる。

そこで、筆者らはバリアフリー社会の実現のために、評価の主体を車椅子利用者として、バリアフリー設計の評価を行うシステムの構築すること目標としている。ここで、バリアフリー評価の主体を車椅子利用者とした理由は、高齢者・障害者のハンディキャップは多種多様であるが、現実には車椅子が使用される場合が多く、車椅子で自由に移動できる環境を整えることがバリアフリー化のひとつの目安と

<sup>\*1</sup> 岐阜大学大学院工学研究科  
<sup>\*1</sup> Graduate School, Univ. of Gifu

なると考えられるからである。

車椅子シミュレータについては既にいくつかの研究がなされており、井上ら[3]は電動車椅子体験シミュレータを開発している。ここで開発されたシミュレータは揺動感覚が提示可能であり、操作者、表示画面等が一体となって6軸方向に動く揺動台を採用している。しかし実際の福祉の現場では手動車椅子の需要が未だ多く、これに関するシミュレータの開発が望まれる。藤本ら[4]は手動車椅子仮想体験システムを試作し、操作者への視覚及び力覚の提示を行い、視覚と力覚の感覚統合がシミュレータの妥当性の向上を促す結果となることを示している。しかし、車椅子の傾きや揺動感覚による影響については十分な検討がなされていない。

そこで、本論文では手動車椅子を対象に揺動感覚を提示できるシミュレータを開発し、上述した先の研究では行われてこなかった揺動感覚と人の認知機能との関係を検証する試みについて述べる。具体的には角度を自由に変えられるスロープ上で車椅子の操作を行い、実際のスロープ角度と操作者が感じているスロープ角度の関係を明らかにする。さらに、その結果を踏まえ、本研究で開発したシステムの妥当性を検証する。さらにそれにより得られる現実感をアンケートにより評価し、システムの技術課題を明らかにする。

## 2. 車椅子の揺動と人の認知機能

車椅子シミュレータの構築に際して、車椅子の傾きや揺動の感覚を提示することは、路面状態の認識をうながすために有効である。

車椅子の姿勢を感じ取る感覚は、動的な揺動感覚と静的な傾斜感覚に分けて考えることができる。

ここで、動的な揺動感覚は身体の運動もしくは移動に起因する加速度を感じる感覚とし、静的な傾斜感覚は、身体の運動・移動に起因しない、地球の重力加速度を感じる感覚と定義する。両者を区別する理由は、ある地点に静止した状態で地面と自分の身体との関係を情報として取得することと、ある地点からほかの地点へ移動するときの運動や、身体を伸ばしたり縮めたりするときの運動を情報として取得することは区別して扱ったほうが理解に易いためである。なお、車椅子の操作においては、動的な揺動感覚は悪路面での走行や段差の乗り上げ等による車椅子の振動を刺激として感じるものである。それに対して静的な傾斜感覚は坂道等による路面の傾きにより車体が傾いた角度を刺激として感じるものである。

車椅子の操作をするとき、車椅子の静的な姿勢を認識することが重要であるため、まず静的な傾斜感覚に関する影響を明らかにすることが必要となる。そこで、ここでは車椅子の静的な傾斜感覚の認知に

関する実験的な検討を行う。

### 2.1. 検証実験

車椅子の傾斜と人の認知機能について検証するため、Fig.1に示すような角度を0度から10度まで無段階に調節できるスロープを用意し次のような実験を行った。

手順1：被験者は、まずスロープ上に用意された通常の手動車椅子に乗り、傾斜感覚を0度、5度、10度と変化させた場合の傾斜感覚を体験する。

手順2：被験者に知られないようにしてスロープの角度を任意に設定し、車椅子をスロープ上に設置する。

手順3：被験者は再度車椅子に乗り、先に覚えた傾斜感覚を参考に、スロープの角度を答える。

手順4：実際のスロープの角度を測定する。

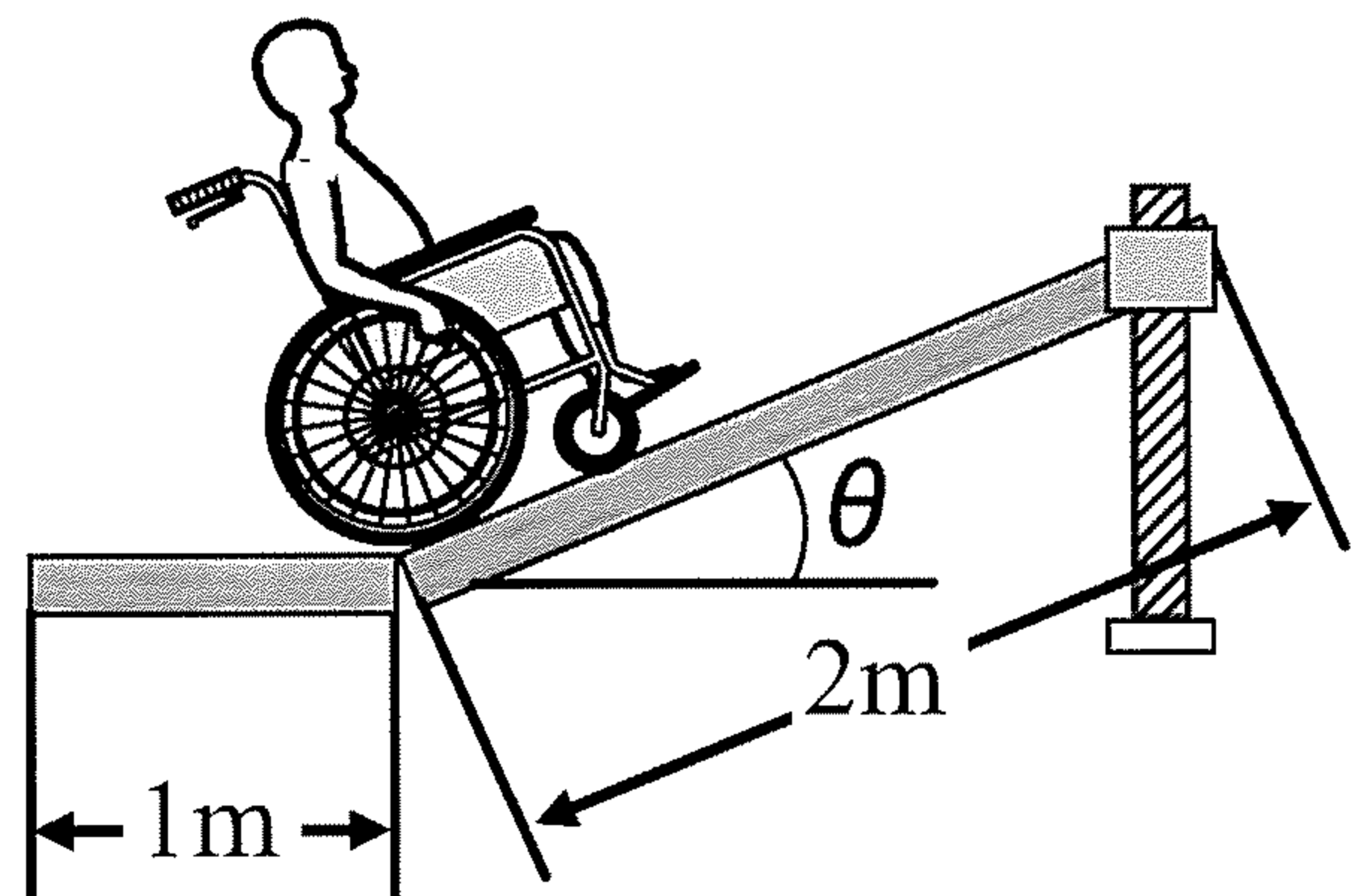


Fig. 1 Slop way

なお、実験を行う際には、スロープ角度を視覚情報から得ることを防ぐために、被験者には終始目を閉じてもらうこととした。また、以下の2つの場合分けをした。すなわち(1)車椅子を自ら操作した場合(自走)および(2)介助者に操作してもらった場合(介助走行)である。両者の大きな違いは車椅子の走行に関し、前者が能動的であるのに対し後者が受動的ということである。前者の実験をする際には、手順1の傾斜角度を覚える段階から被験者が自ら車椅子を操作し、手順3においても自ら車椅子を操作する。後者は手順1の段階から介助者により車椅子を操作し、手順3も同様とした。このとき、被験者は車椅子の操作は一切行なわない。

### 2.2 結果と考察

実験は20代前半の男性8名を対象に1回ずつ行った。全員車椅子走行の経験がない健常者である。またスロープ角度の提示は前後の傾斜に対して行った。

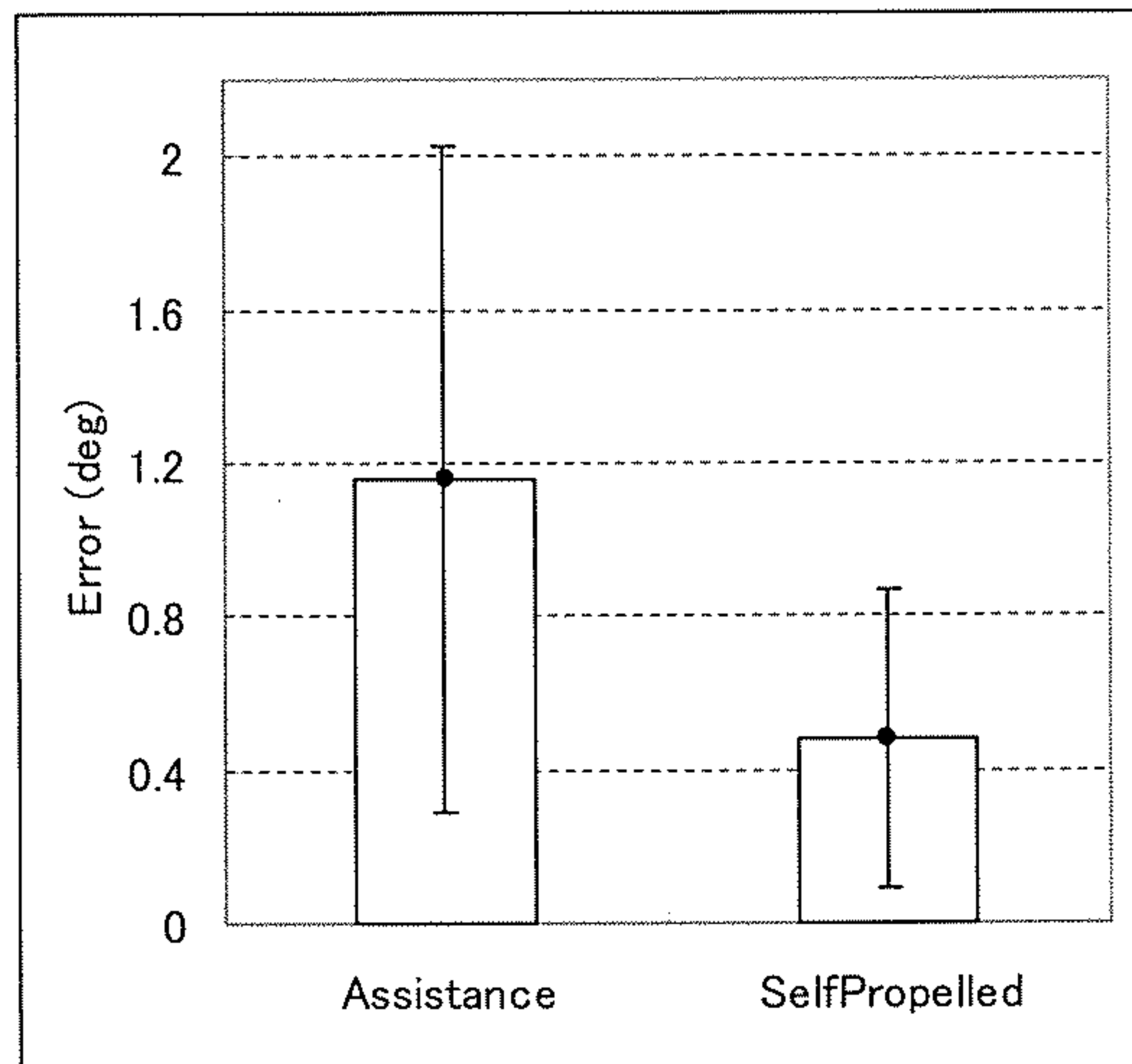


Fig. 2 Accuracy of inclination feeling

測定結果の平均を Fig.2 に示す. 縦軸に実際のスロープ角度と被験者が回答した推定角度との差, 横軸に介助走行と自走の場合での結果を示す. 実測値と回答の差が小さい程, 正確にスロープの傾斜角度を認識していることになる. また, 結果のばらつきが大きいほど, 認識の不確かさが拡大していることになる.

本実験では介助走行と自走の場合とを比較して認識している傾斜角度と実測値との差のばらつきの大きさに有意 (有意水準 5%) な差がみられ, 自走した場合の方が傾斜角度を正確に認識できていた.

傾斜感覚は通常, 主に前庭感覚によって得られるが, これは傾斜変化に起因する加速度に反応しやすい感覚であるので, 静的な状況においては, 重力加速度の方向を主に感じていると考えられる. 本実験のように静的な傾斜感覚を感じるには他の感覚も影響すると考えられる. それは, 皮膚表面に分布した受容器による触圧覚および筋肉, 関節にかかる力の感覚を複合することによって得られる体性感覚であると考えられる. 触圧覚は人の体が傾くとき車椅子のシートにかかる体重と面積の関係が変わることによって変動する.

しかし傾斜感覚を前庭感覚および車椅子に座ることに起因する体性感覚のみで認識しているとすると, 自走の場合と介助走行の場合で傾斜角度の認知精度に違いが見受けられた説明がつかない. 両者の違いは力覚情報の有無に関係すると考えられる. ここで力覚とは, 具体的にはハンドリムを操作したときの操作感覚である. なお, ハンドリムを操作したときの感覚は, 触圧覚および運動覚, 位置覚などの深部感覚を複合して得られる感覚である. 自走の場合, ハンドリムを自ら操作することによる反力を受ける. この反力が路面の状態によって変動するため, ここからも路面状態を推測する情報を得られると考

えられる.

この結果から, 車椅子に乗った状態において人は車椅子の傾斜を車椅子に座ることで得られる体性感覚によって認知し, さらに体性感覚以外の感覚, ここでは, ハンドリムを操作することによる力覚を併用することでさらに感覚提示の精度が向上するという示唆を得た.

### 3. システムの構成

Fig.3 は, 本研究で構築した車椅子シミュレータ (以下, 本システム) の概略図である.

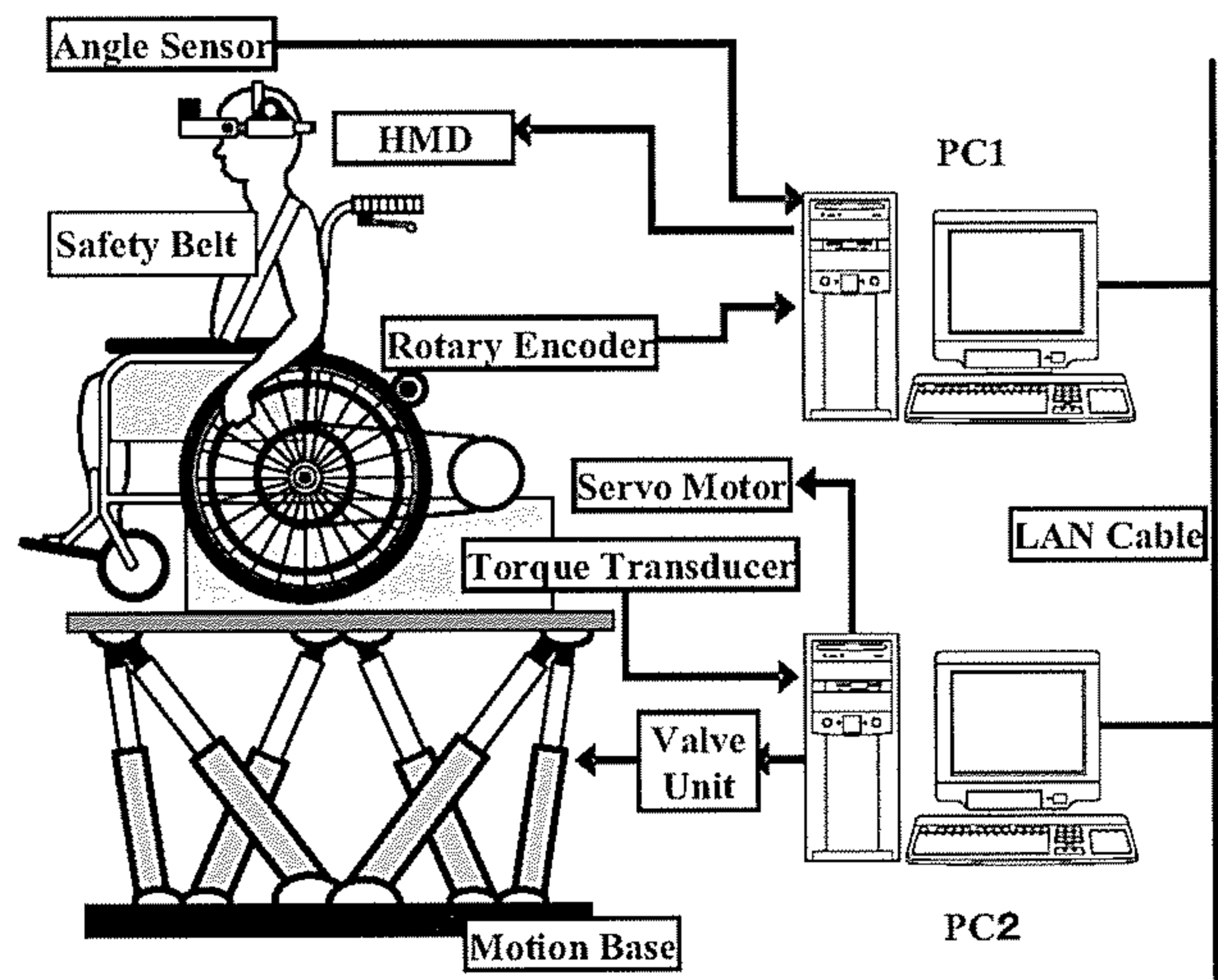


Fig. 3 Schematic diagram of wheelchair simulator

#### 3.1. システム構成

本システムは, 大きく分けて仮想空間提示部と揺動感覚提示部および力覚提示部から構成されている.

仮想空間提示部は, 仮想空間提示用コンピュータ (PC1), 車輪が回転可能なように揺動装置上部プレートから離して固定された車椅子, その車椅子の駆動輪に取り付けられたロータリエンコーダ, 頭部搭載型ディスプレイ (HMD), およびそれに取り付けられた 3 自由度角度センサから構成されている.

揺動感覚提示部は, 6 軸揺動装置と制御用コンピュータ (PC2) から構成され, また力覚提示部は車輪駆動用のサーボモータおよび人がハンドリム (車椅子の両車輪と一体になっている操作部) を操作するときの力を検出するためのトルク変換器と制御用コンピュータから構成されている.

システムの中心となる仮想空間提示部では, ロータリエンコーダによって車椅子の駆動輪回転量を計測し, これに基づき PC1 により車体の移動・旋回を計算し, そのデータから仮想空間内における車椅子の位置・姿勢の計算を行い, HMD に対応する周辺

環境のCG映像を出力する.HMDに取り付けられた角度センサは頭部の回転角度を検出することができる.これにより視点の変更ができる.

そして,車椅子の姿勢データをPC1からLANケーブルを介し,PC2に送信する.PC2では,受信データを受け取り,そのデータを用いて揺動装置(カヤバ工業(株)製パラレルリンク型油圧6軸揺動装置)を駆動させることにより,操作者に姿勢情報を伝達する.同時に被験者がハンドリムを回したときのトルクをPC2で受信し,そのトルクに応じた回転速度命令でサーボモータ及び車輪を動作させることで,被験者は現実の車椅子ハンドリムを操作するのと同じ力覚を感じることができる.

### 3.2. 運動方程式

ここでは,仮想空間上で車椅子の運動を実現するために必要となる数学モデルを導出する.

Table.1は運動方程式を導出するうえで必要となるパラメータである.

O-XYZ	静止座標系	
P-xyz	車体の重心に固定した運動座標系	
$f_{hl}, f_{hr}$	各ハンドリムに加えられる力	[N]
$f_l, f_r$	各車輪の駆動力	[N]
$g$	重力加速度	[m/sec <sup>2</sup> ]
$h_r$	ハンドリム半径	[m]
$l_b$	車体重心から駆動輪軸までの距離	[m]
$I$	車体のz軸周りの慣性モーメント	[Nm]
$I_w$	駆動輪の回転軸周りの慣性モーメント	[Nm]
$m$	車体重量(搭乗者を含む)	[kg]
$m_w$	各車輪重量	[kg]
$r_r$	車椅子の旋回を妨げるトルク	[Nm]
$r_{tl}, r_{tr}$	各駆動輪の走行抵抗(モーメント)	[Nm]
$v$	車椅子の進行方向速度	[m/sec]
$w_b$	駆動輪間の距離	[m]
$w_r$	駆動輪半径	[m]
$\theta$	路面傾斜	[rad]
$\phi$	車椅子の旋回角度(Y軸とy軸がなす角)	[rad]
$\omega_l, \omega_r$	各駆動輪の各速度	[rad/sec]

Table. 1 Parameter of definition

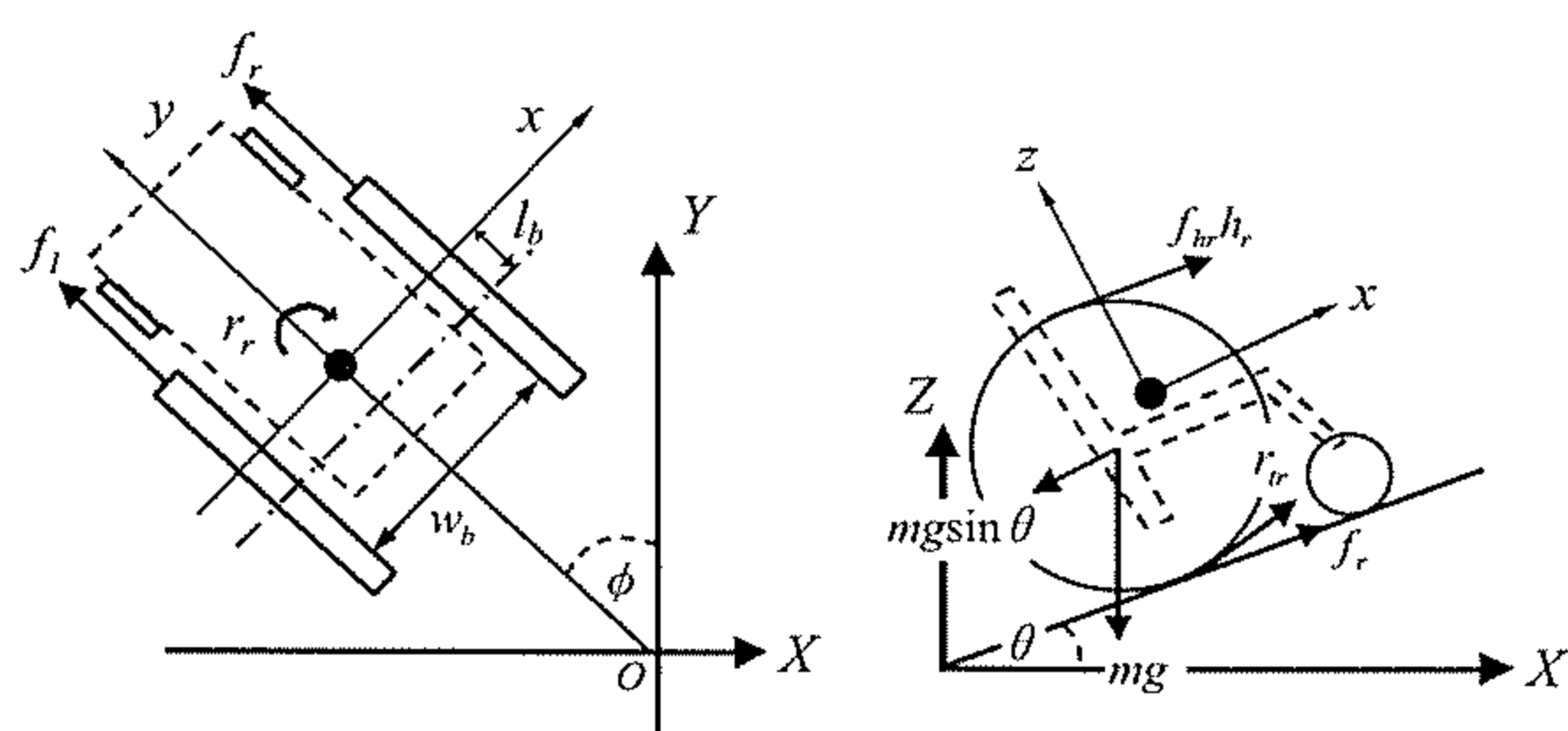


Fig. 4 Schematic diagram of wheelchair model

数学モデルの導出に際しては,次の仮定を設ける.

- ① 自在輪の運動は考慮しない.
- ② 床と駆動輪との間には滑りはない.
- ③ 回転運動をする場合には重心を軸として回転する.
- ④ 車椅子の前輪と後輪にかかる重量比の変化はない.
- ⑤ 車椅子と操作者を含む物体は円柱とみなせる.

実際の車椅子の回転運動の中心は後輪軸上に存在し,両後輪間の中心になる.よって,車椅子の回転運動の中心を車椅子の重心とすると,これから導く運動方程式には多少の誤差が含まれることになる.しかし,斜面方向と車いすの進行方向が平行であるもしくはその影響が無視できるほど小さいとしたとき,一般に使われている車椅子では車体重心と回転軸中心間の距離が短いこと,および回転運動は各感覚を統合して感じる感覚であるため,多少の誤差は許容できるものと判断できることから,本論文においてはその影響は少ないものと考えこれを無視できるものとした.

また,坂道を上るときは,車椅子の前輪と後輪に作用する重量比が変化し,これが坂道における車椅子の直進性に影響を与える.しかし,質量比は坂道の角度に加え,操作者の姿勢にも影響を受ける.坂道では無意識のうちに操作者は上半身を前傾させ,質量比のバランスを取ろうとするので,その結果質量比の変動は少なくなるものと考えられる.本研究の段階では,傾斜感覚に関する基本的な評価を行うことを主目的とすることから,これらを考慮の対象から外した.

なお,車椅子と操作者を含む物体を円柱とみなした場合の運動方程式の妥当性については,田中ら[11]により,実際の車椅子の運動の軌跡との比較により検証されている.

車椅子全体の運動方程式と車体z軸周りの回転運動の方程式は次式で表される.

$$m \frac{dv}{dt} = f_r + f_l - mg \sin \theta \quad (1)$$

$$I \frac{d^2\phi}{dt^2} = (f_r - f_l) \frac{w_b}{2} - r_r \quad (2)$$

ここで,車椅子と操作者を含む物体は円柱と見なすので,車体のz軸周りの慣性モーメントは次式のように表される.

$$I = m \left( \frac{w_b}{8} + l_b^2 \right) \quad (3)$$

一方,駆動輪の回転軸周りの回転運動方程式は次

式で表される。

$$I_w \frac{d\omega_l}{dt} = f_{hl} h_r - f_l w_r - r_{ll} \quad (4)$$

$$I_w \frac{d\omega_r}{dt} = f_{hr} h_r - f_r w_r - r_{rr} \quad (5)$$

ここで、駆動輪を円環として扱えば、駆動輪の回転軸周りの慣性モーメントは次式のように表される。

$$I_w = m_w w_r^2 \quad (6)$$

また、車椅子の進行方向移動速度  $v$  と車椅子の旋回角度  $\phi$  および駆動輪の角速度  $\omega_l \cdot \omega_r$  は次の関係がある。

$$w_r \omega_l = v - \frac{d\phi}{dt} \frac{w_b}{2} \quad (7)$$

$$w_r \omega_r = v + \frac{d\phi}{dt} \frac{w_b}{2} \quad (8)$$

よって、これらより、車椅子の進行方向移動速度  $v$  と車椅子の旋回速度 ( $d\phi/dt$ ) は次のように表すことができる。

$$v = \int \frac{w_r}{2I_w + mw_r^2} A dt \quad (9)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \int \frac{w_r}{2I_w (w_b/2)^2 + Iw_r^2} B dt \quad (10)$$

ここで、

$$A = (f_{hl} h_r - r_{ll}) + (f_{hr} h_r - r_{rr}) - w_r mg \sin \theta$$

$$B = \left\{ (f_{hr} h_r - r_{rr}) - (f_{hl} h_r - r_{ll}) \right\} \frac{w_b}{2} - r_r w_r$$

である。

式(9), (10)により、操作者が車椅子の左右駆動輪に対して与えたトルクから、車椅子の速度および旋回速度がもとめられる。その車椅子の速度および旋回速度を式(7), (8)に代入することにより、左右駆動輪の角速度がもとまる。実験装置の駆動輪をここでもとまった角速度で回転させることにより、操作者は実際の車椅子が動くときとおなじ力覚を得ることができる。また、車椅子の速度および旋回速度から仮想空間上の車椅子の位置をリアルタイムに計算することで、車椅子の位置を視覚により提示することができる。

## 4. 揺動感覚提示実験

実空間における車体の傾斜角度の認知について、力覚の有意性が見受けられた。そこで本システムにおいても先の実験と同様に傾斜角度の認知について検証し、仮想空間でも実空間における傾斜角度の認知特性と同様な結果を得ることができるかどうかを検証する。同様な結果が得られれば本システムにおける仮想空間の妥当性が確認できることとなる。

### 4.1. 検証実験

本システムの検証を行う実験の手順は実空間における傾斜認知実験と同様である。ここで、次のような3つの場合分けをした。

(1) 先の実験の介助走行の場合に等しい状況として揺動感覚提示装置のみを使用する。このとき、被験者は車椅子の操作をせず、実験者がシミュレータ上で操作を行う。被験者はこのときの車椅子の状態を与えられるのみである。

(2) 力覚提示装置のみを使用した場合。これは、仮想空間における揺動感覚の有意性について検証するために行う。実空間では傾斜路を走行する際に、車椅子に座った状態で、車椅子が傾くことによって得られる体性感覚を伴わずにハンドリムを操作することによる力覚のみを感じることはありえないが、仮想空間においては可能である。よって、これは仮想空間のみで可能な実験である。

(3) 揺動感覚提示装置と力覚提示装置を併用し、被験者がハンドリムを操作したときの揺動感覚を提示する。これは、先の実験の自走の場合に対応する。

本システムでは視覚情報を HMD を用いて提示することができる。しかし、ここでの実験は、主に体性感覚および力覚を対象に、そこから得られる情報が仮想空間内の環境を認識するうえで互いにどのように影響しているかについて検討することを目的として、HMD による視覚情報の提示は行わないこととした。

### 4.2. 結果と考察

実験は 20 代前半の男性 10 名を対象に行った。全員車椅子の経験がない健常者である。

仮想空間における傾斜認知実験の結果を被験者 10 名の平均として Fig.5 に示す。縦軸がスロープ角度の実測値と被験者の回答の差、横軸が、(a)揺動感覚提示装置のみを使用した場合、(b)力覚提示装置のみを使用した場合、(c)揺動感覚提示装置と力覚提示装置の両方を使用した場合で行った結果である。

Fig.2 と同様に、実測値と回答の差が小さい程、正確にスロープの傾斜角度を認識していることになる。また、結果のばらつきが大きいほど、認識の不確かさが拡大していることになる。

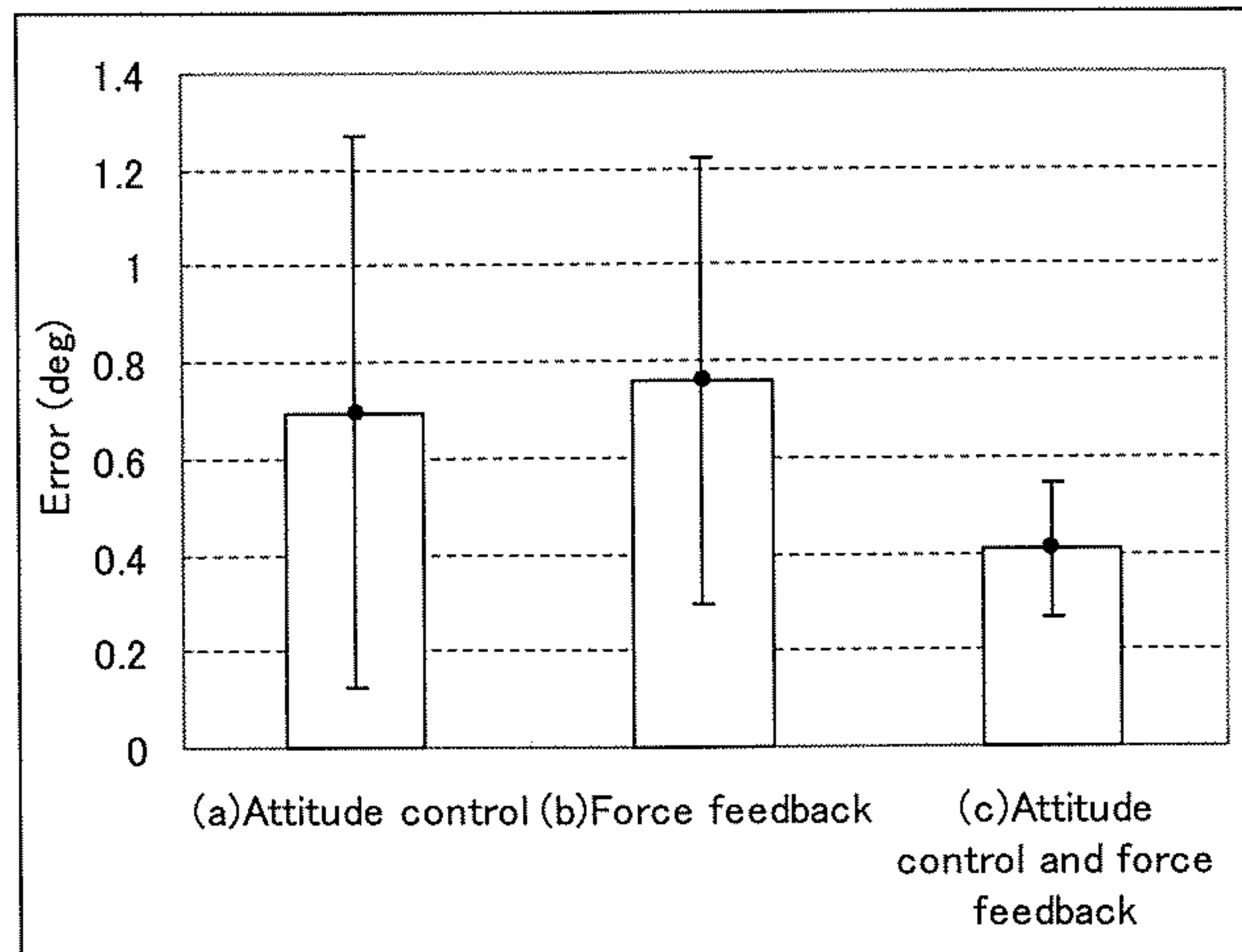


Fig. 5 Accuracy of inclination feeling in virtual environment

本実験において揺動感覚を単独に提示した場合(a)と揺動感覚および力覚を同時に提示した場合(c)では、認識誤差のばらつきが大きさに有意(有意水準 5%)な差がみられた。また力覚を単独に提示した場合(b)と揺動感覚および力覚を同時に提示した場合(c)においても認識誤差のばらつきが大きさに有意(有意水準 5%)な差が見られた。

揺動感覚あるいは力覚をそれぞれ単独に提示した(a)および(b)の結果を、両方を同時に提示した(c)の結果と比較すると、実測値と被験者の回答の差について、(c)の方が、(a)および(b)よりも約 44%誤差が小さくなっている。この結果から、ハンドリムを操作することによる力覚と車椅子に座ることにより車椅子と体の関係から得られる体性感覚は車椅子の傾斜角度を認知する場合において相互に補完する関係にあるといえる。これは、感覚モダリティが異なる2つの感覚系間の協応関係の成立が、感覚の信号検出に影響を与えるという知見[10]と合致する。

また、(a)と(b)を比較すると、大きな差異は認められない。これは、力覚と体性感覚を比較したとき、車椅子の操作という状況においては同程度の精度をもつということを示唆している。

以上のことから、揺動感覚と力覚を同時に被験者に提示することで、傾斜角度をより正確に認識できることがわかり、仮想空間を構築する際に揺動感覚提示装置及び力覚提示装置を併用することの有意性が確認できた。

また仮想空間における傾斜角度の認知誤差と、実空間における傾斜角度の認知誤差がほぼ等しいことから、本システムは視覚情報以外の感覚に起因する車いすの傾斜感覚を現実に近い状態で操作者に伝えることができているといえる。ここからシステムの妥当性が確認できた。

なお、今回は、車椅子操作における傾斜感覚の認知についての知見を得るための第一段階として、坂

道の昇降(前後)を対象に評価を行った。しかし車椅子の実際の場面では、側方(左右)の傾斜も存在する。前後の傾斜と側方の傾斜の違いは、ハンドリムを操作するときの力覚に現れると考えられる。すなわち前後の傾斜のほうが側方の傾斜に比べ操作するときの反力が大きくなると考えられる。一方、力覚以外の感覚である前庭感覚および体性感覚においては、前後の傾斜でも側方の傾斜でも大きな違いはないものと予想される

## 5. システムの現実感評価実験

前章まででは、本システムが提示する揺動感覚情報の有効性について検証し、情報の質という点においてその妥当性を示した。しかし仮想空間においては揺動感覚のみでなく、視覚を含んだ複合的な感覚の統合によって現実感が生み出される。そこで、感覚情報を統合した現実感という観点で本システムを評価する実験を行った。

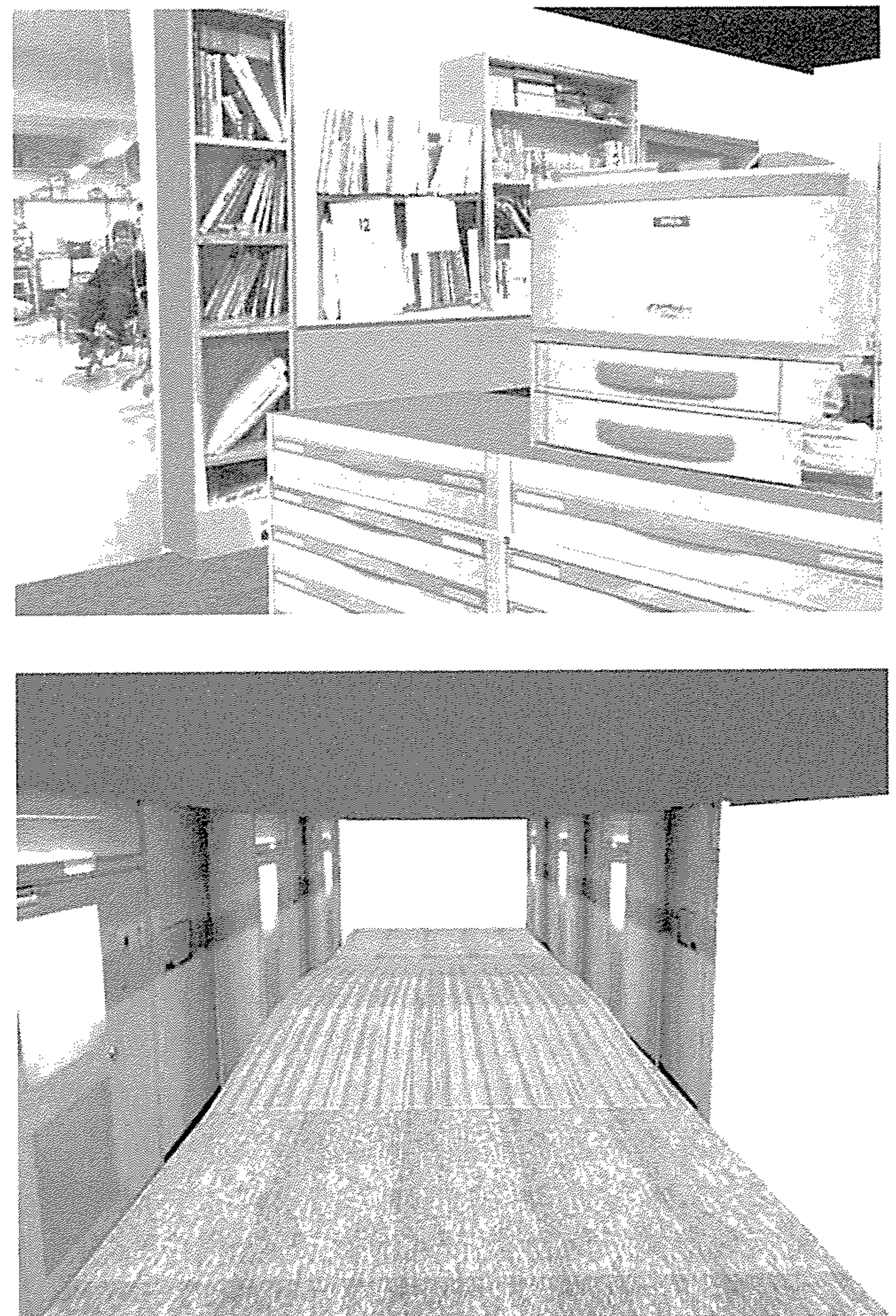


Fig. 6 Virtual space

### 5.1. 評価実験

本システムの現実感評価実験は次の手順で行った。

- 手順 1: 実空間にて被験者は車椅子を操作し、操作感覚を覚える。
- 手順 2: 仮想空間にて被験者は本システムを操作することで、操作感覚を得る。
- 手順 3: 被験者はアンケートに用意された項目について答える。

本研究において、車椅子を操作するのに関係する感覚はなにかという視点にたって Fig.7 のようにアンケートの項目を設定した。なお、アンケート項目における「感覚」とは感覚器官が外部の刺激を感じとり、その刺激によって生じる意識のことを示す。

	項目	採点
視覚情報	(1) 視覚情報の質	
	(2) 視覚提示装置の反応	
力覚情報	(3) 平地を走行したときの感覚	
	(4) 坂道を走行したときの感覚	
	(5) 衝突時の反応	
揺動情報	(6) 傾斜感覚の質	

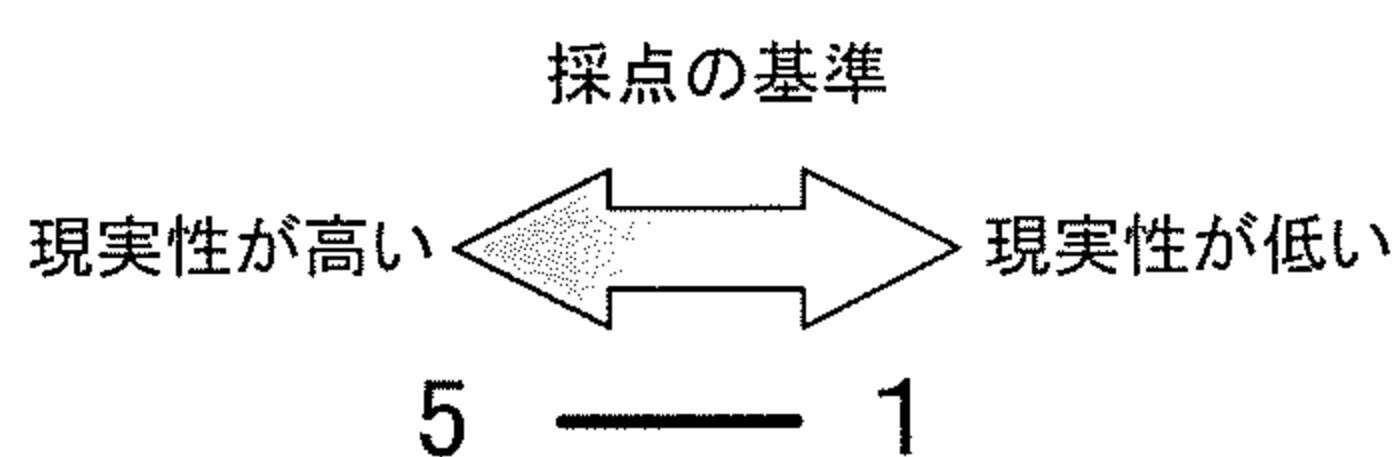


Fig. 7 Questionnaire survey subject and rule

(1)視覚の質では、視覚刺激から空間を認知できるかについて評価する。空間を認知できるかは、CGのリアルさにのみ依存するわけではなく、これまで現実空間で体験してきた物理法則が仮想空間でも遜色ないレベルで成立しているかということが重要になる。ここではそのことを踏まえ評価を行う。

(2)視覚提示装置の反応は、人の頭の動きを測定するセンシングシステムと画像提示との妥当性の評価をする。本システムでは、視覚情報は HMD によって提示されるため、被験者は頭部を自由に動かすことができる。ここで視覚情報と頭部の動きとを正しく関連付けられなければ、いわゆる CG 酔いという状況を引き起こす原因となる。そこで、自らの操作に連動した視覚情報の提示ができていないかを評価する。

人が外部の情報を得るとき、その情報の 8 割近くを視覚情報に頼るともいわれ、最も妥当な視覚情報の提示とはどのようなものかという視点に立った研

究も多い。このことからしても、上記したように視覚情報の妥当性を検証することは必要不可欠である。

(3)平地を走行したときの感覚、(4)坂道を走行したときの感覚および(5)衝突時の反応では、車椅子を操作するときに遭遇する典型的な状況の妥当性を評価する。これは、人が仮想空間内を動き回るときの操作的な現実感について評価することにあたる。

(6)傾斜感覚の質では、坂道を登った際の傾きのリアルさを評価してもらう。ここで、前実験と異なる点は、視覚情報が含まれるという点である。

各項目は実空間における感覚と仮想空間の感覚とが同じと感じられれば、満点として5点、全く異なっていれば、1点というような五段階評価で採点する。

### 5.2. 結果と考察

実験は20代前半の男子9人を対象に行った。なお、被験者は全員車椅子経験がない健常者である。

各被験者の評価結果を項目毎に平均したグラフを Fig.8 に示す。

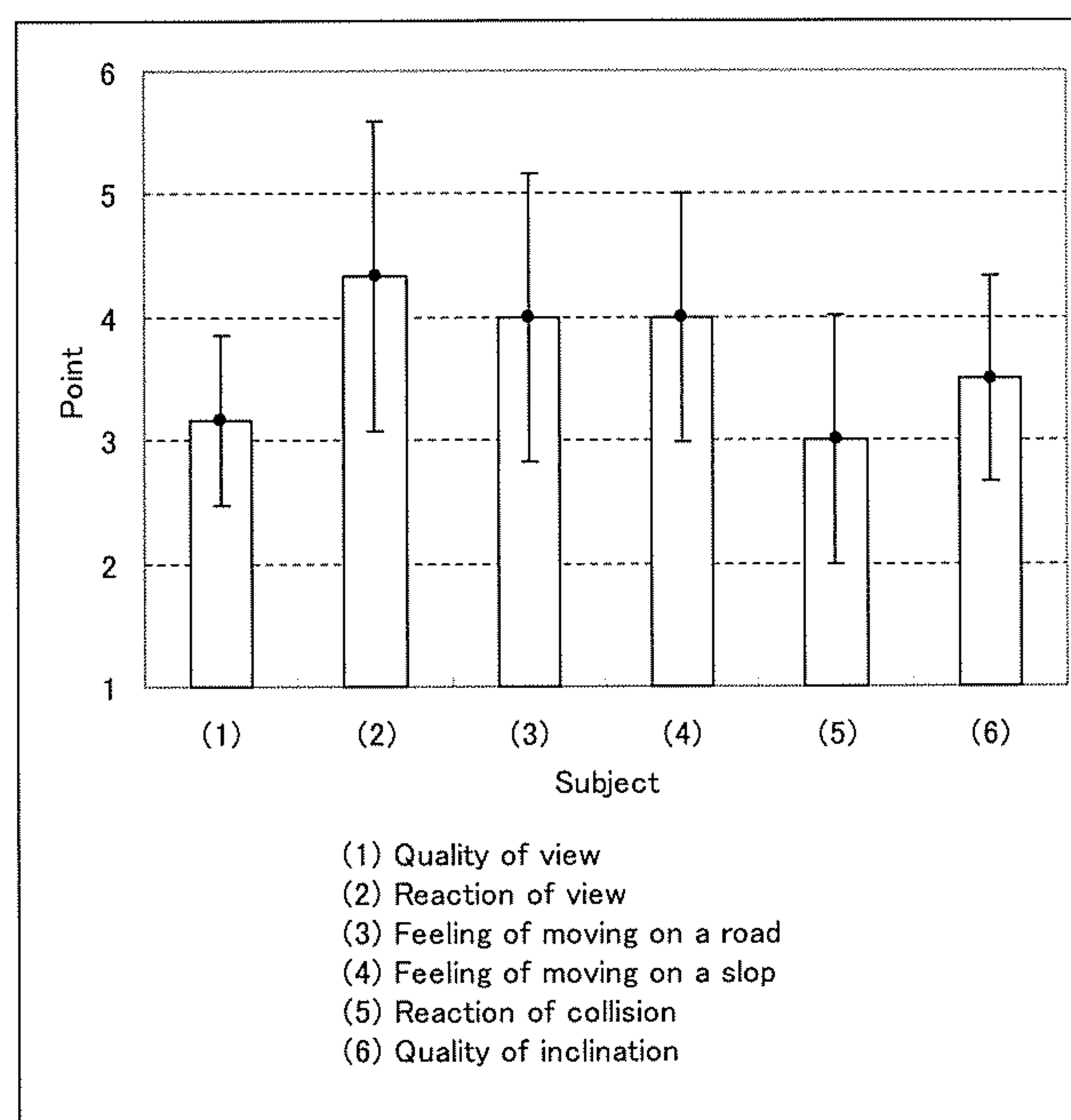


Fig. 8 Results of evaluate wheelchair simulator by questionnaire survey

評価結果は、どの項目もばらつきが少ないので、被験者間の個人差による影響は少ないものといえる。

この結果から、視覚提示装置の反応や、車椅子を漕いだときの感覚などは、現実にかかなり近い妥当性をもつことがわかった。

それに対し衝突時の反応(5)は評価が低い。これは安全性を考慮して、揺動装置による衝突時の加速度を少なめに設定していることに起因する。また、視覚の質(1)については、CGによる人工的感覚

と現実の世界との違いから比較的评价が低くなったと考えられるが、本シミュレータの使用目的を考えると、大きな問題はないものと考えられる。

この結果から本システムは、視覚に代表される情報の写実的現実感には若干の改善の余地があるものの、操作的な現実感は十分得られているといえる。

## 6. まとめ

本論文では、まず傾斜実験により、車椅子における傾斜認知に関係する平衡感覚、触圧覚、および力覚に関する検討を行った。

これをふまえ、本研究で構築したシステムの評価をしたところ、傾斜角度を認知するための情報提示に関しての妥当性を確認できた。システムが提示する情報を統合することで得られる現実感の評価においては、視覚情報の写実的な現実感は多少改善の余地があるものの、総合的にみた現実感については良好であるという結果を得た。

今後は、直進、回転、ブレーキ操作など車椅子をどのように操作するかという視点にたった評価および客観的生体情報を含めた検証を行い、より高度な現実感を得られるシステムの構築に努めていきたい。

## 謝辞

本研究の遂行に際し、多くのご助力を賜りました岐阜県生産情報技術研究所の田中泰斗氏ならびに岐阜大学工学部の土井達也氏に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

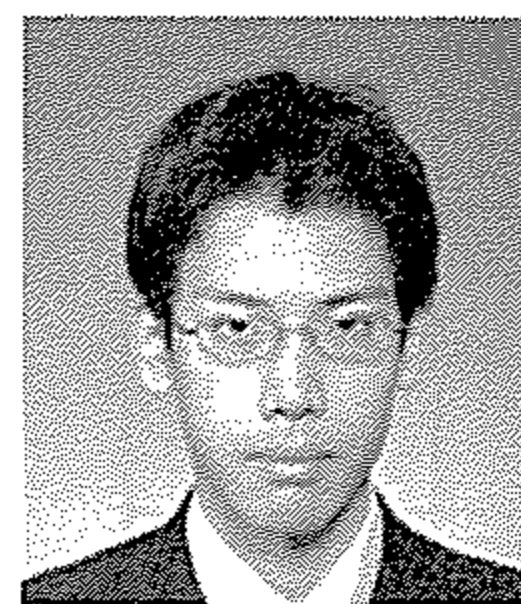
- [1]法務省人権擁護局, 人権の擁護, p.27, 2000
- [2]総務省行政管理局: 法令データ提供システム,  
<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>
- [3]井上剛伸, 廣瀬秀行, 塚田敦史, 石濱裕規, 数藤康雄, 岩崎洋, 清水健, 関寛之: 電動車いすシミュレータの活用事例ーリアリティ獲得のためのVR技術ー, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.3, pp203-210, 2001
- [4]藤本英雄, 陳連怡, 佐野明人, 櫻井陽一: 力覚呈示機能をもつ車いす仮想体験システムの試作と空間認知実験, 日本機械学会論文集(C編), Vol.64, No.628, pp.157-163, 1998
- [5]山田宏尚, 坂東直行, 武藤高義: 油圧6軸揺動装置を用いた手動車椅子体験シミュレータ, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.34, No.5, pp.14-19, 2003
- [6]J.B.Shung, G..Stout, M.Tomizuka and D.M. Auslander: Dynamic Modeling of a Wheelchair on a Slope, Journal of Dynamics Systems, Measurement, and Control, Vol.105, pp.101-106, 1983

- [7]広瀬通孝: バーチャルリアリティ, 産業図書, 1993
- [8]野村淳二, 澤田一哉: バーチャル・リアリティ, 朝倉書店, 1997
- [9]今田寛, 宮田洋, 賀集寛: 心理学の基礎, 培風館, 2003
- [10]大山正: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, 1994
- [11]田中泰斗, 安藤敏弘, 立川英治: 車いす利用者の仮想空間体験システム, 平成13年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No.4, 2002, pp.12-16

(2004年5月12日受付)

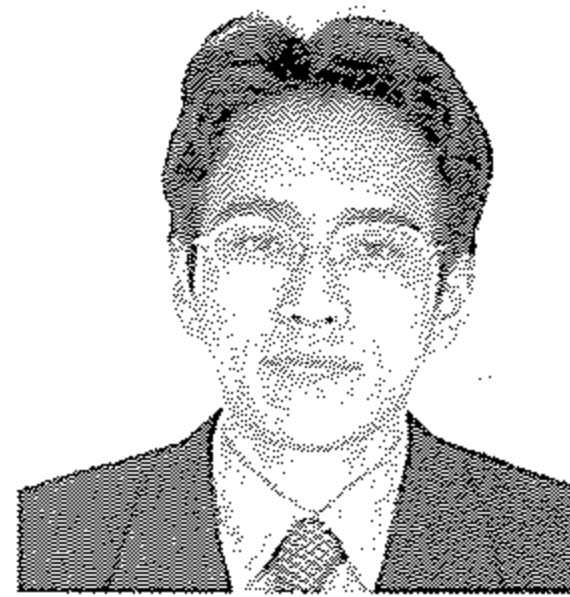
## [著者紹介]

### 坂東 直行



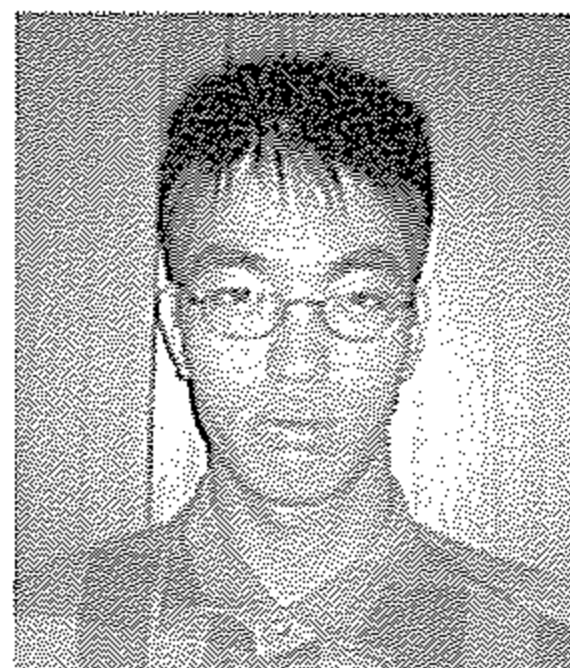
2002年岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年岐阜県に入庁。岐阜県生産情報技術研究所研究員を経て、2003年より岐阜県生活技術研究所研究員。日本機械学会、電子情報通信学会、情報処理学会の会員。

### 山田 宏尚 (正会員)



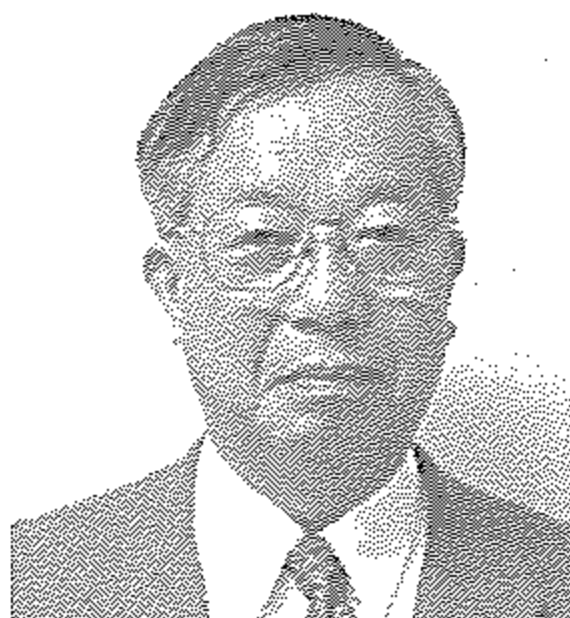
1991年名古屋大学大学院博士課程修了、名古屋大学工学部講師を経て1994年より岐阜大学工学部助教授。ロボット、フルードパワー制御、画像処理などの教育・研究に従事。日本機械学会、日本ロボット学会、日本フルードパワーシステム学会等の会員。工学博士。

### 仲野 宏司



2002年岐阜大学工学部機械システム工学科卒業、2004年岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年よりINAXに勤務。

### 武藤 高義 (正会員)



1964年岐阜大学工学部機械工学科卒業、同年名古屋大学工学部助手。1973年岐阜大学工学部講師を経て、同学人間情報システム工学科教授、2004年定年退官。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、日本ロボット学会等の会員。工学博士。