

# 電動車いすのための荷重移動操作インターフェースの実装と評価

大西, 将 / OONISHI, Masaru

---

(発行年 / Year)

2009-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2009-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

# 2008 年度 修士論文

車いすのための  
荷重移動操作インターフェースの実装と評価

指導教授 渡辺嘉二郎 教授

法政大学大学院工学研究科  
システム工学専攻修士課程

**07R6110**

オオニシ マサル

大西 将

## A STUDY OF AN INTUITIVE ELECTRIC WHEELCHAIR CONTROL INTERFACE BASED ON WEIGHT SHIFT

### **Abstract**

With society in Japan aging rapidly, electric wheelchairs are becoming increasingly important to enhance mobility for elderly people. The aim of our study is to develop an electric wheelchair which is driven by human intention. We try to extract the human intention from the weight shift on the wheelchair seat instead of the conventional joystick device. To design the system, we developed an experimental electric wheelchair that can measure the weight shift from the wheelchair seat. In order to measure the weight shift, we use three load cells to detect CG change. We evaluate effect CG change due to weight shift between on the flat area and slope area. And we also evaluate the two different implements according to cognitive aspect and safety aspect based on the Kansei approach.

**Key Words:** *weight shift, electric wheelchair, cognitive engineering, safety engineering, slope*

## －目次－

第1章	はじめに .....	- 3 -
1. 1	研究背景 .....	- 3 -
1. 2	ジョイスティックに代わる操作方法の現状.....	- 3 -
1. 3	荷重移動による操作方法.....	- 4 -
1. 4	物体を安全で直感的に操作する認知工学的と安全工学的の2つのアプローチ - 5 -	
1. 5	乗り物の荷重移動操作における認知工学的と安全工学的の2つのアプローチ - 5 -	
1. 6	斜面環境が荷重移動操作へ及ぼす影響.....	- 6 -
1. 7	研究目的 .....	- 6 -
第2章	提案する荷重移動操作インターフェースと問題の記述.....	- 7 -
2. 1	荷重移動操作インターフェースの構成.....	- 7 -
2. 2	問題の記述.....	- 7 -
第3章	荷重位置の測定 .....	- 8 -
第4章	斜面による荷重位置への影響の検証.....	- 9 -
第5章	2つのアプローチによる操作インターフェース デザインの構築.....	- 11 -
5. 1	認知工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインの構築	- 14 -
5. 2	安全工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインの構築	- 15 -
第6章	2つのアプローチによる操作性の違いの検証.....	- 16 -
第7章	斜面環境における荷重操作インターフェースの 操作性の検証.....	- 19 -
第8章	むすび .....	- 22 -
参考文献	.....	- 23 -
付録	.....	- 24 -
付録 A	使用器具緒言 .....	- 24 -
付録 B	頭部操作による直感的な操作インターフェース .....	- 26 -
1	頭部操作インターフェースの開発目的.....	- 26 -
2	人間の平衡感覚の知覚 .....	- 26 -
3	頭部操作インターフェース .....	- 27 -
4	実験 .....	- 29 -
謝辞	.....	- 30 -
活動実績	.....	- 31 -
研究業績	.....	- 32 -

---

## 第1章 はじめに

### 1. 1 研究背景

総務省統計局の調査によると、2005 年における日本の 65 歳以上の人口比率は、総人口の 19.9%を占めている。また、2020 年には日本の総人口の 25%以上が 65 歳以上になると予想されている。高齢者比率の増加に伴い、要介護率を押し上げる原因である 75 歳以上の後期高齢者比率の増加も考えられる。このような状況の中で、介護者の負担を減らす道具として福祉機器に対する関心が高まっている[1]。特に、要介護者の移動手段として、腕力や身体能力をほとんど必要としない電動車いすの有用性、必要性については広く認識されている[2]。

しかし、一方で電動車いすの利用者数の増加に伴い、誤操作による事故件数も増加しており、近年、電動車いすの操作性についての研究が盛んになってきている[3]~[6]。

現在、最も主要な電動車いすの操作インターフェースはジョイスティックタイプのものである。しかし、この操作インターフェースが抱える問題として電動車いすの主な利用者である高齢者の大半がジョイスティックに触れることが初めてで、扱い方に慣れていないという点が挙げられる。一般的に、初めて触れるものに慣れるまでにはある程度の理解や学習が必要となる。そのためジョイスティックによる操作方法は理解や学習の段階において操作ミスによる事故を誘発すると考えられる。そのため、少ない理解や学習で安全な操作を可能にするためには、ジョイスティックに代わるより直感的で安全な操作方法を利用したインターフェースの実装が必要であると考えられる。

### 1. 2 ジョイスティックに代わる操作方法の現状

現在、ジョイスティックに代わる操作方法として、例えば音声(Fig.1)や脳波(Fig.2)などを利用する方法が存在する[7]~[8]。音声操作を利用した操作方法は操縦者の音声を認識し、その指示により操作する方法である、しかし、この方法では思考から操作までのプロセスの間に声を発するという操作が必要になるため、操縦者の意図を瞬時に認識する直感的で安全な操作方法としては適当でないと思われる。また、脳波を利用した操作方法は脳波計を頭部に装着し脳波から搭乗者の意図を読み取る方法である、この方法は車いすの直感的な操作に最も有効で確実な方法と思われるが、操縦者の精神状態により正しい計測ができないなど、実現させる上で大きな問題点がある、このように、従来からある方法では「操作性」、「実用可能性」の面のそれぞれにおいての大きな課題が存在する。これらの観点から本研究では電動車いすの操作方法として操縦者の意図を瞬時にそして簡易的に読み取る操作方法として荷重移動を適応する。



Fig.1 Voice Controlled Wheelchair



Fig.2 Brain-Controlled Wheelchair

### 1. 3 荷重移動による操作方法

荷重移動による操作方は直感的で安全な操作方法として以前から現代まで直感的で安全な操作方法として広く利用されてきている方法である．例えば自転車やバイクなどの二輪車両においてカーブを旋回するとき (Fig.3)，ドライバーは無意識的に進行方向に荷重をかけカーブを旋回している．一方で電車のワンハンドル式コントローラでは (Fig 4)電車の加減速に伴う慣性力により運転手に掛かる荷重の方向の違いを利用して安全に操作できるように設計されている．

しかし，荷重移動による操作を車椅子の操作に適応する場合，より安全で直感的な操作を実現するためには，2つの異なるアプローチについて考慮する必要がある．



Fig.3 Motorbike cornering



Fig.4 One handle master controller

#### 1. 4 物体を安全で直感的に操作する認知工学的と安全工学的の2つのアプローチ

物体を安全で直感的に操作するアプローチとして、認知工学的アプローチと安全工学的アプローチが存在する。認知工学的アプローチは人間がイメージしやすい行動を基に実現する方法である。一方で安全工学的なアプローチは、人間がとっさに行ないやすい行動を優先し、挙動を割り当てていく方法である。例えば、水道の蛇口の場合これらのアプローチが混在しており、認知工学的アプローチを利用した場合には、レバーを下げることで水が出ることを連動させることで感覚的にイメージしやすくしている。また、安全工学的アプローチを利用した場合には、レバーを下げた状態において水が止まるようにすることで、非常時に安全に水が止まりやすくなるような仕組みになっている。蛇口の場合と同様に乗り物の操作インターフェースの場合においてもアプローチの方法は混在しており、自転車やバイクなどの二輪車両の操作では認知工学的アプローチ、電車の操作では安全工学的アプローチが採用されている。

#### 1. 5 乗り物の荷重移動操作における認知工学的と安全工学的の2つのアプローチ

乗り物の操作として安全工学的アプローチ・認知工学的アプローチはそれぞれ次のように利用されている。まず、乗り物の操作における認知工学的アプローチは乗り物の進行方向と操作インターフェースの荷重方向を一致させることで操作イメージをつきやすくするように設計されている。例えば、自転車やバイクなどの場合には、進行方向に対し、右側にカーブする時には、荷重を右側に加えるか、ステアリングを右側に回転するなど、進行方向と操作方向を同期させている。一方で安全工学的アプローチは乗り物が急な加減速した場合に操作における荷重方向を運転手にかかる慣性力の方向と一致させることで緊急時に安全な操作ができるように設計されている。例えば、電車のワンハンドル式コントローラにおいて、運転手が速度を上げる場合には、加速度レバーを手前に引くことで速度を上げている。これは、急停止したい場合、人間の体は、慣性力により前方にかかるため、レバーを前方に押すほうが、停止時に有利なためである。Fig.5 に乗り物の操作における認知工学的と安全工学的の2つのアプローチの実装例の概要図を示す。

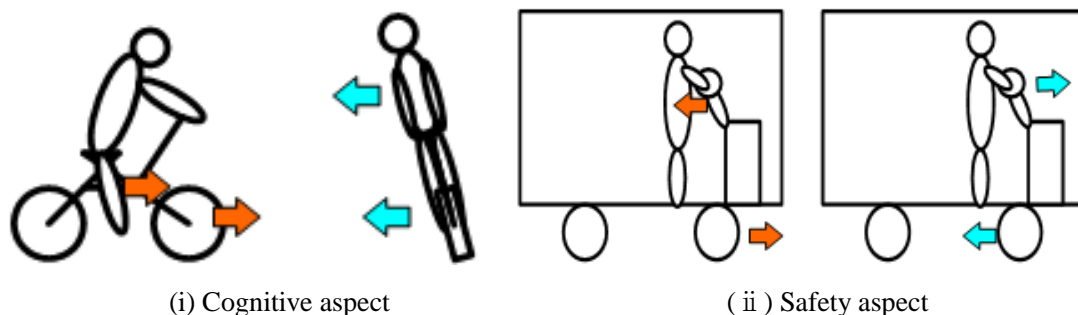


Fig.5 Two control approaches to control vehicle

### 1. 6 斜面環境が荷重移動操作へ及ぼす影響

しかし、荷重操作インターフェースを用いて、電動車いすの操作を行なう場合、Fig.6 に示されるように異なる斜面環境において「荷重位置のずれ」が発生する可能性が考えられる。「荷重位置のずれ」は荷重移動による操作に大きな影響を及ぼす可能性があるため、斜面環境が荷重移動操作インターフェースにどのような影響があるかについて考慮する必要がある。

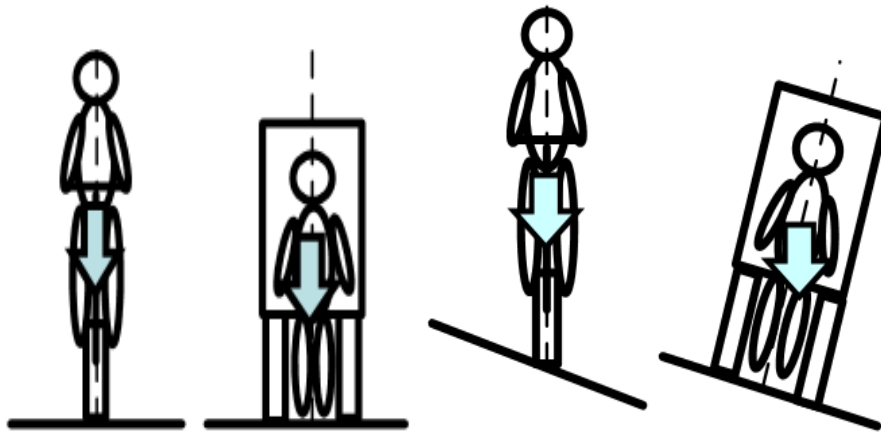


Fig.6 CG positions of the two-wheel vehicle and four-wheel vehicle on flat and slope area

### 1. 7 研究目的

本研究では荷重移動操作インターフェースを利用した電動車いすのためのより直感的で安全な操作インターフェースの実現を目的とし、まず、斜面環境が荷重位置に及ぼす影響の検証を行なう。そして、検証結果の元で2つのアプローチに基づいた操作デザインを作成し、それぞれの操作デザインが車いすの操作性に及ぼす影響について検証を行う。そして最後に2つのアプローチの中でより適しているアプローチに関して斜面環境における操作性についての検証を行なう。



## 第2章 提案する荷重移動操作インターフェースと問題の記述

### 2. 1 荷重移動操作インターフェースの構成

Fig.7 に本研究において製作した電動車いす操作のための荷重移動操作インターフェースの概要図を示す。図に示されるように荷重位置測定部は 3 つの圧力センサから構成され、電動車いすの座席上に配置される。

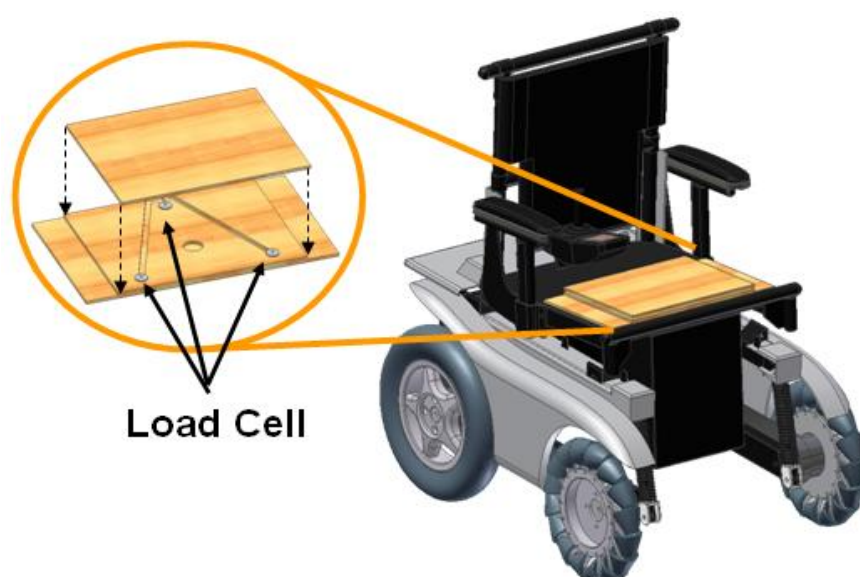


Fig.7 Load movement interface for electric wheelchair

### 2. 2 問題の記述

以下に直感的で安全な操作インターフェース実現のための具体的な問題点を記述する。

- (P1) 荷重移動の測定
- (P2) 斜面における搭乗者の姿勢と荷重位置への影響
- (P3) 2つのアプローチに基づいた操作デザインの構築
- (P4) 2つのアプローチに基づいた操作デザインの特徴の比較検討
- (P5) 斜面における荷重移動操作への影響

### 第3章 荷重位置の測定

まず、問題(P1)の荷重移動の測定について考える．本研究では操縦者の意図を操縦者の荷重移動から読み取るため、3箇所の圧力センサから得られた、荷重位置情報を利用している．荷重位置計測部の座標系と電動車いすの進行方向を Fig.8 のような対応関係とすると、荷重位置は次の式により 3 箇所の圧力センサから求めることが出来る．

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \frac{\left( P_A \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix} + P_B \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \end{bmatrix} + P_C \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix} \right)}{P_a + P_b + P_c} \quad (1)$$

- $(g_x, g_y)$  : 荷重位置座標  
 $(P_a, P_b, P_c)$  : 3 箇所の圧力センサからの圧力情報  
 $(A_x, A_y), (B_x, B_y), (C_x, C_y)$  : 3 箇所の圧力センサの位置座標

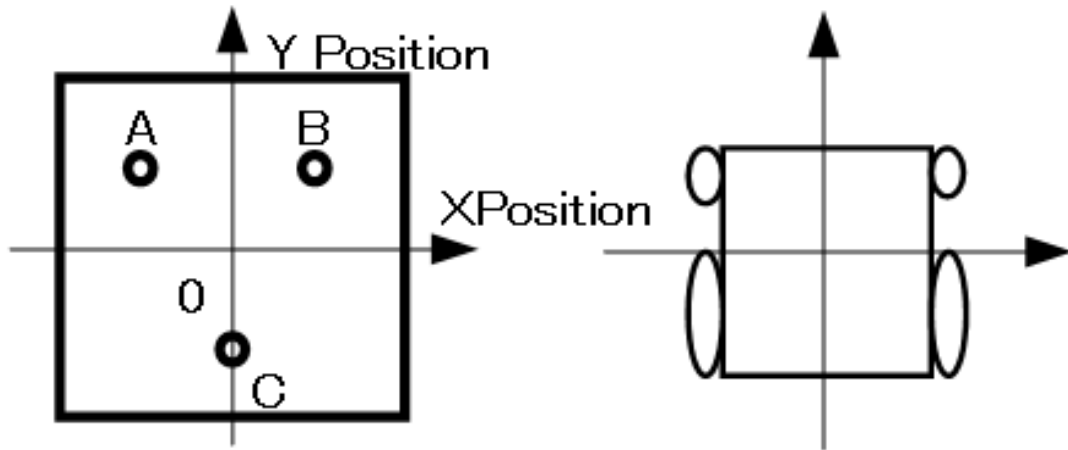


Fig.8 Correspondence between coordinate system of load movement interface and direction of movement of electric wheelchair

## 第4章 斜面による荷重位置への影響の検証

(P2) 斜面における搭乗者の姿勢と荷重位置への影響を検証するため、本装置を電動車椅子に搭載し、斜面上において数名の被験者に搭乗してもらうことで静止斜面上における搭乗者の姿勢と荷重位置の計測を行なった。検証実験は Fig.9 に示されるように、平面・上り坂斜面・左下がり斜面において行い、斜面においては傾斜の違う2種類( $4^{\circ}$ ,  $7.5^{\circ}$ )の斜面において荷重位置の測定を行なった。

Fig.10 に実験の様子、そして Table 1 に実験から得られた結果を示す。

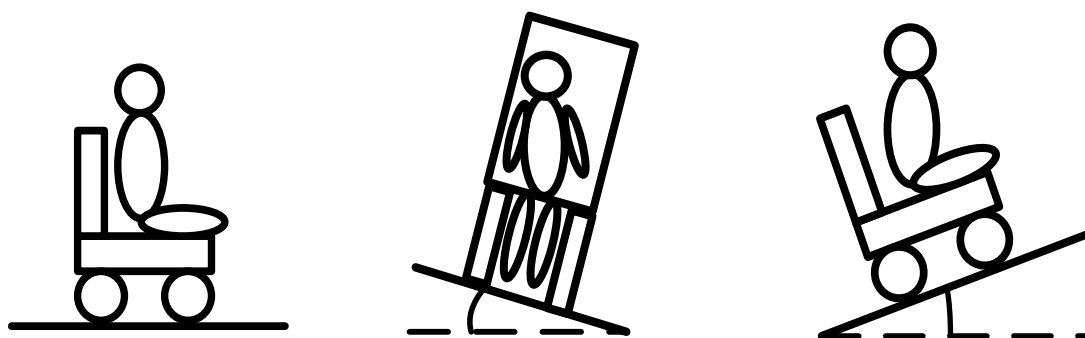


Fig.9 Experimental environment



Fig.10 Appearance of the experiment

Table 1 Relation between CG position and slope

		CG position of the lengthwise direction of the vehicle[mm]	CG position of the cross direction of the vehicle[mm]
Flat area		-0.43	0.25
Hill climbing slope	4°	-1.03	-1.03
	7.5°	-0.38	-1.55
Left down slope	4°	-1.53	1.28
	7.5°	-1.65	-1.05

結果より、平面と斜面との荷重位置の差は微少であるため傾斜状況の変化が荷重位置に与える影響はほとんどないことが言える。またこれより人間が傾斜環境において車いすに搭乗した場合、ほぼ荷重位置が中心になるような姿勢、つまり座席面に掛かる圧力が一定になるということが分かる。

---

## 第5章 2つのアプローチによる操作インターフェース

### デザインの構築

(P3) 2つのアプローチに基づいた操作デザインの構築を行なうにあたり、本研究では2つのアプローチの違いをより明確にするため、Fig.11 に示されるような荷重位置と荷重位置の移動速度を用いたファジィ制御によるコントロールシステムを製作した。コントロールシステム内のファジィ制御は Table 2 に示されるような 49 の制御規則から構成され、PD 制御を模した制御規則と静止摩擦力を軽減する制御規則を併合して適応することで、運転手の意図をより正確に伝達するようにしている。

PD 制御を模擬したファジィ制御として本研究では次のような制御規則を適用した。

1. IF(「荷重位置が前方で中心からの距離が大きい」かつ「荷重位置の移動速度が前方向で早い」) THEN「車椅子を大きく前進」
2. IF(「荷重位置が前方で中心からの距離が大きい」かつ「荷重位置の移動速度が後ろ方向で早い」) THEN「車椅子を少し前進」
3. IF(「荷重位置が右側で中心からの距離が大きい」かつ「荷重位置の移動速度が右方向で早い」) THEN「車椅子を大きく右旋回」
4. IF(「荷重位置が右側で中心からの距離が大きい」かつ「荷重位置の移動速度が左方向で早い」) THEN「車椅子を少し右旋回」

また、静止摩擦力を軽減するためのファジィ制御として以下のような次のような制御規則を適用した。

1. IF(「荷重位置が前方で中心からの距離が小さい」かつ「荷重位置の移動速度が前方向で遅い」) THEN「車椅子を大きく前進」
2. IF(「荷重位置が後方で中心からの距離が小さい」かつ「荷重位置の移動速度が後ろ方向で遅い」) THEN「車椅子を大きく後退」
3. IF(「荷重位置が右側で中心からの距離が小さい」かつ「荷重位置の移動速度が右方向で遅い」) THEN「車椅子を大きく右旋回」
4. IF(「荷重位置が左方で中心からの距離が小さい」かつ「荷重位置の移動速度が左方向で遅い」) THEN「車椅子を大きく左旋回」

Fig.12 と Fig.13 に2つの操作インターフェースにおいてファジィ制御で用いたメンバーシップ関数を示す。

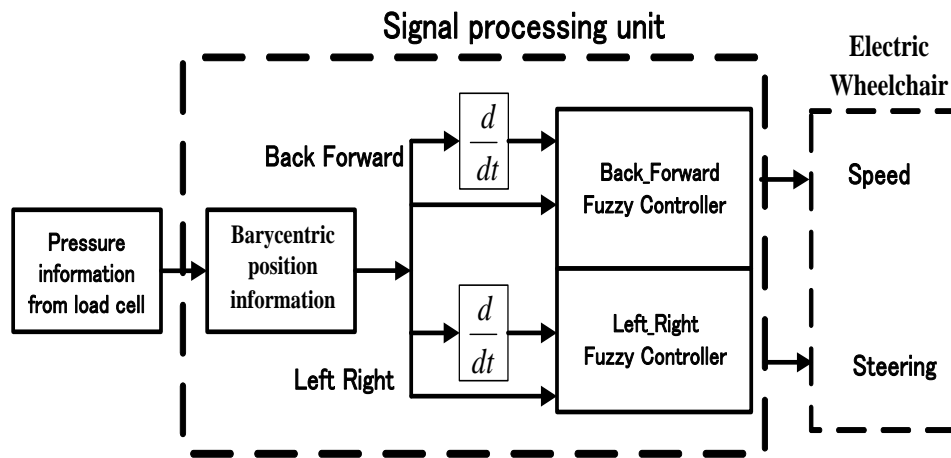


Fig.11 Fuzzy control system

Table 2 Fuzzy rule table for speed control

		Barycentric position						
		B	M	S	Z	-S	-M	-B
Barycentric movement speed	B	B	B	B	M	S	Z	-S
	M	B	B	M	S	Z	-S	-M
	S	B	M	B	Z	-S	-M	-B
	Z	B	M	S	Z	-S	-M	-B
	-S	B	M	S	Z	-B	-M	-B
	-M	M	S	Z	-S	-M	-B	-B
	-B	S	Z	-S	-M	-B	-B	-B

(B : Big M : Middle S : Small Z : Zero)

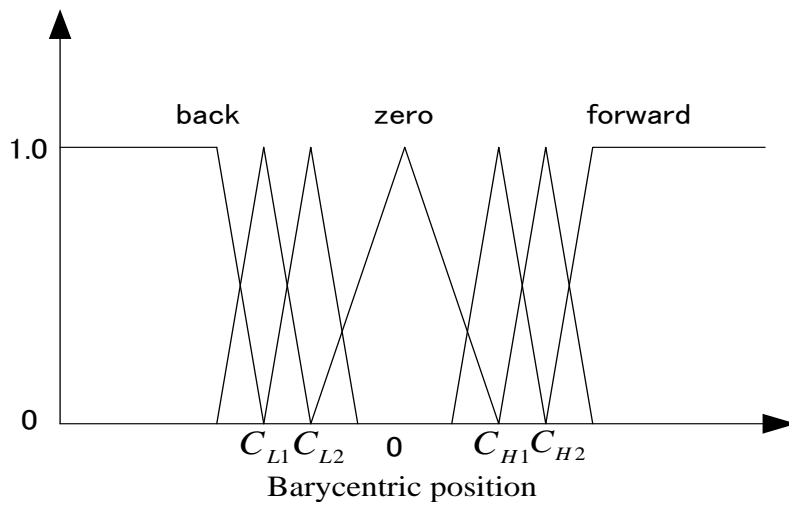


Fig.12 Fuzzy membership functions for the barycentric position input movements

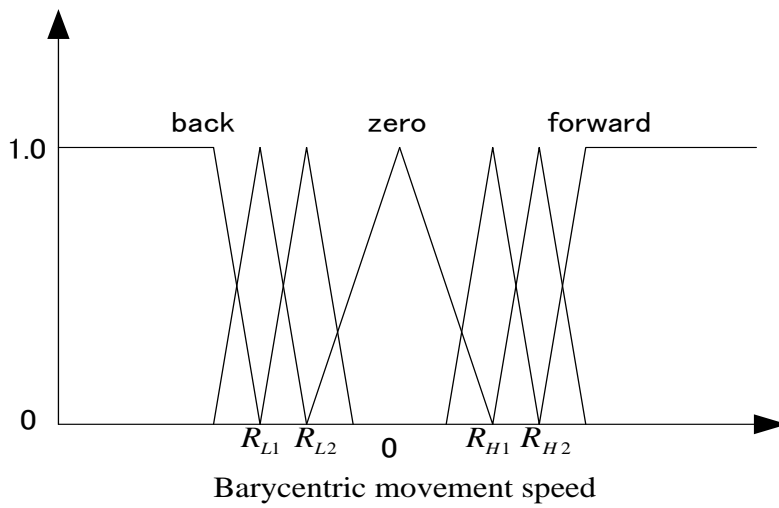


Fig.13 Fuzzy membership functions for the barycentric movement speed input movements

## 5. 1 認知工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインの構築

認知工学的アプローチに基づいた制御アルゴリズムとして人間の二輪車の運転による振る舞いを模倣したファジィ推論システムを使用する。例えば、自転車やバイクが曲がり道を右にカーブするとき、ドライバーは無意識に荷重を右側へ移動させている。

そこで本論文ではこれらを踏まえた主観的な考えに基づき、直感性を考慮した操作方法として次のような制御規則を適用する。

1. IF(「荷重位置が前方」かつ「荷重位置の移動速度が前方向」)  
THEN「車椅子を前進」
2. IF(「荷重位置が左側」かつ「荷重位置の移動速度が左方向」)  
THEN「車椅子を左旋回」
3. IF(「荷重位置が後方」かつ「荷重位置の移動速度が後ろ方向」)  
THEN「車椅子を後退」
4. IF(「荷重位置が右側」かつ「荷重位置の移動速度が右方向」)  
THEN「車椅子を右旋回」

認知工学的アプローチに基づいたファジィ制御による荷重位置と荷重位置の移動速度による車椅子の速度変化を Fig.14 に示す。

次の関係は車椅子の旋回においても同様である。

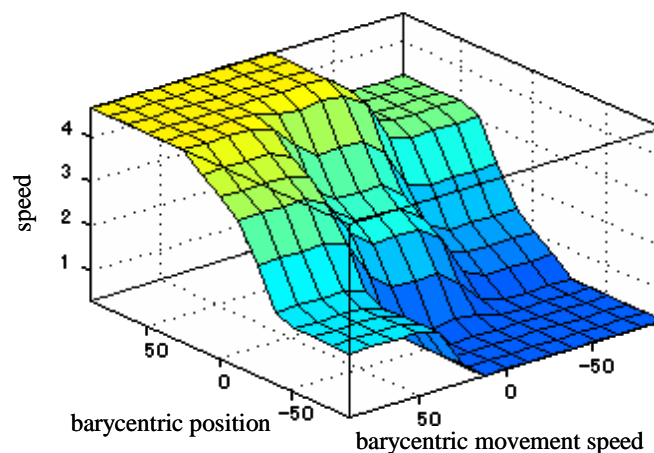


Fig.14 Fuzzy surface for the membership functions of the barycentric position and the barycentric movement speed, for the speed



## 5. 2 安全工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインの構築

安全工学的アプローチに基づいた制御デザインに対しては電車のワンハンドルコントローラの振る舞いを模倣した推論システムを使用した。例えば、電車のワンハンドルコントローラの場合、加速時には、レバーを手前に引くことで速度を上げ、減速時にはレバーを押すことで慣性力に逆らわずに安全に操作ができるようにしている。

そのため本論文ではこれらを踏まえた主観的な考えに基づき、安全工学的アプローチに基づいた操作方法として次のような制御規則を適用する。

1. IF(「荷重位置が前方」かつ「荷重位置の移動速度が前方向」)  
THEN「車椅子を後退」
2. IF(「荷重位置が左側」かつ「荷重位置の移動速度が左方向」)  
THEN「車椅子を右旋回」
3. IF(「荷重位置が後方」かつ「荷重位置の移動速度が後ろ方向」)  
THEN「車椅子を前進」
4. IF(「荷重位置が右側」かつ「荷重位置の移動速度が右方向」)  
THEN「車椅子を左旋回」

安全工学的アプローチに基づいたファジィ制御による荷重位置と荷重位置の移動速度による車椅子の速度変化を Fig.15 に示す。

また、次の関係は認知工学的アプローチと同様に車椅子の旋回においても同様である。

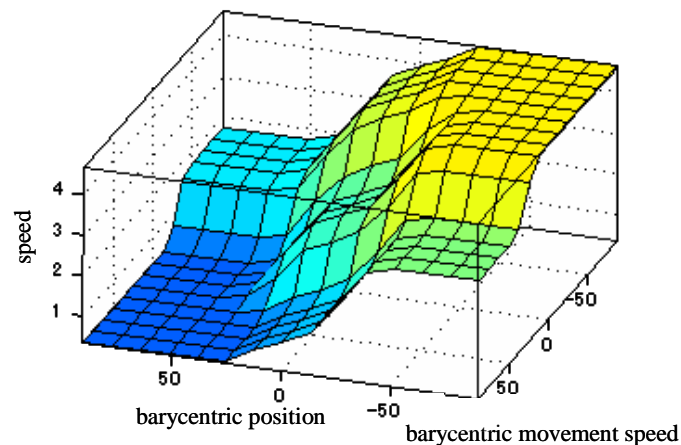


Fig.15 Fuzzy surface for the membership functions of the barycentric position and the barycentric movement speed, for the speed

## 第6章 2つのアプローチによる操作性の違いの検証

(P4) 2つのアプローチに基づいた操作デザインの特徴の比較検討を行なうため、本装置を電動車椅子に搭載し、数名の被験者に操作してもらい、装置の走行テストを行った。

走行テストは、2つのデザインの特徴をつかむため(1)5mの走路を直進、(2)2本のパイロンの間を旋回しながら走行、(3)50cm先のバーに接近停止の3つのパターンを行った。またこれらの走行テストを終了後、2つのデザインによるインターフェースの操作性についてアンケート調査を行った。Fig.16に走行テストの走路の概要図、そしてFig.17に走行テストの様子を示す。

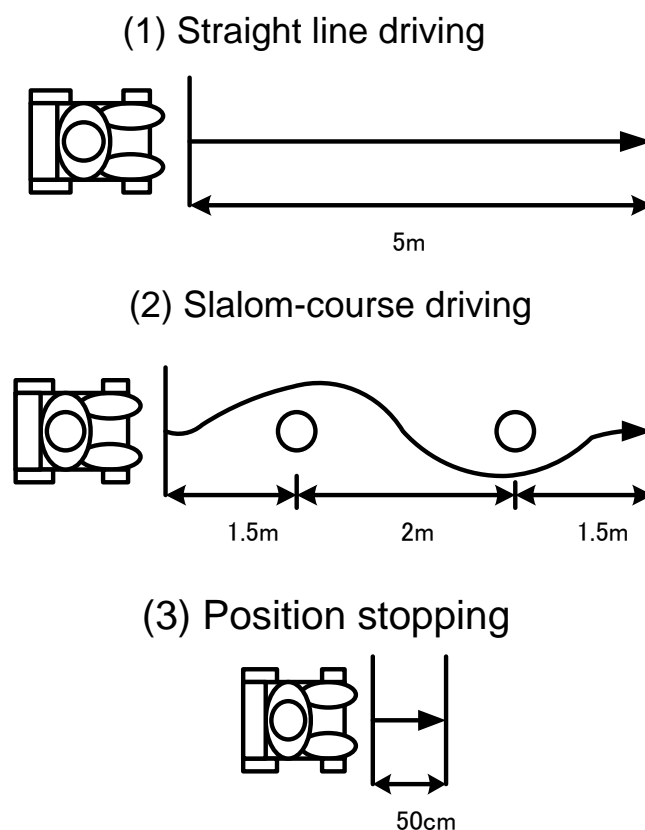


Fig.16 Course for driving experiments



Fig.17 Appearance of the experiment

まず、認知工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインを用いた走行テストのアンケート結果を Table 3 に示す。

また、口頭によるアンケート調査により、次のような感想を得た。

- ・ 体重移動による操作方法はイメージしやすく、すぐにコツを掴むことができた。
- ・ スピードが上がっている車いすを停止させるときに、上体を起こして停止させることが難しい。

Table 3 Questionnaire results

Participant	Comfortable	Lucidity	Habituation	Sense of stability in acceleration	Sense of stability in deceleration
	1:Bad-5:Good	1:Bad-5:Good	1:Slow-5:Fast	1:Bad-5:Good	1:Bad-5:Good
Participant	5	5	4	2	2
Participant	4	5	4	2	3
Participant	3	5	4	3	1
Participant	3	5	4	3	2
Participant	1	3	2	3	2
Participant	4	4	3	3	3
Participant	3	3	3	3	1
Participant	2	4	3	2	2
Average	3.13	4.25	3.38	2.63	2.00
Standard deviation	1.17	0.83	0.70	0.48	0.71

次に、安全工学的アプローチに基づいた操作インターフェースデザインを用いた走行テストのアンケート結果を Table 4 に示す.

また、口頭によるアンケート調査により、次のような感想を得た.

- ・ 体の反動を利用して停止を行うため、無理なく安全に停止を行うことができた.
- ・ 無意識に右に行きたいときは右に、反対に行きたいときは反対に体を傾ける必要があるため、慣れるまで時間がかかった.

Table 4 Questionnaire results

Participant	Comfortable	Lucidity	Habituation	Sense of stability in acceleration	Sense of stability in deceleration
	1:Bad-5:Good	1:Bad-5:Good	1:Slow-5:Fast	1:Bad-5:Good	1:Bad-5:Good
Participant	2	2	2	4	4
Participant	1	2	1	3	3
Participant	2	2	3	2	4
Participant	2	2	1	3	3
Participant	1	1	3	4	3
Participant	2	2	2	3	4
Participant	2	2	2	3	3
Participant	2	2	1	4	4
Average	1.75	1.88	1.88	3.25	3.50
Standard deviation	0.43	0.33	0.78	0.66	0.50

アンケートの結果より、認知工学的アプローチに関しては特に「操作時の分かりやすさ」や「慣れの早さ」といった学習面や認知面に関する評価が高くなるという結果を得た. 一方で、安全工学的アプローチに関しては「停止時の安定感」や「走行時の安定感」など操作時の安定性の面において評価が高くなるという結果を得た. また走行後の感想においても同様の特徴を得た. また、全体的な評価として荷重移動インターフェースの操作に関しては一般的にジョイスティックなどで利用されている、認知工学的アプローチに関する操作方法の評価が高くなるという結果となった.

---

## 第7章 斜面環境における荷重操作インターフェースの 操作性の検証

次に、(P5) 斜面における重心操作における影響を検証するために本装置を電動車椅子に搭載し、数名の被験者に操作してもらうことで、装置の走行テストを行った。また、操作におけるアプローチは操作性におけるアンケートにおいて平均的に高い結果となった認知工学的アプローチに基づいた操作方法を採用した。

走行テストは、斜面と平面の違いを明らかにするため Fig.18 のような平面と斜面の環境下において、まず、斜面環境下において(1)左下がりの坂道を横断、(2)登坂斜面を 2m 先のパイロンに接近停止、(3) 登坂斜面を 2 本のパイロンの間を旋回しながらスラローム走行の 3 つのパターンを行い、また平面においても同様の実験を行なった。さらに操作後、被験者にそれぞれのパターンにおいて意図通りに操作できたかについて 5 段階評価でアンケートを行なった。Fig.19 に走行テストの走路の概要図、そして Fig.20, Table 5 において走行実験の様子、そして走行実験におけるアンケート結果を示す。



(a)Flat area

(b)Slope area

Fig.18 Experimental environment

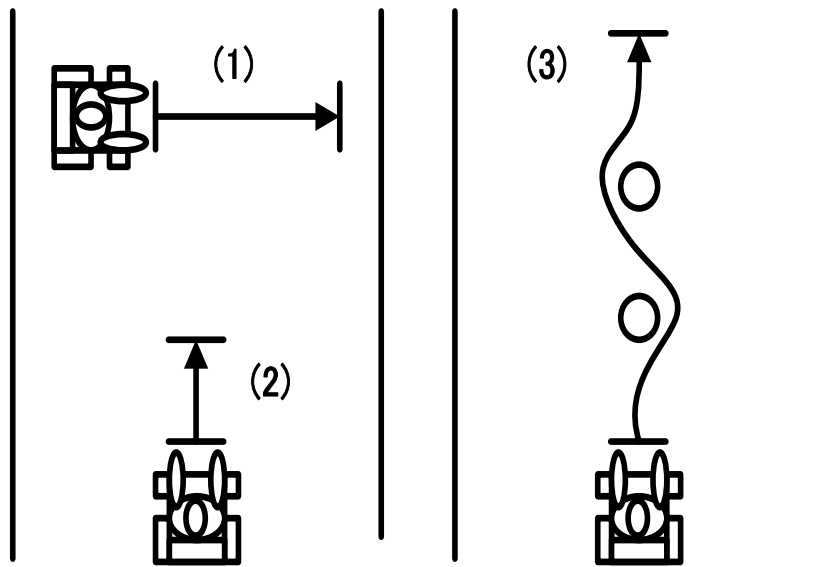


Fig.19 Course for driving experiments

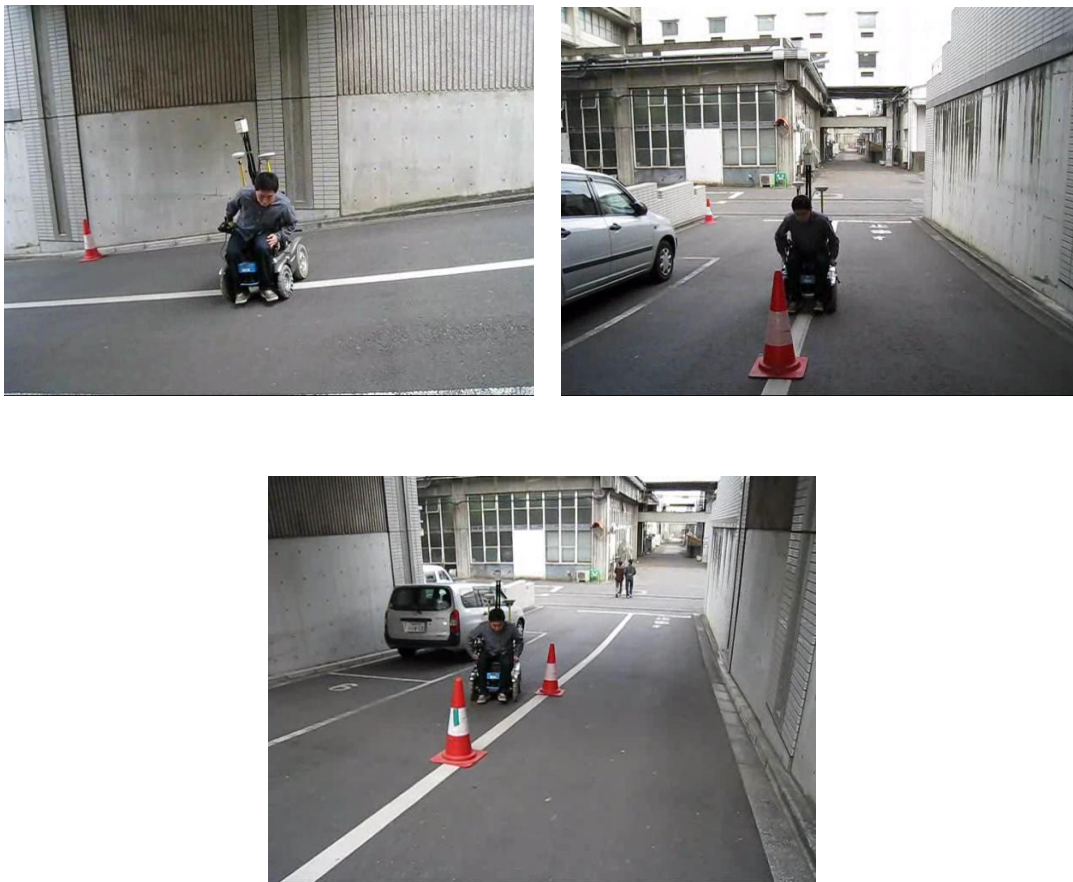


Fig.20 Appearance of the experiment

Table 5 Questionnaire results

	(a)Flat area	(b)Slope area
(1)Straight line driving	4.5	2.2
(2)Position stopping	3.4	3.5
(3)Slalom-course driving	4.1	3.7

この結果から、斜面状況において荷重移動により操作をした場合、斜面を横断した場合において操作性の低下が大きく見られることが分かる。そのため、斜面という環境では回転操作の走行性能が低下することが分かる。

---

## 第8章      むすび

本論では、電動車いすの操作性向上のため、荷重移動操作インターフェースを提案した。

また、この操作インターフェースの実装例として、認知工学に基づいた実装例、安全工学に基づいた実装例の2つのアプローチにより操作インターフェースをデザインし、実装した。さらにこれらの操作性について、複数の被験者にアンケートを行い、2つのアプローチによるデザインの比較検討を行った。また、アプローチの違いに伴う操作性の検証前に、検証において影響を及ぼすと考えられる、異なる斜面状況による「荷重位置のずれ」についての検証も行なった。

まず、斜面における影響の検証の結果、斜面において静止状態で車いすに搭乗した場合、ほぼ荷重位置が中心になるような姿勢、つまり座席面に掛かる圧力が一定となり影響がないという結果が得られた。

また、認知工学に基づいた実装例として荷重位置の移動方向と車いすの方向を一致させた操作デザインを使用し、安全工学に基づいた実装例として荷重の移動方向と車いすの移動方向を反対とする操作デザインを使用した。

そして、2つのデザインについてのアンケートによる検証の結果、認知工学に基づいたデザインでは操作時の分かりやすさや慣れの早さといった学習面や認知面において、安全工学に基づいたデザインでは停止時の安定感や走行時の安定感など安心面において評価が高くなるという結果を得た。

また、斜面における操作性の検証の結果、荷重移動による操作方法は、斜性斜面という環境において回転操作の走行性能が低下することが分かった。



---

## 参考文献

- 1) 2007 日本機械学会誌, 「ホームケアテクノロジー\_健康長寿をめざして」, 1998年1月号
- 2) 島田, 石村, 和田, 「身体特性適合型操作を可能にする電動車いすの開発」, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会, 3I24, 2002
- 3) 藤田, 和田, 「乗り手にやさしい電動車椅子の実現に関する研究」, 日本機械学会論文集, vol.66, pp.1645-1651, 2000
- 4) 藤井, 和田, 「ユーザの使いやすさを考慮した電動車椅子制御系の構築 システム行列の区間変動下における制御性能を考慮した設計」, 日本ロボット学会誌, vol.19, pp.84-89, 2001
- 5) 坂野, 植松, 江西, 大川, 梶原, 吉安, 金澤, 山口, 「高齢障害者における操作機種別電動車いす操作特性の検討」, 社団法人日本理学療法士協会 vol.31, pp.34, 2004
- 6) 奥村, 藤原, 上野, 「ハンドル型電動車いすの操作性・快適性に関する生体力学的考察」, 産業保健人間工学学会, vol.7, pp.1-8, 2006
- 7) 手嶋, 内山, 「音声指令による電動車いす制御法」, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, Vol.1999, p. 599, 1999
- 8) G. Vanacker, J. d. R. Millán, E Lew, et al, 「Context-based filtering for assisted brain-actuated wheelchair driving」, Computational Intelligence and Neuroscience, Vol.2007, p. 3, 2007

## 付録

### 付録 A 使用器具緒言

Table A-1 に本実験で使用した電動車いすの仕様を示す.

Table A-1 車体の仕様

形式・種類		KMC-0001 型・KMC
寸法 (mm)	前兆×全幅×全高	長 980×幅 625×高 930
	アームレストクッション高さ	シート上面より 150 から 300 5 段階調節
重量 (Kg)	本体	70
	バッテリー含む	100
前輪径(前後輪空気入りタイヤ) (mm kpa)		後輪 3.00-8-4PR (径 350 空気圧 294～314)
フレーム構造及び寸法(mm)		上下分割式:シート, アームレスト, レッグパイプ着脱 シート幅 390 シート奥行き 400 バックレスト高さ 435
リクライニング		5 段階調節機構(85～105 度)
駆動方式		4 輪駆動
制動方式		モータ発電及び電磁ブレーキによる制動方式
制御方式		ジョイスティックコントローラによる全方向電子制御方式
駆動モータ		DC ブラシレス 24V 280W×2(30 分定格)
バッテリー		LC-XC1238AJN 形鉛蓄電池
充電器		電子タイマー付自動充電方式(車載可能)
受電時間		8～12 時間
速度		最高速 6km/h 速度切り替え 3 段階:3.0, 4.5, 6.0 (4.5～6.0 変更可)
連続走行距離(km)		算出条件:常温で乗車重量 75kg, 最高速度, 平坦路 直進時, バッテリー新品満充電から 70%放電まで 30km
実用登坂角度(度)		10
段差乗越高さ:前進時		80
溝乗越幅(mm)		100
最小回転半径(mm)		測定条件:フットレストの最も外側の軌跡 790
使用者最大体重(kg)(積載物含)		100 以下

Table A-2 に本実験で使用した圧力センサの仕様を示す.

Table A-2 圧力センサの仕様

定格容量	$\pm 500\text{N}(50.99\text{kgf})$
固有振動数	約 43.9kHz
許容過負荷	150%
定格出力	0.75~2mV/V
非直線性	$\pm 1\%\text{RO}$ 以内
ヒステリシス	$\pm 1\%\text{RO}$ 以内
奨励印加電圧	1~5V AD または DC
許容印加電圧	7V AD または DC
入出力抵抗	$350\Omega \pm 2.5\%$
温度補償範囲	0~50°C
許容温度範囲	-10~60°C

---

## 付録 B 頭部操作による直感的な操作インターフェース

本論文と類似した研究として、頭部操作による操作インターフェースの開発についても行なったので、以下に頭部操作インターフェースの概要、操作性の検証について示す。

### 1 頭部操作インターフェースの開発目的

公共施設などのバリアフリー化による社会環境の整備向上や高齢化による被介護者の増加に伴い、電動車いすの利用者数は増加している。一方で、利用者数の増加に伴い、誤操作による事故の件数も増加しており、近年、電動車いすの操作性についての研究が盛んになってきている。

電動車いすの制御インターフェースはジョイスティックタイプがほとんどであり、搭乗者の具合によってカスタム入力インターフェースを使うのが主であった。自動車の制御のように、角度はステアリング、速度はアクセルにより行なう制御とは異なり、電動車いすは、車輪の回転のみで角度と速度を制御するタイプが一般的である。これは、速度に関わらず安定性を重視する自動車に対し、速度よりも小回り性能を重視するためであると考えられる。自動車を操縦する場合、免許がいるように、運転できるようになるためにはある程度トレーニングにより車両ダイナミックスの学習が必要とされる。これに対し、電動車いすは高齢者や障害者の足として利用するため、極力、直感的な使いやすいインターフェースの実装が求められている。

直感的な操縦を実現するために、乗り物の車体を倒すことで操縦する方法は以前から広く利用されている。例えば自転車、オートバイでなだらかなカーブをする場合、搭乗者は体を傾け、車体を倒すことで旋回を行う。また最近では車体を前後左右に倒すことで直感的な操作が可能な乗り物も開発されている。このように人間は、平衡感覚を活用し、無意識のうちの安全に制御を行なっている。

そこで、本研究では自転車やオートバイの搭乗者が平衡感覚を保ちながら運転していることに着目し、頭部の移動による直感的な操作インターフェースの提案を行なう。

### 2 人間の平衡感覚の知覚

人間は体のバランスや姿勢を保つために、内耳にある耳石器を利用し、常に平衡感覚を知覚している。耳石器とは加速度を検知する器官であり、Fig.B-1 のように配置することで 3 軸方向すべての加速度を検知することができる。特に静止時には重力加速度を利用することで頭部の重力に対する角度を知ることができる。

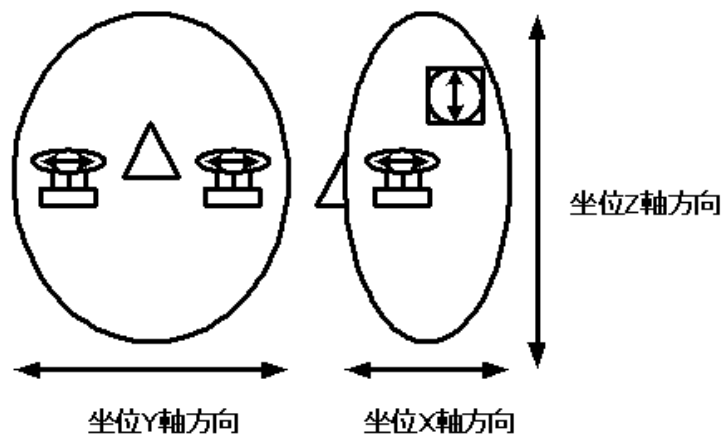


Fig.B-1 直線加速度の方向と耳石器の刺激の関係

### 3 頭部操作インターフェース

Fig.B-2 に本研究で使用する電動車いすのための頭部操作インターフェースを示す．耳石器からの出力に近い値を得るために傾斜センサを耳石器付近の HMD 上に配置する．

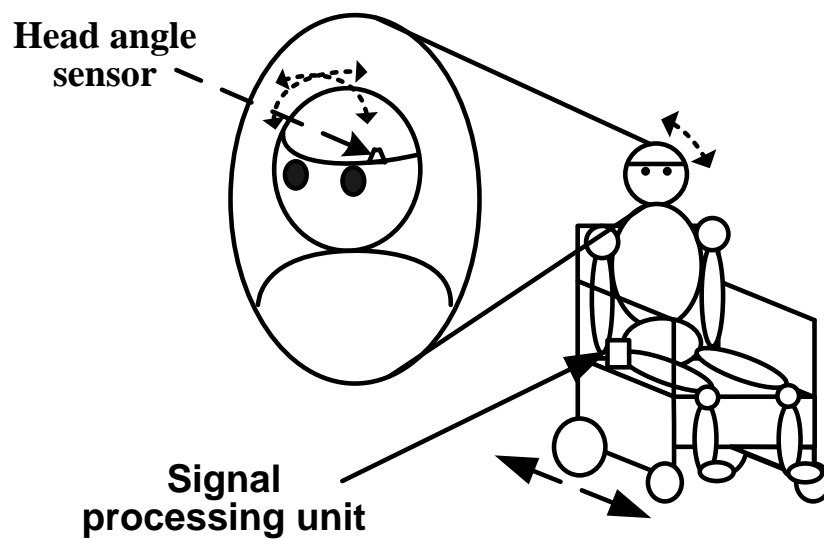


Fig.B-2 Configuration of proposed electric wheelchair

#### 3. 1 コントロールシステムの構成

傾斜センサからの前後・左右方向の傾斜角・傾斜角度情報はファジィ理論によりスピード・ステアリングに変換される．

Fig.B-3 にファジィ理論を利用した電動車いすのコントロールシステムの構成を表す．

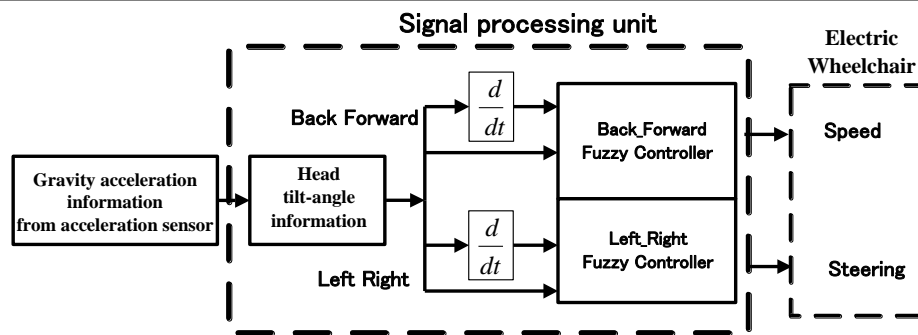


Fig.B-3 Fuzzy control system

### 3. 2 ファジィ理論によるスピード・ステアリングの制御

コントローラで電動車いすを操作した場合、コントローラからの出力と実際の電動車いすのスピードでは相違が発生すると考えられる。この相違は搭乗者を不快にさせる原因となると考えられる、そこで相違を減少させる必要がある。まず、PD 制御により相違を減少させた。さらに動き始めと動き出してから摩擦の変化によるスピードの相違が考えられるため、傾斜角と傾斜角速度が小さいときに大きなスピードを出すように設定した。

提案されたファジィ制御のルールは、Table B- 1 で示されるような4 9 個の制御ルールにより構成される。また傾斜角と傾斜角速度によるスピードの変化は Fig.B-4 のような3次元のグラフにより示される。

なお、これらの処理はステアリングに対しても同様に行なわれる。

Table B-1 Fuzzy rule table for speed control

		Tilt-angle						
		B	M	S	Z	-S	-M	-B
Tilt-angular-velocity	B	B	B	B	M	S	Z	-S
	M	B	B	M	S	Z	-S	-M
	S	B	B	S	Z	-S	-M	-B
	Z	B	M	S	Z	-S	-M	-B
	-S	B	M	S	Z	-S	-M	-B
	-M	M	S	Z	-S	-M	-B	-B
	-B	S	Z	-S	-M	-B	-B	-B

(B : big , M : Middle , S : small , Z : zero)

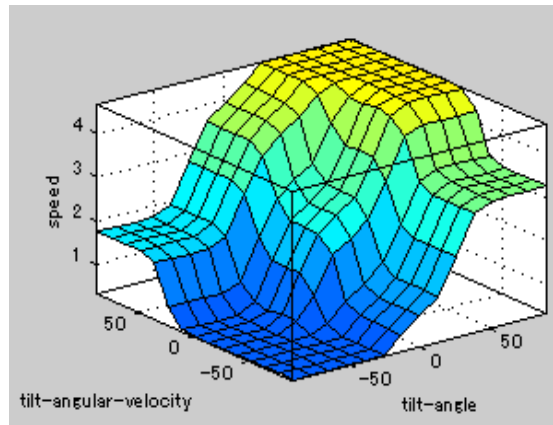


Fig.B-4 Fuzzy surface for the membership functions of the tilt-angle and tilt-angular-velocity, for the speed

#### 4 実験

5人の参加者に対して屋外環境で操作性の検証実験を行い、検証後の操作性に関するアンケートを元に本論で提案したシステムの有効性を検討する。

そして、インターフェースの操作性、快適性、安全性についてのアンケートを行なった。Table B-2 にアンケートの結果を示す。

Table B-2 Result of the questionnaire

subject	maneuverability	comfortable	Safety
	1:Bad- 5:Good	1:Bad- 5:Good	1:Bad- 5:Good
Student 1	4	3	4
Student 2	3	3	3
Student 3	4	2	4
Student 4	4	3	3
Student 5	3	3	2

また、アンケートを行なった後に感想を求めた、その結果として次のような評価を受けた。

- 頭を利用した操作は始めてであったが、すぐに覚えることができた。
- 操作するのに頭を使うため、長い間の使用は難しい。

アンケートの結果から、操作性・安全性についてはジョイスティックと同様の高い操作性を得ることができたが、長時間の使用が難しいなどの問題が表れた。

---

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、適切な御指導と御教授を頂いた渡辺嘉二郎教授ならびに小林一行准教授に心より感謝致します。渡辺先生には、実験方法の提案、論文の構成など、一から丁寧に御教示いただきました。小林先生にも不勉強な筆者を論文の構成や技術的な面からサポートしていただきました。また、先生方には IGVC というすばらしい機会を与えていただき、ここでしか味わうことが出来ない、とても有意義な学生生活を送ることが出来ました。重ねて深く感謝します。

また、この IGVC に向けた活動、そして研究活動を通じて、様々な相談に付き合ってくださいましたビークル班の先輩である、天野心さん、安藤幹大さん、久保田淳一さん、佐々木健義さん、清水学さん、樽床祐樹さん、小竹亮太郎さんにこの場を借りて深く感謝申し上げます。

そして、ナビゲーションから回路まで幅広い仕事をこなし、冷静な判断と的確な助言をしてくれた後藤善孝君、2008 年の IGVC においてチームリーダーとして高いリーダーシップでチームを取りまとめ、メイン競技での上位入賞に向け共に戦った坂崎栄信君、チームに入りたての頃から新競技を任されながら、すべての年において最高の結果を出してくれた杉浦実君、ナビゲーションリーダーとして、そしてムードメーカーとしてチームを引っ張ってくれた御園祐介君は、友人として公私共に楽しく有意義な時間をみんなで共有できたことに心より感謝しております。

また、大会やビークル班での活動においてチームを下から支えてくれた沢辺航君、内海恒亮君、酒井健至君、塩田知史君、深沢卓君、福田芳久君、古巣謙太君にもとても感謝しています。また沢辺君には、次期チームリーダーとしてますますのご活躍とご発展を心より期待しております。

最後に、渡辺・小林研究室のさらなる発展を願い、そして諸先生方ならびにビークルメンバーの益々の御健康と御活躍を祈願し、謝辞とさせていただきます。



---

## 活動実績

### The 14th Annual Intelligent Ground Vehicle Competition

Mechanical 担当



### The 15th Annual Intelligent Ground Vehicle Competition

Mechanical 担当



### The 16th Annual Intelligent Ground Vehicle Competition

Mechanical 担当

Autonomous Competition 担当



---

## 研究業績

- FIRST AUTHOR のみ記載 -

PSoC マイコンを用いた車輪型倒立振子の開発

○大西将 佐藤文哉 御園祐介 小竹亮太郎 渡辺嘉二郎 小林一行  
第 28 回ファジィ・ワークショップ

Development of Intuitive Visual Navigation Interface for Electric Wheelchair

○Masaru Onishi, Satoshi Shibata, Yoshitaka Goto, Kazuyuki Kobayashi, Kajiro Watanabe  
SCIS & ISIS 2007, pp. 2080 - 2083

電動車椅子のためのヘッドマウント操作インターフェースの開発

○大西将 柴田諭 後藤義孝 小林一行 渡辺嘉二郎  
第 52 回知的制御研究会 (SIC07 - 2)

A study of intuitive electric wheelchair control interface based on weight shift

○Masaru Onishi Kazuyuki Kobayashi Kajiro Watanabe  
SCIS & ISIS 2008, pp. 2710 - 2713