

# 座位姿勢操作システムの操作性評価に関する研究

平成 18 年 度

三重大学大学院工学研究科  
博士前期課程 機械工学専攻

南 圭 輔

---

平成 18 年度 修士学位論文

座位姿勢操作システムの操作性評価に関する研究

指導教官 池浦良淳 助教授

三重大学大学院工学研究科  
博士前期課程 機械工学専攻  
南 圭輔



---

# 目次

---

第1章	緒言	1
第2章	座姿勢評価装置と制御システム	3
2.1	人体構造を考慮した評価装置	3
2.2	座位保持評価装置の概要	3
2.3	能動機構部の説明	4
2.4	制御モデル	8
2.5	インピーダンス制御	9
2.7	パラメータについて	10
2.7.1	並進方向のパラメータ	10
2.7.2	回転方向のパラメータ	11
2.8	システムの評価	12
第3章	操作システムの構築	15
3.1	快適姿勢の定義へ	15
3.1.1	操作システム	15
3.1.2	操作感による快適性への影響	16
3.1.3	操作器の試作	18
3.2	マウスと操作器による比較実験	21
3.2.1	実験の目的と方法	21
3.2.2	実験結果と考察	21
3.3	操作器のゲインと背もたれの弾性との関連性	23
3.3.1	実験目的と方法	23
3.3.2	二元分散分析	26
3.3.3	多重比較	28
3.3.4	実験結果と考察	29
第4章	快適姿勢の検証	37
4.1	快適状態のパラメータ	37

---

4.1.1	無操作時における状態の評価	37
4.1.2	実験結果と考察	37
4.2	回転中心と快適性	49
4.2.1	回転中心による荷重転移	49
4.2.2	実験結果と考察	50
第5章	結言	55
	参考文献	
	謝辞	

# 第1章

## 緒言

世の中には座位保持用具というものがある。

高齢者や障害者など座姿勢をうまく保つことが困難である人を対象とし、座位における安定とリラックス状態を提供するもので、生活水準を向上させると共に「寝たきり」を防ぐ手段として非常に有効である。またここ数年高齢化が進み、介護問題などそれに伴う問題が深刻なものとなっているが、これらの用具をうまく用いることで対象者の意識変化を行い、「受け身の生活」から「自立する生活」へと少しずつ視野を広げてあげる事が対策として重要であり、最も効果的ではないかと考える。

しかし姿勢保持用具の問題は、対象者の体型・用途に適したものでないと効果が得られないところにある。通常これらの用具は対象者に合わせたオーダーメイドで製作されるが、身体に適さないものを無理に使用するとリラックスどころかストレスを与える結果となり、ひどい場合には床ずれの原因にもなってしまう。よって製作の段階でもフィッティングには大きな神経を使うが、現状は使用者の不満は絶えず、世間に多くの用具があるなかで、満足できるものに出会えた例はほんのわずかである。

納得のいく用具が製作できない理由として、まず姿勢を評価する指標が現段階において未定義であることが挙げられる。姿勢の良し悪しを評価する指標が存在しないために、設計は製作者の主観に委ねるしかなく、そこに対象者の理想との相違がどうしても生じてしまう。また寸法を設定するうえで身体形状の測定が必要になるが、対象者には場の雰囲気などから強い緊張がみられる場合も少なくなく、リラックスしての計測を行うための配慮など一筋縄ではいかない。しかし障害が重ければ重いほど用具の設計には慎重さを要求され、より多くのデータが必要となるために測定する両者共々大きな労力と時間を費やさなければならない。

よって現在、一人一人の個性を理解した保持用具を必要な時に短時間で製作できるシステムの構築が望まれるのである。

そこで提案するのが機械によって身体を支えながら、コンピュータで制御することにより状態の測定と評価を同時に行うシステムである。姿勢をデータ化する事で計測にかかる時間を軽減するとともに、そのまま設計値として用いることができる。また支持点にセンサーを取り付け、フィードバックによる力制御を行うことで対象者の座姿勢状態を動的に計測することができる。現在、姿勢評価に対する研究が多くなされているなかで、山崎らによる研究では椅子を多くの部位に分割し、それぞれの支持点でばねを変更することで個々にあった椅子の設計を試みている<sup>(1)</sup>が、姿勢を測定しながらインピーダンスをリアルタイムで変更することで座り心地を検証する手法は未だなされていない。

また姿勢評価の指標を確立するために、本研究では操作器により姿勢を自由に変更できるシステムを用いる。本人が姿勢を導くことで、他者の評価による意向の相違をふせぐとともに、その操作履歴と設定から本人意図と状況を総合的に評価することで、より居心地や快適性に重点をおいた座位保持を目指す。

本報告では、このような姿勢評価装置を実際に試作し、姿勢のデータ化、さらには操作システムなど、その性能評価を行ない有効性を検証した。また、快適姿勢の指標確立をめざして行った実験内容を示す。

## 第2章

# 座姿勢評価装置と制御システム

### 2.1 人体構造を考慮した評価装置

人間の動きには、背骨を基点に回転する事や、腰を支えれば状態が安定する事など、構造上の規則性がある。従来の保持用具は姿勢に維持に重点を置きすぎるところがあるために、これらの規則性を考慮せず動作を制限してしまう。そのため居心地の悪さが生じてしまう。よって快適な姿勢を維持するには本来の動きを妨げるような支え方であってはならないと考える。

このことを踏まえ座姿勢での動作を考えると、両腕が自由になるために肩が最も大きく動く。背骨を中心とし、前後・左右・ねじりと目的によって多様な動きをみせる。その反対に腰の動きは比較的少ない。しかし背骨は腰の位置にある骨盤を土台とするため、腰がしっかり支持されていないと不安定になり動作は制限されてしまう。つまり動作を考慮した場合、肩と腰でその支持方法が異なる。

そこで本研究では座姿勢における背骨と骨盤の構造に注目し、その特性を背もたれに組み込むことで動作と快適性を考慮した支持法を目指す。

### 2.2 座位保持評価装置の概要

試作した装置の概要を Fig.2.1 ～ Fig.2.3 に示す。

装置はおもに座姿勢における上半身の状態を背もたれから計測するものであり、Fig.2.1 にその背もたれ、Fig. 2.2、Fig. 2.3 に装置全体の様子を示す。

まず背もたれは縦5段に分割されており、それぞれ各段の背部にはモータとボールねじが取り付けられ独立して動くことが出来る。またその表面のセンサーにより、もたれかかった際背中からの荷重を計測することができる。モータの動作は後に述べる

が、もたれかかると背もたれがデータを計測しながら背中中の形状に変化するような仕組みである。

また、この背もたれを搭載した評価装置は図に示すように様々な体格の違いに対応できるよう各所に配慮がなされている。座面の角度はサーボモータ（安川電機 AC servo motor:SGM-01A3G46）により角度を微調整することができ、また座面は横方向に関してもラック・ピニオン機構により、水平方向に対して  $0 \sim 25[\text{deg}]$  の変化をつけることができる。さらに背もたれは装置側面に取り付けれたローラーガイドとジャッキでの押し上げ機構により、水平方向に対して  $90 \sim 110[\text{deg}]$  まで角度調整できるようになっている。さらにアームレストとフットレストは手動で高さ調整が可能であり、分割された背もたれもスライドレールによって各段上下に位置を変える事が出来るようになっている。

## 2.3 能動機構部の説明

Fig.2.3 に背もたれ一段を上から見た様子を示す。表面の左右には 2 個の力センサー（NEC 三栄 ひずみ式荷重変換器）が配置され、もたれかかった際の背中からの圧力をデータとして計測することができる。次に背部左右にはサーボモータ（安川電機 AC servo motor:SGML-A5BF12）とボールねじ（THK LM guide actuator:KR3306A）がそれぞれ取り付けられており、左右のモータが駆動することでボールねじが前後に動作し、背もたれに前後や回転の動作を加えることができる。各段左右で1台ずつ、計10台のサーボモータによる能動機構により対象者の座姿勢を導く。またサーボモータは人を支持しなければならないという点から背もたれ表面部に鉛直に  $40\text{kg}$  の荷重がかかったとしても制御可能なものを選定し、ボールねじにおいてもリアルタイムで制御するにあたり装置の必要反応速度に適合するピッチのものを選んだ。このサーボモータとボールねじの仕様は Table2.1 と Table2.2 の通りである。

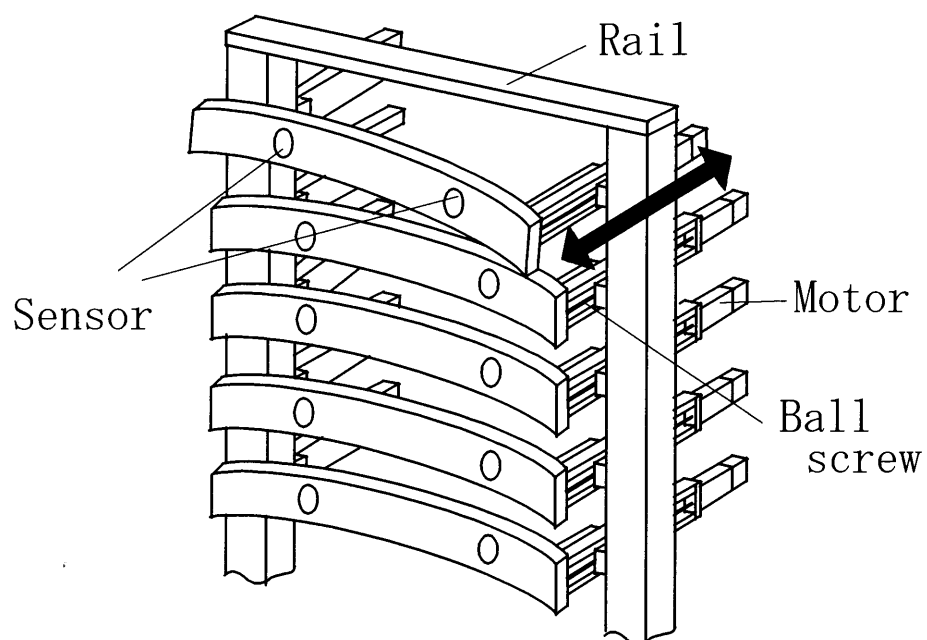


Fig. 2.1 Experimental system 1

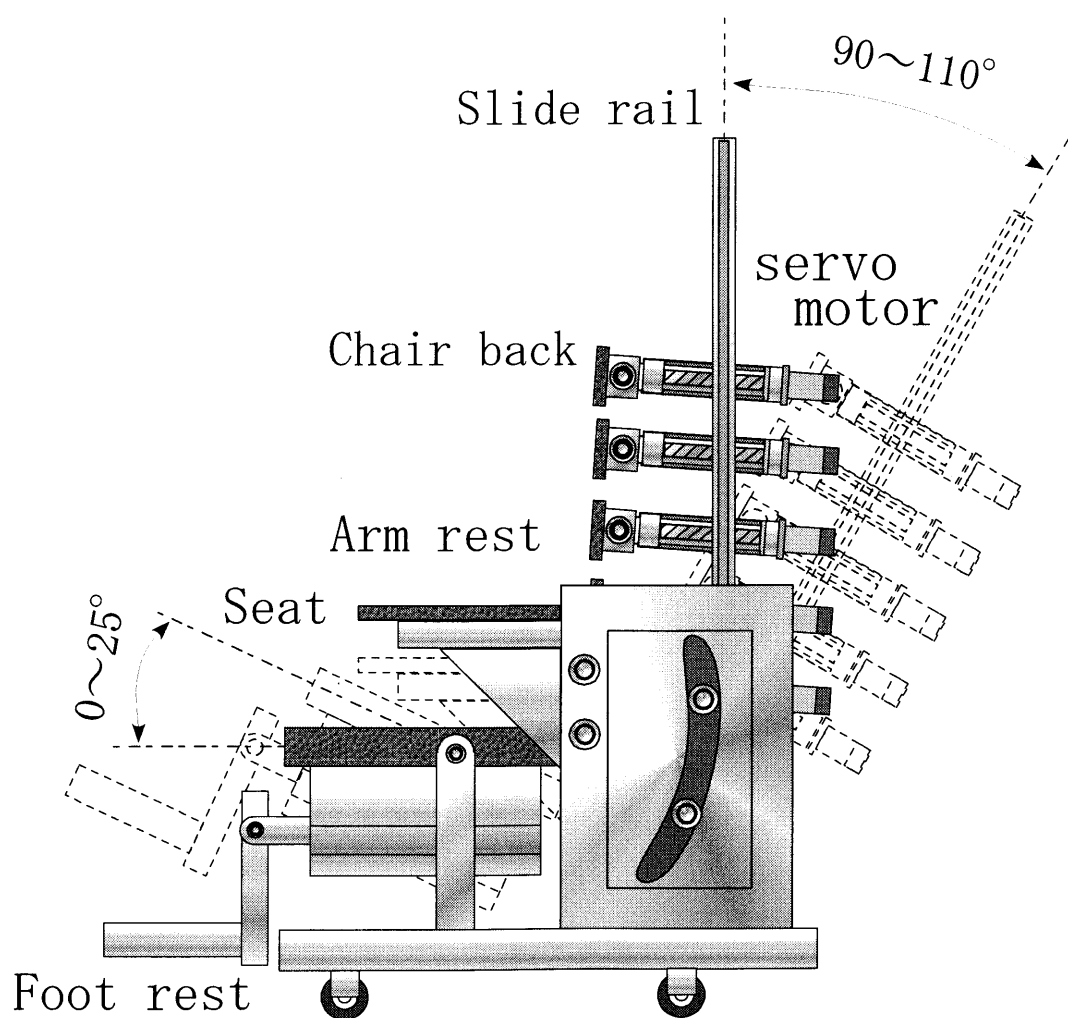


Fig. 2.2 Experimental system 2

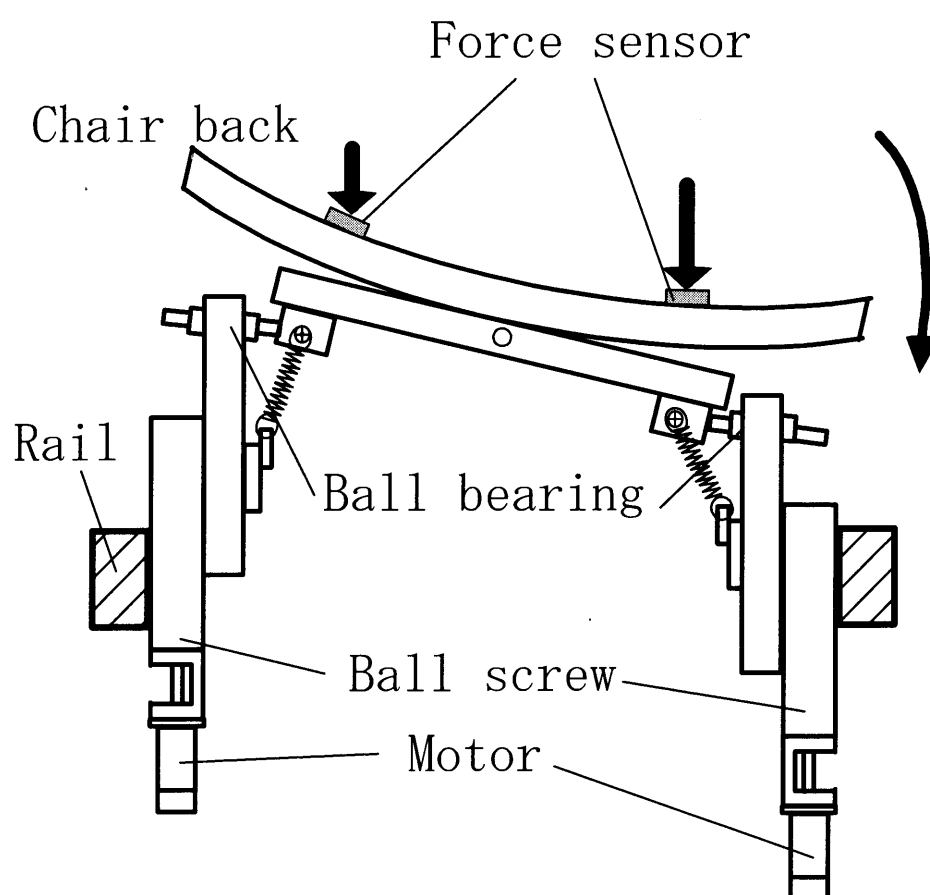


Fig. 2.3 Mechanical system of a chair back

Table 2.1 Specifications of LM Guide Actuators

LM guide part	
basic kinetic rated load	11600 (N)
basic static rated load	20200 (N)
ball screw part	
an external diameter of screw	10 (mm)
lead	10 (mm)
basic kinetic rated load	1760 (N)
basic static rated load	2840 (N)
static permissible moment	
MA	166 (N*m)
MB	166 (N*m)
Mc	428 (N*m)

Table 2.2 Specifications of AC Servo Motors

rated power	50 (W)
rated torque	0.159 (N*m)
the maximum instantaneous torque	0.48 (N*m)
rated velocity of rotation	3000 (r/min)
the maximum velocity of rotation	4500 (r/min)

## 2.4 制御モデル

背もたれ背部のモータはコンピュータにより駆動するが、それぞれにインピーダンス制御を用いることで、ばね・ダンパ系を仮想させた動きを実現させる。そのモデル図をFig.2.4に示す。これは背もたれに荷重が入力されると、その値をもとに装置が回転と並進の複合運動で制御されるというものであり、もたれかかると装置が荷重に合わせて柔軟に反応する。

図にある回転中心 (Rotary Center) とは背もたれがどこの点を中心に回転するかであり、この点を変化させると左右の荷重差から発生するトルクが変わり背もたれの回転角度が変化する。平衡点 (Balance Point) は背もたれの初期位置、すなわちばね特性を持たせた時の平衡点の事を示しており、この値を各段毎に設定する事で背もたれに様々な初期形状を与えられる。これらの値は任意に変化させる事が出来るようになっている。これにより本評価装置の背もたれには、人体から背もたれにかかる力に対して、ある軸周りで回転し、さらに、その回転中心が前後に動作するという背骨の動きを模擬させた制御機構の実現を可能とする。

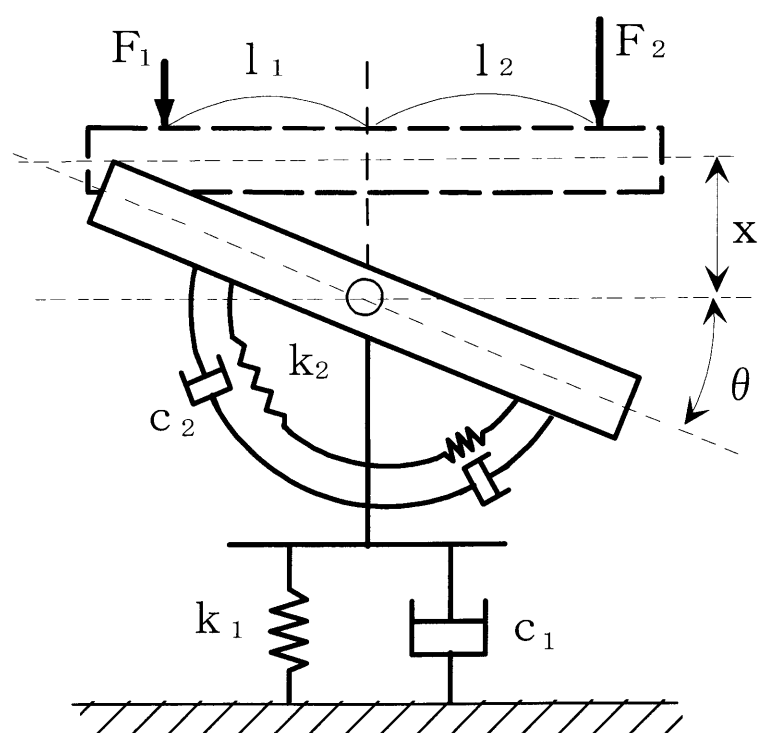


Fig. 2.4 Model of control system

## 2.5 インピーダンス制御

Fig2.4 のようにパラメータを定義し、回転角 $\theta$  [rad]、並進方向の変位 $x$  [m] の値を、次式に示す運動方程式により求める。この時、回転角は時計回りを正、変位は装置向かって手前方向を正とした。

$$m\ddot{x} + c_1\dot{x} + k_1(x - x_0) = F \quad (2.1)$$

$$I\ddot{\theta} + c_2\dot{\theta} + k_2\theta = \tau \quad (2.2)$$

インピーダンスパラメータのうち、 $m$  はPC上に仮想される背もたれ質量[kg]、 $I$  は慣性モーメント [kg・m<sup>2</sup>]、 $c_1$  は並進運動の減衰係数 [N・s/m]、 $c_2$  は回転運動の減衰係数 [N・m・s]、 $k_1$  は並進運動の弾性係数[N/m]、 $k_2$  は回転運動の弾性係数[N・m]を示す。 $x_0$  は装置の平衡点である。また、 $F$  は回転中心にかかる並進方向の総荷重[N]、 $\tau$  は回転方向のトルク [N・m]であり、これらは次式のように与えられる。

$$F = F_1 + F_2 \quad (2.3)$$

$$\tau = F_1 l_1 - F_2 l_2 \quad (2.4)$$

ここで、 $F_1$  と  $F_2$  は左右センサーからの入力荷重、 $l_1$  と  $l_2$  はそれぞれ回転中心からセンサーまでの距離である。そして式 (2.1)、(2.2) により算出された変位 $x$  と回転角 $\theta$  を左右のモータへの目標位置へ変換する式は次のようになる。

$$P_{1L} = x + l_1 \sin\theta \quad (2.5)$$

$$P_{1R} = x - l_2 \sin\theta \quad (2.6)$$

ここで、 $P_{1L}$  は Fig.2.4 における左側のモータの目標位置、 $P_{1R}$  は右側の目標位置である。これらの目標位置よりモータは位置を制御される。

## 2.6 ブロック線図

Fig. 2.7 に本評価装置のブロック線図を示す。まず、人が装置にもたれかかると背もたれ表面部のセンサーに荷重信号が入り、アンプで増幅されA/Dを介してパソコンに入力される。この値をもとに上に述べた (2.1) ～ (2.6) 式より目標位置と目標速度が算出さ

れ、D/A とアンプを通り各モータへと出力される。またこの際、エンコーダによってモータの回転数がカウントされ、アンプとカウンタを介してパソコンに現在位置としてフィードバックされる流れになる。

## 2.7 パラメータについて

インピーダンス制御を用いて実験を行うにあたり、まず最初に制御に用いる並進方向のインピーダンスパラメータ( $m, c_1, k_1$ )と回転方向のインピーダンスパラメータ( $I, c_2, k_2$ )を設定しておく必要がある。これらの値は予め初期条件として与えられている定数であり、これらの値によって評価装置における柔軟性や追従性が決定される。

### 2.7.1 並進方向のパラメータ

背もたれの並進方向の運動に関するパラメータ( $m, c_1, k_1$ )のうち、柔軟性と言う面で主に関係するのは装置の沈み量に関わる弾性係数 $k_1$  [N/m] であり、追従性について考えた場合、主に関係するのが慣性力となる背もたれ質量 $m$  [N]と減衰係数 $c_1$  [N・s/m]の値である。

柔軟性について考えると、本装置の目的が体型の測定である事から、背もたれが硬すぎて各段の沈み込み量にほとんど差が出ないというのでは、体の起伏が分からず、測定にならない。また、逆に柔軟性を持たせすぎると、深く沈んだ状態で背もたれが回転しようとしたとき、ボールねじが移動限界量を超えてしまう。以上の事から、背

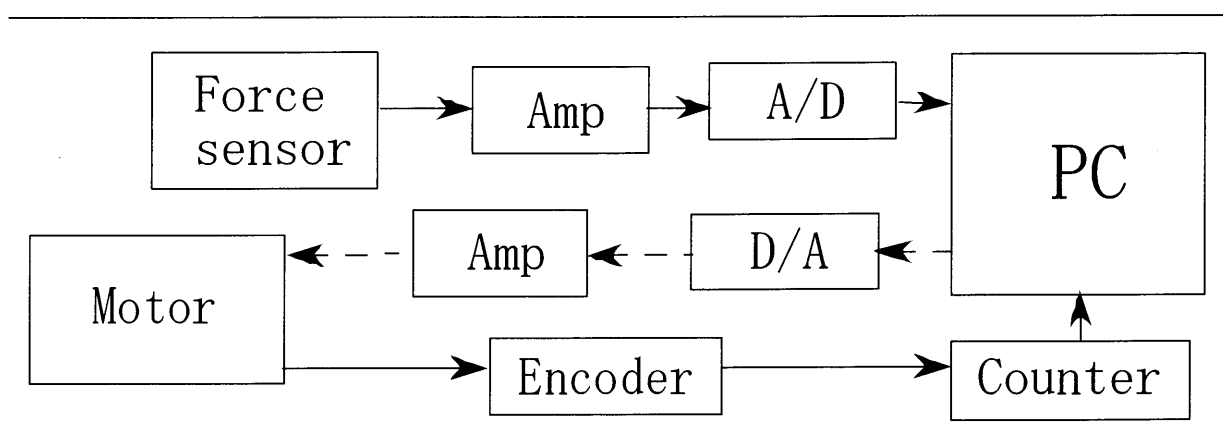


Fig. 2.5 Block Diagram of Experimental system

もたれの回転も考慮に入れた上で、ある程度余裕のある沈み込み量となるようにパラメータの値を調整しなければならない。

次に追従性について考える。この場合、背もたれ質量 $m$  [N]と減衰係数 $c_1$  [N・s/m]の値を大きくしすぎると、安定はしやすくなるが、追従速度は遅くなり、体勢の変化に時間がかかってしまう。逆にこれらの値を小さくしすぎると動きは速くなるが、慣性力・減衰力が足りず微妙な荷重にも機敏に動いてしまい不安定となり、最悪の場合共振や発散を引き起こしてしまう。このような事を回避するため、まずもたれかかった際にどれくらいの振動数で人が動くかを推定し、それ以上の振動数で駆動可能なパラメータを算出する。そして、更にその中でも共振などの無い安定した動きを実現できるものを設定する必要がある。

この2つを満たすように次の式(2.7)、(2.8)を用い、各パラメータを決定する。

$$\zeta = \frac{c_1}{2\sqrt{mk_1}} \quad (2.7)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{m}} \quad (2.8)$$

$\zeta$  は減衰比、 $f$  は装置の振動数 [Hz] である。人が前後左右に揺れる振動数を日常動作の範囲では 1 [Hz] 以下であると仮定し、装置の限界応答振動数をそれよりも大きい値  $f=1.2$  [Hz] と設定した。また、減衰比については  $\zeta=1$  とする。

## 2.7.2 回転方向のパラメータ

背もたれの回転方向の運動に関するパラメータ ( $I, c_2, k_2$ ) のうち、柔軟性という面で主に関係するのは装置の回転量に関わる弾性係数 $k_2$  [N・m/rad] であり、追従性について考えた場合、主に関係してくるのが慣性モーメント $I$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ] と減衰係数 $c_2$  [N・m・s/rad] の値である。

並進方向同様、柔軟性を考えた場合、 $k_2$  があまりに大きな値では回転がほとんど起こらず、背中の体型を計測できるとは言い難くなる。また反対に、小さすぎる値にしまうと回転中心を変化させたときに必要以上に回転が起きてしまい他の段との統

合がとれなくなる。つまり、各段との影響を考えた上で、出来る限り動きに幅のある値を設定する必要がある。

続いて追従性については、人の動き以上の追従性を持たせるために、回転方向の人の振動数を仮定し、それ以上の振動数で駆動できるパラメータのうち、共振が起こらないものを算出すればよい。

これらの条件を満たした $(I, c_2, k_2)$ を算出するために以下の式を用いる。

$$\zeta = \frac{c_2}{2\sqrt{Ik_2}} \quad (2.9)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_2}{I}} \quad (2.10)$$

本報告における実験で使用した並進方向と回転方向のインピーダンスパラメータは、過去の実験において適切と示された値である

$$(m, c_1, k_1) = (2.7, 41, 157) \quad (2.11)$$

$$(I, c_2, k_2) = (0.065, 0.98, 3.7) \quad (2.12)$$

と設定した。

また装置の構造、安定性を考慮し、パラメータの許容範囲を設定した。背もたれの角度は、-15~15[deg]、回転中心 -0.13~0.13[m]、並進方向の変位 0.04~0.10[m]、並進方向と回転方向の弾性係数はそれぞれ 130~200[N/m]、3~10[Nm/rad] を操作範囲とした。

## 2.8 システムの評価

これらのシステムを用いて、座姿勢における上半身の状態評価を簡単な実験として行った。被験者には5段の背もたれが平衡点 0.06 [m] に出力した状態で腰掛けてもらい、その状態で肩を左右に何度かひねる動作を行ってもらった。それにより得られたデータおよび状態を評価をグラフ化したものを Fig.2.6 ~ Fig.2.8 に示す。

装置に腰掛けてもらいそれぞれ縦軸にパラメータ、横軸に時間 [s] を示す。まず Fig.2.6 は左右5段に加わる荷重 [N] の変移を表わす。被験者の右側の荷重が赤、左の荷重が青で表記され、縦の5つのグラフがそれぞれ背もたれの5段を表わしている。

様子がわかる。また Fig.2.7、Fig.2.8は角度 [deg]、平衡点 [m] の軌跡を示し、この2つの関係から背もたれの形状を表わす。それぞれ背もたれの上からの1～5段は青、緑、柿、水色、紫の色に対応している。対象者を軸として反時計回りを正とする。座姿勢での状態をねじる動作において、肩から腰にかけての動作範囲の違いを観察することができる。また本人は意識して左右に同じだけねじる動作を行ったのに対し、ねじり動作は0 [deg] を軸に対称というわけではなく、背もたれの段によってそれぞれ異なっている。今回の被験者の場合、正方向へのねじれに対しては1段目が大きく傾いているのに対し、負方向へは2段目が大きくねじれる傾向にある。このように対象者の体格、または動作の特性などの個性をデータとして測定することができる。

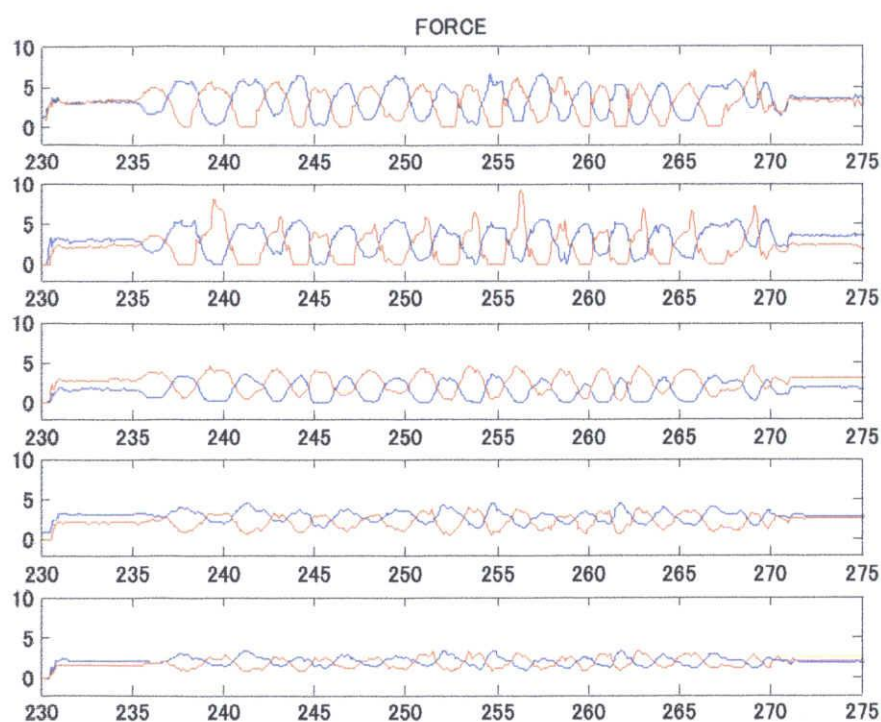


Fig. 2.6 Measurement data of an experiment (force)

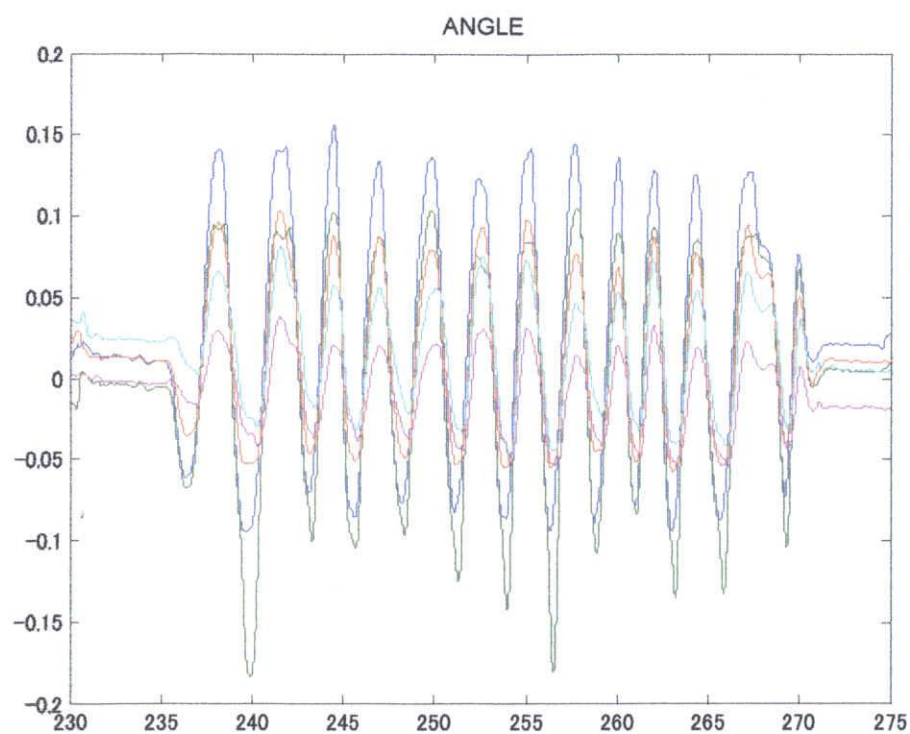


Fig. 2.7 Measurement data of an experiment (angle)

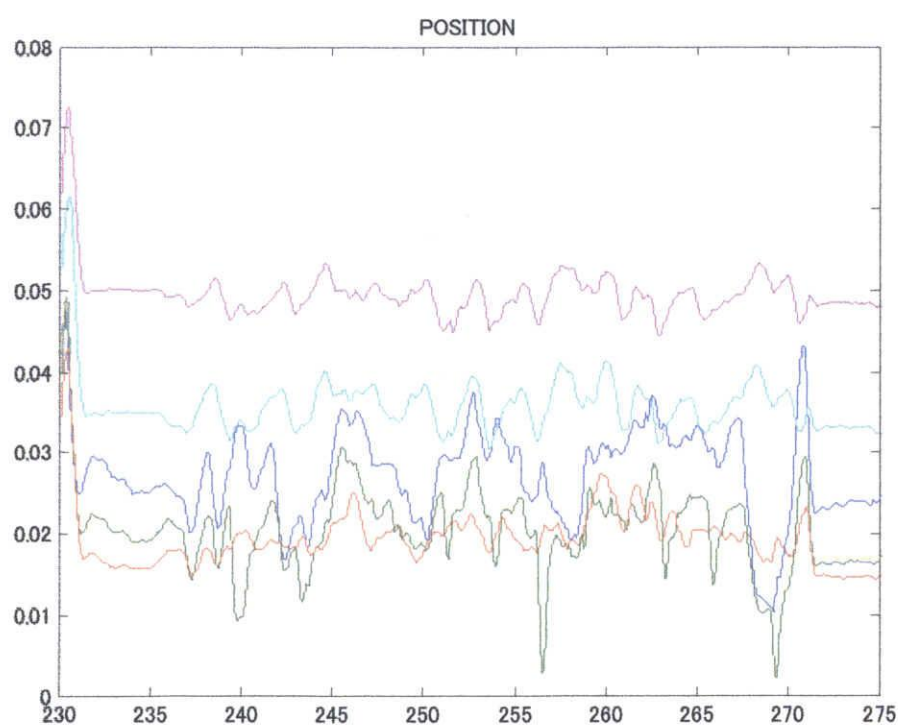


Fig. 2.8 Measurement data of an experiment (position)

## 第3章

# 操作システムの構築

### 3.1 快適姿勢の定義へ

本研究では快適な姿勢を導くための保持用具の構築を目標としている。それを行ううえでの最も大きな課題が快適姿勢の定義である。対象者がどのような状態を快適であると判断しているか、その快適性の検証が重要であると考ええる。

しかし問題は快適性というものの曖昧さにある。快適性という言葉は世の中で多く使用されるが、それぞれの内容は対象によって異なり、またその利用環境や使用する目的によっても異なってしまう。また機器などによる客観的な計測と違い、人間が主観的に感じる事であるために、人によっても感じ方が異なる事が多い。さらに本人の評価は、良いか悪いかといった二者択一の選択にはならず、なんとなくという様な中間的なものになることが多く判断が非常に難しい。最近では、脳の波形や筋電をみる生体機器の高度化が進み、これらによる快適性評価の可能性が示されてるが、測定自体の難しさや、測定機器が与える心理的影響など、多くの問題が複雑に絡むために一般的な基準として用いる事は難しい。以上から標準的な快適性の定義はまだ確立していない。

そこで本研究では、快適な姿勢を本人が導くシステムを用いて快適性の向上を目指す。まずは快適な姿勢に至るまでの操作過程や本人の感想といった主観的な評価に加え、快適状態におけるパラメータで示される客観的な評価を用い、それらを複合的に考慮することで、人の曖昧な感覚へのアプローチをとる。

#### 3.1.1 操作システム

操作方法の概要を示す。Fig.3.1 に示すように被験者は装置に腰掛け、前方のモニターに表示される操作画面Fig.3.2をマウスで操作しながら姿勢評価を行なう。背もたれ

の各パラメータはスライダー状の入力バーをマウスで操作することで変化を加えることができる。図に示すように被験者は5つのパラメータが操作可能である。左上から背もたれの角度 [deg]、回転中心 [m]、並進方向の変位 [m]、並進方向と回転方向の弾性係数 [N/m]、[N•m/rad] となり、パラメータそれぞれの5段は背もたれの5段を示す。なお式 (2.7)(2.8) から並進方向の粘性係数 [N•s/m]、式 (2.9)(2.10) から回転方向の粘性係数 [N•m•s/rad] を算出し、弾性係数と同時に変化するように自動設定した。以上のようにこの操作画面ではマウスにより背もたれの全てのパラメータを操作することができる。

しかしこの操作方法では多くのパラメータを考慮した結果、入力バーが多く存在してしまうために操作方法が”わかりづらい”ことが問題点として挙げられる。

### 3.1.2 操作感による快適性への影響

Fig.3.2 の操作画面には5つのパラメータに加え、それぞれが背もたれの5段に対応しているため、合計 25 個の入力バーが存在する。被験者はその一つ一つを判断しながら扱う必要がある。ただでさえ目標姿勢があやふやななかで、多くの選択肢があるとうしても混乱が生じてしまう。

またマウスによる操作方法も問題である。普段からパソコンに向かいマウス操作に慣れた我々ならある程度練習すればできるが、実際に用具を必要としている対象者を考慮すると、適切であるとはいえない。

もともと適正姿勢という曖昧な状態の数値化が目標であるが、操作方法による影響が姿勢自体に及んでいるのであれば、焦点はさらにぼやけてしまうために評価はより複雑になる。つまり、快適な姿勢を導くシステムを構築するためには、操作方法の快適性も考慮しなければならないと考える。実際に多くの人が触れる操作器としては”わかりやすさ”という点の考慮が必要になるのである。

そこで今回はこの操作システムに新たに”わかりやすさ”に重点を置いた操作器を試作し、操作方法について考察を行った。

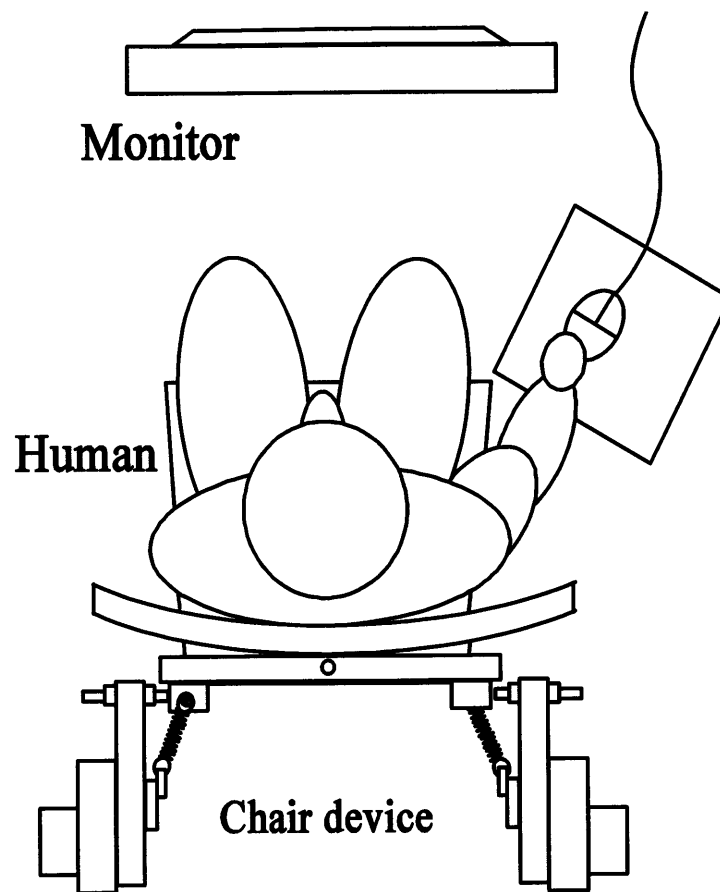


Fig. 3.1 Experiment operation system

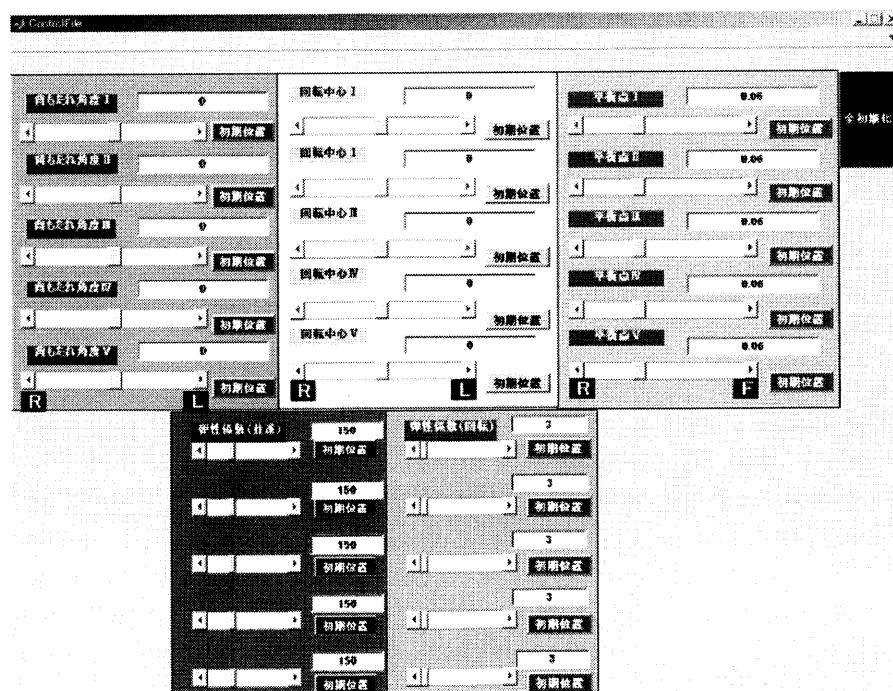


Fig. 3.2 Screen for operating chair back

### 3.1.3 操作器の試作

前記したとおり、操作をわかりにくくする要因は大きく分けて2つ存在する。”マウスによる操作”と”パラメータの多さ”である。前者においては新たに操作器を試作することで解消できるが、後者についてはパラメータの重みを考慮する必要がある。

以前までの実験から、個人差はあるが背もたれのパラメータによって頻度の差があることがわかった。Fig.3.3～Fig.3.4にそのデータを示す。この実験では健常者に体幹変形者に見立てて身体を拘束した状態で快適性を意識してもらいながら操作してもらった。グラフは上から背もたれの角度、回転中心、平衡点、弾性係数の並進方向・回転方向のパラメータを示し、それぞれ背もたれの5段の操作履歴を重ねて表示したものである。

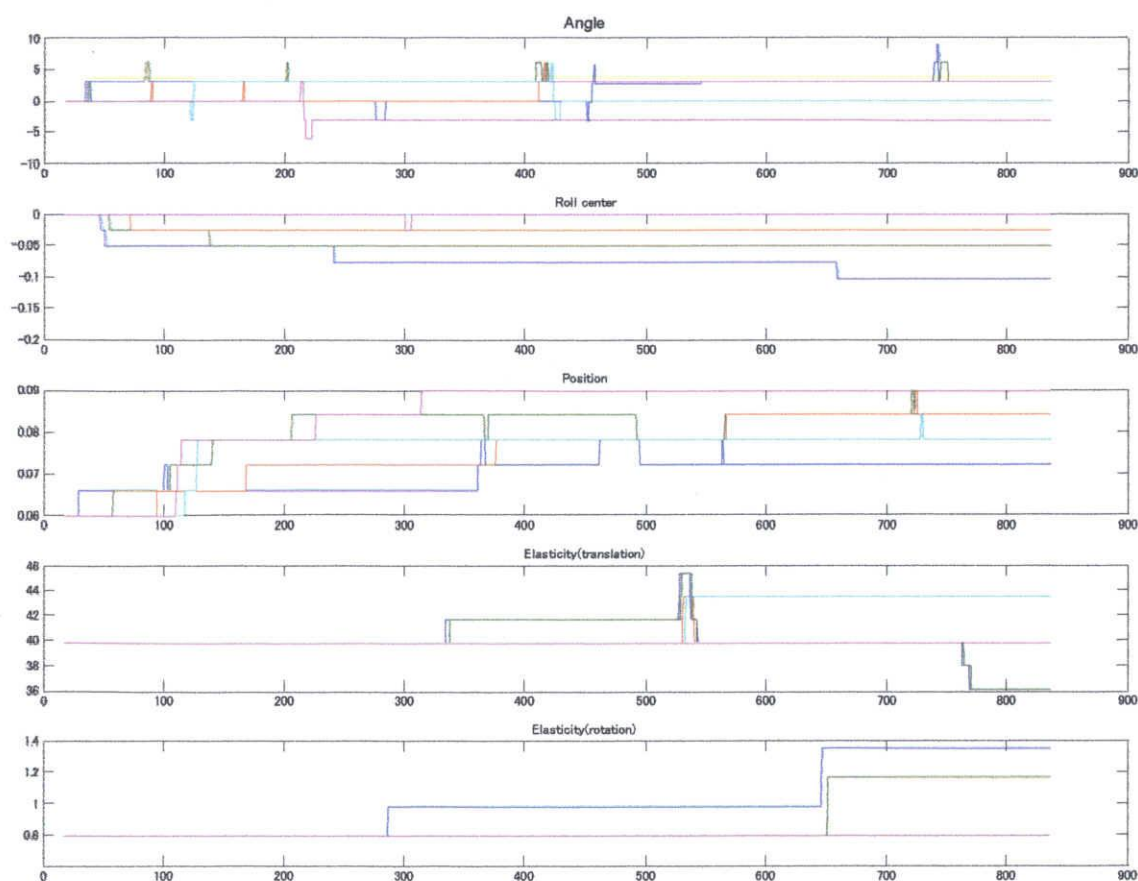


Fig. 3.3 Condition of subject1(Health)

快適な姿勢を導くにはやはり背もたれの形状を操作することが多く、また上半身を傾け体幹変形者に見立てた実験の際には、形状に加え回転中心を背骨の状態に合わせて操作させる傾向にある。その反対に、追従性に影響する弾性に関しては、変化のの違いの主観的評価が難しいとみられる。原因としては弾性・粘性値は装置自体の安定を考慮し、操作範囲を制限しているため感覚的な変化が小さいことや、短時間の実験であることが考えられる。どの被験者もいちようの変化はみられるが、感想からもその操作が快適性に直接影響しているかという判断が難しく、時間に対する操作の頻度が少ないことから操作による快適姿勢に与える影響は小さいと考える。

そこで今回は操作パラメータを形状と回転中心に絞り、選択肢を減らすことで”わかりにくさ”を軽減することとした。

以上を考慮し、試作した操作器を Fig.3.5 に示す。

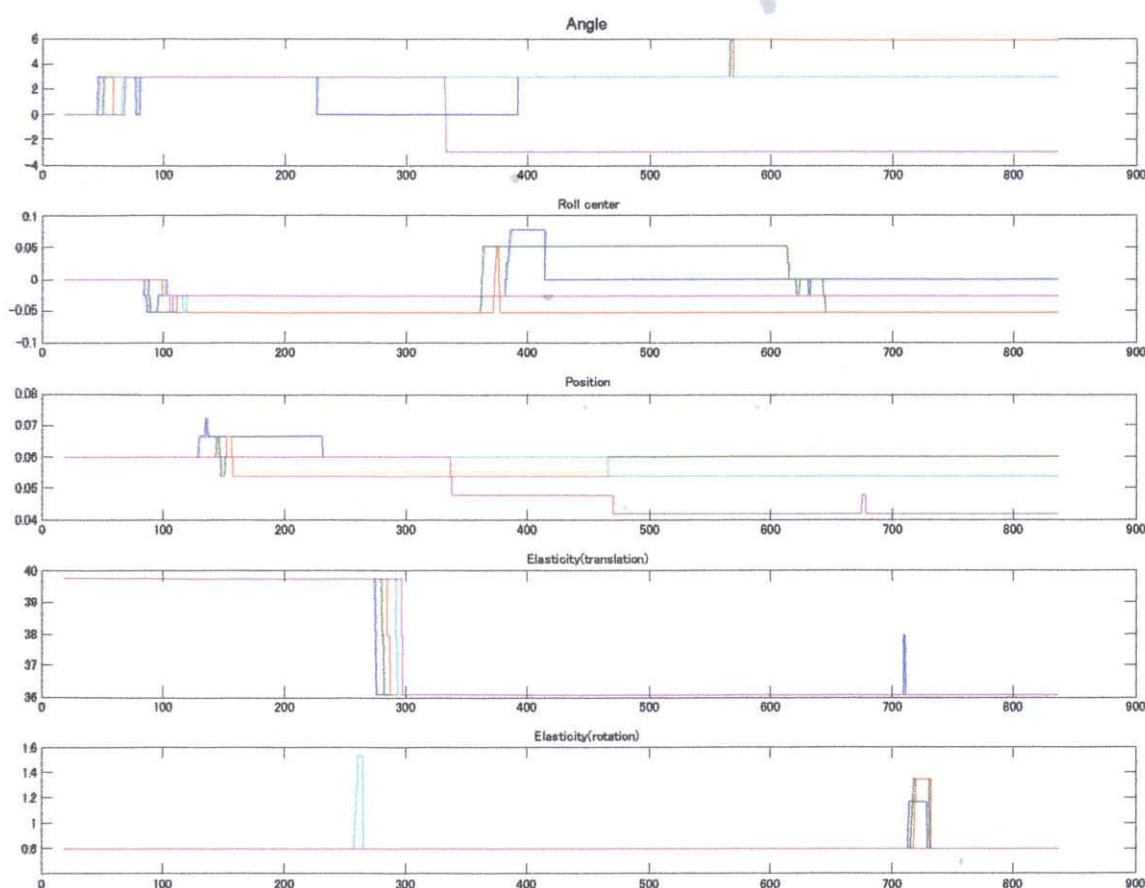


Fig. 3.4 Condition of subject1(False physically handicapped person)

5段の亚克力板は背もたれを模擬しており、構造を実際の背もたれと同様の形状にする事で感覚的に操作しやすいものを設計した。前に動かしたいなら板を前へスライドさせ、角度をつけたいならひねるという要領で自由に操作でき、同様の動きが背もたれに出力させることが出来る。マウスでの操作画面と違い、角度と平衡点を同時に変化させることが出来るので、感覚的にも変化をつけやすい。また、それぞれの段を独立して操作させやすいように、五段は斜めに設置した。

次に回転中心の変化は、亚克力板自体に取り付けた可変抵抗により操作する。ここでの回転中心は背もたれ動作の回転中心ではなく、制御モデル上における梁の支持点であることに注意する。操作によって外見的な変化はみられないが、左右のモーメント比に変化をつけることができ、背もたれからの反力が変化し座り心地に影響を与える。被験者の意思を椅子の設計に反映させるシステムを構築し、作業療法士などによる座位保持用具の試作段階では難しい微妙な背もたれの調整を被験者自身が簡単に操作することが可能となる。

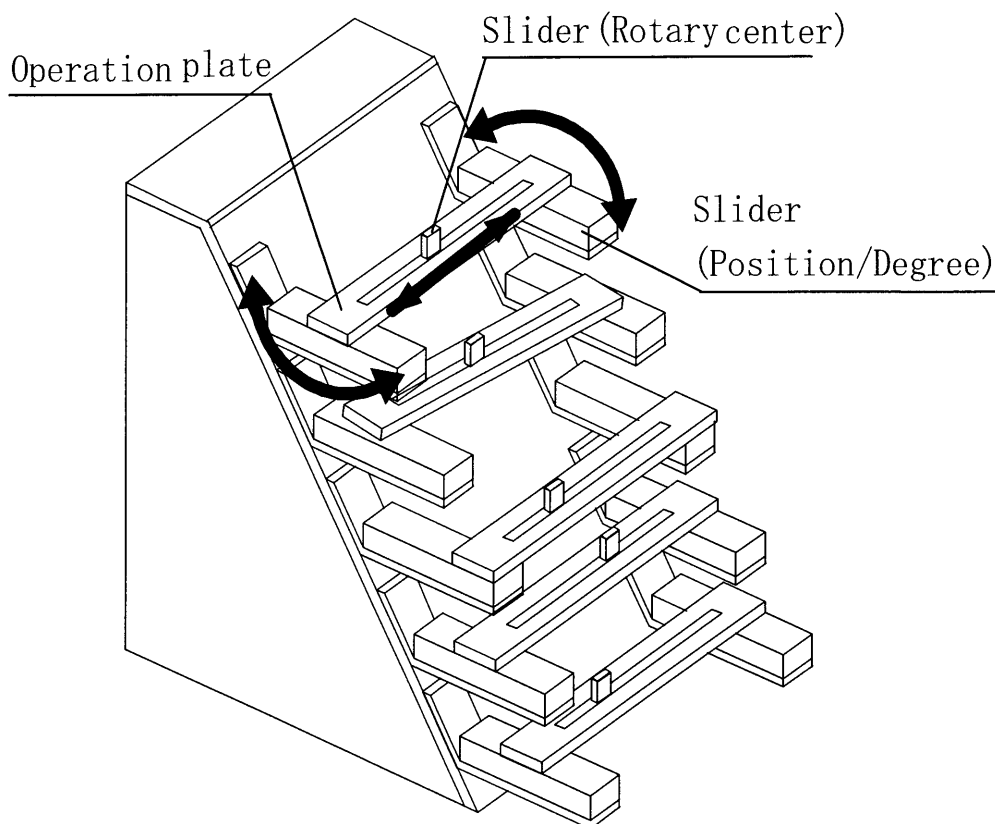


Fig. 3.5 Exclusive operation device

## 3.2 マウスと操作器による比較実験

### 3.2.1 実験の目的と方法

試作した操作器による操作と、操作画面を見ながらのマウス操作とで快適姿勢を導く際における操作性の違いに対して主観的な評価を行う。

実験時間は5分間とし、被験者にはリラックスする姿勢を心がけてもらいながら、自由に背もたれの形状を操作してもらおう。その際のパラメータは操作器のものに合わせ、形状と回転中心のみに限定した。

評価には被験者からの簡単なアンケートにより行う。内容はそれぞれの操作方法に対して”脅威を感じる”、”わかりやすい”、”簡単である”を5段階で評価したものとする。また実験準備として、個人の座り方に浅い深いなどのばらつきが生じてしまうと背もたれにかかる荷重が変わってしまうため、各被験者には臀部がある程度同等の位置になるよう意識し、そのまま自然に腰掛けてもらった。さらに実験中、手すりに腕が乗っていると荷重データに影響が生じる恐れがあるので、腕は手すりではなく膝の上に置かせた。着衣のしわによる局所的な荷重の発生を防ぐためにも、過剰な着衣は避け、極めて軽装な状態で実験に臨むよう指示した。

被験者は21歳～23歳の学生4人である。被験者の体型データを Table3.1 に示す。

Table 3.1 Subject Data

Subject Number	Sex	Age	Height[cm]	Weight[kg]
Subject 1	Male	21	173	55
Subject 2	Male	21	171	54
Subject 3	Male	21	178	63
Subject 4	Male	22	172	65

### 3.2.2 実験結果と考察

Fig.3.6 にアンケート結果をグラフ化したものを示す。グラフにおいて色の濃い方がマウス、薄い方が操作器に対しての評価結果である。縦軸に各評価項目の得点でグラフは被験者間での評価の平均値を示し、また細い線はその標準偏差を示す。

グラフより、分かりやすさと操作しやすさについては操作器を使用することで向上するという結果が得られた。しかし、恐さに関しては操作器を使用することで負の影響を与えるという結果であった。

上記の結果を自由に発言してもらった意見と合わせて考察する。まず、操作器を使用したときに感じた恐さについて、背もたれが自分の思った以上に変化したことが理由として考えられる。被験者の意見から、微妙な操作を行う際に操作器を自分の思った位置で止められなかったことにあるとわかった。微小な操作をする場合には、手のひらや肘など腕の一部を肘掛や台などに置き、固定させたほうが安定し操作しやすい。しかし、本実験においては導く姿勢に影響が出ないよう体の斜め前に操作器を置いて操作を行ったために、操作器を微小に変化させるのが困難であったようだ。

次にわかりやすさについて、この項目のもっとも大きな要素は”動作の方向と操作方向が直感的に一致すること”である。これについて実験の際の被験者の様子から、操作画面のマウスによる実験では比較的操作の理解に時間がかかったが、操作器での実験はほとんど説明をする必要も無く、途中で混乱することも無いと印象を受けた。人によっては複雑な機構とシステムを見ただけで距離を置いてしまいがちだが、操作器での操縦には「面白い」「楽しい」という意見も得られた。これらの結果から多くの人の

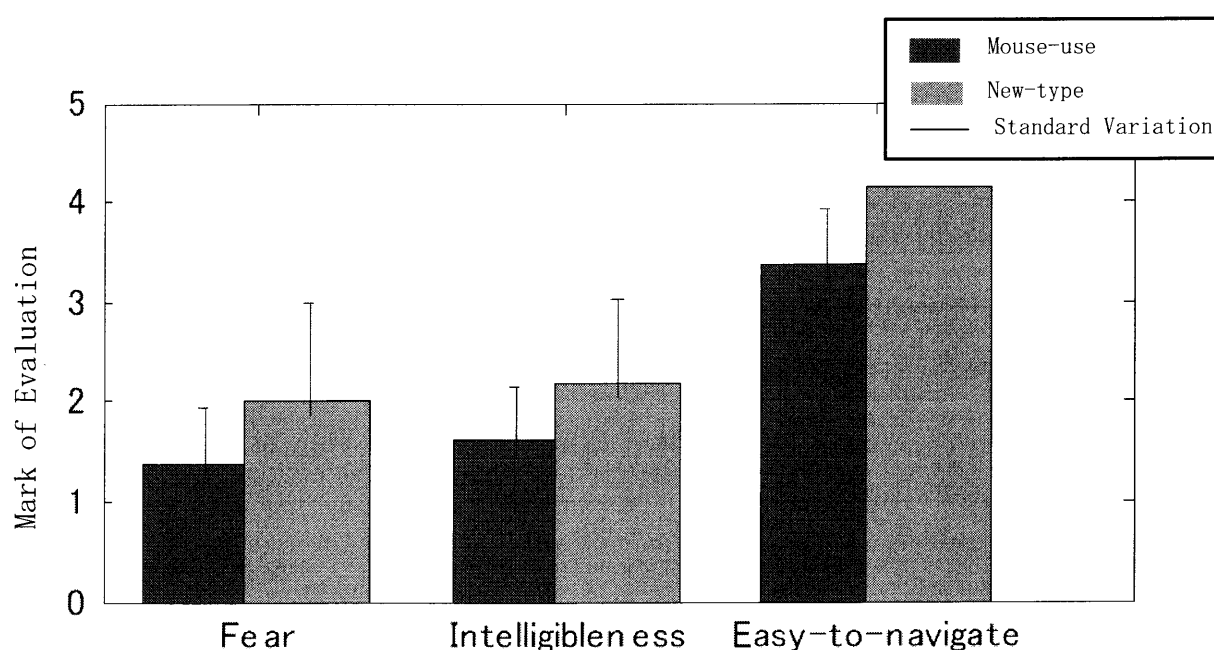


Fig. 3.6 Result of questionnaire

が操作するという点においての最大の問題である”わかりにくさ”は軽減できたといえる。

最後に操作しやすさについて考察する。この項目については予想したほど大きな差は見られなかった。その原因のひとつとして、先に述べた恐さを感じた理由でもある腕の不安定感がある。さらに二つ目として被験者がパソコンを日常的に使用する学生であったことも大きな原因である。つまり、今回の被験者は、マウス操作に対する不自由さをあまり感じる事が無いために大きな差がみられなかったと考える。しかし、これらマウス操作に慣れている被験者において使いやすさの評価に差が見られるということは、マウス操作に不慣れな人にはより操作しやすくなったものと予想できる。特に細かな入力バーを操作する必要のなくなったことが、操作しやすさに差を生じさせた大きな理由だと考える。よって、操作しやすさの点においても操作器の構築は大きな効果を得られたといえる。

以上の結果をまとめると、画面をみながらのマウス操作と操作器によるの比較評価を行った結果、操作器の方がわかりやすく、使いやすいとの結論を得た。また、使いやすさの面において、操作時に腕の一部を置けるような安定した台を作るなどの配慮をすることにより、さらに使いやすく、また恐さを与えない操作器となることが分かった。

以上より操作器の構築は有効なものであるといえる。

### 3.3 操作器のゲインと背もたれの弾性との関連性

#### 3.3.1 実験目的と方法

操作器による実験で被験者から多く聞かれた意見に”微調整できない”ことが挙げられた。背もたれの変位は、その構造を模擬したスライダを被験者がどれだけ動かしたかに依存するために、ある程度操作に慣れないうちは、思ったよりも背もたれが動いてしまうという状態に陥りやすく、結果的に恐怖感や驚きの指数として影響してしまうのである。本来用具を必要としている対象者の状態を考慮すると、脅威を与えてしまうようでは快適姿勢を導く装置としてふさわしくないのは言うまでも無い。その

点、マウスによる操作が比較的安心できる要因は操作画面での入力バーの幅が操作器に比べて広く、マウスの操作入力に対して出力が小さいので、対象者の想定範囲を超えないことが理由として考えられる。

そこで、操作器におけるゲインに変化をつける実験を計画し行った。ここでのゲインとは直接アクリル板をスライドさせる入力と、実際に背もたれが変化する出力の割合を表わす。ゲインの値が大きいほど少ない操作で大きな動作をさせることができ、反対にゲインが小さいとより細かい微調整が可能となる。ここで数値として、操作器のスライド範囲と装置のボールねじの動作範囲を等しく設定したゲインを1とする。

また前回の実験より安定性が快適性に与える影響も大きいとされるために、ゲインと同時に、安定の要因として考えられるパラメータである”弾性”にも変化を加え快適な操作性に関する考察を行う。

まずゲインについて段階分けは本来のゲイン値である1を中心に5段階に設定した。最も小さい値と大きな値では出力される変位値が約3倍異なるため、それぞれ操作感到十分な違いがみられると考えられる。パラメータの設定値を Table.3.2 に示す。

次に弾性に関して、設定によって感覚の違いをはっきりさせることと、装置の安定性を考慮し、本来の値から3段階に設定した。数値の設定は実際に腰掛けながら行い十分に違いがわかる数値に調整を行った。

Table 3.2 gain values and elasticity values

	①	②	③	④	⑤		I	II	III
Gain	0.4	0.7	1	1.3	1.5	Elasticity( $k_1, k_2$ )	(127, 0.7)	(157, 3.7)	(187, 6.7)

実験は、これら  $5 \times 3$  の 15 パターンによる操作器における操作性の違いを検証する。またデータに大きな変化をつけるために被験者には状態が傾くような拘束を行い、体幹変形者にみたてて装置に腰掛けてもらう。ランダムに設定される各々のパターンについて主観的、客観的評価を行う。まず主観的な評価にはアンケートによる手法で行う。その内容と用紙を Fig.3.7 に示す。アンケートには快適性に影響があるとみられるパラメータ「不安定さ」「不快感」「恐怖感」「驚き」「もどかしさ」の5項目を設定しそれぞれを”強く感じる”から”全く感じない”の7段階で評価してもらった。次に客観的な評価として、操作器のスライドを動かした操作量を検出

する。操作量の算出には式(3.1)、を用いる。ここで、 $Q$ ：操作量、 $k$ ：サンプリング点、 $f(x)$ ： $k=x$ における位置とすると、

$$Q = 100 \sum_{k=1}^{n-1} |f(k+1) - f(k)| \quad (3.1)$$

ここで、100倍したのは算出した数値を見やすくするための便宜的な処理である。この値は基準として操作履歴における平衡点の変位をサンプリング毎で差を取り、操作時間全ての和で表わす。スライダの入力に対する平衡点はゲインによって変化するために、和を取った後それぞれのゲインの逆数をかけて比較を行う。

またゲインと弾性による2つの水準間での交互作用を検討するために統計的処理である二元分散分析を行い、それぞれの関係性を検証した。なおデータのくり返しを等し

### アンケート用紙

実験日 . . .

名前 \_\_\_\_\_ 年齢 \_\_\_\_\_ 身長 \_\_\_\_\_ 体重 \_\_\_\_\_

1.	全く感じない	強く感じる	2.	全く感じない	強く感じる
不安定さ	-----		不安定さ	-----	
不快感	-----		不快感	-----	
恐怖感	-----		恐怖感	-----	
驚き	-----		驚き	-----	
もどかしさ	-----		もどかしさ	-----	
3.	全く感じない	強く感じる	4.	全く感じない	強く感じる
不安定さ	-----		不安定さ	-----	
不快感	-----		不快感	-----	
恐怖感	-----		恐怖感	-----	
驚き	-----		驚き	-----	
もどかしさ	-----		もどかしさ	-----	

Fig. 3.7 Questionnaire method

くするために被験者には15パターン全てについて体験してもらった。被験者は22～24歳までの学生4人とし、被験者の体型データをTable3.3に示す。

なお、座面と背面の傾きはそれぞれ6[deg]、110[deg]と健常者にとって標準とされる値に設定した。

### 3.3.2 2元配置分散分析

評価に用いた2元配置分散分析の理論と言葉の定義を以下に示す。

因子 A、B：実験結果に影響を与えると思われる要因

水準  $A_i$ 、 $B_j$ ：因子 A、B をいくつかの段階に分けた条件

この因子 A、B が互いに影響を及ぼしあっている場合に、因子 A と因子 B の間に、交互作用があるという表現を用いる。以下、この交互作用を、 $A \times B$  と表す。

データを  $x_{ijk}$ 、水準  $A_i$  の平均  $\bar{x}_i$ 、水準  $B_j$  の平均  $\bar{x}_j$ 、 $(A_i, B_j)$  の平均  $\bar{x}_{ij}$ 、総平均  $\bar{x}$  とすると、

$$x_{ijk} = \bar{x} + (\bar{x}_i - \bar{x}) + (\bar{x}_j - \bar{x}) + (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x}) + (x_{ijk} - \bar{x}_{ij}) \quad (3.2)$$

と表せ、式(3.2)を変形すると、

$$(\bar{x}_{ijk} - \bar{x}) = (\bar{x}_i - \bar{x}) + (\bar{x}_j - \bar{x}) + (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x}) + (\bar{x}_{ijk} - \bar{x}_{ij}) \quad (3.3)$$

となる。式(3.3)の両辺の2乗和を取れば、平方和の分解として次式が成り立つ。

Table 3.3 Subject Figure Data

Subject Number	Sex	Age	Height[cm]	Weight[kg]
Subject 1	Male	21	173	55
Subject 2	Male	21	171	54
Subject 3	Male	21	178	63
Subject 4	Male	22	172	65

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x})^2 &= \sum_{i=1}^a bn(\bar{x}_i - \bar{x})^2 + \sum_{j=1}^b an(\bar{x}_j - \bar{x})^2 + \\
&\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b n(\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2
\end{aligned} \tag{3.4}$$

式 (3.4) において、左辺第 1 項を総変動 ( $St$ )、右辺第 1 項を水準  $A_i$  間変動 ( $Sa$ )、右辺第 2 項を水準  $B_j$  間変動 ( $Sb$ )、右辺第 3 項を交互作用  $A \times B$  の変動 ( $Saxb$ )、右辺第 4 項を水準内の変動 ( $Se$ ) と呼ぶ。また、式 (3.4) において、 $a$  は水準  $A_i$  の総数、 $b$  は水準  $B_j$  の総数、 $n$  はくり返し数を示す。 $St$  は一定であるため、 $Saxb$  が  $Se$  に比べて大きいならば、交互作用があると考えることができる。また、 $Sa$  と  $Se$  の比を比べることで、水準  $A_i$  の変動を検定し、 $Sb$  と  $Se$  の比を比べることで、水準  $B_j$  の変動を検定することが出来る。

しかしここで注意すべき点は、交互作用がある場合に、単に  $A_i$  の変動や  $B_j$  の変動について検定ができない点である。交互作用がある場合は、組 ( $A_i, B_j$ ) を 1 つの水準とみなし、 $a \times b$  個のすべての水準 ( $A_1, B_1$ ) ( $A_1, B_2$ )、 $\dots$ 、( $A_2, B_1$ )、 $\dots$ 、( $A_a, B_1$ )、 $\dots$ 、( $A_a, B_b$ ) を 1 つの因子とした 1 元配置分散分析を行う。検定の結果、水準に有意差が認められた場合、組 ( $A_i, B_j$ ) における  $a \times b$  個のすべての水準について多重比較を行い、どの水準間に差があるかを検定する。多重比較の検定法は次項で説明する。

次に式 (3.2) において、右辺第 1 項を  $\mu$ 、右辺第 2 項を  $\alpha_i$  (水準  $A_i$  の主効果)、右辺第 3 項を  $\beta_j$  (水準  $B_j$  の主効果)、右辺第 4 項を  $(\alpha\beta)_{ij}$  ( $(A_i, B_j)$  の交互作用)、右辺第 5 項を  $\varepsilon_{ijk}$  (誤差項) と定義する。次に、

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^a \alpha_i &= 0, \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \\
\sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} &= 0, \quad (i = 1, 2, \dots, a) \\
\sum_{i=1}^a (\alpha\beta)_{ij} &= 0, \quad (j = 1, 2, \dots, b)
\end{aligned} \tag{3.5}$$

をみだし、 $\varepsilon_{ijk}$ は互いに独立に正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うと仮定し、それぞれの変動に対して、Table 3.4 に示すような自由度を持つので、それぞれの変動に対する平均平方 (不偏分散) は、

$$Va = \frac{Sa}{a-1}, Vb = \frac{Sb}{b-1}, Vaxb = \frac{Saxb}{(a-1)(b-1)}, Ve = \frac{Se}{ab(n-1)} \quad (3.6)$$

となり、これらはそれぞれの自由度に対して $\chi^2$ 分布に従う。したがって、交互作用を検定する場合、 $(Vaxb)/(Ve)$ は、自由度 $((a-1)(b-1), ab(n-1))$ の $F$ 分布に従う。ここで式 (3.5) で仮定した、

$$\alpha_1\beta_1 = \alpha_2\beta_2 = \dots = \alpha_a\beta_b \quad (3.7)$$

を帰無仮説とする。

先に得た $(Vaxb)/(Ve) = F_0$ を統計量として、 $F_0 \geq F_{((a-1)(b-1), ab(n-1))}(\alpha)$ となれば、帰無仮説を棄却する。つまり、有意水準  $100\alpha\%$  で、比較する水準間に差があることを示す。

2 元配置分散分析表を、Table 3.4 に示す。

Table 3.4 Degree of freedom

Change	St	Sa	Sb	Sa×b	Se
Degree of freedom	$abn-1$	$a-1$	$b-1$	$(a-1)(b-1)$	$ab(n-1)$

Table 3.5 Analysis of variance for two way layout

Change factor	Square sum	Degree of freedom	Average square	F <sub>0</sub>
Level A	Sa	a-1	Va	Va/Ve
Level B	Sb	b-1	Vb	Vb/Ve
Interaction A×B	Sa×b	(a-1)(b-1)	Va×b	Va×b/Ve
Level range	Se	ab(n-1)	Ve	—

### 3.3.3 多重比較

水準間の有意水準の差を比べるために多重比較を行った。

多重比較とは、複数の条件の平均値に全体として差がみられた場合に、どの条件の間に差があるかを検定するための手法である。多重比較にはいろいろな手法が開発されているが、本研究では、Tukey の方法による多重比較を用いた。

Tukey の方法による多重比較を以下に示す。

$$|\bar{X}_i - \bar{X}_j| \geq q(a, a(n-1); \alpha) \sqrt{\frac{Ve}{n}} = t_0 \quad (3.8)$$

ここで、 $\bar{X}_i$ 、 $\bar{X}_j$  は比較する水準のデータの平均、 $q$  は自由度( $a$ 、 $a(n-1)$ )の学生化された範囲に従う。 $n$  は各水準のデータ数(くり返し数)、 $Ve$  は水準内変動の平均平方である。これらは 1 元配置分散分析、または 2 元配置分散分析により求められ、田のものを使用する。

検定統計量を  $t_0$  とし、式 (3.8) を満たすならば、有意水準  $100\alpha\%$  で帰無仮説を棄却する。つまり、多重比較の有意水準  $100\alpha\%$  で、比較する水準間に差があることを示す。

### 3.3.4 実験結果と考察

測定結果 Table3.6 と分析表 Table3.7 を示す。Table3.6 において①～⑤はゲイン、Ⅰ～Ⅲは弾性の設定値を示す。それらの組み合わせ 15 通り全てをくり返し数 6 で行い、被験者が行った操作量を式(3.1)により検出し、二元分散分析で処理したうえで分析表を作成した。分析表において統計量  $F_0$  に着目すると、すべての因子においてゲインと弾

Table 3.6 Result of quantity of operation

	①	②	③	④	⑤
Ⅰ	68.97	42.07	22.11	38.64	64.92
	178.32	77.84	32.62	14.93	34.51
	15.43	27.21	8.82	21.87	9.83
	38.02	12.79	43.77	22.16	39.11
	66.40	29.10	39.28	13.04	24.98
	54.44	35.42	28.38	38.24	19.55
Ⅱ	96.38	53.19	20.98	20.39	33.07
	69.57	40.87	35.45	39.22	24.21
	34.39	13.08	14.66	30.93	16.77
	29.64	35.50	29.50	9.48	39.72
	59.36	51.66	35.00	6.94	24.05
	24.61	27.90	17.51	19.78	50.09
Ⅲ	57.03	50.37	21.77	15.45	19.51
	81.56	39.53	45.84	20.05	15.07
	19.37	12.67	47.37	6.11	8.95
	15.86	36.48	12.81	14.64	32.02
	73.51	30.06	32.91	33.31	10.99
	81.56	25.39	33.55	16.56	22.58

性の間に交互作用は見られなかった。このことから操作器のゲインと弾性は互いに影響を及ぼしていないことがわかった。次にゲインに対する水準に着目した。ゲインによる変動では、「不快」を除いた全ての因子において有意水準0.05において有意差が認められた。このことよりゲインの変更は主観的な評価に影響するものであることがわかる。そこでゲインを5段階に変更した場合において Tukey の方法による多重比較の検定を各因子ごとに行った。その結果を Table3.9 と Fig.3.8 に示す。G1 ～ G5 はそれぞれゲイン①～⑤の水準での平均値であり、表に示す値はそれぞれの差の絶対値をとったもので、式 (3.8) の統計量である  $t_0$  と比較し、有意差のあるという結果を \* 印で表示した。またグラフは結果がわかりやすいように作成したものである。比較の結果はそれぞれの因子によって異なるものとなり、各因子ごとの考察を行った。

「操作量」については、ゲイン①がゲイン③④⑤それぞれに対して有意水準0.05で差がみられる結果となった。このことにより被験者はゲインの小さい操作器において多くの操作を行っていることがわかった。ゲインが小さい場合、細かな微調整を行うことが出来るが、操作器自体のスライド幅は一定であるため、出力の動作範囲を大きく

Table 3.7 Analysis of variance two way layout

Quantity of operation		(*: $\alpha = 0.05$ )			
	Square sum	Df	Average square	F0	Prob>F
Elasticity	923.9	2	461.97	0.97	0.38
Gain	15621.5	4	3905.38	*8.21	0.00
E×G	1332.2	8	166.52	0.35	0.94
Level range	35688.1	75	475.84	—	—

Table 3.9 Multiplex comparison

Quantity of operation		$t_0 = 23.533^*$			
	G2	G3	G4	G5	
G1	23.516	*30.1	*37.9	*31.9	
G2		6.60	14.4	8.40	
G3			7.81	1.80	
G4				6.01	

(\*:  $\alpha = 0.05$ )

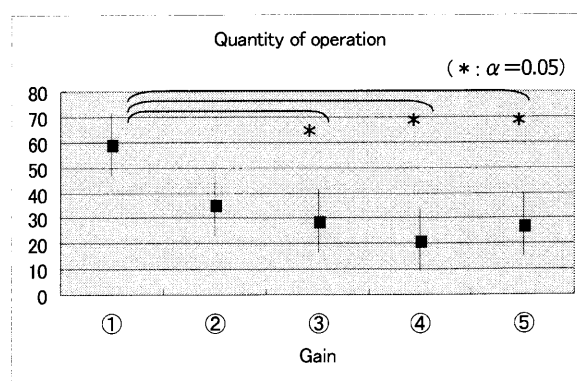


Fig. 3.8 Graph of multiple comparison

とることが出来ないために、思うような位置に動かすことが出来なかったことが原因として考えられる。

また、他の因子においても同様に分析を行った結果を Table.3.9、3.10、さらに Fig.3.9 に示す。「不安定」については、ゲイン①の評価がゲイン③の評価に対して高い数値となった。このことより小さいゲインに対して被験者は「不安定さ」を感じたことがわかる。「不安定」であると感じるのは、被験者が支えたいと感じたとき時、または支えたいと感じた部位を支えられない時、つまり思ったときに思った位置に動かさないことが原因であると考ええる。「操作量」の時と同様、ゲイン①は被験者が考える動作よりも下回る動作範囲であったと考えられ、それが「不安定さ」を向上させたと推測できる。

「恐怖」について、ゲイン①、②の評価値に対して④、⑤の評価値が高い値となった。このことより比較的大きなゲインによる操作に対して「恐怖」の感情を抱いたものと考えられる。大きなゲインにより背もたれが大きく動き、背中が押し出されることで、被験者は機械に対する恐怖感を感じたものであると考えられる。

「驚き」に関しては「恐怖」の結果と類似しており、ゲイン①、②の評価値に対して④、⑤の評価値が高い結果となった。このことに関して、被験者は比較的大きなゲインによる操作に対して「驚き」の感情を抱いたことがわかる。背もたれの動作は被験者から見る事が出来ないために、被験者の考えより少しでも大きな動きをしてしまうと装置に対して危険を抱きやすいと推測できる。

「もどかしさ」について、ゲイン③、④、⑤の評価値に対して、ゲイン①の評価値が高い値となった。このことにより小さいゲインによる操作に被験者はもどかしいと感じることがわかる。「不安定」の結果に近いことから、被験者は思うような動作が得られないことに対して「もどかしさ」の感情を抱いたものと考えられる。

さらに弾性については「不安定」と「不快」に関する因子について有意水準0.05について差があるという結果が得られた。

「不安定」に関しては、弾性Ⅲの評価値に対して弾性Ⅱが、また弾性Ⅱに対して弾性Ⅰの評価値が高い値となった。このことにより、小さい弾性の背もたれに対して被験者は「不安定」の感情を抱いたことがわかる。支えられる背もたれがたとえどれだ

け大きく動いても、支える力にある程度の手ごたえが無いと、安心して状態を預けることが出来ないと考え。また、より大きい弾性の評価値が低い値になっていることから、その力は大きいほど安心できると考えられる。

「不快」に関して、弾性Ⅲの評価値に対して弾性Ⅰの評価値が高い値になった。このことから被験者は比較的大きい弾性の背もたれ操作から「不快」の感情を抱くことがわかる。またゲインの変化による「不快」な感情への影響は見られないことから、背もたれの押しが原因ではなく、「不安定さ」からの影響が大きいと推測できる。また実験で被験者が行った操作履歴のデータの一部次に示す。Fig.3.10、Fig.3.11 はそれぞれ被験者 A、被験者 B が変化をつけた平衡点の操作履歴であり、縦軸に変位 [m]、横軸に時間 [s] として表示してある。背もたれの 1 段～ 5 段には、青、緑、柿、水色、紫の順でそれぞれ対応している。またタイトルの A(4,1) は、被験者 A(ゲイン 4, 弾性 1) による操作履歴であることを意味する。履歴から小さいゲインの操作は、大きいものと比べて、同じ段を頻繁に操作する傾向があることがわかる。それは特に腰の位置（紫、水色、柿色）付近の段に見られ、快適な姿勢を導くにおいてなかなか適した位置が決まらず試行錯誤している様子が想像できる。それに対し、大きいゲインでの操作は少ない操作で快適な位置を決定している。身体を安定させるには、まず腰の位置を支えることが重要であることが考えられる。また状態を預けようとしたとき、特に背後にもたれる場合、安心できるか否かは支えによる背中への感触でしか判断できない。小さいゲインによる操作では、自分が思うより動作範囲が小さいために背もたれの感触に安心感が得られず、そのため状態を預けるのに満足するだけのサポートが得られなかったとみられる。よって被験者が何とか腰を支えようと操作し、結果頻度として現れたと考える。これによりゲインは、小さすぎると心理的な不安を誘発し、不安定やもどかしさなどの指数につながることを推測できる。また反対に大きすぎると恐怖感や、驚きを与えてしまうために、対象者の特徴や慣れにしたがってゲイン値を変更することが姿勢を導く上で大切であるといえる。

Table 3.9 Analysis of variance two way layout

Instability					
	Square sum	Df	Average square	F0	Prob>F
Elasticity	74.956	2	37.478	*14.27	0.00
Gain	31.489	4	7.872	*3	0.02
E×G	23.044	8	2.881	1.10	0.38
Level range	197.000	75	2.627	—	—

Unpleasantness					
	Square sum	Df	Average square	F0	
Elasticity	18.289	2	9.144	*3.23	0.05
Gain	17.511	4	4.378	1.55	0.20
E×G	14.489	8	1.811	0.64	0.74
Level range	212.333	75	2.831	—	—

Fear					
	Square sum	Df	Average square	F0	Prob>F
Elasticity	2.489	2	1.244	0.71	0.49
Gain	88.956	4	22.239	*12.7	0.00
E×G	7.844	8	0.981	0.56	0.81
Level range	131.333	75	1.751	—	—

Surprise					
	Square sum	Df	Average square	F0	Prob>F
Elasticity	0.089	2	0.044	0.02	0.98
Gain	129.067	4	32.267	*15.27	0.00
E×G	14.8	8	1.85	0.88	0.54
Level range	158.5	75	2.113	—	—

Impatience					
	Square sum	Df	Average square	F0	Prob>F
Elasticity	17.489	2	8.744	3.09	0.05
Gain	91.178	4	22.794	*8.06	0.00
E×G	29.289	8	3.661	1.30	0.26
Level range	212	75	2.827	—	—

Table 3.10 Multiplex comparison

Instability $t_0 = 1.748^*$				
	G2	G3	G4	G5
G1	1.056	*1.833	1.111	1.222
G2		0.778	0.056	0.167
G3			0.722	0.611
G4				0.111

Fear $t_0 = 1.428^*$				
	G2	G3	G4	G5
G1	0.056	0.667	*1.889	*2.389
G2		0.722	*1.944	*2.444
G3			1.222	*1.722
G4				0.500

Surprise $t_0 = 1.568^*$				
	G2	G3	G4	G5
G1	0.000	1.000	*2.389	*2.889
G2		1.000	*2.389	*2.889
G3			1.389	*1.889
G4				0.500

Impatience $t_0 = 1.814^*$				
	G2	G3	G4	G5
G1	1.222	*2.889	*1.944	*2.389
G2		1.667	0.722	1.167
G3			0.944	0.500
G4				0.444

Instability $t_0 = 0.936^*$		
	K2	K3
K1	*1.20	*2.23
K2		*1.03

Unpleasantness $t_0 = 0.972^*$		
	K2	K3
K1	0.633	*1.1
K2		0.467

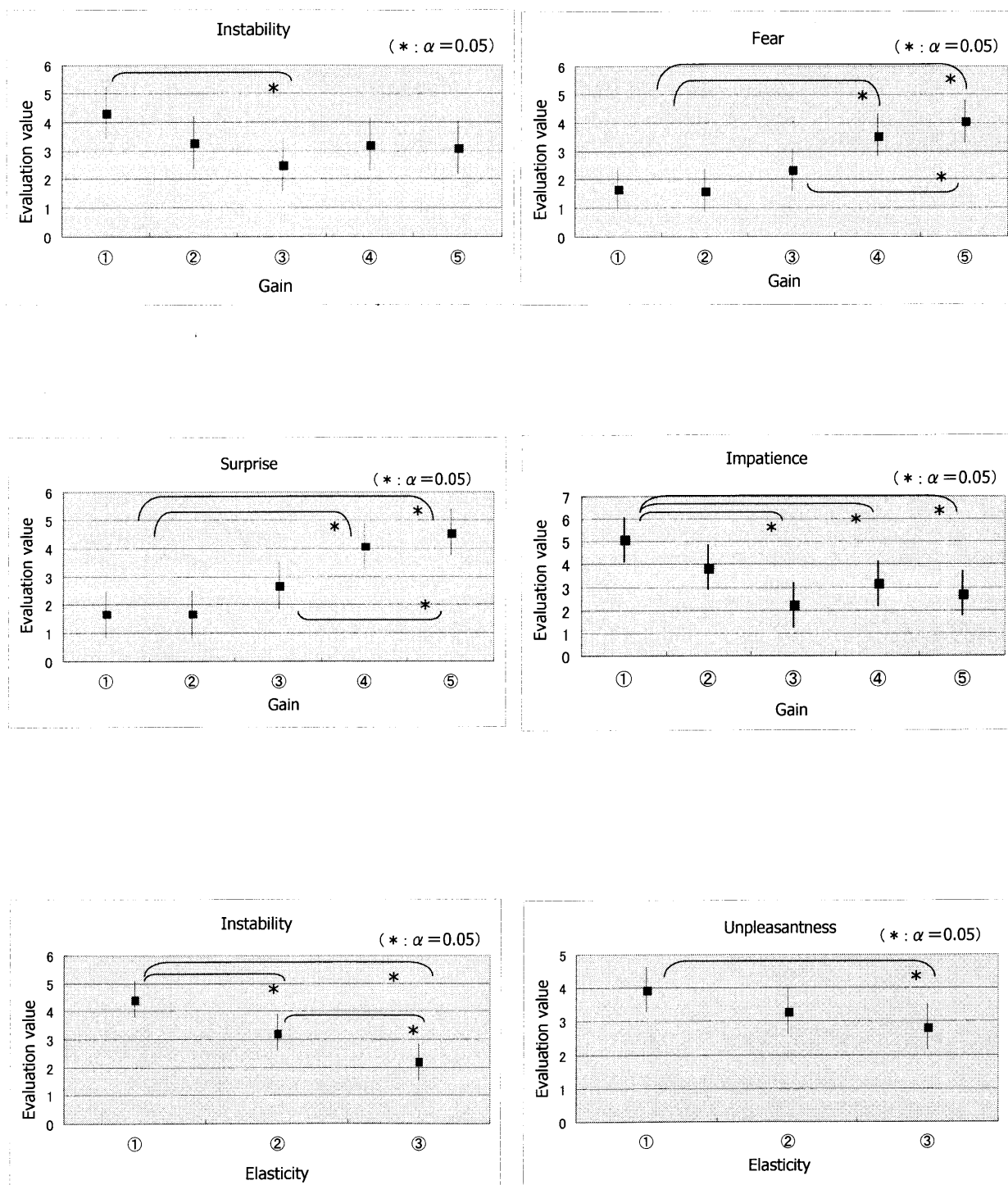


Fig. 3.9 Graph of multiple comparison

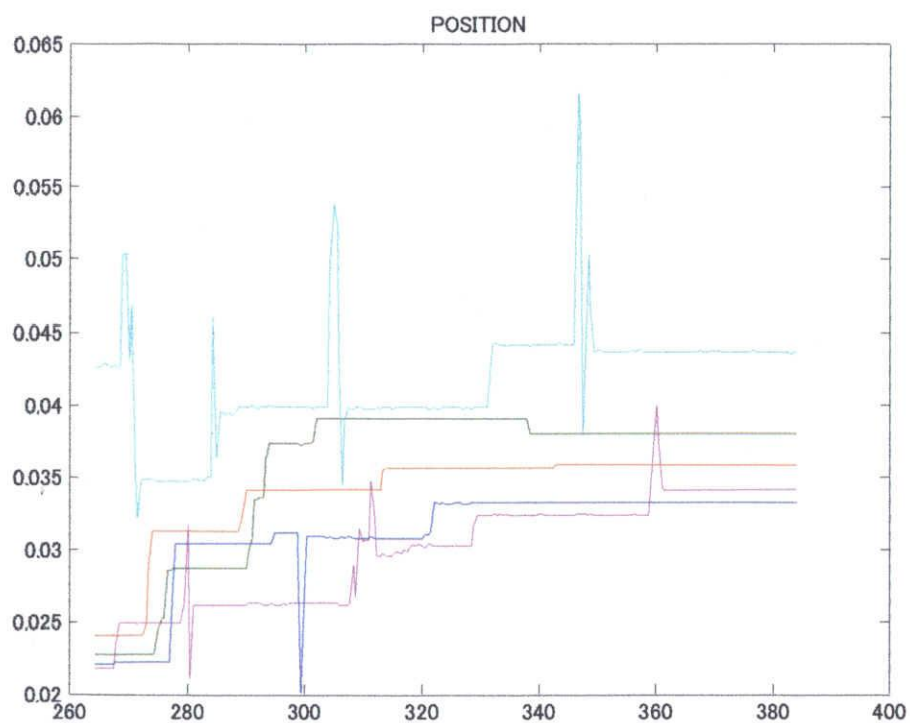


Fig. 3.10 Trace of the position A(1,1)

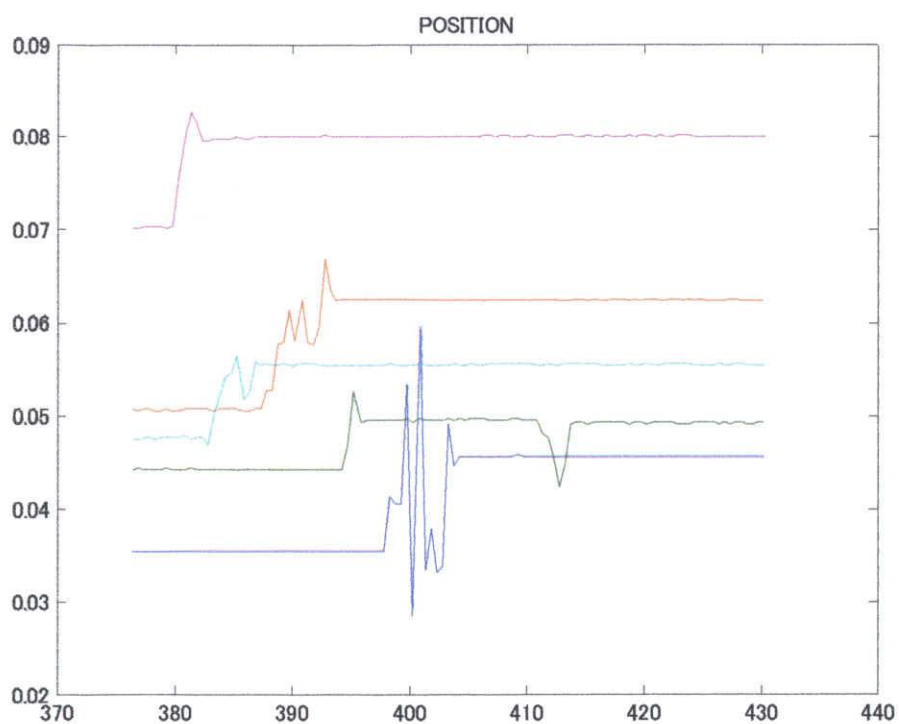


Fig. 3.10 Trace of the position A(4,1)

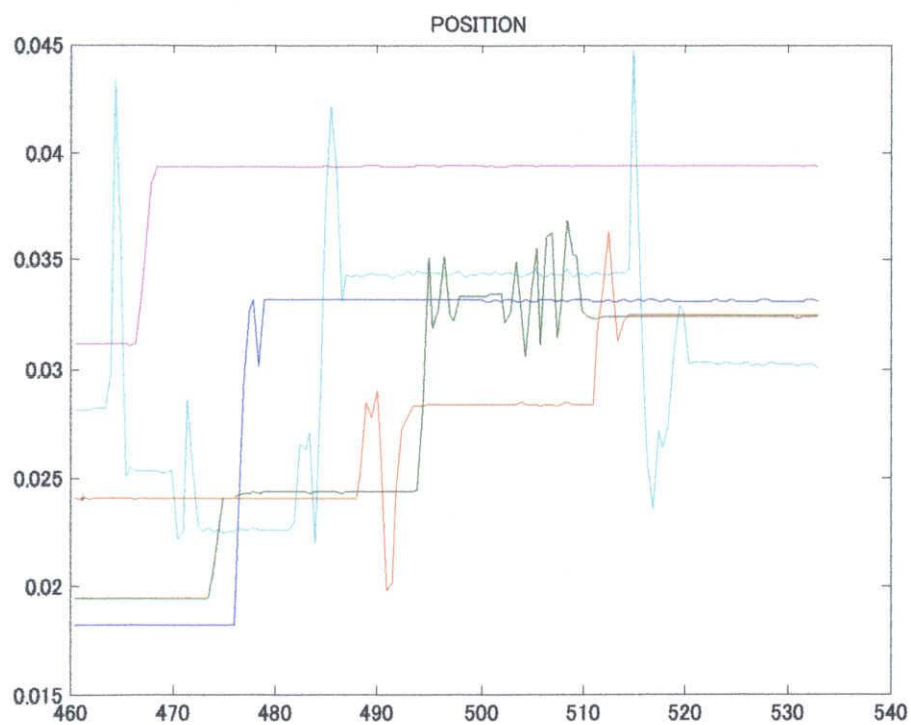


Fig. 3.11 Trace of the position B(1,3)

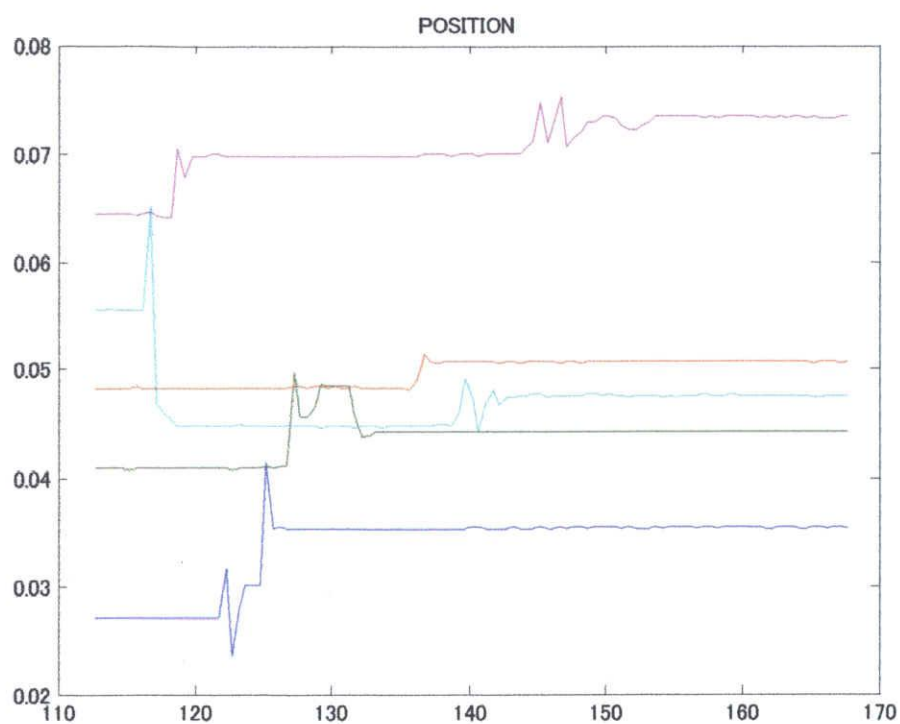


Fig. 3.11 Trace of the position B(5,3)

## 第4章

# 快適姿勢の検証

適正姿勢を評価装置のデータから判断できるように、快適であると本人が判断した状態のパラメータの値を検証する。

### 4.1 快適状態のパラメータ

#### 4.1.1 無操作時における状態の評価

操作システムの導入によって対象者が自由に操作した操作履歴を眺めていると、被験者はある程度操作した後、その状態を一時的に保持する様子が見てとれる。実験の際、被験者には快適性を意識して操作してもらうことから、この保持状態はある程度満足した状態とを示すとして、その無操作時における状態の評価を行った。

実験方法について説明する。まず被験者には快適な姿勢を心がけて背もたれの操作を行ってもらう。その際データにある程度の偏りを出すため、座面に角度をつけることで状態を湾曲させ体幹変形にみたてて操作を行なう。また実験準備として、各被験者には臀部がある程度同等の位置になるよう意識し自然に腰掛けてもらうこと、さらに実験中は腕を手すりではなく膝の上においてもらうことを指示した。なお着衣のしわによる局所的な荷重の発生を防ぐためにも、過剰な着衣は避け、極めて軽装な状態で実験に臨むよう指示した。実験時間は20分とし被験者は学生2名とする。

#### 4.1.2 実験結果と考察

Fig.4.1、Fig.4.2の上図は被験者が行なった縦軸に操作パラメータ、横軸に時間で表示した。順に平衡点[m]、角度[deg]、回転中心[m]の変移を示す。次にFig.4.2の下図はその間における荷重[N]を表わしたグラフである。それらを見比べると、全てのパラメータの操作が変化していない同じ時間帯が存在することに気づく。被験者には常に快適

な姿勢を意識しながら操作してもらったことから、この時間帯は操作の必要の無い快適状態であることであると判断する。次にこれらの状態のパラメータをわかりやすく表示しなおした結果を Fig.4.3、Fig.4.4 に示す。

Fig.4.3 の上図における3つのグラフは快適な時間帯 a におけるの平衡点 [m]、角度 [deg]、回転中心 [m] をそれぞれ表示したものである。縦軸は背もたれの各段を示し、快適であるとされる状態を表わしたグラフである。

次に Fig.4.3 下図は快適な時間帯におけるの各段左右における平均荷重をそれぞれイメージしやすいよう棒グラフで表示したものである。横軸に荷重 [N]、縦軸には背もたれの各段を2本ずつで示し、それぞれの上が被験者における左側、下が右側の荷重を示す。また Fig.4.4 は快適な時間帯 b での状態を示し、Fig.4.5 ～ Fig.4.10 にはその他の場合における無操作時間帯を評価したグラフを示す。

結果を述べると、一度の測定時間内で何度か現れる快適状態においては、荷重、各パラメータ値が、およそ同じような偏りになる傾向があることがわかった。この偏りは人の個性によりそれぞれ異なった分布をみせ、また同じ被験者でも時間があくと傾向は変化することがわかった。特に Fig.4.3、Fig.4.4 におけるグラフをみると、形状は若干異なるが左右の荷重のデータが似たような分布となっているために、快適な状態とは見た目上の操作位置ではなく、荷重のかかり具合が快適性を決めるうえで重要ではないかと考える。

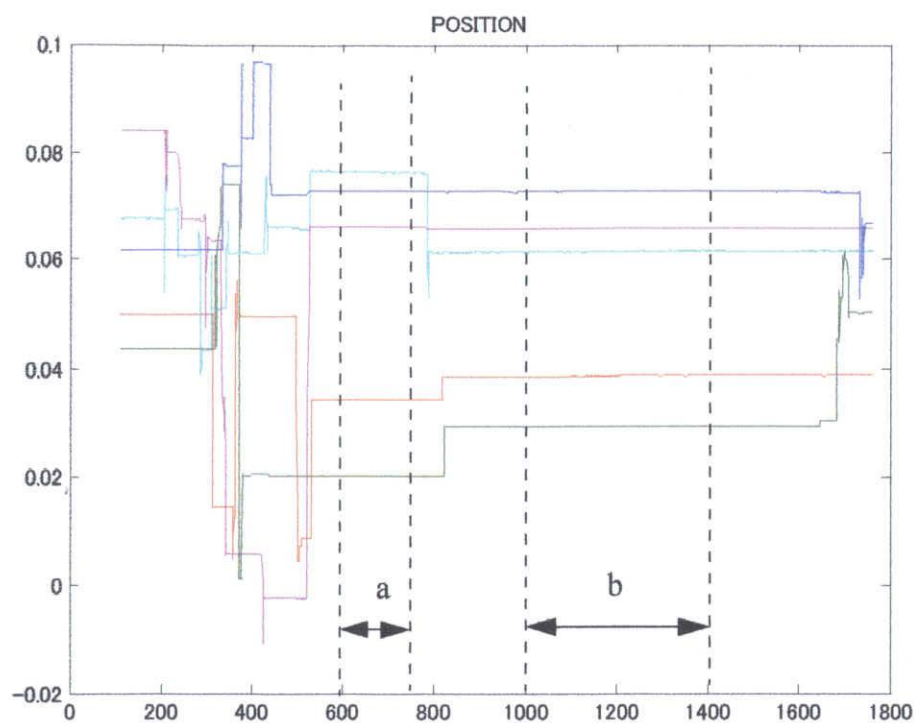


Fig. 4.1 Operation trace of A (position)

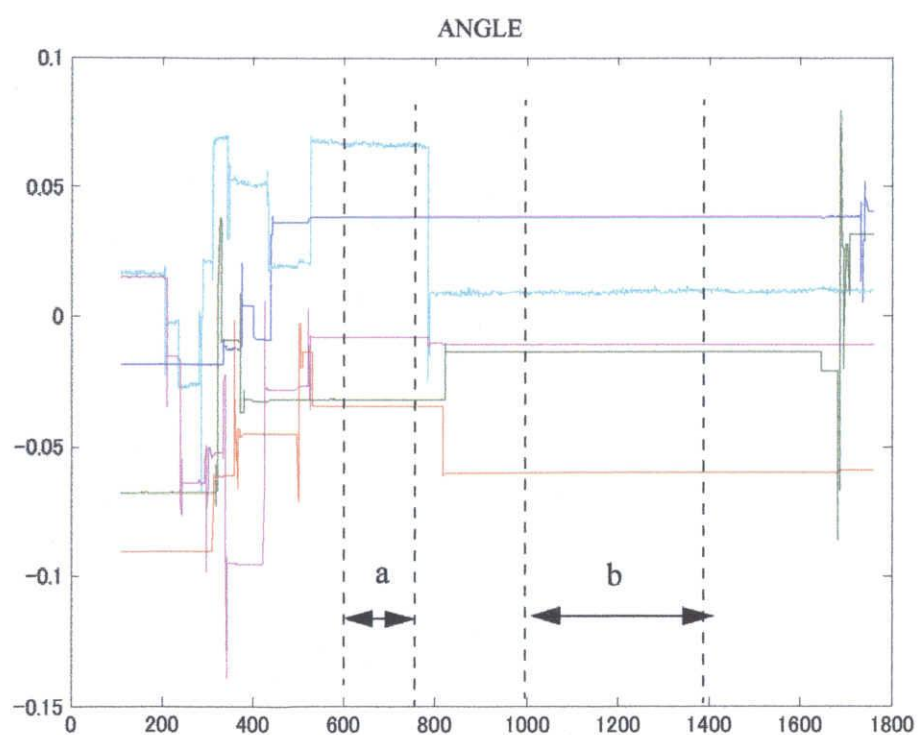


Fig. 4.1 Operation trace of A (angle)

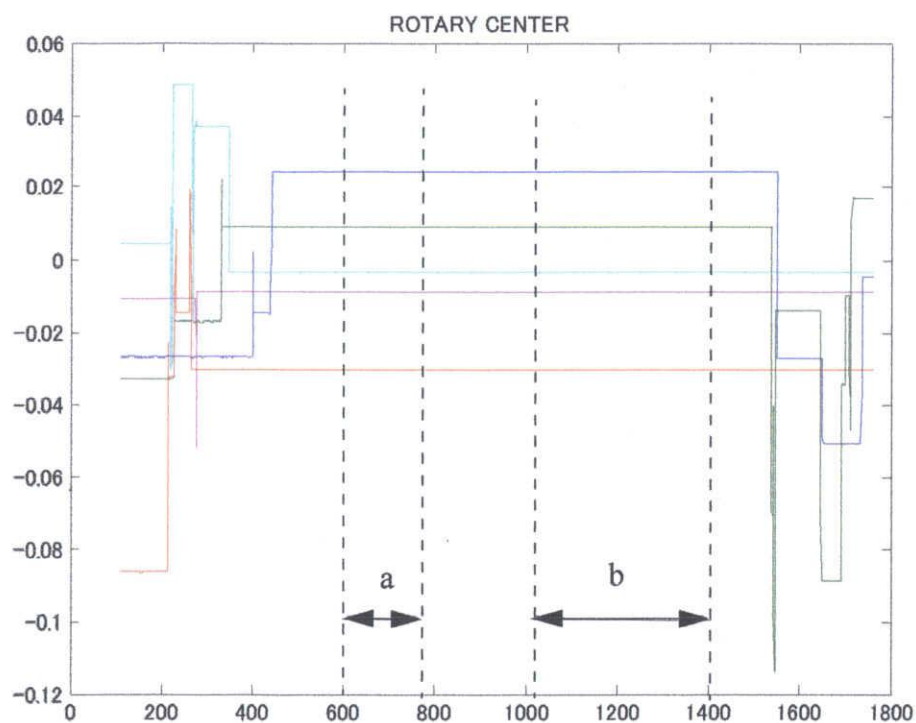


Fig. 4.2 Operation trace of A (rotary center)

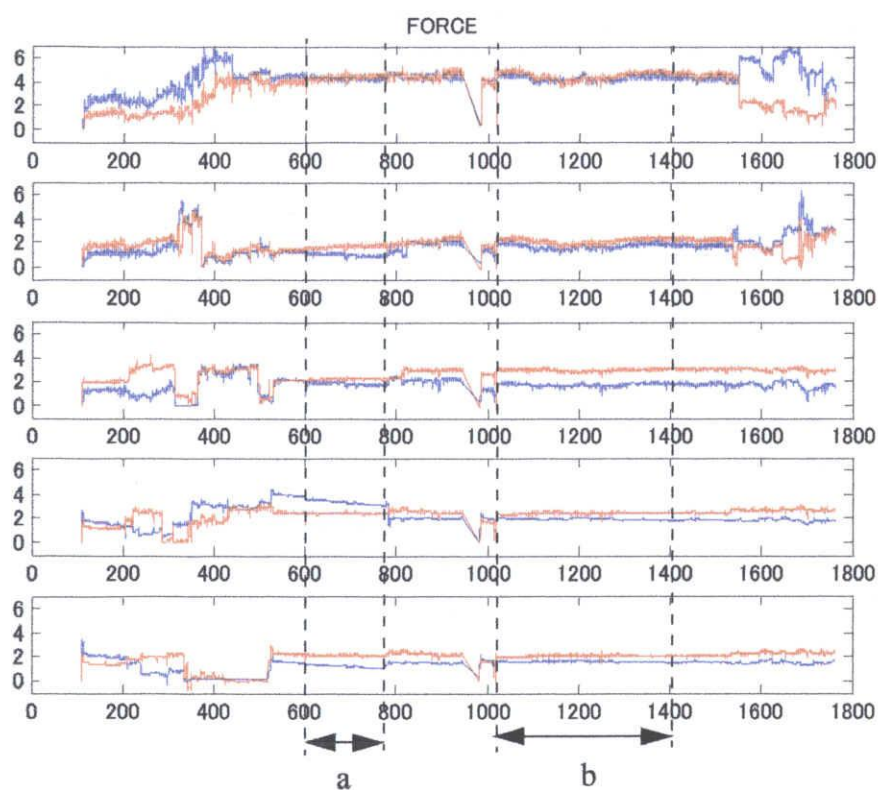


Fig. 4.2 Force trace of A

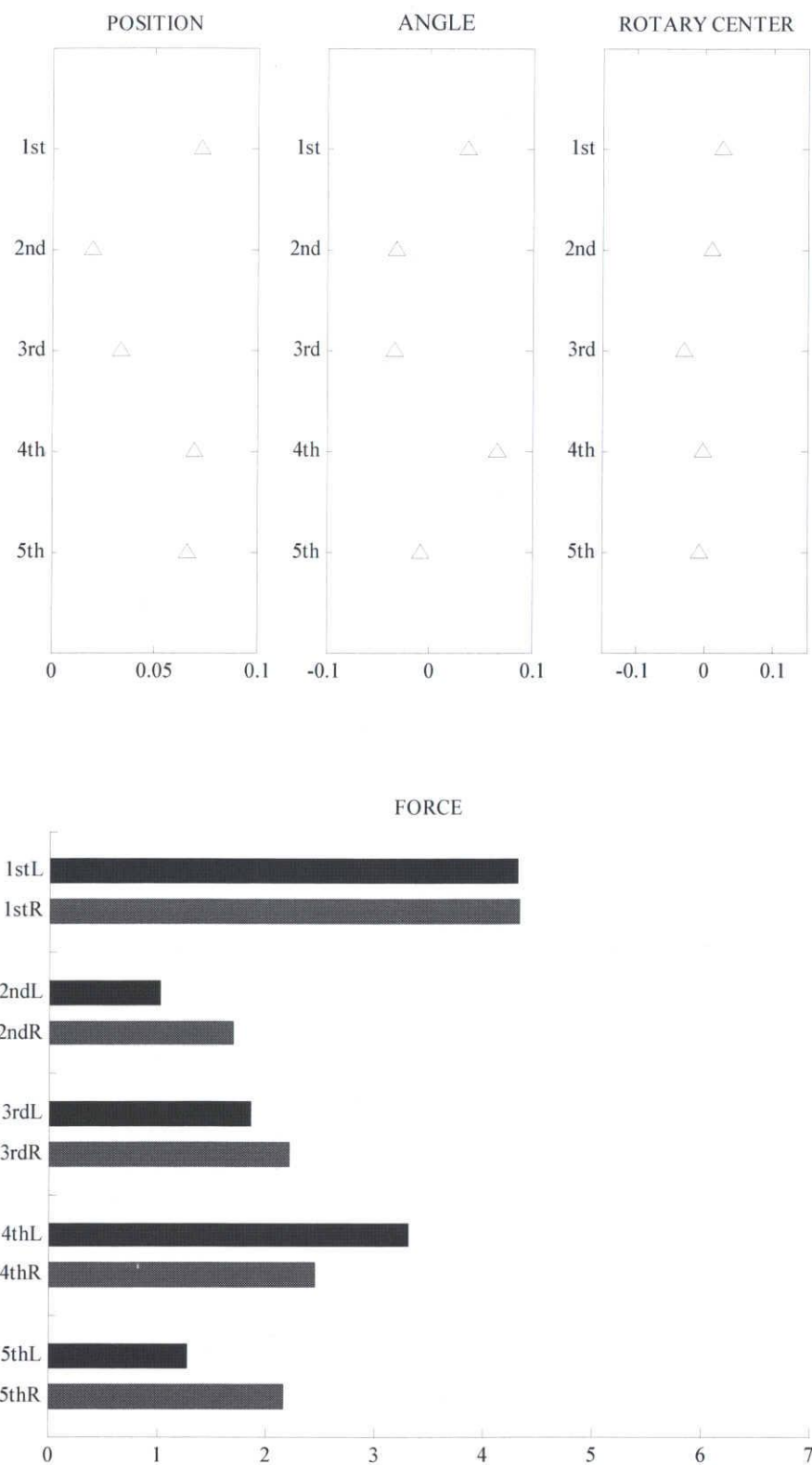


Fig. 4.3 Parameter of a comfortable state A(a)

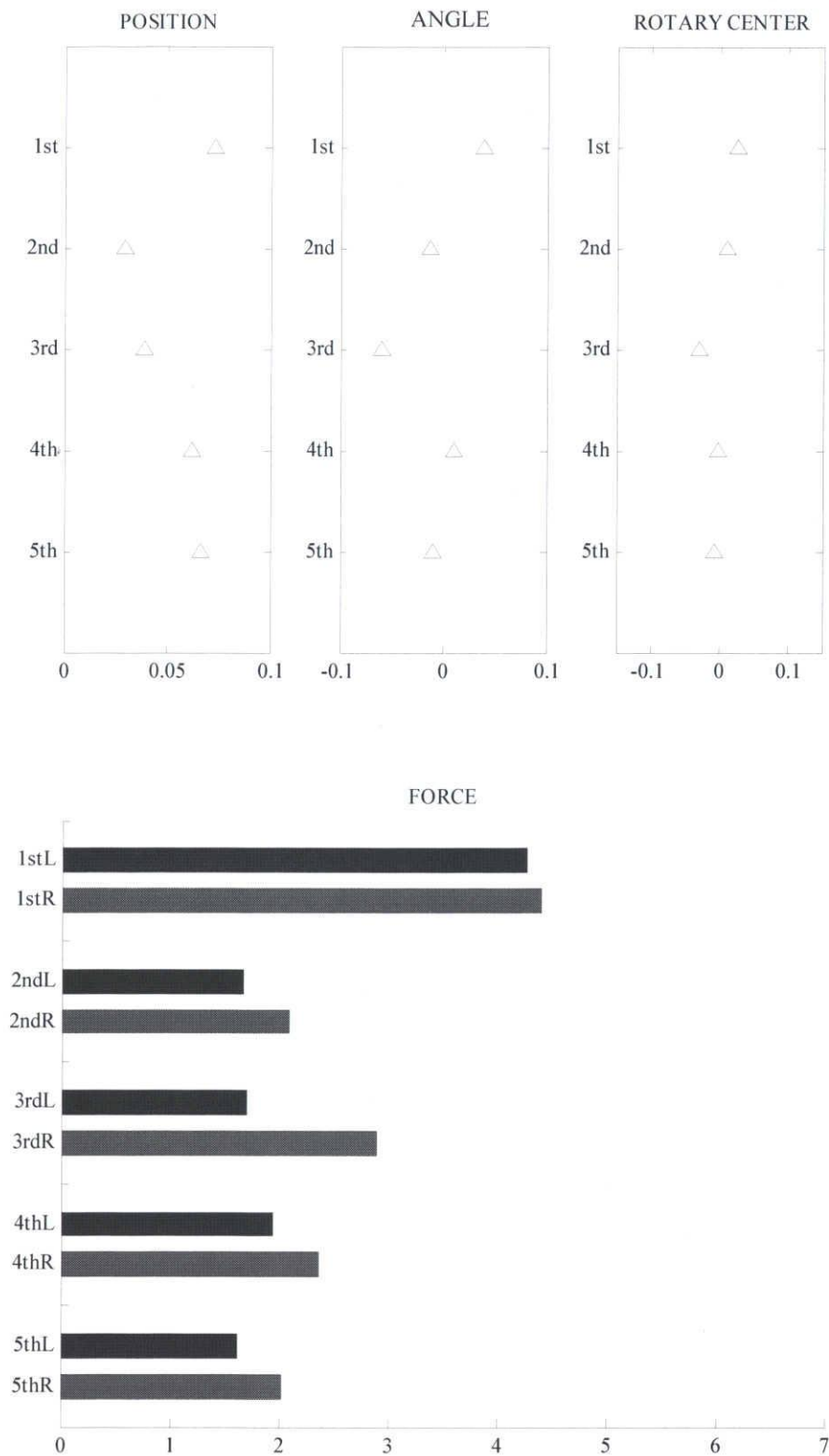


Fig. 4.4 Parameter of a comfortable state A(b)

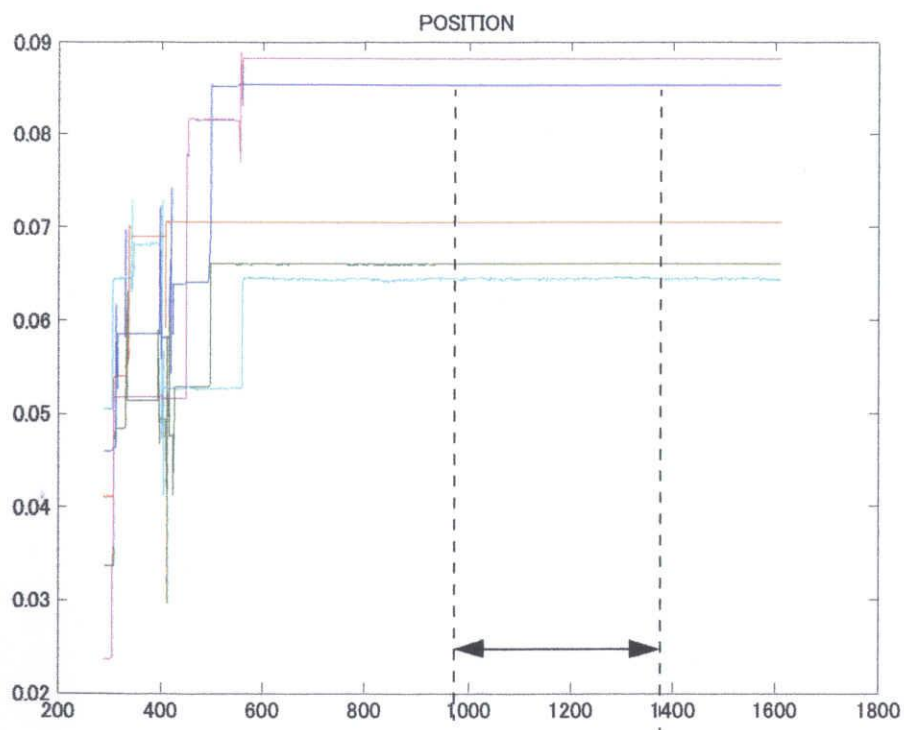


Fig. 4.5 Operation trace of B (position)

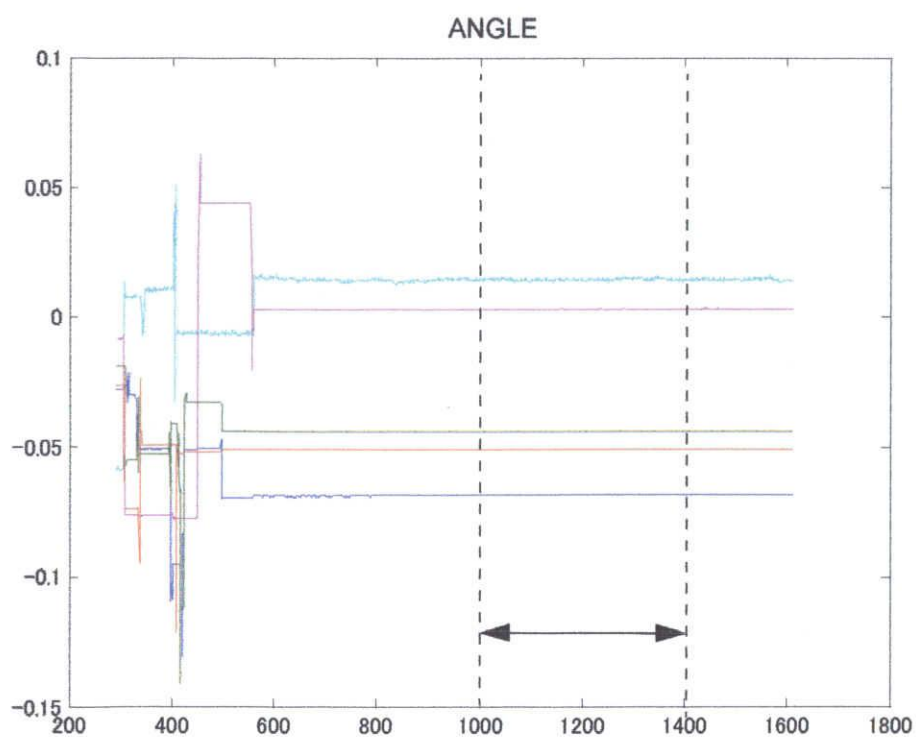


Fig. 4.5 Operation trace of B (angle)

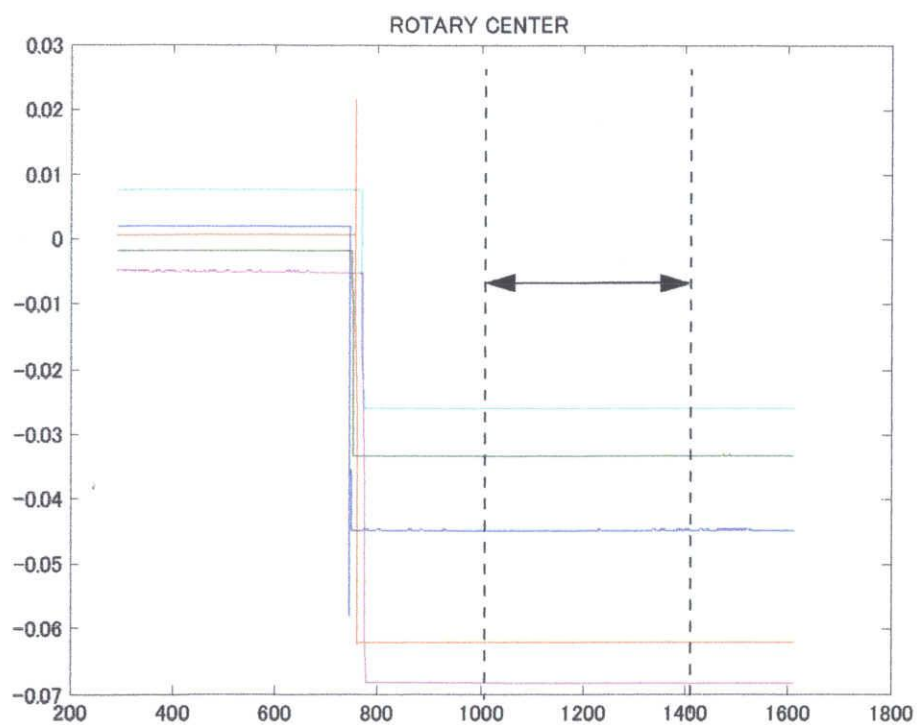


Fig. 4.6 Operation trace of B (rotary center)

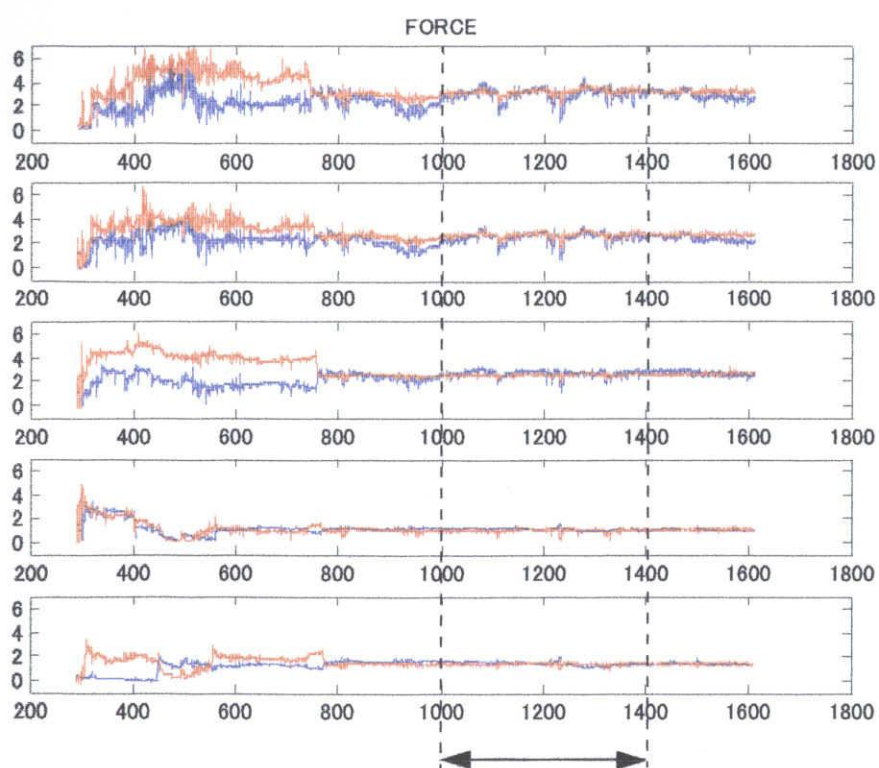


Fig. 4.6 Force trace of B

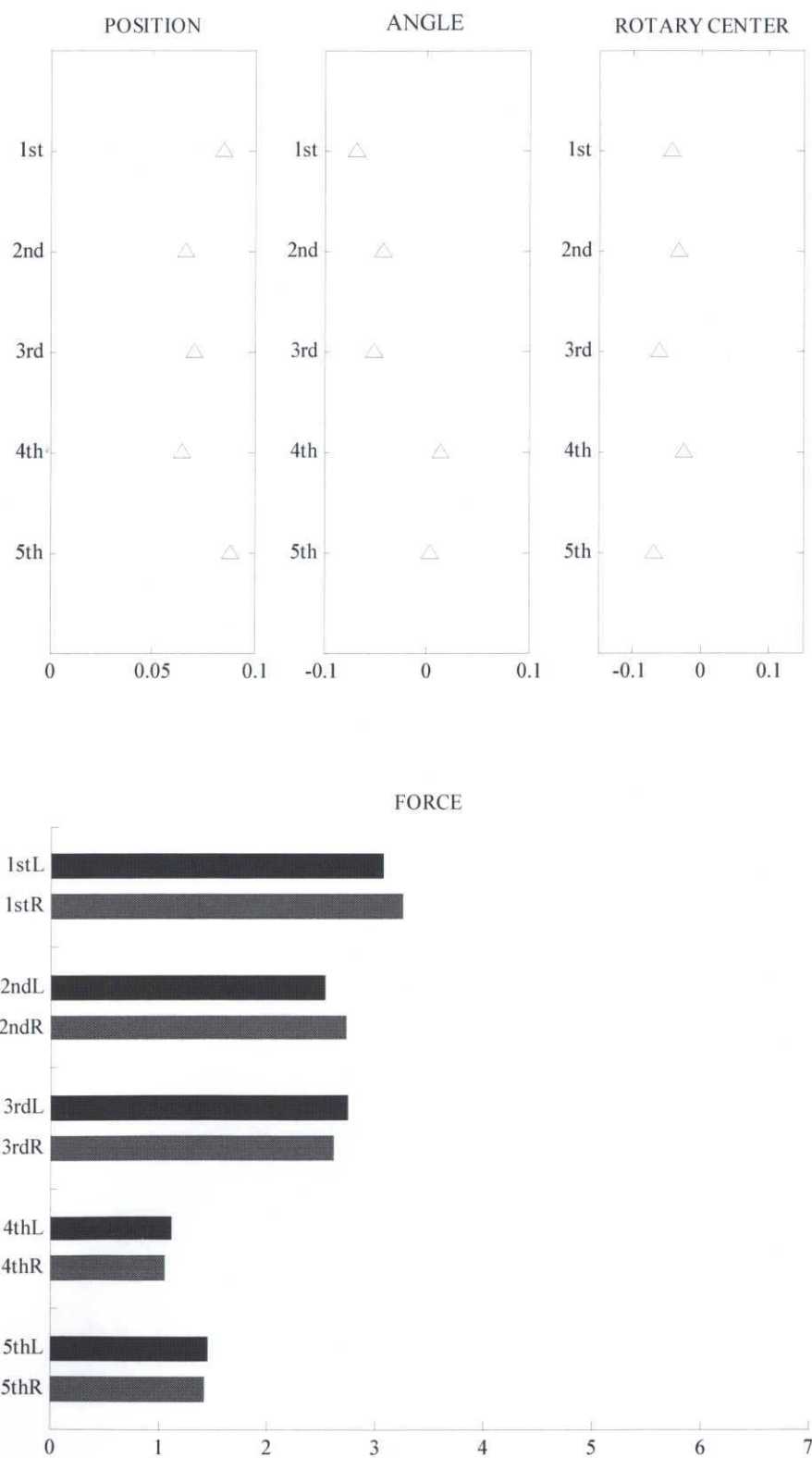


Fig. 4.7 Parameter of a comfortable state B

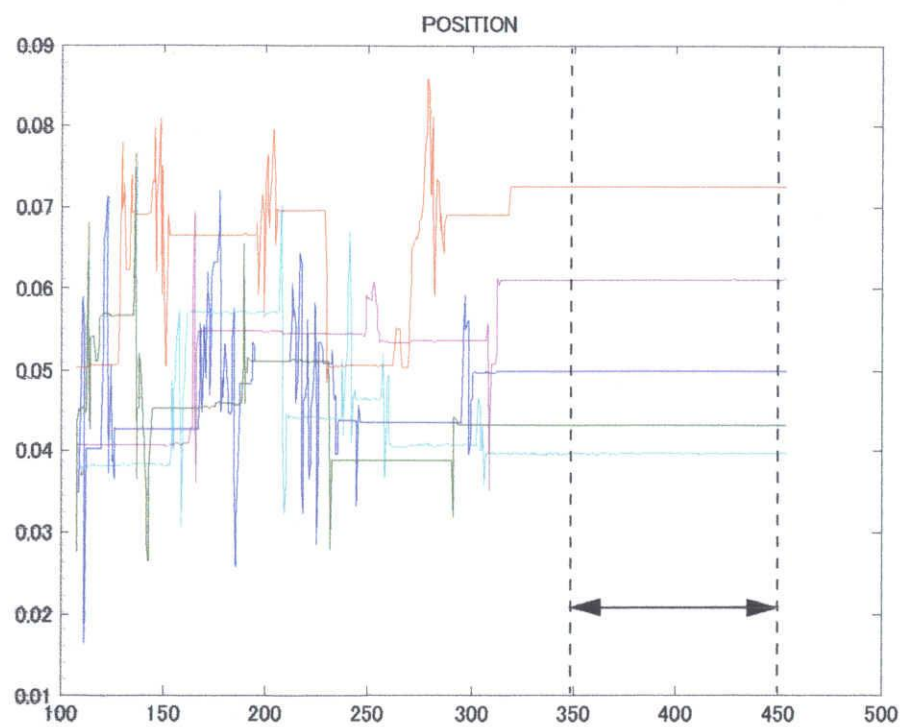


Fig. 4.8 Operation trace of A (positon)

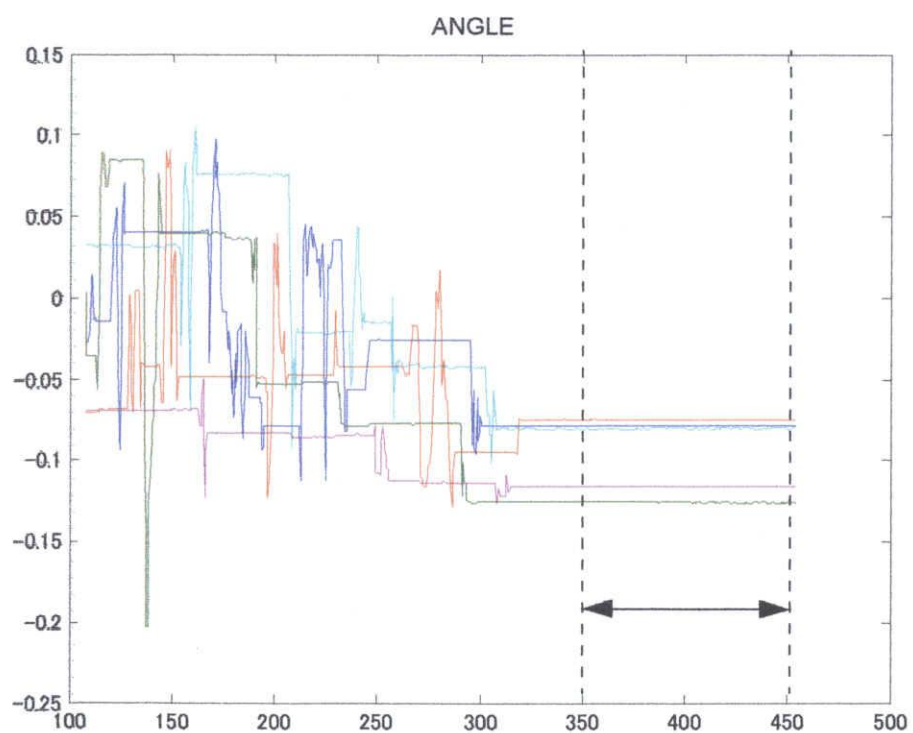


Fig. 4.8 Operation trace of A (angle)

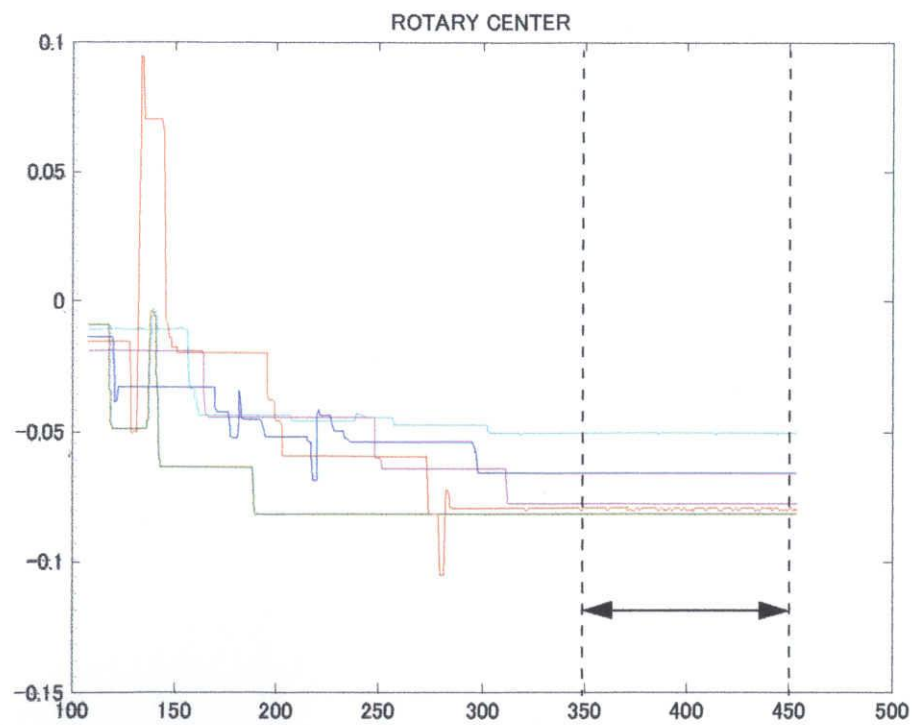


Fig. 4.9 Operation trace of A (rotary center)

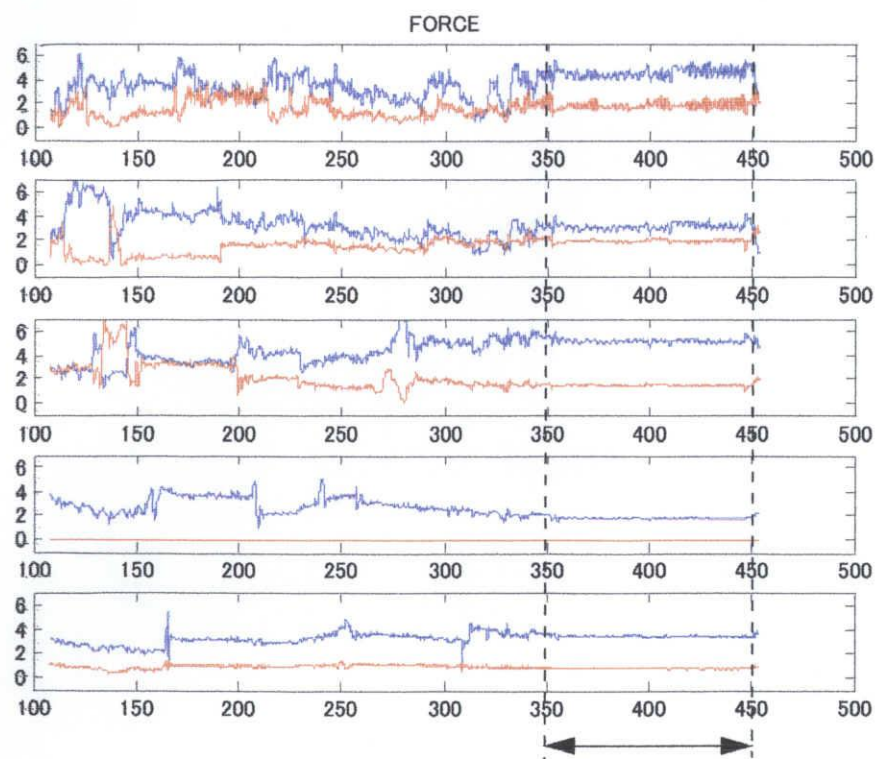


Fig. 4.9 Force trace of A

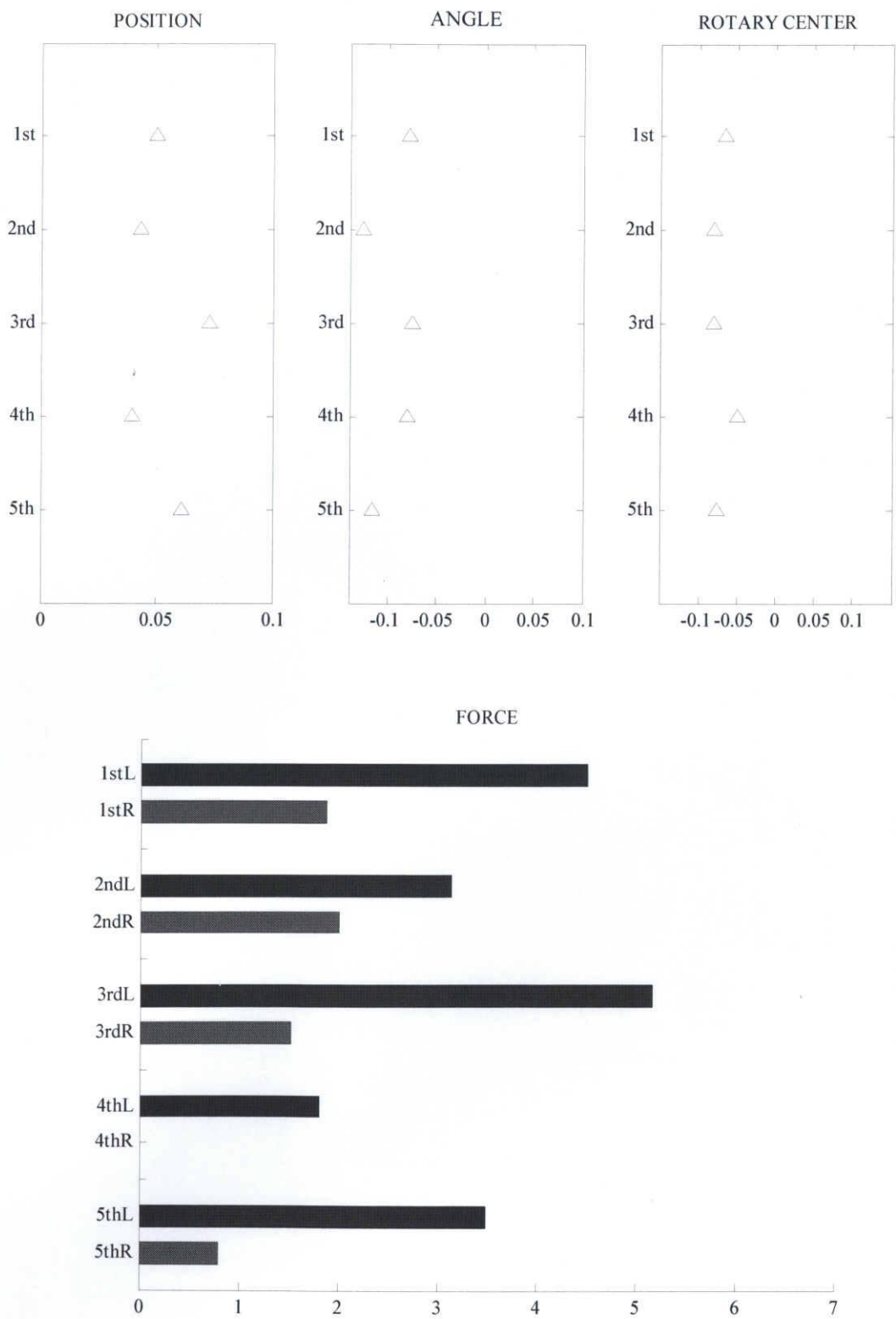


Fig. 4.10 Parameter of a comfortable state A

## 4.2 回転中心と快適性

これまでの実験により回転中心は、人が背骨を中心に動作を行なうために身体が湾曲した対象者にはその形状に沿うよう操作することで、活動がしやすく快適性が増すためであると考えられる。しかし、回転中心本来の意義はモーメントの割合に変化をつけるモデル上の支持点であり、対象者にとっては背もたれのねじりの方向に対する弾性に変化をつけることと同じである。さらに快適性には荷重の偏りが影響するということから、回転中心の変化によって荷重の分布に変化をつけることでも、快適性に影響があることが考えられる。回転中心で荷重変化することの利点は、対象者の姿勢を変えることなく荷重に変化をつけることが出来ることである。荷重による操作が快適性向上につながるのであれば、姿勢に大きな変化をつけることが出来ない対象者にとって有効なシステムになり得る。

本研究は姿勢の状態を装置で評価し、そのデータをもとに保持用具を製作するというスタンスである。しかし装置は保持の形状自体を変更するのではなく保持モデルのパラメータを操作することで保持する新しい快適性評価手法をとるが、実際にデータから製作した用具は、その後ある程度のパラメータ調節は望めるにせよ、装置のようにリアルタイムで様々な変化を加えることはできない。操作システムを用いることでの実験を重ねて、操作できる本装置でのみで考慮できる快適性があるのではないかと考え試験的な実験を行なった。

### 4.2.1 回転中心による荷重転移

まずは回転中心の荷重への影響をみる。被験者には背もたれをフラットの状態でもたれ掛かり、ゆっくり肩を左右に何度か振る動作をしたあと、操作器により回転中心を1～5段までをゆっくり左右に変移させてもらう。Fig4.11にはその際の荷重変位、さらに回転中心の変移のグラフを示してある、荷重グラフにおいて縦5段はそれぞれ背もたれの5段、縦軸に荷重[N]、横軸に時間[S]、さらに赤が対象者から向かって左側、黒が右側のセンサーからの荷重を示す。また回転中心のグラフは縦軸にパラメータ[deg]、横軸に時間[s]である。

回転中心を操作することで各段での荷重の変移を実際に身体をねじった際にかかる荷重の波形と同等の荷重変移を行なうことが出来る。また Fig.4.12 に示すように、ひとつのスライダで5段すべての回転中心を一斉に同じように操作すると、5段全ての荷重変移を同時に行なうことができ、身体を左右に振る動作と同等の荷重変移を行なうことが出来る。

次に実験内容として、被験者には事前に一度装置に腰掛けて自分の好きな背もたれの形状を導く。次に再びその状態で腰掛けてある程度保持し、姿勢に変化をつけたいと感じたときに、形状で変化するのではなく、回転中心による変化である程度対応してもらった。居心地の快適さを追求するために被験者には何の拘束も施さず通常状態で行う。

#### 4.2.2 実験結果と考察

Fig.13、Fig.14 に実験結果を示す。グラフは横軸に時間 [s] を示し、縦軸はそれぞれ順に平衡点 [m]、角度 [deg]、回転中心 [m]、背もたれの荷重 [N] のパラメータを示す。なお荷重においては赤が被験者にとって右側の荷重、青が左側を示す。結果から述べるに回転中心の操作のみで快適性を得ることは難しいと考える。5段全ての回転中心を同時に動かすことでも同様に検証を行ったが、操作が直接快適性向上へつながるとはいえなかった。ある程度の時間保持していると背もたれの形状が自分の好きな状態でも、姿勢に変化を加えたいくなる。その代用として回転中心を考えたが、居心地の悪さは荷重の分布を変化させるだけでは解消できない。

よって快適性を得るためには回転中心と平衡点とをあわせた操作が必要であるといえる。

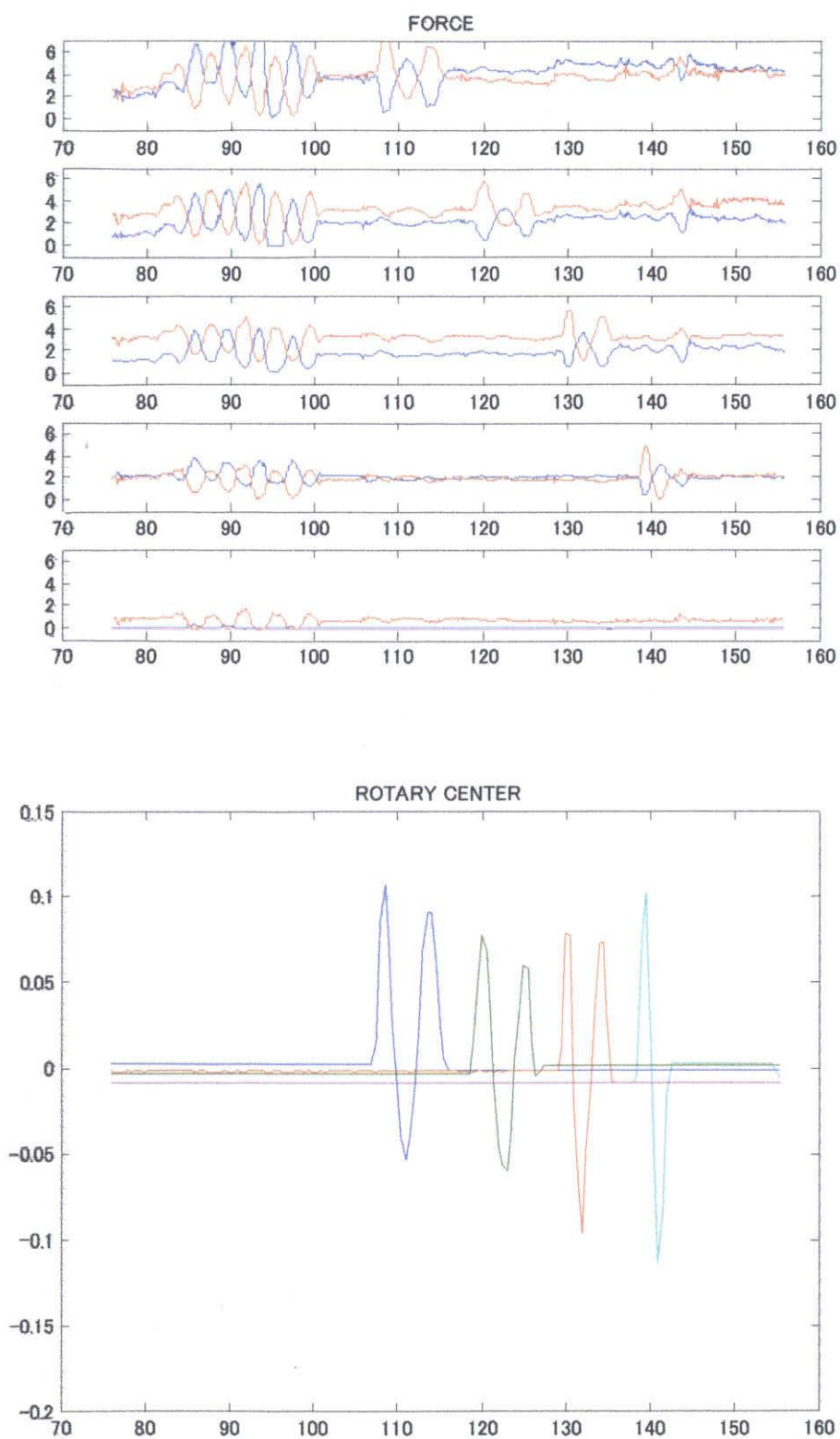


Fig. 4.11 Trace of Force and Rotary center

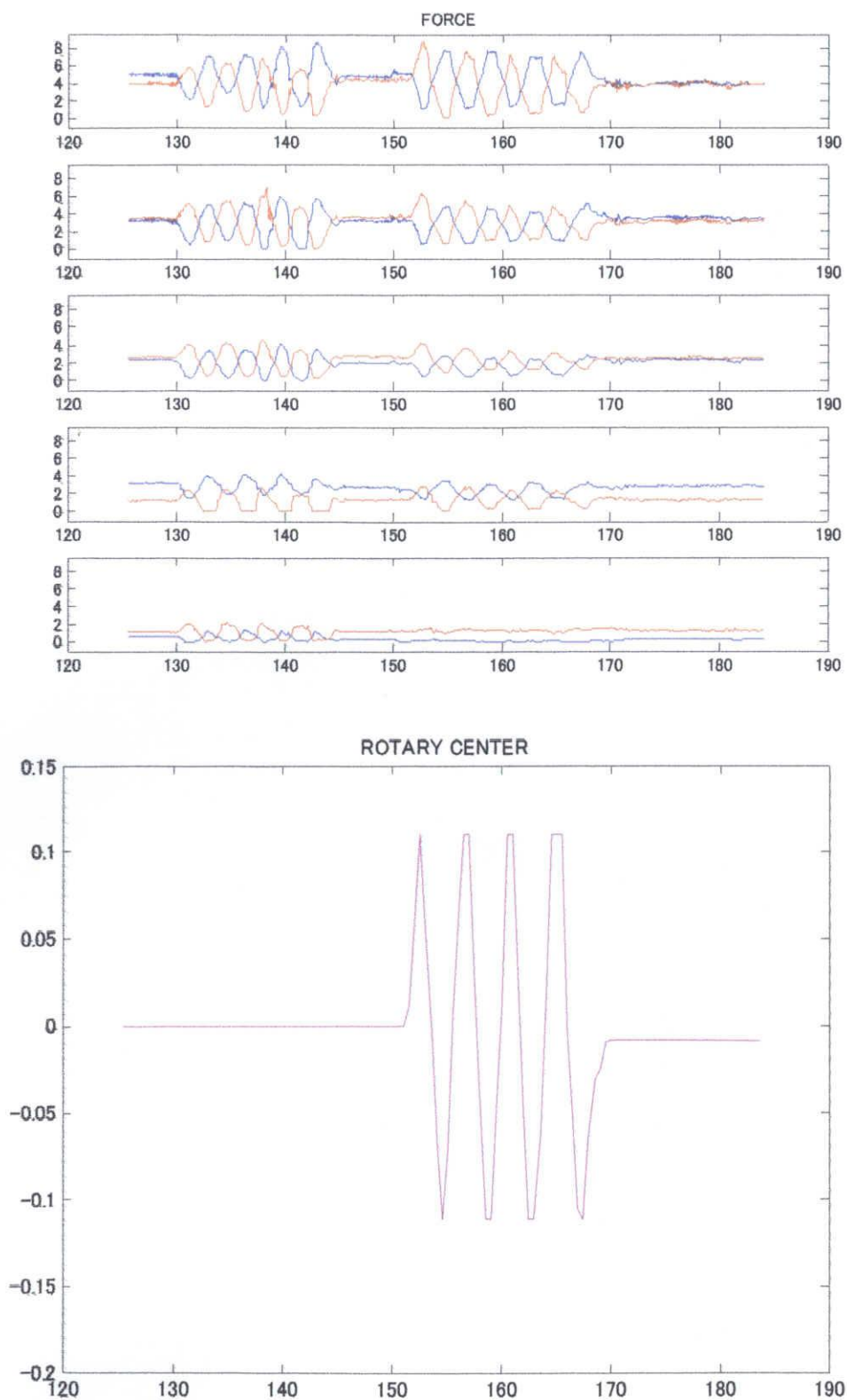


Fig. 4.12 Trace of Force and Rotary center (2)

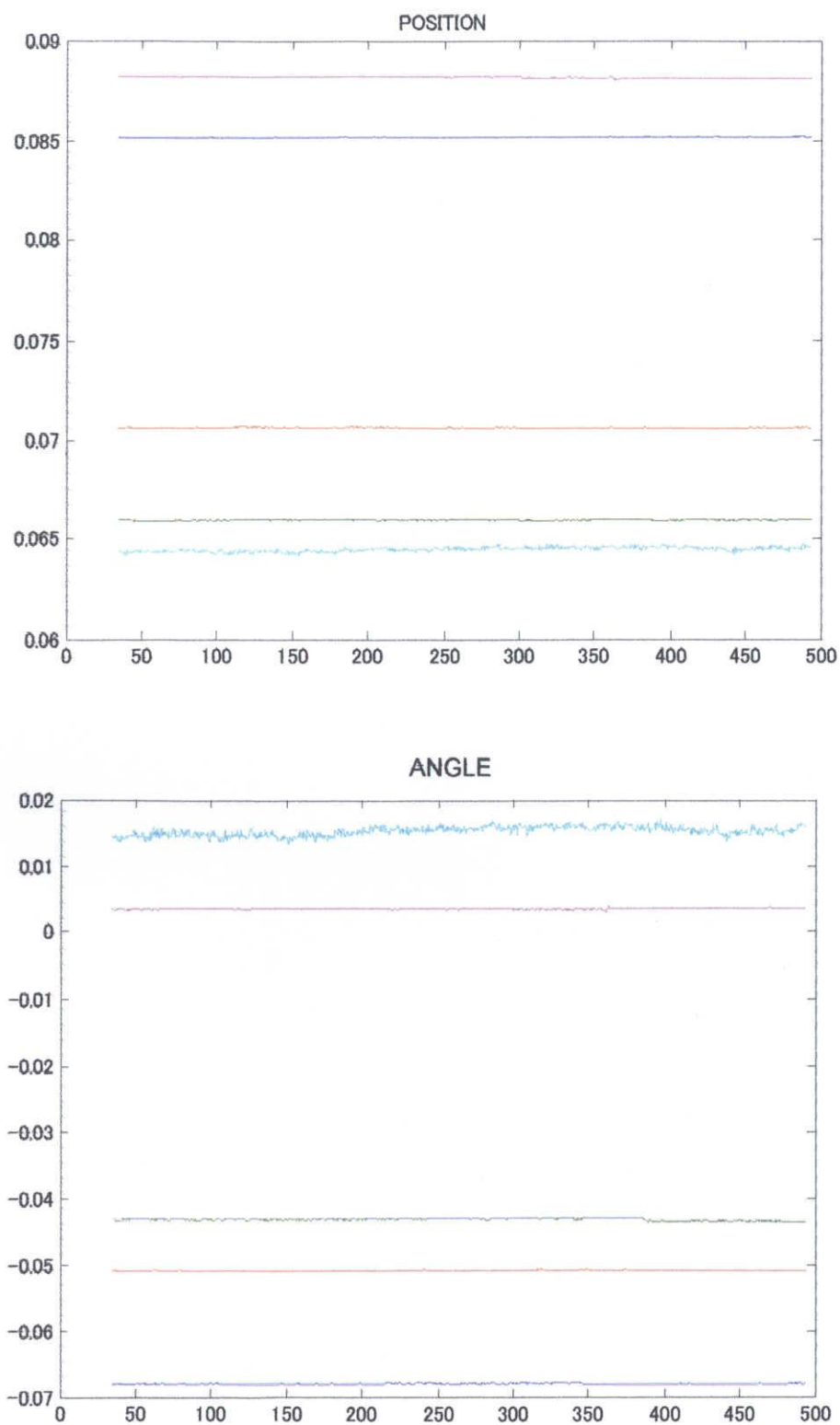


Fig. 4.13 Trace of the position and angle

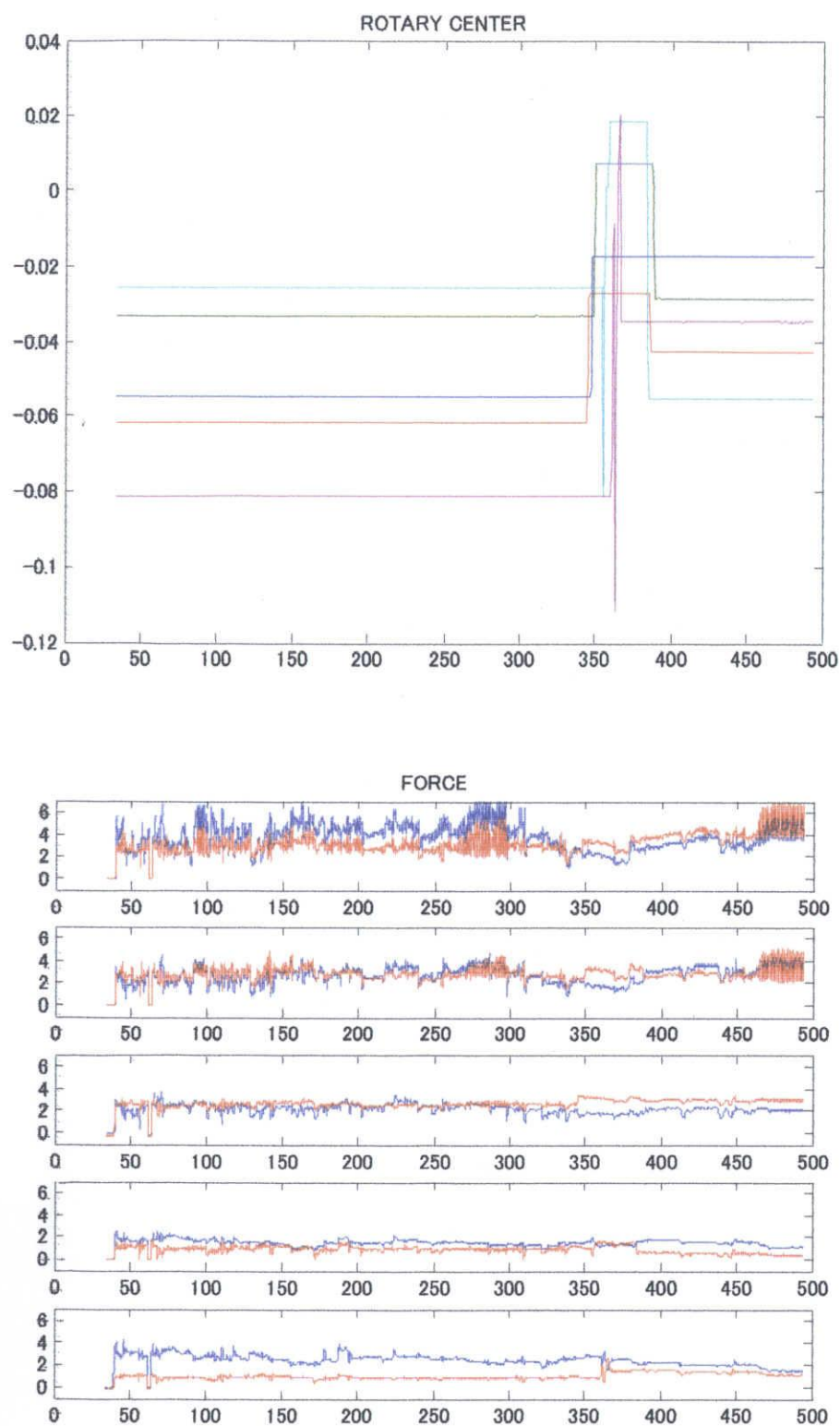


Fig. 4.14 Trace of the force and rotary center

## 第5章

# 結言

本論文では、座姿勢の保持を動的に評価するシステムを提案し、操作システムを加えることで対象者の意図と状態を踏まえ、快適性に重点をおいた姿勢保持を目指し実験を行なった。その結果をいかに示す。

操作方法の違いによる操作性の評価実験により、直感的にわかりやすい操作器の構築は、細かい変化をつける事ができる点で微妙な姿勢の測定することができ、より本人の意志を反映させる事ができるとわかった。

操作器のゲイン変更による操作性の評価実験により、対象者はゲインの変更によって快適性に影響を及ぼすことがわかった。快適姿勢は感覚によるところが大きく、ゲインの設定でそれぞれ感じ方が異なり、導く姿勢にも影響を及ぼすことがわかった。快適性を考慮するうえでゲインの設定は重要である。

また、快適姿勢の状態を評価した実験により、対象者の快適姿勢は様々に変化するために限定することが難しいことがわかった。しかし、人の快適においてのパラメータにはある程度偏りに特徴がみられることがわかった。

今回、操作性を追求することで、快適な姿勢を導くにあたって対象者の意図が深く関わること、さらにその意図も様々に変化することを実感し、あらためて姿勢保持の難しさを理解することができた。より多くの要望に対応するために、依然装置の改良が必要であると考え。快適性をより突きつめて評価できるよう可動部位を増やし、さらにそれらをより直感的に操作できるシステムの構築が、快適姿勢の指標確立に向けた課題となる。

---

## 参考文献

---

- (1) 山崎信寿：“椅子の座り心地に対する生体力学的評価”，バイオメカニズム,9,(1988),pp.151--162
- (2) 松岡敏生,新木隆史：“背もたれ形状に着目した座姿勢の評価”，三重県科学技術振興センター研究報告,26,(2002),pp.37--40
- (3) 植田伸一：“座位保持操作システムの構築とその性の評価に関する研究”，平成 16 年度 三重大学大学院工学研究科 修士論文．
- (4) 石村貞夫：“統計解析のはなし”，東京図書株式会社,PP.197-203,1989.
- (5) 植田伸一,小笠原学,池浦良淳,水谷一樹,新木隆史,松岡敏生：“座位姿勢操作システムの構築とその評価（3次元動作解析装置を用いた適正座位の評価）”，第4回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 CD-ROM,pp.211-212.2003.

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、配属されてから今日に至るまでの2年間暖かく丁寧にご指導ご鞭撻いただいた上、普段の生活においても隔たり無く気さくに接していただいた指導教官である池浦良淳助教授に心より深く感謝致します。

本研究に用いる実験装置の部品設計から製作に至るまで親身に携わっていただき、また数々のご助言をいただきました沢井秀樹技官に心より深く感謝致します。

本研究において、多くのご指導・ご助言をいただきました水谷一樹教授、加藤光廣助手に心より深く感謝致します。

研究を勧める上で多くのご助言をいただいた本研究の共同研究者である、三重県科学技術振興センターの新木隆史さん、松岡敏生さんに心より感謝致します。

さらに、研究を進めるにおいて、また日常においても頼りない自分の支えとなり、共に悩み、共に喜び、励ましてくれた竹田昌悟君に心からの感謝と、今後の更なる活躍をお祈り致します。

また今年1年間ふがいない自分の下で研究を進めるため努力してくれた上田康夫君に感謝の意を表すとともに研究の今後の発展をお祈り致します。

本研究の実験にあたり、お忙しいなか協力していただいた被験者の皆様に深く感謝致します。

最後にこの学生生活をより楽しく、思い出深いものにしていただいた研究室の皆様にも深く感謝するとともに、今後ますますのご活躍をお祈り致します。