

図 B4-5 マットレスの伸縮

#### 4. 2 背上げ動作に適合するマットレス条件の推定

背上げ動作時に身体-マットレス間に生じるせん断力を低減するためには、図 B4-5 に示すように、屈曲時に身体背面に生じる伸縮およびそれに追従するように A-3 で推定したベッド支持面の伸縮に沿ってマットレスを伸縮させる必要がある。また、支持部の長さも、臥床者の体格に応じた長さに設定する必要がある。このため、7分割ベッドの屈曲動作に追従するマットレスの寸法・伸縮条件を身体幾何モデルの応用により求めた。

ベッド支持面側のマットレスの伸縮量は、(B4-6)～(B4-8)式で求まるベッド支持面の長さと同じ。また、(B4-6)～(B4-8)式において $H=0$ として求まる寸法が、身体側のマットレス伸縮量となる。ただし、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_4$ では、 $L_i$ と $\Delta L_i$ を含む第1項が、 $l_3$ では $l_3$ の収束値 $(L_3 + \Delta L_3) \cos(-\phi_3)$ が、マットレスの体格対応寸法となる。

### ⑤評価と効果の検証

#### 1. 基本性能の評価

##### 1. 1 設計実現性の評価

製作した実験ベッドについて、外形寸法と調節範囲を計測し、目標値を満足しているかを確認した。

表 B5-1 被験者身体特徴 [mm]

	被験者		
	A 低身長	B 標準	C 高身長
身長	1538	1689	1791
頭頂-T1	256	256	281
T1-T10	197	206	222
T10-S1	218	223	239
S1-大転子	104	106	210
大腿長	398	412	450
下腿長	340	364	369

#### 1. 2 体格対応性の評価

分割数と調節範囲の妥当性を確認するために、開発した実験ベッドに厚さ 80 mm のマットレス(パラマウントベッド: KE-551Q)を敷き、体格が大きく異なる被験者について体格調節を行った場合と行わなかった場合の比較を行った。

標準体格(169 cm、55 kg)の被験者に、胸部支持面角度を 30、45、60° にして他の角度をそれぞれ好みの状態に調節させた背上げ姿勢(以下、背折れ姿勢)の支持面長と角度を求めた。この条件を初期設定とし、体格が異なる被験者 3 名(表 B5-1)を寝かせ、姿勢計測と官能検査を行った。その後、各被験者が快適と感じる状態に調節させ、同様の計測を行った。

姿勢計測には 3 次元座標計測装置(小坂製作所: VCT-400)を用い、官能検査は姿勢の快適性に関わる身体各部の圧迫感やずれ感、屈曲・隙間感と、呼吸や飲み込みやすさについての分析型 20 項目、およびそれらに対する嗜好型 18 項目とし、各 5 段階で評価させた。

#### 2. 7分割ベッドの改良

第 1 試作の実験用 7 分割ベッドの概観を図 B5-1 に、支持面の調節範囲を図 B5-2 に示す。支持面の駆動は、HIWIN 製の直動アクチュエータで行った。本ベッドでは、3 次元的に複雑に組み合わせられた各支持面が複雑な相対運動をするために、部品同士の干渉が生じる場合がある。このため、実験用 7 分割ベッドには、図 B5-3 のような安全スイッチと安全回路により、衝突直前でアクチュエータを強制停止する安全システムを搭載した。

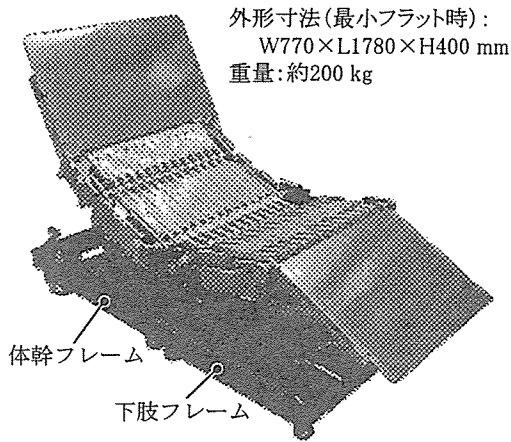


図 B5-1 実験用7分割ベッドの概観

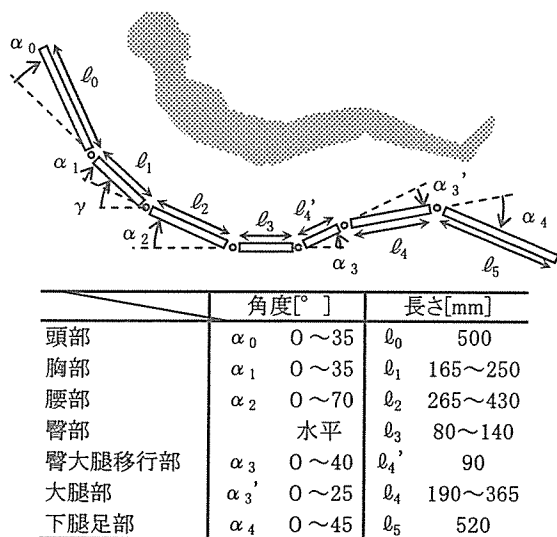


図 B5-2 ベッド支持面の調節範囲

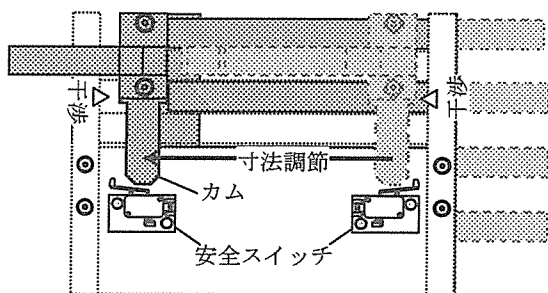


図 B5-3 安全スイッチ

しかし、ベッドを様々な条件で動作させた結果、駆動機構と安全システムについて、以下の問題が生じた。

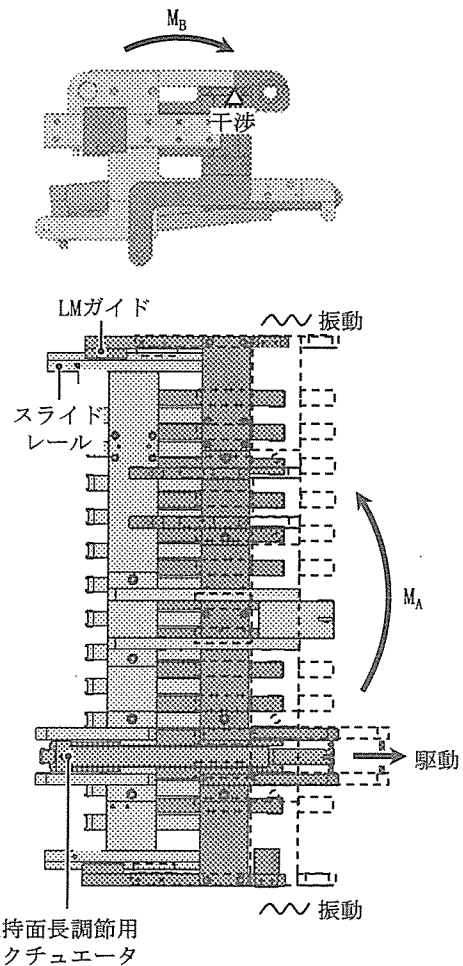


図 B5-4 寸法調節機構の強度不足

## 2.1 寸法調節機構の剛性強化

胸部、腰部、大腿部の寸法調節は、図B5-4のようにLMガイドとスライドレール (THK) で連結された入れ子構造のフレーム間距離を、直動アクチュエータで変えることで行うが、その際、支持面に垂直な軸まわりのモーメントA (図B5-4、以後  $M_A$ ) の強度不足による支持面の振動と、支持面を前後傾させるモーメントB (図B5-4、以後  $M_B$ ) の強度が不足していたことによるフレーム同士の干渉が生じた。このため、LMガイドとフレーム構造の剛性強化を行った。

## 2.2 安全スイッチの追加

第1試作では、体幹側8箇所、下肢側7箇所の計15箇所を干渉危険箇所とし、安全スイッチを配置したが、以下の干渉が生じることがわかった。

表 B5-2 被験者体格

	性別	身長 (cm)	体重 (kg)
A	男	169	55
B	女	150	49
C	男	179	65

表 B5-3 7分割ベッドの調節条件

胸部支持面絶対角度	$\gamma$	30	45	60
胸部角度	$\alpha_1$	17	26	35
腰部角度	$\alpha_2$	13	19	25
臀大腿移行部角度	$\alpha_3$	36	36	36
大腿部角度	$\alpha_3'$	14	14	14
下腿足部角度	$\alpha_4$	34	34	34

※ギリシヤ文字は図2と対応

- (1) 臀部支持面長を調節する際に、下肢可動フレームと共にスライドする臀大腿移行部角度調節用アクチュエータが、下肢土台フレームと干渉する (図 B5-5a)。
  - (2) 大腿支持面を水平付近に調節する際に、大腿支持面下部 (図 B5-5b)、または大腿支持面下方のアクチュエータ取り付けアームと下肢可動フレームが干渉する (図 B5-5c)。
- このため、安全スイッチの追加を行った。

### 3. 7分割ベッドによる身体負荷・介助負担の軽減効果

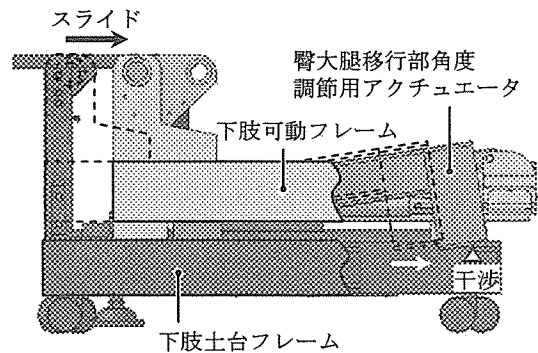
7分割ベッドによって体幹の滑らかな屈曲を支持する姿勢 (以後、背折れ姿勢) および、従来の4ボトムのギャッチベッド (オカムラ製作所: L856WP-x) による背上げ姿勢における体圧分布と尻すべり量を計測した。

被験者は、表 B5-2 に示す体格が異なる3名とした。

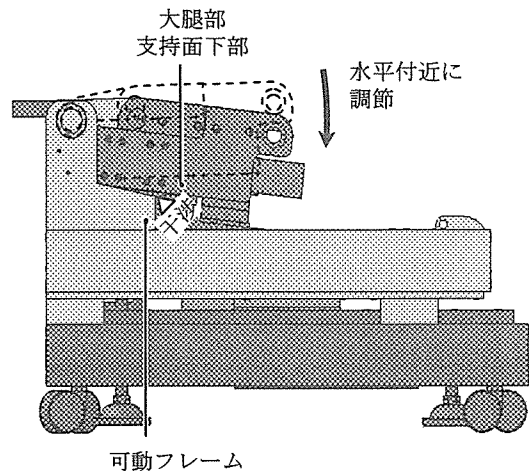
#### (1) 実験条件

背折れ姿勢では、各支持面の角度を表B5-3に示す条件に設定した。なお、枕を使用したため、頭部支持面は胸部支持面と同一角度 ( $\alpha_0 = 0^\circ$ ) とした。支持面寸法は、被験者の好みに調節した。

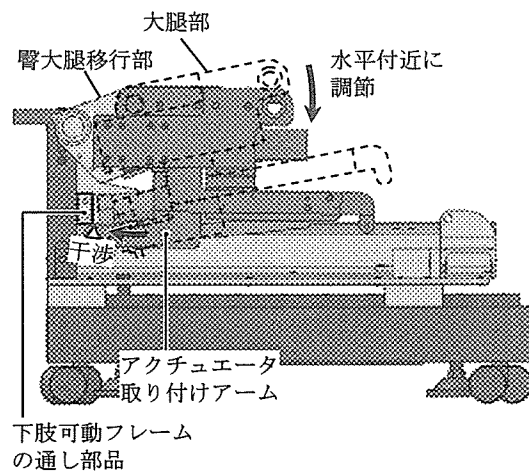
従来の背上げ姿勢では背上げ角度を背折れ姿勢の胸部支持面絶対角度  $\gamma$  と同じ  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  とし、下肢部の支持面角度も大腿部を  $29^\circ$  とし、下肢姿勢が背折れ姿勢とほぼ等しくなるように調節した。



(a) 下肢土台フレームと臀大腿移行部角度調節用アクチュエータの干渉



(b) 下肢可動フレームと大腿支持面下部の干渉



(c) 下肢可動フレームとアクチュエータ取り付けアームの干渉

図 B5-5 干渉箇所

#### (2) 体圧の計測方法

体圧は2枚のシート型センサ(ニッタ:Huge-Mat)をマットレスとシーツの間に敷いて計測した。ま

た、5 mmHg 以上の圧力が加わっているセンサーを接触部とみなし、肩部から仙骨部までの身体幅矩形内の接触セル数から腰部の接触面積を求めた。

### (3) 尻すべり量の計測方法

尻すべり量は、姿勢をとり始めた際と、姿勢を5分間とり続けた後の上後腸骨棘点位置の座標変化量とした。ただし、臥床時にマットレスに隠れて計測が困難になる上後腸骨棘点位置は、3次元座標計測装置（小阪製作所：VMC5243L、以後ベクトロン）と体側面から挿入した1 mm厚の剛体板を用いて計測した。

## 4. 提案した自立度向上のための姿勢と配置の効果

対象行為の中で最も困難な飲食を例にとり、姿勢と配置の快適性を、筋電計測と体圧計測、および官能検査によって評価した。

### 4.1 筋電計測

筋電計測は、成人男性被験者1名（身長170 cm、体重75 kg）について、日本光電製の筋電計（MEB-5508）と表面電極を用いて行った。以下に示す飲食動作と水飲み動作を行わせ、計測時間はそれぞれ15秒、10秒とし、サンプリング周波数1000Hzで計測した。計測部位は、上記の動作に係ると考えられる頸部（僧帽筋上部）、左右肩部（僧帽筋下部）、左右の上腕部（上腕二頭筋）とした。

#### (1) 飲食動作

脱力して正面を向いた姿勢（以後、初期姿勢）から、頭部の姿勢変化によって腕の位置と中身を確認し、左手で腕を、右手で箸をつかんで口元に運ぶ。その後、食器を元の位置に置き、初期姿勢に戻る。

#### (2) 水飲み動作

初期姿勢から、頭部の姿勢変化によってトレー上のコップの位置を確認し、右手でコップをつかんで口元に運ぶ。首を自立させて実際に水を飲んだ後、コップを元の位置に戻して初期姿勢に戻る。

## 4.2 体圧計測

体圧計測シート（ニッタ：HUGE-MAT）2枚をマットレス上に敷き、身体接触面の体圧分布を計測した。また、定量的な体圧の比較を行うために、流体式部分体圧計測器セロ（ケーブ：CR-270）を用いて、肩甲骨部・仙骨部・坐骨部、およびHUGE-MATによる観察で圧力が集中した箇所の体圧を計測した。

## 5. 自立度評価のための体動計測

日中の活動量の評価手法として、ビデオ撮影によるプライバシーの侵害や、センサを身体に取り付けることによる動作への干渉が少ない図B5-6の体動センサ（A.M.I：マイクロ・ミニRC型アクチグラフ、以後、アクチグラフ）を検討した。アクチグラフは、加速度センサを腕時計方式で被験者に取り付け、加速度の時系列計測の結果から体動を検出するものである。アクチグラフには、専用の解析ソフトウェア（AW2(VER.2.4.20)）が付属しており、測定時間内における覚醒時間、睡眠時間、1分間あたりの身体活動数（体動数）等を知ることができる。

アクチグラフは、通常、利き腕と逆の腕つけ、睡眠中の微小な体動を検出するが、日中の活動度を評価するためには、飲食動作などに伴う大きな体動を検出する必要がある。このため、リクライニングシートでの10分間の休息および10分間の読書時の体動を、利き腕と逆腕でそれぞれ計測することで、アクチグラフによる活動度の評価が可能であるかを調べた。

被験者は標準体型（身長1670 mm、体重56 kg）の1名とした。



図 B5-6 アクチグラフの外観

## C. 結果および考察

### ① 覚醒度の向上策

#### 1. 覚醒度の評価手法

##### 1.1 画像による眼球運動の取得

重心座標の軌跡は図 C1-1 (b) (d) に示すような波形となり、EOG の計測結果との比較から、本手法により眼球運動の取得が可能が確認された。

##### 1.2 改行率と従来指標との比較

図 C1-2 に示すように、改行率は読書の継続が可能な眠気表情値 4 付近までは緩やかに低下し、4 以上で急速に低下した。一方、脳波パワーについても眠気表情値 4 以上でパワー値の増大が見られ (図 C1-3)、図 C1-4 に示すように改行率との間に相関係数-0.7 の高い相関 ( $p < 0.01$ ) を得た。なお、相関は、眠気表情値 4 以下のデータと 4 以上のデータに分けて線形近似を行い、近似直線周りの標準偏差を調べて  $2\sigma$  以上のはずれ値を除いた図 C1-2、C1-3 に示すデータを用いて求めた。

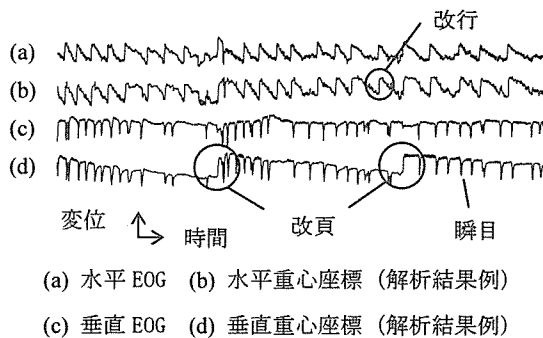


図 C1-1 眼球運動波形

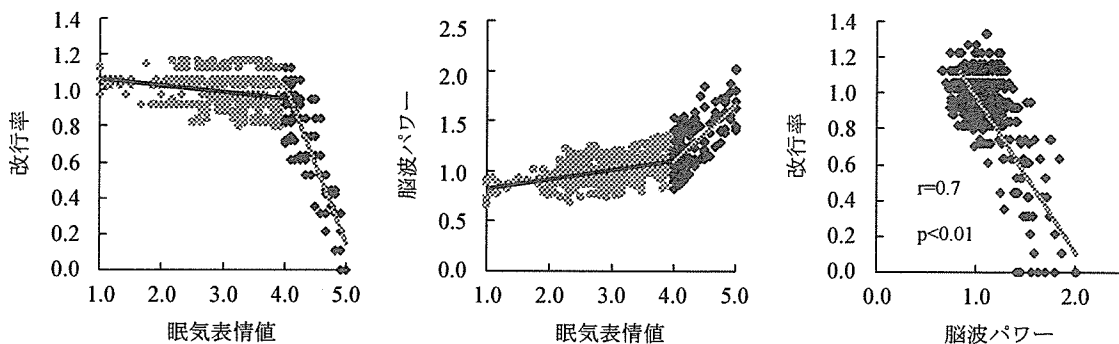


図 C1-2 改行率と眠気表情値の関係 図 C1-3 脳波と眠気表情値の関係 図 C1-4 改行率と脳波パワーの相関

### 1.3 改行率の問題点

改行率と従来指標との比較により、覚醒度が低下した時の読書速度は、十分に覚醒度を反映することが確かめられた。一方、やや眠い状態では、読み方がばらつくことがわかった。読書速度に影響を与えるのは、主に覚醒度、タスク内容の2つと考えられる。図 C1-2 のように覚醒度が極度に低下した眠気表情値 4~5 では、圧倒的に覚醒度の影響が大きく、タスク内容は問題とはならないが、眠気表情値 1~4 では、覚醒度の変化に対して、タスクの影響が大きい。このことから、タスクに依存しない覚醒度の評価指標として、開眼度を求めた。

### 2. 覚醒度向上策

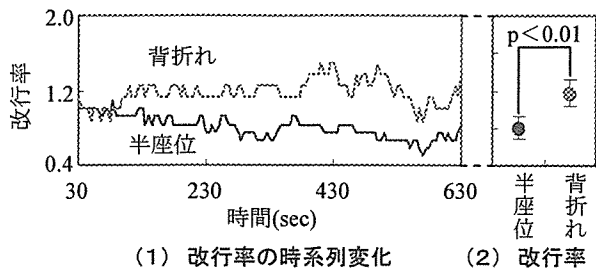
#### 2.1 背折れ姿勢の効果

##### (1) 覚醒効果

改行率の時系列変化と10分間の平均および標準偏差を図 C1-5 に示す。t 検定を行った結果、全被験者で  $30^\circ$  半座位より有意に覚醒度が上がることをわかった。また、主観的な覚醒度も向上した。

##### (2) 体圧分散効果

臀部と背部の体圧分布の計測例を図 C1-6 に、各被験者の姿勢による最大圧力と接触面積の変化を図 C1-7 に示す。姿勢間に有意差は見られなかったものの、全被験者において実験ベッドの方が、接触面積が増加し、最大圧力が低下する傾向が見られた。



(1) 改行率の時系列変化 (2) 改行率  
図 C1-5 覚醒度評価結果

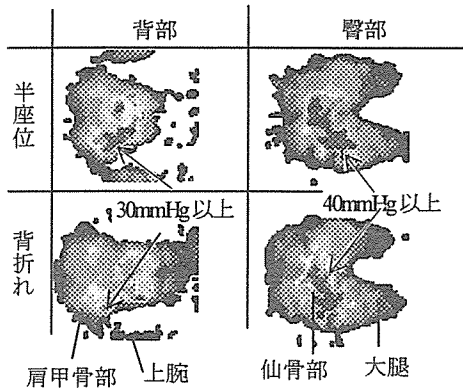


図 C1-6 背部・臀部の体圧分布

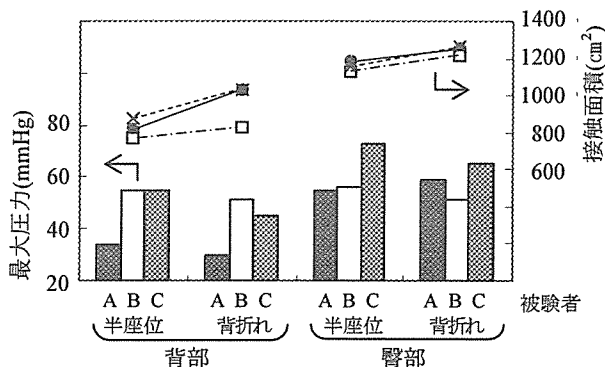


図 C1-7 姿勢による体圧分布の変化

なお、頭部支持面とほぼ等しい50°の背上げを行った半座位の場合は、臀部圧力が高くなり、快適性が著しく低下した。

### (3) 血圧・脈拍数

姿勢間で有意差は認められなかったが、背折れ姿勢において、全被験者で血圧が0～6 mmHg高く、脈拍数が0～5 BPM少ない傾向が見られた。この要因としては、覚醒度の影響が考えられる。

### (4) 皮膚血流量

面積値(0.02秒間隔の血流量の総和)を比較したが、被験者によって姿勢による大小関係が異なり、姿勢間に有意差は認められなかった。

### (5) 官能検査結果

図 C1-8、図 C1-9に示したように、胸部・腰部・臀部の圧迫感は低下して快適であり、ずれ感も小さくなっていることがわかった。しかし、頭部の圧迫感が増加して不快になっているため、枕などにより頭部の支持方法を工夫する必要があることがわかった。

また、図 C1-10より呼吸・飲み込みやすさについては変化せず、読書のしやすさは向上した。総合評価も30°半座位より高い評価が得られた。

### (6) 総合評価

(1)～(5)をまとめると、胸部角度30°程度では、背折れ姿勢で身体負担が小さい傾向が見られるものの、半座位姿勢との有意差を示すほどではないことがわかった。ただし、主観的な評価では、背折れ姿勢の方が快適という結果が得られた。一方、覚醒度については、背折れ姿勢で優位に覚醒度が上がることが示された。したがって、30°という低い背上げ角においては、定量的には半座位姿勢、背折れ姿勢の身体負担は同程度であり、定性的には背折れ姿勢で負担が軽減する傾向にある。また、背折れ姿勢では半座位と比較して有意に覚醒度が向上する。今回、身体負担には有意差がみられなかったが、比較した30°の背上げ角度はもともと半座位の中でも安楽とされる角度であるため、負担は許容範囲と考えられる。なお背上げ角50°における計測結果から、身体負担が増す大きい背上げ角度では、背折れ姿勢の負担低減効果がより高まることが期待できる。

## 2.2 バランスピローの効果

覚醒度については、図 C1-11に示すように、バランスピローの不安定設定時の方が安定設定時に比べて改行率の値が大きく、t検定により危険率1%で有意差が認められた。また、不安定な形状から予想される首の疲労感については、10分という今回の計測時間内では、図 C1-11の官能検査結果に示すように、通常枕(安定設定時)との有意差は見られなかった。

以上より、バランスピローの不安定設定は、不安定感を許容できる範囲で覚醒度を維持できる効果があると考えられる。

### 3. 覚醒度の評価手法の精度の向上

図 C1-12、C1-13 に各指標の時系列変化と相関図の例を示す。覚醒度の低下（眠気表情値の増加）にしたがって、脳波パワーは増大し、開眼度は小さくなる。眠気表情値と開眼度の関係は、 $y = -a \exp(bx) + c$  ( $x$ : 眠気表情値、 $y$ : 開度) で線形化できる。しかしながら、式の各係数は被験者ごとにばらつくため、今回は線形化せずに順位相関を求めた。表 C1-1 にこの順位相関と被験者の特徴を示した。

#### 3.1 脳波との比較

開眼度と脳波、眠気表情値と脳波との相関につ

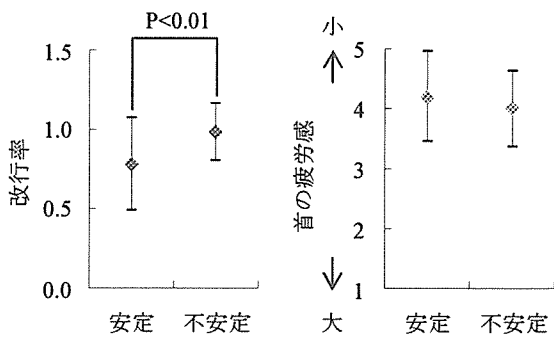


図 C1-11 バランスピローの効果

いては脳波変動の個人差が大きく、被験者 5、6、10 のように非常に高い相関を示す者がいる反面、被験者 1 のように低い相関しか示さない者もいた（表 C1-1）。また、被験者 3、11、12 では、覚醒低下時に脳波パワーが減少するなど、通常と異なる傾向が見られた。

この原因としては、今回の計測条件がリラックス状態における精神作業中の覚醒度評価であり、 $\alpha$  波の出現が読書作業によって抑制されるなど、個人により覚醒度以外の要因が脳波の変動に影響を与えていることが考えられる。なお、相関係数に大きな個人差が見られたが、個人ごとでは、開眼度と脳波の間に、眠気表情値と脳波の関係とはほぼ同等の順位相関が得られた。

以上より、リラックス状態における精神作業中では、脳波よりも開眼度の方が個人差によらず覚醒度を評価できると考えられる。

#### 3.2 眠気表情値との比較

開眼度と眠気表情値の変化傾向は特によく一致し、表 C1-1 のように非常に高い値を示した。眠気表情値は、被験者に介入せずに長時間の時系列変化を評価できる手法として優れているが、評価に対する評価者負担が大きい。本研究では、眠くなると眼裂長が狭まる現象に着目し、同じ顔画像から開眼度の自動抽出を行った。今回の実験によ

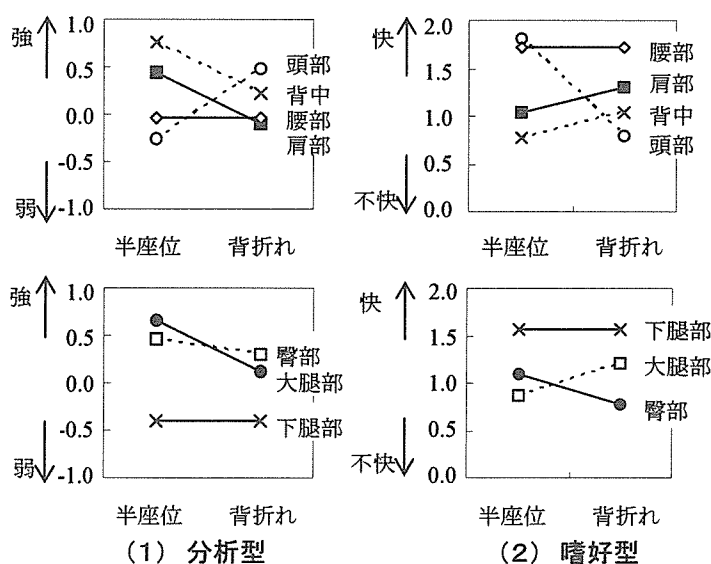


図 C1-8 圧迫感の官能得点

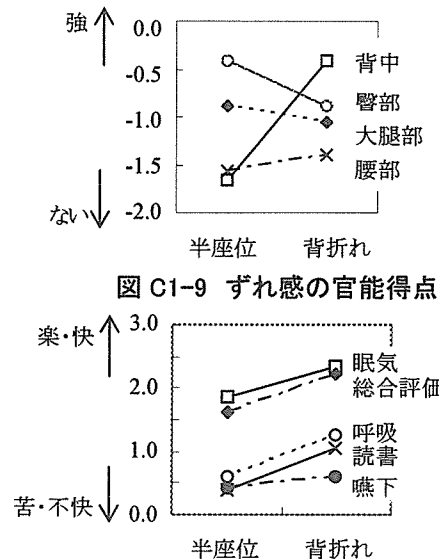


図 C1-9 ずれ感の官能得点

図 C1-10 その他の項目と総合評価

表 C1-1 被験者の特徴と指標間の相関

被験者ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
性別	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	F
年齢	22	22	23	18	23	23	19	23	21	22	26	22
時間帯	a.m.	p.m.	a.m.	a.m.	a.m.	p.m.	p.m.	a.m.	p.m.	a.m.	p.m.	p.m.
脳波の傾向*			×								×	×
順位相関係数												
開眼度と眠気表情値	-0.87	-0.82	-0.87	-0.95	-0.93	-0.98	-0.90	-0.98	-0.91	-0.95	-0.94	-0.91
開眼度と脳波	-0.32	-0.62	-(0.09)	-0.56	-0.82	-0.80	-0.66	-0.67	-0.47	-0.85	-(0.31)	(0.77)
眠気表情値と脳波	0.35	0.59	-(0.21)	0.42	0.78	0.78	0.59	0.71	0.50	0.79	(0.36)	-(0.79)

\* × 脳波の変化傾向が一定または通常と逆 \*\* 無印:p<0.001, ( ):相関なし

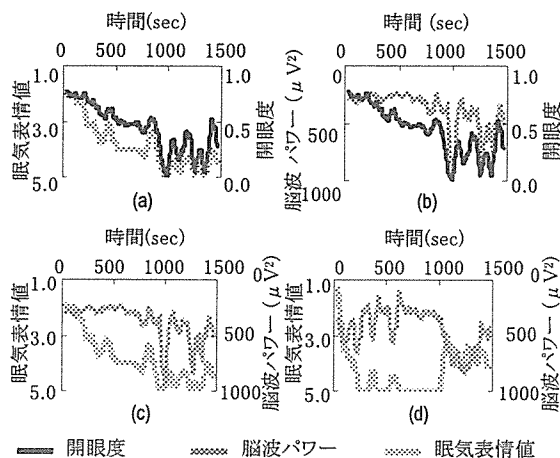


図 C1-12 各指標の時系列

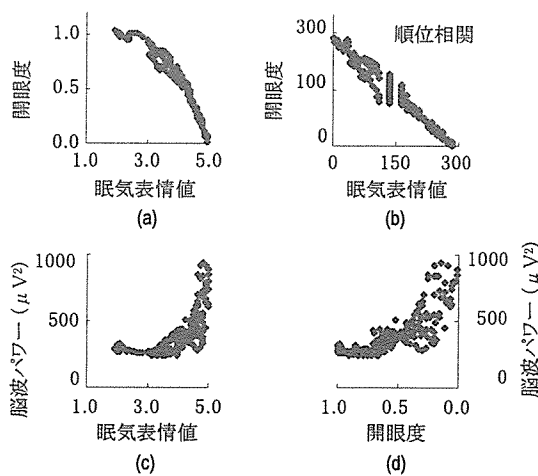


図 C1-13 開眼度の相関

り、開眼度が眠気表情値と高い順位相関を示したことから、眠気表情が顔の筋肉の緩みや上脛の下垂によって判別されている<sup>12)</sup>ことが定量的に裏付けられた。これより開眼度は、眠気表情評価の評価者負担を避け、同等の定量化を行える有効な指標になると考えられる。

表 C2-1 背上げ角度の探索結果[°]

被験者	A	B	C	D	E	F	平均	分散
飲食	55.3	49.6	50.1	50.1	49.3	53.1	51.2	2.4
書字	39.0	30.1	30.5	33.8	30.4	31.4	32.5	3.4

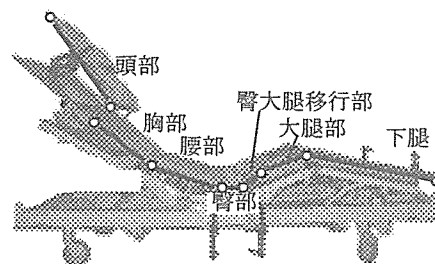


図 C2-1 実験ベッド

## ②ベッド上の自立活動要件

### 1. 基本姿勢

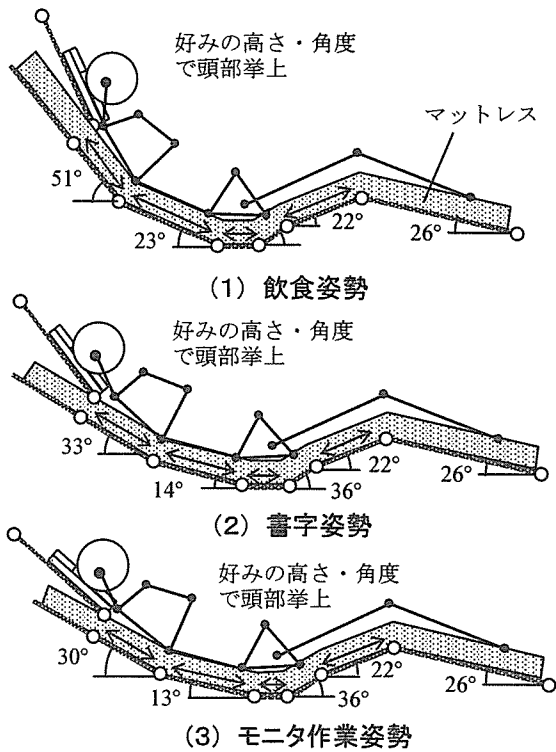
#### 1.1 背上げ角度

各被験者における探索結果を表 C2-1 に示す。この平均値から基本姿勢の背上げ角度を決定した。

#### 1.2 支持面の長さや角度(モデルの評価)

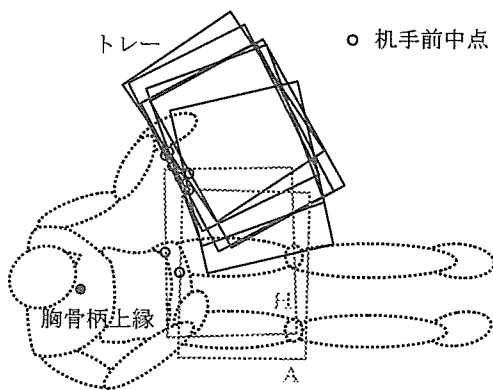
体格の異なる被験者2名(身長169~174 cm)を、各被験者の身長および背上げ角度0~60°の15°間隔で支持面長と角度を推定した図 C2-1 に示す実験ベッドに寝かせて姿勢計測を行った。その結果、姿勢がモデルによる推定結果とよく一致し、各支持面が身体にフィットすることがわかった。



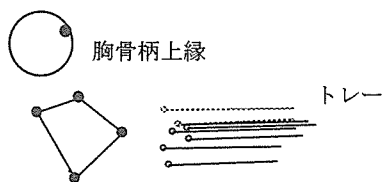


↔ モデルにより身体寸法に合わせた長さに設定

図 C2-2 基本姿勢



(1) 水平面



(2) 矢状面

図 C2-3 トレー配置結果

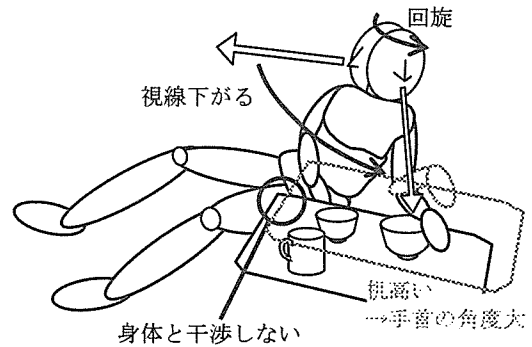


図 C2-4 体側部の配置のメリット

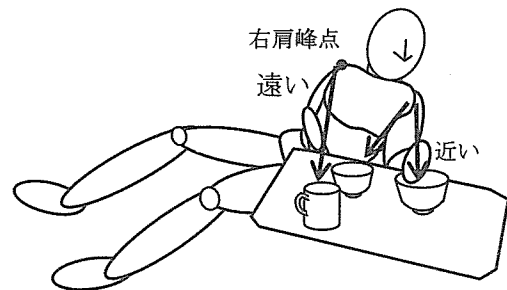


図 C2-5 体側部の配置のデメリット

### 1. 3 基本姿勢の決定

探索した背上げ角度とモデルにより、図 C2-2 (1) ~ (3) をそれぞれ飲食・書字・モニタ作業の提案姿勢とした。

### 2. 什器配置

#### 2.1 飲食配置

##### (1) 配置結果

図 C2-3 のように、トレーは、体の正面から左側にかけて扇状に配置された。左側の配置が好まれたのは、図 C2-4 に示すように、体の側部にトレーを配置することによって、下肢とトレーの干渉を避け、前腕部の動作の中心となる左肘の近く、かつ手首の角度が小さくなる低い位置にトレーを配置できるためと考えられる。また頭部を枕で支持したまま回旋することで視線を下げるができるため、その先にトレーがあると見やすくなる。しかし、図 C2-5 に示すように、体側部の配置は左手が腕に届きやすい一方で、右手はコップに届きづらくなる。このため実験では、被験者に両上肢の作業性が総合的に快適となる位置にトレーを配置させた。

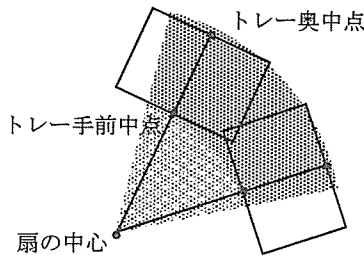


図 C2-6 扇形の中心

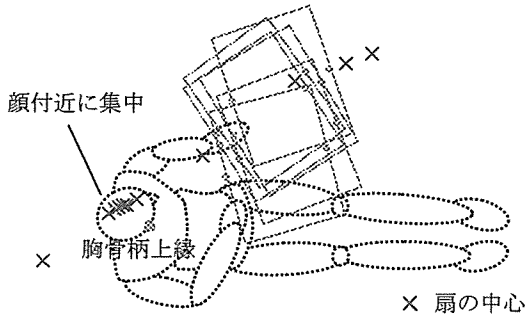


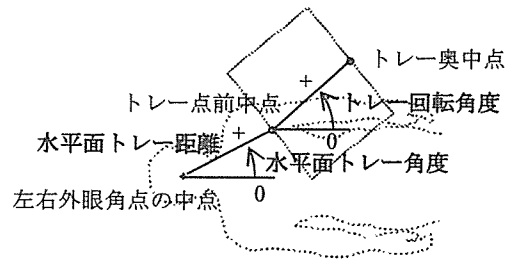
図 C2-7 トレーの配置中心

### (2)配置の一般化

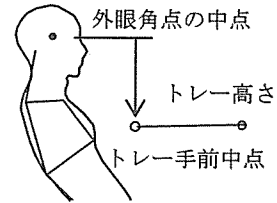
扇形の配置領域の中心点を求めることで、トレーの配置の基準点を求めた。図 C2-6 に示すように、各被験者が配置したトレーの手前中点と奥中点を結ぶ直線の交点を求め図 C2-7 に示した。これより、中心が顔付近に集中していることがわかる。これは、トレーを見やすい位置に配置した結果と考えられる。このことから、トレーの配置中心は、各被験者の左右外眼角点の中点の平均位置とした。

### (3)配置の傾向

前述の配置中心点を基準として、図 C2-8 のようにトレーの配置を水平面と矢状面で定義した。図 C2-9 の水平面トレー距離と上肢長および視力の関係より、トレーの配置距離は身体特徴によらずに2郡に分布したことがわかる。水平面トレー距離が小さい2名は、トレーを体正面に配置した被験者Aと被験者Hである（図 C2-3 の灰色線参照）。矢状面と3次元での上肢角度を図 C2-10 のように計測点間の挟み角でそれぞれ定義すると、図 C2-11 (1) よりトレーが体の近くに配置された被験者AとHは、肘の屈曲が大きい傾向があった。これはトレーを体正面に配置する場合、下肢との干渉を避け、高い視線にあわせてトレーが高

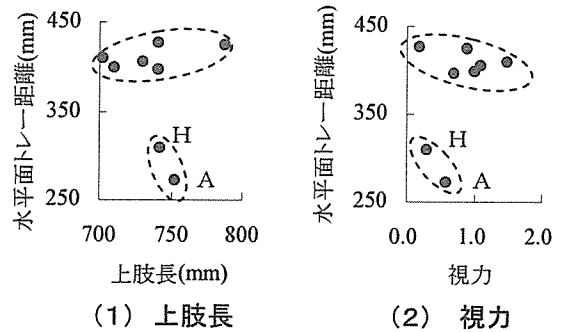


(1) 水平面



(2) 矢状面

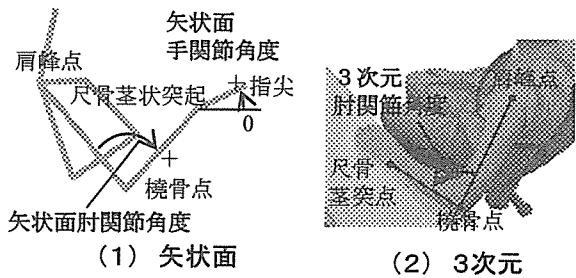
図 C2-8 トレー配置の定義



(1) 上肢長

(2) 視力

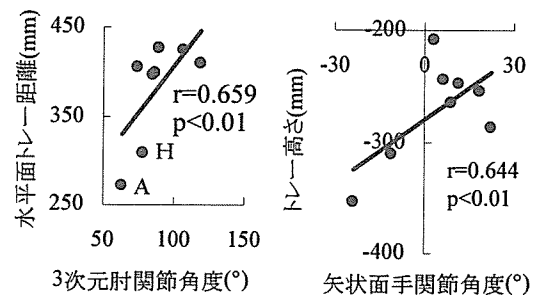
図 C2-9 水平面トレー距離と身体特徴



(1) 矢状面

(2) 3次元

図 C2-10 上肢姿勢の定義



(1) 水平面トレー距離

(2) トレー高さ

図 C2-11 上肢姿勢とトレー配置

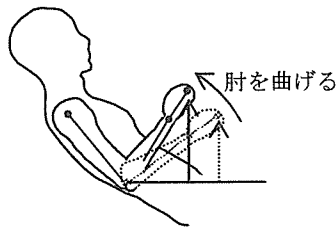


図 C2-12 手元の高さと肘関節角度

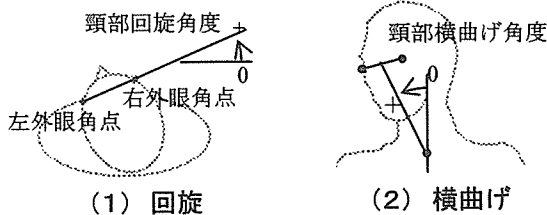


図 C2-13 頭部姿勢の定義

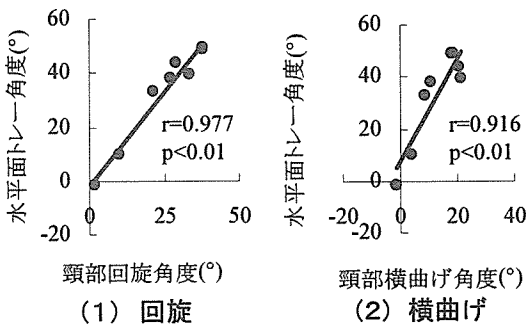


図 C2-14 水平面トレー角度と頭部の姿勢変化

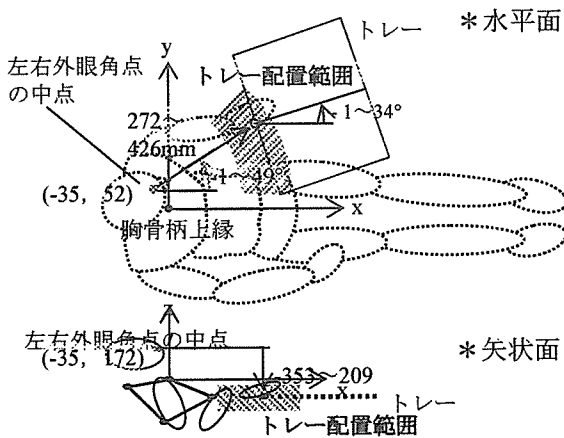


図 C2-15 トレー配置範囲

く配置されるために、図 C2-12 のように肘を曲げて手元を高くしないと腕をつかめないためだと考えられる。

また、図 C2-11 (2) の矢状面手関節角度とトレー高さの関係より、矢状面手関節角度が大きい

とトレーが高く配置される傾向があった。これは、各被験者の腕のつかみ方に個人差があり、矢状面手関節角度が小さくなる手の平下向きでは、腕をつかむ位置が低くなり、逆に、矢状面手関節角度が大きくなる手の平横向きでは、腕をつかむ位置が高くなるためである。

さらに、図 C2-13 のように、頭部の姿勢変化を回旋と横曲げの2方向で定義した。図 C2-14 の水平面トレー角度と頭部回旋、横曲げの関係より、トレーの配置と首の姿勢変化には高い相関があることがわかった。

#### (4)配置範囲

前節までの結果より、身体周りのトレーの配置は、被験者の好む頭部と上肢姿勢に依存し、身体特徴によらない(姿勢と比較して影響が少ない)ことがわかった。このため、左右外眼角点の中点を基準とし、全ての被験者の姿勢の好みを満たす図 C2-15 の斜線部の範囲を提案配置範囲とした。

## 2.2 書字・操作配置

### (1)配置結果

各被験者が好んだ身体周りの作業台と書字最適点の配置の分布を図 C2-16 に示す。

図 C2-16 より、作業台は体右側に扇状に配置されたことがわかる。体の側方の配置が好まれたのは、飲食と同様に、首の動きによって視線を下げ、手元を見やすくしたためだと考えられる。

### (2)配置の一般化

飲食と同様、図 C2-17 のように、配置された扇形の中心を求めた結果を図 C2-18 に示す。

これより、配置中心は、飲食よりもばらつきがみられるものの、右肩峰点付近に集中する傾向があった。この結果から、書字最適点の分布は、各被験者の右肩峰点の平均位置を基準として整理した。

### (3)配置の傾向

前節で配置中心と定めた右肩峰点の平均位置を基準とし、図 C2-19 のように書字最適点の配置を定義した。

水平面書字距離と上肢長、および視力との関係を図 C2-20 に示す。これより、飲食と同様、書字配置は身体特徴によらないことがわかった。

書字高さや矢状面肘関節角度の関係を図 C2-21 (1) に、水平面トレイ距離と3次元肘関節角度の関係を図 C2-21 (2) に示す。図 C2-21 (1) より、分布が2郡に別れ、肘が屈曲していると書字最適点が高くなることわかる。

また、図 C2-21 (2) より肘の屈曲が大きいほど書字最適点が体に近くなる傾向が見られた。これらの傾向は飲食と類似している。ただし、書字では、ペンの持ち方や字の書き方に飲食ほどの個人差が生じず、図 C2-22 に示すように、矢状面手関節角度にばらつきが生じない。このため、図 C2-12 に示した肘関節角度と配置の相関が強くなっていると考えられる。水平面書字角度と頭部回旋、横曲げとの関係（頭部姿勢の定義は図 C2-13 参照）を示した図 C2-23 より、飲食よりも相関が低い

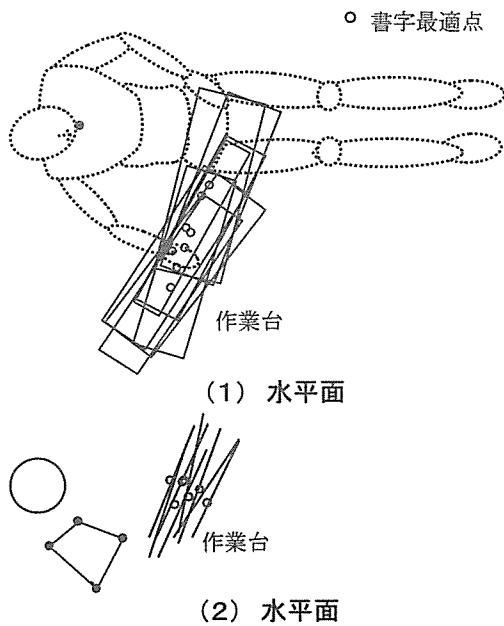


図 C2-16 作業台と書字最適点の配置結果

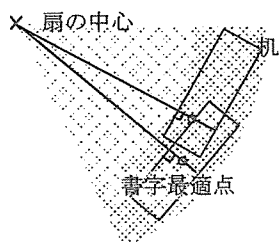


図 C2-17 扇の中心

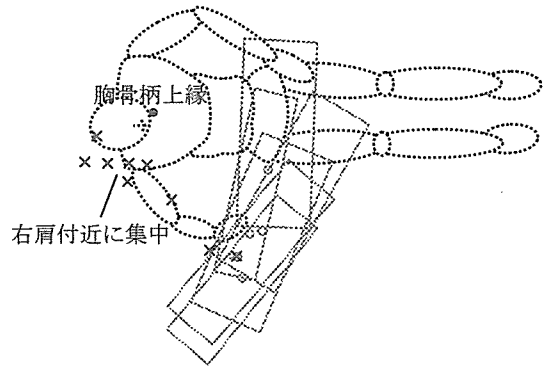


図 C2-18 配置中心

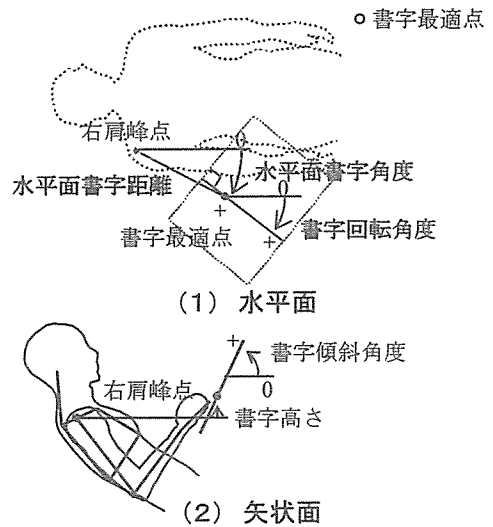


図 C2-19 書字配置の定義

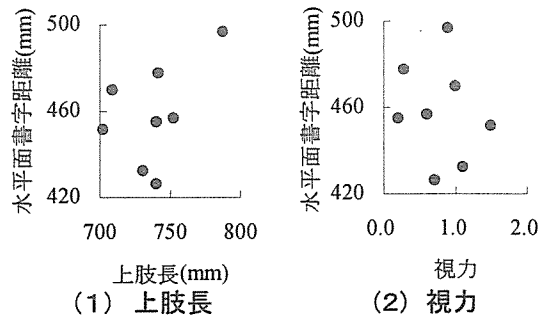


図 C2-20 水平面書字距離と身体特徴

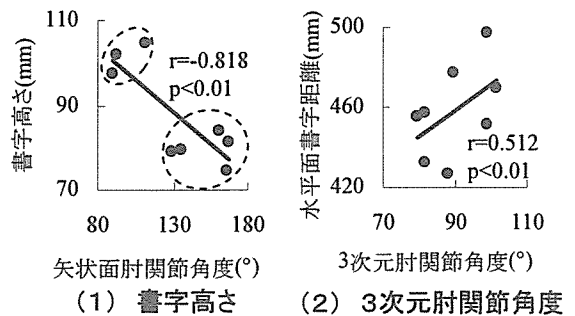
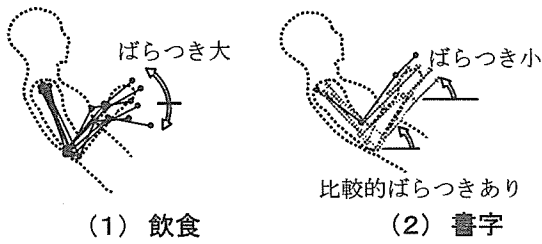
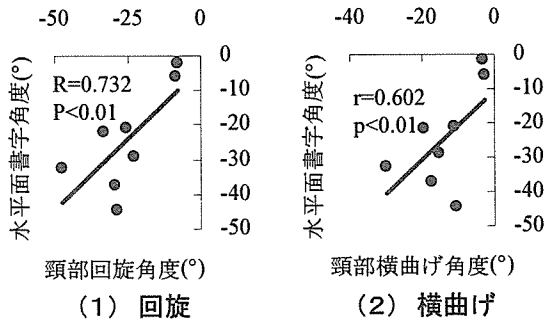


図 C2-21 書字配置と上肢姿勢



(1) 飲食 (2) 書字

図 C2-22 上肢姿勢の比較



(1) 回旋 (2) 横曲げ

図 C2-23 水平面書字角度と頭部姿勢

が初期姿勢からの首の姿勢変化の大きさが配置に依存する傾向が見られた。これらのデータより、飲食と同様、書字最適点の配置が頭部・上肢の姿勢の好みに依存することがわかった。

(4)配置範囲

前節までの結果より、右肩峰点を基準とし、全ての被験者の姿勢の好みを満たす図 C2-24 の斜線部の範囲を提案配置範囲とした。

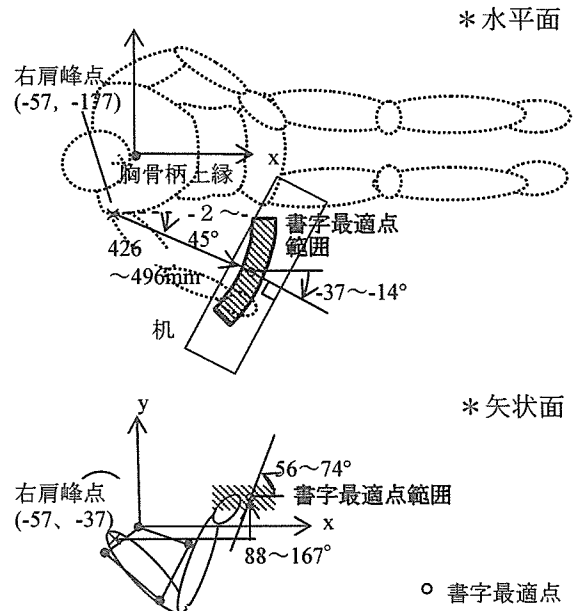


図 C2-24 書字配置範囲

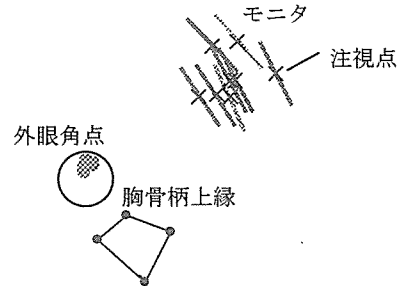


図 C2-25 モニタ配置結果

2.3 読書

(1)配置結果

上肢動作を伴わないモニタ作業では、目を中心とする矢状面でのモニタ配置を調べた。その結果、各被験者のモニタ配置は図 C2-25 のように分布した。ただし、図 C2-25 の注視点は、図 B2-6 で示したモニタの計測点の midpoint である。

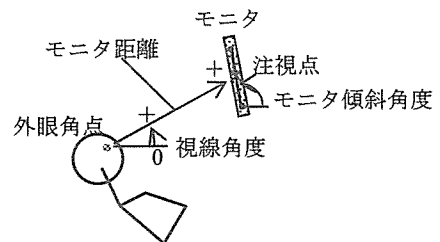


図 C2-26 モニタ配置の定義

(2)配置の傾向

図 C2-26 のように、モニタの配置を定義した。図 C2-27 に示すモニタ距離と視力の関係に相関はみられず、身体特徴とモニタ配置との相関を見出すことはできなかった。しかし、図 C2-28 に示すモニタ傾斜角度と視線角度の関係に高い相関がみられた。これは、モニタが常に顔に向けて配置されたことを意味している。この結果と、頭部姿勢にばらつきが少ないことより、配置のばらつきは、

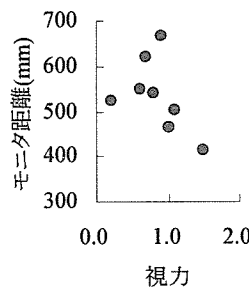


図 C2-27 モニタ距離

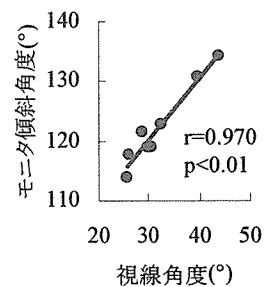


図 C2-28 モニタの向き

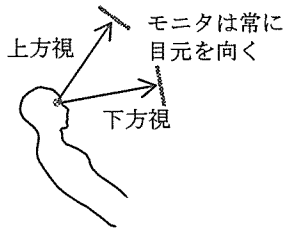


図 C2-29 モニタ配置のばらつき要因

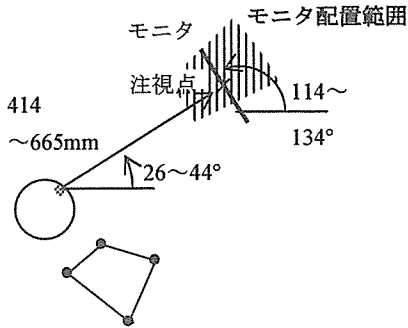


図 C2-30 モニタ配置範囲

図 C2-29 のように、上方視と下方視の好みによって、と考えられる。

(3)配置範囲

外眼角点を中心として、被験者全ての配置範囲を満たす図 C2-30 の範囲をモニタの必要配置範囲とした。

3. 什器の開発要件

3.1 ベッド周りの什器配置

探索した身体周りの什器配置を什器設計に応用するために、身長差に対応してベッドまわりに配置を変換する方法を検討した。

身体周りの什器配置は身体寸法によらないため、身体寸法の違いに伴ってベッドに対する配置基準点の位置を求めればよい。これを、モデルで

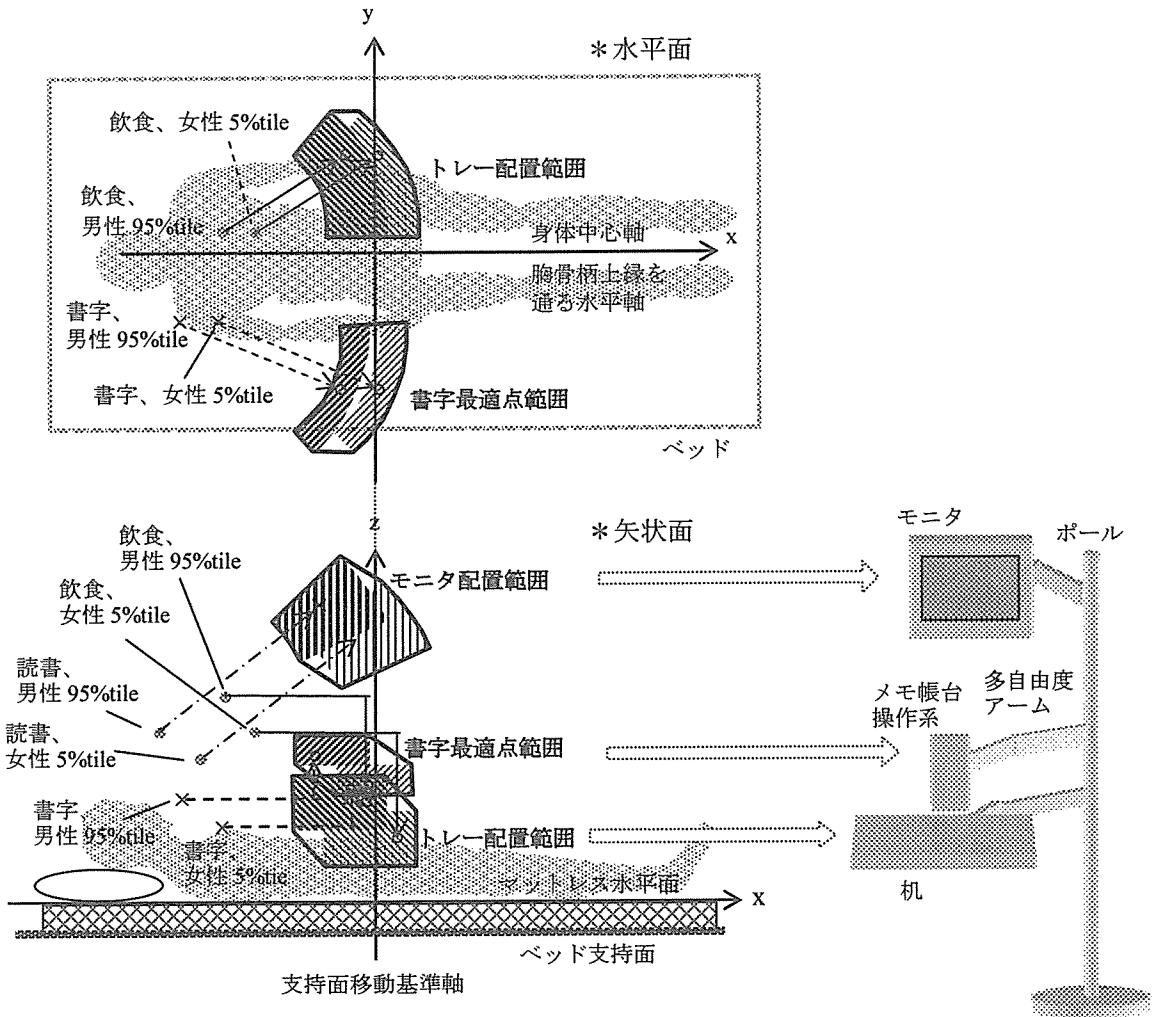


図 C2-31 ベッド周りの什器配置と什器イメージ

推定し、女性 5%tile から男性 95%tile までの体格に対応させた什器配置範囲は図 C2-31 のようになる。

### 3.2 什器の設計イメージ

図 C2-31 より、什器配置の高さは対象行為ごとに分布することが分かった。ベッド用什器は、スペースの占有の回避と使用時の設置の利便性から、一体型でモニタと机の位置を容易に好みに調節できるものが望ましいと考えられる。このため、図 C2-31 に示すように、ポールにモニタと机を配置高さに合わせて取り付け、多自由度アームによって必要に応じて設置・位置調節を行うことができる什器が有効になると考えられる。

### 3.3 作業台の寸法値

作業台は、使用状況にあわせて適切な寸法に設計する必要がある。提案姿勢のように、体幹を大きく倒して飲食を行う場合、図 C2-32 のように、通常座位と比較して肘の位置が低いために前腕部と机が干渉しやすくなる。このため、トレーの手前にスペースを設けず机手前に合わせてトレーを机に置くことが全ての被験者について好まれた。トレーを机手前に置く場合、実験用作業台の奥行き 400mm では、50mm が無駄なスペースとなる。しかし、体幹や大腿との干渉は生じなかったため、机の汎用性から奥行き 400mm は妥当と考えられる。

幅については、通常飲食の場合、図 C2-33 (1) のようにトレーの外にコップ等が置かれる場合が想定されるのに対し、提案姿勢での飲食では、体との干渉を避けるため、トレーの側方にスペースを設けないことが有効となる。このため、今年度は最適な幅を設定することができなかった。来年度は作業の汎用性と周辺機器や介助との干渉条件から最適値を探索する予定である。

### 3.4 介助支援の応用

提案した什器配置では、机がベッド上から大きく突出するため、医療や介助に干渉する可能性がある。このことから、介助時に邪魔にならず、か

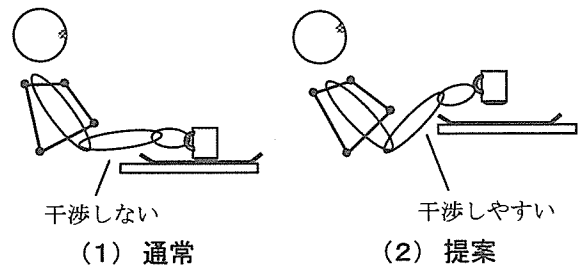


図 C2-32 前腕部と机の干渉

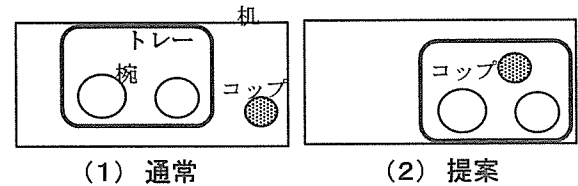


図 C2-33 机上のトレー配置

つ半座位の上肢到達域に収まり臥床生活者が自力で設置できる収納用の可動域を検討する必要がある。逆に、介助時の物品置き用の可動域を検討することで、ベッド周りに必要な什器の数を減らし、介助や起立動作に有効なスペースを確保できる可能性もある。

## ③ベッド周りの介助の腰部負担軽減

### 1. 代表的介助作業における腰部負担計測

#### 1.1 低負荷持続作業

##### 1.1.1 結果

##### (1) 作業時間

表 B3-3 に示した動作 1～8 までの作業時間の平均値を図 C3-1 に示す。二人介助動作（動作 2、4、6、8）はいずれも一人介助より短く、平均 136 秒であった。一方、一人介助の作業時間は平均 203 秒であり、 $p < 0.001$  で有意差を認めた。なお、ベッド高さや作業スペースの広さによって作業時間が改善することはなかった。

##### (2) 姿勢角度データ

オムツ交換時の角度計測例を図 C3-2、C3-3 に示す。図 C3-2 より、前屈角度波形には、大きく 4 つの山が存在することがわかる。一時的に  $0^\circ$  に近づく（つまり体幹が起きている）部分は、ズボンやオムツを脱がせた後にオムツを脱がすまでの間など、

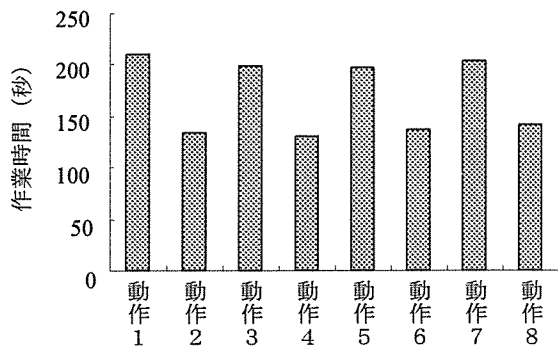
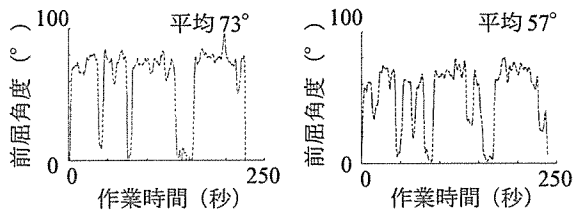


図 C3-1 オムツ交換動作 作業時間



(1) ベッド高 40cm (2) ベッド高 60cm

図 C3-2 ベッド高さによる前屈角度波形の比較

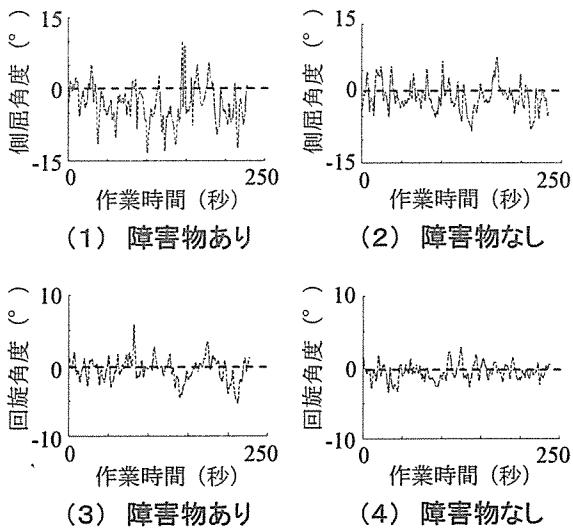
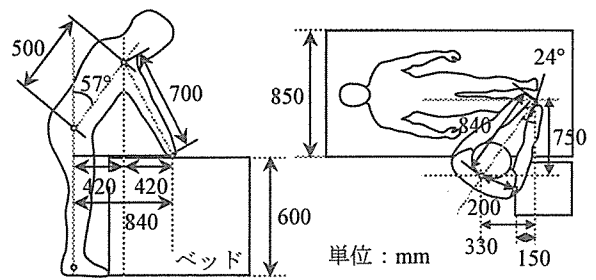


図 C3-3 障害の有無による回旋・側屈角度波形の比較

動作の間の遷移状態を表している。ベッド高 40cm 時の平均前屈角度は 73°、60cm 時では 57° となり、ベッドを高くすることで前屈角度は約 16° 程度小さくなった。したがって、経験的に言われているベッドを高くすることで負担軽減効果が確認できた。

図 C3-3 に作業スペースが狭い時と広い時における側屈角度と回旋角度の結果例を示す。本動作では前屈運動と側屈・回旋運動の複合動作が多く



(1) 最大作業域(H60) (2) 障害物の配置決定

図 C3-4 低負荷持続作業の環境改善

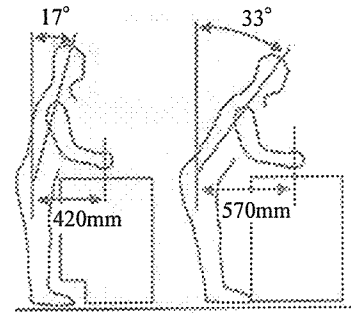


図 C3-5 作業スペース改善の一例<sup>9)</sup>

生じており、作業スペースが狭い時(障害物あり)には特に側屈・回旋角度が大きくなっていることがわかる。

### 1.1.2 考察

おむつ交換動作ではベッド高さや作業スペースの改善により負担は 3 割軽減した。一方、二人介助時は作業時間が短い効果で、腰部筋負担は 4 割軽減し、ベッド高さも改善することで負担は 6 割も軽減できることがわかった。低負荷持続作業の負担を軽減するためには、環境改善を行う前に介助人数を増やして効率のよい介助を行い、作業時間を短くする工夫が必要である。しかし、やむなく一人で介助を行う時は、作業しやすい環境にベッド回りを改善することが必要である。

以上より、作業スペースの改善方法を定量的に検討すると、図 C3-4 (1) に示すようにベッド高さを 60cm に改善したときは、図 C3-4 (2) に示すように平均前屈角度は 57° になる。介助者の股関節-肩関節長は 500mm、上肢長は 700mm であったため、前屈角度 57° の時の股関節から手先までの長さを考慮した作業域は最大で 840mm となる。



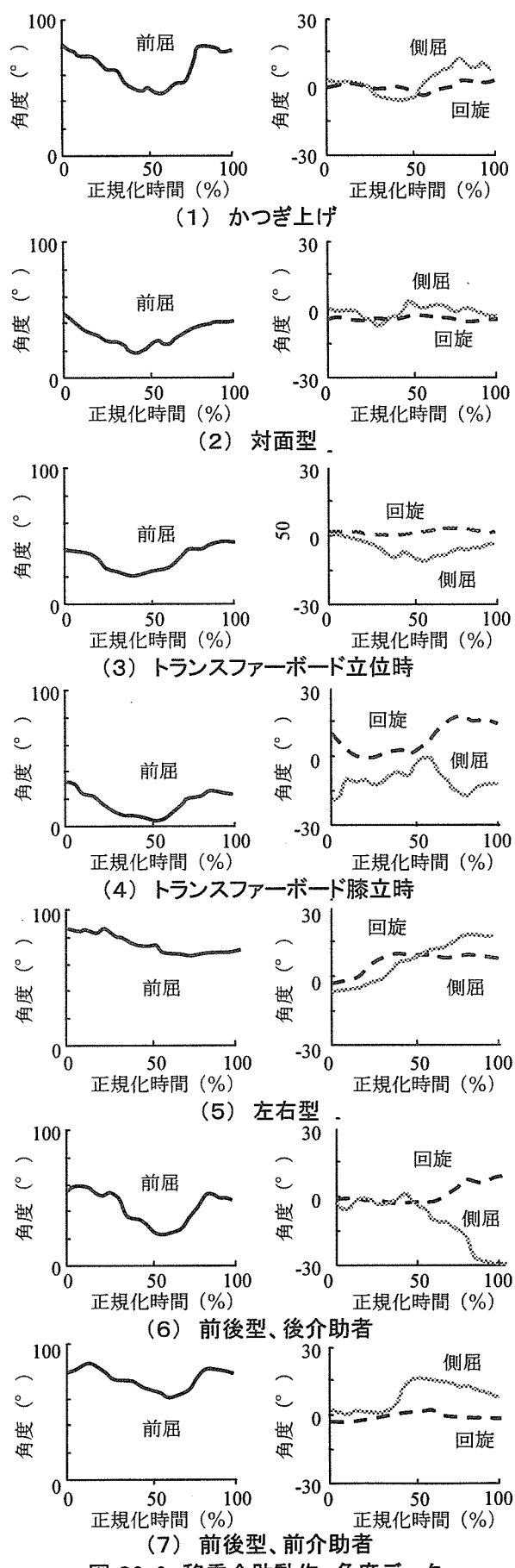


図 C3-6 移乗介助動作 角度データ

また、介助者の体幹部が側屈・回旋しないでも患者のオムツを脱がせることができるためには、図C3-4 (2) に示すように介助者に対して患者の足先までの距離を検討する必要がある。介助者と患者の間の平行距離を 750mm とすると、側屈・回旋しないで介助できる作業スペースは 840mm であるので、障害物が存在しても患者に対して斜めから介助することが可能である。この時、介助者の股関節中心点と患者の足先までの距離は図C3-4 (2) に示すように、330mm となる。また、骨盤幅を 400mm とすると、股関節中心点から右大転子点までの距離は 200mm となる。さらに介助者と患者のなす角度  $\alpha$  は  $\alpha = \cos^{-1}(750/840) \times 180/\pi = 24^\circ$  となるため、ベッドと平行な方向における骨盤幅は  $200\text{mm} \times \cos(24/180 \times \pi) = 180\text{mm}$  程度となる。よって、介助者の足先から障害物が置ける限界距離は  $330\text{mm} - 180\text{mm} = 150\text{mm}$  と決定される。

また、介助者と患者の距離 750mm は介助者の立ち位置と患者の位置によって決定されるので、介助者の身長には大きく依存しないことになる。すなわち作業域である 840mm もほぼ一定となる。よって、ベッド高さや介助者の身長によらず、患者の足位置から障害物の端までの距離 150mm はほぼ一定として考えてよい。さらに小さい前屈角度で介助をするために、図C3-5 のようにベッドの下に足を入れるスペースを作る<sup>9)</sup> ことも有効である。また一人介助時は二人介助時よりも環境改善の効果が高かったことから、電動ベッド等の補助機器は二人介助体制が確立していない施設等に導入されるとより有効に活用できる。

## 1.2 高負荷瞬時作業

### 1.2.1 結果

移乗介助時の角度計測例を図 C3-6 に示す。図 C3-6 (1) のかつぎ上げ型では、 $80^\circ$  近くの大きな前屈状態から被介助者を持ち上げ、 $40^\circ$  付近まで体幹部を起こしてから被介助者を下ろす時には再度大きい前屈角度になっていること、患者をベッドに下ろす時に側屈運動を伴っていることがわかる。また図 C3-6 (2)、(3) の対面型とトラ

ンスファーボード立位時の体幹角度のグラフでは、ともに同程度の前屈角度変化が見られるが、トランスファーボード立位時は横に滑らせるために10°程度の側屈を伴っていた。一方、膝立ちでトランスファーボードを使用した図C3-6(4)では、前屈角度は非常に小さいが、動作後半で大きな回旋運動行っている。これは膝を床につけた状態で移乗介助を行うため、体全体を回転して患者を移動させるピボットターンができないためである。図C3-6(5)の二人介助の左右型では継続して深い前傾姿勢を維持し、しかも大きな側屈、回旋運動を伴っていた。図C3-6(6)の前後型の後介助者では動作後半において大きな側屈運動を生じており、図C3-6(7)の前介助者では深い前傾姿勢と大きい側屈運動を生じていた。

### 1.2.2 考察

一般に重量物を持つ時は、その重量が25kgを超えた時においてやや深い前傾姿勢をとると圧縮力はNIOSH基準の3400Nを超えるといわれている<sup>13)</sup>。患者を移乗する介助では、すべての動作で介助者にかかる荷重は25kgを超えている。そのため、介助者は自分の体格に適合した動作を行い、できるだけ前傾姿勢をなくす必要がある。すなわちトランスファーボードを使用する時は、高身長者は膝立ちで、低身長者は立位で動作を行ったり、二人介助の前後型を行う時は患者の後方に高身長者、前方に低身長者が位置するなどといった工夫が必要である。一方、低身長介助者の前後型後方介助時や、膝立トランスファーボード使用時では体幹が起きすぎるため、逆に体をねじる動作を行ってしまう。よって、移乗を行うときは動作中に体幹が背屈しない程度に、適度な姿勢を取り、体全体を回転させるピボットターンを行うことが重要である。

以上より、移乗介助動作では、二人介助の前後型で後方に高身長者が、前方に低身長者が位置して、2段階方式を行うことが身体力学的に最も適切な動作方法である。このように身体のメカニズムに基づいた簡単な工夫を行うことで腰部にかか

る負担を最大で4割軽減できる。したがって、動作を行う時には患者との体格差などを考慮し、状況に応じて、身体力学的に合理的で負荷の小さい適切な動作を行うことが必要である。

## 2. 施設介助者のベッド周り作業の長時間計測

### 2.1 結果

#### (1) 屈曲姿勢

表B3-7のE1~E8とCの被験者について横軸に屈曲姿勢角度、縦軸にその姿勢をとった合計時間を表した度数分布を図C3-7に示す。合計時間は全作業時間で正規化した。

まず、看護師と一般主婦で比較を行う。一般主婦の姿勢分布は看護師の日勤と夜勤後半部の姿勢分布と似ていることが分かる。しかし、看護師の方が取りうる姿勢角度の範囲が広く、分布が広い傾向があるのに対して一般主婦は屈曲角10°~30°に集中している。また看護師は屈曲角50°を越えている時間があるのに対して一般主婦ではほとんど無いのが分かる。このようなことから看護師が不自然姿勢を取りやすいという既存研究の結果を確認することができた。

次に身長について比較をする。身長が160cm以上のE3とE7では、E7の後半を除いて、取る合計時間の長い姿勢は20°~40°である。それに対しE3、E7以外では、E1の後半を除いて、取る合計時間の長い姿勢は0°~30°である。グラフの形を見ても、身長が高い方が、E7の後半を除けば、分布が角度大の方へシフトしていると言える。身長が高い方が、作業を行う際に姿勢をより屈曲しなくてはならないことがわかる。

次に病棟と勤務帯で比較を行う。E1、E3、E4、E8を見ると夜勤では前半の介助作業時間はかなり短く、休憩後の介助作業が大半を占めることが分かる。ただし、E5の被験者は例外で、前半にも作業をしていた。また、夜勤の後半は日勤の分布と似た傾向であった。日勤の前半と後半では分布の傾向が似ていた。しかし3階では後半の方が、4階では前半の方が、分布が角度大の方にシフトして

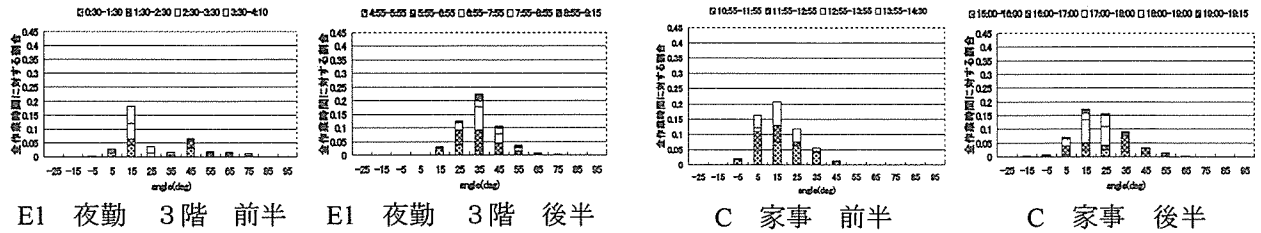


図 C3-7 屈曲角の度数分

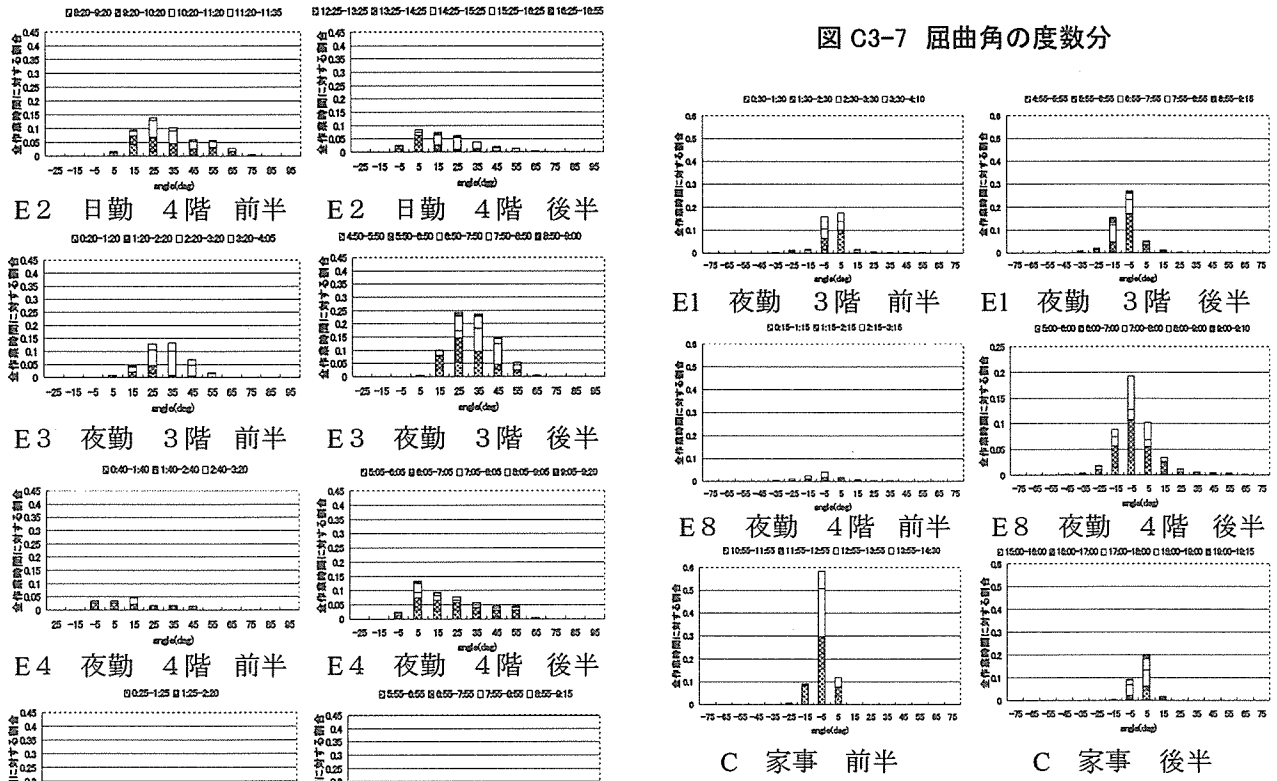


図 C3-8 側屈角の度数分

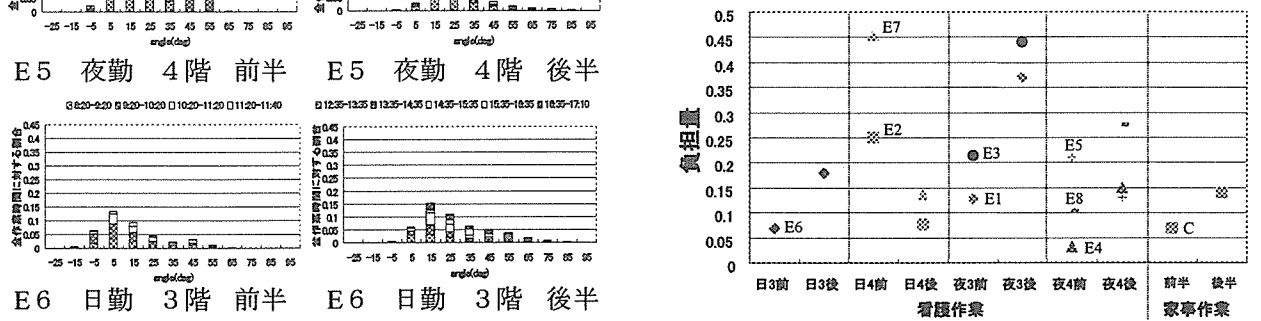


図 C3-9 異なる条件下での負担

いることから不自然姿勢を取る割合が大きいことが分かった。これは主に3階と4階で患者が違うことにより行う作業が異なるためと考えられる。つまり3階では日勤の後半に移乗介助やトイレ介助が集中するのに対して、4階では前半に移乗や体位交換などの介助作業が集中することによって考えられる。また、いずれの被験者の場合にも移乗、更衣、オムツ交換、清拭、排泄介助が集中する時

間帯には分布が角度大の方にシフトし屈曲角 $60^{\circ}$ 以上まで広がるのが分かった。これは介助作業が不自然姿勢につながっていることを示している。

## (2)側屈姿勢

同様に側屈姿勢についての度数分布を図C3-8に示す。側屈姿勢については、屈曲姿勢と違い条件ごとに顕著な違いは見られなかったため、一部の度数分布のみ示す。

ほとんどの被験者はE1と似た傾向で、側屈角 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の時間が多くを占め、約 $\pm 30 \sim 40^{\circ}$ まで分布が広がっていた。それ以上の側屈姿勢はほぼ見られなかった。しかしE8の被験者の後半に見られるように、 $\pm 40^{\circ}$ を超える側屈姿勢が見られることもあった。作業の記録と照らし合わせると、介助作業の集中している時間帯に側屈角の大きい姿勢を取っていることが分かった。また一般主婦と看護師とを比較すると、一般主婦は側屈角 $\pm 20^{\circ}$ 以上の姿勢を取ることはほとんどない。これは一般主婦の洗濯や掃除という作業と看護師の行う介助作業との大きな違いであると言える。

## (3)負担量の算出

危険姿勢(屈曲角 $30^{\circ}$ 以上の姿勢)をとる合計時間を負担量と定義し、それぞれの計測条件についての負担量を算出した。看護師E1~E8、一般主婦Cについて負担量をプロットしたものを図C3-9に示す。それぞれの条件について1時間ごとに負担量を算出しプロットしたものを図C3-10に示す。

図C3-9から姿勢負担の大きい条件を明確に抽出することができる。まず身長について比較するとE2とE7、E1とE3は同じ条件であるが、身長が高いほど姿勢負担は大きくなっている。また時間帯で比較を行うと、日勤3階では後半が、日勤4階では前半が、夜勤では後半が姿勢負担が大きいと言える。例外的に、E5の被験者は後半の方が姿勢負担が少なくなっている。これはE5だけ作業手順がE4、E8とは異なり前半にも作業をしていたためと考えられる。全体として見ると、3階病棟では夜勤に負担が集中し、4階病棟では日勤

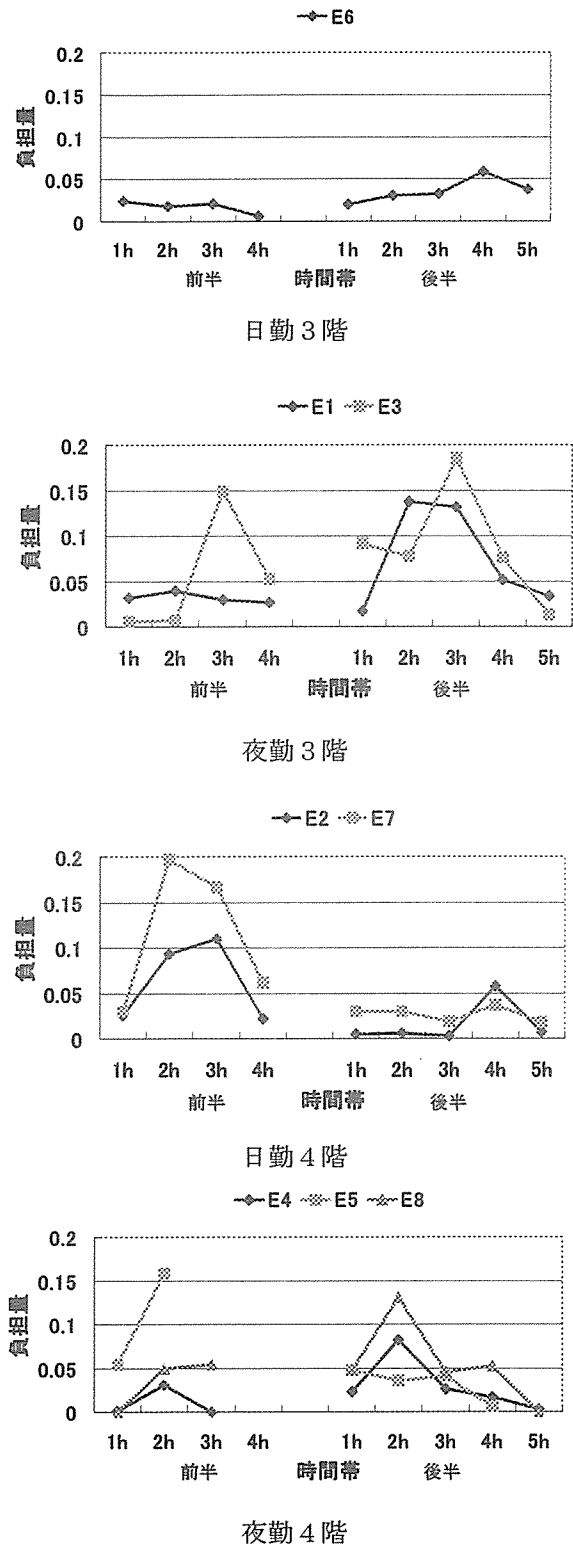


図 C3-10 負担量の時間推移