

図5 実験ベッドの角度・寸法定義

表1 寸法・角度調節範囲

	支持面長 [mm]	角度 [°]
頭部	① 500	α 30
胸部	② 165~230	β 30
腰部	③ 240~430	γ 70
臀部	④ 80~140	δ 40
大腿近位部	⑤ 90	ϵ 25
大腿遠位部	⑥ 190~365	ζ 90
下腿足部	⑦ 520	

一般的なギャッチベッドでは 70° 程度まで背上げが可能なものが多い。そのため、本ベッドでも腰部支持面の挙上角度 γ は 70° までとした。また、解剖学的制約から胸部支持面の腰部支持面に対する角度 β は 30° まで屈曲させ、頭部挙上角度 α は不快にならない限界屈曲角度を探索した結果から、30° までとした。

大腿部の支持面については、市販のギャッチッドでは 30° まで挙上可能なものが一般的であるが、II章で快適な脚上げ条件を探索した結果、臀大腿移行部支持面角度 δ は 36°、大腿部支持面角度 ϵ は 22° で一定であったため、これを満たす $\delta=40^\circ$ 、 $\epsilon=25^\circ$ までを調節範囲とした。また下腿足部支持面角度 ζ は、大腿部に対して 90° 屈曲させて座位をとらせることを目標とした。

寸法調節範囲については、高齢女性 5%tile~成人男性 95%tile 値 (137~182 cm) ¹⁾ に対応するように決定した。

以上より決定した角度・寸法調節範囲を表 1 に示す。

3. 基本構造と駆動方法

3.1 基本構造

前節で決定した調節範囲を満たし、独立に調節でき

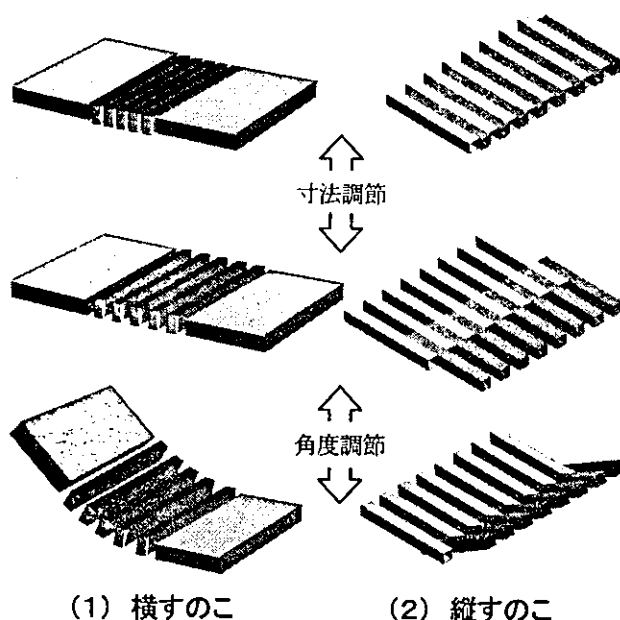


図6 支持面の構成

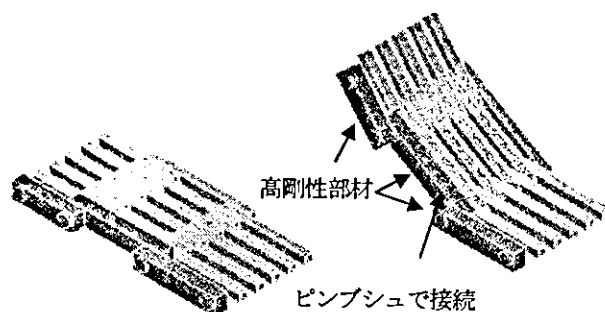


図7 両端部材の接続

る機構として、図 6 のようにすのこ状に角パイプを並べてスライドさせる方法を検討した。(1) の横すのこの場合、調節量が最小寸法に比べて大きい箇所では、すきまが大きくなる。一方、(2) では部材が多くなるが、調節量が大きい場合でもすき間がパイプの幅以上になることはない。このため、本ベッドでは (2) の縦すのこによって支持面を構成した。

角度調節は、図 7 に示すように、パイプを並べた支持面の両端に剛性の高い部材を配置し、隣接した部材とピンブッシュで接続して回転させることとした。

3.2 駆動方法

3.2.1 リニアガイドの選定

胸部・腰部・臀部・大腿部の寸法調節は、櫛状の支持面をスライドさせて、長手方向の連続性を確保しながら行う。このスライドにはリニアガイド (THK: LM ガイド) を支持面の両端に配置した。

身体の重量 m [kg]とベッド構造部の重量 M [kg]および合成重心位置は図8³⁾、9のように仮定した。両者の合成重量は各支持面の中点より遠位になることはないので、中点に作用するとし、支持面を最も伸ばした状態の最大モーメント M [N・m]を式(4)より計算した。ここで ℓ_1, ℓ_2, \dots は角度調節を行わない臀部支持面の端

$$\{(M_3 + m_3)\lambda_3 + (M_2 + m_2)\lambda_2 + \dots\}g \quad \dots (4)$$

点からの距離を示す。表2に計算結果を示す。

以上より、適切な許容モーメントを持つリニアガイドとして表3に示す製品を選定した。

3.2.2 アクチュエータの選定

4ヶ所の寸法調節と6ヶ所の角度調節を駆動・保持するアクチュエータには、リニアアクチュエータ(HIWIN:リニアアクチュエータ)を用いる。

角度調節用のリニアアクチュエータは、各支持面の回転軸まわりのモーメント M [N・m]と角度調節範囲より、適当な保持力とストロークを求めた(表4)。

また、寸法調節用のアクチュエータについては、ベッド構造と身体の重量および摩擦による力 F' を考慮し、表5のように選定した。

これらの10台アクチュエータを6軸用コントローラ(HIWIN:LAK6B)2台に5台ずつ接続する。また、コントローラに5軸用のキーパッド(HIWIN:LAP5)を接続し、体幹側(角度: $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 、寸法:②・③)と下肢側(角度: $\delta \cdot \varepsilon \cdot \zeta$ 、寸法:④・⑥)に分けて制御する(図11)。

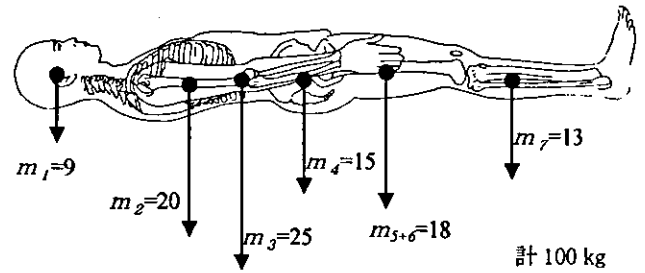


図8 身体重量分布の推定値[kg]³⁾

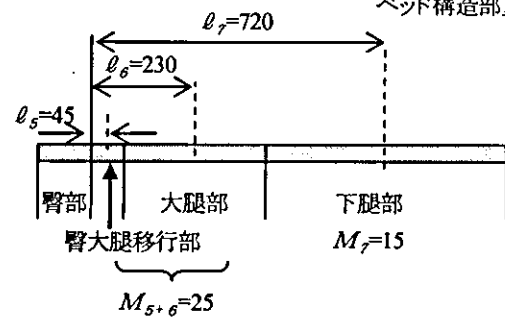
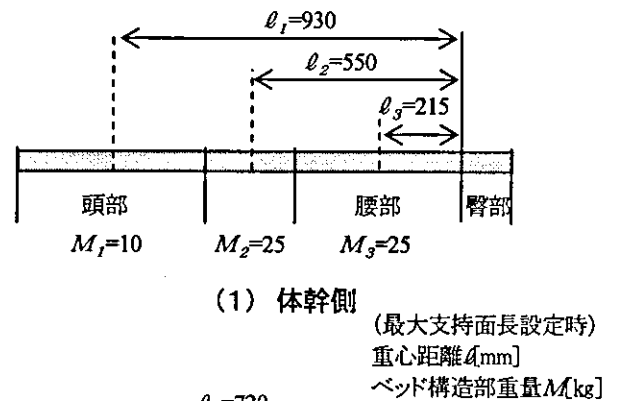


図9 ベッド重量と力の作用点

表2 LMガイド選定条件算出結果

	モーメント	調節量	使用するLMガイド型番
	[N・m]	[mm]	
胸部	144	55	SRS15WM
腰部	522	170	SHS20V
臀部	295	60	SHS20V
大腿遠位部	72	185	SRS15WM

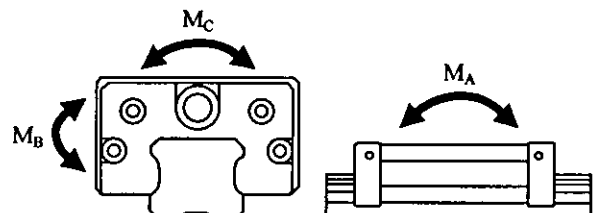


図10 LMガイドのモーメント定義

表3 LMガイド仕様

型番	定格荷重 [kN]	静的許容モーメント [kN・m]			質量 [kg/個] [kg/m]		ブロック外形寸法 [mm]			レール外形寸法 [mm]	
		MA	MB	MC	ブロック	レール	高さ	幅	長さ	高さ	幅
SHS20V	22.3	0.31	0.31	0.39	0.35	2.3	30	44	79	16.5	20
SRS15WM	9.12	0.0515	0.0515	0.177	0.13	2.87	16	60	55.5	9.5	42
SRS15WM	9.12	0.0515	0.0515	0.177	0.13	2.87	16	60	55.5	9.5	42

表4 アクチュエータ選定条件算出結果

	モーメント M [N・m]	調節量 θ [rad]	取付位置 a [mm]	最小ストローク [mm]	保持力 F [N]	ストローク s [mm]
角度調節	α	49	$\pi/6$	100	52.4	800
	β	147	$\pi/6$	185	96.9	800
	γ	522	$7\pi/9$	175	183.3	3000
	δ	295	$2\pi/9$	100	78.5	3000
	ϵ	200	$5\pi/36$	100	109.1	800
	ζ	72	$\pi/2$	100	157.1	800
寸法調節	②	640	65	800	100	
	③	1140	170	1500	200	
	④	500	60	800	100	
	⑤					
	⑥	710	185	800	200	

表5 アクチュエータ仕様

型番	最大推力 [N]	保持力 [N]	ストローク [mm]	速度 [m/s]	入力電圧 [V]	電流値 max[A]	重量 [kg]	使用箇所 角度 寸法
アクチュエータ	LAH1-3-1-100-24	3000	3000	7	24DC	4	2.5	δ
	-200-24							γ
	LAH4-4-1-200-24	1500	1500	11	24DC	5	2.1	④
	LAF-4-1-100-24							α, β
	-150-24	800	800	10	24DC	1.8	0.8	ϵ, ζ
-200-24	③, ⑥							
コントローラ	LAK6B	100	24DC	1~6台のアクチュエータ接続可				
キーパッド	LAP5	1~5軸のアクチュエータ制御可						

3.3 計測システム

3.3.1 ポテンシオメータ

寸法調節を行う4つの支持面の寸法調節量とベッドに対するマットレスのずれを計測するためのポテンシオメータを選定した。取り付け位置を図12に示す。

直動型のポテンシオメータでは、初期長が大きく、支持面の最小寸法が小さい箇所で使用する際、他の支持面との干渉が考えられる。そこで、図13のように回転型のポテンシオメータにプリーを取り付け、回転角度と回転数から変位を検出する。

ポテンシオメータは分解能が高く、回転抵抗の小さいHP-16（緑測器）を選定した。摺動部の発熱を防ぐために入力電流は1 mA以下にしなければならない。HP-16の最大印加電圧は表6に示すように、次節の傾斜計よりも大きいため、傾斜計を入力電圧5 VDCに統一し、内部抵抗は10 k Ω のタイプを選定した。この時、電流値は0.5 mAとなる。

また、10回転型のため、 $\phi 10$ mmのプリーを使用すると、 $10\pi \times 10 \approx 314.2$ mmまで計測できる。支持面長の調節量は大腿遠位部が最大で185 mmであるため、調節範囲計測には十分である。

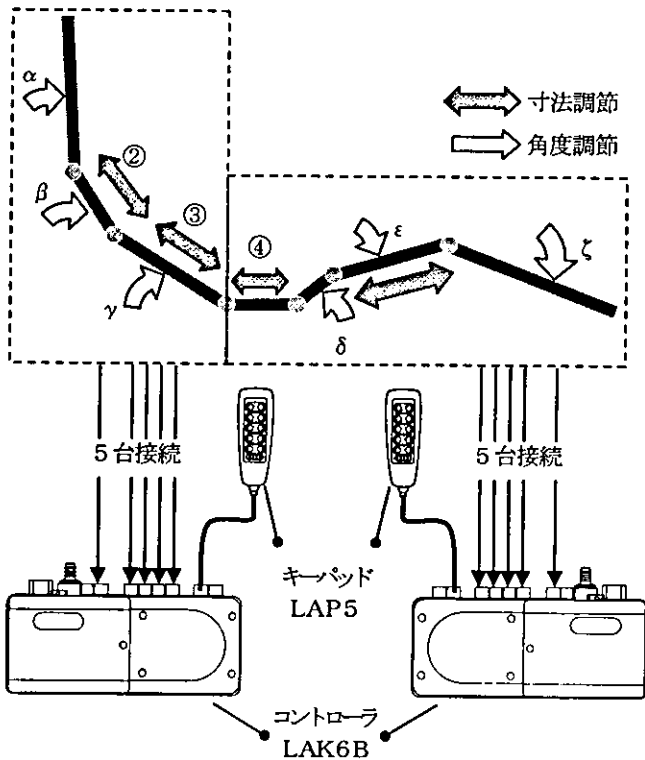


図11 アクチュエータ接続方法

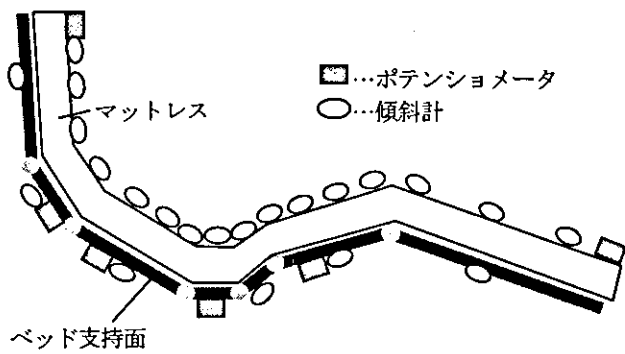


図 12 センサ取り付け箇所

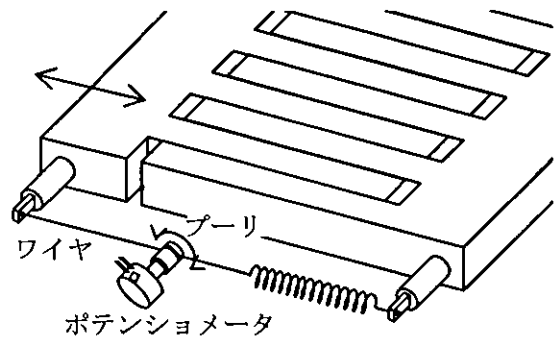


図 13 変位検出方法

表6 計測センサ仕様

ポテンシオメータ	型番	抵抗値 [kΩ]	分解能 [%]	印加電圧 max[V]	有効電気角 [°]	定格電力 [W]	外形 [mm]	質量 [g]
	HP-16	10	0.017	100	3600	2	φ 22.2×19.5	22
傾斜計	型番	検出範囲 [°]	計測精度 [°]	印加電圧 [V]	負荷抵抗 [Ω]	消費電流 [mA]	外形 [mm]	質量 [g]
	UV-00H	±60	0.8	DC5±0.5	10k以上	10以下	□30×40	35
	UV-1W(b)	±45	2	max DC10	5M以上		φ 23×16	10
データロガー	型番	入力ch数	サンプリング [ms]	測定範囲 [A]				
	NR-250	16~64	100	±100m~50				
電源	型番	出力電圧 [V]	入力電力 max[W]	寸法 H×W×D[mm]	質量 [kg]			
	PUPS-2	4.5-5.5	97	130×50×225	2.2			

3.3.2 傾斜計

角度調節を行う6つの支持面の絶対角度と、マットレスの形状を検出するため、それぞれ6個、16個の傾斜計を選定した。取り付け位置を図13に示す。

ベッド支持面に取り付ける傾斜計は、角度調節による姿勢への影響を小さくするため、傾斜角感度が良いUV-00H(緑測器)を使用することとした。

マットレスの形状検出用の傾斜計は、使用上最大90°計測できれば十分であるため、検出範囲が±45°のUV-1W(緑測器)とし、支持面が水平状態のとき傾けて取り付けることとした。

3.3.3 その他

センサは全て、UV-00Hの印加電圧5VDCで使用するため、出力電圧範囲4.5~5.5Vの直流電源(高砂製作所:PUP5-2)を使用する。また、センサからのデータを一度に取得するためには28ch以上のアナログ入力チャンネルが必要である。このため、データロガー(KEYENCE:NR-250)と16chの増設ユニットを使用し、PCカードを介してノートPCに記録した。計測システムを図14に示す。

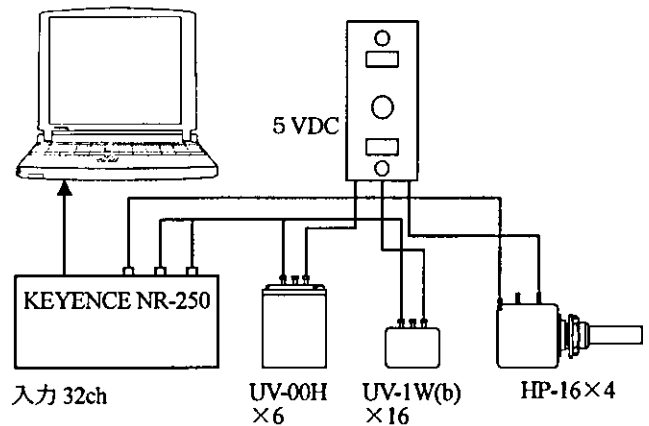


図 14 計測システム

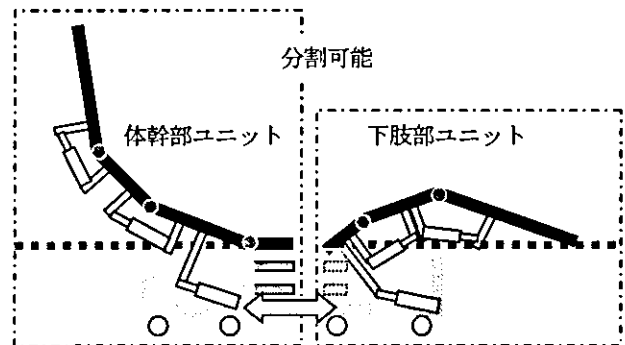


図 15 ベッドフレーム概要

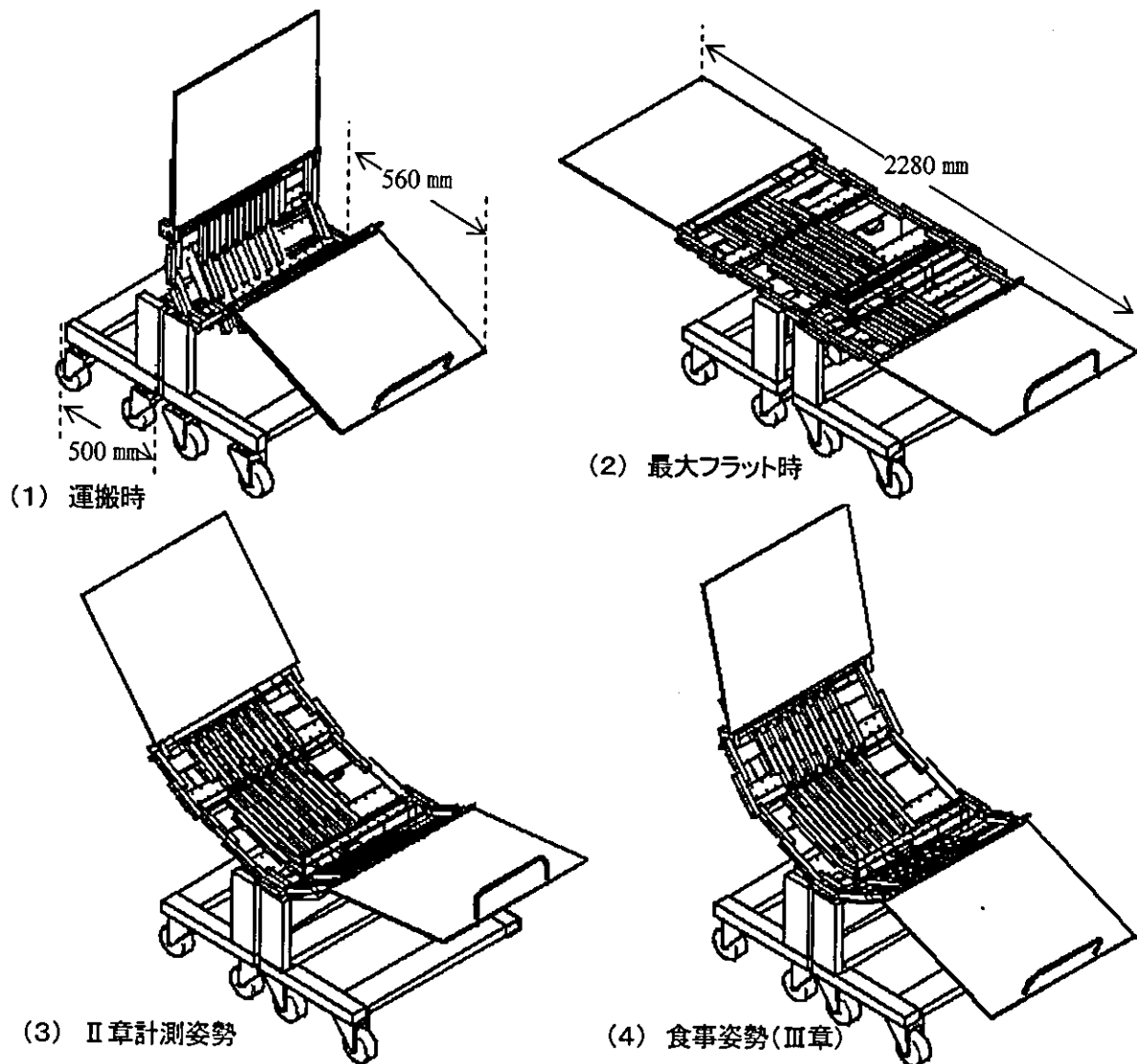


図 16 実験ベッド設計案

4. ベッドの全体設計

支持面高は、アクチュエータが支持面に追従して動くため、一般的なギャッチベッドで最大の 400 mm 程度とする。

また、ベッドの幅は、支持面と構造部を含めて 800 mm 以上になるのに対し、搬入するドア開口部は約 1600 mm、エレベータの扉は約 850 mm であるため、運搬性を考慮し、図 15 のように体幹と下肢のユニットを臀部支持面で分割する。

以上より製作した設計案を図 16 に示す。各支持面長を最小にし、図 16 (1) のようにすると、体幹部はフレーム長 (500 mm 程度)、下肢側は約 560 mm となり、前述の扉などでも問題なく通ることができる。なお、支持面長最大でフラットにした (2) では、長手方向の寸法は約 2300 mm となる。また、(3) に I 章の計測姿勢を、(4) に II 章の食事姿勢を示す。

D. 結論

支持面を 7 分割した実験ベッドの寸法・角度条件を決定し、これを実現する機構と部品の選定を行った。本ベッドは 10 台のアクチュエータで胸部・腰部・臀部・大腿部の寸法と、臀部を除く 6 面の角度を自由に調節することができる。

来年度は、本ベッドの組立調整を行うと共に、快適な支持条件を探索する予定である。

E. 参考文献

- 1) 生命工学工業技術研究所: 設計のための人体寸法データ集、日本出版サービス、東京、第 1 版 (1996)
- 2) 小原二郎: 暮らしの中の人間工学、実教出版 (1971)
- 3) 岡田秀孝、阿江道良、藤井範久、森丘保典: 日本人高齢者の身体部分慣性特性、バイオメカニズム 13, pp.125-138、東京大学出版会 (1996)

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
守山利奈, 山崎信寿	顔画像からの開眼度を指標とした覚醒度の簡易計測	日本人間工学会 関東支部第34 回大会抄録		pp.127-128	2004

顔画像からの開眼度を指標とした覚醒度の簡易計測

○守山 利奈（慶應義塾大学大学院理工学研究科），山崎 信寿（慶應義塾大学理工学部）

Simple measurement of drowsiness by palpebral fissure length from video image
Rina Moriyama (Graduate School of Science and Technology, Keio University),
Nobutoshi Yamazaki (Faculty of Science and Technology, Keio University)

1. はじめに

臥床姿勢では血流動態の変化や筋弛緩のために覚醒度が低下しやすく、安静を必要とする患者や自宅療養者では、日中の覚醒度低下により自発的活動の減少や生活リズムの乱れが生じる場合がある。このため本研究では簡便に記録できる顔画像から、特に眠気で変化する瞼の下降に注目して新たな覚醒指標を求めた。目の開閉を行う上眼瞼挙筋は交感神経の支配下にあり、覚醒水準の低下に伴って上眼瞼挙筋が弛緩する結果、上眼瞼が下降して眼裂が狭まる¹⁾。本研究ではこの眼裂長から開眼度を定義し、従来の覚醒指標と比較した。

2. 実験方法

被験者は睡眠障害がなく、正常な視力を有する健康男子学生9名とした。被験者には、前日および当日のアルコールやカフェインの摂取を控え、十分な睡眠をとるように指示した。

眼裂長はカメラとの相対的な顔の位置や視線方向によっても変化する。このため、計測時のタスクは臥床者が行う生活行為の中で顔の向きが一定になる電子図書の読書とし、モニタの下部に撮影用の小型CCDカメラ（SONY製DXC-LS1）を取り付けた。

被験者には、照度250 lx、室温25℃の室内で仰臥位をとらせ、頭上の見やすい位置に液晶モニタを設置した。顔画像（768×494画素、モノクロ）の撮影は、まずキャリブレーション用に画面中央の注視点を見ながらの開閉眼を撮り、その後、モニタに表示した小説を黙読させ、DVDに記録した。これと並行し、臨床用脳波計（日本光電製Neurofax EEG-5414）およびAD変換器（TFAC製PS-2032GP）を用いて脳波の計測・記録を行った。脳波は国際10/20法に従ってP₂から基準電極導出法の両側耳朶法により導出し、時定数0.3s、高周波域遮断30Hz、サンプリング周波数100Hzで計測した。

実験は日内変動を考慮し、被験者ごとに午前（9:30-12:30）または午後（15:30-18:30）のいずれかの時間帯に行った。計測時間は経験的に覚醒度が低下しかつ被験者が疲労しない範囲の1回25分とし、10分程度の休憩を挟んで2回行った。

3. 解析

被験者9名中、脳波の傾向が他と大きく異なる1名、および覚醒度の変動がみられなかった2名を除く6名分のデータについて、以下の解析を行った。

3.1 画像解析による開眼度の取得

顔画像の片眼（右眼）周辺領域外をトリミングしてノイズ除去等の前処理を施し、10fprでフレームごとにデジタル画像に変換した。この画像ファイルをC言語で記述した自作プログラムに取り込み、覚醒開眼時の目の横幅の1.5倍×縦幅の2倍（キャリブレーション画像より取得）を解析領域として2値化した。つづいて、内角点を検出するため図1に示す解析領域の右端最下点のピクセルから上向きに走査を開始し、取得した内角点位置から目の横幅の1/2の位置を目の中央線とした。この中央線を通る黒画素領域について輪郭追跡を行い、試行錯誤的に決定した閾値以上の輪郭長を持つ領域を目領域と特定した。中央線まわりで目領域の縦幅を算出し、最大縦幅を目の眼裂長として、時系列データを取得した。本データには図2に示すように瞬目のアーチファクトが含まれる。このため本研究では、50点（5秒）ごとにメディアンフィルタをかけて瞬目を除去した。以上より得られたデータについて1分間の移

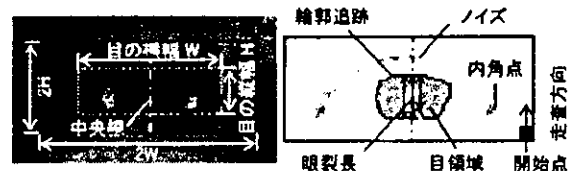


図1 解析領域と眼裂長

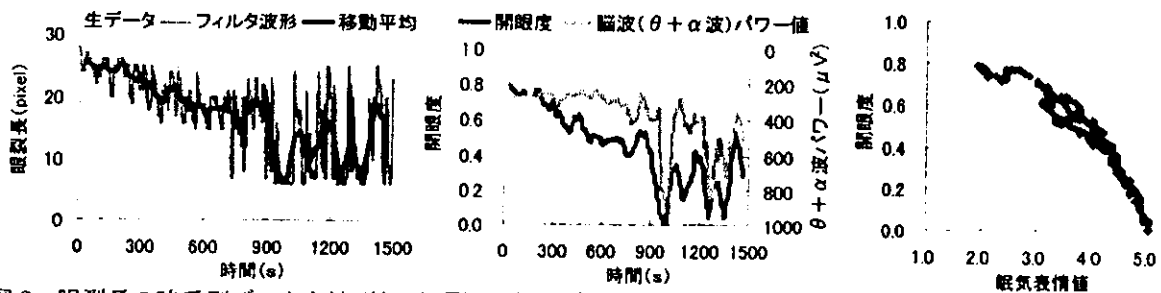


図2 眼裂長の時系列データと波形処理 図4 開眼度と脳波の時系列変化 図5 眠気表情値と開眼度



図3 眠気表情値と顔表情

動平均を施した後、キャリブレーションの開眼時を1、閉眼時を0として規格化し、これを開眼度と定義した。以上の処理により、画像ファイルの作成後は約0.04s/画面で自動的に開眼度を取得できる。

3.2 脳波

汎用時系列解析ソフト (GMS製MemCalc ver2.0) を使い、1区間を5秒として脳波のスペクトル解析を行った。区間ごとに θ ~ α 波帯域 (4~13Hz) の総パワー値 (覚醒度低下時に増大) を算出し、1分間の平均値を求めた。

3.3 眠気表情値²⁾

眠気表情値は、5段階の評定基準 (1: 全く眠くなさそう、2: やや眠そう、3: 眠そう、4: かなり眠そう、5: 非常に眠そう) に基づいて主観的に顔表情の眠気評定を行うことで得られる。顔のビデオ画像 (図3) を観察して5秒間ごとに評定値を求め、1分間を処理単位として5秒ステップで移動平均し、区間ごとの眠気表情値を求めた。

4. 結果および考察

図4のように開眼度は脳波のパワー値の変化傾向とよく一致し、被験者の順位相関係数の平均値は $r_s = -0.71$ ($p < 0.001$) と高い相関を示した。一方、脳波と眠気表情値はこれに比べて $r_s = 0.69$ とやや低めの値を示した。眠気表情値は、他の覚醒指標の検討の基準としても用いられている指標であり、被験者に介入せずに長時間の時系列変化を評定できる指標として優れている。しかし、評定に際しては評価者への負担が大きいことが報告されている³⁾。図5に示すように今回、開眼度と眠気表情値については $r_s = -0.94$ ($\sigma = 0.04$, $p < 0.001$) のより高い相関が

得られた。したがって、すでに妥当性が示されている眠気表情値に対し、同じ顔画像を基にした開眼度は同程度の信頼度を持つと考えられる。

一方、瞬目についても、眠気発生時の自発性瞬目の回数の増加や持続時間の延長が報告されており、これにも覚醒度低下による上眼瞼挙筋の弛緩が関係していることが推測される。しかし、発生の傾向は個体差、個体内差が大きい。開眼度では顕著な個体差は見られなかったため、眠気発生時の瞬目活動の個体差については、瞬目を引き起こす眼輪筋の収縮傾向の違いが大きいことが考えられる。

また、覚醒度の低下に伴い眼球速度の低下⁴⁾が観察されるが、覚醒時にはタスクの内容に依存する傾向が大きかった。

5. おわりに

交感神経活動の低下を直接反映する可能性がある指標として開眼度を定義し、従来の覚醒指標と高い相関が得られることを示した。開眼度は画像計測によって取得できるため、被験者への干渉が少ない客観的な覚醒度評価が可能である。今回はタスクを読書としたが、本手法はカメラを顔の動きに追従させることでより広範囲に応用することができる。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門編：人間計測ハンドブック、朝倉書店、東京、第1版、2003
- 2) 北島洋樹他：自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 (第1報、眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について)、日本機械学会論文集(C編)、Vol. 63, No. 613, 93-100、1997
- 3) 寺下裕美他：顔表情を用いた眠気の主観評定—評定安定性および生理指標との関連—、ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集、Vol. 2000、455-458、2000
- 4) 守山利奈他：読書時眼球運動に基づく臥床者の覚醒度評価、日本人間工学会第33回関東支部大会講演集、51-52、2003

守山利奈 〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1
慶応義塾大学理工学部機械工学科 山崎研究室
TEL 045-563-1151(内線 42094) FAX 045-566-1495
E-mail rina@mh.biglobe.ne.jp