

に負担が集中していると言える。次に、看護師の姿勢負担を一般主婦と比較する。日勤3階前半、夜勤前半の条件では一般主婦と同程度かそれ以下の傾向がある。しかし、それ以外の条件では一般主婦よりも姿勢負担が大きいことが分かる。特にE7やE3の被験者は、全作業時間の約45%を不良姿勢で過ごしていることになり、何らかの対策が必要であると考えられる。

図C3-10から、姿勢負担の集中度を見ることが出来る。まず日勤3階では後半の4時間目あたりで姿勢負担が大きくなる。この時間帯は更衣介助と移乗介助が集中していた。また夜勤の3階では後半の2時間目～3時間目に姿勢負担が大きくなっている。これに関しても排泄・更衣介助と移乗介助が集中していた。またE3においては前半の3時間目あたりでも負担が大きくなっている。これはE1と違い前半にオムツ交換を行っていたためと考えられる。日勤4階では前半の2時間目～3時間目、後半の4時間目に負担が集中している。前半の負担集中時間帯は、体位交換、清拭、移乗、排泄介助などのいろいろな作業が集中していた。また後半の集中時間帯は、移乗介助の回数が最も多くなる時間帯であった。夜勤4階においては、E5がE4、E8と違う傾向を示しているが、E4、E8に関しては前半の2時間目、後半の2時間目に負担が大きくなっている。前半については見回りの時間帯に相当し、吸引や排泄介助といった作業が見られた。また後半については排泄介助、体位交換、検温の作業が主な時間帯であった。また傾向の違うE5は前半に排泄介助、オムツ交換を行っており、前半の2時間目に負担が集中していた。

このように作業の順番によって傾向が異なるものの、同じ条件の下では負担量の時間的推移が似た傾向を示し、各条件に特有の作業の集中度合いを調べることができた。特に日勤4階の前半、夜勤3階の後半では介助作業による負担が集中しているということが分かった。これらは共に、排泄・更衣・移乗という一連の介助動作を何回も行う時間帯であった。

表C3-1 各作業の負担量の割合

	E7		E8	
	前半	後半	前半	後半
移乗	3.087	4.557	0	0
移乗 (リフター)	0.801	3.697	0	0
排泄	38.89	9.057	6.73	11.28
清拭	6.75	0	0	0
環境整備	4.246	15.37	60.576	16.356
移乗関連の環境整備	6.678	38.71	0	0
医療	3.948	1.674	23.076	40.54
体位交換	0	0	0	2.738

次にE7とE8の被験者について、各介助作業の負担が全体の負担に占める割合を求めた。注目した介助作業は移乗、移乗 (リフター使用)、排泄、清拭、環境整備、移乗関連の環境整備、医療関連、体位交換の8種類である。環境整備とは、他の介助作業には含まれない、シーツ・マットレスの整備、患者のものを取るなど、諸々の作業をまとめたものである。介助作業を行うための準備や片付けなども環境整備に含まれる。また、移乗関連の環境整備とは、その中でも移乗介助のための準備や片付けなどを環境整備と分けて分類したものである。表C3-1に (各作業の負担量) / (全体での負担量) を算出したものを示す。

表C3-1から、外力を考慮せず姿勢負担量で評価すると、作業時間の短い移乗介助の割合は小さい。姿勢負担で見ると排泄介助や医療関連の作業で全体の2割～3割の負担を占める時があることが分かった。またE8の被験者においては前半部の負担は医療関連の作業と環境整備で8割を超えている。この際の医療関連の作業は主に吸引であり、環境整備もそのための準備が主であった。このように、看護師に負担のかかる作業として移乗介助、体位交換だけではなく、排泄介助や医療関連の作業なども考慮する必要があると言える。また、E7の後半を見ると、移乗関連の環境整備とその他の環境整備とで1日の姿勢負担の5割を超えている。このことから、看護師の不良姿勢が患者と接する介助作業だけでなく、環境整備時などにおいても多く出現することが分かった。

## 2.2 考察

結果から得られた、看護師の姿勢の特徴、および問題点を以下に箇条書きにする。

- 屈曲姿勢分布を見ると看護師は屈曲角 $50^{\circ}$ 以上の姿勢も頻繁に取ることが分かり、一般主婦との違いが見られた。また負担指標で比較すると、記録作業の多い夜勤の前半などでは一般主婦と看護師の姿勢負担に大きな差は見られないものの、それ以外の条件では看護師の姿勢負担が大きくなっていることが分かった。
- 側屈姿勢分布についても、看護師が約 $\pm 30^{\circ}$ ～ $40^{\circ}$ まで分布が広がるのに対して、一般主婦では $\pm 20^{\circ}$ 以上の側屈姿勢はほとんど見られなかった。
- 作業の記録と照らし合わせると、ベッド周りの介助作業が集中する時間帯に、屈曲姿勢・側屈姿勢ともに大きい角度をとりやすいことが分かった。
- 屈曲角の度数分布を見ると、身長が高い方が屈曲角が大きい方に分布がシフトしているのが分かる。また負担指標で比較しても、身長が高い被験者の方が0.1～0.2大きいことが分かる。これは不良姿勢を取る合計時間が全作業時間の1～2割多いということを示している。このことから身長が高い看護師ほど姿勢負担は大きいと言える。
- 条件ごとに比較を行うと、日勤4階の前半、夜勤3階の後半において特に負担が集中していた。これらの条件下では全作業時間の45%が不良姿勢となる場合も見られ、何らかの対策が必要であると言える。
- 細かい作業時間帯ごとに負担指標を見ることで、それぞれの条件での負担集中時間帯を抽出した。その結果、排泄・更衣・移乗という一連の介助動作を繰り返し行う時間帯に負担が集中することが分かった。
- 作業ごとに1日の姿勢負担に対する割合を調べると、姿勢負担としては排泄介助、医療関連の作業、環境整備、の負担が大きいということが

分かった。今までに研究が行われてきた介助動作である移乗介助や体位交換以外にも、上記のような作業時の姿勢負担は無視できず、腰痛発生の一因になっていると考えられる。

次に得られた問題点をもとに考えられる改善策を提案する。

- 人数面
  - ・ 負担が集中する時間帯に看護師の人数を増やすことで、1人あたりの姿勢負担を減らす。日勤4階の前半および夜勤3階の後半は、負担が集中するため、他の時間帯から看護師を移すということが改善策として考えられる。ただし、人数を減らした時間帯で負担が集中することのないように考慮する必要がある。
- 環境面
  - ・ ベッド脇のスペースを広くする。特にベッドとTV台の間のスペースを十分取ることで屈曲姿勢と側屈姿勢の複合姿勢の出現を少なくすることができる。
  - ・ 作業するベッドが電動ベッドである場合、ベッド高さの調整を行うことで不良姿勢の出現を減らす。作業が遅くなるという問題点が挙げられるが、特に排泄介助や医療関連の作業などは姿勢負担が大きいため作業前の調整を行うことが負担軽減につながると考えられる。
  - ・ 患者の物の配置をある程度決めることで環境整備時の負担を減らせると考えられる。ただし患者も使いやすいような配置が望まれる。
  - ・ 車いす、リフターを収納する広いスペースを確保する。これにより移乗関連の環境整備時の負担が減らせると考えられる。
  - ・ 看護師の身長を考慮して患者の担当を決定する。ただし患者のことを考慮する必要がある。
- 作業の手順面
  - ・ 姿勢負担の集中する時間帯の作業を、可能であれば他の時間帯に移す。例えば、日勤4階前半の一連の介助動作を夜勤後半に一部移す、などが考えられる。ただし、患者のことを配慮する

ことが必要であるだけでなく、作業を移した時間帯に負担が集中することのないように考慮することが必要である。

● 勤務帯面

- ・ 看護師交代時の重なる時間を1時間にし、交代時刻を負担集中時間帯に合わせることで、姿勢負担の集中する時間帯に看護師の人数が多くなるようにする。しかし、申し送り時に介助作業が多くなるので、交代がスムーズにいかないなどの問題点も考えられる。

④ベッドの試作

1. ベッドの開発要件の検討と背上げ機構の開発

1.1 調節箇所の決定

被験者の一部が訴えた、肩や腰の圧迫感は胸部と腰部の支持面の分割位置を変えることで解消された。また、膝の屈曲位置を合わせるには、大腿部の調節が不可欠である。大腿部は体格差が大きいことは明らかである。さらに臀部についても、背上げ・脚上げ角度によって骨盤の回転や皮膚の伸びが生じるため、支持面長を調節する必要がある。したがって、胸部・腰部・臀部・大腿部の支持面については寸法調節を行うこととした。

角度については、臀部を傾けると低くなった方にすべり、不快を訴えたため、臀部の支持面は水平に固定する。その他の支持面角度は、個人の好みによって異なるため、それぞれを独立に調節できるようにした。

また、全被験者で大腿近位部の支持が足りないという意見が得られたため、膝裏に長さ 220 mm、厚さ 9 mm の板を挿入した結果、支持感が増して好まれた。この板の端点位置は、ほぼ座骨結節付近であり、体格の異なる被験者でも座骨結節付近に端点がくることを好んだ。そこで本ベッドでは、臀部から大腿部の支持面を座骨結節で臀大腿移行部と大腿部の 2 つに分割することとした。なお、大腿骨頭と座骨結節との距離は性差・体格差が小さいため、臀大腿移行部の支持面は 90 mm で一定とした。

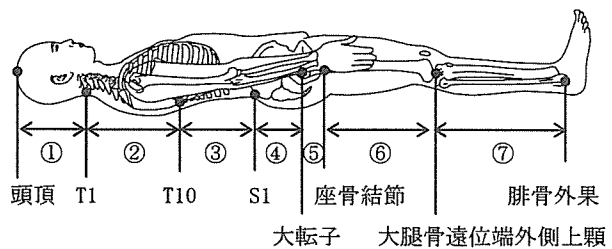


図 C4-1 体節の区分と定義

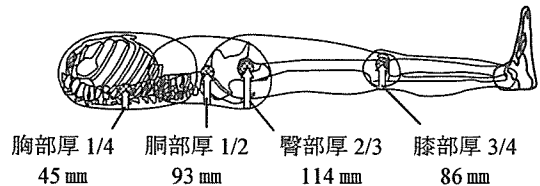


図 C4-2 関節中心位置

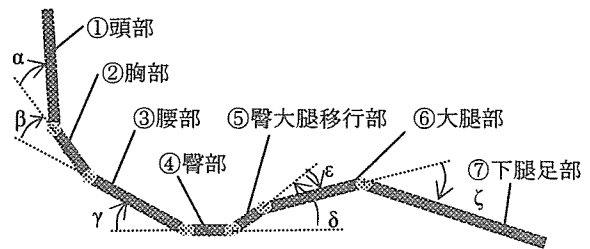


図 C4-3 実験ベッドの角度・寸法定義

1.2 調節量の決定

体節の区分と節長  $L$  および関節中心高さ  $h$  の定義を図 C4-1・C4-2 に示す。なお、関節中心高さは各部位における日本人の平均体厚<sup>11)</sup>を基に算出した。

支持面角度と寸法の定義を図 C4-3 に示す。なお、調節量を決定するため、角度は相対角度で定義した。

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  $\gamma$  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  $\beta$  は 30° まで屈曲させ、頭部挙上角度  $\alpha$  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、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  $\delta$  は 36°、大腿部支持面角度  $\epsilon$  は 22°

表 C4-1 寸法・角度調節範囲

	支持面長 [mm]	角度 [°]
頭部	① 500	
胸部	② 165~230	$\alpha$ 30
腰部	③ 240~430	$\beta$ 30
臀部	④ 80~140	$\gamma$ 70
大腿近位部	⑤ 90	$\delta$ 40
大腿遠位部	⑥ 190~365	$\epsilon$ 25
下腿足部	⑦ 520	$\zeta$ 90

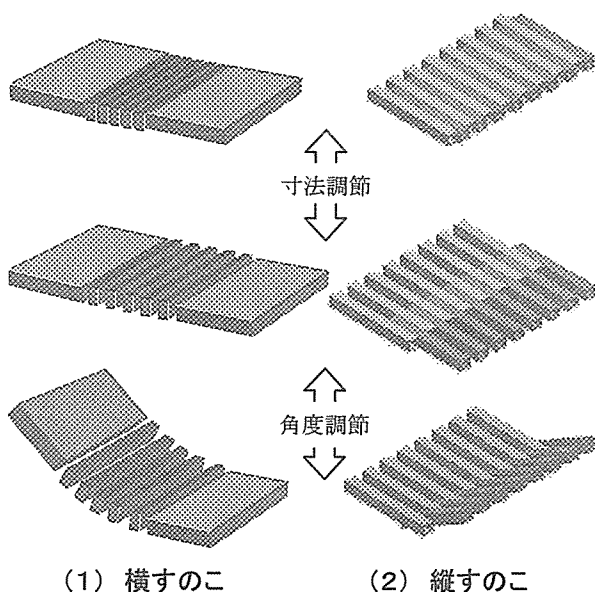


図 C4-4 支持面の構成

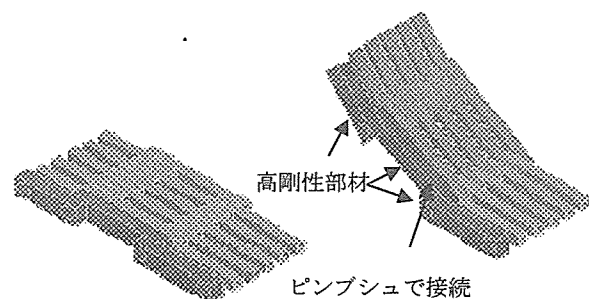
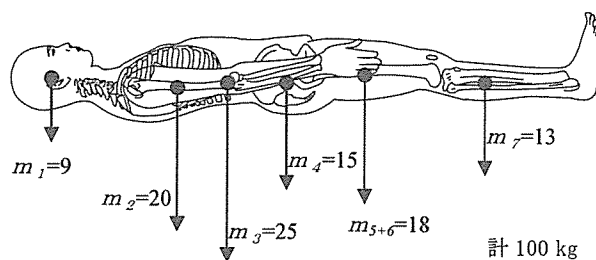


図 C4-5 両端部材の接続

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は、大腿部に対して  $90^\circ$  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)<sup>10)</sup> に対応するように決定した。



図C4-6 身体重量分布の推定値[kg]<sup>14)</sup>

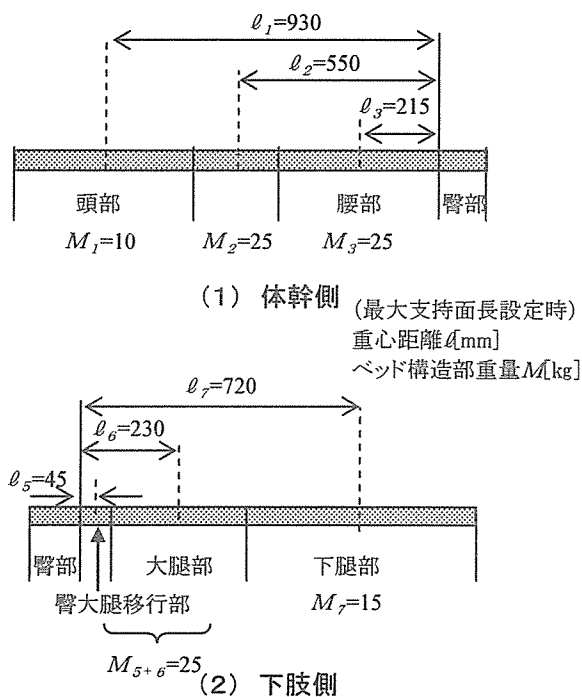


図 C4-7 ベッド重量と力の作用点

以上より決定した角度・寸法調節範囲を表 C4-1 に示す。

### 1.3 基本構造と駆動方法

#### 1.3.1 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

る機構として、図 C4-4 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 C4-5 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。

### 1.3.2 駆動方法

#### (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 C4-6<sup>14)</sup>、C4-7 のように仮定した。両者の合成重量は各支持面の midpoint より遠位になることはないため、midpoint 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 (C4-1) より計算した。ここで  $\ell_1, \ell_2 \dots$  は角度調節を行わない臀部支持面の端点からの距離を示す。表 C4-2 に計算結果を示す。

$$\{(M_3 + m_3)\ell_3 + (M_2 + m_2)\ell_2 + \dots\}g \quad \dots \quad (C4-1)$$

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 C4-3 に示す製品を選定した。

表 C4-3 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]	
		$M_A$	$M_B$	$M_C$	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 C4-4 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 $\theta$ [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	$\alpha$	49	$\pi/6$	100	52.4	800
$\beta$		147	$\pi/6$	185	96.9	800	150
$\gamma$		522	$7\pi/9$	175	183.3	3000	200
$\delta$		295	$2\pi/9$	100	78.5	3000	100
$\varepsilon$		200	$5\pi/36$	100	109.1	800	150
$\zeta$		72	$\pi/2$	100	157.1	800	200
	摩擦力 $F'$ [N]	調節量 $d$ [mm]	保持力 $F$ [N]	ストローク $s$ [mm]			
寸法調節	②	640	65	800	100		
	③	1140	170	1500	200		
	④	500	60	800	100		
	⑥	710	185	800	200		

#### (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 C4-4）。

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 C4-5 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 C4-8）。

表 C4-2 LMガイド選定条件算出結果

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

表 C4-5 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
LAH1-3-1-100-24 -200-24	3000	3000	100 200	7	24DC	4	2.5	$\delta$ $\gamma$
アクチュエータ LAH4-4-1-200-24	1500	1500	200	11	24DC	5	2.1	④
LAF-4-1-100-24			100					$\alpha, \beta$ ②
-150-24 -200-24	800	800	150 200	10	24DC	1.8	0.8	$\varepsilon, \zeta$ ③, ⑥
コントローラ	入力電圧 定格出力 [V] [V]							
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					

表 C4-6 計測センサ仕様

ポテンシオメータ	型番	抵抗値 [k $\Omega$ ]	分解能 [%]	印加電圧 max[V]	有効電気角 [ $^{\circ}$ ]	定格電力 [W]	外形 [mm]	質量 [g]
HP-16		10	0.017	100	3600	2	$\phi$ 22.2 $\times$ 19.5	22
傾斜計	型番	検出範囲 [ $^{\circ}$ ]	計測精度 [ $^{\circ}$ ]	印加電圧 [V]	負荷抵抗 [ $\Omega$ ]	消費電流 [mA]	外形 [mm]	質量 [g]
UV-00H		$\pm$ 60	0.8	DC5 $\pm$ 0.5	10k以上	10以下	$\square$ 30 $\times$ 40	35
UV-1W(b)		$\pm$ 45	2	max DC10	5M以上		$\phi$ 23 $\times$ 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	$\pm$ 100m~50				
電源	型番	出力電圧 [V]	入力電力 max[W]	寸法 H $\times$ W $\times$ D[mm]		質量 [kg]		
PUP5-2		4.5-5.5	97	130 $\times$ 50 $\times$ 225		2.2		

1.3.3 計測システム

(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C4-9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の際、他の支持面との干渉が考えられる。そこで、図C4-10のように回転型のポテンシオメータにプーリを取り付け、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1mA以下にしなければならない。HP-16の最大印加電圧は表C4-6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5VDCに統一し、内部抵抗は10k $\Omega$ のタイプを選定した。この時、電流値は0.5mAとなる。

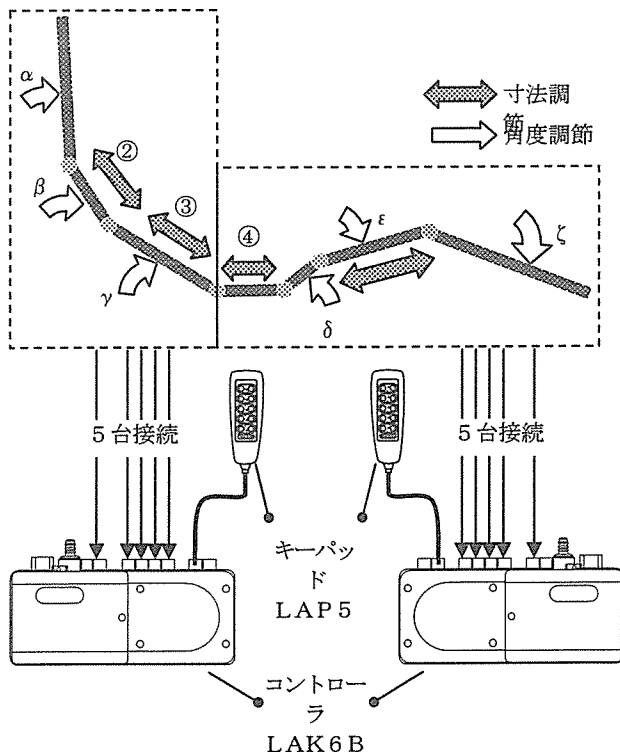


図 C4-8 アクチュエータ接続方法

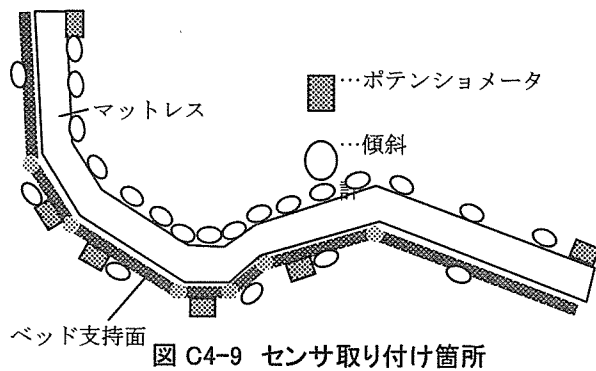


図 C4-9 センサ取り付け箇所

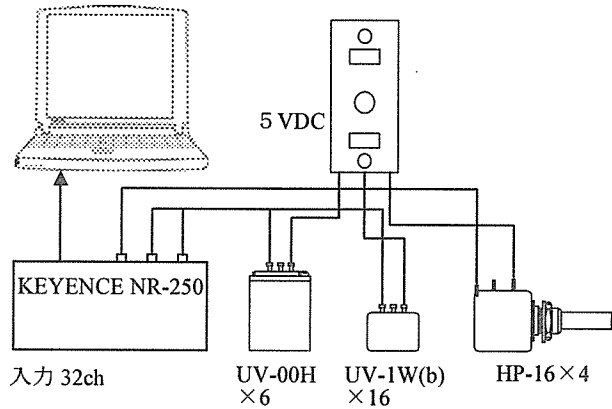


図 C4-11 計測システム

また、10 回転型のため、 $\phi 10$  mm のプーリを使用すると、 $10\pi \times 10 \approx 314.2$  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。

### (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 C4-9 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  $90^\circ$  計測できれば十分であるため、検出範囲が  $\pm 45^\circ$  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) その他

センサは全て、UV-00H の印加電圧 5 VDC で使用するため、出力電圧範囲 4.5~5.5 V 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。

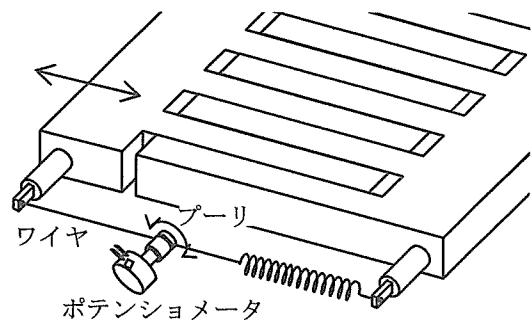


図 C4-10 変位検出方法

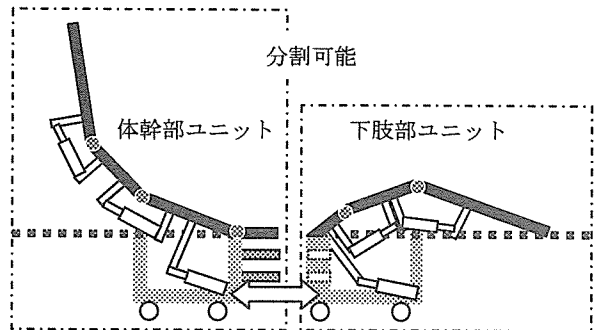


図 C4-12 ベッドフレーム概要

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 C4-11 に示す。

## 1.4 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 C4-12 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 C4-13 に示す。各支持面長を最小にし、図 C4-13 (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) に計測姿勢を、(4) に前述の食事姿勢を示す。

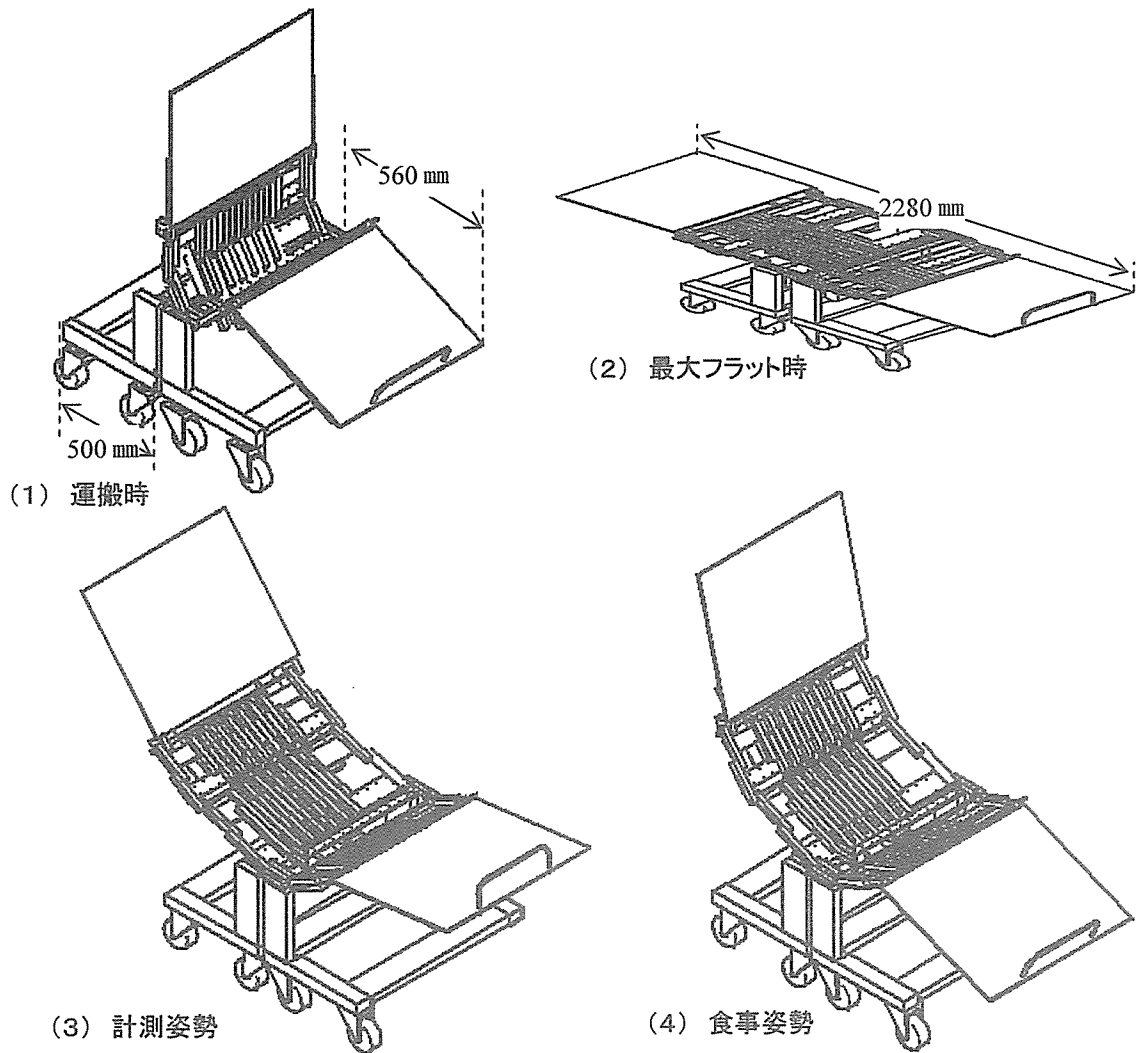


図 C4-13 実験ベッド設計案

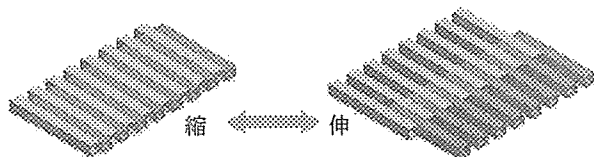


図 C4-14 支持面すのこ構造

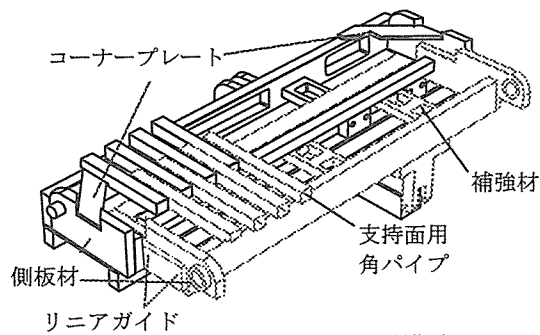


図 C4-15 スライド構造

表 C4-7 設計目標値

支持面長 (調節量) [mm]		角度調節量[°]	
①	500	$\alpha$	0~30
②	165~230 (65)	$\beta$	0~30
③	240~430 (190)	$\gamma$	0~70
④	80~140 (60)		-
⑤	90	$\delta$	0~40
⑥	190~365 (175)	$\epsilon$	0~25
⑦	520	$\zeta$	0~45
全体寸法[mm]			
高さ		400	
最大幅		850	
支持面幅		700	
床上スペース		100	

## 2. ベッドの試作

### 2.1 設計条件

支持面と角度の調節範囲および外形寸法の目標値を表C4-7に示す(角度寸法定義は図C4-3参照)。この条件とBで示した設計方針を満足するものとする。



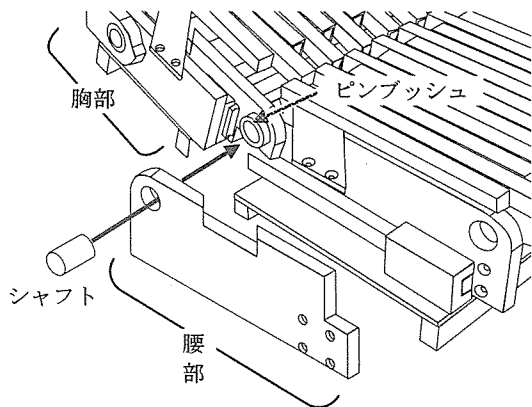


図 C4-16 角度調節

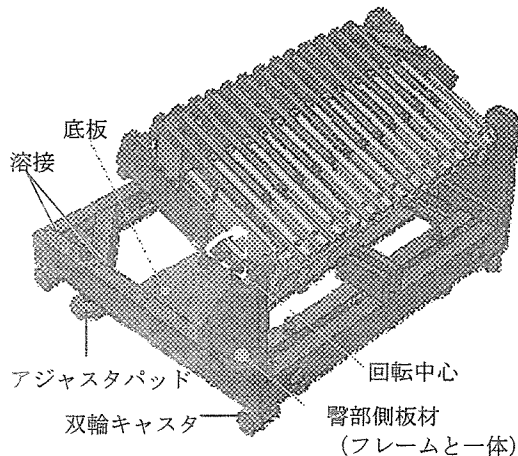


図 C4-17 フレーム構造

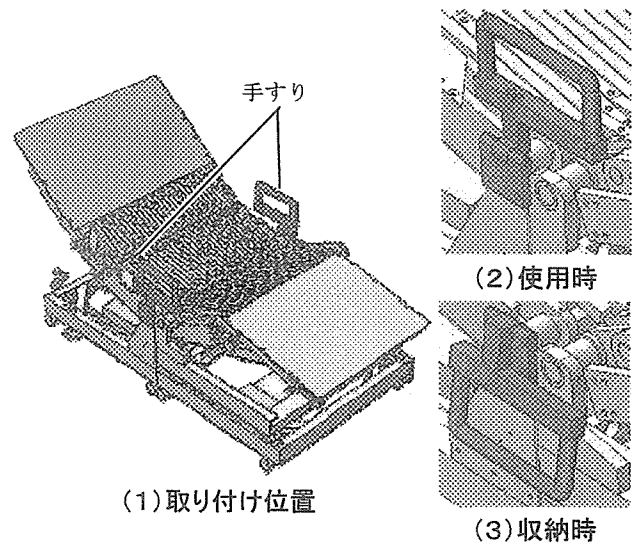
## 2. 2 基本構造と駆動方法

### (1) 支持面構成

表 C4-7 の調節範囲を満たし、かつ各部を独立に調節できるようにするため、図 C4-14 に示すように、すのこ状に縦に角パイプを並べて支持面を構成し、スライドさせる方法を採用した。この機構によれば、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。

### (2) スライド構造

前節の支持面を伸縮させるため、図 C4-15 に示すように、2つの箱を組み合わせ、箱の側板に取り付けたリニアガイド(THK : SRS15WM、SHS20V)でスライドできるようにし、側板間の梁に交互にアルミの 20 mm 角パイプを渡した。また、箱のゆがみを防ぐために、梁間に補強材を、梁と側板間にコーナープレートを取り付けた。角度調節は、図 C4-16 のようにブッシュとシャフトで隣接ブロックと接続することで行った。



(1) 取り付け位置

(2) 使用時

(3) 収納時

図 C4-18 手すりの取り付け

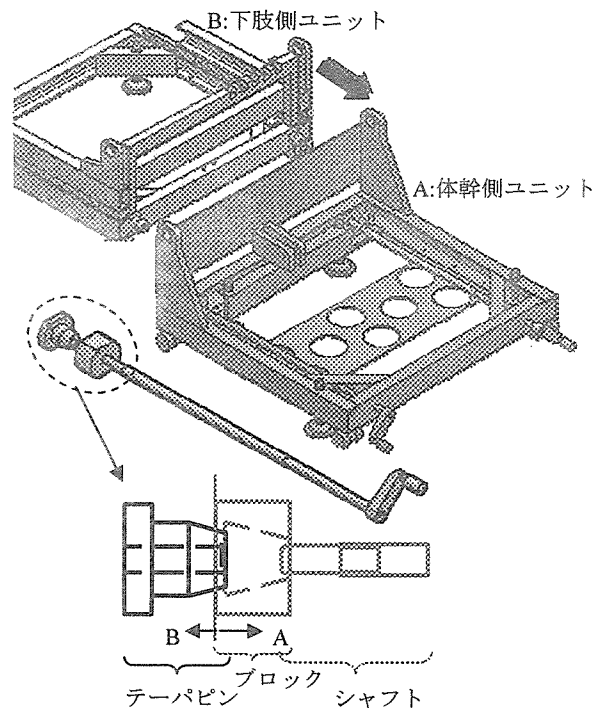


図 C4-19 ユニットの連結機構

### (3) 基本フレーム構造

ベッドの基盤となるフレームは図 C4-17 に示すように C 型チャンネル (材質 : SS400) を溶接で組み、キャスタとアジャスタパッドを取り付けた。キャスタは支持面高さを低く保て、耐荷重が十分である低床型双輪キャスタ (岡本工機 : T50N12-POM) を使用することとした。さらに、ベッド使用の際に固定するアジャスタパッド (MISUMI : FJGN16-130) を取り付けた。

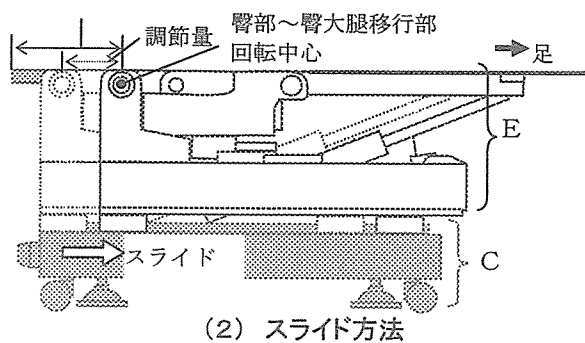
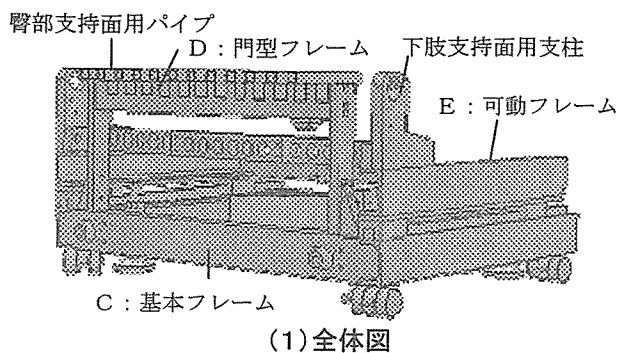


図 C4-20 可動フレーム構造

腰部-臀部および臀部-臀大腿移行部の回転中心となる側板材はフレームと一体とし、チャンネルに取り付けた。さらにこのフレームの底面には5 mm厚の鉄板を張り、後述のアクチュエータ用コントロールBOXなどを置けるようにした。また、起き上がりや臥床時の安全のため、体幹側の側板に図C4-18のように手すりを取り付けた。

#### (4) ユニット連結機構

運搬性を考慮し、体幹側と下肢側の2つのユニットに分割できるようにした。両ユニットの結合には図C4-19に示すテーパピンによる連結機構を用いた。

下肢側ユニットBに取り付けたテーパピンを体幹側ユニットAに取り付けたテーパ穴に挿入し、Aから先端にネジを切ったシャフトで、Bのテーパピンを引き寄せることで2つのユニットを正確に位置決めしながら連結することができる。なお、シャフトの先端には市販のハンドル(MISUMI: MBCH8)を取り付け、頭部側からネジを回せるようにした。

#### (5) 可動フレーム

臀部支持面の伸縮を可能にするため、可動フレ

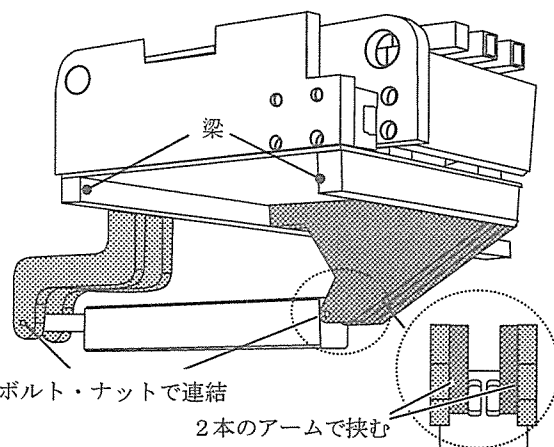


図 C4-21 アクチュエータ取り付け方法

ーム機構を取り入れた。図C4-20に示すように、下肢側ユニットの基本フレームCに取り付けられた図C4-20(1)の門型フレームDに臀部支持面となる角パイプを固定した。また、隣接する臀大腿移行部から下腿足部までのブロックを取り付けた可動フレームEをリニアガイドを介して基本フレームCに結合した。

可動フレームには下肢側の全ての支持面を支える臀大腿移行部回転中心があり、これが臀部支持面に対してスライドすることで臀部支持面長を伸縮できる。

#### (6) 駆動方法

図C4-21のようにスライド構造の側板を結ぶ梁に取り付けたアームとアクチュエータ端部をボルトで接続した。

アクチュエータは可能な限りベッド中央に近づくように、向きを組み合わせ、図C4-22のように配置した。また、これらのアクチュエータは体幹側(角度:  $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 、寸法: B・C)と下肢側(角度:  $\delta \cdot \varepsilon \cdot \zeta$ 、寸法: D・F)の各5台をフレーム底板に配置した6軸用コントローラ(HIWIN: LAK6B)に接続し、5軸用のキーパッド(HIWIN: LAP5)で制御した。

## 2.3 安全システム

### 2.3.1 スイッチの取り付け

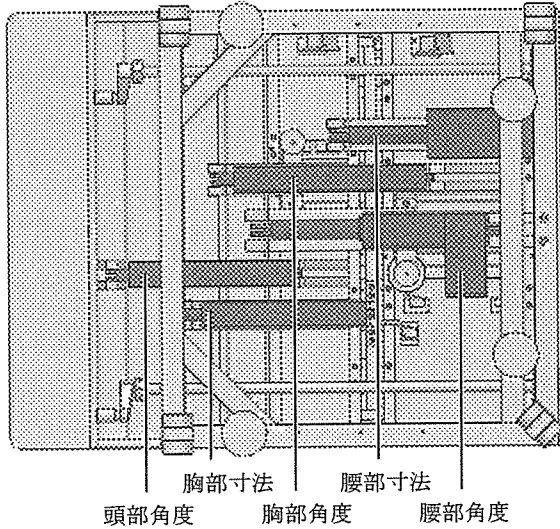
干渉防止スイッチの取り付け位置を図C4-23に示す。

表 C4-8 スイッチ仕様

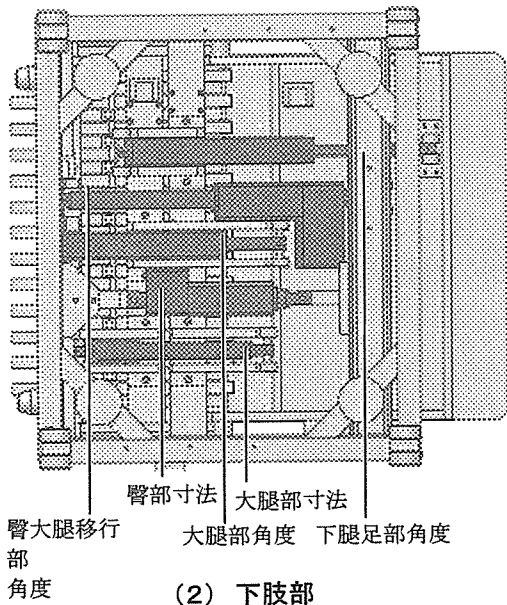
型番	許容操作速度 [mm/s]	操作頻度 [回/min]	接触抵抗 [mΩ]	耐久性 [回]	質量 [g]
V-156-1B5	0.1~1000	30	15以下	10万以上	約6.2

型番	定格電圧・電流 [V] [A]	耐電圧 AC [V]	接触抵抗 [Ω]	耐荷重 [kgf]	動作力 [gf]
OT-41BPM-W	AC/DC28V-1A	500	1.0以下	150	350



(1) 体幹部



(2) 下肢部

図 C4-22 アクチュエータの配置

a~l は、アクチュエータのストロークが設定可動範囲を上回るために、可動限界で干渉が生じる箇所である。マイクロスイッチは、図 C4-24 (1) のようにカムで押すようにし、力を逃がしてスイッチ自体が破損しないようにした。図 C4-23 の m と n では、スイッチの取り付けスペースが狭いた

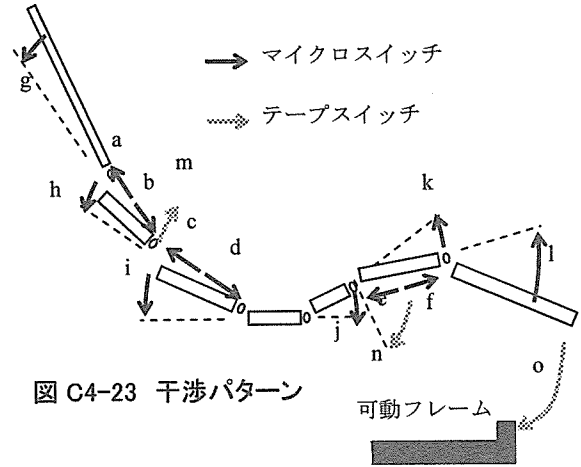
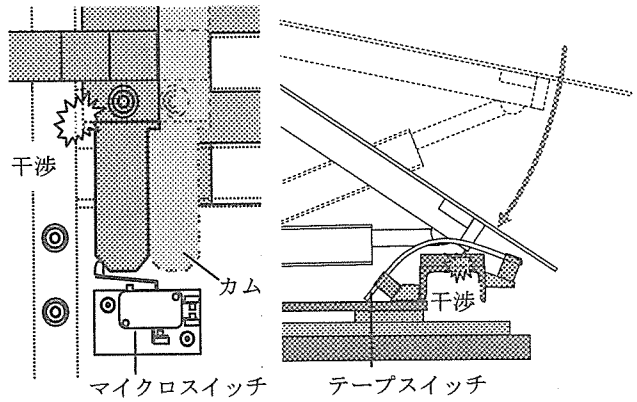


図 C4-23 干渉パターン



(1) マイクロスイッチ (2) テープスイッチ

図 C4-24 スイッチ取り付け方法

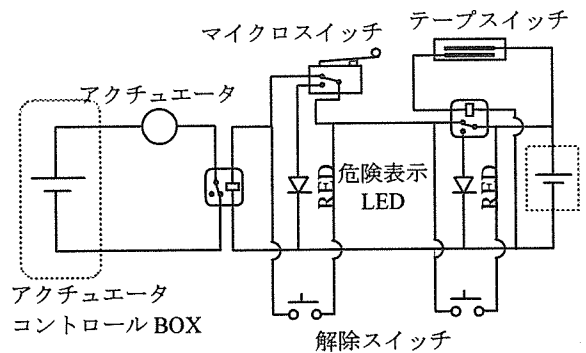


図 C4-25 安全システム基本回路

め、テープスイッチ (オジデン: OT-41BPM) を用いた。また、o は下腿支持面が下肢側ユニットの可動フレームに干渉する場合であるが、支持面長

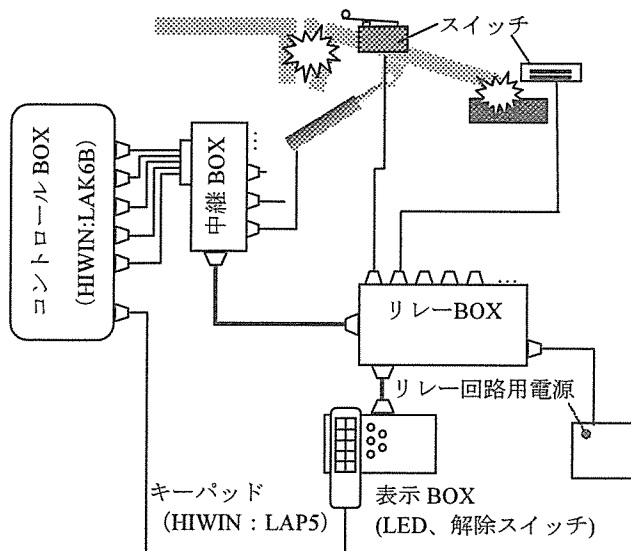


図 C4-26 システムの構成

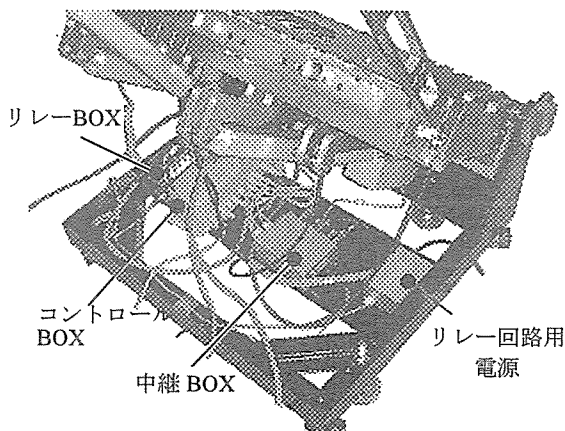


図 C4-27 BOX の収納

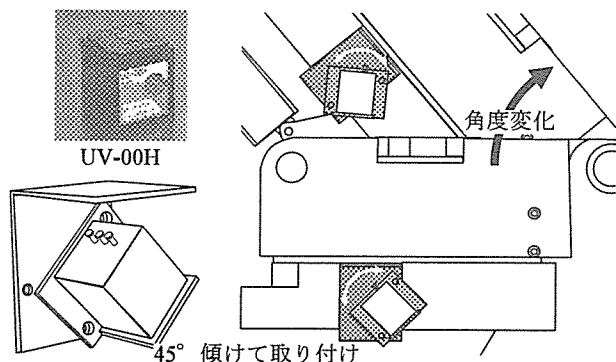


図 C4-28 支持面角度検出

と支持面角度の組み合わせによってぶつかる位置がさまざまであるために、図 C4-24 (2) のように、干渉する可動フレームのチャンネルの上部全体を覆うようにテープスイッチを配置し、全ての干渉パターンを検出できるようにした。表 C4-8 に使用したスイッチの仕様を示す。

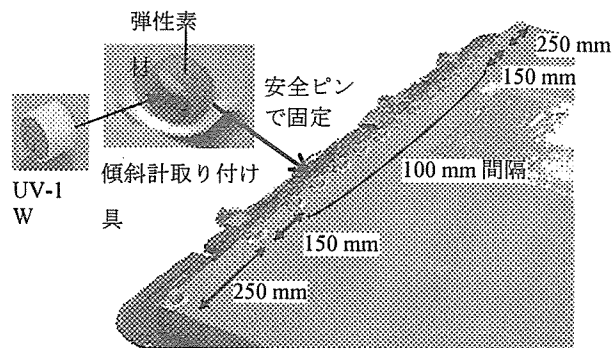


図 C4-29 マットレス形状検出

### 2. 3. 2 システムの構成

安全システムの基本回路を図 C4-25 に示す。本システムは、図 C4-26 に示すようにコントロール BOX とキーパッド、リレー収納 BOX、リレー回路用のスイッチング電源、LED による警告と自動停止解除を行う表示 BOX、コントロール BOX とリレー BOX の中継 BOX で構成した。

コントロール BOX とキーパッドからなる回路にリレー回路を割り込ませ、安全のために常時電圧がかかっている状態で、スイッチが on になるとリレー回路が off になって、アクチュエータが停止するようにした。この強制停止時には、表示 BOX の LED が点灯して警告をする。復帰は、解除スイッチで一時的にリレー回路を on にしてアクチュエータを逆方向に動かし、スイッチを元の状態まで戻すことで行う。

このシステムは、表示 BOX を除いて体幹と下肢側に分け、図 C4-27 に示すように各ユニットのフレーム内に収納した。

### 2. 4 計測システム

#### 2. 4. 1 検出方法とセンサの取り付け

##### (1) 角度検出

臀部を除く支持面の絶対角度計測用に 6 個、マットレスの形状計測用に 16 個の傾斜計を用いた。ベッド支持面下の梁に取り付ける傾斜計は、小型で精度が良く、角度計測範囲が広い UV-00H (緑測器) を使用した。ただし、体幹側の絶対角度は 90° に達するため、傾斜計の検出範囲である  $\pm 60^\circ$  を超えないように、図 C4-28 のように L 型のアング

表 C4-9 センサ仕様

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
	UV-1W(b)	±45	2	max DC10	5M以上		φ23×16	10
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]
	CPP-45		0.3	1000	350	3	φ45×18	60

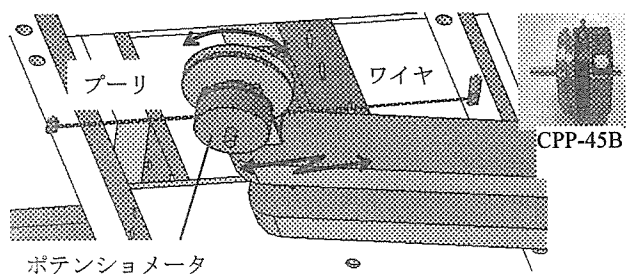


図 C4-30 ポテンシオメータ取り付け方法

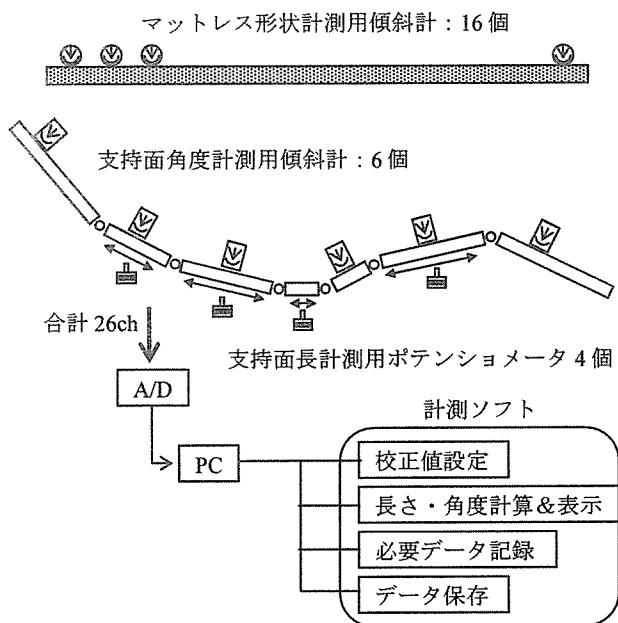


図 C4-31 システムの構成

るを組み合わせ、水平に対して45°傾けて取り付けた。

また、背上げに伴って変化するマットレス面形状は、図C4-29のようにマットレス上に傾斜計を16個並べることで計測した。傾斜計は直径23mmのUV-1W（緑測器）を用いた。

### (2)変位検出

寸法調節量の検出には、直動型ポテンシオメータが便利であるが、本実験ベッドでは、設置部寸法に対して調節量が大きいため、図C4-30のように回転型のポテンシオメータにプーリを取り付け、ワイヤを張って回転変位から直線変位を検出することとした。

ポテンシオメータには、回転抵抗が小さく、分解能が無尽小であるコンダクティブタイプ（緑測器：CPP-45B）を使用した。

胸部・腰部・臀部・大腿部の調節量はそれぞれ、65mm、190mm、80mm、175mmであるため、ポテンシオメータの有効検出角度350°内に収めるように、プーリの直径は胸部で37mm、腰部・大腿部で60mm、臀部で28mmとした。

使用した傾斜計とポテンシオメータの基本仕様を表C4-9に示す。

### 2.4.2 計測システムの構成

センサからの入力信号（寸法4ch、角度6ch、マットレス16ch）は、図C4-31のように、A/D変換器を介してPCに入力し、次節に示す計測ソフトを用いて実寸法と角度に変換し、表示と保存ができるようにした。

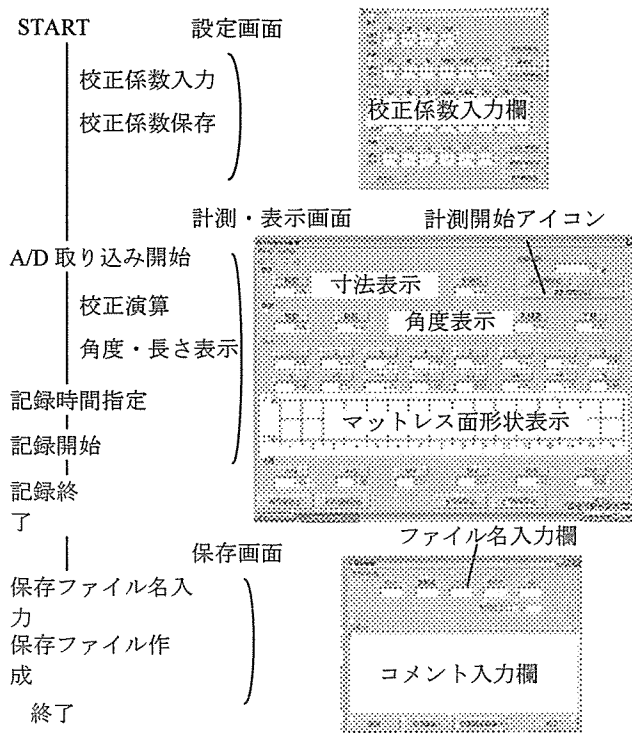


図 C4-32 ソフトの基本機能と構成

### 2. 4. 3 計測ソフトの構成

計測ソフトは、入力信号の校正係数の設定、角度・寸法の校正演算とリアルタイム表示、角度・寸法の形状データの取得、保存ファイルの作成を行う。これらは、初期設定画面、計測・表示画面、保存画面の3画面で操作できるようにした。

ソフトの機能と、画面との関係を図 C4-32 に示す。サンプリング周波数は、10 Hz で統一し、最大 180 秒分のデータを csv 形式で保存できるようにした。ただし、リアルタイム表示は、数値を見やすくするために 2 Hz に間引きをして行った。

## 3. 作業用什器の設計

### 3.1 基本設計

テーブルは、収納時の看護動作の邪魔になることや、臥床者の下肢との干渉を避けるコンパクトな構造が望ましい。このため、テーブル寸法は標準的なお盆を乗せることのできる 350×500 とした。また、飲食物および臥床者の上腕の重量<sup>14)</sup> を合わせた約 3 kg のみならず、手をつけて支えにする可能性も考え、以後の考察では 30 kgf の負荷にたえられるように設計を行った。

### 3.2 多自由度アームの設計

図 C4-33 のように身体前後方向と高さ方向の位置調節を行うスライド機構、および水平面の自由度を得るための 2 分割アームによる多自由度アームを設計した。水平面の移動は、図 C4-34 に示すように、アームの回転と身体前後方向へのスライドにより行う。図中に示すように、アーム長を 270 mm、スライド量を 650 mm とすることで、図 B4-3 の範囲を実現できる。高さ方向の移動は、図 C4-33 に示す上下軸で行う。高さ方向の必要スライド量は、約 250 mm である。また、各部の固定と解除は、机脇の統合レバー 1 つで行えるようにする。

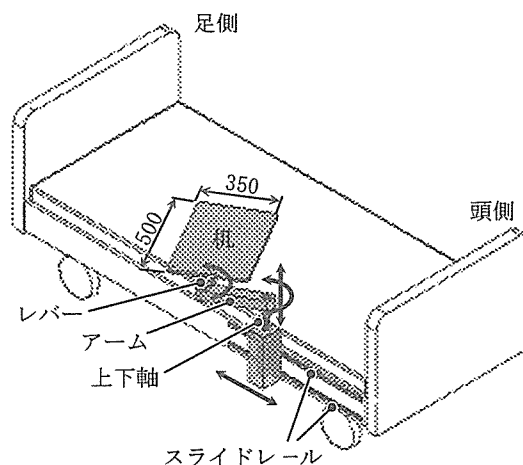


図 C4-33 作業用什器イメージ

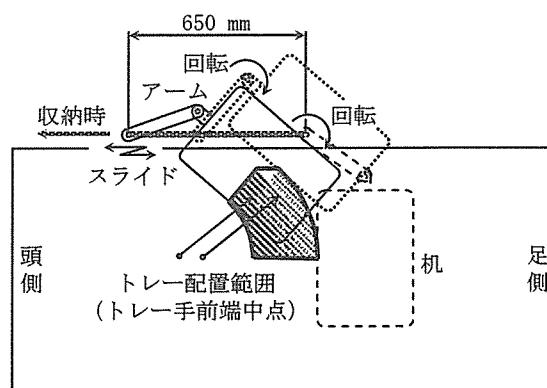


図 C4-34 水平面の机移動

### 3.3 テーブルの収納機構の検討

往診や看護動作の邪魔にならないように、使用しない際には図 C4-35 に示すように机を外側に倒し、頭部方向に移動して収納できるようにした。

### 4. マットレスの検討

#### 4.1 身体幾何モデルによる体格対応支持面寸法の推定

##### 4.1.1 体格対応支持面寸法の推定結果

表 C4-10 に、標準身長と被験者身長に合わせて推定した支持面長を示す。なお、支持面角度は、

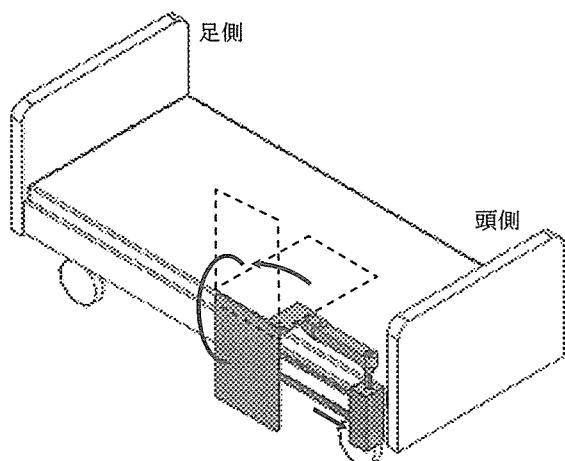


図 C4-35 テーブルの収納方法

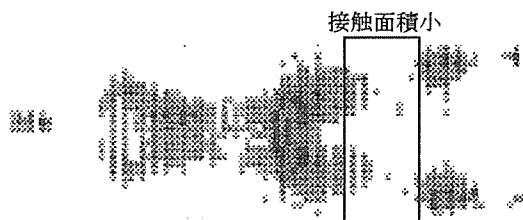
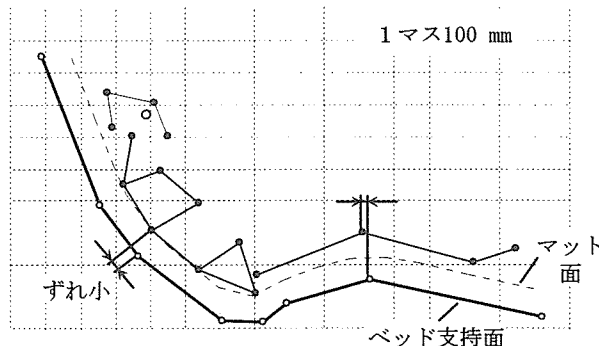
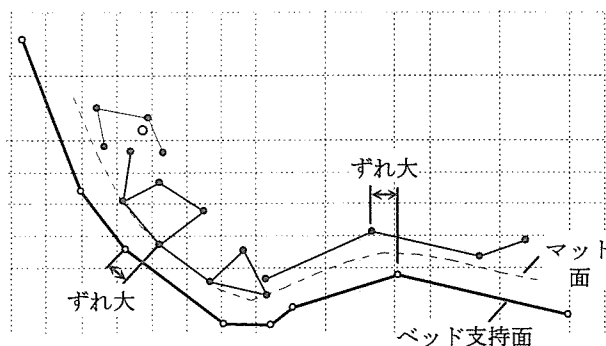
不快を生じやすい頭部を  $70^\circ$  まで起こした条件において、体幹を自然に屈曲して快適とされた表 C4-10 の角度とした。

#### 4.1.2 推定支持面長の快適性評価

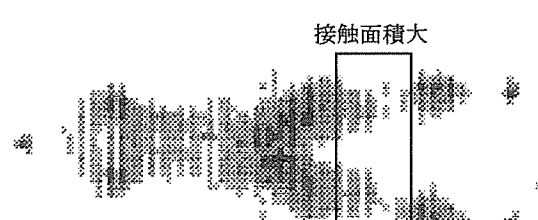
図 C4-36a に標準身長の支持面寸法における臥床姿勢と体圧分布の計測結果を、図 C4-36b に被験者身長の支持面寸法における計測結果を示す。これより、被験者身長の支持面寸法条件では、標準身長の支持面寸法条件と比較してベッドと身体との屈曲位置が適合し、膝部の接触面積が増大したことがわかる。この結果から、開発した幾何モデルにより、被験者の身長に対応した支持面長を推定できることが示された。

表 C4-10 幾何モデルによる適合支持面長

	寸法[mm]		角度 [°]
	標準身長 成人男性 50%tile	被験者相当 成人女性 2.5%tile	
頭部	$\ell_0$	500 mm 固定	$\alpha_0$ 15
胸部	$\ell_1$	244	$\alpha_1$ 15
腰部	$\ell_2$	377	$\alpha_2$ 40
臀部	$\ell_3$	134	-
臀大腿移行部	$\ell_4'$	90 mm 固定	$\alpha_3$ 40
大腿部	$\ell_4$	393	$\alpha_3'$ 20
下腿足部	$\ell_5$	520 mm 固定	$\alpha_4$ 35



(a) 標準身長条件



(b) 被験者身長条件

図 C4-36 指示面長の適合による姿勢計測結果と体圧分布の変化

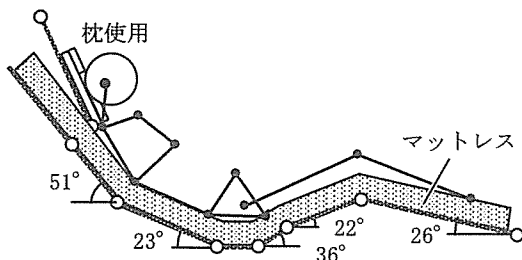


図 C4-37 低負担飲食用ベッド角度

表 C4-11 体格対応支持面寸法の推定例

	寸法[mm]		角度 [°]
	高齢男性 50%tile	高齢女性 50%tile	
頭部	$l_0$	500 mm固定	$\alpha_0$ 0
胸部	$l_1$	225	$\alpha_1$ 26
腰部	$l_2$	330	$\alpha_2$ 23
臀部	$l_3$	107	-
臀大腿移行部	$l_4'$	90 mm固定	$\alpha_3$ 36
大腿部	$l_4$	358	$\alpha_3'$ 14
下腿足部	$l_5$	520 mm固定	$\alpha_4$ 48

#### 4. 1. 3 低負担飲食姿勢の体格対応条件

②で提案した図 C4-37 に示す低負担飲食用のベッド角度と、幾何モデル ( (B4-4) ~ (B4-8) 式と表 B4-1 に示した統計値の設定法) を用いて推定した支持面寸法により、臥床者の体格に合った低負担飲食条件を実現できる。一例として、高齢男性 50%tile、高齢女性 50%tile の統計値を用い、骨盤角度  $\beta$  を  $15^\circ$  とし、飲食に適した支持面条件を求めると表 C4-11 のようになる。

ただし、屈曲角度  $\phi_i$  は、伸縮が最大となるベッドが最も曲がった条件から、図 B5-2 の調節範囲の最大値とした。また、身体寸法を含む  $X$ 、 $Y$  は、伸縮量の大きい男性 95%tile で求めた。骨盤角度  $\beta$  は、腰部を  $70^\circ$  起こした際に S1 関節が  $30^\circ$  屈曲した条件である  $40^\circ$  とした。

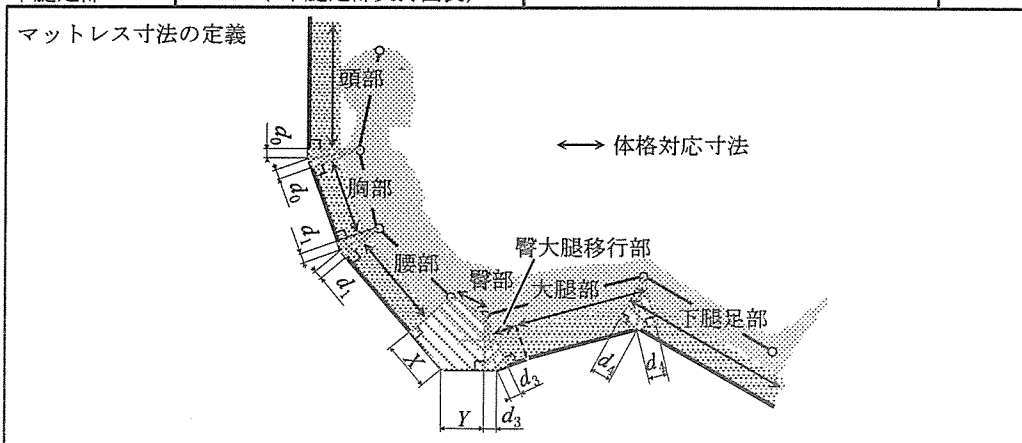
この結果、背上げ動作に追従するには、マットレス下面が胸部で 80 mm ( $d_0 + d_1$ )、腰部で 210 mm ( $d_1 + X$ )、臀部で 130 mm ( $Y + d_3$  - 女性 5%tile の体格対応寸法) 程度伸び、膝部では 120 mm ( $2d_4$ ) 程度縮む必要があることがわかった。

#### 4. 2 マットレスの伸縮条件

表 C4-12 に、(B4-6) ~ (B4-8) 式によって求めたマットレスの伸縮量と、体格対応寸法を示す。

表 C4-12 マットレスの伸縮・寸法条件

	体格対応寸法		伸縮量		
	男性95%tile	女性5%tile	支持面側	身体側	
頭部	500 (=頭部支持面長)		T1 回り $d_0$	: 42	17
胸部	225	169	T10 回り $d_1$	: 37	11
腰部	273	205	臀部側 (男性95%tile) $X$	: 173	116
臀部	102	83	腰部側 (男性95%tile) $Y$	: 160	91
臀大腿移行部	90 (=臀大腿移行部支持面長)		大転子周り $d_3$	: 54	17
大腿部	357	238	大腿骨遠位端周り $d_4$	: -57	11
下腿足部	520 (=下腿足部支持面長)				





## ⑤評価と効果の検証

### 1. 基本性能の評価

#### 1.1 設計の実現性評価

実験ベッドの概観を図 C5-1 に、外形寸法を表 C5-1 に示す。高さは目標値を満たし、ベッドへの乗降性に問題はなかった。幅については、目標に比べて外形はよりコンパクトに、実支持面はより大きくなっている。

また、運搬時のユニットごとの最小寸法は、図 C5-2 のように体幹側で W800×L700×H930 mm、下肢側で W800×L740×H520 mm となり、エレベータやドア通過を含む運搬性にも問題はなかった。

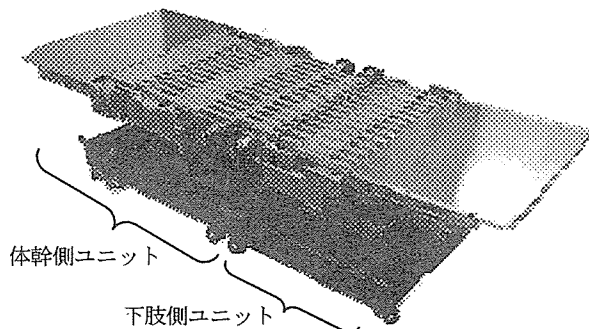


図 C5-1 実験ベッド全体図

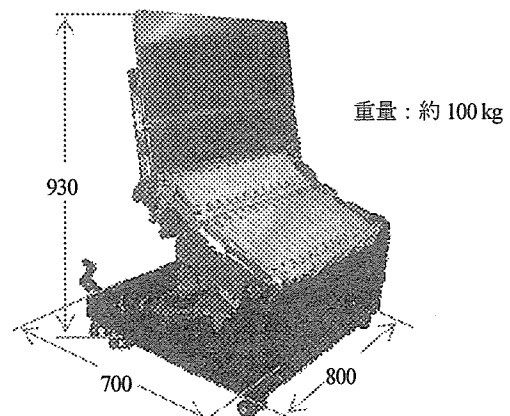
表 C5-1 ベッド外形寸法

使用時		
[mm]	目標値	実測値
高さ	400	400
最大幅	850	800
長さ	1370~1820	1780~2227
支持面幅	700	715~770
床上スペース		50~100
運搬時 (最小寸法)		
	目標値	実測値
高さ	-	930
体幹 幅	850	800
長さ	850	700
高さ	-	530
下肢 幅	850	800
長さ	850	740
重量 [kg]	-	約200

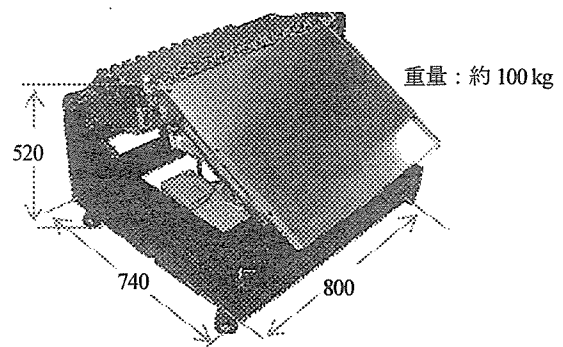
重量は合計値であり、ユニット単位ではほぼ半分である。なお、市販の3アクチュエータのギャッチベッドは約 85~110 kg であることから、10 アクチュエータの本ベッドはかなりの軽量化を達成していることが分かる。

なお、キャスタ使用時には床面とフレームとの距離は 50 mm 程度であるが、アジャスタパッドによる高さ調節を行えば、床上スペースは約 100 mm まで確保でき、オーバーベッドテーブルやモニタ台などの脚をベッド下に差し込むタイプの什器の使用も可能になる。

寸法と角度の調節量についても、表 C5-2 に示すように全て設計目標値を満たした。



(1)体幹側ユニット



(2)下肢側ユニット

図 C5-2 運搬時全体図

表 C5-2 各支持面目標値と実測値

	支持面長[mm]			角度[°]		角度の定義
	目標値	実測値		目標値	実測値	
①	500	500	$\alpha$	30	44.5	
②	165~230	165~255	$\beta$	30	36	
③	240~430	240~455	$\gamma$	70	73.5	
④	80~140	75~155	-	-	-	
⑤	90	90	$\delta$	40	43.5	
⑥	190~365	190~365	$\epsilon$	25	27.3	
⑦	500	500	$\zeta$	45	45	

## 1.2 体格対応性の評価

胸郭角度と身長別のベッド支持面条件を表C5-3に示す。なお、 $\beta'$ 、 $\varepsilon'$ 、 $\zeta'$ は、絶対角度を示す。

姿勢の計測結果を図C5-3・C5-4に、官能検査結果例を図C5-5に示す。

標準体型に近い被験者Bの好みの状態では、支持面と身体の屈曲位置がよく一致し、官能検査結果からも十分満足された。これに対し、低身長 of 被験者Aと高身長 of 被験者Cでは、図C5-3から分かるように、背部と膝の屈曲位置がずれ、体幹の姿勢が被験者Bと異なり、姿勢の崩れが見られた。また、腰部や大腿部のすき間が大きく、不快とされた。一方、体格に合わせて調節を行った結果では、A、C共に被験者Bに姿勢が近づき、姿勢の崩れが解消され、快適性を保つことができた。

腰部と大腿部の最大寸法調節量は被験者Aで-67、-33 mm、Cで+59、+22 mmであり、設計仕様内であった。以上より、支持面の寸法調節を行えば、体格によらず、同様の姿勢が取れ、快適姿勢を実現できることが確認された。

表 C5-3 ベッド条件

		胸部支持面絶対角度			
		30°	45°	60°	
角度	$\beta+\gamma$	30.0	45.0	60.0	
	$\gamma$	13.3	19.0	25.3	
	$\delta$	35.7	19.0	25.3	
	$\varepsilon$	21.4	19.0	25.3	
	$\zeta$	12.5	19.0	25.3	
寸法	低身長	③	295	316	336
		④	102	107	115
		⑥	243	107	115
	標準	③	320	342	362
		④	108	113	122
		⑥	280	113	122
	高身長	③	337	359	379
		④	113	118	127
		⑥	302	118	127

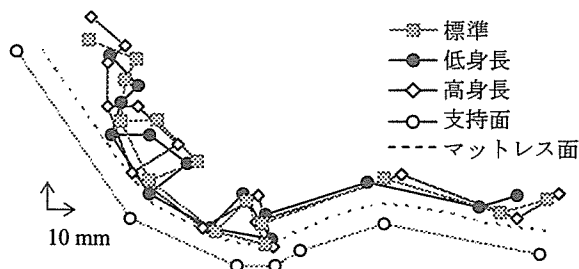


図 C5-3 姿勢計測結果

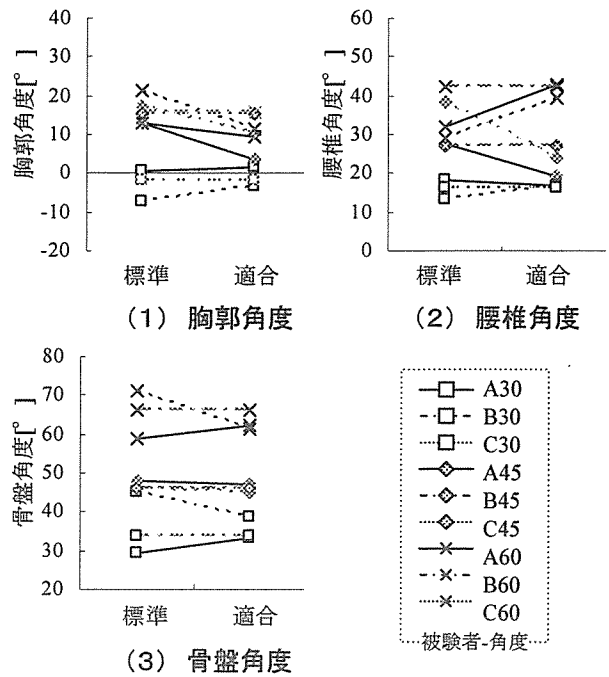


図 C5-4 体幹角度の変化

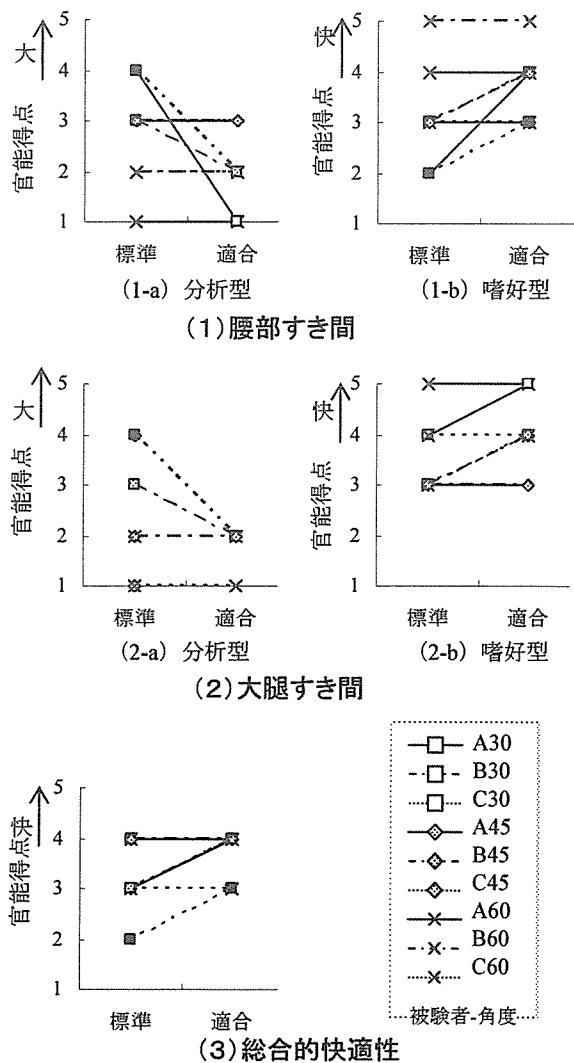


図 C5-5 官能検査結果

表 C5-4 改良部品リスト

改良目的	部品名	部品番号	部品点数	加工内容		
剛性強化	大腿部補強材スパーサ	G2-06	1	補強用部品の製作		
	大腿部補強材スパーサ	G2-08	2			
スライドレールの交換対応	胸部1 両端部	B1-5	2	スライドレールの延長に合わせて部品を大型に再製作		
	胸部1 通し (頭側)	B1-6	1			
	胸部2 両端部	B2-4	2			
	腰部1 両端部	C1-1	2			
	ガイド取り付けスパーサ	C1-8	2			
	腰部2 両端部	C2-1	2			
軽量化	大腿部2 両端部	G2-01	2	スライドレールの延長に合わせて部品を大型に再製作		
	頭部支持面	A-1	1	軽量化用穴あけ		
	頭部梁 (頭側) 2	A-2	1	A-3に合わせて取り付け穴を変更		
	頭部梁 (頭側) 1	A-3	1	軽量化用穴あけ		
	頭部角度用A取り付け	A-4	2			
	胸部1 通し (頭側下)	B1-1	1			
	胸部1 下板 (右)	B1-2	1			
	胸部1 通し (足側下)	B1-3	1			
	胸部1 下板 (左)	B1-4	1			
	B寸法B1取り付け	B1-8	2			
	A角度用B1取り付け	B1-9	2			
	胸部2 通し (足側)	B2-1	1			
	B寸法B2用取り付け	B2-2	1			
	腰部1 下板 (右)	C1-2	1			
	腰部1 通し下 (足側)	C1-3	1			
	B角度用C1取り付け	C1-4	2			
	腰部1 下板 (左)	C1-5	1			
	C寸法用C1取り付け	C1-6	2			
	腰部2 通し (足側)	C2-3	1			
	大腿部1 パイプ下板	G1-01	1			
	大腿部1 下板	G1-02	1			
	G寸法用G1取り付け板	G1-06	1			
	G角度用G1取り付け板	G1-08	1			
	大腿部2 下板	G2-02	1			
	大腿部2 パイプ下板	G2-03	1			
	大腿部2 (中)	G2-04	6			
	G寸法G2取り付け板	G2-10	1			
	H角度用G2取り付け板	G2-11	1			
	干渉除去	胸部1 通し (頭側下)	B1-7		1	干渉を回避する形状に追加加工
		B1 特殊パイプ2	B1-10		1	
		B1 特殊パイプ1	B1-11		1	
		胸部2 通し (頭側)	B2-3		1	
		腰部1 通し上 (足側)	C1-7		1	
		腰部2 通し (頭側)	C2-2		1	
臀部2 両端梁 (左)		E1-01	1			
臀部2 両端梁 (中)		E1-02	1			
臀部2 スイッチキーアーム		E2-01	1			
臀部3 スイッチキーキー部		E2-02	1	追加した安全スイッチの取り付け部品の製作		
F角度用E2取り付けアーム		E3	2	アクチュエータの取り付け位置変更		
F傾斜計取り付け具		F-01	1	干渉を回避して設計変更		
G寸法スイッチスパーサ		G1-03	1			
臀部2 スイッチ取り付け具		G1-04	1			
G寸法スイッチ取り付け具		G1-05	1			
G寸法用G1取り付けアーム		G1-07	1		G1-04の取り付け穴追加	
H角度スイッチ取り付け具		G2-05	1	干渉を回避して設計変更		
Gポテンショ取り付けスパーサ		G2-07	1			
G寸法スイッチキー		G2-09	1			
Gポテンショ取り付け具	G212	1				
下腿スイッチキーアーム部	H1-01	1				
下腿スイッチキーキー部	H1-02	1				

## 2. 7分割ベッドの改良

表 C5-4 に、修正した部品と加工内容を示す。以後、各改良についての詳細を示す。

### 2.1 寸法駆動機構の改良

#### (1) スライドレールの剛性強化

LMガイドでは、図C5-6のようにガイドを2連にすることで、モーメントアームを拡大し、 $M_A$ 、 $M_B$ 方向の剛性を高めることができる。このため、各部のスライドレールを表C5-5のように変更した。これにより、 $M_A$ 、 $M_B$ の許容値が2.5～6倍程度になる。

#### (2) スライドレールの取り付け部品の変更

ガイドを2連にしつつ、支持面寸法の調節範囲を保つためには追加したガイドの横幅だけレール長を延長する必要がある。このためレールの固定部品を再設計・製作した。ここで、胸部と大腿部では、延長したレールを収めるスペースが不足したため、図 C5-7ab のようにスライドレールをフ

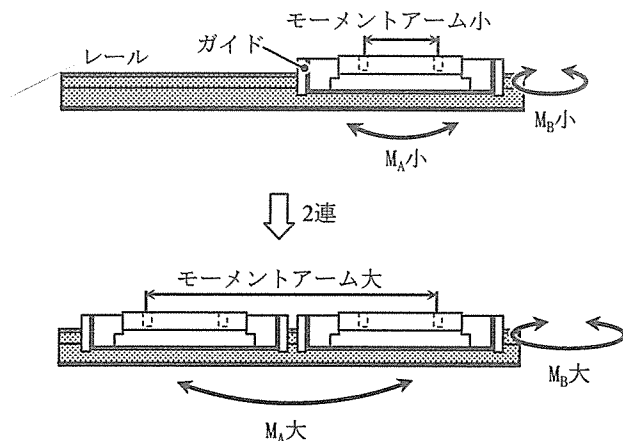


図 C5-6 スライドガイドの剛性

表 C5-5 スライドレールの変更

	型番	定格 動荷重 [kN]	許容モーメント [Nm]	
			$M_A$	$M_B$
胸部 大腿部	変更前	SRS15WM	9.12	51
	変更後	SRS15WN (2連)	18.2	290
腰部	変更前	SHS20V	22.3	334
	変更後	SHS15V (2連)	28.4	898

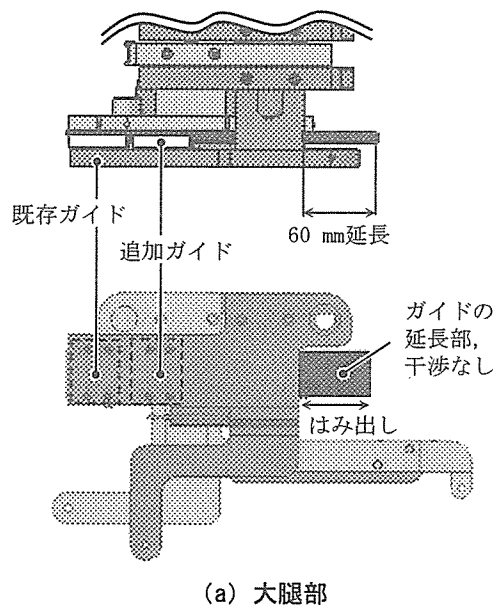
レームからはみ出して設置した。この改良に合わせて、レールの延長部にあった部品を一部変更し、支持面の駆動時にはみ出したレールと干渉しないようにした。

#### (3) 支持面構造の剛性強化

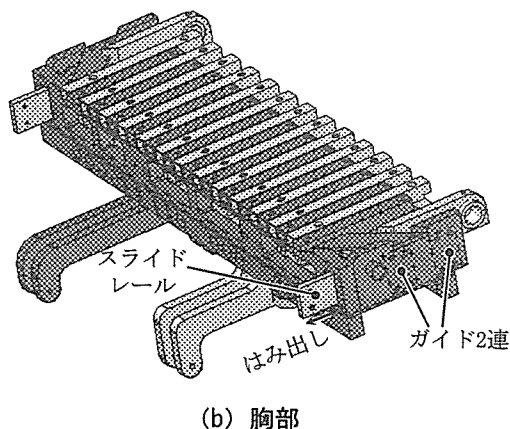
大腿支持面では、フレーム構造の剛性不足が駆動時の振動の原因となった。このため、図 C5-8 のように、支持面の下に補強材を加え、フレームの剛性を高めた。

#### (4) 支持面の軽量化

アクチュエータへの負荷を減らすためにベッド全体について、強度の必要ない部位に穴を開け、軽量化を行った。



(a) 大腿部



(b) 胸部

図 C5-7 延長レールの取り付け方法