

図9は、手押し及び足踏みの場合の解析状況である。

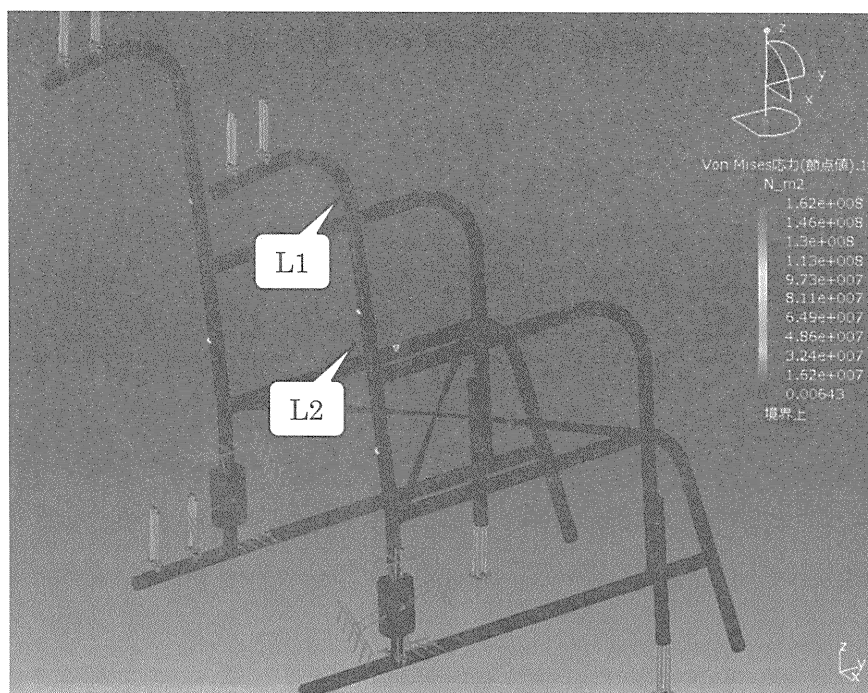


図9 解析結果の外観（手押し+足踏みの場合）

各条件における、L1 及びL2 における Von Mises 応力値を示す。

シングルパイプ		L1	L2
手押し	直角座り	145MPa	38.3MPa
	滑り座り	145MPa	38.4MPa
手押し+足踏み込み	直角座り	87.2MPa	22.9MPa
	滑り座り	87.2MPa	23. MPa
ダブルパイプ			
手押し	直角座り	99.2MPa	30.8MPa
	滑り座り	99.2MPa	31.0MPa
手押し+足踏み込み	直角座り	59.5MPa	18.3MPa
	滑り座り	59.5MPa	18.5MPa

手押しの場合 負荷荷重は、左右 500N(約 50kgf)

手押し+足踏みの場合は、左右に 300N (約 30kgf) 左足に 500N(約 50kgf)

キャスターアップ時のひずみ実測値から得られた応力値は、102~145MPa となっており、本シミュレーションは同程度の値を示しているが、座り方の違いによる傾向は今回の負荷設定では、明らかにできなかった。着座時など、実際の使用時の荷重条件に即した負荷条件が設定できれば、本システムで十分解析が可能であることが明らかになった。

## 5. 結論及び今後の課題

今回の研究により、車いす及び座位保持装置のモデリング及び構造解析が、可能であることは明らかとなった。本システムが広く導入できれば、用途の異なる車いすの製作、処方に沿った改良の際の留意点も明らかとなり、破損事故などの不具合の発生が軽減でき信頼性の高い安全な車椅子等が供給できるものと考えられる。

ただし、本システムを導入するためには、数百万前後の投資が必要となり、中小の企業が多い車いす業界において、導入を進めるためには、国などの支援あるいは、コンピュータシミュレーションを安価にサービスとして提供できる公的な機関が必要である。

### IV) 背支持の強度試験の開発

#### 1) 目的

介助者によるキャスターアップ動作が背フレームへの負荷と今までの衝撃試験の負荷を歪計測により比較する。

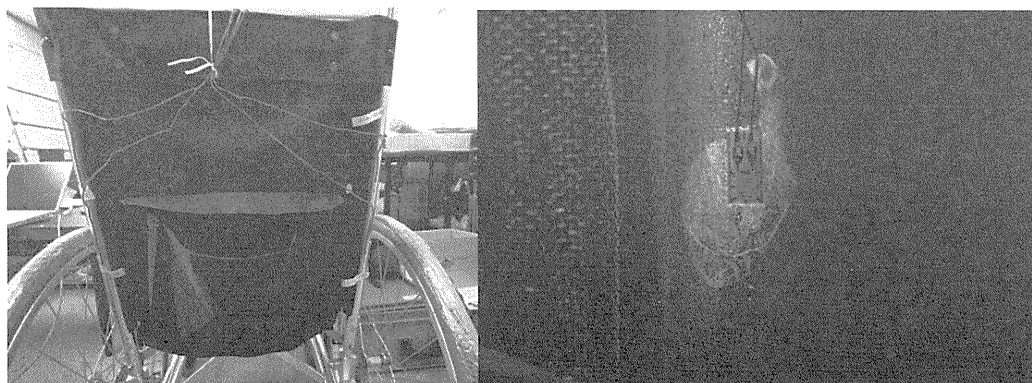
#### 2) 方法

##### (1) 車いす

標準型車いすの形状で、背フレームに対して一つにシングルパイプ、もう一つに入れ子構造によるダブルパイプの構造の車いす2台を作成した。

##### (2) 歪ゲージ

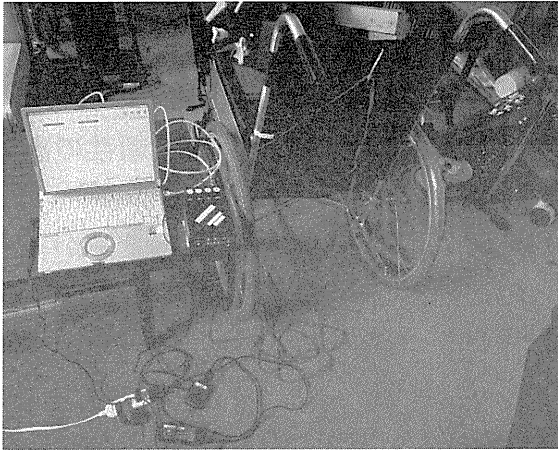
歪ゲージを背パイプ状後面のアームサポート上とシートパイプとアームサポートの中間に共和電業性歪ゲージを左右パイプとも塗布した。



車いす背パイプに歪ゲージを取り付けた様子

##### (3) 計測システム

歪ゲージはEDS400Aを通して増幅・収録、パソコンへの記録を使用し、最終的にデータはPCに収録された。



左から PC、EDS400A、車いす

(4) サンプリング周波数

衝撃試験は 1000Hz、キャスターアップ負荷計測は 10Hz で実施した。

3. 背フレームへの衝撃試験による背パイプの歪計測

1) 目的および方法

背支持に JIS に合わせた衝撃試験を実施し、その時の背支持への負担を計測する。

手動車いす JIS T9201 2006 を基に実施した。この試験は重量 10 kg の球おもりを 30 度の角度から背もたれに落とす試験である。その時に背パイプに歪ゲージを装着し、背フレームにかかる歪を測定する。車いすは標準型車いすで、ただし背パイプに入れ子をしてある場合としていない場合で行った。

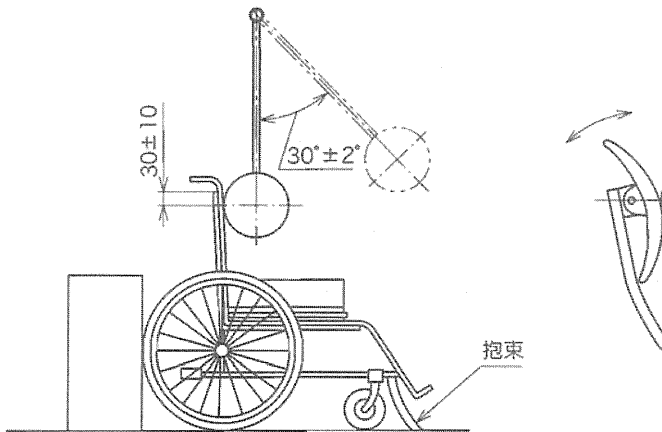
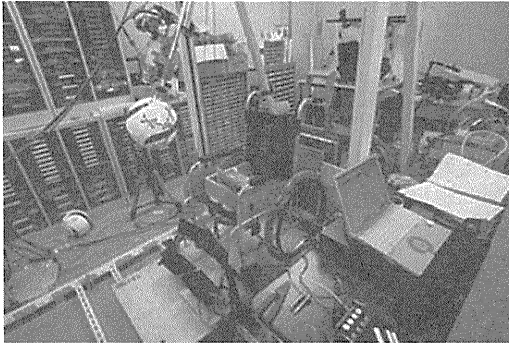
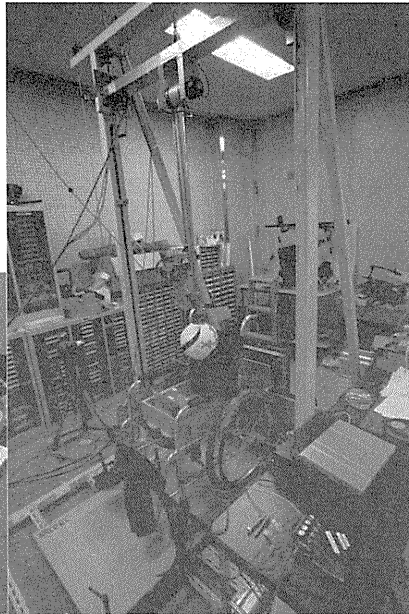


図 15 バックサポート斜め耐衝撃性試験



全景 1



全景 2

## 2) 結果

入れ子構造（ダブルパイプ）とそうではない（シングルパイプ）で、2回ずつ試験を実施したが、車いす本体には全く影響なかった。

	R1	R2	L1	L2
シングルパイプ 1 回	-756.218	-270.704	-810.03	-113.095
シングルパイプ 2 回	-720.601	-216.153	-768.101	-194.535
ダブルパイプ 2 回目	-536.506	-192.151	-520.661	-223.774
ダブルパイプ 2 回目	-530.799	-239.35	-550.773	-278.76

となり、シングルに比べ 1.43 倍強度が高くなっている。

## 4. キャスターアップによる負荷計測

### 1) 座り方に関する基礎データ

直角座りと、仙骨座りとも呼ばれている滑り座りの 2 種として、その姿勢の確認として、座シート前方から座ダミー先端までと背部シート上端から背ダミー先端までの距離を測定する。同時に、荷重計にてキャスター部および主輪部の重量を測定し、配分を求める。直角座りは極力、背部ダミーを後方へ持って行く。滑り座りはダミー前端をベルトで抑え、これ以上に滑らないようにした。

	長さ		重量	
	座前縁から	背上縁から	キャスター	主輪
直角座り	2cm	6.5cm	38kg	67kg
滑り座り	10.5cm	1cm	43kg	57kg



直角座り

滑り座り

## 2) キャスターアップの手法

キャスターアップの手法は、左右グリップを両手で下に押す方法、左右グリップは軽く抑え、ティピングレバーを右足で踏む方法、最後にティピングレバーを右足で軽く抑え、左右グリップを引く方法とした。

実際の実験では、それぞれ 2 回ずつ、手で押し、足で踏む、手で引くの順に実



手押し

足で踏む

手で引く

施した。

## 3) ひずみゲージによる測定結果

最大圧縮歪

		R1	R2	L1	L2
シングルパイプ 1 回目	直角座り	-1426.9	-523.5	-1451.5	-507.6
シングルパイプ 2 回目	直角座り	-1372.0	-509.4	-1428.7	-474.6
シングルパイプ 1 回目	滑り座り	-2009.3	-751.6	-2100.7	-683.4
シングルパイプ 2 回目	滑り座り	-1909.8	-723.3	-2062.8	-722.8
ダブルパイプ	直角座り	-1039.1	-453.3	-1091.7	-525.4

最大引張歪

		R1	R2	L1	L2
シングルパイプ 1 回目	直角座り	-203.0	-22.6	-121.9	84.6
シングルパイプ 2 回目	直角座り	-190.3	-25.1	-113.2	86.7
シングルパイプ 1 回目	滑り座り	-287.2	-44.2	-236.3	99.3

シングルパイプ 2 回目	滑り座り	-235.3	-39.4	-217.6	61.3
ダブルパイプ	直角座り	-86.5	-19.5	-72.4	-34.3

シングルパイプ直角座りで1回目、2回目、左右のR1とL1合計4つの平均は-1419.8  
 シングルパイプ滑り座りで1回目、2回目、左右のR1とL1合計4つの平均は-2020.7  
 ダブルパイプ直角座りで、左右のR1とL1合計4つの平均は-1065.4

これらより、直角座りが滑り座りになると、1.42倍の歪が増加。  
 シングルパイプがダブルパイプになると、0.75倍に歪が減少。

#### 5. 衝撃試験とキャスターアップによる負荷の比較

シングルパイプ直角座りで1回目、2回目、左右のR1とL1合計4つの平均は-1419.8  
 シングルパイプ滑り座りで1回目、2回目、左右のR1とL1合計4つの平均は-2020.7  
 背フレームへの衝撃試験による背パイプの最大歪計測 平均 763.7 $\mu$

これらより、直角座りで1.85倍、滑り座りで2.65倍となる。

使用している材質は、超々ジュラルミンであり、

(A7075P) : Al-5.6 Zn-2.5 Mg-1.6 Cu 焼入れ, 焼戻し(T6) の場合では

ヤング率 72 GPa=72 $\times$ 10<sup>9</sup> Pa

降伏強さ 505 MPa=505 $\times$ 10<sup>6</sup> Pa

引張強さ 573 MPa=573 $\times$ 10<sup>6</sup> Pa

直角座りでの応力 : 72 $\times$ 10<sup>9</sup>  $\times$  1420 $\times$ 10<sup>-6</sup> = 102240 $\times$ 10<sup>3</sup> = 102.2MPa.

これは降伏強さの20.2%、引張強さの17.8%となる。

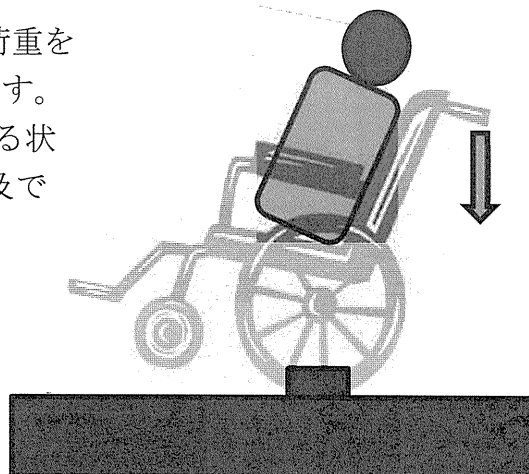
また、滑り座りでの応力は 72 $\times$ 10<sup>9</sup>  $\times$  2021 $\times$ 10<sup>-6</sup> = 145512 $\times$ 10<sup>3</sup> = 145.5MPa

これは降伏強さの28.8%、引張強さの25.3%となる。

これらより、衝撃試験による車いす負荷はキャスターアップ操作による車いす負荷と比べて低く、また滑り座りでのキャスターアップ操作では荷重が大きくなる。外出などの機会が増加する場合、金属疲労による破損が考えられるので、キャスターアップを模擬した試験を実施すべきである。

#### 6. キャスターアップ試験の提案

主車輪を固定し、ハンドグリップに対して下方に荷重をかけ、キャスターが床から離れたら、負荷を止め戻す。但し、ダミーは最悪シナリオでは少し前に持ってくる状態がよいかもしれない。頻度については現時点で言及できない。



## 第4章 ブレーキ

### I) ブレーキの機能不全とその研究

#### A 研究目的

座位保持装置の破損事例部品の事例解析を行うための、解析ツールの導入と導入した解析ツールによる構造モデリングと有限要素法による応力解析を実施し、実際の破損状況とモデルの応力解析で求められた負荷状況との比較検討を行い、解析ツールの有効性を確認する。

#### B 研究方法

解析ツールの選定に際しては、汎用の操作性があり、複雑な形状に関しても解析可能なシステムを考慮し、国内外において多くの自動車メーカーや、重工業メーカーなどで導入されているダッソーシステムズ社のCATIA5を導入した。本システムは、CAD/CAM/CAE統合3次元システムで、単純な部品から高度で複雑な機械構造物まであらゆる場面で利用できるシステムである。すでに、航空機、自動車、造船、産業機械など様々な製品の設計業務に幅広く対応し、多くの企業で導入され、その汎用性、信頼性には定評がある。3次元でモデリングを行うことにより、パソコン上で装置の組み付け、機構解析、強度解析など種々の検査、解析を行うことが可能となり、座位保持装置の不具合発見が容易となる。

#### C 事例解析

今回対象とした、座位保持装置の破損事例の概要を述べる。対象は、図1に示す座位装置用ブレーキ装置で、ブレーキ可動部分のピンの摩耗が激しく、ブレーキがかかりにくくなり、保持装置の固定が困難となった。外観等の概要を図1に示す。

座位保持装置用ブレーキは、本体フレーム後方、丸パイプに溶接された板厚5mmの平板に直径5mmのボルトで固定されている。取り付け状況を図1-1に、ブレーキ作動状態を図1-2に示す。

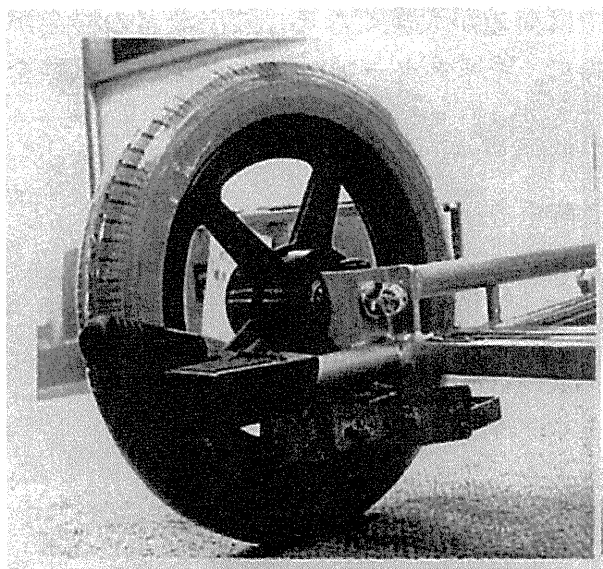
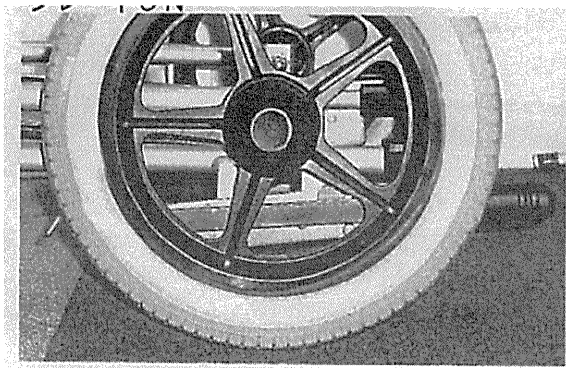


図 1-1 保持装置ブレーキ取り付け状況

ブレーキ ON



ブレーキ OFF

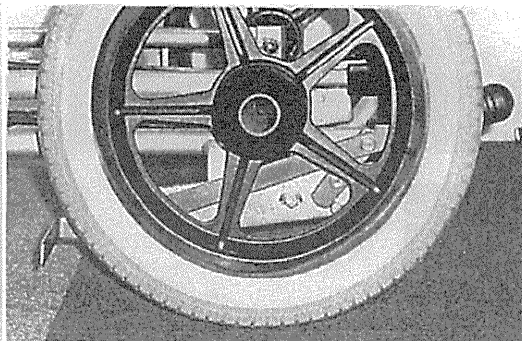


図 1-2 ブレーキ ON-OFF 状態

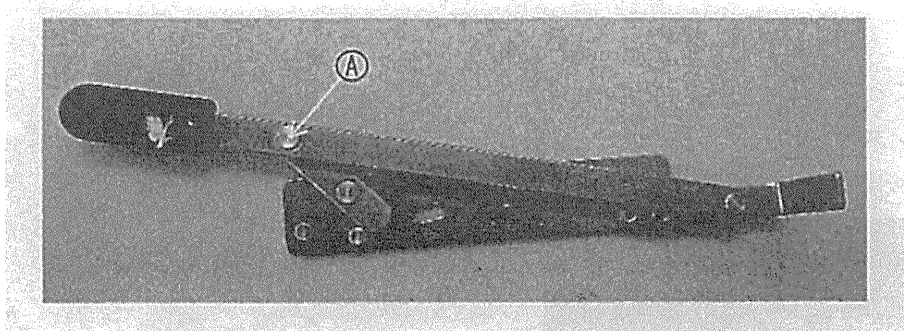


図 1 座位保持装置ブレーキ部外観

使用開始後、数ヶ月の後ブレーキの作動金具の回転部分のピンの摩耗が激しくブレーキが機能しなくなり、部品交換を実施した。しかし、その後も摩耗が発生した。ブレーキ部の拡大写真を図 2 に示す。

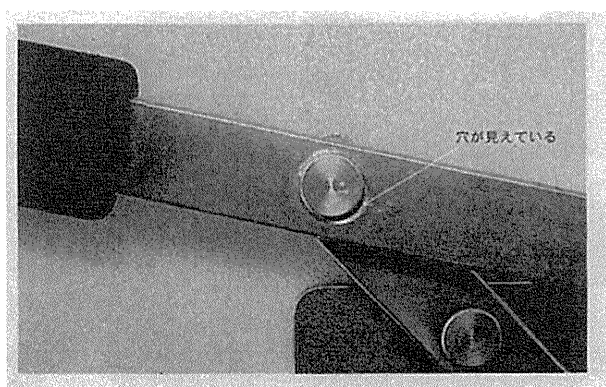


図 2 摩耗ブレーキ部品外観 (A 部)

ブレーキ部分のピン周りに摩耗の様子が観察された。ピン部分の摩耗状況を図 3 に示す。図 3 に示すように詳細な観察により、ピンの頭部の摩耗が激しく、ブレーキが機能しなくなったことが明らかとなった。



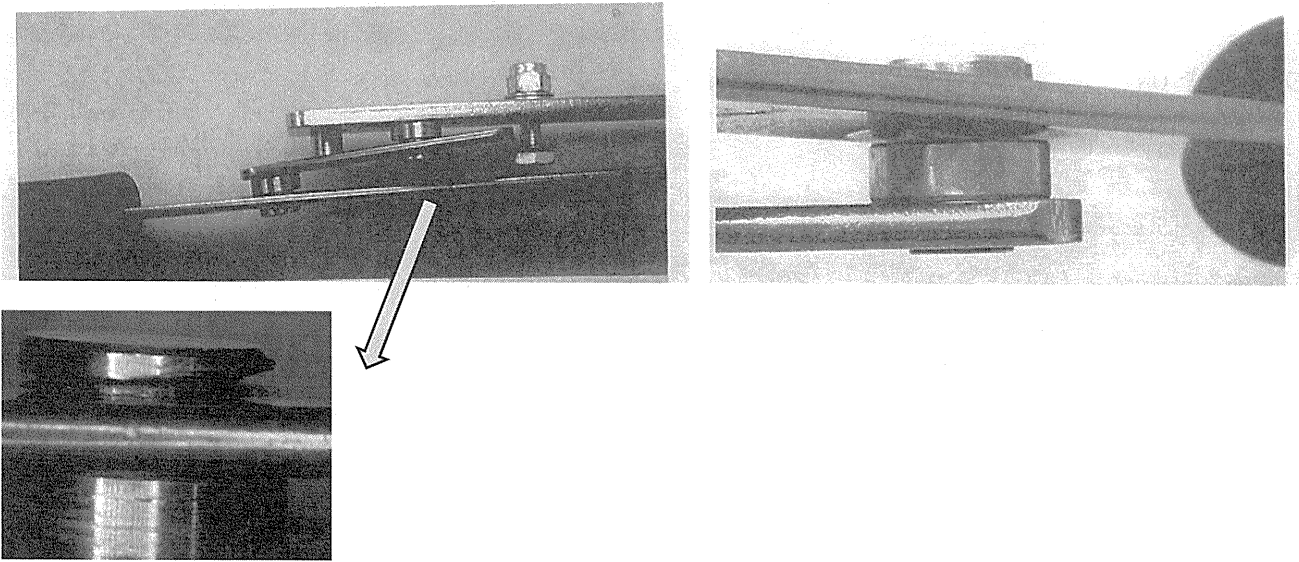
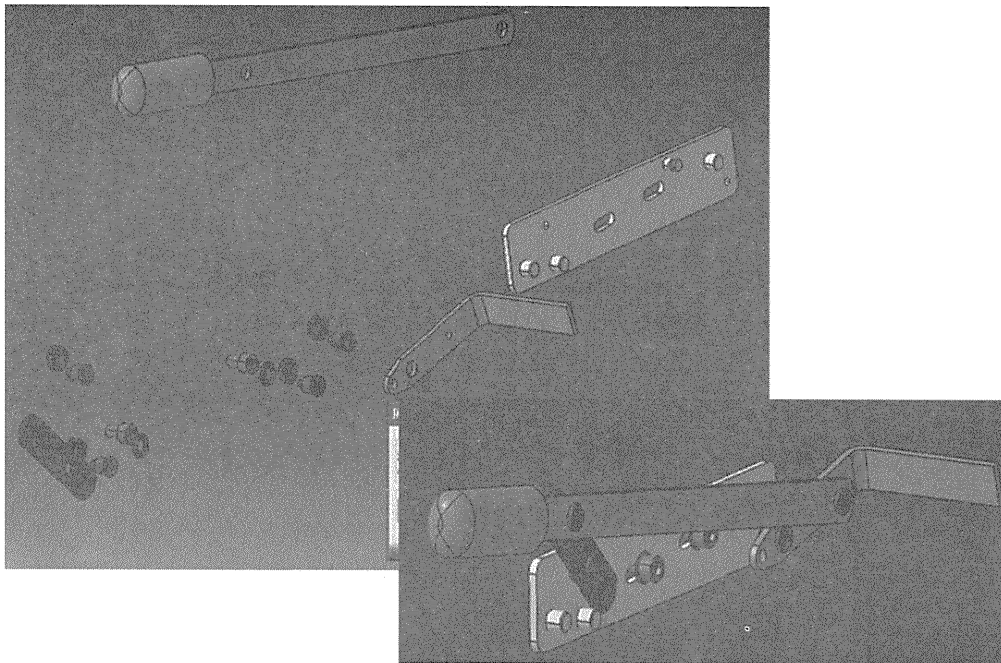


図3 ピンの摩耗状況

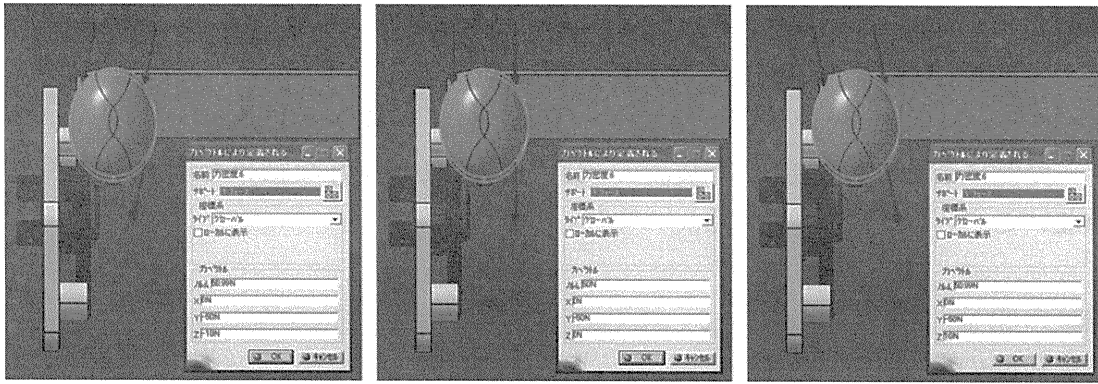
D. 今回導入したCATIAによってブレーキ装置の応力解析

解析手順1 個々の部品をシステム上で3次元モデルにより作成し、それらを組合わせて、システム上にブレーキ部の形状を作成する。このモデルを用いて、応力解析を実施した。



解析手順2 荷重負荷条件の設定

ブレーキグリップ部分に均等に負荷された場合の応力を推定することとした。負荷方向には、①やや内向き、②垂直方向、③やや外向き の3条件とした。



解析の結果, ブレーキの負荷治具のピンの部分に応力集中が発生することが明らかとなった。発生する応力の大きさは, 負荷方向の[内向き]<[垂直]<[外向き]の順で大きくなった。図4に「やや外向き」の場合の解析結果を示す。



グリップには, 5 kg の力が約 10° の傾きで, 外向きに作用している。

解析結果によると 28.5MPa の最大応力が発生している。ピンの接触部分が高くなっている。

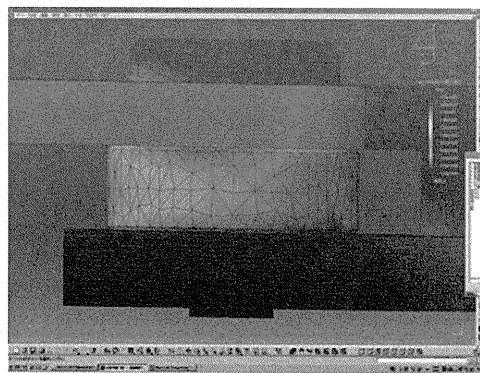
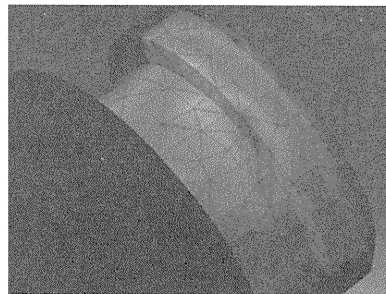
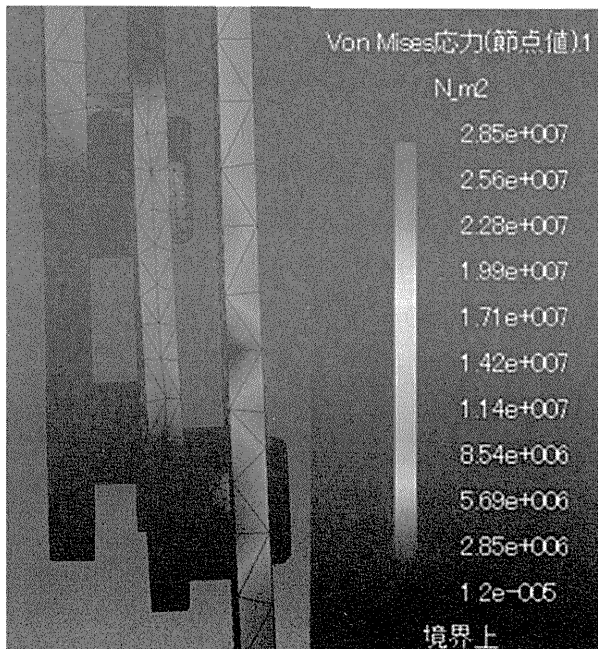


図4 解析結果

ピンの接触部分にも応力集中が観察され、破損事例の観察結果と一致する結果が得られ、このシステムによる解析が有効であることが分かった。

ブレーキ負荷の際、力が外側にかかることにより今回の摩耗事例が生じたことが明らかになったので、メーカ側において、座位保持装置の改良が行われ、良好な結果が得られ、不具合は、生じていないことが報告されている。

## II) ブレーキ試験の開発

### 1. 繰り返し試験装置の開発

介助用ブレーキのピンが摩耗してガタが生じて機能不全を起こした事例があったため、介助用ブレーキ装置の繰り返し試験装置を開発した(図1, 図2)。試験装置の車輪置き部に右側後輪の車輪を載せて、試験装置のブレーキアーム操作用アームでブレーキのオンオフの繰り返しを行う。駆動は電動モータによる駆動で、速度は調整可能であり、繰り返し数は記録されるように構成されている。

通常のブレーキの使用時にはアーム部分を足で操作してブレーキをかけたり外したりするが、負荷の方向によりガタが生ずる恐れがあるため、実際のブレーキにおける負荷の条件を変えた試験での確認が必要であると考えられ、負荷方向を変更できるような繰り返し試験装置の構造にした。具体的には、ブレーキをかけるときは、木製の部分でブレーキを押し込むが、負荷面が平面のものと、内側方向へ斜め $15^\circ$ と外側方向へ斜め $15^\circ$ の3種類を作成した(図3~5)。これらの3種類の木製負荷部をアームに取り付けることにより、通常負荷と外側方向負荷、内側方向負荷が条件設定可能になる。また、ブレーキの解除はアームの下側の部分で負荷する構造にしたが、解除については負荷方向は関係ないと考えられたため、水平な1種類のみとした。

また、試験結果の評価のために、介助用ブレーキのガタの評価手法について検討し、評価手法を決定した。ブレーキアームのゴムカバー部分に負荷が加わり、ゴムカバーに近い部分の回転軸のガタが大きくなるであろうと考えられたため、この回転軸部分におけるガタの計測方法を考案した。計測装置を図6に示す。

介助用ブレーキに対して内側方向と外側方向に交互に負荷し、その時の回転軸部分の横方向の変位をダイヤルゲージで計測する。図6では両方向に重りが負荷されているが、測定時は交互に重りを負荷して、ダイヤルゲージの変位量を計測する。重りの負荷は取っ手のゴムカバーの端の位置に決定して、重りの重さは試行錯誤から各300gとした。この計測装置を用いて繰り返し試験開始前と開始後に変位量を測定し、ガタ量の変化を調べた。

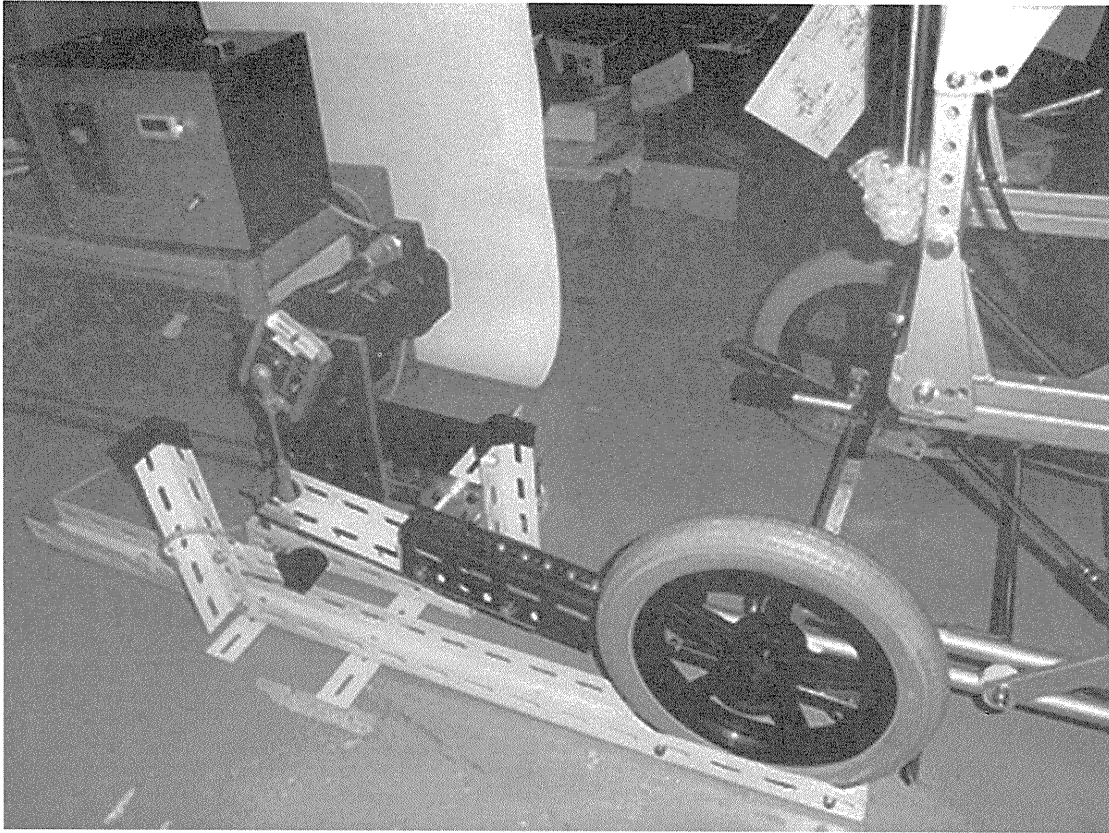


図1 繰り返し試験装置



図2 繰り返し試験装置の介助用ブレーキ負荷部分

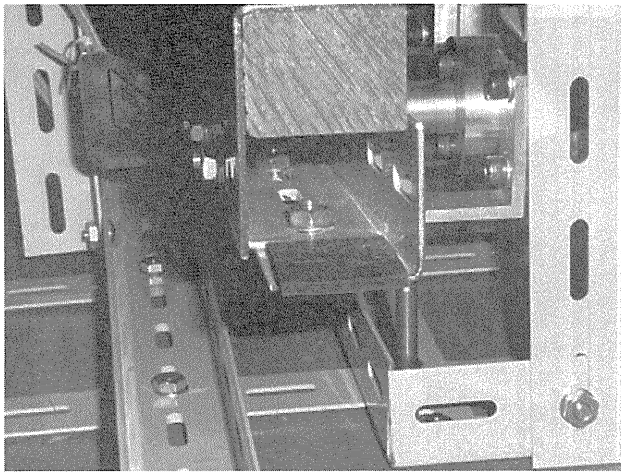


図3 ブレーキ負荷角度の設定部（上下負荷）

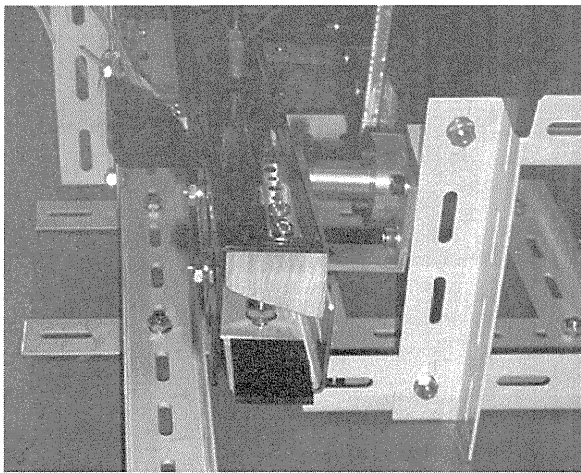


図4 ブレーキ負荷角度の設定部  
（外側方向への負荷）

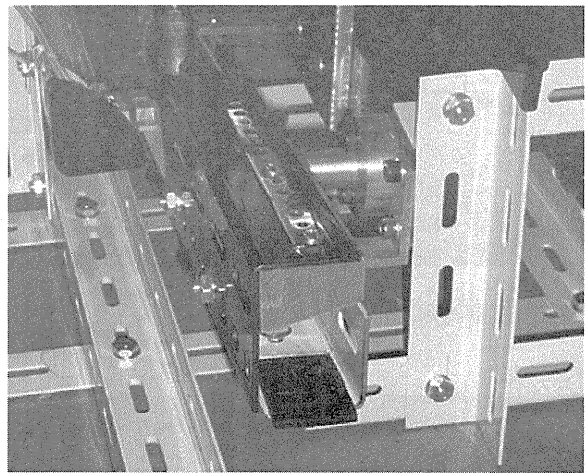


図5 ブレーキ負荷角度の設定部  
（内側方向への負荷）

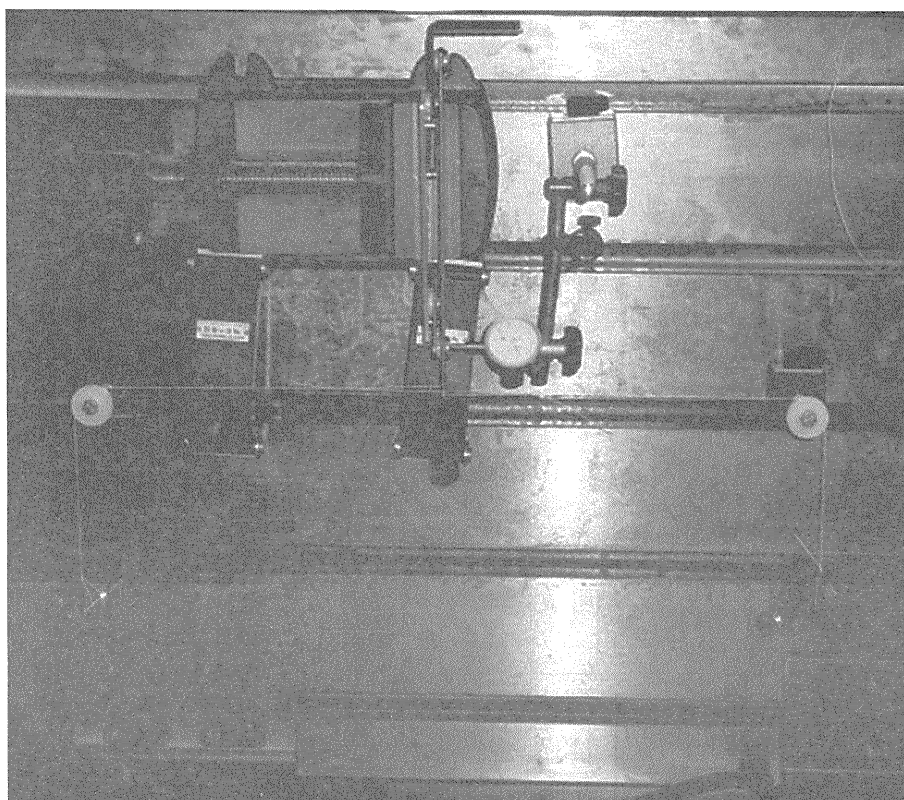


図6 ガタの計測方法

## 2. 繰り返し試験の実施

開発された試験機を用いて繰り返し試験を実施した。試験サンプルは右側の介助用ブレーキとし、繰り返し試験実施前にガタ量を計測した（図7）。また、繰り返し試験実施後にもガタ量を計測した。繰り返し数は10万回とし、途中で問題が生じた場合はそこで中止することにした。試験速度は95回/min程度とした。負荷方向は通常の上方向負荷と外側への負荷の2種類について試験を実施した。試験結果を表1に示す。4個の試験サンプルのうち3個でバネが破損した。バネが破損した時の繰り返し数は不明であるが、バネの破損を確認した時点で試験を中止した。サンプルR2については10万回の試験が実施できたが、ブレーキをかけるときの負荷がやや小さめであったことが判明したが、バネの破損との関係は分からない。バネの破損状態を図8に示す。

ガタの変化量であるが、試験前のガタが小さいサンプルは繰り返し試験によりガタが増えているが、もともとのガタが比較的大きなサンプルでは、ガタが小さくなったり、殆ど変化がなかったりした。また、上下方向負荷と外側方向負荷の条件の違いによる差は得られなかった。ただ、何れのサンプルにおいても回転軸の部分で摩耗粉が生じており、実際の使用時には注油などの対応が必要かも知れない。また、動き自体も滑らかさを欠くようになったものの回転軸はしっかりと固定されているため、10万回程度の繰り返し試験では実際の使用時における問題は検出できなかった。

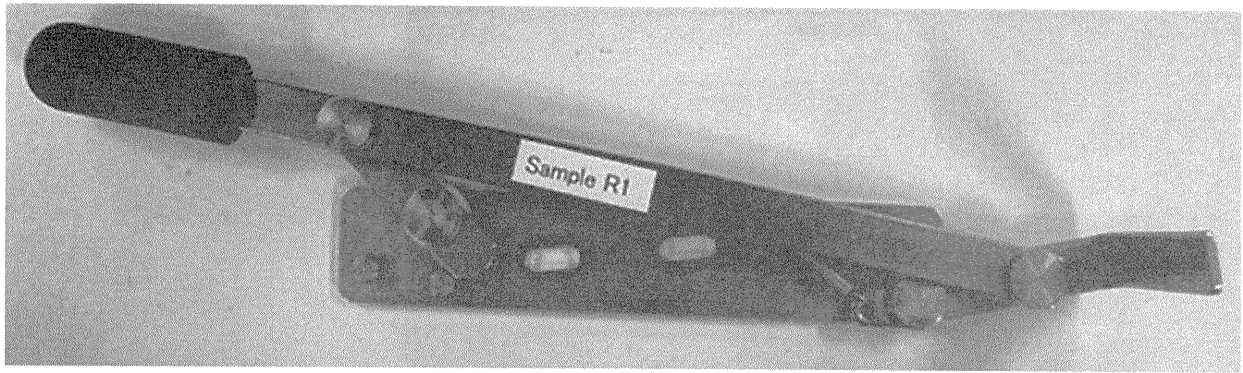


図7 試験サンプル

表1 繰り返し試験結果

サンプルと 負荷方向	試験前の ガタ (mm)	試験後の ガタ (mm)	ガタの変 化 (mm)	試験実施 回数	試験結果
R 4 外側	0.15	0.50	0.35	52217	バネが破損、停止
R 3 上下	0.34	0.58	0.24	54379	バネが破損、停止
R 2 上下	0.56	0.38	-0.18	100000	負荷多少弱い
R 1 外側	0.61	0.62	-0.01	95000	バネが破損、停止

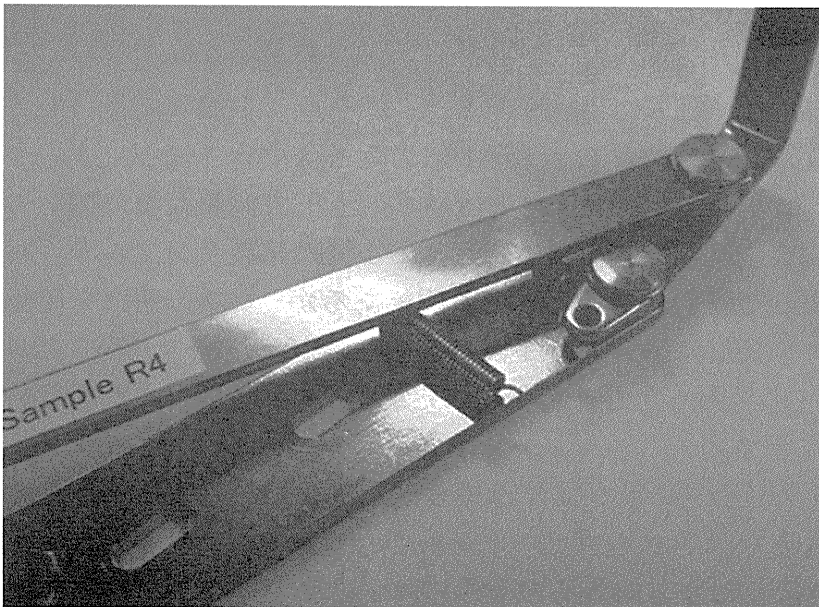


図8 バネが破損した試験サンプル

### 3. 考察

開発された試験装置による繰り返し試験は負荷方向条件、試験速度の設定が可能で問題なく試験の実施が可能であった。試験負荷方向の違いによる差は得られなかったが、これはバネの破損により、途中で試験を中止したためであり、試験装置としての問題はないと考えられ

る。5万回～10万回の試験の実施により回転軸から摩耗粉が出てきているので、これらの試験が継続できれば、回転軸のピンの摩耗についても耐久性の評価ができるかも知れない。また、ガタの計測装置もガタの計測は問題なく実施できたが、試験結果としては明確な違いは得られなかった。これは、ブレーキ装置がリンク構造になっているために各所で遊びがあり、1カ所のガタのみの計測が難しいことが影響している。今回の計測方法では、摩耗を確認したいピンのガタが計測できるようなやり方で計測したが、何カ所かでガタができてくると何カ所かのガタの影響を含めた形での計測になってしまうため、きれいな形での計測ができなかったものと考えられる。ただ、基本的な手法としては十分活用可能であるため、固定方法や測定部位を考慮した上でブレーキに合わせて測定方法を決定すれば、十分活用可能である手法であると考えられる。

今回の繰り返し試験装置とガタの計測装置の組み合わせによる試験評価手法は、改良点はあったものの十分な効果が得られたと思われる。



## 第5章 足部支持

### I) 足部支持の破損およびその研究

#### A. 研究目的

足部の破損を繰り返す症例の原因を考える。

#### B. 研究方法

##### 1. 計測システムの開発

足部支持に加わる負荷を計測するために、計測システムを開発した。ロードセル4個を用いた簡易型フォースプレートを作成し、ベルトで足部支持上に取り付けられるように構成した。4個のロードセルの出力は共和電業製コンパクトレコーダ EDS-400A に接続してデータを収集する。コンパクトレコーダは4チャンネルのデータ収録装置でシグナルコンディショナとA-D変換器を内蔵しており、コンパクトフラッシュメモリカードに記録が可能である。電源は共和電業製バッテリーボックス ESB-04A を用いており、ニッケル水素電池を使用して2時間半以上の動作が可能である。これは電池の残量がなくなると測定ストップ信号を出し、電源が切れることによる測定データの消滅を防ぐシステムを内蔵している。計測システムを完成させて予備実験で確認したところ、フル充電した電池を用いた場合には4時間程度は計測可能であった。従って、予備のバッテリーボックスや電池を用意して、データの計測状況を確認しながら適宜電池交換をしながらデータ収集を行えば、8時間とか12時間くらいについては計測可能であり、1日の生活程度の計測は可能になると考えられる

簡易型フォースプレートは体重負荷に対しても問題ないように頑丈な構造で製作したため、多少、重くなっている。プレートサイズは縦200mm×横300mmで両側の表面に厚さ3mmの保護クッションを貼り付けてある。また、内部に超小型ロードセル4個を組み込んでいるが、厚さは保護クッションを含めて31mm程度である。簡易型フォースプレートの重さは3.745kg、コンパクトレコーダ（コンパクトフラッシュメモリカードを含む）0.485kg、電池ボックス（電池含む）0.843kg、接続ケーブル（変換ケーブルを含む）0.545kgとなり、システム全体で5.618kgになる。得られたデータはコンパクトフラッシュメモリカードに記録され、コンピュータを用いてオフラインでコンパクトレコーダ付属のソフトウェアによりデータ処理が行われる。データはExcelデータとして出力が可能であり、解析が実施される。Excel 2003ではワークシートの行の制限が65536行までなので、データ数がこれより多い場合はデータの読み込みが不可能であり、Excel 2007でデータ処理及びデータ解析を行った。個々のロードセルの荷重データを用いて合力とCOPの位置を算出した。

表1 計測システム構成

No.	名称	規格	個数
1	小型圧縮型ロードセル	共和電業 LMA-A-1kN-P	4個
2	コンパクトレコーダ	共和電業 EDS-400A	1台
3	バッテリーボックス	共和電業 ESB-04A	1台
4	ニッケル水素電池	サンヨー ニッケル水素電池 Ni-MH2700 単3形 HR-3UG	10 個

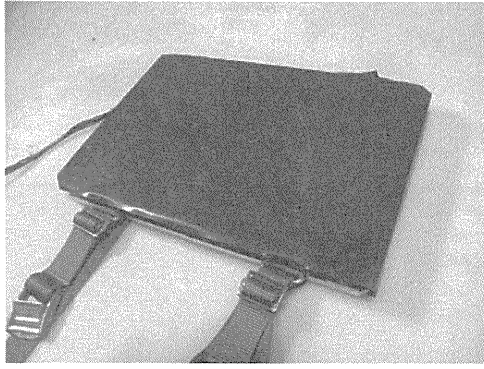


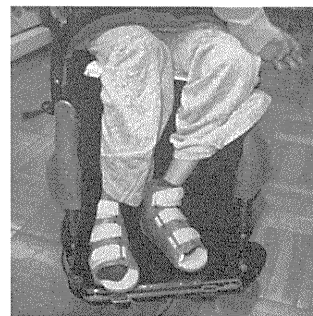
図1 簡易床反力計



図2 計測システム

## 2. 予備計測

開発した計測システムを用いて、予備実験として負荷の計測を行い、計測システムの性能について検討した。足部支持に大きな力を加えていると、験者の車いす部分に計測装置を取り付け、簡単な予備計測を行った。計測システムの取り付け状況を図3に示す。足部簡易床反力計を取り付けたので、厚みにより高さが少し見かけ上、取り付けていない状態との違いは分かりやすく、プリングタイムを5Hzに設定したため、1時間あたり、データが得られる。仮に4時間連続で計測した場合のデータ数は72000データになる。



と思われる被験者の足部支持の上にし変わるが、く。サンデータ数は

図3 取り付け状況

今回は、力の掛け具合を見ながら、短時間の計測を実施した。得られた計測データを図4に示す。データ数5617個、1123s即ち19分弱のデータになる。

このデータの内、繰り返しの負荷が計測された325sから547sについて拡大したグラフが図5である。このグラフから途中で荷重値が小さい時期もあるが、周期が5s程度の繰り返しの負荷が足部支持に加えられていることが判明した。最大値は、369.1Nであった。また、これらの時期のCOPの位置を見るとほとんどが右足の位置であり、右足だけで負荷してい

たことが判明した。

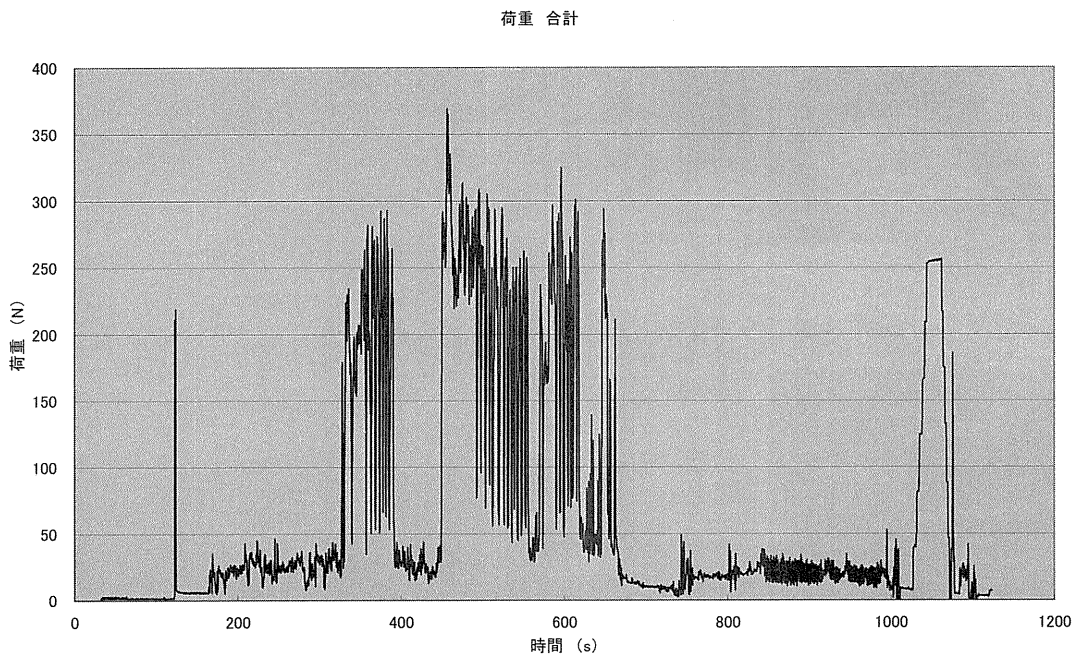


図4 計測データ全体 (荷重の合計値)

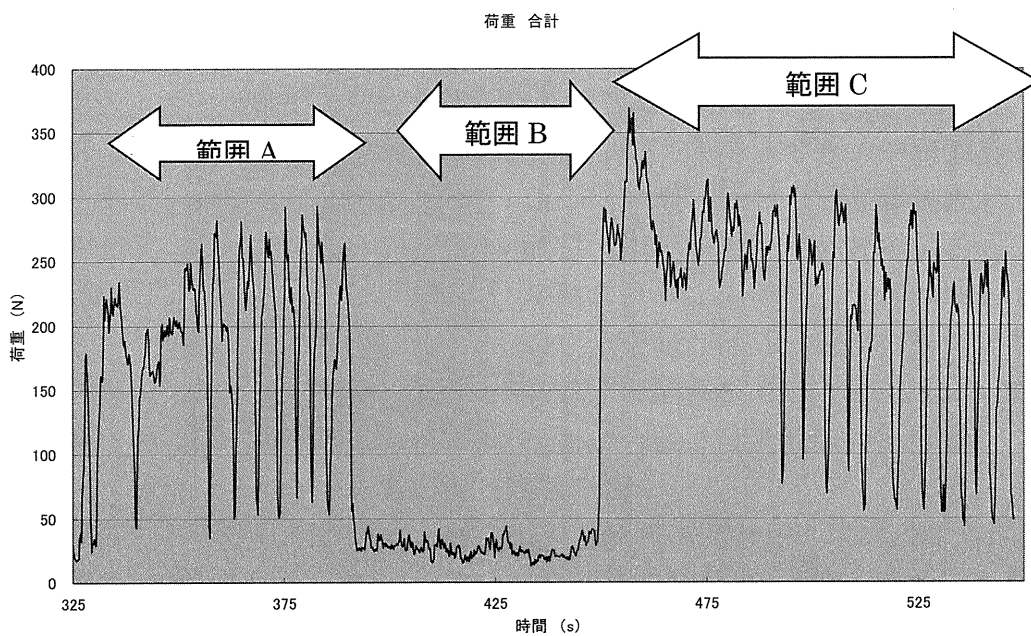


図5 計測データの一部を拡大 (荷重の合計値)

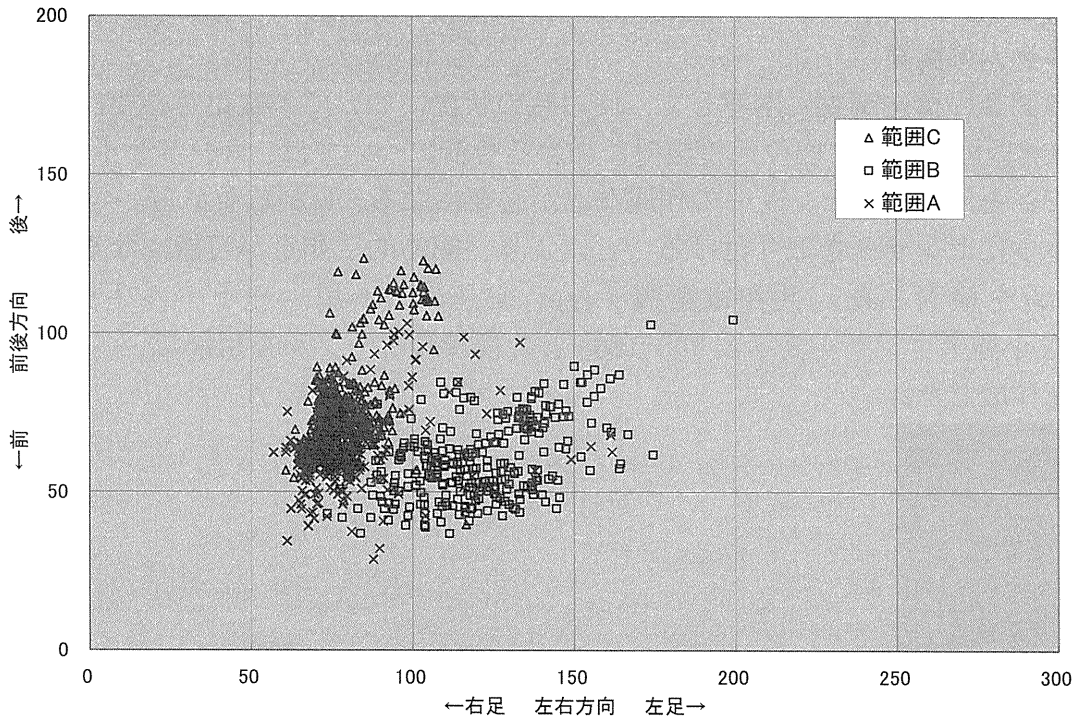


図6 COPの分布（図5の範囲A、B、C毎に分けて記載）

### 3. おわりに

このように、緊張が強い脳性まひ者は足部支持に対して、体重程度の負荷を頻度多く行っていることが分かった。ISO車いすの足部支持では体重分の静荷重であり、座位保持装置と使用する場合、体重分を繰り返す試験が必要である。