

200929030B

厚生労働科学研究費補助金

障害保健福祉総合研究事業

障害者の自立支援のための移乗システムの研究

平成 19 年度～平成 21 年度 総合研究報告書

主任研究者 小林 裕介

平成 22 (2010) 年 3 月

厚生労働科学研究費補助金

障害保健福祉総合研究事業

障害者の自立支援のための移乗システムの研究

平成 19 年度～平成 21 年度 総合研究報告書

主任研究者 小林 裕介

平成 22 (2010) 年 3 月

目 次

I. 総合研究報告

障害者の自立支援のための移乗システムの研究 1

小林 裕介

II. 研究成果の刊行に関する一覧表 41

厚生労働科学研究費補助金（障害保健福祉総合研究事業）
総合研究報告書

障害者の自立支援のための移乗システムの研究

主任研究者 小林裕介 長野工業高等専門学校 機械工学科 助教

研究要旨

本研究は移乗動作時の人間にかかる負担、障害の度合いと可能な動作、能力と移乗動作の関係を明らかにし、人間工学的に単独で移乗を容易に行えるシステムの開発を行うことを目的としている。平成 19 年度は開発に際し、既製品とその動作や問題点の調査を行い、移乗システムに必要な事、望まれている事を具体的に明らかにした。これらの調査から開発する移乗システムに必要な特性を明確にし、この結果を元に移乗補助具の試作を行った。この試作を元に簡単な動作検証を行い、機構としての可能性、補助具としての効果を確認した。

平成 20 年度は 19 年度に仮試作した移乗補助具の問題点を改善し、使いやすさ、安全面について検討した。さらに試作した補助具の強度、安全性、力学的特徴を明確にするために力学解析を行った。

平成 21 年度は補助具の使い易さの改善として前輪と補助具の干渉の改善、移乗時の負荷を減らすために拡張座面の表面特性の調査と改善を行った。そして移乗補助具の効果を確認するため、車いす使用者によるモニター評価を行った。その際に感圧センサーシートによって移乗時にかかる力の測定も行った。また展開収納を容易に行える機構の検討ならびに詳細な力学解析の検討を行った。

A. 研究目的

車いす使用者が車いすやベッドなどへ移る動作”移乗動作”は車いす使用者にとって日常生活を送る上で必要不可欠な動作であるが、一人で移乗を行う際には非常に負担となる。これを補助するために様々な移乗補助具が開発されているが、既存のものは介助者を要することが多く、

あるいは大がかりな物が多いため敬遠されている。こういったことから現在、多くの車いす使用者は移乗補助具を使わずに、負担のかかる自分の力だけの動作による移乗、あるいは介助者による補助の元での移乗を行っている。(図 1)

こういった現状を打開するために移乗動作時の人間にかかる負担、障害の度合

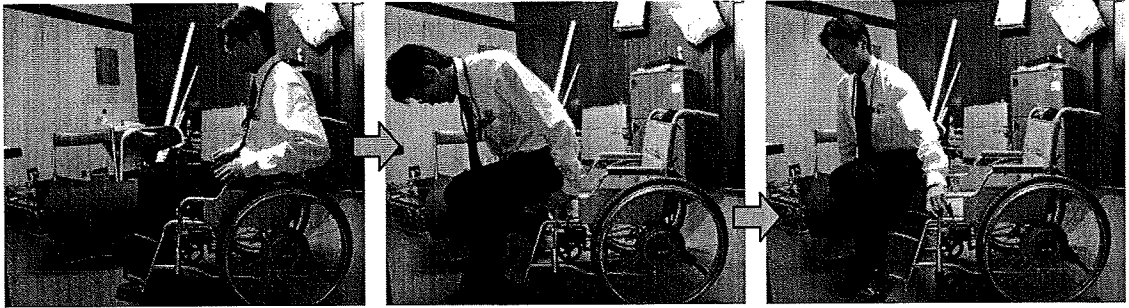


図1 車いすからの移乗

いと可能な動作，能力と移乗動作の関係を明らかにし，人間工学的に移乗を容易に行えるシステムの開発を行う．システムとしては，一人で移乗を行える（自立支援），携帯性に優れ外出先でも使用可能，移乗をスムーズに行える形状，手指に障害を持つ人でも問題なく使える，といった特徴を持たせる．そして開発したシステムを実際に使用し，その効果を明らかにする．

B. 研究方法

1. 既製品調査とモニタリング，移乗動作の調査

開発に際し，既製品とその動作や問題点の調査を行った．意見調査としてリハビリテーションセンターの作業療法士の方から現状の移乗に関する動作，負担，問題点，それに対する現状での対策について聞き取り調査を行った．また既製の移乗補助具の使用割合や問題点，改善点などについても意見の聞き取りを行った．障害についての判断指標についても調査，検討を行った．

実際の移乗関連ならびに福祉機器の現状を調査するため国際福祉機器展に参加し，昨今の福祉機器の動向ならびに移乗

機器に関しての問題点などの調査を行った．並行して既存特許や既製品についての調査や関係論文の調査も行った．

以上の調査結果から開発する移乗システムの特性を明確にし，仮設計案を考案した．

2. 機構の考案，仮設計

調査結果を基に機構の考案と仮設計を行った．機構としては座面を拡張して移乗補助を行うものとし，この機構についていくつか考案，検討を行った．検討した中で実用化の可能性が高い物について具体的に設計を行い，機構の確認のため仮試作を行った．

3. 動作検証

試作した補助具の機構についての確認のために，実際に移乗動作を行って動作検証を行った．検証については事前に健康者による動作を行い，機構の動作，安全性を十分に確認した上で作業療法士の立ち会いの下，車いす使用者による動作検証を行った．

4. 使いやすさについての改善

図2に平成19年度に仮試作した移乗補助具、図3にその動作を示す。仮試作した補助具は車いすクッションを考慮していなかったため、車いす座面と補助具の拡張座面間で高さに差が生じた。このため、使用時に段差を越える手間が必要となりスムーズな移乗を行えなかった。そこで、この段差をなくすために部品の一部を再設計、改良した。また、移乗の際に車いすがずれる可能性があるため、これを防ぐ機能についても検討した。

5. 仮設計機の力学解析

仮設計した移乗補助具について、力学解析を行った。解析のために用いる3次元データはSolidworksにより作成した。部品を全て3次元データとして設計し、各合致を適切に指示して組立図を作成する。力学解析は解析ソフトANSYSにより行った。解析のための設定として、メッシュ分割サイズは自動、要素形状は四面体要素とした。解析条件としては①負荷の大きさ、②負荷の位置、③負荷面積として、それぞれの条件を変えて解析を行った。

負荷の大きさとして車いす使用者の体重を70kg程度と考え、約半分の350N、全荷重がかかった場合690N、衝撃を想定して1.5倍の1130Nと3つの条件を考えた。

負荷の位置としては図4のように補助具の固定側、中央、先端側の3箇所とした。これは移乗の動きを考慮した際に手または臀部が乗る可能性の高い箇所である。

負荷面積としては荷重が実際にかかる状況を考慮し、手のひら相当の面積、臀部相当の面積、そして拡張座面半面にかかった場合について解析した。手のひら相当の面積としては90mm×90mm程度、臀部相当の面積としては半径60mm、長さ180mmの形状とした。臀部相当の形状を図5に示す。

負荷の指定については前述のように位置や形状を細かく指定する必要がある。この指定方法として、図6に示すように負荷をかける部分のみ別部品として分割をし、分割した部品全体に荷重をかける用に指定して解析を行うこととした。負荷部分を部品として分割することで、部品形状を任意の形状や位置に設定でき、これにより負荷条件を容易に指定することができる。

6. 補助具と前輪の干渉の改善

平成19年度の段階で仮試作した補助具は車いすクッションを考慮していなかったため、車いすクッション座面と補助具の拡張座面間で高さに差が生じた。この問題を解決するため、平成20年度に補助具高さを調整する改良を行った。しかし、この改良により補助具を収納した状態で、補助具が前輪と干渉する問題が発生した。(図7)そこで干渉しないように収納時に補助具を支持する部品を新たに取り付けることにした。

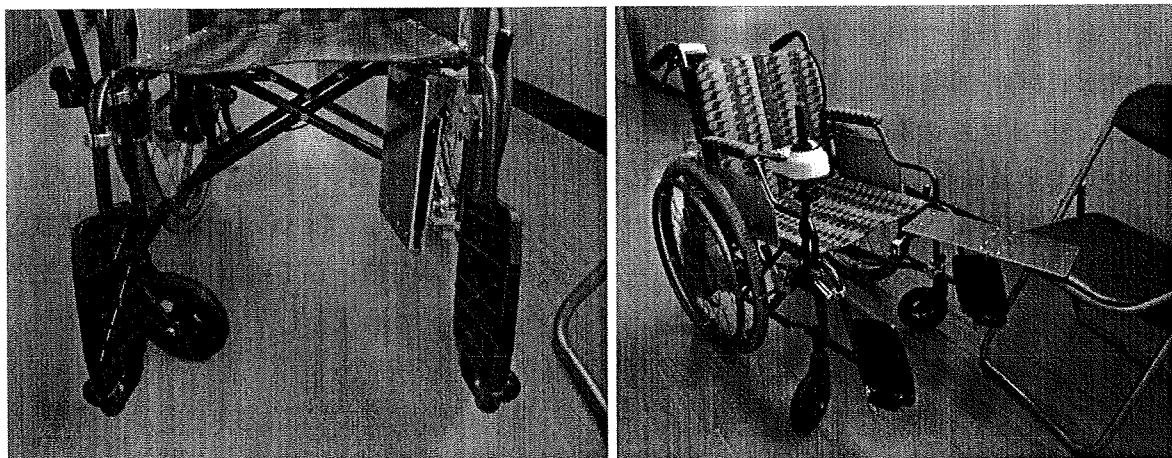


図2 試作した移乗補助具

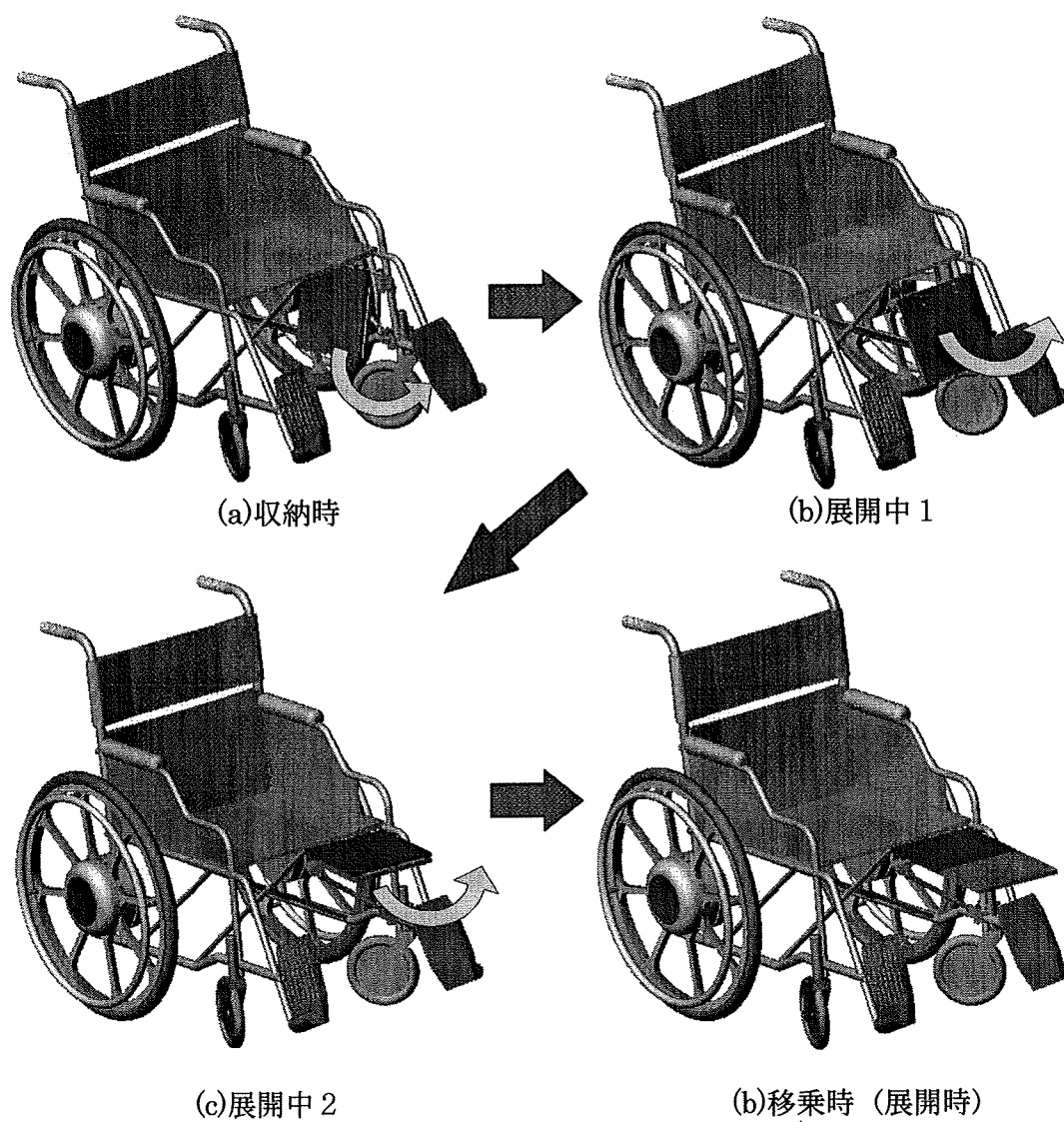


図3 開発した移乗補助具

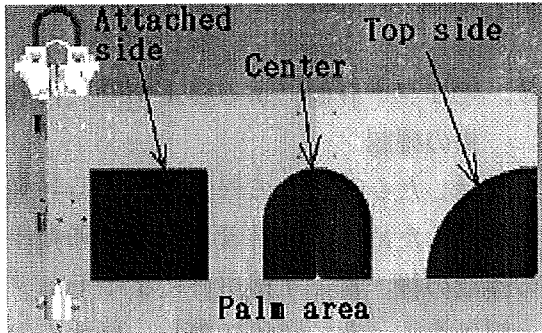


図4 負荷位置

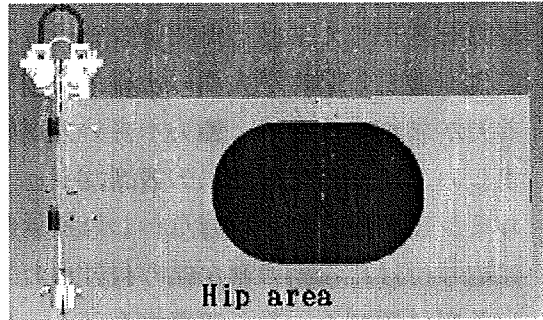


図5 負荷面積

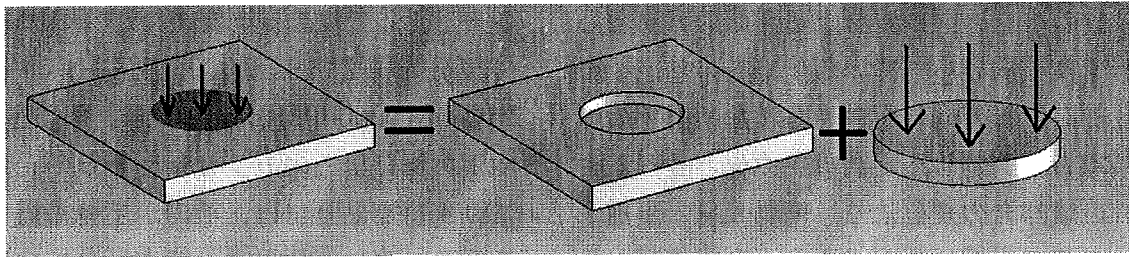


図6 負荷の指定方法

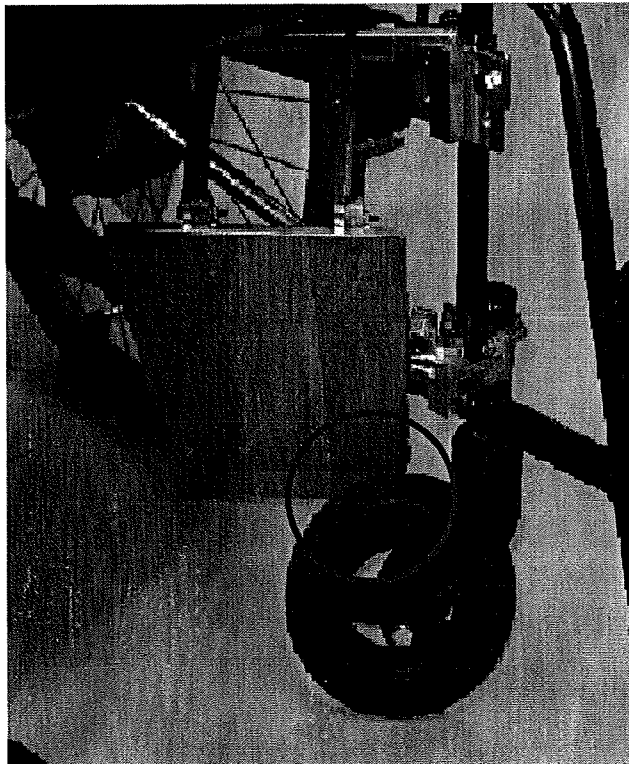


図7 前輪との干渉

7. 補助具表面特性の調査と改善

移乗の際には補助具の拡張座面上を、臀部をスライドさせる形で移乗を行う。拡張座面上の摩擦が大きいと移乗に要する力が増加するため、極力小さい方が好ましい。試作した補助具の表面はジュラルミン板がむき出し状態ないしは簡易的に取り付けられた摺動素材が貼り付けられているだけである。そこで移乗をスムーズに行えるよう摩擦の小さい素材を実験により選定した。実験方法としては摩擦係数の小さい摺動素材上に洋服の素材として良く用いられている生地をのせ、その上に鉛直方向の荷重をかけた状態での摩擦力を測定した。荷重を変化させたときの摩擦力の変化より、摺動素材と生地との間の摩擦係数が求まる。洋服素材として、一般的な衣服によく用いられているジャージ生地とデニム生地を使用した。摺動素材の候補としては図8のように市販のふすま用滑り材、家具用フッ素樹脂、家具用超高分子量ポリエチレンならびに工業用超高分子量ポリエチレンについて

調べた。また比較のために市販のトランスファボードに関しても実験を行った。

8. モニター評価による移乗補助具の効果の確認

開発したシステムの移乗に関する効果を調べるために、健常者による移乗動作の確認の後、車いす使用者によるモニター評価を行った。評価に際し、移乗中の負担を測定するため、圧力測定用の感圧センサーシートを用いた。感圧センサーシートとしてはニッタ株式会社のBPMS体圧分布測定システムと感圧シートにBIG-MAT2000P3BS(図9)を使用した。測定の際にはこのセンサーシートの上に摺動素材を貼り付け、その上で移乗動作を行う。車いす使用者の能力区分については平成19年度に提案した上肢能力、手指能力、姿勢保持能力によく区分を用いた。この他の評価項目として移乗にかかった時間の測定、移乗中の姿勢変化の撮影、移乗後の聞き取り調査を行った。

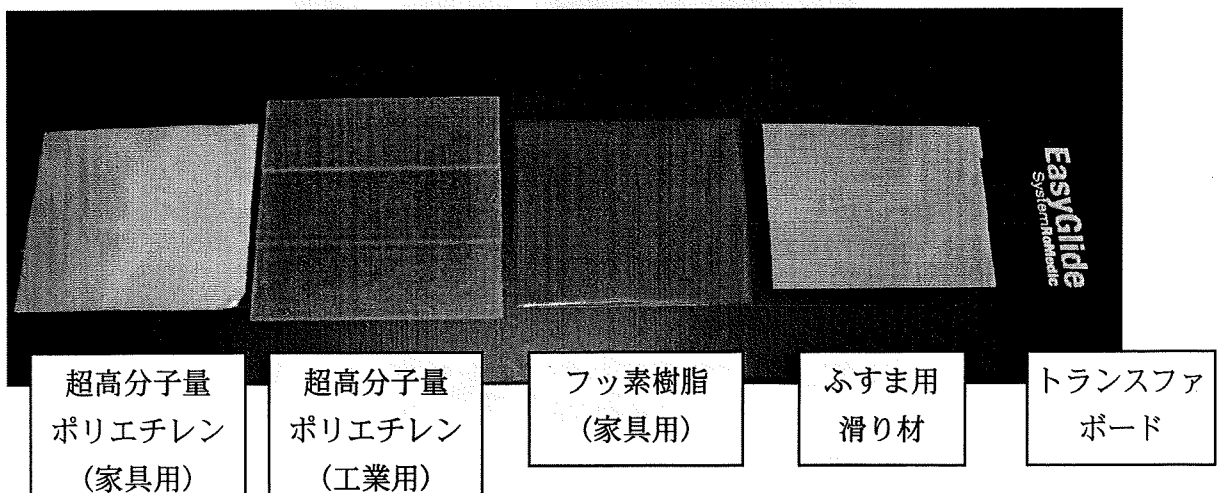


図8 選定を行った摺動素材

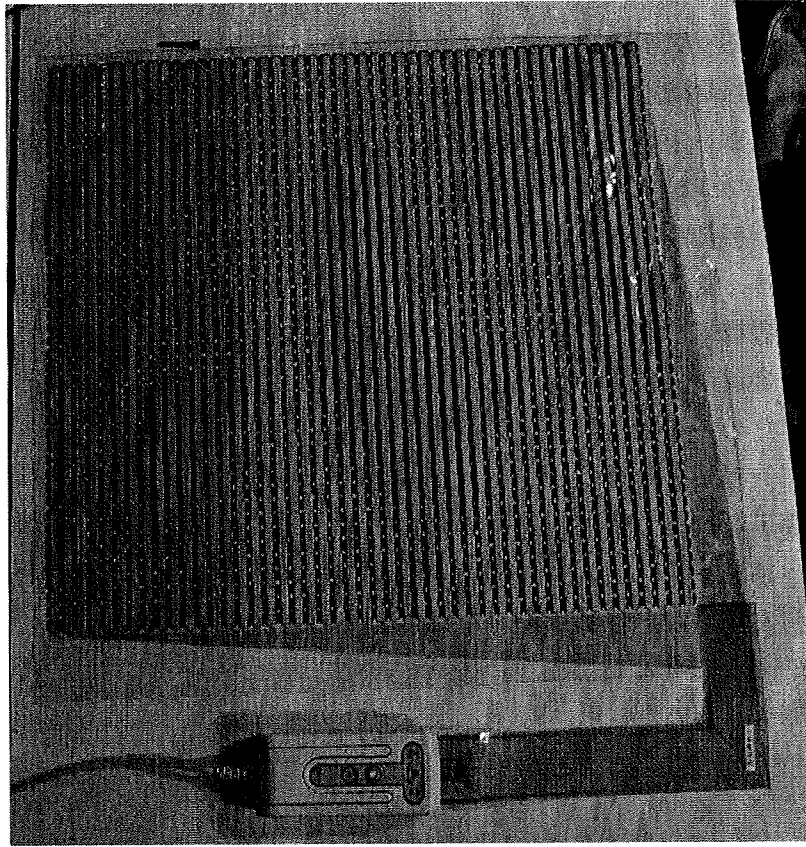


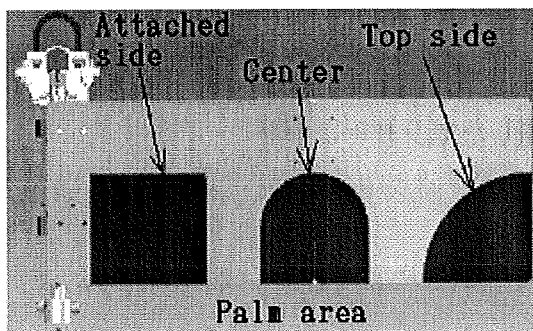
図9 使用したセンサーシート

9. 展開収納を容易に行える機構について

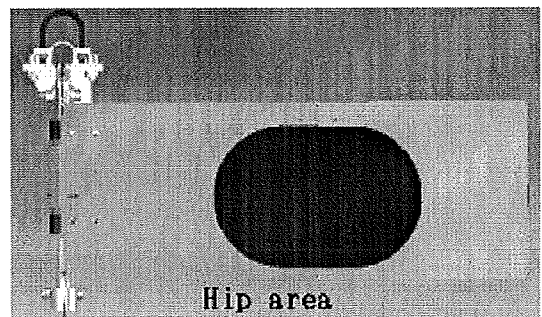
提案するシステムは、車いす走行時は収納し、移乗時に展開して使用する。システムは車いす座面下部に収納され、使用者は図3のようにこれを回転して引き出す事で展開する。収納時はこの逆の手順を行う。この展開、収納動作を簡単に行える機構について検討を行った。車いす使用者は手指にも障害を持っている事が多いため、複雑なスイッチ操作を行わずレバー操作のように手を引っかけて行える簡単な動きで実現可能なものが望ましい。また、システム自体に電氣的な要素を含んでいないため展開、収納に関してもモーターなどを使わずに機構のみで動作できるものとした。

10. 詳細な力学解析

平成20年度までに行った力学解析は形状を図10のように長丸形状や円などの幾何形状とし、面積を実際の使用に近い値となるように近似して行った。実際の使用時には、例えば座位姿勢の場合はおしりの他に太もも部分にも荷重がかかるなど、幾何形状近似では実態との間に差が生じる。そこでより詳細な解析を行うため、図11のように形状を実態に近い形として解析を行った。形状ならびに面積については補助具に実際に座位姿勢を行っている時の接触面積ならびに形状を感圧センサーシートにより測定して求めた。



(a)手のひらの形状近似



(b)臀部の形状近似

図10 幾何形状による近似

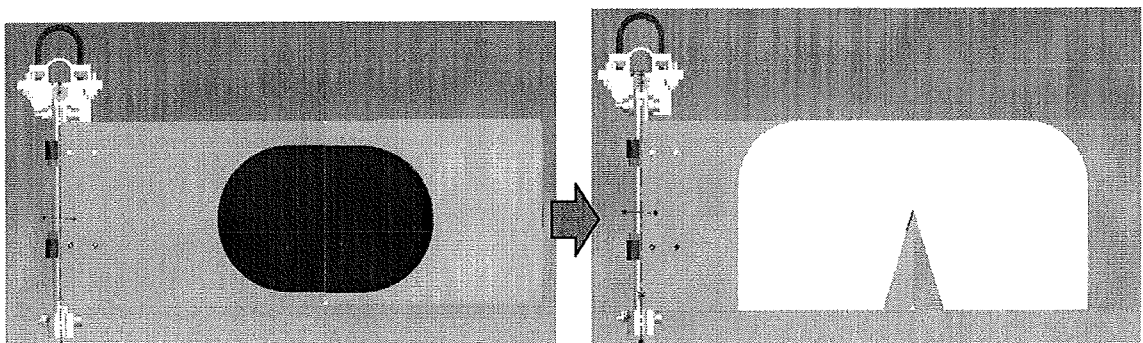


図11 負荷形状の変更

(倫理面への配慮)

試作した移乗補助具の動作検証においては車いす使用者による検証も行った。その際、協力者に危険が及ばないようにあらかじめ事前に作業療法士の方に検証方法、機構の説明、協力者に行ってもらった動作等について説明し、詳細な打合せを行った。また、検証中も作業療法士の方に立ち会ってもらい、常に安全を心がけて検証を行った。検証結果、測定データ等の取り扱いについても協力者に説明を行い、今後の学会、講演等への使用に関して同意を得た。

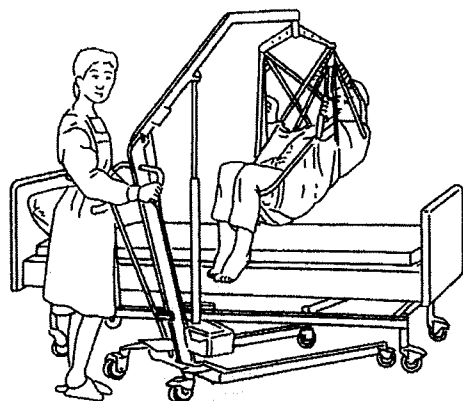


図 12 リフトによる移乗

C. 研究結果

1. 既製品調査とモニタリング、移乗動作の調査

既製品調査の結果、普段からスポーツをする活発な人ならば一人での移乗も可能であるが、そのためにはその人に合わせたカスタマイズ済みの、あるいはオーダーメイドの移乗補助具が必要であった。多くの人は介助者によるサポートの下、移乗補助具を用いての移乗を行っていた。既存の補助具の例として図 12、図 13 および図 14 に示すようにリフト、トランスファボード、車いす付属の機能によるものが主流であった。

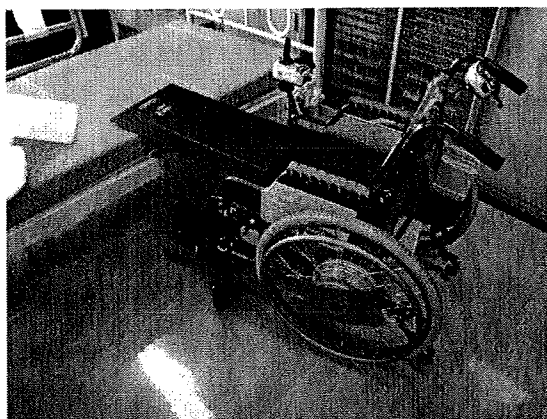


図 13 トランスファボードによる移乗



図 14 車いす付属の機能による移乗補助具 ((株) いうら KY-350)

リフトは車いすからの移乗以外にも入浴等にも用いられ、汎用性が高いが介助者がいないと使用できず、また、構造上、使用者の体の下にシートを挟み込む必要がある、その際に体を持ち上げる必要がある。さらにリフトそのものが大きいために導入においては広い設置スペースが必要となり、狭い場所や外出先のような設置場所以外での使用はできない。このほかにも価格が高いなどの問題もある。

トランスファボードは構造がシンプルで比較的安価なため、導入がしやすい。しかし使用時に使用者の体の下にボードを挟み込む動作が必要となる。また、ほとんどのトランスファボードは介助者によるサポートが前提となっている。一部、使用者のみで移乗を行えるトランスファボードもあるが、そういったものは図 15 に示すように個人用にカスタマイズされたものがほとんどである。ボードは固定せずに移乗を行うため、移乗時にボードがずれると転落の危険がある。屋外での

使用時には持ち運ぶ必要がある。また、アームレストを外して斜め横方向に使用するのが一般的であるため、アームレストが外れない車いすでは使用が困難である。

車いす付属の機能による移乗補助具はいくつか種類があるが、図 14 に示した例では車いすのアームレストが倒れてトランスファボードと同じ機能になるものである。持ち運びの必要がないが、車いす後輪が邪魔にならないように変形、あるいは後ろ方向へずれる必要がある。多くの車いすにはこの機能はついていない。従って、このタイプの移乗補助具を使う際には車いすの買い換えを行う必要がある。

移乗動作と障害の種類、度合いについては一意的に結びつけることが困難である。車いすを使用するきっかけとしては筋力低下、病気や事故などによる障害など多々あるが、脊髄損傷、頸椎損傷による機能低下が最も多い。脊髄損傷や頸椎

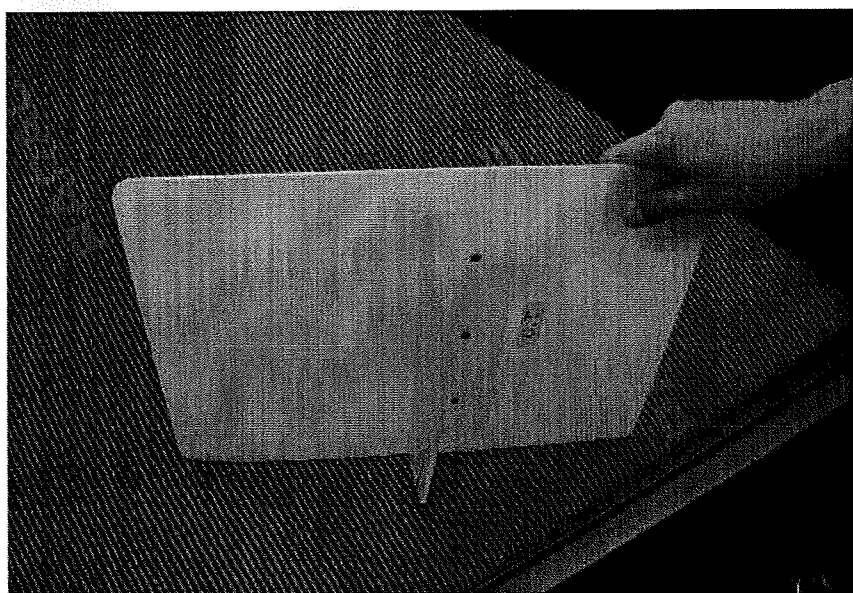


図 15 カスタマイズされたトランスファボード

損傷による影響は下肢のみではなく手や腕、首などにも影響を及ぼす。障害の度合いと各部分の運動機能、能力にはある程度関係はあるが、個人差がある。一般的に脊髄損傷による障害の度合いを表す際には損傷している神経部分で表現することが多い。具体的には背骨に沿って上から頸椎（C1～8）、胸椎（T1～12）、腰椎（L1～5）、仙椎（S1～5）と表し、上の箇所が損傷するほど障害の度合いは高くなる。一般的に障害が重くなるにつれて手指能力→上肢能力→座位保持能力と影響がでてくる事が多い。この障害の度合いを一つの指標として移乗補助具の選定、使用可能かの評価基準にはなるが、リハビリや普段日常生活をどの程度行うかによりばらつきがでてくる。例えば、手指能力がなくても指をフックなどに引っかけることで何かを引っ張り出すことが出来る、あるいは姿勢保持能力が乏しくても特定の姿勢をとり関節をロックする事で姿勢を保つことが出来る、などである。移乗に関しては姿勢を保つ能力が重要となってくる。一般的な移乗におい

ては腕力で体を持ち上げてスライドし、少しずつずれることで移乗を行う。体を持ち上げた際にバランスを保てないと、車いすから転落する危険がある。また、腕力もある程度必要となる。体を完全に持ち上げる必要はないが、スライドさせるだけの力を発生させる必要がある。

そこで対象とする障害の度合いの判断指標を設けることとした。判断指標としては

- ・ 手指能力
- ・ 上肢能力
- ・ 姿勢保持能力

とした。手指能力については物体の把持を行える、把持を保つことができる、把持が行えなくても指を引っかけるなどにより簡単な動作を行える、手指能力が全くない、により区分を行う。

上肢能力については腕の可動範囲、力を入れることが出来る可動範囲、腕力を元に判断を行う。

姿勢保持能力については判断が困難である。そこでストーク・マンデビル方式を採用することとした。ストーク・マン

表1 ストーク・マンデビル方式による姿勢保持能力評価

記号	意味	状態
Z	Zero	全く座位がとれない
T	Trace	ごく短時間、上肢支持で座位はとれるが、安定した座位を維持できない
P	Poor	座位はとれるが両上肢前方挙上できず、プッシュに抵抗できない
F	Fair	両上肢前方挙上でき、座位保持は可能
G	Good	ある程度の抵抗に対して立ち直りがあり座位を保持できる
N	Normal	常に正常な座位を保ち、押されても倒れない、健常者

デビル方式とは体幹をコントロールする能力を基準に分類する方法で姿勢保持能力が高い方からN→G→F→P→T→Zと表記する。ストック・マンデビル方式についての詳細を表1に示す。

これらの3つの判断基準は脊髄損傷以外の障害者にも適応が可能である。従って車いす使用者が移乗補助具を選定する指針として、また移乗補助具を考案する上で対象とする障害者、必要とする能力を表現するのに効果的と考えられる。

展示会における現状調査においては、移乗補助具については市場規模が停滞気味に見受けられた。その理由としては画期的な補助具が開発されていない、スライディングボードのような簡易的なもので我慢している、といったことが感じられた。

2. 機構の考案, 仮設計

調査結果を元に、開発する移乗補助具として

- ・車いすの改造を必要としない
- ・持ち運ぶ必要がない
- ・小型で外出先でも使用が可能である
- ・車いすの折りたたみを問題なく行える
- ・使用者が一人で移乗を行える

といった特徴を持ったものとした。対象とする障害者としてはある程度の自立行動が可能であることを前提とし、手指能力は不完全ながらある程度はあり、上肢能力についても同様に考える。姿勢保持能力については一人での移乗をこなすと言うことでF~P程度までが妥当と考えた。提案する移乗補助具の概要を図16に示す。多くの車いすは使用者に合わせてカスタマイズされており、車いすの買い

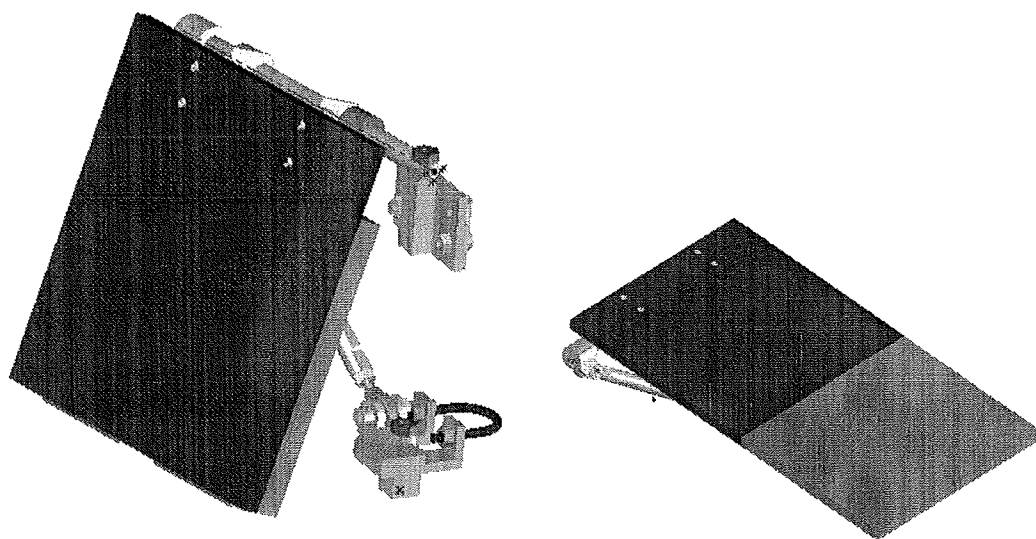


図16 考案した移乗補助具

替えは望ましくなく、また大がかりな改造も敬遠される。そこでアタッチメント方式として、車いすを改造することなく取り付けられるようにした。車いすに取り付けるため、持ち運びの必要もなく、また走行時は収納することで日常での車いすとしての使用にも問題はない。車いすフレームについては事前調査の結果、多くの車いすが図 17 のように座面下にクロスしたフレームと前輪へつながるフレームを有することが分かった。これらのフレームに組み付ける物とすることで多くの車いすに対応できると考えた。また、多くの車いすは持ち運びのために折りたたみ機能を持っており、補助具を取り付けても折りたためるような物とした。

補助具は図 2 のように車いすに取り付け、通常走行時は図 2(a)のように収納している。使用時には図 2 (d)のように展開を行い、展開された座面上で使用者がスライドする形で移乗を行う。



図 17 車いすフレームの類似性

3. 動作検証

設計を元に試作した移乗補助具を図 18 に示す。大きさは収納時が縦 230 mm×厚さ 40 mm である。展開時には座面として幅 150 mm×長さ 400 mm となる。材質は可動部の軸周辺がステンレス鋼、座面等はアルミ合金とした。

本研究で提案する補助具の指針が有用であるかを確認するために、簡単な検証を行うこととした。まず開発した補助具を実際に車いすに取り付けて動作を確認した。取り付けについては前述の通り、車いすへの加工等を行わず、市販されている一般的な車いす本体フレームへの挟み込みによって行った。取り付けた状態で展開、収納を行ったが問題なく行えた。また、車いすの折りたたみも問題なく行えた。補助具上に乗り、体重をかけて揺らしても破損することもなく強度的にも特に問題はなかった。

次に試作した移乗補助具について車いす使用者による評価を行った。評価につ

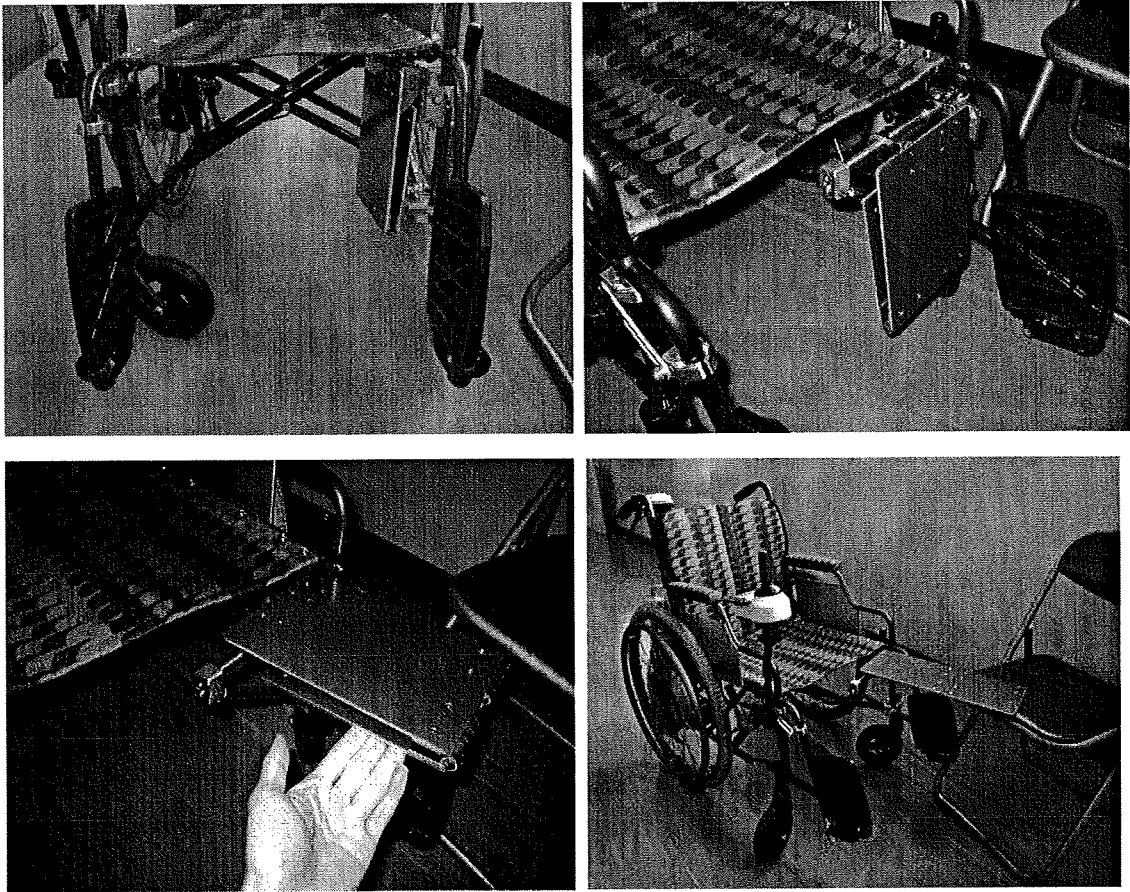


図 18 試作した移乗補助具

いては車いすとベッド間の移乗により行った。移乗の様子を図 19 に示す。対象としては手指能力が多少は残っているが余り大きな力を出すことは出来ず、上肢については完全な前方挙上を一人で行うのがやや困難な程度であった。姿勢保持能力についてはストーク・マンデビル方式において P 程度であった。実際の使用においても上記障害者が一人で移乗を行うことは可能であった。展開、収納については制約上確認を行うことができなかった。なお、今回は簡易的な設計を元に試作を行ったため、座面の上にクッションを敷くと補助具との間に高さの差ができてしまったため補助具上にもスポンジを

載せて高さを調整した。しかし補助具への移動、補助具からの移乗においてはスムーズに行うことができた。また、トランスファボードと異なり補助具の一部が車いすと固定されているので多少乱暴な動作を行っても補助具が落下する事はなかった。ただし、ベッド側に関しては固定されていないので、ベッド側については荒い動作を行うと落下する可能性は考えられる。

使用者からの意見を聞いたところ、トランスファボードよりも移乗が容易であり、持ち運びが簡単で便利である、片麻痺の人にはとても向いているとの評価を頂いた。



図 19 移乗の様子

4. 使いやすさについての改善

車いす座面にクッションを載せた高さを考慮して、補助具拡張座面を支持する部品について図 20 のように改良を施した。改良の際、部品を大きくすることで他の部品と干渉し、補助具の折りたたみ機構に影響がでる可能性があったので、形状を平滑なものから段付きに変更した。図 21 に改良部品を組み込んだ補助具を示す。車いす座面に厚さ 8cm のクッションを載せた状態でも段差は起きなかった。

移乗動作時に車いすがずれる可能性がある問題については、車いすブレーキをしっかりとかければよいが、それだけでは信頼性が低い。そこで車いすのずれを抑制する機構として、補助具の先端に突起を取り付けることを検討した。車いすのずれは移乗動作時の人の動きによって生

じる。特に移乗時に発生する力の水平分力が原因である。そこで補助具突起により車いすを移乗対象に固定することで安定させ、ずれを防ぐ。一般的なベッドのフレームには図 22 のようにマットレスを載せる部分とベッドフレームの間にすき間がある。このすき間に補助具突起を差し込むことで、車いすそのものをしっかりと固定することができる。しかし、ソファなどについてはこのようなすき間はほとんど無い。そこで突起は収納可能なものとし、ソファのような平たい場所への移乗時は突起を収納した状態で使用し、差し込む部分がある場合は突起を出して使用する方法を検討した。これにより移乗対象に影響されずに移乗補助具を使用できる。

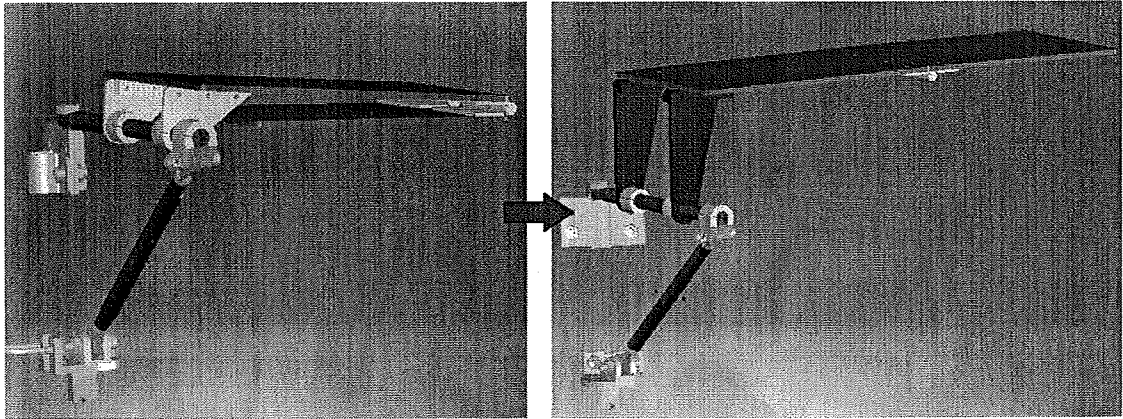


図 20 クッション厚さへの対応

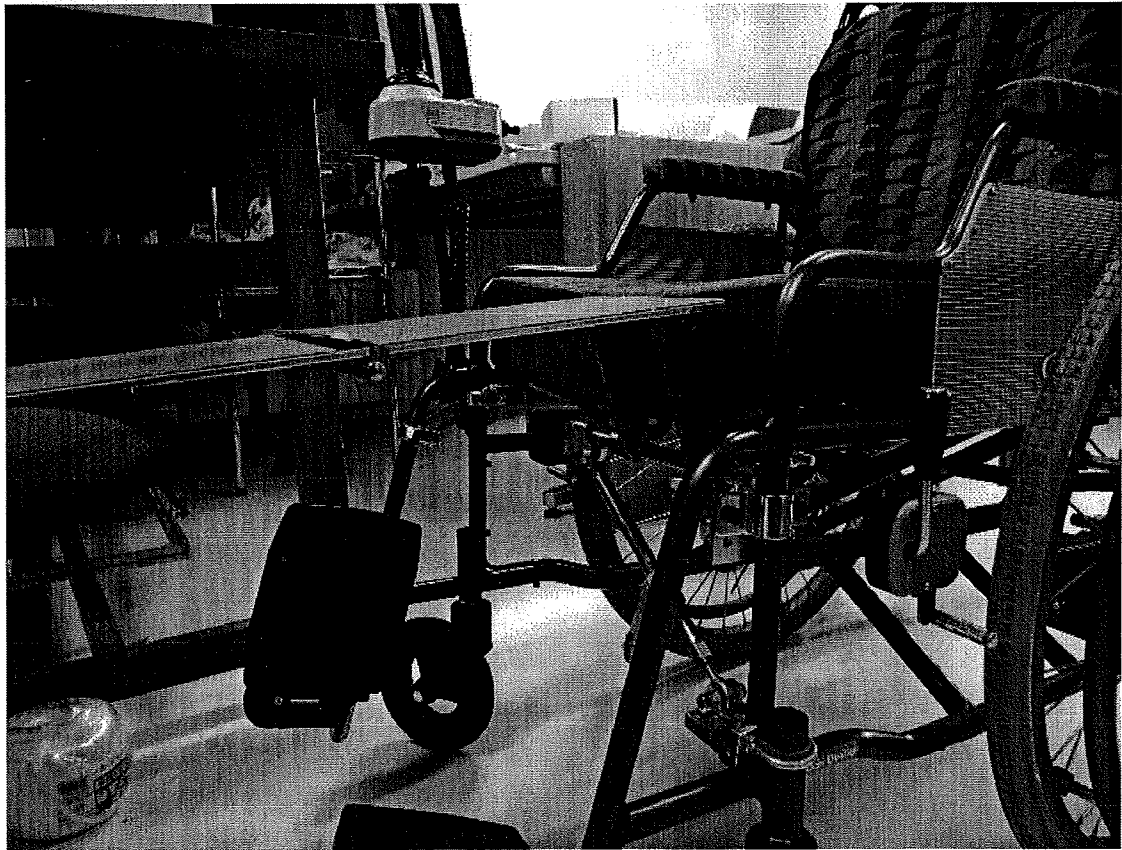


図 21 改良した移乗補助具

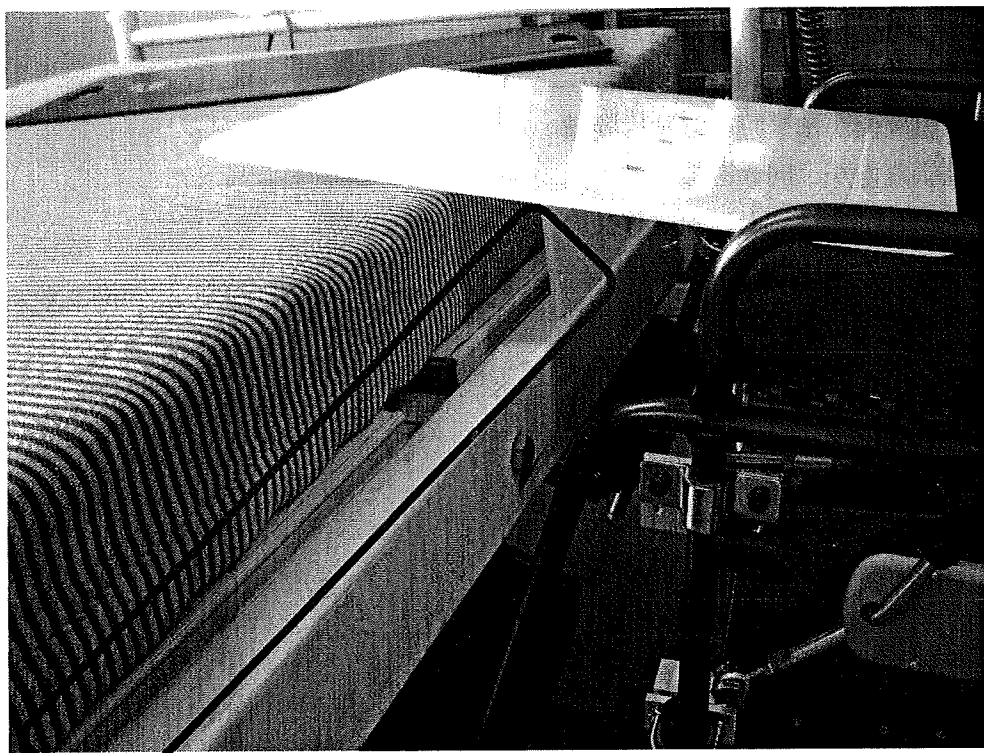


図 22 ベッドフレームのすき間

5. 仮設計機の力学解析

仮試作した移乗補助具について、前述の条件下で解析を行った。この結果をそれぞれ表 2、表 3 ならびに表 4 に示す。また、解析結果の代表を図 23 ならびに図 24 に示す。ほとんどの条件下で安全率が 1.0 を上回った。しかし、補助具中央部分に片手で 1130N かけた場合にのみ安全率が 0.9 となり 1.0 を下回った。すなわち片手で 115kg をかけたときである。今回の解析において、安全率は弾性限界を元に算出しているため、この条件下において補助具が壊れる事はなく、部品の一部に塑性変形が起きるだけである。また、実際の移乗動作時にはこのような条件は発生し難い。しかし衝撃荷重などを考慮した場合、もう少し安全率が高い方がよい。また、荷重、荷重面積が同一の時には負

荷箇所が中央の時に最も応力が大きくなった。

荷重面積については板半面への負荷と臀部面積への負荷を比べた場合、荷重位置が先端と固定側においては臀部に比べて面積の大きい板半面の方が高い応力が発生した。一般的に荷重面積が大きい方が、荷重が分散して応力が小さくなる傾向が高い。この原因としては荷重位置への依存が考えられる。今回の補助具は両端支持梁に近い構造であるため、中央付近での荷重の影響が大きい。そのため固定側、先端側に荷重が集中した場合には面積が小さくても応力が小さくなると思われる。

荷重の集中する部品としては図 25 に示す座面部品周辺ならびに図 26 の固定部品周辺であった。図 25 の座面部品につ