

残存能力に適した自立移乗支援装置選定アルゴリズムの構築

Selection Algorithm for Self-transfer Equipment Suitable for Physical Ability

○ 松下詩穂（早大） 藤江正克（早大）

Shiho MATSUSHITA, Waseda University

Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

Key Words: Self-transfer Support, Human Support Robot, Welfare Engineering

1. 序論

1-1 社会背景

超高齢社会となった現代の日本では、要介護者の急増に伴う介護者不足に備え、要介護者の残存能力を活かしながら自立を支援することにより介護者の負担を軽減することを目的とした装置やロボットが注目されている。特に、要介護者が自立してベッドから移乗し歩行することが残存能力の維持に重要であると考えられており、これを支援する自立移乗支援装置や自立歩行支援装置の開発が急務となっている。

図1に示すように、自立移乗や自立歩行を支援する装置やロボットの研究は数多くされているが、未だ普及するまでには至っていない。支援装置研究開発の一例として(株)日立製作所の歩行支援装置⁽¹⁾や、パラマウントベッド(株)らの離床支援装置製品コンセプト機⁽²⁾等が挙げられるが、多くの研究は自分達が開発した装置の評価に留まっており、自分達が開発した装置を他支援装置と比較し、どのくらいの身体能力の使用者に適しているかの検討はしていない。そのため、使用者は支援装置の必要性を明確に感じることができず需要が顕在化していないと考えられる。また、現在行われている支援装置の選定方法は、医師や理学療法士の勘と経験に基づくものがほとんどであり、どのくらいの身体能力の使用者にどの支援装置が適しているか明確化されていないため、身体能力に適した支援装置を使用していないがために残存能力を活かし自立した生活を送ることができていない要介護者がいる可能性がある。

さらに、特に移乗支援の際、介護者が要介護者を無理矢理持ち上げることで移乗するために腰痛となってしまう、介護者が今度は要介護者となってしまう、労災にかかる費用が高んできるといふ社会問題も無視できなくなっている。日本ノーリフト協会の保田淳子氏は、Australia Nursing Federation (ANF)のヴィクトリア支部が制定している『No Lifting Policy』(危険や苦痛の伴う人力のみの移乗支援を禁止し、要介護者の自立を考慮した福祉用具使用による移乗介護を義務づけている)を日本でも普及すべく活動を続けている。

以上の社会背景を踏まえ、自立支援装置の研究開発における問題点を以下に記す。

- (1) 要介護者の残存能力が定量化できていないため、要介護者に適した自立移乗支援装置や自立歩行支援装置が不明確である。このことより、生活の質(QOL)が下がってしまっている要介護者がいる。
- (2) 要介護者の残存能力に適した自立移乗支援装置や自立歩行支援装置がないために、残存能力を活かせずに全面的に介護に頼ってしまっている自立不可能な要介護者がいる。
- (3) 開発したものを含む要介護者の残存能力に適した装置

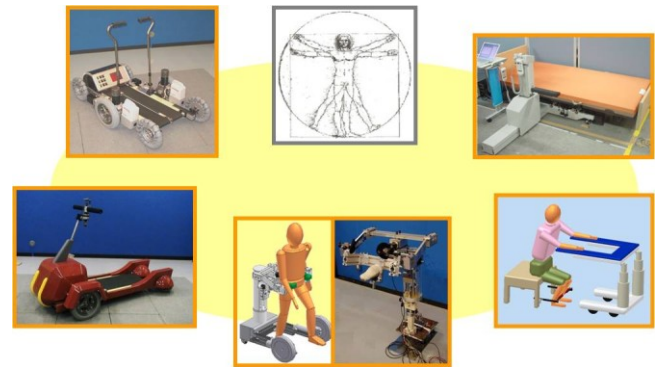


Fig. 1 Human support robots



Fig. 2 Algorithm for selecting appropriate self-transfer equipment based on the physical ability of the user

を、実際使用しながらフィッティングする場が存在しない。

1-2 目的

本研究の目的を以下に示す。尚、本研究においては自立移乗支援に着目した。

- (1) 要介護者の残存能力を定量化し、適した自立移乗支援装置を選定するアルゴリズムを構築する(図2)。
- (2) (1) アルゴリズムにおいて、現在使用されている自立移乗支援器具や機器では適したものがない要介護者の自立移乗支援装置を開発する。
- (3) (1) アルゴリズムに基づき、要介護者の残存能力に適した自立移乗支援装置をフィッティングできる拠点を設立する。

1-3 方法

目的(1)～(3)を達成するための方法を以下に示す。

目的(1)：

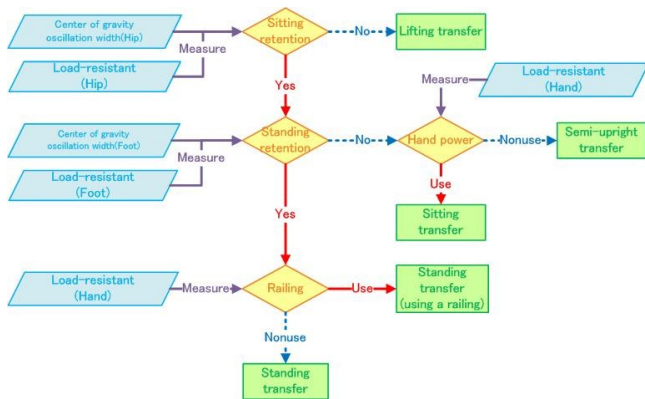


Fig. 3 Transfer classification and parameters for expressing physical ability

- (a) 先行研究や起立動作時の身体負担の実験結果，ヒューマノイドロボットによる関節トルクのデータを基に，起立動作時の身体負担シミュレーションを構築する
- (b) (a) シミュレーションと，既存の移乗支援装置や器具を使用した移乗動作時の身体負担の実験結果を基に，既存移乗支援装置使用時の身体負担シミュレーションを構築する
- (c) 残存能力測定装置を開発する
- (d) (b) シミュレーション結果と (c) 残存能力測定装置で測定した残存能力を比較し，残存能力に適した自立移乗支援装置を選定するアルゴリズムを構築する

目的 (2) :

- (a) 前述 (d) のアルゴリズムにおいて，残存能力と既存の自立移乗支援装置や器具では対応していない所を明確にする
- (b) (a) の結果を基に，既存の自立移乗支援装置や器具では自立移乗することができない要介護者向けに，新規の自立移乗支援装置を開発する

目的 (3) :

- (a) 一般の利用者が自立移乗支援装置やロボットを实际使用しながらフィッティングする拠点「人とロボットのコミュニケーションスクエア：COSMAR (コスマー)」を設立する

目的 (1) (a) については，起立動作時に必要な膝関節トルクと体重に比例関係がある可能性があることがわかっている⁽³⁾ ことから，要介護者の身体特徴と移乗動作のひとつである起立動作に必要な身体能力の関係のシミュレーションを構築することができると考えられる．目的 (3) (a) については，早稲田大学 GCOE プログラム「グローバルロボットアカデミア」の活動拠点である「RT フロンティア」(新宿ラムダックスビル内) の一面に COSMAR を開設済みである⁽⁴⁾．本論文では，目的 (1) (c) の残存能力測定装置の概要と測定精度について論ずる．

2. 残存能力測定装置

2-1 残存能力を表すパラメータ

自立移乗支援のための残存能力測定装置の要求仕様を検討するため，日本リハビリテーション工学協会が発行している「移乗の技術・考え方と方法」⁽⁵⁾ 等参考文献を基に，移乗動作と残存能力を表すパラメータの分類についてまとめたものを図 3 に示す．現在行われている移乗動作は以下の 4 つに分けられる．

- (1) 起立移乗：要介護者の残存能力が高く自立起立が可

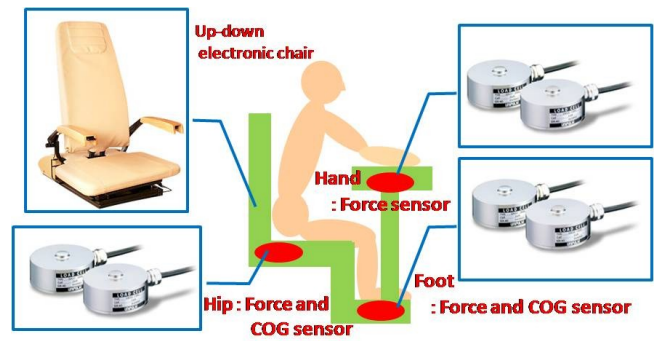


Fig. 4 Physical ability measurement system

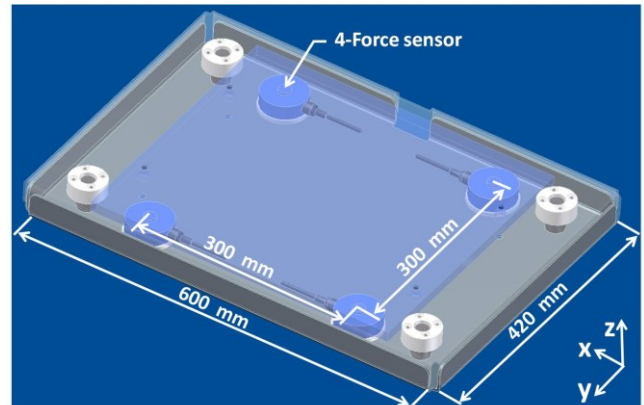


Fig. 5 Foot part of physical ability measurement system

能な場合，支援装置や道具を使用せずに自立起立移乗を行う．

(2) 手すりを使用した起立移乗：要介護者の下肢の身体能力が低下してきた場合でも，上肢の身体能力が高い場合は手すりを使用することで自立起立移乗が可能である．

(3) 座位移乗：要介護者の下肢の身体能力が低く起立保持が不可能な場合でも，座位保持が可能かつ上肢の身体能力が高い場合は，スライディングボード「イージーモーション MEMV」(株式会社モルテン製，図 2 中 Sliding board) 等を使用した自立座位移乗が可能である．

(4) 半立位移乗：要介護者の下肢の身体能力が低く起立保持が不可能かつ上肢の身体能力も低い場合でも，座位保持が可能であればスタンディングリフト「クイックレイザー」(molift 製，図 2 中 Standing lifter) 等を使用した半立位移乗が可能である．

(5) 持ち上げ移乗：要介護者の残存能力が低い場合，ホイスト「パートナー電動走行型 BMA201」(明電興産株式会社製，図 2 中 Hoist) 等を使用した持ち上げ移乗が可能である．

以上で分類した移乗動作と，医師や理学療法士が現在感覚で行っている移乗支援装置選定の手法をヒアリングした結果より，移乗動作のための残存能力測定装置で測定すべき残存能力を表すパラメータを以下に記す．

- ・耐荷重 (足部，臀部)
- ・重心動揺範囲 (足部，臀部)
- ・耐荷重 (手部)

2-2 残存能力測定装置

前項で検討した移乗動作時の残存能力を表すパラメータを計測可能とする残存能力測定装置を開発する．装置の概

要を図4に、開発した装置の足部の詳細を図5に示す。

足部や臀部の耐荷重 (Force) と重心動揺 (COG : Center of gravity) 範囲を計測するシステムとしては床反力計が考えられるが、床反力計は装置が大きく持ち運びに不便である。本研究で提案している残存能力測定装置は、前述 COSMAR 他様々な場所において、

実験段階と実証段階における健康者と高齢者を含めた多くの被験者による実験を必要とする。よって、残存能力測定装置を床反力計が実装されたシステムとしてしまうと、COSMAR 他様々な所への持ち運びが不可能になってしまう。よって、耐荷重と重心動揺範囲を計測するためのセンサとしては、床反力計同等の計測が可能かつ持ち運びの利便性を考慮し、ユニバルス株式会社のロードセル UNBF-500N とロードセルコンバータ LC210 を選定し足部と臀部の4角に設置した。

床反力計は3軸の荷重を測定することが可能であるが、2-1節で検討した残存能力を表わすパラメータより、今回必要なのは立位や座位における足部と臀部の耐荷重であるため、垂直圧縮方向の荷重のみを検知するロードセルとした。また、残存能力測定装置の使用者最大体重を 100[kg] と想定し、安全性を考慮しロードセル1個あたりの定格容量を 500[N]とした。

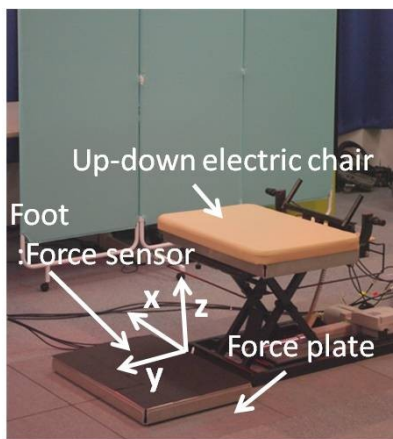


Fig. 6 Physical ability measurement system

3. 測定精度確認実験

3-1 目的

製作した残存能力測定装置の測定精度を確認するため、足部に使用者が立位をとった際にロードセルにかかる荷重と算出した重心動揺振幅について、床反力計で計測した値と比較する。

3-2 方法

残存能力測定装置の足部を床反力計 (OR-6-7-200, AMTI 製) の上に設置し、表1に示す健康被験者6名に残存能力測定装置の足部 (図6) 上で立位をとってもらい、その際に床反力計とロードセルにかかる荷重 (図6中z軸方向) を計測する。また、各々の荷重の値から重心動揺範囲 (図6中x-y軸方向) を算出する。測定回数は各被験者1回とした。

Table 1 Body features of subjects

Number	Gender	Age	Weight kg	Height cm
m1	Male	21	49.6	164.5
m2	Male	23	84.5	175.0
m3	Male	25	62.0	173.9
m4	Male	23	62.0	166.0
f1	Female	21	46.0	155.0
f2	Female	31	70.0	170.0

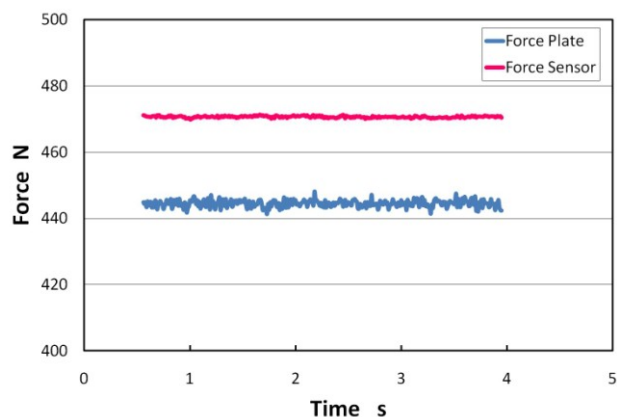


Fig. 7 Measurement data of force plate and force sensor (Subject f1)

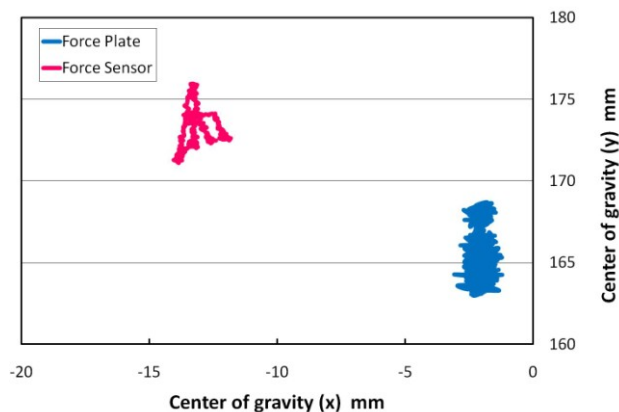


Fig. 8 Center of gravity of force plate and force sensor (Subject f1)

3-3 結果

床反力計と残存能力測定装置のロードセルで測定した荷重の時間変化についての一例を図7に、床反力計の値より算出した重心動揺範囲とロードセルの値より算出した重心動揺範囲についての一例を図8に示す。また、床反力計で計測した荷重とロードセルで計測した荷重の差と、床反力計で計測した値から算出した重心動揺範囲とロードセルで測定した値より算出した重心動揺範囲の差 (x軸, y軸) について各被験者ごとにまとめたものを表2に示す。

Table 2 Difference between force plate and force sensor

Number	Force N	COG(x) mm	COG(y) mm
m1	-23.4	-1.34	-0.246
m2	-40.0	-3.08	-1.53
m3	-41.0	-2.71	0.536
m4	-75.8	-2.67	1.63
f1	-23.4	-1.34	-0.246
f2	-60.8	-2.20	-0.230
Average	-44.1	-2.22	-0.0143

3-4 考察

表2より床反力計との荷重差平均が 44.1[N], 最大差が 75.8[N]であることから、残存能力測定装置足部における荷

重値の測定精度が低いことがわかる。これは、床反力計との差と被験者体重との割合が 4.71~12.2%であることから言える。しかし、図 7 より床反力計とロードセルの値の差が安定していることから、残存能力を測定する際、残存能力測定装置のキャリブレーション手法を検討することにより正確な荷重が測定できるようになると考えられる。

表 2 より、床反力計で計測した荷重値より算出した重心動揺範囲と残存能力測定装置足部のロードセルで計測した荷重値より算出した重心動揺範囲の差平均は x 軸方向が 2.22[mm]、y 軸方向が 0.0143[mm]であることから、残存能力測定装置足部の y 軸方向の重心動揺範囲計測精度が高いことがわかる。一方残存能力測定装置足部の x 軸方向の重心動揺範囲計測精度は低く、これは前述の荷重に対するキャリブレーション手法を検討することで改良する可能性がある。また、図 8 より床反力計で計測した荷重値より算出した重心位置と残存能力測定装置足部のロードセルで計測した荷重値より算出した重心位置に差があるが、これについては、本研究において着目すべきは重心動揺範囲であるため、キャリブレーションを行うことで解決可能と考える。

4. 結言・展望

本論文においては、残存能力に適した移乗支援装置選定アルゴリズムを構築することの重要性を説き、そのための研究アプローチの提示と、残存能力測定装置の仕様検討と製作、測定精度についての確認実験を行った。実験結果より、製作した残存能力測定装置足部の荷重測定精度と x 軸方向の重心動揺範囲測定精度が低いことがわかった。今後は荷重計測のキャリブレーション手法を検討し、再度測定精度を確認する。また、今回は被験者が健常者であったが、今後は高齢者を被験者とした残存能力測定実験を行うことで、残存能力に適した移乗支援装置の選定アルゴリズムの構築を目指す。さらに、各実験を「人とロボットのコミュニケーションスクエア COSMAR」(図 9)で行うことで、一般の利用者が自立移乗支援装置やロボットを实际使用しながらフィッティングする拠点の運営を進める。

謝辞

本研究の一部は文部科学省グローバルCOEプログラム「グローバルロボットアカデミア」と文科省科研費若手スタートアップ「残存能力に適した自立移乗支援装置選定アルゴリズムの構築」(2186007)の支援を受けた。

参考文献

- (1) 藤江正克, “歩行支援ロボット”, 社団法人日本ロボット学会, 日本ロボット学会誌, Vol.14 No.5/1996, pp17, 1996
- (2) 初雁卓郎, 黒子詩穂, 三宅徳久, 樋口淳一, 平田泰久, 小菅一弘, “高齢者の特性に適応する起立支援システム”, 日本機械学会論文集C編, Vol.74-740, pp.186-193, 2008
- (3) Shiho Matsushita, Masakatsu G. Fujie, “Algorithm for Selecting Appropriate Self-transfer Equipment Based on the Physical Ability of the User”, IEEE BioRob2010
- (4) 松下詩穂, 三宅徳久, 藤江正克, “残存能力に適した自立移乗支援装置提供システムの提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009
- (5) 市川冽他, “移乗の技術・考え方と方法”, 日本リハビリテーション工学協会, 2001

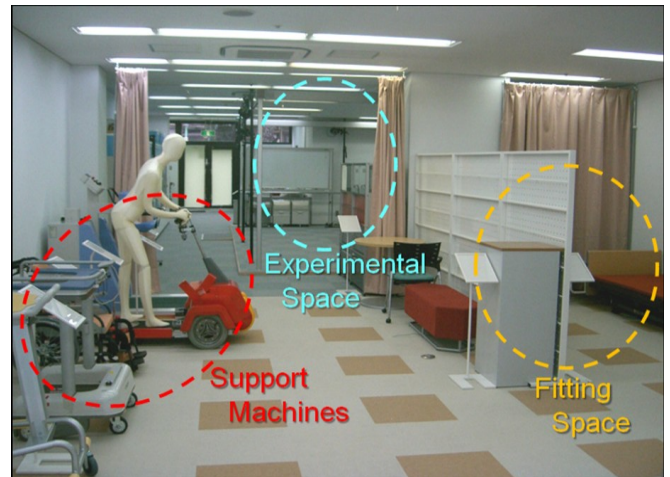


Fig. 9 Communication Square for Man and Robot : COSMAR