

〔論 文〕

車椅子利用者の積極的社会参加を目的とした移乗装置の開発

松尾 重明^{*1}・大神 優佳^{*2}・池内 秀隆^{*3}Development of the lifting device for the purpose of
the active social participation for the wheelchair userShigeaki MATSUO^{*1}, Yuka Ogami^{*2} and Hidetaka IKEUCHI^{*3}

Abstract

In order for wheelchair users to actively participate in society, it is necessary for them to be able to transfer between the bed and the wheelchair on their own. It is necessary for users to be able to do it themselves without the need for caregiving.

We have completed a transfer aid machine by fusing biomechanics knowledge and mechatronics technology.

Then, we clarified the motion trajectory and designed and manufactured a mechanism to reproduce the motion. After that, everything is done in the laboratory, such as wireless operation by Bluetooth and make some electronic circuit to drive the transfer operation mechanism. The widespread use of such devices will not only enable wheelchair users to actively participate in society, but also free caregivers from heavy work and time constraints. It will be possible to have free time, increase each other's ADL, and at the same time, have a fulfilling life. Our laboratory has realized all kinds of ideas, not limited to medical treatment, with the goal of creating machines that are useful to every people.

Key Words : Transfer, Assistance, Wheel chair, Elderly care

1. はじめに

我国の高齢化率（総人口に対する65歳以上人口の比率）は約27.5%にものほり、またそれと並んで高齢者扶養率（生産年齢人口（15歳～64歳）に対する65歳以上人口の比率）は約46%といずれも世界一となっている¹⁾。また、高齢者（65歳以上）の居る世帯は約2600万世帯であり、これは全国のほぼ半数にあたる。さらにその内訳として高齢夫婦もしくは単身世帯がその半数を占めるという現状である²⁾。

医療・福祉施設の介護職員は207万人と米国に次いで世界2位の数を誇っているが、被介護者は650万人以上と言われており、さらに介護施設に入所していない要介護対象者も多数存在している。これら介護施設に入所していない要介護者は自宅療養の形をとっていることから、真の介護を必要としている人の数や、潜在的に介護に携わっている人の数は正確には明らかになっていない³⁾。

これらの要介護者の増加は国における政策的社会福祉の面だけではなく、看護師、理学療法士、介護士等、そして家族など、現場の介助者の負担増につながっている。疫学的調査により医療福祉関連職種のうち7～8割が腰痛経験者であることが明らかになっており、中でも特に移乗介助動作時の腰部への負担が大きいことが明らかになっている⁴⁾。この現状が改善しないまま続けると、体調不良を原因とする離職者が増加してしまうことが容易に想像できるため、早急な対策が必要である。この問題の解決方法として介護士の処遇改善や介護ロボットの開発や活用を促進するなど種々の取り組みがあっているが⁵⁾、一人の患者に対して施すことのできる時間的制約の面から、少々の無理をしても自身の体を利用した方法が素早く作業完了できるという経験知から現場では未だに介助者の技術向上の方法論が主流である。これはこれまで移乗動作に用いられてきた機器の完成度が足りず利用価値を見いだせないことが原因⁶⁻⁹⁾であり、その反面として利用価値の高い機器を開発することで、現場の重労働軽減に貢献できることとなる。

医療福祉機器の中で利用価値の高さや利用頻度の観点からみると、車椅子の価値は非常に高いといえる。要介護者に

^{*1} 機械システム工学科, ^{*2} ミナト医科学株式会社, ^{*3} 大分大学理工学部
令和3年11月2日受理

限らず、車椅子を利用することで日々の生活を充実させている障がい者が多数存在している。その多くは自身で車輪を直接回す自走式であるが、障がいの重さや種々の都合によりジョイスティック型も利用され、近年ではICTを活用した車椅子も急速に研究されている¹⁰⁾。

このように利用価値の高い車椅子を利用する場合、健常な上半身であればその残存機能を有効に利用して容易に移乗動作ができる。しかしながら、障がいの重度から自身の力のみで移動できない利用者も多く、そのような場合、スライディングボードなどを利用して移乗することになる¹¹⁻¹⁵⁾。さらに、電動車椅子を利用している場合には上半身の自由が利かない方も多く、その場合には介助者の助けを借りて車椅子への移乗を依頼することになる。このようにベッドおよび車椅子間を一人で移乗動作を行うことは未だ高い壁となっている。

2. 研究目的

要介護者や障がい者（以下、車椅子利用者）など車椅子を利用することで生活が豊かになることは明らかな事実である。上半身が健常な場合、自力移乗は問題なく行えるが、障がいの程度が重かったり筋力が低下している場合、介助を必要とする。ただし、車椅子利用者の中には、移乗の際の介助を心苦しく思ったり、煩わしく思っている方も存在する。また、排泄時の介助は個人の尊厳を守るために注意を必要とするところである。これら様々な理由から極力ベッドから動こうとしない利用者も多数存在する。これでは「排泄を我慢する」→「なるべく水分や食事を摂らない」→「力が出ない」→「廃用性症候群誘発」→「筋力低下や骨塩量低下」→「フレイル」→「サルコペニア」→「ロコモティブシンドローム誘発」→「さらに動かない」→「痴呆症発症」といった、負の連鎖へ進む可能性が高くなり、社会参加という目標には程遠いものになっていく。

これらの事から本研究では、車椅子利用者が介助者に頼ることなく自分自身だけで移乗動作を完了することができ、積極的な社会参加を可能にする移乗補助器の開発を目的とする。この移乗補助器を開発することで、ベッドおよび車椅子間の移乗だけではなく、トイレへの移乗にも応用でき、利用者の自立支援および社会参加を促すデバイスとなり得る。

3. 移乗動作

現在、車椅子利用者が用いる移乗動作の種類としていくつかの方法があり、ここではその代表例を挙げる。移乗動作を考察する場合、単に動作のみを考慮するのではなく、住宅事情や身体的・心理的な考慮も必要である。

3.1 介助者による移乗

病室および自宅看護の現場で最も行われる移乗方法である。介助者が車椅子利用者の前方から受け止め、お互いの重心距離をできるだけ短くするように態勢をつくることで、安全および安定して移乗が行える。しかしながら、本法は介助者に体力と経験が必要であり、介助者の能力が安全性を左右する。また、介助動作を行うための十分なスペースが必要である。被介護者が力を発生できない場合、介護者が無理な体勢で被介護者を抱え上げることから、大きな筋力発生と腰部への無理な荷重が幾度も繰り返され、ついには腰部への負傷につながっている。

3.2 介助リフト

近年、介助者の負担軽減や安定感からリフトによる移乗支援が進められており、一般家庭でも介護に向けたリフォーム時に天井クレーン型リフトを設置する例も多くなってきた。しかしながら、介助者や移乗する車椅子利用者への負担は少ないとはいえ、大きく重くそして据え置き型がほとんどであり、価格的に高額である。そのため気軽に一般家庭に普及させることは難しい。また、使用時には移乗ネットを臀部と座面の間に挿入する必要がある。その後もリフトを操作するなど介助者が必要であり、車椅子利用者自身による移乗動作はほぼ不可能である。

3.3 トランスファーボード、スライディングボード

トランスファーボードおよびスライディングボードはベッド近くに配置した車椅子間に架け橋のように設置する板のことであり、移乗する際にはその板上で臀部を滑らせて移乗する。滑りやすい素材で製作されているが移乗するには上半身の十分な筋力が必要であり、上半身に障がいがある、または筋力低下した場合にはやはり介助者が必要となる。

4. 移乗補助機器

上述のように既存方法ではいずれも種々の問題点があり、車椅子利用者が自分自身で自立生活や自由行動をするために満足できるものではない。そこで、本研究では下記のような設計目標を立て、開発を進めた。

1. 介助者を必要とせず、ベッドよび車椅子間の一人で移乗動作を完了出来ること。
2. 利用者自身が無線機器操作にて、移乗支援機器を移動制御可能であること。
3. 一般家庭での使用を鑑み、可能な限りコンパクトに収めること。

5. 全体構想

開発において、車椅子およびベッド間の移乗動作を想定し、利用者自身が随意で操作する方法とした。利用者には個々の症状が存在し、行動スピードも多様である。自動動作では不安を感じる面もあるため、利用者個人のタイミングで操作できるように、手動スイッチ方式にすることが有効だと考えた。

本装置の利用方法の概要を述べる。まず、車椅子から移乗補助器へ乗り移る（もしくは、その逆の行動）時、上半身を十分に乗せることができるよう、支柱中ほどで折れ曲がって上部が傾き、車椅子からの乗り込みをやすくする。その時、利用者が安心して体を預けることができるよう、「おんぶ」をされるような方法が適していると判断した(Fig. 1)。

その後傾いた上部が直立に動作し、補助機および利用者の重心が支持基底面内に入ったところで、利用者による手動スイッチ操作により左右回転を行う (Fig. 2)。手動スイッチによりベッドまで回転された後 (Fig. 3)、ベッド座面に臀部が着座するまで手動スイッチにて動作させる (Fig. 4)。

全体の操作手順も単純で直感的に操作できることを目的に、ジョイスティック型スイッチとする。これにより、初めて操作する人も迷わずに動作させることができるようになる。



Fig. 1 Transfer to machine. (Step 1)

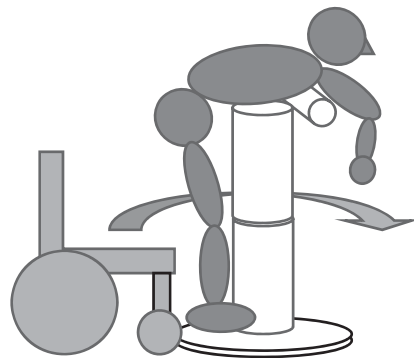


Fig. 2 Turnaround to bed. Used by self-switch. (Step 2)



Fig. 3 Turnaround until bed. (Step 3)

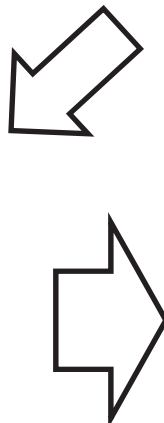


Fig. 4 Sit-down on the bed. Transfer complete. (Step 4)

本機器は移乗動作時にまつわる様々な機能を持たせており、以下、それらの詳細を記す (Fig. 5)。

6. 装置構成

本装置の利用者対象として、症状や重度の多様さから全ての車椅子利用者を対象にすることは不可能であるため「車椅子利用者で上肢にて自身の体を支持できる人」とした。

装置の構成は大別して「利用者の上半身受け部分」「回転部分」「本体安定化部分」「本体移動部分」「通信操作部分」に分かれており、各部分がシステムとして連動するように設計および製作をすすめた。

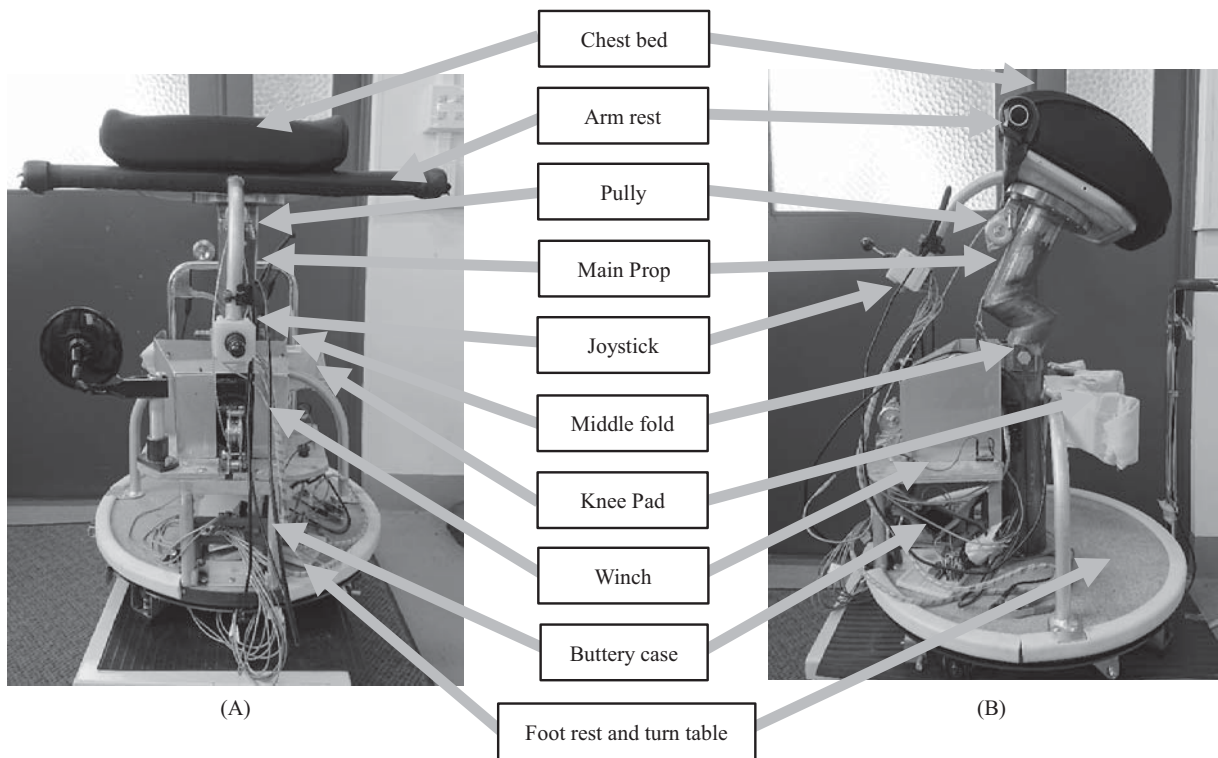


Fig. 5 (A) Front view, (B) Side view of transfer support machine.

6.1 利用者の上半身受け部分

利用者が安心して身をゆだねることができるように装置全体の安定感を高める必要があるが、特に上半身受け部分は、直接触れる部分であるため、装置全体の軽量化を成し遂げながらも強固に作り上げる必要がある。

また、利用者が安定して上体を保持させるために「おんぶ」のように乗り込ませることで、上半身や手指にあまり力を発生できない利用者でも利用しやすくなるように考慮した。

支柱土台部分は $\phi 76.3$, $t=5$ の SS400 材パイプにて製作し、中折れ部分より上部は $\phi 65.0$, $t=5$ の SS400 にて製作した。中折れ部分から上部は前方にクランク形状を持たせ、利用者が上体を預け転回する際の重心が装置の中心近くになるようにした (Fig. 6)。前方に傾いた中折れ上部にある天板に上体をあてがい、天板から左右に伸びたバー (A5052, $\phi 25$, $t=2$) に両腕を「おんぶ」するように乗せる。乗せた腕を自然に伸ばしたところで操作スイッチを操作できるように配置した。天板部には低反発クッションの緩衝材を用いた。

上体を預けた天板は中折れ部を回転中心として上方へ動作する。この時、装置の中折れ部から上部の重みおよび利用者の体重が作用したとしても、小型ウインチでも十分に動作するよう動滑車 (Fig. 7) を用いた。

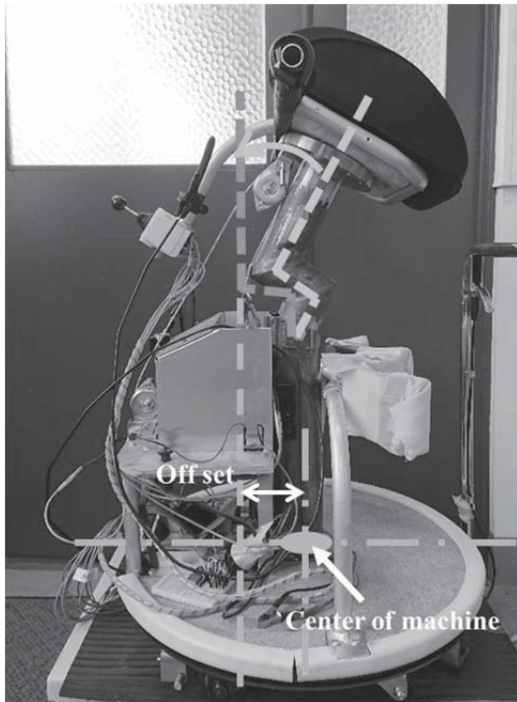


Fig. 6 Off set center for when user ride. It was offset to bring the center of rotation and the center of gravity closer.

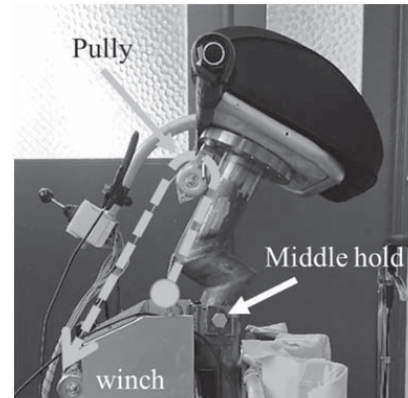


Fig. 7 Using the principle of moving pulleys to pull with a small motor

6.2 旋回部分

旋回部分は利用者自身が脚を移乗補助装置に乗せ、上体と共に回転する部分である。軽量化と同時に強度を必要とするためアルミハニカム材を用いた。なお脚が直接接触するため、コルク材を貼り安心感を持たせた。また、旋回部分外周全周に衝撃吸収するためのウレタンパッドを貼付した (Fig. 8)。

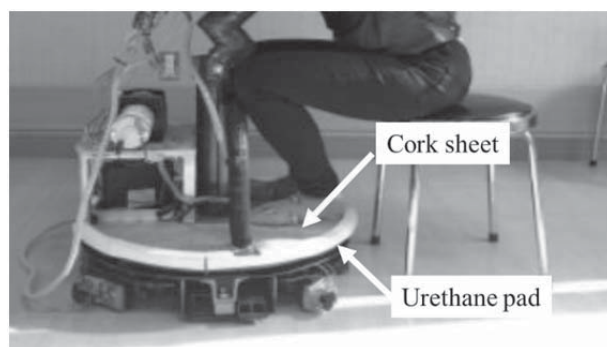


Fig. 8 Paste the cork sheet top of AL honeycomb, and urethane pad on the outer turntable.

6.2.1 旋回機構

旋回機構はアルミハニカム材下方外周に沿って設置したラックを、最下部に設置した2基のモーター (FUZHOU BRINGSMART INTELLIGENTTECH 株式会社, XPJGY-40rpm12V, Torque=2.2 [Nm]) にて回転させる方法をとった。必要トルクは Fig. 9 および、その他条件は下記のようにして求め、十分であることを確認した。

回転部分より上部の重さ30 [kg] + 利用者体重70 [kg]=100 [kg]

※モーター2基なのでモーター1基あたり、 $W=50$ [kg]/基

転がり摩擦係数 μ : 0.01

モーメントアーム L : 300 [mm]

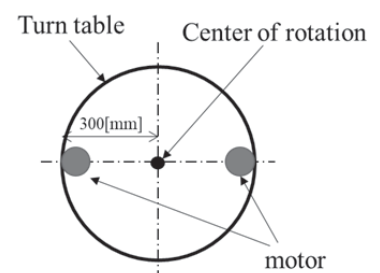


Fig. 9 Calculation conditions

$$T = W \cdot 9.8 \cdot \mu \cdot L$$

$$= 1.47 \text{ [Nm]}$$

6.2.2 アウトリガー

本体安定化部分は移乗補助装置を利用する際に十分な安定感を得ることを目的に、収納式のアウトリガー機構を取り付けた。アウトリガーは支柱内に収まる1基のモーター（ツカサ電工株式会社 DC モーター，TG-85C-KU-36-KA）を用いて、ラックアンドピニオン構造により伸縮を可能とし、その操作はタブレットにより可能とした（参照：6.5 通信操作部分）。その構造を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。

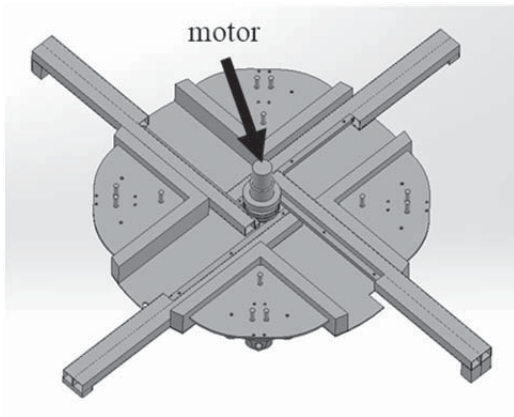


Fig. 10 Outrigger open

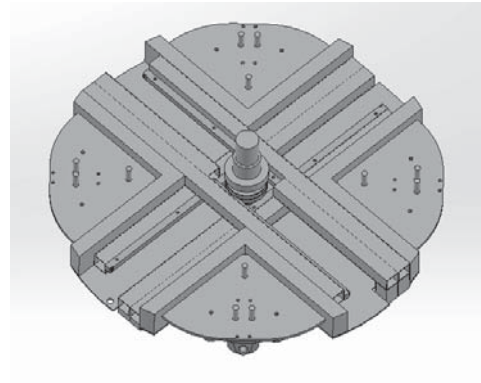


Fig. 11 Outrigger close

アウトリガー機能を持たせた結果、支持基底面積が $0.16 \text{ [m}^2\text{]}$ から $0.36 \text{ [m}^2\text{]}$ へと拡大し、動作時の主観的な安定感が格段に向上した。主観的だけでなく、具体的に移乗動作中の重心移動を明らかにするために荷重計測を行った。計測方法はアウトリガーを伸ばした状態で、それぞれの脚先端部の接地面にロードセルを配置し、アンプ→A/Dボード→PCによりデータ収集した。データ収集にはLabVIEW（National Instruments, USA）を用いてリアルタイムで計測および確認ができるソフトウェアを構築した（Fig. 12）。

実験方法は被験者（ 1.6 [m] ， 55 [kg] ）を Chair-1（Loadcell Ch. 3）から Chair-2（Loadcell Ch. 4）に移乗を行う方法をとった。なお、サンプリングレートは 0.1 [Hz] とした

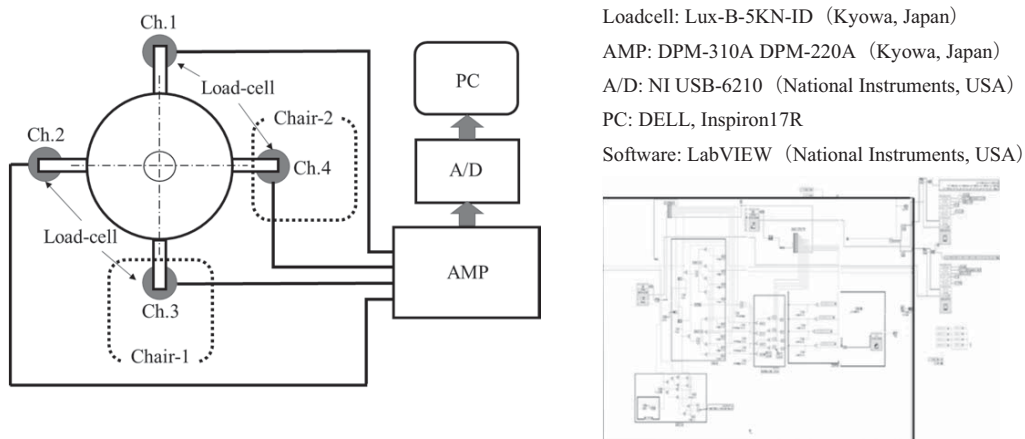


Fig. 12 Measurement system for center of gravity while transfer

6.3 計測結果

移乗補助装置を用いた移乗動作時の重心移動の様子を Fig. 13 および Fig. 14 に示す。Fig. 13 の破線はアウトリガーを有した支持基底面積、1 点鎖線はベースプレートのみの場合の支持基底面積を示す。実機ではベースプレートの支持基底面は角下部に移動用の存在しており、アウトリガーを広げた面と角度が異なるため、ここでは比較しやすいように回転させて表示している（点線）。

その結果、アウトリガーを付加していないベースプレートのみの支持基底面は狭く、重心がはみ出しているが、アウトリガーを付加したことで支持基底面積が拡大され、支持基底面に収まっていることがわかる。これにより安定感が増したことがわかる。

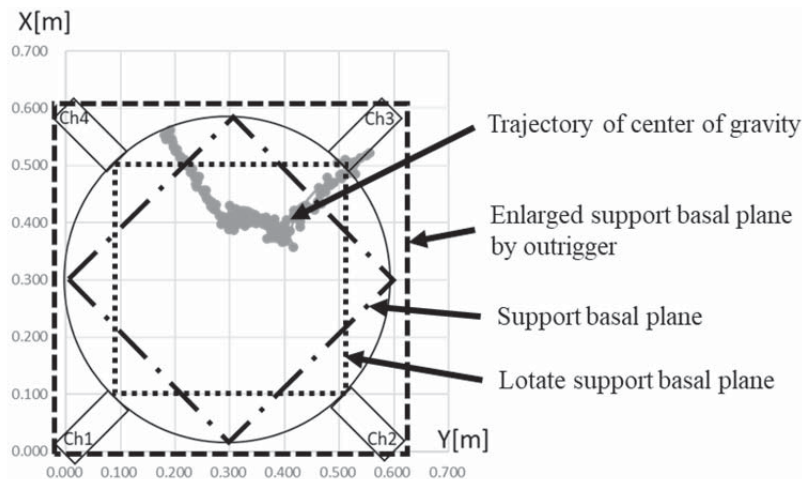


Fig. 13 Center of gravity while transfer

Fig. 14 に移乗動作中の負荷量の変化を示す。A 点から B 点までの部分は傾いた装置の上部がウィンチにより持ち上げられるタイミングであり、C 点は利用者を引き上げる際のウィンチのワイヤーのたるみが無くなり、衣服などのズレなどで発生する変化だと思われた。その後の B 点から D 点は旋回しているタイミングであり、Ch. 3 (Chair-1) から Ch. 4 (Chair-2) への移乗時の重心が安定していることがわかる。

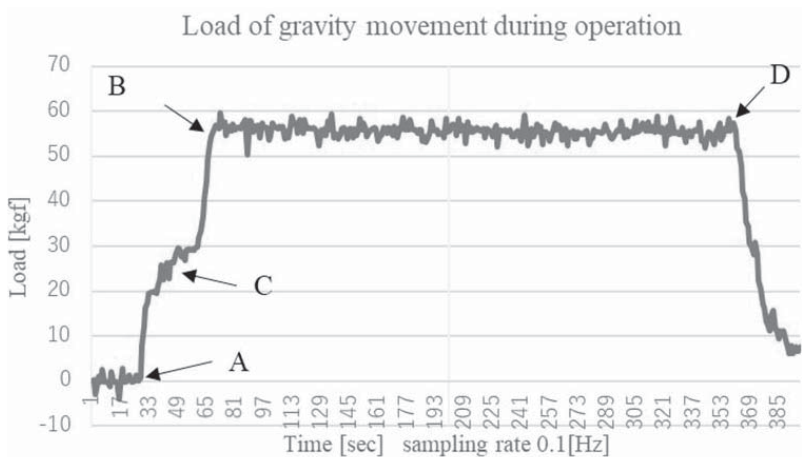


Fig. 14 Load of gravity movement during operation. It's stable while moving transfer machine.

移乗動作時の重心移動を明らかにすることで、アウトリガーの必要性と支持基底面内で動作していることを明らかにし、安定して動作できていることが明らかになった。利用者の安全が何よりも最優先であることから、この安定した装置動作は期待通りの結果となった。

6.4 本体移動部分

開発した移乗補助装置を常時ベッド横に配置していたり、重量が60 [kg]であることを考慮すると、利用者本人が手動にて移動させることは現実的ではなく、また、介護者に移動を依頼することは開発目的から外れるため、Bluetooth通信による無線操作での移動を可能とした。

移動用車輪は、ベースプレート下向きにDCモーター（TG-06D-BG-700-KA、ツカサ電工株式会社）により車輪を回転させるユニットを製作し4か所に設置した（Fig. 15）。車輪には通常車輪よりも自由度の高い動作が必要となるためオムニホイール（TYPE2581、富士製作所）を採用した。これら移動ユニットはスプリングにより移乗補助装置と連結され、移動時には装置本体は地面とのクリアランスが保持される構造となっている。一方、利用者が体重を乗せるとこのスプリングは圧縮され、装置仮面全体が地面と接地し、安定して移乗動作を行うことが可能となっている。

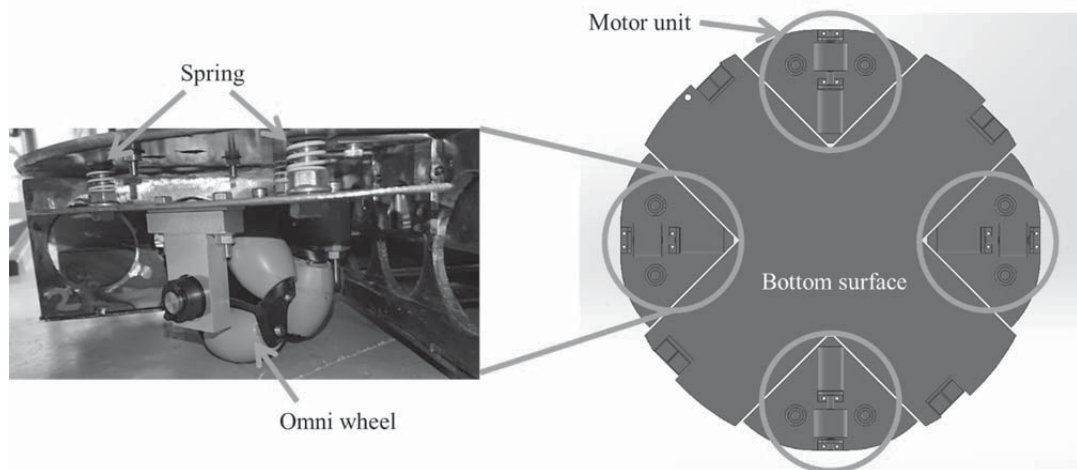


Fig. 15 The omni wheel is installed in the motor unit. This unit has more freedom than regular wheels.

6.5 通信操作部分

移動操作装置は汎用性を持たせるため Android OS のゲームコントローラーアプリ（Fig. 16 android application : Arduino Bluetooth Controller）を用いて、タブレット PC だけではなくスマートフォンによる操作が可能となるようにした。この手法を採用することにより、特別なコントローラーの開発も必要なく、将来のデジタルコネク社会にも対応できることから最善と考えた。これにより容易にベッドサイドまで移動させることが可能となった。



Fig. 16 android application: Arduino Bluetooth Controller

通信は Arduino 用通信モジュール（ESP32-DevKitC）を用い、シリアル通信にて Arduino 本体へ送られる。その後、各モーターは PWM 制御にて動作実行される。その全体構成を Fig. 17に示す。

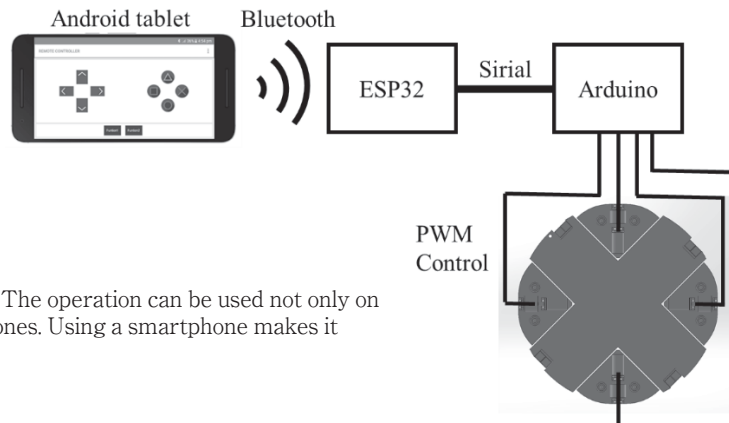


Fig. 17 Command system. The operation can be used not only on tablets but also on smartphones. Using a smartphone makes it familiar and easy to use.

7. 考 察

車椅子利用者の中には多くの才能が埋もれており、その方たちの社会参加へのハードルを下げることを目標に本機の開発を行った。上体を持ち上げる機構として介助者が抱き上げるような形が理想的であるが、利用者本人の使用しやすさおよび安全面や機械操作することを考えると「おんぶ」の形で持ち上げることが最適であると判断した。このスタイルはいくつかの製品も採用している方法^{16,17)}であり、安定度が高く、適していると思われる。ただし、これまでの製品は利用者本人ではなく、介助者が操作する手法となっている。

ここまで完成した装置の使用感として、移乗動作を行う際、ベッドから車椅子への移乗は高さの関係から比較的容易であるが、車椅子からベッドへの移乗する際は車椅子の座面が低いことから上体を装置にあずける動作の時に少々困難さを感じられた。また、足を乗せる天板の高さが車椅子の足置きと同等、もしくは少々高い位置になることから、足を乗せるには利用者が自身で脚を持ち上げることが必要である。また、脚を持ち上げることで股関節部分の屈曲が強くなり、移乗装置におんぶしにくくなるということも分かった。これは改善を要する点となった。

移乗装置に身体を引き上げる機構として動滑車の原理を用いた。この機構により、小型モーターを使用したウィンチでも十分な引き上げトルクを得ることができた。社会実装を考えたとき軽量化およびコスト削減は必須であるため、使用部品のコストおよび消費電力の観点からもこの機構は最適だと考えられる。

本機を使用する場所として、公共施設のみならず一般家庭での利用を想定した。そのため可能な限り軽量かつ一般家庭のドアなどの通過および開閉に支障がないような寸法（幅600 [mm]）に抑えた。移動用の車輪となるオムニホイールは自由度が高く、小回りが利くものであるが、場合によっては意思とは違う動きをすることもするため、正確でコントロールしやすい車輪も試す予定である。また、移動時にはオムニホイールを回すモーターユニットと装置本体はバネにより床とのクリアランスを保っているが、利用者が体重を乗せるとそのクリアランスは無くなり、装置本体が床に着地する構造をとった。このことにより、利用者が本装置を使用している際の安定性を確保し、利用者に安心感を持たせることができた。しかしながら移乗する際の車椅子と移乗補助装置との距離から起こるアンバランスさが安全面で大きな問題となるため、さらなる安定感を得るためアウトリガーを設置することにより問題解決した。その効果を実験により安定して移乗動作ができることを明らかにした。ただし、社会実装する際は利用者の体重が未知数であるため安全率を高めた設計が必要だと思われる。

装置移動操作についても普及率の高いスマートフォンとそのアプリを用いて操作できるようにしたことにより、コストダウンと同時に、高いユーザーフレンドリー感を得ることができた。近い将来、デジタルコネク트가さらに進んだ時、ヒトと様々なモノがつながっていくことを考えると、この選択は今現在で最善と思われる。

総体的にこの移乗補助装置の各部機能は予想通りの動作と効果を得ることができたと思われる。

今後の目標としては、車椅子利用者全員に対して完全に介護者が不要になることを目指しているが、利用者は多様な症状の部位やグレードなどが異なるため、ある程度限定された範囲内での利用を進めたい。現段階の移乗補助装置の性能を理解し、利用して生活がしやすくなる方に利用してもらい、そこから意見を集約し、さらなる開発をすることが利用者に寄り添った開発を出来ると考える。最終目標とする「完全な介助者不要」ではなくとも、介助者が少し介入することで、十分な役目を果たし利用者が社会参加できるきっかけになれば、現時点でも価値はあると判断したい。現状に満足することなく、今後もひきつづき開発を進める所存である。

文 献

- (1) 国際比較統計, GLOBAL NOTE, 2018年度版
- (2) 厚生労働省 2019 年国民生活基礎調査の概況 結果の概要 I 世帯数と世帯人員の状況 2019年6月
- (3) 井上剛伸, リハビリテーション病院における移乗介助方法と腰痛に関する調査, 国立身体リハビリテーションセンター研究紀要, 20, 61-70, 1995
- (4) 松本征徳, 各職種間における作業姿勢と腰痛について, 日本腰痛研究会雑誌, 4 (1), pp.31-35, 1998
- (5) 厚生労働省, 介護ロボットの開発・普及の促進
- (6) 勝平純司ら, 移乗補助具の使用, 種類, 使用姿位の違いが移乗介助動作時の要部負担に与える影響, 人間工学 Vol.46, No 2, pp.157-165, 2010
- (7) 三浦雅明ら, 肢体不自由者の移乗 - 車椅子から立位での移乗 -, 老年歯学, 第22巻 第2号, 2007
- (8) 三浦雅明ら, 肢体不自由者の移乗 - 車椅子から座位での移乗 -, 老年歯学, 第22巻 第3号, 2007
- (9) 長谷川昌士ら, 脳卒中片麻痺者のベッドから車椅子への移乗動作, 日本義肢装具学会誌, Vol.27, No. 4, pp.221-227, 2011
- (10) 中村大介ら, 動作解析を用いた移乗介助動作と介助空間に関する実験, 日本建築学会計画系論文集 第589号, pp.47-54, 2005
- (11) 福祉用具の国内での普及および輸出に関する研究, 国立社会保障・人口問題研究所内研究報告 第74号, 2017
- (12) 村木貴洋, 重度障がい者が ICT を活用し機能改善と社会参加を獲得した一症例 社会資源の制限が与える影響も含めて, 第51回日本理学療法学会大会(札幌), P05, 2016
- (13) 溝内源太ら, 日常生活の自立が主介護者の介護負担感に与える因子の検討, 第51回日本理学療法学会大会(札幌), P10, 2016
- (14) 平野 哲ら, 移動を支援するロボット, 日本リハビリテーション医学会 53, pp.952-954, 2016
- (15) 平野 哲ら, リハビリテーションロボットの開発現況, 日本義肢装具学会誌 Vol.29 No. 2, pp.90-97, 2013
- (16) 小林裕介ら, 車椅子使用者が介助者なしに使用可能な移乗補助器具の開発, 日本機械学会論文集 Vo.81, No.831, 2015
- (17) 愛移乗くん 株式会社アートプラン <http://www.artplan.ne.jp/fukusikiki syouhinsetumei.html>