

歩行困難高齢者のための外出支援機器の開発

Development of new personal mobility device supporting going-out for elderly people with difficulty in walking

米田郁夫 ^{*1}	繁成剛 ^{*1}	高橋良至 ^{*1}
YONEDA Ikuo	SHIGENARI Takeshi	TAKAHASHI Yoshiyuki
鈴木哲郎 ^{*2}	李虎奎 ^{*3}	小澤温 ^{*4}
SUZUKI Tetsuro	LEE Hokyo	OZAWA Atsushi
河合俊宏 ^{*5}		
KAWAI Toshihiro		

要旨

日常生活を送るうえで、自由に移動できることは最も重要で基本的な動作である。したがって、加齢によって歩行が困難になった場合、何らかの技術的補償手段を講ずる必要がある。現在、歩行困難になった高齢者を支援する機器として杖、歩行器、車いすなどがある。

高齢者にとって杖や歩行器は転倒のリスクがあるが、車いすを使うと比較的長い距離を安全に移動することができる。しかし、車いすは、基本的には下肢を動かすことなく移動する機器である。

下肢機能が少しでも残っているのであれば、日常生活において下肢を動かして移動する方がよい。下肢を動かすことによって下肢機能だけでなく健康も維持できると考えられるからである。

こうしたことから、本研究では、自転車と同じように、高齢者が座位でペダルを漕ぎながら移動する新しいパーソナル・モビリティを開発した。開発した機器は4輪方式で、電動アシスト駆動装置を装備しており、歩行困難な高齢者でも安全に楽に外出することができる。

キーワード：支援技術、新しいパーソナル・モビリティ、高齢者、開発

*1 東洋大学ライフデザイン学部人間環境デザイン学科

*2 東洋大学ライフデザイン学部健康スポーツ学科

*3 兵庫県立福祉のまちづくり研究所(元人間環境デザイン学科)

*4 筑波大学(元生活支援学科)

*5 埼玉県総合リハビリテーションセンター(人間環境デザイン学科非常勤講師)

1. はじめに

われわれは日常生活において、食事をする、トイレに行く、お風呂に入る、団欒する、仕事に行く、買物をする、・・・その他数えあげればきりがないほどいろいろな活動を行う。そうした活動を行うとき、必ず「(歩行による)移動」が伴う。われわれの日常生活は「移動すること」によって支えられているとあってよい。「移動すること」はあまりにも当然過ぎて、身体に障がいがない人は普段意識することはないかもしれない。けがをしたり病気になったりして移動に関して何らかの不自由さが生じたとき、「移動できること」の重要性を認識させられる。

このように、移動は、われわれの日常生活においてきわめて頻繁に行われる動作である。移動は、日常生活の根幹をなす動作といってもよいであろう。そのため、移動の自由度が制限されると、日常生活に大きな支障を来す。移動が困難あるいは不可能になると、他のほとんどの生活動作を行うことも困難になるからである。

こうしたことから、加齢や身体障がいのために歩行が困難あるいは不可能になった人ができるだけ支障なく日常生活を送れるようにするためには、円滑に移動できるよう技術的手段が講じられることが必要不可欠である。

歩行機能が低下した人たちの日常的な移動を支援する機器としては、杖、歩行器、車いすなどがあり、歩行機能程度や生活条件に合わせて選択して使用する。

杖や歩行器は、歩行を補助する用具であり、比較的長い距離移動する場合は、身体的負担が大きいこともある。また、場合によっては、転倒のリスクがある。

車いすは、歩行機能がかなり低下あるいは不可能になった人が使う歩行代替用具といえる。車輪が効率よく転がるための環境が整備されていれば、車いすを使って比較的長い距離を安定に移動することができる。したがって、環境条件が整っていれば、外出支援機器として有効である。

ところで、車いすは、基本的には下肢を動かすことなく移動する機器である。下肢機能が少しでも残っているのであれば、日常生活の中で下肢を動かすことは、下肢機能維持および健康維持のためにも重要であるので、外出支援機器として車いすを選択することが必ずしも最適とはいえない。

以上のことから、本研究は、歩行機能が低下した高齢者等の外出を支援するために、下肢を動かしながら、安全かつ身体的負担の小さい移動支援機器を開発することを目的にしている。

2. 下肢駆動式外出支援機器開発の意義

本研究は、杖あるいは歩行器を使う程度の高齢者の日常的な移動とくに外出を支援するための機器の開発を目的としている。最終的な開発目標は、座位で下肢を動かしながら電動あるいは電動アシストにより安全かつ楽に移動できる移動補助機器である。いわば、従来の自転車の代替となる移動支援機器の開発である。

自転車は身近で便利な外出支援機器の1つであり、ほとんどの人が使用した経験を持つであろう。しかし、高齢になると通常の自転車は使いづらくなると考えられる。そこで、東京郊外K市の老人クラブで活動している健全な高齢者205名について自転車使用に関する調査を行った。調査方法は、各

設問において選択肢を回答する方式および自由意見の聞き取りである。内訳は、男性58名(63～94歳：平均年齢76歳)、女性142名(60～98歳：平均年齢74歳)、回答なし5名である。主な調査項目に対する回答結果を図1～図4に示す。

高齢者でも自転車を利用している割合は結構高く(137/205 = 67%) (図1)、買い物、通勤、健康づくりなどのために、手軽で便利な移動補助手段として利用している(図2)。自転車を利用しない理由は、加齢のため危険が大きくなったことが最も多いが、バイクや車を利用するためという理由も多い(図3)。そして、自転車に乗っている人の半数以上が過去5年くらいの間に転倒や接触事故などを経験しており(図4)、自転車は手軽で便利な反面、高齢者にとってはリスクを伴う移動補助機器であることがわかる。なお、加齢により現在は自転車を使っていない人も皆かつてはそれに乗っていたと記述回答している。

記述回答においては、ゆっくり走れる、転倒しにくい、漕ぎやすい、足が直ぐ着ける、荷物を運べるといった「自転車」があれば使ってみたいという意見もあった。

以上のことから、従来の自転車に代わる安全で楽に使える移動支援機器を開発することができれば、高齢者の日常生活において外出などを支援する移動手段となりうると考えられる。また、下肢を動かしながら移動することを前提とするので、下肢筋や関節の機能を維持・向上させるとともに、血液循環が促進される効果も期待できる。それにより、介護予防にも寄与すると考えられる。

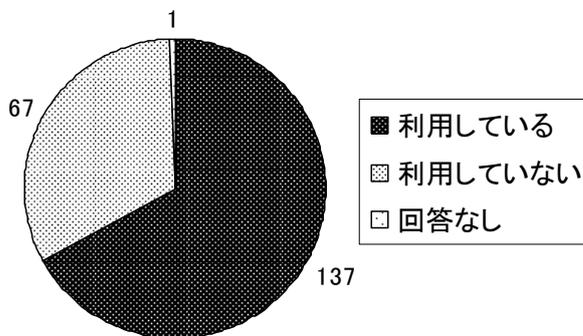


図1 自転車利用状況

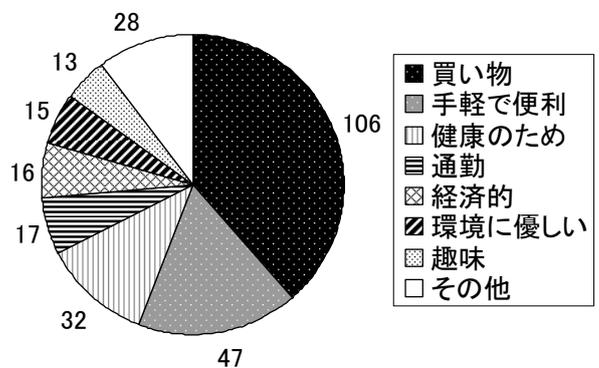


図2 自転車利用の目的・理由(複数回答可)

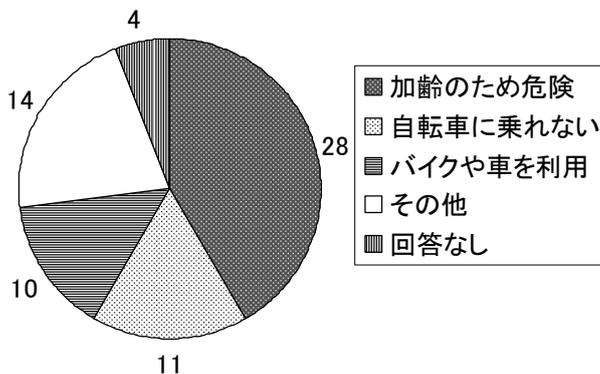


図3 自転車を利用しない理由

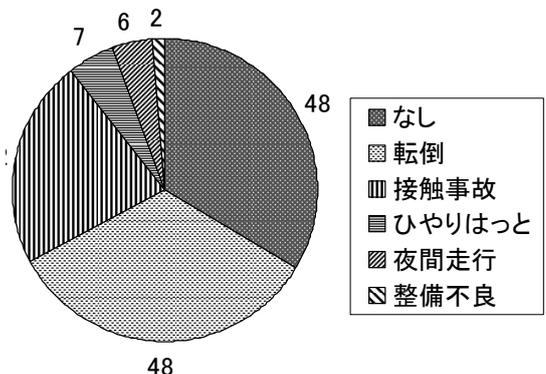


図4 危ない目に遭った経験(過去5年間)およびその理由

3. 足駆動による4輪型電動アシスト式移動支援機器の開発

自転車は、最も身近で手軽な移動支援機器であり、多くの人が買い物で街に出かけたり、健康増進あるいは気分転換のために外出したりするときなどに活用されている。

ところで、従来の2輪型自転車は、転倒しないで安定な走行を行うためには、ある程度のスピードを維持する必要がある、停止すると転倒するので、足を素早く着地させる必要がある。そのため、加齢により、筋力が低下し、瞬発力も低下すると、自転車が乗りづらくなる、あるいは乗れなくなる。こうした問題を解決するために、電動アシスト装置を装備したり、3輪型にしたりした自転車(図5)の開発なども進められている¹⁾。

筆者らも、従来の自転車の長を活かしながら問題点を解決することを目標に置いて、高齢者のための新しい日常的な外出支援機器の開発に着手した。

3.1 開発する外出支援機器の仕様

本研究の目標は、筋力が衰えて歩行能力が低下し、瞬発力も低下した高齢者が安全で楽に外出できるように支援する機器の開発である。そして、その機器は、通常の自転車のように、足を使って駆動しながら走行するシステムである。

筋力と瞬発力が低下した高齢者が、通常の自転車を、転倒しない程度のスピードを維持しながら走行させ、また、停止する際に転倒しないよう素早く足を着地させることは難しい。そのため、駆動系に電動アシスト・システムを導入し、車輪は3輪以上にすることが望ましい。

3.2 第1次試作と使用評価

3.2.1 試作結果

本研究では、車輪配置を前後2輪ずつの4輪とし、通常の自転車のように、足でペダルを漕ぎ、その回転力をチェーンによって駆動輪に伝達して推進する外出支援機器の開発を目指す。なお、脚力の衰えた高齢者が使うことを考慮して、ペダルを漕ぐ力を電動モータでアシストするシステムとする。

図6に外出支援機器の第1次試作モデルを示す。前輪2輪は操舵輪としての機能を持ち、後輪2輪は駆動輪としての機能を備えている。車輪は、4輪とも径(呼び径)は12インチで空気圧式である。



図5 電動アシスト式3輪自転車の例



図6 外出支援機器(第1試作モデル)

本機の推進力を生み出すメカニズムは以下のとおりである。まず、ペダルを漕ぐことによって、ペダルに連結された大径スプロケットが回転する。後輪側にも小径のスプロケットが取り付けられている。2つのスプロケットにはチェーンが掛けられているので、ペダルを漕ぐ力は最終的には後輪2輪を回転させる力になる。なお、後輪側の小径スプロケットと後輪2輪の車軸の間には、自動車と同様、差動歯車(デファレンシャル・ギア)装置が取り付けられている。それによって、旋回時の左右後輪(駆動輪)の適正な回転数の差が自動的に作られ、スムーズな旋回ができるようにしてある。また、大径スプロケットには、ペダルに後退方向の力が加わると空転する(フリーホイール)機構を装備しており、それにより、走行中ペダルを漕ぐのを止めても慣性で走行し続けることができる。したがって、駆動については普通の自転車と同様の操作感が得られる。

ペダルと大径スプロケットの間には電動アシスト装置(サンスター技研製S02)を組み込んでおり、脚力が低下した高齢者でも軽い力で本機を推進させることが可能である。モータはブラシレス・タイプで出力235Wである。電源は、充電式のリチウムイオン電池(容量2.5Ah)を用いている。

本機の場合、操舵輪は2輪であるので、普通の自動車と同様の機構によって操舵を実現する。その機構を図7に示す。左右前輪はそれぞれ、垂直軸に対して旋回自由度を持つナックルを介してフレーム本体に取り付けられている。ナックルからはナックルアームが出ている。そして、左右のナックルアームはロッド1(タイロッド)によって連結されている。それにより、左右前輪は連動していろいろな向きにすることができる。ここで、運転者がハンドル(ステアリング・ハンドル)を操作すると、ステアリング・シャフトが回転する。ステアリング・シャフトの下端からはステアリング・アームが出ている。そして、ステアリング・シャフトと片側のナックルアームはロッド2で連結されている。

したがって、運転者がハンドルを回すと、ステアリング・シャフトが回転し、それに伴いステアリング・アームも回転し、その回転がロッド2によって片側のナックルアームが動かされ、それにより、左右駆動輪の向きが連動して変わり(図8)、本機を旋回させることができる。

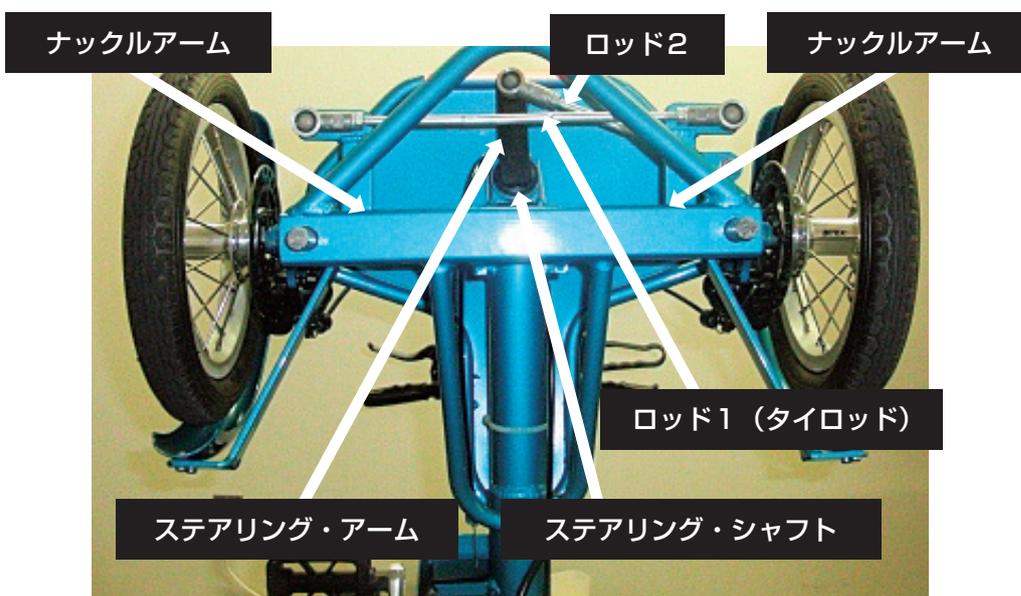


図7 前輪操舵機構



図8 前輪操舵角の例

本機の重量および寸法諸元は以下のとおりである。

重量：294N（質量30kg）

全長：1150mm

全幅：570mm

全高：935mm

3.2.2 使用評価

試作した第1次モデルについて、試験走行および使い勝手に関する評価を行った。その結果、水平路面および坂道路面において、ゆっくり発進・走行することが可能であった。その際、ふらつくこと

はまったくない。また、普通の自転車と違って、足を地面に着かなくても停止状態を安定に維持することが可能であった。とくに、上り坂での走行において、本機の有効性が確認された。通常の2輪型自転車ではいわゆる立ち漕ぎをしなければ通り抜けることができない上り坂でも、試作した後輪駆動モデルでは、座席に腰掛けた状態で楽に安定に走行することが可能であった（図9）。

ただし、第1次試作モデルの使用評価によって、以下のような解決すべき課題も見つかった。

(1) ハンドル高さ

ハンドル位置は地上より900mmであったが、高齢者が使用することを考えると低すぎると思われる。ハンドルが低いと、その分搭乗者の座位姿勢は前傾姿勢になってしまう。そのため、走行中に前方を見るには、頭部を起こす必要があり、高齢者にとっては頸への負担が大きくなることが考えられる。ハンドル位置をもう少し高くして、楽な姿勢で前方を視認できるようにすることが必要である。

(2) ペダル・クランクの長さ

第1次試作モデルでは、足漕ぎペダルを動かすためのクランクの長さは150mmにしたが、高齢者が使用することを考えると、少し長いと思われる。クランクが長いと、その分ペダルを動かすための下肢の力は小さくなるが、動きは大きくなる。そのことが、高齢者にとっては操作しづらくなる懸念がある。したがって、クランクを少し短くして操作しやすくする必要があると推測される。クランクを短くすることにより、ペダルを動かすのに必要な下肢力は大きくなるが、本機は電動アシスト・システムを装備しているので、その問題は生じないと考えてよい。

(3) 懸架機構

第1次試作モデルでは、車輪と車体との間に懸架機構を装備していなかった。本研究において開発を目指す移動支援機器は、走行速度を大きくすることは想定していないので、路面からの振動については、座席のクッションによって緩和できると考えられるが、小さい凹凸を通過あるいは乗り上げる際などには、車輪と車体との間に懸架機構を装備して車体の傾きなどを吸収できるようにした方が走行安定性は増す。そのため、改良試作においては、何らかの懸架機構を装備することが望ましい。



図9 上り坂における試験走行

(4) ペダル操作による後退機能

第1次試作モデルでは、ペダルを漕いで後退走行する機能を備えていない。そのため、繰り返し操作などにおいて、本機器を後退させるためには、いったん降車して後方に押し進めるか、あるいは座席に座った状態で、足で地面を前方に蹴って後方に進める必要があった。こうした操作は、足腰の機能が低下した高齢者にとっては、少し煩わしく感じられる可能性がある。当然のことながら、使い勝手を低下させる要因にもなりうる。したがって、本機のような外出支援機器においては、座席に腰掛けた状態で、ペダルを漕いで本機器を後退させる機能の具備が是非とも必要であるとの結論を得た。

3.3 第1次試作の総合評価

開発・試作した電動アシスト式4輪型外出支援機器は、ゆっくり発進・走行しても、ふらつくことがなく、また、停止しても転倒する心配はまったくない。さらに、上り坂でも座席に腰掛けたまま足漕ぎで楽に移動することができる。

以上のことから、電動アシスト式4輪型移動支援機器は、高齢者の外出支援機器として有効と考えられる。実用性も高く評価できるものである。ただし、実用に耐えるものにするためには、第1次試作モデルの使用評価で明らかになった課題を解決するための改良開発が必要である。とりわけ、後退走行機能を備えることは必要不可欠である。

4. 改良試作 (第2次試作)

第1次試作モデルの使用評価によって明らかになった課題を解決する形で改良試作 (第2次試作) を行った。

すなわち、以下の改良を加えることとした。

- ・ハンドル位置をより高くする。
- ・ペダルのクランク長さを第1次試作モデルより若干短くする。
- ・前輪2輪と車体の間にバネによる懸架機構を装備する。
- ・乗車したままペダルを漕いで前進および後進できる機能を装備する。



図10 第2次試作モデル

4.1 第2次試作結果

制作した第2次試作モデルを図10に示す。電動アシスト・システムを付加したペダルを漕いで走行させる基本コンセプトは第1次試作モデルと同様である。また、寸法および重量ともに第1次試作モデルとほぼ同等である。

以下に、第2次試作モデルにおいて改善した概要を示す。

(1) 寸法の変更

第2次試作モデルでは、搭乗者が走行操作をするとき、上半身を起こして前方を見やすい座位姿勢を確保するため、ハンドル高さを、第1次試作モデルのそれより80mm高くし、980mmとした（図11）。また、ユーザーとして、下肢機能が低下した高齢者を第1に考えたので、ペダルを漕ぐ際の下肢動作範囲を小さくするため、ペダル・クランクの長さを、第1次試作モデルのそれより20mm短くし、130mmとした（図12）。

(2) 懸架装置の付加

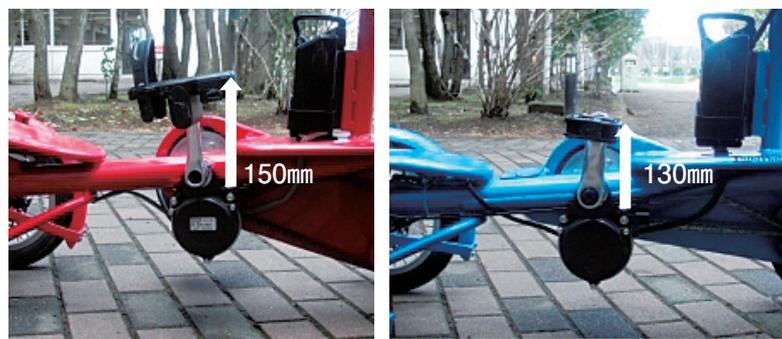
第2次試作モデルでは、車輪の路面への適合性を少しでも向上させるために、図13に示すような、前輪と車体の間にコイルばねを使った懸架装置を付加した。

(3) 後退走行機能

本外出支援機器は、ペダルを漕いで、その力を駆動輪である後輪にチェーンによって伝達する方式



図11 ハンドル高さの比較



(a) 第1次試作モデル

(b) 第2次試作モデル

図12 ペダル・クランク長さの比較



図13 前輪懸架装置

を採用している。そして、ペダルによって回転させられるスプロケットは、通常の状態では、ペダルを前進方向に漕ぐと回転力がチェーンを介して後輪に伝達されて前方に走行することができるが、後退方向に漕ぐとスプロケットは空転して駆動輪に力は伝達されない(フリーホイール機能)。そのため、第1次試作モデルでは、後退させるためには、足で地面を前方に蹴って後退させるか、いったん降りて、後方に押し進める必要があった。

第2次試作モデルでは、使い勝手を向上させるために、乗車したまま、後退できる機能を付加した。ペダルで駆動されるスプロケットに組み込まれたフリーホイール機能をいったん除去することができる機構(フリーホイール除去モード)を追加することにより、後退走行できる方式にしている。フリーホイール・モードとフリーホイール除去モードの切り換えは、ステアリング・ハンドル支柱部分に取り付けられたレバー(図14)で操作できるようにしている。

走行モード切り換え操作レバーをフリーホイール除去モード・ポジションにすると、駆動輪スプロケットのフリーホイール機能が除去され、ペダルを後退方向に漕ぐと、駆動輪は空転することなく後退方向に回転し、本移動支援機器を後方に走行させることができる。

4.2 第2次試作モデルの使用評価

第2次試作モデルの機能を確認するために、街のいろいろな環境において走行試験を行った。今回



(a) フリーホイール・モード



(b) フリーホイール除去モード

図14 走行モード切り換え操作レバー



図15 歩行者のいる環境での走行



図16 片流れ環境での走行



図17 上り坂での走行



図18 通常の自転車での上り坂走行の例

の走行試験では、健常者が乗車・操縦したが、本移動支援機器の主な使用者として歩行機能が低下した高齢者であることを想定して、大人がゆっくり歩くくらいの走行速度で行った。図15は、歩行者のいる通路において、本移動補助機器でゆっくりと進んでいる様子、図16は、少し片流れ傾斜がある歩道から車道につながる路面環境を走行している様子、図17は、勾配1/15程度の上り坂をゆっくり走行している様子である。

走行試験を行ったすべての路面環境において、転倒のおそれはなく、安定かつ楽に走行することができた。身近な移動補助機器である従来の2輪自転車は、安定に走行するためには、速度をある程度大きく保つ必要がある。それに対し、本機は、平地においてはもちろんのこと、上り坂においてもゆっくり安定に走行することが可能であった。とくに、比較的勾配の大きい上り坂を通り抜けるとき、通常の2輪自転車の場合、図18のように、搭乗者は座席から臀部を浮かせて、いわゆる立ち漕ぎしなければならないこともある。しかし、本機では、座席に腰掛けたまま楽にペダルを漕いで通り抜けることが可能であった（図17）。

坂に直角に交差し、2cm程度の段差を残して摺りつけ処理されているため片流れになっている狭い歩道・縁石環境（図16）においても敢えて通り抜けを試みたが、転倒の危険はなかった。しかし、このことが前輪2輪と車体の間に懸架機構を装備したことによる効果であると定量的に断定できるまでには至っていない。もう少しばねを軟らかくした方が、効果があるのではないかと定性的な

知見は得られた。今後、後輪の懸架機構の装備も含めて検討を継続する必要があると考える。また、今後、走行試験により安定に走行できる縦断勾配および横断勾配の値を明らかにしておく必要があると考える。

第2次試作モデルの最も大きな特長は、ペダルで回転させるスプロケットに対して、フリーホイール機能をいったん除去できる機構を組み込んだことにより、搭乗者は本機に乗ったままペダル操作によって後退することができるようにしたことである。この機能を装備したことにより、例えば、フリーホイール・モードで前進走行した後、一旦停車し、フリーホイール除去モードに切り換えて操舵ハンドルも操作して後退走行しながら向きを変え、再びフリーホイール・モードにして元来た方向に前進走行するといった、いわゆる切り返し操作による方向転換が可能になる。図19は、一連の切り返し操作により、方向転換をしている様子である。ただし、後退走行するときは、電動アシストを使わないようにしてある。それは、後退走行で長い距離走るわけではなく、また、後退走行時に電動アシスト機能を使うのは危険であると考えたからである。

4.3 展示会での試乗評価

第2次試作モデルに関する一般の人の意見や評価を聞くために、いくつかの展示会において参考展示し、希望者には、機器の概要および操作方法を説明したうえで、試乗してもらった(図20)。そして、本開発機器について、そもそもニーズはあるのか、あるとすればどのように使われるのか、そして、さらにどのような改良をすればよいか等を予備的に把握することを目的として、アンケート調査を



(a) 前進走行後一旦停車
フリーホイール除去モードに切換え



(b) 後退走行しながら方向転換



(c) フリーホイール・モードに切換え
前進走行



(d) 元来た方向に前進走行

図19 切り返し操作による方向転換の様子



図20 高齢者による試乗の様子

行った。

図21～図27に、試乗した人のうち同意を得た124名の人に対して行った調査結果を示す。調査内容は、展示した第2次試作モデルに対する感想や意見、それに日常生活における移動手段等についてである。各図のタイトルにアンケート設問内容を示している。

アンケートに回答した年代構成は以下のとおりである。

10～20歳代：33名

30～40歳代：50名

50～64歳：21名

65歳以上：20名

本移動補助機器への関心は非常に高いことが明らかである（図21）。また、この機器が高齢者に使える可能性があると考えていることがうかがえる（図22）。その主な理由は、安定が良く、電動アシスト式であるので楽に漕げる、転倒しにくいと思われる（図23）。

買物などで外出するとき、徒歩だけで済ませることは意外と少なく、自動車、自転車、バイクといった私的な移動補助機器も比較的好く使われている現状がある（図25）。

本移動補助機器を外出、買物などで使ってみたいかという問いに対しては、85%の人たちが「はい」と回答している（図24）。こうしたことから、本研究で開発した移動支援機器は、実用化できれば、高齢者の外出支援機器として貢献できる可能性は大きいと考えられる。

高齢者の移動支援機器として普及しているハンドル形電動車いすと本移動支援機器を比較した感想を聞くと、70%以上の人が高齢者の移動支援機器に対して好感を持っているが（図27）、道路を走ると怖そう、重量が重い、保管場所がないといった気になる点も指摘されており（図26）、それらの課題を解決しながら、できるだけ早く実用化を進める必要があるとの意を強くした。

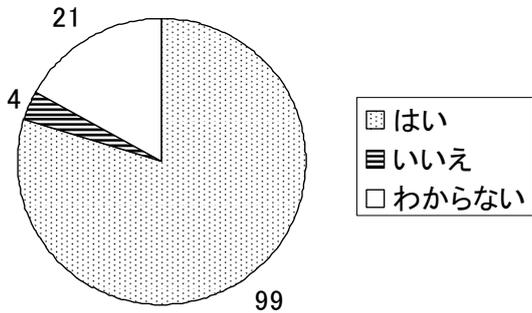


図21 このモデルに乗ってみたい、誰かに乗せてあげたいと思いますか

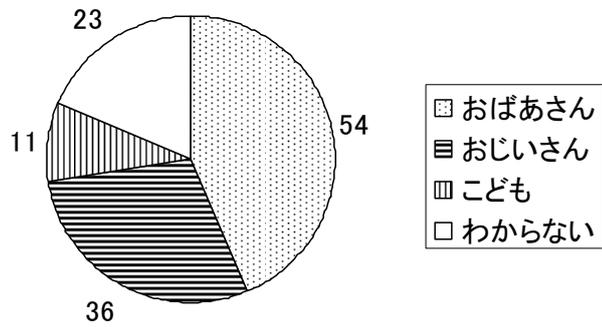


図22 どなたにお勧めですか

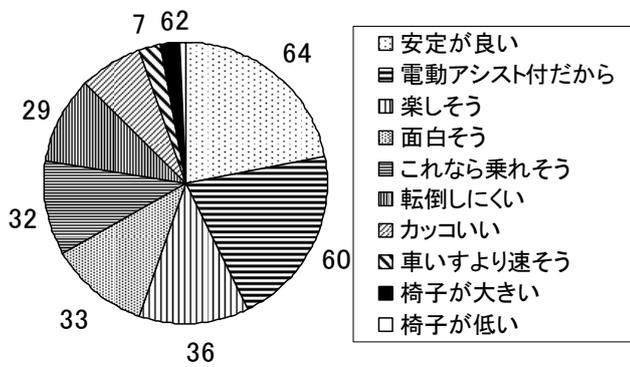


図23 乗ってみたい、誰かに勧めたい理由は何ですか (複数回答可)

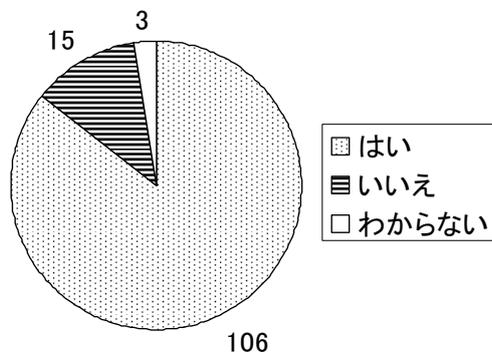


図24 外出、買物などで使ってみてみたいですか

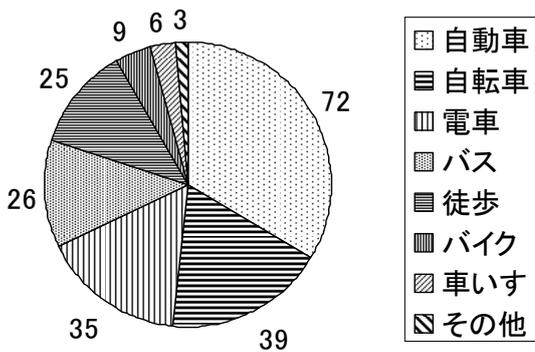


図25 普段の外出、買物などでは何を利用していますか

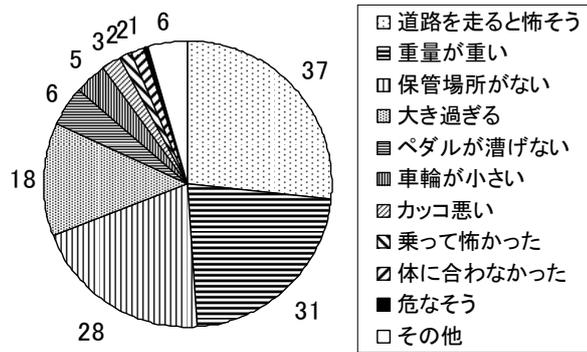


図26 気になる点は何ですか (複数回答可)

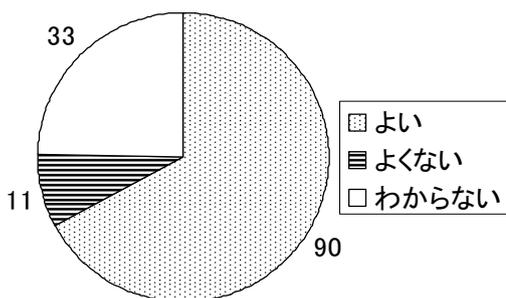


図27 ハンドル形電動車いす比べてどうですか

5. 本開発移動支援機器の意義と可能性

5.1 移動できることの重要性

高齢者に限ったことではないが、日常生活において、自由に外出できることは非常に重要である。

今日、自動車は、日常生活における外出時の移動手段の1つとして広く普及している。しかしながら、今後ますます高齢化が進むと、加齢により、筋力や感覚・知覚機能が低下して、自動車が運転できなくなる人が増えてくる。下肢筋力の低下のために歩行機能が低下した高齢者の場合、移動を補助する適切な機器がなければ、外出の機会が減ると考えられる。

まさに自由に出かけることができなくなると、人との接触が少なくなり、生活に変化がなくなり、刺激も少なくなるので、気持ちの張りがなくなってくると考えられる。また、身体を動かすことが少なくなるので、筋力の低下がますます進むという悪循環に陥ることも十分考えられる。それにより、身体面だけでなく精神的な健康の低下を来すおそれもある。こうしたことが、医療費や介護費用の増大につながる可能性がある。

5.2 既存の移動支援機器

高齢者の外出を支援する機器として既存の2輪型自転車も選択肢の1つである。最近、電動アシスト装置を搭載した自転車も普及しており、上り坂でも楽に走行することができる。しかし、電動アシスト装置を搭載しても、2輪方式では、ゆっくり走ると安定が保ちづらい、停車時には素早く足を着地しなければ転倒する恐れがあるといった、下肢機能が低下した高齢者にとっての問題点は依然として残る。

ところで、今日、歩行機能が低下した高齢者の外出を支援する機器として、ハンドル形電動車いすが普及しつつある。ハンドル形電動車いすは、平地だけでなく上り坂でも楽に通過することができる。また、3輪もしくは4輪方式であるので、2輪型の自転車に比べて転倒の危険性は非常に小さい。しかし、筆者らは、既存のハンドル形電動車いすは、使用に際して下肢を動かすことがまったくないので、下肢機能が比較的残存している人の場合は、必ずしも最適な機器であるとはいえないと考えている。そのことが、本研究に着手した最も大きな理由である。

5.3 開発した外出支援機器の意義

筋力が低下し、それに伴い瞬発力も低下し、そして知覚能力も低下してくる高齢者にとって、ゆっくりと安全・安定に走行できる移動補助機器は必要不可欠である。本研究で開発した移動支援機器は通常の自転車と同様、ペダルを漕いで推進し、ペダルを漕ぐ力は電動モータによりアシストする方式である。また、車輪配置は、前2輪（操舵輪）、後2輪（駆動輪）の4輪であるので、2輪方式の問題点は解決できることが確認できた。

第2次試作モデルにおいては、切換えレバーによって、スプロケットのフリーホイール機能をいったん除去する機構を開発した。フリーホイール除去モードに切換えると、ペダルを逆方向に漕ぐことにより、後退走行することができる。この機能を組み込んだことは、本機器に乗車したまま切り返しによる方向転換などを行うことを可能にした。それにより、本開発機器の使い勝手は格段に向上したといえる。

本移動支援機器は、電動アシスト装置を組み込んでいるが、既存のハンドル形電動車いすと違い、

ペダルを漕いで走行するようになっている。そのため、走行中は常に下肢を動かすことになる。すなわち、日常生活の中で必要不可欠な移動（外出）を行うときに、無意識のうちに適度な運動をしていることになる。下肢を動かすことは、関節の拘縮を防ぎ、また、血液の循環をよくする効果があると考えられる。また、下肢に適度な負荷をかけて動かすことになるので、カルシウム摂取に必要なビタミンDが体内で合成され、骨粗鬆症の進行を遅らせる効果があると考えられる。このように、日常生活の中で下肢を動かす機会が増やせれば、身体面はもちろん精神面の健康維持・増進につながると考えてよい。

本研究に着手した当初に実施した高齢者へのアンケート調査において、ゆっくり走行することができて転倒しない自転車があれば、もう一度使いたいといった意見があったように、高齢者が安心して気軽に乗れる外出支援機器に対する潜在的ニーズは高いと考えられる。本研究で開発した外出支援機器は、そうしたニーズに応えることができると考える。とくに、下肢機能が低下して長い距離歩くのが困難になった高齢者の外出を支援する機器として有効であると思われる。つまり、本開発外出支援機器は、徒歩と自動車との中間に位置づけられるパーソナルな移動手段となりうる。

5.4 外出できることの重要性

われわれは、プライベートな場所（家庭）で過ごすだけでなく、仕事、スポーツ、レクリエーション、買物など地域社会に出て活動するといった高度な社会生活をしながら生きている。当然のことながら、われわれにとって、プライベートな生活活動および社会的活動ともに重要である。

したがって、加齢や障がいにより、円滑なプライベート生活、社会活動ができなくなると、何らかの補償措置を講ずる必要がある。

プライベート生活における補償措置としては、手摺の設置、段差の解消、トイレや浴室の改修、福祉機器の導入などが考えられる。

社会的活動における補償措置としては、まずは外出できる手段、すなわち、私的な移動手段および公的な移動手段を確保することが必要不可欠である。

本研究では、下肢機能が低下して外出が億劫になった高齢者の外出手段を確保するための私的なモビリティ技術（電動アシスト式4輪型移動支援機器）の開発を進めた。

高齢者にとっても、自由に外出できることは重要である。そして、外出できることの意義は大きい。外出することはいろいろな波及効果があると考えられる。まずは、まちに出かけることで、いろいろな人が行き交い、いろいろと変化する場面の中に身を置くことになる。外出することができれば、自分で実物を見ながら品定めをし、店員との会話を楽しみ、自分でお金を支払って、買い物ができる。このように、まちに出ると、家の中にいるのとは比べものにならないほど多くの刺激を受けることになる。刺激を受けることは、脳を活性化することにつながると考えられる。そして、外出すると、知らず知らずのうちに身体を動かすことになるので、心身の健康の維持・増進につながらう。

6. 環境整備の重要性

社会が変遷、進化する中で、社会的なニーズも変化し、あるいは新しいニーズが生まれてくる。成

熟した社会においては、そうしたニーズに対して、ハードおよびソフトの両面から解決策を探り、環境を改善して、より暮らしやすい社会の構築をめざすことが当然の課題となる。

最近、子育て中の人たちの強いニーズに応えるために、子どもを2人乗せて安全に走行できる自転車の開発が進み²⁾、それにより、以前は法的に許可されていなかった3人乗り（大人1人・子ども2人）自転車の使用が認められるようになった。また、やはりニーズに応えるために、高齢者が安心して乗れる自転車の開発も進められている¹⁾。

少子高齢化が進む中、新しい移動支援機器のニーズが生まれ、それに応える機器デザインが提案され、さらに、法制度なども含めた社会のデザインも改善されるスパイラルアップのプロセスが今後も進むことが期待される。

本研究で開発した電動アシスト式4輪型移動支援機器は、下肢機能の低下した高齢者の外出を支援する機器として有効であると確信できる。しかし、当然のことながら、移動支援機器が開発・実用化できたからといって、問題が解決できるわけではない。

とくに、高齢者や障がいのある人たちのための外出支援の問題は、私的および公的移動手段の整備、まちづくりを含めた交通システムの構築など、総合的な取り組みにより解決しなければならないであろう³⁾。

本研究で開発・実用化を目指している電動アシスト式4輪型移動支援機器が有効に使えるようにするためには、まちの環境整備、とくに生活周辺道路のより一層の整備は重要である。国土交通省が策定したユニバーサルデザイン政策大綱においては、歩いて暮らせるまちづくりに向けた取り組みの推進が謳われている。車いすやその他の移動支援機器を使う人たちも「歩く人」と位置づけて、道やその他の社会インフラを整備することが期待される。当然のことながら、地域の条件によって、まちの整備の方策は違ってこよう。加藤、秋山らは、居住地区の違いや高齢者のさまざまな個人属性と交通行動の関係を明らかにし、外出活動全般に与える影響分析をきちんとして、まちづくりのあり方を明らかにすることの重要性を指摘している⁴⁾。

本研究で開発した高齢者用外出支援機器は、新しいタイプのハンドル形電動車いすと位置づけられると考えている。したがって、本機を使用する高齢者は「歩く人」と位置づけたい。

足腰の機能が低下した高齢者でも自由にまちに出かけられる環境が整えば、高齢者の消費活動も促進されることから、街の活性化にもつながるであろう。いろいろな研究者が指摘しているように^{5~7)}、高齢者に適した多様なパーソナル・モビリティあるいはタウン・モビリティの確保および気軽に外出できるまちの環境整備は、豊かな高齢社会を構築するうえで急がれる課題である。

7. まとめ

当然のことながら、高齢者といっても一括りにできない。健康で元気な高齢者もいれば、加齢のために、足腰の機能が低下し、歩くことが困難あるいは不可能な高齢者もいる。

本研究は、足腰を動かすことはできるものの、機能が低下しているために、長い距離の歩行が困難になり、まちに出かけるのが億劫になった高齢者の移動を支援する機器を開発することに目標を設定した。

まず、最も身近で、気軽に使われている移動補助機器である自転車に注目した。自転車は、搭乗者自身の脚力を使って移動するので、エコな機器であり、また、健康の維持にも効果があると考えられるので、足腰の衰えた高齢者にも使えるようにすれば、外出支援にもなるし、さらには、下肢機能の維持・向上に貢献できると考えたからである。

本研究においては、2輪方式の問題点を解決するために、車輪配置を4輪とし、なおかつ電動アシスト装置を組み込んだ移動支援機器を開発し、第1次および第2次試作モデルを製作して、使用評価を行った。その結果、平地および上り坂いづれにおいても、転倒することなくゆっくり走行することが可能であった。また、停車した状態でも転倒するおそれはまったくなく、足を着地させる必要もない。また、第2次試作モデルでは、チェーン駆動用スプロケットのフリーホイール機能をいったん除去する機能を組み込んだことにより、ペダルを後退方向に漕ぐことにより後退走行することも可能になった。それにより、本開発移動支援機器から降車することなく、切り返し操作による方向転換も可能になり、使い勝手がかなり向上した。

本研究で開発した外出支援機器は、足腰の機能が衰えた高齢者の外出を支援する補助機器として有効であると確信できるものである。本機で外出できるようになれば、適度な運動もすることになり、それによって、高齢者の体力の維持および健康増進にも寄与すると思われる。

本研究以外にも、足でペダルを漕いで走行する車いすの開発も行われている^{8~10)}。下肢機能が残存している高齢者のための新しい移動支援機器の選択肢が多くなることは、高齢者の日常生活を潤いのあるものにするうえで好ましいことである。今後、高齢者や障がいのある人たちの外出を支援するために、車いす、歩行車、それに新しい移動支援機器などを使って安全・快適に通行できるまちの整備も期待される。ヨーロッパなどでは、自転車、乳母車、車いす利用者も含めてすべての人が使いやすいまちづくりが進んでいる¹¹⁾。隣国韓国でも、自転車が使いやすいまちづくりが国家施策となっている。わが国でも、各所で車道に自転車レーンを整備するなどの整備が始まっている。今後、本開発の移動支援機器を使う高齢者等も歩行者として定義し、「歩いて暮らせるまち」の整備が進められることを期待したい。

8. おわりに

本研究は、本学ライフデザイン学部のプロジェクト研究助成を受けて遂行することができた。ここに、ライフデザイン学部の関係各位に心より感謝申し上げます。そして、本研究を進めるにあたって、交通エコロジー・モビリティ財団からも研究助成をいただいた。ここに心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平成21年度利用者ニーズ新自転車等研究開発（高齢者が安心して乗れる自転車の試作）実施報告書、財団法人自転車産業振興協会、2010
- 2) 平成20年度新商品・新技術研究開発（安全に配慮した幼児2人同乗用自転車の試作）実施報告書、財団法人自転車産業振興協会、2009
- 3) (社)土木学会土木計画学研究委員会監修、交通エコロジー・モビリティ財団、(財)国土技術研究センター

編、参加型福祉の交通まちづくり、学芸出版社、2005

- 4) 加藤正洋、秋山哲男、青木一布、高齢者の交通行動特性に関する研究—都心地区と郊外地区の比較—、日本福祉のまちづくり学会第4回全国大会概要集、51-54、2002
- 5) 木村一裕、清水浩志郎、呉聲欣、伊藤誉志広、電動三輪車を想定したまちづくりに関する研究、福祉のまちづくり研究会第1回全国大会概要集、83-86、1998
- 6) 江端恭臣、超高齢社会の移動手段としての電動スクーターの活用と課題について～岡山市表町商店街におけるタウンモビリティ実験から～、日本福祉のまちづくり学会第4回全国大会概要集、43-46、2002
- 7) 白石正明、パーソナル・モビリティとまちづくり、日本福祉のまちづくり学会第10回全国大会概要集、433-436、2007
- 8) 牧野健一郎、吉本奈美、蜂須賀研二、脳卒中片麻痺者における下肢駆動型車いすの試み、第19回日本義肢装具学会学術大会講演集、120-121、2003
- 9) 河村孝幸、風間典昭、斎藤昌宏、藤田和樹、鈴木玲子、星勝久、山本光璋、予防福祉的運動療法の視点から見た「足漕ぎ車いす」の可能性～東北福祉大学予防福祉健康増進センターの取り組み～、公衆衛生情報みやぎNo357、2-4、2006
- 10) 元田英一、太田一重、木村宏樹、佐藤鉄朗、片麻痺用足こぎ車椅子の開発、第24回日本義肢装具学会学術大会講演集、124-125、2008
- 11) 金田桂子、福祉のまちづくりにおける取り組み～ドイツ・エアランゲン市の事情から～、日本福祉のまちづくり学会第5回全国大会概要集、291-292、2003

Development of new personal mobility device supporting going-out for elderly people with difficulty in walking

YONEDA Ikuo^{*1} SHIGENARI Takeshi^{*1} TAKAHASHI Yoshiyuki^{*1}
SUZUKI Tetsuro^{*1} LEE Hokyoo^{*2} OZAWA Atsushi^{*3}
KAWAI Toshihiro^{*4}

Moving freely is one of most important and fundamental activities in leading everyday life. So, when walking becomes troublesome by aging, a certain technological solution must be devised. Now, elderly people who have difficulty in walking can use some assistive technologies, such as canes, walkers, wheelchairs, and so on.

There may be a risk of falling down for elderly people in using canes or walkers, while elderly people may be able to go far safely by using wheelchair. However, when riding a wheelchair, rider generally does not move his/her legs.

We think that if a little function is remained in legs, one had better move legs in daily living. Moving legs would contribute to maintain function of legs and keep one's health.

Considering the circumstances mentioned above, we developed new personal mobility device which elderly person rides on and move by pedaling similar to bicycle. The new personal mobility device has four wheels and is equipped with electric power assist system. So, elderly people who have difficulty in walking can go out safely and easily by moving his/her legs.

Keywords: assistive technology, new personal mobility, elderly people, development

^{*1} Faculty of Life Design, Toyo University

^{*2} The Hyogo Institute of Assistive Technology

^{*3} University of Tsukuba

^{*4} Saitama Rehabilitation Center

原稿受領2011年11月24日
査読掲載決定2012年1月10日