

高齢者の外出活動を支援するパーソナルモビリティの提案 — 4 輪型電動アシスト式移動支援機器の開発と評価—

李 虎奎¹・米田 郁夫²・河合 俊宏³・橋詰 努⁴

(¹兵庫県立福祉のまちづくり研究所、²西九州大学健康福祉学部スポーツ健康福祉学科、
³埼玉県総合リハビリテーションセンター、⁴東洋大学)

(平成26年12月10日受理)

Proposal of New Personal Mobility Device Supporting Going-out for Elderly Parsons —Development of 4-wheel personal mobility equipped with power assist system—

Hokyoo LEE¹, Ikuo YONEDA², Toshihiro KAWAI³ and Tsutomu HASHIZUME⁴

¹*The Hyogo Institute of Assistive Technology*

²*Department of Sports, Health and Welfare Sciences, Faculty of Health and Social Welfare, Nishikyushu University*

³*Saitama Rehabilitation Center*

⁴*Faculty of Human Life Design, Toyo University*

(Accepted: December 10 , 2014)

Abstract

If the lower limb function remains to some extent, it is better to move around by moving lower limbs in everyday life. It can be considered that moving lower limbs would maintain not only lower limb function, but also good health. From consideration of above-mentioned, we developed new personal mobility for elderly persons which can move around by pedaling in the sitting position. The developed device has four wheels, and equipped with motor-assist drive unit. So, using the device, elderly person could go out safely and comfortably. In this study, we conducted running tests with 20 elderly persons. At the running tests, the oxygen consumption was measured. And the effort when driving this personal mobility was evaluated based on MET value. The result suggested that the personal mobility we developed would contribute to promote healthy life of elderly persons.

キーワード：外出支援機器、開発、評価、高齢者

Key words：New personal mobility, Development, Evaluation, Elderly person

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無いほどいろいろな活動を行う。特に、外出行動は、社会活動のために必要不可欠である。そうした活動を行うとき、必ず「移動」が伴う。豊かな日常生活は「移動すること」によって支えられているといっていよい。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ことになる。移動が困難或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。従って、加齢や身体障害のために歩行が困難或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である。車輪が効率よく転がるための環境が整備されていれば、車いすを使って楽に移動することができ¹⁾、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は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、安全かつ楽に使える移動支援機器を開発することを目的にしている。

2. 高齢者の自転車使用状況の調査

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。斎藤らは、高齢になると、走行中のハンドルの振れとローリング角加速度が大きくなり、直進走行時においても走行軌跡が広がってくるなど走行操作性の低下が見られることを明らかにしている²⁾。そこで、高齢者の自転車使用状況を知るために、東京郊外K市の老人クラブで活動している健常高齢者205名について自転車使用に関する調査を行った(2009年)。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)、

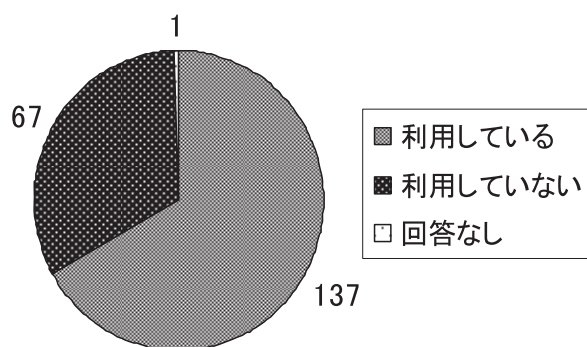


図1 自転車利用状況

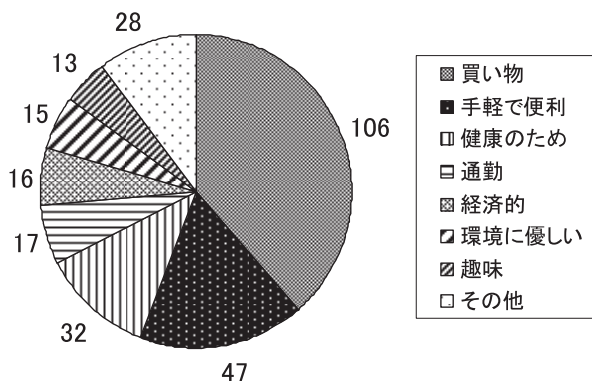


図2 自転車利用の目的・理由(複数回答可)

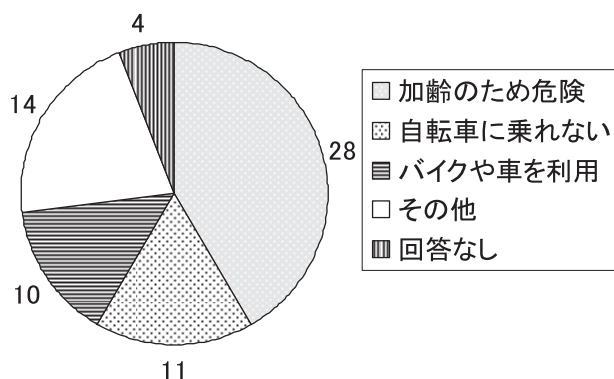


図3 自転車を利用しない理由

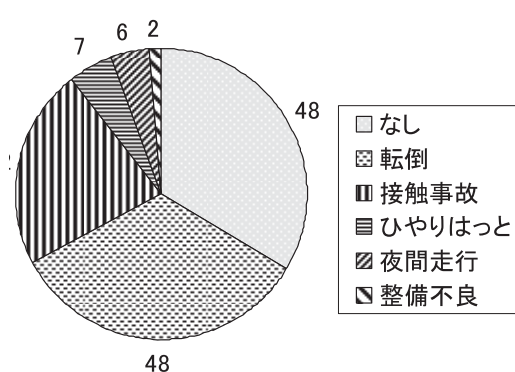


図4 危険な目に遭った経験およびその理由

女性142名(60～98歳;平均年齢74歳),回答なし5名であった。主な調査項目に対する回答結果を図1～図4に示す。

高齢になっても自転車を利用している人は意外に多く(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)。

自転車に乗っている人の半数を超える人たちが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もある。

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。また,現在は自転車に乗っていない人も皆かつては乗っていたと回答している。

以上のことから,安全で楽に使える「自転車」を開発することができれば,高齢者の日常的な外出などを支援する補助機器となりうると考えられる。

3. 新しいパーソナルモビリティの開発

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のために,従来の自転車に代わる新しい外出支援機器を開発した(図5)。以下にその概要を示す。



図5 開発した外出支援機器

3.1 車輪配置

車輪配置は,転倒のリスクを小さくするために,前後2輪ずつの計4輪としている。前輪2輪は操舵輪,後輪2輪は駆動輪としての機能を備えている。4輪ともに空気圧式のタイヤを装着しており,外径は280mmである。

3.2 駆動システム

開発した外出支援機器は,一般の自転車のように,足でペダルを漕ぐことによって推進する。ペダルによる回転力はチェーンによって後輪を駆動する小径スプロケットに伝えられる。小径スプロケットと後輪2輪の車軸の間には,差動歯車装置が組み込まれており,それにより,旋回時の左右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。なお,本機には,一般の自転車と同様,ペダルを後退方向に漕ぐと空転するようにフリーホイール機構を組み込んでおり,前進走行中ペダルを漕ぐのをやめても慣性で走行し続けることができる。

3.3 電動アシスト機能

本機には,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できるように,ペダル部分に電動アシスト装置(サンスター技研製S02)を装備している。モータはブラシレス・タイプで出力235Wである。電源には充電式のリチウムイオン電池(容量2.5Ah)を用いている。

3.4 後退走行機能

一般の自転車を後方に進めるためには,足で地面を前方に蹴るか,いったん降車して後方に押す必要がある。しかし,本機のような場合,後方に動きたいとき,乗車したまま,ペダルを後方に漕いで後方に進むことができる機能を備えている方が使い勝手が良いと考えられる。

そうしたことから,本機では,フリーホイール機能をいったん除去できる機構(フリーホイール除去モード)を付加している。フリーホイール除去モードにすると,ペダルを後退方向に漕いでも空転せず後輪に回転力が伝わり,後退走行することが可能である。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た操作レバー(図6)で行えるようにしている。フリーホイール除去モードを装備したことにより,例えば,乗車したまま,切り返しをしながら方向転換することも可能である。なお,後退走行時には,安全のために,電動アシスト機能



(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6 走行モード切り換え操作レバー

は使わないようにしてある。

3.5 重量および寸法

開発した外出支援機器の重量および主な寸法諸元は以下のとおりである。外形寸法については、車いすのJIS規格（全長1200mm，全幅700mm，全高1090mm以内）に収まっている。

重量：294N（質量30kg）

全長：1150mm

全幅：570mm

全高：980mm

ホイールベース：850mm

前輪トレッド：500mm

後輪トレッド：540mm

4. 使用評価

開発した本機が、操作負担の面から、高齢者の外出支援機器としての使用に耐えうるか否かを検証するために、走行実験を行った。

4.1 走行実験コース

走行実験は屋外の水平路面および上りスロープ路面で行った。

4.1.1 水平路面コース

水平路面走行実験は、兵庫県立総合リハビリテーションセンターの障害者用自動車運転教習場の外周コース（図7）で行った。被験者は本機に乗ってセンターライン上を走行するようにする。1周分の距離は約245mである。

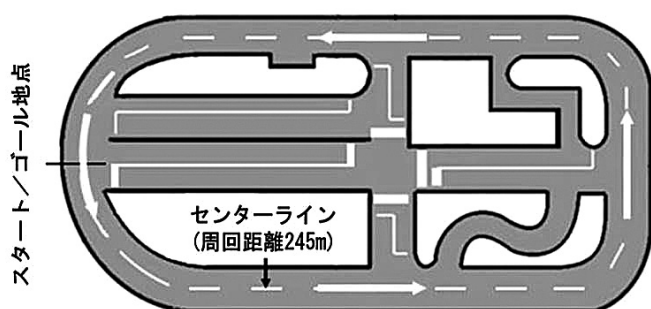


図7 走行実験コース（水平路面）

4.1.2 スロープ路面コース

上りスロープ路面走行実験は、兵庫県立総合リハビリテーションセンターの障害者用体育館の屋外に設置された避難路（3階分）で行った。避難路の概要は図8のとおりである。勾配は8%，3階分の距離は120mである。

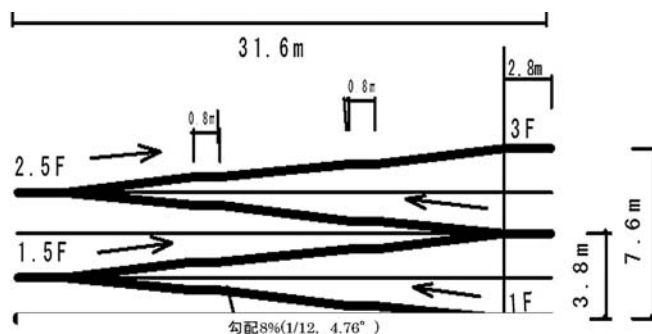


図8 走行実験コース（スロープ路面）

4.2 被験者

走行実験を実施するにあたり、兵庫県立総合リハビリテーションセンター福祉のまちづくり研究所の倫理審査委員会の承認を得た。被験者は、実験内容を丁寧に説明したうえで、同意が得られた高齢者20名を対象とした。被験者20名の内訳は、男性8名（平均年齢76歳）、女性12名（平均年齢72歳）である。

4.3 走行実験内容

被験者には、水平路面においては時速6km、上りスロープ路面においては時速4kmで走行してもらう。走行距離は、水平路面走行では1.22km（外周コース5周）、スロープ路面走行では120m（1階から3階）である。走行時間は、水平路面では約12分30秒、スロープ路面では約1分50秒になる。走行速度を一定に保つために、ハンドル型電動車いす（HONDA ML200）が一定速度（水平路面では6km/h，スロープ路面では4km/h）で先導し、被験者は先導車に一定の距離を保って追走するようにする（図9）。

水平路面走行において、速度6km/h，走行距離1.22kmに設定したのは、運動療法においてサイクリングやエルゴメータで推奨されている時間³⁾を参考にしたことによる。

なお、水平路面、スロープ路面ともに、アシスト力無し（Normal mode：以下Nモード）とアシスト力有り（As-



図9 走行実験の様子

sistance mode：以下Aモード）の条件で走行実験を行った。

4.4 身体的負担の計測

各走行実験において、被験者の身体的負担を評価するために、酸素摂取量（以下 VO_2 ）を計測する。計測には携帯型呼吸代謝計測装置（MedGraphics®VO2000）を使用する。酸素分析計の計測精度は $\pm 0.01\%$ 以内である。評価のために、計測生データを基に10秒毎の平均 VO_2 （ $\ell/\min$ ）を算出する。なお、いずれの走行実験においても、走行中だけでなく、走行前後5分間の座位安静時の VO_2 も収集する。

5. 実験結果

水平路面での走行実験においては、Nモード、Aモードともに被験者20名全員が遂行することができた。

スロープ路面での走行実験においては、Aモードでは1名の被験者が途中で違和感があったため実験を中断し、19名の被験者が走行可能であったが、Nモードでは、3名の被験者が実験を中断し、17名の被験者が走行可能であった。

走行実験中の経時的 VO_2 計測結果の代表例を図10～11に示す。この被験者は女性、年齢68歳、体重47kgf、身

長149cmである。

図10は水平路面を走行したときの VO_2 データであり、(a)はNモード、(b)はAモードで走行したときのデータである。図11はスロープ路面を走行したときの VO_2 であり、(a)はNモード、(b)はAモードで走行したときのデータである。

図10から、以下のことが分かる。水平路面走行時の VO_2 は、NモードおよびAモードいずれにおいても、走行開始と同時に徐々に増加して、やがてほぼ一定の値を示す定常状態になる。走行が終了すると、 VO_2 は徐々に下がる。この被験者の場合、Nモードでの定常値は $0.738(\ell/\min)$ 、Aモードでの定常値は $0.733(\ell/\min)$ である。そして、走行が終了して、安静時の VO_2 に戻る時間は、Nモード、Aモードいずれにおいてもほぼ同じである。

以上のことから、水平路面では、Nモード、Aモードいずれで走行しても、負担はほとんど変わらないことが分かる。

次に、図11からは以下のことが分かる。勾配8%のスロープ路面の場合、Nモードでは、 VO_2 は走行開始から急激に増加し、120m 完走するまで増大し続ける。完走したときの VO_2 は $1.34(\ell/\min)$ になっている。Aモードでは、走行開始とともに VO_2 は漸増し、完走の30秒前に $0.85(\ell/\min)$ に達し、その後走行終了までほぼその値を維持している。

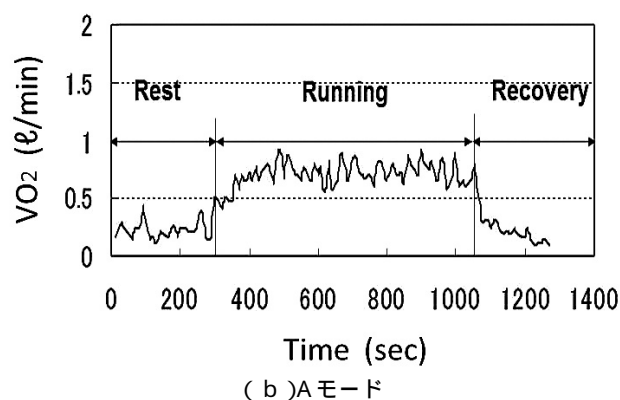
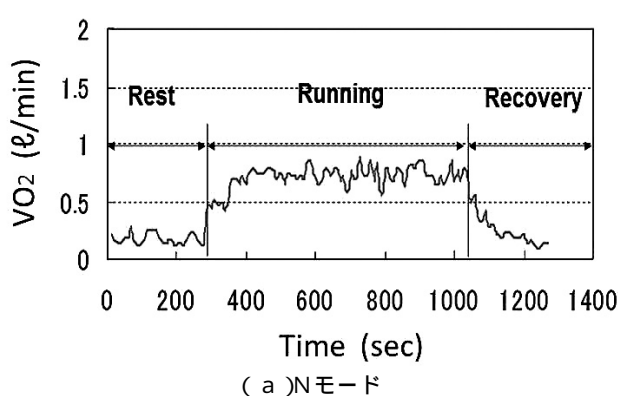


図10 水平路面走行での VO_2

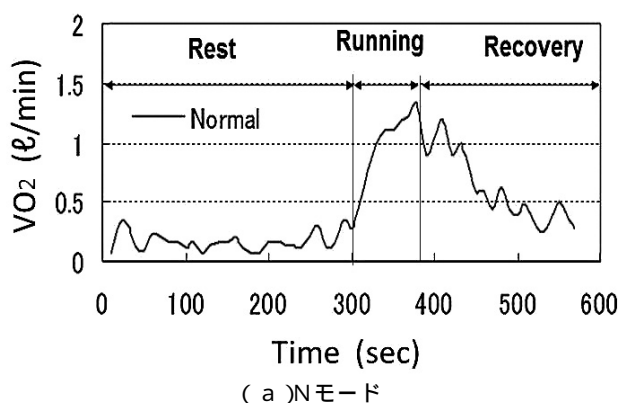


図11 スロープ路面走行での VO_2

スロープ路面での走行終了後の安静時の VO_2 に戻る時間を見ると、Aモードの場合は水平路面走行したときとほぼ同じであるが、Nモードの場合はAモードのときの2倍程度になっている。

以上のことから、スロープ路面を電動アシスト無し(Nモード)で走行する場合、かなり負担になる可能性があるが、電動アシスト有り(Aモード)で走行すると、水平路面走行とほぼ同程度の負担であることが分かる。

6. 生理的運動強度による評価

1分当たりの VO_2 (ℓ/min) は身体運動や活動の程度を知るための変量の1つであり、生理的強度といわれる。

安静時の体重1kgf当たりの酸素摂取量 $\text{rest}VO_2$ ($\ell/\text{min}/\text{kgf}$) が運動強度を評価する基準値として使われている。実際には、 $\text{rest}VO_2$ は、個々人で、また条件によりばらつきがあるが、ほぼ3.5 ($\text{ml}/\text{min}/\text{kgf}$) になることが明らかになっており、この値を1MET(Metabolic Equivalent)と定義して、運動強度の単位として使われている。

そこで、図10~11で示した被験者(体重47kgf)のデータから体重1kgf当たりの VO_2 を求め、さらにMET値を求めてみる。

水平路面をNモードで走行したときは15.7 ($\text{ml}/\text{min}/\text{kgf}$) ($=4.49\text{METS}$)、Aモードで走行したときは15.9 ($\text{ml}/\text{min}/\text{kgf}$) ($=4.46\text{METS}$)、スロープ路面をNモードで走行したときは28.5 ($\text{ml}/\text{min}/\text{kgf}$) ($=8.14\text{METS}$)、Aモードでは18.1 ($\text{ml}/\text{min}/\text{kgf}$) ($=5.17\text{METS}$) になる。

ところで、厚労省は、生活習慣病等を発症するリスクを低減させるために、個々人が達成することが望ましい身体活動の指針を、MET値を使って示している。例えば、65歳以上の身体活動(生活活動・運動)の基準として、強度を問わず、身体活動を1週間当たり10(METS・時)行うことを推奨している⁴⁾。本論で例示した被験者の場合、本開発外出支援機器で水平路面をAモードで走行したときの運動強度は4.46METSであったので、1週間に135分間走行すれば、10(METS・時)をクリアできることになる。週に3回だけ本開発外出支援機器で外出するとすれば、往復で45分間の走行に相当する。もちろん、日常生活においては、他の活動も行っているので、それだけで1週間当たり10(METS・時)をクリアできる可能性もある。

日常的な比較的軽い身体活動はほとんど3METS未満である。皿洗いする(1.8METS)、洗濯する(2.0METS)、立って食事の支度をする(2.0METS)、子どもと軽く遊ぶ(2.2METS)、時々立ち止まりながら買い物や散歩をする(2.0~3.0METS)、ゆっくりと平地を歩く(2.8METS)などがその例であり、厚労省は、高齢者におい

ても、可能であれば3METS以上の運動を含めた身体活動に取り組むことが望ましいとしている⁴⁾。したがって、本開発機器を使用した外出は高齢者の身体活動不足の予防に寄与する可能性がある。

スロープ路面でも、Aモードで走行すれば、水平路面を走行するのと同程度の負担であることから、低強度の有酸素運動になると推測できる。有酸素運動トレーニングは、一般の人の健康維持・増進に寄与し、また、心血管系疾患や脳血管障害の人たちの歩行能力を向上させるという研究報告もある⁵⁾。従って、本機の使用は、外出することで有酸素運動トレーニングにもなるといえる。

7. ま と め

本研究では、足腰を動かすことができるものの、運動機能の低下によって歩行が困難になった高齢者等の外出を支援するための4輪型のパーソナルモビリティを開発した。このパーソナルモビリティは、足漕ぎ式で、電動アシスト機能も選択できるようにしている。従って、高齢者が本機を使って外出する場合、適度な身体運動になることが期待できる。

本機が外出支援機器として有効か否かを検証するために、前・後期高齢者を被験者として、水平路面と勾配8%のスロープ路面での走行実験を実施し、その際、酸素摂取量データを収集・分析した。

その結果、電動アシスト・モードにすると、坂道も負担なく走行することができ、厚労省が推奨する高齢者の身体活動量にも適合することが明らかになり、高齢者の外出支援機器として有効であるという確証が得られた。

本研究で開発した機器を含めて、高齢者の外出を支援する多様な手段⁶⁻⁸⁾が選択できるようにすることにより、高齢者の地域社会への参加がしやすくなり、それにより、高齢者の健康維持・向上が期待でき、また、まちの活性化が期待できるものと考えられる。そのためにも、高齢者等がまちに出かけやすくする環境の整備⁹⁾も非常に重要であることを記しておきたい。

8. おわりに

本研究を推進するにあたり、ご協力頂きました被験者の皆様、そして、本機の開発に多大なご協力を頂いた株式会社カワムラサイクルに心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 米田郁夫：手動車いす操作負担のスケール化に関する研究、ライフデザイン学研究第4号、286-305、(2008)

- 2) 斎藤健治, 井上伸一, 細谷聡, 清田勝: ハンドルと車体のふれから見る高齢者の自転車走行の特徴, 人間工学, Vol 39, No 5, 241-249, (2003)
- 3) Buchfuhrer M.J., Hansen J.E., Robinson T.E., Sue D.Y., Wasserman K., Whipp B.J., : Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment, J. Appl. Physiol., Vol.55, No.5, 1558-1564, (1983)
- 4) 厚生労働省, 運動基準・運動指針の改定に関する検討会報告書, (2013)
- 5) Saunders, D.H., Greig, C.A., Young, A. and Mead, G.E.: Physical Fitness Training for Stroke Patients, Cochrane Database Syst Rev (2004)(1):CD 003316.
- 6) 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)
- 7) 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 No 357, 2-4, (2006)
- 8) 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)
- 9) 国土交通省, ユニバーサルデザイン政策大綱, (2005)