

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：84506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350809

研究課題名(和文)車椅子マラソンにおける駆動フォームの評価・練習機器に関する研究

研究課題名(英文)Development of a propelling form training system for wheelchair competitors

研究代表者

赤澤 康史 (AKAZAWA, Yasushi)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他部局等・主任研究員

研究者番号：90426544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、車椅子マラソン競技者の競技力向上を支援するために、任意の速度での練習を効率的に行うための機器及び競技者の競技力を定量的に評価するための機器を開発することである。本研究では、まず、室内用練習機器である車椅子用ローラー台から、より効率的な練習が行える機器として電動モーターを組み込んだローラー台を開発した。その上で、これを2名の競技者に試用してもらい練習機器としての有効性を確認した。また、競技力として一漕ぎで行われる仕事に着目し、ローラーの角速度から一漕ぎごとに行われた仕事を推定可能なローラー台を開発し、推定された仕事が競技力の評価指標として有効であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：It is important for wheelchair marathon competitors to improve their competitiveness based on quantitative evaluation of individual propelling performance. The purpose of this research is to develop an equipment for efficiently practicing at arbitrary speeds and an equipment which can evaluate propelling power of wheelchair athletes. In this study, we developed a wheelchair training roller machine incorporating an electric motor, and confirmed the effectiveness as practice equipment with two trial users. Also, we developed a wheelchair trainer with two rollers with that the work done in each stroke can be estimated from the angular velocity of the rollers. It is considered that lateralities of the estimated work might be effective to evaluate competitive performances.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：障害者スポーツ 競技用車椅子 ローラー台 駆動パワー

1. 研究開始当初の背景

車椅子マラソンは車椅子利用者が行う代表的なスポーツの一つである。競技者は競技力向上を目的に様々な練習を行っている。

競技力を構成する要素の一つとして、車椅子の漕ぎ方(以下、駆動フォーム)がある。駆動フォームの改善には、実際に、各速度帯で繰り返して漕ぐことが重要である。しかし、高速度帯での練習は低速度帯に比べて疲労しやすいため、頻繁に行うことは難しい。また、最高到達速度を増大させるためには、競技者自身の能力で回せる速さよりも少し速く回っているホイールを回す練習も重要である。しかし、この練習には、競技者自身が回せる速さよりも速くホイールが回っていないとなければならないため、何らかの外的な補助が必要となる。

競技者の中には自動車を風除けに用いた練習を行う者もいる。自動車を風除けとして用いることで空気抵抗が抑えられるため、競技者が疲労しにくくなり高速度帯での練習時間を延長できる。また、空気抵抗が小さいため、通常よりも最高速度が上がり、通常では回せない速度で回転しているホイールを回す経験を積むことができる。同様の効果を狙った練習として下り坂を走行する練習を行う競技者もいる。しかし、このような練習は競技者自身だけでなく周囲も危険にさらすため、より安全で効率的に練習を行える機器が必要とされている。

ところで、目標となる駆動フォームは、競技者自身の左半身と右半身に器質的・機能的な差がなければ、左右対称な駆動フォームが良いと考えられる。しかし、左半身と右半身に器質的・機能的な差がある競技者は少なくない。このような競技者の場合では、左右差がある駆動フォームの方が競技者の発揮できるパフォーマンスが良い可能性がある。そのため、練習によって競技者自身にとって効率的な駆動フォームに改善していくには、競技者の発揮しているパフォーマンスである漕いでいるときの速度変化や漕ぐときに発揮されるパワーといった数値に基づいて駆動フォームの改善具合を評価することが重要であり、速度変化や発揮される力を簡便に計測できる機器が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「競技者自身では到達できない速度や高速度帯で回るホイールを漕ぐ練習が安全に行える練習機器の開発」と「駆動フォーム評価システムの構築」を行うことで、車椅子マラソン競技者の競技力向上を支援することである。

3. 研究の方法

車椅子マラソンの練習機器の一つに、車椅子用ルームランナーといえるローラー台がある。ローラー台は車椅子の左右の主ホイールの下にローラーがあることで、漕いでも車

椅子が移動せず、従ってその場で連続的な駆動練習が可能になるものである。

本研究では、電動モーターを用いて任意の速度でローラーを回転させることが可能なローラー台を「競技者自身では到達できない速度や高速度帯で回るホイールを漕ぐ練習が安全に行える練習機器(以下、自動回転型ローラー台)」として開発し、競技者からの評価を受ける。

また、速度や発揮されるパワーを計測するために計測装置を組み込んだローラー台(以下、計測用ローラー台)を開発し、「駆動フォーム評価システムの構築」を行い、競技者の駆動フォームを評価する。

4. 研究成果

ローラー台は、一つのローラーに左右のホイールを乗せるもの(以下、1本ローラー台)と二つのローラーに左右のホイールを別々に乗せるもの(以下、2本ローラー台)に大別できる。

研究開始当初には、左右の駆動フォームを個別に評価するために左右のホイールを独立して回すことが可能な2本ローラー台に電動モーターと計測装置を組み込むことを計画していた。従って、開発するローラー台は自動回転型ローラー台と計測用ローラー台の二つに分けてはいなかった。しかし、一つのローラー台に電動モーターと計測装置を組み込むのは当初想定したよりもコストが高くなることから、開発するローラー台を自動回転型ローラー台と計測用ローラー台の二つとした。

(1) 自動回転型ローラー台の開発と評価

実際の路面を直進するときには左右のホイールの速度は同じであることから、本研究の自動回転型ローラー台では1本ローラーの軸を1台の電動モーターで回転させる方式とした。開発した自動回転型ローラー台を図1に示す。

この自動回転型ローラー台においてローラー台左前方下部に電動モーター(三菱電機、三相モーター SF-PR 0.75kW 4P 200V)があり、この電動モーターによりベルトを介してローラーは静止状態(0km/h)から約45km/hの範囲で回転する。電動モーターの回転を制御するスイッチ類は、練習中の競技者でも容易に制御できるようにするため、競技者の右手が届く位置に配置した上で、スライド機構によりスイッチ部を遠ざける(80mm)ことも可能となっている。

評価内容は、競技者が望む速度で回転する自動回転型ローラー台を体験したときのホイール速度の変化と体験後に競技者が述べた口頭での感想である。

ホイールの速度計測には、我々が本研究とは異なる研究で開発した角速度センサ(アナログ・デバイセス、ADIS16266)を組み込

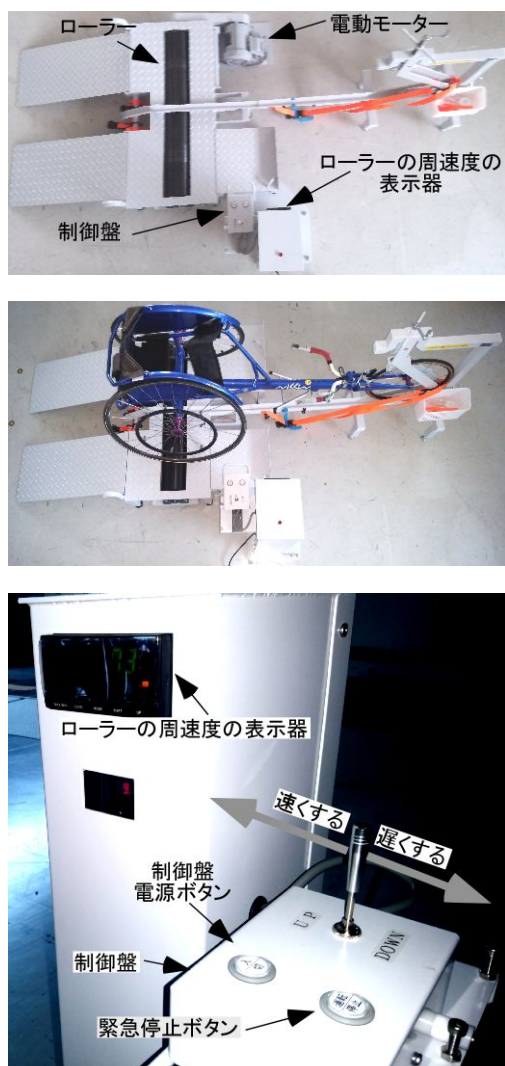


図1 自動回転型ローラー台
 (上)全体 (中)競技用車椅子を固定したところ
 (下)制御部

れた計測用ホイールを用いた。計測用ホイールに組み込んだ角速度センサの計測範囲と分解能は、それぞれ、 $\pm 3500\text{dps}$ と 1.04dps であり、時速に換算すると $\pm 70\text{km/h}$ と 0.02km/h になる。また、サンプリング周波数は 200Hz である。

自動回転型ローラー台の評価を行った被験者は、車椅子マラソンの競技者2名(以下、Subj.1 及び Subj.2)である。車椅子マラソンにおける両名のクラスはともに T53 である (IPC クラス分け規定による)。

自動回転型ローラー台の体験時における Subj.1 のホイールの速度波形の計測例を図2に示す。図2上段は、競技者自身が到達可能な速度でローラーが回転しているときの結果であり、下段が到達困難な速度でローラーが回転しているときの結果である。

角速度の変化が生じた箇所を漕ぎ始めると、図2上段では、Subj.1 が漕ぐたびにホイールの角速度が増加している。これは、Subj.1 が回せる速度でホイールが回転していたため、Subj.1 が漕ぐことでモーターによる回転以上に加速したことを示すと考えら

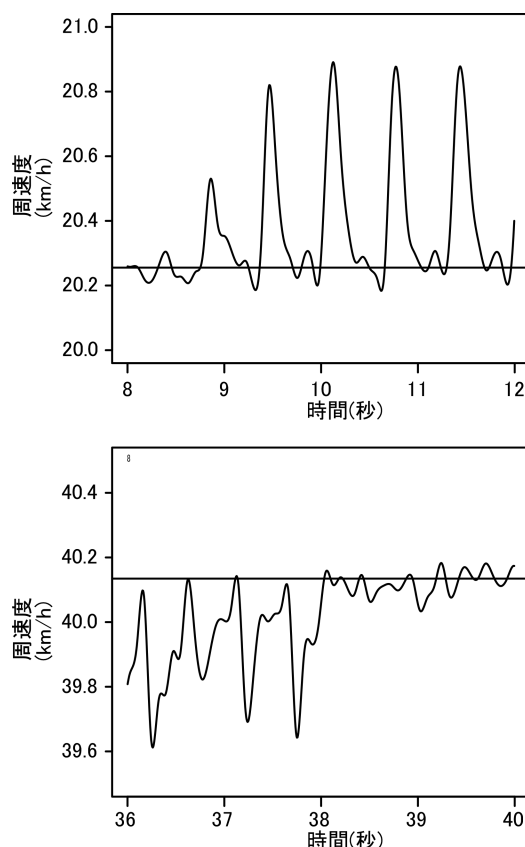


図2 自動回転型ローラー台上で計測されたホイールの周速度(回転により生じるローラー表面の速度)の例

れる。一方、下段では、Subj.1 が漕ぐたびにホイールが減速している。これは Subj.1 が回せない速度であるため、ホイールに触れた手によって減速したと考えられる。これらのことから、自動回転型ローラー台を漕いだときの速度変化から、競技者が回すことが可能なホイールの速度を評価できることが示唆された。

体験後の感想では、2名とも「自身では到達が困難な速度で回転しているホイールを簡単に体験できること」を評価していた。また、電動モーターによりローラーの回転は指定した速度を保とうとするため、「任意の負荷を与えることのできる練習装置」としても活用できるのではないかという提案も頂いた。

(2) 計測用ローラー台の開発と計測システムの構築

左右の駆動フォームが異なる場合には、ホイールの回転速度も異なる可能性があるため、計測用ローラー台には、左右のホイールが独立して回転できる2本ローラー台を用いた。

開発した計測用ローラー台の各ローラーの直径は 0.15m であり、本研究で開発した計測装置が取り付けられている(図3)。計測装置は、ローラーの回転を計測する角速度センサ(アナログ・デバイセス, ADIS16266)計測されたデータを保存するSDカード(東芝 FlashAir W-03)、外部と Bluetooth Low

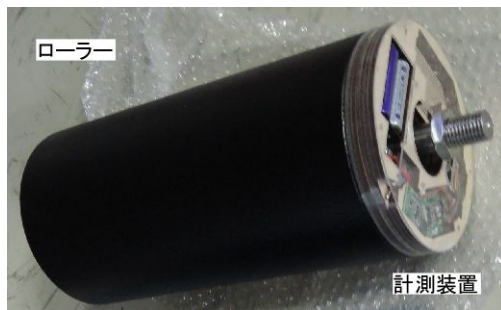
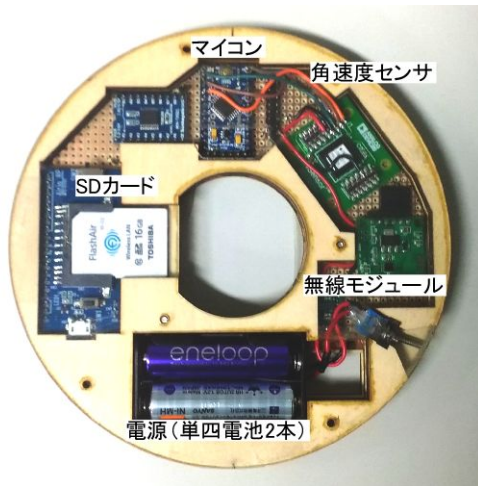
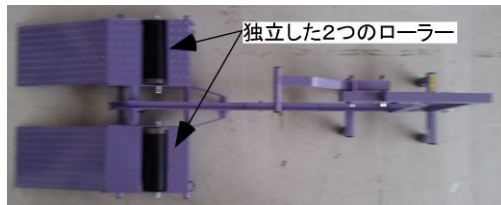


図3 計測用ローラー台
(上)全体 (中)計測装置 (下)計測装置を付けた状態のローラー (2本中1本のみ図示)

Energy (以下、BLE) で通信を行うための無線通信モジュール (浅草ギ研、BLESerial) 及びこれらを制御するマイコン (Arduino、arduino pro mini 328) と電源となる単4電池2本から構成されている。計測装置で測れるローラーの速度は $\pm 66\text{km/h}$ であり、分解能は 0.02km/h である。なお、角速度の計測範囲は $\pm 14000\text{dps}$ (分解能は 4.17dps)、サンプリング周波数は 200Hz と設定した。

計測装置はタブレット端末 (ソニー、Xperia Z3 Tablet Compact) と BLE で無線接続されており、計測の開始や停止といった制御はタブレット端末で動作する自作ソフトウェア (以下、制御・表示用ソフトウェア) を用いて行う。また、当計測装置は、ローラーの回転速度を SD カードに蓄積しながら、タブレット端末に向けて 0.5 秒間隔で回転速度の平均値を送信するため、制御・表示用ソフトウェアで速度の変化を確認することが可能である。また、制御・表示用ソフトウェアでは BLE で規定されている Heart Rate

Profile が使用可能な心拍計からデータを取得し表示すること、および、計測装置に転送し速度とともに記録することが可能である。

本研究で構築した計測システムでは、開発した計測用ローラー台に加えて、駆動フォームを撮影するためにビデオカメラと、BLE での接続が可能な心拍計としてリストバンド型脈拍計を用いた。計測システムの概要を図4に示す。

計測用ローラー台を用いて駆動フォームの左右差を評価した被験者は、自動回転型ローラー台の評価を行った Subj.1 と Subj.2 の2名である。なお、2名とも自身の駆動フォームに左右差があると普段から感じている。

今回の評価システムでの計測では、計測用ローラー台の上で停止した状態から最大努力で漕ぐことを各被験者に指示した。また、車椅子は被験者が所持しているものを使用した。駆動トルクやパワーの算出にホイールの慣性モーメントが必要となるため、慣性モーメントの実測値が既知である計測用ホイールを用いた。

計測されたローラーの角速度に対しては、平滑化スプラインを用いてノイズの低減と角加速度の算出を行う。その後、ローラーとホイールの慣性モーメントの和と角加速度の積から駆動トルクを算出する。そして、角速度と駆動トルクの積からパワーを推定する。ローラー及び計測用ホイールの慣性モーメントは実測値である $0.26\text{kg}\cdot\text{m}^2$ と $0.14\text{kg}\cdot\text{m}^2$ を用いた。なお、平滑化スプラインの計算には、統計処理ソフト R の stats パッケージに含まれる smooth.spline 関数を用い、nknots 以外の引数は初期値とし、nknots はデータ長の $1/10$ とした。

また、一漕ぎあたりの左右の違いを評価するために、一漕ぎ一漕ぎの漕ぎ始めと漕ぎ終わりの時刻を角速度波形から推定する。推定には、角速度が増加し始めた箇所を漕ぎ始めの候補時刻、減少し始めた箇所を漕ぎ終わりの候補時刻、減速し始めた箇所を漕ぎ終わりの候補時刻といった情報を加味しながら目視で一漕ぎ一漕ぎの漕ぎ始めと漕ぎ終わりの時刻を推定した。なお、1漕ぎ目の漕ぎ始めについては、ローラーが 0.4km/h を越えた時刻とした。

Subj.2 の計測結果の1例を図5に示す。図5の上段は平滑化スプラインによって平滑化された左右のローラーの周速度、中段はローラーと計測用ホイールの慣性モーメントの和と右ローラーの角加速度の積である。下段は右ローラーの角速度と中段の波形の積である。中段と下段は、被験者が漕いでいる区

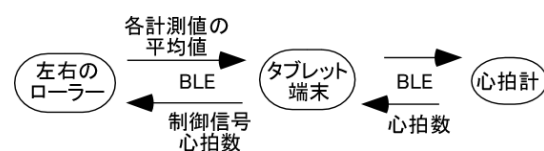


図4 計測システムの概要

間では、それぞれ、右半身の駆動トルク及びパワーと見なせる値である。各図とも薄く塗られている区間は、被験者が車椅子を漕いでいる（実際に力を加え駆動している）と推定される区間である。

被験者の駆動フォームの左右差の評価として、1漕ぎ目から計測における最大速度の90%を越えた漕ぎ数について、左右のパワーの積算値（以下、仕事）の比を求めた。図5下段の波形から求めた漕ぎ数に対する左右の仕事の割合（両方による仕事の和に対する右の割合）を図6に示す。値が小さい場合は、左側が優位、値が大きい場合は右側が優位であることを表している。なお、最大速度の90%を越えた漕ぎ数が左右で異なった場合は小さい方の値を用いた。

図6が示すように、各漕ぎで行われた仕事の左右の比は、50%前後を示しており、Subj.2が想定していたような大きな偏りはなかった。しかし、図6では9漕ぎ目だけ値が大きくなっている。これは、駆動フォームの左右差によるものではなく、グローブが滑ったり、ハンドリムを掴み損ねたりなどの突発的に生じる駆動ミスが原因と考えられる。

このような突発的な駆動ミスは、競技中に生じると、突発的な駆動ミスが生じた側で行えた仕事が少なくなるため、記録に多大な影

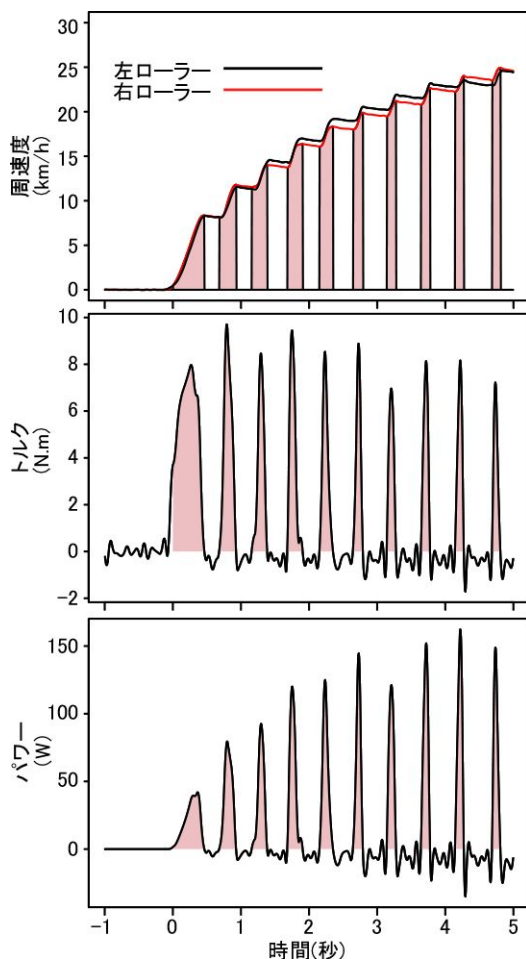


図5 計測用ローラー台による計測例

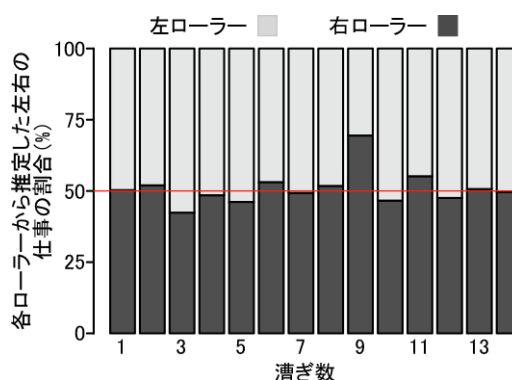


図6 左右別の仕事の割合

響を及ぼす。しかし、練習を繰り返し駆動フォームが習熟していくことでこうしたミスを減らせると考えられる。構築した評価システムを用いることで、突発的な駆動ミスによる影響を左右の仕事の割合として可視化できる。また、機材スポーツである車椅子マラソンでは、車体の設定、たとえば、タイヤの空気圧やハンドリムのリム径などを変えると、仕事の左右の比も変化すると考えられる。そのため、我々が構築した評価システムは駆動フォームの左右差の評価に加えて突発的な駆動ミスの可視化や適切な機材設定の探索にも有効と考えられる。

(3) 研究成果のまとめ

本研究では、「競技者自身では到達できない速度や高速度帯で回るホイールを漕ぐ練習が安全に行える練習機器の開発」と「駆動フォーム評価システムの構築」を行い、競技者2名の駆動フォームを評価することを試み、実際に駆動パワーの左右差が可視化ができることを示した。

5. 主な発表論文等

- 〔雑誌論文〕(計0件)
- 〔学会発表〕(計0件)
- 〔図書〕(計0件)
- 〔産業財産権〕(計0件)
- 〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤澤康史 (AKAZAWA Yasushi)
兵庫県立福祉のまちづくり研究所・主任研究員
研究者番号：90426544

(2) 研究分担者

中村俊哉 (NAKAMURA Toshiya)
兵庫県立福祉のまちづくり研究所・技師
研究者番号：20426547

(3) 連携研究者

原良昭 (HARA Yoshiaki)
兵庫県立福祉のまちづくり研究所・研究員
研究者番号：00426545