

令和元年6月25日現在

機関番号：84506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01722

研究課題名（和文）車椅子マラソンにおけるハンドリム径や取付間隔が発揮トルクに及ぼす影響に関する研究

研究課題名（英文）Study on the influence of hand rim diameter and mounting distance for torque exerted of user in wheelchair racing

研究代表者

中村 俊哉（NAKAMURA, Toshiya）

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他部局等・技師

研究者番号：20426547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ハンドリムのリム径、パイプ径などが車椅子マラソンを漕いだときの角速度に及ぼす影響を調査するために、ハンドリムのリム径、パイプ径及びホイールからハンドリムまでの距離の変更が容易であり角速度の計測が可能な計測用ホイールを開発した。開発した計測用ホイールを用いた計測により、ハンドリムの設定を変更すると計測される角速度が変化することを示した。この結果から、角速度を用いてハンドリムの設定を評価できることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車椅子マラソンの競技力には、マラソン用車椅子のハンドリムの設定も影響し、適切な設定は競技者毎に異なると考えられる。そのため、設定が不適切な状態の競技者がいる可能性がある。本研究で開発した計測用ホイールを用いることにより、車椅子を漕いだときの角速度とその変化が可視化される。角速度が可視化されたことで、競技者はリム径やパイプ径などのハンドリムの設定が適切かどうかを判断することが可能となる。このように本研究は車椅子マラソン競技者の競技力向上を支援する研究であり意義深いものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, wheelchair wheels to measure angular velocity were used to investigate influences of hand rim and mounting distance on wheel propelling character. Totally 24 kinds of wheel were made: four hand-rim diameters, three pipe diameters and two mounting distances. Measurement using the developed wheels indicated that wheel angular velocity were changed along with hand-rim setting. This result suggests that the angular velocity can be used to evaluate the setting of the hand rim.

研究分野：リハビリテーション工学 福祉工学

キーワード：車椅子 障害者スポーツ 車椅子マラソン トルク

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

代表的な障害者スポーツの1つに車椅子マラソンがある。車椅子マラソンの競技者は、競技力向上の一環として身体能力の強化を目的とした練習を行っている。また、競技力向上には身体能力の強化だけでなく、強化された身体能力を効率良く活用できることが重要である。そのため、競技者は自身の身体的特徴に応じた効率的な漕ぎ方や適切な車椅子の設定を知る必要がある。

このように、車椅子マラソンにおける競技力向上には、多様な分野の専門的知識が必要となる。そのため、競技者が単独で競技力向上を図るのは非効率的であり、効率的な競技力向上には様々な分野の研究者による科学的支援が有効である。

我々は、競技者の競技力向上を支援する為に、2013年度から、マラソン用車椅子を漕ぐ際に競技者が発揮するトルクやホイールの周速度の計測が可能なホイール(以下、計測用ホイール)や電動モータを内蔵しローラの回転速度の制御が可能なローラ台の開発し、競技者の漕ぎ方が競技者の発揮するトルクやパワーに及ぼす影響について研究を行っている。

我々が開発した計測用ホイールでは、ハンドリム径やハンドリム取付間隔といったハンドリムの設定を変更することができない。そのため、被験者の使用しているハンドリムの設定と計測用ホイールの設定が異なっている場合は、計測用ホイールを漕ぐ時に違和感が生じることがある。この違和感が生じた原因として、常用しているハンドリムの設定と計測用ホイールの設定が異なっているため、被験者の漕ぎ方が変化したことが考えられる。このように、ハンドリムの設定が漕ぎ方に影響を及ぼすならば、発揮されるトルクやパワーにも影響を及ぼすことが考えられる。従って、発揮されたトルクやパワーを評価指標として競技者毎に適切なハンドリムの設定を決定することができる可能性がある。

我々は、競技者がハンドリムの設定を科学的根拠に基づいて決定することができるようにする為に、ハンドリムの設定が発揮できるトルクやパワーに及ぼす影響を明らかにすることが必要であると考えに至った。

### 2. 研究の目的

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為に、競技者がハンドリムの設定を科学的根拠に基づいて選択・決定するためのデータを提供することである。研究目的を達するために、競技者が発揮したトルクやパワーに基づいて適切なハンドリムを提案するために、競技者が発揮するトルクや周速度の計測装置が組み込まれ、ハンドリムを交換することが可能な計測用ホイールを開発する。また、ハンドリムの設定が競技者の発揮するトルクやパワーに及ぼす影響を明らかにするために、ハンドリムの設定と競技者が発揮するトルク及びパワーの関係を分析する。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、ハンドリムの設定が変更可能でトルクや周速度の計測が可能な計測用ホイールを製作し、製作した計測用ホイールを用いて、被験者が発揮するトルクやパワーに基づいて被験者毎に適切なハンドリムの設定を提案する。また、提案時に計測したデータを用いてハンドリムの設定が被験者の発揮するトルクやパワーに及ぼす影響について分析を行うことで車椅子マラソンにおける競技力向上に貢献する。

### 4. 研究成果

#### (1) 計測環境の構築

我々は先行研究にてトルク計測が可能な計測用ホイールの開発を行ってきた。開発した計測用ホイールでは、ハンドリムとホイールを接合する4本の支柱に歪みゲージを貼付し、ハンドリムに加わったトルクにより生じる各支柱の剪断歪みの平均値からトルクを推定する仕組みを採用している。

研究当初は、この計測用ホイールをリム径やパイプ径などが異なるハンドリムを取り付けられるように改良することで、計測環境の構築に要する時間の短縮を図る予定であった。しかし、計測用ホイールに対してハンドリムを叩くようなインパクトが大きい漕ぎ方を行うと、計測されたトルク信号の直流成分に変動が生じることが本研究の初年度に確認された。これは、ハンドリムとホイールを接合する支柱はハンドリムとは溶接されているが、ホイールとはボルトとナットでの締結となっている。また、ホイール側も支柱側もボルトを通す穴は、ボルトよりも少し大きい。そのため、インパクトが大きい漕ぎ方を行うとホイール側と支柱側の位置にずれが生じ、また、手がハンドリムに触れた位置に近い接合部ほどずれは大きくなると考えられる。この結果、トルクを加えていなくても各支柱には剪断歪みが生じ、さらに、漕ぐ度に各支柱の剪断歪みが増えるため、計測されたトルク信号の直流成分に変動が生じたと考えられる。ハンドリムとホイールの接合方法の改善により直流成分の変動を低減・消失できると考えられるが、本研究の期間内での改善は困難と考えられ、別の評価手法を考案する必要性が生じた。

走行時におけるホイールの角速度の時間変化分である角加速度は、被験者が漕ぐことで車椅子に加えた力と軸周りや路面との摩擦力などその他の力の合算となる。走行条件に変化がないこととその他の力が小さいことに加え両輪が独立して回転できる場合、角速度の変動から被験者が加えたトルクの推定が可能と考えられる。本研究では、ハンドリムのリム径やパイプ径などがホイールの角速度に及ぼす影響を評価するために、ハンドリムの設定が変更可能で角速度の計測が可能なホイールを製作し、両輪を独立して回転させることができるローラ台を用いた計測を実施した。

### 計測用ホイール

計測用ホイールは、車椅子マラソンで使用されることが多いブレードホイールを用いた。ブレードホイールではハンドリムと接合する穴をホイールに開ける必要がある。そのため、リム径が異なるハンドリムを装着する場合は、異なる位置に穴を追加で開ける必要があり、競技者は気軽にリム径が異なるハンドリムを試すことはできない。計測用ホイールでは、追加の穴開けをすることなくリム径が異なるハンドリムを装着できるようにするために、ホイールとハンドリムの間にドーナツ型のアルミ板を挟み、このアルミ板にホイールとハンドリムを、それぞれ結合するようにした。このアルミ板には、角速度の計測が可能なデータロガ（ロジカルプロダクト、LP-WS1103）を貼付している。データロガが計測する角速度の分解能は16bitであり、サンプリング周波数は1kHzである。図1はハンドリムを装着前の計測用ホイールであり、図2はハンドリム及びデータロガを取り付けた状態の計測用ホイールである。

本研究では、ハンドリムのリム径とパイプ径および取付間隔が駆動フォームに及ぼす影響を調査するために、ハンドリムのリム径とパイプ径および取付間隔の3つの要素が異なるハンドリムを製作した。製作したハンドリムのパイプ径は3種類（10、12および14）、取付間隔は2種類（38mm、43mm）、リム径は4種類（370mm、380mm、390mmおよび400mm）であり、全ての組み合わせについて製作した。そのため、製作したハンドリムのパターン数は24となる。ハンドリムを除く計測用ホイールの質量は1.69kgであった。各ハンドリムの質量は表1と表2に示す。表1は取付間隔が38mmのハンドリム、表2は取付間隔が43mmのハンドリムを示している。ハンドリムの質量の最小値は206g（取付間隔:38mm、パイプ径:10、リム径:380mm）、最大値は331g（取付間隔:43mm、パイプ径:14、リム径:390mm）であり、差は125gとなる。ホイールの質量1.69kgに対して軽いことや、通常、レースで使用されているハンドリムもその質量はリム径やパイプ径の変化に伴い変化することから、本研究では、表1と表2が示すようにハンドリムの質量を揃えることはしなかった。

### ローラ台と車椅子

本研究では、ホイールの角速度を評価指標として利用する。走行条件の変化を抑えるために、本研究ではローラ台上での走行を計測した。計測に用いたローラ台は、我々が先行研究にて製



図1 計測用ホイールの両面

左：計測用ホイールの表面  
右：計測用ホイールの裏面  
計測用ホイールの裏面にハンドリムのアダプタを止める。アダプタの穴はハンドリムを止めるネジ穴である。



図2 ハンドリムとデータロガを取り付けた計測用ホイール

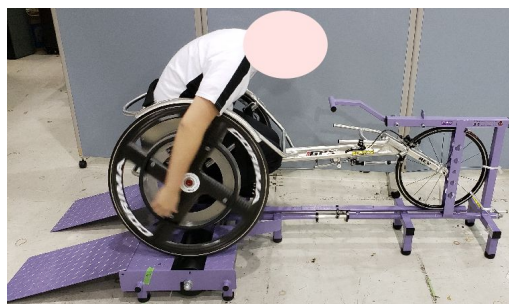


図3 計測で使用したローラ台を用いた走行



図4 後方からみたローラ台

両ホイールに独立したローラが設置しているため、両ホイールは独立して回転することが可能である。

表1 取り付け間隔が 38mm の  
ハンドリムの重量 (g)

ハンドリムのパイプ径(mm)	ハンドリムのリム径(mm)			
	370	380	390	400
10	207	206	214	220
12	255	258	263	290
14	294	290	323	315

表2 取り付け間隔が 43mm の  
ハンドリムの重量 (g)

ハンドリムのパイプ径(mm)	ハンドリムのリム径(mm)			
	370	380	390	400
10	212	225	224	227
12	259	266	272	298
14	302	309	331	318

作したローラ台であり、車椅子の両ホイールが独立して回転できるようにホイール毎にローラがあるタイプのローラ台である。図3はローラ台での走行状況を示した図であり、図4はローラとホイールの接地状況を示すためにローラ台後方から写した写真である。なお、ローラの直径は 0.15m である。

(2) 計測用ホイールを用いた角速度の計測

ハンドリムを変えながらローラ台上で静止した状態から被験者の最大努力で最大速度まで加速し、最大速度の維持を試みた状態の角速度を計測した。被験者は車椅子マラソンの経験がない健常者 2 名であり、健常者が乗車できるように座幅を広げた車椅子（オーエックスエンジニアリング, GPX）を用いた。また、被験者の安全を確保するため、計測中は心拍数をモニタしている。心拍数の計測にはリストバンド型脈拍計（エプソン、PULSESENSE PS-100）を用いた。

図5は、リム径 370mm、パイプ径 10mm、取付間隔 38mm のハンドリムを用いたときに計測された角速度から算出した車椅子の速度波形である。速度はホイールの直径と角速度から算出した 1 秒間あたりの回転数から求めた。また、速度波形の算出には、スプライン平滑化処理によって平滑化された角速度を用いた。

図5の黒線は左手側のホイールの速度変化を、赤線は右手側のホイールの速度変化を示す。両ホイールは加減速を繰り返しながら、約 10 秒程度まで速度を増加させ、その後、一定の値を加減速しながら保とうとしている。この速度波形の加減速から車椅子の駆動周期や駆動相と回復相の割合が推察可能である。具体的には、被験者が車椅子を漕ぐことで車椅子は加速するため、加速が始まった時刻から減速が始まった時刻までが駆動相、減速が始まった時刻から加速が始まった時刻までが回復相と推定できる。また、図5は、被験者が競技者でないこともあり、被験者の利き腕である右手側ホイールの速度が左手側ホイールの速度よりも常に大きいことを示している。本研究で構築した計測環境では、両ホイールが独立して回転しているため、ホイール毎に駆動周期や駆動相と回復相の割合、また、速度を取得し可視化することが可能となる。これらの値についてホイール毎に差があると、左右で漕ぎ方や駆動力に差が生じていることを示していると考えられるため、これらは、被験者の身体能力や駆動フォームといった車椅子を漕ぐ能力の総合的な指標として有用と考えられる。

図6は、リム径 370mm、パイプ径 12mm、取付間隔 38mm のハンドリム及びリム径 370mm、パイプ径 12mm、取付間隔 43mm のハンドリムという取付間隔が異なる 2 つのハンドリム毎に計測された速度波形を重ねて示したものであり、取付間隔の違いがホイールの速度に与える影響を示している。黒線は取付間隔が 38mm のハンドリム、赤線は取付間隔が 43mm のハンドリムにて計測された速度である。また、両ホイールの速度波形を同時に示すために、左手側ホイールの速度は -1 倍している。黒線は右手側も左手側も 13 秒付近から 15 秒にかけて、速度波形に変化が生じ加速と減速の周期性が崩れている。これは両ホイールにおいてハンドリムのキャッチミスなど

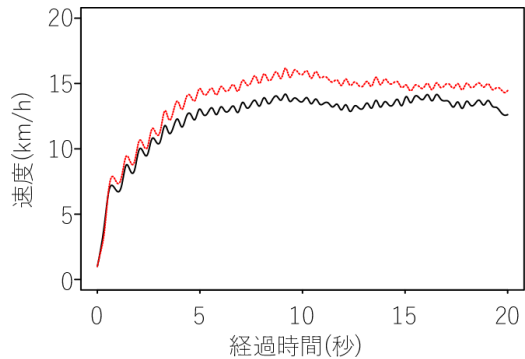


図5 リム径 370mm、パイプ径 10mm、取付間隔 38mm のハンドリム使用時における速度変化  
黒線：左手側のホイールの速度変化  
赤線：右手側のホイールの速度変化

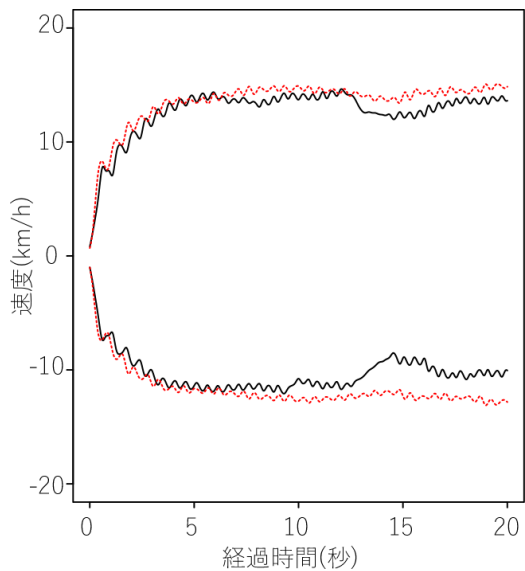


図6 リム径 370mm、パイプ径 12mm、取付間隔 38mm のハンドリムとリム径 370mm、パイプ径 12mm、取付間隔 43mm のハンドリムの比較  
黒線：取付間隔 38mm  
赤線：取付間隔 43mm  
正值：右手側ホイールの角速度波形  
負値：左手側ホイールの角速度波形

で漕ぎ方が乱された事が原因と推察される。また、左手側ホイールでは、10秒付近にも周期性の乱れが確認されるが、右手側ホイールでは、10秒付近では確認されず、それよりも少し前に確認される。これは左右のホイールで、それぞれ、異なる時間でハンドリムのキャッチミスといった漕ぎ方が乱れるイベントが生じたためと考えられる。このように、速度波形からホイール毎に漕ぎ方が乱れるイベントが生じた時刻を推定することが可能である。また、赤線では周期性の乱れが確認できないため、漕ぎ方が乱れるイベントが生じていないことが推察される。

図6では、走行開始から約5秒後まで、速度の絶対値は黒線よりも赤線のほうが平均して大きい。この結果は、被験者にとって取付間隔が38mmのハンドリムよりも43mmのハンドリムのほうが車椅子を静止した状態から加速することが容易であることを示している。従って、短距離走では38mmよりも43mmのハンドリムが適しているといえる。ただし、この結果は汎化されるものではなく、競技者毎に結果は異なると思われる。

図7は、リム径370mm、パイプ径10mm、取付間隔38mmのハンドリム及びリム径370mm、パイプ径14mm、取付間隔38mmのハンドリムというリム径が異なる2つのハンドリム毎に計測された速度波形を重ねて示したものであり、ハンドリムのパイプ径の違いがホイールの速度に与える影響を示している。黒線はパイプ径が10mmのハンドリム、赤線はパイプ径が14mmのハンドリムにて計測された速度である。図6と同様に、左手側ホイールの速度は-1倍している。同図の速度波形では、同時刻における速度は、常に14mmのハンドリムよりも10mmのハンドリムを用いて計測したほうが大きいことを示している。従って、短距離走など、計測を行った静止状態から20秒程度までの時間が競技時間となる場合、被験者は10mmのハンドリムを用いたほうが競技力は向上するといえる。また、右手側ホイールでは、10mmに比べると14mmでは速度が小さく、被験者に適していないことが示唆される。

図8は、リム径370mm、パイプ径12mm、取付間隔38mmのハンドリム及びリム径400mm、パイプ径12mm、取付間隔38mmのハンドリムというリム径が異なる2つのハンドリム毎に計測された速度波形を重ねて示したものであり、ハンドリムのリム径の違いがホイールの速度に与える影響を示している。黒線はリム径が370mmのハンドリム、赤線はリム径が400mmのハンドリムにて計測された速度である。図6と同様に、左手側ホイールの速度は-1倍している。黒線は図6の黒線と同じである。そのため、黒線には漕ぎ方の乱れに由来すると考えられる周期性の乱れが確認される。図8は、被験者にとっては、リム径が400mmのハンドリムのほうが加速しやすく、平均して速度も早くなることを示している。

本研究当初では、駆動トルクを計測できるホイールを開発し、開発した計測用ホイールを用いて被験者の駆動フォームを構築することを行う予定であった。しかし、トルク計測システムの開発が難航したため、トルクではなくホイールの角速度を用いた評価に変更した。図5が示すように、角速度波形からは駆動周期や両ホイールの速度差に加えて漕ぎ方に変化が生じた時刻も推定できる。さらに、図6から図8までの各図が示すように、ハンドリムのリム径やパイプ径および取付間隔を変更すると計測用ホイールに生じる角速度が変化した。角速度波形は被

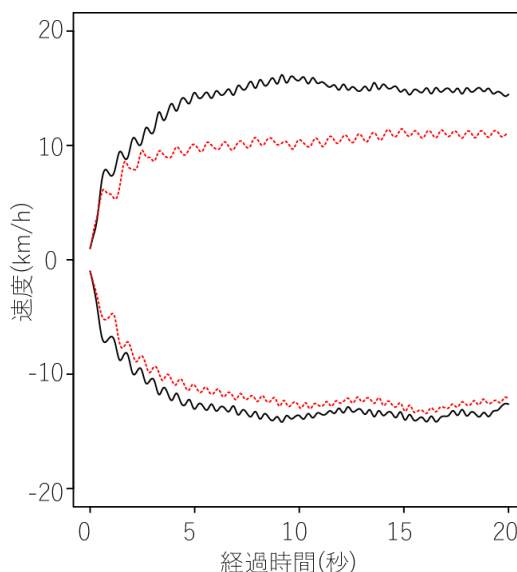


図7 リム径370mm、パイプ径10mm、取付間隔38mmのハンドリムとリム径370mm、パイプ径14mm、取付間隔38mmのハンドリムの比較  
黒線:パイプ径10mm  
赤線:パイプ径14mm  
正值:右手側ホイールの角速度波形  
負値:左手側ホイールの角速度波形

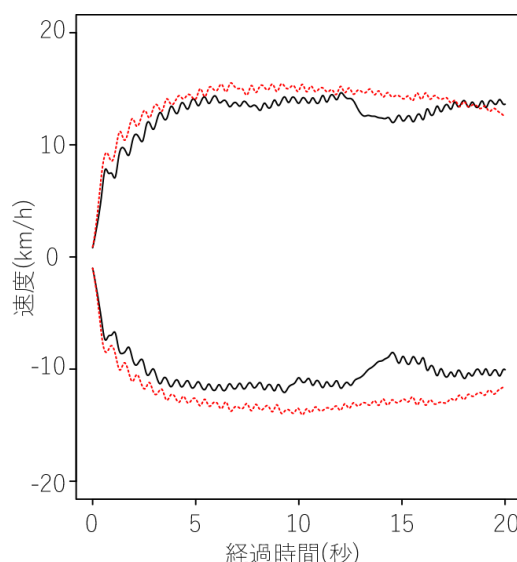


図8 リム径370mm、パイプ径12mm、取付間隔38mmのハンドリムとリム径400mm、パイプ径12mm、取付間隔38mmのハンドリムの比較  
黒線:リム径370mm  
赤線:リム径400mm  
正值:右手側ホイールの角速度波形  
負値:左手側ホイールの角速度波形

験者の漕ぎ方の影響を受けると考えられるため、トルクを用いなくとも角速度波形から被験者の漕ぎ方を評価できることが示された。

## 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〕  
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名： 原良昭

ローマ字氏名：(HARA, Yoshiaki)

所属研究機関名：森ノ宮医療大学

部局名：保健医療学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 00426545

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。