

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282175

研究課題名(和文)片手駆動による直進走行が可能なスポーツ競技用車椅子の開発と実用化

研究課題名(英文)Development of the new wheel-chair having the function to drive straight by one-hand operation and the practical realization

研究代表者

塩野谷 明(Shionoya, Akira)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：50187332

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：片手による直進走行が可能でかつ片手・両手切り替え駆動が可能なスポーツ競技用車椅子の開発と評価を行い、実用化までを試みるものである。評価に際しては、片手駆動を可能とする駆動力伝達軸の耐久性を最重要視した。本研究に際しての先行研究において、駆動力伝達軸には最大 $39.53\text{N}\cdot\text{m}$ のトルクがかかることがわかっており、これを車椅子開発上の目標値とした。車椅子ローラー上および体育館フロアでの走行中のトルク計測を行った結果、最大トルクで $10.6\text{N}\cdot\text{m}$ に留まることから、開発したスポーツ競技用車椅子は競技使用に充分適していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop the new wheel-chair having the function to drive straight by one-hand operation. To perform this purpose, the driving force transmission axis (DFTA) which had transmitted the driving force from the one side of wheel to another side of that was developed. The wheel-chair could drive straight by one-hand operation by the DFTA. The large torque, however, was generated in the DFTA, because the DFTA transmitted the driving force from the one side of wheel to another side by the axis of small diameter. Furthermore, the shear stress in the DFTA generated by this torque would lead to the DFTA break. The shear stress in the DFTA was calculated to examine the axial strength and durability. On the DETA of the wheelchair, the maximum shear stress calculated from the torque in driving was $44.0\text{N}\cdot\text{m}$ and this was defined as the standard of the demand specifications as a strength and durability of the DFTA.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スポーツ競技用車椅子 片手駆動直進走行 駆動力伝達軸 トルク ボウリング競技用車椅子

1. 研究開始当初の背景

2020年オリンピック・パラリンピックの東京開催が決定し、日本がかつての活気を取り戻す期待感が大きい。オリンピック・パラリンピック開催地決定には各国首脳が出席するように、スポーツはその国の将来を左右するほど社会的にも影響力が強い。こういった背景からパラリンピックに代表される障がい者スポーツにも注目が集まり、パラリンピックでは日本は多くの種目で数多くのメダルを獲得している。障がい者スポーツで使われる用具は陸上のオスカー・ピストリウスの義足ブレードを例に取るまでもなく、技術・テクノロジーの集合体である。しかし障がい者一人一人をみると個々で身体各部に様々な傷害を受けていることがわかるが、現在の用具がこれら多くの障がいのすべてに対応しているものではない。例えば既存の競技用車椅子は直進する場合、両手駆動を前提として製作されているが、競技者には片腕切断や半身麻痺などの障害により片手だけで車椅子を駆動しなければならない選手がいる。車椅子バスケットボールでこのような選手は、片手で交互に左右の駆動輪を操作するという困難な方法で車椅子を操作しなければならない。また、車椅子テニスやバドミントンではラケットを持った利き腕で、さらに駆動輪の操作も行なうという二重の仕事をこなさなければならない。これまで開発されている車椅子では、こういった障がい者やスポーツ種目への対応は不十分であった。

2. 研究の目的

そこで本研究は、片手による直進走行が可能でかつ片手・両手切り替え駆動が可能な競技用車椅子の開発と評価を行い、実用化までを試みるものである。

図1に、本研究で開発する片手による直進走行が可能なスポーツ競技用車椅子の片手駆動機構を示す。片側の車輪に2つのハンドリムを装着し、駆動力伝達軸を介して反対側の車輪を回転させる機構である。スポーツ競

技用車椅子の特徴であるキャンバー角に対応するために、ユニバーサル(またはフレキシブル)ジョイントを用いたジョイント機構を構築した。本研究でもっとも重要となった課題は、ジョイント機構を含めた駆動力伝達軸の耐久性であった。本研究で採用したハンドリムは左駆動が直径55cm、逆駆動が同50cmとし、ハンドリムに接続する駆動力伝達軸は直径2.0cmで、先行研究における被験者の最大(ハンドリム)駆動力は平均150N前後であった(被験者の最大値は157.87N)ことから、軸に作用するトルクは44.0N・m、軸に作用する力は8685Nに及ぶことがわかる。しかし、実際に軸の耐久性に関するものは軸に対するせん断応力である。半径rにおけるせん断応力 τ は

$$\tau = \frac{T}{I_p} r \tag{1}$$

である(但しT:トルク、 I_p は断面2次極モーメント)。今、最大せん断応力(τ_{max})は軸の外周で最大となり、 $D/2$ (Dは軸の直径)の位置に生じるため

$$\tau_{max} = \frac{T}{I_p} * \frac{D}{2} = \frac{T}{Z_p} \tag{2}$$

となる(但し、 Z_p は極断面係数)。ここで断面2次極モーメントと極断面係数の間には、

$$Z_p = \frac{I_p}{D/2} \tag{3}$$

が認められる。今、本研究の伝達軸に用いた直径Dの中実丸軸の断面2次極モーメントは

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32} \tag{4}$$

で示され、極断面係数は

$$Z_p = \frac{\pi D^3}{16} \tag{5}$$

である。よって、最大せん断応力は2)式に、この5)式を代入すれば求められることになる。すなわち、

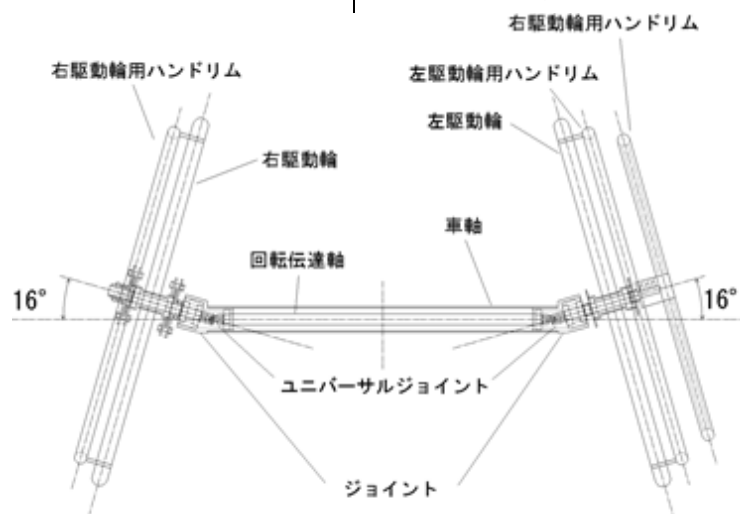


図1 片手による直進駆動を可能とする駆動力伝達機構

$$\tau_{\max} = \frac{T}{Z_p} = \frac{16T}{\pi D^3} \quad 6)$$

が求める最大せん断応力となる。ここに前述の数値 $T=44.0\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $D=0.02$ を代入すれば $\tau_{\max}=38.42 \times 10^6 \text{P} \approx 36\text{MP}$ が軸に負荷されるものと考えられる。これは一本の長軸であれば一般的な数値であるが、接合部（ジョイント部）に負荷された場合には破断に及ぶことも考えられる。本研究に先行させた予備研究で試作した軸の接合部には、直径 1.0cm の鋼鉄製の円柱を楔に用いている。直径 1.0cm とした場合、ここに 3000N （約 300kg ）以上のせん断力がかかることになる。加えて本研究で用いた駆動力伝達軸は、車椅子のキャンパ角に対応して 16° の角度変化（図 1）があるため、実際のせん断応力は

$$\tau_{\max} = 38\text{MP} / \cos\theta \quad 7)$$

となり 39.53MP に及ぶことになる。本研究では、この数値に基づいた駆動力伝達軸の製作と片手による直進駆動が可能なスポーツ競技用車いすの開発を行うことを目的とした。

本稿では、開発した車椅子に関して行った研究課題から

- ① 片手駆動による直進走行時のパワー計測；両手駆動との比較
- ② 車椅子ローラー上および体育館フロアでの片手駆動時のトルク計測の 2 つについて報告する。

3. 研究の方法

3-1. 片手駆動による直進走行時の推進パワー計測；両手駆動との比較

実験は体育館フロアで行い、被験者は成人健常者男子 5 名であった。市販されるエルゴメータ（PowerMaxV II）のペダル部にワイヤーを巻き付けたドラムを装着、ワイヤーの一端は車椅子に接続した。負荷条件は、 0.1kp 、 0.4kp 、 0.7kp の 3 段階に設定した。

被験者は、上記の 3 段階の負荷条件で、両手・片手でそれぞれ 3 秒および 7 秒間、合計 6 回最大努力での負荷牽引時車椅子の直進駆動運動を行った（図 2）。

推進パワーについては、負荷（L）とペダル回転速度（R）の関係から中村好男らの方法で求めた。L と R の関係は、

$$R = -a \times L + b \quad 7)$$

ただし R：速度（ドラム回転数）[rpm]，L：負荷値[kp]

このとき a、b は定数で、a は直線の傾き、すなわち負荷に対する速度の低下率を示し、b は計算上の最大速度（ドラム回転数）を示し、R と L の関係は負の関係となる。

ここでパワーは R と L の積であり、L に対するパワー（P）は下記に示す凸型の二次曲線で近似される。

$$P = 0.98 \times \left[-a \left(L - \frac{b}{2a} \right)^2 + \frac{b^2}{4a} \right] \quad 8)$$



図 2 車椅子推進パワー計測の概要

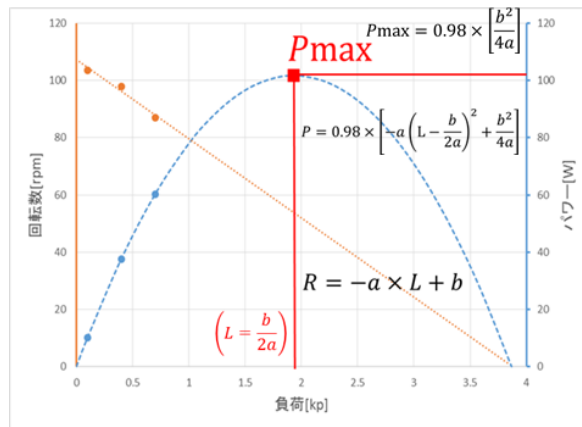


図 3 推進パワーの算出方法

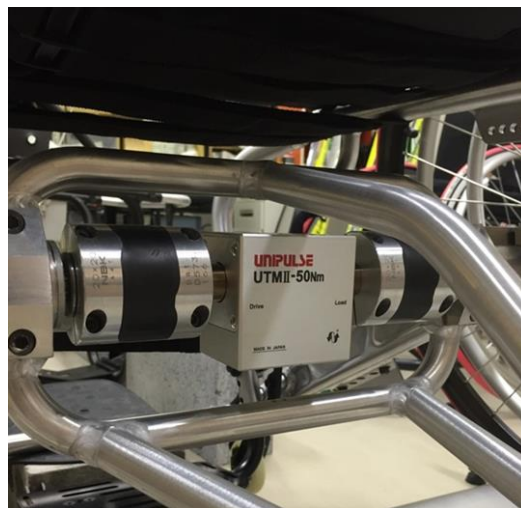


図 4 車椅子トルク計測システム



図 5 車椅子ローラーによる計測の様子

この二次曲線は" $L=b/2a$ "のときに最大値となることから、求めようとする負荷を与えた際の車椅子駆動の最大推進パワーを P_{max} とすると以下のとおりとなる (図 3)。

$$P_{max} = 0.98 \times \left[\frac{b^2}{4a} \right] \quad 9)$$

3-2. 車椅子ローラー上および体育館フロアでの片手駆動時のトルク計測

開発した片手駆動による直進走行が可能な車椅子の駆動力伝達軸に、トルクメータを組み込んだシステムで軸にかかるトルクの計測を行った。車椅子にはハンドリム、ユニバーサルジョイント、伝達軸、カップリング、トルクメータの順で組み込んだ (図 4)。

本研究で使用したトルクメータ「UTM II -50Nm」は、スリップリングレスの構造となっているため、軸がスムーズに回転する。回転軸上にひずみゲージが貼付され、軸に固定されている円盤状の電子回路上にひずみアンプ (ひずみゲージの信号を増幅する装置)、マイクロコントローラなどからなる電子回路が配置されている。この電子回路基板が、軸とともに回転しながら非接触で固定側の電子回路から電力を受け取り、ひずみゲージが軸に生じたひずみ量を検知して得られた信号をデジタル信号に変換し、非接触で固定側の電子回路に伝送する。

トルクの計測は、車椅子ローラー上 (図 5) および体育館フロアで行った。車椅子ローラー上では家庭用電源の供給が可能であるが、計測が広範囲に及ぶ体育館フロアでは供給ができないため、本研究では、トルクメータを起動するために、(株)日泉製 24VC100 型リチウムイオン電源を供給電源として用いた。また、リチウムイオン電源をトルクメータに接続するために、回路を作成し接続した。被験者は、健康な成人男子 9 名とした。

4. 研究成果

4-1. 片手駆動による直進走行時のパワー計測；両手駆動との比較

図 6 は、両手駆動時 3 秒間の最大推進パワーは $65.40W$ であった。これに対して、図 7 は片手駆動時の最大推進パワーを示している。片手駆動時のパワーは、 $55.18W$ であった。両手駆動に対して、片手駆動では筋量が 1/2 になることからパワーの出力差も 1/2 となることが考えられたが、そこまでの出力差は認められなかった。しかし 7 秒間のパワーの比較では両手が $101.6W$ に対し、片手が $59.7W$ と両手のパワーに対して 58.8%に留まる結果であった。

4-2. 車椅子ローラー上および体育館フロアでの片手駆動時のトルク計測

図 8 は、ローラー上および体育館での片手駆動による直進時のトルク計測結果を示す。

体育館フロアでは、通常駆動では $4.0N \cdot m$ 、全力駆動では $7.2N \cdot m$ のトルクであった。また、ローラー上では通常駆動で $6.6N \cdot m$ 、全

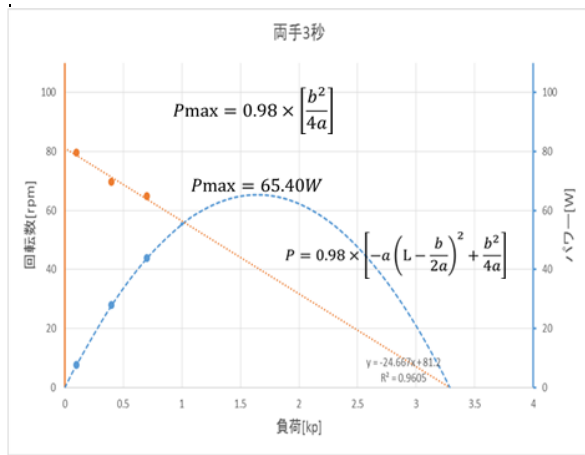


図 6 両手による車椅子推進パワー

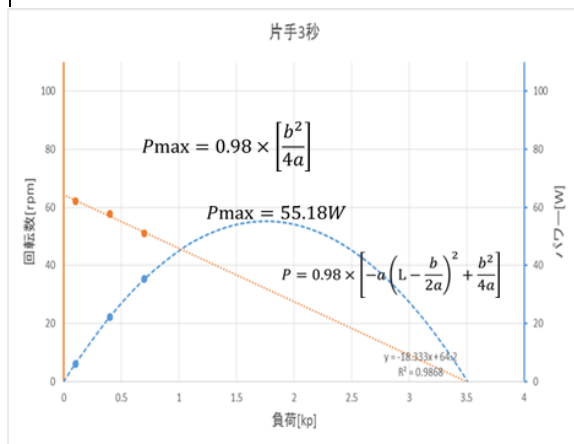


図 7 片手による車椅子推進パワー

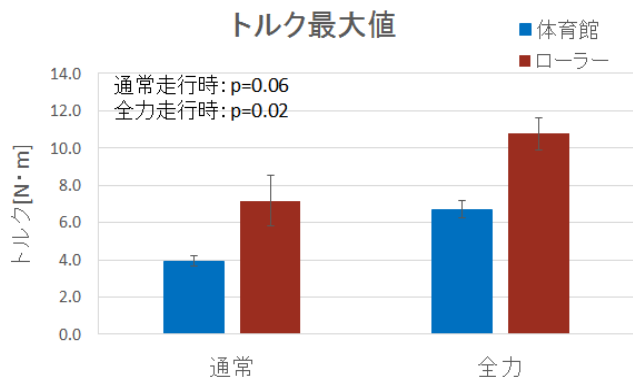


図 8 トルク計測結果



図 9 本研究成果のボウリング用車椅子

力駆動では 10.6N・m と、いずれの場合でも想定した 44.0N・m を大きく下回る結果であった。以上のことから、片手駆動機構は通常のスポーツ競技での繰り返し使用には充分であることが伺えた。また、パワーの比較結果と合せると短時間駆動での使用が好ましいと考えられ、車椅子バトミントンや車椅子ボウリングに相当であると結論付ける。この研究成果に基づき、本研究ではボウリング用車椅子を開発（図 9）、ボウリング大会でデモンストラーションを行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

1. Satoshi Ohashi, Akito Shiogo, Kenta Kaito, Akira Shionoya : Measurement of Sitting Pressure Distribution with Gradient Changes for Wheelchair Users . Information Engineering Express International Institute of Applied Informatics . Vol.3, No.2, pp69-77, 2017.
2. Akira Shionoya and Yusuke Kenmotsu : Development of New Wheel-Chair for Sports Competition. Proceedings of the 12th Conference of the International Sports Engineering Association, Brisbane, Queensland, Australia, 26–29 March 2018, 2(6), 257; <https://doi.org/10.3390/proceedings2060257>.

〔学会発表〕（計 3 件）

1. 平野雄大, 星野直, 監物勇介, 工藤冬貴, 高橋直也, 木本理可, 塩野谷 明 : 片手・両手切り替えによる直進が可能な競技用車椅子の開発. [No.15-1] 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集. G2300104
2. 工藤冬貴, 監物勇介, 塩野谷 明 : 片手による直進走行が可能な競技用車いすの開発と駆動性評価. [No.16-1] 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集. G2300103
3. 中里 柊太, 監物 勇介, 塩野谷 明 : 片手に操作による直進走行が可能な競技用車いすのローラー台上での駆動性評価. [No.17-43] 日本機械学会 シンポジウム : スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2017 講演論文集. U00068.

〔受賞〕（計 1 件）

1. 塩野谷 明, 監物勇介 : 平成 30 年度科学・技術分野の文部科学大臣表彰 (科学技術賞)「片手による直進走行が可能なスポーツ競技用車いすの開発」
関係各位に厚く御礼申し上げます。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩野谷 明 (SHIONOYA Akira)
長岡技術科学大学・大学院 (工学系) 工学
研究院・教授
研究者番号 : 5 0 1 8 7 3 3 2

(2) 研究分担者

竹田 唯史 (TAKEDA Tadashi)
北翔大学・大学院スポーツ教育科・教授
研究者番号 : 1 0 3 2 0 5 7 4

山本 敬三 (YAMAMOTO Keizou)
北翔大学・大学院スポーツ教育科・教授
研究者番号 : 0 0 4 0 5 6 9 8

大橋 智志 (OHASHI Satoshi)
苫小牧工業高等専門学校・
創造工学科・工学系・准教授
研究者番号 : 4 0 5 0 9 9 2 3