

片手・両手切り替え駆動型の競技用車椅子の開発と評価

長岡技術科学大学 塩野谷 明
(共同研究者) 同 監物 勇介

Development and Evaluation of the Sport-typed Wheel-chair Can Drive Straight Using Either One-handed or Both-handed Operation

by

Akira Shionoya, Yusuke Kenmotsu
Nagaoka University of Technology

ABSTRACT

The purposes of this study were to develop the Sport-typed Wheel-chair which could drive Straight using either one-handed or both-handed operation and to evaluate this wheel-chair. To perform these purposes, a wheelchair which had two handrims on one side to get to behind both wheels simultaneously by one hand. To be transmitted to the driving force from the handrims side to opposite side wheel, the driving force transmitted axis (DFT) made by author's laboratory was adopted. DFT consisted on three axes, because the sport-typed wheel-chair had the chamber angle. Each axis was combined using universal joint in order to be transmitted the driving force between each chamber. Each chamber angle was set on 16° . The evaluation results of this wheelchair were summarized as follows; Load in driving this wheelchair by one handed operation was almost close to that by both handed operation from point of EMG. The relationship between the wheel position of the specific in wheelchair and the driving force had the large individual equation in case of the wheelchair by one handed operation. The maximum driving force of driver in operation by one handed operation was almost 100N. The torque loaded to the DFT was estimated to almost $37.5\text{M}\cdot\text{m}$.

Furthermore, the shearing stress against DFT was calculated to almost 24MP and this stress was thought to be cause of the DFT rupture.

要 旨

本研究は、片手・両手切り替え駆動（片手直進駆動）が可能な競技用車椅子の開発と評価を目的とした。開発した車椅子はダブルリング式の片手駆動車椅子の構造で、片側の駆動輪に2つのハンドリムを取り付け、外側のハンドリムにより反対側の駆動輪を回転させることが可能な構造とした。競技用車椅子のキャンバ角に対しては、駆動輪の回転をハンドリムへ伝達するためにユニバーサルジョイントを使用、左駆動輪側に取り付けられた右駆動輪用ハンドリムの回転を、車椅子の車軸内に取り付けたユニバーサルジョイントと回転伝達軸により、右駆動輪へと伝達する構造とした。キャンバ角は 16° とし、片手駆動と両手駆動の生体負担について、EMGより検討した結果、片手駆動は予想よりも負担が小さいことが確認された。競技用車椅子の特徴の1つである前出し量と駆動力の関係については、前出し量によって駆動力にばらつきがみられた。本研究中、駆動力伝達軸が2回の破断を経験したが、軸にかかるせん断応力が24MP以上であることが推測され、この数値が今後のシステム改良の基準値になるものと考えらる。

1. はじめに

今日のパラリンピックに代表される障害者スポーツは、プロとしての職業選手から一般参加者に至る老若男女幅広い年齢層で行われている。障害者スポーツでは車椅子を用いる種目が数多く行われており、様々なタイプの車椅子が開発されている。既存の競技用車椅子は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。例えば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ている。また、車椅子テニスにおいては、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行なわなければならない。

そこで本研究は、より応用性の高い片手・両手切り替え駆動が可能な競技用車椅子（以後、片手競技用車椅子）のプロトタイプモデルの開発と駆動性の向上を目指した車椅子の評価、ならびに実際の競技に導入する場合の課題の検討を目的とする。

2. 方 法

2.1 片手駆動競技用車椅子の製作

本研究では、図1に示す株式会社日進医療器社製のバスケットボール競技用車椅子 NSB-07 を用い、スポーツ競技用車椅子の開発を前提として片手駆動競技用車椅子を製作した。

車椅子の構造はダブルリング式の片手駆動車椅子の構造となっており、片側の駆動輪に2つ



図1 開発した片手駆動型車椅子

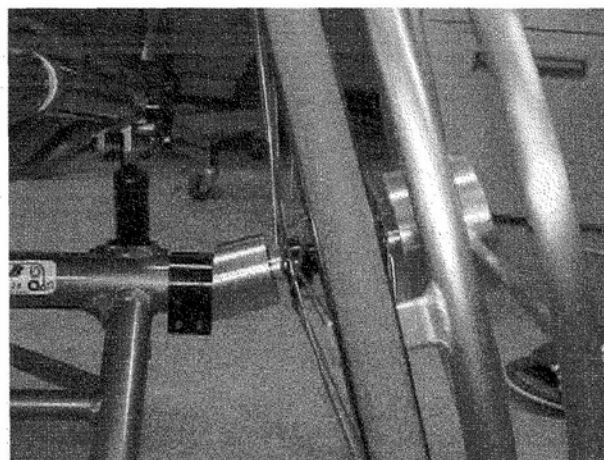
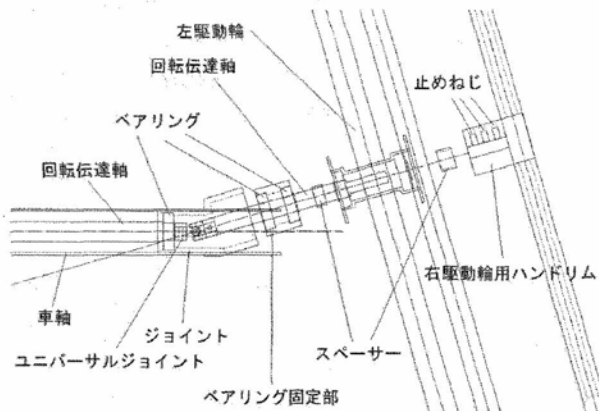


図2 右駆動輪（逆側車輪駆動ハンドリム側）の構造

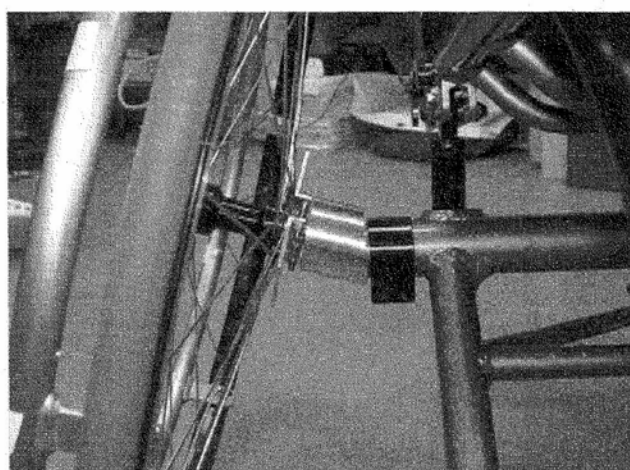
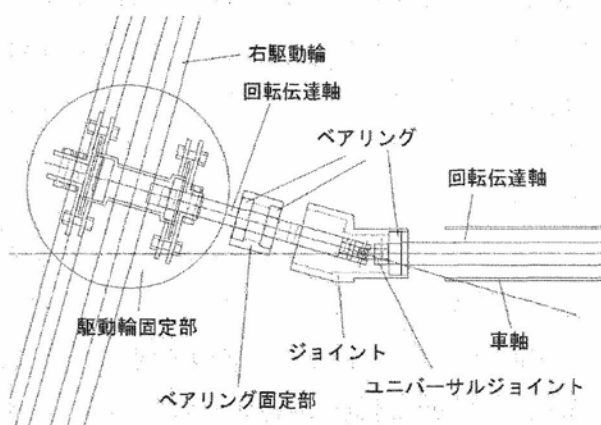


図3 左駆動輪の構造

のハンドリムを取り付け、外側のハンドリムにより反対側の駆動輪を回転させることが可能な構造となっている（図1参照）。本研究では、左駆動輪側で車椅子駆動を行えるように車椅子を作成したが、ハンドリムは左右交換可能なように設計している。また競技用車椅子には駆動輪に大きなキャンバ角がついていることから、駆動輪の回転をハンドリムへ伝達するためにユニバーサルジョイントを使用した。左駆動輪側に取り付けられた右駆動輪用ハンドリムの回転は、車椅子の車軸内に取り付けたユニバーサルジョイントと回転伝達軸により、右駆動輪へと伝達される。また、ユニバーサルジョイントは回転伝達速度が回転角度と取り付け角度により一定ではないため、2つのユニバーサルジョイントの回転の位相を90°ずらすことにより、ハンドリ

ムと駆動輪の回転速度を一定とした。

キャンバ角の固定には車椅子の車軸部の両端に取り付けるジョイントとジョイントの内部に挿入するベアリング固定部を用い、キャンバ角が16°となるようにジョイントを製作した（図2および図3参照）。キャンバ角の固定には当初クランプを用いていたが、強度不足であったためキャンバ角アジャスターを作成した（図4）。アジャスターを任意の角度にすることにより、キャンバ角を自由に変更することが可能となっている。今回、キャンバ角を16°としたのは、参考文献における予備実験の結果に基づくもので、後述する競技用車椅子の駆動性を考慮した結果である^{1,2,6)}。

図4には、片手駆動型車いすのために、本研究で作成された車椅子パーツを示す。駆動力を

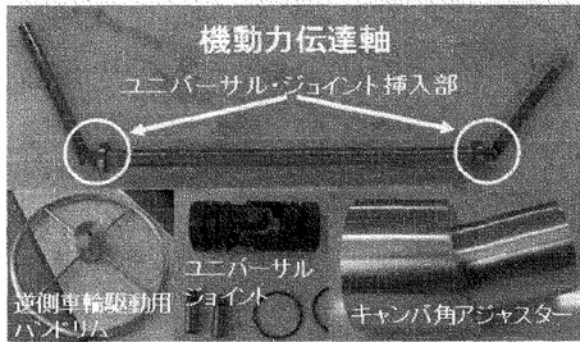


図4 片手駆動型車椅子のための作成パーツ

反対の車輪に伝達する駆動力伝達軸は、3本の車軸をユニバーサルジョイントで連結させ、また前述のとおりキャンバ角はアジャスターによって固定させた。なお後述するように、これらのパーツは消耗品であり、特に車椅子本体を除けば最も重要かつ高価な機動力伝達軸は本研究の進捗にあたって、2回の破断を経験した。

表1には、逆側車輪駆動用ハンドリムの仕様を示している。

ハンドリムは硬質のアルミニウムを用い、把握部分のパイプの直径は19mmとした。ハンドリム全体の外径は500mmで、駆動輪に取り付けられているハンドリムの外径の550mmより小さい外径となっている。さらに、ハンドリムと回転伝達軸とのはめ合い（ジョイント）の部分の形状を四角形とし、止めねじによってハンドリムと回転伝達軸を固定できる構造とした。ハンドリムの構造は、把持力や握りやすさを考慮して³⁾決定した。

図2に示す左駆動輪、図3に示す右駆動輪とあわせ、図5によって駆動力伝達機構の車輪・

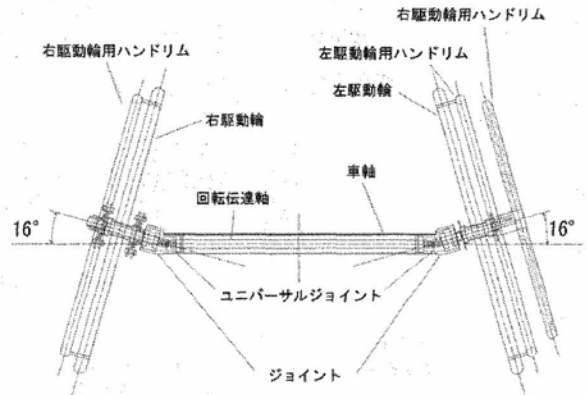


図5 駆動力伝達機構の車輪・車軸構造

車軸構造を述べる。まず、回転伝達軸とユニバーサルジョイントを接続し、それを車椅子の車軸内部に通した。次に、ジョイント内部に回転伝達軸を通し、ジョイントを車椅子の車軸内部に挿入し、既存の車いすで用いられるクランプを用いて固定するとともに、前述のとおりアジャスターを用いて強化した。ジョイントにはベアリング固定部を挿入し、回転伝達軸の角度を固定した。最後に、回転伝達軸に駆動輪、ハンドリム・スペーサーを通し固定した。

右駆動輪も左駆動輪側同様、回転伝達軸、ユニバーサルジョイント、ジョイント、ベアリング固定部、及び駆動輪をそれぞれ取り付けた。回転伝達軸と駆動輪の固定にはアルミニウムのL字アングルと平板を使用し、回転伝達軸と駆動輪のハブを挟み込み、固定した。

このような構造により、一般の車椅子との大きな違いである駆動輪にキャンバ角がついた競技用車椅子において、片手駆動を可能とした。さらにこの構造を左右反転することにより、どち

表1 逆側車輪駆動用ハンドリムの仕様

構造		ダブルリング式 (左手用)	
駆動輪		25inch (直径 610mm)	
駆動輪とハンドリム間の距離		15mm	
左駆動輪用ハンドリムと右駆動輪用ハンドリム間の距離		30mm	
右駆動輪用ハンドリム	500mm	ハンドリム	550mm
キャンバ角	16°	重量	15kg
シート長	350mm	シート角	12°
シート幅	400mm	前出し量	120mm

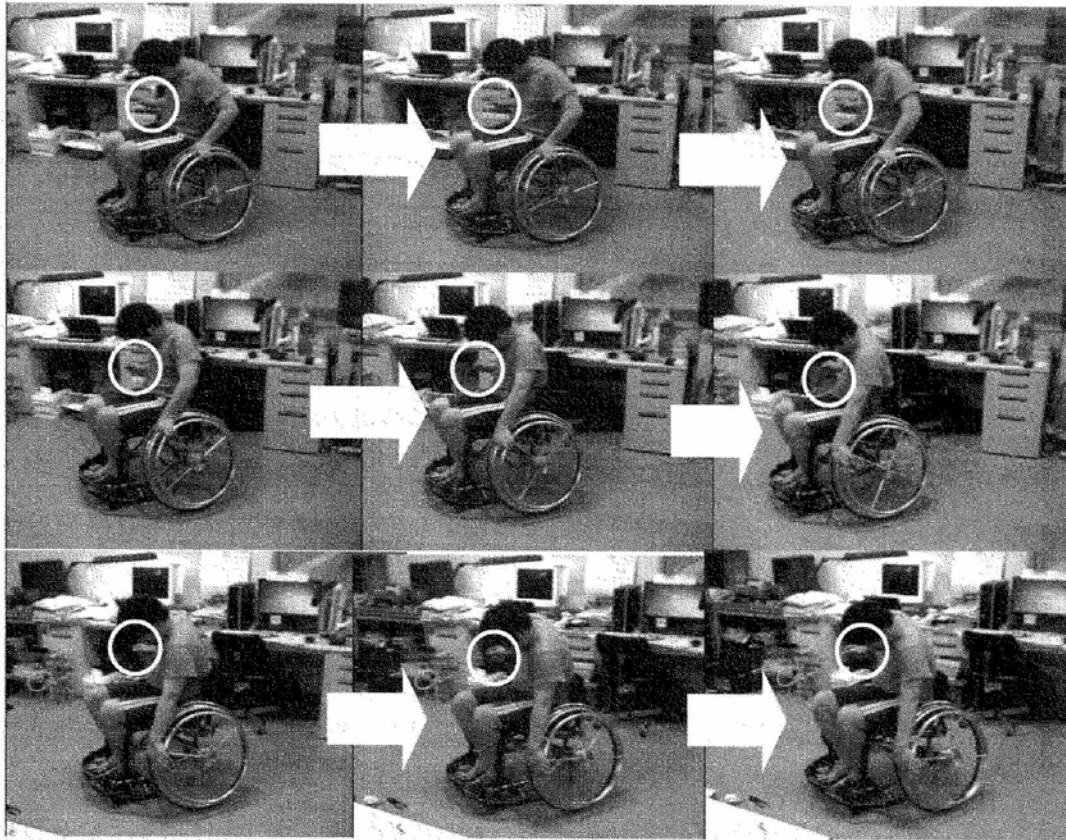


図6 片手駆動型車いすの直進の様子

らの駆動輪側においても片手駆動が可能なシステムとした。加えて両側の駆動輪にハンドリムを取り付けることにより、片手駆動と両手駆動の両方で車椅子を駆動することが可能なシステムとなった。

図6では、本車いすを用いた片手（左手）駆動による直進の様子を示している。図中、白い丸は右手の位置を示し、右側のハンドリムを握っていないことがわかる。また、客観的な指標ではないが、周囲の机の引き棚、椅子との位置関係から片手による直進が行なわれていることが理解される。

2.2 片手駆動型車椅子の評価

本研究で開発された片手駆動型車椅子について、実用化を念頭においた評価実験を行なった。評価の観点は、一般の車椅子にも当てはまる駆動性（走行性、旋回性）を考慮し、図7に示すキャンバ角

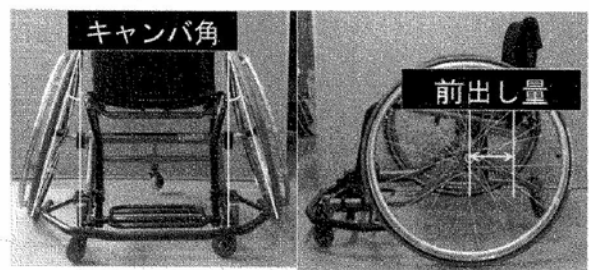


図7 車椅子評価のための2つの観点

ンバ角および前出し量と駆動性の関係を検討することとした。この2つの観点は、スポーツ競技用車椅子の特徴的なものである。なお、キャンバ角については、車椅子開発のための予備実験結果から 16° を最適キャンバ角とした^{1,2,6)}。また、この実験に先立ち、片手駆動型と両手駆動型各々の駆動における生体負担を、EMGと走行速度（最大努力の1ストローク時：後述の -30° から 60° の範囲）の関係から事前に検討している。

被験者は健常な男子成人6名とし、いずれも車椅子の使用者ではなかった。図8に、計測の

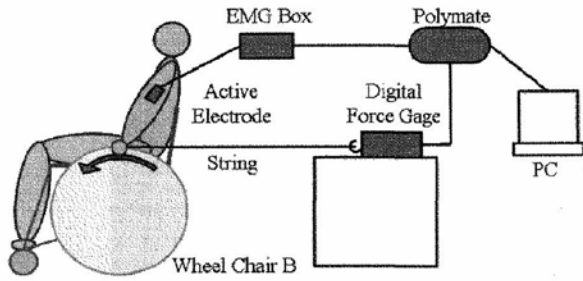


図8 ヒト生理情報・機械力学情報並列同時計測システムを用いた測定の概要

概要を示している。

本システムは、元来計測周波数が異なることから、これまで1つのユニットでの並列計測が行われてこなかったヒト生理情報（例えば、EMGやECG（心電図）等；周波数は500Hzまで）と機械力学情報（例えば、機械力学振動等；周波数は5kHzまで）を1つのユニットで計測可能な仕様となっている⁵⁾。詳細は参考文献を参照とするが、ユニットは基本的に生体情報計測システム Polymate（デジテック研究所社製）をデータロガーとして使用し、別途基盤回路を製作、この回路を介して複数の情報を一括に取り込み、AD変換してPCに記録・解析するものである。

測定は、デジタルフォースゲージ（イマダ社製 DPT-50X）を左区動輪側のハンドリムにワイヤーを介して装着するとともに、被験者の上肢にEMG計測用アクティブ電極（日本光電社製）を装着、被験者が①片手駆動条件、②両手駆動条件の2つの駆動条件下で実施された（なお参考資料として、左右片手による片車輪駆動（非直進駆動）についても測定を行ない、片手駆動と両手駆動の負担の比較も行なっている）。被験者は2つの駆動条件下でハンドリムを（1）-30度（ハンドリムの頂点から肘屈曲方向）、（2）0度（ハンドリムの頂点）、（3）30度（ハンドリムの頂点から肘伸展方向）、（4）60度（同肘伸展方向）の4種類の位置（前述の1ストロークの4分割）で把持し、各位置における亜等尺性状態での最大努力で車椅子の駆動運動を行なった。さらにこれらの測定は、図10に示す車椅子の座面前出し量調節機構によって、前出し量が60、90、120、150、180mm時の各条件で実施された。これは実際の車椅子駆動において、急激な発進や移動を考慮したものである。このときの最大駆動力お

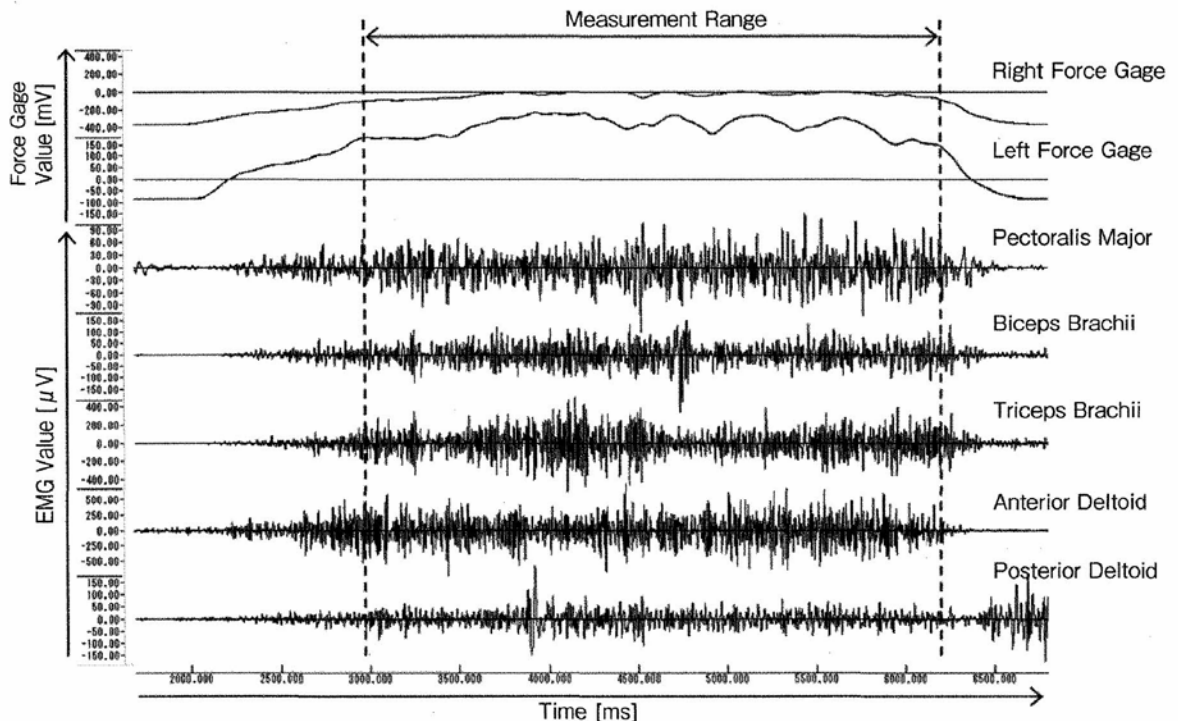


図9 ヒト生理情報・機械力学情報並列同時計測システムを用いた出力例：力・EMG（筋電図）の並列出力



図10 車椅子座面前出し機構

よび上腕、前腕のEMGを前述の計測ユニットで測定し、解析プログラムBIMTAS II（キッセイコムテック社製）を用いて解析した。EMG測定を行った部位は左半身の大胸筋、左腕の上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋前部、及び三角筋後部であった。EMGは全波整流化後、積分筋電図(iEMG)を求め、正規化を行なった。

3. 結果

まず本研究中、前述のように車椅子のパーツ特にユニバーサルジョイントとの接合部で、駆動力伝達軸は2回の破断を経験した。図11に、その破断状態および破断面を示す。これらの破断は、ジョイント接合部に応力集中が起こった結果と考えられるが、この点については考察において検討する。以下、駆動性に関する結果についてまとめる。

図12は、片手駆動および両手駆動時直進駆動、およびその対象として片手駆動時旋回駆動におけるiEMGを示している。数値は、両手駆動時

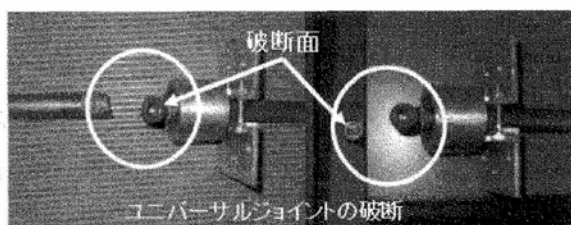


図11 ユニバーサルジョイントの破断

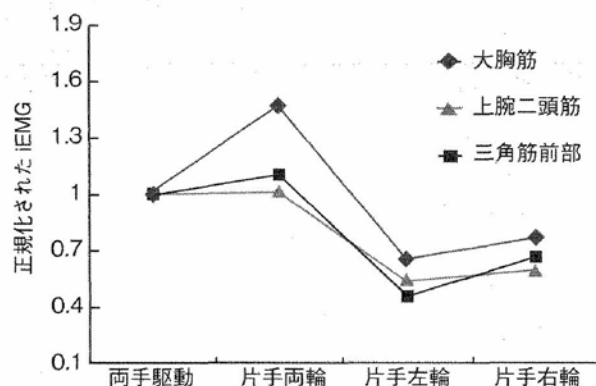


図12 片手駆動および両手駆動時のEMG

直進駆動のiEMGから正規化したものである。両手駆動と比較して片手駆動（両輪駆動）は大胸筋が約1.5倍であったが、他の筋は大きな違いがなかった。なお、別途計測した走行速度（前述の1ストローク）は、両手駆動が0.75m/s、片手駆動が0.58m/sであった。

表2は、車椅子の各前出し量（mm）およびハンドリム把持位置（°）における片手駆動時平均駆動力（N）を示している。前出し量60mmの場合、ハンドリム把持位置60°で118.9（±27.7）Nが最大値を示した。以下、前出し量90, 120, 150, 180mmにおいてはすべて30°の把持位置で、106.1（±23.6）N, 103.4（±26.0）N, 93.6（±22.6）N, 86.9（±19.8）Nが最大値であった。

図13は、被験者Aにおける各ハンドリム把持位置での駆動力（-30度を基準値1として正規化したもの）を、各前出し量毎にみたものである。

図14は、ハンドリム把持位置に伴う駆動力変化率を近似直線で示したものである（被験者A：-30°を基準値100として正規化）。基準値を100としたのは、近似したときの傾きを大きくする（わかりやすくする）ためである。前出し量60mmのとき

$$y = 1.28x + 135.12$$

と傾きが最大であった。これは前出し量に対

表2 平均前出し量・ハンドリム把持位置と平均駆動力

前出し量 (mm)	ハンドリム把持位置 (°)	平均駆動力 (N)	標準偏差
60	-30	88.74	34.44
	0	93.24	27.4
	30	110.02	21.75
	60	118.92	27.7
90	-30	90.39	33.12
	0	95.1	24.7
	30	106.06	23.63
	60	104.09	21.58
120	-30	87.15	27.11
	0	96.97	19.68
	30	103.4	25.97
	60	96.9	19.7
150	-30	86.99	21.17
	0	89.33	21.14
	30	93.59	22.57
	60	87.52	11.59
180	-30	82.65	11.83
	0	86.22	13.7
	30	86.89	19.82
	60	80.06	12.9

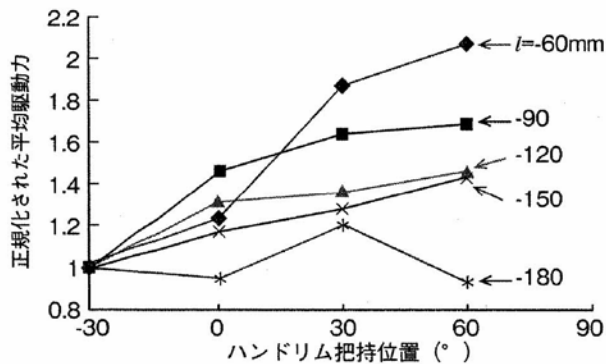


図13 各ハンドリム把持位置での駆動力 (被験者A: -30°を基準値1として正規化)

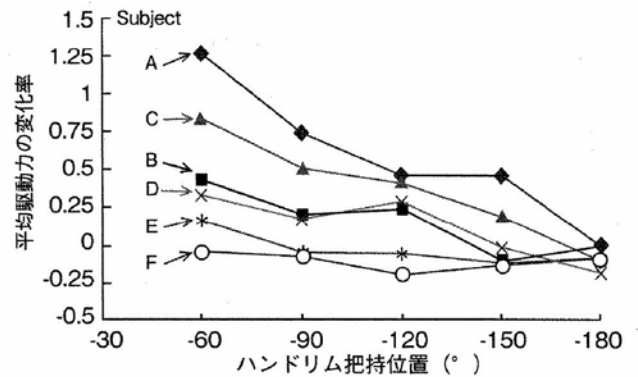


図15 前出し量と駆動力変化率の関係

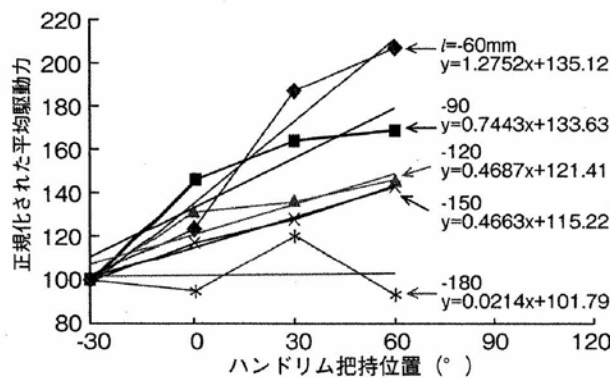


図14 ハンドリム把持位置に伴う駆動力変化率 (被験者A: -30°を基準値100として正規化)

して、駆動力が大きく異なる(力の出しやすい前出し量が存在する)ことを意味する。反対に前出し量180mmのときは

$$y = 0.02 x + 101.79$$

と傾きが最小であった。

図15は、各前出し量とハンドリム位置に伴う駆動力の変化率の関係を示している。被験者Aの場合は、前出し量によって駆動力が異なってしまうが、被験者Fの場合は、駆動力は前出し量の影響を受けず常に一定の出力であることが伺える。

4. 考察

既存の競技用車椅子は、両手駆動を前提として製作されている。しかし競技者の中には切断や障害により、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。例えば車椅子バスケットボールでは、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ことが強いられる。また、車椅子テニスにおいては、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。

本研究は、片手・両手切り替え駆動（片手直進駆動）が可能な競技用車椅子のプロトタイプモデルの開発と駆動性の向上を目指した車椅子の評価、ならびに実際の競技に導入する場合の課題の検討を目的とした。

開発した車椅子はダブルリング式の片手駆動車椅子の構造となっており、片側の駆動輪に2つのハンドリムを取り付け、外側のハンドリムにより反対側の駆動輪を回転させることが可能な構造とした。競技用車椅子には駆動輪に大きなキャンバ角がついていることから、駆動輪の回転をハンドリムへ伝達するためにユニバーサルジョイントを使用した。本研究で左駆動輪側に取り付けられた右駆動輪用ハンドリムの回転は、車椅子の車軸内に取り付けたユニバーサルジョイントと回転伝達軸により、右駆動輪へと伝達される構造であった。このような構造により、駆動輪にキャンバ角がついた競技用車椅子において、片手駆動を可能とし、さらにこの構造を左右反転することにより、どちらの駆動輪側においても片手駆動が可能なシステムとした。加えて両側の駆動輪にハンドリムを取り付けることにより、片手駆動と両手駆動の両方で車椅子を駆動することが可能なシステムとして完成をみた。

次に、開発した車椅子の実用化を念頭においた評価実験を行なった。前述のとおり評価の観点は、駆動性（走行性、旋回性）を考慮し、スポーツ競技用車椅子の特徴的なキャンバ角および前出し量と駆動性の関係を検討することとした（なお、キャンバ角については前述のとおり、車椅子開発段階で 16° を駆動性の観点から最適と導き出している^{1,2,6)}）。

まずこの前提として、片手駆動の操作性についてみると、EMGによる評価から両手駆動を基準として大胸筋では1.5倍程度の出力であったが、その他の被験筋においてはおよそ同程度の出力であったことが確認されている（図12より）。両手から片手による駆動を行なうことから、片手の出力も2倍になることが予想されたが、これを下回る結果となり、本システムの高い駆動性が示されたものと考えられる。

キャンバ角は 16° を最適としたため、次に競技用車椅子のもうひとつの特徴である前出し量と駆動性（駆動力）について検討した。その結果、片手駆動では前出し量によって、駆動力が変化しない乗り手と大きく変化する、あるいは多少変化する乗り手と様々であることが確認された（図15）。これはヒトの筋に最適筋長（最大筋力を発揮できる筋の長さ）が存在することと類する、あるいは個々の車椅子駆動技術の違い等様々な理由が考えられるが、両手駆動に比べて駆動力発揮の自由度（例えば、両手駆動の場合、時々駆動条件で左右の出力の可変・調整が可能）の低さを示す結果かもしれない（あくまでも予想の段階）。この点について、競技を念頭にした車椅子では前出し量に左右されず、一定レベルの駆動力発揮が可能となるシステムが求められるものと考えられる。その一考としては、筆者が開発した可変ギア型人工筋関節の導入⁴⁾等を考えている。

本研究における生命線は、ユニバーサルジョイントを用いた駆動力伝達軸にある。前述のように、この軸は本研究で2度にわたってジョイント接合部の破断を経験した（図11）。

本研究の評価実験において、被験者の最大（ハンドリム）駆動力は平均100N前後であったことが確認される（表2）。また、全被験者の最大値は157.87Nであった。この数値を150Nに仮定する。さらに本研究におけるハンドリムは、左駆

動が直径 55cm, 逆駆動が同 55cm であった (表 1) ので, 計算を容易にするため直径 50cm (半径 25cm) と仮定する. このハンドリムに接続する駆動力伝達軸は, 直径 1.8cm でここでも計算上 2.0cm (半径 1.0cm) と仮定する. これらの数値から, 軸に作用するトルクは 37.5N・m であるが, 軸に作用する力は 7500N に及ぶ.

しかし, 実際に軸の破断を引き起こすのは, 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

$$\tau = \frac{T}{I_p} r \dots\dots\dots 1)$$

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,

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

となる (但し, Z_p は極断面係数). 断面 2 次極モーメントと極断面係数の間には,

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

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,

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

で示され, 極断面係数は,

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

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,

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

が求める最大せん断応力である. ここに前述の数値 $T = 37.5N \cdot m$, $D = 0.02$ を代入すれば, $\tau_{max} = 24 \times 10^6 P = 24MP$ が軸破断時に負荷され

たものと考えられる. これは一本の長軸であれば一般的な数値であるが, 接合部に負荷された場合には破断に及ぶことも考えられる. 今回試作した軸の接合部には, 直径 1.0cm に満たない鋼鉄製の円柱を楔に用いている. 直径 1.0cm とした場合でも, 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, 車椅子のキャンバ角に対応して 16° の角度変化があるため, 実際のせん断応力は $\tau_{max} = 24MP / \cos \theta$ となり, 25.3MP に及ぶことになる.

今後は, 片手駆動型車椅子の実用化を目指し, 本研究で得られた知見に基づいてシステムの改良を行なうとともに, 駆動力伝達軸の強度について詳細な計算による必要強度の再現を行っていくものである.

なお, 本研究は長岡技術科学大学倫理委員会の承認の基に実施されたことを追記する.

5. まとめ

本研究を以下のようにまとめる.

- 1) 本研究は, 片手・両手切り替え駆動 (片手直進駆動) が可能な競技用車椅子の開発と評価を目的とした.
- 2) 車椅子はダブルリング式の片手駆動車椅子の構造で, 片側の駆動輪に 2 つのハンドリムを取り付け, 外側のハンドリムにより反対側の駆動輪を回転させることが可能な構造とした.
- 3) 競技用車椅子のキャンバ角に対して, 駆動輪の回転をハンドリムへ伝達するためにユニバーサルジョイントを使用, 左駆動輪側に取り付けられた右駆動輪用ハンドリムの回転を, 車椅子の車軸内に取り付けたユニバーサルジョイントと回転伝達軸により, 右駆動輪へと伝達する構造とした.
- 4) キャンバ角は 16° とし, 片手駆動と両手駆動

の生体負担について、EMGより検討した結果、片手駆動は予想よりも負担が小さいことが確認された。

- 5) 競技用車椅子の特徴の1つである前出し量と駆動力の関係については、前出し量によって駆動力にばらつきがみられることから、片手駆動であっても一様な駆動力が可能となるシステムの必要性が確認された。
- 6) 本研究中、駆動力伝達軸が2回の破断を経験したが、軸にかかるせん断応力が24MP以上であることが推測され、この数値が今後の改良における基準値になるものと考えられる。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝を申し上げます。今後の実用化に向けて、多くの貴重な知見を得ることができました。ありがとうございます。

文 献

- 1) 監物勇介, 塩野谷明: 片手駆動競技用車いすの製作と評価. 生体医工シンポジウム CDR予稿集, (2010)
- 2) 監物勇介, 塩野谷明: 競技用車椅子のパフォーマンス向上を目的とした基礎的研究. 日本機械学会北陸信越支部総会・講演会(2010)
- 3) 高橋勝美, 八高隆雄: ハンドリムの握り易さの感性評価EMG特性, 福祉工学シンポジウム CDR論文集, 日本機械学会(2001)
- 4) A. Shionoya : Development of Artificial Muscular Actuator simulated Human Muscular Characteristics. *Engineering of Sport*, Vol.3, pp113-122(1998)
- 5) A. Shionoya : Parallel Measurement of Vibration and EMG in Skiing; Fundermental study on the Development of the system for estimating exhaustion. *Impact Technology on Sport*, Vol.3, pp69-73(2009)
- 6) 塩野谷明, 監物勇介: 競技用車椅子の駆動性評価法の提案と片手駆動型車椅子の試作および評価: 日本機械学会バイオエンジニアリング講演論文集, No.10, pp189-190(2011)