

# 定常走行時における手動車いすの自律駆動特性

鈴木立人<sup>1</sup>・内山寛信<sup>2</sup>・倉田純一<sup>2</sup>・村上佳広<sup>2</sup>

要旨：手動車いすの操作者は走行路面抵抗に応じて自律的に駆動操作を調節し車いすの走行を行う。そこで、操作者が低負担、かつ安全で様々な走行路面上を駆動できるよう手動車いす機構の改善要望は強く、走行路面抵抗に対する自律的な駆動負担を評価する必要がある。本研究では、操作者の自律駆動モデルを提案し、定常時の駆動特性を決定する主要素を明確にした。また、走行抵抗を任意に変更できる車いすシミュレータを用い、試験より操作者の自律駆動特性と主観的な運動強度について明確にした。以上の結果から、低負担で走行を行える車いすの機構設計の改善に役立つ知見が得られた。

キーワード：手動車いす，自律駆動，定常走行，主観運動強度評価

## 1. はじめに

手動車いすは簡便で多くの使用者があるが、上肢によるハンドリムの間欠的な駆動は操作者の負担となり、肩・肘関節痛が問題<sup>1)</sup>となっている。手動車いすの駆動負担は、操作者の走行状況に大きく左右されるが、主要因として路面表面性状と勾配路等形状で決まる走行路面抵抗が挙げられる。操作者は走行路面抵抗に応じて自律的に駆動操作を調節し、車いすの走行を行うが、操作継続意志が強いため上肢の駆動操作負担が増加する。操作者が低負担、かつ安全で様々な走行路面上を駆動できるよう手動車いす機構の改善要望は強く、走行路面抵抗に対する自律的な駆動負担を評価する必要がある。

現在、操作者の駆動負担に関する研究は路面各種において行われている。例えば、室内の床材（じゅうたん、木製床等）において駆動の力学・動作解析を行ったもの<sup>2)</sup>、室内外の数種類の路面（カーペット、タイル、コンクリート、草むら、木製床、5°ランプ）の発進時における駆動トルクや駆動回数について定常状態のコンクリートを基準として比較したもの<sup>3)</sup>、上り勾配路における操作者の駆動負担を明確にし、操作難易度を評価したもの<sup>4)</sup>、トレッドミル上での平坦路、3°、6°勾配における脊髄損傷者の自然駆動を力学・動作解析したもの<sup>5)</sup>、自動車の速度を抑制するため設置されるハンプ乗越えの走行負担を調べたもの<sup>6)</sup>等である。しかし、走行抵抗に対し、操作者が自律的に駆動を調整している機構と負担の程度はよくわかっていない。

そこで、本研究では操作者の自律駆動の概略モデルを提案し、走行抵抗に対する駆動調節について定常走行での駆動特性解析を行う。提案するモデルは

操作者を腕の往復運動を行う原動機と見なし、リム角速度に応じて把持範囲が決定され、筋を含む腕の動特性よりリムへ駆動トルク伝達が行われるという各要素で構成される。車いす系は車輪角速度に比例する線形走行抵抗特性を持つ回転系の1次遅れ系で表現する。モデルから走行抵抗に対する自律駆動操作を構成する主物理量（平均駆動トルク、駆動回数、リム把持角度）を明確にし、試験により走行抵抗に対する各物理量の変化からモデルの検証を行う。同時に心拍数から得られる主観的な運動強度を求める。試験での走行抵抗の設定は、検出した駆動トルクから車いす動特性を用いて車輪角速度を算出し、車いす車輪下のロードローラ角速度を調節する車いすシミュレータを用いる。本試験の被験者はモデルの整合性を調べるため、第一ステップとして健常者男子の被験者1名において実施する。

## 2. 走行抵抗に対する駆動操作調節のモデル

走行抵抗に対して操作者が自律的な駆動調節を行うモデル概要を図1に示す。操作者は車いすの走行速度 $\omega(t)$ を目を主とする感覚器で検出する。次に自分の腕をリムの角速度に合わせ、操作者後方から把持かつ回転力を印加し、前方にてリムから手を離し、次の把持を行うために腕を後方へ戻すという一連の周期的な上肢動作を継続する。操作者はこの周期的な上肢動作により、リムへの間欠的な駆動トルク伝達を行い、車いすへ駆動力を供給する。そこで、操作者は腕の往復運動により動力を車いすに供給する動力源として仮定する。そのとき、腕の往復運動は、車いす車軸位置が原点とする回転座標系 $(r(t), \theta(t))$ として表現すれば、周波数 $f_p$ で $\theta(t)$ と $r(t)$ の周期変化を行っている。この腕の周期的な往復運動は、周波数 $f_p=1/D$  ( $D$ は周期)、と腕の振り幅となる振幅にて特徴付けられる。なお、車軸から鉛直上方

1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科

2 関西大学工学部機械システム工学科

を  $\theta = 0$  とし, 操作者前方を  $\theta > 0$  とする. 図中では簡単のため,  $\theta(t)$  に対する概念図のみを示している. リム把持は把持開始角度を  $\theta_s$  から, 把持終了角度を  $\theta_e$  まで行われ, 操作トルク値  $\tau_\theta$  を決定しているとする. これを表現しているリム把持要素は, 腕の往復運動において把持送りのみに操作トルクが出力される 1 巡要素である. リム把持時において  $\dot{\theta}(t)$  と車いすの車輪角速度  $\omega$  は一致し, また  $r(t)$  とリム半径  $r_R$  は一致している. 操作トルク値  $\tau_\theta$  は発揮トルクの目標値となり, 周期  $D$  に対して, 把持期間  $D_p$  で表現されるようなパルス関数として表現できる. リム把持角度  $\theta$  により発揮できる駆動トルク  $\tau_\theta$  は変化するが, これは身体位置と車軸位置, つまり座面位置に対する腕の幾何学的な条件により決定され, 要素特性は変化すると考えることができる. リムへのトルク印加は腕の筋肉の動特性  $G_m(s)$  を通して行われ, 車いすへは釣鐘上の間欠なトルク印加が行われているとする.

以上の仮定に基づくモデルを整理すると, 操作者は車いす速度  $\omega(t)$  を検出し, 腕の周期運動の周波数 (駆動周期  $D$ )  $f_p = 1/D$  を脳で決定する. そこで,  $f_p$  は  $\omega(t)$  の関数で表現されるが, 今回は簡単のため一定値として取扱う. 操作者は腕の往復運動  $\theta(t)$  を周波数  $f_p$  にて行い, リム把持においてリム把持角度  $\theta_p = \theta_e - \theta_s$ , リム把持期間  $D_p$  の関係は,  $\dot{\theta}(t) = \omega(t)$  を用いると次の式(1)となる.

$$\theta_e - \theta_s = \theta_p = \int_0^{D_p} \dot{\theta}(t) dt = \int_0^{D_p} \omega(t) dt \quad (1)$$

駆動トルク目標値  $\tau_\theta$  は, 座面位置に対する腕の幾何学条件より, リム把持角度  $\theta(t)$  の関数として表現される.

$$\tau_\theta(t) = \begin{cases} \tau_\theta(\theta(t)) & \theta_s \leq \theta(t) \leq \theta_e, 0 \leq t \leq D_p \\ 0 & D_p < t < D \end{cases} \quad (2)$$

実際に車いすへ印加される駆動トルク  $\tau(t)$  は腕の筋肉を含む動特性  $G_m(s)$  を介して, リムへ伝達され,

$$\tau(t) = g_m(t) * \tau_\theta(t) \quad (3)$$

となる. ただし,  $*$  はたたみ込み積分を表し,  $g_m(t)$

は  $G_m(s)$  の重み関数を表している. 次に 1 駆動周期  $D$  における平均駆動トルク  $T_a$  は, 1 駆動期間  $D_p$  の力積  $\tau_i$  を用いれば,

$$T_a = \frac{\tau_i}{D} = \frac{\int_0^{D_p} \tau(t) dt}{D} \quad (4)$$

となる.

今, 定常時の場合を解析するため, 1 駆動周期に関する平均値について考える. 式(1)において平均角速度  $\omega_a$  を適用すれば,

$$D_p = \frac{\theta_p}{\omega_a} \quad (5)$$

式(2)において,  $\theta$  に対する  $\tau_\theta$  の平均値を  $\tau_a$  とすれば,

$$\tau_\theta(t) = \begin{cases} \tau_a & 0 \leq t \leq D_p \\ 0 & D_p < t < D \end{cases} \quad (6)$$

式(3)にて, 筋を含む腕の動特性  $G_m(t)$  は駆動動作に対して十分速く収束するとすれば,  $G_m(s) = 1$  とできるため,

$$\tau(t) = \tau_\theta(t) \quad (7)$$

となる. よって, 1 駆動期間  $D_p$  の力積は  $\tau_i = \tau_a D_p$  と表現でき, 式(4)は,

$$T_a = \frac{\tau_a D_p}{D} \quad (8)$$

また,  $f_p = 1/D$ , 式(5)を用いれば,

$$T_a = \frac{\tau_a D_p}{D} = \frac{\tau_a \theta_p f_p}{\omega_a} \quad (9)$$

次に車いすについて説明する. 車いすは車軸を中心とする回転系にて力学特性を表現する. 車いすは等価慣性モーメント  $Mr_w^2$  ( $M$ : 車いす質量) を持つと考えられ, 走行抵抗係数  $R$  により速度に対する走行抵抗特性が決定されるとする. この走行抵抗特性は, 車輪角速度に比例し増加する線形特性を持つが, 走行抵抗係数  $R$  により走行抵抗の強さを任意に変更できる. このとき, 車いすへの印加駆動トルク  $\tau(t)$

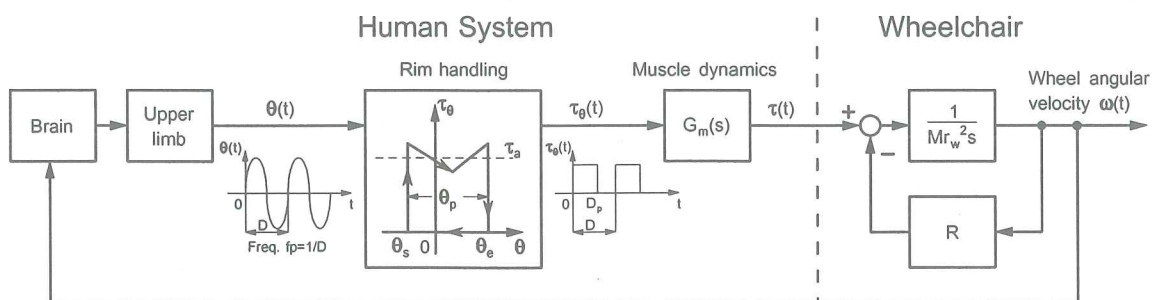


Fig.1 Model of human propelling wheelchair



を入力, 車いすの車輪角速度  $\omega(t)$  を出力とすれば, 次の1次遅れ系にて車いすを表現できる.

$$Gw(s) = \frac{\omega(s)}{\tau(s)} = \frac{1}{Mr_w^2 s + R} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (10)$$

$$\text{ただし, } K = \frac{1}{R}, \quad T = \frac{Mr_w^2}{R}$$

ここで, 定常時の場合を考えるため, 十分時間が経過したとすれば, 式(10)は  $\tau(t)$  の平均値  $Ta$  と  $\omega(t)$  の平均値  $\omega_a$  を用いて次のように表現できる.

$$T_a = R\omega_a \quad (11)$$

以上より, 式(9), (11)を用いて整理すれば,

$$\tau_a \theta_p f_p = R\omega_a^2 \quad (12)$$

が得られる. 式(12)の左辺は操作者が発揮する機械動力を表し, 右辺は走行抵抗によって決定される負荷動力を表している. つまり, 操作者は走行抵抗  $R$ , 車輪角速度  $\omega_a$  に対して, 自律的に平均駆動トルク  $\tau_a$ , リム把持角度  $\theta_p$ , 駆動周波数  $f_p$  を調節して, 車いす駆動を行うことを式(12)は示している.

### 3. 手動車いすの自律駆動特性試験装置と方法

#### 3.1 実走時の車いす動特性を再現する試験装置

車いすの試験装置を図2に示す. 車いす本体は JIS T9201 に準拠したものを使用し, 走行抵抗特性を任意に再現するため, AC サーボモータで駆動されるロードローラ上に設置している. ロードローラは2本あり, 1本がモータにより駆動されるが, 歯付きベルト伝導機構により両ローラの回転は同期している. 車いすの前輪キャスター部は取外し床部に設置された軸受けを介して固定するが, これは車いすがロードローラ上を左右に振れず安全に走行できるよう, また通常走行時の後輪軸荷重を再現するためである. 車いす車輪の外径は  $r_w=205\text{mm}$ , リム外径は  $r_R=250\text{mm}$ , 車輪空気圧は  $0.29\text{MPa}$  である. 試験中, 車いす車輪がロードローラ上にすべりを生じないよう, 接触面は脱脂を行い表面性状は荒れた状態にしている. そこで, 車いすの車輪角速度  $\omega(t)$  は, ロードローラ外径  $116\text{mm}$  と車いす車輪外径を用いて, ロータリエンコーダで検出したロードローラ回転速度から求めることができる.

操作者がリムを用いて発揮する車いすの駆動トルク  $\tau(t)$  は, 軸間に固定したトルクセンサを用いて検出を行う. 任意の走行抵抗  $R$  の設定は, 検出した駆動トルク  $\tau(t)$  と車いすの動特性を現す1次遅れ要素の式(3)を用いて, 車いす車輪角速度  $\omega(t)$  を算出し, ロードローラを駆動するモータの回転速度制御することにより実現している. この信号処理システムによ

り, ロードローラ上の車いすは, 車いす質量  $M$  と路面状況に応じた走行抵抗  $R$  を持つ走行特性を持ち, 操作特性は実際の車いすのものと同等となる. 今回はトルクセンサが片側のみに設置されているため, 片手の操作特性となる.

今回の被験者は提案する操作者モデルの整合性を見るため, 第一ステップとして22歳の健康男子1名(身長  $175\text{cm}$ , 体重  $63\text{kg}$ )であり, 走行抵抗が高く厳しい状況の試験も行うため, 体力がある被験者を選択している. この被験者に合わせて, 車いす動特性要素の質量  $M$  は  $80\text{kg}$  (被験者  $63\text{kg}$ , 車いすの本体質量  $17\text{kg}$ ) に設定している.

#### 3.2 走行抵抗 $R$ に対する自律駆動の試験方法

被験者は全試験前に先立ち, 安静時の心拍数  $HR_{rest}$  を取得する. 被験者は試験を通して, 車いすに着座したままであるが, 身体異常や疲れを意識したとき, 試験を中断し休養できることを事前に伝えておく.

1回の試験は, 走行抵抗  $R$  を設定したのち, 被験者に合図を行い, 操作駆動を開始する. このとき, 前もって自然体で車いす操作を行うよう指示し, 加えて上体をなるべく動かさないよう指示している. 予備試験において, 車いす車輪の角速度はほぼ30秒後には定常に達しており, 心拍数は2分程度で定常となっていたため, 試験開始後2分30秒後から30秒間において, 各計測値の取得を行う. 計測値は車いすの駆動トルク  $\tau(t)$ , 車輪角速度  $\omega(t)$ , 心拍数  $HR$  である. 操作者の主観的な運動強度は安静時心拍  $HR_{REST}$  を基準とし, 最大心拍  $HR_{MAX}$  までの割合を百分率で表現する式(13)の EHR を用いて評価を行う.

$$EHR[\%] = \frac{HR - HR_{REST}}{HR_{MAX} - HR_{REST}} \quad (13)$$

被験者に対する  $HR_{MAX}$  測定は危険を伴う厳しい試験のため, 220 から年齢を減ずる簡易算出法より  $HR_{MAX}$  を求めている.

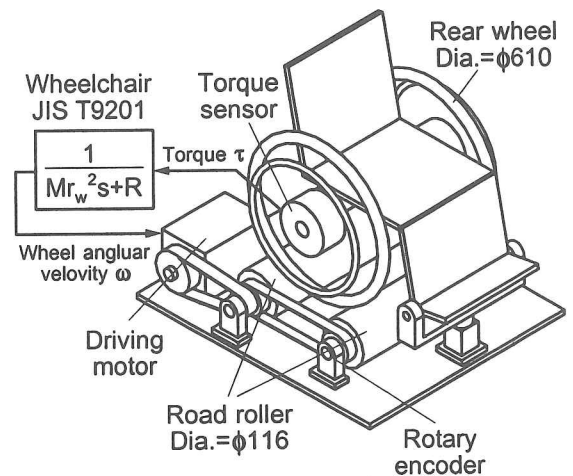


Fig. 2 Load simulator on manual wheelchair



4. 操作者の自律駆動特性

4. 1 走行抵抗 R に対する自律駆動特性

走行抵抗 R を逐次変化させ得られた操作者の自律駆動特性を図 3 に示す。駆動トルク  $\tau(t)$  は間欠的な駆動波形となり、また車いす車輪角速度  $\omega(t)$  は駆動 1 周期 D において加減速を伴うため、駆動 1 周期 D における駆動トルク平均  $T_a$ 、および車輪角速度  $\omega_a$  を用いて図を構成している。走行抵抗 R が増加することより、駆動トルク  $T_a$  は増加し、車輪角速度  $\omega_a$  は低下していくことがわかる。これは、操作者が走行抵抗に対抗すべく、駆動トルクを増加させるが、走行抵抗のため減速が強くなるためと考えられる。このときの機械的動力を計算したものが図中の黒丸となるが、この被験者の場合は 1.8rad/s 程度で最大値約 7W 程度の片手発揮動力となっていることがわかる。走行抵抗 R が増加すると駆動トルクは増加するが、車輪角速度が小さく、機械動力は低下していき、逆に R が低い場合も、車輪角速度は増加するが駆動トルクが小さく、機械動力は低下することがわかる。このときの主観的な運動評価を図 3 上図に示す。被験者はどの走行抵抗 R に対しても、EHR30% 以下（軽度の運動）の範囲で駆動を行っていることがわかる。低角速度領域において、EHR が低下しているのは、静的な筋力発揮が主となる運動となっているためと考えられる。

次に被験者の発揮駆動トルク特性を詳細にみるため、1 分間における駆動回数  $f_p$  と車輪回転角度に関する関係を図 4 に示す。駆動回数  $f_p$  は試験期間 30 秒間において  $\tau(t)$  の周期 D を平均したものである。 $\theta$  は 1 駆動周期 D、 $\theta_p$  は駆動期間  $D_p$  に対する車輪角度を表し、 $\omega(t)$  に関してそれぞれの区間の数値積分より得ている。図中白丸は  $f_p$  を表し、車輪角速度

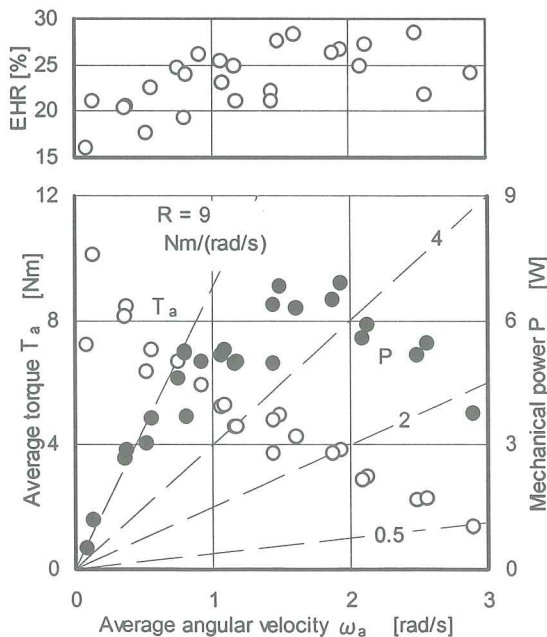


Fig. 3 Autonomous propelling behavior

の増加と共に  $f_p$  も増加していく。走行抵抗 R が小の場合、車輪角速度は増加するが、操作者は腕の往復運動が早めて車輪角速度を維持していることがわかる。逆に走行抵抗 R が大の場合、車輪速度は低下するが、被験者はある程度の駆動回数を確保するように駆動を行っており、角速度 0 近傍まで 15 回/分の駆動回数をほぼ確保している。車輪回転角度  $\theta$  と  $\theta_p$  を見ると、走行抵抗 R が減少していく場合、車輪角速度は増加し 1 駆動周期における車輪の回転角度  $\theta$  も比例的に増加している。1 駆動期間に対する車輪角度  $\theta_p$  は若干増加していくがほぼ一定であり、これは腕の届く範囲により  $\theta_p$  が決定されるためと考えられる。 $\theta$  と  $\theta_p$  の差は比例的に増加していき、これは手がリムを把持していない空走期間が増加していることがわかる。逆に走行抵抗 R が大の場合、この空走期間はほとんどなく、1 駆動周期においてほとんどリムを把持していることがわかる。これらのことから、操作者は走行抵抗 R が大の場合、リムの把持角度を小さくして、早めに手を持ち替えるという駆動方法を行い、走行抵抗 R が減少すると、車輪角速度が増加するため、持ち替え回数を多くし、リムの把持角度が増加できないことを補って駆動していることがわかる。

次に駆動トルクの発揮特性を図 5 に示す。車輪角速度に対する 1 駆動区間  $D_p$  における駆動トルクの最大値  $\tau_m$  と平均値  $\tau_a$  を右軸に表し、1 駆動周期 D に対する 1 駆動期間  $D_p$  の比  $D_p/D$  を右軸に表したものである。走行抵抗 R が大となる領域では、駆動トルクは最大値  $\tau_m$ 、平均値  $\tau_a$  ともにほぼ一定になっており、平均値  $\tau_a$ /最大値  $\tau_m$  の比はほぼ 2/3 となっていることがわかる。走行抵抗 R が減少し、車輪角速度  $\omega_a > 1.5 \text{ rad/s}$  の領域では、 $\tau_m, \tau_a$  ともに比例的に減少していくが、その比はほぼ一定となっている。これは、リムを把持して力を発揮する腕の筋

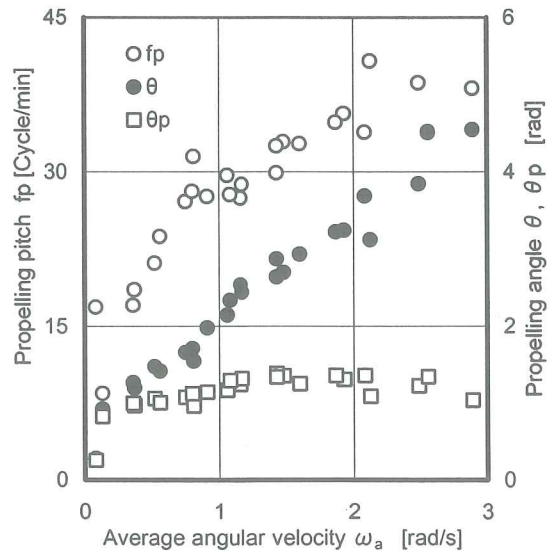


Fig.4 Regulating pitch and angle on propelling

肉を含む動特性により、低速度領域では力の発揮が十分行われているためと考えられ、角速度  $\omega_a > 1.5 \text{ rad/s}$  の領域では、リムの回転速度に対して力発揮を行う腕の動特性が追従できなくなってくるためと考えられる。駆動期間比  $D_p/D$  は低速度においてほぼ1となり、1駆動周期のほとんどの部分でリムを把持して駆動トルクを発揮しており、走行抵抗  $R$  が減少し、車輪角速度が増加するに従い、比例的に  $D_p/D$  は低下していき、角速度  $3 \text{ rad/s}$  において25%の駆動期間比を維持している。以上のことから、操作者は走行抵抗が大となる低角速度の領域では、力を出せる能力が飽和してしまうため、駆動期間を長くすることにより走行抵抗に対抗して駆動を行っていることがわかる。この特徴は角速度  $\omega_a = 1.5 \text{ rad/s}$  程度まで続くが、これ以上の角速度領域では、駆動トルク値、駆動期間を共に比例的に減少させて、走行抵抗  $R$  の減少に対応して角速度を維持していることがわかる。

4. 2 モデルの検証, および自律車いす駆動に寄与する諸物理量の特性

得られた各特性を用いて、提案した図1のモデルの検証を行った結果を図6に示す。白抜き丸で表現されたマークは、図2で表示している平均駆動トルク  $T_a$  と平均車輪角速度  $\omega_a$  である。これらの値は、 $\tau(t)$ ,  $\omega(t)$  を測定し、測定時間に関して単純平均し、プロットしたものである。これに対し、黒丸で表現されたマークは  $\tau(t)$  の計測値から式(8)に従い、平均駆動トルク  $T_a$  を算出したものであり、両者はほぼ一致していることがわかる。これより、駆動トルク  $\tau(t)$  は1駆動期間  $D_p$  での駆動トルク平均  $\tau_a$  を用いてパルス関数として扱うことが出来ることがわかる。機械動力について検証したものは図中の四角マークで表しており、白抜き丸のものは、白抜き丸から得た平均駆動トルク  $T_a$ , および車輪角速度  $\omega_a$  から算出した機械動力  $P$  であり、黒抜き丸のものは  $\tau(t)$  の計測値から式(12)に従い、計算した機械動力  $P$  で両者はほぼ

一致していることがわかる。これより、車いす駆動の機械動力は1駆動期間の平均駆動トルク  $\tau_a$ , リム把持角度  $\theta_p$ , 駆動周波数  $f_p$  により決定され、操作者は自立的にこれらの値を決定していることがわかる。

最後に車いす駆動の機械動力  $P$  と、平均駆動トルク  $\tau_a$ , リム把持角度  $\theta_p$ , 駆動周波数  $f_p$  の3物理量に関して、主観運動強度に対する寄与状況について整理したものを図7に示す。図中の下部図は主観運動強度  $EHR$  に対する機械動力  $P$  の関係を示しているが、ほぼ比例の関係となり、機械動力が増せば、主観運動強度も増加していることがわかる。この詳細を調べるため、式(12)で表現される3物理量を主観運動強度に関してプロットしたものが上図部分である。各物理量は最大の機械動力時(図中の破線)の各値に対して正規化を行って表示している。これを見ると、平均駆動トルク  $\tau_a$  は  $EHR$  の増加と共に減少しており、駆動回数  $f_p$  とリム把持角度  $\theta_p$  は共に増加の傾向を示すが、 $\theta_p$  は増加の傾向が  $f_p$  に比べて穏やかであることがわかる。以上のことから、

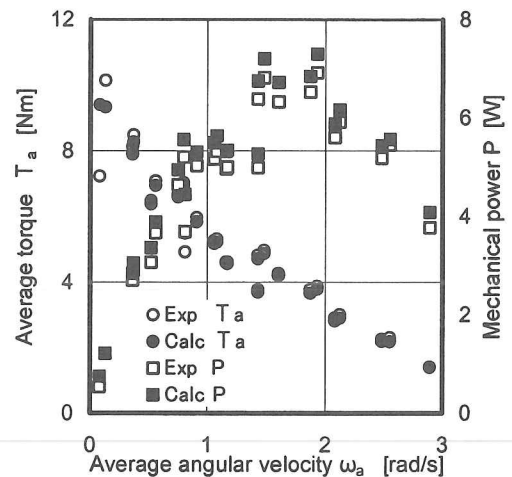


Fig. 6 Validation of model

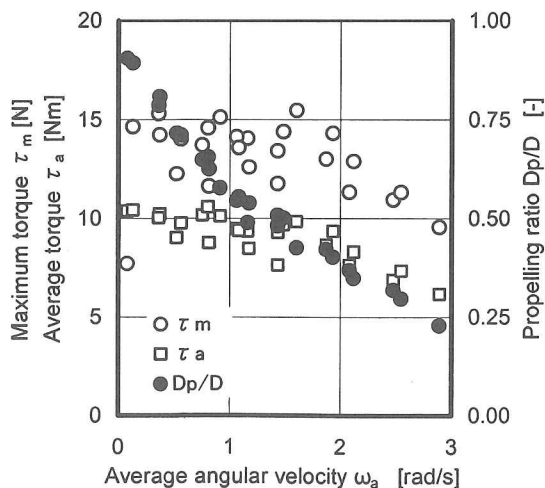


Fig. 5 Changing torque shape on propelling

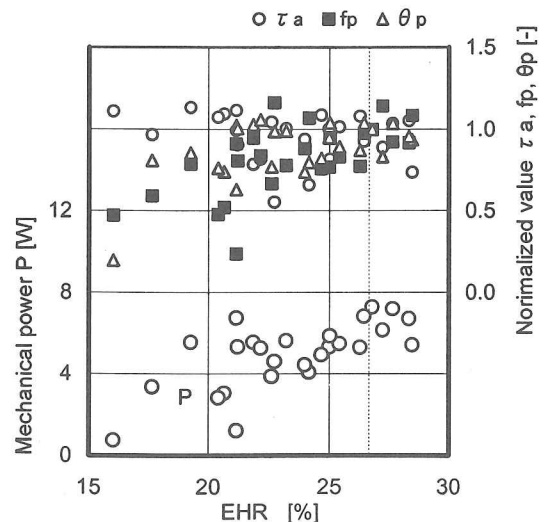


Fig. 7 Contribution for EHR



操作者は機械動力  $P$  を増加させるために、駆動トルクを徐々に下げ、リム把持角度を若干増やしつつ、駆動回数を増加させるような駆動形態となり、結果として腕の運動が大きくなるため、EHR も増加していることがわかる。これらの結果から、低負担となる車いすを設計するためには、座面位置等を調整し、リム把持角度  $\theta_p$  を増加させ、駆動回数を減少させ、平均駆動トルク  $\tau_a$  を増加させる手法は効果的と予想される。

## 5. まとめ

手動車いすにおいて、走行路面抵抗に対する操作者の自律駆動負担を調べるため、操作者の自律駆動モデルを提案し、定常時の駆動特性を決定する主要素を明確にした。また、走行抵抗を任意に変更できる車いすシミュレータを用い、試験より操作者の自律駆動特性と主観的な運動強度について明確にした。以上のことから、次の事項が明らかになった。

- (1) 走行抵抗に対する自律定常駆動を決定する要素は1 駆動期間における平均駆動トルク、駆動回数、リム把持角度であり、試験による検証の結果、提案したモデルは妥当であることがわかった。
- (2) 走行抵抗の増加に対して、操作者は駆動トルクを増加させて対応するが、車輪角速度が  $1.5\text{rad/s}$  以下では駆動トルク値は飽和するため、1 駆動周期に対し駆動期間を多くとるようにしている。同時に駆動回数は低下し、リム把持角度も狭くなった。
- (3) 走行抵抗の低下に対して、操作者は駆動トルクを減少させ、腕の往復運動を早めることにより駆動回数を増加させて対応している。同時にリム把持角度も増加させていた。
- (4) 主観運動強度は操作者の自律的に発揮された機械的動力にほぼ比例していた。機械動力は車輪角速度が  $1.5\text{rad/s} \sim 2\text{rad/s}$  時に最大となるが、今回の被験者においては片手で  $7W$  程度であった。

以上の知見は、低負担走行を行える車いす機構設計の改善指標として用いることができる。

## 謝辞

なお、本研究は、関西大学学術研究高度化推進事業の一環として実施された事を付記し、感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) S van Drongelen, S de Groot, H E J Veeger, E L D Angenot, A J Dallmeijer, M W M Post, L H V van der Woude : Upper extremity musculoskeletal pain during and after rehabilitation in wheelchair-using persons with a spinal cord injury, *Spinal Cord*, Vol.44, No.3, 152-159, 2006.
- 2) 竹脇知実, 太田隆, 藤田博暁, 小野とも子, 土田典子, 渡部総枝, 佐藤輝彦, 関直樹 : 高齢者の車椅子駆動に関する研究 床材が車椅子駆動に及ぼす影響, *東京都老年学会誌*, Vol.4th, 197-199, 1998.
- 3) A M Koontz, R A Cooper, M L Boninger, Y Yang, B G Impink, L H V van der Woude : A kinetic analysis of manual wheelchair propulsion during start-up on select indoor and outdoor surfaces, *J Rehabil Res Dev*, Vol.42, No.4, 447-458, 2005.
- 4) 米田郁夫, 糟谷佐紀, 阪東美智子, 末田統, 藤沢正一郎, 奥英久, 鎌田実 : 手動車いすによる縦断勾配走行時の負担と操作難易度評価, *日本機械学会論文集 C*, Vol.71, No.701, 237-244, 2005.
- 5) W M Richter, R Rodriguez, K R Woods, P W Axelson : Stroke pattern and handrim biomechanics for level and uphill wheelchair propulsion at self-selected speeds, *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.88, No.1, 81-87, 2007.
- 6) 齊藤健治, 細谷聡, 清田勝 : 車いす走行時の肘関節運動と駆動力によるハンブのバリア度評価, *人間工学*, Vol.43, No.3, 117-123, 2007. (2007. 11. 16 受付)

## Load evaluation of autonomous propelling manual wheelchairs

Tatsuto SUZUKI, Hironobu UCHIYAMA, Junichi KURATA, Yoshihiro MURAKAMI

**ABSTRACT:** Users of manual propelled wheelchairs autonomously regulate wheelchair's speed and propelling torque according to resistance of road surfaces. The users desire safe wheelchair mechanism with low propelling load against various road conditions. For design of the mechanism, it is important to investigate the load of autonomous propelling wheelchairs. We proposed a human and a wheelchair model in autonomous propelling, and found main elements contributing to propelling at steady state. For validating the model, we also developed a device of wheelchair to be able to change its road conditions voluntarily, and examined the autonomous propelling and subjective exercise level based on heart ratio. As the results, we can assess the propelling load and also modify the wheelchair mechanism under the assessment.

**Key words :** Manal wheelchair, autonomous propelling, load evaluation, subjective exercise level