レバー式車椅子操作時の心理的負担の分析*

鈴木 桂 輔^{*1}Investigations of Mental Workload during
the Use of Lever Type WheelchairKeisuke SUZUKI^{*2}^{*2} Department of Mechanical Engineering, Daido Institute of Technology,
10-3 Takiharu, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi, 457-0819 Japan

The mental workload during the use of lever type wheelchair (Wijit) in terms of EEG and fluctuation of finger pulse were analyzed. In the analysis of mental workload with a view to EEG, it was observed that the power level of α wave was higher and β wave was lower in a use of Wijit than in a use of standard hand-limb type wheelchair. This means that the parasympathetic nervous system in a use of Wijit was more activated than in a use of standard hand-limb type wheelchair. The physical workload of arms and busts in terms of %MVC was also analyzed. It was clarified that the physical workload of arms during the use of Wijit is much lower than that during the use of normal hand-limb type wheelchair. It is possible to conclude that low physical workload at arms, meaning the operator does not have to grab the hand-limb tightly during the use of Wijit, is relevant to low mental workload for operating wheel chair.

Key Words: Human Engineering, Medical and Welfare Assistance, Man-machine Interface, Lever Type Wheelchair, Mental Workload, EEG, Fluctuation of Finger Pulse, Physical Workload

1. 結 論

車椅子を使用する人が、自立して社会参加するためには、長距離の走行や登坂操作における負担を軽減させる機能が車椅子に要求されることは言うまでもないが、現状のハンドリムを把持して駆動する自走式の車椅子では、操作負担が十分に低いとはいえない。筆者が20歳代の男性10名を対象に調査した、自走式の車椅子を操作する際の脈拍変動と心理的負担(疲労感)に関する主観評価とについて、その10名の平均値を図1⁽¹⁾に示す。ハンドリム操作は、歩行と比較して脈拍の上昇が著しく、心理的な負担に関する主観評価値が極めて高い傾向にあることが分かる。筆者は、共同研究を行うアバンテ株式会社⁽²⁾らと、この駆動に伴う操作負担を低減することを目的とした、レバー式車椅子操作具(Wijit⁽²⁾ ; 「不思議な妖精のような、小さな仕掛け」という意味の単語 WIDGET と同じ発音になる造語)を共同研究者である米国の Brian M. Watwood⁽²⁾ のアイデアを基に製品化した。

Fig.1 Comparison of operating workload between wheelchair and walking in terms of pulse rate and subjective evaluation regarding fatigue level⁽¹⁾

本稿では、レバー式操作具(Wijit)を使用した場合の心理的な操作負担が、通常のハンドリムを把持して車椅子を操作した場合と比較して、どの程度低減するかについて、脳波のFFT解析、脈波のゆらぎを評価指標として分析する。例えば、脳波については、副交感神経活動、交感神経活動を反映する α 波および β 波の周波数帯域のパワーレベル、脈波については指尖容積脈波のゆらぎを定量化するリアプノフ指数⁽³⁾、⁽⁴⁾および指尖加速度脈波のFFT解析結果から得られる

* 原稿受付 2007年5月10日。

^{*1} 正員, 大同工業大学工学部 (〒457-0819 名古屋市滝春町10-3)。

E-mail: ksuzuki@daido-it.ac.jp

LF/HF⁶⁾を評価指標として、心理的負担の程度を推定する。次いで、レバー式操作具を使用した場合に心理的負担軽減の観点で優位性が確認された場合には、そのメカニズムについて、車椅子操作時の腕部と上半身の筋負担および全身の運動量と相関のある消費カロリーから考察する。

2. Wijit の構造

評価の対象とした車椅子操作具は、ハンドリムとWijit の2種類とした。なお、車椅子はホイルの外径が24[inch]の質量約12[kg]のものを使用した。このWijit は、既存の概ね全ての車椅子に装着することが可能な構造としている。

Wijit の概観を図2に示す。①シフター、②グリップ、③ブレーキ、④駆動ギア、⑤トランスミッションから構成される⁶⁾。ハンドリム操作と同様に、左右のレバーの操作量の違いにより旋回を行うことができ、レバー先端部に設置したシフターの操作により、前進、後進の切り替えが可能な機構となっている。シフターを前進方向に設定している状態では、レバーを前方向に移動している場合にのみ駆動力が車輪に伝達され、自転車のように前方へ慣性で走行することができる。また、ギア比はユーザーの操作特性に合わせて任意のものを選定することが可能であるが、今回の調査では、登坂時の負担軽減と移動の高速化という両者の要求を適度に満足するギア比が1:1.2のタイプを使用し、心理的負担の程度を分析した。Wijit の機構の概略を以下に示す。

- ①シフター：レバーの先端にあるシフターを指先で軽く回すだけで、前進・後退・中立の切り替えを可能としている。
- ②グリップ：ボートのオールを漕ぐように前後運動を行うことで、前進・後退を可能としている。レバー先端に設置した前進と後進の切り替えシフターにより、前進時には、レバーを前方向に操作する場合にのみ駆動力がタイヤに伝達され、後進時には、レバーを後方向に操作する場合にのみ駆動力が伝達される。
- ③ブレーキ：走行中、グリップを体の内側に軽く引き寄せることにより、その力に応じてブレーキが作動する機構としている。
- ④駆動ギア：ユーザーの操作特性に応じた任意のギア比を購入時に選択することが可能である。
- ⑤トランスミッション：自転車のペダル操作と同様に、漕いだ時はレバーとギアが連結し、漕いでいない時は非連結状態になる。左右のレバーは完全に独立しており、例えば、一方のレバーを前進するように漕いで他

方のレバーを後進するように漕ぐことにより、その場で旋回することが可能であり、スムーズな方向転換を可能としている。

Fig.2 Overview of lever type wheelchair "Wijit"

3. 評価方法

3・1 評価指標 心理的負担（ストレス）は高次中枢を介して、心臓血管中枢、呼吸中枢に影響を与えることは広く知られている。従って、心理的負担を、これらを直接的に評価可能な血圧や心電のR-R 間隔（心拍数の逆数）に着目することは、一般的な手法であると思われる。しかしながら、筆者は、先行研究⁶⁾において、脳波やリアプノフ指数の有効性を見出している。つまり、これらの生体指標は、本稿で扱う中枢性疲労の一つである心理的負担（ストレス）との間に相関が高く、その程度を定量的に分析する手法として有効であることを確認している。本稿では、先行研究で実績のあるこれら二つの生体指標に着目して、車椅子操作時の心理的負担について考察する。

車椅子操作時の心理的な疲労感を評価するにあたり、脳波の周波数分析を行い、副交感神経系の活動が優位な場合に出現率が増加するといわれる8Hz～13Hzの周波数帯域を持つα波のパワーレベルおよび、交感神経系の活動が優位な場合に出現率が増加するといわれる14Hz～30Hzの周波数帯域を持つβ波のパワーレベルを分析した。このほか、被験者の指尖脈波に着目し、心理的な負担が高い場合に増加するといわれる容積脈波のゆらぎ量および、加速度脈波の低周波成分に対する高周波成分の割合をFFT解析より分析した。容積脈波のゆらぎは、リアプノフ指数⁶⁾で定量化し、加速度脈波のFFT解析では、低周波成分（0.004～0.15Hz）と

高周波成分 (0.15~0.40Hz) のパワーレベルの比率を意味する $Lf/Hf^{(4)}$ について分析した。

3・1・1 脳波 脳波については、国際 10-20 法に基づき、図 3 に示す頭頂部の C3, C4 と後頭部の O1, O2 の 4 箇所にてディスポザブル式の電極を粘着テープで装着し、(株)ニホンサンテック製の脳波解析装置 Map1058 を用いて脳波の周波数分析を行った。なお、脳波の計測部位については、事前調査において、今回の実験で設定した測定環境下において、ノイズの混入が最も低い部位が頭頂部と後頭部であったため、C3, C4, O1, O2 において脳波を検出した。

α 波のパワーレベルが高いほど心理的にリラックスし、 β 波のパワーレベルが高いほど心理的にストレスが蓄積されているものと判断できることから、これら生体指標から車椅子操作時の心理的負担の程度を分析した。なお、今回の調査では、これらパワーレベルは、上記の脳波解析装置を使用して、時系列データとして自動算出した。

Fig.3 Measuring points that EEG was analyzed

3・1・2 脈波 被験者の指先に赤外線方式の脈波検出センサを装着し、容積脈波のゆらぎ量をリアプノフ指数により定量化した。心理的な負担が高いほど、ゆらぎ量が増加し、これに伴いリアプノフ指数も増加する傾向がある。図 4(a) に示す容積脈波の時系列波形 (指先に設置した赤外線センサで計測した脈波変動の時系列波形であり、血流量と相関がある) を図 4(b) に示す三次元の時間遅れ座標系に変換してアトラクタ (散布図) を描画した場合、心理的なストレスや疲労感が少ないほど、アトラクタの軌道変化は少なく、時間経過に伴うアトラクタの軌道変化を表現するリアプノフ指数は、小さな値を示す。なお、今回の調査での図 4(a) における τ および Δt は、いずれも 20[ms] に設定した。このアトラクタの軌道を基に、sano-

sawada 法⁽³⁾ を用いて軌道変化の程度を定量的に表現するリアプノフ指数を算出した。

実験解析において得られた時系列データから元のシステムのダイナミクスを解析するためには、しばしば、高次元空間 (一般的には三次元、四次元の場合には、例えば三次元に色情報を添加するなど) における軌道の再構成を行い、その軌道の時間的な変位からゆらぎ量を定量化するという手法がとられる。例えば、本稿に示すように、二次元座標系で表現できる時系列データから、三次元の時間遅れ座標系の変換に変換し、三次元座標系上のデータの軌道のズレを、リアプノフ指数などを用いて定量化するという手法がとられる。

参考までに、ある被験者の、安静状態 2 分間と、ハンドリムを把持して車椅子を操作した直後 2 分間での、アトラクタ形状 (三次元のアトラクタを二次元の座標系に写像) とリアプノフ指数の実測例を図 4(c) に示す。車椅子を操作した疲労感が高い状態 (右図) では、安静状態 (左図) と比してリアプノフ指数の平均値が増加 (3.5⇒6.3) していることがわかる。今回の調査では、この容積脈波のリアプノフ指数を、(株)CCI 製の脈波解析装置 BACS を使用して、時系列データとして自動算出した。

(a) Time series of the pulse (b) Three dimensional trajectory of pulse (attractor)

Fatigue level: low Fatigue level: high
Ave.of Lyapnov exp. =3.5 Ave.of Lyapnov exp. =6.3
(c) Experimental data of attractor

Fig.4 Procedure of transformation from time series data into three dimensional trajectory of pulse (attractor)

また、容積脈波を二階微分して得られる指先加速度脈波のFFT分析を行い、その低周波数帯域 Lf (0.04~0.15Hz) のパワーレベルの積分値と高周波数帯域 Hf (0.15~0.40Hz) のパワーレベルの積分値との比を、一定のサンプリング間隔毎に時系列データ (Lf/Hf) として算出し、車椅子操作時の心理的負担の程度について分析した。

この Lf/Hf については、心電分析の分野においての評価例が一般的であるが、最近では、高田ら⁶⁾により、加速度脈波についても同様な評価が可能という報告がある。参考までに、ある被験者の、安静状態2分間と、ハンドリムを把持して車椅子を操作した直後2分間での、加速度脈波のFFT分析の一例を図5に示す。心理的負担の高い状態では、高周波成分 (Hf) が低周波成分 (Lf) と比較して、増加している傾向がみとれる。今回の調査では、この加速度脈波の Lf 領域のパワーレベルと Hf 領域のパワーレベルの比を意味する Lf/Hf を、株式会社 BACS を使用して、時系列データとして自動算出した。

Fig.5 FFT analysis of acceleration pulse in terms of Lf/Hf

3・2 計測条件および被験者 コンクリート路面上を、速度 1.0m/s で歩行するペースメーカーが被験者の搭乗した車椅子を 10 分間誘導しながら走行させた。心理的な負担の程度分析は、この 10 分間の走行の直後 2 分間を対象とし、前述の脳波、脈波について計測した。ハンドリム操作後と W. jit 操作後での計測結果について有意差があるかについて、平均値の差の検定 (t 検定) により分析した。

また、被験者は、20 歳代の男性 20 名 (平均年齢: 23.8 歳, 年齢の標準偏差: 2.5 歳, 平均体重: 63.5[kg], 体重の標準偏差: 3.8[kg]) とした。なお、今回の調査では、通常は車椅子を使用していない被験者を分析の対象としたため、調査前には、一日あたり 2 時間の車椅子による走行を 5 日間体験してもらい、

車椅子操作に慣れたことを確認した上で分析を実施した。

4. 評価結果

4・1 脳波 α 波を評価指標とした場合の、操作具別でのパワーレベルの平均値±標準偏差を図 6 に示す。頭頂部 (C3, C4) と後頭部 (O1, O2) での計測部位別での、被験者ごとの安静時 10 分間のパワーレベルを 100% として正規化した調査結果について、被験者 10 名の平均値と標準偏差を示す。全ての計測部位において、 α 波のパワーレベルに関しては、W. jit を操作した直後では、ハンドリムを操作した直後と比較して高い値を示している。また、ハンドリムを使用した場合と W. jit を使用した場合での計測結果について、その平均値の差の検定 (t 検定) を行うと、全ての計測部位において有意差 ($p < 0.05$) が確認された。W. jit を使用した場合では、ハンドリムを使用した場合と比較して、車椅子の駆動に伴う心理的な負担の程度が低く、副交感神経系の活動が優位になった結果、 α 波のパワーレベルが高い値を示したものと推測される。

次いで、 β 波を評価指標とした場合の、操作具別でのパワーレベルの平均値±標準偏差を図 7 に示す。図 6 と同様に、頭頂部 (C3, C4) と後頭部 (O1, O2) での計測部位別での、被験者ごとの安静時 10 分間のパワーレベルを 100% として正規化した調査結果について、被験者 10 名の平均値と標準偏差を示す。頭頂部 (C3, C4) での計測結果については、操作具別での有意な差は確認できないが、後頭部 (O1, O2) では、 β 波のパワーレベルは、W. jit を操作した直後において、ハンドリムを操作した直後と比較して低い値を示している。また、これら後頭部については、ハンドリムを使用した場合と W. jit を使用した場合での計測結果について、その平均値の差の検定 (t 検定) を行うと、有意差 (O1 では $p < 0.01$, O2 では $p < 0.05$) が確認された。W. jit を使用した場合では、ハンドリムを使用した場合と比較して、車椅子の駆動に伴う心理的な負担の程度が低く、交感神経系の活動が劣位になった結果、ストレス波ともよばれる β 波のパワーレベルが低い値を示したものと推測される。

Fig.6 Comparison of the power level of Alpha wave (8-13Hz) of EEG between hand-limb type and lever type wheelchair

Fig.7 Comparison of the power level of Beta wave (14-30Hz) of EEG between hand-limb type and lever type wheelchair

4・2 脈波 容積脈波のゆらぎを定量化したリアブノフ指数を評価指標とした場合と、加速度脈波のFFT解析から得られるLf/Hfについて、被験者ごとの安静時10分間の計測結果を100%として正規化した調査結果について、被験者の平均値±標準偏差を図8に示す。

図8の左側に示すリアブノフ指数を評価指標とした場合、Wjitを操作した直後では、ハンドリムを操作した直後と比較して、計測結果が小さな値を示す傾向にある。両者について平均値の差の検定(t検定)を行ったところ、有意な差(p<0.01)が確認された。これは、Wjitではハンドリムと比較して心理的負担の程度が低く、心理的負担が増加した場合に増加する傾向のある容積脈波のゆらぎ量が小さかったためであると推測される。

また、図8の右側に示す加速度脈波のLf/Hfを評価指標とした場合、Wjitを操作した直後では、ハンドリムを操作した直後と比較して、計測結果が大きな値を示す(心理的負担が低い)傾向にある。しかしながら、両者について平均値の差の検定(t検定)を行ったところ、

今回の調査結果については、有意な差(p<0.05)は確認されなかった。

Fig.8 Analysis of fluctuation of pulse in terms of Lyapunov exponent and Lf/Hf of FFT analysis

以上のように、脳波、脈波を評価指標とした今回の調査においては、その調査結果の多くで、Wjitを使用した場合の心理的負担の程度がハンドリムを使用した場合の負担の程度と比較して減少する傾向が観察された。以下では、車椅子操作時の筋負担のから、その理由について考察する。

5. 筋負担の観点からの心理的負担の軽減効果

5・1 心理的負担と筋負担との相関 疲労を分類すると、末梢性疲労と中枢性疲労に大別することができる。本稿で分析の対象としている心理的負担とは、中枢性疲労に相当する。これまで、この中枢性疲労と、継続的な筋負担などにより誘発される末梢性疲労との相関については、いくつかの仮説があり、その一つにセロトニン仮説⁷⁾がある。これは、ダンベルなどを用いた筋力トレーニングなどの過度の筋活動を伴う運動後に脳内でのセロトニン(神経伝達物質)が増加し、これが疲労感につながるというものである。本章では、この仮説に基づき、レバー式車椅子を使用した際の心理的負担(中枢性疲労)の減少の主要因の一つに、筋負担の減少があるものと考え、前述の脳波のパワースペクトル解析および脈波のゆらぎ解析によって定量化した心理的負担の程度と、車椅子操作に伴う筋負担との相関を分析する。

5・2 筋負担の分析方法 以下の図9に示す腕部と上半身の合計14箇所の筋肉を対象とし、(株)追坂電子製の筋電位計測装置(Universal-EMG)を使用し、走行時及び登坂時における積分筋電位(IBM)を計測した。これらの筋肉は、事前調査において全身の筋組織を対象に積分筋電位を分析し、筋負担の高い腕部7箇所と上半身7

箇所にとった。なお、被験者は、20 歳代の男性 10 名（平均年齢：25.5 歳，年齢の標準偏差：2.3 歳，平均体重：63.0[kg]，体重の標準偏差：3.4[kg]）とした。なお、車椅子の走行速度は、1.0[m/s]に設定し平坦路を走行させた。

今回の分析では、㈱追坂電子製の筋電位計測装置を用いて積分筋電位の時系列波形の自動算出を行った。この積分筋電位の算出では、筋電位データの生波形について、カットオフ周波数を 2.4[Hz]に設定したローパスフィルタ処理を行った後、その絶対値をとるという処理を行った。

また、計測にあたって使用した電極は、ディスプレイ型の両面テープで皮膚に接着するタイプ（型式：Blue sensor, N-00-s, 日本 GE マルケットメディカルシステムズ社）とした。

- ① flexor carpi ulnaris muscle
- ② flexor carpi radialis muscle
- ③ biceps brachii muscle
- ④ extensor carpi radialis brevis muscle
- ⑤ extensor carpi radialis longus muscle
- ⑥ musculus triceps brachii (outside)
- ⑦ deltoid muscle (middle part)

(a) Arms

- ① cowl muscle (upper part)
- ② cowl muscle (middle part)
- ③ infraspinatus muscle
- ④ musculus teres minor
- ⑤ greater pectoral muscle
- ⑥ musculus rectus abdominis
- ⑦ anterior serratus muscle

(b) Upper body

Fig.9 Muscles that we analyzed the operating workload

また、操作負担を定量化するにあたり、各々の被験者の最大自発筋収縮（MVC: Maximal Voluntary Contraction）の際に発生する筋電位を 100%とした相対値（%MVC, 図 10）に着目した。車椅子操作に伴う%MVC の分析手法の概略を以下に示す。なお、MVC については、個々の被験者においてばらつきは見られたものの、対象とした被験者全員が、最も高い積分筋電位を発生することのできる運動（例えば、両手を合わせた状態で、手のひらの内側方向に押し付けるなど）を、事前調査において分析し、決定した。

- ① 車椅子操作の際の IEMG を腕部の 7 種の筋肉と上半身の 7 種の筋肉について計測する。
- ② 計測した IEMG の最大値を、最大自発筋収縮時の IEMG を 100%として%MVCに変換する（図 10）。
- ③ この換算した%MVC を、個々の筋負担と定義する。

Fig.10 Evaluation of operating workload in terms of %MVC meaning the relative value of IEMG

5・3 筋負担の分析結果 車椅子操作時における、前述の腕部と上体の%MVC を評価指標とした筋負担の一例として、走行時におけるハンドリム操作と Wijit 操作時における各部位の筋負担を以下の図 11 に図示する。なお、この図では、各部位の筋負担について、10 名の被験者による%MVC の計測結果の平均値を描画している。ハンドリム操作時（図 11(a)）は、Wijit 操作時（図 11(b)）と比較して、主として前腕部の筋負担が高いことがわかる。ハンドリム操作時には、駆動に伴いハンドリムを把持するための筋負担が極めて高く、筋負担が前腕部に集中しているためと思われる。これに対し、Wijit 操作時では、上腕三頭筋外側頭の筋負担がハンドリム操作時と比較して若干高い傾向を示すものの、筋負担の腕部への集中は少ないことが分かる。

5・4 心理的負担軽減のメカニズム 以上の筋負担の分析結果から、Wijit 操作時における心理的負担軽減のメカニズムについて考察する。ハンドリム操作時は、車椅子の駆動に必要なトルクのほかに、ハンドリムの把持に多くの筋負担を要しているのに対して、Wijit 操作

時は、車椅子の駆動に必要なトルクを効率良く発生できているものと推察される。これは、車椅子操作時の消費カロリーからも把握することができる。前述の脳波、脈波の解析に参加した被験者 20 名により車椅子を 10 分間駆動した場合の消費カロリーの計測例を図 12 に示す。なお、計測では、走行速度を 1.0[m/s]とし、コンクリートの平坦路を走行させた。Wijit 操作時では、ハンドリム操作時と比較して 60%程度の消費カロリーで車椅子を駆動しており、これは歩行動作と同程度であることが分かる。Wijit では、ハンドリムと比較して、効率良く駆動トルクを発生できていることがわかる。

Fig.11 Distribution of workload in terms of %MVC of each muscle

Fig.12 Comparison of calories that were used for operating wheelchairs for 10 minutes between hand-limb type and Wijit

以上の筋電位の計測結果、消費カロリーの計測結果から総合的に判断すると、Wijit 操作時は、ハンドリム操作時と比較して、筋負担が腕部に集中することなく効率良く駆動に伴うトルクを発生できる傾向があり、この結果、消費カロリーが低い傾向にあるものと推察される。また、このような特性が、Wijit 操作時における心理的負担の軽減に貢献しているものと思われる。

6. 総括

6・1 心理的負担の程度の分析 被験者 20 名を対象に、10 分間の車椅子駆動直後の脳波、脈波のゆらぎを分析し、心理的負担の程度を分析した。

Wijit 操作直後では、ハンドリム操作直後と比較して、副交感神経が優位な場合に顕著に確認される α 波のパワーレベルが高く、逆に交感神経が優位な場合に顕著に確認される β 波のパワーレベルが低い傾向にあった。 α 波については計測を行った 4 部位 (C3, C4, O1, O2) 全てにおいて、有意差 (t 検定による平均値の差の検定において $p<0.05$) が確認され、 β 波については計測を行った 4 部位のうち 2 部位 (O1, O2) において有意差が確認された。

また、指尖容積脈波のゆらぎ量をリアブノフ指数で定量化すると、Wijit 操作時では、ハンドリム操作時と比較して低い傾向にあり、ゆらぎが少なく心理的負担が低い傾向にあることが分かった。また、両者の間には、有意差 (t 検定による平均値の差の検定において $p<0.01$) が確認された。このほか、加速度脈波の FFT 解析を行い、高周波成分と低周波成分のパワー比率を意味する Lf/Hf から心理的負担の程度を分析した結果では、Wijit 操作時に低下する傾向がみられたが、有意差は確認されなかった。

以上の評価結果を総括すると、Wijit 操作時では、ハンドリム操作時と比較して、心理的負担が軽減する傾向にあると判断できる。

6・2 心理的負担軽減のメカニズム Wijit 操作時における心理的負担軽減のメカニズムについて考察した。被験者 10 名を対象に、車椅子駆動に伴い発生する積分筋電位を %MVC で定量化して筋負担を分析した結果、Wijit 操作時では、ハンドリム操作時と比較して、車椅子の駆動に伴う腕部への筋負担の集中が極めて低い傾向にあることが分かった。また、被験者 20 名を対象に車椅子操作時の消費カロリーを分析した結果、Wijit 操作時はハンドリム操作時と比較して、60%程度であることが分かった。以上の結果から判断すると、Wijit 操作時

では、車椅子の駆動に伴うトルクを効率良く発生できるため、ハンドリム操作時と比較して消費カロリーが低く、このような操作特性が心理的負担の軽減に貢献しているものと推察できる。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、アバンテ株式会社の河瀬靖博士と西口和秀氏より車椅子の提供ならびに、人間工学的な操作負担に関する助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- (1) Suzuki, K., Analysis of operating behaviour using lever type wheelchair, Transactions of Human Interface Society, Vol.9, #2, (2007), pp.123-129
- (2) <http://www.avant-japan.com/index.html>
- (3) Sano, M., Sawasa, Y., Measurement of the Lyapunov spectrum from chaotic time series, Physical Review Letter, 55(10), (1985), pp.1082-1085
- (4) Shimizu, T., Miao, T., Shimoyama, O., Toward measuring driving workload by chaotic dynamics underlying ear photoplethysmography, Proceedings of Human Interface symposium, #2444 (2004), pp.595-598
- (5) <http://www.kenkou.ne.jp/research/report.html>
- (6) Suzuki, K., Yasuda, M., Sassa, Y., Harada, S., Effects of aroma of trees on active safety during car driving, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.72, No.723-C(2006), pp.142-150
- (7) Newsholme EA, Acworth IN, and Blomstrand E. Amino acids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise, Advances in Myochemistry edited by Benzi G. London, John Libbey Eurotext Ltd., (1987), pp.127-133
- (8) Atsumi, B., Evaluation of Mental Condition on Drivers by Analysis of Heart Rate Variability, Proceedings of Society of Automotive Engineers of Japan, 946(1994), pp.133-136
- (9) Takatsu, H., Munakata, M., Ozeki, O., Yokoyama, K., Watanabe, Y., Tanaka, K., An Evaluation of the Quantitative Relationship between the subjective Stress Value and Heart Rate Variability, Transactions of T.IEE Japan, Vol.120-C, No.1, (2000), pp.104-110
- (10) Yokoyama, K., Omi, N., Morimoto, Y., Mizuno, Y., Talkata, K., Evaluation of Mental and Physical Workload while Driving using Wavelet Transform of Heart Rate Time Series, Transactions of T.IEE Japan, Vol.122-C, No.1, (2002), pp.36-41