

ISSN 1345-8051

# 人間生活工学

Journal of Human Life Engineering

発行 一般社団法人 人間生活工学研究センター

2015年3月発行

vol. **16** no.

**1**

通巻 43 号

\* 本誌 P4 参照



 Karmi®

(photo:Takanori Chiba)

# 自動車ペダル操作フィーリングの向上を目指して Toward improvement of the feeling of gas pedal operation

西川 一男\*, 農沢 隆秀\*, 辻 敏夫\*\*  
マツダ株式会社\*, 広島大学\*\*

Kazuo Nishikawa\*, Takahide Nouzawa\*, Toshio Tsuji\*\*  
Mazda Motor Corporation\*, Hiroshima University\*\*

keyword : 運転操作, ペダル, シフトレバー, ヒューマンマシンマッチング

## 1. はじめに

全ての人にとって扱い易く、思い通りに操作可能な機械であれば、機械を身体の一部として捉え、自分の能力以上の高度なパフォーマンスが可能となる。種々の機械の中で、自動車は予測通りに操りたい機械の一つであろう。ペダル、シフト、およびステアリングホイールの操作は、四肢の高度な操作スキルを必要とする運動で行われている。操作がし易く、予測通りに操ることができる自動車を実現するためには、人間の運動特性や知覚特性の視点を考慮して自動車の設計や開発をしなければならない。

人間は運動を行う場合に、運動内容に応じて身体の各部位の力や速度等の特性を適切に調節し、巧みな運動を実現している。人間は腕や脚の筋を収縮させることによって筋力を制御し、その結果、関節トルクを発生させ、手足の硬さや柔らかさ等のインピーダンス特性を巧みに調整し、操作機器を操っている<sup>1) 2)</sup>。自動車を設計するためには、人間の身体的特徴を的確に捉えた人間側の特性（筋活動や手足先力）と、ペダルやシフトに代表される機械側の特性（レイアウトや Force-Stroke 特性（以下 FS 特性と略記））とをマッチングさせることが重要で、この考え方をヒューマンマシンマッチングと呼ぶ（図 1 参照）。

筆者らはこれまで、自動車のペダル、シフト、およびステアリングホイール操作を上下肢操作に置き換え、ヒューマンマシンマッチングの考え方で人間特性と機械特性の関係を解明し、自動車の操作機器の設計指針を明らかにしてきた。本解説では、まず筆者らが実施した下肢の計測法とその一例について

述べる<sup>3) 4)</sup>。そして、それらの計測結果に基づき研究を進めたアクセルペダルとクラッチペダルの設計指針について解説する<sup>4)</sup>。

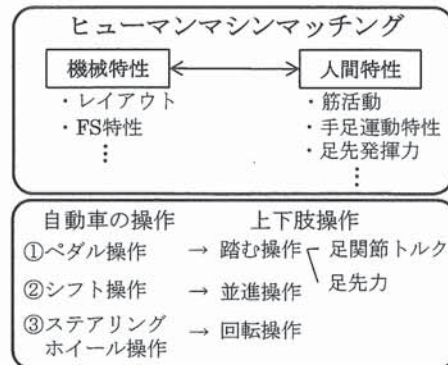


図 1 ヒューマンマシンマッチングの構成

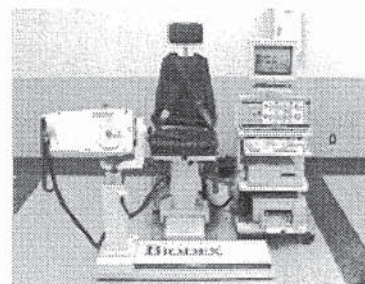
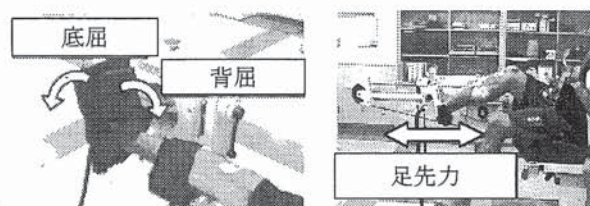


図 2 下肢特性の計測装置



(1) 足首の底屈・背屈 (2) 足先力

図 3 下肢特性の計測方法

## 2. 下肢の力学特性の計測

### 2.1 計測システムと計測方法

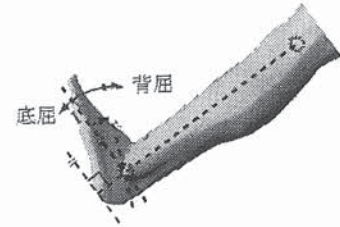
下肢特性を明らかにするために、アクセルペダルを踏む・戻す運動を想定し、足関節トルクを計測した。足関節トルクの計測システムの概要を図2に示す<sup>4)</sup>。本システムはトルク計測部、EMG計測部、計測結果を被験者にフィードバックする表示用ディスプレイから構成される。トルク計測部は、Biodex System 2AP (Biodex Medical Systems Inc.; 最大トルク: 610 [Nm]; 以下 Biodex と呼ぶ) を使用した。Biodex は多用途の筋機能評価訓練用の装置であり、アタッチメントを取り替えることにより、足関節トルクを計測することができる。被験者の正面に表示用ディスプレイを設置し、被験者に筋収縮レベルを一定の値に維持して足関節トルクを発揮するように指示する。筋疲労の影響を抑えるため筋収縮レベルを 40% に設定し下肢運動時の関節トルクを計測する。図3(1)に今回計測した足首の底屈・背屈の関節トルクを計測している場面を示す。次に、アクセルペダルを操作していない時の静的な下肢の力学特性足関節の自重を計測する。ペダル表面に荷重計を取り付け、ペダルを全開、1/2 開、全閉の各角度に固定させた時の足をペダルに載せた状態の荷重を計測する。

脚特性は、クラッチペダルを踏み込む時の多関節運動時の足先力を計測した。計測システムは足関節トルクと同じ計測装置を用いた。図3(2)に今回計測した足先力を計測している場面を示す。EMG計測した主動作筋は、腓腹筋、前脛骨筋、半腱様筋、大腿直筋である。足先力を計測した位置は、クラッチペダルの全ストローク領域の中の6ヶ所とした。

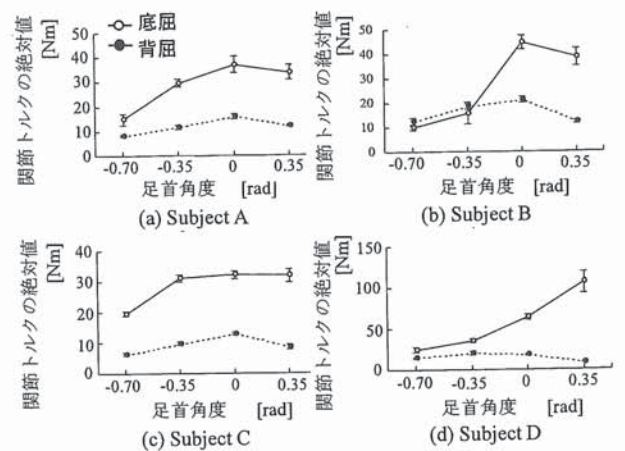
### 2.2 計測例

下肢運動時の足関節トルクの計測結果の一例を図4に示す<sup>4)</sup>。各足首角度における足関節トルクの絶対値を、踏込み方向(底屈)を○、戻し方向(背屈)を●で示す。4人の被験者のどの足首角度でも踏む時の足関節の力は戻す時の力に比べ強く、どの足首角度でも戻す力は全体的に小さいことがわかる。これは、アクセルペダルを踏む時は力の強い腓腹筋を使い、アクセルペダルを戻す時は力の弱い前脛骨筋を使うことによると考えられる。同じアクセルペダ

ル操作の中でも踏む時と戻す時で異なる筋を使うために、それぞれの力に違いが生じることがわかる。



(1) 足首の底屈・背屈の方向



(2) 関節トルク計測結果

図4 足首の底屈・背屈の関節トルクの計測結果

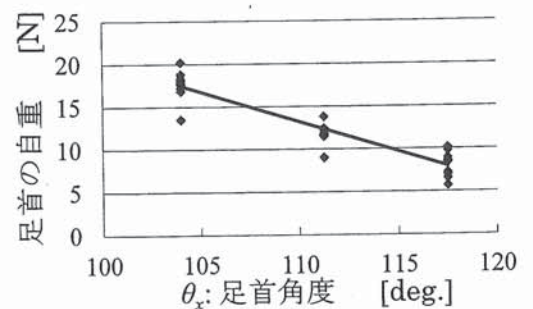


図5 足首の自重の計測結果

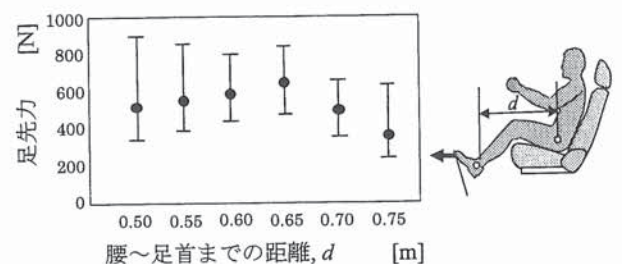


図6 足先力の計測結果

図5に、被験者10人分の足部の自重による荷重を、足関節角度( $\theta$ )を変えて計測した結果を示す。図から、足関節角度が小さくなると足部の自重が重くなるのがわかる。足関節角度が大きい場合、前脛骨筋で足部を引っ張っているため、足部の自重は見かけ上小さくなると考えられる。

クラッチをつなぐ脚の特性として、被験者4人のそれぞれの足先の位置と足先力を計測した値を図6に示す。図は4人の平均値と標準偏差を示す。これらの結果をみると、脚を伸ばした状態から足先を0.1m程度縮めた状態( $d=0.65m$ )で、平均的に足先力が最も大きいことがわかる。また、 $d$ が0.65mよりも大きい場合の足先力の増減傾向は、 $d$ が0.65mよりも小さい場合よりも急激に変化していることがわかる。

### 3. 人間特性と機械特性のマッチング

#### 3.1 アクセルペダルの設計

図7は、A車のアクセルペダル操作力とストロークの線図に2.1で測定した足部の自重による荷重の線図を加えたものである(点線)。アクセルペダルの機械特性はFS特性で表現できる。アクセルペダルのFS特性はペダルストローク0から最大まで踏み込んだ後、アクセルペダルを引き戻すヒステリシスを示している。アクセルペダル操作力と足部の自重による荷重の関係を見ると、ほとんどのアクセルペダルストローク域で、アクセルペダルの戻し側操作力の線が、足部の自重による荷重の線よりも重くなっていることがわかる。この状態は、例えば一定速度で走行している時は、常に踏み込みで操作することになる。

一方、図8のB車は、アクセルペダルの戻し側の操作力線と足部の自重による荷重の線がストローク中央で交差していることがわかる。例として、車速約50km/hの一定速度で走行している時のペダルストローク量を図7と8に一点鎖線で加えた。B車のこの状態は、足部の自重による荷重がアクセルペダルの戻し側の操作力よりも大きいため、足部の自重による荷重のみでアクセルペダルを踏み過ぎていることを示している。従って、一定の車速50km/hに保つためには、足関節部を引き戻した状態にして踏み力を一定にしておく必要がある。結果として、力

の弱い戻し側の前脛骨筋を常に使うよう強いられる。

A車とB車における車速約50km/hの一定速度で走行している時の、アクセルペダル操作時の脚の各部位の筋電位の結果を図9に示す。A車では全体的に筋電位が小さいのに対し、B車では前頸骨筋と腓腹筋の筋電位が大きいことがわかる。腓腹筋は足関節を底屈させ、前頸骨筋は足関節を背屈させることが一般的に知られている。図9のA車は主に腓腹筋を使用しており、足関節を底屈させる動作、つまりアクセルペダルを踏む操作となっている。一方、B車は前頸骨筋を主に使用しており、A車が前脛骨筋をほとんど使っていないのに対し大きく異なっている。これは足関節を背屈させる動作であり、アクセルペダルを踏む方向ではなく戻す方向の操作と考えられる。アクセルペダル操作力が軽いB車の場合、足部の自重による荷重のみで無意識に踏み込んでしまい、力の弱い前脛骨筋を使いペダルを戻す操作を強いられるので、操作がしにくく長時間の運転では足部が疲労すると考えられる。

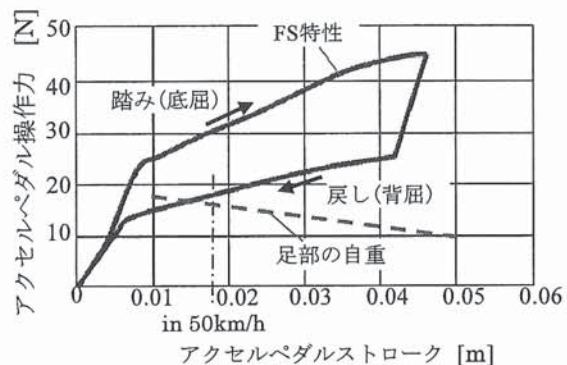


図7 A車のアクセルペダル機械特性と人間特性(足部の自重)との関係

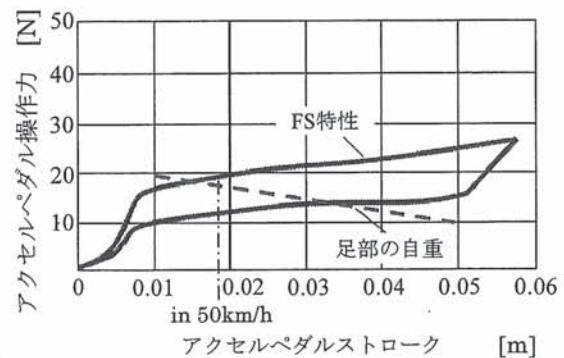


図8 B車のアクセルペダル機械特性と人間特性(足部の自重)との関係

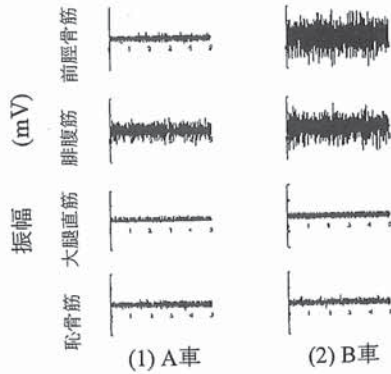


図9 車速 50km/h 時の EMG 計測結果

### 3. 2 クラッチペダルの設計

図 10 に、計測したクラッチペダルの FS 特性を示す。この線図は、クラッチの踏み始めから踏み終わりまで足先を踏み込んで戻すヒステリシス特性をもっている。図中で線を太く示した部分がクラッチをつなぐ領域である。図 10 から、C 車のクラッチをつなぐ部分は、踏力が一定で、全ストロークの中心付近にあるのに対し、D 車のつなぐ部分は、踏力が減少傾向で変化している領域にあり、しかも、人体から遠めに設定されていることがわかる。

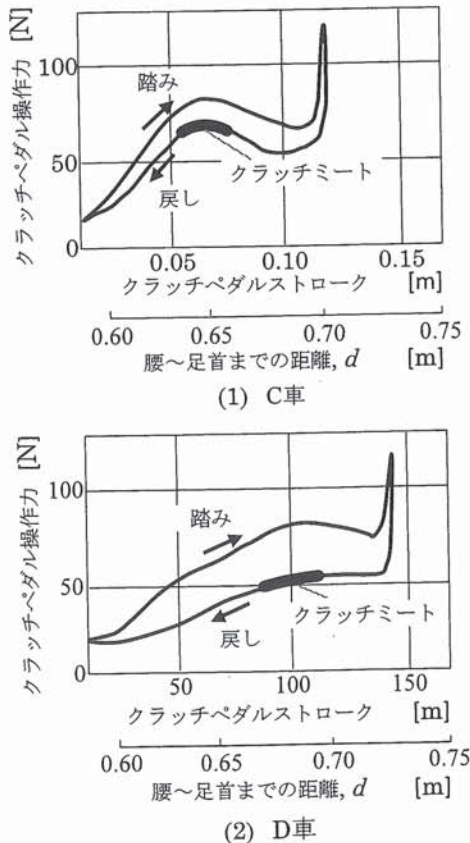


図 10 クラッチペダルの FS 特性

図 6 の足先力の下肢特性と図 10 の FS 特性との結果から、クラッチペダル操作を考察する。C 車は足先力が最も大きい位置でクラッチをつなぐ操作ができるのに対し、D 車は足先力が弱い位置でつなぐ操作を強いられる。坂道発進時でクラッチをつなぐ操作では、ペダルストローク位置を一定の時間、維持しながら微調整操作するので、足先力の大きさに余裕がある方が操作しやすい。クラッチをつなぐペダルストローク領域を判りやすくするためには、クラッチをつなぐストローク領域を足先で感じる必要がある。そのためにはペダル踏力の極大点が存在する領域がある方が知覚しやすいと考えられる。

### 4. まとめと今後の課題

本解説では、人間の特性である下肢の力学特性の計測方法を説明し、ヒューマンマシンマッチングによる自動車ペダルのレイアウトや荷重特性の設計指針の一例を紹介した。今後は、運転者の意のままに操る感覚のメカニズム解明が重要であり、人間の知覚特性が感情として脳に伝わるメカニズム等の感性の研究を進める必要がある。このような試みの先に、さらに進化した感性ヒューマンマシンマッチングのシステムが実現されると考える。

### 参考文献

- 1) 辻敏夫：ヒトの上肢運動のしなやかさを計測する，計測と制御，vol.35, no.9, pp689-695, 1996.
- 2) 辻敏夫, 田中良幸：生体インピーダンス特性のシステムインテグレーションを目指して，日本ロボット学会誌，vol.24, no.6, pp696-699, 2006.
- 3) 田中良幸, 山田直樹, 正守一郎, 辻敏夫：生体関節トルク特性を考慮した下肢操作特性の解析，計測自動制御学会論文集，vol.40, no.6, pp612-618, 2004.
- 4) 西川一男, 宮崎透, 古川浩二, 阿部治彦, 農沢隆秀, 辻敏夫：人間の下肢の力学特性を利用したペダル特性の設計，日本機械学会論文集，DOI:10.1299/transjsme.2014bms0019, 2014.