

論文・解説

30

# 座圧変化に基づくドライバの疲労推定

## Estimation of Driver's Fatigue

### Based on Change in Body Pressure Distribution

古 郡 了\*<sup>1</sup> 三 浦 泰 彦\*<sup>2</sup> 吉 澤 公 理\*<sup>3</sup>  
Satoru Furugori Yasuhiko Miura Norimichi Yoshizawa  
稲 目 力\*<sup>4</sup>  
Chikara Iname

## 要 約

長時間運転における疲労は、運転者の判断や行動に影響を与え、運転者の安全な運転を阻害するものである。疲労しても運転する機会が日常生活の中に頻繁にみられ、運転中の疲労を判定し、それに基づいて運転支援する技術が重要になってきている。そこで、疲労時に見られる姿勢変化や体動に着目し、それらを座圧センサで検出し疲労を推定する方法を検討してきた。まず、多人数の座圧変化のデータを蓄積し、疲労時の座圧変化の特徴と個人差について理解した。その結果に基づき、座圧変化から個人差を考慮して疲労を推定するアルゴリズムを開発した。

## Summary

Fatigue due to long driving time will influence driver's judgment and driving behaviors, which makes it difficult for a driver to drive safely. The need for car driving often arises even under a fatigue condition in daily life, therefore a technique of determining the driver's fatigue and giving driving support based on the driver's fatigue is very important. We focused attention on changes in the posture and body movement of the driver at fatigue, and examined a method of estimating the fatigue by detecting them with body pressure sensors. First, we accumulated the data of the changes in body pressures of many people, and grasped these characteristics at fatigue and the individual variation. Based on the results, we developed an algorithm of estimating the fatigue from the changes in the body pressures in consideration of the individual variation. This paper introduces the estimation of driver's fatigue based on changes in body pressure distribution.

## 1. はじめに

長時間運転における疲労は、運転者の判断や行動に悪影響を与え、運転者の安全な運転を阻害するものと考えられる。視認性や操作性向上などの運転負担の軽減や、身体の支持を適切にするシート<sup>(1)</sup>など、疲労に影響を与える車両要因を特定し、それを除去する疲労軽減を図ってきた。しかし、長距離長時間運転を余儀なくされる帰省ラッシュなど、疲労しても運転する状況は日常生活の中で頻繁に見られ、疲労した状態に応じて疲労の軽減のさせ方を変えたり、運転の支援の方法を変えたりするといった考え方が必要である。そこで、運転中の疲労状態に適合した運転支援を実現するために、疲労状態をリアルタイムに推定する技術が重要となる。

運転中に疲労すると、ハンドル、ペダルなどの運転操作は緩慢になる一方で、姿勢の変化や身体の動きなどの副次動作が増えることが知られている<sup>(2)(3)</sup>。これらの現象を用いての疲労状態を推定する技術には、ハンドル操作<sup>(4)</sup>、カメラによる顔画像<sup>(5)</sup>、音声<sup>(6)</sup>などをセンシングし推定する技術などが開発されているが、運転者への負荷、利用できる運転場面が制限される等の理由から実用化に至っていない。そこで、運転者に負荷を与えず、あらゆる運転場面に適用できるセンシング方法として、運転時の姿勢変化等に起因する運転者と運転席間の座圧変化をセンシングして、疲労を推定する方法に着目した。しかし、疲労による姿勢変化などの現れ方は個人差が大きく、推定する技術の開発には多人数の疲労時の座圧変化データを蓄積し、それを理解しなければならない。

\*1~4 技術研究所  
Technical Research Center

そこで(独)産業技術総合研究所や自動車メーカーが参加する経済産業省の人間感覚適合型生活環境創出システム技術プロジェクトに参加し、蓄積したデータから人間の行動を理解し、人に適合した支援を行う技術として、運転時疲労状態評価技術の開発を1999年11月より2004年3月までの5年間行ってきた。

ここでは、長時間運転時の座圧変化の特徴と、個人差を考慮して座圧変化から疲労を推定する方法について述べる。

## 2. 疲労時の座圧変化

### 2.1 実験方法

疲労時の座圧変化の様子や個人差を把握するために、2時間の運転模擬作業を行った時の、体圧分布の変化を計測する被験者実験を実施した。実験は開発した運転操作課題生成装置 (Fig.1) で行い、シート高は一般的なミニバンタイプに設定し、シートの前後方向とシートバックの傾きについては被験者の運転しやすい姿勢に調整した。被験者は日常的に自動車を運転するAM50%ileの男性10名(年齢: 22~37歳, 身長±標準偏差: 172.9±0.9cm)であった。運転模擬作業はFig.2に示す画面を見て、前走車両が大きくなったり、小さくなったりしないようにアクセルとブレーキで制御することと、左右に外れないようにハンドルで制御する作業である。実験は同一被験者につき2回行い、実験時間帯を揃えることにより、個人内での日周リズムの影響は排除した。また、10名中5名は午前、残り5名は午後の実験を行った。

体圧分布は、運転操作課題生成装置座席のシートバックとシート座面に体圧分布計測センサを装着し、サンプリン



Fig.1 Driving Operation Task Creation Simulator



Fig.2 Picture of Driving Operation Task

グ周波数2Hzで計測した。本センサは、440mm×480mmで厚さ0.1mmのフィルム状になっており、10mm間隔で格子状にセンサが配置されている。長時間計測でフィルム状センサに皺がつきにくいように表面加工をし、クリープ現象(時間経過とともに出力が大きくなる)が少なくなるような感圧導電インクの採用など、長時間の体圧分布の変化が計測できるように改良した。

心理評価は運転開始時と終了時を含む10分おきに、全体の疲労感について7点法(まったくない: 1点, やや疲労を感じる: 3点, かなり疲労を感じる: 5点, 非常に疲労を感じる: 7点)で答えてもらった。

### 2.2 実験結果

運転開始10分経過後の体圧分布と、120分経過後の体圧分布を比較した。その結果、シートバック上部の圧力が減少する人と増加する人がいることが分かった。上部の圧力が減少した人は、肩や背の上部が座席から離れて猫背になったと考えられる。一方、上部の圧力が増加した人は肩や背の上部を座席に押し付ける反り返り姿勢になったと考えられる。猫背になった人と反り返り姿勢になった人の、シートバックの体圧分布の代表的パターンをFig.3に示す。図中の印は荷重中心位置を示し、猫背になる人は荷重中心位置が下方へ移動し、反り返り姿勢になる人は上方へ移動する傾向がある。Fig.4に猫背姿勢になる人の荷重中心位置の時間変化と近似直線を示す。荷重中心位置の時間変化には、棘状の波形が見られ、長時間の姿勢変化だけでなく、座り直しなどの瞬間的な体動も反映されていることが分かった。そこでまず、荷重中心位置の上下方向の時間変化を計算し、その近似移動量(単位時間あたりの移動量で、近似直線の勾配として算出し移動方向を正負で示す)で猫背姿勢傾向か反り返り姿勢方向を判定することにした。Fig.5には全実験(20ケース)の近似移動量を示す。20ケース中、近似移動量が負になる12ケースが猫背方向に変化すると判定された。次に、座り直しなどの副次動作が増加しているかどうか確認するために、5次近似式で荷重中心位置の基線成分を算出し、元波形から基線成分を取り除いた瞬間的変動成分を600秒ごとに加算し、その時間変化を

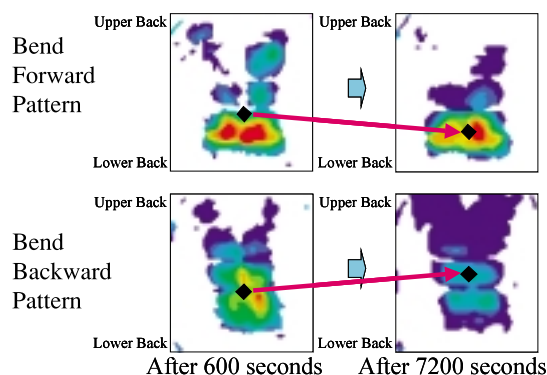


Fig.3 Change of Body Pressure Distribution of Seat Back

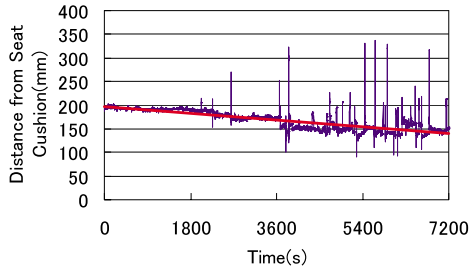


Fig.4 Change of Load Center Position (LCP)

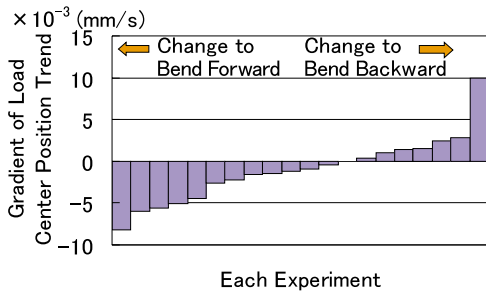


Fig.5 Amount of Approximation Movements

検討した。瞬間的変動成分の時間変化と近似直線の例を Fig.6に示す。Fig.6のように座り直し量が時間経過に対して有意に増加 ( $p < .05$ ) したケースは、20ケース中9ケースあり、有意な減少をしたケースはなかった。残りの11ケースは有意な変化が見られず、従来から言われているような座り直しなどの副次動作の増加が、必ずしも全ての人に現れる現象ではないことが分かった。

次に、姿勢変化、座り直し量変化と疲労感の変化の関係を検討した。Fig.7は、姿勢変化として荷重中心位置の近似移動量をX軸、座り直し量変化として瞬間的変動成分に対する近似直線の勾配をY軸にとり、全実験データをマッピングした図である。図内の色数字は、2時間の実験における疲労感変化の大きさ(最大値 最小値)を示している。青字で示した実験を除いて、姿勢変化または座り直し量変

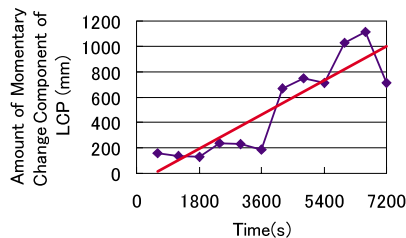


Fig.6 Momentary Change Component of LCP

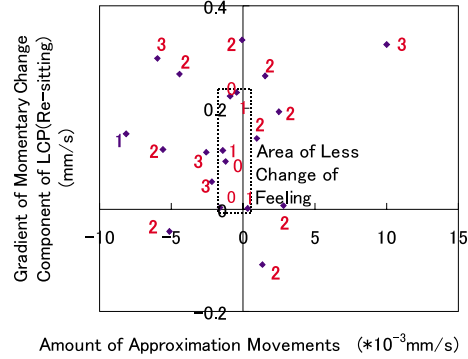


Fig.7 Relation between LCP and Subjective Fatigue

化のどちらかが大きい実験では、疲労感の変化が2または3と大きいことが分かった。

最後に、姿勢変化と座り直し量変化が個人内でどの程度保たれるのか検討を行った。2回の繰り返し実験における荷重中心位置の近似移動量の比較をFig.8に示す。Fig.8から、被験者F, H, Jを除いた7名において、姿勢変化の方向は2回の実験で同じであった。また、変化の大きさが小さい傾向の人(被験者C, D, H, I)と大きい傾向の人(被験者G)がいる一方で、2回の実験で大きさが異なった被験者(A, B, E, F, J)もいた。今回の実験からは、姿勢変化に関しては、個人特性がどの程度保たれるのかについては断定的なことは言えない。次に、2回の繰り返し実験における瞬時変動成分の総和の比較をFig.9に示す。Fig.9から、被験者D, Hを除いて瞬間的変動の総和は2回の繰り返し実験で近い値を示しており、座り直しの量についても、個人ごとに平均的なベースを持っており、疲労などの状態変化により変動しているものと考えられる。

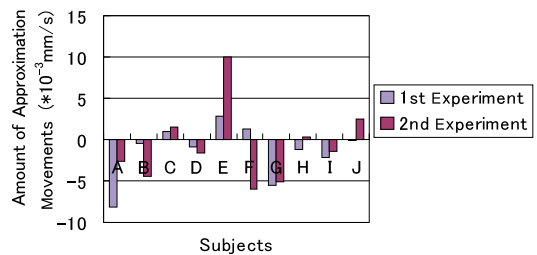


Fig.8 Comparison of Two Repeated Test (Posture)

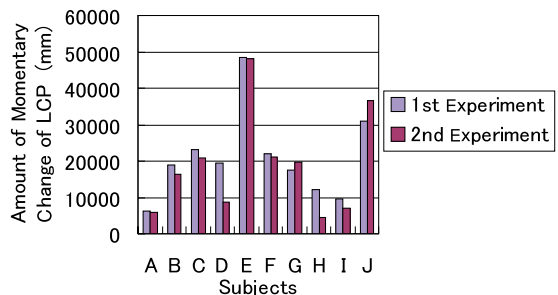


Fig.9 Comparison of Two Repeated Test (Re-sitting)

以上をまとめると、①体圧分布から得られる荷重中心位置の変化から、長時間の姿勢変化と瞬間的な座り直しの量が推定できる、②姿勢変化と座り直し量変化のどちらかが大きいと、疲労感の変化が大きくなる傾向がある、③姿勢変化には猫背姿勢になるケースと反り返り姿勢になるケースがある、④座り直し量の変化には、個人ごとに平均的なベースがある、ことが分かった。

### 3. 疲労推定アルゴリズムの開発

#### 3.1 開発の方針

座圧から得られる荷重中心位置の変化に基づき、姿勢変化量と座り直し量を測定し、姿勢変化量と座り直し量から疲労感を推定するアルゴリズムを考える。個人ごとに、姿勢変化の方向や量が異なることや、疲労の徴候が姿勢変化に現れる人と座り直しに現れる人がいるなどの個人差を吸収するロバストなアルゴリズムにする必要がある。そこで、運転者個々の平常時の運転における荷重中心位置の変化の大きさと比較して、疲労を判定する手法の可能性を検討することにした。なお、将来の実用化を目指して、座圧センシングを少数の荷重センサを埋め込んで違和感をなくした市販シートで計測できるようにする。

#### 3.2 着座接触圧力計測装置の開発

標準的な市販セダンタイプの運転席シートに、センサの違和感や異物感がないようにシートウレタン部に取り付け穴をあけ、シートバックに8個、シート座面に8個の歪式ゲージセンサ（直径12mm×高さ5mm）を埋め込んだ。センサ位置は、左右対称となるようにし、センササンプリングレンジはシートバックを5N、シート座面を20Nとした。Fig.10に着座接触圧力計測装置の外観を示す。埋め込んだセンサの位置にはマーキングした。本装置は12VDC電源で駆動でき、アンプを介して±5Vの信号をデータロガーに取り込むことができる。

#### 3.3 実験方法

平常時の運転と疲労時の運転における座圧変化を収集するために、開発した着座接触圧力計測装置を運転操作課題生成装置上に搭載し、1セッション2時間の運転模擬作業を午前1回（セッション1）、午後2回（セッション2,3）の3セッション行った。セッション1の前には、運転タスクに慣れさせるための練習を実施し、セッション1と2の間は昼食を含む45分の休憩、セッション2と3の間は10分のトイレ休憩をとった。また、被験者に事前に「長時間運転したとき、どのくらいの時間で休憩をとるか」を聞き、各個人が申告した休憩をとるまでの時間を平常運転時間とし、セッション1のデータのうち平常運転時間までのデータを平常運転データとした。セッション2と3は、平常運転データに対し、座圧変化が逸脱しているかにより疲労感を推定するための評価用データとした。

被験者は身長が大きく異なる男女とした。運転免許取得

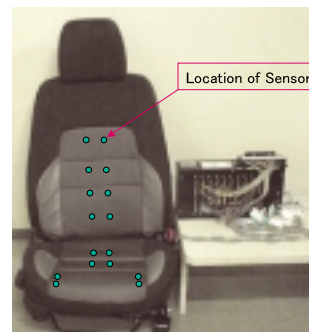


Fig.10 Body Pressure Measuring Seat

後3年以上経過した男女12名とし、体格の内訳は、145～154cm女性3名、155～164cm女性3名、165～174cm男性3名、175～184cm男性3名とした。また、年に1回以上、一日3時間以上または走行距離300km以上の長時間運転をする人とした。同一の被験者に施す2回の実験は、疲労の影響を排除するため、3週間あけた2日間で行った。

運転模擬作業は、市販の自動車運転ゲームソフトを使用し、ハンドルとペダルで制御することによりオーバルコースを反時計回りに周回する作業で、1回目と2回目では作業負荷を若干変えている。

着座接触圧力をサンプリング周波数5Hzで計測し、被験者には疲労感を100点法で10分おきに答えてもらった。また、荷重中心位置の変化が、目で見える姿勢変化と対応していることを確認するために、運転姿勢を3台のカメラで撮影し、右側面の肩位置、ヒップポイント、膝位置の3次元座標が解析できるようにした。

#### 3.4 実験結果

シートバック8ヶ所の着座接触圧力から上下方向の荷重中心位置を、シート座面8ヶ所の着座接触圧力から前後方向の荷重中心位置を計算した。原点をシートバックとシート座面の交点とし、シートバック上部方向、シート座面前部方向が正になるように座標を決めた。Fig.11にシートバックにおける1時間分の荷重中心位置の変化と600秒ごとの平均を示す。2章で述べた姿勢変化の指標である荷重中心位置の近似移動量の代替として600秒ごとの荷重中心位置の平均を、座り直し量の指標である瞬間的変動成分の近似直線勾配の代替として600秒ごとの荷重中心位置の標準偏差を算出し、それぞれ姿勢変化パラメータ、座り直しパラメータと定義した。以後、シートバックの姿勢変化パラメータ、座り直しパラメータを $B_p$ 、 $B_r$ 、シート座面の姿勢変化パラメータ、座り直しパラメータを $C_p$ 、 $C_r$ と表記する。

平常運転データにおける $B_p$ 、 $B_r$ 、 $C_p$ 、 $C_r$ の平常運転時間までの値の最大値から最小値をそれぞれ差し引いた値を、各パラメータの平常パラメータ範囲と定義した。全実験（24ケース）の $B_p$ と $C_p$ 、 $B_r$ と $C_r$ の平常パラメータ範囲

の散布図にセッション2, 3の2時間経過後のパラメータ範囲を重ね書きしたマップをFig.12に示す。外れ値が数ヶ所あるものの、平常パラメータ範囲は赤枠内に収まっているのに対し、セッション2と3はばらつきが大きくなっていることが分かる。

パラメータ範囲は、運転開始から計測時点での各パラメータ値の最大値から最小値を差し引いた値で600秒ごとに更新される。時間経過に伴い、パラメータ範囲算出に用いる対象データが増加するので、2時間経過後のパラメータ範囲が最大となり、運転開始から2時間経過後までのパラメータ範囲の推移は単調増加となっている。

各計測時点でのパラメータ範囲を平常パラメータ範囲で除し、各パラメータの疲労判定指数とする。Table 1に各パラメータの疲労判定指数と疲労感心理評価が有意相関だった件数を示す。セッション2, 3合わせて48回の実験のうちBp, Cp, Br, Crと有意な相関があったのは、それぞれ23回, 24回, 24回, 21回となり半数以下の推定数であった。2章で述べたように、姿勢変化と座り直し量のどちらかが大きいと疲労感が大きい傾向があるので、どのパラメータの一つでも大きくなったら疲労の徴候が現れていると考え、各パラメータの疲労判定指数の最大値と、疲労感心理評価との相関分析を行った (Table 1右列)。その結果、48回中29回に有意な相関が得られ、4つのパラメータの最大値による疲労判定指数が最も当てはまりがよく、これをMAX疲労判定指数と定義した。Fig.13にはMAX疲労判定指数算出のフローチャートを、Fig.14にMAX疲労判定指数による推定値と疲労感の実測値が適合し推定が成功した事例を示す。

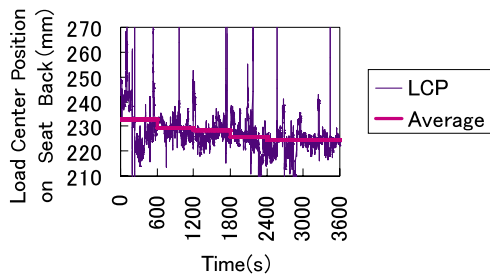


Fig.11 Change of LCP by Body Pressure Seat

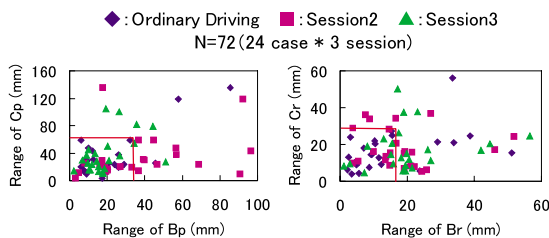


Fig.12 LCP Parameter Range of All Tests

次に、有意な相関が得られなかった事例の原因を把握するために、身長、性別の影響について検討した。Table 1のMAX疲労判定指数を見ると、セッション2, 3とも、165~174cmの男性は全実験で推定が成功しているが、それ以外の身長・性別では推定成功率が約50%であった。これは、座席の大きさが一定のために、ある身長範囲の人は座席全面で接触しているが、身長範囲以外だと接触していない位置のセンサが多くなり精度が悪化していることも原因の一つと考えられる。また、疲労とは関係なく座席への違和感が、姿勢変化や座り直しを誘発しているとも考えられる。

最後に、荷重中心位置の変化と姿勢変化の関係を確認した。3次元動作解析により、5分おきに肩、ヒップポイント、膝の座標を求めた。また、鉛直方向に対して肩とヒップポイントを結んだ線分がなす角度をトルソ角、水平方向に対して膝とヒップポイントを結んだ線分がなす角度をサイ角とし、それぞれの角度を算出した。荷重中心位置についても5分ごとに姿勢計測直前1分間の平均を算出し角度データとの相関分析を行った。また、3つのセッションは1連続データと考えてまとめて解析した。画像の計測ミス等を除き、24ケース中20ケースについて検討を行った。トルソ角とシ

Table 1 Number of Significant Correlations between Estimated Fatigue Index and Subjective Fatigue

	Number of Panel	Number of Significant Correlation					
		Bp	Br	Cp	Cr	MAX	
Session2	145~154 Female	6	3	2	2	1	2
	155~164 Female	6	3	3	3	3	3
	165~174 Male	6	5	5	5	4	6
	175~184 Male	6	1	2	2	2	3
Session3	145~154 Female	6	1	2	2	2	3
	155~164 Female	6	2	2	4	3	3
	165~174 Male	6	5	5	3	3	6
	175~184 Male	6	3	3	3	3	3
Total	48	23	24	24	21	29	

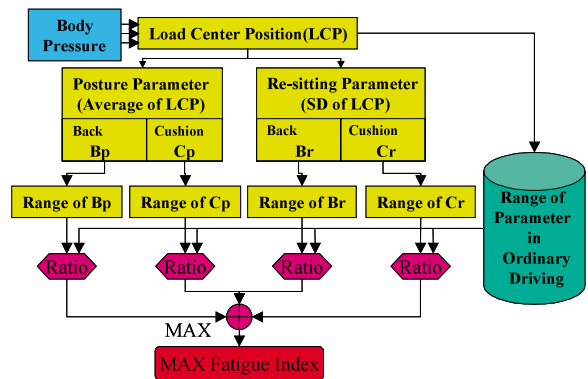


Fig.13 Flow Chart of MAX Fatigue Index Calculation

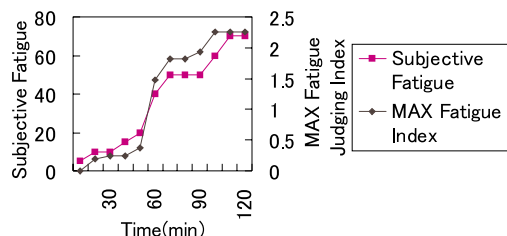


Fig.14 Estimation and Measuring Data

ートバックの荷重中心位置には20ケース中17ケースで有意な相関 ( $p < .05$ ) があつた。また、サイ角とシート座面の荷重中心位置には20ケース中10ケースで有意な相関 ( $p < .05$ ) があつた。サイ角と相関のなかつた10ケースについて詳細解析すると、サイ角は変化せず膝が車両前方に移動するために荷重中心位置が移動していることが分かつた。そこで膝の前後方向の移動量と荷重中心位置との相関分析を行うと、10ケース中7ケースで有意な相関 ( $p < .05$ ) があつた。以上から、荷重中心位置の変化は目に見える姿勢の変化と対応していることが確認できた。

#### 4. まとめ

運転疲労状態に適合させて運転支援を行うことは、より安全な運転を実現する上で重要である。そこで、運転中の疲労を運転者に負担を与えず推定する手法として、長時間運転時の座圧変化の特徴を明らかにし、座圧変化から疲労を推定する手法を開発した。

- (1) 体圧分布計を搭載した長時間運転模擬実験により体圧分布変化データを取得し、体圧分布から算出される荷重中心位置変化は、姿勢変化と座り直し変化を表していることが分かつた。また、疲労が姿勢変化に現れる場合と座り直しに現れる場合、姿勢変化の方向が猫背方向の場合と反り返り姿勢方向の場合などのケース差があることが分かつた。
- (2) 着座接触圧力センサを埋め込んだシートを用いて長時間運転模擬実験により着座接触圧変化データを取得し、取得データから荷重中心位置データを算出し疲労を推定するアルゴリズムを開発した。本アルゴリズムで、48ケース中29ケースで疲労が推定できることを確認した。それ以外のケースについては、推定できない原因特定が課題である。

今後、本アルゴリズムの実用化を進めていく上で、実走行時にも同様のアルゴリズムで疲労推定可能か検証することと、平常運転時データの蓄積方法、途中で運転者が変わった場合の推定などの使用性課題などが残っている。

なお、本研究は経済産業省の産業技術基盤研究開発プロジェクト「人間行動適合型生活環境創出システム技術」

として、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託を受けて(社)人間生活工学研究センター (HQL) を通して実施したものである。

#### 参考文献

- (1) 沖山 他：シート快適性の追求，マツダ技報，No.20，p.154-162 (2002)
- (2) 長沢：人間の疲労度について，自動車技術，Vol.44，No.10，p.86-93 (1990)
- (3) 小林：自動車運転におけるヒューマン・ファクタ，自動車技術，Vol.39，No.5，p.493-500 (1985)
- (4) 中山 他：運転者負荷定量化手法「ステアリングエントロピー法」の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.45-99，p.5-8 (1999)
- (5) 杉山 他：画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知，豊田中央研究所R&Dレビュー，Vol.31，No.2，p.51-60 (1996)
- (6) Shiomi K. : Fatigue and drowsiness predictor for pilots and air traffic controllers, 45<sup>th</sup> Annual ATCA conference (2000)

#### 著者



古郡 了



三浦泰彦



吉澤公理



稲目 力