

# ドライバ運転感覚の定量化に向けた筋電位特徴量の抽出

鳥居 耕太<sup>1,a)</sup> 河中 治樹<sup>1,b)</sup> 長瀬 功児<sup>2,c)</sup> 小栗 宏次<sup>1,d)</sup>

**概要:** 自動車の開発において運転感覚を定量的に評価するために、ドライバが知覚する車両特性の変化と関連の高い生体信号を抽出する。ドライビングシミュレータを用いて通常車両とエンジン-タイヤ間のギア比を大きくした車両の2種類で追従走行を行った。ドライバの筋電図、視線情報、皮膚情報を測定し、車間距離調節中の特徴量を抽出した。k-means法により生体信号を分類した結果、車両特性の違いによって肩、頬、腕の筋電位に違いが現れることを示した。

## Extraction of Electromyogram Features for Quantification of Driving Sensation

KOTA TORII<sup>1,a)</sup> HARUKI KAWANAKA<sup>1,b)</sup> KOJI NAGASE<sup>2,c)</sup> KOJI OGURI<sup>1,d)</sup>

### 1. はじめに

自動車の運転感覚評価には、車両の振動を直接計測する評価方法 [1] と、熟練ドライバによる官能評価を用いる評価方法 [2], [3] がある。前者は車両に発生する振動や自車速度成分などから評価する。後者は、実際に人が自動車に乗った際の感性を形容詞や官能評価に基づく評価式を用いて評価する。しかし、これらの官能評価はいずれも主観的な評価となっている。そのため車両の問題点についてどの程度改善すべきかが不明瞭で、改善前と改善後で評価を行っても異なる意見が出る場合がある。したがってドライバの主観を客観的に数値として知ることのできる追加の指標が必要とされている。

熟練ドライバの主観値による評価を、定量的な値により補助することで、熟練ドライバがより正確な診断をすることができるようになる。これまでに、腕や顔表情の筋電位

変化など、生体信号を用いた客観的評価方法が提案されている [4], [5], [6], [7]。これらの先行研究は特性の差が出やすい旋回時・車線変更時に着目している。しかし、実際の走行においては、旋回時や車線変更時に比べて直線路走行や先行車追従走行が主になることが予想される。そこで、本研究では実際の走行で中心となると考えられる追従走行時にいて特性の異なる車両を走行した際に、特性に追従して変化する生体信号特徴量を抽出する。追従走行時に違いが表れる特性としてエンジン-タイヤ間のギア比（ギア比特性）に着目し、ドライビングシミュレータのギア比特性を2種類に変更して繰り返し計測し傾向を分析する。

### 2. 生体信号

追従走行時にギア比特性が異なっているとドライバがその違いを感じた際に不快感や不安感が生じることがある。よって本研究では、次に挙げる先行研究で不快、不安および緊張に関連があるとされている筋電位、視線情報および皮膚情報を計測し、解析に用いる。

#### 2.1 筋電位

筋電位とは、筋肉を動かすために生じる電位のことである。筋の放電量および放電のタイミングから、筋肉の活動位置や活動時間、頻度を把握できる。Fig. 1, Fig. 2 にそれぞれ顔面、腕の筋の位置を示す。運転時に不安や

<sup>1</sup> 愛知県立大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Aichi Prefectural University, Nagakute, Aichi 480-1198,  
Japan  
<sup>2</sup> トヨタテクニカルディベロップメント株式会社  
Toyota Technical Development Corporation, Toyota, Aichi  
470-0334, Japan  
a) k.torii@bme.ist.aichi-pu.ac.jp  
b) kawanaka@ist.aichi-pu.ac.jp  
c) kohji.nagase@mail.toyota-td.jp  
d) oguri@ist.aichi-pu.ac.jp

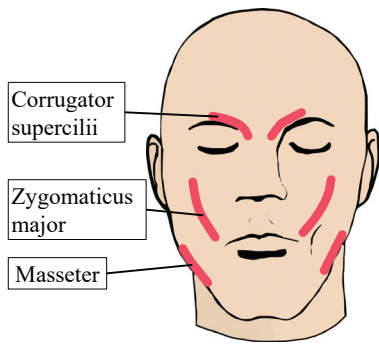


図 1: 特徴量として用いる顔面筋電部位  
Fig. 1 Face parts used as electromyogram features

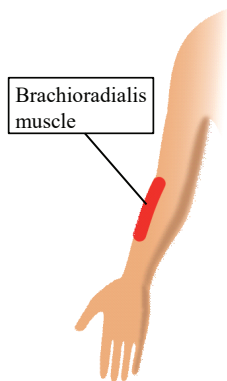


図 2: 特徴量として用いる腕筋電部位  
Fig. 2 Arm part used as electromyogram features

不快を感じる場合には Fig. 2 の前腕筋の収縮力に差が生じ、緊張が表れる [7]。また、Fig. 1 に示すような皺眉筋、大頬骨筋、咬筋を始めとする表情筋には不快の情動が表出する [8]。ギア比特性が通常と異なる車両に乗車した際には、不安や緊張が生じ筋電位の振幅が大きくなると予想される。本研究では筋電位は、眉間付近の筋肉である皺眉筋 (Corrugator supercillii)、頬の筋肉である大頬骨筋 (Zygomaticus major)、顎の筋肉である咬筋 (Masseter)、腕の筋肉である腕橈骨筋 (Brachioradialis muscle) の 4 カ所で計測する。

一般的な受動電極を用いる場合、電極中心距離を 10 mm から 30 mm にする。筋電位信号の平均振幅を特徴量とするため、式 (1) に示される二乗平均平方根 (Root Mean Square :RMS) をとる。

$$\text{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^2(t + \Upsilon) d\Upsilon} \quad (1)$$

ここで、 $e(t)$  は筋電位信号で、 $(-T, T)$  が計算区間になる。個人間、筋間で皮下脂肪の厚さ、皮膚インピーダンスが異なるため、仮に筋線維レベルで発生している電位が同じであっても、電極レベルで記録される電位は異なる。そのため式 (2) に示すように最大随意収縮力 (Maximal Voluntary Contraction :MVC) で RMS を除することにより正規化を行う。

$$F(t) = \frac{\text{RMS}(t)}{\%MVC} \quad (2)$$

また、筋電位の周波数成分は筋疲労を示す特徴量だといわれており [9]。周波数成分を導出して特徴的な数値を計算することで筋疲労などを検出することができる。一般的に筋繊維上を電気的興奮が伝播する際の伝導速度は代謝産物の蓄積によって低下するため、筋が疲労するにしたがって周波数が低値になることが知られている。エンジントルクの異なる車両を運転した際には速度調整が困難になり疲労を誘発すると考えられる。よって、筋電位の周波数成分にエンジン特性の違いが表れると予想される。具体的には解析区間に対し高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) を行った際の中央周波数 (MeDian power Frequency :MDF) や、第 1 ピーク周波数および第 2 ピーク周波数をとる。MDF の定義を式 (3) に示す。周波数  $f$  毎の振幅値を  $P(f)$  とする。筋電位のサンプリング周波数を  $F_s$  とする。

$$\int_0^{\text{MDF}} P(f) df = \int_{\text{MDF}}^{\frac{F_s}{2}} P(f) df \quad (3)$$

## 2.2 視線情報

視線情報として、瞬目数や瞳孔径、サッカード、開眼率を計測する。瞬目数は単位時間あたりの瞬きの回数を表す。計測時間  $l$  秒における合計の瞬き回数を  $b$  回として、式 (4) に示す方法で算出する。

$$b_r = \frac{b}{l} \quad (4)$$

瞬目数は集中力を要する場面で減少し、不安・興奮状態では増加する傾向にある [10]。また、覚醒努力をしている状態では瞬目数が増加する [11]。ギア比特性の異なる車両に乗車した際はより繊細な操作が求められるため集中力が高まったり、ギア比特性の差を意識し合わせようとする事によって瞬目数が変化したりすると予想される。

サッカードは短時間の高速な眼球運動であり、視野周辺の対象に目を向ける時のおよそ 50 ms 以内の急速な移動のことを指す。サッカード回数  $s_r$  は計測時間  $l$  秒における合計の回数を  $s$  回として、式 (5) を用いて算出する。

$$s_r = \frac{s}{l} \quad (5)$$

サッカードは注目する対象に対して目を向ける時の動作であるが、注目する必要がある対象が増加すればサッカードの回数も増加する [12]。ギア比の異なる車両を運転した際には注意力が高まり通常よりもサッカードの回数が増加すると予想される。

瞳孔径は虹彩の上端から下端までの長さのことである。瞳孔径の変化は網膜に投射する光量の調整が主要因とされているが、その他に自律神経系の支配を受けて変化する [13]。交感神経優位になると瞳孔径は大きくなり、副交感神経優位になると瞳孔径は小さくなる。ギア比が異なる

車両を運転した際には交感神経系が亢進し、瞳孔径が大きくと予想される。運転開始時の瞳孔径に対する終了時  $I$  秒の瞳孔径の長さ  $p(I)$  を特徴量とし、式 (6) に示す。

$$p_r = \frac{p(I)}{p(1)} \quad (6)$$

開眼率は瞳孔が表面にどれだけ露出しているかを百分率で表したものであり、式 (7) を用いて解析区間開始時の開眼率から解析区間終了時の開眼率の変化率を解析する。ここで、開眼率は計測時間  $l$  秒間における開眼率を  $e(l)$  とする。

$$e_r = \frac{e(l)}{e(1)} \quad (7)$$

覚醒水準を示す指標として利用されており、運転感覚率は反応時間と相関があることが示されている [14]。ギア比の異なる車両を運転した際には、運転感覚の違いによる覚醒効果から開眼率が上昇すると予想される。

### 2.3 皮膚情報

皮膚情報として鼻部皮膚温度および指先の皮膚電位を計測する。皮膚温度の計測には接触型の温度計で直接計測する。皮膚温度を測ることで、その部位の毛細血管における血流量がわかる。顔表面の皮膚温度は交感神経系による神経支配を受ける [15]。そのため、交感神経系の血管収縮作用により皮膚温度は低下し、交感神経活動の抑制により血流量が増加し皮膚温度が上昇する。特に鼻部は動脈と静脈が交わる部分であるため温度変化が顕著に出やすい [15]。ギア比の違いからストレスが生じ、交感神経系が刺激され、皮膚温度が低下すると予想される。計測時間  $l$  秒間における皮膚温度を  $s_t(l)$  として式 (8) を用いて終了時の変化を解析する。

$$s_t = \frac{s_t(l)}{s_t(1)} \quad (8)$$

ガルバニック皮膚反応 (Galvanic Skin Response :GSR) は、発汗によるコンダクタンスの増加を測定するものであり、交感神経系によって刺激された汗腺の活性変化に関連が深い [16]。心理的動揺から交感神経系が刺激されて出た冷や汗を、コンダクタンスの上昇により検知する。冷や汗などの精神性発汗は、手のひら、指の腹側、足の裏に限定されている。そのため、本研究では人差し指に電極を巻きつけコンダクタンス上昇を検出する。ギア比特性が異なる車両に乗った際に精神負荷から冷や汗をかき、コンダクタンスが上昇すると予想される。計測時間  $l$  秒における皮膚電位を  $G(l)$  として式 (9) を用いて終了時の変化を解析する。

$$G = \frac{G(l)}{G(1)} \quad (9)$$

## 3. 特徴量抽出手法

前節で述べた様々な生体信号の特徴量から、ギア比特性

表 1: 特徴量一覧  
 Table 1 Feature list

番号	特徴量名	番号	特徴量名
1	皺眉筋左 Ave	24	咬筋右 SD
2	皺眉筋右 Ave	25	咬筋左 MDF
3	皺眉筋左 SD	26	咬筋右 MDF
4	皺眉筋右 SD	27	咬筋左 1st Freq
5	皺眉筋左 MDF	28	咬筋右 1st Freq
6	皺眉筋右 MDF	29	咬筋左 2nd Freq
7	皺眉筋左 1st Freq	30	咬筋右 2nd Freq
8	皺眉筋右 1st Freq	31	腕橈骨筋左 Ave
9	皺眉筋左 2nd Freq	32	腕橈骨筋右 Ave
10	皺眉筋右 2nd Freq	33	腕橈骨筋左 SD
11	大頬骨筋左 Ave	34	腕橈骨筋右 SD
12	大頬骨筋右 Ave	35	腕橈骨筋左 MDF
13	大頬骨筋左 SD	36	腕橈骨筋右 MDF
14	大頬骨筋右 SD	37	腕橈骨筋左 1st Freq
15	大頬骨筋左 MDF	38	腕橈骨筋右 1st Freq
16	大頬骨筋右 MDF	39	腕橈骨筋左 2nd Freq
17	大頬骨筋左 1st Freq	40	腕橈骨筋右 2nd Freq
18	大頬骨筋右 1st Freq	41	鼻部皮膚温度 増加量
19	大頬骨筋左 2nd Freq	42	皮膚電位 増加量
20	大頬骨筋右 2nd Freq	43	瞬目数
21	咬筋左 Ave	44	瞳孔径 Ave
22	咬筋右 Ave	45	サッカード回数
23	咬筋左 SD	46	開眼率 Ave

を識別するのに有効な特徴量を  $k$ -means 法を用いて抽出する。

それぞれの部位から得られる信号から一定区間の平均値 (Ave)、標準偏差 (SD)、中央周波数 (MDF)、ピーク周波数 (Freq) などを統計量として抽出し、Table 1 に示す計 46 個の特徴量群を得る。これらの特徴量には実際には車両特性とは関係のない、不要な特徴量が含まれていると考えられる。この特徴群から  $m$  ( $1 < m < 6$ ) 個選択して  $m$  次元の特徴ベクトル  $\vec{x}_i$  ( $1 < i < 46C_m$ ) を生成する。ここで  $i$  は特徴量番号を示す。実験のセット数を  $n$  セットとし、 $n$  試行の特徴ベクトル集合  $\vec{X}_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$  に  $k$ -means 法を適用する。

$k$ -means 法では、クラスタ  $j$  の重心  $c_{ij}$  に対する式 (10) の評価関数  $g$  を最小化するように  $k$  個のクラスタに分割する。

$$g = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in \vec{x}_i} \|x_i - c_{ij}\|^2 \quad (10)$$

このようなクラスタリングを繰り返して行う。ただし、本研究ではギア比特性が通常どおりの車両と異常な車両とで測定を行うので  $k = 2$  とした。その後、クラスタの生成結果がギア比特性の正・異常と合致している割合を正解率として算出する。そして、特徴ベクトルの次元数  $m$  ごとに最も正解率の高い特徴の組み合わせ  $i$  を求める。

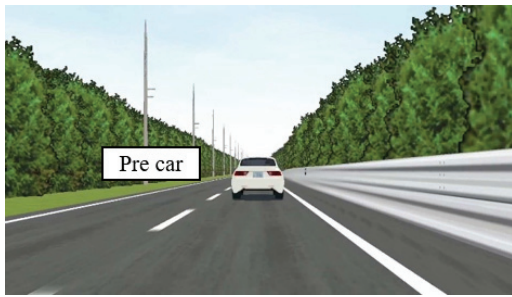


図 3: ドライバ視点  
Fig. 3 Driver's view

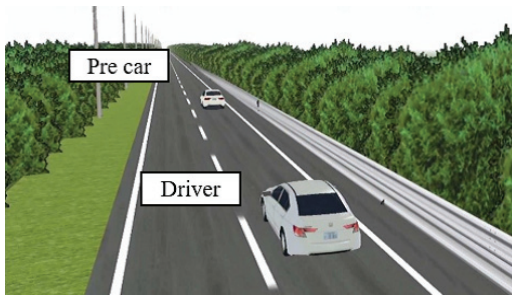


図 4: 俯瞰視点  
Fig. 4 Bird's eye view

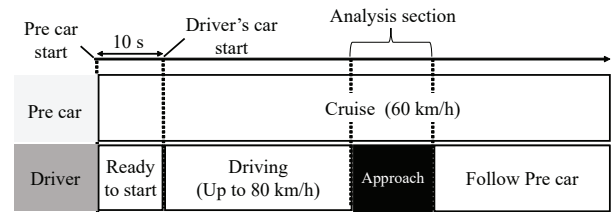


図 5: 実験プロトコル  
Fig. 5 Experiment protocol

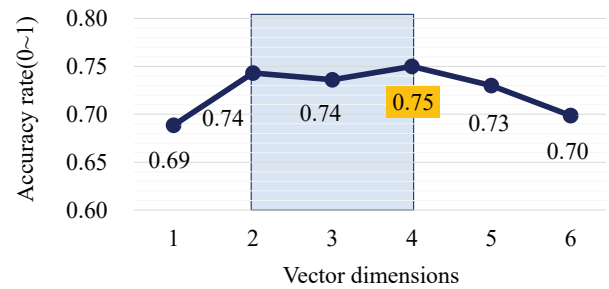


図 6: 被験者共通の有効特徴量を適用した場合の正解率  
Fig. 6 Accuracy rate by common features for all subjects

## 4. 実験

ギア比特性の変化を識別できる生体信号を抽出するためにドライビングシミュレータを用いて計測実験を行った。視線計測には Seeing Machine 社の Facelab システムを使用する。

### 4.1 実験プロトコル

距離約 1200 m の直線コースを走行する。Fig. 3 および Fig. 4 に先行車追従走行時のドライバ視点と俯瞰視点を示す。実験プロトコルを Fig. 5 に示す。先行車が走行を開始してから 10 秒後に自車を発進させる。その後、制限速度を超えないようにしながら先行車に接近し、ドライバの任意の車間距離で追従走行を行う。Fig. 5 に示すような、減速開始からドライバが追従走行に至るまでの区間を解析区間とした。ギア比特性の正常な車両で 1 回走行した後にギア比特性が異なる車両を 1 回走行するのを 1 セットとし、被験者毎に 10 セット ( $n = 20$ ) 走行した。被験者は 3 名で普段から通学や通勤で運転をしている。計測された生体信号に対して前述の  $k$ -means による分析を行って正解率を算出した。

### 4.2 特徴量抽出結果

特徴ベクトルの次元数  $m$  ( $1 < m < 6$ ) に対して被験者 3 人に共通の特徴量を用いた場合の正解率を Fig. 6 に示す。縦軸は被験者 3 人で共通の特徴量を用いた場合の正解率の平均値を示している。縦軸は被験者 3 人で共通の特徴量

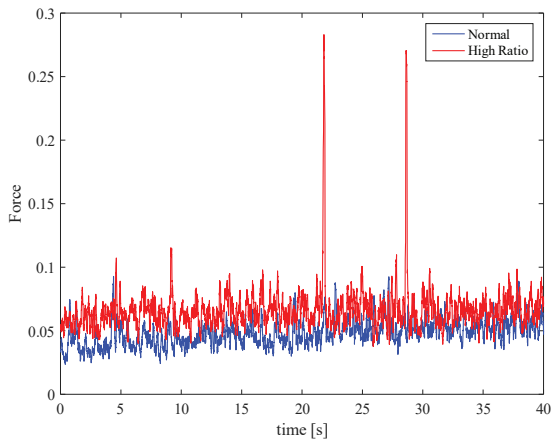
を用いた場合の正解率の平均値を示している。特徴量数 1 で選ばれたものは肩の筋電位の周波数成分であった。正解率が 0.7 を超えてから正解率が下がり始めるまでの特徴量数 2 から 4 までの推定で使用された特徴量と、特徴量数 1 で選ばれた特徴量とそれらの回数を Table 2 に示す。肩、頬、腕の筋電位がギア比特性の識別に有効であることがわかった。

今回計測した肩、頬、あご、腕の筋電位の振幅波形について Fig. 7 に示す。縦軸が 100% MVC により正規化された筋電位の強さを表しており、横軸が解析区間の時系列を表す。青色の波形は通常車両の走行における対象筋電位の 10 セット分の中央値を表しており、赤色の波形はギア比特性の大きな車両の走行における対象筋電位の 10 セット中央値を表している。 $k$ -means 法により選ばれた特徴量である、肩、頬、腕の 3 種類に関してギア比特性の異なる車両に乗った際の波形が通常と比較して大きくなることが確認できた。

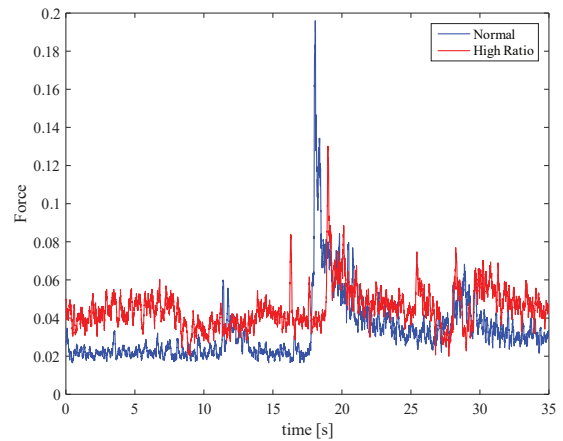
次に、被験者ごとに考察を行う。被験者毎の正解率の推移を Fig. 8 に示す。被験者 A では肩、腕の筋電位が選ばれた。被験者 B に関しては肩の筋肉に加えて皮膚電位、瞳孔径が有効特徴量として挙げられた。皮膚電位については、仮説どおりにギア比大において精神負荷から冷や汗をかき、ガルバニック皮膚反応が誘発された可能性がある。被験者によっては皮膚電位がギア比特性判別に有効な特徴量である可能性がある。被験者 C に関しては、特徴量を 4 つ使用した際の正解率は 0.85 であり、特徴量を 5 つ使用した際の正解率は 0.90 であった。特徴量 5 つのほうが

表 2: 有効特徴量と使用回数  
Table 2 Usage count of effective features

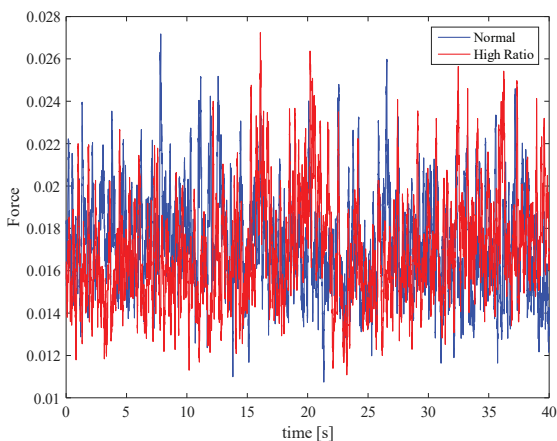
Part	Statistics	Count	Part	Statistics	Count
Corrugator supercillii	Ave · Freq	5	Brachioradialis muscle	SD · Freq	2
Zygomaticus major	Ave · Freq	2	blink count	-	1
Masseter	-	0			



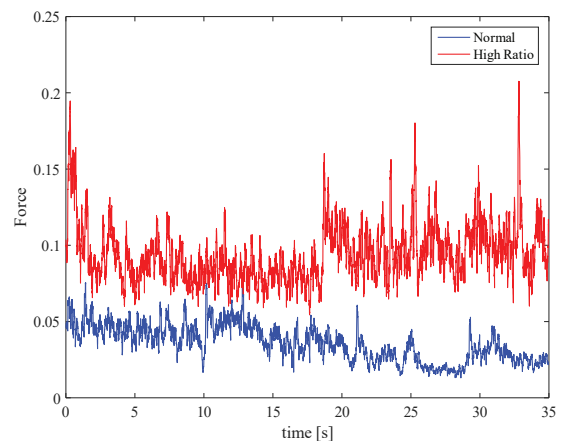
(a) Corrugator supercillii



(b) Zygomaticus major



(c) Masseter



(d) Brachioradialis muscle

図 7: 筋電位の振幅波形

Fig. 7 Myoelectric potential amplitude

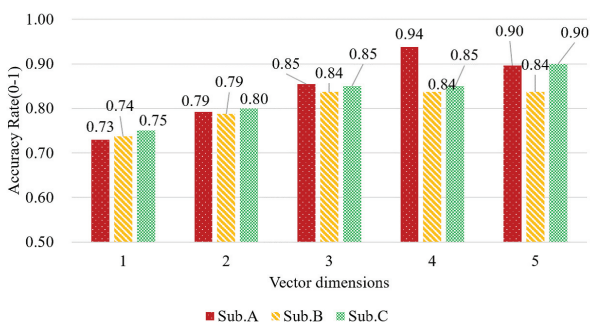


図 8: 被験者毎に有効特徴量を適用した場合の正解率  
Fig. 8 Accuracy rate by suitable features for each subject

正解率が大きくなった。まず、特徴量 4 つの場合も 5 つの場合も、あごの筋肉の周波数成分と頬の筋肉の振幅平均値が有効であった。あごの筋肉は、平均値は有効ではなかったが、疲労と関係があると指摘されている周波数成分をみることで有効特徴量となり得ることを示唆した。被験者 C については筋電位を計測するのみで識別が可能であることを示唆している。

## 5. おわりに

自動車の運転感覚を客観的に評価するため、筋電位をはじめとする生体信号からギア比特性の変化と関連のある特徴量を抽出した。表情筋と腕の筋電位、視線情報、皮膚情

報に着目し、 $k$ -means 法を用いて有効特徴量の抽出を行った。その結果、皺眉筋電位の振幅平均と周波数成分が特に有効であることが示された。正解率としては、被験者別に特徴量を選び推定した場合の正解率の被験者平均が 0.88、全被験者に共通した特徴量を用いて推定した場合の正解率が 0.75 であった。今後の課題として、他のシーンにおける検討、被験者数の増加、実車実験の必要性などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] Yoshihiko Kozawa, Gunji Sugimoto, Yasuhiko Suzuki, "A New Ride Comfort Meter," SAE Technical Paper 86043, 1986.
- [2] M. J. Griffin, E. M. Whitham, K. C. Parsons, "Vibration and Comfort I. Translation Seat Vibration," *Ergonomics*, Vol.25, 1982, pp.603-630.
- [3] 武井一剛, 石黒 陸雄, "乗員の官能評価にもとづく乗り心地評価", 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.30, No.3, 1995, pp.47-56.
- [4] J. Healey, R. Picard, "SmartCar: detecting driver stress," In *Proceeding of IEEE 15th International Conference 2002*, pp. 218-221.
- [5] 岡本裕司, "筋電位測定による自動車の乗り心地評価", 生産研究, Vol.62, No.3, 2010, pp.267-270.
- [6] 倉森章, 高口紀貴, 上條正義, 佐渡山亜兵, 清水義雄, "ドライバの力みに着目した自動車の運転しやすさ評価法", 感性工学研究論文集, Vol.6, No.2, pp.87-92, 2006.
- [7] 中村弘毅, 中野公彦, 方芳, 鄭仁成, 大堀真敬, "運転者緊張度とステアリンググリップ力の相関に関する考察", 生産研究, Vol.64, No.2, pp.269-272, 2012.
- [8] Petty RE, Losch ME, Kim HS, "Electromyographic activity over facial muscle regions can differentiate the valence and intensity of affective reactions," *Journal of Personality and Social Psychology* Vol.50, No.2, pp.260-268, 1986.
- [9] Takayuki Sakurai, Masashi Toda, Shigeru Sakurazawa, Yuichi Nakamura, "Detection of Muscle Fatigue by the Surface Electromyogram and Its Application," *IEEE International Conference on Computer and Information Science*, pp.43-47, 2010.
- [10] Janice Bagley, Leon Manelis, "Effect of Awareness on an Indicator of Cognitive Load," *Perceptual and Motor Skills*, Vol.49 (2), 1979.
- [11] 三宅 晋司, "商品開発・評価のための生理計測とデータ解析ノウハウー生理指標の特徴、測り方、実験計画、データの解釈・評価方法", NTS, 2017.
- [12] Deubel H, Schneider WX, "Saccade Target Selection and Object Recognition: Evidence for a Common Attentional Mechanism," *Vision Res*, Vol.36, No.12 pp1827-1837, 1996.
- [13] Bradley MM, Miccoli L, Escrig MA, Lang PJ, "The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation," *Psychophysiology*, Vol45, No.4, pp.602-607, 2008.
- [14] 松木裕二, 志堂寺和則, 植草理, "開眼率計測を用いた運転者の反応時間の遅延予測に関する研究", 自動車技術会論文集, Vol.41, No.6, pp.1445-1450, 2010.
- [15] H.Kataoka, H.Kano, H.Yoshida, A.Saijo, M.Yasuda, M.Osumi, "Development of a skin temperature measuring system for non-contact stress evaluation," *Engineering in Medicine and Biology Society*, 1998.

- [16] Jacobs KW, Hustmyer FE Jr, "Effects of Four Psychological Primary Colors on GSR, Heart Rate and Respiration Rate," *Percept Mot Skills*, Vol.38, No.3 pp763-766, 1974.