

カーレーサーのレース中のストレス推定のための

咀嚼筋活動の計測

○レクオク ズン (東京大学), 山川 博司 (東京大学), 安 琪 (東京大学),
石川 雄己 (東京大学), 黒田 篤 (ジースポーツ),
古川 宏嗣 (エー・アンド・ディ), 岡 敬之 (東京大学医学部附属病院),
魚住 光成 (三菱電機), 高草木 薫 (旭川医学大学), 山下 淳 (東京大学), 浅間 一 (東京大学)

Estimation of stress on car racer by measurement of masseter muscle's activity

○LE, Quoc Dung (The Univ. of Tokyo), Hiroshi YAMAKAWA (The Univ. of Tokyo),
Qi AN (The Univ. of Tokyo), Yuki ISHIKAWA (The Univ. of Tokyo),
Atsushi KURODA (Gsport, inc.), Koji FURUKAWA (A&D Company, Ltd.),
Hiroyuki OKA (The Univ. of Tokyo Hospital), Mitsunari UOZUMI (Mitsubishi Electric Corp.),
Kaoru TAKAKUSAKI (Asahikawa Med. Univ.), Atsushi YAMASHITA (The Univ. of Tokyo),
and Hajime ASAMA (The Univ. of Tokyo)

Abstract: Stress estimation is important for car racer's health care. This research offers a method to measure and to analyze physiological signals to diagnose (mental) stress. The often used physiological signals are electrocardiography, electrooculography, electromyography (EMG), and galvanic skin response. In this research, however, we focus on masseter muscle's activity for EMG, and consider in which way masseter muscle's activity is related to the position of car racer on the racing course.

Keywords: physiological stress, car racer, electromyography

1. 緒言

モータースポーツの中でも自動車のスピードと運転技術を競うカーレースは、長年多くの人に親しまれてきた。カーレースは超高速で行なわれるため、観戦者にとっては楽しめるスポーツであるが、ドライバーにとっては常に危険な状態にある過酷なスポーツであり、安全の管理が大変重要である。

カーレースのフォーミュラ・ワン (F1) では、1994年のサンマリノ・グランプリのレース中、アイルトン・セナ選手の衝突事故がおきた。前日には、ローランド・ラッツェンバーガー選手も衝突事故にあった。調査報告により、セナ選手の事故は技術的問題であった[1]とされているが、前日の事故の心理的な影響も指摘されている。これらの事故の直後、F1を管理する国際自動車連盟 (FIA) は安全管理の設定を高めなければならなかった。

技術の進歩により、レーシングカーの安全性が向上し、それに伴いドライバーの安全性も向上してきてい

る。しかし、ドライバーの精神的な要因で起きる事故を防ぐことはできていない。したがって、ドライバーの精神状態の安全管理は大変重要であり、事故を防止するためには、車の設計技術だけでなく、レース中のドライバー (レーサー) の精神や身体の状態を管理することが求められる。

レースに関する山越ら[2]の研究では、レーシングカートにおいてレーサーの心拍、血圧、深部体温、及びカートの加速度を計測した結果、肉体運動・精神的状態に起因する生体活動が活発に行われていることが確認された。このことから、安全性向上のためには、レーシングカート走行中の生体反応を詳しく解明する必要性を主張している。同様にモータースポーツの安全性を目標とする本研究ではカーレースの公式レース中のレーサーの生理指標を収集し、レース中の精神的ストレスを推定することを試みた。ストレスは、主体の生理的・心理的状态を乱すように作用する外的条件 (外的負担) が主体の特性や能力などに影響を与える現象である[3]。

従来から精神的ストレスを推定するため、生理指標を用いて判定する研究が行なわれている。菅原ら[4]の情動と顔面筋の筋電図の関係を調べた実験では、咀嚼筋の活動がネガティブな情動と関連があることが示されている。我々の先行研究[5]では心電図 (Electrocardiography – ECG, 心拍などが抽出できる), (顔)筋電図 ((Facial) Electromyography – (f)EMG, 筋緊張), 眼電図 (Electrooculography – EOG, 眼球運動) と皮膚電気反射 (Galvanic Skin Response – GSR, 発汗) を用いて計算機を利用している際のストレスを推定していた。

咀嚼筋の筋活動がネガティブな情動と関連するという知見[5]から、本研究では咀嚼筋の表面筋電位からカーレーサーのレース中のストレスを推定する手法を提案し、レース中のレーサーの精神的ストレスを明らかにすることを目的とする。

2. ストレス推定に関する先行研究

従来研究によって、生理指標を用いることで人間の内面に存在する情動を計測することができることが示唆されており[6]、本研究で注目する精神的ストレスも同様に生理指標を用いて推定する。

人体のストレスに反応する生体システムは、自律神経系、特に交感神経–副腎髄質系と視床下部–下垂体–副腎皮質系の2つといわれている。ストレスが与えられると、この生体システムが反応し、ストレスホルモンの分泌や血圧、心拍数、発汗量の亢進や筋緊張などの生理指標の変化が起こる。カテコルアミンなどストレスホルモンは、ストレスを推定するために一般的に使用されるが、尿から採取するため、一定時間の平均的なストレスの影響を計測することになり、レース中の個々の状況に対する即時的な精神的ストレスの計測には適さない。また、測定の際に、血液や尿は酸化が起りやすいことため、保存の不便もある[3]。よって、ドライバーの実時間的ストレスを研究するために心電、筋電などの生理指標を使用した方がより良いと考える。

顔にある筋の中で、下顎骨の運動に関わる咀嚼筋は、計測が比較的容易で、加えて、咀嚼筋の活動はネガティブな情動と関連があると考えられている[4][5]ため、本研究では咀嚼筋のEMGから精神的ストレスを推定することとする。

長距離の運転によるストレスが岩倉らにより示され、長距離運転が活動期、環境適応期、前疲労期・後疲労期となる4つの段階に分けられた。初期の活動期では、ストレスの変化が多いと指摘され、その後の環境適応期は安静期と考えられる[3]。

今回のレースでは1周回毎の走行距離は長くないものの、レーサーへの負荷が大きいため、同様にストレスに関する特徴が段階的に現れる可能性がある。詳細は第5章で議論する。

3. 方法論

3.1 咀嚼筋の筋活動

先行研究では、コンピュータのキーボード操作によるストレスの大きさを測定するため、咀嚼筋のEMGを解析した際に、実験中の1分間の咀嚼筋のEMGの積分値を求めている[5]。しかし、本研究が対象とするレースという高速な運動における精神的ストレスを推定する場合、1分間の積分値ではレース中の瞬間的に変化する事象に対するストレスは計測ができない。人間が咀嚼する際には、基本的に0.1秒間程度から数秒間に渡って噛みしめるとされている。よって、本研究では0.1秒毎にEMGデータを解析する。

人間の精神的緊張度が高い状態には「強く噛む」という咀嚼動作が誘発され、咀嚼筋の筋緊張が大きくなる。よって咀嚼筋の筋活動における各瞬間を調べれば「強く噛んだ」(精神的緊張度が高い)・「弱く噛んだ」(精神的緊張度が低い)と判別できるはずである。本研究では、咀嚼筋の表面筋電位から個々の咀嚼行動を推定するための手法を提案する。

3.2 解析方法

Root Mean Square

本研究では、積分と同様に筋活動を解析する際に使用されている自乗平均平方根 (Root Mean Square – RMS) を用いる。

信号処理の手順に関し、まず計測した生信号のデータ $s_0(t)$ をフィルタリングし、整流化した(整流平滑化)。フィルタリング後の信号 $s_1(t)$ を整流化したの結果で基線が0となる筋電位データ $e(t)$ を得た (図1を参照) :

$$e(t) = |s_1(t) - \bar{s}_1| \quad (\bar{s}_1 \text{ は安静時の平均値})$$

筋電位データ $e(t)$ から、区間 $(-T/2, T/2)$ において

$$\text{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^2(t + \tau) dt}$$

と得られる。

ここで、 $T = 0.10$ 秒間と設定した。

実際の離散信号 $s_d(n)$ で解析を行なう際に、筋電位とRMSはそれぞれ以下のように算出されている :

$$e(n) = |s_d(n) - \bar{s}_d| \quad (\bar{s}_d \text{ は安静時の平均値})$$

$$\text{RMS}(n) = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N e^2 \left(n - \frac{N}{2} + i \right)}$$

ここでサンプリング周波数 1000Hz に対して $N = 100$ と

する（アナログ信号での 0.1 秒間の区間に相当）。

4. 咀嚼筋活動の計測実験

4.1 実験意義

本実験は、短時間の咀嚼筋活動が計測できるかどうかを確認するための実験であり、レーサーのレース中に行なう実験のための予備実験である。

4.2 装置

本実験では ADInstruments の生理計測器 PowerLab 8/351, DualBioAmp を使用した (A/D 分解能 16bit)。計測・解析では, LabChart7.3 というソフトウェアを利用した。サンプリング周波数は 1000Hz であった。

4.3 実験内容

咀嚼筋の筋活動を測定するため、咀嚼動作における咀嚼筋の EMG を計測した。目的は指定時間 (1 分間) において短時間の咀嚼行動は提案した解析手法により判別できるか確認することである。実験の開始前に 1 分間の安静時間を設定した。

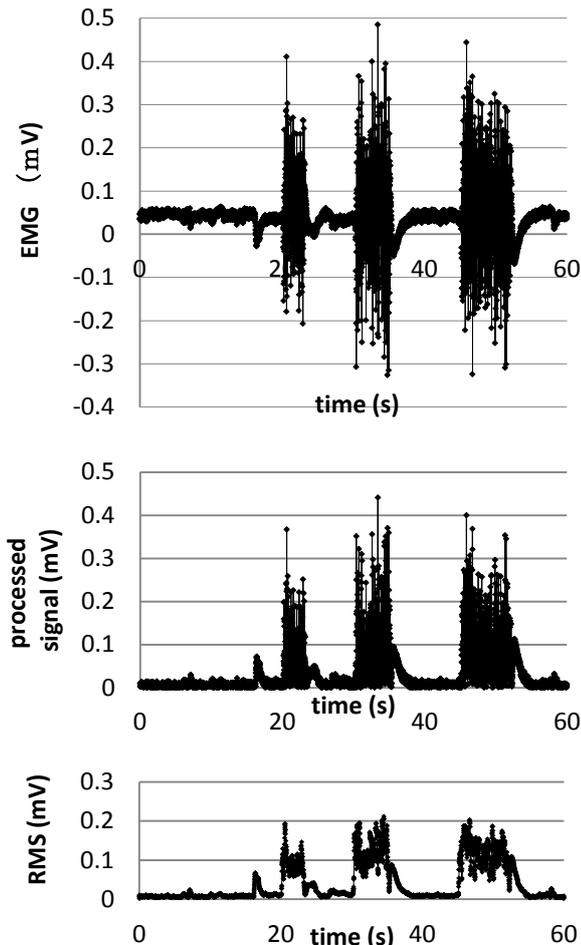


Fig.1. Example of EMG signal analysis used in this research

まずは口の中に何も入れずに単純咀嚼実験を行ない、その次は切り餅とマシュマロという硬さの異なるものに関し咀嚼実験を行なった。

これら 3 つの各実験において、同一の実験設定し、1 分間の 1 回の実験の中に、20–23 秒、30–35 秒、45–52 秒の各間隔の間に咀嚼動作を行なった。咀嚼時には切り餅とマシュマロは噛み切らないようにした。被験者は 1 名の健常の男性、25 歳であった。

1 分間の実験に含まれる 3 回の咀嚼時の RMS の平均値をそれぞれ算出し、3 回の最小値をその実験の閾値 K とした。

環境やセンサの装着による変化はないように、単純咀嚼・切り餅咀嚼・マシュマロ咀嚼の各実験を連続に行なった。

取得したデータの信号処理は第 3 章に述べた手法と同様に行なった。

4.4 結果と考察

単純咀嚼の閾値 (0.095mV, 0.121mV, 0.117mV) と比較して、切り餅を咀嚼際の閾値は 0.3 ~ 0.5 倍 (0.032mV, 0.037mV, 0.045mV) となり、マシュマロ咀嚼の閾値は 0.1~0.2 倍 (0.019mV, 0.014mV, 0.0015mV) であった。

このことから、正確な倍数は検討必要であるが、RMS による解析を用いると咀嚼の際の力の強弱が判別できることがわかった。ストレスによって咀嚼筋の活動に強弱があれば、その様子が RMS で計測できると考える。

5. レーサーのストレス推定のための計測

5.1 装置

レース中のストレス計測には携帯型の S&ME の計測器 DL-3100 (A/D 分解能 16bit) を使用し、解析時は MS Excel, m-Scope 及び m-Scope2 を利用した。筋電センサには、二つの電極がアンプと共に一体となったアクティブ型の筋電センサを使用した。



Fig.2. Sensor's placement

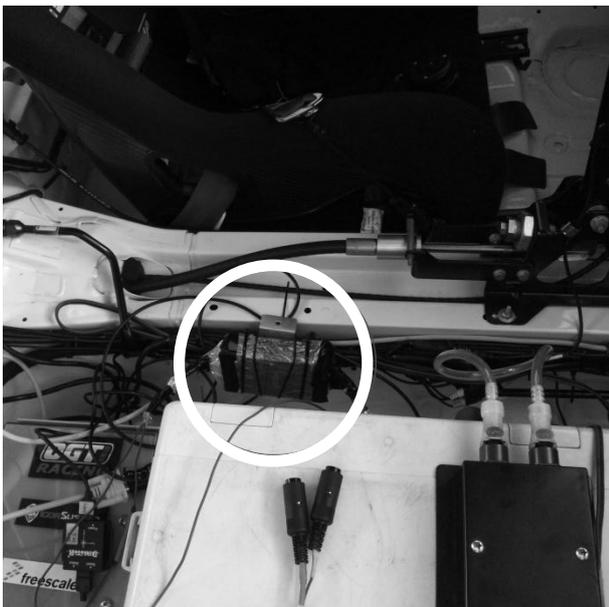


Fig.3. Fixed measuring device

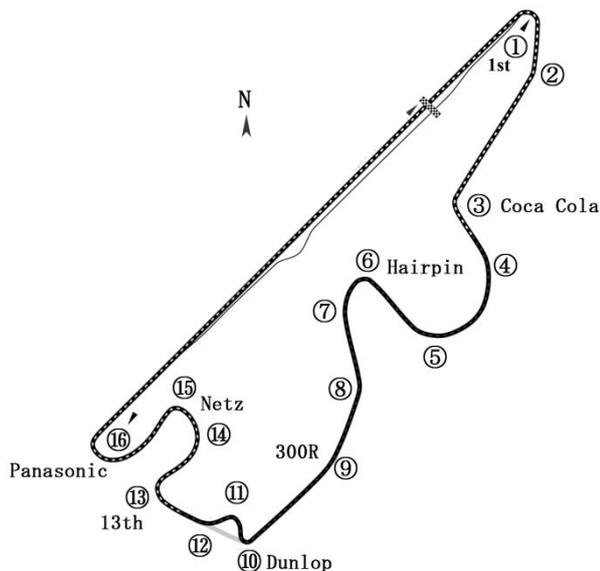


Fig.4. Fuji speedway's racing circuit

ドライバーにセンサを装着した様子を図 2 に示す。予備実験において咀嚼筋の筋活動が強くみられた部位をアルコールティッシュで拭き、センサを装着した。レース中ではヘルメットを被るため、医用テープでセンサを固定した。

機器本体は防水措置を施し、ドライバー席の右付近に固定し、延長コードでドライバーに装着したセンサと接続した (図 3 を参照)。

計測データは計測器の内蔵メモリーに保存され、実験が終わった後にデータをコンピュータにコピーし、解析を行なった。

本研究の計測と同時に DIMOTOR®センサによって

レーサーの運転中のモーションキャプチャの実験も行なわれた。

5.2 実験内容

本実験は富士スピードウェイにおけるポルシェ・カレラ・カップ・ジャパンの 2012 年 9 月 8 日の予戦で行なった。

富士スピードウェイのコースを図 4 に示す。曲がりコーナーが全て 1 から 16 まで数字付けられる。コースは、ピットの前の 1475m のストレート (第 16 コーナーから第 1 コーナーまで) の後に 30R (半径 30m) のコーナーがあり急減速が必要になる。後半は、つづら折りのコーナーが続くテクニカルセッションである。第 16 コーナー (Panasonic コーナー) は、第 1 コーナーと同様に曲がり角度が急であり、このコーナーを過ぎると加速しストレート走行に入る。

実験当日のレースは決勝ではなく、予戦であった。この予戦は、各レーサーの一人ずつのベスト・ラップ (制限された時間内に複数周回を走行した中で、最速の 1 周回の時間) に基づき、翌日の決勝戦のスタートポジションを決定するために行なわれた。

被験者は OGT!レーシングチームのイゴール・スシュコ選手 (Igor Sushko, 男性, 26 歳) であった。

5.3 結果と考察

計測したデータを第 3 章に述べた信号処理と同様に処理した RMS を求めた。周回毎のコース上の位置と RMS 値を 1 秒間隔で示したのが図 5~8 である。マーカーで表すデータ点は 1 秒毎の車の位置を示すため、データ点の間隔は 1 秒間に車が進んだ距離を表す。

プロット点の色の濃さは RMS の大きさを表しており、色が濃くなるほど RMS の値は大きい。

第 1 コーナー (30R) は、長いストレートコースで加速し高速走行を行った直後に急減速を必要とするコーナーであり、このコースではレーサーにとって最も負担の大きいコーナーである。第 2 コーナーと第 3 コーナーの間や第 8 コーナーから第 10 コーナーの間は加速しやすい場所である。加えて、コースは平坦ではない。

1 周目はピットロードからのスタートで、徐々に速度を上げていく段階であり、緊張も大きくなかったと予想される。1 周目の Begin 点から End 点までの走行時間は 1 分 51 秒であり、他のラップタイムが 1 分 40 秒台であることから速度を抑えての走行であったことがわかる。そのため、咀嚼筋の RMS 値も比較的小さな値で変化していると考えられる。1 周目の第 14 コーナーあたりから若干 RMS 値が高くなっていることから、2 周目に向けての緊張が生じた可能性がある。

2 周目, 3 周目, 4 周目の **Begin** 点から **End** 点までの走行時間はそれぞれ 1 分 47 秒, 1 分 46 秒, 1 分 46 秒であり, 全力でベストラップを縮めようとしていたことがわかる. 2 周目から 4 周目において共通していることは, 第 16 コーナーからストレートに入って加速し速度が高速に達した位置, 第 1 コーナーに入る直前で急減速をしなければならない位置, 第 9 コーナーから第 10 コーナーに向けて速度を上げて走行したのち第 10 コーナー直前で急減速をしなければならない位置において咀嚼筋の RMS 値が高くなっていることである. 特に 3 周目のストレートコースにおける上記 2 箇所での RMS 値が高くなっている. このことから, 高速に達した時や急減速をした時に特に緊張が増しストレスを受けていると考えられる.

各周回の類似した箇所を円によって示す.

本実験で測定したレースは予選であったため, 他車と接近して競り合うことは無かった. 本戦では, 他車との競り合いによる加速・減速や接触回避操作などが行われるため, ストレスを受ける頻度が多くなると考えられる.

今後は発汗, 心拍といった他の生理指標や身体の動き, 身体が受ける加速度, 車内外の動画を収集した上でさらに詳しく解析する必要がある. 加えて, 計測回数を増やせば, 「平常状態」が抽出でき, 場合によって「高ストレス状態」を判別することができると考える.

RMS 値 r が 0.05mV 以上になる 1 秒間隔の箇所を比較すれば 1 周目, 2 周目個々の 20 箇所と 36 箇所に対して 3 周目, 4 周目個々では 16 箇所と 10 箇所がある.

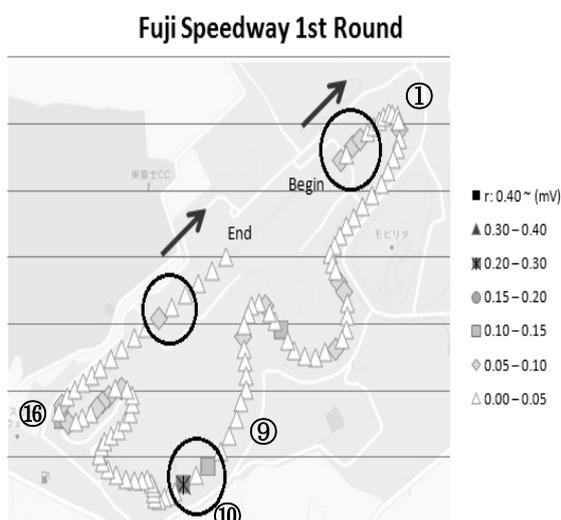


Fig.5. Masseter muscle's RMS value (r) – car position relationship on 1st round

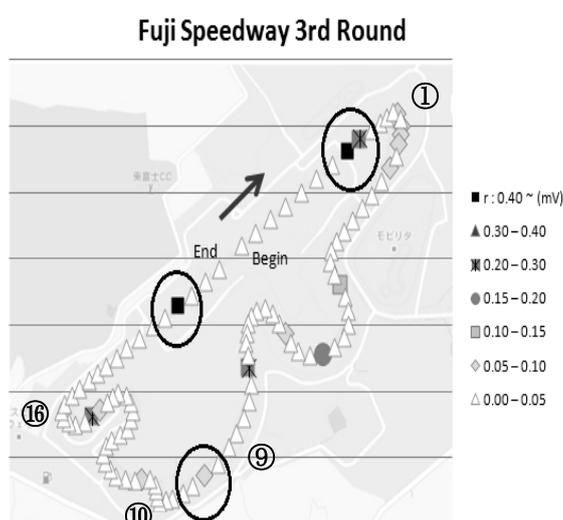


Fig.7. Masseter muscle's RMS value (r) – car position relationship on 3rd round

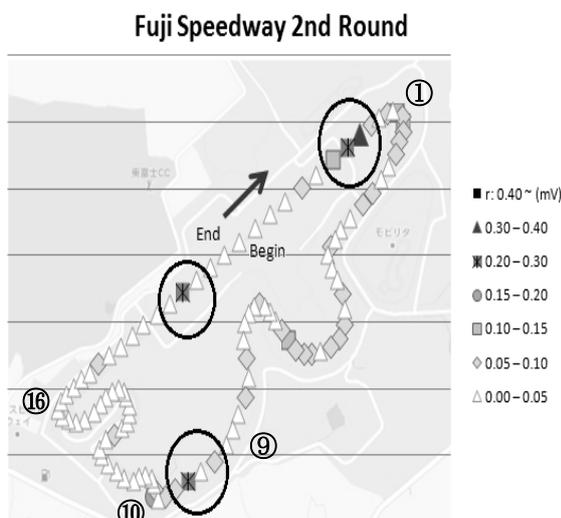


Fig.6. Masseter muscle's RMS value (r) – car position relationship on 2nd round

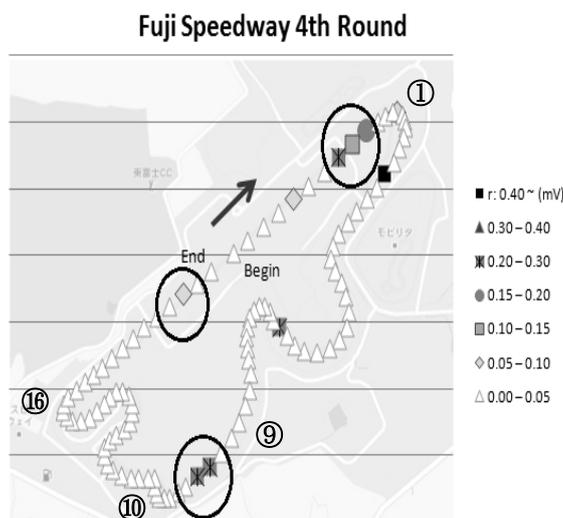


Fig.8. Masseter muscle's RMS value (r) – car position relationship on 4th round

1周目と2周目のストレスが頻繁に増減している特徴は長距離運転における活動期の特徴に似ている。一方、3周目と4周目の咀嚼筋のRMS値 r の上昇（ストレスの上昇）の箇所は少なくなったものの、ピークの値が高くなった特徴は長距離運転における環境適応期の特徴に似ている。従って、レーサーの生理状態の変化を長距離運転手の生理状態の変化から推定できる可能性がある。

このように、取得した咀嚼筋のEMGデータがレースの状態を反映していることがわかる。

今回は、咀嚼筋EMGによって車が加速しているポイントの手前で活動が上昇することを明らかにした。これは、この時点で精神的緊張度が高くなったことを示した。即ち、ドライバーの精神的ストレスを身体反応を用いて計測する手法として咀嚼筋EMGが有用であることを示すことができた。

しかし、このシステムをドライバーの精神的なストレスの管理に応用するには、時間帯による筋活動の変化や、周辺の混雑度による緊張度の相違などを検証する必要がある。

6. 結言

本研究の提案したRMSを用いた解析手法によって咀嚼動作の判定ができた。

今回の測定した咀嚼筋のデータがレースコース上の位置に応じて咀嚼筋の筋活動との関係にある程度反映できた。

今後の展望として、EMGの以外に、心拍間隔など他の生理指標も検討すればストレス判定の精度が向上できると考える。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」、および科研費基盤研究(B)24300198の一部として実施されたものである。

本研究で行なったレース中の計測は、フリースケール社により環境が提供された。ここにレーシングチーム OGT!, 特にイゴール・スシュコ, 安田浩明, 坂本弘, アイラ・ボールデンに謝意を表す。

参考文献

- [1] Andrew Benson, “A Death that shocked the world”, BBC News, 2011.
- [2] 山越 健弘, 山越 康弘, 松村 健太, 廣瀬 元, “モータースポーツ時の生体情報反応 : レーシングカート走行による基礎的検討”, 生体医工学 Vol. 47, No. 2, pp.154-165, 2009.

[3] 岩倉 成志, 西脇 正倫, 安藤 章, “長距離トリップに伴う運転ストレスの測定—AHSの便益計測を念頭に”, 土木計画学研究・論文集, Vol. 8, No. 3, pp. 439-444, 2001.

[4] 菅原 徹, 佐渡山 亜兵, 上條 正義, 岡本 宜久, “顔面筋の筋電図による情動の計測”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 341, pp. 41-44, 2002.

[5] 成 アンナ, 田村 雄介, 浅間 一, “生理指標を用いたサービスに対する不満状態の評価”, 第32回バイオメカニズム学術講演会予稿集, pp.233-236, 2011.

[6] James J. Gross, Robert W. Levenson, “Hiding Feelings: The Acute Effects of Inhibiting Negative and Positive Emotion”, Journal of Abnormal Psychology, Vol. 106, No. 1, pp.95-103, 1997.