

脳波によるドライバー注意散漫状態推定技術の開発

Technology for Estimation of Driver's Distracted State with Electroencephalogram

寺田 佳久* 森川 幸治**
Yoshihisa Terada Koji Morikawa

本稿では、筆者らが開発中の注意散漫状態推定技術を紹介する。その特徴は、脳波から得られるEFRP（眼球停留関連電位: Eye-Fixation-Related Potentials）のラムダ反応を利用することで、LED（Light Emitting Diode）やブレーキランプ点灯などの明示的な刺激が不要になる点である。本技術により、運転行動からでは把握できない注意散漫状態が推定可能になり、HMI（Human Machine Interface）評価や予防安全に適用可能である。

This paper introduces a novel estimation method for driver's distracted state. The method utilizes the amplitude of the lambda response, which is a feature of Eye-Fixation-Related Potentials (EFRP). This method is applicable to both evaluation of Human Machine Interface (HMI) and safe driving systems.

1. ドライバー状態推定のための指標

平成22年の警察庁の統計によると、交通死亡事故の原因は、脇見運転（構成率14.4%）、漫然状態（同18.0%）などのドライバー状態に起因するものが多い。これらのドライバー状態を推定するための行動指標や生理指標を、第1図に示す。

事故要因 \ 検出指標		車両挙動			運転行動			生体反応	
漫然状態	脇見運転	車間距離	車線逸脱	ふらつき	視線				
	眠気、居眠り (覚醒度低下) 注意散漫 (注意資源配分不良)				瞬き	瞳孔度	心拍	脈波	脳波

本技術の対象範囲

第1図 ドライバー状態推定のための指標

Fig. 1 Indexes for detecting driver's state

特に漫然状態の一種である注意散漫状態は、覚醒しているにもかかわらず運転に対して注意が向けられていない状態であり、外部からの観測が困難で、その推定方法が確立されていない。本稿では、筆者らが開発中の脳波による注意散漫状態推定技術の概要と推定性能について紹介する。

2. 脳波による推定の従来手法と課題

脳波は、脳神経細胞の電氣的活動を頭皮上の2つの電極の電位差により計測するものであり、その大きさは数

μV ～数十 μV と微弱な信号である。この脳波を活用した従来のドライバー状態推定の事例を以下に示す。

ドライバーの覚醒状態の変化は、脳波の周波数パワーの変化をとらえることにより推定される。石橋ら[1]は、脳波の α 波帯域（8 Hz～13 Hz）のパワーの増加を、ドライバーの覚醒度低下すなわち眠気が強まっている状態と推定している。

また、特定の刺激（先行車のブレーキランプの点灯）に対する注意量の推定には、脳波の事象関連電位（ERP: Event-Related Potentials）が用いられている。刺激から特定の時間経過後に見られるERPの波形は知覚、認知、判断の情報処理過程を反映するとされる。江部ら[2]は、先行車のブレーキランプが点灯したタイミングから300 ms付近に現れる陽性のピーク（P300成分と呼ばれる）に着目し、この振幅値が大きい場合には、ブレーキランプに対する注意量が大きいと判断している。

このように、脳波の周波数解析によって覚醒度低下の推定が、また事象関連電位解析によって特定の刺激に対する注意量の推定が行われてきた。しかし、注意散漫状態は特定の刺激によらずドライバーの運転への全体の注意量が不十分な状態であり、明示的な視覚刺激が必要な従来手法は適用できなかった。これは、運転とは無関係の刺激（LEDランプ点灯など）を与えると安全運転の妨げになる可能性があり、またブレーキランプ点灯など自然に発生する事象は、発生頻度が低く十分なデータ収集が行えないためである。

3. 注意散漫状態推定技術

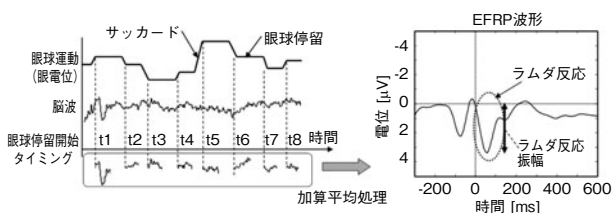
筆者らは、眼球停留関連電位（EFRP）による注意散漫状態推定技術を開発している。その特徴は、従来手法では必要であった外部からの明示的な刺激が不要な点である。

* 東京R&Dセンター
Tokyo R&D Center

** 先端技術研究所
Advanced Technology Research Labs.

3.1 EFRPとは

EFRPは、ERPの一種であり、作業中や自由な眼球運動状況下における急速眼球運動（サカド）の終了時点、すなわち眼球停留の開始時点に関連して生じる脳の一過性の電位変動である（第2図）。EFRPのうち、眼球の停留時点から約100 ms付近に後頭部で優位に出現する陽性成分をラムダ反応といい、視対象に対する注意量によって変動することが知られている[3]。



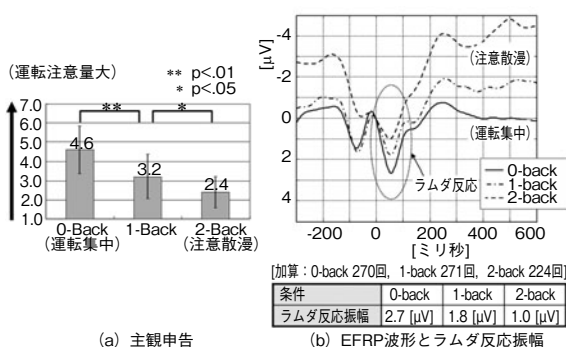
第2図 EFRP波形の例
Fig. 2 Example of EFRP

3.2 注意状態とラムダ反応の相関評価実験

実験協力者学生15名（21.7±1.3歳）に対して、二重課題法による実験を実施した。二重課題法とは、主課題と副課題を同時に行うことで、主課題に対する認知負荷を操作する方法で、これにより注意散漫状態を実験的に再現した。

主課題は、ドライビングシミュレータの市街地コースで約6分間の自動車運転課題、副課題はn-Backテストを行った[4]。n-Backテストは、3秒ごとに1桁の数字が音声で呈示され、呈示直後にn個前（n=0, 1, 2）に呈示された数字を発声で回答する課題で、nの数字が大きくなるにつれ認知負荷が増加し、注意散漫状態が強まることになる。

7段階の主観申告により得られた運転課題に対する集中度（運転注意量）の結果を、第3図（a）に示す。0-backから2-backになるに従って運転注意量が有意に減



第3図 主観申告とラムダ反応の結果
Fig. 3 Results of subjective and lambda response

少する傾向が確認された。また、n-Backテストの正答率は、0-back（99.0%）、1-back（86.3%）、2-back（70.9%）で有意に減少し、注意散漫状態の統制ができていたことを確認できた。

EFRPの加算波形とラムダ反応を、第3図（b）に示す。ラムダ反応の振幅は、0-back（運転集中）で2.7 μV、1-backで1.8 μV、2-back（注意散漫）で1.0 μVで、分散分析により有意水準1%の有意差が見られた。このように、注意量の低下に伴いラムダ反応の振幅が減少しており、運転時の注意状態を反映する指標として利用可能なことを確認した。

3.3 注意散漫状態の推定

ラムダ反応振幅を指標に、注意散漫状態を判別した。

解析対象区間は、一定の時間幅に含まれるEFRPの加算平均波形を算出し、一定の時間シフトで移動させて注意状態の評価を繰り返すスライディング平均法[3]を用いた。運転注意量の変化は分単位で発生すると想定し、時間幅は60 s～180 s、時間シフトは10 s～30 sとした。

各試行での運転注意状態は、ラムダ反応振幅が閾値（しきいち）以上の場合に運転集中、閾値以下の場合に注意散漫と判別した。判別の閾値は、事前に実験協力者ごとの最適な値を設定した。

判別率は、0-backのデータを運転集中、2-backのデータを注意散漫と判別できた場合を正解として算出した（判別率=正解数÷全解析対象区間数）。

第1表 注意散漫状態の判別率

Table 1 Accuracy of distracted state detection

時間幅 (時間シフト)	180 s (30 s)	120 s (20 s)	60 s (10 s)
判別率	90.4 %	82.5 %	74.1 %

第1表に、時間幅を変化させた時の判別率を示す。

時間幅180 sにおいて90%以上の精度で判別でき、本手法により、運転行動分析などの従来の方法では検出が難しい注意散漫状態が推定可能なことが示された。

4. 今後の展望

本技術により実現される注意散漫推定技術は、車載機器の操作を副課題と考えることで、操作によって注意散漫を引き起こさない認知負荷の少ない車載機器のインターフェース評価に適用可能である。

さらに、運転中に装着可能な小型の脳波計が実現されれば、リアルタイムな状態推定が可能になるため、安全

運転支援システムにおける注意散漫警告機能や、注意状態の記録による職業ドライバーの労務管理に応用可能である。

参考文献

- [1] 石橋基範 他, “覚醒低下に伴う反応時間と脳波の変動,” 人間工学, vol.36, no.5, pp.229-237, 2000.
- [2] 江部和俊 他, “事象関連電位を用いた運転注意力計測技術,” 自動車技術, vol.58, no.7, pp.91-96, 2004.
- [3] 八木昭宏, “眼球停留関連電位の産業場面への応用,” 心理学評論, vol.45, no.1, pp.103-117, 2002.
- [4] 中田透 他, “注意散漫と道路環境が眼球停留関連電位に与える影響,” 自動車技術会論文集, vol.42, no.4, pp.979-984, 2011.