2208 近赤外分光法 (NIRS) を用いた列車運転士の脳機能計測

Measurement of Train Driver's Brain Activity by Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)

○柳川 航一 (日本大学) 学 小島 崇 (日本大学大学院)
正 綱島 均 (日本大学) 塩澤 友規 (日本大学)

Kouichi YANAGAWA, Nihon University, Izumicho1-2-1, Narashino-shi, Chiba

Takashi KOJIMA, Graduate School of Nihon University

Hitoshi TSUNASHIMA, Nihon University

Youke SHIOZAWA, Nihon University

This paper describes the feature of train driver focusing on brain activity measured by using the newly developed train simulator and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). The developed train simulator can simulate the real train operation with designed task condition for measuring brain function of train driver. Experiments to measure the driver's cerebral blood flow are carried out by using the developed train simulator. It is shown that the simulator is effective for obtaining driver's brain activity.

Keywords: NIRS, Human error, Human-machine interface, Train simulator, Railway

1. はじめに

列車の運転は、自動車と比較して運転が単調になりやすい特徴を有しており、ヒューマンエラーの原因の一つに運転士の覚醒度低下が挙げられる。ヒューマンエラー事故の防止方策として、鉄道会社では乗務員の教育・訓練が行われている。また、バックアップとして自動列車停止装置 (Automatic Train Stop device: ATS) などを採用してきた。一部の鉄道では、自動列車運転装置 (Automatic Train Operation device: ATO) を導入し、運転を自動化させている事例もある。しかし、自動化を進めることにより運転士は監視作業が中心となり、覚醒度低下が懸念される。自動車分野では、ドライバの生体情報や運転挙動から居眠りを検知し、警告を与える居眠り運転警報装置が研究されている¹⁾。鉄道においては、ヒューマンファクタに関する基礎的研究が行われているが²⁾、積極的な運転支援にまで至っていないのが現状である。そこで、列車運転におけるヒューマンエラーを事前に防止するために、人間の特性を考慮した運転支援システムの開発が必要であると考えられる。このようなシステムを開発するためには、運転士がどのような情報認知を行い、それにもとづいてどのような判断を行い、行動をとるのかを把握することが重要となる。このような運転行動を解析するためには、運転士の生体計測などを様々な条件のもとで行える運転シミュレータが必要となる。そこで、本研究では、人間-機械系評価用列車運転シミュレータを開発している^{3) 4)}。本稿では、当シミュレータを用いた列車運転中の脳活動の計測について述べる。

2. シミュレータを利用した脳機能計測

2. シミュレータを利用した脳機能計測

人間の脳機能を計測する技術として、fMRI や PET などが開発され、様々な研究に応用されている。これらは、計測中に静止状態を要するので、列車運転中の脳の活動を計測するには適さなかった。近年、近赤外分光法 (NIRS) が提案され、運動中の脳機能計測が可能となった。そこで、この fNIRS を用いて、シミュレータ運転における脳血流の計測を行った。

3. 運転タスクの設定

本シミュレータは、研究目的に応じてシステムの拡張や省略、シナリオの作成が可能となっている。実路線を模擬したシナリオでは、時刻表に従って駅の発車・停車を行い、実車と同様の運転作業が再現できる。一方、通常時の生体情報の変化は非常に小さく、様々な要因に影響を受けやすい。そこで、生体情報を定量的に評価するために、複雑な運転作業を単純なタスクへ切り分ける必要がある。実験では情報収集や判断要因が集中する発着時を除き、列車運転の基本動作である速度維持と信号認知の2つに注目し以下の2つのタスク要素を設定した。

速度維持タスク：速度計を見ながらブレーキを操作し、指示された速度に一定に保つ。

信号認知タスク：前方の信号機の信号現示が変化した場合に、対応するボタンを押す。

これらのタスクを課すため、シミュレータ上に仮想路線を制作した。仮想路線は、運転者の意識が信号現時と速度維持だけに向かうようにするため、風景を省略した高架直線軌道とした。また、通常走行時より車両速度の変化を大きくするため、不規則な下り勾配を設定した。信号機は線路に一定間隔で設置し、信号現示が走行中に変化するようにシナリオを作成した。

Fig.1 Situation of the experiment

4 基礎実験

fNIRS を用いてシミュレータ運転中の脳活動の計測が有効に行えるかどうか検討するため、まず予備調査として最小構成の簡易型シミュレータを構築し、脳血流量、脳波、心拍の3項目について計測した。脳血流計測には本学医学部所有のfNIRS装置(OMM-2001、島津製作所製)を用い、前頭部と後頭部の図2の位置にファイバーを取り付け計測した。被験者は、列車運転の資格を持たない一般の男性2名である。計測は、タスクと休憩を交互に反復する方法で行った。

4.1 開眼-閉眼実験

始めに、視覚刺激が脳に与える影響を調べるため、開眼-閉眼実験を行った。与えたタスクと休憩は以下の通りである。

タスク：停車中の視界画面を注視

休憩：閉眼安静

図3にch2とch11の閉眼-画面実験の結果を示す。図3(a)前頭部では、タスクに関連した変化は見られなかった。しかし、図3(b)後頭部は、画面注視の時に酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)が増加しており、視覚刺激に対する脳の活動が確認できる。

4.2 運転-停車実験

列車運転の基本動作として、速度維持と信号認知の2つの要素を含む以下のタスクを与え、運転-停車実験を行った。

タスク：速度維持タスク+信号認知タスク

休憩：停車中の視界画面を注視

図4にch2とch11の運転-停車実験の結果を示す。図4(b)後頭部にはタスクに関連する変化は見られず、このことから列車運転中と停車中の視覚刺激に対して脳活動に大きな差がないと考えられた。一方図4(a)前頭部は2回目以降のタスク開始時にoxy-Hbが変化していることがわかる。この結果運転行動による脳活動の変化は前頭部に現れると考えられる。

6 まとめ

人間-機械系評価用列車運転シミュレータを開発し、機能的近赤外線分光法(fNIRS)を用いて列車運転中の脳血流を計測した。その結果、列車運転時の血流変化は前頭部に反映されることが示唆された。同時に記録した脳波や心拍については、疲労状態や作業負荷による脳血流変化の違いをと対応させ、さらに評価していく予定である。今後は、被験者数を増やし信頼性を高め、フルスケールのシミュレータを用いた計測の他、視野角や没入感との関係についても調査していく予定である。

参考文献

- 1) 北島、沼田、山本、五井:自動車運転時の眠気の予測手法についての研究(第1報)、日本機械学会論文集(C編)、Vol. 63, No. 613, pp.93-100、1997
- 2) 深沢、倉又、佐藤、澤、水上、赤塚:列車運転シミュレータ上で発生するヒューマンエラー、鉄道総研報告、Vol. 17, No. 1、2003、pp. 15-18
- 3) 日刊工業新聞 2003年10月31日付:事故の人的要因を究明
- 4) 綱島、小島:鉄道用運転シミュレータ、特願 2003-172450

Fig.2 Fiber location

a frontal region (ch2)

b occipital region (ch11)

Fig.3 Result of the gaze task

a frontal region (ch2)

b occipital region (ch11)

Fig.4 Result of the driving task