

事象関連電位を用いた車内スイッチ配列の 認知性の定量評価

細谷英孝[†] 深見忠典[†] 島田尊正^{††}
上田慎一^{†††} 鈴木隆司^{†††}

本研究では、車内の各種操作スイッチの最適配置の実現に向け、スイッチ操作性を人間の応答時間で、また脳内での認知負荷量を事象関連電位の一成分である P300 を用いて評価を試みた。ここでは、その第一歩として、スイッチの配列方向（縦配列／横配列）におけるスイッチ位置と応答時間及び脳内における認知性との関連性について調査した。

Quantitative Evaluation of Recognition for Switch Alignment in Cars by Using Event-Related Potentials

Hidetaka Hosoya[†] Tadanori Fukami[†]
Takamasa Shimada^{††} Shinichi Ueda^{†††}
Takashi Suzuki^{†††}

In this study, we investigated the appropriate switch alignment (horizontal / vertical) in cars and the appropriate switch position for easy recognition. We used response time to switch push toward quantitative evaluation of switch handleability and P300, which is one of components in event-related potentials, to evaluate load for recognition in the brain. Response time, P300 peak amplitude, and P300 peak latency were chosen as evaluation index. We then investigated the relationship between switch position and each parameter mentioned above.

1. はじめに

自動車内のさまざまな機器や装置の操作性、使用時の快適性は自動車設計において重要な要素である。その一つとして、車内の各種操作スイッチ（エアコンやオーディオ等）の最適な配置の実現は、運転手に対する機器操作の負荷軽減につながると考えられる。

目的のスイッチを容易に見つけることができる条件を客観的に評価する方法として行動指標と生理指標を用いる方法がある。行動指標である応答時間での評価は、被験者の故意より結果が異なる可能性があるため評価することが難しい。そのため被験者の故意で変化することの無い生理指標である脳波による評価を用いる。

脳波を使った自動車に関する研究は、運転中の眠気に関する研究^{(1) (2)}、運転中の心理状態を推定する研究⁽³⁾、運転者の感情に関する研究⁽⁴⁾、運転中のドライバの操舵意図に関する研究⁽⁵⁾などが報告されている。

上記のような運転者の状態を脳波により推定する研究は多くなされているが、装置の配置に関する研究は見当たらない。本研究ではスイッチ操作性を人間の応答時間で、また脳内での認知負荷量を事象関連電位の一成分である P300 を用いて評価を試みる。P300 は、Fig.1 に示す波形形状として計測される事象関連電位中の一成分であり、最も特徴的な内因性の成分として、認知・判断を要する課題に関連した刺激の呈示後 300ms 前後に出現する陽性電位である⁽⁶⁾。P300 成分は判断や認知の指標として広く使用され、近年では BCI (Brain Computer Interface) などにも応用されている^{(7), (8)}。

本研究では、スイッチ配列を評価する第一歩として、スイッチの配列方向（縦配列／横配列）におけるスイッチ位置と応答時間及びその時の事象関連電位を計測することにより、スイッチ配列方向の脳内における認知性の違いについて検討を行った。

[†]山形大学 大学院理工学研究科 情報科学専攻
〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16
Informatics, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

^{††}東京電機大学 情報環境学部 情報環境学科
〒270-1382 千葉県印西市武西学園台 2-1200
School of Information Environment, Tokyo Denki University
2-1200, Muzai Gakuendai, Inzai, Chiba 270-1382

^{†††}株式会社東海理化 開発部 第1 先行開発室
〒480-0195 愛知県丹羽郡大口町豊田 3-260
Advanced Development Dept. NO.1, R&D Div., R&D Center
Tokai Rika Co., Ltd.
3-260, Toyota, Oguchi, Aichi 480-0195

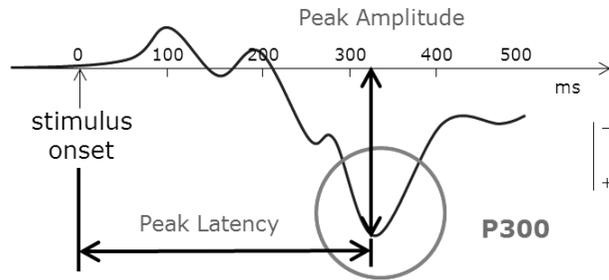


Fig. 1 Definition of peak amplitude and peak latency in P300.

2. 手法

2.1 実験手法

本研究を行うためには自動車内での実験を行う必要がある。しかし、現実的に自動車内での実験は難しいため、車内環境で行うための基礎実験として簡単な計測方法で行った。また、表示するものは実際の車ではマークである場合が多いが、今回の実験では似たようなマークであると混乱する可能性があるため、また、マークの差異により特定のスイッチに注意が向くことを回避するため数字での実験とした。

2.2 計測環境

脳波計測は、脳波計（日本電気三栄 EE2514）により行われた。本研究の計測システムを Fig.2 に示す。被験者はタッチパネルディスプレイ（三菱電機エンジニアリング社製 TSD-AT1513-CN）の目前に座り、国際 10-20 配置法による 19 チャンネルの脳波および眼球運動電位を計測した。なお、ディスプレイから被験者までの距離を 50cm とし、脳波データはサンプリング周波数 1000Hz で計測された。被験者は、健康成人 9 名(男性 9 名、平均 22.1 ± 0.78 歳)である。また計測条件として、ディスプレイサイズは 15 インチ、視野角は中央を 0° としスイッチの端まで $\pm 12^\circ$ (上下左右)、手の状態は左右にある肘掛に置くとした。また、実際の環境に近づけるためバンド等による頭部固定は無く、ヘッドレストに頭部を軽くつけて計測を行った。

2.3 実験手順

Fig.3 に示すように、初期状態としてタッチパネルディスプレイ上には待機画面を表示する。2 秒後、標的數字として 2 桁の数字を 2 秒間表示した後、横もしくは縦配列の 5 つのスイッチを表示し、その中から標的數字と同一の数字であるスイッチをタッチする

タスクを被験者に課す。腕の初期状態を肘掛に置いた状態とし、タッチパネルにタッチするときは肘掛から腕を離しタッチパネルに人指し指でタッチする。この一連の試行を繰り返し行う。ここで、スイッチの大きさは $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ とし、標的數字の表示位置と横配列、縦配列それぞれの中央のスイッチの表示位置を一致させた。また、試行回数を 70 回とし、これを各配列において 2 セットずつ行った。この時、被験者の疲労等を含む順序効果による脳波への影響を極力抑えるため、スイッチの配列を横、縦、縦、横の順番で計測を行った。

この時、選択画面表示時刻と脳波の同期を取り、脳波と共に選択画面表示からスイッチをタッチするまでの応答時間、選択候補画面において標的數字が表示された位置についても記録した。

2.4 事象関連電位解析

事象関連電位解析 本研究では、P300 成分が優位に出現する頭頂部電極 Pz で計測された脳波を解析した。事象関連電位解析を行うために選択候補画面呈示時を基準に前 500ms、後 1500ms の計 2000ms を解析区間とし解析を行う。解析を行うにあたり、各応答の解析区間内の脳波系列に対し、カットオフ周波数 20Hz のローパスフィルタを適用した。Satter らによる報告では P300 成分の周波数帯域が $1 \sim 5\text{Hz}$ であると報告しており⁽⁹⁾、今回の解析では、我々は波形形状を考慮しながらカットオフ周波数を設定したが、本条件下においても P300 を充分捉えられると考えられる。次にそれぞれのスイッチの配列、標的數字スイッチ呈示位置に関して加算平均法を用い、事象関連電位波形を推定した。

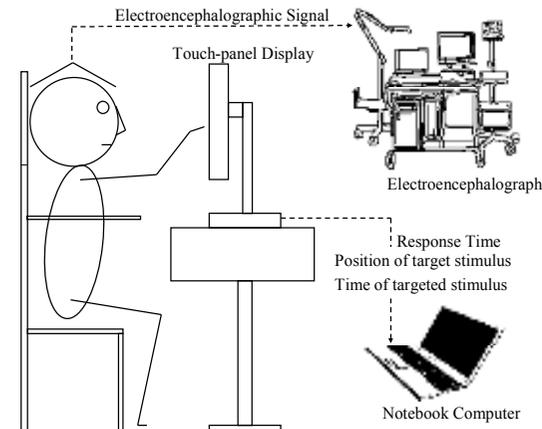


Fig. 2 Measurement system

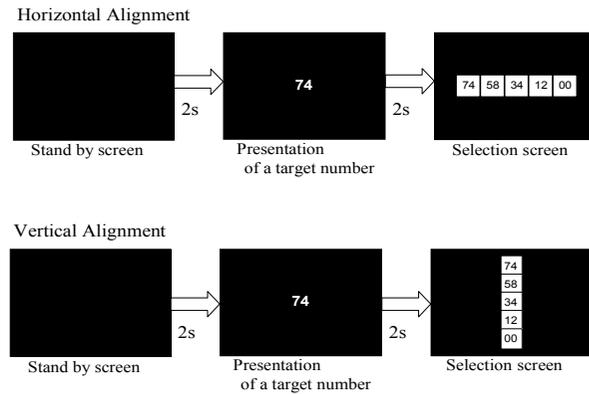


Fig. 3 Display on the screen in the experiment

3. 結果

以下に結果を示す上で、Fig.4 に示すように横配置および縦配置におけるスイッチ位置を番号と対応付けることとした。

まず、スイッチが横配列及び縦配列のスイッチ呈示から選択までの応答時間（9名の平均値及び標準偏差）を Fig.5 に示す。なお、各被験者の応答時間には、全標的刺激に対する応答の平均値を採用した。

次に横配列及び縦配列における P300 成分の頂点振幅（9名の平均値及び標準偏差）を Fig.6 に頂点潜時を Fig.7 にそれぞれ示す。ここで、頂点振幅及び頂点潜時は、各被験者において対象となるスイッチが選択された際に計測された事象関連電位の加算応答波形より算出している。なお、加算回数は、1 スイッチ当たり 28 回である。また、眼球運動の影響を加算平均から除いている。

また、応答波形や P300 成分の頂点振幅及び頂点潜時において、構造模型を(全体の揺らぎ) = (個人差を含めた群間揺らぎ) + (誤差)とし分散分析を行った結果、縦配置におけるスイッチ位置のときのみ有意差が認められた(p<0.01)。

以上の応答波形や P300 成分の頂点振幅及び頂点潜時の棒グラフの上方には、Levene

検定を用い等分散性の検定を行い等分散であったため Tukey を用い多重比較を行った結果を表示している。

最後に、各被験者データにおいて加算回数不足による P300 頂点同定に問題がなかったかどうか検討するため、総加算平均波形（全被験者の全応答加算平均波形(grand average waveform)）を横配列と縦配列に分け、その結果を Fig.8 及び Fig.9 に示す。また、他の部位でも同様な波形になっているか検討するため、正中線上のより近い電極部位として Cz を選択し、Cz における総加算平均波形も Pz の総加算平均波形と同様に Fig.8, Fig.9 に示す。総加算平均波形における加算回数は、1 スイッチ当たり 252 回(28 応答×9 人分)となり、加算波形に混入する背景脳波の影響が低減され、全被験者における傾向を正確に捉えることが可能となる。

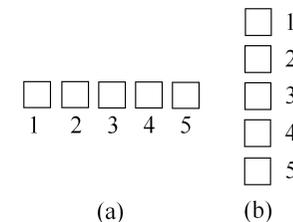


Fig. 4 Correspondence switch position to position number.
 (a) horizontal alignment, (b) vertical alignment

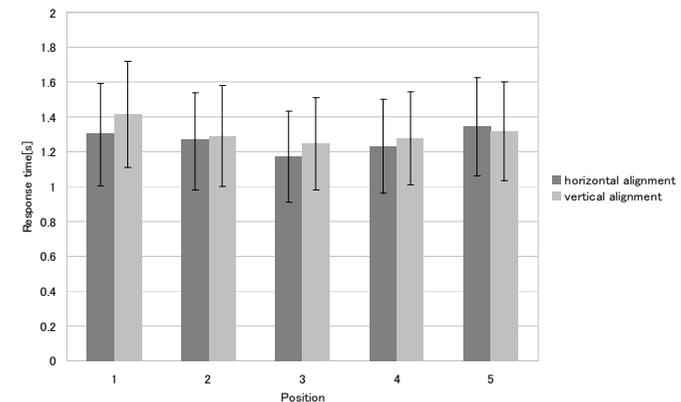


Fig. 5 Response time at a switch position on horizontal and vertical alignment.

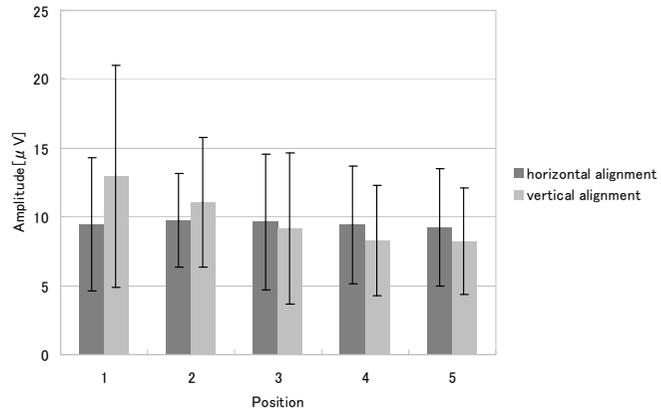


Fig. 6 P300 peak amplitude at a switch position on horizontal and vertical alignment.

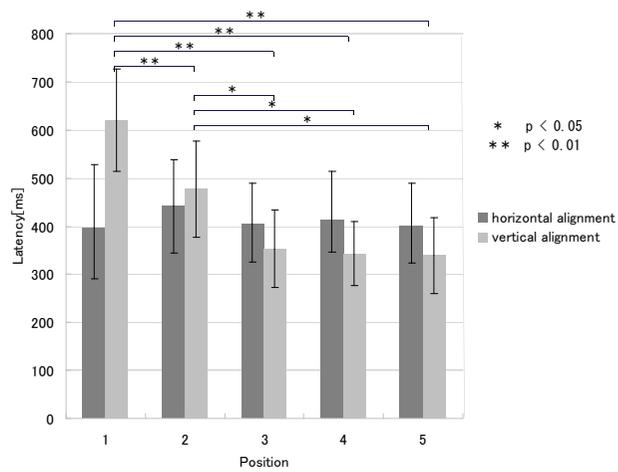


Fig. 7 P300 peak latency at the switch position on horizontal and vertical alignment.

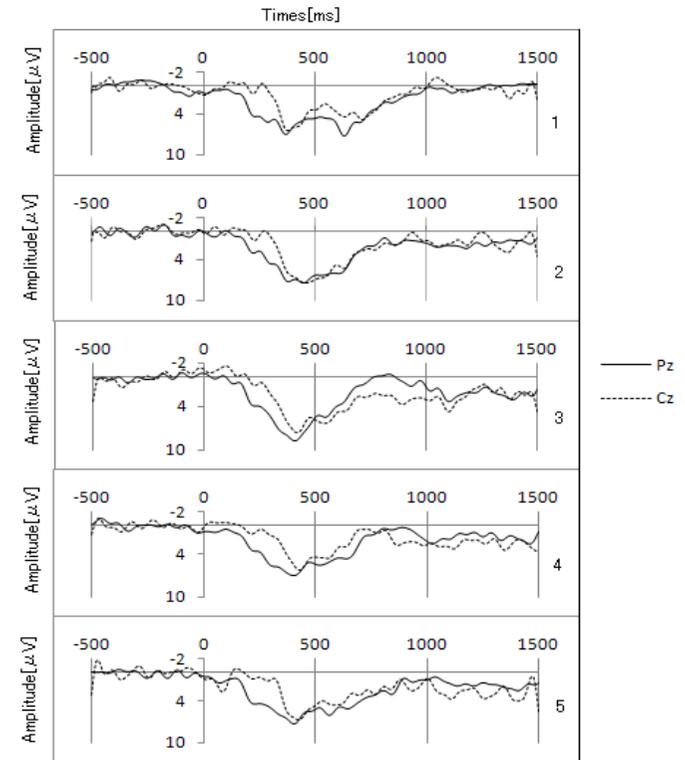


Fig. 8 Grand average waveform on horizontal switch alignment

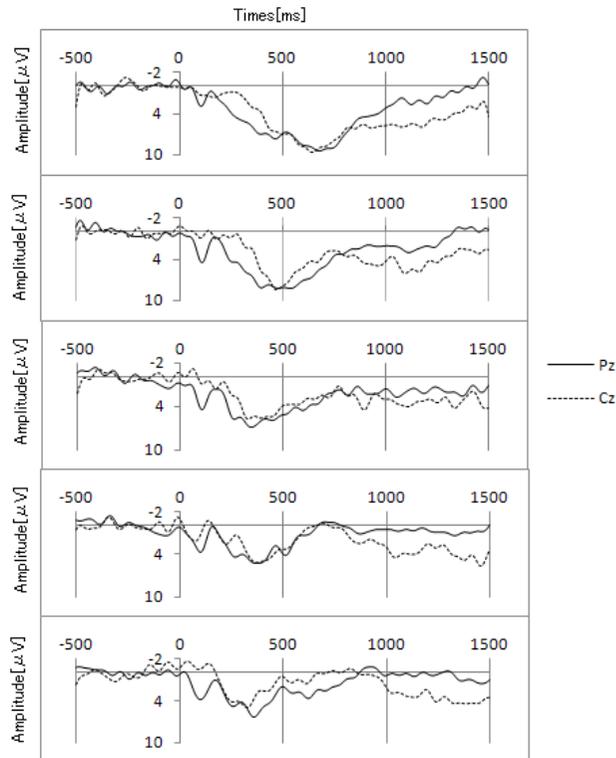


Fig. 9 Grand average waveform on vertical switch alignment.

4. 考察

4.1 応答時間

Fig.5 に示すように、スイッチの配列に関わらず、中央のスイッチで一番早く、左右になるにつれて応答が遅くなる傾向にあった。これは、標的刺激が中央のスイッチと同一の場所に呈示されるため、その後に表示される選択画面でも視線が中央に集中していると考えられるため、発見が容易になるためであると考えられるが、2位置間における有意差は得られなかった。また、全体として横配列における応答時間が縦配列に比べて早いという結果が得られた。応答のばらつき（標準偏差）については、スイッチ位置によ

る違いは認められなかった。

4.2 P300 頂点振幅

Fig.6 に示すように、横配列では、スイッチ位置に関わらず、振幅値はほぼ一定であった。一方、縦配列では、一番上のスイッチで振幅値が大きい結果を得た。また、ばらつきも他の4つのスイッチ位置に比べて大きかった。P300 振幅については、脳内における処理資源の配分の状態を P300 振幅の変化によってモニターしうることが報告されている(10),(11)。すなわちタスクの難易度が高くなるにつれ、配分される処理資源が増え、P300 振幅も増加する。よって、平均的には一番上のスイッチの認識は困難であるが、選択画面において上から標的刺激を探す被験者では、最も気付きやすいと考えられることから、個人差が大きいものと推察される。頂点振幅においても応答時間同様、統計的な有意差は認められなかった。

4.3 P300 頂点潜時

Fig.7 に示すように、横配列では、振幅同様、スイッチ位置による潜時の違いは顕著ではなかった。一方、縦配置において、一番上から2つのスイッチでは、他のスイッチに比べて有意に潜時が延長していた。P300 潜時は、脳内においてスイッチ識別に要する時間を反映していると考えられるため、縦配列において上方のスイッチの識別が困難であり、脳内で時間を要していることを示している。また、Pzにおいて Fig.8 の位置1の650ms付近、Fig.9 の位置1の500ms付近においてピークが見られるが、他の部位(Cz)でも解析を行った結果 P300 ではないと考え頂点潜時を P300 と判断した。

5. 結論

本研究では、車内の各種操作スイッチの最適配置の実現に向け、スイッチ操作性を人間の応答時間で、また脳内での認知負荷量を事象関連電位の成分である P300 を用いて評価を試みた。ここでは、その第一歩として、スイッチの配列方向（縦配列／横配列）におけるスイッチ位置と応答時間及び脳内における認知性との関連性について調査した。

スイッチ配列の違いにおいて、横配列ではスイッチの位置に関わらず、応答時間、P300 の頂点振幅及び潜時に違いが認められず、識別における難易度や応答性に違いがないと考えられる。また、縦配列では、中央より上方のスイッチにおいて、応答時間が遅く、P300 頂点振幅が増大、頂点潜時が延長する傾向が見られ、識別が他のスイッチに比べ難しく、時間を要すると考察した。しかしながら、統計的な有意差が認められたのは頂点

潜時のみであった。

今後の課題として、よりデータ数を増やして統計処理における信頼性を向上させること、さらにより現状の車内環境に近づけるために、スイッチを増やした実験を行い、それに伴う結果への影響について検討、今回の実験では注視点を検出する実験をしていないためより厳密な考察を行うために注視点の実験を行う必要がある。また、周辺部位だとP300の同定が困難であるためマッピングを行っていないが将来的な研究として行っていった。

謝辞

本研究は、国立大学法人山形大学と株式会社東海理化電機製作所の包括共同研究契約に基づいて行われました。ここに関係者各位に感謝致します。

参考文献

- (1) Yeo MVM, Li XP, Shen KQ, Wilder-Smith EPV : "Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car deriving?", Safety Science, vol.47, no.1, pp.115-124 (2009)
- (2) Lin CT, Wu RC, Liang SF, Chao WH, Chen YJ, Jung TP : "EEG-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis", IEEE Trans. on Circuit and Sys., vol.52, no.12, pp.2726-2738 (2005)
- (3) 安部大介・中川匡弘 : "脳波のフラクタル性を用いた感性・心理計測",電気情報通信学会技術研究報告.MBE,ME とバイオサイバネティクス", Vol.109, No.50, pp.27-31 (2009)
- (4) Rothkrantz LJM, Horlings R, Dharmawan Z: "Recognition of Emotional States of Car Drivers by EEG Analysis", Neural Network World, Vol.19, No.1, pp.119-128 (2009)
- (5) 池西俊仁・鎌田崇義・永井正夫: 「脳波を用いた車両走行時のドライバの操舵意図識別」, 日本機械学会論文集.C編, Vol.74, No.741, pp.1347-1354 (2008).
- (6) Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., and John, E.R., "evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. Since, 150, 1187-1188 (1965).
- (7) Klobassa D. S., Vaughan T. M., Brunner P. et al., "Toward a high-throughput auditory P300-based brain-computer interface.", Clin Neurophysiol., 120, 7, pp.1252-1261 (2009).
- (8) Takano K, Komatsu T, Hata N et al., "Visual stimuli for the P300 brain-computer interface: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices.", Clin Neurophysiol., 120, 8, pp.1562-1566 (2009).
- (9) Sattar F, Salomonsson G, "Analysis of Event Related Signals Using a Bandpass Filter Bank", Proc. of IEEE Conference on BME, pp.2547-2549 (1992).
- (10) Isreal J. B., Chesney G. L., and Wickens C.D. et al., "P300 and tracking difficulty: Evidence for multiple resources in dual-task performance", Psychophysiology, 17, pp.259-273 (1980).
- (11) Kramer A. F., Christopher D. W. and Donchin E., "Processing of Stimulus properties: Evidence for dual-task integrality", Exp. Psychology Hum. Percep. Perfor., 11, pp.393-408 (1985).