

# 漫然運転状態検出の可能性に関する実験的考察

Experimental Study on a Possibility of Detecting Inattention while Driving

菊地 一範 <sup>\*1</sup>

Kazunori KIKUCHI

本間 亮平 <sup>\*1</sup>

Ryohei HOMMA

若杉 貴志 <sup>\*1</sup>

Takashi WAKASUGI

グエン ヴァン クイ フン <sup>\*2</sup>

Nguyen VAN QUY HUNG

岡村 宏樹 <sup>\*2</sup>

Hiroki OKAMURA

菊池 弘一 <sup>\*2</sup>

Hirokazu KIKUCHI

畠山 善幸 <sup>\*2</sup>

Yoshiyuki HATAKEYAMA

## Abstract

We gathered data from experiments in a driving simulator focused on a driver's steering and pupils to determine if there were characteristic changes during careless driving. Analysis of the frequency power-spectrum density of the steering angle in response to disturbances to steady steering measured while driving revealed that a peak appears in the disturbance frequency band and that such a trend is most noticeable in the absent-minded state. Furthermore, analysis of the pupils indicated that the pupil diameter is greater when the driver is thinking than in the normal state but smaller in the absent-minded state than in the normal state. Those results suggest that analysis of the steering power-spectrum density in the disturbance frequency band and the changes in pupil diameters with time can discriminate the absent-minded state and thinking state.

## 1. はじめに

昨今の運転支援システムの開発においては、ドライバに煩わしさを感じさせることがないよう、運転中のドライバ状態を推定することで、必要な場面で必要に応じた支援を行う技術の検討が進められている。このようなシステムの一例としては、ドライバの顔向きをモニタリングし、脇見が検出された場合には衝突警報の提示タイミングを早くする技術<sup>1)</sup>が実用化されている。また瞬目などの生理的な指標や、操舵などの運転操作の特徴から、ドライバが眠気を感じているような居眠り状態を推定する技術開発<sup>2)-6)</sup>も盛んに行われている。

他方、事故のドライバ要因においては、脇見や居眠りよりも、漫然運転の占める割合が多い<sup>7)</sup>。漫然運転の定義は様々であるが、居眠りとは区別された運転に集中していない状態として、ドライバ自身は眠気を感じていないがぼんやりとしている状態（以下、「ぼんやり状態」という）や、運転以外のことを考えている状態（以下、「考え方状態」という）などが挙げられる。ぼんやり状態については本間ら<sup>8)</sup>が、考え方状態については安部ら<sup>9)</sup>が、それぞれの状態において、周囲状況変化の見

落としや発見遅れが発生しやすい特徴的な場面が存在することを実験的に明らかにしている。しかしながら、それぞれの漫然運転状態をどのように検出するのか、その技術は確立されていない。

そこで本研究では、実車においても比較的計測が容易なドライバのステアリング操作および瞳孔径の2つに着目し、漫然運転状態時において特徴的な変化が現れるのか、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という）実験により取得したデータを用いて検証した。また、それら2つの指標の時系列変化によって、漫然運転中のドライバ状態を抽出する技術の可能性について考察した。

## 2. DS実験

実験には、日本自動車研究所が所有する全方位視野DSを用いた。以下に実験方法を示す。

### 2.1 参加ドライバ

本実験には、普通免許を有し、通勤等の目的で日常的に運転機会のある、24歳～49歳の男性12名（平均：35.2歳、標準偏差：8.4歳）がドライバとして参加した。なお実験への参加者は、2.5節に記す走行方法等の教示やDSでの運転による酔いなどの本実験で考えられるリスク、また着帽式の

\*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

\*2 トヨタ自動車株式会社 F P 部

アイマークレコーダを装着する必要がある旨の説明を受け、本実験への参加・協力の同意後、DSでの運転を行った。

## 2.2 走行コース

実験には、対面通行の自動車専用道路（車線幅3.5m）を模擬した、単調な直線コース（昼間）を用いた。なお、走行中、自車以外の車両の通行はないものとした。

## 2.3 操舵系への外乱と運転操作環境

走行中は、常にわだちを想定した外乱（10秒周期のsin波形にて、最大1.0Nmの操舵軸トルク）が操舵系に付加されるように設定した。これによりドライバは、車線追従するために保舵する、もしくは周期的に車線内の位置を修正する必要がある。なお、運転中の速度調整は不要（ドライバがアクセルペダルを踏むと、操作量によらず50km/h一定速度で走行する仕様）とした。

## 2.4 考え事の模擬タスク

ドライバの考え事状態を統制するため、実験走行中の一定期間、考え事を模擬するための碁盤目想起タスクを実施した。このタスクでは、ドライバは予め設定した碁盤目（縦3マス×横3マス）を常に思い浮かべ、20秒ごとに聴覚呈示されるマス目番号に碁石を置くイメージを繰り返し、縦・横いずれかの3マスがそろったらその旨を口頭で回答する。本タスクは、運転者の視覚情報処理に影響するとして、内田らの実験<sup>10)</sup>に用いられた。

## 2.5 走行方法と教示内容

各参加ドライバは、2.2節に記したコースを20分間走行した。この間、正常統制、考え方統制、統制なしの3つの走行方法にて運転した。

### 1) 正常統制走行

走行開始からの3分間は、前方をよく見て、可能な限り集中して運転する。

### 2) 考え事統制走行

正常統制終了後の5分間は、2.4節に記した考え方の模擬タスクを行いながら運転する。

### 3) 統制なし走行

考え方統制終了後の12分間は、できるだけリラックスして運転する。また“ポン”という合図（電

子音）が聞こえたら、“運転に集中していたか否か”と“眠気を感じていたか否か”を口頭で回答する。

## 2.6 計測項目

### 1) ステアリング角

外乱に対するドライバの対応として、DS運転台上のステアリング角を120Hzで計測した。

### 2) 瞳孔径

アイマークレコーダ（EMR-8B）を用い、瞳孔の大きさを30Hzで計測した。

### 3) 状態申告

統制なし走行においては、90秒間隔で“ポン”という電子音（ぼんやり状態では聞き逃す可能性がある小音）を提示し、2.5節に記したように、電子音に気付いたらドライバから“運転への集中”と“眠気”それぞれの有無の回答を得た。これらの回答の組み合わせにより、Table 1に示す4つのドライバ状態に区分した。データの解析においては、眠気はないが運転に集中していなかった場合をぼんやり状態と位置付けた。

### 4) 状態確認

本実験前に行った予備実験の結果、考え方統制走行時にドライバが眠気を感じることや、統制なし走行時にドライバが自発的に運転以外の考え方をしてしまうことなど、状態統制がなされないことが懸念された。そこで走行終了後に、考え方統制時の眠気の有無、正常統制時および統制なし時の自発的な考え方の有無を、参加者へのインタビューにより確認した。

Table 1 Classification of Driver's Replies

		concentration on driving	
		Yes	No
drowsiness	No	normal	absent-mind
	Yes	keeping awake	doze

## 3. 結果と考察

### 3.1 ドライバ状態とステアリング角との関係

ドライバごとに、正常状態（normal）、考え方状態（mind-distraction）、ぼんやり状態（absent-mind）それぞれの場合の走行データを用いて、ステアリング角の周波数パワースペクトル密度（PSD）を解析した。

解析結果の例として、1名のドライバの状態ごとの0Hz～0.5Hzの範囲のPSD値をFig. 1に示す。

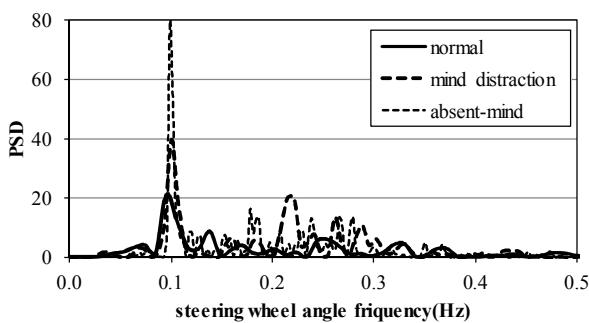


Fig. 1 A Result of Steering Wheel Angle PSD Analysis

ドライバ状態によらず、0.1Hz帯にピークが現れており、他のドライバにおいても同様の傾向がみられた。実験では、10秒周期のsin波でステアリング軸に外乱を与えており、ドライバ状態によらず、外乱に同期してステアリングが動いていたことを示している。また、全ドライバの状態ごとの0.1Hz帯のPSD値を比較したところ、ぼんやり状態におけるPSD値は、正常状態よりも顕著に大きな数値を示しており、統計的な有意差も確認された。

以上の結果は、ぼんやり状態では、操舵軸トルク外乱周波数帯のステアリング角の振幅（ステアリング切れ角）が、他の状態と比較して大きくなることを示している。理由としては、ぼんやり状態によるドライバの保舵力低下が考えられ、自車の車線内位置の変動にもその影響が現れていた。

### 3.2 ドライバ状態と瞳孔径との関係

ドライバごとに、それぞれの状態の場合について、平均の瞳孔径を求めた結果をTable 2に示す。

全てのドライバにおいて、考え方状態の瞳孔径は、正常状態よりも大きい傾向がみられ、統計的な有意差が確認された ( $p<0.01$ )。一般的に、暗算の難易度（負荷の大きさ）と瞳孔の大きさには関係があるといわれている<sup>11)</sup>が、運転中においても何かしらの考え方をしている場合には、瞳孔径が大きくなる可能性が高い。

また、覚醒状態と瞳孔径に関しては、正常状態から眠気を感じるまでの間、初期段階で単調な瞳孔縮小があり、その後低周波の大きな揺らぎが発生するといわれている<sup>12)</sup>。本実験の結果においても、ぼんやり状態の瞳孔径は正常時よりも小さい傾向がみられ ( $p<0.01$ )、ぼんやり申告後に居眠りの予兆が現れていたと考えられる。

Table 2 Result of Average Pupil Diameter (1/100mm)

driver	normal	mind-distraction	absent-mind
001	433	—	375
002	380	397	341
003	361	384	333
004	406	427	371
005	592	625	533
006	470	495	467
007	383	429	—
008	491	514	478
009	656	673	614
010	493	—	427
011	482	526	472
012	377	418	339

### 3.3 ドライバ状態検出方法に関する考察

ぼんやり状態や考え方状態では、操舵系外乱に対応するステアリング操作特性や瞳孔径の大きさが、正常状態とは異なることが確認された。本節では、それらの計測値からドライバ状態を検出する手法の可能性について考察する。

ぼんやり状態においては、保舵力低下により操舵軸外乱周波数帯のステアリング角の振幅が正常状態よりも大きくなることにより、外乱周波数帯のPSD値が大きく算出される傾向がみられた。この傾向を時系列変化で確認することができれば、ぼんやり状態を検出できる可能性がある。そこで、走行開始からの経過時間0.1秒ごとに、以前の90秒間のデータを用いて外乱周波数帯 (0.1Hz) のPSD値を求めた。結果の例として、1名のドライバのPSD時間変化をFig. 2に示す。ぼんやり状態の申告が得られた約600秒後以降では、それ以前よりもPSD値が高く推移する傾向が確認できる。すなわち、何かしらの閾値を設ければ、正常状態や考え方状態とぼんやり状態とを識別することが可能となる。ただし、本実験では操舵系への外乱周波数が一定かつ既知であったが故にこのような解析が可能であったのに対し、実車環境で実現するためには、時々刻々変化する操舵系への外乱の強さや周波数のトレンドを分析する技術、もしくは保舵力低下の影響を直接判定する何かしらの方策が必要となる。

またFig. 2には、瞳孔径時間変化の解析結果も示している。ステアリング角PSD値の解析と同様に、各ドライバの実験開始からの経過時間0.1秒ごとに、以前の90秒間のデータを用いて瞳孔径の平均値を求めた。約200秒後からの考え方状態では正常状態よりも瞳孔径が大きく、また約600秒以降

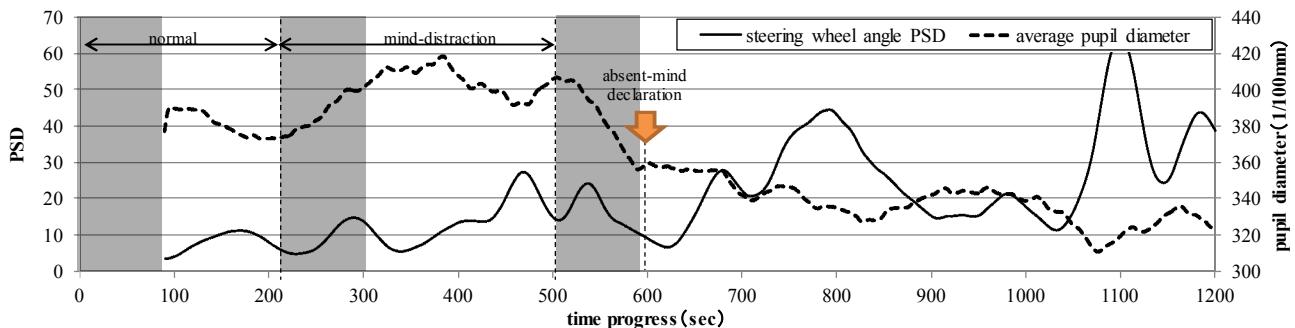


Fig. 2 Dynamic Change of Steering Wheel Angle PSD Value (at Disturbance Frequency Band) and Average Pupil Diameter

のぼんやり申告後には正常状態よりも瞳孔径が小さく推移する傾向が確認できる。近年、非接触式のアイカメラの技術進歩に伴い、実車環境での瞳孔径計測は容易になりつつあり、ドライバ状態検出の実現性は比較的高い。しかしながら、瞳孔径は周囲の明るさに大きく影響を受ける。本実験の前に行った予備実験の結果では、夜間環境を模擬して計測を試みたが、周囲環境が暗くなることによって正常状態での瞳孔径が大きくなり、考え方状態との差異がみられなかった。よって、瞳孔径による状態検出の実現に向けては、周囲の照度などを考慮した手法の考案が重要と考えられる。

#### 4. まとめ

実車においても比較的計測が容易なドライバのステアリング操作および瞳孔径に着目し、漫然運転状態において特徴的な変化が現れるかどうかを、DS実験により取得したデータを用いて検証した。

定常的な操舵系への外乱に対しての操作に関して、ステアリング角の周波数PSDを解析した結果、ドライバ状態によらず外乱周波数帯にピークが現れ、その傾向はぼんやり状態で顕著であった。この理由には、ぼんやり状態によるドライバの保舵力低下が考えられる。また、ドライバの瞳孔径を解析した結果、考え方状態の瞳孔径は正常状態よりも大きく、対してぼんやり状態の瞳孔径は正常状態よりも小さい傾向がそれぞれみられた。

さらに、外乱周波数帯のステアリング角PSD値や瞳孔径の時間変化を解析した結果、閾値を設けることにより、ぼんやり状態や考え方状態を抽出できる可能性が確認された。しかしながら、実車環境に活用するためには検討すべき課題も多く、一層のデータ蓄積と判別手法の検討を進めていく

必要がある。

#### 参考文献

- 1)中越ほか：ドライバの顔向きによる前方不注視の推定と警報反応時間の研究、自動車技術会春季大会学術講演会前刷集, No.58-06, pp.17-20 (2006)
- 2)鎌倉ほか：ドライバの覚醒水準評価をめざした瞬目の分類について、自動車技術会論文集, vol.38, No.4, pp.173-178 (2007)
- 3)関口ほか：眠気出現時の瞬目変化および眠気警報閾値の検討-ドライビングシミュレーター操作とビデオ視聴時の眠気比較-, 自動車技術会春季大会学術講演会前刷集, No.4-06, pp.17-20 (2006)
- 4)鈴木ほか：まばたき変化と操舵特性変化による居眠りによる意識低下状態の検知、自動車技術会春季大会学術講演会前刷集, No.37-07, pp.11-14 (2007)
- 5)近森ほか：ドライバの覚醒度低下による操舵特性の変化、自動車技術会論文集, vol.32, No.1, pp.107-112 (2001)
- 6)江副ほか：操舵特性の変化に基づく覚醒低下検出、自動車技術会春季大会学術講演会前刷集, No.103-10, pp.7-10 (2010)
- 7)イタルダ・インフォメーション、(財)交通事故総合分析センター, No.80(2009)
- 8)本間ほか：低覚醒時におけるドライバの視認行動特性、自動車技術会論文集, vol.42, No.5, pp.1217-1222 (2011)
- 9)安部ほか：ドライバの視覚的な注意に対する認知負荷の影響、日本機械学会論文集(C編), vol.76, No.767, pp.14-20(2010)
- 10)内田ほか：「意識の脇見」を伴う対話時における運転者の視覚情報処理、自動車技術会論文集, vol.36, No.6, pp.217-222 (2008)
- 11)松永：瞳孔運動の心理学、株式会社ナカニシヤ出版 (1990)
- 12)西山ほか：瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価、生体医工学, vol.42-2, pp.212-217(2008)