

## 眼瞼映像解析による反応時間推定の試み

峯山 貴行<sup>†</sup> 松木 裕二<sup>‡</sup> 志堂寺 和則<sup>‡</sup> 植草 理<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

<sup>‡</sup>九州大学大学院システム情報科学研究院知能システム学部門 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

‡‡日産ディーゼル工業株式会社 研究部 〒362-8523 埼玉県上尾市大字 1-1

E-mail: <sup>†</sup>mineyat@brain.is.kyushu-u.ac.jp, <sup>‡</sup>{matsuki, shidoji}@brain.is.kyushu-u.ac.jp,

<sup>‡</sup>‡Osamu\_Uekusa@nissandiesel.co.jp

あらまし 運転者の覚醒水準低下は、反応を遅らせる主原因の一つとされ、交通事故を引き起こすとされている。そのため、これまで覚醒水準低下に関連する様々な指標について多くの研究がなされてきた。しかしながら、それらの指標と反応時間との関係性は明らかになっておらず、反応時間の遅れを推定する手法は開発されていない。反応時間の推定が可能となれば、運転支援分野において非常に有効である。そこで本研究では、覚醒水準低下に伴う反応時間の遅れを推定するために、運転者の眼の開き具合（開眼度）によって覚醒水準を評価し、開眼度と反応時間との関係性を実験的に調査した。

キーワード 覚醒水準, 反応時間, 反応時間の推定, 運転支援, 眼瞼, 開眼度,

## Estimating reaction time by analyzing eyelid image

Takayuki MINEYAMA<sup>†</sup> Yuji MATSUKI<sup>‡</sup> Kazunori SHIDOJI<sup>‡</sup> and Osamu UEKUSA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Department of Intelligent Systems, Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

<sup>‡</sup>Department of Intelligent Systems, Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

‡‡NISSAN DIESEL MOTOR CO.,LTD. 1-1 Ageo-shi, Saitama, 362-8523 Japan

E-mail: <sup>†</sup>mineyat@brain.is.kyushu-u.ac.jp, <sup>‡</sup>{matsuki, shidoji}@brain.is.kyushu-u.ac.jp

<sup>‡</sup>‡Osamu\_Uekusa@nissandiesel.co.jp

**Abstract** A reduction in arousal levels slows reaction times, and slowed reaction times can result in traffic accidents. Despite many studies regarding the criteria for arousal level reduction, the method of estimating reaction times was unclear, as was the relationship between these criteria and reaction time. If the estimation of reaction time was possible, it would be useful for driving support. We therefore developed a new measurement regarding the eyelid, named the 'eye opening rate,' to estimate reaction time, and herein investigate the relationship between the eye opening rate and reaction time.

**Keyword** Arousal Level, Reaction Time, Estimating Reaction Time, Driving Support, Eyelid, Eye Opening Rate

### 1. はじめに

#### 1.1. 覚醒水準の評価

運転者の覚醒水準は、事故と密接に関係している。なぜなら、運転者の覚醒水準が低下した場合、運転パフォーマンスも低下するからである。覚醒水準の低下を反映する指標としては、脳波、皮膚電位、心拍数、瞬目、眼球運動等が考えられるが、個人差や計測時の雑音が大きいといった問題もあり、覚醒水準を表す明確な指標として、実用化には至っていない。

#### 1.2. 閉眼の動作機構

人間は覚醒水準が低下すると必ず閉眼する。山田<sup>[1]</sup>によると、閉眼は、眼球上転の主動筋である上直筋から枝分かれした上眼瞼挙筋の弛緩によって、上眼瞼が下降し眼裂が狭まることで起こる。上眼瞼挙筋は覚醒時には常に緊張・収縮しており、覚醒が低下すると弛緩する。つまり、閉眼は覚醒水準の低下に直結しているといえる。

### 1.3. 研究の目的

本研究では、覚醒水準を評価するための新しい指標を開発する。そのために、閉眼活動に影響される、眼の開き具合（以降開眼度）に着目し、開眼度計測のためのシステムを開発する。

覚醒水準評価のための指標の中でも、眼瞼の1分間あたりの開閉回数で表される瞬目率は計測が容易で古くから用いられている。開眼度を用いた場合、瞬目率を用いる場合と違い、データが連続的であり、単位時間あたりに取得可能なデータ数が多い。また、瞬目では評価が難しい、長期閉眼やマイクロスリープを低覚醒状態として検出することができる。

さらに、本研究では、開眼率と運転パフォーマンスとの関係性の調査も行う。運転パフォーマンスの評価には、運転者の聴覚刺激に対する反応時間を指標として用いる。

## 2. 開眼度計測システム

開眼度計測システムの開発は、MVTEC社製画像処理ソフト HALCON7.1 を用いた。本システムでは、動画像(AVI ファイル)から、各フレームの開眼度を計測する。ここで解析対象となる動画像は、nac社製アイマークレコーダ EMR-8B 付属の赤外線カメラからの映像を外部入力端子経由でビデオテープに録画し、PCで解像度 720×480、フレームレート 30fps の映像としてキャプチャしたものであった。作成した動画像は1cmを約34.7ピクセルで表現するものであった。

開眼度計測処理の流れは、以下ようになっていく。

- ① 計測対象となる動画像を読み込む。
- ② 動画像のフレーム数を取得する。
- ③ 閾値による二値化により瞳孔を取得する。ここで用いた二値化処理は、固定しきい値法であり、最大しきい値と最小しきい値に挟まれた輝度値を持つ領域を抽出するものである。
- ④ 出力輝度テーブルを編集し、出力輝度を変えることで、画像内の中輝度部分を強調する。
- ⑤ メディアンフィルタによりエッジを強調する。メディアンフィルタは、エッジや線の情報を失うことなくノイズのみを除去することができる。
- ⑥ 二値化処理で処理領域を眼領域に限定する。ここで用いた二値化処理は、③で用いたものと同様である。
- ⑦ 上瞼と下瞼のラインをエッジとして検出する。ここで取得したエッジはサブピクセル精度で検出されている。そのため、検出した段階でサブピクセル単位での座標の取得が可能であり、ここで取得した座標を開眼度の計測に用いる。続いて、上瞼のラインに対して、検出したエッジの中で最も縦

座標が小さい点を検出する。さらに、下瞼のラインに対して、検出したエッジの縦座標の平均値を求める。その後、それぞれの縦座標の差を取って、距離  $h$  を算出する(図1)。

- ⑧ フレーム数に応じて、③～⑦の処理をループする。ただし、⑦のエッジ検出は、人間によって、正確に上瞼、下瞼のラインを検出できないことがあった(図2)ので、エッジ検出閾数のパラメータを個々に変える必要があった。

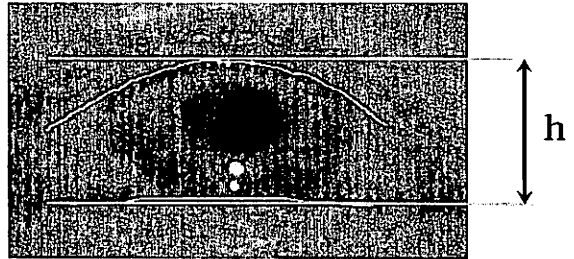


図1 HALCONによる画像処理(成功例)

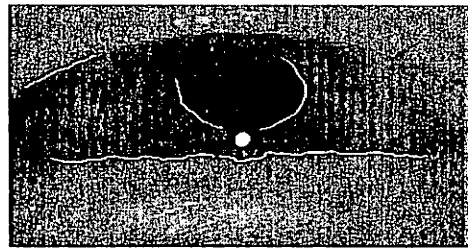


図2 HALCONによる画像処理(失敗例)

## 3. 実験

### 3.1. 目的

測定した開眼度を、覚醒水準評価の指標として用いることの妥当性について調査した。また、開眼度と運転パフォーマンス(運転中の反応時間)との関係性についても実験的に調査した。

### 3.2. 実験手続き

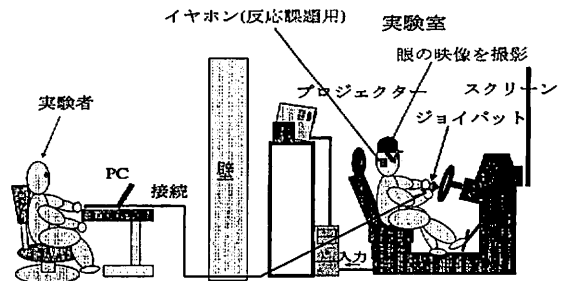


図3 実験環境

実験環境を図3に示す。また実験手続きを以下に示す。

被験者は2名であった。

被験者は、ドライビングシミュレータにて運転を行った。具体的には、前方のスクリーンに映った映像を見ながら、アクセル、ブレーキ操作を行った。ただし、ステアリング操作は行わなかった。

時折、先行車が急停車するので、事故を起こさないように運転するように指示した。

ドライビングシミュレータで再現した模擬運転環境は、高速道路を模した3車線道路であった。

実験中、被験者の眼の映像を撮影しており、実験者は実験室外にてこれを監視した。ここで撮影した動画が、開眼度測定の実験対象となった。

被験者はイヤホンを着用しており、運転中、イヤホンから聴覚刺激(サイン波の音)が聞こえたら手元のジョイパットのボタンを押して反応した。この反応課題に対する反応時間を測定した。

実験開始から15分以上経過した後、初めて実験者の瞳孔が見えなくなる時間が3秒以上続いたら、その時点から反応時間測定を開始した。

反応課題は、反応時間測定開始の時点から、約3分間隔で提示した。

### 3.3. ドライビングシミュレータ

ドライビングシミュレータは、ステアリングホイール、ペダル、スクリーン(縦110cm×横150cm)、プロジェクター、PC、座席で構成されていた。運転者の眼前160cmの位置にスクリーンを設置した。水平面角は約25度、椅子とペダルとの距離は約60cm、床から座席までの高さは約30cmであった。プロジェクターは、床上約160cmの高さに設置し、スクリーンまでの距離は約290cmであった。開発にはDirectX(Microsoft社製)および、VisualC++6.0(Microsoft社製)を用いた(図4)。

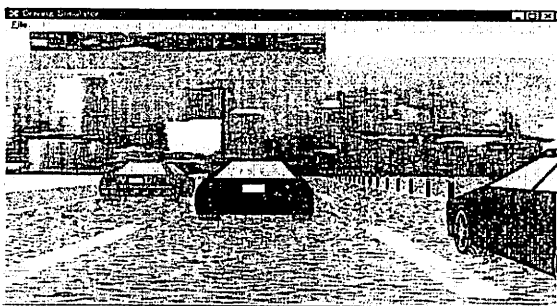


図4 ドライビングシミュレータ映像

### 3.4. データ解析方法

計測した開眼度から開眼率を算出し、各反応課題に

おける開眼率と反応時間との相関関係を調べた。開眼率導出の式を以下に示す。

$$\text{開眼率}[\%] = \frac{\text{反応課題提示前15秒間の平均開眼度}[\text{pixel}]}{\text{実験開始直後15秒間の平均開眼度}[\text{pixel}]} \times 100$$

また、開眼率との比較のために、瞬目率[回/分]も算出し、瞬目率と反応時間との相関関係を調べた。瞬目率は、反応課題提示前15秒間の開眼度の時系列データから目視にて瞬目回数を数え、その値を4倍して求めた。

### 3.5. 結果と考察

図5~8は、各被験者の「反応時間と開眼率」、「反応時間と瞬目率」との対応を表したものである。また、被験者Aの、反応時間が長い時と短い時の、刺激提示前15秒間の開眼率変化の時系列データを図9,10に示す。さらに「反応時間と開眼率」、「反応時間と瞬目率」のそれぞれについて、相関係数を求めた。その結果、被験者Aは、反応時間と開眼率との相関係数は、 $-0.74(p<.05)$ であり、反応時間と瞬目率との相関係数は、 $-0.24(n.s)$ であった。被験者Bは、反応時間と開眼率との相関係数は、 $-0.77(p<.01)$ であり、反応時間と瞬目率との相関係数は、 $-0.01(n.s)$ であった。

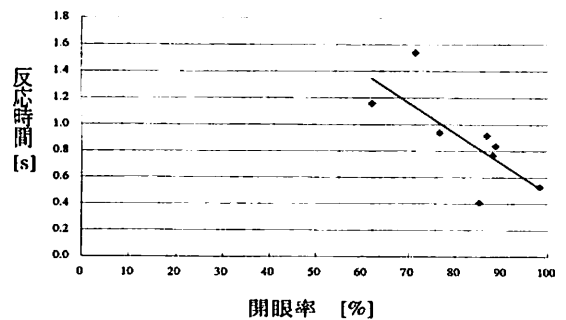


図5 被験者A 反応時間と開眼率

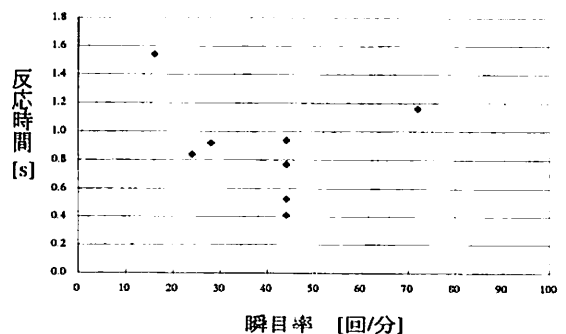


図6 被験者A 反応時間と瞬目率

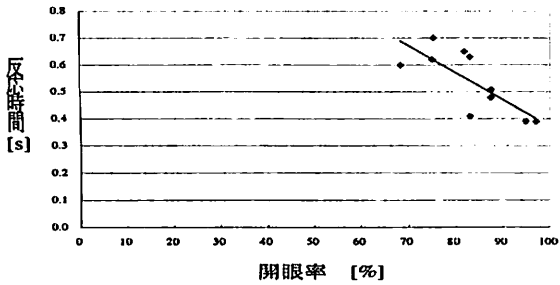


図 7 被験者 B 反応時間と開眼率

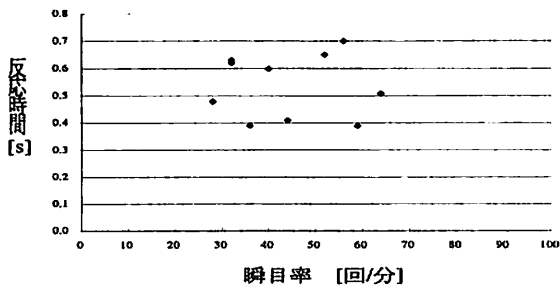


図 8 被験者 B 反応時間と瞬目率

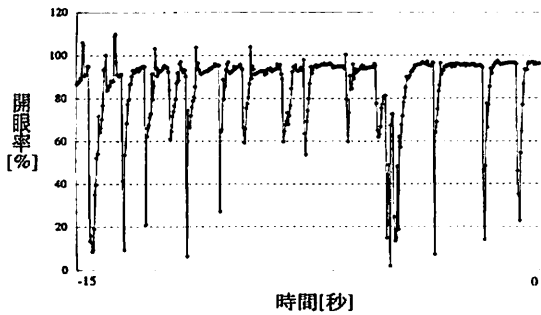


図 9 反応時間が短い時の開眼率の時系列データの例 (被験者 A 刺激前 15 秒間)

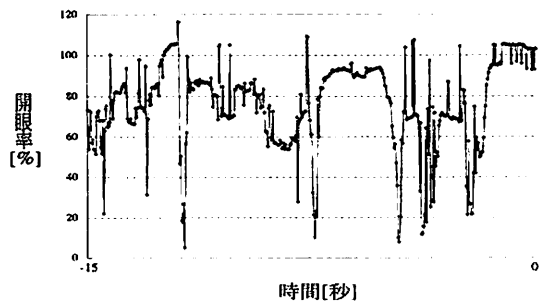


図 10 反応時間が長い時の開眼率の時系列データの例 (被験者 A 刺激前 15 秒間)

各被験者とも反応時間と開眼率との間に有意な負の相関が認められ、開眼率が大きいほど反応時間は短くなることを確認した。これより、開眼率を用いて反応時間を推定できる可能性が示唆された。

また、相関係数を算出することで、開眼率のほうが瞬目率よりも反応時間との関係性が強いことを確認した。図 9, 10 は、瞬目率は変わらないが、開眼率が変わっているデータの一例である。図 10 の時は、反応時間が遅く、この時の動画像を確認すると、長期閉眼やマイクロスリープの状態が表れている。この時に反応課題が重なったため反応時間が遅れたと考えられる。瞬目では、長期閉眼やマイクロスリープの状態の把握が困難であったため、開眼率よりも反応時間との関係性が弱くなったと考えられる。

本実験では被験者が 2 名と少ない。今後は、被験者を増やす必要がある。また、今回、オフラインで開眼率の算出を行ったが、今後、リアルタイムに開眼率を算出し、反応時間の推定・評価を行う予定である。しかし、開発したシステムでは、1 フレーム当たりの処理時間が約 0.4 秒と非常に遅い。今後は、リアルタイム処理を考え、処理時間の短縮のために解析アルゴリズムの改善を行っていく必要があると考える。

#### 4. まとめ

本研究では、眼の開き具合 (開眼度) から算出した開眼率と、反応時間で評価した運転パフォーマンスとの関係について調査を行った。その結果、開眼率と反応時間との間に有意な相関関係があることが分かり、開眼率による、運転者の反応時間推定の可能性が示唆された。また、開眼率のほうが瞬目率よりも、運転パフォーマンスとの関係性が高いことが分かった。

#### 文 献

- [1] 山田富美男, “瞬目活動,” 人間計測ハンドブック, 齊田, 赤松他, pp.119-127, 朝倉書店, 東京, 2003.