

デスクワーク時における 瞬目に基づく疲労蓄積の検出と 適切な休憩タイミングの提示

東川 知生^{†1} 山本 景子^{†1}
倉本 到^{†1} 辻野 嘉宏^{†1}

PCを用いたデスクワークでは、適切なタイミングで効果的な休憩を取ることが作業効率上望ましいが、個人差や作業環境により個々人の適切な休憩タイミングは異なる。また、強制的に休憩を与えても、休憩を取らされるという感覚に抵抗を覚え、効果的な休憩が取れない可能性がある。そこで本論文では、作業中の累積瞬目数からユーザの疲労蓄積を検出し、最適な休憩タイミングを作業に影響を与えないモデルで提示することにより、自発的に休憩を取るよう誘導する手法を提案する。累積瞬目数と休憩タイミングとの関係を調査する目的で行った実験の結果、累積瞬目回数の偏差が、休憩タイミングの検出に役立つ可能性があることがわかった。

Detecting fatigue by eyeblinks and Representation of proper timing to take a break in desktop working environment

TOMOKI TOKAWA,^{†1} KEIKO YAMAMOTO,^{†1}
ITARU KURAMOTO^{†1} and YOSHIHIRO TSUJINO^{†1}

To maintain good performance in the desk work using a PC, it is recommended to take a break at a proper timing. However, scheduled and forced breaks can not give effective rest as the proper timing is vary with the individuals and environments. In this study, we propose a system that leads a worker to take a break at his/her proper timing. In order to determine the proper timing of taking a break, the system uses the cumulative number of eyeblinks as the index for the accumulated fatigue. The system produces the alarms and sounds of making coffee to lead workers taking a break naturally and actively. As some results of experiments, we found that the deviation of the cumulative number of eyeblinks can be useful to detect the proper timing.

1. はじめに

近年、多くのオフィスワーカーがVDT(Visual Display Terminals) 機器を使用した作業を行っており、この作業は1日に行うデスクワークの大半を占めている。そのため、オフィスワーカーにとってオフィスは単に仕事を行う場であるだけでなく、健康で快適に作業を行える場であることが重要となってきた。そこで、厚生労働省ではオフィスワーカーの心身の負担を軽減するためのガイドラインとして、「一連続作業時間が1時間を越えないようにする」、「連続作業と連続作業の間に10~15分の作業休止時間を設ける」ことを定めている¹⁾。しかし、このガイドラインは一般的な指標であり、個人差や作業環境によって休憩を取る最適なタイミングは変化すると考えられる。また、オフィスワーカーにとって作業時間は限られているため、作業中に取れる休憩時間は短い。そのため、効果的な休憩が取れないと、その短時間で疲労が解消できない。よって、オフィスワーカー個々人が疲労を感じるタイミング(以降、このタイミングを休憩タイミングと呼ぶ)を検出し、そのタイミングを見計らって休憩を示唆することで、より効果的な休憩を取ることができると考えられる。

しかし、単純に休憩を取る必要がある通知を行うと、強制的に休憩を取らされるという感覚から抵抗を覚え、効果的に休憩が取れない可能性がある。このことから、オフィスワーカーが自発的に休憩を取るよう誘導することが、効果的な休憩を取るためには重要となる。

そこで本論文では、VDT作業を対象として、外部観測可能な身体的指標をもとに、オフィスワーカーが疲労を感じるタイミングを検出して、そのタイミングで休憩が促されるような提示をする手法を提案する。これにより、オフィスワーカーの心身に疲労感を残さず、かつ、作業効率を損なわないようにすることを目的とする。この目的を達成するために、(1)瞬目回数に基づく休憩タイミングの推定と(2)適切な休憩タイミングを嗅覚と聴覚により提示することで休憩を促す手法を提案する。

2. 休憩タイミングの検出

1章で述べたように、適切な休憩タイミングを提示するには、オフィスワーカーが疲労を感じるタイミングを知る必要がある。そこで、本章ではデスクワークの中で感じる疲労につ

^{†1} 京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

いて調査し、それに基づいた休憩タイミングの検出手法について述べる。

2.1 疲労の分類

文献 2), 3) によると、疲労は以下の 3 種類に分類される。

第一は、急性疲労である。これは、短時間での過大な負荷による疲労を指している。例としては、短距離走後や運動会での綱引き後に感じる疲労が挙げられる。

第二は、亜急性疲労である。これは 1~2 時間の作業継続後に来る疲労を指している。例としては、VDT 作業中に感じる疲労が挙げられる。本論文が対象としている「疲労」はこれにあたる。

第三は、慢性疲労である。これは以前の作業による疲労が回復されずに、次の作業に従事することで蓄積された疲労を指す。

急性疲労と亜急性疲労は一過性のものであり、疲労による心身の状態変化が起こっても、その初期段階において適切に休憩を入れることで元の状態に戻ることができる。一方で、それらの過剰な蓄積によって発生する慢性疲労の回復は非常に困難であり、疲労による心身の状態変化が進行し、障害にいきつく場合がある。

このことから、オフィスワーカーの心身に疲労感を残さないようにするためには、休憩タイミングにおけるオフィスワーカーが感じる亜急性疲労を蓄積しないよう、それを感じたところで休憩を促すことで達成できると考えられる。

2.2 休憩タイミングの検出

次に、疲労時における身体の変化について述べる。文献 2), 3) によると、主に、顔・眼・口・姿勢について表 1 のような変化が現れることが知られている。計算機を用いて休憩タイミングを測ることを考えると、外部からの変化が明らかなものが望ましい。表 1 の中で外部からの変化がわかりやすいものには、「瞬目回数の変化」と「口があいている」が挙げられる。しかし、「口があいている」要因には、発話や呼吸など疲労以外の要因が数多く存在し、それらを区別するのは難しい。そこで、疲労の検出に瞬目回数の変化を指標として用いることとした。3 章で、瞬目回数の変化と休憩タイミングとの関係について検討する。

3. 瞬目と休憩タイミングの関係

VDT 作業時における瞬目と休憩タイミングとの間にある関係を明らかにすることを目的とする実験を行った。

3.1 実験環境

本実験は、一般的に使われる PC とキーボード、デジタルビデオカメラを用いて行った。

表 1 疲労時における身体の変化^{2),3)}

Table 1 Characteristics of a person when tired^{2),3)}

顔	表情運動の不活発 眼の周囲、前額部の浮腫
眼	瞳孔サイズの変化 目が細くなる 眼球運動の変化 瞬目回数の変化
口	あくび 口があいている
姿勢	頭部の前傾 もたれかかったような傾坐位

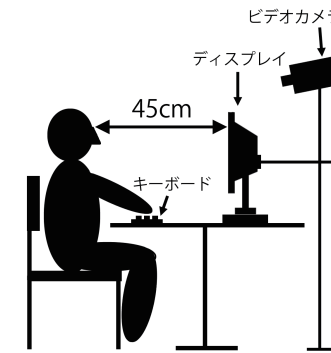


図 1 実験環境

Fig. 1 Experiment environment

ディスプレイは対角 19 インチ型のものを用いた。被験者とディスプレイ間の距離は約 45cm とした。図 1 に実験環境の様子を示す。

被験者は正常あるいは眼鏡などで矯正された視力を持ち、日常的にコンピュータで作業を行っている 20 代の大学院生 8 名である。

3.2 タスクと手順

本実験では、VDT 作業における疲労を観察するため、作業時間を一般に疲労を感じると考えられる時間より長い 3 時間とし、一切の休憩を挟むことなくタスクを行わせた。3 時間 VDT 作業として取り組めるタスクとして、被験者が普段から行っている英語の翻訳作業を

選んだ。

まず被験者に、実験前日は十分な睡眠時間を確保するよう指示した。そして実験直前に、各被験者にディスプレイとキーボードを普段コンピュータで作業を行う時の位置に調節させた。また、実験中は席を立たないこと、できるだけ集中して作業に取り組むことを被験者に指示した。次に、実験者の実験開始の合図の後タスクを開始させた。その後実験終了までの間、被験者が疲れたと感じた瞬間に、その旨を実験者に向けて発話するように指示した。実験者はこの発話が発生した時刻を記録した。この発話が発生した時刻は亜急性疲労を被験者が感じた時刻と考えられる。よって、休憩タイミングはこの発話が発生した時刻の直前付近が望ましいと考えられる。以降、この発話を疲労合図と呼ぶ。また、瞬目はカメラから取得した被験者の映像をもとに、実験者が回数を数え上げた。

3.3 結果と考察

実験の結果、8名中7名が実験中に疲れを訴えた。分析には、疲れを訴えなかった1名を除いた7名のデータを用いた。

3.3.1 瞬目の頻度

図2に時間経過における瞬目頻度の変化の一例を示す。図2のグラフの縦軸は60秒(1分)ごとの瞬目の回数を指し、グラフ内の矢印は疲労合図があった箇所を示している。以降の図で、グラフ内の矢印は疲労合図があった箇所を、数字はその発生した時刻[秒]を示している。

大島ら^{2),3)}は、疲労は蓄積するにつれて瞬目の頻度が常に増加、もしくは常に減少する傾向となると述べている。しかし、図2が示すように、全被験者とも瞬目の頻度の推移において疲労合図があった時刻の前後に、瞬目の頻度が常に増加もしくは常に減少する傾向が見られなかった。このことから、瞬目の頻度を単純に用いるだけでは、休憩タイミングを検出することは困難であると考えられる。

3.3.2 瞬目の累積回数

休憩タイミングを抽出できる可能性のある他のパラメータを得るため、実験の様子を録画したビデオを精査した。その結果、全被験者とも、瞬目と瞬目の間隔が短い区間と長い区間がそれぞれ存在した。そこで、前項のように60秒間の瞬目回数を見るのではなく、瞬目の発生頻度の変化にあたる、累積瞬目数の変化に着目した。図3にある被験者の累積瞬目数の変化の一例を示す。縦軸は累積瞬目数を指す。図3が示すように、全被験者とも上昇のしかたが一定であるとは言えないことがわかった。

そこで、この累積瞬目数の変化を見やすくするために、一定の割合で累積瞬目数が増

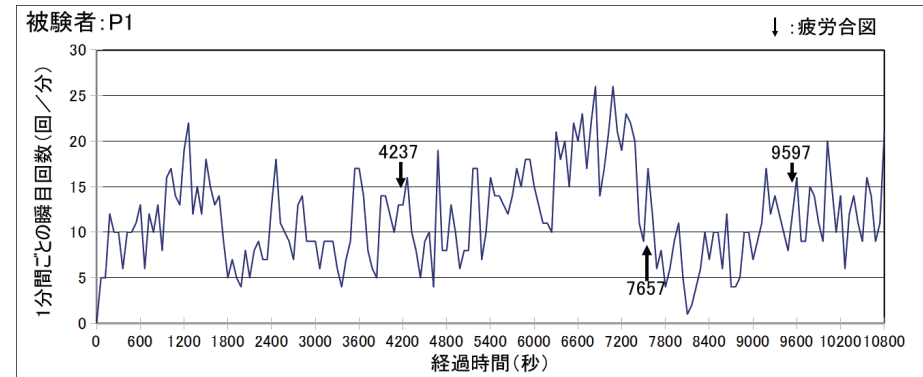


図2 被験者 P1 の瞬目の頻度の変化

Fig. 2 Frequency of the eyeblink of participant P1

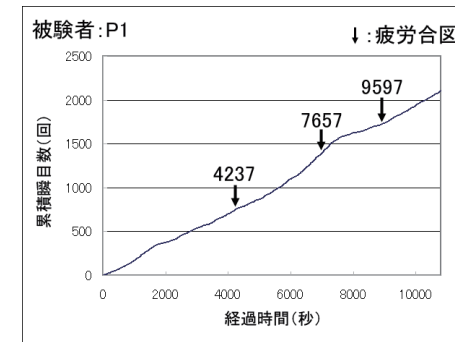


図3 被験者 P1 の累積瞬目数の変化

Fig. 3 The cumulative number of eyeblinks of participant P1

加していく場合との差をみる。そのために、「ある時刻 t [秒] までの実際の累積瞬目数」と「ある時刻 t まで一定の割合で上昇していくと仮定した場合の累積瞬目数」の差を次式の $\Delta C(t)$ で表す。この式において、 $C(t)$ はある時刻 t までの実際の累積瞬目数を表す。 T は評価期間全体(本実験においては、3時間 = 10800[秒])を表す。

$$\Delta C(t) = C(t) - \frac{C(T)}{T} \cdot t \quad (1)$$

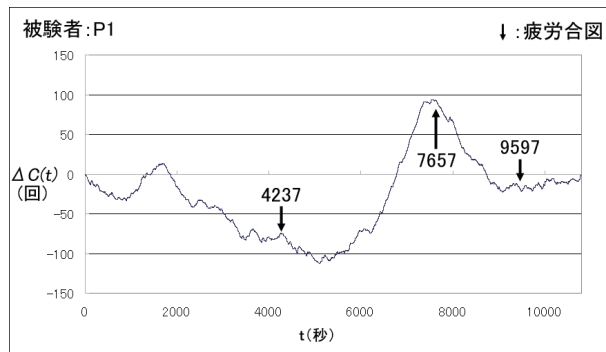


図4 被験者 P1 の $\Delta C(t)$ ($T = 180$ [分]) の変化の様子
Fig.4 $\Delta C(t)$ ($T = 180$ [min]) of participant P1

図4に $\Delta C(t)$ の変化の一例を示す。

その結果、全被験者ともグラフの山または谷付近に疲労合図が位置していた。

このことから、一定割合での上昇に対する瞬目の累積瞬目数の微分値が正から負、または負から正に変化する瞬間と疲労合図が起きる時刻とが一致していると考えられる。

しかし、式(1)は式内にタスク終了までの累積瞬目数 $C(T)$ が含まれるため、デスクワークを終えるまで休憩タイミングの位置を特定することができず、実用性がない。そこで、 T の値を5, 10, 30, 60分と変えて傾向がどのように変化するかを調査した。図5に結果の一例を示す。

その結果、図5のように5, 10分などの小さい値の場合では、疲労合図の前後に明らかな波形の山または谷は現れなかったが、30分以上の値の場合では、疲労合図の前後に波形の山または谷が現れた。図6に全被験者の $T = 30$ [分]とした $\Delta C(t)$ の変化の様子を示す。このことから、式(1)の T を30分とにおいて、波形の山または谷を検出すれば、30分以降の休憩タイミングを検出可能であると考えられる。

4. 休憩タイミングの提示

1章で述べたように、休憩タイミングの提示において、オフィスワーカーに自発的に休憩を取ることを促す必要があり、そのためには、

- (a) 強制的に作業の邪魔をされたと感じさせないこと
- (b) 自然に休憩を取りたいと思わせること

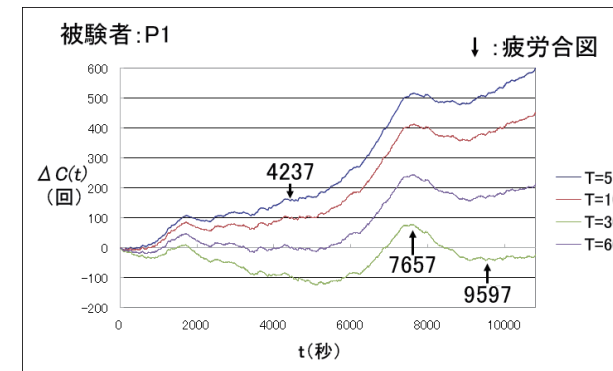


図5 被験者 P1 の $\Delta C(t)$ ($T = 5, 10, 30, 60$ [分]) の変化の様子
Fig.5 $\Delta C(t)$ ($T = 5, 10, 30, 60$ [min]) of participant P1

の2条件が重要である。

VDT作業において、オフィスワーカーに作業に関わる情報の提示手段として、Windowsメッセンジャーにおけるポップアップ通知やデスクトップガジェットによる提示など、視覚を用いる提示手段が普及している。しかし、VDT作業で主に使用する視覚を利用した提示は、オフィスワーカーの注意を引きつけてしまうため、現在の作業の邪魔になってしまう場合が多く、上記の条件(a)を満たさない。そこで、VDT作業に使わないと考えられるモデルである嗅覚と聴覚の利用を考える。

これまでも視覚以外のモデルにより、オフィスワーカーの邪魔をすることなく休憩を示唆する提示手法として、光の照度、香り、音楽を提示する手法⁴⁾やオフィスワーカーの心身の状態に合わせて椅子を振動させる手法⁵⁾が提案されている。しかし、これらの手法は単に休憩タイミングを提示するだけであり、先の条件(b)を満足しない。つまり、条件(b)について考える必要がある。自然に休憩を取りたいと思わせるには、休憩を取るように他者が指示するのではなく、オフィスワーカー自身が休憩を積極的に取ろうと考えるように、ユーザを誘導することが望ましい。そこで、一般的にオフィスワーカーが休憩時に取る行為として考えられる、コーヒーを飲むという行為に着目する。コーヒーの沸き立つ音や香りによる提示は、単なる合図ではなくオフィスワーカーにコーヒーの存在を知覚させる。そのことにより、コーヒーを飲みたい、つまり、休憩を取りたいという方向へユーザの意識を向けることができると期待される。

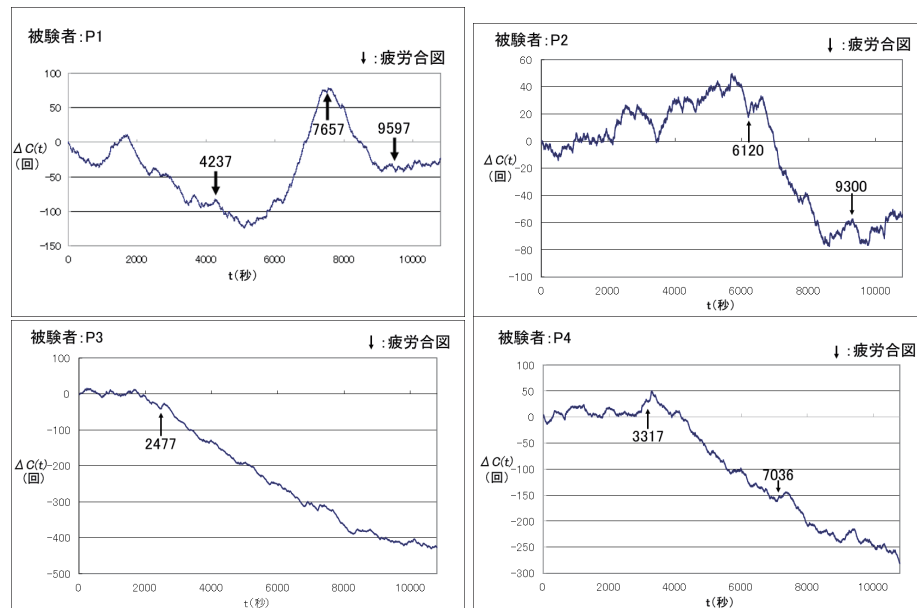


図 6 被験者 P1-P7 の $\Delta C(t)$ ($T = 30$ [分]) の変化の様子 (続く)
Fig. 6 $\Delta C(t)$ ($T = 30$ [min]) of participants P1-P7 (continued)

以上のことから、休憩タイミングの提示にコーヒーマーカーを利用した手法を提案する。図 7 にコーヒーマーカーを利用した休憩タイミングの提示についてのフローイメージを示す。具体的には、まず、オフィスワーカーの瞬目をカメラで測定し、式 (1) をリアルタイムに計算する。その値が上昇あるいは下降を開始した時点でコーヒーマーカーを起動させる。このようにすることで、コーヒーマーカーから発するコーヒーの香りと音がユーザに伝わり、作業の邪魔をせずに、かつオフィスワーカーに「コーヒーを飲みたい」と思わせ、自発的に休憩を取るように誘導する。

5. おわりに

本論文では、疲労を感じるタイミングを検出する外部観測可能な身体的指標をもとに、オフィスワーカー個々人の適切な休憩タイミングを提示することで、オフィスワーカーの心身に疲労を残さず、かつ作業効率を損なわせないように休憩を取らせることを目的とした。そ

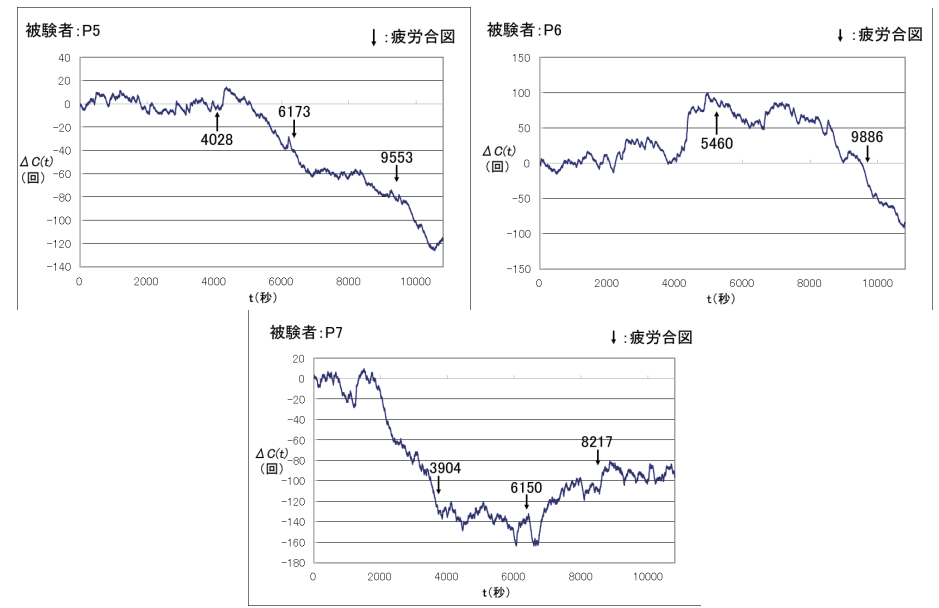


図 6 被験者 P1-P7 の $\Delta C(t)$ ($T = 30$ [分]) の変化の様子 (続き)
Fig. 6 $\Delta C(t)$ ($T = 30$ [min]) of participants P1-P7 (continues)

こで、まず適切な休憩タイミングの検出に関して調査を行い、適切な休憩タイミングに必要な疲労を感じるタイミングと瞬目との関係性を調べるために実験を行った。

実験とビデオ分析の結果、「実際の累積瞬目数の変化」と「一定量で累積瞬目数が上昇していくと仮定した場合の累積瞬目数の変化」との差のグラフの山または谷付近に疲労を感じたタイミングが位置していたことから、このグラフの山および谷ができる時刻と疲労を感じたタイミングとが一致していると考えられる。また、一定量で累積すると仮定した場合の累積瞬目数は、30 分以上経過すれば疲労を感じるタイミングの検出に利用できる可能性があることを示した。

そして、コーヒーマーカーから発するコーヒーの香りを利用することで、自発的に休憩を取るように誘導する手法を提案した。

今後の課題としては、実環境においてオフィスワーカーが疲労を感じるタイミングを正しく検出できるかを評価することが挙げられる。ただし、これを実現するためには瞬目の自



図 7 コーヒーメーカーを利用した休憩タイミングの提示手法

Fig. 7 How to utilize coffee maker to indicate the time of taking a break

動検出が必要となる。瞬目の自動検出については、インテリジェントビジョンセンサを用いた検出手法^{6)–8)} や顔や眼の画像と閉眼時の画像とをテンプレートマッチングを行い、その適合率から検出する手法^{4),9)}、眼の画像のフレーム間の差分から検出する手法^{10)–12)}、黒目の面積から検出する手法¹³⁾、など様々な手法が提案されている。よって、これらの手法を用いることで、今回手動で行った瞬目数の計測を自動化することができると考えられる。また、本論文で提案したコーヒーメーカーを利用することで自発的に休憩を取るよう促すシステムを実装し、その有用性の評価を行うことも挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省: VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン, (<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>), (2002).
- 2) 大島正光: 疲労の研究, 同文書院 (1967).
- 3) 大島正光, 橋本邦衛: 人間と機械の安全, 人間と技術者 (1971).
- 4) 中瀬絢哉, 栗原聡, 森山甲一, 石原靖哲, 大下福仁, 角川裕次, 清川清, 畠中理央, 細田一史: カフェ・ド・ナイダ: アンビエント環境における最適インタラクション推定機構の提案, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2011 論文集, 2211L, pp.459-462 (2011).
- 5) 清川清, 畠中理央, 細田一史, 岡田雅司, 繁田浩功, 石原靖哲, 大下福仁, 角川裕次, 栗原聡, 森山甲一: オーエンス・ルイス - アンビエント環境制御を用いた知的オフィスチェア -, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2011 論文集, 2212L, pp.463-468 (2011).
- 6) 足立和正, 濱田尊裕, 中野倫明, 山本新: ドライバの意識低下検知のための動画画像処理

によるまばたき計測, 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, Vol. 124, No. 3, pp.776-783 (2004).

- 7) 鈴木一隆, 豊田晴義, 宅見宗則, 向坂直久: インテリジェントビジョンセンサを用いた高速瞬目計測装置 (視知覚とその応用, 一般), 映像情報メディア学会技術報告, 社団法人映像情報メディア学会, Vol. 33, No. 45, pp.1-4 (2009).
- 8) 中村芳子, 松田淳平, 鈴木一隆: 瞬目高速解析装置を用いた自発性瞬目の測定, 日本眼科学会雑誌, Vol. 112, No. 12, pp.1059-1067 (2008).
- 9) 尾崎勇也, 今井順一, 金子正秀: 撮影条件の違いに対応可能なまばたき検出を利用したベストショット画像の自動生成, 社団法人映像情報メディア学会, 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, Vol. 62, No. 11, pp.1825-1832 (2008).
- 10) Chau, M. and Betke, M.: Real Time Eye Tracking and Blink Detection with USB Cameras, Boston University Computer Science Technical Report, No.2005-12, pp.1-10 (2005).
- 11) Kohei, A. and Mardiyanto, R.: Real Time Blinking Detection Based on Gabor Filter, CSC Journals, Kuala Lumpur, Malaysia, Vol. 1, pp.33-45 (2010).
- 12) 中村芳子, 松田淳平, 鈴木一隆: 螺旋ラベリングを用いた顔動画像中の瞬き検出法, 画像センシングシンポジウム講演論文集, No. 9, pp.501-506 (2003).
- 13) 宮川智文, 高野博史, 野尻智弘, 中村清実: 黒目の面積測定による非接触型リアルタイム瞬き検出装置の開発, 社団法人電子情報通信学会, Vol. 103, No. 730, pp.61-66 (2004).