

ドライアイ予防のための意識的瞬目促進システムの開発

橘 由翔[†] 福原 義久[†]

[†] 武蔵野大学データサイエンス学部データサイエンス学科 〒135-8181 東京都江東区有明 3 丁目 3-3

E-mail: [†]s2322087@stu.musashino-u.ac.jp, ^{††}yoshihisa.fukuhara@ds.musashino-u.ac.jp

あらまし 本稿では、PC の内蔵カメラを用いた意識的瞬目促進システムを開発し、その有効性を検証した。従来、人間の瞬目すなわちまばたきの頻度は 1 分間に約 15 回とされているが、デジタルデバイス使用時には 4~7 回/分まで減少するといわれている。瞬きを怠ると、涙液層が不安定となることでドライアイになりやすくなり、結果的に一時的な視力低下を引き起こすといわれている。本方式では、PC の内蔵カメラから得られたユーザーの顔画像から、瞬目をリアルタイムで検出するシステムを開発した。そして適切な瞬目のタイミングを画面上に可視化することで、意識的な瞬目を促す手法を実現し、システム非使用時と使用時の瞬目データを比較することで、システムが瞬目頻度と目の健康に与える影響を考察した。本方式を用いることにより、デジタル機器が普及した現代社会における目の健康維持を目指す。

キーワード 画像認識, 行動解析, UI・UX, HCI

1 はじめに

現代の情報化社会において、PC やスマートフォン、タブレット端末などのデジタルデバイスが急速に普及したことにより、人々は仕事やプライベートの場面で長時間画面を見続ける機会を得るようになった。たとえば、多くのオフィスワーカーが日常的に PC の前に座り、書類作成やインターネット検索、メール応対などの作業を数時間連続で行うことは珍しくない。そのため、デジタルデバイスが人々の生活を便利かつ効率的にする一方で、1 日のうちに目を酷使する時間が飛躍的に増え、瞬目（まばたき）回数が減少し、ドライアイのリスクが高まるといわれている [1]。

2016 年に発表された、我が国における最新のドライアイの定義によると、ドライアイは「様々な要因により涙液層の安定性が低下する疾患であり、眼不快感や視機能異常を生じ、眼表面の障害を伴うことがある」と定義されている。また、ドライアイの診断基準としては眼自覚症状（眼不快感、視機能異常）と涙液異常（目を開けてから角膜上の涙液がドライアップし始めるまでの時間が 5 秒以下）の両方が見られる場合にドライアイと診断される [2]。

これらの定義や診断基準からわかるように、ドライアイという疾患は日常生活や仕事のパフォーマンスに密接に影響しうる問題である。実際にドライアイ症状を持つ人はどの程度なのか。近年行われた日本人の疫学調査によると、40 歳以上の成人では 17.4% がドライアイの症状を抱えていることが判明しているほか、日本眼科学会で報告されたオフィスワーカーを被験者とした別の研究では、全体の 60% 以上がドライアイもしくはその疑いがあるとの結果が報告されている [3] [4]。そのため社会全体で見れば少なくない人数がドライアイによる不快感や視機能低下を経験しており、特に PC を日常的に使う人にとっては他人事ではなく、大きな健康課題のひとつと言えるだろう。

表 1 ドライアイの対策をしている

対策をしているか	人数	割合
している	6	54.5%
特にしていない	5	45.5%

表 2 していると答えた人のドライアイ対策の内容

対策内容	人数	割合
こまめな休憩を取る	5	83.3%
瞬目を意識的に行なう	3	50.0%
その他	3	50.0%

こうした問題に対し、実際にどの程度の人々が具体的な対策を行っているのかを把握するために、我々は普段から PC を利用する機会の多い学生 11 名を対象にアンケート調査を実施した。その結果、表 1 に示すように、何らかのドライアイ対策を行っていると回答したのは全体の約半数にとどまった。また、表 2 によれば、対策を行っている人のうちの半数が「瞬目を意識的に行う」ことを具体的な取り組みの一つとして挙げていることがわかった。約 4 人に 1 人が「瞬目を意識的に行う」と回答したという結果からは、瞬目がドライアイ予防に有効であるという認識は一部に存在するものの、「こまめな休憩を取る」という対策と比較すると、その意識を継続的に保持することが困難であるために実践率が低いこと推測される。

本研究の目的は、「瞬目を意識的に行う」という行為をすべての PC 利用者が継続的に実践できるよう促すシステムを開発し、その有効性を評価することにある。また、本システムでは低コストかつ汎用的なデバイス（Web カメラなど）を用いること、ユーザーの PC での作業を妨げない仕組みを想定している。

2 関連研究

本節では、既存のドライアイを防ぐためのシステム事例、および画像処理を用いた瞬目検出技術に関する先行研究を紹介

する。

2.1 ドライアイ対策システムの既存事例

ユーザーが瞬目を怠ることで生じるドライアイのリスクを軽減するシステムとしては、既存事例がいくつか存在する。その代表例として、日本で開発された Wink Glasses (ウインクグラス) [5] が挙げられる。Wink Glasses は、瞬目の減少によって引き起こされるドライアイや眼精疲労を予防するために開発された、眼鏡型のウェアラブルデバイスである。このデバイスは、一定時間瞬目が検出されない場合にレンズ部分を曇らせることで、着用者の視界を遮り、瞬目を促す仕組みを採用している。これはソフトウェアによるポップアップ通知とは異なり、物理的かつ直接的に視界へ影響を与えるため、ユーザーが作業に集中している状況下でも気づきやすいという特徴がある。

Wink Glasses の開発に関する初期のアイデアや特許出願は 2009 年前後に行われ、2010 年代初頭より実用化と改良が進められてきたとされている。また、メディアや医療関連の展示会などでも紹介され、大学や研究機関と連携してユーザビリティやドライアイ予防効果の検証が一部行われている。視界を物理的にコントロールすることで自然に瞬目を導くという点で、ドライアイ対策システムの一つの選択肢として注目されている。

一方で、Wink Glasses にはいくつかの課題も指摘されている。まず、センサーや制御機構を内蔵する関係上、一般的な眼鏡よりも製造コストおよび販売価格が高くなりがちである。実際、公式ホームページ [5] では価格は 4 万円を超えており、多くの消費者にとっては手が届きにくい水準といえる。また、レンズを曇らせて瞬目を促進するという仕組みは、ユーザーの作業の妨げになる可能性がある。そのため、利用シーンや作業内容によっては装着者に負担を与える場合があり、さらなる改良が望まれている。

2.2 画像処理を用いた瞬目検出技術

画像認識を用いた瞬目検出に関する研究は、近年ディープラーニングなどの機械学習技術の発展とともに多岐にわたるアプローチが報告されている。たとえば、カメラを用いて顔領域を抽出し、目の開閉度合い (Eye Aspect Ratio: EAR など) を算出することで瞬きを定量的に把握する方法が広く検討されている [6]。これは、検出した顔のランドマーク (目元周辺の座標) から形状的な特徴量を計算し、一定の閾値を下回るかどうかで瞬目の有無を判定する仕組みである。また、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いて目が閉じている状態を画像分類的に判定し、連続フレーム中での変化から瞬きを検出する手法も存在し、ドライバーの居眠り防止や人間の疲労モニタリングなど実用的な場面での評価が進められている [7]。さらに、視線推定や人の注視点を推定する技術と組み合わせた研究事例もあり、瞬き検出とあわせて総合的にユーザーの視覚情報を把握する試みも報告されている [8]。

これらの研究を総合すると、瞬き検出の精度向上には高精度な顔および目の検出アルゴリズムが不可欠であり、ディープラーニングによる認識性能の向上や、軽量化・リアルタイム性

の確保に向けたアルゴリズムの工夫が鍵となっているといえる。本稿では、こうした先行研究の成果や実装手法を参考に、画像認識を用いて効果的かつ軽量の瞬き検出機能を設計・開発することを目指す。これにより、ユーザーが気づかぬうちに瞬目が減少する状況をリアルタイムに把握し、適切なタイミングで瞬目を促すシステムを実現できることが期待される。

3 意識的瞬目促進システム

3.1 システム概要

本システムは、PC での作業中に不足しがちな瞬目 (まばたき) を補うことを目的とし、カメラ映像からユーザーの瞬目をリアルタイムで検出し画面表示によるフィードバックを行うことにより、適切な回数の瞬目を促すシステムである。また、本研究における実験用ソフトウェアは MacOS 上で動作するものを試作した。

図 1 は、本システムの全体構成を示している。カメラ映像を取得し、瞬目を検出する一連の処理フローと、フィードバックをユーザーに提示する制御部の構成となっている。なお、それぞれの詳細な機能実装やアルゴリズムの説明は後述する。

3.2 瞬目検出方法

瞬目検出の主な構成要素として、(1) カメラ入力 of 制御と画像前処理を担う OpenCV [9]、(2) 顔および顔部位のランドマーク検出を高精度かつ高速に実行する Mediapipe [10] を組み合わせて用いる。また、開発言語は Python を選択し、Mac 環境上で開発した。

まず、OpenCV を用いて PC の内蔵カメラから動画をリアル

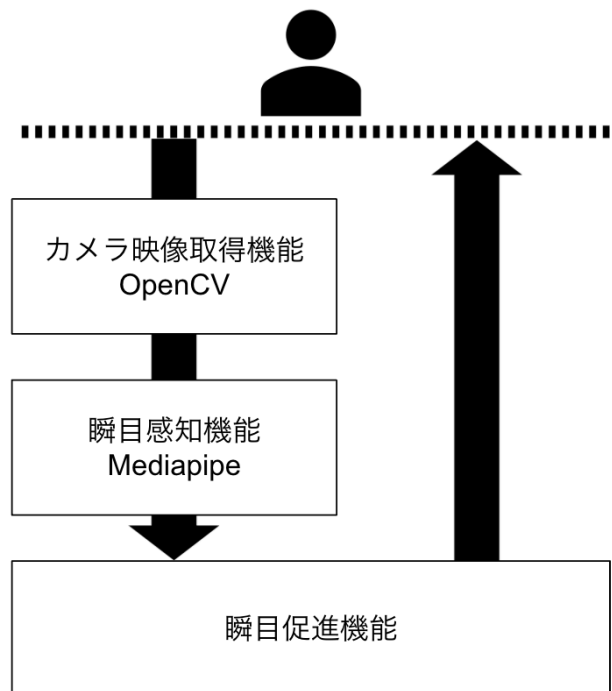


図 1 システム概要図

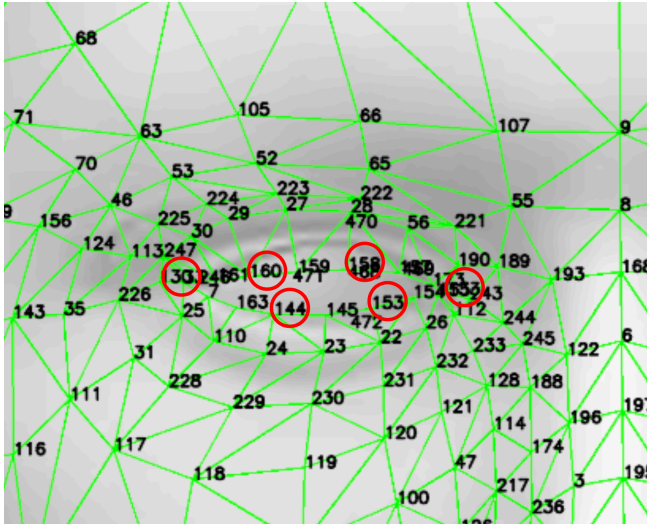


図2 右目のランドマーク ID

タイムに取得する。OpenCV の VideoCapture クラスを用いることで、カメラから得られる連続フレームを取り出し、同じく OpenCV の cvtColor 関数で画像解析モジュール (Mediapipe) に入力できる形式に変換することができる。

続いて、Google 社が提供する Mediapipe の Face Mesh 機能を用いて、顔領域および 478 カ所の 3D ランドマークを推定する [11]。Mediapipe を採用した理由は、CPU による実行環境下でも 30fps 程度のリアルタイム処理が可能なおうえ、高い推定精度が得られることである。これにより瞬目のように一瞬で生じる微細な動作を正確に捉えられる見込みが高まる。

本システムでは、Mediapipe の Face Mesh 機能を用いて得られる顔のランドマーク群のうち、左右の眼周辺 (まぶたの縁・目尻・目頭など) に対応する座標を使用して、まぶたの開閉度合いである Eye Aspect Ratio, (EAR) を算出している。図 2 は、マネキンの顔画像を入力として Face Mesh を実行し、瞼や目尻・目頭など眼周辺に対応するランドマークを表示した画像である。

表示されている各ランドマーク ID は顔全体で 0 番から 467 番まで割り当てられており、それぞれがメッシュ接続 (FACEMESH_TESSELATION) による網目状の線で結ばれている。図 2 に示した赤い丸は、本システムで用いた右目のランドマーク ID である [33, 160, 158, 133, 153, 144] の位置を示している。また、左眼には [362, 385, 387, 263, 373, 380] を用いている。

EAR の算出方法としては T. Soukupová らの研究 [12] で示された以下のような式が用いられる。

$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2 \times \|p_1 - p_4\|}$$

この式における (p_1, p_4) は左右端にあるランドマークであり、 (p_2, p_3, p_5, p_6) はそれぞれ目の上縁と下縁にあるランドマークを示している。そして、 $(\|p_i - p_j\|)$ はランドマーク p_i と p_j とのユークリッド距離を表す。このように水平方向 (目頭～目尻) の距離に対する上下まぶた間の距離の比をとることで、目の開閉度を定量的に把握することができる。



図3 Dock 背景上に表示されるゲージ



図4 ゲージが半分を下回った時



図5 ゲージが 1/4 を下回った時

本システムでは、瞬目検出を開始する前に約 5 秒間のキャリブレーション (初期調整) を行い、ユーザーの目の大きさ・形を考慮した閾値の自動調整を実施する。具体的には、このキャリブレーション中にユーザーの目の状態を複数フレームにわたって取得し、その EAR の平均値を基準値として設定する。本システムでは 1 秒間に 30 回 (30fps) の頻度で EAR を算出し、その値がキャリブレーションで得られた基準値の 85% を下回ったタイミングを瞬きとして判定する。

3.3 瞬目促進機能

ここでは本システムの瞬目促進機能について説明する。まず、1 節で述べたとおり、本システムはユーザーの PC での作業を妨げない構成を想定している。そこで、瞬目促進のためのフィードバックは Mac の Dock 背景に表示することにした。Mac はデフォルトの設定により Dock が画面下部に固定され、他のウィンドウによって隠れることもないため、フィードバック表示領域として有効に活用できる。

次に、本システムで実装している瞬目促進の具体的なフィードバック方法について述べる。本システムでは、図 3 のように Mac の Dock 背景上に一定の速度で減少するゲージを表示し、ユーザーが「必要な瞬目の回数」をひと目で把握できるようにしている。これは人間が無意識に行う瞬目の平均回数 (1 分間に約 15 回) を可視化したものである [13]。したがって、約 4 秒ごとにゲージは 0 まで減少し、ユーザーが目を瞑る (瞬目する) ことでゲージが最大まで回復する仕組みとなっている。さらに、ゲージは減少に合わせて黄色や赤色に変化し、人が無意識でも視界に入りやすいよう工夫してあるため、ユーザーに瞬目を促す効果が期待できる (図 4 図 5)。

4 精度検証

本節では、後述する本実験を行う上で重要となる瞬目検出の精度を事前に把握するため、開発したシステムを用いて実施した検証結果を示す。瞬目検出システムが日常的な様々な環境下でも十分な精度を保つかを検証することを目的とする。

4.1 検証方法

本研究で使用する瞬目検出システムの頑健性を確認するため、

表 3 各環境条件における瞬目検出精度

環境条件	検出率
1. 一般的な環境 (EAR0.448)	100%
2. やや目を細めた状態 (EAR0.366)	100%
3. 眼鏡着用状態	95%
4. 少し暗い環境 (照度 28lx)	99%

以下に示す複数の条件下で 100 回ずつ瞬きを行い、そのうちシステムが正しく検出した回数を割合 (%) として算出した。なお、精度検証は我々自身を被験者とし、行うものとする。

1. 一般的な環境

通常の室内照明を用いて明度を一定に保ち、目の開き具合である EAR が 0.4 以上の、目が十分開いてる状態。

2. やや目を細めた状態

前項と同様の照明条件で、被験者の目を半開き程度（やや細めた状態）にし、EAR0.35 程度にする。

3. 眼鏡着用状態

照明の反射や眼鏡の縁による目領域の一部隠蔽が予想されるため、瞬目の検出精度にどの程度の影響があるかを調べる。

4. 少し暗い環境

室内の照明を落とし、やや暗め（照度 30lx 程度）にした部屋で撮影を行う。

4.2 検証結果

表 3 に、本研究で実施した 4 種類の環境条件における瞬目検出精度を示す。以上の結果から、少なくとも実験を想定する範囲内の環境では本システムが十分実用的な精度で瞬目を検出できるといえる。ただし、眼鏡着用時における検出率が他の条件よりも若干低いことが明らかになった。この点については、被験者の顔向きや照明環境をさらに最適化し、フレームやレンズへの映り込みをいかに低減させるかが課題となる。

5 実験

本節では意識的瞬目促進システムの有効性を検証するために実験を行い、評価を行う。

5.1 実験方法

本実験では、開発した意識的瞬目促進システムの有効性を評価するために、以下の手順で実験を行った。

5.1.1 使用機材・環境

- ・被験者：PC を普段から使うことの多い 20 代から 40 代までの男女 10 名 (A~J)
- ・ハードウェア：MacBook Air 13.6 インチ (2560 × 1664)
- ・ソフトウェア：本研究で開発した意識的瞬目促進システム
- ・室内環境：一般的な室内空間、普段から利用している環境

5.1.2 タスク・条件

本研究では、被験者に対して文章読解タスクおよび動画視聴タスクの二種類の課題を課し、「システム使用条件」と「システム非使用条件」それぞれの条件下における瞬目回数を比較検討

する。

まず、文章読解タスクは PC 画面上に表示した一定量のテキスト（短編の文章や論説文など）を集中して読んでもらう形式とする。読んでもらうテキストは、被験者が興味を持ちやすい内容や読解力を問う内容を選定し、文章量は約 500 文字とする。

次に、動画視聴タスクは YouTube [14] などの動画共有サイトから選定した動画を PC 画面上で 3 分から 5 分視聴してもらう形式とする。ただし、3 分から 5 分の測定データはグラフで可視化するには長すぎるため、比較用のデータとしては、各測定データの中から 60 秒ほどの区間を切り出すこととする。動画の内容としては、ニュース、ドキュメンタリー、娯楽番組など、被験者の興味や集中度に大きな偏りが生じないよう工夫するものとする。

また、検証方法としては瞬目の計測結果をリアルタイムで csv ファイルに書き込み、「システム使用条件」と「システム非使用条件」のデータを比較・分析を行う。

5.1.3 実験手順

1. 実験概要の説明

被験者に対し、本実験で文章読解と動画視聴という二種類のタスクを行うこと、およびタスク実施時に留意してほしい一般的な注意点を説明する。ただし、瞬目の測定を行う旨については詳細に言及せず、被験者が自然な状態でタスクに臨めるよう配慮する。

2. システム非使用状態でのタスク

まずシステムを起動しない状態で、被験者に文章読解タスク・動画視聴タスクを実施してもらう。

3. システムの説明

システム非使用状態でのタスクが完了した後、意識的瞬目促進システムの概要や機能を被験者に説明する。

4. システム使用状態でのタスク

システムを起動した状態で、再度文章読解タスク・動画視聴タスクを実施してもらう。ここでは先ほどと同じ条件（テキストの長さや動画の種類・時間帯など）に寄せ、被験者に同様の手順で取り組んでもらうようにする。

5. アンケート調査

実験終了後に、被験者に対してアンケート調査やインタビューを行い、システム使用時の使いやすさや効果に関する意見を収集する。

5.2 実験結果

本研究で実施した文章読解タスクおよび動画視聴タスクの 2 種類のタスクにおいての、システム使用・非使用それぞれの瞬目回数を計測し、その数値やグラフなど複数の手段で可視化・比較を行った。以下に、各タスクについて得られた結果を示す。

5.2.1 文章読解タスク

まず、複数回実施した文章読解タスク実験の全体傾向を表 4 に示す。表 4 から、被験者間で多少の個人差はあるものの、システム使用時にはいずれも瞬目回数が増加する傾向が確認された。

次に、被験者 A のデータを時系列と共にグラフ化して示す。

表 4 文章読解タスク

被験者	条件	計測時間 (秒)	瞬目回数	1 分あたりの瞬目回数
A	非使用	35	11	18.9
A	使用	33	16	29.1
B	非使用	38	12	18.6
B	使用	37	17	27.6
C	非使用	35	10	17.1
C	使用	36	16	26.7
D	非使用	40	20	30
D	使用	36	19	31.7
E	非使用	39	16	24.6
E	使用	41	19	27.8
F	非使用	46	16	20.9
F	使用	48	20	25
G	非使用	33	20	36.4
G	使用	37	24	38.9

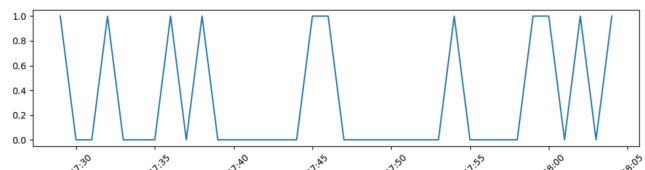


図 6 システム非使用時 (文章読解タスク)

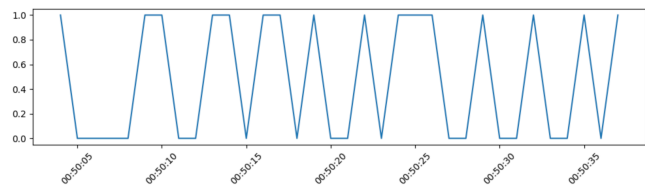


図 7 システム使用時 (文章読解タスク)

図 6 はシステム非使用時の瞬目の変化を時系列で示しており、図 7 ではシステム使用時の瞬目変化を同様の形式で表した。いずれのグラフも、横軸 (x 軸) が時間経過を示し、縦軸 (y 軸) が 1 になった点で瞬目が発生したことを示している。グラフを比較すると、システム非使用時 (図 6) は瞬間的に瞬目を忘れるタイミングが散見されるのに対し、システム使用時 (図 7) では全体を通して一定間隔で瞬目が行われていることがわかる。この結果から、システムによる促しがあることで、被験者が定期的に瞬目をするようになった可能性が示唆される。

5.2.2 動画視聴タスク

次に、動画視聴タスク実験の全体傾向を表 5 に示す。動画視聴タスクでは、計測結果から 60 秒を切り出して比較している。

表 5 に示すように、文章読解タスク同様、被験者間で瞬目回数に若干のばらつきがあるものの、システム使用時にはいずれも瞬目回数が非使用時より高い傾向が確認された。

動画視聴タスクの結果からは、被験者 B のデータを時系列と共にグラフ化して示す。図 8 はシステム非使用時の瞬目の変化を時系列で示しており、図 9 ではシステム使用時の瞬目変化を同様の形式で表した。これらのグラフからも文章読解同様、システムの使用によって瞬目が途絶える時間が短縮されることが

表 5 動画視聴タスク

被験者	条件	計測時間 (秒)	瞬目回数
A	非使用	60	20
A	使用	60	23
B	非使用	60	27
B	使用	60	35
C	非使用	60	24
C	使用	60	27
D	非使用	60	18
D	使用	60	26
H	非使用	60	10
H	使用	60	22
I	非使用	60	14
I	使用	60	25
J	非使用	60	14
J	使用	60	16

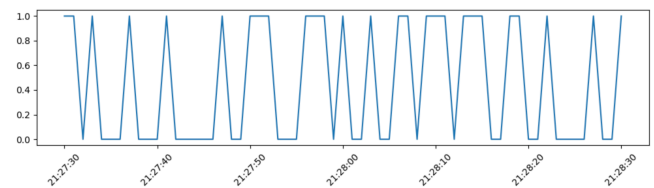


図 8 システム非使用時 (動画視聴タスク)

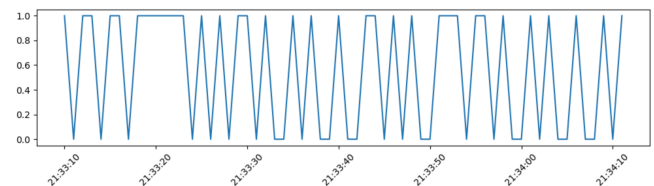


図 9 システム使用時 (動画視聴タスク)

読み取れる。

5.2.3 アンケート結果

文章読解タスクと動画視聴タスクでシステムを使用した被験者から、アンケート調査を実施した。被験者からは、瞬目を意識するあまり「作業に集中しづらい」「焦ってしまう」といった意見が挙がった。また、動画視聴タスクにおいても「動画に集中できない」「Dock 背景の仕様が動画を最大化できないのが不便」という指摘があり、タスクの種類や作業環境によっては、システムが逆にストレスや支障を生む可能性が示唆された。一方、瞬目の促し自体については「まばたきを忘れることがなかった」と前向きに評価する声も一部に見られており、導入の効果と課題が混在する結果となった。

6 考 察

本節では、前章で示した実験結果および被験者からのアンケート回答をもとに、本研究で提案する瞬目促しシステムの有用性と課題点について考察する。システムによる瞬目の促しは一定の効果を発揮しており、被験者の瞬目頻度が増加したことや、被験者自身が瞬目を意識するようになったことが確認され

た。一方で、システムにおける課題点がいくつか見つかった。

まず、実験後のアンケートには「作業に集中しづらい」「焦ってしまう」という意見だ。これは、常に画面上でゲージが表示される状態が心理的なプレッシャーとなり、作業や視聴への集中が妨げられた可能性を示唆している。

この問題を緩和する1つ目の方法として、まずゲージなどのフィードバックを常時表示するのではなく、瞬目が不足していると推定されるときのみ画面表示を開始するなど、状況に応じてシステムによる介入度合いを調節する方法が考えられる。必要なタイミングに限定して表示を切り替えることで、被験者が余計な焦りを感じることを避けながらも、適切な瞬目を促す効果は損なわれにくいだろう。

2つ目の方法としては、システムが返すフィードバックの内容自体を変えることが挙げられる。視覚的な表示だけでなく、音声や振動といった別の形式での通知を組み合わせることで、ユーザーが最も使いやすいシステムを開発することができると考えられる。

次に、「Dock 背景の仕様が動画を最大化できないのが不便」という意見だ。動画視聴時にフルスクリーン表示を行うと、Dock 背景が非表示となるため、本システムが視界に入らなくなり、結果としてシステムの存在が意味を成さなくなる。この問題は、動画に没入したい状況では特に顕著となり、ユーザがフルスクリーンの利用を望むほどに Dock 背景を介したシステムの効果はなくなると考えられる。しかし、現状ではこれを回避する明確な改善策が見つかっていない。したがって、ユーザ体験を損なうことなく瞬目促しを継続させるための技術的または UI/UX 上の工夫を検討し、早急に対処することが求められる。

そして、眼鏡をかけている場合に精度が落ちてしまう点について述べる。考えられる原因としては、(1) レンズやフレームへの光の反射によってカメラ映像が不鮮明になりやすいこと、(2) 眼鏡のフレームが目元を部分的に隠してしまうため、検出アルゴリズムが瞬目を認識できないこと、などが挙げられる。こうした問題を解決するためには、照明条件を適切に調整して反射を最小限に抑える方法や、より堅牢な瞬目検出アルゴリズムを導入するなど、ハードウェアとソフトウェアの両面で改良を試みる必要がある。また、必要に応じてカメラの角度や被験者との距離を工夫することで、フレームが目元を覆うリスクを低減することも検討すべきだろう。特に、眼鏡使用者の割合が高い社会的背景を踏まえると、こうした計測漏れをいかに低減するかは、本システムの実用化に向けた極めて重要な課題であるといえる。

さらに、本実験を通して、被験者が自然に行っている瞬目を正確に計測することが難しいという課題も浮き彫りとなった。瞬目は多くの場合、無意識下で行われるため、実験内容を詳しく話していない状態でも、実験という特別な環境下では被験者が瞬目を意識的に行ってしまう可能性がある。このような測定上の問題は、瞬目促しの効果検証やユーザの自然な行動を捉えるうえで大きな障壁になってしまうため、測定方法にさらに工夫が必要だと考える。

7 おわりに

本稿では、瞬目を促すシステムの有効性を検証するため、文章読解タスクと動画タスクを対象に実験を行い、これらの条件間の瞬目頻度の差を明らかにした。実験の結果、システムの使用によって瞬目回数の増加が確認でき、本システムが目の疲労軽減に貢献する可能性が示唆された。これにより、長時間のデジタルスクリーン利用に伴うドライアイや視力低下といった問題を予防する効果が期待される。一方で、眼鏡着用者において瞬目計測が正しく行われないケースがみられるなど、精度向上に向けた課題も浮き彫りとなった。また、当初想定していた「ユーザーが PC 上での作業を妨げられない」環境を実現するには、介入タイミングや通知方法を改良し、作業への影響を最小限に抑える設計上の工夫が不可欠であることが明らかとなった。今後はより精密な検出アルゴリズムの開発や、使用環境の多様性を考慮した環境条件の最適化に取り組むとともに、ユーザビリティをさらに高めるシステム設計を進めていきたい。さらに、より多くの被験者と様々なタスクを対象とした実験を行うことで、システムの効果をより包括的に評価し、より堅牢なデータを基にした改良を進める必要があるだろう。

文 献

- [1] Michael T. M. Wang, Leslie Tien, Alicia Han, Jung Min Lee, Dabin Kim, Maria Markoulli, and Jennifer P. Craig. Impact of blinking on ocular surface and tear film parameters. *The Ocular Surface*, Vol. 16, No. 4, pp. 424–429, 2018.
- [2] 国立長寿医療研究センター (National Center for Geriatrics and Gerontology, NCGG). ドライアイ患者に関する統計データ. Technical Report No.72, 国立長寿医療研究センター, 2024.
- [3] 日本眼科医会 (The Japanese Ophthalmological Society). 目と健康シリーズ 52 眼精疲労. <https://www.gankaikai.or.jp/health/52/index.html>, 2024.
- [4] 共同通信 PR ワイヤー (Kyodo News PR Wire). 新しい医療技術の導入に関するプレスリリース. <https://kyodonewsprwire.jp/release/201403249281>, 2014.
- [5] Ltd. Takaba Co. Wink glasses. https://www.takaba.co.jp/01product/01winkglasses/wink_glasses01.htm, 2024.
- [6] Youwei Lu. Real-time eye blink detection using general cameras: a facial landmarks approach. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, Vol. 2, No. 5, pp. 1–8, 2023. Received: January 8, 2023; Accepted: September 14, 2023; Published: October 1, 2023.
- [7] Qiang Ji and Xiaojie Yang. Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance. *Real-Time Imaging*, Vol. 8, No. 5, pp. 357–377, 2002.
- [8] Louis-Philippe Morency, Jacob Whitehill, and Javier Movellan. Monocular head pose estimation using generalized adaptive view-based appearance model. *Image and Vision Computing*, Vol. 28, No. 5, pp. 754–761, 2010. Best of Automatic Face and Gesture Recognition 2008.
- [9] OpenCV.org. Opencv – open source computer vision library. <https://opencv.org/>, 2024.
- [10] Google AI Edge. Mediapipe face mesh. https://github.com/google-ai-edge/mediapipe/blob/master/docs/solutions/face_mesh.md, 2024.
- [11] Google Developers. Face landmarker | mediapipe. https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/face_landmarker?hl=ja, 2024.
- [12] Tereza Soukupová and Jan Cech. Real-time eye blink de-

tection using facial landmarks. 2016.

- [13] A. R. Bentivoglio, S. B. Bressman, E. Cassetta, D. Carretta, P. Tonali, and A. Albanese. Analysis of blink rate patterns in normal subjects. *Movement Disorders*, Vol. 12, No. 6, pp. 1028–1034, November 1997.
- [14] Google. Youtube. <https://www.youtube.com>, 2024.