

# 動画視聴における 瞬目促進フィードバック手法の検証

新村温人<sup>†1</sup>

青山学院大学<sup>†1</sup>

ロペズギヨーム<sup>†2</sup>

青山学院大学<sup>†2</sup>

## 1. はじめに

近年、日本における動画配信市場は急速に拡大している。総務省の調査によると、2019年の動画配信市場規模は2,959億円であったのに対し、2023年には5,704億円に達し、4年間で96.2%の増加を示した[1]。さらに、2028年には7,371億円規模に拡大することが予測されており、今後も動画視聴の機会が増加することが見込まれている。このような市場の成長は、動画コンテンツの多様化やストリーミング技術の進歩に支えられているが、一方で、長時間の動画視聴が人々の健康に与える影響が懸念されている。特に、視覚疲労やドライアイの発症リスクの増加が問題視されており、適切な視聴習慣の確立が重要な課題となっている。

VDT (Visual Display Terminal) 作業に関連する健康問題は、長時間のディスプレイ使用により引き起こされる身体的影響の一つとして注目されている。厚生労働省の調査によれば、VDT作業を行う労働者のうち68.6%が身体的疲労を感じており、その中でも「目の疲れや痛み」を訴える割合は90.8%に達している[2]。また、第一三共ヘルスケア株式会社の調査では、テレワーク中の男女において、眼精疲労を感じる割合が女性で22.0%、男性で15.7%であることが報告されている[3]。これらの結果は、長時間のデジタルデバイス使用が視覚健康に悪影響を及ぼしていることを示唆している。

視覚健康の維持には、涙の安定した分泌が重要な役割を果たしている。涙は、目の表面に栄養を供給し、酸化や炎症を防ぐ働きを持つ[4]。また、涙は外部からの異物を洗い流し、目の表面を保護する機能を果たしている。瞬目（まばたき）は、涙を目全体に均等に分配するために不可欠な動作であり、これが不足すると目の乾燥が進み、ドライアイの発症リスクが高まる。しかし、近年の研究では、デジタルデバイスの長時間使用により瞬目の回数が減少し、それに伴い涙液膜の安定性が損なわれることが指摘されている[5]。デジタルデバイス使用時の瞬目頻度の低下は、特に深刻な問題となる。通常、瞬目は1分間に18~22回程度行われるが、パソコンやスマートフォンを長時間使用すると、瞬目回数は1分間に5~7回まで減少することが確認されて

いる。この瞬目減少によって涙液膜の破壊が早まり、目の乾燥や眼精疲労の原因となる。特に、オフィスワーカーやコンタクトレンズ使用者では、涙の膜が5秒以内に乾燥してしまう特徴がある「BUT 短縮型ドライアイ」と呼ばれる症状が報告されている[6]。ドライアイは、日本国内で約2,200万人の患者がいるとされており、年々増加傾向にある。このような現状を踏まえると、デジタルデバイスの使用環境に適した視覚健康対策が求められている。

本研究では、動画視聴中の瞬目減少による健康問題の改善を目的とし、瞬目を促進するシステムの開発を行う。本システムでは、リアルタイムで瞬目の回数を検出し、瞬目の回数が基準値を下回った場合に適切なフィードバックを提供することで、意識的に瞬目を促進することを目指す。具体的には、視覚（フラッシュ、アニメーション GIF）、聴覚（短音通知）、触覚（スマートウォッチの振動）を活用した4種類のフィードバック手法を実装し、それぞれの手法の有効性を比較・評価する。これにより、視聴体験を妨げることなく瞬目を促進する最適な手法を明らかにすることを目的とする。

## 2. 関連研究

本章では、瞬目促進や目の健康、注意喚起に関する先行研究を紹介する。東覚らは、長時間のパソコン作業によるドライアイ軽減を目的とし、瞬目回数を検知して適切なタイミングでリマインドを行うシステムを提案した[7]。本システムは、カメラと MediaPipe ライブラリを活用し、上下まぶた間の距離を基に瞬目を検出する。比較実験では、「10秒間に瞬目回数が2回以下の場合にリマインド」を行う条件が最も効果的であり、瞬目回数の増加や不完全な瞬目の減少が確認された。さらに、長時間の使用においても瞬目の安定化が示され、被験者の評価も高かった。一方でリマインド方法が邪魔だと感じるという意見があり、他の感覚モダリティ（聴覚や触覚など）を用いた比較や評価は行われていない。瞬目の質の改善にはさらなる検証が必要であることが指摘されている。

また、デジタルデバイスの使用による目の健康への影響についても研究が行われている。Irina らは、長時間の画面使用による視覚的・筋骨格的な症状や行動変化を指す「コンピュータビジョン症候群 (CVS)」に着目し、視力低下や目の疲れ、頭痛、首や肩の痛み、注意力の低下といった症状を報告した[8]。特に、デバイスの不適切な使用や照明条

件、長時間の作業、乾燥した環境が主な要因として挙げられており、女性や子ども、スマートフォンの過剰使用者にリスクが高いことが示された。予防策としては、20 分ごとに作業を中断し、20 秒間 6 メートル以上離れた場所を見る「20-20-20 ルール」や、まぶたを閉じて数秒間静止し、その後強く閉じる点滅運動が有効であるとされている。

さらに、瞬目促進に関連する注意喚起の手法についても研究が進められている。Xu らは、視線移動に基づく触覚フィードバック (eyerofeedback) の効果を調査し、触覚刺激によって被験者が自身の視線挙動や注意状態を自覚しやすくなり、特に注意維持が難しい長時間タスクでパフォーマンスが向上することを明らかにした[9]。この研究は、触覚刺激が他の感覚モダリティを補完し、注意喚起を促進する有効な手段となり得ることを示している。

これらの先行研究では、感覚刺激を利用した瞬目促進や注意喚起の効果が多く示されており、それぞれの感覚モダリティが瞬目行動や視覚健康に与える影響が明らかになっている。しかし、異なる感覚モダリティを比較検討する研究は限られており、それぞれの手法の有効性を包括的に評価する必要がある。本研究では、視覚・聴覚・触覚を活用したフィードバック手法を通じて、瞬目促進における最適な刺激方法を明らかにすることを目的とする。本研究の成果により、瞬目不足が引き起こす眼精疲労やドライアイの軽減に寄与し、日常生活に適用可能なシステム設計への新たな知見を提供することを目指している。

### 3. 瞬目促進システムの概要

本研究では、動画視聴中の瞬目回数が減少することによるドライアイのリスクを低減し、視覚の健康を維持することを目的とした瞬目促進システムを開発した。本システムは、Python を用いた瞬目検出アプリケーションを基盤とし、リアルタイムで瞬目を計測し、適切なフィードバックを提供することで瞬目を促す。以下に、本システムの構成や実装の詳細について述べる。

#### 3.1 瞬目促進システムの概要及び提案手法

本システムは、動画視聴時の瞬目回数を計測し、基準値を下回った場合にフィードバックを提示することで瞬目を促進する。具体的には、Python を用いて開発したアプリケーションが、カメラを通じて瞬目を検出し、視覚・聴覚・触覚を用いたフィードバックを行うことで、ユーザの瞬目行動を誘発する。本研究では、瞬目促進の手法として、画面フラッシュ、アニメーション GIF、短音通知、スマートウォッチの振動の 4 種類を実装し、それぞれの効果を比較することを目的とする。

#### 3.2 瞬目促進システムのハードウェアの構成

本システムの開発および実験には、以下のハードウェア

を使用した。

##### (1) 瞬目検出用デバイス

実験環境では、NEC 社製の「LAVIE Direct PM」ノート PC を使用する[10]。本デバイスは、第 11 世代の Intel Core i7-1165G7 プロセッサ(基本クロック周波数 2.80 GHz)、16GB メモリ、512GB SSD ストレージを備えており、軽量で持ち運びやすい仕様となっている。本 PC は、瞬目検出アプリケーションの実行およびデータ処理を担う。

##### (2) フィードバック提示デバイス

フィードバックの一部として、Google 社の「Google Pixel Watch」を使用する[11]。本スマートウォッチは、GPS、心拍計、3 軸加速度計、3 軸角速度計、3 軸磁力計など多様なセンサを搭載しており、フィードバック提示のためのデバイスとして活用される。特に、瞬目回数が基準値を下回った場合に振動を発生させることで、触覚フィードバックを提供する役割を果たす。

### 3.3 瞬目促進システムのソフトウェアの構成

本システムのソフトウェアは、以下の 3 つの主要機能で構成される。

##### (1) 瞬目検出機能

瞬目検出には、Google の MediaPipe ライブラリ[12]を活用した。本ライブラリの顔のランドマーク検出機能を使用し、目の形状から眼の開閉状態をリアルタイムで検出する。瞬目の識別には Eye Aspect Ratio (EAR) [13]を用いる。EAR は、目のランドマーク (特徴点) の位置関係を基に算出される指標であり、目が開いている間は一定の値を保ち、閉じると 0 に近づく。本システムでは、事前実験により最適な EAR の閾値を設定し、これを基準に瞬目を検出する。EAR の計算結果例を図 1 に示す。



図 1 : EAR の計算結果例

## (2) フィードバック提示機能

瞬目回数が基準値を下回った際に、以下の 4 種類のフィードバックを提供する。

- 視覚的フィードバック (フラッシュ): 図 2 のように、画面全体を一瞬白くすることで強い光刺激を与え、瞬目を誘発する。



図 2 : フラッシュの実装例

- 視覚的フィードバック (アニメーション GIF): 図 3 のように、目の瞬目動作を模倣した GIF アニメーションを表示し、模倣行動を誘発することで無意識的な瞬目を促す。



図 3 : アニメーション GIF の実装例

- 聴覚的フィードバック: 短い警告音 (「ピピッ」という短音) を再生し、瞬目不足への意識をたかめるとともに反射的な瞬目を促す。
- 触覚的フィードバック: Google Pixel Watch の振動機能を用いて、ユーザーに瞬目を促す刺激を与える。また、図 4 のように GIF を用いた視覚刺激と合わせて振動と画面表示を連動させることで、より瞬目を意識させる設計とした。



図 4 : スマートウォッチの振動・GIF 表示の実装例

## (3) データ記録機能

実験データの分析のために、瞬目回数やフィードバックの提示状況を記録する機能を実装した。データは 10 秒ごとに保存され、後の統計分析に活用される。

## 3.4 システムの利用方法

本システムの利用手順は以下の通りである。

1. ノート PC 上で瞬目検出アプリケーションを起動する。
2. スマートウォッチを装着し、専用アプリを起動する。
3. ユーザーが動画を視聴し始めると、瞬目計測が開始される。
4. 視聴中、瞬目回数が基準値を下回った場合、フィードバックが自動的に提示される。
5. 視聴終了後、データを保存し、分析のためのログを出力する。

このシステムにより、ユーザーは自然な形で瞬目を促されることが期待される。このシステムのフロー図を図 5 に示す。

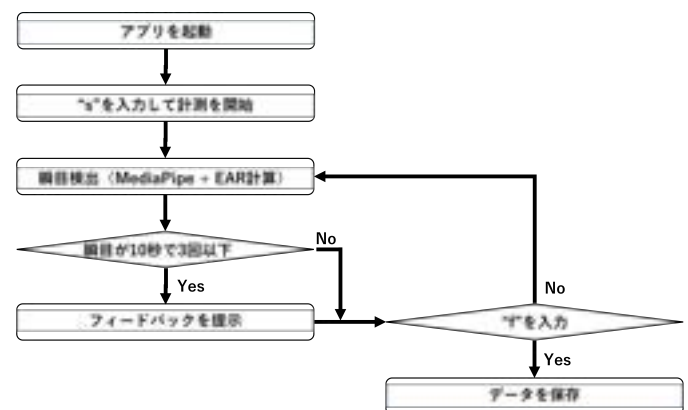


図 5 : システムのフロー図

今後、本システムを活用した実験を通じて、瞬目促進効果を定量的に検証し、最適なフィードバック方法を探る。

## 4. 瞬目促進システムの効果検証実験

本章では、開発した瞬目促進システムの有効性を検証するために実施した評価実験について述べる。本実験では、瞬目検出精度の最適化を目的とした予備実験と、フィードバック条件の有効性を検証する本実験の 2 つの段階で構成される。以下に、それぞれの実験方法、手順、分析手法について詳述する。

### 4.1 実験目的

本研究の目的は、動画視聴中の瞬目回数を増加させることによって、ドライアイや眼精疲労のリスクを低減することである。そのため、開発した瞬目促進システムの有効性を検証し、最適なフィードバック手法を明らかにする必要がある。本実験では、瞬目検出精度の最適化と、異なるフィードバック条件が瞬目回数に与える影響を調査する。

### 4.2 実験概要

本実験は、以下の 2 つの段階で構成される。

#### (1) 瞬目検出条件の最適化実験

瞬目検出の精度を向上させるために、EAR の閾値設定を最適化することを目的とする。5 名の被験者に動画を視聴させ、異なる閾値設定で瞬目回数を計測し、実際の瞬目回数と最も一致する閾値を特定する。

#### (2) フィードバック条件の有効性検証実験

異なるフィードバック手法が瞬目回数に与える影響を比較するために、10 名の被験者を対象に、5 つの条件（フィードバックなし、画面フラッシュ、アニメーション GIF、短音通知、スマートウォッチの振動）で瞬目回数の変化を測定する。

### 4.3 実験手順

#### (1) 瞬目検出条件の最適化実験

1. 被験者 5 名を対象に、各自 10 分間の動画を視聴させる。
2. 視聴中の瞬目をシステムで検出し、異なる EAR 閾値設定で瞬目回数を記録する。
3. 視聴動画を録画し、実際の瞬目回数を手動でカウントする。
4. 実際の瞬目回数とシステムの検出結果を比較し、最適な EAR 閾値を決定する。

#### (2) フィードバック条件の有効性検証実験

1. 被験者 10 名に対し、各自 30 分間の動画を視聴させる。
2. 6 分ごとにフィードバック条件を変更し、瞬目回数を記録する。
3. フィードバックの提示順序をランダム化し、順序の影響を排除する。

4. 視聴後にアンケートを実施し、各フィードバックの主観的評価を収集する。

フィードバック条件の有効性検証実験では、被験者には瞬目が少なくなった時にフィードバックがある旨の説明のみを行うが、直接的にフィードバックに反応するよう指示はしない。瞬目検出条件の最適化実験の目的については説明を省略し、被験者自身が行動変容を促し、瞬目が増えるかどうかを検証する。実験の様子を以下の図 6 に示す。



図 6：フィードバック条件の有効性検証実験の様子

### 4.4 データ分析方法

瞬目回数の変化を統計的に評価するために、分散分析 (ANOVA) [14]を用いて、異なるフィードバック条件間の有意差を検証する。さらに、有意差が確認された場合は Tukey の多重比較検定[15]を実施し、条件間で有意な差があるかを分析する。

これらの手法を用いることで、瞬目促進システムの各フィードバック条件が瞬目回数に与える影響を明確化し、条件間の差異を定量的に評価した。

### 4.5 アンケートの実施

本実験では、各フィードバックの受容性や影響を調査するために、以下の項目を含むアンケートを実施した。

動画視聴時に認識できたフィードバックの種類

- フィードバックが動画視聴の妨げになったかどうか
- 各フィードバックが瞬目を促進する効果があったか
- 被験者にとって最も効果が高いと感じたフィードバック

アンケート結果を分析することで、フィードバックの有効性とユーザビリティを評価する。

本章では、瞬目検出の精度向上とフィードバック条件の有効性を検証するための実験について述べた。次章では、実験結果とその考察を示す。

## 5. 実験結果および考察

本本章では、実験で得られた結果を示し、それらを分析した上で考察を行う。実験は、瞬目検出条件の最適化実験



とフィードバック条件の有効性検証実験の 2 つの段階に分けて実施された。それぞれの結果を示した後、統計的分析とアンケート結果を基に考察を行う。

5.1 瞬目検出条件の最適化実験の結果

瞬目検出条件の最適化実験では、EAR の閾値と連続フレーム数の設定が瞬目検出精度に与える影響を調査した。結果として、EAR の閾値が 0.17 前後である場合、実際の瞬目回数に最も近い値を算出できることが確認された。また、連続フレーム数を 2 フレームに設定した場合、過検出や未検出のリスクを抑えつつ、安定した瞬目検出が可能であることが示された。図 6 に、EAR が 0.05 から 0.25 における連続フレーム数 2 の条件で得られた精度比較を示す。このグラフは、被験者ごとの EAR 閾値における検出精度の分布を視覚的に示しており、2 フレーム条件が他の条件と比較して最もバランスの取れた結果を示していることを確認できる。

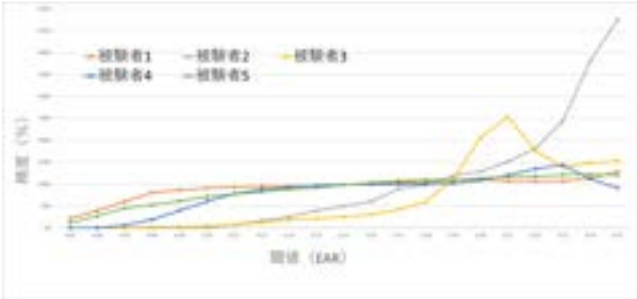


図 7：連続フレーム数 2 における閾値ごとの瞬目検出回数

しかし、被験者ごとに最適な閾値が異なり、個人差が大きいことも確認された。特に、被験者の瞬目パターンによっては 0.13 や 0.15 付近の閾値のほうが適切となる場合があり、被験者ごとの個別調整によってさらに精度を高める可能性が示唆された。このため、瞬目検出条件の最適化実験では事前に 1 分程度を用いて、個別に最適な EAR 閾値を設定する時間を設けることとする。

5.2 フィードバック条件の有効性検証実験の結果

フィードバック条件の有効性を検証するため、5 つの条件（フィードバックなし、画面フラッシュ、アニメーション GIF、短音通知、スマートウォッチの振動）において、瞬目回数の変化を測定した。10 人の被験者ごとに各フィードバックにおける 10 秒間の瞬目回数の平均を算出し、さらに各被験者の平均から全体の平均を算出した。結果を以下の図 7 に示す。フィードバックなしの条件と比べて、各フィードバック条件では瞬目回数が増加した。特にフラッシュを除く 3 つのフィードバック条件では、通常時の瞬目回数（10 秒間に 3 回）を上回る結果が得られた。

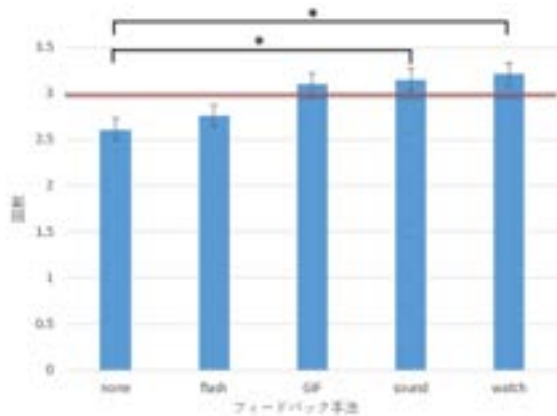


図 8：各フィードバックにおける 10 秒間の平均瞬目回数  
\*:  $p < 0.05$

また、分散分析（ANOVA）の結果、フィードバックなしの条件と短音通知・スマートウォッチの振動条件との間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。一方、画面フラッシュとアニメーション GIF の条件では、瞬目回数の増加が見られたものの、統計的に有意な差は確認されなかった。

分散分析によって有意差が認められたため、どの条件間で差があるのかを明確にするために、Tukey の多重比較検定を実施した。結果として、以下の条件間で有意な差が認められた。

- フィードバックなし（none）と短音フィードバック（sound）条件（平均差=0.54,  $p=0.030$ ）
- フィードバックなし（none）と視覚フィードバック（watch）条件（平均差=0.60,  $p=0.011$ ）

一方、その他の条件間では有意差は認められなかった。Tukey の多重比較検定の結果をまとめて表 1 に示す。

表 1：Tukey の多重比較検定による書くフィードバック間の有意差

比較条件 (Group1)	比較条件 (Group 2)	平均差	p値	信頼区間 (Lower, Upper)	有意差
none	flash	0.1500	0.9290	(-0.3584, 0.6584)	FALSE
none	GIF	0.4889	0.0662	(-0.0196, 0.9973)	FALSE
none	sound	0.5417	0.0301	(0.0332, 1.0501)	TRUE
none	watch	0.6000	0.0113	(0.0916, 1.1084)	TRUE
flash	GIF	0.3389	0.3622	(-0.1696, 0.8473)	FALSE
flash	sound	0.3917	0.2189	(-0.1168, 0.9001)	FALSE
flash	watch	0.4500	0.1113	(-0.0584, 0.9584)	FALSE
GIF	sound	0.0528	0.9986	(-0.4557, 0.5612)	FALSE
GIF	watch	0.1111	0.9756	(-0.3973, 0.6196)	FALSE
sound	watch	0.0583	0.9979	(-0.4501, 0.5668)	FALSE

次に、フィードバック条件が瞬目回数に与える影響を被験者ごとに検討するために、各被験者に対して先ほどと同様に分散分析（ANOVA）および Tukey の多重比較検定を行った。その結果、10 名中 8 名の被験者において統計的に有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。表 2 に、各被験者の結果を示す。

表 2：Tukey の多重比較検定による被験者間の有意差

被験者	F値	p値	有意差
1	1.6	0.1773	FALSE
2	3.48	0.0091	TRUE
3	4.76	0.0011	TRUE
4	10.03	<0.0001	TRUE
5	15.69	<0.0001	TRUE
6	2.96	0.0213	TRUE
7	3.78	0.0056	TRUE
8	0.55	0.6981	FALSE
9	2.49	0.0448	TRUE
10	8.41	<0.0001	TRUE

さらに、有意さが認められた被験者について、どの条件下で有意差があるかを特定するために Tukey の多重比較検定を実施した。有意差が認められた条件間を抽出したものを表 3 に示す。

表 3 Tukey の多重比較検定による有意差が認められた条件間の比較結果

被験者	条件1	条件2	平均差	p値	有意差
2	none	sound	-1.00	0.0046	TRUE
3	flash	sound	1.47	0.0034	TRUE
3	sound	watch	-1.39	0.0069	TRUE
4	GIF	sound	-0.78	0.0070	TRUE
4	none	sound	-1.36	<0.001	TRUE
4	flash	sound	-1.03	<0.001	TRUE
4	sound	watch	1.00	<0.001	TRUE
5	none	GIF	-2.72	<0.001	TRUE
5	none	sound	-3.11	<0.001	TRUE
5	none	watch	-2.39	<0.001	TRUE
5	flash	GIF	-2.39	<0.001	TRUE
5	flash	sound	-2.78	<0.001	TRUE
5	flash	watch	-2.06	<0.001	TRUE
6	none	GIF	1.63	0.0109	TRUE
7	flash	watch	-1.50	0.0403	TRUE
7	sound	watch	-1.53	0.0348	TRUE
10	none	GIF	-2.14	<0.001	TRUE
10	none	sound	-1.78	<0.001	TRUE
10	none	watch	-1.69	<0.001	TRUE

これらの結果から、フィードバック条件が瞬目回数に与える影響は被験者間で異なるものの、多くの場合、特定の条件間において有意な差が生じることが示された。

### 5.3 アンケート結果

被験者に対するアンケート調査では、各フィードバックの認識率や視聴体験への影響について意見を収集した。結果として、スマートウォッチの振動フィードバックは全被験者に認識され、視聴体験の妨げが少ないと評価された。一方、短音通知については、認識率が 60%と比較的低く、50%の被験者が「動画視聴の妨げになる」と回答した。

また、視覚的フィードバックについては、フラッシュに

対して「眩しく、字幕が読みにくくなる」といった否定的な意見が寄せられた。一方で、アニメーション GIF については「目立つが不快ではない」との意見があり、視聴体験を損ねにくい特徴を持つことが示唆された。

これらの結果から、フィードバックの種類によって瞬目促進効果と視聴体験への影響が異なることが確認された。特に、スマートウォッチの振動は視聴体験を損なわずに瞬目を促す有効な手法として期待される。

### 5.4 考察

本実験の結果を総合すると、瞬目促進には短音通知と触覚フィードバックが有効であることが示された。しかし、短音通知は認識率が 60%と他のフィードバックと比べると低く、また動画視聴の妨げになる可能性があり、全被験者にとって最適な手法とは言い難い。一方で、スマートウォッチの振動は、視聴体験を損ねることなく瞬目促進効果を発揮し、実用性の高い手法であると考えられる。また、視覚的フィードバックについては、GIF が視聴体験を損ねない特性を持ち、一定の瞬目促進効果を示した。一方で、フラッシュは短音通知と同様に認識率が 60%であり、また動画視聴の妨げになる可能性があることが示唆された。長時間の使用においては、目の疲れやストレスを引き起こす可能性があるため、今後の研究では、フィードバックの提示頻度や提示方法などを調整する必要があることが明らかになった。

さらに、瞬目促進効果には個人差があり、事前に最適な EAR 閾値やフィードバック設定を調整することで、より高い効果が期待できると考えられる。また、この実験では事前に「瞬きが少ないとフィードバックがある」という説明をしているため、瞬きを意識してしまった可能性があります。そのため認識度や視聴体験を考慮したフィードバックの設計が必要であることが考えられる。

本研究の結果を踏まえ、今後は個別最適化の手法を導入し、より効果的な瞬目促進システムの開発を目指す。また、本実験では被験者の数が 10 人であり、結果の信頼性を高めるためには、今後さらに多くの被験者を対象とした実験を行い、より精度の高い結果を得ることが必要である。

## 6. 結論

### 6.1 まとめ

本研究では、動画視聴中の瞬目回数の減少による健康リスクを軽減するため、視覚・聴覚・触覚を活用した瞬目促進システムを開発し、その有効性を検証した。本システムでは、瞬目検出に EAR (Eye Aspect Ratio) を用い、基準値を下回った場合に画面フラッシュ、アニメーション GIF、短音通知、スマートウォッチの振動という 4 種類のフィードバックを提示することで、瞬目を促進する設計となっている。

実験の結果、全てのフィードバックにおいてフィードバックなしの状態と比べて瞬目回数が増加し、特にアニメーション GIF の表示、短音通知、スマートウォッチのフィードバックで目標瞬き回数を上回った。また短音通知およびスマートウォッチが、瞬目回数の増加に対して有意な効果を示した。一方で、フラッシュと短音通知は、一部の条件では瞬目回数を増加させたものの、視聴体験を妨げる要因にもなり得ることが示された。また、アンケート調査では、GIF が比較的受け入れやすい視覚的フィードバックであることが確認されたが、短音フィードバックの認識率の低さが課題として浮かび上がった。

さらに、瞬目促進の効果には個人差が大きいことも明らかとなった。被験者ごとに最適な EAR の閾値が異なり、事前にパーソナライズされた設定を行うことで、より効果的な瞬目促進が可能になると考えられる。

本研究の成果により、瞬目促進システムの有効性が示され、ドライアイや眼精疲労の軽減に向けた新たな知見が得られた。しかし、視聴体験を妨げないフィードバック設計や、個人ごとの最適化を考慮した適応型アルゴリズムの導入など、さらなる改善が必要である。

## 6.2 今後の展望

本研究の成果を踏まえ、今後の研究では以下の課題に取り組む必要がある。

### (1) フィードバック手法の改良

本研究で使用したフィードバック手法のうち、特にフラッシュは視聴体験を損ねる可能性が示された。今後は、視覚的負担を軽減するためのデザイン変更や、短音通知の認識率向上に向けた改善が求められる。また、触覚フィードバックに関しても、スマートウォッチ以外のデバイス（例：振動付きメガネ）を活用することで、より自然な瞬目促進が可能となるか検討する必要がある。

### (2) 瞬目促進の長期的効果の検証

本研究では短期間の実験を実施したが、長期間にわたる瞬目促進効果の持続性については十分に検証されていない。今後は、数週間から数か月のスパンで瞬目回数の変化を追跡し、視覚健康への影響を詳しく調査する必要がある。また、ドライアイ症状の改善効果についても、眼科的な評価を含めた実験を実施することで、より実用的な知見を得ることができると考えられる。

### (3) 瞬目促進システムのモバイル対応

本研究ではノート PC を用いた実験を行ったが、実際の使用環境ではスマートフォンやタブレットなどのモバイルデバイスでの利用が想定される。そのため、今後は Android や iOS 向けのアプリケーション開発を進め、より実用的なシステムへと発展させることが求められる。特に、バッテリー消費を抑えつつ、リアルタイムで瞬目を検出できる軽

量なアルゴリズムの開発が必要である。

### (4) 個別最適化による瞬目促進効果の向上

本研究の結果から、瞬目促進の効果には個人差が大きいことが確認された。そのため、事前に被験者の瞬目パターンを測定し、最適な EAR の閾値やフィードバックの強度を個別に調整する機能を導入することで、より高い効果が得られる可能性がある。機械学習を活用した適応型アルゴリズムの開発により、ユーザーごとに最適なフィードバックを提供するシステムの構築が期待される。

本研究では、瞬目促進のための新たな手法を提案し、その有効性を実験的に検証した。今後の課題を克服することで、より実用性の高い瞬目促進システムの開発が可能となり、ドライアイや眼精疲労の軽減に寄与することが期待される。

## 参考文献

- [1] 総務省：令和 6 年版 情報通信白書 データ集 (2022). <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/data-shu.html#f00263>. (最終閲覧日：2025/1/26)
- [2] 厚生労働省：平成 20 年技術革新と労働に関する実態調査結果の概況 (2008). <https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/saigai/anzen/08/02.html>.
- [3] 第一三共ヘルスケア株式会社：テレワークによる体の不調「テレワーク不調」に関する調査 (2022). <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/datashu.html#f00263>.
- [4] 坪田一男：涙のチカラ 涙は 7 マイクロリットルの海、株式会社技術評論社 (2008). (参照日 2025/1/17).
- [5] ウェルビーイングクリニック駒沢公園：デジタル時代における眼精疲労 (Digital Eye Strain, DES) (2025). <https://wbck.tokyo/archives/1353>. (最終閲覧日：2025/1/26)
- [6] ドライアイ研究会：ドライアイとは. <https://dryeye.ne.jp/for-general/dryeye-summary/>.
- [7] 東覚瑠菜, 神場知成：ドライアイ軽減のためのまばたきリマインド機能の開発と評価, 情報処理学会 インタラクシオン 2024 論文集, pp. 556–561 (2024).
- [8] Pavel, I. A., Bogdanici, C. M., Donica, V. C., Anton, N., Savu, B., Chiriac, C. P., Pavel, C. D. and Salavastru, S. C.: Computer Vision Syndrome: An Ophthalmic Pathology of the Modern Era, *Medicina*, Vol. 59, No. 2, p. 412 (online), <https://doi.org/10.3390/medicina59020412> (2023).
- [9] Xu, S. and Zhang, X.: Oculomotor trajectory mapping on body as an effective intervention to enhance attention, arXiv preprint, Vol. 2307.15172v2 (online), <https://arxiv.org/abs/2307.15172> (2023).
- [10] NEC LAVIE 公式サイト：仕様 LAVIE Direct PM(X) [Pro Mobile] - 13.3 型モバイルパソコン. <https://lenovo-nec.jp/navigate/products/pc/193q/10/lavie/pmx/spec/index.html>.
- [11] au: Google Pixel Watch. <https://www.au.com/mobile/product/plus-one/pixelwatch/>.
- [12] for Developers, G. A.: MediaPipe ソリューション ガイド (2025). <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide?hl=ja>.
- [13] Soukupova, T.: Eye-Blink Detection Using Facial Landmarks, Master's thesis, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering (2016). Available at <http://cmp.felk.cvut.cz/pub/cmp/articles/cech/Soukupova-TR-2016-05.pdf>.
- [14] Fisher, R.: Statistical Methods for Research Workers, Biological monographs and manuals, Oliver and Boyd (1925).
- [15] Tukey, J. W.: Comparing individual means in the analysis of variance, *Biometrics*, pp. 99–114 (1949).