

# リアルタイム行動検出に基づいた ゲーミフィケーション安全運転支援システムの開発

## Development of a Gamified Driving Safety Support System Based on Real-Time Driver Behavior Detection

楊俊宇<sup>1</sup> 宮本友樹<sup>2</sup> 片上大輔<sup>1</sup>

Yang Junyu<sup>1</sup>, Tomoki Miyamoto,<sup>2</sup> and Daisuke Katagami<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工芸大学工学部

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

<sup>2</sup> 電気通信大学大学院情報理工学研究科

<sup>2</sup> Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

**Abstract:** 本研究では、ゲーミフィケーション安全運転支援システムを提案し、提案の有効性をドライビングシミュレータ環境において検証することを目的とする。従来の先進運転支援システム (ADAS) は、警告や強制介入を中心とした設計が多く、運転者に煩わしさや過信を生じさせる可能性が指摘されている。また、単調な運転環境では覚醒度低下、複雑な環境では過度な認知負荷が生じやすく、運転者の集中力維持が課題となっている。本研究では、運転中の行動 (速度超過, 急加減速, ながら運転, 疲労兆候) をリアルタイムに検出し、スコアリング, ミッション, ランキングといったゲーミフィケーション要素を通じてフィードバックを行う運転支援システムを開発した。18 名の実験参加者を対象に、実験参加者内実験として Baseline 条件と Gamified 条件を比較し、運転行動指標および主観評価指標の分析を行った。分析の結果、Gamified 条件において速度超過割合, 急加減速回数, ながら運転回数が低下する傾向が確認された。また、主観的安全性, 受容性, 有用性の有意な向上および煩わしさの低下が認められた。一方、楽しさ, 達成感, 継続利用意図および主観的ストレスについては、平均値の改善傾向はみられたものの、統計的に有意な差には至らなかった。以上より、提案システムは、運転行動の安全性向上と受容性の観点において一定の有効性を示すことが示唆された。本研究は、運転者の内発的動機付けに基づくゲーミフィケーションが、警告型支援に代わる新たな運転支援の枠組みとなり得る可能性を示すものである。

## 1 章 はじめに

### 1.1 研究背景

現代社会において自動車は移動の自由を提供する不可欠な存在である一方、交通事故による人的・経済的損失は依然として甚大な社会問題である [1]。米国運輸省道路交通安全局 (NHTSA) の統計や多数の研究報告によれば、交通事故の約 90% 以上は運転者の不注意, 判断ミス, 操作ミスといったヒューマンエラーに起因しているとされる [2]。特に、スマートフォン操作などによるながら運転や、漫然運転による集中力の低下 (Distraction) は、事故の主要因として長年指摘され続けている。

こうした現状に対し、自動車業界では自動ブレー

キ (AEB) や車線逸脱警報 (LDW) に代表される先進運転支援システム (ADAS) の導入が急速に進んでいる [3][4]。先進運転支援システムは、危険が差し迫った状況でシステムが介入することで事故を未然に防ぐ「パッシブセーフティ (受動的安全)」の観点から大きな成果を上げてきた。しかしながら、システムへの過度な依存が新たなリスクを生むことも指摘されている。米国の交通安全研究機関である AAA Foundation for Traffic Safety の調査報告 [5] によれば、高度な運転支援機能は、運転者がシステムを過信し、運転タスクから注意を逸らす「過信 (Over-reliance)」や「慢心 (Complacency)」を誘発する可能性がある。つまり、システムが高度化するほど、運転者が「自分は操作しなくてよい」と錯覚し、結果として安全確認がおろそかになる「アイロニー・オブ・オート

メーション」という課題が浮き彫りになっている [6].

また、運転行為そのものの性質にも課題がある。高速道路や単調な道路環境における運転は、覚醒レベルの低下 (Underload) を招きやすく、退屈感や眠気、そして集中力の欠如へと繋がる [7]. 逆に、都市部などの複雑な環境では認知負荷 (Overload) が高まり、ストレス要因となる [8]. 安全な運転には、運転者が適度な緊張感と集中力を維持し続けることが求められるが、従来の「警告音」や「強制介入」を中心とした支援システムは、運転者にとって煩わしさ (Annoyance) を感じさせる要因となりやすく、システムの無効化や無視を招くケースも少なくない [9]. そこで近年、「警告音」や「強制介入」の逆効果を打破する新たなアプローチとして「ゲーミフィケーション (Gamification)」が注目されている。ゲーミフィケーションとは、ゲームデザインの要素やメカニズムをゲーム以外の文脈に応用し、ユーザの内発的動機付けやエンゲージメントを高める手法である [10][11]. Paschmann ら [10] は、モバイルアプリ等の非ゲーム環境において、当手法がユーザの行動変容や継続利用に強力な効果を持つことを実証している。交通分野においても、これまでは主に燃費向上 (エコドライブ) を目的としたゲーミフィケーションの研究が盛んに行われてきた [12].

もし、運転中の「安全確認」や「ルールの遵守」といった行動自体を、ゲームの「ミッション」や「スコア獲得」というポジティブな体験に変換することができれば、運転者は「怒られないために安全運転をする」のではなく、「楽しいから安全運転をする」という能動的な姿勢へと変容する可能性がある。Takeuchi ら [13][14] は、内発的動機付けに基づく介入が高速道路での安全運転行動に有効であることを示唆している。

本研究は、こうした背景を踏まえ、ゲーミフィケーション要素を適切に統合することで、過信や退屈といったヒューマンファクターの課題を克服し、運転者が主体的に、かつ楽しみながら安全性を向上させる新たな運転支援の枠組みを提案する。

## 1.2 目的

本研究では、ドライビングシミュレータ (DS) を用いた実験環境において、ゲーミフィケーション安全運転支援システムを開発する。具体的には、ユーザの運転行動 (速度超過・急加減速・ながら運転・疲労運転) をリアルタイムで検出し、スコアリングやミッション、ランキングといったゲーム要素を通

じてフィードバックを行う。本研究の目的は、本システムを用いることで、従来の運転状況と比較し、安全運転意識の向上と運転に伴うストレスの軽減が可能かを検証する。

## 1.3 意義

本研究の意義は、単なる警告や制御介入ではなく、運転者の「楽しさ」や「達成感」といったポジティブな感情に働きかけることで、行動変容を促す点にある。これにより、運転技術の向上や意識改善、運転中に掛かる精神的負担の軽減、さらには事故の未然防止につながることが期待される。

## 1.4 仮説

本研究の目的を踏まえ、以下の仮説を立てる。

H1 : Gamified 条件は Baseline 条件と比べて、違反率 (速度超過・急加減速・ながら運転・疲労運転) を低減し、運転の安全性を改善する。

H2 : Gamified 条件は Baseline 条件と比べて、受容性・有用性・継続利用意図が高く、煩わしさが低い。

H3 : Gamified 条件は Baseline 条件と比べて、主観的楽しさ・達成感が高く、ストレスが少ない。

## 2章 関連研究

### 2.1 ゲーミフィケーションとエンゲージメント

ゲーミフィケーションとは、ゲーム以外の文脈でゲームデザインの要素や技術を用いることである。

Parchman ら [10] は、モバイルアプリにおけるユーザエンゲージメントの向上にゲーミフィケーションが有効であることを示している。また、Fujita [11] はゲーミフィケーションの文脈におけるユーザのエンゲージメントとモチベーションの関係について論じており、適切なフィードバック設計が持続的な利用意欲に繋がることを示唆している。

### 2.2 運転行動への動機付けアプローチ

運転行動への介入に関しては、Okada ら [15] や Takeuchi ら [13][14] が、内発的動機付けに基づき高速道路等での運転行動に影響を与える研究を行って

いる。当研究により、運転者が自発的に安全行動を行うような仕組みづくりの重要性を説いている。また、Nozaki ら [16] も安全運転へのモチベーションを高める運転支援システムを提案しており、運転者の心理状態へのアプローチが有効であることが報告されている。本研究は、以上の先行研究を踏まえ、即時的なフィードバックと多様なゲーム要素（ミッション、ランキング等）を組み合わせた点に独自性がある。

## 2.3 顔認識による疲労・眠気の推定

運転中の疲労や眠気は、反応時間の遅れや判断ミスを招き、重大な事故の直接的な原因となる。そのため、運転者の覚醒状態をリアルタイムでモニタリングし、危険な兆候を早期に検出する技術が求められている。

従来の接触型センサ（脳波や心拍計測）と比較して、ドライバへの身体的負担が少ない手法として、車載カメラを用いた非接触の画像認識技術が主流となっている。特に、顔のランドマークを追跡し、「瞬目（まばたき）」や「閉眼時間」を定量化する手法が確立されている。疲労推定の分野における最も信頼性の高い指標として、PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure over the Pupil) が挙げられる。PERCLOS は、「一定時間内において「瞼が瞳孔を 80%以上覆っている時間の割合」と定義される [17]。

Dinges と Grace [18] は、PERCLOS が精神運動警戒タスク (PVT: Psychomotor Vigilance Task) における注意散漫 (Lapse) の発生と極めて高い相関 ( $r > 0.9$ ) を持つことを実証し、眠気検知のゴールドスタンダードとしての地位を確立した。さらに、Dinges ら [19] は、様々な眼球計測技術の評価を行い、PERCLOS が疲労による覚醒度低下を判定する上で最も堅牢な指標であることを報告している。

一方で、画像認識に基づく眠気検知では、あくび行動も疲労の兆候として利用されることが多い。しかし、神経学的観点からは、あくびは必ずしも眠気や疲労に起因するものではなく、脳幹や視床下部を含む中枢神経系の障害、あるいは薬剤に影響されて過剰に生じ得ることが指摘されている [20]。病理性あくび (pathologic yawning) は、必ずしも覚醒度低下を反映しないため、あくびのみを用いた定量的判定は誤検出の原因となる可能性がある。

以上を踏まえて、本研究は PERCLOS とあくびを併用して、画像認識による疲労判断を行う。

## 2.4 音声対話と運転支援

視覚的な情報提示に加え、音声によるインタラク

ションも運転支援において重要である。Itoh [21] は音声操作による運転時の注意散漫低減効果について研究しており、Schmidt ら [22] は運転中のプロアクティブな音声アシスタントに対するユーザの反応を調査している。本研究においても、ミッションの提示やフィードバックに音声を用いることで、視覚的負荷を考慮しつつ効果的な情報伝達を行う。

## 3章 ゲーミフィケーション安全運転支援システム

### 3.1 システム概要

本研究では、ユーザが運転中の行動（瞬き・あくび・飲食・スマートフォン使用）をリアルタイムに識別するシステムを Python で開発する。運転状況（速度・速度変化）を収集するシステムを C# で開発し、Unity エンジンを通して実現させる。本研究で開発した運転支援システムの全体構成を図 1 に示す。

本システムは、機能的に大きくリアルタイム行動判別モジュール、リアルタイムゲーミフィケーションモジュール、フィードバックモジュールの 3 層構成から成る。

第一に、リアルタイム行動判別モジュールである。入力層として、カメラおよびドライビングシミュレータ（または実車）から、ユーザの運転行動および車両情報を取得する。カメラ映像からは、行動情報取得処理を通じて運転中の顔情報、動作、操作状態などが抽出され、行動識別処理によりリアルタイムで運転行動の判別が行われる。並行して、車両側からは速度、加減速、操作量などの車両情報データが取得される。判別結果と車両情報データは本モジュールに集約され、現在の運転状況として統合管理される。

第二に、リアルタイムゲーミフィケーションモジュールである。ここでは、リアルタイム行動判別モジュールから得た運転状況を基にユーザの運転状態を評価し、結果判断ロジックにより現在の安全状態が判定される。さらに、データベースに蓄積された過去の運転結果やスコア設定を参照しながら、現在の運転状態に応じてユーザに適したミッションを動的に割り当てる。運転状態情報、決定されたミッション内容と獲得スコア情報は、フィードバックモジュールと連動し、音声インタフェースおよび GUI を通じてユーザへ提示され、運転負荷を考慮しつつ直感的に理解できる形でフィードバックされる。

第三に、リアルタイムフィードバックと運転終了

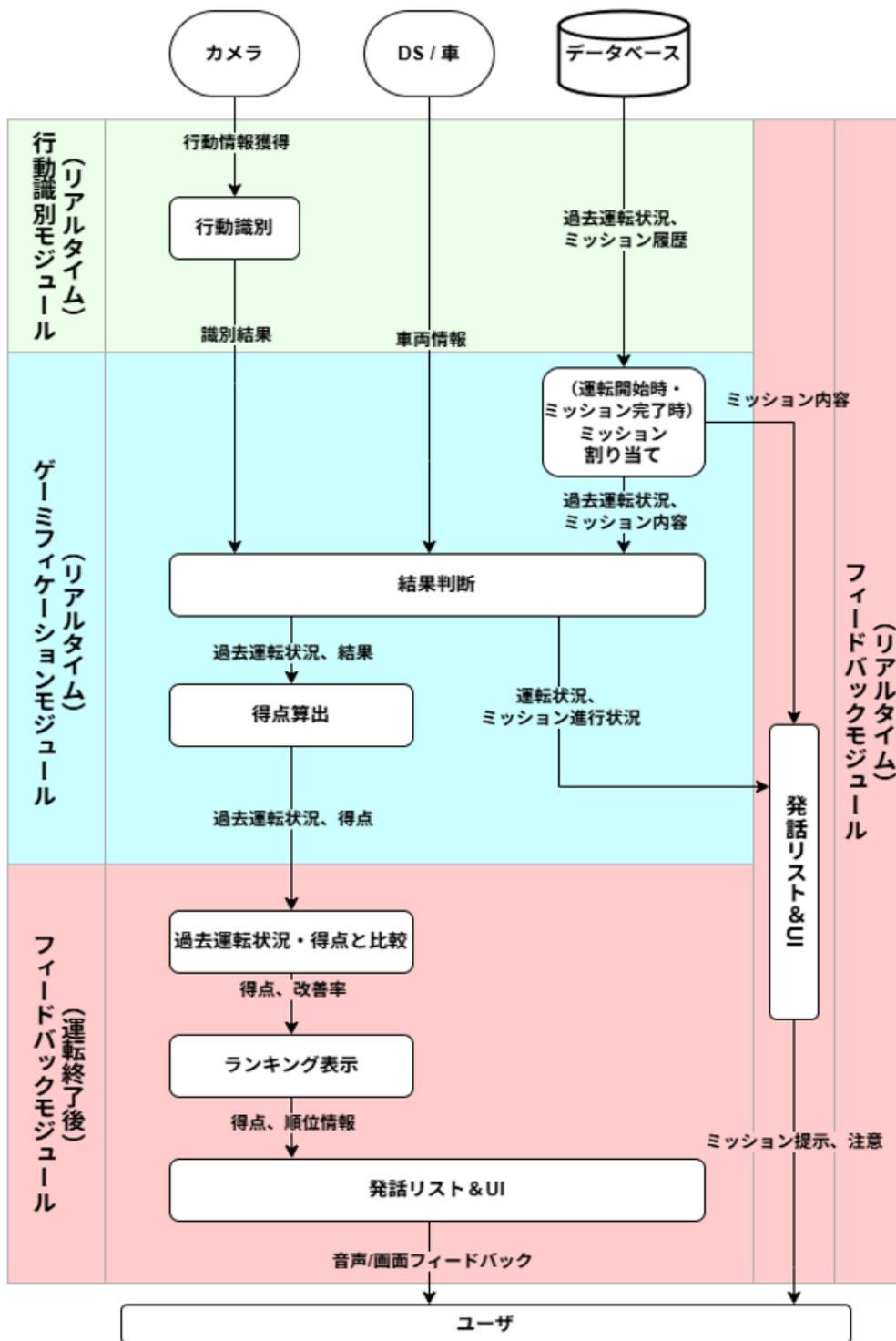


図 1 システムの全体構成

後フィードバックを含めたフィードバックモジュールである。リアルタイムフィードバックでは、前述のリアルタイムゲーミフィケーションモジュールからの情報に従いフィードバックを行う。運転終了後フィードバックでは、運転結果と過去の履歴を比較し、改善率の評価を行う。比較と評価の結果に基づ

きランキング生成が行われ、ユーザには自身の達成度、順位情報、ミッション達成状況および詳細な評価ログが提示される。以上の振り返り情報は、継続的な安全運転意識の向上を促す動機付けとして機能する。

以上のように、本システムは運転中の「リアルタ

イム支援」と運転後の「振り返り学習」を一体化することで、単なる警告型支援に留まらない、能動的な意識変容に基づく運転支援を実現する。

### 3.2 運転行動指標の検出・計測方法

前述の「リアルタイムゲーミフィケーションモジュール」において、安全運転および危険運転を判定するために用いる具体的な指標は以下の通りであり、ドライビングシミュレータからの出力値および画像処理を通してリアルタイムに検知される。

速度順守と超過：道路ごとの制限速度を基準とし、制限速度内での走行を「順守」として評価する一方、制限速度を超過した状態が一定時間継続した場合を「速度超過」と判定し、減点対象とする。

急加減速：車両の加速度および減速度を監視し、設定された閾値（0.3G [23]）を超える急激な操作が行われた場合を危険挙動として検出し、減点対象とする。

ながら運転：Webカメラから取得した顔画像に対し、飲食やスマートフォン使用を検出した場合に減点する。誤検出を防ぐために1秒以上継続する場合のみ対象とする。

疲労運転：あくびや、閉眼時間を複合的に解析し、覚醒度の低下が見られる状態を検出する。一定時間内（60秒とする）閉眼時間が15%を超えた場合のみ対象とする [19]。

### 3.3 ゲーミフィケーション要素及びフィードバック設計

本システムのゲーミフィケーション設計として、スコアリング、ミッション及びランキングを利用する。

スコアリング：安全運転行動（速度順守、集中運転など）に対して加点し、違反行動（速度超過、急ブレーキなど）に対して減点を行う加減算方式を採用した。現在のスコアは常に画面上に表示され、運転の質を可視化する。

ミッション：単調な運転を防ぐため、「制限速度を維持せよ」「集中力を維持せよ」などのミッションを状況に応じて提示する。ミッションの提示には、視覚情報だけでなく音声エージェントによる発話を用いることで、運転中の視覚的負荷を軽減させた。また、ミッション未達成による不快感と挫折感を防ぐため、過去運転状況を基に相応なミッションが生成される。

ランキング：実験終了後、他の参加者のスコアと比

較したランキングを表示する。自身の運転スキルが相対的にどの位置にあるかを示すことで、競争心を刺激し、次の運転への向上心を喚起する。

運転中に、運転状態情報、ミッション内容とスコアについてフィードバックを行う。運転終了後、良かった点と改善すべき点を要約して提示する。過去のデータと比較した成長率を示すことで、自己効力感を高める設計とした。

### 3.4 システム実装とユーザインタフェース

本システムのハードウェアおよびソフトウェア実装環境は以下の通りである。

ハードウェア構成：実験用PCに加え、入力デバイスとして市販のステアリングコントローラ・ペダル（Logitech G29）を使用し、実車に近い操舵感とフォースフィードバックを実現した。また、運転者の顔・視線計測用として、ディスプレイ上部にWebカメラを設置した。

ソフトウェア構成：統合開発環境としてUnityエンジンを使用し、仮想都市空間の構築および車両挙動の物理演算を行った。画像処理および視線推定には、Unityと連携可能な画像認識ライブラリを用いている。

ユーザインタフェース（UI）：図2にGamified条件における運転画面を示す。

運転者の前方視界を確保しつつ、必要な情報を直感的に認識できるよう、画面下部に計器類、画面右上にスコア情報を配置した。ミッション内容の表示は完全停止時に限り、更新される時に音声によるフィードバックも同期して再生される仕様とした。

Baseline条件では、ゲーム要素（スコア、ミッション表示）を非表示とし、通常の数値のみを表示する仕様とした。

## 4章 実験

### 4.1 実験概要

Unityで開発したドライビングシミュレータ（DS）を用いて、ゲーミフィケーション要素が運転行動および運転者体験に与える効果を検証した。「Baseline条件（通常運転）」および「Gamified条件（ゲーミフィケーション要素を入れた運転）」の2つの条件においてそれぞれ自由運転を行ってもらう。条件の実施順序はカウンターバランスをとり、順序効果を



図 2 ユーザインタフェース (運転時・メイン画面)

抑制した。各条件終了時に評価アンケートを実施し、回答を収集した。

本研究は東京工芸大学研究倫理審査会の承認（承認番号：[倫 2025-21]）を得て実施された。実験前にインフォームド・コンセントを行い、参加の同意を得た。

## 4.2 ゲーミフィケーション要素が運転行動および運転者体験に与える効果の検証

実験手順は以下の通りである。

事前アンケート：基本属性（年齢、運転頻度など）の回答。

練習運転：シミュレータ操作に慣れるため、3分以上の自由走行を行う。

本実験（カウンターバランス）：全実験参加者は「Baseline 条件」と「Gamified 条件」の両方を体験する。順序効果を抑制するため、半数の参加者は Baseline 条件から、残りの半数は Gamified 条件から開始した。各条件の運転時間は 5 分間とした。

事後アンケート：各条件での運転終了直後に、受容性・有用性・達成感・ストレス感に関するアンケート（Likert 尺度）を実施した。

ストレスへの効果を測るために、実験環境にルール違反する車両などを追加した。また、BDD100K に代表される大規模実走行データセットは、時間帯や天候条件に従って運転環境が大きく変化することを示しており、本研究では天候による環境要因を考慮して二種類（晴れ・霧）の天候設計を行った。

## 4.3 実験結果

本研究では、Gamified 条件と Baseline 条件の比較を行うため、参加者 18 名で被験者内実験を実施した。各指標について、条件間の差を検討するため、

正規性が確認された項目には対応のある  $t$  検定、正規性が確認されなかった項目には Wilcoxon 符号順位検定を用いた。有意水準は 5% とした。検定の結果は図 3 および表 1 で示し、そのうち H2\_ANOY と H3\_PRESS に対して逆転項目処理を行った。

安全性に関する客観的指標として、速度超過割合、急加減速回数、およびながら運転回数を算出し、条件間で比較を行った。比較の結果は表 2 で示す。

本実験の結果として、速度超過割合は Baseline 条件で 12.74%、Gamified 条件で 5.81% となり、Gamified 条件において低下傾向が確認された。また、平均急加減速回数についても、Baseline 条件 ( $M=8.58$ ) に比べ、Gamified 条件 ( $M=5.75$ ) で減少した。さらに、平均ながら運転回数は Baseline 条件では 0.11 回であったのに対し、Gamified 条件では 0 回であった。

以上の結果により、Gamified 条件において、危険行動に該当する運転行動の発生頻度が全体的に低下する傾向が確認された。

安全性に関する客観的指標として、主観的安全感 (SAF) は、Gamified 条件 ( $M=5.78$ ) が Baseline 条件 ( $M=4.00$ ) よりも有意に高い値を示した (Wilcoxon 符号順位検定,  $p < .01$ )。

受容性 (ACC) では、Gamified 条件 ( $M=5.50$ ) が Baseline 条件 ( $M=4.56$ ) よりも有意に高かった (対応のある  $t$  検定,  $p < .05$ )。

煩わしさ (ANOY) については、Gamified 条件 ( $M=2.78$ ) が Baseline 条件 ( $M=1.72$ ) よりも有意に低下した (Wilcoxon 符号順位検定,  $p < .05$ )。

また、有用性 (USE) においても、Gamified 条件 ( $M=5.83$ ) が Baseline 条件 ( $M=4.00$ ) よりも有意に高い値を示した (Wilcoxon 符号順位検定,  $p < .01$ )。

一方、継続利用意図 (INT) については、Gamified 条件 ( $M=4.94$ ) と Baseline 条件 ( $M=4.44$ ) の間に有意な差は認められなかった (対応のある  $t$  検定,  $p = .26$ )。

達成感 (ACH) および楽しさ (FUN) については、Gamified 条件で平均値の上昇がみられたものの、有意差は認められなかった。

主観的ストレス (PRESS) についても Gamified 条件で低下傾向が確認されたが、統計的に有意な差は認められなかった。

以上の結果により、Gamified 条件は、客観的運転行動指標において危険行動の発生頻度を低減する傾向を示すとともに、主観的安全感の向上が確認された。また、受容性および有用性の向上、煩わしさの低減が認められた一方で、楽しさや継続利用意図といった指標について有意差は確認されなかった。

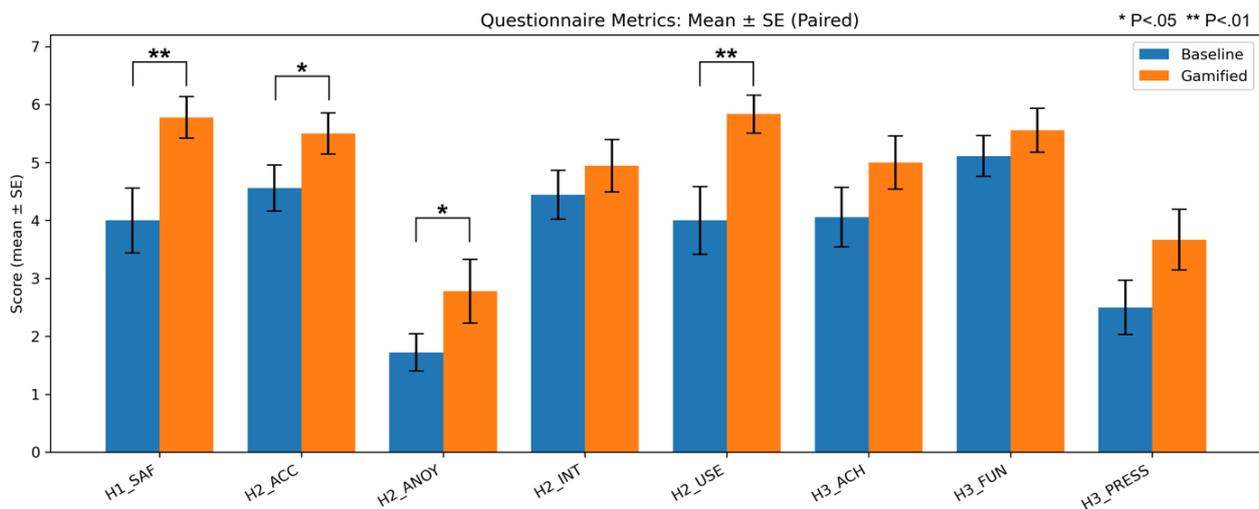


図 3 各指標の平均値 ± SE 図 (n = 18)

## 5 章 考察

### 5.1 実験結果の分析

#### 5.1.1 H1 (安全性) について

本実験では、安全性に関する評価として、主観的安全感に加え、速度超過、急加減速、ながら運転といった客観的な運転行動指標を用いて Gamified 条件と Baseline 条件の比較を行った。比較の結果、Gamified 条件において、速度超過割合および急加減速回数の低下、ならびにながら運転回数の減少が確認された。

さらに、主観的安全感 (SAF) においても Gamified 条件で有意な向上が認められており、客観的行動指標と主観評価の双方が同一方向の変化を示し、ゲーミフィケーション要素が、参加者の安全運転意識を高めるだけでなく、実際の運転行動にも影響を及ぼした可能性を示唆している。

以上により、Gamified 条件は、本実験条件下において、安全性に関する心理的側面と行動的側面の両面から、一定の有効性を有していたと想定される。ただし、本研究は短時間の実験であり、長期的な行動変容については今後の検討課題である。

#### 5.1.2 H2 (受容性・有用性・煩わしさ・継続利用意図) について

受容性 (ACC) および煩わしさ (ANOY) については、Gamified 条件において有意な改善が確認された。特に、煩わしさの低下は、ゲーミフィケーションが

参加者に過度な負担や不快感を与えずに機能していた可能性を示唆している。

一方、有用性 (USE) については Gamified 条件で有意な向上が確認されたものの、継続利用意図 (INT) では有意差は認められなかった。以上の結果から、Gamified 条件が「役に立つ」「受け入れやすい」と評価される一方で、「今後も使い続けたい」という意図にまで直ちに結びつくとは限らないことを示している。短時間の実験環境では、継続利用意図の形成に十分な経験や学習が得られなかった可能性がある。

#### 5.1.3 H3 (主観的体験) について

楽しさ (FUN) および達成感 (ACH) については、Gamified 条件で平均値の上昇がみられたものの、統計的に有意な差は確認されなかった。これは、ゲーミフィケーション要素が一定のポジティブな体験を提供した可能性はあるものの、個人差が大きく、サンプルサイズ (n=18) では効果を明確に検出するには至らなかったことを示唆している。

また、主観的ストレス (PRESS) についても Gamified 条件で低下傾向がみられたが、有意差には達しなかった。競争要素やスコア提示が、一部の参加者にとっては動機づけとして機能する一方で、別の参加者にとっては中立的、あるいは軽度の負荷として受け取られた可能性が示唆される。

#### 5.1.4 疲労運転の検出について

本実験において、疲労あるいは眠気状態に起因する指標の顕著な変化が十分に検出されなかった。要因の一つとして実験参加者および実験条件の設定が影響している可能性がある。

表 1 各指標の分析結果

Group	Test	P-value
H1_SAF	Wilcoxon	0.0047
H2_ACC	Paired t-test	0.0146
H2_ANOY	Wilcoxon	0.0340
H2_INT	Paired t-test	0.2607
H2_USE	Wilcoxon	0.0035
H3_ACH	Paired t-test	0.0874
H3_FUN	Paired t-test	0.2698
H3_PRESS	Wilcoxon	0.0732

表 2 運転中の違反行為の頻度

	Baseline	Gamified
速度超過割合	12.74%	5.81%
平均急加減速回数	8.583	5.75
平均ながら運転回数	0.111	0
平均疲労運転回数	0	0

本実験では、安全性および倫理的配慮の観点から、実験参加者に対する強制的な睡眠剥奪や長時間運転といった高負荷条件は設定していない。また、実験参加者は比較的若年で健康な学生を中心としており、実験参加時において十分な覚醒状態を維持していた可能性が高い。本実験の条件下では、先行研究で報告されているような顕著な疲労指標の上昇が生じにくかったと推測される。

一方で、本研究で用いた手法は、覚醒状態が維持されている条件下においても過剰な疲労検出を行わなかった点から、疲労状態に対する誤検出が低いこ

とを示唆しており、実環境への応用を考慮した場合において、システムの受容性および信頼性の観点から重要な特性であるといえる。

今後の課題としては、参加者層の多様化や、長時間の運転課題、時間帯の操作などを通じて、幅広い覚醒状態を包含した条件下での検証を行う必要がある。

### 5.1.5 まとめ

以上の結果から、Gamified 条件は、少なくとも主観的安全感や受容性、煩わしさの低減といった側面において一定の有効性を示したといえる。一方で、楽しさや達成感、継続利用意図といった内発的動機づけに関わる指標については、明確な効果を示すには至らなかった。

本実験は、運転支援システムにおけるゲーミフィケーションが、「強い娯楽性」よりも「行動を邪魔しない適度な介入」として機能することの重要性を示唆している。今後は、長期利用を想定した実験や、ゲーミフィケーション要素の難易度・フィードバック設計の最適化を通じて、主観的体験と行動変容の両立をさらに検討する必要がある。

## 5.2 今後の課題と展望

本実験はシミュレータ環境かつ短時間の運転に限られたものであり、実車環境や長時間の運転における効果の持続性についてはさらなる検証が必要である。また、運転者の熟練度だけでなく本人の性格も考慮したシステム設計が、ストレス低減と受容性向上の鍵になる可能性が存在する。

## 6章 おわりに

本研究では、ゲーミフィケーション安全運転支援システムを開発し、ドライビングシミュレータを用いた評価実験を行った。実験の結果、提案手法が運転者の違反行動を減少させ、安全運転意識を高めるとともに、運転体験を向上させる効果があることが示唆された。今後は、個々の運転特性に合わせたアダプティブなゲーミフィケーションの実現を目指し、さらなる改良を進めていく。

## 謝辞

本研究は、名古屋大学エージェントを介した運転支援研究プロジェクトの支援を受けました。記して感謝いたします。

## 参考文献：

- [ 1 ] World Health Organization: Despite notable progress, road safety remains urgent global issue, World Health Organization, (2023).
- [ 2 ] National Highway Traffic Safety Administration: Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey, Traffic Safety Facts Crash Stats, Rep. DOT HS 812 115, (2015).
- [ 3 ] The MITRE Corporation: PARTS: Market penetration of advanced driver assistance systems (ADAS), The MITRE Corporation, (2024).
- [ 4 ] Statifacts.com: Advanced driver assistance systems market size 2025 to 2034 — industry forecast and analysis, Statifacts.com, (2025).
- [ 5 ] B. C. Tefft: Literature review of behavioral adaptations to advanced driver assistance systems, AAA Foundation for Traffic Safety, (2017).
- [ 6 ] L. Bainbridge: Ironies of automation, *Automatica*, Vol. 19, No. 6, pp. 775–779, (1983).
- [ 7 ] M. S. Young, N. A. Stanton: Malleable attentional resources theory: A new explanation for the effects of mental underload on performance, *Human Factors*, Vol. 44, No. 3, pp. 365–375, (2002).
- [ 8 ] K. A. Brookhuis, D. de Waard, W. H. Janssen: Behavioural impacts of advanced driver assistance systems, *Transportation Research Part F*, Vol. 4, No. 2, pp. 95–104, (2001).
- [ 9 ] M. S. Young, M. A. Regan, M. Hammer: Driver distraction: A review of the literature, *Distraction Driving*, pp. 379–405, (2007).
- [ 1 0 ] J. W. Paschmann, H. A. Bruno, H. J. van Heerde, F. Völckner, K. Klein: Driving mobile app user engagement through gamification, *Journal of Marketing Research*, Vol. 62, No. 2, pp. 249–273, (2025).
- [ 1 1 ] 藤田真吾: ゲーミフィケーションにおけるユーザエンゲージメントと動機づけの関係, *情報知識学会誌*, Vol. 38, No. 3, pp. 83–92, (2018).
- [ 1 2 ] E. Avril, A. P. S. Ranaweera, M. H. Martens: Gamification in the transport and mobility sector: A systematic review, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 104, pp. 286–302, (2024).
- [ 1 3 ] T. Takeuchi, N. Okada, T. Tanikawa, T. Narumi, T. Hirose: Influencing driver’s behavior on an expressway with intrinsic motivation, *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction (HCI)*, pp. 114–124, (2020).
- [ 1 4 ] T. Takeuchi: Gamification for influencing driving behavior on an expressway, *IATSS Review*, Vol. 48, No. 1, pp. 35–43, (2023).
- [ 1 5 ] 岡田尚樹, 竹内大輔, 谷川智洋, 鳴海拓志, 廣瀬通孝: 内発的動機づけに基づいた高速道路運転行動の誘発, *人工知能学会第 31 回全国大会論文集*, Paper 1A1-2, (2017).
- [ 1 6 ] 野崎敬太, 平岡拓也, 高田真悟, 川上洋司: 安全運転への動機づけを高める運転支援システム, *人工知能学会第 27 回全国大会論文集*, Paper 2B3-4, (2013).
- [ 1 7 ] W. W. Wierwille, S. S. Wreggit, C. L. Kirn, L. A. Ellsworth, R. J. Fairbanks: Research on vehicle-based driver status/performance monitoring: Development of validation tests and other analyses, National Highway Traffic Safety Administration, Tech. Rep. DOT HS 808 247, (1994).
- [ 1 8 ] D. F. Dinges, R. Grace: A PERCLOS-based drowsiness monitoring system: Theoretical and empirical foundations, *Proceedings of the AAA Foundation for Traffic Safety International Conference*, pp. 105–124, (1998).
- [ 1 9 ] D. F. Dinges, M. M. Mallis, G. Maislin, J. W. Powell: Evaluation of techniques for ocular measurement as an index of fatigue and the basis for alertness management, National Highway Traffic Safety Administration, Tech. Rep. DOT HS 808 762, (2005).
- [ 2 0 ] D. J. Lanska: Pathologic yawning, *MedLink Neurology*, MedLink, LLC, (2025).
- [ 2 1 ] 伊藤健: 音声操作による運転者の注意散漫低減効果に関する研究, 博士論文, 電気通信大学, (2017).
- [ 2 2 ] M. Schmidt, W. Minker, S. Werner: How users react to proactive voice assistant behavior while driving, *Proceedings of the 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC)*, pp. 485–490, (2020).
- [ 2 3 ] 国土交通省: 自動車の運転特性および安全評価に関する技術資料, 国土交通省, <https://www.mlit.go.jp/common/000221867.pdf> (2026 年 1 月 16 日参照)