

安全運転に対する動機づけ向上と行動変容を促す安全運転評価システム

研究代表者：京都大学大学院情報学研究科 助教 平岡 敏洋

まとめ 自動車の安全性を高めるためには、運転者の自発的な安全運転を促すことが重要である。本研究では、ゲームの設計論ならびに人間機械系の新しい設計論の一つである不便益という概念に基づき、安全に対する動機づけを高めて、運転者の行動変容を促す安全運転評価システムのインタフェースを構築した。運転履歴に基づく目標提示など、楽しみながら安全運転できる仕掛けを導入し、行動変容を促すことをシミュレータ実験により確認した。

1 研究の目的

自動車事故での死傷者数は依然高い水準にある。安全装置の導入はかえって危険な運転行動を誘発する危険性が指摘されており、自動車の安全性を高めるためには、運転者の自発的な安全運転を促すことが重要である。先行研究において、安全運転の定量的な評価指標を提案し¹⁾、運転評価結果を視覚情報提示することで、運転者の行動変容を促す効果を確認した^{2, 3)}。

本研究では、既存の評価指標に改良を加えたのち、安全運転に対する動機づけをより高めるために、ゲームの設計論ならびに新しい人間機械系の設計論の一つである不便益を参考にインタフェースを改良した安全運転評価システム (SDES: Safe Driving Evaluation System) を構築する。つづいて、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験を行い、ゲーム性の高さが運転者の主観的な益を高めて、ドライバの安全意識を向上させ目標リスク水準を下げるといった行動変容をより強く促すことを示す。

2 研究の方法・経過

2.1 安全運転評価指標の改良

先行研究¹⁾で提案された安全運転評価指標を改良して用いる。改良点は、1) 指標 I_A において加減速の滑らかさも考慮した指標とする、2) 従来の指標 I_F, I_B において、危険事象に対して素早く反応した場合に、評価対象時間が極めて短くなるために低評価となりやすいという問題点を解決する、という2点である。各指標は0~1の値で評価され、大きい値ほど安全性が高い。

指標 I_F : 前方障害物回避のために適切に減速したか

指標 I_B : 自車に対する後続車の I_F

指標 I_A : 無理なく滑らかに加減速操作を行ったか

指標 I_D : 先行車の急減速に備えて車間を空けたか

2.2 SDES のインタフェース設計に用いる設計理論

2.2.1 動機づけを高めるシステム設計

A) 自己決定理論: 動機づけに関する代表的な理論の一つである自己決定理論⁴⁾では、1) 自律性: 行動主体が自分であること、2) 有能さ: 外界に対して効果的に作用すること、3) 関係性: 外界との関わり方、への欲求を満たすことで自律的に行動すると述べている。

B) ゲームニクス理論: ユーザの行動変容を促す手法の一つに、ゲーム以外の文脈にゲーム要素を取り入れるゲーミフィケーションがある。サイトウが提案するゲームニクス理論⁵⁾で示されたシステムの設計原則は、原則1) 直感的なユーザインターフェース、原則2) マニュアル不要の操作理解、原則3) はまる演出と段階的学習効果、原則4) ゲームの外部化の四つからなる。

C) 能動的工夫の余地を残す設計論 (不便益): 人間機械系の新しい設計論の一つである不便益⁶⁾の概念で

は、ユーザの主観的な益 (自律性、有能さ、関係性への欲求の満足感など) を重視する。したがって、手間が主観的な益を高める点に着目し、運転者が安全運転のために工夫できる余地を残す設計が望ましい。

D) 自発的な安全運転を促すシステム設計指針: 先行研究⁷⁾で提案された、安全運転を促すためのシステム設計指針は、1) 安全運転に対するインセンティブ、2) 有能感を促進する娯楽性、3) 連続的かつマルチモーダルな情報提示、4) S-R 適合性を満たすインタフェース、5) 直感的なシステムの制御則や仕組み、6) 錯覚利用による知覚リスク量増加、の6項目であり、本研究で提案するシステムと本指針の関係についても考察する。

2.3 提案インタフェースにおける特徴

2.3.1 直感的な UI

画面上下を車の前後関係に対応させて、表示内容の直感的理解を促し、利用動機づけを阻害しない (図1)。

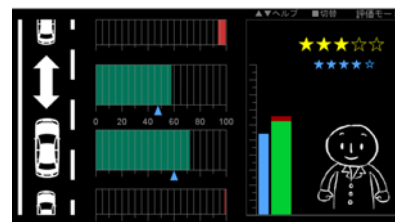


図1: SDES の視覚情報インタフェース

2.3.2 マニュアル不要の操作理解

使用当初は指標 I_A, I_D の2項目の成績だけを視覚提示する簡単な表示とするが、使うにつれて表示内容を増やしていき、最終的には4指標全ての成績を同時に提示する。また、潜在的危険に対する指標 I_A, I_D の成績表示を大きく目立たせることで、設計意図である予防的な安全運転を重点的に促す。また、ヘルプ表示機能 (図2) を搭載し、動作説明を画面上に表示可能にして、取扱説明書を手に取って読む手間を省く。

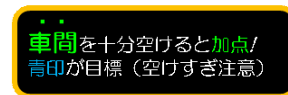


図2: ヘルプ表示 (指標 I_D)

2.3.3 はまる演出と段階的学習効果

運転評価成績に対して達成目標を与えて、次第に目標の達成難易度を高くすることで安全運転の段階的習熟を促す。図3の手順で目標達成判断・目標更新を行い、効果音を随時提示して律動的な動作を演出する。

1) 成績提示: 各指標の区間成績¹⁾を計算して、停止時のみに緑色または赤色の数値バーを表示する。各区間の

¹⁾ 発進してから停車するまでの追従走行区間における平均成績。

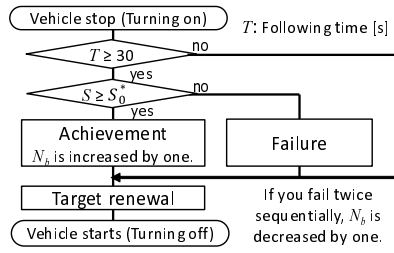


図 3: 目標達成判断・目標更新の流れ

追従走行時間 T が 30 秒未満のときは運転評価を行わない。予防的な安全運転の実施成績 (I_A, I_D の成績) を緑色の加点対象、顕在化した危険 ($1 - I_F, 1 - I_B$ の成績) を赤色の減点対象として、得点 S を算出し、バー表示する (図 4 参照)。

$$S = I_A + I_D - (1 - I_F) - (1 - I_B) \quad (1)$$

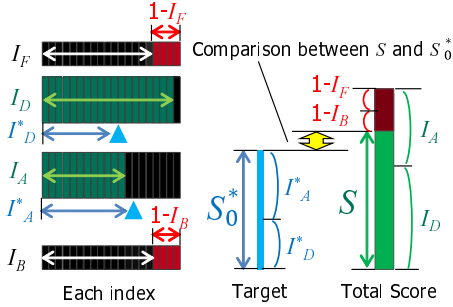


図 4: 総合得点 S の計算

2) 目標提示: 加点対象の I_A, I_D に対して、運転技能に見合った目標値 I_A^*, I_D^* を計算する。目標値算出方法は、報酬や罰を用いた行動形成手法の一つパーセントイルスケジュールに基づく先行研究⁸⁾の知見を参考にして、図 5 の手順によって行う。

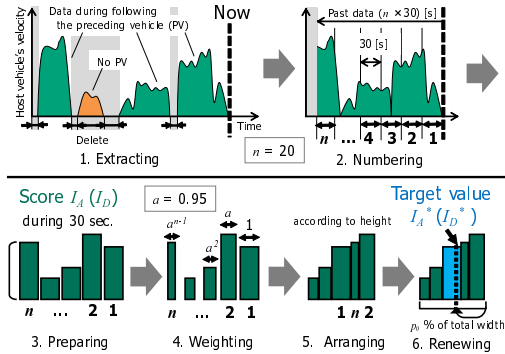


図 5: 目標値の計算手順

目標値 I_A^*, I_D^* の単純和を目標点 S_0^* とする。

$$S_0^* = I_A^* + I_D^* \quad (2)$$

I_A^*, I_D^* は青色の三角形の標的、 S_0^* は青色の縦方向数値バーとして提示され、停車するたびに更新される (図 4)。この方法で算出された目標値 S_0^* には減点項目 I_F, I_B の成績履歴が反映されないが、実験 2 では目標値 S_0^* の計算方法を変更した目標値 S^* を用いる。

3) 目標達成判断: 停車するたびに図 3 の手順で達成判断を行う。目標の達成状況に応じて画面右上の青色、黄色の星の数 N_b, N_y が変動する。 N_b は目標達成時に 1 個増え、2 回連続で失敗すると 1 個減る。同時に、達

成・失敗を通知する効果音が提示される。1 個の N_y は 5 個の N_b に相当する。利用開始時は $N_y, N_b = 1$ であり、 $N_y, N_b = 5$ の上限に至ると「上限に達しました」という文字が画面提示されるが、上限到達後も目標達成判断は行われ、 N_b の増減履歴が記録される。

4) 段階的習熟支援: 使用するにつれて目標の難易度 $D (= N_y)$ を上げて、段階的学習を促す。5 段階の難易度 D に応じて得点または目標の計算方法を変える (図 6)。 N_b が 5 個増えるごとに D は上がり、 $D = N_y = 5$ が最大難易度となる。使用開始当初の $D = 1$ では目標の達成可能性 p_0 を 70% に設定し、 I_A, I_D の 2 指標だけで得点 S を計算する (減点項目は得点計算に含めない)。 $D = 2, 3$ では I_F, I_B を順次減点対象に加えて評価項目を増やしていく。 $D = 4, 5$ では、 p_0 を 60%, 50% として、より難しい目標に挑戦させる。

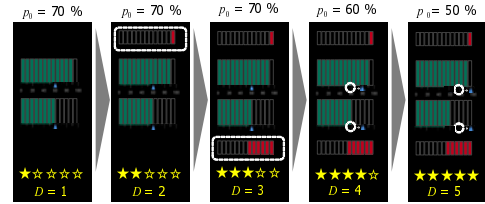


図 6: 難易度ごとの得点・目標値の計算方法

2.4 実験 1: 提案システムの受容性および評価指標の改良効果に関する基本的検証

実験 1 ではシステムの受容性評価実験を行い、システムのゲーム性の高さ、利用動機づけに与える影響、指標 I_F, I_B, I_A の改良効果を確認する。

2.4.1 実験条件

実験参加者は、実験前にインフォームドコンセントを実施し、実験参加の同意を得た若年者 11 名 (女性 1 名、年齢: 21~30 歳、運転歴: 平均 39ヶ月) である。

ドライビングシミュレータ上にシステムを実装し、全参加者がシステムを使用する。自車両 (HV) は、二車線の直線道路 (全長 8[km]) を走行する。また、HV 前方には、市街路や郊外路の日常的な交通状況を模擬した速度パターンで走行する先行車 (PV) が存在し、HV 後方には常に後続車 (BV) が追従する。

実験参加者には、a) 左車線を走行し PV に追従する、b) PV との車間が必要以上に空くと、BV が追越しを行う、c) 他車との衝突や追越しが多いと走行をやり直す、d) 運転に支障がない範囲で可能な限りサブタスク²を行う、と教示した。

2.4.2 実験手順

実験走行は 3 日間で、条件 1, 2: システムなしの通常走行 1, 2 (n_1, n_2), 条件 3~11: システム提示走行 1~9 ($s_1 \sim s_9$), 条件 12: 通常走行 3 (n_3) という計 12 回行った。随時、慣熟走行や練習走行を行い、シミュレータ環境での運転に十分慣れてから、各条件での走行を計測した。

質問紙では、7 件法 (1: 全くあてはまらない ~ 7: 非常にあてはまる) で「活用度」「動機づけ」「ゲーム性」「意識変化」「運転特性」などの項目に回答させた。

²コース上に配置された標識の数字を見て、ハンドル横に設置されたダイヤルスイッチを操作する課題。

2.4.3 実験結果

1) **被験者全体**: 全実験参加者の総合得点 S , 各走行条件の走行終了時点の到達レベル³ L , 改良後の4指標 I_F, I_B, I_A, I_D の推移を調べたところ、実験が進むにつれて、得点 S と到達レベル L が増加していること、指標 I_D, I_A についてはあまり変化がないこと、指標 I_F, I_B については減点が減っていることが確認された。

つぎに、主観評価結果を分析した結果、システムを活用し、能動的に工夫して目標を達成しようとする努力したものの、システムの利用動機づけは比較的低く、有能さを知覚できなかった者が多いことが判明した。

ゲーム性の評価項目については、操作理解度の平均が5.5点と概ね高評価を得た。しかし、4指標の理解度に対する回答結果には、ヘルプの内容不足に対する不満や評価方法に対する疑念が生じたことが原因と思われる個人差があった。一方、楽しさや熱中度などの「はまる演出や段階的学習効果」の評価項目は、参加者間で評価が割れる傾向にあった。システムの難易度が高いと回答した者が11名中6名と多く、その結果として熱中度に個人差が生じたのではないかと推察される。

2) **熱中度の違いによる比較**: システム使用中の熱中度の回答結果に基づいて、実験参加者をG1とG2の2群に分類し、熱中度に影響を与える要因と熱中度の高低による意識や行動の違いを検証する。

G1: 熱中して使用した5名(熱中度が5点以上)

G2: 熱中しなかった6名(熱中度が3点以下)

群ごとの走行データを図7に示す。総合得点 S に関して、群と走行条件を要因とする2要因分散分析の結果、交互作用は無く、群の単純主効果は有意傾向 ($F(1, 9) = 3.75, p < .10$) であった。つまり、熱中したG1の実験参加者のほうが安全運転の技能が高かった。また、熱

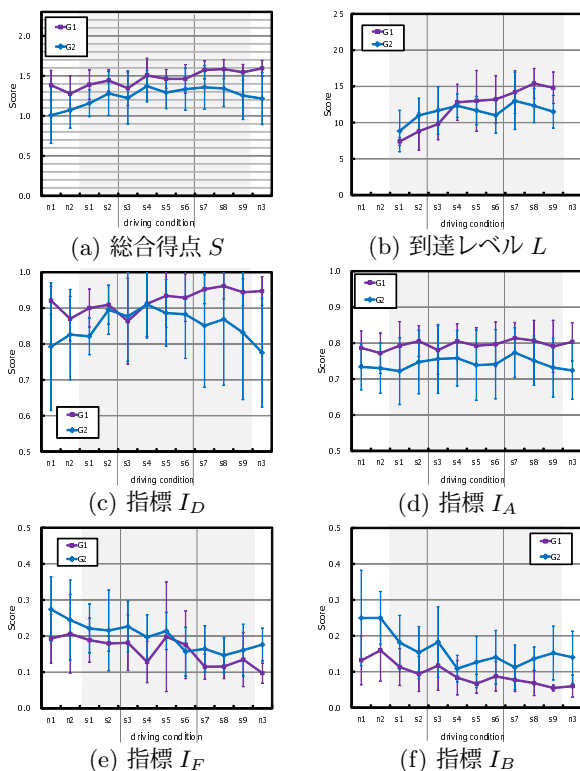


図7: 実験1の結果 (G1群とG2群の比較)

³ 走行終了時における青色の星の総獲得数。

中しなかったG2の運転成績はs8からn3にかけて低下しており、途中から安全運転に取り組みなくなった可能性がある。一方、到達レベル L の結果では、G1は走行を重ねるにつれて向上したが、G2は途中から伸び悩む傾向がある。これには二つの理由が考えられる。G2の参加者は達成失敗が比較的多かったこと、一部の実験参加者が一時的に練習モードまたは非表示モードを使用したことである。

4指標の結果をみると、 I_D, I_A については両群ともにn1からn3までほぼ一定で推移し、 I_F, I_B では両群ともに減点が減少するが、G2と比べてG1のほうが全体的に高得点であり、得点 S と同じ傾向がある。

主観評価結果を比較すると、総じてG1はシステムに対して高い受容性を示した。G2と比較して、G1の「楽しさ」「達成感」「有用性評価」「学習度」「安全意識」は有意水準10%以下で高かった。つまり、運転技能が高く熱中できた者ほどシステムの有効性が高まり、主観的な益を獲得して行動を変容させたことがわかる。一方のG2は、運転技能が低く、指標の理解度・納得度が低かったために、難易度が高く感じられて挫折してしまった者が6名中3名いた。また、G1よりもG2のほうが、システムに対して嫌悪感を感じたが、安全運転への自信や実施願望は高いという結果が得られた。

2.5 実験2: 提案システムの改良版を用いたゲーム性の導入効果検証

実験2では、ゲーム性を高めるためにシステムを改良したのち、ゲーム要素の導入効果を検証する。

2.5.1 SDESの改良点

実験1の結果に基づいて、SDESに対して次の改良を行った。1) ヘルプの表示内容を大幅に増やす(図8)、2) 取扱説明書の作成、3) 減点履歴を反映させた目標計算を行う、4) 達成可能性 p の値を、 $D = 1 \sim 3$ では60%、 $D = 4 \sim 5$ では50、40%とする。

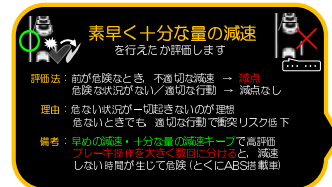


図8: 詳細版ヘルプ表示 (指標 I_F)

2.5.2 実験条件

実験参加者は、実験前のインフォームドコンセントにより実験参加の同意を得た若年者20名(女性2名、年齢:19~24歳、運転歴:平均34ヶ月)である。運転歴に偏りが生じないように参加者を次の2群に分けて被験者間比較実験を行う。

実験群 E 群: 改良版システムを使用する群

統制群 C 群: 成績表示システムを使用する群

ここで成績表示システムは、改良版システムから「ヘルプ表示」、「目標設定」、「段階的習熟支援」の機能を取り除き、ゲーム性を比較的低くしたものである。

なお、実験手順は実験1と同じである。

2.5.3 実験結果

各群の走行データを図9に示す。両群ともにシステムの利用に伴い、より安全な運転を行い総合得点 S を

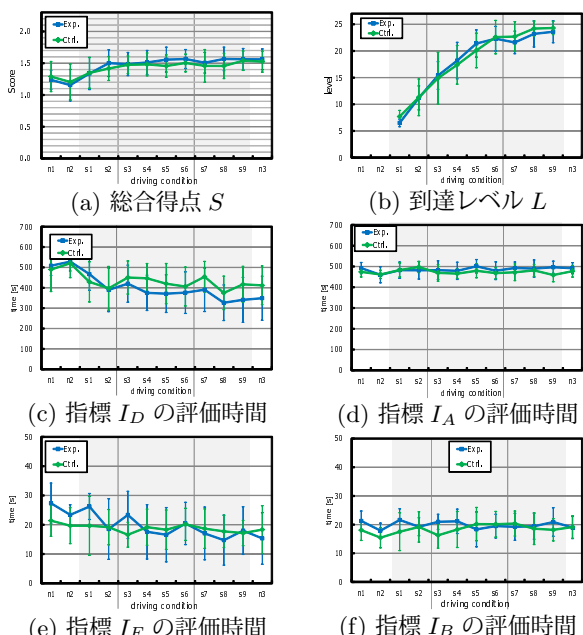


図 9: 実験 2 の結果 (システムの違いによる比較)

高めた。s2 以降では、E 群の成績が C 群を上回る傾向が確認されるが、群と走行条件を要因とする 2 要因分散分析では交互作用は認められなかった。到達レベル L の推移をみると、E 群は C 群よりもわずかに早く向上するが、走行条件 s6 でレベルの上限付近に達すると一時的に得点 S が低下し、それに伴い L が下がると再び得点 S が上がるという様子が確認できる。しかし、2 要因分散分析では交互作用は確認されなかった。また、E 群 6 名中 5 名の成績が上限到達直後に下がり、成績が統計的に有意に低下した。この傾向は C 群にはなく、ゲーム性を考慮した支援の大きな有効性を示すとともに、継続的な支援の必要性を示す結果である。

4 指標の推移については、E 群の I_D, I_A の成績が実験中盤から終盤にかけて C 群を上回り、 I_B の成績が C 群よりも全体的に良いという結果が得られたが、各指標ともに群間に統計的な有意差はなく、改良版システムが成績表示システムよりも有効であるとは言い切れない。そこで、各指標の評価時間 (図 9(c)~(f)) に注目して分析を行う。2 要因分散分析の結果、 I_D, I_F, I_B の評価時間に有意水準 10% 以下で交互作用が認められた。E 群の I_D の評価時間は走行を重ねると減少しており、C 群よりも広く車間を空けた結果、E 群の I_D の成績は C 群を上回ったと考えられる。 I_F の結果では、E 群のみ評価時間が短くなった。これは、E 群が車間を空けつつ、前方への注意を払った効果だと推察される。 I_B の評価時間は、C 群が次第に向上するのに対して、E 群は一定で推移しており、E 群は前方を意識すると同時に、後方への配慮も行っていた。

3 研究の成果

3.1 ゲーム性に富む安全運転評価システムの提案

本研究では、先行研究で提案された安全運転の評価指標に改良を加えて、日常的な運転場面での評価に適した指標を作成した。そして、これらの指標を視覚提示する際に、心理学の動機づけ理論やゲームの設計論を参考にして、運転者の主観的な益を高めて、熱中しながら安全運転できる仕掛けを施した。

3.2 実験 1 のまとめ

DS 実験を行った結果、指標の改善効果が示され、さらに、**特徴 1)** 普段から安全運転を意識する者に対しても安全運転のための能動的工夫の余地を残す、**特徴 2)** 多くの運転者に能動的工夫を促す、**特徴 3)** 使用者の熱中度と受容性・獲得される主観的な益・安全運転の技能には相関がある、**特徴 4)** システムが提示する評価よりも主観的な安全運転評価を重視する運転者に対しては有効性が低い傾向にある、**特徴 5)** 難易度が高く安全運転の技能が低い者に対しては利用動機づけを低下させる恐れがある、**特徴 6)** 指標 I_F, I_B, I_A の評価方法および具体的な改善策が伝わりづらい、といった特徴が明らかになった。

3.3 実験 2 のまとめ

実験 1 で表出された問題点を改良して、ゲーム性をより高めた改良版システムを作成した。改良版システムと単純に運転成績を表示するだけのシステムの比較実験を行い、両システムともに安全運転を促すが、ゲーム性の高い改良版システムのほうが使用者の主観的な益を高めて、強く行動変容を促すことが示唆された。

4 今後の課題

今後の課題として、1) 中長期的な運転履歴情報の視覚提示法の検討、2) ランキング機能など関係性への欲求を満足させる支援法の検討、3) マルチモーダルな情報提示による実時間情報フィードバックを与える支援法の検討、4) 実車環境での有効性評価などが考えられる。

研究成果の公表方法

本研究の成果は国内外の学会にて口頭発表を予定している。その後、査読付き論文誌に投稿予定である。

参考文献

- 1) 平岡ほか：自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第 1 報) —衝突回避減速度を用いた評価指標の提案—, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.1, pp.665-671 (2013)
- 2) 高田ほか：自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第 2 報) —評価システムが運転行動に与える影響—, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.1, pp.673-678 (2013)
- 3) 高田ほか：自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第 3 報) —システムに対する能動的利用理解が利用動機づけに与える影響—, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.103-13, pp.13-18 (2013)
- 4) Deci, E. L., Ryan, R. M.: Handbook of self-determination research, University Rochester Press (2004)
- 5) サイトウ：ゲームニクスとは何か, 幻冬舎 (2007)
- 6) 川上：不便の効用に着目したシステムデザインに向けて, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.11, No.1, pp.125-133 (2009)
- 7) 平岡：ドライバに安全運転を促す運転支援システム, 計測と制御, Vol.51, No.8, pp.742-747 (2012)
- 8) 平岡ほか：自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム, 計測自動制御学会論文集, Vol.48, No.11, pp.754-763 (2012)