

自動運転におけるドライバの 安心感抑制による注意力向上への効果

○多賀野亮太 田中健次（電気通信大学大学院）

Effect of Suppressing Driver's Security Feeling on Improving Attention in Automated Driving

* Ryota Tagano and Kenji Tanaka (University of Electro-Communications)

Abstract— In research of automated driving, we often pursue control method to ensure security feeling as well as safety. However, there are the possibilities that driver neglects monitoring driving environment and delays overriding automated driving system due to feeling easy. Therefore, in automated driving system, which imposes driving responsibility on the driver, it is not always good to pursue security feeling. Hence this research focused on the security feeling to the timing of automatic brake control and evaluated the possibility that the suppression of security feeling makes driving behaviors such as gaze behavior and overriding automated driving system become safer.

Key Words: 自動運転, 自動制御, 不安感, 安心感, ブレーキタイミング, ヒューマンファクタ

1. はじめに

1.1 自動運転システムの現状

現在, 自動車の自動走行の開発・実用化が世界的に進行している. 各国で普及しつつある自動運転はレベル2のシステムであり, 運転の主体はあくまでドライバにあるため, ドライバは常に走行環境を監視し, 異常があった場合はすぐに運転制御に介入し, 事態に対処しなければならない. 走行の安全を確保するためには, ドライバが認知・判断・操作からなる運転行動を正しく行う必要がある. しかし, それはドライバにとって困難であるという問題が存在する. 例えば, 2016年にテスラモーターズのレベル2の自動運転車とトレーラーとの衝突死亡事故が起こっている. ドライバの注意散漫により事故が引き起こされた可能性が, 調査により指摘されている¹⁾. よって, 自動運転レベル2において適切に走行環境の監視と運転介入を行えるよう, 対策を考えていく事が急務の課題である.

1.2 自動運転におけるドライバの安心感

自動運転において, ドライバの安全だけではなく, ドライバの安心を確保しようという動向がある. 例えば, SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) は, 全ての自動運転レベルで改善すべき課題として, 自分と異なる運転の仕方に対する不安・不快を挙げている²⁾. 日産自動車は, ドライバの運転パターンを人工知能が学習し, それを運転制御に反映する自動運転車の開発を進めている³⁾. システムによる運転制御の挙動をドライバの好みに近づけることにより, ドライバが安心し, 受容性が高まることなどが期待されている.

自動運転における自動制御を乗客がどのように感じるかについて, 嶋田ら⁴⁾は, 不安を感じる可能性がある運転シーンを自動運転を模擬した車両で走行した後にアンケートを実施することで, ドライ

バの不安感と車間距離, 自車速度の関係を明らかにした. また, 田中ら⁵⁾は手動でのブレーキ操作に対する安心感, 不安感がどのように生じるかを検証し, ドライバ個人の感覚を分類できることを明らかにした.

自動運転車が安心して乗れるものであれば, ユーザにとって嬉しい. しかし, 運転責任がドライバにある自動運転では, 安心することにより監視義務や運転対応を怠る可能性がある. 中谷内⁶⁾はリスク心理学の観点から, 安全と安心は本質的に相反する面があると論じている. リスク管理は将来の安全を高める行為であるが, それを駆動させるのは不安や心配なのである. よって, 自動走行システムの運転制御によりドライバが安心してしまうと, 注意力・リスク意識を低下させてしまう可能性がある. 加速・操舵・制動が全て自動化されているような自動化レベル2の自動運転においては, 基本的にシステムが運転制御を行うが, ドライバが監視や介入を行う必要があるため, 安心により注意力を低下させることは特に問題になる.

2. 研究目的

関連研究⁴⁾⁵⁾では, ブレーキのタイミングや減速度の大きさがドライバの安心感に影響することを明らかにしている. しかし, それらはドライバの安心をいかに得るかというスタンスの研究であり, ドライバの注意力やリスク意識, 運転行動への影響については着目していない. 本研究では, 安心感が不安全な行動につながるとの推測に基づき, 逆に自動運転レベル2においてはドライバの安心感を抑制することが, ドライバの注意力の向上, 安全な運転行動につながる可能性に着目する.

レベル2の自動運転システムでの自動制御においては, ドライバの安心感を抑制した方が, 運転に

おける走行環境の監視や緊急時の運転介入を円滑に行えるということを、実験で検証する。

3. 実験

3.1 実験目的と仮説

本実験は、レベル2の自動運転でドライバーの安心感を抑制したときの、注意力や安全な運転行動への効果を明らかにするため、異なるドライバーの安心感の下で、緊急イベント発生時の行動対応時間と視線挙動を比較・評価する。実験では、ドライビングシミュレータとアイトラッカを用いる。異なる安心感は、自動制御によるブレーキタイミングを利用して設定した。視線挙動より、認知の基となる走行環境の監視をどのように行っていたかをみることが出来る。緊急イベントは、監視による認知、そこからの判断・操作による運転介入が円滑に行えるかをみるためのイベントである。

本実験では、以下の2つの仮説を立てた。

1. 不安を感じるブレーキタイミングであるほど、走行環境の監視において見る範囲が広く、視線移動が多くなる。
2. 不安を感じるブレーキタイミングであるほど、緊急イベント時の対応時間が早い。

3.2 比較条件

自動制御のブレーキタイミングに対する安心感の軸を実験参加者毎に揃えるため、本走行前に、先行車が減速した後に自車の自動制御によるブレーキがかかるシナリオを複数回体験してもらい、不安や安心を感じるブレーキタイミングを実験参加者毎に明らかにした。具体的には、自車がブレーキをかけたときの先行車との距離を32mから徐々に小さくしていき、質問紙における4段階での評価により、それぞれでの不安感をFig.3.1で測った。比較条件として設定した3種類のブレーキタイミングは、実験参加者の回答した質問紙の評価値1, 2, 3に対応させ、それぞれ以下のように呼称する。

- ・不安なブレーキタイミング (評価値 1)
: Anxious (A)
- ・やや不安なブレーキタイミング (評価値 2)
: Somewhat Anxious (SA)
- ・やや安心なブレーキタイミング (評価値 3)
: Somewhat Easy (SE)

本研究では不安を感じていない状態を安心と定義し、あまり不安を感じなかったブレーキタイミングを、やや安心なブレーキタイミングと呼称した。

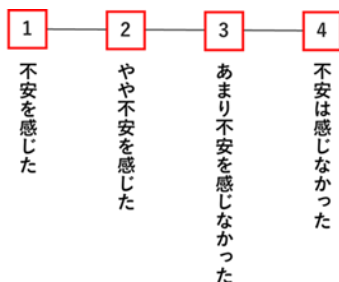


Fig. 3.1: Question to measure security feeling of the brake timing

3.3 実験シナリオ

実験シナリオは、加速・制動・操舵が自動化された自動化レベル2を模擬した自動運転車で、片側1車線の市街地道路を1走行約8分間、50km/hを維持して直進する。ドライバーはいつでもブレーキによる運転介入が可能である。システムは常に完璧に動作する保証はなく、緊急時にはドライバーが運転介入する義務がある。このことは実験参加者に教示した。先行車に追従して直進するが、先行車が減速した後、自車が自動制御でブレーキを掛けるイベントが1走行で3回存在する。実験参加者1名に対し、自動制御のブレーキタイミングの違いによる3つの比較条件(3種の不安レベル)で各1回、合計3走行を実施する。順序効果を考慮し走行順を決定した。ドライバーの介入が必要な緊急イベントとして、視界脇から子供が飛び出してくるハザードを3走行目の最後のシーンで1回のみ発生させ、対応時間を計測した。これは、一度緊急イベントを発生させるとそれ以降は実験参加者の警戒心が高まることから予想されるからである。イベントはTTC(Time To Collision, 衝突余裕時間)4.0secの時点で発生させた。実験参加者が実施した本走行の流れの一例をFig.3.2に、緊急イベントの概観図とイベント発生時のDSの画面をFig.3.3にそれぞれ示す。

3.4 実験参加者

実験参加者は、普通自動車免許を有する20代の男子学生22名、20代の女子学生1名、30代男子学生1名の計24名であった。

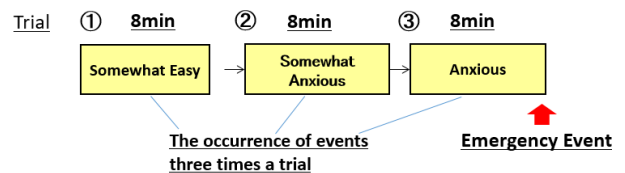


Fig.3.2: An example flow of the trial

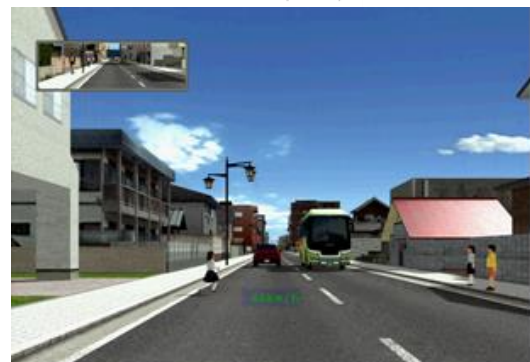
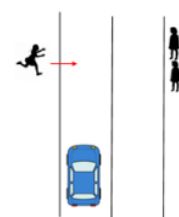


Fig.3.3: Emergency event

4. 結果

4.1 緊急時のブレーキタイミング

ドライバの走行環境の監視によるハザードの認知、そこからの判断・操作による運転介入の円滑さを調査するために、子供の飛び出しイベント発生時のブレーキタイミングを比較した。

・ブレーキ踏み込み準備時＝ブレーキペダルに足を乗せるために床やアクセルペダルから足を移動させた時点で、ハザードを認知（知覚し、それがハザードであると意味付け）した時点

・ブレーキ踏み込み時＝ブレーキを踏み制動が開始された時点で、判断を行い、操作を開始した時点と捉えた。Fig.4.1は、それぞれの時点でのTTCの平均を比較した結果である。

ブレーキ準備動作、踏み込み動作ともに、SAがSE・AよりもTTCの値が約0.5秒大きく、余裕をもって行うことができている。分散分析を行ったが、有意差はみられなかった。

踏み込み準備時と踏み込み時での条件間のTTCの差（Fig.4.1における傾き）がほぼ変わらないことから、判断、操作に要する時間に差異はなく、認知段階での遅れがそのまま運転介入の遅れになったことが示唆される。ブレーキタイミングの差が0.5秒存在すると、時速50km/hで走行する自動車は、この間に約7m進んでしまう。緊急時における対応の遅れとしては、大きな遅れである。また、標準誤差は準備時・踏み込み時ともにSAが最も小さい。つまり、SAでは効果の個人差は比較的小さい傾向にあった。

4.2 視線挙動

ドライバの運転行動の中で認知は重要だが、その基となる走行環境の監視をどのように行っていたかを、走行画面をLEFT, CENTER, RIGHT領域に3分割して解析した。

Fig.4.2は、走行中の注視点がLEFT, CENTER, RIGHTそれぞれの領域に存在した割合の平均値を比較したものである。注視点とは、人の見ていた対象の位置のことを示す。これにより、走行環境のどの辺りをどれだけ見ていたのかが分かる。

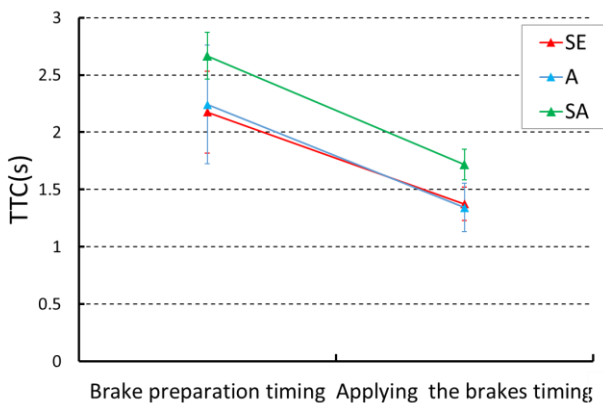


Fig.4.1: Brake timing when emergency event

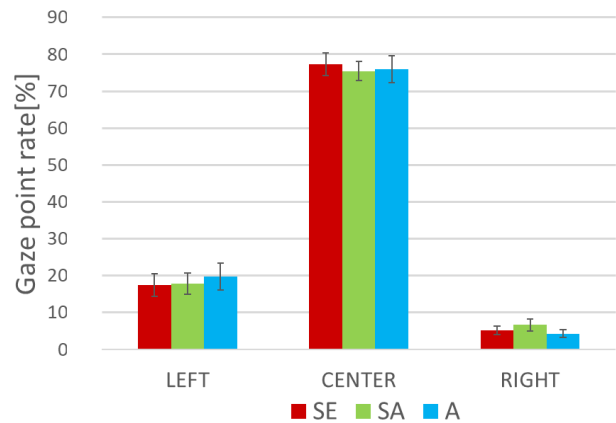


Fig.4.2: Rate of gaze point for each region

また、ある停留点からある停留点への視線の移動回数の平均値を比較した結果がFig.4.3である。停留点とは、眼球が跳躍運動をせずその視点がとどまり、人が視覚情報を取得している状態の視点である。この回数が多いほど、視覚情報を得るために頻りに視線を動かしていることを示す。さらに、ある停留点からある停留点への視線の移動の内、LEFT, CENTER, RIGHTの領域のいずれかをまたいだ回数の平均値を比較した結果がFig.4.4である。この回数が多いほど、視覚情報を得るために視線を広域にわたって動かしていることになる。

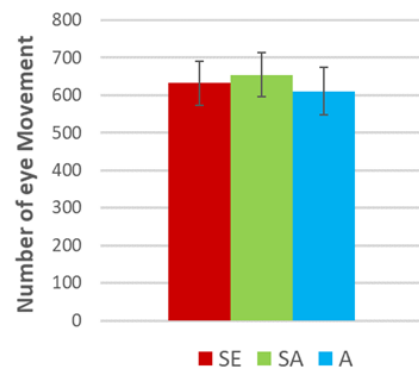


Fig.4.3: Number of eye movements

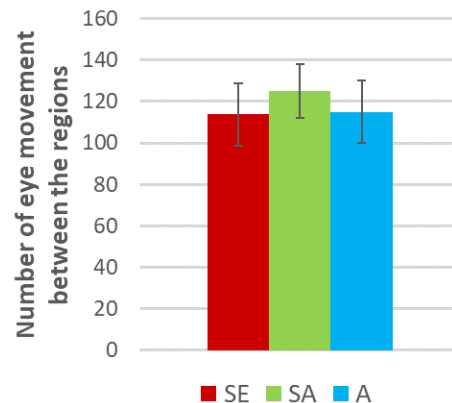


Fig.4.4: Number of eye movements between the regions

注意すべき対象を見落とさないためには、先行車が常に存在する CENTER 領域を中心に視つつも、LEFT や CENTER を見る割合を増やしていく必要がある。Fig.4.2 より、SA・A は SE と比較して CENTER の注視点の割合がやや低く、その分 LEFT・RIGHT の注視点の割合がやや高い傾向にあるため、より安全な走行環境の監視である可能性がみえる。ただし、これだけでは視線を各領域に頻りに動かしていたのか、視線を各領域に留めていたのかは判断できない。それを示す Fig.4.3 の視線移動回数と Fig.4.4 の領域間視線移動回数の結果より、どちらも SA が最も回数が多く、SA でより頻りに、かつ広域にわたって視線を動かしていたことが分かる。これは注意すべき対象を見落とさないようにするという観点で、より安全な走行環境監視を実施していた可能性を示唆している。また、標準誤差に着目すると、RIGHT の注視点の割合以外の全項目で SA は効果の個人差が比較的小さい傾向にあった。これらは、4.1 のブレーキタイミングの結果と整合する。

4.3 許容度

自動制御において不安を感じるブレーキタイミングは、仮にドライバの運転行動にポジティブな効果を与えとしても、ドライバに許容されない可能性がある。許容されなければ、そのようなシステムは利用されない可能性が高い。実験でのブレーキタイミングの許容度を評価するため、各走行後に利用した自動運転車が許容できるものだったかについて質問紙で回答を求めた。「①許容できない/あり得ない」、「②あまり許容できない」、「③まあ許容できる」、「④許容できる」の4段階評価で回答してもらった。回答の番号を点数とし、平均値を比較した結果が Fig.4.5 である。

2点と3点の間に許容されるか否かの境目が存在するが、SA 条件は3点に近く、やや不安を感じるブレーキタイミングではあるものの、許容される傾向にあった。4.1・4.2 では、やや不安を感じるブレーキタイミングで安全な運転行動に効果がある可能性が示されてきたが、そのタイミングはユーザに許容され、システムとして検討できる可能性は高い。

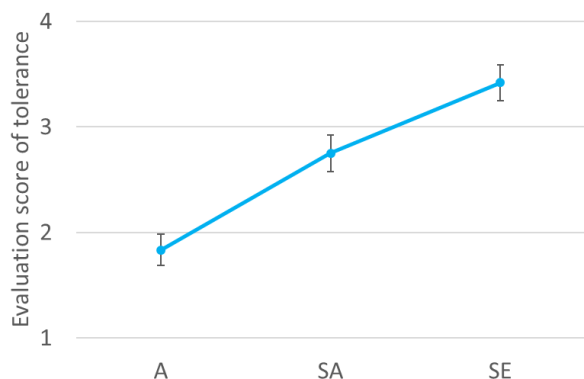


Fig.4.5: Evaluation score of tolerance

5. まとめと今後の展望

本実験より以下の結果が得られた。

- ・やや不安なブレーキタイミングのとき、被験者のブレーキによる運転介入が最も早い傾向がある。
- ・その運転介入のタイミングの差異は、認知段階のタイミングの差異によるものである。
- ・やや不安なブレーキタイミングのとき、最も頻りに、かつ広域にわたって視線移動をする傾向がある。
- ・やや不安なブレーキタイミングのとき、運転行動への効果の個人差は比較的小さい傾向がある。

上記の結果より、仮説 1.「不安を感じるブレーキタイミングなほど、走行環境の監視において視ている範囲が広く、視線移動が多くなる」は、不安を強く感じさせない「やや不安を感じるブレーキタイミング」のレベルで成り立つことが分かった。仮説 2.「不安を感じるブレーキタイミングなほど、緊急イベント時の対応時間が早い」も、「やや不安を感じるブレーキタイミング」で対応時間が早くなることが分かった。

ドライバの安全な運転行動には、あまり強すぎない、やや不安を感じさせる程度が有効である可能性が示された。さらに、そのやや不安なレベルであったとしても、それはドライバに許容されうるレベルである可能性が確認できた。

ただし、以下のことに留意しなければならず、今後の課題とする。

- ・本実験は自動制御のブレーキタイミングという限定された対象に対する不安感に関しての結果であり、例えばハンドル操作などの他の対象に対する不安感に関しても明らかにする必要がある。
- ・傾向は確認できたが、被験者を更に確保していくことが必要である。
- ・やや不安を感じるブレーキタイミングでも緊急時の運転介入が遅れた被験者は存在するため、対策を考えていく必要がある。
- ・システムの長期的な使用後の評価が必要である。

参考文献

- 1) National Highway Traffic Safety Administration: ODI RESUME, (2017)
- 2) 経済産業省: 自動走行ビジネス検討会 報告書『自動走行の実現に向けた取組方針』, 政策特報, 1521, 76/110 (2017)
- 3) <https://www.sankei.com/economy/news/180717/economy1807170005-n1.html> (参照 2019-02)
- 4) 嶋田淳, 河原健太, 城戸恵美子, 朴伸映, 吉武良治: 自動運転車両における運転者の不安感評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.19-No4, 333/342 (2017)
- 5) 田中裕章, 竹森大祐, 宮地智弘, 入部百合絵, & 小栗宏次: 自動車の制動時の安心感に関する研究 (特集 自動運転を支える技術)--(システム技術), Denso technical review, 21, 30/36 (2016)
- 6) 中谷内一也: 安全。でも、安心できない… 信頼をめぐる心理学, 筑摩書房, (2008)