

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11398

研究課題名（和文）自動運転システムの過信抑制インタフェースの設計指針の提案

研究課題名（英文）Proposal of design guidelines for overconfidence suppression interface of autonomous driving system

研究代表者

鈴木 桂輔 (Keisuke, Suzuki)

香川大学・創造工学部・教授

研究者番号：80373067

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：レベル2～3に相当する自動運転システムの実用化において課題となっているシステムに対する過信を抑制し、人間・自動車系としての総合的な安全性を高く維持することのできる、情報提示システムの設計例を示した。また、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験において、システムのみで回避できない衝突リスクが発生した場合に、ドライバの運転準備レベルが高まり、衝突事故の発生確率を68%低減できることを確認した。ついで、情報提示システムが不作動となった場合の負の効果も考慮した、情報提示システム使用時の人間・自動車系としての総合的な安全性の改善効果を検証し、情報提示システムに求められる不作動確率の基準値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動運転のレベル2～3に相当する半自動運転システム使用時の死亡事故がマスコミで取り上げられ、普及促進が滞っている状況を否定できない。本研究では、これを解決する手段の一つとして、システム側で事故の回避制御を十分に行えない状況において、ドライバの運転準備レベルを高め、速やかに運転の主権をドライバに戻して、事故の回避確率を高くするインタフェースシステムを提案し、その事故低減効果の観点での効果を検証する手法を示した。また、実用化において課題となる、提案するシステムに求められる信頼性を、システムが不作動となった場合の負のリスクも考慮した、人間とシステムの総合的な信頼性の定量値から導出した。

研究成果の概要（英文）：We have shown a design example of a human-machine interface system that can suppress excessive dependence on an autonomous driving system, which is important in practical use, and maintain high overall safety as a human / automobile system. In addition, in a subject experiment using a driving simulator, we confirmed that the probability of a collision accident can be reduced by 68% when a collision risk that cannot be avoided only by the automated driving system occurs using this system. Next, we examined the overall safety improvement effect of the human-machine interface system, considering the negative effect when the interface system becomes inoperable. From this, the guideline of the non-operation probability required for the human-machine interface system was shown.

研究分野：交通システムと例としたシステムとオペレータとのインタフェースの最適化

キーワード：自動運転 事故発生確率 HMI システム安全レベル ドライバ行動 ドライビングシミュレータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車メーカ各社が自動運転システムの実用化を目指している。一方で、自動運転のレベル2～3に相当する半自動運転システム使用時の死亡事故がマスコミで大きく取り上げられ、普及促進が滞っている状況も否定できない。システム側で事故の回避操作を十分に行えない状況が発生した場合には、速やかに運転の主権をドライバに戻す必要がある。つまり、システムの普及促進のためには、ドライバのシステムに対する過信を抑制し、ドライバに運転を交代するテイクオーバー時間を短縮できるインタフェースに関するシステム設計手法、および具備すべき機能要件の整理が重要であるが、たとえば、システム開発を主導する内閣府の自動運転車両を実用化するための取り組み（SIP自動走行システム研究開発計画）においても、これらに関する設計ガイドラインが十分に整理されていない。学術分野においては、自動運転のレベルを向上させるための、車両周辺のセンシング技術や車両の運動制御の技術についての研究事例は多くあるが、本研究で取り扱うドライバとシステムの総合的な信頼性を推定し、総合的な信頼性を向上させるための、システムのインタフェースの設計方法については、研究事例が極めて少ない。

2. 研究の目的

以下の(1)～(3)を目的とする。

- (1) ドライバの過信を抑制し、ドライバに運転を交代するテイクオーバー時間を短縮できるインタフェースの提案

自動運転中に発生した衝突リスクがシステムのみで回避できない状況において、ドライバが運転を交代するテイクオーバー時間を短縮できるインタフェースを例示する。

- (2) 提案するインタフェースの事故低減の観点での効果の分析

運転シミュレータを用いた被験者実験により、インタフェースの改善効果を検証する。また、このテイクオーバー時間の短縮が、どの程度、衝突事故の低減に効果的であるかを定量的に検証する。

- (3) インタフェースシステムが不作動となった場合の人間・自動車系としての安全度の検証(テーマ開始後 R01～02 年度に追加)

提案するインタフェースを実用化する際に課題となっているシステムが不作動となった場合の負の効果も考慮した、情報提示システム使用時における人間・自動車系としての総合的な安全性(事故リスクの増加)を定量的に分析する。

3. 研究の方法

- (1) 人間・自動車系としての総合的な安全度の維持を考慮したインタフェースの在り方

自動運転のレベル2～3では、ドライバは車両周辺の道路環境とシステムの作動状況を監視(Object and Event Detection and Response; OEDR)する義務がある。この監視行動の成績を改善するための一つの方策として、時々刻々と変化するシステムの安全レベルとドライバ自らの運転準備レベル(Readiness)をドライバに情報提示し、ドライバとシステムとの間のリスクコミュニケーションを実現することが重要であると考える。つまり、システムの安全度が低い場合には、それをドライバに提示し、ドライバが積極的に自動運転システムの動作状況を監視するように促すようなインタフェースの実現が必要である。図1に示すように、自動運転時において、人間とシステムの総合的な信頼性について、「Capability>Demands」の状態を維持し続けることができれば、自動運転システムとドライバが協調して安全性を保ち続けることが可能である。また、

システムの安全度（定義の詳細は2章に記載）をドライバーに提示することにより，システムの安全度が高い場合は，ドライバーがシステムを監視する行動のワークロードを低減でき，自動運転システムによる運転負荷の軽減が可能となる．

本研究では，自動運転のレベル2~3に相当する環境をドライビングシミュレータにおいて構築し，道路交通環境に応じて変化するシステム安全度に対する，ドライバーの注視行動およびステアリングの把持行動とアクセルやブレーキペダル操作行動から運転準備レベルを分析する．

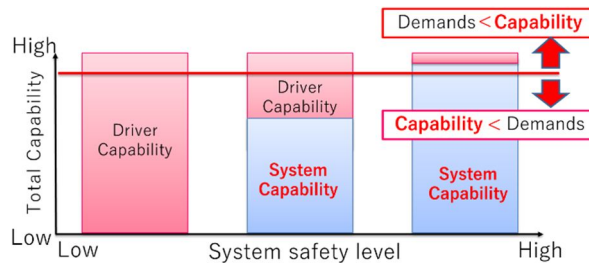


図1 ドライバとシステム協調時の Capability と Demands との関係

(2) 提案するインタフェース（情報提示システム）

運転シミュレータのインストルメントパネルの上部に，図2(a)に示すように HUD を設置し，図2(b)に示すような情報提示を行った．ドライバーに，システムとの協調関係を客観的に把握させ，状況に応じて OEDR のタスクに対する集中度をセルフコントロールさせた．



(a) インストルメントパネルの上部に設置した HUD



(b) システム安全度を提示

(c) システム安全度とドライバーの
運転準備レベル運転準備レベルを提示

図2 情報提示システム（HUD）

(3) 実験結果

実験参加者は，若年男性 39 名（平均年齢：25.2 歳）である．普段の生活で自動車を運転しており，年間の走行距離が 3,000km 以上の人に限定した．また，実験参加者には，実験参加を依頼する際に，インフォームドコンセントを行った．

システム安全度とドライバー準備レベルをリアルタイムでドライバーに提示した場合について，情報提示システムの有無での 3 条件におけるドライバーの運転行動を，システム安全度（横軸，4 水準）とドライバーの運転行動からリアルタイムで定量化したドライバーの運転準備レベル（縦軸，4 水準）の二次元平面図を用いて，図3に示す．システム安全度とドライバーの運転準備レベルの双方を提示した場合（図3(c)）では，システム安全度が高い3を示す状態では，システム安全度が低下した場合には，ドライバーの運転準備レベルが増加し，システム安全度が高い場合にはドライバーの運転準備レベルが低下している．つまり，システムとの協調関係をドライバーに客観的に把握させ，状況に応じて

OEDR のタスクをセルフコントロールさせることが実現できていると判断できる。

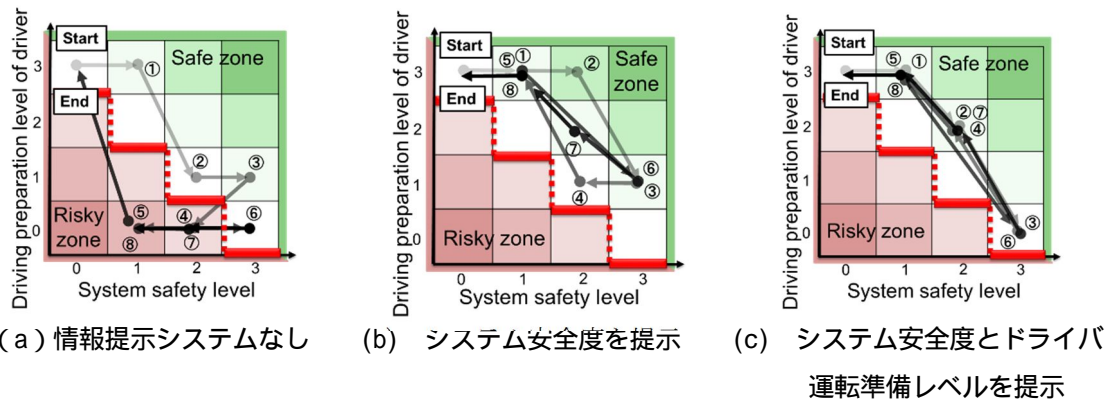


図3 情報提示手法別でのシステム安全度とドライバ運転準備レベルの変化 (39名の平均)

情報提示の効果をより定量的に考察するために、図3の合計16の状態での事故発生確率の算出を行い、それぞれのゾーンでの滞留時間を考慮し、事故発生確率の低減量について分析する。衝突確率(信頼性工学言語で言う故障確率)を算出するにあたり、事故密度関数(故障密度関数)の信頼度に事故率(瞬間故障率)をかけることで算出した。事故密度関数の信頼度と気づき時間の信頼度の積により、事故を誘発する可能性のある母集団を算出し、この母集団と衝突する確率の積により、衝突する確率(p_1)を式(1)に基づいて定量化する。個々の状態量の定義は、研究代表者の鈴木らの先行研究^[1]を参考にされたい。

$$p_1 = \frac{\mu_{H0}}{\mu^*H + \mu_{H0}} e^{-\mu^*Ht_{H0}} \dots (1)$$

以上より、急な割り込み車両が発生した場合の事故発生確率を試算した結果、以下のように、システムとドライバの双方の情報を提示した場合において、最も事故発生確率が低減する傾向にあった。

- ◎システムのみでは衝突を回避できない運転環境下で割り込み車両が発生した場合の衝突確率
- ・情報提示せず：56.2% (図3(a))
- ・システム安全度のみを提示：25.2% (図3(b))
- ・システム安全度と運転準備レベルを提示：18.0% (図3(c))、システム無し比：68%低減

(4) 情報提示システムが不動作となった場合の人間・自動車系としての安全度

以上で提案する情報提示システムを実用化する際に課題となっているシステムが不動作となった場合の負の効果も考慮した、情報提示システム使用時における人間・自動車系としての総合的な安全性の改善効果について、被験者実験を実施し、実用化における課題を整理した。実験参加者は、若年男女40名(平均年齢：24.8歳)である。

以下の図4に、研究代表者の鈴木らが提案した人間・自動車系での総合的な安全性を定量化するための、人間・自動車系統合エラーモデルを示す。本研究で提案する情報提示システムを使用しない場合の安全性(緑色部分の面積)を図4(a)に示し、情報提示システムを使用した場合の、情報提示システムの不動作確率も考慮した総合的な安全性(緑色部分の面積)を図4(b)に示す。システムの不動作より低減する安全性(面積; B)と、システムが正常作動することにより向上する安全性(面積; A)とのバランスにより、情報提示システムが仮に不動作となった場合のリスクの発生の有無を定量的に議論できる。

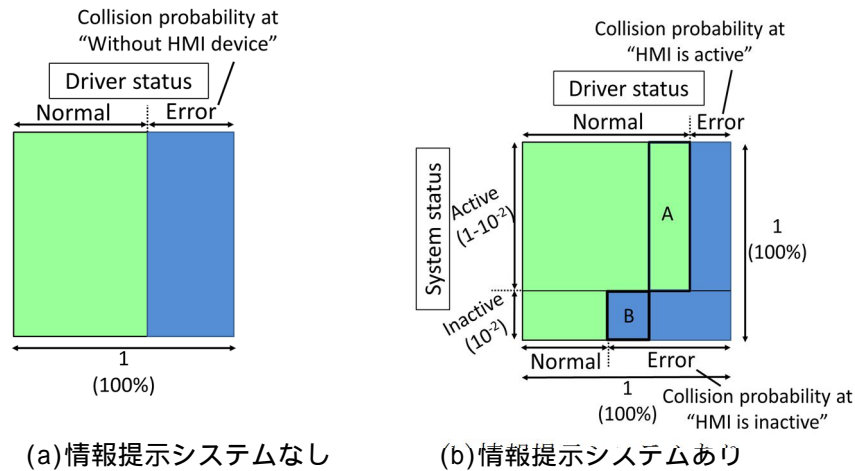


図4 提案する情報提示システム使用時の人間・自動車系統合エラーモデル

今回のドライビングシミュレータを用いた被験者実験結果に基づくと、上記の統合エラーモデルを用いて、IEC standards 61508 または ISO26262 規格で定義されているシステム側の最も高い不動作確率 (10^{-2}) を考慮しても、情報提示システムの利用により、割り込み車両に対する衝突事故の発生確率は、28%低減することが分かった。また、このシステムの不動作より低減する安全性を考慮しても、システム利用による事故低減効果を顕在化させるためには、情報提示システムに求められる不動作確率は、 7.0×10^{-2} 以下を実現する必要がある。

4. 研究成果

レベル2~3に相当する自動運転システム使用時において課題となっているシステムに対する過信を抑制し、人間・自動車系としての総合的な安全性を高く維持することのできる、情報提示システムの設計事例を示した。また、その有効性について、ドライビングシミュレータを用いた被験者実験（実験参加者数；39名）において自動運転時のドライバの運転行動を分析し、事故リスクの低減効果という観点での評価を試みた。具体的には、情報提示システムの利用の有無での、ドライバの注視行動およびステアリングの把持行動とアクセルやブレーキペダル操作の行動を分析し、ドライバの信頼性に相当する運転準備レベル（Readiness）の時間的変化を定量化した。これらの結果を用いて、研究代表者の鈴木らが提案した信頼性工学に基づく人間・自動車系としての総合的な安全性を定量化することのできる「状態遷移確率モデル」を用いて、自動運転システムのみでは回避できない事故リスクが発生した場合の、事故発生確率の低減率を定量化した。この結果、独自に開発した情報提示システムを使用した場合に、急な割り込み車両が発生した場合、システムに対する過信や過度な依存を抑制することが可能となり、衝突事故の発生確率を、システムを使用しない場合と比較して68%低減できることを確認した。

最終年度の令和2年度では、これら情報提示システムを実用化する際に課題となっているシステムが不動作となった場合の負の効果も考慮した、情報提示システム使用時における人間・自動車系としての総合的な安全性の改善効果について、被験者実験を実施（実験参加者数；40名）し、実用化における課題を整理した。具体的には、この負の効果も考慮しても、システム利用による事故低減効果を顕在化させるための、情報提示システムに求められる不動作確率の基準値およびシステム設計のガイドラインを示した。

参考文献

[1]鈴木桂輔,新居良紀,伊藤祥雄,山田喜一,状態遷移確率モデルに基づくドライバのディストラクション低減効果評価モデルの構築,自動車技術会論文集,Vol.43, No.6, pp.1321-1326, 2012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 鈴木 桂輔、川谷 健太、森 大樹	4. 巻 51
2. 論文標題 ACCとLKA使用時における情報提示によるドライバの運転準備レベルの変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 453 ~ 459
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11351/jsaeronbun.51.453	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke SUZUKI, Joohyeong LEE, and Atsushi KANBE	4. 巻 32
2. 論文標題 HMI Design when Using Level 2 Automated Driving Function - Effects of System Status Presentation Considering the Risk of Malfunction on Driver Behavior -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 520 ~ 529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2020.p0520	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke SUZUKI, Kenta KAWATANI, Hiroki MORI and Yasuo SAKAGUCHI	4. 巻 vol.6, No.4
2. 論文標題 Analysis of the driving behavior when the system safety level during automated driving is presented to drivers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal, The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.6, No.4, Paper No.19-00191	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/mej.19-00191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鈴木桂輔
2. 発表標題 HMI design during use of ACC and LKA
3. 学会等名 自動車技術会アクティブセーフティ部門委員会（Web委員会）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木桂輔
2. 発表標題 HMI design for driver management during use of ACC and LKA
3. 学会等名 自動車技術会ヒューマンファクタ部門委員会公開委員会（英語，於；東京大学）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木桂輔，川谷健太，坂口靖雄，森 大樹
2. 発表標題 自動運転時におけるシステム安全度の表示がドライバの運転準備レベルに与える効果
3. 学会等名 自動車技術会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川谷健太，鈴木桂輔，坂口靖雄，森 大樹
2. 発表標題 自動運転時におけるシステム安全度の表示が運転行動に与える効果
3. 学会等名 人間工学会中四国支部2018年度大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佛圓 哲朗 (Butsuen Tetsuro) (00803967)	香川大学・創造工学部・教授 (16201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------