

運転支援システムの意図の提示が運転手の運動主体感と行動に与える影響

The Influence of Sharing Intentions of Driving Assistance System on Drivers' Sense of Agency and Driving Performance

東京大学 ○興津 亨祐, 東京大学 温 文, 東京大学 濱田 裕幸, 東京大学 山下 淳, 東京大学 黒木 義博, 東京大学 本田 幸夫,
Toyota Research Institute of North America, Inc. Eric Krotkov, 東京大学 浅間 一

Abstract 運転手の運動主体感が低いと重大な事故につながる危険性があるため、運転手の運動主体感を損なわない運転支援システムの開発が重要である。本研究では、運転手の意図とシステムの支援が一致しない状況において、システムの判断を運転手に提示することが運転手に与える影響を調査した。その結果、音声によるシステムの意図の提示は運転手の運動主体感、システムへの信頼性、さらに運転成績とその主観評価を向上させた。

1 序論

近年運転支援技術は大きく進歩している。しかし、現在の運転支援システムは依然として運転手は常に周囲の環境を監視する必要がある。運転支援によって運動主体感が低下した状態で長時間運転していると、非常時の操作判断が遅れる恐れがある [1]。運転支援により運動主体感が低下すると運転成績が低下することが、先行研究により明らかになっている [2]。したがって、運転手の運動主体感を維持できる運転支援システムの開発が重要である。

自動車の運転においては、車両の挙動が運転手の意図に一致したかどうかは運動主体感の生起に関わる重要な要素であるため [1]、車両の挙動が運転手の意図に一致する場合は、運転手の運動主体感は保持されやすい。Wen らの研究では、先行車の急減速に対処するために運転手が急ブレーキを踏むというシナリオにおいて、運転手の意図に沿う急ブレーキの運転支援は、運転手の運動主体感を保持しただけでなく、その後の運転成績を向上させることが明らかになった [3]。しかし、システムと運転手の意図が常に一致するとは限らない。

van der Wel の研究では、他者と共同行為を行う場合、共同行為を行う他者の意図を理解すると、両者とも高い運動主体感が実現されることが分かった [4]。

そこで本研究では、運転手の意図と一致しない運転支援をシステムが行う状況において、運転手の運動主体感を保持し、システムへの主観的な信頼性を向上させ、運転成績を低下させないための手法としてシステムの意図を運転手に提示することを提案し、その効果を明らかにすることを目的とする。

2 研究手法

2.1 概要

本研究ではドライビングシミュレータを用いて、突然減速する先行車との衝突を回避し、その後手動運転を行う試行に取り組んでもらった。試行中、初めはシステムが車両を制御して運転を行うが、先行車が減速すると衝突を回避するために運転手が介入しようとする。しかし、システムが制御を続け、表 1 のように運転手が意図した方法と異なる方法により回避を行う。運転手の操作は車の動きには反映されない。その後、画面上の合図により手動運転に切り替わり、10 s ほど運転手の制御による手動運転を行う。手動運転の際は「先行車との距離をできる限り一定に保ちながら、先行車に追従する」というタスクを課した。運転手には先行車の減速時に介入を行うように指示した。運転手の行動意図は、各試行前に表 1 のように指定した。

2.2 システムの意図提示の条件

表 1 の 2 つのシナリオにおいて、それぞれ意図の提示の有無の 2 つの条件を設定した。システムの意図を運転手に伝える方法としては音声があるという先行研究に倣い [5]、本研究では音声によりシステムの意図を運転手に提示した。

表 1 実験シナリオ

	シナリオ 1	シナリオ 2
運転手の意図	ブレーキ	ハンドル
システムの支援	ハンドル	ブレーキ

2.3 運転手の主観評価の計測

運転手の主観評価の指標として、自車の挙動に対する運転手の運動主体感 (Sense of Agency: SoA)、自車の運転成績の主観評価 (Performance rating)、運転支援システムに対する主観的な信頼度 (Trust in system) の 3 つを用いた。Wen らの先行研究 [3] に倣い、計測方法には 7 段階評価のアンケート (1~7 の整数, 7 が最大) を採用した。

2.4 運転成績と運転行動の解析方法

運転成績の評価指標として、システムによる回避動作終了以後、制御主体がシステムから運転手に移行してから試行終了までを解析区間として、自車と先行車との距離の変動係数 (Distance Coefficient of Variation: DCV) を計測した。DCV の値が小さいほど、自車と先行車の距離が安定していたことを意味する。解析区間は約 10 s 間であった。

また、システムによる回避開始時点から 1.0 s を区間 1、手動運転に切り替わるタイミングから 1.0 s 遡った期間を区間 2 とし、0.001 s ごとに運転手が操作したハンドル角とシステムが算出したハンドル角の差の絶対値を計算し、区間内での平均値を評価指標とした。

3 実験

3.1 実験方法

本研究では、健康者 44 名 (平均年齢 22.1±2.6 歳: 男性 35 名, 女性 9 名) を被験者として実験を行った。被験者の運転歴 (免許所持歴) は、2.3 年 ±1.8 年であった。各シナリオの流れを図 1 に示す。回避終了まではシステムが、回避終了後は運転手が車両を制御する。詳細なシナリオは以下の通りである。

- 分岐のない一方通行 2 車線道路の左車線を、自車の約 60 m 先、約 30 m 先を走行する 2 台の先行車 (それぞれ先行車 1、先行車 2 とする) に追従する形で走行する。システムによる運転であり、システムが加減速、車線や車間の維持のいずれも行う。スタート地点はランダムに選ばれる。
- 先行車 1 がブレーキランプを点灯し、減速する。運転手が介入を試みるが制御主体はシステムのままで、システムが表 1 のように操作を行い、衝突を回避する。
- システムによる回避動作が終了したあと、視覚的な合図とともに運転手による手動運転に切り替わり、被験者が先行車に追従して約 10 s 運転する。先行車とは、シナリオ 1 では先行車 1、シナリオ 2 では先行車 2 を表す。

各被験者は各シナリオを 1 試行ずつ、2 試行の実験を行った。そのうち的一方で音声によるシステムの意図の提示を行った。

3.2 意図提示のタイミング

システムが意図提示を行う場合、シナリオ 1 では、システムがブレーキ操作により衝突を回避する際に「急ブレーキをかけます (約 1.3 s)」という音声を、シナリオ 2 では、ハンドル操作により衝突を回避する際に「車線変更します (約 1.3 s)」その音声が終了してから約 1.4 s 後に「左車線に戻ります (約 1.2 s)」という音声を、システムが動作を開始するタイミングで発した。

3.3 結果

各評価指標に対して、2 つのシナリオと音声提示の有無を要因とする、繰返しのない二元配置分散分析を行った。運動主体感 (図 2(a)) とシ

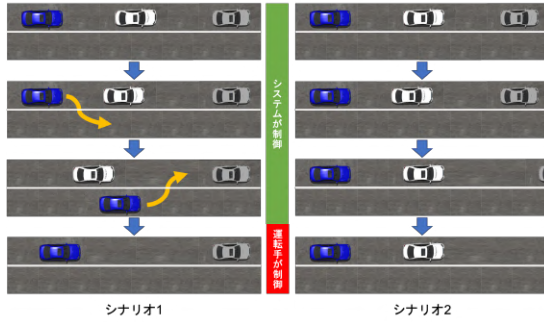


図 1 各シナリオの流れ

システムへの主観的信頼性 (図 2(b)) は、音声の主効果のみ有意であった。運転成績の主観評価 (図 3(a)) と運転成績 (図 3(b)) は、音声の主効果とシナリオの主効果が有意であった。また、運転手とシステムのハンドルの差の絶対値は、区間 1 (図 4(a)), 区間 2 (図 4(b)) の両方において、音声の主効果とシナリオの主効果が有意であった。

4 考察

運転手の運動主体感、システムへの信頼性、運転成績とその主観評価すべてにおいて、どちらのシナリオにおいても、音声提示による主効果が認められた。

音声提示により、運転手はシステムの意図をより容易に理解できたため、システムへの主観的信頼性が高くなったと考えられる。また、音声提示によって運転手がシステムの意図を理解し、システムに従う形で共同行為である運転を遂行しようと意図した結果、運動主体感は向上したと考えられる。運転手の運動主体感が保持された結果、運転手の反応速度を保ち、その後の手動運転において高い運転成績を実現したと考えられる。

また、運転成績およびその主観評価については、シナリオ間でも有意な差が認められた。具体的には、システムがハンドル操作により回避を行うシナリオ 1 よりも、システムがブレーキ操作により回避を行うシナリオ 2 の方が DCV の値が大きく、ハンドル操作が大きかったことが分かった。シナリオ 2 ではシステムがブレーキを踏むことにより車速が遅くなり、その後の追従走行の難易度が上がり、運転成績が悪化したと考えられる。また、図 4 の通り、運転手がハンドル操作によって回避を意図するシナリオ 2 では、シナリオ 1 に比べてハンドルを大きく操作していた。手動運転に切り替わった際にハンドル角が大きく、急に車が大きく左右に動いたため、追従走行がしにくくなったと考えられる。

ハンドル操作角の差については、どちらの区間においても音声提示による有意な差が認められたが、区間 1 においては音声提示により小さくなった一方で、区間 2 においては音声提示により小さくなった。区間 1 では、音声提示によるシステムの意図を運転手がまだ理解しておらず、音声提示されたことのみ認知していたと考えられる。音声提示については事前に教示していなかったため、運転手が音声に驚き、ハンドルを大きく操作した可能性がある。区間 2 では、音声提示によるシステムの意

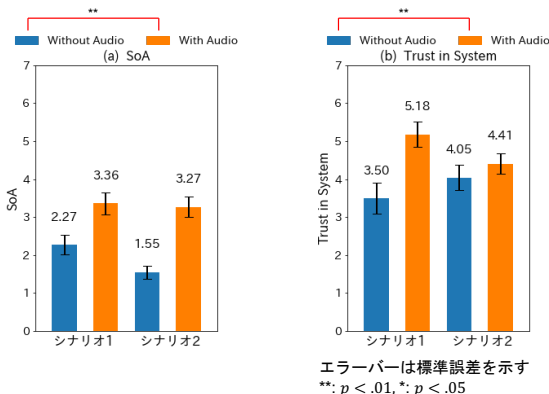


図 2 運動主体感の平均結果 (a) とシステムへの主観的信頼性の平均結果 (b)

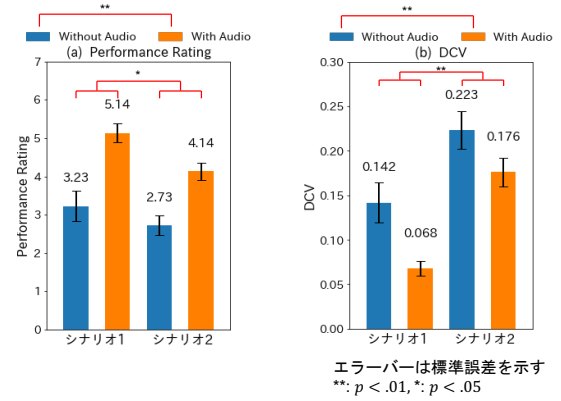


図 3 運転成績の主観評価の平均結果 (a) と運転成績 (DCV) の平均結果 (b)

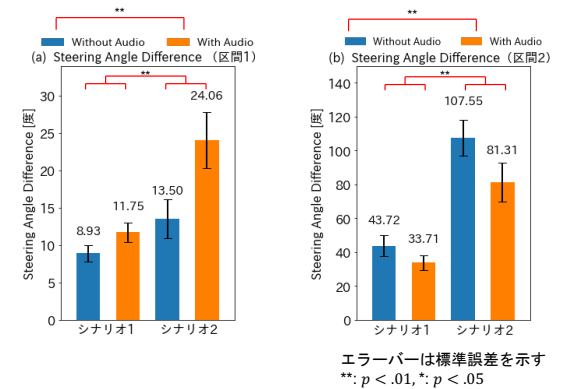


図 4 区間 1(a), 区間 2(b) におけるハンドル操作角度差の絶対値の平均結果

図の内容を運転手が理解し、システムの支援に合わせるように行動したと考えられる。

以上の結果から、運転手の監視や介入、制御が必要な運転支援システムを設計するにあたっては、システムの意図を運転手に提示することが運転手が能動的に操作するために有効であると考えられる。

5 結論

本研究の結果から、システムの支援が運転手の意図と一致しない状況において、システムの意図を運転手に提示することが、運動主体感の保持、システムへの信頼性の向上、そして運転成績の向上に繋がることが分かった。加えて、音声提示によりシステムの意図の内容を運転手が理解すると、運転手がシステムの支援に合わせるように行動を変容させることが分かった。今後は、本論文とは異なるシナリオ・タスクでの検証を行うとともに、運転手の意図を検出・推定する手法を開発することで、より安全な運転支援システムの設計に役立つ知見を提供することを目指す。

参考文献

- [1] W. Wen, Y. Kuroki and H. Asama: "The Sense of Agency in Driving Automation", *Frontiers in Psychology*, Vol. 10, Article 2691, 2019.
- [2] M. R. Longo and P. Haggard: "Sense of Agency Primes Manual Motor Responses", *Perception*, Vol. 38, pp. 69-78, 2009.
- [3] W. Wen, S. Yun, A. Yamashita, B. D. Northcutt and H. Asama: "Deceleration Assistance Mitigated the Trade-off Between Sense of Agency and Driving Performance", *Frontiers in Psychology*, Vol. 12, 643516, 2021.
- [4] R. P. R. D. van der Wel: "Me and We: Metacognition and Performance Evaluation of Joint Actions", *Cognition*, Vol. 140, pp. 49-59, 2015.
- [5] F. Naujoks, Y. Forster, K. Wiedemann and A. Neukum: "Improving Usefulness of Automated Driving by Lowering Primary Task Interference through HMI Design", *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2017, 6105087, 2017.