

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：32629

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750124

研究課題名(和文) ドライバの危険予測能力を向上させる運転支援システムの設計要件と支援効果の解明

研究課題名(英文) Requirement of designing driving support system which improves driver's ability to expect potential hazards

研究代表者

竹本 雅憲 (Takemoto, Masanori)

成蹊大学・理工学部・准教授

研究者番号：70437515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、信号交差点左折時において多方向から横断歩道に進入する自転車に対して、自動車運転者の危険予測能力を高めて安全な確認行動を誘導する運転支援システムの開発を目指した。そして、具体的なシステムを設計して支援効果を実験的に検証するとともに、システムの設計要件を示した。特に、運転に合わせて確認行動を誘導する即時支援システムと、運転後の運転診断アドバイスによって次回運転時の確認行動を間接的に誘導する事後支援システムとを併用することで、高い支援効果が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at developing the driving support system which heightened driver's ability to expect potential hazards and corrected driver's precautionary observation to four directions of crossing bicycles when a vehicle turned left at signalized intersections. The driving support system was designed, which included two kinds of systems. One is the real-time support system which directed driver's eye movement to the determined areas corresponding to the driving. The other is the driving instruction system which made a driver understood the safe precautionary observations after the driving and corrected driver's eye movement in the next driving. Through the experiment using a driving simulator, the use of both systems could highly improve unsafe precautionary observations. Finally, this study showed the requirements to design the driving support system.

研究分野：ヒューマンファクターズ、人間工学、自動車運転者の行動分析、運転支援システム開発

キーワード：ヒューマンファクター 自動車 運転行動 運転支援システム 事故防止 ヘッドアップディスプレイ
運転診断 ドライビングシミュレータ

1. 研究開始当初の背景

衝突回避システムの開発および普及により、追突事故をはじめとした交通事故件数は大幅な減少を示している。しかし、既存の運転支援システムは衝突対象を常時検出できる状況や、作動時における自車の状態がある程度安全な状況にその支援効果が限られる。すなわち、周辺の対象物が自車の前方に飛び出してきて回避余裕が小さい場合や、衝突の直前まで自車から検出できない対象物の場合には支援に限界がある。また、衝突の危険が顕在化する前は、操作介入や警報による情報提供はドライバの受容度が低いことが課題である。

このような背景から、システム作動時における自車の状態を安全にして衝突回避の可能性を高める方策、すなわち、自動車運転者（以下、「ドライバ」とする）の危険予測能力を向上させて安全な運転行動へと誘導する事故防止策が必要であると考えてきた。そして、これまでの研究で、一般ドライバの不安全運転行動の特徴、および教習所指導員の規範運転行動の詳細を実験的に分析した結果に基づき、危険予測能力を向上させる安全運転教育プログラムを考案した。そして、実車走行実験を通してその教育効果も示した。

一方で、上述したような教育プログラムは所要時間が長く、一般ドライバへの普及が難しい。また、運転行動の種類によっては長期的な効果が薄れてしまう場合も見られた。そこで、本研究では、運転中にドライバの行動に合わせて情報提供を行う「即時支援システム」と、運転後に教育的アドバイスをを行う「事後支援システム」を併用した「危険予測運転支援システム」の発想に至った。この方策は、従来の運転支援システムの課題を多分に解決できるものとする。よって、事故を低減する運転支援システムの実用化に向けて、実際に危険予測運転支援システムを設計して実験的に支援効果を示し、設計要件について検討する。

2. 研究の目的

信号交差点左折場面、実際には横断自転車が現れない潜在的危険場面でも、ドライバの危険予測能力を高めて安全な確認行動を誘導する「危険予測運転支援システム」を設計し、その設計要件と支援効果を明らかにすることを目的とする。

具体的には、運転中の情報表示により確認行動を直接的に誘導する「即時支援システム」、および運転後の運転診断アドバイスにより次回運転時の確認行動を間接的に誘導する「事後支援システム」をそれぞれ設計し、設計要件と支援効果を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 安全を確保する誘導目標確認行動の評価実験

信号交差点左折時の確認行動について、教

習所指導員の実車両運転時における運転行動を記録して分析した。その結果、図1に示す4方向からの横断自転車を想定して、3段階で確認行動をとっていた。教習所指導員は安全に十分配慮した確認行動をとるが、一般ドライバへの支援として安全度と受容度の両立を考えると、誘導目標とするには安全度が高めで受容度が十分に見込めないと考えた。そこで、教習所指導員の確認行動のうち、横断自転車との衝突回避という観点で安全性に寄与する要素を、ドライビングシミュレータを用いた実験により特定した。

先行研究のヒヤリハット事例分析より、全体の70%以上を占める4種類の代表的なヒヤリハット場面をドライビングシミュレータの実験環境に再現した。自車が停止せずに交差点を左折する際のヒヤリハットとして、図1に示すB、C、D1 および D2 からの横断自転車を想定した。また、自車が左折先の横断歩道手前でほぼ停止して横断者の通過を待ち、再発進する際のヒヤリハットとして、図1のB方向からの横断自転車を想定した（横断自転車Fとする）。

実験に使用したドライビングシミュレータを図2に示す。7台の55型TVディスプレイを円形に配置して、315度の視野が得られる定置型のシミュレータである。また、14型のモニタを運転席の左右に配置してサイドミラーを模擬し、バックミラーは正面のTVディスプレイに描画した。これらより、交差点左折時における周囲の状況は、実車両の運転状況と同程度に把握でき、確認行動の安全性を正當に評価できる環境と言える。実験参加者は、教習所指導員1名、一般ドライバとして大学生と社会人（大学教職員）が各10名ずつであった。

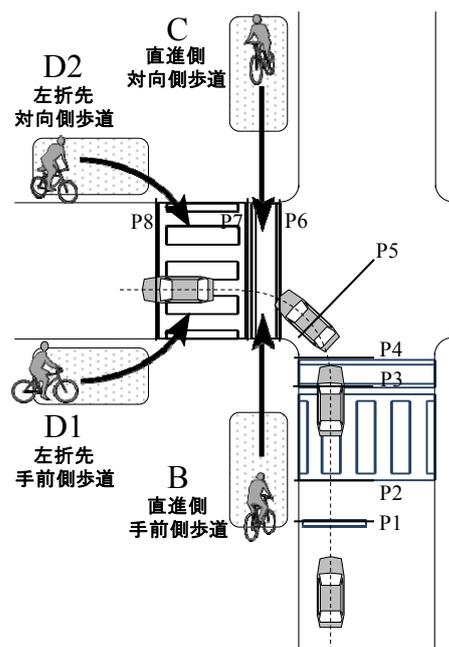


図1 横断自転車の横断歩道への進入方向



図2 ドライビングシミュレータ

(2) 即時支援システムの設計と評価実験

4章で後述するように、(1)の評価実験より、2段階目の確認行動が安全性に寄与すると考えられた。2段階目の確認行動は、停止せずに走行しながら交差点を左折するために、少し離れた位置から横断歩道に進入してくる自転車を想定して、左折操舵付近で少し広い範囲で歩道の安全確認を行う。教習所指導員の2段階目の確認行動をもとにして、危険予測運転支援システムの誘導目標とする確認行動を定め、自転車位置と確認方向および確認領域を図3に示す。

即時支援システムでは、潜在的危険場面での一般ドライバーの受容度を考慮し、視覚アンビエント表示を設計した。すなわち、ヘッドアップディスプレイを想定して、フロントガラスの範囲内に透過度を持たせて輪郭部をぼかした円形の視覚情報を提示する。視覚アンビエント表示のコンセプトは、①視覚表示の提示方向にドライバーの視線を誘導できる、②視覚表示の提示箇所を注視せずにドライバーがその周辺領域を確認できる、そして③視覚表示がドライバーの確認行動を阻害せず不快でないように意図した。表示色は3種類として比較した。ヘッドアップディスプレイでの情報の提示に適して不快でないとされる緑色、JIS規格で危険色を示す赤色、および両者の中間をとった橙色とした。

上記の視覚アンビエント表示を、図3に示した4区間で確認すべき歩道の方向に提示した。ただし、提示範囲はフロントガラスに限るため、首を振って目視確認が必要な手前側の直進歩道に関しては、フロントガラスの左端である左Aピラー付近に提示した。実験は、片側2車線の道路で構成される交差点を模擬したシミュレータ環境で実施し、横断自転車が現れない状況での確認行動を記録した。実験参加者は、一般ドライバーとして大学生10名であった。

(3) 事後支援システムの設計と危険予測運転支援システムの評価実験

即時支援システムに関して、特に手前側の直進歩道は後側方への首振り確認が必要で、視覚アンビエント表示が提示されるフロントガラスの外側への視線移動が必要となる。(1)の評価実験でも手前側の直進歩道後方からの横断自転車に対するヒヤリハット件数

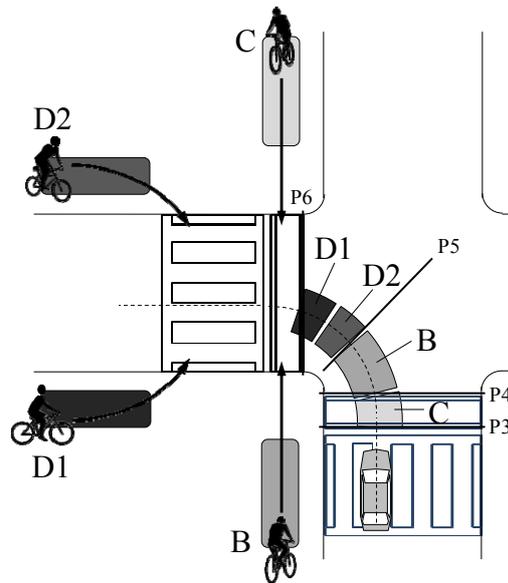


図3 自転車位置と確認領域の対応

が多かったため、この方向に対しては自転車の接近をイメージさせるアイコンを提示した。

事後支援システムは、交差点左折時における実際の確認行動を記録し、図3に示す誘導目標に基づいて評価して、不安全な確認行動に対する理解を促す。すなわち、以下の3種類で構成される。はじめに、運転評価画面が提示され、4方向の確認行動の危険度について評価結果を色の種類(赤、橙、青)により示す。一度の支援で複数の確認行動を理解させるのは困難と考え、いずれか1方向の確認行動について実験参加者が選択して教示を受けられるように設計した。次に、確認行動説明画面が提示され、不安全な確認行動による危険性と適切な確認行動のとり方を、交差点の俯瞰図を用いて説明する。最後に、実際の運転状況をカメラで記録して映像を見せるシステムを想定して、記録映像に仮想の自転車を重畳させて提示して顕在化し、起こりうる交錯場面を提示した。

実験の条件は、以下の2通りとした。すなわち、即時支援システムなしで走行し(a.通常走行)、確認行動を評価して事後支援システムによる教示を行い、再び即時支援システムなしで走行した(c.事後支援システムの単独効果)。一方では、即時支援システムありで走行し(b.即時支援システムの単独効果、事後支援システムによる教示を行って、再び即時支援システムありで走行した(d.即時支援システムと事後支援システムの併用効果)。以上のa、b、cおよびdについて、4方向の横断自転車に対する確認行動の実施の有無を調べた。実験環境は(2)の評価実験と同じで、片側2車線の道路で構成される交差点を模擬したシミュレータ環境で実施し、横断自転車が現れない状況での確認行動を記録した。実験参加者は、一般ドライバーとして大学生10名であった。

4. 研究成果

(1) 安全を確保する誘導目標確認行動の評価実験

横断自転車 B、C、D1、D2 および F について、ヒヤリハットもしくは事故となった件数を図4に示す。ここで、図4では、教習所指導員の3段階の確認行動と比較し、どの段階の確認行動がとられていなかったかを区別した。

図4の結果、および事故やヒヤリハットにならなかった参加者が2段階目の確認行動で自転車を発見していたことから、2段階目の確認行動が安全性に最も寄与すると考えた。事故やヒヤリハット時の確認行動の特徴を以下に示す。

- 直進歩道に相当する B1 と C、および左折先歩道に相当する D1 と D2 を比較すると、いずれも手前側の横断自転車に対する事故件数が多い
- 左折先歩道に相当する D1、D2、および横断者の通過待ち後の再発進の状況に相当する F といった、交差点進入時には見えない歩道の領域からの横断自転車に対する事故件数が多い

(2) 即時支援システムの設計と評価実験

(2)および(3)の評価実験では、ドライバーの視線が情報表示の提示方向を向いている場合に、対応する領域の自転車の有無を確認したとして、全実験参加者に対して確認行動をとった参加者の割合を求めて「確認率」とした。

3種類の表示色について、確認率と、情報表示に対する不快度の主観評価の結果は以下ようになった。確認率は赤色が最も高いが、不快度が非常に高かった。不快度は緑色が最も低い、確認率が低かった。橙色の場合は、確認率が赤色と同程度で、不快度が赤色よりも低かった。以上より、ヘッドアップディスプレイの視覚アンビエント表示で確認行動を誘導する際の表示色は、橙色が適していると考えた。

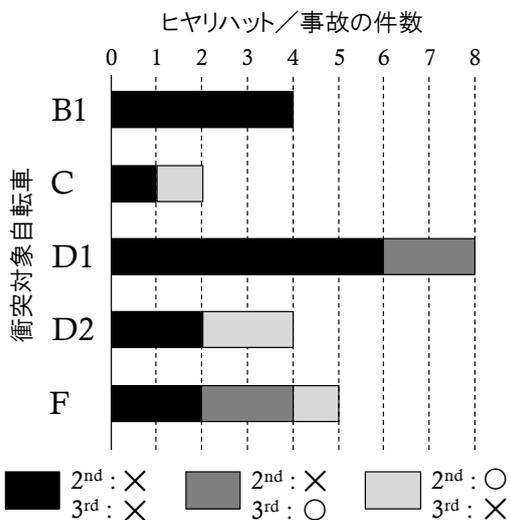


図4 ヒヤリハット／事故の件数

即時支援システムを使用した場合、片側2車線の道路で構成される交差点を左折すると、実験参加者が運転するシミュレータ車両の走行速度の平均値は20[km/h]を超えていた。このとき、4方向の歩道に対する確認率は、30~60[%]程度であった。これは、走行速度の高さにより各方向に対する情報表示の提示時間が短くなり、その結果として確認率が低下したと考えた。そこで、低速度で走行した場合を想定して10[km/h]の定速で左折した場合には、情報表示の提示時間が長くなり、確認率が高くなった。

低速走行時での確認率を4方向別で比較すると、ドライバーの視線方向と情報表示の提示位置との角度（「提示角度」とする）と、情報表示が提示される時間（「提示時間」とする）に違いがあり、これらが確認率の高さに影響すると考えられた。提示時間の短い通常走行時と、提示時間の長い低速走行時の双方について、4方向の歩道に対する情報表示の提示角度と提示時間、およびその状況での確認率の関係を図5に示す。図5より、提示時間に関しては1.5[sec]あたりで、提示角度に関しては35[度]あたりで確認率が低下する境界があると読み取れる。

(3) 事後支援システムの設計と危険予測運転支援システムの評価実験

即時支援システムによる確認行動の誘導効果については、(2)の評価実験と同様の結果が得られた。また、視覚アンビエント表示では、情報表示を提示した方向から外側には視線を誘導できなかった。手前側の直進歩道に関しては自転車の接近をイメージさせるアイコンを提示したが、フロントガラスの範囲のみに視線の誘導に限られて、情報表示が提示される左Aピラー周辺の確認行動にとどまり、左後側方まで首振り確認する割合は20~30[%]だった。

このため、手前側の直進歩道に対する首振り確認に関しては、事後支援システムによる評価が低く、この確認行動に関する教示を受けた実験参加者が多かった。そして、即時支援システムを使用せずに事後支援システムを単独で使用した場合でも、首振り確認をする割合が60[%]程度まで高まった。これは、事後支援システムの教示により、潜在的な自転車に対する適切な確認行動を理解したこ

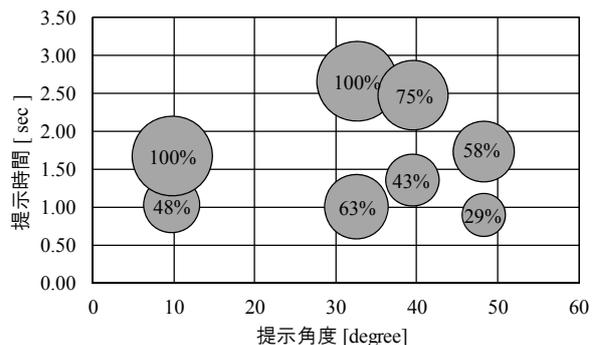


図5 提示角度、提示時間と確認率の関係

とに起因すると考えられる。一方で、事後支援システムのみを使用した場合には、交差点進入時の首振り確認に対する意識が高まるが、相対的に他方向、特に対向側の歩道の確認に対する意識が低下したと考えられ、確認率がやや低下した。しかし、即時支援システムと事後支援システムを併用することで、この確認率の低下を抑えられた。

以上より、即時支援システムと事後支援システムを併用した危険予測運転支援システムは、双方の短所を補填し合う支援効果が見られた。すなわち、即時支援システムで十分に誘導できない確認行動に関しては、事後支援システムによって実際の確認行動を評価して教示を行うことで、確認行動に対する理解と意識を高められる傾向がある。また、事後支援システムによって特定の方向への確認行動の意識が高くなり、他方向への確認行動の質が低下する場合でも、即時支援システムによって全方向に対する確認行動のタイミングをリマインドできる傾向がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 竹本 雅憲、野中 智弘、信号交差点左折時における横断自転車に対する確認行動の安全性評価、自動車技術会春季学術講演会、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)、2016年5月26日
- ② 田島 淳、竹本 雅憲、ドライビングシミュレータにおけるドライバの運転挙動に適応的な交通参加者の挙動制御、自動車技術会春季学術講演会、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)、2016年5月26日
- ③ 野中 智弘、竹本 雅憲、交差点左折時における規範的な確認行動の安全性評価、日本人間工学会大56回大会、芝浦工業大学芝浦キャンパス(東京都港区)、2015年6月13日
- ④ 竹本 雅憲、信号交差点左折時における横断自転車に対する規範確認行動の検討、自動車技術会春季学術講演会、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)、2015年5月22日
- ⑤ 野中 智弘、竹本 雅憲、交差点左折時における横断自転車に対する教習所指導員の確認行動の分析、日本人間工学会第55回大会、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)、2014年6月5日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹本 雅憲 (TAKEMOTO, Masanori)

成蹊大学・理工学部・准教授

研究者番号：70437515

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし