

平成 30 年 9 月 10 日現在

機関番号：82659

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02985

研究課題名(和文) 拡張現実を用いた実走行シミュレータによる自動運転の人間機械協調系に関する研究

研究課題名(英文) A study of human-machine cooperative system for safety driving utilizing an instrumented AR (Augmented Reality) vehicle

研究代表者

内田 信行 (Uchida, Nobuyuki)

一般財団法人日本自動車研究所・安全研究部・研究員

研究者番号：40426250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：ドライブレコーダのヒヤリハットデータ分析から、交差点走行時の車両進行方向の調整操作と歩行者見落としリスクとの関連性が示唆された。そこで、交差点走行時のステアリング自動制御機構を備えた拡張現実(AR)実験車両を開発し、日本自動車研究所テストコースにおいて対歩行者事故防止効果について検討した。その結果、交差点右左折時の車両コントロール(進行方向変化)負荷の低減する運転支援が、運転者の安全確認能力の向上を促すという実験結果が得られ、交差点右左折時における横断歩行者の見落とし事故防止支援に関する基礎的知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：The causation analysis using car-to-pedestrian incident data base revealed that a driver's workload concerning to control the heading direction of his/her vehicle while turning an intersection can negatively affect safety checking behaviour for pedestrians around crosswalk. Based on findings from the causation analysis, we developed an instrumented AR (Augmented Reality) vehicle with automated steering control system and conducted experiments at the proving ground in the Japan Automobile Research Institute. It was found that the reduction of vehicle control workload promoted drivers' safety checking behaviour for pedestrians. The results can apply to research activities which develop countermeasures for car-to-pedestrian accidents at urban intersections.

研究分野：人間工学

キーワード：高度運転支援 拡張現実 交通事故対策

1. 研究開始当初の背景

我が国では歩行者・自転車の事故は早急な対策が必要な交通事故形態であり、全死亡事故の半数以上を占める。このような死亡事故の大半は自動車との衝突によるものであり、その原因の多くは運転者による認知遅れといったヒューマンエラーである。特に、実際の交通環境では歩行者・自転車は車両と比べて目立たない上に飛び出しといった急な挙動変化を伴う。そのため、適切な運転支援によるヒューマンエラー防止のための自動運転技術に対する期待が高まっている。

その一方で、自動運転の普及に際しての課題としてシステム不作動時のドライバ反応特性や自動運転に対するアクセプタンス(受容性)が挙げられ、人間機械協調系のあり方が問われている。特に、歩行者・自転車事故の多い市街地交差点は、高速道路に比して交通状況が複雑なため、運転者の特性を考慮した支援方策の構築と、それに基づく適切なヒューマンマシンインターフェース(HMI)の設計指針が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、重大事故に占める割合が高い交差点事故の発生メカニズムを明らかにすると共に、事故発生パターンに応じた適切な運転支援方法を実走行シミュレータによって実証的に見いだすことである。具体的には、特に市街地交差点での交通弱者(歩行者・自転車)との交通事故発生要因をニアミステータ分析によって明らかにすると共に、安全不確認などのヒューマンエラーが発生しやすいシナリオ・交通環境条件を明らかにする。更に、拡張現実(AR:Augmented Reality)を用いた拡張現実実験車両によって典型的な交差点事故シナリオを再現し、警報から車両制御介入までを含む高度な運転支援機能の有効性と受容性に関する実証実験を行う。以上より、将来の運転支援/自動運転システムが交差点での事故を防ぐために必要とされる、ドライバの弱点を適切に補完する人間機械協調系に関する知見を得るものである。

3. 研究の方法

- (1) 交差点事故における事故発生メカニズム(背景要因連鎖)の把握
- (2) ヒューマンエラー防止のための高度運転支援アルゴリズムの開発
- (3) 拡張現実実験車両への高度運転支援機能の実装
- (4) 拡張現実実験車両を用いた有効性評価に基づく運転支援指針の作成

4. 研究成果

(1) ヒヤリハットベースから交差点でのシーンを抽出し、要因分析としてDREAM分析を行った。ヒヤリハット直前に車両が存在している状況でのドライバのヒューマンエラーに関する背景要因とその要因連鎖の典型的なパターンを抽出した。車両が存在していた状況でヒヤリハット対象となった歩行者が右から横断していた事例(22件)で作成したDREAMチャートを図1に示す。そして、ドライバのヒューマンエラーに関する背景要因とその要因連鎖のパターンからわかる特徴について述べる。なお、図中の楕円・四角内の()内の数字は、その要因が観察された該当事例数を表している。また、矢印線上の数字は、該当要因間の連鎖が観察された該当事例数を表している。

的パターンを抽出した。車両が存在していた状況でヒヤリハット対象となった歩行者が右から横断していた事例(22件)で作成したDREAMチャートを図1に示す。そして、ドライバのヒューマンエラーに関する背景要因とその要因連鎖のパターンからわかる特徴について述べる。なお、図中の楕円・四角内の()内の数字は、その要因が観察された該当事例数を表している。また、矢印線上の数字は、該当要因間の連鎖が観察された該当事例数を表している。

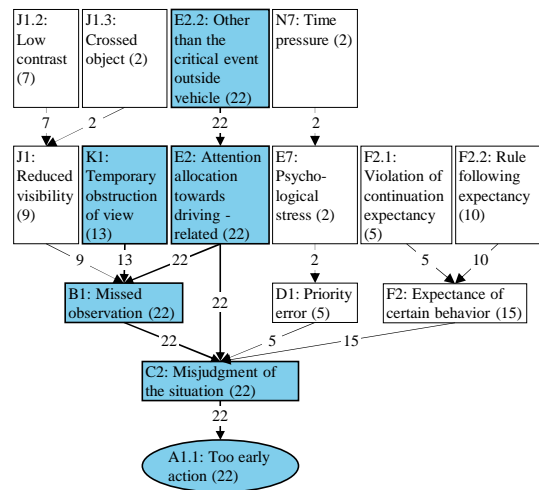


図 1 DREAM チャート

DREAMチャートより車両が存在している状況でのドライバのヒューマンエラーに関する背景要因とその要因連鎖の典型的なパターンとして、以下のような特徴があることが分かった。

- ・全てのヒヤリハット事例は左折開始タイミングが早かった(A1.1: Too early action)ことが重大事象として該当し、それらは全て状況判断の誤り(C2: Misjudgment of the situation)に起因していた。
- ・全ての事例で観察された状況判断の誤り(C2)を招いた2つの主要な要因因子は、認知ミス(B1: Missed observation)とドライバの注意配分(E2: Attention allocation)であり、全ての事例で該当した。
- ・認知ミス(B1)を招く主要な要因因子は、他車両等による一時的な視野阻害(K1: Temporary obstruction of view)とドライバの注意配分(E2)であり、一時的な視野阻害は先行車によるものであった。
- ・ドライバの注意配分(E2)が歩行者以外へ向けられた理由は他の交通参加者(E2.2: Other than the critical event outside vehicle)であり、先行車への確認であった。

(2) 支援システムの実装に関して、運転操作の負担を減らすことを目的として、自動操舵システムを図2に示す実験車両に実装した。目標の走行軌跡の曲率から求める目標操舵角 θ_{FF} と目標の走行軌跡と実際の走行軌跡と

の差分から求める目標操舵角 θ_{FB} の2つから目標操舵角 θ_{Target} を算出し、制御を行った(式3)。式(1)(2)(3)中の記号はステアリングギヤレシオ G_{ratio} 、スタビリティファクタ A 、車両速度 V 、ホイールベース l 、目標走行軌跡の曲率 R_{map} 、目標走行軌跡 y_{map} 、現在位置座標 y 、注視点距離 L 、重み係数 w 、ヨー角 ψ である。



図2 実験車両外観 (JARI-ARV)

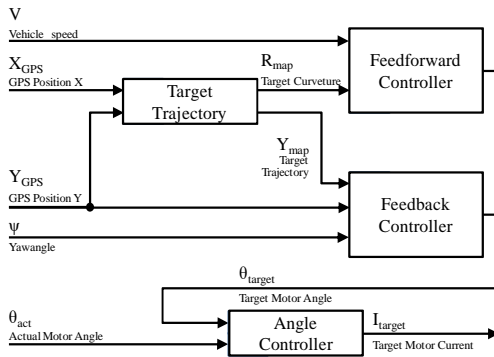


図3 操舵制御ブロック線図

$$\theta_{FF}(t) = G_{ratio} \left(1 + AV(t)^2 \right) \frac{l}{R_{map}(t)} \quad (1)$$

$$\theta_{FB}(t) = G_{ratio} \left(y_{map}(t) - (y(t) + L\psi(t)) \right) \quad (2)$$

$$\theta_{Target}(t) = w\theta_{FF}(t) + (1-w)\theta_{FB}(t) \quad (3)$$

(3)高度運転支援機能の検証実験として、交差点での右左折時に運転操作負荷を軽減させた場合のドライバーの安全確認行動への影響について実験を実施した。

交差点での右折実験として、図4に示すように先行車に追従し、右折を行なう実験を実施。交差点の手前で一旦停止をし、対向車がいるため再発進に関してはドライバーに一任させた。この場面における手動操舵と自動操舵での安全確認行動について解析を行った。

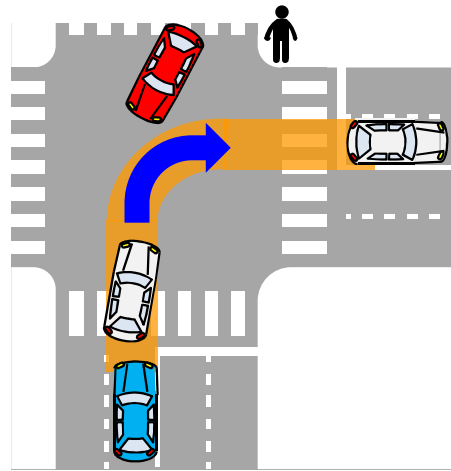


図4 右折実験条件

計測項目

- ・操舵角
- ・車両速度
- ・位置
- ・加速度(XYZ方向)
- ・角速度(XYZ軸周り)
- ・ドライバ視線方向

解析方法は今回、図5に示すように安全確認行動としては横断歩道付近の歩行者注視とし、確認した延べ時間を求めた。

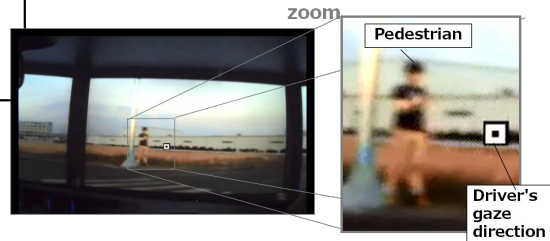


図5 安全確認行動の定義

結果として、図6に示すように交差点右折時に関して、自動操舵の場合には手動操舵の場合に比べ、安全確認の時間が長くなっており有意差が認められた ($p < 0.05$)。

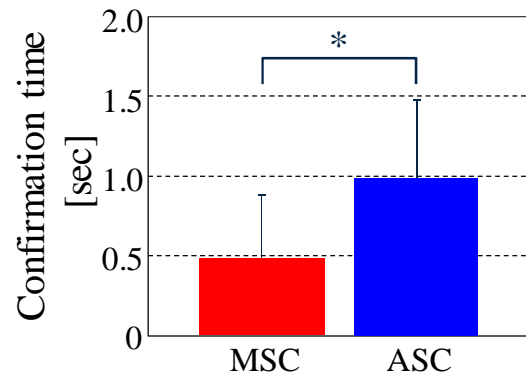


図6 右折時の安全確認時間

MSC : Manual Steering Control
ASC : Automatic Steering Control

これは交差点を右折する際にはドライバの運転操作負荷が高くなるため、ドライバは運転操作への優先度を高くすることで安全確認への優先度が低くなることに対して、運転支援によりドライバの運転操作負荷を軽減することで、軽減した分だけドライバに余裕があるため、安全確認行動をドライバが行なっていると考えられる。

次に交差点での左折実験として、図7に示すように右折実験と同様の実験を行った。この際には手動操舵、自動操舵との比較以外にも先行車がいる場合といない場合についても比較を行いドライバへの運転操作のタスクを変えた場合について検証を行なった。

計測項目は右折と同様であり、解析方法は歩行者を確認した延べ時間について比較をした。

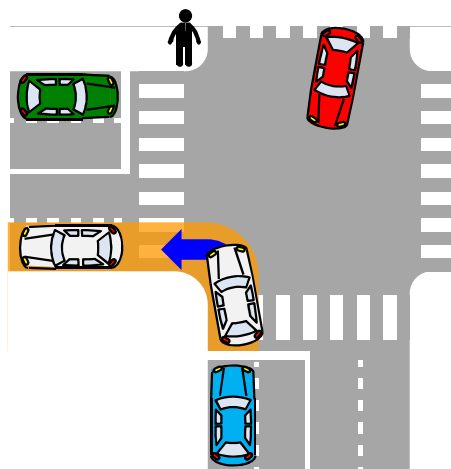


図7 左折実験条件

その結果を図8に示す。手動操舵の場合には、先行車が存在しない状況と比較して、先行車が存在する状況における歩行者への安全確認時間は大きく減少することがわかった。これは、DREAMチャートで示された先行車の存在によるドライバの注意配分エラーと一時的な視野障害の2つの要因によるものだと考えられる。

先行車が存在する状況において自動操舵を行うことで、安全確認時間が増加することが明らかになった。この結果から、右折時の実験と同様に、左折においてもドライバの運転操作のための注視時間が低減し、歩行者への安全確認時間が増加する可能性が示唆された。また、歩行者への安全確認時間に大きな差はなかった。このことから、先行車が存在する状況での自動操舵は、歩行者への安全確認行動を先行車が存在しない状況と同等まで回復させる効果があると考えられる。

一方で、歩行者への安全確認時間に有意差は生じなかった。このことは、先行車が存在しない状況での交差点左折場面においては、ドライバの運転操作のための注視時間を低減する自動操舵が行われたとしても歩行者

への安全確認時間は増加しない可能性があることを示唆している。この理由としては、先行車が存在しない状況では運転操作のための注視と歩行者への安全確認のための注視が余裕を持って行われており、自動操舵を行って運転操作のための注視が低減しても、歩行者への安全確認時間は変わらなかったと考えられる。また、先行車の有無によって操舵支援効果に差が生じた理由としては、先行車が存在することで交通状況が複雑になり、ドライバの安全確認行動に影響を与えたためと考えられる。以上より、同じ交差点左折場面であっても交通状況によって操舵支援効果が変化するので、より有効な支援を行うためには、ドライバの注視行動に影響を与えるような交通参加者などの自車を取り巻く交通状況を考慮する必要があることが判った。

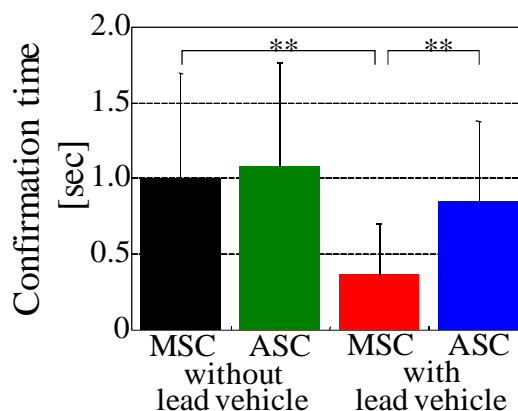


図8 左折時の安全確認時間

なお、本実験は実験実施前に、実験内容及び安全性について、日本自動車研究所の倫理審査委員会にて審議し、承認が得られた後に実施した。また、実験参加者には実験内容について事前に説明を実施し、同意が得られた後に実験を実施した。

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)

[学会発表](計4件)

So Saito(発表者), Nobuyuki Uchida, Shunsuke Tsukuda, Masao Nagai, Effects of steering control function on driver behavior while turning at an intersection, FAST-zero'17, 2017年9月20日, 奈良春日野国際フォーラム, 奈良県, 奈良市

佃 駿甫(発表者), 内田 信行, 齋藤 創, 永井 正夫, 交差点走行時における操舵支援機能がドライバの歩行者安全確認に及ぼす影響, 機会学会 第26回交通・物流部門大会, 2017年12月4日, 大阪府立大学, 大阪府, 堺市

佃 駿甫, 内田 信行(発表者), 齋藤 創,
永井 正夫, 交差点左折事故防止に向けた運
転操作への介入支援に関する研究, 自動車技
術会 2018 年春季大会, 2018 年 5 月 24 日, パ
シフィコ横浜, 神奈川県, 横浜市

齋藤 創(発表者), 内田 信行, 佃 駿甫,
永井 正夫, 交差点右折時における操舵支援
がドライバの注視行動に及ぼす影響, 自動車
技術会 2018 年春季大会, 2018 年 5 月 24 日,
パシフィコ横浜, 神奈川県, 横浜市

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.jari.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 信行 (UCHIDA Nobuyuki)

一般財団法人日本自動車研究所・安全研究
部・研究員

研究者番号：40426250

(2) 研究分担者

永井 正夫 (NAGAI Masao)

一般財団法人日本自動車研究所・その他部
局等・研究所長

研究者番号：10111634

(3) 研究分担者

毛利 宏 (MOURI Hiroshi)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50585552

(4) 研究分担者

今長 久 (IMANAGA Hisashi)

一般財団法人日本自動車研究所・安全研究
部・研究員

研究者番号：90384734