

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：82659

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01663

研究課題名（和文）拡張現実実験車による交差点事故の再現シミュレーションと予防安全方策に関する研究

研究課題名（英文）Empirical study on reproduction simulation of intersection accidents by augmented reality vehicle and preventive safety measures

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） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：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。特に、重大事故になりやすい市街地交差点での交通弱者との交通事故発生要因を分析対象とし、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パターンを明らかにした。更に、ARによって交差点事故を再現するシステムを作成して具体的なヒューマンエラーを見いだすと共に、その対策として有効な運転支援機能に関する実証実験を行った。以上より、交差点での事故を防ぐために必要な将来の高度運転支援/自動運転に関する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重大事故に占める割合が高い交差点での車両対自転車事故の発生メカニズムを研究対象とし、ニアミスデータ分析からヒューマンエラーの発生パターンを明らかにした。その上で、ARによって交差点事故を再現するシステムを作成し、ヒューマンエラーパターンの検証と有効な運転支援機能を実証的に見いだした点に学術的かつ社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the mechanism of intersection accidents, which account for a large proportion of serious accidents, and to empirically find an appropriate driving support method according to the accident occurrence pattern using an actual driving simulator. In particular, we analyzed the causes of traffic accidents with vulnerable people at urban intersections, which are prone to serious accidents, and clarified scenario patterns in which human errors such as unconfirmed safety are likely to occur. Furthermore, we created a system that reproduces intersection accidents using AR, found specific human errors, and conducted demonstration experiments on effective driving support functions as countermeasures. From the above, we obtained the knowledge about future advanced driving support / autonomous driving necessary to prevent accidents at intersections.

研究分野：人間工学

キーワード：運転支援 交通事故防止 ヒューマンエラー 予防安全

### 1. 研究開始当初の背景

本我が国では歩行者・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分析し、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、テストコースにおいて典型的な交差点事故シナリオを再現し、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、交差点での事故を防ぐために必要な将来の運転支援/自動運転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背景要因連鎖の把握
- (2) ヒューマンエラー防止のための運転支援アルゴリズムの開発
- (3) 運転支援機能を実装した高機能 AR 実験車両の開発

### 4. 研究成果

(1) ヒヤリハットベースから交差点での車両対自転車ニアミスシーンを抽出し、背景要因分析をDREAM(Driver Reliability and Error Analysis Method)を用いて実施した。

分析対象とした無信号交差点での対自転車出会い頭ニアミス全25事例の分析結果から主な背景要因のみをまとめた概要図を図1に示す。図1から、自転車との出会い頭ニアミス発生の直接的なきっかけは「自転車への対応遅れ(A1.2)」と「性急な交差点進入(A1.1)」の2つであったが、いずれもドライバの「状況判断の誤り(C2)」によるものであった。これは、潜在的な危険対象物に対する「構え」が欠如した運転状態で交差点に接近/進入したことを表している。

更に、「構え」を伴わない交差点進入となった「状況判断の誤り(C2)」は2系統の背景要因連鎖によって引き起こされていた。一つ目の系統は「自転車の見落とし(B1)」から生じたもので(B1-C2連鎖)、構造物(K2)による物理的な視界障害だけでなく、他交通参加者への注意(E2)が影響したケースも観察された。具体的には、16事例(64%)において、運転者の注意が他交通参加者に向けられて、自転車の発見遅れが生じていた。

「状況判断の誤り(C2)」が引き起こされたもう一方の系統は、他交通参加者への注意(E2)によって誤った交差点進行判断(C2)が引き起こされたケースである(E2-C2連鎖)。図2の具体的事例に示されるように、先行車の交差点通過に引き続いて交差点に進行するケースが25事例中10事例(40%)において観察された。これは、第三当事者である先行車の交差点進行が、後続のドライバに対して「同じように交差点に進行できる」という認識を与えたと考えられ、結果として潜在的な危険対象物に対する「構え」が欠如した状態で交差点に進入したことが危険状況に繋がったと推察された。

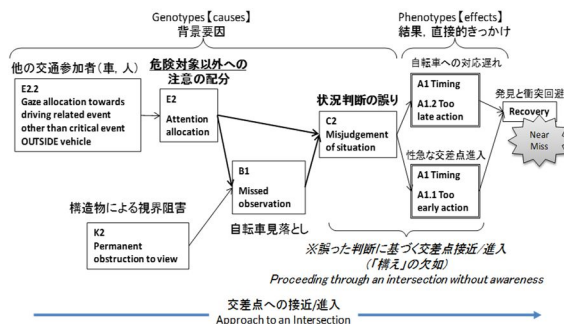


図1 無信号交差点における車両対自転車ニアミスの背景要因

(2) ヒューマンエラー防止のための運転支援に関して、(1) のニアミスデータ分析より、先行車に続いて交差点に進行する状況では、潜在的な危険対象物に対する「構え」の欠如した運転状態になり、出会い頭自転車への対応が遅れる可能性が示唆された。そこで、他の交通参加者に対する注意配分が生じる際に、潜在リスクに対応するための「構え」を形成する方策を検討した。その結果、特定の対象物への注意を喚起するのではなく、運転者の全般的な注意レベルを上げるための警報提示が、無信号交差点を走行する運転者の「構え」形成に有効であることが示唆された。



図 2 実無信号交差点での車両対自転車ニアミスの発生状況

(3) 運転支援機能を実装した高性能 AR 実験車両として、JARI-ARV (図 3) を用いて無信号交差点での潜在リスクへの「構え」を形成する警報機能を搭載した。さらに、その有効性検証としてテストコースでの走行実験を行い、警報提示に関する条件(あり/なし)を設定し、出会い頭自転車との衝突回避パフォーマンスや、潜在的な危険対象物への「構え」に関する運転行動の違いを検討した。

図 4 に示すように、実験参加者が運転する車両 (JARI-ARV) が T 字無信号交差点を直進する際に、出会い頭自転車と遭遇するものとした。その際、運転者の注意分散対象として白色の先行車 (CG) を設定すると共に、交差点奥左側に視界障害構造物を配して、その陰から 10km/h で走行する自転車 (CG) が現れるようにした (図 5)。また、出会い頭自転車の出現タイミングは、実験車両 (JARI-ARV) が自転車の走行軌跡上 (仮想衝突地点) に到達するまでの残り時間 (TTC) が 2.0 秒となる時点とした。

なお、先行車 (白色乗用車) は、当該 T 字交差点手前 150m 地点に実験車が到達した時点で、実験車の前方 30m 付近 (交差点手前 120m 地点) に全周回で登場させ、交差点で左折する直前まで 30km/h で走行するものとした。



図 3 JARI-ARV ( Argmented Reality Vehicle )

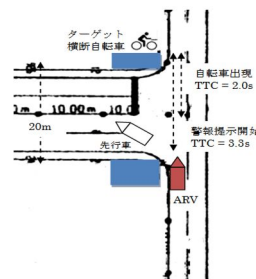


図 4 左折実験条件





図5 安全確認行動の定義

実験条件として、被験者間要因計画によって警報提示による衝突防止効果を検討するため、以下二つの実験群を設定した。

1) 警報提示群 (n=15)

自転車が飛び出す直前 (TTC3.3 秒) において断続的な警報 (「ピーピーピー」) が提示される。教示にて、何らかのリスクが発生する事を自動車側から知らせる機能であることを説明し、他交通参加者への注意や安全確認を促した。

2) 非警報群 (コントロール群, n=15)

実験前の教示にて実路と同様の運転を行うよう伝えるが、自転車が飛び出す直前において特に警報は提示されない。

なお警報提示タイミングは、設定条件に関する予備実験において検討した。具体的には、先行車左折後に交差点直進する際の加速が、自転車との衝突位置まで約 3.3 秒の地点で生じていたことから、警報音の提示タイミングを TTC3.3 秒とした (図 4 参照)。

データ計測の項目として、アクセルペダル操作量、視線方向などの運転行動データ、および自動車両の走行挙動データを同期記録した。加えて、車外前方風景映像と、車内の運転者顔面および足下 (ペダル操作) のビデオ映像についても数値データと共に同期記録した。

分析内容としては、出会い頭自転車出現時のブレーキ反応時間、および自転車との衝突率を調べることにより、警報提示の有無による衝突リスクの違いを検討した。さらに、安全確認中はアクセルペダルの踏み込み量が減少するという先行研究をもとに、自転車出現時のアクセルペダル操作量を「構え」の指標とした。

実験参加者は、日常的に運転している 20~50 歳代の成人で運転歴 3 年以上の男女 30 名であった。実験前に依頼する内容についての説明を行い、同意を得た上で実施した。また、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。

出会い頭自転車との衝突リスクを検討するために、自転車ターゲット出現時 (TTC2 秒) の平均ブレーキ反応時間について群間比較を行った。その結果、図 6 に示されるように群間で有意差 (t 検定の結果, 1%水準) が認められた。これは、警報提示によって運転者に不測の事態に対する「構え」が形成され、飛びだし自転車に対するブレーキ反応時間が早まったと考えられる。また警報提示の有無による群別比較を行った結果、警報提示しなかった群 (非警報群) では衝突率が 7 割を超えたのに対して、警報群では 3 割未満であった。このことから、警報提示による明らかな衝突リスクの低減効果が認められた。

続いて、図 7 は自転車出現タイミング (原点) の前後数秒間における全ての実験参加者の速度変化 (速度プロフィール) を示したもので、上下それぞれ非警報群および警報群における結果である。自転車出現時 (原点) に大きな差は認められない。しかし、図 7 に見られるように、非警報群では自転車出現に対して停止若しくは十分な減速ができないケースがあり、警報群とは対照的な結果であった。これは、潜在的な危険対象物の出現という突発的なイベント (TTC2.0 秒で自転車出現) の発生に対する「構え」が無かったことから、十分な回避操作がとれなかった可能性を示している。

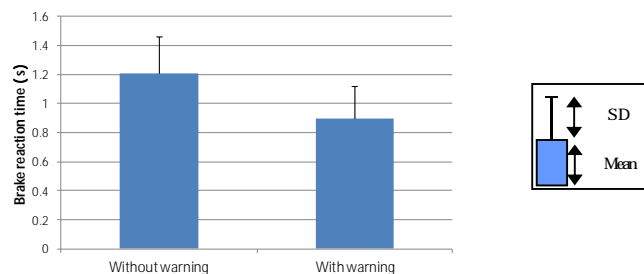


図6 出会い頭自転車出現時のブレーキ操作反応時間

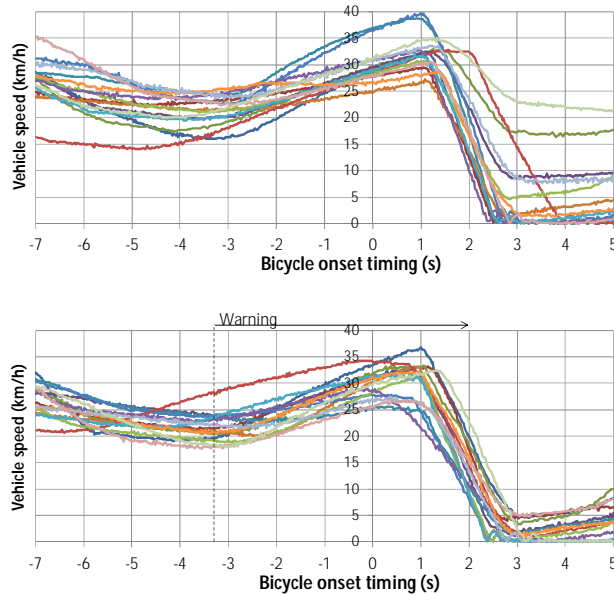


図7 実験車両の速度変化プロフィール  
(x=0：出会い頭自転車出現時)

上記の速度プロフィールの群間差異を踏まえて、自転車ターゲット出現時（TTC2秒）の平均アクセルペダル踏み込み量についての群間比較を行った。t検定の結果、5%水準で群間に有意差が認められた（図8）。このことから、先行車左折後の前方交差点に走行スペースできた状況は両群で共通していたが、非警報群では「進行可能」との判断に基づく加速中に自転車が飛び出してきたのに対して、警報群は加速を緩めて（若しくは中断して）、不測の状況に備えて「構え」が形成されていたことがわかった。

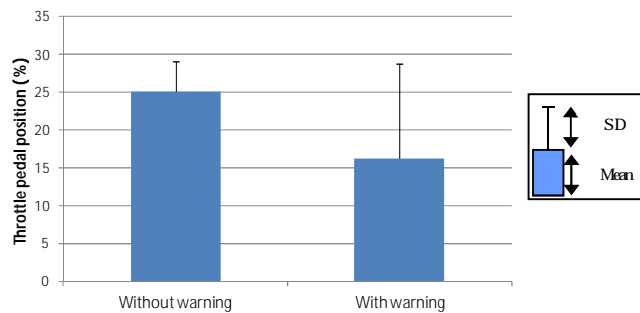


図8 アクセルペダルの平均開度

以上より、ニアミスデータの背景要因分析結果から得られた対自転車出会い頭シナリオを実験的に再現した結果、警報提示による顕著な事故リスク低減効果が認められた。これは、警報提示の重要性を示すだけでなく、再現した場面において運転者の「構え」欠如が生じ、出会い頭自転車との衝突リスクを増大させていることが明らかになった。

さらに、特定の対象物への注意喚起ではなく、運転者の全般的な注意レベルを上げる警報提示が潜在的な出会い頭自転車への「構え」を形成し、衝突リスクを低減できる可能性が実証的に示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 So Saito, Nobuyuki Uchida, Shunsuke Tsukuda, Masao Nagai
2. 発表標題 Is Automated Steering Control Function Enhances Drivers Safety Performance While Turning at an Intersection?
3. 学会等名 AVEC'18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田 信行, 佃 駿甫, 齋藤 創, 永井 正夫
2. 発表標題 交通環境データ取得・分析技術の紹介
3. 学会等名 自動車技術会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arjan Stuijver, Dick de Waard, So Kitajima, Jakobo Antona, Nobuyuki Uchida
2. 発表標題 How will autonomous cars interact with cyclists?
3. 学会等名 HFES Europe Chapter Conference (国際学会)
4. 発表年 2019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	永井 正夫  (Nagai Masao)  (10111634)	一般財団法人日本自動車研究所・その他部局等・その他    (82659)	

6. 研究組織（つづき）

	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	毛利 宏  (Mouri Hiroshi)  (50585552)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授     (12605)	

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