

ドライビングシミュレータを用いた 信号交差点左折時の自転車安全対策の評価実験

永松 啓伍¹・溝口 諒²・山中 英生³

¹学生会員 徳島大学大学院先端技術科学教育部 修士2年 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

E-mail:c501531008@tokushima-u.ac.jp

²正会員 若築建設株式会社 技術開発部 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒二丁目23番18号)

E-mail:mizoryo0822@yahoo.co.jp

³正会員 徳島大学大学院理工学研究部 教授. (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

E-mail:yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp

自転車事故の約7割が交差点で発生しており、信号交差点においては約6割を自動車の右左折時の巻き込み事故が占めている。平成24年度には、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」が発出され、交差点部において自転車の直進性確保と左折巻き込み防止のための基本的な方針と法定外路面標示を含めたレイアウトを示している。今後自転車通行帯を整備するにあたっては、交差点部における直進自転車と左折車の安全性を考慮した交差点の処理方法が重要であると考えられる。本研究では、ドライビングシミュレータを用いて信号交差点における車道を走行する自転車を考慮した自転車安全対策の評価を目的としている。施策としては、「分離方式」「混在方式」の2パターンをとりあげ、協調型ドライビングシミュレータを用いた実験により自転車と自動車の挙動を分析しかつ被験者の安全感を分析した。この結果、混在方式が安全性の面で優れているが、利用者の安全感に面では課題を残していることが明らかになった。

Key Words : junction design, bicycle, left turn conflict, driving simulator experiments

1. はじめに

自転車の事故は、約7割が交差点で発生しており、その中でも信号交差点においては自転車の右左折時の事故の割合が6割となっている。平成24年11月に国土交通省と警視庁交通局より「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」¹⁾が発出された。ここでは、自転車レーンなどの自転車空間の走行遵守には、交差点部での直進性確保が重要であることが指摘され、車道左端の自転車レーンから自転車が進入する交差点について、自転車に直進性確保と左折巻き込み防止のための基本的な方針と法定外路面標示を含めたレイアウトを示している。

今後、自転車専用通行帯等を整備していくにあたり、交差点部は直進自転車と左折自動車の動線が交差する場所であり、安全性の観点から交差点の処理方法は極めて重要であると考えられる。しかし、現状では交差点の安全性評価を検証する研究は少なく、従来の評価方法には安全面やコスト面に課題が残っている。そこで、本研究では自転車・自動車を同時にかつ同一道路空間上で運転操作可能な自転車・自動車協調型ドライブシミュレーター（以下DS）の開発を行い、実空間では実験できない

多様な条件での交差点進入時の干渉型実験を可能とした。この協調型ドライビングシミュレータを用いて、車道を走行する自転車を考慮した信号交差点における自転車安全対策の評価を目的としている。

2. 既存研究と本研究の方法

自転車を考慮した信号交差点でのレイアウトの安全性について、教習場構内での模擬実験や、マルチエージェントシミュレータを用いての交差点の自転車の整備方法を評価する研究が進められてきている。

久保田ら²⁾は、複数の交差点整備パターンについて教習場校内の道路で模擬実験を行い、安全性を比較している。その結果、自転車ガイドラインで提案されている左折自動車と合流する方式、すなわち交差点手前において自転車レーンをやめ、左折自動車と自転車を混在させる方式が、交差点での左折自動車と自転車との錯綜を減少させる可能性が高いと言える。ただし、この方式は自転車運転者から見た評価では、高くない結果となっており、自転車の利用を浸透させるには、自転車運転者への意識付けや走行方向の研修なども重要としている³⁾。

小川ら⁴⁾は、交差点整備方式の4案を対象にマルチエージェント・シミュレーションを用いて交錯危険度と遅れ時間の観点から各方式の評価を試みている。その結果、千石交差点で採用されている「現状方式」は、左折車や歩行者の交通量が増えると交錯が高まり、「混在方式」は「現状方式」に比べ交錯を起こしにくい、左折車が多いと交錯が高くなる傾向がある。さらに、専用信号による「分離方式」は遅れ時間が大きい、「交差方式」(交差点の手前で直進自転車と左折自動車の車線を入れ替える方式)は交錯が少なく、遅れ時間も小さく、安全上、円滑上も有効な方式としている。ただし「交差方式」は自転車が車線変更する抵抗を考慮に入れると、「混在方式」を基本として「交差方式」「分離方式」を使い分けるのが望ましいとしている。

また、海老澤ら⁴⁾は、都内においてガイドラインで示されている2つの方式で整備された千石一丁目、札の辻交差点を対象にビデオ観測、意識調査、事故を分析しており、意図した挙動が増加し、利用者の評価も高く、事故の増加も見られないことを明らかにしている。ただし、安全性の面で課題となる挙動も生じていることから、部分的な改善の必要性を指摘している。

以上のように、自転車に配慮した交差点の設計については、一定の評価が明らかになっているが、今後も多様な視点からの評価を進めることが必要となっている。特に、模擬実験やマルチエージェント・シミュレーションでは衝突現象の再現が難しいなどの課題が残っている。

近年、交通事故の要因抽出・安全評価にDSが用いられるようになってきている。DSは同一条件を繰り返し行えること、また、衝突再現実験などが可能になる等のメリットがある。ただし、従来のDSでは、自転車、自動車が同時にかつ同一空間上を体験することが出来ず、自転車・自動車の関係性を踏まえたデータを得ることが出来ない。そこで、本研究では自転車・自動車を同時にかつ同一空間上で運転操作可能な自転車・自動車協調型ドライビングシミュレータの開発を行った。このシミュレータを用いて自転車安全施策の評価を行った。

3. 実験方法

(1) 協調型ドライビングシミュレータ

走行実験に用いた自転車・自動車の協調型DSは、自転車と自動車の運転者は同一空間上で同時に操作が可能なもので、交差点等における自転車と自動車との錯綜条件下での、自転車・自動車運転者の挙動分析を行うことを目的としている。(図-1)、Forum8社製のUC-WINROAD Ver.9を改良したもので、自転車と自動車の2者が同時に操作できるマルチユーザー・クラスターモード

を用いている。自転車(写真1)は、幅2.0m高さ2.4mのパネルを正面から右回りに後ろ正面まで計4枚配置し、4台のプロジェクター(解像度1600×1200ピクセル)で投影して左右240度、上下45度の視野像を出力する。後輪回転・ハンドル操作に連動して映像が再現される。自動車(写真2)は実物の軽自動車に60インチ(正面)、52インチ(側面)、50インチ(後面)の5台の液晶ディスプレイ(1920×1200ピクセル)で窓越しの視野像を出力し、ハンドル・ブレーキ・アクセル・ウィンカーが映像に連動している。

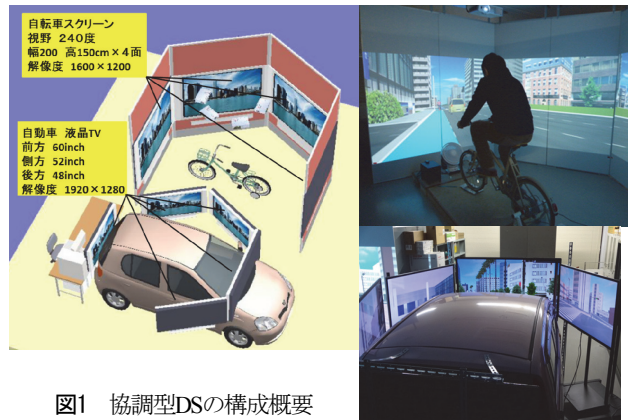


図1 協調型DSの構成概要

(2) 評価対象とした交差点自転車安全対策

本研究では自転車安全施策として既存研究の成果を考慮して分離方式と混在方式(図2)を対象とした。

分離方式は自転車と自動車の走行空間を交差点進入部まで完全に分離する方式である。混在方式とは、交差点手前で、左折する自動車を自転車レーンまで寄せることで、自転車と左折自動車を直列に並ばせ混在して交差点に進入する方式である。

(3) DS実験の方法

走行実験は図3に示すケースシナリオで実施した。自転車が被験者の場合、前方に見える交差点に向かって

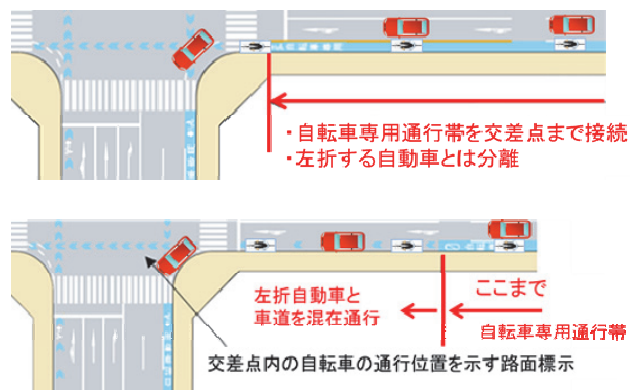


図2 評価対象の自転車安全対策 上：分離，下：混在方式

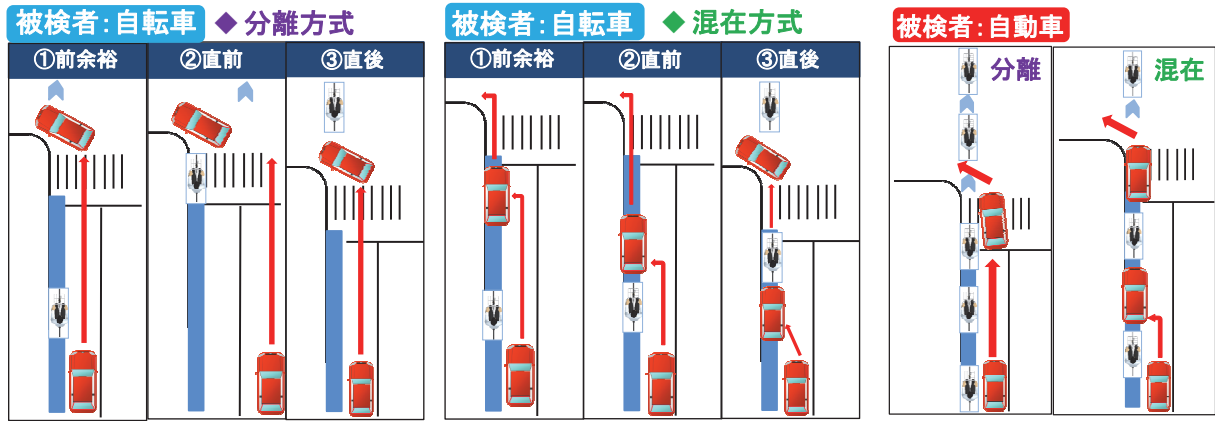


図3 自転車被験者、自動車被験者の場合の実験シナリオ

直進し、横断する。自動車は交差点を左折して追い越すが、追い越し位置に余裕のある前・直前・直後の3パターンとした。自動車は分離方式の場合はシナリオ（ソフトで自動的に再現）で操作したが、混在では協調相手がテスターとして自動車シミュレータを操作する方式とした。自動車が被験者の場合、自転車レーン上に自転車が5台同じ速度で、間隔を変えて進入してくるのに注意して左折させている。自転車の速度は12km/h, 18km/h, 自転車の間隔は速度12km/hでは5, 10, 15, 20, 18km/hでは7.5, 15, 22.5, 30mとしている。

この結果表2に示す10ケースを各被験者で実験した。各ケース5回繰り返しさせて、その都度、安全感を5件方で評価させた。被験者は若年者15名、高齢者10名の計25名である。視線挙動を計測するアイマークレコーダー(EMR-9)を装着させたが、眼球の状況などから装着不可やエラー発生等となって被験者以外で、若年者5名、高齢者4名の分析を行った。

表1 実験ケース

被験者	実験パターン	分離方式	混在方式
自転車	左折自動車挙動	前余裕	①
		直前	③
		直後	⑤
自動車	自転車速度	12km/h	⑦
		18km/h	⑨
			⑩

4. 実験結果

(a) TTCによる安全性評価結果

TTCは自転車と自動車が仮に速度を維持した場合に衝突するまでに要する時間であり、自転車及び自動車の位置座標、速度を取得し、各実験での最小TTCを算出した結果を図4に示す。図中の線はカイ二乗検定で5%有意差のある関係を示している。

自転車被験者では、危険とされる2秒以下の割合で見ると、若年者・高齢者ともに混在方式の割合が高くなる傾向が見られた。さらに危険な1秒以下で見ると、高齢者は分離方式の割合が高くなっていった。全体的に3秒以上の割合は分離方式の方が高

く安全なケースであると言える。自動車被験者では、2秒以下の割合は自転車被験者同様にすべてにおいて混在方式が分離方式を上回っている。1秒以下の割合では高齢者を除いては混在方式の方が高くなっている。また、全体的に3秒以上の割合は分離方式の方が高くなっている。

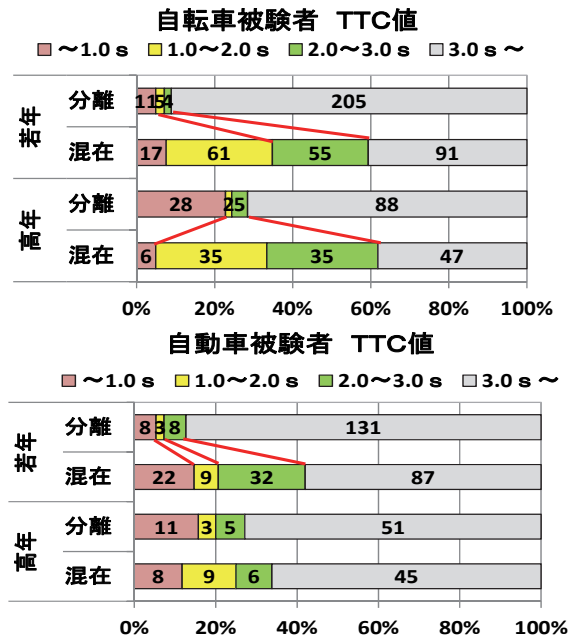


図4 TTC値による安全性の比較

図5は自転車被験者で、自動車の追い越し場所別にTTCが1秒以下、2秒以下のケース割合を比較している。図中の線はカイ二乗検定で5%有意差がある関係を示している。若年者・高齢者とも前余裕、直前、直後の順に危険性が高まる。高齢者の混在方式直前でむしろ危険性が低くなっているが、これは高齢者は混在方式で自動車に道を譲る傾向があることが理由と考えられる。

図6は自動車被験者で、自転車の速度別にTTCが1秒以下、2秒以下のケース割合を比較している。図中の線は同様の意味である。1秒以下率、2秒以下率ともに、自転車速度が18km/hの時よりも12km/hの時に高くなる傾向が見られる。特に分離方式の場合

に若年者、高齢者ともに2秒以下率が自転車速度が12km/hで有意に高くなる。これは、速度の遅い自転車を待ちきれず、無理な割り込みが生じることが原因と考えられる。

(b) 衝突発生

DS実験では実際に5%程度の衝突が発生している。図7はその発生率を比較した結果である。自転車被験者では、分離方式の場合のみで発生しており、特に高齢者が有意に高い。自動車被験者では、混在、分離ともに見られ、やはり高齢者の分離方式で高く、混在方式は低くなっている。

(c) 自転車・自動車の視認

図8はアイマークを装着した被験者について、相手方を視認した回数の平均を比較した結果である。自転車被験者の自動車視認回数では、若年者は方式に差はなく確認回数が多く、高齢者は分離が多くなる。自動車被験者の自転車視認回数でも、若年者、高齢者ともに分離で多く、特に若年者では分離が有意に混在よりも視認回数が多くなっている。

(d) 利用者の不安感

実験ごとの事故を起こしそうな不安感を5件法で評価させた。図9はその発生率を比較した結果である。若年者・高齢者、自転車・自動車、いずれも混在方式で不安感が高いことが分かる。

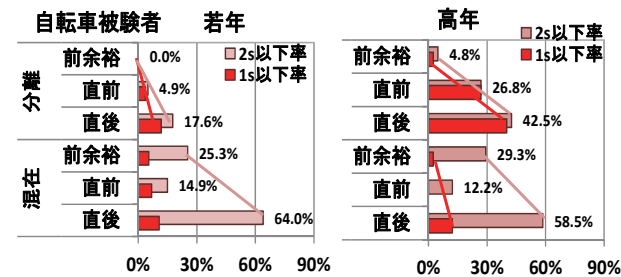


図5 追い越し位置によるTTC値の比較 (自転車被験者)

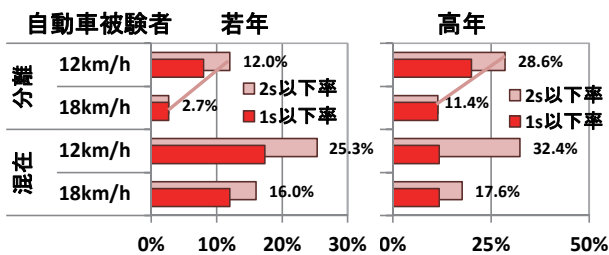


図6 自転車速度別TTC値の比較 (自動車被験者)

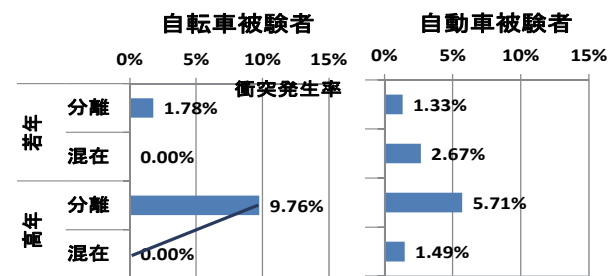


図7 衝突発生率の比較

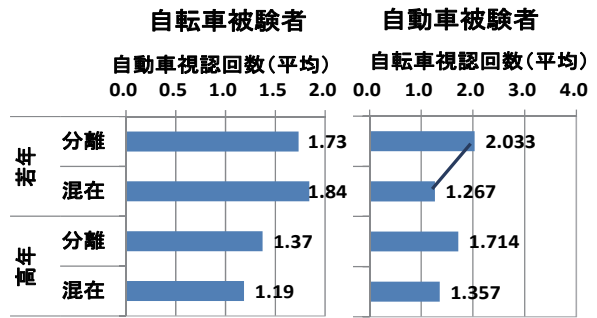


図8 相手側視認回数の比較

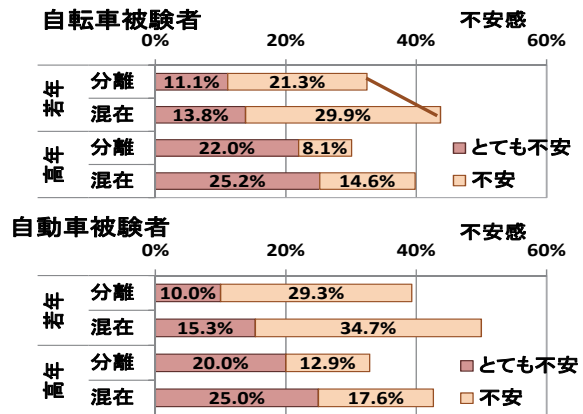


図9 利用者の不安感の比較

5. おわりに

TTC1秒以下の発生率や衝突発生率、視認回数などの指標から見ると、混在方式が分離方式よりも安全性の面で優れていると言えるが、利用者の不安感に面では課題を残していることが明らかになった。横断歩道上の自転車・歩行者の存在の影響など、詳細な分析を継続したいと考えている。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究(B) 25289166にて調査・分析、基盤研究(A) 16H02369にて引き続き分析を進めている。

参考文献

- 1) 国土交通省、警察庁：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2011
- 2) A. RAHIMI A. Rahman, 小嶋文, 久保田尚：交差点における自転車安全対策に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, No.45, 2012.
- 3) 交通工学研究会：自転車通行を考慮した交差点設計の手引き, 2015
- 4) 小川 倫, 高見 淳史, 大森 宣暁, 原田 昇：自転車と左折自動車の交錯を考慮した交差点整備方式の評価ーマルチエージェント・シミュレーションを用いてー, 交通工学研究発表会論文集, No.34, pp.531-536, 2014
- 5) 海老澤綾一, 久保田博之：交差点における矢羽根型表示“自転車ナビライン”の試行について, 交通工学研究発表会論文集, No.34, pp.523-526, 2014.