

# VRを活用したAlternative Intersectionsにおける 車両と横断者の安全性に関する検討

井上 卓磨<sup>1</sup>・田中 伸治<sup>2</sup>・松行 美帆子<sup>3</sup>・有吉 亮<sup>4</sup>・中村 文彦<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府

(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 土木工学棟) E-mail: inoue-takuma-kp@ynu.jp

<sup>2</sup>正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: tanaka-shinji-ym@ynu.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: mihoko@ynu.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 横浜国立大学大学院特任教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: ariyoshi-ryo-gd@ynu.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 東京大学大学院特任教授 新領域創成科学研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1) E-mail: nakamura-fumi@edu.k.u-tokyo.ac.jp

信号交差点において、左折車、対向直進車の優先通行を無視して車両が右折することで、危険な交錯が発生するケースが散見されている。右折関連事故の既存の対策法としては、右折専用現示の導入などが挙げられるが、交差点処理効率の観点から課題が残る。一方、欧米では平面幾何構造と信号制御を工夫することにより、車両間の交錯を削減するAlternative Intersectionsが導入されつつある。本研究では、ドライビングシミュレータを用いた被験者走行実験を実施し、Alternative Intersectionsにおける車両の誤進入発生可能性や横断歩行者との交錯危険性を分析する。また、横断歩行者の歩行時不安感を把握するため、VRを活用した被験者横断実験を行うことで、ドライバーと歩行者双方の観点から、Alternative Intersectionsの安全性を評価する。

**Key Words :** *Alternative Intersections, traffic safety, virtual reality, conflict, pedestrian*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景と目的

2021年の警察庁統計<sup>1)</sup>によると、車両相互事故の約6割が交差点で発生しており、そのうちの約4割は車両右折時に発生していることがわかっている。また、交差点内における対横断歩行者死傷事故に着目すると、交差点横断歩道を横断する歩行者と右折四輪車との交通事故が比較的多く発生している<sup>2)</sup>。これらの交通事故が発生する要因としては、右折時のドライバーの見落としや不注意、また右折車の左折/対向直進車優先通行無視などが挙げられる<sup>例えは3)</sup>。道路交通法第37条によれば、交差点内で車両等が右折する場合、左折車や対向直進車に優先権があるが、一般にそれらを譲らずに右折することで危険な交錯が発生するケースが散見されている。右直事故に対する既存のハード的対策法としては、右折専用現示の導入や立体交差化などが挙げられる。しかしながら、右折専用現示は交通需要が少ない場合、無駄な青時間が発生

し、交通需要が多い場合は右折車が直進車線を閉塞することが課題として指摘されている<sup>4)</sup>。また、立体交差化事業は、用地制約条件が多く存在する我が国においては実施が困難なケースが多く、建設費用の観点からも課題が残る。右直事故のソフト的対策としては掲示による注意喚起などが挙げられるが、対策の効果やその持続性は充分でないのが実情である。車両右折時における他の車両や横断者との危険な交錯を抑制するためには、円滑性の確保も勘案した、交錯危険性低減に資する道路空間の設計が重要といえよう。

一方、おもに欧米においては、平面幾何構造と信号制御を工夫することにより車両間の交錯を大幅に削減する、新たな交差点形状Alternative Intersections (代替的交差点; 以下、AI) が多く導入されつつある。本研究では、その特徴を整理したうえで、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を実施することで、先行研究で十分に明らかにされていないAIにおける誤進入などのドライバーの危険挙動の発生可能性や車両と横断者との交錯危険性を分

析する。また、横断者の歩行時不安感を把握するため、バーチャルリアリティ（以下、VR）を活用した歩行実験を行い、不安感に影響を及ぼす道路幾何構造および交通状況に関する要因を抽出する。これらの結果に基づいて、車両と横断者双方の安全性について検討を行い、AIの我が国への導入に向けた、交差点の道路幾何構造の設計要素に関する知見を得ることを本研究の目的とする。

(2) 先行研究のレビューと本研究の位置づけ

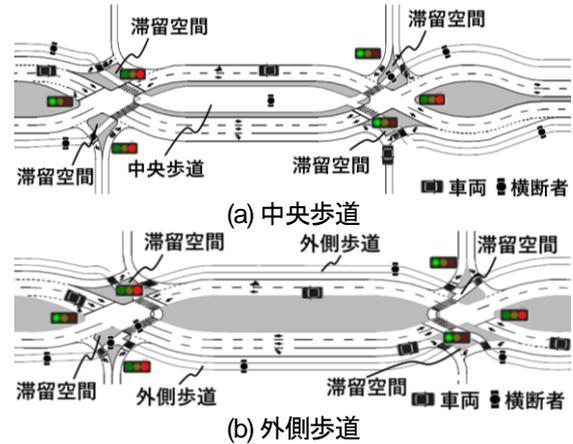
先述のように、我が国においては車両の交差点右折時における交通事故の発生抑制が喫緊の課題であることから、先行研究<sup>例えは5)6)</sup>ではこれまでに右折車の走行挙動、右折車と対向直進車や横断者との交錯危険性に関する分析が多くなされてきた。一方で、欧米などの諸外国では新たな平面交差方式としてAIが採用されるケースが多くみられる。AIは用地制約の比較的少ない地域における平面交差部の円滑性と安全性向上を目的として、道路幾何構造と交通制御を工夫した交差点である。AIの一種である図-1の反転インターチェンジ（Diverging Diamond Interchange; 以下、反転IC）は従来のダイヤモンド型インターチェンジ（以下、ダイヤモンド型IC）の代替案であり、部分的に走行車線と対向車線を反転させることによって右折車と対向直進車の交錯を排除することが可能であることから、近年我が国で多発している右直事故の有効な対策法の1つになり得ると考えられている。

反転ICに関する先行研究として、Claros *et al.*<sup>8)</sup>はミズーリ州に存在する複数の反転ICにおいて実際に観測されたデータを基に、ランプターミナルにおける車両の衝突危険性を交差点改良前後で比較している。また、Molan *et al.*<sup>9)</sup>は既存の代替性安全評価指標を用いて反転ICにおける車両間の交錯危険性を分析しており、シミュレーション分析の結果、従来のダイヤモンド型ICと比較して安全性が高まることを示している。さらに、反転ICの道路構造が従来のダイヤモンド型ICと大きく異なることから、米国ではドライビングシミュレータを用いて、反転IC走行時における誤進入や信号無視、走行速度などの観点からドライバの危険挙動の発生状況を分析している<sup>10)</sup>。犬飼ら<sup>11)</sup>は我が国の既存交差点の中から、反転ICの適用可能性の高い箇所を選定したうえで、我が国へ導入した場合の交差点の円滑性を交通シミュレーションにより評価し、またドライビングシミュレータによりドライバの誤進入発生可能性などについて検討している。

しかしながら、我が国の交通法規や交通状況を踏まえた反転ICに関する研究事例は少なく、走行時における車両の走行挙動やドライバの意識分析、また横断者の存在を考慮した分析が先行研究では充分になされていないことから、本研究では被験者実験の結果に基づき、これらについて検討する。



図-1 反転IC<sup>7)</sup>



図中の信号機は車両用信号を示している。

図-2 歩道の設置方式 (米国指針<sup>7)</sup>を基に一部加筆)

2. 反転ICの概要

反転ICは、米国で提唱された平面交差方式であり、近年ではカナダやマレーシアなど米国以外にも導入事例がみられる。ここでは、反転ICの構造上の特徴や安全性などについて述べる。

反転ICにおける車両の交差点走行方法に関して、流出ランプターミナルへ左折する車両は、従来のダイヤモンド型ICと同様に予め左折レーンへ移動する必要があり、一般道路からの直進車や右折車はインターチェンジの反転部を走行することになる。一方で、自動車専用道路から反転ICへ流入する車両は非優先であり、流入ランプターミナルが無信号の場合、一般道路を走行する車両の進行を妨げてはならない。歩道に関しては、図-2のように交差点の中央分離帯に設置する中央歩道（centre walkway）という方式と交差点外側に設置する外側歩道（outside walkway）という2つの方式が存在する。いずれの歩道も横断時に一方向から進行する車両のみに注意すればよいことから、横断者の安全確認のしやすさが向上すると考えられている。中央歩道の特長としては、横断者と右折車の交錯が排除されることが挙げられる。横断者と車両の交錯に着目すれば、外側歩道方式では12箇所存在する交錯点を中央歩道方式の場合、8箇所に削減することが可能となる。しかしながら、歩行者は中央分離帯に相当する位置を歩行することから、走行車両に対して不安感を感じる可能性があることが課題として指摘されている。

外側歩道は、歩行位置が従来の交差点と同じく道路側方であることから、歩行時の車両に対する不安感は比較的小さいと考えられるが、高速で走行する右左折車との交錯事象は従来のダイヤモンド型ICと同様に発生し得る。

次に車両の安全性に関して、図-3は従来のダイヤモンド型ICと反転ICの交差点数の比較を示している。図からもうかがえるように、反転ICは走行中に走行車線と対向車線が反転されることで、右折車と対向直進車の交錯が排除され、その他の車両間交錯も大幅に削減される。また、インターチェンジ内の反転部を走行する際、ドライバーはステアリング操作に起因して減速する必要があると考えられることから、車両間、また車両と横断者の交錯危険性の低減も期待される。しかしながら、交差点構造が従来と比較して複雑であることから車両の誤進入の発生が懸念され、米国では標識や路面標示による注意喚起、またグレアスクリーン (glare screen) と呼ばれる視覚遮蔽具などを用いた対策を実施している<sup>12)</sup>。

以上より、本研究では反転ICにおけるドライバーの走行挙動を把握するため、ドライビングシミュレータによる被験者走行実験を実施したうえで、ドライバーの速度調節や危険挙動の発生状況、車両と横断者の交錯に着目した分析を行う。また、横断者の観点から反転IC設置にあたっては歩行時不安感に関する検討が必要であると考えられることから、被験者歩行実験を実施し、不安感に与える影響要因を統計モデルの構築を通じて明らかにする。

### 3. 研究方法

#### (1) 交差点モデルの作成

本研究では、我が国における既存の交差点形状として、埼玉県熊谷市の代交差点を参考に、三次元VR空間内で交差点の仮想再現を行ったうえで、当該交差点に反転ICを適用した交差点モデルを作成する。交差点の選定にあたっては、ダイヤモンド型ICの構造を有しており、また事故多発交差点に指定されている信号交差点であることなどを考慮した<sup>例えば12)</sup>。なお、実験環境の構築にはFORUM 8社製のリアルタイムVRソフトウェアUC-win/Road Ver. 14を使用し、より自然な実験空間とするため、建築物の三次元モデルを適宜配置する。

#### (2) 被験者走行実験

走行実験におけるステアリングとペダリングに関しては、Logicool社製のDriving Force G29を用いて操作を行い、実験の際には車両の位置、速度、加速度、ステアリングなどの走行挙動データを取得する。さらに、被験者の運転操作を動画撮影し、運転時のドライバーの反応を記録する。本実験の被験者は、普通自動車第一種免許 (AT限定可) を保有する20代の学生15名 (男性12名、女性3名)

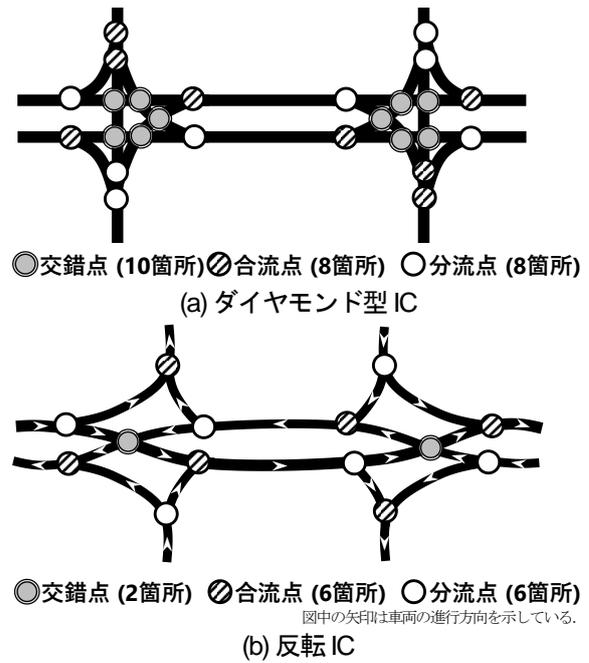


図-3 交差点の比較

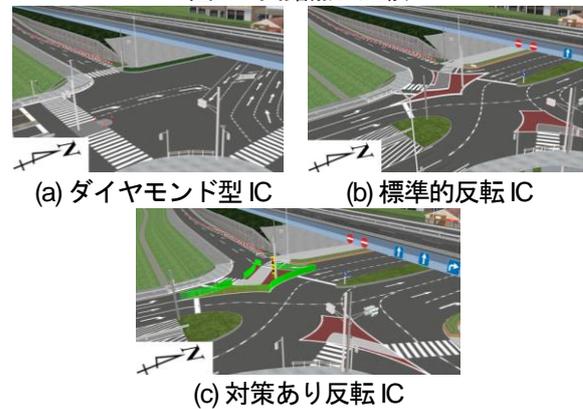


図-4 走行実験における交差点モデル

である。なお、実験に先立ち、すべての被験者に対して実験内容の説明を行っており、本実験参加に対するインフォームドコンセントを得ている。被験者には反転ICの構造や走行方法などについて事前に知らせず、ドライビングシミュレータの基礎的な操作方法のみを説明する。普段どおりの運転を心掛けるよう被験者に伝え、走行実験に先立ってVR環境への馴化を目的としたプレ実験を実施する。プレ実験では、単純な十字交差点が複数存在する2.5[km]の走行路において直進、右左折操作を体験させ、走行路がVR環境へ慣れるのに短いと被験者が判断した場合は、追加で走行練習を行う。プレ実験ののち、ダイヤモンド型IC、反転ICの順に走行実験を行う。なお、反転ICに関しては、標準的誤進入対策として路面標示と標識を設置しており、これらに加えて交差点内における対向車線への誤進入対策を目的としたグレアスクリーンと呼ばれる高さ1.2[m]の緑色の柵と「進入禁止」文字看板を設置した交差点モデルを作成した。本稿では、前者を標準的反転IC、後者を対策あり反転ICとする。図-4は走行実験で被験者が走行する交差点モデルを示している。

実験における走行コースに関して、交差点の直進と右左折を基準としつつ、被験者負担を軽減するために、標準的反転ICについては誤進入対策による走行挙動への影響が高いと考えられる直進ルートのみを設定する。また、交差点走行時における車両と横断者の交錯危険性について、走行方法が従来のダイヤモンド型ICと大きく異なる右折時に着目し、車両が交差点内に進入した際に、横断歩道の右側（以下、Near-side）と左側（以下、Far-side）から横断者が出現するモデルをそれぞれ作成し、横断者の横断方向が交錯危険性へ及ぼす影響を分析する。以上を踏まえ、被験者には表-1に示した9つの実験パターンで走行させ、各コースに対する被験者の印象を問うアンケート調査を実施する。なお、いずれも交差点の南側から交差点内へ流入するコースを指定しており、他の車両の存在による被験者の走行への影響を排除するために被験者が運転する車両のみの自由走行とする。また、順序効果を抑制するため、標準的反転ICを先に走行するグループと対策あり反転ICを先に走行するグループに分けて実験を行う。但し、グレアスクリーンと文字看板による誤進入対策に対する被験者の印象をより正確に把握するため、いずれのモデルが先行であっても直進ルートは連続的に走行するよう配慮する。

次に車両と横断者の交錯に関して、本研究ではAllen *et al.*<sup>13)</sup>によって提唱された式(1)のPET (Post Encroachment Time) 指標の値が10秒以下となる交錯事象を対象とする。

$$PET = t_2 - t_1 \quad (1)$$

ここで、 $t_1$ : 交錯前者の交錯点通過時刻、 $t_2$ : 交錯後者の交錯点通過時刻である。なお、交錯点とは、車両の走行軌跡と横断者の移動軌跡が一致した点のことを指す。

### (3) 被験者歩行実験

被験者の安全性とさまざまな条件下での再現性を確保しつつ、また没入感やリアリティが高い歩行実験が可能であるVRとヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）を組み合わせた実験を行い、アンケート調査により従来のダイヤモンド型ICと反転IC歩行時における被験者の利用意識の差異を比較分析する。本研究で用いるHMDは、頭と首の動きに加えて外部センサを用いずに体の移動を認識可能な6DoFのインサイドアウト方式に対応したOculus社製のOculus Questである。また、歩行実験では実際の代交差点における交通需要に基づき、車頭時間間隔が負の指数分布に従うように、車両を横断歩道上流からランダムに発生させる。

反転ICの構造や歩行方法などに関しては、走行実験の際と同様に、事前に被験者へ知らせず、普段どおりの歩行を心掛けるよう被験者に伝えたのち、VR環境への馴化を目的としたプレ実験を実施する。次に、実験パター

表-1 走行実験の実験パターン

No.	交差点形状	コース	横断者の横断方向
1	ダイヤモンド型 IC	直進	横断者なし
2		左折	横断者なし
3		右折	Near-side
4		右折	Far-side
5	標準的反転 IC	直進	横断者なし
6	対策あり反転 IC	直進	横断者なし
7		左折	横断者なし
8		右折	Near-side
9		右折	Far-side

表-2 ドライバの誤進入発生状況

交差点形状	先行・後行の別	誤進入率[%]
ダイヤモンド型 IC		27(4)
標準的反転 IC	先行	0(0)
	後行	0(0)
対策あり反転 IC	先行	0(0)
	後行	0(0)

( )内は誤進入の観測数を示している。

ンに関して、交差点内滞留空間の防護設備として、縁石、ボラード、グレアスクリーンの3パターン、横断歩道の設置方式として、外側歩道、中央歩道、防護壁付き中央歩道の3パターンを作成し、各パターンを被験者に歩行させたのちに、車両に対する不安感を問うアンケート調査を実施する。アンケート項目に関して、新井ら<sup>14)</sup>や鈴木ら<sup>15)</sup>を参考に、車両に対する速度感、車両からの圧迫感、防護感、歩行空間の広さ感、総合不安感、反転ICの設置希望、利用意思という7項目、また反転ICにおける安全確認のしやすさについての項目を5件法で設定する。その他、歩行実験の実験方法や分析内容の詳細については講演時に報告する。

## 4. 車両と横断者の安全性に関する分析

### (1) 誤進入発生状況の集計分析

表-2は走行実験におけるドライバの誤進入の発生状況を交差点形状別、標準的反転ICと対策あり反転ICの先行・後行別に示している。表からうかがえるように、従来のダイヤモンド型ICにおいて数件の誤進入が発生しており、いずれも右折時に流出ランプターミナルへ進入する事象であった。誤進入が発生した要因として、三次元VR環境への馴化が不十分であったこと、また被験者への聞き込みの結果より、実際のダイヤモンド型ICの走行経験などが考えられる。反転ICに関しては、誤進入対策の有無や先行・後行の別にかかわらず、いずれの箇所においても誤進入は発生していない。標準的反転ICにおいても誤進入が発生していないことから、対策あり反転ICのように更なる誤進入対策を講じることによって、誤進入の発生可能性の低減を図ることができると考えられる。

(2) 譲り挙動発生状況の集計分析

一般に、交差点内においてドライバーが横断者を譲らずに走行することで、危険な交錯が発生するケースが散見されていることから、ここではドライバーの横断者に対する譲り挙動に着目した分析を行う。Fu *et al.*<sup>16)</sup>の研究でも用いられている全交錯事象数に対する横断者を譲った交錯事象数の割合で定義される譲り率 (yielding rate) を横断者の横断方向別、交差点形状別に集計した結果を表-3 に示す。なお、表中には譲り率が横断方向によって差があるか明らかにするために、母比率の差の検定を行った結果も併記している。表-3より、いずれの方向から横断者が横断した場合においても譲り率は反転ICの方が高いことがうかがえる。特に、Near-sideからの横断の場合において交差点形状による統計的有意差が認められた要因として、反転ICでは横断歩道の側方を車両が走行することから、従来のダイヤモンド型ICと比較して走行中に横断者の存在をドライバーが認知しやすいことが考えられる。このことより、横断者に対する視認性がドライバーの譲り挙動に影響を与えている可能性があることから、次章ではドライバーからの横断者の見やすさについての被験者利用意識に関する分析を行う。

(3) 交錯発生状況の集計分析

ここでは、既存の代替性安全評価指標であるPET指標を用いた車両と横断者の交錯発生状況に関する分析を行う。なお、本稿ではPETが正の場合を横断者先行、負の場合を車両先行と定義する。

図-5はNear-sideとFar-sideそれぞれの横断方向について、交差点形状別のPET指標を比較した結果である。危険性が高いと考えられる、車両先行かつPET<4秒の交錯事象に着目すると、いずれの交差点形状の場合においても危険な交錯は発生していないことがうかがえる。また、交差点形状により車両と横断者の交錯危険性に差異が生じているか明らかにするために、横断者先行の交錯事象のPET値に対して、有意水準5%で母平均の差の検定 (Welchのt検定) を実施したところ、いずれの横断方向から横断者が横断した場合であっても統計的有意差が認められなかった。これは横断者先行の交錯事象のみの比較であることに留意する必要があるが、このことより従来のダイヤモンド型ICと反転ICにおける車両と横断者の交錯危険性に差があるとは結論付けられない。

(4) ドライバの速度調節に関する分析

従来のダイヤモンド型ICと反転IC (1回目の走行) におけるドライバーの速度調節プロセスに違いがあるか明らかにするために、車両の平均走行速度を分析する。表-4は車両の直進時のみに着目し、交差点の流入部、中央部、流出部における平均走行速度を交差点形状別に算出した

表-3 譲り率と検定結果

横断方向	交差点形状	譲り率[%]	$\chi^2$ 値
Near-side	ダイヤモンド型IC	47 (7)	7.78**
	反転IC	93 (14)	
Far-side	ダイヤモンド型IC	67 (10)	0.682
	反転IC	80 (12)	

( )は横断者を譲った交錯事象数を示している。 \*\*p<0.01, \*p<0.05

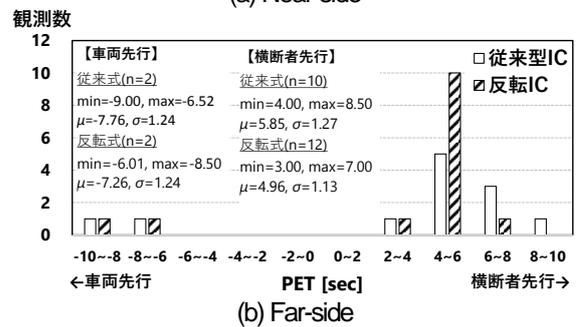
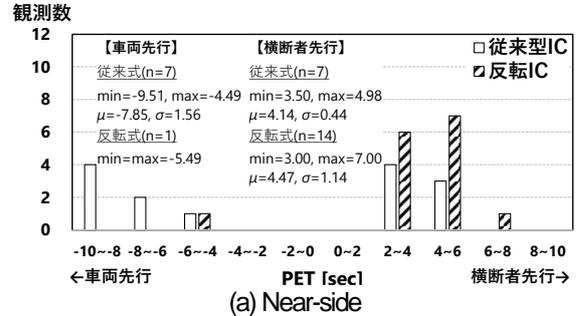


図-5 横断方向別 交錯発生状況

表-4 交差点内における車両の平均走行速度

計測断面	交差点形状	平均速度[kmh]	標準偏差[kmh]	t 値
流入部	ダイヤモンド型IC	56.8	10.6	6.54**
	反転IC	31.5	9.92	
中央部	ダイヤモンド型IC	60.2	12.8	6.54**
	反転IC	31.9	9.91	
流出部	ダイヤモンド型IC	61.6	13.6	6.58**
	反転IC	32.2	9.78	

流入出部の計測断面は、停止線中央部に設定している。 \*\*p<0.01, \*p<0.05

ものである。なお、表中には平均走行速度が交差点形状によって差があるか明らかにするために、母平均の差の検定 (Welchのt検定) を行った結果も併記している。表より、すべての計測断面に関して、反転ICにおける車両の平均走行速度はダイヤモンド型ICのそれよりも統計的有意に低いことがうかがえる。その要因として、反転ICは交差点内に反転部を有していることから、従来のダイヤモンド型ICよりも多くのハンドル操作が必要であることが挙げられる。加えて、これまでに走行したことの無い特殊な交差点形状であることに對し、ドライバーが慎重に運転したことも要因の1つと考えられる。この結果より、反転ICには車両の走行速度の抑制効果が見込め、交差点内における事故リスクを低減できる可能性があることが示唆された。今後は、サンプルサイズを確保したうえで、交差点内における走行位置とドライバーの速度調節プロセスとの関係を詳細に分析することで、交差点形状が走行速度に及ぼす影響を明らかにする予定である。

### 5. 走行時におけるドライバの意識分析

本章では、被験者走行実験におけるアンケート調査の結果に基づき、反転ICに対するドライバの利用意識に関する分析を行う。図-6は反転ICにおけるドライバの走行不安感の評価を標準的反転ICと対策あり反転ICの先行・後行の走行順序別に集計した結果である。この結果より、いずれの反転ICにおいても走行時に不安感を感じた被験者が一定数存在していることがうかがえる。不安を感じた箇所としては、交差点進入時や中央分離帯の終端部、右折時という回答が多くみられた。これらは、反転ICの交差点構造や走行方法について被験者が事前に把握していないこと、また路面標示や標識などによるドライバへの走行方法に関する情報提供が不十分であったことなどによるものと考えられる。さらに、図-6より同一の反転ICであっても1回目と2回目の走行で、被験者の走行不安感が大きく異なることがうかがえる。いずれの反転ICにおいても、2回目の走行の方がより不安感が低いと回答する被験者が多い傾向にあることがわかり、反転ICにおける走行経験の有無がドライバの不安感に大きく影響を与えている可能性があることが推察される。今後は、誤進入対策や走行経験の有無など、ドライバの走行不安感に及ぼす影響要因を統計モデルの構築によって明らかにする。

次に、車両右折時におけるドライバの横断者に対する視認性に関して、図-7は従来のダイヤモンド型ICと反転ICでの横断者の見やすさの比較を示している。この図より、反転ICについて、横断者が見にくいと回答した被験者も数名存在するが、見やすいという回答が比較的多いことがうかがえる。これは、反転ICを走行する際に低速走行する必要があること、また横断歩道の側方を車両が通過することで横断者の存在をより認知しやすいことなどが要因であると考えられる。一方で、横断者が見にくいという回答について、いずれの方向から横断する横断者が見づらかったか被験者に質問したところ、ダイヤモンド型ICについては75%がNear-side、反転ICについては67%がFar-sideからの横断者という回答であった。ダイヤモンド型ICでは、右折車は対向直進車の存在を考慮する必要があり、また交差点内歩道から離れた位置を走行しながら右折しなければならないことから、先述の結果が得られたものと考えられる。反転ICについては、Far-side側にグレアスクリーンがあり、その陰に横断者が隠れることが影響しているものと考えられる。前章の結果に鑑みても、従来のダイヤモンド型ICと反転ICにおけるドライバの視認性には大きな差異がある可能性があり、数名の被験者が見づらいと回答したFar-sideからの横断者に対しては、交差点内滞留空間の防護設備の見直しやドライバの視認性の向上施策が必要であると考えられる。

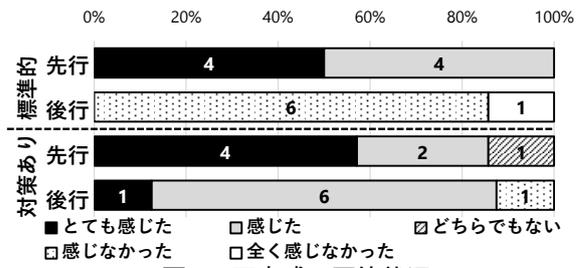


図-6 不安感の回答状況

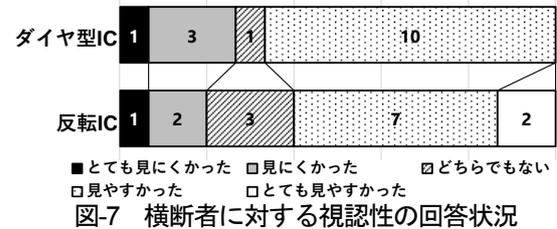


図-7 横断者に対する視認性の回答状況

### 6. おわりに

本稿では、右折車と対向直進車の交錯を排除可能なAIの1つである反転ICに着目し、その道路構造や安全性などについての特徴を整理したうえで、ドライビングシミュレータによる被験者走行実験の一部の結果について報告した。今後はサンプルサイズを確保し、反転ICにおけるドライバの詳細な走行挙動について追加の分析を行う。また、VRを活用した被験者歩行実験の結果については講演時に報告する予定である。

### 参考文献

- 1) 警察庁：交通事故統計 2020 年度版, 2021.
- 2) 木下義彦: 第 27 回 事故事例に学ぶ「交差点右折時の対歩行者事故」, 日新火災海上保険株式会社 Safety Information Vol. 105, 2018.
- 3) 公益財団法人交通事故分析センター-ITARDA : イタリア・インフォメーション No.95, 2012.
- 4) 社団法人交通工学研究会: 道路交通技術必携 2013, p. 156, 2013.
- 5) 安部原也・田川傑・内田信行・平松真知子・寸田剛司: 交差点右折時の対向直進車のない状況における運転行動と対向直進車接近時の回避行動との関係, 自動車技術会論文集, Vol. 45, No. 6, pp. 1135-1140, 2014.
- 6) 鈴木弘司・志村連: 大規模交差点における自転車と右左折車の挙動と交錯危険性に関する分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 74, No. 5, pp.971-980, 2018.
- 7) U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration: DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE Informational Guide, 2014.
- 8) Boris Claros, Praveen Edara, Carlos Sun: When driving on the left side is safe: Safety of the diverging diamond interchange ramp terminals, Accident Analysis and Prevention, pp. 133-142, 2017.

- 9) Amirarsalan Mehrara Molan, Joseph E. Hummer: Safety analysis of the new synchronized and Milwaukee B interchange in comparison to existing designs, *Accident Analysis and Prevention*, pp. 29-35, 2017.
- 10) U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration: Driver's evaluation of the diverging diamond interchange, 2008.
- 11) 犬飼望・田中伸治・中村文彦・有吉亮・三浦詩乃・小根山裕之・柳原正実: 平面交差点における Alternative Intersections の日本への適用に関する研究, *土木計画学研究・論文集*, Vol.74, No.5, pp. 1327-1338, 2018.
- 12) 一般社団法人 日本損害保険協会: 全国交通事故多発交差点マップ, <https://www.sonpo.or.jp/about/useful/kousaten/2008/11/1102.html> (2021/09/17 最終閲覧)
- 13) Brian L. Allen, B. Tom Shin, Peter J. Cooper: Analysis of traffic conflicts and collision, *Transportation Research Record* 677, pp.67-74, 1978.
- 14) 新井拓朗・鈴木一史: VR 実験による二段階横断施設の交通島形状が歩行者の不安感に及ぼす影響の評価, 第47回土木学会関東支部技術研究発表会, 2ページ, 2020.
- 15) 鈴木弘司・藤田素弘・阿部貴紀・森下健太: 横断者の心理・行動を考慮した中央帯構造・制御方式に関する分析, *土木計画学研究・論文集*, Vol.24, No.4, pp. 851-860, 2007.
- 16) Ting Fu, Luis Miranda-Moreno, Nicolas Saunier: A novel framework to evaluate pedestrian safety at non-signalized locations, *Accident Analysis and Prevention*, pp.23-33, 2018.

(2021. 10. 1受付)

## INVESTIGATION ON THE SAFETY OF VEHICLES AND PEDESTRIANS AT ALTERNATIVE INTERSECTIONS USING VIRTUAL REALITY

Takuma INOUE, Shinji TANAKA, Mihoko MATSUYUKI, Ryo ARIYOSHI and Fumihiko NAKAMURA