交差点右折時におけるドライバの運転行動分析のための VR ドライビングシミュレータの構築

Development of VR driving simulator for analysing driving behavior in right turn at intersections

北海道大学　工学部　○学生員　岡崎泰勢 (Taisei Okazaki)
北海道大学大学院　工学研究院　正員　萩原亨 (Toru Hagiwara)
北海道大学大学院　工学研究院　正員　高橋翔 (Sho Takahashi)
北海道大学大学院　工学院　丸山凌平 (Ryohei Maruyama)

1. はじめに

近年, 交通事故の発生件数は減少傾向にあるが, 交通事故のさらなる減少が求められている [1). 交通死亡事故の死者数を状況別に見ると, 最も多いのは歩行中の事故である. また, 歩行中の死亡事故の過去 10 年間における減少割合はその他の事故類型に比べて少なくなっている [2). 人対車両事故は多様な場面で発生しているが, その中でも交差点右折時の事故は, 頻繁に発生する事故場面の一つである. 交差点右折は, 他の場面に比べてヒューマンエラーが多いことなどが報告されており [3), 車両の交差点右折時に焦点を当てた対策が必要である. また, 先行研究において, 運転時におけるドライバにかかる負荷が大きくなるほどドライバのヒューマンエラーが発生する可能性が高まることが示唆されている [4). したがって, 交差点横断者が存在する信号交差点において, ドライバのヒューマンエラー発生要因の究明は今後の交差点での人対車両事故の対策に大きく貢献しうる [5).

ドライバに負荷がある状況での運転行動を究明するにあたり, VR ドライビングシミュレータ (以降, DS) による実験は有効性が高いと考える. ドライバに負荷がかかるような状況での実験を現実世界で行うことは, 負荷による操作ミス等, 予期しない事故が発生する危険性をはらんでいる. 一方, DS を用いた実験では, ドライバの安全が確保されていることに加え, 交通事故場面の再現が容易となる. したがって, 事故発生要因を追求する上で DS による実験環境の整備, また DS 自体のパフォーマンスの向上は必要不可欠である.

本研究では, 交差点右折時におけるドライバのヒューマンエラー発生要因の究明を最終的な目的とし, 走行時にドライバが認知判断すべき視認対象物の有無と, 交差点横断者への認知の遅れの関係性について検討する. 本研究では, このような検証を行うため, 歩行者・先行車・直進対向車など, ドライバが認知判断すべき対象物が異なるシナリオを設定可能でかつ通常の運転に近い視野を確保できる VR ドライビングシミュレータを開発する.

2. 実験手法

2.1. VR を用いたドライビングシミュレータ

ドライバの運転行動をより現実に近づけるため, ヘッドマウントディスプレイ (以降, HMD) を用いて, バーチャルリアリティ (VR) 空間内での実験を行うことができる DS を構築した. DS の製作にあたり, Unity テクノロジーズ社が公開するゲーム開発エンジンである Unity を用いた. Unity では, サードパーティが開発した様々な素材 (アセット) を導入することにより, 多様なゲーム環境が構築できる.

表 1　使用した機材の仕様

項目	内容
OS	Windows 10Pro
CPU	Intel Core i9-9900K 3.60GHz
RAM	32GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1050Ti
HMD	HTC Vive Pro eye
コントローラ	Logitech G29 Racing Wheel

図 1　DS の操作の様子

構築した空間とドライバのインターフェースとして, HMD を用いた. HMD による視界は, 周囲の現実世界の映像を遮断する. これにより, HMD の使用者は自己の周りに空間的な広がりがあるような感覚 (包囲感) となる. この包囲感が, VR 体験者の没入感を高める [6). また, 首振りにより 360 度の視界が得られることで, 交差点の右折時のようにドライバが広く周囲を見渡す必要のある状況での実験を行うことが可能となる.

2. 2. 使用機材

使用した機材の詳細については, 表 1 に示す. VR 空間の構築のため,Unity を用いて市街地の交差点, 交通信号機, 歩行者および車両のアセットを導入した. また, VR 空間とドライバのインターフェースとして, 表 1 の HMD を用いた. ハンドルやペダルのデバイスを通して車両の

操作を可能とする.

2.3.VR 空間で再現した市街地交差点

⑴車両

図 2 に車内からの視野映像を示した. 図 2 のカメラ位置は, ドライバの位置からの映像である. 現実の車両での運転に近づけるため, ルームミラーやサイドミラー, スピードメータを導入した.

DS 内に再現する車両は, 一般向けに公開されている車両のアセットを利用した. “Standard Assets”に含まれる車両のアセットをベースに, 車両の外観を“Vehicle-3D Pro models”に含まれる一般的なセダンタイプの乗用車のモデルに変更した. このアセットは, 車重やエンジン出力などのパラメータを調整することができる.

⑵走行コース(札幌市北 1 条西 5 丁目交差点を右折)

走行コースを図 3 に示した. ドライバは実験開始後 100m 直進し, 交差点に到達する. 信号の切り替わりを確認し, 右折する. 右折時に通過する横断歩道には, シナリオにより横断者が存在する. 横断歩道を通過後 80m付近で実験車は停止する.

⑶札幌市北 1 条西 5 丁目交差点

VR ドライビングシミュレータにおいては実験対象交差点として ZENRIN 社が作成した 3D 地図データを導入した. 北海道札幌市北 1 条西 5 丁目交差点の信号交差点の 3D 地図データ (図 4) に, 信号機のアセットを導入した. また, 対向車を模擬した走行車両、および歩行者を模擬した人型のアセットを導入した. (図 6,7)

⑷交通信号機

交通信号機のアセットとして, 「Traffic light Intersection」を導入した (図 5). 信号のサイクルは, いずれの方向も青現示が 60 秒, 黄色現示が 3 秒, 全赤時間が 3 秒とし, サイクル長は 126 秒である. この値は, 札幌市北 1 条西 5 丁目交差点の実際の信号サイクルを参考に設定した.

⑸対向車および先行右折車

対向車, 先行右折車については, 車両のアセットを導入した (図 6). 車両の移動については, “Bezier Path Creator” という名称のアセットを用いた. このアセットは, あらかじめ設定した進路に従って車両および歩行者を移動させることができる. これにより, 交差点での対向車および先行右折車を再現した. 車両は, 発進後 40km/h まで徐々に加速する.

⑹横断歩行者

公開されている人型のアセットに, 先述の“Bezier Path Creator”を用いることで横断歩行者を再現した (図 7). 歩行者の歩行速度はすべてのシナリオで 1.5m/s とした. 歩行者が横断する位置は, 任意に設定できる.
本実験においては, 横断歩道の中央部と, 交差点から遠い側を横断する歩行者をそれぞれ配置した.

3. VR ドライビングシミュレータによる走行シナリオの開発

3. 1. 右折時の視認対象物の設定

現実の交通事故においては, 道路線形や路上駐車の車両, ドライバの精神的な状況など, 様々な要因が複雑にかかわりあっている. これらすべてを VR ドライビングシミュレータで再現することは難しく, それによる実験条件が複雑となりすぎる. そこで, ドライバの認知負荷に影響する対象物の数を絞ることにより, 比較する項目を単純化する. 本実験では, ドライバにかかる認知負荷を変化させる要因として, 先行右折車・対向直進車・歩行者とした.

図 2　車内からの視野映像

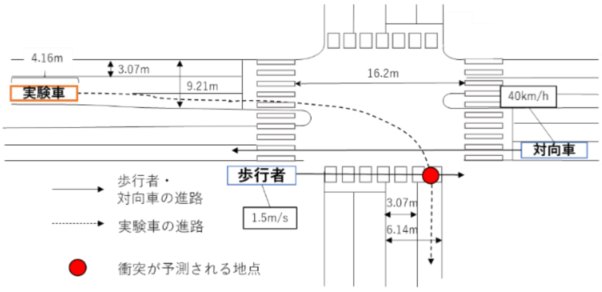

図 3　走行コース(札幌市北 1 条西 5 丁目交差点)

図 4　DS で再現した札幌市北 1 条西 5 丁目交差点

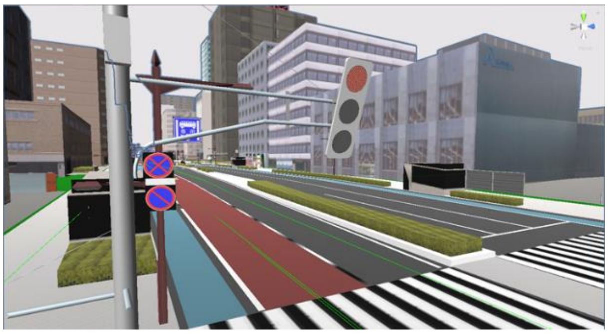

図 5　交通信号機のアセット

3. 2. 右折車（自車）の走行条件

最初, 実験車は図 3 に示すように対象交差点の 200m 地点で停止している. 実験開始後に自車は直進し, 右折車線に入り調査対象交差点（図 8）の赤信号で停車する. 信号の青現示を確認後, 運転操作を行い, 交差点を右折する. このとき, 右折車と歩行者の軌跡が横断歩道上で交わる点を交錯点と定義する. 実験シナリオにより. 歩行者や他の車両の存在の有無が異なる.

3. 3. 錯綜指標の設定

自車の走行軌跡と交差点横断者の進路が交わる点を交錯点とし, 自車と横断者が交錯点を通過した時間の差を用いて分析を行う. この時間差を用いたドライバと歩行者の錯綜指標とし, 視認対象物の増加が錯綜指標に与える影響を分析する. 図 8 に交錯点の位置および右折車と歩行者の移動軌跡を示す. また, 錯綜指標となる時間差と距離差の関係を知るため, 時間距離図を用いる. 時間距離図は, 右折車（自車）と横断者の交錯点からの距離の変化を縦軸に, 実験開始後からの経過時間を横軸にプロットしたものである. 交錯点となる 0m 地点における時間差と距離差から, 錯綜を評価できる.

錯綜およびドライバの認知判断を評価するため走行時に以下のデータを収集する。

・実験車両, 歩行者, 他の車両の位置座標→走行軌跡と時間距離図の生成
・実験車両のアクセル, ブレーキペダルの入力値→ドライバの回避行動の評価
・ドライバの視線計測→ドライバがどのタイミングで何をどう見たのかを評価（視認すべき対象物が多くなったときの影響を知ることができる）

3. 4. 走行シナリオ

ドライバが視認すべき対象物が異なる 4 つのシナリオを表 2 に示す. 4 つのシナリオごとにドライバの認知行動と歩行者に対する回避行動を比較する. シナリオ間により, ドライバが安全に走行するために視認すべき対象物が異なる. ドライバが視認すべき対象物は, シナリオ 1, シナリオ 2, シナリオ 3, シナリオ 4 の順に多くなる. 錯綜指標の実用性および設定したシナリオのパフォーマンスの確認のため, 一人の参加者のもとシナリオごとにテスト走行を行った. シナリオの詳細と, 計測したデータにより生成した時間距離図（図 9-12）を記述する.

・シナリオ 1 では, 自車のドライバが右折時に視認すべき対象物がない. 図 9 に時間距離図を示す. 自車は信号が青現示になってから対向直線者の有無や歩行者の有無を確認しつつ右折を開始し, 横断歩道を通過, その後に右折後の車線を直進する. 確認はするが, 視認すべき対象物はないシナリオとなる.

・シナリオ 2 では, シナリオ 1 に横断者を加えた. 2 名の横断者は、自車（右折車）の進行方向右側から横断する.

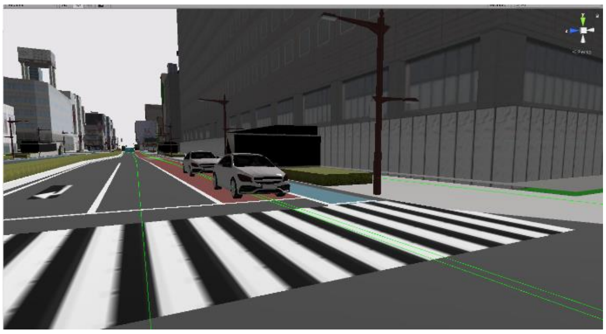

図 6　対向車を模擬した走行車両

図 7　再現した歩行者

表 2　実験シナリオ

	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4
歩行車	ー	○	○	○
対向車	ー	ー	○	○
先行右折車	ー	ー	ー	○

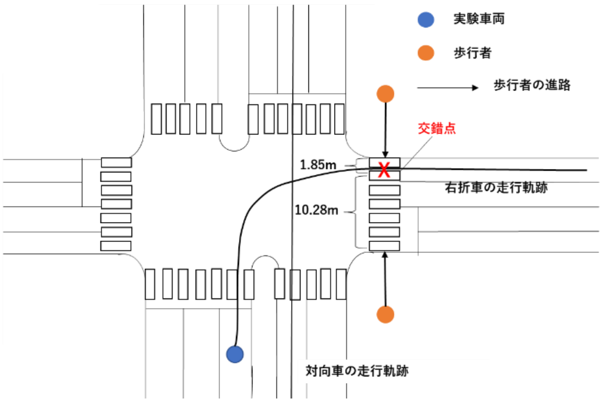

図 8　対象交差点における右折車と歩行者の軌跡および交錯点の位置

シナリオ 2 では自車以外の車両は設定していない. 横断者は青現示と同時に横断を開始する. 青現示の直後に自車と横断者がスタートすることから, 図 10 に示すように両者が交錯点を通過するタイミングはほぼ同時となる. 自車のドライバは, 歩行者を視認し回避する行動をとらなければ交錯点で歩行者と衝突するかもしれない.

・シナリオ 3 では, シナリオ 2 に 2 台の対向直進車を加

えた. 1 台目の車両 1 (対向直進車) は, 自車と同様, 青現時と同時に発進する. 2 台目の車両 2(対向直進車)は,車両 1 が交差点中央を通過してから 10 秒後に交差点中央を通過する. 自車のドライバは, 車両 1 と車両 2 のギャップを使って右折することが可能となっている. また, 歩行者 1 と歩行者 2 は, 青現示から 2 秒後に横断を開始する. このような設定することにより, ギャップを使って右折してきた自車が交錯点を通過するタイミングと歩行者が交錯点を通過するタイミングがほぼ同時となるようにする.

・シナリオ 4 ではシナリオ 3 に自車の前に存在する先行右折車を加えた. 横断者は, 青現示と同時に自車の進行方向右側から横断を開始する横断歩行者 (歩行者 1 (右)) と, 自車の進行方向左側から横断を開始する横断者 (歩行者　2 (左)) とした. 右折車 (車両　3) は, 対向直進車が通過するまで交差点内で 5 秒間待機するよう設定した. つまり, 車両 1 の通過後, 車両 3 が右折し, 最後に車両 2 が交差点に到達する. 車両 3 の右折後, 車両 2 が交差点に到達するまでには約 10 秒かかる. ドライバがこのギャップで右折した場合, 歩行者と接近するよう歩行者のタイミングを調整した. 歩行者 2 は, 赤現示の間は横断歩道 17m 手前で待機し, 青現示と同時に移動を開始し, 歩道を横断する.

4. まとめ

本研究では, 交差点右折時におけるドライバの運転行動を分析するための VR ドライビングシミュレータを開発した. VR ドライビングシミュレータにより 360 度の視界が得られ, 仮想空間への高い没入感を得られるものと考えられる. VR 空間内において右折時のドライバが認知判断すべき視認対象をコントロールし, その差異による歩行者との錯綜を評価できるシナリオを用意した.

今後, このような VR ドライビングシミュレータを用い, 視認対象の差異が右折時の歩行者との錯綜にどのように変化するかについて, 実験参加者による実験から計測する予定である.

参考文献

1) 内閣府:交通安全白書　令和元年度版(2018)
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/pdf/zenbun/1-1-1.pdf

2)[1] 内閣府:交通安全白書　令和二年度版(2019)
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r02kou_haku/pdf/zenbun/1-1-1.pdf

3)[1] Herbert Gstalter　et al. , Reliability of Drivers in Urban Intersections, Accident Analysis & Prevention, Vol.42, No.1, p.225-234(2010)

4)[1] 田久保宣晃:交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察,IATSS review,第 30 巻 3 号,p299-308(2005)

5)[1] 国土交通省　総合政策局技術安全課:ヒューマンエラー事故防止のための予防安全型技術　導入ガイドライン,(2008)https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/safety/yobo_guideline.pdf

6)一般財団法人　機械システム振興協会:ヘッドマウントディスプレイを中心とした没入型映像システムに関する戦略策定報告書,p2(2017)

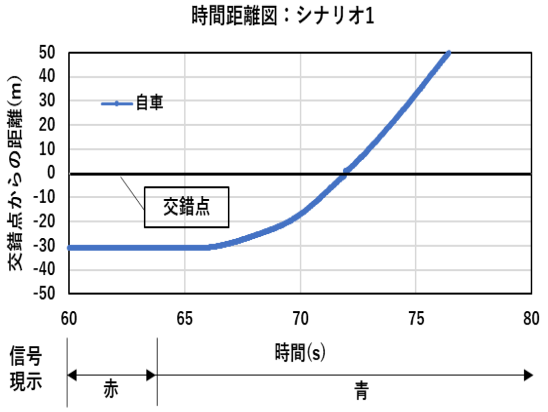

図 9　シナリオ 1 の時間距離図

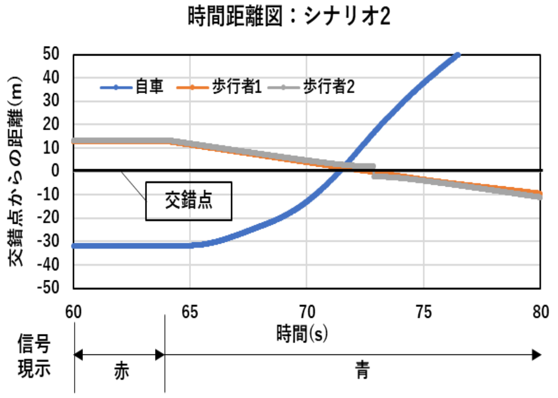

図 10　シナリオ 2 の時間距離図

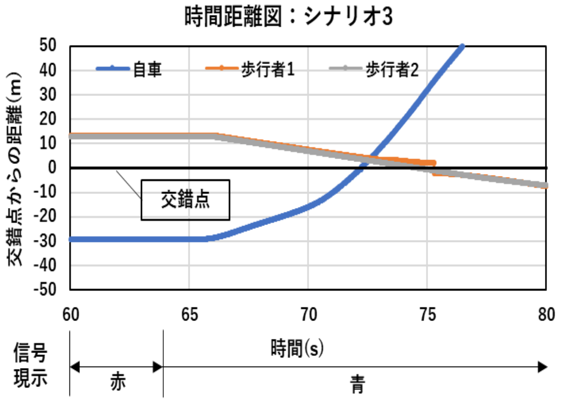

図 11　シナリオ 3 の時間距離図

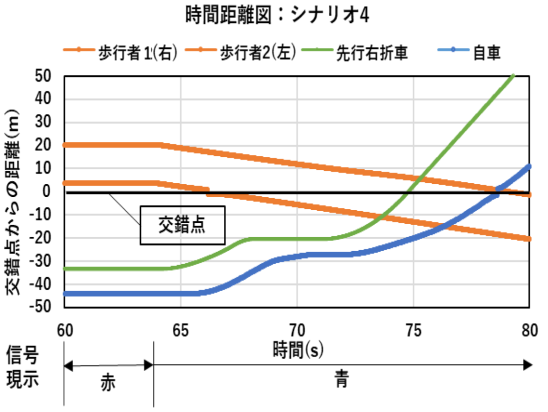

図 12　シナリオ 4 の時間距離図