



VR シミュレータを用いた赤信号下の交差点進入時における 緊急走行の運転行動の比較

須藤拓磨¹⁾, 井上草太¹⁾, 山口晋吾²⁾, 永田昌平²⁾, 山添大丈¹⁾

1) 兵庫県立大学 (〒 619-0288 兵庫県姫路市書写 2167, yamazoe@eng.u-hyogo.ac.jp)

2) 姫路市消防局 (〒 670-0940 兵庫県姫路市三左衛門堀西の町 3 番地)

概要: 本論文では、赤信号下の交差点進入時といった緊急走行の運転行動を調査し、運転者の緊急運転の経験による運転行動の違いを比較する。まず、消防士と相談しながら緊急運転シナリオを設計し、そのシナリオを体験できる VR 運転シミュレータを開発した。その後、緊急運転経験が異なる運転者に VR 運転シミュレータを利用した緊急走行を行ってもらい、その際の運転行動（視線、頭部移動、アクセル・ブレーキ量など）を記録した。分析の結果、定性的比較であるが、経験の違いによる運転行動の違いが確認された。

キーワード: VR シミュレータ, 緊急走行, 運転行動

1. はじめに

救急・消防車の緊急走行時の交通事故は、搬送中傷病者の容態悪化や信用失墜など社会的影響が大きい。そのため、事故防止に向けて様々な取り組みが行われているが、出動件数の増加や熟練者の減少などの影響もあり、交通事故件数の大幅な減少にはつながっていない。そのため、緊急車両の事故発生件数やその特性について、各国での調査が行われている [2, 3, 4, 5]。国内での調査として、山本らは、交通事故総合分析センターのデータベースを用いて、緊急走行中の救急車事故の件数、事故形態などを調査、分析しており、平成 25 年～29 年までの 5 年間の救急車事故発生件数は 57 件、重傷者数 6 名、軽傷者数 77 名と報告している [7]。乗井らは、全国の消防本部を対象として救急車事故発生件数などの調査を行っており、2017 年～19 年までの 3 年間の救急車事故発生件数は 1,659 件、これらの事故による傷病者数 130 名、死亡者 1 名と報告している [8]。いずれの調査も、緊急走行中の救急車事故のみを調査対象としており、消防車も含む事故件数はさらに多いと考えられる。

緊急走行中の事故防止については、これまでに様々な取り組みが行われている。乗井らは、全国の消防本部を対象として救急車事故防止の取り組みについても調査しており、安全運転研修やドライブレコーダの利用、写真や図での事故分析などが行われていると報告している [8]。また Albertsson らは、救急車ドライバーの洞察力訓練のための e ラーニングシステムを提案し、ドライバーの運転行動、運転能力の認識、リスク評価などに影響を与えることを報告した [1]。一方で近年では、様々な場面で VR を用いた安全教育が行われ始めており、建築現場、線路内作業など、実環境では体験しにくい状況を VR 空間中で体験することで、効果的な安全教育が実現している。しかしながら、調査した限り、緊急走行の安全教育への VR の利用の例はない。

VR を用いた一般車の運転教育については様々な検討があり、自動車教習所などでも利用されていることから、運転教育に対する VR の導入は有効であることがわかる。そのため、緊急走行の安全教育における VR 利用がない理由としては、有効性の問題ではなく、特殊な状況であり、VR 環境の構築が困難であるためと考えられる。

そこで本研究では、緊急走行における安全教育を対象に、VR を利用した効果的な安全教育システムの実現を目指す。この実現に向けて、本研究では、まず赤信号での交差点進入という状況を対象に、緊急走行が体験可能な VR 運転シミュレータの開発した。次に、開発した VR 運転シミュレータを用いて、一般人と消防士で実験を行い、緊急走行時の運転行動を記録・比較した。その結果、一般人と消防士では、車速、視線・頭部の動きなどに違いがあることを確認し、緊急走行の経験の違いによる運転行動の違いを確認した。さらに、VR 運転シミュレータを消防局に持ち込んでの評価実験も行い、画面で見ると臨場感がある、といった VR の利用に関して好意的なコメントをいただくことができた。これらの結果より、緊急走行時の交通事故防止教育における VR 利用の有効性を確認した。

2. VR 運転シミュレータの実装

2.1 システム構成

VR 運転シミュレータは、ステアリングコントローラ・ペダル (Logicool G29 DRIVING FORCE) とヘッドマウントディスプレイ (HMD, VIVE Pro Eye) から構成され、ソフトウェアの開発には Unity を利用した。シミュレータのベースとして、自動運転シミュレータである AWSIM [6] を利用し、ステアリングコントローラ・ペダルによる車両操作機能を追加した。さらに、HMD 内蔵のセンサから得られる頭部姿勢・視線方向や、アクセル・ブレーキ・ハンドル操作等の運転行動、自車両位置などの情報を記録する機能も

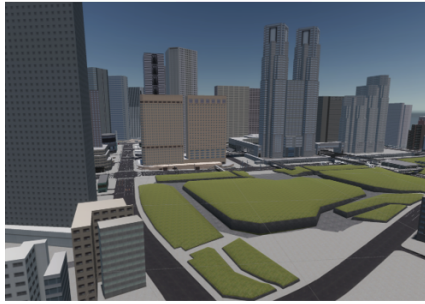


図 1: 実験で用いる仮想環境



図 2: 運転者視点での VR 環境

追加した。仮想環境中の交通環境としては、AWSIM で提供されている西新宿の 3D モデル (図 1) を利用した。図 2 に運転者視点から見た VR 環境を示す

2.2 再現する事故が起きやすい状況の検討と実装

緊急車両による事故が起きやすい状況について、消防士の意見と VR による実装のしやすさを踏まえ、検討を進めた。その結果、本研究では赤信号で交差点進入する状況を選択し、実装することとした。

山本らによる救急車事故に関する調査 [7] でも、交差点・車両相互・出会い頭が事故原因のトップと報告されており (平成 25 年～29 年の救急車事故による重傷者数 6 名中 5 名は交差点事故、4 名が出会い頭事故による)、文献調査からも、赤信号での交差点進入は事故防止において重要な状況であるといえる。

以上を踏まえ本研究では、図 3 に示す交差点への赤信号での進入を対象に、交差点進入前の前方車両の追い抜きや、交差点進入時の左右の死角からの車の飛び出しに関して、VR での再現を行った。また、緊急車両の再現において、サイレン音や赤色灯の光などの再現も必要となるが、今回の実装ではサイレン音のみを実装した。

3. 実験

3.1 実験概要

一般人と消防士で、赤信号での交差点進入時に運転行動の違いが生じるかを評価するため、以下の実験を行った。赤信号時の交差点進入に関する様々な緊急走行シナリオを、VR 運転シミュレータを用いて体験してもらい、その際の運転行動を記録し比較する。緊急走行シナリオとしては、交差点進入前の前方車両の有無、交差点進入時の左右の死角からの車の飛び出しなどについて、様々なパターンを準備しておき、それらを組み合わせることで、様々なシナリオを

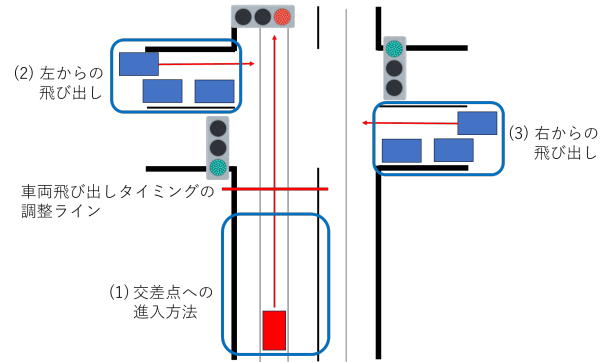


図 3: 実験条件

体験してもらうこととした。

3.2 実験条件

赤信号時の交差点進入に関する緊急走行のシナリオを作成するにあたり、図 3 に示すように 3 種類の要素、(1) 交差点への進入方法、(2) 左からの飛び出し、(3) 右からの飛び出し、を考慮することとし、これらを組み合わせることで、様々なシナリオを作成することとした。交差点進入前には、左右から車両が飛び出すタイミングを調整するためのライン (運転者には見えない仮想的ライン) を設定している。運転者が操作する緊急車両 (図 3 赤色) がこのラインを通過してから決められた時間が経過すると車が飛び出すように設定している。これにより、衝突しやすいタイミングで車が飛び出すようにすることで、危険度が高い状況の再現を目指している。

シナリオを構成する要素のうち、(1) 交差点への進入方法については 2 パターン、①前方車両なし、②前方車両あり (2 台の間をすり抜けるように車線変更が必要)、を設定した。(2)(3) の左右からの飛び出しについては 4 パターン、①死角からの飛び出し (車間から車の動きが見える)、②死角からの飛び出し (車間から車の動きが見えない)、③車間から動きが見え、車は飛び出さない、④手前の車が飛び出し、を設定した。今回の実験では、3 種類の要素を組み合わせた 16 種類の緊急走行シナリオを作成し、実験を行った。

3.3 実験手順

実験前に、実験の目的と手順について実験参加者に説明し、一般の実験参加者からは書面により実験参加への同意を取った。その後 HMD を装着してもらい、視線計測装置のキャリブレーションを行った後、基本的な運転操作について説明した。テストコースを走ってもらうことで、VR 運転シミュレータでの運転に慣れてもらった後、実験を開始した。実験後には、運転経験、日常の運転パターンや年間走行距離などに関するアンケートについて回答してもらった。なお、一般の実験参加者の実験については、兵庫県立大学大学院工学研究科 人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認 (2021006 号) を得ている。

一般の実験参加者 14 名 (男女 7 名ずつ、運転免許所持)、消防士 2 名について実験を行い、運転データを取得した。一般の実験参加者については 3.2 で説明した 16 パターンを、



図 4: 消防士による実験の様子

消防士については 16 パターンのうち 8 パターンのみ実験を行った。図 4 に消防士による実験の様子を示す。

3.4 実験結果

実験の分析では、一般参加者 14 名については、実験における事故回数や運転行動などを考慮して、緊急走行が下手なグループ（グループ 1）と上手なグループ（グループ 2）の 2 グループに分割し、グループ 1（下手）、グループ 2（上手）、消防士の計 3 グループに分けて運転行動を比較する。また、以下では、(1) 交差点への進入方法を①、(2) 左からの飛び出しを②、(3) 右からの飛び出しを③とした、直進で交差点に進入し、左から車両の飛び出しがあるパターン（パターン 113 と呼ぶ）を例に、運転行動を比較する。

図 5 に、交差点への接近から通過までの消防士 1 名の運転行動のグラフを示す。図中、上から車速、実験参加者の頭部運動・視線方向（左右の回転角）、アクセル・ブレーキ操作、ハンドル操作を示している。横軸の車両の位置は、車両進行方向の座標を表しており、-110 付近が交差点の入り口、-95 付近が交差点中心である（それぞれ縦の点線で示す）。また、グループ間の比較のため、3 グループ（3 名）の車速、頭部運動、視線方向をまとめたグラフを図 6 に示す。

まず、消防士の運転行動のうち、車速に着目すると、交差点進入前に一度、減速・一時停止し、さらに交差点中心通過前にも再度減速・一時停止していることがわかる。頭部運動、視線方向に着目すると、交差点進入前に左右への大きな動き（左右確認）が行われ、交差点進入後にも繰り返す左右確認の大きな動きが見られている。

グループ 1（運転が下手）に着目すると、交差点前で減速しておらず、交差点進入前に左右確認する際の頭部、視線の左右の動きも小さい。さらに交差点進入後には、左右確認を行っていない。そのため、死角から飛び出してくる車両との衝突が多い傾向があった。

グループ 2（運転が上手）では、消防士と同様に交差点進入前に減速・一時停止している。一方、頭部、視線の動きに着目すると、交差点進入前の左右確認の動きはあるもの

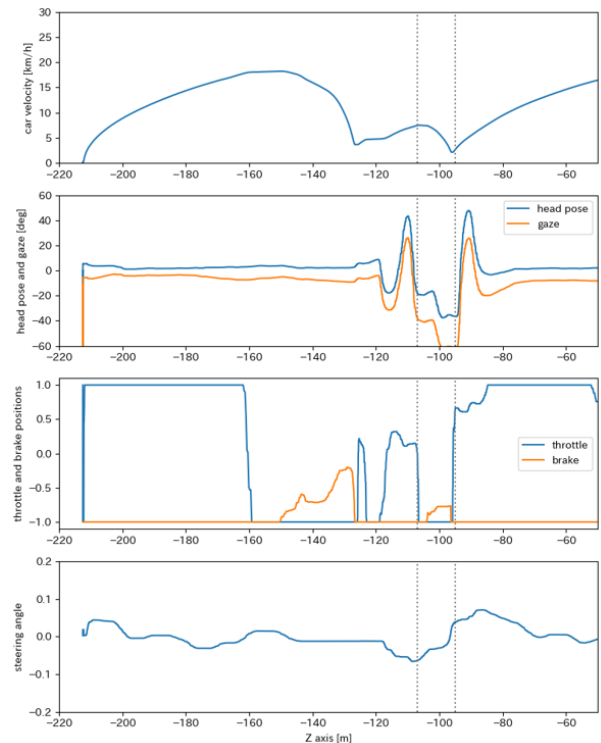


図 5: 消防士の運転行動の例

の、消防士と比べると左右への動きは小さく、十分に左右の確認ができていないことがわかる。またグループ 1（下手）と同様、交差点進入中の左右確認は行われていなかった。

このことから、消防士は交差点進入前に余裕を持って減速・一時停止し、左右確認を行っており、さらに交差点進入中にも、減速・一時停止と左右確認を繰り返しながら走行しているのに対し、グループ 1（下手）、グループ 2（上手）では、交差点進入中の減速・一時停止と左右確認が行われておらず、交差点前での減速・一時停止、左右確認が不十分であることがわかる。

最後に、グループ間の比較（図 6）に着目する。まず、車速のグラフより、グループ 1（下手）の車速は全体的に高く、グループ 2（上手）と消防士では、車速に大きな違いがない。ただし、グループ 2 の多くの人は、交差点進入前には減速・一時停止しているものの、交差点内での減速・一時停止が不十分な傾向がみられる。

頭部姿勢、視線方向のグラフに着目すると、頭部、視線の左右への動きの大きさは、グループ 1（下手）が最も小さく、消防士が最も大きくなっていることがわかる。また、大きさ以外にも、グループ 1（下手）では、交差点進入前の左右確認のタイミングが交差点手前の早いタイミングで行われているのに対し、消防士は、交差点進入直前に左右確認を行っていることがわかる。さらに、左右確認方法を詳細に分析すると、頭部・視線データは右方向への運動が正であるが、グループ 1 では右方向（車が飛び出してくる方向）のみを確認しており、左方向への確認ができていない傾向がみられる。グループ 2 では右、左の順の確認で、左右確認はできているものの、交差点進入直前に車が飛び出

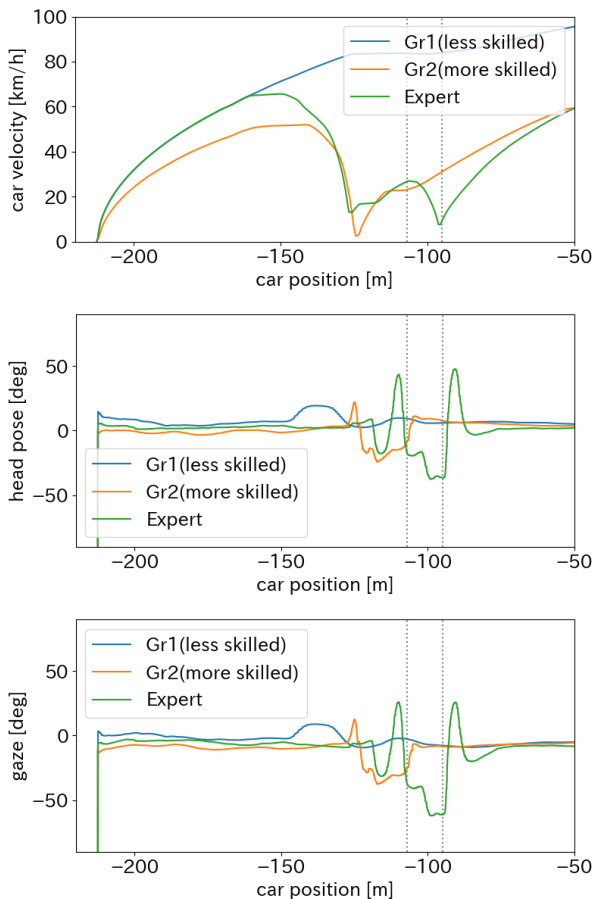


図 6: 赤信号下の交差点進入時の運転行動比較（車速，頭部姿勢，視線方向）

してくる可能性がある右方向への確認ができていない。消防士は、左、右の順で確認しており、交差点進入直前に車が飛び出してくる可能性がある右方向を確認している。

以上のように、運転経験・スキルの違いによって、車速や頭部、視線の動きなどの運転行動に、様々な違いが生じていることが確認できた。

4. 消防士による評価実験

次に、姫路市消防局に VR 運転シミュレータを持ち込んで評価実験を行った。評価実験では、3章の実験時の消防士からの「もっと事故が起きやすくて良い」とのコメントを踏まえ、左右より飛び出してくる車両の条件（タイミング）を修正した。9名の方に体験していただき、その運転行動を記録するとともに、実験後には VR 運転シミュレータに関するコメントをもらった。評価後のコメントとしては、

1. 画面で見ると違い、臨場感がある
2. サイドミラーが見えないのが気になる
3. 一つの交差点だけでなく、いくつかの交差点を連続して走れると良い

といったものがあり、緊急走行の VR 運転シミュレータとして、まだ不十分な点はあるものの、画面で見ると違って臨場感がある、といったコメントが得られた。

5. まとめ

本研究では、緊急走行の VR 運転シミュレータを開発し、赤信号での交差点進入における運転行動を記録し、運転経験やスキルによる運転行動の違いを比較した。一般の実験参加者と消防士の運転行動の比較より、運転経験の違いによる運転行動の違いを確認した。

一方で、現在は定性的な比較に留まっており、消防士によるデータも 2 名分のみであるため、今後は実験参加者数を増やした実験を行うとともに、定量的な比較・分析を進めていく。さらに、評価実験での消防士からのコメントも踏まえ、VR 運転シミュレータの改良を進めていくとともに、消防士間の運転経験の違いによる運転行動の違いについても分析を進めていく。

謝辞 本研究は、姫路市大学発まちづくり研究助成金を受けて実施した。

参考文献

- [1] P. Albertsson and A. Sundström. Evaluation of insight training of ambulance drivers in sweden using dart, a new e-learning tool. *Traffic injury prevention*, 12(6):621–629, 2011.
- [2] J. Boldt, F. Steinfort, M. Müller, A. K. Exadaktylos, and J. Klukowska-Roetzler. Online newspaper reports on ambulance accidents in austria, germany, and switzerland: retrospective cross-sectional review. *JMIR public health and surveillance*, 7(11):e25897, 2021.
- [3] P.-W. Chiu, C.-H. Lin, C.-L. Wu, P.-H. Fang, C.-H. Lu, H.-C. Hsu, and C.-H. Chi. Ambulance traffic accidents in taiwan. *Journal of the formosan medical association*, 117(4):283–291, 2018.
- [4] M. Delavary, Z. Ghayenezhad, and M. Lavallière. Prevalence and characteristics of ambulance collisions, a systematic literature review. *Safety*, 9(2), 2023.
- [5] C. A. Kahn, R. G. Pirrallo, and E. M. Kuhn. Characteristics of fatal ambulance crashes in the united states: An 11-year retrospective analysis. *Prehospital emergency care*, 5(3):261–269, 2001.
- [6] Tier4. Awsim. <https://github.com/tier4/AWSIM>. (Accessed on 04/17/2024).
- [7] 山本, 安田, 友安, 坂口, 宮崎. 救急自動車の緊急走行中における交通事故の傾向と対策. *日本臨床救急医学会雑誌*, 23(6):751–758, 2020.
- [8] 乗井. 救急車による交通事故及び事故防止に関する取り組みの全国調査. 令和 2 年度一般財団法人救急振興財団調査研究事業助成 報告書, 2020.