

令和5年度姫路市大学発まちづくり研究助成事業

VRを活用した緊急走行時の交通事故防止教育の検討
成果報告書

令和6年3月

兵庫県立大学 大学院工学研究科

視覚メディア工学研究グループ

目次

1. はじめに	1
2. VR 運転シミュレータの実装.....	3
2.1. システム構成.....	3
2.2. 運転者行動の記録機能の実装	5
2.3. 再現する事故が起きやすい状況の検討と実装	5
3. 実験	7
3.1. 実験概要.....	7
3.2. 実験条件.....	7
3.3. 実験手順.....	10
3.4. 実験結果.....	11
4. 消防局での評価実験.....	17
5. まとめ	19
謝辞.....	20
参考文献	21

1. はじめに

救急・消防車の緊急走行時の交通事故は、搬送中の傷病者の容態悪化や信用失墜など社会的影響は計り知れない。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。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発生件数、事故形態などを調査、分析しており、平成 25 年から 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 名であったことを報告している[1]。さらに、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 年から 2019 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 名であったことを報告している[2]。いずれの調査とも、緊急走行中の救急車の事故のみを調査対象としているため、消防車も含む緊急走行時の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、上述のとおり、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[2]。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。その際、多数のユーザへの提供可能性を考慮し、ハンドルやアクセルといった実車両のような操作コントローラから構成される本格的な運転シミュレータ型 VR ではなく、スマートフォンのような汎用デバイスのみで実現可能な一体型 VR による安全教育システムを目指す。

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、画面で見るより臨場感がある、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

本章では，本研究で開発した緊急走行を再現する VR 運転シミュレータについて述べる．

2.1. システム構成

図 1 に開発した VR 運転シミュレータの外観を示す．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（Logitech 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[3]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 2）を利用した．図 3 に運転者視点から見た VR 環境を示す



図 1 VR シミュレータの外観

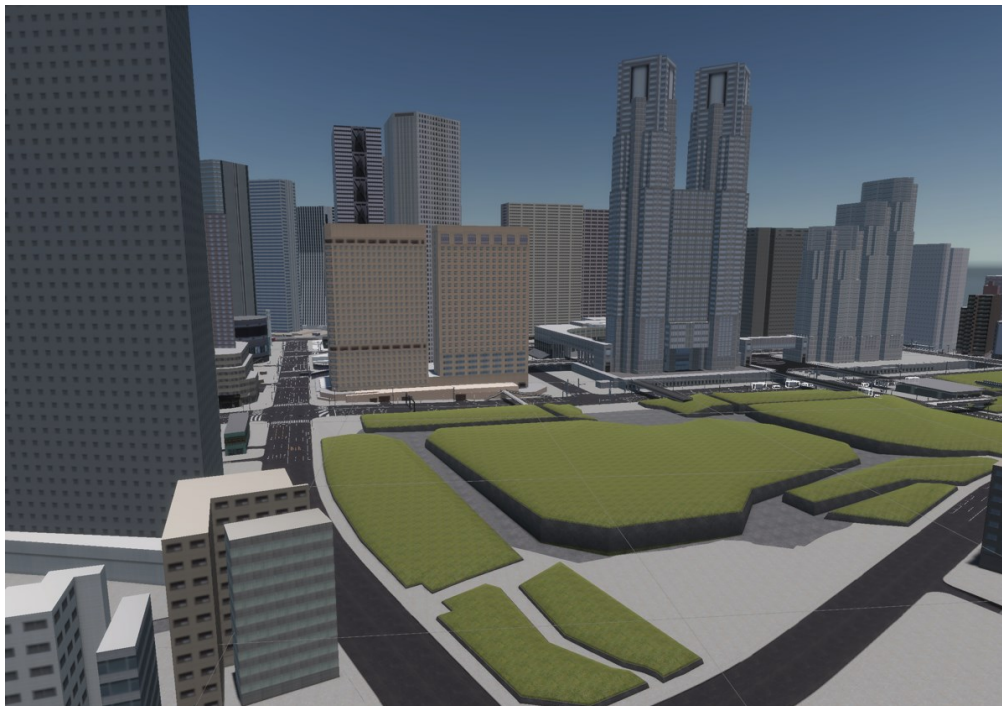


図 2 VR 環境として利用する西新宿の 3D モデルの外観



図 3 運転者視点から見た VR 環境

2.2. 運転者行動の記録機能の実装

VR 運転シミュレータで利用したヘッドマウントディスプレイ（HMD）Vive Pro Eye には、視線計測装置が内蔵されており、装着者の視線方向を計測できる。さらに HMD に内蔵されたセンサを利用することで頭部運動も計測できる。これらを利用し、運転者の行動として、頭部位置・姿勢と視線方向を記録する。さらに、ステアリングコントローラ・ペダルからは、車両の操作に関するデータとして、アクセル、ブレーキとハンドルの操作量を記録する。また、車両に関する情報として、自車の位置（軌跡）を記録する。

2.3. 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、消防局警防課と意見交換を行いながら、VR による実装のしやすさも踏まえて検討を進めた。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[1]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。

以上を踏まえて本研究では，図 4 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。

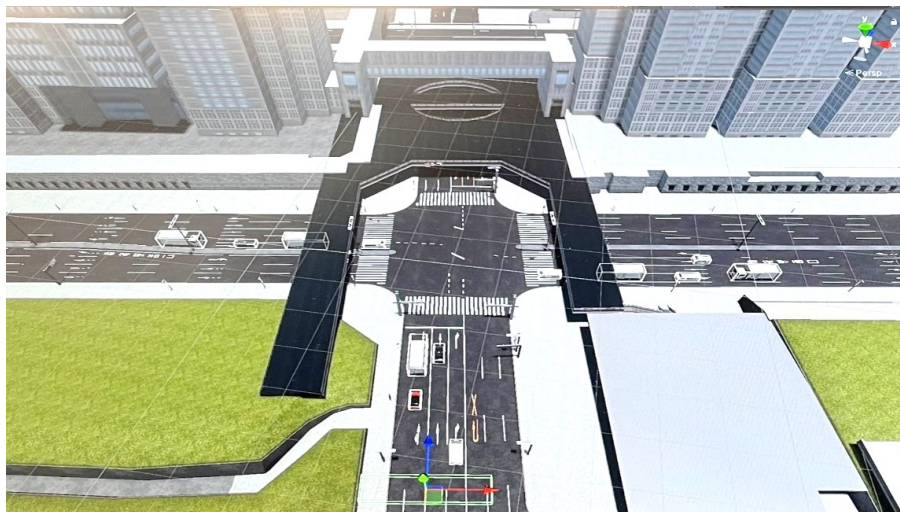
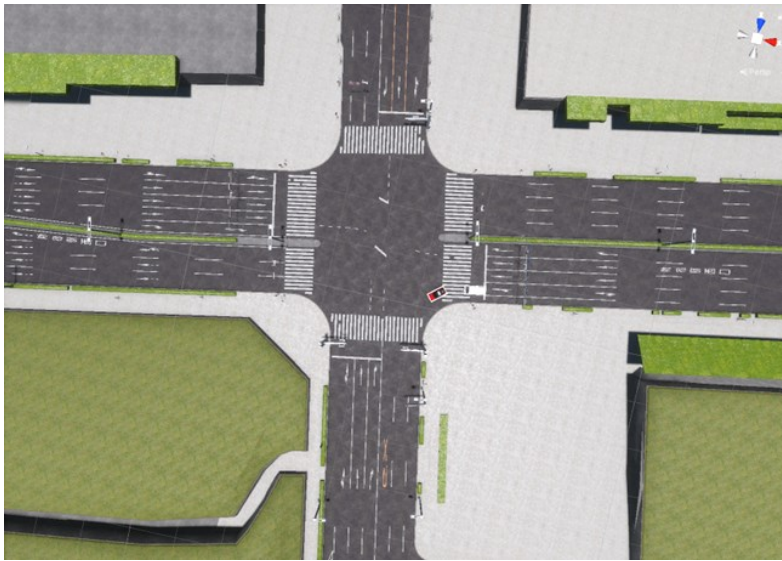


図 4 本研究で用いる交差点（上：平面図，下：鳥瞰図）

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に違いが生じるかを評価するため、以下の実験を行った。2,3 節で述べたように、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 5 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 5 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。

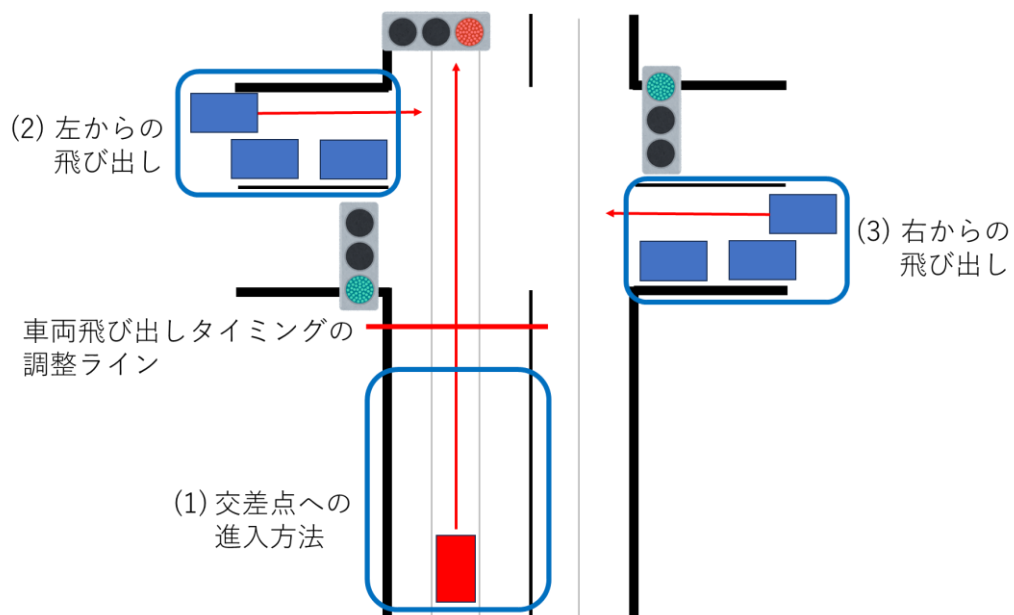


図 5 赤信号での交差点進入のシナリオデザイン

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図6に示す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図7に示す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（図7は左からの飛び出しの場合であり、右からの飛び出しについても同様）。表1に各パターンをまとめる。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。

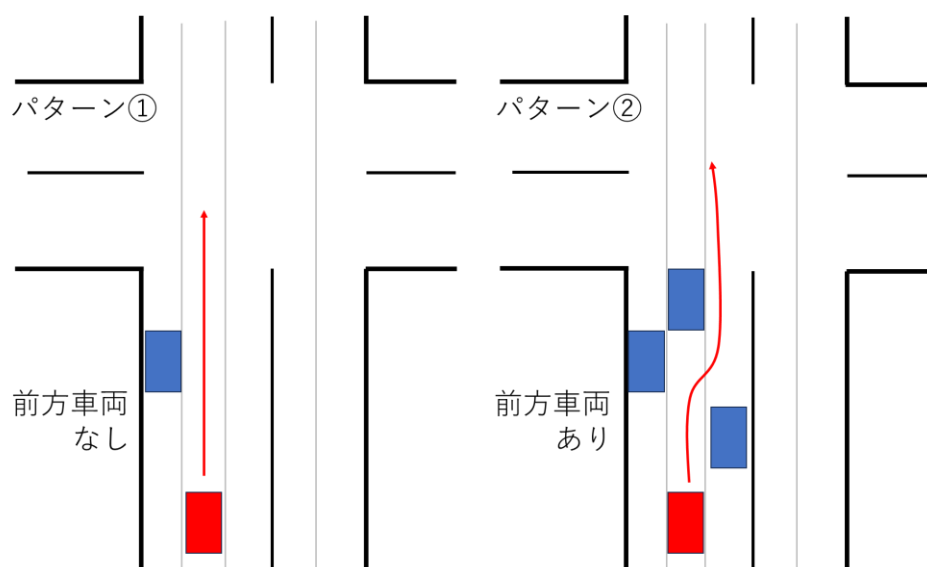


図6 交差点への進入方法（前方車両の有無）

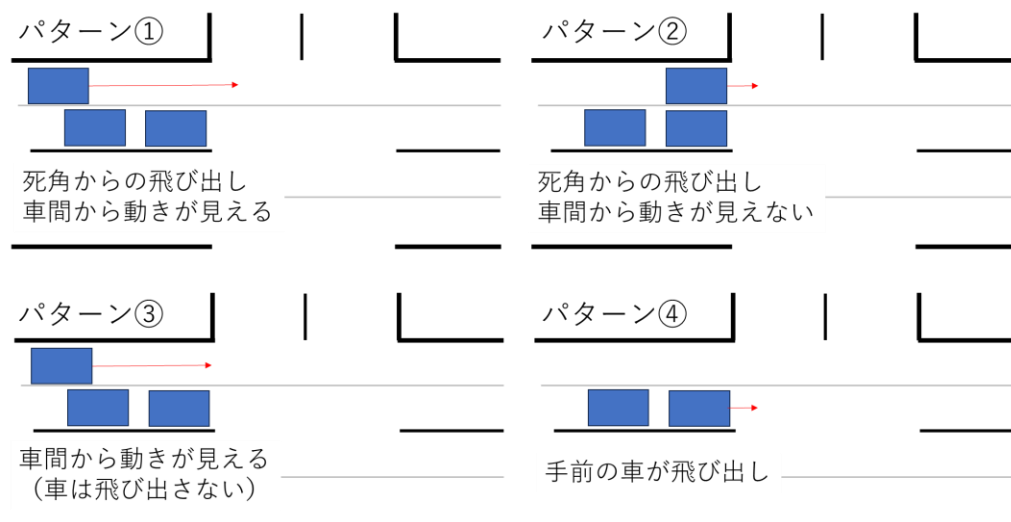


図 7 左からの飛び出しパターン

表 1 赤信号での交差点進入シナリオの構成要素のまとめ

(1)交差点への進入方法 (図 6)	
①	前方車両なし (直進で交差点進入)
②	前方車両あり (2 台の間をすり抜け)
(2)左からの飛び出し (図 7), (3)右からの飛び出し	
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

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



図 8 消防士による実験の様子

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①、(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 9-11 に、グループ 1（下手）、グループ 2（上手）、消防士それぞれの典型的な例 1 名ずつについて、交差点への接近から通過までの運転行動のグラフを示す。図中、上から実験参加者が運転する緊急車両の車速、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 11-13 に示す。

まず、消防士の運転行動（図 11）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し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、図 9）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、図 10）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 12-14）に着目する。まず、車速のグラフ（図 12）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の多くの方は、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（図13,14）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。

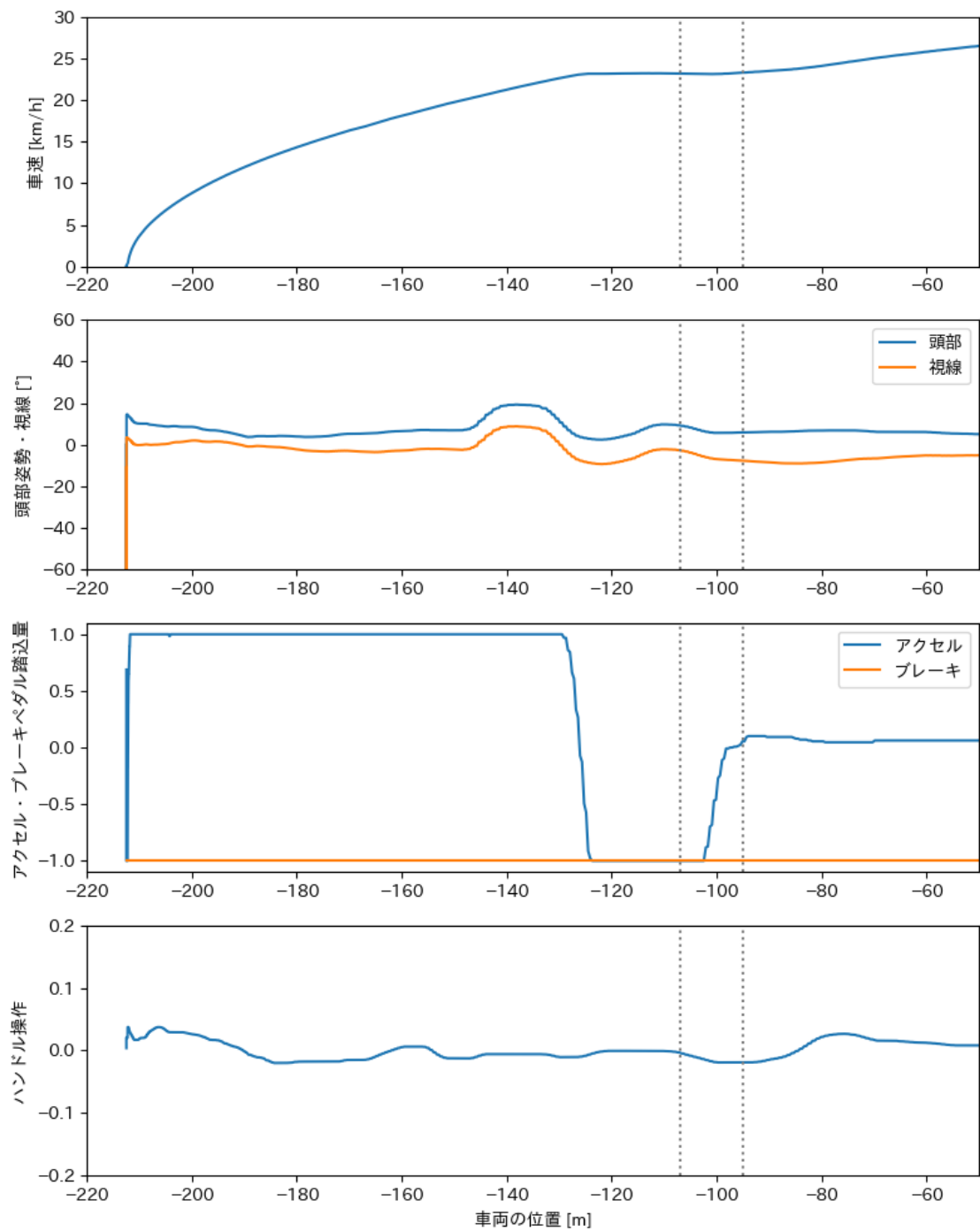


図 9 グループ 1 (下手) の実験参加者の運転行動の例

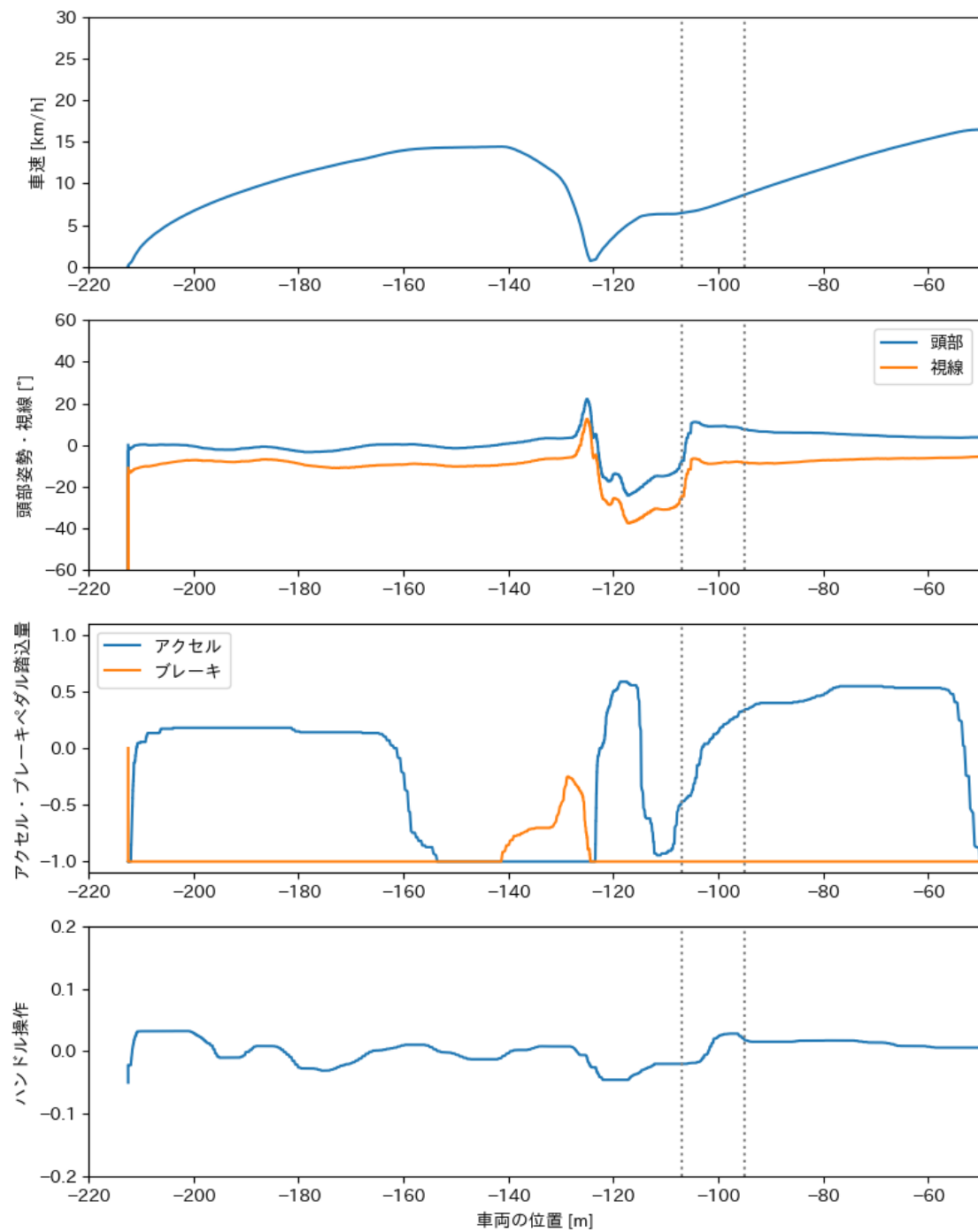


図 10 グループ 2 (上手) の実験参加者の運転行動の例

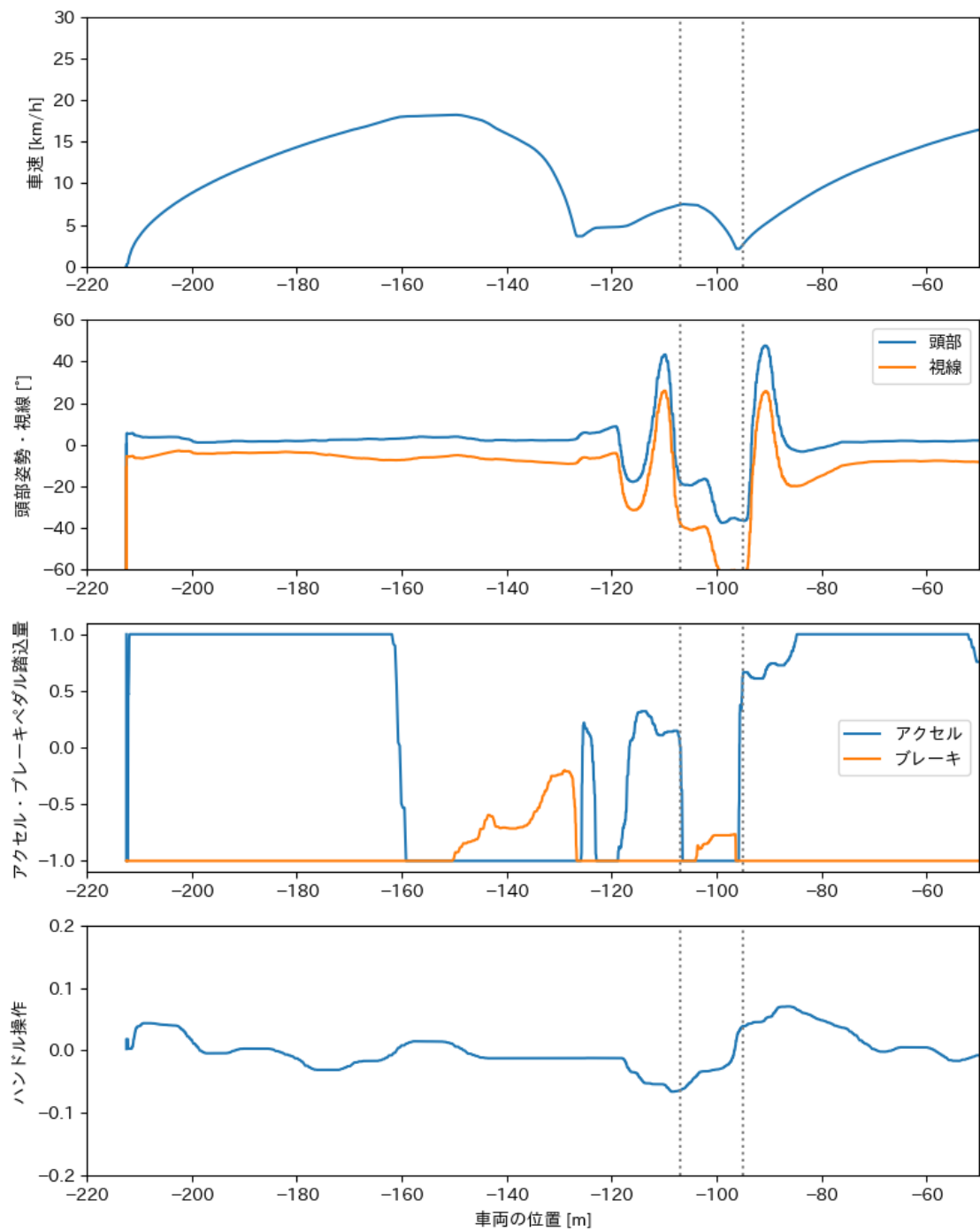


図 11 消防士の運転行動の例

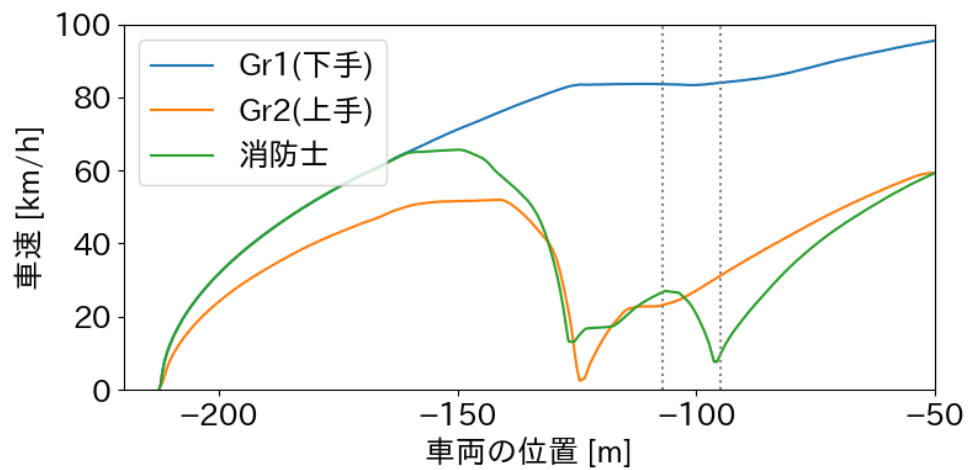


図 12 交差点進入時の車速度の比較

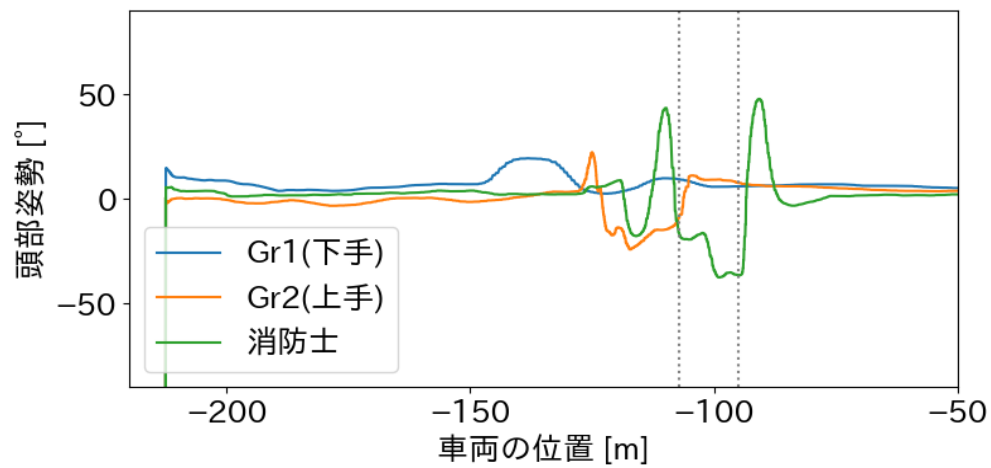


図 13 交差点進入時の頭部姿勢（ヨー角）の比較

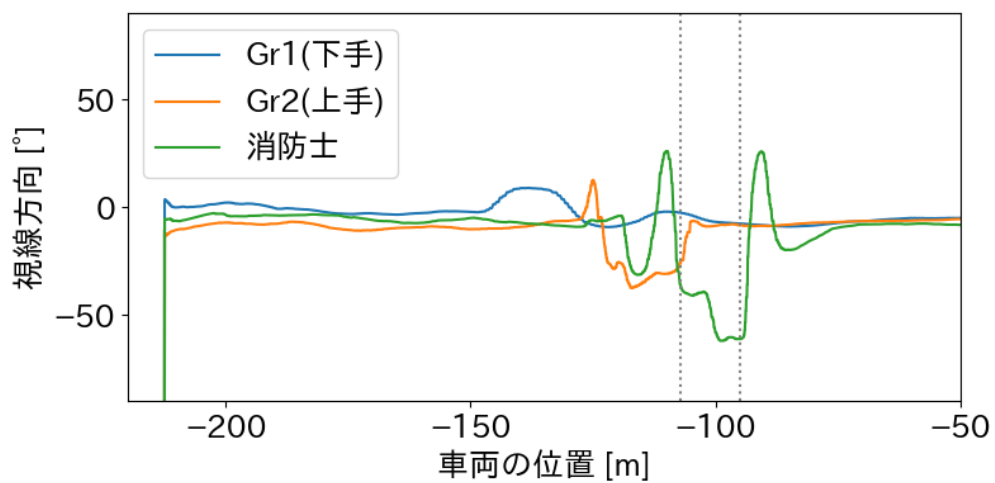


図 14 交差点進入時の視線ベクトルの動きの比較

4. 消防局での評価実験

次に、消防局警防課に 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 章の実験時に消防士の方よりいただいた、「もっと事故が起きやすくても良い」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。図 15 に、評価実験で得られた消防士 1 名分の交差点への接近から通過までの運転行動のグラフを示す。車両の飛び出しタイミングを変更しているため、3 章の結果と直接比較はできないが、交差点進入前・進入中の減速・一時停止と左右確認など、同じような運転行動の傾向がみられる。

評価後にいただいたコメントとしては、

- ・画面で見ると違い、臨場感がある
- ・サイドミラーが見えないのが気になる
- ・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、といったコメントをいただくことができた。

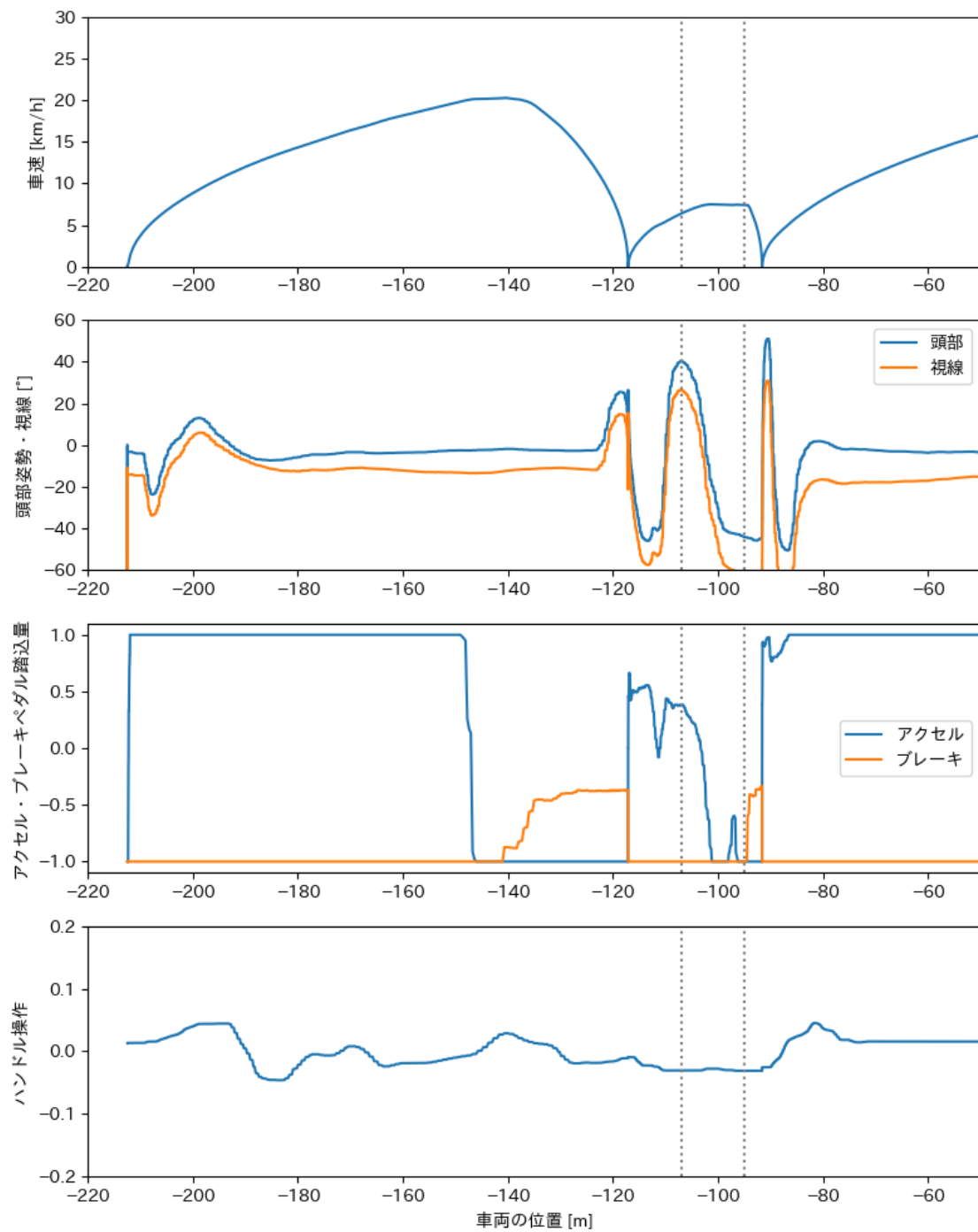


図 15 評価実験時の消防士の運転行動の例

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・スキル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いるため、今後は定量的な比較を行っていく。さらに、評価実験でいただいたコメントを踏まえ、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分析を進め、最終目標である、一体型 VR を用いた緊急走行のための安全教育システムの実現を目指していく。

謝辞

本研究を進めるにあたり，姫路市消防局警防課山口晋吾様，永田昌平様には，研究の準備段階から，実験の実施と実験へのご参加に至るまで，多大なるご協力をいただきました．お二方のご協力なしに本研究を推進することはできず，ご協力に対して心より感謝申し上げます．さらに，姫路市消防局警防課の皆さまには，評価実験にご参加いただき，多くの貴重なご意見をいただきました．皆さまのご協力に対し心より感謝申し上げます．

参考文献

- [1] 山本 弘二, 安田 康晴, 友安 陽子, 坂口 英児, 宮崎 龍二, 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, Vol. 23, No. 6, pp. 751-758, 2020
- [2] 乗井 達守, 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
- [3] Tier4, AWSIM, <https://github.com/tier4/AWSIM>