

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

VR技術を用いて鉄道駅空間の避難安全性を向上させる

列車の発着に合わせて多くの利用者が移動・滞留する鉄道駅空間では、地震や火災等の非常時において安全かつ冷静に避難できる対策を事前に行っておく必要性があります。一方で、鉄道駅における避難事例は限られており、事例ベースでの検証が難しいといった現状があります。そこで、仮想の体験が可能なVR技術を用い、避難時における旅客の行動特性を抽出し、駅の避難安全性を向上させる取り組みを行っています。ここでは、VRを用いた避難誘導実験と駅の火災時を想定した避難安全性の検証システムについて紹介します。



石突 光隆
Mitsutaka Ishizuki
構造物技術研究部
建築研究室
副主任研究員
[専門分野] 建築計画

はじめに

駅の火災時における避難安全性は、一般的に建築基準法の仕様規定（避難口までの距離の制限など）を適用することで担保されています。しかしながら、列車の発着に合わせて多くの利用者が移動・滞留する駅では、法律で定められた最低限のレベルではなく、設備・運用の両面からより安全な空間を目指す必要があると考えられます。

駅の避難安全性を検証するためには、旅客の避難時の行動特性を把握しておく必要がありますが、駅での大きな火災事例は幸いなことにほとんどなく、事例を基にした避難行動の把握が難しいといった現状があります。そこで、避難訓練の観測や実験的に旅客の避難行動特性を把握する手法が一般的に用いられていますが、駅構内全域での避難訓練には、多くの参加者が必要となることから実施が難しいといった課題があります。ここでは、実験的手法として、駅火災時の避難誘導に関するVRを用いた基礎実験と、これを用いた避難安全性の検証システムについて紹介します。

VRを用いた避難誘導実験

2015年頃まではVR技術を使用するには、大掛かりで高価な設備¹⁾が必要でしたが、近年のスマートフォンの普及とともに、液晶パネルや加速度センサーの高性能低価格化や小型化が進み、数万円台で購入できるHMD（図1参照）によるVR環境の構築が可能になりました。

今回紹介する実験では、これらの簡易なVR設備として図1に示すシステムを使用しています。HMDにはアウトサイドイン方式のHMDを使用しました。このHMDの特徴は、本体に視線追跡機能が搭載されており、これにより使用者がHMDの画面内のどこを見ているかが記録できるようになっています（図2）。

図1 HMD (Head Mounted Display)

頭部に装着するディスプレイ。ゴーグル型が多く、使用者の首振りや移動に追従して画面が変化する機能をもっています。使用者の位置検知には、使用者の周辺に別途設置するセンサーを用いるアウトサイドイン方式と、HMD本体のセンサーを用いて、空間内における使用者の位置を同定するインサイドアウト方式があります。



図1 実験で用いたVR設備

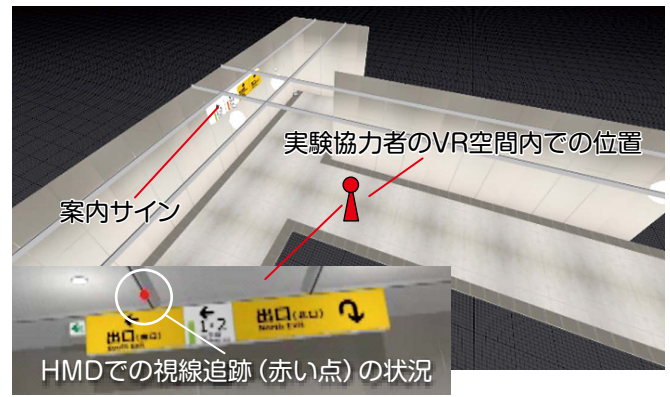


図2 使用したVR空間とHMDによる視線追跡の様子

実験では、駅に設置してある既存設備を利用した避難誘導を想定し、放送設備（音声放送）を用いた基礎検討を行いました。実験で使用した空間は、**図2**に示すT字路型のコンコース（3次元モデル）です。T字路型のコンコースについては、事前に実物のT字路型のコンコースと3次元モデルとの比較（**図3**）を実施しており、経路選択に関して実空間とVRで同様の傾向が見られることが確認できています。また、実空間をVRで置き換えることに関する違和感と妥当性に関するアンケートの結果（**図4**）では、おおむね妥当であるとの回答が得られたものの、長時間使用していると目が疲れることや、女性にはHMDが重いことなど、実験の評価対象によっては、影響が出る可能性がある回答が得られました。



図3 T字路型コンコース

実験協力者には降車時の状況（T字路の後方から進んできた設定）を想定してもらい、スタート地点において避難方向に関する音声放送がかかった場合に、どちらに避難するかを回答してもらっています。音声放送については、**図5**に示すように、駅で録音したコンコース構内の雑踏音（約70dB）を流しながら、避難誘導放送となる放送A：「火災が発生しました、〇〇に避難してください」と、その逆方向の内容（もしくはホーム番線や、避難方向とは異なる内容）の放送Bを65dB～80dBの間で変化させ、案内サインと組み合わせ

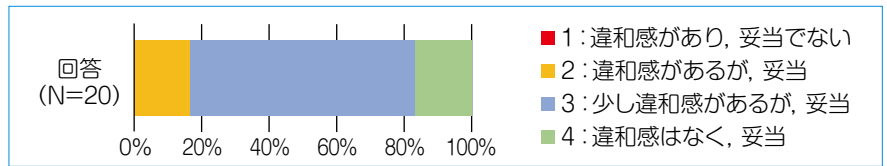


図4 実空間とVRの比較に関するアンケート

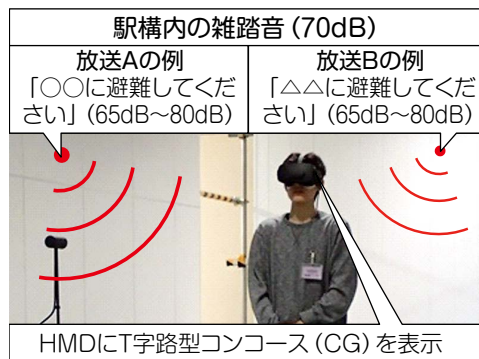


図5 音声放送の提示状況

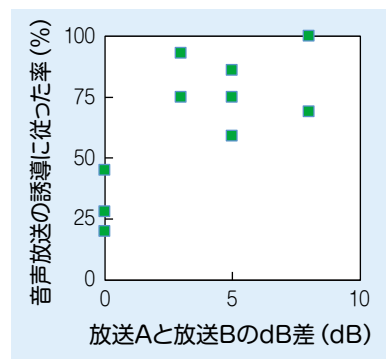


図6 音声放送による誘導結果

せています。

実験結果を**図6**に示します。避難誘導をしている放送と、その他の放送の音量差が大きくなるほど、避難誘導に従う割合が高くなっていることがわかります。二放送間に5dB程度の音圧レベル差がある場合に、約75%の人が正解の避難放送（指示された避難方向）に従う結果が得られました。

避難安全性の検証システム

火災時における避難安全性の検証は、旅客全員が改札から外に出るまでの時間（避難完了時間）と、煙が拡散するまでの時間を比較する（避難完了時間が煙の拡散時間よりも短いことを確認する）のが一般的です。駅においても同様の検証が行えるように、避難者数の設定と、火災が発生している部屋（火

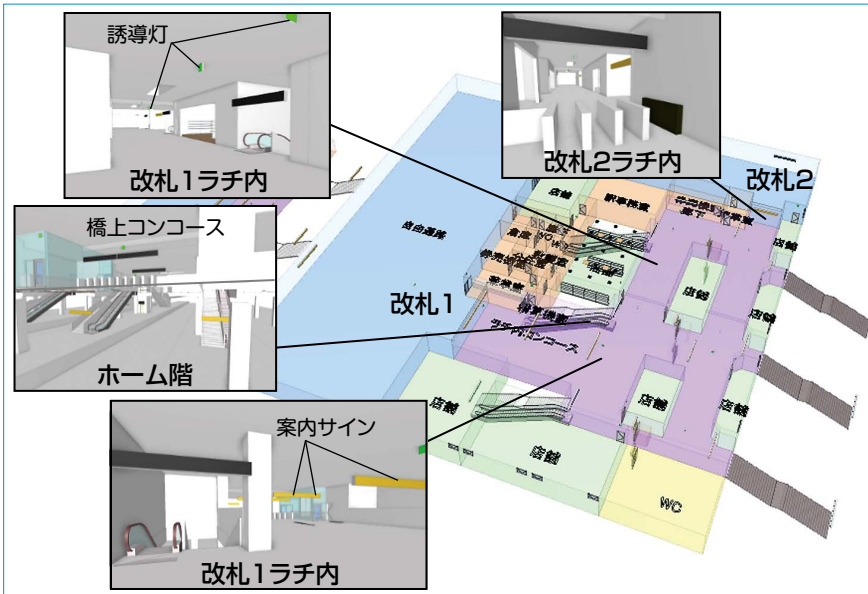


図7 BIMによる駅的设计例

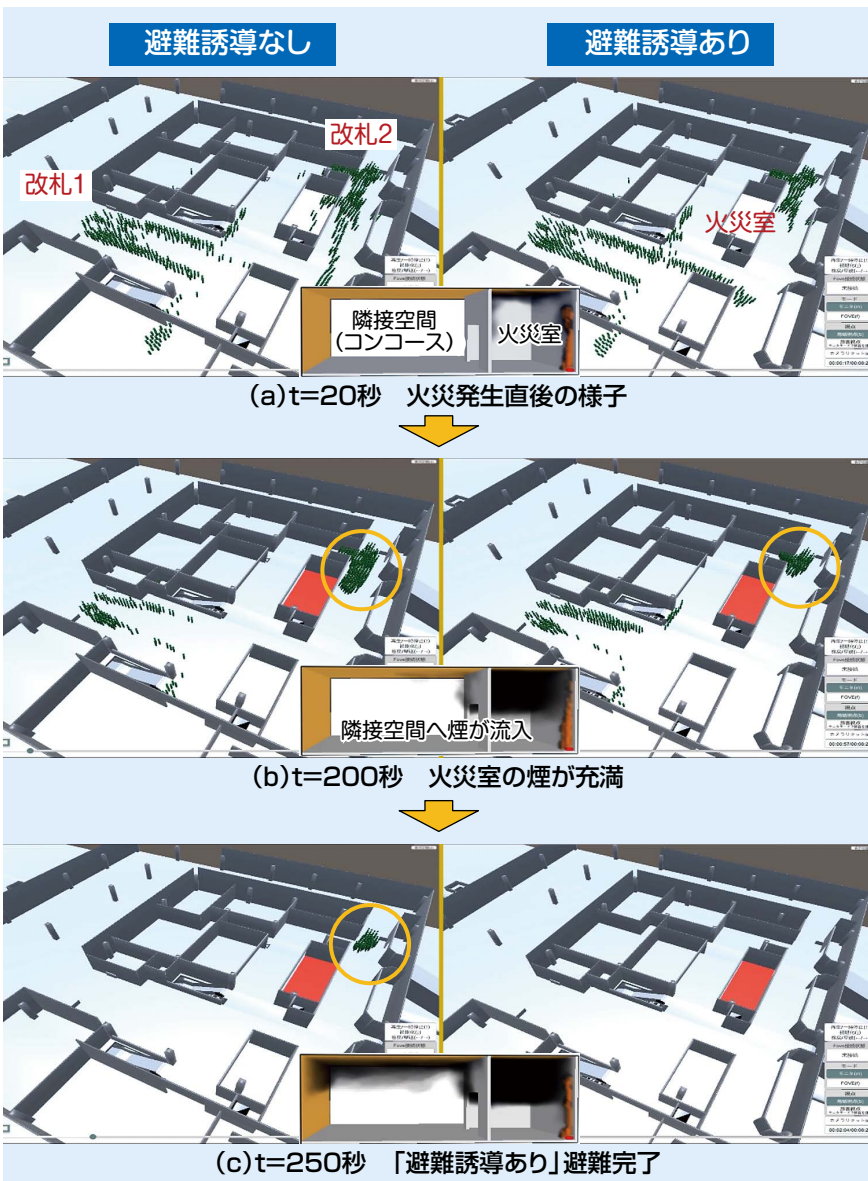


図8 避難安全性検証システムの出力例

災害)の火災規模を決定する可燃物量の設定を入力条件とする、避難安全性の検証システムを開発しました。避難者数の設定には、実駅で計測した結果を基にした在館者密度の推定式²⁾を利用しており、5分間の改札データ(利用者数)とコンコース部分の移動経路数などを変数として入力することで、設定したエリアの在館者密度を得ることができます。この在館者密度に当該エリアの面積をかけることで避難者数が設定されます。煙の発生量については、避難安全検証法³⁾の可燃物量の値を参照し、部屋の用途に合わせて設定値を選択することで計算が実行されます。煙の発生量などの計算が必要となる、居室の容積や仕上げなどについては、解析を行う駅の情報をもとにBIM(図7)で作成し(図7)、入力データとすることで、自動で抽出が可能なシステムになっています。また、地下鉄の火災対策基準⁴⁾で取り上げられている、ガソリン4リットルを火源とした場合(大火源火災)についても検討が可能なように、火災規模を選択できる仕様になっています。

システム実行時の状況を図8に示します。システムでは、各旅客が改札までの最短経路で避難した場合の(避難誘導なし)の状況を左画面に、実験結果より得られた音声放送に従う確率を導入した避難誘導ありの状況を右画面に表示しています。設定した火災室の煙の充満状況は、白～赤のグラデーションで表示され、天井からの煙が床下から2mの高さまで到達すると居室が赤く表示されます。設定した居室が赤表示になると隣接空間への煙の流入が開始します。

避難誘導なしの場合には、小さい改札側(図8改札2)で旅客が集中している状況が確認できます。これによって避難完了時間が長くなってしまっていま

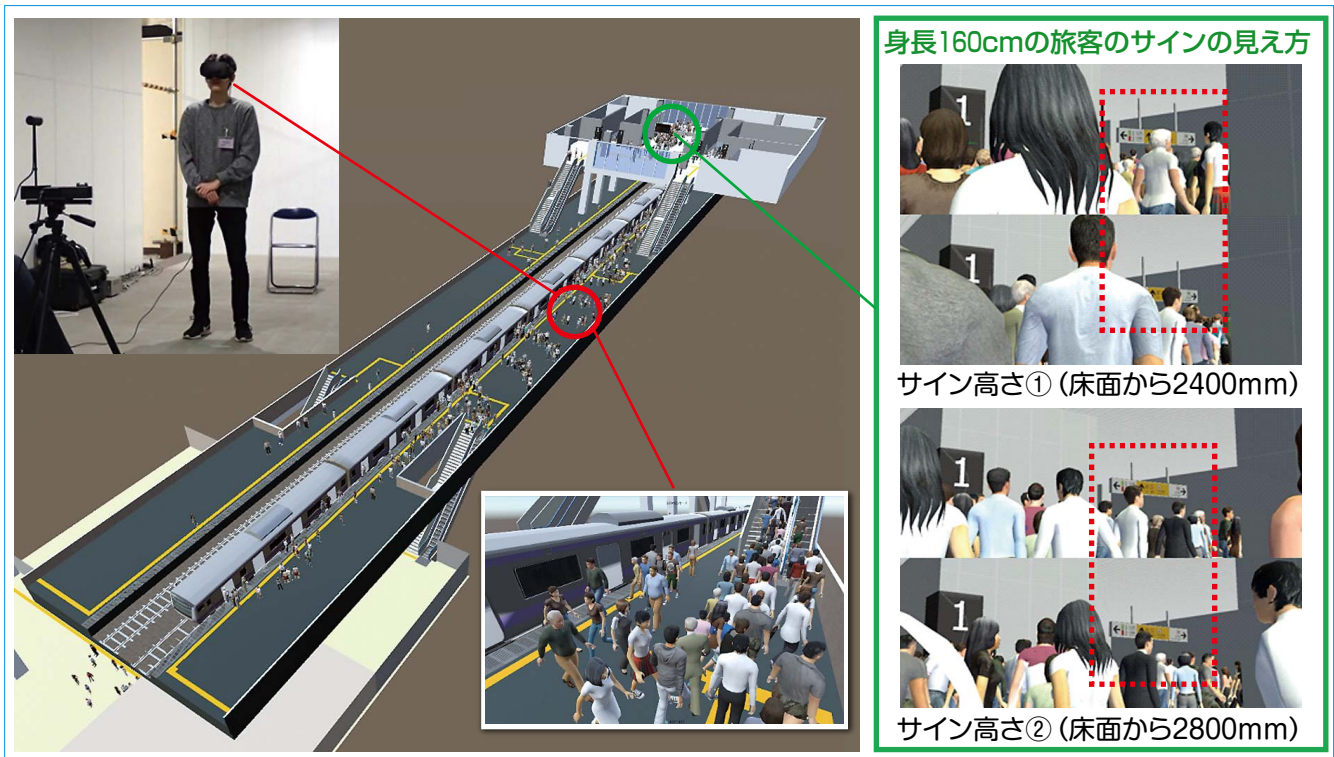


図9 旅客流動シミュレーションとVRの連携の例

す。これに対して、避難誘導ありの場合は、改札の規模（改札数）に合わせて避難者が分散されており、各改札の避難時間が同程度になり、避難完了時間も短くなっている様子が確認できます。

おわりに

VRを用いた避難誘導実験と、その結果を用いた避難安全性検証システムについて紹介しました。従来、法律に則り仕様の^{のつ}に検討されてきた火災時の避難安全性ですが、VRを用いることで、建設前の駅を模した空間でのより具体的な検討を追加で行うことが可能になってきています。事前にどのような状況になるかを想定し、設計時に対策を行うことで、避難安全性のさらなる向上が期待できます。

音声放送による避難誘導に関しては、今回は放送内容（避難方向）が理解できている場合について検証を行っています。通勤ラッシュを対象とした場合においては、多くの人が、利用している駅の構造（改札の位置など）を理解しているものと考えられますが、昼間帯でも混雑する駅や観光駅など、駅に不案内な旅客が多い駅では、音声放送の内容の理解度が重要になってきます。音声放送の内容とそれを聞いた位置における案内サインの内容の関係性についても引き続き検証を行っていきます。また、使用する空間形状についても、今回は基礎的なT字路型のコンコースを用いましたが、今後は、より複雑な駅空間における流動状況下での案内サインや誘導灯の視認性などについて検

討が行えるように、駅構内の旅客流動シミュレーション⁵⁾とVRを連携させていく予定です(図9)。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

文献

- 1) 石突光隆：バーチャルリアリティ技術を用いた駅の安全性・快適性評価，RRR，Vol.67，No.4，pp.24-27，2010
- 2) 石突光隆，山本昌和：火災発生時における駅構内の避難安全性検証システムの提案，鉄道総研報告，Vol.33，No.9，pp.41-46，2019
- 3) 建設省：階避難安全検証法に関する算出方法等を定める件，平成12年建設省告示第1441号，2000
- 4) 国土交通省鉄道局監修，土木関係技術基準調査研究会編：解説鉄道に関する技術基準（土木編）第三版，日本鉄道施設協会，2014
- 5) 山本昌和，石突光隆，青木俊幸：駅における歩きにくさを可視化した旅客流動シミュレーション，鉄道総研報告，Vol.23，No.12，pp.59-64，2009

☞ BIM (Building Information Modeling)

コンピューター上に作成した建築物や土木構造物などの3次元の施設モデルに、材料や仕上げ、コスト、管理情報などの属性データを付加したもので、建設業における設計から維持管理までの各工程で情報を活用するためのシステムです。