

# 音声と遮断開始タイミングによる踏切警報中の歩行者の進入防止策

鍋木 俊暁\* 秋保 直弘\*\* 斎藤 綾乃\*\* 宮地 由芽子\*

Measures to Prevent Pedestrians from Entering Level Crossing during Warning Alarm  
Based on Voice Alarm and the Start Timing of Level Crossing Rod

Toshiaki KABURAGI Naohiro AKIU Ayano SAITO Yumeko MIYACHI

Most of the conventional measures to prevent accidents at level crossings are for automobiles, and measures for pedestrians have not been sufficiently examined. In addition, 60 % of the people who entered during the warning alarm and were actually left behind within the level crossing, recognized the meaning of the warning sound that conveys “no entry” as “caution”. Therefore, we examined both the addition of voice message to the alarm sound that conveys “no entry” and setting the earlier start timing of level crossing rod, and verified the effect. As a result, we confirm that the proportion of pedestrians entering during the warning alarm ringing is decreased.

キーワード：踏切, 踏切事故, 歩行者, 音声メッセージ, 遮断開始タイミング

## 1. はじめに

2007～2018年度の踏切事故の8割は自動車と歩行者による事故であった。また、自動車による事故の割合は漸減傾向だが、歩行者による事故の割合は増加傾向にあり、2017年度は44%、2018年度は39%を占めている(図1)。上記の自動車による事故の漸減傾向は、障害物検知装置やオーバーハング型警報機などの効果が表れているものと考えられる。しかしながら、歩行者に対する対策には改善の余地があると考えられる。

そこで、歩行者の踏切事故件数を減らすため、通行中の歩行者に対する情報提示方策について研究している。本稿では、踏切警報中における歩行者の進入防止対策の

検討過程と効果検証の結果の概要について報告する。

## 2. 対策の方針の検討

対策方針決定の条件を整理するために、以下の3つの位置に分けて踏切事故につながる可能性のある歩行者の行動を検討した。

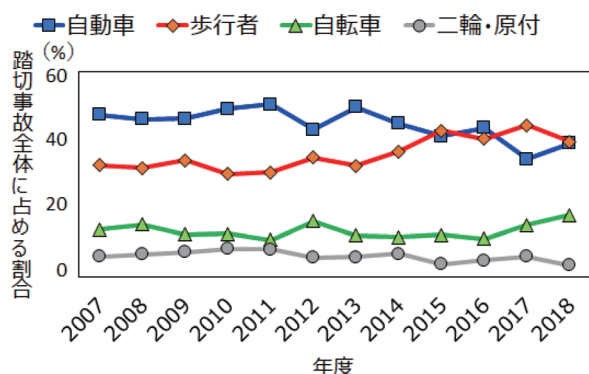
入口側：警報中に踏切へ進入している

踏切道内：円滑に通行できていない

出口側：遮断完了後に踏切道内から出ていない

これらの踏切事故につながる行動のうち、歩行者による踏切事故の77%が「直前横断(警報中の進入)」を原因とするものである<sup>2)</sup>ことから、本研究では、特に入口側の警報中の進入についての対策を検討することにした。

さらに、対策方針を具体化するため、歩行者の踏切通行の実態について、警報音の意味がどのように理解されているかを確認するインターネット調査<sup>3)</sup>と警報の鳴動開始位置(警報の鳴動開始時における踏切から歩行者の位置までの距離)と行動判断の関係について確認する実験<sup>4)</sup>を行った。



注) 「鉄軌道輸送の安全に関わる情報(平成19年度～平成30年度)<sup>1)</sup>」のデータを整理して作成したものである

図1 衝撃物別の踏切事故割合の推移

### 2.1 警報音の意味の理解に関する調査

列車接近によって鳴動し、「進入禁止」を伝える警報音の意味がどのように理解されているかを調べる調査<sup>3)</sup>を行った。

調査は2019年1月に、調査会社の登録モニタ(47都道府県の20～79歳男女)のうち、「踏切を徒歩で渡る頻度が月1回以上」かつ「現在の居住都道府県に10年以上居住」に該当する人を対象にインターネットで実施した。分析対象は、さらに「最寄りの踏切に警報灯、遮

\* 人間科学研究部 安全性解析研究室

\*\* 人間科学研究部 人間工学研究室

断かんがあり、踏切を徒歩で渡る人」に絞り込み、20～79歳の男女2435人（平均年齢55.0歳（SD=14.2））とした。

調査の結果、本来は「進入禁止」の意味である警報音を分析対象者の43.2%が「注意（して横断）」と理解していた。実際に遮断完了後も踏切道内に取り残された経験があり、警報中に進入した人（n=76）に絞ると、その割合は60.5%になることがわかった。

この結果から、警報中に進入して遮断完了後も踏切道内に取り残される事象は、警報音の本来の意味を歩行者が理解していないことが主な原因の一つであることが示唆された。

## 2.2 警報の鳴動開始位置と行動判断に関する実験

踏切への接近を模擬したシミュレータを用いて、警報の鳴動開始位置と歩行者の行動判断の関係について確認する実験<sup>4)</sup>を行った。実験参加者は18歳～24歳の38名（男女各19名、平均年齢21.0歳（SD=1.5））である。

実験では、踏切の26.8m手前から歩行を開始するCG映像を見ながら、警報が鳴動開始した場合の行動を、歩行を「継続」、「停止」、「走って進入」の3つの中からボタン操作により選択させた。また、踏切に接近する途中で警報が鳴動開始するが、鳴動開始位置は踏切まで14.8m、13.6m、12.4m、11.2m、10.0m、8.8mの6条件とした。

実験の結果、警報が鳴動開始する時点で踏切まで11.2mの地点にいた人の進入率が25%であるのに対し、10.0mの地点にいた人では46%となり、進入／停止の判断が拮抗した。また、8.8mの地点にいた人の進入率は56%であり、10.0mから10%増加した。さらに、10.0mと8.8mの地点で鳴動開始した人の進入判断のタイミングは、「警報の鳴動開始から遮断開始までの間」が多かった。

鳴動開始時の位置が踏切から10.0mから8.8mになると進入の判断をする人が10%増えたことから、踏切に近い位置にいるほど進入しやすい、あるいは進入の判断を短時間で停止判断に変更するのは難しいことが示唆された。そこで、筆者らは、進入／停止の判断が拮抗した10.0mの地点の人であれば、情報提示により判断が変化する可能性があると考えた。

## 2.3 対策の方針

歩行者の踏切通行の実態把握結果から、警報中の進入を防止するための情報提示対策の方針として、以下を考えた。

- ・警報音の本来の意味である「進入禁止」のメッセージを伝える
- ・警報の鳴動開始時点で踏切から10m程度の距離に

いる人が対象

- ・警報の鳴動開始から遮断開始までの間にアプローチして「渡れない」という判断を促す

このような方針を満たす情報提示対策として、聴覚情報と視覚情報の2種類の方法を提案した。

## 3. 警報音への音声メッセージの追加

聴覚情報を提示する方策として、警報音の本来の意味である「進入禁止」のメッセージを言語化して伝達する音声メッセージの追加を提案した。ここでは、対策の概要と効果検証の結果<sup>2)5)</sup>を報告する。

### 3.1 コンセプト

警報音には、「聞いた人に警報が意味することを伝えること」と「理想的には何をすればよいか知らせる機能」が求められる<sup>6)</sup>。そのため、「進入禁止」を伝えるメッセージのコンセプトとして、以下の3種類を検討した。

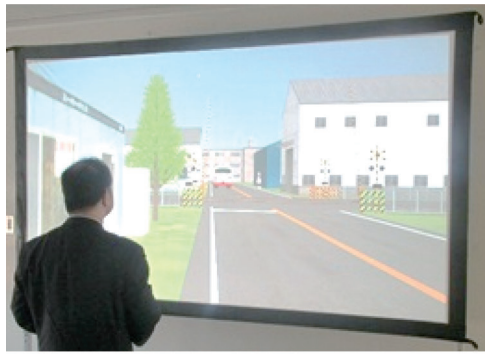
- ・（踏切の）状態を伝える
- ・具体的な動作を伝える
- ・（なぜそうしてほしいか）理由を伝える

本件は警報の鳴動開始から遮断開始までの数秒間に伝える緊急性の高いメッセージのため、短時間で明確に伝達できる必要がある。そこで、3種類のコンセプトのうち、「状態を伝える」と「具体的な動作を伝える」ことの2種類に絞って、「危険です（状態）」と「踏切に入らないでください（具体的な動作）」を組み合わせた音声メッセージを作成し、警報音に追加して提示した。

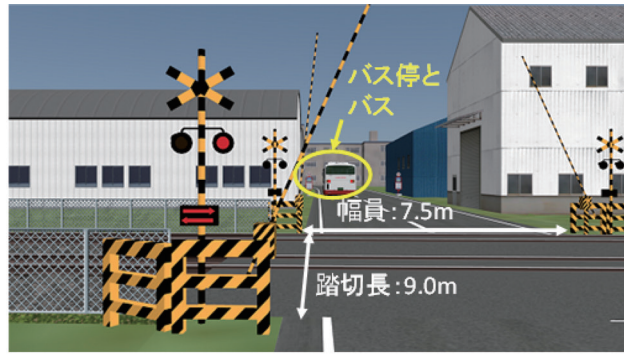
### 3.2 効果検証の方法

東京圏在住で40歳以下の40名（男女各20名、平均年齢28.5歳（SD=6.4））を対象にシミュレータ（図2）を用いた実験を実施した。実験参加者には、踏切の30m手前から歩きはじめ、踏切に接近する途中で警報が鳴動開始するCG映像を見ながら、踏切に対する行動を手元のコントローラーで操作するように求めた。なお、警報音を聞いて進入判断をする場合、行動の選択肢としては、そのままの速度で歩いて進入する場合と、走って進入する場合が考えられる。これについて、2.2節の事前実験<sup>4)</sup>では、「走って進入」する人が多いため、シミュレータの歩行速度も一定ではなく、初速6km/h（約1.7m/s）からコントローラーを操作することで最高8km/h（約2.2m/s）まで加速できる仕様とした<sup>8)</sup>。

踏切に接近する途中で警報が鳴動開始するが、鳴動開始の位置は、判断に迷う距離帯として踏切の10m手前と、より近い距離帯として踏切の8m手前の2条件を設定した。また、その際に提示する音は、警報音に音声メッセージを追加する条件との比較として現行の警報音の条



(1) シミュレータ実験の様子<sup>7)</sup>



(2) シミュレータ画面の一例<sup>8)</sup>

注) バス停とバスを設定したのは遮断開始タイミングの早期化の効果検証のみ

図2 効果検証に用いたシミュレータ

件を設定した。また、「音のテンポを速くすることで、聞いた人の切迫感を高めることができる<sup>9)</sup>」ことから、警報音をテンポアップした条件も加えて、以下の4条件について効果を検証した<sup>2)</sup>。

- a) 警報音 + 音声メッセージ
- b) 警報音のみ
- c) 1.5 倍にテンポアップ
- d) 2 倍にテンポアップ

聞こえてくる音が異なる上記4条件の踏切に対する行動をコントローラーで操作してもらい、そのログ(踏切に進入 or 踏切手前で停止)を記録した。

また、踏切の技術基準<sup>10)</sup>には、「通行者に焦燥感をいだかせないものであること」と記載されているため、シミュレータ操作後にアンケートにより焦燥感を確認した。調査では「警報音により、踏切を早く渡らなければならないと焦りを感じましたか?」を「0. 感じなかった ~ 3. 非常に感じた」の4段階で回答を求めた。そして、a) ~ d) の音の条件ごとに、焦燥感の段階の平均値について比較分析した。

このように、実験はシミュレータ操作後にアンケートに回答するまでをセットにして、図3のような流れで繰り返し行った。

### 3.3 効果検証の結果

#### 3.3.1 焦燥感について

アンケートの結果、焦燥感は、「警報音 + 音声メッセージ」と「警報音のみ」の間には統計的な有意差は見られなかった(図4)。すなわち、警報音に音声メッセージを追加しても焦燥感は警報音のみ(現行)と同等レベルであった。これに対して、警報音を1.5倍または2倍に「テンポアップ」した条件は、現行の「警報音のみ」と比較して焦燥感が統計的に有意に高かった。また、「警報音のみ」の焦燥感の平均値が0.8なのに対して、「テンポ1.5倍」で1.4、「テンポ2倍」は1.6となっており、

「1. 感じた」の段階を超える値であった。

これらの結果から、「警報音 + 音声メッセージ」は焦燥感を高めることはなく、提示する音として問題ないと考えられる。一方で、今回条件として設定した1.5倍と2倍の「テンポアップ」は、現行の「警報音のみ」よりも焦燥感が高まるため、踏切の通行者に提示する音として適切ではないことが示唆された。

#### 3.3.2 警報中の進入割合

前節の結果を踏まえ、焦燥感が高まる「テンポアップ」の条件を除外し、「警報音 + 音声メッセージ」と「警報音のみ」の2条件について、警報中に進入した実験参加者の割合を比較分析した。

この結果(図5)、「警報音 + 音声メッセージ」は、「警報音のみ」と比較して、警報中に進入した人の割合が統計的に有意に低く、25ポイント低下することを確認した。

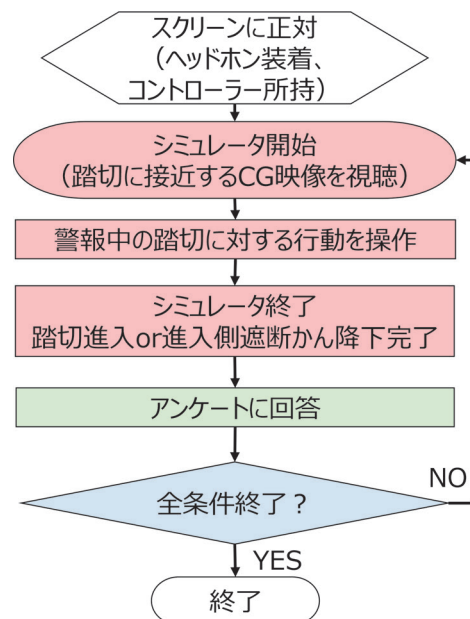
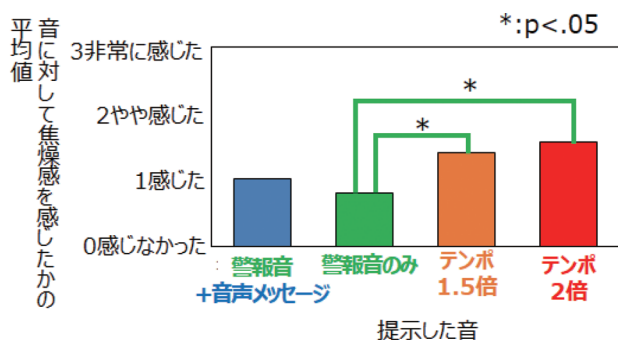


図3 実験の流れ



注1) この図は、ヒューマンインタフェースシンポジウム2019 論文集で発表した内容<sup>5)</sup>の一部を引用して作成したものである  
 注2) 「\*」は提示した音の条件について、対応のある一元配置分散分析および多重比較の結果、平均の差が5%水準で有意な場合を示す  
 注3) この図は、右側通行の場合での結果である

図4 提示した音別の焦燥感の違い<sup>2)</sup>

これらの結果から、警報音の本来の意味である「進入禁止」を言語化して、警報音に追加して音声メッセージとして伝えることで、歩行者の警報中の進入を低減できると考えられる。

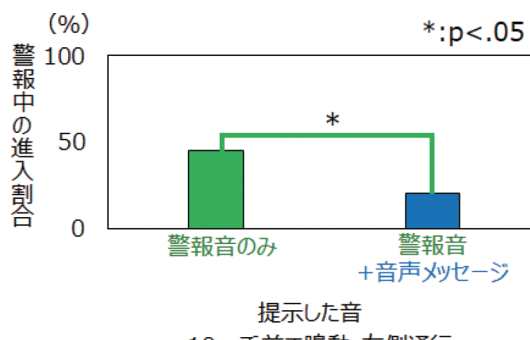
#### 4. 遮断開始タイミングの早期化

視覚情報を提示する方策として、遮断かんの動きをより早く視界に入れることで、物理的に遮断され、進入禁止であることを伝える遮断開始タイミングの早期化を提案した。ここでは、対策の概要と効果検証の結果<sup>2)8)</sup>を報告する。

##### 4.1 コンセプト

遮断かんは進入を物理的に防ぐ役割がある設備のため、「遮断かんが動いたから、もう渡ってはいけない(渡れない)」という判断を促す上でわかりやすいメッセージであると考えられた。2.1節の警報音の意味の理解に関する調査の中で、遮断かんの動きについても意味の理解を確認した結果、「遮断かん動作」の意味を「進入禁止」と回答した割合は、分析対象全体 (n=2435) の97.5%であり<sup>3)</sup>、「遮断かんの動作=進入禁止」と理解されていることを確認した。そこで、現行よりも早いタイミングで遮断かんの降下を開始させ、より早く遮断かんの動きを歩行者の視界に入れることで、停止判断を促すことを検討した。

ここで、遮断かんの動きに関して、踏切の技術基準<sup>10)</sup>には「警報の開始から遮断動作の開始までの時間は、通行者の通行に支障を及ぼすおそれのないものであること」と定義されている。これについて、求められている要件を整理した結果と要件を満たすために検討したコンセプトを表1に示す。



注1) この図は、ヒューマンインタフェースシンポジウム2019 論文集で発表した内容<sup>5)</sup>の一部を引用して作成したものである  
 注2) 「\*」は提示した音の条件間で割合の差のコクランのQ検定の結果、その差が5%水準で有意な場合を示す

図5 提示した音別の警報中の進入割合<sup>2)</sup>

これらのコンセプトを踏まえ、警報の鳴動開始から遮断開始までの時間を短縮して早く降下を開始する代わりに、進入側遮断かんの降下速度を遅くし、進出側遮断かんの降下速度は変更しないことで、降下完了のタイミングを現行の動きと同じとする遮断開始タイミングの早期化(図6)を提案した。

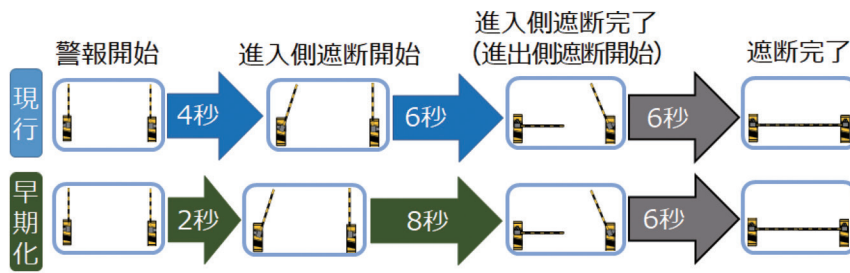
また、図6のように遮断開始タイミングを変更した場合に歩行者から見える遮断かんの動きの違いとして、現行と早期化のそれぞれについて、警報の鳴動開始から4秒後の遮断かんの状態を図7に示す。現行の遮断かんの動きの場合(図7(1))、4秒後に降下を開始するため、遮断かんは開いている時と同様にほぼ垂直の状態となっている。これに対して、2秒早期化した場合(図7(2))は、警報の鳴動開始から2秒後に降下開始しており、4秒後には垂直の状態から傾いてきて、遮断かんが降下してきていることがわかる状態となっている。このように、早期化することで、遮断かんが動いていることをより早く歩行者の視界に入れ、停止を促すことができると考えられる。

##### 4.2 効果検証の方法

東京圏在住で40歳以下の男性39名(平均年齢29.3

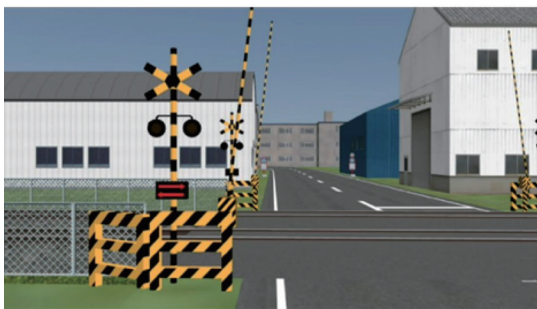
表1 遮断かんの動きの要件とコンセプト

要件	コンセプト
① 遮断動作の開始を予告すること	遮断かんの降下開始を早めた場合も、警報の鳴動開始から遮断開始までの時間(予告時間)を1秒以上確保する
② 警報開始直前に進入した通行者が遮断装置(遮断かん)の降下完了までに通過できること	遮断かんの降下開始を早めた場合も遮断かんが降下完了するまでの時間は現行と同等にする(警報開始直前に進入した通行者が通過する時間は現行と同等となる時間を確保する)

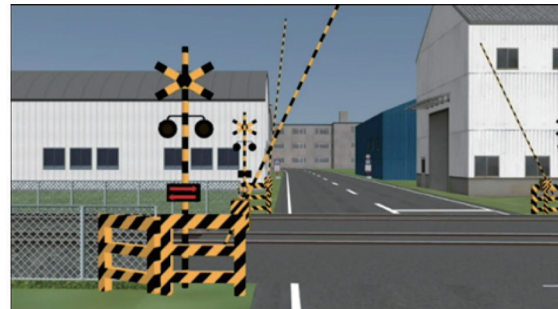


注) 現行の動きはシミュレータで設定した横断線数2本の場合に基準とされている時分<sup>11)</sup>で設定

図6 遮断開始タイミングの早期化のイメージ<sup>2)</sup>



(1) 現行の遮断かんの動き



(2) 2秒早期化した場合の遮断かんの動き

図7 警報の鳴動開始から4秒後の遮断かんの状態<sup>2)</sup>

歳 (SD=5.4) を対象にシミュレータを用いた実験を実施した。実験参加者を男性としたのは、後述するバスの配置と教示の仕掛けによって踏切を渡るモチベーションを高めた際に、体力がある男性の方が走って進入する判断をしやすと考えたためである。

遮断開始タイミングの早期化についての効果検証は、3章同様にシミュレータ(図2)を用いて行った<sup>8)</sup>。その際、遮断開始タイミングは、早期化との比較条件として、現行条件と遅延条件(警報の鳴動開始から遮断開始までの時間が現行より長い)を加えた3条件を設定した。なお、遮断開始タイミングの遅延は、前述の踏切の技術基準<sup>10)</sup>で求められている要件②(表1)に示した、踏切の外に出られるように遮断完了までの時間を確保する目的で、一部の踏切で実際に実施されている。効果検証では、早期化および遅延する条件の時分の変更について、シミュレータで設定した横断線数2本の場合に、警報の鳴動開始から遮断開始までの時間は4秒が基準とされている<sup>11)</sup>ことから、この時間を早期化では0.5倍して2秒(2秒早期化)、遅延では1.5倍して6秒(2秒遅延)に設定した。

また、実験参加者への教示として、踏切を渡った先にバス停と停車するバスを配置し、「あなたは踏切の先のバス停に止まっているバスに乗ろうと急いでいる。このバスを逃すと次のバスまで20分待ちになる」ということを伝えた。これは、踏切の先に目的地を設定して渡る

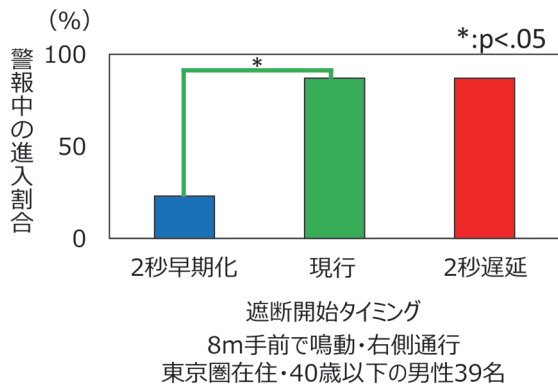
理由を持たせ、さらに時間のロスという渡らないデメリットを提示することで、このタイミングで踏切を渡ろうというモチベーションを高める仕掛けである。こうすることで、踏切を渡ろうというモチベーションを高めた人に対しても、遮断かんの動きによって停止判断を促し、警報中の進入が防止できるか検証した。なお、鳴動開始位置や歩行速度は3.2節と同様の設定である。

#### 4.3 効果検証結果

遮断開始タイミングの3条件について、警報中に進入した実験参加者の割合について比較分析した(図8)。

この結果、「2秒早期化」は、「現行」と比較して、警報中に進入した人の割合が統計的に有意に低く、64ポイント低下することを確認した。これに対して、「2秒遅延」と「現行」の間には統計的な有意差は見られなかった。すなわち、遮断開始タイミングを2秒遅延しても、警報中の進入に対する防止効果は現行と同等レベルであった。

これらの結果から、遮断開始タイミングを早期化し、遮断かんが動いていることをより早く歩行者の視界に入れることで、警報中の進入が防止できると考えられる。一方で、遮断開始タイミングの遅延は、警報中の進入の防止効果はないことが示唆された。遅延は、踏切に接近する歩行者から見ると、遮断かんが開いている時間が延長しており、警報音以外に歩行者の進入を抑制する要素



注1) この図は、第26回春季信頼性シンポジウム発表報文集で発表した内容<sup>8)</sup>の一部を引用して作成したものである  
 注2) 「\*」は提示した音の条件間で割合の差のコクランのQ検定の結果、その差が5%水準で有意な場合を示す

図8 遮断開始タイミング別の警報中の進入割合<sup>2)</sup>

がないのは現行と同様である。そのため、歩行者は現行と同じ感覚で進入でき、進入した人の割合が同じになっていると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、歩行者の踏切事故の原因である直前横断（警報中の進入）の防止策として、「音声メッセージの追加（聴覚情報）」と「遮断開始タイミングの早期化（視覚情報）」の2種類の方策の概要と、それぞれの効果検証の結果を報告した。

現行と比べて、警報中に進入する人の割合が、「音声メッセージの追加」では25ポイント、「遮断開始タイミングの早期化」では64ポイント低下することを確認した。これらの視聴覚情報の提示により、警報中に進入する歩行者が減り、踏切事故の件数が低減することが期待できる。

今回は2種類の対策の効果検証を別々に行ったが、対策を組み合わせることで、警報中の進入を防止する効果が高まる可能性がある。そこで、現在はコンセプトを踏まえつつ、より短く伝えられる文言の検討（音声メッセージの追加）や早期化の程度を変えた場合の検討（遮断開始タイミングの早期化）を行い、警報中の進入防止効果が最大となる組み合わせを検証している。また、今回は東京圏に住む人や若い年代を対象とした検証であるため、東京圏以外に住む人や高齢者を対象とした検証を行い、地域差や年代差にかかわらず警報中の進入が防止

できる対策を提案できるよう、引き続き検討する予定である。

## 文献

- 1) 鉄道：鉄軌道輸送の安全に関わる情報の公表について - 国土交通省（平成19年度～平成30年度）：[http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_tk8\\_000001.html](http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk8_000001.html)（参照日：2021年9月10日）
- 2) 鍋木俊暁：音声メッセージと遮断開始タイミングによる踏切警報中の歩行者の進入防止，第346回鉄道総研月例発表会，2021
- 3) 斎藤綾乃，秋保直弘，鈴木大輔，遠藤広晴，水上直樹：踏切警報音の意味の理解別に見た鳴動後の歩行者の進入意向，第26回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2019）講演論文集，pp.455-458，2019
- 4) 畠山直，鍋木俊暁，村越暁子，岡田安功，宮地由芽子：踏切歩行者の進入または停止判断に関する実験結果（1），日本信頼性学会 第30回秋季信頼性シンポジウム発表報文集，pp.95-98，2017
- 5) 秋保直弘，鍋木俊暁，斎藤綾乃，鈴木大輔，遠藤広晴，水上直樹，小美濃幸司，石毛隆晴，佐藤和敏：踏切警報音のテンポ変更及びボイス付加による直前横断抑止効果の検証，ヒューマンインタフェースシンポジウム2019論文集，pp.800-805，2019
- 6) J.Edworthy and N.A.Stanton, "A user-centred approach to the design and evaluation of auditory warning signals," *Methodology, Ergonomics*, Vol.38, No.11, pp.2262-2280, 1995.
- 7) 鉄道総合技術研究所 主要な研究開発成果（2019年度）3. 音声メッセージと遮断タイミングによる踏切警報中の歩行者の進入防止：<https://www.rtri.or.jp/rd/seika/2019/1-03.html>（参照日：2021年9月10日）
- 8) 鍋木俊暁，羽山和紀，畠山直，村越暁子，宮地由芽子：予告時間の短縮による踏切鳴動後の進入抑止効果の実験結果，日本信頼性学会 第26回春季信頼性シンポジウム発表報文集，pp.65-68，2018
- 9) 松田直大，秋田剛，古賀誉章：音の周波数および鳴動周期が切迫感に与える影響に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊，pp.847-848，2005
- 10) 国土交通省鉄道局監修，電気関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準（電気編）第四版，日本鉄道電気技術協会，pp.455-461，2018
- 11) 日本鉄道電気技術協会：信号工場の現場必携 [設備編]，日本鉄道電気技術協会，pp.7-18-7-22，2012