路面電車の乗降時間を短縮する

杉山　陽一
輸送情報技術研究部
（旅客システム　研究員）

明星　秀一
総務部
（総務　主査）

松原　広
輸送情報技術研究部
（旅客システム　研究室長）

すぎやま　よういち　みょうじょう　しゅういち　まつばら　ひろし

はじめに

近年，日本の路面電車では，床の低い車両の導入や，停留所のかさ上げによって乗降時の段差を解消する事例が増え，乗降のバリアフリー化が浸透しつつあります。また，路面電車と他の交通機関との乗換がスムーズに行えるよう配慮されている事例もあり，欧米のLRT（Light Rail Transit：路面区間を走行する，乗降を容易にした軽量交通システム）を意識した社会実験も各地で行われています。日本の路面電車は，車両や設備に関してLRTに近づきつつあるものの，利用者の乗降については，運賃収受方式の違いなどからLRTほどスムーズでないのが現状です。ここでは日本の路面電車の現行制度でもスムーズな乗降を実現する車載改札機を提案し，その実験の結果を紹介します。

スムーズな乗降のために

バリアフリーの観点だけでなく，定時運転を確保するためにもスムーズな乗降が求められます。もし，スムーズな乗降ができなければ，同じ行先の電車が連続する「団子運転」の状態になる可能性があります。団子運転の発生により，先行する電車に乗客が集中し，遅延がさらに後続の電車にも波及します。スムーズな乗降を実現するには，車両や設備の改善が有効ですが，費用や時間がかかるという問題があります。そこで，現状の車両に改札装置を設けることにより，乗降をスムーズにすることを検討しました。

路面電車の乗降制度

欧米では，抜き打ちの車内改札で正規利用でない人から例外なく高額な罰金を徴収する反面，乗降時の改札を省略する方法が広く導入されています。この方法では，どの扉からでも乗降ができ，長い編成の電車でもワンマン運転が可能です。一方，高額な罰金の設定が制度上不可能な日本では，乗務員のいる乗降口で運賃を支払う方式が浸透しており，乗降扉の分離，編成が長い電車での車掌の配置が行われています。この方式では車内移動による乗降時間の増加や人件費の増加が課題となります。そこで，改札方式の改善によってスムーズな乗降を実現するには，①通常の鉄道と同様に乗降両用口として不要な車内移動を解消すること，②乗務員を増やすことなく複数の乗降口で改札できるようにすることの2点の課題を解決する必要があります。

「車載改札機」の条件

前述の課題を解決するため，車両搭載タイプの改札機について検討した結果，以下の条件を満たす必要があります。

- 車内の通路は車いすでも通れる幅を確保し，車内空間を圧迫しないコンパクトなものとすること。
- 乗車券を持たない人や不正利用者の通過を阻止すること（図1）。

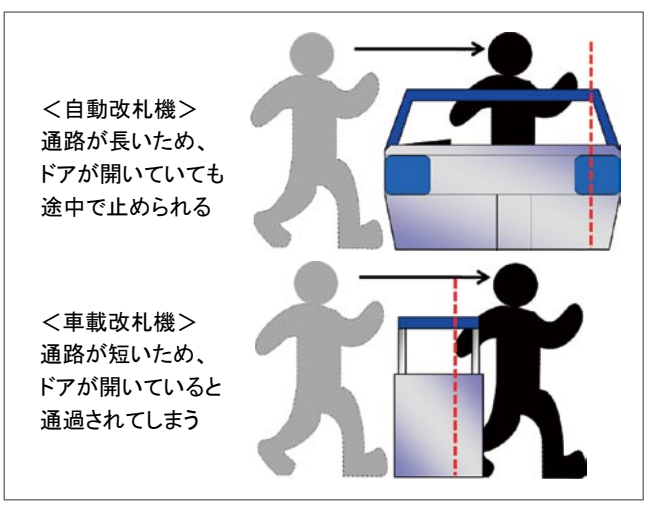

図1　不正利用者の通過を止める条件の違い

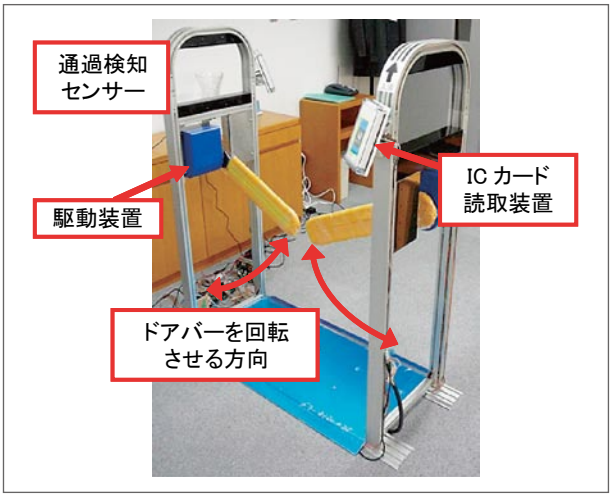

図２　ドアつき車載改札機

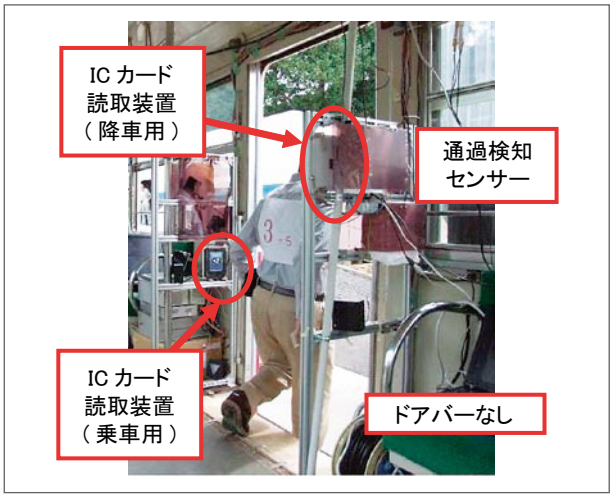

図３　ドアなし車載改札機（車両取付）

開発した車載改札機

前述の条件を満たすドアつきの車載改札機を開発しました（図2）。この車載改札機は，①改札機をコンパクトにするために短い改札通路と引き戸タイプの扉による構造とし，②不正利用を抑止するために通過を許可するとき以外は通路を閉じる方式を採用しています。詳細は以下の通りです。

構造

本体上部にセンサー，下部に本体と同じ幅のドアバーを格納しています。ドアバーをモーターで回転させる引き戸とすることで奥行きを抑えています。

使用方法

乗降口の両脇に本体を設置し，乗車側と降車側の両方にICカード読取装置を併設します。乗客はICカードをかざして通過します。

改札方法

有効なICカードの情報を読み取ると，通路側にせり出したドアバーが回転し，本体下部に収納されることで通路が開きます。利用者の通過が完了したことをセンサーで感知した直後にドアバーが上に回転して通路を塞ぎ，次の利用者の通過を阻止します。

ドアバー

ドアバーの色を警戒色にして接触を防止します。一方でドアバーを軽く柔らかい材質にし，万が一接触した場合でも安全性の確保に配慮しています。ドアバーが軽いため，駆動モーターが小さく，消費電力の節約・省スペースな改札機を実現しています。

モード変更

ドアバーを使用せずに音声等による警告で不正通過を防止するモードへの切り替えも可能です。

また，ドアバーのある改札機については，ステップつき車両での安全性を懸念する意見があるため，図2のドアつき車載改札機の他に，ドアを省略した車載改札機も開発しました（図3）。

図2の車載改札機に付属するドアバーを省略し，安全性を高めています。不正利用などを検知した場合は，音声・ブザー・LEDによる警告を行うことで通過を阻止します。また，ステップの通過に伴う上下方向の移動に対しても人間検知ができるよう，センサーの配置を工夫しています。

車載改札機を使った実験

車載改札機の実現可能性を検証するため，鉄道総研や広島電鉄で車両の乗降口両側に試作した車載改札機を設置して以下の3つの試験を行いました（図4）。

①認知試験：ドアつき車載改札機が自動改札機として認識されるか否かを確認

図４　実験の様子（認知試験・乗降試験）

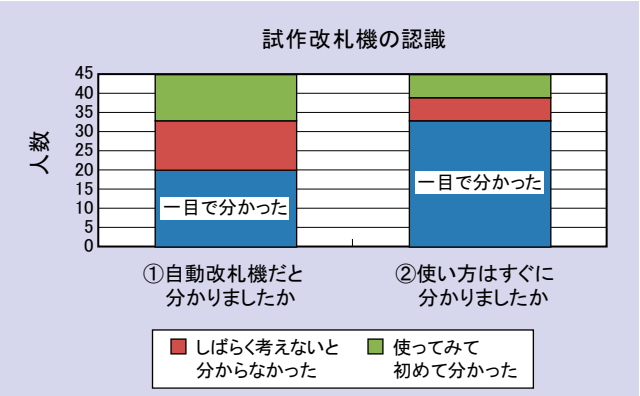

図５　認知試験のアンケート結果

②不正利用試験：ドアなし車載改札機で不正利用を試みた場合の最もよい警告方法を検討

③乗降試験：両タイプの車載改札機で実際の利用を模擬した乗降試験を繰り返し，通過時間を測定

認知試験 ― 改札機と認知できるか

ここでは，開発した車載改札機が改札機であると認知できるかどうかを検証するために，鉄道総研内の鉄道車両を低床車両に見立ててドアつき車載改札機を載せて試験を行いました。被験者1人ずつにこの改札機を見せ，改札機であることが分かったかなどの認知度を，アンケートを通して調査しました。アンケート結果の一部を図5に示します。

初見で車載改札機であると瞬時に認識できた人は半分以下でしたが，瞬時に認識できなかった人でも，ICカードの読取装置を見て装置の用途を認識し，使い方を類推するという流れがアンケートの結果から分かりました（図5）。これは，改札機本体とICカード読取装置が別々の構造で読取装置の視認性が良好であったためと考えられます。他に，ドア開閉のタイミングや安心感についてもアンケート調査を行いましたが，ほぼ全員から肯定的な回答を得ました。

不正利用試験 ― 効果的な抑止方法を探る

ここでは，ドアのない改札機での効果的な不正抑止方法を検証するために，広島電鉄にご協力いただき，ステップ車両にドアなし改札機を載せて試験を行いました。無効なICカードで通過しようとすると，ドアつき改札機で通過を抑止されることを被験者に体験してもらった後で，ドアなし改札機の通過を試みてもらいました。ここで，ドアなし改札機の警報には，①ブザー，②「このカードは使用できません」という音声，③ブザーの後に音声，④さらにLED表示器の発光，の4種類の手法を用い，不正利用者などの通過を抑止する方法の効果について，被験者にアンケートを実施しました。一部の結果について図6に示します。

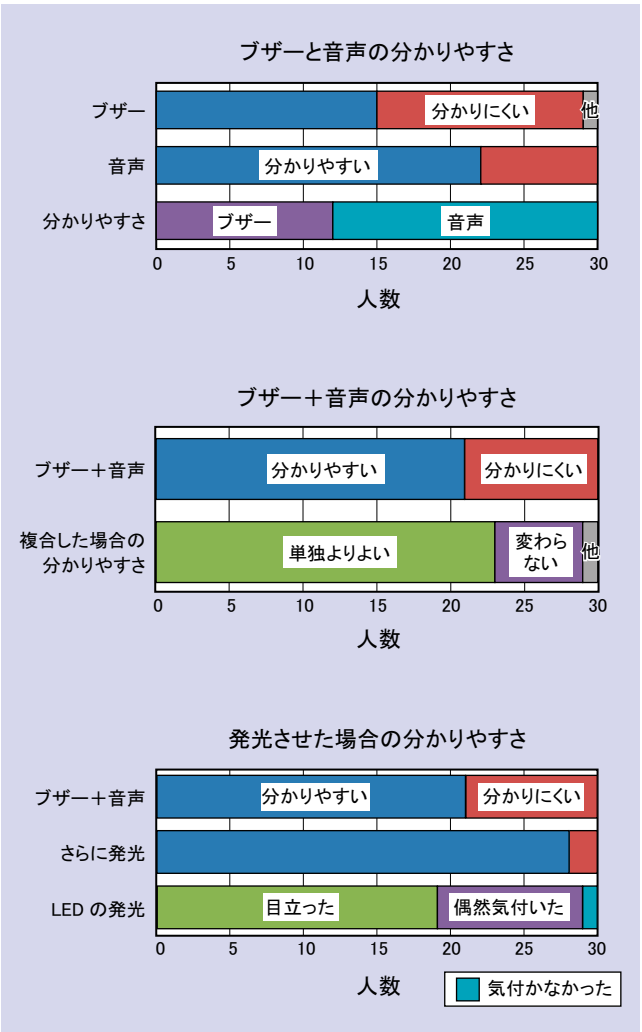

図６　警報の方法と分かりやすさ

音声とブザーとの比較では，音声が支持されました。また，ブザーと音声ともに繰返し鳴らせばより分かりやすいという意見が多くありました。複合的な方法では，ブザーの後に音声を流す方式を採ったところ，ブザー／音声単独の場合より分かりやすいという意見が8割弱でした。さらにLED表示器で発光させた場合，ほとんどの人が分かりやすいという意見でしたが，LEDの発光自体が目立ったとする人は6割程度にとどまったため，発光させること自体の効果が特に強いわけではなく，ブザー・音声と組み合わせることで，より効果的な警報としての機能を果たす可能性があることが示唆されました。発光自体の効果を高める方法として，光の当たる部分を広く取る方法や，点滅させる方法が主に支持されました。

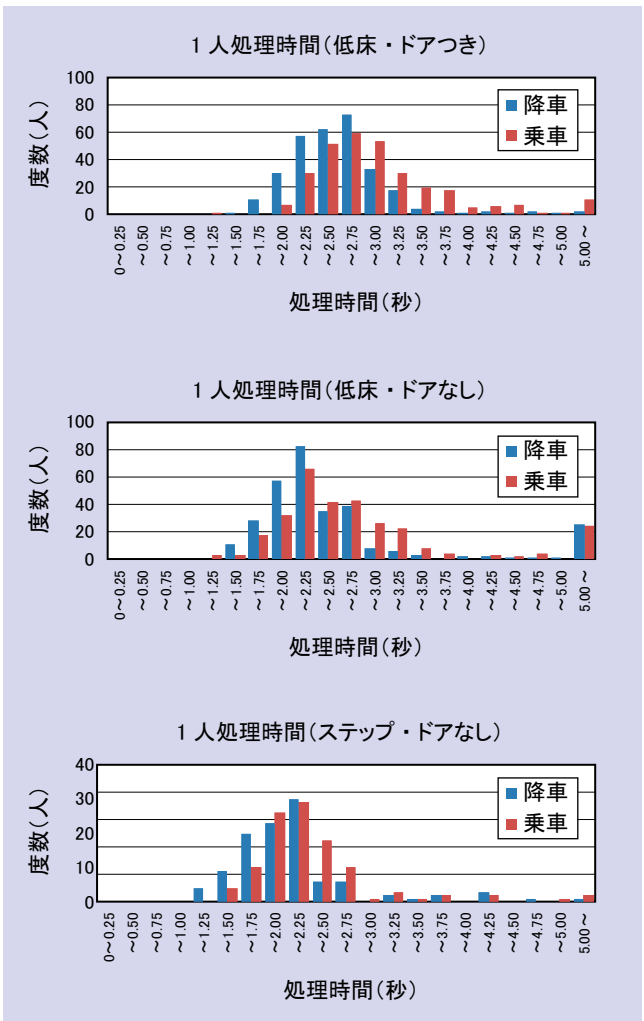

図７　１人あたり改札処理時間の分布

乗降試験 ― 改札機の処理能力を測る

ここでは，車載改札機が通過処理を行う所要時間を測定するため，広島電鉄の低床車両にドア付き改札機，鉄道総研のステップ車両にドアなし改札機を設置して試験を行いました。なお，低床車両ではドアを開閉させる「ドアつき」モードと，通路を開放した状態でドアを動かさない「ドアなし」モードの2通りの実験を行いました。車内人数や乗降人数を変化させた各パターンについて繰返し乗降してもらい，改札処理時間を測定しました。1人あたりの処理時間の分布（最初に乗る人と最初に降りる人は除外）を図7に示します。

低床車両の処理時間ではドアつきモードよりドアなしモードの方が約0.5秒短いことが分かります。また，乗車と降車で段差による差異がないにも関わらず，降車の方がやや処理時間が短い傾向が見られました。ステップ車両の処理時間でも降車が乗車より約0.2～0.3秒短いことが判明しました。低床車両のドアなしモードよりもステップ車両の処理時間が短かったのは，ステップの段差自体が人の列をタイミングよく区切る役割を果たしているためと考えられます。また，ICカードをよく利用している被験者が多い試験では通過時間が短い傾向なども判明しました。

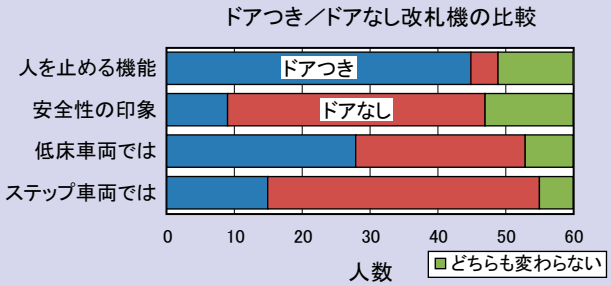

図８　１人あたり改札処理時間の分布

車載改札機の比較

広島電鉄の車両で両タイプの改札機を使用した被験者に，どちらが優れていると感じたか質問しました（図8）。

低床車両では確実に不正を抑止できる機能が，ステップ車両では安心して通過できることが重視されていることが示唆されています。また，ドアなし改札機で通過を阻止する機能を向上させる必要があることが分かりました。

おわりに

車載改札機を2種類試作し，低床車両およびステップ車両に設置して試験を行った結果，ドアつき改札機については，改札機と認知されやすく，不正利用を抑止する機能が確実な反面，ステップでの安心面や処理時間で課題があることが分かりました。一方，ドアなし改札機については，処理時間が短く，ステップで安心して乗降できますが，警報の方法に工夫の余地があります。結論として，ドアつき改札機は低床車両，ドアなし改札機はステップ車両への設置が適していると考えられます。今後は試験で明らかになった課題の解決を図り，実用化に向けた検討を進めていく予定です。また，車載改札機を一般的な鉄道に応用する検討もしています。

最後に，改札機の共同開発，試験の実施で日本信号株式会社，広島電鉄株式会社の方々から多大なご協力をいただきました。ここに御礼申し上げます。RRR