

鉄道における各種ホームドアの比較研究

鈴木 僚¹・日比野 直彦²・森地 茂³・家田 仁⁴

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所（〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 JR新宿ビル）
E-mail:ryo-suzuki@jreast.co.jp

²正会員 政策研究大学院大学准教授（〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1）
E-mail:hibino@grips.ac.jp

³正会員 政策研究大学院大学教授（〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1）
E-mail:smorichi.pl@grips.ac.jp

⁴正会員 政策研究大学院大学教授（〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1）
E-mail:ieda@jsce.co.jp

鉄道駅ホームにおける転落・列車接触事故への対策としてホームドア設置が推進されており、既往の方式に加え、開口部が広く可動部が昇降する方式の技術開発も行われている。多種のホームドアが存在する中、各ホームドア設置にあたり発生しうる問題や検討すべき事項を把握することは、今後鉄道事業者が設置推進と安全かつ快適な輸送サービスを提供していく上で重要である。そこで本研究は、各種ホームドアの特性を明らかにした上で比較を行い、導入にあたっての課題の抽出および改善策の提案を行った。ロープ式は列車運行へ影響を与えない運用が可能であるが、近接センサの支障により列車遅延の要因となるため、旅客がホームドアへ接近しないように駅社員による周知や習慣付けが必要である。

Key Words : ホームドア, 旅客行動, 列車運行, 列車遅延, バー式, ロープ式

1. 研究の背景と目的

昨今、駅ホームでの転落事故や列車接触事故が多発している。これに対し、これまでも内方線付き点字ブロックや転落検知マット等の整備が進められてきたが、視覚障害者をはじめとするすべての駅利用者に対するより効果の高い対策として「ホームドア」の設置が求められており、各鉄道事業者が導入を進めている。

ホームドアとは、駅のプラットフォーム上の線路に面するホーム端に設置し、車両の開閉と合わせて可動する開閉部を持ち、ホームと線路を仕切ることでホームからの転落や列車接触などの事故を防止することを目的とした安全装置である。現在、日本国内で設置されているホームドアには大きく分けて二つのタイプがある。ひとつは高さが天井まで背丈が高く、上部の構造体に支えられている「フルハイト式」ホームドア、もうひとつは、胸高までで床面のみでささえられている「腰高式」ホームドアである。フルハイト式は「フルスクリーン式」「ホームドア」、腰高式は「可動式ホーム柵」「ハーフハイト式」とそれぞれ呼称されることもあるが、本研究においては上記のように定義する。

ホームドア整備に関する政策の経緯として、2000年の『交通バリアフリー法』においては、ホームドア等は視覚障害者の転落を防止する効果が高い設備であるとして、鉄道事業者に対し新設鉄道路線へ設置義務および既存路線への設置努力義務が課された¹⁾。また2006年の『バリアフリー新法』においては、車両の乗降口が一定しているなど一定の要件に該当するホームにおけるホームドア設置が義務づけられた²⁾。そして2011年の国土交通省による『ホームドアの整備促進等に関する検討会』における中間とりまとめにおいては、一日の利用者が10万人以上の駅にホームドア等の転落防止対策を優先して速やかに実施するよう鉄道事業者に求めている³⁾。

図-1に国内におけるホームドア等設置駅数の推移を示す。国内においてホームドアが初めて導入されたのは1981年の神戸市のポートライナー開業時であり、フルハイト式ホームドア(図-2)が整備されたが、このときの整備目的はワンマン運転の支援であった。2000年以降は『交通バリアフリー法』の制定により、旅客の安全対策を目的として、腰高式ホームドア(図-3)を中心に新設・既設路線への設置が推進された。2013年度末には固定柵(図-4)も含め600弱の駅で設置されている⁴⁾。

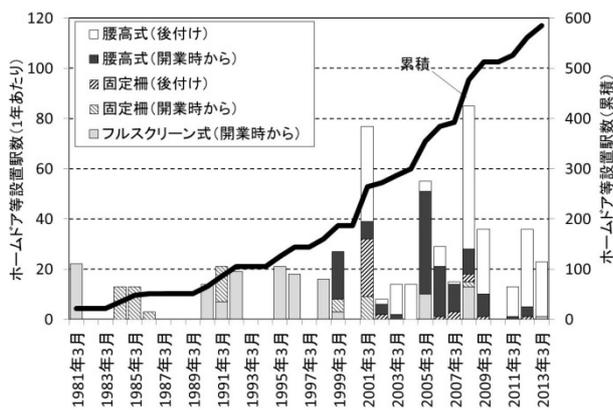


図-1 国内におけるホームドア等設置駅数の推移

しかし、ホームドア設置を推進する上ではいくつかの課題が存在する。一つ目は、同一路線に扉数の異なる複数種の車両が乗り入れる場合、ドア開口位置が固定されてしまう既往のホームドアが設置できないことである。二つ目は、ホームドア設置により列車の停止位置精度が求められるため、定位置停止装置（TASC: Train Automatic Stop-position Controller）や自動運転装置（ATO: Automatic Train Operation）などの信号システム整備が必要であるほか、車両との連携のための車両改良や取替え、更にはホームドア重量に耐えうるためのホーム補強工事など、本体以外の整備にかかる費用が高額であること、また長い工期を要することである。これらの課題を解決するために、各メーカーによってバー式（図-5）、ロープ式（図-6）、戸袋移動式（図-7）など新方式のホームドアの開発が進められている。バー式およびロープ式は、可動部分を昇降させることにより開口部を広くとることができ、また戸袋移動式は戸袋部が可動することにより扉数の異なる

複数種の車両に対応可能である。いずれも本体重量が軽量に抑えられており、前述の課題を解決できる性能を有していると言える。2013年度より営業線での実証試験が行われており、今後の導入が期待されている。

このように多種のホームドアが存在する中で、各ホームドアの設置にあたり発生しうる問題や検討すべき事項を把握することは、今後鉄道事業者がホームドアの設置推進と安全かつ快適な輸送サービス提供を行っていく上で重要である。そこで本研究は、まず各種ホームドアの特性を明らかにすることを目的とする。具体的には、仕様、運用、コストなどのホームドア自体の性質や、ホームドア設置により列車運行や旅客行動に与える影響を明らかにする。またこれらを踏まえて、各種ホームドア導入の可能性について考察し、課題の抽出と改善策の提案を行う

2. 既往研究レビューと本研究の位置付け

ホームドア設置による旅客行動への影響に関する研究として、笹本ら⁵⁾は、営業線に固定柵を試験的に設置し、ホーム端からの距離と柵開口部寸法を変数として、旅客流動への影響や柵外側への進入について観察を行っている。河合ら⁶⁾は、固定式ホーム柵（固定柵）を試験的に設置し、ホーム端からの離隔、狭隘部の幅等を変数とし、視覚障害者や車椅子利用者に歩行実験を実施している。山本ら⁷⁾は柵と車両を設置して駅ホームにおける混雑状況を想定した乗降実験を行っており、乗車率や再乗車に着目して乗降時分に与える影響を分析している。また山本ら⁸⁾はホームドア設置による狭隘部の旅客流動への影響を把握するために模擬的な実験を行い、幅員と歩行速度の関係や乗車待ち状態による乗降流率の違いの分析を



図-2 フルハイト式



図-3 腰高式



図-4 固定柵



図-5 バー式



図-6 ロープ式



図-7 戸袋移動式

行っている。さらに青木ら⁹⁾はこれに基づき、狭隘部における乗降に要する時間等を予測するモデルを作成している。また上水流ら¹⁰⁾は荷物や駅員を考慮しつつホームドア前の整列方法を変更することが出来る駅ホーム上を対象とするシミュレータを開発し、旅客流動に要する時間を推定している。

列車運行への影響に関する研究として、仮屋崎ら¹¹⁾は、列車遅延の発生要因の一つである駅停車時間の増加について、要因のひとつとしてホーム柵等の稼働時間があることを指摘し、ホームドア設置によりドアばさみによる確認時間の増加割合が大きくなると述べている。宮崎¹²⁾は、JR山手線を対象とした列車運行シミュレーションモデルを作成した上で、ホームドア設置によりドア開閉動作に3秒の時間を要することを想定し、駅での停車時分を3秒増加させ早発実施をした場合における一周あたりの所要時間を分析している。

このように既往の研究においては、実験およびシミュレーションにより一部において旅客流動や乗降時分に關する定量的な評価がされているものの、実際の設置駅における実態把握や現状分析は十分に行われていない。また、新方式のホームドアについては、それぞれの技術論文は存在するものの、性質の比較をした研究はない。そこで本研究は、各種ホームドア導入にあたり、実際の現場で起こりうる現象に着目して各種ホームドアの特性と設置による影響を比較する研究として位置づける。

3. 研究の対象と各種ホームドアの概要

(1) 研究の対象

本研究では、既往の腰高式、フルハイト式および新方式のバー式、ロープ式、戸袋移動式の5種類のホームドアを対象とする。既往の腰高式、フルハイト式は鉄道事業者や路線またはメーカーによって仕様や運用が異なるが、本研究では腰高式についてはJR山手線、フルハイト式については東京地下鉄南北線に設置されてあるホームドアを対象とする。新方式のバー式、ロープ式、戸袋

表-1 研究の対象

ホームドア種別	既往/新方式	設置路線・駅
腰高式	既往	JR 山手線
フルハイト式	既往	東京地下鉄 南北線
バー式	新方式	相模鉄道 いづみ野線 弥生台駅
ロープ式	新方式	東急電鉄 田園都市線 つきみ野駅
戸袋移動式	新方式	西武鉄道 新宿線 新所沢駅
ホームドアなし [※]	-	上記路線 ホームドア未設置駅

※ホームドア設置有無の比較のため

移動式については2013年度のフィールド試験においてそれぞれ設置されているホームドアを対象とする。このムドアが設置されていない駅も対象とする。本研究の対象とするホームドアおよび設置路線・駅を表-1に示す。

(2) 各種ホームドアの概要

表-2に各ホームドアの概要を示す。これらはいくまでも現行の運用に基づくものであり、その他の運用方法や改良の余地も存在する。

a) 腰高式ホームドア (JR山手線)

ドアの高さは、旅客の寄りかかりや乗り越え、車掌の視認性を考慮し1.3mとしている。開口幅は、車両ドア幅が1.3mであり、定位置停止装置(TASC)の精度が±350mmであることを考慮し、2.0mを基本としている¹³⁾。安全センサは、車両ドアとホームドアの間の取り残しを検知するため、ホームドア裏側に支障物センサが設置されているほか、戸挟みや戸袋への引き込みを検知するセンサが設置されている。ホームドアの開閉は車両ドアと連動して作動する。開扉時は、車掌の車両ドアスイッチ取り扱いにより、ホームドアの開扉開始後、予め設定された時間差をもって車両ドアが開扉する。また閉扉時も同様に、車両ドア閉扉開始後にホームドアが開扉する。

b) フルハイト式ホームドア (東京地下鉄南北線)

天井の高さまで覆われているホームドアであり、ホームと軌道部が完全に隔離された「密閉型」と、スクリーン上部に開口部がある「半密閉型」があるが、本研究の対象は後者である。東京地下鉄南北線はワンマン運転支援を主な目的としてホームドアが設置された経緯があり、自動列車運転装置(ATO)による運転を行っている¹⁴⁾。

表-2 各ホームドアの特徴と運用

項目	腰高式	フルハイト式	バー式	ロープ式	戸袋移動式
高さ	1.3m	天井高さ	1.27m	1.35m	1.3m
開口幅	2.0m(基本)	2.0m	3mまたは4m	約10m	2.0m
安全センサ	支障物センサ(ドア裏側) 戸挟みセンサ 戸袋引き込みセンサ 等	支障物センサ(ドア裏側) 戸先センサ 戸挟みセンサ	近接センサ(柱部側面) 手かざしセンサ(柱部上面) バー荷重センサー	近接センサ(柱部側面) 支障物センサ(梁部下) トルク値センサ	戸挟みセンサ 戸袋引き込みセンサ 等
ドア開閉運用	車両ドアと連携	車両ドアと連携	①車両ドアと分離 ②測距カメラによる 定位置確認・自動開閉	列車検知センサによる 到着前・出発後自動開閉	車両ドアと分離
信号システム	定位置停止装置(TASC)	自動列車運転装置(ATO)	-	-	-

ホームドアの開閉は、腰高式と同様であるが、ワンマン運転であるため運転士が車両ドアを取り扱っている。

c) バー式ホームドア（相模鉄道いづみ野線弥生駅）

両端に昇降スライダを持つ支柱（主機、従機）を配置し、支柱を繋ぐ CFRP による 3 本のバーにて構成されている。寄りかかりによる落下防止のため上のバーの高さを 1.2m 以上にし、車椅子やベビーカーの潜り抜け防止のため下のバーの高さを 0.5m としている。扉動作時は支柱軌道側に構成されたスライダ部と、3 本のバーが上昇し空頭が 1.95m となる¹⁵⁾。開口部は 3m または 4m であるため、定位置停止装置を必要としない。安全センサは、柱部側面に 13 対の近接センサが設置されており、支障によりバー昇降時は動作が停止するほか、列車待機時はホームドアから離れるよう注意喚起の音声案内が流れる。この他、支柱上部に接触に反応する手かざしセンサや、バー荷重センサ（17kg 以上を検知）が設置されており、バー上昇に対する旅客への安全を確保している。ホームドアの開閉は、車掌が一旦ホームに降りてホームドアを開閉させる方法または測距カメラによる列車定位置確認・自動開閉による方法があり、本稿では後者の運用について取り扱う。

d) ロープ式ホームドア（東急電鉄田園都市線つきみの駅）

70mm 間隔で配列されたロープによる柵とこれを支える両端の支柱により構成される。下降時のロープ柵の高さは 1.35m、床とロープ柵の間隔は 150mm であり、上昇時は空頭が 2.05m となる。開口部は約 10m であり、定位置停止装置を必要としないほか、様々な車両ドア数に対応することができる¹⁶⁾。安全センサは、支柱側面に近接センサが設置されてあるほか、柱上部に支障物センサを設置している。またロープを巻き上げるトルクに 50kg 以上の負荷を検知するセンサが設置されている。ホームドアの開扉は、列車到着前に列車検知センサにより時速 27km 以下および停止位置手前 5m になると自動で開扉し、到着時にはホームドアの開扉は完了している状態となる。閉扉は列車出発後、列車最後尾の 10m 区間が列車検知センサを抜けるとロープが下降し始める。列車到着前および出発後にホームドアを開閉させることにより、列車運行に影響しない方法で運用を行っている。

e) 戸袋移動式ホームドア（西武鉄道新宿線新所沢駅）

戸袋とその両側に出入りする扉 2 枚からなるユニットをホーム端の 2 本のレールの上に一列に多数並べることで構成される¹⁷⁾。戸袋が前後に移動することによって列車到着の 15 秒程度前に車両ドア位置に開口位置を調整する。また列車の停止位置がずれた場合でも±1.0m まで追従が可能である。安全センサは、腰高式と同様に戸挟み・戸袋引き込みセンサがついている。設計上、車両とホームドアに隙間が無いように設置することを想定

しているため、支障物センサは設置されていない。ホームドアの開閉は、フィールド試験においては車両ドアと分離させて運用しているが、連動も可能である。

4. 調査方法

(1) 観測調査

a) 列車運行時分・ドア開閉時分観測調査

ビデオカメラによる動画撮影により、列車の到着および出発、ホームドアおよび車両ドアの開閉（開始・終了）のタイミングを記録する。また記録された動画より列車運行やドア開閉に関する時分を測定する。なお、動画は 1 秒間あたり 10～30 フレームで記録されているため、時分の単位は 0.1 秒とする。調査時期は 2013 年 11 月～2014 年 3 月であり、時間帯は 7 時～10 時または 18:30～20:00 である。記録した列車運行本数はホームドアによって異なるが、10～30 本程度である。なお分析に用いるデータはドア荷物挟まりなどによる車両ドア開扉所要時分の延長がない場合を対象とする。

b) 旅客行動観測調査

研究の対象とする路線・駅において、旅客のホームドアに対する行動、乗車待ちや整列の様子に着目して観測を行う。観測の記録は描画、写真撮影および動画撮影により行う。

調査時期は 2013 年 11 月～2014 年 1 月であり、調査日は計 21 日である。時間帯は朝（7 時～10 時）、昼（12:00～14:00）、夜（18 時～22 時）を対象とする。

(2) インタビュー調査

JR 東日本および東京地下鉄の列車運行に関わる社員（運転士、車掌および駅係員）に対し、ホームドア設置有無による業務内容や行動および心境の変化について、またホームドア運用の問題や旅客行動についてインタビューを行った。調査時期は 2013 年 12 月～2014 年 2 月である。対象人数は、JR 東日本の運転士 5 名、車掌 6 名、駅社員 3 名、東京地下鉄の運転士 1 名、車掌 1 名である。

5. 調査結果および比較分析

(1) 列車運行への影響比較

a) 停車時分への影響比較

各種ホームドアの停車時分に与える影響を比較するため、到着から車両ドア開扉開始までの時分を図-8 に、車両ドア閉扉開始から出発までの時分を図-9 に示す。前者の時分においてはバー式が最も大きく、ロープ式が最も小さいことがわかる。また、腰高式およびフルハイ

ト式は、ロープ式よりは時分が大きい、バー式よりは時分が小さい。列車運行の面からはロープ式が優位であると言えが、これらの結果の要因を以下に分析する。

b) ホームドアと車両ドアの開扉開始時間差

腰高式、フルハイト式、バー式に付いては列車到着後にホームドアを開扉する運用を行っている。ホームドアおよび車両ドアを開扉させる際、降車旅客のホームドアへの接触を避けるため、ホームドアを開扉した後車両ドアを開扉させている。このホームドアと車両ドアの開扉開始時間差は、腰高式の場合 1.8 秒、バー式の場合は 4.7 秒であった。

腰高式の場合、ホームドアは左右に開閉し、車両ドアの開閉方向と同方向であるため、ホームドアの開扉開始から完了を待たずに車両ドアの開扉開始が可能である。一方バー式の場合、ホームドアは上下に開閉するのに対し車両ドアは左右に開閉するため、ホームドアの開扉が完了した後に車両ドアを開扉している。このため、到着してからホームドアを開扉させる場合、バー式のようにホームドアが上下に昇降する方式では、停車時分の増加がより大きくなる傾向になる。

c) ホームドアの開閉タイミング

ドアが上下に昇降する方式のホームドアについて、バー式は到着してからホームドアを開扉させているのに対し、ロープ式は到着前にホームドアの開扉を完了させて

いる。このように、ホームドア開扉にかかる時間を停車時分外に設けることにより、停車時分へ影響を与えない運用を行っている。また閉扉時も同様に、出発後にホームドアを開扉させることにより、停車時分へ影響を与えない運用を行っている。

d) 列車到着前・出発後における安全性の検討

ロープ式におけるホームドア開閉の運用は、停車時分に影響を与えない一方で、ホームドアによる防護が不完全な状態となる。そこで、列車到着前および出発後の旅客安全性について検討を行う。

到着前については、ホームドア開扉開始から列車到着までの時分が 5.2 秒であり、列車が停止位置の約 5m 手前まで進入したときホームドアの開扉が開始した（図-10）。列車到着前に発生しうる事故として、①自殺・転落事故、②触車事故が考えられる。①については、転落が起りえる区間が列車前頭部の 5m のみであるため、ほとんど発生し得ないと考えられる。②についても、列車は減速中であり、大きな事故に至る可能性は低い。

出発後については、列車出発からホームドア閉扉開始までの時分が 4.0 秒、ホームドア閉扉所要時分が 3.1 秒であり、列車が停止位置から約 10m 進行した位置でホームドアの開扉が開始した（図-11）。列車出発後に発生しうる事故として①触車事故、②転落事故が考えられる。①については列車速度は低速であり、支障物センサ

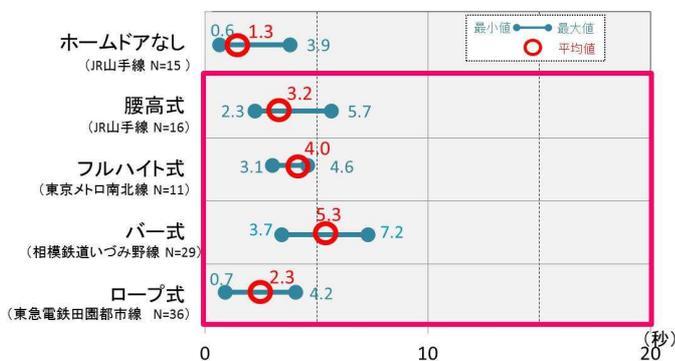


図-8 到着から車両ドア開扉開始までの時分



図-10 ロープ式ホームドア開扉開始時

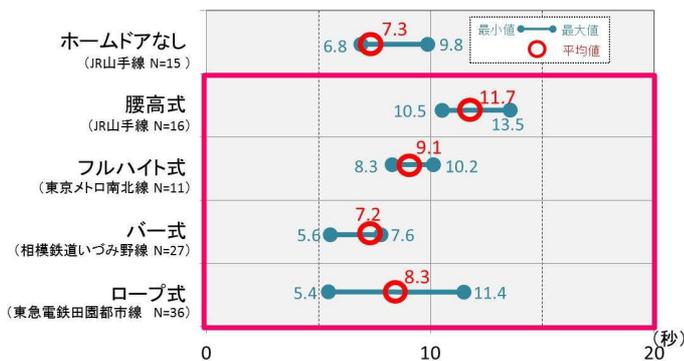


図-9 車両ドア閉扉開始から出発までの時分



図-11 ロープ式ホームドア閉扉開始時

が列車付近の旅客を検知し列車停止の警報を発するため、大きな事故には至らないと考えられる。②については、転落が起こり得る区間が列車後尾部の10mの区間であり、発生の可能性は低いと考えられるが、より安全性を高める方策として極力早く閉扉できるように列車を検知するセンサの改良や、ホームドア閉扉速度上昇などが考えられる。

(2) ホームドア昇降に対する安全性：近接センサ

バー式およびロープ式は昇降する方式のホームドアであり、昇降に対する旅客の安全性確保のため近接センサが柱部に設置されている。例えばバー式の場合、バーの上昇中に近接センサに支障した場合動作が一時停止し、支障が解除されると低速で再開する(図-12)。また、下降前に近接センサを支障している場合はホームドアは動作せず、支障解除により開扉が開始される(図-13)。このように近接センサによる昇降の制御は、昇降に対する安全性の確保という視点からは必要である一方、センサ支障によるホームドア開扉および開始遅延が発生し、結果として列車遅延を発生させる可能性がある。この課題に対しては、列車進入時および進出時にホームドアから離れるよう旅客に周知を行う必要があると考えられる。

(3) バー式とロープ式の防護効果の比較

バー式とロープ式は可動部が昇降する方式のホームド

アであるが、メーカーへのヒアリングに基づき考察する。

ロープ式は上下2段のロープのスクリーンが約60mmの奥行き差をもって2列に配列されている。下段のロープが軌道側に配置されており、足が掛け難い構造となっている(図-14)。またロープは鉛直荷重により大きいたわむため乗り越えに対しバランスがとり難く、身体能力がよほど高くない限り乗り越えることが不可能である。またロープが降りた状態では下端部の隙間が150mmであり、潜り抜けることが不可能である。よって、ロープ式は故意的または過失的な乗り越えが困難であると考えられる。

一方、バー式は鉛直荷重によるたわみは小さく、意図的な乗り越えが容易である。また下端部の隙間が500mmである(図-15)。このため子供や酔客に対する過失転落の可能性が否定できない。よってバー式は故意的な乗り越えや過失的な転落に対しては課題が残る。ホームドア設置によりどのような事故を防止するかは鉄道事業者の判断によるが、バー式ホームドアの安全性を高める方策として、軌道側下端部のセンサ支障時には大きな警告音を発することや、駅への警報などの仕組みが必要である。

(4) 費用概算比較

メーカーへのヒアリング結果に基づき、既設路線への一駅あたりの設置費用(図-16)と設置から60年間の費



図-12 近接センサ支障による開扉停止の様子

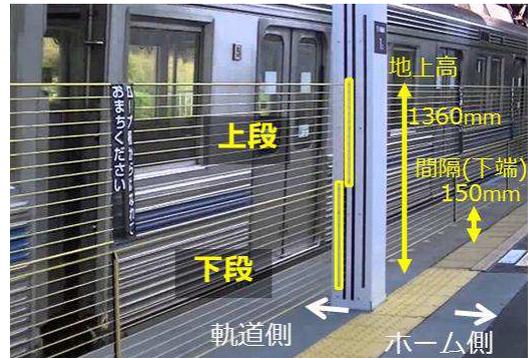


図-14 ロープ式ホームドア概要



図-13 近接センサ支障による閉扉停止の様子



図-15 バー式ホームドア概要

用累積（図-17）を概算し比較する。算出条件を表-3に示す。比較するホームドア種別は腰高式、バー式およびロープ式である。フルハイト式は既設路線への設置は駅ホームの大きな改良を伴う場合が多いため、また戸袋移動式は本体価格が既往の腰高式を大きく上回ると想定されるため、検討から除外した。

設置費用については、腰高式、バー式、ロープ式の順に費用が安くなる傾向がある。腰高式は、定位置停止装置などの信号システムの改良が必要であるため、これらを必要としないバー式およびロープ式と比較して、追加的な費用が発生する。また、ホーム補強などの基礎工事費については、腰高式は重量が比較的大きくホーム端部全体に補強が必要であるのに対し、バー式およびロープ式は補強を要するのは柱部位置のみであるので、比較的安価となる。加えてロープ式は柱部スパンが10mであるのでスパンが3~5mのバー式よりも安価となる。本体価格については、腰高式は近年価格低下傾向にあること、バー式およびロープ式は技術開発中の段階であるが、ヒアリング結果より、バー式は腰高式と同等かそれ以上となり、ロープ式は腰高式より安価になる傾向があることが分かっている。

費用累積については、どの経過年数においてもロープ式が最も小さくなる傾向にある。腰高式およびバー式は車両ドア位置ごとにホームドアを開閉するのに対し、ロープ式は20mの区間まとめて開閉するため駆動部の数少ない。これにより、駆動部の部品取替えにかかる費用が小さくなる。また季節ごとにロープのテンション調整が必要であるが影響は小さい。

総合的に考えると、費用面からはロープ式が優位であるが、桁式ホームの場合バー式はホーム補強工事が不要であるため、設置費用の面では競争力があると考えられる。

(5) 旅客行動への影響

a) ホームドアへの接触

観測調査より、JR山手線大塚駅にて腰高式ホームドアの戸袋部に手をかけて乗車待ちをしている高齢の旅客が確認された。また、高田馬場駅では夜の時間帯において、酔客と思われる旅客がホームドアにもたれかかっている様子が確認された(図-18)。またその他にも、東京地下鉄南北線四ッ谷駅ではフルハイト式ホームドアに対して上半身を寄りかけて乗車待ちしている様子が確認された。またインタビュー調査では、設置から日数が経過するとホームドアに対する慣れにより、身を乗り出すなどの大胆な行動をとる旅客が増えるとの意見もあった。

b) 狭隘箇所における乗車待ち

狭隘箇所においては、ホームドア設置前は、階段等の壁側に一列に並んで乗車待ちを行う様子が確認された。

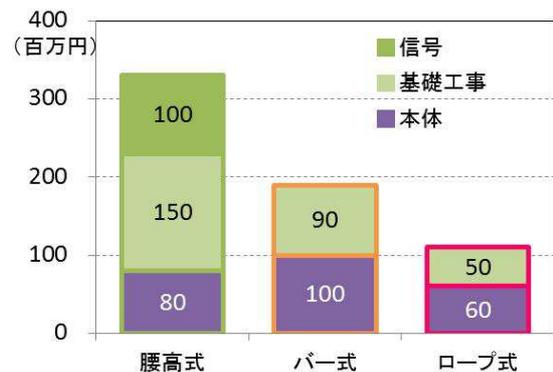


図-16 累積費用比較 (1駅あたり)

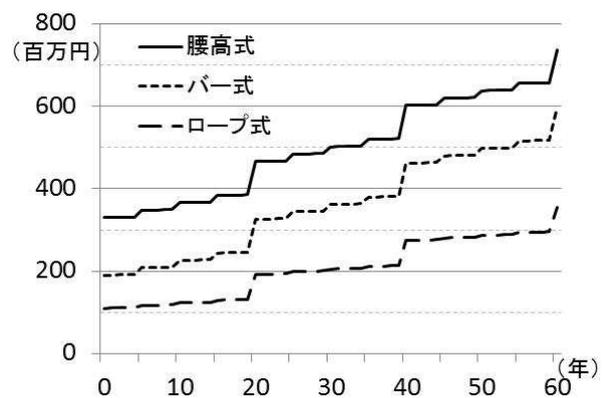


図-17 累積費用比較 (1駅あたり)

表-3 算出条件

ホーム形式	盛土式
列車編成	10両
車両長	20m
ドア数	4扉
定期検査	月1回、年1回
更新	20年ごと
駆動部 部品取替え	5年ごと

一方腰高式ホームドア設置後は、壁側に並んで乗車待ちを行う旅客がある程度増えると、新たにホームドア側へ接近して乗車待ちを行う様子が確認された(図-19)。

またフルハイト式ホームドアが設置されている東京地下鉄南北線の事例では、狭隘箇所においては、壁側に並んで乗車待ちする場合と、ホームドアに沿って並ぶ場合が確認された(図-20)。ホームドアに沿って乗車待ちをする様子は腰高式では確認されず、フルハイト式における特徴であると言える。

c) ホームドアへの近接に対する課題

既往の腰高式やフルハイト式の場合、旅客がホームドアへ近接しても、大きな輸送上の問題は発生しなかった。

これに対し、バー式やロープ式の場合は近接センサが設置されている。列車進入時これを支障すると列車遅延などの原因となる。バー式やロープ式を設置した場合、安定的な列車運行を行うための方策として、ホームドアへ接近しないよう駅社員による周知の徹底や、センサ支障時に大きな警告音を発するなど、ホームドアから離れるよう旅客への習慣付けが必要であると考えられる。

6. 導入における課題の抽出と改善策の提案

(1) 概要

前章までで得られた結果を元に、様々な特性の路線に対して各種ホームドアを導入する際の課題と改善策について考察を行う。それぞれの特性における命題を示した後、既存路線への導入可能性の高い腰高式、バー式、ロープ式の導入について考察を行う。

(2) 列車過密線区へのホームドア導入

ホームドア設置により停車時分の増加が発生する場合があるため、現行の輸送力を維持できるかどうか課題となる。

a) ロープ式ホームドア

到着前に開扉または出発後に閉扉させることにより列車運行へ影響を与えない運用が可能である。このため、列車本数の維持が可能である。

b) バー式ホームドア

バー式は停車時分の増加が発生する。このため列車本数の維持は場合によっては出来なくなるが、極力影響を与えないようにするため、ホームドアと車両ドアの開扉開始時間差を短縮する必要がある。このためには①ホームドア開扉速度を上げる、②開扉開始時間差を詰める、などの改善が必要である。①については、開扉速度を上げるとモーターへの負荷や旅客への安心感の低下につながる恐れがあるので、最適な速度の検討が必要である。②については、時間差を設定する場合は追加的な信号設備が必要であり設置費用が増加する可能性がある。

また、ロープ式およびバー式ホームドアに共通する課題として、列車運行への影響を抑えた運用を行なったとしても近接センサ支障による開閉遅延が頻発する可能性があり、結果的に列車遅延を発生させることとなる。これに対する改善策として、乗車前はホームドアに接近しないように、降車後はホームドアから速やかに離れるように旅客への周知徹底が必要となる。

c) 腰高式ホームドア

停車時分の増加が発生する。このため列車本数の維持は場合によっては出来なくなるが、極力影響を与えないようにするため、ホームドアと車両ドアを同時に開閉さ



図-18 ホームドアへの接触（腰高式）



図-19 狭隘箇所における乗車待ち（腰高式）



図-20 狭隘箇所における乗車待ち（フルハイト式）

せるたり、列車到着前にホームドアを開扉するなどの工夫が必要である。

(2) 地方路線へのホームドア導入

地方路線は一般的に列車本数が少なく、乗降客数も少ない一方で、ホームドア設置により多大な設置および長期的費用が発生するため、設置する場合は、費用を極力抑える運用を行う必要がある。

a) ロープ式・バー式ホームドア

列車本数が少ないため、ホームドア設置による停車時分の増加が列車運行上大きな問題にならない場合がある。

このことから、到着前および出発後に自動開閉するための列車検知センサや測距カメラを設置せずに、車掌によるホームドア開閉を行うことにより、設置費用を下げる事が可能である。

b) 腰高式ホームドア

開口部を広くとることにより、TASCなどの定位置停止のための信号システム整備および車両改良を省略し、運転士の技量に頼った列車運行を行うことにより、費用を下げる事が可能であると考えられる。またホームドアと車両ドアの開閉を連動させるシステムの整備を省略し、車掌によるホームドア開閉を行うことにより、設置費用を下げる事が出来ると考えられる。

c) ホームドア種別の検討

費用比較により、極力費用を抑えるにはロープ式が優位であると考えられるが、ホーム構造が桁式の場合はバー式がより安価になる可能性があるため、既存のホーム構造とホーム補強費を考慮した上でホームドア種別を検討する必要がある。

(3) ワンマン運転におけるホームドア導入

ホームドア設置を契機にワンマン運転を行う場合、列車進入時および進出時の旅客安全性が確保できるかが課題となる。

a) ロープ式・バー式ホームドア

列車出発後にホームドアの開扉をする場合、列車出発時の安全性をより高めることが求められる。センサ支障時に急停止できるように、ホームドアのセンサ支障を運転士側に警告する仕組みが必要である。また列車出発後に極力早く閉扉ができるように、列車を検知するセンサの改良が必要である。

また、停車時分の増加を許容して列車出発前にホームドアを開扉させる運用も考えられる。この場合、出発時の安全性の確保は可能であるが、ホームドア閉扉所要時分を短縮するために、閉扉速度を上昇させる、ホームドアと車両ドアの開扉開始時間差を詰めるなどの工夫が必要である。

b) 腰高式ホームドア

現行の運用のとおり、列車出発前に閉扉させる運用を行うことにより、出発時の安全性の確保は可能である。

c) 共通の課題

ワンマン運転を行うにあたりホーム上の安全監視が重要となる。ホームドア設置により、旅客乗降の確認に影響を与える可能性があるため、カメラ位置の変更や増設を検討する必要がある。

7. 結論と今後の展望

(1) 結論

本研究は各種ホームドアの特性を明らかにした上で、導入における課題の抽出と改善策の提案を行った。本研究により以下のことを明らかにした。

バー式は腰高式と比較し、到着から車両ドア開扉開始までの時分が大きい。これは降車旅客のホームドアへの接触をさけるためにホームドアと車両ドアの開扉および閉扉の開始に時間差を設けているためであり、開口部が上下に昇降するバー式はホームドアが完全に開扉した後には車両ドアを開扉させていることによる。一方ロープ式ホームドアは、列車運行に影響を与えない運用が可能であるが、列車出発後の旅客安全性を向上させるため、極力速やかにホームドアを開扉させることや、列車最後部のホームドアを先に閉扉させるなどの工夫が必要である。

ホームドアを設置することにより、ホームドアへ接触するあるいは寄りかかる旅客が新たに発生する。また狭隘箇所においては、ホームドア設置前は壁側一列に並んで乗車待ちを行っていたが、ホームドア設置後はホームドア付近で乗車待ちを行う旅客も発生する。バー式とロープ式の場合、ホームドアの昇降に対して旅客の安全を確保するために近接センサが設置されているが、これを支障することによりホームドアの開閉が遅延し、列車遅延発生の原因となるため、旅客がホームドアに接近しないように駅社員等からの周知徹底が必要である。

ロープ式は意図的および過失的な乗り越えが困難であるのに対し、バー式は、子供や酔客などの過失的な転落に対しては課題があり、下端部センサ支障時に駅へ警報するなどの運用が必要である。設置費用および費用累積の面からは補強箇所や駆動部が少ないロープ式が優位であるが、桁式ホームの場合、バー式はホーム補強が不要な場合があり、設置費用が安価となる可能性がある。

バー式とロープ式を設置した場合のワンマン運転においては、列車出発時の安全性確保のため、ドア開閉運用を工夫することやホームドアのセンサ支障を運転士側に警告する仕組みが必要である。

(2) 今後の展望

新方式のバー式およびロープ式ホームドアについて、比較的乗降が多くホーム上が混雑している駅においては既往のホームドアの設置による影響と異なる傾向がある可能性がある。このため、混雑駅においてこれらホームドアの列車運行や旅客行動への影響を試験的に確認する必要がある。

また鉄道事業者が設置検討を行うにあたり、費用の検討は非常に重要であるため、今後長期的に運用を行うことで本体や部品の耐久性および必要な検査周期等を明らかにし、各種ホームドア設置の長期的な費用累積を精度良く算出することが望まれる。

謝辞：本研究は、著者である鈴木が政策研究大学院大学所属時に行ったものであり、同大学の稲村肇客員教授、井上聡客員教授には貴重なご意見をいただいた。また本研究を進めるにあたり、東京急行電鉄株式会社、相模鉄道株式会社、東京地下鉄株式会社、東日本旅客鉄道株式会社、日本信号株式会社、高見沢サイバネティクス株式会社、神戸製鋼所(株)には多大なご支援をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省、警察庁、総務省：「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律（交通バリアフリー法）」，2000
(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrier/mokuji_.html)
- 2) 国土交通省、警察庁、総務省：「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（バリアフリー新法）」，2006
(<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/index.html>)
- 3) 国土交通省：「ホームドアの整備促進等に関する検討会」中間とりまとめ，2011
(http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000017.html)
- 4) 国土交通省：「ホームドアの設置状況」，2013
(https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000022.html)
- 5) 笹本潔，百本暁生，小林五月：駅におけるお客様の安全に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.819-820，1992年8月
- 6) 河合邦治，青木俊幸，大戸広道，薄田勝典，佐藤隆：利用制約者に配慮した鉄道駅の計画に関する研究 その1 固定式ホーム柵，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.705-706，2000年9月
- 7) 山本昌和，青木俊幸，佐藤敏彦：可動式ホーム柵が旅客流動に与える影響 —試験ホームでの乗降実験—，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.941-942，2003年9月
- 8) 山本昌和，青木俊幸，大戸広道，薄田勝典，佐藤隆：鉄道駅ホーム狭隘部の旅客流動に関する研究 その1 狭隘部旅客流動試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.703-704，2002年8月
- 9) 青木俊幸，山本昌和，大戸広道，薄田勝典，佐藤隆：鉄道駅ホーム狭隘部の旅客流動に関する研究 その2 狭隘部旅客流動のモデル化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.705-706，2002年8月
- 10) 上水流友望，富井規雄：マルチエージェントモデルによるホームドアのある新幹線ホーム上の旅客流動シミュレーション，電気学会交通・電気鉄道研究会資料，巻：TER-13，号：42-50,52-53，pp.39-44，2013年9月
- 11) 仮屋崎圭司，日比野直彦，森地茂：都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.27，pp.871-879，2010
- 12) 宮崎一浩，日比野直彦，森地茂：路線の特性に着目した都市鉄道における列車遅延分析，政策研究大学院大学修士論文，2013.6
- 13) 釜瀬立哉，本廣竜三：山手線ホームドアの整備，日本鉄道施設協会誌 No.51，pp.18-20，2013.10
- 14) 佐藤公一：ホームドア昔話東京メトロ南北線ホームドア事初め，鉄道車両と技術，No.160，pp.15-19，2009.12
- 15) 小林俊之：高見沢サイバネティクス昇降式バー式ホーム柵の開発，鉄道車両と技術，No.207，pp.14-16，2013.11
- 16) 中山利宏：日本信号が提案する昇降式ホームドアについて，鉄道車両と技術，No.203，pp.16-19，2013.7
- 17) 古河誉章，須田義大：新方式可動式ホーム柵の提案とその評価，可能性，鉄道車両と技術，No.160，pp.2-4，2009.

COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS PLATFORM DOOR SYSTEMS FOR RAILWAY

Ryo SUZUKI

Platform Doors systems is an effective tool in the prevention of fall onto the rail tracks and accidental contact. The development of the new type platform doors is carried out, and field test is conducted toward introduction. The objective of this study is to clarify effects of platform doors equipment on passenger's behavior and train operations and issue of introduction the platform doors including the new type. The observational and interview research in site have revealed the difference of passenger's behavior between with and without platform doors, and the effects of each type platform doors on train stoppage time. Issues of introduction and operation of bar and rope type platform doors is clarified.

Key Words : platform door, passenger's behavior , train operation, train delay, bar type, rope type,