

ホームドア実導入に向けた 研究開発



齋藤 修*



小山田 美和*



志摩 修治*

当社の在来線では初となる可動式ホーム柵（以下「ホームドア」という）の山手線への導入が決定し、先日、先行導入駅である恵比寿駅（6月26日）、目黒駅（8月28日）において無事稼働開始となった。今回、稼働に至る前段で取組んだホームドア実導入に向けた研究開発について紹介する。本研究開発では1両分のホームドア試作機を製作し、安全性などさまざまな検証を実施している。本研究成果を先行導入機の仕様で反映することにより、実導入時の運用に問題がないことを確認した。

●キーワード：ホームドア、安全対策、監視システム、予兆システム、センサー

1. はじめに

当社は会社発足以来「安全」を経営の最重要課題とし、お客さまに安心してご利用いただける鉄道システムづくりに取り組んでいる。ホームにおける安全対策としては、これまでに列車非常停止警報装置や転落検知マットなどの整備を行ってきたが、近年、ホームにおける安全についてのお客さまからのご期待が高まっていることを受け、「グループ経営ビジョン2020-挑む-」において、山手線へ在来線では初となるホームドアの導入に取り組むことを発表した。ホームドアは、プラットフォーム上の線路に面する部分に設置し、車両ドアの開閉に合わせて可動する開口部を持ち、ホームと線路を仕切ることでホームからの転落や列車との接触などの事故防止を目的とした安全設備である。すでに他社で導入されているが、今回導入する山手線は日本最大の混雑線区であることや、屋外環境が多いこと、車両数も11両と多いことなどから、いままでは導入実績のあるホームドアよりもさらに高い安全性、信頼性が必要となった。そこで今回、山手線への実導入に向けて試作機を製作し、各種安全性・信頼性の検証を実施した。

2. 山手線ホームドア試作機の概要

2000mm開口のホームドア3扉と、車両の違いによるドアピッチのずれを解消した2900mm開口ホームドア1扉の合計4扉（列車1両分）の試作機を製作した。2000mm開口扉は、ホームと車両の隙間があらかじめ確認できるように大きなガラスの扉を採用している。また、扉と扉の間の戸袋部には、異常時などに開放しホームへ避難できる緊急脱出口を設置した。さらに、試作機にはホームドア3次元安全センサー（本誌「ホームドア3次元安全センサーの開発」参照）やホームドアの状態を常に監視し、監視や統計データの解析により故障に至る前に予兆が把握できる予兆監視システム（図1）など、並行して開発を行った各種開発品も組んでいる。そのほか、ホー

ムドアシステム全体を制御する総合制御盤、乗務員および駅係員操作盤、ホームドアの状態を知らせる状態表示板の開発・製作を行った。

製作したホームドア試作機は、研究開発センター敷地内に実際の駅と同様にPC板の仮設ホームを製作し、据付時の検証も行い設置した。（図2）

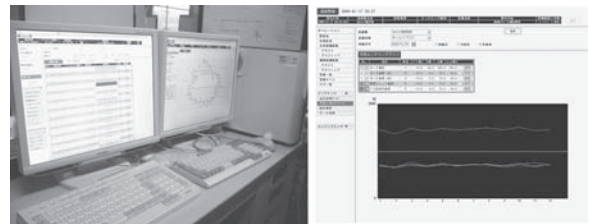


図1 監視システムと予兆データ画面



図2 ホームドア試作機設置状況

3. ホームドア試作機による検証試験

ホームドア試作機により各種検証試験を実施した。試験項目を大きく下記7つに分類し、追加試験を含めた全216項目の試験を実施した。試験期間中は適宜関係者を招集し、試験結果の確認や追加試験の必要性など議論しながら進めた。

3.1 ホームドア開閉試験

ホームドア導入にあたっては、特に列車運行への影響を最小限にしながらか、いかにお客さまの安全を確保できるかが重要となる。本試験ではドア開閉において想定されるさまざまな問題点（ドア開閉による引込み・戸当りなど）の検証と、その対処・防止策を検討し最適な開閉速度・タイミングを選定した。

3.2 ユーザーによる使い勝手確認試験

ホームドアは安全と輸送影響の両面に関わる設備である為、導入後、操作性などが悪いと特に大きな影響が起こってしまう。本試験ではユーザーである駅社員や乗務員など多くの関係者に機器を説明し、実際に使用してもらった。その際、寄せられた意見をそれぞれ検討し、先行導入機の仕様への反映や視認性確認試験などの追加試験を行った。(図3)



図3 ユーザーによるヒアリング状況(乗務員)

3.3 ラッシュ時の想定試験

山手線へのホームドア導入にあたっては、特に混雑するラッシュ時の影響が懸念される。本試験では被験者により混雑状況(乗車率250%)を再現し、ラッシュ時や駆け込みなどを想定した検証を行った。(図4)



図4 ラッシュ時の想定試験状況

3.4 異常時の想定試験

火災やホームドアが故障した場合などの異常時は、条件により非常解除スイッチや緊急脱出口をお客さまが使用して降車することとなる。本試験ではホームドアを初めて使用する被験者を集め、異常時を想定し、さまざまな車両停車位置からの降車を行い、スムーズに降車できるか、問題はないかなどの確認を行った。(図5)



図5 異常時の想定試験状況

3.5 ホームドア安全センサー試験

本試験概要に関しては、「ホームドア3次元安全センサーの開発」において詳しく紹介する。

3.6 メンテナンス関係試験

機器の故障を再現した検証や予兆モニタリングの有用性の確認試験などを実施した。

3.7 ホームドア本体耐久、耐環境試験

実運用で発生しうる環境上などの諸問題に対し、本体が耐えられる構造であるか、お客さまが安全に利用できるか、対策を施すべき欠陥がないかなどの検証を実施した。具体的には、停電時の動作検証やノイズ調査、筐体塗装試験、絶縁試験、ガラス破壊試験などを実施した。

4. 主な試験結果

以上のように、今回、実導入に向けさまざまな検証を実施した。その中から主な試験結果の一部を紹介する。

4.1 ホームドア開閉試験

ホームドアの開閉速度は、引込み(開く際の戸口隙間への引込まれ)、戸当り(閉まる際のドアへの衝突)など開閉時の安全性の検証により決めている。また、車両との開閉タイミングは降車時の安全性を考慮し決定した。

4.1.1 ホームドアが開く際の安全性

ホームドアの戸口の隙間は4mmとしており、財団法人製品安全協会の「乳幼児の身体の挟まりを防止する為の規定」における危険な隙間(5mm以上13mm未満)とならない隙間となっている。しかし、検証により、子どもの小さな指が押しつぶされると隙間に入り込んでしまうおそれがあることが判明した。また、その際は検知機能によりドアが反転するのだが、反転するまでには非常に強い圧力がかかってしまうことがわかった。したがって、引込まれた後の対策よりも、戸口の隙間を限りなく狭くして指が入り込まないようにする構造上のさらなる対策が必要となった。そこで、車のパワーウィンドウのゴムを参考に、(図6)のように三角状のゴムを戸口に取付け隙間を狭くすると、指がゴムの上に乗ることで引込み防止効果があることが確認できた。よって、実導入機には(図7)のゴムを取付けている。

国土交通省の「公共建築工事標準仕様書」において、自動ドア開閉装置における開く速度は500mm/s以下と定められている。戸口ゴムの効果により危険性が減ることにより、開く速度はこの規定内の最速値で問題がないことが確認できた。

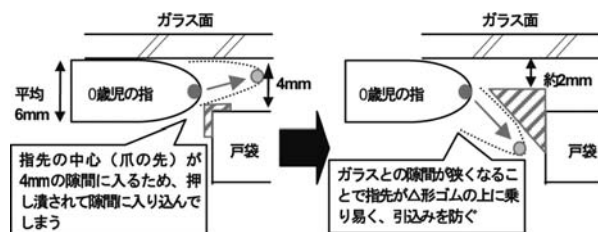


図6 戸口ゴム形状変更による効果

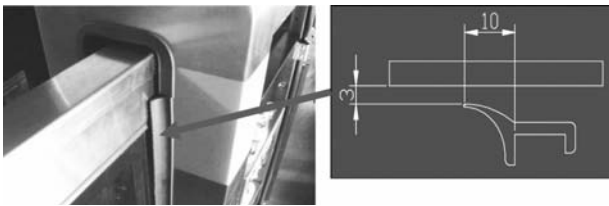


図7 実導入時の戸口ゴム

以上の試験により決定した各種速度により、ホームドアが開く時間は2000mm開口で2.5秒、2900mm開口で3.9秒かかることが判明した。

4.1.2 ホームドアが閉まる際の安全性

ホームドアが閉まる際の安全性に関しては、各速度におけるドアにぶつかった際の衝撃値を測定し、アメリカの国際規格である「電動ゲート・ドアに関する規格」(UL325)に規定されている上限値9.5J以下となる最速値を選定した。そして、お客様の安全を確保しつつ、輸送影響を最低限にできる閉まる速度を設定した。

この閉まる際の戸当り試験結果により決定した各種速度によりホームドアが閉まる時間は2000mm開口で3.4秒、2900mm開口で5.5秒かかるということが判明した。

4.1.3 ホームドアと車両ドアの開閉タイミング

山手線へのホームドア設置に伴い、列車を定位置に停車させるTASK (Train Automatic Stop Control) というシステムが導入される。このTASKの停止精度を考慮し、ホームドアは車両ドアよりも広い寸法となっている。よってホームドアと車両ドアを同時に開閉すると、場合によってはお客様がホームドアにぶつかってしまうおそれがあった。本試験では開閉タイミングを細かく設定し、ぶつかることのない最適なタイミングを検証した。

開く際は、車両ドアが開いてすぐに降車したお客様がまだ開ききらないホームドアにぶつかってしまうおそれがあった。この検証は開口の広い2900mm開口で、一番ずれて停車した際に、さらに駆け降りるといった一番厳しい条件で検証を行った。その結果、先にホームドアが開き始めてから1.6秒後

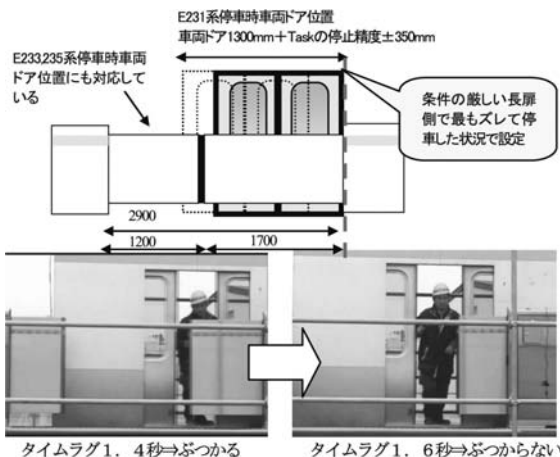


図8 開く際のホームドアと車両ドアのタイムラグ

に車両ドアが開き始めると、駆け降りてもぶつかることがないことが判明した。(図8)

同様なことが閉まる際にも想定され、車両ドアが閉まりきる直前に駆け降りたお客様が閉まりきる前のホームドアにぶつかるおそれがあった。こちらは条件の厳しい開口の狭い2000mm開口で実施した。結果、車両が先に閉まり始めてから1.0秒後にホームドアを閉め始めると駆け下りてもぶつからないことが判明した。(図9)

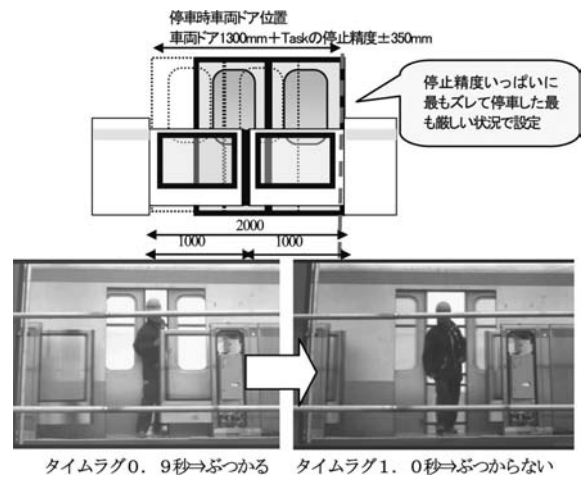


図9 閉まる際のホームドアと車両ドアのタイムラグ

4.2 ユーザーによる使い勝手確認試験

ユーザーへのヒアリングによりさまざまな意見を聞くことができたが、特に、ホームドアが設置されると駅係員やITVカメラ、背の低い乗務員などからどのような死角が発生するのかを事前に把握したいといった視認性に不安があるという意見が多く寄せられた。そこで、現実世界と仮想世界を融合させるキヤノン株式会社のMixed Reality (複合現実感) 技術を活用した。この技術により、CGで描かれた仮想物体(ホームドア)が、ごく自然に現実空間(ホーム上)に設置した状況が見える。今回、恵比寿駅、目黒駅でホームドアが設置される前に、ホーム上において検証を実施した。その結果、違和感無くあたかもホームドアが設置された状況が再現でき、設置前の事前検討に有効に活用可能であることがわかった。(図10)

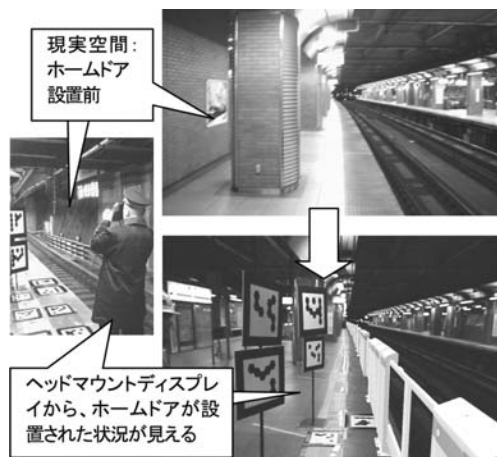


図10 恵比寿駅、目黒駅での視認性検証状況

4.3 筐体塗装試験

ホームドアの電位差対策は絶縁プレートと絶縁塗装により行っている。山手線は屋外環境で日の当たる箇所が多数ある為、直射日光により、筐体表面・内部温度が高温となることのないように検証を実施した。その結果、試作機で採用していたステンレスヘアライン+クリア塗装では、筐体表面が非常に高温（60℃以上）となることが判明した。検証により温度上昇の原因は材質や板厚ではなく塗装の影響が大きいことが判明し、白系の塗装により温度低下が確認された。しかし、白系の塗装は温度が低下する反面汚れが懸念される。引続き夏場に試験片でどのくらい色を濃くすることができるか、また、並行して駅フィールドでどのくらい汚れが発生するかを調査し、最適な塗装色を決定した。（図11、12）

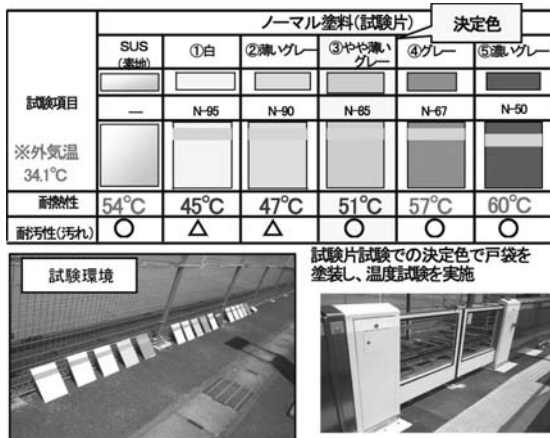


図11 試験片による温度試験

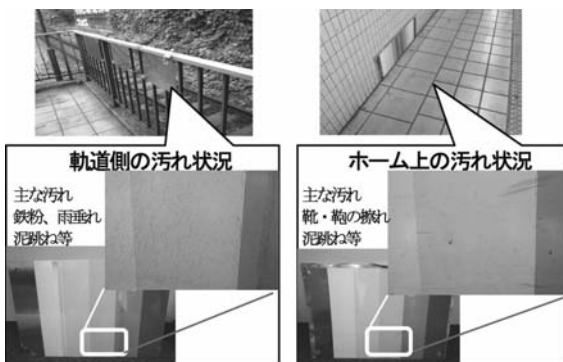


図12 目黒駅における汚れ試験

5. その他取組み

ホームドアに関しては、実導入に向けた検証以外にも並行してコストダウン件名などさまざまな取組みを実施している。その中から現在取組んでいるホームドア用建築限界測定器の開発について紹介する。

山手線へのホームドア導入に伴い、ホームドア本体・安全センサーボックスなどが、ホーム端部の車両に近い建築限界に隣接して設置されることから、設置後は定期的に建築限界を管理する必要がある。しかし、その建築限界測定作業は、ホーム端設置のホームドア裏面という狭隘箇所を夜間に転落

を気にしながら確認することとなり、さらに、ホーム片側約230mと広範囲を終電から始発までの短時間に1ヶ所ずつ手作業で精度良い測定をするのは難しく、従来の方法では非常に労力のかかる作業となる。そこで、ホームドアの建築限界を短時間で自動測定・確認可能なホームドア用の建築限界測定器を開発している。線路上を転がし、一定間隔で測定する装置はすでにあるが、今回の開発はホームドア裏面の凹凸をレーザ変位センサーで監視し、測定箇所を自動判別して測定できるものとなっている。現在、実測値と比較した測定誤差が±1mm未満という目標で取組んでいる。（図13）

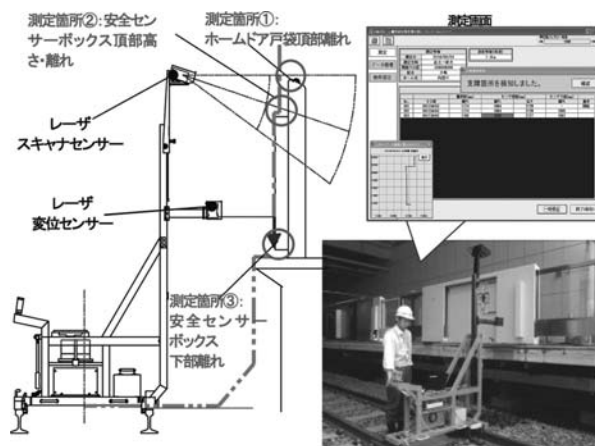


図13 ホームドア用建築限界測定器

6. おわりに

以上、ホームドア実導入に向け実施した検証試験、取組みの一部を紹介したが、そのほかにもさまざまな検証を実施し、先行導入機仕様へ反映することで、運用に問題がないことを確認している。その後、稼働開始となった恵比寿駅、目黒駅で技術的な課題や列車運行に与える影響などを引き続き検証し、3駅目以降の仕様へ反映して山手線全駅に整備を進めていく予定である。また、本試作機は先日完成したSmart Station実験棟へ移設している。この施設はホームや車両などを設置した実際の駅環境と同様の施設であり、今後は実駅ではできない車両を用いた検証などのさまざまな検証を行っていく。（図14）

ホームでの安全に関しては利用者からの要望が特に高く、ホームドアが導入されたことで、安心して利用できるという意見を多くいただいている。今後もより良い設備が提供できるように引き続き取組みを実施していく。



図14 恵比寿駅設置状況、SmartStation設置の試作機