

ホーム検知装置の開発



和田 智樹*



石井 圭介**

列車からの旅客の転落事故を防止するため、超音波センサーを車両に搭載し、センサーからホーム側面に照射する超音波の反射波の有無によりホーム有無の判定を行い、ホームのない場所に列車が停止した際は、車掌スイッチで開扉操作を行ってもドアを開かせない、ホーム検知装置の開発を行った。京浜東北線に導入をしたところ、ホーム側面の状態等による超音波の乱反射によりホームの検知状況が不安定になる事象が発生したため、一部の駅のホーム側面の修繕とセンサーの取付位置の見直しを行った。一方、今後の導入拡大を目指し、ホームの状態に左右されずに安定してホームを検知させるためセンサーに改良を加え、検知状態を一定時間保持する機能を付加した検知時素付ホーム検知装置の開発を行った。

●キーワード：超音波センサー 転落防止 旅客の安全 ドア扱い誤り防止 ヒューマンエラー

1. はじめに

列車の一部がホームから外れて停車した場合や、ホームのない場所で扉が開くと、お客さまが線路上に転落するなど重大事故につながる可能性がある。これを防止するために、列車の最前部と最後部の左右両側に超音波センサーを装備し、最前部と最後部の双方のセンサーから照射される超音波の反射波がある状態でホームありと判定し、乗務員が誤ってホームのない場所でドアを扱っても開かない「ホーム検知装置」の開発を行い、現在京浜東北線209系で使用している。

しかし、ホーム側面の状態等の影響により超音波が乱反射してしまい、ホーム有無の検知が不安定になる事象が発生した。この対策として、京浜東北線では一部の駅のホーム側面の改修を行った。一方、車両側では超音波センサーの取付位置の適正化を図るとともに、ホームの状態に左右されないシステムの構築を目標に、ホームの検知状態を一定時間保持する「検知時素付ホーム検知装置」の開発を行った。

なお、本装置は、ドア扱いに対する安全性の向上に寄与するための支援装置として開発したものであり、本装置の使用はあくまでも乗務員自身が安全確認を行うことが前提である。また、降雪時等の悪環境下では、超音波の性質上、センサーが正常に機能しないこともあり得るため、このような場合には装置を解放して運行を行う必

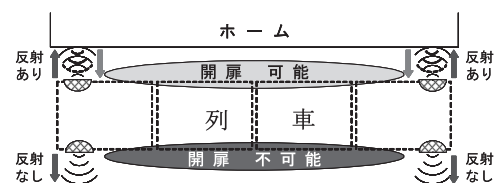
要があるが、その場合でも従来のドア扱いはそのまま行うことを可能としている。

2. ホーム検知装置の概要

2.1 ホーム検知装置の機器構成

ホーム検知装置は、編成の両先頭車両それぞれに設置される超音波センサー（左右各2個、編成で8個）・制御装置（1台、編成で2台）・報知ユニット（左右各1台、編成で4台）の各機器で構成されており、制御装置間は情報伝送用の引通し線で接続され、開扉指令回路からの信号を制御装置に入力するシステムを構成している。図1・2にホーム検知装置の機能とシステム構成の概念図を示す。

正しい停車位置の場合



ホームをはずれて停車した場合

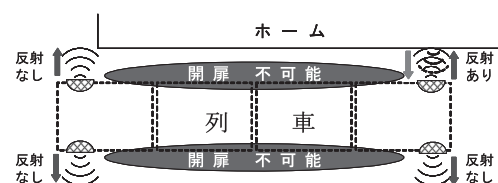


図1 ホーム検知装置機能の概念図

* JR東日本研究開発センター 安全研究所
** 東京支社 東京総合車両センター（前 安全研究所）

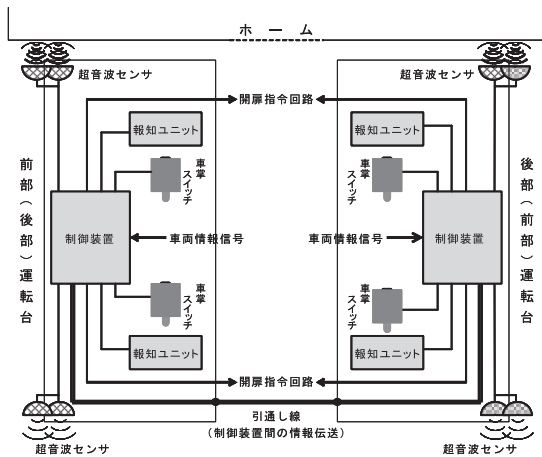
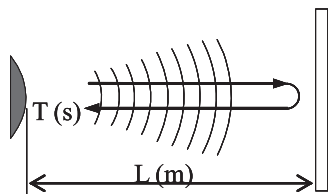


図2 ホーム検知装置構成図

2.1.1 超音波センサー

ホームの検知に使用するため、送受信兼用の超音波センサーを用いて、物体がある場合には送信した超音波の反射波を検知するとともに、送信から受信までの時間を利用して物体までの距離を測定する。距離測定にあたっては、気温の影響による誤差が出ないように、内蔵のサーミスタにより気温を測定し、音速を補正した上で距離を算出する。

距離の算出概念図を図3に、式を式(1)に示す。



$$L = (331.5 + 0.6t) \times \frac{T}{2} \quad [t: \text{気温} (^{\circ}\text{C})] \quad \dots (1)$$

図3 超音波センサーによる距離測定

2.1.2 センサーの検知範囲と設置位置

本開発で使用する超音波センサーは、駅のホームを確実に検知し、さらにそれ以外の物体については検知しないようにするため、図4に示すようにホームだけに対して認められている建築限界内の水平方向約400mm×垂直方向約160mmを検知範囲と定めてセンサーを配置した。そして、水平方向の検知については、検知範囲外の距離からの反射波に対してマスキングを行うことで検知範囲を限定し、垂直方向の検知については、センサーの超音波放射角度が約12度（全角）であることを考慮して、センサーを2個一組として上下方向に並べるような配置として検知範囲を確保している。

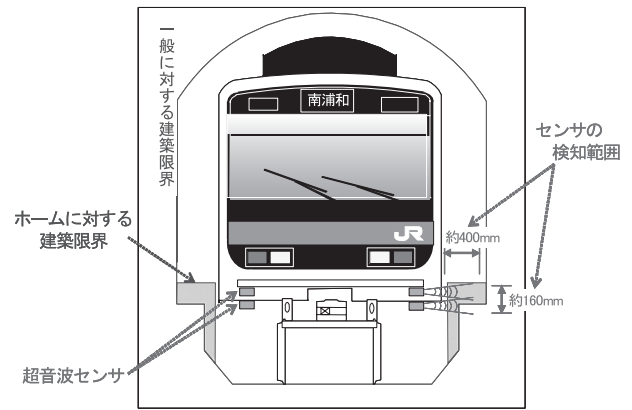


図4 センサーの検知範囲と配置

超音波センサーは、車体前面下部と、若干後方に位置を変えた床下にそれぞれ設置している。

超音波センサーの設置の様子を図5・6・7に示す。



図5 超音波センサー取付け位置



図6 超音波センサー (車体前面下部)



図7 超音波センサー (床下)

2.1.3 ホームの有無の判定と信号出力

設置されたセンサーは、超音波を常時40msの間隔で繰り返し発振し、その反射波が検知範囲内の距離の場合において、制御装置に対して検知信号の出力を行う。

しかし、反射波の検知に合わせてそのまま検知信号を出力すると、ノイズ等の影響も受けて信号のオン・オフが頻発し、出力が不安定となる。そこで、判定直前10回の発振波のうち検知範囲内からの反射波が6回以上あった場合に限り「ホームあり」と判定し、検知信号を出力することにした。図8にホーム有無の判定方法の概念図を示す。

なお、超音波センサーは前述の通り片側につき2個を1組としているが、超音波センサーはそれぞれ独立して判定を行い、検知信号を出力する。最終的なホームの有無の判定は、それら2つのセンサー出力のどちらか1つでもホームありと判定した場合に得られるようにしている。

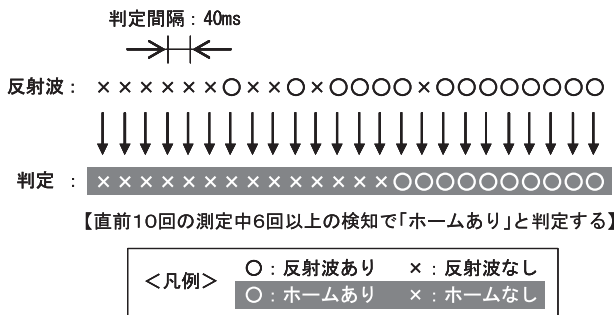


図8 ホームの有無の判定方法

2.2 制御装置

2.2.1 制御装置の役割

制御装置は、前後の先頭車両の運転台背面上部に1台ずつ設置され、相互にセンサーの検知情報等の伝送を行うために車両の引通し線により接続されている（図9）。



図9 制御装置

装置内では、超音波センサーからの検知信号と車両情報に関する信号を取得して開扉の可否を判断し、後述する戸閉め回路の変更により車掌スイッチと開扉指令回路間の回路構成を行う。

このほか、後述する報知ユニットに対して各種信号を出力する役割と、超音波センサーに対して電源を供給する機能を併せもっている。

2.2.2 開扉指令回路の構成

制御装置は、超音波センサーからの検知情報を処理し、編成最前部と最後部の同じ側のセンサーが共に検知信号を出力している条件の成立により、ホームを検知した側の側引戸について開扉可能と判断する。それ以外の場合には開扉不可能と判断する。

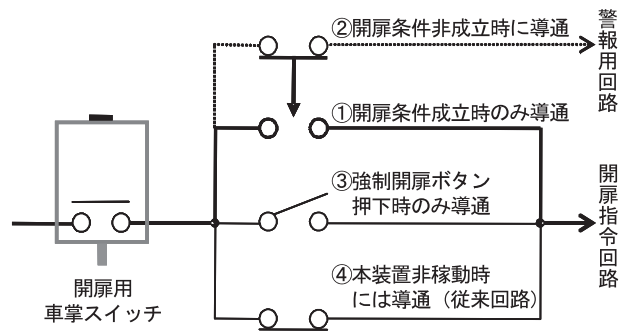


図10 開扉指令回路の概念

(1) 開扉可能と判断している場合：

本装置内で遮断されている車掌スイッチと開扉指令回路との間を導通させる。このときに車掌スイッチで開扉操作を行うと、従来通り開扉指令回路に電流が流れて片側の全ての側引戸が開く。

(2) 開扉不可能と判断している場合：

編成の一部がホームから外れて停車した場合やホームのない場所で誤って車掌スイッチを扱っても、車掌スイッチと開扉指令回路間を遮断し、扉が開かないようにする。合わせて報知ユニットの警報表示灯「ホーム確認」（赤色）と警報ブザー（5秒間鳴動）を動作させる。

(3) 開扉できない条件で開扉する必要がある場合：

報知ユニットの「強制開扉ボタン」を車掌スイッチと併用することにより、遮断されている車掌スイッチと開扉指令回路との間を短絡して開扉させることができる。

(4) 本装置の電源を切っている場合：

本装置内で遮断されている車掌スイッチと開扉指令回路との間が導通し、従来の戸閉め回路の状態に戻る。その結果、車掌スイッチで開扉操作を行うと開扉指令回路

に電流が流れ、従来通りの取扱いで開扉できるようになる。

2.2.3 装置異常時の取扱い

超音波センサーの検知不良や制御装置等のトラブルの発生により、ホームに正しく停車しているにもかかわらず開扉しない場合は、それが一時的なものであれば、前項の(3)に示すように「強制開扉ボタン」を併用して開扉を行なう。また、その異常状態が継続的なものであれば、前述の(4)の示すように本装置の切り離しを行うことにより、ドア誤開扉の支援機能はなくなるものの、従来通りの操作で開扉することができる。

2.3 報知ユニット

報知ユニットは、本装置の車掌用インターフェイス部で、各運転台の左右それぞれの車掌スイッチ付近に設置されている(図11)。

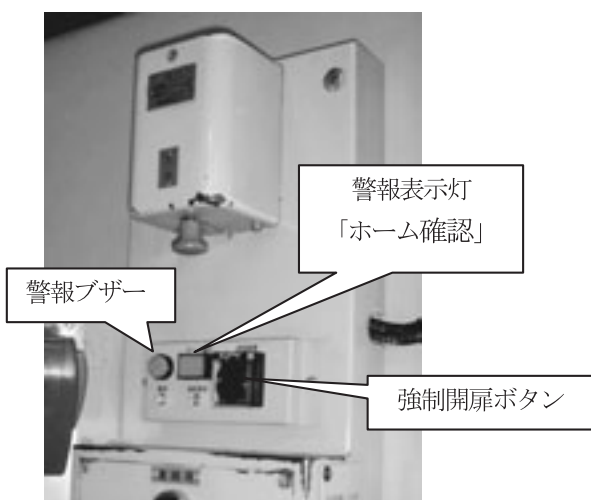


図11 報知ユニット

編成の一部がホームから外れて停車した場合やホームのない場所で乗務員がドア扱いを行ったときに、警報表示灯「ホーム確認」(赤色)と警報ブザー(5秒間鳴動)により警報を発する。

3. 改良型ホーム検知装置の開発

3.1 検知不安定現象の発生

平成16年11月～平成17年9月に京浜東北線209系の2編成を使用して、モニターランを行ったところ、ホーム側面の段差やくぼみ等の影響で超音波が乱反射し(図12)、列車がホーム所定位置に停車している状態であるにもかかわらずセンサーが検知と不検知を繰り返す検知不安定現象が特定駅において発生した。図13に検知不安定現象のイ

メージ図を示す。

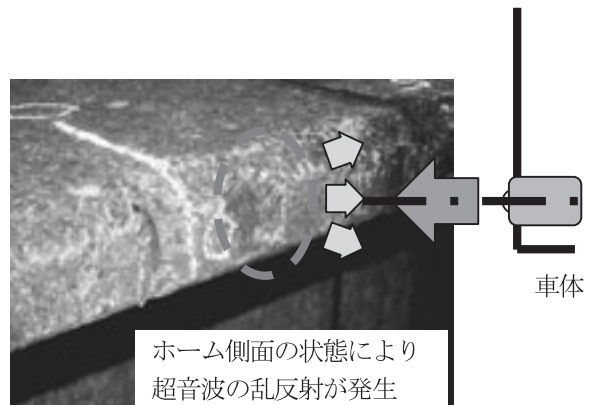


図12 超音波が乱反射するイメージ図

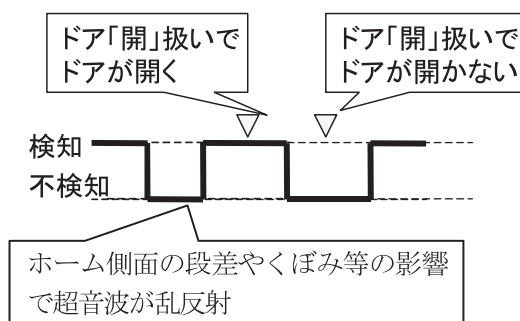


図13 検知不安定現象

3.2 検知不安定現象の対策

検知不安定現象を防止する対策として、地上側においては、発生している特定駅(京浜東北線15駅20箇所)において一部ホーム側面の改修を行った(図14・図15)

また、車両側においては、超音波センサー取付け位置の見直しを行い、変更を行った。



図14 ホーム側面改修前



図15 ホーム側面の一部改修後

3.3 検知時素付超音波センサーの開発

検知不安定現象に対し、京浜東北線においては前述の対策を行ったが、今後の使用線区の拡大を検討すると、ホームの状態によらないシステムを開発する必要がある。

平成16年11月～平成17年9月に実施したモニターランのデータ解析を行い、車掌がドアを扱うタイミングを調査したところ、列車速度が5km/h以下になってから約95%が6秒以内でドア開扱いをしていることが判明した(図16)。そこで、列車速度が5km/h以下になってから6秒以内に発生した検知不安定現象がどの位の時間継続して発生したかを分析したところ、0.5秒以内が約70%、1.5秒以内で約90%の発生であった。また最大では2.8秒程度継続することが分かった(図17)。

検知不安定現象を防止するために、超音波センサーで判定をした「ホームあり」の出力信号を一定時間保持できるように改良した。

また、発車直後に急停止等でホームから外れて停車した際(図18)は、時素の保持時間によってはホームがない場合でも「ホームあり」の出力信号を出してしまうため、許容される時素の最大値を、車体前面～最前位のド

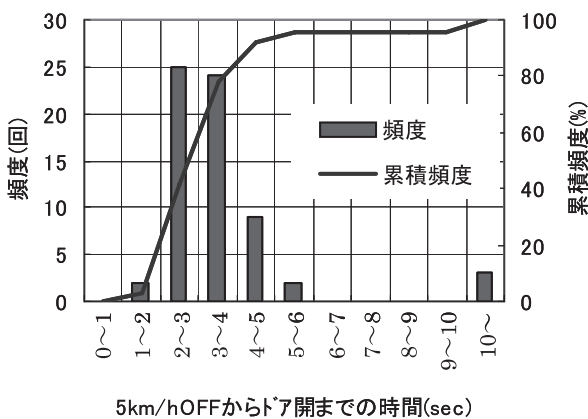


図16 5km/h以下からドア開までの時間と回数

ア端までの距離を最大減速度で停車する値であるとみなし、速度と時間の関係に当てはめて算出した。その結果、京浜東北線に使用している209系に関しては、2秒間は時素の設定が可能であるが、他形式を考慮して最終的に時素を1.7秒と決定した。図19にホーム検知時素の概念図と表1に車両形式別に許容される時素時間を示す。

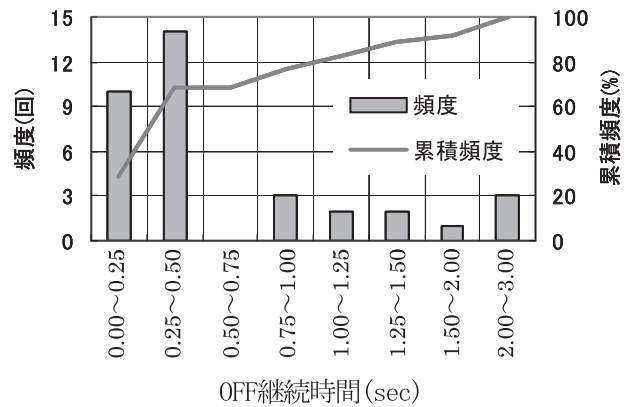


図17 5km/h以下から6秒以内の検知継続時間

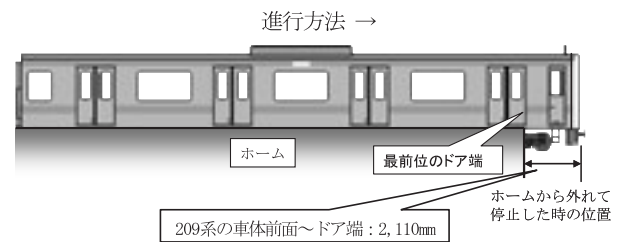


図18 ホームから外れて停車した時の位置

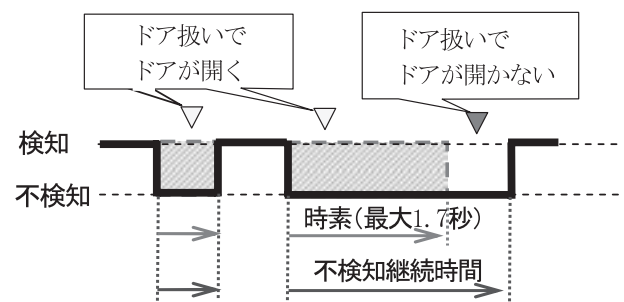


図19 ホーム検知時素

表1 車両形式別許容時素時間

車両形式	車体前面～ドア端までの距離 (mm)	減速度 (km/h/s)	時素許容時間 (s)
209系	2,110	3.6	2.05
205系	1,900	3.5	1.97
211系	2,670	3.5	2.34
E217系	3,020	4.2	2.27
E231系	2,140	4.2	1.91

3.4 検知時素付超音波センサーの検証試験

平成18年8月末から平成19年2月末までの間、山手線E231系（11両編成・東京総合車両センター所属）の2編成に対して検知時素付超音波センサー（図20・図21）と記録装置（図22）を取付けて営業線における検証試験を行った。

半年間における検証試験で、2編成合計約63000駅に停車しており、検知不安定現象は、1回も発生していない良好な結果であった。表2に試験結果を示す。



図20 検知時素付きホーム検知装置（正面）

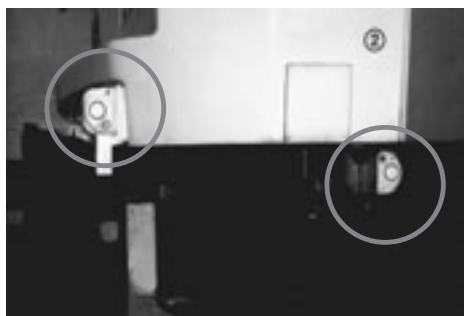


図21 検知時素付きホーム検知装置（側面）



図22 ホーム検知装置用記録装置

山手線における本システムは有効と判明したが、京浜東北線においても、検知時素の効果により検知精度の向上が期待されるため、現在導入が進められている京浜東北線E233系に対して、検知時素付ホーム検知装置の搭載を行っている。

表2 検知時素付ホーム検知装置試験結果

編成	内回り	外回り	検知不安定現象発生回数
502編成	14739駅	19177駅	0回
513編成	14366駅	14837駅	0回

4. 今後の進め方について

これまでは固定編成の通勤型車両に対して、ホーム検知装置の開発を進めていたが、近郊線区等では編成を分割・併合する列車があるため、今後はこれらの列車にも対応ができる装置の開発を目指す。

現行のホーム検知装置では、両先頭車間で情報のやり取りを行い、編成内の車両間でデータ伝送を行う伝送回路を採用してきた。しかし、編成の併合時には両編成のデータ伝送を1つのネットワークに直接統合することはできない仕様のため、編成間の繋ぎ専用のデータ伝送方式を新たに開発する必要がある。このため、採用にはコスト高になる事が懸念されるため、新たにシステムを構築することも視野に検討を行っている。

また、開発したホーム検知装置の評価試験は京浜東北線・山手線の首都圏通勤線において行ってきた。しかし、首都圏近郊線区や地方線区の駅においては、ホーム笠石の状態が悪く、ホームの高さが様々である。これらの線区への導入拡大を進める場合、条件の悪いホームに対して開発した超音波センサーの検知能力を把握する必要があるため、今後首都圏近郊線区において評価試験を行う予定である。

参考文献

畑 弘敏；超音波センサーを用いたホーム検知装置の開発、R&m、日本鉄道車両機械技術協会、2004.1