

1713 戸閉支援装置の開発と運用

○ 中里 祐一 (東京地下鉄)

阿部 勝 (日本車輛製造)

奥村 将也 (日本車輛製造)

村上 英駿 (日車エンジニアリング)

The development and operation of the support system to operating doors

○Yuichi Nakasato, Tokyo Metro, 3-19-6, Higashi Ueno, Taito-ku, Tokyo

Masaru Abe, Nippon Sharyo

Hidetoshi Murakami, Nissha Engineering

In recent years, accidents catching in door often occur. It is necessary to support crew or station staff by a system. The support system which has the detection accuracy exceeds a door close switch by the sensors installed on the doors. The system is installed at one car of Ginza Line 01 series, and estimating on commercial service.

Key Words : Door operating equipment, door accident, door stop rubber, door close switch

1. はじめに

東京地下鉄ではホーム上の安全対策としてホームドアの設置を推進しており、今後とも整備を進めていく次第である。一方で、近年戸挟みの発生が問題となっており、特にホームドア導入線区では顕著となっている。ホームドアの死角となっている部分がある上に、駆け込み乗車への対応に苦慮しているため、乗務員のモニタ監視 (CCTV カメラ移設、増設) とホーム駅係員の監視による負担が増大している。そこで、“戸挟み時の検知機能”と、“駆け込み乗車時の再開扉”に対してシステマ的に対応する必要がある。ホームドア導入線区ではカーテンセンサの導入など地上側の対策も考えられるが、未導入線区でも車両側でできる対策として試験用戸閉支援装置を開発し、実車に搭載した (写真 1)。

事故の未然防止の観点から、戸挟みの発生を確実に認識できることが最優先の課題とし、乗務員の支援装置との位置づけで導入を検討した。

2. 戸挟み検知に有効なセンサ等の選定

2.1 検討したセンサ

弊社ではドアの保安装置として戸閉スイッチを車側灯点灯は 15mm に、知らせ灯点灯は 10mm (一部路線で 10, 5mm) に設定し 10mm 程度の支障物の検知を可能としている。しかし戸先ゴムの潰れにより実際の検知精度はその値より低く、傘や杖程度の幅であっても検知ができていないこともあるため戸閉スイッチの性能向上では対応できない。そこで、靴の紐 (3~6mm 程度) の検知を目標とし、車両に新たなセンサを搭載するにあたり、どのような種類のセンサを採用するか検討を行った。まずは机上にて表 1 のセンサについて検知範囲、最小検知範囲、安全性、耐環境性、施工性、価格について比較検討した。その結果帰型 LED センサ、赤外線センサ、超音波センサ、テープスイッチについて実際に単体試験を行った。

試験結果および車両搭載時の施工性を重視し、最終的には他鉄道事業者で実績のあるテープスイッチとビームセンサを採用し、両者を比較検討することとした。

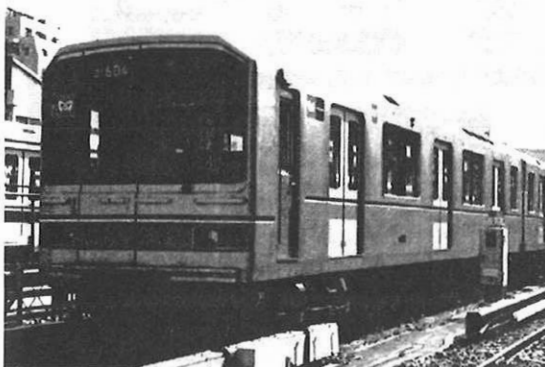


Fig.1 Series 01 equipped the system

Table.1 Examined sensors

方式	センサ種類	机上評価	単体試験結果
遮断式	ライトカーテン	△搭載困難	△汚損に弱い
	帰型 LED センサ	○可能性有	
反射型	赤外線センサ	○可能性有	○良好
	超音波センサ	○可能性有	×限界支障
	画像認識エリアセンサ	△高価	△高価
誘導型	静電容量近接センサ	×施工性性能	
接触式	テープスイッチ	○可能性有	?他社実績

2.2 採用したセンサ

テープスイッチは接触応力により2枚の電極板が接触する方式のテープ状センサで、車両ドアの戸先ゴム内部に設置するためドア（可動側）－車体（固定側）間の配線設置が困難となる。そこで配線または伝送に何らかの工夫が必要になることから、耐久性と艱装性を考慮して電磁結合器（リモートセンサ）を閉扉位置のみで結合させ、テープスイッチの信号を車体側に伝送する方式とした。ビームセンサはドア上部の鴨居内から赤外線を車側の戸先付近に垂直に出し、その反射により検知する。各機器の設置にあたり、できるだけ既存の車体・ドア構造を変更せずに従来の鴨居内部に収まるよう工夫した。

3. 戸閉支援装置の現車搭載

戸閉支援装置は戸閉スイッチで検知できない支障物を乗務員または駅係員に通知する支援装置である。従来の戸閉スイッチと違い力行回路等の遮断は行わず、あくまで支援装置との位置づけである。銀座線 01 系車両 604 号車 1 両のみに搭載した。図 2 に装置構成を示す。

3.1 戸挟み検知センサ

各扉上部にビームセンサおよび戸先ゴム内部にテープスイッチを設置し、従来の戸閉スイッチで検知できなかった 3・10mm 程度の支障物の検知を目標としている。

ビームセンサについては煽りや塵埃、雨雪による誤検知の影響を考慮して検知時間が 500ms 中、60%以上検知により戸挟みあり、40%以下になると戸挟みなしと判断している。テープスイッチは戸先ゴム内部に固定しても戸挟み検知を支障しないよう、新たに開発した専用の戸先ゴムを用意し、片側のみ交換した。閉扉時に指や棒状のものなどを挿入されるいたずら対策として、センサ入り戸先の客室側のみをヒダ付とすることで車内側からの異物挿入を防止しつつ、引き抜きを大きく阻害しないようにした。

3.2 車側補助灯および個別表示灯

各センサで戸挟み検知の有無を車掌ないし駅係員に通知するための灯類を新たに設け車側補助灯および個別表

示灯という名称にした。車側補助灯は車側 1 両毎に左右に設置し、個別表示灯は各扉の鴨居車側方に下向きに設置し、主として車掌（または駅係員）が即座に対応できるようにしている。

3.3 表示部および操作部

車掌への通知を目的に乗務員室左右 1 台ずつ表示部を設置した。ブザーにより戸挟みの発生を、LCD 画面により戸挟み発生位置を通知し、支障時の対応を支援する。

画面はタッチパネル式となっており、一時的な不具合に備えて 1 駅区間のみブザーを停止することが可能であるが、設定値等の変更は誤操作防止の観点から検修担当者のみが行うものとし、座席下に表示部と同じ LCD を備えた操作部を設置した。電源のリセットのほか、入出力状態の確認や個々のセンサの開放、設定値の変更が可能としている。

3.4 データ検証用カメラおよびデータロガー

どのような状況で戸挟みが発生しているか確認するためのデータ検証用として市販の自動車用ドライブレコーダを利用したカメラを乗務員室上部に設けたカバー内に収納した。また車内妻配電盤上部に設置した制御器内にデータロガーも併設しており、各動作状況を記録している。

4. 戸閉支援装置の動作について

4.1 戸挟み検知について

今回の試験では車掌が容易に対応できるように装置を搭載する車両が車掌位置のみで動作するものとした。2 方式のセンサの比較のために支障物の検知をビームセンサとテープスイッチどちらかが検知すれば戸挟みと判定する「OR 条件」としている。各センサには誤検知や煽りによる影響を排除するための判定開始と終了に時素を持たせ、走行時・戸開時および再開閉回路構成時と閉扉完了後は戸挟み判定を停止する。支障物が取り除かれれば検知終了となるが、いたずら等による遅延防止対策としてタイムアウトを設けて一定時間検知状態が続けば問題なしとして検知終了する。

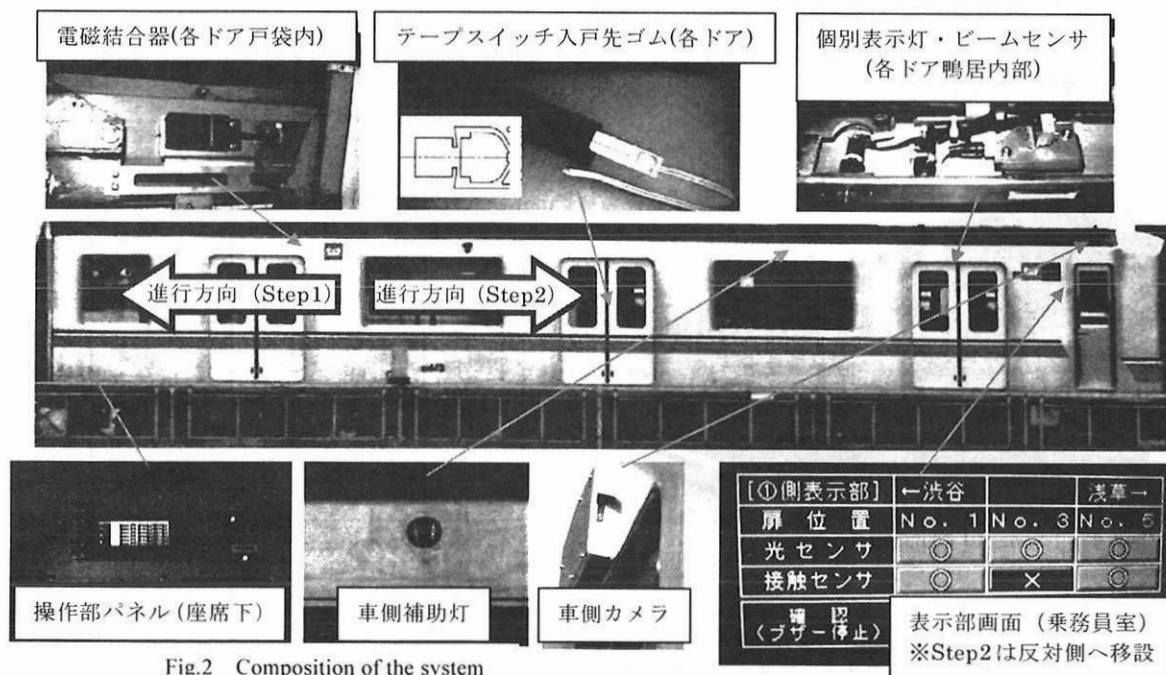


Fig.2 Composition of the system

4.2 灯類および検知表示について

車側補助灯は従来の車側灯と同じシーケンスとしており、開扉により点灯し閉扉により消灯する。従来の戸閉めスイッチで検知できない支障物のみ閉扉後も車側補助灯が消灯せず、個別表示灯は当該ドアで点灯する。両者とも煽りによる誤開閉扉を防ぐため、時素を持たせ、車側灯消灯から若干遅れて作動する。(図3)

4.3 乗務員の扱いについて

乗務員の扱いは車掌がドア閉扉操作時に従来の車側灯に加え、車側補助灯の消灯を確認してから運転士に連絡ブザーで合図する扱いとした。戸挟み検知時は基本的に戸挟みが解消するまで再度開閉し、それでも戸挟みが確認できない場合は、状況を確認して指令所に装置の開放許可を得る手順とした。

5. 営業車両搭載試験

5.1 モニタラン

車両搭載工事後、3か月ほどデータ収集のみのモニタラン試験を行った。戸挟み検知を有効とし、灯類および表示を「切」とすることで、営業車両での検知状況を確認し、誤検知やいたずら等がないことの確認を目的とした。この期間を本運用試験までの準備期間とし、合わせて乗務員の取り扱い教育や意見集約を行った。モニタラン時は戸閉支援装置の動作記録とカメラ映像のみで検証を行っていた。

5.2 2011年度の運用試験 (Step1)

モニタラン時に明らかに誤検知といえる事象やいたずら等はないと判断できたため、表示類を「入」として本運用試験を開始した。

ログデータ及びカメラ映像と合わせて、車掌に戸挟みが発生した際は降車後の状況報告をお願いし、発生状況の検証を行った。

5.3 2012年度の運用試験 (Step2)

前述の運用試験(Step1)では、工事配線の簡略化の観点から装置構成が1両で完結しており、進行方向が車掌位置でのみ機能する仕様であった。そのため、戸閉支援装置がなくとも支障物を目視で確認できる位置関係であったため、乗務員のアンケート結果では必要性を感じる声は必ずしも多くなかった。

そこで、表示部モニタのみを先頭車両に移設し、5両先を確認する様にした。(図4)改造を最小限かつ戸挟

みが目視しにくいであろう位置関係にすることで、運用性の検証を行った。また、遅延に対する影響を評価するため検知回数の多かったテープスイッチを「切」として、必要性の検証を行った。

6. 運用試験結果の考察について

6.1 発生状況について

発生駅は複数路線の乗換駅や階段が当該車両に位置する傾向が見られた。Step1では浅草→渋谷方向、Step2では渋谷→浅草方向と試験方向が異なるため、一概に比較はできないものの、中でもStep1では特定駅に集約され、混雑に起因するのに対し、Step2では分散され、混雑によるものだけではないことが判明した。(図6)

発生時間はお客様の多い平日朝ラッシュ時に集中しており、発生回数はStep1では夏から秋にかけては1,2件/平日で、着膨れ発生時期になると倍増した上、再度ドア操作するも戸挟みが解消できない事象もあった。Step2では時間帯が分散され、発生件数も週に1,2件程度まで低下した。(表2)

6.2 センサ別検知状況および評価について

次にセンサ別の戸挟み発生状況を以下に示す。検知精度が高く、当初検知回数も多くなると思われたビームセンサよりも、テープスイッチの検知回数が大半を占める結果となった。これは、検知精度によるものではなく、検知範囲の違いから、戸挟みの発生は混雑する朝ラッシュ時かつ車内から車外に突出しない程度の戸挟みであると想定される。(図6,7)

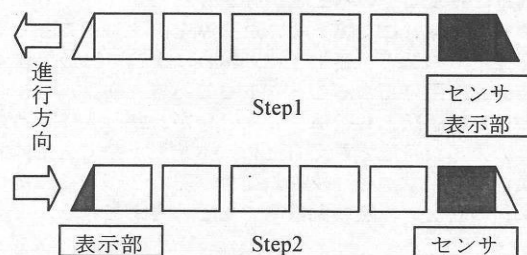


Fig.4 Formation of test train



Fig.3 Examination of caught in door

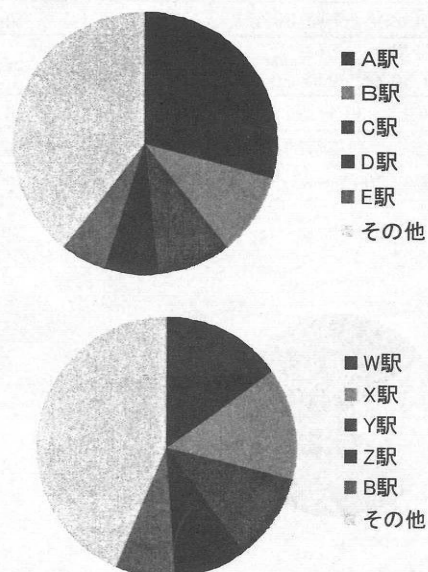


Fig.5 Station of occurrence

比較結果により、どちらのセンサを採用するか検討を行った。それぞれ長短あるものの戸挟み発生の確実な検知に対しては、テープスイッチが有効ではある。一方で列車遅延等を考慮して車外に突出したものを検知する目的ではビームセンサの方が有効であると思われる。

銀座線はほぼ全区間隧道内であることから、地上部での検証が十分に実施できなかった。したがって路線状況によっては、地上線区、閑散線区も含めてテープスイッチの採用も有効であると考えている。(表3)

6.3 遅延に対する影響について

戸閉支援装置の導入に際して、乗務員の確認事項が増えることおよび不具合時の対応により、当初より遅延に対する影響が懸念された。

そこでStep2の試験では列車運行実績データを可視化したクロマティックダイヤを用いた。これにより、計画ダイヤと実績ダイヤのずれがどの程度あり、戸閉支援装置搭載車両が戸挟み発生時により遅延が発生し、後続列車に影響を与えていないか検証を行った。

図8はある平日朝ラッシュ時の実績データで、赤枠で囲んだ列車が当該車両である。先行列車の遅延により混雑が増し、各駅で衣服の裾が挟まる状況で、戸挟み対応に時間を要して先行列車との間隔が開き、後続列車にも影響を与えている。

搭載車両が1両だけであることから、戸挟み発生時の遅延発生度合いは大きくないことが多かった。しかしながら、遅延や着ぶくれによる通常を上回る混雑による衣服の裾等の検知、不具合発生時に対応に時間を要し、後続列車に波及していることが確認された。

よって、運行に支障がない戸挟みを排除することと不具合発生率の低下が要求され、場合によっては最混雑時に装置を使用停止することも1案である。朝ラッシュ時については各駅とも駅係員の立合いがあり、人による戸挟みの確認が可能と言えるため、本装置が効力を発揮する状況は、車掌から戸挟みの発生が認識しづらく、かつ駅係員の立合いの無い閑散時であると考えている。

Table.2 Time of occurrence

時間帯別	Step1	Step2
早朝 (始発～7時30分)	1	0
朝ラッシュ (7時30分～9時30分)	195	31
昼間 (9時30分～17時)	14	15
夕ラッシュ (17時～20時)	21	19
夜間 (20時～終車)	8	13

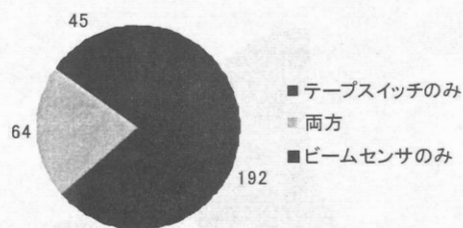


Fig.6 Sensors of occurrence

6.4 乗務員の評価について

当初Step1では、確認項目の増加による遅延が懸念された上、目視できる位置関係であったため必要性が理解されておらず、乗務員の評判は必ずしも良い物ではなかった。一方、Step2の試験においては「いざというとき必要」「安全運行上やむを得ない」という意見が聞かれるようになった。Step2において装置構成を変更したことで、乗務員の確認しにくい状況で効果を発揮するようになったと考えている。

7. おわりに

戸閉支援装置の導入により従来検知及び認識が困難であった靴の紐程度の厚さの物を検知できるようになった。その一方で、確認事項の増加や誤検知により遅延を懸念する声があるのも事実であり、乗務員の意見を反映した上で、安全確認を最優先しつつも可能な限り駅停車時間を延ばさない方策を検討し、戸閉支援装置の最適化を図っていく次第である。

最後に、戸閉支援装置の開発に当たり、ご指導およびご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中里祐一、阿部勝ほか：戸閉支援装置の開発、J-RAIL2011 講演論文集, pp417-420, 2011

Table.3 Compare of beam sensor and tape switch

方式	ビームセンサ	テープスイッチ
検知精度	◎厚さ3mm程度	○厚さ6mm程度
耐環境性	△雨・汚損に弱い	○変化なし
信頼性	△反射光に依存	△戸先ゴムに依存
保守性	△光軸調整・清掃	△戸閉機械の調整
検知範囲	○車外に突出のみ	△突出せずとも検知

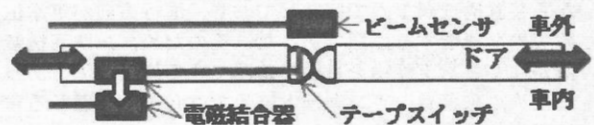


Fig.7 Cross section of sensors

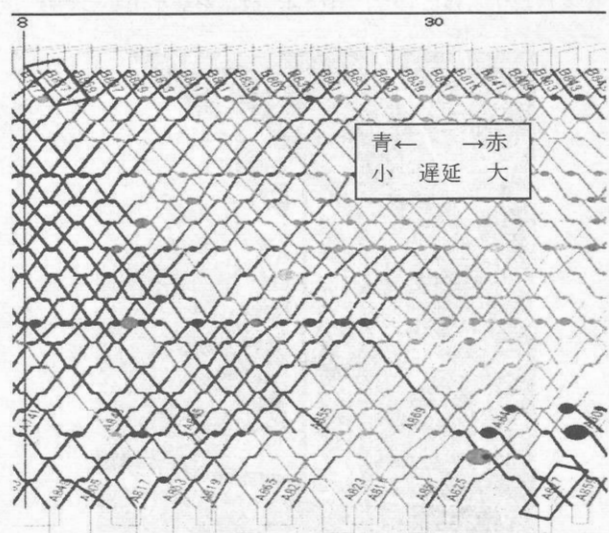


Fig.8 Chromatic diagram