

戸閉支援装置の開発 (戸挟み事故防止に向けた乗務員支援装置)

中島 正貴 ○中里 祐一 (東京地下鉄)

阿部 勝 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 of the support system to operating doors

Masayoshi Nakajima, ○Yuichi Nakasato, (Tokyo Metro)

Masaru Abe, Masaya Okumura, (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.

キーワード : 戸閉装置, 戸挟み事故, 戸先ゴム, 戸閉スイッチ

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、整備を進めていく。しかしながら、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ことや、駆け込み乗車への対応に苦慮していることから、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での対応には限界がある。そこで、“戸挟み時の検知機能”と、“駆け込み乗車時の再開扉”に対してシステムの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、未導入線区でも導入できる車両側の対策として試験用戸閉支援装置を開発した (写真 1 参照)

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

東京地下鉄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 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。



写真 1 戸閉支援装置を搭載した 01-604 号車

表 1 検討したセンサー一覧

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	
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

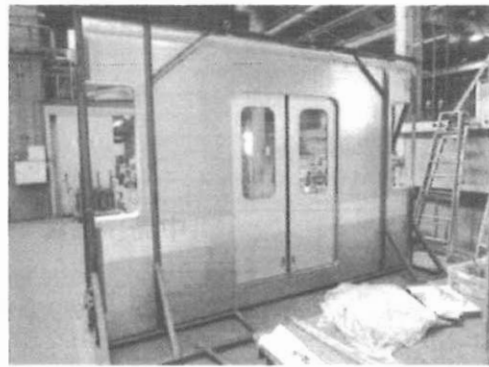


写真 2 05 系廃車体を利用したモックアップ

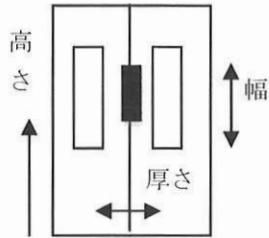


図 1 支障物定義

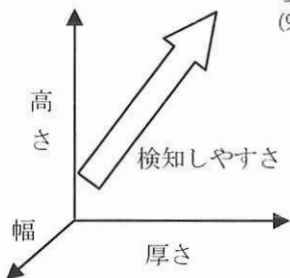


図 2 テープスイッチ検知特性 図 3 テープスイッチ検証試験 (厚さ 6mm)

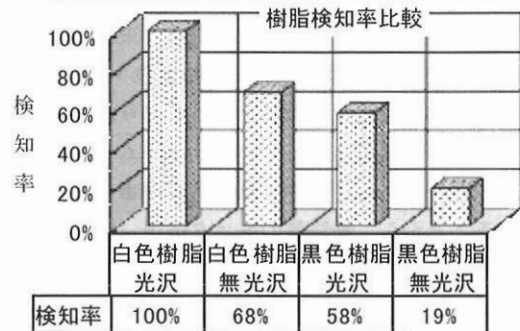
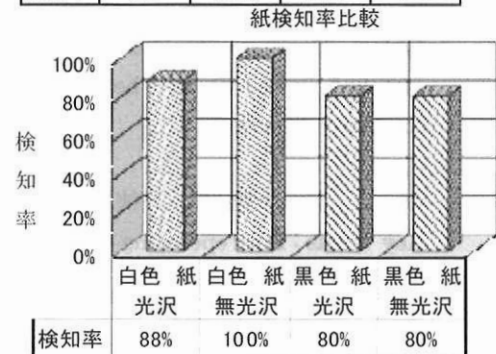
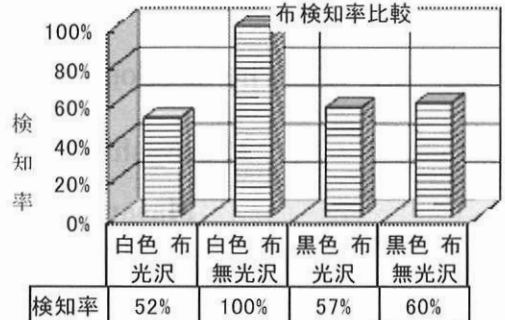
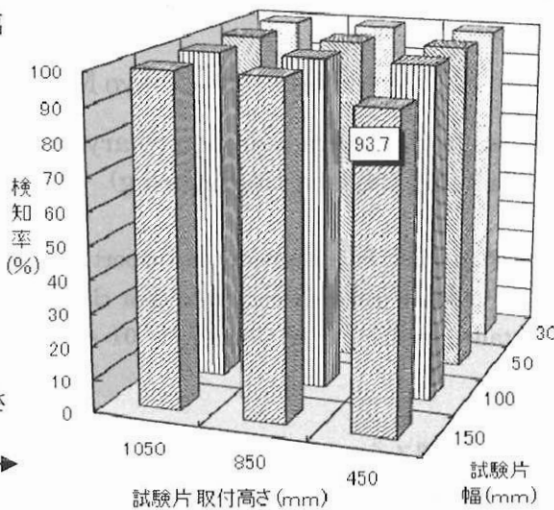


図 4 ビームセンサ検知特性

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。(表 1 参照)

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、耐久性と饒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. モックアップ試験による検証

車両に搭載する事前検証として東西線 05 系の廃車体から側開戸 1 ユニット分を切り出し、モックアップ試験を実施した。(写真 2 参照) 各センサの検知精度および耐久性の検証をして、営業線で試験搭載しても問題ないか検討した。営業運転開始後に検討事項が発生した場合の検証用としての活用も考えている。以下に主な試験内容を示す。

3.1 支障物検証試験

実際の戸挟み支障物や人体寸法を想定して、テープスイッチおよびビームセンサに対して様々な条件で試験を行うことで検知精度にどのような影響を与えるか検証した。(図 1~4 参照)

テープスイッチは戸先ゴムの潰れ方に左右されるため支障物の幅・高さ・厚さを変えて試験を行った結果、狭く、高く、厚い物ほど検知しやすく、厚さ 3mm では条件により検知できないが 6mm 程度であればほぼ検知可能である。ビームセンサの場合は赤外線の反射を利用するため、支障物の色・表面・形状を変えて試験を行った結果、白色・布

地・無光沢が検知しやすく 3mm 以下の物でも検知可能であるが、黒色・樹脂・光沢が苦手であり検知率を大きく左右することが確認された。

3.2 電磁結合器結合試験

テープスイッチは電磁結合器を用いることから伝送不良の発生を懸念し、25 万回結合試験を行いエラー率の検証を行ったが、結合エラーは 0 件であった。

3.3 ビームセンサ水かけ試験

ビームセンサは雨雪や塵埃など外乱に対する誤作動が懸念されることから、霧吹きによる結露試験と豪雨を想定し人工雨試験を行った。両者とも定量的評価が難しいが、前者については明らかな性能低下は確認できなかった、後者については降雨により検知状態が継続するほか、ドアレール付近に溜まった水による誤検知が発生した。

4. 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、あくまで支援装置であり保安装置ではない。銀座線 01 系車両 604 号車 1 両のみに搭載し、車掌位置のみで動作するものとした。以下に装置構成を示す。(図 5 参照)

4.1 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。

4.2 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命名した。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。

灯色は法令上の観点から車側灯や各種信号等と区別がつくよう橙色を選んだが、非常通報やレピータとの区別はつきにくくなっている。灯類については必要性を含め検討事項としているが、視認性は大方の乗務員から確認しやすいとの評価を受けた。

4.3 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している。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、設定値の変更を可能としている。

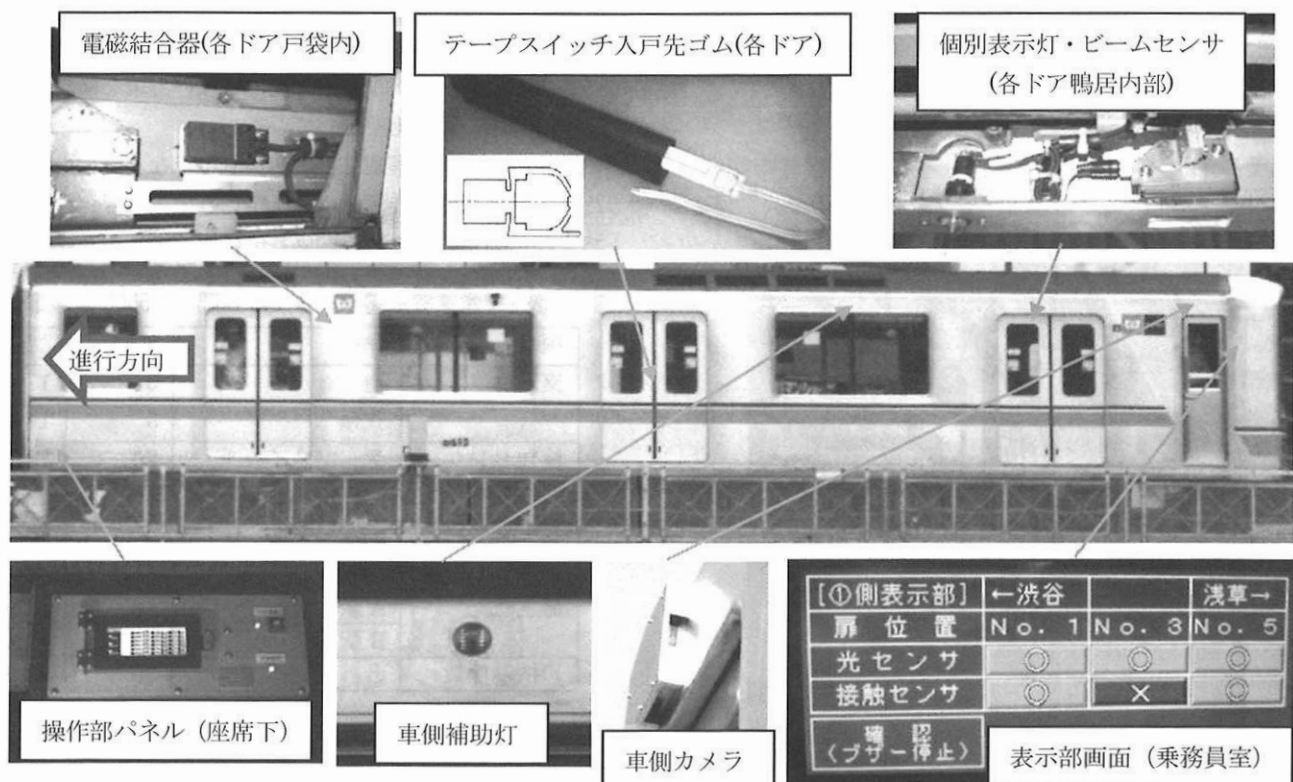


図 5 戸閉支援装置の構成

4.4 データ検証用カメラおよびデータロガー

どのような状態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。

5. 戸閉支援装置の動作について

5.1 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。

5.2 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。

戸挟み表示画面は各扉センサ別の表示としているが、編成全体に展開する際は画面構成に再考が必要である。タイムアウトの際、灯類は消灯するが、見落としを考慮して、表示は次回ドア操作時まで保持する。(写真3参照)

6. 営業車両搭載試験

6.1 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



写真3 戸挟み再現試験 (車側灯：滅、戸挟み検知状態)

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。

6.2 本運用試験

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。本試験ではあくまでセンサの有効性といった性能評価を主な目的にしており、安全上どこまで検知すべきかといった運用上の課題とは一旦切り分けた。

6.3 取得データについて

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。しかしカメラ映像の検証は乗客の動向は掴めるものの、車内からはみ出している支障物の判別が容易ではなかった。そこで本試験では車掌に戸挟みが発生した際は降車報告をお願いし、収録データとの付き合わせを行った。その結果、平日ラッシュ時に1日1、2件程度発生し、当該車両が乗換駅で階段に近い場合に戸挟みが頻発していることがわかった。検知感度は支障物が車外に出ていない場合も検知できるテープスイッチの方が良い結果となっている。(表2参照)

今後は着膨れの発生する冬季についても検証する予定であり、センサの優劣判断や運用上・保守上の課題を含めた検証を重ねていく。

7. おわりに

本試験において鞆の紐程度の厚さの物を検知できることが確認できた。その一方で、確認事項が増えるため遅延を懸念する声があるのも事実であり、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。

最後に、今回の搭載工事は震災直後となり延期も覚悟したが、関係各位の熱意により予定通り出場できた。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る。

表2 営業線取得データ (45日間、約5500回停車分)

項目	詳細	件数	割合
支障物	鞆	6	17%
	衣類	5	14%
検知センサ	テープスイッチ	26	74%
	ビームセンサ	8	22%
発生時間	8時台	6	17%
	9時台	3	8%
発生駅	A駅	18	51%
	B駅	6	17%
戸挟み件数	合計	35	—

参考文献

- 河内まき子他：日本人人体寸法データベース 1997-98、通商産業省工業技術院くらしと JIS センター、2000