

ホームドア3次元 安全センサーの開発



齋藤 修*



小山田 美和*

ホームドアには車両とホームドアの間の居残りを検知する安全センサーが組込まれている。本開発では、山手線の列車編成数が多く、半屋外環境であることなどの特状を考慮し、3次元エリアを検知することができる安全センサーを開発した。また、各種方式のセンサーの基礎調査を行い最適なセンサーを選定し、検知エリア・感度の設定ができる検知処理ソフトを開発した。さらに雨・雪などを誤検知しないようにする誤検知フィルターも開発した。そして開発の結果、車両とホームドアの間の居残りだけでなく車両のドアに挟まれた荷物なども検知することが可能となり、恵比寿駅、目黒駅のホームドア安全センサーとして導入された。

●キーワード：ホームドア、安全センサー、赤外線レーザー、検知エリア、環境対策

1. はじめに

近年、鉄道各社においてホームドアの設置が進みつつある。当社でもホームの安全に対する抜本対策として、山手線へのホームドア導入が決定し、恵比寿駅、目黒駅を初めとして順次設置する計画である。しかし、当社の場合は、先行導入している他社とは条件が異なり、混雑率が高く、列車1編成あたりの車両数が多いため、さらなる安全性・安定稼動が求められる。したがって、ホームドア設置後は、車両出発時にホームドア～車両間に存在する人や物体（車両ドアに挟まれた物を含む）を確実に検知してお客さまの安全を確保するように安全センサーを設置し、乗務員の安全確認の補助を行うことはもとより、上記の条件の違いにより、より高性能な安全センサーが必要となる（図1）。今回、お客さまの安全に深く関わるホームドア安全センサーの開発について概要を紹介する。



図1 ホームドア設置後の乗務員からの視認性

2. ホームドア安全センサーの開発

2.1 センサー検知対象（検知目標）

安全センサーが検知する対象は、車両とホームドア間にお

ける安全性を検討した結果、以下の状態を確実に検知することを目標とした。

- ・車両とホームドア間の居残り
- ・車両ドアの傘・カバンなどの挟まれ
- ・車両とホームの隙間への転落

2.1.1 車両とホームドア間の居残り

ホームドアと車両の間に人が取り残され、身動きできなくなった状態で車両が出発してしまうことがないように確実に検知する。検知の対象としては、ホームドアの高さよりも身長が低く、隠れて見えなくなってしまうような小児（本試験では2歳児のマネキンを使用）でも確実に検知することを目標とした。（図2）



図2 人の居残り

2.1.2 車両ドアへの傘・カバンなどの挟まれ

車両ドアに挟まれた傘・カバンなど車両からはみ出している状態を確実に検知することを目標とした。ただし、はみ出し量はホームドアと接触するところまではみ出した場合とする。これは、はみ出した荷物などがホームドアに接触し、荷物およびホームドアの破損を防ぐためであり、服などの一時的な挟まれを過敏に検知しすぎて列車運行に支障がでることがないように設定している。（図3）

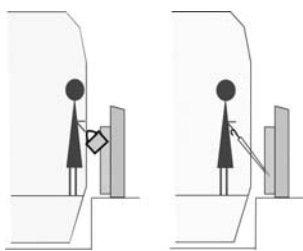


図3 車両ドアへの傘・カバンなどの挟まれ

2.1.3 車両とホームの隙間への転落

車両とホームの隙間に転落した場合、ホーム上に出た手や頭部を確実に検知することを目標とした。これは、転落したが隙間に引掛り、転落検知マットに足が届いていない場合を想定している。そのような状態でもホーム上にある腕・頭などを検知し、安全を確保する。(図4)



図4 ホーム隙間への転落(宙吊り状態)

以上の2.1.1～2.1.3の状態を確実に検知することにより、ホームドアが設置されたことによりできる乗務員、駅係員からの死角というリスクを回避することができる。

また、山手線は半屋外環境である。雨や雪が降っている場合や霧の中などさまざまな環境でも人や物を確実に検知すること、さらに、雨や雪などを誤検知することが無いように耐環境性も考慮したセンサーを目標とした。(図5)

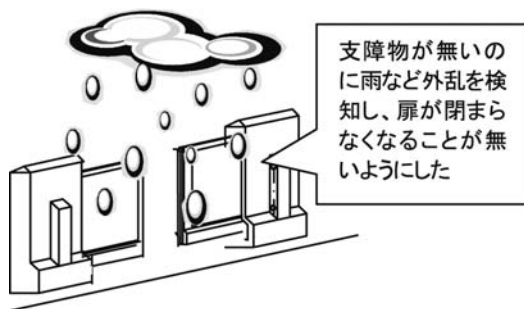


図5 耐環境性を考慮したセンサー

2.2 センサー方式の調査と性能検証

上記にて設定した3つの対象を検知目標として、まずは既存のさまざまなセンサーで検討し、ホームドア試作機に実際に設置して検知エリア性能の検証を行った。検討したセンサーから3つの方式について紹介する。

2.2.1 赤外線レーザー方式

赤外線レーザーを照射し、物体で反射した赤外線を受信

するまでの所要時間の変化で支障物を検知する。固定型のレーザーを多数並べて配置するよりも、1本のレーザー光をミラーで走査させる走査型がコスト面で有利となる(図6)。検知エリアは1次元のものから3次元のものまで製品がある(図7)。悪天候・汚れ・太陽光などの外乱を除外するフィルターを設定すれば検知エリアが大きくとれて、信頼性、検知精度が高い。

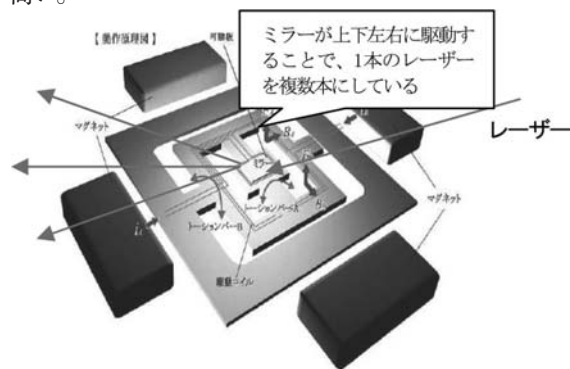


図6 赤外線レーザー走査イメージ(センサー内部)

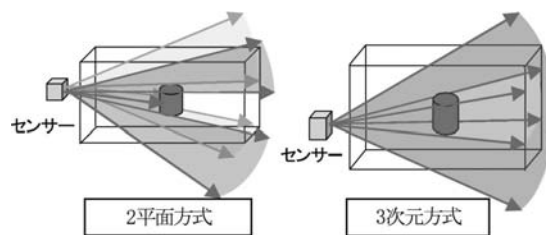


図7 赤外線レーザー方式

2.2.2 画像処理方式

カメラで画像を取り込み、基準画像との違いにより支障物を検知する(図8)。異常時に目視確認を行う場合にも兼用できるが、車体のステンレス外装や窓ガラスに映りこんだ人の影、周辺照度の変化など、光学的な外乱に弱く、検出可能サイズが大きいということが分かった。

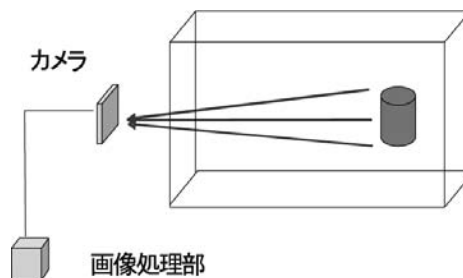


図8 画像処理方式

2.2.3 ミリ波方式

ミリ波は波長10mm～1mm、周波数30GHz～300GHzの電磁波で、極めて狭い指向性を持たせることが可能なため 車載レーダーなどに用いられている。送信機から電波を発信し、受信機で検出した出力値の変化で支障物を検知する。踏切、自動車などで屋外の安全センサーとして用いられており、低コストでありながら悪天候下における安定検知に優れてい

る。今回は、近距離用として準ミリ波24GHzのセンサーで検証を行った。その結果、今回使用したセンサーでは検出エリアが調整できず、検出可能サイズが大きくなってしまった。対策を検討し、エリアに合わせたアンテナ設計や複数配置したセンサーからの検出信号を演算するアレー信号処理で実現できる見込みがあったが、水滴付着による誤検知が発生するなど問題があることが判明した。(図9)

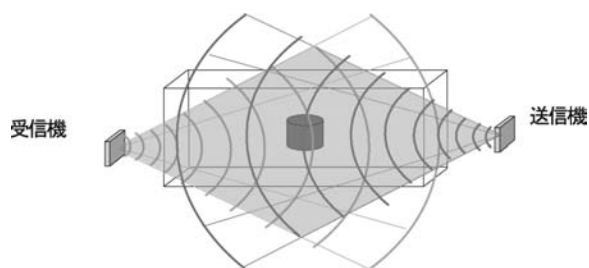


図9 ミリ波方式

2.3 開発するセンサーの仕様検討

調査・検証の結果、3つの検知対象を検知することができ、広範囲な検知エリアの設定が可能で検知精度も高い3次元赤外線レーザー方式を今回採用することとした。そしてさらに、検出サイズや雨・雪などの外乱条件の仕様の検討を行った。

2.3.1 検出対象のサイズ

検知対象の中で一番寸法が小さく条件の厳しい傘の先を検出しようとした場合、細い傘の先端寸法である直径10mmの最小検出能力が求められた。しかし、ゴミや虫など浮遊物による誤検知を防ぐためには、検出対象を一定以上の大きさとする必要がある。そこで、検出対象を直径10mmに加えて、長さを50mm以上とすることで検出可能となり、短期間、低コストで実用化が可能となった。直線ホームでは車両限界からの離れが250mmとなるため、車両ドアからの荷物のはみ出し量が50mmの状態では車両がそのまま走行してもホームドアに衝突することは無く、安全上は問題ない。曲線ホームについては、車体の傾斜分だけホームドアと車両との離隔距離が少なくなるため、空気バネなど車両の将来設計範囲で調整を行った。

2.3.2 外乱の受けやすさ

雨・雪・霧などの悪天候、太陽光、センサー面の汚れの影響に対して誤検知を防ぐ必要がある。環境性能の目標設定として、過去10年間における首都圏の気象データを元に設定した。降雨量の目標設定は200mm/hとした。過去10年間では東京にて82.5mm/hの記録があるが、目標値は瞬間的な大雨を想定したものである。降雪量の目標は6cm/h、霧は濃霧注意報の基準でもある視程0.1kmにおいても人・傘を確実に検知できることを目標とした。

2.4 センサー検知ソフトの開発

3次元赤外線レーザー方式のセンサーを採用し、検知の仕様を満たすようなセンサー検知処理ソフトを開発した。本ソフトでは、傘の先端を想定した直径10mmの棒を確実に検知することを目標として、検知感度を可変設定でき、さらに検知エリアも自由に設定できるようにした(図10)。これにより、目標とする3つの状態である車両とホームドア間の居残り、車両ドアの傘・カバンなどの挟まれ、車両とホームの隙間への転落を確実に検知し、さらに、雨・雪などの外乱対策として、検知フィルターを設定することで、誤検知することなく目標とする対象を検知することが可能となった。

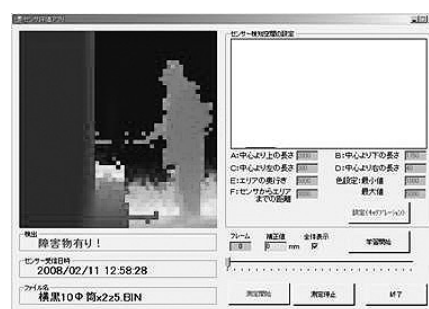


図10 開発したアプリケーション

2.5 検知試験 (検知エリア設定検証)

2.5.1 車両とホームドア間の居残り

2歳児のマネキンを用いて、さまざまな立ち位置での検知試験を行い(図11)、設定した検知エリアすべての立ち位置において確実に検知することができることを確認した。



図11 検知試験風景 (居残り)

2.5.2 車両ドアの傘・カバンなどの挟まれ

車両ドアに挟まれた傘・カバンなどを確実に検知するよう検知試験を行った(図12)。設定した検知エリアで挟まれた物がホームドアに接触する位置まではみ出した場合、確実に検知することを確認した。



図12 検知試験風景 (車両ドア挟まれ)

2.5.3 車両とホームの隙間への転落

車両とホームの隙間に転落した場合、設定した検知エリアでホーム上の腕や頭を安全センサーにて確実に検知することを確認した。(図13)



図13 検知試験風景（車両とホーム隙間への転落）

2.6 環境試験（雨・雪・霧など）

2.6.1 雨・雪・霧試験

雨・雪・霧に対する目標値は過去10年間の気象データをもとに設定したため、確認試験では降雪機や霧発生器を使用し、人工的にさまざまな気象条件を作り出して試験を行った（図14、15）。その結果、目標としたすべての環境条件において検知可能であることが確認できた。また、センサーの耐久試験と合わせて屋外環境でセンサーを長期間稼働させて、実環境でも検知できているか、誤検知がないか確認を行った。その中では実際に大雪の日もあったが、問題無いことを確認している。（図16）



図14 降雪機試験風景



図15 霧発生器試験風景



図16 降雪時の確認試験風景

2.6.2 雨・雪・霧対策

誤検知対策としては、雨、雪などを空中で誤検知することに対する対策、センサー表面に付着した場合の対策を行った。その一例として、降雪時誤検知防止フィルターの概要を紹介する。これは、降雪時、空中での雪は常に動いており、まったく同じ地点で連続して検知することはないことを利用した。同一画素で、連続して検知している場合のみ支障物と判断するフィルター設定を行い、これにより降雪自体を誤検知することはなくなった。

2.6.3 その他環境試験

環境試験は雨・雪以外にも日光やノイズ、センサーガラスの強度試験など駅環境で想定されるさまざまな状態の検証を行った。そして、検知感度や誤検知フィルターの調整やその他の設定などにより問題がないことを確認した。

2.7 信頼性検証

以上の性能が長期間安定して継続可能か、安全センサーの信頼性検証をするため、センサーの耐用年数より余裕がある約10年分の稼働に相当する連続検知耐久試験を行った。一番条件の厳しい傘を検知エリアへ長期間出し入れを行い、あらゆる環境でも確実に検知することを確認した。さらに並行して、車両モックアップを設置し、より実駅に近い環境で何もないのに誤検知することが長期間ないことを確認し、実導入に問題がないことを確認した。（図17）



図17 連続稼働試験風景

3. まとめ

以上により、3次元赤外線レーザー方式のセンサーを用いて安全センサーとしての各検知目標を達成することができた。さらに、長期稼働試験や環境試験なども実施し、より信頼性の高い安全センサーが開発できた。本センサーは現在、恵比寿駅、目黒駅にて実導入されている。