

3 次元距離画像センサの活用による車両～ホームドア間の安全性向上

藏野 哲哉 松本 耕輔 寺田 進一 松尾 晴輝* (東京地下鉄)
池本 善行 笹川 健一 (日本信号)

Improvement of the safety control of the space between train and platform screen doors with the application of 3D range image sensor.

Tetsuya Kurano, Kosuke Matsumoto, Shinichi Terada, Haruki Matsuo* (Tokyo Metro Co., Ltd.)
Yoshiyuki Ikemoto, Kenichi Sasagawa (Nippon Signal Co., Ltd.)

Tokyo Metro adopts platform screen door (PSD) positively. As the result, main passenger accidents on the platform, falling down to the track and collision with a train, are drastically decreased. But, PSD make it difficult to observe the space between PSD and trains. Confirming security of the space greatly depends on obstacle sensors. Therefore, improvement of the ability for detection is required for further safety. This report introduces the method by 3D range image sensor to expand the detecting space of present obstacle sensor.

キーワード：ホームドア、ホーム柵、安全、3次元、エリアセンサ
(platform screen doors, safety, 3D, area sensor,)

1. はじめに

東京メトロでは、1991年11月に初めて南北線へホームドアを導入してから、2002年2月より千代田線(綾瀬・北綾瀬駅)に可動式ホーム柵と言われるタイプのホームドアを設置し、以降、丸ノ内線(池袋～荻窪駅間、中野坂上～方南町駅間)、副都心線(渋谷～小竹向原駅間)へと順次、可動式ホーム柵タイプのホームドアを展開し、その結果、ホームドア設置駅での転落事故や触車事故は未然に防止できている。しかしそのような効果が認められながらも、ホームドアは車両～ホームドア間の視認性を低下させるため、その空間の安全確認は支障物センサに大きく依存せざるを得ない中、ホームドア設置駅にて車両扉にお客様の荷物が挟まった状況を確認し損ねてしまうという事象が発生している。このような状況に際し著者らは、安全性向上のためには更なる検知能力の向上が必要と考え、空間内の監視に有効とされる3次元距離画像センサ^[1](以下、「3Dセンサ」と称す)を支障物センサとして採用すれば車両扉とホームドア間の支障検知とあわせて、車両側の戸挟み検知にも活用できると考えた。本報では、支障物センサの検知範囲を拡大する手法として、3Dセンサの活用方法を提案するとともに、その有効性を検証するために行った試験について報告する。

2. 支障物検知の現状

南北線のホームドアにおける車両～ホームドア間の安全性は、①車両扉への挟み込み検知、②ホームドアへの挟み込み検知、③車両～ホームドア間の光電管センサ(以下、「既設支障センサ」と称す)等によって確保している。

①、②は、人や厚みのある荷物を挟み込んだ場合に、運転士やホームドア制御装置に通知され、ドアの再開閉を行うことができる。しかし、扉に挟まれる部分が薄い手提げ袋やバッグなどは、扉側のセンサでは挟み込みを検知することができない。

一方、③は車両～ホームドア間にお客様が取り残されるのを防止するために設けてあり、水平に2本の光軸を持つ遮断検知センサとなっている。このセンサは、建築限界の制限により光軸を車両側に近づけることができず、車両扉へ挟み込んだ荷物までを検出することは難しい。そのような観点から丸ノ内線以降のホームドアにおいては、走査線を水平に振ることで、水平面で物体を検知できるカーテンセンサを採用しているが、検知面を外れた高さにおいては、当然、挟み込まれた物体を検知することはできていない。

また、曲線部では車両～ホームドア間が広がるため、検知領域を広げることが可能な、新たなセンサの開発が望まれている。

3. 3次元距離画像センサの概要

著者らは、車両～ホームドア間の死角を縮小する手段の一つとして、ホームドアの支障物センサに3Dセンサを用いる技術を開発することとした。3Dセンサは、水平・垂直方向にレーザ光を走査しながら距離計測を行うセンサである(図3.1)。図3.2に示すように、センサの前面に四角錐状のレーザ走査領域を設け、構造物、車両などを含む被検知体までの3次元情報をリアルタイムに取得することができる。図3.3は、距離画像(距離値を色に変換表示したもの)の例である。



図 3.1 3D センサ外観

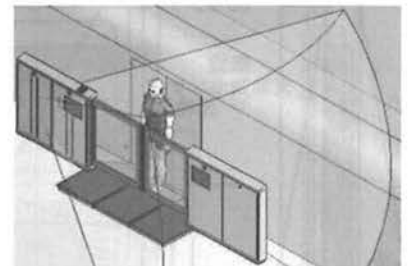


図 3.2 レーザ走査領域



図 3.3 距離画像の例

レーザ走査は MEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術を利用した光スキャナ「ECO SCAN®」を用いており、小型・低消費電力・静音・長寿命である。

距離計測はパルスレーザによる光飛行時間計測法を採用。制御系によってレーザに対する安全性が確保されると共に、明暗・測距対象の色などに影響されることなく、高速取得が可能である。

また、レーザ光の送受光共に光スキャナを通過させる「同軸光学系」を採用。距離計測位置のエネルギー集中と受光視野の制限により、高い S/N 比と対外乱光性能が確保されている。

4. 支障物センサへの適用

3D センサの広い検知エリアを活用することにより、車両付近やホーム床面近くまで、支障物を広く、細かく検出することが可能となる。

今回の試験では、ホームドアの上部から下向きに検知領域を設ける方式(図 4.1, 写真 4.1)と、ホームドアの側方から横向きに検知領域を設ける方式(図 4.2, 写真 4.2)を実施した。前者はセンサに汚れが付着しにくく、後者は設置が容易であるという特長がある。

いずれの方式も、レーザ走査領域は $60^\circ \times 20^\circ$ 、 $101 \times 19 (=1919 \text{ 点})$ の距離計測を、毎秒 8 フレーム行うように設定した。このデータをデータ処理部に転送し、アルゴリズム処理によって、検知結果をホームドア制御盤にリレー出力するようにした。

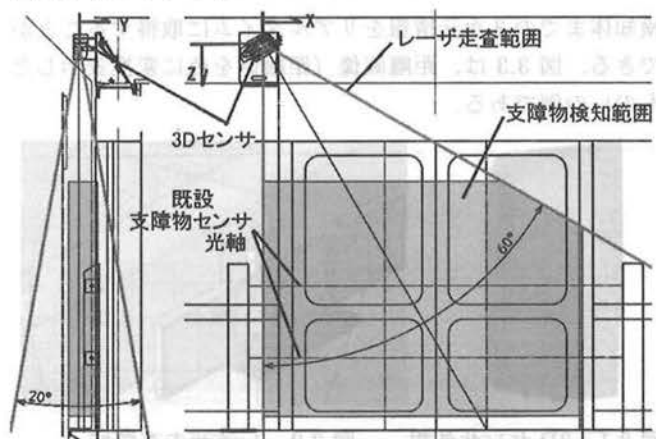


図 4.1 ホームドア上部設置

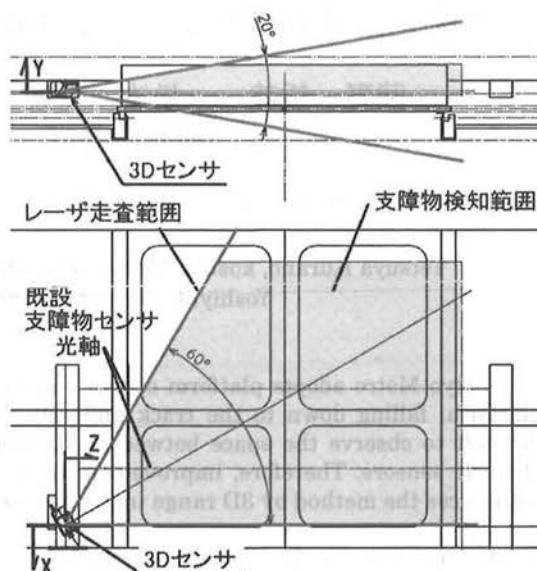


図 4.2 ホームドア側方設置

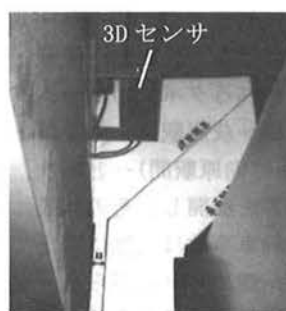


写真 4.1 上方設置



写真 4.2 側方設置

試験機器構成を図 4.3 に示す。3D センサから出力した距離データは、データ処理部で処理し、検知結果をリレー接点出力する。

支障物の検知は、まず被検知物までの距離を X,Y,Z 座標値に変換し、図 4.1, 図 4.2 の支障物検知範囲に入った場合に検知ありとする。複数フレームの連続性や、物体の大きさ(距離による重み付け)を判定に用いることで、飛来物などの誤検知を防止している。

今回は 3D センサの検知結果をホームドア制御に使用せず、既設支障センサとの検知結果比較により評価を行った。

比較は、ホームドア閉動作完了から列車出発の間、パソコンに取り込んだ検知結果のタイムチャートから、表 4.1 に示す A~D の 4 パターンに分類し、主に検知結果が不一致となる C 判定、D 判定について、カメラ画像と照合して考察を行った。また列車走行中や不在時など、判定期間外の検知発生についても E 判定として記録した。

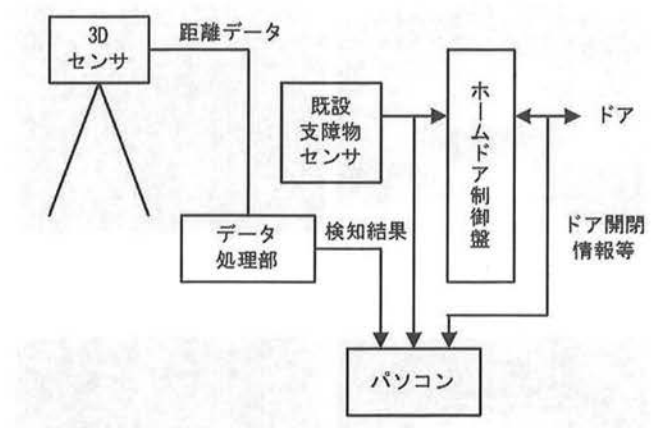


図 4.3 試験機器構成図

表 4.1 検知結果判定

判定	既設支障センサ	3D センサ	状態
A	検知なし	検知なし	正常な支障物なし
B	検知	検知	正常な支障物あり
C	検知	検知なし	検知モレ
D	検知なし	検知	効果あり又は誤検知
E	—	検知	列車走行・不在時

5. 試験結果

東京メトロ南北線において、上部 2 箇所、側方 2 箇所に設置し、約 3 ヶ月間のフィールド試験を実施した。

各判定の集計結果を表 5.1 に示す。ホームドアごとに試験期間、ドア開閉回数、混雑度などが異なるため、計数値は参考である。

試験中、検知モレ（C 判定）は発生しなかった。既設支障センサで捉えた支障物は、3D センサでも確実に捉えていることがわかる。

現在のホームドア制御は、既設支障センサで検知するとホームドアが開動作に移行するため、基本的に B 判定は発生しないはずであるが、上部設置で 3 回発生した。

以下、B 判定、D 判定、E 判定の検知状況について分析した結果を述べる。

表 5.1 試験結果

判定	上部設置	側方設置	計	備 考
A	32,389 回	26,595 回	58,984 回	正常な支障物なし
B	3 回	0 回	3 回	正常な支障物あり
C	0 回	0 回	0 回	検知モレ
D	74 回	13 回	87 回	効果あり又は誤検知
E	7 回	7 回	14 回	判定期間外の検知

5.1 B 判定

B 判定は、お客様が車両から降車した例（写真 5.1）が 1 回、車両扉に挟んだ荷物を動かして既設支障センサで検知した例（写真 5.2）が 2 回あった。いずれも、ホームドアが閉じた（既設支障センサ＝非検知）後の事象で、3D センサが既設支障センサより早く検出したことから B 判定とした。

お客様が車両扉に挟まれた後ホーム側に出た場合、従来は既設支障センサで検知するまでの一瞬、車両扉とホームドアが閉まることがあったが、3D センサは車両扉・ホームドアが閉まる前に挟まれたお客様を検知できるため、ホームドアを閉じることがなく、お客様に不安を与えずに済むこととなる

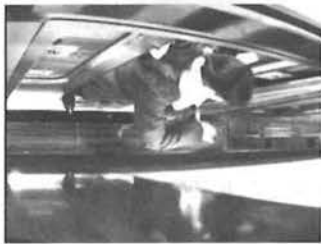


写真 5.1 お客様の降車



写真 5.2 荷物振り上げ

5.2 D 判定

D 判定を分析した結果を表 5.2 に示す。3D センサで検知したのはホームドア閉状態における車両扉への荷物挟み込み（写真 5.3）や、満員の車両に乗り切れずにはみ出したお客様（写真 5.4）であった。はみ出し量によるが走行中に障害が発生する可能性があり、3D センサで挟み込みを検知することによって、障害を未然に防ぐ効果があることがわかる。

今回の試験では、挟み込み事象をより多く抽出するために、小さな挟み込みでも検出するように設定した。実運用に向けては、検知対象の限度を設定していく必要があると考える。

表 5.2 D 判定分析

D 判定となった事象	回数
車両扉への荷物挟み込み(車両扉が閉まらず再開)	69 回
車両扉への荷物挟み込み(車両扉が閉まり出発)	6 回
満員車両に乗り切れないお客様を検知 (車両扉が閉まらず再開)	12 回
計	87 回



写真 5.3-1 荷物挟み込み



写真 5.3-2 荷物挟み込み

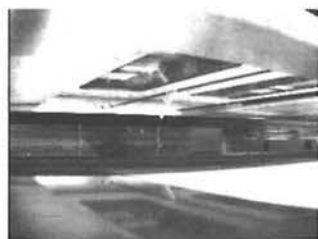


写真 5.3-3 荷物挟み込み

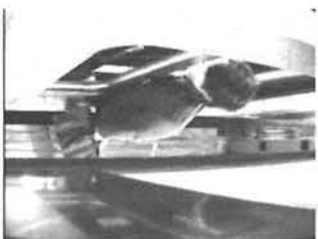


写真 5.4 乗り切れないお客様

5.3 E判定

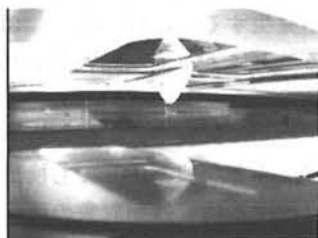
判定期間外に 3D センサで検知した E 判定 14 回のうち、9 回は前駅で車両扉に挟み込んだ荷物が到着したもの(写真 5.5)であり正常な検知である。前駅にも 3D センサを設置し挟み込みがなくなれば解消される。

現在の列車到着時のホームドア制御は、運転台からの開指令までは、既設支障センサで検知してもホームドアが開くことがないため、問題にはならない。

残りの 5 回については、保守作業員などを検知したものであり、正常な検知であった。



写真 5.5 挟み込み荷物が到着



6. 上部設置と側方設置について

上部設置と側方設置で、支障物検出に対する大きな差異は見られなかった。

懸念されるセンサの汚れについては、上部設置に比べて側方設置の方が、埃が多く付着した(写真 6.1, 写真 6.2)。アルゴリズム処理により、3 ヶ月間で不具合となるレベルには至らなかったが、側方設置を進める場合には埃の付着しにくい周辺構造の検討や、定期メンテナンスの実施が必要である。



写真 6.1 上部設置のセンサ汚れ (設置 3 ヶ月後)



写真 6.2 側方設置のセンサ汚れ (設置 3 ヶ月後)



7. まとめ

効果として、既設支障センサで検知出来ない荷物の挟みこみや、車両からはみ出したお客様などを多数検出することが出来た。既設支障センサで検出して 3D センサで検知出来なかった例はなかった。車両扉へのバッグなどの荷物の挟み込み、満員の車両や駆け込み乗車等で車両とホームドアの間にお客様がいるにも関わらず、一旦ドアが閉じることを防ぐことが可能となり、お客様への安心感につながると考える。また設置位置は上部に設置すると 3D センサの窓面へのほこり・汚れの付着が少ない。また 3D センサ前に物を置かれる、シールを貼られるなどの悪戯をされにくいこと、検知領域を広く確保できるなどメリットがある。側方設置は 3D センサ設置の容易性及び保守性及び可動式ホーム柵への展開の容易性などのメリットがある。しかし窓面が斜め上方向に向くため、ほこりの付着が懸念される。アルゴリズムの改良により現段階までは除去できているが、さらに付着量が増えた時のメンテナンスについて検証する必要がある。

8. おわりに

東京メトロでは今回の実験結果を参考に、細部にわたった調整を行ったうえで、営業線においてフィールド試験を行い、将来の実用化に向けて開発を進めていきたい。

9. 参考文献

- [1] 著書名:「3次元距離画像センサの鉄道事業への応用」, 第 46 回 鉄道サイバネ・シンポジウム論文, 論文番号: 906(2009 年)