

## 画像処理式転落検知システムの開発



佐々木 雄一\* 樋浦 昇\*

ホームからお客様が転落した場合、列車を停止させるための装置として転落検知マットや非常停止ボタンが整備されている。しかし、転落検知マットは列車乗降口直下付近にしか配備されていないので、線路上全域をカバーすることはできない。そこで、ITS技術として利用されているステレオ画像処理技術を用いて、線路上のほぼ全域を検知エリアとし転落者を検出できるシステムの開発に取り組んでいる。本文では、ステレオ画像処理技術を用いた転落検知システムの概要及びアルゴリズム、検知性能について紹介する。

**キーワード：**転落者検知、ステレオ画像処理技術、カメラ、転落検知マット

### 1 はじめに

JR東日本では、お客様が安全に目的地まで御利用になれることを最優先課題としている。そこで、首都圏の主要駅やカーブにより駅ホームと列車乗降口が離れているような駅を対象に、図1に示す非常停止ボタンや列車非常停止警報機、スレッドライン、ホームステップ、転落検知マット等を順次整備し、お客様の安全確保に努めている。

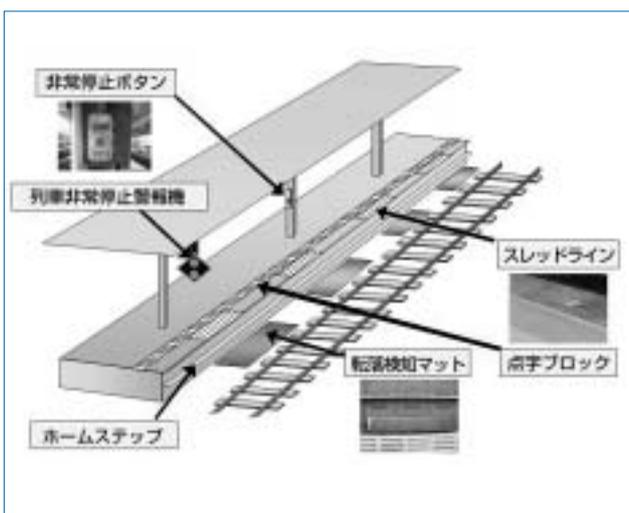


図1：駅ホーム上の安全対策内容

これらの対策に加えて現在、ITS技術として利用されているステレオ画像処理技術を用いて線路上のほぼ全域を検知エリアとし転落者を自動的に検出できるシステムを開発しているところである。

### 2 概要

ステレオカメラによる画像処理技術を用いれば、単眼カメラ（1台のカメラ）の画像処理技術では難しいとされた影や反射光等の周辺環境の影響を容易に排除し、対象物を立体的に判定できる利点がある。この技術を利用してホーム下軌道面全域にわたる転落者検出を行うこととした。

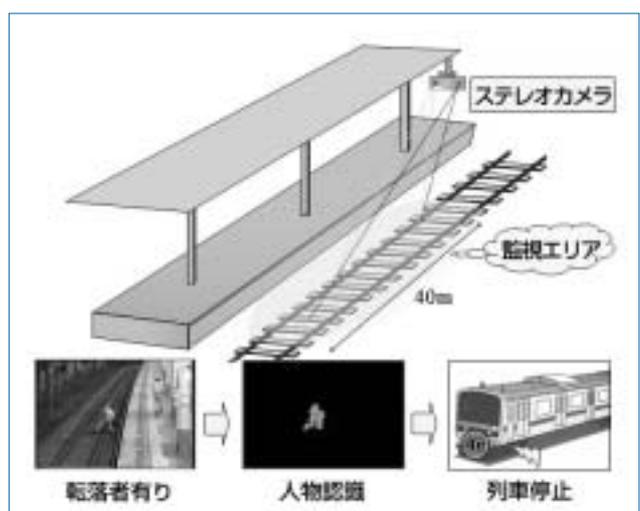


図2：画像処理式転落検知システムのイメージ

本システムは、図2に示すようにステレオカメラをホーム上屋から斜め下軌道面全体が監視できる位置に設置し、1ステレオカメラあたり、40m範囲の監視を行う。駅事務室内に設置した転落検知処理部では、あらかじめ

設定した監視エリア内にお客様が転落した場合、自動的に転落者を検知し監視モニター上へ「転落者有り」を警報表示する。そして、ただちに駅及び列車に転落者情報を伝達し、お客様の安全を確保するものである。

### 3 ステレオ画像処理

#### 3.1 原理

##### 3.1.1 距離検出

ステレオカメラで対象物を捉えた場合、左右各々の画像は図3のようになる。この時、画像処理専用ボード上で右画像を基準として、左画像との画素数のズレ量を計測する。このズレ量を視差と言う。距離Zは幾何学的に式(1)で算出することができる。

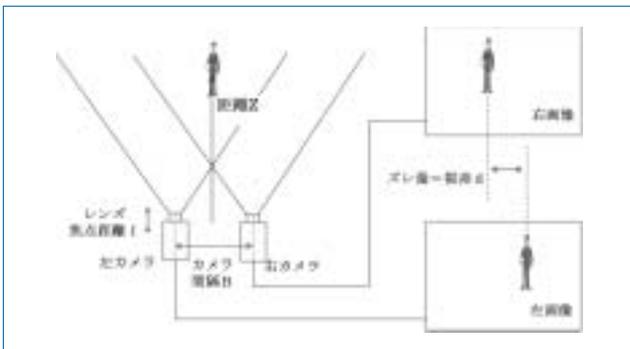


図3：対象物までの距離算出

$$\text{距離}Z = \frac{\text{カメラ間隔}B \times \text{レンズ焦点距離}f}{\text{視差}d} \quad (1)$$

##### 3.1.2 立体物検出

次に対象物の高さ算出の考え方を図4に示す。カメラから対象物頭上を通り、その延長線で地上と交わる箇所をXとする。その時のカメラから地上Xまでの距離aと頭上までの距離bの比は、光軸上の距離z<sub>0</sub>と距離zの比と同じになる。この時の対象物の高さhは、三角形の相似条件より式(2)で求めることができる。

このようにして、対象物を立体的に捉えることが可能になる。

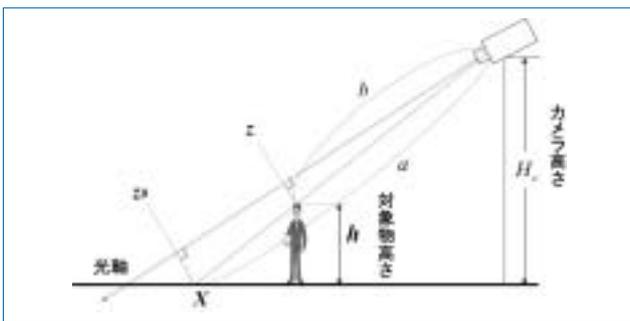


図4：対象物の高さ算出

$$\text{対象物高さ}h = \text{カメラ高さ}Hc \times \left(1 - \frac{b}{a}\right) = Hc \times \left(1 - \frac{z}{z_0}\right) \quad (2)$$

#### 3.2 ステレオ画像処理の特徴

カメラ1台の画像処理で移動物体の検知を行う場合、直前画像（もしくは基準画像）との比較を行う背景差分法を用いる方式が一般的である。しかし、駅ホーム等の屋外への適用を想定した場合、影や列車ライト等、周辺環境からの影響を強く受けてしまう恐れがある。これらの問題を克服するために、カメラ2台によるステレオ画像処理方式を利用した。

ステレオ画像処理方式には、次の利点がある。

- (1)物体までの距離計測が容易である
- (2)屋外での影や光等の外乱に強い

物体までの距離と高さの判定ができるので、カメラ1台では難しいとされた人と小物体の分別も可能である。また、線路上に発生する影は高さ0mになる。転落者を検知する時は、あらかじめ設定した高さの範囲内で検出すればよいので、影の影響を容易に除去することができる。

### 4 画像処理式転落検知システムの構成

本システムは、駅ホーム上に設置した複数台のステレオカメラ部と駅事務室内の転落検知処理部で構成される。今回の試験システムの構成を図5に示す。

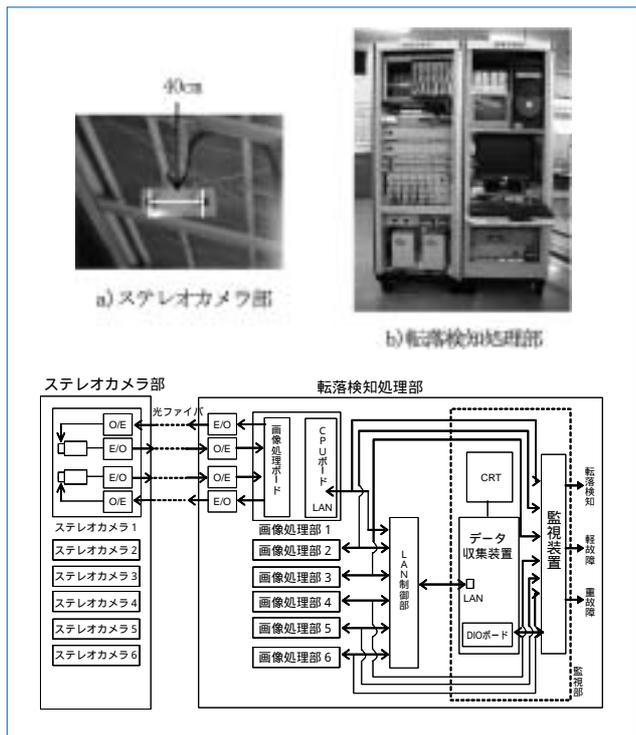


図5：画像処理式転落検知システムの構成

#### 4.1 ステレオカメラ部

ステレオカメラ部は、約38万画素の標準監視用白黒カメラ2台で構成している。試験機では転落検知処理部との伝送ケーブルに、ノイズに強い光ケーブルを使用している。そのためステレオカメラ内部にE/O（電気/光）変換器及びO/E変換器を用いて電気信号と光信号の変換を行い、画像信号及びカメラ制御信号の伝送を行っている。

ステレオ画像処理の特徴として、式(1)における対象物までの距離精度を向上するためには、カメラ間隔Bが大きいことが望ましい。しかし、駅ホーム上の設置スペースに限界があるので、カメラ間隔は40cmとした。

ステレオカメラの検知エリアは、取付位置直下から24.3m先を0mとし、そこから40mの範囲とした。この条件で山手線のホーム長全域240m（20m×11両+20m（前後の余裕10mずつ））を検知エリアとしてカバーするには、図6に示すように6台のカメラが必要になる。

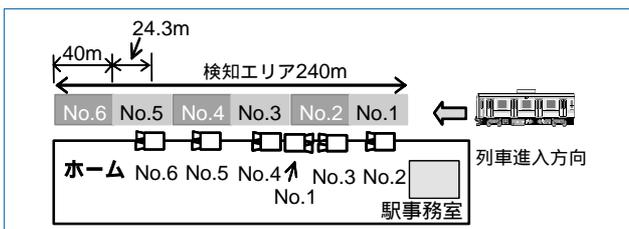


図6：ステレオカメラ部の取付位置及び検知エリア

#### 4.2 転落検知処理部

転落検知処理部は、画像処理部とLAN制御部、監視部から構成されており、ホーム上から転落したお客様を1秒以内に検出する仕様である。

画像処理部の画像処理ボードでは、ステレオカメラで得られた左右それぞれの画像の輝度をもとにレンズのフィードバック制御をすると同時に、左右画像から視差画像の抽出を100msで行う。そして併設したCPUボードでは、画像処理ボードで抽出した視差画像から転落者検出を54msで行う。

本システムでは安定した転落者検出を行うために、ホーム上からの転落速度や転落方向の監視も行っている。そのためさらなる高速処理を実現するために、図7に示

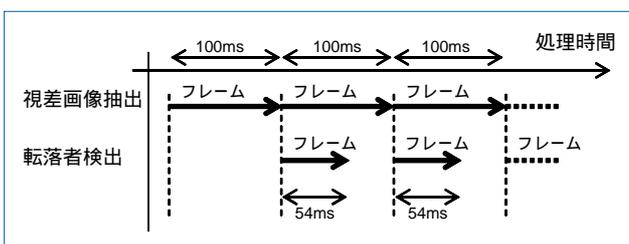


図7：パイプライン処理

すパイプライン（並列）処理を用いて処理時間の短縮を図っている。

通常の直列処理方法では、1フレーム（1コマ）あたり154ms（100ms + 54ms）要するが、パイプライン（並列）処理を用いることで、100msで処理できるようにした。このような高速処理を行うため、1ステレオカメラ部に対して1画像処理部を設けている。

### 5 計測性能

本システムのセンサーとしての性能を確認するために、任意の2箇所を連続的に計測し、精度と安定性について評価を行った。図8に計測位置を示す。



図8：計測位置

次に図9に20m及び30m地点で計測した1時間毎のレベル高さを、図10に30m地点でのレベル高さ分布を示す。

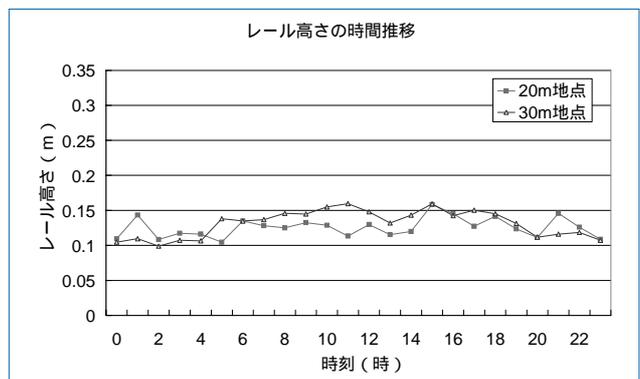


図9：レベル高さ計測（時間推移）

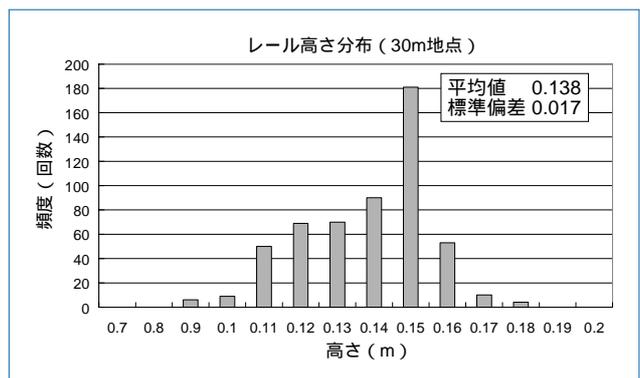


図10：レベル高さ計測（分布）

レール高さの実測値はそれぞれ約0.145mであるので、図9より計測精度は±0.04m程度である。また、図10より頻度分布については、平均値の3標準偏差内に収束しているため計測性能は安定していると言える。

## 6 検知の流れ

検知の流れは、「レール高さ判定」、列車進入時に列車と判定する「列車検知」、ホーム下に転落したお客様を検知する「転落者検知」の順で行われている。図11に検知フローチャートを示す。

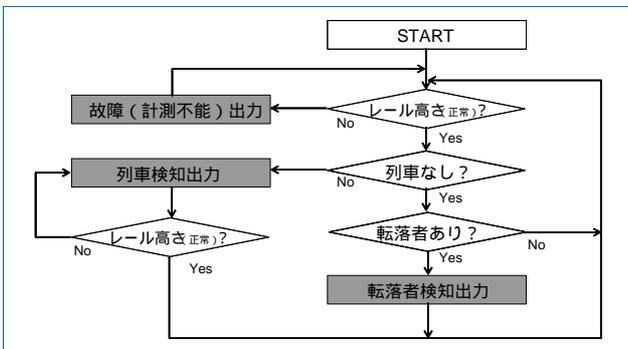


図11：検知フローチャート

レール高さ判定の目的は、以下の通りである。

- (1)カメラズレ等の機器不良による異常計測を確認する
- (2)霧や雪等による計測不能を確認する

継続してレール高さ計測を行うことで、上記の事象が発生した場合、故障内容表示や装置停止のための自己診断機能として利用している。次に列車判定を行い、列車がない状態で転落者を検知した場合は、転落者検知出力を行う。列車在線の場合は、列車検知を出力し、レールが完全に見えるようになるまで列車検知出力を継続する。

## 7 検知アルゴリズム

### 7.1 転落者検知

転落者検知は、ホーム上からの転落情報ならびに大きな情報で判定している。図12に検知エリアを示す。

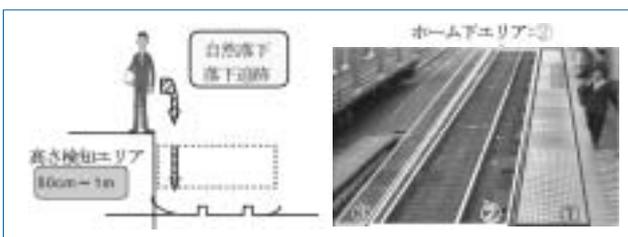


図12：検知エリア

図12右の ~ は、 :ホーム上エリア、 :ホーム下エリア、 :線路外エリアに分類する。本システムの転落者検知エリアは、 エリア内であり高さ50cm~1mの範囲である。このエリアにお客様が転落した場合に検知する。

通常の転落は、 エリアから エリアへの自然落下である。そこで、 エリアから エリアへの自然落下及び落下追跡情報も判定に用いることで、人間以外の物体との分別精度の向上を図っている。

なお、まれではあるが、 エリアから エリアへお客様が立入ることも想定される。そこで、 エリア内であらかじめ高さ70cm以上の人間がいると判定した場合にのみ、 エリアで検知処理を行う。

次に エリア内にお客様が転落した場合の流れを図13に示す。

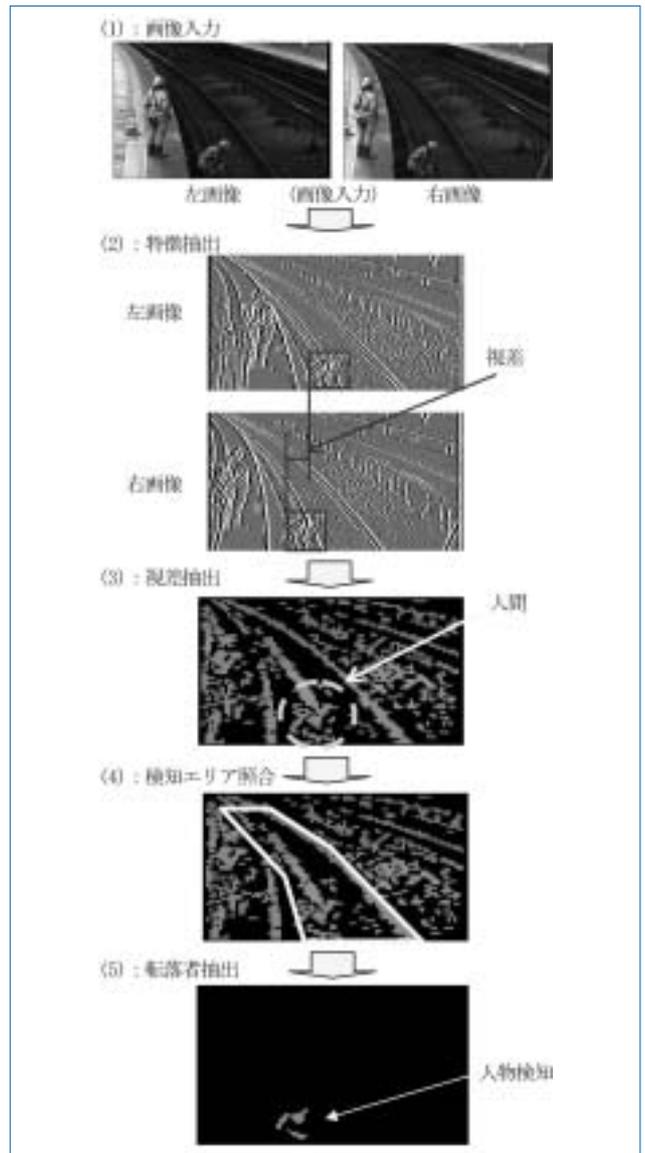


図13：転落者検知の流れ

- (1) (2) : ステレオカメラで得られた左右それぞれの画像の特徴抽出を行う。
- (2) (3) : それぞれの特徴抽出画像から視差抽出を行う。
- (3) (4) : 視差抽出した画像と検知エリアを照合する。
- (4) (5) : エリア内において、高さが50cmから1mの範囲で大きさが5ブロック(40m先で30cm<sup>3</sup>の箱が見える大きさ)以上の状態が2フレーム以上連続した場合、距離に応じた大きさ判定を行い、一定以上の大きさであれば、転落者として抽出する。

## 7.2 列車検知

列車を転落者と誤って検知することを防ぐために、列車進入時には列車検知出力を行い、転落者検知を行わない処理(マスク処理)を行っている。図14、15にカメラ設置向き別の列車検知判定を示す。

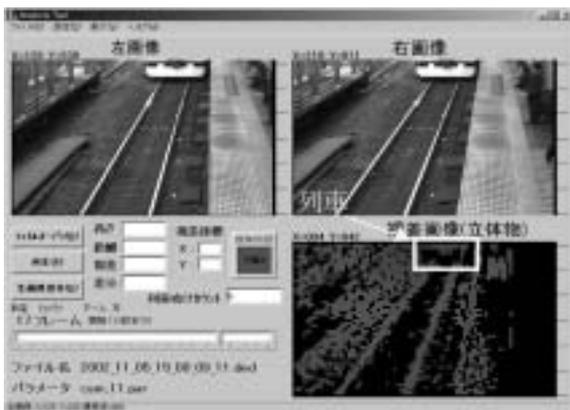


図14 : 列車検知判定 (対向カメラ)

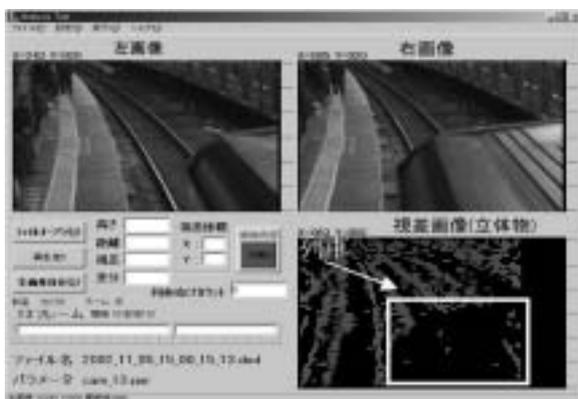


図15 : 列車検知判定 (背向カメラ)

双方とも列車進入時は、両レールの一部分が見えなくなり、かつ列車認識ができたなら列車検知として装置にマスクを掛ける処理を行っている。また、列車進出後は、レール全体が完全に認識できるまでは列車検知は保持される。

## 8 現地試験結果

### 8.1 転落者検知

#### (1) 転落者検知試験

転落者検知の性能を確認するために、小学生の大きさを想定した転落模擬体を利用して検知性能を検証した。図16に試験に用いた検知模擬体、図17に試験風景を示す。



図16 : 検知模擬体



図17 : 転落者検知試験風景

図17に示すような転落者検知試験を様々な場合を想定して実施した結果、昼夜を問わず一番条件が厳しい検知距離40m地点でも検知漏れがないことが確認できた。また、日照条件や夜間時間帯の照度の違う駅でも同様な試験結果が得られた。

このことから、線路面上で100ルクス以上あれば、最も検知条件が厳しい夜間時間帯に黒い服を着ている状態の小学生が検知距離40m地点に転落しても問題なく検知できると考えられる。

#### (2) 転落者検知の動作回数

現地試験で駅ホームから転落したお客様を検知した回数について述べる。表1に転落検知マット(以後マット)と画像処理式転落検知システム(以後画像式)の検知回数の比較を示す。

表1 : 転落検知マットとの検知回数比較

	10月	11月	12月	1月
転落検知マット	2	2	7	2
画像処理式転落検知システム	2	6	12	5

11月に、列車停車中にお客様が誤って転落検知マット上に荷物を落とした結果、転落検知マットのみ動作したという事例が1件発生した。これは、列車検知後はマス

ク処理を掛け、転落者検知を行わないためであり検知漏れではない。また、仮に列車進入前でも、ショルダーバック等の小物であるならば、大きさ判定処理により転落者として検知することはない。

これ以外でマットが検知した時は、画像式でも漏れなく検知を行っている。図18に画像式のみで検知できた転落者の一例を示す。



図18：画像式のみで検知できた転落者の一例

## 8.2 列車検知

今回の試験システムでは、2002年10月より2003年1月末までの約4ヶ月間（約35,200列車）において、すべての列車を検知できた。

## 8.3 誤検知対策

駅では、誤って落としてしまった荷物を拾うために、マジックハンドの使用が想定される。また、それ以外の物体についても誤検知する可能性が考えられるので、次の対策を行っている。

### 8.3.1 マジックハンド

マジックハンドの特徴抽出を行った場合、横に対して縦の比が長く検出される。また、検出域にしめる細い部分の比率が高くなる。転落者の場合、このような特異な特徴にはならないのでマジックハンドと判定し、転落者として検知しない。

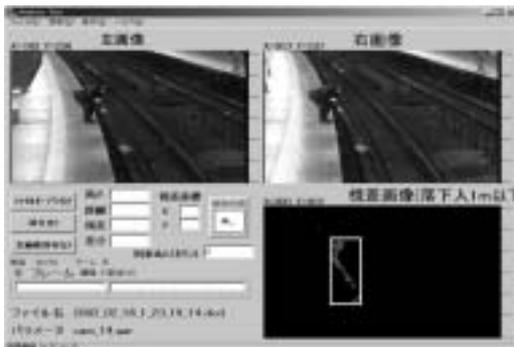


図19：マジックハンド

### 8.3.2 新聞紙、ごみ袋、鳥

新聞紙やごみ袋、鳥に対しては、7.1項で述べた転落者検知情報の判定によって、除外することができる。

新聞紙やごみ袋は、エリアからエリアへ落下したとしても、人と同じような落下速度ではない。また、エリアからの侵入に対しても高さ70cm以上の物体になることはない。鳥に対しては、線路上で飛立ちや羽ばたきをして、落下追跡情報により除外される。

ただまれではあるが、ホーム上領域から新聞が重なり合って落下する場合や鳥が自然落下に近い形で着地するような場合、転落者として検知することが考えられる。



図20：新聞紙やごみ袋、からす対策

### 8.3.3 誤検知対策の評価

表2に誤検知対策の評価結果について示す。

猫等の小動物については、距離に応じた大きさ判定処理により対策を行っている。また、お客様の手荷物がホーム下エリア上にはみ出た場合で

表2：誤検知対策の評価

	誤検知
猫、鼠等の小動物	
マジックハンド	
ホーム際からはみ出た大荷物	
新聞紙やごみ袋、鳥	

：なし                   ：ごくまれに有り

も、高さ検知エリア外になるので検知しない。これらについては、試験で転落者として検知しないことは確認済みである。新聞紙やごみ袋、鳥については、試験期間中にまれではあるが、月に1件程度検知した。

これとは別に、自然環境の影響として風雨や太陽光、列車ライト等を受けることによる誤検知は発生していない。また、首都圏に降る程度の降雪であれば、誤検知は発生しないことは確認できている。

## 9 おわりに

現在までの現地試験においては、ほぼ検知漏れや誤検知することがないことを確認できた。

今後、曲線形状の違いや照度、列車運転方向の違いによる影響等、導入に向けた取組みを行う予定である。