

エスカレーター乗降口転倒検知センサ

伊藤 寛*
猪又憲治**
平井敬秀***

Fall Detection Sensor on Escalator Exits

Yutaka Itoh, Kenji Inomata, Takahide Hirai

要旨

近年、エスカレーターなどの昇降機における利用者への安全性に対する要求が高まっている。昇降機の事故状況ではエレベーターに対しエスカレーターの事故は約9倍の割合で発生し、その件数は増加傾向にある。

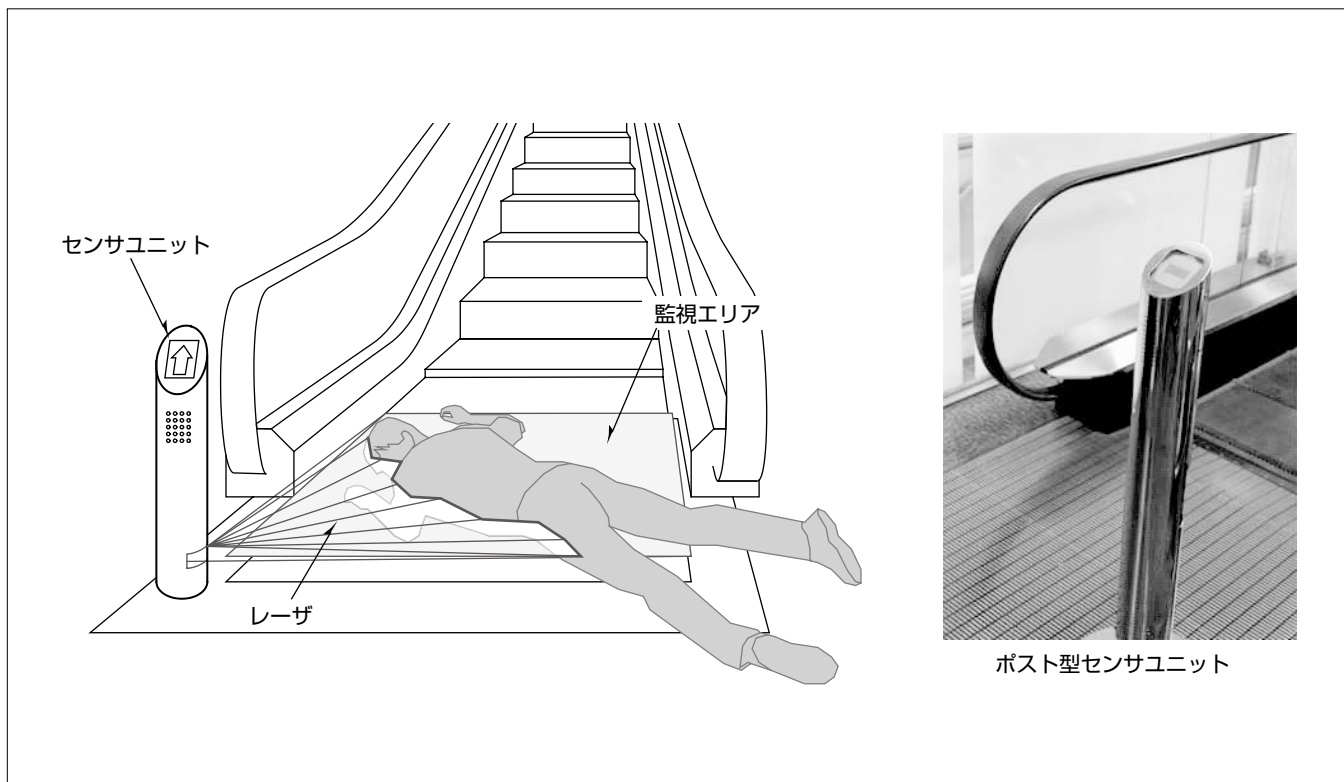
このような状況を踏まえ、利用者の更なる安全性向上を目指して、エスカレーター乗降口の転倒検知センサを開発した。これは、レーザ測距計を用いてエスカレーター乗降口の足元を走査し、利用者の転倒を即座に検知してアラームを発するものである。利用者が転倒した場合、レーザは転倒者の形状をとらえる。このレーザが当たった領域の長さを計測し、その長さから転倒を検知する原理である。

ところで、駅などに設置されたエスカレーターの乗降口は朝夕のラッシュ時には非常に多くの利用者が通過する。最も滞留した状況では、利用者の空間占有率は50%を越え、

滞留状態で転倒と誤検知するおそれがある。そこで、利用者の足の動きをとらえることで誤報を防ぐアルゴリズムを開発した。これによって、朝夕のラッシュ時の駅でも誤検知なく動作可能な転倒検知センサを構築した。

次に、この装置の主な特長を挙げる。

- (1) 転倒者を5秒以内に検知
転倒者がバタついた場合でも正常に転倒を検知
 - (2) 非常に混雑した駅などにも設置可能
朝夕ラッシュ時の超滞留状態でも誤報なく動作
 - (3) 既存のエスカレーターに後付けで設置可能
床置きタイプとポストタイプがあり、要望に応じて選択可能
- レーザはクラス1とし転倒者に対する安全性を考慮した。



エスカレーター乗降口転倒検知センサ

エスカレーター乗降口横に設置したセンサユニットからレーザを照射し利用者の通行状態を監視する。利用者が転倒した場合、レーザは転倒者の形状をとらえ、このレーザが当たった領域の長さを計測し、その長さから転倒を検知する。

1. ま え が き

近年、エスカレーターなどの昇降機における利用者への安全性に対する要求が高まっている。こうした中、いくつかの行政機関では独自に昇降機の事故状況を調査・分析し公開している⁽¹⁾⁽²⁾。それによるとエレベーターに対しエスカレーターの事故は約9倍の割合で発生し、発生件数は増加傾向にある。

最大の事故原因は転倒・転落であり、全体の9割以上を占めている。また事故発生時、利用者の4割弱は体調不良又は酩酊(めいてい)状態であり、発生場所の約7割は乗降口と報告されている。意識が薄い利用者が転倒した場合、瞬時に起き上がれず大事故につながる危険性がある。

このような状況を踏まえて利用者の更なる安全性向上を目指し、エスカレーター乗降口の転倒検知センサを開発した。これは、レーザ測距計を用いて乗降口の足元を走査し、利用者の転倒を即座に検知してアラームを発するものである。本稿では提案する転倒検知センサの構成及び特長を述べる。

2. エスカレーターの利用者監視センサ

エスカレーター利用者監視センサとして画像解析技術が広く研究・開発されている⁽³⁾。これらの研究開発によって、エスカレーター付近の異常行動者の検出や、混雑度の検出による利用者への危険情報の提供など、エスカレーター利用者に対する安全性は向上しつつある。しかしながら、転倒検知に特化したセンサの研究は少ないのが実情である。

エスカレーター利用者の事故が増加する中、様々な現場状況でセンサ設置を可能とするためにも、設置スペースを必要としない小型で安価な転倒検知センサが必要である。そのため、乗降口での転倒発生が多いという現状も考慮し、小型で確実な転倒検知を可能とするよう、レーザ測距計を用いた乗降口転倒検知センサを開発した。

使用したレーザ測距計は扇状にビームを走査しながら面上に存在する反射物の距離を測定するスキャン型レーザ測距計である。このレーザ測距計を内蔵したセンサユニットを、**扉図**に示すように乗降口に設置し、利用者の通行状態を監視する。駅などに設置されたエスカレーターの乗降口は朝夕のラッシュ時には非常に多くの利用者が通過する。最も滞留した状況では、利用者の空間占有率は50%を超え、この状況ではレーザの照射領域は非常に大きな値となる。そのため、滞留状態で転倒と誤検知するおそれが出てくる。滞留状態では歩行速度は4m/分程度と非常に低速であっても利用者に動きがあり、特に地面を踏み込んだ足の反対の足は比較的速く移動する。よって、この人の足の動きに着目し、足の動きを考慮した判定アルゴリズムを開発することで朝夕のラッシュ時の駅でも誤検知なく動作可能な転倒検知センサを構築した。

3. エスカレーター乗降口転倒検知センサ

3.1 転倒検知の原理

レーザ測距計で測定した距離から照射領域の長さを求め、転倒を検知する方法を述べる。**図1**に示すようにレーザ測距計の測距ごとの角度差を $d\theta$ とし、測距値を r とすると、ビーム方向を中心とした $-d\theta/2 \sim d\theta/2$ の範囲の弧の長さ dl は、

$$dl = r \cdot d\theta \dots\dots\dots(1)$$

と表される。 $z = (r \cos \theta, r \sin \theta)$ を照射点の座標とすると、次に示すように、照射領域 L は z が領域 S にある弧 dl の合計として得られる。

$$L = \sum_{z \in S} dl \dots\dots\dots(2)$$

ここで、領域 S を監視エリア内の物体の動きの少ない領域とする。

直立した人の人面積は一般に平均 0.16m^2 で与えられる。この場合の空間占有率50%は 1m^2 内に3.12人が入る密度となる。この場合、人と人との間隔は円周方向で一定と仮定すると、人の中心間の平均距離は約64cmとなる。ある一定期間観測すれば、レーザは最初にとらえた足から、隣人の足や壁に移る。よって物体の動きの少ない領域として、足幅を考慮し、物体動きの上限を30~40cm程度としておけば、それを超える変化量は滞留状態として除外できる。また、転倒者が多少バタついて除外されずに転倒検出が可能となる。

3.2 レーザビームの高さ

レーザビームの高さはセンサ性能に大きな影響を及ぼす。当然、高すぎると転倒者を検出できない。**表1**は身体部位

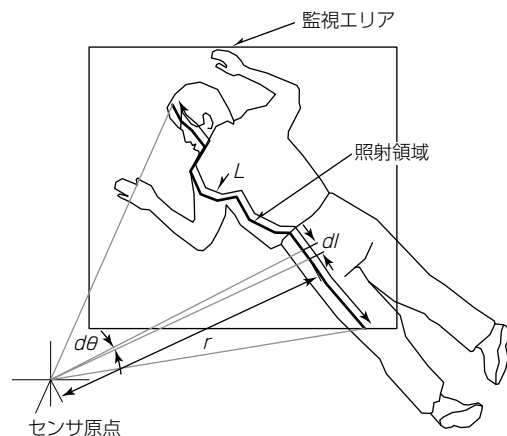


図1. 計測モデル

表1. 人体サイズの統計量

	幼児	女性 (最小値)	男性 (最大値)
頭の幅	10.6~16	12.5	18.5
腰の幅	—	17.9	43.1
ももの幅	—	10.57	16.3

(単位: cm)

の実測値の統計量である⁽⁴⁾。転倒を確実に検知するためには、少なくとも10.6cmより低い高さでレーザを出す必要がある。

ところで、2章で述べたように誤報を低減させるために、地面を踏み込んだ足の反対の足の動きを観測する必要がある。そこで人が歩くときの足の高さを計測し最適なレーザ高さを実測した。図2は計測結果で横軸は足の高さ、縦軸は歩行時の高さの累積分布である。この結果はレーザビームの高さを10cmにすると95%以上の足の動きをとらえられることを示している。これらの結果から、レーザビームの高さを10cm前後にすることで、転倒を確実に検出できるとともに、誤報を最小限に抑えることができるといえる。

3.3 センサユニットの構成

図3にセンサユニットの構成を示す。センサユニットはプロセッサを内蔵したポスト型と外付けの小型据置き型の

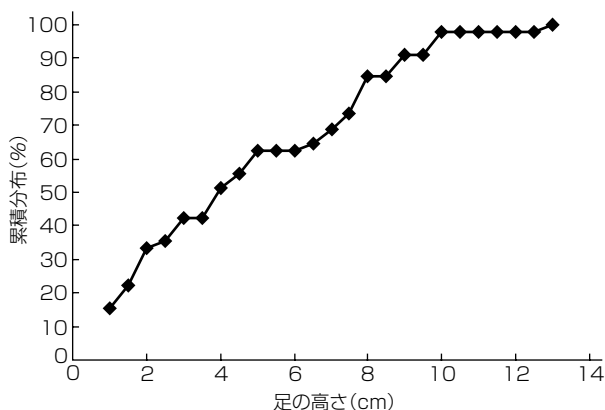


図2. 歩行者の足の高さ

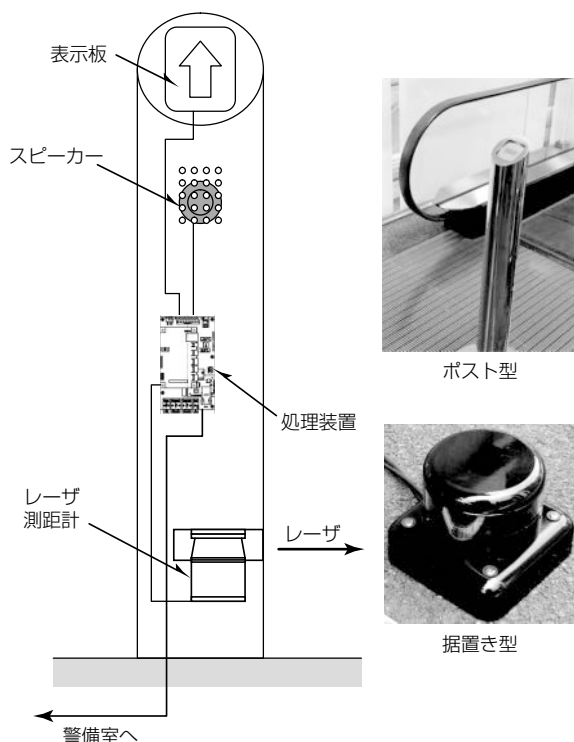


図3. センサユニットの構成

2種類を開発した。プロセッサは、レーザ測距計のスキャン結果を転倒検知アルゴリズムで処理し転倒を検知する。転倒を検知した場合、スピーカーとディスプレイから警報を発令するとともに、警備室に情報を出力する。ディスプレイは通常はエスカレーターの案内板として利用できる。

表2にセンサの仕様を示す。レーザはクラス1とし、転倒者に対する安全性を考慮した。転倒検知時間は5秒である。

3.4 異常検出

センサユニットのレーザ出力窓への付着物などでレーザが遮られると転倒を正しく検出できなくなる。そのため、監視エリアを走査できない状態を検出する異常検出アルゴリズムを開発した。異常を検出すると警備室に軽故障の通報を上げる仕組みである。

4. 実験評価

試作した据置き型のセンサユニットを用いて転倒検知性能の評価試験を行った。評価項目と期待する性能を次に示す。

- ① 滞留状態 反応なし
- ② 倒れ状態 倒れ検知

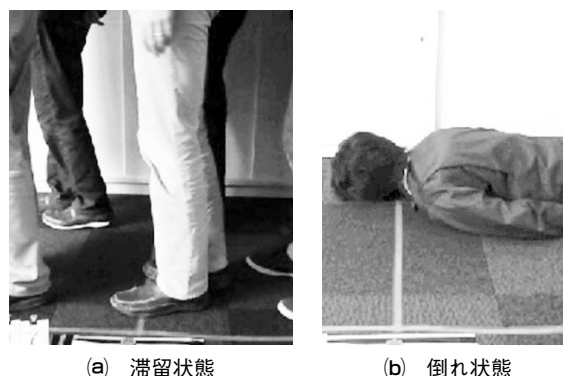
図4に滞留状態と倒れ状態の実験状況を示す。監視エリアは1m×90cmとし、照射領域の判定値を35cmとして、この値を超えると転倒した。

図5(a), (c)はそれぞれ滞留状態でのセンサが観測した物体の座標と、倒れ検知アルゴリズムで計算した照射領域の時間変化である。利用者の足が多数とらえられていることが分かる。しかし、誤報除去アルゴリズムによって照射領域が抑えられ100mm程度までしか上昇せず倒れ状態と判定されないことが分かる。図5(b), (d)はそれぞれ倒れ状態

表2. センサの仕様

レーザ光源	$\lambda = 785\text{nm}$ (FDA クラス1)
最大距離	4 m
走査範囲	240°
検知サイズ	35cm~
検知時間	5 sec
センサユニットの寸法	Height 1,150mm, ϕ 140mm

FDA : Food and Drug Administration



(a) 滞留状態

(b) 倒れ状態

図4. 実験状況

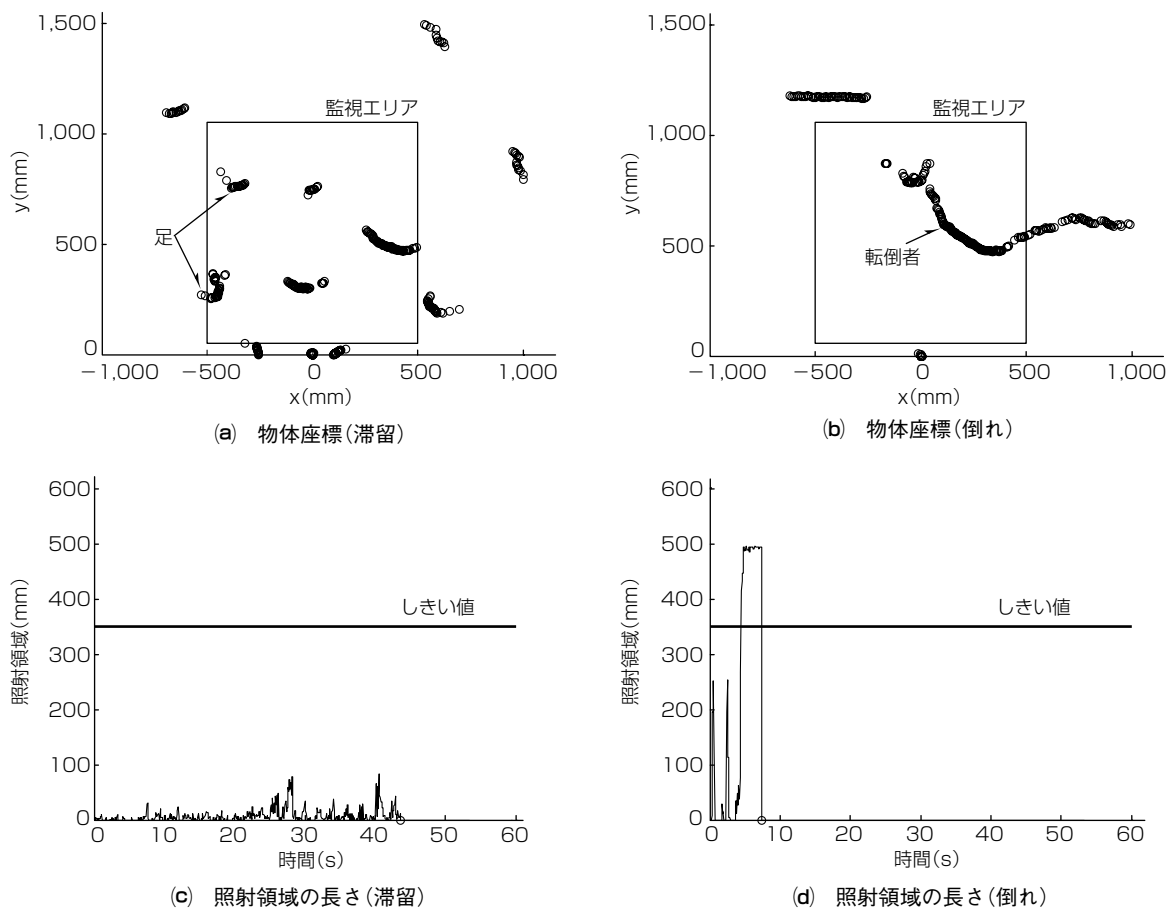


図5. センサが観測した物体の座標と、照射領域の時間変化



図6. 付着したガム

の結果である。開始から約5秒で倒れを検知することが分かる。

また、図6に示すように付着したガムなどが検出できるか検証を行った。その結果、ガムなどの付着物の距離も正しく計測し、物体の距離と経過時間から異常状態を検出することを確認した。さらに、近接した紙やペットボトルも検出可能なことを確認した。

5. む す び

スキャン型のレーザ測距計を用いた転倒検知センサを開発した。レーザが当たった照射領域の長さを計測し、その長さを判定することで転倒を検知する。測距値の変動幅が小さい領域の照射領域を計算させることで、滞留などで多数の利用者が存在する場合でも誤報を防ぎ、約5秒で転倒を検知する性能を得た。このセンサの利用によって、これまで以上にエスカレーターの安全性が高まると確信する。

参 考 文 献

- (1) 建築指導室編, 特定設備事故届出状況報告書, 大阪府, 平成18年~21年
- (2) 高橋儀平, ほか編: エスカレーターに係る事故防止対策について, 東京消防庁生活安全課
- (3) エスカレーター混雑検知システム
http://www.meltec.co.jp/press/pass_search.html
- (4) 人間工学研究センター(HQL)データベース