

エスカレーター乗降口滞留検知システム

近藤純司* 吉田浩二†
猪又憲治**
伊藤 寛***

Congestion Detection System on Escalator Exits

Junji Kondo, Kenji Inomata, Yutaka Itoh, Koji Yoshida

要 旨

エスカレーターやエレベーターなどの昇降機の利用に際し、利用者の保護を目的とした安全への要求・意識が高まってきている。

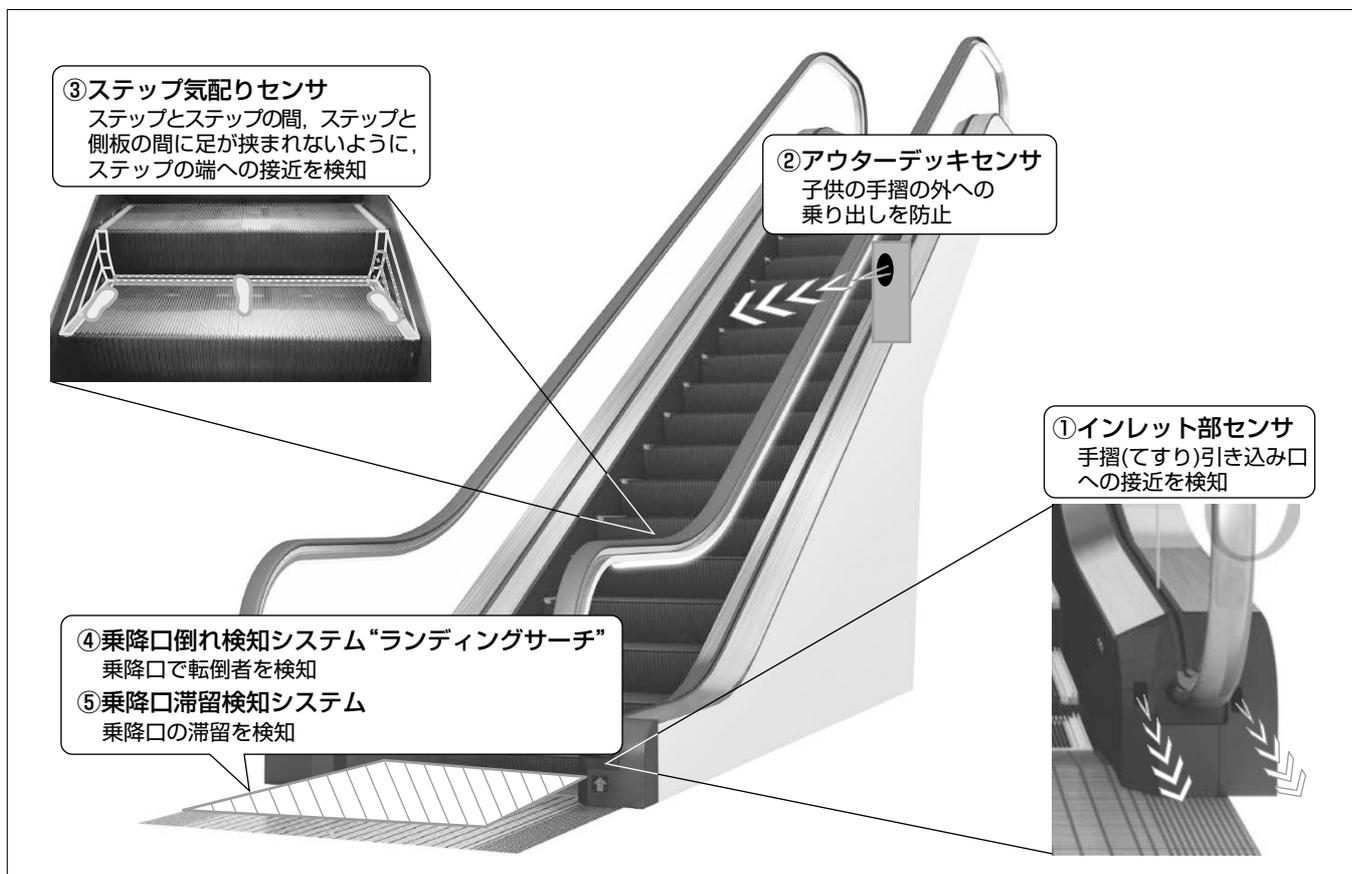
三菱電機株式会社及び三菱電機ビルテクノサービス株式会社では、このような状況から、従来エスカレーターに次のような安全センサを備えている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

- ①インレット部センサ
- ②アウターデッキセンサ
- ③ステップ気配りセンサ
- ④乗降口倒れ検知システム“ランディングサーチ”

エスカレーターでは特に、乗降口での事故が最も多く発生している。このため、乗降口倒れ検知システムに加えて

今回開発したのが、乗降口滞留検知システムである。

この滞留検知システムの開発では、倒れ検知システムと同じハードウェアを用いることで、コスト低減を図った。倒れ検知システムでは転倒者を検出するため、乗降口の地上高10cmでの検出を行う。一方、滞留検知システムでは人の流れを計測する必要があるが、地上高10cmでは、通常、歩行者の足首が検出される。このため、足の停止時間から人の移動速度を、足の数から人数と混み具合を割り出し、これら2つの値から滞留状態を判断するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムについて実環境下にセンサを設置しての実証実験によって有効性を確認し、滞留検知システムを2013年3月から市場へ投入した。



エスカレーターに備えられる安全センサ

三菱電機(株)及び三菱電機ビルテクノサービス(株)では、エスカレーター上での安全を確保するために、従来、①インレット部センサ②アウターデッキセンサ③ステップ気配りセンサ④乗降口倒れ検知システム“ランディングサーチ”を製品ラインアップに用意している。今回さらに⑤乗降口滞留検知システムを開発した。

1. ま え が き

エスカレーターやエレベーターなどの昇降機の利用に際し、利用者の保護を目的とした安全への要求・意識が高まってきている。行政機関の調査報告⁽⁵⁾によると、2010年度上期の大阪府建築物に付属するエレベーターでの事故件数9件に対し、エスカレーターは85件と9倍以上の頻度で事故が発生し、その内、中央部での事故31%に対し、55%が乗降口で発生している。このような状況から、三菱電機㈱と三菱電機ビルテクノサービス㈱は乗降口における利用者の転倒を検知する“ランディングサーチ⁽³⁾”を製品化している。

これに加え、さらに、転倒など様々な事故の要因となる滞留状態を検知し、利用者や管理者に注意を促すことで事故を未然に防ぐことを目的として、滞留検知システムを開発した。

本稿ではこの滞留検知システムについて述べる。

2. エスカレーター乗降口における安全システム

2.1 倒れ検知システム

エスカレーターで最も事故発生頻度が高い乗降口付近における安全システムとして、先に開発した倒れ検知システム“ランディングサーチ⁽³⁾”について述べる。図1が倒れ検知システムの概観図である。エスカレーター乗降口近辺を監視エリアとし、ここで倒れて動けない人物(転倒者)を検出すると警報を発報するシステムである。図ではポストタイプのセンサユニットの下部に、レーザによって対象までの距離を監視エリア内二次元上で計測するセンサを内蔵し、同センサで転倒者を検出する。表1に示す仕様の同センサは転倒者を検出するため、地上高10cmの平面を監視エリアとして設定している。

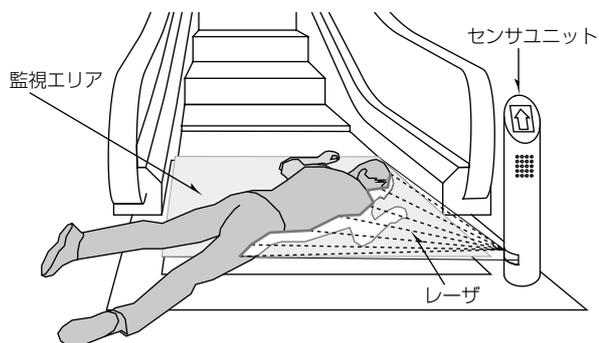


図1. 倒れ検知システム

表1. 倒れ検知システムのセンサ仕様

番号	項目	仕様
1	レーザ波長	785nm (FDA class 1)
2	最大計測距離	4 m
3	計測角度	±70°
4	検出サイズ	35cm~
5	電源	5 V 500mA以下

FDA : Food and Drug Administration

倒れ検知システムには、図2(a)(b)のように、ポスト型や据置き型、また、(c)の矢印部分のように、エスカレーターステップの引込み口(くし)付近を照らす照明の代わりに埋め込むタイプがある。

2.2 滞留検知システム

転倒事故の検出を目的とした倒れ検知システムに対して、さらに、事故を起こしやすい状況を検知することで、この状況を避け、未然に事故を防ぐことを目的とした滞留検知システムを開発した。

また、倒れ検知システムとハードウェアを共通化することで、顧客が両方の安全システムを同時に採用しやすい製品とすることを目標に開発を行った。3章で、滞留検知アルゴリズムについて述べる。

3. 滞留検知アルゴリズム

3.1 滞留とは

滞留検知システムでは、事故を引き起こす可能性のある危険な滞留状態を検知する。危険な滞留の状態について、次の2つを指標とした。

- (1) 占有率：50%以上(人の平均面積0.16m²)
- (2) 歩行速度：4 m/min以下(=0.66m/s以下)

滞留といっても、乗降口に他者がいない状況で、1人立ち止まっている場合は、ただちに危険な状態とはいえない。このため、監視エリアに何人の人が存在しているかを表す占有率という概念を導入した。これは人の平均面積を0.16m²とし、人数と監視エリアの面積の比によって求める。さらに、多数の人間がいる状態で、人の流れが停滞することが危険な滞留状態であるため、人の歩行速度を計測する。これら占有率と歩行速度を(1)(2)の指標に照会することで、滞留状態の判断を行う。



(a) ポスト型



(b) 据え置き型



(c) 埋め込みタイプ

図2. センサ設置タイプ

3.2 足の検出

滞留状態の検知には、先の指標である占有率と歩行速度を計測する必要がある。一方、このシステムでは、倒れ検知システムとハードウェアを共有させるため、レーザの高さ10cmという条件下で滞留状態を検知する必要がある。

そこでこの開発では、足の検出によって、人数と移動速度の計測を行う。ここでは、足の検出方法について述べる。

図3に足の検出の概略図を示す。図1にも示した測距を行うレーザセンサから扇形に放ったビームが対象に当たった点を測定点とする。①隣接する測定点間の距離を比較し、②規定値以下のものを1つの物体=足として検出する。③1つの物体として検出した測定点群の平均位置を物体の中心=足の位置として計測する。

3.3 占有率の算出

3.2節で計測した足の数をLとし、人数N(人)は

$$N=L/2 \dots\dots\dots(1)$$

で求める。占有率Pは人数N(人)と監視エリア面積S(m²)から次式で算出する。

$$P=\frac{0.16N}{S} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

係数0.16(m²)は1人の占有面積の平均である。監視エリア面積Sは、システムの設置時に設定する固定値である。

3.4 歩行速度の推定

滞留状況を判断するために、人の流れを把握する必要がある。このため人の歩行速度を計測する必要がある。人の流れを知るために必要な歩行速度とは、人の体の中心の移動速度である。これに対して、手足などの部位は異なった動きをするため、先に述べた歩行速度とは異なる。このシステムでは足の挙動を分析し、足の停止時間から歩行速度を推定する技術を開発した。これを図4を用いて述べる。

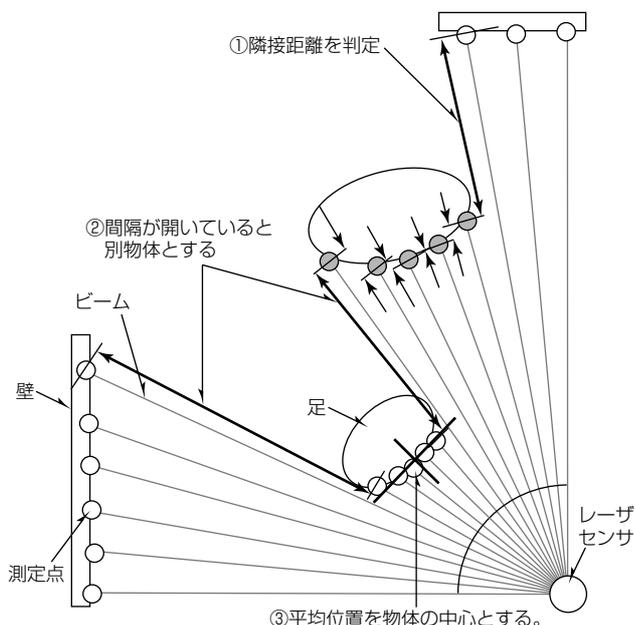


図3. 足の検出

図4に示すように、左右の足を交互に動かすことで歩行は成り立つ。このため、足を独立に観測すると停止、加速、減速を繰り返すため、歩行速度が一定の場合も、足の速度は一定ではなく、単純に足の速度から歩行速度を計測することは難しい。

一方、歩行速度が一定の場合、歩幅と足の静止時間の比は一定である。このことから、歩幅を推定し、静止時間を計測することで平均歩行速度Vの推定を行う。

まず歩幅について、あらかじめ閑散時と滞留時の様子を映像で記録・解析することで、閑散時(1人程度)60cm～滞留時(5人程度)30cmという結果を得ている。このことから推定歩幅Hは次の式で与えられる。

$$H=-0.075N+0.675 \dots\dots\dots(3)$$

次に静止時間について、全ての足について、個々に静止時間を求め、この合計を総静止時間Tとする。TとNを用いて、次の式で平均静止時間Tmを算出する。

$$Tm=T/N \dots\dots\dots(4)$$

このH、Tmから平均歩行速度Vは次の式で求める。

$$V=H/Tm \dots\dots\dots(5)$$

3.5 滞留度の算出

3.1節で述べたように、占有率(P)>50、歩行速度(V)<4m/min(=0.06m/s)を滞留状態の指標とする。この指標を包含する、図5のような滞留度Cの概念を導入する。この指標の境界で滞留度Cが10となるような滞留度は次の式で与えられる。

$$C=\frac{P}{\alpha V^2+\beta} \dots\dots\dots(6)$$

$$\alpha=\frac{Pa-P0}{10 \times Va^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$\beta=P0/10 \dots\dots\dots(8)$$

ここで、Va=0.06m/s、Pa=50である。滞留状態の危険性の評価については、占有率が高い(エスカレーター利

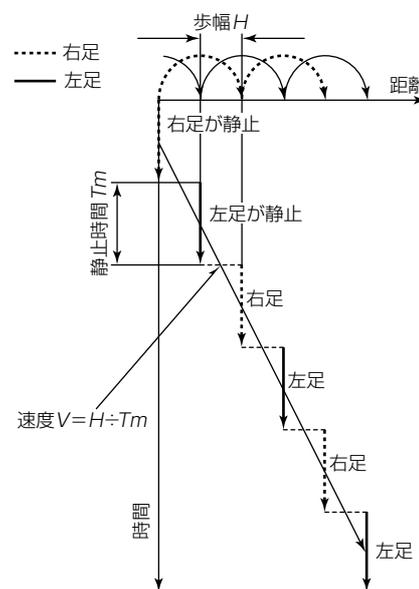


図4. 歩行速度の計測

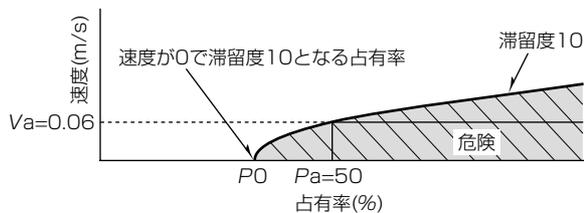


図5. 滞留度の算出

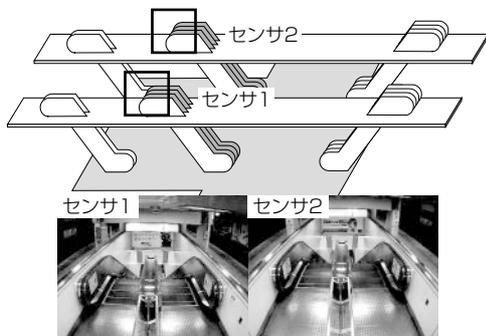


図6. 実証実験環境

用者が多い状態でも人が流れていれば、人が停滞している状態に比べ危険性が低い。一方占有率が低い(利用者が少ない)状態でも、停滞が発生すると危険な状態に陥りやすい(後続者の追突など)。よって、滞留度を求める際には速度を重視した式としている。

切片 $P0$ は設置環境ごとの調整用パラメータとする。こうして求められる滞留度について $C=10$ となる曲線を、速度・占有率平面に示したものが図5となる。このシステムでは滞留度10以上の領域(図中斜線部)を滞留状態として検知する。

4. 実証実験による評価

滞留検知アルゴリズムの有効性を評価するため、某鉄道会社と共同で、駅ホームに通じるエスカレーターを用いた実証実験を行った。この時の環境を図6に示した。システムを上りエスカレーターの降り口に設置した。レーザーセンサは図2(c)の設置タイプとし、図7に示すように、くしから外側を監視エリアとして設定した。この環境下で延べ約2か月/台分について滞留検知実験を行った。同時に監視エリア付近の映像を撮影し、映像を手動で解析することで速度と占有率を求めた。図8は、映像の解析結果と、センサによって得られた値との比較を示しており、左上が比較時の映像、左下がセンサの検知状態、右上が速度と占有率個々の値、右下がセンサと映像解析によって得られた滞留度の比較を表している。高い精度で一致、滞留状態の検知について誤報がなかったことを確認した。このことから、実環境でもこのアルゴリズムが有効であると確認できた。

5. むすび

既に製品化されている倒れ検知システムのハードウェアを応用した滞留検知システムを開発した。同システムにつ

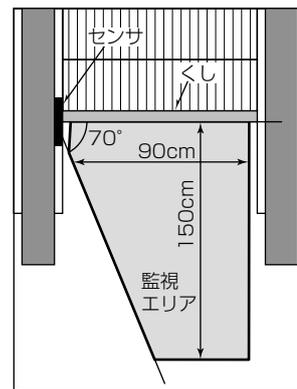


図7. 滞留監視エリア

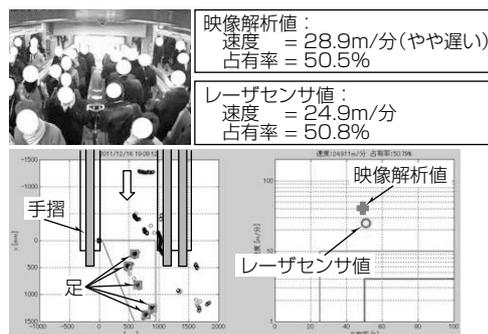


図8. 滞留度計測結果

いては、実証実験を行うことで有効性を確かめた。起こった事故を検知するだけでなく、事故が起こりそうな状況を検知することで、未然に事故を防ぐ技術を同一のハードウェアで実現し、総合的にエスカレーターの安全性を高めることができた。

三菱電機(株)は、今後も事故を多角的に分析・研究し、エスカレーターの安全性確保に向けた開発を続ける。

参考文献

- (1) 特集 昇降機・ビルシステム,三菱電機技報, 85, No.2 (2011)
- (2) 三菱電機企業情報, エスカレーター安全センシング乗降口倒れ検知システム
http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/list/heavy_electric/b162/index.html
- (3) 三菱電機ビルテクノサービス, エスカレーター乗降口倒れ検知システム ランディングサーチ
<http://www.meltec.co.jp/products/es/renewal/landing.html>
- (4) 三菱電機製品情報 エスカレーター製品一覧
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/elevator/escalator/product/index.html>
- (5) 大阪府 建築指導室 建築安全課, 平成22年度上半期 特定設備事故届出状況報告書
<http://www.pref.osaka.jp/attach/1825/00002800/H22kamihankitodokedehoukoku.pdf>