

## エスカレーターの安全確保に関する研究



山崎 博\*\* 堀口 貴史\* 飯野 直志\* 小用 謙司\*

本研究は、今後予想される高齢者ユーザーの増加やエスカレーターの設置台数の増加に伴う事故・故障のリスクといった、駅におけるエスカレーターの安全に関わる問題を技術的に解決することを目的に、人間中心設計のプロセスに沿って行った。具体的には、エスカレーターの停止事象の低減および停止時の減速度緩和による転倒事故防止のためのルーズストップ機能、視覚障害者の適切な誘導のための案内方法、高齢者転倒事故防止のためのエスカレーター低速運転システム、非常時の避難に伴う設備上の事故防止のための強度確保についての機能を開発し、試作機による各々の項目に対するモニター試験を行った結果、本安全対策の有効性を確認した。

●キーワード：ルーズストップ、転倒事故、非常停止、高齢化社会、避難通路

### 1 はじめに

現在駅における垂直移動を快適に支援する設備として、エスカレーターは欠くことのできない存在となっており、移動の主要動線上に配置されている。一方で、鉄道駅におけるエスカレーターの設置環境使用状況は非常に厳しく、こうしたストレスに起因する故障・事故が発生している状況にある。また、高齢化社会の進展に伴う高齢者のエスカレーターにおける転倒事故の増加や視覚障害者への配慮の要求が高まっている等の状況に対応するため、駅におけるエスカレーターの安全上のリスクを技術的に解決することを目的に本研究に取り組んだ。

### 2 駅におけるエスカレーターの現状

#### 2.1 過酷な使用環境

近年、交通バリアフリー法の施行により、各駅にエスカレーターの配備が進んでおり、改札口から各ホーム等への移動の主要動線上に配置されている。

また、駅に設置されているエスカレーターは、デパートやオフィスビル等に設置されているものと比べると、使用環境が非常に過酷なものとなっている。列車が到着した際のお客さまの集中による大きな負荷や初電から終電に及ぶ長時間の運転等、駅特有とも言える過酷な使用状況とな

っている。

このような環境下にある地下駅等において、火災等の災害が発生した際には、法令上使用してはならない事とされるエスカレーターが、避難通路として使用されてしまう危険性が非常に大きく、危惧される場所である。

#### 2.2 エスカレーターでの転倒事故の増加

日本エレベーター協会が調査したエスカレーターにおける人身事故発生件数と転倒事故発生率(図1)によると、1983年から2004年にかけての人身事故は、設置台数の増加に比例して増加し、その際の転倒事故の発生割合も年々高くなっており、現在は全事故の内の半数以上を転倒事故が占めている状況にある。

このようなことから、駅特有の環境に配慮した安全なエスカレーターの提供が求められている。

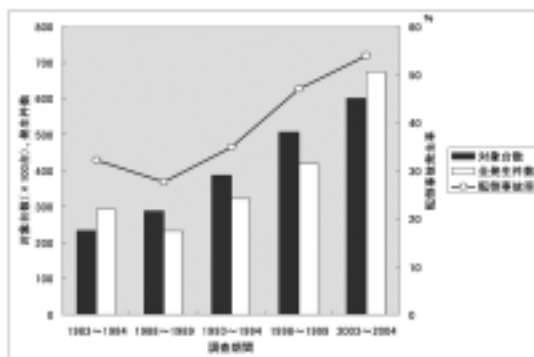


図1 人身事故発生件数と転倒事故発生率

### 3 安全仕様エスカレーターの開発

#### 3.1 転倒事故防止

##### 3.1.1 ルーズストップ機能

エスカレーターには、運転中に停電した際や利用者の靴等が挟まれた場合等に速やかにエスカレーターを停止させる安全装置の設置が義務付けられている。この場合、エスカレーターが急停止することから、手すりベルトにおつかまりでない方や高齢者の転倒事故に至ることが危惧されている。このため、安全装置が作動しても法令の基準を確保した上で、緩やかに停止させるルーズストップ機能の開発を行った。

まず、どの位の減速度であれば転倒する恐れがないのか検証するための評価試験(図2)を行った。



図2 減速度の評価試験

試験結果を図3、図4に示す。図3は、エスカレーターの運転速度を30m/min、40m/min、45m/minで変化させた際の減速度0.6m/s<sup>2</sup>の評価であるが、平均値は、全く問題のないレベルに近い状態となった。

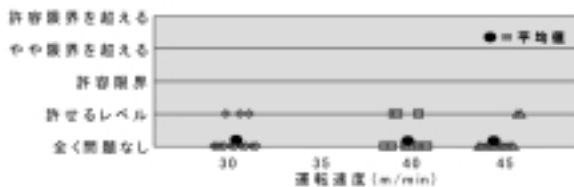


図3 運転速度別の評価(減速度0.6m/s<sup>2</sup>)

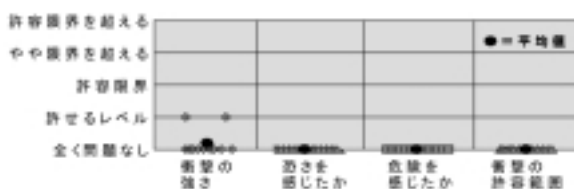


図4 運転速度30m/minの評価(減速度0.6m/s<sup>2</sup>)

図4については、エスカレーターの標準的な運転速度である30m/minで停止した際の強さ等を評価したものであるが、やはり平均値は全く問題ないことから、減速度は、0.6m/s<sup>2</sup>以下が最適であると考えられる。

次に、減速度0.6m/s<sup>2</sup>のルーズストップを実現する方法の検討結果を表1に示す。

表1 ルーズストップ方式の比較表

方式	具体的な内容	長所・短所	評価
インバーター減速方式	大容量の蓄電池を搭載して、電圧が遮断されたことを検出した時点で瞬時に切替えINVでの減速を行う。	長所:減速度の変更が容易 短所:蓄電池が大きい・制御が複雑で信頼性に懸念	△
フライホイール効果方式	駆動軸のフライホイールを大きくして、駆動系の慣性を大きくし、ブレーキトルクの最適化を行う。	長所:構造がシンプルで信頼性高く、既設エスカレーターに適用可 短所:減速度の再設定はフライホイールの取替えが必要	◎

比較検討の結果、インバーター減速方式は、コストや信頼性が懸念されるが、フライホイール効果方式は、構造がシンプルで信頼性も高く、既設機器にも適応が可能なことから、フライホイール効果方式を採用した。

##### 3.1.2 停止事象の低減

エスカレーターが停止する原因は、必ずしも本来の目的である靴等が挟まれた場合等だけではなく、いたずらと思われる不要停止も多く発生している。その低減を図れば転倒事故発生確率も低減されるので、対策の検討を行った。エスカレーターの停止原因を把握するため、上野駅に設置されている監視装置のデータを分析した。その結果から、発生件数が多く、実際に靴等が挟まれたという事実のない、いわゆる不要停止と考えられるステップ浮上り検知装置とスカートガード安全装置の対策を実施することとした。また、自転車のキーやコイン等の巻き込みによるステップ損傷防止対策についても実施した。

###### (1) ステップ浮上り検知装置

ステップ浮上り検知装置(SRS)は、後輪ローラーガイド上部の検出スイッチにより、ステップとステップの間に靴等が挟まれた際に発生する後輪ローラーの浮上りを検知しているが、蹴飛ばし等により偶然にスイッチを作動させても停止する現象が発生していたため、手前に新たな検出スイッチを追加し、最初のスイッチの検知で警報鳴動と減速を行い、さらに次のスイッチが作動した場合にエスカレーターを停止させるという二重系とした。これにより、靴

等が挟まれたことを確実に検知できる仕様とした。

(2) スカートガード安全装置

スカートガード安全装置(SGS)は、ステップとスカートガードの間に靴等が挟まれたことを検知するものであるが、これも蹴飛ばし等の偶然により作動することが確認されている。そこで、スイッチ付近のスカートガードを蹴飛ばした際の動作時間がどの程度であるか検証するため、図5の要領で実験を行った結果、最大の動作時間は、つま先で蹴飛ばした際の45msであった。現状の検知時間は、20msであり蹴飛ばしただけでも作動することが確認できたため、安全性を検証した上で、50msの検知時間に設定を変更した。これにより、靴等が挟まれたことを確実に検知できる仕様とした。

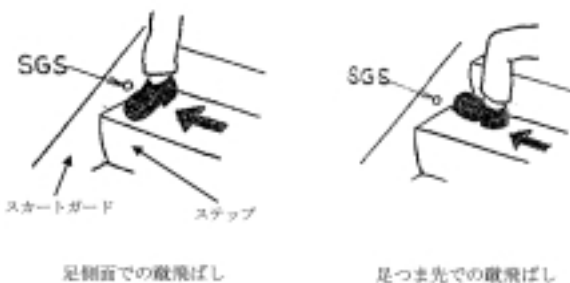


図5 スカートガード蹴飛ばし実験要領

(3) ステップ巻き込み防止機能

エスカレーターの停止事象として、上述した事例の他に懸念されているのが、ステップ上で自転車のキーやコインを落とし、くし板に衝撃して破損させる図6のような事象が発生していることである。

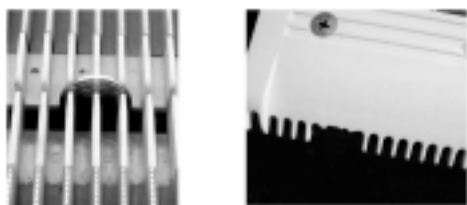


図6 コイン挟み込みにより破損したくし板

このような事象は、場合によるとステップを破損させるといった重大な障害に発展する恐れがある。このことから、ステップ巻き込み防止機能の開発を行った。これは、乗降口の図7で示す位置に異常検出スイッチを実装し、衝撃を検知するものである。

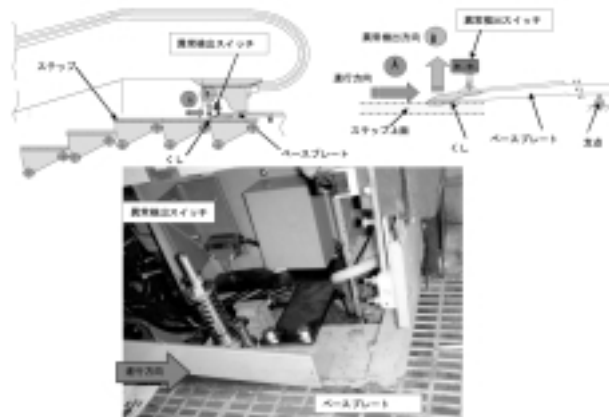


図7 乗降口の異常検出スイッチ実装位置

エスカレーターには、お客さまの歩行、駆け乗り等による衝撃がかかっている。従って、検出スイッチが動作するにあたっては、このような通常あり得る衝撃とコイン等の異物による衝撃を区別しなければならない。そこで、表2に示す条件を設定し、通常条件と異常条件を区別して確実に動作するか実験を行い正常に動作することを確認した。

表2 衝撃検知試験要綱

試験位置	①	②	③
正常条件	一人飛び跳ね	一人飛び跳ね	一人飛び跳ね
	一人飛び降り	一人飛び降り	一人飛び降り
	二人飛び跳ね		
	二人飛び降り		
異常条件	車突っつき	車突っつき	車突っつき
	キー	キー	キー
	コイン	コイン	コイン
	ヒール	ヒール	ヒール
	SUS板(2t)30mm	SUS板(2t)30mm	SUS板(2t)30mm
	SUS板(2t)45mm	SUS板(2t)45mm	SUS板(2t)45mm
		SUS板(2t)60mm	

3.2 視覚障害者対応

視覚障害をお持ちのお客さまにとって、最も障害になっているエスカレーター乗込み口の的確な案内方法について対策を図8のとおり行った。

まず、乗降口においてエスカレーターがあるということを知覚して頂くことを目的に床板に点状模様を施した。また、誘導柵の前面に指向性スピーカを埋め込み、正面の遠方からでもエスカレーターがあることを案内できるとともに、乗降口のサイドパネルにもスピーカを設け、エスカレーターの運転方向や行き先案内、注意放送を行うものとした。また、手すりベルトにひし形模様を施し、遠方でも視覚的に運転方向の確認が容易なものとした。



図8 乗込み口の的確な案内方法

指向性スピーカの外觀及び周波数特性は、図9のとおりである。

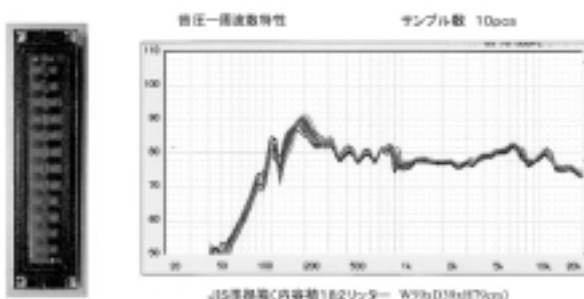


図9 指向性スピーカ外観及び周波数特性図

### 3.3 高齢者対応

高齢者対応としては、転倒事故防止対策として開発したルーズストップ機能が有効であるが、これに加えて運転速度の最適化が求められており過去の研究から運転速度は、20m/minが最も乗り易いということが分かっているので、これに対応した対策を実施した。

まず、係員のキー操作により、運転速度を20m/min、30m/min、40m/minの3段階で切り換えられる低速運転



図10 低速運転自動切り換えシステム

システムを採用した。また、将来機能として、Suica等のICカードをタッチすることにより得られたデータの条件を設定することにより、これに対応して自動で低速運転に切り換わる図10で示すシステムを開発した。

### 3.4 避難通路の検討

法令では、災害時に避難通路としてエスカレーターを使用することは認められていないが、現実には災害時に使用されてしまう危険性が非常に高い。そのリスクを解消するためエスカレーターの強度を確保する対策を行った。具体的には、最大の負荷がかかってもステップが逆転しないこと、構造体であるトラス及びステップチェーンが損傷しないこととした。

#### 3.4.1 ブレーキトルクの強化

ブレーキトルクの強化にあつては、通常考え得る歩行利用や駆け下り、駆け上りといった衝撃、また、エスカレーター降り口において何らかのトラブルにより利用者が滞留していることに気付かず乗込んだ場合を想定し、歩行利用時の荷重やステップ上に乗り得る最大荷重を検証するためのシミュレーションを行った。

##### (1) ステップ上を歩行した場合の荷重に対して

ステップ上を歩行した場合のブレーキに作用する荷重について、過去の実験で明らかになっていることを参考に検討すると、ステップ上を歩行した場合の乗客密度を考慮したステップ1段当りの荷重は、エスカレーターの輸送人数、ブレーキ力に関する標準で定めるブレーキの荷重条件よりも低い数値であり、標準に規定されたブレーキ保持力を有していれば、歩行利用時でも停止保持できることが分かった。

##### (2) ステップ上に乗ることができる最大荷重に対して

エスカレーターの降り口に人が滞留してエスカレーターの乗客がスムーズに降りられない場合において、降り口の状況に気付かずに乗込んでくると、ステップ上の乗客が過密な状態になると想定されるので、ステップ上に乗ることができる最大乗客荷重について検討した。表3は、乗客1人当りの占有面積を考慮した乗客荷重と法定積載荷重との比較である。

表3 ステップ1段の乗客荷重と法定積載荷重比較

形式		S800型	S800型	S1000型	S1100型	
1	階段幅(mm)	804	802	1004	1096	
2	階段奥行寸法(mm)	355				
3	階段1個当りの乗客荷重(N)	0.14㎡/人から算出	875.6	1295.4	1821.7	1770.2
4		法定積載荷重から算出	557.5	743.2	928.7	1011.6
5	換算乗客人数	0.14㎡/人から算出	1.53人	2.03人	2.55人	2.78人
6		法定積載荷重から算出	0.88人	1.16人	1.45人	1.59人

この表から、ステップ1段当りの乗客荷重を見ると、占有面積0.14m<sup>2</sup>/人から算出(建築基準法施行令第129条の乗用エレベーターの占有面積参照)した乗客荷重は、法定定格荷重から算出した乗客荷重の約1.8倍となっている。このことから、ステップ上に乗ることができる最大乗客荷重P1は、次式で示すことができる。

$$\begin{aligned} \text{最大積載荷重 } P1 &= 18 \times \text{法定積載荷重 } P \\ &= 18 \times 2600A \end{aligned}$$

$$A: \text{階段面の水平投影面積 (m}^2\text{)}$$

但し、この1.8倍は人の荷重(637N/人)のみであるため、手荷物等の荷重も考慮し、最大積載荷重を法定積載荷重の2倍と考え、

$$P1 = 2 \times 2600A$$

$$\therefore P1 = \underline{5200A} \text{ とした。}$$

なお、この荷重は、前に検討したステップ上を歩行した場合の荷重条件より厳しいものであり、避難通路として耐え得る強度である。

## 4 まとめ

近年、エスカレーターにおける転倒事故の増加や高齢化社会の進展等、社会環境の変化に対応した安全なエスカレーターを提供することは、設備を管理する者としての課題であったが、本研究開発により転倒事故防止、利用し易いエスカレーターの提供を実現し、大きく改善できるものがあると考える。

今後は、こうした要望に答えるため、関係者と協議した上で、多くの駅に実機が導入できるよう推進し、安全なエスカレーターの提供ができるよう努力したい。