

エスカレーターの安全性・快適技術の進歩

齋藤忠一*

小嶋和平方**

ショッピングビルや交通網の発展と軌を一にして普及し始めたエスカレーターは、現在、我が国での設置台数がおよそ5万5千台に達している。エスカレーターの本格的な市場導入は1970年頃であり、今日まで独自技術の開発、関係法令の改正対応、バリアフリー化志向にともなう安全性や快適性の強化に対応して刻々と進歩を遂げており、市場導入期とは一時代を画した技術レベルにある。本論文では、エスカレーター技術のうち、特にその安全性と快適化技術に焦点をあてて報告する。

Progress of the Safety and Amenity Technology of Escalators

Chuichi SAITO*

Kazuhira OJIMA**

Escalators began to spread simultaneously with the development of shopping buildings and transportation network in Japan. The installation number of escalators in our country amounts to about 55,000 sets now. Full-scale market introduction of escalator started in the 1970s. Since then, escalators made remarkable progress by corresponding to the specific technical development, revision of a related statute, and improvement in the safety and amenity by barrier-free concept. Technical level of escalators improved remarkably compared to the time when they were introduced to the market. This paper especially reports and focus on safety and amenity technology among escalator technology.

1. はじめに

エスカレーターは、デパート、スーパーストアなどのショッピングビル、空港、鉄道の駅や歩道橋など幅広い分野で利用されており、大きな輸送能力、利用の簡便さ、車いす対応（特定機種）の福祉機能などが大きな特長とされている。

これまで、エスカレーター製造会社は安全性・耐久性の向上に加えて福祉対応、設置バリエーション拡大などの新機軸を次々に打ち出す一方、その技術レベルの進化に努めてきた。

本稿では、関係法令の動向と安全強化策、高福祉化を視点にした製品の紹介、機器普及のためのソリューション技術について概説する。

2. 関係法令の変遷と人身事故の推移

エスカレーター、動く歩道は建築基準法と同法施行令(第129条)に規定された乗客輸送設備であり、法令のほかにはJIS規格、特定行政庁および社団法人・日本エレベータ協会が定める各種指導や標準に沿った施策を適用することにより、安全、性能面の充実を図ってきている。

* ㈱日立製作所ビルシステムグループ営業技術本部
エスカレータープロジェクトリーダー
Project Leader, Sales Engineering Department,
Hitachi Ltd. Building Systems

** ㈱日立製作所ビルシステムグループ水戸ビルシステム本部
エスカレーター設計部主任技師
Senior Engineer, Escalator Design Department,
Mito Works, Hitachi Ltd. Building Systems Div.
原稿受理 2002年5月23日

安全に関する法令・標準の変遷と具備すべき安全施策をFig.1に示す。

関係法令の基盤である施行令は、1950年に発令以降数次の改正を重ね、ほぼ50年を経過した2000年6月1日付で施行された[令第129条の12、告示]において具備すべき安全施策は倍近くにまで強化されている。

こうした法令の充実を背景にしたエスカレーターにおける人身事故の発生率(全発生件数/対象台数)は、ここ20年間で半減の0.8%という低位をキープしている。

エスカレーターにおける過去20年間の人身事故統計をFig.2に示す。

この統計は、社団法人・日本エレベーター協会が加盟保守会社のうち6社が把握した事故情報を5年ごと、2年分を継続的に集計公表¹⁾しているデータを編集したもので、この結果から次のことが言える。

(1)関係法令の強化、業界団体による正しい利用の啓蒙、製造会社オリジナルの工夫などの成果により、人身事故の発生率は減少傾向を示しつつ、安定的に低位を保っている。

(2)エスカレーターの用途別発生件数は、設置台数が多いデパート・スーパーが圧倒的に多いが、その発生率は0.8%前後、交通施設関連で1%前後と用途別での大差はない。

(3)1980年公表の第1回調査では、未就学児童(4、5歳児)のいたずらに起因する事故が半数近くを占めていたが、調査の都度減少傾向が顕著に表われている。

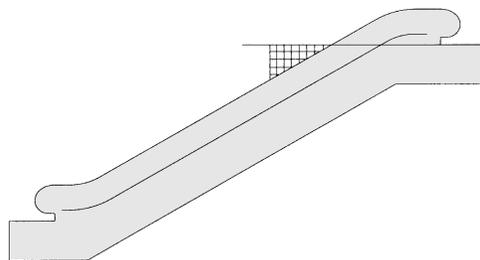
Fig.2に、1973年の出生人口を5年移して調査時の5歳児人口に換算して示してあるが、この年齢層の減少、少子化傾向が事故発生率の低下に符合すると見てもよさそうである。

(4)児童の事故部位は、移動するステップとその側壁をなすスカートガードとのすき間への靴のはさまれ、移動するハンドレールの入口への手先引込み、天井交差部への頭部の衝突、はさまれが全体の70%から35%へと半減傾向で推移している。

(5)反対に、大人の事故、とりわけ高齢層の転倒事故の増加傾向が顕著であり、早急な歯止め策が望まれる。

3. 事故の低減に寄与した主な安全施策

「はさまれ事故」「衝突事故」の減少には、主としてステップ(路段)とその周囲の安全施策、ハンドレ



- 駆動チェーンの異常伸びや切断を検出する装置
- ステップチェーンの異常伸びや切断を検出する装置
- 非常時に停止させるボタン装置
- 防火シャッターの作動と連動して運動を停止させる装置
- ブレーキ、非常止め装置
- ステップとのすき間に異物がはさまったのを検出する装置
- ハンドレールの入口に異物がはさまったのを検出する装置
- 天井や隣接エスカレーターへの衝突物を保護する装置
- ハンドレールの異常な遅れや停止を検出する装置
- ステップ周囲安全標色
- スカートガード表面の潤滑剤

番号	建築基準法施行令・告示				標準
	具備すべき安全施設	1960年代	1980年代	2000年	1997年
	駆動チェーン安全装置				-
	ステップチェーン安全装置				-
	非常停止スイッチ				-
	シャッターリミットスイッチ				-
	ブレーキ、非常止め装置				-
	スカートガード安全装置	-			
	ハンドレール入口安全装置	-			
	天井交差部・保護板	-	-		
	ハンドレール停止検出装置	-	-	(解説)	-
	ステップ周囲注意標色	-	-	-	
	スカートガード潤滑剤				

注) 標準とは、(脚)日本エレベーター協会標準をさす。
Fig.1 法令・標準の変遷と安全施策

ールの入口の安全施策、衝突物に対する保護施策などが奏功したものと考えている。

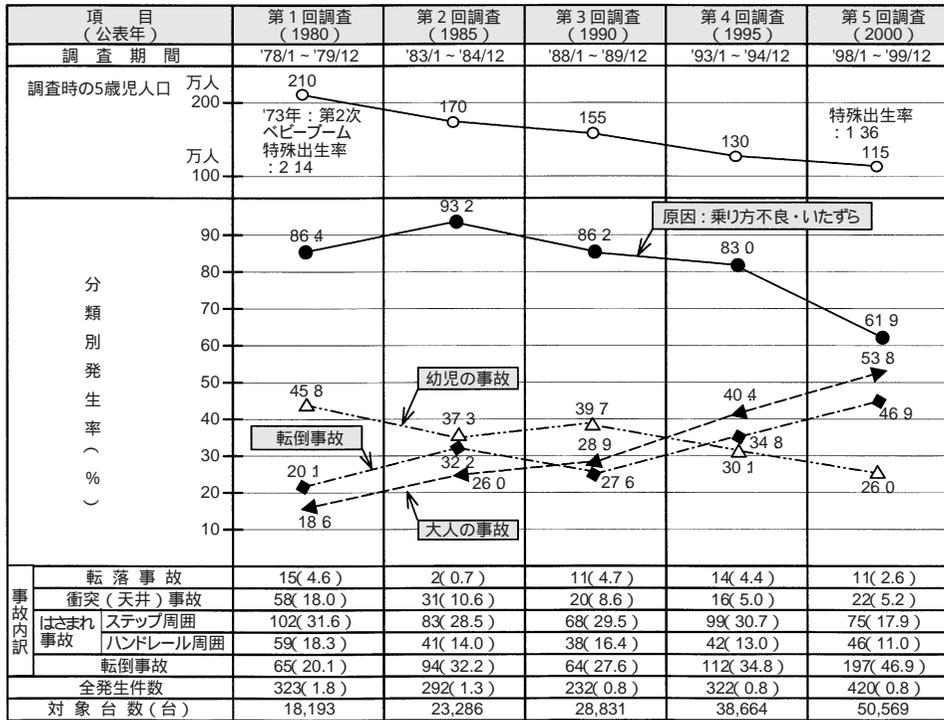
一方、増加傾向が深刻な大人の「転倒事故」に対しては、後述する乗降時の体重移動を助ける「色差効果」、最適な運転速度設定などの研究を急いでいるところである。

3-1 はさまれ事故に対する施策

1) ステップ踏面の安全施策

移動するステップと固定されたスカートガードとのすき間に靴先などがはさまれる危険性がある。

最近のステップには、危険部位に対しての靴や裾の長い衣服の接近を防止する「デマケーションライン」「段付きトレッド」、はさまれ直前に事故の進行を止める「面とり部」、踏面上でのすべり(転倒要因)を防止する「踏面ローレット加工」の四つの安全施



注) ()内は発生率：%。
Fig.2 過去20年間の人身事故統計

策を凝縮した形で具備している。

これら安全施策の中のFig.3(a)に示したデマケーションラインは、ステップ側部のすき間に接近しないように注意喚起する標識である。

段付きトレッドは、Fig.3(b)に示すようにスカートガードに接近する靴の横移動を阻止、あるいは接触状態にある靴を8mmの段差で強制的に傾けてすき間への侵入(はさまれ)を防止する仕組みである。また、段付きトレッドの側部には、図示のように面とり部を設けて通常2~3mm、最大でも5mm以下(JIS A4302)のすき間に靴底部分がはさまれそうになった時に、一種の「肉だまり」の役目を果たして、それ以上下方奥への侵入を防ぐ、主として上り運転時の安全施策を構成している。

この面とり部の効果検証によれば、Fig.3(b)の右図の状態において、靴先を斜め45度の矢印方向からスカートガードに向けて押付けながら上り運転した場合に、面とり部なしでは14N(1.4kgf)、面とり部付きでは37N(3.7kgf)まで侵入しない、すなわち2.6倍の安全効果があるとの実験値を得ている。

ここで、本実験は、スカートガード表面の摩擦係数、すき間寸法、靴種ともに同一条件とし、斜め45

度の押付け力が靴底部分の侵入度合いに比例するものと仮定しての検証であることを付記しておく。

以上に加えて、上記の踏面構成では段付きトレッドを含め、周囲4方向に黄色系合成樹脂材の「デマケーションライン」を配してあるが、最近、高齢者によるモニタテストを実施したところ、この構成が予想以上に安心感があるとの評価を得ている。

ごく一般的なステップの両側部と前部の3方向に配したものと、周囲4方向に配したものについて「乗込みしやすさ」と「受ける印象」をモニタテスト(高齢者14名)した結果をFig.4に示す。周囲4方全てを色区分した方が高い評価を得ている。

周囲4方向の構成は、交通バリアフリー法²⁾に定める「ステップの端部とその周囲の部分との色の明度の差が大きいこと等により、くし板とステップとの境界を容易に識別できるものであること」に合致するものと判断され、とりわけ後部のその存在により、エスカレーターの運転方向が遠い所から確認できるという視認効果も利用者に歓迎されているようである。

Fig.3(c)に示す踏面ローレット加工付きとした場合は、各種靴底との摩擦係数がおおむね1.3倍とな

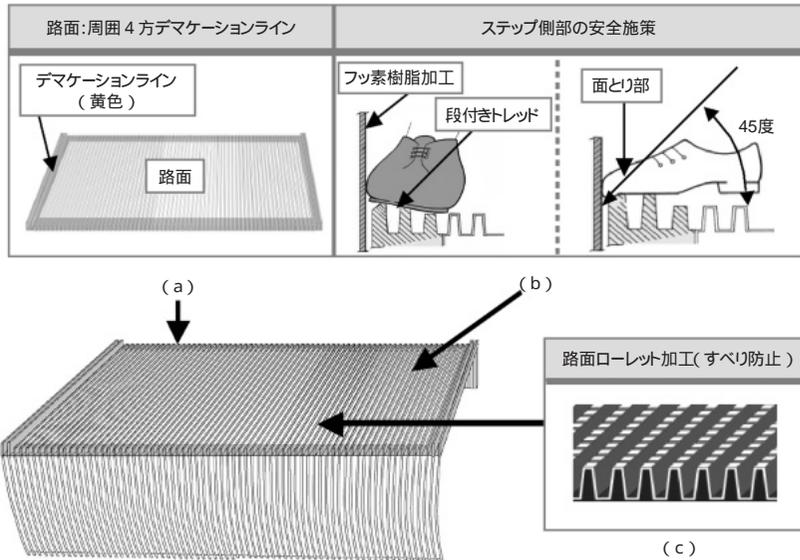


Fig.3 ステップの安全施策

り、それだけすべり難い踏面構成であるとの実験値を得ている。この実験は、専門機関に委託して実施したものである。

さらに、1980年以降、ステップの表面材にステンレス鋼板³⁾を採用することにより、在来アルミニウム合金材に比べて「折れない、欠けない」という材料面での特質を生かしたことも総合的安全面、寿命面での効果が大きいと考えている。

2) スカートガード表面の改善

上記安全施策に見るとおり、ステップ上におけるはさまれ事故は、スカートガードに接触した靴の摩擦に起因するもので、そのすべり抵抗がすき間への引込みを誘発するものである。

このため、スカートガード表面にフッ素樹脂剤を塗布したり、あらかじめ皮膜を形成する事故防止策を全面的に採用している。

3) ハンドレール入口の安全施策

幼児童の多くは、エスカレーターの両乗降床部分の動くハンドレールが出没する部分に興味を示し、そのいたずら心が刺激されるらしい。

この結果、入口の軟質ゴム製のインレット(保護体)に手先を差入れて引込まれたり、稀にはハンドレールの折返し底面と乗降床面との間で形成される楔状空間に身体がはさまれる圧迫事故が発生している。

最近では、Fig.5に機構を示すように入口側のインレットに外力が作用した場合に作動する検出スイッチを内蔵する一方、いったん引込まれた手先を引

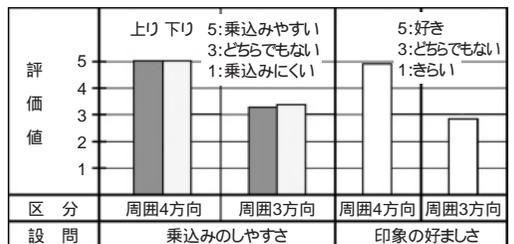


Fig.4 ステップ表面のデマケーションラインの評価

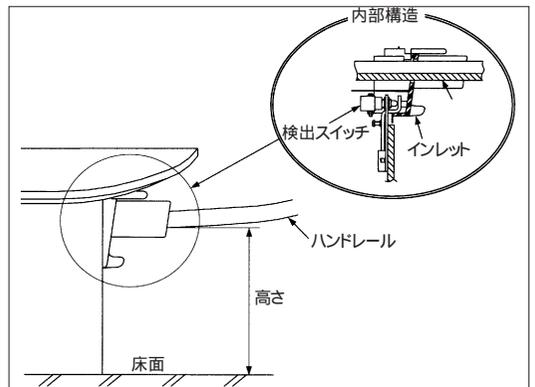


Fig.5 ハンドレール入口の構造

抜きやすくする工夫や身体厚以上の高さ設定がなされている。また、インレット部分に乗客が手荷物を衝突させ、誤作動させるケースもあって、ハンドレールの入口側のみ作動、出口側を不作動とする運転方向同調型の制御方式を搭載している。

3 - 2 衝突事故防止のための安全施策

エスカレーターから外側に大きく身を乗り出している近接する天井部分や隣接エスカレーターに頭部を衝突させる事故がある。主にハンドレールより高い身長の子供の事故として知られているが、頭あるいは首という致命的要素もあって軽視できない現象と言える。

この危険部分に対し、1977年に制定された注意喚起のための保護板を設ける標準⁴⁾、2000年施行の改正令と同標準の改定など順次機能強化策が打ち出されるにともなって、保護施策の改善とその適用拡大に努めてきた。

3 - 3 乗降部分の「色差」による転倒防止の試み

多発傾向にある高齢者の転倒事故要因は、乗降口の固定床から動いているステップに乗移る際、「静」から「動」への体重移動の失敗によるものと推測している。

これについてもモニタテストを実施し、固定床は明るい色(ベージュ、シルバー系など)、ステップは黒系統に着色して色差、明度差による静と動の区別を明りょうにしてきた。実効果の検証は困難であるが、この種の心くばりの集積が事故防止に役立つものと考えている。

4. 快適性の向上に関する最近の技術

エスカレーターにおける快適性の要素としては、それ自体の普及拡大がもたらすバリアフリー効果の享受、安全で使い勝手のよい製品仕様などがあげられよう。

エスカレーターの普及拡大には、施行から2年を

経過して市場に投入され始めた改正令に沿う新しい製品形態の市場デビューをあげることができる。

また、1台のエスカレーターで上り、下りの2役をこなす、狭い駅ホーム用の「列車連動型」システムなどの新技術もエスカレーター設置のためのソリューション技術⁵⁾として特筆できる。

バリアフリー化の面では、車いす使用者と健常者が共用できる仕組みの「車いす用ステップ付きエスカレーター」の福祉対応技術が代表格に位置付けられる。さらに、「ユニバーサルデザイン」の思想を具現した技術に、高齢者向けの「気配り運転」方式がある。

4 - 1 規制緩和による普及拡大要素

エスカレーターの法改正は、制定から満50年を経過した[建築基準法施行令第129条の11]から、新しい改正令⁶⁾と関係告示が2000年6月に施行されている。

改正令と告示による主な変更項目を、旧法と比較してFig.6に示す。

概して、勾配、定格速度および乗客通行幅の自由度増しが特徴的となっている。

我々は、これら新しい製品形態の市場投入に備えて、次のような使い勝手、快適性両面の検証を実施している。

1) 勾配35度のエスカレーター

旧施行令における「勾配は30度以下」の規定が今改正令によって西欧規格⁷⁾並みの35度まで認められるにともなって、すでにその普及地図が全国ペースで広がりつつある。

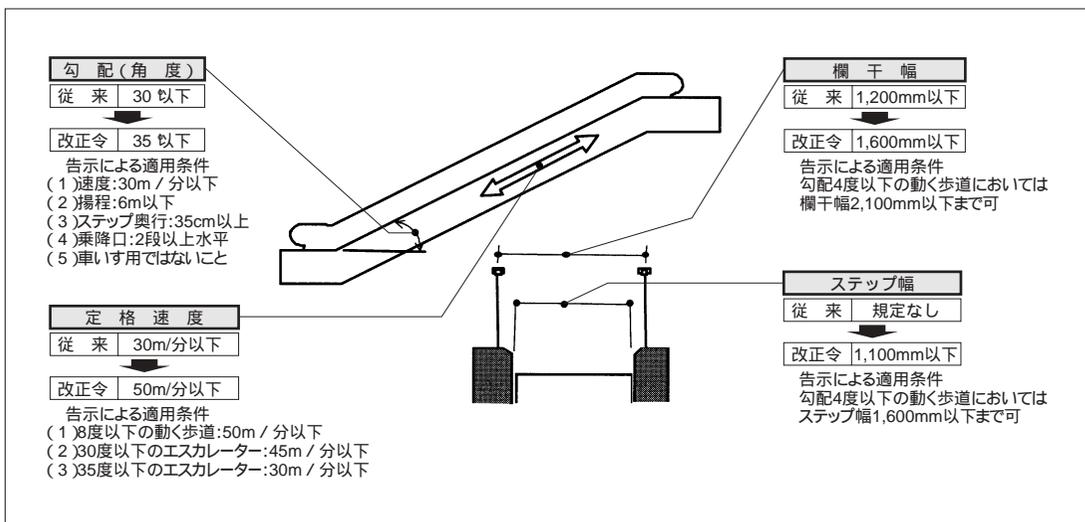


Fig.6 法令改正による主な変更点

従来の30度に対して5度(17%)急傾斜になることによる利用上の戸惑い、不安感という新たな要素が懸念されたため、Fig.7に示すモニタテストを実施するなど実用化に向けた検証を行い、使い勝手アップの問題がないことを確認している。

この35度型は、Table 1に示す特徴のうち、特に設置面積の減少効果が魅力である。

2) 高速型エスカレーター

これまでの法定上限速度30m/分に対して45m/分(動く歩道は50m/分)までの高速化が可能になったことは、旅客施設におけるラッシュ時の輸送処理に効果があるものと期待される。

この高速型については、改正令適用第1号機として2001年3月に首都圏駅に設置した実機(30/45m/分)によるモニタテストの結果、法定上限速度以下の40m/分(インバータ制御速度可変式)が適当と判断し、実用運転を継続している。

高速化の効果としては、在来の30m/分(9,000人/時)に比べて40m/分で34%、45m/分で50%アップ(理論計算値)の輸送量増があげられる。

3) 通行幅の拡大

今改正令においては、エスカレーターのステップ幅がほぼ10%、欄干幅がほぼ34%増と利用空間の拡大が可能になっている。また、エスカレーターの一つである動く歩道ではステップが60%、欄干が75%増と大幅な拡大が可能となっている。

Fig.8に、動く歩道の旧法による在来型(a)、改正令による新幅広型(b)の横断面を示す。



Fig.7 モニタテストの様子

Table 1 30度型と35度型の特失比較

勾配	30度	35度	比較
設置面積	100	83	17%減
利用時間	100(24秒)	87(21秒)	3秒短縮
制動時の衝撃	100	95	5%減

注) 階高6mの場合、30度型を100とした指数。

Fig.8(a)では、ステップ幅1,000mm、欄干の間隔が1,200mm、(b)では、同1,600mm、同2,100mmで相対図示し、各々の利用モードを比較したものであり、余裕スペースが大幅に拡大していることが分かる。

4-2 列車連動型エスカレーター

交通事業各社においては、交通バリアフリー法の制定を機に「各ホームに上り、下りの2台設置」を目標にエスカレーターの設置を急いでいるが、ホームの構造や階段スペースの制約から上り専用1台となるケースの方が多く、下り利用者に不便を強いている。

こうした事情を考慮し、エスカレーターをホームへの列車到着情報と連動運転することにより、旅客サービス性、設置スペース性、経済性の各面で画期的な「IT(情報技術)を応用した列車連動型」システムを開発し、実用に供している。

運転方式は、上階側が改札口、下階側がホームの駅をモデルとした場合に、列車到着時は降車客サービスとして上り運転に、発車後は下り運転に自動切替制御を行うシステムであり、比較的狭いホーム向けとして定着していくものと見ている。

このエスカレーターの外観をFig.9に、全体構成をFig.10に示す。

基本構成は、列車信号を受けてエスカレーターに運転指令を与える制御盤とインバータ装置、自動発停乗客検出センサー、運転方向切替え時の乗込み規制用自動扉、注意喚起用音声案内装置などの複合システムである。

このシステムを設置後数年経過した関東地区2駅

(a) 在来型の通称1,200型



(b) 改正令による新幅広型

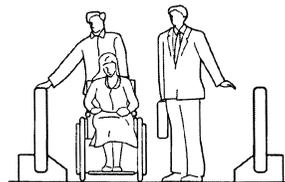


Fig.8 動く歩道の利用モード



Fig.9 外観

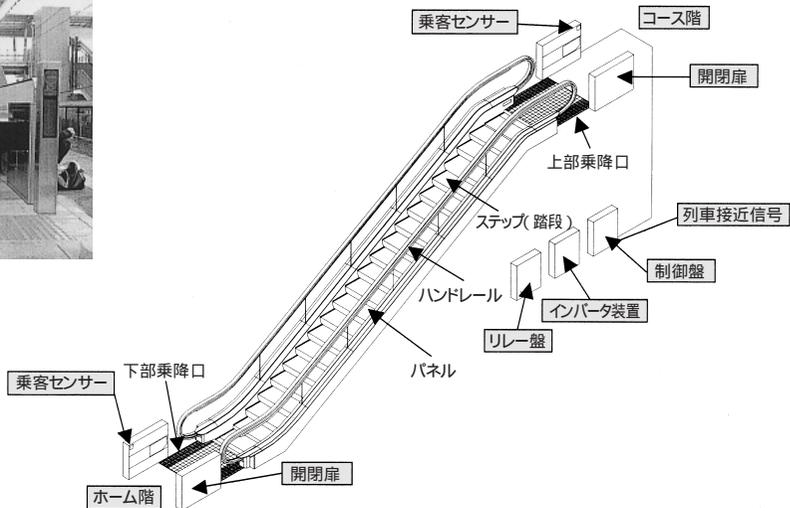


Fig.10 列車連動型エスカレーターの全体構成

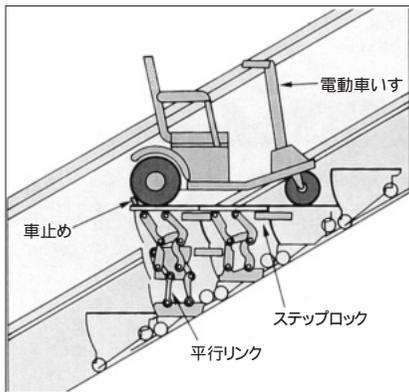


Fig.11 車いす用ステップ付きエスカレーターの構造

の既設エスカレーターに適用し、稼働状況を監視中であるが、格別の不具合はなく、消費電力を実測した駅では無人運転を回避する自動発停機能により日々約70%減の省電力効果を継続している。

4 - 3 車いす用ステップ付きエスカレーター

ここ数年、我が国では社会福祉充実の気運が高まり、車いす利用者にハンディキャップを感じさせない環境づくり、街づくりが進められている。

特に、駅や空港などの公共施設では、車いす利用者に対する段差解消設備が必要不可欠になってきており、車いす利用者と健常者がその輸送機能を共用できる車いす用ステップ付きが全国で1,200台を超えるまでに普及している。

普及の背景には、あと10年ほどで老年人口、すなわち65歳以上の高齢者が全体の25%、反対に特殊出生率が1.3人近辺という長寿・少子化社会の到来予測

がある。

このような傾向の中で、生活行動に便利な大型電動車いすを使って、スポーツ感覚で街に出る高齢者が多くなるとみられ、公共施設においては、Fig.11に示す車いす搬送機種が主流を占めている。

このエスカレーターは、多数連結されたステップ群の中に3個で1ユニットの車いす搭載用システムステップを組み込んだもので、外観意匠は透明式と不透明式の2種、輸送能力は通常運転時9,000人/時、車いす搬送でおおむね20人/時となっている。

機構的には、通常のエスカレーターにシステムステップと、これの機能発揮・解除を行うための係合装置、車いす搬送運転用制御システムなどを追加備した製品構成としている。

4 - 4 「気配り運転」システム

このシステムは、低速運転による高齢者のエスカレーター乗込み時の恐怖感の排除、転倒事故の低減および省電力化を目標としたシステムであり、Fig.12にそのシステム構成を示す。

運転速度の切替えは、エスカレーター管理者による手動操作、タイマーによる時刻設定、あるいは乗客によるボタン操作により定常の30m/分から低速の20m/分に変速させるものである。

この定速運転による効果としては、老若総勢100人を超えるモニタテストと、実機評価により、

- (1)特に高齢者の乗降に際して不安感がなく、転倒事故の防止に有効である
- (2)インバータ制御の特性により、変速領域でも転倒の心配がない加減速度 0.1m/s^2 を確保できる

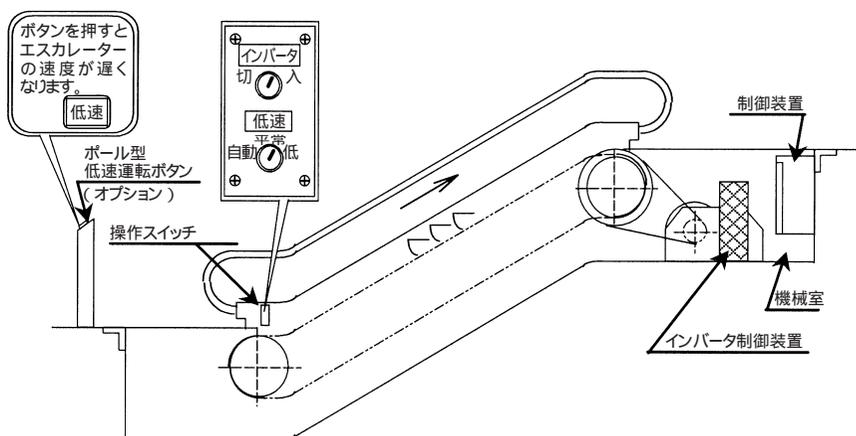


Fig.12 気ばり運転システムの構成

③消費電力量が、定常速度に比べて約20%低減できる

などの優位点が確認されており、よりユニバーサル・デザイン的な思想を生かした快適技術として市場に浸透していくものと期待している。

5. まとめおよび示唆

ここでは、エスカレーターの安全性と快適技術の進歩について述べた。ここで紹介した新機軸が普及することにより、輸送サービスのバリアフリー化、すなわち、高齢者、障害者にとどまらず、健常な幼児や成人が安全・快適に利用できる生活空間の構築に貢献できるものと考えられる。

当面は、利用状態の監視・モニタテストの強化によるより高い安全施策の確立、インバータ制御技術を駆使した省電力志向でより快適なサービスの向上を目指すことになる。

そして今後は、バリアフリー化をさらに進めたエスカレーターの普遍的な「ユニバーサル・デザイン」を実現していく考えである。

参考文献

- 1) 社団法人日本エレベータ協会「エスカレーター人身事故件数調査集計報告(第5回)」『エレベータ界、2001年1月号
- 2) 交通バリアフリー法：身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律、2000年11月15日施行
- 3) 齋藤他「ステンレス協会賞入賞作品紹介・最高位品質のエスカレーターのステップ」ステンレス・39、1995年
- 4) 社団法人日本エレベータ協会「エスカレーター安全対策標準(JEAS 406F)」
- 5) 齋藤他「エスカレーターのレイアウト・ソリューション」『建築設備&昇降機』35、2002年
- 6) 建築基準法施行令：第129条の12、エスカレーターの構造、2000年6月1日施行
- 7) European Standard EN115:1995 Safety rules for the construction and installation of escalators and passenger conveyors