

踏段の先端角部に緩衝素材を採用したエスカレーター Kindmover

Kindmover Escalator with Safety Material Affixed to Step Edges

高橋 秀生

菊池 孝幸

中垣 薫雄

■ TAKAHASHI Hideo

■ KIKUCHI Takayuki

■ NAKAGAKI Shigeo

エスカレーターの利用者事故において、救急車の出動要請があるような重大なケースでは90%以上が転倒や転落によるものであり、利用者が転倒したときのけがの軽減、あるいはけがの重篤化の防止が望まれている。

そこで東芝エレベータ(株)は、踏段の先端角部に緩衝素材を採用した踏段を標準搭載したエスカレーター Kindmover (カインドムーバー)を、他社に先駆けて2013年9月に製品化した。けがの軽減効果について、自動車や子どもの遊び場などの安全基準として用いられている頭部障害基準(HIC)値^(注1)により頭部損傷の発生確率を推定して評価し、エスカレーター利用者の転倒に対して効果があることを確認した。

In escalator riding accidents, more than 90% of serious cases in which the dispatch of an ambulance is requested are the result of tripping or falling. Demand has therefore been growing for an effective measure to mitigate injury in the event of a rider falling, and in particular, to prevent critical injuries.

In response to these circumstances, Toshiba Elevator and Building Systems Corporation developed and released the Kindmover escalator with a safety material affixed to the edges of the steps as a standard safety measure in September 2013, ahead of its competitors in the industry. Through evaluations of the probability of head injury occurrence classified by the head injury criterion (HIC) score, which is used as a safety standard for vehicles and playground equipment, we have confirmed that this safety measure incorporated into the Kindmover is effective in mitigating injury.

1 まえがき

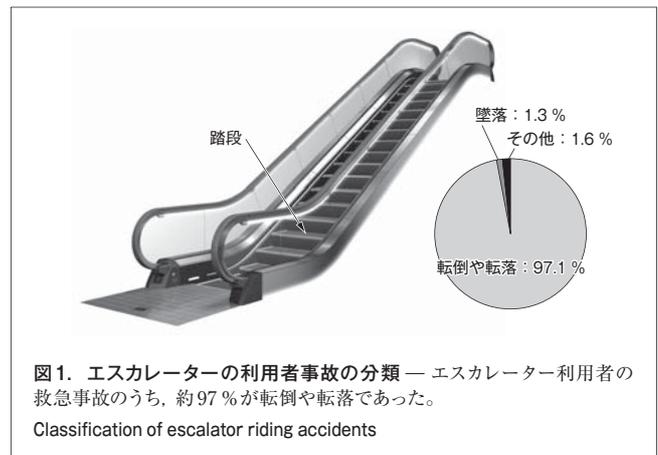
エスカレーターはデパート及びスーパーマーケットといった大型店舗や、鉄道駅舎及び空港ビルといった交通機関施設など、屋内や屋外のいたるところに設置されており、日常生活のインフラを支える設備となっている。

特に近年は、単なる上下方向の移動手段としての利便性とどまらず、安全性能の向上に高い関心が寄せられている。

東京消防庁のエスカレーター事故に関する調査⁽¹⁾によると、救急車の出動要請があった事故のうち、大半が転倒や転落によるものである(図1)。加えて、頭部(顔部、頸(けい)部を含む)を受傷する割合が約75%ともっとも高い⁽²⁾ことがわかった。これまでエスカレーター各社は、転倒要因を排除することを目指した技術や対策の検討を進めてきたが、転倒や転落の撲滅には至っていない。そこで東芝エレベータ(株)は、転倒や転落の発生時にけがの重篤化を軽減することに着目し、踏段の先端角部に緩衝素材を採用した踏段(以下、緩衝踏段と記す)を標準搭載したエスカレーター Kindmoverを、業界に先駆けて製品化した。

2 緩衝踏段の概要

従来、当社のエスカレーターに採用していた踏段(以下、従来踏段と記す)は、アルミダイキャストで成型しており、踏段の



上面から見て角部以外の3方向に黄色の樹脂製デマケーションを設置していた。この従来踏段の構造をベースに、踏段の先端角部に緩衝素材で成型したデマケーションを新たに追加した。これにより、けがの重篤化が懸念される踏段の先端角部への衝突に対してその衝撃を緩和し、けがを軽減する(図2)。

また、踏段の上面にある黄色のデマケーションを従来の3方向から4方向に変更することにより、以下の点で、視覚的にも利用時の安全性を更に向上させることができた。

- (1) 運転方向がわかりやすく、乗り込みやすい。
- (2) 中間傾斜部の段差がわかりやすい。

(注1) 頭部の衝突加速度から算出される障害基準値。



(3) 視覚障害者が上階側から乗り込むときに、階段の段差がわかりやすく、乗り込み時の不安感を軽減できる。

3 転倒時のけが評価方法

緩衝階段の開発にあたり、階段の先端角部に緩衝素材でできたデマケーションを追加することによるけがの軽減効果をどのように評価するかが、まず課題となった。これについては、自動車や子どもの遊び場などの安全基準として用いられている頭部障害基準 (HIC : Head Injury Criteria) 値、及び“インジュリー・リスク曲線”を指標として、けがの軽減効果を評価することにした。

3.1 HIC値

HIC値は、頭部の衝突加速度から算出される障害基準の値であり、式(1)で表される⁽³⁾。

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \times \left[\int_{t_1}^{t_2} a(t) dt / (t_2 - t_1) \right]^{2.5} \right\}_{\max} \quad (1)$$

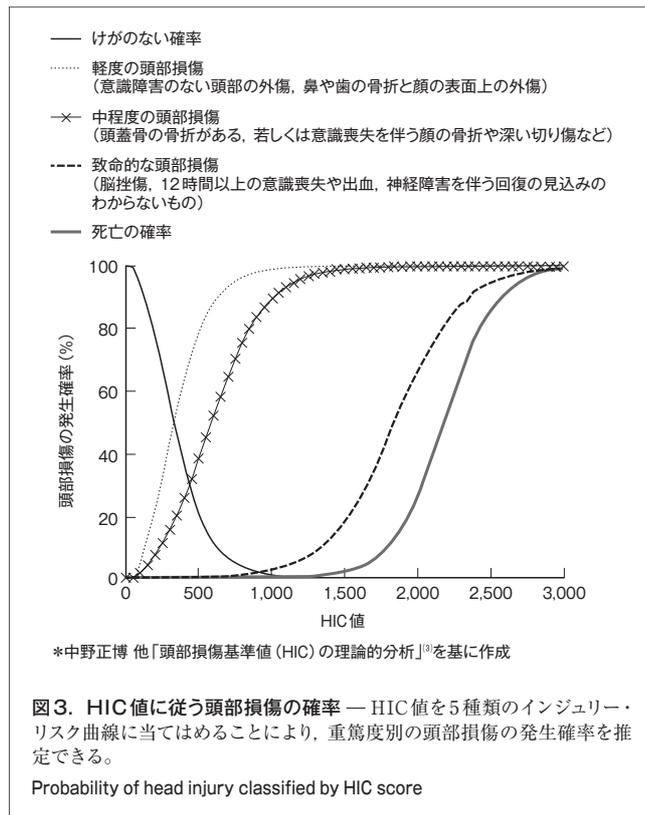
t_1, t_2 : 加速応答中の任意の時刻, $(t_2 - t_1) \leq 36$ ms

$a(t)$: 衝突加速度

このHIC値は、公園などで子どもが遊具から転落したときのけがの軽減を目的とした、衝撃吸収タイルの衝撃試験や自動車の衝突試験などで用いられている。これら自動車や遊具に関する試験では、欧州規格EN 1176 part1-11+EN 1177及びEN 14808や、米国試験材料協会規格ASTM F1292及びASTM F1487、国内規格⁽⁴⁾などにより試験方法や、試験装置、評価指標などが詳細に定められている。

3.2 頭部損傷の発生確率

測定した衝突加速度より求めたHIC値を、図3に示した5種類のインジュリー・リスク曲線に当てはめることにより、重篤度別の頭部損傷の発生確率を推定できる。インジュリー・



リスク曲線は、横軸がHIC値、縦軸がけがの発生確率を表すグラフで、実際の事故による死体検証などをもとに頭蓋骨と脳の損傷状態との相関関係をデータ化した曲線である。一般にHIC値が大きくなるほど、頭部を強く衝突させたことを表しており、頭部損傷の発生確率が高くなる。

3.3 けが軽減の評価用落下試験装置

HIC値及び頭部損傷の発生確率といった評価指標について、自動車業界では規格により試験方法などが定められている。しかし、エスカレーターを対象とした試験については、規格や基準がない。そこで、エスカレーターで転倒したときのけがの軽減効果について評価するため、転倒時の頭部衝突を模擬した落下試験装置を開発した(図4)。

頭部の衝突を模擬するために、試験装置の落下体は質量、剛性、及び衝突部の形状を頭部相当としている。また、エスカレーター利用者の様々な転倒状況を模擬できるように、衝突角度及び衝突高さを変えられるようにしている。落下体は、階段の先端角部に向けて自然落下させ、頭部が階段の先端部に衝突した状況を試験装置で再現し、衝突加速度を測定する。次に衝突加速度からHIC値を算出し、インジュリー・リスク曲線により、頭部損傷の発生確率を推定する。最後に従来階段と比較して、けがの軽減効果を確認する。評価指標は、エスカレーターの事故調査⁽²⁾からもっとも頻度の高い転倒状況として、エスカレーター上昇運転時に急停止などで発生する中間傾斜部での上階側への転倒とした。



図4. 落下試験装置 — 開発した装置は、剛性及び衝突部形状が頭部と等価な落下体を備え、落下距離及び衝突角度を自由に換えられるという特徴を持っている。

Drop testing tool to measure HIC score



図5. デマケーション突起部の変形によるリスク — デマケーションの突起部が変形することにより、挟まれや、機器破損、転倒の助長などが発生しやすくなる。

Risk of occurrence of accident caused by deformation of projecting parts of demarcation line

4 緩衝階段の設計

緩衝階段の開発において、階段の先端角部に追加するデマケーションをどのような緩衝素材にするかが、次の課題となった。

4.1 緩衝素材の選定における課題

角部に設置するデマケーションは、柔らかいほど頭部が衝突した際の衝撃が吸収されやすくなり、HIC値及び頭部損傷の発生確率を低減でき、けがの軽減効果は高まる。

一方で、デマケーションが柔らかいほど、階段のクリート溝が変形しやすくなり、利用者にとってのリスクは高まる。変形によるリスクとしては、①小児の手や足、衣服などの挟まれ、②傘でのいたずらや、小石などの異物のかみ込みによる機器破損、③ハイヒールのかかと部分の挟まれや、ハイヒールのかかと部分で踏んだときの座屈による利用者の転倒助長、などがある(図5)。そのため、けがの軽減効果の向上と変形に対するリスクの抑制は二律背反の関係にあり、素材の選定が困難であった。

4.2 解析による材料の絞り込み

けがの軽減効果があり、かつ変形に対するリスク(特に、ハイヒールなどで踏んだときの座屈)を抑制する材料を絞り込むため、事前に座屈解析を実施した。解析は、頭部相当の質量と剛性を持つ質点がばねで近似したデマケーションに衝突するモデルを用いて行った。衝突時の加速度波形を解析することで、HIC値を計算できる。デマケーションに使用する材料のヤング率を変化させたときのHIC値の変化を図6に示す。ただし、ヤング率が小さすぎると、ハイヒールなどでデマケーションを踏んだときに座屈する可能性がある。このため、落下試験結果から導いた耐荷重限界(下限値)を定め、使用材料はヤング率がこの耐荷重限界に近いものを候補として絞り込んだ。

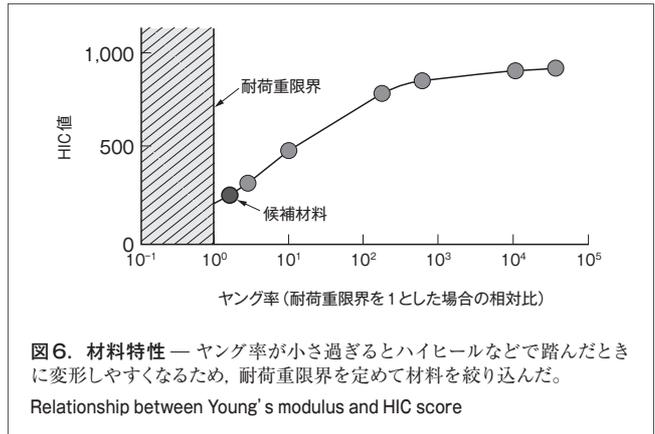


図6. 材料特性 — ヤング率が小さすぎるとハイヒールなどで踏んだときに变形しやすくなるため、耐荷重限界を定めて材料を絞り込んだ。

Relationship between Young's modulus and HIC score

4.3 最適材料の選定

4.2節で絞り込んだ複数の材料で成型したデマケーションを実際に試作し、変形に対するリスクが従来階段と同等の性能を持ち、けがの軽減効果がある材料を選定した。

5 様々な転倒状況でのけがの軽減効果

5.1 様々な転倒状況の分析

エスカレーター利用者が階段に頭を衝突させる転倒には、評価指標とした中間傾斜部での上階側への転倒以外に、大きく分けて4種類の転倒が起こりうる。

- 転倒1 上階側乗降部での下階側への転倒
- 転倒2 下階側乗降部での上階側への転倒
- 転倒3 中間傾斜部での下階側への転倒(頭部を直接ぶつける)

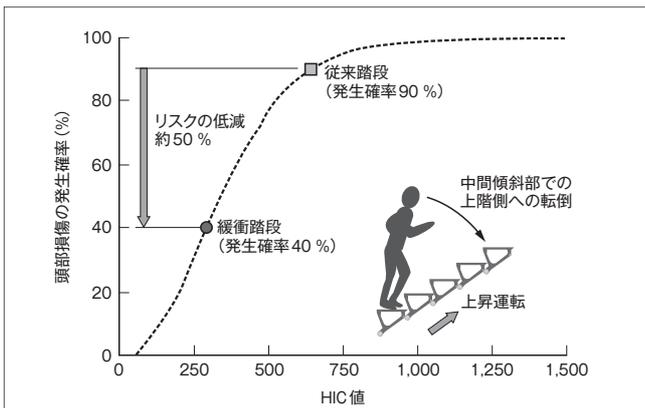


図7. けがの軽減効果 — 従来踏段から緩衝踏段に変更することにより、軽度の頭部損傷の発生確率が約50%低減できる。

Relationship between probability of head injury and HIC score

転倒4 中間傾斜部での下階側への転倒 (尻餅をついてから頭部を直接ぶつける)

5.2 様々な転倒状況でのけがの軽減効果

けがの軽減効果は、評価指標とした中間傾斜部での上階側への転倒において、踏段の先端角部に頭部が衝突したときに、従来と比較して軽度の頭部損傷が発生する確率を約50%低減できた(図7)。

5.1節で示した転倒についても、落下試験装置を用いて評価した結果、全ての転倒に対してけがの軽減効果があることを確認できた(図8)。

転倒1及び転倒2については、評価指標である中間傾斜部

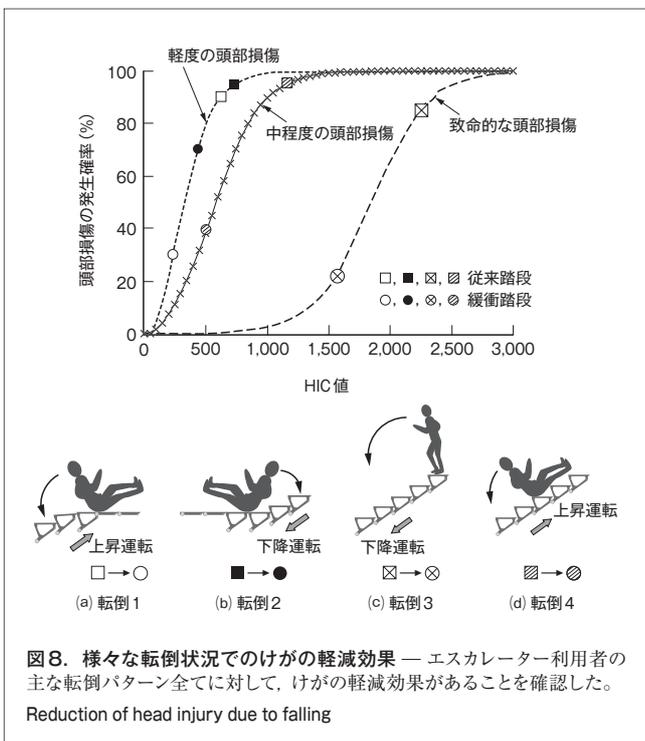


図8. 様々な転倒状況でのけがの軽減効果 — エスカレーター利用者の主な転倒パターン全てに対して、けがの軽減効果があることを確認した。

Reduction of head injury due to falling

での上階側への転倒と同様に、軽度の頭部損傷の発生確率で比較して、けがの軽減効果を確認した。また、転倒3及び転倒4については、中間傾斜部での下階側への転倒(転落)という厳しい転倒条件のため、軽度の頭部損傷の発生確率と比較すると、従来踏段と緩衝踏段の差はなかった。しかし、中程度及び致命的な頭部損傷の発生確率で比較した場合には、頭部損傷の発生確率を半減できることを確認した。

6 あとがき

エスカレーター利用者の転倒の低減は、エスカレーターにおける長年にわたる課題であり、これまでは発生原因の除去の観点から対策が行われてきた。その結果、一定の効果を上げることができたが、依然として利用者の転倒事故は相当数発生している。

今回製品化した緩衝踏段は、そのような転倒事故に対して、利用者の立場からけがの軽減を目的として開発した結果の一つである。

当社は今後も、利用者の目線に立った製品を開発して市場に投入し、安心、安全、快適な社会の実現に貢献していく。

文献

- (1) 日本エレベーター協会 エスカレーター専門委員会. エスカレーターに係わる事故防止対策について.エレベータ界. 2006年7月. p.8-15.
- (2) 東京消防庁. “エスカレーターに係る事故防止対策について-報告書-”. 東京消防庁ホームページ. <<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-seianka/eszen.pdf>>. (参照 2014-10-17).
- (3) 中野正博 他. 頭部損傷基準値 (HIC) の理論的分析. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌. 12, 2, 2010, p.57-63.
- (4) 国土交通省. “道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2011.10.28】別添99 (歩行者頭部及び脚部保護の技術基準)”. 国土交通省ホームページ. <<http://www.mlit.go.jp/common/000193252.pdf>>. (参照 2014-10-17).



高橋 秀生 TAKAHASHI Hideo

東芝エレベータ(株)技術本部 開発部。
昇降機の機械システムの開発・設計に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



菊池 孝幸 KIKUCHI Takayuki

東芝エレベータ(株)技術本部 開発部主任。
エスカレーターの機械システムの開発・設計に従事。
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



中垣 薫雄 NAKAGAKI Shigeo

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電機電池応用・パワエレシステム開発部。昇降機の技術開発に従事。日本機械学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center