

エスカレーターの省エネルギー・安全技術

砂田哲也*

Energy Saving and Safety Technologies for Escalators

Tetsuya Sunada

要旨

近年注目度の高い省エネルギー性、安全性の2つの要求性能を向上させるためにインバータを用いたエスカレーター用の電気システムを新たに開発した。

この新システム向けに省エネルギー技術、安全技術を開発した。

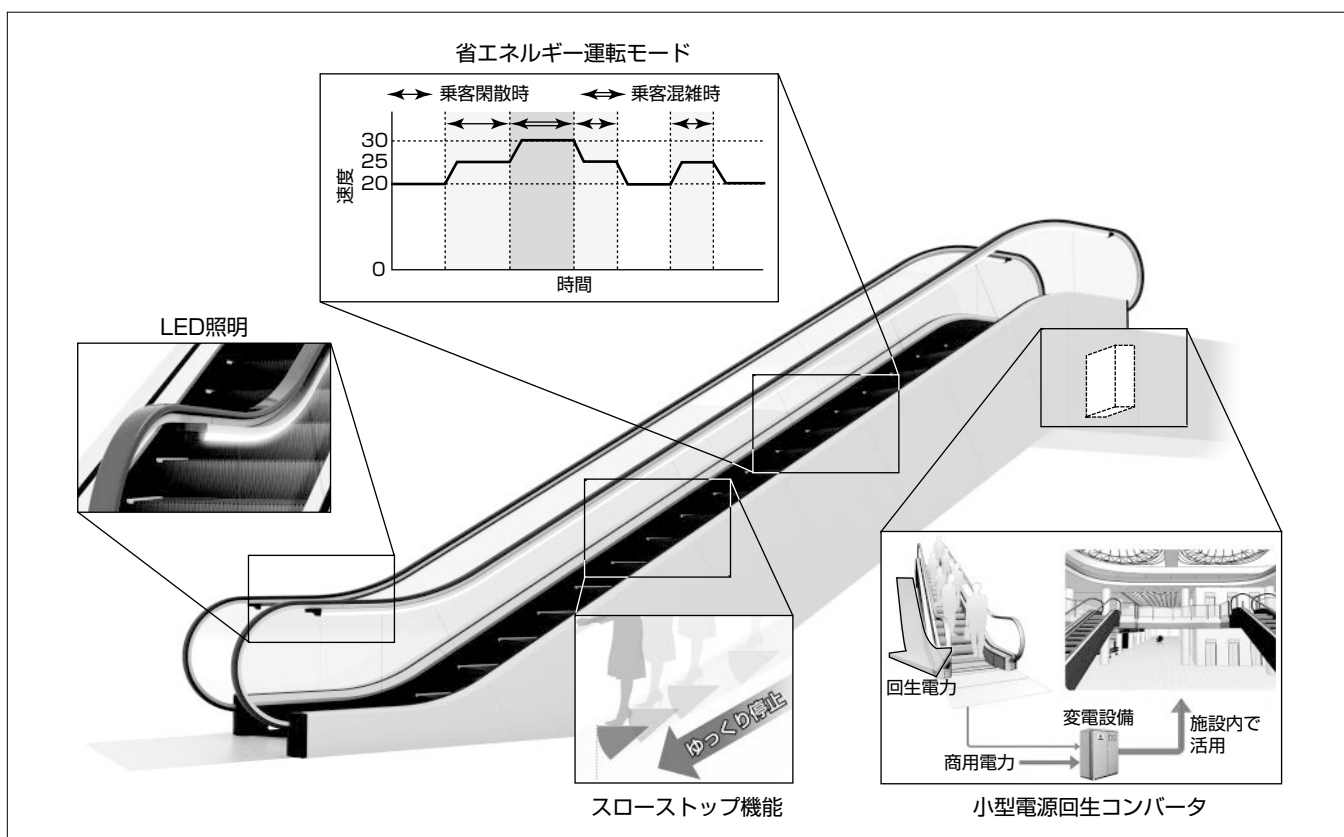
インバータを標準で適用するにあたり、コンバータとインバータの制御方式を見直した。コンバータ制御では、回生電力を有効活用できる電源回生機能を維持しつつ盤外形を小型化できる簡易回生方式を開発した。インバータ制御では、軽負荷時にモータ効率を向上させる省エネルギー機能を持つ最適励磁制御を開発した。

そのインバータを用いて、エスカレーターの運転速度を、

乗客の利用状況(不在/閑散/混雑)に応じて切り替える省エネルギー運転モードを開発し、あわせて運転時間の最適化を行うことで従来よりも省エネルギー性を向上させた。これは、従来の低速待機や停止待機自動運転と組み合わせることも可能である。

また、照明機器も省エネルギー性を考慮し、全ての蛍光灯をLEDに変更した。

安全性の向上として、安全装置動作時の停止に伴う乗客の転倒を防止するために、安全装置の不要動作を防止する機能と、安全装置の動作時に一定の減速度で緩やかに停止するスローストップ機能を開発した。



エスカレーターの省エネルギー・安全技術

省エネルギー技術として、小型電源回生コンバータ、最適励磁制御インバータ、乗客の利用状況に応じて速度を切り替える省エネルギー運転モードの開発と、蛍光灯からLEDへの照明機器の変更を行った。安全技術として、安全装置の不要動作防止機能と、安全装置動作時に緩やかに停止するスローストップ機能を開発した。

*稲沢製作所

1. ま え が き

近年、身の回りの一般製品と同様に、エスカレーターを含めた昇降機に対しても、よりいっそうの省エネルギー性や安全性の向上が求められている。

本稿では新たに開発した電気システムに使用する、主にインバータを使った省エネルギー性・安全性向上の技術に関して述べる。

2. インバータシステムの見直し

エスカレーターを運転するためのモータを駆動する方式は、商用電源に直結して一定の速度で回転させる商用電源駆動方式と、電力変換装置を介して任意の速度で回転させるインバータ駆動方式の2つに大別される。従来のエスカレーターは一般的に一定の速度で運転する場合が多く、光電ポストを用いて乗客がいない場合に停止する停止待機自動運転の場合も速度制御が不要なので、インバータ駆動を必要とする機会は少なかった。

しかし、従来よりも省エネルギー性と安全性を向上させるためにはインバータ駆動が必要不可欠であるため、新システムではインバータ駆動を標準的に適用することとした。

インバータ駆動を行うための制御装置の構成には何種類かあるが、従来の機能の優れた点は残したままで省エネルギー性を向上させ、さらに機械室への実装性を向上させるために盤外形の小型化に取り組んだ。

2.1 コンバータ制御方式の変更

電源とモータの間の電力のやり取りには、電源からモータに電力を供給して仕事をする力行と、逆にモータが外部から仕事を受けて発電する回生の2つの状態がある。コンバータはインバータがモータを制御できるように直流電圧を作るものであるが、回生時にモータで発生した回生電力を電源側に返すことができる電源回生機能を備えたものとそうでないものがある(図1)。

電源に返された回生電力はほかの機器で再利用できるが、一般のインバータの場合は電源回生ができず、回生電力は直流回路に設けた回生抵抗で熱消費されるものが多い。電源回生できるものが少ない一つの理由は、回生が限られた用途の製品でしか発生しないからである。しかし、エスカレーターの場合には下り運転で乗客がある程度乗り込んだ場合には連続して回生が発生するため、電源回生できることで建物全体として省エネルギーとなる。

三菱電機の従来システムに用いていた電源回生が可能な制御装置の外形は大きく、上部機械室に設置スペースがない場合には、回生抵抗方式を採用していた。回生抵抗方式には、回生抵抗を制御装置が実装された上部機械室とは別に下部機械室に置くなど実装性に自由度があったからである。

新システムでは電源回生機能を維持しつつ、機械室への

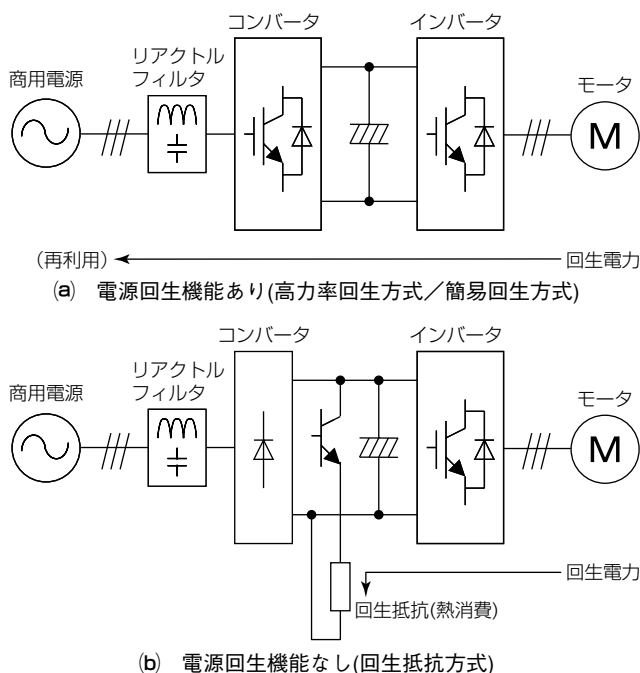


図1. インバータシステム

実装性を向上させるために、制御方式を従来の高効率回生方式から簡易回生方式に変更した。簡易回生方式は高効率回生方式と同様にコンバータにダイオードモジュールではなくトランジスタモジュールを用いるが、高効率回生方式が力行/回生の状態によらず常に約10kHzのスイッチングを行うのに対して、力行時はスイッチングを行わずダイオードコンバータとして動作し、回生時にのみ電源位相に合わせて適度にスイッチングを行うものである。スイッチング回数の削減によってリアクトルの小型化やフィルタの簡略化、また発熱量を抑える効果が得られるため、電源回生は可能なままで盤外形を小さくすることができる。

2.2 インバータ制御方式の変更

インバータはコンバータで生成した直流電圧を基にモータを制御するもので、当社の従来システムではV/F制御やベクトル制御を用いていたが、新システムでは省エネルギー性を追求するために最適励磁制御を開発した。

最適励磁制御の制御性能はV/F制御と同程度で、ベクトル制御のような優れた制御性能は持っていない。しかし、V/F制御やベクトル制御では負荷によらず一定で供給される励磁電流成分を、負荷が軽い場合には必要最低限に抑えることでモータの効率を高めるといった従来の制御にはない機能を持っている(表1)。

エスカレーターは運転中に常に定格の負荷がかかる機器ではなく、乗客の利用がない、又は少ない時間帯が多く存在するため、そのような負荷が軽い状況で最適励磁制御は効果を発揮する。

また最適励磁制御は制御系として必要な帰還値は電流のみであり、ベクトル制御のように速度検出が不要なため、その分の回路が省略でき盤の小型化にも寄与している。

表1. 最適励磁制御の概念

	軽負荷	高負荷
V/F制御 ベクトル制御		
最適励磁制御		

相電流
励磁電流
トルク電流 (∝負荷)

3. 運転速度・時間の最適化

エスカレーターで消費される最も大きな電力はモータを駆動するための動力であるが、2章で述べた機器構成の変更に伴う効果はモータが同じ仕事をした場合のモータの効率や、回生電力の再利用を考慮したものであり、省エネルギー性を向上させるためにはモータが行う仕事自体を削減することが、より効果的である。

モータが行う仕事は、乗客を運ぶために必要な分と、エスカレーターの運転に伴い発生する機械ロスの2種類からなる。乗客を運ぶための仕事は、運転速度を遅くしても運ぶ時間が長くなり必要量は変わらないが、機械ロスは運転速度に比例するため、速度×時間のグラフを作成した場合にできる面積をできるだけ小さくすることが省エネルギーとなる。新システムではこの面積を小さくするために、乗客を運ぶ運転速度と運転時間の最適化を図った。

3.1 運転速度の最適化

従来の自動運転は乗客がいる場合には一定の速度で運転し、乗客がいない場合には低速で運転、又は停止するものであった。しかし、いったん乗客を検出したら通常速度での運転をある程度の時間継続するため、乗客の利用がまばらな場合にはなかなか待機運転にならず、自動運転の効果が得られ難いという側面があった。

しかし、消費電力を抑えるために単純に速度を落とした場合、エスカレーターとしての輸送力を下げることになり乗場の滞留を招く可能性がある。そこで、乗客が多い場合は通常速度で運転し、少ない場合には通常よりも若干遅い速度で運転する方式を採用した。

乗客の混雑を検出する手段として、モータの電流を用いて既に乗り込んでいる乗客を検出する方法と、乗り口に設置した乗客センサを用いてこれから乗り込もうとしている乗客を検出する方法の2種類が候補にあがったが、新システムでは混雑検出の反応が早い乗客センサを用いる方法を採用した。乗客センサを用いての混雑検出の判定は、ある一定時間内の乗客の検出割合を常に監視することで行うが、その時間設定は試乗試験の結果を踏まえ決定した。

省エネルギー運転モード

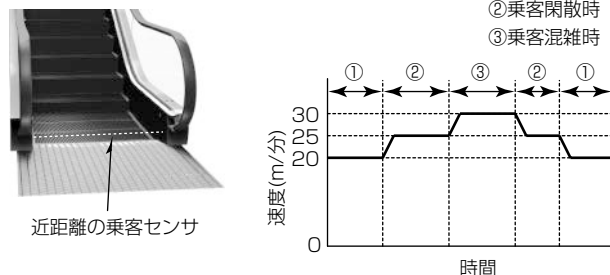
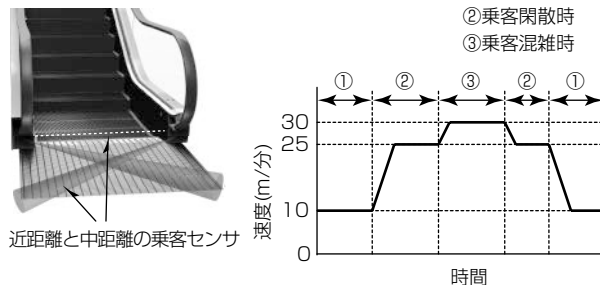


図2. 省エネルギー運転モード

低速待機自動運転



停止待機自動運転

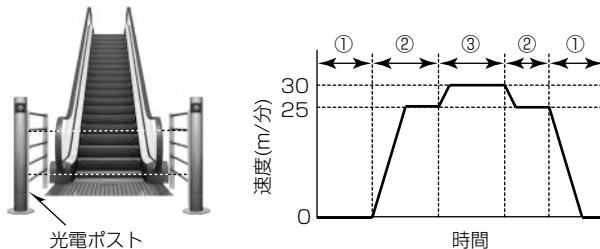


図3. 低速待機と停止待機自動運転

新システムでは近距離の乗客センサを設置して、先に述べた混雑の度合いに応じた運転速度の切替と、乗客がいない場合に中程度の速度で待機運転を行う省エネルギー運転モードを開発した(図2)。

乗客がステップに乗り込むときの速度をある程度以上確保するために中距離の乗客センサや光電ポストを設置することで、待機時の速度を更に遅くする、又は停止する従来の自動運転と組み合わせることも可能である(図3)。

3.2 運転時間の最適化

自動運転の待機状態で乗客を検出した場合や、混雑を検出した場合に通常速度を維持する時間(以下“運転時間”という。)は、乗客がステップに乗ってから降りるまでの移動時間に余裕時間を加えたものになる。

従来の運転時間は、センサの方式によらずエスカレーターの階高(高さ)に応じて段階的に設定していた。

新システムでは運転時間を短くするために、ステップに乗っている時間をステップ数に応じてソフトウェアで計算させることで階高に対して最適な時間設定が可能となり、またセンサ方式ごとに必要な余裕時間を割り当てることで運転時間を必要最小限となるように最適化した(図4)。

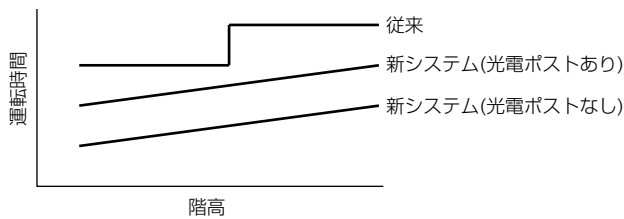


図 4. 運転時間の最適化

表 2. 省エネルギー効果

		省エネルギー効果
動力分	省エネルギー運転モード	25%
	低速待機自動運転	35%
	停止待機自動運転	40%
照明分		35%

算出条件

階高：5m, 利用者数：100人/時, 待機時間：約30分
 照明：欄干照明, ステップ下照明, コムライト

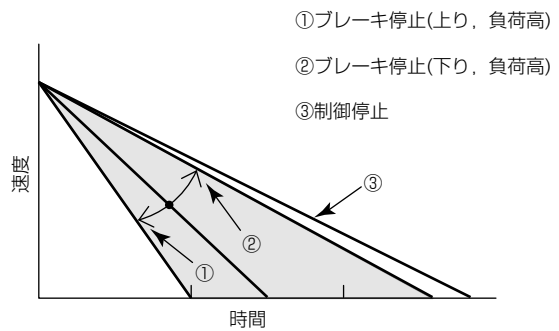


図 5. 停止形態による減速度

3.3 照明のLED化

動力の次に大きな電力を消費する照明機器も省エネルギー性を考慮し、蛍光灯からLEDに変更した。LEDに変更することで消費電力が抑えられるだけでなく、器具端末の発光しない部分を小さくできるため、欄干照明などの連続した照明の場合にシームレスに照らすことが可能であり、意匠性の向上にも寄与している。

3.4 省エネルギー効果

新システムを従来の標準仕様(連続運転)と比較した省エネルギー効果について、代表的なモデルケースで試算した結果を表2に示す。

4. 安全性への取り組み

エスカレーターには一般的な機械と同様に安全装置が備えられており、安全装置が動作した場合にはエスカレーターは停止する。安全装置には機器の故障検出や機器保護のためのものと、乗客を保護するためのものがある。

乗客を保護するための安全装置に関しては、エスカレーター上で乗客と接触する可能性のある位置に設置されるため、荷物の接触等で不必要に動作する場合がある。また、乗客が手摺(てすり)をつかんでいない場合には、安全装置の動作に伴い乗客が転倒する二次災害の危険性がある。

新システムでは、安全装置が動作した場合の停止に伴う乗客の転倒を防ぐために、安全回路と減速度の見直しを行った。

4.1 安全回路の変更

乗客の保護を目的とした安全装置が、本来の意図した事象(例えば乗客のステップへの挟まれ)によって動作した場合と、不必要な動作事例として発生確率の高い荷物の接触によって動作した場合を比較すると、本来の動作ではある

程度の安全スイッチの動作時間を必ず伴うのに対し不要動作では動作時間が短いという傾向が確認された。

従来、安全装置が動作したときにエスカレーターを止める安全回路はハードウェア主体で構成されているため、機器構成によって動作時間が短くても作動する場合があった。そこで不要動作に対する耐力を向上させるために、安全回路の構成をソフトウェアを主体とした構成に見直すことで動作時間を一定以上確保し、本来検出すべき事象が発生したときのみエスカレーターを停止させるようにした。

4.2 減速度の変更

従来の安全装置による停止動作は機械式ブレーキによるものが一般的であり、エスカレーターの運転方向と乗客数によって減速度は異なり、下り運転で乗客が多い場合に停止距離が規格の範囲内に収まるように設計されているため、乗客が少ない場合や上り運転の場合には減速度が大きくなる傾向にあった。

新システムでは、安全装置による停止動作を運転方向や乗客数によらず緩やかに一定の減速度で停止させるために、インバータによる制御停止方式に変更した(スローストップ機能)。制御停止機能の実装にあたり、制御機器が動作不良で減速されない場合にブレーキ停止させる監視機能を設け、万が一監視機能が働く事態になっても制動距離が規格の範囲内に収まる設計とした。減速度に関しては体感によるところが大きいため、様々な条件で試乗を繰り返す体感評価を行った。その結果、満足できるものが得られるまで制御と監視装置の変更を行い、最終的には現行の機械式ブレーキによる最も減速度の小さい停止動作相当まで緩やかにした(図5)。

5. むすび

従来よりも省エネルギー性と安全性を向上させるために開発した電気システムについて述べた。今後は、開発したシステムをエスカレーターに搭載する製品化を進めると同時に、市場の要求に応えられるように、更なる機能向上を目指していく。