特集論文

エスカレーターの省エネルギー技術

西岡良太*
吉田浩二*
砂田哲也*

Energy Saving Technologies for Escalators

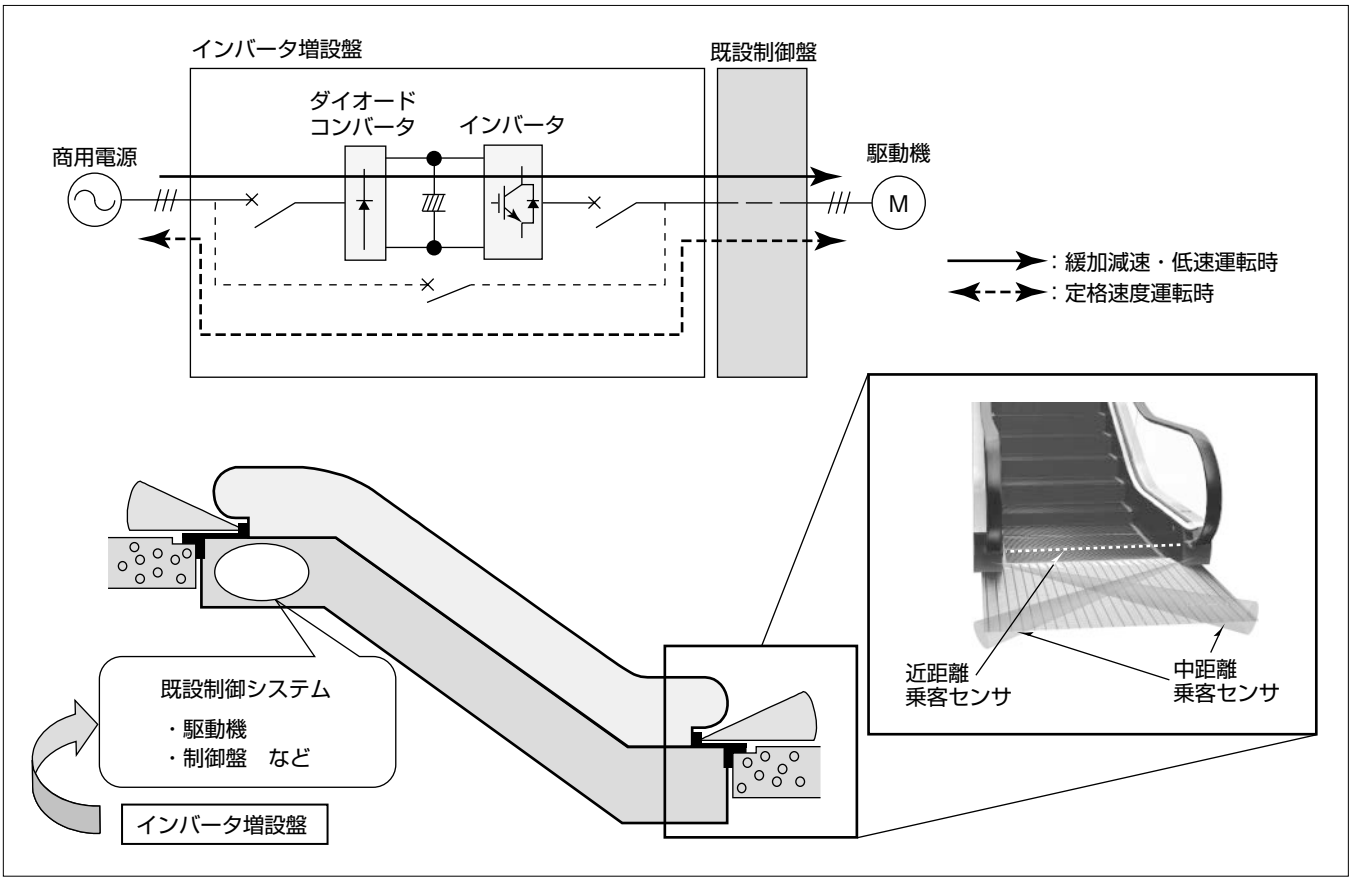
Ryota Nishioka, Koji Yoshida, Tetsuya Sunada

要　旨

近年，昇降機に対する省エネルギー性向上の要望が高まっている。エスカレーターでは消費電力の大部分がモータで消費されるため，乗客のいない時間に停止又は減速する自動運転機能が省エネルギー性向上に効果的である。自動運転機能は接近する乗客を検出して，待機状態から定格速度へ加速するため，乗客センサが必要である。また，商用電源駆動の場合は，乗客が乗り込むまでに加速を完了させるために，乗り降り口の手前に乗客センサを内蔵したポストを設置する必要がある。また，省エネルギー性は待機状態に低速運転しているよりも停止している方が優れているが，停止待機中でも乗客に運転方向が分かるように運転方向表示器を設置する必要がある。

そこで，乗客センサの追加が不要である省エネルギー運転機能と既設エスカレーターに対して自動運転機能を追加可能なインバータ増設盤を開発した。省エネルギー運転機能では乗客の検出を乗客センサではなくモータ電流値で行い，乗客が少ない時にはわずかに減速させる。これによって，機器の追加なしで省エネルギー化を実現した。インバータ増設盤ではインバータ制御機能付の盤を追加することによって，緩加減速や待機状態での低速運転が可能になり，ポストや運転方向表示器の設置が不要となった。

これらの機能によって，既設エスカレーターに対しても省エネルギー化が可能で，要望の効果や費用に合わせた省エネルギー化の提案が可能になると考えている。



インバータ増設盤

既設エスカレーターの制御システムにインバータ増設盤を追加することによって，緩加減速や低速運転を実現し，運転方向表示器やポスト等の追加改造を行わずに自動運転機能の追加が可能である。また，エスカレーターに乗り込む人を検出する近距離検出センサに加えて，乗客を早めに検出し，加速を開始するために中距離検出センサを設けている。定格速度になるとインバータ駆動から商用電源駆動に切り換えている。

*稲沢製作所

1. まえがき

近年，エスカレーターなど昇降機に対する省エネルギー性向上の要望が高まってきている。エスカレーターで省エネルギー性向上は減速することによって実現することが効率的である。その理由は，エスカレーターにおける消費電力の大部分がモータで消費されるからである。モータで消費される電力は主に摩擦などの機械ロス，制御回路，乗客負荷によって変動する。機械ロスはエスカレーターの速度によって変化し，乗客負荷は利用する人数によって変化する。そのため乗客負荷をコントロールすることは難しく，エスカレーターの省エネルギー性を高めるためには，減速し機械ロスによる電力消費を減らすことで実現している。ただし，機器の追加が必要で，既設のエスカレーターに対しての追加が困難という問題があった。

本稿では従来の省エネルギー技術の一つである乗客のいない時間に速度を減速する自動運転機能，今回開発した乗客センサを使用せずに電流によって乗客の少ない時にエスカレーターをわずかに減速させる省エネルギー運転機能，及び既設の改造時に自動運転機能とインバータ制御機能を追加することが可能なインバータ増設盤について述べる。

2. 自動運転機能

自動運転機能では乗客がいない状態が一定時間継続すると自動的に停止又は減速する。このときの停止又は減速している状態を待機運転状態と呼び，待機運転状態の速度の違いから大きく2種類に分類される。一つは停止待機自動運転と呼び，もう一つは低速待機自動運転と呼ぶ。どちらの自動運転機能も乗客を検出するためのセンサなど，機器の追加が必要である。

2.1 停止待機自動運転

停止待機自動運転は待機運転状態の速度が0 m/分であり，ステップは停止している。この自動運転機能が最も省エネルギー性が高くなる。しかし，ステップが停止しているため乗客にとっては故障中との区別ができず，利用可否の判断が難しい。また，エスカレーターの運転方向に対して逆側から乗り込み，予期しない方向に運転を開始することで転倒する可能性がある。そのため，停止待機自動運転を行うためには運転方向を示す運転方向表示器が必要である。

停止待機自動運転はインバータ制御ではなく商用電源駆動でも実現可能である。しかし，商用電源駆動では加速度を制御できないため，待機運転状態から定格速度（一般的には30m/分）まで加速するために十分な距離が必要である。そこで乗り降り口の手前に乗客を検出するためセンサを内蔵したポストを設置し，誘導柵などを用いて横から乗り込むことができないようにするため，建物の意匠性に制約が生じる。

ポストの間を乗客が横切ると，ポストに内蔵のセンサが乗客を検出してエスカレーターが起動する。乗客がいなくなり，乗客センサの未検出時間が続くと，待機運転状態に移行する（**図1**）。

2.2 低速待機自動運転

低速待機自動運転は待機運転状態でも低速（一例として10m/分）で運転している。停止待機自動運転に比べて省エネルギー性では劣るが，乗客にとってステップが動いていることを認識できるという利点がある。そのため，運転方向の逆側から乗り込む可能性は少なく，運転方向表示器の設置が不要である。また，低速で運転するためにはインバータ制御が必須であるため，緩やかに加減速が可能である。つまり，加速中に乗客が乗り込んでも転倒の危険性が少なく，乗り降り口の手前にポストを設置し，加速するために十分な距離をとらなくても良い。そのため，建築側への影響が少ない。乗客を検出するセンサはエスカレーターに乗り込む人を検出するため近距離乗客センサと，前方の乗客を検出可能な中距離検出センサを設置している。万が一に中距離乗客センサで検出できなかった場合でもステップに乗り込む直前に近距離乗客センサで検出しエスカレーターが起動する（**図2**）。

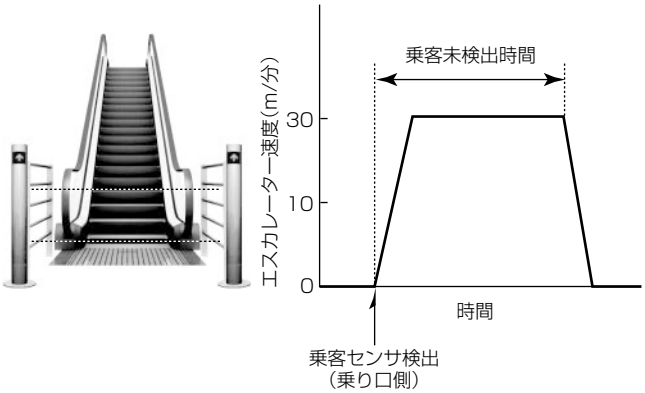


図1．ポストあり停止待機自動運転

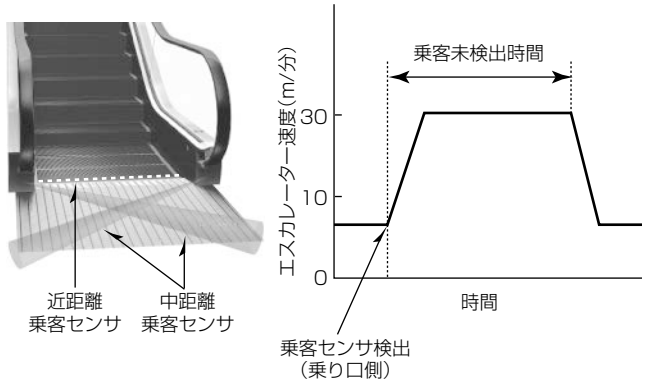


図2．ポストなし低速待機自動運転

3. 省エネルギー運転機能

3.1 省エネルギー運転機能の概要

自動運転機能を追加するためには乗客センサの設置が必要であった。そのため，初期費用が高くなってしまう。乗客の有無を検出するためには乗客センサなどの検出装置が適切であるが，乗客の多寡を判断するため検出装置は他にも考えられる。その一つが電流検出である。エスカレーターのモータ電流は負荷が多くなると電流が大きくなり，負荷が少なくなると電流が小さくなる。そのため，乗客の多寡をモータ電流によって判断することによって，乗客センサを不要にした。電流検出回路はインバータ制御では新たに追加する必要がないため，機器の追加が不要である。乗客の少ない時にはエスカレーターをわずかに減速することで，省エネルギー性を高め，乗客が増えてくると定格速度まで加速し，運搬能力を上げて利便性を上げている。これによって，自動運転機能に比べて省エネルギー性では劣るが，機器の追加なしで省エネルギー化を実現した。

3.2 省エネルギー運転機能の判定方法

省エネルギー運転機能の判定フローを**図3**に示している。負荷が高い時はエスカレーターが定格速度で運転している間であり，電流値が一定以上の値になっている。そのときに，電流値が基準以下の状態が既定時間以上継続すると軽負荷時速度に減速する。負荷が軽い時は軽負荷時速度で運転している。このとき，電流値が基準以上の状態が既定時間以上継続すると定格速度に加速する。電流値はばらつきがあるため，瞬時的な値だけでなく，既定時間の判定時間を設けて，十分負荷が変動したことを確認してから速度を変更している。また，定格速度に加速するため判定時間を短めに，軽負荷時速度に減速するため判定時間を長めに設定することで，利便性を下げないようにし，乗客が利用中に頻繁に加減速を繰り返さないようしている。

4. インバータ増設盤

4.1 インバータ増設盤の概要

2章で述べた自動運転機能を実現するには，

①乗客センサ

②ポスト・運転方向表示器(低速待機自動運転は不要)

が必要である。しかし，既設の商用電源駆動のエスカレーターに自動運転機能を追加する時に，建築の変更が伴う可能性のあるポストや運転方向表示器の設置が難しい場合がある。また，ポストや運転方向表示器の設置を不要とするために，インバータ制御機能を追加しようとすると，制御システム又はエスカレーター全体の交換が必要であった。制御システムやエスカレーターを交換することは長期間の改修が必要となり，エスカレーターを使用できない期間が長くなってしまうという問題点がある。

そこで，インバータ増設盤は，マイコンを使用していない旧式の機種に対してインバータ制御機能と，乗客センサの取り込み等自動運転機能を追加できるようにした。これによって，インバータ制御機能が追加されるためポストや運転方向表示器が不要となる。また，制御システムやエスカレーターの交換に比べて，費用を抑えることが可能である。さらに，既設の制御システムを流用できるため，回路改造が簡単になり短時間で改造が可能となった。つまり，インバータ増設盤を既設の制御システムに追加することによって，回路改造を簡単にし，短期間での改造が可能であり，制御システムを取り替えるよりも安い費用で低速での自動運転機能を可能にした。

4.2 インバータ増設盤の改造範囲

インバータ増設盤を既設のエスカレーターに追加した場合に必要となる改造範囲を**図4**に示す。従来は既設エスカレーターの制御盤からモータへと動力ケーブルでつながれていた。その間にインバータ増設盤を追加することによっ

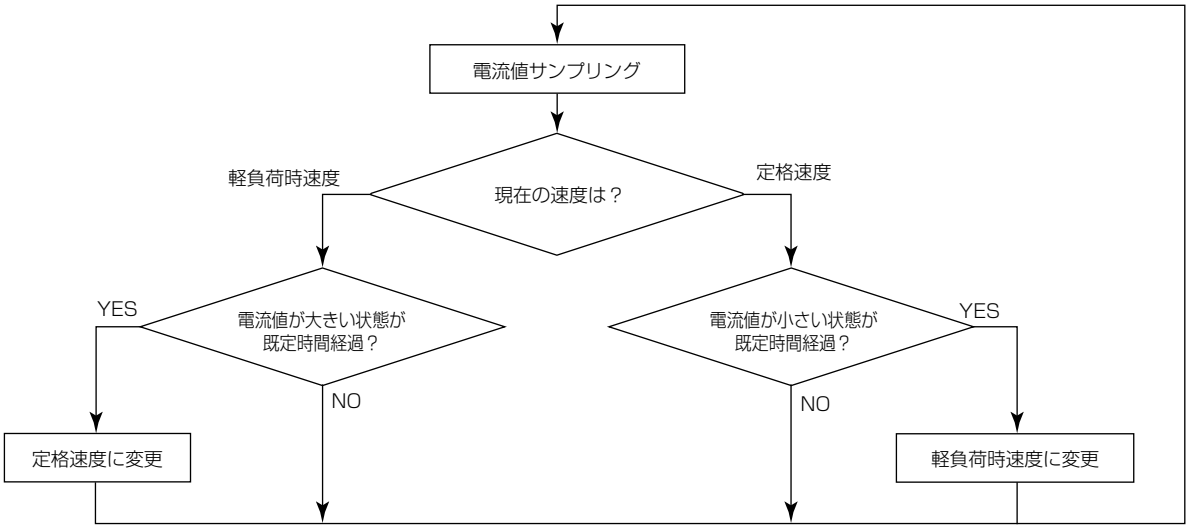


図3．省エネルギー運転機能の判定フロー

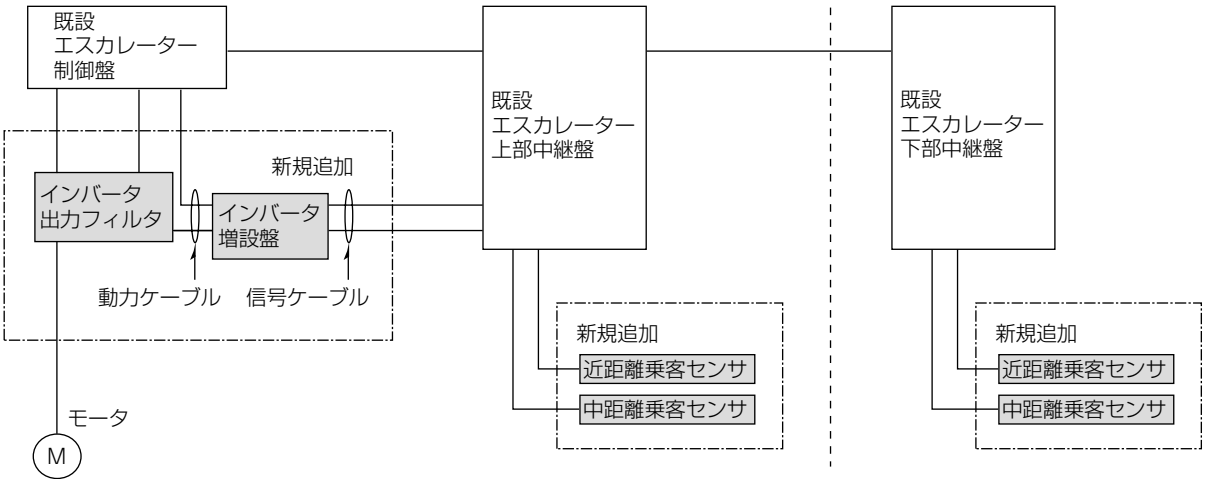


図4．インバータ増設盤の改造範囲

て，低速待機自動運転が可能となっている。また，乗客センサを上下乗り降り口に追加する必要がある。乗客センサの信号は上下部の機械室内に設置している中継盤からインバータ増設盤へと送られる。

既設改造の場合は新たな機器を設置できるスペースが限られてくるため，インバータ増設盤をできるだけ小さく設計する必要があり，インバータ制御機能は加減速中と低速待機中に制限している。加減速中と低速待機中だけにインバータ制御を限定することで，インバータサイズを小さく抑えることが可能である。また，これらのインバータ制御を使用する状態は乗客がほとんどいないため，回生エネルギーの処理が不要になるという利点がある。エスカレーターでは下り運転中に乗客が一定数以上乗り込むと，電源からモータへと流れていたエネルギーの流れが逆転し，モータから電源側へとエネルギーが流れる。これを回生エネルギーと呼び，インバータ増設盤で使用しているインバータでこの回生エネルギーが発生すると，エネルギーを消費するため回生電力消費用の抵抗が必要になる。しかし，この抵抗を設置するスペースが限られているため，エスカレーターの傾斜部などに設置する必要があり，設置やケーブル等の追加によって，費用や改造期間が長くなる。これらの理由によって，インバータ増設盤ではインバータ制御は加減速中と低速待機中だけとし，費用と改造期間を抑えている。定格速度まで加速するとインバータ制御から商用電源駆動へと切り替わるため，下り運転でも回生エネルギーを抵抗で熱として消費する必要がなく，効率的にエネルギーを使用できる。

5. 省エネルギー性

表1に自動運転機能と省エネルギー運転機能に対して，実現可能な制御システムや実現するために必要な機器，そして省エネルギー性の効果をまとめた。省エネルギー性は停止待機自動運転が最も優れている。これはエスカレーターの速度を定格速度から下げる幅が最も大きいためである。また，インバータ制御だけでなく商用電源駆動でも利用できるといった利点がある。一方で乗客センサや運転方向表示器を追加する必要があり，商用電源駆動の場合，ポストの設置が必要など制約もある。低速待機自動運転と省エネルギー運転機能はインバータ制御が必要となる。運転方向表示器は不要となるが，定格速度からの下げ幅が小さいため，省エネルギー性は停止待機自動運転に比べて劣る。省エネルギー運転機能は自動運転機能に比べて省エネルギー性は劣るが機器の追加が不要という利点がある。

表1．各機能比較

機能	制御システム	必要機器	省エネルギー性(注1)
停止待機自動運転	商用電源駆動インバータ	乗客センサ 運転方向表示器	高(約26%)
低速待機自動運転	インバータ	乗客センサ	中(約16%)
省エネルギー運転	インバータ	－	低(約7%)

(注1) 階高5m，乗客500人/時間，15時間駆動で算出，算出条件によって効果は異なる。

6. む す び

今後ますます省エネルギー性向上の要望が高まってくることが想定されるが，これらの技術によって新設だけではなく，既設のエスカレーターに対しても省エネルギー性向上が行え，要望の費用や効果に合わせた省エネルギー化の提案が可能になると考えている。