

エスカレーター省電力運転方式

Development of an Energy Saving Operation System for Escalators

沈滞する経済情勢の中でビル設備に対する省エネルギーの要求は、今後一段と強まる動向にある。エスカレーターの設置台数が最も多いデパート、ショッピングストアなどの店舗でも省電力化が要望されているが、機器の高効率化は既に限界に達しており、別方式による省エネルギー化の必要がある。

これに対し日立製作所では、エスカレーターを運転したままで省電力を実現する方式として、誘導電動機の固定子巻線を乗客の多少に応じて、Y(スター)結線と Δ (デルタ)結線に切り替える省電力運転方式を開発した。これによりデパート、ショッピングストアなどの店舗で、従来対比で15%以上の省電力が達成できる。

中沢 敏* Hayashi Nakazawa

入江俊二* Shunji Irie

坪井信義** Nobuyoshi Tsuboi

1 緒 言

エスカレーターの省電力化はヘリカル減速機の採用、ハンドレール走行抵抗の低減など、機器の高効率化を進めてきたが¹⁾、いっそうの省電力化を追求することは社会的ニーズである。現に乗客の乗り込みを光電装置などで検出し、乗客がない状態ではエスカレーターの運転を休止する自動発停運転方式が、主に鉄道の駅などの都市交通向けとして、年々需要

が高まっている。これに対し、図1に示すようなエスカレーターの設置台数が多く、省電力を最も要求するデパート、ショッピングストアなどの店舗では、エスカレーターは円滑な人の流れを形成するための重要な機能を果たしており、間欠運転では心理的に人の流れを阻害することから、自動発停運転方式は問題がある。また従来の自動発停運転方式は、人を検出するための光電装置、利用客に乗り込みを促すための表示灯などの付帯設備が必要になると同時に、起動、停止を繰り返すための安全性確保から制御が複雑となり、この結果設置費用が多額となり、設置台数が多い店舗では適切でない。

このため、主として店舗に納入されるエスカレーターを対象に、運転を継続したままで、かつ付帯設備が不要で比較的簡単な制御で省電力を達成できる方式として、負荷に応じて誘導電動機の固定子巻線をY結線と Δ 結線に自動切換える省電力運転方式(略称ESOP)を開発した(特許出願中)。

2 開発の着眼点

(1) 店舗でのエスカレーターの利用実態

図2はショッピングストアでの乗客の利用実態の一例を示したもので、それぞれの乗客負荷率の運転時間を、1日当たりの割合で示したものである。これより無負荷運転は1日の11%を占めており、これを含めて乗客負荷率20%以下(乗客数約7人以下)の総運転時間は86%となり、軽負荷で運転される割合が非常に高いことが分かる。なお、このデータは混雑度の高い土曜日の1階から2階への上昇運転用エスカレーターでのもので、平日あるいは上層階のエスカレーターでは、更に軽負荷運転の率が高いものと考えられる。

この結果から、連続運転で省電力化を実現するには、軽負荷時の消費電力を削減することが必要である。

(2) 電動機効率の検討

図3は、エスカレーターに使用している Δ 結線での5.5kW三相誘導電動機の効率特性を示したものである。出力が低くなると急激に効率が低下しており、上述の乗客負荷率20%以下の範囲では、効率は62~82%と低い範囲で運転されていることが分かる。この結果と、前項で述べた利用実態を合わせ考えると、軽負荷時の電動機効率を改善すれば、省電力の効果を期待できる。



図1 ショッピングストアで活躍するエスカレーター 設置台数が多く、省電力化の要望が強まっている。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所

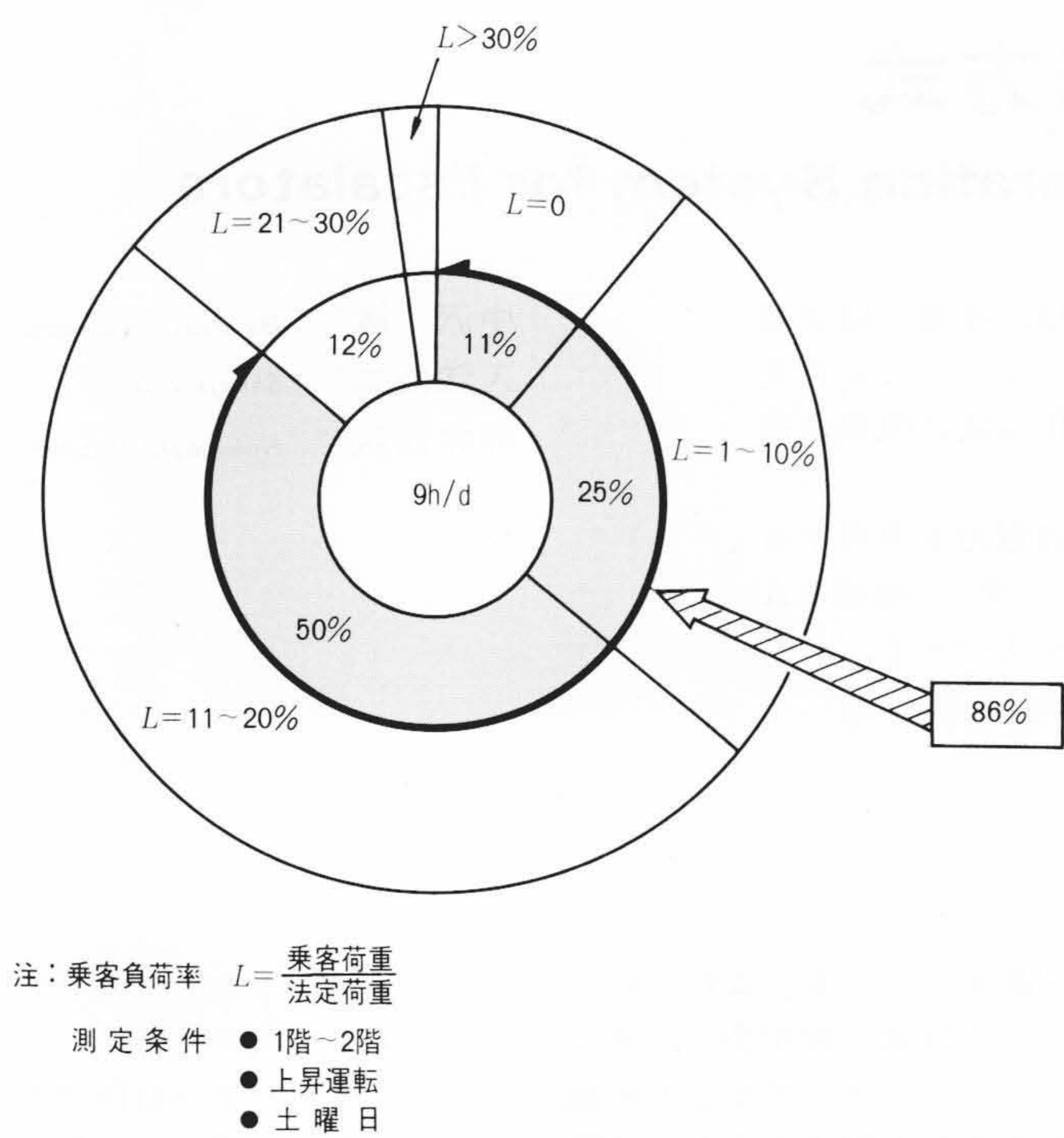


図2 ショッピングストアにおけるエスカレーターの利用実態
乗客負荷率20%以下の運転時間は1日の86%を占めており、軽負荷運転の割合が高い。

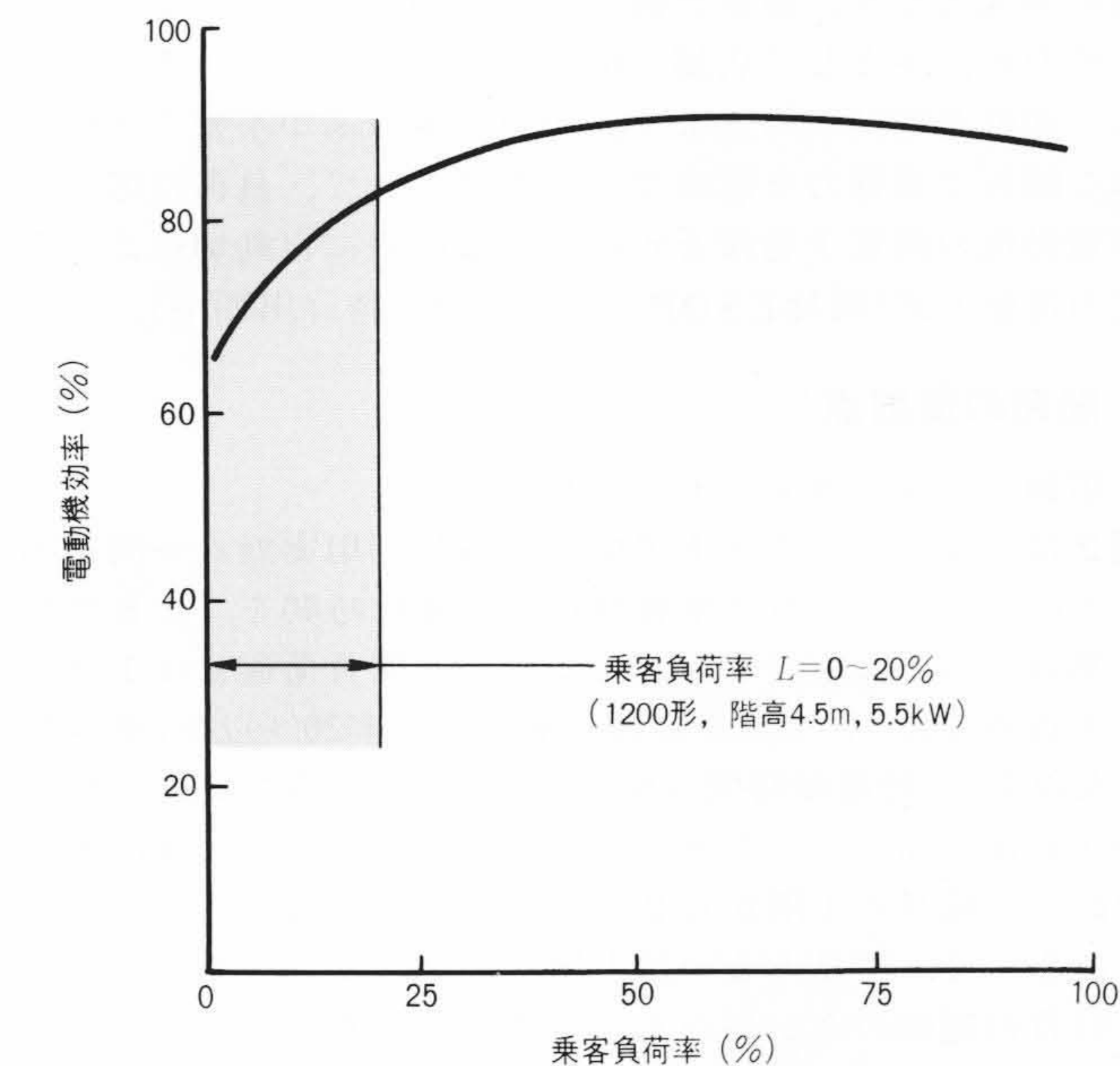


図3 5.5kW三相誘導電動機の効率特性 軽負荷の範囲では、電動機効率が低い状態で使用している。

3 省電力運転方式(ESOP)の開発

軽負荷運転時の電動機効率を改善する具体的方法として、表1に示すような各種の方式を検討した結果、制御が比較的単純で、かつ目的は異なるが従来から一般的に使用されている電動機の固定子巻線をY結線とΔ結線に切り換える方式が最も実用的であると考えられるので、これについて検討した。

(1) 電動機の電力消費特性

図4は5.5kWの三相誘導電動機を使用したエスカレーター

をY結線及びΔ結線で運転した場合の電動機の消費電力と乗客負荷率の関係を示したものである。また運転方向は上昇及び下降の両方について示してある。ここで消費電力がマイナスとなるのは、下降運転時に電力が電源側に回生されることを意味する。この図から消費電力を比較すると、上昇運転では乗客負荷率60%以下、下降運転では乗客負荷率80%以下では、Y結線がΔ結線よりも低いことが分かる。また、乗客負荷率がこれらの値を超えると消費電力は上昇、下降のいずれもΔ結線のほうが低くなる。更にエスカレーターの無負荷状態では、Y運転にすることによりΔ結線に対し24%の節電率となる。

一方、このY-Δ運転時の消費電力を電動機の等価回路により計算した結果が図5であり、前述の実測値とよく一致している²⁾。計算結果から分かるように、Y結線では鉄損 P_0 がΔ

表1 軽負荷時の効率向上策 エスカレーターは軽負荷(定格の50%以下)で使用されている割合が1日の86%を占めており、この軽負荷時の効率向上策を比較した。

制御方式	概要	制御装置	問題点
Y-Δ結線	負荷の少ないときは、誘導電動機をY結線とし、等価的に電圧を $\frac{1}{\sqrt{3}}$ にする。	小 安価	切換時の過渡現象
2電動機	大小二つの誘導電動機を備え、効率の良いほうを用いる。	小 中	ベルト駆動の信頼性
電圧制御	負荷に応じて無段階に電圧を変える(サイリスタ制御)。	大 高価	コスト高

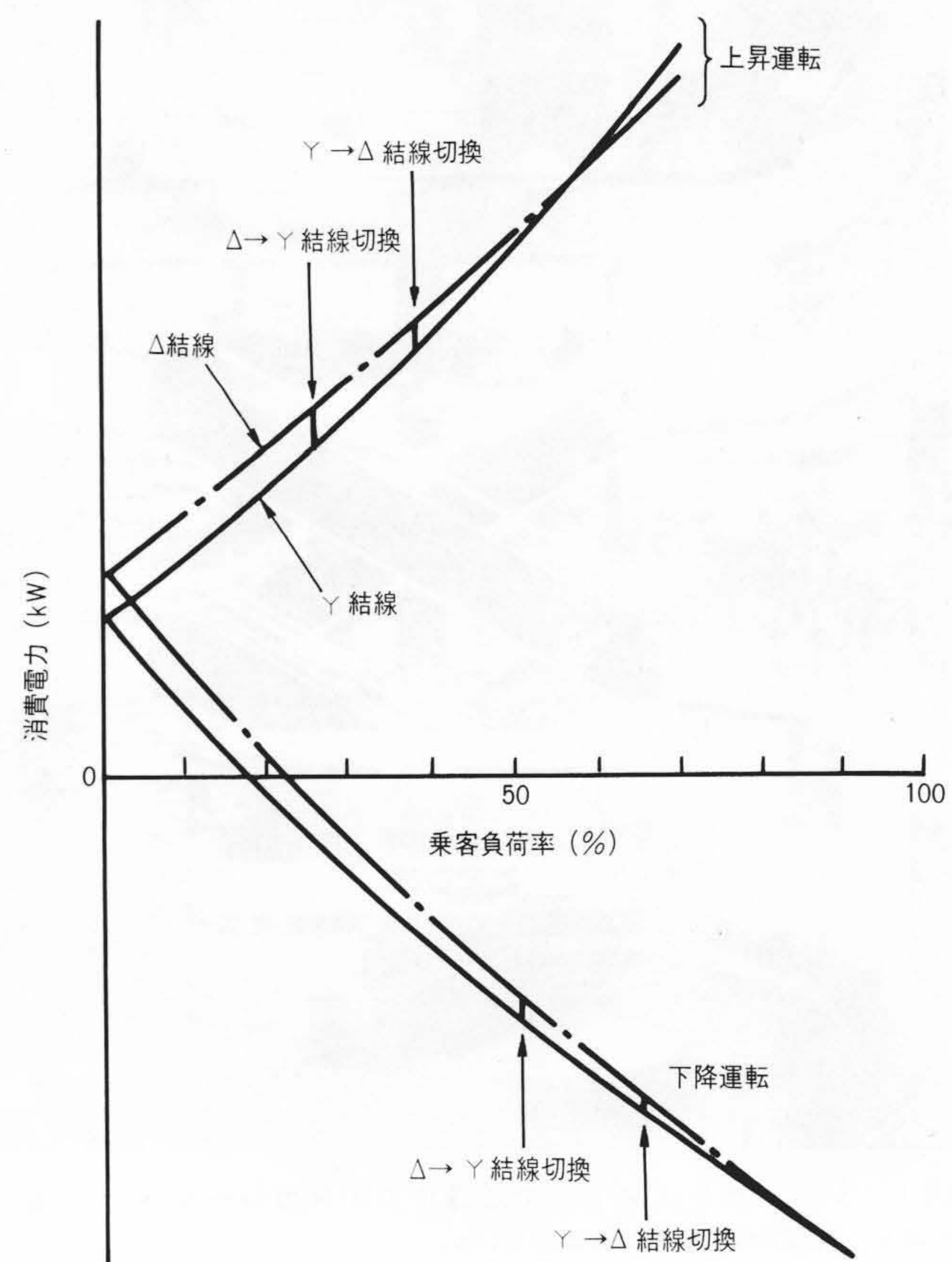


図4 Y結線及びΔ結線の消費電力比較と、切換えポイントの設定 広い負荷範囲でY結線はΔ結線に対し、消費電力が小さくなる。また、Y-Δ結線の切換えポイントを種々の条件を考慮して設定している。

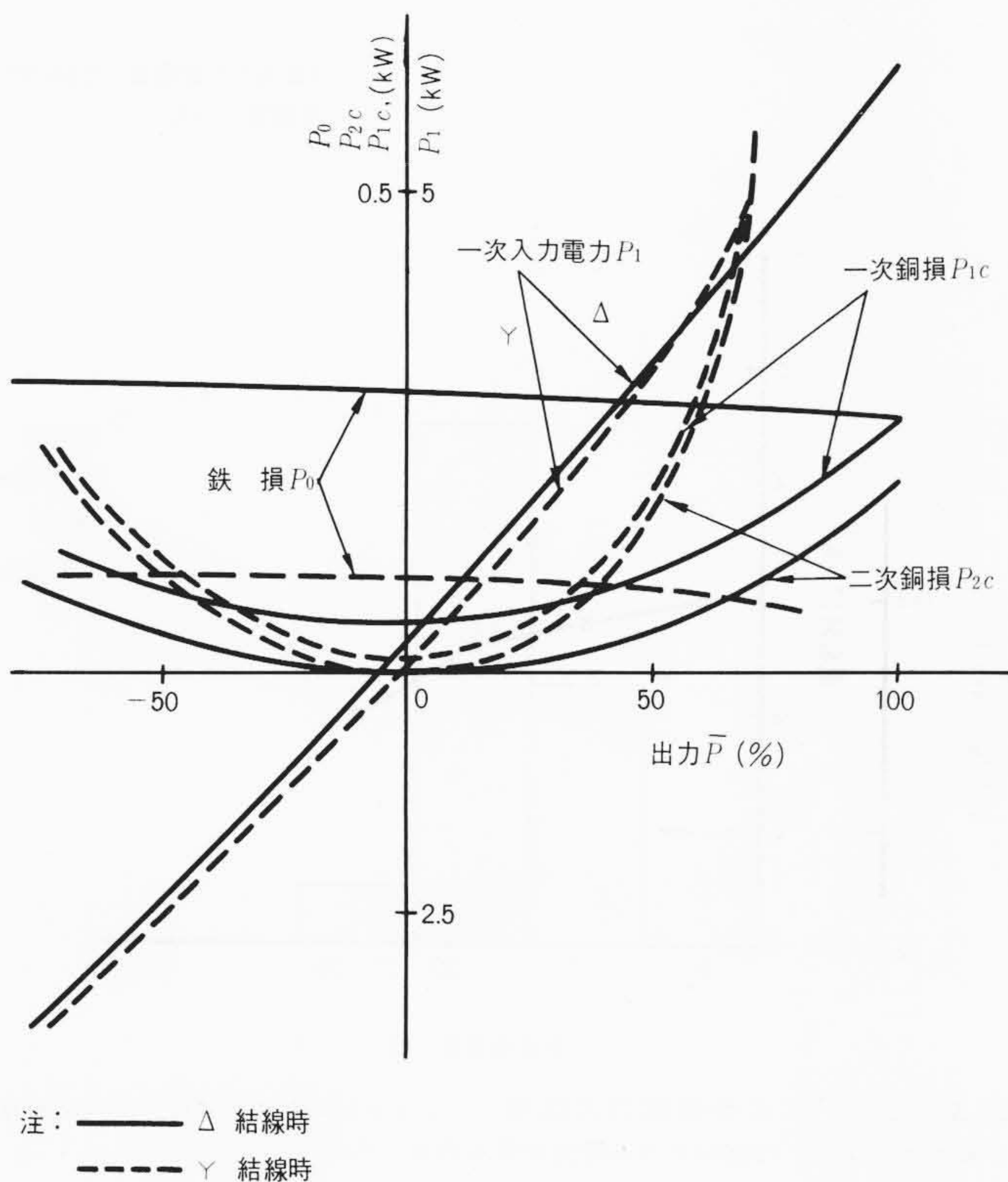


図5 Y-Δ結線時の損失，入出力計算結果 軽負荷時に効率が向上する内容はオーバーオールの実測値からは求められないので，等価回路を用いた計算結果で説明した。

結線の30%程度であるのが最も大きな省電力効果を示している。また，Y結線では一次銅損 P_{1c} ，二次銅損 P_{2c} が電動機出力の増加とともに急増するため，60%程度でΔ結線と同程度の効率となる。この省電力効果は，電動機容量，電源周波数が異なってもほぼ同程度と考えてよい。

この結果から軽負荷範囲では，Y結線運転を行ない，一定負荷以上ではΔ結線に切り換える方式により，軽負荷状態の消費電力を節減することが可能となる。次に，安全性と信頼性を確保するために，種々の条件を加味して具体的な回路構成を検討した。

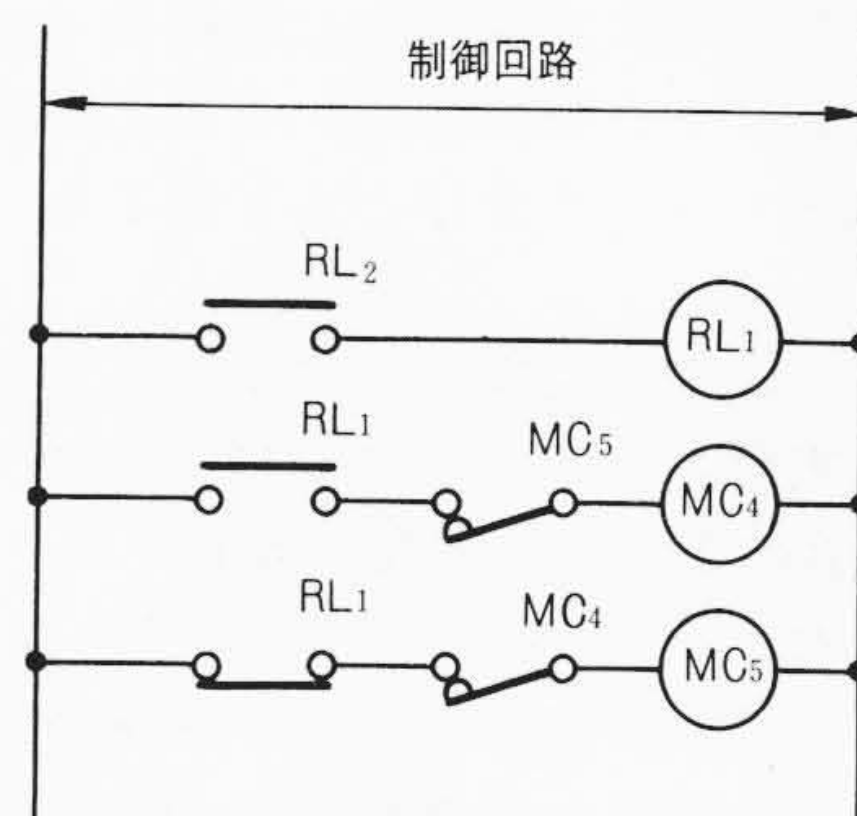
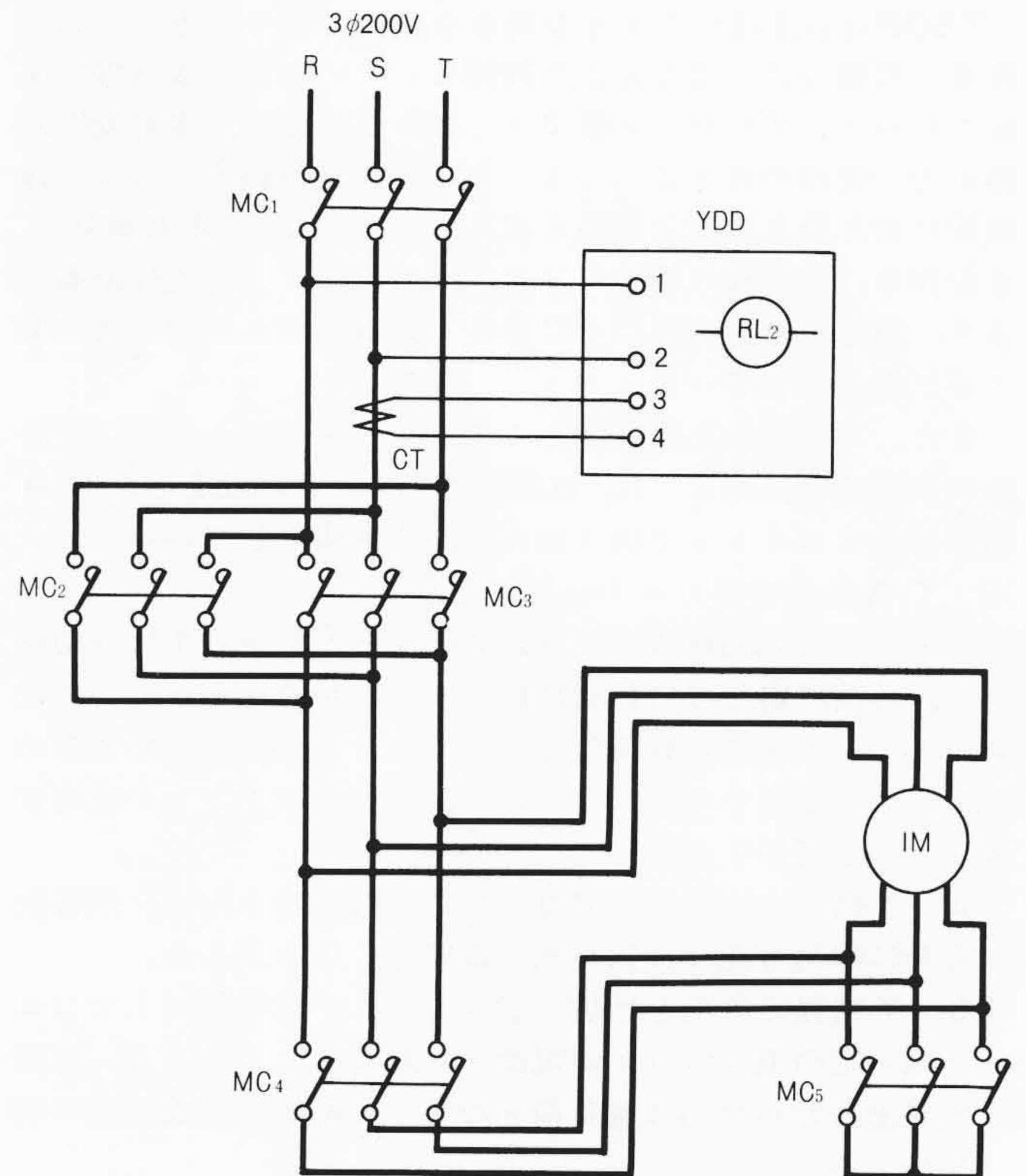
(2) 基本回路構成

ESOPの基本回路構成を図6に示す。誘導電動機IMは上昇運転用電磁接触器MC₂，下降運転用電磁接触器MC₃，Δ結線用電磁接触器MC₄，Y結線用電磁接触器MC₅の開閉動作により運転される。また電磁接触器MC₄，MC₅は，負荷検出回路の信号を制御回路で受け，補助リレーRL₁の動作により制御される構成としている。

(3) 負荷検出回路

図7は，負荷検出回路をブロック図で示したものである。電動機主回路の相間電圧及び相電流は，それぞれ電圧検出回路及び電流検出回路に取り込まれる。ここで取り込まれた二つの電圧は，電力変換回路でベクトル合成され，電動機の入力電力に比例した電圧に置き換えられる。この電圧と比較回路であらかじめ設定した負荷電圧とを比較し，その大小に応じてY-Δ結線切り換えリレーを動作させる構成としている。

なお，電力変換回路は電圧補償回路を内蔵しており，電源電圧が変動した場合にも，あらかじめ設定した負荷(乗客数)でY-Δ結線切り換えが行なわれる回路としている。



注：略語説明

- 3φ(三相交流電源)
- IM(誘導電動機)
- MC₁(始動用電磁接触器)
- MC₂(上昇運転用電磁接触器)
- MC₃(下降運転用電磁接触器)
- MC₄(Δ結線用電磁接触器)
- MC₅(Y結線用電磁接触器)
- PL₁(補助リレー)
- RL₂(Y-Δ結線切り換えリレー)
- CT(変流器)
- YDD(負荷検出回路)

図6 基本回路構成 負荷検出回路の信号でY-Δ結線の切換え用電磁接触器を制御している。

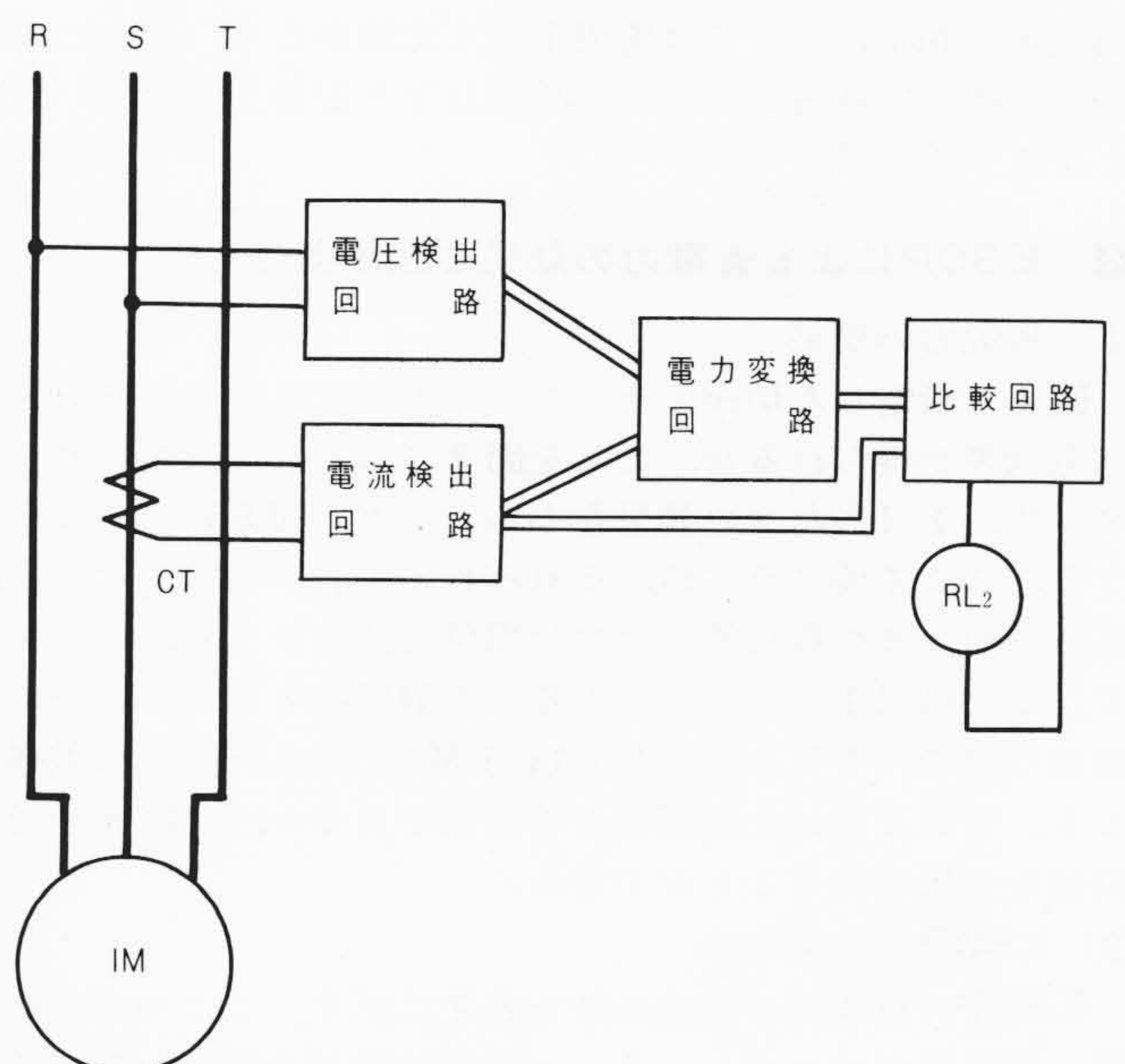


図7 負荷検出回路 電力変換回路と比較回路から構成し，負荷の大小に応じて，切換指令を出力する。

ESOPは以上述べたような簡単な構成であり、電子部品が故障した場合にもほとんどの故障モードに対してΔ結線で運転されるフェイルセーフ構成としている。更に、電力変換回路が万一動作不良となっても、負荷が設定値以上になるとΔ結線に切り換える安全回路も組み込んでいる(特許出願中)。すなわち、電動機の電流だけを単独で検出する電流検出器により、設定した電流値以上になると強制的にΔ結線に切り換える二重系としている。

また、本負荷検出回路は、エスカレーターの上昇及び下降の切換え運転に対しても、無調整であらかじめ設定したY-Δ結線切換えポイントで切り換わる回路構成としている。

(4) Y-Δ結線切換えポイントの設定

以上述べた回路構成により、Y結線とΔ結線の相互の切換えを、負荷に応じて自動的に行なうことができるが、エスカレーターをすべての負荷状態で円滑かつ安全に運転するためには、次の項目を考慮したうえで、切換えポイントを設定することが必要となる。

- (a) Y結線では電動機出力トルクが低下するため、乗客が安全に輸送可能な負荷範囲でΔ結線に切り換える。
- (b) Y結線で負荷を増加してゆくと、一定負荷以上ではΔ結線の定格電流値以上の電流が流れる。したがって、電動機保護のため熱的に過負荷とまらない範囲内でΔ結線に切り換える。
- (c) Y結線とΔ結線の相互切換え時に、瞬間的に電動機トルクが変動するため、加減速ショックを生じる。このため切換えポイントは乗客が加減速ショックをほとんど感じない値以下となるように設定する。

これらの条件に対し、(a)、(b)項は理論的な解析により、また(c)項に対しては、理論解析と実機エスカレーターによる加減速度の実測、及び多数の試乗客による感覚調査の結果から、最適の切換えポイントを設定した。

図4には、実機エスカレーターでの切換えポイントを消費電力と対比して示した。ここではY結線からΔ結線の切換えポイントとΔ結線からY結線の切換えポイントにヒステリシスをもたせることにより、負荷の微小な変動に対して切換えが頻繁に起きないように考慮している(特許出願中)。

この切換えポイントの設定に対し、実機で確認した結果、前記(a)、(b)項については実用上全く支障がなく、また(c)項の切換え時の加減速ショックも40gal以下と安全上十分低い値であることを確認した。

4 ESOPによる省電力の効果と適用条件

(1) 省電力の効果

図4で設定した切換えポイントでそれぞれの負荷に対する節電効果が得られるが、これを図2に示した実機エスカレーターで、1日当たりの効果をとらえると、図8に示すようになる。ここで棒グラフは、それぞれの乗客負荷率に対する運転時間を、また折れ線グラフは単位時間当たりの節電量を示す。この結果1日当たり節電量は2.34kWhとなり、従来のΔ結線だけでの1日の消費電力14.6kWhに対し16%の節電率となる。なおこれは上昇運転での効果であるが、下降運転でも同様な効果を得ることができる。

(2) ESOPの適用条件

ESOPの具体的な適用条件を表2に示す。ここで都市交通用、屋外用はエスカレーターの利用状況が多岐にわたっており、これによって節電効果が変化するため、これらの実態調査を今後更に検討したうえで、適用拡大を図ってゆきたい。

1日当たり節電量：2.34kWh
節電率：16%

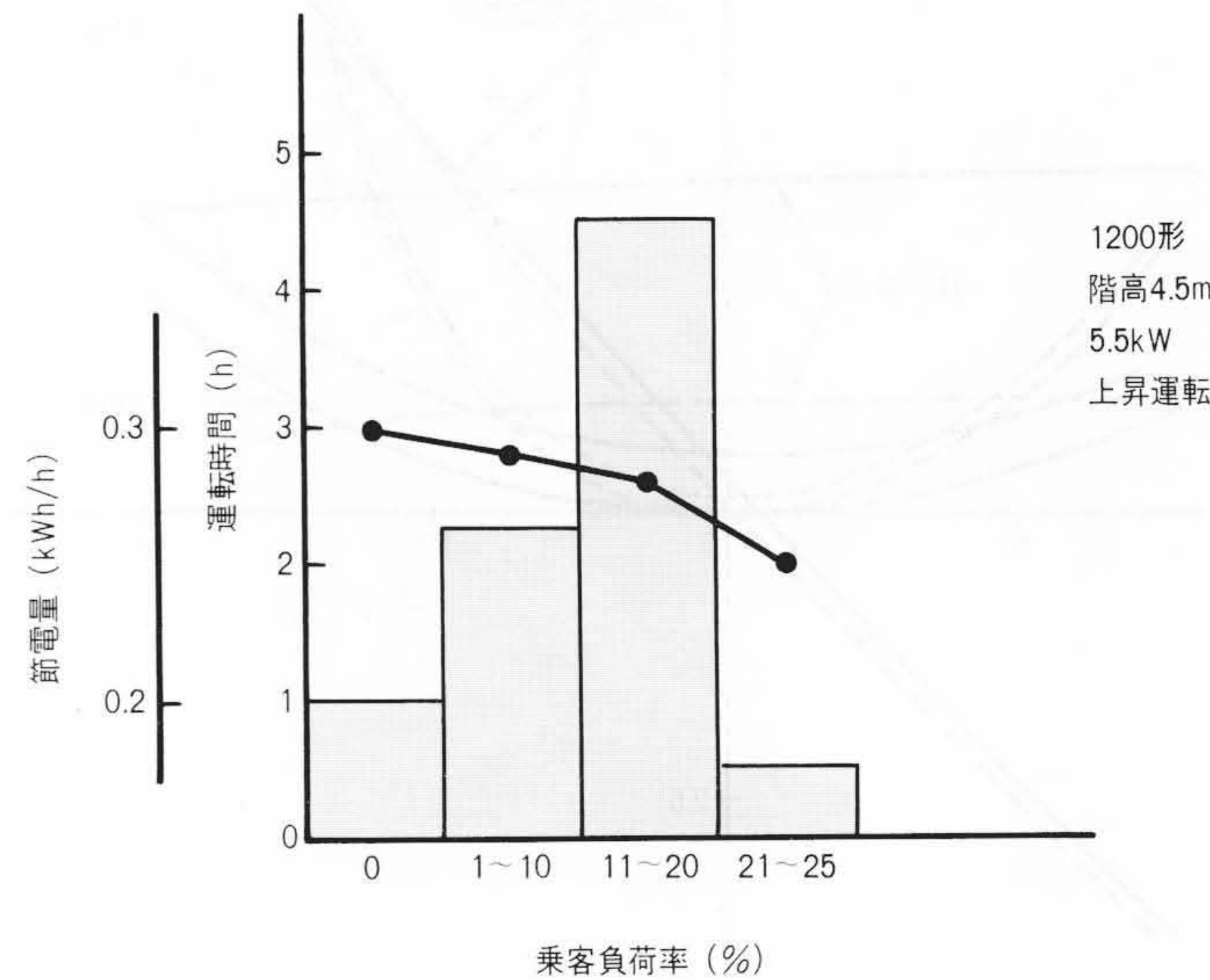


図8 ESOPによる省電力の効果 ショッピングストアにESOPを適用することにより、15%以上の省電力が得られる。

表2 ESOPの適用条件 本装置は、一般店舗で連続運転されるエスカレーターを対象としている。

項目	適用条件
用途	一般店舗用(都市交通、屋外用は除く。)
形式	1200形
階高	$H \leq 6,500$

5 結 言

エスカレーターを連続運転したままで省電力化を実現する省電力運転方式(ESOP)を開発した。

- 主な特長としては、
- (1) エスカレーターの付帯設備を一切必要とせず、比較的簡略な制御機器を追加するだけで省電力を実現できること。
 - (2) 入力負荷を検出し、負荷の大小に応じて電動機の結線をYとΔに切り換えることにより、Y結線運転時に電動機が高効率となることを応用したこと。
 - (3) 電動機の結線をY-Δに切り換えることによる機器の信頼性を確保するとともに、切換え時のショックを十分安全な値としたこと。
 - (4) デパート、ショッピングストアなどの店舗に適用した場合、従来対比で15%以上の省電力が達成できること。
- である。

本省電力運転方式の開発により従来困難であった連続運転状態での省電力化が実現できるため、今後いっそうの普及が期待される。

参考文献

1) 寺西，外：V形エスカレーターの開発，日立評論，61，11，827～832(昭54-11)
2) 大隅，外：小形回転機ハンドブック，電気書院(昭41)