

# サイリスタレオナード制御方式直流エレベーター

## DC Elevators with Thyristor Leonard Speed-Control System

日立製作所は、高層ビル向けの直流エレベーターに対する省電力化の要求に応ずるため、電動発電機に替えサイリスタ変換装置を用いた新しい制御方式を開発した。新制御方式は、電動機をより効率良く制御するために、電機子及び界磁回路の双方を、出力トルク領域に応じて連続的に制御するようにした。この結果、従来の電動発電機を用いたワードレオナード方式と比較し、25%以上の省電力効果を達成した(当社比)。更に、サイリスタ変換装置を一方向出力としたことにより、制御性能及びシステム信頼度が向上した。また、各種の異常時保護回路を考案し、エレベーターの安全性についても更に向上を図ることができた。

坂井吉男\* *Yoshio Sakai*  
 青木和光\* *Kazumitsu Aoki*  
 安藤武喜\*\* *Takeki Andô*  
 稲葉博美\*\* *Hiromi Inaba*

### 1 緒言

エレベーターは、乗りかごとつり合いおもりを巻上電動機を介してつるべ状に配し、この巻上電動機により乗りかごを上下方向に駆動して、位置エネルギーの移動を行なうものである。

エレベーターでは、電動機を力行、回生の両領域で制御しており、エレベーターの駆動に要する電力量は非常に少なく、他の交通機関に比べて最も効率の良い乗り物の一つといえることができる。直流高速エレベーターの例では、巻上電動機の定格容量(1時間定格)の約30%の消費電力量で済み、一般にビル全体の電力消費量の数パーセントにすぎない。

従来、高速エレベーターの速度制御系には、電動発電機を使用したワードレオナード方式を採用していた。この方式は、多くの実績と安定した高性能の速度制御性能をもっているが、省電力の面で改善の余地があった。

日立製作所は、サイリスタ変換装置を用いたサイリスタレオナード方式直流エレベーターを永年にわたり研究し、制御性、安全性及び信頼性が共に高く、電力消費量が最も軽減できる新制御方式を製品化した。これにより、最近の社会ニーズである省エネルギーの要望にこたえるなど、表1に示すような特長を得ることができた。

本方式を採用した直流エレベーターを、富国生命保険相互会社本社ビル向け240m/min 5台、180m/min 4台及び株式会社第一勧業銀行本店ビル向け360m/min 8台、240m/min 8台をはじめ多数納入を開始した。

### 2 サイリスタレオナード制御方式<sup>1)</sup>

電動発電機に替えてサイリスタ変換装置を採用する主な目的は、電力変換装置の変換効率を高め省電力を図ることであるが、エレベーターへの応用に当たっては同時に次の点もねらいとした。

- (1) 制御入力信号と電動機の出力トルクの関係が線形であり、制御性能が向上できること。
- (2) 電動発電機と比較し、静止形であるほか、主回路の構成が簡単で、信頼性が向上できること。
- (3) 電動機を効率よく制御し、省電力効果を更に高めること。このような観点から開発したサイリスタレオナード制御方式を図1に示す。電動発電機の代わりに一組みの三相全波サイ

表1 サイリスタレオナード方式の特長 電動発電機方式と比較すると省電力化、保守の省力化などの効果が得られる。

サイリスタレオナード方式の特長	電動発電機方式との比較
(1) 25%以上の省電力	(1) サイリスタ変換装置は電動発電機よりも電力変換効率が良い。
(2) エレベーター用建屋電源設備の軽減	(2) エレベーター停止中の電動発電機のアイドリングがなくなる。
(3) クイックレスポンスによるサービス向上	(3) 電動発電機の起動時の突入電流がなくなる。
(4) エレベーター機械室の騒音が減少	(4) 電動発電機の起動時間(5秒程度)がなくなり、エレベーターが即時に運転に入れる。
(5) 保守が省力化される。	(5) 電動発電機の回転騒音がない。
	(6) 電動発電機では必要だったブラシの保守、絶縁物の更新などがなくなる。

リスタ変換器を用いている。この方式の特長は、電機子電流  $I_a$  を常に一定方向に流しておき、界磁電流  $I_f$  は点弧制御装置からのパルスにより電流方向を連続的に切り替え、電動機の正、逆回転及び力行、回生制御を円滑に行なうことである。

図2は、この方式をブロック線図化したものを、図3は電機子電流  $I_a$  と界磁電流  $I_f$  とを制御する関数発生器の特性を示したものである。

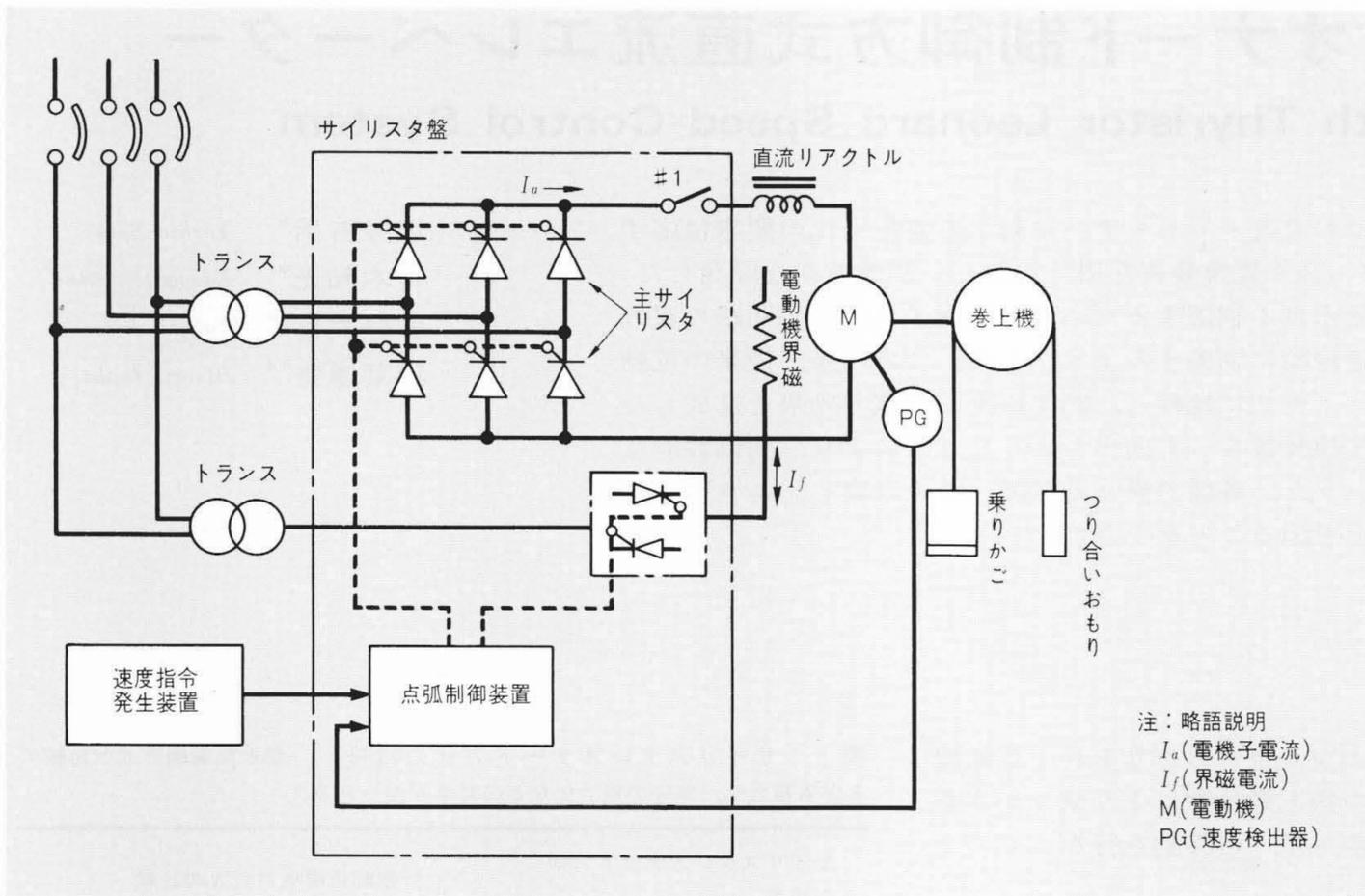
この制御方式は、制御指令に対する電動機トルクの線形性を維持するために、

- (1) 所要トルクの小さい領域では、電機子電流  $I_a$  を一定値 ( $I_{a0}$ ) とし、界磁電流  $I_f$  をトルク指令  $T_s$  に比例して正、負連続に制御する方式とした。
- (2) 所要トルクが大きな領域では、界磁電流  $I_f$  を一定値 ( $I_{f0}$ ) とし、トルク指令  $T_s$  の絶対値に比例して電機子電流  $I_a$  を一方向に増加する方式とした。

また、乗客変動などの外乱にかかわらず、安定した乗心地、及び着床性能を十分満足する速度制御系とするために、

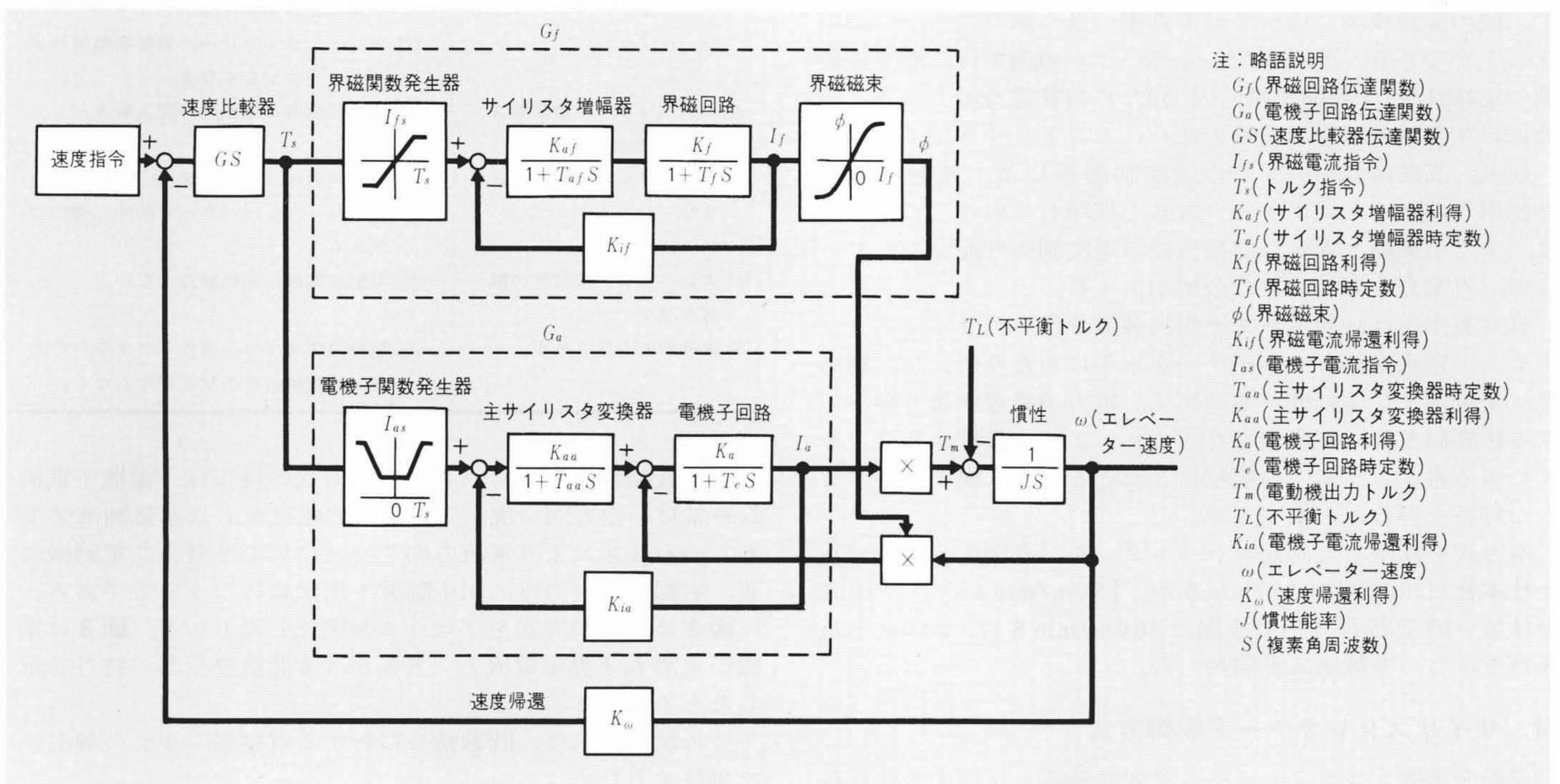
- (1) 電動機の回転速度を速度発電機で検出し、速度指令と比較制御する速度帰還制御方式とした。

\* 日立製作所水戸工場 \*\* 日立製作所日立研究所



注：略語説明  
 $I_a$ (電機子電流)  
 $I_f$ (界磁電流)  
 M(電動機)  
 PG(速度検出器)

図1 サイリスタレオナード方式の高速エレベーター速度制御回路 従来の電動発電機に替わってサイリスタを用い、電力変換及び電動機速度制御を行なう。



注：略語説明  
 $G_f$ (界磁回路伝達関数)  
 $G_a$ (電機子回路伝達関数)  
 $GS$ (速度比較器伝達関数)  
 $I_{fs}$ (界磁電流指令)  
 $T_s$ (トルク指令)  
 $K_{af}$ (サイリスタ増幅器利得)  
 $T_{af}$ (サイリスタ増幅器時定数)  
 $K_f$ (界磁回路利得)  
 $T_f$ (界磁回路時定数)  
 $\phi$ (界磁磁束)  
 $K_{if}$ (界磁電流帰還利得)  
 $I_{as}$ (電機子電流指令)  
 $T_{aa}$ (主サイリスタ変換器時定数)  
 $K_{aa}$ (主サイリスタ変換器利得)  
 $K_a$ (電機子回路利得)  
 $T_e$ (電機子回路時定数)  
 $T_m$ (電動機出力トルク)  
 $T_L$ (不平衡トルク)  
 $K_{ia}$ (電機子電流帰還利得)  
 $\omega$ (エレベーター速度)  
 $K_\omega$ (速度帰還利得)  
 $J$ (慣性能率)  
 $S$ (複素角周波数)

図2 速度制御系のブロック線図 図1のサイリスタレオナード方式制御回路をブロック線図に展開したものである。

(2) 応答の遅い界磁回路と応答が速い電機子回路の応答速度を一致させるために、適正な補償帰還回路を設けた。

(3) トルク指令  $T_s$  に対する電動機出力トルク  $T_m$  の各制御領域でのゲイン特性を一致させた。

この結果、図4に示すように両制御領域での速度一巡伝達関数の交差角周波数  $\omega_c$  とそのゲイン傾斜  $m$  をほぼ一致させることができ、トルク変動に対して安定した速度制御性能が得られることが分かる。図5に360m/minエレベーターの運転特性の一例を、図6にサイリスタレオナード制御盤を示す。

### 3 エレベーターの電力消費

直流エレベーターでの電力の流れは、図7に示すように定格積載荷重で上昇するときには電源側から電動機へ供給され、下降するときには逆に電動機から電源へと電力が回生される。このとき、位置エネルギーの移動とともに各部で電力が消費される。

エレベーターの電力消費は、主に電動機、電力変換装置(電動発電機又はサイリスタ装置)と制御回路、照明回路部の電力消費から成り、従来方式では電動機と電力変換装置(電

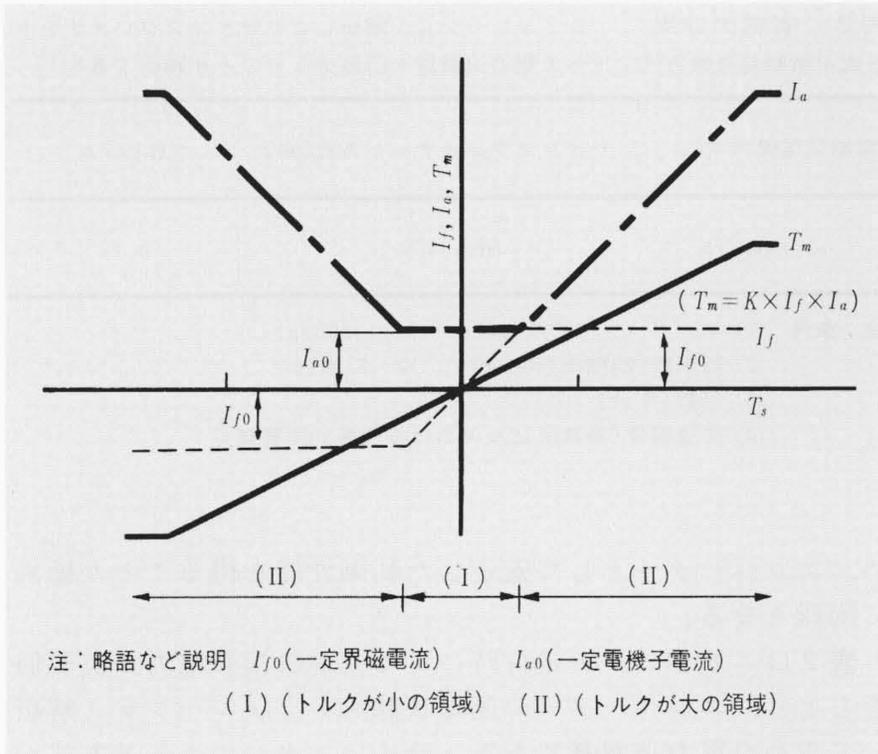


図3 界磁、電機子電流制御関数発生器の特性 トルクの小さい領域では界磁電流を、トルクが大きい領域では電機子電流を変化させて、電動機出力を制御するようにしている。

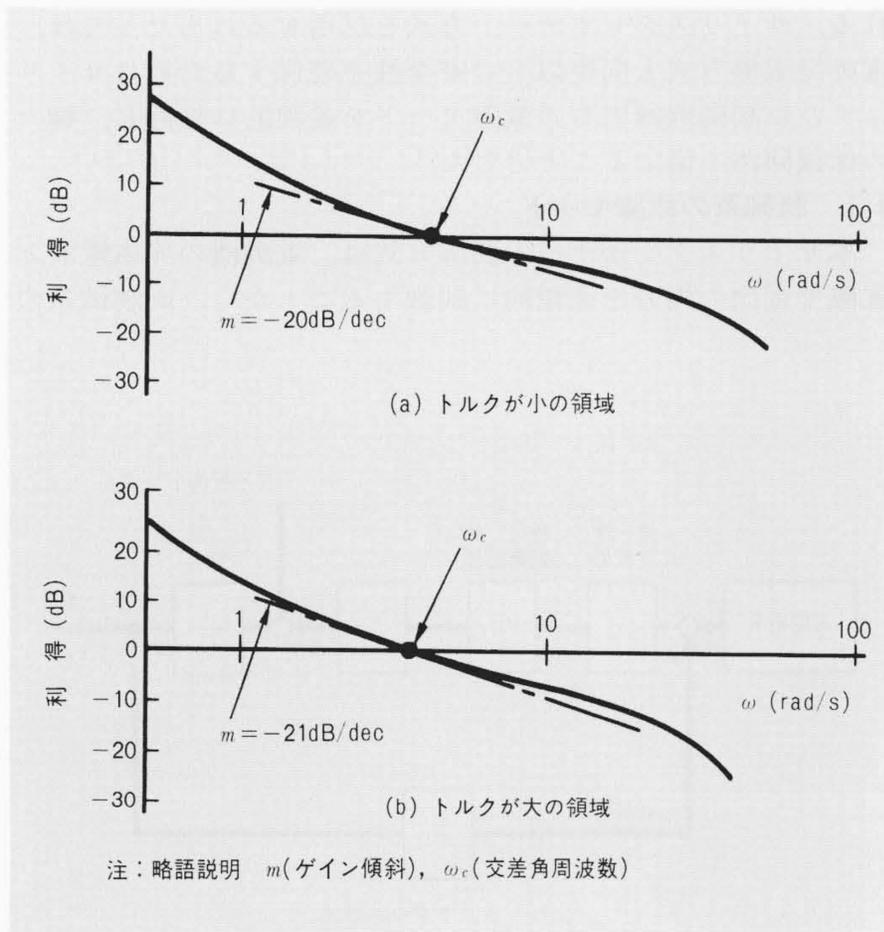


図4 速度—伝達関数のボード線図 出力トルクの大小にかかわらず、速度—伝達関数の周波数応答をほとんど一致させている。

動発電機)が全体の75%を占めていた。これらの中で最も消費量の大きい電動発電機をサイリスタ変換装置に置き替えると、電力変換効率向上のほか、エレベーター停止中の電動発電機のアイドリングロスがないこともあり、大きな省電力効果が得られる。

一方、電動機の電力消費  $W_m$  は、主に電機子と界磁回路の銅損であり、次の(1)式で表わされる。

$$W_m = R_A \cdot I_a^2 + R_F \cdot I_f^2 \dots\dots\dots(1)$$

ここに  $W_m$  : 電動機の電力消費量 (W)  
 $R_A$  : 電機子回路抵抗 ( $\Omega$ )

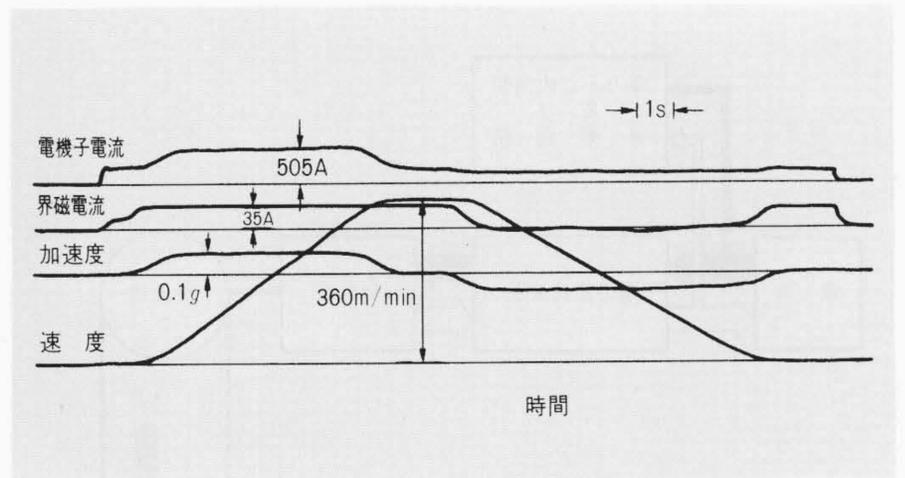


図5 360m/minエレベーターの速度特性(全負荷上昇運転) 円滑な速度特性が得られている。

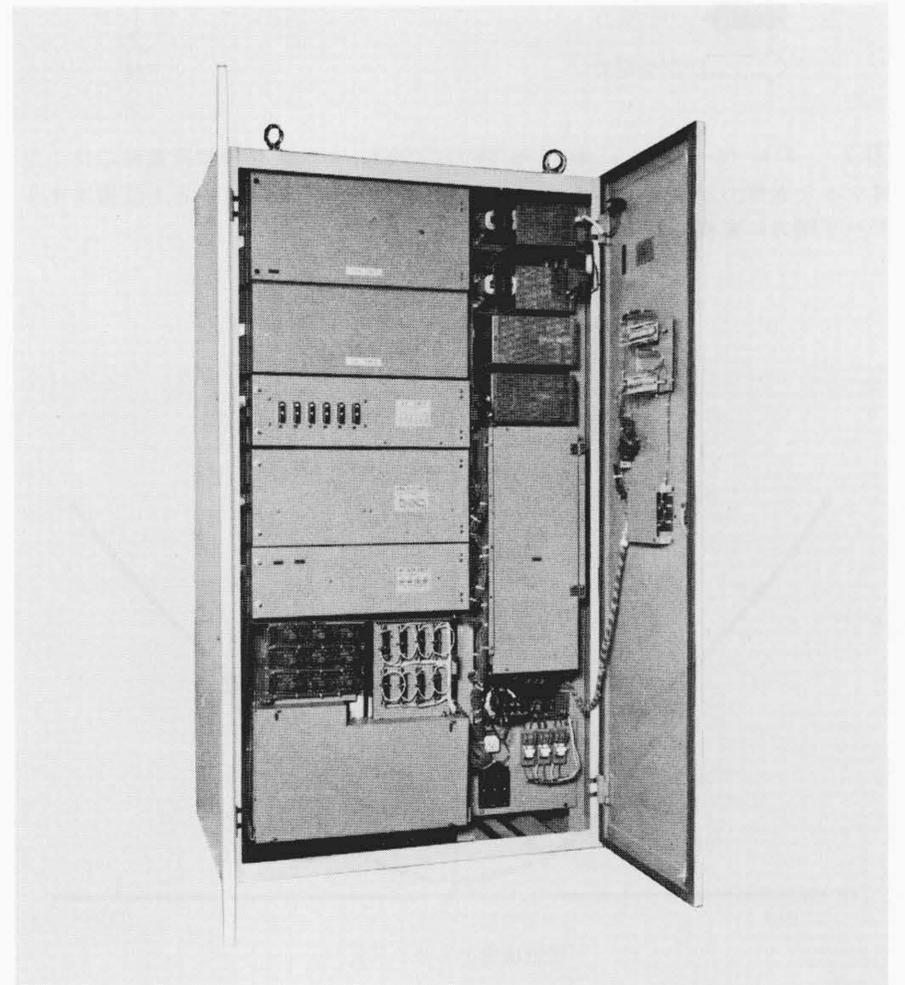


図6 サイリスタレオナード制御盤 サイリスタ変換装置及び速度制御回路部を収納したサイリスタレオナード制御盤を示す。

- $R_F$  : 界磁回路抵抗 ( $\Omega$ )
- $I_a$  : 電機子電流 (A)
- $I_f$  : 界磁電流 (A)

また、新制御方式での電動機の出トルク  $T_m$  は、定格出力以下で(2)式となる。

$$T_m = K \cdot I_f \cdot I_a \dots\dots\dots(2)$$

[ 定格出力以上では ]  
 $T_m = \phi_0 \cdot I_a$

- ここに  $K$  : 界磁磁束発生係数 ( $V \cdot s / rad \cdot A$ )
- $\phi_0$  : 定格界磁磁束 ( $V \cdot s / rad$ )

上記(1)、(2)式から定格出力トルク以下の領域で、同一出力トルクを得るのに最小の電力消費となる電機子電流  $I_a$  と界磁電流  $I_f$  の最適値があることが分かる。また、電動機の定格出力時の各部の電力消費量の比は、

$$\frac{(\text{電動機界磁及び制御部の電力消費量})}{(\text{電動機電機子及び制御部の電力消費量})} = \left( \text{約} \frac{1}{2} \right)$$

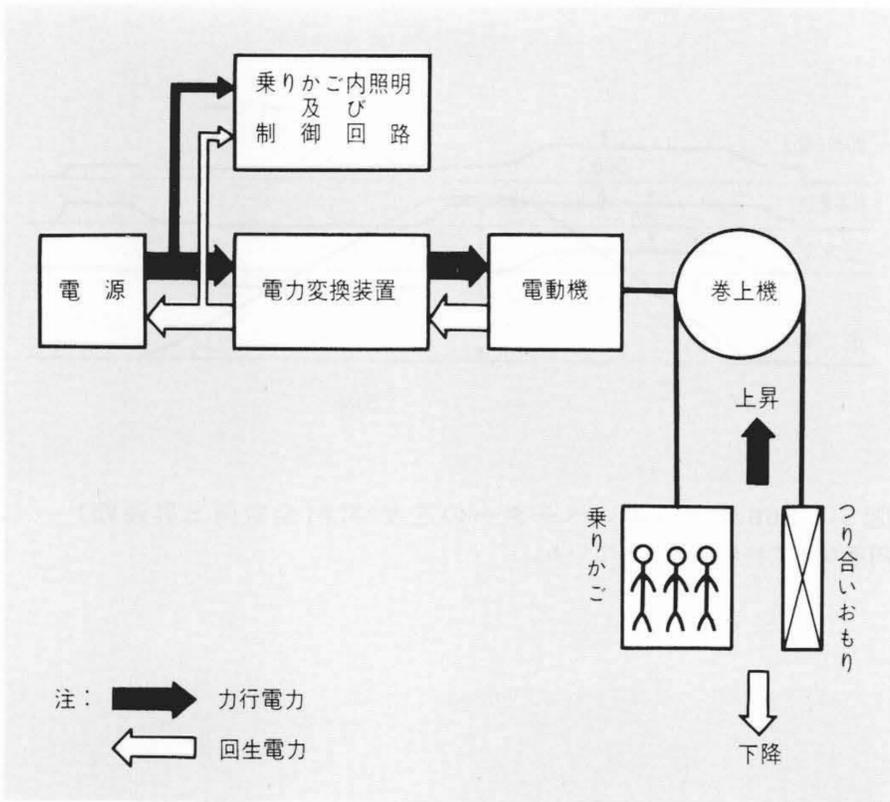


図7 エレベーターにおける電力の流れ 定格積載荷重時には、上昇するとき電力が位置エネルギーに変換され(力行)、下降するとき位置エネルギーが電力に変換される(回生)。

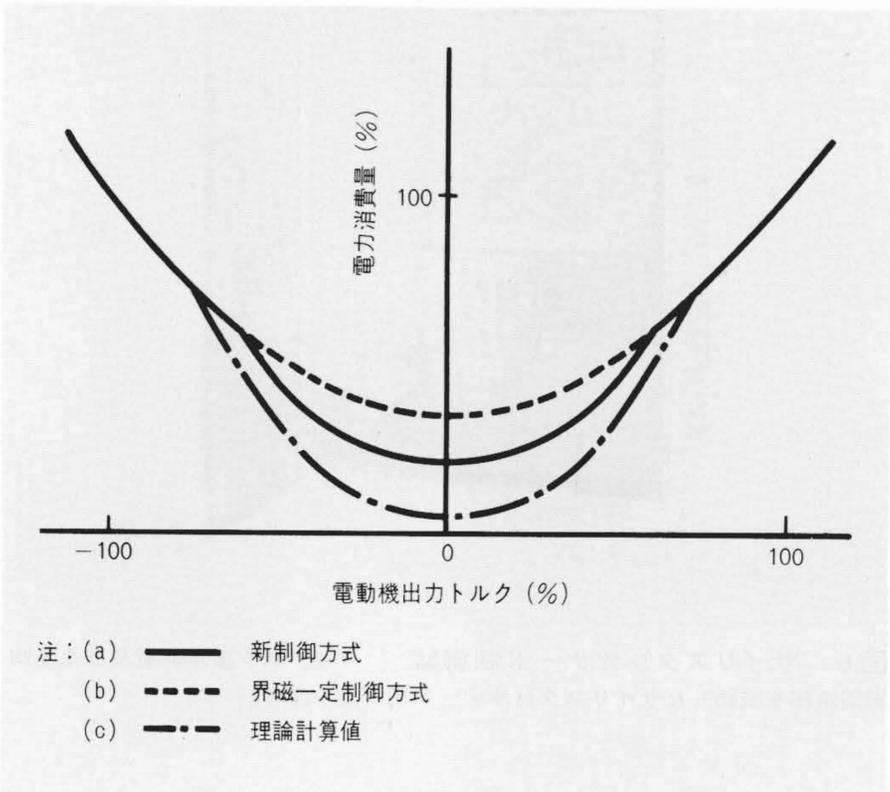


図8 電動機出力トルクと電力消費量 トルクが小の領域で新制御方式のほうが、界磁一定制御方式よりも電力消費量が少なくなる。理論計算値は、界磁及び電機子電流を同時に制御した場合であり、電力消費は最小となる。

となっている。これらを考慮して求めた電動機出力トルクと電力消費量(サイリスタ変換装置、電源トランスなどの銅損、鉄損を含む。)の関係を図8に示す。同図中(a)が新制御方式の電力消費を示すものである。界磁電流を一定として電機子電流だけを制御する逆並列サイリスタレオナード方式の場合の(b)と比較すると、トルクが小の領域で新制御方式の電力消費が少なくなっている。同図中(c)は、電力消費を最小とすることを目的として、界磁及び電機子電流を同時に制御とした場合の計算値を示すものである。しかし、同図(c)の制御は制御入力信号と電動機出力トルクの線形性が失われるた

表2 省電力効果 シミュレーション解析によりサイリスタレオナード方式が電動発電機方式に比べて電力消費量が25%少ないことが確認できた。

電動発電機方式[A]	サイリスタレオナード方式[B]	[B]/[A]
13.7kWh/h	10.3kWh/h	0.75

注：条件 (1) エレベーター仕様(240m/min, 1,600kg)  
 (2) 階床数(23階床(停止階1, 12~23階))  
 (3) 台数(6台)  
 (4) 交通需要(事務所ビルにおける代表的需要量)

め、エレベーターとして安定した制御性能を得ることが極めて困難となる。

表2はエレベーター走行時の各モードの消費電力の実測値をもとに、エレベーターの運転状態をシミュレーション解析して求めた電力消費量である。サイリスタレオナード方式が電動発電機方式に比べて25%以上(当社比)の消費電力を節約できることを示している。

#### 4 安全性に対する検討

エレベーターは、乗り物として非常に高い安全性が要求される。サイリスタレオナード方式を採用するに当たっては、電動発電機方式と同等以上の安全性を確保するためにサイリスタ及び制御機器固有の故障モードを論理的に検討し、種々の保護回路を備えることとした。

##### 4.1 制御系の故障モード

本サイリスタレオナード制御方式は、電動機の界磁電流と電機子電流の両方を連続的に制御することから、両制御系の

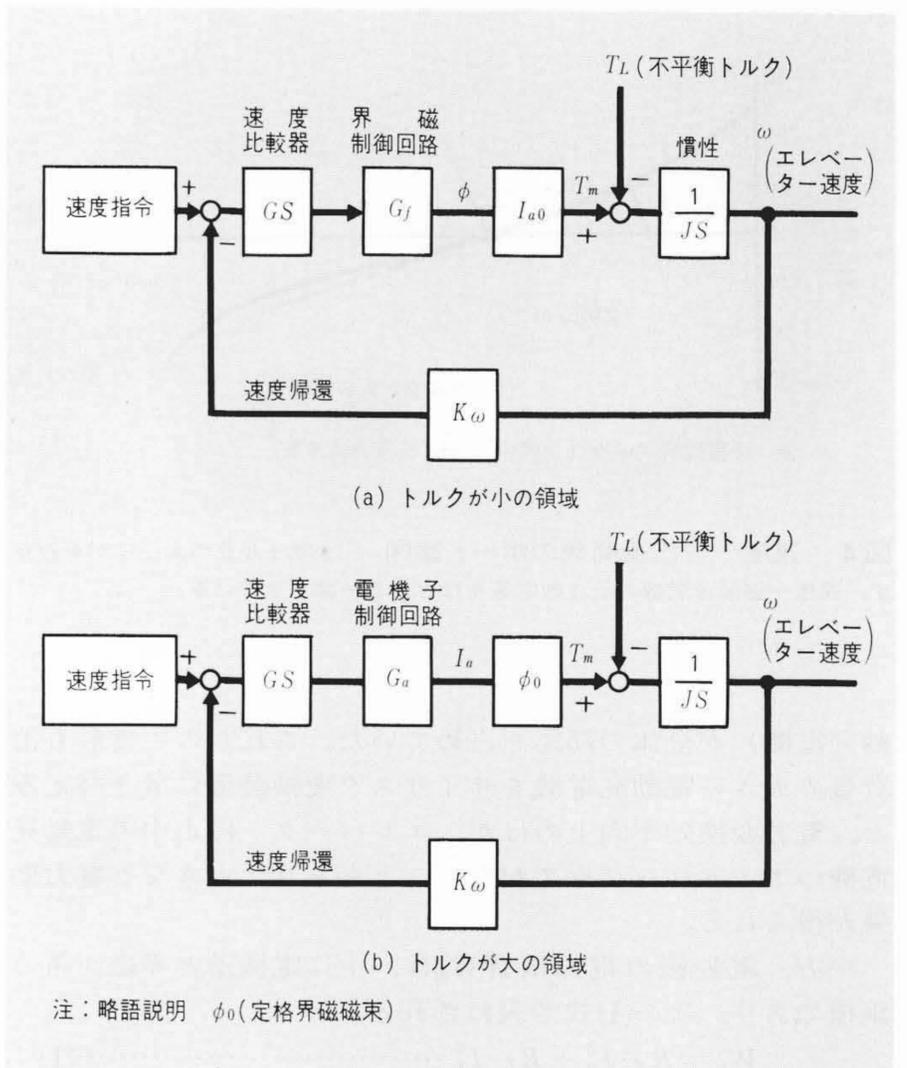


図9 サイリスタレオナード制御系のブロック線図 図2のブロック線図を制御領域に分けて表わした。

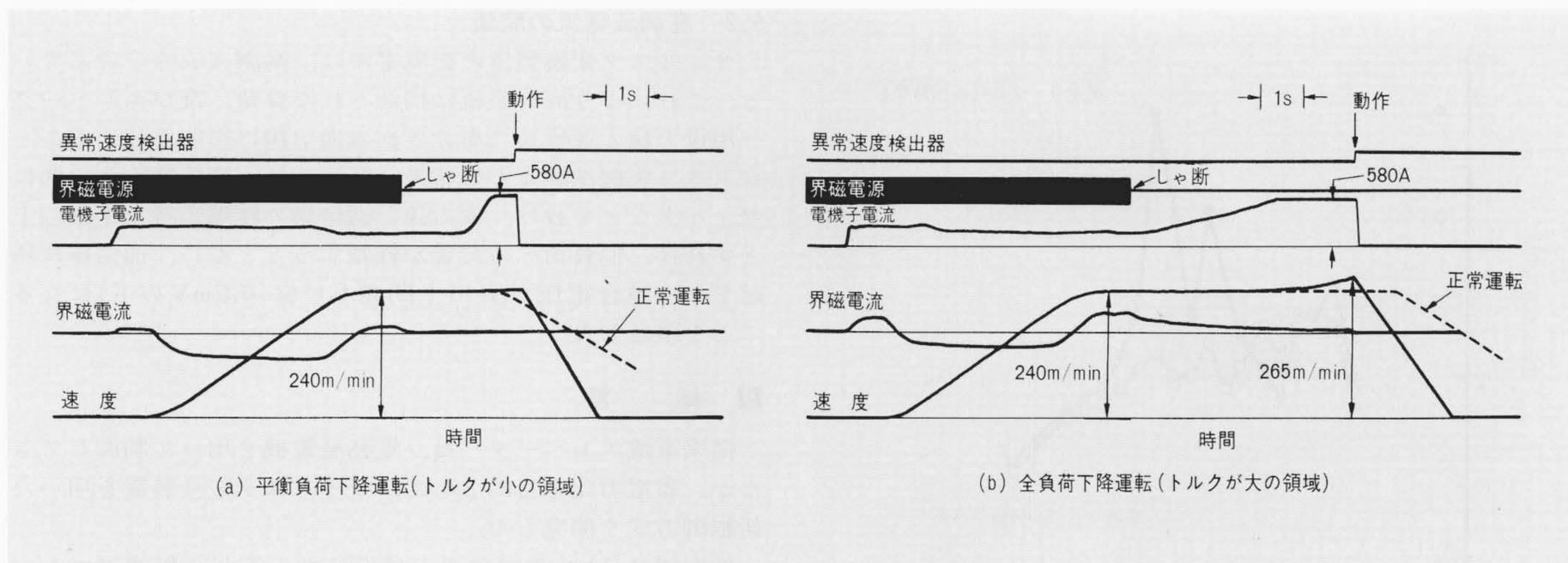


図10 界磁回路故障時のエレベーターの特性 界磁回路が故障すると速度が漸増し、異常速度検出器が動作して安全に停止している。

故障時でのエレベーターの特性について検討する。

図9は、図2の速度制御系全体のブロック線図を制御領域に見合せて表わしたものである。同図(a)はトルクが小の領域、(b)はトルクが大の領域である。(c)、(b)の両者は制御系として見た場合は、 $I_{a0}$ と $\phi_0$ が入れ替わるだけであり、全く同じ系である。また(b)は電動発電機方式と同一の系であることを示している。したがって、トルクが小の領域(a)での界磁回路 $G_f$ の故障は、トルクが大の領域(b)での電機子回路 $G_a$ の故障に相当し、故障モード的には従来の電動発電機方式との相違はないことになる。

図10は、界磁回路 $G_f$ が故障したときのエレベーターの速度特性と、後述する異常速度検出装置の動作特性を示す。トルクの大小領域にかかわらず速度は正常特性から外れ、減速が遅れたり、速度漸増の傾向が現われるが、異常速度検出装置が迅速に動作し、エレベーターが安全に停止することを示している。

#### 4.2 異常時の保護回路

サイリスタレオナード装置などの故障に対し、次のような保護装置を設け安全性を確保している。

##### (1) 異常速度検出回路<sup>2)</sup>

エレベーターの起動から停止までの間、図11に示すように速度指令とエレベーター速度信号を監視する。エレベーター速度制御装置のすべての異常は、速度異常として検出し、エレベーターを安全に停止させる(特許出願中)。

##### (2) 速度チェック回路

定格速度、着床速度及び停止条件でのエレベーター速度を監視する電気调速機(ガバナ)を設け、異常を検出すると直ちにエレベーターを安全に停止させる。

##### (3) 過電流検出回路

主回路電流及び界磁電流の異常を検出し、サイリスタ変換装置の損傷を防止するとともに、エレベーターを安全に制御する。

##### (4) サイリスタ故障検出回路

主回路電流の波形を監視することにより、サイリスタの故障のほか、移相器関係の異常を瞬時に検出し、エレベーターを安全に停止させる(特許出願中)。

(5) 万一、上記の各種バックアップ装置が動作した場合には、エレベーターをいったん停止させた後、自動的に故障診断を行ない、安全装置が正常に復帰していれば再起動させ

る。これらにより、エレベーターの不稼動時間を最小にするよう配慮している。

#### 5 サイリスタレオナード方式特有の問題点

サイリスタレオナード方式では、交流電源を位相制御するので、電動発電機方式にはなかった特有の問題点があり、次のように対処している。

##### 5.1 巻上電動機の磁気騒音

サイリスタ変換装置で電動機を駆動すると、電源周波数の6倍の高調波を基本とするリップル電流が電機子に流れ、巻上機から特定周波数の耳障りな磁気騒音が発生する。

この磁気騒音を低減するため電動機主回路に、  
(1) 直流リアクトルを挿入し、リップル電流を平滑する。  
(2) リップル吸収回路を設け、リップル電流を減少する。  
方法があり、一般に両者を併用する。

リップル吸収回路は、基本高調波(電源周波数の6倍)を吸収するように設定してあるが、これによる反共振の効果、及

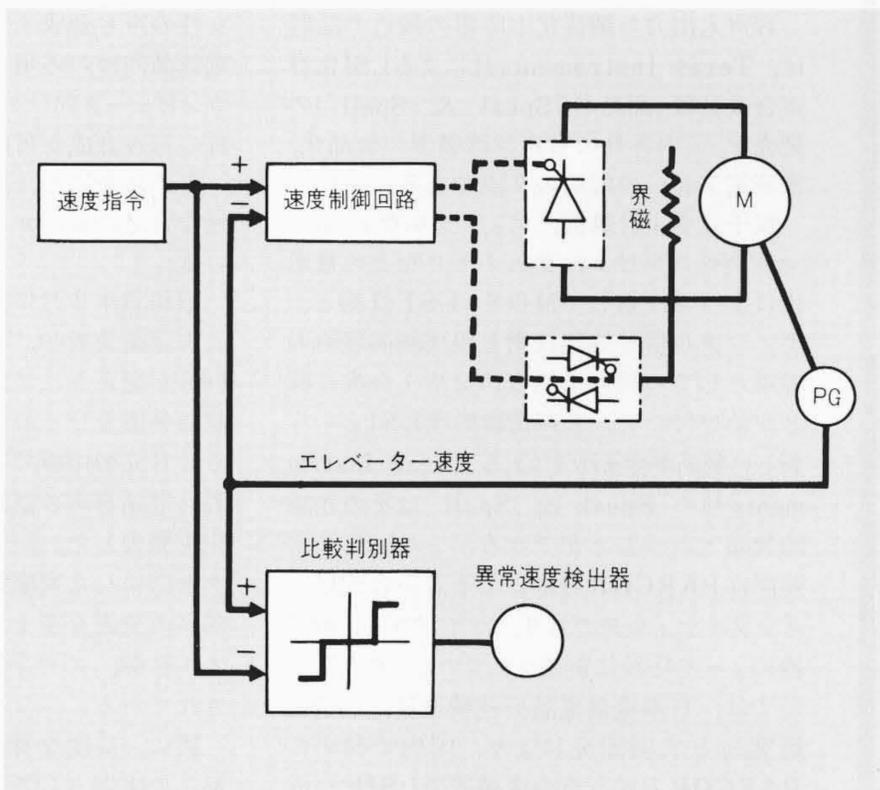


図11 異常速度検出装置 速度指令とエレベーター速度とを比較し、その偏差量が所定値以上になるとエレベーターを安全に停止させる。

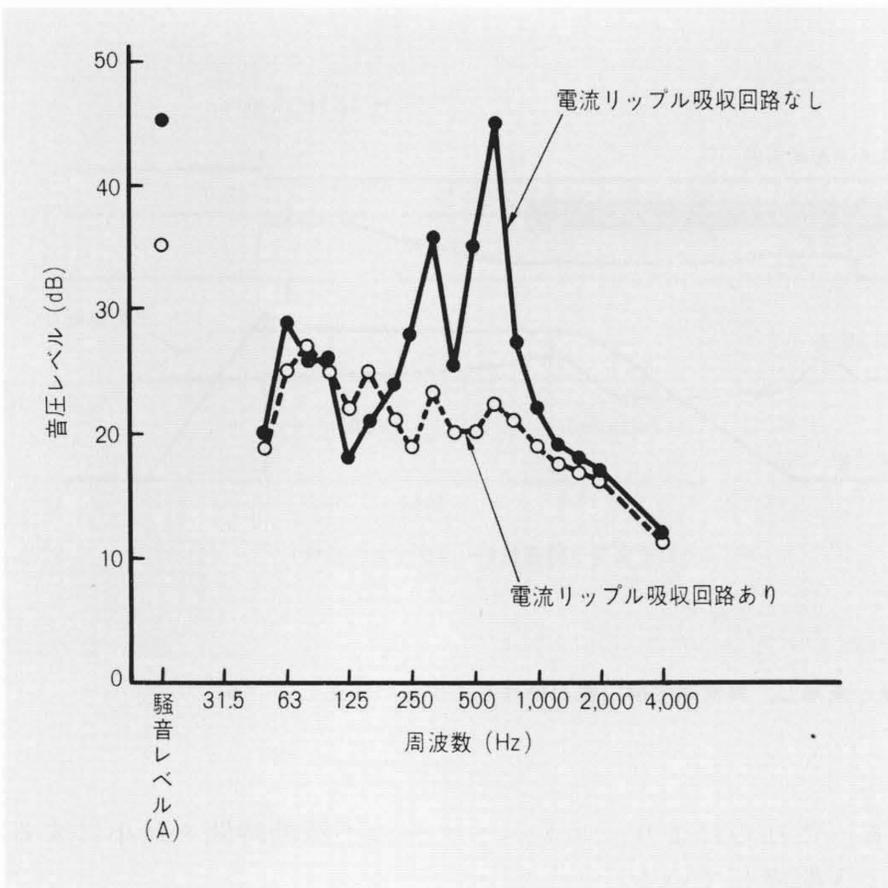


図12 乗りかご内騒音 リップル電流により電動機の磁気騒音が発生するので、吸収回路を用いて騒音を低減し、静かな運転を実現している。

び巻上機の共振周波数をも考慮した最適な回路構成（特許出願中）とし、磁気騒音の問題を解決した。

図12は乗りかご内の騒音について、リップル吸収回路の効果を測定したものである。

## 5.2 高調波電流の問題

サイリスタ変換装置の交流電流は、高調波成分を含んでいる。これにより同一系統に接続された負荷、及びエレベーター用電力線と並行して布設される通信線に影響を与えることがある。実機試験などの結果、サイリスタ変換器の入力側にフィルタなどを設け、電力線と通信線の離隔距離を1 m以上とすれば、他負荷への影響が軽減するとともに、通信線に誘起される雑音電圧が実用上問題ない値(0.5 mV以下)になることを確認した。

## 6 結 言

従来直流エレベーターは、電動発電機を用いて制御してきたが、省電力化を目的として、サイリスタ変換装置を用いた新制御方式を開発した。

新方式は(1)省電力効果を最大にすること、(2)高速エレベーターとしての円滑な速度制御が行なえること、(3)信頼性、安全性を十分に高めること、の三点を重点に研究を進め、電動機出力トルク領域に応じて電動機の電機子、及び界磁電流を連続制御する方式を確立した。

新サイリスタレオナード方式エレベーターは、電動発電機方式に比べ25%以上の省電力効果が得られることが確認された。

## 参考文献

- 1) H. Inaba, et al.: A New Speed Control System for DC Motors and Its Application to Elevators, I. E. E. - I. A. S. - 1979 Annual Meeting Conference Record p. 731~737 (1979-10)
- 2) S. Shima et al.: Safety System for High Speed Gearless Elevators, Hitachi Review, 28, p. 67~72 (1979-2)

## 論文抄録

# 音声入出力の装置化と応用（解説）

日立製作所 中田和男

計測と制御 19-3, 307 (昭55-3)

音声入出力の装置化と応用の最近の話題は、Texas Instruments社によるLSI化音声合成装置(商品名“Speak & Spell”)の発売と、国内各社の音声認識装置の製品化、家庭電気品への応用の2点である。

電子式卓上計算機、デジタルウォッチ、マイクロコンピュータとメモリなどの量産化によって成熟したMOS・LSI技術と、デジタル信号処理技術と現代制御理論の応用としての線形予測音声分析・合成技術とが結び付いて、音声情報処理LSIという新しい製品が生まれつつある。Texas Instruments社の“Speak & Spell”はその先駆的製品といえることができる。このLSIの主要部はPARCOR方式による音声合成用デジタルフィルタであり、パイプライン乗算器によって巧妙に実現されている。日立製作所では、日本電信電話公社横須賀電気通信研究所と共同開発により、国内で初めてPARCOR方式音声合成装置のLSI化に成功した。このチップは男性の声だけでなく

女性の声も合成することができ、また家庭電気品向けの応用だけにとどまらず通信・コンピュータ向けの応用にも使えるよう高品質の音声合成が可能に作られている。

そのほかにも、話す速さを変えたり、正確な音階の発声ができるように工夫されている。

昭和53年3月に、我が国で初めて商用の音声認識装置として日本電気株式会社のDP・100が発表されて以来、各社によって音声認識装置及びその応用の発表が相次いでいる。日立製作所でも128語までの不特定話者、電話音声の認識装置“HR・150”の製品化を発表した。一方、マイクロコンピュータを応用した家庭電気品用の音声認識応用部品の発表も多く、テレビジョンのチャンネル制御、ステレオの機能制御などに試用されている。

更に、高度な音声認識(正しくは音声理解)の実例として、米国のベル研究所、日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所など

では、音声による航空券や新幹線の列車座席予約が実験され成果を挙げている。

音声認識装置又はそのための音声分析(特徴抽出)装置にも当然LSI化の波は押し寄せることが予想され、ここ数年のうちに従来と全く様相を新たにした音声認識装置が実現するであろう。

装置のLSI化に伴って最適なアルゴリズム、回路方式についての考え方も変わってくるのが予想され、音声情報処理の側にも考え直しが必要である。

今後超LSIを目指して進んでいるLSI技術の格好な応用製品として音声合成、音声認識の応用製品が注目されており、音声情報処理の研究もいよいよ正念場を迎えているといえよう。LSI化の流れの中で自己の存在を主張できる観点と技術を持ち続け、着実に実用化を進めていくのはたいへん難しいことであるが、それだけにやりがいのある仕事でもある。