

知能群管理エレベーターシステムの開発

Development of Elevator Supervisory Group Control System with Artificial Intelligence

日立製作所は、エレベーター群管理システムに人工知能を導入し、時々刻々変化するビル内の人の流れに対し、常に最適な運転モードを自動的に作り出す新しいタイプの群管理システム「知能群管理システムCIP-52000」を開発した。

本システムは、季節、曜日による交通流の変化、更に経年的に生ずるビルの用途、個性の変化にも広範囲に対応できるため、従来システムに比較し平均待ち時間を10%短縮し、長待ち確率を30%低減することができた。

また、交通流モード別にシステム自身が待ち時間と消費電力の関係をシミュレーションにより求め、その瞬時、瞬時の最適な群管理制御パラメータを検索、実行することによって、待ち時間を極度に長くすることなく省電力目標を達成する新しい省電力運転制御も開発した。

坂井吉男* *Yoshio Sakai*
米田健治* *Kenji Yoneda*
黒沢憲一** *Ken'ichi Kurosawa*
萩中弘行*** *Hiroyuki Haginaka*

1 緒 言

高層ビル、大規模ビルでの複雑かつ膨大な人の流れを効率良く処理することは、ビルの高機能化、経済性の面から不可欠の要件である。ビル内の主要交通手段であるエレベーター群の運行を効率良く制御する群管理システムが、近年、重要視され飛躍的に発展してきた。

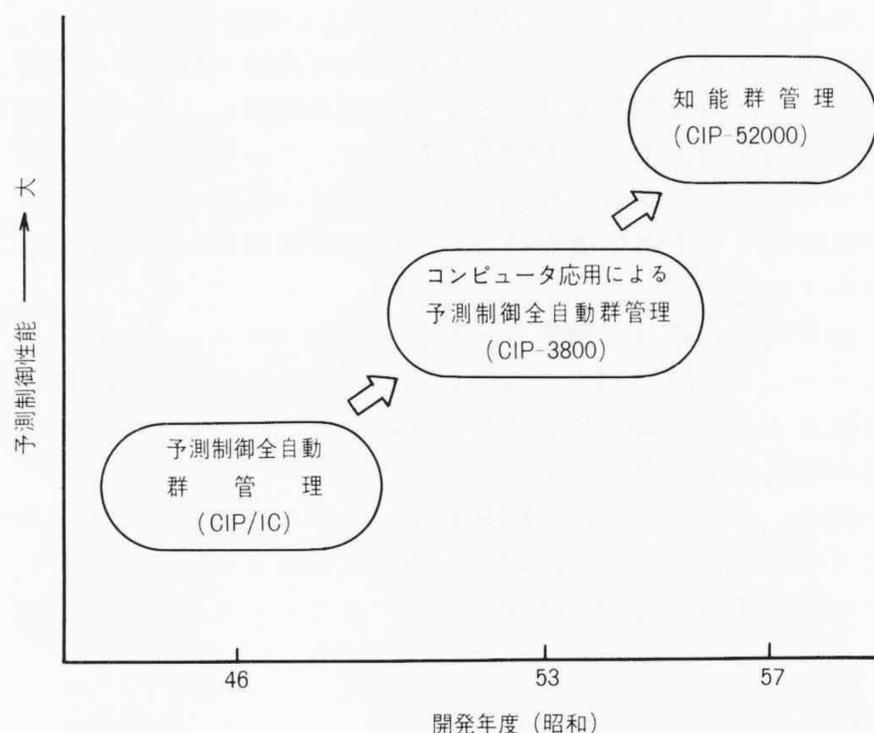
日立製作所は、昭和53年に、群管理制御装置に制御用コンピュータを導入して、制御対象として待ち時間をリアルタイムでかつ直接的に予測演算し、群の中から最も適切なエレベーターを選びサービスさせる「待ち時間短縮平均化呼び割当て論理(ミニマックス割当て論理)」を取り入れたCIP-3800システム¹⁾を開発した。このシステムは即時予約方式や待ち時間表示など、新しい機能によって利用客へのサービス向上、省エネルギーなどに大きな役割を果たしてきた。今回、更に、ビルの用途、個性、また季節、曜日によって変化する人の流れと量(以下、交通流と称する。)に的確に対応するフレキシブル性を高めることを目的とし、群管理システムに学習機能と知能機能、すなわち人工知能をもつ新しい群管理システム「知能群管理システム」を開発した。

以下、この論文では、知能群管理システムの概要とシミュレーションによる性能評価について紹介する。

2 群管理システムのねらいと開発経過

群管理制御のねらいは、ビル内の複雑な人の流れに対し、複数台のエレベーターを一群として有機的に管理し、総合運転効率を高めることにある。朝夕の出退勤時や昼食時のピーク需要に対する輸送能力の向上には、分割急行運転が有効であることが確認され、現在、標準的に採用されている。一方、サービス時間帯の大半を占める平常時では、待ち時間に代表されるサービスの質が重要である。待ち時間の短縮と平均化を図るには、エレベーターの運転を時間的に等間隔にすることが効果的であることが解析され、この時間的等間隔運転に近づくための呼び割当て論理、及びこれを実現するためのハードウェアの開発が行われてきた。図1に最近の群管理システムの開発経過を示す。

昭和46年に、群管理制御装置にICロジック回路を採用し、



注：略語説明

CIP/IC(Computerized Information Processing/IC)

図1 最近の日立全自動群管理システムの開発経過 日立全自動群管理システムは、その時代のニーズを反映し発展してきた。

ホール呼びの登録と同時に予測制御理論に基づきサービスエレベーターを決定し案内する、「即時予約方式」を採用したCIP/IC(Computerized Information Processing/IC)システムを世界に先駆けて開発した。これによりホールの待ち客に対する心理的サービスの飛躍的向上と、予測演算によるきめ細かいエレベーターの等間隔運転を可能にし、待ち時間の短縮を図った。昭和53年には、群管理制御装置に制御用コンピュータを導入し、ミニマックス呼び割当て論理を取り入れたCIP-3800システムを開発した。このシステムは、コンピュータの導入によって、論理演算能力が飛躍的に増大し、多量の情報をリアルタイムかつ高速で処理できることから高度の予測制御が可能となり、大幅な待ち時間の短縮が図れ、利用客サービスの質的向上に大きな役割を果たした。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所機電事業本部

群管理システムに対する要求は、その時々時代のニーズが反映されている。輸送能力、運転効率及びサービス機能の向上から、ビルの用途、個性を考慮したもの、更に、フレキシビリティに富んだものが求められている。しかし、従来の群管理システムは、あらかじめ予測したビル内の交通流に対する群管理プログラムを設定しているため、稼動後の交通流が予測したものと一致した場合には、システムの能力を十分に発揮するが、ビル用途の転換、在館人員の増減あるいは外部交通条件の変化によって、予測した交通流パターンとの相違や新しい交通流モードが発生すると、サービスが低下したり群管理プログラムの改造を必要とする場合があった。このため、一歩進んだ新しい群管理システムが求められていた。

3 知能群管理システムの制御とその特長

知能群管理システムは、前記の従来システムの課題であるフレキシビリティの向上及び社会的ニーズである省エネルギー制御に即ちその改善を図ったものである。

3.1 知能群管理システムの構成

知能群管理システムは、図2に示すように「群管理制御系」に加え、「学習機能系」、「知能系」の新しい機能を備えている。学習機能系は、エレベーター乗かご内の乗降人数、ホール呼び数など、時々刻々変化する交通情報を収集し、そのビルでの代表的交通流モードの学習を行なう。この学習した交通流モードのデータから、知能系は各種制御パラメータの生成及び交通流モードの生成を行ない、群管理制御系にその実行を指令する。

群管理制御系は、検索された最適制御パラメータを用い、ミニマックス呼び割当て論理に基づき待ち時間が短縮平均化されるように適切な呼び割当てを行ない、エレベーター群全体の運転効率を高める。

更に、本システムは、図3に示すように季節の特徴をとらえる年間記録テーブル、曜日の特徴をとらえる曜日特徴テーブル及び1日の交通流変化のパターンをとらえる日別交通流

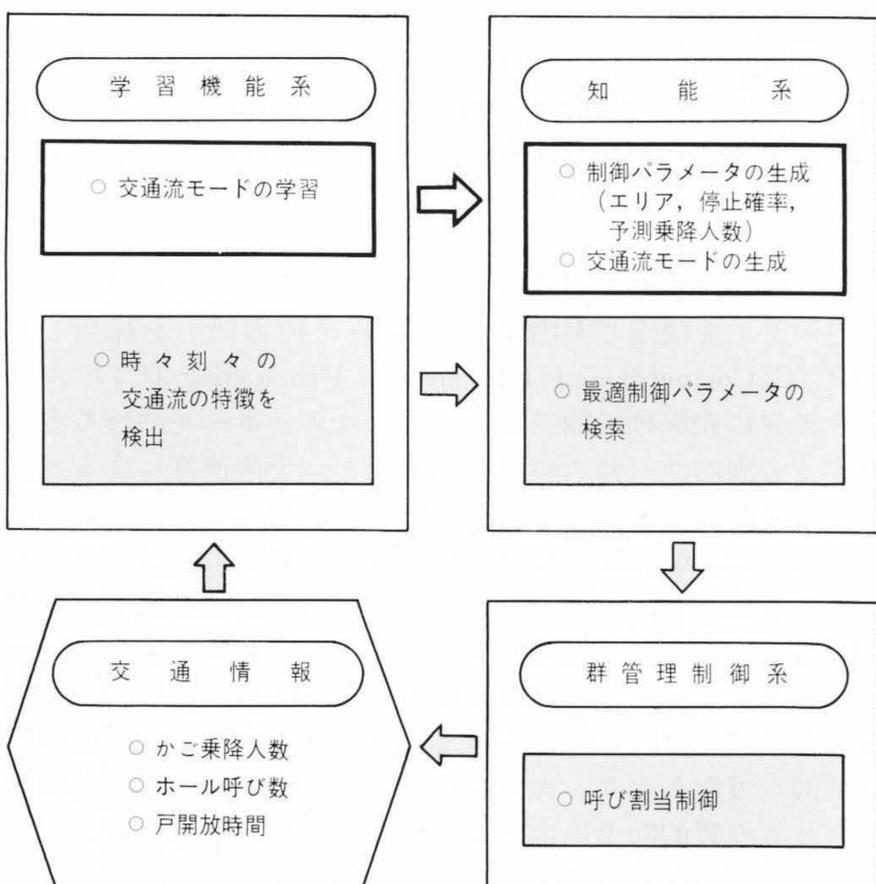


図2 知能群管理システムの構成 知能群管理システムは、学習機能系、知能系、群管理制御系から構成されている。

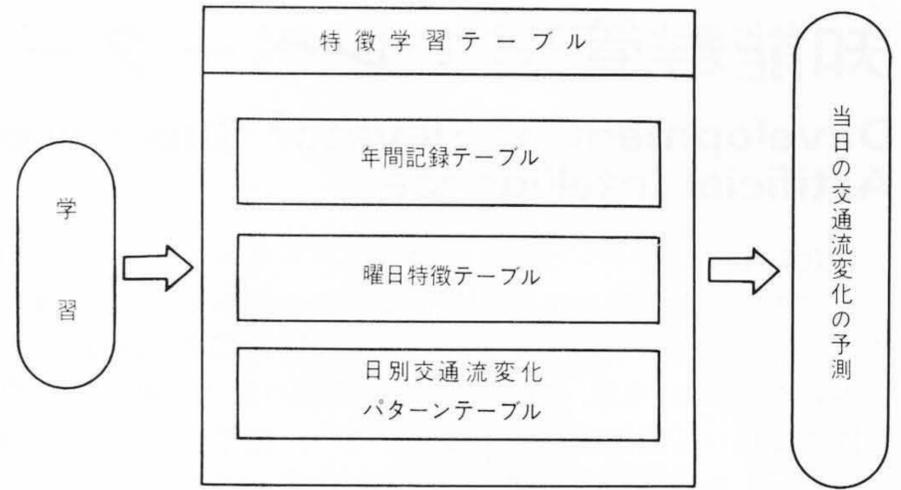


図3 季節、曜日による交通流変化への適応 各特徴学習テーブルによって季節、曜日を考慮した当日の交通流変化の予測を行なう。

変化パターンテーブルの特徴学習テーブルをもち、季節と曜日を考慮した当日の交通流変化を予測する(特許出願中)。

3.2 交通流モードの学習

図4に学習機能系の機能を示す。学習機能系は、(1)エレベーターが目的階に到着し出発するまでのかご内荷重の変化と、かご内行先呼びボタンの登録及びホール呼び登録状態から各階床、方向別に乗降人数を予測し、単位時間当たりの交通流データを収集する。(2)収集した交通流データが、そのビルの代表的モードを類別した交通流モード(Mi)のいずれに属するかを識別し、1日の交通流収集テーブルの各モード欄に格納する。(3)モード別に収録された1日の交通流データは、過去の学習データとの指数平滑を行ない、各交通流モードのファイルを更新する。

以上の処理によって、知能系のシミュレーションの実行に使用する交通流モードごとの交通流データの学習が行なわれ、最適制御パラメータの生成が可能となる。

3.3 制御パラメータと交通流モードの生成

図5に知能系の機能を示す。知能系は、(1)交通流モードごとに学習した交通流データをもとに、今回新しく導入した制御パラメータ「エリア」定数を変化させて各交通流モードごとにエレベーターの運行シミュレーションを実行し、待ち時間と消費電力の性能曲線を求める。(2)実際の運転の際には、ユーザーが待ち時間と消費電力に関する指標を指定すると、この性能曲線から対応するエリア値を求め、これにより停止確率、予測乗降人数などの制御パラメータを演算し、各交通流モードごとにその値を格納する。このように生成された制御パラメータの中から、時々刻々変化する交通流に対応し最適なものが検索され、群管理制御系に与えられる。(3)また、学習機能系のモード識別時に抽出した上り方向交通量、下り方向交通量、混雑階床名、混雑階の交通量などから成る特徴ベクトルとモード識別結果を時系列に記録した1日の特徴記録テーブルから、知能系は新しい交通流モードの抽出を行ない、交通流モードテーブルに仮登録する。そのモードの利用頻度によって登録又は消去し、交通流モードの生成を行ない学習機能系にフィードバックする(特許出願中)。

3.4 エリア制御

知能群管理システムの制御パラメータには、表1に示すように、予測精度の向上、混雑階への対応を目的とした各種制御パラメータがある。この項では、今回新しく導入した待ち時間と消費電力の制御に大きく関係する制御パラメータ「エリア」について説明する。

エリアは、(1)発生したホール呼びを、その階にかご呼びで

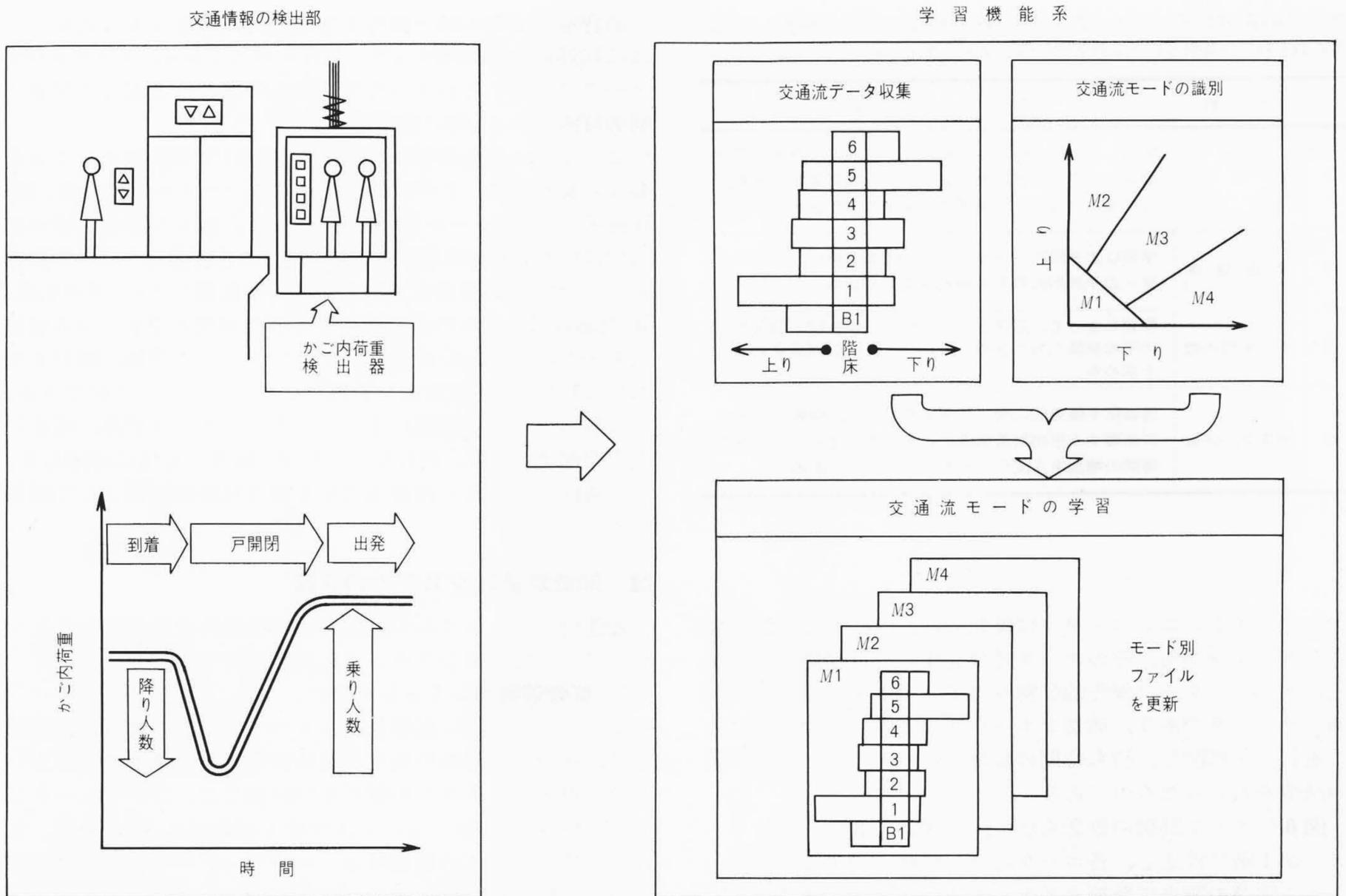


図4 学習機能系 学習機能系は、交通情報の収集を行ない、ビルの代表的な交通流モードの学習を行なう。

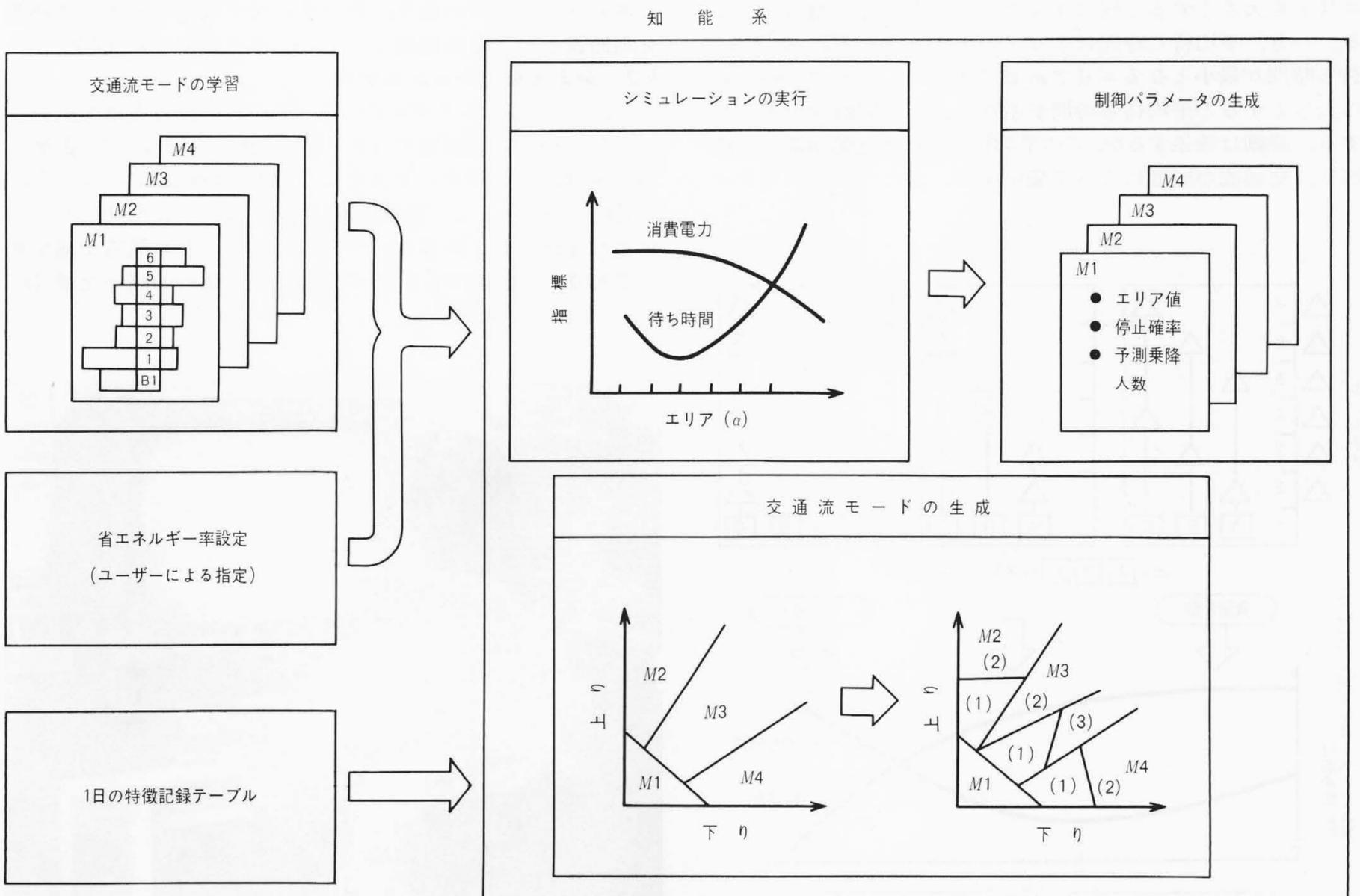


図5 知能系 学習した交通流モードデータをもとに、シミュレーションの実行を行ない制御パラメータの生成を行なう。また、学習機能系で使用する交通流モードの生成を行なう。

表1 群管理制御パラメータ ホール呼び割当て制御, 予測精度の向上, 混雑階の対応を重視した主な群管理制御パラメータを示す。

No.	名称	内容
1	エリア	発生したホール呼びを, その呼びの近傍に停止予定のエレベーターに優先的に割り当てる制御変数であり, この優先の度合いを交通流によって変化させる。
2	停止確率	学習により階床と方向別に停止確率を求め, エレベーターの予測到着時間の精度を向上させる。
3	予測乗降人数	学習によって, 階床と方向別にホール呼び1個当たりの平均乗降人数を求め, エレベーターの満員発生確率を求める。
4	混雑対応係数	混雑階を優先的にサービスするために, 乗客がホールに到着する平均到着間隔に比例して, ホール呼び継続時間の増加率を変化させるパラメータである。

停止する予定のエレベーターに優先的に割り当てる。(2) 発生したホール呼びを, そのホール呼び発生階の近傍階に停止予定のエレベーターに優先的に割り当てることを基本とした制御パラメータであり, 適切なホール呼び割当てにより「だんご運転」を抑制し, 待ち時間の短縮とエレベーター起動回数の減少をねらったものである。

図6にエリア制御の概念を示す。同図は, 3台のエレベーターが1階に停止し, 各ホール呼びが同時に発生した場合のホール呼びの割当て状態を示す。エリアが小的时候は, ホール呼びが各エレベーターに順次割り当てられ分散的となるが, エリアを大きくすると図に示すように集中的呼び割当てとなる。一方, 平均待ち時間はエリアの大きさとともに減少し, 待ち時間が最小となるエリア α_0 が存在する。エリア(α)を更に大きくすると平均待ち時間が増加し, 起動回数が単調減少する。詳細は後述するが, この平均待ち時間と起動回数性能曲線は, 交通流の形態によって変化する。また, エレベーター

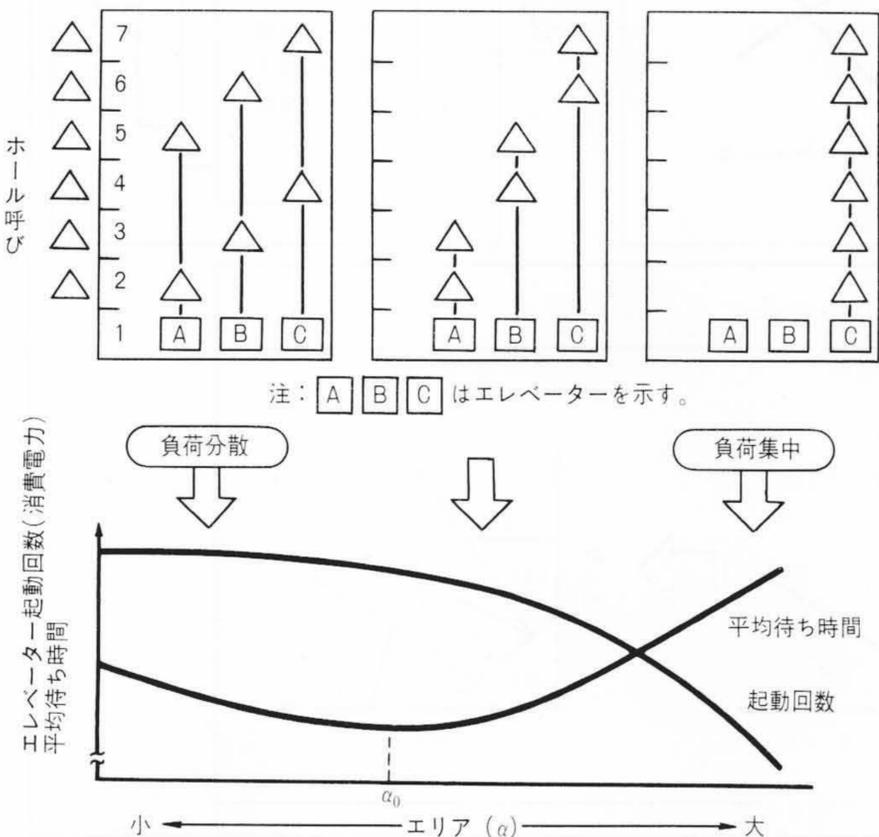


図6 エリア制御の概念 エリア(α)の変化によるホール呼び割当て状態と平均待ち時間及び消費電力性能曲線を示す。

の消費電力はその70~80%を加減速時に発生することから, ほぼ起動回数に比例する²⁾。これらのことから, エリアをパラメータにすることによって平均待ち時間と消費電力が任意に制御可能となる(特許出願中)。

このように知能群管理システムは, (1) 学習機能系による各ビルの交通流モードの学習と最適制御パラメータの検索, (2) 知能系のシミュレーション機能によって, 様々な形態を示す交通流に対する平均待ち時間と消費電力の性能曲線を自動的に求め, ユーザーの条件設定を満たす群管理制御パラメータの生成, (3) 交通流モードの特徴の顕著さと利用頻度の学習による交通流モードの生成, (4) 特徴学習テーブルからの季節, 曜日を考慮した1日の交通流変化の予測, などを行なうことができる。

これらの新しい機能によって, 本システムは季節, 曜日による交通流の変化, 更にビルの用途, 個性の変化に対応して, 待ち時間だけでなく消費電力をも群管理制御指標として制御可能となった。

4 知能群管理システムの評価

知能群管理システムの評価を, 高機能群管理制御シミュレータによって従来システムと比較し検討した。

4.1 群管理制御シミュレータ

ビル内の交通流に応答するエレベーター群の動きは複雑であり, また, 交通流の発生形態は特定化できるものではないので, 群管理システムの解析及び評価には, コンピュータによるエレベーターシミュレータが最も有効である³⁾。今回, 知能群管理システムの評価には, エレベーターの仕様と交通流の設定, 群管理制御機能の修正などがディスプレイ装置のキー操作で行なうことができ, 時々刻々変化する交通流の変化とエレベーター群の動き, 及びサービス状態の統計処理結果を画面表示できる高機能シミュレータを使用した(図7)。

4.2 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルとして, 実在の1社占有事務所ビルを選び, その実態調査データをもとに評価を行なった(表2)。本ビルは, 低層階サービスとして180m/min×4台のほかに, 高層階サービスとして210m/min×4台設置の分割サービスシステムを採用しているが, 1社占有ビルのため館内交通が頻繁であり, 平常時でも6.9~7.7%/5分の比較的高い交通流(5

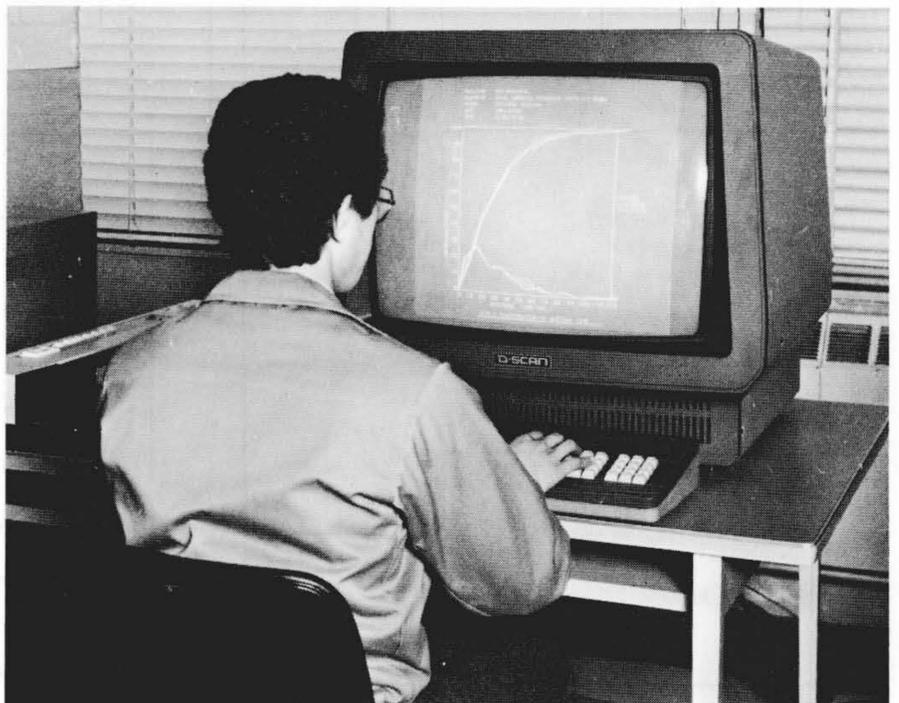


図7 エレベーター群管理制御シミュレータ 高機能をもつエレベーター群管理制御シミュレータの外観を示す。

分間にビル在館人員の6.9~7.7%の人がエレベーターを利用する。)がある。また、高層階用エレベーターへの乗り継ぎ階となる14階の交通量も多く、サービス条件的には厳しいモデルである(図8)。

4.3 知能群管理システムの効果

知能群管理システムと従来システムとの性能比較を行なうために、図8の午前と午後のそれぞれの平常時についてのシミュレーション結果を例にとり説明する(図9)。

表2 シミュレーション条件 館内交通比率が高く、エレベーターに対して複雑な交通流形態をとる一社占有事務所ビルを設定して、性能の評価を行なった。

項目	条件
エレベーター台数	4台
エレベーター速度	180m/min
エレベーター定員	23人
サービス階床数	15階床(B1, 1~14)
ロビー階	1階

上記は低層用エレベーターであるが、高層用エレベーターとして(210m/min, 23人乗り)×4台、サービス階床13階床のエレベーターが設置されている。

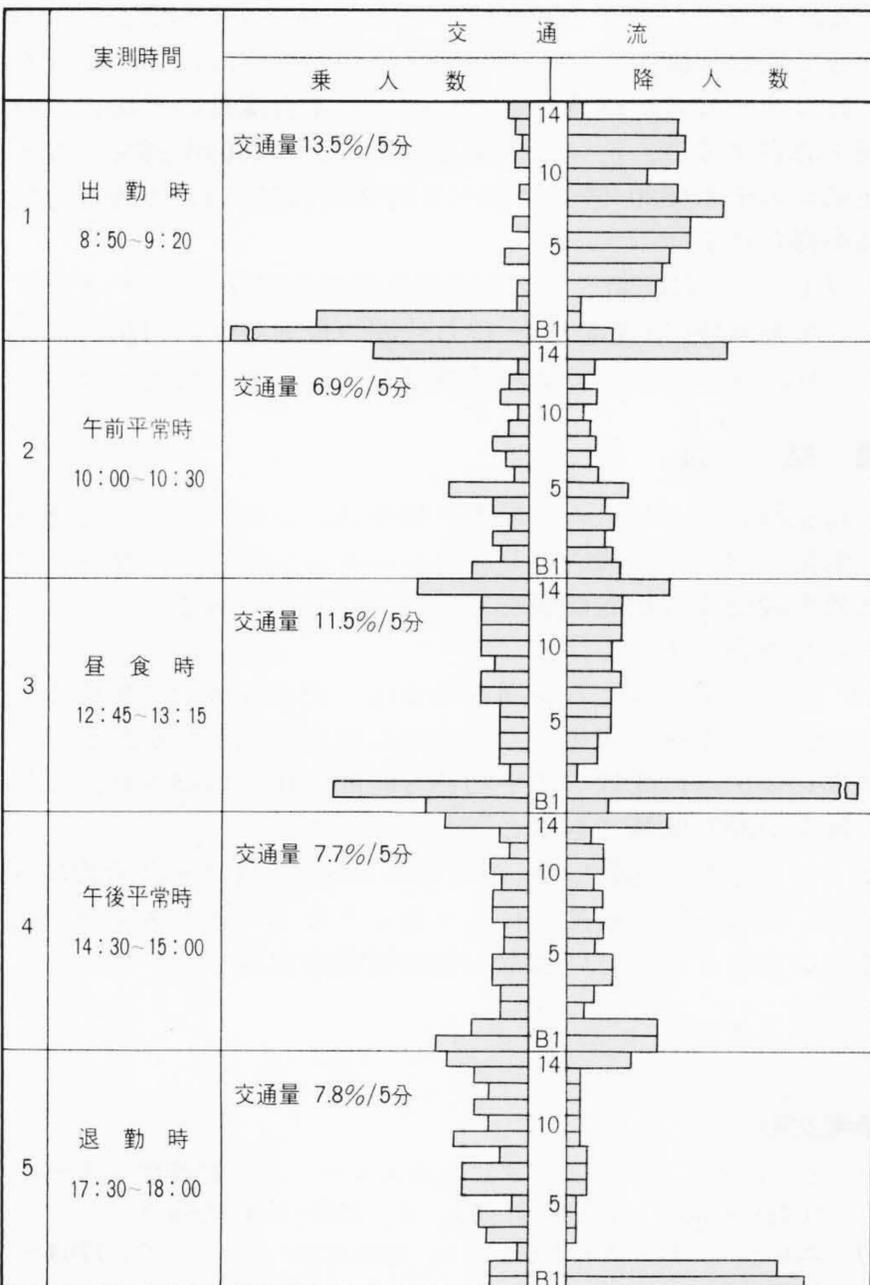
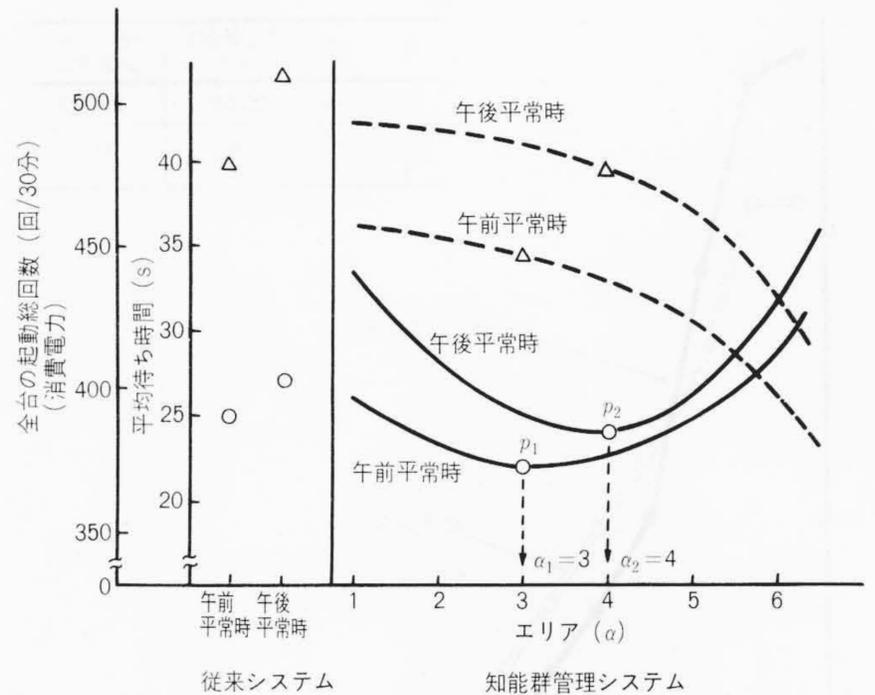


図8 1日の交通流データ 低層階での1日の交通流データを示す。14階は高層エレベーターへの乗り継ぎ階のため交通量が多い。



注: —○—平均待ち時間, ---△--- 起動回数

交通流モード	午前平常		午後平常	
	知能群管理システム	従来システム	知能群管理システム	従来システム
平均待ち時間	22秒	25秒	23.5秒	27秒
起動回数	444回/30分	480回/30分	477回/30分	510回/30分

図9 交通流変化時の性能曲線 午前平常時交通流(交通量6.9%/5分)と午後平常時交通流(交通量7.7%/5分)での従来システムと知能群管理システムの性能比較を示す。

従来システムでは、午前(6.9%/5分)から午後(7.7%/5分)に変わることによって、平均待ち時間は25秒から27秒と8%増加する。一方、新システムでは、午前と午後では交通流が異なることから、平均待ち時間はエリアに対し p_1 , p_2 を最小平均待ち時間とする2本のU字曲線で表現される。実際の運転では、知能系によって最少平均待ち時間に対応するエリア(α)が選択されるため、午前と午後の平均待ち時間はそれぞれ22秒と23.5秒となり、従来システムに比べ良好なサービスを維持することができる。起動回数(消費電力)について比較すると、同一条件で新システムは6%減少できる。また、待ち時間分布を見ると、従来システムに比べて30秒以下の待ち時間領域が増加し、長待ち確率が30%以上改善されることが分かる(図10)。これは、学習機能系及び知能系による予測精度の向上と制御パラメータの最適化による効果である。

以上のシミュレーションを1日の全時間帯についてまとめると、出退勤時、昼食時でも従来システムに比べ良好となり、平均待ち時間で12~13%、長待ち確率で30~33%改善される(図11)。これらの結果は、新システムが変化する交通流に対する確にエレベーター群を制御できることを示している。

4.4 新しい省電力運転制御の効果

ビル内の交通量が低下すると待ち時間は短くなり、良好なサービス状態となる。待ち時間は短いほど望ましいが、省エネルギーの点からは一定水準*以上のサービスは不経済である。このため、エレベーター台数が交通量に対し過剰になると、従来システムでは、エレベーターを1~2台停止して省電

*) 平常時での平均待ち時間の許容水準は、30秒以下である。

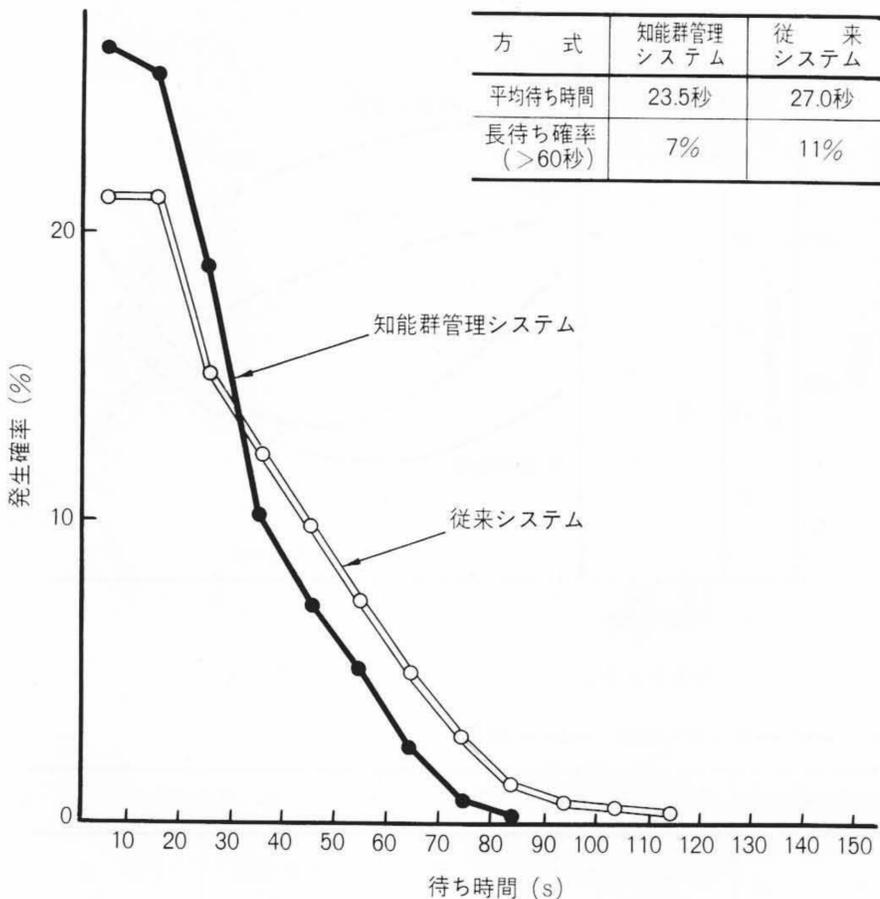
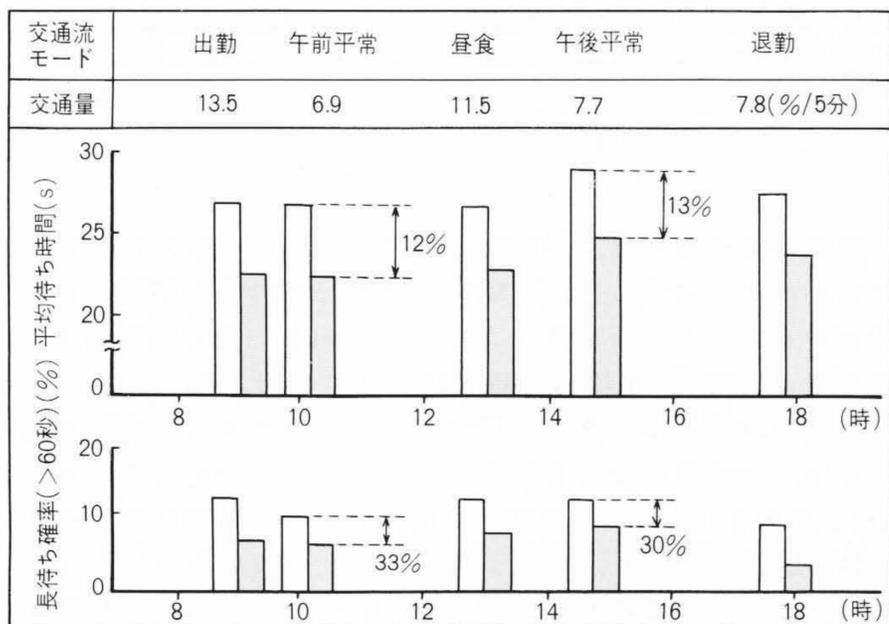


図10 待ち時間分布 午後平常時交通流での待ち時間分布を示す。知能群管理システムは、待ち時間分布でも良好な結果を示している。

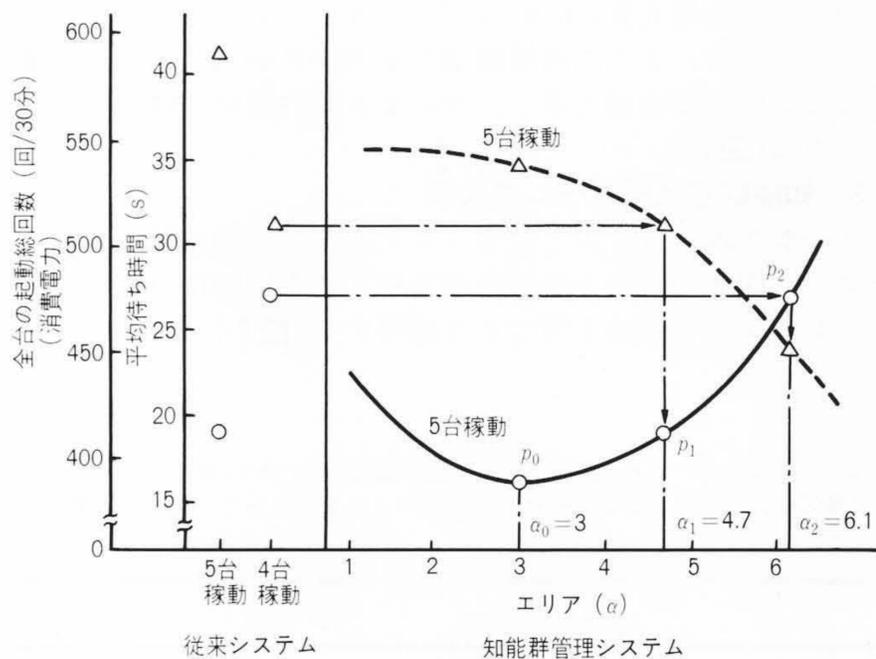


注：□ 従来システム
■ 知能群管理システム

図11 1日の交通流変化時の性能比較 1日の交通流変化時の従来システムと知能群管理システムの性能比較を示す。知能群管理システムは、従来システムに比較して平均待ち時間が約10%短縮され、長待ち確率が30%以上減少している。

力を図る方式を採用しているが、稼働台数の減少によりサービスが不連続的に悪化する欠点があった。新システムでは、稼働台数を減らすことなく所要省エネルギー率を満たすようにエリア(α)を変え、待ち時間を極度に長くさせることなく省電力が図れる。

図12に省電力運転制御のシミュレーション結果を示す。先の図8の午後平常時の交通流の条件で、5台のエレベーターでサービスさせたとすると、従来システムでは平均待ち時間が19秒となり、かなり良好なサービス状態を示している。そこで1台を停止し4台でサービスすることになると、起動回数は590回/30分から510回/30分に減少し約14%の省電力効果



注：交通流モード 午後平常時(7.7%/5分)

—○— 平均待ち時間, --△-- 起動回数

図12 省電力運転制御の効果 新システムはエリア(α)をパラメータにすることによって、省電力運転制御が可能となる。

が達成されるが、待ち時間は19秒から27秒となり、許容限界に近いサービス状態となる。

新システムでは、待ち時間優先の場合は、待ち時間最小 p_0 のエリアを $\alpha_0 = 3$ で運転制御するが、従来システムの4台稼働時の510回/30分に相当する省エネルギー率を外部から指示すると、システム内で自動的にエリアを $\alpha_1 = 4.7$ に変えて p_1 の状態に運転制御する。この結果、平均待ち時間は19秒となり良好なサービスが維持できる。逆に、4台稼働の平均待ち時間を許容すると、 p_2 に対応する起動回数は450回/30分となり従来システム(520/590)に比べて約2倍(450/590)の省電力効果が得られる。

以上のように、新システムによればエリア(α)をパラメータとし起動回数(消費電力)と待ち時間の最適条件が自動的に選択され、従来に比べて極めて良好なサービスが可能となる。

5 結 言

知能群管理システムの最大の特長は、システム内に交通流の変化を学習する機能とシミュレーションを行ないサービス状態を評価する知能機能をもっていることである。

このため新システムは、

- (1) 季節や曜日による交通流の変化、更に経年的に生ずるビルの性格や用途の変化にも自動的に対応可能となるとともに、従来システムに比較して平均待ち時間が10%短縮され、長待ち確率が30%低減できることが分かった。
- (2) 待ち時間と起動回数(消費電力)の性能曲線を自動的に求め、待ち時間を極度に長くすることなく、省エネルギー目標値を達成する新しい省電力運転制御を実現した。

参考文献

- 1) 岩坂, 外: コンピュータによるエレベーター群管理システム "CIP-3800", 日立評論, 60, 4, 259~264(昭53-4)
- 2) エレベータおよびエスカレータ, 電気工学ハンドブック, 1764~1769(昭53-3)
- 3) 弓伸, 外: エレベータ・システムの計画と評価, 日立評論, 54, 12, 1125~1132(昭47-12)