

# 個性化知能群管理エレベーターシステムの開発

## Multiobjective Elevator Supervisory Group Control System with Artificial Intelligence

近年、人間の個性や感性が重要視される気運にあり、ビル内で活動する人に対し利便性、快適性を向上させるため、ビル内設備を充実することが課題となっている。エレベーターに対しても、利用者と管理者からの要望が多様化してきている。これにこたえるため、最近の知識工学によって豊富な経験を制御に活用できるようにし、従来からの目標である「待ち時間」のほか、「乗車時間」、「かご内混雑度」などを加えた多次元の目標を対象にしながら、ビルの個性に適合した要求度合いに応ずる優先制御を実現した。さらに、稼動後に発生する使い勝手の変更にも対応可能な機能を備えた「個性化知能群管理システム」を開発した。

坂井吉男\* *Yoshio Sakai*  
 中村 清\*\* *Kiyoshi Nakamura*  
 木下広志\*\*\* *Hiroshi Kinoshita*

### 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よく処理することは、ビルの高機能化・経済性の面から不可欠な要件である。日立製作所は、ビル内の主要交通手段であるエレベーター群の運行を制御する群管理システムに対して、従来から性能向上の努力を重ねてきた。

近年、ビル内で活動する人の利便性、快適性を向上するため、ビル内設備の充実が重要となっており、特に各ビル特有の要求への適応、すなわち個性化が大きな課題となってきた。エレベーターに対しても、同様な背景のもとに利用者と管理者からの要望が多様化してきた。このたび、これらの要望と、ビルの特徴や利用者の流れの形態と交通量(以下、交通流と称する。)の変化にきめ細かく対応できる「個性化知能群管理システム」を開発したので紹介する。

### 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群として管理し、利用者の利便性を高めることにある。日立製作所は、昭和47年に世界に先駆けてホール呼びの登録と同時に予測制御理論に基づいてサービスエレベーターを即時に案内する「即時予約システム」を開発した。これにより、ホールの待ち客に対する心理的サービスの向上と、きめ細かい予測演算によるエレベーターの時間的等間隔運転を実現して、待ち時間の短縮を図った<sup>1)</sup>。

その後昭和57年に、季節、曜日や経年的に生ずるビルの用

途の変化などによる交通流の変化に追従できる「学習系」と「知能系」を搭載した知能群管理システムを開発<sup>2)</sup>した。このシステムは、ビル内の交通流を「学習系」で学習し、その交通流データを用いて「知能系」で運行シミュレーションを実行することによって、ビル内の交通流の変化に追従して制御系のパラメータを自動的に最適化する機能を備え、大幅な待ち時間の短縮を図った。また、この知能群管理システムは、待ち時間と消費電力について予測特性をシミュレーションによって求め、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機能をも備えたシステムであった。

最近の群管理システムに対する要求は、基本である待ち時間の短縮に加え、ビルの個性化に対し柔軟に適應できることが重要視されている。従来の群管理システムの制御目標は、ホールで待つ「待ち時間」が中心であったが、「目的階に早く着きたい」、「すいたエレベーターに乗りたい」などの利用者の要望もある。また、稼動後に初めてわかる使い勝手上の一時的な運行方法の変更や特定の時間帯についての運行方法の設定などを迅速かつ容易に行いたいなどの管理者の要望もあり、これらに対して柔軟に対応できる新しい群管理システムが求められている。

### 3 個性化知能群管理システムの制御とその特徴

上述のような利用者と管理者のさまざまな要望にこたえる

\* 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

ために、高度のマイクロコンピュータ応用技術と最新の知識処理技術を用いて、長年の群管理制御で得られた豊富な経験をソフトウェア化することによって、従来の知能群管理システムの制御論理および装置構成の柔軟性をさらに高めることを目標に、個性化知能群管理システムを開発した。

### 3.1 個性化知能群管理システムの構成

個性化知能群管理システムは、図1に示すように個性化支援装置と群管理制御装置で構成されている。

個性化支援装置は、待ち時間、乗車時間、かご内混雑度の多次元目標を設定し、ICカードなどによって群管理制御装置に個性化を指令する多次元制御目標設定部と、稼動後に生ずる使い勝手の改善および特定の時間帯の運行方法の設定や変更などを迅速かつ容易に実現できるユーザー コマンド ボードを備えている。

群管理制御装置は、個性化指令に基づいて交通流とエレベーター群の状態に関する情報から、呼び割り当ての最適化を行う学習・知能系と群管理制御系で構成されている。

### 3.2 個性化支援装置

ビルはその用途などによって、それぞれ個性を持っている。オフィスビル、シティホテル、官公庁ビルを例にとり、エレベーターに対するさまざまな要望を、多次元グラフ(以下、個性化グラフと称する。)で表したものを表1に示す。このように、ビルの用途によって要望内容とその度合いが異なることは経験的にも知られている。

個性化支援装置は、群管理システムに対し、ビルの個性に応じた目標を設定する機能を持っている。個性化支援装置には、図2のシステム全体のブロック図に示すように、従来からの目標である「待ち時間」に、「乗車時間」(目的階に早く着きたいという要望)と「かご内混雑度」(すいたエレベーターに乗りた

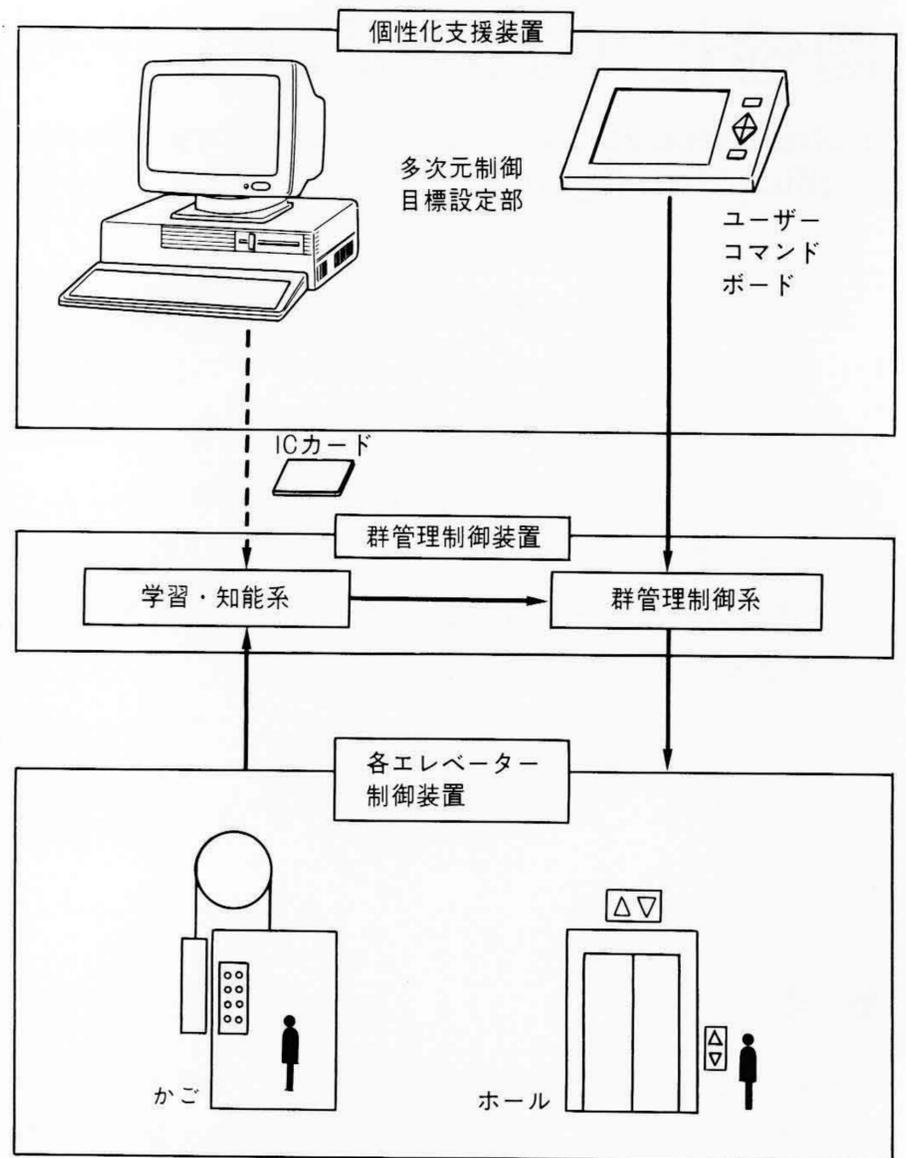


図1 個性化知能群管理システムの構成 個性化知能群管理システムは、個性化支援装置と学習・知能系・群管理制御系から成る群管理制御装置で構成されている。

いという要望)を加えた三つの基本目標に対する要求度合いが入力される。これらの基本目標は、制御上相互に関連をもち、すべてを最小の値にできる性質のものではない。したがって、要求度合いは、相互に関連をもちて入力する必要がある。また、制御性能はシステム能力と交通流に大きく左右され

表1 ビル用途別の要望と個性化グラフ ビルの用途別の要望と、それに対応する各制御目標の要求度合いの関連を多次元グラフで示す。

ビル用途	オフィスビル	シティホテル	官公庁ビル
要望	待ち時間が短いことが基本であるが、集中的な移動に対応できる輸送人員も重要視したい。	手荷物を持った利用客が多いし、落ち着いた雰囲気を出すためにも、すいたかごに乗れるようにしたい。また、サービスエレベーターの案内を早くして、ゆっくり乗り込めるようにしたい。	さまざまな人が利用するので、バランスのとれた制御でよいが、省エネルギー効果は重視したい。
個性化グラフ			

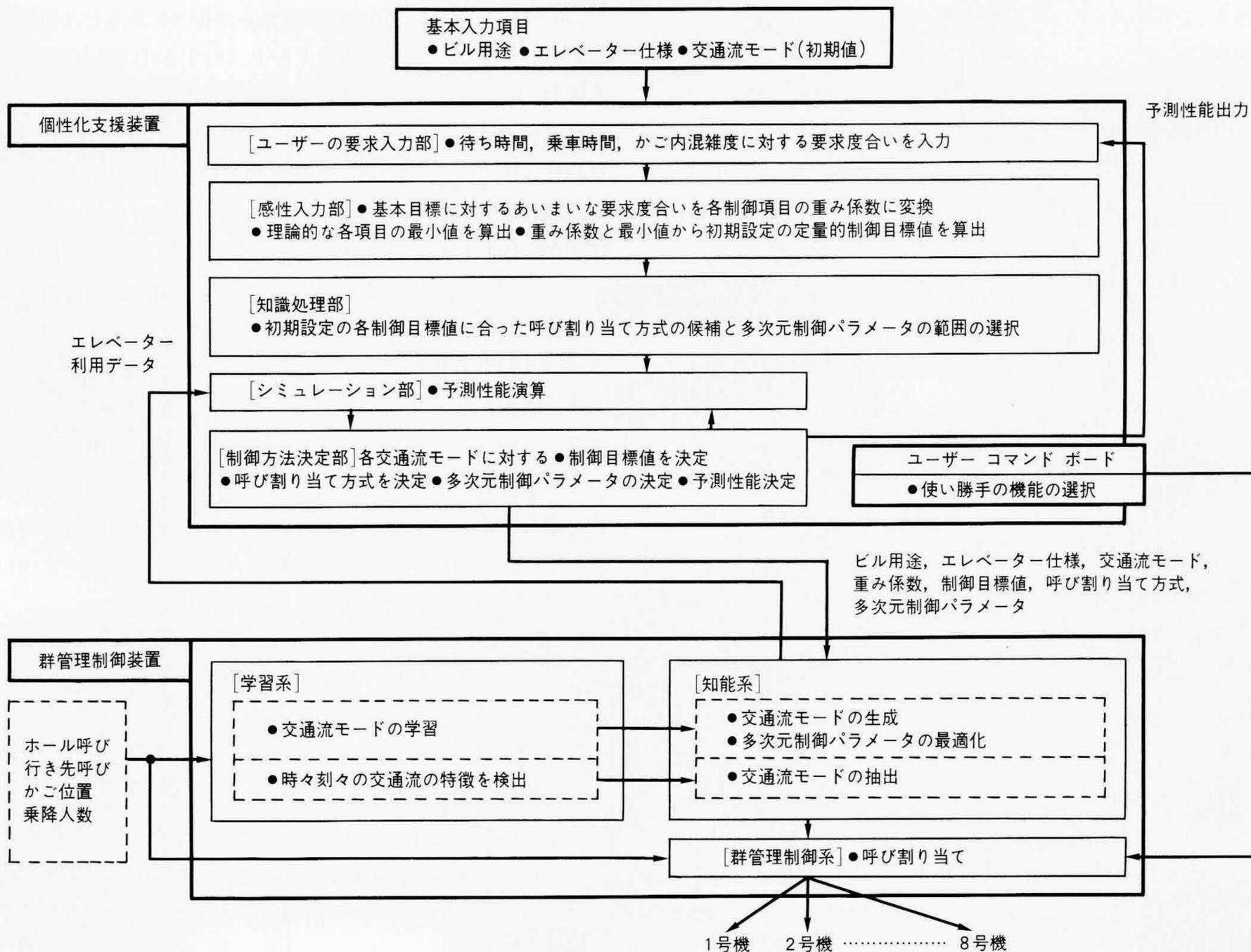


図2 個性化群管理システムのブロック図 個性化群管理システムの全体機能をブロックごとに示す。

るものであるから、要求入力の段階で定量的目標を指定することは困難である。このため、図3に示した要求入力図のように、制御目標相互の重要度を相対的かつ感覚的に入力できるようにしてある。このあいまいな要求度合いを、感性入力部で一对比較方法<sup>3)</sup>とファジー理論を応用して各制御項目の重み係数に変換する。この重み係数と、典型的モデルケースについて理論演算で求めた各項目の実現可能最小値を用いて、初期設定の定量的制御目標値を決定する。

知識処理部は、群管理制御に関する専門家の知識や経験を蓄積したエキスパートシステムによって構築されており、予測される交通流に対して各制御目標を達成できる制御方法、具体的には呼び割り当て方式の候補や多次元制御パラメータの範囲などを選定する。この処理部では、IF-THEN形プロダクションシステムの前向き推論<sup>4)</sup>を用いている。推論に使用する知識ベースは、エレベーター制御に関する経験的な知識に、新たに目標とした乗車時間、かご内混雑度などについて解析して得た知識を加えてある。

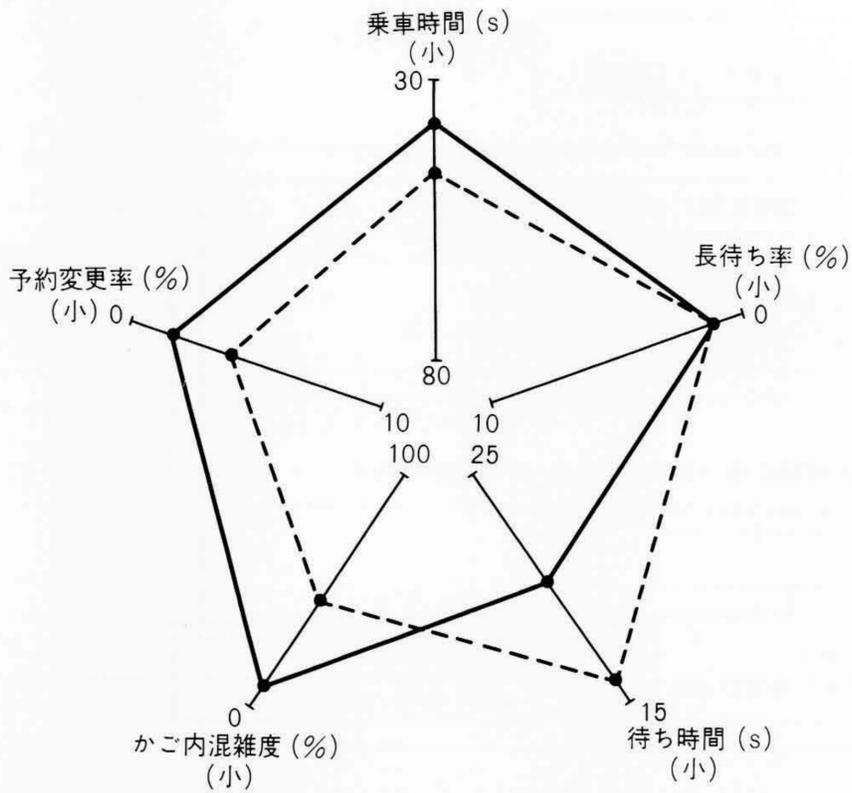
シミュレーション部では、選択された呼び割り当て方式を使用し、制御パラメータを変えながら、交通流モードに対応

する予測交通流データを用いて運行シミュレーションを実行する。この結果から、制御方法決定部では、達成予測性能が初期設定の定量的目標値に近くなる呼び割り当て方式と多次元制御パラメータを決定する<sup>5)</sup>。

一例として、シティホテルで、かご内混雑度を優先制御したときと、待ち時間を優先制御したときの予測性能値を個性化グラフで比較した例を図4に示す。この予測性能値は、画面に表示できるようにしてあり、要求の達成度合いを評価し



図3 要求入力図 要求入力は、画面上でカーソルを移動させて制御目標相互の重要度を感覚的に入力する。



注：記号説明 —— (かご内混雑度優先), - - - - (待ち時間優先)

図4 シティホテルの予測性能値の例 　かご内混雑度優先と待ち時間優先を行ったときの比較を示す。

て必要なら要求入力に修正を加え、妥協解を求める。

### 3.3 群管理制御装置

群管理制御装置の学習系は、各階の方向別乗降人数など時々刻々変化する交通情報を収集・学習し、知能系は学習結果からそのビル特有の交通流モードの生成を行う。

この知能系は、個性化支援装置からの指令であるビル用途、エレベーター仕様、各交通流モードに対する(1)制御項目の重み係数、(2)制御目標値、(3)呼び割り当て方式、(4)多次元制御パラメータを受け取ることによって個性化される。そして、そのビルの交通流モードごとに学習した交通流データを用いて、個性化指令に基づく運行シミュレーションを行い、予測性能が制御目標値を達成できるように、再度多次元制御パラメータを最適化する。このように、個性化指令は学習された交通流に対して最適化されたうえ、交通流モードごとにデータベース化される。

運行制御では、時々刻々変化する交通流の特徴を学習系で検出し、知能系でその時点での交通流モードを抽出して、このモードに対応した個性化指令を群管理制御系に伝達して実行を指令する。群管理制御系は、後述する呼び割り当て評価式を用い、発生ホール呼びを適切なサービスエレベーターに割り当てるなどの群制御指令を各号機に与える。

### 3.4 多次元目標制御

待ち時間、乗車時間、かご内混雑度のいずれかを、優先制御する概念をシンプル化した例を図5に示す。同図は、3台のエレベーターが下降している状態で、6階に下降ホール呼びが発生したときのサービスエレベーターの決定を行う例を各優先制御ごとに示したものである。

各エレベーターに、6階のホール呼びが割り当てられたと仮定し、6階にエレベーターが到着するまでの予測待ち時間、

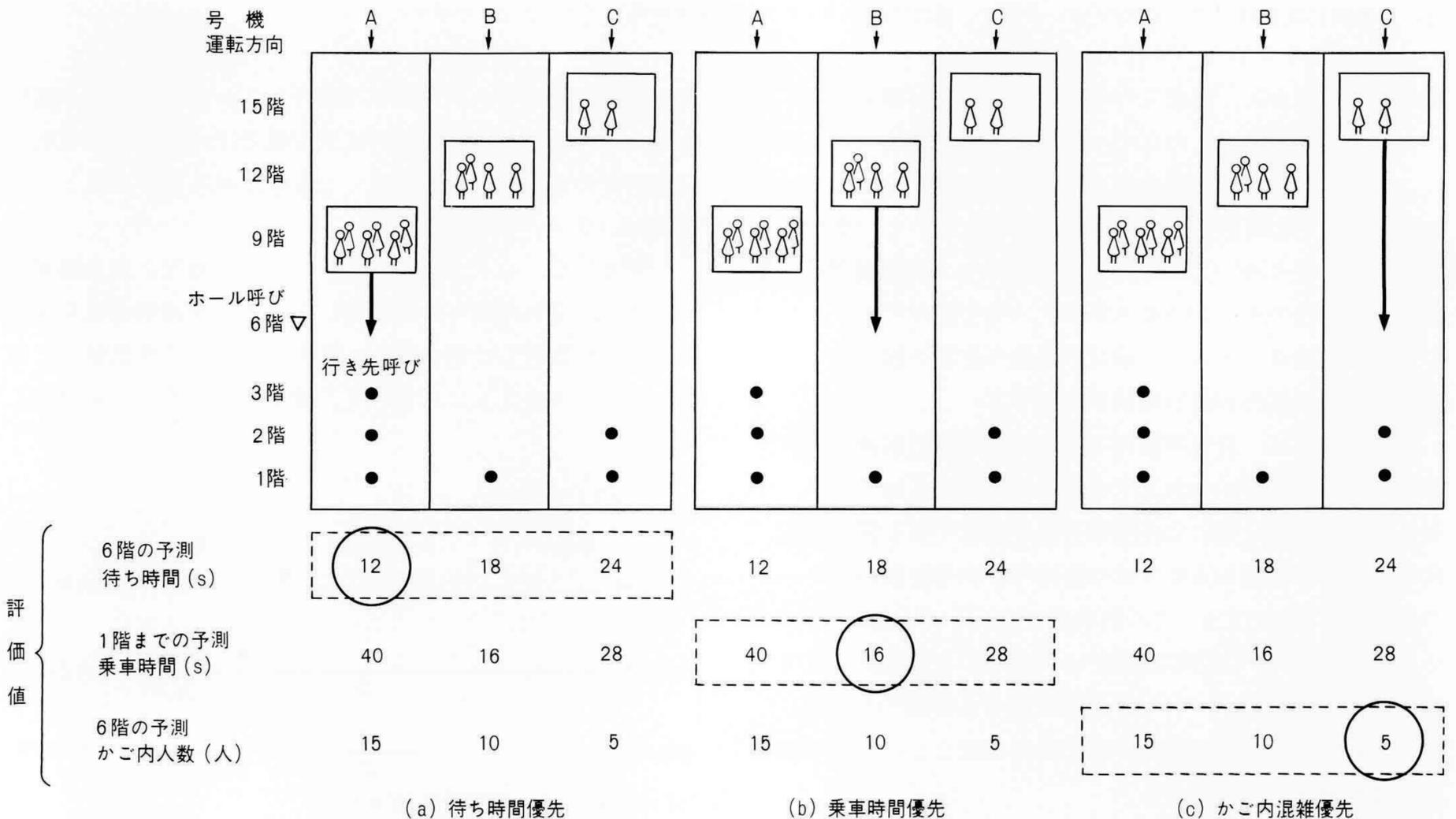
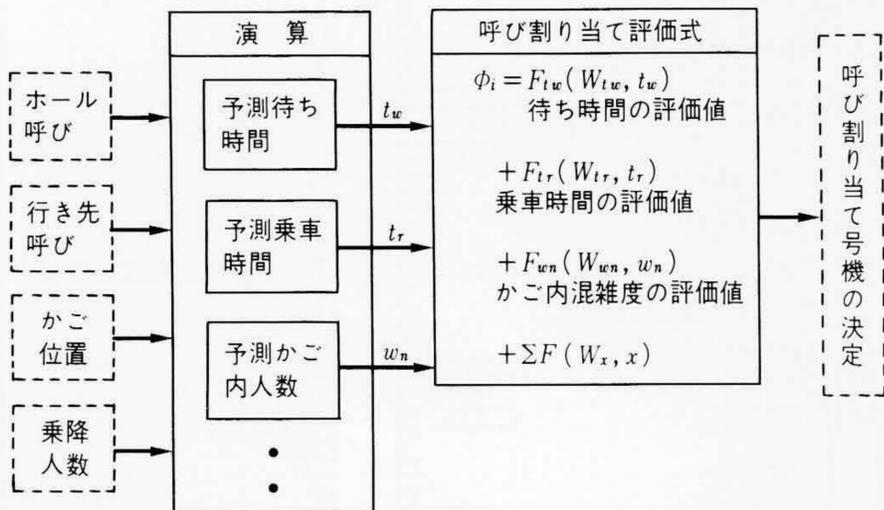


図5 各制御目標を優先制御したホール呼び割り当てのモデル 　各制御目標を優先制御したホール呼び割り当てをシンプル化したモデルで説明する。

6階から1階まで(6階のホール呼びは、1階に行く呼びであると仮定)の予測乗車時間、および6階に到着したときの予測かご内人数を求める。そして、優先制御項目に対応した評価値が最小の値を示すエレベーターにその呼びを割り当てる。

実際の制御では、他の制御目標への影響およびすでに発生して未応答であるすべての呼びを考慮する必要があり、図6に示すような評価式を用いて呼び割り当てを行う。すべてのホール呼び、行き先呼びと予測行き先、かご位置、予測乗降人数などから、予測待ち時間、予測乗車時間および予測かご内人数を演算する。次に、感性入力から求まる各項目に対する重み係数を加えて評価値  $\Phi_i$  を各号機ごとに求め、



注：略字説明  $\Phi_i$  (i号機の総合評価値)  
 $t_w, W_{tw}$  (予測待ち時間と重み係数)  
 $t_r, W_{tr}$  (予測乗車時間と重み係数)  
 $w_n, W_{wn}$  (予測かご内人数と重み係数)  
 $x, W_x$  (上記以外の制御目標と重み係数)

図6 呼び割り当ての評価式 ホール呼び、行き先呼び、かご位置および乗降人数から予測待ち時間、予測乗車時間、予測かご内人数を演算し、呼び割り当て評価式から最適なエレベーターを選択して、ホール呼びを割り当てる。

その値が最小となる号機にホール呼びを割り当てる。

下降方向の交通量が多い交通流モデルを使用し、シミュレーションした場合に、待ち時間、乗車時間およびかご内混雑度の制御目標をおのおの優先制御したときの達成性能を図7に示す。同図から、待ち時間を最優先したときは、他の制御目標を優先制御したときに比較して待ち時間が最小となっている。乗車時間優先およびかご内混雑度優先のときについても同様のことがわかる。すなわち、本制御は多次元目標で優先制御が可能なことを示している。なお、かご内混雑度は、かご定員に対して50%以上の乗客で混雑しているエレベーターに乗った人の比率を示している。

#### 4 個性化知能群管理システムの効果

個性化知能群管理システムの性能を、実稼動している一社占有オフィスビルのエレベーター(表2)を対象とし、シミュレーションによって従来システムと比較検討した。シミュレーションに用いた1日の交通量の実態調査データを図8に示す。同図に示す1日の交通量から、代表的な交通流モードである出勤時、午前平常時、昼食時前半と後半および退勤時に分類して抽出した交通流データを図9に示す。

待ち時間だけを制御していた従来システムと、かご内混雑度を優先したときの個性化知能群管理システムの比較を行った。混雑度とサービス時間(待ち時間に乗車時間を加えた時間)を図10に示す。混雑度の点で見ると、従来に比較して昼食時前半の交通流モードでは32%、退勤時モードでは70%の低減が図られている。サービス時間では、各交通流モードとも数パーセント以上短縮されている。特に、交通量が食堂階を中心にピークとなる昼食時前半の交通流モードについて考察すると、サービス時間で10%の短縮ができています。

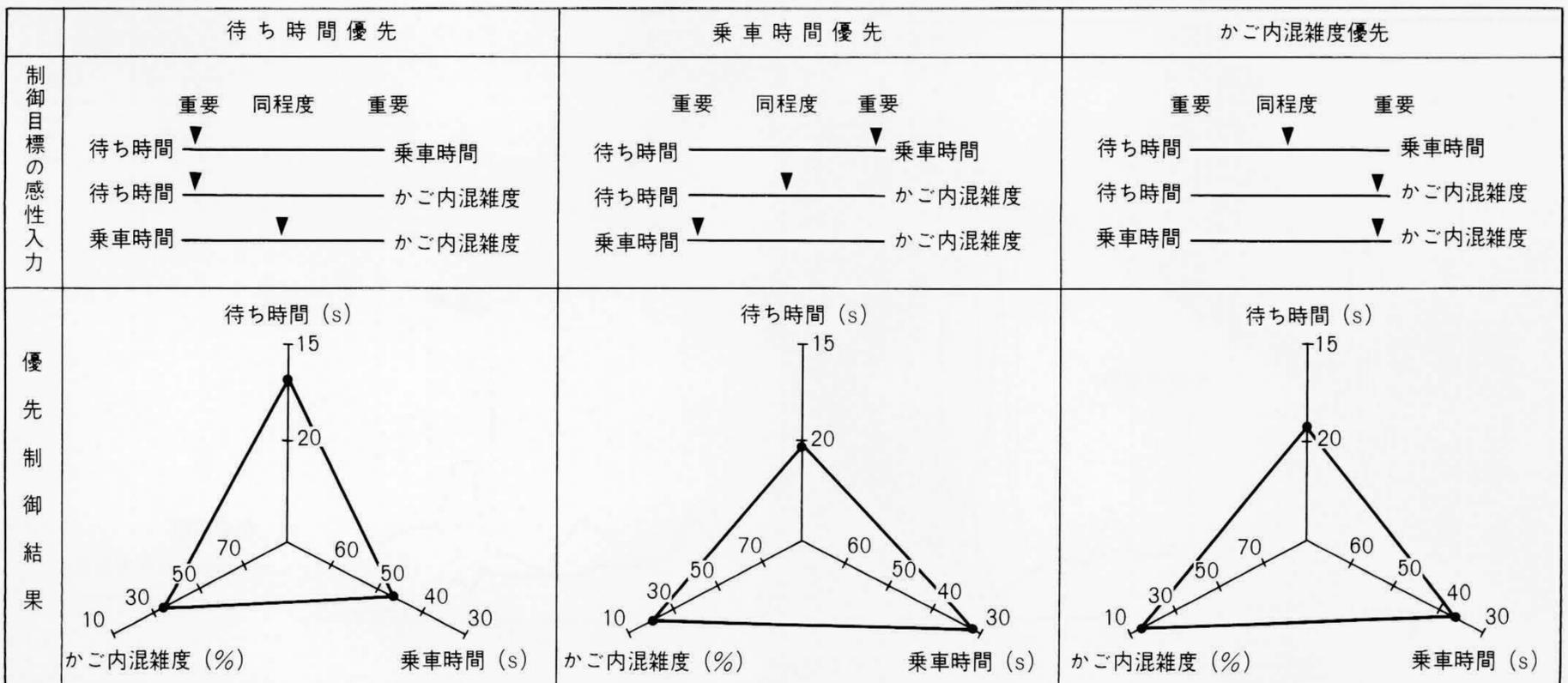


図7 各制御目標を優先制御したときの達成性能 多次元目標で優先制御可能な効果が表れている。

さらに、詳細に内容を分析するために、かご内人数の推移および乗車時間分布と待ち時間分布を比較した結果を図11に示す。かご内人数の推移をみると、各エレベーターの起動ごとの人数が平均化されており、満員である20人にならないことがわかる。また、乗車時間では平均値が9秒短縮され、待ち時間が3秒長くなっているにもかかわらずサービス時間として6秒(10%)改善されており、従来システムで利用客の不満が多かった昼食時に対し、個性化知能群管理システムによってサービス改善が図れることがわかった。

**5 ユーザー コマンド ボード**

ビルの主要出入口階であるロビー階の設定、重要来客に対応した特定階への事前配車などの使い勝手上必要とする条件や機能は、計画時にあらかじめ設定してある。しかし、実稼動に入ると設定条件では満足できない場合がしばしば生ずる。エレベーターシステムの性能は、マクロ的・定常的性能だけでなく、ミクロ的・一時的な使い勝手に対する性能も重要なポイントである。しかし、これらはビルが竣(しゅん)工し稼動してから問題点が具体化することが多いため、従来システムでは事後にケースバイケースで対応してきた。具体的には、利用者から管理者へクレームや要望が出されて、メーカーが機能変更を行い、その改善効果の確認を行っていたため、ターンアラウンドタイムが長いという欠点があった。

表2 シミュレーション条件(エレベーター仕様) 一社占有オフィスビルの例を設定した。

項目	仕様
台数	6台
速度	180 m/min
定員	20人
サービス階床	17階(B1, 1~16)
ロビー階	1階

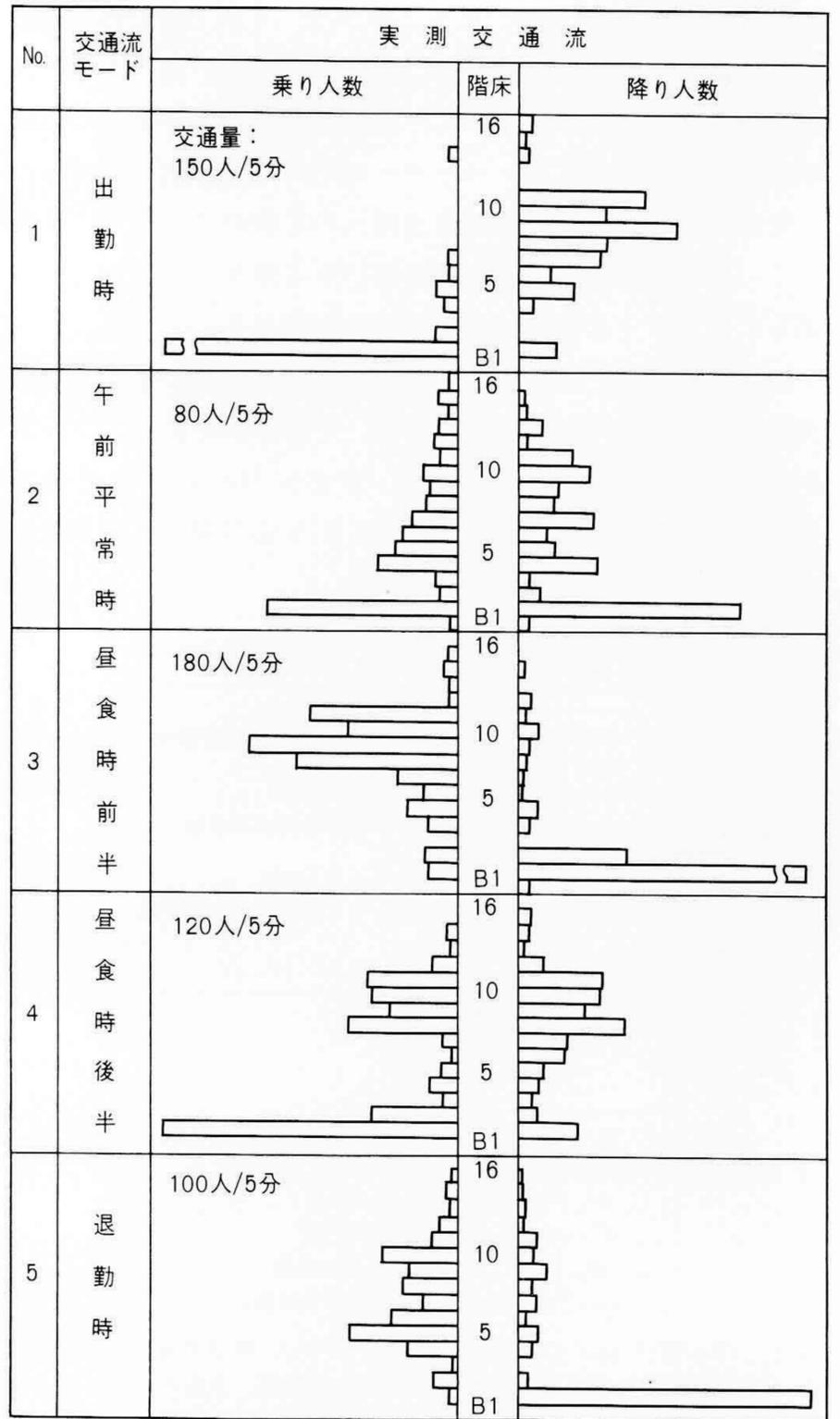


図9 シミュレーション条件(交通流データ) 図8に示した交通量データをモード別に分類し、シミュレーションに用いた。

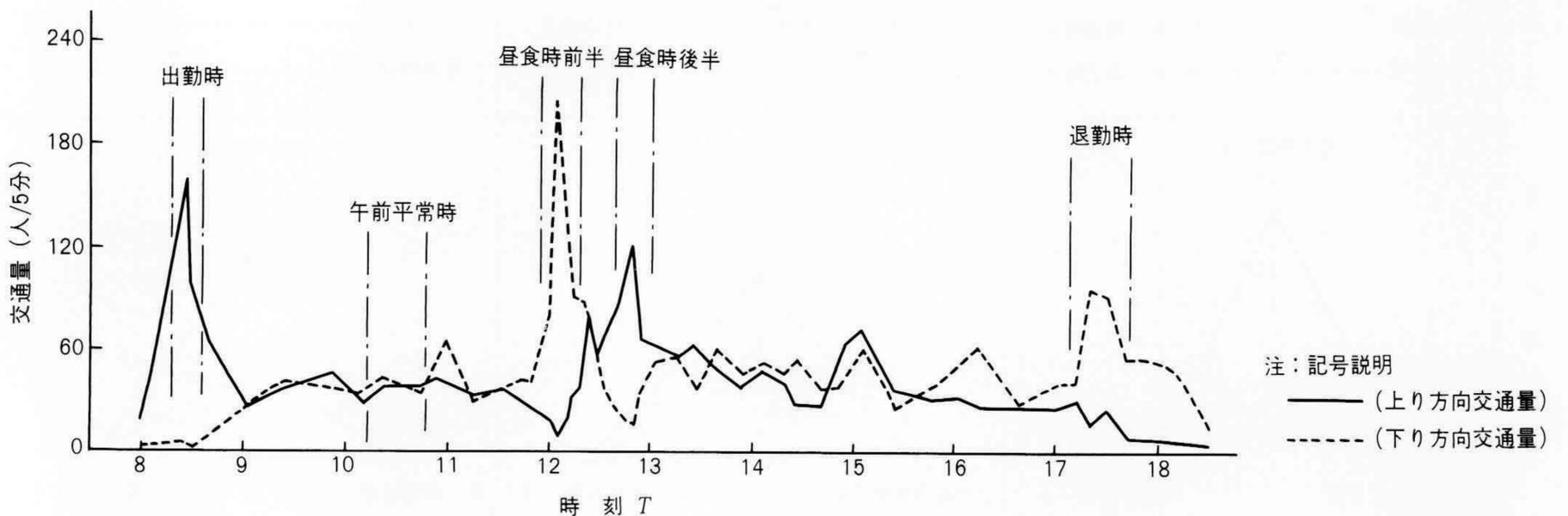


図8 1日間の交通量データ 一社占有オフィスビルの交通量の実態を示す。交通量の変化が大きく、館内交通の比率も高い特徴を持っている。

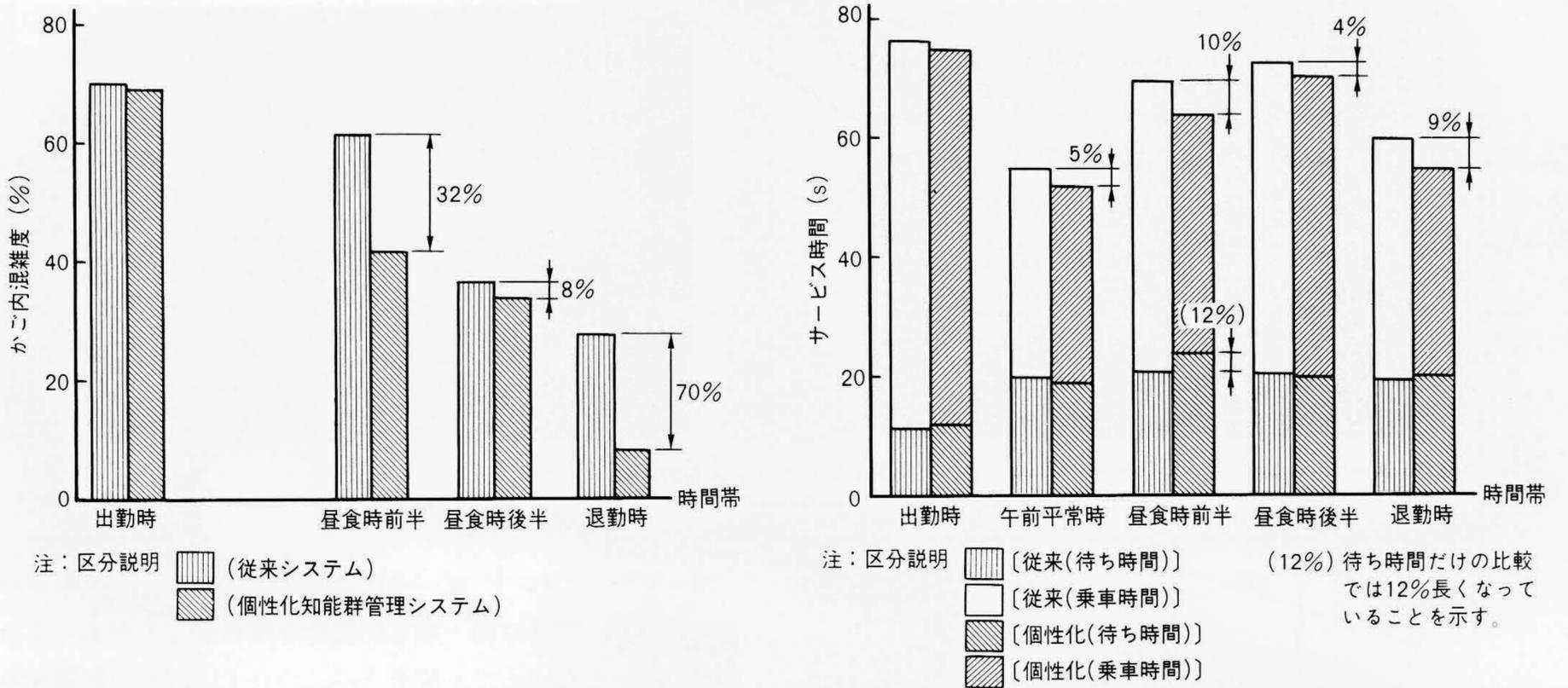


図10 各交通流モードでの性能比較 各交通流モードで、従来システムと混雑度を優先制御した場合の個性化知能群管理システムの性能を示す。個性化知能群管理システムは、従来システムに比較し、交通量の多い昼食時前半でかご内混雑度が32%低減され、サービス時間が10%短縮している。

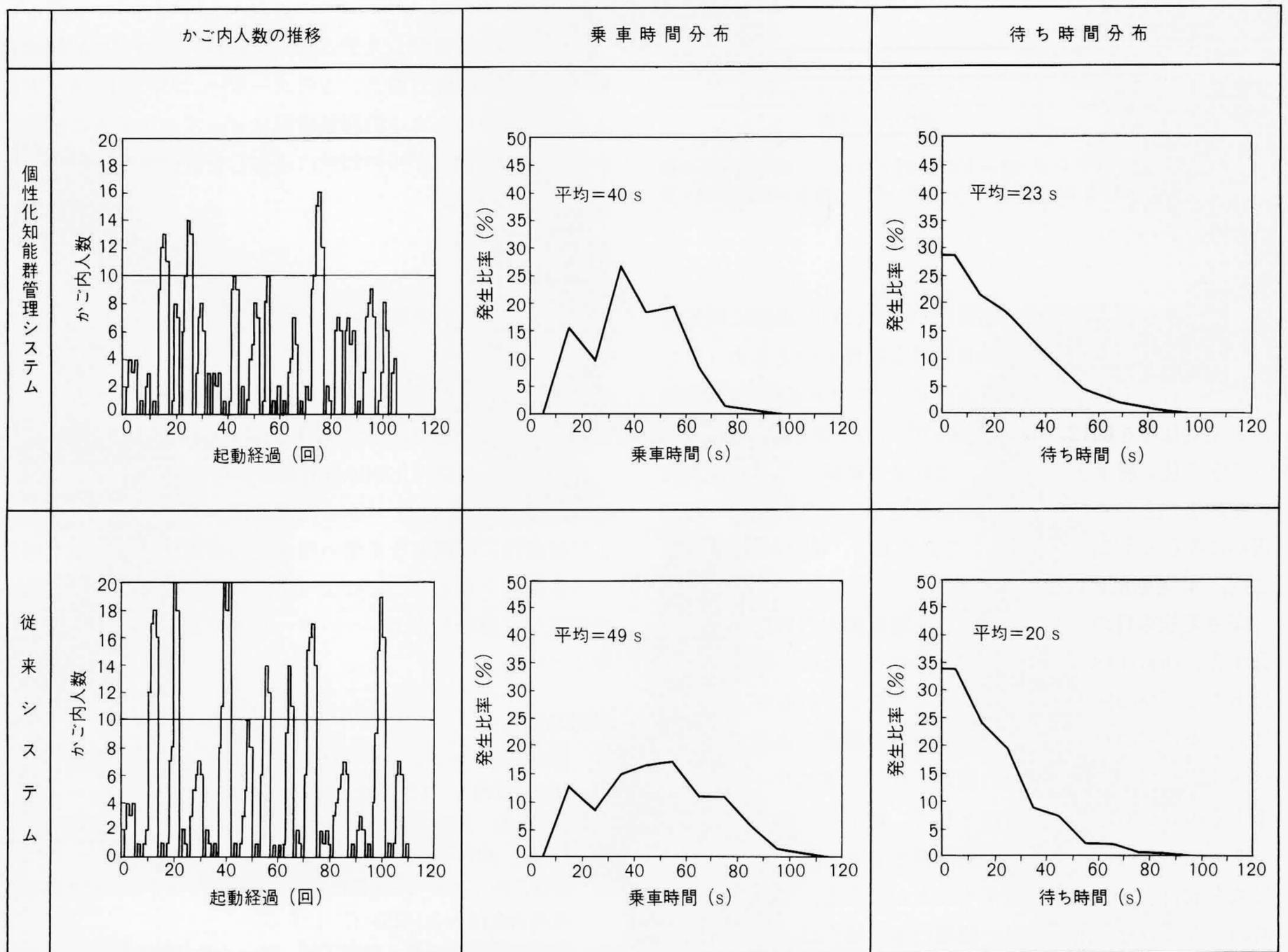


図11 昼食時前半交通流モードでの性能比較 個性化知能群管理システムは、かご内混雑度を優先制御することによって、エレベーター起動ごとの乗客数が平均化されており、乗車時間の平均値も約20%短縮する。

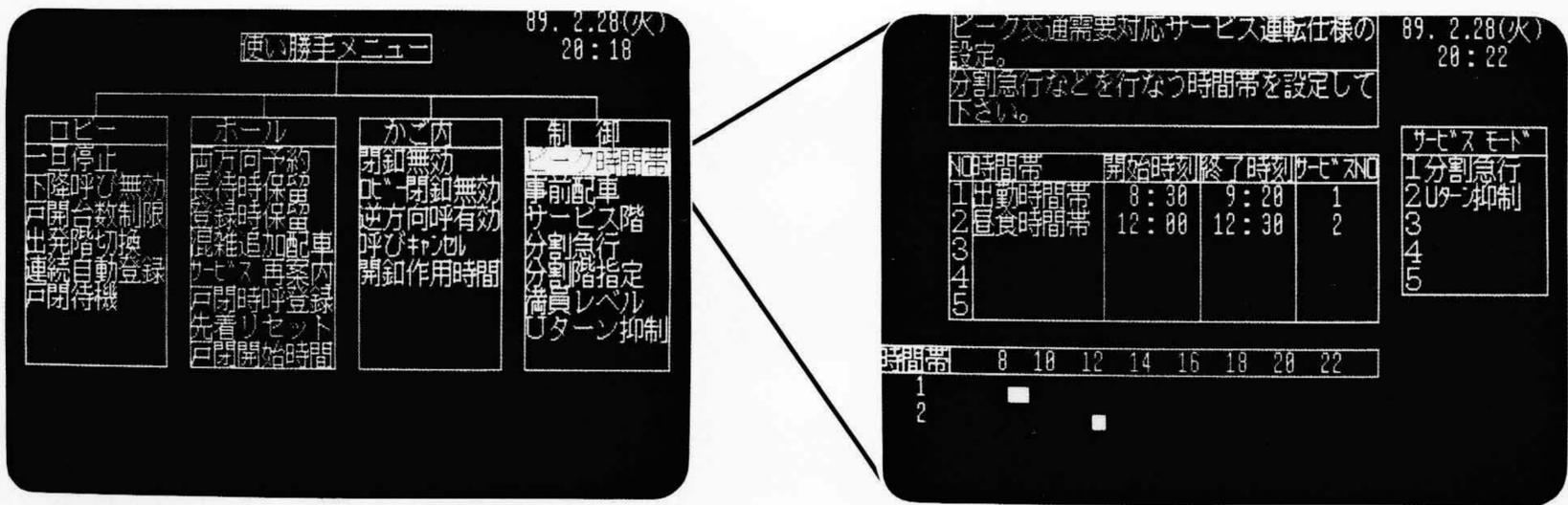
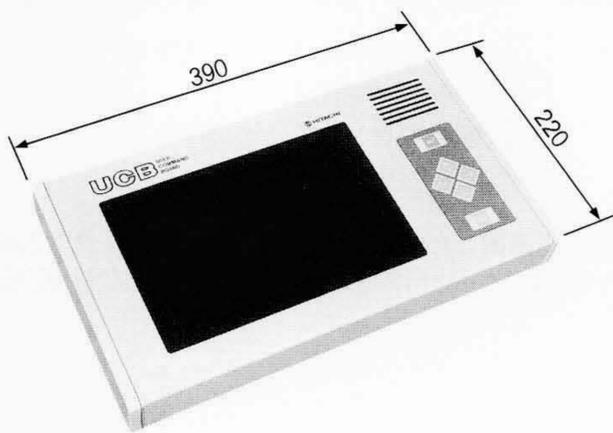


図13 ユーザー コマンド ボードの画面表示 画面上にガイダンスを表示し、メニュー選択方式とした。



仕様	
項目	仕様
表示部	プラズマディスプレイ
操作部	操作キー 6個

図12 ユーザー コマンド ボードの外観と仕様 使い勝手上の機能を表示する表示部と6個の操作キーを用いて、管理者が機能変更を容易に行える。

新システムは、管理者が利用者の要望に対し迅速に対応できるように、使い勝手の変更を簡単な操作で行えるようにした。この目的で標準装備したユーザー コマンド ボードの外観と主要仕様を図12に示す。ユーザー コマンド ボードで変更できる使い勝手上の条件は、これまで経験してきた納入品の稼働事例を参考にして32項目を設定してあり、図13の画面表示にみるように、大項目として(1)ロビー、(2)ホール、(3)かご内、(4)運転制御に分類してある。

変更可能項目の一例であるロビー階対応の内容について紹介する。通常仕様では、ロビー階のサービスは一般階と同様にホール呼びの発生に応じて行うようにしているが、地下階にある喫茶室の利用が多いと地下から上層階へ直行するエレベーターが増えてくる。その結果、ロビー階のサービスが低下する場合がある。この対応として、地下からのエレベーターをロビー階にいったん強制的に停止させる指定をし、サービスを改善するように変更することができる。さらに、出勤時のようにロビー階交通量が極端に多い場合は、その時間帯に戸閉めボタンを無効とするように指定して、小人数で出発することを抑制し、輸送能力を増すことができる。

ユーザー コマンド ボードによる制御内容や制御パラメータの変更は、マクロ的・定常的性能を損ねることがあってはならない。したがって、変更内容については、その影響度を考慮して範囲をあらかじめ設定してあるので、管理者は安心して指定することができる。また、ユーザー コマンド ボードへの入力方法は、操作性を重視して図13に示すようにガイダンス付き表示画面から操作キーによって変更内容を選択する方式としてある。

個性化知能群管理システムは、先に述べたマクロ的制御目標の感性入力機能に加え、このユーザー コマンド ボードによる使い勝手のミクロ的調整機能によってシステムの柔軟性が飛躍的に増し、ビルの個性に適應した質的サービスの向上が可能となった。

## 6 結 言

近年、ビル特有の要求への適應、すなわち個性化が大きな課題となっており、ビル内の主要交通手段であるエレベーターも、これらの要求に対し柔軟に対応可能なシステムに進歩しなければならない。

今回開発した個性化知能群管理システムは、「待ち時間」のほかに「乗車時間」と「かご内混雑度」を制御できる機能および稼働後に問題となる使い勝手上の要求にきめ細かく対応できる機能を備えたことによって、時代のニーズであるビルの個性化に適合したエレベーターシステムを実現したものと考えている。

## 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) 坂井, 外: 知能群管理エレベーターシステムの開発, 日立評論, 65, 6, 427~432(昭58-6)
- 3) 森田, 外: エレベーター個性化知能群管理システム, 昭和63年電気学会全国大会(昭63-4)
- 4) 情報処理学会編集: 知識工学, オーム社(昭62-5)
- 5) 飛田, 外: 多目標なエレベーター個性化知能群管理システムの制御方法決定手法, 昭和63年自動制御連合講演会(昭63-10)