

階床ごとのニーズに合わせて運行する 群管理エレベーターシステム

— 遺伝的アルゴリズムを用いた階床別個性化知能群管理 —

Elevator Supervisory Control System Adaptable to Varying Floor Situations
Using Genetic Algorithms

米田健治

Kenji Yoneda

大貫 朗

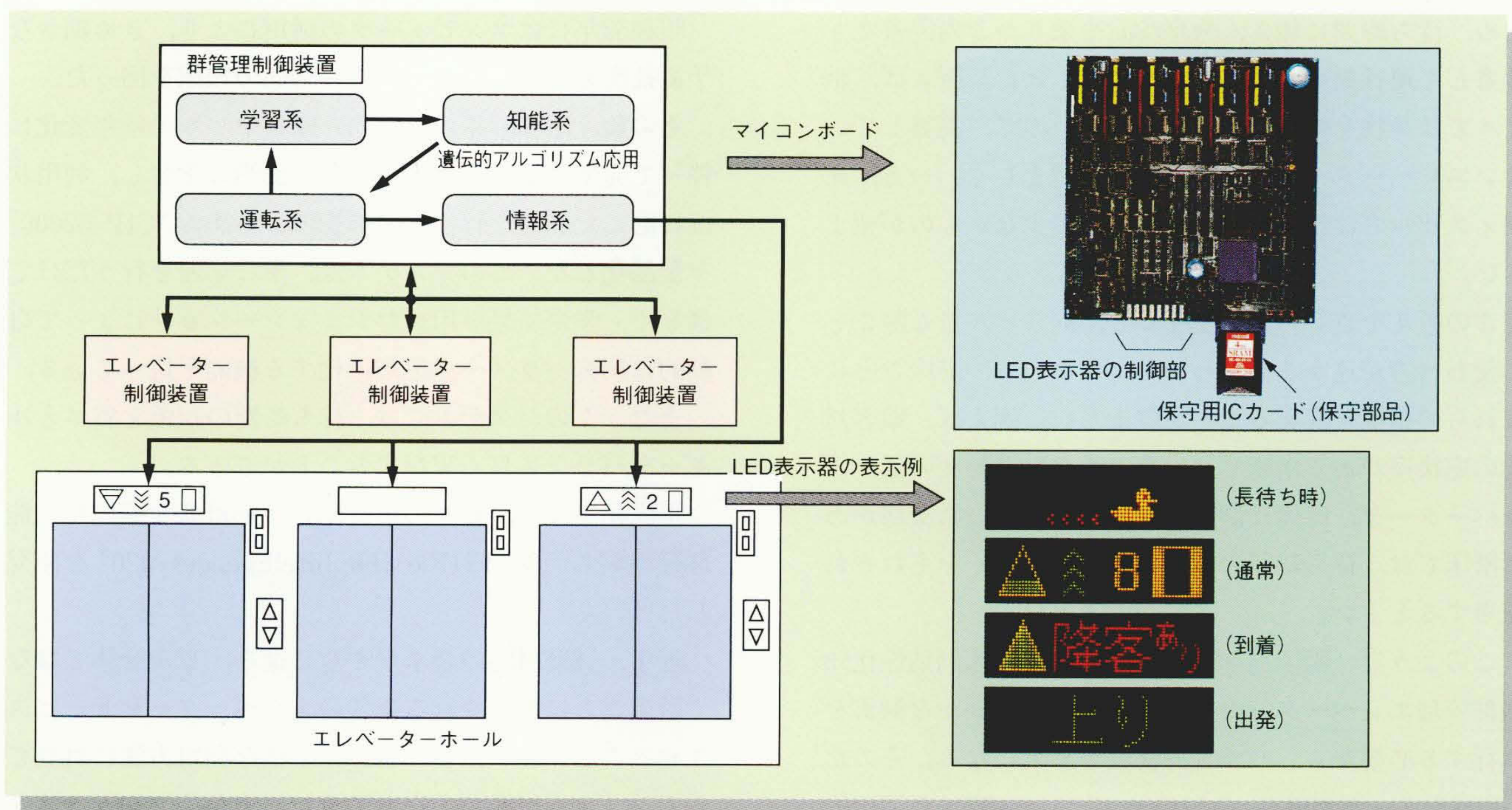
Akira Ônuki

飛田敏光

Toshimitsu Tobita

梶浦秀郎

Hideo Kajiura



注：略語説明 マイコン(マイクロコンピュータ), LED (Light Emitting Diode)

階床別個性化知能群管理エレベーターシステムの構成

このシステムは、最新技術である遺伝的アルゴリズムを適用した「知能系」、ユニークな案内ができる新4文字LED表示器から成る「情報系」、および保守提案を容易にする保守用ICカード(保守会社用)インタフェース部付き高速処理マイコンボードで構成している。「運転系」では、エレベーターを階床ごとのニーズに合わせて制御することができる。

エレベーターの群管理システムとは、ビル内の主要な移動手段であるエレベーターを効率よく運行させるためのものであり、これまでさまざまな性能向上が図られてきた。

近年、ビルの大型化やインテリジェント化に伴い、ビル内でのエレベーターに対する要求も、従来の待ち時間短縮はもとより、ビルごと、階床ごとに異なるサービスを求めたりするように、ますます多様化してきた。

今回、このようなニーズに対応するために、生物進化を模倣した遺伝的アルゴリズムを応用し、階床ごとに異なるサービス要求にこたえる「階床別個性化知能群管理エレベーターシステム」を開発した。これにより、応接

室のある階には空いているエレベーターを、多忙な営業部などの階床などには待ち時間の短いエレベーターをそれぞれサービスさせるといったきめ細かな運行を実現している。

さらに、各階床の各エレベーターに設けたLED(Light Emitting Diode)表示器を使用し、サービスするエレベーター号機だけのかご位置表示案内を行う予約インジケータを標準的に装備することを可能としている。また、混雑モードの状況に応じてフレキシブルに変わる急行運転案内ができるため、ビル竣(しゅん)工時には予想できなかった混雑モードに対する輸送能力向上も実現し、利用者の利便性を大きく向上させている。

1. はじめに

エレベーターの群管理システムとは、ホールで利用客が押した呼びボタンに対してどのエレベーターをサービスさせるかを決定するためのものである。

群管理システムは、これまでホールでの待ち時間の短縮と均一化、および輸送効率向上を考えて発展してきた。しかし、ビルの使われ方や人の流れによっては、ただ単に待ち時間だけを考慮するだけでは不十分である。このため、待ち時間に加え、乗車時間や乗りかご内混雑度も考慮して運行制御ができるようにしてきた。例えば、ホテルでは荷物を持っていることが多いので、混雑していないエレベーターが到着することが望ましく、一方、オフィスビルでは待ち時間、乗車時間の少ないものが望ましい。

この考えをさらに発展させると、同じビルでも階ごとに使われ方が違うことがわかる。すなわち、階床ごとにこれらの指標を変えることが望ましい。例えば、顧客対応の応接室がある階床では、乗りかご内混雑度の低いエレベーターを、時間に制約されることが多い営業部がある階床では、待ち時間の少ないエレベーターをそれぞれ配車するとよい。

このような「階床別制御」を採用した階床別個性化知能群管理エレベーターシステムでは、きめ細かな制御を実行する必要から、パラメータ数が多大になる。そのため、パラメータ調整に、GA(Genetic Algorithm：遺伝的アルゴリズム)を用いた。

ここでは、エレベーター群管理の発展の歴史と、このシステムの構成、および階床別制御のアルゴリズムと効果について述べる。

	昭和48年	52年	56年	60年	平成元年	5年	9年
背景	高度経済成長	省電力・安定成長			個性化・多様化		
型式	CIP/IC	CIP-3800	CIP-52000	FI-320	FI-340G		
目標	即時予約	待ち時間	省エネルギー	個性化	階床別個性化		
技術	等間隔制御	予測制御	学習制御	エキスパートシステム応用	遺伝的アルゴリズム		

図1 群管理システムの変遷

時代を代表する技術とともに、即時予約案内を採用した群管理エレベーターの変遷を示す。

2. エレベーター群管理システムの進化

日立製作所はこれまで、よりきめ細かな要望にこたえるためにさまざまな開発を行ってきた。これまでの群管理システムの変遷を図1に示す。

昭和47年に、ホール呼びボタンの登録と同時にサービスを行うエレベーターを予約案内する「即時予約方式」を採用したCIP/IC(Computerized Information Processing/IC)を開発した。

昭和53年にはコンピュータの活用により、きめ細かな予測技術を導入し、ホール待ち時間の短縮を図った。

その後、昭和57年に、季節、曜日やビルの経年変化に伴って発生する交通流の変化を自動的に学習し、利用状況に応じた制御を行う知能群管理システム“CIP-52000”を製品化した。このシステムは、単に学習を行うだけでなく、学習結果を用いたシミュレーションによって自動的に制御パラメータを最適化する機能を持っている。

また、このシステムでは、待ち時間の短縮と省エネルギーをバランス良く実現することができる。

平成元年には、ビルの用途別に対応可能な個性化知能群管理システム“FI(Flexible Intelligence)-320”を開発した¹⁾。

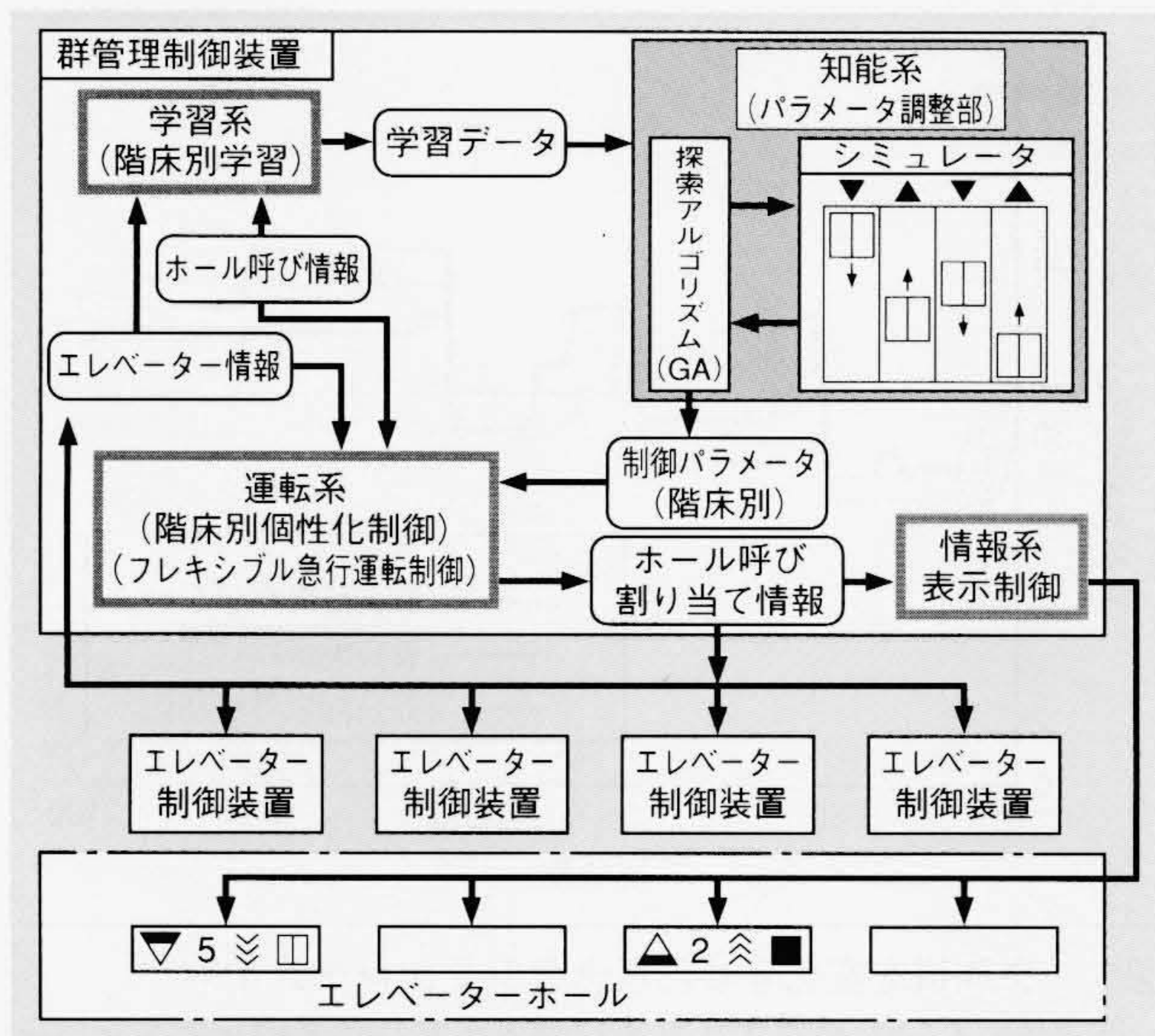
近年、「個性化」の要求がさらに進み、ビル全体ではなく階床ごとに要求される条件のエレベーターをサービスさせることにより、ビル自体の多様な利用方法に対処できるシステムが必要となってきた。また、フレックスタイム制の導入などでの勤務形態の変化により、一定時間当たりの利用者が多い混雑時間帯が、出勤時から昼食時などの時間帯に移りつつある。これに対応するため、LED(Light Emitting Diode)表示器を使った新しい運転方式が必要となってきた。

3. 階床別個性化知能群管理エレベーターのシステム構成とその制御方法

このような制御を実現するためのシステム構成を図2に示す。この群管理システムは、(1)ホールボタンが押されてサービスエレベーターを決定する運転系、(2)利用状況を学習する学習系、(3)学習結果に基づいて利用者の要望を満足する制御方法や制御パラメータを生成する知能系、(4)利用者への親切な案内を行う情報系で構成している。

階床別個性化制御²⁾とは、各階床の異なる要求に合わせた乗りかごをサービスさせるものである。

例えば図3で、ホール呼びボタンが一つだけ押された



注：略語説明 GA (Genetic Algorithm)

図2 エレベーター群管理制御装置の構成

このシステムでは、ホールへの案内を指令する情報系が盛り込んであるとともに、知能系の探索アルゴリズムに遺伝的アルゴリズム(GA)を採用し、各階床のニーズにこたえる制御パラメータを作成する。

状況では、ホール呼びにサービスするエレベーター選択に使用する割り当て評価値を求める基本式は同図の式(1)で与えられる。実際のサービスエレベーターの選択には、同図の式(2)、(3)のような割り当て評価式を個性化目標に応じて選択し、各エレベーターごとに計算する。その評

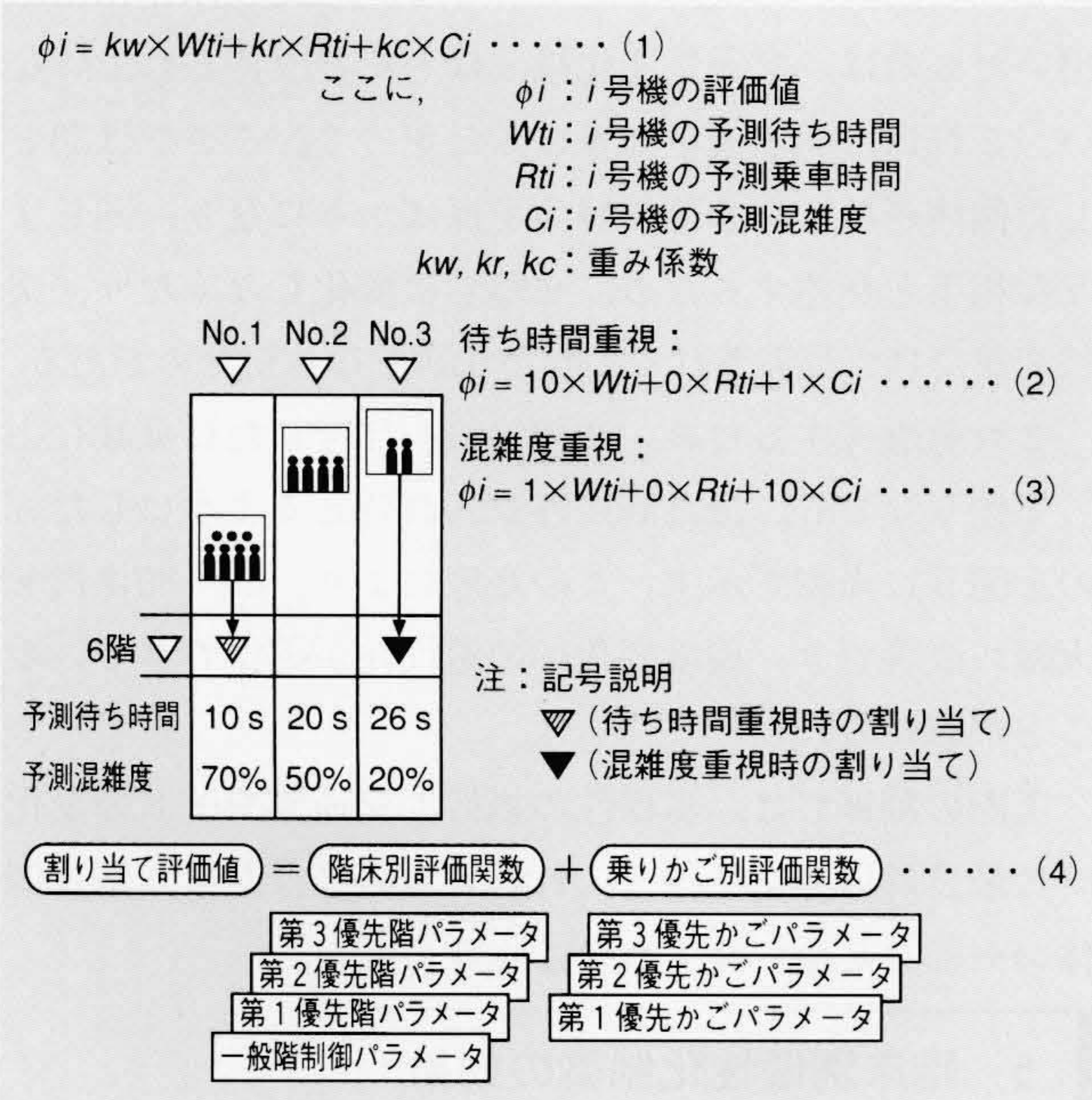


図3 個性化制御システムの制御方法

各エレベーターごとの評価式で割り当て評価値を求め、これを相互に比較してホール呼び応答指令を与える号機を決める。

価値の一番小さいものをサービスエレベーターとすることによって個別化制御を行っている。

図3の状況では、6階で下降ホールボタンが押されたとして、待ち時間を優先する場合には、同図の式(2)のように、多数の評価項目の中で待ち時間の重み係数を大きくし、待ち時間の短いNo.1号機をサービスさせる。空いているエレベーターをサービスさせるには、同図の式(3)のように、かご内混雑度の重み係数を大きくし、空いているNo.3号機をサービスさせる。

このように、割り当て評価式の重み係数を変えることにより、条件の異なる性質のエレベーターをサービスさせることができる。これを階床ごとに行うためには、同図の式(4)のように、階床ごと、乗りかごごとに異なる評価関数が必要になる。したがって、このような制御を実現するために必要なパラメータの数は、従来に比べて大幅に増加する。

また、このパラメータは、エレベーターの利用状況や利用者の要望に合わせて調整する必要がある。

4. 遺伝的アルゴリズムを用いた知能系

前章で述べたような大量のパラメータを調整するための最適化手法として、今回、生物の進化を模倣した遺伝的アルゴリズムを用いることにした。今回採用した遺伝的アルゴリズムの概略フローを図4に示す³⁾。

まず、最初のステップで制御パラメータの組として、乱数によって複数の個体を発生させる。ここでは、六つの個体を発生させている。この四角のおのののの要求はそれぞれ、図3の式(4)の制御パラメータに相当する。したがって、個体一つが、一つの制御アルゴリズムを表している。

次に、これら制御パラメータの組である個体を使用し、学習した交通流(利用状況)を用いてシミュレーションを行う。このシミュレーション結果を用いて各個体を評価し、ランク付けを行う。

次に、遺伝的アルゴリズムで特徴的な「選択・交差」の処理を行う。選択・交差とは、個体を二つ選択し、そのパラメータを混ぜ合わせることによって新たな個体を作る処理で、次の世代の子孫を作ることに対応する。この際、先のランク付けに従って、ランクが上位のものほど次の世代に子孫を残しやすいように選択し、選択した個体どうしのパラメータを混ぜ合わせる交差の処理によって次の世代の子孫を作る。この例では、ランク1位のものが四つ、2位のものが三つ子孫を残し、最下位のも

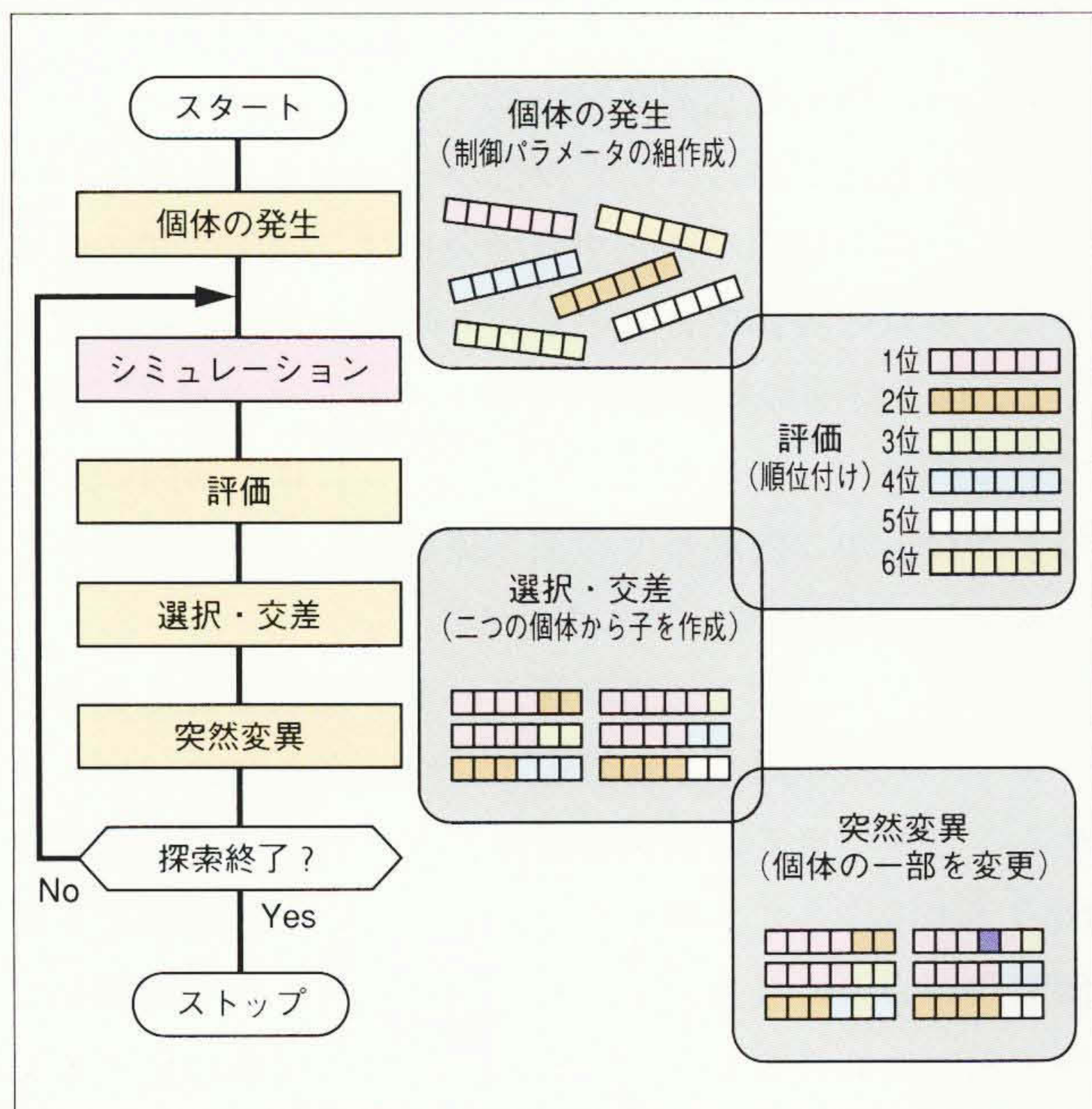


図4 遺伝的アルゴリズムによるパラメータ調整方法

階床ごとのニーズにこたえる大量のパラメータを、このフローによる手法で調整する。

のは、淘汰(とうた)されて子孫を残すことができない。さらに、これだけでは初期の個体の組合せしかできないので、次に、「突然変異」によって個体の一部をランダムに変更する。

このような処理を繰り返すことにより、より良い制御パラメータが生成できる。

また、日々学習した交通流を用いてシミュレーションを行い、その結果を用いて評価するので、エレベーターの利用状況変化、環境変化に追従して制御方法が進化していく。

以上が、遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ作成の基本的な動作である。しかし、実際にこれをシステムに組み込み、自動的に進化させるには、前の探索よりも次の探索結果が悪くならないようにする制御の安定性が必要であり、また、同時に利用状況変化・環境変化への追従性も必要である。これらは、安定性は最良解保存戦略を用いることにより、追従性は個体の一部を新たに乱数で生成したものと入れ替えることによってそれぞれ達成した。

その効果を図5に示す。同図では、縦軸に待ち時間、横軸に世代数を取り、世代を経るにしたがって待ち時間がどのように改善されたかを示す。この図では、20世代ごとに交通量を5%ずつ増加させて環境を変化させているので、この時点でいったんは待ち時間が悪くなるが、

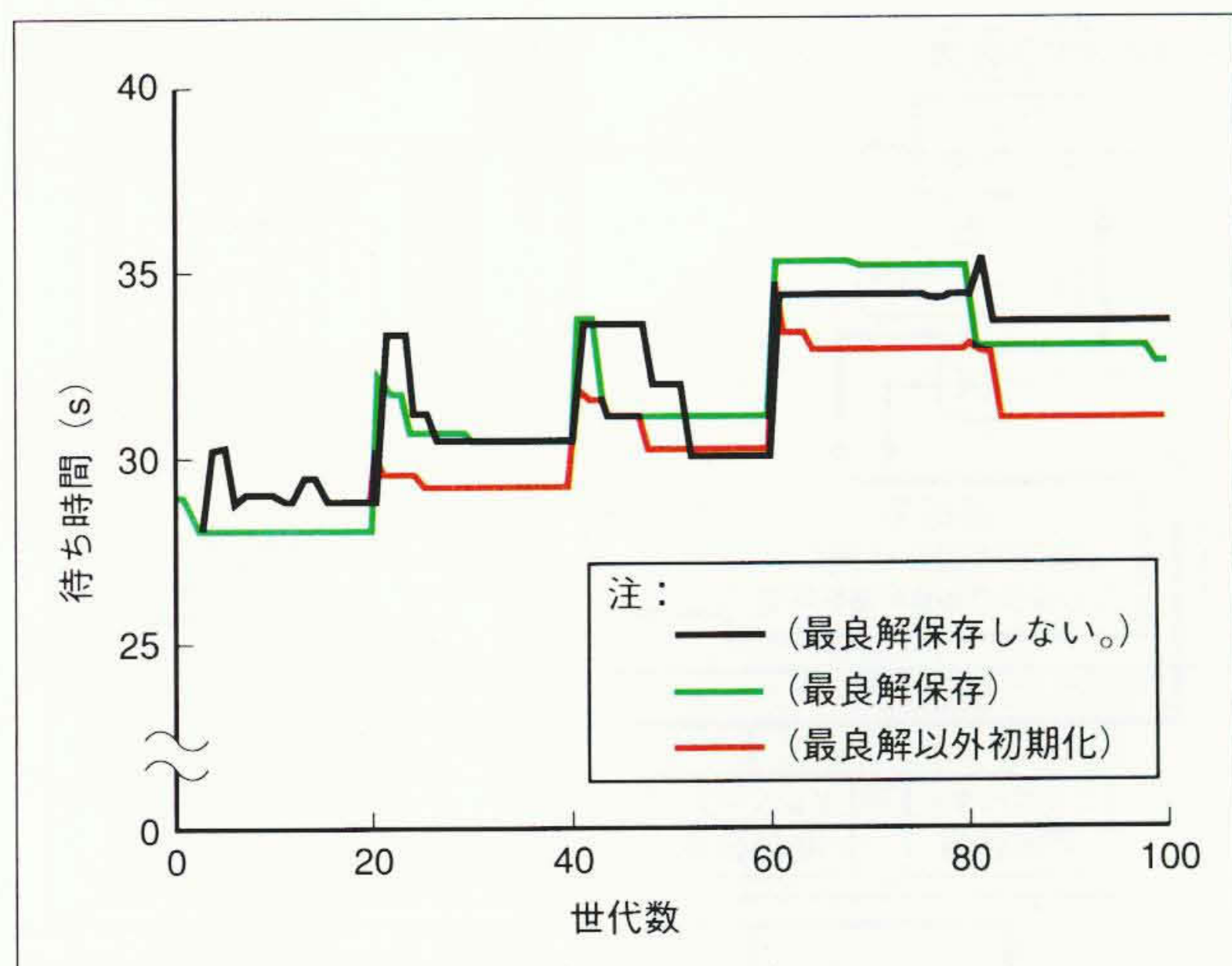


図5 交通量を変化させた場合のシミュレーション

20世代ごとに交通量を5%ずつ増大させたときのシミュレーション結果を示す。20世代と40世代では5~10世代で待ち時間の改善ができています。

徐々に改善されていくことがわかる。

図4で示したフローだけでは、図5に示す黒線のように前の世代よりも悪くなることがある。これは、前の1位(最良解)の個体がそのままの状態に残らないために起こったものである。前の1位の個体を次の世代にも残す最良解保存戦略を用い、前の世代よりも結果が悪くならないようにしたのが緑線で示したものである。最良解保存戦略により、前の世代よりも結果が悪くなることなく、制御の安定性が確保されていることがわかる。

しかし、60~80世代を見てみると、最良解保存戦略を用いたものは、交通量変化後、ほとんど改善されていない。これは、60世代を経るにしたがって、ここでは30とした個体がほとんど最良解の子孫ばかりになり、同じような相手と交差するため、交差では変化しなくなり、突然変異だけで改善されるような状態となったためである。

これを改善するため、30個体の一部を新たに乱数によって作りなおし、最良解以外は入れ替えるようにしたものを図5に赤線で示す。この処理により、60~80世代も大幅に改善でき、環境変化への追従性が確保できていることがわかる。

実際の制御では、多様性の維持も交通流モードの変化時に最良解以外をすべて入れ替えるのではなく、常に個体の一部を乱数で発生させるようにした。

5. 階床別個性化制御の効果

以上のようにして、利用状況に適合した制御パラメータを用いて階床別個性化制御を行うこのシステムの評価

表1 図6のシミュレーション条件
図6に示すシミュレーションの条件を示す。

項目	内容
階床数	15階床(1階～15階)
待ち時間優先階	12階
かご内混雑度優先階	6階
交通量	各階から1階へ、5分当たり80人
エレベーター仕様	4台、150m/min、定員20人

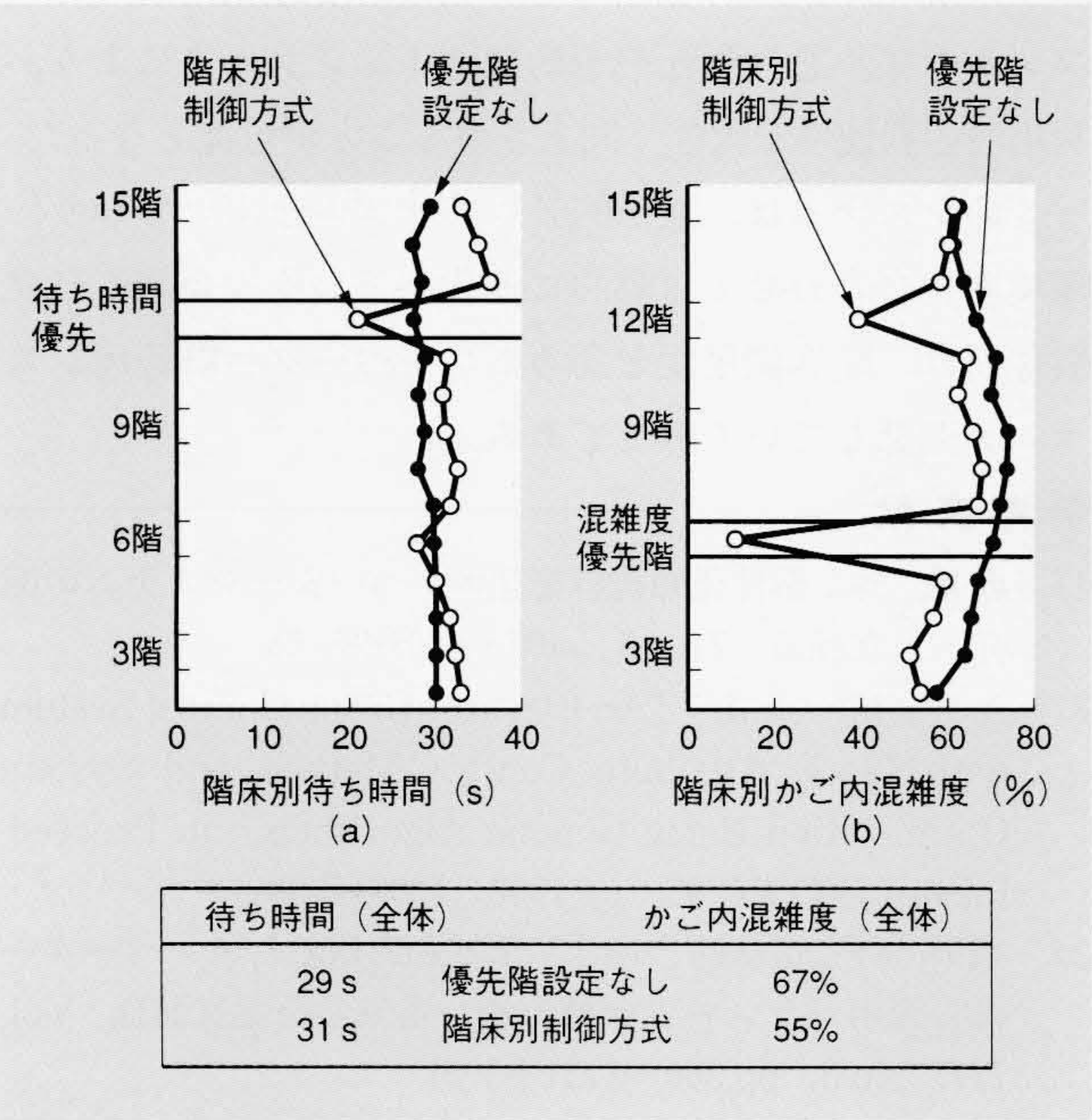


図6 階床別制御方式のシミュレーション結果
階床別個性化制御により、待ち時間優先階(12階)は待ち時間と混雑度が、混雑度優先指定階(6階)は混雑度が低減できている。

シミュレーションの条件を表1に、結果を図6にそれぞれ示す。

図6(a)は、各階床ごとの待ち時間を表しており、12階が待ち時間優先階である。同図中、黒丸が従来制御方式、白丸が階床別制御による待ち時間であり、階床別制御によって優先階の待ち時間を大幅に改善していることがわかる。また、待ち時間の短いエレベーターは一般に、かご内の乗客が少ないので、付随的に12階でのかご内混雑度も改善している。同図(b)は、各階のかご内混雑度を表しており、混雑度優先階に設定した6階は、同図からわかるように、階床別制御によってかご内混雑度を大幅に改善することができた。

以上のようにして、階床別制御により、階床ごとに異なる性質のエレベーターをサービスさせることができる。

6. フレキシブル急行運転と予約制御インジケータ

階床別制御は、閑散時・平常時や若干混雑しているよ

うな状況で有効な制御である。しかし、さらに混雑して、通常の割り当て制御では利用者にサービスしきれなくなる場合がある。これを解決するのがフレキシブル急行運転である。

近年、ビルの使われ方が多様化したことに伴い、通常の制御ではサービスしきれない交通流がさまざまな形態で発生するようになってきた。

そこで、ホールにLED表示器を設け、混雑集中の階床とその行き先階床をピストン輸送させることにより、通常の制御では運びきれないような大量の交通量を輸送する。また、混雑時間帯には各階床運転が多くなり、満員になってしまうことがある。このため、途中階の人がそのエレベーターに乗れなくなり、サービス性が大幅に低下する。これを防ぐために分割急行を行う。

この機能を、状況に応じて柔軟に急行運転を行うことから、「フレキシブル急行運転」と名付けた。フレキシブル急行運転のサービス分割方法とそのときのサービス階床の案内例を図7に示す。

このフレキシブル急行運転により、15～20%の輸送能力の増加が可能になり、混雑階の近くで満員で通過されて待ち時間が長くなるといった現象を大幅に抑制することができる。

このフレキシブル急行運転用にはLED表示器を用意して、サービス階の案内を行うようにした(図8参照)。

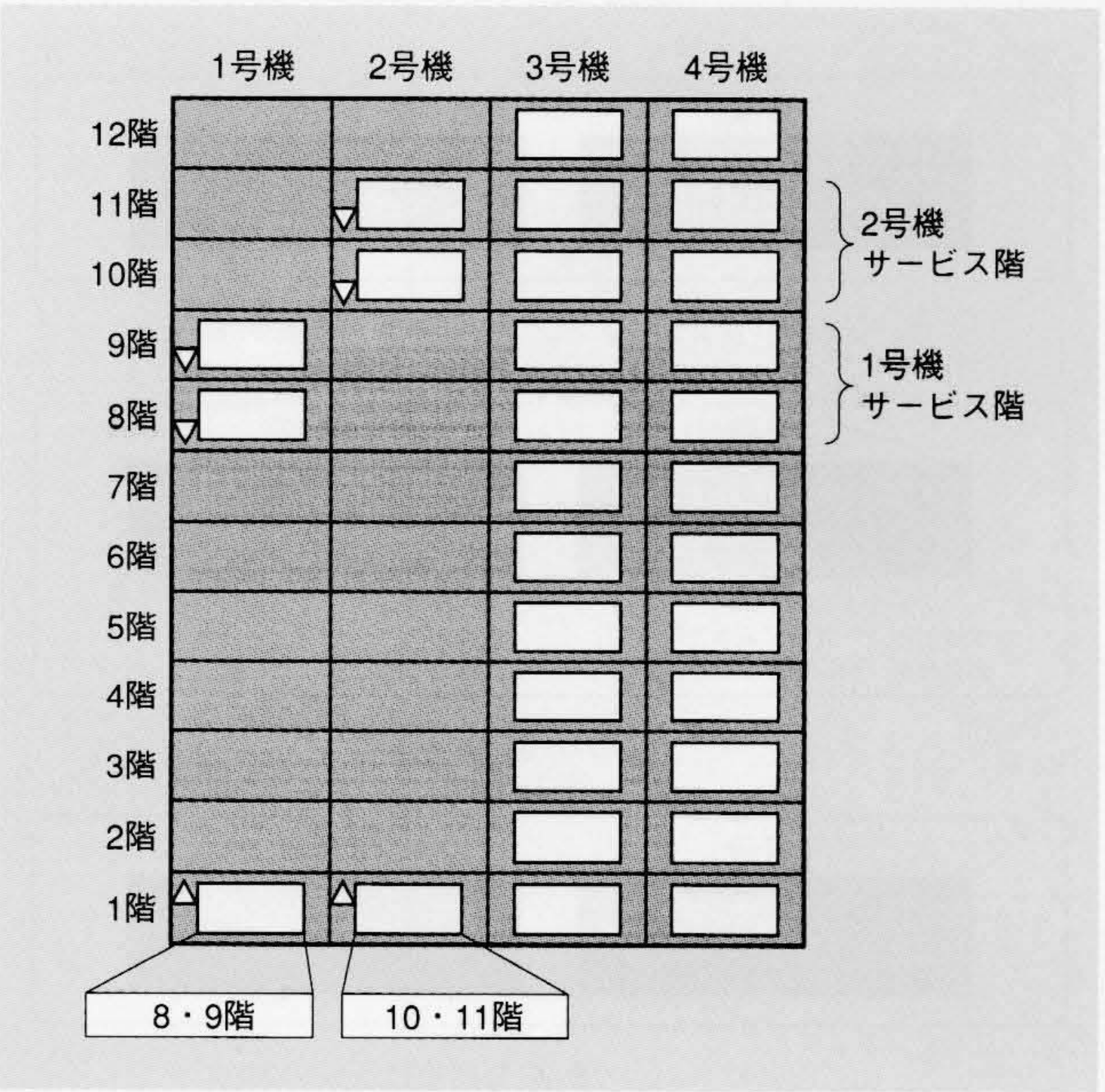


図7 フレキシブル急行運転
混雑が集中している階(8階から11階)を受け持つ直行エレベーターを2台設け、1、2号機に対してサービス階をエレベーターホールで案内する。

平常時間帯には、このLED表示器を予約制御インジケータとして利用する。

これは、群管理されたエレベーターでは全体の効率を考えた制御を行うので、必ずしも近くにいるエレベーターがサービスされるとは限らないからである。そこで、全台のエレベーターのかご位置を常時案内するのではなく、サービスすることが決まったエレベーターの位置だけを表示するようにしたものが、予約制御インジケータである。これにより、待っているエレベーターの位置を表示することで、人に優しい群管理システムを構築した。

7. ハードウェアの特徴と個性化提案

このシステムではシミュレーションを繰り返し行う必要があり、そのために新たに開発したマイコン(マイクロコンピュータ)ボードは、高速な演算能力を持っている。また、1週間分の群管理運行データを記録できる「保守用ICカード(保守会社との契約によって挿入する保守部品)インタフェース部」と、フレキシブル急行運転と予約制御インジケータのための「LED表示器の制御部」を持っている。

保守会社が、このICカードに記録したデータを検討、分析し、利用状況と階床ごとのニーズに合わせた運転仕様の変更(階床ごとの個性化)提案や、フレキシブル急行運転などの提案も可能になる。



図8 LED表示器の表示例

4文字LED表示器を用いて、急行運転の状態表示やサービスかごの位置表示を行う。

8. おわりに

ここでは、階床ごとに異なった性質のエレベーターサービスを行う階床個性化知能群管理エレベーターシステムについて述べた。

このシステムにより、階床ごとに異なる性質のエレベーターサービスを行い、よりきめ細かなニーズに対応できるようになった。また、各階に設けたLED表示器を使用したフレキシブル急行運転や予約制御インジケータにより、利用者の利便性を大きく向上させることが可能となった。

このシステムは、遺伝的アルゴリズムを用いており、環境変化に合わせて自動的に進化していく。今後も日立製作所は、顧客満足度を高めるエレベーター群管理システムを開発していく考えである。

参考文献

- 1) 坂井, 外: 個性化知能群管理エレベーターシステムの開発, 日立評論, 71, 5, 469~476(平1-5)
- 2) A. Fujino, et al.: "An Elevator Group Control System with Floor Attribute Control Method and System Optimization Using Genetic Algorithms", in Proceedings of IECON '95, pp.1502~1507(1995)
- 3) 飛田, 外: 遺伝的アルゴリズムを応用したエレベーター群管理用パラメータ調整方法, 電気学会論文誌D, Vol. 117, No.3, pp.306~313(平9-3)

執筆者紹介



米田健治

1965年日立製作所入社, 水戸工場 エレベーター設計部 所属
現在, エレベーター群管理システムの開発に従事
電気学会会員
E-mail: yoneda@cm.mito.hitachi.co.jp



飛田敏光

1983年日立製作所入社, 水戸工場 エレベーター開発センタ 所属
現在, エレベーター関連の研究開発に従事
電気学会会員
E-mail: tobita@cm.mito.hitachi.co.jp



大貫 朗

1992年日立製作所入社, 水戸工場 エレベーター設計部 所属
現在, エレベーター電子装置の開発に従事



梶浦秀郎

1991年日立製作所入社, 昇降機事業部 所属
現在, オーダー型エレベーターの製品企画に従事
E-mail: kajiura@cm.head.hitachi.co.jp