

エレベータの知能群管理方式†

—その 1: 呼び割当て論理—

黒 沢 憲 一†† 平 沢 宏 太 郎†† 葛 貫 壮 四 郎†††
米 田 健 治†††† 坂 井 吉 男†††† 萩 中 弘 行††††

従来のエレベータ群管理方式は、ビル内の交通流に適応する機能をもたないことから、ビル竣工後貸事務所ビルから一社占有ビルへの転換や在館人員の増加など周期性のない交通流変化ばかりでなく、季節や曜日などにより周期的に繰り返される交通流変化にも対応できず、サービスが低下する傾向があった。また、社会的ニーズである省エネルギー制御も 1~2 台のエレベータを休止することにより実現する方法であるため、稼働台数の減少によりサービス性能が不連続的に悪化する欠点があった。本論文では、交通流に適応した群管理制御を行ううえで上記問題を解決可能なエリア制御と、それに基づく知能群管理方式を提案している。すなわち、i) 待ち時間短縮と消費電力の低減という相反する条件を同時に満足する新しい“エリア制御”の提案、ii) 待ち時間だけでなく消費電力をも評価基準とし、変化する交通流に適応した呼び割当て制御を行う新しい群管理制御方式の提案、をするとともに、その効果をシミュレーションにより明らかにした。

1. ま え が き

エレベータ運転の自動化は、1960年代に急速に普及し始めたが、これは自動式エレベータがたんに運転手の労力を省いたのみならず、人間の判断による管理以上の成果をもたらしたからであった。とくにエレベータ群を有機的に管理制御し、サービス性を向上するには、自動化が必須の条件である。

自動群管理制御方式の研究は、エレベータの待ち時間短縮を目的に行われてきた。とくに、エレベータを時間的に等間隔制御することが平均待ち時間の短縮ばかりでなく長待ち（通常、待ち時間が60秒以上の場合をいう）の減少にも有効であることが理論解析¹⁾されて以来、この時間的等間隔運転に近づけるための群管理制御方式、およびこれを実現するためのハードウェア開発が行われてきた。

当初の方式は、エレベータ相互の時間間隔をリアルタイムで演算し、各エレベータの受け持つサービスゾーン（エレベータがサービスする階の範囲）を最適化することにより、時間的等間隔運転を実現しようと

するもので、個々のホール呼びの待ち時間は管理せずに直接的にサービスゾーンを決定する制御を行っていた。その後、マイクロコンピュータの導入により、エレベータがホール呼び発生階へ到着するに要する予測時間をリアルタイムで演算することが可能になったことから、個々のホール呼びの待ち時間を管理し、長待ちにならないように呼び割当て制御する“長待ち最小方式”や平均待ち時間を短縮する“平均待ち時間最小方式”が提案されている²⁾。

しかしこれらの方式は、ビル内の交通流変化に適応する機能をもたないことから、ビル竣工後の貸事務所ビルから一社占有ビルへの転換や在館人員の増加など周期性のない交通流変化や、季節や曜日などにより周期的に繰り返される交通流変化にも対応できず、サービスが低下する場合があった。

また、社会的ニーズである省エネルギーに対しても応えることがエレベータ群管理システムの一つの重要な課題である。現在の制御方式は、ホール呼び発生数の少ない時間帯を検出し、1~2台のエレベータを休止させることにより省エネルギーを達成する方式である。しかし1台のエレベータを休止させると残りのエレベータの負荷が急激に増加し、待ち時間が大幅に増加する欠点があった。

本論文では、

- (1) 待ち時間短縮と消費電力の低減という相反する条件を同時に実現する新しい“エリア制御”の提案
- (2) 待ち時間だけでなく消費電力をも評価基準とし、変化する交通流に適応した呼び割当て制御を行う

† Intelligent and Supervisory Control for Elevator Group (Part I: Hall Call Assignment Logic) by KUROSAWA KEN'ICHI, HIRASAWA KOTARŌ (The 10 Dept., Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.), KUZUNUKI SŌSHIRŌ (The 8 Dept., Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.), YONEDA KEN'JI, SAKAI YOSHIO (Mito Works, Hitachi, Ltd.) and HAGINAKA HIROYUKI (Building Equipment & Systems Engineering Dept., Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所日立研究所第10部

††† (株)日立製作所日立研究所第8部

†††† (株)日立製作所水戸工場エレ設部

††††† (株)日立製作所機電事業本部交通ビルシステム技術本部

新しい群管理制御方式の提案

をするとともに、その効果をシミュレーションにより明らかにする^{3),4)}。

2. エレベータ群管理システムの概要

本章では、エレベータ群管理の概要を図1により説明する。大規模ビル納めのエレベータでは、4~8台のエレベータをグループとして群管理するのが一般的であり、各階のホールに設置されたホール呼びボタンが押されると、グループ内の適切なエレベータがサービスエレベータとして1台選択され、同時にこのサービスエレベータをチャイムおよび案内灯により案内表示する。乗客は、案内灯の点灯しているサービスエレベータの前でエレベータの到着を待ち、到着したエレベータに乗り込んだ乗客は、エレベータ内のかご呼びボタンを押して目的とする行先階に移動することができる。エレベータ群管理システムは、グループ内のすべてのエレベータに関する管理制御を行うもので、発生したホール呼びを最適なエレベータに適切に割り当ててサービスエレベータを決定することが基本である。

呼び割当て方式には、呼びの発生と同時にこれを適切なエレベータに割り当てて即時呼び割当て方式と、呼びの発生後ある時間経過した後に適切なエレベータを選択する非即時呼び割当て方式がある。しかし、ホール呼び発生と同時にサービスエレベータを選択し案内表示することは、エレベータ乗客へのサービス向上の面から有益である。したがって本論文では、即時呼び割当て方式を前提とした呼び割当て方式について検討する。

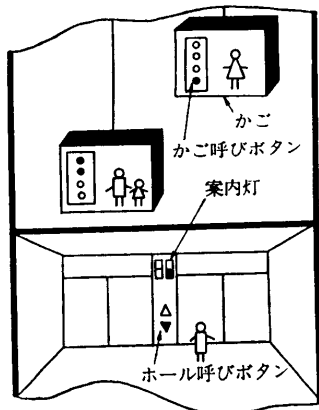
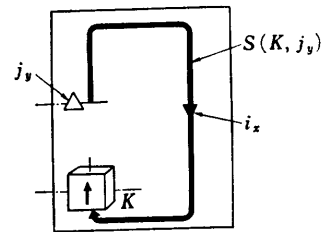


図1 エレベータ群管理の概要
Fig. 1 Overview of elevator group supervisory control system.



i_x : i 階 x 方向の割当て済みホール呼び
 j_v : j 階 v 方向の発生ホール呼び
 $S(K, j_v)$: エレベータ K 号機の位置から進行方向と反対にホール呼び発生階 (j 階) までの区間
図2 エレベータ K 号機の状態
Fig. 2 State of K th elevator.

3. 知能群管理制御方式の提案

3.1 エリア制御の提案

本節では、前半で従来の群管理制御方式を述べ、後半でエリア制御を提案する。

従来の群管理制御方式の一つに長待ち最小方式がある。この方式は、すべてのホール呼びの予測待ち時間(呼びが発生してからサービスされるまでの予測値)をリアルタイムで把握し、どのホール呼びも長待ちとならないように、発生ホール呼びを適切なエレベータへ割り当てて方式である。図2を用いてその制御概念を説明する。

n 時点でホール呼び j_v (ここで j は発生階, v はホール呼びの方向で up または down を示すものとする)が発生すると、長待ち最小方式はこの発生ホール呼びをエレベータ K 号機へ仮に割り当てて、 K 号機にすでに m 時点で割り当てられているホール呼び i_x の待ち時間 $TM^{(n)}(K, i_x)$ を予測する(ただし、 $m < n$ とする)。 n 時点における i_x の予測待ち時間 $TM^{(n)}(K, i_x)$ は、その発生時点である m 時点から n 時点までの経過時間 $TW^{(n)}i_x$ (すなわち、 $n-m$ 時間)と K 号機が n 時点の位置から i 階に到着するまでの予測時間 $TS^{(n)}(K, i_x)$ の加算値として求めることができる。しかし、発生ホール呼び j_v を K 号機へ仮に割り当てると、 K 号機は j 階で停止するため、図2の位置にある i_x は、その停止時間だけさらにサービスが遅れることになる。ここでサービスが遅れる割当て済みホール呼びについて考えてみると、 K 号機位置から進行方向にホール呼び発生階 (j 階)までの区間内に割り当てられているホール呼びは、たとえ K 号機が j 階で停止してもサービスが遅れることはない。しかし逆に、 K 号機位置から進行方向と反対にホール呼び発生階までの区間(図2に示した $S(K, j_v)$ をいう)内の割

当て済みホール呼び (たとえば i_x) は, 前述の理由によりサービスが遅れることがわかる.

以上から, 長待ち最小方式は, K 号機がサービスする区間 $S(K, j_v)$ 内の任意のホール呼び i_x の予測待ち時間 $TM^{(n)}(K, i_x)$ のなかで, 最も長い予測待ち時間を K 号機の評価値 ϕ_K として求め, さらに各エレベータの評価値 $\{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_L\}$ のなかで最小の評価値をもつエレベータに発生ホール呼び j_v を割り当てる.

この結果, n 時点で発生したホール呼び j_v は, 最も長待ちの発生しづらいエレベータに割り当てられることになる.

この論理は, 下記のごとく定式化できる.

$$\phi_{K^*} = \min_{K \in \{1, 2, \dots, L\}} \phi_K \quad (1)$$

$$\phi_K = \max_{i_x \in S(K, j_v)} (\alpha^{(n)}(K, i_x) \cdot TM^{(n)}(K, i_x)) \quad (2)$$

$$TM^{(n)}(K, i_x) = TW^{(n)}i_x + TS^{(n)}(K, i_x) \quad (3)$$

ここで,

K^* : サービスエレベータ K^* 号機

ϕ_{K^*} : サービスエレベータ K^* 号機の評価値

L : 群管理エレベータ台数

$\alpha^{(n)}(K, i_x)$: n 時点での i 階 x 方向ホール呼びの割り当て状態

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha^{(n)}(K, i_x) = 1: i \text{ 階 } x \text{ 方向に発生しているホール呼びがエレベータ } K \text{ 号機に } n \text{ 時点で割り当てられている場合} \\ \alpha^{(n)}(K, i_x) = 0: i \text{ 階 } x \text{ 方向に発生しているホール呼びが } K \text{ 号機以外のエレベータに } n \text{ 時点で割り当てられている場合, または } n \text{ 時点で } i \text{ 階 } x \text{ 方向にホール呼びが発生していない場合} \end{array} \right.$$

$TM^{(n)}(K, i_x)$: i 階 x 方向のホール呼びが発生した時点から K 号機が i 階へ到着するまでの n 時点における予測待ち時間

$S(K, j_v)$: エレベータ K 号機の位置から進行方向と反対にホール呼び発生階 (j 階) までの区間

$TW^{(n)}i_x$: i 階 x 方向のホール呼びが発生した時点から n 時点までの経過時間

$TS^{(n)}(K, i_x)$: エレベータ K 号機が n 時点の位置から i 階に到着するまでの予測時間

このように従来の方式は, 過去の時点と現在の時点で発生したホール呼びの状態を基本にして予測演算することによりサービスエレベータを決定している.

しかしながら, 呼び割当て時点では最良であっても新たに発生するホール呼びの予測や, 現在のビル内交

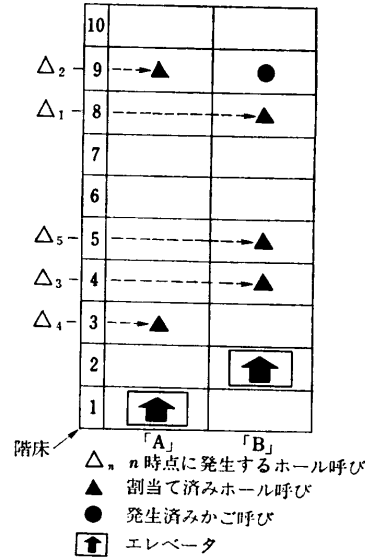


図3 長待ち最小方式の呼び割当て

Fig. 3 Hall call assignment by excessive long waiting time minimization method.

通流がエレベータ群にとって混雑した状態なのかあるいは閑散な状態なのかという情報を考慮していないために, 結果として長待ちが生じることがある.

一例を図3に示す. 簡単のためエレベータは「A」, 「B」の2台とし, 「A」はサービス呼びをもたず, 「B」は9階に発生済みかご呼びをもつと仮定する. 長待ち最小方式は, 1時点のホール呼びと2時点のホール呼びが発生すると, それぞれ別のエレベータ「A」, 「B」に割り当てる. また, その後発生した3, 4, 5時点のホール呼びもおのおのの発生時点で長待ちを最小とするため, エレベータ「A」, 「B」に交互に割り当てられる. この結果, 1, 2時点のホール呼びは3, 4, 5時点に発生したホール呼びの後にサービスされることになり, 結果として長待ちになってしまう.

この欠点を解消するには, 図4のように2時点のホール呼びをエレベータ「B」に割り当てて, 3, 4, 5時点のホール呼びをエレベータ「A」に割り当てれば各ホール呼びの待ち時間は平均化され, 長待ち発生を防ぐことができる. しかし1, 2時点のホール呼びとともにエレベータ「B」に割り当てるには, その後ビルの下層部に新たなホール呼び(3, 4, 5時点の発生ホール呼び)が発生することを予測できなければならない.

しかしながら, 乗客がエレベータホールへ到着する到着間隔分布はランダムでありホール呼び発生分布もランダムであるため, その発生予測は困難である. と

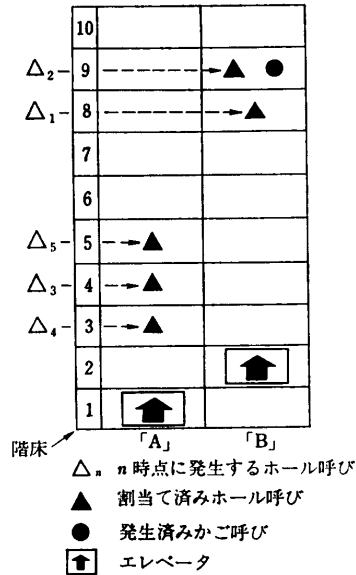


図4 エリア制御方式の呼び割当て
Fig. 4 Hall call assignment by area control method.

くに各階からの乗込み客数がバランスしている平常時交通流では、ホール呼びの発生を予測することは不可能に近いと考えられる。

そこでわれわれは、よりマクロなホール呼び発生予測に基づくエリア制御を提案する。

この制御は、“いつ、どの階からどの方向のホール呼びが発生するかというミクロな予測はできないが、図4の例のようにエレベータがビルの上層に発生したホール呼びをサービスする時間内に、ビルの下層に新たなホール呼びが発生するかというようなマクロな予測は可能である”という考え方を基本としている。

エリア制御を述べる前に、その基本をなすエレベータの停止呼び指標について図5により説明する。

エレベータの運転効率を考えると、図5のように発生ホール呼び j_v は、その発生階に停止呼びをもつエレベータへ優先的に割り当てればよいことが知られている。なぜなら他エレベータに割り当てると、そのエレベータはホール呼び発生階で停止するため、すでにそのエレベータに割り当てられているホール呼びの待ち時間は、その停止時間だけさらに長くなるからであり、一方発生階に停止呼びをもつエレベータに割り当てた場合には待ち時間は増加しないからである。

しかしその結果、発生ホール呼び自身が長待ちになってしまうのは意味がないため、その割当て判断基準の選定はむずかしい問題である。

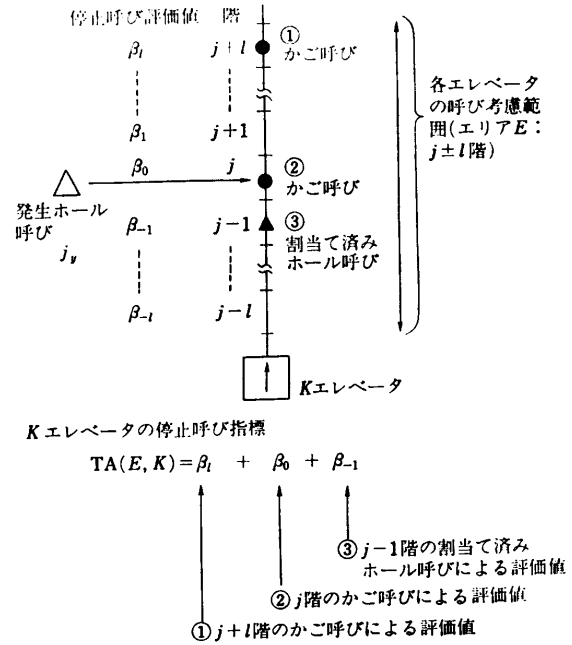


図5 各エレベータの停止呼び指標
Fig. 5 Elevator-stop-call function for each elevator.

一方、各エレベータを時間的等間隔に制御することは重要である¹⁾。しかし、ホール呼びは各階床からランダムに発生するため、ホール呼びの待ち時間を短縮することと、エレベータを時間的に等間隔運転することを両立させるのはむずかしい。

そこで、各エレベータをビル内に分散させるには各エレベータのサービス範囲を局所化する必要があるとの考えから“エレベータの停止呼び指標”を導入する。エレベータの停止呼び指標とは、図5に示すように発生ホール呼びを中心にエリア E を設定し、そのエリア E 内の停止呼び評価値 $\beta_m (m=0, \pm 1, \dots, \pm l)$ を加算したものである。

このことから大きな停止呼び指標 $TA(E, K)$ をもつエレベータほどサービスの局所化が進んでおり、一方小さい指標をもつエレベータは、他のエリアを集中的にサービスしていると解釈できる。図5の例では、停止呼びが $j+l, j, j-1$ 階にあるため、指標 $TA(E, K)$ は $\beta_l + \beta_0 + \beta_{-1}$ となる。ここで評価値 β_0 は、発生ホール呼び階に停止呼びが存在する場合であり、前述した理由によりとくに大きな数値を設定する必要がある。

以上から、各エレベータごとに停止呼び指標 $TA(E, K)$ を算出し、最も大きな指標をもつエレベータ

に発生ホール呼びを割り当てれば、効率よくエレベータを分散させることができる。

エリア制御は、変化するビル内交通流に応じてエリア E と、停止呼び指標 $TA(E, K)$ の効果を制御するパラメータ $\alpha(E)$ を最適にチューニングする制御方式である。すなわち、混雑時のビル内交通流はホール呼び発生頻度が高いため図4の例のようにビルの高層ばかりでなく下層でもホール呼びの発生する確率が高い。このためエレベータのサービス範囲を局所化して、エレベータを分散させる必要性からエリア E を大きく、かつ停止呼び指標 $TA(E, K)$ の効果も強めに設定する必要がある。一方、閑散な交通流の場合にはホール呼び発生頻度が低いことから図4の例のようにビル上層のホール呼びサービス中に下層でホール呼びが発生する確率は低い。したがってエリア E 、停止呼び指標 $TA(E, K)$ の効果ともに小さく設定したほうが待ち時間短縮に効果がある。

3.2 知能群管理制御方式

本節では、エリア制御に基づいた呼び割当て論理である知能群管理制御方式と交通流に最適なエリア制御を実現する方式を述べる。

まず、交通流 c を下記のように表現する。

$$c = \begin{bmatrix} c_{ij} \end{bmatrix} \quad (i, j=1, 2, \dots, F_{max})$$

(F_{max} : サービス階床数)

ここで c_{ij} は、単位時間 T 当りに i 階から j 階へ移動する乗客数で、 $i=j$ のときは $c_{ij}=0$ とする。

n 時点で j 階 y 方向に発生したホール呼び j_y のサービスエレベータ K^* を決定する知能群管理制御論理式を(4)~(7)に示す。

$$\phi_{K^*} = \min_{K \in \{1, 2, \dots, L\}} \phi_K \quad (4)$$

$$\phi_K = \max_{i_x \in S(K, j_y)} (\alpha^{(n)}(K, i_x) \cdot TM^{(n)}(K, i_x)) - \alpha(E) \cdot TA(E, K) \quad (5)$$

$$TM^{(n)}(K, i_x) = TW^{(n)}_{i_x} + TS^{(n)}(K, i_x) \quad (6)$$

$$TA(E, K) = \sum_{m \in E} (\beta_m \cdot \alpha^{(n)}(K, m)) \quad (7)$$

ここで、

$TA(E, K)$: エレベータ K 号機のエリア E における停止呼び指標

$\alpha(E)$: 停止呼び指標 $TA(E, K)$ の効果を制御する重み係数 (エリア制御パラメータと呼ぶ)

β_m : エリア E の m 階の停止呼び評価値

上記論理式は、従来の長待ち最小方式の長所であるすべてのホール呼びの予測待ち時間 $TM^{(n)}(K, i_x)$ をリアルタイムで計算することに加えて、前節で述べた

エリア制御を導入したものである。

その結果、(5)は、 j 階 y 方向に発生したホール呼びをエレベータ K 号機がサービスすべきか否かの判断を、ホール呼び予測待ち時間 $TM^{(n)}(K, i_x)$ の最大値とエレベータ K 号機の停止呼び指標 $TA(E, K)$ の二つの関数で行うことを意味している。すなわち、エレベータ K 号機が長待ち呼びをもっていたり、発生ホール呼びの近傍階に停止呼びをもっていない場合には評価値 ϕ_K が大きくなるため発生ホール呼びは K 号機へ割り当てにくく、逆に長待ち呼びをもたず、発生ホール呼びの近傍階に停止呼びを多くもつ場合には評価値 ϕ_K が小さくなるため発生ホール呼びは K 号機へ割り当てやすくなる。したがって、ビル内交通流に適したエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ のもとで呼び割当て制御を行えば、待ち時間の短縮が期待できる。

知能群管理論理式(4)~(7)で重要なことは、(4)、(5)、(7)からわかるように

(a) 停止呼び評価値 $TA(E, K)$ の大きいエレベータほど発生ホール呼びをサービスしやすくすること

(b) 一方、 $TA(E, K)$ は、発生ホール呼び階付近の混雑度情報をもつこと

である。このため、(a)、(b)を満足するホール呼び割当て論理であれば(4)~(7)以外のアルゴリズムでもエリア制御の効果を得られるが、アルゴリズムはできるだけシンプルなものが多い。この点で、加減算により $TA(E, K)$ と ϕ_K を求めることができる(4)~(7)は、適当なアルゴリズムと考えられる。

次に知能群管理制御論理の概要を図6の2時点の発

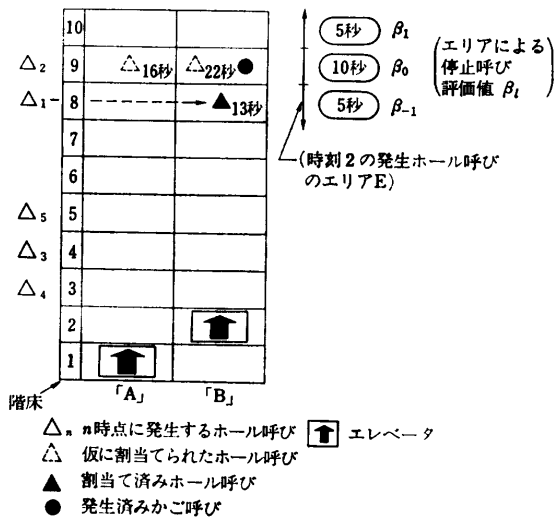


図6 エリア制御の実現方式
Fig. 6 Realization of area control.

生ホール呼びの例で説明する。

ここでエリア E は、ホール呼び発生階の前後 1 階床の区間、エリア E による停止呼び評価値 β_m ($m \in E$) を、 $\beta_{-1} = 5$ 秒、 $\beta_0 = 10$ 秒、 $\beta_1 = 5$ 秒、エレベータの停止呼び指標 $TA(E, K)$ の効果を制御するエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を 1 とする。またエレベータ「A」はサービス呼びをもたず、エレベータ「B」は 9 階の発生済みかご呼びと、1 時点に 8 階で発生したホール呼びをもつ状態を初期状態とする。

2 時点のホール呼びが発生した場合、知能群管理方式は長待ち最小方式と同様、まずエレベータ「A」に仮に割り当てる。この場合、エレベータ「A」には割当て済みホール呼びがないので 2 時点の発生ホール呼び自身の予測待ち時間 (16 秒) がエレベータ「A」の評価値 ϕ_A となる。次に、発生ホール呼びをエレベータ「B」に仮に割り当てると、8 階の割当て済みホール呼びの予測待ち時間 (13 秒) より 2 時点の発生ホール呼びの予測待ち時間 (22 秒) のほうが大きいので、エレベータ「B」の評価値 ϕ_B は 2 時点の発生ホール呼びの予測待ち時間 (22 秒) になる。もし、長待ち最小方式であればこの結果から発生ホール呼びを評価値の小さいエレベータ「A」に割り当てる。しかし知能群管理方式は、エリア E 内の停止呼びの有無から停止呼び指標 $TA(E, K)$ を考慮して求める。エレベータ「A」は、エリア E 内に停止呼びをもたないため停止呼び指標 $TA(E, K) = 0$ となりエリア制御の影響を受けない。一方、エレベータ「B」は、8、9 階に停止呼びをもつため停止呼び指標 $TA(E, K)$ 、評価値 ϕ_B が下記のように計算される。

$$TA(E, K) = \sum_{m \in E} (\beta_m \cdot \alpha^{(2)}(K, m)) \\ = 5 \text{ 秒} + 10 \text{ 秒} = 15 \text{ 秒}$$

$$\phi_B = \phi_B - \alpha(E) \cdot TA(E, K) \\ = 22 \text{ 秒} - 15 \text{ 秒} = 7 \text{ 秒}$$

以上からエリア制御に基づく知能群管理方式では、2 時点の発生ホール呼びを評価値の小さいエレベータ「B」に割り当てる。この結果、図 4 の状態が実現でき、個々のホール呼びの待ち時間は平均化され、長待ちが減少する。

このようにエリア制御は、待ち時間短縮効果があるが、もう一つ重要な性質を有していることを示す。

知能群管理論理式 (5) は、 $\alpha(E) = 0$ とすると長待ち最小方式の論理式 (2) となる。これは $\alpha(E) = 0$ の場合の知能群管理方式が長待ち最小方式にほかならないことを意味する。一方、 $\alpha(E)$ をビル内交通流に適し

た数値に設定すれば、図 6 の例からわかるように待ち時間が短縮する。この場合のエレベータ起動回数に着目すると、エリア制御はその停止呼び評価値 β_0 の効果から発生ホール呼びと発生済みかご呼びを積極的に一致させエレベータ群全体の停止回数を減らす効果をもたらす。すなわちエレベータ運転において最も電力消費量⁵⁾の多いエレベータ起動回数 (すなわちエレベータ停止回数) を減らすことができる。次にエリア E とエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を非常に大きく設定すると、(5) 式の第 1 項の効果は小さくなるため第 2 項のエリア制御によりエレベータの評価値 ϕ_K が決定されるようになる。すなわち、発生ホール呼びは、エリア E 内に停止呼びをもつエレベータへ強制的に割り当てられるようになり、結局 1 台のエレベータがすべてのホール呼びをサービスすることになる (式 (4)、(5) より明らか)。これは、待ち時間が大きく増加することばかりでなく、ホール呼びとかご呼びの一致する確率も非常に高くなることから起動回数が大幅に減少することも意味する。

以上から知能群管理制御論理 (4)、(5) において、エリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を変化させると、待ち時間と消費電力の関係は図 7 のようになる。

したがって図 7 の待ち時間と消費電力曲線が得られれば待ち時間目標値 (たとえば待ち時間最小運転の指示) や、省電力目標値 (たとえば最小待ち時間運転時の 20% 省エネルギー運転をせよ) を与えることによって、目標値を達成する最適なエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を求めることができる。

次に交通流 c に適したエリア制御パラメータの算出方式について述べる。

シミュレーションの結果 (後述) からわかるように、

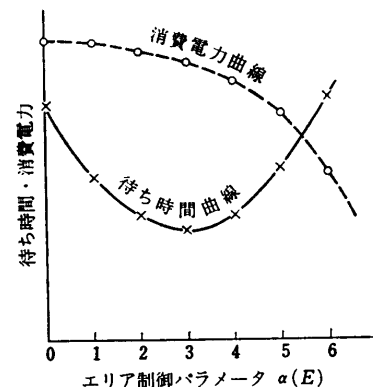


図 7 エリア制御と性能曲線

Fig. 7 Relation between area control and performance.

待ち時間と消費電力曲線はエレベータ台数や交通流の形態およびエリア制御パラメータ値によって大きく変化する。さらにホール呼びの発生はランダムであり各エリア制御パラメータごとに待ち時間とエレベータ起動回数を精度よく予測することは非常に困難である。そこでわれわれは、交通流 c に適したエリア制御パラメータの算出に、シミュレーションによる方法を提案する。

まず、交通流 c に基づいた乗客を式(8)のポアソン到着分布に従って発生させ、初期設定したエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ のもとで所定時間エレベータの運行シミュレーションを行い、統計処理によって待ち時間 T_a と消費電力 P_a を求めることができる。

$$P_n(t) = \left[\frac{(\lambda_{ij}t)^n}{n!} e^{-\lambda_{ij}t} \right] (F_{\max} \times F_{\max} \text{ 行列}) \quad (8)$$

$$(i, j=1, 2, \dots, F_{\max}; n=0, 1, 2, \dots)$$

ここで、

$$\lambda_{ij} = c_{ij}/T$$

そこで m 個のエリア制御パラメータ $\alpha(E_i) (i=1, 2, \dots, m)$ を設定して各エリア制御パラメータ $\alpha(E_i)$ ごとにエレベータの運行シミュレーションを行い、その結果得られた待ち時間 $T_{ai} (i=1, 2, \dots, m)$ 、消費電力 $P_{ai} (i=1, 2, \dots, m)$ をそれぞれ補間すれば図7の性能曲線が得られる。

この算出方式は、任意の交通流 c に対してつねに最適なエリア制御パラメータを算出できる特徴をもつ。

この結果、本節で提案した呼び割当て方式は、下記の方法で交通流 c に最適な群管理運転を行うことができる。

(a) 交通流 c に基づいたシミュレーションを各エリア制御パラメータごとに行い待ち時間と消費電力曲線を作成する。

(b) 待ち時間目標値や省電力目標値と上記性能曲線から最適エリア制御パラメータを算出する。

(c) 論理式(5)~(7)と上記最適エリア制御パラメータを用いて呼び割当てを行う。

4. 知能群管理制御方式の効果

3章で提案した知能群管理制御方式の性能評価シミュレーションを行い、下記の項目について比較をした。

(1) 一日の交通流データにおける従来方式と新方式のサービス性能比較

(2) 従来の台数制御方式と新方式の省エネルギー

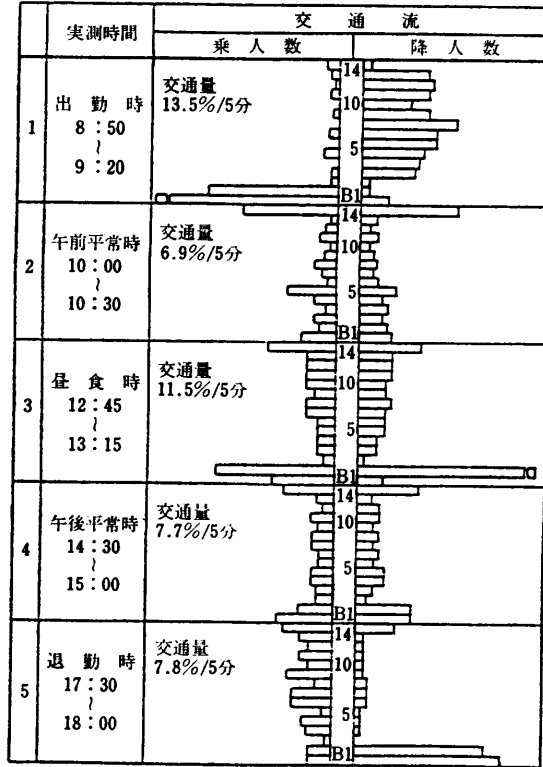


図8 一日の交通流データ
Fig. 8 Traffic flow data in a day.

表1 シミュレーション用データ
Table 1 Simulation data.

項目	条件
エレベータ台数	4台
エレベータ速度	180 m/min
エレベータ定員	23人
サービス階床数	15階床 (B1, 1~14)
ロビー階	1階
シミュレーション時間	30分

果比較

(3) ビル経年変化による従来方式の性能比較

4.1 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、実在の一社占有ビルを選び、その実態調査データをもとに評価を行った。表1と図8にシミュレーション用データを示す。

本ビルは、低層と高層の分割サービス方式を採用しており、図8は低層の交通流データである。そのため高層階用エレベータへの乗継ぎ階となる14階は交通量が多い。また平常時の交通流も5分間当りビル在館人員の6.9~7.7%もあり、比較的混雑していることがわかる。

本シミュレーションモデルでは、エリア制御の各パラメータを下記のごとく設定した。

エリア $E_i=7$ (発生ホール呼びの前後3階床)

$\alpha(E_i)=i$

($i=0, 1, \dots, 6$)

$\beta_0=20$ 秒

$\beta_{\pm m}=\beta_{\pm(m-1)}/2$ 秒 ($m=1, 2, 3$)

とくに、 $\alpha(E_0)$ ($=0$) は、従来の長待ち最小方式であ

り、 $\alpha(E_6)$ ($=6$) は、十分な省エネ運転を可能とするため設定した。なお、エレベータの消費電力は、その大部分を加減速時に費やすことから、ほぼ起動回数に比例することが知られている⁵⁾。そこで性能評価シミュレーションは、簡単にするため消費電力の代りに起動回数を採用した。

4.2 一日の交通流データにおける効果

図9は従来の長待ち最小方式と新方式を乗客の平均待ち時間と起動回数および長待ち発生確率(乗客が60秒以上待たされる確率)で比較したものである。

30分間の性能評価シミュレーションの結果、

① 前述の予想どおり、新方式の平均待ち時間曲線、長待ち発生確率曲線には極小値が存在する。

② さらに、交通流が異なると極小値を与える最適エリア制御パラメータ $\alpha(E)$ も異なる。

ことがわかった。

従来の長待ち最小方式 ($\alpha(E)=0$ の場合) では、どの交通流でも平均待ち時間25~28秒、長待ち発生確率10%と、乗客がいらいらを感じる許容限界値を示している。一方、新方式ではそれぞれの交通流に最適なエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を選択することによって、平均待ち時間は21~23.5秒、長待ち発生確率は3~7.5%と良好な性能を示している。これにより交通流の変化に追従しつつねに最適なエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ のもとで呼び割当て制御を行えば、従来方式よりさらに待ち時間短縮と長待ち発生確率を低減できることを確認できた意義は大きいと考える。

4.3 新しい省エネルギー運転制御の効果

本節では従来の省エネルギー運転制御方式である台数制御方式と新たに提案したエリア制御方式の性能評価を行う。図10は、図8の午後平常時交通流のもとでサービスエレベータ台数を変化させたシミュレーション結果である。

従来の長待ち最小方式 ($\alpha(E)=0$) では、サービスエレベータ台数を5, 4, 3台と変化させると平均待ち時間はそれぞれ19, 27, 52秒と増加している。しかし起動回数は590, 500, 410回/30分と減少している。

このように台数変化により省エネルギーを達成しようとする、サービス性能が急激に悪化するためその制御は非常にむずかしいものとなる。

一方、エリア制御では、サービスエレベータ台数に応じた最適エリア制御パラメータ(5台稼働時 $\alpha(E)=3$, 4台稼働時 $\alpha(E)=4$, 3台稼働時 $\alpha(E)=5$)を設定すると、平均待ち時間は、それぞれ16.5, 23, 46.5

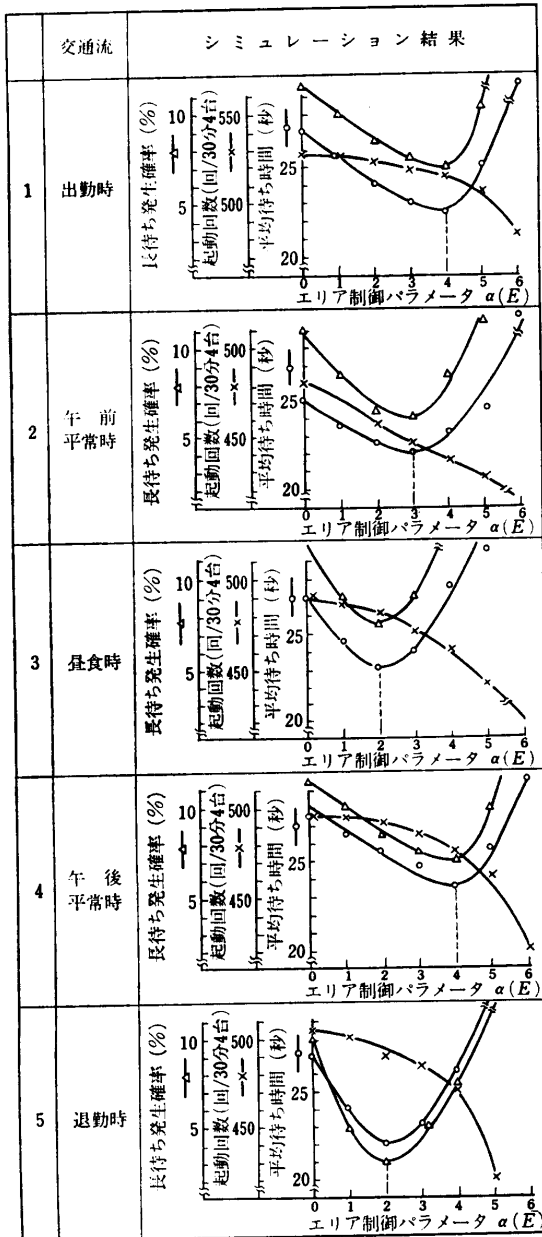


図9 一日の交通流のシミュレーション結果
Fig. 9 Simulation result for traffic flow data in a day.

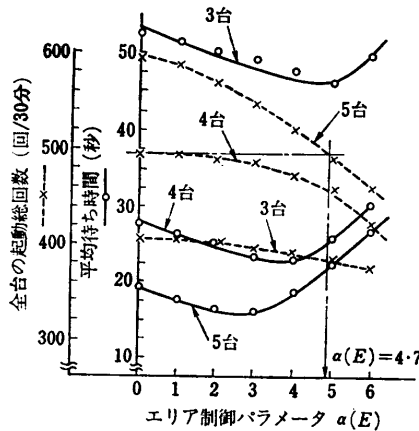


図 10 台数変化のシミュレーション結果

Fig. 10 Simulation result for variety of service elevator cars.

秒となり起動回数は、550, 470, 400 回/30分である。

すなわち、知能群管理方式はサービス台数が変化した場合も、その台数に適したエリア制御パラメータを選択すれば、従来の長待ち最小方式に比較して待ち時間を約 13% 短縮し、かつ起動回数も約 4.5% 低減できることを示している。

次に本節の冒頭で述べたエリア制御による省エネルギー効果を検討する。

すなわち、エレベータ台数を 5 台から 4 台に減らすことにより省エネ運転を行う従来の台数制御方式 ($\alpha(E)=0$ の場合である) とエレベータ台数を 5 台のままエリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を変化させることにより省エネ運転を行う新方式を比較する。

$\alpha(E)=0$ のときエレベータを 5 台から 4 台に減らすと、起動回数は 500 回/30 分で待ち時間は 27 秒となる。一方、エレベータを 5 台のままにして $\alpha(E)$ を 4.7 に設定すると $\alpha(E)=0$ の 4 台稼動時と同一の起動回数 500 回/30 分を実現できる。しかしこの場合の待ち時間は 23 秒である。したがって新方式は従来の台数制御方式に比較して同一省エネ効果を達成するのに待ち時間を約 14% 短縮して実現できる。

このようにエリア制御は、待ち時間の短縮ばかりでなく省エネにも効果があることが確認できた。

その最大の原因は、稼動台数を減らすとそれにつれて、極小値を与えるエリア制御パラメータが大きくなるためである。

一方、エリア制御パラメータは、エレベータのサービスエリアを局所化することによりエレベータをビル内に分散させ、ひいてはエレベータ相互の間隔を時間的等間隔に制御することを目的に導入したものであ

る。すなわち、エレベータのサービスエリアを時間的等間隔にするにたる効果をもつエリア制御パラメータが、待ち時間曲線の極小値を与えていると考えられる。

このことから、エレベータを時間的等間隔にするためには、

(1) エレベータ台数が少ない場合には、各エレベータのサービスエリア間隔を大きく引き離す必要性から $\alpha(E)$ を大きくしたほうがよく、

(2) 逆にエレベータ台数が多い場合には、サービスエリアの相互間隔を小さくする必要性から、 $\alpha(E)$ も小さくしたほうがよい。

以上の考察から稼動エレベータが 5 台から 4 台になると、極小値を与えるエリア制御パラメータは大きくなる。

4.4 ビル経年変化時の効果

ビルの利用形態は、経年的に変化する場合が多い。たとえば地下鉄駅がビルの地下階に設置されたり、隣接ビルと連絡通路が設置されるなどの変化が考えられる。

本節では、ビルの代表的な経年変化の一つである雑居ビルが一社占有ビルに変化した場合のシミュレーションを行った。

一社占有ビルの交通流 c_1 と雑居ビルの交通流 c_2 は、下記の特徴を有している。

$$c_1 = [c_{ij}] \quad (i, j = 1, 2, \dots, F_{\max})$$

ここで、 c_{ij} は単位時間 T 当りに i 階から j 階へ移動する乗客数で、とくにロビー階 ($i=1$) と一般階 ($j=2, 3, \dots, F_{\max}$) 間の交通量 c_{1j}, c_{j1} に比較して、一般階 ($i, j=2, 3, \dots, F_{\max}$) 間の交通量 c_{ij} が多い。

$$c_2 = [d_{ij}] \quad (i, j = 1, 2, \dots, F_{\max})$$

ここで d_{ij} は単位時間 T 当りに i 階から j 階へ移動する乗客数で、とくにロビー階 ($i=1$) と一般階 ($j=2, 3, \dots, F_{\max}$) 間の交通量 d_{1j}, d_{j1} は、非常に多く、逆に一般階 ($i, j=2, 3, \dots, F_{\max}$) 間の交通量が少ない。

エレベータにとっては、ロビー階でホール呼びとかご呼びの一致する確率の高い交通流 c_2 のほうが、良好な性能を示すことが予想される。

図 11 は、図 8 の午後平常時交通流 c_1 と、一般階の行先階をすべてロビー階に変更した交通流 c_2 のシミュレーション結果である。

雑居ビルが一社占有ビルに変化すると、従来の長待

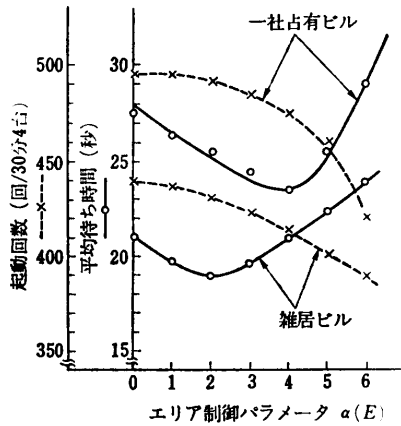


図 11 ビル経年変化シミュレーション

Fig. 11 Simulation result for time varying traffic flow in building.

ち最小方式 ($\alpha(E)=0$ の場合) では、平均待ち時間は、21 秒から 27 秒に増加している。一方、新方式では最適エリア制御パラメータ $\alpha(E)$ を 2 から 4 にすることにより待ち時間は、19 秒から 23.5 秒への増加にとどまっている。一方、起動回数においても、従来の長待ち最小方式ではビルの経年変化に伴い、440 回/30 分から 490 回/30 分に増加しているが、新方式では 430 回/30 分 ($\alpha(E)=2$) から 475 回/30 分 ($\alpha(E)=4$) の増加にとどまっている。

以上より、ビルの経年変化を把握し、新方式による呼び割当て方式を採用すれば、待ち時間は短縮し、起動回数も減少することが明らかとなった。

5. む す び

即時呼び割当て方式を前提とした新たな呼び割当て

方式、および群管理制御方式の重要な評価指標である待ち時間と消費電力を連続的に制御可能なエリア制御を提案した。

新方式は、シミュレータ内蔵によりあらゆる交通流に最適な群管理制御パラメータを自動的に算出して呼び割当てを行うもので、性能評価シミュレーションにより、従来の長待ち最小方式に比較して待ち時間の短縮と省エネ効果のあることを明らかにした。

また、本論文でその有効性が明らかになった新方式を実現するには、ビル内交通流の正確な把握および、異なる特徴を有する交通流を類別して学習することが重要である。

参 考 文 献

- 1) 平沢, 岩坂: エレベータ群の待ち合せ問題, 日立評論, Vol. 54, No. 12, pp. 79-84 (1972).
- 2) 平沢, 葛貫他: エレベータ群管理における呼び割付け方式, 電気学会論文誌C, Vol. 99, No. 2, pp. 1-6 (1979).
- 3) 黒沢, 葛貫, 平沢他: エレベータ知能群管理方式の開発, 情報処理学会第26回全国大会, Vol. 3, pp. 1485-1486 (1983).
- 4) 坂井, 米田, 黒沢, 萩中: 知能群管理エレベータシステムの開発, 日立評論, Vol. 65, No. 6, pp. 43-48 (1983).
- 5) エレベータおよびエスカレータ, 電気工学ハンドブック (1964).

(昭和 59 年 5 月 1 日受付)

(昭和 59 年 9 月 20 日採録)