

# エレベータ・システムの計画と評価

—シミュレーション・プログラムHIESP-IVの応用—

## Planning and Evaluation of Elevator Systems

This article introduces the outline of elevator simulation program, HIESP-IV, developed at Hitachi as a method of elevator planning, and the results of the authors' analysis, in which this program has been applied, of Hitachi's newly developed group supervisory control elevators, CTP-II, for high-rise buildings. Compared with conventional type elevators, these group elevators under supervisory control have achieved to reduce average waiting time in off-peak periods by 24% and the probability of long waiting time over 60 seconds by half. Besides the above quantitative analysis the article also gives some examples of the authors' qualitative analysis.

弓仲武雄\*      Takeo Yuminaka  
 清田輝穂\*      Teruho Seida  
 越智利夫\*\*     Toshio Ochi

### 1 緒 言

ビルにおけるエレベータの交通需要は、出・退勤時および昼食時の急激なピークと、ビルの性格によりきわめて多様な特性を示す平常時などいくつかのパターンがある。これらの交通需要に、エレベータ群がいかにかに輸送能力を発揮し、サービスに努めるかは、ビル計画頭初の綿密なエレベータ計画と、エレベータ制御性能のほかに、群管理方式の機能の良否にか

かっている。特に、近年、ビルの超高層化、巨大化に伴って、ビルの機能の多様化、交通需要の増加が進み、ビル計画時点でのエレベータ設置計画がますます重要視されている。

これらに対し、日立製作所ではすでに昭和38年に電算機によるモンテカルロ・シミュレーションによる待合せ問題の研究を発表<sup>(1)</sup>し、昭和42年には霞が関ビルのエレベータ計画に、出勤時の交通需要の過渡解を求めた<sup>(2)</sup>。続いて、昭和43年には平常時の交通需要の解析を含むエレベータ・シミュレーション・プログラムを独自で開発し、HIESP-IV(Hitachi Elevator Simulation Program, Version IV)として集大成した。このプログラムは、定常、過渡とも、一日中の交通需要のいずれもが解析できる万能プログラムで、すでに数多くの超高層ビルをはじめとし、一般ビルのエレベータ設置計画に実用した。これについては高層住宅用エレベータ計画の一例としてすでに発表<sup>(3)</sup>した。

これらはいずれも、エレベータ設置計画への応用であるが、一方、HIESP-IVは後述するように、エレベータの動きを忠実にシミュレートしているため、群管理エレベータのシステムとしての評価を求めることができる。したがって、従来、ともすれば観念的に評価されがちであった群管理システムの性能・機能を的確にとらえることができ、改良・開発に対して有効な指針となっている。

HIESP-IVは、今回、開発した予測制御システム(CIP/IC)あるいは新群管理(CTP-II)などの開発時点で、各種の交通需要条件に対する評価を行ない、より良い群管理システムの実現のバックボーンとしても活躍しているので、ここに実例をもってその概要を紹介する。

### 2 HIESP-IVの概要

#### 2.1 シミュレーションモデル

エレベータのシミュレーションにおいては、図1に示すように時々刻々変化する乗客系のシミュレーションと、その乗客による交通需要に応じた、エレベータ系のシミュレーションを、同時に進めなければならない。

乗客系では、乗客を乗客平均到着間隔により発生し、ホール呼び、ホールでの待ち行列を作成して、目的階比率に応じ

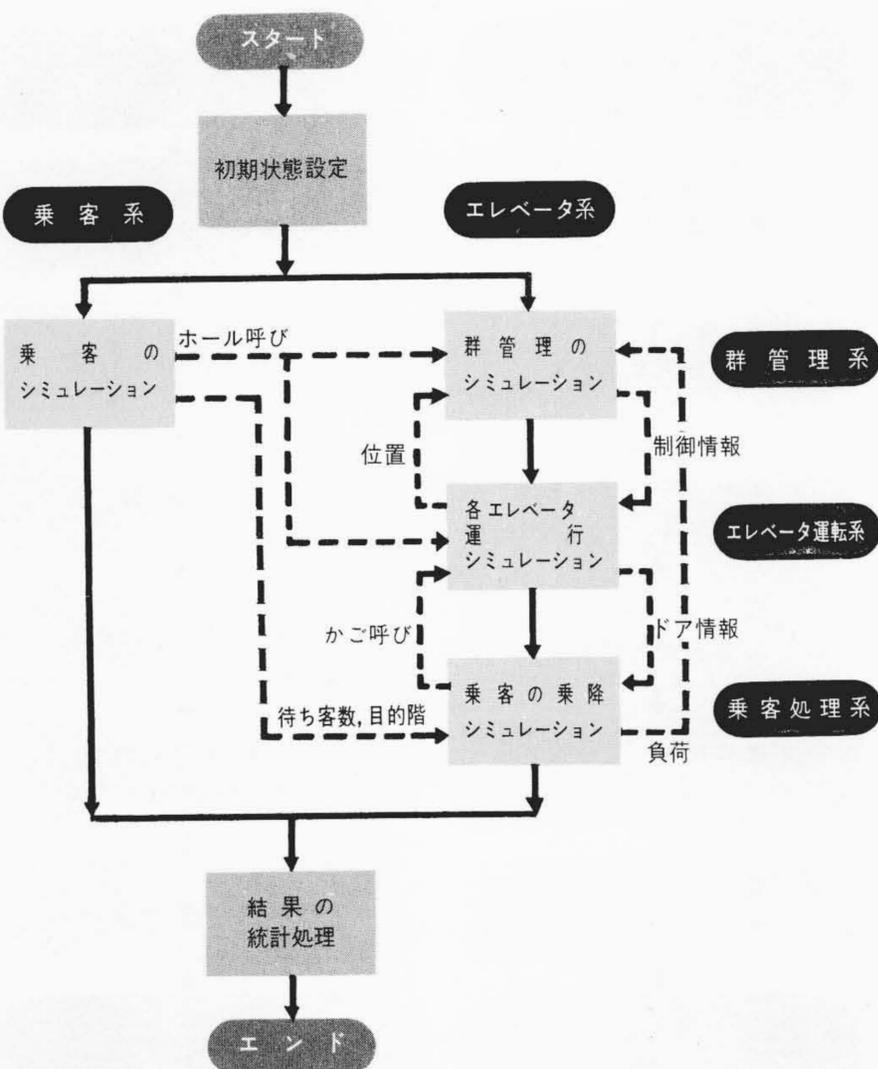


図1 シミュレーションモデル エレベータのシミュレーションモデルは乗客系、エレベータ系から成り、同一の時間管理のもとで互いに有機的に結合して、シミュレーションを実行する。

Fig. 1 Simulation Model

\* 日立製作所水戸工場      \*\* 日立製作所日立研究所

た目的階を与える。

一般に実際のビルでは、後述するように時刻により交通需要が大きく変化する。このためシミュレーション上でも、時刻的に変化する交通需要を入力できるように考慮しており、出勤時、昼食時、退勤時の集中率が大きく変化する時間帯に対しても、容易にシミュレーションが可能である。

また乗客の到着分布については、一般的にポアソン分布を使用してシミュレーションを行なっている。乗客の到着分布には、ポアソン分布のほか、複合ポアソン分布<sup>(2)</sup>、あるいは集団到着などの概念がそのビル内の交通需要の特徴として実態調査の結果に基づいて導入されている。しかし一般にはビルにおける乗客到着分布がポアソン分布により代表できることや、乗客到着分布がサービスに及ぼす影響が少ないことなどの理由から、一般ビルの解析にはポアソン分布を適用し単純化した。

このように作成された交通需要に対し、忠実に計算機内にシミュレートしたエレベータを追従させてシミュレーションを行なっていく。

まずビルの性格、規模により各種の群管理制御方式が採用されているため、各種の群管理方式のシミュレーションを行なって、エレベータ運転系へ制御情報を伝える。エレベータ運転系では、乗客系から与えられたホール呼び、乗客処理系から与えられたかご呼び、群管理制御系から与えられた各種制御情報により、エレベータの出発、停止の時間管理、各階床での停止、通過および反転などの管理を各エレベータに対して行なう。乗客処理系では、エレベータ運転系からドアの開閉情報を受け取り、乗客の乗車および降車の処理を行なう。

以上のようなモデルで、乗客-エレベータ系を時間的にシミュレートし、設定した時間の間の各種データを集計して出力している。

まず、出勤時においては、一般的に始業時刻前30分間に在館人員の50~90%程度の乗客が集中し、この前後では集中率が低いいため、この30分間をシミュレートすれば、ほぼエレベータのサービス能力を検討できる。

一方、平常時には、交通需要を特定の値にモデル化し、特にピーク交通需要は設定せず、シミュレーションを行なうケースが多い。これは、実際のビルにおいても、平常時には特に大きなピークを生じないこと、同一の交通需要でのシミュレーションにより、シミュレーション解の信頼性が増すことによる。もちろん、平常時における交通需要の可変値をモデル化することも可能であることはいうまでもない。この条件での長時間シミュレーションにより、かなりの信頼性でエレベータのサービス能力の判定ができる。しかし実際には、計算時間とのかねあいがあるため、30~60分のシミュレーション時間で結果の検討をしている。

また昼食時に対しては、各ビルにおいてかなりの特殊性が存在するため、特に標準的なシミュレーション時間、交通需要のピーク設定条件は設けず、個々のビルの特性に合わせてシミュレーションを行なっている。

## 2.2 HIESP-IVの概要

HIESP-IVは、前述のようにエレベータシステムの専用シミュレーション・プログラムで、多階床の超高層ビル、あるいはスカイロビー方式のシャトル、ローカルエレベータの同時シミュレーションなど、大きなエレベータシステムのシミュレーションも可能である。表1はプログラムの規模を示すものである。

### 2.2.1 プログラム構成

表1 HIESP-IVの規模 HIESP-IVのプログラム規模を代表例で示した。  
Table 1 Feature of HIESP-IV

項目	規模
プログラムステップ数	4,000ステップ
所要語数	440KB
ルーチン数	46
使用言語	FORTRAN+ASSEMBLER
処理時間	約5分/ケース

HIESP-IVは大別して、四つのプログラムから成り立っており、それらは乗客系、群管理系、エレベータ運転系、乗客処理系である。これらのプログラムは互いに有機的に結合され、各種のデータの受渡しを行なっている。

#### (1) 乗客系 (図2)

このプログラムでは、乗客の到着時刻に達すると、その乗客に対し乱数を使用して、目的階比率により目的階を割り当てる。さらに方向を演算して、方向別に待ち行列を作り、ホール呼びをセットする。次に入力で指定された乗客平均到着間隔および分布に従った乱数により、次の乗客の到着時刻を設定する。

#### (2) 群管理系 (図3)

このプログラムは、群管理方式により処理が異なるが、本

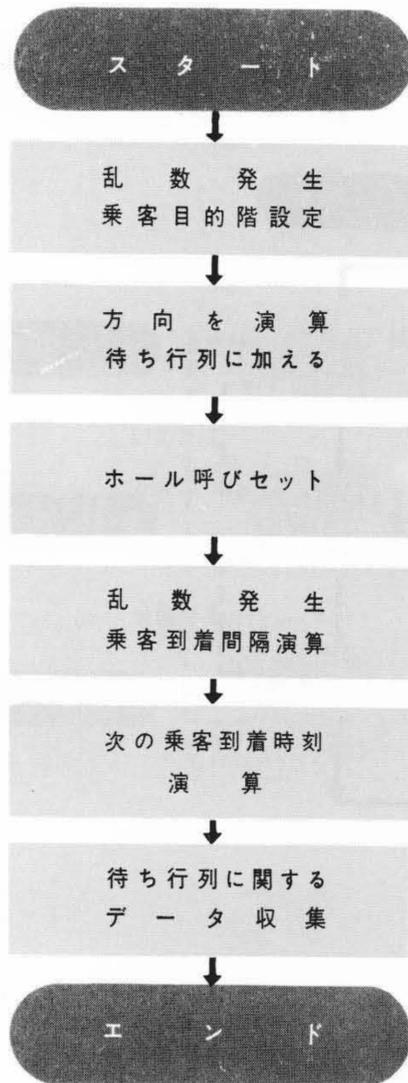


図2 乗客系フローチャート  
シミュレーション対象のビルの特性により設定した、交通需要データに基づき、乗客を発生してエレベータ系へ呼び情報を与え、乗客情報の管理を行なう。

Fig. 2 Flowchart of Passenger Model

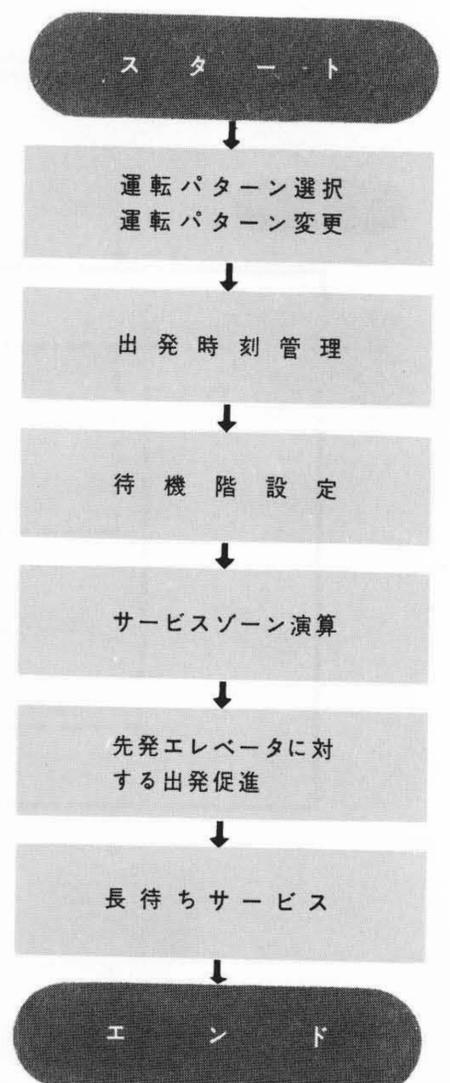


図3 群管理系フローチャート  
交通情報、エレベータ相互関係によるエレベータの運転パターンの選択、各種の群管理制御を行なう。群管理方式により各種のオプションを選択してシミュレーションを実行する。

Fig. 3 Flowchart of Group Supervisory Control Model

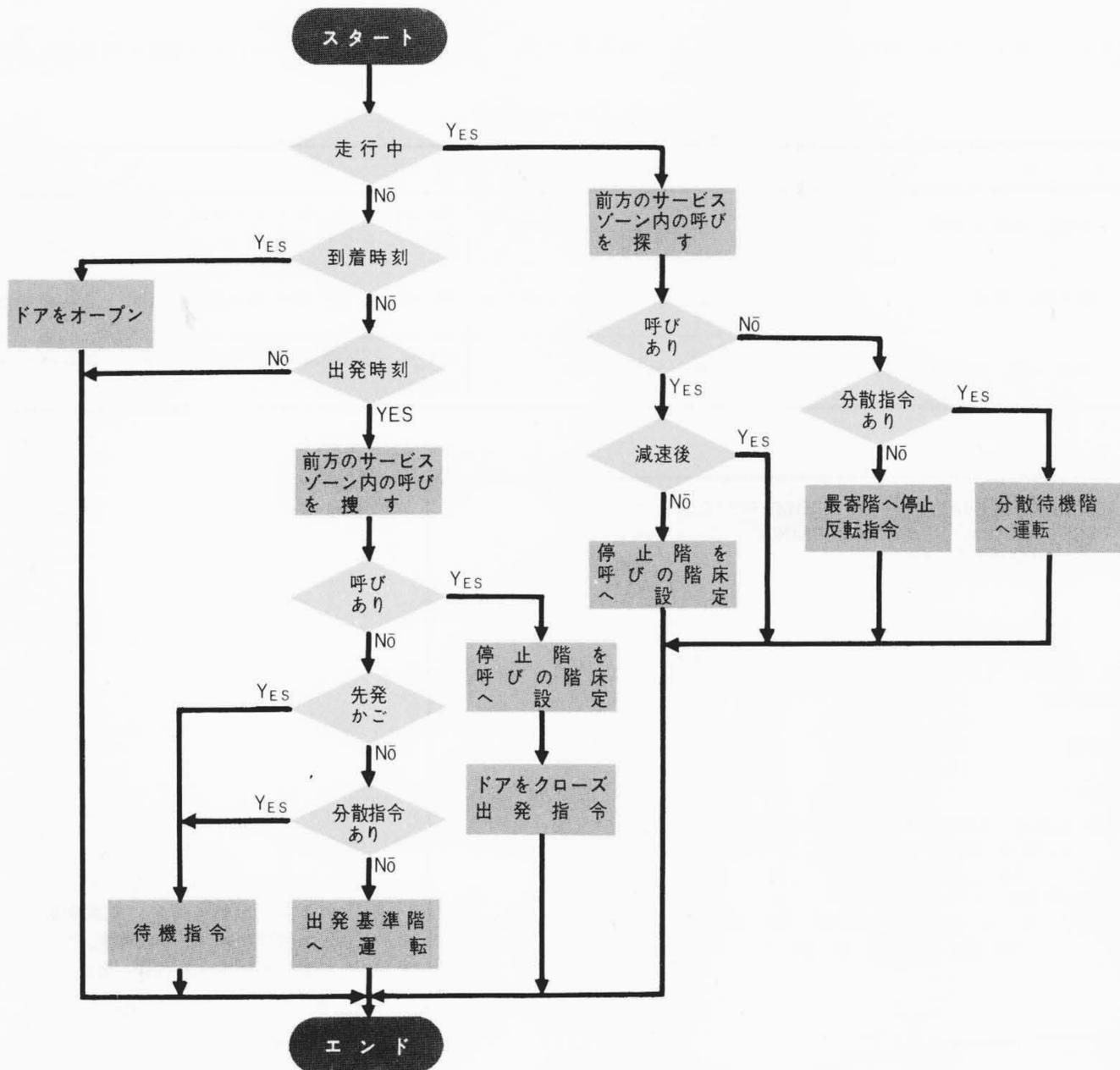


図4 エレベータ運転系フローチャート 各エレベータの出発、減速、停止の動作を群管理系からの情報、乗客系からの呼びにより処理し、ドア情報を乗客処理系へ与える。

Fig. 4 Flowchart of Elevator Operation Model

プログラムでは、各オプションを選択する方式を採っている。代表的なものを説明すると、まず交通需要およびエレベータの負荷などの情報により、運転パターンを検出し、パターンが変更したときは、各種の運転パラメータ、制御情報を設定する。すなわち、出発基準階での先発エレベータ選択、分散階への分散指令、エレベータの相互位置に基づくサービスゾーンの割当てなどを行なう。また必要があれば、他のエレベータが出発基準階へ接近すると、先発エレベータの出発時刻を短縮し、長待ちが発生すると、優先サービスなどの運転指令を与える。

(3) エレベータ運転系 (図4)

このプログラムでは、他のプログラムからの呼びおよび制御情報により、個々のエレベータの運転を忠実にシミュレートする。

停止すべき呼びを決定し、停止階への到着時刻を演算する。呼びがないときは、かごにより待機の処理、あるいは出発基準階への復帰の処理を行なう。また到着時刻になると、乗降可能な情報を乗客処理系へ伝える。

(4) 乗客処理系 (図5)

エレベータが乗降可能な状態になると、かご内乗客の目的階を調べ、降車の処理を行ない、かご呼びのリセットを行なう。またホールでの待ち客のうち同方向で、目的階をそのエレベータがサービスする客のみを乗車させ、かご呼びをセットする。この乗降する人数により乗降時間を演算し、ドア不

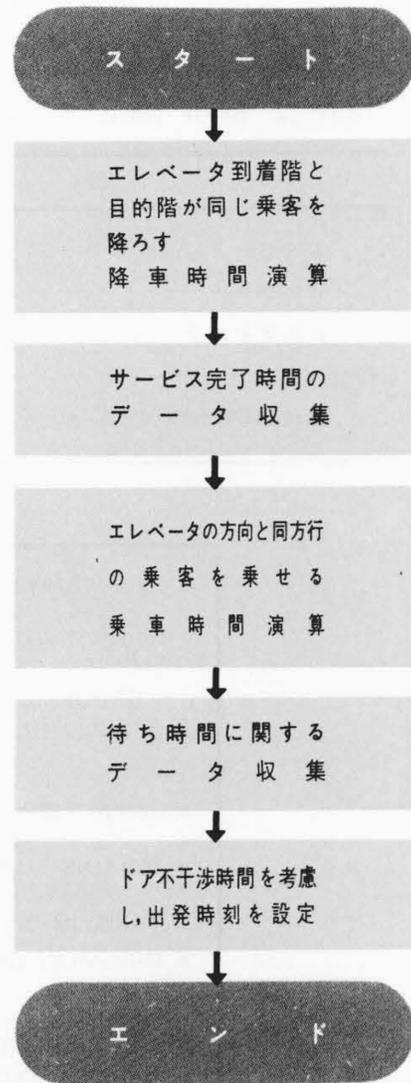


図5 乗客処理系フローチャート エレベータ運転系からのドア情報により、乗客を乗降させる処理を行なう。この時点で重要なサービス指標である待ち時間などを取りだす。

Fig. 5 Flowchart of Passenger Processing Model

干渉時間を考慮して出発時刻を設定する。

2.2.2 HIESP-IVの入出力

HIESP-IVではシミュレーションを簡単にするために、各種パラメータはプログラム中で定義し、入力データは必要最小限でかつ十分な項目に限定してプログラミングするよう工夫した。特殊仕様のないシミュレーションでの入力データは表2のとおりである。

交通需要データは、一例として、平常時の各階の層間需要を含めた複雑な各階床における交通量の違い、階床相互間の交通需要の違いを処理するため、 $i$ 階から $j$ 階への単位時間の交通量を $A(i, j)$ の形のマトリックスで扱っている。このデータから各階床での乗客平均到着間隔および乗客の目的階比率を演算し、シミュレーションを行なっている。

これらの入力データによるシミュレーションにより、各種の出力データを得ている。この出力データによりエレベータシステムの評価を行なうわけであるが、表3はその代表的な項目を示すものである。

これは、サービスの指標となる待ち時間、サービス完了時間、エレベータの輸送能力の指標となる待ち客数、かご内乗客数などが主であるが、さらにエレベータの運行線図を出力できるので群管理制御の評価には重要なデータとして使用している。

これらのシミュレーションの各種評価指標は、1枚のシミュレーション出力紙にまとめ検討を容易にしてある。出勤時などの混雑時

表2 入力データ 特殊仕様のないエレベータシステムに対するHIESP-IVの入力データである。

Table 2 Input Data

分類	項目
エレベータに関するデータ	台数, 速度, 定員
ビルディングに関するデータ	階床数, 階高
交通需要に関するデータ	在館人員, 5分間交通需要

表3 出力データ HIESP-IVのシミュレーション結果の代表的なものを示した。

Table 3 Output Data

分類	項目
サービスに関するデータ	平均待ち時間, 最大待ち時間, 待ち時間度数分布, 平均サービス完了時間, サービス完了時間度数分布
輸送能力に関するデータ	平均待ち客数, 最大待ち客数, 平均かご内乗客数
その他のデータ	エレベータ運転線図, 平均一周時間, エレベータ停止数

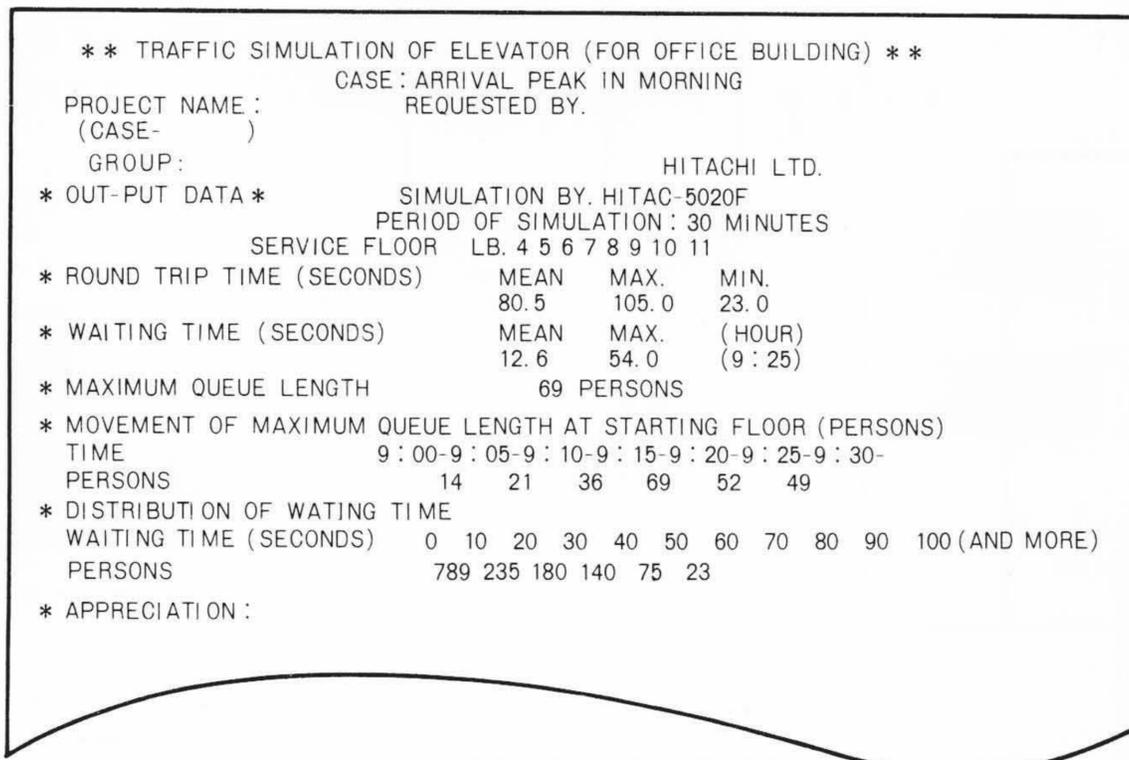


図6 シミュレーション出力 (出勤時) 出勤時のシミュレーションにおける、標準出力フォーマットである。出勤時において重要なサービス指標である、待ち時間、待ち客数を主にレポートを作成している。

Fig. 6 Simulation Output Data (Up-Peak)

と、平常時では評価指標が異なるためフォーマットが異なっているが、一例として図6に出勤時のシミュレーション出力を示す。

### 2.3 シミュレーションの評価

HIESP-IVは、エレベータ設備計画の評価および群管理制御の性能評価に使用しているが、このシミュレーション結果の評価手法について考察する。

#### 2.3.1 評価指標

シミュレーション結果の評価指標に使用する評価指標について説明する。

##### (1) 待ち時間

エレベータのサービスで最も重要視されるのが待ち時間である。待ち時間はビルの機能に影響し、また乗客に待つことの心理的負担をかけるため、一般のオフィスビルでは30秒以下であることが望ましい。

一方、平均値が短くても、長待ち呼びの発生確率が高いことは明らかにサービスの質を低下していることを表わすため、待ち時間のばらつき(分散)を知る必要がある。エレベータのサービスにおいては、待ち時間のばらつきが少ない状態が良いサービスである。この指標としては、平均待ち時間のk倍(k=2, 3)以上となる長待ち発生確率 $Pr(\geq kW_m)$ で評価するが、一般に待ち時間が60秒以上になると乗客の不満が大きくなることから、便宜上60秒以上の待ち時間を生じた長待ち確率をも使っている。この指標は5%以下が望ましいサービスである。

##### (2) 待ち客数

待ち客数は混雑時において問題になってくる。この指標では、特にエレベータホールの面積の制約から、最大値が問題とされる。最大待ち客数の評価としては、当然ホール面積の

問題もあるが、サービスの面からグループエレベータ台数の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ のかごに乗り込める人数、すなわち積残し回数がこの台数程度<sup>(2)</sup>で押えることが必要である。

#### 2.3.2 評価における問題

シミュレーション結果を評価するにあたって、注意しなければならない問題について考えてみる。

モンテカルロ手法によるシミュレーション結果は、エレベータの仕様および交通需要によって決定される母集団からのサンプリングという形で与えられるため、標本データの平均あるいは分散は、標本数が無限でない場合には、母集団の平均値、分散との差を生ずる。このためシミュレーション時間を長くし、十分な標本数を取るとともに、結果の評価に対して、標本と母集団の違いを考慮する必要がある。

平均待ち時間についての標本データの区間推定法は、待ち時間分布がほぼ指数分布とみなせるので、次式で表わせる。

$$\frac{2n}{X_{2n}^2(\alpha)} \cdot \bar{x} < \mu < \frac{2n}{X_{2n}^2(1-\alpha)} \cdot \bar{x}$$

ここで、  
 $\alpha$  : 危険率  
 $n$  : 標本数  
 $\bar{x}$  : 標本平均  
 $\mu$  : 母平均

出勤時あるいは昼食時のように交通需要を可変にしてシミュレーションを行なった場合には(過渡解)、母集団が過渡的に変化するため標本数が見かけ上少なくなり、解の信頼区間が広がる。

また、エレベータの運転状態が交通需要に大きく影響される場合、すなわち、群管理がうまくいかない状態では、ある種の同期現象が生じ解の信頼性が低下することも考えられる。

### 3 交通需要モデル

ビルにおけるエレベータに対する交通需要は、ビルの性格、ビルの環境、ビル内の各種施設の配置により大きく異なっている。また時間によっても、その交通量および性格（トラフィックフロー）が大きく変化する。図7はオフィスビルにおける日中の交通需要の一例を示すものである。

オフィスビルにおいては、朝の出勤者による昇り中心のピーク交通需要(出勤時)、昼のビル内の社員食堂、レストラン利用者、あるいは外出者により、時間的にずれをもった昇降の2方向のピーク交通需要(昼食時)が生じ、さらに夕方には退勤者による降中心のピーク交通需要(退勤時)が生ずる。またこれらの間には時間的にはかなり変動するが、2方向の交通量がほぼバランスのとれた交通需要(平常時)と夜間の間欠的交通需要(閑散時)が存在する。

エレベータの性能および仕様の評価条件は、これらの交通需要を十分サービスできることであるが、設定した交通需要が実際の需要とへだたりがあれば、シミュレーションは無意味なものになってしまう。このため次に、最もピークの高い出勤時、2方向交通需要で交通量も多い昼食時、事務時間中であるため最もエレベータの機能が重要視される平常時の代

表的な交通需要の三つのパターンの特質について考えてみる。

#### 3.1 出勤時

従来から出勤時間帯に対しては、交通計算、シミュレーション手法<sup>(4)</sup>などにより、エレベータサービスの解析が進められている。これは、出勤時のエレベータ輸送能力が、エレベータの仕様を決定すると考えられたこと、また出勤時においては、交通需要が出発基準階から一般階への一方向交通であり、解析が容易であったことなどによる。図8はこの出勤時における交通需要の一例を示すものである。本図では5分間にロビーへ到着する人員数を在館人員比で表わしている。

一般的に会社の始業時刻の10~20分前に最大のピークを生じ、エレベータにとって過酷な状態が生ずるが、この状態はビルの用途、外部交通機関との関係などから種々の需要がある。このため、出勤時に対しては図9のように各種の交通需要モデルを作成し、ビルの特性により交通需要を設定することができる。

また最近の超高層ビルは、ビルの多様化、すなわちマルチテナント化によって、出勤時にも始業時刻の差により2方向交通需要が生ずるケースがあり、この点も考慮して解析を行なう必要もある。

#### 3.2 平常時

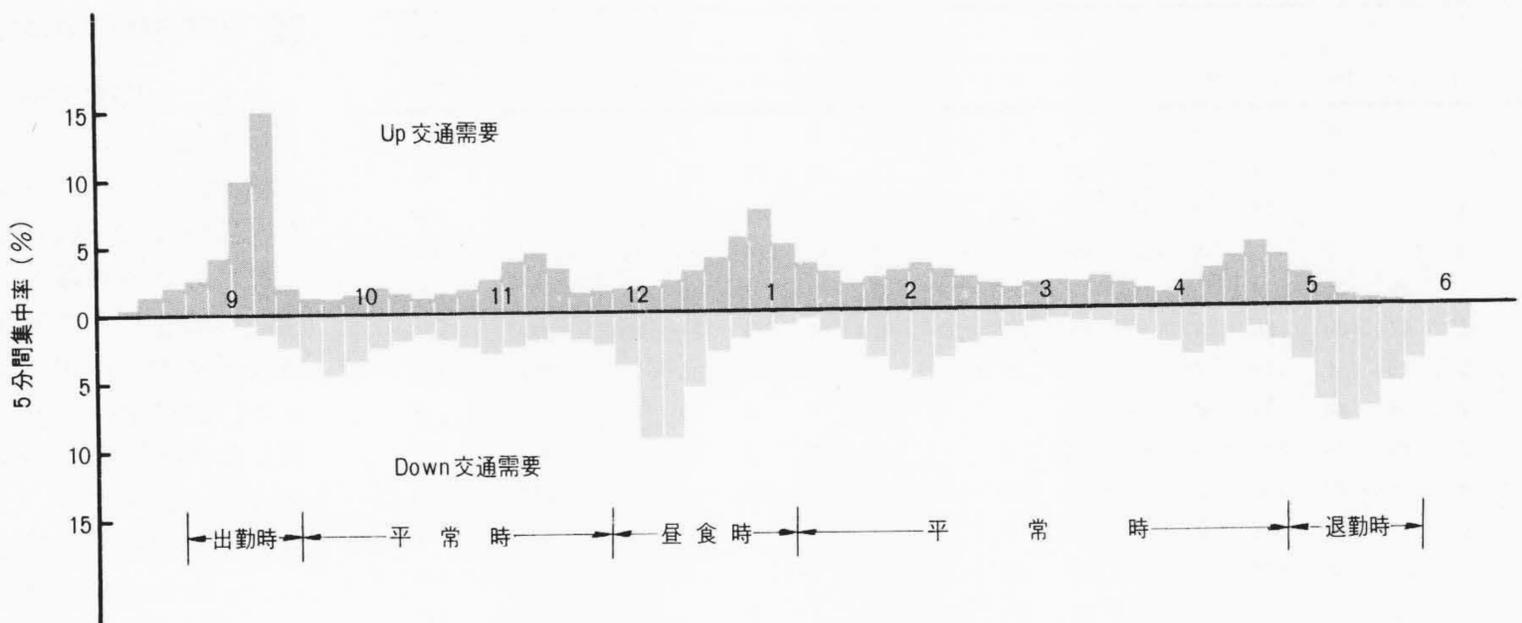


図7 1日の交通需要 オフィスビルにおいては、日中に、出勤時、昼食時、退勤時の大きなピーク交通需要が存在し、その間に2方向のバランスした平常時が存在する。これらは運転方向、階床間でのばらつきが時々刻々変化するため、群管理制御の良さが問われる。

Fig. 7 Traffic Demand in One Full Day (Office Bldg.)

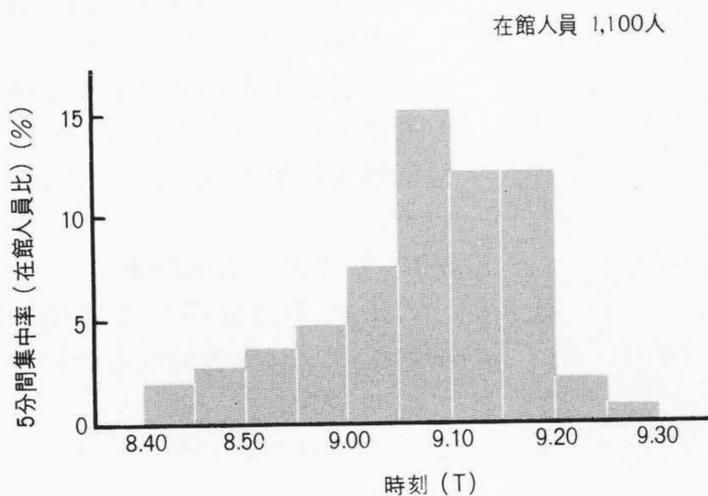


図8 出勤時の交通需要 在館人員1,100人のビルにおける出勤時の交通需要例である。最大15%のピークが生じ、エレベータにとって過酷な交通需要である。

Fig. 8 Traffic Demand on Up Peak

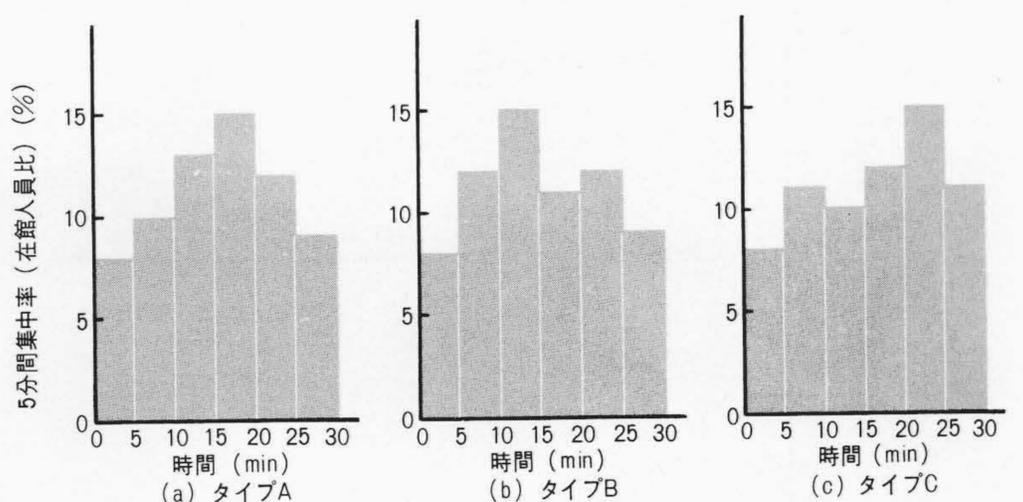


図9 出勤時交通需要モデル 出勤時の交通需要は、ビルの環境、テナントの種類などにより、大きく異なる。このため、シミュレーションには、各種の交通需要モデルを設定して、ビルの特性により選択する。

Fig. 9 Traffic Demand Model on Up Peak

平常時には、交通量は少ないがトラフィックフローがロビーとの往復交通、一般階での階床相互間の交通需要（インターフロアトラフィック）、特殊階への往復交通など2方向交通需要が存在する。このため解析がむずかしく、従来簡単な交通計算で処理してきたが、最近シミュレーションによる手法および待合せ理論による手法<sup>(3)</sup>を開発し、平常時に対する解析が容易に行なえるようになった。

さらに超高層ビルにおいては、階段の使用はむずかしくビル内の縦の交通がほとんどエレベータによって行なわれるため、事務時間中の大部分を占める平常時のエレベータの機能がいっそう重要視されるようになった。

このためエレベータの設備計画の段階で、平常時の解析が従来の出勤時以上に重要なものになってきた。

表4は平常時における交通需要の一例を示すものである。本表は平常時の7時間に、ある階床（乗込階）からある階床（目的階）へ移動した人員を集計した実測値である。これらを5分間の交通需要で表わすと、4.2%（在館人員比）になり、出発階交通需要50.1%、インターフロア交通需要49.9%で構

成される。

またあるビルでは、5分間交通需要5.8%で、出発階交通需要64%、インターフロア交通需要は36%であった。

これらのデータから平常時に対しては、交通量の時間的変動に対する余裕を考慮して、5分間交通需要6%を標準と考え、インターフロア交通需要をビルの性格により、全交通需要の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 程度に見積りシミュレーションを行なっている。また個々のトラフィックフローは各階床の在館人員にリンクして設定することもできるが、特殊階などがある場合、前述したマトリックス法によって直接入力することもできる。

### 3.3 昼食時

昼食時には、食堂利用客あるいは外出者がある時間をもった往復の交通需要として存在し、また時間帯が短いため交通量も大きく時には、出勤時以上のピークを生ずる。このためビルの交通需要中、エレベータにとって最も過酷な条件となっている。このため最近では昼食時に対するエレベータの輸送能力を解析することも重要な課題となってきた。

図10はこの昼食時における交通需要の一例を示すものであるが、食堂階の有無および規模などにより大きく変わるため、個々のビルの特性を十分分析して設定する必要がある。

## 4 HIESP-IVの応用例

今までにHIESP-IVを使用して、ビル建設時のエレベータ設備計画の検討、エレベータ群管理方式の性能評価などを行なってきた。

それらのうちおもなものとしては、一般オフィスビルにおける各種交通需要に対するシミュレーション、超高層ビル向けに新しく開発した予測制御システム(CIP/IC)、スカイロビー方式、ダブルデッキ方式エレベータに対するシミュレーションあるいは高層アパートにおける各種エレベータサービス方式に対するシミュレーションなどがある。

ここでは数多くのシミュレーション解析の一例として、高層ビル用に各種の新しい管理制御を導入したCTP-II方式につきその性能の検討結果を紹介する（上述したCIP/ICシステムについては別稿に解析結果を述べたので参照されたい）。

### 4.1 CTP-IIの概要

CTP-IIに採用した各種の制御方式のうち代表的なものについて説明する。

#### (1) ディレクショナル・ゾーニング・システム

閑散時においても、エレベータをサービス階床の中で適正な間隔をもって分散待機させるとともに、ホール呼びに対するサービスゾー

表4 平常時の交通需要(人/7時間) 日中の7時間の間各階床間を移動する乗客数を実測したものである。

Table 4 Traffic Demand on Daytime

	目 的 階														合 計 (人)	在館人員 (人)	
	B3	B2	B1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R			
乗 込 階	B3		3	36	15	5	5	2	4	2	2	0	6	9	2	91	12
	B2	1		8	37	36	25	22	22	15	11	12	25	22	3	239	45
	B1	3	5		21	28	100	78	56	65	58	67	57	102	11	651	134
	1	9	9	10		13	113	203	104	253	170	182	114	143	11	1,334	66
	2	1	26	20	8		11	12	65	73	0	0	2	46	7	271	199
	3	5	27	80	85	3		12	23	53	3	4	4	21	9	329	226
	4	0	13	56	147	7	0		11	10	5	15	7	30	2	303	265
	5	3	18	44	109	42	15	0		6	1	2	6	20	1	267	116
	6	0	18	75	210	71	33	8	2		0	2	2	16	1	438	197
	7	0	4	48	176	0	5	5	2	0		4	30	9	1	284	205
8	0	10	45	205	0	5	19	1	7	0		0	0	0	292	172	
9	4	27	37	102	1	2	13	9	0	17	1		0	0	213	134	
10	0	28	91	121	56	26	23	27	20	4	3	0		5	404	117	
R	3	2	3	9	5	3	5	1	0	4	0	0	0		35	4	
合 計	29	196	553	1245	267	343	402	327	504	275	292	253	418	53	5,151	1,892	

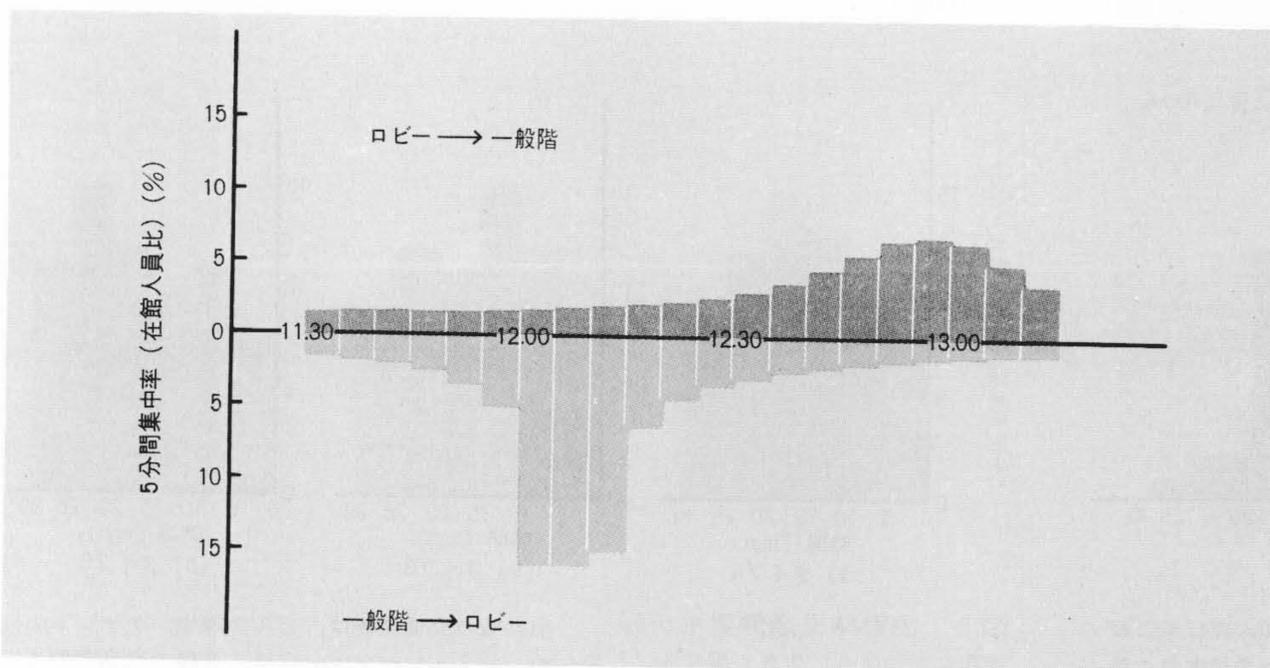


図10 昼食時の交通需要 昼食時には、一般階と食堂階、ロビーとの間に大きなピーク交通需要が生ずる。この時間帯には、同時に2方向の大きな交通需要が存在し、エレベータにとって最も過酷な状態の一つである。

Fig. 10 Traffic Demand in Lunch Time

ンを決定して、必要最小限の台数で迅速なサービスをするようにしている。

(2) ディレクショナル・チェーン・システム

サービス階床の上層および中層に、適正な間隔で分散階を設定し、エレベータを分散運転させ、エレベータ相互の運転間隔を適当に保つよう管理する。またエレベータの相互位置に関連づけてサービスゾーンを決定し、各エレベータはサービスゾーン内のホール呼びに応ずる。

4.2 シミュレーション条件

今回のシミュレーションでは、一般的なオフィスビルを仮定して行なった。これらの条件は表5に示すとおりである。この条件を使用してCTP-II方式におけるディレクショナル・ゾーニング・システムと、ディレクショナル・チェーン・システムの効果を検討した。

ディレクショナル・ゾーニング・システムの検討には比較的閑散な交通需要である状態、すなわち5分間交通需要1%、ディレクショナル・チェーン・システムの検討には標準的な交通需要として、5分間交通需要6%と仮定してシミュレーションを行なった。この交通需要を個々のトラフィックフローに分けると、表6のようになる。一般階でのエレベータ利用は、在館人員に比例し、また乗客の目的階比率も在館人員に比例するものとした。

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 ディレクショナル・ゾーニング・システムの検討

ディレクショナル・ゾーニング・システムの効果を、それを採用した群管理方式(以下CTP-II)と、採用しない従来の群管理方式の比較によって確認した。

ここで使用した交通需要は、前述のように1%/5分であり、全階床での乗客の到着間隔は10.7秒/人、さらに各階床について見ると、ロビーでは42.9秒/人、一般階では200秒/人で夜間の閑散時ほどではないが、日中の交通需要としては閑散な状態である。このような交通需要は一般のオフィスビルにおいて、出勤時の直後、あるいは退勤時の前などに比較的発生しやすい。またホテルにおいてのチェックイン、チェックアウトの少ない日中に生ずる。

この時間帯においては、エレベータの能力にゆとりがあるため良好なサービスができるが、交通需要に見合った、さらにより良いサービスが望まれる。

表7はこの条件における各種のサービス指標を示すものである。従来の方式においても、平均待ち時間10.7秒、全階床

表7 シミュレーション結果(交通需要1%) 同一の条件でディレクショナル・ゾーニング・システムの効果を比較している。

Table 7 Result of Simulation

運転方式	全階平均待ち時間 (s)	全階長待ち確率 (>60")	サービス完了時間 (s)	一般階平均待ち時間 (s)	一般階長待ち確率 (>60")
従来の方式	10.7	0%	26.6	15.4	0%
CTP-II	6.1	0%	21.7	8.9	0%

注:シミュレーション時間=1時間

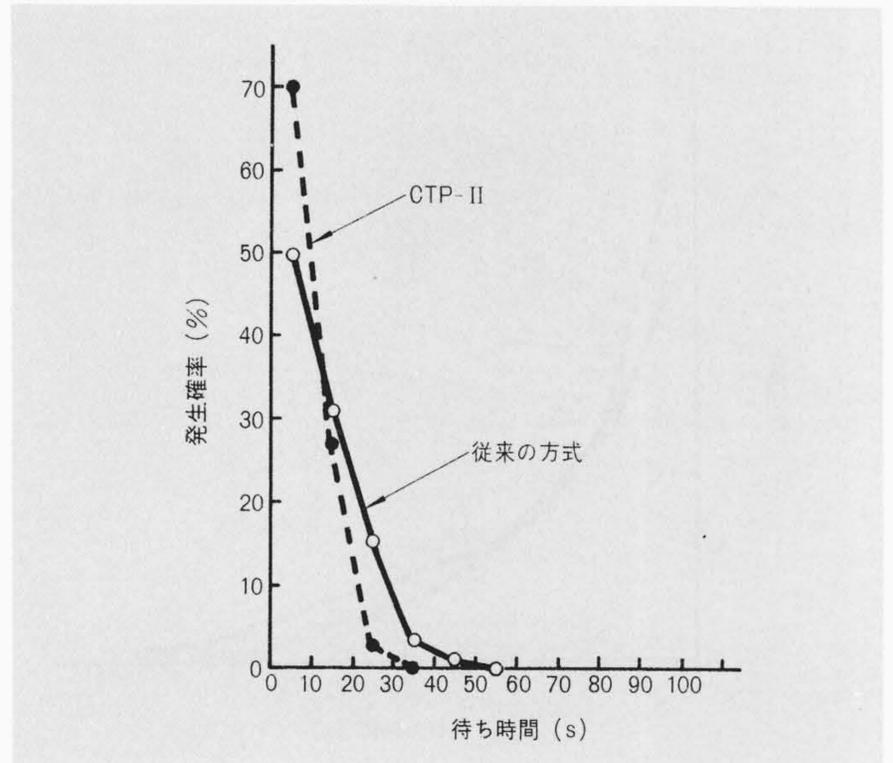


図11 待ち時間度数分布(交通需要1%) 交通需要1%における、CTP-IIと従来の方式との待ち時間度数分布を比較した。ディレクショナル・ゾーニング・システムの効果により、大きくサービスが向上している。

Fig. 11 Distribution of Waiting Time

での60秒以上の長待ち確率0%と評価しては良好なサービスが期待できる。

しかしCTP-IIでは、平均待ち時間において6.1秒と43%短縮し、さらにサービス完了時間においても26.6秒から21.7秒へ14%短縮している。また一般階(ロビーを除いた階床)での平均待ち時間については、15.4秒から8.9秒と42%短縮した。

このデータのうち代表的な待ち時間を10秒単位の度数分布で表わしたものが図11であり、これらから従来の方式とCTP-IIの差異が明確に示されていることがわかる。

これはディレクショナル・ゾーニング・システムの分散待機により、間欠的にホール呼びが発生したとき、ホール呼びとエレベータとの相互距離が短いことによるものである。

4.3.2 ディレクショナル・チェーン・システムの検討

ディレクショナル・チェーン・システムを前項と同様に、それを採用したCTP-IIと採用しない従来の群管理方式の比較によって効果を解析した。

ここで使用した交通需要6%/5分では、乗客の到着間隔はロビーで7.2秒/人、一般階では33.3秒/人と、ほぼオフィスビルにおける日中の平常時での時間的に変化する交通需要を平均化したものに相当している。

表5 シミュレーション条件 HIESP-IVの応用例に使用したモデルエレベータシステムの仕様である。

Table 5 Simulation Specification

項目	仕様
エレベータ速度	210m/min
エレベータ台数	6台
かご定員	20人
サービス階床	15(1~15)
階高	3.60m/階
在館人員	200人/階

表6 交通需要 ビルにおける館内交通需要は、出発階との交通需要と階層間交通需要が同時に発生し複雑なトラフィックになる。表はその一例をモデル化したものである。

Table 6 Traffic Demand

トラフィックフロー	構成比(%)
ロビー→一般階	25
一般階→ロビー	"
一般階→一般階(昇)	"
一般階→一般階(降)	25

表8 シミュレーション結果(交通需要6%) 同一の条件でディレクショナル・チェーン・システムの効果を比較している。

Table 8 Result of Simulation

運転方式	全階平均待ち時間 (s)	全階長待ち確率 (>60")	サービス完了時間 (s)	一般階平均待ち時間 (s)	一般階長待ち確率 (>60")
従来方式	24.8	9.9%	60.6	27.3	11.2%
CTP-II	18.8	4.4%	52.3	21.5	5.3%

注:シミュレーション時間=1時間

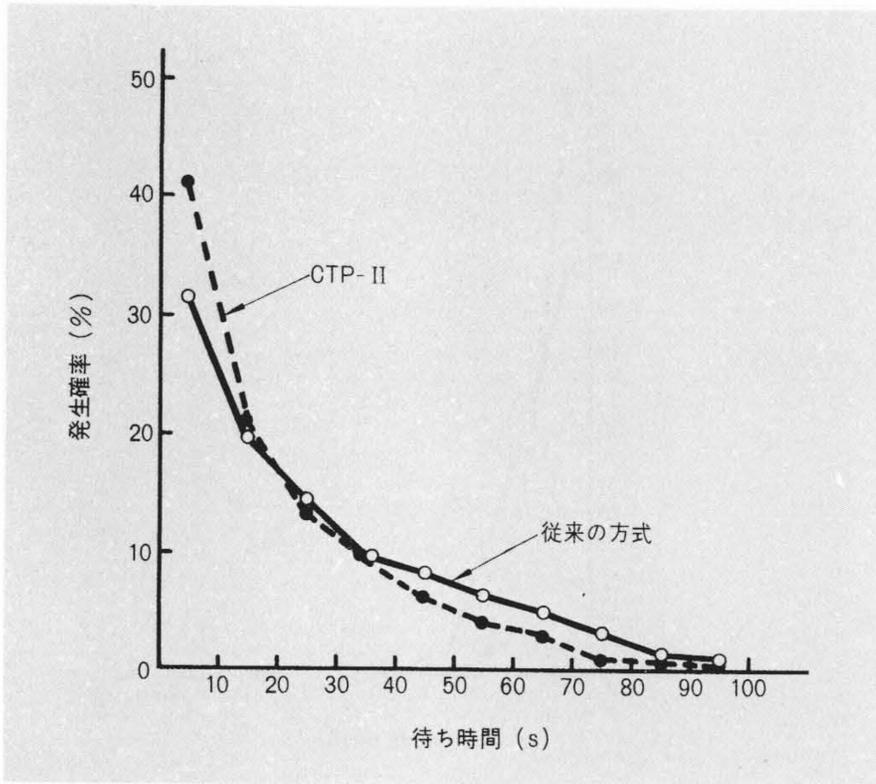


図12 待ち時間度数分布(交通需要6%) 交通需要6%における、CTP-IIと従来方式との待ち時間度数分布を比較した。ディレクショナル・チェーン・システムの効果により、平常時においても大きくサービスが向上している。

Fig. 12 Distribution of Waiting Time

```

** TRAFFIC SIMULATION OF ELEVATOR (FOR OFFICE BUILDING) **
TRAFFIC: TWO-WAY AND INTERFLOOR
REQUEST BY:
PROJECT NAME: TEST
(PLAN-) GROUP:
HITACHI LTD.
*OUT-PUT DATA *
PERIOD OF SIMULATION: 60 MINUTES
* ROUND TRIP TIME (SECONDS) MEAN MAX. MIN.
115.4 211.0 15.0
* WAITING TIME (SECONDS) MEAN MAX. MEAN EX. ST. FLOOR PROBAILITY(3* MEAN)
18.8 92.0 21.5 8%
* DISTRIBUTION OF WATING TIME WATING TIME (SECONDS)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 TOTAL AVERAGE
(FLOOR NUMBER) (AND MORE)
1 301 72 50 32 10 6 3 4 0 0 478 10.8
2 38 21 16 11 9 5 0 0 0 0 100 18.8
3 46 26 11 6 7 3 0 0 1 0 100 16.0
4 32 29 17 11 9 4 6 3 0 0 111 23.2
5 28 20 12 12 10 6 4 0 1 0 93 23.1
6 39 25 12 9 7 6 2 0 0 0 100 18.8
7 34 27 10 14 7 3 4 0 1 1 101 21.5
8 35 18 19 12 6 4 6 0 1 0 101 21.5
9 33 22 17 11 14 5 5 2 0 1 110 24.2
10 37 18 9 13 6 6 5 0 0 0 94 21.1
11 41 36 18 12 8 7 6 0 0 0 128 20.9
12 29 17 18 10 1 6 2 0 3 1 87 23.1
13 36 16 12 8 12 7 6 1 0 0 98 23.5
14 29 26 16 6 5 5 6 1 1 0 95 22.3
15 27 30 21 19 6 4 2 2 2 0 113 23.1
NUMBER OF CALLS(TOTAL) 785 403 258 186 117 77 57 13 10 3 1909
* APPRECIATION:
    
```

図13 シミュレーション出力 平常時シミュレーションにおける、標準出力である。平常時において重要なサービス指標である、待ち時間、長待ち確率を主にレポートを作成している。

Fig. 13 Simulation Output Data

この条件でのサービス指標は表8に示すとおりである。全階床での平均待ち時間は18.8秒と従来方式の24.8秒に比較して24%短縮している。長待ち確率においても9.9%から4.4%へと大きく減少する。

このようにCTP-IIでは、待ち時間20秒以下、長待ち確率5%以下と良好なサービスができる。一方、サービス時間についても60.6秒から52.3秒へと短縮し、一般階のみについても大幅にサービスが向上している。図12は待ち時間の度数分布で、本図においてもCTP-IIと従来方式の差が明確に表われている。図13はCTP-IIのシミュレーション出力を示すものである。

このようにディレクショナル・チェーン・システムは、分散運転、サービスゾーンによる呼び分割制御により、エレベータを分散でき、待ち時間を短縮できるとともに、不必要な停止がなくなるためサービス完了時間も短縮できる。

以上、HIESP-IVを使用して、ディレクショナル・ゾーニング・システム、ディレクショナル・チェーン・システムを採用したCTP-II群管理方式の効果を検討してみたが、大きな効果が十分あることを確認できた。

### 5 結 言

以上、エレベータ・シミュレーション・プログラム(HIESP-IV)の概要について述べ、その応用例についても言及した。

今後、ビルの設備計画の経済性のうえに立って、エレベータ計画はなおいっそうの厳密性が要求されている。この場合、ここで述べたシミュレーション手法は事前検討のきわめて有力な手段であることはいままでのまではないが、さらに次々と開発される群管理システムの評価の事前解析は、現状ではシミュレーション手法が唯一のものといえよう。

しかし、シミュレーション手法は、文中にも述べたとおり、モンテカルロ法を採用している限り、統計的な信頼区間を容認しなければならぬこと、これの処理にはかなりの電子計算機の演算時間を必要とすることなどの問題もあり、計画

初期から、やみくもに本手法で解を求めることよりも、従来方式の机上計算でいくつかのケース・スタディを実施し、その代表的な幾ケースかの比較検討を行なうことにより大きな効果が期待できる。

本論文の内容をご理解をいただき、関係各位の本プログラムの有効な活用を願えれば幸いである。

### 参考文献

- (1) 越智, 犬塚ほか: 日立評論 45, 1447 (昭38-9)
- (2) 池田, 犬塚ほか: 日立評論 49, 1013 (昭42-10)
- (3) 弓仲, 関田ほか: 日立評論 53, 985 (昭46-10)
- (4) 犬塚, 越智 : 日立評論 47, 404 (昭40-2)
- (5) 平沢, 弓仲ほか: 日立評論 53, 528 (昭46-6)