

全自動群管理エレベータ特集

全自動群管理エレベータの発展とその展望	61
エレベータ群の予測制御システム—CIP/ICの開発—	67
高層ビル用エレベータの群管理	74
エレベータ群の待合せ問題—平常時におけるサービスの解析—	79
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—	85

全自動群管理エレベータの発展とその展望

Development of Automatic Group Supervisory Elevator Control and Its Future

In recent years as buildings become extremely multi-storied and large scaled at a rapid pace, the automatic group supervisory control system is required to have diversified functions and display higher performance than before. In compliance with such needs, Hitachi has developed a forecasting control system which is epoch-making as a system approach to the problem of passengers' waiting time in off-peak periods, and it incorporates the basic theoretical technique developed based on the statistic analysis. This system has succeeded in improving the operating efficiency of elevators through its floating service system. Also, Hitachi has developed CIP/IC system. This is provided with a novel signal system devised for answering calls from the waiting passengers in the elevator halls. This invention is the first of its kind in the world and has solved the irritation of passengers in waiting.

This article describes the outline of the development of these new systems and some views on future development.

犬塚 績* Isao Inuzuka

弓仲武雄* Takeo Yuminaka

池田瑛司** Eiji Ikeda

1 緒 言

超高層ビルは従来の十数階程度の高層ビルに比べてビル内収容人口が飛躍的に増大し、交通需要の変動要因もビル内外の諸条件と複雑に関連することが多いため、ビル内の効率的な運転に対して建築計画段階からビル全体の交通システムとして取り上げ慎重な検討が必要である。

日立製作所は昭和33年、わが国の特殊事情を考慮した独特の全自動群管理方式を開発して以来、すでに約1,000台に及ぶ納入実績をあげてきた。これらの貴重な実績に対して最近の計画上の動向を反映させ、さらに望ましい将来の全自動群管理方式に発展させるために、多数の統計的データを基盤とした理論的解析によるアプローチが絶対に必要である。特に、長年、解析困難とされていた平常時におけるエレベータ群の待ちの解析技法を確立したが、さらに超高層化のための機能の多様化を織り込んで計画し設計することが重要であり、かつ、システム技術化に関する新機軸を生み出さねばならぬことが明らかになった。

今回、開発した全自動群管理方式CIP/ICは絶えず乗客群の交通需要をリアルタイムで情報処理し、総合的に判断した指令すなわち予測制御によってエレベータ群としての迅速な応答を行ない、かつ案内灯表示による予報信号によって呼びに応ずるエレベータを即時予告し、待ち客の心理的効果も解決した世界最初の新方式である。本論文では、これらの開発に至るまでの発展の概要を述べ、さらに将来への展望にも言及した。

2 全自動群管理のシステム化

昭和39年8月に完成した、東京・紀尾井町の地上17階のホテル・ニューオータニは、改正建築基準法（昭和38年）を適用した超高層ビルの第1号である。続いて昭和43年4月にオ

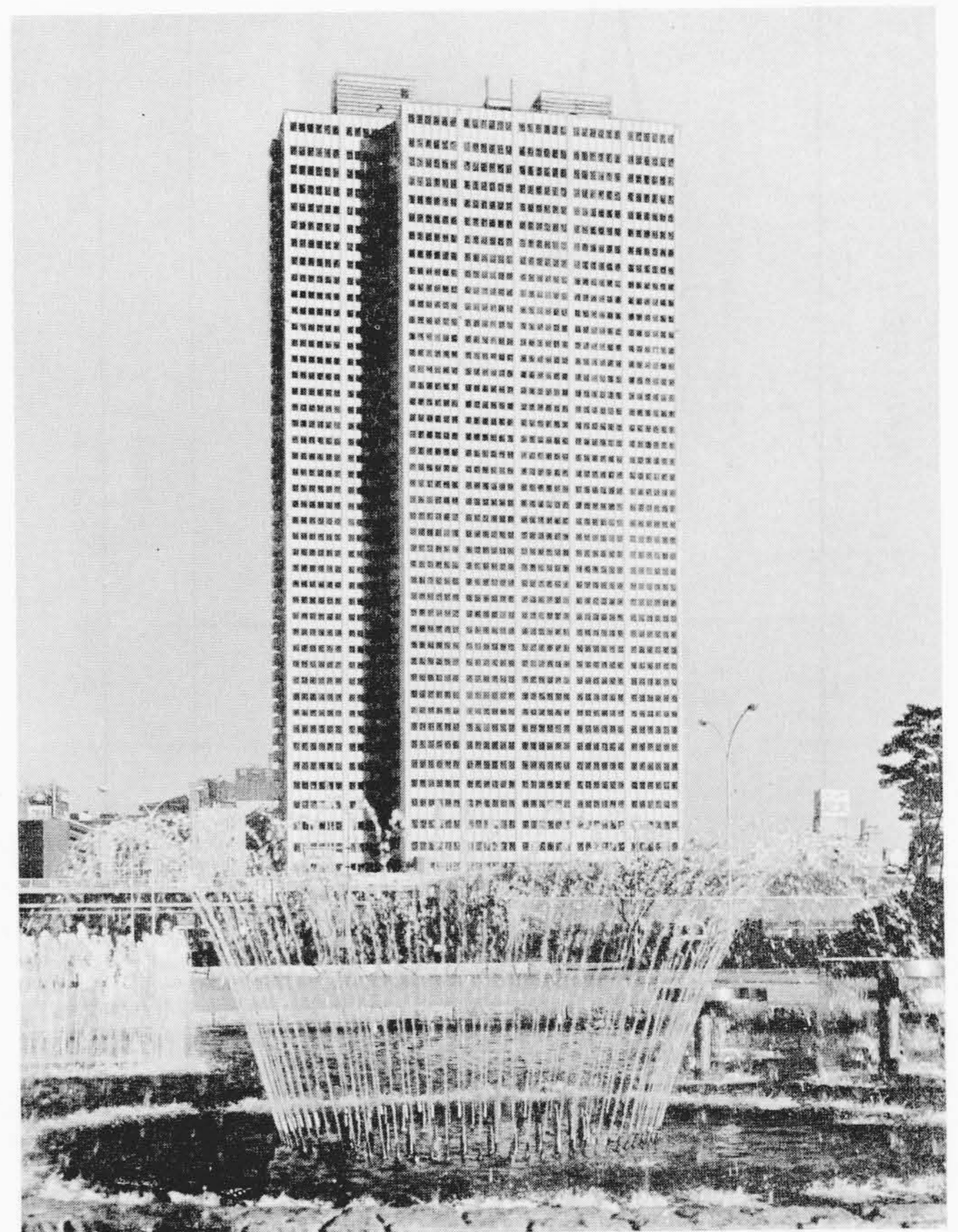


図1 京王プラザホテル 超高層ビル時代の今日、高さの記録は次々に更新されていく。

Fig. 1 Keio Plaza Hotel

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所機電事業本部



図2 エレベータ・ホール 「乗りやすいエレベータ」が利用者に望まれる (京王プラザホテル)。

Fig. 2 Elevator Hall (Keio Plaza Hotel)

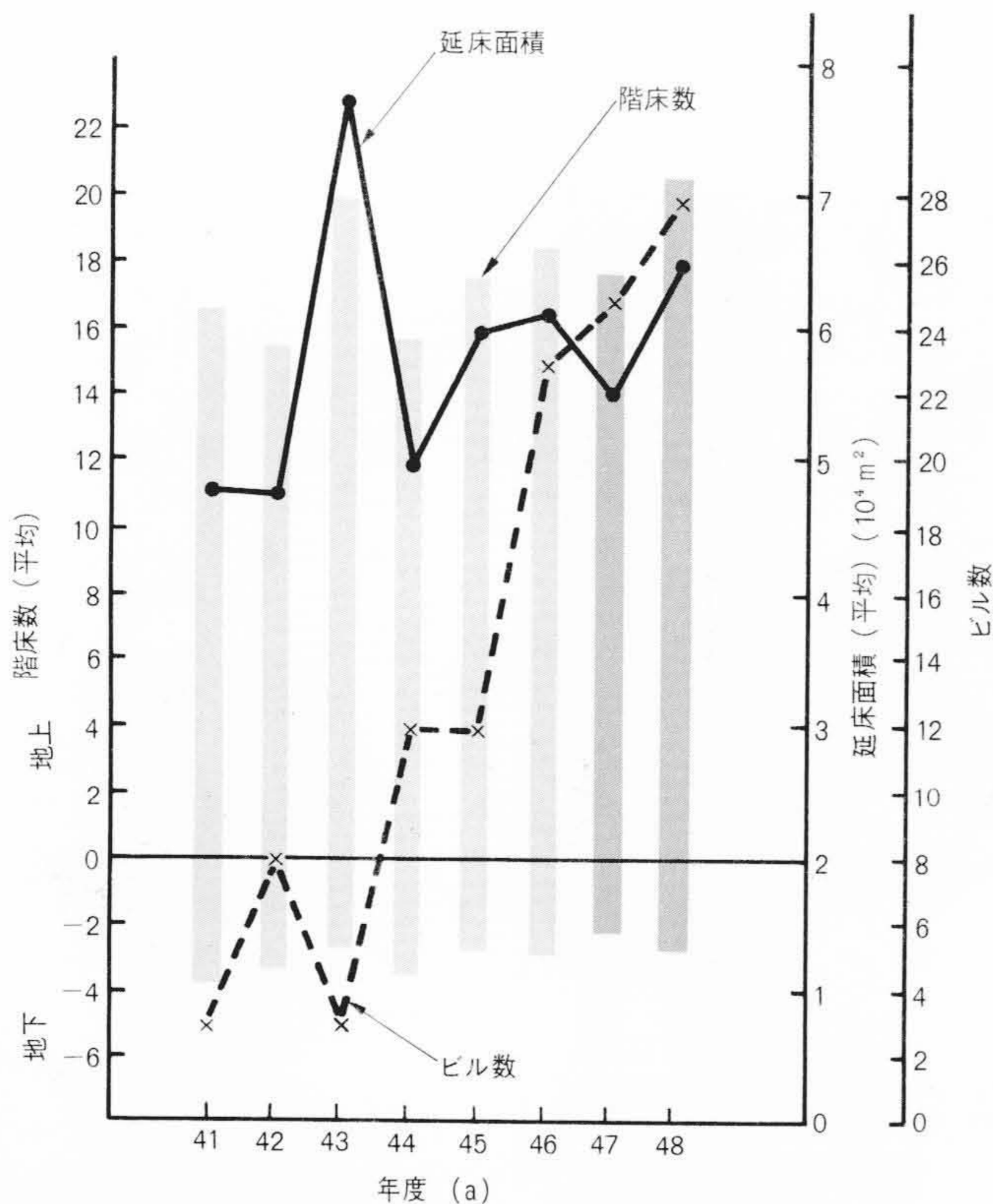


図3 高層ビル建築推移 年ごとにビルは高層化、大規模化していく。図はビルの完成年度別に示したものである (昭和47年3月調査)。

Fig. 3 Trend Chart of High Rised Buildings

オープンした霞が関ビルは本格的な超高層化計画として喧伝(けんでん)された超高層ビルで、わが国の都市再開発に輝かしい第一歩をしるしたものである。これを契機に、超高層ビルの高さは30階クラスから50階クラスまで短期間で飛躍的に伸び、新宿新都心には世界最高級の京王プラザホテルをはじめとして、ニューヨークの摩天楼に匹敵する超高層ビル群でスカイラインを一変することも間近に迫りつつある。

図3に、わが国における高層建築物の推移を示した。この

図から、昭和43年は上述した霞が関ビルの完成により、ピーク値を示しているが、その後、景気の変動とともに若干低下したとはいえ、高層ビルの建築数は年々上昇している。しかも、延床面積もしだいに増加するとともに、平均階床数もほぼ延床面積に比例して増加しているなど、ビルの高層化、大規模化が着実に増加傾向をたどっていることを表わしており、超高層ビル用高速エレベータ群の全自動群管理化の重要性は一段と高まりつつあることを実証している。

一方、これらの推移とともに、エレベータ技術の進歩もめざましく、世界的水準で高速化、高性能化に対処しつつある。特に、超高層ビル内の収容人口の増加と、ビル用途の多様化は交通需要の母集団とその変動量が従来のビル以上に増大、複雑化するため、建築計画とエレベータ設置計画などを綿密に検討し、さらに運転効率を主眼としたエレベータ群の全自動群管理化の望ましい新方式についての総合的な検討が重要である。これはシステム化が重視されている現在の時勢に適合した新たな問題である。

したがって、エレベータのサービス状態に大きく影響する条件の中で、テナントの分布、外来客の需要、昼食時の輸送条件など、わが国の国情を示す交通需要の傾向に対して解決することが必要であるが、さらに実際にビルが運営されたのちの変動も考えられるので、エレベータ計画で得られた必要最小限のエレベータ台数、仕様により期待どおりの運転効率をあげるためには、交通情報処理と群管理運転上に必要な、高度化された全自動群管理方式を開発することが緊急となってきた。

3 日立全自動群管理方式の発展

日立製作所では、昭和30年にわが国最初の自動管理方式を導入し、エレベータ相互に背側呼びを分担して効率化を図る全自動並列運転方式⁽¹⁾を開発し、丸紅本社ビルに納入した。引き続き昭和33年に当時最も懸念されていた出勤時のピークを自動的に解決する分割急行運転方式を採用した日立独自の6パターン全自動群管理方式(商品名: ATP=Autogram Traffic Pattern)を開発⁽²⁾し、国産技術によるエレベータ全自動群管理システムの第一歩をしるした。この結果、外国に比べて出勤時、昼食時に混雑していた大事務所ビルでもわが国の国情に合った全自動群管理化によって、従来、管理者や運転手の人為的な努力で果たし得ない効果が実証できた。

続いて、昭和38年には電子計算機による交通需要の統計的解析結果を群管理システムに導入した8パターン全自動群管理方式(商品名: CTP=Computomatic Traffic Programing)を開発⁽³⁾し、現在のエレベータ全自動群管理方式の原型を確立したが、これは、ビルの大形化が進むとともに、エレベータの管理台数も増加し、このため1バンク2グループ運転など新しい運転方式を強化したものである。また、待ち客の焦慮する心理状態を解消するために到着灯に先立って先行エレベータを絶えず表示する先行灯案内方式をも開発し(昭和40年)、後述する予測制御による迅速な応答とサービス案内灯によるエレベータサービス予報方式(CIP/IC)の先駆となった。しかし、変動因子の多いエレベータ群の全自動群管理運転には当時のソフト、ハード両面の制約から飛躍的な成果は得られなかった。

一方、運転方式の発展との協調によって多くの群管理装置の高度化、高信頼度化を進め、たとえば、昭和43年にはエレベータ出発時間調整装置(基準階からの出発時間を、他のエレベータの運転状況に合わせて自動調整する装置)を、昭和

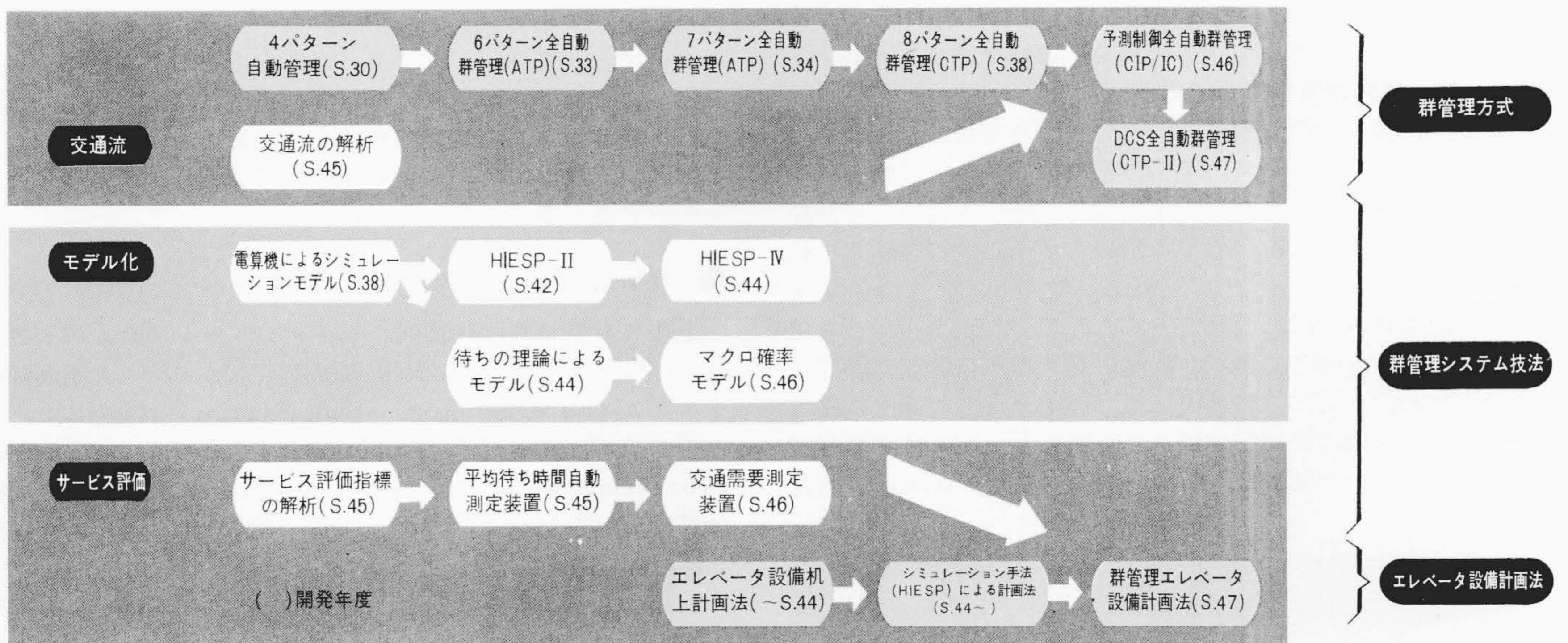


図4 日立全自動群管理エレベータのシステムズ・アプローチ 群管理システムの開発は、理論解析、シミュレーション、評価など総合的なシステムズ・アプローチを必要とする。

Fig. 4 System Approach to Hitachi Automatic Group Supervisory Elevators

44年には、学習機械の理論による画期的なパターン識別装置を開発⁽⁴⁾した。これらの代表例としてあげた後者の装置はエレベータ群に対する乗客の交通需要を的確に分析、判断して最も効率よい運転パターンを識別指令する管理装置であり、本装置により、リアルタイムで情報処理が可能となり、CTP方式の機能を飛躍的に向上させたものである。

4 予測制御システムへのアプローチ

すでに述べたとおり、エレベータ群管理システムは、建築技術の発展とともに進歩してきた。ことに、霞が関ビルを契機とするわが国のビルの超高層化への急速な建築革命により、ビル設備としてのエレベータの役割の重要性と、エレベータサービスに対する評価の変化などから、従来の全自動群管理方式に対して、システム化と高度化が特に必要となったわけである。

日立製作所では、これらの需要動向をいち早くとらえ、画期的なエレベータ予測制御システムの開発を図るため、ビル内の交通流の把握(はあく)、エレベータ群のダイナミックな挙動のモデル化、サービス状態の定量的な把握など、システ

ム技法によるアプローチを試みた。これらの日立全自動群管理システムの開発過程を図示すると図4のようになる。すなわち、ベーシックといわれている4パターンの単純な方式から予測制御方式化した今日に至るまでに、計画に必要なシミュレーション手法や納入後の全自動群管理機能の定量的な評価技法に至るまで一連のシステム技術としての研究推進を行なったものである。

4.1 エレベータ・シミュレーション (HIESP-IV)

エレベータ交通は、複雑でかつ、時々刻々変動する交通需要と、それに依存した複数台のエレベータの動きが関連した“待合せ問題”となる。これらの詳細な解析のため、日立製作所では、電子計算機による、モンテカルロ・エレベータ・シミュレーションを独自で開発してきた。これらはHITAC 5020F/5020によるエレベータ・シミュレーションプログラム、HIESP-IVに集大成されている。

このHIESP-IVは当初、エレベータ設置計画のために開発したものであるが、このプログラムは、エレベータの動きを忠実にシミュレートしていることから全自動群管理方式の開発と発展に対して重要な役割を果たしている。

4.2 理論解析

上述のシミュレーション手法と並行して、エレベータ乗客の交通流の理論解析、待ちの理論、マクロ確率モデルによるエレベータ群のモデル化、ならびにエレベータサービス評価指標の確立など多くの新しい分野の理論解析を行なった。これらは群管理システム開発の礎となっている。

たとえば、マクロ確率モデルによるエレベータ群のモデル化は、図5で示すとおり、純理論的な待合せ理論と、前述のシミュレーションの中間に位置するもので、シミュレーションよりも短い処理時間でしかも統計的に信頼性の高い

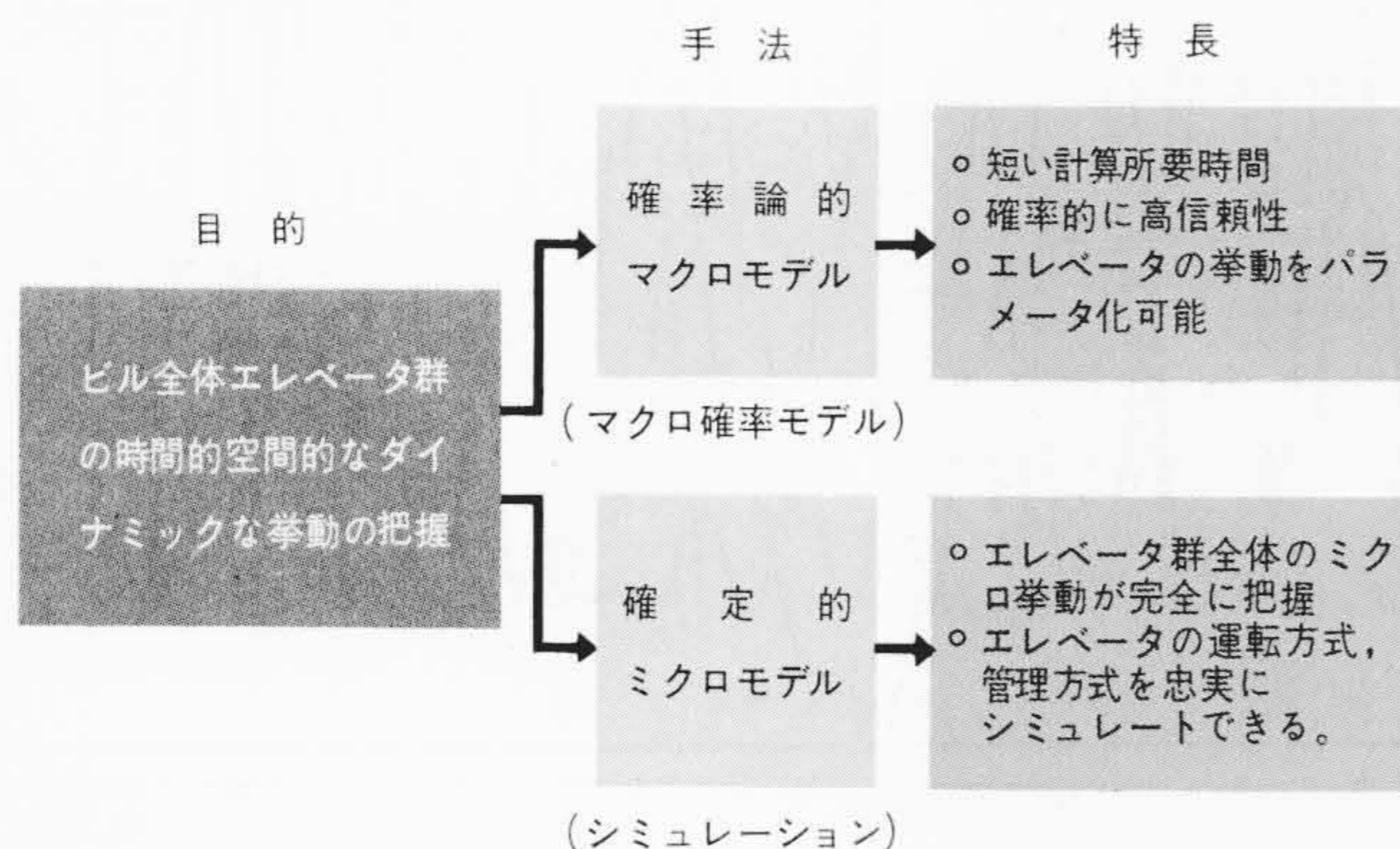


図5 マクロ確率モデルとシミュレーションによるエレベータ群の挙動解析 複雑なエレベータ群のダイナミックな挙動は、理論モデルとシミュレーションモデルの二つのモデルにより効率よく解析する。

Fig. 5 Elevator's Dynamic Analysis by Macrocosmic Probability Model and Simulation Method

ビル内エレベータ群の挙動解析が行なえるもので、HIESP-IVと合わせて、群管理システムの定量的評価に活用している。

4.3 サービス評価指標と測定手法

さきに、全自動群管理システムの良否を定量的に評価するサービス評価指標として、平均待ち時間 (W_m) と長待ち確率 ($Pr(W \geq kW_m)$)、すなわち平均待ち時間の k 倍以上の長待ちをする乗客の全客数に対する割合を示す二つの指標⁽⁵⁾を提示した。

一方、これらの指標の測定方法として、各階の平均待ち時間とその分散を即時処理できるサービス指標自動測定装置を開発⁽⁵⁾した。さらに、引き続き、専用コンピュータによるエレベータ交通需要測定装置をも開発した。図6はその外観写真である。この装置は、待ち時間、呼び数、エレベータ運

行などをリアルタイムで計測し、ラインプリンタより出力するもので、群管理エレベータの評価指標として有効なデータを得ることができる。なお本装置の規模は、最大50階、エレベータ群8台を同時処理できるものである。

図7にその出力データをもとにX-Yプロッタで処理したエレベータ運転曲線の実例を示した。

5 予測制御システムの系列化

上述したとおり、群管理エレベータへのシステムズ・アプローチにより、従来の技術から脱皮したエレベータ予測制御システム (Forecasting Control System) を開発した。このシステムはCIP/IC (Computerized Traffic Information Processing with IC) と称し、昭和46年に発表した。同時にNHK放送センター納めエレベータ群に本システムが採用され好調に稼動を開始した。

これにより、業界に先がけて、サービスエレベータを即時案内表示して乗客に心理的サービス向上を図るサービス予報方式と、各エレベータの相互位置を常に管理し迅速な応答を行なうフローティングサービスにより、従来の方式に比較し大幅な平均待ち時間短縮 (20~30%減)、特に、60秒以上の長待ち確率を $\frac{1}{2}$ 以下に減少させるなどエレベータサービスの質的な飛躍を実現した。

さらに、これらの成果のうえに立って、たとえばフローティングサービスに用いられている間隔制御を経済的に取り入れた、ユニークなディレクショナル・チェーンシステム (DCS) などを完成し、現状の全自動群管理方式CTPの系列に織り込み、新しくCTP-IIとして製品化した。これにより日立製作所においては、CIP/ICとCTP-IIの2方式をラインアップした。すなわち、従来の群管理シリーズのモデルチェンジのCTP-IIと、さらに高性能の群管理システムとしてCIP/ICシステムを系列化したわけで、ビルの規模や交通需要の内容によってユーザーの群管理エレベータに対する需要に、幅広いバリエーションをもって応ずることができるようにしたわけである。表1は日立製作所の全自動群管理方式と自動管理方式の系列を簡単に示したものである。



図6 エレベータ交通需要測定装置 時々刻々、ビル内のすべてのエレベータ交通需要がリアルタイムで専用コンピュータで分析され、ラインプリンタにより出力される。

Fig. 6 Measuring Equipment of Elevator's Traffic Demand

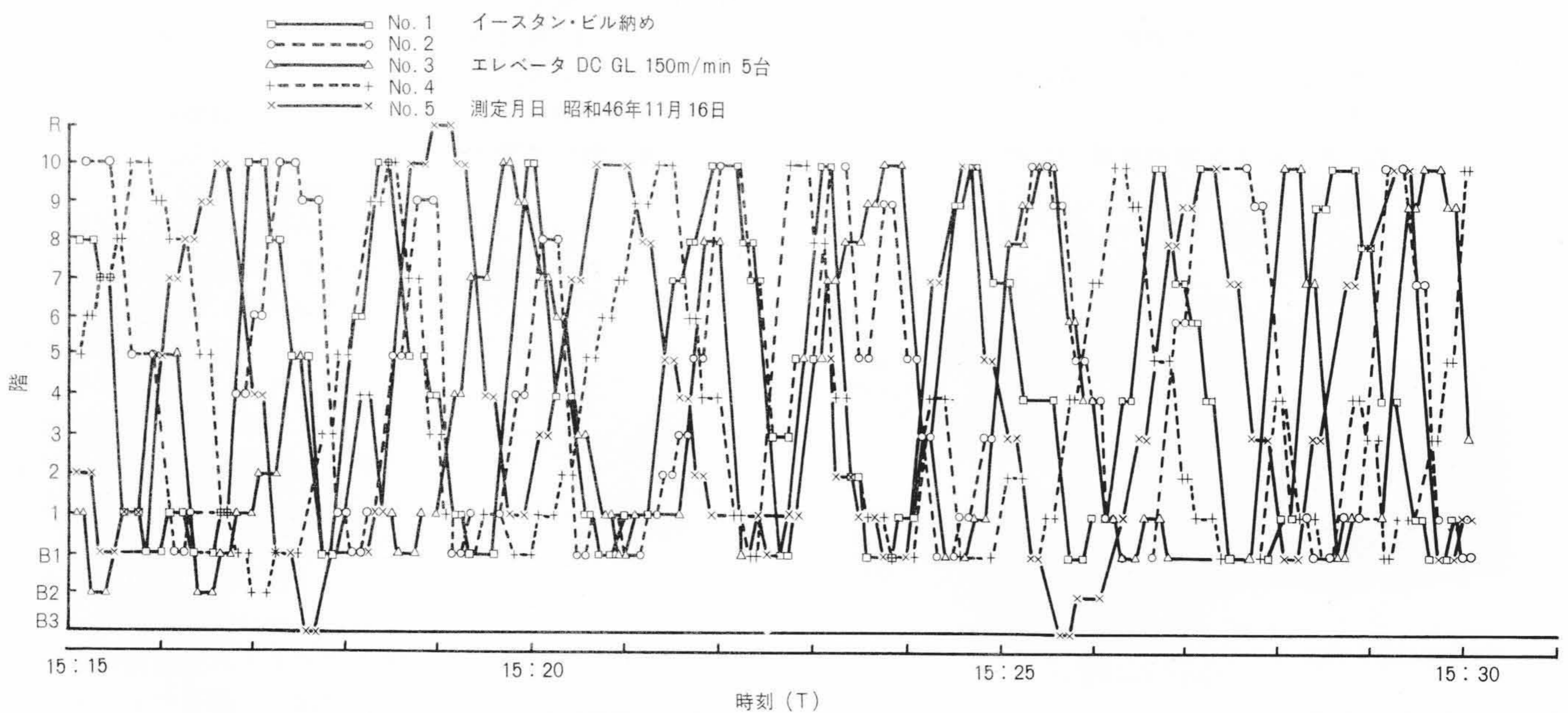


図7 エレベータ運転曲線 エレベータ交通需要測定装置より得られた出力からX-Yプロッタで作図したものである。この曲線によりエレベータの実際の動きが再現され各種の評価、分析が行なわれる。

Fig. 7 Elevator's Operating Diagram

表1 日立群管理エレベータ・シリーズ 一般ビルから超高層ビルまで、日立群管理エレベータシリーズから最も適した管理方式を選択することができる。

Table 1 Hitachi Group Supervisory Control Elevators

項目	分類		
	C-I	C-II	C-III
方式	群管理		
	全自動群管理方式		自動管理方式
名称	CIP/IC	CTP-II	Duplex Triplex Multiplex
パターン	UP, DP, OT, IT, LT* (シンクロ・マルチパターン)	UP, DP, HU, HD, BT, IT, FF, LT,* (4,7,8パターン)	—
管理制御方法	予測制御 (フォアキャスト・コントロールシステム)	間隔制御 (ディレクショナル・チェーンシステム)	間隔制御 (ディレクショナル・チェーンシステム)
用途	代表的な超高層ビル用	高層ビル用	一般ビル

注：* はオプション仕様

6 管理装置の電子化

全自動群管理エレベータの性能、機能の向上に伴ってエレベータの交通需要としての情報は質、量ともに重要性が増してきた。また、ビルの超高層、大規模化とともにエレベータのサービス階、管理台数の増大による管理装置の複雑化と大形化に対してさらに高信頼度化、小形化について新たな飛躍を行わなければならない。

日立製作所では、これらの理由から管理装置、機器の電子化に着手し、すでに十数年前より、エレクトロボタン、エレクトロ・ドアセフティなどの高責務の作動器具の電子化⁽⁶⁾から、数多くの制御装置⁽⁷⁾、信号装置⁽⁸⁾の電子化に至るまで、装置の使用環境、保守性など幾多の問題を克服し独自の発展を進めてきた。このようにして、昭和44年には、すでに述べた、エレベータ・パターン管理装置において全電子化を完成したが、さらに今回、発表したCIP/ICシステムにおいては管理装置は機能上や高信頼度化、小形化を目的としてすべてIC化を図った。図8にその一部を示した。

さらに日立製作所においては、管理装置、機器の保全性の向上として、電子化した装置、機器に関する総合的な高信頼度化について、信頼水準の望ましい目標値を予測計算とフィールドデータの両者を考慮して求め、エレベータ用電子化装置として、MTBF(平均故障間隔)を 10^7 (h)以上を確保している。図9に信頼度予測とフィールドデータの実測値を示した。

7 群管理システムの将来

予測制御を織り込んだCIP/ICシステムの開発によって、全自動群管理方式の機能は画期的な飛躍を遂げたが、超高層ビルから一般の高層ビルに至るまでの全需要を総合的に考察すると、ビルの建築計画から運営上の基本的な問題をはじめ、これらの用途、目的に適合したシステム技術の完成にはまだ問題が山積している。次にこれらの代表例を二、三述べる。

7.1 交通情報の高度化

エレベータ群管理システムの性能の良否は、単に多様な運転形式、運転方法の開発、改良のみでなく、乗客の交通需要、エレベータの動きなど、ダイナミックな交通情報処理によって決定される。

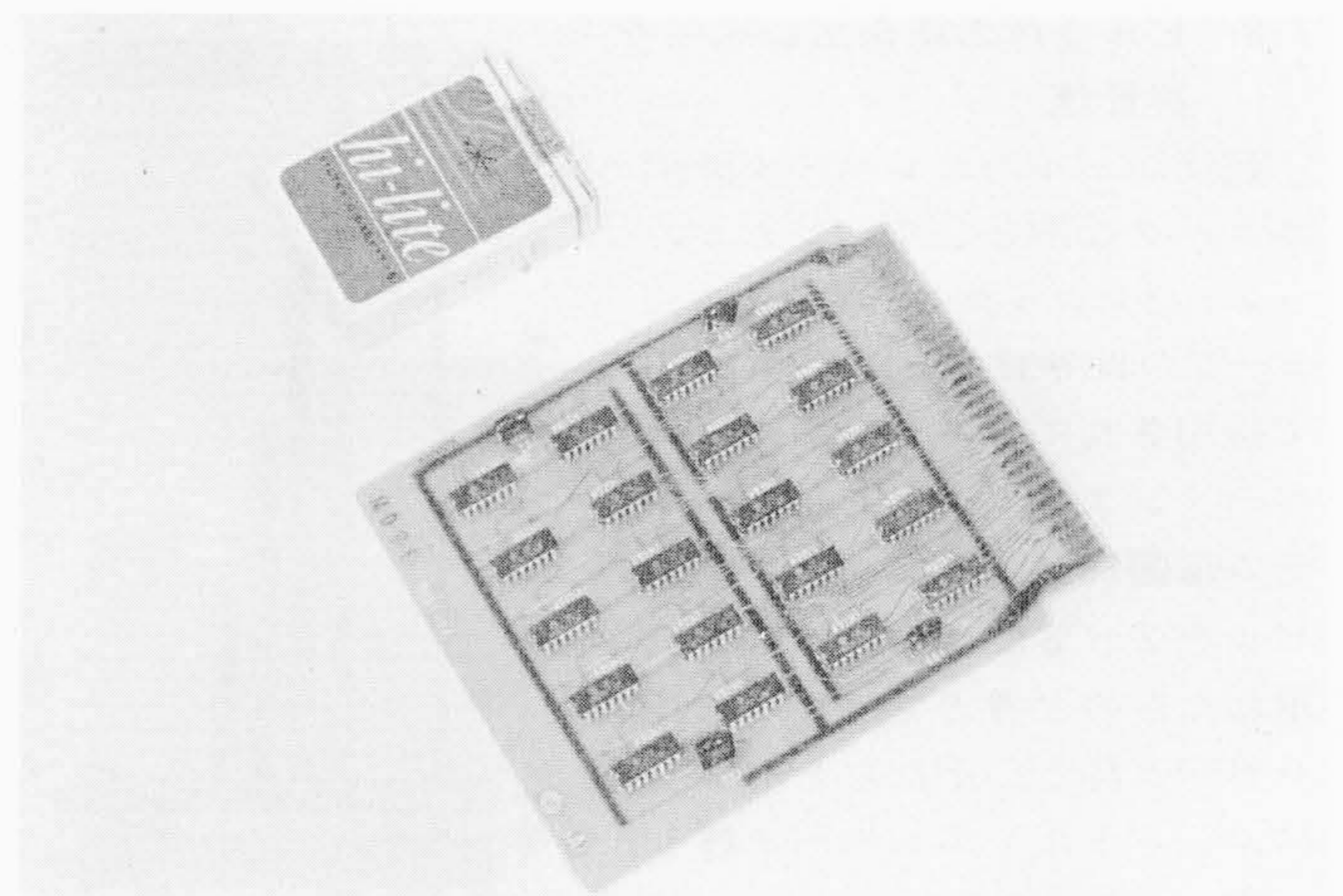


図8 プリント板(CIP/IC用) エレベータ群管理の情報処理は、ますます複雑、高度となり装置のIC化は必須となってきた。

Fig. 8 Printed Circuit Board

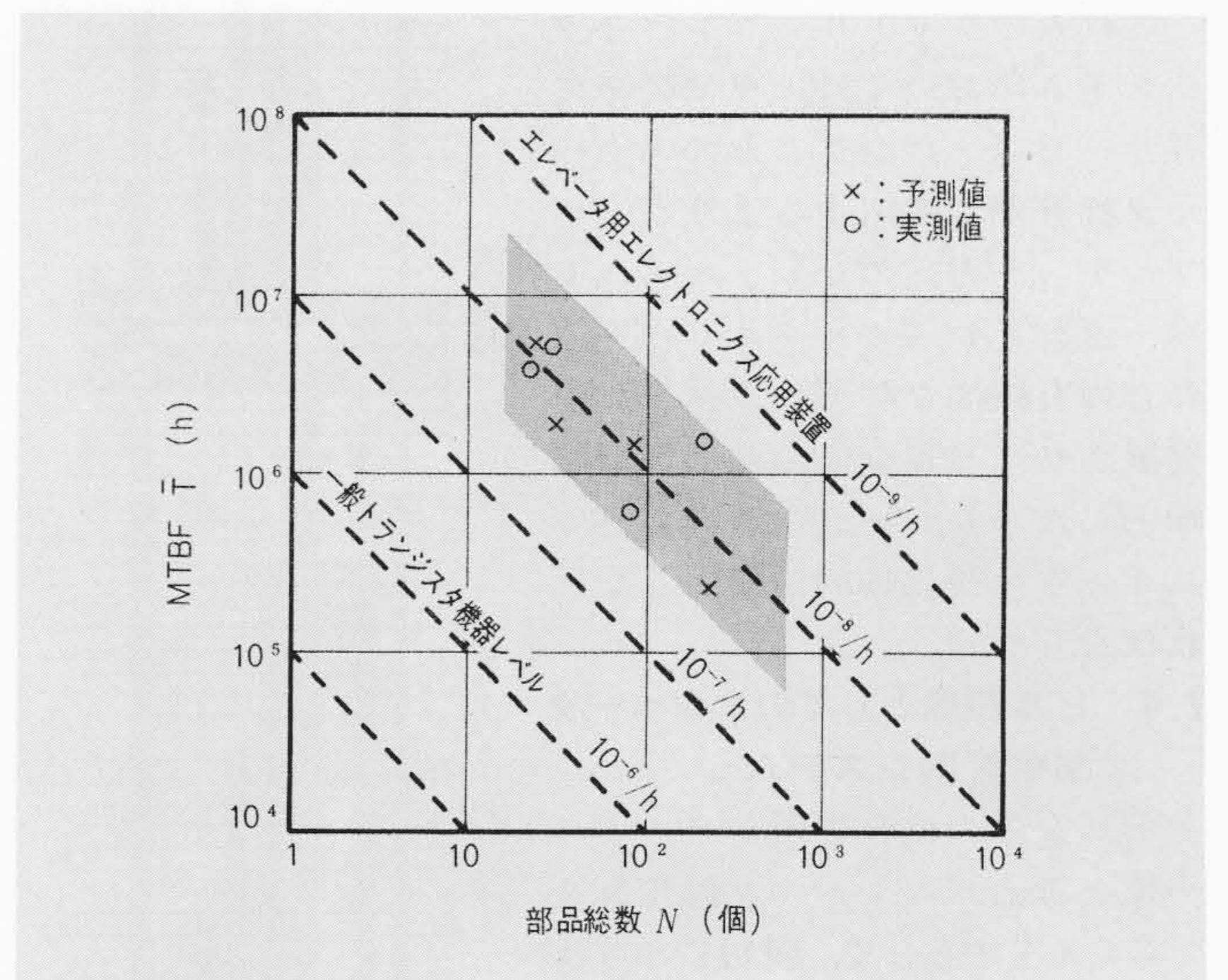


図9 信頼度予測とフィールド・データ エレベータ用電子化装置の予測MTBFとフィールドデータからの、きわめて高信頼度の実測値を示している。

Fig. 9 Forecasting Reliability and Field Data

たとえば、現状ではホールからの呼び信号は、乗客の行先階、乗客数などの定量的な情報検出に時間遅れを伴っているが、単純化された本方式を発展させるため交通情報の高度化が特に重要な問題であり、たとえばパターン認識の導入などエレベータ運転システムの効率向上としての工夫と開発が必要とされる。

7.2 情報処理量の増大

エレベータ群の運転効率を向上するためには、前節で述べたとおり乗客群のトラフィックフローの偏重を絶えず情報として監視する必要があるため、情報は質も高まり量も膨大なもので、4~8台のエレベータ群と、エレベータの最短運転時間(1階床運転)5~6秒であることから考えても、リアルタイムで処理し指令するためには、処理速度、能力のほかに演算処理もかなりの速度を必要とする。

ここに、エレベータ専用のソフトを織り込んだ制御用コンピュータの応用と保守体制について抜本的な配慮が必要となる。

7.3 ビル全体の総合エレベータ群管理

超高層ビルのエレベータ計画のユニークな例として、シカゴのジョン・ハンコックセンター、ニューヨークの世界貿易センター(WTC)で採用されているシャトル・エレベータシステムがある。このシステムは図10に示すように、超高層ビルを2～3個の高層ビルを積み重ねたものと考えて、ローカルエレベータ群と、それらと基準階を結ぶシャトル・エレベータ群とから成るものである。このシャトル・エレベータとしては40～50人乗りの大形エレベータが採用されるが、これに代わって、最近話題となっているダブルデッキ・エレベータを採用する計画⁽⁹⁾もある。

これらのシャトル・エレベータシステムにおいては、単に従来の各サービス・バンクごとのエレベータ群管理に応用するよりも、ダブルデッキ方式のシャトル・エレベータ群とローカル・エレベータ群との有機的な群管理システムを発展させてビル全体の交通需要に順応したエレベータ総合群管理システムを今後具体的に検討しなければならない。

7.4 ビル設備としてのエレベータ集中管制システム

ビル全体の総合管理システムの一環と考え、エレベータ群管理をとらえるものとして、図11に示すように大形電子計算機によるビル総合計算制御システムの構想が発表⁽¹⁰⁾されている。ここで報告されているエレベータ群管理制御はエレベータ群管理そのものではなく、中央監視室などにおける集中管理制御システム、すなわちデータ・ロギング的な管制システムである。上述の多数のビル総合管理制御は現状ではむずかしいと思うが、個々のビルの管理制御システムを導入することは可能であり、今後、管理上の省力化、オンライン化などを実現する例として、他のビル管理上の分野との協調から、将来必ず取り上げられることになるものと考えている。

8 結 言

エレベータ群の全自動群管理化にあたって、古くから問題にしてきたものは、急激なピーク時にお

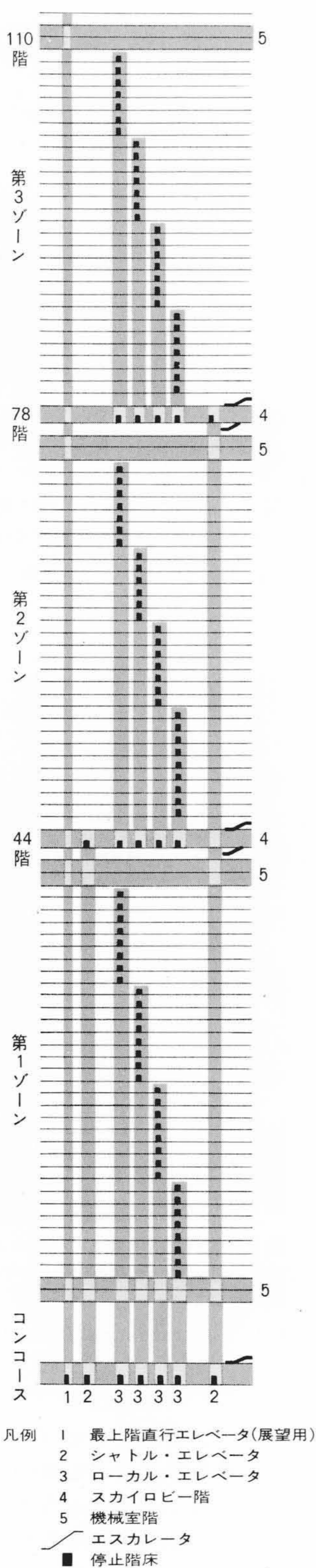


図10 シャトル・エレベータシステム

110階のWTCビルは、44階と78階にスカイロビーを設け、シャトル・エレベータによりコンコースから乗客をノンストップでピストン輸送する。一般階への乗客はここでローカル・エレベータに乗り継ぐ。

Fig. 10 Shuttle Elevator System (WTC, N. Y.)

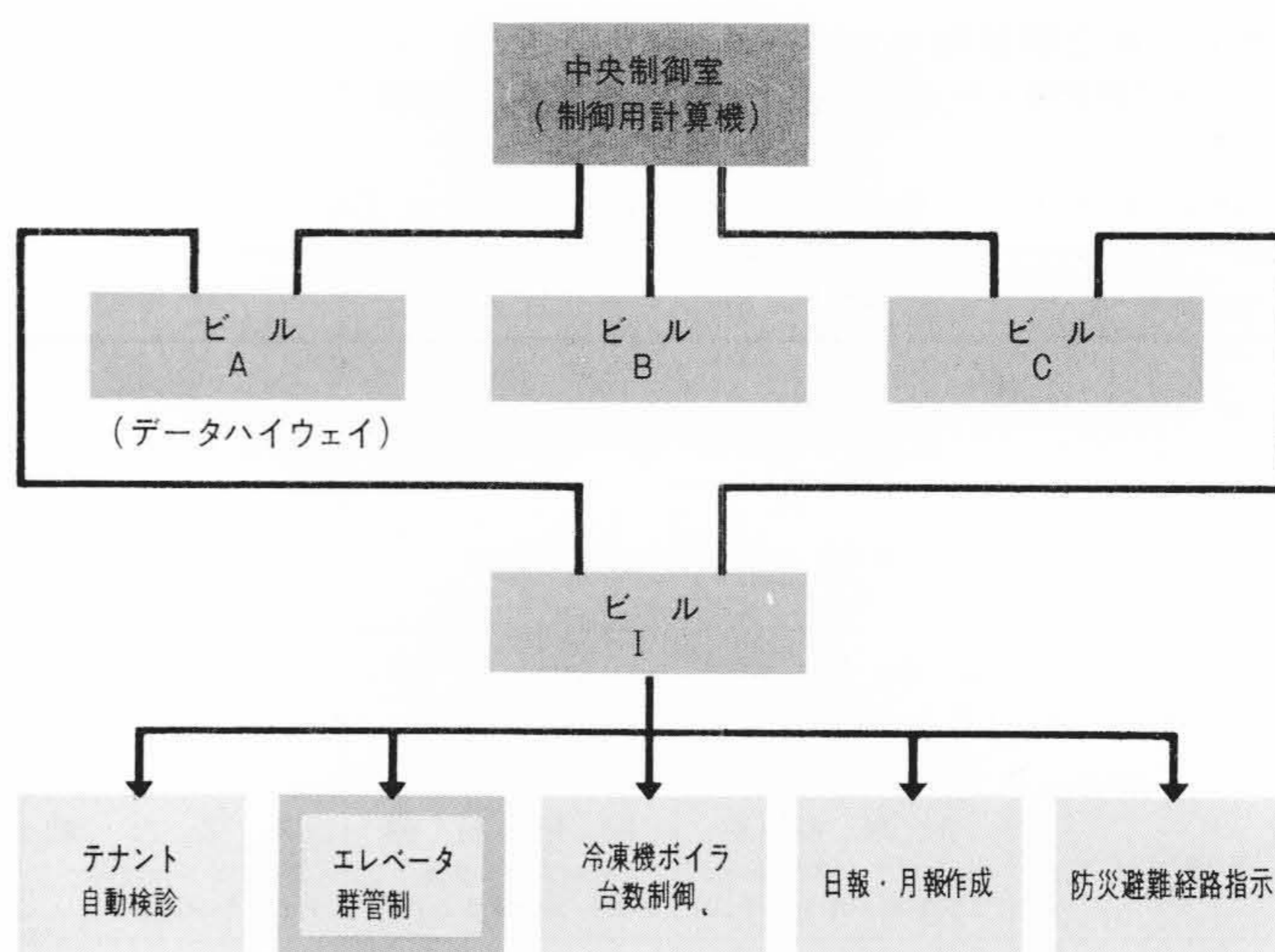


図11 ビル総合計算機制御システムの構成 複数のビル内の被制御要素のデータは、ハイウェイで中央制御室に伝送され、制御用計算機で管理制御される。

Fig. 11 Composition of Total Building Control System Using Computer

ける迅速な輸送と閑散時における運転上の経済性のほかに、両者間の任意の変動領域におけるサービスの向上、すなわち、平均待ち時間を短縮しかつ長待ち呼びを解消して、さらに待ち客の焦慮感をなくすことであった。日立製作所はすでに多数の国内外における納入実績とこれらの技術的なフォローにより、ピークと閑散時については納入先の幅広い種々の問題に対しほぼ完全に解決することができたが、俗に平常時と称する上記の変動領域に関する問題はあまりにも関連条件が多岐にわたり、かつ内容いかんによっては当初の計画段階にまで遡及(さっきゅう)しなければ抜本的な解決が困難な場合も生じていた。

本文で述べたCIP/IC全自動群管理方式はこれらの懸案に対して日立製作所独特のシステム技法により本問題を克服したものである。超高層化計画が急速に進展しつつある今日、本方式は外国に比べて特にきびしい条件下にあるわが国のビル内交通需要に対し、時代の要望に先がけるため外国にも例のない新システムの開発を推進したものである。一方、不特定多数の乗客群が全階床においてランダムに発生するエレベータ群の交通需要は、他の外部交通機関のそれと全くパターンを異にするものであり、今後は前述した一連のシステム技術の高度化に対しさらに研鑽(けんさん)を図る所存である。

最後に、日立全自動群管理エレベータ、特にCIP/ICシステムの開発にあたって、NHK放送センター建設本部連池副本部長、村上副本部長、加藤部長、後藤主管、山下寿郎設計事務所村田技師および株式会社日建設計岩井部長などのかたがたの終始有益な助言をいただいたことに対しここに深く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 犬塚：日立評論 38, 1397 (昭31-11)
- (2) 犬塚：日立評論 41, 1065 (昭34-9)
- (3) 犬塚：日立評論 45, 1272 (昭38-8)
- (4) 平沢, 弓仲ほか：電学誌 90, 1568 (昭45-8)
- (5) 平沢, 河竹ほか：日立評論 53, 528 (昭46-6)
- (6) 石塚, 齊藤：日立評論 46, 960 (昭39-6)
- (7) 弓仲, 中里ほか：日立評論 53, 347 (昭46-4)
- (8) 弓仲, 岩坂：日立評論 48, 1300 (昭41-11)
- (9) Wuhrmax, Mohandas : Consulting Eng. 70 (1970-12)
- (10) Hans Eberhard Noack : IFAC/IFIP (3rd) (1972)