

# エレベータ群の自動制御

—日立全自動群管理方式による高性能運転—

Automatic Control of Group Elevators

—High Efficiency Running by Hitachi Autogram Traffic Pattern System—

犬塚 績\*

Isao Inuzuka

## 内 容 梗 概

最近の代表的な大事務所ビルは、すべて全自動群管理方式 (Autogram Traffic Pattern) を採用しつつある。この方式は、従来管理者が行っていた運転上の管理を完全に自動化し、管理者の判断以上に合理的な管理指令を与えて、運転上の高能率化を図ったものである。今回、関西電力本社ビルに納めたエレベータの実際の成果を調査した結果、所期の目的を十分達していることが明らかになったので、その概要について述べ、さらに今後この種の計画を行うために必要な設計上の参考事項についても簡単に言及した。

Autogram Traffic Pattern によって得られる主要な成果は次のとおりである。

- (1) エレベータ管理者、案内者、運転手に要した人件費がいない。
- (2) 出勤日における朝夕のラッシュを自動的に解決できる。
- (3) 設置台数が同じ場合は、全自動群管理を行うと、平均待時間を大幅に短縮できる。
- (4) 平均待時間が同じ場合は、全自動群管理を行うと、設置台数を少なく計画できる。
- (5) エレベータ群の負荷率がほぼ均等化し、それぞれ平均した運転を行うようになるから、全階の平均待時間がほぼ等しくなり、かつ保守上の寿命がさらに長くなる。

## 1. 緒 言

全自動群管理方式を採用したエレベータは年々増加しつつあるが、その成果について具体的に発表された文献はほとんどない。これは、全自動群管理化することによって、どれだけ効果が上がったかを技術的に評価することが非常に困難なためである。したがって、その成果についてもエレベータの実態調査を行って、そのビルの単なる運転状況を報告する程度にとどまるためであろう。一方、事務所ビルの大形化と建築設備の近代化に伴って、昇降機設備の性能上最大限に輸送能力強化を行うよう要望されている。そのためには、任意の階の平均待時間を論ずることが最も合理的であり、かつその短縮が重要な問題となる。

従来は管理者の判断と案内者および運転手のサービスによって、エレベータ群の運転上の管理を行うことが最も良いと考えられていた。したがって、たとえ割合に閑散なときに全自動群管理化できても、朝夕のラッシュを自動的な管理方法によって解決することは不可能と思われていた。これは、わが国のビルが外国に比べて、坪当りの収容人口が割合に多いので、当然朝夕のラッシュも激化し、エレベータに対する運転上の条件が過酷になっているためであろう。

昭和35年3月、関電本社ビルに納入した日立全自動群管理方式 Autogram Traffic Pattern は設計当初の計画が変更になったため、設計上、種々の不利な条件があったにもかかわらず、ビルの実状に応じた管理要素を設定しただけで、現在1バンク3台であるが、4台の平均待時間とほぼ同等な高能率化を実現することができた。この調査は5日間にわたり延べ95名の調査員を動員して行ったものであって、このときに得た多数の資料を分析し検討すると、管理者の限られた範囲内で行う人為的な管理よりも、むしろ管理上の機能を完全に自動化したほうが、はるかにすぐれていることも明らかにすることができた。もちろん、さきに種々発表したとおり<sup>(1)</sup>、わが国のビルの特殊事情を織り込んで設計することが最も重要なことである。日立製作所では特にこの点に留意して Autogram Traffic

\* 日立製作所国分工場



第1図 関西電力株式会社本社ビル納北側エレベータ

Pattern を開発し、たとえば朝夕のラッシュをも自動的に解決つける新機軸を生み出したものである。

## 2. エレベータ群の高能率化

エレベータ群の運転上の高能率化を図るには、次の2項を満足させなければならない。

- (1) 各エレベータの毎回の運転周期を短くする。
- (2) エレベータ相互に運転上の関連性を与えて、エレベータ群としての総合能率を高める。

第2図にエレベータの運転周期を示した。この周期を短縮する方法として、積極的に行えるものと、行いにくいものがある。すなわち、ドアを開く時間と運転時間は前者に相当するものであって、ドアをしめる時間と乗客の出入時間は後者に属するものである。しかし、1日数千回に及ぶ非常に高ひん度の運転を行うエレベータでは、両者の時間を短縮して高度の能率化を図ることが最も効果的である。一方、設計上の諸条件を検討すると、高度の能率化を図るといっても、経済的な面のほかに、速度制御上では乗心地や着床性能、電動ドアでは安全性、運転上では乗客の使いやすさなどから、おの

ずから限度がある。しかも、これらの諸要素のうちの一つでも犠牲にしてほかの要素の性能向上を図るようでは、昇降機設備としての本質を失うことになる。したがって、最も合理的でしかも積極的な方法として、第一には迅速円滑な運転を行う高速プログラム制御、第二には交通量を自動的に管理してエレベータの総合的な運転能率を高める全自動群管理方式を行う必要が生ずる。

2.1 高速プログラム制御

日立製作所では、さきにわが国で初めてエレベータ速度制御用として磁気増幅器を使用した帰還制御FV形ギヤレスエレベータを開発した。これは、エレベータの速度制御上ほぼ限度と考えられる1階床運転時間4秒という高速化を実現したものである。

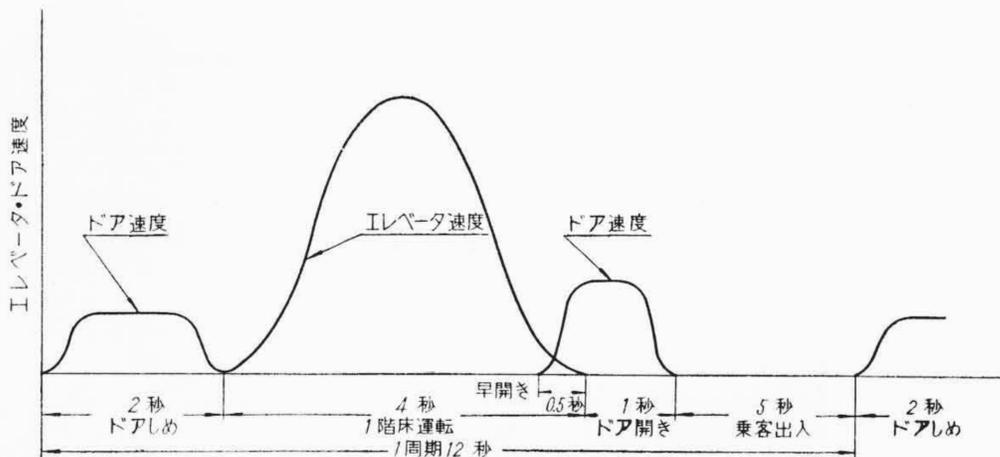
一般にビルの階床高さはほぼ3.3m程度であって、階段を利用しても1階床十数秒程度で気楽に上り、下りできる。したがって、エレベータの1階床運転時間が6~7秒であって、さらにドアの開閉時間が加わると、約10秒となり、急ぐときには階段を利用したほうが早くなる。一例をあげると、ゆっくり階段を上ると15秒、ちょっと急ぐと8秒程度で次の階へ行ける。したがって、1階床運転時間が4秒であればドアの開閉時間を含めても急いで上がる早さに匹敵する時間になるので、この高能率化は実用上の見地から考えても十分な値といえるものである。

1階床運転時間を4秒に短縮するには、すでに発表したとおり、台形波加速度特性という新特性を採用することが必要であって、この合理的な方法を採用した結果、実現できたものである。日立製作所では数年前から上記の目標をたてて研究し、この画期的な成果を得た。また、設計上、制御機器の縮小化を図るため、さらに新方式を開発して同等以上の性能をうる事ができるようにした。第3図はそのブロック線図、第4図は1階床運転の速度特性を示すオシログラムである

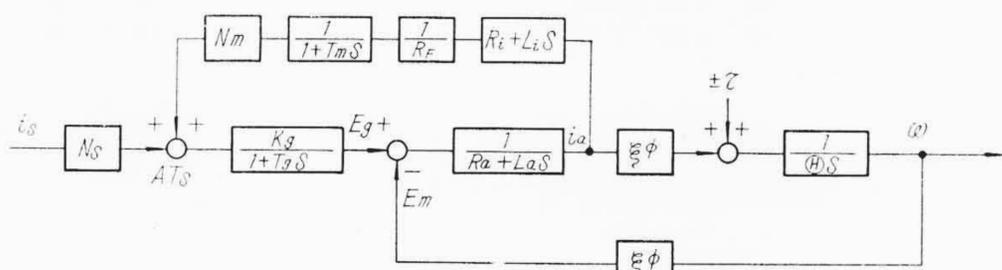
2.2 全自動群管理方式

わが国でも管理者の判断によって行われていた運転管理にまさる自動的な群管理方式を古くから要望されていた。したがって、日立製作所では1バンクのエレベータ群に対して自動出発信号方式を採用し、あらかじめ定められた自動出発指令に従って運転する Orderly Signal Control<sup>(3)</sup>を開発した。しかし、この方式はあくまでも単に信号指令を与えるだけの、いわば消極的な方法であるから、交通需要の変化が割合に少ないビルには好適であるが、事務所ビルに採用しても確認できるほどの効果をあげることは困難であった。したがって、従来、雑然と増減していると思われていた交通需要の統計的な安定性を巧みに取り入れて、運転上の群管理を完全に自動化すると、むしろ正しい評価ができるようになる。この見地から、数多くのビルの交通需要を調査したうえで、高能率化を図るための標準方式として次の代表的なPatternを採用している。

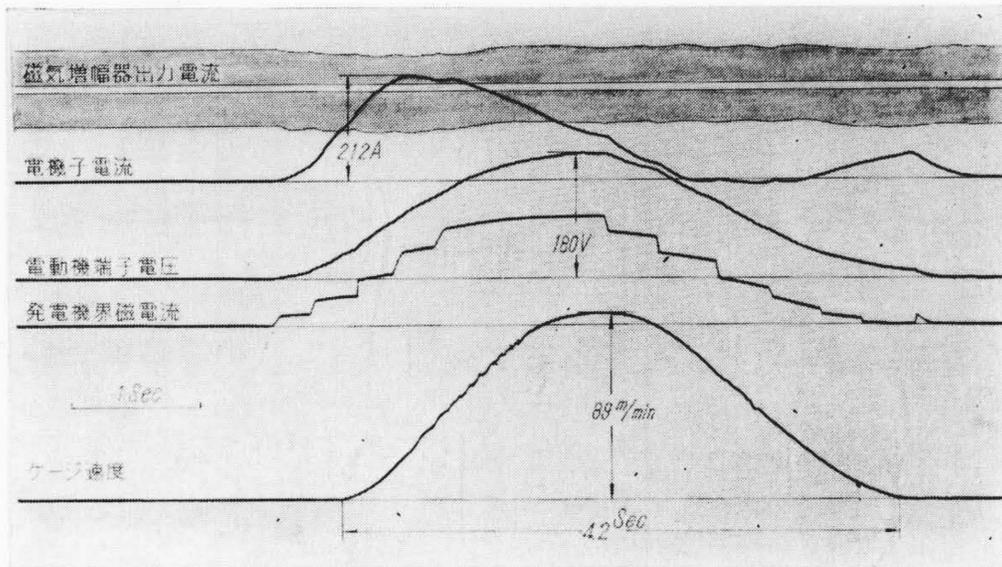
- (1) 混雑時                      Rush Hour Traffic
  - (a) 出勤時                      Up Peak
  - (b) 退勤時                      Down Peak
- (2) 平常時                      Balanced Traffic
- (3) 一時的な混雑時          Transient Heavy Traffic
  - (a) 偏昇時                      Heavy Up
  - (b) 偏降時                      Heavy Down
- (4) 昼食時                      Lunch Time Traffic



第2図 運転周期



第3図 FV形ギヤレスエレベータのブロック線図



第4図 1階床運転(全負荷上昇)

(5) 閑散時 Intermittent Traffic

これらのPatternはできるだけ種類を少なくして同等以上の効果をあげることが理想的である。しかし、最近のビルでは食堂を設けた階の昼食時の混雑が割合に激しいので、前回発表したPatternのほかに Lunch Time Traffic を追加することにした。このPatternは自動的に基準階を変更して食堂のある階にエレベータ群が集中し、昼食時の混雑を積極的に解決するものである。

平均待時間を積極的に短縮するには、交通需要の変化を検出して適切なPatternを刻々と指令し、群管理を行うことが、非常に重要なことである。特に朝夕のラッシュに相当する一時的な混雑は日中でも絶えず生ずるから、管理要素を計時的に変更するようにしている。したがって、日中の一時的な混雑は朝夕のラッシュに関係なく独立して解決できるから、Patternの即応性を任意に選ぶことができる。このようにして設計された全自動群管理方式の成果は、交通需要の変化とともにPatternが有機的に推移し、一日中の平均待時間が短縮される。しかも、乗客は従来どおり呼びボタンをただ一つ押すだけで、全階床の乗客がそれぞれほぼ機会均等に、かつ非常に短い待時間でいつでも乗れるようになるわけである。

3. 任意の階の平均待時間とその指標

従来、平均待時間は基準階における各エレベータの出発時間間隔によって論じられている<sup>(4)</sup>。しかし、これは基準階における出発指

第1表 理論停止数

| 階床数<br>n | 階床間隔または階床運転数 n-1 |        |       |       |       |     |     |     |    |    |    |    |    |    | 計<br>Sn | 運転種類<br>Zn |
|----------|------------------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|---------|------------|
|          | 1                | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 7   | 8   | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |         |            |
| 2        | 1                | —      | —     | —     | —     | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 1       | 1          |
| 3        | 2                | 1      | —     | —     | —     | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 3       | 2          |
| 4        | 5                | 2      | 1     | —     | —     | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 8       | 4          |
| 5        | 12               | 5      | 2     | 1     | —     | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 20      | 8          |
| 6        | 28               | 12     | 5     | 2     | 1     | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 48      | 16         |
| 7        | 64               | 28     | 12    | 5     | 2     | 1   | —   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 112     | 32         |
| 8        | 144              | 64     | 28    | 12    | 5     | 2   | 1   | —   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 256     | 64         |
| 9        | 320              | 144    | 64    | 28    | 12    | 5   | 2   | 1   | —  | —  | —  | —  | —  | —  | 576     | 128        |
| 10       | 704              | 320    | 144   | 64    | 28    | 12  | 5   | 2   | 1  | —  | —  | —  | —  | —  | 1,280   | 256        |
| 11       | 1,536            | 704    | 320   | 144   | 64    | 28  | 12  | 5   | 2  | 1  | —  | —  | —  | —  | 2,816   | 512        |
| 12       | 3,328            | 1,536  | 704   | 320   | 144   | 64  | 28  | 12  | 5  | 2  | 1  | —  | —  | —  | 6,144   | 1,024      |
| 13       | 7,168            | 3,328  | 1,536 | 704   | 320   | 144 | 64  | 28  | 12 | 5  | 2  | 1  | —  | —  | 13,312  | 2,048      |
| 14       | 15,360           | 7,168  | 3,328 | 1,536 | 704   | 320 | 144 | 64  | 28 | 12 | 5  | 2  | 1  | —  | 28,672  | 4,096      |
| 15       | 32,768           | 15,360 | 7,168 | 3,328 | 1,536 | 704 | 320 | 144 | 64 | 28 | 12 | 5  | 2  | 1  | 61,440  | 8,192      |

第2表 計算諸元

| エレベータ速度 V |     | 加速時間  | ドア開き時間 | ドアしめ時間 | 乗客出入時間 | 立寄り時間 | 備 考       |
|-----------|-----|-------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| m/min     | m/s | ta(s) | td1(s) | td2(s) | tp(s)  | t(s)  |           |
| 90        | 1.5 | 2     | 1      | 2      | 5      | 10    | 1 階床運転    |
| 120       | 2.7 | 2.7   | 1      | 2      | 5      | 10.7  | 2 階床運転    |
| 150       | 2.5 | 3.4   | 1      | 2      | 5      | 11.4  | 3 階床以上の運転 |

令の単なる指標であって、Annet<sup>(5)</sup>が提唱した予想停止数から算出した一周時間を1バンクの台数で除した時間にすぎない。一方、できるだけ待時間が少ないということはエレベータの重要な性能の一つであるが、この待時間は任意の階の待時間をさすものである。一般に任意の階の待時間を正確に推定することは困難であるが、たとえ、二、三の仮定を設けても指標となる時間が算出できれば非常に便利である。したがって、筆者は確率論を応用した新しい考え方から、次のような算出方法と実際の測定法を立案した。

3.1 指標の算出法

従来、途中階の停止数はAnnetが提唱した次式から算出し、予想停止数と称して古くから利用されている。

$$N = n - (n-1) \left( \frac{n-1}{n} \right)^p \dots\dots\dots (1)$$

- ここに N: 予想停止数
- n: 始発階を除いた階床数
- p: かが内の定員

上式は定員と階床数から確率論によって途中階の停止数を求めようとするものであるが、階床の呼びによる停止は含まれていない。また、混雑時以外のかご内乗客数は一般に非常に少なく、あらかじめ推定することも困難である。したがって、ある階床間の平均運転時間を推定するために(1)式を応用することはできないから、平常時の呼びによる停止も含めた平均運転時間の算出方法として、確率論を応用し、階床運転(直通運転した階床間隔をいう)の理論停止数を求めて算出する方法を考えてみた。

いま、簡単な例として3階床の場合を考えてみよう。階床運転は1階と2階、2階と3階間の各階運転と1、3階間の直通運転の2種に限られる。これを、それぞれ1階床運転、2階床運転と称しているが、その運転度数の確率は統計的に2/3、1/3となることは明らかである。すなわち、最も単純な場合、1→2→3階運転、1→3階運転の2種によって代表される。この各階床運転ごとの運転度数を理論停止数、2種の運転のしかたを運転種類と名付けよう。

一般にn階床における各階床運転の理論停止数は次式から算出できる。

$$F_{n-1-x} = 2 F_{n-x} + 2^{x-2} \dots\dots\dots (2)$$

ただし n-2 ≥ x ≥ 2

F: 添字で階床運転を表わした理論停止数

F<sub>n-1</sub> = 1 最端階間を直通運転した場合

F<sub>n-2</sub> = 2 上記より1階少ない場合

x: 変数(整数とする)

また、運転種類 Z<sub>n</sub>は次式で表わされる。

$$Z_n = 2^{n-2} \dots\dots\dots (3)$$

ただし n ≥ 2

第1表に(2)、(3)式から15階床までのF<sub>n-1</sub>、Z<sub>n</sub>を示す。

次にn階床間の直通運転時間は下記の簡略式から容易に計算できる。計算上の諸元は第2表に示す。

$$t_{n-1} = \frac{S}{V} + t_a + t_{d1} + t_{d2} + t_p = \frac{S}{V} + t \dots\dots\dots (4)$$

ここに S: 走行距離 各階すべて3.3mとする。

V: エレベータ最高速度

t<sub>a</sub>: 加速時間 減速時間と等しいものとする。

t<sub>d1</sub>: ドア開き時間 早開きを考慮した時間

t<sub>d2</sub>: ドアしめ時間

t<sub>p</sub>: 乗客出入時間

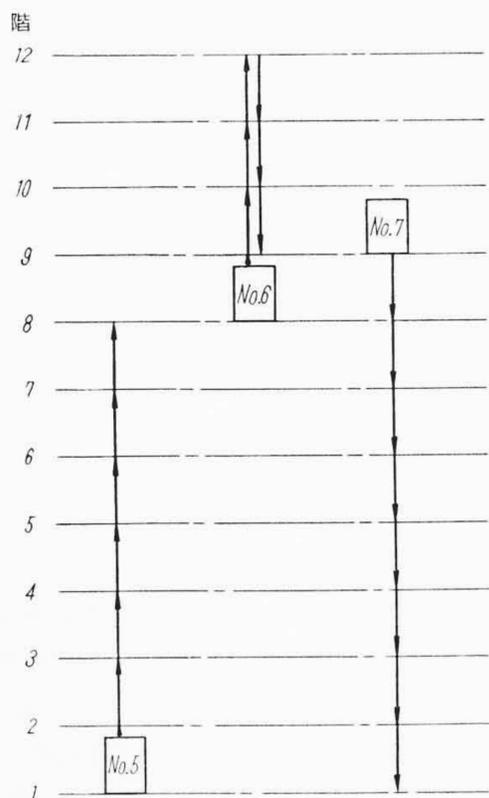
t: 立寄り時間 t = t<sub>a</sub> + t<sub>d1</sub> + t<sub>d2</sub> + t<sub>p</sub>

立寄り時間とは途中階で停止するために通過するときよりも増加する時間である。また、呼びが継続している場合を考えているため、出発前の乗客出入時間を運転時間に含めることとした。いま、1階から2、3、4…n階床までの直通運転時間を(4)式から算出し、それぞれt<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>…t<sub>n-1</sub>とするとn階床までの平均運転時間T<sub>n-1</sub>は次のとおりである。

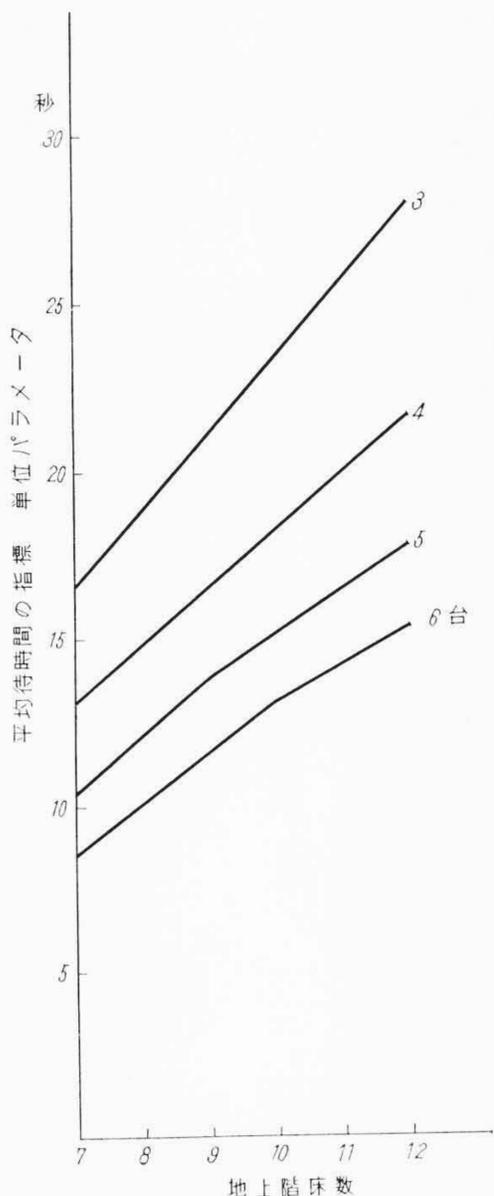
$$T_{n-1} = \frac{\sum_{m=1}^{n-1} t_m \cdot F_m}{Z_n} \dots\dots\dots (5)$$

一方、運転中のエレベータは第5図に示す理想状態にあると仮定する。各エレベータの応ずべき最終階、たとえばNo.5が8階に到着する時間を(5)式から算出し、その平均運転時間の1/2が平均待時間の指標である。

平均運転時間の1/2を指標にした理由は、各エレベータは絶えず運転しているから、特定階について測定し、種々の待時間で到着した度数を縦軸にとり、待時間を横軸にとってヒストグラムを画いた場合、正規分布するものと仮定した結果、最大、最小時間の算術平均値を求めたものである。すなわち、最大待時間は上述の到着時間、最小待時間は0秒である。0秒とは、呼びボタンを押そうとしたときに到着した場合であって、押さないでも乗れる機会が実際にあることは容易に推定できるので、これを含むほうが合理的と考えたからである。



(3台のエレベータがほぼ等間隔にバラまかれて運転していることを示している)  
第5図 理想的な運転状態

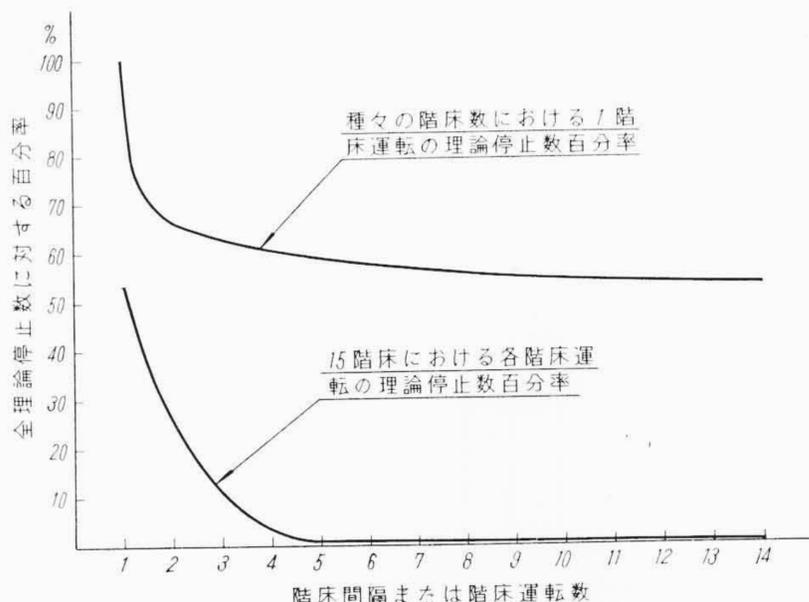


第6図 平均待時間の指標

### 3.2 計算例

一般に、RおよびB階の人口は少ないうえに、Schedule 運転しない階であるから、1~12階(地上階)だけを対象とする。第5図より各エレベータの運転間隔は7または8階であるから、いま、7階床間隔の場合について計算する。1~8階床間の運転時間を $t_1 \sim t_7$ とし、第1表から $F_1 \sim F_7$ 、 $Z_8$ を求めると(4)、(5)式から

$$T_7 = \frac{t_1 F_1 + t_2 F_2 + \dots + t_6 F_6 + t_7 F_7}{Z_8}$$



(注) 2~15階床までのビルで1階床運転の占める割合と15階床における各階床運転の占める割合を示した  
第7図 各階床運転の百分率

$$= \frac{12.2 \times 144 + 14 \times 64 + 15.4 \times 28 + 16.7 \times 12 + 18 \times 5 + 19.3 \times 2 + 20.6 \times 1}{64}$$

$$\div 54 \text{ 秒}$$

同様にして

$$T_8 \div 60 \text{ 秒}$$

したがって、平均待時間の指標  $T_w$  は

$$T_w = \frac{1}{2} \frac{54 \times 2 + 60}{3} = 28 \text{ 秒}$$

となる。このようにして、1バンク3~6台、地上階床7~12階の場合の指標を求めると第6図のとおりである。また、 $x$ 階床における1階床運転の生ずる理論停止数は次の式で表わされる。

$$F_x = 2 F_{x-1} + 2^{x-4} \dots \dots \dots (6)$$

ただし  $x \geq 4$ 、 $x = 3$  のとき  $F_3 = 2$ 、 $x = 2$  のとき  $F_2 = 1$

$n$ 階床において、全階床運転の理論停止数の総和を  $S_n$  とすると

$$S_n = n \cdot 2^{n-3} \dots \dots \dots (7)$$

ただし  $n \geq 2$

となる。これらの結果も第1表に示したが、参考のために図示すると、第7図のとおりである。すなわち、階床数が増加しても、1階床運転の生ずる確率が非常に多く、また、15階床の場合、5階床運転以上は起りうる機会が非常に少ないこともわかった。

### 3.3 測定法

実際の測定についても種々のむずかしい問題があるので、一応次のような仮定を設けて測定した。

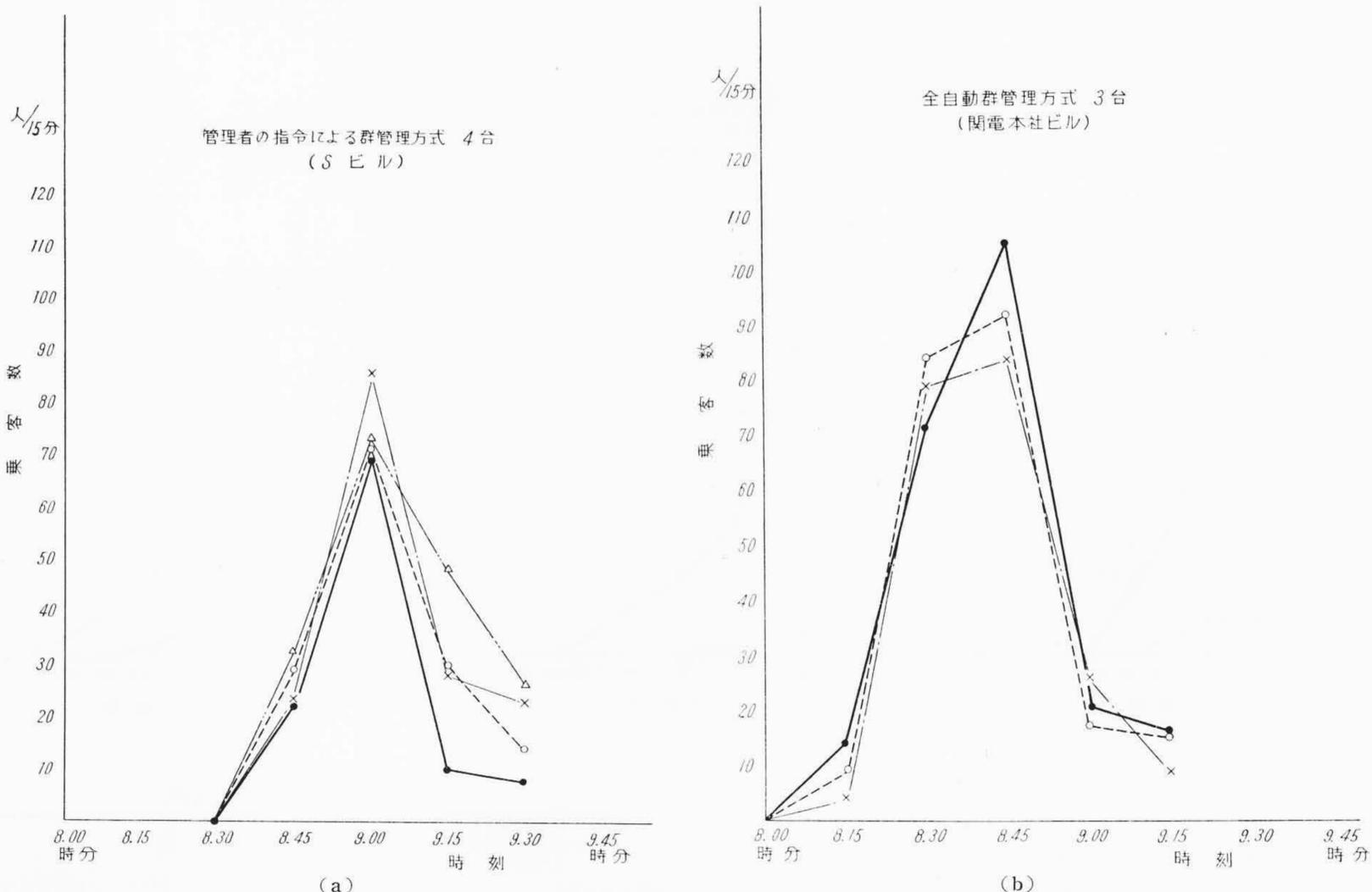
- (1) 一般的な任意の階の平均待時間としては、実際の利用状態を考慮して、地上階を3分割し、たとえば12階床のときは4、8階を対象として調査した。
- (2) 呼びボタンを押してからドアが開き始めるまでの時間を昇、降別にそれぞれ測定し、両者の待時間とした。
- (3) 呼びが登録されたのち、ドアが開き始めるまでに来た乗客は最初の待客と同一時間とした。
- (4) ドアが開き始めたのちの乗客の待時間はすべて0秒とした。

上記は測定上の都合をも考慮して立案したもので、3、4項は測定結果の利害関係がほぼ相殺すると仮定して決めたものである。

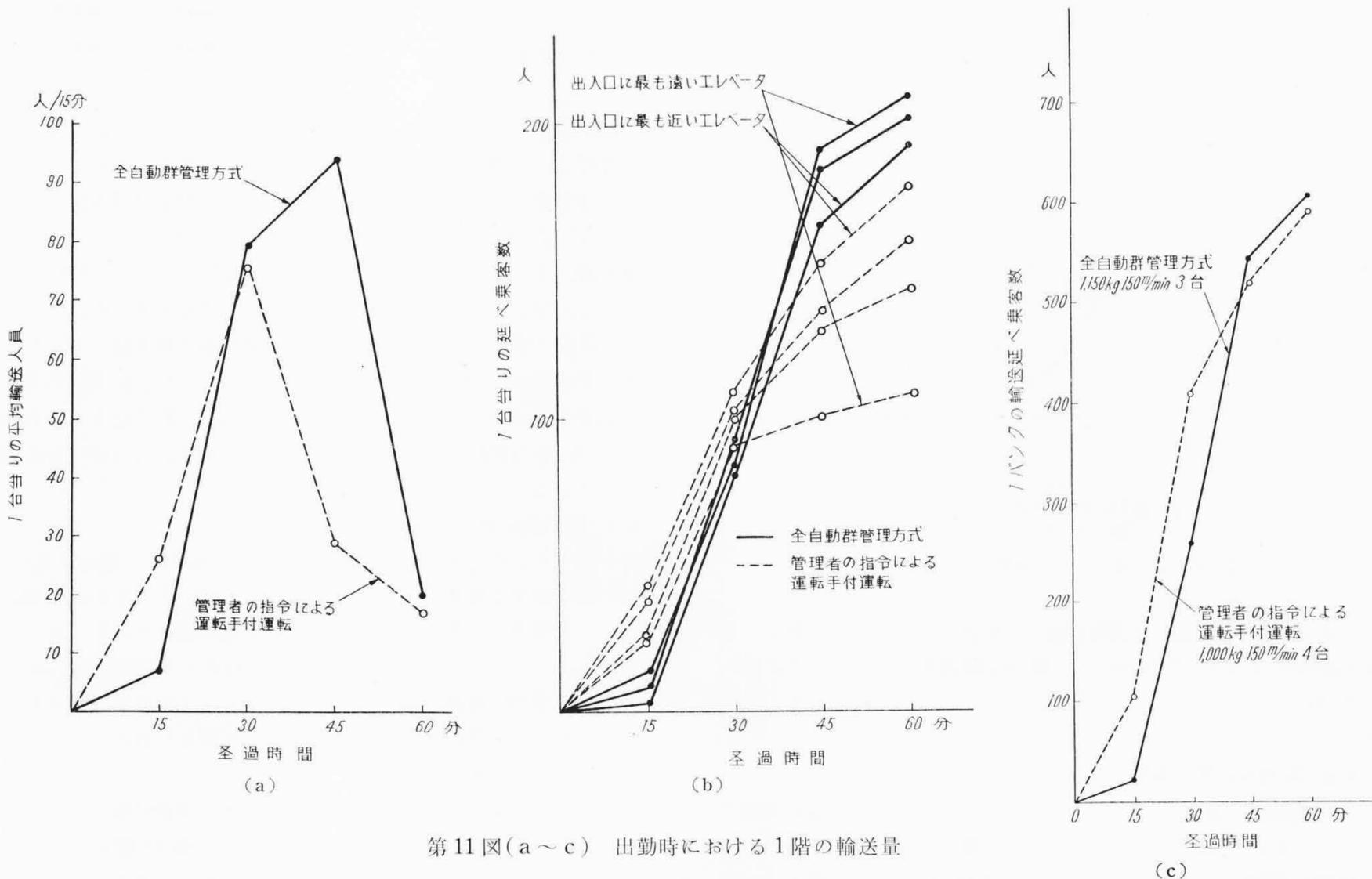
### 4. 関西電力本社ビルにおける実績

昭和35年3月、関西電力本社ビルに納入した Autogram Traffic Pattern は約3年間にわたり詳細に打ち合わせて設計したものであ





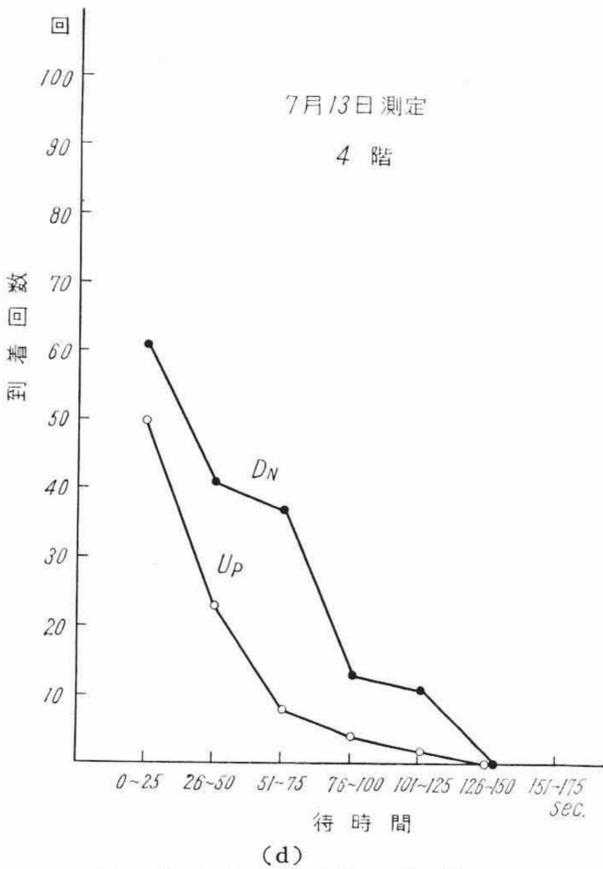
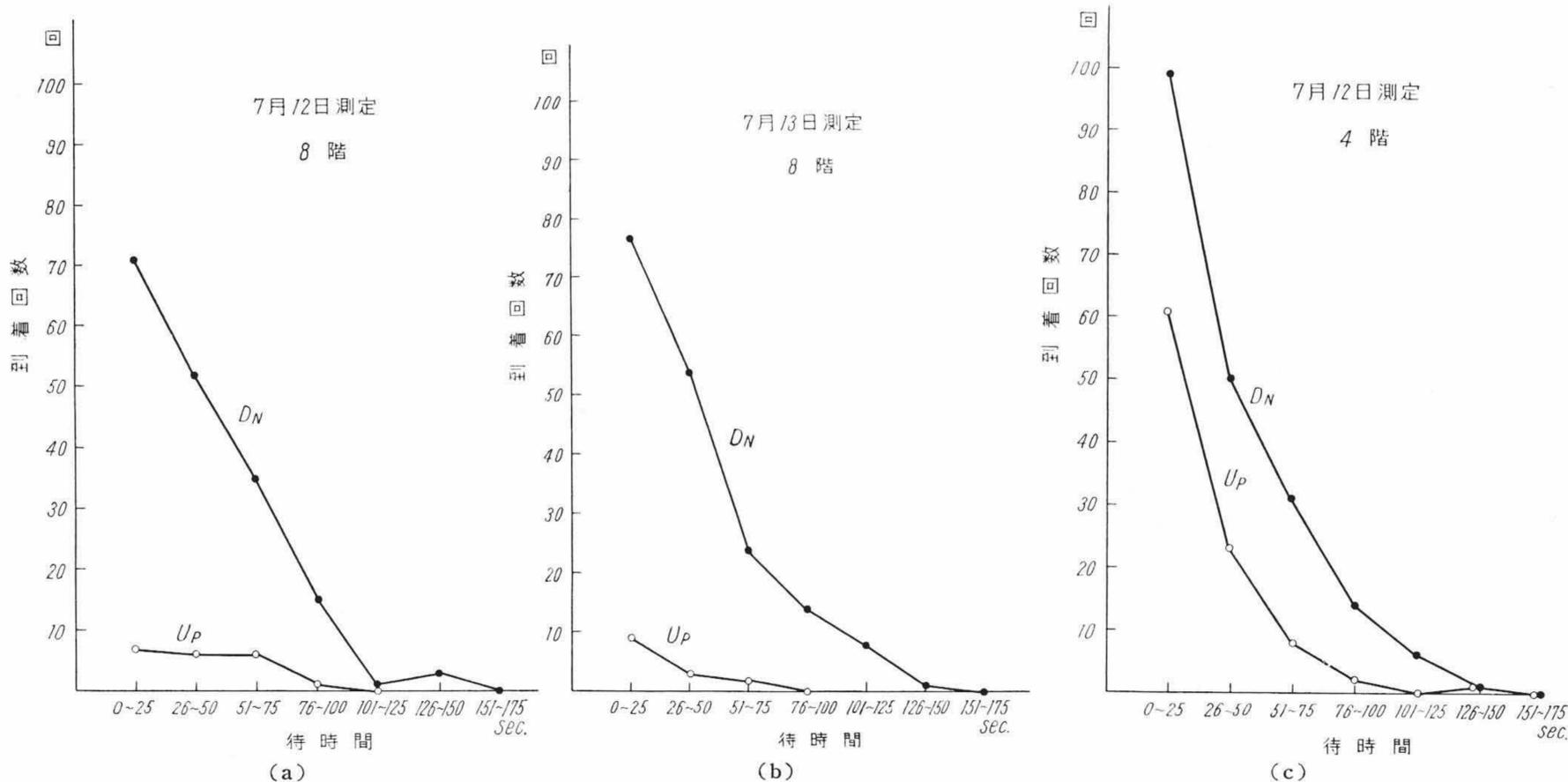
第10図(a, b) 全自動群管理方式と管理者の指令による群管理方式との運転状況



第11図(a~c) 出勤時における1階の輸送量

付の4台は輸送量が非常にかたよっていることがわかる。これは出入口に近いほうに乗客が集中しているためで、全自動群管理の3台はほぼ同じ値を示している。また、第11.c図は両者の延べ輸送人員を輸送時間ごとに表わしたものであって、同一時間内に全自動群管理の3台が管理者、案内者、運転手付の4台以上の能力を十分発揮していることを示している。これらの結果を総合して考えると、

管理者付の場合、ラッシュ時にはただ単に満員にして出発させたほうがよいと判断して指令する人為的な方式の欠点を暴露していると思う。これは、管理者として常識的に考えられる手段であるが、このような方法では出発が遅れるうえに、各階停止および停止ごとの乗客の出入時間が長くなるため必然的に一周時間が増加し、期待するほどの効果が表われないためである。したがって、呼びが生ずる



(注) ● UP 昇り客待時間の到着回数  
○ DN 降り客待時間の到着回数

第12図(a~d) 8, 4階における待時間

とともにM-Gを起動して運転開始し、自動的に運転台数を増加するAutogram Traffic Patternが、最初は輸送能力が低いように思われるけれども、ラッシュが長く続くほどその真価を発揮して、輸送能力が高いことを実証することになる。

4.2 平均待時間の実態

平均待時間の実績についてはすでに発表<sup>(7)</sup>したが、さらに8階で測定したものを第12.a~d図に示す。第12.a~d図はいずれも待時間を25秒ごとに区分し、その間の到着回数を度数分布として表わしたものである。これらの全平均待時間は23.6秒であって、測定日、階床、呼びの違いに対してもほぼ等しくなっている。参考のため、ほぼ同規模のビルの実測値と比べてみると第3表のとおりである。備考に示したとおり、A~Cビルは朝夕のラッシュを除いている。しかも、午前、午後を通じて合計わずかに3時間の測定結果である。したがって、両者を同等に比べることは必ずしも当を得てい

第3表 平均待時間実測例

| ビル名称       | 平均待時間(S) | 全自動群管理の効果 | ビル総延坪(坪)                   | エレベーター台数(台) | 備考                           |
|------------|----------|-----------|----------------------------|-------------|------------------------------|
| 関電本社ビル(北側) | 23.6     | 1         | $\frac{11,300}{2} = 5,650$ | 3           | 朝夕のラッシュ時を含む(南側4台を除き坪数を半分とした) |
| Aビル        | 37.2     | 1.6       | 6,000                      | 3           | (朝夕のラッシュ時を含まない)              |
| Bビル        | 49.0     | 2.1       | 7,335                      | 3           | (朝夕のラッシュ時を含まない)              |
| Cビル        | 40.0     | 1.7       | 7,490                      | 6           | (朝夕のラッシュ時を含まない)              |

るとはいえないが、いまかりに、かような平均待時間の比で全自動群管理によって得られた成果を表わすものとする、このような不利な条件を含んでいるにもかかわらず、Aビルに対して1.6倍、Bビルには2.1倍、Cビルには1.7倍の能率化が図られたことになる。

第4表に4, 8階から乗った一日中の乗客数とその平均待時間を時刻ごとに示した。一日中の交通需要は絶えず変化するが、ほぼ同等の待時間で乗れることを示している。第5表は第9図で示した代表的なPattern中の平均待時間を参考までに示した。従来の方式では、朝夕のラッシュ時に途中階の待時間が非常に長くなるといわれているが、全自動群管理方式によって、この不具合もほぼ完全に解決していることがわかる。

4.3 統計的にみた全自動群管理機能

エレベータの交通需要は一見、雑然としているように思われるが、今回の調査結果を整理すると、割合に安定していることがわかる。ただし、管理要素や群管理方式そのものを種々変えてみることはできなかったため、万一、不備な管理方式を採用した場合には、かえって平均待時間が極端に長くなったり、1バンクのエレベータ群が一方にかたよった負荷状態で運転することも考えられる。

4.3.1 各階の利用率

全階の利用率を調べるため、エレベータの到着回数の百分率がその階の利用率を表わすものと考え、これを第13図に示す。2日間の測定結果はほとんど同じである。しかも、さらに全収容人口に対する各階人口の百分率を点線で記入し、両者を比べると、たとえ人口は少なくともその階の使用目的によって利用率の高い階があることもわかる。

4.3.2 乗客数

第14.a, b図に乗客数ごとの運転回数を百分率で示す。定員は17名であって、満員になったときに即時出発指令を与える計量装

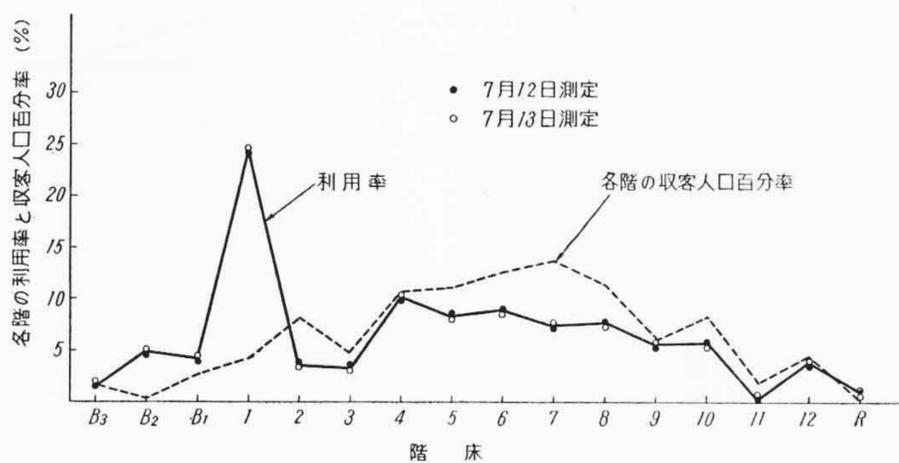
第4表 時刻ごとの平均待時間推移

| 時刻<br>時 | 7月12日 |       |      |       |     |       |      |       | 7月13日 |       |      |       |     |       |      |       |
|---------|-------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|
|         | 4 U   |       | 4 D  |       | 8 U |       | 8 D  |       | 4 U   |       | 4 D  |       | 8 U |       | 8 D  |       |
|         | 乗客数   | 平均待時間 | 乗客数  | 平均待時間 | 乗客数 | 平均待時間 | 乗客数  | 平均待時間 | 乗客数   | 平均待時間 | 乗客数  | 平均待時間 | 乗客数 | 平均待時間 | 乗客数  | 平均待時間 |
| 8~9     | 5人    | 21.2秒 | 11人  | 18.5秒 | 2人  | 28.8秒 | 8人   | 11.6秒 | 3人    | 36.3秒 | 14人  | 37.7秒 | 1人  | 18.0秒 | 12人  | 35.3秒 |
| 9~10    | 13    | 15.6  | 29   | 21.4  | 1   | 30.0  | 26   | 25.5  | 10    | 23.4  | 22   | 22.1  | 4   | 14.3  | 19   | 22.4  |
| 10~11   | 14    | 20.1  | 35   | 19.8  | 3   | 15.3  | 31   | 30.0  | 12    | 18.7  | 26   | 23.8  | 1   | 18.0  | 17   | 18.0  |
| 11~12   | 11    | 15.4  | 48   | 20.0  | 7   | 15.5  | 83   | 18.3  | 33    | 23.2  | 47   | 28.3  | 1   | 25.0  | 78   | 19.0  |
| 12~13   | 11    | 31.0  | 61   | 33.7  | 3   | 44.6  | 52   | 24.8  | 4     | 29.0  | 51   | 37.9  | 2   | 32.0  | 61   | 26.0  |
| 13~14   | 24    | 18.3  | 25   | 30.9  | 6   | 17.5  | 15   | 29.8  | 18    | 20.5  | 24   | 27.7  | 3   | 11.6  | 31   | 27.0  |
| 14~15   | 11    | 35.0  | 37   | 33.1  | 1   | 23.0  | 19   | 17.8  | 11    | 19.5  | 37   | 30.8  | 1   | 26.0  | 24   | 24.8  |
| 15~16   | 21    | 26.5  | 26   | 31.6  | 6   | 18.0  | 45   | 19.6  | 9     | 28.1  | 59   | 29.5  | 1   | 14.0  | 37   | 28.1  |
| 16~17   | 17    | 13.5  | 33   | 31.0  | 7   | 21.0  | 20   | 31.6  | 16    | 16.9  | 41   | 19.5  | 2   | 32.0  | 15   | 18.3  |
| 17~18   | 7     | 23.8  | 76   | 29.0  | 3   | 10.3  | 90   | 23.1  | 3     | 26.6  | 70   | 16.2  | 1   | 31.0  | 104  | 16.2  |
| 18~19   | 0     | —     | 10   | 7.0   | 0   | —     | 7    | 22.8  | 0     | —     | 6    | 15.7  | 0   | —     | 8    | 22.3  |
| 平均      | 13.4  | 22.0  | 34.6 | 25.0  | 3.9 | 22.4  | 36.0 | 23.2  | 11.9  | 24.5  | 36.1 | 26.2  | 1.7 | 22.2  | 36.9 | 23.4  |
| 全乗客数    | 134   |       | 381  |       | 39  |       | 396  |       | 119   |       | 397  |       | 17  |       | 406  |       |

第5表 4階における各Pattern (30分間)中の平均待時間

| 月日   | Pattern<br>呼び | Up Peak |    |    | Balanced |   |    | Heavy Up |   |    | Heavy Down |    |    | Down Peak |    |    | Intermittent |   |    |
|------|---------------|---------|----|----|----------|---|----|----------|---|----|------------|----|----|-----------|----|----|--------------|---|----|
|      |               | Tw      | N  | P  | Tw       | N | P  | Tw       | N | P  | Tw         | N  | P  | Tw        | N  | P  | Tw           | N | P  |
| 7/12 | △             | 17秒     | 6  | 7人 | 14秒      | 6 | 8人 | 13秒      | 5 | 6人 | 16秒        | 3  | 5人 | 24秒       | 6  | 7人 | —            | — | —  |
|      | ▽             | 19      | 14 | 22 | 24       | 9 | 12 | 27       | 8 | 20 | 24         | 6  | 23 | 26        | 12 | 40 | 14秒          | 4 | 4人 |
| 7/13 | △             | 27      | 3  | 3  | 23       | 9 | 13 | 18       | 2 | 4  | 26         | 4  | 7  | 30        | 3  | 3  | —            | — | —  |
|      | ▽             | 30      | 5  | 8  | 22       | 7 | 15 | 21       | 9 | 16 | 36         | 15 | 43 | 14        | 26 | 64 | 25           | 3 | 4  |

注) Tw: 平均待時間 (30分間), N: 到着回数, P: 乗客数 (4階から乗った人数)



第13図 各階の利用率と収容人口百分率

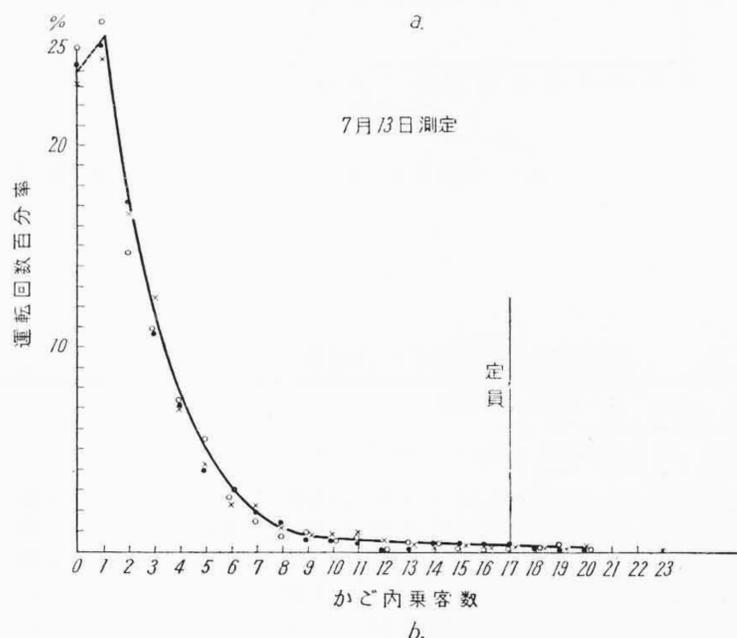
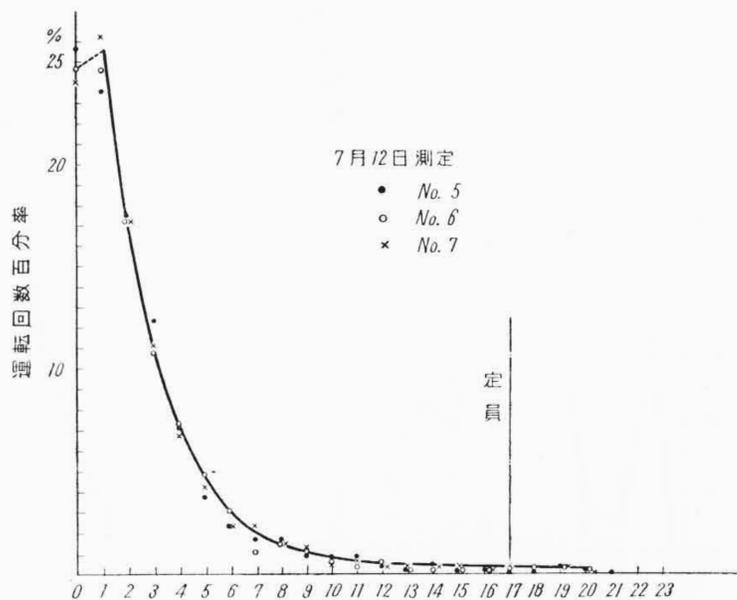
置は約20名で動作するように設定した。かごに11名以上乗って運転するのは朝夕と昼食時だけで、両日とも全運転回数の4%にすぎない。しかも約50%は0または1名で運転している実状を考えると、ラッシュ時だけを考慮して少ない台数でかごを大きく選ぶことが、大局的にみて非常に不合理であることもわかった。

第15.a図は時刻ごとの全乗客数を各エレベータごとに表わした。第15.b図はa図を集計したもので、適切な群管理によって乗客数もほぼ等しく示している。

4.3.3 階床運転

第16.a, b図に各エレベータの階床運転度数分布を全運転回数に対する百分率で示した。また、第7図に示した15階床のときの計算値を理論停止数曲線として鎖線でa図に示す。計算値と若干の差があるのは、階床の使用目的によって生ずるものであるが、前節で述べた考え方に誤りがないことを十分立証していると思う。しかも、両日の測定結果はほとんど同じ傾向を示しているから、高速プログラム制御を発表したときに強調したとおり、1階床運転時間を短縮したことが平均待時間を短くするために非常に重要な役割を果していることも明示している。

第6表は1時間ごとの平均階床運転数を時刻ごとに算出した値である。全平均値は3.06となり、ほぼ3階床運転に等しい。したがって、定格速度を150 m/minに選んだことも適当であったと



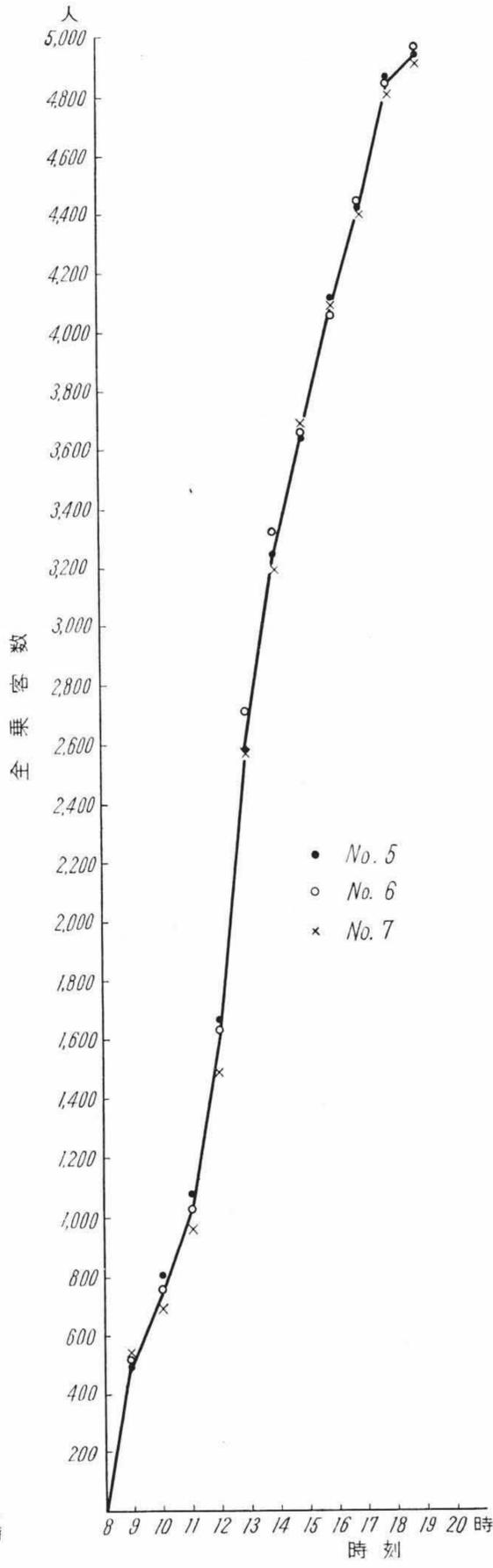
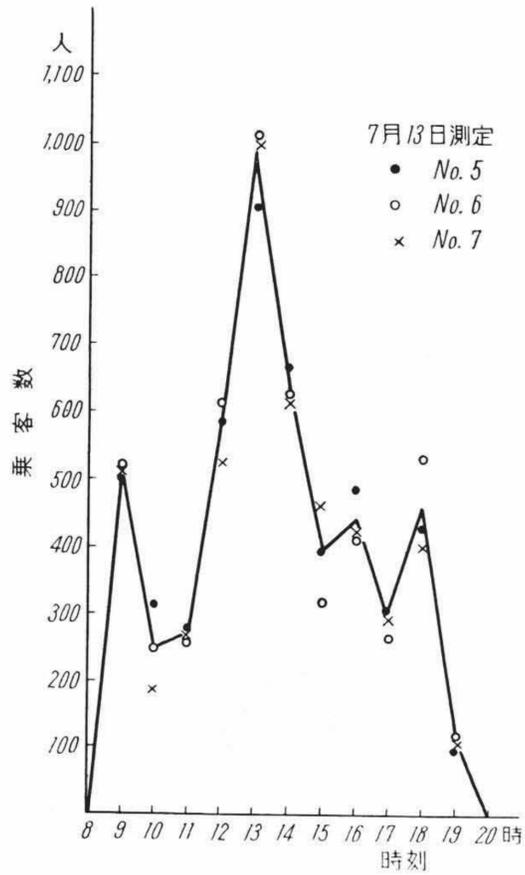
第14図(a, b) かご内乗客数ごとの運転回数百分率

いえる。また、第6表を図示したのが第17.a~d図である。a~c図は各エレベータごとに、またd図はこれらの全平均値を時刻ごとに示したものである。一般に、1階床運転は朝夕より日中に

多いことを示しているが、No.7の出勤時だけ特に低くなっているのは、自動的に下層行になっているためである。

4.3.4 運転距離と起動回数

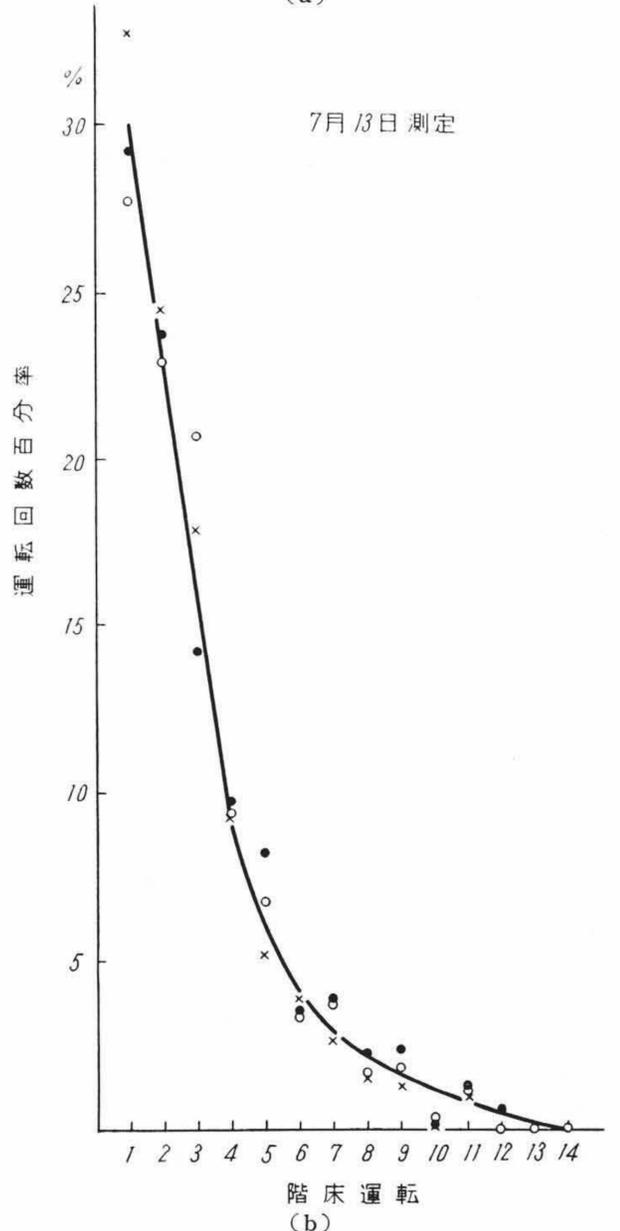
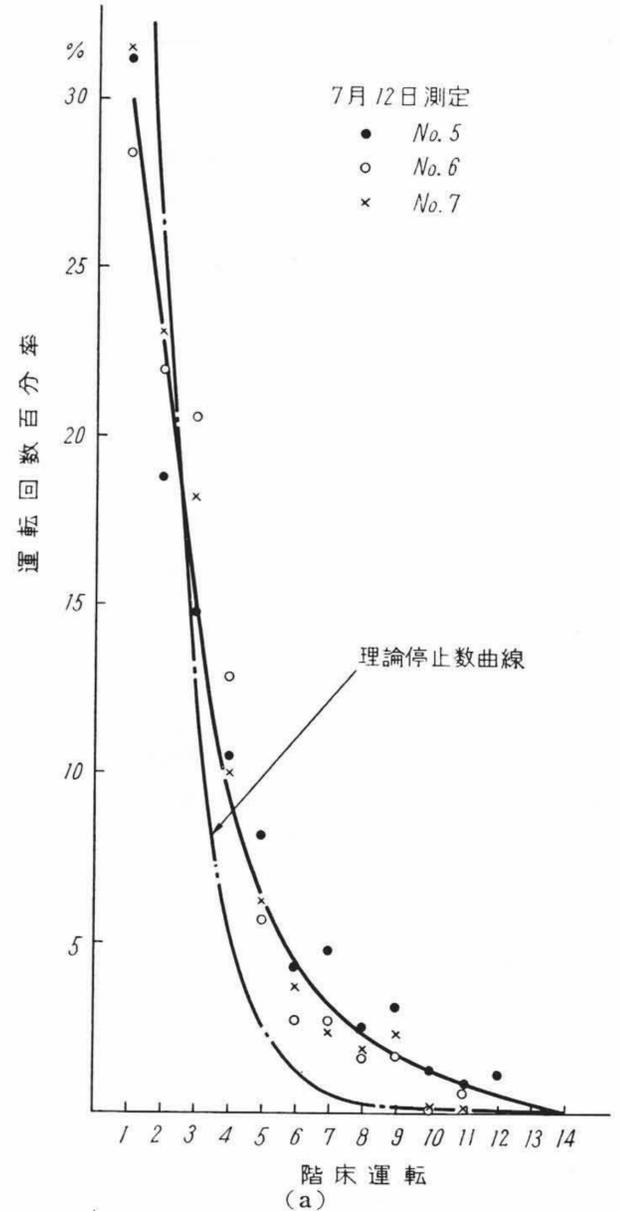
第18. a, b 図に3台の運転距離と起動回数を示した。Autogram Traffic Pattern は最も早いエレベータが応ずるように絶えず指令されているが、運転距離、起動回数がほぼ同じになった本図の結果から考えても、合理的な管理機能を立証したといえる。No.5の運転距離はほかのエレベータに比べて起動回数が少ないにもかかわらず逆になくなっていくが、資料を検討した結果、R階運転によることもわかった。すなわち、R階はNo.5だけが応ずる階であるから、R階の呼びが生じたときの運転状況によって、差が大きくなった



第15図(a, b) 各内乗客数

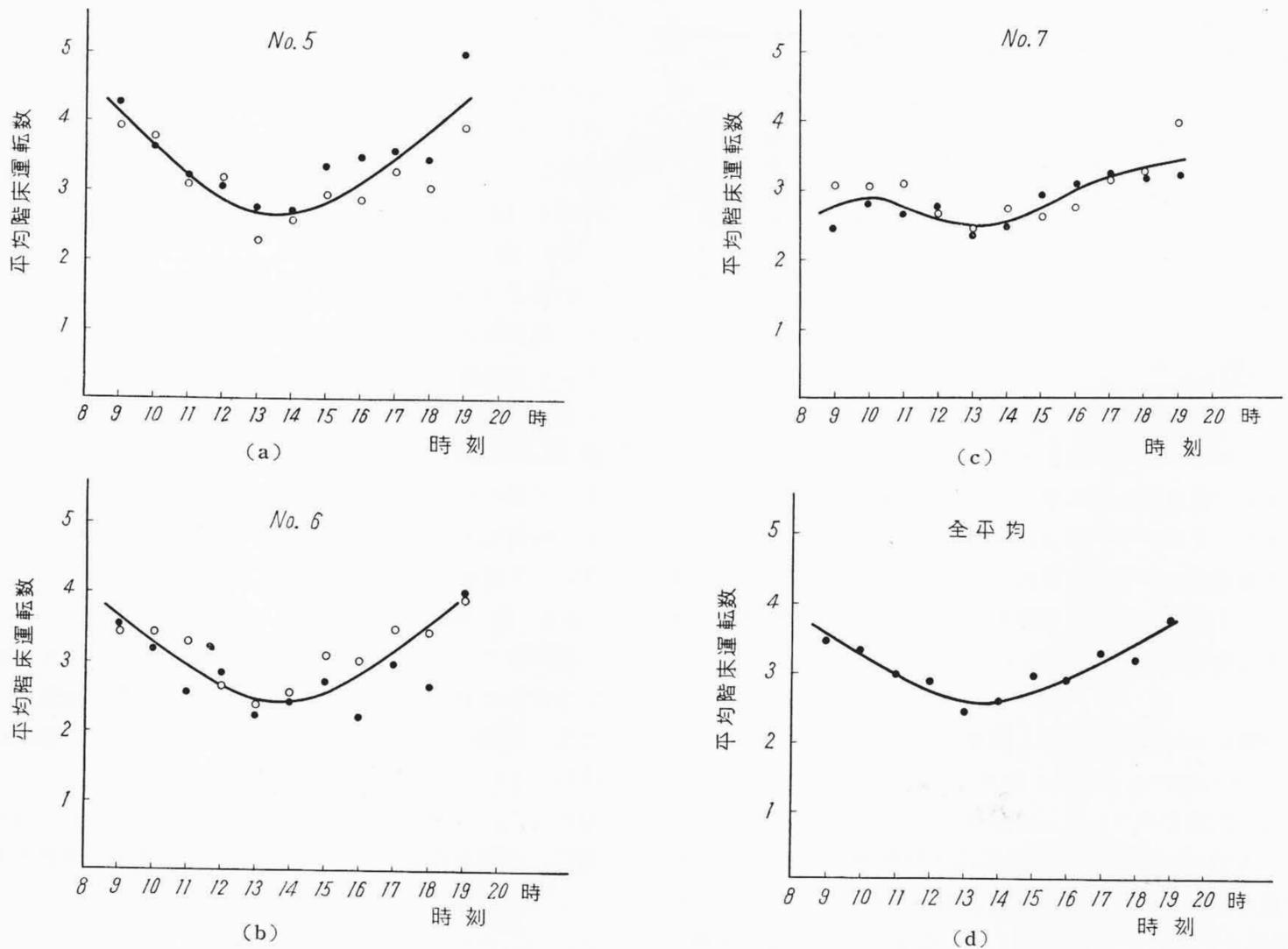
第6表 1時間ごとの階床運転の平均値

| 時刻    | 7月12日 |       |       | 7月13日 |       |       | 平均   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|       | No. 5 | No. 6 | No. 7 | No. 5 | No. 6 | No. 7 |      |
| 8~9時  | 4.30  | 3.53  | 2.45  | 3.91  | 3.47  | 3.06  | 3.45 |
| 9~10  | 3.70  | 3.22  | 2.77  | 3.84  | 3.45  | 3.04  | 3.33 |
| 10~11 | 3.22  | 2.58  | 2.64  | 3.10  | 3.34  | 3.08  | 2.99 |
| 11~12 | 3.08  | 2.89  | 2.72  | 3.20  | 2.65  | 2.66  | 2.87 |
| 12~13 | 2.75  | 2.24  | 2.38  | 2.28  | 2.40  | 2.46  | 2.42 |
| 13~14 | 2.72  | 2.48  | 2.49  | 2.59  | 2.55  | 2.75  | 2.60 |
| 14~15 | 3.36  | 2.72  | 2.91  | 2.91  | 3.11  | 2.61  | 2.94 |
| 15~16 | 3.47  | 2.21  | 3.09  | 2.84  | 3.04  | 2.75  | 2.90 |
| 16~17 | 3.56  | 3.00  | 3.21  | 3.27  | 3.50  | 3.17  | 3.28 |
| 17~18 | 3.47  | 2.70  | 3.20  | 3.02  | 3.45  | 3.23  | 3.18 |
| 18~19 | 3.56  | 4.05  | 3.18  | 3.90  | 3.95  | 3.98  | 3.77 |
| 平均    | 3.50  | 2.77  | 2.81  | 3.17  | 3.16  | 2.97  | 3.06 |

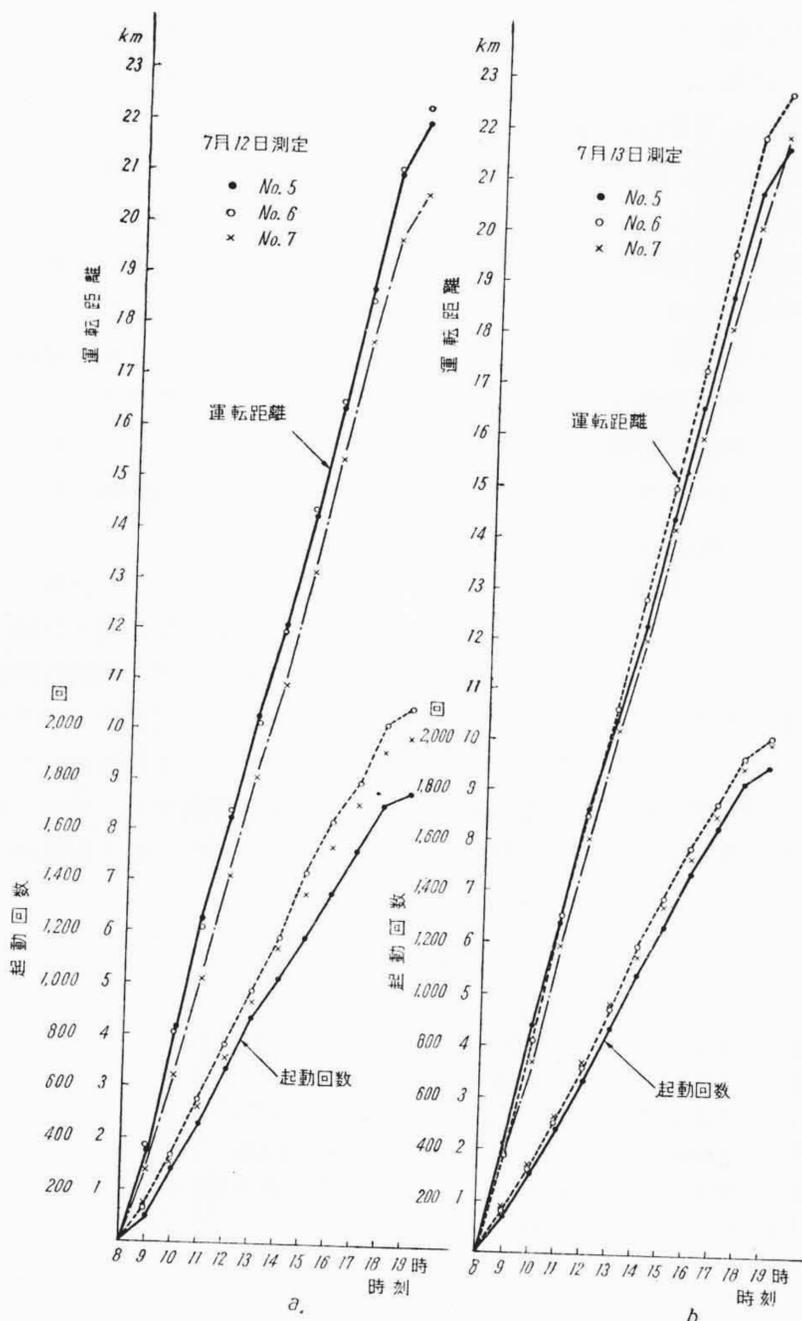


(×) 階床運転とは運転した階床間の階床数をもって表わすもので、たとえば1→2階のときは1階床運転、4→8階のときは4階床運転と称している

第16図(a, b) 階床運転ごとの運転回数百分率



第17図(a~d) 時刻ごとの階床運転の平均値



第18図(a, b) 運転距離と起動回数

ためである。これは、 $B_3$ 階に対するNo.6の関係も全く同じであるから、たとえ収容人口は少なくとも1バンク中少なくとも2台でサービスすることが望ましい。

### 5. 全自動群管理方式の計画

建築設計上、エレベータの計画がいかに重要であるかは、いまさら多言を要しないと思う。しかし、全自動群管理方式について設計に必要な資料を具体的に発表された例が少ないから、一般にはただ観念的に近代化された複雑なエレベータと考えられているようである。しかも、運転状況だけを見て、等間隔にバラまかれた状態を維持し続けることが本質的な全自動群管理方式の使命のように誤解している向きは特に多い。

エレベータはほかの交通機関と違って、絶えず必要な階だけに停止する。したがって、たとえ一時的に理想的な出発間隔で運転していても、そのときの交通需要によって、先発エレベータの各階停止が多ければ、後続エレベータの運転条件によって運転間隔が変化するの当然である。全自動群管理方式は運転間隔が少なくなった場合、乗客の運転に支障をきたさないようにしながら第5図で示した理想状態に近づけようと管理するものであって、第5図に示す理想状態を維持することだけが使命ではない。

一方、建築上の制約から明らかに台数不足と思われる例もある。特にビル内の収容人口は計画当時よりも20~40%増加した例が非常に多いから、この増員は当然考慮して運転台数を決めるべきである。計画上の不備から生じた台数不足を、たとえ全自動群管理方式によって補うことができても、全エレベータ群に過酷な運転を強制することになるから、大局的にみて得策とはいえない。したがって、実際の計画上あらかじめ考慮していただきたい事項について、設計上の立場から簡単に述べてみよう。

#### 5.1 定員

第14図に示すとおり、事務所ビルでは運転回数の大半が10人以

第7表 エレベータ計画の実例

| ビル名称 | 延坪数<br>a | 収容人口<br>b | エレベータ台数<br>c | 定員<br>d | 速度<br>e<br>m/min | 地上階床数<br>f | a/b  | b/c |
|------|----------|-----------|--------------|---------|------------------|------------|------|-----|
| A    | 9,050    | 2,560     | 6            | 11      | 150              | 12         | 3.54 | 427 |
| B    | 5,440    | 1,090     | 3            | 15      | 150              | 9          | 4.99 | 363 |
| C    | 5,590    | 850       | 4            | 16      | 120              | 8          | 6.58 | 213 |
| D    | 3,640    | 1,000     | 3            | 11      | 120              | 9          | 3.64 | 333 |
| E    | 7,490    | 2,200     | 6            | 12      | 120              | 10         | 3.40 | 367 |
| F    | 5,050    | 1,000     | 3            | 13      | 120              | 9          | 5.05 | 333 |
| G    | 5,170    | 1,430     | 4            | 10      | 150              | 9          | 3.62 | 358 |
| H    | 8,500    | 1,300     | 6            | 16      | 150              | 9          | 6.54 | 217 |
| I    | 28,000   | 4,900     | 16           | 21      | 150              | 12         | 5.72 | 306 |
| J    | 11,300   | 2,320     | 7            | 17      | 150              | 12         | 4.88 | 331 |

下の運転であるから、かごが大きすぎることは特に無負荷下降運転時を考えた場合、全負荷上昇に等しく非常に不経済な運転を行うことになる。また、定員が多い場合、混雑時には一周時間が増加して期待どおりに輸送能力が発揮できないときもあるので、これらの諸条件を考慮して1,000 kg, 15名程度を限度とし、並列設置台数を増加して輸送能力を増すほうが望ましい。

### 5.2 台数

従来は出勤時における輸送時間を指標にして台数を決めている。しかし、今回、Autogram Traffic Patternにおいては上、下層行に分けて自動的に出勤日のラッシュを解決する方式を採用し、所期の目的を達したので、今後計画する場合には平均待時間を25秒以下になるよう台数を決めることが望ましい。そのためには、収容人口の約13倍の乗客がエレベータを利用しているという本調査の実績から、定員15名、1台当り350程度の収容人口になるよう計画するとよい。第7表は代表的なビルの実例を示したものであるが、Aビルは明らかに台数不足であって計画に無理があると思う。

次に群管理を行う1バンクの台数は、少なくとも3台にすることが望ましい。特に地上階が10階以上あるビルでは地下階の交通量も多くなるから、地下階の使用目的を特に注意して考慮すべきである。今回の調査によって、実際に生ずる種々な特殊事情も実状に即した管理要素を設定するだけで解決できることがわかったから、建築上の計画によほど不備な条件がないかぎり、第6図に示した指標以下の成果は十分期待できる。

### 5.3 基準階

基準階は最も利用率の高い下階に設けるべきである。たとえば、地階に地下鉄がはいるときは、その地階を基準階に選べばよい。朝のラッシュ時でも、故意に1バンクのエレベータ群を二分して、地階と1階の両方を基準階にすると一見して能率が上がるように思われるが、両者の階の交通量が連続して同程度に混むとは限らないので、総合的にみて良策ではない。また、自動的に反転すべき上階の準基準階は第13図に示した各階の利用率をあらかじめ推定して、利用率の高い上階を選べばよい。特に最端階も原則として1バンク全台でサービスすべきであるが、少なくとも2台以上でサービスすることが大切である。

### 5.4 配置

1バンクのエレベータ群はアーチ形に配置すると、使用上非常に都合がよい。しかし、このような配置は床面積が大きくなるうえにいままでの実績から考えて、1バンク6台までは、たとえ1列に配置しても使用上不便を感じることはないから、アーチ形を固執する必要はない。

特に注意すべき点はビル外の交通機関との関係である。すなわち、外部の交通機関を利用しやすい玄関には特に集中して配置すべ

きである。配置を誤って、乗客が片方にかたよった場合、閑散なエレベータのほうへ立看板などの案内程度で分散させようとしても、その効果はほとんど期待できない。また、来賓用として1バンク中の1台を長時間専用運転させている例があるが、これもまことに不経済なことであり、あらかじめAutogram Traffic Pattern以外に計画すべきである。

### 5.5 急行階

出勤日の朝のラッシュを自動的に解決する新方式の成果について、筆者自身その調査に立会った結果、所期の目的を十分達していることを確認した。すなわち、5日間の記録を通じて、1階エレベータホールに70名以上の乗客が待つこともなく、しかも2分以内で30名以下に減少しているから、完全に解消したといえる。また、上、下層に分割する区分階はそれぞれの輸送時間がほぼ等しくなるように決定するが、さらに上、下層とも各1階任意に変更できるようにして計画上の便宜も図っている。

### 5.6 先発表示

基準階で先発エレベータを表わす表示方法として、従来、**先発**という文字で表示した例が多い。しかし、実際には文字で表わさないでも、他階の到着灯と同様に先発エレベータだけ鮮明に矢印灯をつけるようにしたほうが、不慣れた乗客にもかえってわかりやすい。したがって、最近では矢印灯だけで先発表示する方式を採用している。また、この方式は自動的に基準階を変更するときにも都合がよい。

## 6. 結 言

エレベータの交通計算については、いままで種々の方法が発表されているが、任意の階の平均待時間に関するものはない。今回、理論停止数から任意の階の平均待時間の指標を算出する方法を考え、その結果は、実測値に比べ十分実際的であることを述べた。従来、平常時の平均待時間は約35秒以下であればよいと考えられていたのに対して、実測の結果、朝夕のラッシュを含めても23.6秒という好結果を得た。したがって、予定どおり1バンク4台にすれば、さらに高度の能率化が期待できる。また、任意に選んだ4、8階で種々の条件の違いにほとんど関係なくほぼ同じ結果が得られることも明らかにしたが、さらに、1バンクのエレベータ群は日々の交通需要が絶えず変化するにかかわらず、ほぼ平均した負荷率で運転するよう自動的に管理されることも実証した。これは、管理者の判断で行うことはとうてい不可能な運転上の管理機能をAutogram Traffic Patternによって初めて実現できたものである。

従来、全自動群管理化することによって得られる成果を技術的に評価することが困難であったため、とかく、観念的な表現で評価されている。したがって、種々の新しい考え方を設けて具体的な評価基準をたててみたが、一方、調査員、調査時間、測定条件をできるだけ多くして正しい評価ができるように努力した。本調査にあたって、関西電力株式会社臨時本店社屋建設室清水寿栄次氏、竹中工務店竹原義昭氏に有益な資料を提供していただいたので厚くお礼申しあげる。

### 参 考 文 献

- (1) 犬塚：日立評論41, 1066 (昭34-9)
- (2) 犬塚、早瀬：日立評論 別冊38 (昭35-8)
- (3) 犬塚：日立評論35, 553 (昭28-3)
- (4) 日本建築学会編：新規格と解説 (1957)
- (5) Annet：Electric Elevators 466 (1935)
- (6) 犬塚：昭和35年電気四学会連合大会予稿
- (7) 日立評論43, 150 (昭36-1)