

エレベータ定員と台数選定の一考察

A Study on the Elevator Passenger Capacity and the Determination of Its Number of Installations

石塚 泰 司*

内 容 梗 概

大型の建物においてその多数のエレベータの台数と定員とをどのような考え方で定めるべきか、またどのように有機的に働かせるかは重要な問題である。筆者は今回新らしく見込み停止階床数およびサービス係数なる考えをとり入れて、目的にマッチしたエレベータの定員と台数との選定法を考えてみた。

(1) エレベータは混雑時の予想交通状態から、全員輸送時間 β を定めて計画すべきである。ただし β はつぎの値が適当と思われる。

時差出勤の考えられない独立事務所ビル..... 20~30 min

各階共別箇の会社で時差出勤の多いビル..... 45~50 min

上の中間的な場合..... 35~40 min

(2) サービス良否の検討に関しては

$$\delta = \frac{65}{I\sqrt{N}}$$

ただし I = 出発間隔 (s)

N = 並列台数 (台)

なる係数を仮に考えてみたところ、 δ の値が1.3以上の場合サービスは優、1.3~0.8は良、0.8以下は可というデータをえた。

〔I〕 緒 言

エレベータと建物とは深い関係があつて、エレベータ計画の良否はたゞちに建物の実質価値を左右する。最近とみに建物が大型・高層化するにつれ、交通量は増加しエレベータ数台を並列に設置するようになった。かくてエレベータを建物の附帯設備とみる傾向は改められ、今やその計画は建築設計上の重要な一部門となつた。

日立製作所では従来からエレベータ計画の重要性に着眼して種々研究⁽¹⁾⁽²⁾してきたが、今回新丸ビル・大阪市内某ビルなどの交通実態調査を行い、その結果、筆者は新しく見込み停止階床数およびサービス係数などの考えをとり入れて、建物の性質・目的・用途にマッチしたエレベータの定員と台数との選定法を考えてみた。以下このあらましを紹介する。

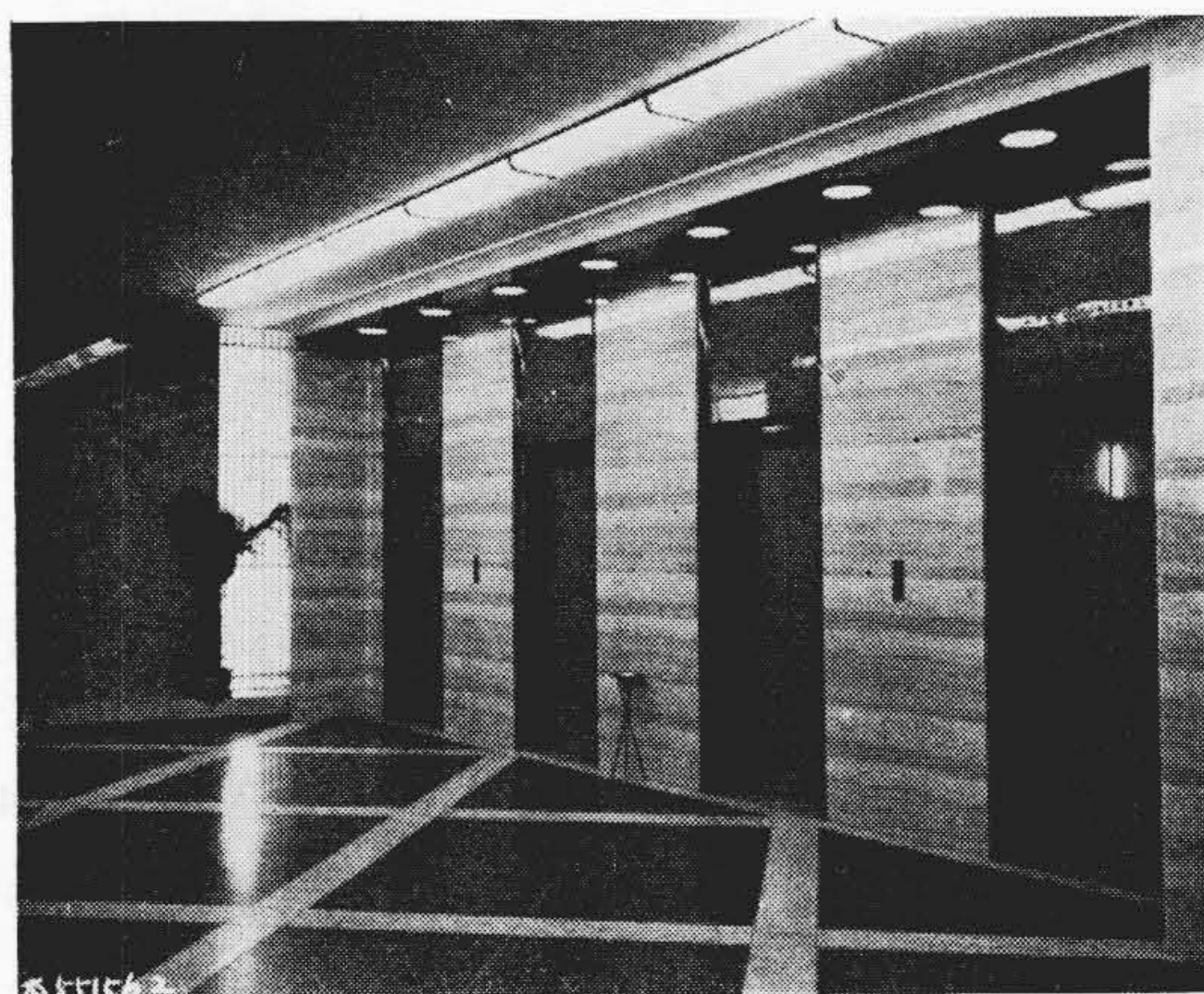
〔II〕 一周時間の分析

エレベータの能力を論ずるにはまず一周時間、すなわち基準階を出発した瞬間から、全行程を一往復し、ふたたびその階にもどつて第2回目の出発をなす瞬間までの時間が問題になる。一周時間を大きく分けると、走行時間・扉開閉時間および乗客の乗降時間の3部分からなつている。

(1) 走行時間 (t_r)

日立エレベータはすべて最少の時間で最大の距離を乗心地よくはしるよう、速度一時間の理想曲線にそつて走

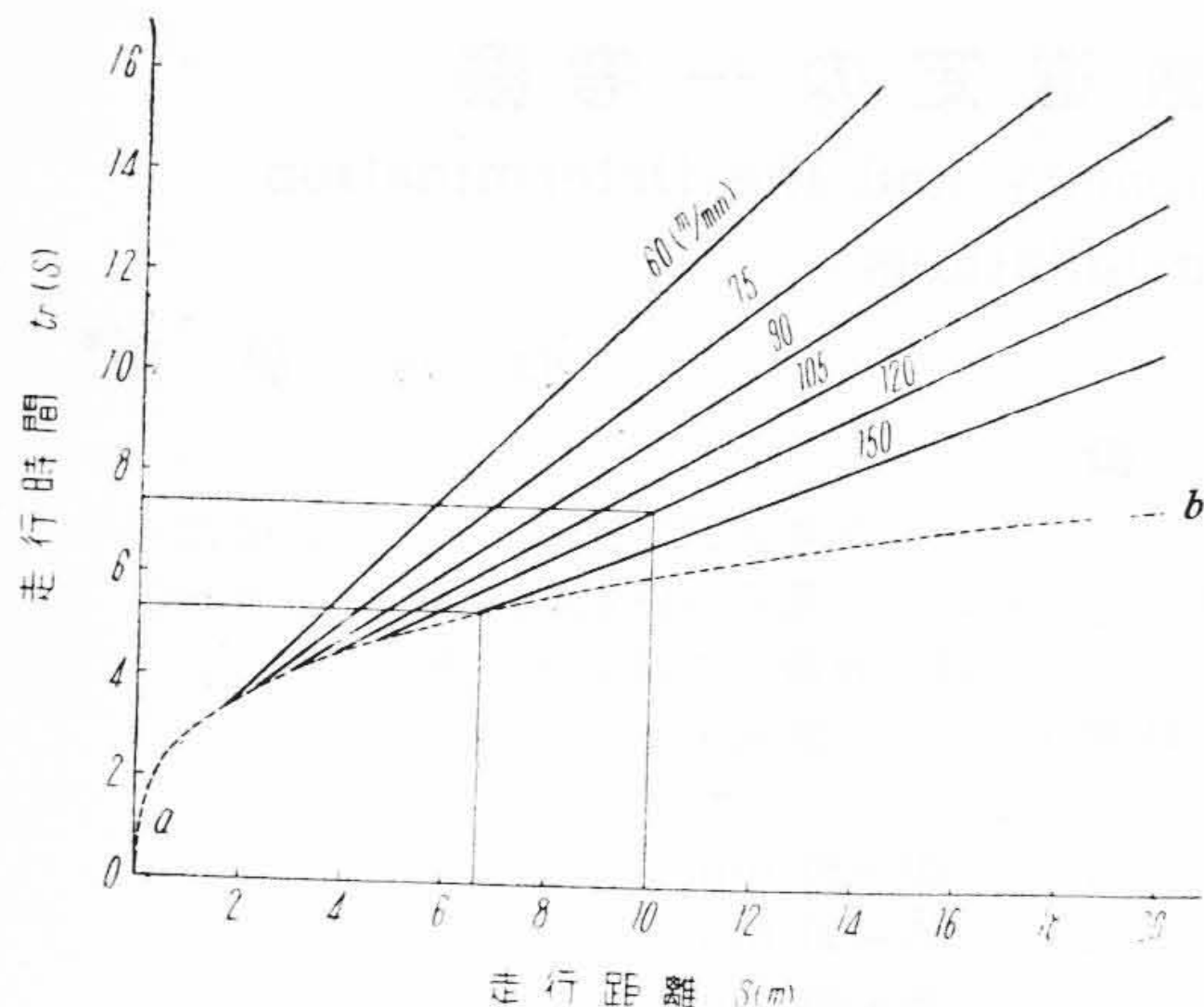
* 日立製作所日立国分分工場



第1図 呉服橋ビル納4台並設のエレベータ出入口
Fig.1. Entrance Hall at First Floor with 4 Parallel-Installed Elevators



第2図 住友海上火災納エレベータ群
Fig.2. One Group of 3 Elevators



第3図 エレベータの距離—時間曲線
Fig. 3. Running Distance—Time Curve

行している。この場合、ある階を出発しつぎに停止するまでの走行時間 t_r と、走行距離 s との関係は近似的につぎの式であらわされる。

$$t_r = \frac{s}{V} + \sqrt{\frac{4V}{k}} \dots \dots \dots (1)$$

ただし V = 定格速度 (m/s)

k = 定数 (加減速時の加減速度変化率 m/s^3)

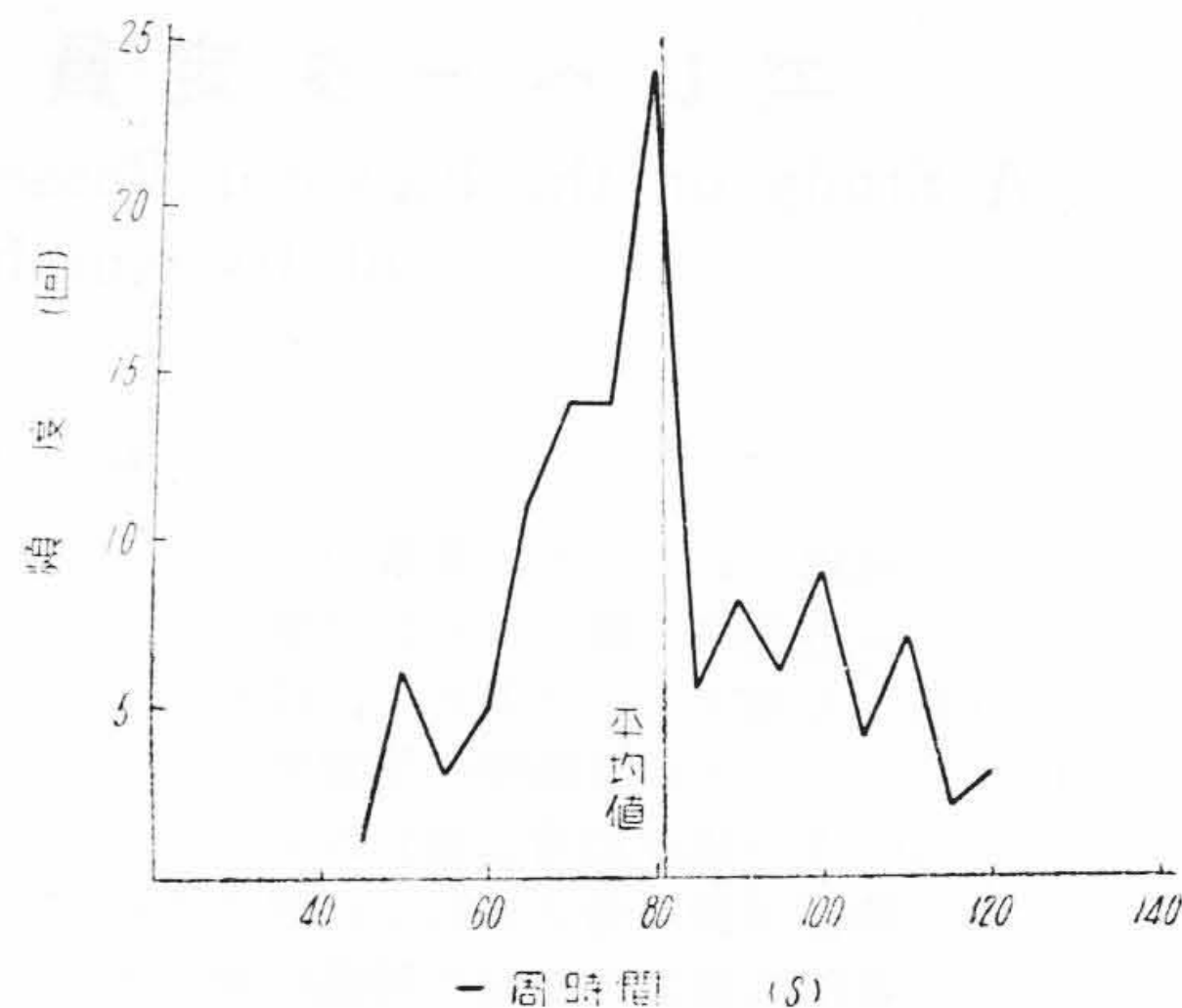
第3図は $k=1.4 m/s^3$ としたときの走行距離—時間曲線を示している。たとえば定格 $120 m/min$ のエレベータが $10m$ の距離を移動するとき、走行時間 t_r は 7.4 秒となる。補助の点線 $a-b$ はそれぞれの定格速度に対し、加速および減速に要する時間を示している。たとえば $150 m/min$ の速度に対しては 5.34 秒の加減速時間を要し、この場合加減速中に $6.66m$ を走行する。

(2) 扉開閉時間 (t_d)

扉開き装置には色々の型式があり開き幅も不同であるから一定しないが、開閉時間は直流電動扉の場合 $2.5 \sim 4.5$ 秒程度である。しかし一般に電動式においては着床前に扉を開き始めるのが普通であるから、一周時間を考える場合、開き時間に関しては、上記の時間を差し引いて 0.9 秒と見込んでよい。

(3) 乗客乗降時間 (t_p)

同時に出入する人数や、客自身の敏速度合・扉の開き幅などに左右されて一定しないが、現地の実態調査の結果、4人以上が連続して乗りまた連続して降りる場合、一人当りの乗りおよび降りの合計所要時間はほとんど一定で約 2 秒となつた。この結果は従来多くの文献とも一致している。4人以下の場合分は 2 割程、増すが計算上は考慮しないことにする。



第4図 ラッシュ時における一周時間の度数分布図
Fig. 4. Actual Round Trip Time During Peak Traffic

〔III〕 一周時間の求め方

(1) 見込み停止階床数 (F_p)

一周時間は以上の各要素を昇降一往復に対し集計すれば求められるが、これを机上で計算する前にまず実際のエレベータの実測結果について考えてみよう。第4図はある建物の一台のエレベータの朝のラッシュ・アワーにおける一周時間の分布図を示している。ただし測定中エレベータは常に最上階まで普通運転 (乗降客のない階は通過、その他は各階停止) を行い、かつ一階で丁度定員だけを満載して出発した。このように運転方式・乗客数が同じでも毎回一周時間に差が生ずるのはなぜだろうか。これは勿論人の乗降時間の不同にも原因するが、大部分はその一周中の停止回数が異なるからである。つまり極端な場合、乗客が各階に一人ずつ分散して降りることや、また全員がある一つの階に集中して降りてしまうことがあり、このように通過階床数が変わればその延走行時間も増減するからである。

しかし一般に、与えられたサービスすべき停止階床数および乗客数に対しては、確率的に最も頻度の多い通過運転の仕方がある筈であり、おのずから一周時間もきまってくるものである。この場合の確率的な停止階床数を見込み停止階床数 F_p と名づけよう。以上のような確率を取り入れた一周時間の計算法はすでに欧米で応用されているが、こゝではまづある事務所ビルの出勤時の F_p を求めてみよう。

今1階である人数 (混雑時には定員) が乗り込み順次上方階で降りて行き、途中階から途中階への往復はないという条件のもとに

F = 停止可能階床数 (1階も含む、急行運転の場合通過階は除く)

P_s = 建物の2階以上の全人口

P_c = 任意の階の人口

$P_1, P_2, \dots, P_F$ = 各階の人口

P = 一階で乗りこむ人数

とおけば見込み停止階床数 F_P は

$$F_P = \sum_{P_c=P_2}^{P_F} \left[1 - \left(1 - \frac{P_c}{P_s} \right)^p \right] \dots\dots\dots (2)$$

となる。上式の〔 〕の中は、任意の階に停止する確率を示す1以下の数である。たとえば0.4という数をえたら、エレベータが10回往復する間にその階に4回停ると解釈すればよい。

(2) 式に建物各階の人口が等しく、エレベータは最上階にかならず達してから引きかえすという条件をいれて、 F と F_P との関係を図にあらわせば第5図となる。なおパラメータは乗客数 p で示す。たとえば8階床の建物のエレベータに1階で5人が乗り込んだときの上昇行程中の F_P は4.2となる。

以上1階で乗客がのりこみ、上階で降りるという上昇中の F_P を求めたが、下降時にはこれらの人々が各階から順次のりこみ、1階で皆が降ると考えれば同様な計算がなり立つ。また、途中階から途中階への往復はないものとして考えてきたが、朝の混雑時にはこのような往復は行われないのが普通で、輸送能力を決定する際には考慮しなくてよいと思う。

(2) 見込み停止間距離 (s_p)

以上のようにして求めた見込み停止階床数 F_P でエレベータの全行程 H を除せば、見込み停止間距離 S_p が求められる。この距離を求める目的は、一停止ごとに走行する時間 t_p を知りたいためである。

今前例の場合は $F_P=4.2$ 、全行程が8階で各階床の高さを3.6mと仮定すると $H=25.2$ m となるから $s_p=6$ m となり、第3図より走行時間を知ることができる。たとえば90 m/min のエレベータの場合は6.2秒、120 m/min では5.4秒となる。

(3) 一周時間の求め方

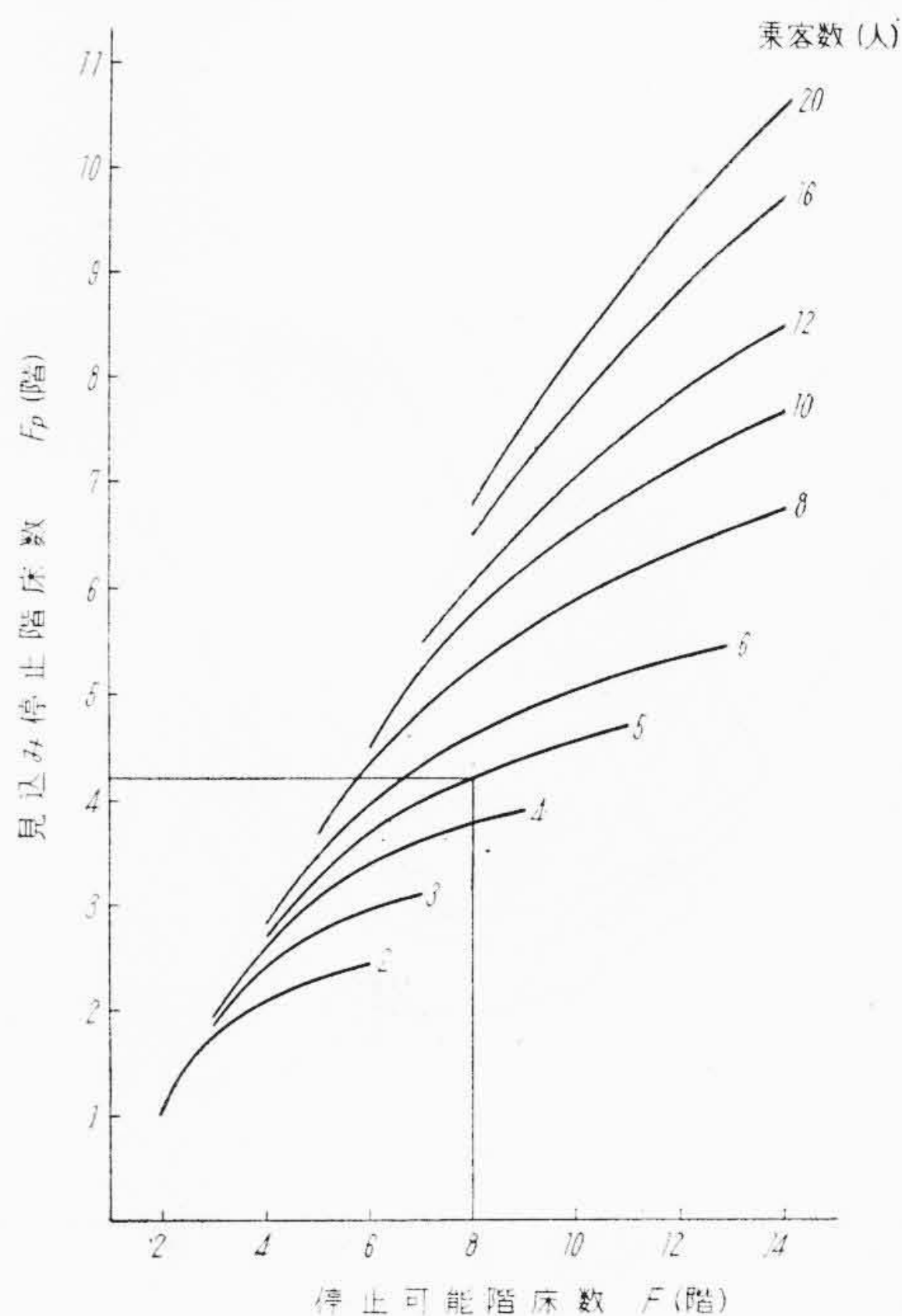
一周時間 T は前述の諸項を昇降方向別に計算し合計すれば求められる。すなわち

$$\text{上昇時: } T_U = (t_p + t_d) F_P + t_p \times p \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{下降時: } T_D = (t_r' + t_d') F_P' + t_p \times p' \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{合計一周時間: } T = T_U + T_D \dots\dots\dots (5)$$

第6図(次頁参照)(a)(b)(c)は(5)式をもとに、種々の場合について一周時間を計算した図表であり、エレベータの計画に当って、簡単・迅速に一周時間を直読できるよう特に掲げる。すなわちこの図表を昇・降2回に用いて、それぞれの片道時間を出し合計すれば容易に一周時間を求めうる。なお第6図(a)は12階床、(b)は10階



第5図 見込み停止階床数曲線
Fig. 5. Probable Number of Stops

床、(c)は8階床の場合を示す。各曲線について⑤120、②150などは、⑤や②が運転方式を、あとの数字はエレベータの定格速度をあらわす。図の運転方式はつぎの5種である。

- ① 各階停止普通運転
- ② 両端階間急行運転
- ③ 1階とび運転
- ④ 中間階まで各階停止・反転運転
- ⑤ 中間階まで直行・高階床各階停止運転

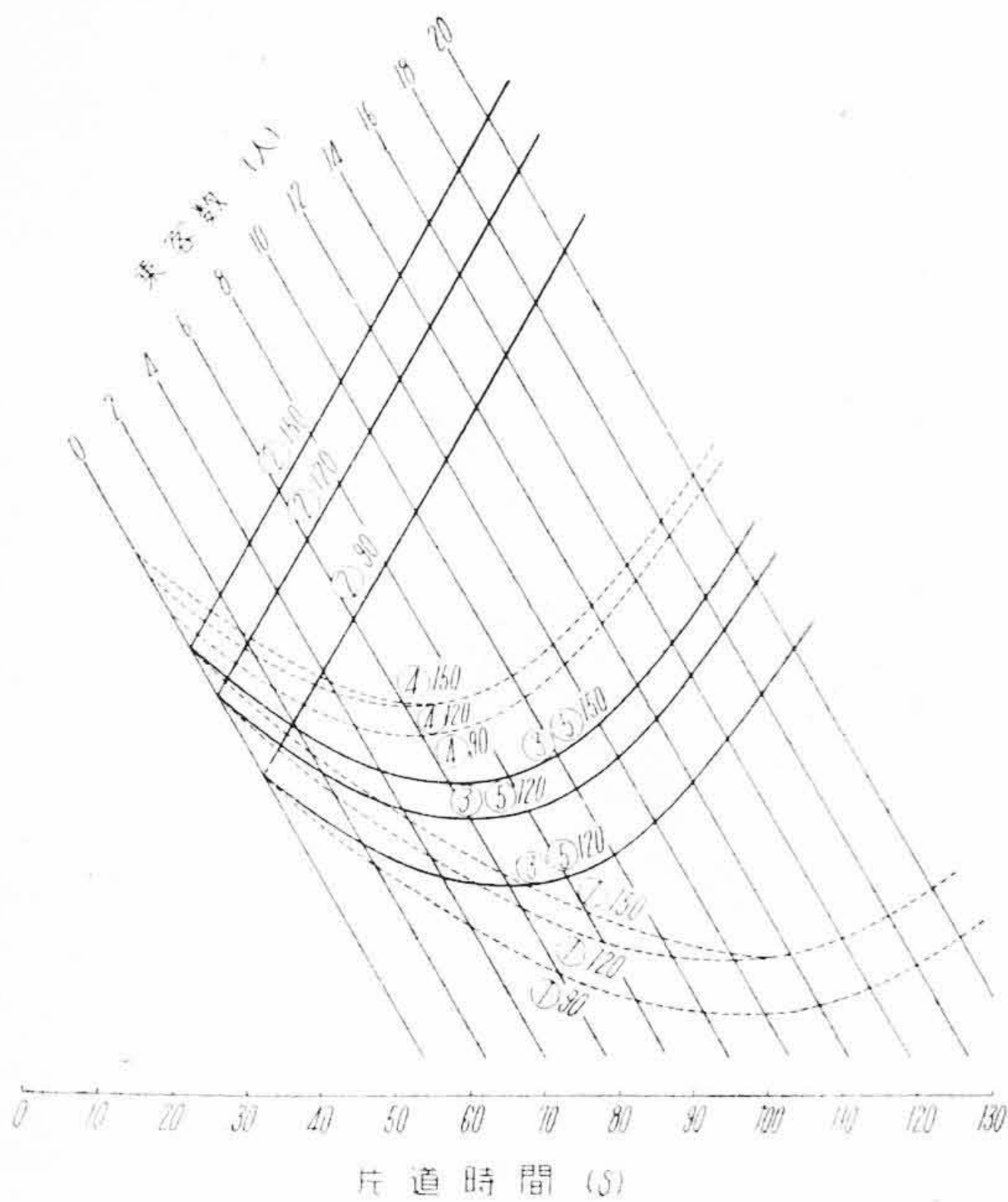
(注) 中間階とは12階床の場合は7階、10階は6階、8階は5階である。図示計算例は平均階床距離を3.6m、各階人員は均等に分布されているものとした。また扉開閉時間などは現状のエレベータの平均値をとった。

第6図の使用例として、8階床・11人乗り、150 m/min のエレベータが朝の交通頻繁時に上昇11人各階停止・下降0人無停止運転をした場合の一周時間を求めてみよう。まず上昇の片道時間は(c)図の①150曲線と11人軸との交点から、 $T_U=73$ 秒となる。また下降時は①150曲線と0人軸との交点から、 $T_D=17$ 秒となる。したがって一周時間は $T=90$ 秒なりと求めることができる。

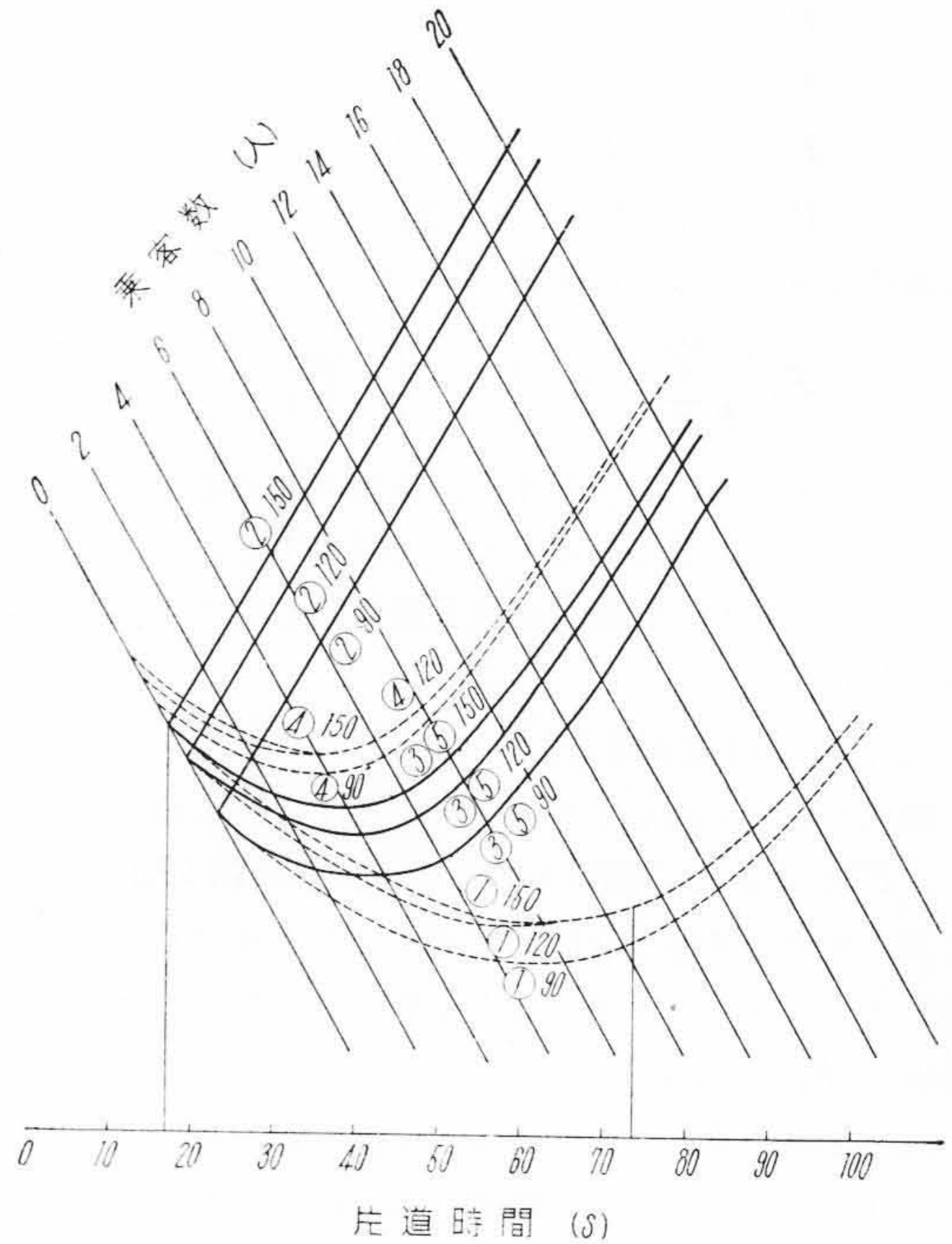
[IV] 定員と台数の計画

(1) 全員輸送時間 (β)

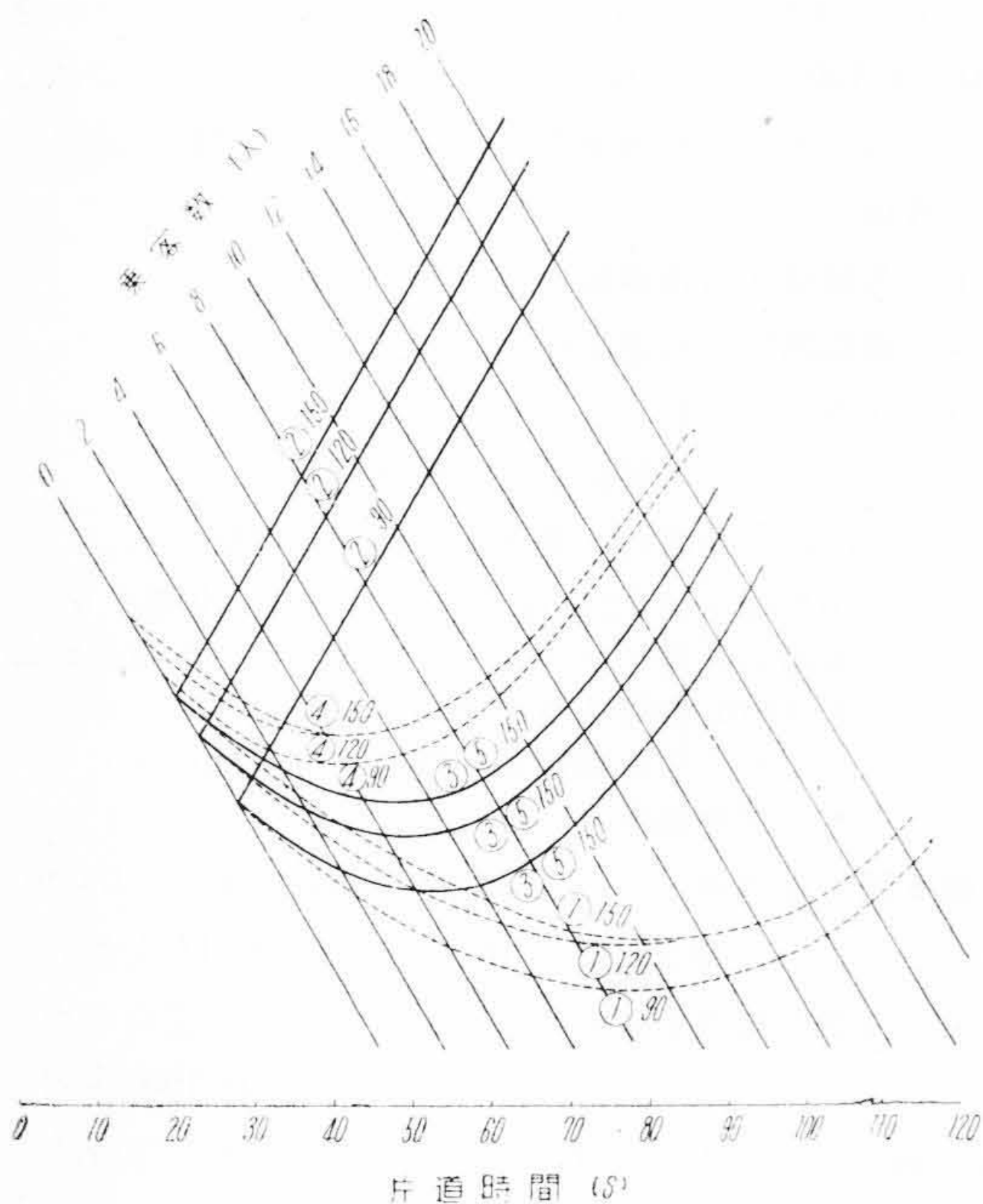
第7図は新丸ビルエレベータ群中最も使用頻繁なもの



第 6 図 (a) 12 階 床



第 6 図 (c) 8 階 床



第 6 図 (b) 10 階 床

第 6 図 各種の行程、運転方式、速度、乗客数に対する片道時間直読グラフ

Fig. 6. Curve for Determining the Round Trip Time

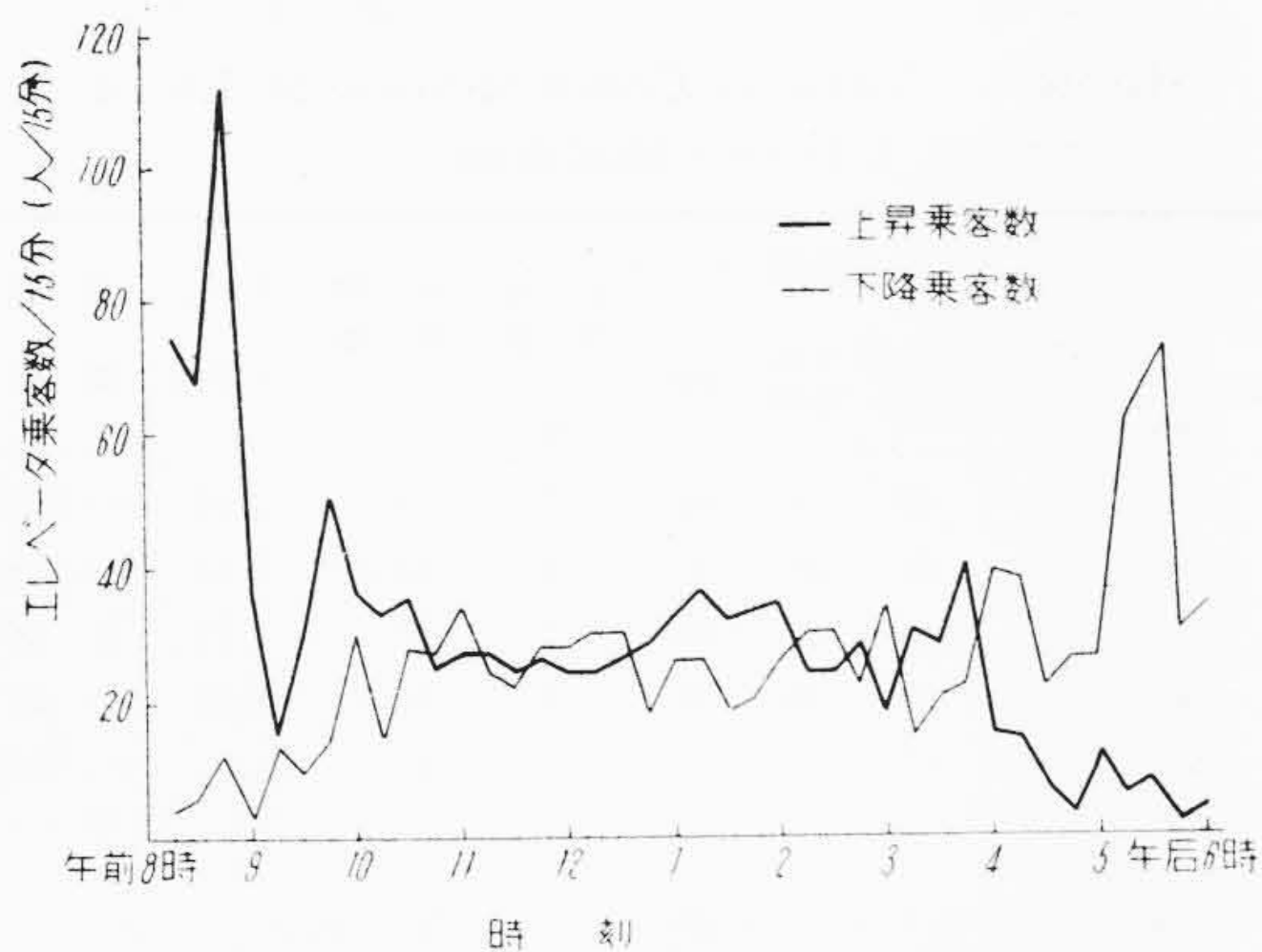
の終日の利用状況を示す。なお別の調査結果による朝のラッシュ時のみを拡大して図示すると第 8 図となる。図の横軸は時刻、縦軸はその時刻において単位時間ずつ測った 1 台のエレベータ乗客数を示す。ただし第 7 図の単位時間は 15 分、第 8 図は 5 分である。このように 1 日を通じて利用状況は時々刻々変動するものであり、朝夕に大きなラッシュがあらわれ、昼間は比較的使用が少く朝夕のラッシュの 1/4 くらいである。

さてエレベータは本質的に輸送のサービス機関であるため、いかなる時刻にもその建物の要求に対し十分な輸送能力をもっている必要がある。ゆえに最も交通頻繁な時刻をもとにその輸送能力、つまり定員と台数とを計画せねばならないのは当然であろう。

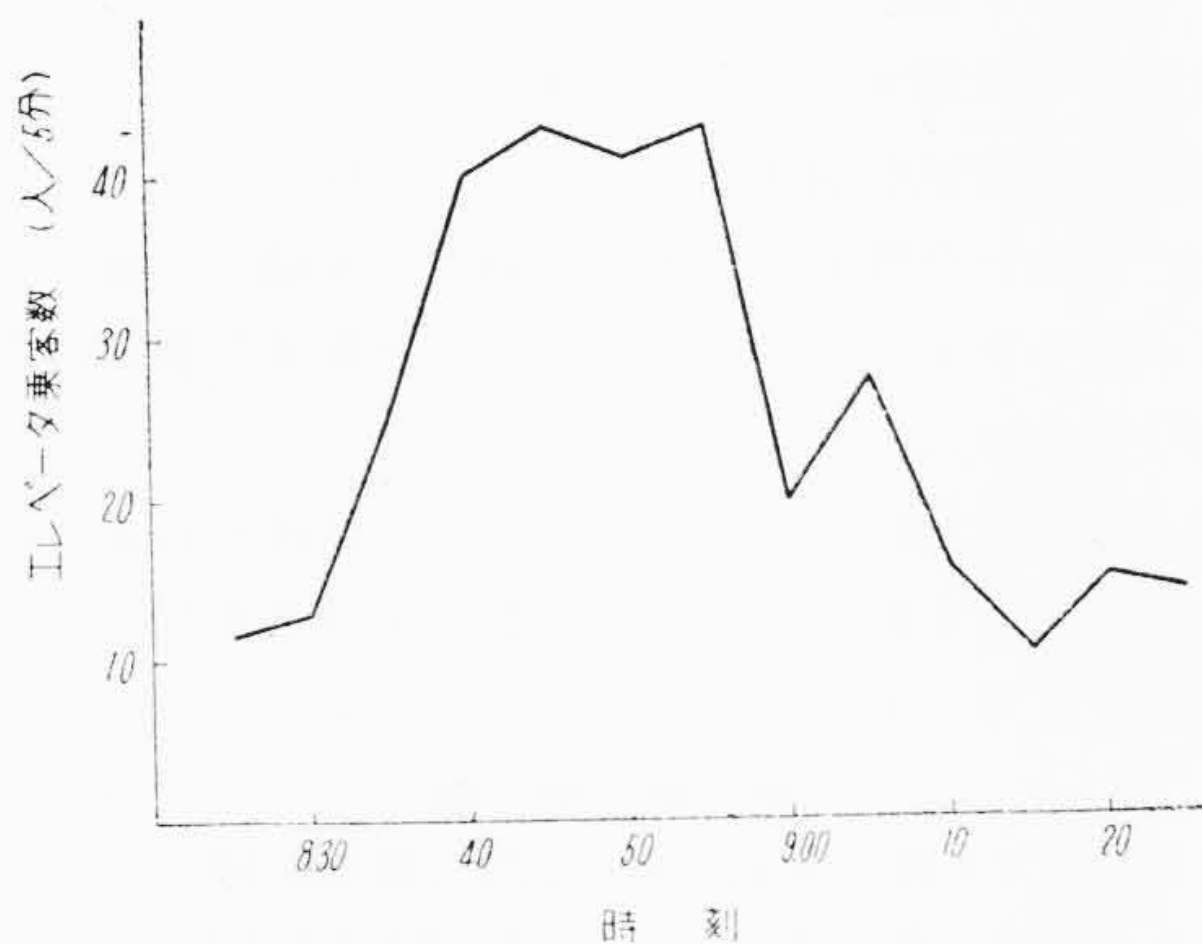
今、ラッシュの持続時間を Q 分とし、 Q 分間に 2 階以上の総収容人員 P_s の $\alpha\%$ を輸送するものとすれば、 N 台並列定員 P 人のエレベータ群が P_s を運び去るに要する時間 β は

$$\beta = \frac{Q}{\frac{\alpha}{100}} = \frac{P_s T}{60 P N} \text{ min} \dots \dots \dots (6)$$

となる。上記の Q および α の値は、その内容・性格から建物によつて一定の値をもつので、 β の値も一定となる。日立製作所ではこの β を全員輸送時間となすけて、エレベータ計画の基礎としている。なお β の値としてはほぼつぎの値が適当と思われる。



第7図 1台のエレベータの終日の利用状態
Fig.7. Traffic of a Elevator During a Day



第8図 ラッシュアワーにおける1台のエレベータの利用状態
Fig.8. Traffic of a Elevator During Peak Period

時差出勤の考えられない独立事務所ビル...20~30min
各階共別箇の会社で時差出勤の多いビル...45~50min
上の中間的な場合.....35~40min

(2) サービス係数 (δ)

前項(6)式によつてエレベータの輸送能力($P \times N$)は大体定められる。しかし同じ輸送能力のエレベータとしても小定員のものを多数設ける案と、大定員・小数の案とがある。今仮に前者のように設けた場合を考えてみよう。するとそのエレベータはおのこの乗客数が少ないため一周時間は短かく、その上並列運転台数が多いので一つのエレベータとつぎのエレベータとの出発間隔も短かい。ゆえにエレベータに乗りこむためホールで待つている時間、いわゆる待時間や、乗りこんでから目的階に到達するまでの乗時間も短かい。したがつて優秀なサービスをすることができる。しかも日中の閑散時には適当に運転台数をへらして、がら空きをさけるとともに、電

力消費量・人件費などを節約できる。だがこの場合はエレベータ設備価格が高く、かつ機械室を含めた必要床面積も増すので建物全体として不経済な使い方となる。

一方前記エレベータ群と同一の輸送能力をもつ大容量のエレベータを少数設けた場合は、設置価格の面からは経済的であるが、サービスの面からは面白くない結果となる。

以上のように必要輸送能力が定まっても、具体的に何人乗りのエレベータを何台設けるかを計画するには、サービス・電力消費量・人件費および設備などの諸問題が錯綜し合つて、その選定に迷うことが多い。ここで($P \times N$)が定まったのち、定員 P および台数 N おのこの決定手段としてのサービス係数なるものを考えてみよう。

さて、エレベータのサービス面を考えたとき、第一にその出発間隔 I が問題になる。これは乗客の待時間の長短に直接影響し、いらだたしさ、つまりサービスの良否という心理効果を乗客に与える。このいらだたしさを数的にあらわすことは非常にむづかしいが、今おなじ台数の並列エレベータをもつA・B二つの建物を比較するとき、その出発間隔がそれぞれ I_a, I_b だとすると、乗客に与えるいらだたしさはほど $I_a : I_b$ に比例するものであらうと思われる。したがつて、そのサービスの良いという心理効果を δ とすれば $\frac{\delta_a}{\delta_b} \propto \frac{I_b}{I_a}$ と、近似式が成り立つ。第二に出発間隔が互いに等しいC・D二つの建物を比較するとき、その並列台数が多い方が乗客にはいらだたしさをより多く与えるのではなからうか。つまり「エレベータが10台もならんでいるのに随分待たせるな。」という感じである。しかし、Cの並列台数がDの倍だからといつて、Cの場合倍のいらだたしさを与えると考えるのは極端すぎる。今C・Dそれぞれの並列台数を N_c, N_d とし、サービスが良いという心理効果と台数との函数関係を $\frac{\delta_c}{\delta_d} \propto \left(\frac{N_d}{N_c}\right)^r$ とおいてみよう。

筆者は以上第一・第二のファクターを組合せて

$$\delta = \kappa \times \frac{1}{I} \times \left(\frac{1}{N}\right)^r \dots\dots\dots (7)$$

なる値を仮に考え、これをもつてサービスの良否をはかる一つの係数としてみた。上式に数箇の事務所ビルの実状を代入してみると、大体 $r=0.45 \sim 0.60$ なる範囲内にあり、特に $N=10$ 以下の場合 $r=0.5$ とすれば文献⁽⁴⁾記載の図表とも傾向がある程度一致した。 κ は単なる定数であり任意に定めて良いが、 δ の値を1前後とするために $\kappa=65$ とえらんだ。

このようにして

$$\delta = \frac{65}{I\sqrt{N}}$$

なる値をサービス係数と定めた結果、 δ の値が1.3以上

の場合サービスは優, 1.3~0.8 は良, 0.8 以下は可というデータをえた。

(3) 選 定 例

以上をまとめてエレベータの選定手順を略述すれば,

- (i) その建物の内容, 性格およびエレベータの用途などからエレベータの配置・速度および制御方式を定める⁽³⁾。
- (ii) 多くの同種建物の資料をもとに, その建物の交通状態を適確に予想する。
- (iii) 混雑時の予想交通状態から全員輸送時間 β を定める。
- (iv) その輸送能力を満足するような種々の組合せの定員・台数のエレベータを立案する。
- (v) 各案について, サービス係数 δ および価格などの検討を行う。
- (vi) 最後にそのうちから最も必要条件に応じたエレベータを定める。

以上の選定例として 2 階以上の収容人員 1,000 人, 10 階建の高級事務所ビルのエレベータの計画を行ってみよう。建物の性質・高さから 150 m/min のエレベータを設けることとし, その全員輸送時間は 40 分であるとする。上の諸条件から考えられるエレベータは大体第 1 表のようなものがあり, この例では 10 人乗り 4 台を設けるのが適当のようである。

〔V〕 結 言

以上述べてきたように, エレベータの台数・定員の選定法はかならずしも容易でなく, 既存エレベータに対す

第 1 表 エレベータ選定例

Table 1. Various Combinations of Elevators for a Given Building

定 格 速 度 (m/ min)	定員 数 (人)	一周時間 (s)			必 要 台 数 (台)	出 発 間 隔 (s)	サービ ス係数	設 置 価 格
		上昇 時間	下降 時間	合計				
150	4	48	20	68	7	9.7	2.57	やゝ高価
150	5	54	20	74	6	12.3	2.18	やゝ高価
150	7	65	20	85	5	17	1.73	中 間
150	10	78	20	98	4	24.5	1.33	中 間
150	16	103	20	103	3	41	1.0	やゝ安価

る交通実態調査がその基礎となるべきである。しかしこれを常に行うこともまた至難なことであるために, 最近の大型ビルの調査をもとに選定基準を図表化し, 比較的容易に計画が立つようにした。また新しい考え方として, サービス係数というものを提案し, サービスの良否を数的に決定することの可能性を述べたわけである。

勿論, 選定法を論ずるには充実した統計を必要とするため, 限られた資料と頁数とで論じた本稿には種々不備な点があるかも知れぬが, 多少でも計画者の参考になれば幸いである。

終りに本選定法を立案するに当り, 現地実態調査の測定と資料整理を担当された日立製作所日立国分分工場山腰喬任氏に厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 鈴木: 日立評論 19 775 (昭 11. 12)
- (2) 土本: 日立評論 20 791 (昭 12. 12)
- (3) 酒井: 日立評論 35 1699 (昭 28. 12)
- (4) Annett: Electric Elevators 466 (1935)



新 案 の 紹 介



実用新案第 429930 号

原 政 次

遠 隔 位 置 表 示 装 置

この表示装置は, ケーブルクレン等における搬器の位置を, 距離, 地形等の制約を受けることなく確実に遠隔表示することができるようにしたものである。

横行ドラム 1 または巻上ドラム 2 を駆動すると電気的発信器 5 または 6 が作動する。それとともに発信器 5 または 6 からの信号を受け受信器 7 または 8 が関連した速度で回転する。受信器 7, 8 の回転は適宜の機構たとえばスプロケット, チェン機構 11, 11' を経て回転軸 9・9', 10・10' に伝えられる。回転軸のネジ部には表示線 12, 12' を張つたナットがはまっているので, 回転軸の回転にともない表示線 12, 12' が平行移動を行う。表示線 12, 12' の交点 13 は搬器の位置を示すことになるから, 表示線の移動範囲に尺度を合わせた断面地形図 14 を表示線のうしろに画いておけば, 一目して搬器の位置を知ることができる。

(富田)

