

電子計算機によるエレベータ待ち合わせ問題の研究

—— Up Peak Pattern における全自動群管理方式の効果 ——

A Study of Waiting Line Problem with Elevator Service Using Digital Computer
——Effect of Autogram Traffic Pattern System in Up Peak Pattern——

越 智 利 夫* 河 竹 好 一*
Toshio Ochi Kôichi Kawatake
犬 塚 績** 弓 仲 武 雄**
Isao Inuzuka Takeo Yuminaka

内 容 梗 概

エレベータの全自動群管理方式 (Autogram Traffic Pattern System) の特長を定量的に評価し、今後超高層化されるビルの最適群管理要素とその方式を決定するため、電子計算機によるシミュレーションを行なった。すなわち、その手法としてモンテ・カルロ・シミュレーションを用い、関電ビルの日立エレベータ、1バンク3台をモデルとしてとり上げ、しかも定量的評価を特に必要とする朝の出勤時を対象とした。この計算結果より

- (1) 全自動群管理方式の Up Peak Pattern における分割階の決定方法を明らかにした。
- (2) 全自動群管理方式と普通運転方式との比較検討を行ない、群管理方式の特長を定量的に明らかにした。
- (3) このシミュレーションを用いることにより、合理的なエレベータの設置計画を立てるための有益な資料を得るであろうと推定した。

1. 緒 言

一般に大事務所ビルにおけるエレベータ交通需要は、出、退勤時、昼食時において特に激増し、そのほかの時間においては閑散となる。全自動群管理方式⁽¹⁾とは、このような交通需要の変化に対し自動的に運転方式を切り替え、運転能率向上を図ったものであるから、従来の管理者つき普通運転の場合と比較して効果を上げていることは推測できるが、実際に待時間やサービス時間が、どの程度短縮されたかという点についての解明はむずかしい問題である。これはエレベータの運転条件、乗客の到着状態など複雑な条件がはいってくるので、その解析が困難なためである。しかし、群管理方式を確立するためには、同じ台数、同じ定員で同じように乗客が到着する条件のもとで、普通運転に対する待時間分布、サービス時間分布などの差異を明らかにすることが必要である。

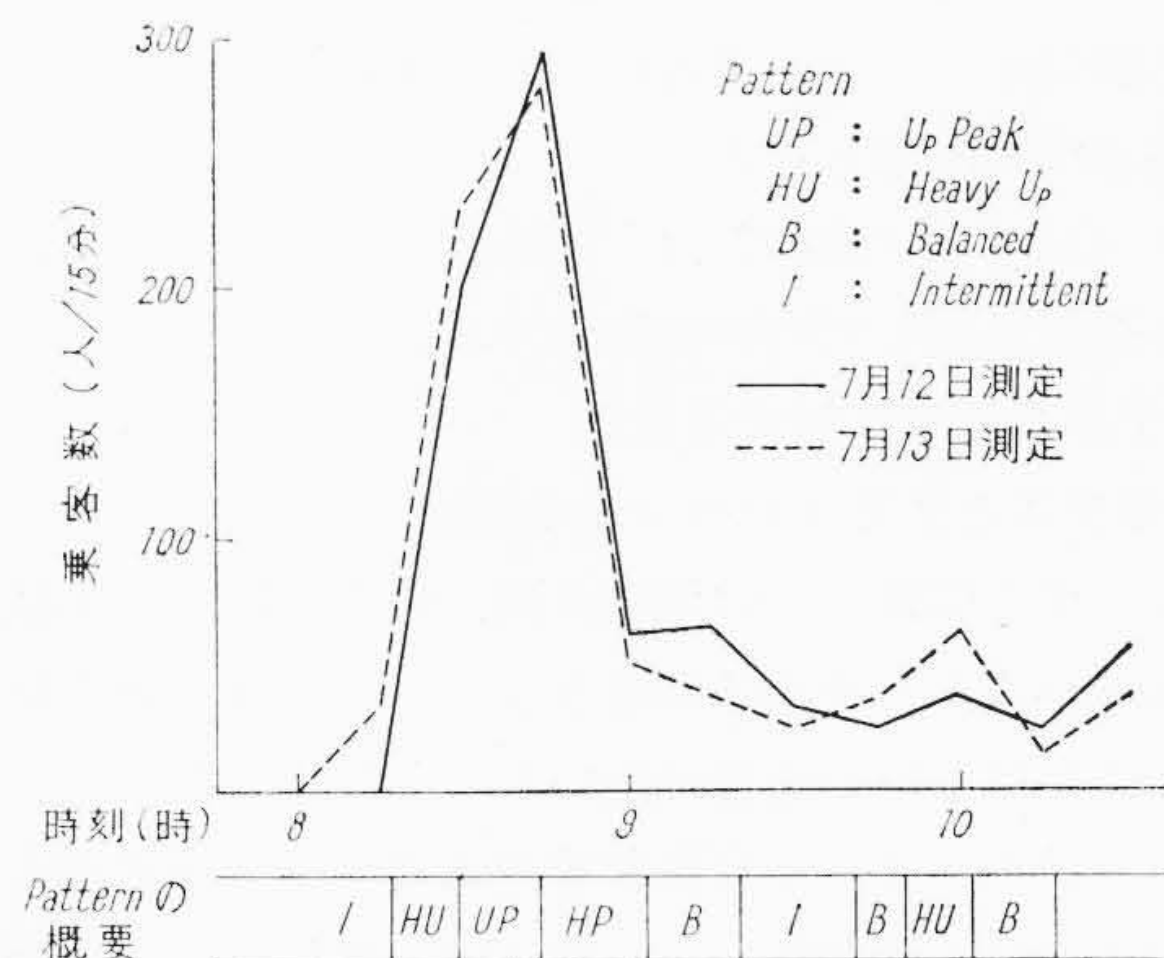
ところが既成の集団サービスに対する待ち合わせ理論は⁽²⁾エレベータ1周時間が乗客到着分布の関数として表わされる複雑なものであるため適用することが困難である。このため種々の仮定を設けたうえで実態調査を行ない群管理方式の成果⁽³⁾⁽⁴⁾を確認しているが、この方法でも同じ到着のもとでの普通運転と群管理方式との待時間分布、サービス時間分布などの差異を求めることはできない。また乗客の同じ到着という条件を取り除いても、数秒に1人の割合で到着する出勤日の朝夕のラッシュ時には、これらの分布を調べることは非常に困難である。

この種の解析的理論解が求められない問題、または求めることが非常に困難な問題に対する手法の一つにモンテ・カルロ・シミュレーションがある。これは現実 に即したモデルを作り、シミュレーションを行ない、結果を分析する方法である。

今回は、関電ビルの日立全自動群管理方式エレベータ1バンク3台をモデルとし、朝の出勤時における群管理方式の方法、および普通運転に対する効果を、種々の仮定においてモンテ・カルロ・シミュレーションで解析したので報告する。

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所水戸工場



第1図 1階における到着乗客数と Pattern の推移の概要

2. 用語の定義とシミュレーションの方法

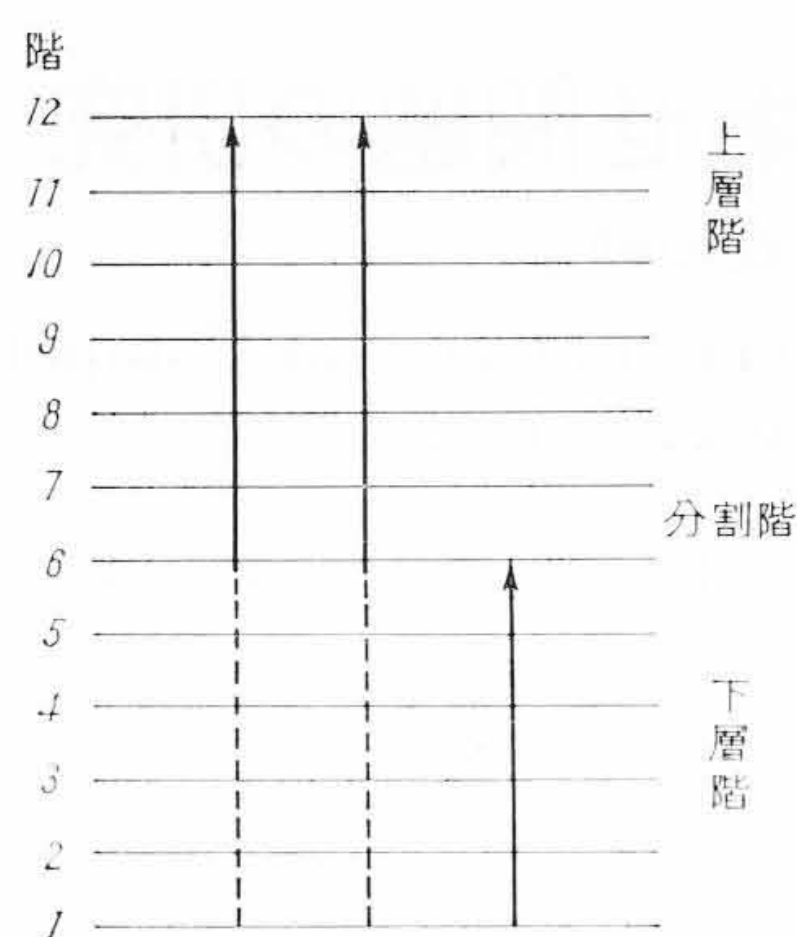
2.1 用語の定義

(1) Up Peak Pattern とは、エレベータの乗客が1階にのみ到着し、それぞれ勤務する階に行くことを目的とする時間の運転状況である(第1図参照)。

(2) Up Peak Pattern での群管理方式とは、エレベータを二つのグループに分割し、適当な分割階を定めて、一つのグループは分割階から上の階の中でケージ内乗客の目的とする階にのみ立ち寄り、最後の客の降りた階から1階までNON-STOPで下降し、ほかのグループは1階から分割階までを同様の方法で運転する方式である。この場合、分割階から上に行くエレベータを上層行、分割階から下に行く方を下層行という(第2図参照)。

(3) 普通運転方式とは乗客が1階で満員でなければどのエレベータにも自由に乗り、エレベータはケージ内乗客の目的とする階にのみ立ち寄り、最後の客の降りた階から1階までNON-STOPで降りて来る方式をいう。

(4) 待時間とは、乗客がエレベータの前に到着した瞬間から、乗込可能のエレベータが到着し、ドアが開き終わるまでの時間と



実線は停止可能の階、点線は停止しない階を示す。

第2図 群管理方式(分割階6階の場合)

第1表 1階到着実測データ

日	時間	8.00~8.15	8.15~8.30	8.30~8.45	8.45~9.00
12		0	200	294	64
13		27	230	281	53

する。

(5) サービス時間とは、乗客がエレベータに乗り込みドアが閉じ始める瞬間から、その乗客の目的とする階に到着してドアが開き終わるまでの時間とする。

(6) サービス完了時間とは、待時間、サービス時間、および1階で乗り込みに要した時間の和とする。

2.2 モデルの構成に対する仮定

2.2.1 モデルとするエレベータの構成

モデルとする関電ビルは地下3階、地上12階、および屋上より構成されているが、今回は朝のラッシュ時を取り扱うため、地下の階、および屋上行の需要はないものと仮定した。

関電ビル納め、日立全自動群管理方式エレベータは1バンク3台、定員17名で、朝のラッシュ時には上層行2台、下層行1台に分割して運転されている。

2.2.2 乗客の到着時間分布

待ち合わせ問題における乗客の到着分布の当てはめに、よく用いられる分布にポアソン分布がある。この分布は乗客の到着が全くランダムであることを仮定するものである。ここでランダムとは次の三つの条件で規制されるものである⁽⁵⁾。

条件1 (定常性) 時間間隔 $(a, a+t)$ の間に k 人到着する確率は a に無関係である。

条件2 (残留効果のないこと) 時間間隔 $(a, a+t)$ の間に k 人到着する確率は時点 a までに来た人数と無関係である。

条件3 (稀少性) 非常に短い時間間隔内に2人またはそれ以上の乗客の来ることはない。

乗客の到着分布にポアソン分布を当てはめるには、この3条件を調べる必要があるが、ここではモデルとした関電ビルが国電、地下鉄、市電の駅から離れ、バスからも多少の間隔があるために、時間の単位を秒の10分の1に取り、Up Peakの時間間隔を短い時間とすれば、この条件を満たすものと考え乗客の到着はポアソン分布に従うとする。

乗客がポアソン分布に従って到着するとき、到着間隔の確率密度関数 $f(t)$ は

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

第2表 各階収容人口

階	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
人員	187	104	248	250	293	310	258	126	191	39	97

第3表 日立エレベータ諸元

エレベータ速度 (m/min)	加速時間 (秒)	ドア開き時間 (秒)	ドア閉め時間 (秒)	備考
90	2	1	2	1階床運転
120	2.7	1	2	2階床運転
150	3.4	1	2	3階床以上の運転

第4表 1階開扉時間に対する仮定

	満員にならないときの開扉時間	満員の場合の開扉時間	ドアを開けてから5秒以内に1人も乗り込まないときの延長時間
群管理方式	5秒	4秒以内に満員になったとき 4秒	5秒
普通運転方式		4秒以上5秒以内に満員のときは満員になった瞬間までの時間	最初の1人が乗り込むまでの時間

第5表 途中階での開扉時間に対する仮定

降りる人数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11人以上
開扉時間(秒)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0

となる。ここで λ は単位時間(10⁻¹秒)内の平均到着人数、すなわち平均到着間隔の逆数である。

一方、1961年7月12日と13日に関電ビルで行なった実態調査で第1表のようなデータが得られているから、乗客がポアソン分布を規制する3条件にしたがって到着すると考えられる短い時間区間においては、乗客平均到着間隔は2.5秒前後であると考えられる。

2.2.3 乗客の行先階別分布

関電ビルの日立全自動群管理方式エレベータをUp Peak Patternに利用する乗客はその大部分がこのビルの従業員であるから、もし2階以上に行く客で階段を利用するものがないと仮定すると、到着客が j 階に行く確率は2階以上の収容全従業員に対する j 階の収容従業員の比と考えることができる。

以下では、この仮定において、乗客の行先階分布はビルの各階収容人口の作る分布に等しいとする。第2表は関電ビルにおける2階以上の各階収容人口分布を示したものである。

2.2.4 シミュレーションに対する仮定

(1) ビルの高さは12階、基準階は1階で、1階床の間隔は3.3mとする。

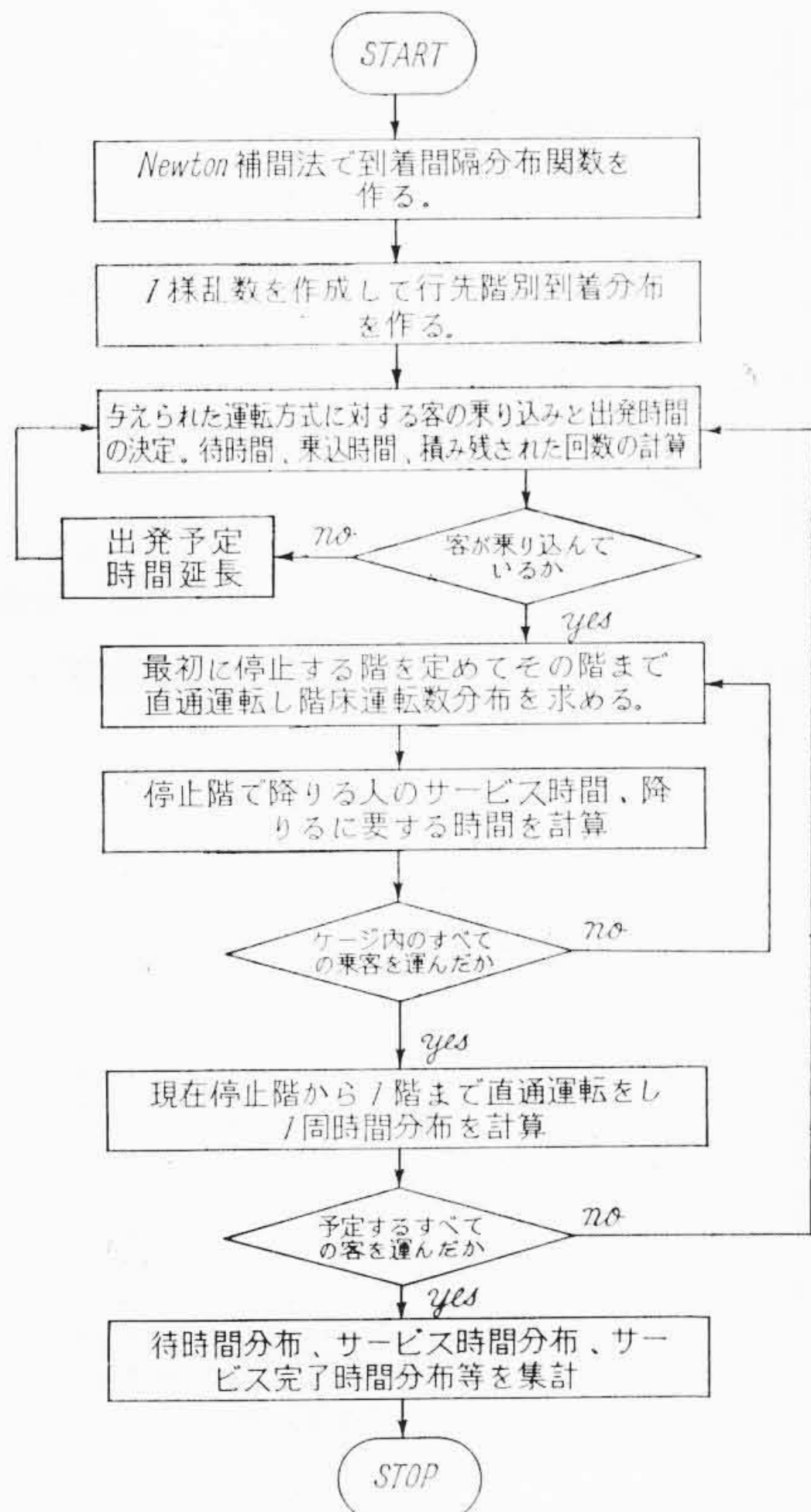
(2) 日立エレベータの速度、加速時間などは第3表に示す値であり、計算にはこの値を用いる。

(3) 1階での客の乗り込みは先着順とする。

(4) 1秒以内の間隔で2台、またはそれ以上のエレベータが1階に到着するときは、待ち合わせていた客は乗込可能なエレベータに対して平等に乗り込むことにする。すなわち、乗客は乗り込み可能なエレベータの中でケージ内人数の少ない方に乗り込むことにする。1秒以上の間隔で2台またはそれ以上のエレベータが1階に到着するとき、乗客はまず先着のエレベータに乗り込むものとする。

(5) エレベータが到着しドアが開き終わった瞬間から、その階でドアが閉じ始める瞬間までの時間を開扉(かいひ)時間という。

1階での開扉時間は第4表、途中階での開扉時間は第5表のように定められる。



第3図 計算フローチャートの概要

2.3 シミュレーションの方法

2.3.1 モデルの作成方法

乗客の到着分布はポアソン分布に従い、その行先階は収容人口分布で定まると仮定したから、これらの分布に従う Random Sample を抽出することにより行先階別到着モデルを作成することができる。Random Sample は一様乱数を用いて作られるから、正確な一様乱数を得ることが必要である。ここでは初期乱数 $x_1=7287353893$

を用いて $n+1$ 番目の乱数 x_{n+1} を n 番目の乱数 x_n から

$$x_{n+1}=9436582897 x_n (\text{mod } 10^{10})$$

なる方法で作成する合同法を採用し、Frequency Test, Run Test など種々の方法で Test を行なったところ合格した。

到着間隔の分布関数は

$$1-e^{-\lambda t}$$

であるから、この分布関数を Newton の補間法で近似し、上記手法で作成した 1 様乱数を用いて到着間隔を決定した。また第 i 番目の到着時間は、このようにして得られた i 個の指数乱数を加えることにより得られる。

乗客の行先階の割り当ては、2 階から 12 階までの収容人口を $C_i (i=2, \dots, 12)$ とするとき、各乗客に対し一様乱数 x を作成して

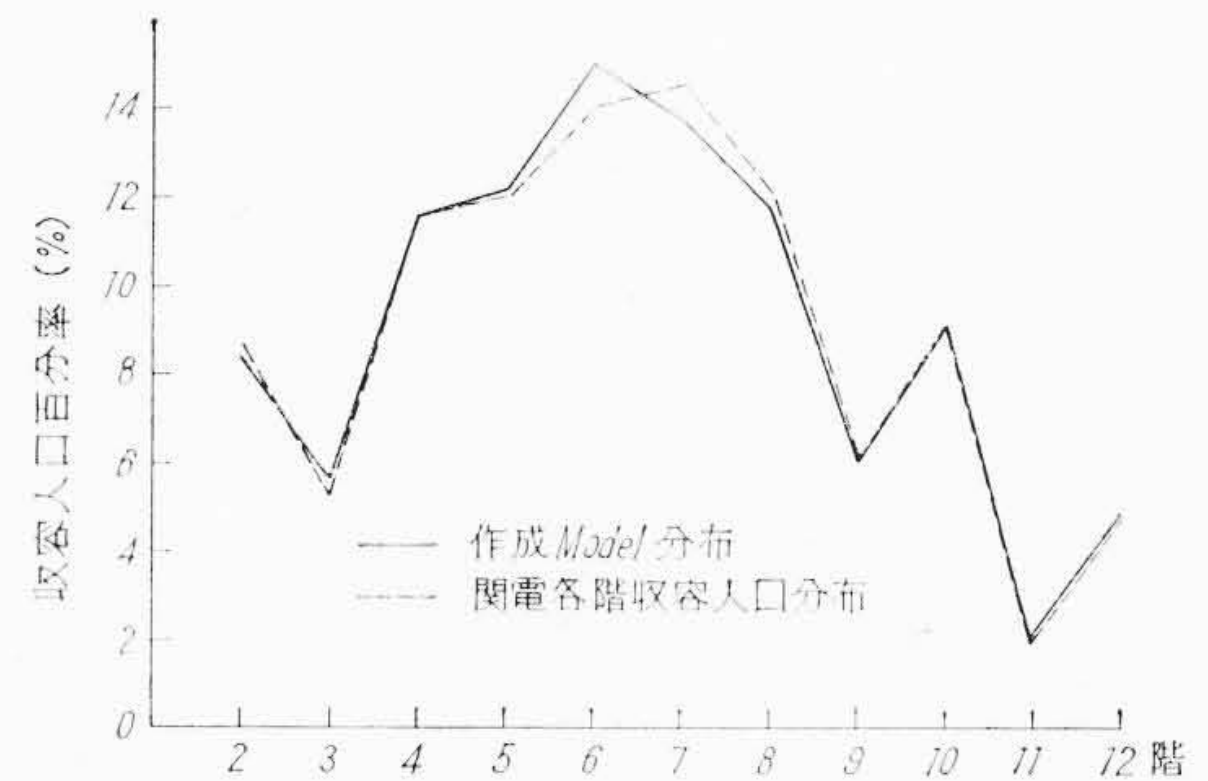
$$x \leq \frac{\sum_{k=2}^j C_k}{\sum_{i=2}^{12} C_i}$$

を満たす最小の j として決定した。

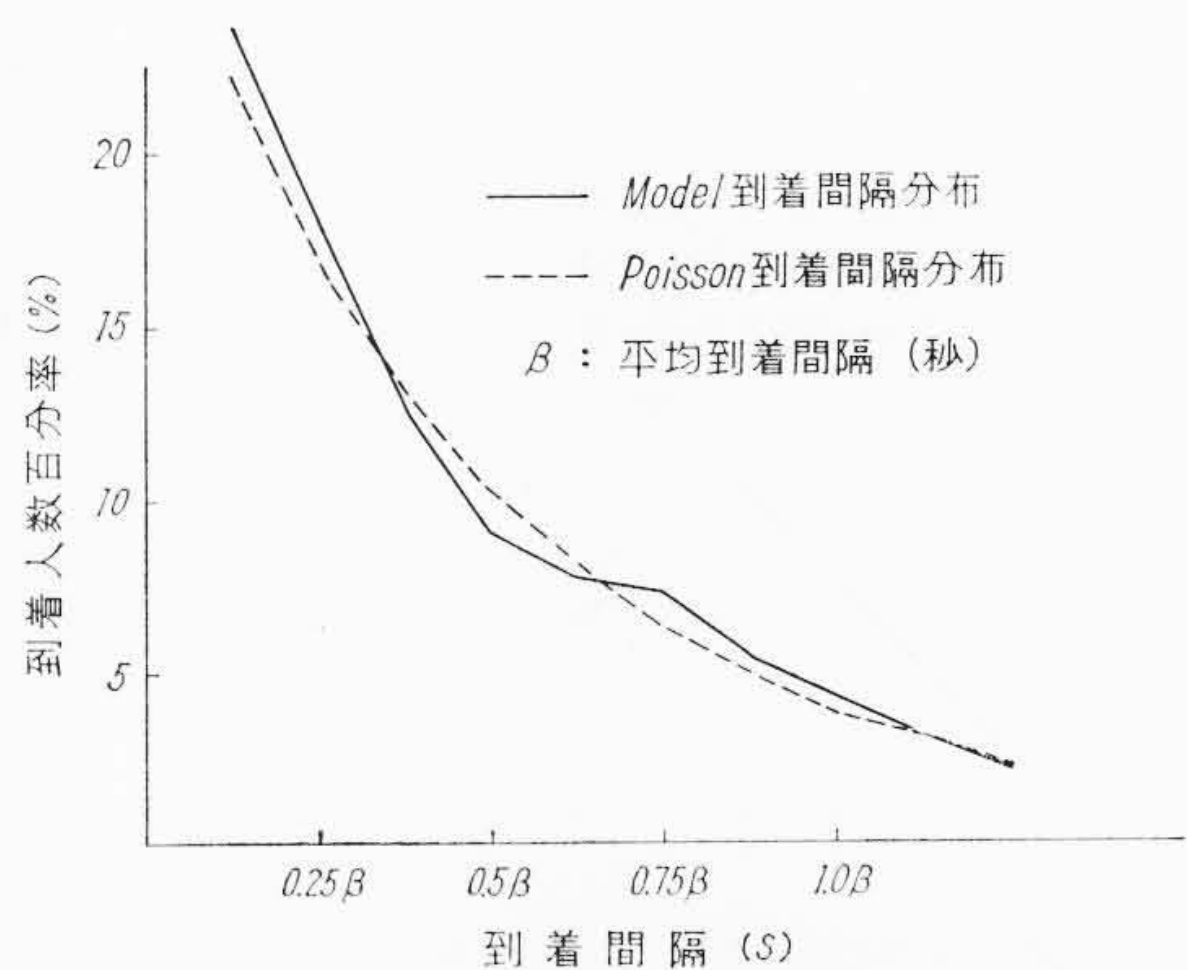
2.3.2 フローチャート概要

シミュレーション計算は次の三つの部分に大別できる。

- (1) 与えられた到着時間分布と行先階別分布をもつ乗客到着モデルの作成。
- (2) エレベータの運転状態をシミュレートし、各人の待時間、サービス時間、乗込時間、エレベータ 1 周時間、階床運転数、ケージ内人数などを計算。



第4図 行先階別分布



第5図 到着間隔分布

- (3) 得られたデータを集計し、平均待時間、待時間分布などの計算を行なう。

第3図はフローチャートの概要を示したものである。なお計算はすべて 10^{-1} 秒を単位として行なった。

2.4 モデルに対する検討

シミュレーションで取り扱うモデルの数を多くすると精度は向上するが、同時に計算時間も増大する。この場合、必要精度に対する人数をあらかじめ与えることができれば、それだけの人数のモデルを作りシミュレーションを行なうことや、計算時間を短縮することができる。しかし、シミュレーションの精度の計算は標本分散を用いて行なわれるから、前もって必要とする人数を正確に定めることはできない。また計算途中で分散、精度を計算し、必要とする精度の所で計算を打ち切る方法も計算時間をかなり増大させることになる。今回は前もって行なった予備調査でモデル人数 1,000 人の場合、平均待時間など得られた統計量の信頼度 95% 信頼区間の幅が、約 2~3 秒という結果が得られたので、シミュレーションは 1,000 人のモデルに対して行なうことにした。

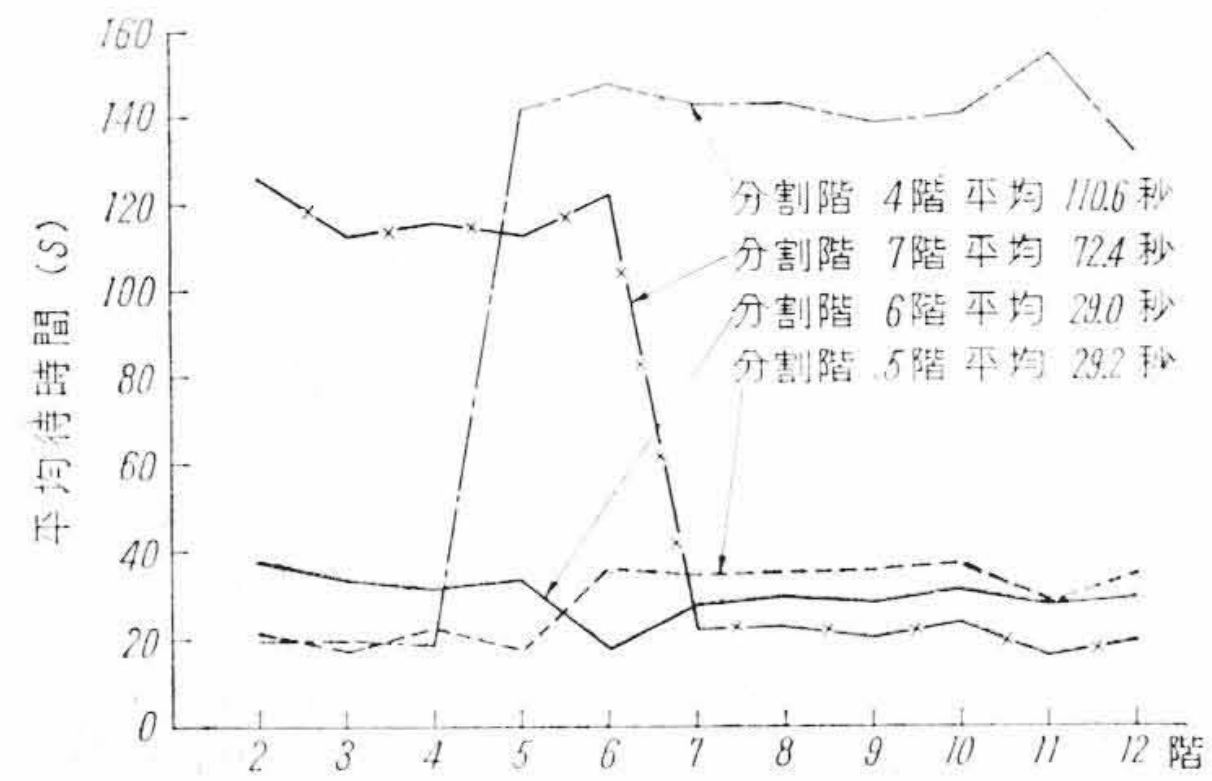
第4図は作成モデル分布と関電ビルにおける実際の各階収容人口分布の関係を示したものである。

第5図は作成したモデル到着間隔分布とポアソン到着の場合の到着間隔分布との関係を示したものである。モデル到着分布のポアソン到着分布に対する適合度、およびモデル行先階別分布の実際の各階収容人口分布に対する適合度を χ^2 検定したところ、どちらも適合度不良として棄却することはできないことがわかった。以下では、ここで作成したモデルを用いてシミュレーションを行なう。

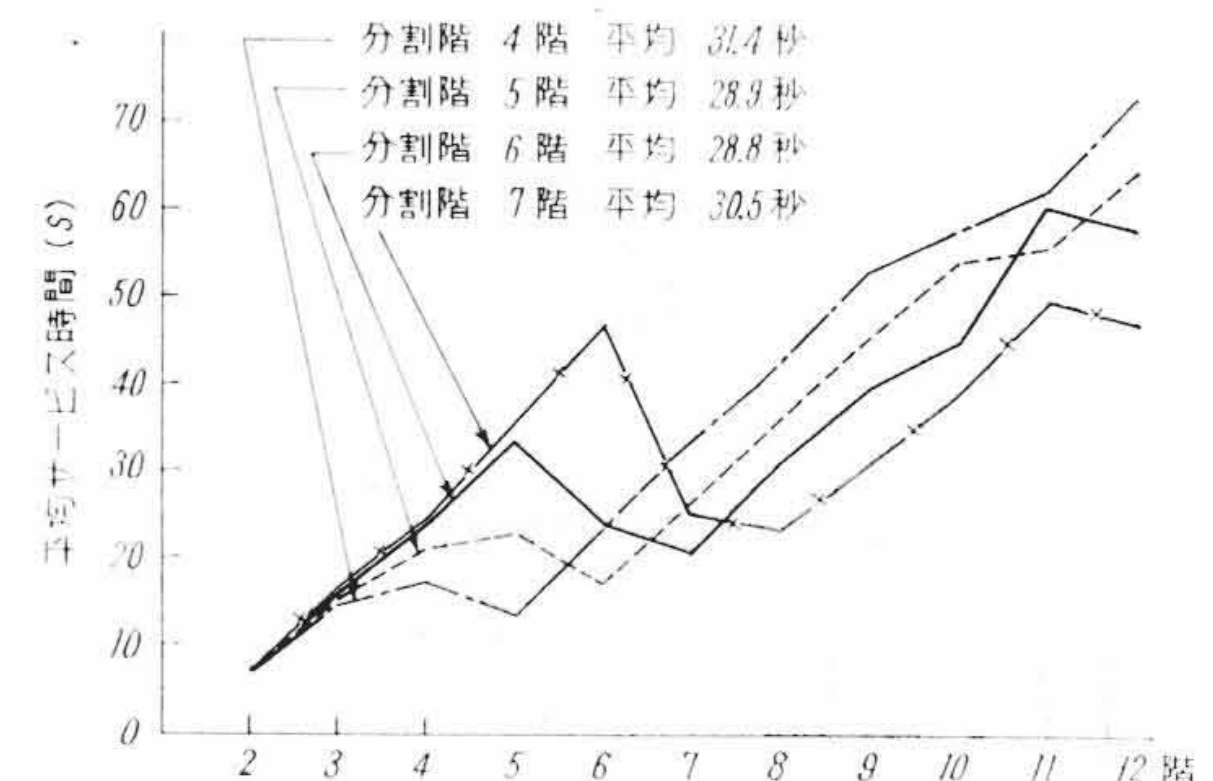
3. 群管理方式分割階の決定

3.1 計算結果

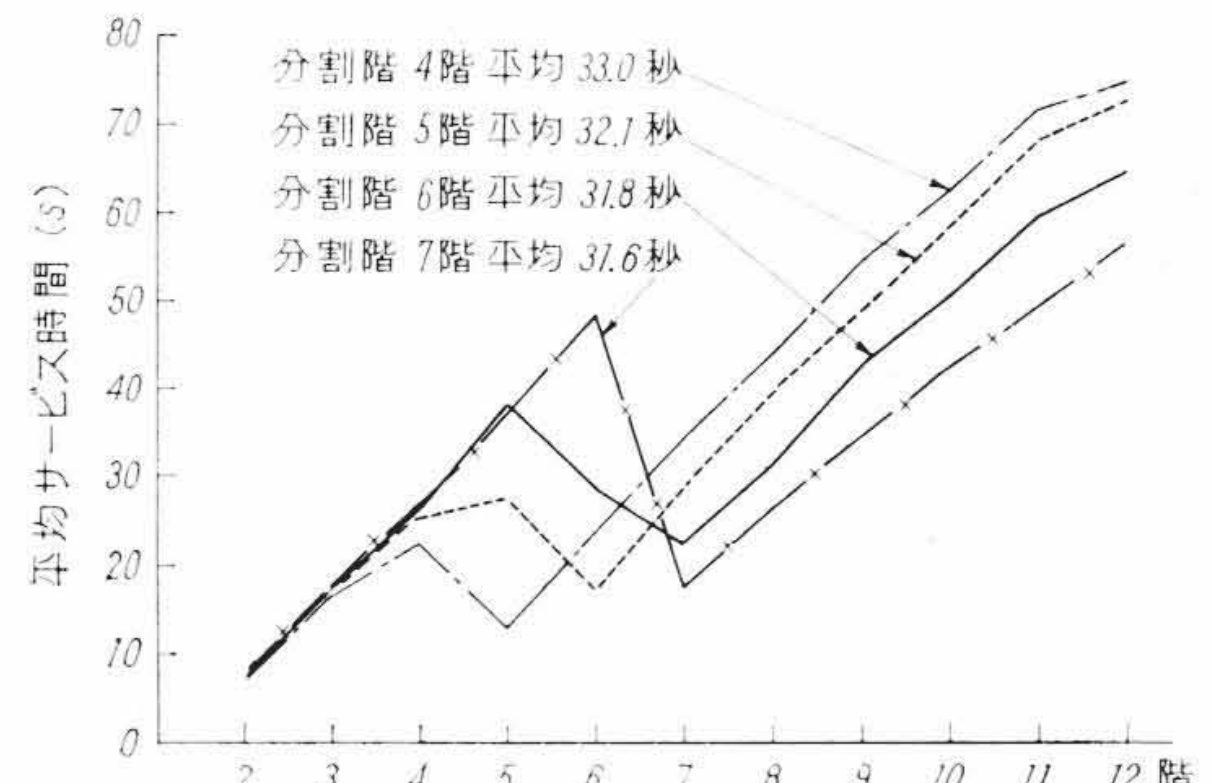
平均到着間隔 2 秒、および 3 秒のモデルに対し、分割階を 4 階、5 階、6 階、7 階と変えてシミュレーションを行なった。第6~11



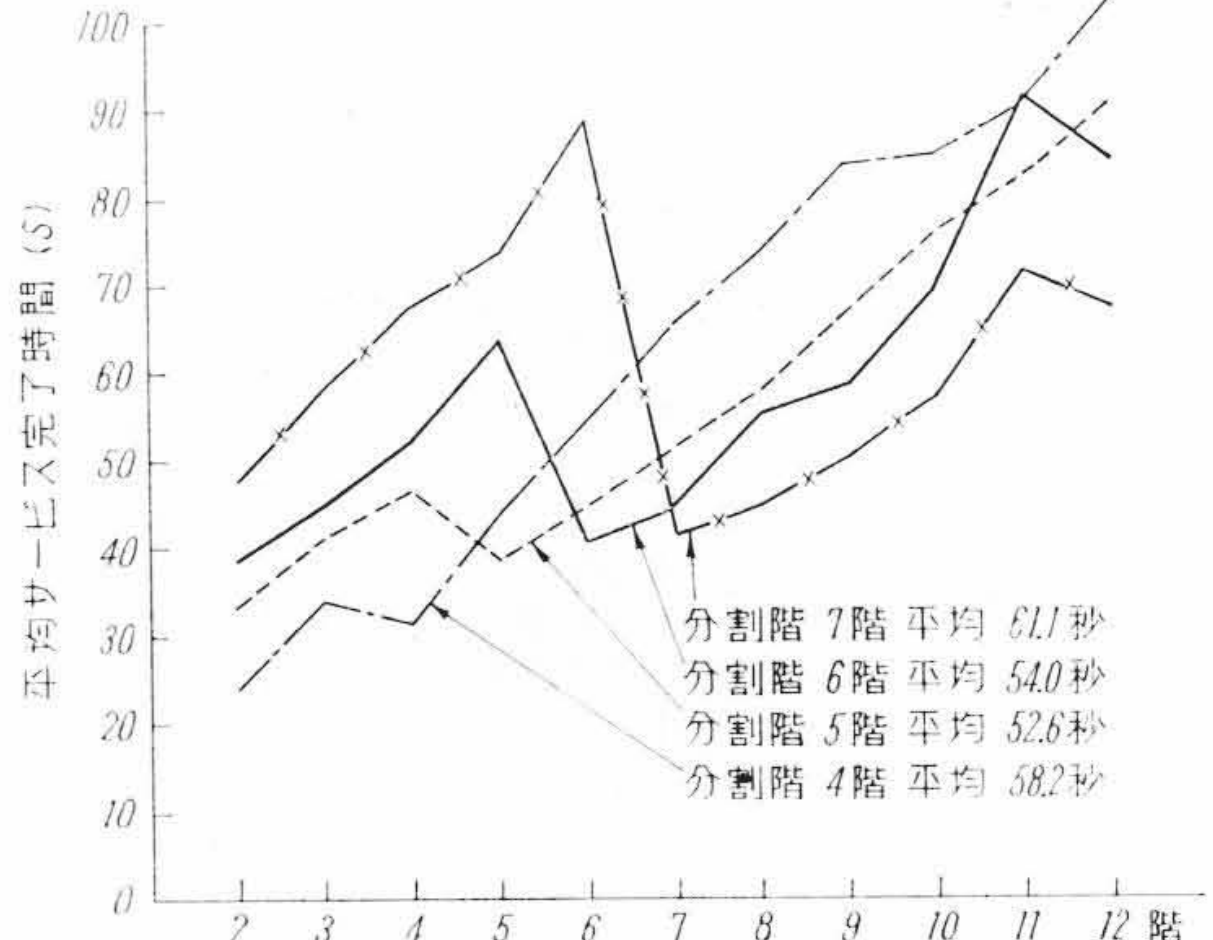
第 6 図 平均到着間隔 2 秒の場合の分割階と平均待時間の関係



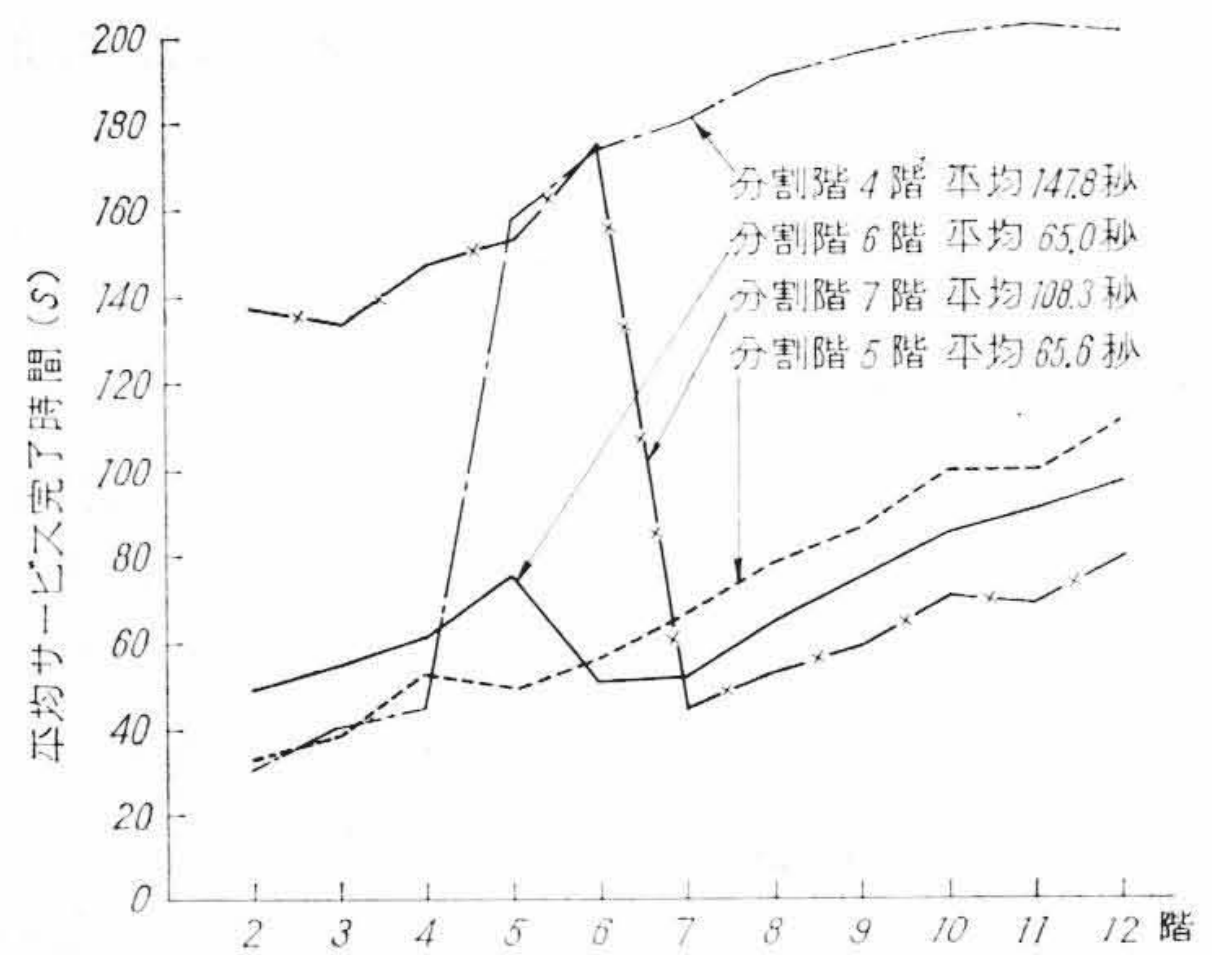
第 10 図 平均到着間隔 3 秒の場合の分割階と平均サービス時間の関係



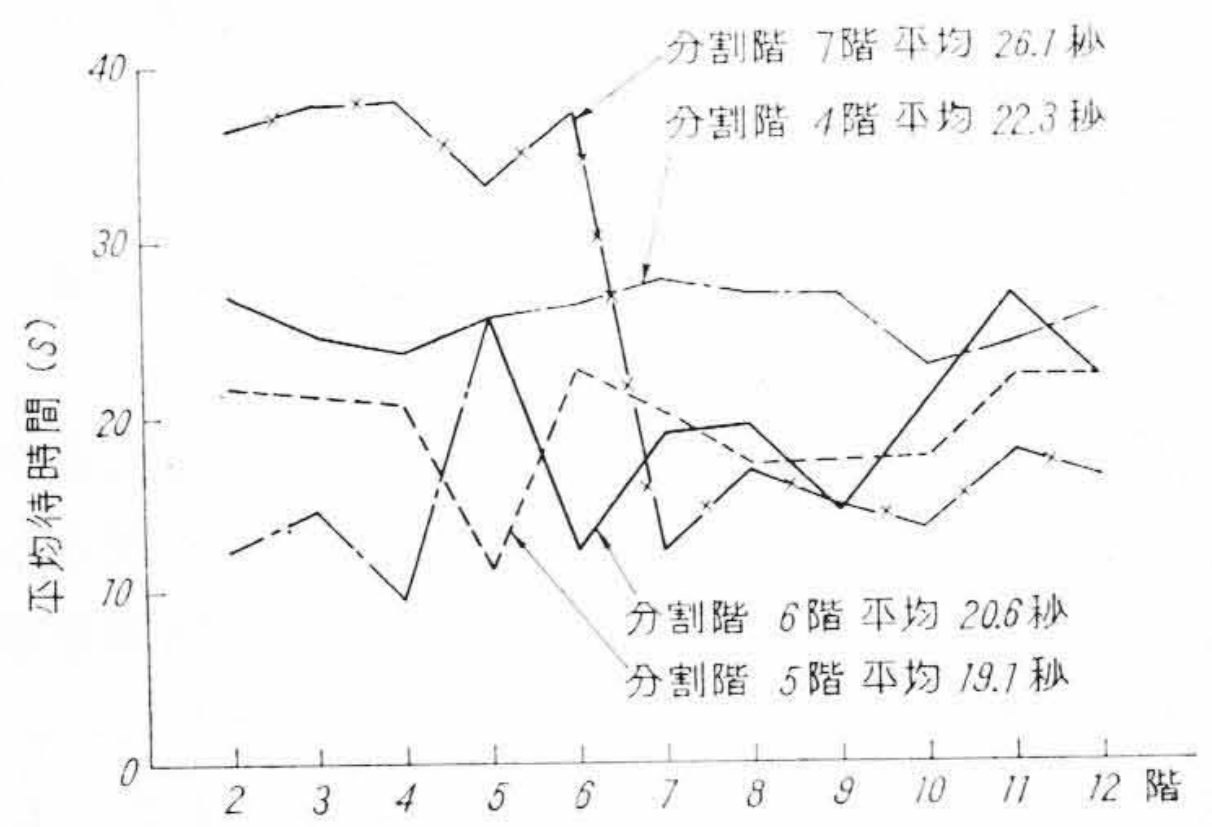
第 7 図 平均到着間隔 2 秒の場合の分割階と平均サービス時間の関係



第 11 図 平均到着間隔 3 秒の場合の分割階と平均サービス完了時間の関係



第 8 図 平均到着間隔 2 秒の場合の分割階と平均サービス完了時間の関係



第 9 図 平均到着間隔 3 秒の場合の分割階と平均待時間の関係

第 6 表 エレベータに少なくとも 1 度以上
積み残された人の百分率

分 割 階	平均到着間隔	
	2 秒 (%)	3 秒 (%)
4 階	75.4	6.6
5 階	20.6	0.7
6 階	11.3	0.1
7 階	52.0	2.8

された人の、取り扱う全人数に対する百分率を示したものである。

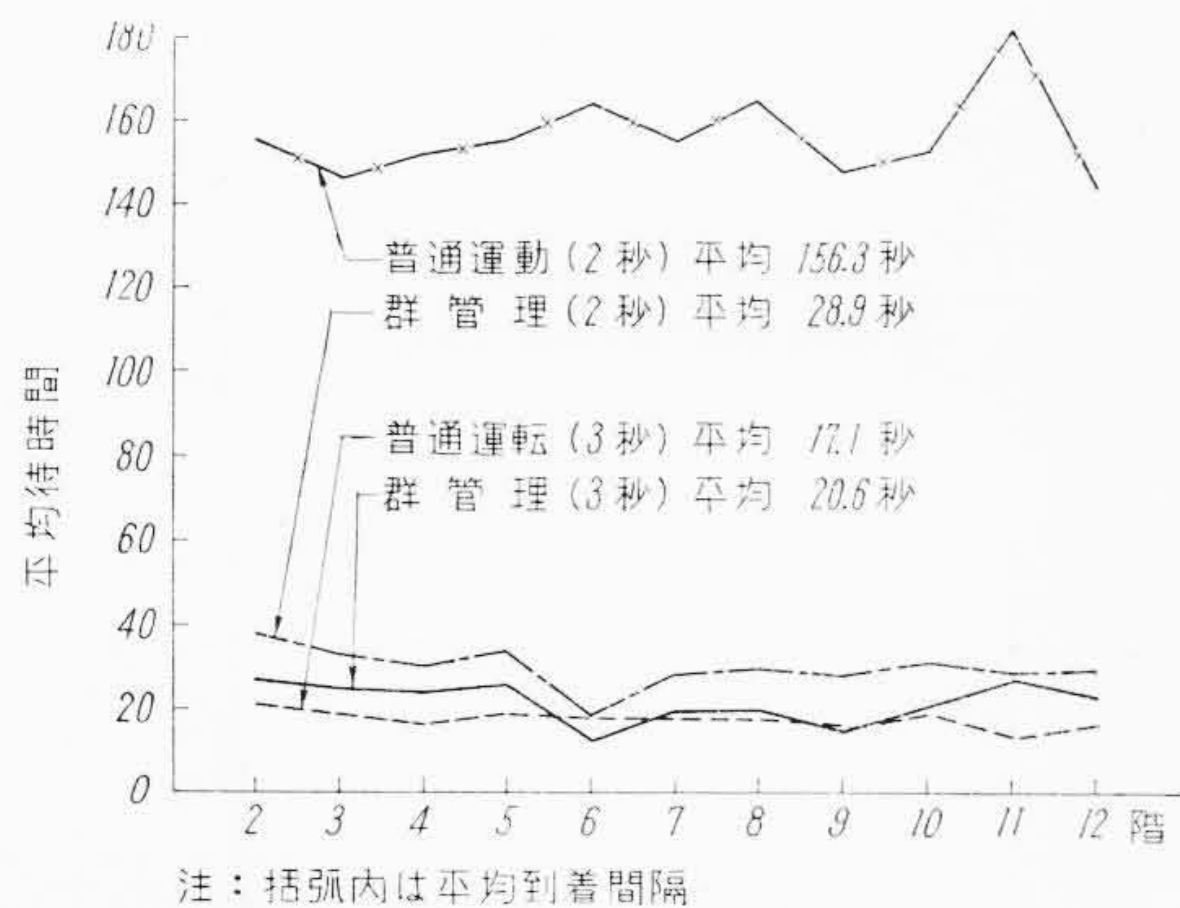
3.2 分割階の決定

一般に、群管理方式を採用した場合、平均待時間は分割階で非常に少なく、分割階を除く上層階、および下層階において大体等しい値を取るものと考えられる。この場合、上層行、下層行、両者の待時間が等しい値を取ることが望ましい状態であり、この二つの値が極端に離れていることは、たとえ平均待時間がある程度小さくなくても好ましいものではない。平均到着間隔 3 秒の場合の分割階 4 階および 7 階は、上下層階の間に大きい差はあるが、乗客を十分さばき得る状態にあるから、全階の平均値はかなり小さい値となっている。しかし、積み残し率は分割階 5、6 階の場合と比較して大きく、分割階 7 階の場合の下層行、4 階の場合の上層行エレベータに、積み残しが出ていると推測される。

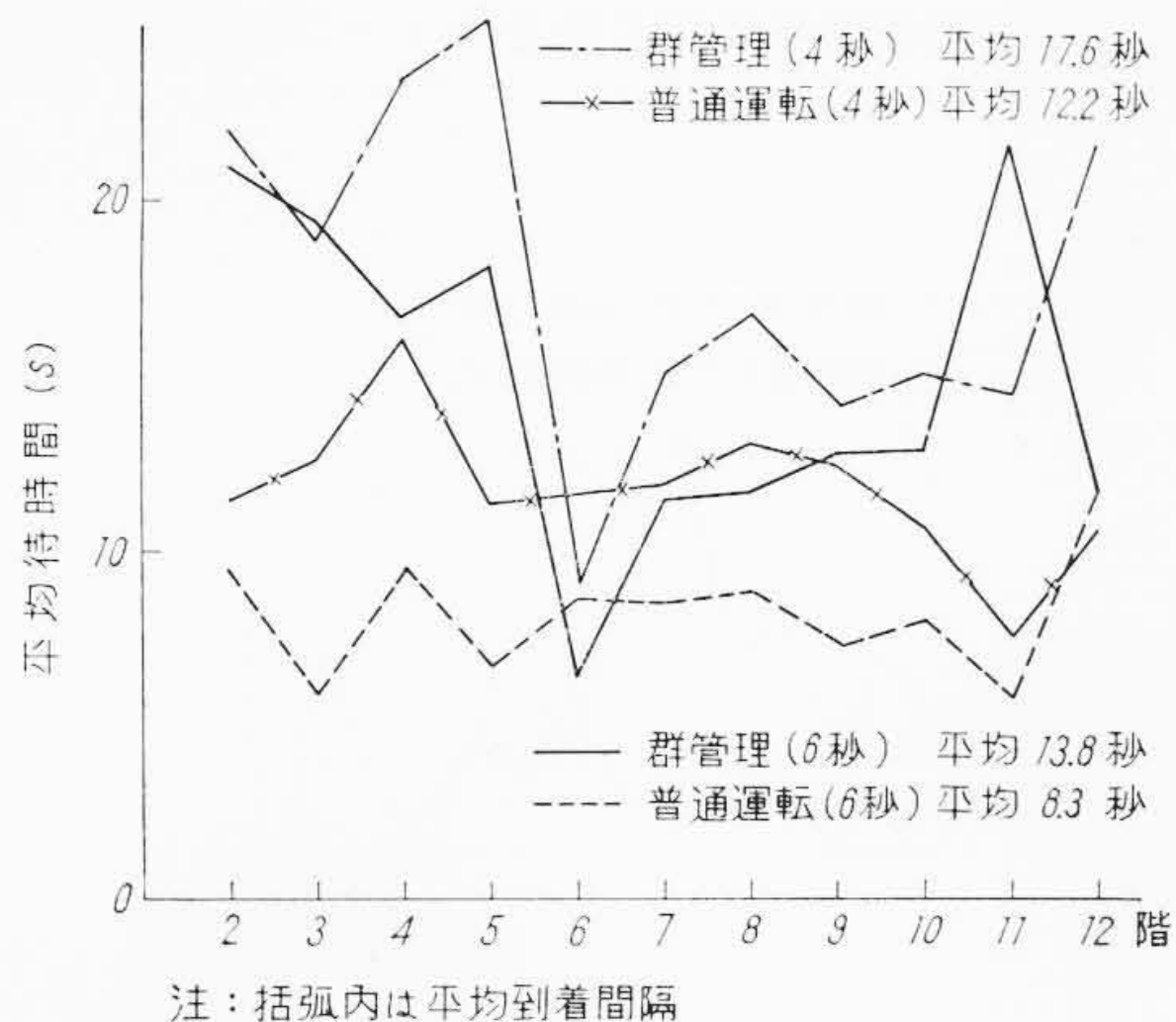
平均到着間隔 2 秒となると、この関係は明りょうとなり、分割階 7 階の場合の下層行、4 階の場合の上層行エレベータは、ともに乗客をさばくことが不可能な状態になっていることがわかる。分割階 5 階と 6 階の平均待時間を比較すると、その差は 1 秒程度であり、シミュレーションの誤差範囲と考えられ、この値から優劣を出すことはできない。しかし、積み残し率は分割階 6 階の方が小さくなっている。

次に平均サービス時間は、乗客目的階までのエレベータ停止回数

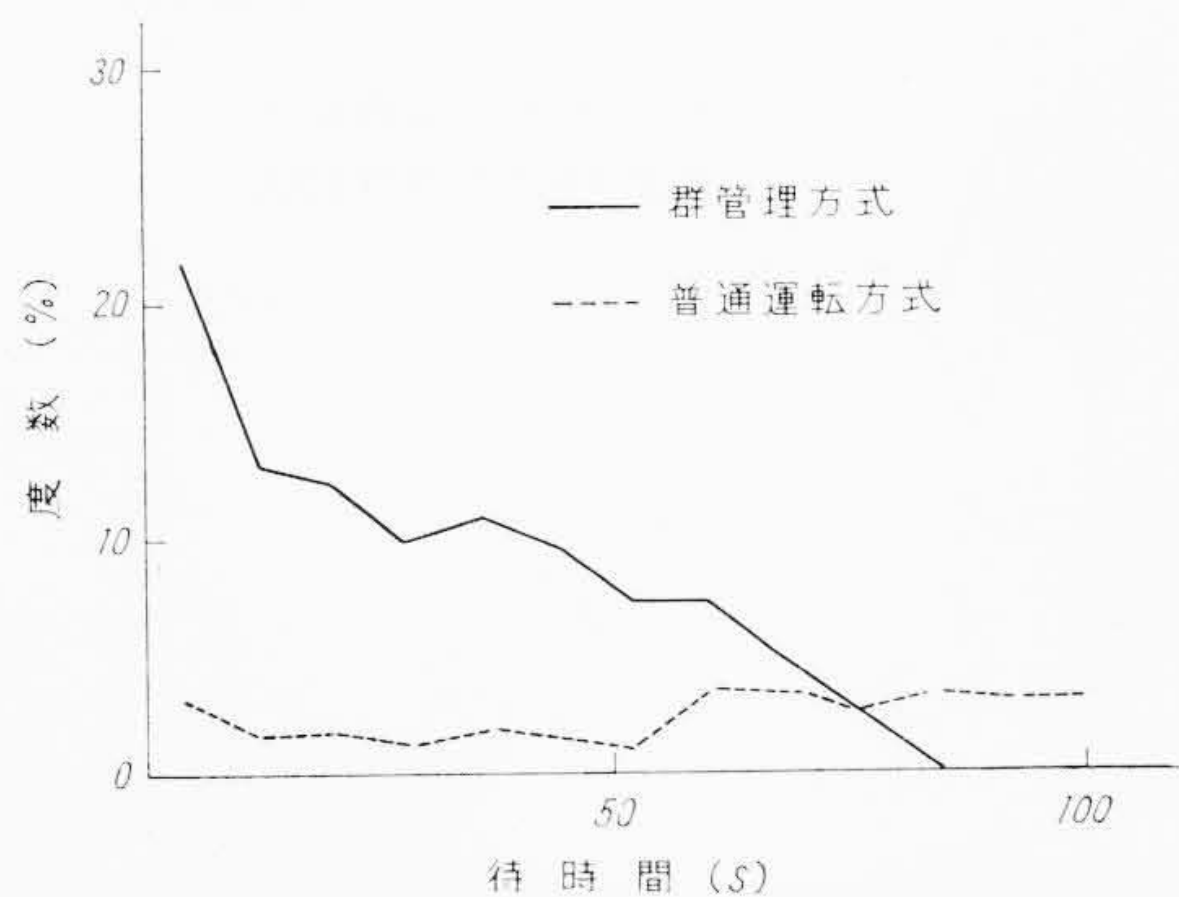
図は平均待時間、平均サービス時間、平均サービス完了時間と分割階の関係を示したものであり、第 6 表は積み残し率、すなわちその乗客の目的階に停止するエレベータに、少なくとも 1 度以上積み残



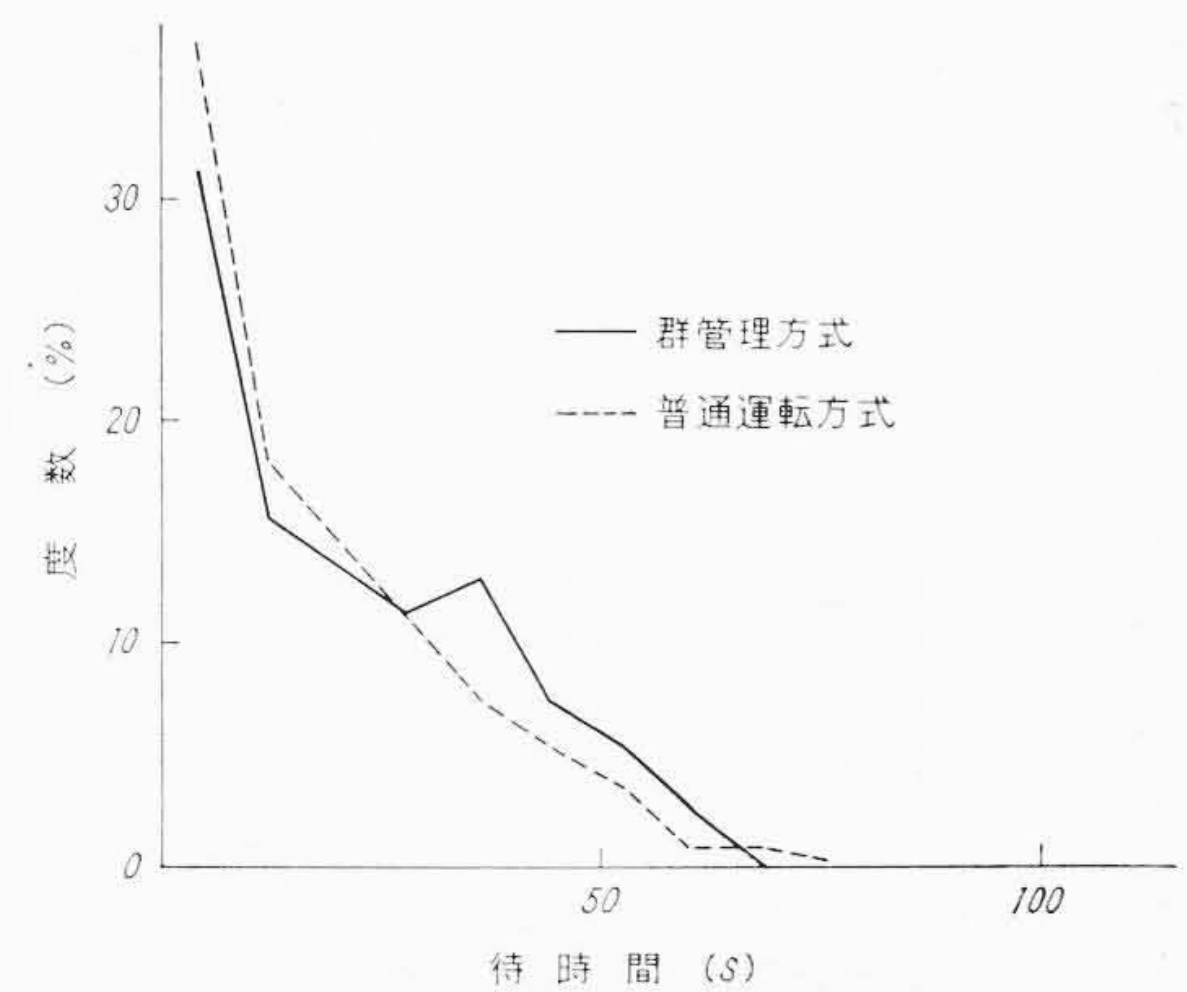
第12図 普通運転方式と群管理方式の平均待時間の比較(1)



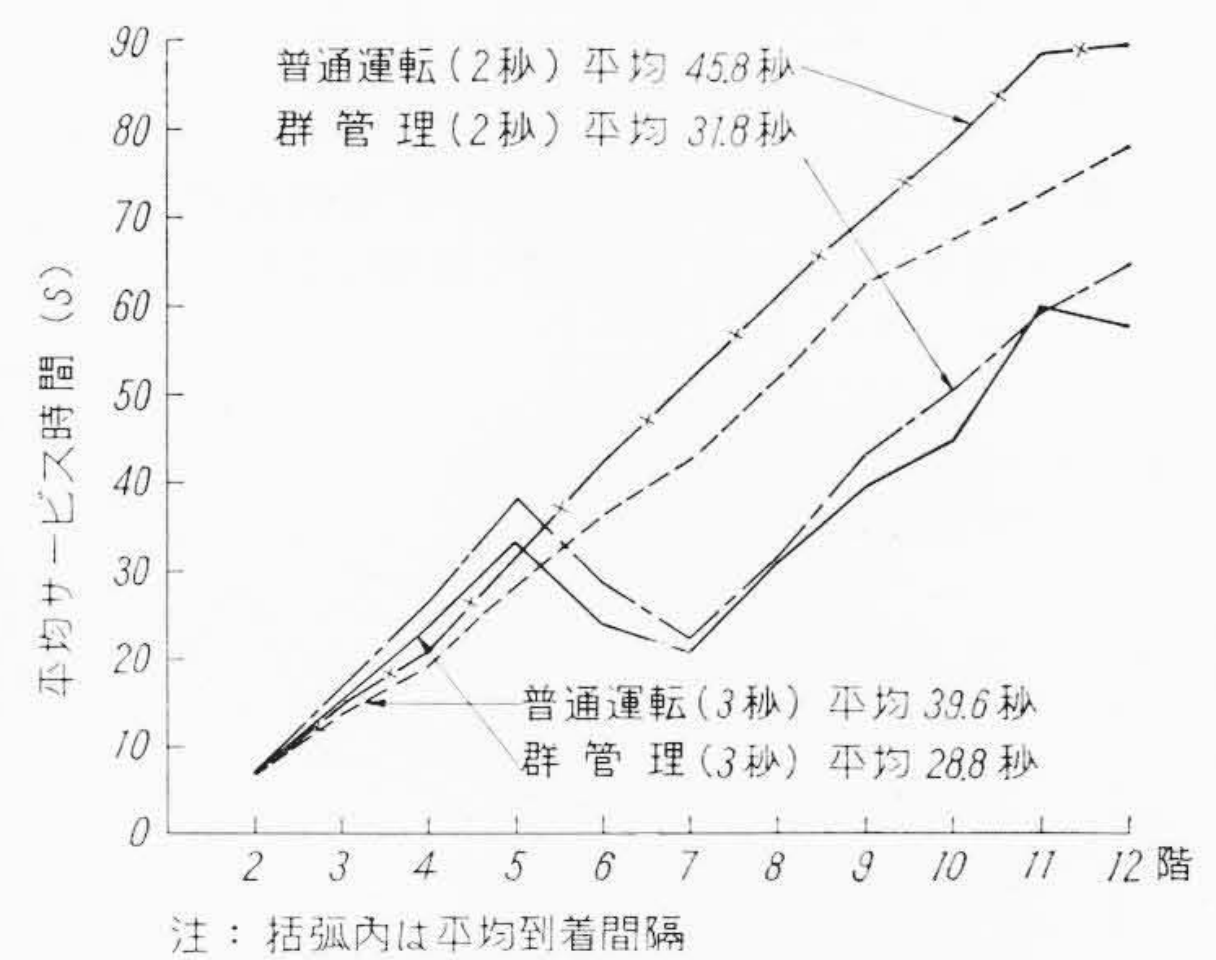
第13図 普通運転方式と群管理方式の平均待時間の比較(2)



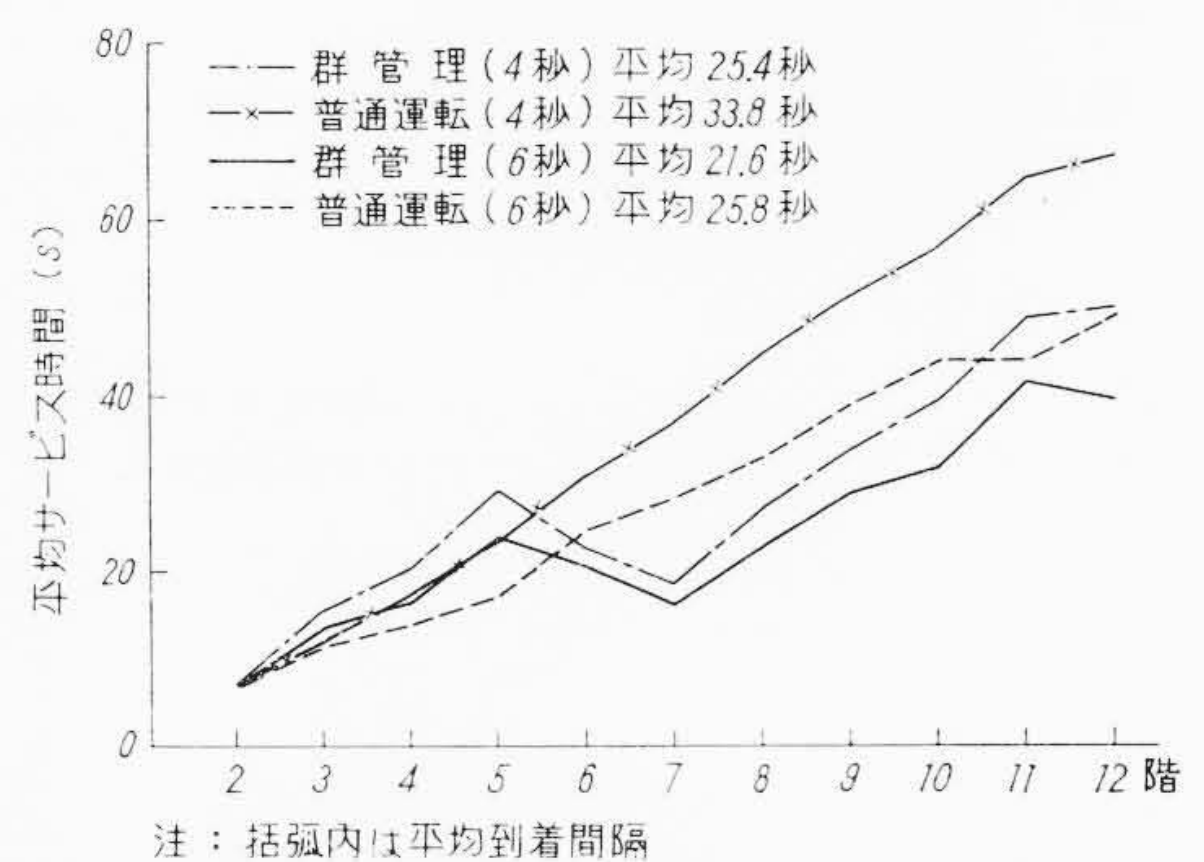
第14図 平均到着間隔2秒の場合の待時間分布



第15図 平均到着間隔3秒の場合の待時間分布



第16図 普通運転方式と群管理方式の平均サービス時間の比較(1)



第17図 普通運転方式と群管理方式の平均サービス時間比較(2)

により変化すると考えられる。分割階4、7階の場合よりも5、6階の方が短いのは、分割階5、6階の方が合理的な運転をしていることを示している。

以上のことから、4、7階を分割階とすることは、それぞれ上層、および下層行の客に対する平均待時間の長さ、積み残し率の大きさから不適当であり、分割階5階と6階を比較した場合、平均待時間、平均サービス時間、平均サービス完了時間などはほとんど変わらないが

(1) 分割階6階の方が、積み残し率が小さい。

(2) 乗客の行先階分布は従業員収容人口分布に従うと仮定し、階段を利用する人を無視したこと。

の理由により6階を分割階として選ぶのが妥当と思われる。このことからエレベータ3台の場合、分割階を6階とした群管理方式を本報告では単に群管理方式という。

4. 群管理方式と普通運転方式の比較

4.1 計算結果

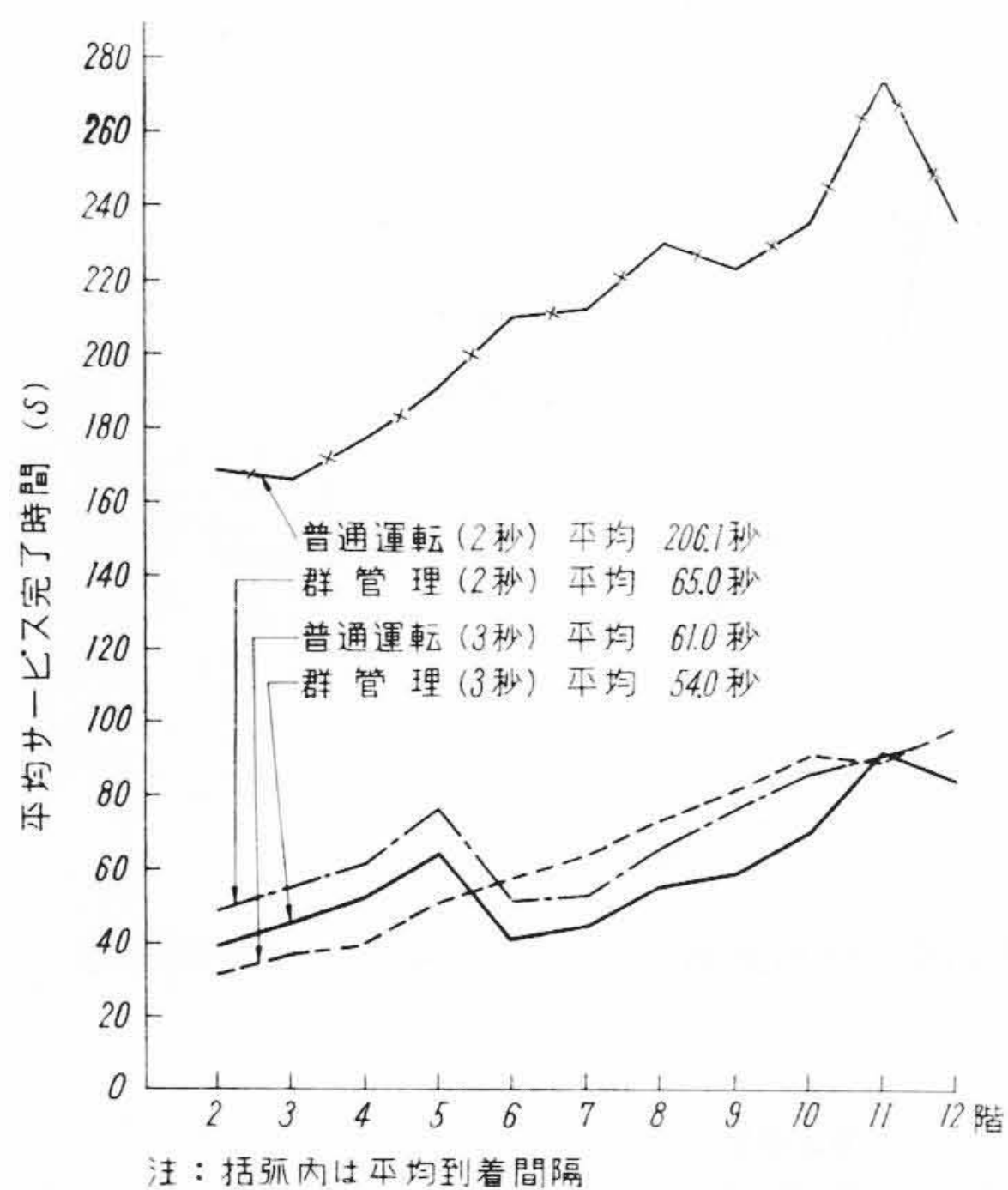
平均到着間隔2秒、3秒、4秒、6秒のモデルに対しシミュレーションを行ない以下の結果を得た。

4.1.1 平均待時間、待時間分布

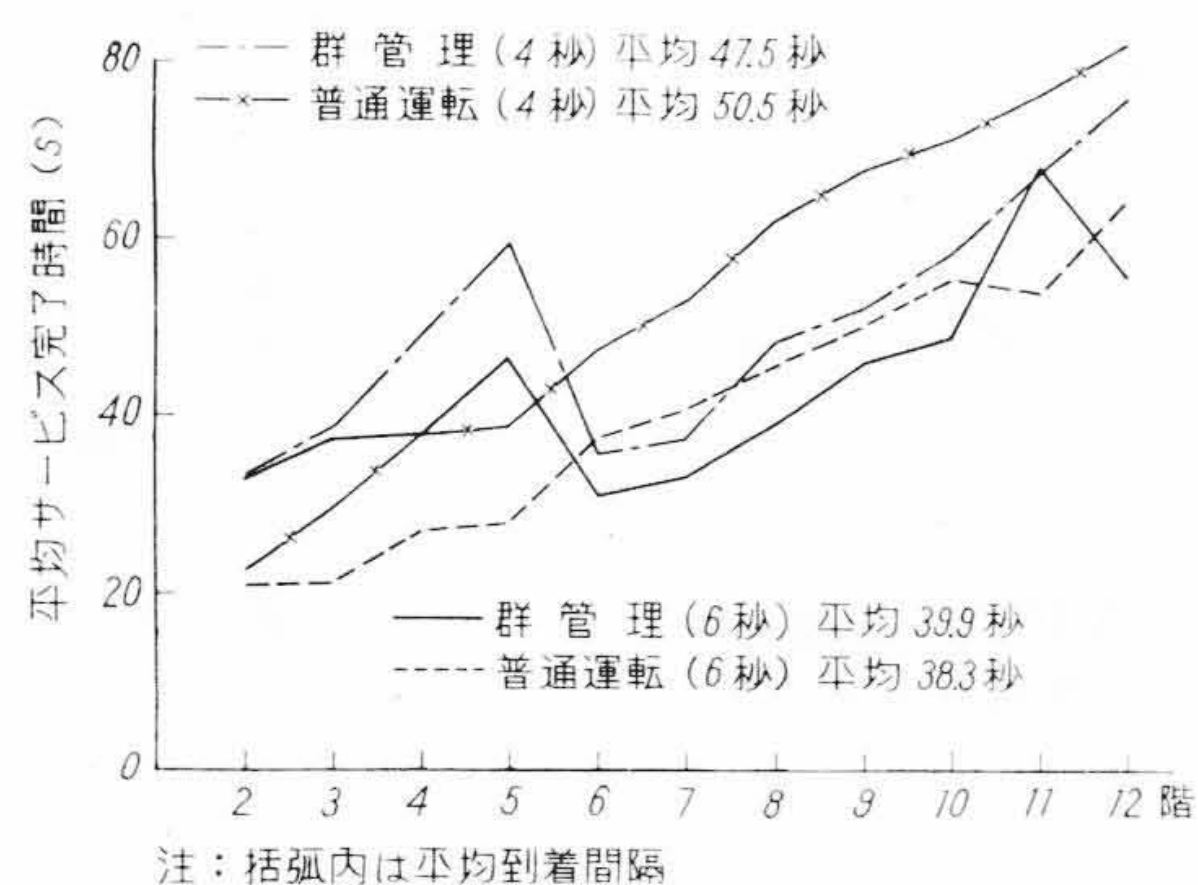
第12図および第13図は、種々の平均到着間隔に対する平均待時間の状態を示したものである。この図より平均到着間隔が短くなるにしたがって群管理方式の効果が現われることがわかる。第14、15図は、それぞれ平均到着間隔2秒および3秒の場合の待時間分布を示したものである。

4.1.2 平均サービス時間

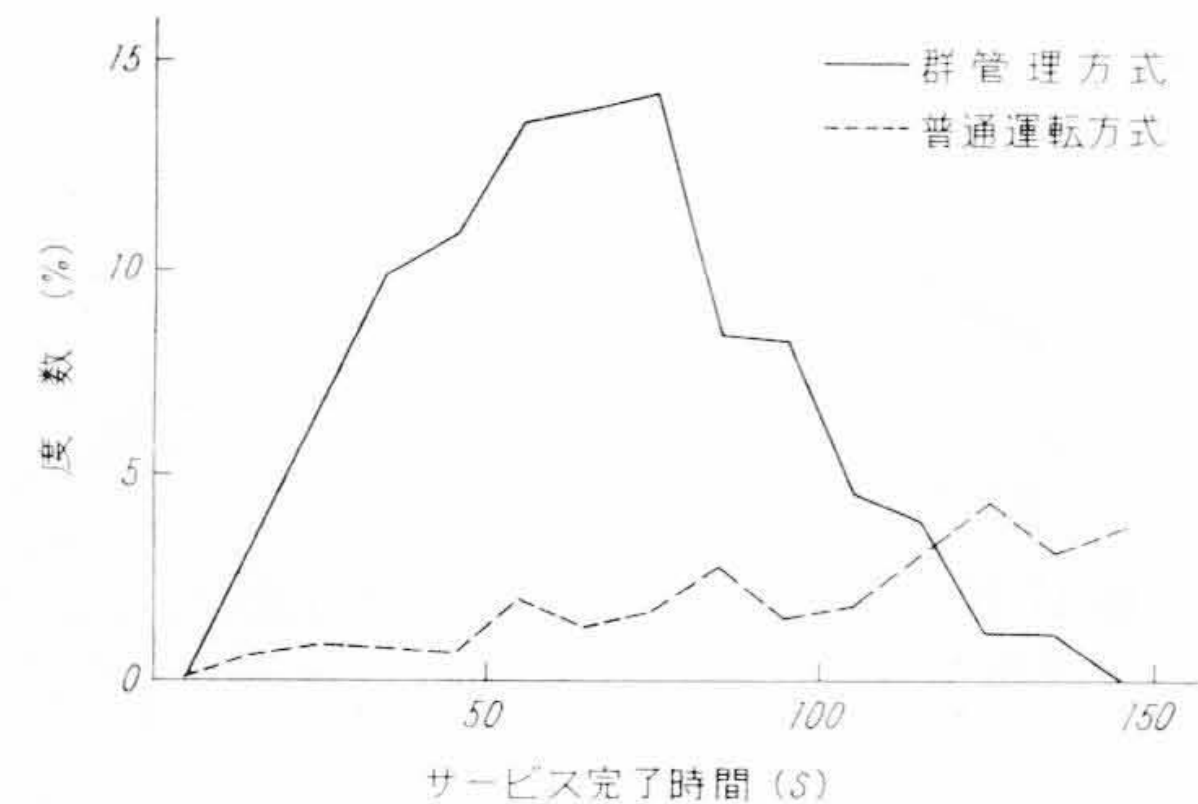
第16、17図は、平均到着間隔2秒、3秒、4秒、6秒の場合の平均サービス時間の比較を行なったものである。この図より平均



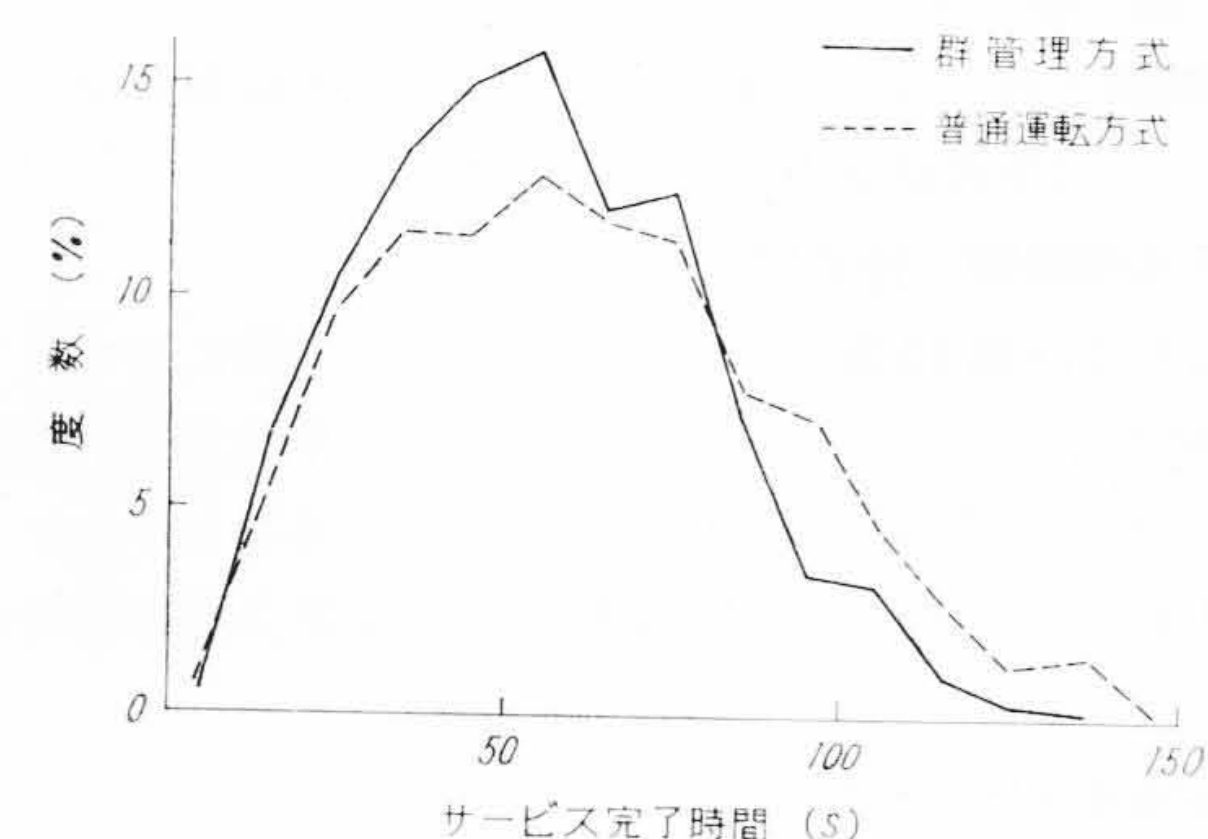
第 18 図 普通運転方式と群管理方式の平均サービス完了時間の比較 (1)



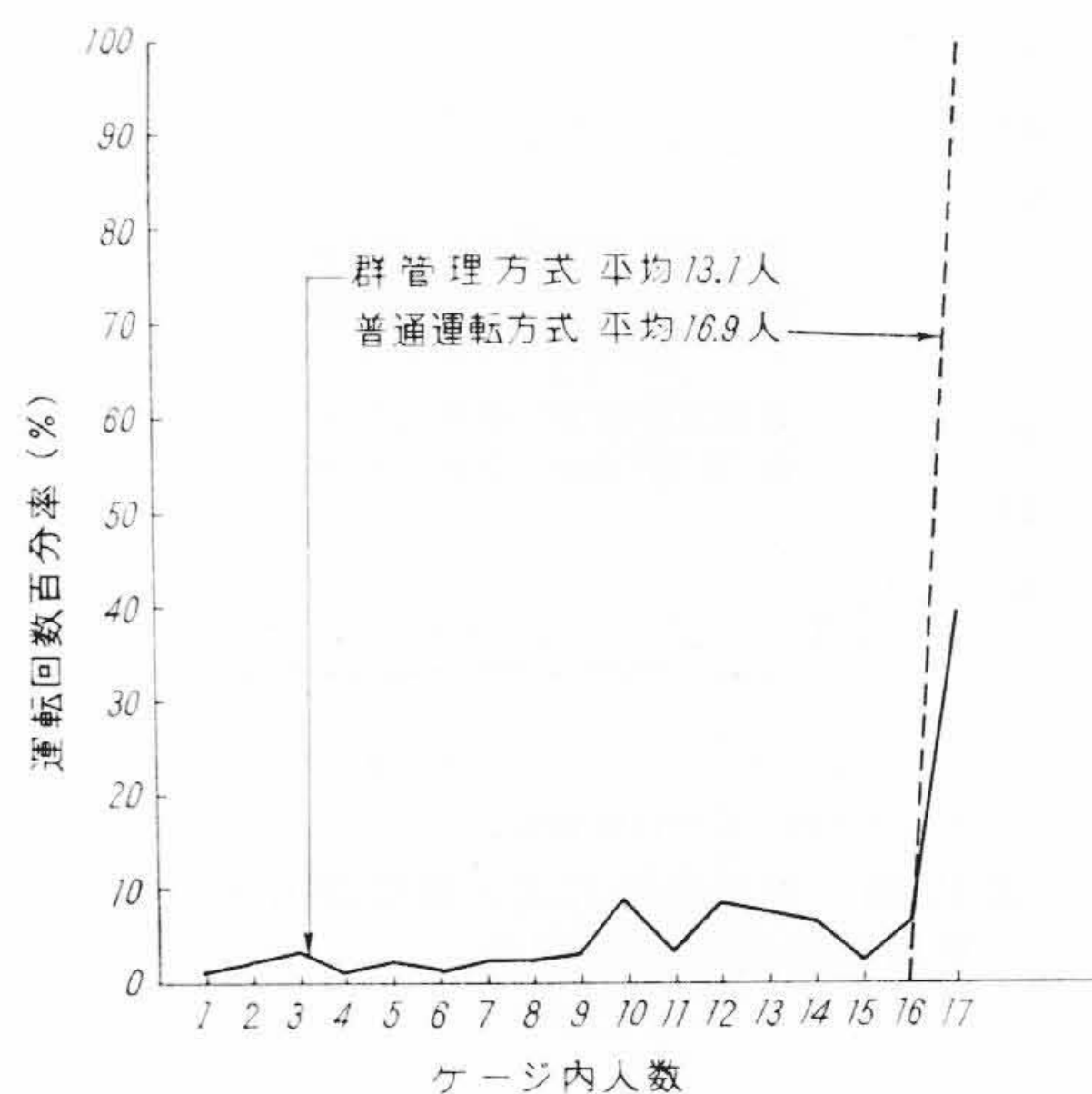
第 19 図 普通運転方式と群管理方式の平均サービス完了時間の比較 (2)



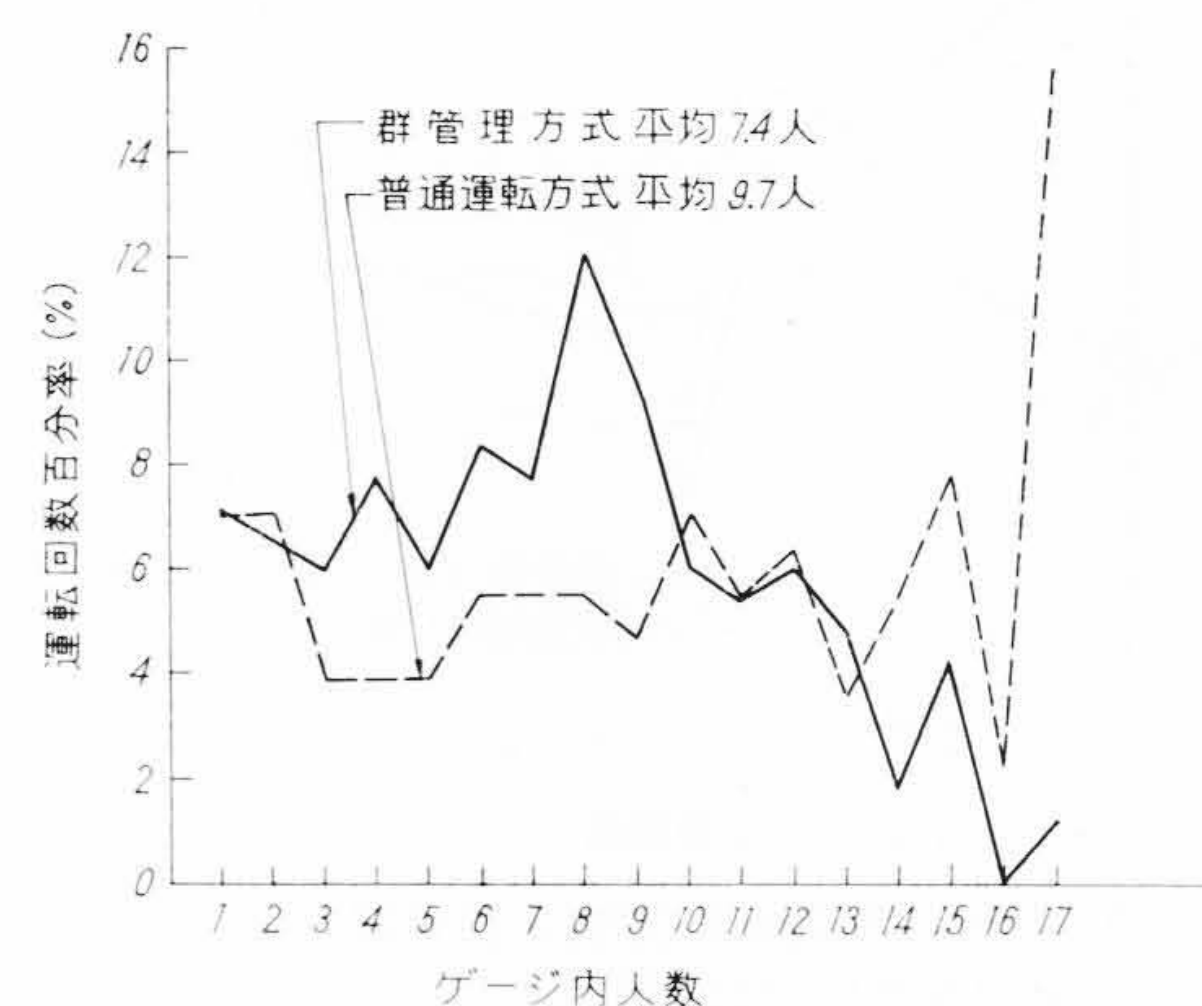
第 20 図 平均到着間隔 2 秒の場合のサービス完了時間分布



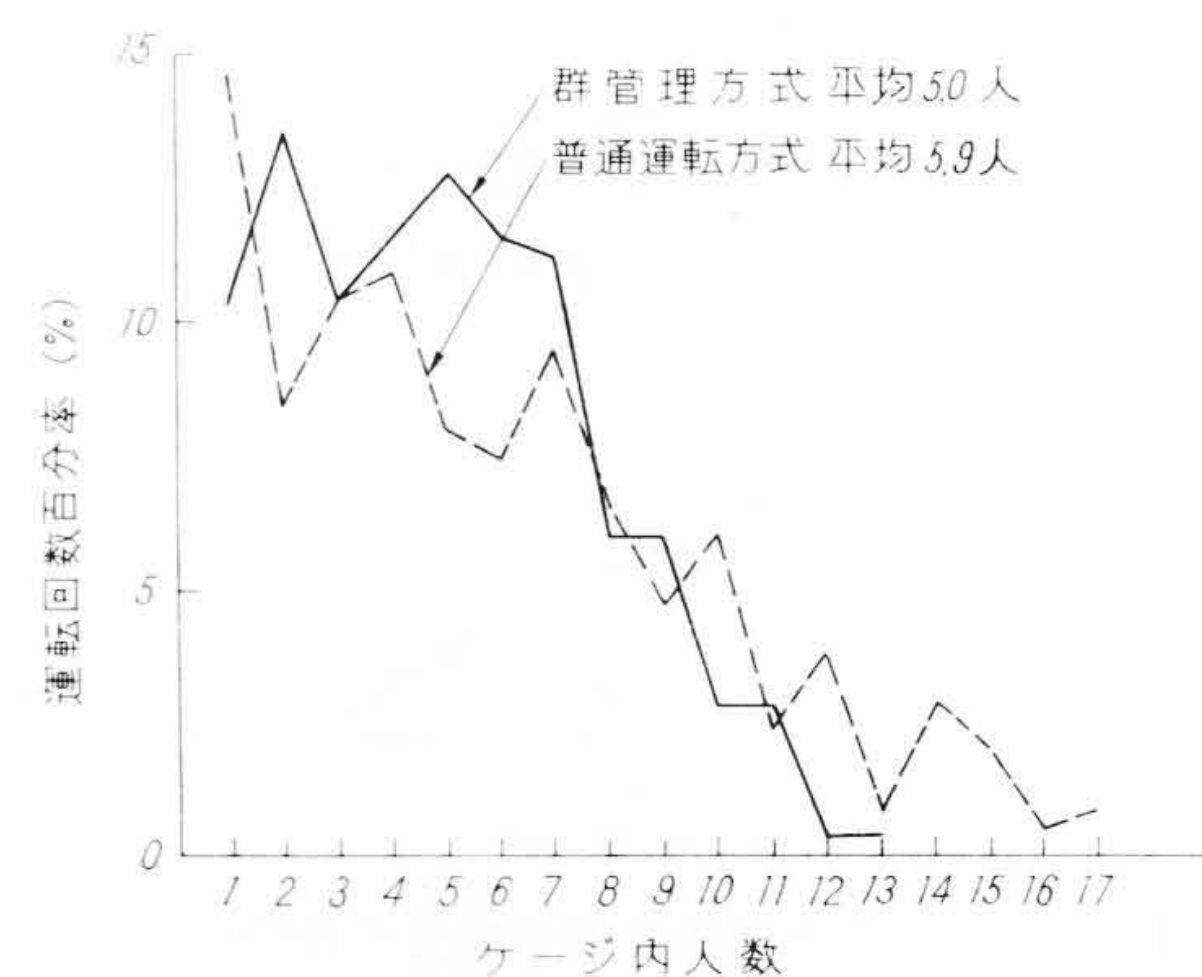
第 21 図 平均到着間隔 3 秒の場合のサービス完了時間分布



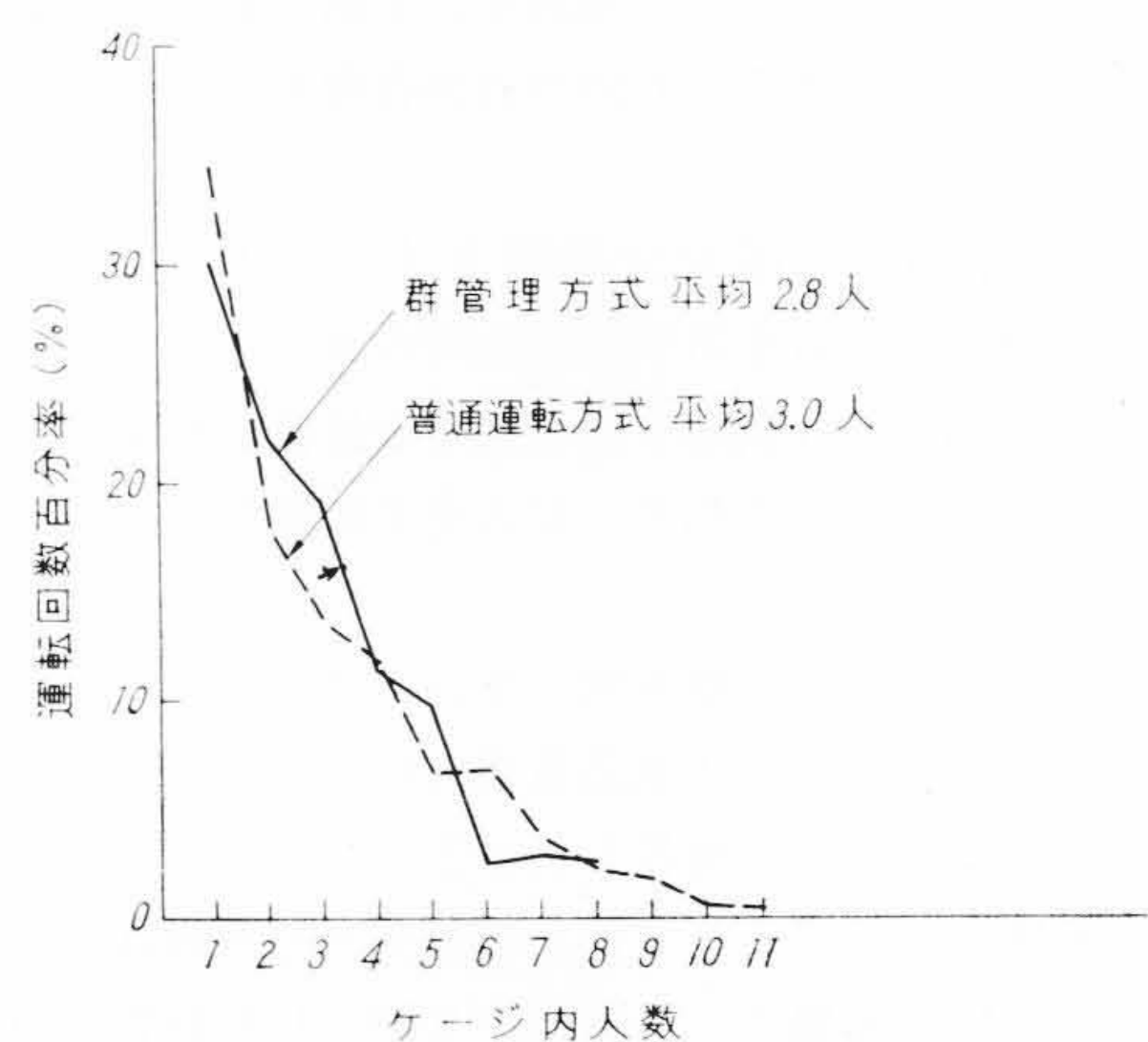
第 22 図 平均到着間隔 2 秒の場合のゲージ内人数の比較



第 23 図 平均到着間隔 3 秒の場合のゲージ内人数の比較



第 24 図 平均到着間隔 4 秒の場合のゲージ内人数の比較



第 25 図 平均到着間隔 6 秒の場合のゲージ内人数の比較

第7表 普通運転方式と群管理方式の
積み残された回数の百分率

平均到着間隔	積み残された回数 運転方式	1	2	3	4	5	6	7	8
2秒	群管理	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	普通運転	10.6	12.8	14.2	12.0	10.5	13.8	12.5	3.8
3秒	群管理	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	普通運転	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

第8表 エレベータ1周時間の比較

平均到着間隔	2秒	3秒	4秒	6秒
群管理方式 (秒)	74.9	62.1	54.4	44.3
普通運転方式 (秒)	108.6	80.0	65.7	48.5

第9表 Traffic Intensity

平均到着間隔	2秒	3秒	4秒	6秒
群管理方式	0.73	0.40	0.27	0.14
普通運転方式	1.06	0.52	0.32	0.16

サービス時間は群管理方式の方が非常に短く、しかも群管理方式の効果は平均到着間隔が短くなるにしたがって現われることがわかる。

4.1.3 平均サービス完了時間、サービス完了時間分布

第18, 19図は、種々の平均到着間隔に対する平均サービス完了時間を示したものである。群管理方式と普通運転方式を比較した場合、平均到着間隔が6秒以内のときは、群管理方式の方が短いことがわかる。第20, 21図はサービス完了時間分布を示したものである。

4.1.4 ケージ内人数分布

第22～25図は、それぞれ平均到着間隔2秒、3秒、4秒、6秒におけるケージ内人数を示したものである。この図より、群管理方式の方がケージ内人数が少ないこと、すなわち乗客をよくさばいていることがわかる。たとえば平均到着間隔3秒の場合、群管理方式では満員の回数がわずかに1.2%で、平均値7.4人、平均値のまわりの分散15.8であるのに対し、普通運転方式は満員の回数が15.6%もあり、平均9.7人、分散27.9となっている。

4.1.5 積み残し数

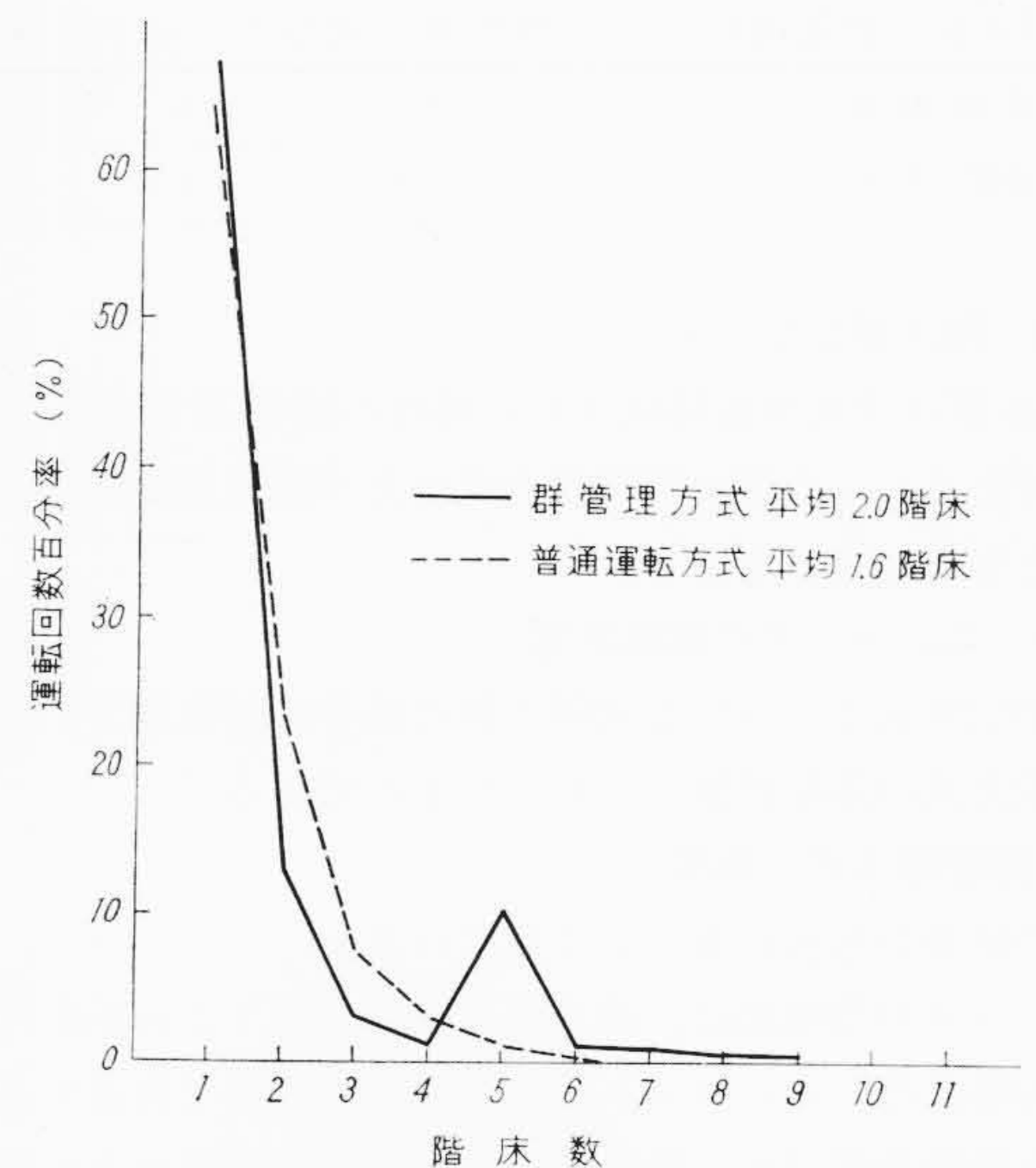
第7表は群管理方式と普通運転方式の積み残し数を平均到着間隔2秒、および3秒の場合につき示したものである。群管理方式は平均到着間隔2秒の場合、積み残しは全体の11.3%で、2度以上積み残したことがないのに対し、普通運転方式は平均到着間隔3秒のとき、1度積み残したことが7.4%、平均到着間隔2秒のときは、ほとんどの人を積み残し、さばききれない状態であることを示している。

4.1.6 平均1周時間

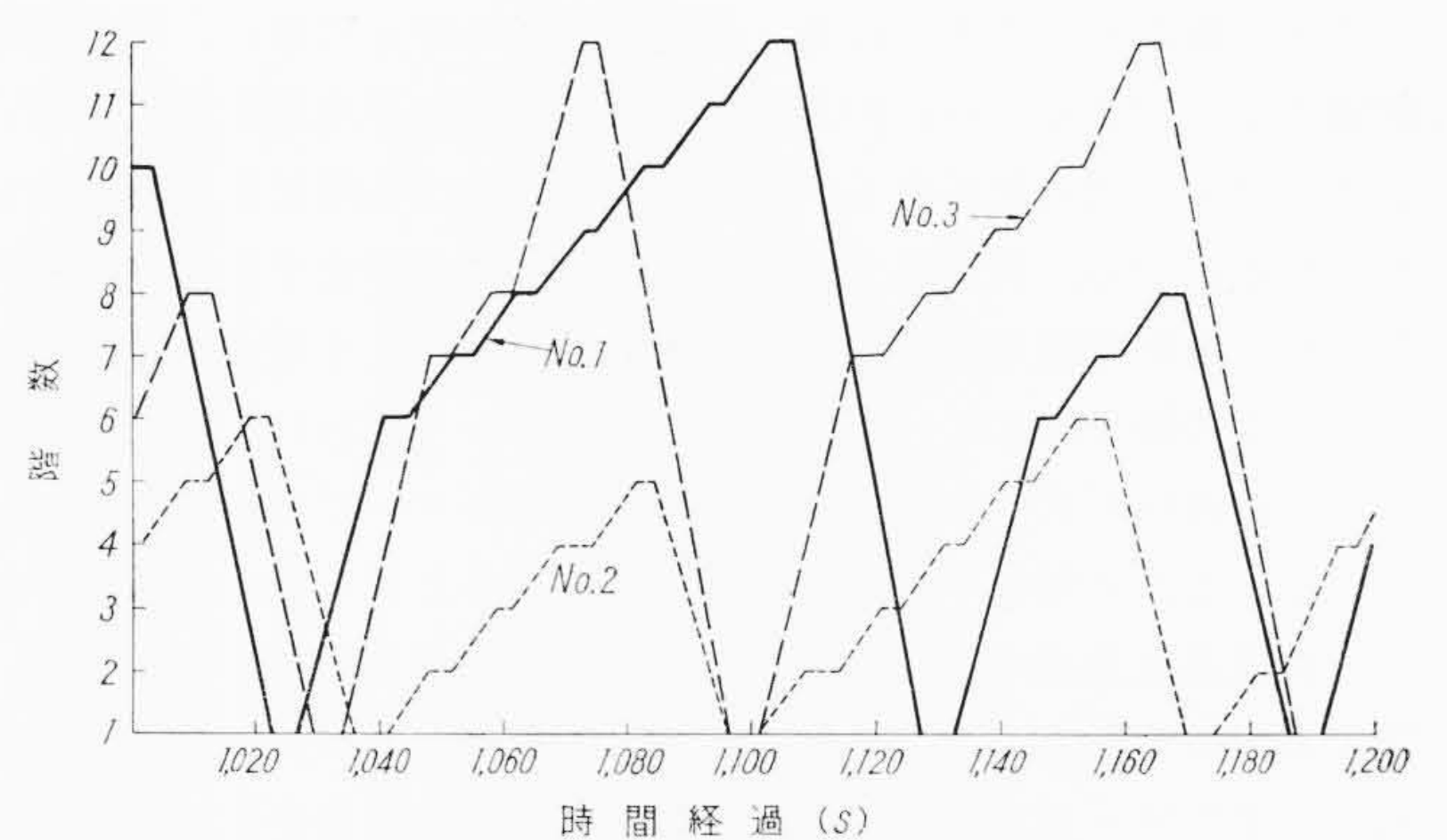
第8表は、種々の平均到着間隔における普通運転方式と群管理方式の平均1周時間を比較したものである。この表より群管理方式の平均1周時間が普通運転方式の場合よりもかなり短いこと、これら二つの運転方式に対する平均1周時間の差は、平均到着間隔が大きくなるにしたがって現われることがわかる。このことは群管理方式の方が運転回数が多く、乗客を合理的にさばいていることを示している。

4.1.7 Traffic Intensity

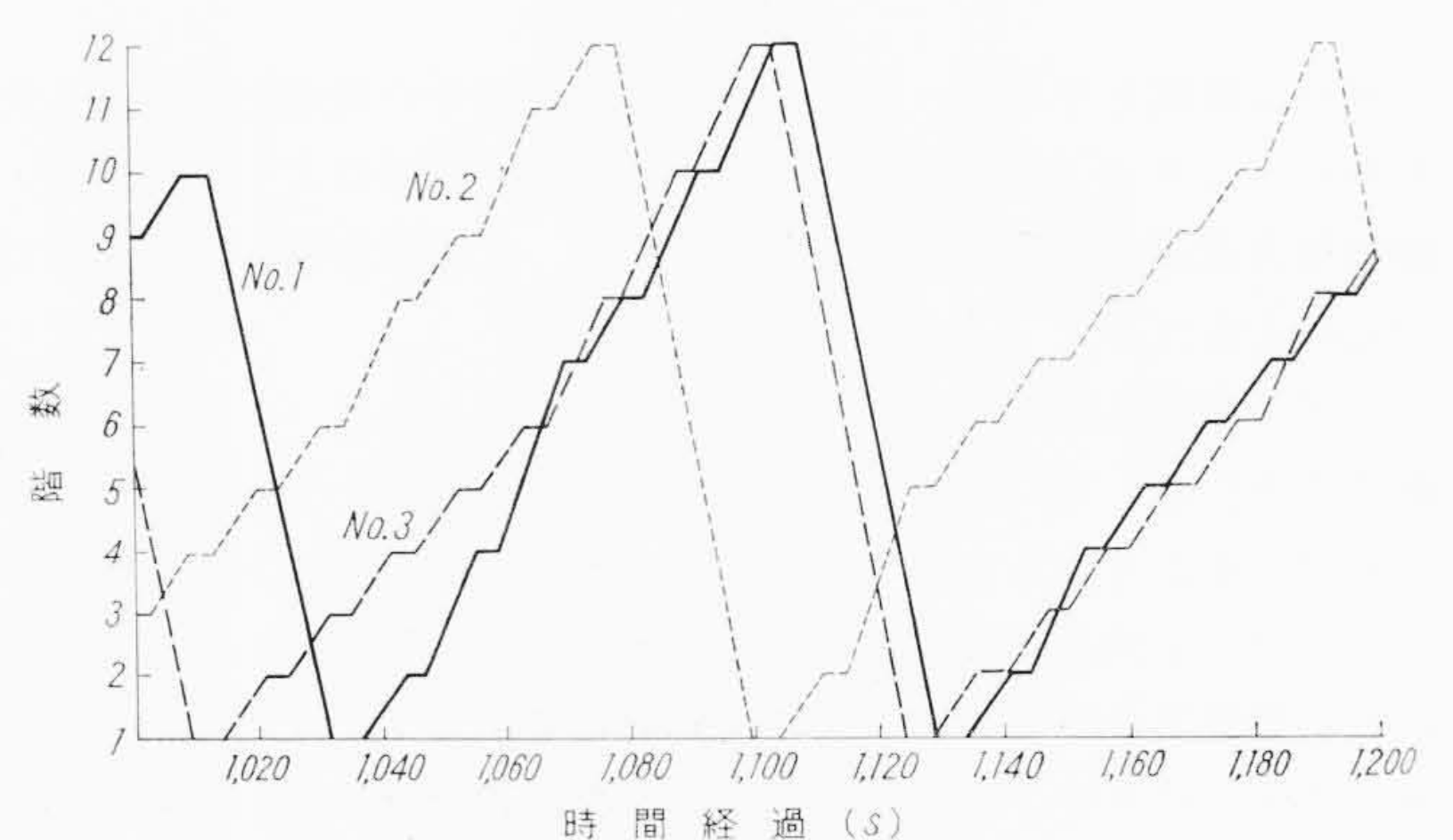
乗客をさばいている状態を調べるものに Traffic Intensity ρ が



第26図 平均到着間隔3秒の場合の階床運転数



第27図 群管理方式の運転状態



第28図 普通運転方式の運転状態

ある。 ρ は

$$\rho = \frac{[\text{平均1周時間}]}{[\text{定員}] \times [\text{エレベータ台数}] \times [\text{平均到着間隔}]}$$

で表わされるもので、統計的平衡状態が存在するためには $\rho < 1$ であることが必要であり、 ρ が小さいほど乗客をよくさばいていることが知られている⁽²⁾。

第9表は、種々の平均到着間隔に対する Traffic Intensity を計算したもので、平均到着間隔2秒の場合、群管理方式は0.73となり、まだ十分乗客をさばき得る状態であるのに対し、普通運転方式では1.06となり、乗客をさばくことができないことを示している。

第 10 表 普通運転方式と群管理方式のサービス時間の差

平均到着間隔(秒)	2	3	4	6
サービス時間の差(秒)	14.0	10.8	8.4	4.2

4.1.8 階床運転数分布

第 26 図は平均到着間隔 3 秒の場合の階床運転数分布を示したものである。この図は群管理方式の方が直通運転をする機会の多いことを示している。

4.1.9 エレベータの運転状態

第 27, 28 図は平均到着間隔 3 秒の場合の群管理方式、および普通運転方式の運転状態を記録したものである。

4.2 群管理方式の効果

以上の結果から次の事項が推論される。

エレベータの待時間は、満員積み残しということがなければ、自分の目的階に行くエレベータが 1 階に短い間隔で到着するほど短くなる。平均到着間隔が 3 秒以上のとき、普通運転の方が短いのはこの理由による。

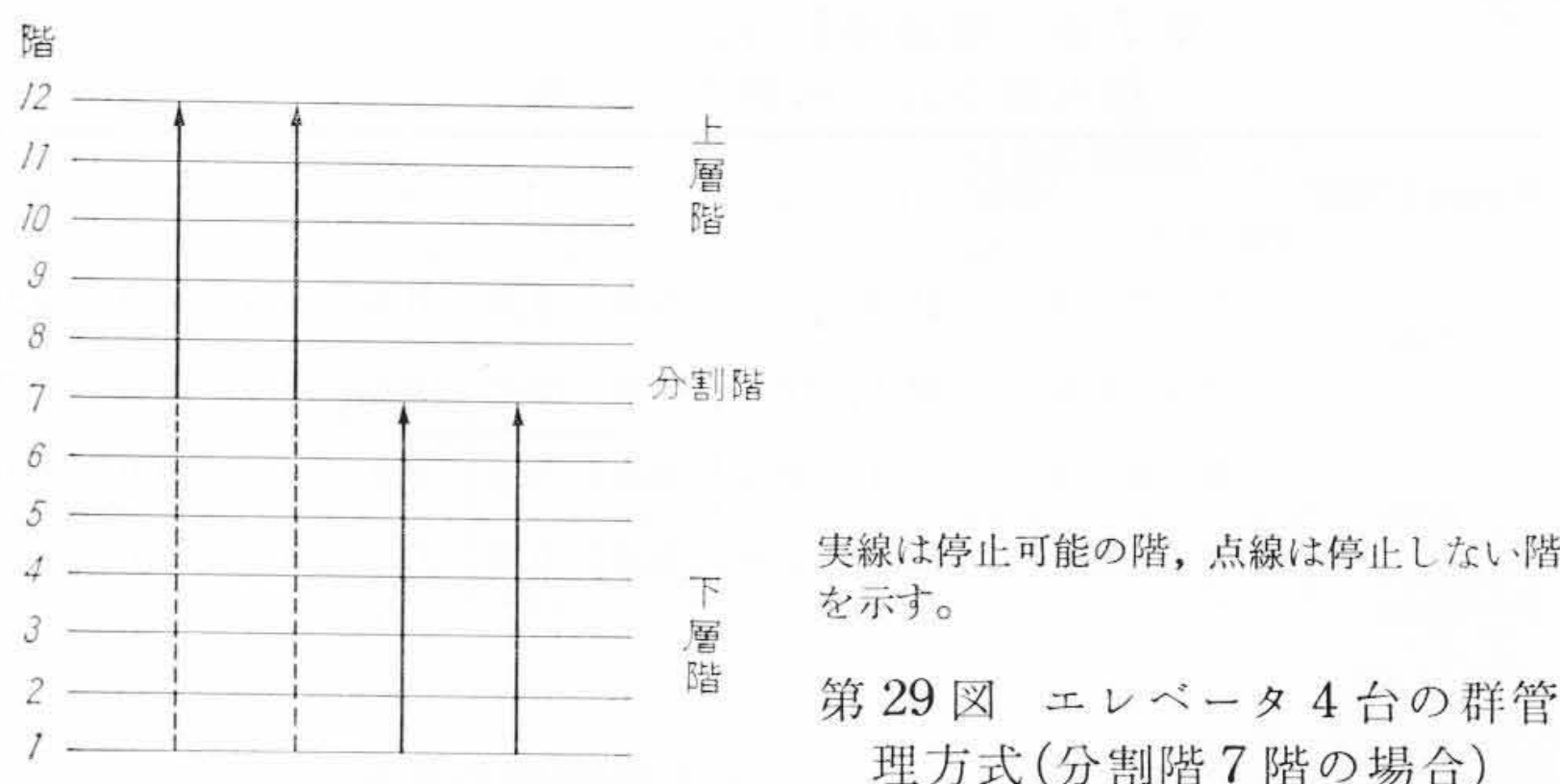
一方、平均サービス時間は目的階までのエレベータ停止回数により大きく異なると考えられる。目的階までの停止回数は、平均到着間隔により定まるケージ内人数の関数である。平均到着間隔が短いときはケージ内人数が多く、普通運転方式では各階に止まる機会が多くなる。一方、群管理方式の場合も、やはり停止する機会は多くなるが、停止可能な階が普通運転方式の場合のような 2～12 階までのすべての階ではなく、下層階、上層階という限られた階であるため、普通運転方式より停止回数を少なくし、サービス時間を短縮している。これに対し平均到着間隔が長くなるとケージ内人数は少なく、普通運転方式でも何階床もの直通運転をする機会が多くなり、群管理方式との差が少なくなる。第 10 表はシミュレーションに現われた平均サービス時間の差と平均到着間隔の関係を示したものでこれより平均到着間隔 2 秒のときは差は 14 秒であるが、平均到着間隔が 6 秒になると差は 4.6 秒と大幅に短縮されていることがわかる。

平均待時間と平均サービス時間の和に 1 階での乗込時間を加えた平均サービス完了時間は、待時間、サービス時間の大小に関係し、群管理方式が普通運転方式より短いのは、大体平均到着間隔 6 秒以内と考えられる。

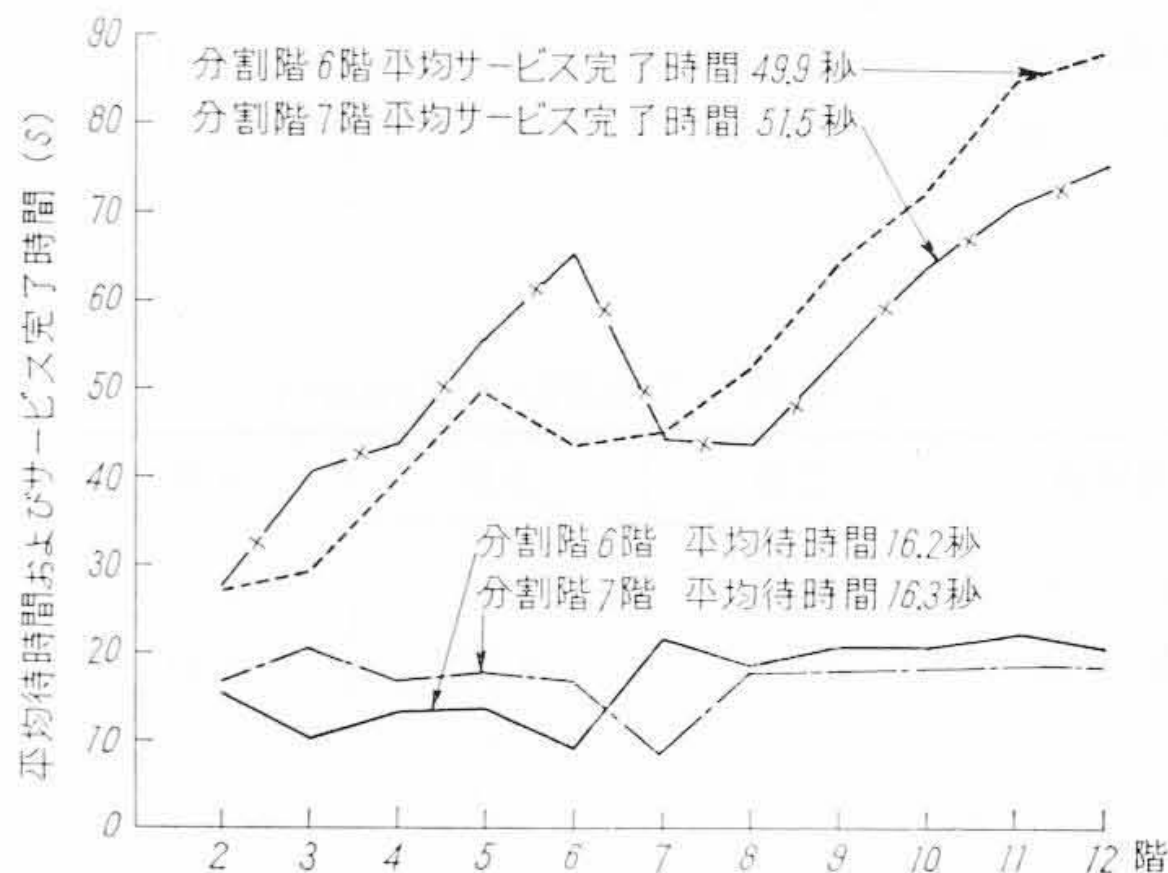
さて、乗客に対するサービス機構としてのエレベータの優劣を判断する方法として、平均待時間を中心とする方法と平均サービス完了時間を中心とする方法がある。しかし平均待時間に Weight をおく方法は、平均待時間は短くても、ケージ内人数の多いエレベータに長時間乗る危険性を含むので、到着してからサービスを終了するまでのサービス完了時間にケージ内人数、Traffic Intensity を加味した方法を採用するのが合理的である。

この考えで行くと、モデルとする関電ビルに対しては、平均到着間隔が 6 秒以内のとき群管理方式を採用する方が、普通運転方式を採用するよりも効果があるといえる。しかもこの効果は、平均到着間隔が短いほど大きく、平均到着間隔が 6 秒に近づくとほとんど差はなくなる。

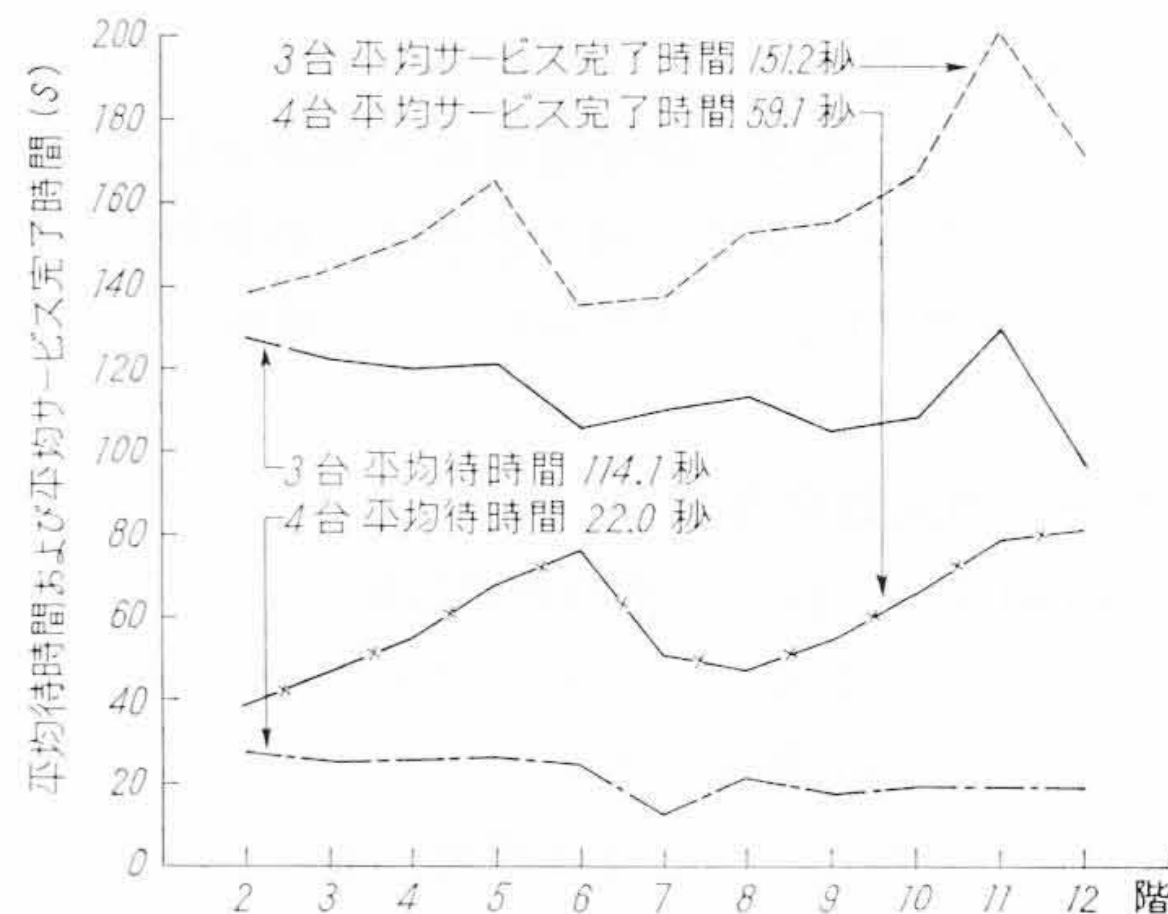
しかし実際の Up Peak Pattern では平均到着間隔は 2～3 秒であることが予想され、平均到着間隔が 5～6 秒、またはそれ以上の場合、もはや Up Peak Pattern というべきではない。日立全自動群管理方式では、このような乗客到着状態を呼の数、ケージ内人数、時間などから検出し、各到着状態に対し適当な運転方式に自動的に切り変えている。昼食時、通勤時を除いた乗客到着状態は、その平均到着間隔の大小により Balanced Traffic Pattern または Heavy Up Pattern と呼ばれ、それぞれの Pattern においては普通



第 29 図 エレベータ 4 台の群管理方式(分割階 7 階の場合)



第 30 図 平均到着間隔 2 秒、エレベータ 4 台の場合の分割階と平均待時間、平均サービス完了時間の関係



第 31 図 平均到着間隔 1.5 秒の場合のエレベータ台数と平均待時間、平均サービス完了時間の関係

運転方式よりも合理的な運転を行なっている。

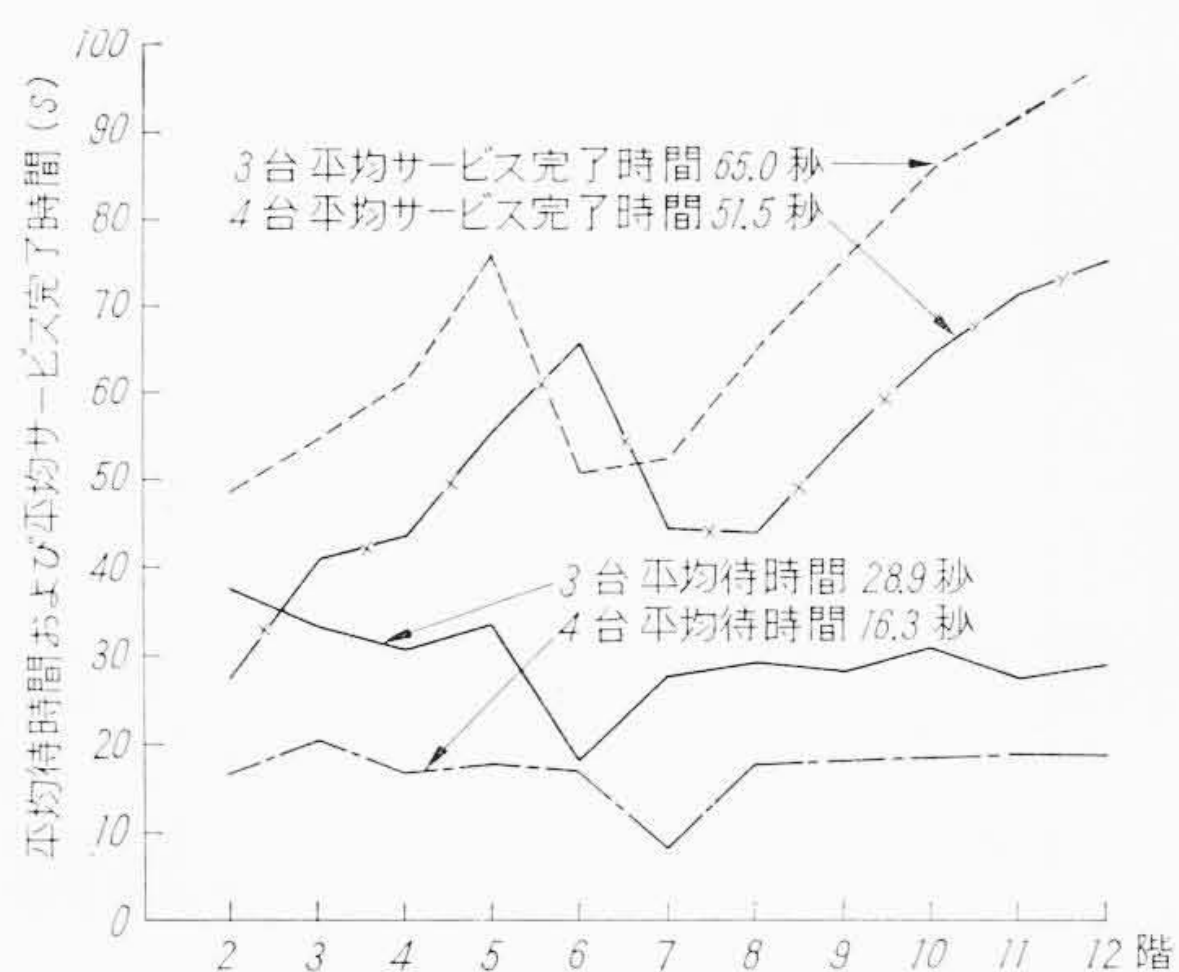
5. エレベータ台数の効果

一般の待ち合わせ問題においては、サービス機構を増設すると、待時間などは急速に減少することが知られている。エレベータの待ち合わせ問題においても同様のことが予想されるが、実際に何秒程度減少するかということについての研究はむずかしい。しかし、この問題は全自動群管理方式エレベータ建設計画上にもつながる重要な事項と考えられるので、今回はエレベータ 1 台を増設し、第 29 図に示すように上層行 2 台、下層行 2 台とした場合と 3 台の群管理方式とを比較した。

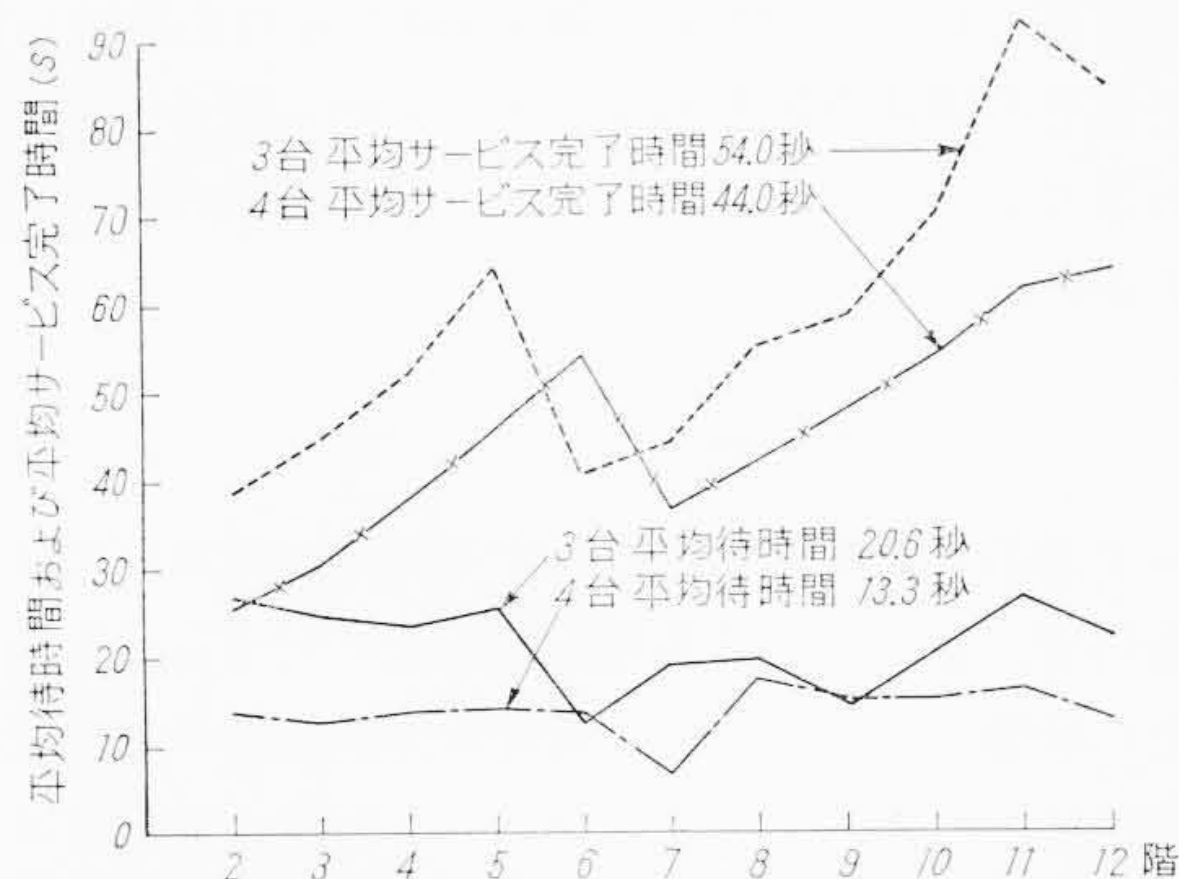
5.1 エレベータ 4 台の場合の分割階の決定

第 30 図は平均到着間隔 2 秒、エレベータ 4 台の場合の分割階と平均待時間、平均サービス完了時間を調べたものである。分割階 6 階と 7 階の間のこれら平均値の相異は少なく、ケージ内平均人数も分割階 7 階の場合 8.5 人、分割階 6 階の場合 8.1 人となっている。

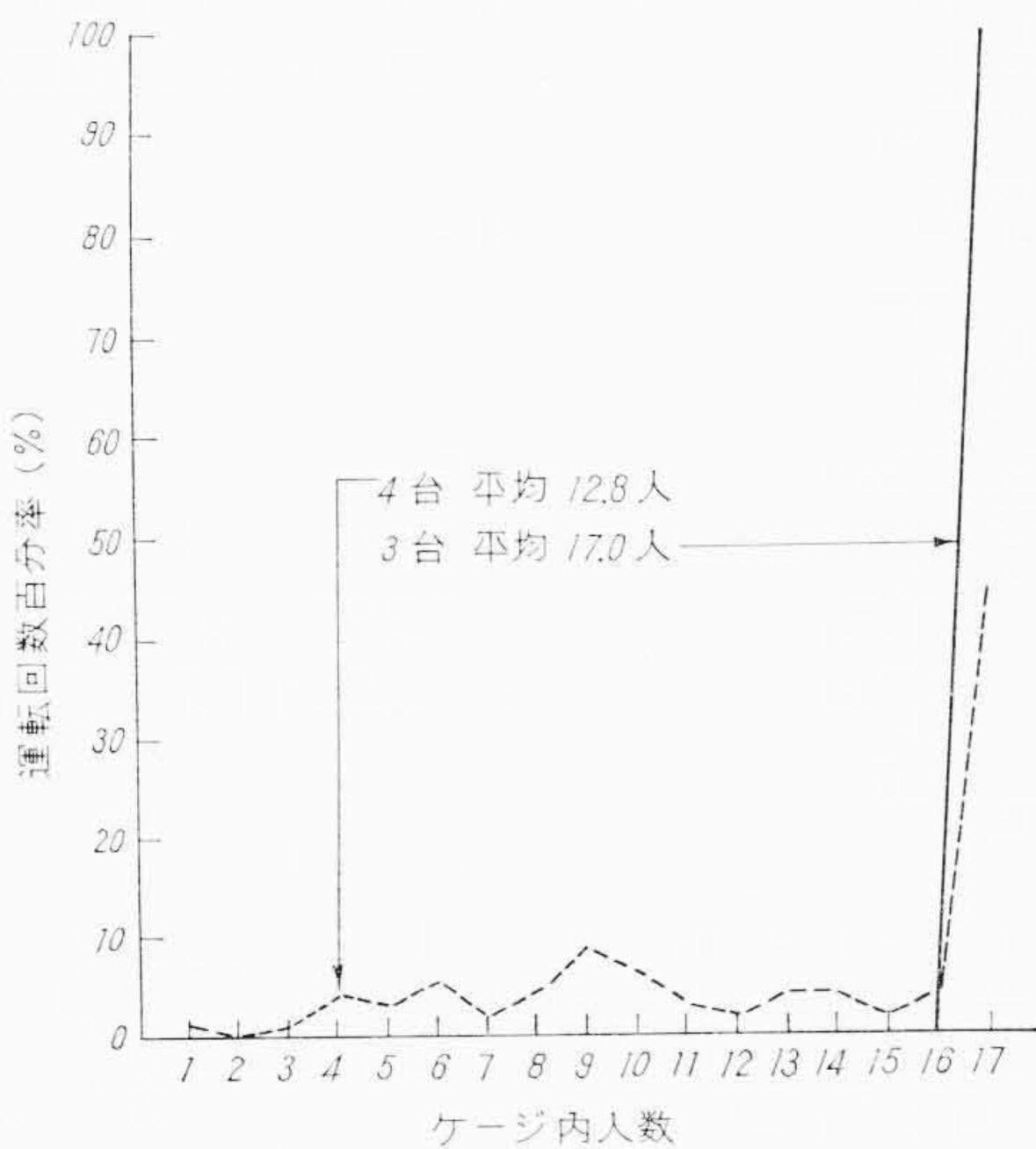
このように分割階 6 階と分割階 7 階の間には、ほとんど差はない



第32図 平均到着間隔2秒の場合のエレベータ台数と平均待時間、平均サービス完了時間の関係



第33図 平均到着間隔3秒の場合のエレベータ台数と平均待時間、平均サービス完了時間の関係

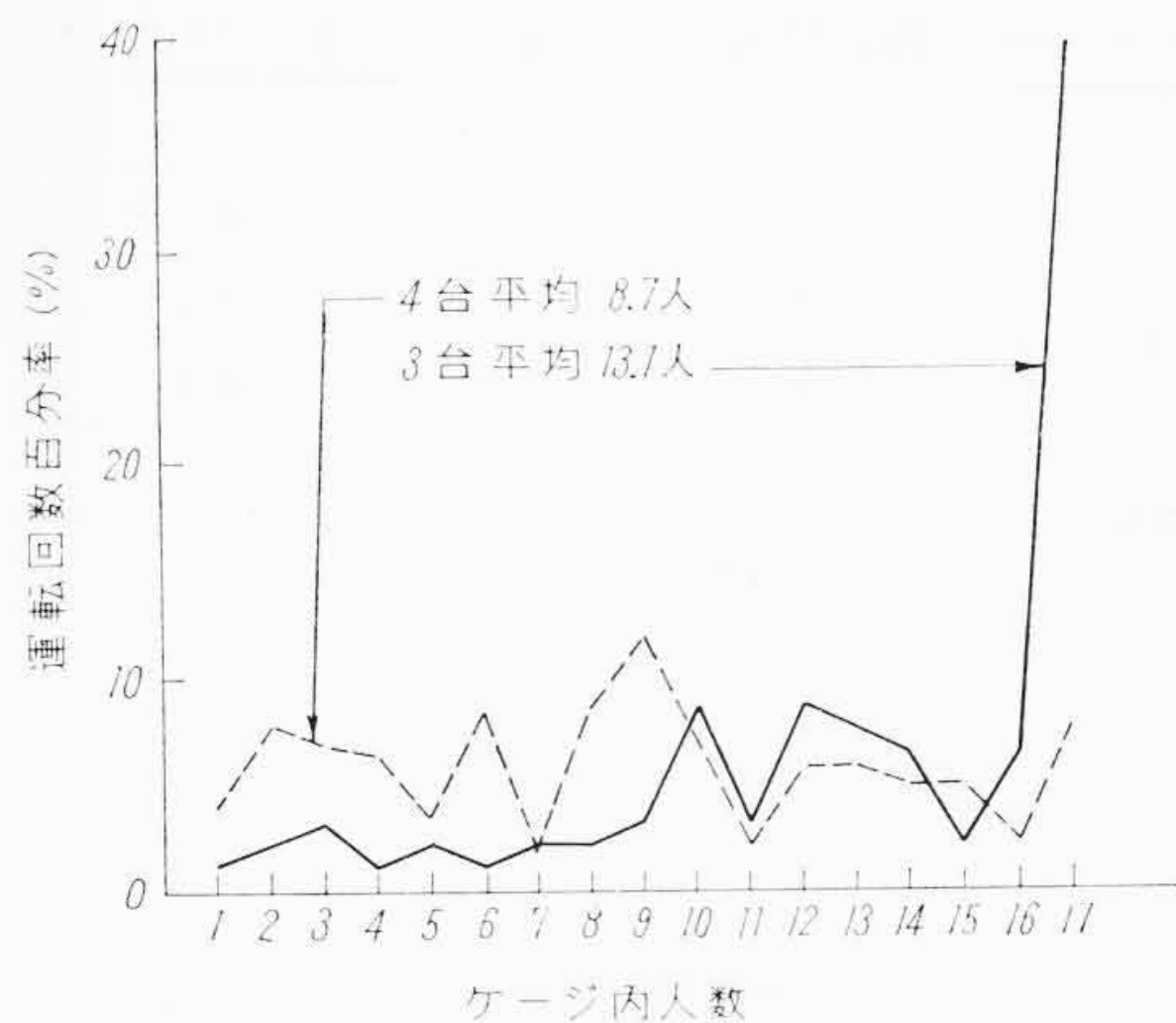


第34図 平均到着間隔1.5秒の場合のエレベータ台数とケーシ内人数の関係

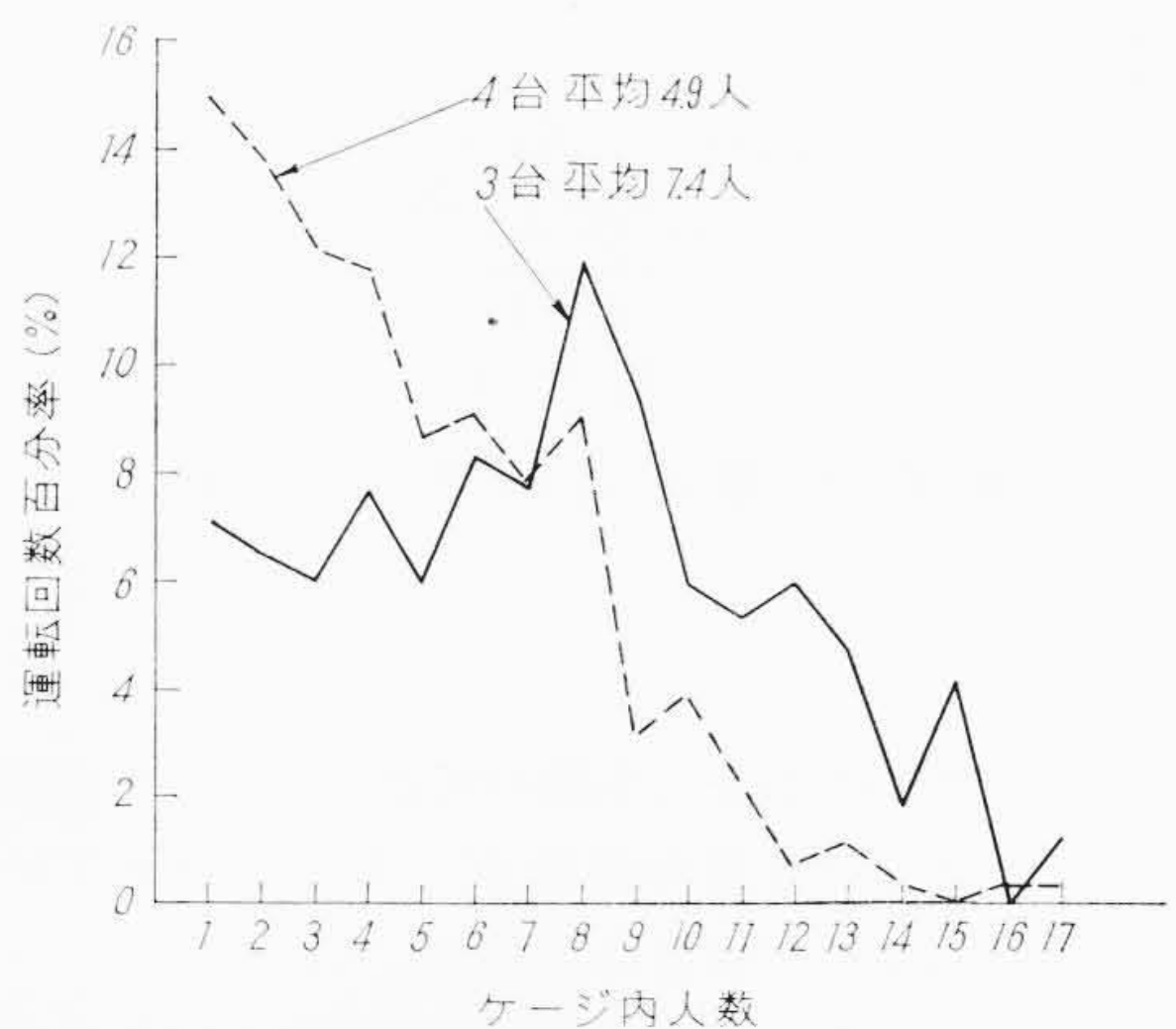
が、乗客の行先階別分布は従業員収容人口分布に従うとし、階段を利用する人を無視したことから、この報告ではエレベータ4台の場合は分割階7階を採用し、以後単に、この方式を4台の群管理方式という。

5.2 エレベータ台数の効果

第31, 32図、および第33図は、それぞれ平均到着間隔1.5秒、2秒、3秒の場合のエレベータ台数と平均待時間、平均サービス完了時間を比較したものである。これよりエレベータを1台増設すると、平均到着間隔3秒のとき平均待時間を7.3秒、平均サービス完了時間を10秒短縮し、平均到着間隔2秒のとき平均待時間を12.6



第35図 平均到着間隔2秒の場合のエレベータ台数とケーシ内人数の関係



第36図 平均到着間隔3秒の場合のエレベータ台数とケーシ内人数の関係

第11表 エレベータ台数と Traffic Intensity

平均到着間隔	1.5 秒	2.0 秒	3.0 秒
エレベータ3台	1.05	0.73	0.40
エレベータ4台	0.72	0.47	0.26

秒、平均サービス完了時間を13.5秒短縮していることがわかる。さらに平均到着間隔が1.5秒のときは、4台の場合乗客を十分さばいているのに対し、3台の群管理方式では平均待時間がシミュレーションを行なうに従って増大し、乗客をさばききれない状態にあることを示している。

第34～36図はゲージ内人数を示したものであり、第11表は Traffic Intensity を示したものであるが、これからもエレベータ1台の増設により、乗客をさばく割合が急速に増大していることがわかる。

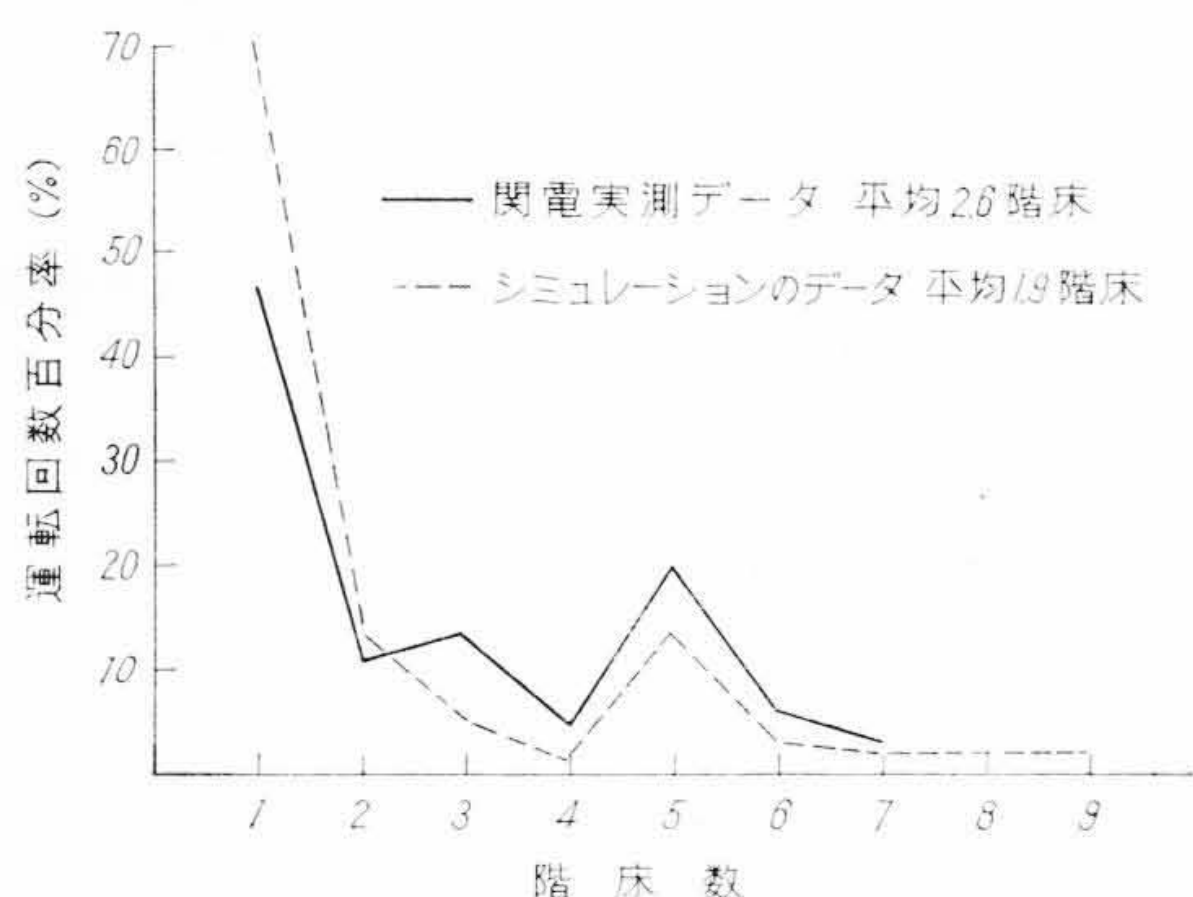
6. シミュレーションの信頼度

シミュレーションは乗客到着、エレベータの運転条件など多くの仮定を用いて計算しているため、ここで得られた値が現実の値と一致するとは限らないが、二つの運転方式に対する長所、短所の比較という問題に関しては有効なデータを提供することができる。すなわち、これまで行なって来た群管理方式における分割急行階の決定および普通運転方式に対する比較は少なくとも相対的という意味で有効である。

さらにシミュレーションで正確な値を出すためには、すなわち、二つの方式の比較ではなく、一つの方式に対する絶対的な値を出す

第12表 平均到着間隔3秒の場合の信頼度95%信頼区間

		信頼区間	
		下限(秒)	上限(秒)
群管理方式	平均待時間	19.5	21.7
	平均サービス完了時間	52.5	55.5
普通運転方式	平均待時間	16.1	18.1
	平均サービス完了時間	59.2	62.8



第37図 階床運転数の比較

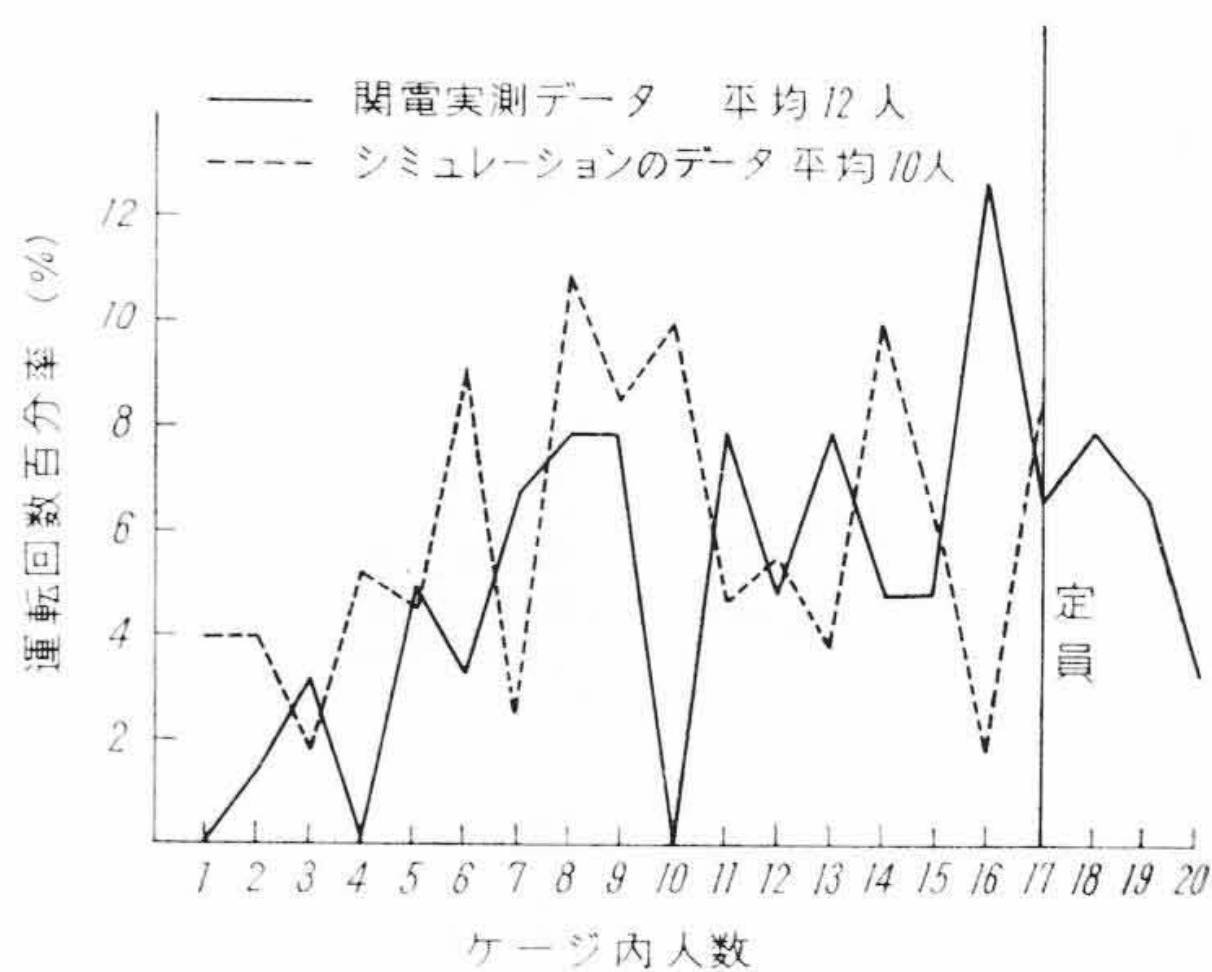
ためには、ここで用いた仮定と実際の状態との適合性を調査することが必要であり、これは今後の問題点であると考えている。今回は、シミュレーションの信頼度の調査として、シミュレーションに用いた種々の仮定が正しいと考えた場合の精度の問題および実態調査との比較検討を行なった。

6.1 モデルの人数の問題

シミュレーションに用いた仮定が正しい場合、精度は取り扱う人数の大小に関係する。ここではシミュレーションに用いた連続した乗客モデルを、乗客の中からの Random Sample と考え、平均到着間隔3秒の場合に対し t 分布により平均値の信頼区間を求め、第12表を得た。信頼区間の幅の大小は標本分散の大小に関係し、標本分散はデータの散らばりの多い普通運転方式において大きい値を取る。ここで得られた結果は、一番散らばりの多い普通運転の平均サービス完了時間分布において、信頼度95%で母平均は標本平均から1.8秒以内にあることを示している。他の平均到着間隔の場合もほぼ同様である。

6.2 実態調査との比較

朝のラッシュ時に実態調査を行なっても、待時間やサービス時間は乗客到着間隔が非常に短いと調べることが困難であるが、階床運転数やケージ内人数は容易に調べることができる。そこで今回は、関電ビルで調査したこれらの値とシミュレーションの値とを比較することにした。なお、ここでシミュレーションには実際の状態



第38図 ケージ内人数の比較

に最も近いと思われる平均到着間隔2.5秒のものを採用した。第37、38図は、それぞれ階床運転数およびケージ内人数の比較を示したもので、これよりシミュレーションのデータが実際の状態とほぼ同等であることがわかる。

7. 結 言

エレベータ全自動群管理方式に対する解析は現在までほとんど行なわれておらず、したがって普通運転方式に対する長短所も研究が進んでいない状態である。今回は群管理方式に対する研究の一環として、モンテ・カルロ・シミュレーションを用いて関電ビルの Up Peak Pattern と呼ばれる朝のラッシュ時の運転方式の解析を行ない、普通運転方式との比較検討をして次の事柄が推測された。

- (1) 群管理方式の分割急行階は、モデルに用いた関電ビルの各階収容人口分布に対して現状のとおり6階が適当である。
- (2) このシミュレーションから、朝のラッシュ時は特に分割急行運転の効果が顕著である。
- (3) エレベータ台数は、将来増設予定の1台を追加し3台から4台にすると平均待時間、ケージ内人数などを大幅に減少することができる。

また、この手法をビルの建設計画途上で用いることにより将来のビル収容人口の変化を考慮に入れたエレベータ台数、定員、分割階などの理想的な決定を行なうことも可能であると考えられる。

なお今後引き続き、ほかの Pattern に対する群管理方式の解析結果について発表する予定である。

参 考 文 献

- (1) 犬塚：日立評論 41, 1065 (1959)
- (2) R. G. Miller: J. R. Statist. Soc., 21, 320 (1959)
- (3) 犬塚：日立評論 43, 1204 (1961)
- (4) 日立評論 43, 149 (1961)
- (5) A. Я. Хинчин 著、森村英典訳：待ち合わせ理論入門(1960, 広川書店)