

エレベータ・サービス評価指標とその測定装置

Elevator Service Evaluation Index and Its Measuring Device

平澤 宏太郎*
Kôtarô Hirasawa

河竹 好一*
Kôichi Kawatake

弓仲 武雄**
Takeo Yuminaka

要 旨

エレベータ群に対する交通需要として、日中の大半を占める“平常時”のエレベータ運転状態の良否を評価する、エレベータ・サービス評価指標を新しく提案する。

エレベータ・サービス評価指標として、従来から用いられていた各階、各方向の乗客の平均待時間のほかに平均待時間に対する待時間の分散、または長待ち確率なる統計的概念を導入して集団待合せプロセス理論を展開し、これらの評価指標を自動測定する測定装置を開発した。

1. 緒 言

近年、超高層ビル、大事務所ビルの建設が盛んになるにつれて、数台を一つのグループとしたエレベータ群に対して、絶えず時間的に変動するビル内のエレベータ乗客の数や分布(交通需要)に応じて最適の運転方式を自動的に選定し、かつエレベータ群をその交通需要に適応して合理的に運転させることを目的としたエレベータ全自動群管理システムに対しても従来より高度な機能が要求されてきた。

日立製作所ではこれらの要求に対して日立全自動群管理方式⁽¹⁾および学習機械の識別機構を応用し、乗客の交通需要に対し最適な運転方式を自動的に選択するパターン管理装置⁽²⁾を開発するとともに、エレベータ設置計画に対する電算機によるエレベータ・シミュレーション⁽³⁾⁽⁴⁾、集団サービス待合せプロセスの研究⁽⁵⁾⁽⁶⁾など、ハード・ソフトの両面から意欲的な研究・開発を進めてきた。

しかるに、エレベータの運転状況の良否を評価するサービス指標およびその測定法に関しては、エレベータ待合せプロセスの複雑さから、系統だった研究がなされていなかった。特に、ビルの出退勤時、昼食時、深夜などを除く最もエレベータの利用時間の長い“平常時”におけるエレベータのサービス状態を評価する方法としては、この交通需要の場合、乗客の移動状況が複雑な2方向交通(基準階より各階へ、各階から基準階への乗客移動)と合わせて、各階相互の階床間交通が含まれるため、単なる待合せ理論ではその解析が不可能とされていた。そのため大規模なエレベータ実態調査、電算機によるエレベータ・シミュレーションなどによる方法がとられていた。

今回、さらに一連の集団待合せプロセスの研究により、平常時におけるエレベータ運転状況を理論的に解明する手法を得、あわせてエレベータ・サービス評価指標、ならびにその自動測定装置の開発を行なった。

2. エレベータ・サービス評価指標の提案⁽⁷⁾

2.1 サービス状態の良否の検討

平常時のエレベータ群のサービス状態の良否は、

- (1) エレベータ相互間の位置間隔
- (2) 各階・各方向(上昇・下降)のエレベータ到着間隔(エレベータが停止しない場合の通過間隔を含む)
- (3) 各階、各方向の乗客の待時間

などによって評価することが考えられる。

(1)は平常時のエレベータは一般的に上下両端階の間をターミナル運転することに着目して(最高呼び反転, HCR, LCRが行なわれ

る場合についても同様に考察できる)エレベータ群がビル内に運転方向を含めて空間的に分散している度合いによって、サービス状態の良否を評価しようとするもので、ビル内に一様にエレベータが分散している場合を最良の、ある特定階に全台が同一方向に集中している場合を最悪のサービス状態としてとらえるものである。

(2)は各階、各方向のエレベータ到着間隔によって評価するもので、エレベータの平均到着間隔が短く、さらにそのばらつきが小さいほど良好なサービス状態とするものである。

(3)は従来よりとられている、各階、各方向の乗客の待時間の平均値、その他によって評価するものである。ここでこれらの比較検討を行なってみる。

(1)はエレベータ群が、いわゆるだんご運転をしているかどうかを簡単に判定する良好な指標で、筆者らはこれをエレベータ連鎖指標(Chain Index, Φ)と呼び、これらの算出方法を導入しているが、ホール呼びの発生ひん度がある特定ゾーンに集中した場合とか、基準階でエレベータが出発時間調整などで、待機している場合など、この指標でエレベータ群のサービス評価することに無理があり、 Φ の測定方法が比較的困難であるなどの欠点もある。また集団サービス待合せプロセスの検討結果からエレベータ平均到着間隔が短く、そのばらつきが小さいほど、すなわちエレベータを時間的に等間隔に分散して運転した場合が良好な運転となることが明らかにされているので、(2)を指標とすることもできるが、後述するとおり、エレベータ到着間隔のばらつきが大きくとも、乗客の待時間のばらつきが小さい条件もあるため必ずしも良好なサービス指標とはいえない。したがってエレベータ運転サービスの最終目標は、乗客へのサービスであることを考えると、(3)の指標が最も適切であるといえる。

2.2 サービス評価指標の提案

前項の検討により、サービス評価指標として、乗客の待時間を採用することが適切であることがわかったが、この考え方は全く従来のものと一致した。しかし、いっそう質のよいサービスを行なうためには、さらに突っ込んだ評価指標を検討する必要があり、新たなものとして、従来の平均待時間 W_m のみでなく、待時間のばらつきについても考慮した指標を提案する。

この指標として、最長待時間 $W_{\max}$ 、待時間の分散 W_v 、待時間の変動係数 $\alpha_w (= \sqrt{W_v}/W_m)$ 、長待ち確率 $P_r(W \geq PW_m)$ (平均待時間の P 倍以上の長待ちをする乗客の全乗客に対する比)、などの統計的指標が考えられる。このうち最長待時間、待時間の分散は、一般に平均待時間が長くなれば大きくなり、その反対の場合は小さくなるといったように、平均待時間との強い相関関係があるため指標としてあまり適切でない。一方、待時間の変動係数および長待ち確率

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所水戸工場

表1 エレベータ運転指標

分	類	内	容	記	号
1	エレベータ間の位置関係	エレベータがビル内に空間的に分散している度合		ϕ	
2	各階・各方向の到着間隔(および通過)のばらつき	平均	平均到着間隔	エレベータの平均到着(および通過)間隔	M
		ばらつき	最長到着間隔	最長エレベータ到着(および通過)間隔	t_{MAX}
			到着間隔の分散	エレベータの到着(および通過)間隔の分散	σ^2
			到着間隔の変動係数	エレベータの到着(および通過)間隔の変動係数	α
			到着間隔の分布のすそ	エレベータ到着(および通過)間隔がMのP倍より長い確率	$Pr(t \geq PM)$
3	各階・各方向の待時間のばらつき	平均	平均待時間	乗客の平均待時間	W_m
		ばらつき	最長待時間	乗客の最長待時間	W_{MAX}
			待時間の分散	乗客の待時間の分散	W_v
			待時間の変動係数	お客の待時間の変動係数	α_w
			待時間の分布のすそ	W_m のP倍以上の長待ちをする客数の全客数に対する割合	$Pr(W \geq PW_m)$

は平均待時間で正規化しているため待時間のばらつきの要素を明確に抽出できる。ただ前者は、その値が定性的・物理的イメージに結びにくいという欠点があるので、結局、長待ち確率を指標として設定することが適切である。

以上の結果から、平常時のエレベータ・サービス評価指標として、

- (1) 各階、各方向の乗客平均待時間 W_m
- (2) 各階、各方向の長待ち確率 $Pr(W \geq PW_m)$

の二つの指標を提案する。

なお、ビル全体として平均的に評価する場合は、上記の二つの指標を方向別(上昇:U, 下降:D)に、全サービス階($j=1, 2, \dots, n$)について加重平均したものを用いれよい。

$$\left. \begin{aligned} (\overline{W_m})_{U,D} &= \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=1}^n Q_j \cdot (W_m)_j \right\}_{U,D} \\ (\overline{P_r})_{U,D} &= \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=1}^n Q_j' \cdot (P_r)_j \right\}_{U,D} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q_j, Q_j' は特定階のある場合、 $(W_m)_j, (P_r)_j$ にウェートを付加する。

表1は、以上の検討結果を分類・整理したものである。

3. 乗客待時間とエレベータ到着間隔の関係

本章では、乗客の待時間の確率密度関数 $W(\tau)$ と、エレベータ到着間隔の確率密度関数 $x(t)$ との関係を理論的に導き、この結果より、

- (1) 長待ち確率と待時間の変動係数との相関関係
- (2) 待時間のばらつきと、エレベータ到着間隔のばらつきとの相関関係

について検討する。

3.1 $W(\tau)$ と $x(t)$ との関係

本稿では、平常時のことを考察しているので、各階での乗客の積み残し現象はないものとする。

いま、着目している階および方向について、

$W(\tau)$: 乗客の待時間の確率密度関数

$x(t)$: エレベータ到着間隔の確率密度関数

λ : 乗客の平均到着率 (人/秒)

t : エレベータ到着間隔

M : エレベータ平均到着間隔

とすると、乗客の待時間が τ 秒より短い確率 $F(\tau)$ は、乗客のホールへの到着間隔の確率密度関数には関係なく、

$0 \leq t < \tau$ では: t 秒内に到着する乗客全員、すなわち (λt) 人、
 $\tau \leq t$ では: t 秒内に到着する乗客のうち $\frac{\tau}{t} \times 100\%$ の人、
すなわち $\left(\lambda t \times \frac{\tau}{t}\right)$ 人

が、 τ 秒より短い時間でエレベータ乗り込むことができるので、

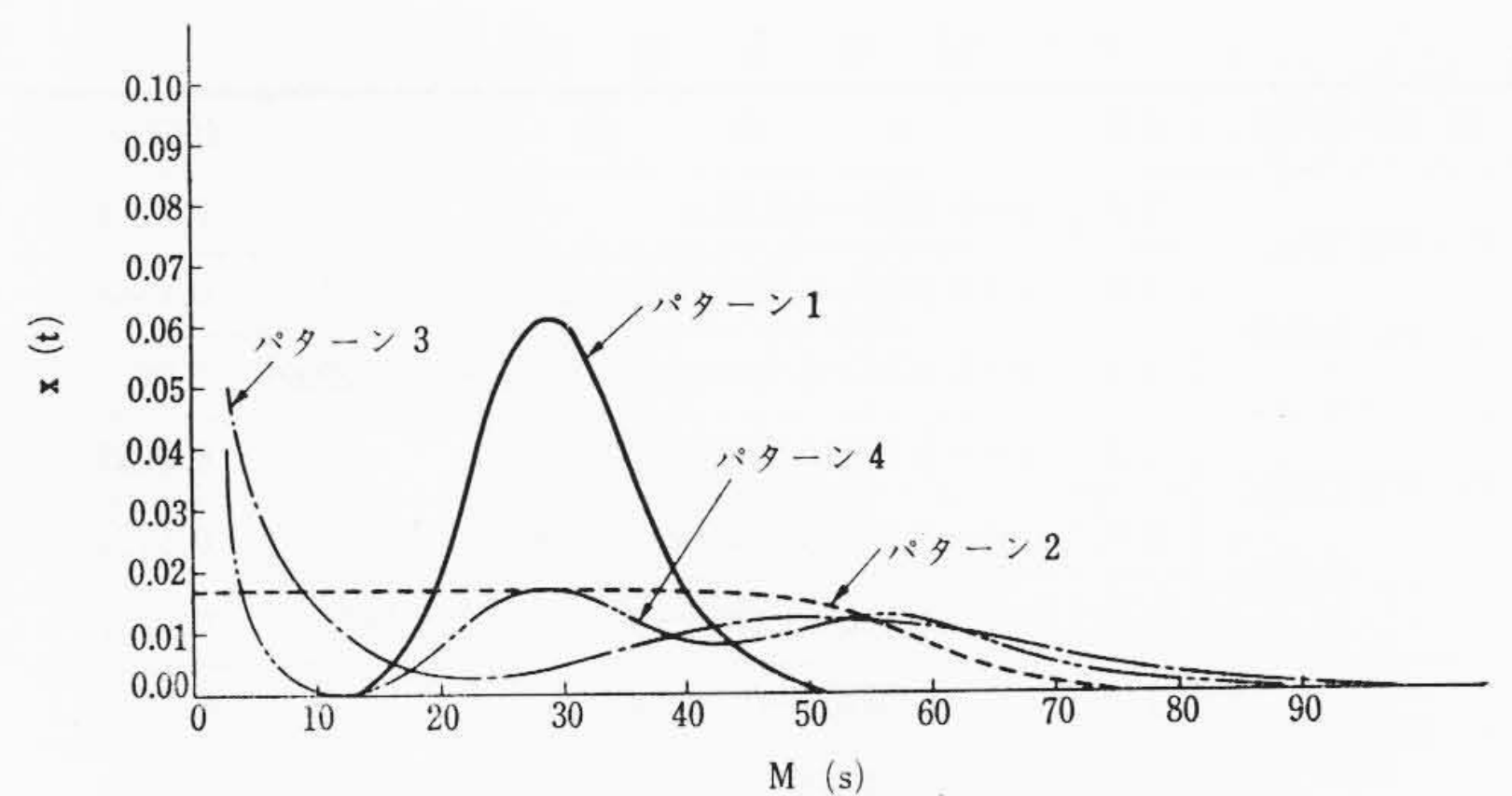


図1 エレベータ到着間隔の確率密度関数

$$\begin{aligned} F(\tau) &= \frac{1}{\lambda M} \left[\int_0^\tau \lambda t x(t) dt + \int_\tau^\infty \lambda t \times \frac{\tau}{t} x(t) dt \right] \\ &= \frac{1}{M} \left[\int_0^\tau t x(t) dt + \tau \int_\tau^\infty x(t) dt \right] \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

となる。したがって、乗客の待時間の確率密度関数 $W(\tau)$ は、

$$W(\tau) = \frac{\partial F(\tau)}{\partial \tau} \dots\dots\dots (3)$$

なので、求むる関係式は、

$$\begin{aligned} W(\tau) &= \frac{1}{M} \left[\tau x(\tau) + \int_\tau^\infty x(t) dt - \tau x(\tau) \right] \\ &= \frac{1}{M} \int_\tau^\infty x(t) dt \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

となる。

3.2 長待ち確率と待時間の変動係数との相関関係

本節では、(4)式の関係式を利用して、種々のエレベータ到着間隔の確率密度関数 $x(t)$ について、長待ち確率と待時間の変動係数との関係について論ずる。

いま、 $x(t)$ として、ほとんどすべての確率密度関数を模擬できる Wishart⁽⁸⁾ の論じた関数、

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{(\mu t)^{k-1} \cdot e^{-\mu t}}{(k-1)!} \cdot \mu$$

ただし、 C_k : 重み係数 $\left(\sum_{k=1}^{\infty} C_k = 1 \right)$

k : アーラン分布位相数

を使用すると、(4)式より、長待ち確率 $Pr(W \geq PW_m)$ 、平均待時間 W_m 、待時間の分散 W_v はおののおの(付録1)、

$$Pr(W \geq PW_m) = \frac{1}{\sum_{k=1}^{\infty} k \cdot C_k} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} \sum_{l=0}^n C_k \frac{e^{-\alpha} \cdot \alpha^l}{l!} \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $\alpha = \frac{PW_m \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot C_k}{M}$

$$W_m = \frac{M}{\left(\sum_{k=1}^{\infty} k \cdot C_k \right)^2} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} C_k \cdot (n+1) \dots\dots\dots (6)$$

$$W_v = \frac{M^2}{\left(\sum_{k=1}^{\infty} k \cdot C_k \right)^3} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} C_k \cdot (n+2)(n+1) - W_m^2 \dots\dots\dots (7)$$

となる。具体的には、

$$M = \frac{1}{\mu} \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot C_k = 30 \text{ 秒}$$

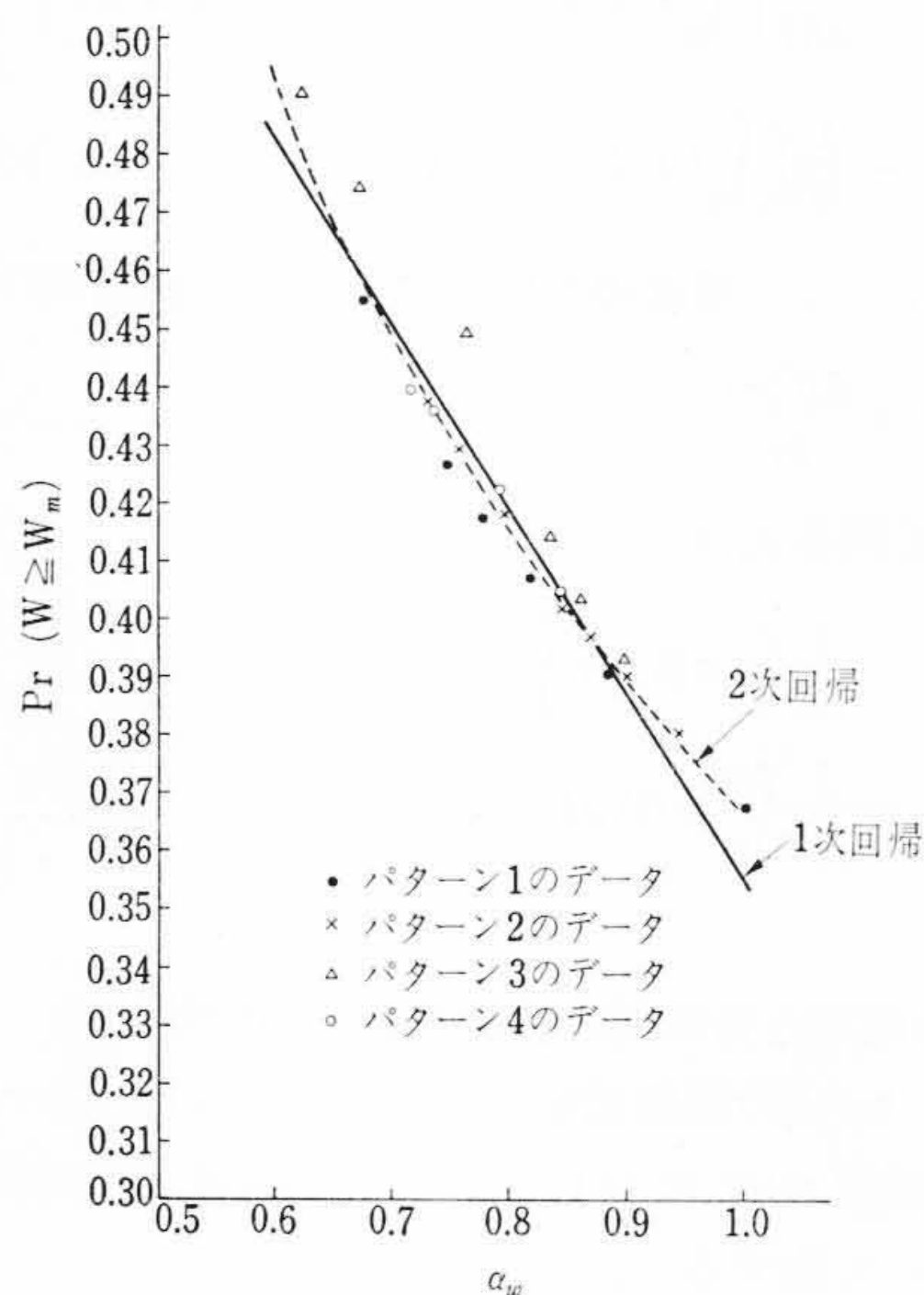
とし、 C_k については、ほとんどすべての確率関数をシミュレートできる次の4つのパターンについて、上記の3量を求め、長待ち確率 Pr と、待時間変動係数 α_w の相関を計算する。

表2 回帰分析結果

回帰種類	次数	回帰曲線	相関係数
$P_r(W \geq W_m)$ と α_w の回帰	1次	$y=0.6757-0.3201x$	0.9774
	2次	$y=0.8986-0.8974x+0.3677x^2$	0.9864
	3次	$y=0.9205-0.9822x+0.4759x^2-0.04539x^3$	0.9864
$P_r(W \geq 2W_m)$ と α_w の回帰	1次	$y=-0.05612+0.2105x$	0.9035
	2次	$y=-0.5043+1.371x-0.7393x^2$	0.9784
	3次	$y=-1.100+3.682x-3.687x^2+1.237x^3$	0.9861
$P_r(W \geq 3W_m)$ と α_w の回帰	1次	$y=-0.09057+0.1417x$	0.9825
	2次	$y=-0.04464+0.02275x+0.07576x^2$	0.9844
	3次	$y=0.3512-1.512x+2.034x^2-0.8219x^3$	0.9917

$$x = \alpha_w$$

$$y = P_r(W \geq PW_m)$$

図2 $P_r(W \geq W_m)$ と α_w の関係

パターン1: $C_i=1, C_k=0 \quad k \neq i$

パターン2: $C_i=\frac{1}{I}, i=1, 2, \dots, I, C_k=0 \quad k \neq 1, 2, \dots, I$

パターン3: $C_1=0.5, C_i=0.5, C_k=0 \quad k \neq 1, i$

パターン4: $C_1=\frac{1}{3}, C_{\left[\frac{i}{2}\right]+1}=\frac{1}{3}, C_i=\frac{1}{3},$

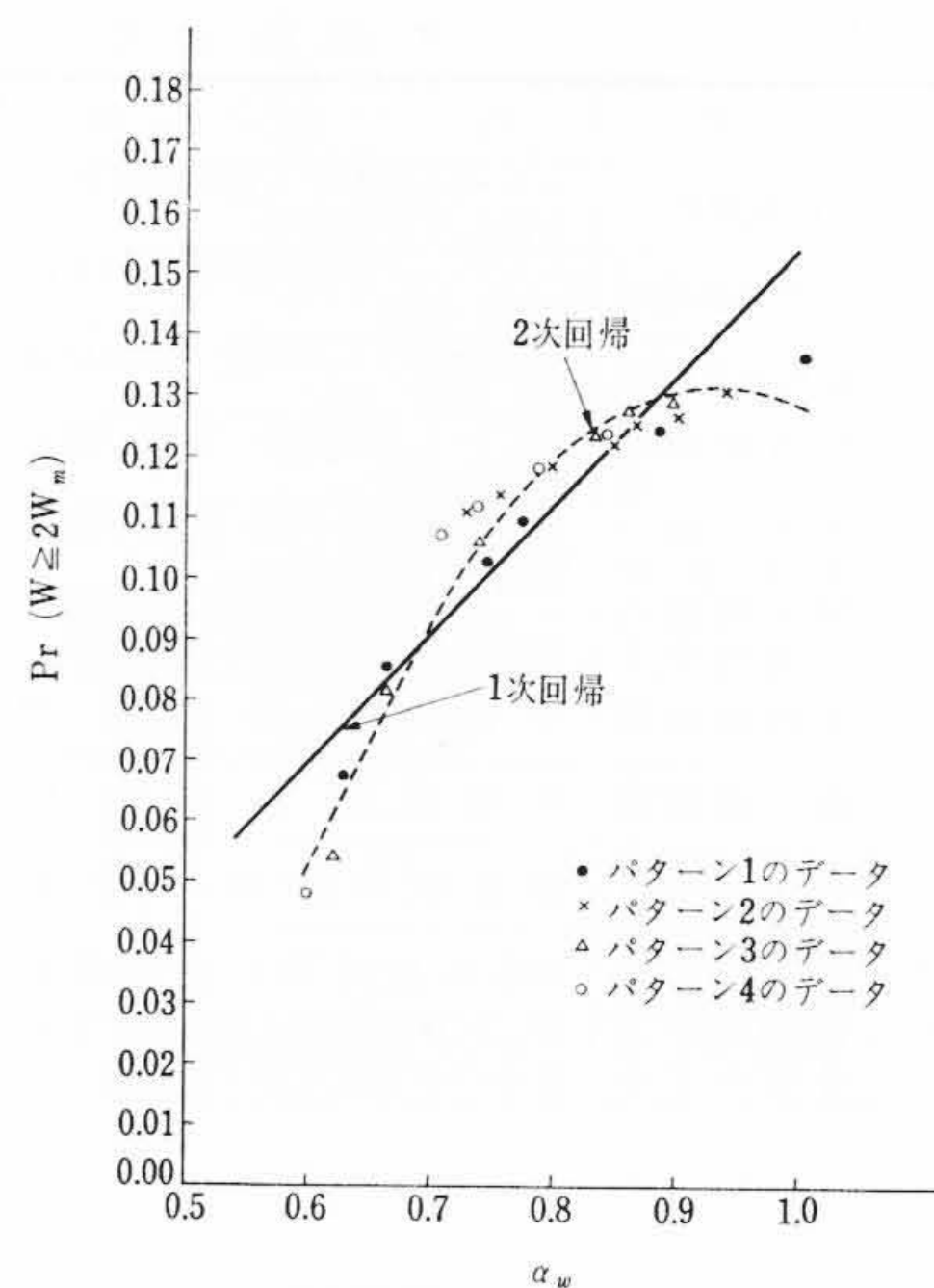
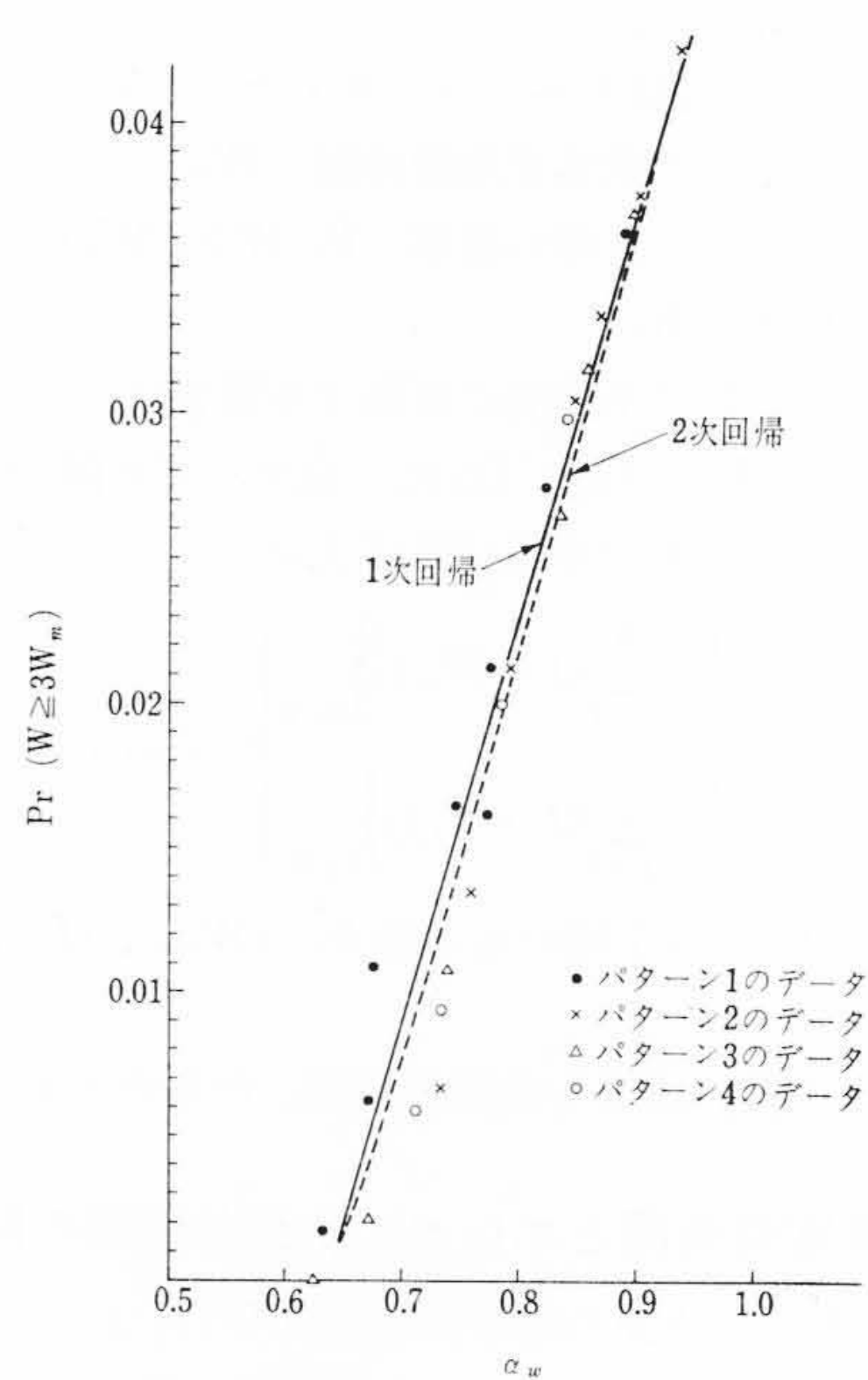
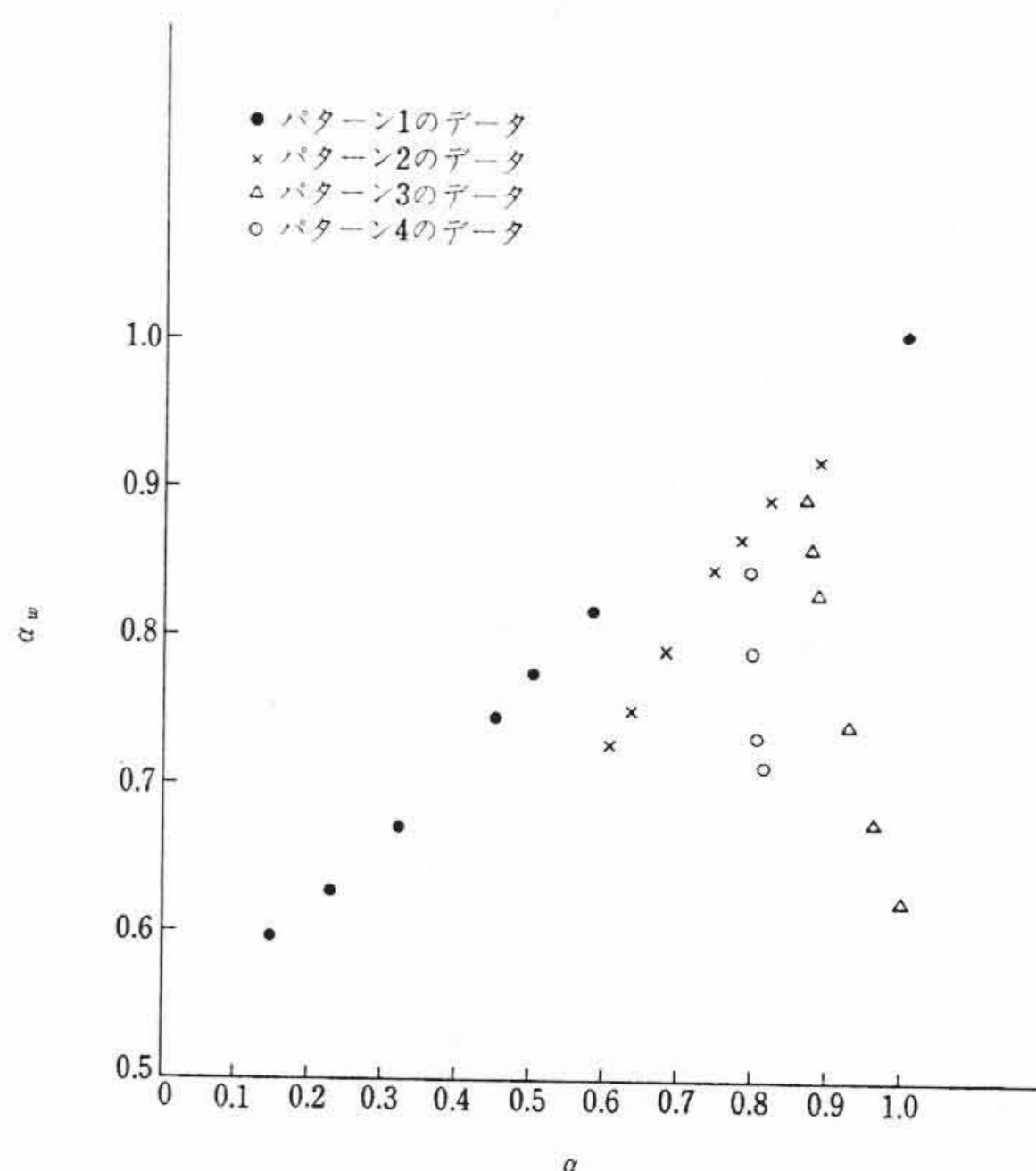
$C_k=0 \quad k \neq 1, \left[\frac{i}{2}\right]+1, i$

図1に一例を示すように、パターン1, 3, 4はそれぞれ山が一つ、二つ、三つある確率密度関数、パターン2は平坦な山の形をした確率密度関数である。表2は $P_r(W \geq PW_m)$ と α_w の回帰分析結果を、また図2~4は具体的に P_r と α_w の関係を求めた結果をプロットしたものである。これらから、 $P_r(W \geq PW_m)$ は、 α_w と強い相関関係にあることがわかる。

この結果から、 W_m, W_v を求めれば、これらから回帰曲線にあてはめることより、長待ち確率 P_r を求めることができる。

3.3 待時間のばらつきとエレベータ到着間隔のばらつきとの相関関係

本節では、(4)式の関係を利用し、3.2で記述したと同じエレベータ到着間隔の確率密度関数 $x(t)$ について、待時間の変動係数 α_w と、エレベータ到着間隔の変動係数 $\alpha (= \sqrt{M_v}/M)$ との相関を計算した。この結果をプロットしたものが図5である。これより α_w と α の間には、必ずしも強い相関関係がないこと、具体的にはパターン3, 4のエレベータ到着間隔確率密度関数については、エレベータ到着間隔のばらつきが大きくても、待時間のばらつきが小さい場合があることがわかる。

図3 $P_r(W \geq 2W_m)$ と α_w の関係図4 $P_r(W \geq 3W_m)$ と α_w の関係図5 α と α_w の関係

したがって、2.1で述べたように、エレベータ到着間隔をエレベータ・サービス評価指標とすることには、多少の無理があるといえる。

4. エレベータ・サービス評価指標の自動測定法

乗客の長待ち確率が、平均待時間およびその分散より求められること、また集団サービス待合せプロセスの理論検討の結果、乗客の平均待時間およびその分散はエレベータの動きにより求めうることを利用して、エレベータ・サービス評価指標の自動測定法ならびにその測定装置を開発した（特許申請中）。

本章ではこれらの自動測定法について述べる。

4.1 平均待時間の自動測定法

着目している階、方向の乗客の平均待時間は、E. Frankel 氏の理論⁽⁹⁾によると

$$W_m = \frac{L_m}{\lambda} - \frac{M}{2}(1 - \alpha^2) \quad (8)$$

ただし、 L_m : エレベータが到着直前にホールに待っている乗客の平均待人数
のように求められる。

対象にしている平常時では、乗客の積み残しがないと考えるので、

$$L_m = \lambda M$$

したがって(8)式は、

$$W_m = \frac{M}{2}(1 + \alpha^2) \quad (9)$$

となる。さて、エレベータが着目している階、方向に $t_1, t_2, \dots, t_n$ なる時間間隔で到着した場合を考えよう。このときには、

$$M = \frac{\sum t_i}{n}, \quad \sigma^2 = \frac{\sum (t_i - M)^2}{n} \quad (10)$$

したがって、これらの関係および $\alpha = \frac{\sigma}{M}$ を(9)式に代入すると

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum t_i^2}{\sum t_i} \quad (11)$$

となり、平均待時間が求められる。

図6は、今回開発した自動測定装置の基本構成を示したものであるが、同図の点線内の回路で、エレベータが到着した時点ごとに（通過した場合も含む）、積分器1の出力をリセットすると、Filter 2の出力 y_4 はどのようにになるか調べてみる。

積分器1の出力 y_1 は、リセット時を時間の原点にとると、次のリセット時まで、

$$|y_1| = \frac{1}{R_1 C_1} \int_0^t E_0 dt = \frac{E_0 t}{R_1 C_1} \quad (12)$$

となる。したがって Filter 2 の出力 y_4 の定常値は、

$$\begin{aligned} y_4(\sum t_i) &= \frac{R_8}{R_7} \sum \int_0^{t_i} \frac{E_0 t}{R_1 C_1} dt \\ \therefore y_4 &= \frac{R_8}{R_7} \cdot \frac{E_0}{R_1 C_1} \cdot \frac{1}{2} \frac{\sum t_i^2}{\sum t_i} \\ &= \frac{R_8}{R_7} \cdot \frac{E_0}{R_1 C_1} \cdot W_m \quad (13) \end{aligned}$$

となり、平均待時間 W_m に比例することがわかる。なお、Filter 2 の時定数 ($R_8 \cdot C_4$) を大きくするほど、平均待時間を演算するサンプル時間が長くなる。

4.2 長待ち確率の自動測定法

3.で述べたように、長待ち確率は平均待時間 W_m と、その分散 W_v より求めることができる。したがってここでは、待時間の分散の自動測定法についてのみ論ずる。

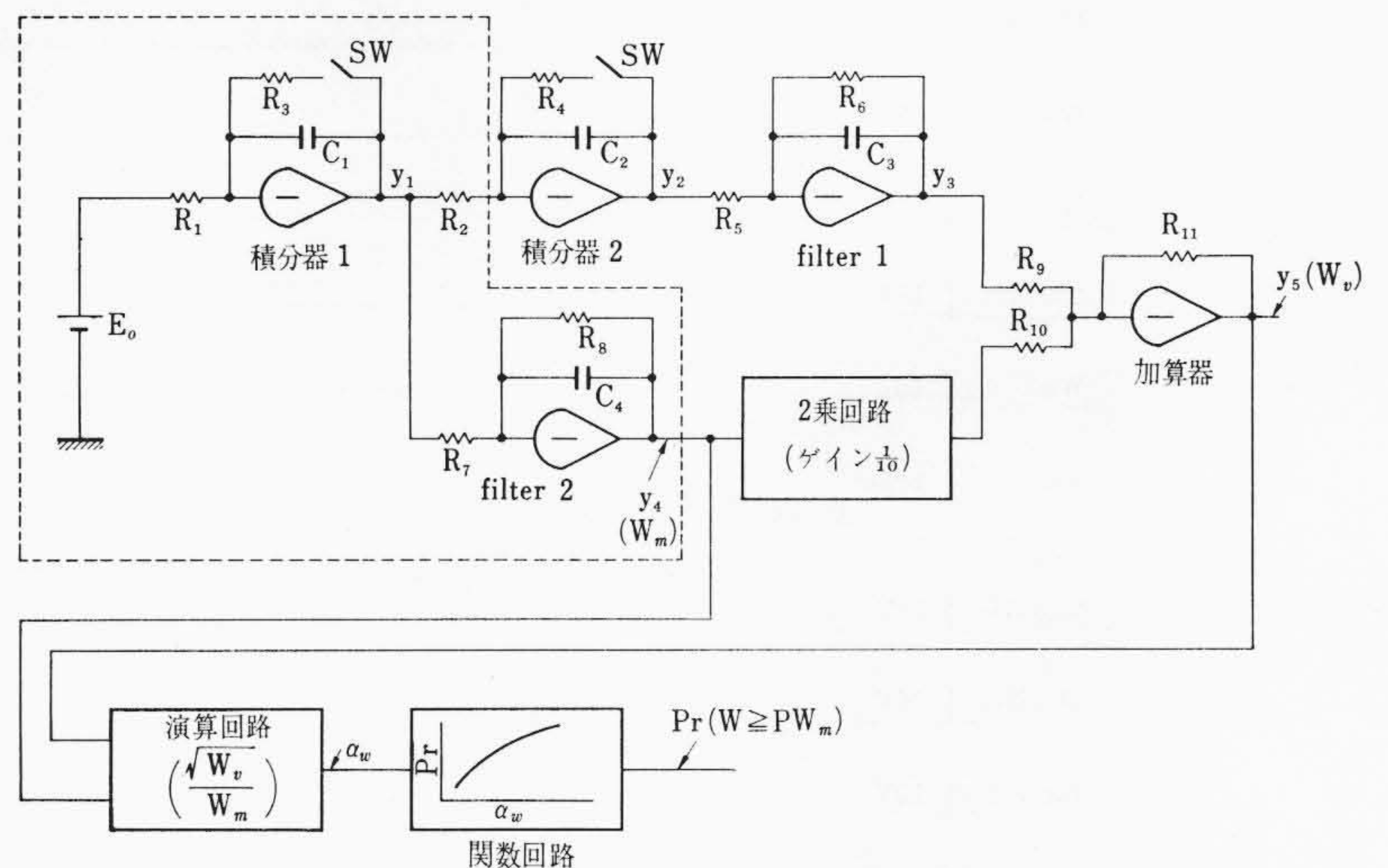


図6 エレベータ・サービス評価指標・自動測定装置の基本構成

いま、エレベータ到着間隔を t とする。エレベータが出発して、 ξ 時間たった時点で $d\xi$ 間にホールに到着する乗客、 $(\lambda d\xi)$ 人は、 $(t - \xi)$ 時間だけ待つとエレベータに乗り込むことができる。したがって、 $(\lambda d\xi)$ 人の待時間の2乗は $(t - \xi)^2$ なので、 t 時間内に到着する乗客の待時間の2乗の総計は、

$$\int_0^t \lambda (t - \xi)^2 d\xi = \frac{1}{3} \lambda t^3 \quad (14)$$

となる。ところで t の分布、すなわちエレベータ到着間隔の確率密度関数を $x(t)$ とすると待時間の2乗平均値は、

$$\frac{1}{\lambda M} \int_0^\infty \frac{1}{3} \lambda t^3 \cdot x(t) dt$$

となるので、待時間の分散は、

$$W_v = \frac{1}{3M} \int_0^\infty t^3 \cdot x(t) dt - (W_m)^2 \quad (15)$$

となる。さて前節と同様に、エレベータが着目している階、方向に $t_1, t_2, \dots, t_n$ なる時間間隔で到着したとすると、

$$\frac{1}{3M} \int_0^\infty t^3 \cdot x(t) dt = \frac{1}{3} \frac{\sum t_i^3}{\sum t_i} \quad (16)$$

となる。一方、図6の回路で、エレベータが到着した時点ごとに積分器1, 2の出力をリセットすると、Filter 1の出力 y_3 は積分器2の出力が、リセット時を時間の原点にとると次のリセット時まで、

$$y_2 = \frac{1}{R_2 C_2} \int_0^t |y_1| dt = \frac{E_0}{2R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} t^2 \quad (17)$$

となるので、

$$|y_3|(\sum t_i) = \frac{R_6}{R_5} \sum \int_0^{t_i} \frac{E_0 t^2}{2R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} \cdot dt$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに } |y_3| &= \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{E_0}{6R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} \cdot \frac{\sum t_i^3}{\sum t_i} \\ &= \frac{R_6}{2R_5} \cdot \frac{E_0}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} \cdot \frac{1}{3M} \int_0^\infty t^3 x(t) dt \end{aligned}$$

となる。したがって加算出力 y_5 は、

$$\begin{aligned} y_5 &= \frac{R_{11}}{R_9} |y_3| - \frac{R_{11}}{R_{10}} \cdot \frac{1}{10} (y_4)^2 \\ &= \frac{R_{11}}{R_9} \cdot \frac{R_6}{2R_5} \cdot \frac{E_0}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2} (W_v + W_m^2) \\ &\quad - \frac{R_{11}}{R_{10}} \cdot \frac{1}{10} \left(\frac{R_8}{R_7} \cdot \frac{E_0}{R_1 C_1} \right)^2 \cdot W_m^2 \quad (18) \end{aligned}$$

となる。

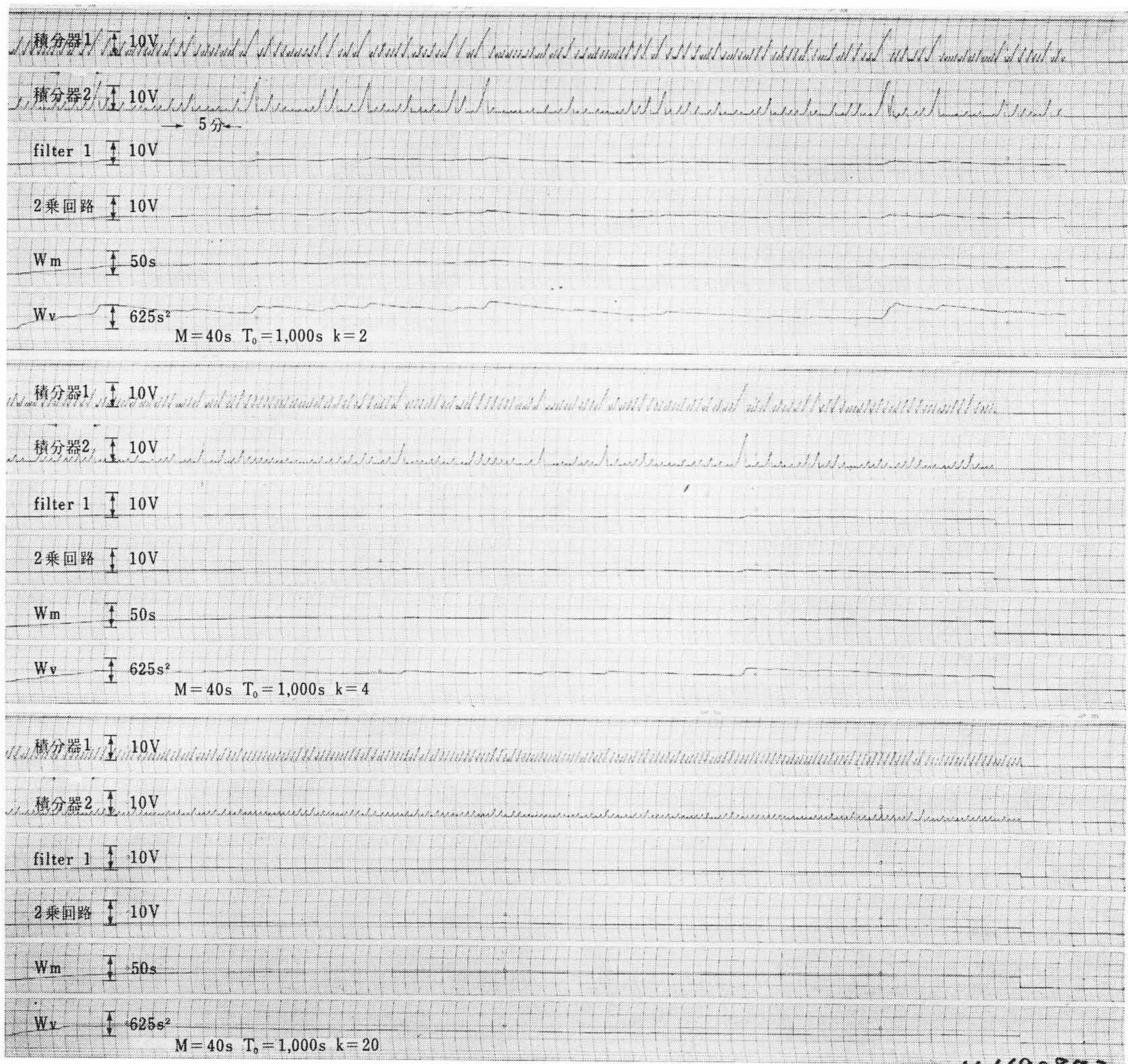
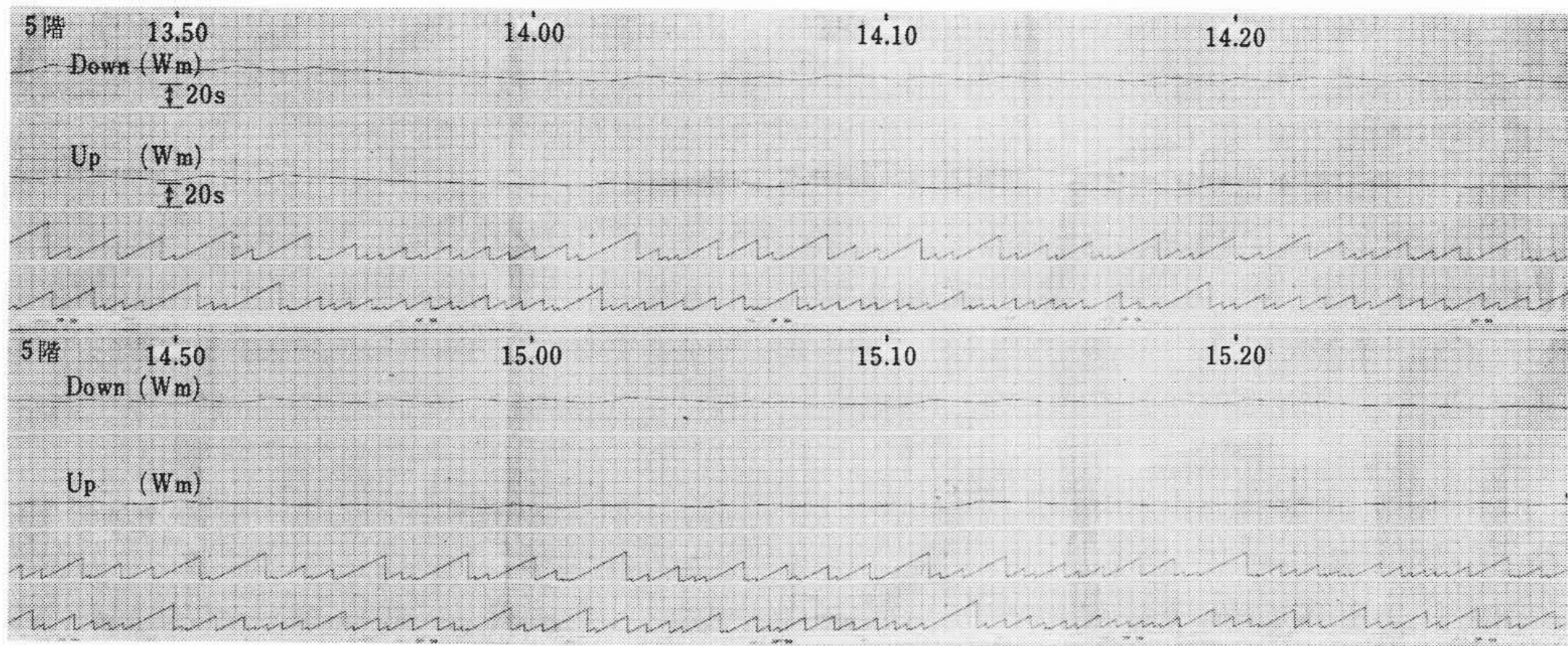


図7 評価指標自動測定装置・シミュレーション図



(平均待時間 W_m の測定)

図8 Aビルにおける評価指標・自動測定装置現場試験結果(8/21)

ゆえに、
$$\frac{R_{11}}{R_9} = \varphi \frac{2R_5}{R_6} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}{E_0}$$
$$\frac{R_{11}}{R_{10}} = \varphi \left(\frac{R_7}{R_8} \cdot \frac{R_1 \cdot C_1}{E_0} \right)^2 \times 10$$

となるように、加算器ゲインを調整すると y_5 は、
$$y_5 = \varphi W_v \dots\dots\dots (19)$$
 となり、待時間の分散 W_v に比例することがわかる。

5. エレベータ・サービス評価指標・自動測定装置

4. の測定理論より開発した、サービス評価指標・自動測定装置の

シミュレーション検討結果および現地試験結果について述べる。

5.1 自動測定装置のシミュレーション検討

エレベータ到着間隔の確率密度関数を $x(t)$ として、位相 k , 既知のアーラン分布を考えたとき、乗客の平均待時間 W_m , 待時間の分散 W_v は、

$$W_m = \frac{M}{2} \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$
$$W_v = \frac{M^2}{12} \left(1 + \frac{1}{k} \right) \left(1 + \frac{5}{k} \right) \dots\dots\dots (20)$$

ただし、 M : エレベータ平均到着間隔

表3 Aビル納 エレベータ仕様一覧

		仕 様
機 種		直流ギヤレス乗用エレベータ (No. 1~5)
速 度		150 m/min
定 員		13 名 (900 kg) (No. 1~3) 16 名 (1,050 kg) (No. 4, 5)
停 止 階 数		12 Stops ($B_2 \cdot B_1 \cdot 1 \sim 10$) (No. 1~3) 13 Stops ($B_2 \cdot B_1 \cdot 1 \sim 10 \cdot R$) (No. 4) 14 Stops ($B_3 \cdot B_2 \cdot B_1 \cdot 1 \sim 10 \cdot R$) (No. 5)

表4 Aビルにおける平均待時間測定信頼区間 (95%)

測定日	時 間	運 転 方 向	A：ストップ ウォッチ法 B：測 定 装 置	標本平均値	信頼区間 (95%)	
				$\bar{X}(s)$	最小(s)	最大(s)
8/21	午 前 9.30～ 11.30	Up	A	17.8	12.9	23.7
			B	21.4		
		Down	A	24.4	19.8	29.0
			B	27.1		
	午 後 13.00～ 16.00	Up	A	18.7	14.0	23.4
			B	20.2		
		Down	A	23.0	19.1	26.9
			B	25.3		

表5 エレベータ・サービス評価指標・自動測定装置仕様

項 目	仕 様
測 定 項 目 (同 時 測 定)	平均待時間, W_m 0~99.9 s
	待時間分散, W_v 0~999 s ²
測 定 点	12
測 定 精 度	総 合 精 度 1% 以 下
表 示	デ ィ ジ タ ル 計 数 表 示 管
そ の ほ か	多 ペ ン レ コ ー ド 記 録 可 能
寸 法	500×500×450 (mm)
重 量	20 kg

にて求められる。

したがって、今回開発した自動測定装置をシミュレーション検討し、上式の理論結果と比較した。

図7はその一例で、Filter 1, 2の時定数 T_0 は1,000秒、エレベータ平均到着間隔は $M=40$ 秒であるとし、位相数 2, 4, 20のアーラン分布をとるエレベータ到着間隔の確率密度関数を乱数発生装置とアナログ計算機より構成した関数シミュレータにより発生して求めた。このシミュレーションの結果、 W_m , W_v とも(20)式の理論値とほぼ一致しており、前述の測定法の正当性を確認することができた。

5.2 自動測定装置の現地試験結果

都内Aビル(事務所ビル)にて、3日間、自動測定装置の現地試験を行なった。同ビルのエレベータ仕様は、表3のとおりで5台のエレベータが実動している。

試験結果の一例として、図8に自動測定装置による、ビル5階の上昇および下降方向の平均待時間の測定結果のオシログラムを示した。この結果と同時に実測した、ストップ・ウォッチによる平均待時間について比較分析したものが表4である。

これらから、平均待時間は自動測定装置による値と、ストップ・ウォッチによる値と比較的よく一致しているが、さらにその平均値の区間推定法による信頼区間はストップ・ウォッチによるものの方が大きいことがわかる。この原因として、標本数(データ)が少なく、かつ標本分散が大きいためで、本質的に乗客到着間隔が比較的長い、平常時の平均待時間をストップ・ウォッチで測定することに無理が

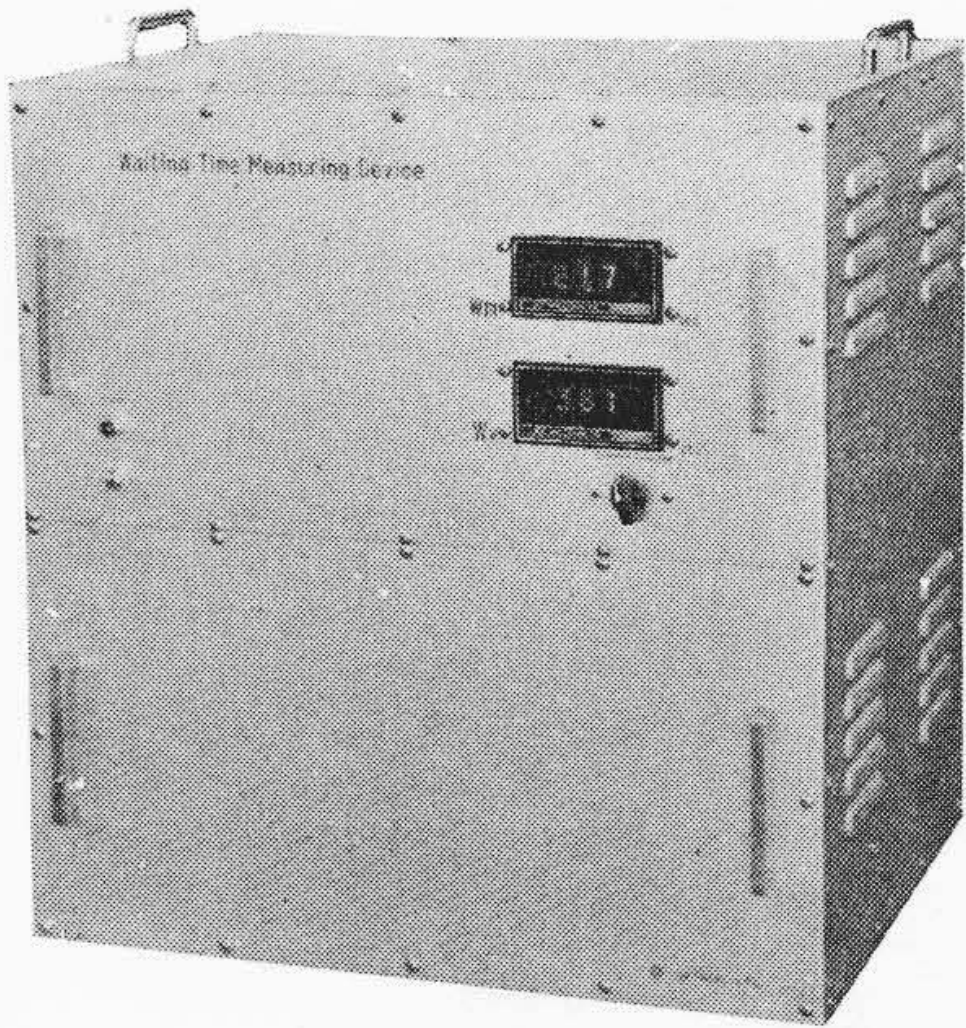


図9 自動測定装置

あるといえる。

一方、自動測定装置については、連続的に測定しているために、その信頼区間が少なく、信頼性の高い平均待時間を計測しうることが明らかにされ、その実用性についても確認された。

5.3 自動測定装置

以上の検討結果に基づいて、開発・実用化したエレベータ・サービス評価指標・自動測定装置の概要について述べる。

回路は、すべてIC化し、平均待時間 W_m , 待時間の分散 W_v は、デジタル表示管で直読できる。なお、長待ち確率 $P_r(W \geq PW_m)$ は、直読した W_m , W_v より簡単に求められる。本測定装置では W_m , W_v のみを表示しているが、図6に示す演算回路を用いて、長待ち確率 P_r を表示(直読)することも可能である。表5は自動測定装置の概略仕様を、図9はその外観を示したものである。

本装置の開発により、

- (1) エレベータ・サービス指標のオンライン・リアルタイム処理(即時処理)ができる。
- (2) 統計的に信頼性の高い、サービス指標の自動測定ができる。
- (3) サービス指標測定時に必要な、マン・アワーの省力化ができる。

などその効果はきわめて大きい。

6. 結 言

今後、さらにエレベータ群管理機能が複雑になるにつれて、エレベータのサービス状態の良否を評価するサービス指標と、その測定法は重要な問題として取り上げられてこよう。本稿で述べたエレベータ評価指標ならびに自動測定装置は、これらの問題に対する日立製作所としての一つの方向づけとしたい所存である。またこれらの評価指標によって、エレベータ群管理運転システムの定量的評価がなされ、さらに高度な管理運転システムの開発がなされていくものと考えている。関係各位のご批判を切望する次第である。

参 考 文 献

(1) たとえば、犬塚：日立評論 48, 1060 (昭41-9)
(2) 平沢、河竹ほか：電学誌 90, 1568 (昭45-8)
(3) 犬塚、越智ほか：日立評論 49, 1014 (昭42-10)
(4) 犬塚、弓仲：日立評論 50, 829 (昭43-9)
(5) 平沢：隠れマルコフ連鎖による集団サービス待合せプロセスの数値解法、電学誌 91 (昭46-2)
(6) 平沢：Jaiswallのモデルによる集団サービス待合せプロセスの数値解法、電学誌 91 (昭46-3)
(7) 平沢：エレベータの運転指標とその測定方式、電学誌 (投稿中)
(8) David M. G. Wishart：Opns. Res. 7, 174 (1958)
(9) E. Frankel, A. Novaels：Operations Research Soc., Jan.-Feb. (1966)

7. 付 録

7.1 (4)～(6) 式の誘導

$$\begin{aligned}
 P_r(W \geq PW_m) &= \int_{PW_m}^{\infty} W(\tau) d\tau \\
 &= \int_{PW_m}^{\infty} \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{(\mu t)^{k-1} e^{-\mu t}}{(k-1)!} \mu dt \\
 &= \int_{PW_m}^{\infty} \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{\infty} C_k e^{-\mu \tau} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\mu \tau)^n}{n!} d\tau \\
 &= \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} \int_{PW_m}^{\infty} C_k e^{-x} \frac{x^n}{n!} \frac{dx}{\mu} \\
 &= \frac{1}{\sum_{k=1}^{\infty} k C_k} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} \sum_{l=0}^n C_k \frac{e^{-\alpha} \alpha^l}{l!} \dots\dots\dots (付 1)
 \end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{PW_m \sum_{k=1}^{\infty} k C_k}{M} \\
 W_m &= \int_0^{\infty} \tau W(\tau) d\tau \\
 &= \int_0^{\infty} \tau \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{\infty} C_k e^{-\mu \tau} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\mu \tau)^n}{n!} d\tau \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sum_{n=0}^{k-1} \int_0^{\infty} \frac{x}{M \mu} e^{-x} \frac{x^n}{n!} \frac{dx}{\mu} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{M \mu^2} \frac{(n+1)!}{n!} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sum_{n=0}^{k-1} \frac{M}{\left(\sum_{k=1}^{\infty} k C_k \right)^2} (n+1)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{M}{\left(\sum_{k=1}^{\infty} k C_k \right)^2} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} C_k (n+1) \dots\dots\dots (付 2)$$

$$\begin{aligned}
 W_v &= \int_0^{\infty} \tau^2 W(\tau) d\tau - (W_m)^2 \\
 &= \int_0^{\infty} \tau^2 \frac{1}{M} \sum_{k=1}^{\infty} C_k e^{-\mu \tau} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\mu \tau)^n}{n!} d\tau - (W_m)^2 \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sum_{n=0}^{k-1} \int_0^{\infty} \frac{x^2}{M \mu^2} e^{-x} \frac{x^n}{n!} \frac{dx}{\mu} - (W_m)^2 \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{M \mu^3} \frac{(n+2)!}{n!} - (W_m)^2 \\
 &= \frac{M^2}{\left(\sum_{k=1}^{\infty} k C_k \right)^3} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{k-1} C_k (n+2)(n+1) - W_m^2 \\
 &\dots\dots\dots (付 3)
 \end{aligned}$$

7.2 本文で使用する記号について

- $x(t)$: エレベータ到着間隔(通過間隔)の確率密度関数
 $W(\tau)$: 乗客の待時間の確率密度関数
 M : エレベータ平均到着間隔
 W_m : 平均待時間
 W_v : 待時間の分散
 α_w : $\frac{\sqrt{W_v}}{W_m}$
 λ : 乗客の平均到着率
 $P_r(W \geq PW_m)$: 長待ち確率
 α : エレベータ到着間隔の変動係数
 σ^2 : エレベータ到着間隔の分散
 t_i : エレベータ到着間隔

Vol. 53

日立評論

No. 7

目 次

■ 論 文

- ・直流送電における交流系故障時の逆変換器動作解析
- ・長い間けき中におけるヘリウム沸騰熱伝達
- ・棒鋼圧延におけるパス・スケジュール計算の機械化
- ・石炭配合総括制御装置 HIDIC-100 システム
- ・DE50形ディーゼル機関車用3軸台車の横圧と蛇行動
- ・H-8258 マークシート読取装置
- ・高分子材料のカビ抵抗性
- ・日立300形高周波プラズマスペクトル分析装置による発

光分析

- ・軌道パットの圧縮変形特性
- ・石油化学工場におけるプロセス廃水の処理

■ 画像通信特集

- ・シリコンターゲットビジョンの開発
- ・多次元解析による画像品質評価法とその応用
- ・高速ファクシミリの開発
- ・ファクシミリ信号帯域圧縮装置
- ・画像応答装置

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号

郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

郵便番号 101

振替口座 東京 20018 番