

## ク ロ ス バ ー 式 交 換 機 (第2報)

— 日本電信電話公社ならびに関西電力株式会社  
姫路火力発電所内クロスバー交換装置の機能解析 —

## Crossbar System Switchboard (Report No. 2)

江森五郎\* 中村 隆\* 若林和彦\*

## 内 容 梗 概

関西電力株式会社ならびに日本電信電話公社に納入したHX-3形クロスバー式自動交換機は、共通制御交換方式としての各種の機能を具備しているが、使用上の便宜をはかっているが、その機能の中で、レジスタの捕捉法が特殊であることの利点を定量的に計算し、また私設自動中継回線へ発信の際に、ミニマムポウズの問題を解決するために側路を用いた時に、その構成法に2種類あつて、そのいずれが優れているかについて論じている。

## 〔I〕 緒 言

日立製作所では先に小容量共通制御クロスバー式自動交換機(HX-3形クロスバー式自動交換機)を完成し、関西電力株式会社ならびに日本電信電話公社に施設して、関西電力株式会社姫路火力発電所では、9月2日より正式運転に入り、以来無人運転を好評裡に続けている。この小容量共通制御式交換機の特長はすでに紹介したとおりであるが<sup>(1)</sup>、そのうちのレジスタの捕捉機能および私設中継回線の捕捉機能について、いさゝか調査した結果を述べる。

## 〔II〕 レジスタ捕捉方法について

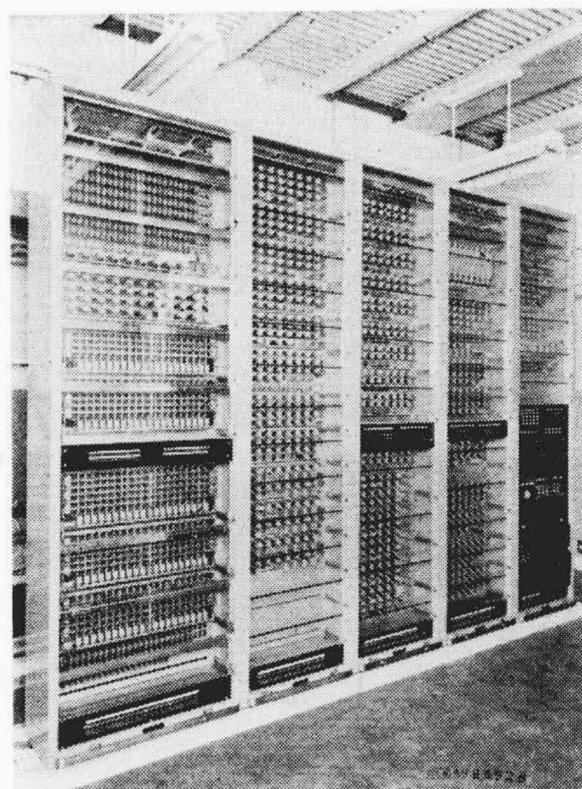
現行一般のクロスバー式自動交換機のレジスタについて見れば、加入者が送受器をあげると、レジスタは直ちにその加入者に捕捉閉塞されるので、かりにその加入者がダイヤルを怠るようなことが生じた場合は、少数しかない貴重なレジスタの1箇はその間だけは無駄に保留され、他の加入者の呼に応答しえないという欠点を有する。

このような欠点を除くためのレジスタ捕捉方法とは、レジスタの捕捉は加入者からの接続によつてなされるが、レジスタの閉塞はそのレジスタを捕捉中の加入者がダイヤルを行つて、始めてなされるようにする方法である。

この場合多数の加入者が同一レジスタを捕捉することはゆるされるが、多数の加入者が同一レジスタを閉塞することはゆるされない。多数の加入者が同一レジスタを捕捉している場合は、最初にダイヤルを行つた加入者がそのレジスタを専有し、他の加入者に対して閉塞を行うことになる。

このダイヤルを行わない加入者は、捕捉中のレジスタが閉塞されると、直ちに他の閉塞されていないレジスタ

\* 日立製作所戸塚工場



第1図 HX-3形クロスバー式交換機外観図  
Fig.1. General View of Type HX-3  
Crossbar Automatic Switchboard

へと捕捉を切換えられる。

これによつて、レジスタの閉塞時間は短縮され、レジスタ全塞りの確率を減少させ、加入者のサービスを向上させることができる。HX-3形クロスバー式自動交換機にはこの方式を採用した。

このサービス向上の度合を計算するため、つぎの仮定を立てた。

- (1) 加入者は送受器を上げてから全く恣意的(at random)にダイヤルを開始する。
- (2) ダイヤルを開始してからダイヤルを終了するまでは一定時間である。

つぎに送受器を持上げてからダイヤルを開始するまでの時間の分布函数を考える。

確率変数 $X$ を加入者が送受器を持上げ(すなわち呼が発生)たときからダイヤルを開始するまでの時間を表わす確率変数とする。

加入者が送受器を持上げたときを基点として、ある試行を  $k$  回行い、1 回の所要時間を  $\Delta t$  とすれば確率変数列  $X_1 X_2 \dots X_k$  をうる。あきらかにこの試行に要する時間は  $k\Delta t$  となる。

確率変数  $X_k$  はその対応する幅  $\Delta t$  の時間区間内に加入者がダイヤルを行えば 1、行わなければ 0 を取るものとする。加入者が全く恣意的にダイヤルを行うものとするれば、確率変数  $X_k$  は一定値  $p$ 、 $q$  なる確率でそれぞれ値 0 および 1 を取る。すなわち試行はベルヌーイの試行となる(2)。

したがって最初に実現するまでの試行回数、すなわちダイヤルを行うまでの時間の分布は幾何分布となつてつぎの式で表すことができる。(3)

$$F(k\Delta t) = P(0 < X \leq k\Delta t) = \sum_{i=1}^{[k\Delta t]} q^{i-1} p \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $[k\Delta t]$  は  $k\Delta t$  の整数部分

ここで  $k \rightarrow \infty$  ならしめ同時に  $\Delta t \rightarrow 0$  にして  $k\Delta t \rightarrow t$  なるようにする。

このときは  $p \rightarrow \lambda \Delta t$  とおくことができるから(4)。

$$F(t) = p(0 < X \leq t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{[k\Delta t]} q^{i-1} p = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{[k\Delta t]} (1 - \lambda \Delta t)^{i-1} \lambda \Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{[k\Delta t]} \{(1 - \lambda \Delta t)^{t/\Delta t}\}^{\frac{\Delta t(i-1)}{t}} \lambda \Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{[k\Delta t]} \lambda e^{-\lambda \Delta t(i-1)} \times \Delta t = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx$$

すなわち

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx \dots \dots \dots (2)$$

すなわち  $\lambda$  をパラメータとする指数分布となる。

パラメータ  $\lambda$  は  $\frac{1}{\lambda}$  を平均保留時間とする値である(5)。

つぎにダイヤル開始からダイヤル終了までの時間の分布関数を考える。

確率変数  $Y$  を加入者がダイヤルを開始したときからダイヤルが終了するまでの時間を表す確率変数とし、この加入者がダイヤルを開始したときからダイヤルを終了するまでの時間を一定値  $\tau$  と仮定すれば、 $Y$  の分布関数  $G(t)$  は次式で表わされるように、 $t = \tau$  で 1 だけ飛躍する discrete な関数となる。

$$G(t) = P(0 < Y \leq t) = 1 \quad (t \geq \tau) \dots \dots \dots (3) = 0 \quad (t < \tau)$$

この確率変数  $Y$  の平均値はあきらかに  $\tau$  である。

確率変数  $Z$  を加入者が送受器を上げてからダイヤルを終了するまでの時間を表わす確率変数とすればあきらかに

$$Z = X + Y$$

したがって  $Z$  の分布関数は  $X$  の分布関数  $F(t)$  と  $Y$  の分布関数  $G(t)$  の重畳となる。

すなわち

$$H(t) = P(0 < Z \leq t) = F(t) * G(t) \quad (t \geq \tau) = 0 \quad (t < \tau)$$

$F(t)$  および  $G(t)$  にそれぞれ (2)(3) 式を入れれば

$$H(t) = \sum_i p_i(t - y_i) = F(t - \tau) = \int_0^{t-\tau} \lambda e^{-\lambda x} dx \quad (t \geq \tau) = 0 \quad (t < \tau)$$

密度関数で書けば

$$h(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\tau)} \quad (t \geq \tau) = 0 \quad (t < \tau)$$

ゆえに平均値は

$$\int_{\tau}^{\infty} \lambda e^{-\lambda(t-\tau)} t dt = \lambda \int_{\tau}^{\infty} e^{-\lambda(t-\tau)} t dt = \lambda \left\{ \left| \frac{e^{-\lambda(t-\tau)}}{-\lambda} t \right|_{\tau}^{\infty} + \frac{1}{\lambda} \int_{\tau}^{\infty} e^{-\lambda(t-\tau)} dt \right\} = \tau + \frac{1}{\lambda} \left| \frac{e^{-\lambda(t-\tau)}}{-\lambda} \right|_{\tau}^{\infty} = \tau + \frac{1}{\lambda}$$

すなわち重畳された分布関数の平均値は元の分布関数のそれぞれの平均値の和である。なおこのことは任意の分布関数についても証明できる。

既述の特殊のレジスタ捕捉方法をとつた場合の、レジスタに起因する損失呼が生ずるためには、HX-3 形クロスバー式自動交換機(1)の場合では、つぎの三つの場合が考えられる。

(A) レジスタ捕捉時の待合せ装置としての接続回路の全塞り。

接続回路の全塞りによる呼損率は、自動交換機全体の呼損率を計算するときすでに計算されているから、これはレジスタに起因する損失呼としては考えられるべきでない。

(B) レジスタ捕捉時において待合時間が一定許容値を越えた場合

これは加入者が送受器を上げて接続回路までは接続されたが、レジスタが全塞りとなつているため、待合せ状態に入つた場合がある。加入者は待合状態に一定時間以上おれば、当然呼を放棄するから、この待合時間が一定の許容値を越えた場合は損失呼を生ずる。

この場合は前に仮定したように呼の保留時間は平均値  $\frac{1}{\lambda}$  を持つ指数分布となる。

指数分布保留時間を待つ呼の待合せ理論について、待合呼が順次に接続される場合については Erlang(6) により、また無作為に接続される場合(この場合の方がより实际的である)については Riordan(7) により解決されている。

(C) レジスタ閉塞時における損失呼

これはつまり多数の加入者が同時にダイヤルを行つたため、レジスタ数を越える加入者に対しては、レジスタが応じえないために生ずる損失呼である。

第 1 表 加入者の呼量表 Table 1. Calling Rate of Subscribers and Trunks

項目	局線通話		内線相互通話	その他			計
	発信	着信		案内*	内中継線	中継線内	
(1) 1日の総呼数	90	90	360	100(20)	120	150	930
(2) 呼の比率〔(1)の百分率〕%	—	43	—	47.5(9.5)	—	—	100
(3) 最繁時呼数 (B.H.C.)	9	9	36	10(2)	12	15	93
(4) 平均保留時間 (秒)	312	312	100	50(40)	300	300	—
(5) 呼量 $\left\{ \frac{(3) \times (4)}{100} \right\}$ (百秒)	28	28	36	5(0.8)	36	45	178.8

\* ( ) は空番号を示す。

これは仮定したように保留時間一定値という分布となるが、待合せは許容されない。つまり即時式の場合となる。

即時式の場合は一般に保留時間の分布の形態は問題にならない<sup>(8)</sup>。

すなわち平均保留時間  $\tau$  を有する即時式の場合の損失呼となり、Erlang により解決されて次式で与えられる。

$$M(0) = \frac{\frac{a^n}{n!} \left( \frac{n}{n-a} \right)}{1 + \frac{a}{1!} + \frac{a^2}{2!} + \dots + \frac{a^{n-1}}{(n-1)!} + \left( \frac{n}{n-a} \right) \frac{a^n}{n!}}$$

( $a$  = 呼量,  $n$  = レジスタ数)

すなわち特殊レジスタ捕捉方法をとった場合の、レジスタに起因する呼損率は (B) と (C) の和であると考えられる。

つぎに一般のレジスタ捕捉方法をとった場合の呼損率は、(C) と同様に即時式と考えれば、保留時間の分布の形態は問題とならない。すなわち平均保留時間  $\tau + \frac{1}{\lambda}$  を有する即時式の場合の損失呼となり、Erlang により解決されている。

つぎに加入者呼量を第 1 表のように仮定し実際の数値について比較する。

レジスタに対する最繁時呼数は

$$9 + 36 + 10 + 12 + 15 = 82 \text{ となる。}$$

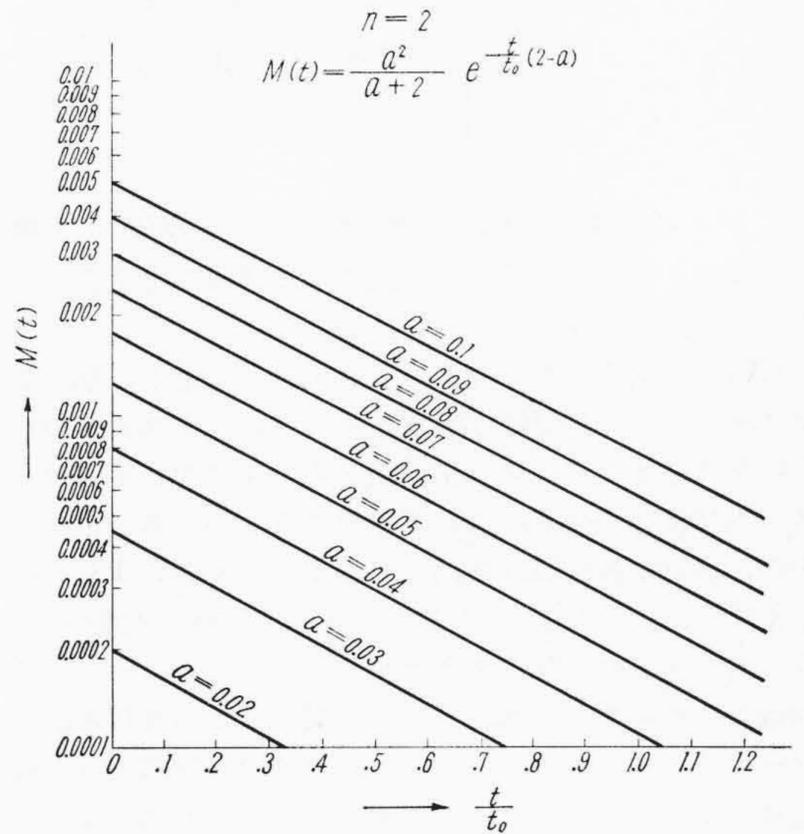
加入者が送受器を持上げてから、ダイヤルを開始するまでの時間を平均 2 秒、ダイヤルを開始してからダイヤルを終了するまでの時間を一定値 4 秒とし、レジスタを 2 箇と仮定したときの呼損率の比較を行うと、一般の捕捉方法を取った場合は出線数 2 (入線数は  $\infty$  とする)、呼量  $a=0.13$  を Erlang 式に入れて計算すれば呼損率  $\approx \frac{1}{40}$  となる。

特殊レジスタ捕捉方法を取った場合は (B) に対しては呼量が少いので、Erlang の待合せ式を取り、待合時間の限界許容値を 2 秒とすれば

$$M(t) = \frac{a^2}{a+2} e^{-\frac{t}{t_0}(2-a)} \text{ (このグラフを第 2 図に示す)}$$

において  $t_0=2$  秒,  $t=4$  秒

$a=0.04$  とすれば  $M(2) \approx 0.0001$  となり無視できる程度となる。



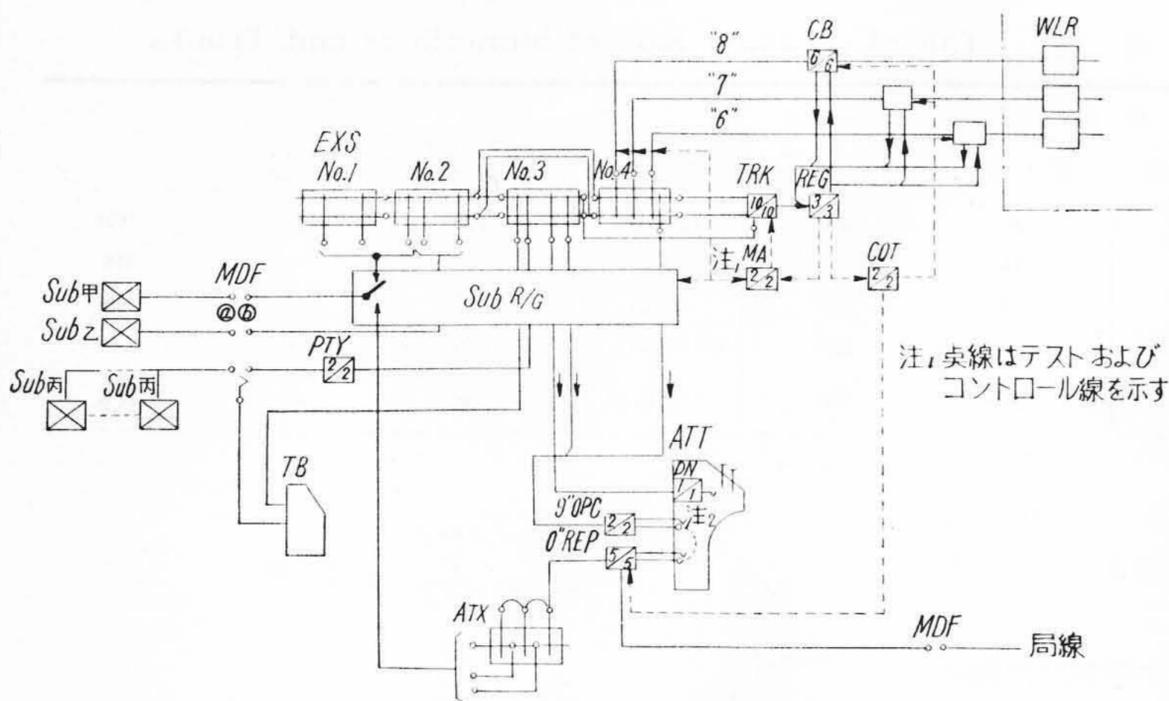
第 2 図 レジスタ 2 個の場合の待合の確率 Fig. 2. Delay Probabilities in the Case of Two Registers

また (C) に対しては出線数 2 と  $a=0.09$  を Erlang 式に入れて計算すれば、呼損率  $\approx \frac{1}{100}$  となる。

以上の事柄を要約すれば、仮定のトラフィック容量を処理するのにレジスタの呼損率を  $\frac{1}{100}$  まで許容するとすれば、一般の方法によればレジスタは 3 箇必要とされるが、特殊レジスタ捕捉方法を用いれば、レジスタは 2 箇で十分であるということが出来る。HX-3 形クロスバー自動交換機ではさらに呼損率の減少をはかつて、レジスタは 3 箇おいてあるのは前回報告<sup>(1)</sup>で述べたとおりである。

### 〔III〕 私設中継回線の接続方式

私設中継回線は前回述べた通り<sup>(1)</sup>第 3 図に示すようにマーカによる接続に先立つて側路を用いて行われるが、この側路を用いねばマーカによる接続は相当の時間を要し、かつ待合せの機会も多いので、ミニマムポウズの中に入らぬ機会が多く適当でない。したがって側路により自動中継回線を捕捉し、一方マーカもその接続を行って、自動中継回線に正規通路も接続させる。



記号	名称
Sub 甲	加入者電話機
Sub 乙	非接続加入者電話機
Sub 丙	個別呼出回線加入者電話機
ATX	局線中継台用クロスバースイッチ
ATT	局線中継台
CB	無線レピータ用附加継電器群
COT	コントローラ
DN	空番号回路
EXS	自交本体用クロスバースイッチ
MA	マーカ
REP	局線用発着両用レピータ
OPC	扱者呼出回路
PTY	個別呼出装置
REG	レジスタ
TB	試験函
TRK	接続回路
MDF	本配線盤
WLR	私設自動中継回線
Sub R/G	加入者用継電器群

第3図 私設中継回線への接続方法 Fig. 3. Method of Connection to Tie Trunks

つぎにこの側路を用いる方式にも2通りの考え方があ  
る。その考え方を紹介すると、

(A) 加入者のダイヤルをレジスタで中継し、加入者  
ダイヤル中に正規通路が完成されると、レジスタで中継  
された側路インパルスと主通路からのダイヤルインパルス  
は当然位相が異なるので、ダイヤルインパルスが乱れる  
から、自動中継回線は側路よりのインパルスの1列が終  
るまでは、(この場合だと8で自動中継回線へ連がり、つ  
ぎに何か適当な数字をダイヤルした後になる。)その中継  
回線へのクロスバースイッチの交叉点による正規通路は  
マーカにより完成させておき、自動中継回線内部で接  
続せぬようにしておき、この適当なインパルスの1列が  
終つたのを確認して、つぎのミニマムポウズの間正規  
通路よりのインパルスを受け入れうるようにし、側路を  
断つという方法がある。

この方式によるときは側路はレジスタでインパルス中  
継をするので、回路は了解には楽であるが、中継装置ま  
たはレジスタではインパルス列の進行を監視せねばなら  
ない。一連のインパルスが終るまでは折角正規の交叉点  
が完成しているのに側路を保留せねばならない。また一  
連のインパルスが終るまでにマーカが正規通路の交叉点  
を完成してくれない場合の処置も考えねばならない。

(B) 加入者よりのダイヤルインパルスをレジスタで  
中継せず、側路経由で直接自動中継回線までのばし、マ  
ーカにより正規通路が完成されると、側路を復旧させる  
方法がある。

この場合はダイヤルインパルスの位相が異なるおそれ  
はないので、側路は正規通路が完成すれば直ちに復旧し  
てよい。

したがって側路の保留時分は短くてすみまた誤動作の  
おそれもない。たゞしレジスタでダイヤルインパルスを  
中継せぬので、やや回路が難解となる。

以上の2案について吟味を行う。

ミニマムポウズの条件を満足させるためには、インパ  
ルス監視リレーの緩復旧時間を150msとして、これを  
差引いて、600-150ms=450msの間にコントローラの

助けを借りて中継回線を捕捉すればよい。

一方コントローラ内部で中継回線に到達するまでには、  
約50msかかるので、待ち時間としては400msが  
許容される。

A案によるとコントローラの保留時間はつぎのダイヤ  
ルインパルスの終了までであるから、平均約1秒は見る  
必要がある。

B案によるとコントローラの保留時間はマーカによる  
接続完了までであるが、平均約0.4秒程度と考えられる。

1本の側路を用いて待合せが400ms以上になる確率  
を考えてみると、中継線へ行く呼数が120とした場合  
には、その確率は

(A)案では  $\frac{1}{50}$  程度 (B)案では  $\frac{1}{250}$  程度  
となり(B)案が圧倒的に有利である。

したがって HX-3 形クロスバースイッチは設計の頭初  
は(A)案で進んだが、製作に先立つて十分吟味の末中途  
より(B)案に変更して生産を完了し、良好な成績を収め  
ることができた。

#### [IV] 結 言

今後の共通制御クロスバースイッチ設計上の一指針とも  
なればと考へ、上述のように HX-3 形クロスバースイッチ  
の特長のうちの二つについて解析を行つてみたが、なお不  
十分な仮定も多いので今後も訂正を加えていく所存であ  
る。

終りに臨んで種々御指導御援助を賜つた日本電信電話  
公社調査課、関西電力株式会社工務部通信課の各位に厚  
く感謝の意を表す。

#### 参 考 文 献

- (1) 江森, 中村: 日立評論 37 1442 (昭 30-10)
- (2) 国沢: 近代確率論 p. 26
- (3) 国沢: 近代確率論 p. 40
- (4) 国沢: 近代確率論 p. 51
- (5) 国沢: 近代確率論 p. 91
- (6) 小島: 「通信工学を理解するための数学」通信呼  
の理論
- (7) Riordam: Delay Curves for Calls Served  
at Random B.S.T.J. Jan., 1953
- (8) 小島: 自動交換機概論 p. 24