

自動交換40年の経験とその展開

Forty Years Experience with the Automatic Telephone Switching System

渡 辺 孝 正*
Kōsei Watanabe

内 容 梗 概

わが国の40年間にわたる自動交換機の発展の過程を論じ、それに反省を加えるとともに現在の自動交換機に関する納入後のデーターを分析し信頼度の見地から今後の展開の方法について述べ、かつ将来の交換方式についても論じた。

諸外国の交換方式は参考にすべきものではあるが、わが国独自の発展方式があるはずであって、へたにまねをすることは欠点の集積になりかねない点も過去の経験から論じており、おおむね現在までの進歩の過程は正しかったのではなかろうかとしている。また将来は信頼度理論に立脚した安定性のあるエレクトロニクス応用の交換方式が表われるものと予測している。

1. 緒 言

わが国で通信省が自動交換機を採用してから40年になる。電話事業が日本電信電話公社で経営されるようになってから飛躍的な発展をなし年間の電話増設数あるいはこの需要に対する製造工業も世界第二位を誇っている。ここ3、4年の間に第一位である米国のその2分の1以上に達する見込みである。

社会の当然の要望でありかつ電話事業の経営に当たった歴代の先輩諸氏の悲願であった市価のない電話にすること、また夢であった電話使用者の直接ダイヤルで国内のどこの加入者へも自動的に即時に接続されることなどの実施もわれわれの期待のできる年限のうちに実現されそうである。

自動交換の考え方が電気通信事業の計画立案の基幹となっている。また最近急激な進展をなしつつある自動制御、オートメーション、電子計算機などは自動交換技術の応用分野である。自動交換機は50年の実施の経験を有する大規模な典型的の制御またはオートメーション装置でもある。

わが国で自動交換が40年の間に経験したことがらを記し、次に現在自動交換技術が直面している問題点をあげてその展開の方向を考えたいと思う。

なおわたくしは自動交換の最初から今日まで満40年間この仕事に終始し企画、建設、保全、製作に関係して自動交換技術の育成に微力をささげたつもりである。ために自動交換に対する愛着と関心は深くその発展を願うや切なるものがある。もし本文中に出すぎた意見があればこの念願のゆえとしてお許しを願う。

2. 自動交換機の構成

自動交換機は発信加入者からの情報によって被呼加入者を選んで接続を行ない、話が済めば接続に用いられた機器は元の状態に復旧する。接続の途上必要な情報は信号の形で発着両加入者に与えられる。

発信加入者からの情報は一般に直流を断続するインパルスの形式でダイヤルを回転することにより送られる。

求める線を選択する方法には選択機の形式によって十進法と非十進法とがある。十進法の場合は10を単位にして出線が配列されてスイッチを構成する。スイッチは発信加入者からのインパルスで直接動作する。この方式はステップ・バイ・ステップ式であってわが国で採用しているストロージャ、ジーマンスの両形がこれに属する。出線を縦に500(パネル式)、円弧状に300(ロータリ式)、円弧扇状に

500=25×20(エリクソン式)、格子形に200=20×10(クロスバ式)などの収容を行なった方式がある。いずれも非十進法方式である。

いずれの方式も交換網の大きさに適するようにスイッチを多段に配列する。各段のスイッチの装置数はそこを通過するトラフィックの量によって決定されるが、経済的な施設とするために1,000に1, 100に1, 50に1の損失呼または待合呼があってもよいとの設定がそれぞれの段階に対して許されている。またスイッチはできるだけ多くの入線から利用されるよう、出線は広く分布されるようにとの考慮が払われている。

非十進法のときには発信加入者からの情報はいったん記録蓄積しておいてそれをスイッチの動作に適合するように翻訳する必要がある。この記録翻訳装置を設備するときは交換機の動作の制御に共通制御の方法がとられる。

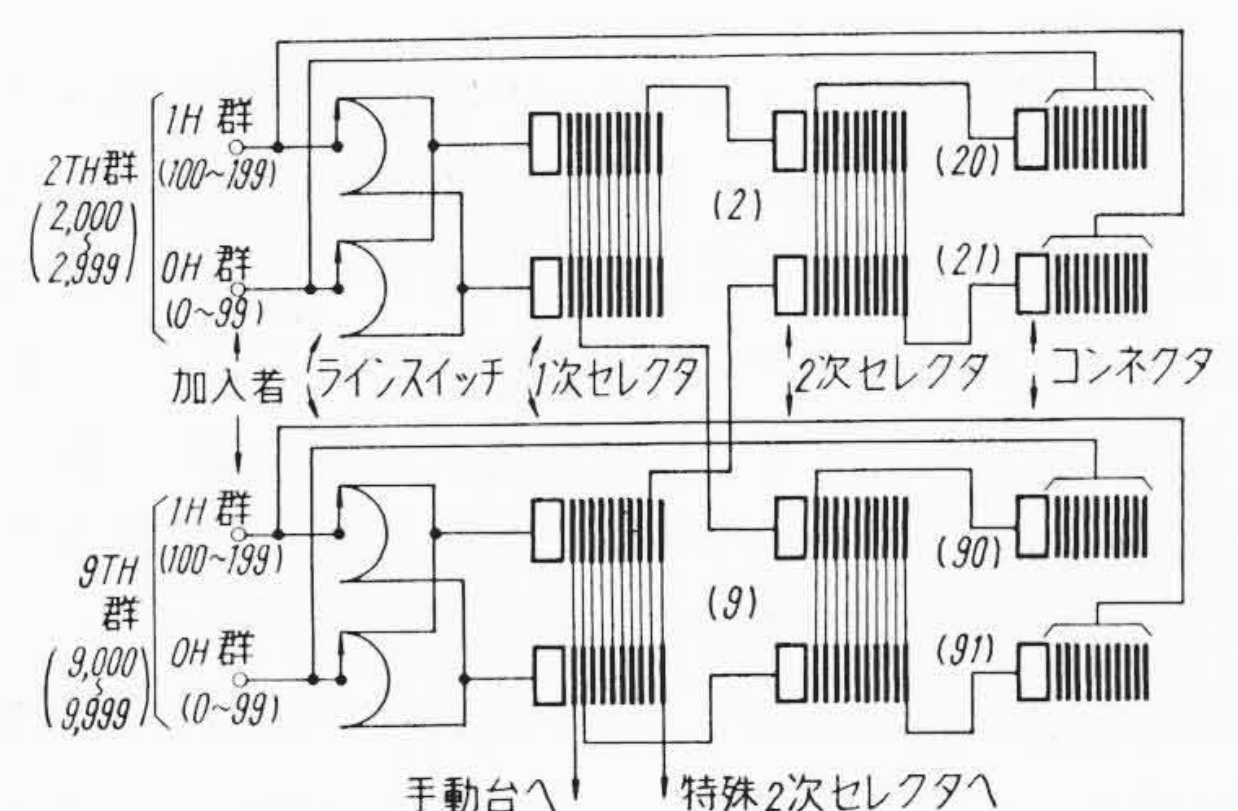
記録翻訳装置は十進法の場合にも採用されて局番号の適宜変換を可能にする。この装置をディレクタという。

ステップ・バイ・ステップ式およびクロスバ式の自動交換機の構成の例はそれぞれ第1図および第2図に示すとおりである。

3. 自動交換サービスとは

自動交換機はスイッチを数段階直列に、各段階では多数を並列に接続している。スイッチは主要機構である回転形、上昇回転形またはクロスバ形などの機構部分と継電器部分とから成りたっていて所定の機能を果たすようになっている。加入者回線1万以上を収容する局ではスイッチ数は数万から十数万となり付属する継電器の数は軽く百万個前後となる。

トラフィックはスイッチを並列に、そして直列に流れてさばかれることになる。スイッチは使用中のため一定の損失呼があるものとして計算し設備されているのでステップ・バイ・ステップ式のときはある段階でトラフィックの一部が無効となることがある。また記



第1図 ステップ・バイ・ステップ式局中継方式の一例

* 日立製作所通信事業部技師長
昭和電子株式会社代表取締役

ゆえに良い保守をするためには自動交換機の品質を良くし、環境が良くなり、かつ保守者が熟練にしてまじめであることが先決である。

自動交換機が安定して障害も起こらず調整も狂わないものであり、環境が良くてホコリによる障害も最小になると予防保全を行なう必要はなく、障害が起こったときにスイッチそのほかを完全修理することで済ませることができる。この保守方法を事後保全方式という。

5. 戦前の自動交換技術事情

わが国の自動交換の採用は関東大震災による電気通信施設の被害復旧のときに急速に行なわれた。膨大な仕事量を短時日に完成しなければならなかったため計画と装機とに全力をあげることを余儀なくされて、保守に対する十二分の用意を整える暇もなく2年くらいに十数局の自動交換局が前後して開局された。したがって保守のやり方の確立は実地に経験してその結果の検討によってもたらされた。約10年を費している。このような状況であったから保守は電話事業運営の中心であるにもかかわらず技術者の間でその重要さ、むずかしさの認識が少なかったうらみがある。機械が長く安定して動作するためには安全度あるいは信頼度をどうすべきかについては考え落しが免れなかった。

それでも5、6年も使用の経験を積むとシステムについての批判が出てくる。自動交換機に最初に試みられた改良は交換機能の追加と交換機を安価ならしめることであった。継電器に接点バネ数を増すことになり、安全度を犠牲にして継電器により多くの機能をもたせるようにした。結局むずかしい継電器を作ることとなり信頼度が落ちてしかも高価なものを作ることとなり、せっかくの試みが自動交換機に害こそ与え少しも有利とはならなかった。この害は後天的不良となり済度する余地がなく今でも保守者を泣かせている。同じような錯誤を戦時中の代用材料導入のときに犯している。材料が違えば構造寸法はそれに応じて変更すべきである。

わが国に適応した自動交換方式があるものとして機構部品にはさしあたりシーメンス形の回転スイッチ、上昇回転スイッチ、継電器を用いてストロージャ、シーメンス両形の回路方式の長所をとってT方式（通信省方式の意）を作って奈良局（2,600回線）に施設した。結果は長所はまた短所という常識どおりになり感心するものはできず実用化試験は失敗という結末となった。

標準機器とする目的で小形継電器、小形回転スイッチ、横動回転スイッチを開発試作した。おおむね試作のできたところで戦争激化のために中止を余儀なくされた。このことは残念ではあるがもし当時の考え方で採用が強行されていたら非常に困難なテーマをあとに残したことになるだろうと思うとそろそろ恐ろしくなる。

以上せっかくの良い試みの失敗となった原因は自動交換機の信頼度はいかにあるべきかの根本的究明ができていなかったことにあると思う。

メーカーは自動交換機の国産化をするとき（昭和2～9年）に外国の主メーカーと連絡のあるところでは製造に関する資料から治工具、材料まで外国から入手して製作を始めた。資料の指示するデータのよって来る必然性の吟味を怠った。このため後日戦争で外国との交渉が断たれると、たちまち従来の品質の維持すらできなくて困ることとなった。

メーカーは交換機のシステムの知識に乏しくどういうふうに使われているかを知らず、使用者は製造について無知であり相互に技術の連係がなかった。

保守で標準調整をするときに調整値の中央が最もよいとして一点調整を行なわねば気の済まぬ人達が多かった。スイッチの使用され

るに従って調整は＋側または－側に变化するものである。もし一点調整をするものとすれば＋変化に対しては調整値の上限値に、－変化には調整値の下限値に合わすべきである。一点調整は調整者の労が多くして有意差を増し機器をいじり損ずる結果を招来するのみである。これについてメーカーからスイッチはかくかくの方針で製作されているからよろしくないと使用者に申入れしたことはない。両者の技術はまったく遊離していた。

6. 戦後の苦難を越えて自動交換技術の成長

戦争による自動交換施設の過度の荒廃、保守部品の不足、代用材料使用による部品の不良などのためせっかく敗戦の虚脱も緩から立ち上がり保守を良くしようとしても十分にできず戦後の電話交換サービスは電話はデンワといわれるような悲境のどん底にあった。

このようなときに第一になすべきことは自動交換機の品質の向上である。

自動交換機の代表機種であるセレクトスイッチは戦前20万回動作で無事故であることを目標としていた（自動交換機の指定メーカーとなるとき基準）。ところが戦後まもなく製作したものは5,000回の無事故使用に耐えぬものすら多くあった。

自動交換機が起こす障害には初期不良と老化による不良とがある。前者は機械がなじむまでに起こる事故であっておおむね製作するときのケヤレミスによるものである。後者は十分に使用したときに起こる部品の摩耗劣化に基因するものである。これらの分布は第5図に示すようなものであり、初期不良をなくし、老化不良を起こすまでの時期をできるだけ長くすることが望ましい。

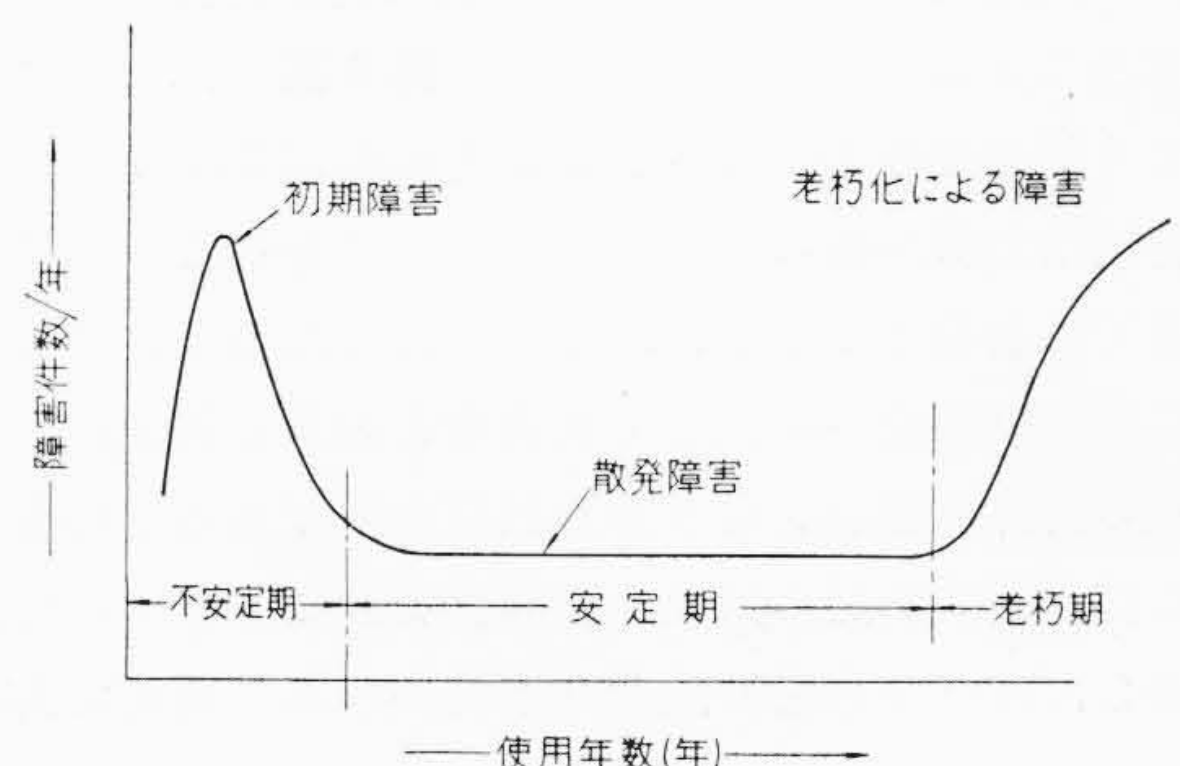
1951年のBSTJ誌にベルでは継電器の寿命の目標は40年間無事故使用に耐えることであると記されていた。セレクトスイッチの40年間の動作回数は200万回と推定することができる。自動交換機を構成する機構部品の40年間使用に対する動作回数は

回転スイッチ	20～30万回回転
上昇回転スイッチ	200万回上昇回転
平形継電器	40～50万回動作
水平形継電器	200～1,200万回動作
クロスバスイッチ	4,000万回動作
ワイヤ形継電器	2億回動作

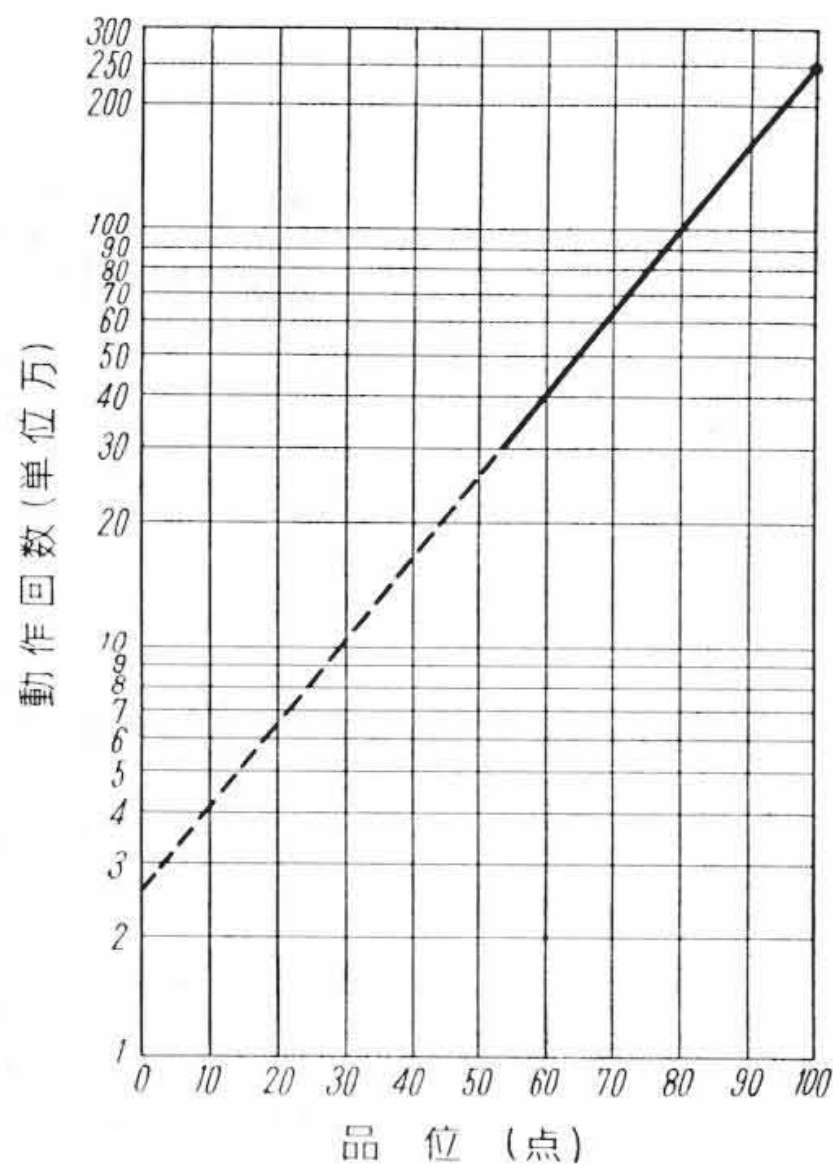
と考えられ、おのおのはこれらの条件を満足しなければならない⁽²⁾。

セレクトスイッチにつき終戦直後の状態を零点とし、250万回無事故使用に耐えるものを百点としてその品位を示すと第6図のようになる。100万回すなわち20年無事故使用のもので80点の品位となる。

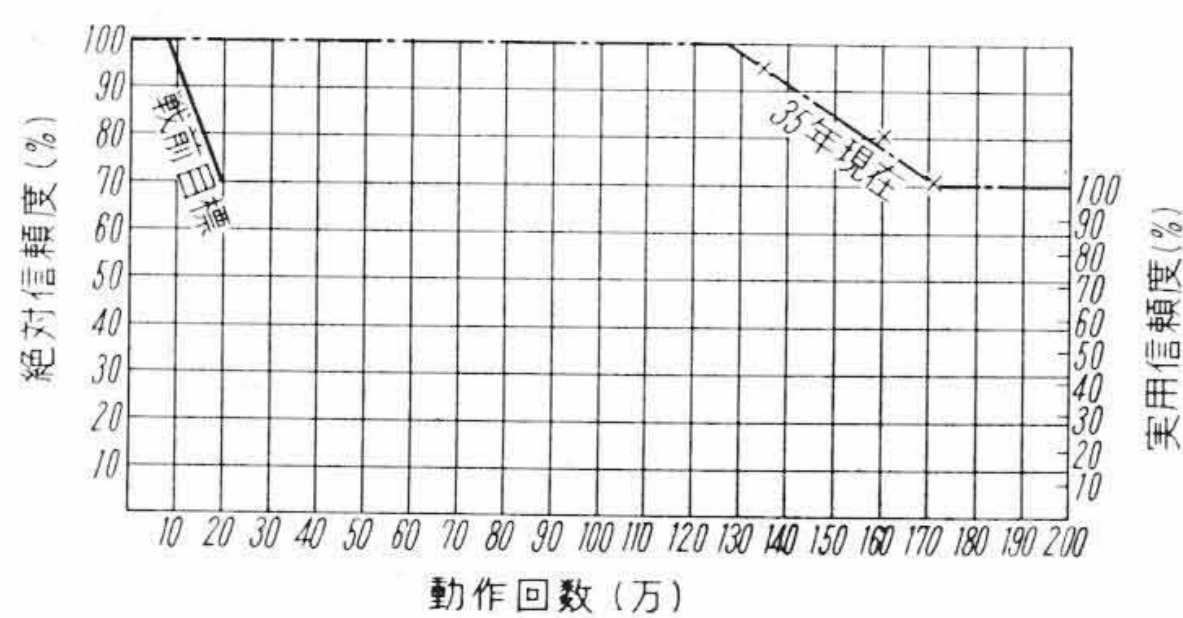
前記の目標の到達は回転スイッチおよび平形継電器については要望される数値が比較的小さいが上昇回転スイッチおよび水平形継電器では大きいためなかなかむずかしい。セレクト200万回動作の寿命試験を繰り返し繰り返し弱点を次から次へと発見し、それら欠陥を電話局における障害発生状況と比較しながら根気よく改善し克服



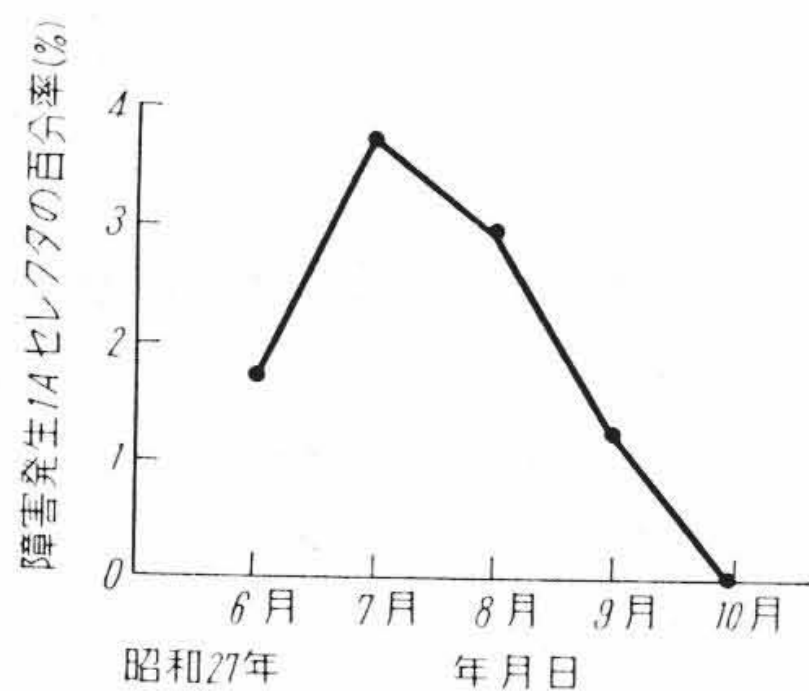
第5図 自動交換機の障害発生形態



第 6 図 自動交換機の品位表示図



第 7 図 セレクタの寿命試験における信頼度曲線



第 8 図 セレクタ 1 万回動作試験施行結果

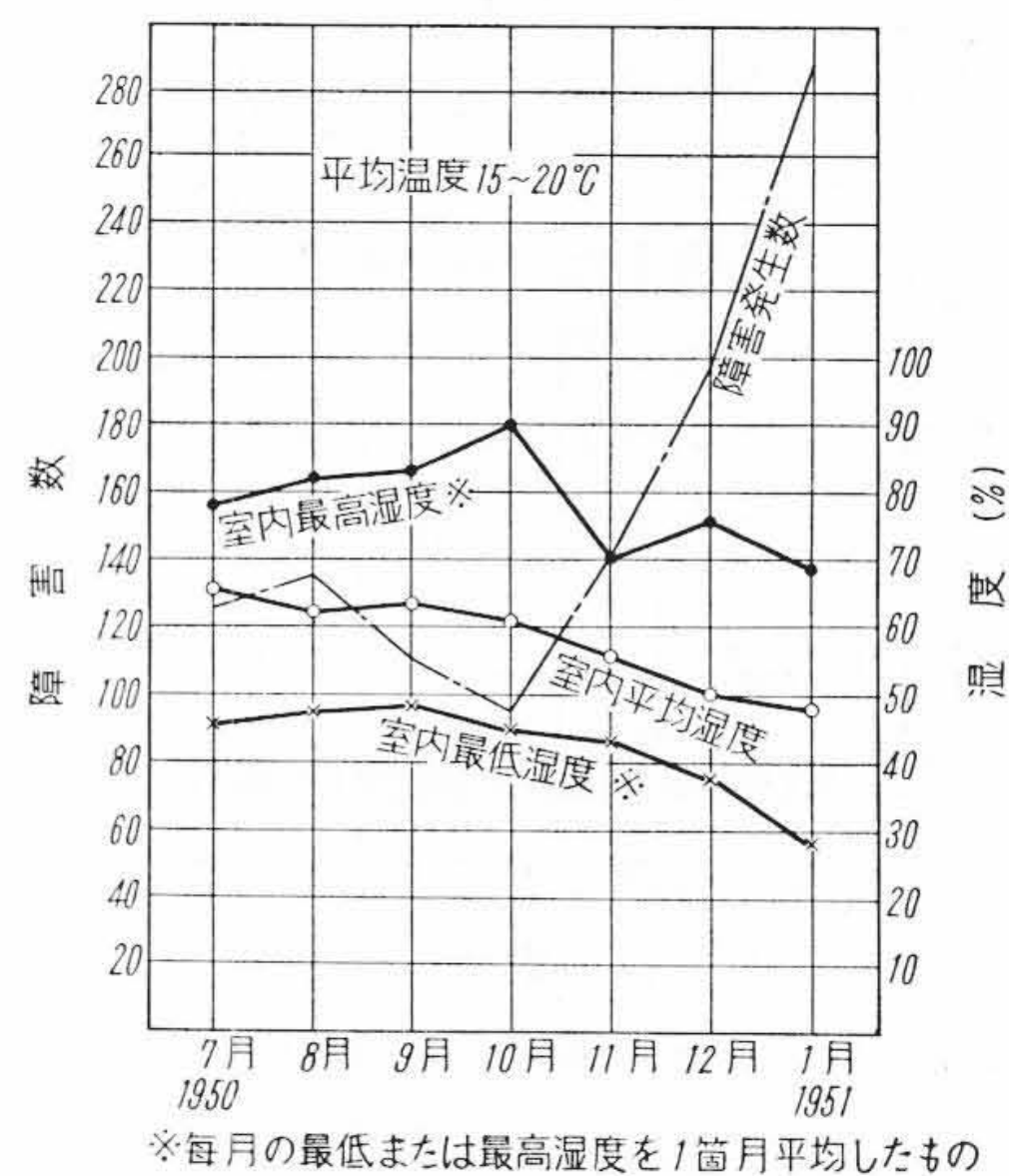
してゆく方法でセレクタが 40 年無事故のサービスを提供するに相当した上昇回転スイッチおよび水平形継電器ができる。

セレクタは現在実用信頼度 100% (絶対信頼度 70%) でよく 200 万回動作で無事故使用に耐えるようになっているが、これを図に示すと第 7 図⁽³⁾のようになる。これを第 6 図の曲線から採点すると 95 点の品位となることがわかる。吾人はなお努力を重ねて 300 万回動作の寿命試験を繰り返して行っているから今後さらに長寿命となることが期待される。

初期不良の障害は開局後半年間に起こる。セレクタ 1 万回の動作試験ではおおむね 95% まで発見できる。生産されるセレクタの全数に対して 1 万回試験を行なった (品質管理的な抜き試験では本質的事故であるが偶発的事故であるかの区別は判定資料が少ないため急速に決定することはむずかしい) とする第 8 図⁽⁴⁾に示すような経過をたどって 4 箇月で原因の探求およびその対策ができて、作業者に多少精神的なち緩があってもケヤレスミスを起こさぬ措置が発見され、今日では初期不良事故はほとんどなくなることになった。

このように自動交換機が安定して長寿命となると従来いわれてきた自動交換機の寿命は部品を取り替えれば無限であるとの考え方を改めて使用に伴う構成部品の劣化で初障害を起こすまでの時間を平均寿命と定義したほうが自動交換機の本質からみて適切であると考えられる。

また従来の保守のやり方すなわち予防保全方式では 1 箇年に 1 回



第 9 図 湿度と接点障害との関連の一例

必ず標準調整を行なっていたがこれはやめたほうがよい。製作されたときに点または線接触であった部品関係がスイッチの動作のため面接触となりせつくなじんで安定したものをたびたびの標準調整でスイッチをかえて不安定にする。セレクタの 200 万回動作試験で 5 万回動作 (1 箇年間の動作回数に相当する) ごとに注油のみにとどめるときと標準調整を必ず施行するときが発生する障害を比較すると前者に対し後者は約 2.5 倍となるとの報告がある⁽⁵⁾。

自動交換機が湿気をきらうことは自動交換草創のときから知られていてアドソールを使用した空気乾燥装置が設備された。乾燥しすぎても障害は多くなる。第 9 図はこの関係を示す。湿度 55~70% が最適である。

ホコリによる接点障害は多い。室内のホコリは沈積したホコリが循環するものとの仮定をおくとホコリによる障害は沈積したホコリの量の対数値の直線に近い二次関数で表わされる。そしてある量すなわち 4 ミクロンより 20 ミクロンまでのものが 1 箇月に 1 平方厘のところに 500~600 以下になると障害数との間に有意差がなくなる。これがホコリについての管理限界である。

自動交換機の長期安定化ができ、ホコリによる障害も一定化してくると自動交換機の保守は予防保全方式から品質管理の理論に基づく事後保全方式に移行することができる。一群の機器群の障害があらかじめ定められた限界を越すときに限り特別保守を行なう。ただし障害を起こしたものについては標準調整を行ない厳密なる修理をなし障害の再発を防ぐことはもちろんである。保守に要する時間は予防保全方式のときの 2 分の 1 または 3 分の 1 ともなり、かつ交換機の提供するサービスも向上する。

クロスバ方式については過去の教訓に従い、あらかじめ万全の措置を講じて開発したから現在のところまだ十分なる判定資料はないが予期以上の成績をあげるものと期待している。

かくして自動交換の黄金時代を迎えるに必要な基礎技術は修得したものと考えてよいようである。

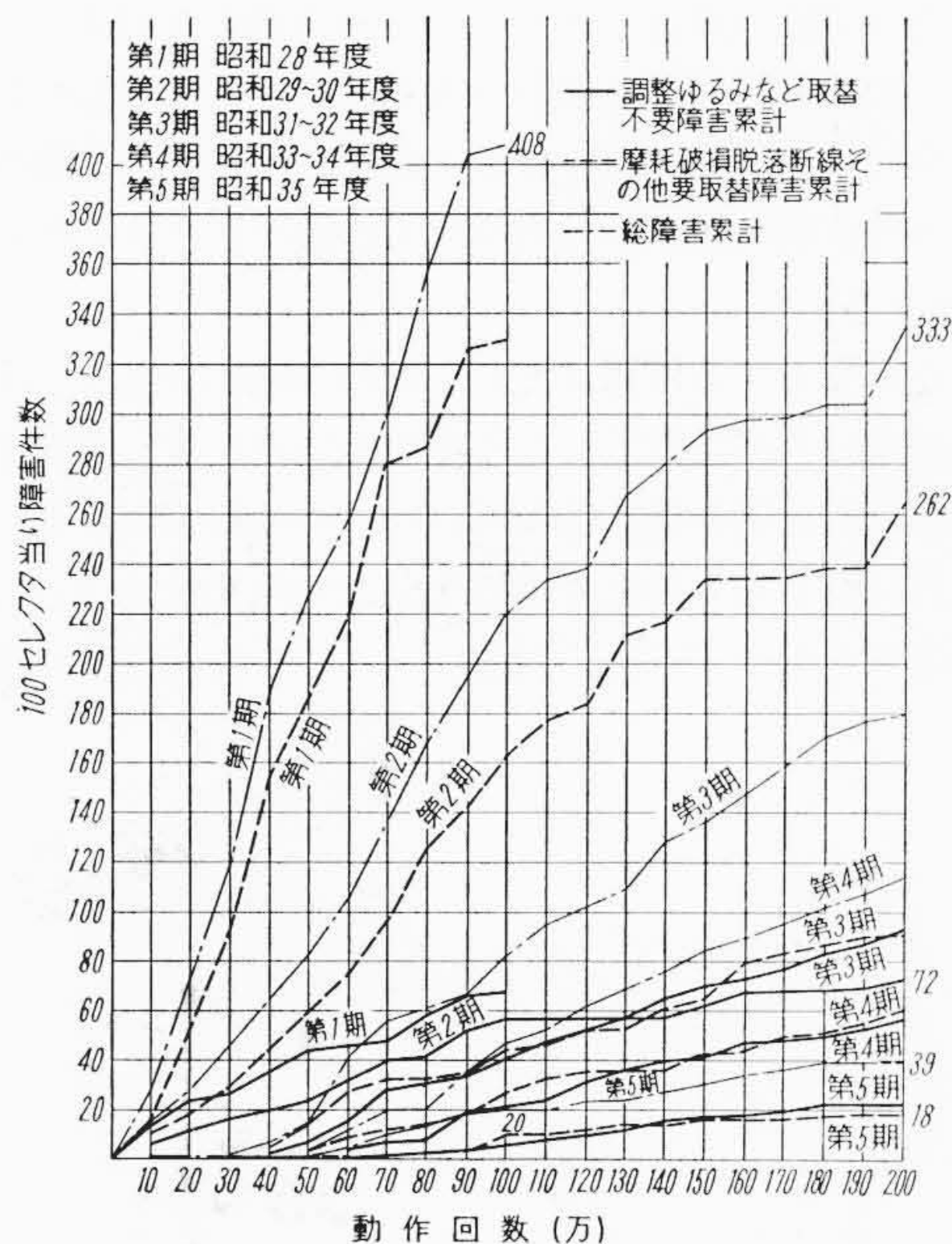
7. 自動交換機品質の考察

自動交換 40 年に経験したことおよび各種の関連文献に記されたことを総合すると以上のように要約できる。

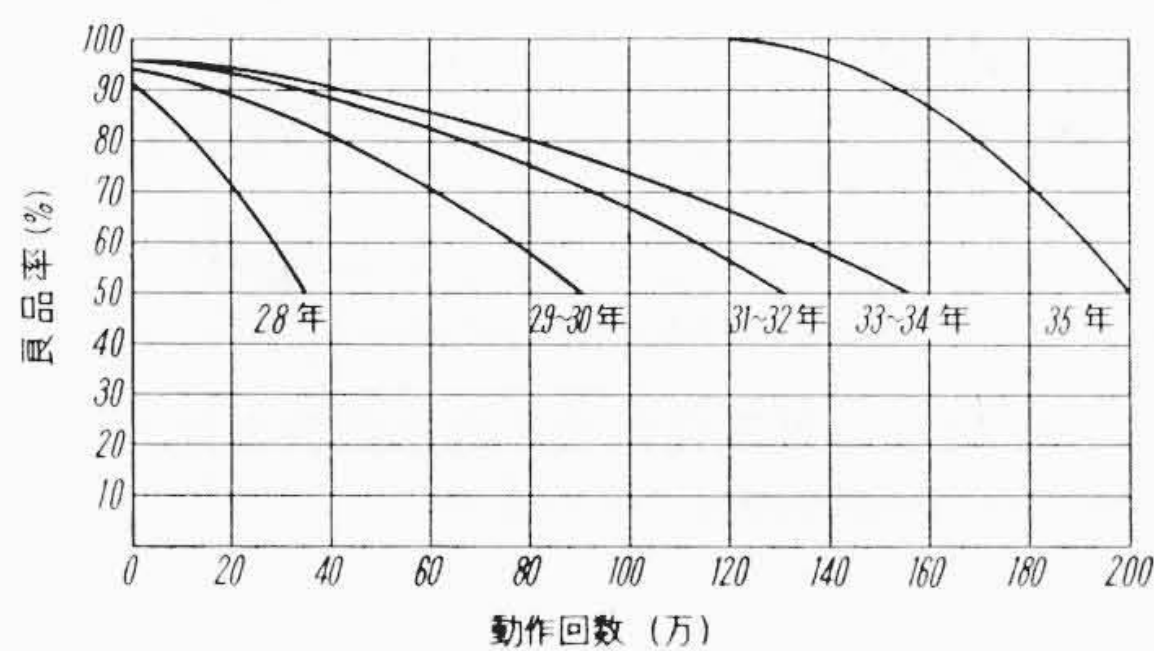
最近自動交換機の信頼度に関する研究結果が山内康平氏によって発表された。珍しくして貴重なる研究と思われるので要旨を記してわが田に水を引くことにする⁽⁶⁾。

7.1 自動交換機の寿命試験の成績

自動交換機のパイロットとしてセレクタについて生産されるもののうち 1% を抽出して 200 万回動作 (昭和 29 年までは 100 万回動



第10図 セレクトタ寿命試験における障害累計

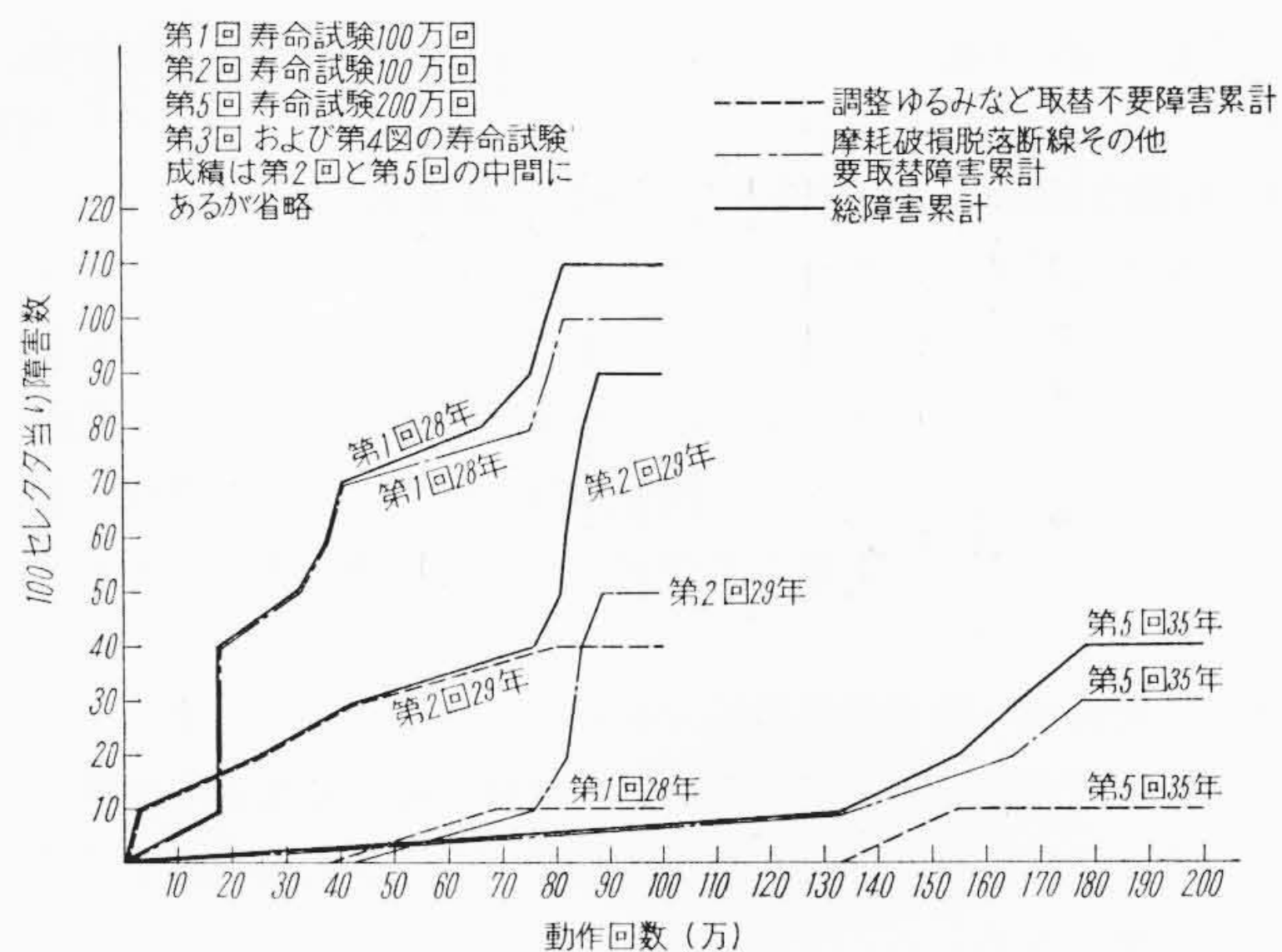


第11図 初障害評価によるセレクトタの寿命推定特性

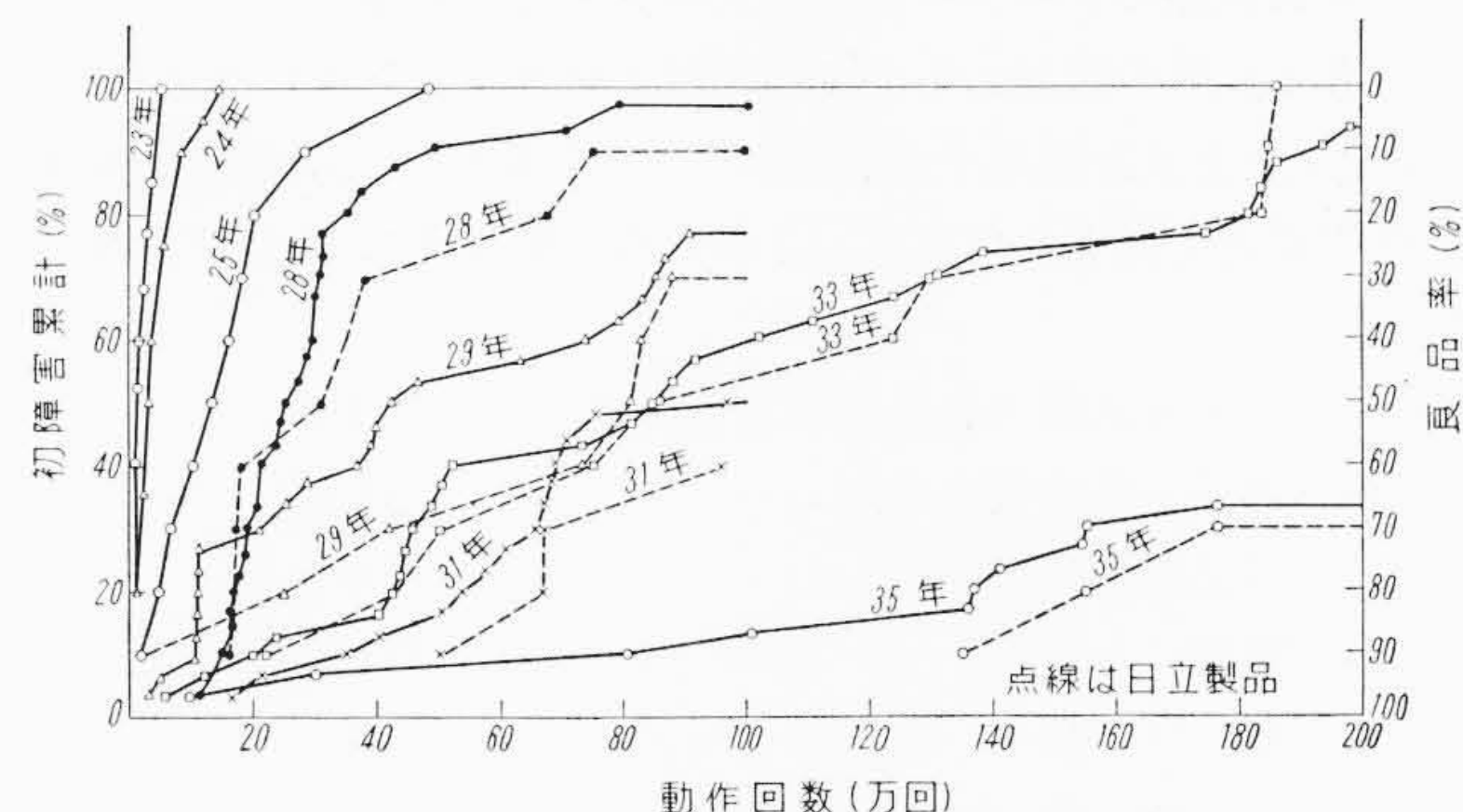
作)の製品の保証試験を兼ねた寿命試験を行なっている。昭和28年から35年までの試験の総合結果は第10図の障害累計表に示される。このデータから8年間に28, 29~30, 31~32, 33~34, 35年の5段階に改良されていることが知られ、罹(り)障率は100万回動作で35年では28年のものの20/408=1/20となっており、200万回動作で同じく35年のものは29年のものの39/333=1/8.5となっている。

部品の取り替えを要する障害については同じ200万回動作で35年のものは18/262=1/15となる。

寿命試験で繰り返し障害がひん発するときには一応その数字でセレクトタの品位を評価せざるを得ないが上記のように障害が少なくな



第12図 電電公社で行なったセレクトタの寿命試験における障害累計



第13図 セレクトタ寿命試験のときの初障害累計曲線

第1表 自動交換各機種種のセレクトタ換算値

機 種	セレクトタ換算
ラインスイッチ	1/3
ラインファインダ	5/3
ラインカットオフリレー	3/100
セレクトタ	1
コネクタ	4/3~5/3
レピータ	2/3

ってくると初障害が何万回目に出了か、すなわち無事故で何万回まで動作できるかが問題となる。ここで初障害価値による寿命推定曲線を描くと第11図のようになる。35年製品では初障害は120万回動作前後から起こることになる。

電電公社でも28年以降5回にわたりメーカーより抽出したセレ

第2表 各機種別の障害発生状況比較

台数、障害件数は35/下の6箇月累計											
局 名	機 種 別	台 数	セレクトタ換算数	加入者申告による障害 T	左 同 月別100ス イッチ当り	定期試験による障害 R	左 同 月別100ス イッチ当り	警報信号による障害 F	左 同 月別100ス イッチ当り	障 害 計 T+R+F	左 同 月別100ス イッチ当り
A 局	ラインスイッチ	151,800	50,600	55	0.109	8	0.016	36	0.071	99	0.196
	セレクトタ	101,201	101,201	261	0.258	90	0.089	185	0.183	536	0.5
	コネクタ	18,732	21,000	94	0.303	9	0.029	34	0.109	137	0.442
	レピータ	32,852	22,000	145	0.658	67	0.304	15	0.068	227	1.03
合 計		3,045,585	204,801	555	0.27	174	0.084	270	0.133	999	0.487
H 局	ラインスイッチ	169,125	56,400	33	0.0586	5	0.0089	12	0.0213	50	0.089
	セレクトタ	153,169	153,169	208	0.136	94	0.0615	24	0.0157	326	0.213
	コネクタ	23,389	39,000	64	0.177	10	0.026	3	0.0077	82	0.21
	レピータ	52,372	35,000	149	0.426	34	0.097	3	0.009	186	0.53
合 計		398,055	283,569	459	0.162	143	0.05	42	0.015	644	0.227

(33/下 公社保全成績より)

クタにつき100~200万回動作試験を行なった。成績は第12図、初障害曲線は第13図にそれぞれ示すが上記の結果をよく裏書きしている⁽⁸⁾。

7.2 自動交換機の代表機種としてセレクトアを選んだ根拠

自動交換機を構成する機種にはラインスイッチ、セレクトア、コンネクタ、ラインファインダ、レピータなどがあるが最も普遍的なものとしてセレクトアを代表機種に選びセレクトア換算局にはいくつ装置してあるとっている。セレクトア換算値は各種スイッチの構成の程度から大体のウェイトを比較して決定したもので第1表のとおりである。

第2表は機種別の障害発生状況比較の一例である。この表からもセレクトアでの障害発生状況はおおむね局全体の障害発生の平均値を示しているようである。保守からみてもセレクトアを代表機種とする妥当性が理解される。

クロスバ交換機ではワイヤ形継電器を単位にとる。クロスバスイッチは30~40単位として換算されている。

7.3 寿命試験のデーターと実地データーとの関連

昭和28年以降の製品にして4箇年以上使用されたセレクトア6,420個を事後保全方式を採用する数局について調査した。使用開始後1,338件の障害を発生している。この分布は第3表に示すとおりで障害百分比は

セレクトアの寿命試験で発見のできる障害	37.4%
うち 部品取替不要のもの	30.6%
部品取替を要するもの	6.8%
ワイパの障害	23.6%
うち 摩 耗	20.3%
そ の 他	3.3%
ホコリに基づく障害	20.6%
障害の理由で試験したが異状なし(TCC障害)	10.9%
その他の障害	7.3%

となる。

局におけるセレクトアの1箇年の動作数は5万である。寿命試験のとき5万回動作させるためには35.5時間を必要とし寿命試験は時間的に250倍の加速試験となる。

セレクトアにつき実際に局で起こった年間障害数の37.4%が寿命試験中5万回動作で起こった障害数に相当する。昭和28年製品の局A, G, Iの3局と昭和29~30年製品のAR, H, Mの3局につき開局後5~6年間に起こった障害を調査しその累計を求め、これを寿命試験に起こった障害の5万回ごとの累計と比較すると第4表と第5表のようになる。この表から寿命試験と実用状態で起こる障害の関連を理論的に求めると第14図のようになる。明らかに関連のあるこ

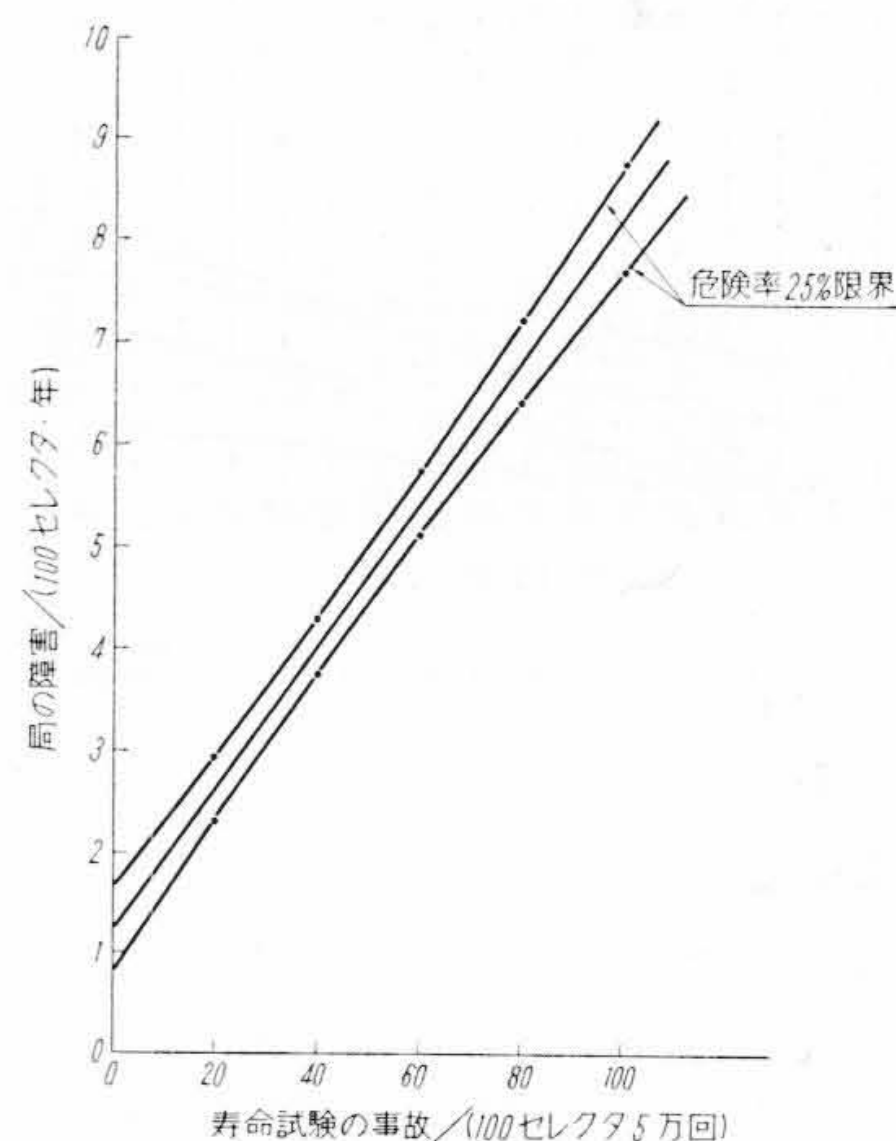
第3表 セレクトア障害分布(%)

障 害 種 別	障 害 項 目	機 構 部	リレー部	計
セレクトア 自体の障害	取替必要障害	破損脱落	2.3	2.5
		摩 耗	0.4	1.1
		ルーズ断線	2.0	3.2
		小 計	5.7	6.8
	取替不要障害	調 整	9.6	23.1
		ネジゆるみ	7.3	7.5
		小 計	16.9	30.6
ワ イ バ 障 害	摩 耗			20.3
	そ の 他			3.3
小 計				23.6
ほ こ り 障 害		5.8	14.8	20.6
TCC 障 害				10.9
そ の 他				7.3
合 計				99.8

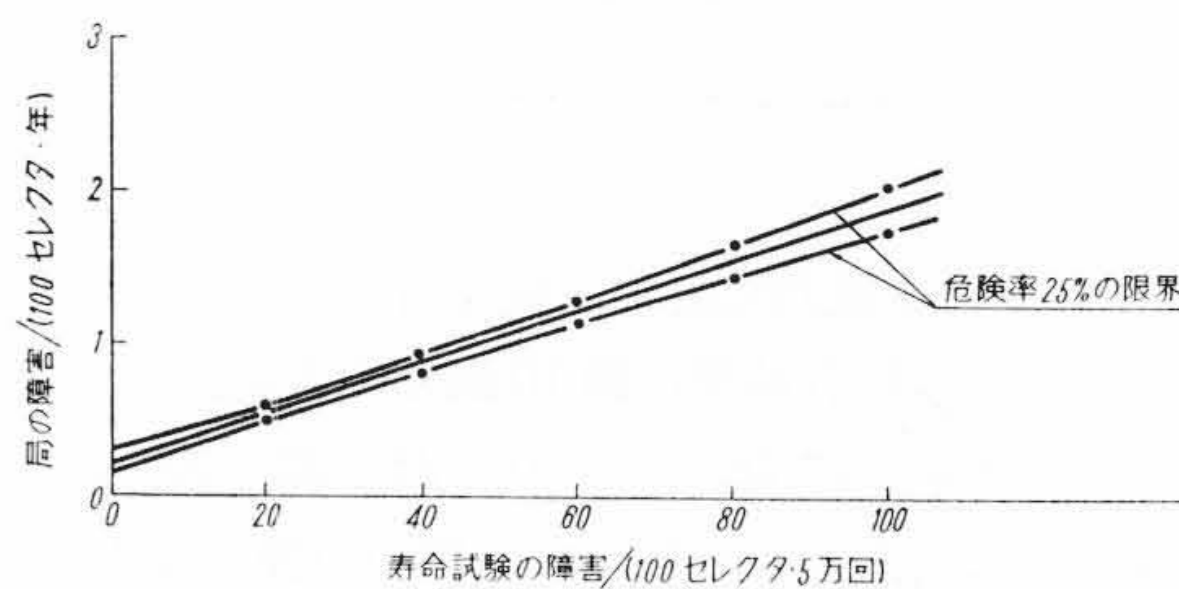
とがわかり寿命試験の障害が多く実用状態のときの14.2倍となる。

寿命試験で出る障害のうち部品の取り替えを要するものと要しないものとに分けて同様の検討を行なうと第15図と第16図の関連が求められ、寿命試験のときの障害は実用状態のときのそれぞれ59.5倍、3.3倍となる。

取り替えを必要とする障害すなわち破損、摩耗、断線などは寿命試験では実用状態に比べて著しいひん度の高い繰り返し荷重を受け、その結果疲労発熱などを促し約60倍の倍率で現われるものと判断される。これに反し取り替えを必要としない障害すなわち調整不良、ネジゆるみなどは250倍の加速によりこうむる影響は破損障害



第14図 電話局障害と寿命試験事故との相関特性(その1)



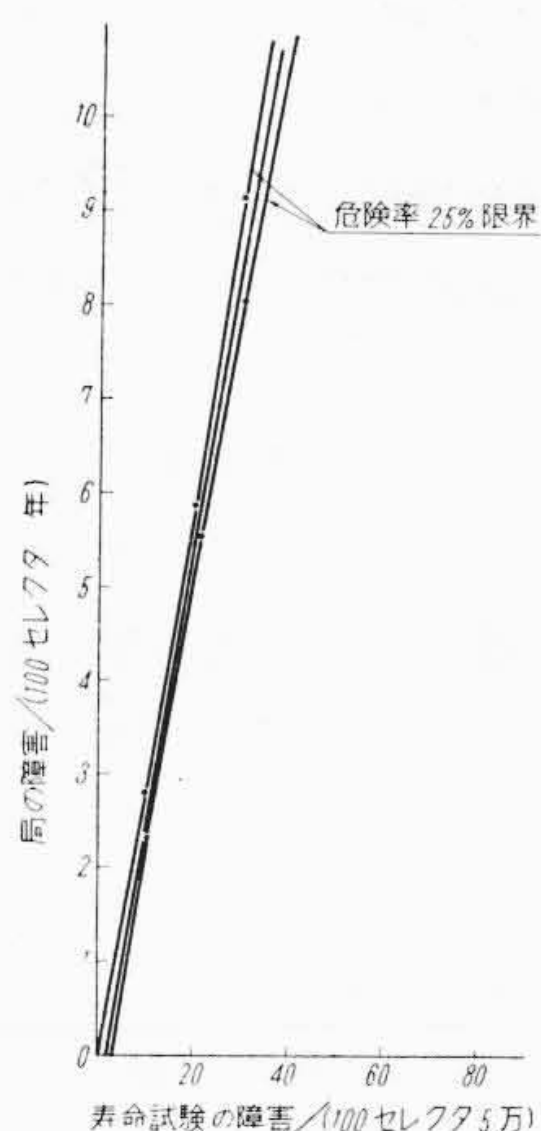
第15図 電話局障害と寿命試験事故との相関特性(その2)

第4表 保守成績と寿命試験の結果の比較(その1)

寿命試験結果		保 守 成 績			
動作回数 (万)	累計障害 (100スイッチ 5万回動作 当たり)	経過年数 (年)	障害累計 (100スイッチ・年)		
			A 局	G 局	I 局
5	12 件	1	2.72	3.78	2.36
10	28	2	3.88	4.89	3.64
15	50	3	4.88	5.63	4.43
20	73	4	6.30	7.49	5.02
25	95	5	7.79	9.25	6.2
30	118	6	9.97	10.73	7.38

第5表 保守成績と寿命試験の結果の比較(その2)

寿命試験結果		保 守 成 績			
動作回数 (万)	累計障害 (100スイッチ 5万回動作 当たり)	経過年数 (年)	障害累計 (100スイッチ・年)		
			AR局	H 局	M 局
5	5	1	0.44	0.58	0.33
10	16	2	1.46	1.45	0.33
15	20	3	1.97	3.02	1.32
20	28	4	2.79	4.84	2.82
25	40	5	3.1	7.10	—
30	46	6	3.82	—	—



第16図 電話局障害と寿命試験事故との相関特性(その3)

などより低いと考えられるほかに障害の性質上不安定な障害で初期発見が困難で潜在障害となりやすい。また調整不良はホコリ、TCC障害と判別しにくいものである。取替不要障害は発見の確度が低くまたほかの原因による障害とまぎらわしいことから取替要障害に比し倍率が低いのではないかと考えられる。

以上のように寿命試験による障害と実用状態における障害との関連は一次式で示される。

具体的には100セレクト1箇年間の電話局における障害を1件とすれば

それらのロットの寿命試験で100セレクト5万回動作につき25%の危険率において

総合的には 12.7~16 件
取替要障害 53.5~70.4 件
取替不要障害 3.0~3.6 件

の障害が発生する相関が求められる。

7.4 ワイパの改良

ワイパは従来黄銅板を使用している。セレクト15万回動作に耐えることがせいぜいであって障害の発生率も全障害の23.6%になっている。電電公社ではこれを改良するためインジュウム18%、銀82%の合金を黄銅板の先端(バンク端子をしゅう動する部分)にはり合わせたAIワイパを開発した⁽⁹⁾。この改良ワイパは60万回のセレクト動作に耐える。セレクト50万回動作で100スイッチ当たり10件程度の障害に収まることが期待できる。

7.5 自動交換機品質の推定

前に記したことから製造されたロットについての寿命試験のデータを知れば実用状態のときに起きると想定される障害数を推定することができる。

推定するときに設ける仮定は

- (1) 寿命試験によって検出できる障害、ワイパ障害、ホコリによる障害、TCC、そのほかの障害の分布および数値については7.3節に記されたことがらが成立する。
- (2) 寿命試験によって出る障害は第10図の分布をする。
- (3) 自動機械室の環境はいずれも同一状況である。ホコリの障害は一定とする。
- (4) TCC、そのほかの障害も一定とする。
- (5) ワイパとしては最近(昭和35年以降)の製品に改良形を採用する。

などである。

昭和28年と35年製品につき使用開始後10年目の障害発生数を推定すると第6表のようになる。使用開始後20年、30年、40年と

第6表 セレクトに起こる障害の推定の一例

障害件数は100セレクト1箇年当たりとする。

	スイッチ体 自	ほこり	ワイパ	TCC	その他	計	月当りに 換算
第1期ロットの6~8年までの平均実績	1.58	0.36	0.7	0.14	0.25	3.03	0.25
第1期ロットの10年目の推定値	1.66 ~1.35	0.36	0.7	0.14	0.25	3.11 ~2.8 平均2.95	0.25
第5期ロットの10年目の推定値	0.04 ~0.03	0.36	0.1	0.14	0.25	0.89 ~0.88 平均0.89	0.075

第10図によって自動交換機全体が老化期にはいらぬかぎり、任意の使用経過年限に対してそのときに起こると想定される障害数を推知することができる。

工場における寿命試験で発生する障害数をもって製品の品質の程度を表わすものとする、そのときに発生する障害数を媒介として第3図と第4図からその障害数に対する機械事故による不接誤接率すなわち機械の与えるサービスの品質を知ることができる。また逆に要求されるサービスの品質に對しいかなる品質の自動交換機が必要であるかも知ることが可能である。

実例について検討したが障害数の推定値はおおむね実際値に近似する。たとえばA局で使用開始後5年で100セレクト1箇月当りの障害推定値が0.25であるに対し局全体として換算100セレクト1箇月当り0.487の実際値となっている(第2表、第6表参照)。

第4図からこの場合の機械の与えるサービスの品質は機械事故による不接誤接率が0.1~0.15%のものであることがわかる。

7.6 自動交換機の信頼度の推算とその実算

セレクトスイッチを40年間使用するときの時間当りの事故率は次のとおり計算される。

昭和29年製品の200万回寿命試験で起きる障害数は第10図から100セレクトにつき333件

昭和35年製品については同じく第10図から39件である。

寿命試験は強制試験であるから実用状態のときに比べて14.2倍の障害が起る。40年間は 3.5×10^5 時間、これらを考えて1セレクトの時間当りの事故率^{*}は

昭和29年製品については

$$\frac{333}{100} \times \frac{1}{3.5 \times 10^5} \times \frac{1}{14.2} = 6.7 \times 10^{-7} \quad \dots\dots\dots (1)$$

昭和35年製品については

$$\frac{39}{100} \times \frac{1}{3.5 \times 10^5} \times \frac{1}{14.2} = 0.78 \times 10^{-7} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。

例を昭和29年製品のH局にとり第2表から局全体の換算セレクト数は47,262であるから局全体の事故率は(1)式から

$$6.7 \times 10^{-7} \times 47,262 = 3.2 \times 10^{-2}$$

局全体の障害数はこれの100÷37.4倍(7.3節から)となるから

$$3.2 \times 10^{-2} \times 100 \div 37.4 = 8.7 \times 10^{-2}$$

となる。

第2表H局6箇月間の障害は644件であるから1日当りの障害発生数は $644 \div 180 = 3.6$ となり1時間当りに換算すると $3.6 \div 24 = 1.2 \times 10^{-1}$ となりセレクトの事故率から推算したものと実用的によく一致する。

昭和35年製品を使用したときに期待される事故率はH局と同規模の局で(2)式から

$$0.78 \times 10^{-7} \times 47,262 = 0.37 \times 10^{-2}$$

とセレクト自体の事故率となり、改良形ワイパを使用するためワイ

* Hazard Rate

パ障害が従来の約 4 分の 1 となるものとする 7.3 節からワイパの
 摩耗障害の 20.3% は 5.1% となり局全体の障害数は

$$0.37 \times 10^{-2} \times \frac{37.4 + 5.1 + 3.3 + 20.6 + 10.9 + 7.3}{37.4}$$

$$= 0.37 \times 10^{-2} \times \frac{84.6}{37.4} = 0.84 \times 10^{-2}$$

となり、29 年製品の 10 分の 1 に相当する値である。

8. クロスバ交換機開発の現状

自動交換は市内交換に限らず市外交換にも採用されることとな

り、すでに 10 年前から大都市を中心とする 60 軒以内にある都市相互間は加入者の直接ダイヤルによる自動即時接続が行なわれている。この場合には通話の帯域、通話時間で料金を計算するいわゆる 3 Z (Zeit-Zonen-Zaehlung) 装置で加入者度数計をして複数登算させている。

さらに全国の市外通話接続をも加入者の直接ダイヤルで接続することとなり、料金はいままでの 3 分制を廃し市内通話料金に相当する 7 円を基準として距離に応じて幾秒間の通話が 7 円という計算法すなわち距離別時間差法を採り 37 年 10 月から実施されることに国会の議決を経て決定された。

第 7 表 C 40-50 および C 41-51 式クロスバ局の保全状況 35 年下期

局 名	端 子 数	方 式	開局年月	局 内 障 害					局 内 障 害 内 訳					
				加入者の申告によるもの T	定期試験によるもの R	警報信号によるもの F	トラブルレコードによるもの t	計	接点接不	調 整	部品不良	布 線	線屑半田屑	そ の 他
蔵	4,600	C40	33.6	5	3	11	11	30	10	2	7	5		6
日立 (3)	2,000	C40	34.11	9	4	14	76	103	70	4	22	3		4
東 海	900	C40	35.3	5		4	11	20	6	2	9	1		2
西 条	1,400	C40	34.5			2	16	18	7	4	7			
府 中	2,700	C40	33.3	11	1	10	21	43	17	3	16	4		3
小 野 田	1,500	C40	34.3	5	1	23	30	59	25	9	9	5	1	10
40~50 局 計	13,100			35	9	64	165	273	135	24	70	18	1	25
町 田	4,200	C41	35.6	30	9	27	117	183	41	40	18	19	11	54
児 島	2,700	C41	35.4	1	2	8	26	37	24		9	2	1	1
三 島	5,000	C41	35.11	4	3	2	63	72	38	9	4	9	6	6
福 井	12,600	C41	35.5	27	17	39	136	219	9	33	24	48	35	70
41~51 局 計	24,500			62	31	76	342	511	112	82	55	78	53	131

第 8 表 40-50 局および 41-51 局における部品不良障害状況 35 年下期

	開局年月	端子数	放電管	整流器	ランプ	コンデ ンサ	抵 抗	Wリレー	Pリレー	リード リレー	ロータリ スイッチ	クロスバスイッチ							その他	計
												セレクト バ	コイル マグネ ット	アーマ チュア	ダンパ	オアノ ルマル	バーチ カルユ ニット	フィン ガ		
蔵	33.6	4,600	1		1		3	2												7
日 立 (3)	34.11	2,000	1	11								2	2	4					2	22
東 海	35.3	900		7			1			1										9
西 条	35.5	1,400				1		1	4								1			7
府 中	33.3	2,700	2	5	1	1		5			2								1	16
小 野 田	34.3	1,500	2	4	2			1												
以上40～50局計		13,100	6	27	4	2	4	8	4	1	2	2	2	4	0	0	1	0	3	90
町 田	35.6	4,200	1	4	1			1		1	1		1		1		5	2		18
児 島	35.4	2,700		2			1	1		1						1	1		2	9
三 島	35.11	5,000						1					1	1		1				4
福 井	35.5	12,600	1	1	1	1		8	2	1			2						7	24
以上 41-51 局計		24,500	2	7	2	1	1	11	2	3	1	0	4	1	1	2	6	2	9	55
40～50 41～51 局 計		37,600	8	34	6	3	5	19	6	4	3	2	6	5	1	2	7	2	12	125
以上 10,000 端 子局平均		10,000	2.1	9.5	1.6	0.8	1.3	5.1	1.6	1.0	0.8	0.5	1.6	1.3	0.3	0.5	1.8	0.5	3.1	34
さしあたり安定 目標		10,000	2	7	1.5	1	1	3	1	1	1	0	1	1	0	0	1.5	0	2	24

第 9 表 40-50 局および 41-51 局における調整不良障害状況 35 年下期

	開局年月	端 子 数	Wリレー	Pリレー	平行リレー	ロータリスイッチ	クロスバスイッチ				メー タ	ネジゆるみ	計
							フィンガ	オフリルマル	ホリゾンタルマグネット	アーム			
蔵	33.6	4,600					2						2
日立 (3)	34.11	2,000					4						4
東 海	35.3	900					2						2
西 条	35.5	1,400		1	1	1	1						4
府 中	33.3	2,700	2									1	3
小 野 田	34.3	1,500		4		1		1	2			1	9
以 上 40~50 局 計		13,100	2	5	1	2	9	1	2	0	0	2	24
町 田	35.6	4,200	5	1		2	13			9	2		40
児 島	35.4	2,700											0
三 島	35.11	5,000	2			2	4		1				9
福 井	35.5	12,600	1	1	1		26		4				33
以 上 41~51 局 計		24,500	8	2	1	4	43	0	5	9	2	0	82
40~50, 41~51 局 計		37,600	10	7	2	6	52	1	7	9	2	2	106
以上 10,000 端子局平均		10,000	2.7	1.8	0.5	1.6	13.8	0.3	1.8	2.4	0.5	0.5	28
さしあたり安定目標		10,000	1.5	1	0.5	1	7	0	1	0.5	0	0.5	13

第 10 表 40～50 局および 41～51 局における接点接触不良障害状況 35 年下期

	開局年月	端子数	平 リレー	P リレー	W リレー	電鍵	XB × 点	XB オ フ ノ ー マ ル	計
蕨	33.6	4,600	1	1	7	1			10
日立 (3)	34.11	2,000	2	11	57				70
東海	35.3	900	2	2	2				6
西条	35.5	1,400		1	6				7
府中	33.3	2,700	1		16				17
小野田	34.3	1,500			25				25
以上 40～50 局計		13,100	6	15	113	1	0	0	135
町田	35.6	4,200	1	2	33		5		41
児島	35.4	2,700			23		1		24
三島	35.11	5,000		13	24			1	38
福井	35.5	12,600	5	3	1				9
以上 41～51 局計		24,500	6	18	81	0	6	1	112
40～50, 41～51 局計		37,600	12	33	194	1	6	1	247
以上 10,000 端子局平均		10,000	3.1	8.8	51.5	0.3	1.6	0.3	65.5
さしあたり安定目標		10,000	3	5.5	45	0	1	0.5	55

第 11 表 40～50 局および 41～51 局における布線線屑
そのほか不良障害状況 35 年下期

	開局年月	端子数	布 線	線 半 田 屑	そ の 他	計
蕨	33.6	4,600	5		6	11
日立 (3)	34.11	2,000	3		4	7
東海	35.3	900	1		2	3
西条	35.5	1,400				0
府中	33.3	2,700	4		3	7
小野田	34.3	1,500	5	1	10	16
以上 40～50 局計		13,100	18	1	25	44
町田	35.6	4,200	19	11	54	84
児島	35.4	2,700	2	1	1	4
三島	35.11	5,000	9	6	6	21
福井	35.5	12,600	45	35	70	153
以上 41～51 局計		24,500	78	53	131	262
40～50, 41～51 局計		37,600	97	64	156	317
以上 10,000 端子局平均		10,000	26.5	16	41.5	84
さしあたり安定目標		10,000	1	1	10	12

第 12 表 クロスバとステップ・バイ・ステップ
両方式局の加入者からの申告状況

	クロスバ 41～51 局	クロスバ 40～50 局	ステップ・バイ・ ステップ A, H 局
局内	0.26	0.10	0.22
局外	3.08	2.55	3.29
TOK, TCC	4.90	3.49	5.80
話中	2.47	2.13	4.97
R は ず し	5.30	0.49	4.95
申告計	16.14	8.76	19.23

備考 35 年下期における 100 加入回線から 1 箇月平均の申告、クロスバ局と同程度の単局地のステップ・バイ・ステップ局を対照とした。

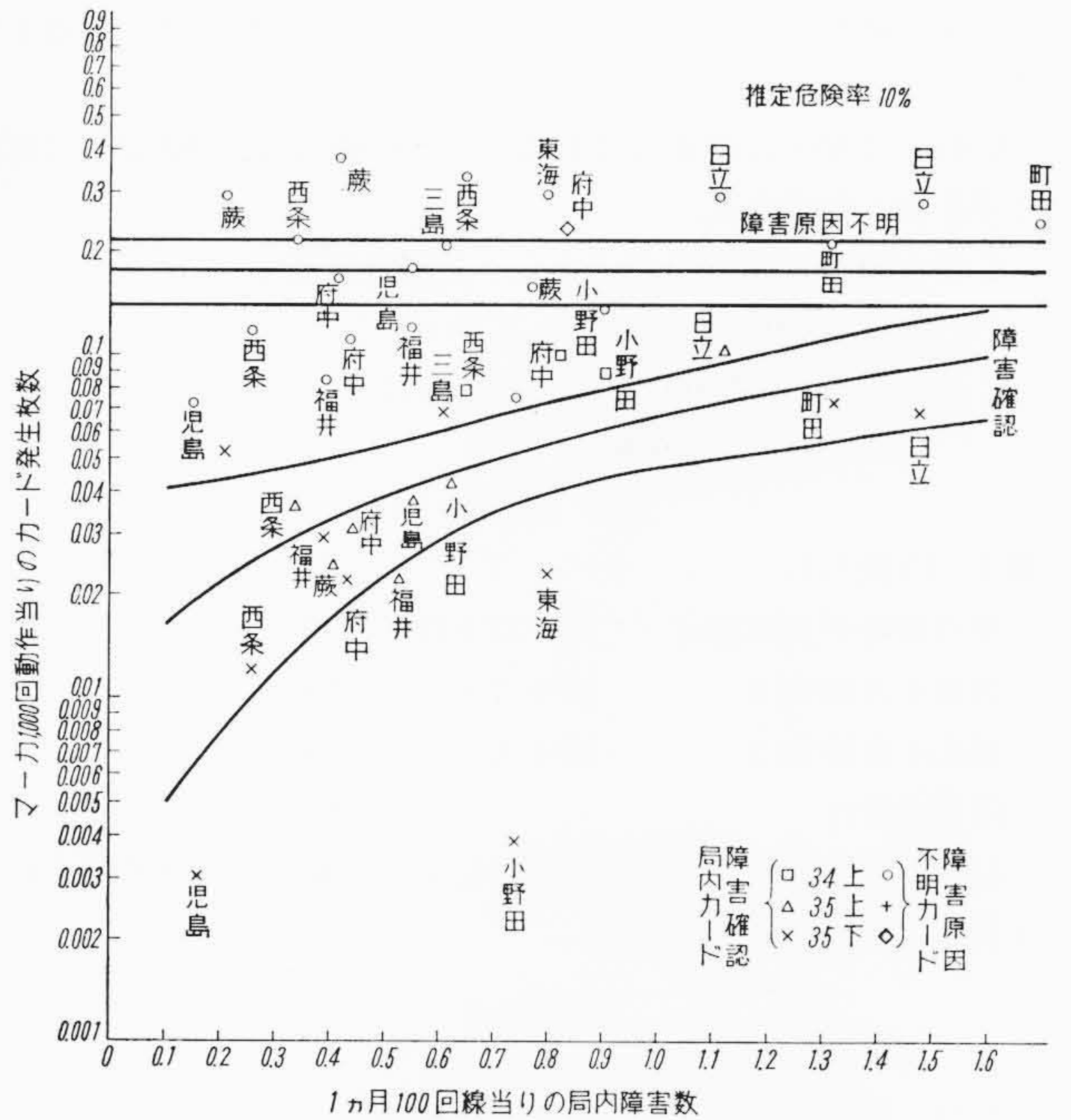
全国市外ダイヤル接続が行なわれることになると交換機にいつその迅速性、確実性、融通性が要請されてステップ・バイ・ステップ式自動交換機では不十分となり、少なくともクロスバ式自動交換機が必要となってきた。

クロスバ交換機は昭和 31 年に試験的に採用されてから逐年採用の規模が拡大されて現在では市外交換機の全部と中都市の市内交換機の一部に使用されてすでに 30 万端子分以上施設されている。

昭和 35 年度下期の保全データーからクロスバ交換機の現状を批判することにする。

8.1 クロスバ市内局の保全状況

第 7 表は中大都市市内交換用の C 40～50, C 41～51 両式局の保全状況を示す。第 8～11 表は同じ局の障害発生原因別の障害の詳細を示す⁽¹⁰⁾。



第 17 図 局内障害数とマーカ 1,000 回動作当りの
カード発生枚数との関連

8.2 クロスバ局保全の特長

クロスバ交換機は共通制御方式であるからその接続を支配するマーカの動作に従い接続に異状のあるときはトラブルレコーダがその状況を接続ごとにカードに表示する。この表示に従い障害の発見およびその修理に努める。したがって障害の確認された局内障害カード、同じく局外障害カード、障害原因不明カードの 3 種のカードができる。

トラブルレコーダの指示によって障害を追及することはステップ・バイ・ステップ式局で以前にやっていた定期試験で交換機器の潜在障害および異常を発見してその手当をする予防保全のやり方を重点的に克明にやったことになる。

加入者から局に対して行なわれる苦情申告の状況によって局の保守がうまくいっているかどうかの目安をうることができる。第 12 表は現在のクロスバ市内局と同程度のステップ・バイ・ステップ式局の苦情申告の状況を比較したものである。このうち局内の項に相当するものが自動交換機の保全状況の批判の資料となるものである。ステップ・バイ・ステップ式局に比較して C 40～50 式局では約半分、C 41～51 式局では同程度でクロスバ式局のほうが良い状態にあるといえる。

1 箇月 100 加入者回線当りの局内障害数と障害確認局内カードおよび障害原因不明カードのマーカ 1,000 回動作当りのカード発生枚数との間には C 40～50 式局および C 41～51 式局につき第 17 図に示す関係がある。障害確認局内カードの発生枚数は障害数に対数スケールでほぼ直線的であり、同じく障害原因不明カードの発生枚数は障害数いかにかわらずほぼ一定値である。この一定値であることはホコリなどに基因する障害のようなつかみにくい障害が機器の設備量に比例して潜在しているものと考えられる。

接続は同一局内接続のときはマーカを 3 段に、発信で他局に対するものおよび他局よりの着信には接続にマーカを 2 段に使用するゆえ、障害確認局内カードと障害原因不明カードそれぞれのマーカ 1,000 回動作当りのカード発生枚数の和の 2～3 倍程度の値が潜在障害を含む局内障害による接続不能率を示すものと考えてよい。

8.3 クロスバ交換機器の信頼性

8.3.1 ワイヤリレー

クロスバ交換機を構成する継電器にはワイヤリレー、有極リレ

一、平形継電器などがあるがワイヤリレーにて代表するものとする。

C 41～51 局では継電器は 1 端子当り 6 個、C 40～50 局では同じく 6.6 個と仮定する。

C 40～50 局は 13,100 端子あるから継電器数は

$$6.6 \times 13,100 = 86,460$$

C 41～51 局は 24,500 端子あるから同じく

$$6 \times 24,500 = 147,000$$

計 233,460 個

第 8～10 表から

接点接触不良障害は $12 + 33 + 194 = 239$

調整不良障害は $10 + 7 + 2 = 19$

部品不良障害は $19 + 6 + 4 = 29$

障害の計は 287

以上の障害は 6 箇月間に起こったものであるからワイヤリレー 1 個 1 時間当りの事故率は

$$\frac{287}{233,460 \times 4,350} = 2.8 \times 10^{-7}$$

となり、現在の信頼性を示すこととなる。

8.3.2 クロスバスイッチ

1 端子にクロスバスイッチの 2 バーチカルを使用するものとする。C 40～50 式局 C 41～51 式局 37,600 端子に対して 3,760 個のクロスバスイッチが使用される。

同じく第 8～10 表から

接点接触不良障害は $6 + 1 = 7$

調整不良障害は $52 + 1 + 7 + 9 = 69$

部品不良障害は $2 + 6 + 5 + 1 + 2 + 7 + 2 = 25$

障害の計は 101

以上の障害数は半年間のものであるからクロスバスイッチ 1 個 1 時間当りの事故率は

$$\frac{101}{3,760 \times 4,350} = 6.2 \times 10^{-6}$$

となる。

クロスバ交換機を構成する代表機種としてワイヤリレーを採り、クロスバスイッチは構造上その他からワイヤリレーの 30～40 個分と見なしいるが、信頼性からこれをみてもワイヤリレーの事故率 2.8×10^{-7} の約 23 倍の 6.2×10^{-6} がクロスバスイッチの事故率となっていて、この仮定のほぼ妥当であることがわかる。

8.3.3 クロスバ交換機器につきさしあたりなすべきことから

クロスバ交換機は構成上よりトラブルレコードの障害指摘によって克明な予防保全ができることから加入者に与えるサービスは良く加入者からの苦情申告も少ない。されどクロスバ交換機器は現在成長段階にあるため初期的の不良が多い。さしあたりわれわれのなすべきことはこの初期的不良を撲滅して安定させることである。安定したときに発生すると考えられる障害の予想数は第 8～11 表の安定目標の欄に示される。この数字を基として事故率を上と同様に計算すると

ワイヤリレーの事故率 2.25×10^{-7}

クロスバスイッチの事故率 3.1×10^{-6}

となる。

クロスバ交換機器はステップ・バイ・ステップ交換機器に比べて十数倍の高ひん度で使用されており、かつ重点予防保全方式が採れるから上の使用時間単位で算出した安定目標値で十分であるかもしれない。されど正当な値は相当な期間の実施経験を経てからでないと出ないと思う。

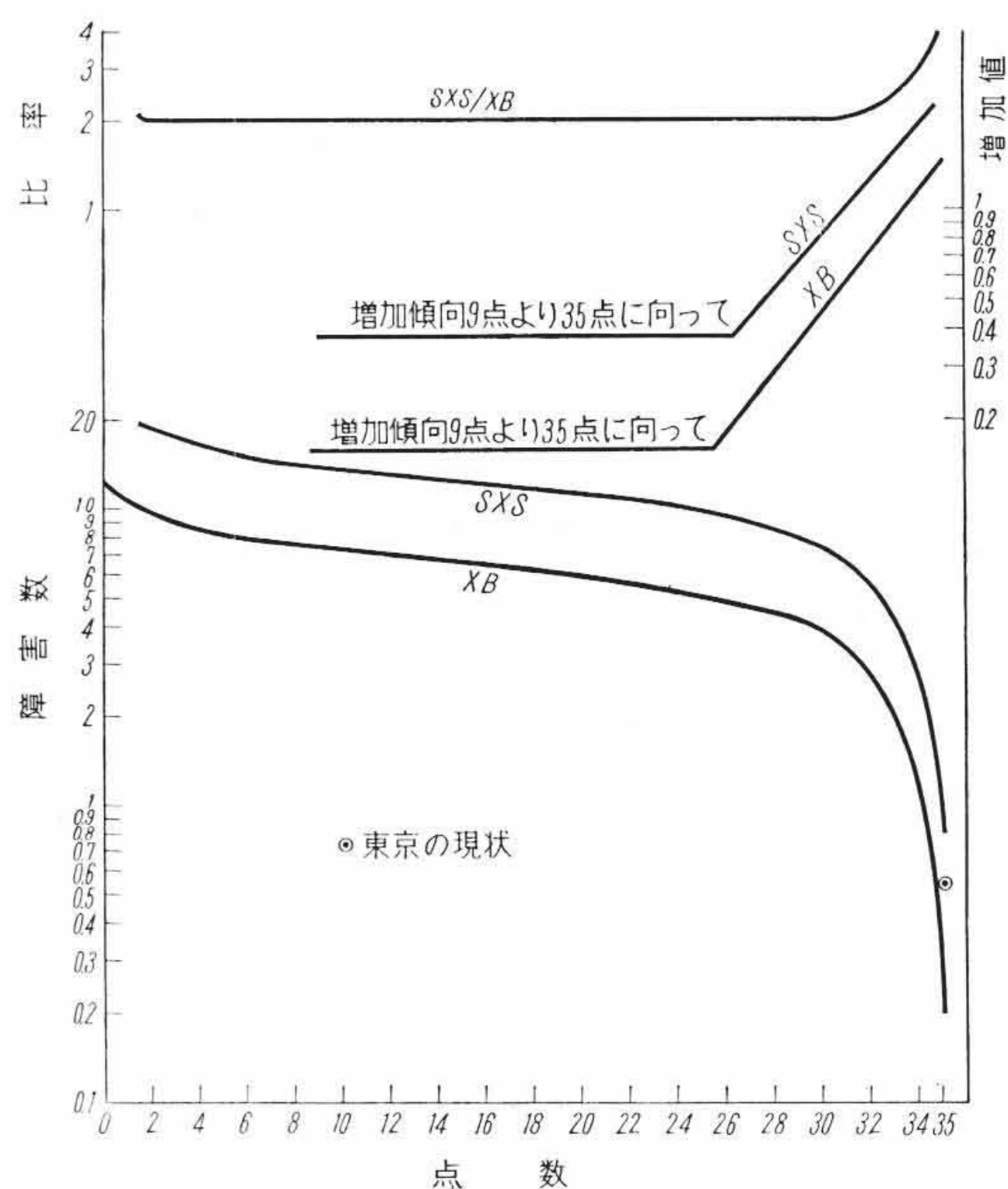
いずれにしても現在はクロスバ交換機器の品質の向上に専念し

クロスバ交換方式の優秀性をフルに発揮できるようにすることが肝要である。一日も早く数万端子の局でも無人保守が可能となるまで進みたいものである。このことはステップ・バイ・ステップ式局の場合に比して割合と容易に到達できるものと期待してよいようである。

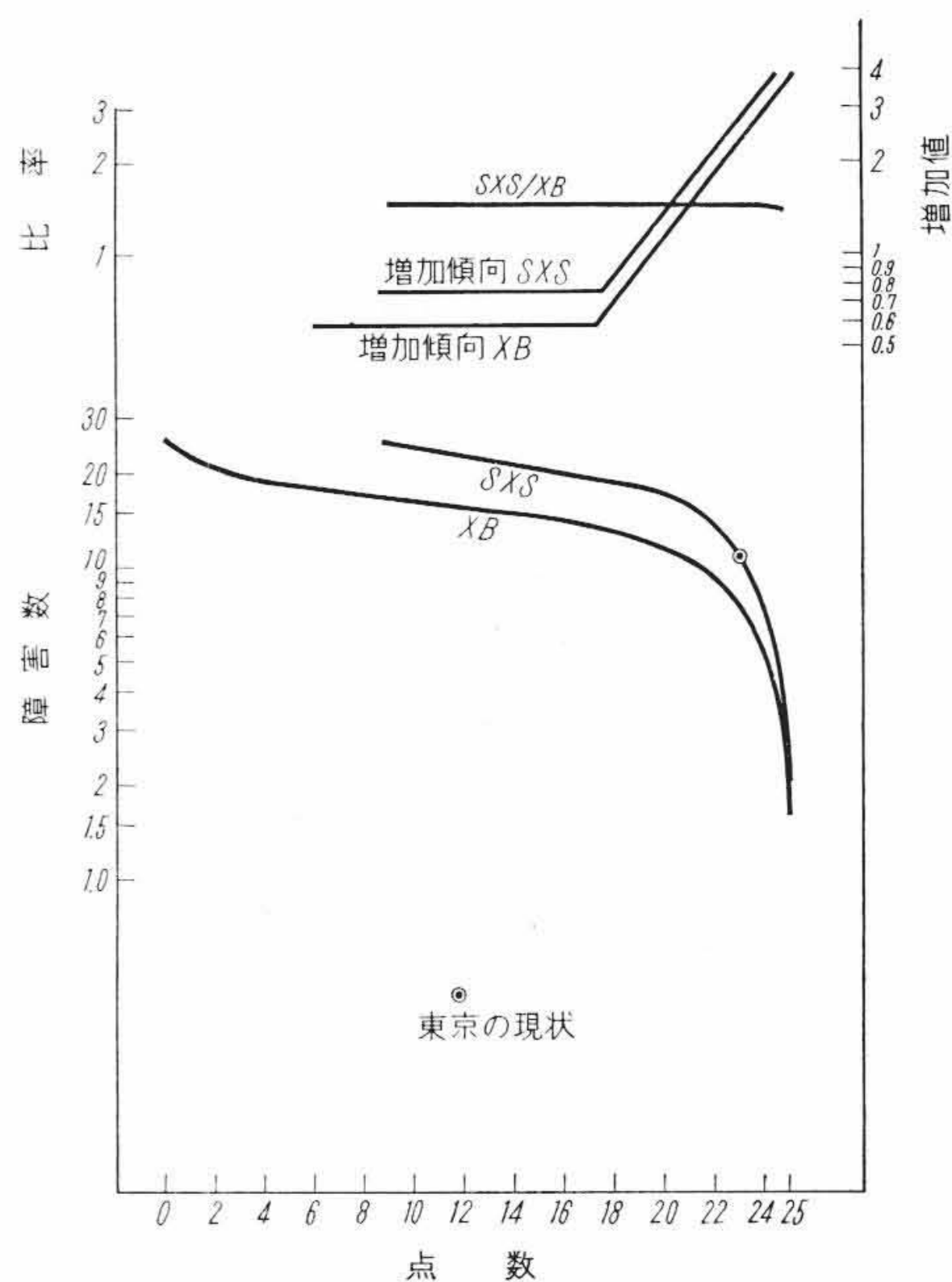
8.4 米国における市内自動局のサービス基準

米国ではステップ・バイ・ステップ方式のストロージャ式と共通制御方式のパネル、クロスバの 2 式を採用している。市内自動局のサービスが良くいっているかどうかの目安として加入者からの苦情申告状況とサービス監査の成績とを総合して一つの基準を定めている。

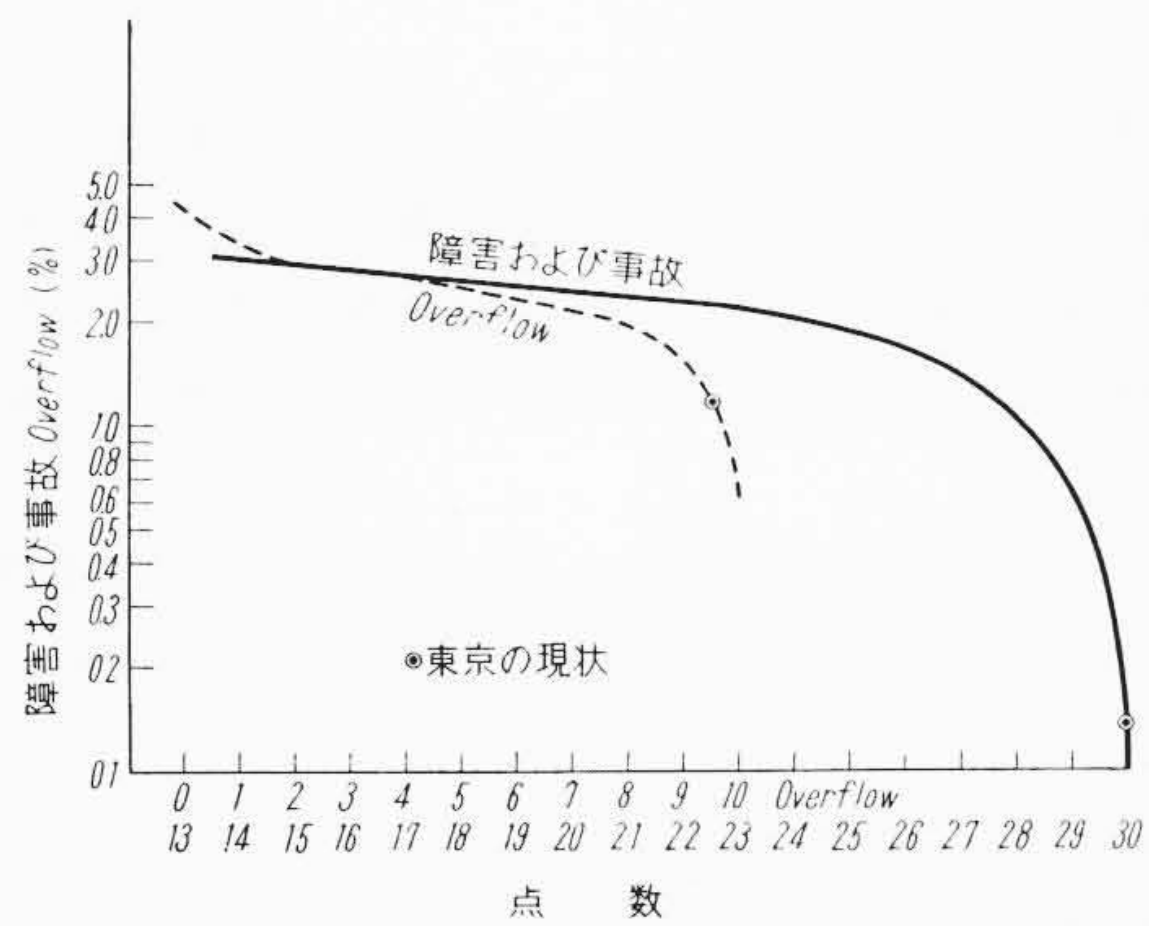
加入者の苦情申告に 60 点のウェートを置き、うち機械の障害および発見したが異状なしの障害の合計に 35 点を与え、申告によって試験したが異状なしの事項に対して 25 点を与えている。ともに 10 万発信呼に対する数値を求めそれぞれ第 18 図、第 19 図に示す採点法



第 18 図 クロスバ市内局保守採点法 (その 1)



第 19 図 クロスバ市内局保守採点法 (その 2)



第 20 図 クロスバ市内局保守採点法 (その 3)

を採っている。

サービス監査成績に 40 点のウェイトを与え、うち機械事故による接続事故数に 30 点、オーバフローとなる接続数に 10 点をそれぞれ与えている。これらの採点法はそれぞれ第 20 図の曲線が示している。

市内自動局ではこれらの和が 100 点となるのが理想ではあるが実際は 90~95 点の状態にあるべきものと考えられている。90 点以下のときにはアクションをとって改善措置をとる必要があるが 100 点に近い数値であるときはむだな保守が行なわれているものと見なしている。

第 18 図から知られることは機械の障害および発見したが異状なしの障害の計はステップ・バイ・ステップ式のほうがクロスバ式に比して 2 倍以上あることである。第 19 図から試験したが異状なしの事項では同じく 1.45 倍であることが知られる。これはステップ・バイ・ステップ式の機器を事後保全方式で保守する場合に起こる現象である。方式上トラブルレコーダの動作による障害の完全指摘のできるクロスバ式に利点のあるのは当然のことである。前節でわが国のステップ・バイ・ステップ式とクロスバ式とを比較したときに局内障害に関して加入者の申告が後者に比して前者が 2 倍近くあった事実はこのこととよく一致している。

わが国では加入者からの申告は 100 加入回線当りで論じているが、10 万発信呼当りに換算し第 18 図と第 19 図に記入するとそれぞれに示すとおりになる。またサービス監査によるものを第 20 図に示す。いずれも良い成績であり、97 点以上を与えてよいようである。

9. 自動交換技術の展開

自動交換機を構成する単位機器の入線および出線は多数の相手に接続されることになるため単位機器はシステムのことを考慮して設計されている。従来の電子機器の多くは単独に用いられそのものが良ければよかったのであるが、電子交換機、電子計算機など多数の単位機器がシステムを構成するいわゆるシステム電子機器にあっては自動交換機の考え方を適用する必要がある。されど電子機器の特異点は十分考慮に入れなければならない。

9.1 電子機器の事故とその分布

電子機器は小形したがって信頼度の比較的低い電子素子を数多く使用するから機器の信頼度も低くなる傾向がある。

電子機器では事故の原因の分布および機器を不安定にする原因をその重大さの順位に解析する必要がある。解析は機器を構成する素子の数、機器の動作する時間、機器の用いられる環境の状態などを知って行なわれる。

電子機器に起こる事故をあげると

偶発事故——設計の欠陥、悪い部品などを除くように努力したうえで起こる事故

二次事故——隣の部分に起こった事故の直接結果としての事故

老化事故——予防保全で見出される事故

初期不良——部品に欠陥または異常な弱点があって初期に起こる事故

特性の悪化——一部分の劣化が許された偏差を狭くするために起こる事故

製作不良による事故

設計不良による事故

複雑さが招来する事故——多くの部品を使用すると信頼度の低下をきたす

などがある。

これら事故の起こるおもな原因は、機器を開発し実用化するときには正当な設計ができていないところにある。

米英における電子機器の事故の原因とその分布が報告されている⁽¹¹⁾。大体次のようである。

設計不良——設計者の錯誤、手抜き、不注意、正鵠(こう)を得ない

判断などのための不良——によるもの.....40%

部品不良——部品メーカーの仕様により正当に使用したが本質的欠陥のために起こった不良——によるもの.....30%

すえ付、運用、保守による不良——機器を正しく十分に取り扱わぬため——によるもの.....20%

製造上の不良——適切な仕様書に従って組立て試験し検査せぬため、または拙劣な工作による不良——によるもの.....10%

部品の使い方は重要であって信頼性のある部品でもその使用法を誤れば二次的事故を起こす原因となる。ベル研究所では電子機器につき真空管以外の部品の事故の原因の解析を行なって次のように報告している。

設計に関する事故 43%

電気的事故につき

回路および部品の不備によるもの 11%

部品設計が不十分なためのもの 10%

誤った回路適用によるもの 12%

機械的事故につき

設計的に弱いもの、不適当なる材料によるもの 5%

不満足な部品によるもの 5%

運用に関する事故 30%

異常または偶然の状態によるもの 12%

取り扱い方によるもの 10%

誤った保守によるもの 8%

製造に関する事故 20%

誤った製作しかも不十分な検査によるもの 18%

欠陥のある材料によるもの 2%

その他の事故 7%

使い果たされたためのもの 4%

原因のつかめないもの 3%

以上を通じて設計不良による事故が圧倒的に大きいことがわかる。

9.2 電子機器の信頼度を最高にするには

電子部品の信頼度は漸次向上してきて良い環境で使用されるときには L, C, R 部品は 1 時間当り 10^{-7} ~ 10^{-8} , トランジスタ, ダイオードは 10^{-6} ~ 10^{-7} , 真空管は 10^{-5} の事故率であるとされている。

一つの部品の事故がほかに二次的事故を起こさぬ場合においては機器全体の信頼度と機器を構成する部品各個の事故率との間に第 13 表および第 14 表に示す関連がある。部品の数が増加するとともに機器全体の信頼度は落ちる。まして二次的事故を起こす公算の大きい電子機器では特に信頼度の低下を防ぐくふうが必要である。

第 13 表 構成部品の事故率と全体の信頼度との関係 (その 1)

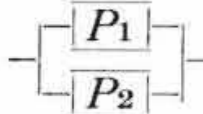
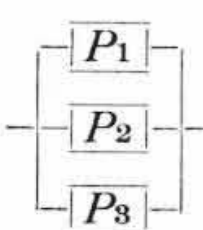
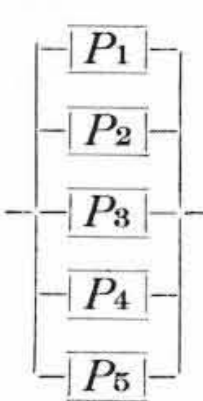
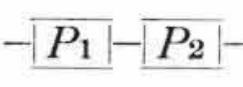
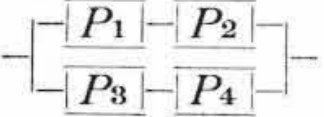
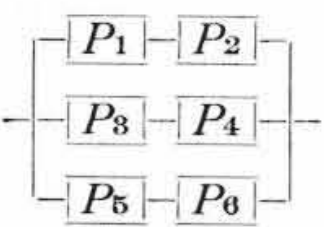
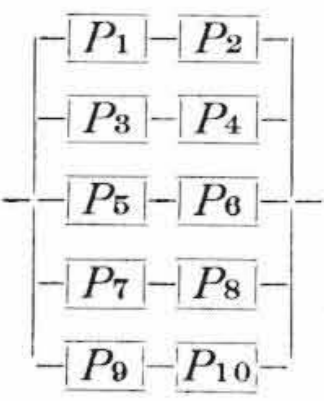
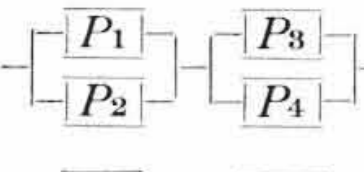
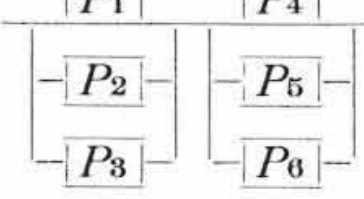
		全体の信頼度 (%)			
部品個々の事故率		10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²
構成部品の数	10	99.990	99.900	99.005	90.438
	100	99.901	99.006	90.563	36.603
	250	99.753	97.533	77.871	8.165
	500	99.506	95.127	60.639	約 1 %
	1,000	99.015	90.490	36.771	1 % 以下
	10,000	90.580	36.820	1 % 以下	1 % 以下
	100,000	37.160	1 % 以下	1 % 以下	1 % 以下

第 14 表 構成部品の事故率と全体の信頼度との関係 (その 2)

		全体の信頼度 (%)		
部品個々の事故率		10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
構成部品の数	10	99.990	99.99900	99.99990
	20	99.980	99.99802	99.99980
	30	99.970	99.99702	99.99970
	40	99.960	99.99605	99.99960
	50	99.951	99.99505	99.99950
	60	99.941	99.99407	99.99940
	70	99.931	99.99307	99.99930
	80	99.921	99.99207	99.99920
	90	99.911	99.99109	99.99910
	100	99.901	99.99007	99.99900

第 15 表 冗長の構成の例

仮定 $P_1 = P_2 = \dots = P_n$
 残存の確率 P_s

		残存の確率 P_s	
1		$P_s = P$	$P_s = 0.8$
2		$P_s = 1 - [(1 - P)^2]$	$P_s = 0.96$
3		$P_s = 1 - [(1 - P)^3]$	$P_s = 0.992$
4		$P_s = 1 - [(1 - P)^5]$	$P_s = 0.9997$
5		$P_s = P^2$	$P_s = 0.64$
6		$P_s = 1 - [(1 - P^2)^2]$	$P_s = 0.87$
7		$P_s = 1 - [(1 - P^3)^2]$	$P_s = 0.953$
8		$P_s = 1 - [(1 - P)^2]^5$	$P_s = 0.994$
9		$P_s = [1 - (1 - P)^2]^2$	$P_s = 0.92$
10		$P_s = [1 - (1 - P)^3]^2$	$P_s = 0.984$

機器に対する技術の基本的要諦は設計および運用が簡単であることである。このことは使用する真空管、半導体、部品などを減ずることではなく機器に要請されている使命を完全に果たすために不可欠な基本的な要求を最小限に満たすことである。望ましいが必要でない要求を省略することで機器は複雑とならず、生産が楽となり、

保守が容易で信頼性が高まる。

機器の信頼度をあげるには基本素子の信頼度を最大にするとともにその配列の仕方を考えねばならない。配列の仕方を指示するものとして冗長の理論がある。二重に素子を配しておのおのは独立に所定の機能を果たすようにして一方の事故では全体の事故とならないようにする。

$P_1, P_2, \dots, P_n$ をそれぞれ n 個の単一素子の残存する確率とし P_s をこれら n 個の素子を組み合わせた機器の残存の確率とすると素子を直列か並列に配列するかによってそれぞれ

$$P_s = P_1 P_2 \dots P_n \dots \dots \dots (3)$$

$$P_s = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n) \dots \dots \dots (4)$$

なる関係が成立する。第 15 表は構成素子の残存の確率がすべて同一であるときにおける考えられる冗長構成の種類とその残存の確率を表示している。

以上のことを吟味すると次のことがいえる。

- (1) 上記の冗長構成は大きな方式の信頼度の向上に役だつ。
- (2) 機器の残存の確率は二重または並列になる素子の数に伴って指数的に向上する。
- (3) 信頼度は冗長の原理の適用の第 1 段階(第 15 表の 2, 6, 9 の場合)で急に増加する。
- (4) 設計上素子を二重にすることは経費がかさみ、かつ複雑となるため使用上の利点から必要とする信頼度の向上にも限界点がある。

十分なる冗長設計をなすためには以上の条件が調和して満されるよう考慮しなければならない。よく設計された機器ではアクティブ素子(真空管、トランジスタなど)が信頼度向上の制限因子となる。アクティブ素子をいかに組み合わせてその残存の確率を向上するかが機器の残存の確率を決定することになる。これは素子が無差別に接続することによってはできないのであって、事故が出たらそれを隔離し、また二次的回路ができぬよう考慮しなければならない。アクティブ素子が真空管かトランジスタであるかによって対処する方法も違う。

機器の信頼度の向上は以上のように回路を高信頼性のものとするはもちろんであるが部品の劣化の少ないこと、機械的に強いこと、誘導雑音など干渉のないこと、周囲温度が適当であることなどを十分考慮しなければならない。

9.3 信頼度の予測

機器を使用し運用するときに要請される信頼度に合致する機器を作ることは好ましいことである。このためには必要とする信頼度に適合するよう信頼度の予測を行ない設計を進めなければならない。機器を構成する単位機器の信頼度の予測ができて機器全体の信頼度が得られることからして単位機器の信頼度が近似しておれば平衡のとれた経済的な設計ともなり、信頼度の予測は設計への方針を指示するとともに最も良い設計はいかにあるべきかを教えてくれる。

また信頼度の予測の方法で将来出現が期待される機器の実用化時期の予想も可能となり、卑近なことでは予測と実際データとを比較して既存機器を他目的に使用するときの適応性の検討、既存機器の設計換えのときの解析、または新しい機器の設計への定量的情報の提供などに役だつ。

信頼度検討の対照となる事故は貧困な設計または製造上の支障によるもの、および部品の初期不良、老化不良によるものは除きすべて安定状態にあるときに起こる事故をとる。すなわち偶発事故について考えることとなり、その事故発生の分布は指数分布となる。事故発生率と動作時間の関係は大体直線で表わされる。偶発事故は設計に無理がなく保守がうまくいっていても起こるものである。

機器の設計目標あるいは偶発事故に対する信頼度の程度を知るた

めに具体的な解析ができる。機器を構成する素子群（たとえば抵抗、コンデンサ、真空管、継電器、コイル、コネクタ、モータなど）の群別の数量とその事故率を知るとそれぞれの事故率と数量の積の和が機器全体の事故率となる。この事故率の時間当りの値の逆数が平均寿命となり機器が一つの事故を起こしてから次の事故が起こるまでの時間を示すこととなる。平均寿命を m とし動作時間が t で示されると t 時間使用されて無事に残存する確率は $P_s = \exp(-t/m)$ で表わされる。この式から m 時間の平均寿命をもつ機器が所要の t 時間使用されるときの残存する確率が計算される。また希望する残存確率値に対して所要の動作時間につきいかなる平均寿命値にすべきかも計算できる。平均寿命から計算された残存確率値が過小なときは機器を設計換えをして希望される残存確率値まで向上せしむ必要がある。この場合には所要の動作時間に対する希望される残存確率値から必要とする平均寿命値を知り、この平均寿命値の逆数が機器の時間当りの事故率となるよう、機器を構成する素子群の事故率の低下を計らなければならない。このためには必要とところに信頼度の高い素子の使用と冗長構成の導入が考えられることになる。

より詳細に信頼度の解析を要するときには各部品群の各種のものについてその用途に応じて許すべき事故率を与える必要がある。各種部品につき事故率を想定してそれに部品数を掛けるとおのおのの種別別に事故率が求められ、これを機器全体について和を求めると機器の事故率を予想することができる。

このように機器の残存確率、部品の事故率、機器の事故率、目標とする設計レベルの推定はこれらのうちのいくつかと部品の分布とその総数がわかれば計算することができる。

9.4 電子交換機についての見通し

全電子交換機は将来の自動交換機の本命であると考えられる。けれども現在においては最初に決定を要する回路方式についても幾多の問題があり、経済性や安定性が見通しなどはつきかねている。全電子交換機の実現は10年後になるだろうとは権威者の一致した見解である。

将来の電子機器は今までより小形かつ複雑となり機能的要求もより精密になると考えられる。部品も大きさおよび構成がまったく異なるものとなり、温度に対する要求も厳密となりより広い温度範囲で特性の安定である部品が要求されるものと推定される。

L, C, R 部品は大きな出力を必要としないところにはまったく変わったものが使用されるであろう。新しいアクティブ素子を回路にとり入れるために新しい回路の考え方が用いられるであろう。遮へいなどのためにかさばらぬ材料が要求され、これを解くために変わった技術が使用されることになるであろう。

トランジスタなども現在は草創の時代であって極小に小形化されるであろう。トランジスタの寿命も今の数十倍となり、希望するおりの機能を出す固体電子装置が出現するであろう。

10年後には以上の予想されるものの多くが実用化されてその利用によって機能的にも経済的にも優秀にして信頼できる全電子交換機が出現するものと期待される。

されど技術の進歩は一足飛びに飛躍するものでなく日々の不断の努力の積み上げによる集積によってなされるものである。現在より将来に至る各時点において可能な電子交換方式を仮定し、その時点における部品の信頼度から交換機の信頼度を知り、その交換機と与えるサービスの程度、保守に対する要求、部品の損傷度合などを推定してこれらを向上するにはいかなる方式をいかにするのが最も好ましいかの検討を重ねることによって、最もよい電子交換の方式の決定ができる。また電子化することが有利なところには部分的に電子化を行ない、自動交換機の経済化を計るとともに経験を積み上げよう。

全電子交換機の出現するまえに部分電子交換機および半電子交換機の段階が存在することになる。ただし既設電話網に融合する程度と全電子交換機の出現の時期の見通しとによって半電子交換機の段階は省略されることになるかもしれない。

9.5 自動交換技術からみたシステム電子機器

システム電子機器の典型的のものである電子計算機は方式上計数形と相似形に分類され、用途から計算用と制御用に区別される。アクティブ素子が数十個の小形のものから数万個の大規模なものまである。計算用のものは計算するときに限り使用されるが制御用のものは1時間の休みなく連続して用いられる。したがって用途に応じてそれに適応した機能をもつ電子計算機が存在することになる。電気通信設備ではいつも2台以上を設備して現用と予備を確保して通信の安定を期している。電子計算機では予備装置をおいたほうがよいと考えられる制御用の場合であっても、予備装置の設置を好まぬ慣習がある。したがって電子計算機には異常に高い信頼度が要請されることになる。現在の電子部品を用いて実用的にこの要請に十分に添うことはむずかしいと考えられるが、次の考え方を適用すれば相当の貢献ができると思う。

- (1) 電子計算機に相当数の標準形を作り、それらを必要数組み合わせることで要求される計算機の規模に応ずるようにすること。
- (2) 電子計算機を構成する単一機器の段階で予備の考え方を採ること。
- (3) 単位機器につきその信頼度の予想を行ない必要な箇所、特にアクティブ素子のところに冗長形式の回路構成を取り信頼度を高めること。かつ機器構成の部分ごとに信頼度の平衡をとること。
- (4) アクティブ素子が真空管であるときは真空管の種類を少なくして定期的に真空管の活性試験ができるようにして単位機器の安定を期すこと。アクティブ素子がトランジスタのときはプリント基板の種類を限定してプリント基板の定期試験を可能にすること。

これらができれば定期試験による予防保全で事故の発生が防止せられて電子計算機の信頼性は著しく向上する。なおクロスバ交換機のように機器に異常があれば異常の状況および箇所を指摘するようにすれば申分ない。

10. 結 言

自動交換技術の成長の経過を顧みると最初回路技術に夢中となり次にシステムのことを考えた。このシステムの考慮は回路の観点から出発している。交換を実施していろいろと経験して交換の運営には保守の重要性を痛感した。自動交換サービスを良くするために保守を懸命にやり自動交換機をいつも良好な状態におくために定期試験や標準調整の励行に努めた。自動交換機の品質の向上と自動交換室の環境の改善の必要を知った。品質改善に努力した結果良い交換サービスは自動交換に関係するすべての装置が安定で信頼性が高いときにのみ与えられることを確認し、信頼性からシステムを検討すべきであることを身をもって経験した。これでわれらの自動交換技術は一人前となったのであってその間40年かかっている。

電子機器には比較的信頼度の低い電子部品を使用するため回路技術によってシステムの改善を計るよりほかに方法がなかった。電子機器にも40年の歴史はあるが信頼性を要請するシステム機器としての発展が遅れているのはこの理由によるのではなからうか。されど現在システム電子機器である自動制御、オートメーション、電子計算機などの装置の完成が急がれている。これに十分応動するためには自動交換で経験したように信頼度からシステムを検討するの措

置が必要であり、おそらくこれが決め手となるのではなかろうか。

すなわちシステムについての信頼度の予算を作りシステムを構成する単位機器ごとに信頼度の試算を行ない試算の結果が予算に合致するまで設計を吟味する。機器が完成し運用されたときにシステムの信頼度の実算がその予算と一致すればよいのである。

終りに自動交換技術の究極の一つであるいかなる品質の機械がいかなる品質のサービスを与えるか、またいかなる品質のサービスが要請されたときに機械の品質はいかにあるべきかの問題を解くのに大なる貢献をされた日立製作所戸塚工場の山内康平氏とそのグループに深い敬意を払うとともに種々資料を提供された日本電信電話公社に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) 天野利通：自動交換機の保守理論

- (2) 渡辺孝正：電話交換機とその理論（共立社）1951
- (3) 渡辺孝正：自動交換機の品質向上の見通し，電気通信，Vol. 15, No. 64, p. 28
- (4) 渡辺孝正：現在自動交換が直面する諸問題について 電気通信学会誌 1954
- (5) T. P. Preist: The Case for a New Approach to Maintenance.
- (6) 山内康平：自動交換機の信頼度に関する研究 1961
- (7) 山内康平：日立評論第 44 巻第 2 号 1962-2
- (8) 日本電信電話公社 市内電話機器品質改良委員会：A 形上昇回転スイッチ寿命試験成績書 1960
- (9) 池谷，中山：貴金属を用いたワイパ施設 Vol. 11, No. 3, p. 91 (昭和 34-3)
- (10) 日本電信電話公社保全局市内機械課：クロスバ保全状況より抜萃
- (11) G. W. A. Dummer: Electronic Equipment Reliability より引用



特 許 第 261884 号

特 許 の 紹 介



野 上 邦 茂・大 塚 英 次 郎
堀 田 鉄 夫

自 動 電 話 交 換 機

自動電話交換機の局間中継接続において、呼び出す相手局への直通の中継線が全部塞っている場合は、他の中継局を経て、目的の局へ到達せしめるいわゆる迂回中継を行なって、中継線の能率を向上せしめるが、この場合ある統一された番号方式のもとで行なわれるのがしばしばである。

この迂回中継を行なうには、発信局にダイヤルされた番号の蓄積、交換、送出の装置すなわちデレクタ装置を設けて迂回中継の機能を有せしめるのが普通である。しかるにこのデレクタ装置は複雑、高価となる欠点がある。

本発明はこの点を解決するために、末端の下位局にはより簡単なダイヤル番号の識別装置と切替レピータを設置して、上位の局のデレクタ装置と相まって、下位の局にも経済的に上位局と同様な迂回中継の機能を有せしめるようにしたもので、この場合、市外統一番号の採用が可能で、特殊な番号を用いて混乱をまねくことなく、下位局より発する中継線も迂回中継により能率よく使用することが可能である。

一次セレクトの 0 レベルより切替レピータに接続される。切替レピータが捕捉されると、直ちに識別装置を捕捉するとともに、トランクスイッチを経て、対 B₁(981)局発信レピータを捕捉する。次いで発信加入者が局番 963 をダイヤルすれば、加入者のダイヤルイン

パルスは B₁(981)局へ中継されるとともに、識別装置に送られる。識別装置には計数、蓄積回路があり、ダイヤルインパルスの計数、蓄積を行なう。加入者のダイヤルが 963 であれば、近道回線を有する局に対する呼びであることを識別して切替レピータに対して、A₃(963)局中継線を使用する呼であることを表示する。

切替レピータは対 A₃(963)局レピータを捕捉して、対 B₁(961)局レピータを開放する。ここで識別装置は復旧して次の呼に備える。

もし A₃(963)局中継線が全話中であれば、識別装置は切替レピータに対して、対 B₁(981)局レピータに接続される呼であることを表示して復旧する。

切替レピータは、対 B₁(981)局レピータを捕捉したままで通話線を延長する。B₁(981)局ではデレクタ装置があるから、以後の接続はこの局の指示により行なわれる。また加入者の呼が近道回線を有せざる局に対する呼である時は、識別装置においてその識別が行なわれれば、直ちに切替レピータに B₁(981)局に接続される呼であることを、表示して識別装置は復旧する。この場合切替レピータは B₁(981)局を捕捉し続け、以後の接続は B₁(981)局の指示による。

(高 木)

