

■5群 (通信・放送) - 4編 (ノード技術)

2章 電話交換システム

(執筆者：葉原耕平・清野浩一・高橋達郎) [2009年5月 受領]

■概要■

交換技術の宿命 — 三世代同居

本章で扱う「電話交換システム」は近年のインターネットに代表されるコンピュータ通信出現以前の約100年にわたって公衆網という電話社会を築き上げてきたレガシーネットワークを中心とする。これらの技術は、現用されているシステムは既に存在せず、ものによって部分装置が博物館に収められているだけであるのが実情で、現在直接的に手に触れる機会は皆無と行ってよく、その技術の詳細を解説することは無意味に近い。したがって、以下ではそれらのシステムがもつ技術史的な意味を俯瞰的に述べることにする。

まず、技術進歩が激しいなかで交換方式は世代寿命が比較的長い技術の一つであり、過去の歴史のうえに立って次の方式が決められ導入されてきた。そして、国により事業者により事情は異なる。過去数十年にわたって、我が国では交換機の方式寿命はだまかに20年、機器寿命は40年、という長期にわたるのが長年の常識であった。それは技術的にそういう長寿命が実現できたことと、それくらい期間を掛けないと開発面・製造面などでの投資が回収できず、ひいては料金に跳ね返ること、など様々な要因の結果でもあった。

このように過去の方式寿命はだまか20年であったが、その裏で第1号機の導入に先立ってだまかには10年先行して研究開発がスタートした(せねばならない)という事実であった。

「次の20年」を睨み、その導入初期においてあまりに新規(珍奇)でなく、累積のピーク時にもっともフィットし、終末期にはやや陳腐化もやむを得ない、というような方式を策定せねばならない、という困難性が常に存在する。加えて、ことに初期においては既存方式(これは交換機だけではなく、伝送方式、電話機などの宅内機器、それを結ぶ加入者ケーブルなどの特性)など交換機外の様々な条件と整合しなければならない。

このことは、交換機だけではなく周囲の技術(これはまた、過去の交換機と整合をとったものである)に引きずられて過去との整合性を無視できない宿命をもつ。その一方で、これら周囲の技術が陳腐化した折には新しい技術との整合性への道を閉ざすものであってはならない。いわばインタフェースを通してのピンポンである。つまり、瞬間々々のインタフェースを守りながら、かつお互いの技術進歩を妨げない方策が必須である。いわば2~3世代同居であり、過去と未来の両方にオープンでなければならない。

以上がレガシーテクノロジーを支えてきた基本思想であった。いずれにしても、交換機は多かれ少なかれそういう過去を引きずらざるを得ない宿命をもつ。その結果、どの国の交換方式もそれぞれの先祖の血があたかも遺伝子のように引き継がれて現代に生きており、将来もまた現代の影響を受け、引き継ぎながら発展していく宿命をもっているように思われる。併せて、その時々の一寸した判断の差が、後に大きく拡大されることもあり得る。判断の差ということに関連して、交換方式は大システムであるため、その開発も極めて組織的・普遍的であるように思われるかもしれないが、その初期の社会状況、それに対処するときのリーダーの構想なり発想に大きく依存する。

このような視点から以下に我が国の交換方式の変遷を概観する。我が国の電気通信の世界

では、旧日本電信電話公社法、電気通信事業法などで、電気通信に対して「電話の役務のあまねく日本全国における安定的供給」、より具体的には「通信の秘密の保護」、「利用の公平性」、「重要通信の確保」、「通信の安全性・信頼性の確保」などが規定されている。過去の交換技術はこの精神を受けて、常にその時々最新のありながら全国規模（更には地球規模）の通信網全体にわたって安定した性能を実現することに努力が払われてきた。以下、それらを概説する。なお、個々の装置の構造・動作などの詳細は他の成書にゆずる。

■5群 - 4編 - 2章

2-1 ステップバイステップ交換方式

(執筆者：葉原耕平・清野浩一・高橋達郎) [2009年5月 受領]

2-1-1 我が国における歴史

我が国では、1923年9月1日の関東大震災の復興を目的に、同年にそれまでの人手（交換手）を介する手動式交換機に替えて自動交換機の導入を決断した。これによって自動交換による電話サービスの大衆化への道が開けた。ことに電子部品のない時代に機構部品のみで自動接続を実現したことの技術的意義は大きい。しかし当時は、当初設備にかかる費用は約1.5倍を要しかつその供給を外国製造会社に依存せざるを得なかった。それにもかかわらず導入を決断した主な理由は

- i) 構造が簡単であること
- ii) 我が国の需要に必要な量産が可能なこと
- iii) 耐震的構造にできること

更に

- iv) 接続の正確性・迅速性、秘密の確保、言語に依存しない

などで、それまでの手動式に比べてはるかに優れており、運用コストが格段に改善されることが期待されたことであった。

その結果、ステップバイステップ（以下“SXS”と記す）方式が採用されることとなり、技術面の統一を重視する一方式案と競争原理による経済性を重視する複数方式案が検討された結果、英国 ATM 社製のストロージャ式（A形）とドイツのジーメンスハルスケ式（H形）の2方式が導入されることとなり、前者は1926年1月20日に東京の京橋電話局で、後者は1926年3月25日に横浜の長者町局でそれぞれ第1号機が開局された（現在、京橋電話局の跡地である「ホテル銀座ラフィナート」の壁面にレリーフがある（**図 2・1**））。



図 2・1 ホテル銀座ラフィナートにある SXS 交換機を模したレリーフ

他方、国産化の方針が早々と打ち出され、1930年4月1日に東京の中野局が手動からA形に改式されたのをきっかけに全国的に順次国産機が導入された。その後、1987年10月20日に東京相模原の橋本局で運用停止されるまで61年にわたって、大震災の復興のみならず、太平洋戦争で壊滅的打撃を受けた戦後の電話網の復興に極めて大きな役割を果たした¹⁾。一方、2方式並存による不都合さも目立ちはじめ我が国における自動交換機の方式の統一の必要性が痛感されるようになり、日本独自のT形交換機が開発されて、1950年、古都奈良に第1局が設置された。しかし、折悪しく太平洋戦争に突入したことから研究開発は事実上停止のやむなきに至った¹⁾。

2-1-2 技術的特徴

SXS方式は、代表的電子部品であるトランジスタが発明された1948年よりはるかに古い当時の最先端かつ確実な技術として電磁継電器(リレー)、機械的ラチェットなどを組み合わせ、かつ経済性に優れた合理的設計がなされてきた。例えば、A形の代表的スイッチである「セレクトラ」は上昇回転式スイッチで、ワイパと呼ばれる接点組(通話と制御用に2、空塞情報に1)の摺動子が電話機からの到来パルス(ダイヤルされた数字に対応)をもとにリレーと機械的構造によって上昇し、その後半円形かつ水平に設置されたバンクと呼ばれる固定の接点組を摺動していき、空き回線があればそこで停止してスイッチ機能を果たす(図2・2)。通話が終了すればワイパはバンクの他端まで摺動しそこで重力によって下方に落ち、元の位置に復旧する。また、接続動作が完了するとその情報は次階梯の交換機に送られる。このように、送られてくるダイヤルパルス(数字)に応じて接続が一段ずつ後段に伸びていくことから段々式(Step-by-Step)と呼ばれる。

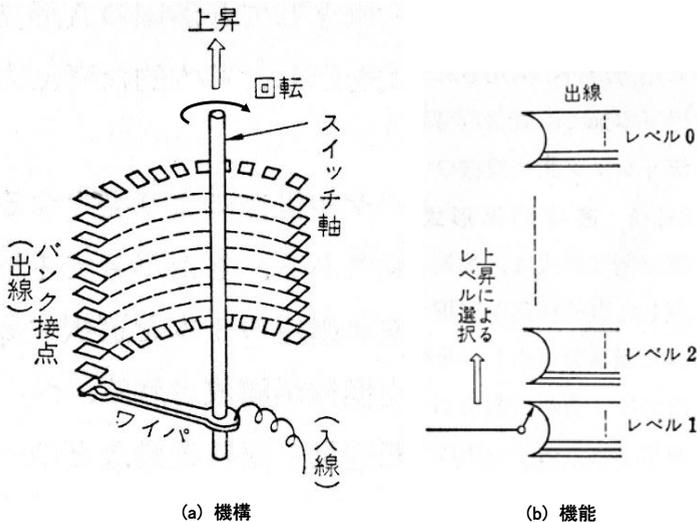


図2・2 上昇回転スイッチ

(出典：秋山，“近代通信交換工学,” p.32, 電気書院, 1973.1.)

なお、A形は簡明さ、H形は巧妙かつ小型性にそれぞれの特徴があるが、細部は成書にゆずれ^{2),3)}、以下に特徴的な事項を記載する。

- i) 「超分散型」である。各ユニットは独立して制御機能と通話路機能を有し、仮に障害が起こっても波及範囲はそのユニットに限られる。各ユニットは制御情報と通話を運ぶ回線(2本)が同じ2本の線を利用する形で構成されており、制御系と通話路系が括りつけ、いわば癒着状態である。一方、スイッチは1ユニットごとに増設・取替が可能であり、後述(2-3節)の電子交換方式の制御系とは対照的な超分散制御形態で、その意味で通信網として頑健でシステム全体としての信頼性は極めて高い。

その反面、

- ii) 出側の回線数(出線数:バンクに設けられた接点組の数)が構造上最大10に制限され、回線使用率を向上させる大群化ができず、また方路選択の自由度が小さい。
- iii) 基本的に2線式構成であり、4線式の遠距離市外回線の交換に向かない。
- iv) 構造上、ワイパがバンク上を摺動していくため、ワイパは適度の弾力性をもち、接点は摩擦による磨耗に強くなければならず、貴金属接点は用いられない。そのため、接続時にも雑音を発生しやすく、音声通信には特段問題はないが、微小電力のデータ通信などには不向きである。接点磨耗の問題もある。

このような事情に加えて戦後の復興期の特事情として大量の架設が要求されながら、部品・材料の性能は現在に比べて劣悪で、これらの克服に多大の努力が注がれた。

- v) 周囲技術との協働

(1) 電話機とのインタフェース

交換機は周囲の諸技術と整合が取れて初めて機能する。例えば、スイッチを駆動する原動力は電話機から送られてくるパルスで、まずハンドセットのオフフック/オンフックによって加入者回線のループが形成(ノ切断)されて電話局側のマイナス48V電源から電流が供給される。そのうえで回転ダイヤルによって断続するダイヤル数字に相当する数のパルスが送られてくる。その速度は10パルス/秒、各パルスの時間幅は約33ms(メーク率1/3)で、ポーズは最低0.65秒である(指止めまで回したダイヤルが数字1まで回転するのに相当する時間)

(図2・3)。更に、ダイヤルパルスの電流値や波形は途中の線路の長さに依存する(加入者線の主な条件は局からの距離7km以下、ループ抵抗1500Ω以下、伝送損失7dB以下)。例えばループ電流は最低32mA(48V/1500Ω)で、リレー回路はこの条件で設計される。上記のような厳しい時間弁別機能を実現するために電磁継電器には様々な工夫が施されているが詳細は省く。このように交換機では加入者線を含む電話機とのインタフェースが極めて重要である。

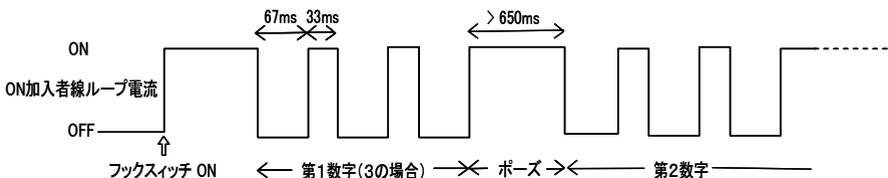


図2・3 ダイアルパルス(ループ電流)の断続

(2) 伝送路とのインタフェース

また、局間においてはスイッチの空塞情報やダイヤル数字などの制御情報（「信号」と呼ばれる）を送受する必要がある、伝送方式との整合も重要である。例えば、近年の PCM 方式においても各チャンネルの 8 ビット中、最後の 1 ビットが信号用に当てられている。

(3) 電源とのインタフェース

ステップバイステップに限らず、交換機の電源は -48 V が基本で、そのため通常 -48 V が供給される線を -L、他方の地気側を +L と表記する。マイナス電源が用いられるのは加入者線（鉛被覆、銅線）が地下埋設される際、周囲から受ける各種誘導妨害（鉄道、電力その他）を防止するためイオン化傾向の差を利用するためである。

(4) SXS 方式以降への遺産例

SXS 交換機とその置局に都合のよい番号方式が今も残っている。例えば、東京エリアにおける時計回りの局番、発信位置による桁数の変更、無効数字の処理など、その後の通信網設計の基礎となっている事項が多々存在する。また、設備数算出にあたり、「アーラン B 式」などトラヒック理論の基礎が発展した。

■5群 - 4編 - 2章

2-2 クロスバ交換方式

(執筆：葉原耕平・清野浩一・高橋達郎) [2009年5月 受領]

2-2-1 我が国における歴史

我が国では SXS 方式を主力とする戦後の復興に続いて、1952 年、電電公社の発足を機に初代総裁梶井剛は公社事業に新技術を導入することの必要性を力説し、伝送路のマイクロウェーブと合わせて交換機にクロスバ方式の導入を推進するよう指示した。

これは当時、電電公社が掲げた二大目標「申し込めばすぐつく電話（積滞解消）」「ダイヤルだけで全国どこにでも繋がる電話（全国自動即時化）」の実現に向けての大方針に基づくもので、SXS 方式では機能的に困難であった。導入機種について様々な議論が行われた結果、第 1 号機として米国クロッグ社からのサンプル輸入機 7000 回線の No.7 方式が高崎局に設置され、1955 年 9 月に開局したが、その後、同じく米国のウェスタン形のクロスバスイッチ、ワイヤスプリングリレーを主要部品に用いることを決定し、国産で最初のクロスバ市内自動交換機が 1958 年、東京の府中局と埼玉の蕨局で開局した。

その後、特に上記二大目標に向けて最もふさわしい方式の研究開発の結果、初期の C4・5、C8、C6 など多くの経緯の後、最終的に特に経済性に優れた大局用市内交換機 C400 形交換機、市外交換機 C82 形交換機、C63 形交換機などに結実した。C400 形交換機第 1 号機は 1967 年 4 月に銀座局で 2 万端子を擁して開局した。また、数千端子規模の中局用 C460 形交換機、更には全国 4000 を超える小局の自動改式（手動局から自動局に更改）のため最大 100 回線の C1、最大 1000 回線の C2 も開発された。なお、C400、C82 などの大局は電電公社（技術局、通研）と製造会社 4 社（日本電気、日立、沖電気、富士通）で共同開発された。また、小局用は規模が小さいことから C1 は沖電気、C2 は日立がそれぞれ単独で製造した。いずれも使用技術はクロスバ全体に共通であった。

以上のような経緯を経て、クロスバ交換機は大々的に全国導入されて当初の二大目標の達成に大きく寄与し、加入電話の積滞解消は 1978 年、全国自動即時化は 1979 年にそれぞれ達成された。高崎に第 1 号機が誕生してから 20 数年が経過していた。更に、これらクロスバ交換機はその性能、経済性、小スペース性と相俟って、世界の名機と賞賛され、輸出市場でも大きな実績をあげた。しかし、クロスバ交換機も 1995 年 3 月 24 日、木城交換所（九州）で最後の運用を停止し、次の電子交換へと世代交替していった。

2-2-2 技術的特徴

ここでも細部は成書にゆずり、大局的な動向を中心に述べる。クロスバ交換機の技術的特徴は、まずは SXS 式交換機の欠点の裏返しである。

(1) 出線数の制約の解除

まず、通話路にはクロスバスイッチが用いられる。クロスバスイッチはマトリクス状に配置されたスイッチ群で構成され、縦方向を指示する情報 x と横方向を指示する情報 y によって交点 (x, y) が閉じ、回線 X と Y が接続される。我が国の典型的なクロスバスイッチでは $x = 20, y = 10$ で、これにより 10 組の独立な接点組が構成可能である。

このクロスバスイッチはスイッチを横につないだり、縦につないだりすることにより原

理的にはその縦横の大きさを自由に変えることができ、SXS式では限られていた出線数（最大10）の制約が外れ、大群化効果により、回線の使用効率が向上する。ただし、単に縦横につなぎ合わせるだけでは規模が大きくなると不経済になるため、通常はリンク形式を導入することにより、接点数が少なく効率のよい通話路回路網が構成される。この考えは空間分割形の電子交換機D10でも同じである。

(2) 2線式，4線式いずれにも対応可能

クロスバスイッチでは交点当たりの接点数を3，あるいは6とすることにより，2線式（3個の場合），4線式（6個の場合）いずれにも対応できる。これにより，伝送路が2線式の市内交換用にも，伝送路が4線式の市外交換用にも使用可能で，遠距離を含む全国網への展開が極めて容易となった。

(3) 接点磨耗問題の解消

クロスバスイッチではSXSと異なって摺動個所がないため接点磨耗がほとんど生じない。そのため，接点には貴金属が使用でき，長寿命であるうえに雑音も発生しない。また，制御回路にはワイヤスプリングリレーと呼ばれる継電器が用いられるが，この接点も同様である。

以上はSXSの欠点の裏返しとしての特徴であるが，そのほかに以下のような特徴があげられる。

(4) 上記リンク構成による大規模な通話路

(5) 共通制御の採用

SXSでは個々のユニットスイッチ単体で必要最小限の制御機能をもっていたが，裏を返せば制御機能は個々のスイッチの範囲に限られていた。これに対し，クロスバでは交換機全体で共通使用する制御装置を設け，これによって個々のスイッチではなく通話回路全体を見通して適切な接続動作が行えるようになった。制御装置（主力はマーカと呼ばれる）はその処理能力の関係で複数個が設置され負荷分散が図られる。詳細は成書にゆずる¹⁾⁴⁾。

2-2-3 電話網基本計画と課金方式

クロスバ方式導入の大きな目的の一つは全国自動即時化であった。そのためクロスバ方式の計画的・効率的・合理的に導入を進めるため，その開発と平行あるいは先行して精力的に検討された「電話網基本計画」に触れておかねばならない。電話網基本計画は1956年に骨格が発表されて以来，その後の技術進歩と需要動向に応じて逐次改訂が図られ，全国電話網整備を目的とした「第2次5カ年計画（1958～1962年）」中に，番号計画，料金体系や課金方式も含めて完成し，これに従ってクロスバ交換機が大量に導入設置された。

この「電話網基本計画」策定にあたっての極めて重要な要因の一つは課金方式であった。課金については明細課金が可能なCAMA（Centralized Automatic Message Accounting）も有力候補であったが，当時の事情として開発に時間がかかること，経済性に難点があること，導入にあたって既存のネットワークの変更が大きいこと，などで見送られ，帯域時間差制が採用された。これは発明者の名前からカールソン法（K方式）とも呼ばれ，帯域すなわち相手との通話距離に応じて定められた一定周期ごとに度数計に登算していく方式で，距離と時間の両方を加味した課金方式である。

K方式では通話相手との距離に応じて課金パルスの間隔を変えるため、それを可能とするネットワーク構成と課金パルスを発生する装置が必要である。そのため、全国を562のMessage Area (MA)と呼ばれる単位領域に分割し、それら相互の距離を課金時間の基準とすることになった。そしてMAごとに市外局番を割り当て、そこに集中局 (Toll Center : TA) と称する市外交換機を設置する。これらTAの下位には全国で数千のEO (端局 : 加入者交換機) が属している。加入者交換機では相手番号の頭に市外通話であることを示す“0”を検出すると直ちに上位のTAに接続を伸ばし、そこで次の市外局番数字を受取って相手局を識別して所要のパルス間隔を決定し、それらを下位の加入者交換機に送ることにより加入者交換機の度数計で登算を行う。

このように効率的課金のためTAを設置することを基本とし、更にトラヒックの効率的流通、伝送路を含めたネットワーク全体の効率的使用などを狙いに、「電話網基本計画」では交換機の局階位を総括局 (RC : 全国で8局 ; 札幌, 仙台, 東京, 金沢, 名古屋, 大阪, 広島, 熊本), 中心局 (DC : 81局), 集中局 (TC : 562局), 端局 (EO : 数千) の4階梯とするなどが具体的に策定された。このとき定められた番号方式の基本は現在も踏襲されている。

このように、クロスバ方式は自動即時電話網の根幹をなすネットワーク構成のベースを確立した、という意味でも極めて重要な役割を果たした。「電話網基本計画」は我が国の所産として世界に冠たるものであった。

2-2-4 新サービスの胎動

クロスバがそれまでのSXSと大きく異なる点の一つに「信号方式」があげられる。

(1) 加入者線信号方式

SXSではスイッチはダイヤルパルスで直接駆動されるため、回転式ダイヤルによるパルス信号が必須であった。これに対してクロスバではダイヤル数字を受信する専用装置 : 発信ダイヤルトランク (ORT : Originating Register Trunk) が設けられ、発呼があるとその都度このORTに接続してダイヤル数字を受信する。このORTにはそれまで同様のダイヤルパルス用のDPORTのほかに音声帯域を利用したダイヤル情報を受信するPBORTも設けられた。これによって加入者からのダイヤル情報はダイヤルパルスの束縛がなくなり、プッシュホンの導入が可能となった。

(2) 局間信号方式

SXSでは上位局あるいは隣接局など交換機相互の信号は通話用とは別の第3線で電流のオン・オフで送られていたが、クロスバになって以来、信号用のチャンネルとして音声帯域 (0.3~3.4 kHz) の外側の3.85 kHzを用いて所用の情報を送受する方式となった (帯域外信号方式と呼ばれる。この3.85 kHzは搬送回線での隣接チャンネルの中間にあたる周波数である)。なお、実際に信号を送受するには更に様々な条件が要求されるがここでは割愛する。

(3) 新サービス (付加サービス)

クロスバ方式が導入と歩調を合わせたプッシュホンの導入により、1~9, 0の数所情報のほかに“*”, “#”を組み合わせて多様な情報を作り出す道が開けた。その結果、座席予約

システムなど従来の電話を超えた、あるいは電話に付加したサービスが可能となった。サービス種目などの詳細は割愛する。

■5群 - 4編 - 2章

2-3 電子交換方式

(執筆：葉原耕平・清野浩一・高橋達郎) [2009年5月 受領]

2-3-1 我が国における歴史

2-2-1 節に述べた当時、電電公社が掲げた二大目標はクロスバの大々的な導入によって1978～1989年に達成され、電話社会が完成した。その次に来るべきものは、電話を超えた様々な新サービスとネットワーク運用の更なる改善であった。クロスバ時代にはすべての論理が布線論理で行われていたため、例えば、電話網の拡充に伴い新しい相手局が誕生すると、その都度ルーティング(回線の伸ばし方)、課金情報設定などのために、新たな布線を行わねばならず、膨大な作業を必要とした。料金改定の際も同様で、全国レベルで間違いなく実施するまでには何か月というかなり長期の時間を要するのが実情であった。

このようなクロスバに代表される布線論理をベースとする交換技術を脱却するものとして登場したのが電子交換方式で、1960年代半ばくらいから世界各国で研究開発が開始され、我が国では当時ようやく実用に近付いていたコンピュータ技術を駆使し、そのプログラムで交換機能を果たす「蓄積プログラム制御方式：SPC (Stored Program Control)」技術を積極的に研究開発することとなった。そのきっかけは1963年1月にベル研がNo.1 ESSを発表し、「蓄積プログラム制御方式」の実現性を具体的に示したことにあった。

すなわち、1964年、電電公社で組織的な研究開発が開始され、通研の実験機DEX-1、DEX-2などの経験の後、まずDEX-21と呼ばれる商用試験機が東京霞ヶ関局に設置されて電電公社本社内電話約2000台を収容して1971年12月10日にサービスを開始した。このときはこの交換機によってテレビ電話による記念三者通話を実施するなど、新時代を象徴するイベントも行われた。その後、更に改良を加え商用機名をD10と改称して1972年の東京銀座、同淀橋、大阪船場、名古屋広小路の4局がサービスを開始し、以後順次、全国規模に拡大された。

このD10は通話路に小型クロスバスイッチを用いた空間分割形で、その基本思想はクロスバ時代と同じである。それに対して制御方式は交換専用のコンピュータで、全面的にソフトウェアによる「蓄積プログラム制御」を開発導入した。この専用コンピュータは所用の容量(典型的には4000アラン)の通話路を1台で制御可能な能力を有していた(ただし、信頼性確保のため二重化など必要な信頼度対策が施された)。

また、このD10は若干のハードウェアとソフトウェアを変えることにより市内・市外(中継)交換機いずれにも使用可能であった。また、独立した中規模の局用に一回り小振りなD20、更に小規模局用にD30も開発導入された。合わせてD10シリーズとしては遠隔制御技術によって一組の制御装置によって都市域でも地理的に離れた場所にある複数の通話路を制御するD10-R1、-R3と呼ばれる機種も開発された。こうして我が国の電子交換方式は大局用にD10、中小規模にD20、D30、D10-R1、-R3というファミリーを構成して効率的に適用されてきた。ただし、R系統は諸般の事情で大量導入には至らなかった。

いずれにしても、これら電子交換機の導入により、交換機能の改変(ルーティング、課金、新サービスへの柔軟な対処など)が主にソフトウェアの変更・追加で容易に可能となり、通信網全体の効率化・柔軟性に大きく貢献してきた。更に、D10ファミリーでは新サービスへの対応が容易で、当時電電公社が標榜していた電話網のうえに各種の非電話系新サービスを

重畳する「総合通信網構想」に向けて大きな役割を果たした。また、自動車電話をはじめとする移動通信などは、電子交換の導入で初めて可能となった。

これらの電子交換機はその後も技術の進歩を取り入れながら改良を加えられてきたが詳細は省く。その後、伝送路のデジタル化 (PCM 化) も大きく進展するに及んで次のデジタル交換機にバトンタッチしていくこととなるが、この間、約 950 ユニットの商用に供され一大時代を画した。

ここで特記すべきことは、通研において空間分割形通話路の DEX-1 と平行して時分割形通話路をもつ PCM 交換実験機 DEX-T1 などが試作されデジタル通信への大きなステップを踏み出したことである。この実験機はトータルシステムとして世界に先駆けたもので、ここで得られた技術成果は CCITT などの場を通して世界に広く貢献した。しかし、当時はまだ IC もない個別部品の時代で、システムとしては経済性に難点があり、このときの技術が商用として陽の目を見るには次のデジタル交換機 D60 まで待つこととなった。

2-3-2 技術的特徴

通話路は小型クロスバスイッチ (単位スイッチは 8×8 の大きさ) で、これらを組み合わせることで所用の容量の通話路網を構成することは基本的にはクロスバ時代と同様である。その物理的の大きさはクロスバ時代に比して大幅な小型化を達成し、装置全体の小型化ひいては局舎床面積の大幅縮小に大きく貢献した。これら通話の制御 (接点のオン/オフなど) はすべてプログラム処理により中央制御装置 (CC) からの指令パルスで行われる。プログラムは局状 (加入者、中継など) により、それぞれに開発されたプログラムが記憶装置 (MM) に格納される。

ここではハードウェア、ソフトウェアについて特に特徴的な事項を述べる。

(1) ハードウェア

(a) 小型クロスバスイッチと SMM スイッチ

まず小型クロスバスイッチはそれまでのクロスバ時代に比して小型化を達成し、交換装置全体の小型化ひいては局舎床面積の大幅縮小に大きく貢献した。この目的のため接点材料、接点のばね圧力など小型化に向けて徹底した検討が行われた。また、小型クロスバスイッチに次いで、更に小型化・経済化を図った SMM と呼ばれるスイッチ素子が開発された。

(b) 制御装置

D10 ファミリーでは制御装置は当時平行して発展しつつあったコンピュータアーキテクチャも取り入れた。その典型はデータチャネルの導入である。これによって保守運用に欠かせないタイプライタや各種入出力装置を効率的に動作させることが可能となった。更に、D10-R1 では遠隔局の制御情報はこのデータチャネルと PCM 回線を介して送受された。

(c) IC の導入

通研の実験機 DEX-1 はまだ個別部品の時代であったが、その次の DEX-2 では当時ようやく実用性が見えてきた IC を実用化・導入し、大幅な小型化・コストダウンに貢献した。当時の民生品では交換機などの通信機器に要求される高い信頼性は確認されておらず、通研独自の CSL (Controlled Saturation Logic) と呼ばれる素子を考案し日本電気と共同で極めて高信頼

度の IC を実用化した。このことは我が国の半導体産業の立ち上げに極めて大きな役割を果たした。当時の IC チップのピン間隔について我が国での mm ベースと米国発のインチベースの微妙な違いの克服なども当時ならではのエピソードであった。

(d) 固定メモリ

DEX-1 でのメタルカードメモリ，DEX-2 での磁気ドラムメモリ，D10 でのバブルメモリなど、いずれも通研を中心に研究開発した世界的にもユニークなものであった。

(2) ソフトウェアと状態遷移図

D10 ファミリーでは共通部と機種依存部を組み合わせる形でソフトウェアが構成された。それによって加入者交換機 (LS)，中継交換機 (TS) などほぼ同一構成のハードウェアで実現された。また、全体の大まかの構造は交換処理にかかわる部分と局状に応じた局データ部分、加入者依存の加入者データ部分などを明確に分離してそれぞれ独立に更新できるように構成されている。

ここで交換ソフトウェアの特殊性に触れておく。一般の汎用コンピュータでは入出力機器 (タイプライタ，ラインプリンタなど) はデータチャンネルを介してその入出力動作が制御されるが、当時はデータチャンネルと各種入出力機器のインタフェースは 8 ビットの「IO インタフェース」で標準化されていた。つまり、想定されていた機器数は最大 128 台であった。それに対して交換機は加入者 (具体的には電話機) が入出力装置に相当し、その数は数万に及び、汎用コンピュータの比ではない。なおかつ、これら端末 (電話機) は加入者習性に応じて時には勝手気ままな動作をする (例えばダイヤル途中での放棄)。このような膨大な入出力機器のいわばランダムな動きを相手にするのが交換ソフトで、交換ソフトは入出力制御のかたまりでもある。もう一つの特徴は極めて多岐にわたるタイミングを識別しそれをもとに制御を行わねばならないことである。それはカレンダーのように年単位のものからダイヤルパルス検出のための数ミリ秒のような短いものにまで及び、その種類も膨大である。

このような特殊性から交換ソフトは必然的に独自の構成が必要であった。細部は省略する。

そもそも交換プログラムは交換機に出入りする各種信号 (加入者のオン/オフ，ダイヤル数字，相手局からの制御信号など) をもとに次の動作を呼ごとに逐次的に決定していくところに大きな特徴がある。その結果、交換機では次々にその状態 (State) が変わっていく。通研ではこれを「状態遷移図 (State Transition Diagram)」で表現するという新手法を編み出した。これはその後、CCITT で課題となったシステム記述言語 SDL (Specification and Description Language) の検討に大きく貢献した。

もう一点、特記すべきことは、交換機用のプロセッサを「ソフトウェアセンタ」に設置し、そのままコンピュータとして利用してプログラムの作成・検証を行う仕組みを導入したところである。

(3) 共通線信号方式 (CS: Common Channel Signaling System)

D10 時代の大きな技術的成果の一つに共通線信号方式がある。共通線信号方式は個々の通話路とは分離独立したデータ回線で豊富な信号が送受可能である。D10 世代では交換機が「点 (ノード)」の SPC 化に貢献したとすれば、共通線信号方式はそれを「面」に拡大した

といえる。共通線信号方式自身は CCITT において 1964 年に No.6 信号方式が新課題として研究されることが決まり、NTT は当初から極めて積極的に貢献した。共通線信号方式は豊富な信号伝送能力を利用して逆方向の信号伝送手段を提供するとか将来の様々なサービスのための布石など大きな意義があったが、我が国では当初は経済性などで導入は必ずしも順調ではなかった。しかし、この経験が次節に述べるように通信網のデジタル化に伴い、ISDN に適した No.7 信号方式の導入に大きく寄与することとなった。

このようにして、デジタル交換技術と共通線信号方式は NTT が世界の先進国と踵を接して切磋琢磨した技術であり、1967 年に約 1 か月にわたって日本で初めて大々的に開催された CCITT 関連会合で、時の最もホットな技術として通研見学の折、DEX-T1 と No.6 信号方式の実験が披露され、世界の賞賛を博した。

■参考文献

- 1) 日本電信電話公社, “電気通信自主技術開発史 交換編,” p.47~, Mar. 1976, ほか.
- 2) 電気通信学会編, “通信工学ハンドブック,” 第 8 編, Jul. 1957, ほか.
- 3) 秋山 稔, “近代通信交換工学,” p.32, 電気書院, Jan. 1973.
- 4) 電子情報通信学会「技術と歴史」研究会, “電子情報通信技術史,” 3.2 クロスバ交換機の開発, Mar. 2006.

■5群 - 4編 - 2章

2-4 デジタル交換方式

(執筆：葉原耕平・清野浩一・高橋達郎) [2009年8月 受領]

2-4-1 わが国における歴史

2-3-1節で述べた電子交換システムは蓄積プログラム制御により、フリーダイヤルサービスなどの各種電話サービスの拡充や、携帯電話などの移動通信サービスをもたらし、電話社会が完成した。しかしながら、伝送される情報がアナログ形式のままであり、FAX・データなどの非電話サービスの高速化や低価格化には限界があった。

上記の目的を達成するには通信網のデジタル化が必要である。通信網の主要な構成要素には、伝送システム（加入者線伝送路、中継伝送路）と交換システム（加入者線交換機、中継交換機）がある。通信網のデジタル化は、電話サービスがほとんどを占める時代から、将来のマルチメディアサービス時代を見据えて、長期的な計画で進められた。すなわち、電話サービスのみを対象としてもアナログ方式に対して経済性が損なわれない領域からデジタル化が進められた。

図2・4に示すように、中継伝送路から着手され、次いで中継交換機、加入者交換機、加入者線伝送路と徐々にユーザ宅までデジタル通信路が延びていった。交換機をデジタルに置き換える際に、交換機が収容する伝送路がデジタル伝送路であった場合は、多重インタフェースのまま接続できる。アナログ交換機で必要であった多重/分離装置やCODECが不要になり、一方、アナログ伝送路と接続するデジタル交換機には多重/分離装置やCODECが必要である。多重伝送できる中継伝送路からデジタル化が進んだため、中継交換機からデジタル化が進んだ。

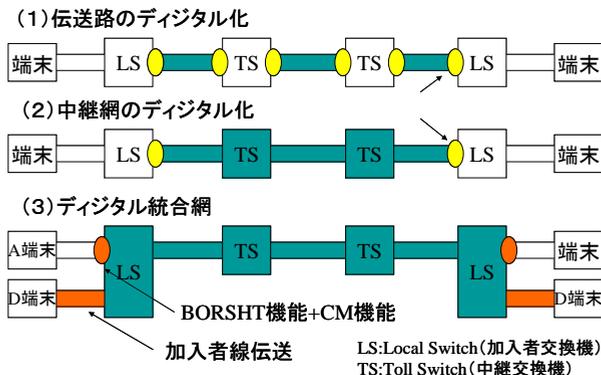


図2・4 ネットワークデジタル化のステップ

また、交換機相互間や交換機・端末間の制御信号に着目すると、交換機相互間の信号は、前章で述べた No.7 共通線信号方式などによりメッセージ化されており、交換機間に信号情報のためのデジタルチャネルを設定するのみでよかった。一方、交換機とアナログ端末（電話機）間の信号には、通話電流供給・呼び出し・ハウラーなどの高電圧の信号が用いられており、高耐圧のLSI プロセスを開発する必要があった。このような技術的な要件からも、中

継交換機からのデジタル化が先行することとなった。

NTTにおけるデジタル交換機の導入は、中継交換機 D60 が 1982 年、加入者交換機 D70 が 1983 年、デジタル加入者線による ISDN（サービス総合デジタル網）サービスの提供は 1988 年である。

2-4-2 中継交換機 D60 の技術的特徴

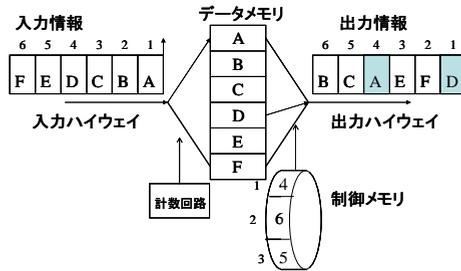
D60 交換機は、それまでのシステムが電磁スイッチ・リレーを主な部品としていたのに対し、LSI を中心に構成されるようになった。LSI の恩恵を最も受けた通話路スイッチの技術を述べる。

アナログ交換機は、空間分割形通話路を採用していた。D10 電子交換機は 8 入力・8 出力のスイッチを 8 段接続する多段リンク方式を採用していた。例えば、214 回線の交換の場合に、1 段のスイッチで構成すると、入出力はそれぞれ 214 で、1 回線当たりのクロスポイント（交叉点）数は 214 となる。通話路系のハードウェア規模はクロスポイント数に比例するといわれており、1 段スイッチでは膨大なハードウェア規模となる。一方、8 入力 8 出力のスイッチを 8 段接続すると、回線当たりのクロスポイント数は 26 で済み大幅な経済化が実現できる。このとき、任意の入力回線と任意の出力回線を結ぶ経路の数は、210 (224/214) 通りある。ある入力回線から接続要求があったときに、出力回線への 210 通りの経路のすべてが使用中であると、内部輻輳となるが、経路の多さによりその確率を減らすことができる。このような多段リンク方式により、クロスポイント数を大幅に削減できたが、それでも電子交換機のハードウェアのなかで、通話路装置が大きな比率を占めていた。

一方、デジタル交換機は、デジタル情報を扱うことにより、動作速度や集積度の技術進歩が著しいメモリなどのデジタルデバイスの恩恵を受け、高性能で経済的な通話路装置が実現できる。デジタル交換機では、多数の回線の 64 kbps 情報を多重化した多重化ハイウェイが通話路装置の入出力となるため、多重化ハイウェイ上の情報の時間位置（タイムスロット）を入れ替える時間スイッチと、多重化ハイウェイ間の同一タイムスロット相互を入れ替える空間スイッチの組合せで、スイッチ網が実現される。両者の原理を図 2・5 に示す。

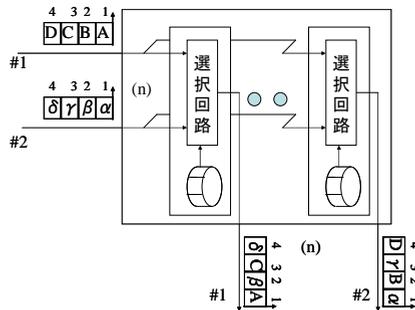
時間スイッチは、データメモリとアドレス制御メモリからなる。入力された情報列は、データメモリのタイムスロット番号と同一アドレスに書き込まれる。一方、読み出しは、制御メモリが指定するアドレスから読み出す。交換機は、新たな通信要求を受け付けるときに、出力タイムスロットを割り当て、その内容をアドレス制御メモリに記憶する。通信中はアドレス制御メモリの内容に従って情報が読み出されるために、通信経路が保持される。空間スイッチは、論理ゲートと制御メモリで構成され、同様に制御メモリで指定される入力ハイウェイの情報が出力される。

時間スイッチと空間スイッチは、1 本のハイウェイに多重化される回線の数が多いほど必要なスイッチの個数が削減できる。しかし多重度の増大とともに、動作速度の高速化が制約になるため、当初の D60 交換機の多重度は 1024 多重であり、214 回線を収容する中継交換機では、時間スイッチが 16 個と入出力がそれぞれ 16 本の空間スイッチでスイッチ網を実現でき、ハードウェア規模とフロアスペースを小さくできた。



◆メモリの読み出し(または書き込み)アドレスにより、時間位置を変える。

(a) 時間スイッチの原理



(b) 空間スイッチの原理

図 2・5 時間スイッチと空間スイッチ

2-4-3 加入者交換機 D70 の技術的特長

加入者交換機 D70 は、アナログ電話加入者と ISDN 加入者を収容する。アナログ電話機は、加入者線信号方式として高電圧・大電力の信号を用いていた。例えば、加入者の呼び出しにはベルを鳴らす必要があり、機構部品で実現される電話機では金属球を振動させる。情報の伝送とは桁違いの大きなエネルギーを加入者まで伝送する必要があった。デジタル交換機では、アナログ加入者用の高電圧の信号処理を加入者回路で実現する。加入者回路が実現する機能は、それぞれの頭文字をとって BORSHT と呼ばれる。

- B：通話電流供給（Battery Feed）
- O：過電圧保護（Over Voltage Protection）
- R：呼び出し（Ringing）
- S：監視（Supervision）
- H：2線4線変換（Hybrid）
- T：加入者試験（Test）

BORSHT 機能の実現のため、高耐圧の LSI プロセス技術が新規に開発された。加入者回路はユーザごとに必要なハードウェアであり、BORSHT の LSI 化はデジタル加入者線交換機の経済化に貢献した。

一方、ISDN は電話をベースとするマルチメディアネットワークとして大きな期待をもって開発された。ISDN は加入者ごとに、電話 64 kbps と非電話 64 kbps の二つの回線交換チャンネル (B チャンネル) と、16 kbps のパケットチャンネル (D チャンネル) を有する。電話と非電話の二つのサービスを同時に利用できるほか、パケットチャンネルは制御信号の送受のほか、低速のデータ送受信にも利用できる。上記の ISDN のチャンネル構成は「2B + D」と呼ばれた。2B + D のデジタル信号の送受信のために、デジタル加入者線伝送が開発された。アナログ電話時代の 2 線メタリック線を利用して、144 kbps の双方向伝送を実現するために、日本国内では時分割方向制御方式 (ピンポン伝送方式) が、欧米ではデジタルハイブリッド (エコキャンセラ) 方式が採用された。ピンポン伝送は、加入者ケーブルでの近端漏話の影響を軽減するため、2.5 ms の周期で交換局内全体で、下り信号伝送と上り信号伝送を時間的に分離している。デジタルハイブリッド方式に比べて高速に伝送するため、信号が高周波帯域に広がり、その後の ADSL 方式の仕様にも影響を与えた。

ISDN は 1990 年代の半ばからインターネットアクセス用に加入者が増加した。しかしその後、ADSL や FTTH などのより高速なアクセス手段の出現により、インターネットアクセスの役割を交替した。ISDN は PHS サービスの収容にも使用された。PHS 無線基地局と交換機との接続に ISDN 基本アクセスインタフェースを使用する。PHS は 1 チャンネルが 32 kbps の高品質な音声通信を実現しており、1 本の ISDN 基本アクセスで三つの PHS 通信チャンネルが提供される。

デジタル交換機は、ネットワークのデジタル化の方針である「将来の ISDN サービスのためにアナログ電話網のデジタル化を進める」という考え方に従って、まずアナログ加入者用のモジュールが開発され、次いで ISDN ユーザを収容するための ISM モジュールが追加され、更に PHS サービスで必要な位置登録機能を追加された。交換機本体は上記の様々なサービスに共通的に使用し、ユーザのアナログ/デジタルの比率の変化に応じて加入者モジュールを追加あるいは置き換え、ソフトウェア機能を追加した。