



## 通信のデジタル化と情報処理\*

廣田 憲一郎\*\*

### はじめに

本講演で通信のデジタル化とかデジタル通信というのは通信設備の立場からの見方である。すなわち伝送される情報がアナログ形であれデジタル形であれ、通信回線上の信号が離散的かつ再生可能な一連のビットストリームの形をとる場合は、これをデジタル通信と呼ぶことにさせていただく。例示すれば、モデム利用のデータ伝送はアナログ通信であるし、逆にPCM 統合網はデータ用はもちろんのこと電話用であってもデジタル通信と定義することにする。

通信のデジタル化は、デジタル情報ときわめて親和性が強く今後のオンライン情報処理に貢献するところが大きいと期待されるものであるが、一方デジタル化の発展自体も情報処理技術の進歩に負うところが多い。本講演では、通信のデジタル化の動向を電話網とデータ網にわけて述べ、最後にその最終形態ともいべき総合サービスデジタル網の考え方にふれる。

### 1. 電話網のデジタル化

#### 1.1 電話網の技術と情報処理技術

電話網を支える諸技術と情報処理技術とは各方面でかなり密接に交流しながら発展してきた。

この関係は、以前は電話主導型であった。例えば、電子計算機の前身であるリレー計算機までさかのぼれば、計算機の論理回路は電話交換機に範をとったものであるが、このことは交換機の分野においてすでに1940年代にブール代数をベースにした回路設計が実用に供されていたことから当然だったといえる。

また、もっぱら電話交換を中心に発展してきたトラフィック理論、網構成理論などは、計算機の大形化・オンライン化に伴い大幅に計算機に採用されるに至っ

たし、半導体技術についてもその始まりは通信用トランジスタであった。

しかし、その後汎用計算機を中心とする情報処理の発展の急速化とともに、通信との共通の技術分野においても情報処理が次第に先導的となってきた。高度な論理回路、高集積回路の分野をはじめとして、トラフィック理論においても多段待合せ理論の発展はむしろ情報処理向けの用途を志向しているなどはその例であろう。特に、電話交換への計算機技術の影響は大きく、1965年ベルシステムのNo.1 ESS以来、蓄積プログラム制御方式の電子交換機が世界的に主流となりつつある。

このように、通信との共通技術がかなり情報処理主導型となってきたのは、汎用計算機の急速な普及が進んでいるためであることはもちろんであるが、他方電話網というシステムがあまりに巨大であり急激な改変が困難という体質に起因するためでもある。ただし一面では、このため共通技術のうち最適化技術や信頼性技術については、依然として通信主導型にあることも事実である。

一方、伝送技術は比較的情報処理と縁遠い分野であったが、本講演の主題であるデジタル化に関しては、電算機の普及に伴う半導体論理素子の低価格化の恩恵を受けるとともに、デジタル化がデータ・画像通信へ強力な武器を与えるとの期待も加わり、その進歩は最近急速である。特に時分割電子交換機との組合せによるデジタル統合網の出現は、今後特に情報処理のために貢献が大きいと期待される。

#### 1.2 交換機と蓄積プログラム制御

1960年代の後半から世界各国において急速に進展している電話交換機の電子化の最大のねらいは、蓄積プログラム制御による機能追加変更の融通性を交換機に与えようとするにある。

ここで機能の融通性を要する理由は、ひとつには電話網の巨大化に伴い、番号変更・料金制変更などのた

\* 情報処理学会第19回通常総会特別講演(昭和53年5月18日)

\*\* (財)未来工学研究所 所長

めの網の全国的改造がハード的には不可能に近くなり、ソフトウェアの入れ替えて対処せざるを得なくなってきたことである。いまひとつは、電話の普及に伴い次々とそれまで予想されなかった機能が要求されるようになったことである。例えば電話自体に限っても、不在時着信の自動転送、各種の移動電話、発信番号の着信側への表示、犯罪電話の逆探知など、いずれも既存交換機では対処しがたいが、交換機をプログラム制御し、若干のフェイル機能を追加し、さらにこれらを共通線信号と呼ぶ信号転送用データ・リンクで相互接続することにより達成される。1例として、図-1は現在交換台経由でのみ接続可能な船舶電話を自動化する方式の概念図であり、最近話題の自動車電話もこれに近い原理で実現できる。

電話網は単に国内網というよりも全世界にまたがる巨大なシステムであり、その広域にわたる有機的制御は容易ではない。しかし上記のプログラム制御技術と共通線信号技術の採用により、網内のどこで輻輳が生じようと、その情報が共通線信号路をとおして制御センターに伝えられ、その結果必要な迂回指示情報が必要個所の交換機に同じく共通線をとおして伝えられ、結果として冗長設備を最小限にとどめてサービス確保ができるといった理想像の実現も期待できそうである。

さらに後述のデジタル統合化が実現すれば、輻輳防止については別の新しい技術の生まれる可能性もある。

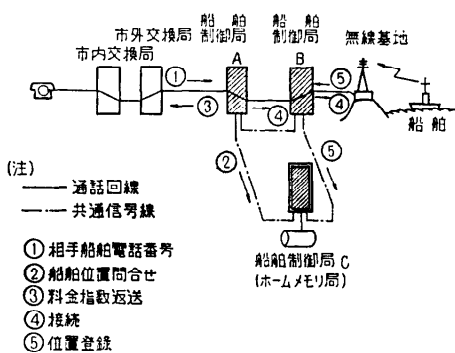


図-1 陸上加入者から船舶加入者への接続

なお、電子交換機本体は汎用コンピュータとちがいが必ずしも大形であることを要せず、電電公社で実用中の電子交換用処理装置も平均命令実行時間2マイクロ秒程度であるが、その反面、信頼性に関しては20年

間にダウン1時間以内を目標としているのがコンピュータと異なる大きな特長のひとつであろう。

1.2 デジタル伝送技術

音声電流をPCM符号化して伝送する方式は、古く1937年A.H. リーブスの発案に始まり、1948年シャノンの情報理論を得て原理的には確立した。しかしこれが実用化するためには、さらに電算機市場を背景とする半導体論理素子の進歩を待つ必要があった。

わが国で1対の針金にPCM符号化した音声24通話の同時伝送を可能とするPCM-24方式が出現したのは、1965年(昭40)である。その後半導体技術の急速な進歩とともに次第に長距離用にも経済的に適用できる諸方式が開発され、すでに市外伝送系の10%はPCM化されている。昨年から実用に入ったPCM-400M(同軸ケーブル用)、20G-400M(準ミリ波用)の両方式はいずれも400メガビット/秒で電話5760通話の同時伝送が可能であり、この多重度は世界に例を見ない。表-1に各種有線伝送方式の諸元を示す。

表-1 各種有線伝送方式

	デジタル方式			アナログ方式 (参考)
	PCM-24	PCM-100M	PCM-400M	C-60M
適用領域	短距離市外 市内中継	中距離市外	長距離市外	長距離市外
伝送媒体	ペアケーブル	標準同軸ケーブル		
伝送速度 Mb/秒	1.5	97.7	400.3	(60 MHz)
伝送容量 電話	24	1,440	5,760	10,800
1MTV	—	15(60)	60(240)	36
4MTV	—	3(15)	12(60)	9

注) 伝送容量の( )はTRIDECによる冗長度抑圧を行った場合を示す。

400M方式は長距離用であるが、同じ目的のアナログ伝送方式C60Mに比し電話の同時伝送数は約半分であり、その限りではPCM必ずしも有利とはいえない。しかし各種のデジタル情報を伝送するとなると表-1に示すようにPCMは格段に有利である。電話1回線をPCMのビットストリームになおせば64キロビットを要するのに対し、逆に電話のアナログ1回線では専用回線でも高々4.8キロビットしか運べないことを考えれば、このことは当然であろう。

従って、データはもちろんのこと、画像情報もいったんこれをデジタル化し目的に応じて可能な限りの圧縮処理を加えデジタル伝送路にのせれば、きわめて経済的な伝送が可能となる。画像情報のデジタル

化圧縮についていえば、すでにかなり普及しているいわゆる1分ファクシミリの諸方式はこの例であるし、このほか動画についても会議用テレビのごとき動きの少ない画面については、原画 64 メガビット (4メガヘルツ相当) の情報が高々 6.3 メガビットで送り得る TRIDEC 方式 (電電公社武蔵野通研) もすでに開発されている。TRIDEC の原理は隣接フレーム間の差分信号をとり、さらにその画素間の差分のみをとり出して伝送するものである。

このような圧縮技術は現状ではなおかなり処理にコストがかかるが、LSI 等半導体技術の進歩、特にメモリの値下りで早晚これが普及し、デジタル伝送回線との組合せで安価な伝送が実現するものと期待される。

1.3 デジタル統合網への期待

PCM 伝送設備により折角デジタル化した信号も、交換機の通話路が在来の空間分割にとどまっている限り、アナログ信号に直して交換せざるを得ず、これではいかにも芸がない。ここで当然登場が望まれるのがデジタル信号をそのままの形で交換する方式——具体的には PCM 伝送路のタイムスロット交換を含む「時分割交換機」——である。

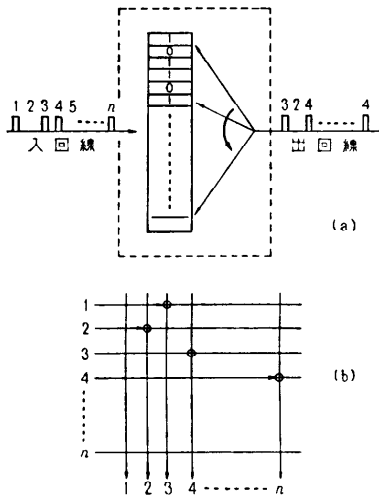


図-2 タイムスロット交換スイッチ(a)と等価な空間分割スイッチ(b)

この発想は 1959 年米国ベル研 H.E. ヴォーン提案の ESSEX に始まり、その後東京大学猪瀬教授らにより改良が重ねられて、今日ではフランスの E10 方式、米国の No. 4 ESS など公衆通信網への部分導入がすでに開始されている。電電公社武蔵野通研においても

1~2 年後には現場試験に入る目標で研究が進んでいる。

しかし現在の電話網では伝送路の圧倒的多数がなおアナログ系であるため、特に加入者線交換機を将来のために時分割化しようとしてもその出入口で A-D, D-A 変換する経費が嵩むのは当面の悩みである。ただし中継伝送路の PCM 化はかなりの速度で進んでおり、しかもデータ伝送や画像のデジタル伝送など新しいニーズが高まるにつれ、少なくとも中継網においては PCM 伝送路のみならずこれらを時分割交換機で結んだいわゆるデジタル統合網は意外に早期に普及しそうである。

しかもこのような統合網には、電話自体を対象としても従来のアナログ網に見られなかった新しい機能を生み出す可能性もある。その 1 例として、仮に電話網の一部に輻輳を生じたときも、既存網のようにトラフィックを制限して利用者を待たせるのではなく、随時に一部回線のビットレートを下げて多少雑音は生ずるにせよ回線数を増やすという方法が実現できるかも知れない。さらに後述の ISDN への発展により公衆網全体としての高信頼化高効率化に大きな期待がよせられる。

2. デジタルデータ網

2.1 新データ網への動き

上述のデジタル統合網は、電話より一步先に、いわゆる新データ網のひとつであるデータ用回線交換網において実現しようとしている。

通信と電子計算機との結びつきについては、昭和 46 年に行われたいわゆる電話網の開放が一時期を画すものであったといえよう。しかし電話網の開放は TSS 利用者など一部の要求を満たしたものの、ひきつづき進歩するオンライン情報処理の要求に本質的に応え得るものではなかった。その理由は、1) 伝送周波数が 3,400 ヘルツに限られ、2) 多中継では位相歪の累加があり、結果としてデータ信号速度の上限は 2,400 ビット/秒程度に押えられること、3) 長きは 10 数秒に及ぶ電話網の接続時間がコンピュータの処理速度と余りにへだたりが大きいこと、4) 使用料金が回線保留時間比例であり運ばれる情報量とはリンクしないこと、などである。

一方電話主管庁あるいは電話会社にとっても、例えば米国に見られるクレジットカード照合呼の集中による電話網の混乱などが次第に顕在化し、電話加入者へ

のサービス確保のためにも何らかの形でデータ伝送専用のネットワークの必要性が次第に認識を高めるに至った。

その具体的な現われが各国における新データ網建設計画と、その相互接続ならびに端末と網とのインタフェース標準化を旨とする CCITT の活動であろう (文献、例えば吉田、松下:「情報処理」Vol. 16, No. 3)。

新データ網には現在のところ回線交換方式とパケット方式の2つの流れがある。利用上の立場からみてこれを輸送手段にとたとえるとすれば、回線交換はレンタカー、パケットはコンテナへの混載であり、さらに専用回線はオーナーカーとでもいえよう。図-3に示すように運びたい情報の大きさと発生頻度に応じて当然使い分けられて然るべきであり、海外の状況をもても国によりいずれの開発を優先すべきか考え方はまちまちである。わが国では電電公社が、明年3月回線交換、同6月パケット交換のサービス開始を予定している。これらの技術内容は、すでに例えば本誌 Vol. 18, No. 9 (1977-9) の高月氏の論文で紹介されているので参照いただくこととし、以下主として通信のデジタル化の観点から新データ網の性格をながめてみたい。

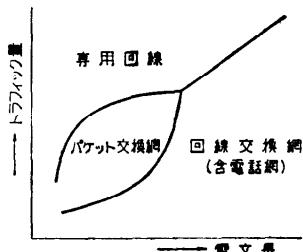


図-3 各種通信手段の適用領域

### 2.2 回線交換用デジタル統合網

先にもふれたように、回線交換方式の新データ網はデジタル統合網の技術そのものに基づいて作られる。

従来公衆網の代表例としては電話網、テレックス網があるが、これらは論理的に利用可能な信号網(論理網と略称)としてはいわば4キロヘルツ網、50ビット網ともいえる「単一論理網」であり、そこに接続されるすべての端末の組合せに対し単一種類の信号電流による情報伝送手段を提供するものである。(図-4)

しかし、多種類の信号速度をもつデータ伝送の分野について、上記と同様の論理網をそれぞれの速度対応で作るのはきわめて不経済である。むしろこれらを何

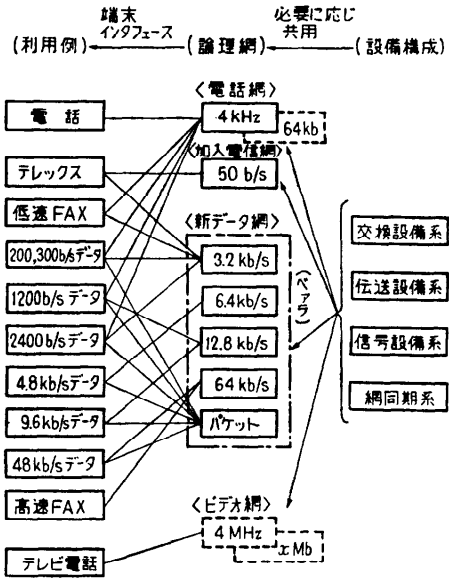


図-4 論理網の概念

らかの形で合体してひとつの公衆網を形成するのが实际的であり、このようにすればデータ速度別の需要の不確定さやトラフィックの群変動が平均化されて使用効率が向上するはずである。

具体的には、通信網の幹線部分を時分割多重化したデジタル統合網とし、その中に図-4に示すような複数の論理網(ペアラと称する高速パルス列)を設け、利用者のデータ信号はその速度に応じ搬送可能な最低速のペアラに収容するものである(図-4には、同じく論理網という意味からパケット網および将来のビデオ網も含めて図示した.)。

デジタル伝送路の中継器および交換点における時分割交換機ではすべてパルス再生が行われるので、多中継による品質劣化はなく、また時分割交換機の高速度から接続遅延は高々1秒程度におさまるなど、電話網利用での品質面の不具合はすべて解消する。

当然のことながら、端末や計算機と網とのデータ送受はデジタル信号で直接行われるので、情報処理側としては親和性が良い。この点は次に述べるパケット網も同様である。

### 2.3 パケット交換におけるデジタル技術

パケット交換は、交換技術の立場からすれば蓄積交換の一種であるが、網内の信号はすべてデジタルとの意味で、広義のデジタル統合網と考えてもよい。元来の発想は、無信号時の空き時間を他の呼に使用し

たいところであり、TSSにおけるタイムスライスの概念を通信網に応用しこれをパケットと称したとしてもよからう。

電話網においても、無通話時の空き時間に他の呼を割込ませて回線使用効率を約2倍にあげる方法は、すでに1950年代からTASIの名前で国際海底ケーブルに用いられているので、その限りにおいてパケット必ずしも新発想とはいいがたい。しかし、電話と異なりデータ通信では若干の伝送遅延が認められることがパケット方式を可能とした理由である。

パケット交換網においては各交換点ごとにパケットの蓄積送出行われるので本質的に多リンク中継による品質劣化問題はあり得ず、仮にリンクがアナログ回線で構成されていてもパケット網の構成は可能となる。もちろんデジタル回線であるにこしたことはなく、その方が伝送コストも安くなる。

パケットに付随する難点は、品質というよりもむしろ伝送路上での混載による情報の混乱を防止するための種々の約束、いわゆるプロトコルである。CCITT勧告X25が生れたのは標準化のための大きな前進であるが、なおその改良拡張作業は当分続くものと思われる。

#### 2.4 新データ網の諸課題

新データ網は、データ通信全般への利用が期待されるが、特に近年構築の進み始めたコンピュータネットワークに対して強力なインフラストラクチャを構成することとなる。この観点から、いわゆるネットワークアーキテクチャは重要な課題のひとつであるが、これは本講演の範囲外とし、ここではその他、新データ網について気付いた2,3の課題について述べる。

##### (1) 網間の相互接続

新データ網の全国的普及には多分長期間を要するものと思われるので、当面既存の電話網・テレックス網と新データ網との相互乗入れは有効であろう。いくつかの組合せのうち、電話網からパケット網への乗入れは技術上もさほど問題がないし需要も多いと思われるので早期実現を期待したい。またテレックス網は、少なくとも技術的には将来相互の親和性が強い回線交換網の中に吸収される可能性もある。

##### (2) 信号処理機能

電電公社の新データ網ではいずれ同報通信・代行受信等の機能が新データ網に付与されることとなっている。必ずしもデータのみに限らず、前述のように画像についてもデジタル化して信号を圧縮すれば伝送路

を有効に利用でき、従って安価に送れる。このような傾向は半導体技術の進歩とともにますます顕著になると思われる。さらにこのような機能を通信網内に与えて共同で利用すればいっそう低廉化が期待できよう。

このほかにも今後いくつかの機能を網にもたせ、いわば通信網のインテリジェント化を図ることは網提供側の課題であろう。この場合、端末と通信網との機能分担をいかにすべきか、国家的に見て資源が最も有効利用できるよう設計するべきは当然である。

##### (3) 回線・パケット両網の統合

両者の交換機能をひとつの交換装置で果す試みはすでに電電公社武蔵野通研でも技術的には成功しており、海外でもこれにならって研究の国が2,3ある。しかし、パケット交換仕様の細部になお流動的なところがあり、また需要が不確定なこともあって、統合が経済的であるかどうか決断しがたい段階にある。

両網の統合というも、デジタル伝送路については両者共通であり、単に交換機の主としてソフトの合体が問題の中心であるに過ぎない。通信網が一般的にそうであるように、この場合も分離統合は総合的な経済性から決定するべきものと考えられる。

### 3. デジタルサービス統合網 (ISDN) の展望

数年前からCCITTにおいてISDN (Integrated Services Digital Network) の研究が盛んになってきた。

今後の公衆通信網を展望すると、電話の圧倒的優位は依然として続くであろうが、一方では情報処理の進歩に対応するデータ通信量の増大、さらには各種画像情報の通信量の増大などに応ずるための通信網の多角的発展が予想される。しかしながら電話以外の多彩な通信はその量的把握がきわめて困難で、多品種少量生産的な性格をもつと考えられ、将来にわたり、そのうちいずれを専用公衆網として形成し得るか予想がむずかしい。

そこでデータ・画像のみならず電話をも含めてすべての通信をデジタル化し、これらをひとつのビット多重網にのせ得たとすれば、通信種別をこえた網利用の相互融通が実現する。前述の新データ網は、当面データ伝送の範囲でのみ相互融通をねらうものであるが、一方ではこれまた先に述べたように電話網自体のデジタル化が進もうとしている。この両者が合体しさらに画像が加われば、あらゆる公衆通信の需要をひ

とつデジタル網で賄い得る「総合サービスデジタル網 (ISDN)」が実現することとなる。この関係を整理したものが図-5である。

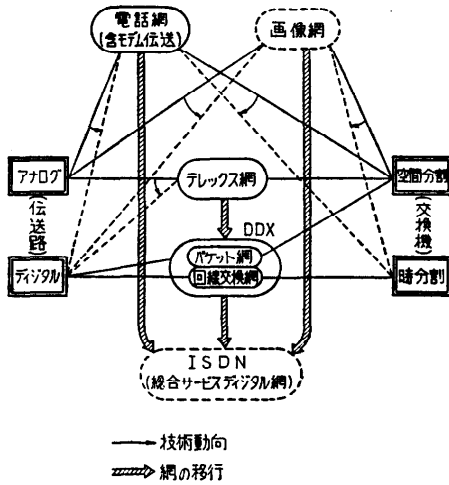


図-5 ISDN の位置付け

ISDN を実現するためには、通信種別に応じて種々異なっている伝送品質・接続品質などの相互調整、網制御のための信号方式の統一、経済化のための A-D 変換装置の低価格化など解決すべき問題は多い。

しかし、これらの問題が解決して ISDN が構成され、さらに多元トラフィック処理技術が進歩して、電話・データ・画像の所要回線量がそれぞれのトラフィック量に応じてリアルタイムで相互融通できるようになったとすれば、きわめて高品質高効率のいわば理想の公衆網の出現といって良いだろう。

現在の通信網はまだ圧倒的にアナログ部分が多く、仮に ISDN が理想であるとしても、その形成は今後かなりの長年月を必要としよう。一般に通信網は、絶えず変化する利用者の要求と、革新をつづける技術進歩とに対応して、常に生成発展をつづける性格をもつものである。特に ISDN の場合、その将来形態は、技術面利用面ともに情報処理の進展に大きく影響されることとなる。