

■5群(通信・放送) - 4編(ノード技術)

1章 ノード技術の概要

(執筆者：清野浩一) [2010年5月 受領]

■概要■

交換システムは、通信ネットワークにおいて、通信の要求が発生した場合に、その要求に従い通信路を設定し、その通信路上に情報を転送する交換機能を提供するシステムである。各端末は交換システムとの通信回線を設置するだけで、他の端末との通信を行うことが可能となり、大規模なネットワークを経済的に実現することが可能となる。

交換システム技術は、24時間365日稼働し続ける信頼性、増大するトラヒックに対応し効率的に通信網を構築していく経済性、更に、様々な通信サービスを実現する高機能性を満足することが求められ、信頼性工学、トラヒック理論、コンピュータ工学、ソフトウェア工学、半導体工学など様々な学問と密接に連携しながら進化を遂げてきた大規模システム構成技術の集大成である。

1926年に我が国初の自動交換機の導入を皮切りに、電磁リレーを用いた機械式のクロスバ交換から、コンピュータ技術を取り入れた電子交換方式、メモリの大容量化や高速な論理素子を採用したデジタル交換方式へと発展した。

また、インターネットの発展を背景に、IPをベースとしたパケット交換技術、VoIP技術と時代の流れに即した技術開発が行われ、近年では、NGN (Next Generation Network) の研究開発が進められ、音声通話以外にも映像配信等のマルチメディアサービスを支える技術へと発展している。

【本章の構成】

本章では、交換システム(1-1節)として、それぞれの時代において、様々なサービス上の要求条件を最新の要素技術を取り入れながら発展してきた技術の変遷について解説する。

■5群 - 4編 - 1章

1-1 交換システム

(執筆者：清野浩一) [2009年4月 受領]

交換システムは、通信ネットワークにおいて通信の要求が発生した場合に、その要求に従い通信路を設定し、その通信路上に情報を転送する交換機能を提供するシステムである。多数の端末が相互に通信を行うネットワークにおいては、すべての端末間をメッシュ形に接続すると、膨大な通信回線が必要になり経済的な通信が行えない。交換システムの導入により、各端末は交換システムとの通信回線を設置するだけで、他の端末との通信を行うことが可能となる。更に、交換システムを複数台組み合わせ合わせた交換網を構築することにより、大規模かつ経済的なネットワークを実現することが可能となる。

交換システム技術は、24時間365日稼働し続ける信頼性、増大するトラヒックに対応し効率的に通信網を構築していく経済性、更に、様々な通信サービスを実現する高機能性を満足することが求められ、信頼性工学、トラヒック理論、コンピュータ工学、ソフトウェア工学、半導体工学など様々な学問と密接に連携しながら進化を遂げてきた大規模システム構成技術の集大成である。

本節では、それぞれの時代において、様々なサービス上の要求条件を最新の要素技術を取り入れながら発展してきた技術の変遷について解説することとしたい。

1890年に東京・横浜間で我が国において電話サービスが始まった当初は、交換手による手動交換であった。1921年には、東京の電話サービスの加入者は77000加入となり、交換手も5000人に達していた。当時の交換手の労働環境は劣悪で、年間の退職者は3000名にも及び、自動交換への切り替えが切望されていた。

そのような折に、1923年の関東大震災からの復興を目的に、時の通信省は自動交換機の導入を決定した。1926年に我が国初の自動交換機が導入された。当時の交換機は、英国製のA形交換機、ドイツ製のH形交換機が導入され（A形は1930年、H形は1934年に国産化）、ステップバイステップ（SXS）方式を採用していた。SXS方式は、発信者の送るダイヤル数字情報ごとにスイッチが順次上昇回転しながら接続を行う方式で、構造が単純な反面、接続動作はダイヤルの情報ごとに一つずつのセレクトが番号をつかんで接続していくというステップの連続であり、接点が摩耗し接続障害が発生するとともに、調整保守が必要という欠点があった。

電電公社の発足を契機に、SXS方式に代わる新しい交換方式として、回転機構を使わずマトリックス状に配置された電磁石がクロスポイント接点を閉じるクロスバ方式の導入を推進した。米国製クロスバ交換機などの試験導入後、市外局用C82形、C63形、市内局用C400形などの国産クロスバ交換機が開発された。1915年にクロスバ機構が発明された際には、SXS方式に比べマトリックス状に電磁石を並べるためコスト的に高かったが、その後、2段のクロスバ機構をリンクフレームで接続する方式が採用され実用化へと結びついた。これらのリンクフレームの発想は、全マトリックスと比較し、少ないハードウェア構成で効率的なシステム構成が可能となり、今日のデジタル交換システムに採用されているT-S-T型のスイッチ構成へとつながるものである。

1960年代には、トランジスタ技術が実用期に入り、コンピュータ時代の幕開けとなっていた。交換システムにおいても、高機能化の流れのなかで、これらのコンピュータ技術を取り入れた電子交換機の開発が行われた。我が国では、DEX方式での試験導入を経てD10形電子交換機として1972年から商用導入を行った。電子交換方式の導入により、クロスバ交換機ではハードウェアの改造が必要な新機能の追加もプログラムの変更により可能となり、サービスの多様性への対応が格段に向上した。また、DEX方式を採用したD10形電子交換機では、接続制御を行う通話路系と呼処理を行う中央処理系が分離したアーキテクチャを採用し、中央処理系はプロセッサ技術の進展に合わせて独自の改良が行われるようになった。このような通話路系と呼処理系（中央処理系）の分離アーキテクチャの発想は、現在のNGN（Next Generation Network）における呼処理用のSIPサーバと伝達レイヤのIPルータというアーキテクチャへと発展している。また、技術的な特徴としては、プロセッサ、記憶装置を含めてデバイスレベルから専用開発され、秒オーダーの発着信制御を数万加入同時制御する高多重リアルタイム処理が可能なフォルトトレラントシステムを実現し、二重化されたプロセッサの故障時自動切り替え・サービス無中断ソフトウェアアップグレードといった、今日の交換ソフトウェア技術の基礎もこの時期に確立された。

1960年代、伝送装置の領域では、デジタル伝送技術（PCM伝送）の実用化が行われていた。従来、信号伝送はアナログ信号を用いており、距離に応じて途中で混入した雑音は中継するたびに累積し、長距離伝送の課題となっていた。これらの課題を解決する方式として、音声信号をサンプリングにより符号化しデジタル伝送する技術が開発され1960年代伝送装置に用いられていた。交換システムでは、当時のD10形電子交換機は、中央処理系は最新のコンピュータ技術を駆使した構成であったが、通話路系は、基本技術はアナログ信号を用いたクロスバ技術を採用していた。耐雑音性の高いデジタル伝送技術を交換機へ取り込むには、時間多重された信号をメモリへの書き込み・読み出し制御により信号を並び変えることで交換動作を行うため、大量なメモリと高速な論理素子が必要であった。我が国では1982年にD60形自動交換機、1983年にD70形自動交換機が実用化されたが、当時の最新の集積化技術を駆使して、加入者回路用アナログインタフェース、時分割スイッチ、呼処理プロセッサ、メモリ、信号処理装置用など数多くの通信用途向けのデバイスが新規開発され、その技術は通信分野以外の技術発展にも大きく寄与した。

1980年代になると様々なサービスを統合したISDN（サービス統合デジタル網）の議論が活発となり、1984年ITU-T（International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector：国際電気通信連合）でISDN基本インタフェースの仕様が標準化された。我が国では、1988年からINS 64サービス、1989年からINS 1500サービスが開始された。交換機としては、D70形交換機にISDN用の信号処理装置を付加したISDN用交換機（ISM）が開発された。

コンピュータ技術の進化とともにコンピュータ同士を通信回線を介して接続し、データ通信を行う試みがなされ、後のインターネットへ発展するARPANETが1969年に米国で稼働を開始した。これらのコンピュータ間通信は、メッセージを規格化したデータブロックに分割し転送するためパケット交換と呼ばれ、1976年にはCCITT（Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique：国際電信電話諮問委員会、現ITU-T）でパケット交換インタ

フェースとして X.25 が標準化された。日本では、1980年に DDX-P としてパケット交換をベースとしたデータ通信サービスが開始された。交換機としては、D10 形交換機の中央処理装置を用いて、D50 形パケット交換機が開発された。パケット交換機は改良を重ね 1985年には D51 形パケット交換機が開発され、高速なパケット処理カードを専用バスで接続したビルディングブロック構成をとり、保守運用系プロセッサは二重化、パケット処理プロセッサは $N + 1$ 重化という現在のキャリア向けのハイエンドルータのアーキテクチャと比較しても見劣りのないシステム構成を実現した。

これらのパケット交換技術は、通信プロトコルの進化とともに、フレームリレー (FR)、ATM (Asynchronous Transfer Mode) と新たなサービスに対応するとともに、高機能化・高性能化を遂げていった。特に、ATM では、従来のパケット交換の弱点である可変長データをメモリに書き込み・読み出す処理に起因したパケット処理性能の限界から、固定長セルによるハードウェア処理化を実現し、飛躍的に処理性能の向上が図られた。1995年に商用に供された ATM ノードでは、パケット処理プロセッサは、中央部に配置されたスイッチ機構に接続され、収容回線数に応じて増設されるビルディングブロック構成を採り、今日のパケット交換ノードとしてのアーキテクチャが確立した。また、ATM における特徴的な技術としては、マルチサービスを実現する交換技術として様々なトラフィックコントロール技術が発展し、実トラフィック観測に基づく規定外トラフィックのレート制御や QoS (Quality of Service) に基づくパケット優先制御技術が進展した。これらのトラフィックコントロール技術は、IP (Internet Protocol) の技術と融合し、今日の NGN を支える重要技術として発展している。

その後、1990年代後半には、電話サービスとデータ通信サービスを統合したノードシステムとして、アナログ電話、ISDN、FR、ATM サービスなどの各種のサービスを共通のプラットフォーム上で展開できるように、統一のアーキテクチャによって構築し、ハードウェア、ソフトウェアとも部品の共通化を図るとともに、プロセッサ、メモリなどの部品は、コンピュータ技術の発展とともに交換システムの要求レベルに応じて汎用技術を積極的に採用し、経済性、拡張性の高いシステムへと発展した。

交換機の発展とは独自の進化を遂げたのがルータで、ARPANET で当初ルータ機能を持ったのは、汎用コンピュータ上でのプログラムであった。インターネットの登場以降、ADSL や光ファイバなどのブロードバンド回線による高速の通信サービスが主流となってきており、ユーザ当たりの通信帯域はかつてない速度で増大してきている。1990年代から従来のソフトウェアによる制御からパケット処理専用のハードウェアを搭載した製品群が商用化され、パケット転送性能(公称値)も10年弱の間に約10万倍もの性能向上が図られてきた。現在では、テラビット級の超高速 IP ルータシステムが実用化され、ブロードバンドアクセスサービスの普及やインターネット上での映像サービスにより通信トラフィックが継続的に増加していくなかで、高速かつ経済的な通信ネットワークを実現する基盤となっている。

また、IP 技術を使った音声通信として、VoIP 技術が開発され、我が国では 2002 年に VoIP サービスが開始された。VoIP では、音声信号は IP パケットで転送されるため通話路系装置は、IP ルータが担うことになるが、発着信制御を行う呼制御機能は、SIP などのセッション制御プロトコルを処理する SIP サーバで行われ、汎用サーバや汎用 OS 上で電話交換機で

培ったアプリケーションソフトウェア技術が適用されている。

上記のインターネットの発展を背景に、近年、NGN の研究開発が活発に進められている。NGN では、既存の電話サービスを、柔軟性かつ経済性という長所をもつ IP ネットワークへ移行していくことを目指すとともに、音声通話以外にも広帯域な映像を用いたマルチメディア通信サービスに加えて、IP-TV やインターネット接続を含めたトリプルプレイサービスなど、多彩な IP サービスの実現を目指している。2008 年には NGN の商用サービスが開始され、インターネットの短所と指摘されている QoS・信頼性・安全性について、安価な IP 技術に交換システムで培われた高信頼化技術や ATM で培われたトラフィック制御技術が組み合わせられ、電話網並みの品質を満足するネットワークを実現している。また、様々な機能が付加され、新たな通信インフラとして発展していくことが期待されている。

通信サービスを提供するうえでの信頼性・経済性・高機能性を実現するためのシステム構成技術は、ベースとなる技術が『電磁リレーを用いた機械式のクロスバ交換から、PCM サンプリングと時分割多重によるデジタル交換、IP パケットによるパケット交換』と変わっても普遍のものであり、今後の交換システム技術も周辺の最新技術を取り込み発展していくであろう。

■参考文献

- 1) 城水元次郎, “電気通信物語,” オーム社, 平成 16 年 5 月 15 日.
- 2) 千葉正人監修, “改訂デジタル交換機方式,” 電子情報通信学会, 平成元年 8 月 10 日.
- 3) NTT 技術史資料館, <http://www.hct.ecl.ntt.co.jp/>
- 4) BB Watch, “年表で振り返るブロードバンドの歴史,” (第 1 回: 通信・回線編)
<http://bb.watch.impress.co.jp/cda/special/16691.html>
- 5) BB Watch, “年表で振り返るブロードバンドの歴史,” (第 3 回: サービス編)
<http://bb.watch.impress.co.jp/cda/special/16721.html>