

広帯域ISDN向けATM交換システム

ATM Switching System for B-ISDN

B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network: 広帯域サービス総合ディジタル網)の通信方式であるATM (Asynchronous Transfer Mode: 非同期転送モード)は、音声・低速データから映像・高速ファイル転送に至るマルチメディアを統合して通信を可能とするものである。B-ISDNの通信ノードにあたるATM交換システムは、このような多彩なサービスに対応する構成をとる必要がある。

日立製作所でも、これら背景を踏まえ、ATM交換システムをB-ISDN対応交換システムとして位置づけ、システム構成上キーとなる大容量化に適した完全分散アーキテクチャ、通信品質の維持とネットワークの使用効率の向上を同時に図るトラヒック制御方式、あらゆるメディアに対応できる共通バッファ形式スイッチなどの技術を開発した。

田辺史朗* *Shirō Tanabe*
小崎尚彦* *Takahiko Kozaki*
川北謙二** *Kenji Kawakita*
大槻兼市*** *Ken'ichi Ōtsuki*

1 緒 言

近年、通信ネットワークの研究・開発は、ユーザーが扱うメディアに依存しない統一インタフェース網を構築することを目的に進められ、64 kビット/sを単位とするディジタルコネクションを標準インタフェースとするN-ISDN (Narrowband Integrated Services Digital Network: 狭帯域サービス総合ディジタル網)がすでに実用化されている。しかし、N-ISDNは既存網をベースとして出発したため、チャネル速度、通信スループットに大きな制限があり、映像会議、CATV (ケーブルテレビジョン)、LAN間通信などの広帯域通信には対応できない。そこで現在は、N-ISDNの次世代ネットワークとしてB-ISDN (Broadband ISDN: 広帯域サービス総合ディジタル網)の検討が各研究機関で活発に行われている。中でも、150~600 Mビット/sの高速な通信速度を提供し、音声・データ・映像などのマルチメディア通信を可能とするATM (Asynchronous Transfer Mode)方式がその中核であり、CCITT (国際電信電話諮問委員会)では、1990年に基本勧告で合意に達しており¹⁾、1996年までには詳細勧告をとりまとめる予定である。

日立製作所ではこれらの動向を踏まえ、ATM交換機をB-ISDN対応交換機として位置づけ、すでに端末を含めた実験システムの開発を完了している。

本稿では、広帯域ISDN、およびATMの概念を紹介した後、

ATM交換機のキー技術であるシステム構成方法、トラヒック制御法、およびスイッチ方式について述べる。

2 広帯域ISDNの概念

2.1 目的とアプリケーション

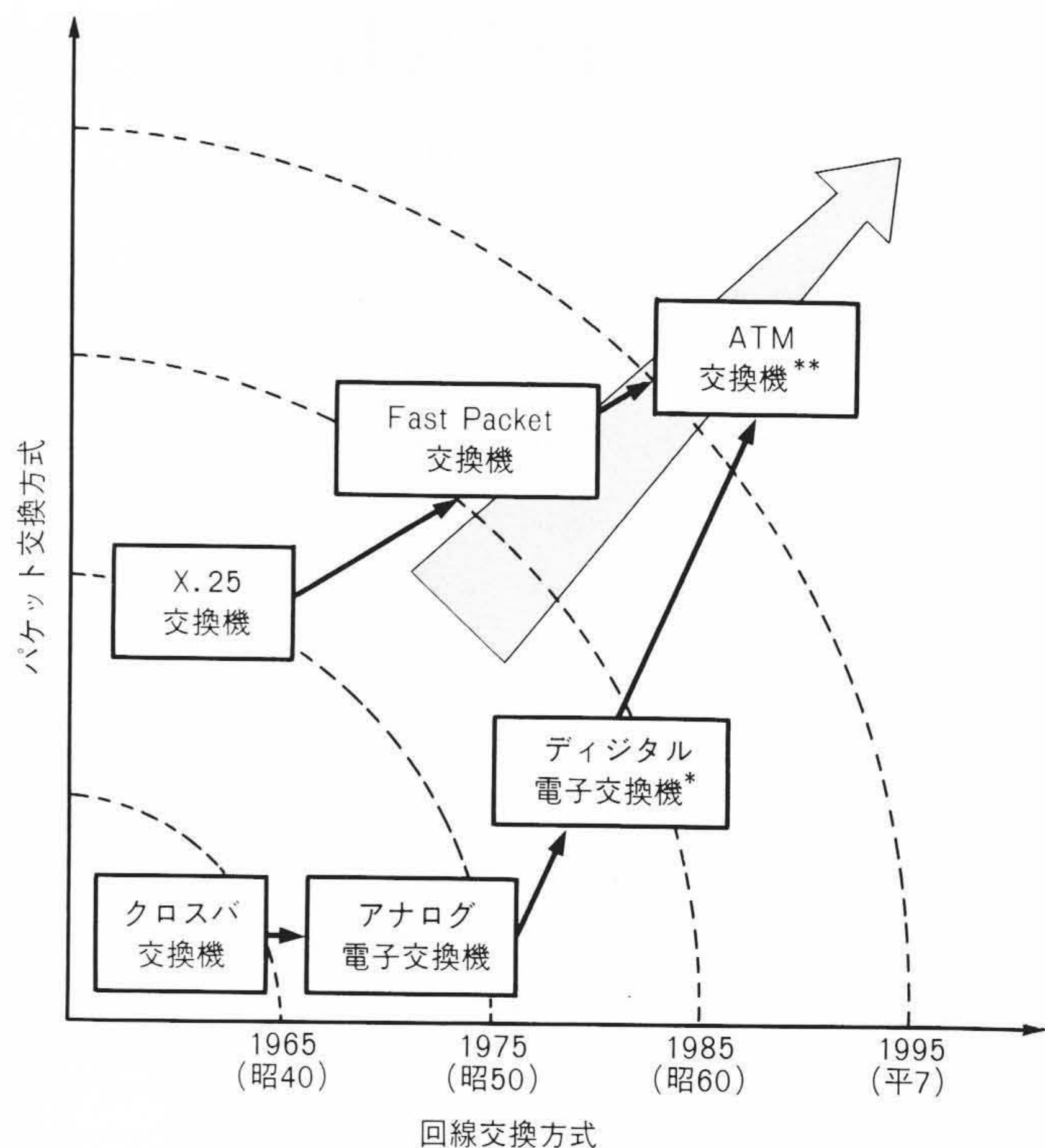
電話を中心とする有線通信、テレビジョンなどの放送を含めた通信の発展トレンドには、マルチメディア化と広帯域化の二つの流れがある。マルチメディア化は、当初の電話アナログ網からN-ISDNにみられる音声・データ・圧縮画像という複数メディアを統合する形態へ進んできている。また、広帯域化については、放送分野でみるとラジオからテレビジョン、さらにはHDTV (High-Definition Television)と常に広帯域化の努力が払われている。B-ISDNの目的は、マルチメディア化と広帯域化という二つの流れを統合するサービスを提供することにある。現状のテレビジョン放送を越えるB-ISDNの魅力は、多チャンネル化、高精細化であり、HDTVだけでなく、将来の超高精細映像、三次元映像時代にも対応することにある。データ通信でも、高速化が要求されるCG (Computer Graphics)通信、遠隔CADなどが可能となり、さらに、高精細人物像、高品質な音声を加えた多地点マルチメディア会議も対応できる。

* 日立製作所 中央研究所 ** 日立製作所 システム開発研究所 *** 日立製作所 戸塚工場

2.2 ATM交換技術

B-ISDNを支えるATM交換技術について以下に述べる。従来の交換方式は回線交換とパケット交換に大別され、音声に代表されるリアルタイム情報の通信には回線交換が用いられ、回線の効率化が要求されるデータ通信にはパケット交換が用いられている^{2),3)}。交換システムは、図1に示すようにそれぞれの方式に沿って独立に発展を遂げ、近年は、マルチメディア化・広帯域化を目指し、互いの長所を取り込む技術が研究され、システム化されてきた。ATM方式はこれらの技術を統合し、音声、映像、静止画およびデータを含む情報を高速(150 Mビット/s・600 Mビット/s)、かつ同一インタフェースで伝送交換する方式である。本技術は、高速デバイスの発展、中継回線のデジタル化など整備されたインフラストラクチャを背景に実現されたものであり、以下、図2に基づきその特徴について述べる。

回線交換方式は、端末相互間の情報をタイムスロットに割り付け、タイムスロット単位で交換する。したがって、すべての情報速度を特定のチャネル速度(64 kビット/s, 384 kビット/sなど)に合わせる必要があり、ネットワークの使用効率は向上せず、マルチメディア通信網の経済的構築は困難である。一方、パケット交換方式は、パケットごとにヘッダ中のあて先や伝送路の空きぐあい等を判断するなどの複雑なソフトウェア処理が必要であり、たとえマルチプロセッサ化しても高速化に限界が生じる。ATM方式は回線交換方式・パケット交換方式の問題点を解決する方法として提案されているが、ベースとなる方式は通信速度に柔軟に対応できるパケット交換を採用している。例えば、CATVサービスで、シーンが変わる



注：略語説明など

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

N-ISDN (Narrowband Integrated Services Digital Network：狭帯域サービス総合デジタル網)

B-ISDN (Broadband ISDN：広帯域サービス総合デジタル網)

X.25 [データ通信のOSI (Open Systems Interconnection) レイヤ2およびレイヤ3プロトコルのCCITT(国際電信電話諮問委員会)標準]

* N-ISDN対応

** B-ISDN対応

図1 交換システムの潮流 回線交換方式、パケット交換方式それぞれが独立に発展してきた交換システムは、近年、マルチメディア化を目指して互いの長所を取り込む方向に進んでいる。

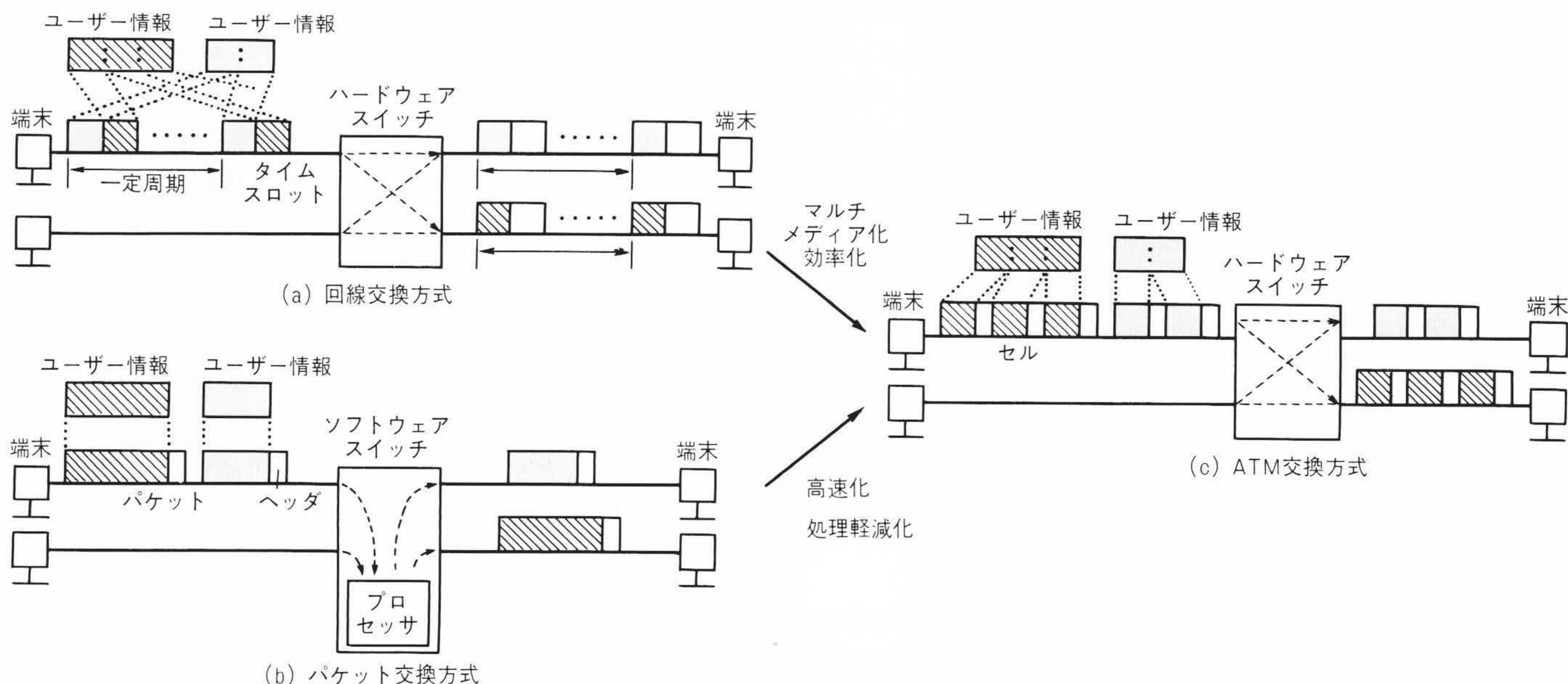


図2 ATM交換の位置づけ ATM方式は、回線交換方式とパケット交換方式の技術を統合し、音声、映像、データを高速・同一インタフェースで転送するものである。

ときは転送情報量が多く、画面の動きがなければ情報量はわずかになる。端末は発生する情報量に応じて必要なパケットだけを送出すればよい。ため、あらゆる通信速度に対して対応可能である。設備面でも、同一の交換機、伝送装置で任意の速度を扱うことができる利点がある。一方、通信速度600 Mビット/sの対応に向けてパケット交換の限界を克服するため、従来のパケット交換とは異なり、スイッチングはソフトウェアを介さずハードウェアだけによって実行される。これは次に述べる取り決めによって実現可能となる。

- (1) パケットをすべて「セル」と呼ばれる固定長とし、ヘッダ処理装置・スイッチング装置の高速化を図る。
- (2) 通信網の伝送品質向上に対応して、端末間で送達確認、誤り制御などのプロトコル処理を行い、交換機はセルの転送だけを行う。

以上、ATM方式にはネットワークを構築する側、端末を使用する側にとってそれぞれ次のようなメリットがある。

(1) ネットワーク側

セルを扱う1種類の伝送路、交換機だけを用意すればよく、通信設備の構成が単純になる。

(2) 端末側

端末はネットワークの速度に合わせることなく、64 kビット/sから600 Mビット/sまでの範囲で必要なセル数だけを発生させればよい。

3 システムアーキテクチャ

64 kビット/sから600 Mビット/sまでの広域、かつ多様な通信サービスを実現するB-ISDNで、その通信ノードにあたるATM交換システムに対し次のような要求条件がある。

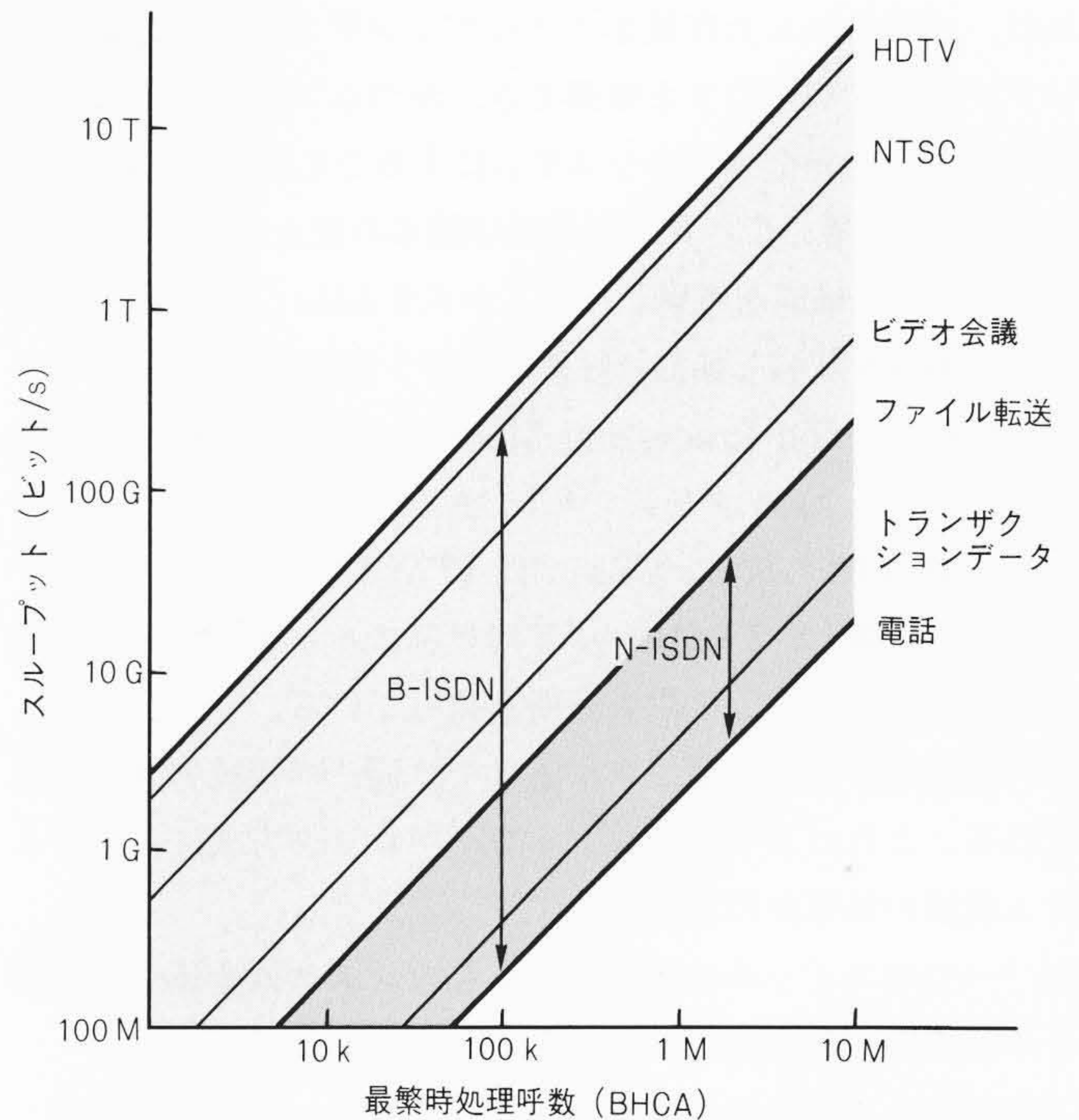
(1) 多様なB-ISDNトラヒックに対して柔軟な構成

B-ISDNアプリケーションとして導入当初はビジネスユースである高速データ通信がその主流と考えられ、後にCATVなどのホームユースを含めた本格的な広帯域通信が実現することが予想される。したがって、従来のように交換システムが扱う呼数と通話量との関係は一定ではなく、時代とともに変化するようになる。処理呼数と通話路容量との関係を図3に示す。同一の呼数に対するB-ISDNでの使用通話路容量範囲はN-ISDNに比べ非常に大きくなっている。

(2) 通信網の社会的役割の増大

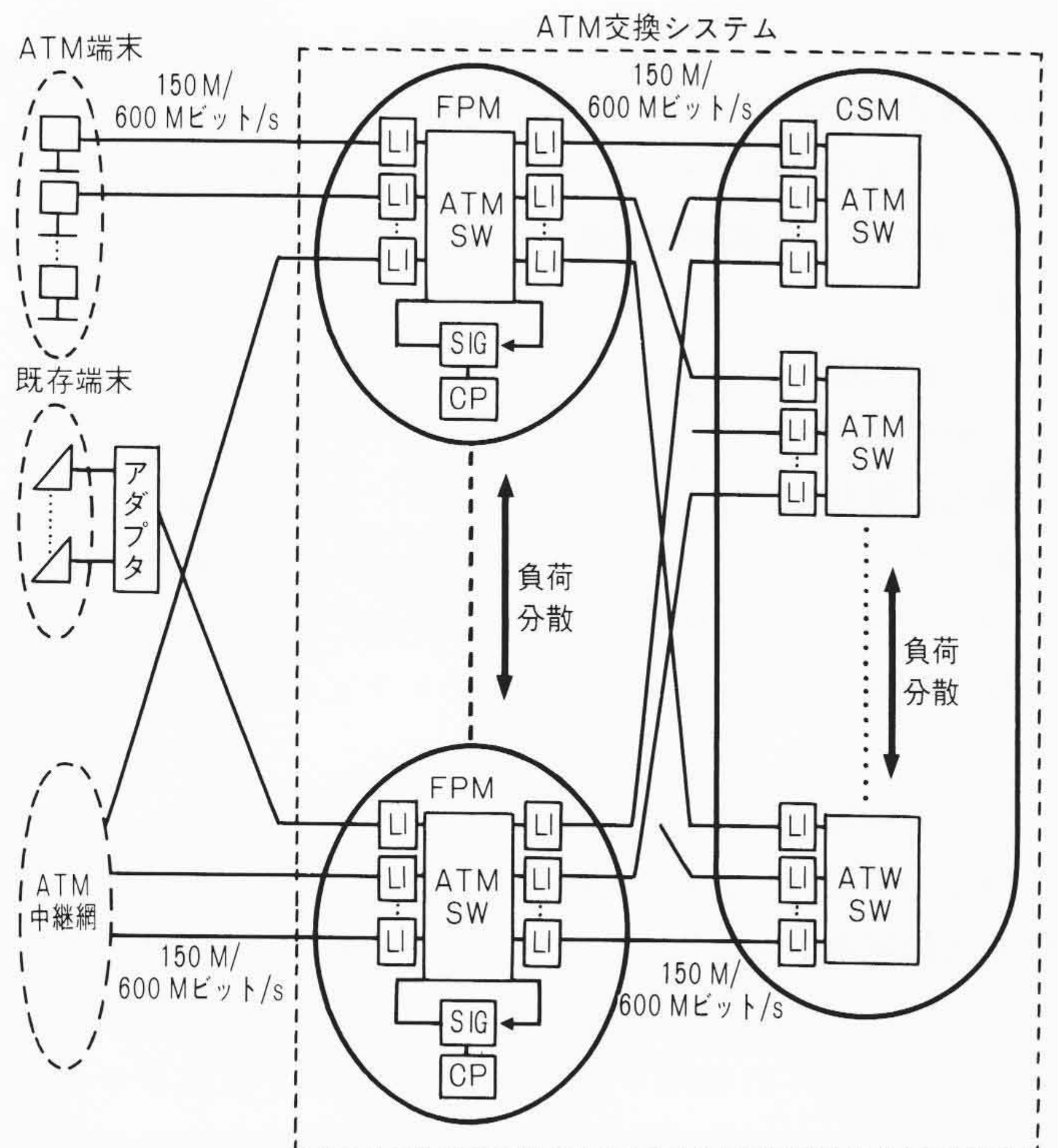
B-ISDNは従来の電話網・データ網・放送網などの個別に構築されたネットワークを統合するもので、その社会的役割が増大し、ATM交換システムはきわめて高い信頼性が要求される。

前記の要求条件(1)では、通話路容量を呼処理容量に対して十分備えておくこと、およびトラヒックの状況に応じて通話路をビルディングアップする構成が必要である。さらに、要求条件(2)に対しては、一部の障害がシステム全体に波及しな



注：略語説明 HDTV (High-Definition Television), NTSC (National Television System Committee), BHCA (Busy Hour Calls Attempt)

図3 呼処理能力とスループットの開発 同一の呼数に対するB-ISDNでの使用通話容量の範囲は、N-ISDNに比べてきわめて大きくなっている。



注：略語説明 ATMSW (ATMスイッチ), SIG (信号処理), CP (呼処理プロセッサ), LI (回線インタフェース)

図4 完全分散形システム構成 本構成は小容量から大容量まで、ビルディングブロック方式で同一のアーキテクチャのまま拡張できる。

い構成を要する。したがって、これらの条件を満足するためには、小容量から大容量までビルディングブロック方式で同一アーキテクチャのまま拡張でき、かつシステムボトルネックを持たない完全分散形システムにすることが望ましい^{4), 5)}。

これらを考慮して、日立製作所は図4の完全分散形ATM交換システムの構成を考案した。本システムは、ATM加入者回線・中継線を収容し独立に呼処理を行う複数の交換モジュールFPM(Front-end Processing Module)とFPMを相互に接続する自己ルーティングモジュールであるCSM(Central Switching Module)から成る。CSMではATM単位スイッチを分散して一段で配置し、FPM内のATM単位スイッチと正則的に接続する。本システムは次の長所を持っている。

- (1) 小容量から大容量システムまで、同一の接続方式で実現される。これにより、ビルディングブロック方式によるシステム規模の拡張が可能となる。
- (2) 一つのスイッチの障害がもたらすシステム全体への影響を、最小限に抑えることができる。

本システム構成技術の中で核となるトラヒック制御技術、スイッチ技術に関し、以下の方式を開発した。

4 トラヒック制御方式

4.1 B-ISDNでのトラヒック制御の役割

ATM方式では、バースト性の高い動画像、遅延時間の厳しい音声、誤りに厳しいデータなどを同時に扱う。トラヒック制御は、このようなマルチメディア情報の通信を行うための実現手法であり、以下の二つの目的がある。

- (1) 各メディアの要求する品質を維持する。
- (2) できるだけネットワークの利用効率を高める。

4.2 トラヒック制御の機能

4.1節に示した目的を満たすために、図5に示すようなトラヒック制御機能が必要となる^{2), 6)}。

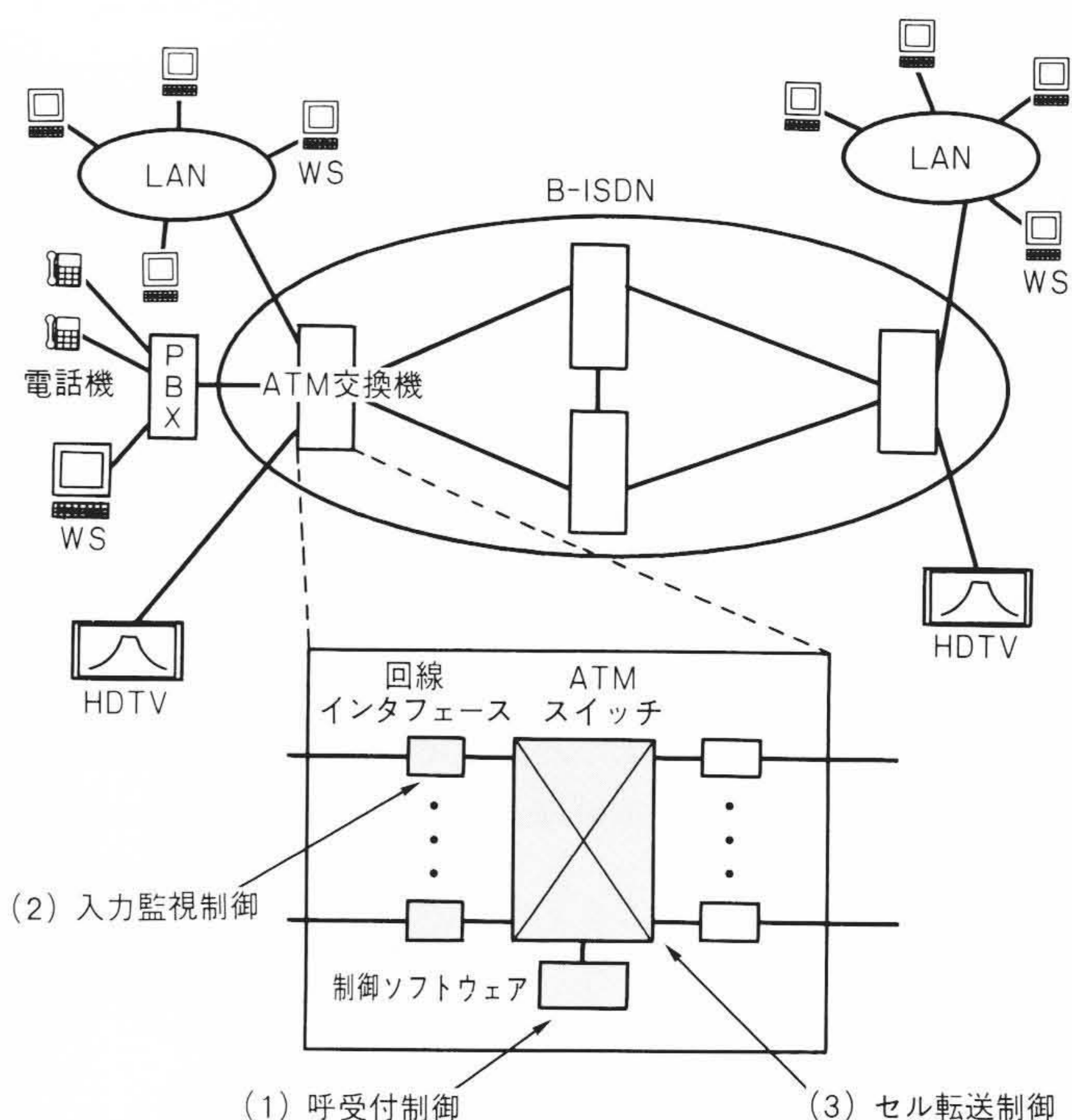
(1) 呼受付(アドミッション)制御

新たに接続を要求する端末に対して、交換機が受付可否の判断を行う。受付可否の判断を行うために、交換機は網内のトラヒックの状況を予測する。この予測に使用するために、端末は接続要求時に最大速度などのトラヒック特性と要求品質を申告する。

(2) 入力監視・制御(ポリシング)

呼受付制御は「端末は接続要求の際に申告したトラヒック特性の範囲内でセルを送出する。」という前提で、網内のトラヒック状況を予測する。端末が申告以上にセルを送出すると、上記前提がくずれ他端末からのセルの品質を劣化させるおそれがある。この悪影響を防ぐために、端末が申告した以上のセルを送出した場合は、違反したセルを網内で検出・廃棄する。

(3) セル転送制御



注：略語説明 WS (Workstation), PBX (Private Branch Exchange)

図5 B-ISDNでのトラヒック制御技術の位置づけ マルチメディア情報の広範囲な要求品質を満たし、しかもネットワークの利用効率を高めるために、交換機の各部位にトラヒック制御機能を配置する。

メディアごとの要求品質を満足させるために、交換機内の転送制御方法(読出し順位など)を変える。

以下、ATM特有の機能である呼受付制御および入力監視・制御について詳細に述べる。

4.3 呼受付制御

呼受付制御の基本として重要なのは、「一定の要求品質を満足するためにどれだけの帯域を割り付けなければならないか。」という関係を明らかにすることである。この関係を得るために従来のコンピュータシミュレーション技法を用いると、大形計算機を使用したとしても一つの条件を明らかにするのに膨大な時間を要してしまう。

この課題を解決するために、ワークステーションでも十分計算できるモデルを考案した⁷⁾。このモデルは、連続するセル群を流体で近似する「流体近似モデル」を採用し、さらに改良を加えたものである。このモデルを用いて計算した表を交換機内部に保持し、端末からの接続要求時に参照することによって受付可否判断を行う。

4.4 入力監視・制御(ポリシング)

申告値に違反したセルに対する処理として、以下の2案が考えられる⁸⁾。

- (1) 網の入り口ですべて廃棄する。
- (2) 網の入り口では違反を示すマークを付加するだけで、直ちに廃棄は行わない。利用率が高くなったとき〔輻輳(ふくそ

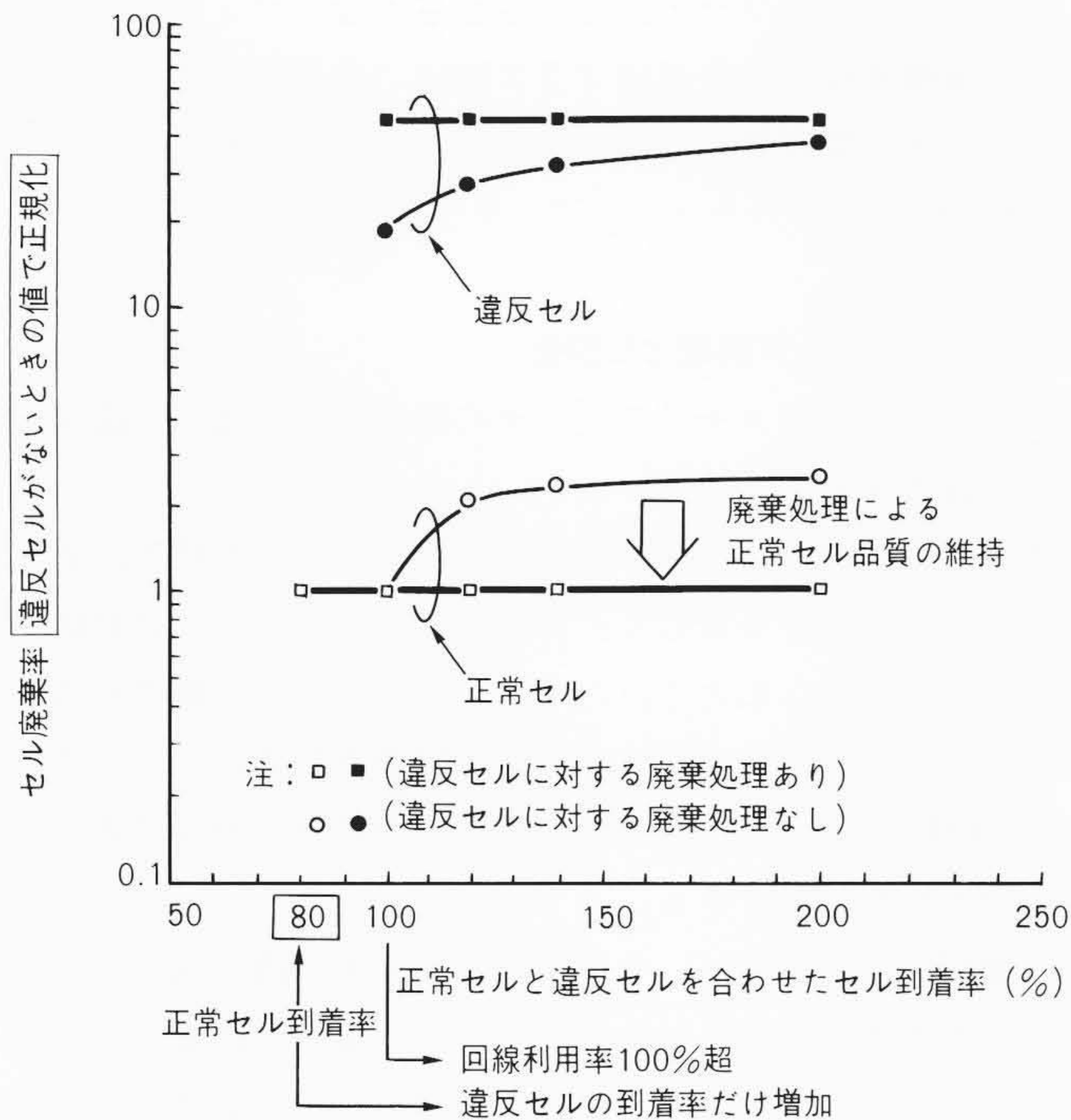


図6 違反セルの網の入り口での廃棄処理の効果 違反セルの廃棄を行わない場合は、正常なセルの廃棄率も上昇する(図中○印)。一方、入り口で違反セルを廃棄すると正常なセルの品質は劣化しない(図中□印)。

う)時], マークされているセルを廃棄する。

網の利用率が低いときには、違反セルは他の通信に悪影響を与えない。このため、網の有効利用という観点からは前記(2)のほうが優れている。しかし、故障端末のように常時違反セルを送出し続ける端末がある場合には、その影響を受けて違反していないセルも廃棄率が増大し品質低下が生じるという問題がある。日立製作所は、この問題を解決するために、違反セルの発生状況によってマーク・廃棄を切り替える2段階流量規制方式を開発した⁸⁾。故障端末に対しては直ちに網の入り口で廃棄して悪影響を防ぐ。

網入り口での違反セル廃棄の効果を、シミュレーションによって評価した結果を図6に示す。廃棄を行わない場合は、正常なセルの廃棄率も上昇する。一方、入り口で違反セルを廃棄すると正常なセルの品質は劣化しない。

5 ATMスイッチ方式

局用ATM交換システムの入出力回線収容規模は、数千回線(1回線当たり150 Mビット/s・600 Mビット/s)以上を考える必要がある。このような大規模システムは、先の図4に示したように単位スイッチを多段接続して構成される。したがって、この単位スイッチの大容量化、小形化、高性能化および高機能化は、ATM交換システム全体の特性を向上させる。日立製作所は、次の特徴を持つ単位スイッチを実現するため、ATM

スイッチのLSI化を行った。

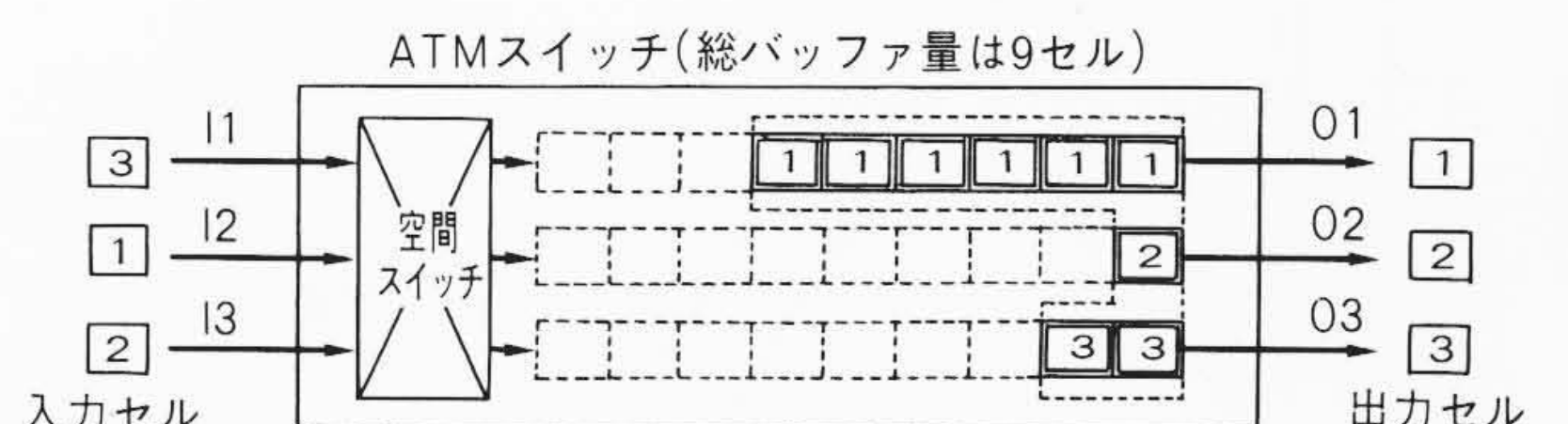
- (1) マルチメディアに対応する共通バッファ形メモリスイッチ方式
- (2) スイッチサイズ 32×32(スループット4.8 Gビット/s)の1ボード(30×30 cm²)収容

以下、スイッチ方式の特徴、ハードウェア構成およびLSIについて述べる。

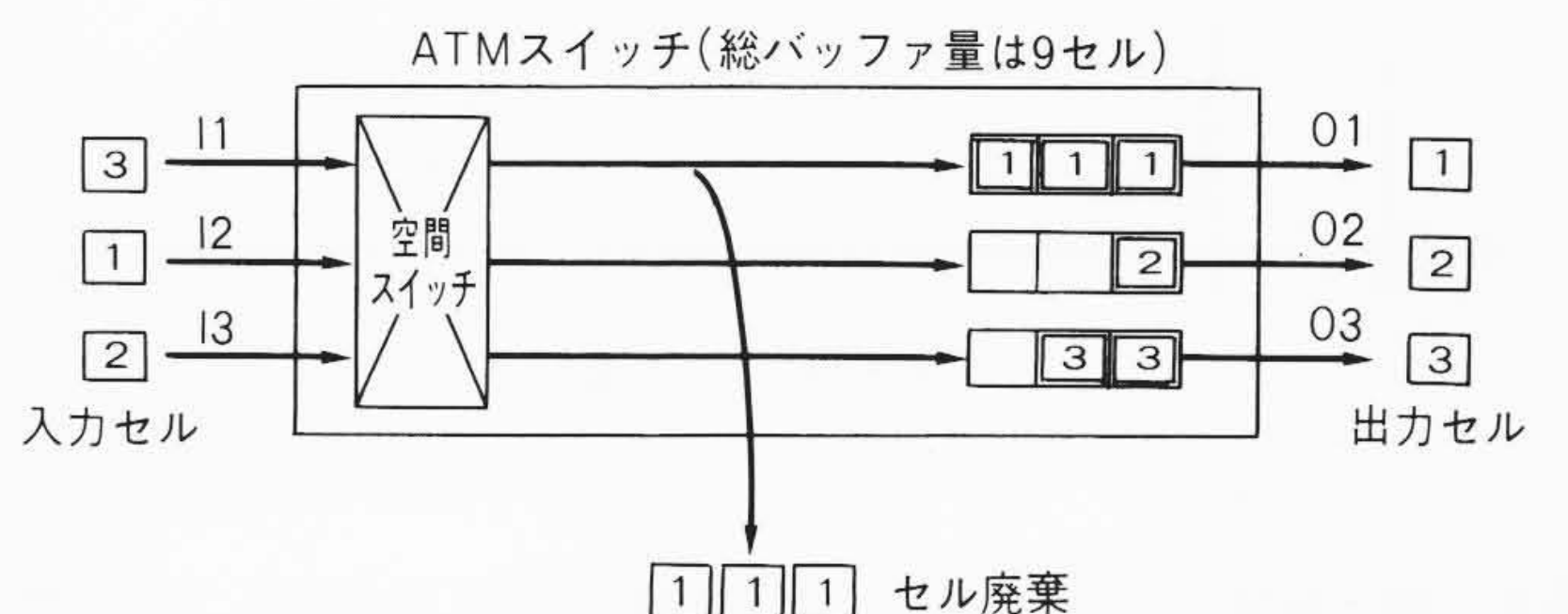
5.1 共通バッファ形メモリスイッチの特徴

ATMスイッチでは、異なる入力端子から、同時に一つの出力端子にセルが集中することがあり、スイッチ内では必ずセルの待ち合わせを行うためのバッファが必要となる。ATMスイッチはこのバッファの置く場所に応じて、入力バッファ形スイッチ、出力バッファ形スイッチに分類できる。一般に、入力バッファ形では空出回線へセル送出要求があっても送出できない場合が生じるのに対し、出力バッファ形ではこのようなスループット低下の要因がない点で有利である。

日立製作所は、この出力バッファ方式で従来出回線ごとにバッファを分割管理していたのに対し(個別バッファ方式)、各出回線のバッファを共有化できる共通バッファ方式を提案した^{9)~11)}。両方式の論理構成上の特徴を図7に示す。これらのスイッチは、3入回線I1, I2, I3に到着したセルに対して、セルの番号に従って3出回線O1, O2, O3へ振り分ける機能を持ち、合計9個の出力待ち合わせセルを格納できるバッファメモリを持つ場合について示してある。同図では、出回線O1に6セル、出回線O2に1セル、出回線O3に2セル待ち合わせのセルが発生した場合を示してある。個別バッファ



(a) 共通バッファ方式



(b) 個別バッファ方式

図7 ATMスイッチ方式 共通バッファ方式は、出力ポート間バッファを共有するため、高品質(低セル廃棄率)の交換を実現できる。

方式の場合には、バッファメモリを各出力ごとに3セルずつ分ける構成となるので、同図のようにセルが集中的に出回線01に6個の待ち合わせセルが発生したときには、3セル廃棄しなければならない。これに対し、出回線ごとにバッファを分割しない共通バッファ方式の場合には、出力に関係なく合計9セルまで格納できるのでセル廃棄は起こらない。このように共通バッファ方式では、セルの偏りに強く、セルが集団的に発生するデータ端末からのバーストラヒックに対しても低廃棄率特性となるスイッチ方式である。換言すれば、共通バッファ方式を用いることにより、低廃棄率特性を得るために従来要していたバッファ量を削減することができる。

試作スイッチを用いた実機測定による両方式の同一セル廃棄率を満足するバッファ量の比較を図8に示す。ここでは、データ端末からのトラヒックを考慮して、平均バースト長10セルのバーストラヒックを負荷している。学会などで目標値とされているスイッチのセル廃棄率 10^{-9} で、共通バッファ方式が個別バッファ方式に比べ、必要バッファ量を大幅に削減できることを示している。なお、同図は4章で述べた流体近似モデルによる解析が有効であることも示している。

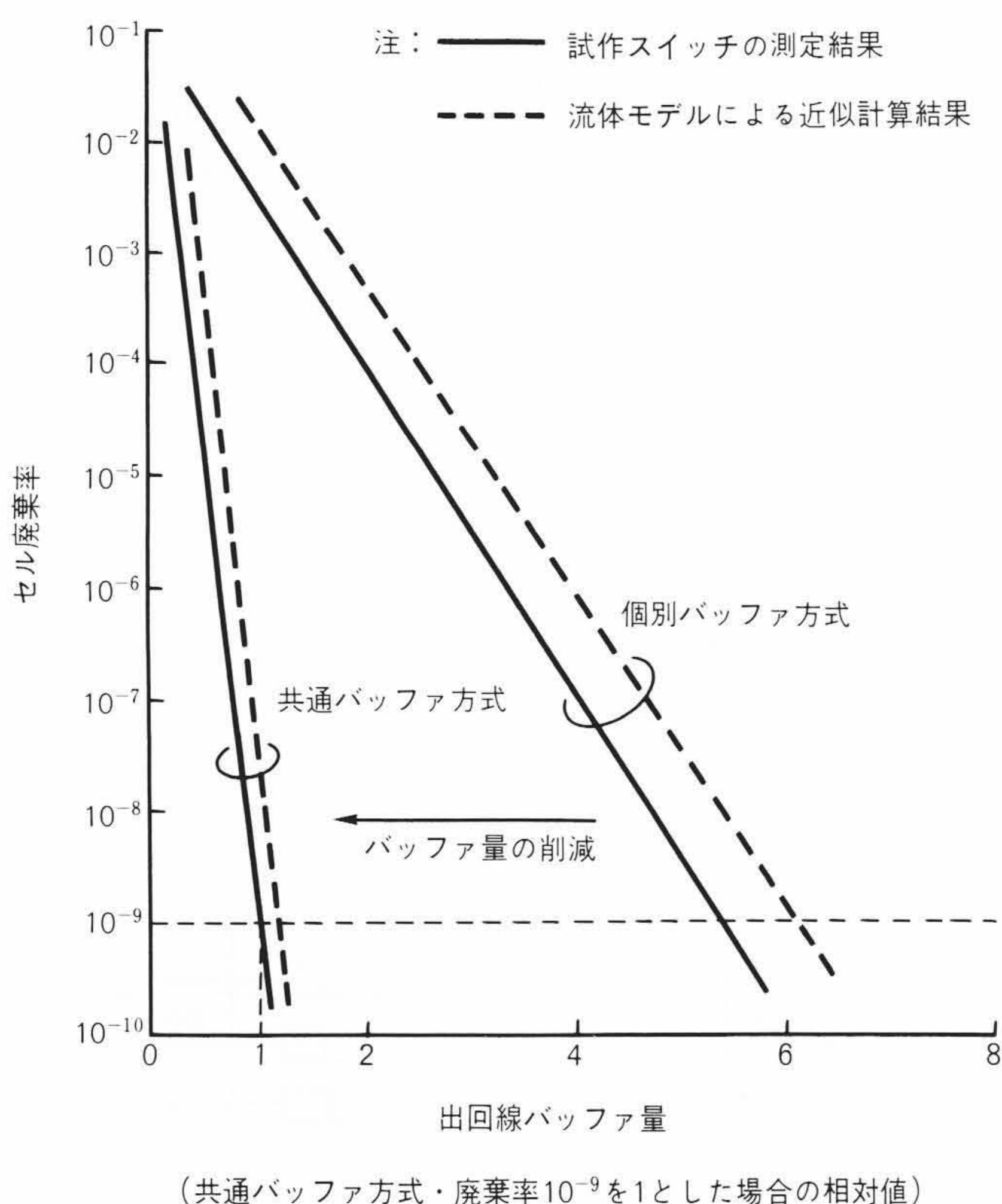


図8 同一廃棄率を満足するバッファ量の比較(試作システムの測定結果と流体近似モデルによる。) 同一のセル廃棄率特性を得るのに必要なバッファ量は、個別バッファ方式よりも共通バッファ方式のほうがはるかに少ない。なお、試作スイッチの測定結果と流体モデルによる近似計算結果はおおむね同じである。

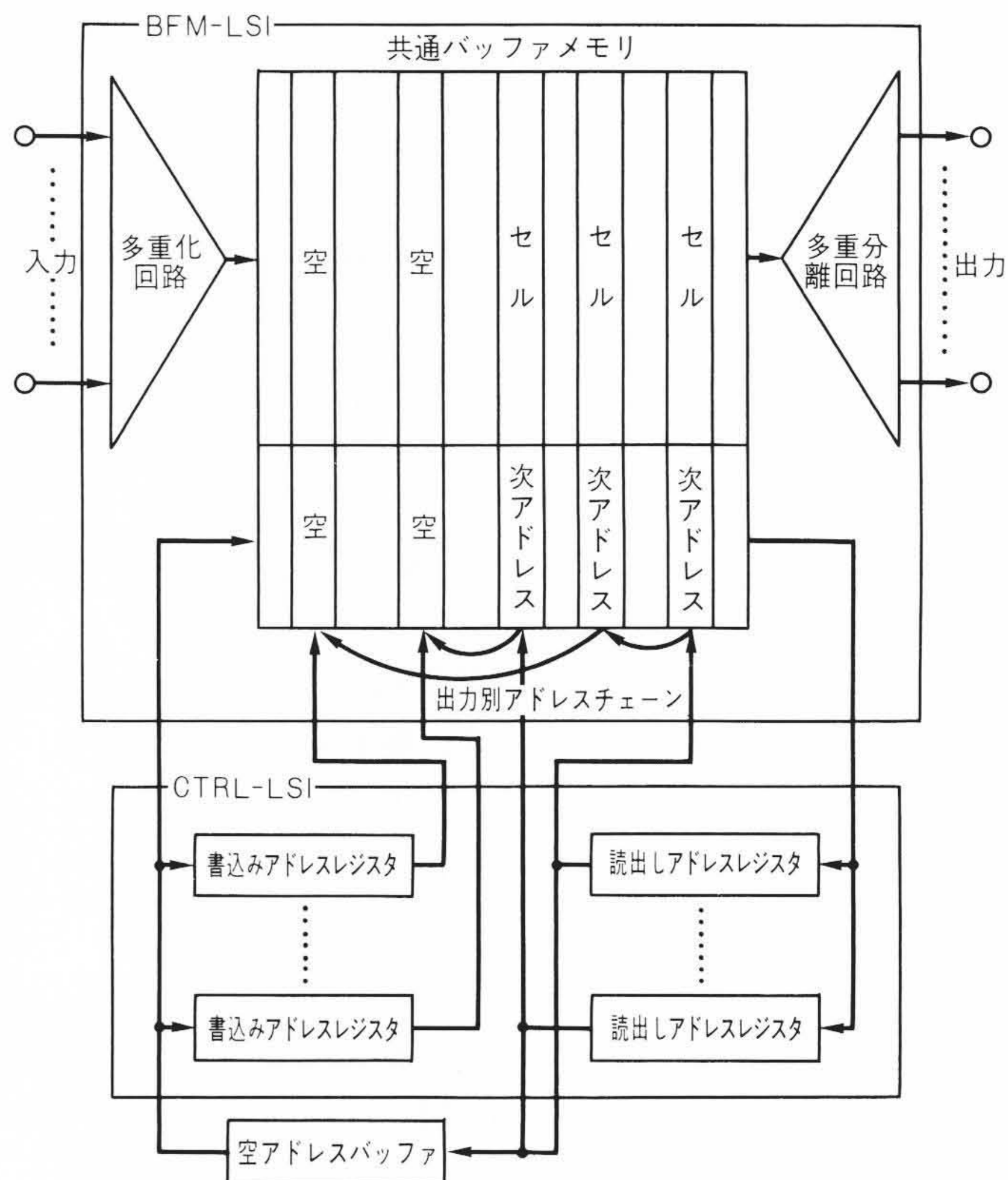
また、共通バッファ方式は、さまざまなメディアから要求される品質を保証する品質クラス制御の実現にあたり、品質クラスごとに管理機能を負荷するだけで可能であり、この点でもB-ISDNのマルチメディアトラヒックに適合したスイッチ方式と言える。

5.2 ハードウェア構成とLSI化

共通バッファ形メモリスイッチの構成上の特徴を、図9を用いて説明する^{12)~14)}。

本スイッチでは、一つの共通バッファメモリを持ち、各入力からきたセルを多重して、いったんこのバッファに格納する。バッファから出力されたセルは、各出力に分離される。このバッファは、各出力ごとに共通管理されていて、空アドレス(未使用アドレス)であればどの出力にいくセルであってもそのセルを格納できる。

共通バッファ管理は、共通バッファメモリ内の次アドレスで次に出力するセルをつなぐアドレスチェーンによって行っている。このアドレスチェーンは、読出しアドレスレジスタ(共通バッファがセル出力時に与えられる読出しアドレスを示す。)を始点とし書込みアドレスレジスタ(共通バッファにセル



注：略語説明 BFM-LSI (Buffer Memory-LSI), CTRL-LSI (Control-LSI)

図9 共通バッファ形メモリスイッチの構成図 共通バッファメモリ上で、次アドレスを使用して共通バッファ管理を行っている。この構成でバッファメモリ部とメモリ制御部に分け、それぞれBFM-LSI, CTRL-LSIとしてLSI化した。

入力されるときに与えられる書込みアドレスを示す。)を終点とするチェーンで、出力ごとに構成されている。なお、共通バッファメモリ上の空アドレスは、空バッファメモリで管理されている。

LSIの開発では、共通バッファメモリ、多重化回路、多重分離回路をバッファメモリ部BFM(Buffer Memory)-LSIとし、書込みアドレスレジスタ、読出しアドレスレジスタをバッファメモリ制御部CTRL(Control)-LSIとし、分割する構成とした。BFM-LSIは、ATMスイッチの基本機能であるセル交換・蓄積を実現するものとし、各種のトラヒックに対し、十分な品質(セル廃棄特性)を達成できるよう、大容量メモリおよび周辺回路から成る大規模専用LSIによって構成した。一方、BFM-LSIを制御するCTRL-LSIは、セル転送制御にかかわるCCITT標準化動向などの外部条件の変化が予想されるため、ゲートアレーによって構成した。BFM-LSIは、ビットスライス分割をし、LSIピンネックのない構成にした。また、空アドレスバッファは、市販のFIFO(First-in First-out)メモリLSIを利用することによってCTRL-LSIから分離し、CTRL-LSIの設計を容易にした。本LSIを利用したATMスイッチボードを図10に、スイッチ仕様を表1に示す。

本スイッチでは、各メディアの品質を保証するため、遅延クラスと廃棄クラスを持つ。廃棄クラスに関しては、バッファメモリに蓄積されている各廃棄クラスのセル数をカウンタで管理し、各廃棄クラスごとに指定されたしきい値を超えた場合には、その廃棄クラスのセルを廃棄する。このしきい値によってセル廃棄率を制御でき、重要なセルとその他のセルとにクラス分けができる。遅延クラスに関しては、各出線に対してさらに遅延クラスごとに書込みアドレスレジスタと読出しアドレスレジスタを設けることによってアドレスチェー

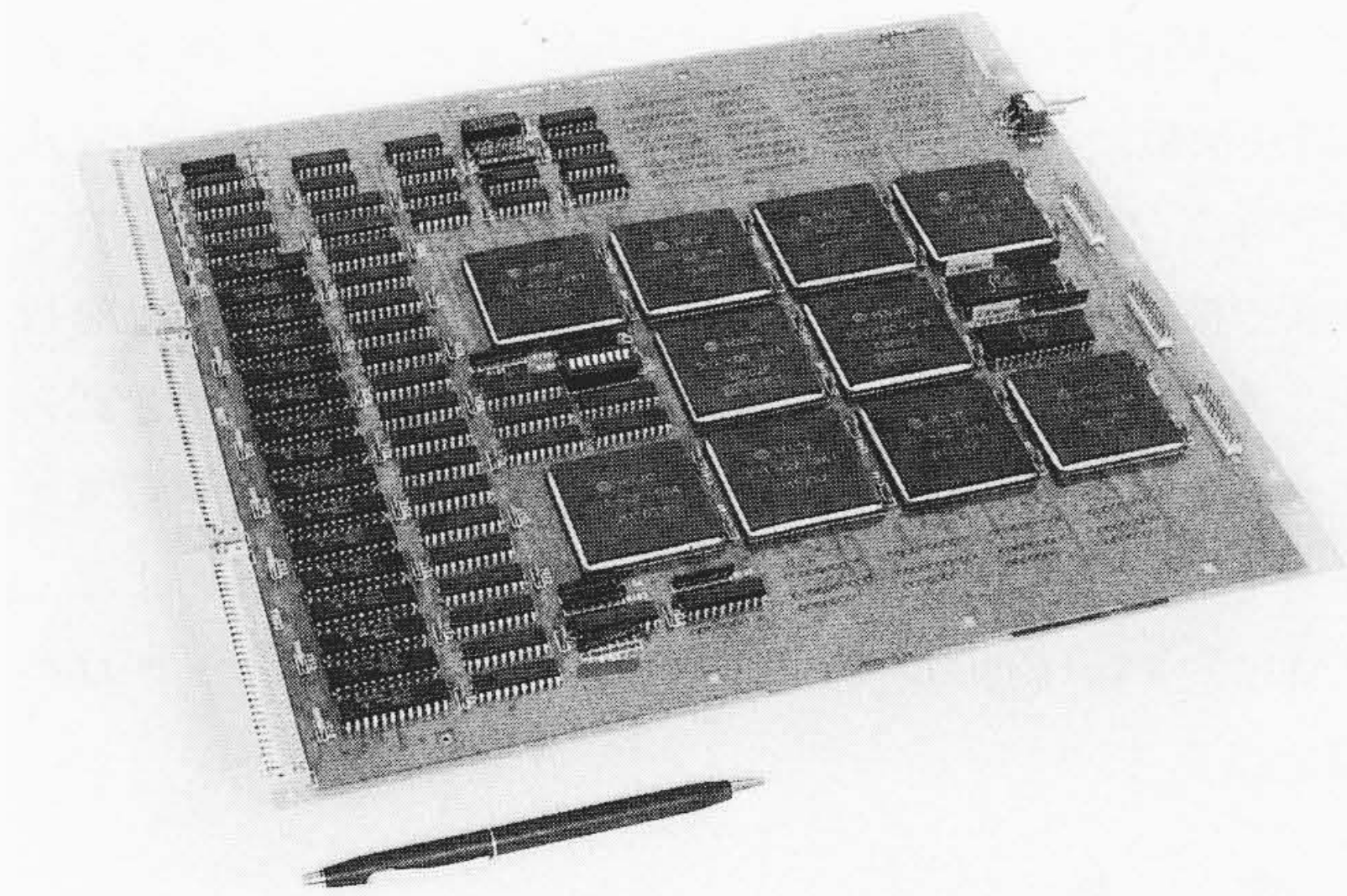


図10 ATMスイッチボード 今回開発したLSIを用いて構成したATMスイッチボードを示す。交換容量4.8 Gビット/sを1ボード化した点の特徴である。

表1 ATMスイッチ仕様 今回開発したBFM-LSI、CTRL-LSIを用いて実現したATMスイッチ(1ボード化)の仕様を示す。

項 目	仕 様
ス イ ッ チ 方 式	共通バッファ形メモリスイッチ方式
入出力リンク速度	155.52 Mビット/s
スイッチサイズ	32×32
バッファメモリ	全容量4,096セル
品質制御機能	遅延クラス制御および廃棄率クラス機能
使 用 L S I	BFM-LSI 8個 CTRL-LSI 2個 FIFOメモリLSI(市販品) 2個

注：略語説明 BFM-LSI(Buffer Memory-LSI)
CTRL-LSI(Control-LSI)
FIFO(First-in First-out)

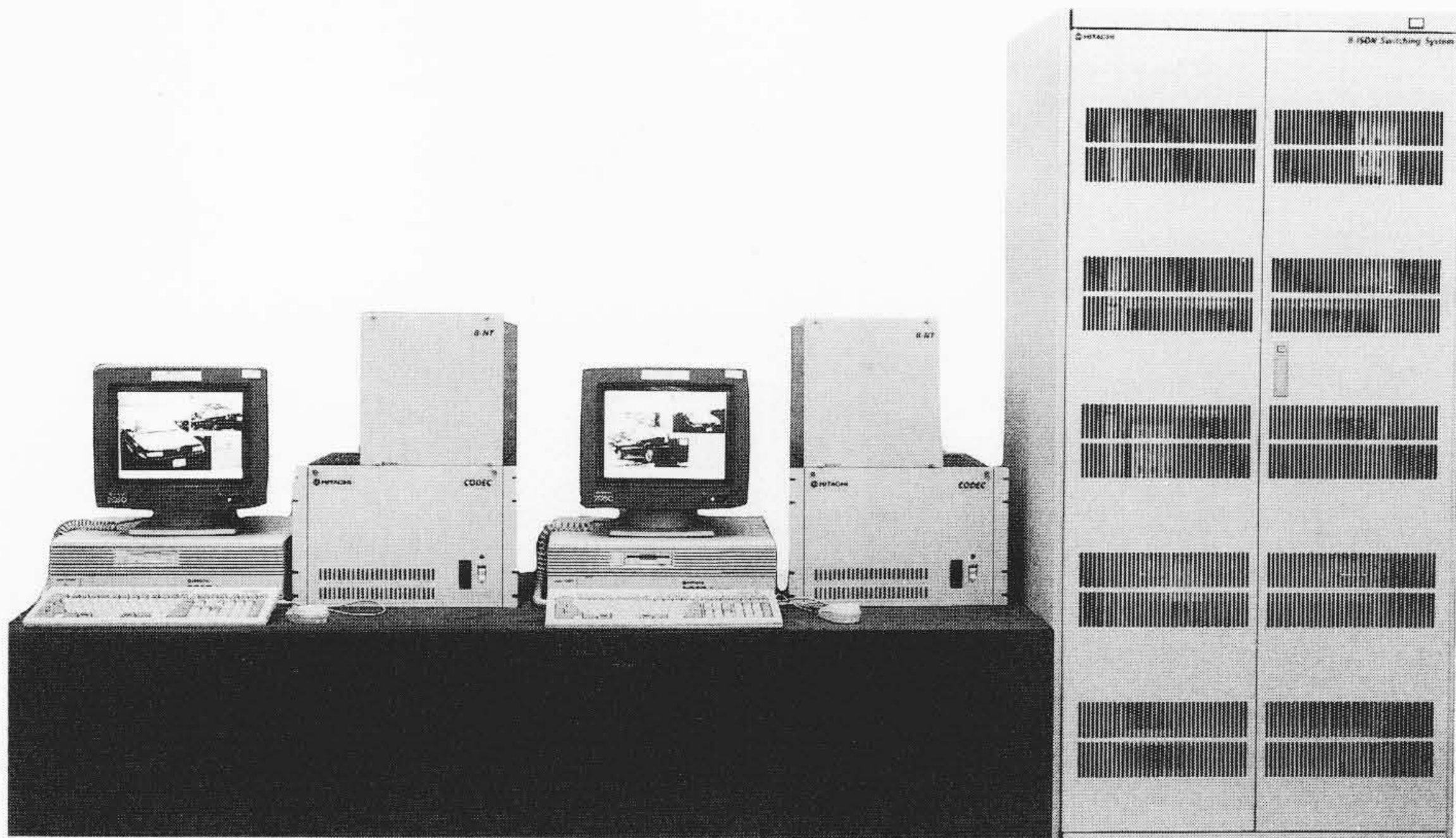


図11 B-ISDN総合実験システム ATM交換機にHDTVとマルチメディアワークステーションを接続したB-ISDN総合実験システムである。

ンを作り，セルの遅延品質を遅延クラスごとに管理する。

日立製作所では，本共通バッファ形スイッチを内蔵したATM交換機，これにATM方式準拠HDTV端末，およびマルチメディアワークステーションを150 Mビット/s標準インタフェースで接続したB-ISDN総合実験システム(図11)の開発を行った。本ATM交換機には1回線当たり150 Mビット/s・32×32のATMスイッチボードを用いており，本ボードを単位スイッチとして完全分散構成(先の図4参照)をとることにより，150 Mビット/s 4,000回線を交換できる大容量システムの構築が可能である。

6 結 言

日立製作所でのB-ISDN向けATM交換システムでの構成技術に関する開発状況について述べた。現在，B-ISDNシステムは研究のフェーズから製品のフェーズへと急速に移行している段階である。実用化にあたっては，サービス面からみたネットワークレベルで具備すべき機能，性能の見きわめが必要であり，ユーザーの期待にこたえるB-ISDNシステムを実現するための技術開発を行っていく考えである。

参考文献

- 1) CCITT SG XVIII: Recommendation I.150, Temporary Documentation 28(1990)
- 2) 河原崎，外：ATM通信技術の動向，電子情報学会誌，806～813(昭63-8)
- 3) 北村：広帯域ISDN時代で注目されるATMとUNI/NNI，コミュニケーションテクノロジー，56～59(平1-1)
- 4) S. Gohara, et al.: A New Distributed Switching System Architecture for Media Integration, ICC, 11-4(1990)
- 5) S. Tanabe, et al.: A New Distributed Switching System Architecture for B-ISDN, IBSN, 258～263, October 1990
- 6) CCITT: Recommendations I.311(1990)
- 7) 鳩野，外：流体近似による共通バッファATMスイッチの性能解析モデル-単一呼種のモデル，電子情報通信学会交換システム研究会，SSE90-105(平3-12)
- 8) 大内：ATM網におけるポリシング方式の検討，1991年電子情報通信学会春季全国大会講演論文集SB-5-6(平3-3)
- 9) 遠藤，外：ATMスイッチアーキテクチャに関する一検討，昭和63年電子情報通信学会秋季全国大会講演論文集，SB-4-3(昭63-9)
- 10) 遠藤，外：ATM交換アーキテクチャの一提案，電子情報通信学会交換システム研究会，SSE-88-56(平1-2)
- 11) 遠藤，外：バッファを共通化したATM交換用メモリスイッチ，電子情報通信学会論文誌，J72-B-I(平1-11)
- 12) H. Kuwahara, et al.: A Shared Buffer Memory Switch for an ATM Exchange, Proc. ICC'89, 4.4(1989)
- 13) 小崎，外：ATMスイッチLSI化の一検討，1989年電子情報通信学会秋季全国大会講演論文集，B-195(平1-9)
- 14) 小崎，外：共通バッファ形ATMスイッチのLSI構成法，電子情報通信学会交換システム研究会，SSE89-144(平2-2)