

DDXパケット交換機のソフトウェア

Software System of DDX Packet Switching System

DDXパケット交換網は、低コストで高品質の多種多様なデータ交換サービスの提供を目的として、日本電信電話公社が昭和54年6月からサービス開始を予定している公衆データ網である。この網は、高信頼度のD10形電子交換機の中央処理系を使用したパケット交換機(PS)と加入者線を集線・多重化するために、新たに開発したパケット多重化装置(PMX)で構成する。

このDDXパケット交換網を制御するソフトウェアは、PSとPMXのプログラムを簡素化し、構造を単純化することにより、処理能力の向上と経済化を図っている。また、パケットの伝送誤りの回復、最適径路の選択、あるいは流量制御などの網内制御により網の品質を高め、更に、蓄積交換の特徴を生かして数多くのサービスを実現している。

脇坂克彦* *Wakisaka Katsuhiko*
青木栄司* *Aoki Eiji*
林 和行* *Hayashi Kazuyuki*

1 緒 言

Dendenkosha Digital Data Exchange (以下、DDXと略す)パケット交換網は、日本電信電話公社が昭和54年6月に我が国の7都市でサービスを開始する予定の公衆データ網である。

このパケット交換網は従来の電話網とは異なり、端末からの情報を順次網内の交換機が蓄積しながら相手端末に送り届ける蓄積交換網である。

ところで、公衆パケット交換サービスは、初めて市場に出るものであり、今後の需要動向は未知数である。このため、融通性と拡張性をもたせたシステム設計が必要であり、パケット交換ソフトウェアについても特にそれらの点に留意して開発を進めてきた。

この論文では、パケット交換ソフトウェアシステムの概要、パケット交換機(以下、PSと略す)の処理方式及びパケット多重化装置(以下、PMXと略す)の処理方式について述べる。

2 パケット交換プログラムの構成条件

2.1 収容端末クラス

DDXパケット交換網に収容する端末の種類には、大別して次に述べる2種類がある。

- (1) パケット交換網と端末に関する国際的な標準である国際電信電話諮問委員会(CCITT)勧告X.25に従ったパケットの形でデータを送受信するパケット端末(Packet Terminal: 以下、PTと略す)
- (2) パケットの形でデータを送受信する機能をもたない一般端末(Non Packet Mode Terminal: 以下、NPTと略す)

- このうち一般端末については、更に次のように分類している。
- (a) 今後の端末の主流になるものと思われるハイレベル伝送制御(以下、HDLCと略す)手順端末
 - (b) 既存の代表的伝送制御手順端末として調歩式ベーシックモード伝送制御手順端末
 - (c) その他の端末として、データをパケット化するためのきっかけとなる符号だけを規定して収容するデリミタ端末
- また、端末速度はCCITT勧告と国内での使用実績から表1に示すように7種類としている。

表1 収容端末クラス DDXパケット交換網は、多種類の端末を収容する。

端 末 ク ラ ス			同 期 式	速 度 (b/s)
パ ケ ッ ト 端 末 (PT)			同期式	2,400, 4,800, 9,600, 48,000
ハイレベル端末 (HDLC手順・UA・二次局)				2,400, 4,800, 9,600
一 般 端 末 (NPT)	ベーシック 端末	会話形ベーシック	調歩式	200, 300, 1,200
		全二重ベーシック		
	デリミタ 端末	ベーシック系デリミタ*		
		無手順系デリミタ1**		
		無手順系デリミタ2***		

注: * デリミタ文字はETX, ETB, EOT, ENQ, ACK, NAK, DLE
** デリミタ文字はCR, BEL, ENQ, ACK
*** デリミタ文字はETX, BEL, ENQ, ACK

2.2 サービス項目

パケット交換網の基本サービスには次の2種類がある。

- (1) 選択接続(Virtual Call: VCと略す)
通信開始時に発信端末が相手端末を指定する。任意の相手との接続ができる。
- (2) 固定接続(Permanent Virtual Circuit: 以下、PVCと略す)
通信相手が常に固定されていて呼設定動作が不要である。従来の専用線相当の使い方ができる。

このほかの付加サービスとして、表2に示すような各種のサービスを提供する。

2.3 番号方式

日本全国の端末が一律に7桁のアドレスをもつ方式(全国閉番号方式)とし、端末の操作性と網の番号管理を簡単化している。

2.4 課金方式

網を使用して、相手端末に伝送した情報の量と伝送した距離(3段階としている)とに比例した料金を課金する(距離別情報量課金制)。

* 日立製作所戸塚工場

表2 サービス項目 端末は選択接続と固定接続のどちらかを選択し、網に加入する。付加サービスは、必要に応じて網と契約する。

サ ー ビ ス 名 称			概 要	特 徴	対 象 端 末
基本サービス	選 択 接 続（VC）		通信ごとに呼の設定を行なう。任意の相手と通信可能。	不特定端末間通信	パケット端末
	固 定 接 続（PVC）		通信相手を1に限定し，呼設定動作を不要とする。パケット網を専用線的に使用できる。	専用線のサービス	
付加サービス	閉域接続	ペ ア 形	網に登録した相手同士以外との通信は網で拒否する。	専用網的サービス	一般端末
		グループ形	網に登録したグループの構成員である端末間以外の通信は網で拒否する。		
	セ ン タ ー 括 課 金		センター括課金契約端末への着信時，着信側に課金する。	課金の利便化	一般端末
	ダ イ レ ク ト コ ー ル		選択接続サービスであるが相手選択が不要。	接続の利便化	
	短 縮 ダ イ ヤ ル		選択接続サービスで選択番号の桁数が1桁又は2桁で接続が可能。		
	相 手 通 知		通信開始前に互いの通信相手の確認ができるように，呼設定時通信相手の端末番号を（発側には着側のを，着側には発側のを）それぞれ送出する。		

3 パケット交換網の構成

パケット交換網は、図1に示すようにパケット交換機PSとパケット多重化装置PMXとで構成する。

PSはD10形中央処理系で構成し、高速大容量のPTとPMXとをパケット多重伝送路経由で収容して、パケット化された情報の交換制御を行なう。また、PMXは、パケット化機能をもたないNPTを網に収容するためにパケット組立・分解(Packet Assembly Disassembly: 以下、PADと略す)機能を持ち、かつ低トラヒックのNPTや中・低速のPTを効率的に集線・多重化して網に収容するための装置である。

なお、加入者線及び網内伝送路は網構成の融通性を維持するために、ディジタル、アナログいずれの伝送路でも用いることができる。

4 パケット交換網へのアクセスプロトコル

パケット交換方式は、端末からの情報を図2に示すパケットの形式で転送することにより、1本の伝送路上に複数の仮想的回線(論理チャネル)を設定し、この論理チャネルを使用して一対の通信を行なう方式である。このために、端末と網との間に広範囲にわたる網アクセスプロトコルを決めておく必要がある。DDX網ではPTに対して表3に示すように、電気物理条件(レベル1)、各論理チャネルに共通のリンク(パ

ケット多重伝送路)制御(レベル2)、論理チャネル対応の網制御(レベル3)及びNPTを制御するためのシステム制御(レベル4)の4レベルに階層化して規定している。また、図2に示すように、端末からのパケットに更に交換制御用の情報(網内制御情報)を付与して交換制御を容易にしている。

5 パケット交換網の機能とプログラム処理方式

パケット交換網にとって重要なことは、情報を低コストで正確かつ迅速に伝送するとともに、多種類のサービスを提供することである。このために、表4に示すようにパケット交換網として必要な各機能をPSとPMXで分担し実行している。

以下にPS及びPMXのプログラムで分担している機能のうち主な機能の説明とそのプログラム処理方式について述べる。

5.1 PSの機能と処理方式

PT、PMX及び隣接する交換局から送られてくるパケットは、すべて高速信号制御装置(High Speed Signal Control Equipment: 以下、HSEと略す)で受信し、主メモリに記憶した後に必要なパケット処理を行ない、HSEを介して目的地に向けて送信する。これらの処理は図3に示すように、パケットを受信・送信する通信制御プログラム(HSEIOCS)とパケットの交換処理を行なうパケット呼処理プログラムとで実行している。

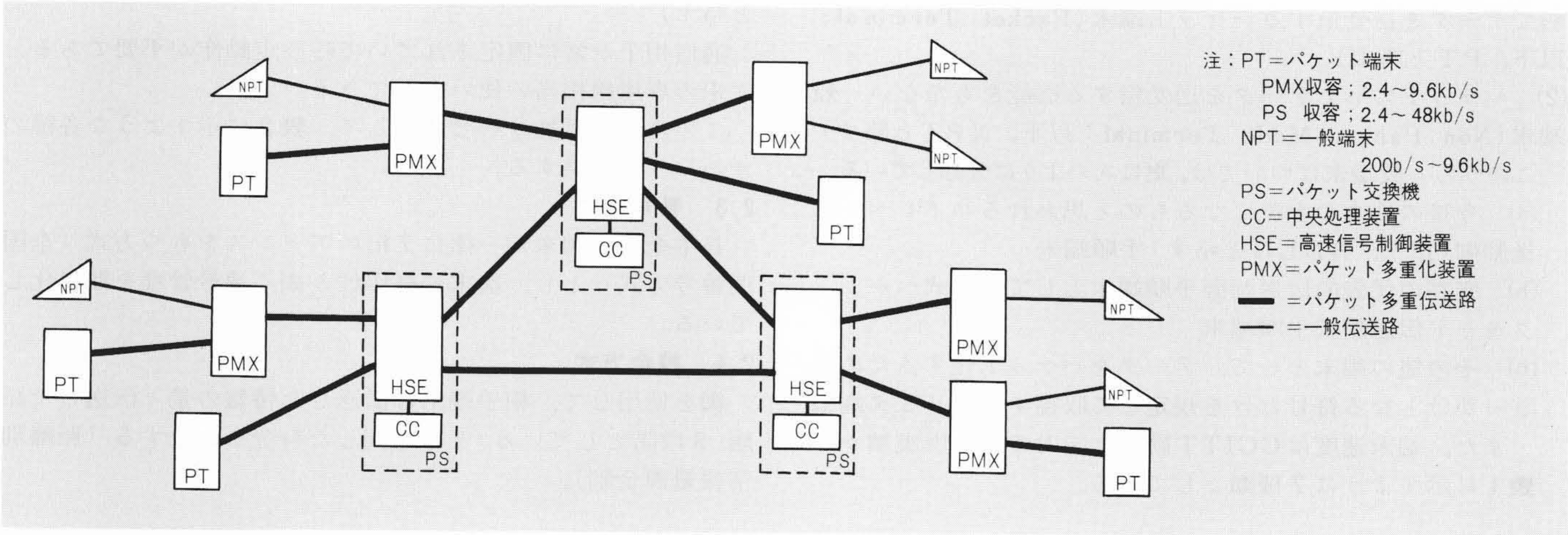
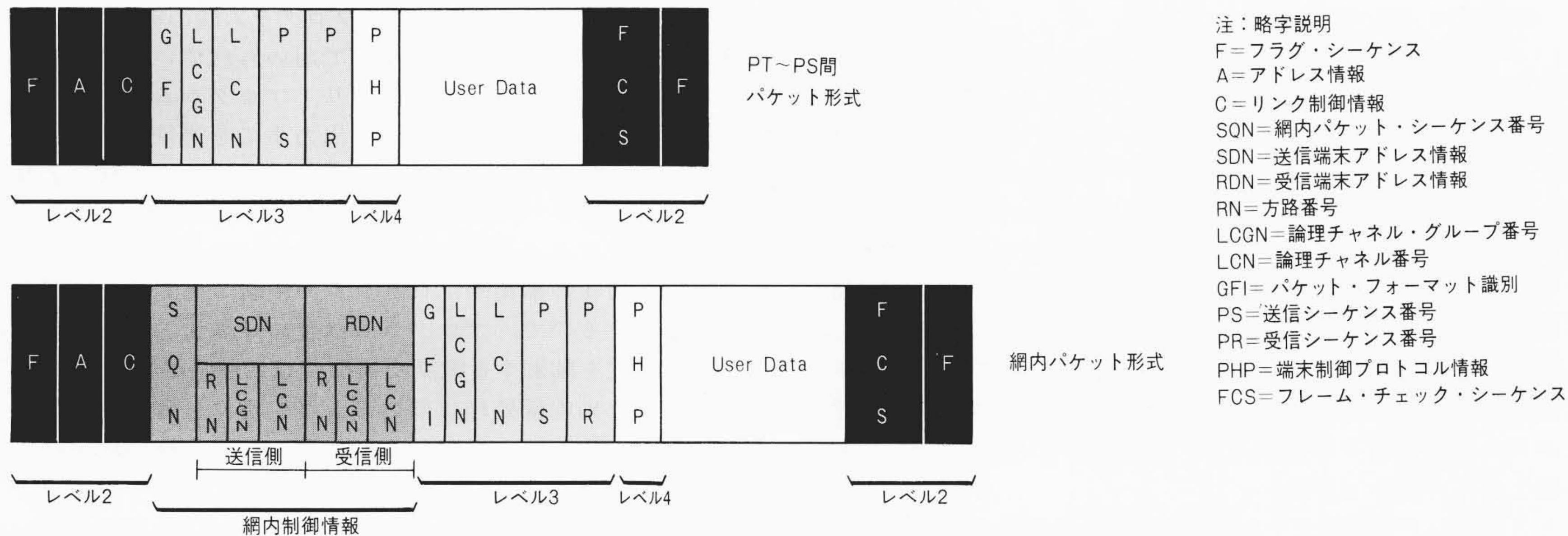


図1 DDXパケット網の基本構成 DDX網は、NPTと中・低速のPTを集線してパケット多重を行なうPMXと、PMXとPTを収容してパケット交換を行なうPSとで構成される。



(2) 論理チャネルの制御

パケット交換では、一対のプロセス間の通信を論理チャネルを使用して行なうことは4章で述べたが、この論理チャネルを通信開始時に設定し通信終了時に開放する制御と、送受信するパケットの管理を行なうのが呼制御である。この呼制御のために必要な呼制御メモリ(Link Memory: LIMと略す)をすべての論理チャネルに固定的に割り付けることにより、メモリ管理の単純化と処理負荷の軽減を図るとともに、LIM不足によりサービス性が低下することを防止している。

保留時間に対して課金される回線交換に比べて、パケット交換の場合保留時間が長くなる、すなわち端末当たり平均呼量が大となることを考慮すると、LIMをハント方式としても所要メモリの減少は少ない。

ところで、PSにはPT, PMX及び他交換局からパケットが送られてくる。PSが呼制御を行なうに当たって、これらのパケットを一元的に扱うことができれば処理の統一化が図れる。そこで、PSでは次に述べるような処理方式をとっている。

図4はLIMとパケットとの対応関係を示したものである。PTからのパケットは、パケットに付与されている論理チャネル番号(Logical Channel Number: 以下、LCNと略す)とHSEの回線番号(Route Number: 以下、RNと略す)とによりLIMと対応づける。またNPTからのデータは、PMXで端末収容位置番号(Line Number: 以下、LNと略す)を付与した後にパケットに組み立て、PSへ送出する。PSでは、PMXの識別をHSEのRNで行ない、このRNとLNとでLIMとの対応づけをする。一方、他交換局にまたがる通信では、呼設定時に通信相手の端末を収容する交換局に、このRNとLCN、又はRNとLNを通知する。以降の通信では、パケット内の網内制御情報にこれらの情報を含ませることによって、他交換局から送られてくるパケットとLIMとの対応づけを行なう。

(3) 伝送遅延時間の短縮

網内でのパケット伝達遅延は、パケットの処理待ち遅延、送信待ち遅延及び中継段数に比例する伝送路による遅延により発生する。このうち送信待ち遅延と伝送路遅延は、後述の径路選択制御の箇所では触れることとし、ここでは処理待ち遅延の短縮について述べる。

パケット呼処理プログラムの各プログラム間の実行方式は、図5に示すように電話交換機などで用いられているプログラム・キューを用いる方式とは異なり、プログラム・キューを使用しないでパケットの入力から出力までを連続して処理する方式(シングル・スレッド方式)をとっている。これによりプログラム・キューによる待合せをなくしてパケット伝達遅延時間を短くするとともに、プログラム・キューを介するための引継ぎ情報の編集やプログラムの中断・再開時の処理を不要としているので、プログラム構造の単純化ともなっている。機械接点を制御する電話交換機では、通話路制御に10ms以上要したため内部処理は前処理と後処理に分離せざるを得なかったが、パケットではメモリ処理だけで交換処理が終わるため、このような単純化が可能となった。

(4) 径路選択(ルーチング)

送信局から受信局にパケットを転送するに当たって複数の転送ルートを選択できる場合には、前述の遅延時間の短縮とパケット網全体の負荷の分散を目的として、パケットごとに最適径路の選択(ルーチング)を行なっている。

ルーチングの方式は幾つかあるが、複雑な制御を必要とする方式では交換機の負荷をかえって増大させてしまうので、DDX網では制御が比較的容易でかつ効果的な方式として固定迂回方式を採用している。これは出方路ごとの送出待合せパケット数の大小により、あらかじめ受信局別に割り当てられた出方路を選択する方式である。

(5) 順序補正

前項(4)で述べたようにパケットごとに網内の通過径路が異なることや、先に送られたパケットが網内誤りで再送処理を受けている間に後ろのパケットが追い越すことがあり、送信局が端末から受け取ったパケットの順序どおりに遠隔の受信局に届かない場合がある。この順序逆転を検出し補正するために、受信局で図2のSQN(網内パケット・シーケンス番号)で示す網内用の通番を宛先ごとにすべてのパケットに付与し、受信局で順序の確認と補正を行なっている。

(6) 流量(フロー)制御

送信側端末が受信側端末の受信能力を超える速さでデータを送信した場合、網内にパケットが累積して他の通信の疎通を低下させることになる。そこで、呼を識別するための論理チャネル番号(網制御用のレベル3に相当)対応に一括送出可

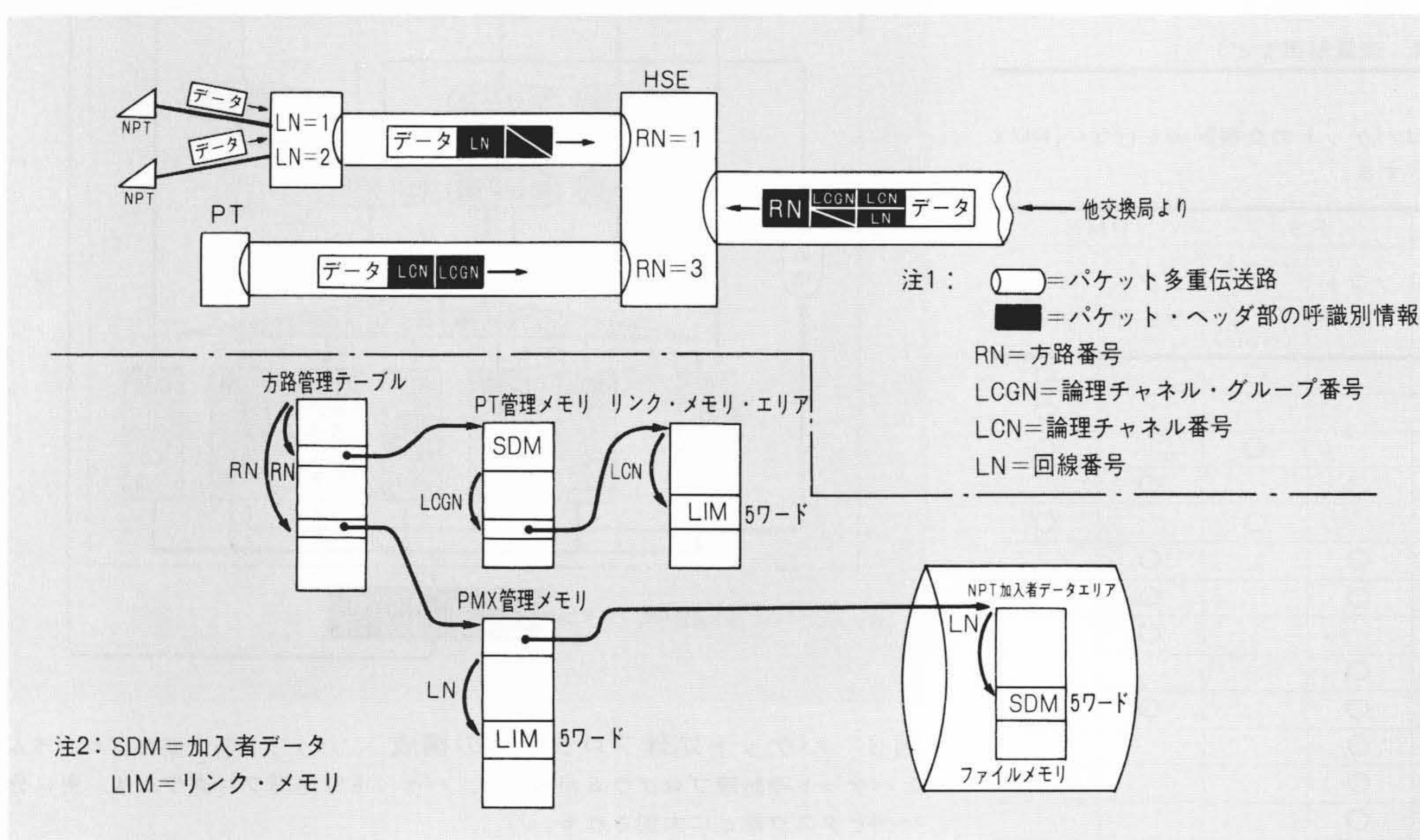


図4 呼処理メモリの構成
PSはRN, LN, LCN, (LCGN)により、パケットと端末対応メモリ(SDM, LIM)との対応づけを行なう。

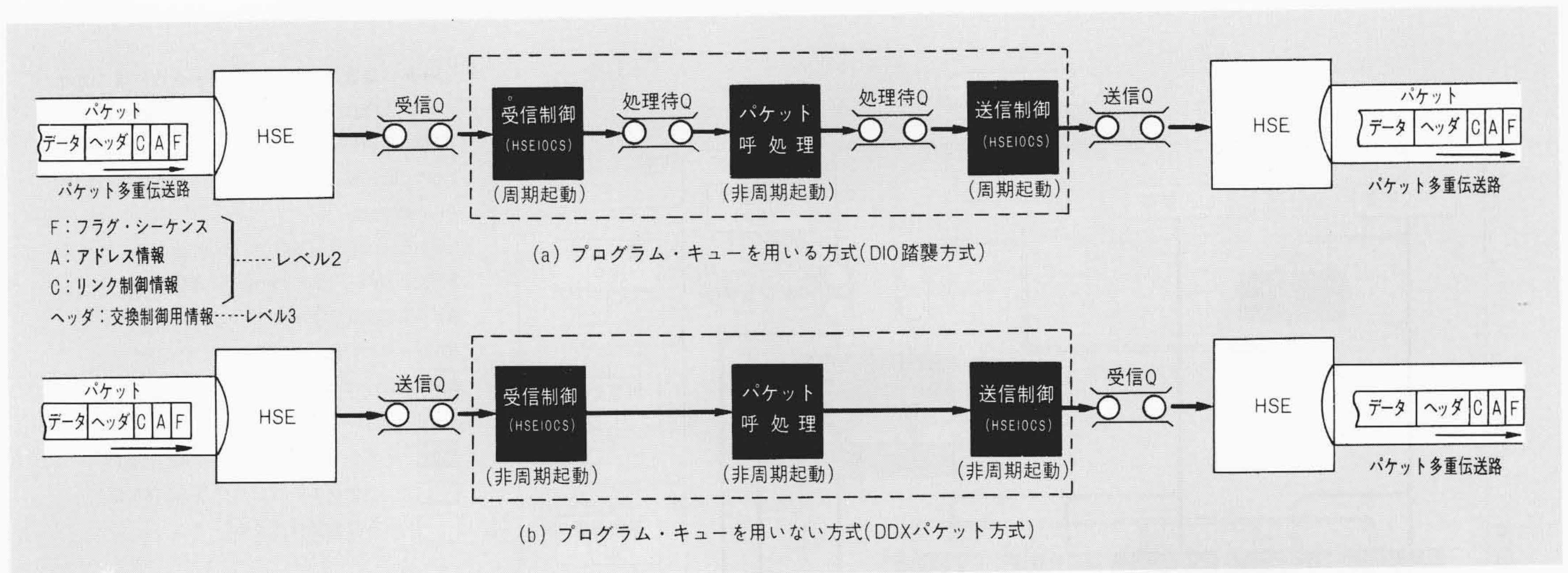


図5 パケット処理方式 プログラム・キューを使わないシングル・スレッド方式であり、パケット伝達遅れを短縮している。

能パケット数(Window Size:以下, WSと略す)を送・受信端末と網との間で約束し、図2に示すように、端末からのパケット内にあるレベル3の通番(図2のPS)を利用してWS個を超えるパケットが網内に累積していないかどうかを監視し、超えた場合はパケットが網に入力されるのを規制する方式を採っている。すなわち、図6に示すように、送信端末は受信側からの送信可パケット中の通番により確認されたパケット以降、WS個分しか新たなパケットを送出することができない。

この流量制御は送・受信両端末間(エンド・ツー・エンド)に適用しているため、送信可パケットで受信端末の送達確認も兼ねることができる。すなわち、送信端末は送信可パケットを時限監視することにより、網内での伝送誤りによるパケット紛失の回復を図ることができる。

(7) 輻輳制御

上記の流量制御により、各論理チャネルが使用するバッファの最大数は制限されてはいるが、各チャネル対応に最大数のバッファを用意することはバッファの使用効率を下げるこ

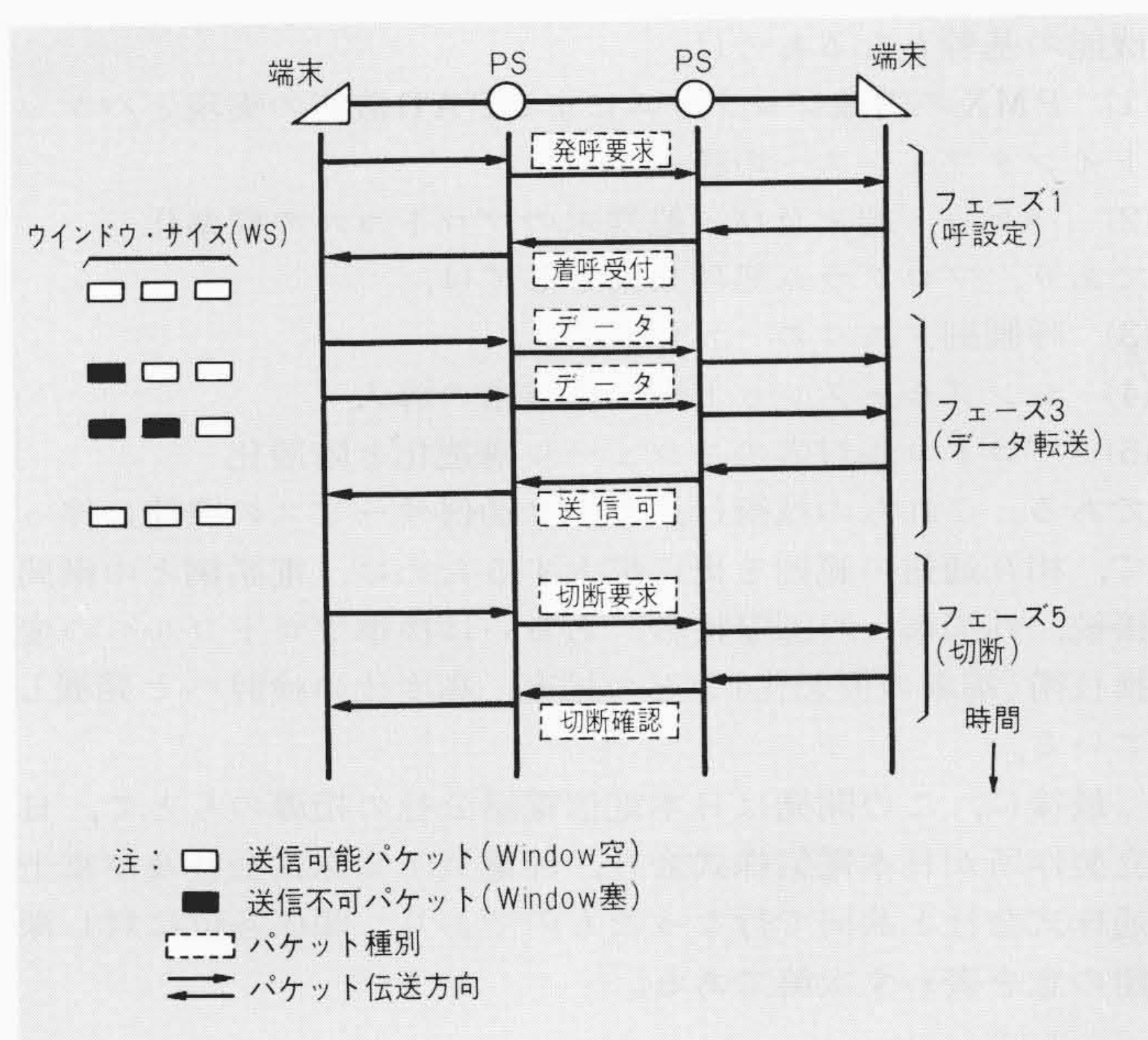


図6 パケットの流量制御 端末は呼設定完了後データ・パケットの送受信を開始し、ウィンドウ・サイズ(WS)分のデータを連続して送信できる。その後、送信可パケットを受信すると、改めてデータ・パケットの送信が可能となる。

とになるので、すべてのチャネル間でバッファを共有する方式をとっている。しかしこの結果、特定の端末に向かうパケットだけが網内に累積し、その局全体に輻輳が広がる恐れがある。そこで、図7に示すように、複数の論理チャネルをもつPTに向かうパケットの数がそのPTに割り当てられた数を超えた場合、送信端末からのパケット入力を規制している。

また、上記の流量制御や輻輳制御を行なっても、交換機自身のプロセッサ負荷やバッファ使用率が許容値以上になり、正常な交換動作が維持できなくなる場合がある。このような輻輳状態に対しては網全体としての制御が必要であり、輻輳局へのパケットの流入を抑えるために網内の全交換局に異常状態の発生を通知するパケットを送信し、輻輳局へのパケットを網の入口で規制する方法を採っている。

5.2 PMXの機能と処理方式

PMXは、多種類の端末からの入力に対して実時間処理が要求される。PMXのプログラムは図8に示すように仕事のスケジューリング方法としてジョブサーチ方式を採っているため、一定以上の長さのジョブは適当な箇所で自主的に中断して優先度の高いジョブの実行を終了した後、中断プログラムを再開する方式としている。このために、プログラムの構成を、

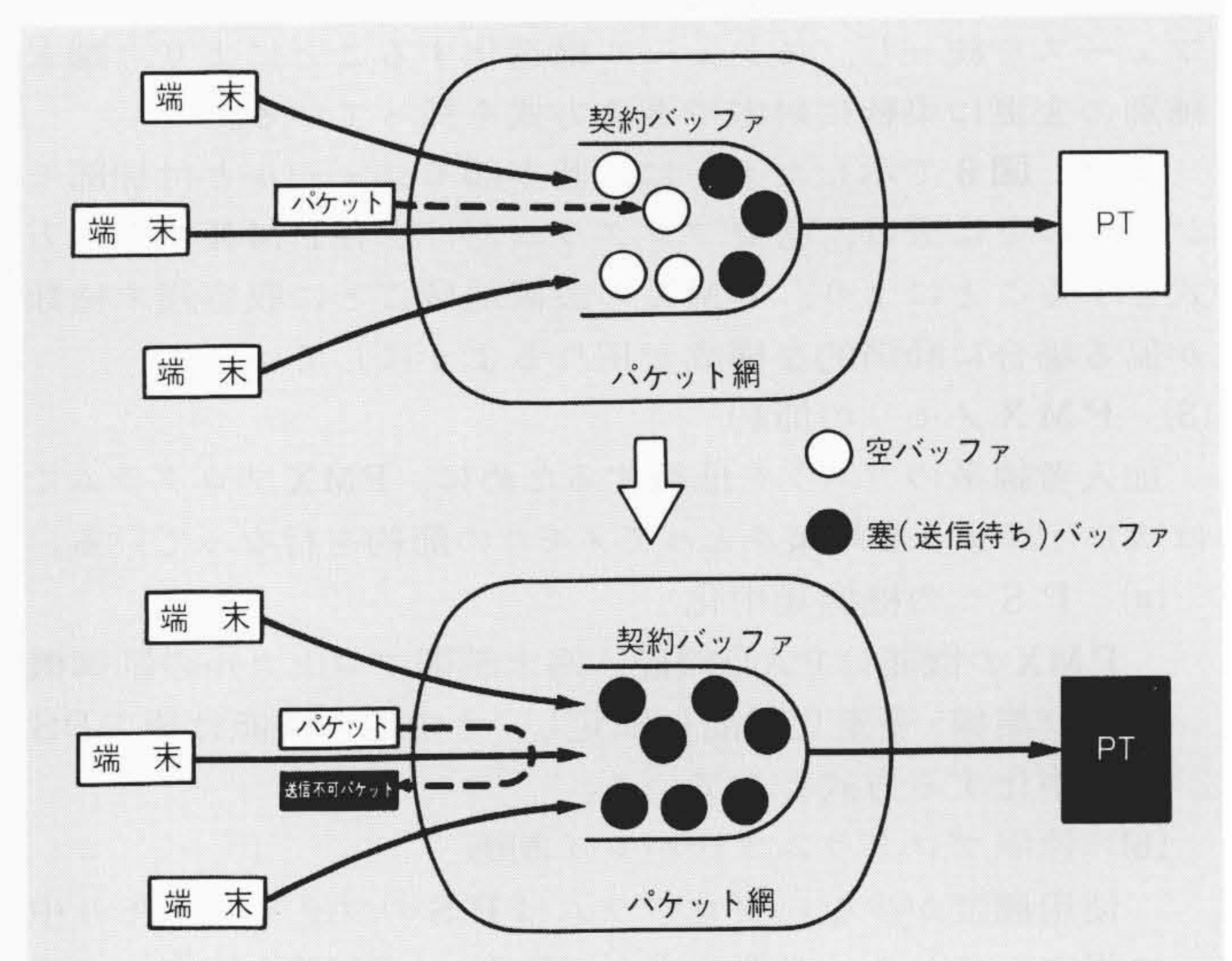


図7 パケット端末対応の輻輳 PTへの送信待ちパケット数が、あらかじめ網と契約した数(契約バッファ数)を超えた場合は、新たなパケットの入力を規制する。

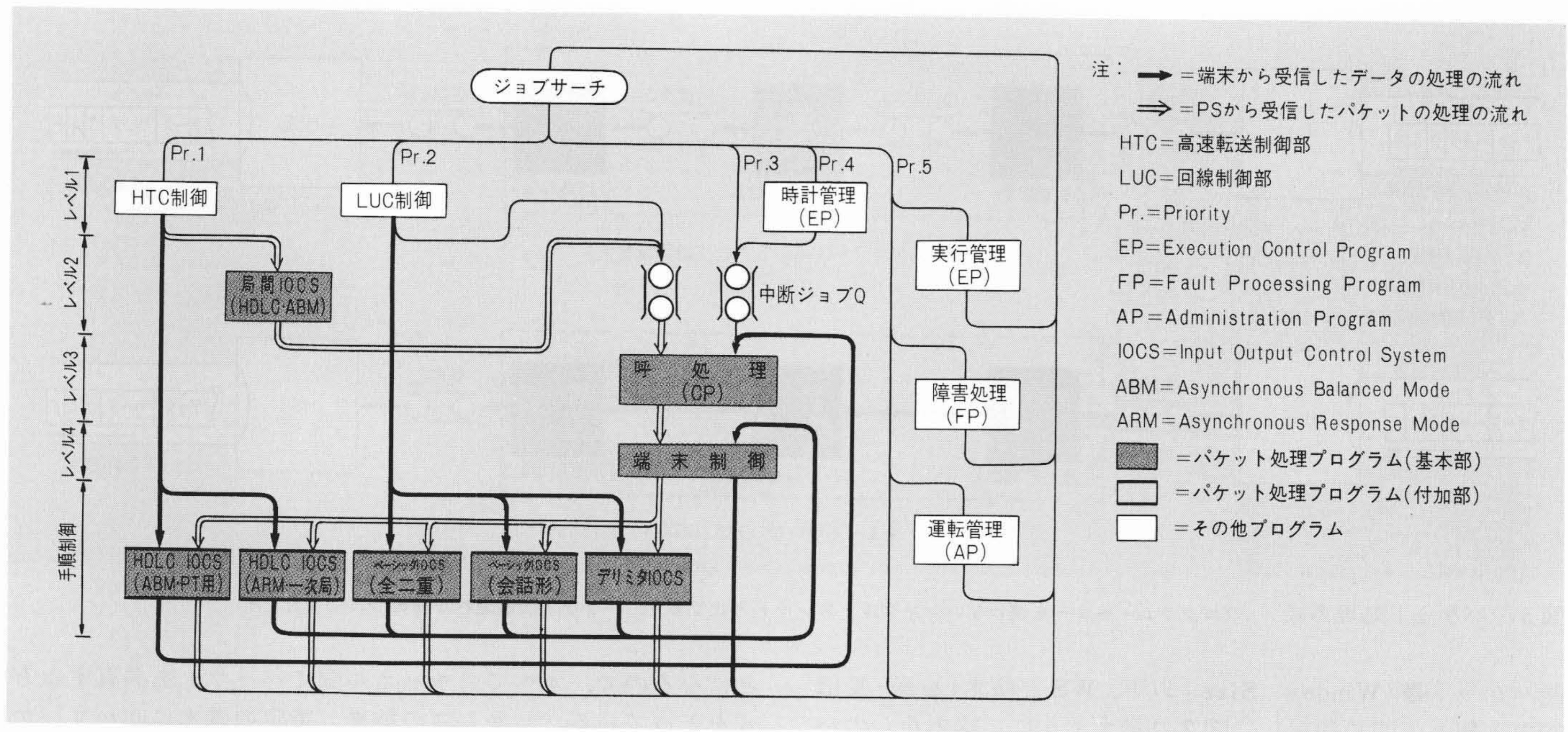


図8 PMXプログラムの構成 パケット処理プログラムは、ハードウェア構成、伝送制御手順種別及びプロトコルの階層に合わせたモジュール構造を取り、更に基本部と付加部とに分けて経済的なPMXの構成を図っている。

- (a) ハードウェア構成
- (b) パケットの階層構成
- (c) 伝送制御手順種別

に対応したモジュール構造としてプログラム構成の明確化を図っている。なお、ジョブの中断は必要な都度モジュール単位に行なっている。

(1) パケットの組立・分解(PAD)機能

PAD機能をもたないNPTに対しては、PMXがこの機能を代行する。このためにNPTと通信するPTに対して表3に示したシステム制御プロトコルを規定し、この規約に従って、PMXはNPTの加入者線の監視と制御を行なうとともに、NPTからのデータをパケット化してPS経由で相手端末に送信する。また逆に、PSから受信したパケットをデータに分解してNPTに送信する。

(2) プログラムのモジュール化と階層化

PMXプログラムは前述したように、プログラム間インタフェースを統一し、モジュール構造化することにより、端末種別の変更に対応できる方式を採っている。

また、図8で示したように、基本部モジュールと付加部モジュールとに分け、必要プログラムだけを各PMXでもつ方式とすることにより、PMXの設置地域ごとに収容端末種類が偏る場合に経済的な構成が採れるようにしている。

(3) PMXメモリの節約

加入者線系のコストを低減するために、PMXプログラムでは次に示すような対策をとってメモリの節約を行なっている。

(a) PSへの機能集中化

PMXの機能はPAD機能、端末制御プロトコルの制御機能及び集線・多重化機能に限定し、その他の機能は極力PSへ集中化する方式としている。

(b) 遠隔プログラムオーバーレイ制御

使用頻度が少ないプログラムはPSのファイルメモリ中に保存しておき、必要に応じてPSからPMXの特定エリア(オーバーレイエリア)にロードする遠隔オーバーレイ方式を用いている。

(c) パケット用バッファサイズの最適化

パケット交換は蓄積交換形のため、全メモリ中に占めるバッファメモリの割合は大きい。PMXが取り扱うパケットのデータ長は最大256バイトであるが、調査によると我が国の平均的なデータ長分布は64~128バイトが最も多い。

この点に着目し、バッファ使用効率の向上とバッファ管理の容易化とのバランスを考慮して、 $\frac{1}{2}$ パケット長(128データバイト+制御バイト=154バイト)をバッファの基本サイズとし、基本サイズを超えるデータが到着するとダイナミックに次のバッファを割り付ける方式としている。

6 結 言

DDXパケット交換機ソフトウェアを取り巻く外部条件とサービス仕様を述べ、それらを実現するためのソフトウェア処理方式及び諸技術について述べた。これらのソフトウェア機能の基幹となるものは、

- (1) PMXの内蔵プログラムによるPAD機能の実現とパケットインタフェースへの統一
- (2) パケット端末及び一般端末のプロトコルの標準化であり、プログラム処理技術としては、
- (3) 呼制御メモリの一元化
- (4) シングル・スレッド形処理技術の導入
- (5) プロトコル対応のモジュール構造化と階層化

である。これらの技術は、データ通信サービスの発達に伴って、相互通信の範囲を更に拡大するために、電話網との網間接続、外国網との国際接続、あるいは標準プロトコルへの変換技術(端末の仮想化)などの拡充、高度化の検討へと発展している。

最後に、この開発は日本電信電話公社の指導のもとで、日立製作所が日本電気株式会社、沖電気工業株式会社及び富士通株式会社と共同で行なったものであり、関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 美間ほか32名：DDX-2パケット交換方式特集，日本電信電話公社研究実用化報告，26，pp. 1~145（昭52-11）
- 2) 林ほか3名：パケット多重化装置のプログラム構成，電子通信学会全国大会（昭52-3）