

■5群 (通信・放送) - 4編 (ノード技術)

3章 データ交換システム

(執筆著：竹中豊文) [2010年6月 受領]

■概要■

パケット交換は、ある意味で米ソ冷戦時代の産物であり、国防総省が、核攻撃に耐える通信システムの開発を、1961年にアメリカ空軍創設の RAND 戦略研究所に依頼したことに開発の端を発する。パケット交換の概念は、1961年にマサチューセッツ工科大学の Leonard Kleinrock が、パケット多重に関する論文で発表しており、1964年に RAND 戦略研究所の Paul Baran は、「分散型通信システムについて」の研究報告を行い、動的なルーチングによるパケット網の高信頼化を提案している。1969年には、パケット交換技術によるコンピュータネットワークである ARPA ネットワークの実験が始まっている。

日本においては、日本電信電話会社において、1968年からデータ交換網の検討が開始されている。その後、CCITT SG VIIで進められたパケット交換に関する標準プロトコルである X.25 に準拠したパケット交換機の開発が進められ、1980年に商用サービスを開始している。

フレームリレーは、X.25 プロトコルの誤り制御手順を簡略化し、高速化を図ったものである。分散コンピューティングの進展にともない、LAN 相互を広域回線で高速に接続する需要が顕在化し、CCITT、ANSI 及びフレームリレーフォーラムが連携しながら、フレームリレーの標準化が進められた。

ATM 交換は、1980年代後半から研究開発や標準化が進められた B-ISDN の標準転送モードである ATM (Asynchronous Transfer Mode) に基づく交換方式であり、53 バイトの固定長のセルを用いるパケット交換の一種である。ATM 交換は、セルリレーともいわれ、フレームリレーと異なり、セルルーティングスイッチといわれるハードウェアスイッチを用いるため、155 Mbps 以上の高速通信が可能である。

フレームリレー及びセルリレーは、法人向けのデータ通信サービスとして 1994年にサービスを開始している。

【本章の構成】

本章では、データ交換システム (3-1 節) として、パケット交換システム、ATM 交換システム及びフレームリレーをとりあげ、その主要技術について解説する。

■5群 - 4編 - 3章

3-1 パケット交換システム

(執筆著：竹中豊文) [2009年4月 受領]

3-1-1 パケット交換方式

パケット交換 (Packet Switching) は、蓄積交換 (Store and Forward Switching) の一種であり、メッセージを複数のパケットに分解し、宛先情報などからなるヘッダ (Header) を付加して、パケット単位に蓄積交換を行う (図 3・1)。パケットは、その最大長が規定されており、ユーザのメッセージは、パケット組立て分解機能 PAD (Packet Assembly Disassembly) を用いてパケット化され、パケット交換機に送信される。パケット交換機では、パケットを一旦メモリに蓄積し、パケットのヘッダに記載された宛先情報とパケット交換機内のルーティングテーブルを用いて、パケットの送信経路を決定し、送信回線にパケットを送信する。送信回線上は、他のユーザのパケットとパケット多重化 (Packet Multiplexing) されるため、ユーザごとに通信路を占有する回線交換 (Circuit Switching) と比べ、伝送路を効率的に用いることができる。パケットを受信した端末は、パケットを分解し、元のメッセージに組み上げる (図 3・1)。

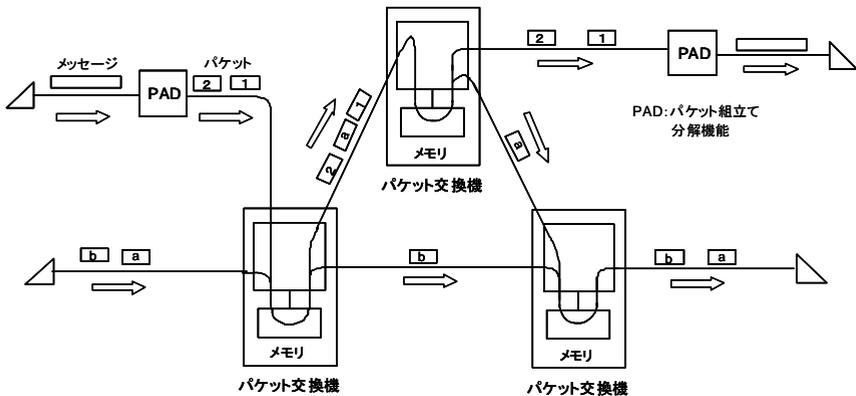


図 3・1 パケット交換の原理

3-1-2 パケット交換網のインターフェース

パケット形態端末 PT は、パケット交換網と X.25 により接続される (図 3・2)。X.25 は、CCITT (現 ITU-T) により定められた国際標準プロトコルであり、ネットワーク終端点 (DCE : Data Circuit End) と端末 (DTE : Data Terminal Equipment) のインターフェースを定めている。

非パケット形態端末 NPT は、PAD を介してパケット交換網に接続される。NPT と PAD の接続については、X.28 によりそのインターフェースを規定している。X.3 (図 3・2) は、PAD のパラメータと機能を規定しており、パケット化の契機や PAD に対するフロー制御などを規定している。

パケット形態端末 PT は、一般端末 NPT と PAD を介して通信する。X.29 (図 3・2) は、パケット形態端末と PAD 間あるいは PAD-PAD 間の通信制御手順を規定しており、一般端末へ

のエコーバック制御などの PAD に対する指示機能を規定している。

パケット交換網相互の接続インターフェースは、X.75 により規定されている (図 3・2)。X.75 は、関門交換局 GWS (Gate Way Switch) を介してパケット交換網を接続する場合の国際標準プロトコルである。

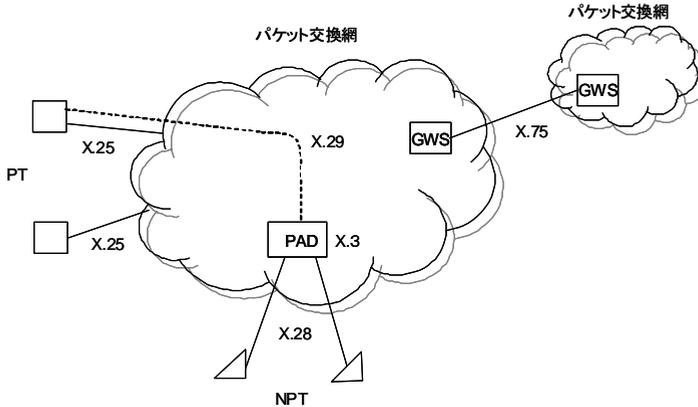


図 3・2 パケット交換網のインターフェース

3-1-3 X.25 プロトコル

X.25 プロトコルは、パケット形態端末 PT とパケット交換網のインターフェースを規定している。X.25 の規定範囲は、OSI 参照モデルの下位 3 層であり、レイヤ 1 から 3 のインターフェースを規定している。

(1) X.25 レイヤ 1

X.25 レイヤ 1 は、パケット形態端末 PT と伝送路の接続部におけるピン構成・回路機能・電氣的条件を規定する。デジタル同期回線用に X.21 が、アナログ同期回線用に X.21 bis が規定されている。X.21 では、15 ピンのコネクタを用いて、デジタル同期回線に接続される。X.21 bis では、アナログ回線にモデムを用いて接続する。V シリーズ系の 25 ピンの V.24/V.28 のあるいは 34 ピンの V.35 を用いる。

(2) X.25 レイヤ 2

X.25 レイヤ 2 は、パケット形態端末 PT とパケット交換網間のデータリンク制御を規定しており、主として誤り検出と回復の手順を定めている。CCITT 勧告 X.25 のレイヤ 2 としては、不平衡形データリンクアクセス手順 (LAP : Link Access Procedure) と平衡形データリンクアクセス手順 (LAPB : Link Access Procedure-Balanced) の二つのモードが採用されているが、実際には LAPB が多く用いられており、勧告の中でも LAPB の使用が推奨されている。

X.25 レイヤ 2 としては、単一回線上で HDLC を動作させるシングルリンク手順 SLP (Single Link Procedure) と、複数回線上で HDLC を動作させるマルチリンク手順 MLP (Multiple Link Procedure) が規定されている。

(3) X.25 レイヤ3

X.25 レイヤ2が、主にデータリンク上でのビット誤りの検出と回復を行うのに対して、X.25 レイヤ3では、端末・端末間でバーチャルサーキットの設定や解放を行う。また、バーチャルサーキット上でのデータ送受信制御やフロー制御を行う。

バーチャルサーキットサービスには、論理的な通信路を任意の相手と選択的に設定するバーチャルコール (VC : Virtual Call) と論理的な通信路を固定的に設定するパーマナントバーチャルサーキット (PVC : Permanent Virtual Circuit) がある。

3-1-4 パケット種別とフォーマット

X.25 レイヤ3で用いられるパケット種別を表3・1に、制御パケットのフォーマットを図3・3に示す。

表3・1 X.25 レイヤ3 パケット種別

種類	パケット種別				パケットタイプ識別子 (第3オクテットのビット表示)											
	DTE ⇒ DCE		DCE ⇒ DTE													
呼設定	発呼要求	CR	着呼	IN	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1		
	着呼受付	CA	接続完了	CC	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
呼解放	復旧要求	CQ	切断指示	CI	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1		
	復旧確認	CF	復旧確認	CF	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1		
リスタート	リスタート要求	SQ	リスタート指示	SI	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1		
	リスタート確認	SF	リスタート確認	SF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
リセット	リセット要求	RQ	リセット指示	RI	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1		
	リセット確認	RF	リセット確認	RF	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		
データ	データ	DT	データ	DT	P(R), M, P(S)								0			
	受信可	RR	受信可	RR	P(R), 0								0	0	0	1
フロー制御	受信不可	RNR	受信不可	RNR	P(R), 0								0	1	0	1
	割込み	IT	割込み	IT	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1		
割込み	割込み確認	IF	割込み確認	IF	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1		

P(R) : 受信順序番号(3ビット), M : モアデータ表示(1ビット), P(S) : 送信順序番号(3ビット)

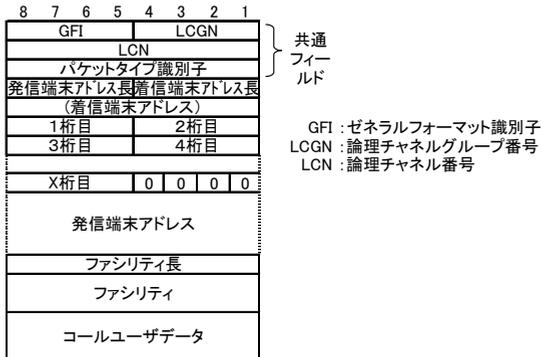


図3・3 制御パケットフォーマット (CR/IN)

(1) 共通フィールド

表3・1で示したパケットは、図3・3に示す共通フィールドを有する。ゼネラルフォーマット

ト識別子 (GFI : General Format Identifier) は, DT パケットの形式の指定などに用いる。論理チャンネルグループ番号 (LCGN : Logical Channel Group Number) と論理チャンネル番号 (LCN : Logical Channel Number) は, パーチャルサーキットを識別するための識別子である。パケットタイプ識別子はパケットの識別に用いる。

以降は, 呼設定パケットで用いられるパケットフィールドを説明する。

(2) アドレスフィールド

発信端末・着信端末のアドレスを設定するフィールドであり, 第 4 オクテットに発信・着信端末のアドレス長がバイナリで設定され, 以降のフィールドに着信端末アドレス, 発信端末アドレスの順に設定される。端末アドレスには, X.121 で規定された公衆データ網番号計画に基づくアドレスが設定され, BCD (binary coded decimal : 2 進化 10 進法) コードで記述される。

(3) ファシリティフィールド

付加サービスやパケットサイズなどのネゴシエーションに用いられるフィールドであり, 呼ごとに使用される。最初のオクテットにファシリティ長を記述し, 複数のファシリティを設定する。付加サービスには, 着信課金, ファーストセレクトなどがある。なお, ファシリティ長の最大長は 109 オクテットと定められている。

(4) コールユーザデータ

着信端末へ送信するデータを設定するフィールドであり, 最大 128 オクテットのデータの設定が可能である。コールユーザデータを利用することにより, データ転送状態に入る前に, 相手端末へのデータ送信が可能となる。前述のファーストセレクトのファシリティ設定ときは, 最大 128 オクテットのユーザデータの設定が可能であるが, 設定がない場合は, 最大 16 オクテットとなる。

3-1-5 接続制御手順

パーチャルコール方式での接続制御手順を 図 3-4 に示す。

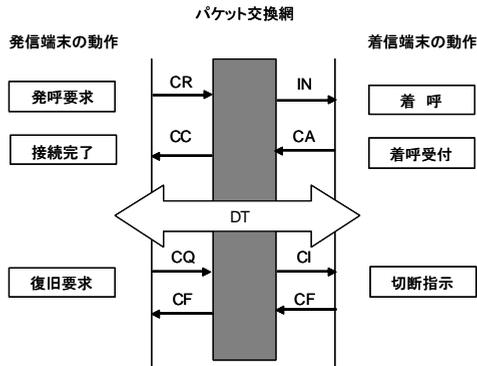


図 3-4 呼設定・解放手順

発信端末は、網に対して発呼要求パケット CR を送信する。ネットワークは、網内の設定を行った後、着信端末に対して、着呼パケット IN により着呼を通知する。着信端末が着信を受け取ると、網に対して着呼受付パケット CA を返送する。CA パケットを受け取った網は、接続完了パケット CC を発信端末に送信し、バーチャルサーキットの設立を完了する。

バーチャルサーキットの解放では、通信端末のいずれかが、復旧要求パケット CQ を網に送信する。CQ パケットを受け取った網は、切断指示パケット CI を通信相手の端末に送信する。CI パケットを受け取った端末は、バーチャルサーキットの解放処理を行った後、網に復旧確認パケット CF を送信する。CF パケットを受け取った網は、網リソースの解放を行い、CF パケットを、CQ パケットを送信した端末に送信し、バーチャルサーキットの解放を完了する。

3-1-6 データ転送制御手順

データパケットのフォーマットは、送信順序番号 P(S) と受信順序番号 P(R) のモジュールにより二つの形式があり、X.25 では、モジュール 8 を基本、モジュール 128 をオプションとしている (図 3・5)。

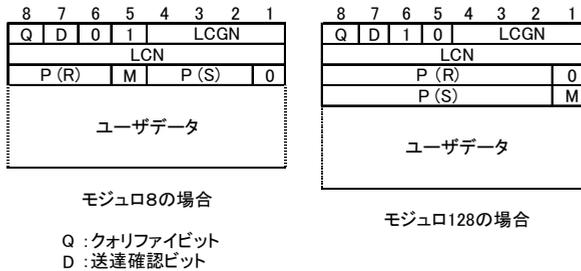


図 3・5 データパケットのフォーマット

(1) Dビット

GFI 中の D ビットは、送達確認ビットと呼ばれており、データパケットの送達確認の識別に用いる。D = 1 のデータパケットは、相手端末からの応答パケットを要求する。すなわち、D = 1 のデータパケットは、エンド・エンドの送達確認を要求する。一方、D = 0 のデータパケットは、接続している直近の交換機から応答パケットを要求する。すなわち、D = 0 のデータパケットは、ローカル確認の送達確認を要求し、転送効率の向上を図る。

(2) Qビット

GFI 中の Q ビットは、クォリファイビットと呼ばれており、PAD との通信ときには、Q = 1 としたデータパケットを用いる。ユーザ間の通信ときは Q = 0 とし、PAD との通信と識別する。

(3) 送信順序番号 P(S), 受信順序番号 P(R)

モジュール 8 のデータパケットとき、第 3 オクテットには、送信順序番号 P(S), 受信順序

番号 P(R) が入り、第 1 ビット目がパケットタイプ識別子となり、0 がセットされる。送信順序番号 P(S) を用いて、パケットの順序制御を行うとともに、データパケットや応答パケット (RR, RNR) の送信順序番号 P(S) と受信順序番号 P(R) を用いて、フロー制御を行う。

フロー制御は、スライディングウインド方式を用いており、ウインド分のパケットの連続転送を可能にするとともに、受信パケットの受信シーケンス番号 P(R) により、ウインドをスライドさせ、送信可能なデータパケットの範囲を更新する。

(4) M ビット

モジュロ 8 のデータパケットとき、第 3 オクテットの第 5 ビットは、M ビットして使用される。M ビットはモアデータビットと呼ばれ、データの連続性を表示している。すなわち、M=1 のときは後続パケットがあることを示し、M=0 時は最終パケットであることを示す。

(5) ユーザデータ

ユーザデータ部には、ユーザのデータが格納される。ユーザデータの長さは、オクテットの整数倍であり、X.25 では 128 オクテットが標準となっている。256, 512, 1024, 4096 オクテットもオプションとして利用可能である。

3-1-7 X.75 プロトコル

X.75 は、パケット交換網を相互に接続するため制定されたプロトコルであり、X.25 プロトコルをベースに、パケット交換網を相互接続するために必要な情報や手順を追加している。

(1) X.25 プロトコルとの相違点

X.75 レイヤ 1 では X.25 レイヤ 1 での回線速度が 64 Kbps までであったのに対して、2 Mbps までの回線速度が使用可能である。

X.75 レイヤ 2 は、X.25 レイヤ 2 と基本的には同様であるが、フレーム通番に関するモジュロ 8 とモジュロ 128 の選択やアドレス部の使用法については、相互接続するパケット交換網の合意によるとされている。

3-1-8 X.75 レイヤ 3

X.75 のパケットフォーマットを図 3・6 に示す。X.25 のパケットの内容は、そのまま X.75 に引き継がれる。X.75 では、更にパケット交換網を相互に接続するために必要なネットワークユーティリティが新たに追加される。ネットワークユーティリティ長は最大 63 オクテットである。X.75 のネットワークユーティリティには、以下のパケット交換網を相互に接続するために必要な管理情報が記述される。

(1) 中継網識別子

中継したパケット交換網のデータ網識別子 (DNIC : Data Network Identification Code) であり、順次 CR パケットに付加される。CC パケットにより、その情報が返送され、発信、中継、着信パケット交換網に VC 設定経路を知らせる。ルーチングや国際課金などに用いられる。

(2) 呼識別子

VC の識別子であり，発信端末アドレスをベースに生成される．発信側パケット交換機において CR パケットに設定される．対応する VC を，ある一定時間一意に識別するために用いる．課金記録，統計情報，呼のトレースなどに用いる．

(3) 切断網識別符号

呼を切断した中継パケット交換網のデータ網識別子である．CQ パケットに付加し，切断発生網を通知する．

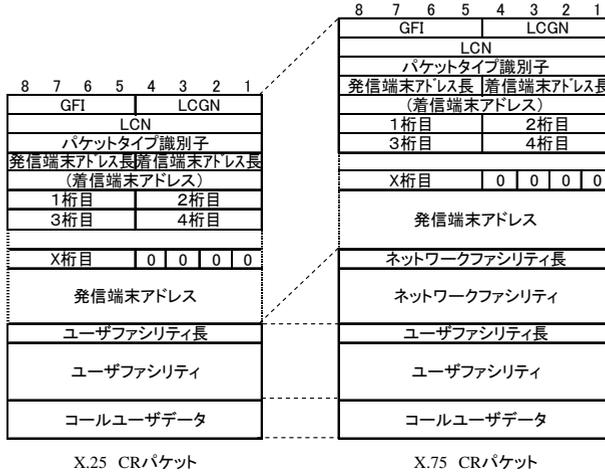


図 3・6 X.75 のパケットフォーマット

■参考文献

- 1) 山内正彌監修, “パケット交換技術とその応用,” 電子情報通信学会, May, 1989.
- 2) 田崎公郎監修, “パケット通信絵とき読本,” オーム社, May 1994.
- 3) 永田鏡男, “パケット交換入門,” オーム社, Jan. 1990.
- 4) 岡田博美, “情報ネットワーク,” 培風館, Mar. 1998.

■5群 - 4編 - 3章

3-2 ATM システム

(執筆者：栗林伸一) [2009年4月 受領]

ATMとは、Asynchronous Transfer Mode（非同期転送モード）のことであり、広帯域サービス総合デジタル網（B-ISDN）の転送技術として開発されたものである¹⁾。B-ISDNは、従来の公衆通信サービスのように電話（音声通信）、データ通信、映像などアプリケーションごとにばらばらに構築されていたネットワークを統合し、効率的で拡張性の高いネットワークの実現を目指すものであり、有線だけでなく無線ネットワークも対象にしている。つまり、ATMは低速から高速までの通信速度ならびに様々なサービス品質を扱うことが求められる。

B-ISDNはインターネットよりも電気通信業界の既存技術・発想をもとに標準化され、グローバルな通信網からプライベートLANまでを統合し、すべてをATMに置き換えようと広範囲にわたって準備がなされた。しかし、IPのように広範囲に渡って利用される技術にはならなかった。現在ではADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line）や企業向けATM専用線のデータ転送技術として利用されている。

3-2-1 ATMの特徴

ATMは、音声、データ、映像、信号などすべての情報をすべて53バイトの固定長パケット（「ATMセル」と呼ぶ）に分割して転送する（図3・7）。ATMセルはヘッダ部5バイト、情報部47バイトから構成される。つまり、ユーザ情報は48バイトごとに区切られ、その先頭に5バイトのヘッダが付与される。

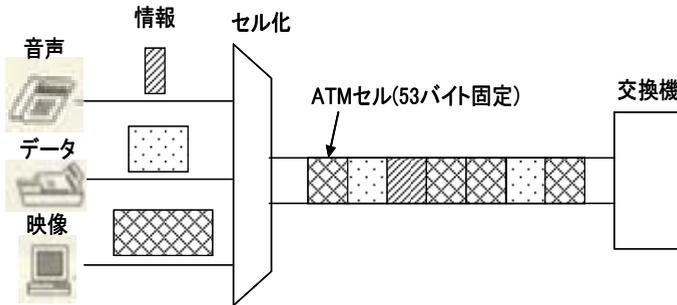


図3・7 ATMを用いた情報伝送イメージ

<特徴1> ATMは回線交換方式とパケット交換方式の両方の長所を取り入れている。ユーザ情報をセルに組み立てる点はパケット交換方式に似ているが、可変長ではなく固定長にすることで宛先をハードウェアで処理し高速通信を可能としている。

<特徴2> パケット交換と同様に、必要なときに必要な分だけセルを生成することでマルチメディア通信によくみられる非同期転送に対応しやすい。また、一定時間に転送するセル数を調整することで、低速から高速まで任意の速度を容易に実現できる。

<特徴3> 53バイトという短かつ固定長のセルで情報を転送することからきめ細かな品質制御が可能である（詳細は3-2-3項参照）。

<特徴 4> 回線交換と同様にコネクション型通信を前提とする。ただし、これは仮想的な回線であり、通信する端末間に事前に仮想回線（ATM コネクション）を設定する。転送するセルには仮想回線を識別するための識別子が設定される。

3-2-2 B-ISDNのプロトコル参照モデル

N-ISDN（狭帯域 ISDN）と同様 OSI 参照モデルに準拠し、ユーザプレーン、制御プレーン、管理プレーンから構成される（図 3・8）。物理レイヤの上の ATM レイヤはすべてのサービスに共通なセル転送を扱う。その上の ATM アダプテーションレイヤ（ATM Adaptation Layer : AAL）は、各サービスに依存する機能を扱い、各サービスに対応して複数のプロトコルが規定されている。これにより、サービスに依存する上位レイヤの機能追加や変更を AAL で吸収し、ATM レイヤのセル転送に影響を与えないようにしている。

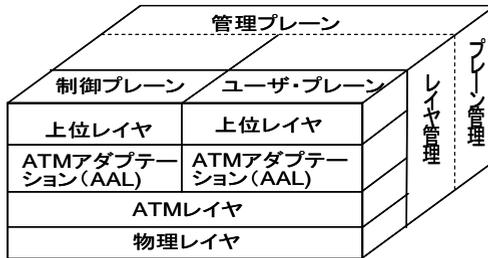


図 3・8 B-ISDN プロトコル参照モデル概要

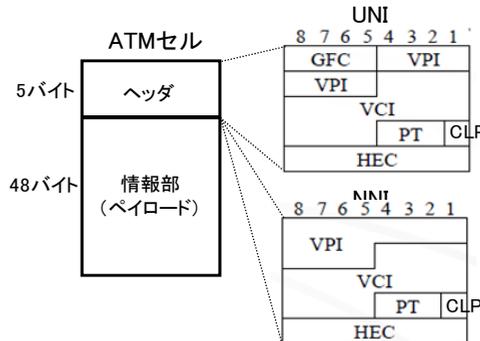


図 3・9 ATMセルの構造

図 3・9 に ATM セルの構造を示す。5 バイトのヘッダ部と 47 バイトの情報部(ペイロード)からなる。ヘッダ部の構成は UNI（ユーザ・網インタフェース）と NNI（ネットワークノード・インタフェース）では一部異なる。具体的な中身を以下に説明する。

GFC : Generic Flow Control（一般的フロー制御）は UNI 特有であり、マルチポイント形インタフェースのアクセス制御のために使用する。

VPI : Virtual Path Identifier（仮想パス識別子）は VP（仮想パス）を識別するための番号である。

VC I : Virtual Channel Identifier (仮想チャネル識別子) は VC (仮想チャネル) を識別するための番号である。ユーザは通信ごとに端末間に VC コネクションを設定し、ATM セルのやり取りを行う。なお、VP は品質種別や経路が同じ複数の VC (仮想チャネル) を集めたものである。各セルには対応する VPI/VCI が必ず設定させる。

PT : Payload Type (ペイロードタイプ) は情報部の中身の種類 (ユーザ情報、保守運用、リソース管理) を表す。

CLP : Cell Loss Priority (セル損出優先表示) はセルの優先度を示し、混雑時には CLP = 1 のセルは CLP = 0 よりも先に廃棄される。

HEC : Header Error Control (ヘッダ誤り制御) はヘッダの先頭 4 バイトに対するビット誤りを検出・修正するための制御情報である。なお、VP と VC の関係を **図 3・10** に示す。

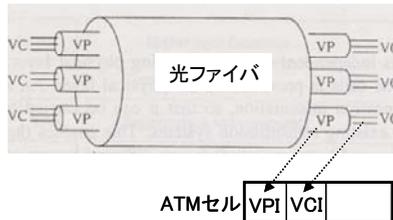


図 3・10 VP と VC の関係

更に、ATM では OAM セル (保守運用セル) を規定し、ATM レイヤでの警報監視、導通性チェック、性能管理、をきめ細かく実施することを可能としている。

ATM アダプテーションレイヤには、AAL 1 から AAL 5 までの 4 種類が存在する (**表 3・2**)。AAL 1 は音声通信など N-ISDN で提供するサービス、AAL 2 は可変速度低速度音声パケット、AAL 5 はデータ通信、などを ATM 上で多重化するために準備されたものである。信号は AAL 5 を用いて転送される。

表 3・2 AAL タイプ

サービスクラス 特徴	クラスA (固定速度音声、 回線交換エミュ レーションなど)	クラスB (可変速度パケッ トビデオなど)	クラスC (コネクション型 データ)	クラスD (コネクションレス 型データ)
送信間隔の受信側 での保存	必要		必要なし	
送信間隔	一定	可変		
コネクションの有無	コネクション型			コネクションレス型
対応するAALタイプ	AALタイプ1	AALタイプ2	AALタイプ3/4、AALタイプ5	

3-2-3 ATM が提供する品質制御³⁾

様々なサービスを統合する ATM では、**表 3・3** に示す四つのベアラ転送能力を提供する。保証タイプはユーザの申告帯域を通信中確保するものである。DBR は音声やリアルタイムビデオなどの固定速度サービス、SBR は可変速度符号化映像などの可変速度サービス、をそれ

ぞれ想定したものである。UBRは従来のインターネットと同じベストエフォート形（品質保証なし）サービスを対象にしている。ABRは網の混雑状態に応じて端末からの送信速度を制御するため端末への網状態通知機能（リソース管理セルを新たに定義）をもち、データ通信サービスなどを想定したものである。このほかに、UBRの一種でフレーム単位にセルを監視するGFR（Guaranteed Frame Rate）も規定されている。

表 3・3 ATMが提供するペアラ転送能力

保証タイプ		ベストエフォートタイプ	適応タイプ
DBR (Deterministic Bit Rate)	SBR (Statistical Bit Rate)	UBR (Unspecified Bit Rate)	ABR (Available Bit Rate)
音声、映像など	可変速度音声・映像など	データ、インターネットなど	マルチメディアデータなど
・情報転送が連続的または予測可能 ・端末再送機能なし		・情報転送が予測困難 ・端末再送機能あり	・情報転送が連続的 ・端末に送信速度制御機能あり
統計多重不可能	統計多重可能		
品質保証型		品質非保証型	品質保証型

更に、コネクションレベルとセルレベルのフロー制御を実施する。前者は要求速度、ペアラ転送能力要求などからコネクション確立できるかどうか判断するコネクション受付制御（CAC：Connection Admission Control）である。後者は使用量パラメータ制御（UPC：Usage Parameter Control）で、コネクションごとに申告以上のセルが流入しないかどうかATM交換機の入り口でチェックする。申告より多く流入したセルは廃棄するか、または印を付けて混雑時には優先的に廃棄することにより、品質を確保している。

3-2-4 ATMコネクションと信号方式²⁾⁻⁴⁾

3-2-1項でも述べたように、ATMはコネクション形通信であり、サービス要求ごとにATMコネクションを設定するSVC形と予め保守手順を用いてATMコネクションを設定しておくPVC形がある。図3・11に示すように、ATM網は一般に端末、端末を収容するATM交換機、ATM交換機を接続するATMクロスコネクタ、から構成される。ATM交換機間には複数のVPリンク（仮想パスリンク）の連結であるVPC（仮想パスコネクション）が固定的に設定される。ATMクロスコネクタは、受信したセルを次の区間のVPリンクに中継する。ATMクロスコネクタはVCIには関与せずVPIだけを見てセル中継する。ATM交換機間の複数のVPリンクの連結をVPコネクションと呼ぶ。端末とATM交換機間にもVPコネクションが設定される。

端末Aから端末Bへの送信要求を受けたATM交換機は、端末Bを収容するATM交換機との間に固定的に設定されているVPコネクション内にVCリンクを設定する。VCIに関連するルーティング表はATM交換機だけがもち、VCIの付け替えはATM交換機のみが行う（ATMクロスコネクタはVCIを透過的に転送）。端末Aから端末B間の複数のVCリンクの連結をVCコネクションと呼ぶ。

このように、ユーザ情報の転送に先立ってVCコネクションを端末間に設定し、それに従っ

た VPI/VCI の対応関係を区間ごとに順次切り替えてセル転送を行う。なお、VPI/VCI 値は区間ごとに定義され、VC コネクション上ではセルの順序性は保証される。

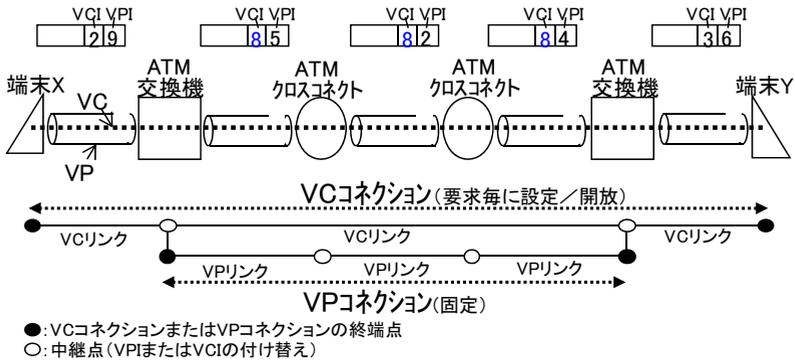


図 3・11 ATM 網における ATM コネクションの例

要求に応じて VC コネクションを設定するための手順を規定するのが信号方式である。UNI (ユーザ・網インタフェース) は N-ISDN 用の Q.931 を拡張とした Q.2931, NNI (ネットワークノードインタフェース) は N-ISUP を拡張した B-ISUP (Q.2764) が新たに規定されている。具体的には、ATM 特有のパラメータである“ATM トラヒック記述子”, “AAL パラメータ”, “広帯域伝達能力”などの情報要素が新たに追加された。また、上下異速度通信、複数コネクション通信、マルチポイント通信、通信中帯域変更などの新たな接続形態にも対応できるようになっている。ATM 上の LAN サービスを提供するために、IP over ATM 手順や LAN Emulation (LANE) 手順なども新たに規定された。

更に、N-ISUP では回線識別子で呼も識別していたが、B-ISUP では呼とベアラの分離を前提として信号識別子 (SID) を新たに導入し、様々な接続形態に対応できるようになっている。

■参考文献

- 1) 青木利晴, 青山友紀, 濃沼健夫監修, “広帯域 ISDN と ATM 技術,” 電子情報通信学会.
- 2) 加納貞彦監修, 栗林伸一編著, “やさしい ATM ネットワーク信号方式,” 電気通信協会.
- 3) TTC 標準 JT-I150, JT-I361, JT-I363.1-5, JT-I371, JT-Q2931, JT-Q2764, など.
- 4) IETF RFC1483, ATM フォーラム仕様 LANE 1.0, PNNI, など.

■5群 - 4編 - 3章

3-3 フレームリレー交換システム

(執筆者：竹中豊文) [2009年4月 受領]

3-3-1 フレームリレー方式

(1) フレームリレーとパケット交換

フレームリレーも X.25 パケット交換と同様に、Store and Forward を基本とする蓄積交換の一種である。しかし、X.25 パケット交換と違い、レイヤ2 のヘッダ情報を用いてスイッチングを行う点で、フレームリレーはレイヤ2 スwitching といわれている。

フレームリレーは、X.25 パケット交換と比べ、網内での処理として、フレーム誤り検出は行うが、フレームが紛失しても再送は行わない。このため、エンド・ホスト間でフレーム損失を監視し、再送を行う必要がある。この点は、インターネットにおける IP と TCP の関係に相当している。また、フレームリレー網は、網輻輳を通知する機能を有しているが、X.25 パケット交換網のように、網とユーザ端末間で入力を規制する機能をもっていない。このために、フレームリレー網を効率よく利用するためには、網の輻輳通知に対して、端末側で有効な入力規制を行う必要がある。この点も、網の輻輳に応じて、端末側で自発的に輻輳制御を行う TCP 輻輳制御に類似した設計となっている。

(2) フレームリレーの特徴

フレームリレーは、データリンク層の機能を誤り検出と DLCI (Data Link Control Identifier) を用いた多重化のみに限定し、プロトコルの簡易化を図ることにより、64 Kbps 程度のパケット交換に比べ、2 Mbps 程度の高速度なデータ転送を可能としている。

また、CIR (Committed Information Rate : 認定情報速度) に基づく帯域制御の導入し、FECN (Forward Explicit Congestion Notification) / BECN (Backward Explicit Congestion Notification) という新たな輻輳通知機能とあわせて、フレームリレー網の円滑な運用を図っている。

3-3-2 フレームリレープロトコル

フレームリレーのデータ転送を実行するデータリンクレベルは、LAPF (Link Access Control Procedure to Frame Mode Bearer Services) とも呼ばれ、X.25 パケット交換プロトコルのレイヤ2 プロトコルである LAPB に比較し、フレーム種別を削減するとともに、再送制御に関する手順を除いた簡易なプロトコルとなっている。

図 3・12 に、X.25 の LAPB と比較したフレーム構成を示す。フレームリレーのデータリンク層は、フレーム多重、伝送エラー検出のみを行い、プロトコル処理の簡易化を図っている。

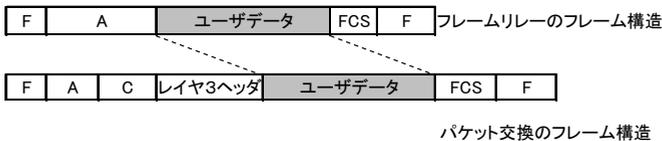


図 3・12 フレームリレーのフレーム構造

(1) フラグシーケンス

フレームリレーにおけるフレームの開始と終了は、LAPB と同様に 01111110 からなるフラグを用いている。

(2) アドレスフィールド

アドレスフィールドは、2～4 オクテットからなり、デフォルトは 2 オクテットとなっている。図 3・13 に、2 オクテット時のアドレスフィールドを示す。アドレスフィールドは、DLCI (Data Link Connection Identifier : データリンクコネクション識別子) と 5 種類のビットとから構成されている。DLCI は、1 本の物理回線上に設定される複数の論理的な通信路を識別する。図 3・13 は、アドレスフィールドが 2 オクテットの場合であり、10 ビットの識別子となっている。DLCI は、使用用途が定められており、ユーザが利用できるのは通常 16 から 991 となっている。EA (Extended Address Field Bit : アドレスフィールド拡張ビット) は、アドレスフィールドの拡張の有無を表示し、EA=0 時はアドレスフィールドが続くことを示す。

DE (Discard Eligibility indicator : 廃棄可能表示)、FECN (Forward Explicit Congestion Notification : 順方向明示的輻輳通知) 及び BECN (Backward Explicit Congestion Notification : 逆方向明示的輻輳通知) については次節以降で説明する。

8	7	6	5	4	3	2	1
DLCI (上位DLCI)						*	EA (= 0)
DLCI (下位)			FECN	BECN	DE	EA (= 1)	

DLCI : データリンクコネクション識別子
 FECN : 順方向明示的輻輳通知ビット
 BECN : 逆方向明示的輻輳通知ビット
 DE : 廃棄可能表示ビット
 EA : アドレス部拡張ビット
 * : ユーザにより任意設定可能なビット

図 3・13 アドレスフィールド

(3) 情報フィールド

情報フィールドには、ユーザデータが格納される。情報フィールド長は 1 オクテットから設定可能で、勧告には最大長は定められていない。実際には 4096 オクテットまでが利用可能である。

(4) FCS (Frame Check Sequence : フレームチェックシーケンス) フィールド

LAPB と同様に、CRC (Cyclic Redundant Check : 巡回冗長性検査) コードが FCS に付加されフレームの伝送誤りを検出する。

3-3-3 CIR

(1) CIR とは

フレームリレー網では、端末と網の間で DLCI ごと、すなわちデータリンクごとに CIR (Committed Information Rate : 認定情報速度) の契約が行われる。CIR は、「フレームリレー網が正常な状態のとき、網が転送できる情報転送速度」として、ITU-T (旧 CCITT) の勧告

I.370 で定義されており、フレームリレー網が提供する帯域制御サービスといえる。

CIR の値としては、一般的には、端末・網間の物理回線速度より小さい値が設定されるが、ネットワークが通常状態のときは、CIR を越えるデータ転送も可能である。CIR は、DLCI ごとに設定されるため、1本の物理回線に多重されるデータリンクの CIR 値の合計が、物理回線速度を超過することも可能である。しかし、物理回線速度以上の通信はできないため、同時に通信可能な DLCI 数は制限される。

(2) CIR とフレーム廃棄

端末は、物理回線速度以下で CIR を契約するため、連続的にフレームの送信を行うと、契約 CIR 以上で通信することになる。CIR を越えて送信されたフレームには、網側で DE (Discard Eligibility indicator : 廃棄可能表示) ビットが付加される。網が通常状態の場合、DE = 1 のフレームも廃棄されず転送されるが、網が輻輳状態になると優先的に廃棄される。端末がスループットを CIR 以下に抑えれば網による廃棄制御を回避できるため、網が輻輳時、端末側でスループットを制御する基準値として CIR を用いることができる。

3-3-4 輻輳制御

フレームリレーでは、X.25 プロトコルのように、網から端末に対して、RNR (Receive Not Read : 受信不可) パケットを送信して、端末からのパケットの流入を防止し、ネットワークの輻輳を防止することができない。このため、フレームリレーでは、FECN/BECN を用いて、ネットワークの輻輳を通知するとともに、DE ビットがマークされたフレームを網内で廃棄することにより、ネットワークの負荷を軽減する。また、端末側で、Q.922 の Appendix I に記述された輻輳回避・回復の奨励手順をとることにより、ネットワーク輻輳を抑制する方式を採用している。

(1) 輻輳通知

網が輻輳になった場合、ユーザに対して輻輳通知を行い、ユーザの入力の抑制を奨励する。この輻輳通知には、暗黙的輻輳通知と明示的輻輳通知がある。

暗黙的輻輳通知では、網が輻輳通知は行わず、ユーザ側でフレームの紛失を上位レイヤの送信タイムアウトなどで検出することにより、ユーザが網の輻輳を検出する。明示的輻輳通知では、網が輻輳を検知すると、積極的に輻輳回避を行うために、ユーザに輻輳通知を行う。明示的輻輳通知には、以下の三つの方法がある。

● FECN

フレームが網の輻輳に遭遇した場合、送信フレームのアドレス部の FECN ビットを交換機が 1 に変換して、フレームを輻輳方向 (順方向) に送信し受信端末に輻輳を通知する (図 3・14)。

● BECN

輻輳方向とは逆方向のフレームが、網の輻輳点を通過する場合、この逆方向のフレームのアドレス部の BECN ビットを交換機が 1 に変換して、輻輳の発生原因となっている送信端末に輻輳を通知する。これにより、輻輳の発生原因となっている送信端末に、輻輳方向へのフレームの送信を抑制することを勧奨する (図 3・14)。

● CLLM

CLLM (Consolidated Link layer Management : 統合リンクレイヤマネジメント) メッセージは、網が自律的に輻輳の発生原因となるユーザに対して、DLCI ごとに輻輳通知を行うメッセージであり、BECN による輻輳通知を補う。

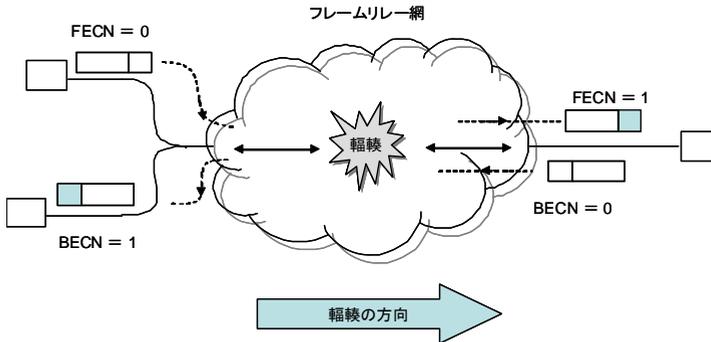


図 3・14 FECN/BECN ビットによる輻輳通知

(2) 輻輳状態と網の動作

フレームリレー網では、網の状態として「通常」、「軽輻輳」、「重輻輳」の三つの状態を定義し、それぞれの状態に対して網の動作を規定している。図 3・15 に網の輻輳状態と対応する網の動作を示す。

(a) 通常状態

網に輻輳が発生していない状態である。網が通常状態であれば、ユーザから網への送信データ量が増加するにつれ、網内スループットが増大する。

通常状態では、端末が契約した CIR 以上のスループットでフレームを送信してもフレームの廃棄は発生しない。ただし、CIR を超えたフレームに対しては DE ビットがマークされる。

(b) 軽輻輳状態

ユーザから網への入力負荷が網の許容範囲に近づき、網内でフレームの廃棄が発生し始めている状態である。この状態では、網内でフレーム廃棄が発生しているため、ユーザからの送信データの増加に比例して、網のスループットは増加しない。

軽輻輳状態では、網は、輻輳がこれ以上進まないよう、ユーザに対して FECN/BECN あるいは CLLM による軽輻輳通知を行うとともに、CIR 以下にスループットを抑制して通信することを促す。

(c) 重輻輳状態

網の輻輳が更に進展し、完全な輻輳状態になり、網内でフレームの廃棄が頻繁に発生している状態である。この状態では、ユーザからの再送フレームの増加により、通常のフレーム

による網内スループットが減少している。

重輻転状態では、網は、FECN/BECN あるいは CLLM による重輻転通知を行う。また、網は、DE ビットがマークされたフレームを廃棄し、網の負荷を軽減するが、更に輻転が継続する場合は、輻転の原因となった送信端末に対して全フレームの廃棄を行う。また、ユーザに対しては、段階的にスループットを落とし、CIR より更に低いスループットで通信することを勧奨する。

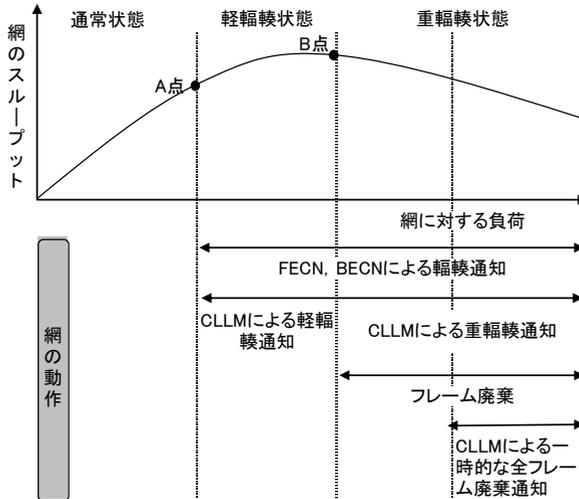


図 3・15 網の輻転状態と対応する網の動作

■参考文献

- 1) 都丸敬介, “フレームリレーと ATM ネットワーク,” SRC ハンドブック, Dec. 1993.
- 2) 矢代善一他, “フレームリレー絵とき読本,” オーム社, Aug. 1993.
- 3) 通信プロトコル研究会編, “SE のための通信プロトコル,” 電気通信協会, Jul. 1999.