

解説

IV. データハイウェイシステムの動向†



八 星 禮 剛^{††} 鈴 木 洋 一^{†††}
三 田 照 義^{†††} 山 口 宏 二^{††††}

1. データハイウェイとは

工場や研究所あるいは学校などの構内の私設閉域網としてデータハイウェイが十数年前より用いられている。当初その目的は広大な敷地内に分散設置された、多数のセンサ、アクチュエータ、コントローラ等とコンピュータを接続する膨大な配線を、一本の高速伝送路を多重使用する事により経済化することにあった。したがってその用途も製鉄、石油化学等のプロセス制御のネットワークが主体であった。

近年分散処理システムや、TSS ネットワークなど

(i) コンピュータ・コンピュータ間通信

(ii) コンピュータ・I/O (端末) 間通信

を対象とした、伝送・集線・交換機能を有するデータハイウェイが多数実用化されている。さらに今後はオフィスオートメーション実現の核になる通信ネットワークとしても注目されている。

一方、データハイウェイを実現する技術も

(i) デジタル伝送技術——特に光ファイバ伝送

(ii) マイクロプロセッサ、メモリをはじめとする

LSI 技術

等の急速な発展に裏うちされ、ハイウェイの伝送速度は数 M bit/sec~数百 M bit/sec が可能となってきている。またその通信方式もハイウェイ上の時分割多重化されたタイムスロットを接続されたコンピュータ・端末間で固定的に用いる単なるラインシェアリング通信に留まらず、時分割タイムスロット交換や、パケット交換通信が経済的に実現可能となった。

データハイウェイを実現する上で重要な点は

(i) 収容する端末・コンピュータ——特に通信形

態および、トラヒック量

(ii) 端末・コンピュータとデータハイウェイとのインタフェース

にある。小文は2章で上記(i)項ならびに、その実現に際してのパケット交換技術について述べ、3章で実現例を示す。なお(ii)項については、データハイウェイをトランスペアレントな網とするが、一種の付加価値網として、伝送制御手順の変換や、自動集配信、電子メールのような高度の機能を持つかで設計思想が異なる。ここではできるだけトランスペアレントな構成を主眼とし、高度な機能は通信ネットワークの外のサブシステムで実現する立場をとる。

データハイウェイの一般的な解説は文献1), 2) を参照されたい。また参考文献も1), 2) により整理されており、ここでは最近のものをあげておく。

2. コンピュータネットワークとデータハイウェイ

2.1 構内コンピュータネットワークの各種形態

(i) コンピュータ間通信

ここでは図-1 に国際データ交換業務にデータハイウェイ (図で DHW と記されている) を適用した場合を示す^{10), 11)}。この例では多数の国内加入者回線処理と多量のメッセージファイル処理、網管理処理、国際間の中継ゲイトウェイ処理を、複数のミニコンピュータで、処理ごとに機能分散をはかると共に、国際データ交換業務の増大に対処した負荷分散をはかっている。その結果、これを一台の超大型コンピュータで実現した場合と比較すると、

(i) 加入者クラスごとのサブシステムによる業務の拡大、ならびに多様化に対する融通性

(ii) システム、特にソフトウェアの段階的開発

(iii) 経済的な高信頼性構成

の点で特に分散システムが優れている。

しかし以上のような特長を十分に発揮するには、各

† Trends on the Data Highway by Reigo YATSUBOSHI (Fujitsu Labs. Ltd.) Youichi SUZUKI, Teruyoshi MITA and Koji YAMAGUCHI (Fujitsu Ltd.).

†† 富士通研究所デジタル研究部

††† 富士通(株)電算機第二技術部

†††† 富士通(株)方式部

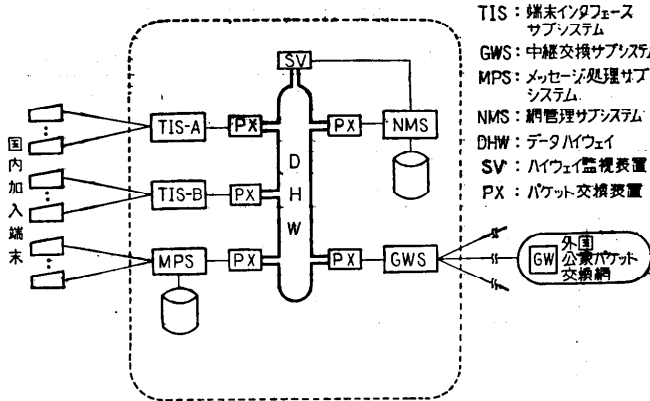


図-1 データハイウェイを用いた国際データ交換システムの一例

ミニコンピュータ間を自由に結合し、その処理能力に見合った通信能力を有するデータハイウェイが不可欠である。すなわち n 対 n の交換型対等接続と、数百 K byte/sec 以上の転送能力が要求される。

(ロ) コンピュータ・端末間通信

TSS のようなコンピュータ・端末通信は、構内網においても広域網と同じく、従来専用の回線や、構内の電話回線を用いて実現されていた。しかし端末が数十台から百台を越えると、ケーブルの新設工事が必要となったりあるいは構内電話回線のトラヒック増大により、本来の電話交換業務に支障をきたしたりする。データハイウェイをコンピュータ・端末間の通信網として用いればそのような問題が解決ができ、さらにデータハイウェイの集線・交換機能によりホストコンピュータの回線接続装置の低減や、また業務内容の異なる複数のコンピュータへの自由なアクセスが可能となる。

通信網と端末・コンピュータとのインタフェースは CCITT の V シリーズや X シリーズの勧告として国際的に標準化されており、その通信速度は 48 K bit/sec 以下である。

なお低速のコンピュータ間通信もデータハイウェイとしてはこの領域に入る。

(ハ) クラスタコントローラ・端末間通信

端末は上記のように直接ホストコンピュータに接続されるほか、いわゆるオフィスコンピュータや端末コントローラのようなクラスタコントローラに接続して用いられる場合が多い。この場合通信の形態はコントローラと端末間のマスター、スレーブ形で、1 対 n 通信である。通信速度は端末装置の属性に応じて 4,800 bit/sec 程度から数 M bit/sec までに及んでおり、そ

のインタフェースもそれぞれ固有のものを用いられている。

従来この分野は端末とコントローラを 1 対 1 に接続したスター状の伝送路が用いられていた。しかしバスや、ループ構成のデータハイウェイを適用すれば、コントローラの入出力ポートが 1 つですみ、ケーブルコストも含めて大幅な経済化がはかれる。

(ニ) その他

以上のほかに、大型コンピュータ間、大型コンピュータとミニコンピュータ、大型コンピュータとその周辺機器の間に

数 M Byte/sec の通信速度と、数 km の接続距離を持った通信路が実用化されており、今後これらもデータハイウェイの適用が考えられる。

2.2 データハイウェイの制御方式

データハイウェイの実現方式は、ハイウェイ上を伝送される高速のビットストリームをいかに制御するかで大きく 2 分される。すなわち、

(イ) 時分割タイムスロット交換方式: 接続された端末の通信情報をビットストリーム上の特定の時間位置に対応づけ、伝送・交換を行う。

(ロ) パケット交換方式: 接続された端末の通信情報をパケットの通信容量ごとに蓄積し、これに通信相手の宛先アドレス等の制御情報を付加し、伝送・交換を行う。

の 2 方式が用いられている。両者ともにそれぞれ長所があるがここでは、何故パケット交換方式が良く用いられるのかについて述べる。

まず時分割タイムスロット交換方式について見てみる。簡単な例として、データハイウェイを用い 2,400, 4,800, 9,600 bit/sec の 3 本の回線を形成する場合、ハイウェイに 7 タイムスロットを有するフレームを周回し、そのタイムスロットをそれぞれ 1 つ、2 つ、4 つアサインする事により上記の 3 本の回線を形成できる。(図-3 (イ) 参照) この様なハイウェイ上のタイムスロットを収容する端末ごとに、固定的にアサインすれば、データハイウェイは時分割多重回線 (ラインシェアリング) 型となりその分岐・挿入制御は容易である。しかしこの場合収容する端末の数が多い場合や、

* このような例として FACOM 9080 A/B では光通信を用いて約 3 km 先の周辺機器をホストのチャネルに接続することを可能としている。

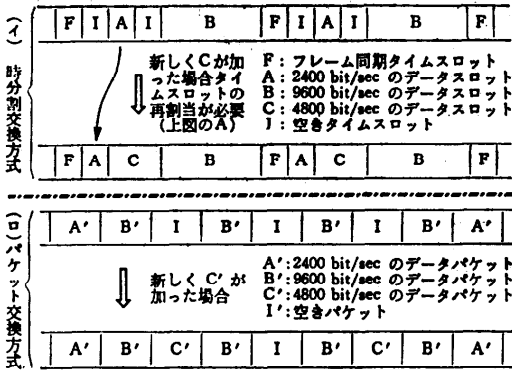


図-2 時分割交換とパケット交換による多元トラヒック収容の一例

その通信速度が速い場合、ハイウェイの伝送速度が非常に高速となり、必ずしも経済的ではない。収容する端末に呼が生じた場合にのみ、タイムスロットをアサインする事により上記の問題は解決される。しかしタイムスロットの管理と制御という新たな問題が生じる。タイムスロットの管理と制御はハイウェイ内の一箇所で集中的に行わねばならず、その信頼度はハイウェイ全体の通信に影響をおよぼすため、二重化や対1の冗長構成が必要となる。そのため収容端末数が少ない場合経済的実現が難しい。

また収容端末数が多くなると、その集中制御のため呼の接続制御時間が長くなり、特に高速通信を行うコンピュータ間通信の場合、呼の接続・切断制御のため、実効的な通信速度が低下する。以上に加えてここで述べたような異種速度の通信(多元トラヒックという)を収容する場合、ハイウェイ上に空きタイムスロットがあっても、新たに生じた呼にタイムスロットがアサインできない、あるいはタイムスロットの分割や、すでにアサインしたタイムスロットの再配置といった複雑な制御が必要となる。パケット交換の場合は図-2(ロ)のように多元トラヒックに対する親和性が高い。

次にデータハイウェイの交換機能を用い収容されている任意の端末・コンピュータ間で通信を行う場合を考えてみる。タイムスロットアサイン型時分割交換の場合、各端末の交換制御情報を集中化された交換装置(タイムスロット管理・制御装置)に伝達しなければならない。各種端末の交換制御信号を表-1に示す。この表からも分るように交換制御信号は多岐にわたっており、またこれらを前処理なくすべて交換装置に伝達すると必要な通信容量は本来のデータ通信量を越える

表-1 各種端末の交換制御信号

対象	内容	操作	インタフェース
音声	フックスイッチ ダイヤルパルス プッシュホン周波信号	手動	信号線本数
			2本 4本 9本 24本 35本 他
専用線形データ端末	伝送制御手順 ポーリング/セレクテング シーケンス	自動	信号の電気レベル
交換形データ端末	M/M型, M/A型, A/A型, NCU, インタフェース(V 24-200)	手動 自動	48V DC 100V 16Hz ± 8V (不平衡)
新交換形データ端末	キャラクタダイアル(X 20, X 21)	手動 自動	± 0.5V (平衡)
パケット交換形データ端末	キャラクタダイアル(X 25)	手動 自動	TTLレベル 他
低速 FAX	音声に準ずる場合が多い	手動	
高速 FAX	音声又はデータ端末に準ずる場合が多い OCR コードダイアル	手動 自動	

場合も生じる。

パケット交換によるデータハイウェイは、端末と網との固有のインタフェースを各ノードで処理し、ハイウェイ上では統一されたパケットでノード間の通信が行われる。そこでは通信要求に応じてパケットが使用されるため、ハイウェイ通信能力をむだに消費する事がない。また制御が分散されているため、呼の接続・切断制御の高速化が可能である。

以上のようにデータハイウェイに収容される端末・コンピュータの種類・台数が多い場合および、集線・交換機能が多く用いられる場合はパケット交換方式が特に適している。

2.3 パケット交換とデータハイウェイ

データハイウェイの伝送路は、ループあるいはバス形態が用いられており、ハイウェイの通信装置はパケットをハイウェイに送出すれば、これがハイウェイ上をブロードキャストされ、宛先の通信装置で受信される。したがって一般の広域パケット交換網とは、パケットのルーティング制御が不要な点が大きく異なっている。

パケット交換を用いたデータハイウェイ固有の制御として、

- (i) ハイウェイのパケット使用権争奪制御
- (ii) パケット長——固定長/可変長——の選択
- (iii) ハイウェイでのフロー制御
- (iv) ハイウェイ内遅延量の最小化

等が重要である。

以上の制御方式の選択やその実現については次章の実用例で説明する。

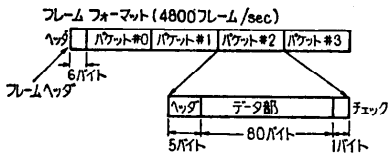
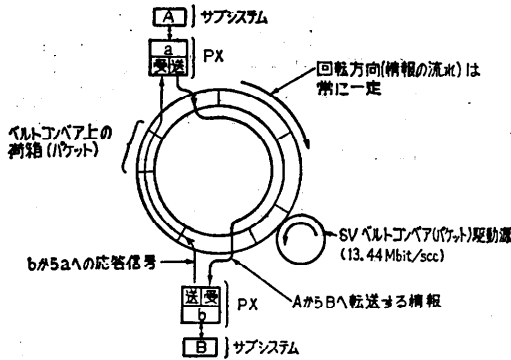


図-3 データハイウェイによるパケット交換のしくみ

3. パケット交換を用いたデータハイウェイの実現例

本章では固定長パケットを用いたコンピュータ間通信用データハイウェイと、可変長パケットを用いたクラスタコントローラ・端末間通信用データハイウェイについて、その固有の制御方式を中心に具体例を用いて述べる。

3.1 コンピュータ間通信用データハイウェイ

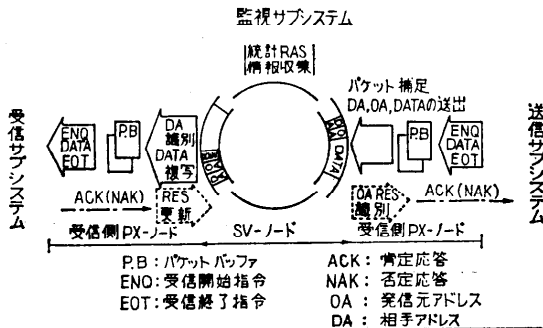
ここで述べる交換型光データハイウェイ⁽⁴⁾(FACOM 1880 K) は複数のミニコンピュータ相互を接続し機能分散や、負荷分散システムを構築する構内通信ネットワークとして開発された。データハイウェイはハイウェイの監視と障害時の制御を行うスーパーバイザノード(SV)と、ミニコンピュータ等を接続しパケット交換を行うパケット交換ノード(PX)および、13.44 Mbit/secの光ファイバ伝送路から構成される。接続されるミニコンピュータ等とは16 bitの平行インターフェースで接続され約400 K Byte/secの通信速度が可能である。

図-3にパケット交換のしくみを、図-4に通信シーケンスの一例を示す。

本システムのような高速通信を実現する場合、ハイウェイが1対の通信で占有され、他の通信がハイウェイの空き待ちになると、その待ち時間によって実効的な通信速度が低下する。ここでは図-3に示すように、ハイウェイのフレーム内に4つの固定長パケットを設け、同時に4対の通信を可能とし待ち時間の低減をはかっている。

図-5は160 Byteのデータ転送の1例であるが接続されるサブシステム(ミニコン)の処理能力上送信マクロを発してから、それが終了するまで通常1 msec以上を要す。その間送信、受信サブシステム間に仮想的なリンクが張られる。一方ハイウェイ上はFirst, Last, Resの3パケットを使用するので約156 μsecだけ占有されるにすぎず、パケット通信によりハイウェイの高効率化がなされている。

次にハイウェイの伝送遅延量である



受信側	伝送路	送信側
CPU PLCA PX-ノード		PX-ノード PLCA CPU

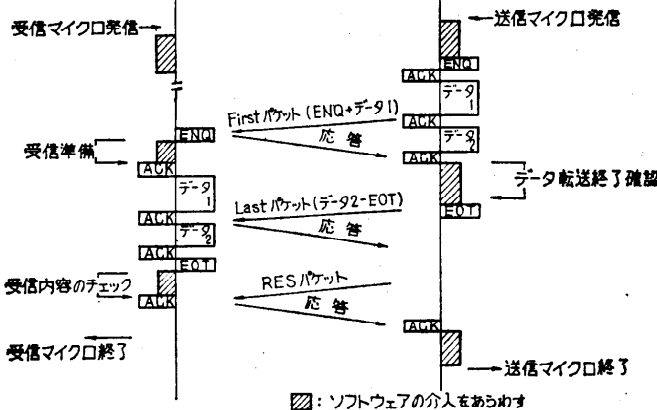


図-4 通信シーケンスの一例

PLCA: Parallel Line Communication Adapter

表-2 FACOM 1880 K パケット交換形光データハイウェイの諸元

項目	内容
伝送路形態	二重化ループ構成
伝送路媒体	ステップ形光ファイバケーブル
伝送路総延長	実効最大 40 km
標準接続コンピュータシステム	PANAFACOM U シリーズ
接続ノード数	最大 20 ノード/ループ
ノード間距離	2 km 以下 (ケーブルの種類による)
伝送路速度	13,44 M bit/sec
最大実効速度	12,288 M bit/sec (伝送路内) 3,072 M bit/sec (1チャンネル当り)
交換方式	パケット交換方式
信頼度対策	SV および伝送路の完全二重化 光レバーに対する分岐給電 各ノードの電源の二重化 (オプション) 障害 PX の自動バイパス機能 現用から予備伝送路への自動切替え 両系障害時のループバック機能
統計・RAS 情報	トラフィックに関する統計情報と、伝送路およびノードごとの状態情報を収集し、監視サブシステムへ報告することが可能
構成装置	FACOM 1881 K ハイウェイ監視装置 FACOM 1883 K パケット交換装置
環境条件	温度: 15~40°C 湿度: 10~80%
使用電源	AC 100 V ±10% 1φ 2系統受電が可能
寸法(H×D×W)と重量	1,100×600×660 約 150 kg

が、本例ではループ1巡時間が約 208 μsec であり、送信サブシステムが 400 K Byte/sec で PX のパケットバッファにデータの書き込みを行うと、80 Byte の書き込みに 200 μsec を要するので、パケットが一巡するごとにパケットバッファから次々とパケットを送出し続ける事が可能である。通常このパケットは受信 PX で、分解され、受信サブシステムに転送されるが、受信サブシステムの受信能力が低い場合、ハイウェイ内でのオーバフローを制御する必要がある。本例ではサブシステムと PX 間でワードごとのハンドシェイクを行っている。受信パケットバッファがフルになると送信への応答でこれを伝え、送信サブシステムの書き込む速度を制御しオーバフローを抑制している。

表-2 に本データハイウェイの諸元を示す。

3.2 クラスタコントローラ・端末間のデータハイウェイ

ここでは統一思想で開発された 18 種類の端末ファミリを 48 K bit/sec のループ伝送路で、クラスタコ

* 例えば送信サブシステムはダイレクトアクセスモードで、受信サブシステムはプログラムモードで通信している場合が相当する。

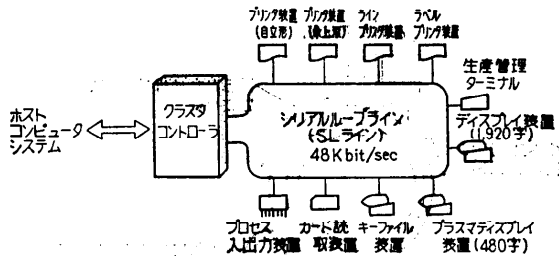


図-5 クラスタコントローラ・端末間のデータハイウェイ

ントローラに収容するデータハイウェイ⁶⁾ (FACOM 2460 生産情報端末システム) を例にとって説明する (図-5 参照)。

ハイウェイ上はハイレベル伝送制御手順 (HDLC) を用い、可変長パケット通信を行う。パケットの使用権はクラスタコントローラが管理し、通常のポーリング/セレクトングにより端末とのデータの送受信を行う。端末・端末間での通信はデータハイウェイ内で直

表-3 FACOM 2460 生産情報端末一覧

分類	機種	特徴
プリンタ端末	FACOM 2481 M/N プリント装置	180 字/秒, 132 字/行, 倍幅印字可, 環境対策
	FACOM 2481 S プリント装置	60 字/秒, 80 字/行, 倍幅印字可
	FACOM 2483 A ラインプリンタ装置	300 行/分, 132 字/行, 倍高印字可, プロット印字可, 環境対策
	FACOM 2484 A/B チェルプリンタ装置	ラインプリンタ機能に加え, 拡大文字 (1~16 倍印字可) 2400/1200 ドットライン/分
複合端末	FACOM 2471 A 生産管理ターミナル	英, 数ファンクションキ, 入力 20 桁, 英数記号表示, 出力 40 桁, 英数カナ記号表示, オプション: 80 欄カードリーダー, バッチカードリーダー, ジャーナルプリンタ
データエントリ端末	FACOM 2476 A/B キーファイル装置	キーファイル (160 項目), テンキ, ファンクションキ, 640 字 CRT ディスプレイ
ディスプレイ端末	FACOM 2473 A ディスプレイ装置	1,920 字 CRT, フィールドコントロール, モノクロ
	FACOM 2473 K 2475 K ディスプレイ装置	1,920 字 CRT フィールドコントロール, 3 色カラー, 14 インチ/16 インチ
	FACOM 2474 A プラズマディスプレイ装置	480 字プラズマディスプレイ, フィールドコントロール
カード端末	FACOM 2485 A カード読取装置	120 枚/分, ホッパ, スタッカ各 500 枚
	FACOM 2489 A1 接続装置	カードバンチ, プリンタ (F 638 A) 用アダプタ
PIO 端末	FACOM 2478 A/B/S プロセス入出力装置	デジタル入出力, アナログ入出力

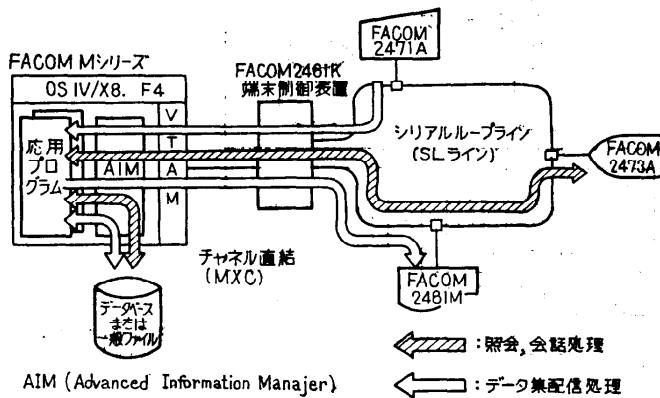


図-6 ホスト・クラスター・端末間のデータフロー



図-7 生産情報端末ファミリの外観

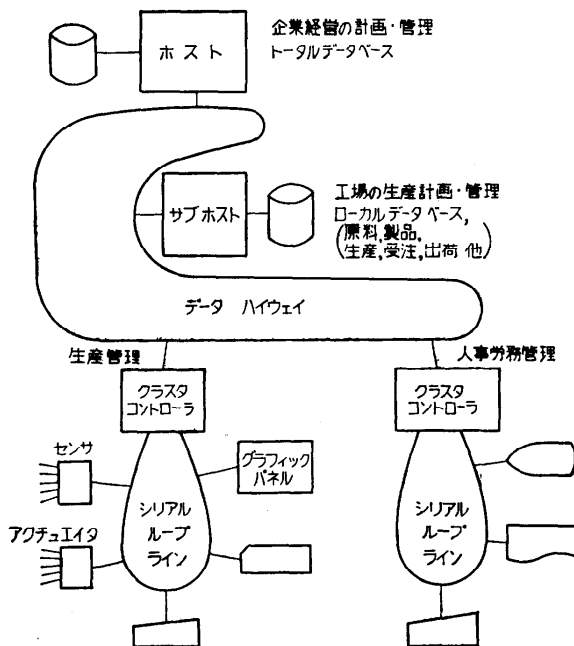


図-8 データハイウェイを用いたトータルシステム例

接行われるのではなく、図-6に示すようにホストコンピュータの応用プログラムや、データベースをアクセスする事によって行われる。端末へのデータフロー制御は、伝送制御 (DLC) レベルの上位のデータフロー制御 (DFC) レベルで行われ、更にデバイス制御 (DVC) レベルで端末の属性に応じたフォーマットがなされる。以上のようにハイウェイへの電氣的・物理的インタフェースの統一に留まらず、DLC, DFC, DVC レベルまで統一する事により本ファミリの任意の端末を、ハイウェイの任意の場所に接続する

だけで自由に通信・処理が可能となる。本例の生産情報端末システムや、オフィスコンピュータのワークステーションなど、このような統一思想に基づいた端末システムは今後増々重要となる。本例の端末ファミリの諸元を表-3に、その外観を図-7に示す。

3.3 データハイウェイを中心としたトータルシステム

図-8は3.1, 3.3で述べた2種類のデータハイウェイを用いた構成したトータルシステムの一例を示す。このように、端末とそのコントローラ間、コントローラとホスト、サブホスト間の2階層からなるネットワーク構成は、それぞれの階層で異なる通信形態やトラヒック量、ならびにデータハイウェイと端末・コンピュータのインタフェースをある程度集約する事ができ、これらすべてに対応できる汎用的なアプローチに比較し有効である⁹⁾。

このようにデータハイウェイは構内の分散処理システムの中核をなし、その障害や通信品質の劣化はシステムに重大な支障をきたす。データハイウェイそのものを二重化構成などの高信頼化をはかると共に、トータルシステムとしての運用・保守・監視・制御が、通信品質、システムスループット、電源投入切断制御などの広範な項目について対処しえる事が重要である。

また一方では構内網のような地理的に限られた範囲での回線規模の小さな網では先駆的試みが比較的容易に導入しえる。そこで得られたトラヒック特性などの定量的データや各種機器の

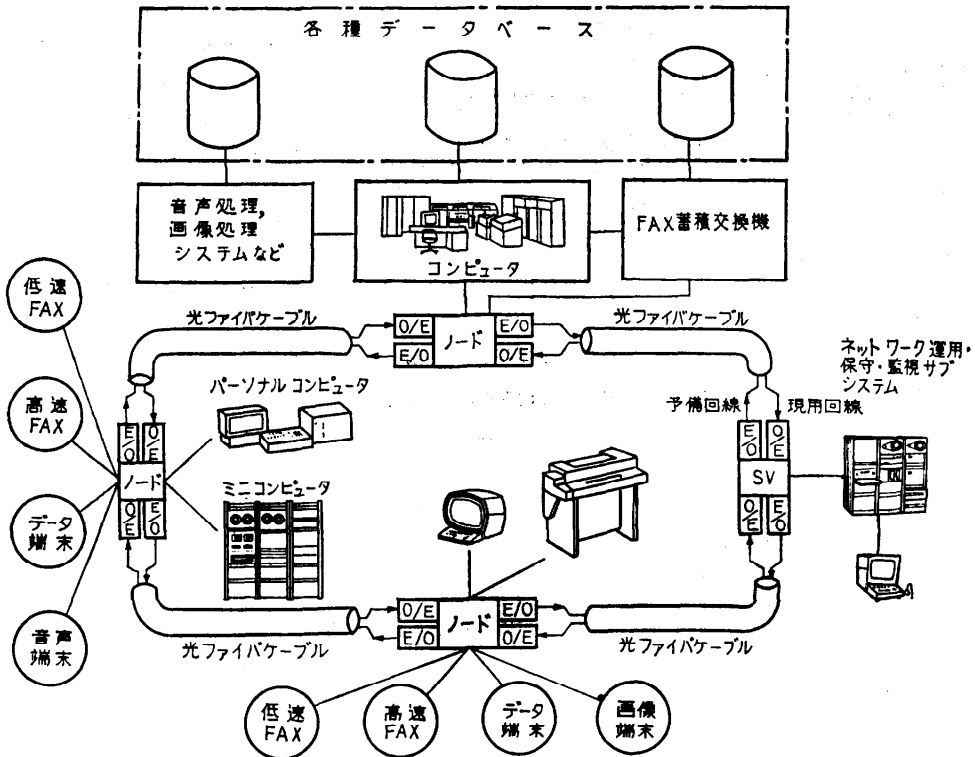


図-9 構内統合サービス網としてのデータハイウェイ

網への接続技術などは、先進的大規模網を構築するのに大いに役立つであろう。

4. 今後の展望

以上、主としてコンピュータネットワークとパケット交換形データハイウェイの最近の実現例について述べた。

データハイウェイは今後オフィスの事務効率化のための構内網として注目されている。

今後のデータハイウェイは、各種データ通信に加えて、

- i) 音声通信サービス (音声入力・認識・応答サービス, 音声メール等)
- ii) FAX 通信サービス (FAX の蓄積交換, 同報通信, 代行受信サービス)
- iii) ビデオ通信サービス (静止画, 動画)

などが新たに重要な通信の対象となる。もちろんこれらは、高度な機能を有するデータハイウェイの開発だけで実現できるわけではないが、音声のパケット通信の最近の研究開発の成果などから非常に近い将来、実

現ができるものと期待される。図-9 にこのようなデータハイウェイの 1 例を示す。これを

- i) 構内電話網
- ii) 構内 FAX 網
- iii) 構内データ網
- iv) 構内ビデオ網

などの個別網で実現した場合に較べ、データハイウェイによる統合網のアプローチが、単に経済性に留まらず各種情報間の有機的結合の面からも非常に有効である。パケット交換技術、光通信技術はその実現のなめであり、今後ますます発展することが期待される。

参考文献

- 1) 上谷晃弘：データハイウェイの現状と将来，情報処理，Vol. 18, No. 1, pp. 76-87 (1977)。
- 2) 田中善一郎他：適用領域の輪を広げるループ状ネットワーク，日経エレクトロニクス，No. 140, pp. 58-83 (1976)。
- 3) Yatsuboshi, et al.: An In-House Network Configuration For Distributed Intelligence, ICC '78, pp. 155-160 (1978)。

- 4) 小池康允他: FACOM 1880 K に交換形光データハイウェイシステム, Fujitsu, Vol. 30, No. 3, pp. 475-484 (1979).
- 5) 中村芳弘他: 交換型データハイウェイの一検討, 情報処理学会コンピュータネットワーク研究会, CN 20-1 (1977).
- 6) 大野富雄他: FACOM 2460 生産情報端末システム, Fujitsu, Vol. 30, No. 1, pp. 159-171 (1979).
- 7) 山田 博: 特集・FNA, FACOM ジャーナル, Vol. 4, No. 12 (1978).
- 8) 大槻幹雄: 特集・光通信, FACOM ジャーナル,
- 9) 佐藤恵司他: 光通信を用いたデータハイウェイの転送方式, 昭和 54 年度電子通信学会総合全国大会, S 12-14
- 10) 柿津信夫他: 国際パケット交換システム DS-1 の概要, 電子通信学会交換方式研究会, SE 79-86, pp. 41-48 (1979).
- 11) 坂井良三他: 分散制御パケット交換システムにおけるサブシステム結合バスプロトコル, 電子通信学会電子計算機研究会, EC 79-36, pp. 43-52 (1979).
- 12) James, E. Thornton: Over View of Hyperchannel, COMPCON 79, Spring pp. 262-265 (1979).
- 13) Metcalfe, R. M. et al.: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks, Comm. A. C. M., Vol. 19, No. 7 (1976).
- 14) Clark, D. et al.: An Introduction to Local Area Networks, Proceedings of the IEEE, Vol. 66, No. 11, Nov. (1978).
- 15) 岡田恒明他: データウェイ TOSWAY-1 OM, 東芝レビュー, Vol. 34, No. 12, pp. 1017-1021 (1979).
- 16) 堀井信雄他: 光ファイバ通信によるデータハイウェイシステム, 電子通信学会技術研究報告, SE 79-120, Vol. 79, No. 255, pp. 89-94 (1980).
- 17) 高橋正弘他: 光ファイバ伝送を用いた高速データフリーウェイシステムの開発, 昭和 55 年度電子通信学会総合全国大会講演論文集 (分冊 4), pp. 268-269 (1980).
- 18) 大島一能他: プロセス制御用ループ状双方向伝送光データウェイシステム, 昭和 55 年度電子通信学会総合全国大会講演論文集 (分冊 4), pp. 270-271 (1980).
- 19) 国京知雄他: 高速リングバスシステム, 昭和 55 年度電子通信学会総合全国大会講演論文集 (分冊 6), pp. 26-29 (1980).
- 20) 中塚茂雄他: 高速ループシステム (LOOP-3), 昭和 55 年度電子通信学会総合全国大会講演論文集 (分冊 6), pp. 30 (1980).
- 21) 池田克夫他: GAMMA-NET: 筑波大学における 100 M bps 光ファイバリングによるコンピュータネットワーク, 情報処理学会第 21 回全国大会論文集, pp. 653-654 (1980).
- 22) 川端哲男他: リングデータバスシステム, 情報処理学会第 21 回全国大会論文集, pp. 665-666 (1980).
- 23) 田中善一郎他: 広帯域化により用途が多彩になったループ網, 日経エレクトロニクス, No. 242, pp. 76-94 (1980).

(昭和 55 年 5 月 28 日受付)