

高性能光データウェイシステムの開発

Development of High Performance Optical Fiber Data Freeway System

近年、鉄鋼、化学、電力などの産業分野では、プロセス制御システムがますます高度化、大形化しつつある。これらのシステムでは、各種生産プロセス単位に、構内に広く分散設置された計算機システムを高速伝送システムで接続、統合することにより、プロセス制御機能の向上とシステム運用の合理化を図ることが重要な課題になりつつある。このため、これらのシステムの核となる通信サブシステムには、高スループット、広域性、高信頼性、拡張性などが強く要求されている。光データウェイシステムは、これらの要求を満たすべく開発、実用化された10Mビット/sの高速ループ通信サブシステムで、産業用途を対象とした高性能、小形な光送信器・光受信器、光スイッチ及び高効率な伝送制御方式の開発により、900kバイト/sの高スループットを実現している。本稿では、光データウェイシステムの開発技術、特長及び成果について述べる。

満岡弘雄* Hiroo Mitsuoka
 伏見仁志** Hitoshi Fushimi
 堀雄太郎** Yûtarô Hori
 安元精一** Seiichi Yasumoto
 高橋正弘*** Masahiro Takahashi
 寺田松昭**** Matsuaki Terada

1 緒 言

鉄鋼、化学、電力などでのプロセス制御システムは、生産業務に密着した応答性の確保、障害の局所化が容易に実現できる利点に着目して、生産プロセス単位に計算機を分散配置する分散制御システムが発展してきたが、適用システムの大規模化、広域化に伴い運転・管理コストの低減、トータルシステム全体の運用効率の向上をねらいとして、ファイルの集中化、保守要員の集中配備(中央集中保守化)及びシステム共通資源の中央集中化を実現するシステム統合化に対する要求が急速に高まってきた。

このため、マイクロコンピュータによる分散制御とスーパーミニコンピュータによる情報・管理の中央集中処理とを結合

した複合システムに対する要求が強く、従来にもまして高スループット、高信頼性を実現する情報伝送システムが必要である。

しかし、従来伝送回線に使用してきたペア、同軸などの金属ケーブルでは、高速伝送での伝送損失の増大、波形ひずみの増加による長距離伝送の困難性及び耐ノイズ性の確保が困難である。これらの問題を一挙に解決する手段としては、広帯域、低損失及び耐雑音性に優れた光ファイバ通信技術の導入が最も魅力のある解決策である。

以上の背景をもとに、新日本製鐵株式会社と日立製作所は、各々システムユーザーとメーカーの立場から、鉄鋼アプリケーションをはじめとする一般産業分野への光ファイバループ伝送システムの適用上の諸問題を検討し、高信頼性、長期寿命性、耐環境性及び経済性を重視したLED(発光ダイオード)-PIN(PINホトダイオード)技術、ループ伝送システムのキーコンポーネントである低損失・高信頼度光スイッチ、光の高速性を最大限に生かす高効率なループ伝送制御方式を開発した。以下、光データウェイシステムの開発のねらい、構成・方式上の技術的特長及び製鋼プロセス制御システムへの適用例について述べる。

2 光データウェイシステムの開発

2.1 開発のねらい

我が国の工業プロセス制御の分野での構内通信サブシステムの応用動向と、その歴史的発展過程を図1に示す。第1世代は、中央に設置された計算機が広域に分散したプロセスからデータを経済的に収集するシステムであり、第2世代は、中央に設置されたホスト計算機とプロセス単位に設置された端末計算機間を接続する計算機ネットワークである。このように通信サブシステムは、広域化、大規模化及び情報の増大化の傾向にあり、従来にもまして高スループット、高信頼性及び高稼働率が要求されてきている。そこで、次に述べるシ

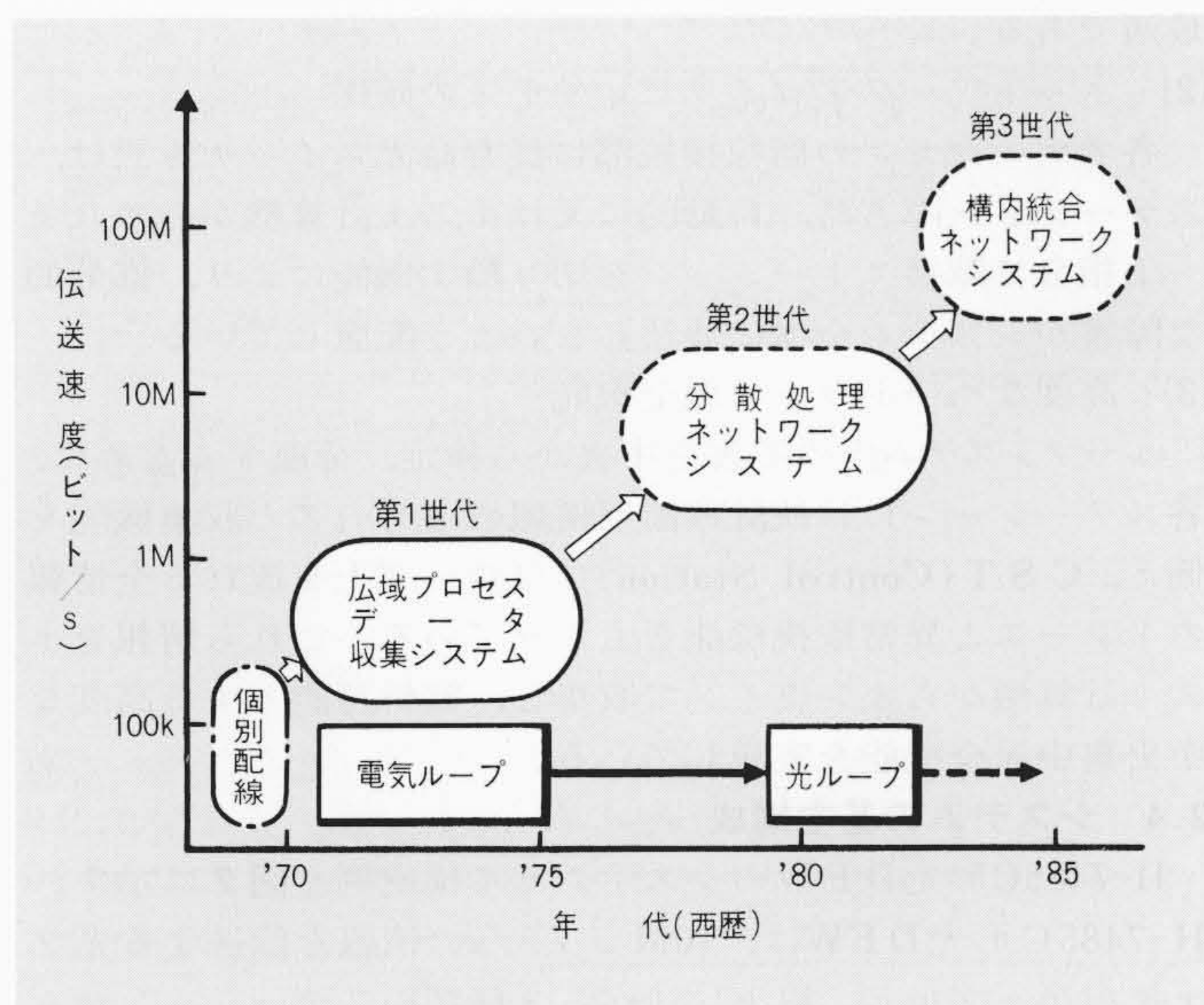


図1 データウェイの応用動向 工業プロセス制御分野での構内通信サブシステム(データウェイシステム)の応用動向と、その歴史的発展過程を示す。

* 新日本製鐵株式会社君津製鐵所システム開発室

** 日立製作所大みか工場

*** 日立製作所日立研究所

**** 日立製作所システム開発研究所

システム要求条件を満たす光データウェイシステム¹⁾の開発を目指した。

- (1) 本質的に電氣的，磁氣的ノイズに強い光ファイバケーブルの適用を図り，悪環境下でも高品質で高速な情報伝送を実現できること。
- (2) 制御用としての高速応答性の確保とプロセス制御システムで予想される拡張規模の増大とに十分対応できる800kバイト/s以上の高スループット性を実現できること。
- (3) 構内通信サブネットワークとしてほぼ大部分の領域をカバーできる2kmのステーション間伝送距離の確保ができること。
- (4) システムの大規模性に見合う高信頼性を確保するため，サブシステム部分的障害の波及防止，及び迅速な復旧手段を与えること。
- (5) ファイル，システム共有資源の集中化，プログラムの中央からの集中的な開発・保守などを可能とするネットワークソフトウェア機能を実現できること。

2.2 高性能光デバイスの開発

光ファイバの利点を生かした広域情報伝送システムを実現するためには，広く産業用途に適した下記の特性をもつ光デバイス²⁾の開発が必須となる。

- (1) 各種の産業分野に適用できる汎用性，長期信頼性(寿命10⁵時間以上)，耐環境性及び広い動作温度範囲(−20〜+70℃)
- (2) ICに混在して実装を可能とするための5V単一電源動作
- (3) プリント板に実装可能なIC化小形モジュール

これらの要求を満たし，光データウェイシステムを構成する光デバイスとして，表1に示す光送信器，光受信器及び光スイッチを開発した。

2.3 システムの特徴

光データウェイ(H-7485C形光Data Freeway：以下，H-7485C形光DFWと略す。)システムは，前記の光デバイス，及びこれらの光接続技術の開発と光の高速性を積極的に生かしたシステム技術の開発実用化に成功したループ式光情報伝送システムである。H-7485C形光DFWのシステム基本仕様を表2に示す。本システムは次に述べるような特長をもつ。

- (1) スループット(900kバイト/s)
転送情報量を任意長(最大512バイト)に指定できる高効率

表1 光デバイス仕様 光送信器，光受信器及び光スイッチの主な各仕様を示す。

項 目		仕 様
光送信器	発光素子	LED
	発光出力	−13dBm以上
	伝送速度	DC〜30Mビット/s
	外部接続	TTLインタフェース
光受信器	受光素子	PIN
	受信感度	−33dBm以下
	伝送速度	100k〜30Mビット/s
	外部接続	TTLインタフェース
光スイッチ	挿入損失	1.0dB以下(除コネクタ損)
	動作時間	30ms以下

注：略語説明
TTL(Transistor- Transistor Logic)
LED(Light Emitting Diode)

表2 システム基本仕様 H-7485C形光ファイバデータフリーウェイ(光DFW)システムの基本仕様を示す。

項 目	仕 様
接続ステーション数	最大255台/ループ
接 続 計 算 機	HIDIC 80/80E HIDIC 08/08E/08L
伝 送 路	光ファイバケーブル
伝 送 速 度	10Mビット/s
ステーション間距離	最大2 km (ステーション1台バイパス時含む。)
通 信 方 式	N：M(任意転送)
転 送 デ ー タ 長	最大512バイト(可変長)
実 効 転 送 速 度	最大900kバイト/s (32ステーション，10km/ループ)
誤 り 制 御	CRCチェック フレーム合理性チェック
障 害 対 策	CSTの二重化 ステーション障害時のバイパス ハードウェア自動診断 リモート診断 統計RAS情報トレース 伝送品質の監視 ループ使用率の監視
環 境 条 件	温度 0〜50℃ 湿度 10〜90%

注：略語説明
RAS(Reliability, Availability, Serviceability)

- な可変長パケット伝送制御方式の開発により，ループシステムの最大スループット900kバイト/sを達成した。大量情報を短時間に転送する必要のある大規模プロセス制御システムに最適である。
- (2) ネットワークアベイラビリティの確保
各ステーションの回線接続部に長寿命光スイッチを設け，ステーション障害時，自動的に又はホスト計算機からのリモート指令で障害ステーションを切り離す機能により，部分的な障害がシステム全体に波及しないよう配慮している。
 - (3) 高度なハードウェア保全機能

ループシステム内の障害を中央から検定，分離するために，各ステーションには統計診断用情報のトレースと収集機能を備え，CST(Control Station)にはループ上を流れる全情報のトレースと異常監視機能をもたせている。これら情報をホスト計算機からオンラインで収集し，解析可能とする高度な中央集中保全機能を実現している。

2.4 システムの基本構成

H-7485C形光DFWのシステム基本構成例を図2に示す。H-7485C形光DFWは，10Mビット/sの情報を伝送する光ファイバケーブルと，以下に述べる3種類のステーションから構成されている。

- (1) CST
CSTは，H-7485C形光DFWループ全体の伝送制御，監視及び管理を行なうノード制御装置である。ループ全系がCSTから供給する一つの信号伝送用クロック(10MHz)に同期して動くので，CSTの高信頼化が重要である。このため，

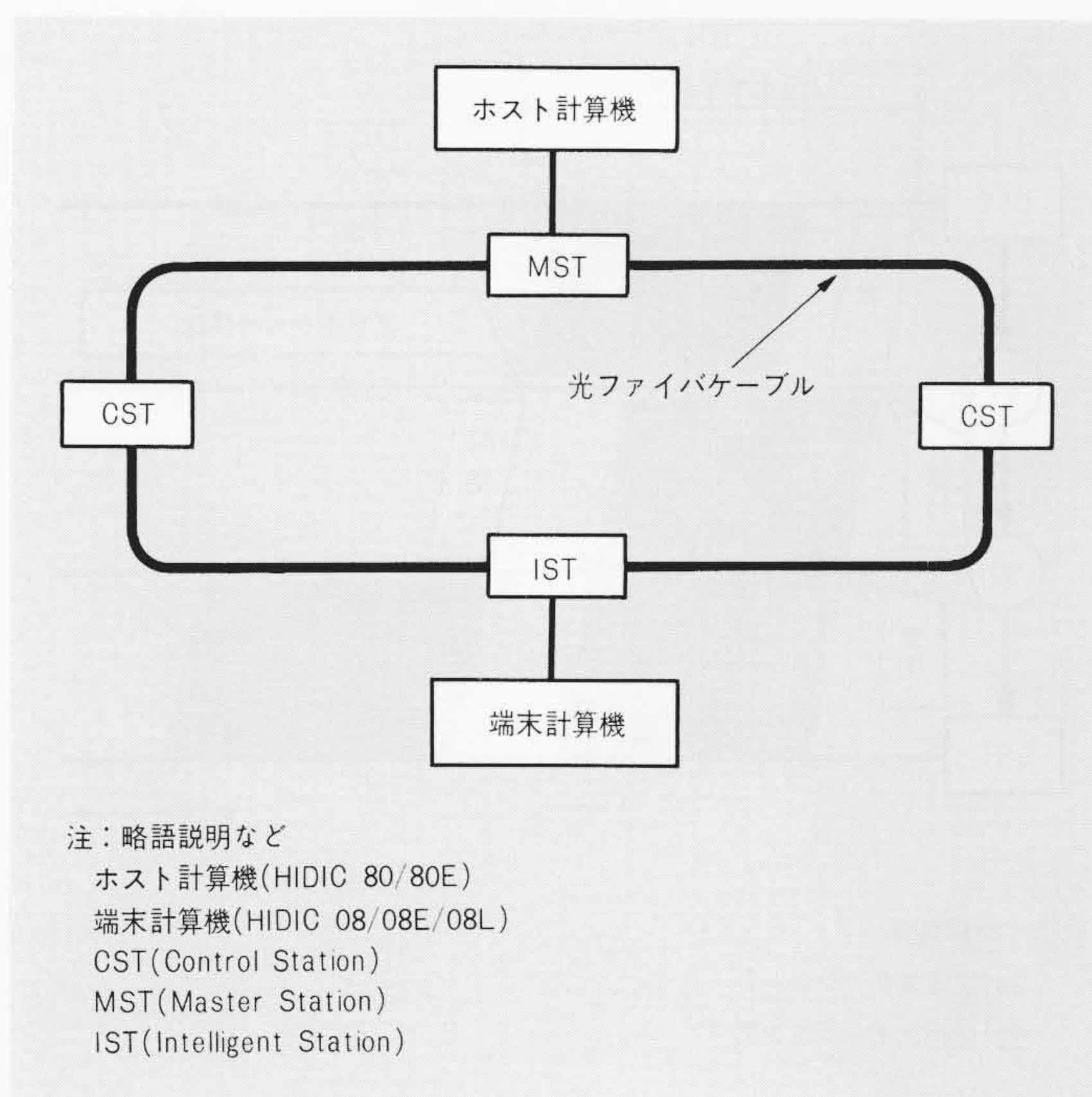


図2 システム基本構成 H-7485C形光DFWのシステムの基本構成例を示す。

CSTはループ内2箇所に独立配置(別電源供給)でき、かつ相互自動バックアップを可能とする二重系構成をとることにより、高信頼化ループシステムを実現している。

(2) MST(Master Station)

MSTはネットワークシステムのホスト計算機(日立制御用計算機HIDIC 80/80E)を接続するためのノード制御装置である。MSTの主機能は、(a)ループシステムの伝送制御、(b)送信・受信情報を処理するためのデータ転送制御、(c)接続計算機との高速インタフェース制御、の三つである。MSTはループ内に複数台接続でき、これらを経由して複数台のホスト計算機によるマルチコンピュータネットワークシステムが構成可能である。

(3) IST(Intelligent Station)

ISTはネットワークシステムの端末計算機(日立制御用マイクロコンピュータHIDIC 08/08E/08L)を接続するノード制御装置である。主機能はMSTと同じであるが、ホスト計算機から端末計算機のプログラムの開発や保守を可能とするため、ISTはホスト計算機からのリモート指令により、(a)端末計算機のストップ、リセット及びスタート、(b)端末計算機へのデータ及び診断・オンラインプログラムのローディング、(c)端末計算機からプログラム及び中央保守に必要な統計RAS(Reliability, Availability, Serviceability)情報のリードバックを実行できる機能をもっている。

2.5 ハードウェア構成

各ステーションのハードウェアは図3に示すように、三つの機能モジュール(ステーション制御部、光リピータ部、回線接続部)と電源及び成端部(光ファイバケーブル接続変換部)から構成されている。各機能モジュールは、高速処理(900kバイト/s)の実現と障害の分離・保守を容易にするため、機能単位に明確な階層構造にしている。以下、各機能モジュールの構成と特長について述べる。

(1) ステーション制御部

接続計算機とのインタフェース制御機能、伝送プロトコル

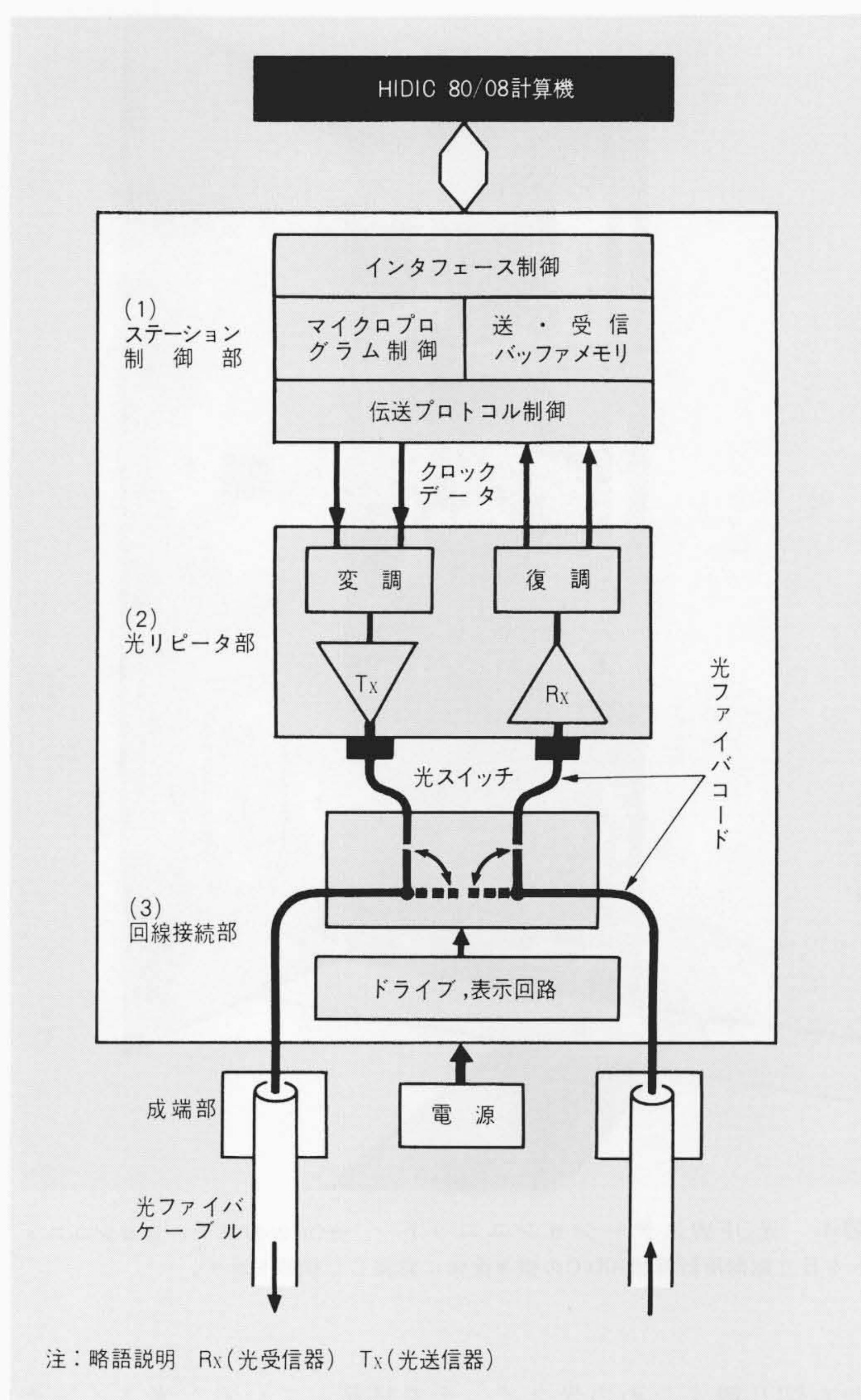


図3 ハードウェア構成図 ステーションのハードウェア構成要素を示す。階層構造をとった三つの機能モジュールで構成している。

制御機能及びバッファ管理機能をもっている。回線の高速性、ハードウェアの小形化に対処するため、10Mビット/sを直接扱うビットハンドリング処理部を除き、高速マイクロプロセッサ構造を採用しており、接続計算機との入出力管理、送・受信フレームのブロック単位処理、バッファ管理、合理性チェックなどをすべてマイクロプログラム処理で実現している。

(2) 光リピータ部

10Mビット/sの高速光伝送を実現する光中継器³⁾であり、電気信号を光信号に変換する光送信器と光信号を電気信号に変換する光受信器とを搭載している。高性能PLL(Phase Locked Loop)回路を用い、受信信号からデータとクロックを再生する再生中継方式とし、変調方式にはタイミング情報の抽出に適したマンチェスタ符号を使用している。また、上流ステーションが光スイッチでバイパスする際の動作過渡時に発生する回線の乱れに対しても、データの信頼性を確保するため、光受信信号無信号状態を直ちに検出し、ステーション制御部へ報告し、復調データを無効とする機能をもっている。

(3) 回線接続部

本回線接続部には、光ファイバループ上の1台のステーションに故障が発生し中継機能を喪失した場合にも、伝送システム全体のダウンを回避する目的で、ステーションをループ

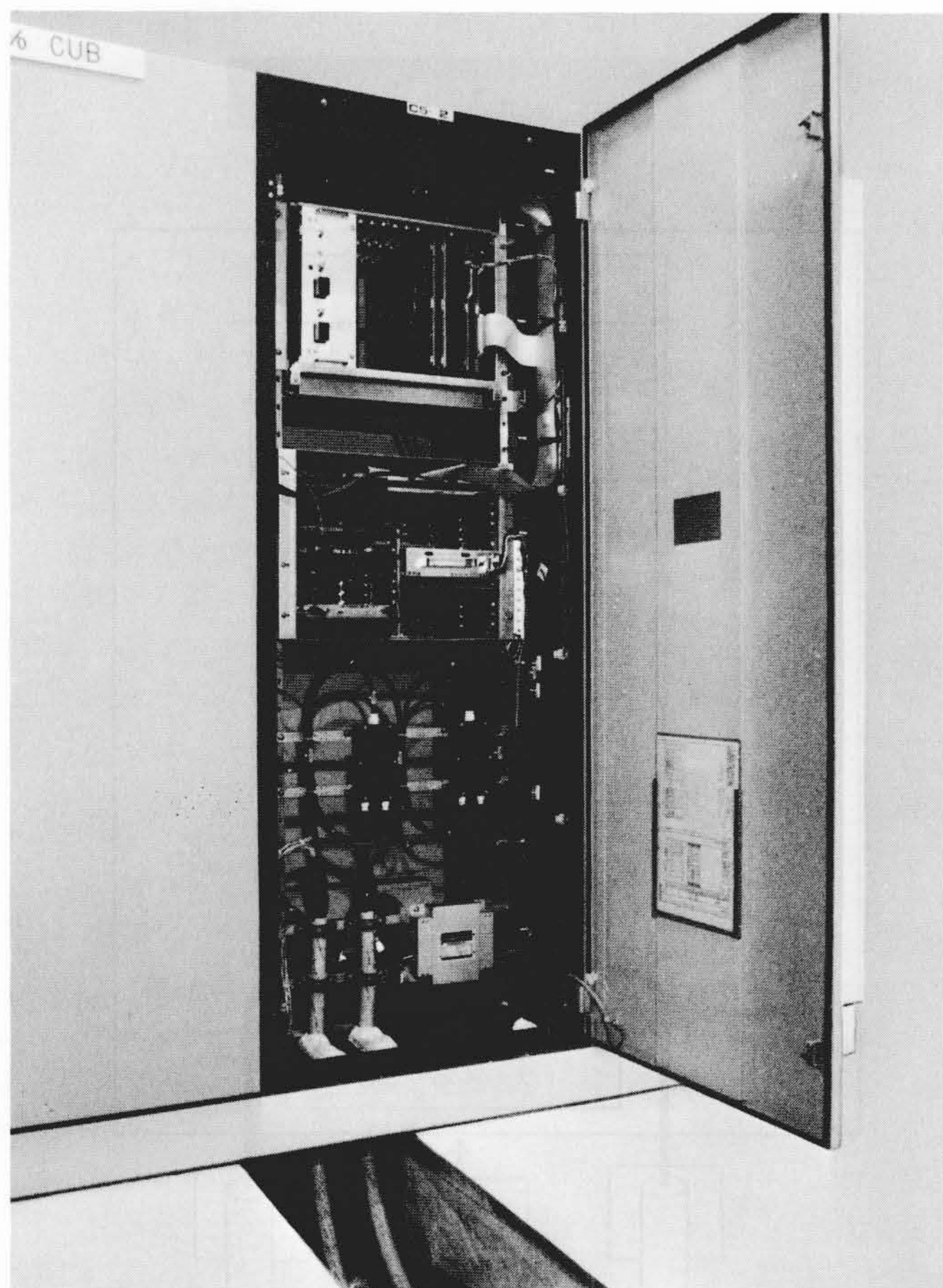


図4 光DFWステーションユニット 光DFWのステーションユニットを日立制御用計算機HIDICの標準筐体へ実装した状態を示す。

から切り離すための光スイッチを搭載している。光スイッチがバイパス路を形成すると、図3の破線で示すように故障ステーションが切り離され、上流及び下流のステーションが光ファイバ伝送路によって直接接続されるため、障害の波及が防止できる。本光スイッチの切換指令は、後述するようにステーションコンソール、及び中央計算機から行なうことが可能であり、保全性の高いシステム構成を実現している。

図4にステーション構成要素の外観を示す。

2.6 高効率伝送方式

データウェイでは、1本の伝送ループを共有して任意のステーション間の情報転送(N:M転送)を可能にするとともに、プラントデータ、割込み信号、CRT(Cathode Ray Tube)ディスプレイデータ、記録データなど、応答性、データ長及び発生頻度の異なる多様なトラヒックを伝送する必要がある。本光DFWでは、これら各種のトラヒックに効率よく対処するため、可変長パケット方式を採用し、高スループット性を確保するとともに、更に各ステーションから非同期に発生するランダム及びバースト的なトラヒックにダイナミックに対応するため、レスポンス性に優れた非同期式時分割多重方式を採用した。

一般にループ式伝送システムでは、1本の共通母線を多数のステーションが共有して情報伝送を行なうという特異性から、1情報伝送サイクル中に、送信権の獲得、情報転送及び送信権の解放という三つのフェーズが必要となり、これら各フェーズがループを周回する際に生ずる伝搬遅延(光ファイバの物理的な遅延、ステーション内での論理的な遅延)時間

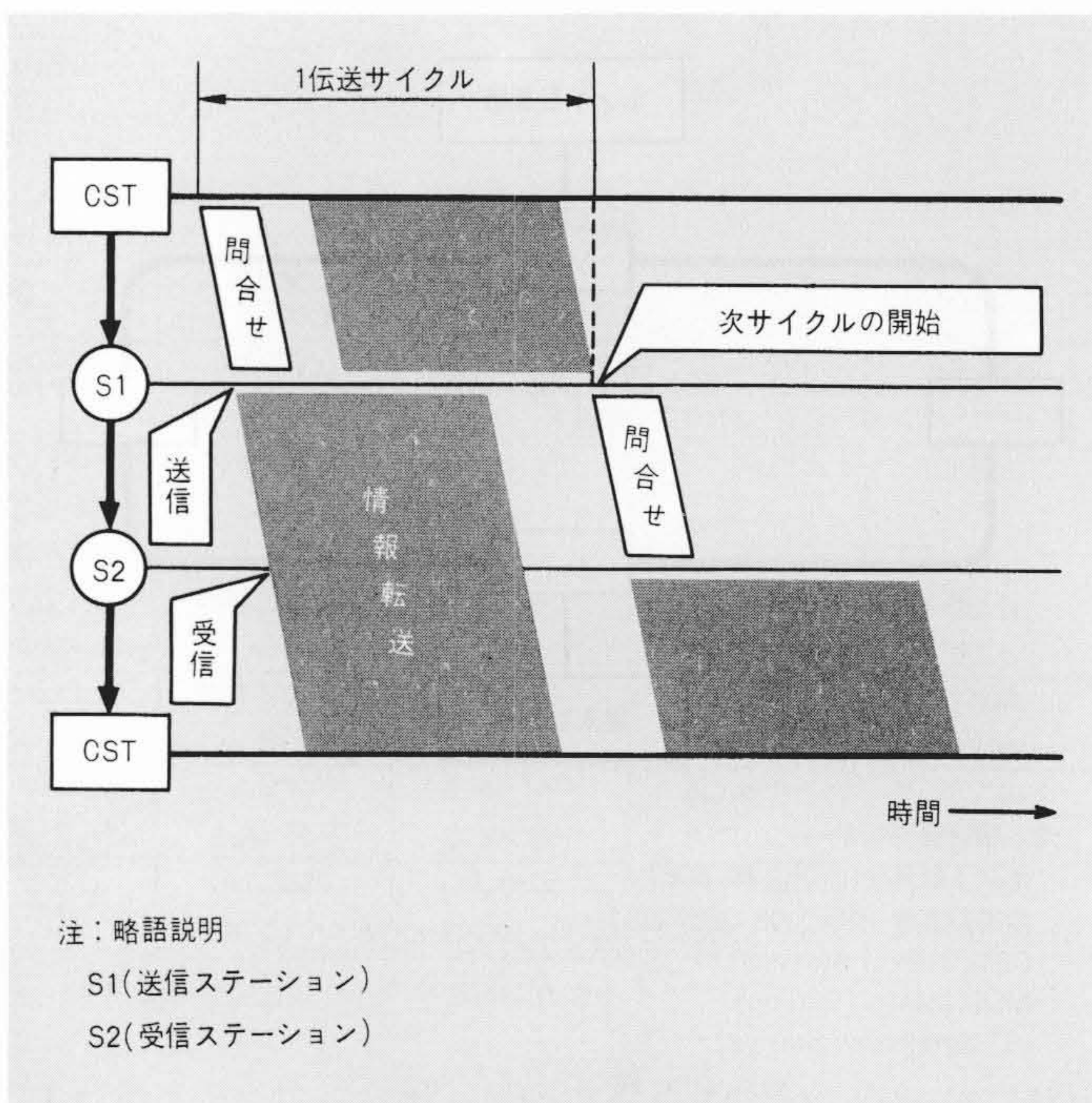
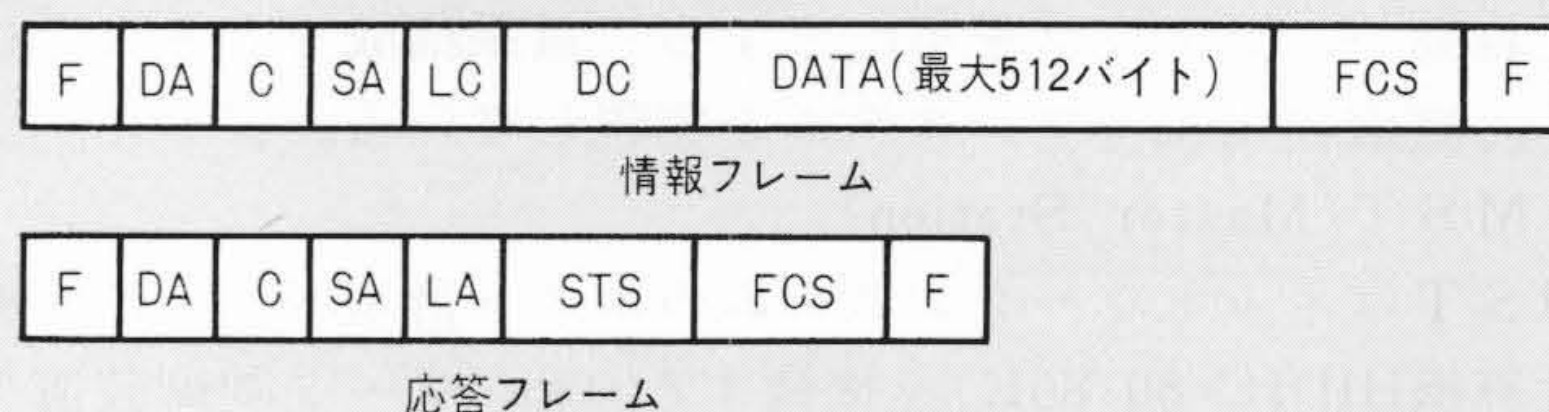


図5 伝送制御方式 光DFWの伝送制御方式をタイムチャートで示す。情報のループ周回数を削減し、高効率化を図っている。



注：略語説明
F[フラグ(同期コード)]
DA(フレーム受信ステーションアドレス)
C(制御コマンド)
SA(フレーム送信ステーションアドレス)
LC(DFW制御コマンド)
DC(DATAワード長)
DATA(可変長データ)
LA(受信ステーション応答情報)
STS(LA付加情報)
FCS(誤りチェックコード)

図6 フレームフォーマット 各フレームともにHDLC(High Level Data Link Control)に準拠したフォーマットを採用している。情報フレームにはデータ長を示すDC情報を設け、受信ステーションで合理性チェックに使用している。

が伝送制御上のオーバーヘッド時間となり、伝送速度を高速化すると伝送効率が低下するという問題がある。

本光DFWではこの問題を解決し、光の高速性を積極的に生かした伝送方式を実現するため、図5に示す「問合せ」機能持回り方式を採用した。本方式の採用により、1情報伝送サイクル中のループ周回数を平均的に1.5回以下に抑えることが可能となり、伝送速度10Mビット/sで比較的大規模なシステムである32台のステーションをもつ10kmのループに対し、伝送効率72%を達成し、実効スループット最大900kバイト/sを実現した。

また、高信頼度情報伝送が強く要求されるプロセス制御分

野への適用を考慮し、送信情報が確実に受信ステーションに受け取られたことを確認する目的で、応答フレーム確認方式を採用している。

伝送プロトコルは高速性に対処するため、また、将来の拡張性を考慮し、ブロック単位の処理が可能で、かつ高効率なHDLC(High Level Data Link Control)プロトコルに準拠している。

図6に伝送フレームフォーマットを示す。

2.7 高信頼化、保全技術

データウェイシステムは、その特徴ある性格、「共通伝送路」、「広域分散システム」により、システム保全上の特異性⁴⁾として、

- (1) 「共通伝送路」を各ステーションが使用することから、1台のステーションで発生した障害がシステム全体に波及し、このため障害のローカライズが容易でないこと。
 - (2) 各ステーションが「広域」に分散していることから、1箇所からの診断ができないこと。すなわち、保守員が各ステーションの所まで行って個別に診断を行なう方法では、システムの大規模・大形化に対処できないこと。
- がある。

H-7485C形光DFWでは、上記の特異性に着目し、以下に述べるように「部分的障害の自動切り離し」、「中央からのオンラインリモート診断・保守」及び「高信頼度ループ構成」の実現を図っている。

- (1) ステーションの障害時(供給電源断を含む。)には、光スイッチによりそのステーションを自動的にループから切り離す。また中央計算機は、光ファイバループに併設した回線を用い、各ステーションに割り当てた音声周波数帯信号によって、各ステーションのバイパス用光スイッチを集中的に監視制御する。
- (2) 中央計算機は、CSTを通過する各トラヒック情報及びMST、IST内の制御、状態、管理情報を統計RAS情報として収集することができる。これにより、中央からのオンラインリモート診断・保守を実現している。
- (3) ループを統括、管理するCSTは二重化構成を基本とし、

CSTに障害が発生した場合の自動バックアップ機能をハードウェアで実現することにより、ループシステムの高信頼化を図っている。

2.8 ネットワークオペレーティングシステム

光データウェイをプロセス制御に適用する場合、構内に分散したプロセスを結合し、その高速性、高信頼性を生かすことによって使いやすく、高効率なシステムとして一体化することが最大のポイントである。

光データウェイ用ネットワークオペレーティングシステム⁵⁾は、使いやすさと高効率を実現するために、図7に示すように、ファミリー計算機であるHIDIC 80E/08Eを各々中央計算機、端末計算機として配置し、徹底した制御の分散と保守の集中管理機能をもっている。特徴的な機能を次に述べる。

- (1) 仮想的伝送路による任意計算機間のメッセージ交換。
- (2) プロセス入出力装置など、リモートデバイスの一元管理。
- (3) 中央から端末計算機の起動・停止、及び端末計算機の異常情報の中央出力など、保守・運用機能の集中管理。
- (4) 中央での端末プログラムの開発、データウェイを介してのダウン、ライン、ローディング及び中央から端末プログラムの起動、停止、修正などのプログラム開発支援。

3 製鋼プロセス制御システムへの適用例

図8はH-7485C形光DFWシステムを適用して実用化した大規模、広域な製鋼プロセス制御システム⁶⁾の例を示したものである。このシステムは、製鉄所内の二つの転炉工場、脱ガス工場及び二つの連続鋳造工場に分散設置された5台の端末計算機と、計算機室に設置された2台のホスト計算機で構成されている。ホスト計算機と各端末計算機は、全長4.2kmの光ファイバケーブルで接続されている。ホスト計算機は上位の大形計算機から受信した製造命令に基づいて溶鋼やスラブのトラッキングをしながら各プロセスの操業データの収集、作業指示、セットポイントコントロールなどの制御を行なう。また、各端末計算機はホスト計算機に協力してプロセス制御用データの収集や速い応答を必要とする制御を行なう。このシステムは近い将来に、更に2台のホスト計算機と3台の端

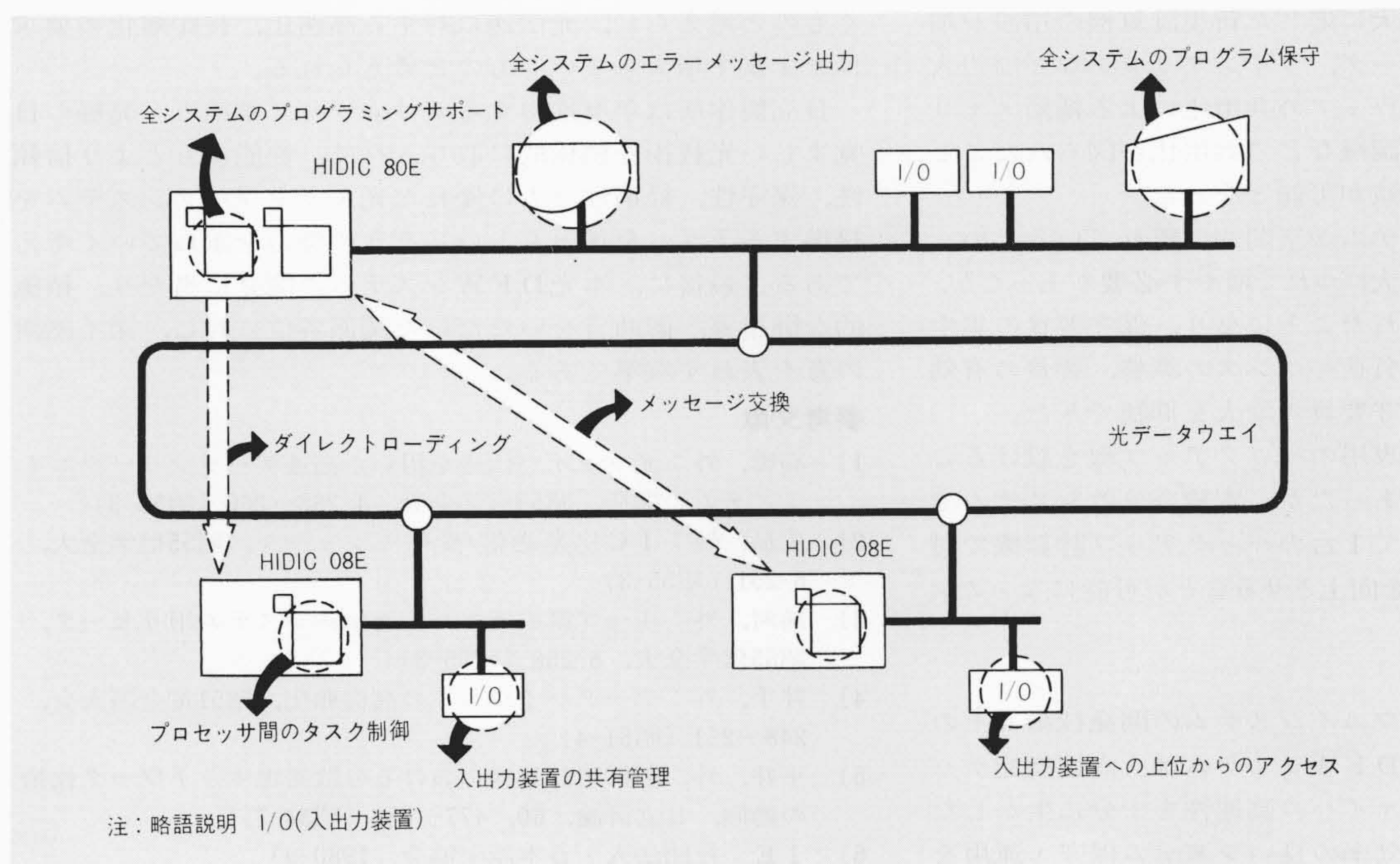


図7 ネットワークシステムの構成と機能 ネットワークオペレーティングシステムは、メッセージ交換、入出力装置アクセスによって分散した計算機を一体化し、HIDIC 80Eによって全体を集中管理する。

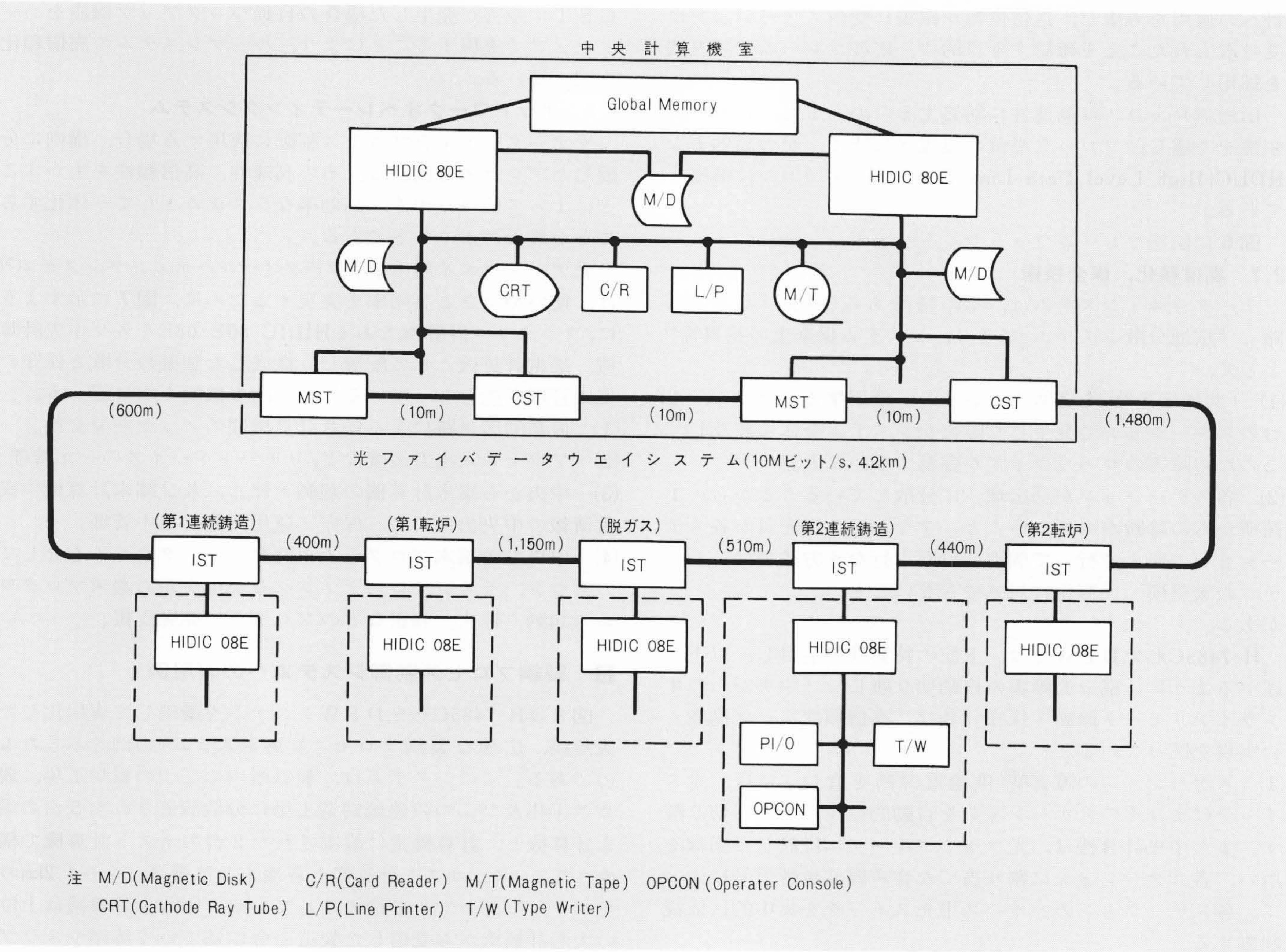


図 8 光DFW適用システム例 H-7485C形光DFWシステムを適用して実用化した製鋼プロセス制御システムの例を示す。

末計算機が増設されることになっている。

本総合分散システムは、設備投資の軽減、保守要員増大の抑制、低コストでの信頼性向上、拡張性の向上などを目的として実用化されたが、以下に述べるような効果を発揮している。

(1) プロセス制御の機能拡大に応じた新規計算機の増設が増える中であって、カードリーダ、ラインプリンタなど周辺入出力装置の共用化、ソフトウェアの共用化による補助メモリの節約、及び計算機室、空調機などの共用化が図られたことにより、設備投資費用の削減が可能となった。

(2) 従来は複数計算機システムが空間的に離れているため、保守要員を計算機台数の増大につれて増やす必要があったが、運用保守の中央集中化が図られたことにより、保守要員の集中配備が可能となり、要員の負荷バランスの調整、要員の有効活用を図ることができ、保守要員の増大を抑制できた。

(3) 計算機システム単位に専用のバックアップ機を設けることはコスト高のため困難であったが、本総合分散システムでは、複数台の計算機に対して1台のバックアップ計算機で対処でき、低コストで信頼性を向上させることが可能になった。

4 結 言

以上、光ファイバデータウェイシステムの開発技術とその成果について述べた。本光DFWシステムは、高性能光デバイス、光伝送技術及び光ファイバの高速性を十分に生かした高効率伝送方式の開発と、効率の良いシステム保守・運用を

実現するネットワーク管理技術の確立により、新しいシステムニーズに即応できる高度なネットワークシステムの実現を可能にした。

計算機制御システムの大規模化、統合化の傾向は今後も続くものと考えられ、光伝送に対する高速化、長距離化の要求はますます増大していくものと考えられる。

日立製作所は年々進歩するネットワーク技術と、発展の目覚ましい光技術を積極的に取り入れて、性能はもとより信頼性、保守性、経済性ともに優れた光ネットワークシステムを提供するよう、今後とも、いっそうの努力を重ねていく考えである。最後に、本光DFWシステムの開発に当たり、積極的な御指導、御助言をいただいた関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 高橋，外：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55信学全大，4-268～269（昭55-3）
- 2) 生島，外：IC化光送信/受信モジュール，昭55信学全大，8-251（昭55-3）
- 3) 溝河，外：ループ構成光ファイバ伝送システム用リピータ，昭55信学全大，8-258（昭55-3）
- 4) 井手，外：データハイウェイの高信頼化，昭51電全国大会，248～251（昭51-4）
- 5) 平井，外：制御用計算機における分散処理ネットワーク技術の動向，日立評論，60，477～482（昭54-7）
- 6) IE：社団法人・日本能率協会（1980-9）