

分散プロセス制御用光ループ伝送システム

Optical Fiber Loop Network System for Distributed Process Control

近年、鉄鋼、化学、電力分野などのプロセス制御システムはますます高度化、大形化しつつあり、これに伴って処理の効率向上、危険分散の観点から分散制御システムの導入が進められている。このようななかで、大容量性、広域性、耐ノイズ性の特質をもつ光ループ伝送システムは、分散制御システムを構築するための中枢神経系としてますます重要となってきた。

日立製作所では、高性能な光送・受信モジュール、高スループットなパケット伝送方式、ループバック機能・中央集中保守などのRAS技術の開発により、世界に先駆けてプロセス制御分野での光ループ伝送システムを実用化している。

本稿では、これまでに開発・実用化した二つの光ループ伝送システム——大規模計算機ネットワーク用の高性能光データウェイシステム、多種多様な周辺・端末制御用の小形、低価格な光シリアル入出力ループバス——について、開発技術、特徴及び成果について述べる。

高橋正弘* Masahiro Takahashi

浜田卓志* Takuji Hamada

岡田政和** Masakazu Okada

寺田松昭*** Matsuaki Terada

1 緒 言

鉄鋼、電力、交通システムなど幅広い産業分野で、光のもつ大容量性、広域性、耐ノイズ性を生かした光ループ伝送システムの開発・実用化が急速に進められている。

特に、プロセス制御分野での生産管理・制御システムは、近年ますます高度化・大形化しつつあり、これに伴いシステムの運転・管理コストの低減及びトータルシステムの運用効率の向上が重要な課題となりつつある¹⁾。これを解決するには、システムの拡張性、経済性はもとより、システム資源の共用化、保守の中央集中化及び高速ファイル伝送を可能とする高スループット通信、高信頼化を図った光ループ伝送(光データウェイ)システムが必須となってきている。このようなユーザーのニーズに基づいて、昭和55年に新日本製鐵株式会社君津製鐵所と共同して、世界に先駆けてプロセス制御分野での光データウェイシステムを開発し、実用に供した。

また、プロセス制御システムを構成する計算機システムは大規模化の傾向とともに、顧客の生産計画の増大や制御対象の適用の拡大に合わせ、既設システムを増設・拡充していくことが必要である。これに伴い、計算機本体に集中するケーブルが増大、輻そうしてくる傾向にあり、静電、電磁結合による誤動作の発生、周辺・端末装置のレイアウト上の制約など経済的、高信頼度な接続が困難になりつつある。そこで、多数台の周辺・端末装置を光ループ伝送(光シリアル入出力ループバス)システムで接続することによって、これらの問題点を一挙に解決し、計算機システム構築・拡充時の柔軟性を大幅に向上させることが必要となってきた。

日立製作所では以上の背景をもとに、高性能な光送・受信モジュール技術、高スループットなパケット伝送方式、高いループ信頼性・稼働性を実現したRAS(Reliability, Availability, Serviceability)技術の開発によって、大規模計算機ネットワーク用の光データウェイシステム、多種多様な周辺・端末制御用の光シリアル入出力ループバスを開発・実用化している。以下、この二つの光ループ伝送システムの開発のねらい、構成・方式上の技術的特長について述べる。

表1 光ループ伝送システムの適用領域 光ループ伝送システムはデータウェイシステムばかりでなく、OA用ローカルネットワーク、計算機システム関連分野などその適用領域が広がりつつある。

適用対象	目的	特徴
1. 構内コンピュータネットワーク(データウェイ)	分散計算制御ネットワーク	高速(10~100Mビット/秒) 広域構内(20~50km)
2. 計測制御システム(データウェイ)	プラント内コントローラ間ネットワーク LAシステム	中低速(~10Mビット/秒) 狭中域構内(1~5km)
3. 計算機システム	計算機一周辺・端末装置間リンク、計算機チャネルインタフェース	広範囲な速度(数キロビット/秒~100Mビット/秒) 同一室内・建屋内
4. OA用ローカルネットワーク	パーソナルコンピュータ、ワークステーションなどのOA機器ネットワーク	中低速(~32Mビット/秒) 狭中域構内(1~10km)

注：略語説明 OA(オフィスオートメーション)
LA(ラボラトリーオートメーション)

2 光ループ伝送システムの特徴と適用領域

光ループ伝送システムは工場構内、ビル内などの企業内伝送システムとして用いられており、表1に示すように広範囲な分野で適用されつつある。この光ループ伝送の適用メリットは、下記のように光伝送とループ伝送の特質と利点を合わせもっていることである。

(1) 長距離・大容量性

ループ伝送は、リピータによって信号を再生中継しながら伝送するため本質的に長距離化が可能であり、更に光技術の適用によってリピータ間の長スパン化(~10km)、大容量化(100Mビット/秒)が達成できる。この結果、構内コンピュータネットワークの大規模化、広域化、あるいはデータだけで

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所システム開発研究所

なく画像情報などの広帯域・高速伝送の要求に対応可能である。

(2) 耐環境性, 安全性

製鉄所, 超高压変電所構内での厳しい電磁環境, 石油プラントでの爆発性雰囲気などの悪環境下で, 光ループ伝送システムは本質安全かつ耐環境性に優れ, 電磁誘導雑音の影響を受けないため, 計測制御システムの高信頼化, 経済化が容易に実現できる。

(3) 拡張性, 増設容易性

ループ伝送システムは1本のループによる単純な結合であること, ループバック機能によってループ伝送システムを停止することなくステーションの増廃設が可能であるなど, システムの拡張性に優れている。

このように優れた特性をもつ光ループ伝送システムの適用領域は, データウエイシステムにとどまらず, 計算機の周辺・端末制御ネットワーク, OA(オフィスオートメーション)ネットワークなどの広範囲な分野に拡大しつつある。

光ループ伝送システムの今後の方向は図1に示すように, 下記の二つの流れがある。

(1) 短波長, LED(発光ダイオード)技術では達成できない高速・長距離領域への適用拡大をねらう高性能化指向である。長波長技術, レーザ技術を適用し, 長距離・高速化を図ることによって, 例えば鉄鋼分野の大規模コンピュータネットワークシステム, あるいはデータ, 音声, 画像など多元情報の高速統合ネットワークシステムに対応するものである。

(2) 中速・中距離領域で, より低価格な光ループ伝送システムを実現するための経済化指向である。再生中継機能をLSI化した光送・受信モジュールなどの実現によって, 計算機システムでの周辺・端末制御ネットワークなどのように, 特に経済性, 信頼性を重視する分野に対処するものである。

3 光データウエイシステム

3.1 開発のねらい

光データウエイ(H-7485C形光Data Freeway:以下, H-

7485C形光DFWと略記)システムは, プロセス制御分野での計算機ネットワークを構築するための光ループ伝送システムであり²⁾, この分野での大規模化, 広域化に十分対応できるように, 下記の諸点を考慮して開発した。

(1) 制御用としての高速応答性とプロセス制御システムの規模拡大に十分対応できる高スループット通信を実現する。

(2) システムの大規模性に見合う高い信頼性, 稼働性を確保するため, 部分障害の波及防止, 迅速な復旧手段を与える。

(3) 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・保守を可能とするネットワークソフトウェア機能を実現する。

以上の観点から開発したH-7485C形光DFWのシステム基本仕様を表2に, またシステムの特長を次に述べる。

(1) 高スループット通信

可変長パケット伝送と高効率な伝送制御方式の開発によって, 900kバイト/秒の高いスループットを実現した。大量情報の高速応答転送が必要な大規模プロセス制御システムに最適である。

(2) 高いループ信頼性, 稼働性の確保

障害対策として光ファイバと光リピータを二重化し, 予備伝送路への切替え, ループバックによる障害箇所の切離し機能を実現し, ループシステムの縮退運転を可能としている。

(3) 高度なハードウェア保全機能

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設け, 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。これらの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保全機能を実現している。

3.2 システムの基本構成

H-7485C形光DFWのシステム構成例を図2に示す。H-7485C形光DFWは, 二重化した光ファイバケーブルと, 下記の3種のステーションから構成されている。

(1) CST

CSTはループ全体の監視, 管理, ループバックなどの再構

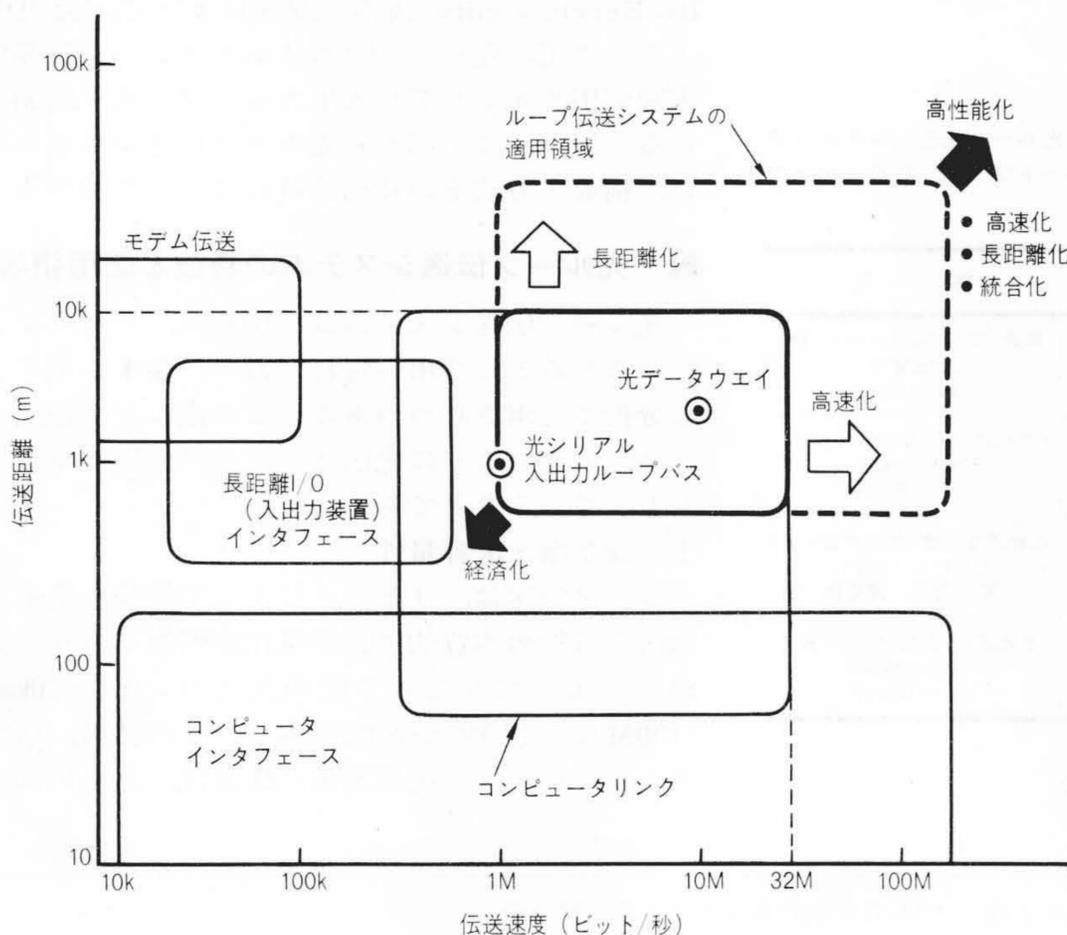


図1 光ループ伝送システムの動向
光ループ伝送システムの方向は統合ネットワーク, 大規模計算機ネットワークなどの高性能化と, 計算機の周辺・端末制御ネットワークなどの経済化を目指す二つの流れがある。

表2 光DFWシステムの基本仕様 光DFWシステムは二重化した光伝送路と高効率な伝送制御方式によって、高信頼度・高スループットな計算機間通信を実現している。

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 V90/50, 30
	HIDIC 80/80E
	HIDIC 08/08E/08L
伝送路	光ファイバケーブル(二重ループ構成)
発光・受光素子	LED/PIN
伝送速度	10Mビット/秒
ステーション間距離	最大2km
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/秒
	(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
	ループ切替・ループバック機能
	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・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 LED(発光ダイオード), PIN(PINホトダイオード)
CRC(誤り検出コード), CST(Control Station)
RAS(Reliability, Availability, Serviceability)
CST(Control Station)

成制御を行なう。ループシステムの高信頼化を図るため、CSTはループ内2箇所に独立配置(別電源供給)でき、かつ相互に自動バックアップが可能な二重系構成としている。

(2) MST(Master Station)

MSTはホスト計算機を接続するノード装置で、パケット送・受信、計算機との高速インタフェース制御を行なう。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は端末計算機を接続するノード装置で、ホスト計算機からのリモート指令によって、(a)端末計算機の起動・停止、(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情報のリードバックを実行する。

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、ループ回線制御部、光リピータ部)から構成されている。図4に光DFWステーションユニットの構成を示す。

(1) ステーション制御部

高速マイクロプロセッサによって、インタフェース制御、伝送プロトコル、バッファ管理をマイクロプログラムで処理しており、ステーションの小形化、高速化を実現している。

(2) ループ回線制御部

ループ上の送信権制御、フレームの送・受信及びループ障

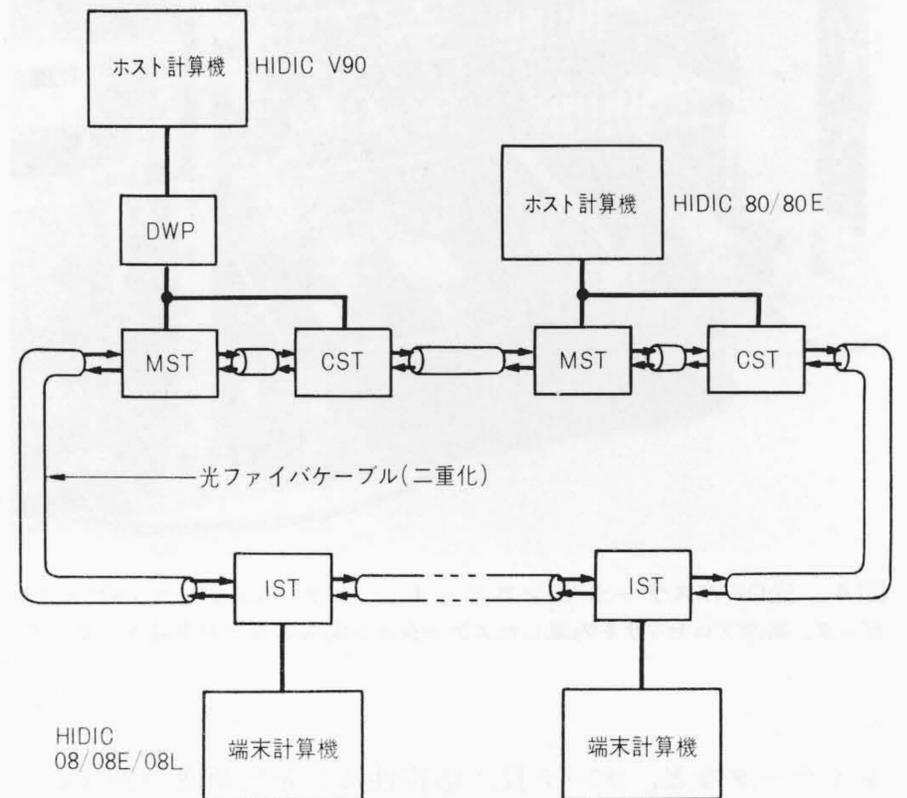
害時のループ構成制御機能をハードウェアで構成しており、高速なループアクセス、ループ構成制御を可能としている。

(3) 光リピータ部

光リピータはIC化した小形、高性能な光送・受信モジュールを搭載しており、波形整形、クロック抽出、信号の識別・再生の高速光中継機能を行なう。

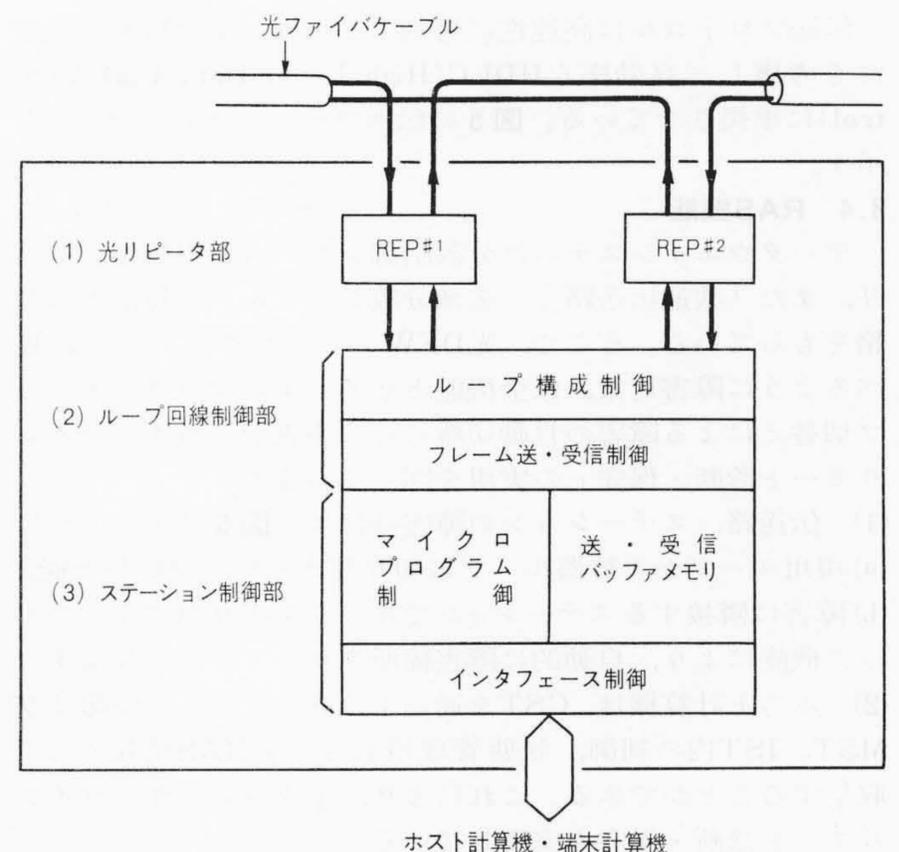
3.3 伝送制御方式

データウェイでは、1本の伝送ループを共用して、割込み信号、プラントデータ、CRT(Cathode Ray Tube)ディスフ



注：略語説明 MST(Master Station), IST(Intelligent Station)
DWP(Data Way Processor)

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



注：略語説明 REP(光リピータ)

図3 ステーションのハードウェア構成 ステーションでは、ループバックなどループ構成制御、高速なパケット送・受信制御を実行する。

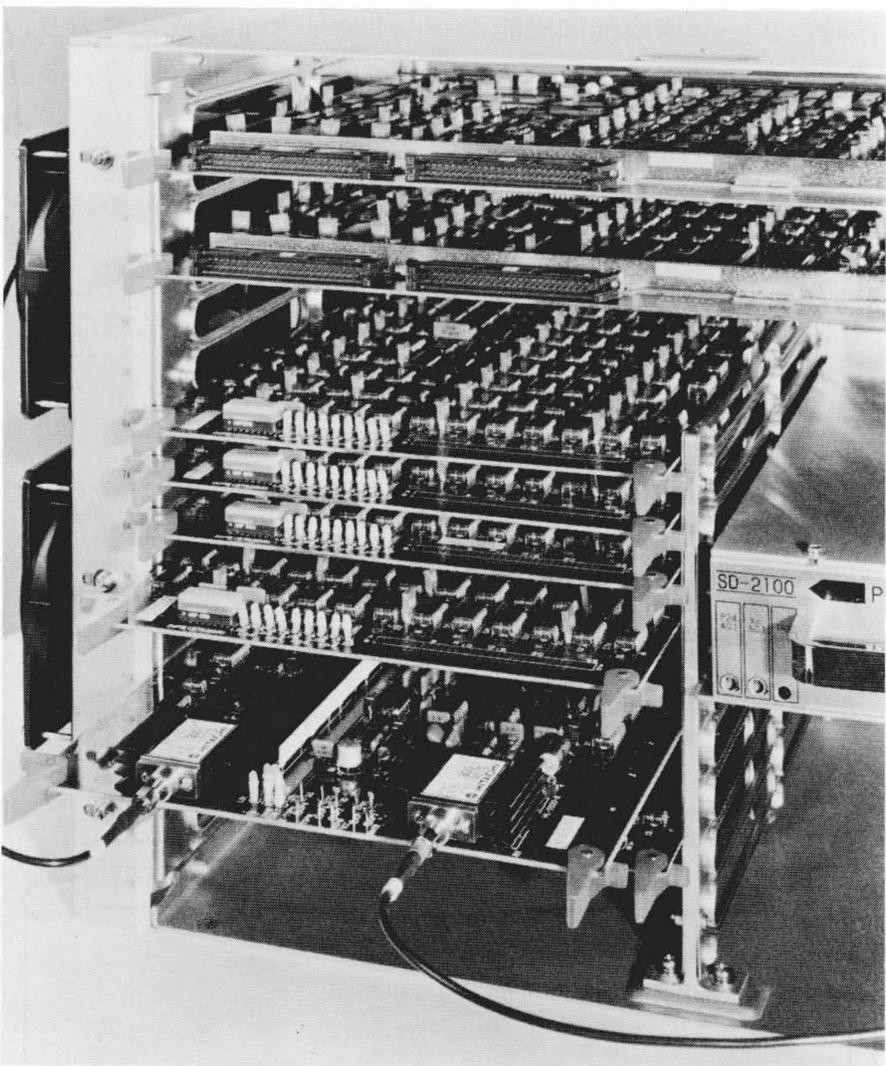


図4 光DFWステーションユニット ステーションユニットには光リピータ、高速プロセッサを内蔵したステーション制御部などが実装されている。

レイデータなど、データ長、応答性及び発生頻度の異なる情報を伝送する必要がある。本光DFWでは、これら各種の情報伝送に効率よく対処するため、可変長パケット方式とループ上の送信権(トークン)をもち回るトークン制御方式を採用している。この結果、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のループに対して、実効スループット900kバイト/秒を実現した。

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、高効率なHDLC(High Level Data Link Control)に準拠させている。図5に伝送フレームフォーマットを示す。

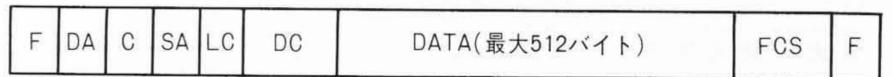
3.4 RAS機能

データウェイシステムは分散制御システムの中枢神経であり、また「共通伝送路」、「広域分散システム」の特徴ある性格をもっている。そこで、光DFWシステムでは、以下に述べるように障害対策、保全機能として「ループバック・ループ切替えによる障害の自動切離し」、「中央からのオンラインリモート診断・保守」の実現を図っている。

- (1) 伝送路、ステーションの障害時には、図6に示すように(a)現用ループから待機ループに切り替えるループ切替機能、(b)障害に隣接するステーションでループを折り返すループバック機能により、自動的に障害箇所をループから切り離す。
- (2) ホスト計算機は、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実現することによって、ループシステムの高信頼化を図っている。

3.5 ネットワークオペレーティングシステム

プロセス制御用のネットワークシステムでは、制御用としてこの高速応答性と信頼性確保のための処理の分散ニーズ、及びトータルシステム運転効率の向上と運用保守の省力化の集中化ニーズの二つを合わせもっており、ネットワークソフトウェアは分散の利点を維持しながら、システムの大形化、広域化及びトータル化に対処する必要がある。そこで、ネットワ



(a) 情報フレーム

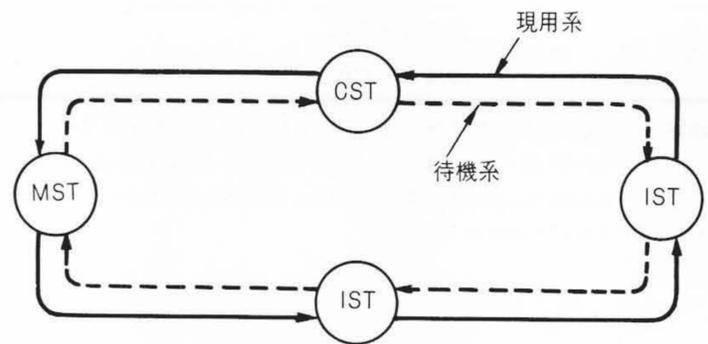


(b) 応答フレーム

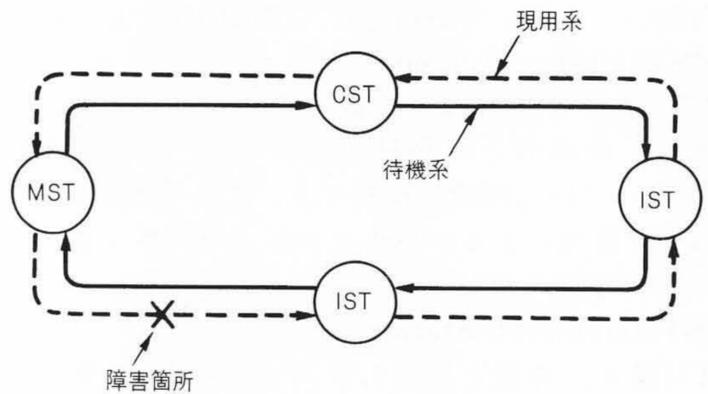
注: 略語説明

- F(フラグ(フレーム同期))
- DA(あて先ステーションアドレス)
- C(制御コマンド)
- SA(発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(応答情報)
- STS(LA付加情報)
- FCS(誤り制御コード)

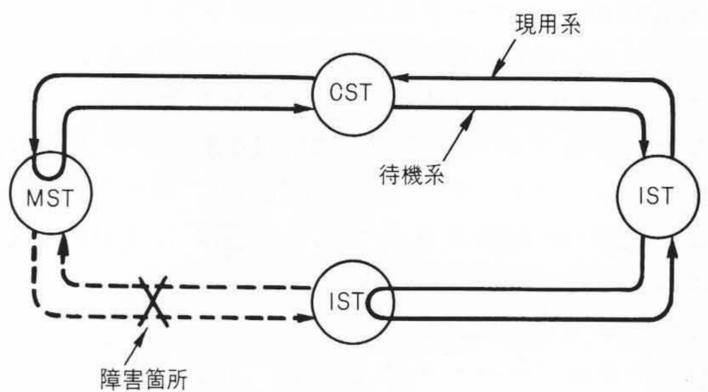
図5 フレームフォーマット フレームはHDLC(High Level Data Link Control)に準拠したフォーマットを採用している。情報フレームにはデータ長を示すDC情報を設け、受信ステーションで合理性チェックを行なう。



(a) 正常運転



(b) ループ切替運転



(c) ループバック運転

図6 障害時のループ構成制御 ループ切替え、ループバック機能によって伝送路、ステーションに障害が発生しても、ループ伝送システムの縮退運転が可能である。

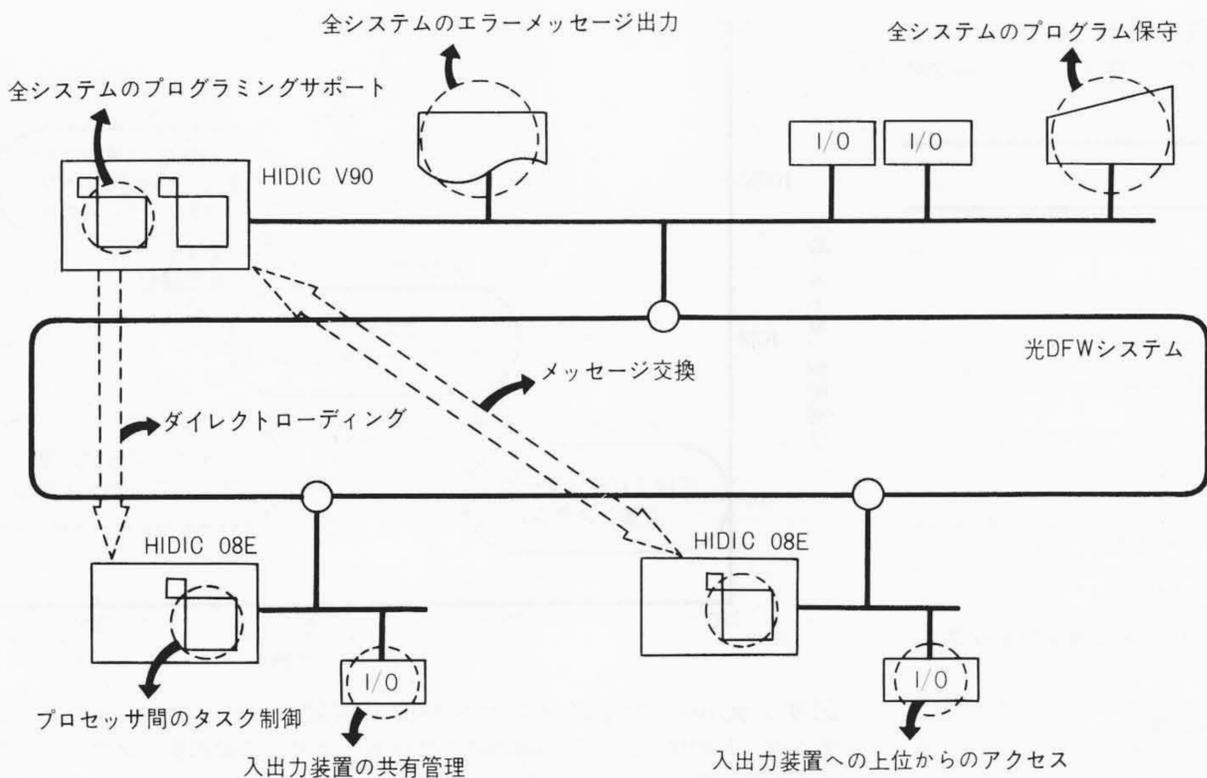


図7 ネットワークソフトウェアの機能 ネットワークオペレーティングシステムによって、HIDIC V90は端末計算機、入出力装置を集中管理する。

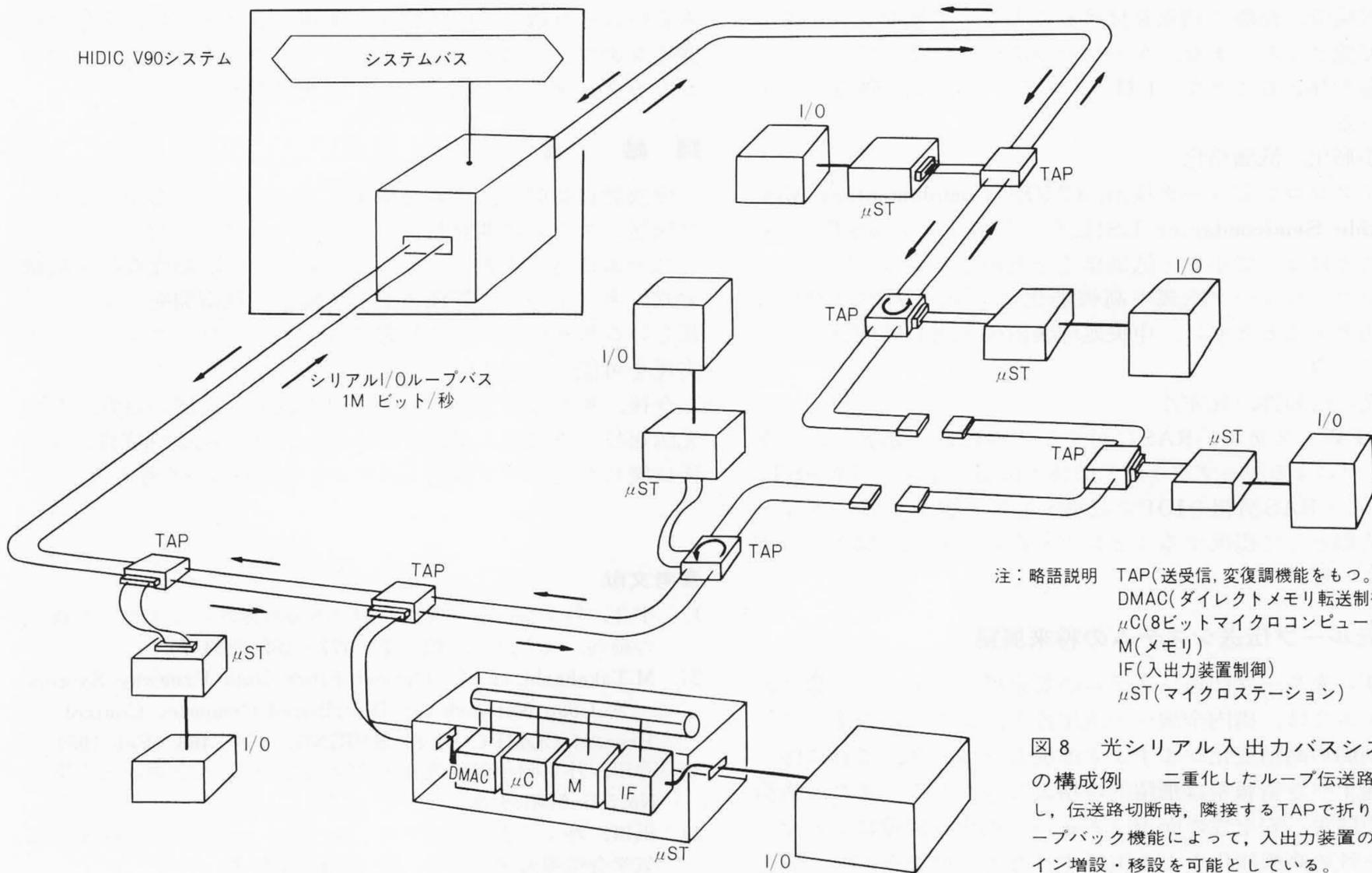
ーク機能はファイルの集中化、プログラム開発の一元化、仮想回線によるメッセージ交換を基本とし、図7に示す機能を実現した。

ホスト計算機では、従来計算機のソフトウェアで実行していたパケット単位の処理(トランスポートプロトコル)をDWP(データウェイ専用フロントエンドプロセッサ)のマイクロプログラムで高速実行している。この結果、ホスト計算機の負荷を最大トラヒック時のときでも10%以下にでき、また計算機ソフトウェアによる実行に比較して、スループットで約3倍の向上、レスポンスタイムで約1/2の短縮が達成できた³⁾。

4 光シリアル入出力ループバス

光シリアル入出力ループバス(以下、光I/Oループバスと略記)は、制御用計算機シリーズHIDIC V90の周辺・端末(ディスプレイ、プリンタ、通信制御装置など)制御ネットワークのための光ループ伝送システムである⁴⁾。前述した光DFWシステムで培った光ループ伝送技術を土台として、周辺・端末制御用ネットワークとしての小形化、低価格化、低消費電力化をねらって開発した。光I/Oループバスのシステム構成例、基本仕様を図8、表3にそれぞれ示す。

光I/Oループバスは、二重化した光ファイバ・ペアケーブル



注：略語説明 TAP(送受信、変復調機能をもつ) DMAC(ダイレクトメモリ転送制御) μC(8ビットマイクロコンピュータ) M(メモリ) IF(入出力装置制御) μST(マイクロステーション)

図8 光シリアル入出力バスシステムの構成例 二重化したループ伝送路構成とし、伝送路切断時、隣接するTAPで折り返すループバック機能によって、入出力装置のオンライン増設・移設を可能としている。

表3 光シリアル入出力バスシステムの性能と仕様 シリアルループバス化することによって、システムの拡張性、柔軟性を確保し、かつ高信頼性、低価格化を実現した。

項目	性能, 仕様
システム規模	最大2ループ/IOP
	最大32ステーション/ループ
ステーション間距離	光ファイバ時 最大1km
	ペア線時 最大100m
伝送速度	1Mビット/秒
伝送路	光ファイバ又はペア線
伝送手順	HDLC準拠
データ長	最大512バイト/メッセージ(可変長)
伝送形態	N:M転送
システム RAS機能	伝送誤り制御, CRC16+フレーム合理性チェック
	ハードウェアの自動再送
	コントロールステーション二重化
	伝送監視, トレース
μST RAS機能	ループバック, オンライン増廃設
	パリティ, 命令インバリッドチェック
	ウォッチドッグタイマ
	エラー時の情報収集とリトライ

ル、伝送路へのトランシーバ機能をもつTAP部、マイクロコンピュータを内蔵して伝送・入出力制御を実行するμST(マイクロステーション)、及び最大64I/Oの同時処理管理を行なうIOP(入出力制御プロセッサ)によって構成されている。光I/Oループバスの特長を次に述べる。

(1) システム構築の柔軟性、容易性

光ファイバ/ペアケーブル混在のループ伝送により、各I/Oの設置場所、距離に制限を付けることなく柔軟なシステム構築を可能とした。また、ループバック機能によってシステムに影響を与えることなくI/Oのオンライン増設、移設を実現している。

(2) 小形化、低価格化

マイクロコンピュータ技術、CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)LSI技術を駆使して、μSTを構成することによって小形・低価格化を実現している。また、マイクロコンピュータ内蔵の高機能化により、多様なI/O接続を可能とするとともに、中央処理装置の入出力処理負荷を軽減している。

(3) 高い信頼性、保守性

光DFWシステムのRASに対する基本思想を踏襲し、二重化ループによるループバック・切替え機能の実現、及びμST、I/OからのRAS情報をIOPで収集・解析・編集して、保守・診断情報として提供することにより高い信頼性、保守性を実現している。

5 光ループ伝送システムの将来展望

図9に光ループ伝送システムの将来展望を示す。計算制御システムでは、構内全域への適用拡大、システムのトータル化と制御の高精度化がますます進展しつつあり、これに伴って伝送すべき情報量は飛躍的に増大しつつある。また、業務効率や防災、安全性の向上、あるいは視聴覚情報によるマンマシン性の高機能化などを実現するため、単なるデータ伝送

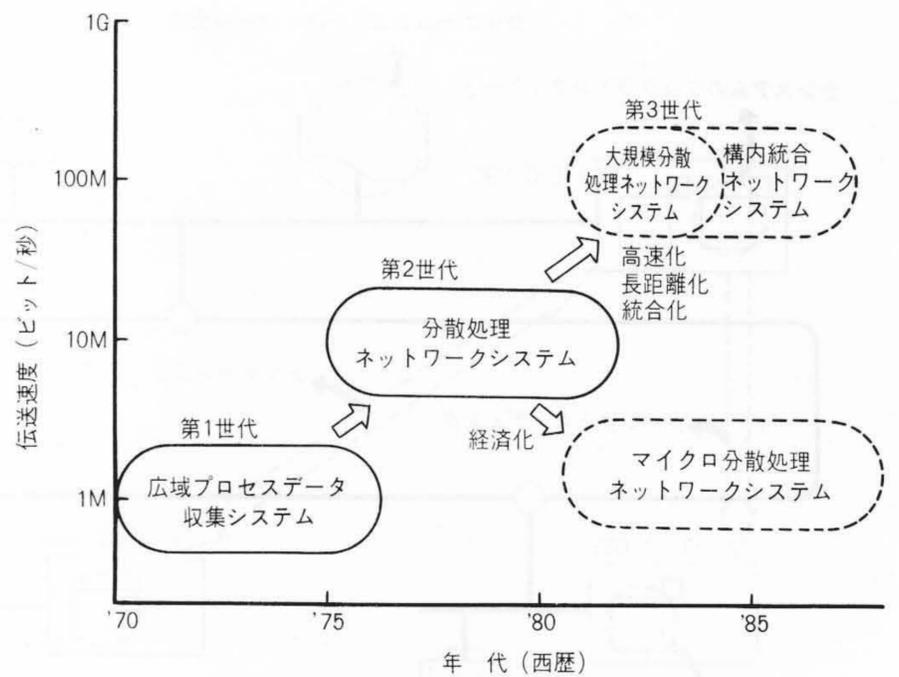


図9 光ループ伝送システムの将来展望 光ループネットワークシステムは、大規模化、多元情報の統合化はもとより、広範囲なシステムへの適用拡大を図るため、経済化の努力が続けられている。

だけでなくITV(工業用テレビジョン)画像、音声をも伝送する必要性がでてきている

このため、光ループ伝送システムには高速化、長距離化はもとより、画像・データ・音声などの多元情報を経済的に一括伝送する光統合ネットワークシステムの出現が期待されている。

また、OA、FA(ファクトリーオートメーション)が急速に進展するなかにあって、多種多様なオフィス機器、あるいは工作機械などの機器を接続できる低価格な光ループ伝送システムが強く要求されている。

このため、光伝送系には従来の電気系伝送システムと同等、あるいはそれ以上の低価格化を実現するとともに、多様な機器インタフェースのサポート、ネットワークソフトウェアのコンパクト化などを図っていく必要がある。

6 結 言

分散計算制御システムを構築していくうえで必須な光ループ伝送システムの開発状況と成果について述べた。これらのシステムは高性能光デバイス、高効率・高信頼度な伝送制御方式、ネットワーク管理技術など幅広い技術開発によって、新しいシステムニーズに対応できるネットワークシステムの実現を可能にした。

今後、年々進歩するネットワーク技術と発展の目覚ましい光伝送技術を取り入れ、性能はもとより信頼性、保守性、経済性に優れた光ループ伝送システムを提供していく考えである。

参考文献

- 1) 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, 7, 477~482(昭54-7)
- 2) M.Takahashi, et al.: Optical Fiber Data Freeway System — A Loop Network for Distributed Computer Control, Proc. of COMPCON 81 SPRING, 458~463 (Feb. 1981)
- 3) 寺田, 外: 昭和58年度情報処理学会全国大会講演論文集, No. 5 G-8(昭58-3)
- 4) 浜田, 外: 二重化シリアル・ループネットワークの開発, 電気学会情報処理研究会, IP-83-6(昭58-3)