

データフリーウェイ装置の開発

The Development of Data Free Way System

A totalization of function and an expansion of the service area, which represent the recent trend of computer control systems, have caused an increase in cabling between stations in such systems, having made wiring of the system much more complicated. The wiring cost now shares a considerable portion of the total system cost.

The Hitachi Data Free Way (DFW) system has been developed to curtail these installation and wiring costs. The system, in which stations are wired to a looped common bus (free way), can greatly reduce the amount of wiring.

The data free way system is easily expandable to a multicomputer system in which a number of computers are connected to a common free way. Particularly, since this Freeway dispenses with a master station which controls information exchange there is no fear of total shut-down of the system due to faults at the master station, and accordingly, a highly reliable system can be composed. Attention has also been paid to the countermeasures to noise. As to the software, it has such a feature that programmers can use end component devices without taking the Freeway into consideration.

大沢 晃* Akira Ôsawa
安田 元* Hajime Yasuda
桜川正三郎* Shôsaburô Sakuragawa
猪瀬 文之** Humiyuki Inose

1 緒言

計算制御システムは、用途が拡大するに伴い、工場全体の情報処理を統括制御するMISと結合したり、広い地域に散在する機器を処理対象にするなど、トータル化、広域化の傾向にある。システム広域化のためには、分散した機器間を経済的に接続する必要があり、それを可能とする一手段として新しい方式によるデータフリーウェイ・システム（以下DFWと略、なお、データ・フリーウェイは日立の商品名で、ラインシェアリング・データ伝送方式の一種である）を開発した。

図1は、DFWの概念図である。本方式は散在する機器間をステーションを介して1本の共通母線（フリーウェイ）で接続し情報転送を行なうもので、システムが広域になるほど、工事費低減の効果が期待できる。

2 開発思想と特長

(1) 信頼性

制御用計算機は一般にプラントと直結して使用されるため、いったん故障するとプラントに与える損害が大きい。またDFWは1本の共通母線を使用するため、その故障がそのままシステム故障につながる場合が多い。このためDFWは信頼性が非常に高くなければならない。また広い範囲をはり巡らすフリーウェイには、工場用動力線などからノイズが混入することが考えられ、それに対する万全の対策が必要である。以上の考え方を背景とし、DFWの信頼性を確保するため以下の手段を用いた。

(a) 故障の局所化

システム全体に共通のハードウェアがあると、その部分が故障したときシステム故障となるため、回線処理に必要な機能はすべて分散するステーションに持たせ、共通ハードを排除した。また各ステーションにはバイパス回路を設け、万一どれかのステーションが故障しても、他のステーション間の情報交換はできるようにした。

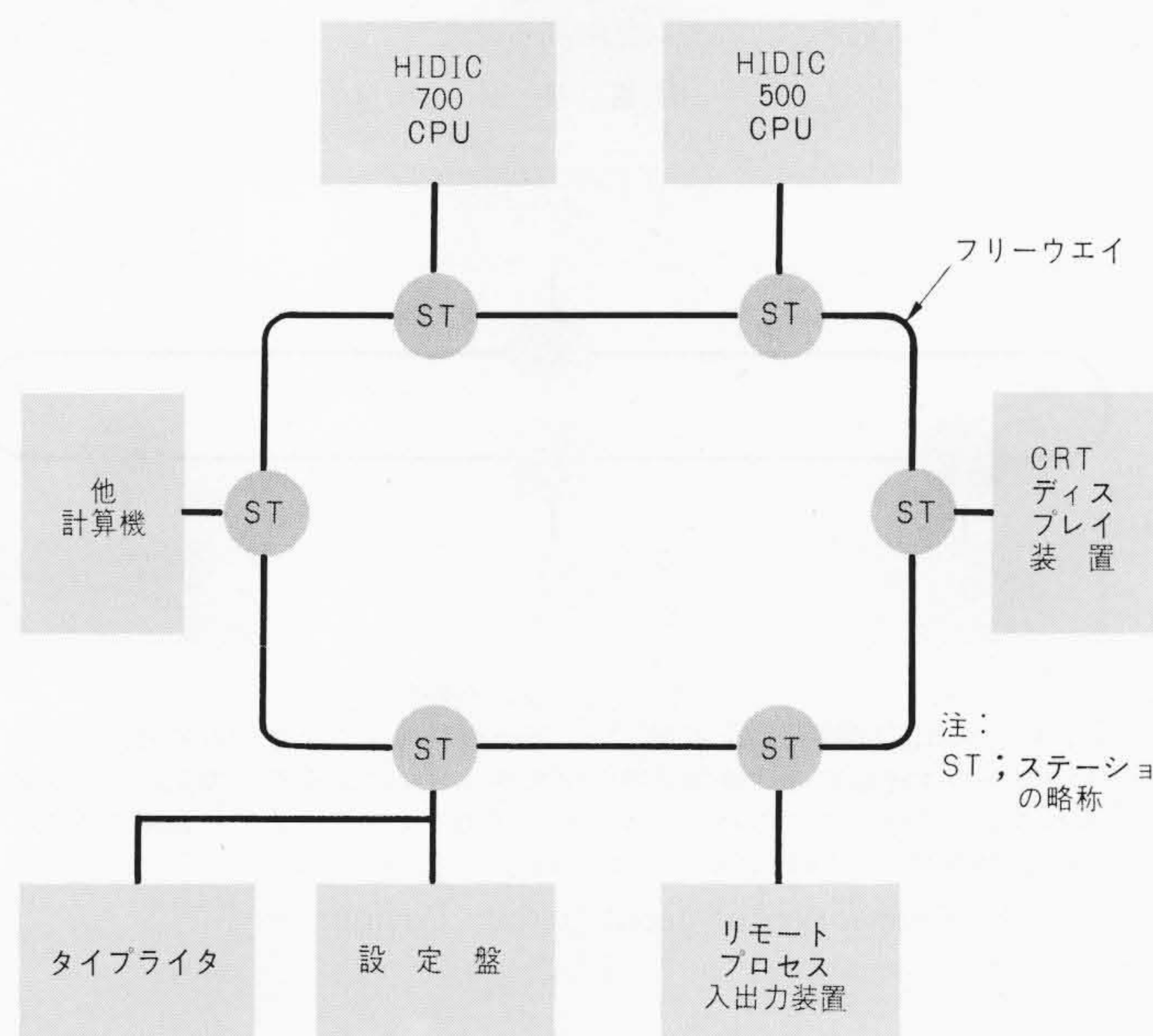


図1 DFWの概念図 散在する機器間をステーションを介して1本の共通母線（フリーウェイ）により接続し情報転送を行なう。

Fig. 1 Conceptual Diagram of DFW

(b) ノイズ対策

フリーウェイとしては、ノイズが混入しにくく、高速データ転送に適した同軸線を使用した。回線とステーションとの結合部はトランス・カップルとしてさらに耐ノイズ性と耐圧向上を図っている。回線中の信号は遠距離、伝送による減衰と位相ひずみに強い位相変調(PM)による搬送方式を採用している。また送受信データのエラー・チェックを十分に行ない、万一、エラー発生時にはハードウェアにより自動的にデータ再送を行なっている。

* 日立製作所大みか工場

** 日立製作所中央研究所

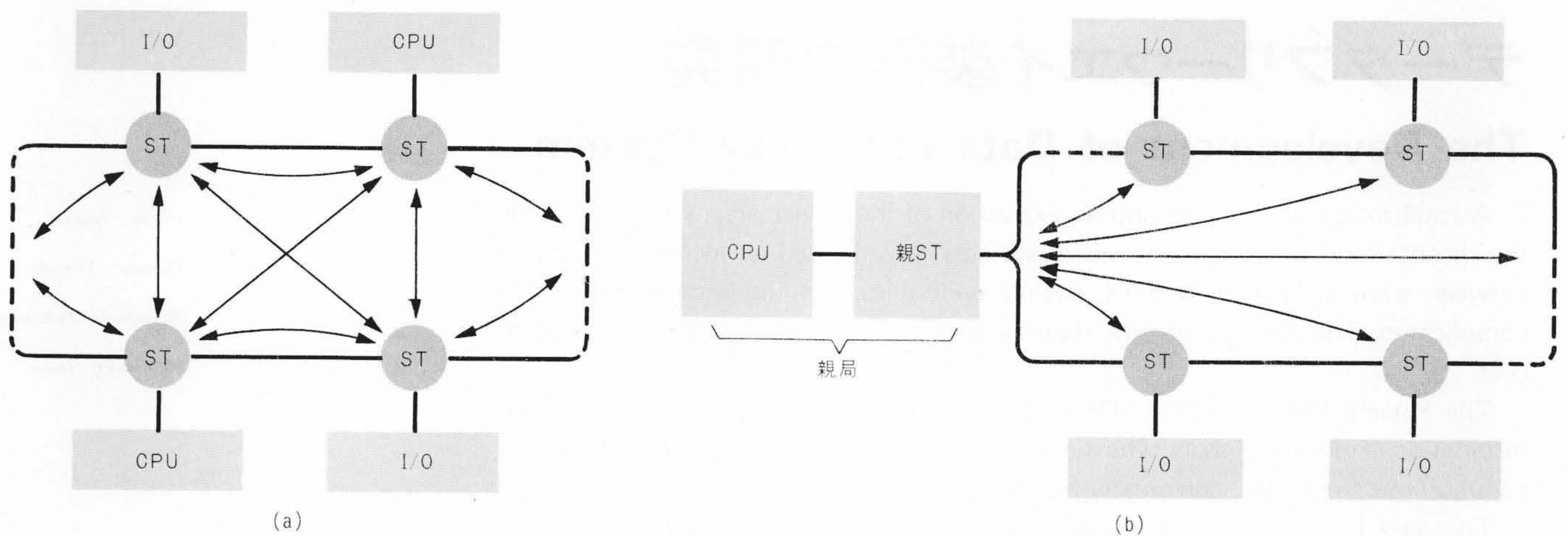


図2 情報転送方式 情報の起動転送方法には2種類がある、DFWでは任意のステーションの情報転送が可能なMulti-Active方式としている。(a) Multi-Active方式 (b) Single-Active方式

Fig. 2 Data Transmission System Configuration

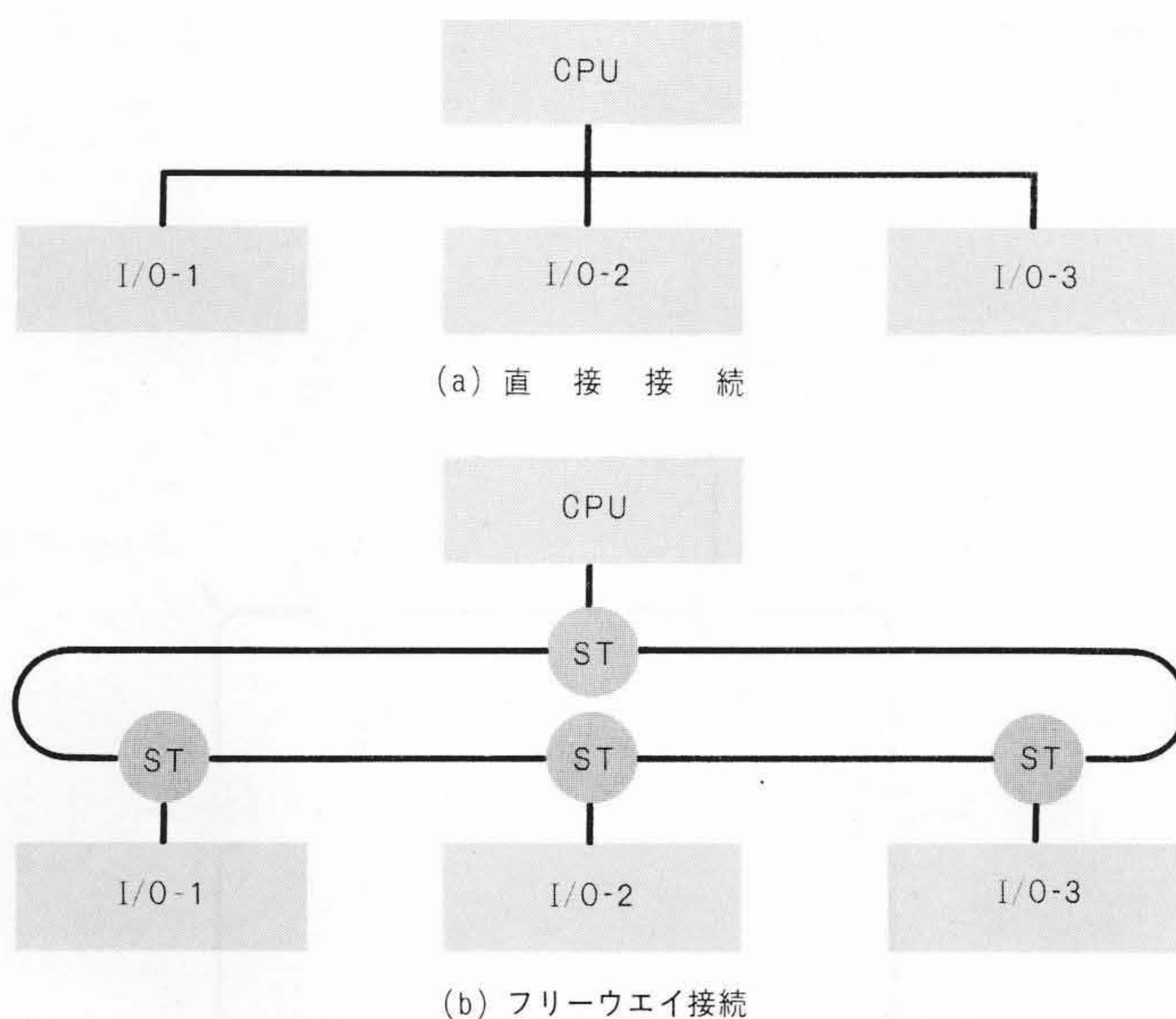


図3 入出力機器接続方式 同一機器構成のシステムで直接接続とフリーウェイ接続の2種類の場合があり、おもに工事費との見合いで決められるが、両接続方法に対してほとんど共通のソフトウェアが使用できる。(a) 直接接続 (b) フリーウェイ接続

Fig. 3 Connection of Input-Output Devices

(2) 経済性

広域システムの場合、並列直接配線をする方法に比べて経済的に有利でなければならない。経済性を確保するため機器間の接続線、すなわちフリーウェイは、最少本数（同軸線1本）としている。またステーションは他の機器（日立HIDICシリーズ製品）と実装のマッチングをとっており、他装置との電源の共用化、同一キュービクルへの実装可能など経済性を重視した設計となっている。

(3) Multi-Active方式

一般にフリーウェイ内の情報転送経路としては、任意のステーション間の転送が可能な方法（Multi-Active方式）と、中心となる親局と他の複数子局間のみ可能な方法（Single-Active方式）とがある。両方式の概念図は図2に示すとおりである。DFWでは、一つのフリーウェイに複数の計算機を接続する場合が多いため、前者のMulti-Active方式としている。

(4) ソフトウェアの互換性

DFWの登場により、HIDICシリーズの同一機器が、DFWを経由する場合としない場合が出てきた。たとえば図3は、同一の機器構成についてDFWを使用しない場合(a)と、使用する場合(b)を示している。ハードウェア構成は明らかに異なるが、(b)の計算機内システムソフトウェアにDFW管理プログラムを追加することにより、アプリケーションプログラムの互換性を持たせることができるよう考慮した。

3 ハードウェア・システム

3.1 システム構成

DFWシステムは図1に示したように信号伝送路である同軸線と、送受信およびその制御を行なうステーション(ST)と、接続対象である各種機器によって構成される。おもな接続対象機器は次に示すようなものである。

- (1) HIDICシリーズ計算機本体（CPU）
- (2) リモート・プロセス入出力装置
- (3) 設定盤および操作盤
- (4) 低速入出力装置（タイプライタなど）
- (5) ディスプレイ装置
- (6) 他社の同上製品

3.2 ステーションの基本構成

1本の同軸線により、任意の二つのステーション間の会話を可能にする方法として、図1に示したようにフリーウェイはループ構成としてある。信号の流れは一方方向で、情報の発信局と受信局以外のすべてのステーションは単に信号を増幅整形して通過せしめるリピータとして動作する。この方法によれば通信線路が1本でよいことのほかに、送信データはループを一巡して短時間で送信ステーションに戻ってくるので、チェックのためにも便利である。

図4はステーションの基本ブロック図である。フリーウェイを通過してきた信号は入力絶縁トランス、受信アンプ、PM（位相変調）復調器を通過してデジタル信号になる。信号切換ゲートではステーションが受信モードであるか、送信モードであるか、または信号通過モードであるかにより信号ルートの切換が行なわれる。信号通過モードのときは上述のようにステーションは単なるリピータとなる。切換ゲートを通った信号はPM変調され、送信アンプ、出力トランスを通過して出力側フリーウェイに送出される。ステーション論理部で

は後述の優先制御、転送手順制御、エラー処理などを行なうとともに、ステーションに接続される各種機器との間に情報の転送を行なう。またステーションには故障検出書があり、故障検出でリレーを働かせてフリー・ウェイの信号をバイパス

表1 仕様一覧表 日立データ・フリーウェイは、特願中の優先制御方式により親局が不要であるほか、誤り制御の充実、ソフトウェア完備による使い易さ等多くの特徴を有する。

Table 1 Specification Table

No.	項目	仕様	備考
1	使用電源	同軸線	
2	電線本数	1本	
3	伝送速度	100Kビット/S	
4	規模	MAX 256 デバイス/計算機 MAX 16 ステーション/ループ MAX 8 デバイス/ステーション	
5	ステーション間距離	2 km	
6	優先割込	回線が空いていれば任意のステーションが任意のタイミングで割込み可能	Multi-Active方式
7	変調方式	PM変調	
8	誤り制御	パリティ+反転2連送 (エラー発生時ハードにて自動再送)	(1)同期ずれ、データ誤りの両方に有効 (2)全信号のチェック可能
9	ループ構成方法	バランスタイプ	ループ監視用ハードウェア不要
10	フレーム構成	固定長および可変長(オプション)	
11	データフォーマット	アドレス、データのほかに、コマンドや相手機器情報(コンディションコード)などのシステム情報を同一フレームで送出	
12	システムソフトウェア	DFW管理用ソフトにより (1)フリーウェイの機器の同時処理 (2)フリーウェイの機器のエラー処理の管理を行なう。	

させ、自局の故障で他局間の情報伝送を妨害しないようにする。

DFWのステーションはIC、MSIを主体に構成される。設置する場合に入出力機器制御回路用のキュービクルやデスクの一部に容易に実装可能なるよう考慮されている。表1はDFWの仕様概略を示すものである。

3.3 優先制御の原理

フリーウェイ内の各ステーションは、互いに独立であるため、フリーウェイが空(あ)き状態にあれば、任意の時点でフリーウェイ占有要求(REQ)を発生させることが必要となる。しかしフリーウェイは共通に1本しかないので、REQ信号の交通整理(優先制御)を行ない混信を避けている。優先制御の基本ルールは以下のとおりである。

第1ルール：先にREQを発生したほうを優先する。

第2ルール：同時にREQが発生した場合は、REQ信号に付随しているコード(具体的には送信ステーションのアドレス)の若いほうを優先する。

図5はステーション内の優先制御に関係のある部分を抜き出したブロック図である。受信アンプと送信アンプの間にある切換ゲートは、優先制御期間中閉じていてデータの流れる関係ないため省略してある。優先制御の手順は、前記基本ルールに従い以下のとおり行なわれている。

- (1) フリーウェイ占有要求のあるステーションは、受信信号を監視し、フリーウェイの空きを検出
- (2) 送信コード(A)を送出
- (3) 受信コード(B)を受信
- (4) AとBを比較し、 $A=B$ のときは他に同時に占有要求を出したステーションはなかったことになり占有成功。
- (5) $A \neq B$ のときは、同時に複数個のステーションが占有要求を出しているので、第2ルールに従い、 $A < B$ のときは(自ステーションのほうの優先度が高い)コードAを再送し、逆に $A > B$ のときは(自ステーションのほうの優先度が低い)コードAの再送をやめ、コードBを出したより優先度の高いステーションに制御を渡す。

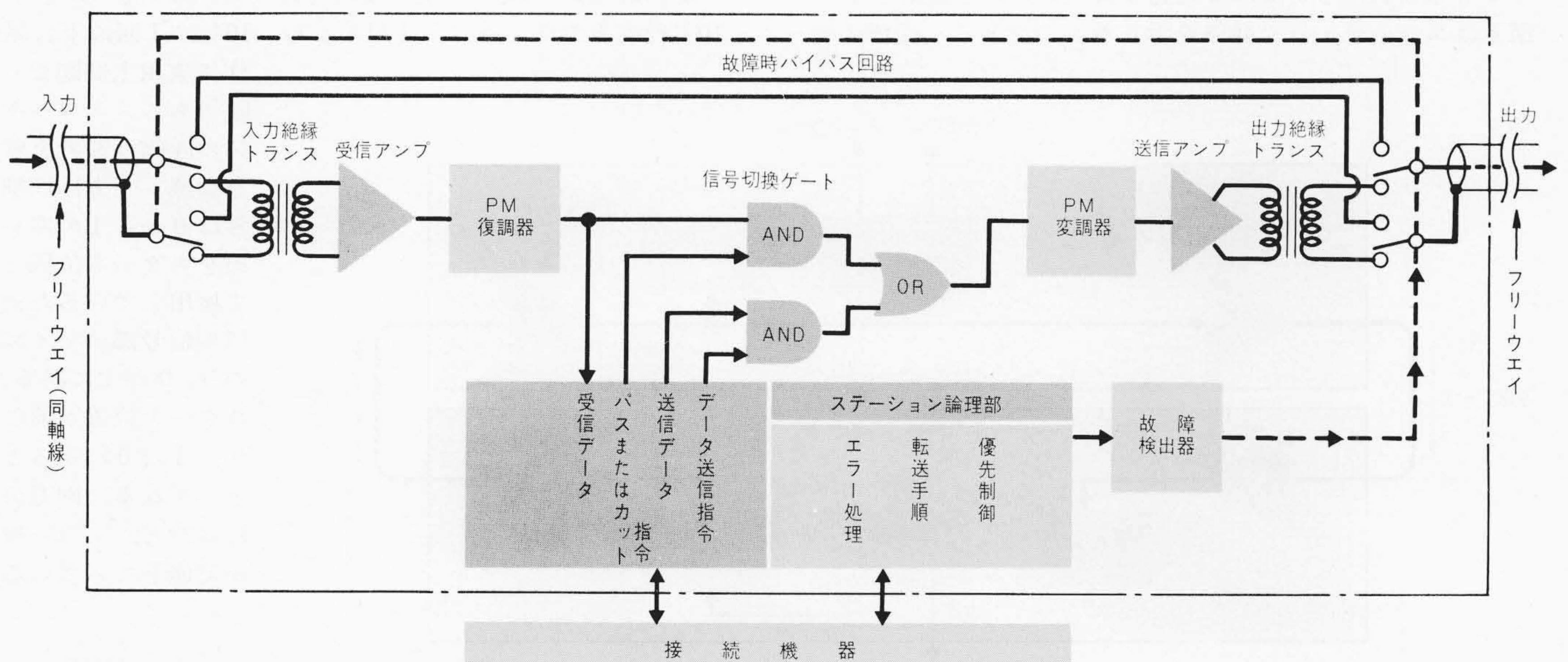


図4 DFWステーションのブロック図 ステーションは回路素子をできるだけ減らすとともに、入出力絶縁、エラー処理、故障時バイパスなど、信頼性向上を最重点とした設計になっている。

Fig. 4 Block Diagram of DFW Station

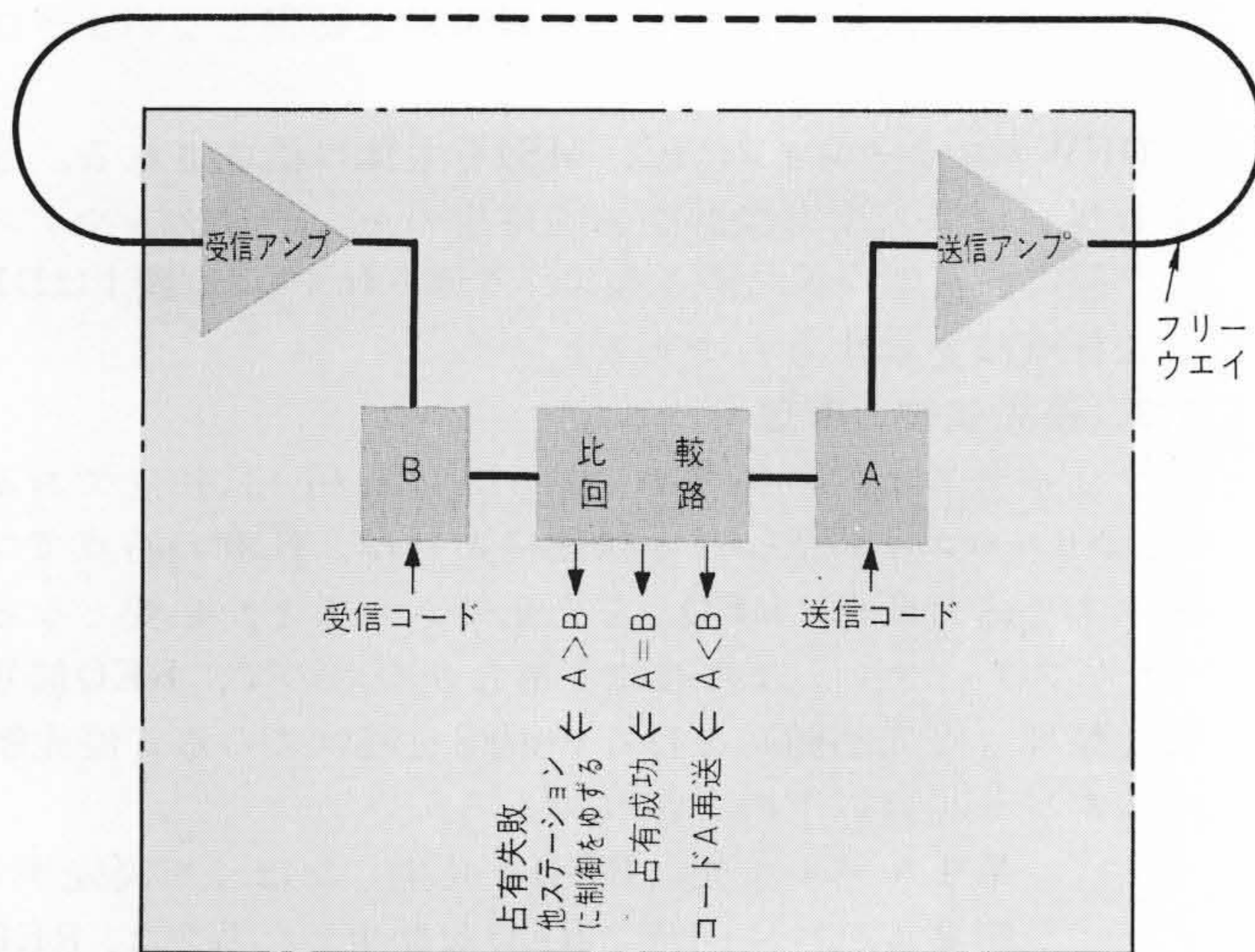


図5 優先制御の原理 フリーウェイを占有したいステーションは、回線が空きしだい、自局コードを送出し、そのコードの返送結果により占有成功、再送、占有失敗の判断をしている。

Fig. 5 Principle of Priority Control

以上の機能により、特に第3のハードウェア（たとえば監視装置）を置くことなく、Multi-Active方式を実現している（特許出願中）

3.4 誤り制御の原理

設置環境により、フリーウェイにノイズが混入し誤動作の原因となることが考えられるため、ハードウェアで万全の対策を行なっている。

3.4.1 チェック手順

通常よく行なわれるチェック手順は、送信データに冗長度を持たせ、そのデータを受信側でチェックし、チェック結果（正常または異常）を送信側にアンサーバックする方法である。この場合、アンサーバックコードに混入するノイズに対する対策が必要となり、一般に伝送手順が複雑になる。DFWでは、フリーウェイがループ状になっており、送信データがループを一巡して短時間の後再び送信ステーションに戻ってくることを利用した簡単な返送チェック方式を採用している。

図6はエラーチェック回路を示したものである。受信ステ

ーションは、送信データをチェックすると同時に送信側に返送し、これを送信ステーションがチェックしている。両方のチェック結果により、四通りの場合がありそれぞれについて以下の処理を行なっている。

(1) ともにチェック結果が正常なとき。

正常に送信終了したことになる。

(2) ともにチェック結果が異常なとき。

受信側はその回のデータを採用しない。送信側は同一データを再送し、正常な再送動作にはいる。

(3) 受信側は正常、送信側は異常を検出したとき。

受信側は今回のデータを採用する。送信側は(2)と同様同一データを再送するが、再送データを受信側は無視している。再送データには再送フラグを1にセットしてあるので、受信側で判断可能となっている。

(4) 受信側は異常、送信側は正常を検出したとき。

受信側は今回のデータを採用しないが、送信側は正常であったためデータを再送してこないことになり、データの転送がとぎれてしまう。実際には、送信データと返送データ両方にノイズが乗り、しかも送信側に一巡して戻ってきたときには、正常に復旧している場合だけこのエラーとなるので確率は非常に小さく、無視できる範囲である。なお万一、データがとぎれた場合には、タイムアウトチェックにかかり、ソフトウェアに報告している。

3.4.2 チェックパターンと効果

フリーウェイにノイズが混入すると、送受信信号が乱れるが、ノイズのはいる場所によりその影響がデータ誤りとなる場合と、同期ずれになる場合が考えられるため両方を考慮した対策を行なっている。すなわち、1回でまとめて転送する単位をフレームと称するが、すべてのフレームは同期信号部（0001の4ビット）データ部（送信アドレス、受信アドレス、コントロールデータ、送受信データなどから成る。詳細パターンは後述する）で構成される。ここで同期信号部にノイズがはいると同期ずれを起こし、データ部にノイズがはいるとデータ誤りとなる。DFWでは、データ部のすべてのコードを8ビットごとに反転2連送およびパリティチェックを付けている。この装置をビット誤り確率が 10^{-7} 、2ビット連続誤り確率が 0.3×10^{-7} 程度の環境で使用した場合、誤り見のがし率は 10^{-14} 程度となり、通常の使用率なら、10年に1回以下の誤動作で実用上問題ない範囲である。（エラー率計算の詳細は参考文献1を参照）一方、同期信号は0から1の変わりめをスタート位置として検出しているため、同期信号部にノイズがのり、0が1に誤ると、スタート位置が前にずれ、1が0に誤るとあとにずれる。両方のずれに対し、エラー検出が可能となっている。

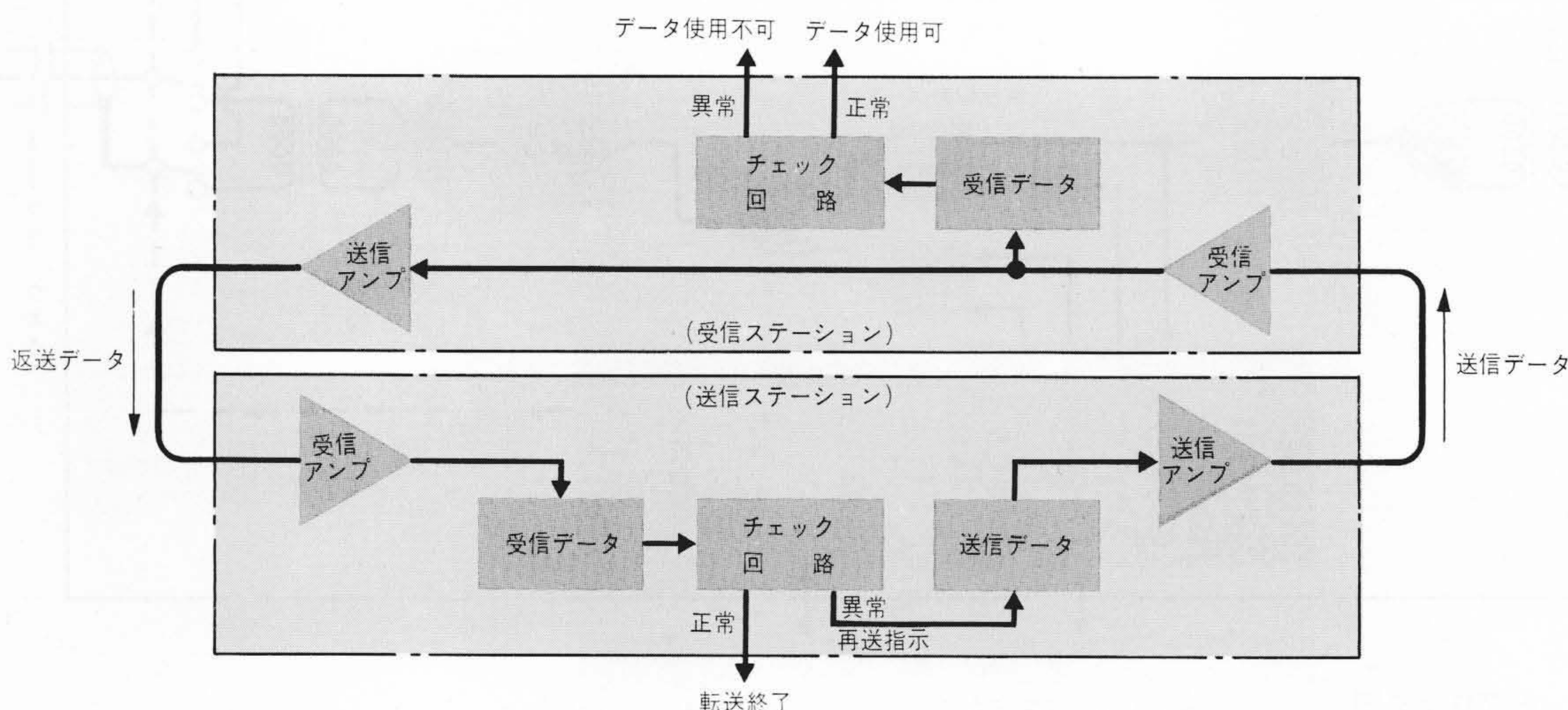


図6 エラーチェックのブロック図 エラーチェックは送信、受信の両ステーションで行なわれる。

Fig. 6 Block Diagram of Error Check

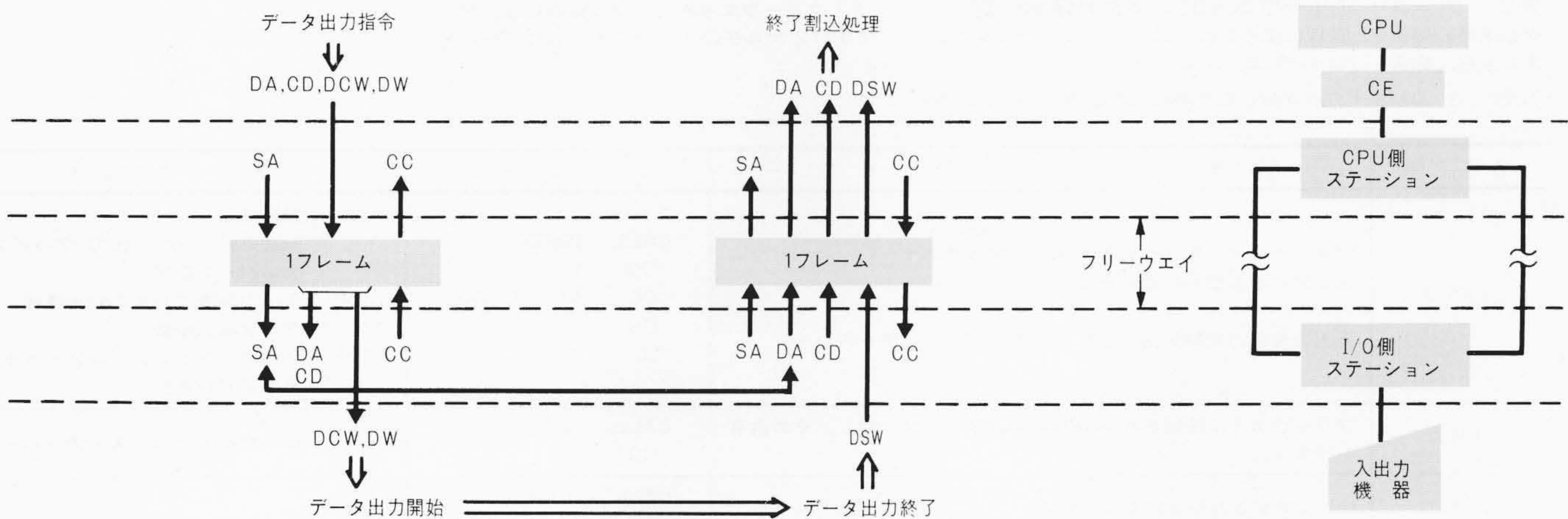


図7 データ出力のフロー データ出力のフローで、1語転送に2フレーム必要である。

Fig. 7 Flow of Data Output

3.5 データ転送手順

3.5.1 フレーム構成

データ転送の単位がフレームで、標準フレームは156ビットから成っている。その内訳は表2に示すとおりである。同期信号以外はすべて1データが18ビットであるが、これは前述のとおり8ビットのデータに対し反転2連送およびパリティの冗長を持たせているためである。このうちほとんどのデータは、送信側から受信側へ送る情報であるが、コンディション・コードだけは受信側から送信側に対する返送情報で受信側機器の状態(コンディション)を同一フレーム内に送信側に知らせている。

3.5.2 データ転送のフロー

中央処理装置(CPU)と入出力機器間の典型的動作フローにつき述べる。なお、このほかにCPU間データ転送があるが省略する。

(1) データ出力のフロー(図7)

図7は、1語(16ビット)CPUから端末に出力するためのフローである。出力データ転送に1フレームおよび出力終了報告に1フレームで計2フレームが必要である。出力終了を報告する先はデータを送ってきたCPUなので、前フレームの送信アドレス(SA)があとフレームの受信アドレス(DA)となっている。複数台のCPUがある場合は、片方でデータ出力中に別のCPUから新たな出力指示がでることがあるが、コンディション・コード(CC)により機器状態を返送しているので混信するおそれはない。さらに一定期間、任意のCPUが任意の機器を占有しておく制御(リザーブ機能)も可能である。

(2) データ取込みのフロー

データ出力と同様、1回の転送に2フレームが必要である。最初の1フレームで入力取込み指示を行ない、あとの1フレームでデータ取込みを行なう。

(3) プロセス割込みのフロー

プロセスからの割込み入力はいったんプロセス側にある端末割込みフリップフロップ(R-ILSW)で記憶し、フリーウェイが空きしだいCPUの割込みフリップフロップへ同一内容を転送している。転送完了時は、R-ILSWの内容をリセットし、次の割込み発生に備えている。割込みだけは1フレームで1回の転送が終了する。

上記フローに共通の特長は、フレームとフレームの間はフリーウェイが空くため、複数機器間の時分割同時処理が可能なことである。

表2 フレーム構成 フリーウェイにおけるデータ転送の単位をフレームと称し、標準フレームは156ビットから成っている。本表はフレームのビット構成を示したものである。

Table 2 Frame Composition

No.	信 号 名	略 称	ビット数
1	同 期 信 号	SYNC	4
2	送 信 ア ド レ ス	SA	18
3	同 期 信 号	SYNC	4
4	受 信 ア ド レ ス	DA	18
5	同 期 信 号	SYNC	4
6	制 御 コ ー ド	CD	18
7	コンディション・コード	CC	〃
8	制 御 デ ー タ(上位)	DCW または DSW	〃
9	制 御 デ ー タ(下位)		〃
10	デ ー タ(上位)	DW	〃
11	デ ー タ(下位)		18
合 計			156

4 ソフトウェアシステム

データフリーウェイをサポートするソフトウェアシステムは、使いやすさに重点をおいたシステムである。データフリーウェイに接続される各種入出力装置、プロセス入出力装置、処理装置とのデータ転送には、一般に遠隔設置機器の制御に要求される待合せ管理、特殊なエラー処理をユーザーがする必要はあるが、本システムはこれをユーザーから解放しあかかもこれらの機器が処理装置に直接結合されている入出力装置であるかのように使用できるようになっている。

このシステムはモジュール化されており、HIDICシリーズの名モニタに、システムプログラムの一部として組み込まれ、ユーザーとのリンケージはモニタマクロによるリンケージとなっている。

このシステムの特長は次のとおりである。

(1) サービス性

(i) 結合形態を意識させない統一的処理

処理装置に直接結合されている機器と同じマクロ命令、同じパラメータ形式でデータ転送が可能のため、ユーザーは機器の結合形態を意識することなく、データフリーウェイ

表3 データ・フリーウェイ制御マクロ命令一覧 データ・フリーウェイ制御マクロ命令には、データ転送用のIOREQと回線に接続されるCEのイニシャライズを行なうRESETとマルチCPUシステムにおけるデバイスの占有、解除を行なうHOLD、QHOLDがある。

Table 3 Data Free Way Control Macro Instruction

名 称	機 能	リ ン ケ ー ジ	パ ラ メ ー タ の 説 明
IOREQ	フリーウェイに接続されるすべてのアクティブ/パッシブ・リソースに対する入出力処理を行なう。 入出力装置の同時処理およびプログラム並行処理を行なう。	CALL IOREQ DC C DC DCW(DCWA) DC N DC ADDR	C : 制御情報 転送方式, 入力と出力, デバイス・ ナンバーを指定 DCW : 入出力装置に対する制御情報 N : データ転送語数 ADDR : データ・アドレス (コア・メモリ 上のアドレス)
HOLD	フリーウェイに接続されるCPU間共有デバイスに対し, その占有を行なう。	CALL HOLD DC DN	DN : ロジカル・デバイス・ナンバー
QHOLD	HOLDでなされた予約を解除する。	CALL QHOLD DC DN	DN : "
RESET	フリーウェイに接続される各ST-CEのイニシャライズおよびHOLD状態の強制解除を行なう。	CALL RESET DC DN	DN : ロジカル・デバイス・ナンバー

注, ST-CE : Station-Control Electronics

に結合された機器の使用が可能である。また、対象機器がアクティブリソースである処理装置とのデータ転送についても、パッシブリソースである一般機器と全く同じ指定で処理可能なため、ユーザーはデータ転送の対象機器の種類を意識せず使用可能となっている。

(ii) 待合せ管理

同時に複数台の機器の処理を行なうため、ユーザーが機器の使用要求を出した時点では必ずしも直ちに使用できない場合があるが、本システムでは待合せ管理を行なっており、機器が使用可能な状態になると直ちに使用を開始するため、ユーザーの機器使用待合せ管理が簡略化されている。

(iii) 異常処理の標準化と機能の追加

異常発生時のエラー情報の編集、バッファリング、エラーメッセージの出力などについては、標準異常処理プログラムが用意されているほか、ユーザー特有の異常処理についても、サブルーチン形式で容易に追加可能な構造となっており、ユーザーは複雑な異常処理プログラム作成から解放されている。

(2) 信頼性

(i) タイムアウトチェック

ハードウェア的には制御回路により機器の応答時間の監視を行なっているが、万一のハードウェア故障のバックアップとして、ソフトウェアによりデータフリーウェイ、制御回路、機器を含めて一定時間内に応答が返ってくるかどうかをチェックしており、ハードウェアの異常発生 of 早期検出が行なわれている。

(3) 拡張性

(i) 機器のロジカルデバイスナンバーによる管理

複数ループのデータフリーウェイに接続される機器を接続ループを意識することなく統一的に扱えるよう、ロジカルなデバイスナンバーで機器の指定を可能としている。また、処理装置間のデータ転送に関しては、単一の処理装置に2種のロジカルデバイスナンバーを割り付けることにより、入力と出力の処理を同時に可能としている。

(ii) 複数処理装置システムのサポート

複数個の処理装置が結合されるシステムでは、各機器がどの処理装置からでもアクセス可能であるため、ダイナミックな機器の占有、解除が必要となるが、そのためのマクロ命令、HOLD、QHOLDが用意されている。また、タイ

プライタ、カードリーダーなど占有、解除が常に必要な機器に対しては、自動的に占有、解除の処理を本システムで行なっているため、ユーザーはデータ転送のためだけのマクロ命令を発するだけでよくなっている。

本システムでサポートするマクロ命令一覧表は表3に示すとおりである。

5 DFWの応用

DFWの主要目的は工事費の低減であるが、共通母線に複数のCPUや入出力機器が接続できることから広い応用範囲がある。その具体例につき列挙すると以下のとおりである。

(1) ハイアラキシステム

中心となる主計算機と各プロセスごとにある衛星計算機間をDFWにより接続する。

(2) バックアップシステム

DFWには2台のCPUと複数台の入出力機器が接続されていて通常はうち1台のCPUで全体の制御を行なっているが、そのCPU故障時は、直ちに他の1台のCPUでバックアップする。

(3) ロードシェア（負荷分配）システム

(2)と同様の構成で、2台のCPUが処理内容を分担しあうもの。

6 結 言

データフリーウェイシステム(DFW)は、システムのトータル化、広域化に対処して開発されたもので、広域システムにおける工事費低減に特に有効である。高信頼化を目的としてチェック方式を完備しており、オンラインデータ伝送用に最適である。共通母線に複数個のCPUを接続できるなどの機能により新たな応用面が期待される。本装置はすでに所期の性能を満足し好調に稼動をしているが、今後はフィールドデータの蓄積を行なって製品に対するフィードバックを図るとともに、さらに広い分野への適用に努力する所存である。終わりに、本開発に対してご指導とご協力を賜った関係各位に深く謝意を表する次第である。

参考文献

(1) 通信専門委員会：電気学会技術報告 (1)部第91号,1(昭44-8)
(2) 平井, 梅川：日立評論 54, 5 (昭47-7)
(3) F.INOSE他 Instrumentaion Technology 18,1,P63(Jan.1971)