

ISSN 0389-4010
UDC 625.735
621.391.6
681.323

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1003

機上用多重系間光結合装置の試作

渡 辺 顯 ・ 若 色 薫

1988年10月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. デジタル操縦システムについて	2
2.1 多重化の目的と構成	2
2.2 情報交換	4
2.3 同期確立	5
3. デジタル部の処理内容	5
4. 多重系間光結合装置の設計条件	7
4.1 基本設計条件	7
4.2 光信号仕様	8
5. 多重系間光結合装置の構成	11
5.1 システム構成	11
5.2 S-20計算機光信号接続部	14
5.3 MP/200計算機光信号接続部	18
5.4 バッファメモリおよび PIT	19
5.5 光結合器	20
6. 多重系間光結合装置の性能	23
6.1 同期確立試験	23
6.2 データ伝送試験	24
6.3 3重系結合試験	25
7. 試験結果と考察	27
8. あとがき	29
参考文献	30
付 録	
(1) S-20計算機, MP/200計算機の性能概要	31
(2) バッファメモリの性能	33
(3) 光素子の性能	33
(4) STOL 実験機デジタル3重系 SCAS システムについて	34
(5) 光信号情報伝送技術の特徴	35
(6) 電気式データバス規格	37

機上用多重系間光結合装置の試作*

渡 辺 顯** 若 色 薫**

AN EXPERIMENTAL OPTICAL COUPLING DEVICE FOR AN AIRBORNE DIGITAL REDUNDANT SYSTEM

Akira WATANABE, Kaoru WAKAIRO

ABSTRACT

This paper describes a new optical coupling device for an airborne digital redundant system. For an on-board system, it is very important to increase reliability and safety, so a redundant system is applied. In a redundant system, in order to verify whether each operation is correct, it is necessary to compare it with the same time data from other systems. We developed a new characteristic coupling device and verified its features experimentally.

This system has the following characteristics:

1. It has a simple hardware architecture in order to increase reliability and safety.
2. Synchronization and data exchange are separated in time, so this system utilizes the same hardware for these tasks.
3. To increase transfer speed, a broadcast method is used and the number of receivers is (redundancy-1); thus each system can transmit and receive simultaneously.
4. An optical signal is used in order to increase transfer speed and this is effective for electric separation among systems.

The paper ends with a discussion of how to recognize the end of transfer without an interrupt signal in a digital computer.

Key Words: optical coupling device, digital system, redundant system

1. ま え が き

本論文では航空機機上ディジタル操縦システムを多重化した場合に系統間で必要となる情報交換のために試作した結合装置について述べている。

航空機の操縦システムは電子化が進んでいる¹⁾。このとき信頼性確保が重要で一つの方策がシステムの多重化である。この時、各系統は自系に入力したデータと同一時刻の他系の入力データを比較することで故障検出を行う。このためにまず系統

間の同期確立を図り、次にデータを交換し、この比較により故障判定を下す。さらに計算機自身の故障を自身で100%判断することが難しいため、演算結果を再度系統間でデータ交換して比較選出する。このために多重系間結合装置が使われる。

多重系間結合の実システムの報告例^{2),3),4)}あるいは研究例⁵⁾はあまり多くないが、結合装置として次のような問題点がある。①同期とデータ交換が別のハードウェアで行われ、機上システムとして複雑な構成となっている。②多重化専用の結合装置で無いことがあり、結合に無理な部分がある。③伝送速度が不十分である。

* 昭和63年7月1日受付

** 制御部

ここでは、デジタル装置間の結合規格の適用も含めて、これらの問題を解決あるいは軽減することを目的に多重化結合の機能を検討し、新しいシステムを実験により確認したので以下に示す。

ここで述べるシステムの特徴は、①ハードウェア構成を単一化し、同期確立とデータ交換が同時刻になされないことを利用し、同一ハードウェアでこの2種を伝送する。②結合装置は各システムの独立性を保つ手法としてブロードキャスト手法を取り入れる。また③伝送媒体として光信号を用い、システム間の電氣的絶縁を図る。光信号の利用は伝送速度を早めることもできる。さらに、④計算機部と伝送装置のインターフェイス部の高速化を図るため、バッファメモリの採用と同時にこのメモリのアクセスにマルチプレクス方式を採用し、システム間同時処理を図る。

実験結果から目的の機能を果すものが確立できたが、使用計算機の割り込み処理方式の利用は検討を要することがわかった。

2. デジタル操縦システムについて

2.1 多重化の目的と構成

機上の操縦システムはアナログ時代からデジタル時代にはいり、ますます操縦装置の電子化が進み、制御システムの搭載がほぼ常識になり、かつ現在、ACT (Active Control Technology) 技術といわれるものの適用を進めようとする、航空機の操縦システムにおいて制御系は不可欠のものとなる。この時、このシステムの故障は機体の操縦に大きな影響を与えることになり、時には、操縦不能のようなことにもつながりかねない。このため、このシステムの信頼性は従来のメカニカルと同等以上でなければならない。すなわち、現在100万回飛行に1回の故障が一般に機械系の信頼性の値と言われるが、この値以上の信頼性をもつ電気系システム構成とせねばならない。

信頼性を向上させるための手段はいくつか考えられる。まず第1は操縦システムで使われている制御機器の各素子(デジタルシステムにおいては、ソフトウェアも含める)の信頼性を上げることであるが、現実的には限度がある。そこで考え

られたのが、システムを多重にして、1つの系統が故障しても他の系統がこの故障をカバーして、全体システムとしての機能が正しくはたらくようにすることである。

多重系は一般に各系統、パラレル同時作動としすべての系統を同時に作動させて、最終段で1つの出力信号となるように結合する方式がとられる。したがって、正常時はすべての系統がそろって作動し、故障が発見されると、その系統を切り離してシステムを作動させるように構成する。この方式は構成が比較的簡単になり、多くの民間機システムの基本となっている。

次に、システム全体の信頼性をどの程度するかにおいて、計算上信頼性が上がったとしても、実システム設計上あまりに複雑なシステム構成となるようなものは採用できない。できるだけ少ないハード構成で目標の信頼性を確保し得る手法がとられる。2重系だと、いずれか一方が故障した時にどちらが故障したかわからないため、3重系が基本とされる。

3重系が採用されている最近の実機例として、日本を含む3国共同開発のB-767にデジタル3重系操縦補助システムがある。また現在研究機として開発を行っている航空宇宙技術研究所のSTOL (Short Take/Off and Landing) 実験機、あるいは防衛庁のCCV (Control Configured Vehicle) 研究機にはデジタル3重系の操縦システムが搭載されている。このうち、CCV 研究機の操縦システムはFBW (Fly-by-Wire) 方式として設計されている。

3重系の良い点は、系統間でデータ交換を行って自系の入力信号なり演算結果を他系のものと比較する(一般には多数決原理を用いる)ことによって、簡単に故障の系統を判定することができる点にある。

多重化において、重要なことは上に述べたように各系統間での調和である。すなわち、各系統がお互いに連携しながら全体システムとして必要な信頼性を確保することである。このため必要なことは、各系統間での同期確立とデータ交換である。同期確立とは、各系統とも基本的には同じことを

しているので、同時にその処理をするようにさせることもある。もし、同時処理が行われないと最終段での結合時に系統間のフォースファイティングを起こすことになり信頼性を上げるためのシステムとして、意味のないことになる。このため各系統間での処理を同時に開始させるために同期をとる装置が必要になる。次に、自系が正しく動作しているか、あるいは他のチャンネルが故障していないかを知るために、他系とのデータ交換装置が必要になる。この同期確立とデータ交換の2つのことを行うハードウェアをどのように構成するかは全体の信頼性ととも、実システム構成上の点

を考慮して決めることになる。

以下では、同期確立とデータ交換を行うための多重系間結合装置について、新しい方式を提案するが、このためにまずどのような部分で行うかを検討する。多重系としては3重系を基本として議論を進める。3重系の結合の例を図1にいくつか示す。

各図において、一番左側はセンサ類で、中央がデジタル計算機類で、右側がサーボ、アクチュエータ類である。

同期確立については、周期的に行うことが必要になるので、多くの場合、デジタル計算機部の

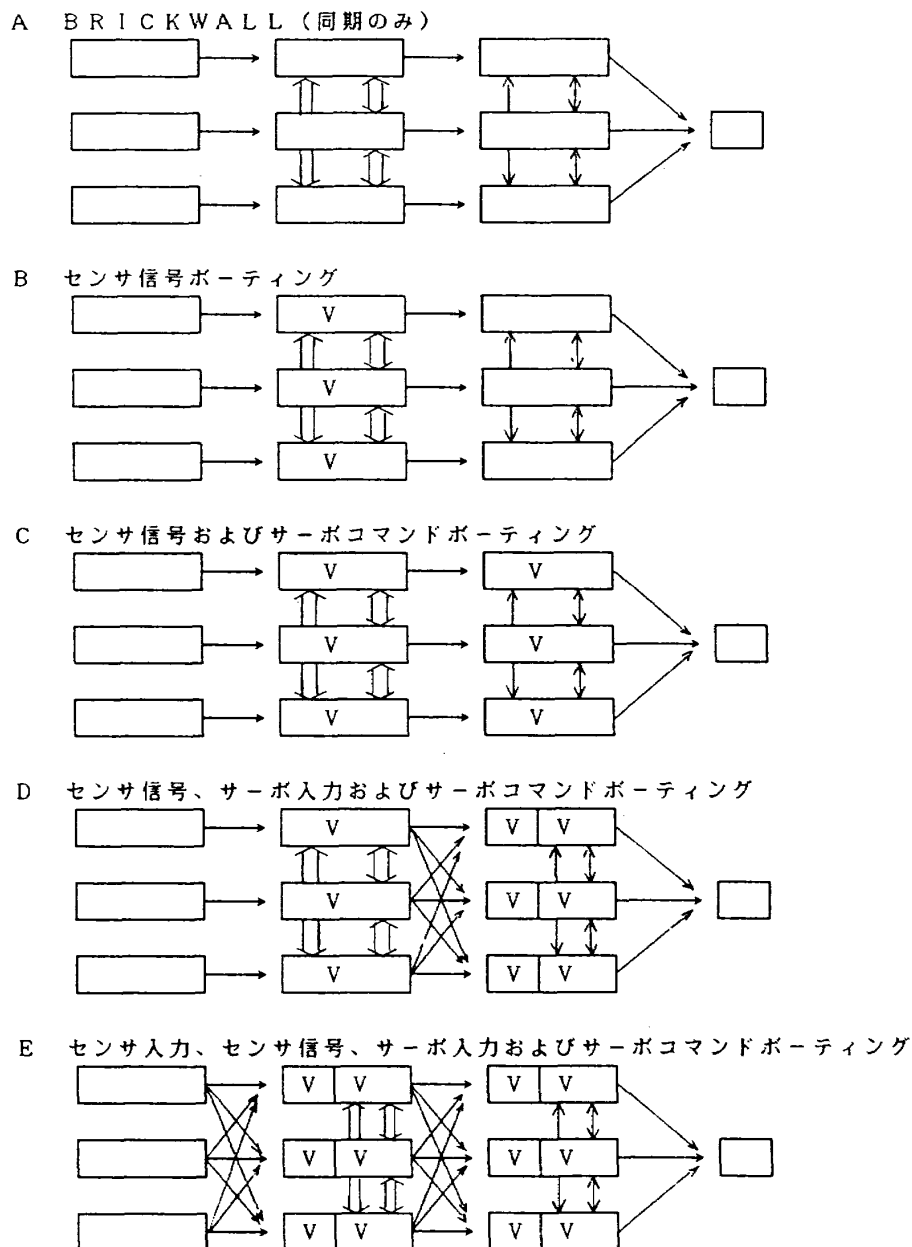


図1 3重系各種結合方式

実時間管理を行うクロック(時計)と関連させて構成する。また、データ交換もほとんどのものが周期的に行う必要があるので、同様にタイマーと関連させて行う。

A図は最も簡単な例で、各系統間での同期は行いが、系統間での信号比較は行わず、基本的に正しく歩調を合せて作動していると考えてシステム構成した例である。故障時は最終段の多数決に期待する方式である。これは最終段でのフォースファイティングが激しくなることが予想され、実系として用いるわけにはいかない。B図は、計算機部で入力信号および、制御則演算結果を交換して比較する方式である。ハード構成はA図とくらべ同期ライン以外にデータ交換を行うものが必要になる。C図は計算機部での情報交換に加えてサーボ系でも情報を交換し最終段の主アクチュエータでのフォースファイティングをできるだけ避けるように構成する。D図はC図に加え、サーボ系の部分で全計算機部の指令信号を入力しこれらの信号を内部で比較して、正しいものを用いる方式である。したがって、2段目と3段目の信号線が増えることになる。最後のE図は計算機部の入力信号として各センサの出力信号すべてを入力させようとする方式である。これにより、信号の監視は細かくできることになるが、実システムとしては配線が非常に複雑になることが予想され、多くの

場合このような構成がとられることはない。

以上に3重系の場合について各種の方法を示したが、基本的には全体システムの信頼性が必要な程度確保されていて、かつ実物を搭載した時に、保守その他現場的に支障をきたさないように構成することが重要になる。また情報交換の部分としては、ディジタル計算機部が最も重要で、サーボ部分はアナログ信号で行われることが多い。

現実的に多く採られる方法はCの方式(図2に再度示す)である。理由は他の部分でのデータ交換が必ずしも信頼性向上に大きく寄与しないことに加えて、システム構成が比較的容易になることである。ただし、実際には一部の信号はDあるいはE図のようにクロス入力を行うことも考えられている。

以下では、まずディジタル部の処理内容を分析し、次に光信号を用いたシステムについての特徴、仕様、さらに新しく開発したシステムについて述べる。

2.2 情報交換

多重系において他系統が正常に機能しているかあるいは故障か、もしくは自系内に故障があるかなどを知るためには、他系統と同質のデータを比較することが必要になる。このため、情報を交換する手段を持たねばならない。

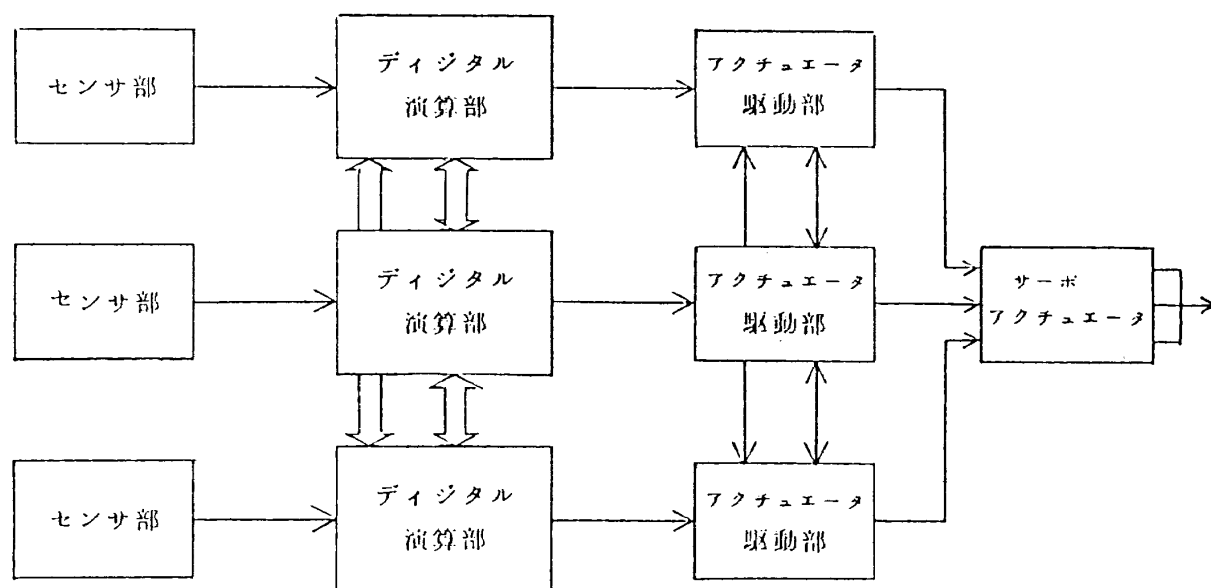


図2 デジタル3重系システム構成

ここで、交換すべき主な内容について検討する。

(1) 入力センサのリライアビリティ信号（バリッド信号）比較

現在の多くのセンサは、目的の測定信号の他に、センサ自身が正常か故障かを示すフラッグ（一般にリライアビリティ信号またはバリッド信号と呼ばれる）を持っている。例えば、回転する部分を持っているセンサは、この回転が停止するとセンサとしての機能をはたさないで、なんらかの原因で回転が止ると、自身が正常であるというフラッグを消す（すなわち故障か停止しているということを示す）ように作られているものがある。したがって、各計算機は入力センサ信号が正しいか否かは、このバリッド信号をまず見ることによって、ある程度はセンサの状態を判断することができる。しかし、このフラッグとて間違っている可能性もあり、他系の同質のデータ（バリッド信号）と比較することが、より信頼性を増すための正しい判断となる。

(2) 入力データの比較

各系の計算機が自系に入力したデータ（多くはセンサデータ）が正しいかどうか判断するために、他系とデータ交換し比較する。

(3) 計算機の BIT 結果比較

最近の搭載用計算機は、自身が正常かどうかのチェック（BIT 機能：Built-in-Test）を行うのが普通である。しかし、この BIT は、計算機のすべての機能をチェックし難い（現在、非常に良く検出されたとして、約 95%といわれている。）ことと、これ自体故障によりまちがった結果をだすことも考えられ、この結果の情報交換を行うことにより、より正しい判断を行うことができる。

(4) 内部演算結果の比較

制御系内のデジタル計算機の主目的は、飛行制御則の演算である。この演算に用いる入力信号は、すでに比較されて正しいものが用いられているものとしても、演算結果は計算機に誤作動があると間違っただけのものとなる。すなわち、前項の BIT がすべてのチェックをしきれないので、この対策として演算結果を他系と比較し、正しい解であることを確認して出力するようにする。このために

情報交換が必要になる。

(5) その他の情報交換

故障が発見された場合に、システムとしてはこの故障の部分の切り離し、全体として正常な機能が続けるように再構成することが必要であり、多くのシステムはこの手法を採用する。このため、自系が現在どのような状態で作動しているか、および他系がどのような状態にいるかを知るため情報を交換しあうことが必要になる。ただし、他系が故障でこのような情報交換すら不可能の場合は、周期的にこの交換を行うことを前提としているので、決められた周期の繰り返し（普通 3 回位）で不成功の場合に他系は故障とする方法がとられる。

2.3 同期確立

多重系は信頼性向上のためにとられ、各系統間で情報が交換される。比較するためには、同一条件のデータであることが必要で、特に飛行制御系で用いられるシステムでは、周期が数十 msec であるので、この間同一条件となるためには、各系の時刻合わせ（同期確立）が必要になる。このため適当な間隔で各計算機間でクロックを合せる。この処理を同期確立という。以下に、同期確立の必要性を上げる。

(1) 同一条件情報の比較

各系統の比較を行うためには、同一条件での情報の交換が必要である。

(2) 位相調整

制御系の中には積分特性をもたせる場合がある。もし各系（計算機）の時計がくるっていると、時間の経過にしたがって演算結果にずれを生ずる。したがって、時計を合わせる同期処理が必要になる。

(3) システムスタート時の処理開始合わせ

システムスタート時には、電源投入後各系がそろって作動するための同期処理が必要になる。

3. デジタル部の処理内容

3 重系によるデジタル部の主要な仕事内容を図 3 に示す。航空宇宙技術研究所で開発している STOL 実験機のデジタル SCAS システムのディ

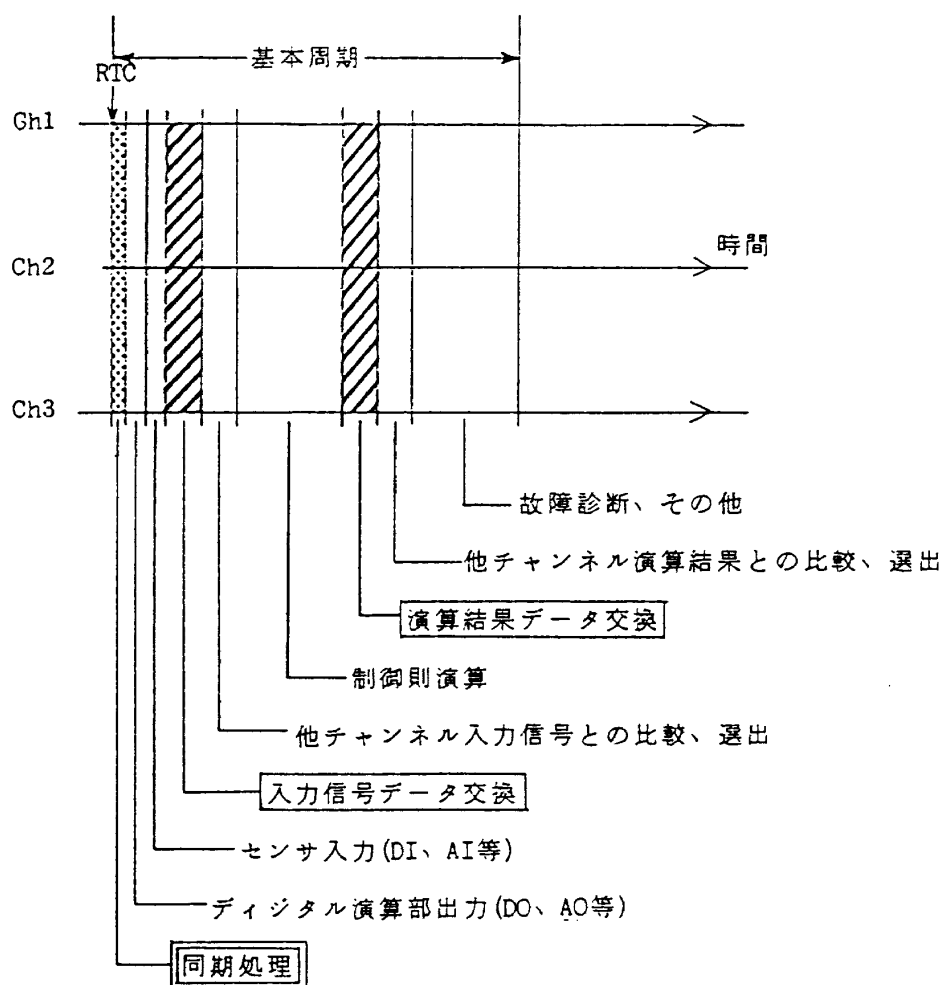


図3 多重系デジタル部処理内容

ジタル制御部もほぼこのような内容である（付録1参照）。

デジタル制御部は実時間演算を行うところであり、演算内容は周期的に処理されている。図3の基本周期ごとに各仕事が毎回（毎フレーム）処理される。各周期の演算はRTC(Real Time Clock)の割り込み信号により開始される。3重系の各系統のデジタル部処理内容はすべて同じである。

処理内容の概要を以下に示す。

(1) 同期処理

この処理は、各系統がそろって演算を開始するために行うもので、各系統のRTCの割り込みでこの処理に入り、自身が同期処理の仕事に入ったということを知らせる意味で他系統へ同期信号を出し、各系統からの同期信号がそろった時に、以下の処理を開始する。

(2) デジタル制御部出力

デジタル制御部での演算結果（前フレームで演算されたもの）を出力する。

(3) センサ信号入力

制御系の演算で用いる信号の入力で、主に各飛行状態を検出するセンサの信号とパイロットの操縦操作信号がある。

(4) 入力信号のデータ交換

各系統は一般に系統ごとに上記の入力信号を入力するが、自系の信号が正しいのか判断するために比較が必要で、そのために他系とデータ交換を行う。

(5) センサ信号選出

他系の信号との比較により、最も信頼できるデータの選出を行う。多くの場合は中間値選出法(voting)を採用する。

(6) 制御則演算

この部分が制御部の本来の目的の飛行制御のための演算である。毎フレームごとに処理される。

(7) 演算結果のデータ交換

各デジタル処理部は、プログラムに従って正しく演算しているつもりでも、自身の故障がわからない場合もある。この点も含めて、システムとして正しい出力を保証するため、演算結果などを他系統と交換して比較を行う。このために演算結果を他系統と交換する。

(8) 出力信号選出

(7)で他系統からの出力となるべき値を得た後、出力信号として正しいものを選出する。この場合も一般的には中間値が選出される。

(9) 故障診断, その他

システムの故障診断は重要で、センサのバリッド信号チェック、計算機の BIT (Built-in-Test), アナログ/デジタル変換器のラップアラウンドテスト等を行う。また診断の結果、エラーが発見された場合、エラー表示フラッグをセットしたり、エラー内容を記録したりする。

さらに、一般には各フレームごとに若干の空時間が設けてあり、デジタル制御部操作員、あるいはパイロットの要求に応じてシステムの状態を知らせたりする会話処理も行うように設計されることがある。

以上の仕事がデジタル制御部の主な仕事であるが、この中で他系との主な情報交換は3回ある。すなわち、先頭(1)の同期処理と、(4)の入力信号のデータ交換、(7)の演算結果のデータ交換である。この内容を見ると、(1)の同期処理の情報交換では、情報量は多くはなく、極端な場合はパルス信号で良い。また各系統が正常か故障かの情報交換も重要であるので、一般には(4)または(7)のデータ交換の際に合わせて転送されることが多い。次の(4)と(7)のデータ交換はそのシステムにより情報量は異なるが、制御システムということになると、おのずと数は決まってくる。さらに注意すべきことは、これらの仕事は同時には起こらず、まず(1)の後、ある仕事を経て(4)の処理をしさらに(7)の処理に移るということである。すなわち、これらの仕事に

は時間差があり、同時にこの3つの仕事が起こることはないということである。このことは、この3つの仕事を1つのハードウェアで順番に行うことができる。

4. 多重系間光結合装置の設計条件

デジタル部の多重系間結合装置として、付録2に示した光信号データ転送技術の特徴を有効に生かした光結合実験装置を検討した。

4.1 基本設計条件

光結合実験装置を製作するにあたり、以下の設計条件を設定した。

(1) 多重系間での情報交換はデジタル部の処理内容で示したように、一般に多重系間の同期確立のための同期信号交換と、自系および他系の状態(正常か故障か)を知るための各種情報のデータ交換が必要になる。この時、この同期確立とデータ交換は同時には起こらない。したがって、これら2つの仕事を同一のハードウェアで行い、情報内容で使いわけける方式が可能となる。このことより本システムでは1つの伝送ラインで両方の仕事を行う方式を設定する。

(2) 情報交換の時間をできるだけ短いものとするために、光信号伝送レート的高速化を図るとともに、多重系間の同時転送を可能とする。このため各計算機に送信部1式と、受信部を(多重度-1)式(本システムでは2式)設ける。

(3) 光信号は高速化しても外部電磁、電界ノイズに強いので、パラレル伝送をやめてシリアル伝送とし信号線を1本とする。

(4) 情報交換は各装置間の独立性をできるだけ確保するため、無手順(非同期)転送とする。これにより伝送系故障時のデッドロックを防ぐことが期待できる。ただし、故障時対策(例えば故障系統の切り離し)は各系統計算機のソフトウェアにより行われるものとする。

(5) データの基本精度を符号付き16ビットとし、信号の先頭割り出しのために3ビット、最後にパリティ1ビットを加えて合計20ビットを光信号パターンとする。この方式は航空機の電気式データ

バス規格の1つである MIL-STD-1553(付録 3 参照)と同様である。

(6) 多重系としては3重系を対象とする。

上記の諸条件を考慮し、光結合の新しい方式による実験装置を製作するが、実際の製作にあたっては、使用計算機として、2種のタイプを用いた(この点については、後で述べる)。また、実験装置ということで、大きさ、重量など搭載環境については考慮しないことにした。

4.2 光信号仕様

光多重系間結合装置の光信号の伝送仕様は、前述の設計仕様に基づいて行われるが、ハードウェアを製作する上で比較的大きな問題は、伝送レートをいくりにするかである。できるだけ速いことが望ましいが、現在の MIL スペック 1 Mbpsを参考に10倍の10Mbps/secの実現を目標に設計を進めることにした。

この点を含め信号仕様として表1に示すものを定めた。以下にこの内容について述べる。

(1) 伝送方式

伝送したい内容は、同期信号とデータである。また、本システムは多重系に適用することで、基

本的に他系と独立して、作動することが望ましく、他系との伝送もハンドシェイク無に伝送しえる方式を採用する。

このことより、伝送は各系ともブロードキャスト方式とし、かつ同期とデータ転送は時間的に分離して行うので、この2つをコマンド内の識別符号で分けて伝送する。伝送単位としては、ワード単位で送ることとする。同期は1ワードの伝送で行えるようにし、データ転送は転送データ量を自由に設定できるように、開始と終了のコマンドの間にデータワードを必要分はさみこんで送信する方式とする。ただし、データ量は同期信号と異なり多量になるため、あらかじめ量を知らせておくことが望ましいので、データスタートコマンド内にデータ量を設定できるようにしておく(5項参照)。

(2) ワード長(ビット長)

ワードの種類は(4)で述べるが、コマンドとデータの2種類を設ける。この2種の中で、ビット長を長く必要とする方はデータである。データとしては、1データ16ビット構成を想定し、この16ビット長データに、受信側でワードの先頭割り出しを可能とするために、先頭に3ビットのシンクコ

表1 多重系間光結合装置光信号仕様

番号	項目	仕様
1	伝送方式	シリアル伝送
2	伝送速度	10Mbps
3	伝送内容	同期信号、データ
4	同期信号伝送	1ワードのコマンド信号
5	データ伝送	データスタートコマンドとデータエンド コマンドの間に必要量はさむ
6	ワード長	20ビット 先頭3ビット: シンクコード 最後1ビット: パリティビット 中16ビット: データ、情報
7	ビットコード	マンチェスタコード
8	ワードの種類	2種(コマンド、データ)
9	コマンドの種類	3種(同期、データスタート、データエンド)

ードを付加し、また伝送路のノイズ対策として、最後にパリティビット（1ビット）を付加する。したがって、合計20ビットで1ワードを構成することにした。

(3) ビットコード

デジタル信号では、送りたい信号の種類は、“1”と“0”であり、この1, 0を光信号として ON/OFF の2値に対応させる方式を採用する。前述の MIL-STD-1553規格は、+と-の2値を用いたマンチェスターコードを採用しており、光化に対応しやすい（一方、民間機用のデジタルデータバスによる伝送規格として、ARINC-429という方式がB-767の操縦システムに採用されているが、この方式は、-, 0, +の3値を用いており、光信号にすぐには対応しえない。なお、MIL規格とARINC規格については付録3に主な特徴を示してある）。

この2つの規格で用いられているコード以外種々あるが、ここではMIL規格の光化の検討も可能とするため、本光結合装置のコードとしてマンチェスターコードを採用することにした。

このコードを図4に示す。すなわち、“1”を伝達する時は、(a)のようなパターンとし、“0”の伝達には(b)のパターンで送る。このように、1, 0を2値でコード化して送る。したがって、連続したデータ、例えば“0010110”のようなデータは(c)に示すようなパターンとなる。

(4) ワードタイプ

本光結合装置による情報伝送は、同期信号とデータ転送の2種であり、この2つの仕事に対応するものとして、次に示す2つのワードタイプを設定した。

1つはコマンドワードで、これにより同期用信号の伝送と、データ転送のスタート指令とエンド指令のコマンド伝送が行われる。

他の1つはデータワードで、他系へ伝送したいデータをこのワードの中の16ビットにのせて送信する。

図5(a), (b)にこれら2種のワードフォーマットを示す。(a), (b)両ワード共、先頭3ビットが、ワードの先頭を割り出すために使われるシンクビット

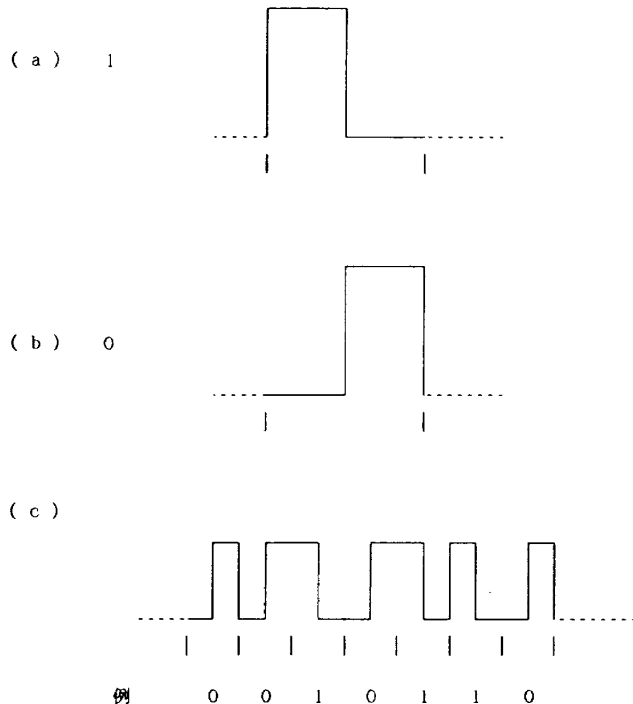


図4 マンチェスターコード

トで、最後の1ビットがパリティビットである。コマンドとデータの区別は先頭の3ビットのパターンの違いにより行う。

図の(a)はコマンドワードで、先頭3ビットの前1.5ビットを1（信号を HIGH レベルに保つということ）とし、後1.5ビットを0（信号を LOW レベルに保つということ）とする。すなわち、ビット2の中央で信号を1から0に切り換えて送信する。

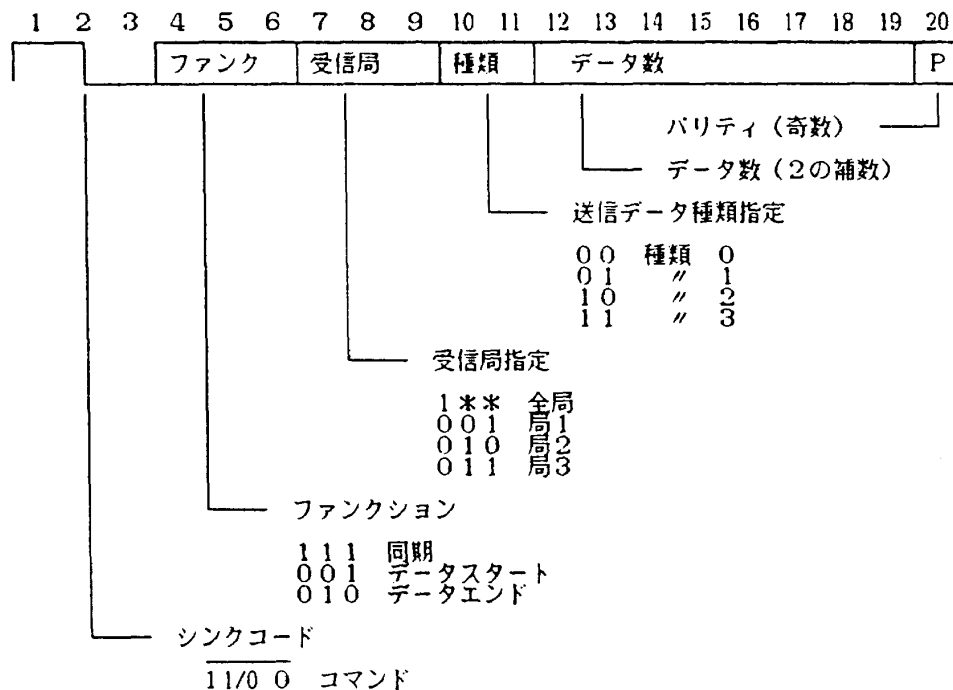
(b)がデータワードで、コマンドと逆に前1.5ビットを0とし、後1.5ビットを1とする。

このように、シンクパターンは2ビット目の中央で切り換えるが、他のビットはマンチェスターコードである。このため先頭のシンクパターンは、ノイズでみだされなにかぎり先頭にしか生じない。受信側では、この2つのパターンが来た時に、ワードの先頭と判断し、前1.5ビットが1で、後1.5ビットが0の時にコマンドと判断し、逆に、前1.5ビットが0で後1.5ビットが1の時にデータと判断する。

(5) コマンドワード

図5(a)がコマンドと述べたが、前述したように、同期用とデータスタート、データエンドの3つの

(a) コマンドワード



(b) データワード

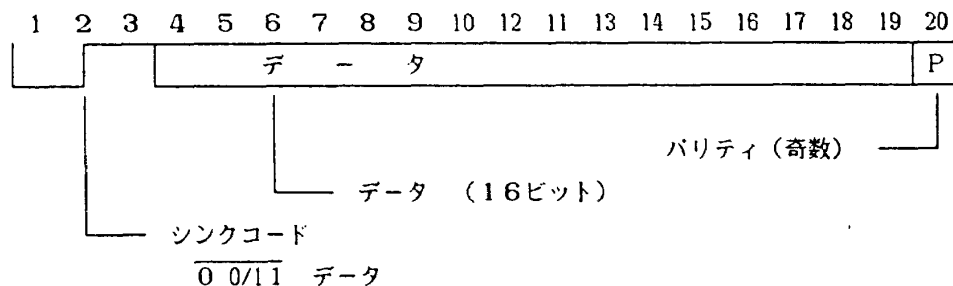


図5 ワードフォーマット

コマンドがある。

図5に示されるように第4, 第5, 第6ビットを用いて, この区別を行う。111が同期で, 001がデータスタート, 010がデータエンドである。

次の第7, 第8, 第9ビットは, 受信局 (他系を意味する) の指定を可能にしており, 7ビット目が1の時はすべての局がこのコマンドを解読せよとの意味で, 001は局1, 010は局2, 011は局3を示す。これは将来の選択局指定方式に対処するために設けたもので, 今回の3重系の試験では故障時に用いる。また, 011は今回は3重系であるため使用しない。

次の第10, 第11ビットは送信データの種類を示

すもので, 4種類の指定を可能としている。情報の種類としては, 第1章で述べた多重系の情報交換内容にあるように, 入力データ, 演算結果, あるいは計算機を含む系の状態表示フラッグ等があり, これらの情報を受信側で区別して, 定められたメモリに格納するのに用いる。

例えば, 00はセンサ入力データ, 01は演算結果, 10は状態表示フラッグ類としてあらかじめ約束ごととしてシステムを構成する。受信側では, この指定にしたがって転送されてくる情報を定められた所に格納する。この指定を4種類としたのは, 入力関係, 出力関係および機器状態表示フラッグ類の3種が主なものであるため, 後1種を予備と

して用いることができるようにした。

第12ビットから第19ビットは転送データ数が指定できる。8ビットあり1～127まで指定できる（ただし、ビットパターンは2の補数表示である）。この指定は、データスタートコマンドの時のみ意味を持ち、他のコマンドでは意味がない。データ転送はデータスタートコマンドとデータエンドコマンドの間にはさんで転送する仕様であるが、データ転送中にデータエラーがあったり、最後のデータエンドコマンドが受信されないようなエラー時に対応できるようにするためである。

最後の第20ビットはパリティビットで、第4ビットから第19ビットまでの16ビットの奇数パリティをとる。

(6) データワード

図5(b)がデータワードのフォーマットで、先頭の1, 2, 3ビットは前述したシンクコードで、第4ビットから第19ビットの16ビットがデータである。最後の1ビットはコマンドワードと同じパリティビットである。データとしては、16ビット使える。もしダブルワードデータを伝送したい時は2ワードに分けて送ることにする。

5. 多重系間光結合装置の構成

5.1 システム構成

光多重系間結合装置は、機上のデジタル操縦システムの信頼性を向上するために多重化した場合に各系統間を接続するための装置で、前述の設計基準で設定したように、システムの各系統間の独立性をできるだけ保つようにするとともに、処理をできるだけ速く終了するように構成する。

実験システムの基本構成を図6に示す。計算機として1台はS-20計算機、2台はMP/200計算機を用いた（各計算機の性能を付録4に示す）。この使い分けについては後述する。基本的に各計算機とも同格結合となるように構成してある。各計算機部には、他の計算機部と結合するため光信号接続部が付けられている。この光信号接続部は、送信部(TX)、受信部(RX)を含むインターフェースと、電気/光変換器、光/電気変換器を含む光結合器より構成されている。そして、外部信号線として光ファイバ線を用いる。

3台の計算機結合間の信号伝送を同時に処理するために各計算機は送信部1台と受信部2台を持

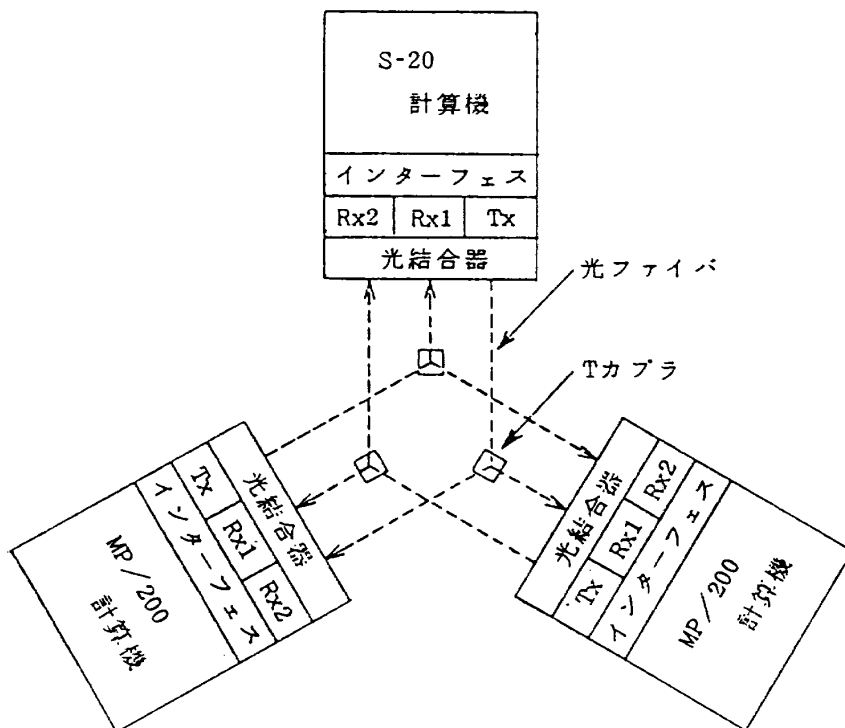


図6 多重系間光結合システム基本構成

ち、送信と他系からの受信を同時に処理できるようになっている。このためシステムとして信号線を3本用いる。各信号線は1台の送信部（実際には光結合器の電気/光変換器）からでた後、途中でTカプラにより2分され他の2つの計算機の受信部に接続される。このときTカプラを用いると、信号強度は2分されるので、受信部の光/電気変換器の感度調整に注意しておくことが必要である。

また、データ的高速転送を可能とし、かつ転送時に計算機の内部処理を平行して実行できるようにするため、転送用データのバッファメモリを設ける。

実験装置の概観を図7に示す。同図において、中央より左側がS-20計算機関連で、右側がMP/200計算機関連である。右側にはMP/200計算機が7台あるが、この内2台を光結合実験に用いている。実験のためのプログラム開発はS-20計算機で行い、MP/200計算機へはPLM (Program Load Monitor Panel)を介してロードするようになっている。

表2に本システムの機能性能概要を示す。以下に、主な機能の概要について述べる。

(1) 使用計算機

ここで用いた1台の計算機S-20は航空宇宙技

術研究所が開発しているSTOL実験機に搭載されているデジタル計算機と同じ系列のもので耐環境性が若干異なるものである。また、他のMP/200計算機2台はマイクロコンピュータを用いており、科学技術実験を比較的簡単に行える計算機である。各計算機の特長仕様を付表1、付表2に示す。

S-20計算機とMP/200計算機の大きな違いは、メモリバスの部分である。S-20計算機は外部にメモリバスが引きだされていないため、今回のようにデータ転送用バッファメモリを設ける場合、このメモリとの転送を行うための方法はDMA (S-20計算機ではDCHという)結合となる。すなわち、他系からの受信の場合、いったんバッファメモリに受け、DCHを経由してS-20計算機の内部メモリに転送される方式である。一方、MP/200はバッファメモリの増設は内部メモリと平行に行うことができる。

(2) 光信号接続部

各計算機は光結合器1式と送信部(TX)1台と受信部(RX)2台を含むインターフェース部分を持っている(これらを総称して光信号接続部という)。光結合器は外部からの光信号を電気信号に変換する機能および、逆に電気信号を光信号に変換する

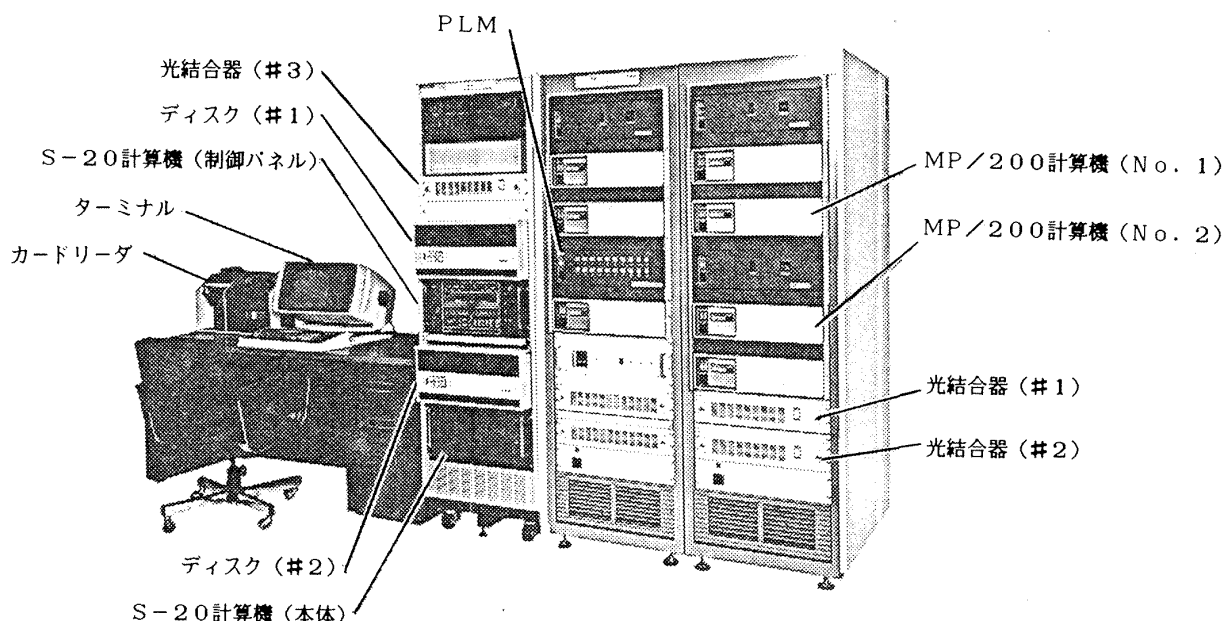


図7 多重系間光結合実験装置

表2 多重系間光結合装置の機能性能

番号	項目	機能、性能
1	全体システム	デジタル多重系間結合装置 同期信号、データ シリアル伝送 3重系間同時処理 データスタートコマンドとデータエンドコマンドの間にはさんで伝送
	・目的 ・伝送内容 ・伝送方式 ・処理方式 ・データ伝送方法	
2	使用計算機	1台 2台
	・S-20計算機 ・MP/200計算機	
3	光信号接続部	各計算機に1式 1台 130ワード(max) 2台 130ワード(max) 1式
	・送信部 ・送信語数 ・受信部 ・送信語数 ・光結合器	
4	信号仕様	10Mbps ワード単位 20ビット 先頭3ビット：シンクコード 最終1ビット：パリティビット 中16ビット：データ、情報 マンチェスタコード パリティエラー 2種(コマンド、データ) 3種 同期 データスタート データエンド 指定可(最大4局) 指定可(4種)
	・伝送速度 ・伝送単位 ・ワード長 ・信号コード ・エラーチェック ・ワードフォーマット ・コマンド種類 ・受信局指定 ・伝送内容指定	
5	光結合器	2器 1器 40MHz
	・受信器 ・送信器 ・内部クロック	
6	バッファメモリ(RAM)	55nscc 512ワード 4ポート(TX、RX1、RX2、CPU) マルチプレクス 250nscc DCH結合 ・DCH転送速度：500KW/sec 内部メモリとパラレル結合
	・アクセスタイム ・メモリ容量 ・ポート数 ・ポート制御 ・ポート切り換え ・S-20との接続 ・MP/200との接続	

機能を持っている。この時、光信号はシリアル信号であり、計算機側はパラレル信号であるため、シリアル/パラレル変換が行われる。

送信時は計算機からの指令により送信起動がかかるとインターフェス内のバッファメモリ内の送信データは決められた手順により光結合器に転送される。光結合器は送られてきたパラレルデータをシリアルデータに変換し、先頭にシンクコードを付けて電気/光変換を行って、光信号を光ファイバ線にのせる。光信号はファイバ線をたどり、途中Tカプラで2分されて、他の計算機に入力される。

一方、受信する場合は、光信号がファイバ線を伝いシリアルデータとして入力され、まず光/電気変換器により電気信号に変換されて、シンクコード判別回路により先頭シンクパターンが割り出されると、つぎに内部のファンクションが解読されて、そのファンクション内容に従った処理がなされる。この時、受信は2系統同時に処理することができるように、受信部を2台持っている。また、バッファメモリは1つであるが、2つの受信部と1つの送信部からのアクセスを同時に処理できるようにするために、特別の設計がなされている。

この点についてはバッファメモリの項で述べる。

このように、光信号接続部では送信処理と受信(2回路)処理を同時に行うことを可能にするために内部の各処理回路には高速のロジックが用いられている。

5.2 S-20計算機光信号接続部

(1) 光信号接続部概要

S-20計算機は前述したように、搭載用計算機として製作されている。図8にS-20計算機と光信号接続部との内部接続構成を示す。左上がS-20計算機で、この計算機はCPUが直接参照できるメモリを外部に接続することはできず、外部に新しく高速のデータ転送を必要とする機器を取り付ける場合には、内部のメモリバスに接続されているDCH(Data Channel)を経由して接続する方式しか取り得ない。構成としては、受信部2台、送信部1台、転送したい、あるいは転送されてくるデータを格納しておくバッファメモリ(RAM-2KB)と3重系を構成して多重化の試験を行うときに用いるタイマ(PIT…Programable Interrupt Timer)を図に示すように各バスに接続してある。以

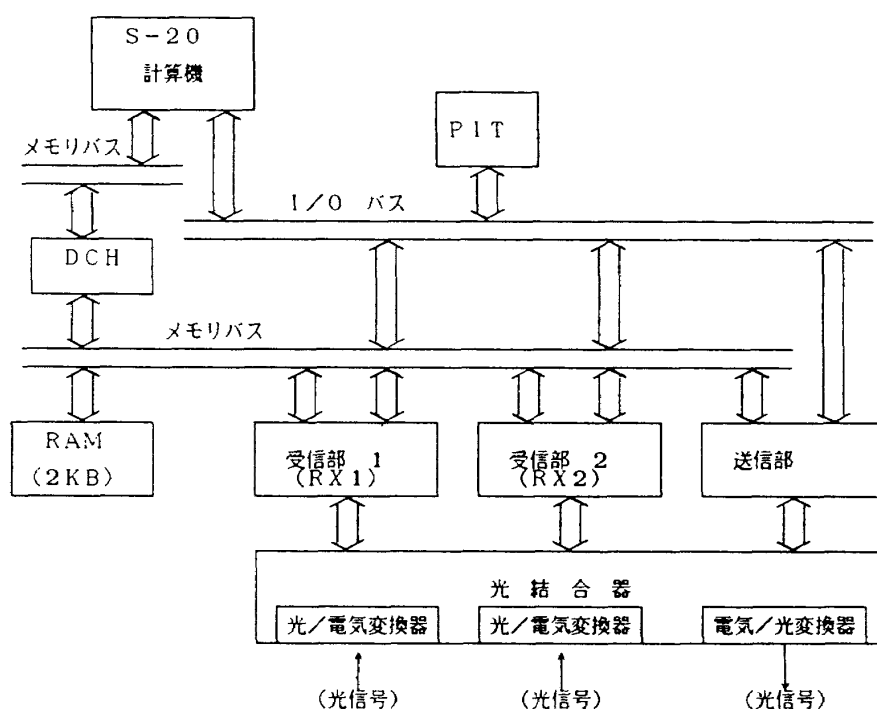


図8 S-20計算機光信号接続部機能ブロック

下に、この接続部の動作機能を述べるが、バッファメモリ、PIT および光結合器についてはS-20計算機も MP/200 計算機も同じであるため別に示す。

(2) 送信時内部動作

S-20計算機が光信号を送信する場合の処理フローを図9に示す。プログラムの送信情報セット命令 (DOB) により送信ファンクション、受信局、データ種類、送信レンジなどをセットした後、起動命令 (NIOS) を発して送信部にスタートをかける。この時、同期信号転送とデータ転送とで機能が異なる。

が異なる。

(a) 同期信号送信

送信部はS-20計算機から送信開始指令がくると、まず送信部内のエラーステータスレジスタをクリアし、次に自身がビジーになったことを示すためビジーフラグ (BUSY FLAG) を1にセットする。そして、送信ファンクションをチェックし、ファンクションが111の場合は同期信号転送と理解し、光信号フォーマットのところで示した同期コマンドワードを作成し光送信部へ出力する。これだけ

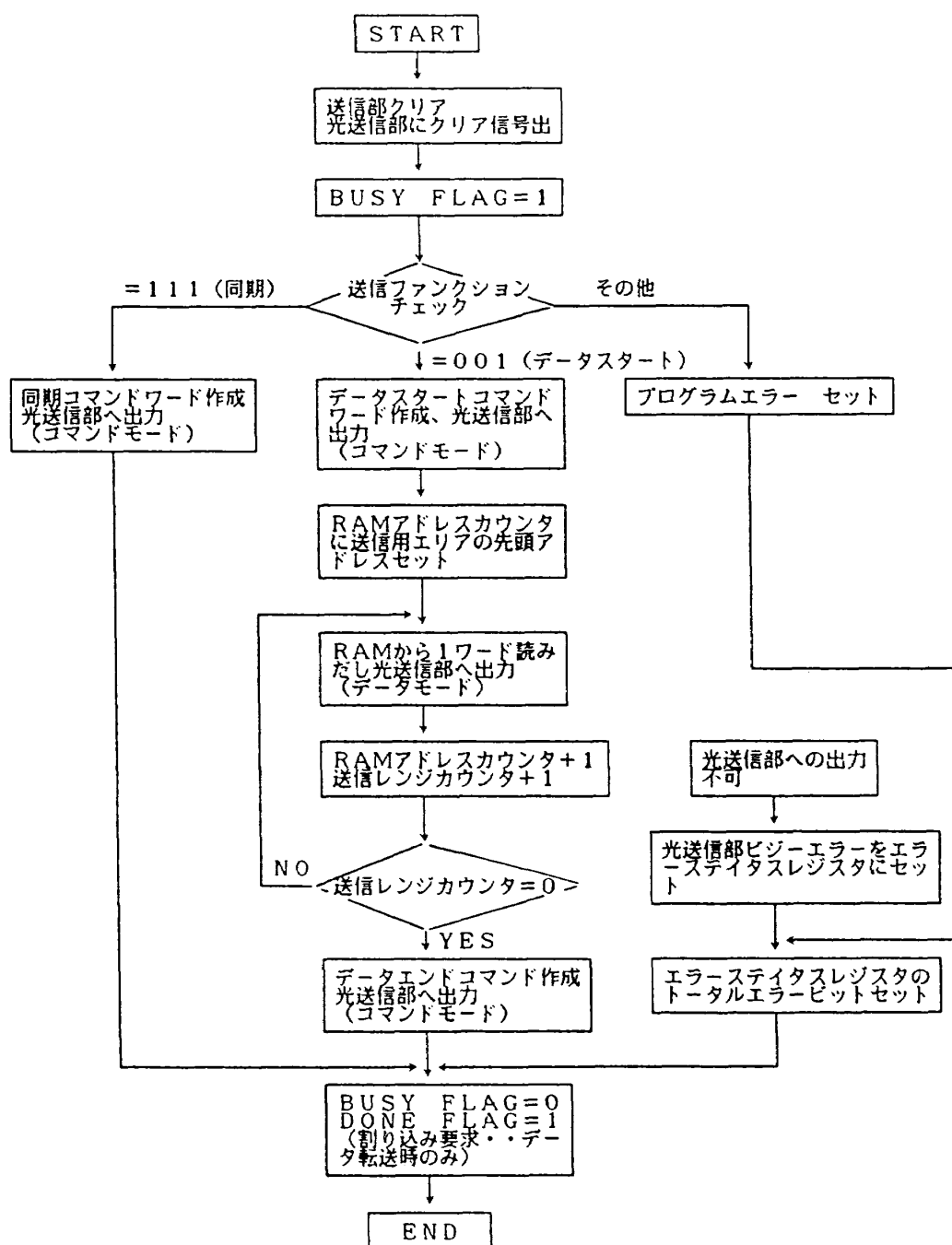


図9 S-20計算機光信号接続部送信時の処理機能フロー

で処理は終了であるので、BUSY FLAG を 0 にもどし、処理終了フラグ (DONE FLAG) に 1 をセットする。

(b) データ送信

S-20 計算機はデータ送信の場合は、まず送信したいデータを DCH 経由で RAM にセットし、相手受信局と RAM にセットしたデータの種類、転送したいデータのワード数およびデータ送信であることを示すファンクション 001 をセットしてプログラムの命令 (DOBS) により、送信部へ送信起動をかける。送信部はファンクションが 001 であるので、まずデータスタートコマンドワードを作成し光結合器の送信部へ出力する。このコマンドを光送信部は先頭に 3 ビットのコマンドシンクコードを付け、最後にパリティビットを付加して、シリアル光信号に変換して送出している間に、RAM 中の転送したいデータの先頭アドレスをアドレスカウンタにセットする。この後、RAM から 1 ワード読みだしては光送信部へ出力する。このデータをコマンドと同じようにシンクコード、パリティビットを付けてパラレル/シリアル変換を行って光信号として送信する。1 ワード送信するごとにレンジカウンタをカウントアップして、送信レンジカウンタが 0 (すなわち転送したいデータを全部出力したということ) になった時点で、データエンドコマンドを作成して光送信部へ出力する。これで処理は終了であるので、BUSY FLAG を 0 に、DONE FLAG を 1 にセットして全ての処理は終る。

(c) エラー処理

光送信部にエラーが発生し、光結合部へデータを出力できなくなると、光送信部がエラーであることを示すステータスをセットして、処理を中断する。本送信部内のエラーを検出した時も同様の処置をとる。

(d) 光送信部初期化

電源投入後、あるいは光送信部にエラーが発生したというステータスを検出した時は、S-20 計算機は光信号部の初期化を送信部に指令する。ディジタル装置では外部ノイズにより誤動作することがあるが、この時この初期化処理を行うとリセッ

トされ、再度正常な状態に復帰させることができる。

(3) 受信時内部動作

S-20 計算機が他系からの信号を受信する場合の接続部の機能フローチャートを図 10 に示す。計算機から受信起動 (NIOS) がかけると、まず RX 部 (受信部) をクリアして受信動作が開始される。この受信動作は基本的にいったん起動がかかると、エラーが無いかぎり停止指令がくるまで作動し続ける。このエラー検出は常時行われていて、エラーが検出されるとそのエラー内容がエラースティタスレジスタにセットされ、かつトータルエラービットをたてて、内部処理を中断してリセットし、この状態を計算機へ知らせる割り込み信号をだす。エラーが無い場合は以下の処理が行われる。

(a) 同期信号受信

受信時は、同期信号にかぎらず、光信号を光結合器部で電気信号に変換した後、コマンドかデータか先頭のシンクコード (3 ビット) で判別する。コマンドであると判定された後は、まずビット 7, 8, 9 により自系へのコマンドであるかどうか調べる。自系のコマンドと判るとコマンドの内容のファンクションをチェックする。これが '111' の場合に同期コマンドが受信されたことになり、計算機にこのことを知らせる割り込み信号をだす。計算機側は割り込み信号が入ると受信レジスタにセットされている内容が同期指令であることを知って同期処理を実行する。

(b) データ受信

データ受信の場合は、先頭の 1 ワードがデータスタートコマンドであるので、このコマンドを受信すると、コマンド内に指定されるデータの種類を知って、このデータに対応してあらかじめ定めた RAM アドレスをアドレスレジスタにセットし、さらにデータ受信を可能とする受信許可ビットを 1 にして、次にくるデータ受信を可能とする。続いて受信されるデータをバッファメモリの定められた場所に格納する。最後にデータエンドコマンドが受信されるが、この信号を受信すると計算機に割り込み信号を発する。計算機はこの割り込み信号を解読し、データが受信されたことを知って、

受信したデータを用いた処理に入る。

(c) エラー処理

光接続部の受信部分にエラーが検知されるとそのエラー内容をエラーレジスタにセットし、かつトータルエラービットをたてて、内部を初期状態にリセットして、この状態を計算機へ知らせる割

り込みを発生する。計算機はこの割り込みによりエラー処理を開始する。

(d) 光受信部初期化

これは、光送信部と同じことで、電源投入後あるいは、エラー処理後に行われる。

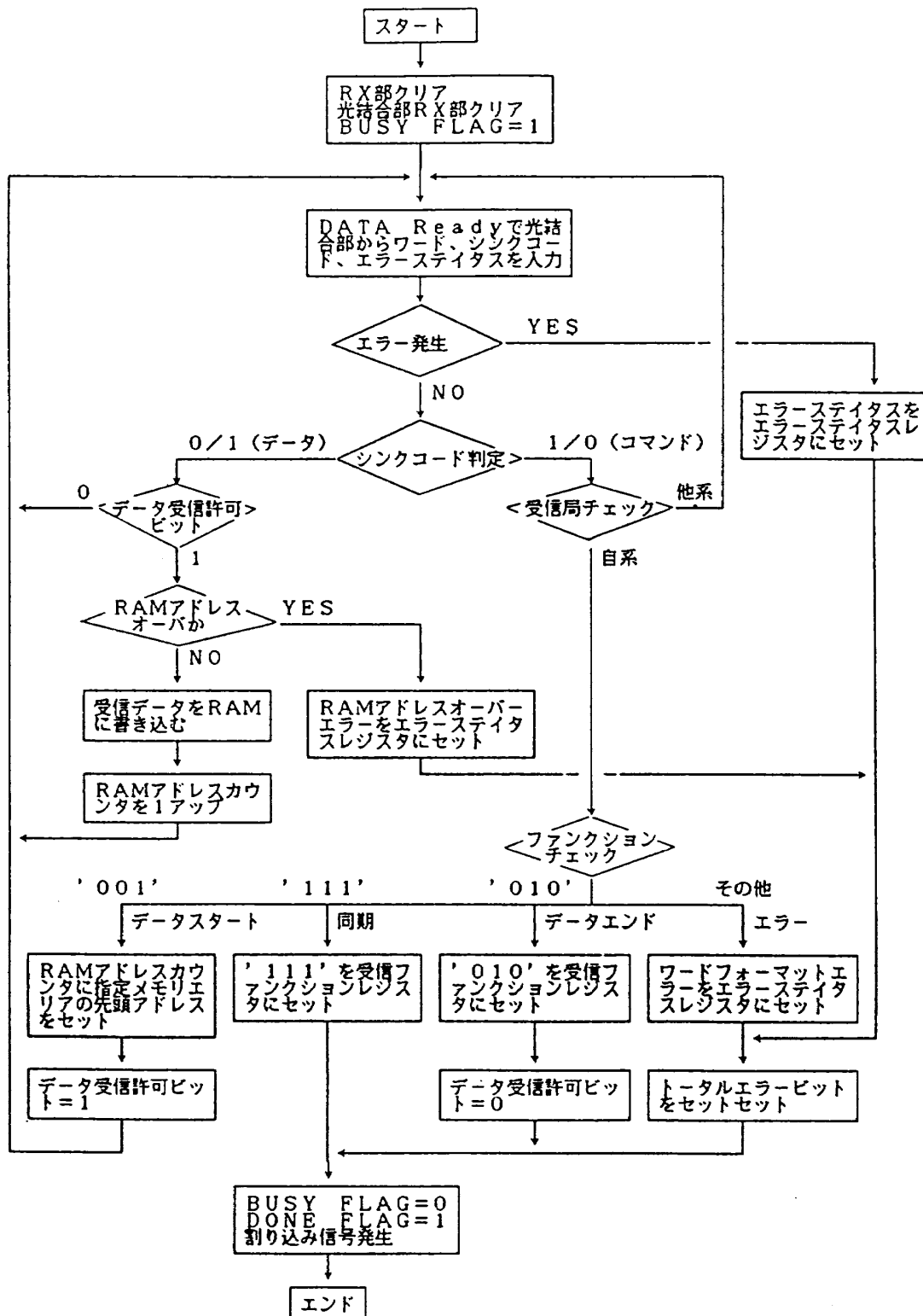


図10 S-20計算機光信号接続部受信時の処理機能フロー

5.3 MP/200計算機光信号接続部

(1) 光信号接続部概要

MP/200計算機はマイクロコンピュータを用いた小型の計算機で、光信号接続部との結合は図11に示すように構成されている。RAMメモリ部の計算機との接続法を除いては、S-20計算機の構成と同じである。この計算機のメモリバスは外部に新しいメモリを直接増設することができるので、計算機側からのRAMへのアクセスが早くできる。ただし、一般にメモリバスは高速のバスであり、

ノイズに弱いので、実用機器（搭載用）の設計にあたっては、この点に十分なる注意をはらう必要がある。光結合器については別に述べる。PITはS-20計算機のものと同質的に同じである。

図12にMP/200計算機の光信号接続部のインターフェースボードを、また図13にバッファメモリ部のボードを示す。

(2) 送信時内部動作

MP/200計算機が光信号を送信する場合の処理フローは、S-20計算機のもの（図9）と同じであ

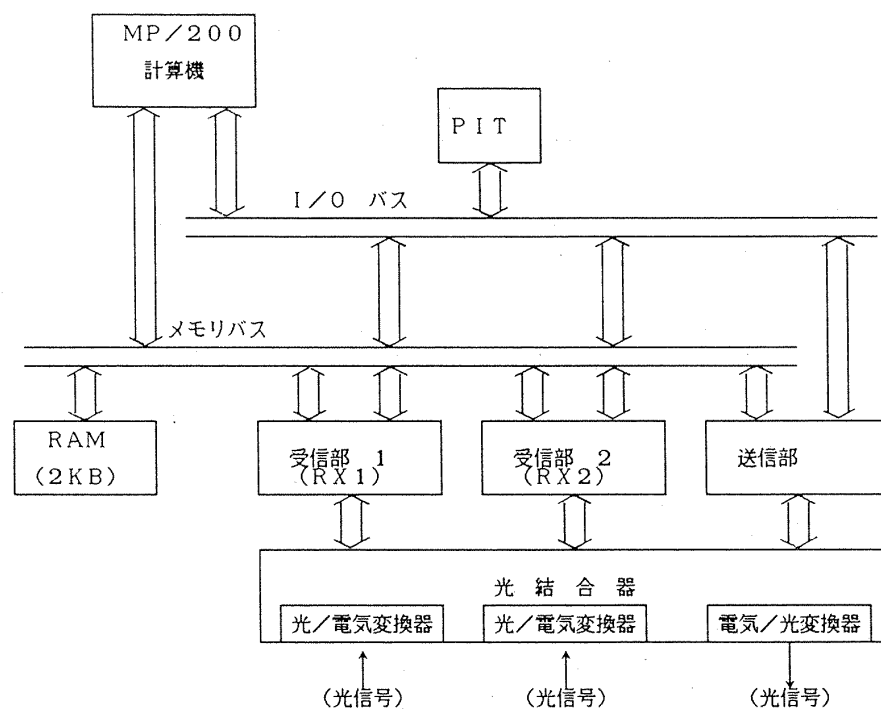


図11 MP/200計算機光信号接続部機能ブロック

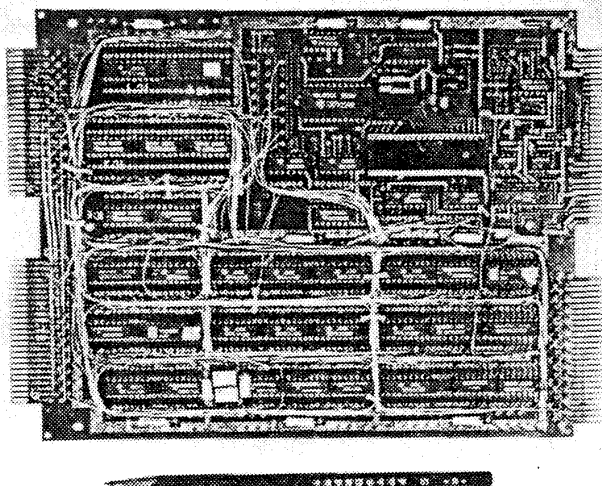


図12 MP/200計算機用インターフェースボード

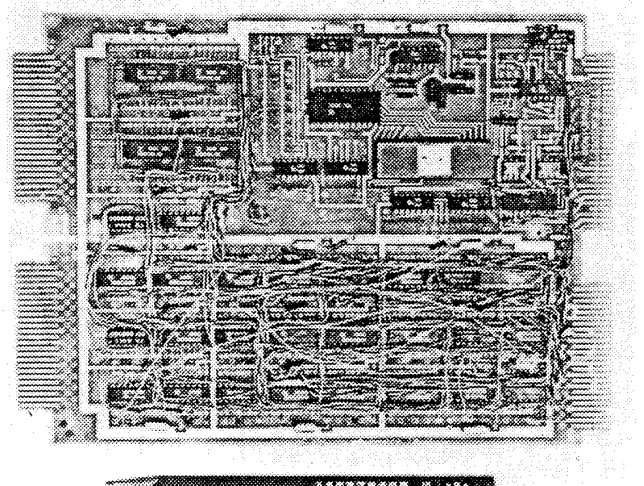


図13 MP/200計算機用バッファメモリボード

る。わずかに異なる点は、プログラムで用いる命令コードである。したがって処理機能についてはS-20計算機光信号接続部の項を参照するものとし、ここでは再述しない。

(3) 受信時内部動作

これもS-20計算機のものとはほぼ同じである。

(図10参照)

5.4 バッファメモリおよび PIT

(1) バッファメモリ

本光多重系間結合装置は3重系間で送受信同時処理を可能とし、かつデータ転送を高速に処理することが目的であるため、データ転送時に必要となるバッファメモリの設計もこれらに対応するようになっている。すなわち、バッファメモリへのアクセスは送信部と2つの受信部および計算機から見かけ上同時に行えるように設計してある。以下に、ここで用いた方式を説明する。

データの送受信ではバッファメモリを必ず用いるので、送受信同時処理時にはこのメモリのアク

セスに競合が起こる。また場合により計算機からのアクセスも重なることがありえるのでこの時は4つの部所(受信部2, 送信部, 計算機)からの競合となる。バッファメモリのアクセスをこれらに対応出来るようにするために、内部処理に順次マルチプレクス方式を採用している。

図14にこのマルチプレクスして競合を避けているタイミングを示す。すなわち、図の上部のSLCT 0.1信号に示すように、4つ(TX: 送信部, RX1: 受信部1, RX2: 受信部2, CPU: 計算機部)の各機器からのアクセスするタイミングおよびアクセス可能時間を決めておき、この時間には他からのアクセスをできないようにしている。これにより各部からの競合による混乱(ある機器がメモリを独占し他のアクセスができなくなるようなこと)は起きない。

図ではCPU(計算機)からのWRITE(書き込み)とREAD(読み出し)それと受信部1, 2および送信部のアクセスしているタイミングを示してある。RX1とRX2は同一のラインで示してあ

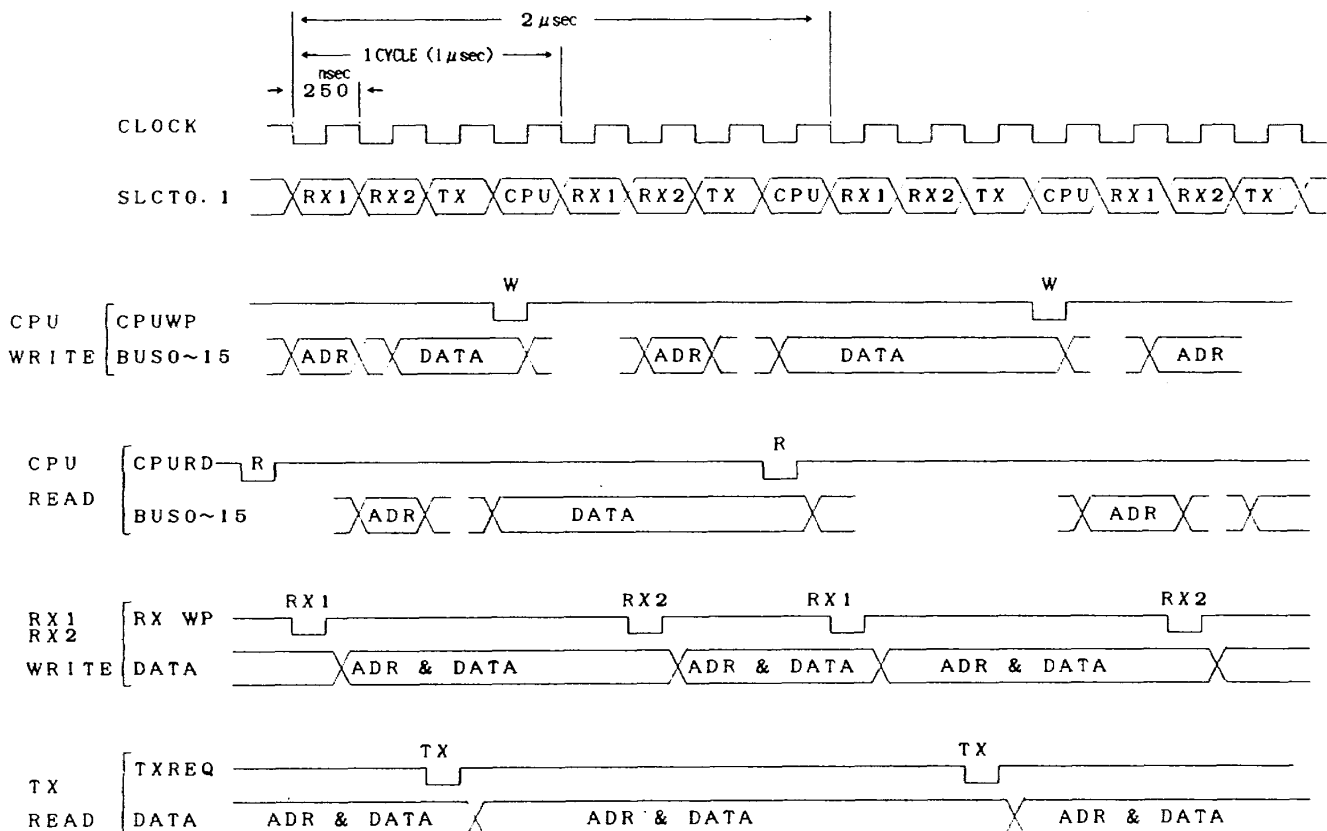


図14 バッファメモリマルチプレクスタイミング

る。各機器は基本的に非同期であるので自身がアクセス可能になった時にメモリとやりとりしていることになる。

次に、このアクセスタイミングをどの位の間隔で行うかを定める必要があるが、これは各部の処理速度と関係する。例えば光データを受信している時は $2\mu\text{sec}$ に 1 回ずつバッファメモリへの格納が要求される。送信時も同じ速度を必要とする。計算機 (CPU) からのアクセスは、S-20 計算機では DCH の転送速度が問題になる。DCH の転送速度は 500kw/sec であるので 1 ワードの転送は $2\mu\text{sec}$ に 1 回のアクセスが要求される。MP/200 計算機では内部メモリのアクセスタイムが 500nsec となっている。

実験装置においては RAM メモリとして入手可能なもので比較的高速のメモリ (アクセスタイム 55nsec : 性能を付表 3 に示す) を選んだ。したがって最低 55nsec の時間は 1 つの処理の時間にあてがう必要がある。さらにその他の処理のマージンをみて 1 回の処理時間を 250nsec とする設計をした。すなわち、各部には 250nsec の処理時間をあてがい、4 つで 1 まわりであるため、つぎの処理時刻は $1\mu\text{sec}$ 後となる。光送受信部については $2\mu\text{sec}$ ごとであるので問題がない。また S-20 計算機についても $2\mu\text{sec}$ に 1 回であるので問題は無い。MP/200 計算機は若干待たされることになるが、他の処理時間を勘案し許容するものとした。

(2) PIT (Programable Interrupt Timer)

これは実時間演算時に、繰り返し演算周期をプログラムで設定できるタイマである。この PIT を起動すると、指定した周期ごとに計算機に RTC (Real Time Clock) として割り込み信号が入る。

またこのタイマは現在作動中の時刻も読み取ることができるようになっており、実験時の各部の処理時間などを測定するのに利用する。

5.5 光結合器

この部分は、光信号を電気信号に変換したり、逆に電気信号を光信号に変換する部分と、シリアルデータをパラレル信号に変換したりする部分が含まれている。また、シンクコードの判定もこの

部分で行っている。

図15に光結合器の機能ブロック図を示す。また実験装置の外観を図16に示す。さらに図17に使用した光 / 電気、電気 / 光変換器を示す。この光結合器は各系統 (各計算機) に 1 台ずつ付けられているが、すべて同じ構成に設計されている。図15において、上側が受信部で下側が送信部である。この図では受信部の機能を 1 つしか描いていないが、実システムでは同一回路のものが 2 つ (RX1 と RX2) で構成されている。

(1) 受信部機能

受信時の機能は光信号接続部の項で一部述べたように、図の左側から光信号が入力され光 / 電気変換器で電気信号に変換される。この信号はシリアル信号 (20 ビット分) であり、内部のコードは設計仕様のところで述べたように先頭 3 ビットがシンクコードで、後の 17 ビットはマンチェスタコードよりなるビットデータである。このため次のマンチェスタ II デコーダ部で先頭のシンクコード部分を検出し定められたシンクパターンであるかどうか判定する。もし、先頭が正しいシンクコード (コマンドかデータ) であると判ると、次に続くマンチェスタコードによるビット信号を 1 か 0 に変換して次段のシリアル / パラレル変換部に信号を流す。このシリアル / パラレル変換部では、送られてくるデータの初めの 16 ビットを受信レジスタにセットするとともに、最後の 1 ビットのパリティビットを利用してデータが乱されていないかどうかチェックを行う。

シリアル / パラレル変換により 16 ビットパラレル信号が作られ、次の受信レジスタにセットされると受信部 (RX) の 1 データ受信が完了し、RX ビジイがとける。このあとはこの光結合器と接続している光インターフェース部分が、シンクコードがコマンドであるかデータであるかにしたがって各々の処理を行う。この処理については前に述べてある。

(2) 送信部機能

図15の下側が送信部である。送信時もコマンドとデータがあり、いずれも伝送したい情報を送信レジスタにセットして、スタートトリガにより起

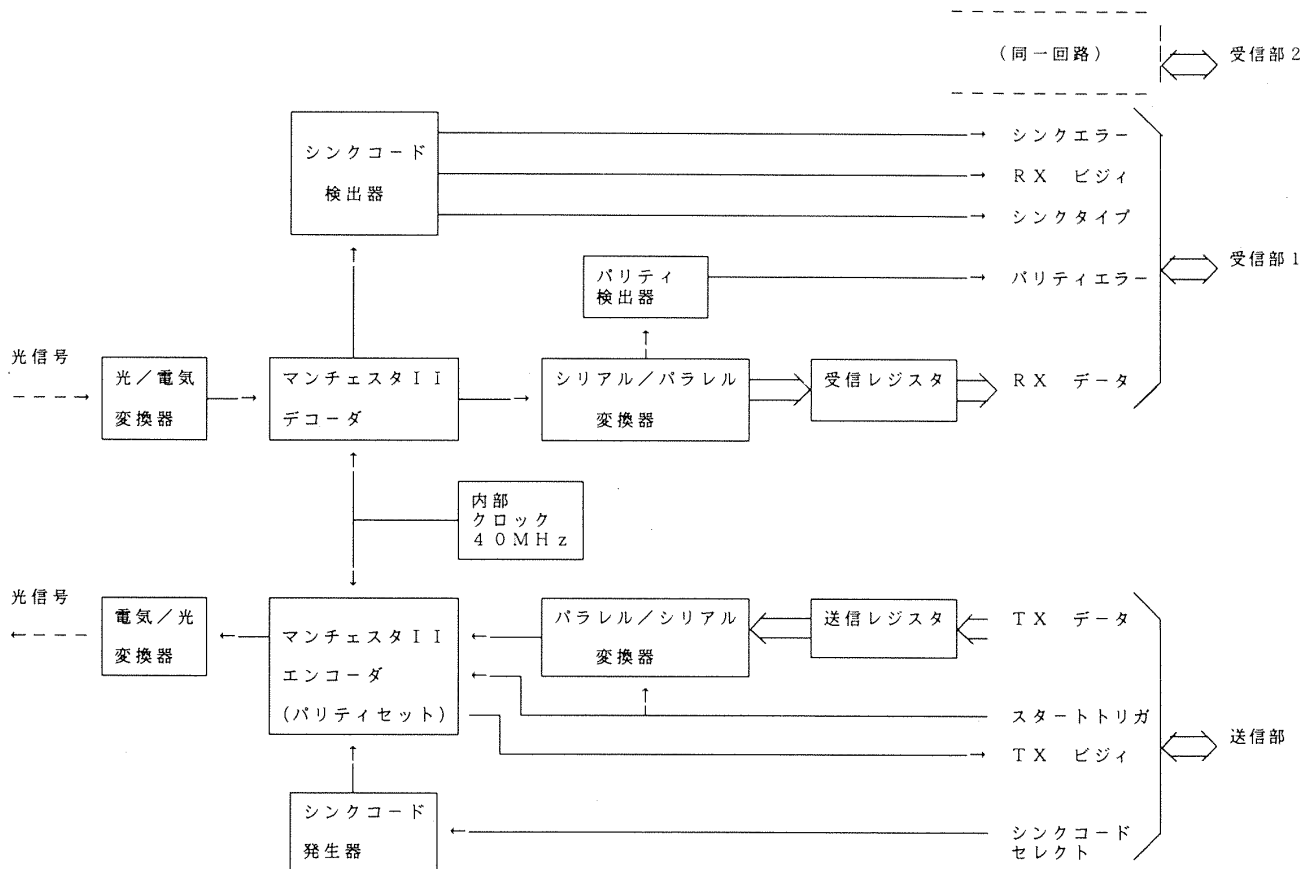


図15 光結合器機能ブロック

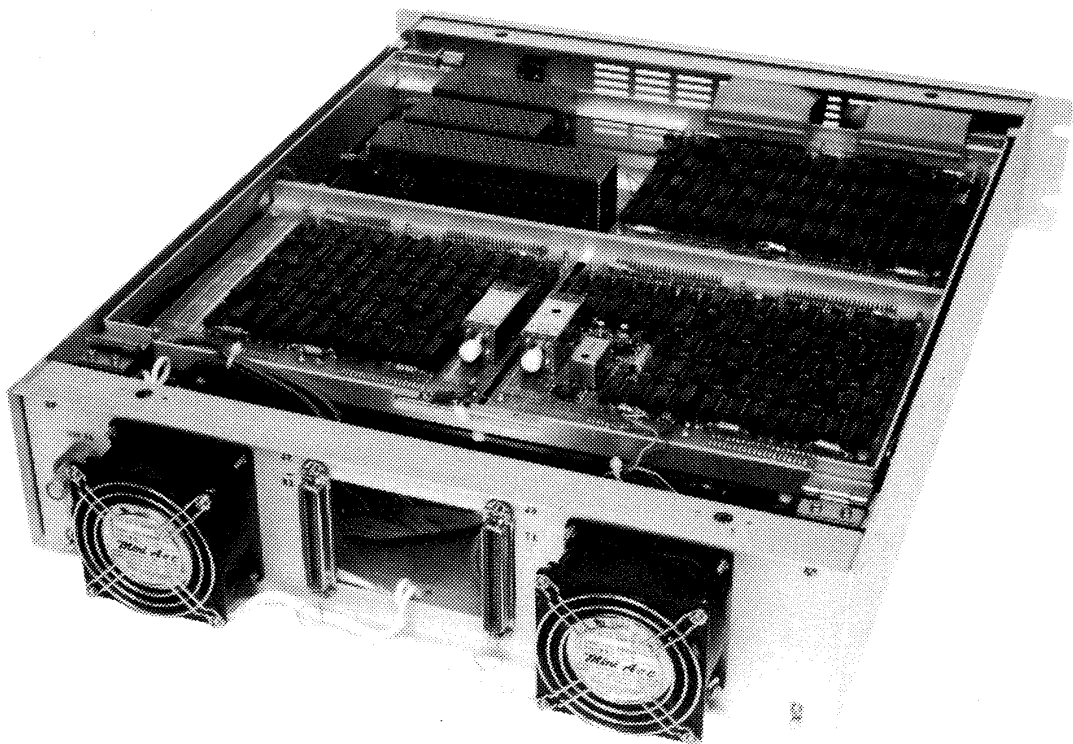
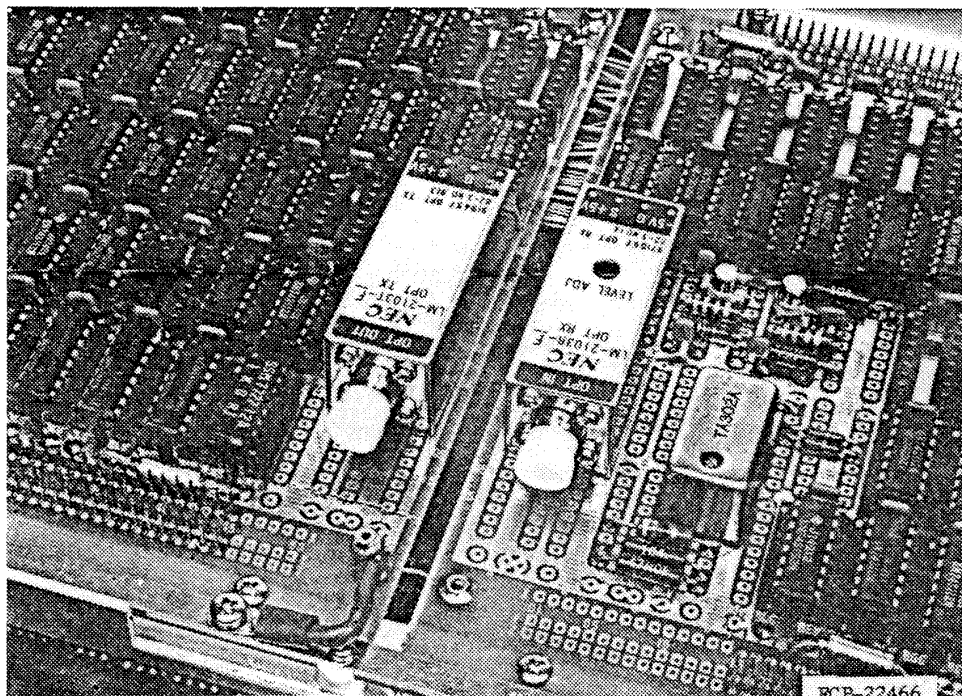


図16 光結合器外観



電気/光変換器

光/電気変換器

図17 光/電気, 電気/光変換器

動をかけると、パラレルデータがシリアルデータに変換されて、マンチェスタⅡエンコーダ部でシンクコードが先頭に付加され、この後に16ビットのシリアルデータがマンチェスタコードに変換されて送出される。そして最後にパリティビットが送りだされる。これらの仕事は電気の部分で行われ、最終段（電気/光変換器）で電気から光に変換して他計算機へ伝送される。

(3) 光結合部性能

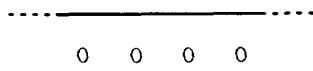
光結合部の大きな仕事はマンチェスタコードの変復調とシンクコードの検出である。まず、マンチェスタコードのエンコードは、内部クロックのタイミングに従って図4に示したコードを発生させれば良いので、あまり大きな問題にはならない。

この逆にデコードは難しい。その理由は受信したマンチェスタコードが絶えず送信した時と同じパターンでくるとはかぎらず、信号路の特性によりマンチェスタコードの1から0（もしくは0から1）への切り換えが、中央以外のところ、すなわち左か右に偏っていることが考えられる。この場合どの程度の偏りまで許容するかがハードウェア設計のポイントとなる。波形が偏る場合の例を図18に示す。図の(3)が正しい波形で、1が50%，

0が50%（Duty 50/50という）の時間を占めている。図の上側が1（High Level）が少なくなった場合で、下側が1が多くなった場合である。図の(2)に示すようにDuty 25/75%の波形、および(4)の75/25%の波形まで許容し、この切り換えをチェックするためには、少なくとも4回チェックしなければならない。本装置でも4回チェックするようにする。すなわち、図18に示すように信号1のチェックの場合には1が1回以上3回以下の場合に信号1と判定し、他はエラーとするように定めた。実際の機器においては光信号の伝送速度を10Mbpsと定めているので、内部クロックは4倍として40MHzのクロックでチェックを行わなければならない。マンチェスタコードから1/0ビットの判定はこの40MHzで行うとともに、シンクコードの検出後は17ビット分の回数チェックして1データ分終了する。

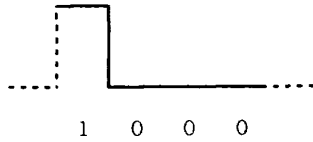
シンクコードの判定も基本的には同じことであるが、これは3ビット分の中央で1から0（コマンドパターン）、もしくは0から1（データパターン）へ変化していることを確認しなければならない。光信号は他系統の任意のタイミングにより、いつくるか分らないので、この回路は絶えず働い

(1) 立ち上がり無し



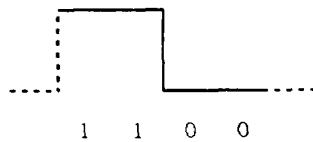
不良

(2) 早い立ち下がり



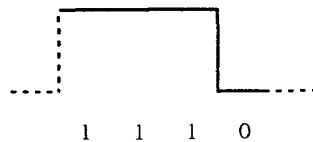
良 "1"

(3) 正常



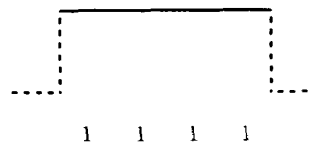
良 "1"

(4) 遅い立ち下がり



良 "1"

(5) 立ち下がり無し



不良

図18 マンチェスタコード判定基準
(1の場合)

ているように設計されている。このチェック回路の判定基準を表3に示す。3ビット分のサンプリング(4回×3=12回)の結果によって判定する。データワードのシンクコードの場合は表の右上側に○の判定のある3ケースがデータワード用シンクパターンと判定される。コマンドワードのシン

表3 シンクコードチェックパターン

種類	3ビット(X4=12点)パターン			判定
エラー	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	×
	0 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	×
	0 0 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	×
	0 0 0 1	1 1 1 1	1 1 1 1	×
	0 0 0 0	1 1 1 1	1 1 1 1	×
データ	0 0 0 0	0 1 1 1	1 1 1 1	○
	0 0 0 0	0 0 1 1	1 1 1 1	○
	0 0 0 0	0 0 0 1	1 1 1 1	○
ウェイト	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 1 1	—
	0 0 0 0	0 0 0 0	0 1 1 1	—
	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1	—
	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 1	—
	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	—
エラー	1 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	×
	1 1 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	×
	1 1 1 0	0 0 0 0	0 0 0 0	×
	1 1 1 1	0 0 0 0	0 0 0 0	×
コマンド	1 1 1 1	1 0 0 0	0 0 0 0	○
	1 1 1 1	1 1 0 0	0 0 0 0	○
	1 1 1 1	1 1 1 0	0 0 0 0	○
エラー	1 1 1 1	1 1 1 1	0 0 0 0	×
	1 1 1 1	1 1 1 1	1 0 0 0	×
	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 0 0	×
	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 0	×
	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	×

クコードも表の右下に示す○の判定のある3ケースの場合がとられ、他はエラーと判定される。ただし表の中央の5ケース(判定の欄が—のもの)はさらに続くビットパターンによるのでここだけでは不明である。

(4) 電気/光(光/電気)変換器

電気/光,あるいは光/電気変換器としては,この実験装置の性能を満たすものが要求される。使用した変換器の性能を付表4に示す。外観は図17に示されている。

6. 多重系間光結合装置の性能

本装置を用いて,以下に示す機能性能確認試験を行った。

6.1 同期信号伝送試験

本装置は3台同時に同期確立を行うことができるが,ここでは1台の計算機(MP/200)から他の2台の計算機へ同期指令をだし,他の2台の光変換部がこの指令信号を受けとって自身の計算機へ

同期信号を検知したことを知らせるため内部割り込み信号を出すところを確認した。

図19に同期コマンドワードの信号出力波形を示す。先頭の3ビットが(11, 10, 00)のパターンであるので同期信号である。

図20に同期信号伝送時の送信側と受信側の光伝送器の波形を示す。同図の1, 2が送信側で、1のスタートパルスにより2の光信号がだされる。3, 4と5, 6が受信側で光信号は20ビットのシリアル信号で受けとり、先頭のシンクパターンより同期信号と判定し同期信号受信内部割り込み信号(4と6)をだす。光信号部は送受信とも同じ波形になっており2 μ sec要している。この信号を受けとった後、690nsecでこの同期信号検知内部割り込みを発生している。1台の計算機の光結合器が同期信号を発生してから、他の計算機の光結合器がこの同期信号を受信し内部割り込み信号を出すまでの時間が3 μ sec以下であり、目的の短時間伝送を

達成している。

6.2 データ伝送試験

データ伝送は次の手順で行う。

(1) 送信側で伝送したいデータを伝送データバッファにセットする。

(2) 計算機から送信部に転送指令をだす。この時転送ワード数, 転送先, 転送データの種類などを合わせて指示する。

(3) 光信号接続部はこの指令により、まずデータスタートコマンドを出力し、続いて指定されたデータを指定されたデータ点数送信する。そして最後にデータエンドコマンドを送信して終了する。

図21に1ワード転送の場合の送信側の観測波形を示す。最初の20ビット分がデータスタートワードのコマンドで次の20ビットがデータである。最後の20ビットがデータエンドコマンドである。上から2番目の信号がデータスタート時にでるトリ

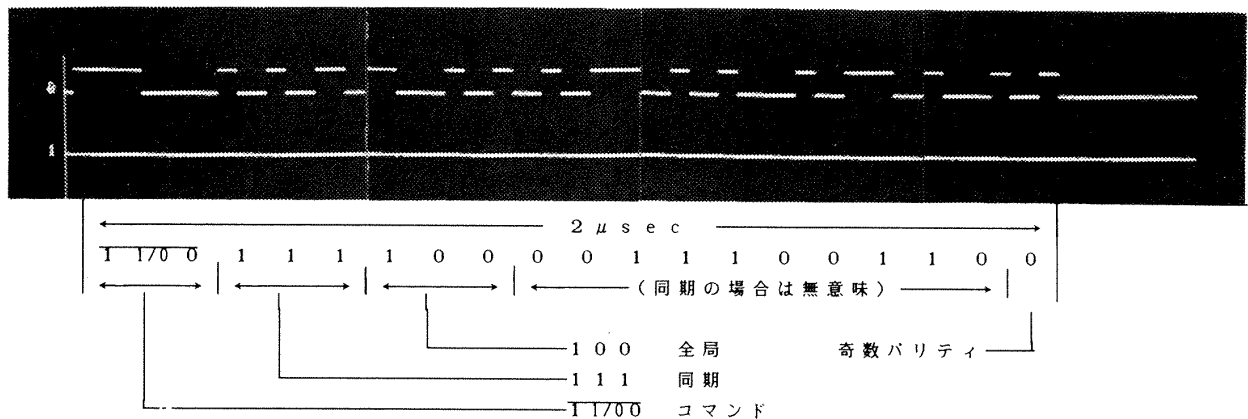
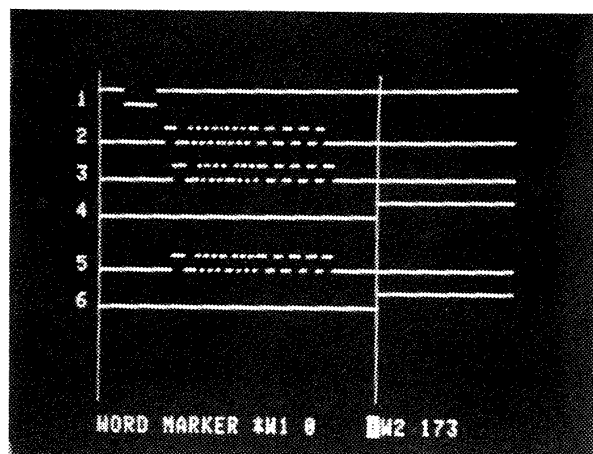


図19 同期コマンドワード出力波形



- 1: S-20スタートパルス
- 2: S-20同期信号ワード
- 3: MP #1受信信号
- 4: MP #1割り込み信号
- 5: MP #2受信信号
- 6: MP #2割り込み信号

図20 同期コマンド伝送タイムチャート

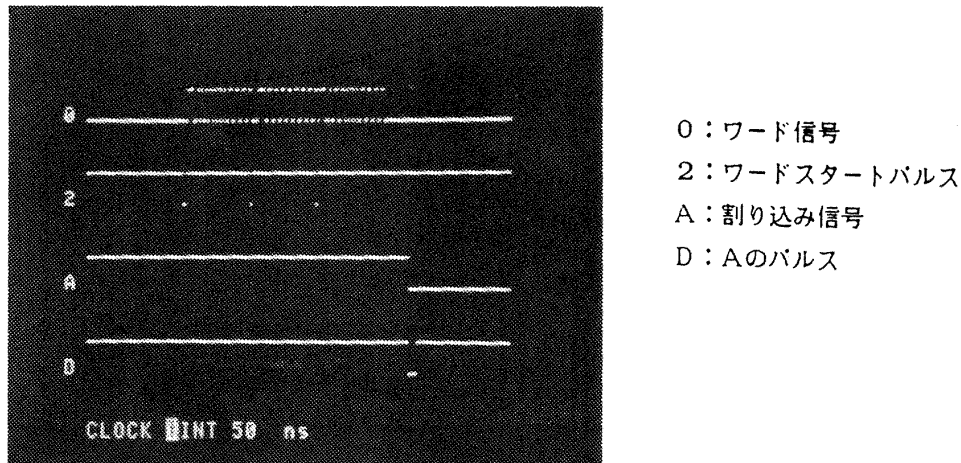


図21 1ワード転送時観測波形

がパルスである。この信号よりワード伝送は3回行われていることがわかる。

伝送時間はデータスタートコマンドからデータエンドコマンドの最終ビットまで $6\mu\text{sec}$ となっていることより、各ワード $2\mu\text{sec}$ で転送が終了していることがわかる。

転送データ数をふやした場合について観測すると、光信号部の転送時間 T は、データ数を n として、

$$T = (2 + 2n + 2) \mu\text{sec}$$

で終了していることが確認できた。ここで最初の $2\mu\text{sec}$ はデータスタートコマンド分で、最後の $2\mu\text{sec}$ はデータエンドコマンド分である。20ワード転送は $40\mu\text{sec}$ で転送が終了しシリアル転送にもかかわらず非常に短い時間でデータ交換が完了する。

6.3 3重系結合試験

この試験では3台の計算機を結合し、各計算機では適当な飛行制御則演算をさせ、この3台が実システムのように作動している様子を想定して、ここで開発した新しい光結合装置が目的の機能、性能を持っていることを確認する。

(1) 3重系結合試験ハード構成

3重系の結合試験時のハードウェア結合構成を図22に示す。実際のシステムでは、各計算機に外部入出力機器（例えばセンサ信号入力装置、アクチュエータ駆動信号出力装置など）が付けられる

が、本実験装置ではこれらの部分は模擬的なものとして扱った。入出力データに相当するものはプログラム内に適当な量のダミー変数をセットし、これらを転送用データとして用いた。

図23に計算機内の周期処理内容を示す。他系との情報交換は3回ある。また、各計算機のデータ転送エリアのバッファの内容を図24に示す。

(2) 結合試験

この試験では、ここで新しく開発した光結合装置の評価を主体としているので、3重系の同期確立とデータ交換を調べる試験を主に行う。

試験では各計算機が次の周期処理内容を実行する。

- (a) 同期処理
- (b) 演算結果データ出力（実験ではダミー変数を用いる）
- (c) データ入力（実験ではダミー変数を用いる）
- (d) 入力データ交換
- (e) 入力データ中間値選出
- (f) 制御則演算（実験では簡単なデータの作成のみ）
- (g) 演算結果出力データおよび故障診断結果情報交換
- (h) 出力データ中間値選出
- (i) 故障診断など

この中で光結合装置を用いるのは(a), (d), (g)の処理である。試験はこれらの処理を決められた周期（ 40msec ）内で処理されているかを確認した。

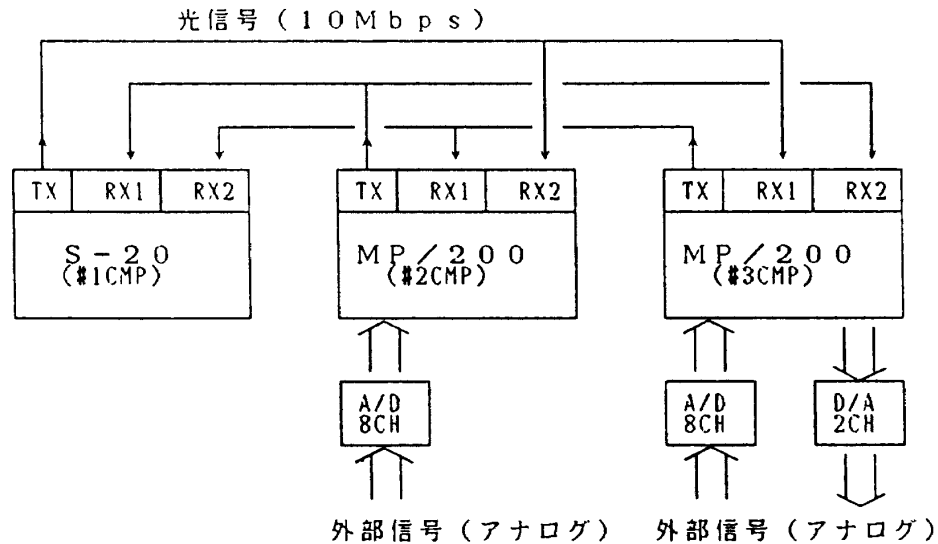


図22 3重系結合試験ハード構成

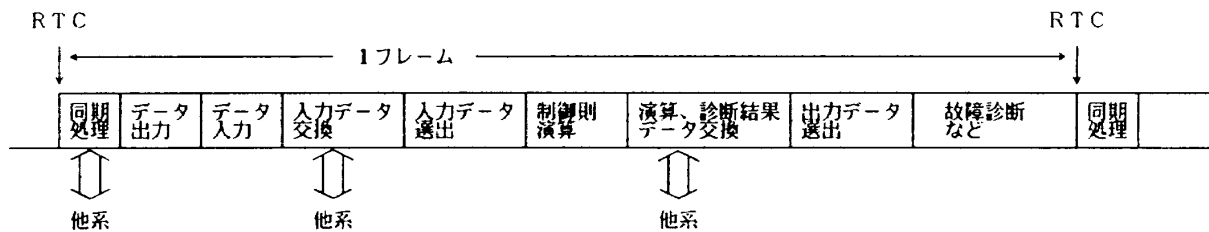


図23 3重系周期処理プログラム内部処理フロー

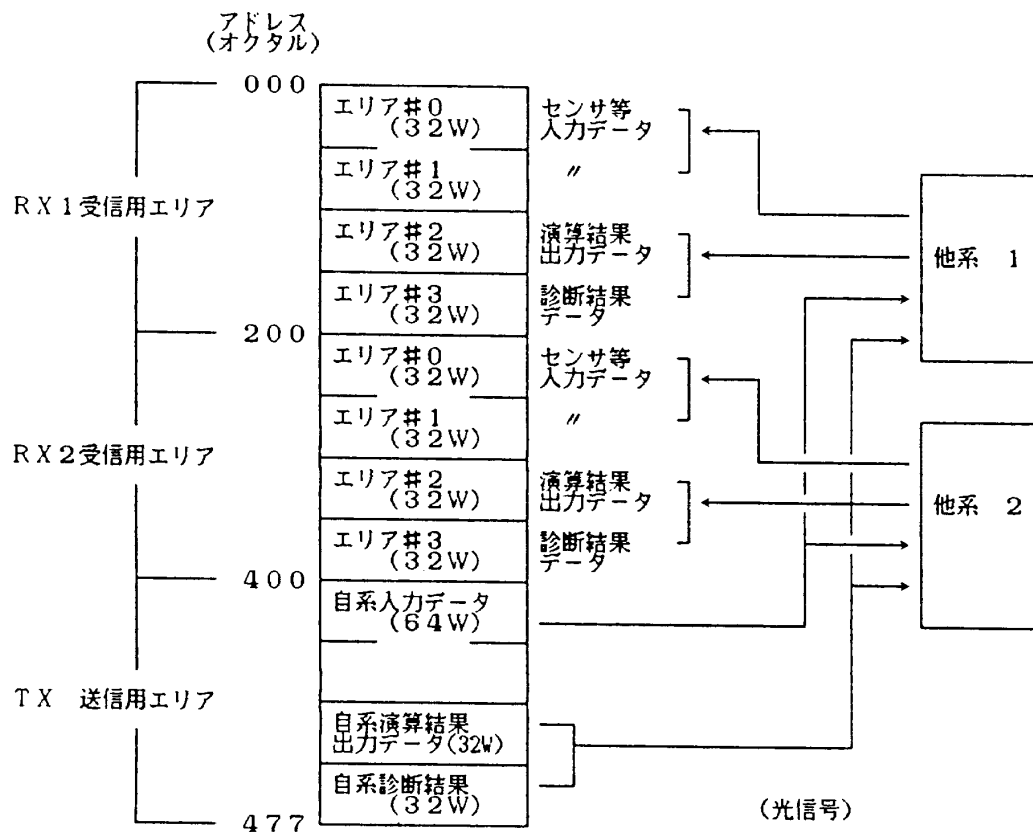


図24 RAM バッファエリアメモリ割り振り

(3) 同期確立

各計算機とも同期確立の手順は基本的に同じである。各計算機は自身が持っている実時間タイマ(PIT)を用いて各自の周期の設定を行っている。PITからの割り込み信号により処理が開始され、前回の同期信号完了フラグをクリアし、光結合装置を用いて他系と同期をとる。つぎにPITにフレーム周期時間(本装置では40msec)を設定する。その後同期状況および前回のフレーム処理結果をチェックしてフレーム処理の起動をかける。これで同期確立がなされるとともにその後のフレーム処理が開始できる。

本プログラムは同期処理完了リミット時刻を設定しておき、光信号系統からの同期信号入力をチェックし、もしこの設定時間内に他系からの同期信号が入力されないと完了フラグを立てないこととした。同期完了時刻(約900 μ sec)まで次の処理を開始しないようにしているためこの処理時間はどの計算機も同じである。

(4) フレーム処理

フレーム処理は前記の(b)~(i)でありデジタルシステムとして標準のものを設定した。この中でデータ交換をする部分に光結合装置を用いる。

(5) 各処理の時間測定結果

図25にS-20計算機の処理時間の実験結果を示す。同期処理に約2msecを要し、最初のデータ交換に約6msec必要としている。光結合装置はこれらの時間内に目的の処理を実行しているが、ここでの多くの時間はモニタの割り込み処理時間がかかっているものである。MP/200計算機の結果もほぼ同じである。

この実験を含め本光結合装置は当初目標の機能を十分に果していることを確認した。

7. 試験結果と考察

本方式の結合装置の試験結果より次の点があった。

(1) 同期、データ交換の両機能を1つのハードウェアとして構成したが、両機能はコマンドで分離され問題点は生じない。

(2) ブロードキャスト方式は送信が完全に同時刻になり多重系結合に適する。

(3) 光信号は機器間の電氣的絶縁と共に信号分岐に関し、干渉が少なく信頼性向上に寄与する。

(4) 10Mbpsの転送レートの実現は容易であり演算周期が40msecの場合に100データで約0.3%

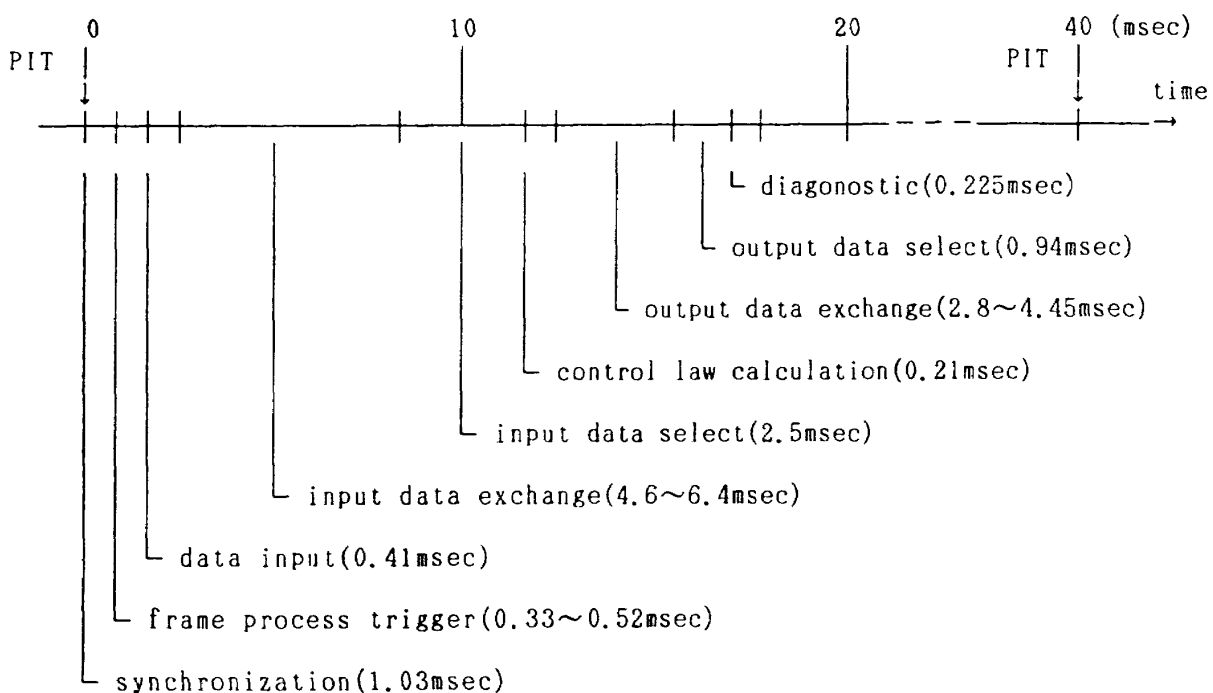


図25 S-20計算機処理実行タイムチャート

の処理時間であるため、十分なレートである。今後データ量が3倍程度になっても1%内でおさめるので多重間結合装置のレートとしては十分な速度と考えられる。

(5) マンチェスターコードの解読のために従来は伝送ビットレートの8倍程度のクロックが用いられているが、実験システム(4倍)の結果ではエラーの起きることが無かったためこのクロックで十分であると考えられる。

(6) 光信号は分離をTカップラで行ったが分離による光強度の減衰は問題にならなかった。

(7) 高速RAMをバッファメモリとして用い、順次マルチプレクス方式で送受信器、計算機からのアクセスの競合を避ける方式は見かけ上同時受信となり非常に有効である。

(8) (多重度-1)台の受信器と光分岐カップラにより各系統同時受信が可能で、装置として重要な同時性の確保が極めて良い。

(9) 同期がとれない場合はデータ交換もできないが、処理上このことは不可分であるため問題に

ならず、むしろ同一ハードウェアによる本構成は全体システム構成を簡単化するのに大きく寄与する。

(10) 同期信号受信後の処理を計算機の割り込み信号としたが、この処理時間の大きい計算機を用いたため、全体として処理時間の短縮にいたらなかった。全体システム構成としては計算機部の内部機能も同時に検討することが必要であることが判明した。

(11) 処理終了確認の高速化

(8)で述べたように計算機に処理の終了を知らせるのに割り込み信号を用いる方法は計算機によっては時間がかかる。

ここでは、割り込み信号を用いず終了確認をする手法を示す。バッファメモリの一部をフラグとして用い、この内容により終了を確認する。図26に示すように、バッファメモリの内容をあらかじめ定める。結合インターフェイスは同期信号を受信するとその相手系に対応するメモリ(同期フラグ1または2)に“1”を書き込む。一方受信側

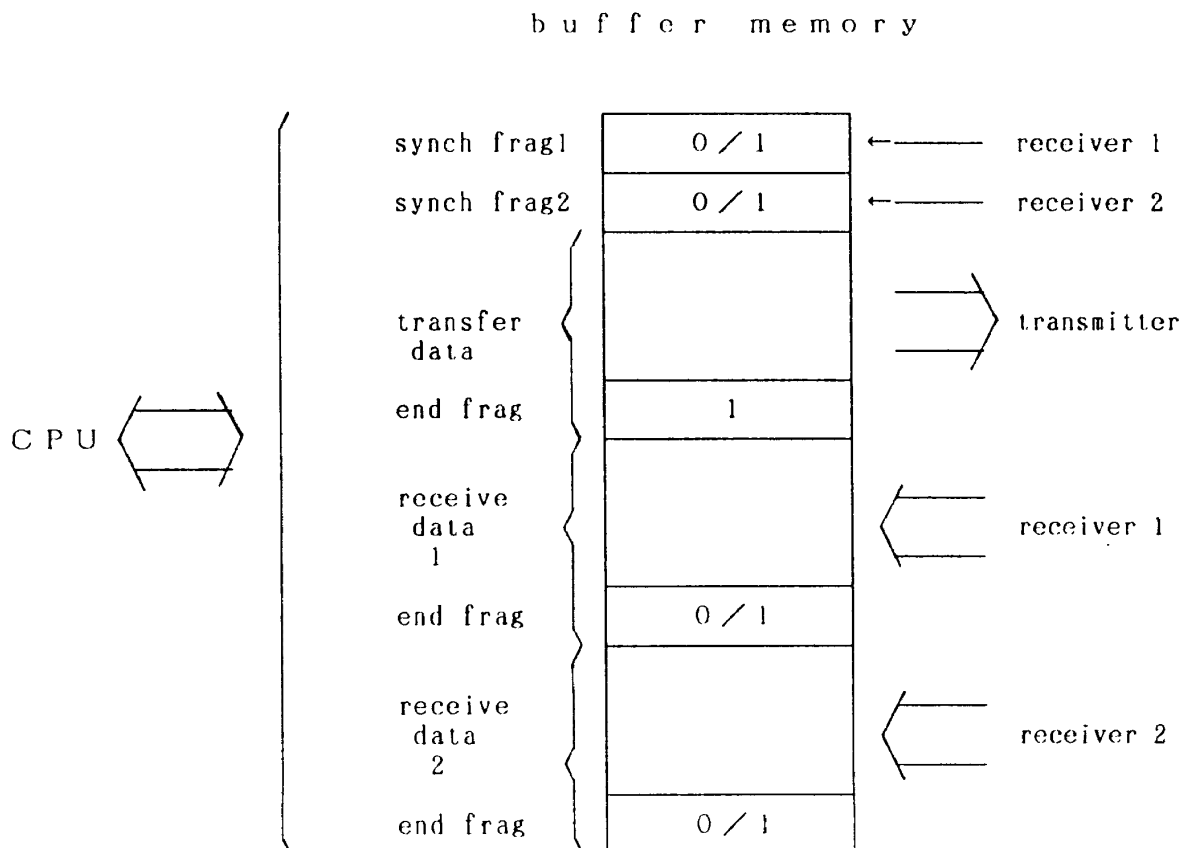


図26 処理速度向上のためのバッファメモリ内容

計算機は、同期処理に入った場合は他のタスク処理を行わず、同期フラグの内容を絶えず監視する。この処理はメモリリードと内容チェックのため最も単純な処理で時間はかからない。もし“1”が確認されると、同期信号が受信されていることが確認できる。そして確認後、“0”を書きこんでおく。すなわち次フレームで同期受信がくるまで内容は“0”のままとなる。データ受信の場合も、他系へのデータ送信の後、他系からのデータ受信終了を確認するため決められたメモリアドレスのデータエンドフラグが“1”になるまで確認をくりかえす。すべての系からのデータ受信が完了したことをこの手法で確認する。この手法は計算機の割り込み処理法に時間がかかる時に有効で、試験装置の計算機(S-20)の場合、割り込み信号が入ってから目的の処理に入るまでに1~3msec かかり、この方式で行うと約5 μ secで目的の処理に入れるため、処理の高速化が図れる。

8. あとがき

操縦システムをディジタル計算機を用いて構成する場合において、信頼性を向上するために系を多重化するが、この時各系統が他系統と協調しながら作動するために、系統間での同期確立とデータ交換が必要になる。このための装置として、この装置自身の信頼性向上、性能向上も合わせたものとして光信号を有効に用いた光多重系間結合装置を開発した。前章までにこの装置の基本機能と構成および装置の性能などについて述べた。

ここで本装置の特徴を再び示すと、

- (1) 多重系結合専用装置である。
- (2) 光信号を用いており結合装置として信頼性向上と高速化を図っている。
- (3) 同期確立とデータ転送を同一のハードウェアで行う。
- (4) 上期同期確立とデータ交換を系統間で同時に処理できる。
- (5) データ転送を高速に行う。
- (6) 1つの故障が他系統に影響を及ぼさない。
- (7) 1つの故障により、システム全体がダウンすることはない。

などであり、これらについて、実験装置により次のことがわかった。

(a) 本装置は航空機の操縦システムの多重系（実験では3重系）の同期確立とデータ交換装置として、十分なる機能、性能があることがわかった。

すなわち、3重系間の同期確立ができ、データの伝送時間も10Mbpsで300データ伝送は転送周期40msecの場合の1.5%程度であり十分なる速度である。

(b) 光信号を用いることは、伝送速度を上げやすく（100Mbpsは容易である）システムの性能向上を図りやすい。

(c) 計算機と光信号結合器との結合においてメモリを両方から直接アクセスする方式が高速性を発揮しやすい。

(d) データ交換用のバッファメモリとして高速のものを用いることにより、計算機、送信部、受信部（本システムは2台）のアクセスをマルチプレクス方式で行うことができ、かつ性能上問題が無い。加えてメモリの制御が簡単になり、製作上信頼性のあるシステムを作り易い。

(e) データ内容を転送する時に指定できるので、データを用いる側では判別の時間を短縮できる。

(f) 本システムのデータコード（マンチェスタコード）は2値信号であり光化に対応しやすい。このことはMIL-STD-1553規格によるデータバス装置の光化が比較的实现しやすいことを示している。

今後の課題は搭載装置として耐環境性、あるいは小型化などがあるが、基本的にはこれらは主にハードウェアの問題であり、基本構成はこの装置による試験により確かめられたと見ている。

なお、最後に本実験装置の設計の一部および製作に関して日本電気株式会社特に末光義雄氏、および新明和工業株式会社特に岸根康高氏に依頼したことを付記しここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 渡辺, 直柳 : デジタル技術および光ファイバ技術の航空機への適用について, 日本航空宇宙学会, 第10回年回, 1979.4.
- 2) J. H. Armstrong and J. D. McDonnell : Advanced Digital Avionics of the DC-9 Super 80, Aircraft Engineering, 1980.5.
- 3) B. A. Smith : Digital system Used to Cut Workload, Aviation Week and Space Technology, 1978.3.27.
- 4) B. M. Elson : 767 Digital Avionics Stress Flexibility, Aviation Week and Space Technology, 1978.9.4.
- 5) 渡辺 : 航技研 STOL 機の研究におけるデジタル操縦システムの研究開発について, 電子通信学会58年度総合全国大会, 1983.4.
- 6) 渡辺, 清水 : SCAS 用デジタル3重系計算機システム, 日本航空宇宙学会, 第19回飛行機シンポジウム, 1981.11.
- 7) MIL-SPEC : Aircraft Internal Time Division Command/Response Multiplex Data Bus, MIL-STD-1553A, 1975.4.30.
- 8) 渡辺, 他 : デジタル多重化光結合装置について(その1), 日本航空宇宙学会, 第20回飛行機シンポジウム, 1982.11.
- 9) A. H. Lee : YC-14 FLIGHT CONTROL, AIAA Paper, No.75-1027, 1975.8.
- 10) D. L. Martin, D. Gangsaas : Testing of the YC-14 Flight Control System Software, J. Guidance and Control, Vol.1, No.4, 1978. 7-8.
- 11) D. L. Martin and D. Gangsaas : Testing of the YC-14 Digital Flight Control System Software, AIAA Paper No.77-1077, 1977.8.
- 12) R. E. Kestek : YC-14 Digital Flight Control Data Management, AIAA Paper No. 75-1087, 1975.8.

付録 1. S-20 計算機, MP/200 計算機の性能概要

付表 1, 2 に実験で用いた各計算機の性能を示す。

付表 1 S-20 計算機の性能機能概要

機 能		
1	16ビット・M I Lスペックコンピュータ	
2	マイクロプログラムドC P U	
3	高速データチャネル装備	
4	B I T E機能付	
5	ハードウェア乗除算機能付	
6	コントロールパネル分離形	
7	過電流、過電圧保護回路付	
8	温度保護回路付	
9	電源異常検出／自動再スタート機能付	
性 能		
	項 目	仕 様
1	メモリ	磁気コア
2	ワード長	16ビット
3	アキュムレータ数	18
4	メモリ容量	64KB
5	アドレスモード	絶対、インデックス、間接、相対
6	演算時間	
	加算	1.0μsec
	乗算	5.2μsec
	除算	9.2μsec
7	DMA(DCH)	666kw/sec(max)
8	I/Oシステム	16インタラプト・レベル 61デバイス接続可
9	非同期入出力	2チャンネル
	転送速度	110～19200bps
	インターフェース	EAI・RS-232Cまたは20mAカレントループ
10	RTC	50/60Hz、10Hz、100Hz、1000Hz
11	電源	115V、400Hz
12	動作温度	0～65℃
13	形状	193.5(H)×257(W)×496.8(D)mm
14	重量	33.5kg

付表2 MP/200マイクロ計算機の性能機能概要

機 能		
1	16ビット・マイクロコンピュータ	
2	電源異常検出／自動再スタート機能付	
3	リアルタイム・クロック標準装備	
4	ハードウェア乗除算付	
5	自動プログラム・ロード機能付	
6	高速データ・チャンネル装備	
7	D／A、A／D等外部入出力ボード取付け可能	
8	ソフトウェア MP／OS付	
性 能		
	項 目	仕 様
1	ワード長	16ビット
2	アキュムレータ数	4
3	スタック機能	ハードウェア・スタック フレーム・ポインタ
4	メモリ容量	8KB（最大64KB）
5	アドレス・モード	絶対、インデックス、間接、相対、 オート・インクリメント／デクリメント
6	演算時間	
	加算	0.84 μ sec
	乗算	4.92 μ sec
	除算	6.00 μ sec
7	バス・システム	分離されたメモリおよびI／Oバス
8	DMA	標準 300KB／sec 高速 3.7MB／sec
9	I／Oシステム	16インタラプト・レベル
10	非同期入出力	
	転送速度	50～19200 bps
	入出力レベル	EAI・RS-232Cまたは20mAカレントループ
	パリティ	1ビット
	文字長	8ビット
	ストップビット	1ビット
11	PIT	50／60Hz、10Hz、100Hz、1000Hz
12	ソフトコントロール	自動プログラムロード メモリ／レジスタのリード／ライト
13	電源	100v 50Hz
14	動作温度	0～55℃
15	形状	133(H)×483(W)×368(D)mm
16	重量	約1.7kg

付録 2. バッファメモリの性能

付表 3 に実験で用いたバッファメモリの性能を示す。

付表 3 バッファメモリ (RAM) の性能

番号	項 目	機 能、性 能
1	型式	富士通 MB8149-55
2	タイプ	NチャネルシリコンゲートMOSメモリ
3	構成	1024×4ビット
4	アドレス アクセスタイム	55 nsec (最大)
5	チップセレクト アクセスタイム	25 nsec (最大)
6	電源	+5V 単一
7	入出力レベル	TTLレベル
8	外形寸法	18ピンDIPパッケージ

付録 3. 光素子への性能

付表 4 に実験で用いた光素子 (電気 / 光変換器, 光 / 電気変換器, 光ファイバ線) の性能を示す。

付表 4 光素子の性能

1	電気 / 光変換器 (送信器)	
	型式 特徴 性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本電気製 LM2103-F ・ TTLレベルインターフェース内蔵 ・ 光コネクタは脱着可能 ・ 高出力赤外LED使用 ・ 伝送容量許容損失 7 dB / 10 Mbps ・ 電気信号インターフェース TTLレベル ・ 使用電源 +5V (100mA以下) ・ 最大伝送レート 35 Mbps
2	光 / 電気変換器 (受信器)	
	型式 特徴 性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本電気製 LM2103-E ・ TTLレベルインターフェース内蔵 ・ 光コネクタは脱着可能 ・ 入力レベル自動調整回路付 ・ 伝送容量許容損失 10 dB / 10 Mbps ・ 電気信号インターフェース TTLレベル ・ 使用電源 +5V (50mA以下) -5V (30mA以下) ・ 最大伝送レート 20 Mbps
3	光ファイバ線	
		<ul style="list-style-type: none"> ・ コア径 100 μm ・ 開口数 (NA) 0.25

付録 4. STOL 実験機デジタル 3 重系 SCAS システムについて

(1) システム構成

航技研では STOL 実験機（愛称“飛鳥”）を開発中である。この実験機には低速での飛行性を改善するために、デジタル SCAS 飛行制御システムが搭載されている。そして、このシステムは信頼性向上のために 3 重系となっている。3 重系が協調して作動するためには、本文で述べたように各系統間での同期と自系あるいは他系の状態を検知するために情報交換が必要となる。このための装置として各系統間で付図 1、付図 2 に示すような結合ハードウェアがデジタル計算機部に付けられている。付図 1 が同期用結合構成図で、各計算機がもつディスクリット入出力装置を利用している。付図 2 がデータ転送用の結合構成図で、装置としては、使用している搭載用計算機 (S-20) が標準でもつ MCA (Multi Processor Communication Adaptor) という計算機間データ転送専用装置を利用している。

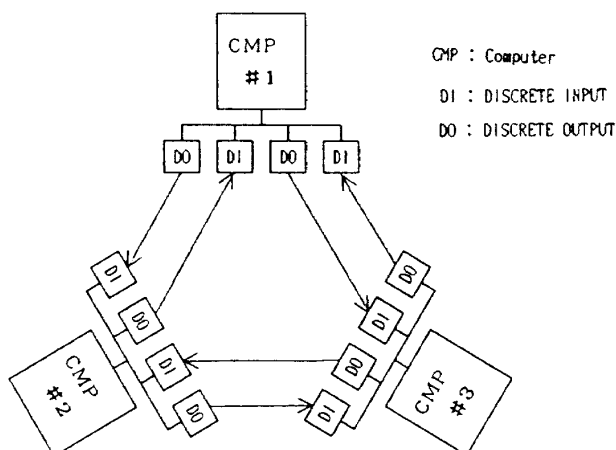
このシステムは上記のように同期確立とデータ転送を別々の装置で行っている。システム製作当初は MCA で同期とデータ転送の両方を行うようにしていたが、その後の試験結果により MCA 故障時に全系統が停止するということが判明したため、このように別ラインで行うように改修してい

る。このような結果になった理由は MCA が多重系結合用に設計されていないためである。

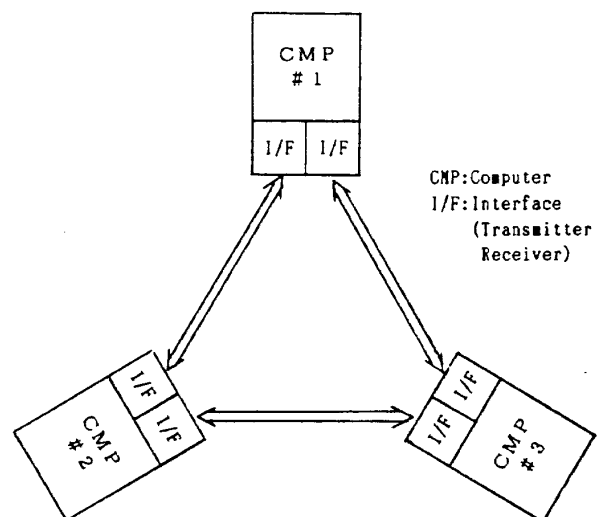
(2) デジタル計算機の処理内容と処理時間

次に各計算機内で処理される仕事について、実処理時間を含めて付図 3 に示す。各計算機共、基本的に同じプログラムが実行されている。細かく言えばデータ交換する装置 (MCA) に特定の番号が付けられているので、プログラムの初期作動時にこの番号を認識して以降は各計算機に割り当てられた番号を用いてプログラムを実行することになる。1 フレーム (1 周期) 40 msec であり、現在のプログラムは約 30 msec 程で主なプログラムを実行している。

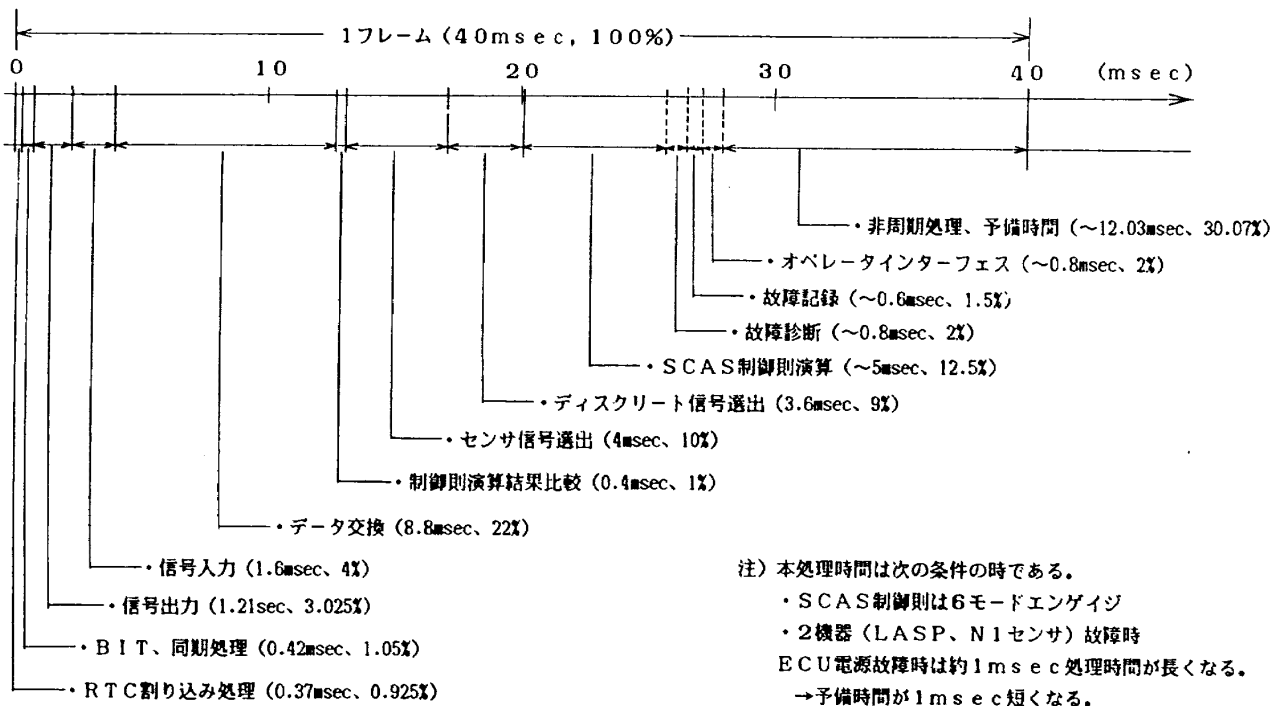
この中で各系統間での同期処理に費やす時間は先頭から 2 つ目のプログラム (BIT, 同期処理) の中に含まれているが、これは BIT 処理を含めても全体のわずか 1.05% の時間しか使わない。一方、系統間のデータ交換は 8.8 msec かかり、全体の 22% を要している。ただしこの処理は右回りと左回りで 1 回のデータ交換が終了するようになっており、さらに MCA 故障対策としてもう 1 回右回り左回りの転送を行っている。転送データの内容は付表 5 に示されるような 10 種合計 72 ワードである。この内番号 2 が入力信号分で、番号 5 が制御則演算結果の出力信号であり、他は故障時対策の情報などである。



付図 1 STOL 実験機デジタル SCAS システム同期信号結合構成



付図 2 STOL 実験機デジタル SCAS システムデータ転送バス構成



付図3 STOL 実験機デジタル計算機のプログラムタイムチャート
および処理時間

付表5 STOL 実験機デジタル SCAS
システムデータ交換バッファ内容

番号	データ内容	データ数
1	故障記録データ	4
2	センサ信号値	3 4
3	ディスクリット信号値	3
4	センサ使用禁止フラグ	3
5	制御則出力データ	1 2
6	作動状況フラグ	2
7	故障状況フラグ	5
8	会話用データ	7
9	計算機番号	1
10	チェックサム	1
合計		7 2

付録5. 光信号情報伝送技術の特徴

ここでは、本レポートで試作した装置に用いられている光信号の特徴について述べる。

航空機の機上システムに光信号技術を用いると、付表6に示すような特徴があると考えられている。この表で(1)から(12)までは従来の電気信号線にとって代っての長所と考えられるが、(13)以降はこれからの問題と見られる。以下、これらの特徴について述べる。ただし、ここでは多重系間の情報交換装置に適用することを検討しているので、この観点から見ることにする。

(1) 電界、磁界ノイズの低減 (表の(1), (2))

光信号は電界、磁界の影響を受けることがほとんどなく、耐環境性に優れている。特に、機上では無線機等多くの電氣的ノイズがしやすい環境にあるため、信号の光化は大きな長所となる。また、逆に光信号伝送時に、光信号が電界、磁界を誘起することがなく、この原因によるノイズを発生しないので、他装置への影響がない。

(2) 電氣的絶縁 (表の(3), (4), (5), (6), (10))

多重系においては、本来各系統間独立に作動す

付表6 光技術の航空機適用の特徴

1	電磁干渉に強い。
2	電磁放射が無い。
3	電氣的絶縁が可能である。
4	短絡による悪い影響が無い。
5	スパークなどによる火災の危険性がない。
6	アースライン問題が無い。
7	重量、スペースの軽減がはかれる。(小型、軽量化)
8	低損失、広帯域性を持つ。(高速、大容量伝送が可能)
9	波長多重、時分割伝送により、1本の信号線に多数情報をのせ易い。
10	混信、漏洩の影響が少ない。
11	耐腐食性がある。
12	耐熱性の向上が期待できる。
13	光コンポーネントおよび光リンク上の規格が確立されていない。
14	信頼性の実証が少ない。
15	保守方法が確立されていない。
16	コネクタ、ケーブル等の取り扱いに注意が必要である。
17	光/電気あるいは電気/光変換部(信号処理部を含む)の開発が少ない。
18	パワーの伝送は難しい。
19	光信号のみによる演算処理は難しい。

ることが望ましく、他系との絶縁をできるだけ保ちたい。しかし、前述したように、各系統と同期をとって作動することと、故障診断を行うためには、情報交換は必要である。このため、なんらかの多重系間情報伝送ラインが必要になる。しかし、このラインを付けることにより、この交換ラインが各系統の独立性を阻害する要因ともなる。もしこの交換に光信号を用いると、電氣的絶縁を図ることができ、これにより他系統からの電氣的故障による影響を少なくすることができる。また、一般に光信号はファイバ線を用いるので外部の光と区別されるため、電気信号のようにアースを必要とせず、より独立性を高めることができる。

(3) 重量軽減(表の(7), (9))

光信号ラインは、伝送レートを高速化できるところで、1本の信号線で多数の情報を伝送できるため、信号線の本数を減らせる。また、光ファイバ線は電気信号線より軽くなることが期待され、全体的に電気信号線にくらべ重量軽減がはかれる。

(4) 伝送速度の向上(表の(8))

光ファイバ線による光伝送は、電気信号線による電気伝送と比べ、信号の減衰が極めて小さいた

め、長距離伝送が容易となる。また、伝送路の浮遊容量も少ないため、信号伝送路の周波数特性も非常に良い。このため、信号の周波数特性を高めることが可能となる。このことは光信号の伝送速度(一般に光信号はビット伝送になるためビットレートともいう)を上げることができ、全体の伝送時間を短くできる。

(5) 光信号処理装置が必要(表の(10), (17), (19))

光信号のみで信号処理を行う素子(受動的なもの)としては、分岐、加算、周波数多重等を行えるが、いわゆる計算機のような乗除算、加減算、ロジック判断等を光素子のみで行うことは、現在は簡単には行えない。このため、これらの処理は電気回路を用いざるを得ない。このことは、電気/光、光/電気変換器が必要になることを意味し、かつ高速伝送を可能にするためには、これらの変換性能の良い素子が必要になる。また、電気回路も高速伝送に対応するものが必要になる。

(6) 情報伝送のみ(表の(18))

光信号線による光伝送においては、情報の伝送は容易であるが、多量のエネルギー伝送にはむかない。

(7) 価格、性能比の向上

最新の光技術は急激に進歩しているので、光素子、光信号線、光コネクタ等は、従来の電気素子にくらべ、その完成度もほとんど変わらないものが得られつつある。また光信号技術の応用も多方面に渡っているので、普及も急速で価格も現時点ではまだ高い側であっても、今後は低価格になると考えられ、前述の各性能を考慮すると価格/性能比は、今後ますます小さくなると期待される。

(8) その他

光信号の利用は一般にデジタル伝送であり、アナログ伝送はほとんど行われたい。多重伝送については、時分割のほか光波長多重も考えられる。波長多重は分離特性を良くすることが必要で、その利用に当っては、まだ技術的検討が必要である。

さらに、表の(13)、(14)、(15)に示す使用実績の少なからざる問題点があるが、今後光技術の適用が進むことで、この点の多くはおのずと解決されると見られる。

付録 6. 電気式データバス規格

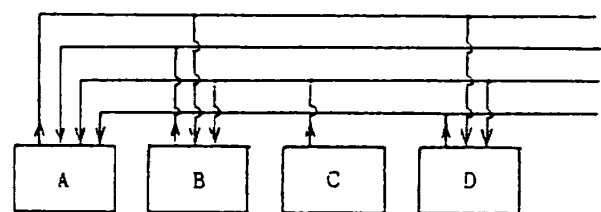
航空機搭載のデジタル装置間の信号伝送規格として、電気信号を対象としたものは、現在2種ある。1つは米軍規格の MIL-STD-1553 (A, B) であり、他の1つは主に民間機に用いられている ARINC-429規格である。付図4に両方式の構成例を示す。また各方式の主な特徴を付表7に示す。

ARINC-429方式の特徴は、各装置から自身の持つデータで外部の装置が用いる信号を送信するために、各装置は自身のもつデータを1本の送信用バスにのせて出力する(ただし、規格により伝送速度の速いものと遅いものがあり、両方出力する場合は2本となる)。一方、受信側は、図に見られるように、もしBの装置がAとCの装置のデータを必要とする場合は、受信器を2つ設けそれぞれAとCの出力バスに結合し同時受信を可能にする。このようにするため、出力バスに接続する受信器の数は制限しないようにしている。また、各装置間の信号伝送を平行に行うことができるため、伝送レートは比較的遅くとも全体としては十分な速度を確保できると考えられている。ただ

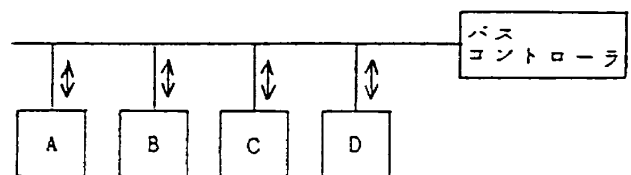
し、情報によっては、比較的速い動きのもの(例えば姿勢角変化信号)と、ゆっくりしたもの(例えば温度信号)があるので、バスの信号伝送速度を2種類設定し、使いわけることができるようになっている。また1つの情報を伝送するのに32ビット用いる。信号の伝送波形はRZバイポーラ方式で、1ビットの情報を伝送するのに電圧レベルとして、+、0、-の3レベルを組み合わせるようになっている。

一方、MIL-STD-1553 (A, B) 方式では、バスが一本しかなく、また各装置の送受信器も1つずつしかない。各装置間の信号伝送はバスコントローラが制御し、バスを順番に用いる方式であるため、信号伝送レートは前者に比べ1Mbpsと速くなっている。バスの制御は専用のコントローラが行うため、制御台数に制限が付き32台となっている。また、1つの情報を伝送するのに、20ビット用いる。信号の伝送波形はマンチェスタバイフェーズといわれる方式で、電圧レベルは2レベルである。

これらのデータバスは主として装置が比較的多い場合、すなわち多点間のデータ転送に用いる場合に採用されることが多い。しかし、ある装置とある装置の間(ポイント間)のデータ転送にも用



(a) A R I N C - 4 2 9 方式
(伝送速度 ~10, 100Kbps)



(b) M I L - S T D - 1 5 5 3 方式
(伝送速度 1Mbps)

付図4 機上用電気式データバスの規格構成例

付表7 電気式データバス規格の比較

	項 目	ARINC-429	MIL-STD-1553(A,B)
1	設定年(最終版)	1977(1980)	1975(1978)
2	伝送路	ポイント-ポイント	T分岐
3	伝送路線	シールド付ツイストペア	シールド付 ツイストペア
4	伝送制御方式	ブロードキャスト方式	コマンド /レスポンス
5	伝送速度	高速:100Kbps 低速:12.0~14.5Kbps	1Mbps
6	伝送波形	RZバイポーラ	マンチェスタ バイフェーズ
7	語長	32bits/w	20bits/w
8	ワードの種類	データ(5種)	コマンド、データ、 ステータス
9	ターミナル数	無制限	バスコントローラ1 台を含み最大32台
10	誤りチェック	パリティチェック	パリティチェック
11	主適用	民間機	軍用機

いることは可能である。

現在、どちらの方式が良いのかの優劣はつけがたく、主として MIL-STD-1553方式は軍用機の機上システムに用いられており、ARINC-429方式は民間機に適用されている。

そして、これらデジタルデータバスの光化が現在研究開発されているが、光は ON/OFF 的なわち光るか光らないかの2値が使い易いため、MIL スペックの光化が先行している状況である。

いずれの方式にしても、デジタル多重系間結合装置として適用できないことはないが、同質のものとの結合で、かつできるだけ高速に、また信頼性を十分確保するものとしてはかならずしも満足できる方式といえない。

例えば、MIL-STD-1553により多重系間を結合しようとする、信頼性を高めるためバスコントローラも多重化しなければならず、また順次制御(バスを順次用いるということ)をさせることができないなら、伝送の高速化をはかるために伝送レートを高速化せねばならず、コマンドが多いこの方式は送受信器の高速化が1つの大きな問題となる。

一方 ARINC-429の方式はパラレル作動であるのでこの点は問題ないが規格として速度が遅いことと、信号を3値(+、0、-)で構成しているため光化に向きにくい。またデータの種類の多い仕様になっていることも不必要ということで問題となる。

航空宇宙技術研究所報告1003号

昭和63年10月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
電話三鷹(0422) 47-5911(大代表) ㊞182
印刷所 株式会社三興印刷
東京都新宿区西早稲田 2-1-18

Printed in Japan