

## 第5章 ブロードバンドネットワーク構築実習



## 第5章 ブロードバンドネットワーク構築実習

### 第1節 CATVシステム構築実習

#### 1-1 テレビ共聴設備を利用したCATVインターネットシステム（LBSL）の概要

従来、インターネットの利用目的は電子メールやWWWブラウジングが主流であった。しかしながら最近では、これら以外にショッピングやバンキング・トレーディング（電子決済等）など、オンライン取引としての利用が急増している。

テレビ共聴システムを利用したCATVインターネットシステム（LBSL：Local Broadband Subscriber Line）は、集合住宅等に整備されているテレビ共聴受信設備を最大限利用したインターネット対応システムで、マンション・ホテル・学校・病院などテレビ共同受信設備があれば、簡単にインターネット対応の設備に生まれ変わることができる。

例えば既設物件の場合、新たにLAN配線を敷設するのはコスト的にも物理的にも非常に困難な場合がある。このような場合、LBSLを利用すれば集合住宅で配線されている既存のテレビ共聴線を利用するため、新たな配線は必要としない。また、シールド性の強い同軸ケーブルを使用するため、信頼性も高い。さらにCATVへの接続も集合住宅の雑音がCATV伝送路に影響を与え無いため、安全・簡単・ローコストなネットワーク化ソリューションが可能となる。

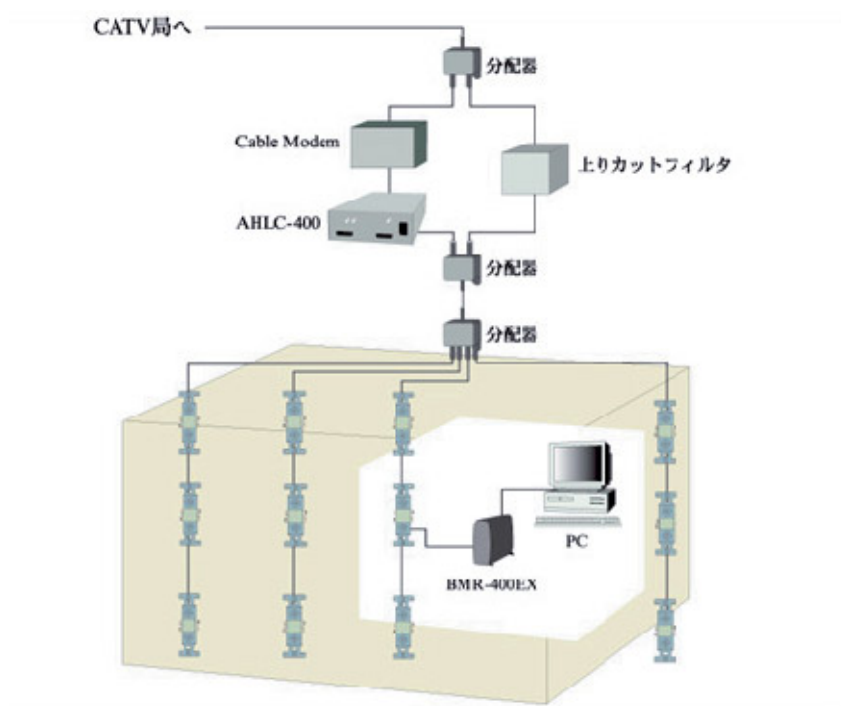


図5-1 ネットワーク化ソリューション・イメージ図

## 1-2 LBSLシステムの特徴

### (1) 拡張性

LBSLは、1台のセンター装置（センターモデム AHLC-400）と複数の端末装置（端末モデム BMR-400EX）で構成されているので、端末の増設が、センター装置の変更無く容易に行える。また1台のAHLC-400で最大190台のBMR-400EXが制御可能となっている。

### (2) ローコスト

既存のテレビ共同受信システムを利用するため、新たな配線の必要が無くローコストで容易に導入が可能。

### (3) 高速

最高4Mbpsの高速通信が可能。

### (4) 親和性

センターモデムと上位回線との接続は10BASE-Tでの接続で、上位回線の種類を問わない。また、センターモデムとCATV局で使用されているケーブルモデムも、各社どのタイプでも接続可能。

### (5) Plug & Play

端末モデムをテレビ端子に接続し電源を投入すると自動的にセットアップを行うため、調整の必要がほとんど無い。

### (6) 使用周波数

端末への下り信号は190MHz(7ch)と196MHz(8ch)のスイッチ切替で、占有帯域幅は2.4MHzである。この二つのチャンネルは6MHz帯域のうち2MHzが重複しているため、通常どちらかのチャンネルが空いている。この未使用帯域を有効利用できる。なお、端末からの上り信号については40MHz固定で占有帯域幅は2.4MHzである。

### (7) セキュリティ

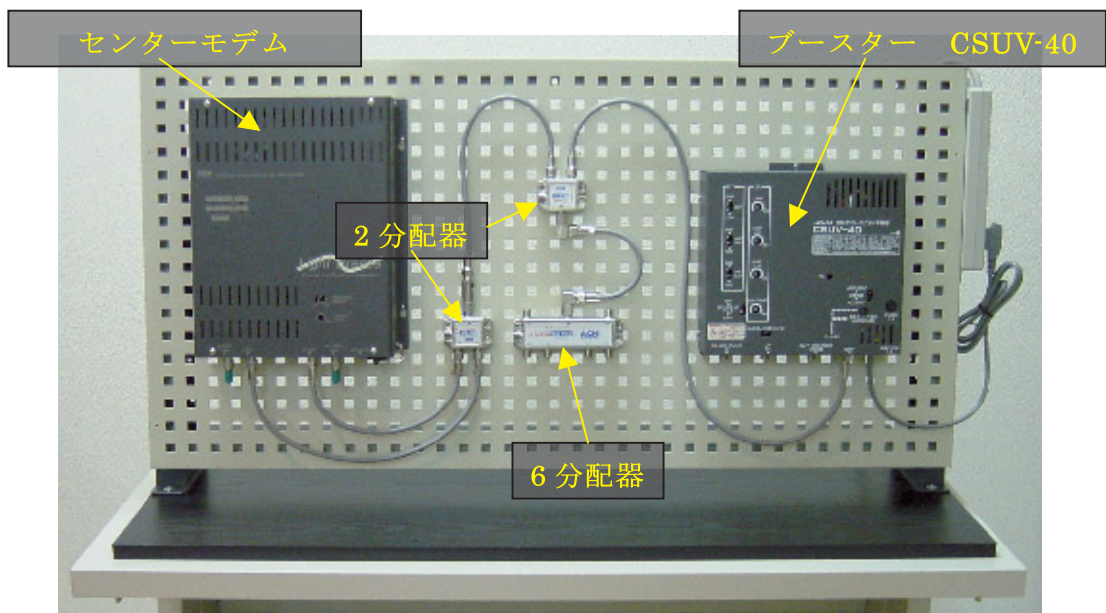
端末モデムの端末間通信を不可にしており、各端末にTCP/IPのプロトコルフィルタを装備しているため、共有設定による不用意なファイルの透過が防止できる。

### 1-3 LBSLの構築

LBSLシステムは、テレビ共同設備へ導入しLANを実現するテレビ共聴ネットワークであるが、その工事はLANを意識しない。主な工事部分であるセンターモデム～端末モデムにおいては、IEEE802.3に規格化されているイーサネットの制約が一切無い。

以下、LBSLシステムを構築するにあたり、テレビ共聴配線のどの部分を考慮に入れて設計を行うのか、実習システムをもとに述べる。

### 1-4 実習に必要な主な機材類



ケーブルモデム BMR-400



直列ユニット



ノートパソコン



VTR



TVモニター



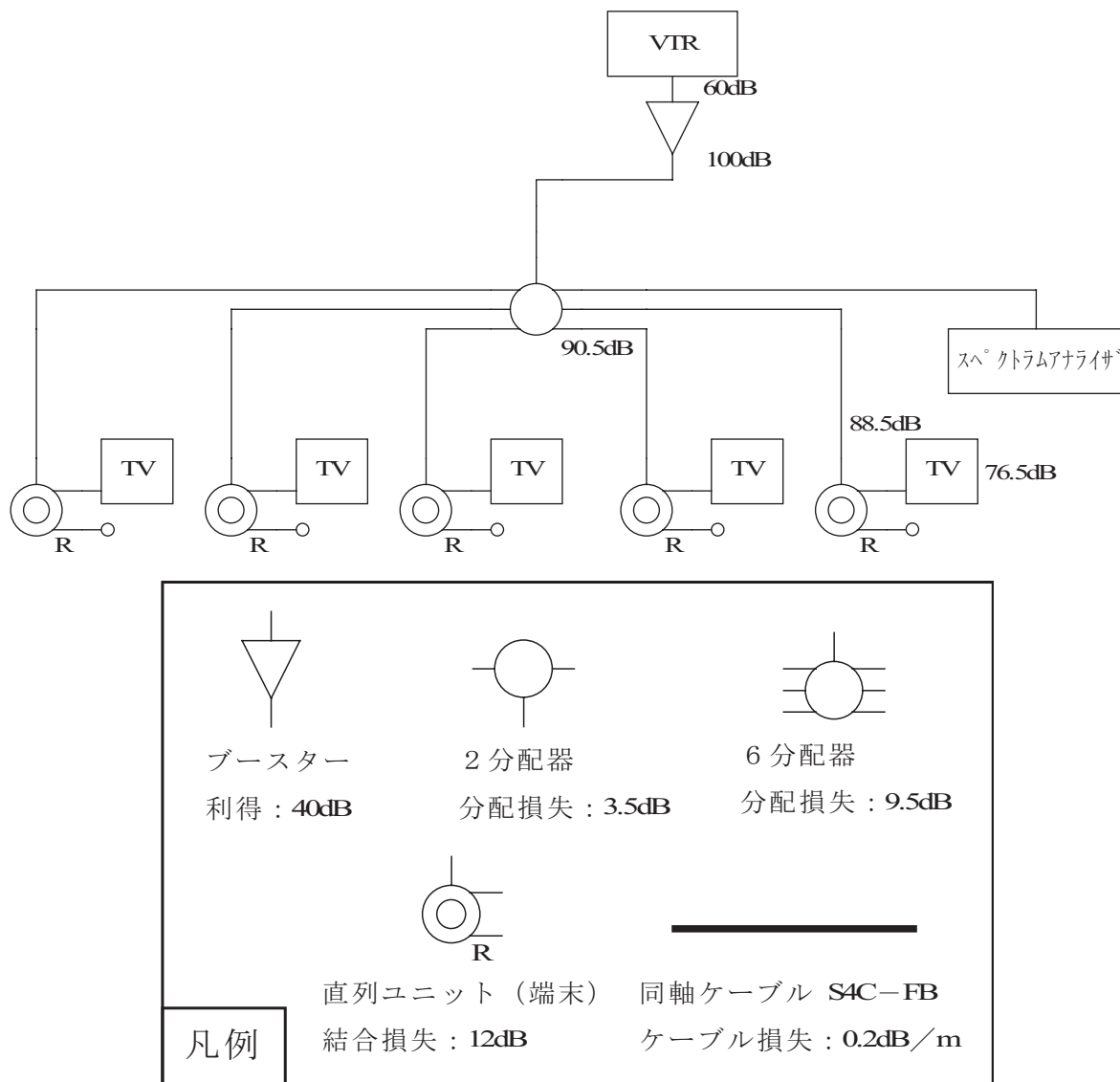
スペクトラムアナライザ

### 1-5 システム（レベル）設計

#### (1) 実習用 TV 共同受信システム（例）

TV 信号のみを 5 世帯に配信（1 世帯につき 2 端子）するシステム

<※ 以下  $\text{dB}\mu$  を  $\text{dB}$  で略式表示>



● レベルの流れ

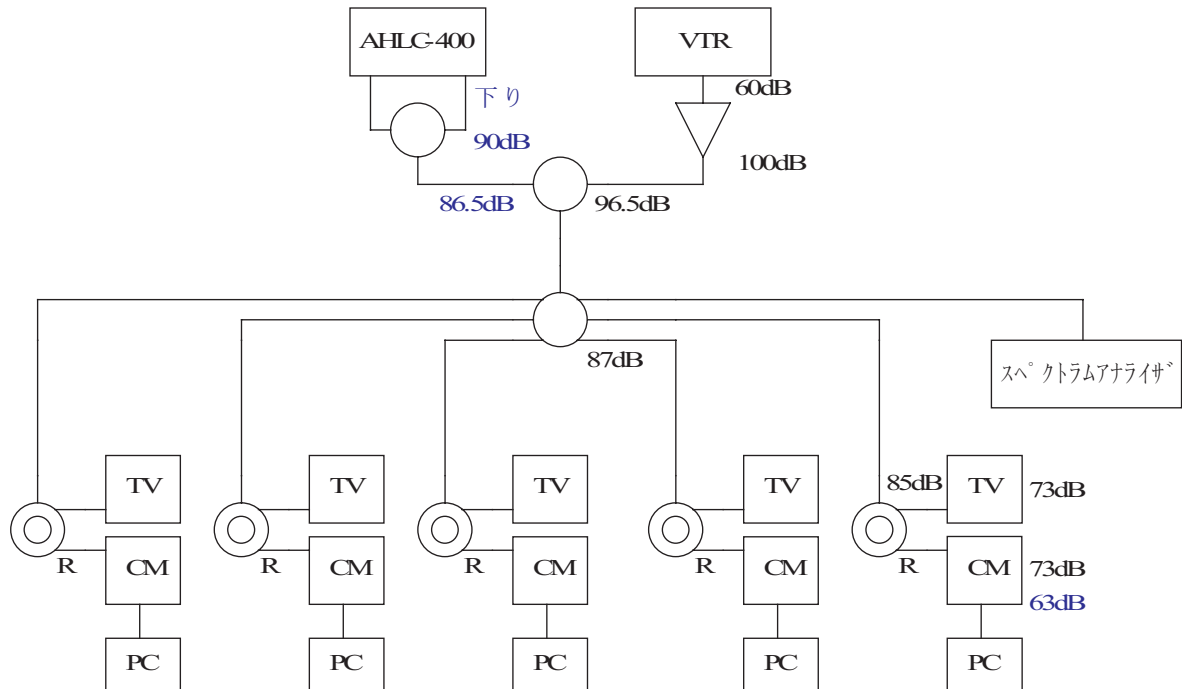
- ① VTR 出力：60dB → ② アンプ入力：60dB → ③ アンプ出力：100dB →
- ④ 6 分配器入力：100dB → ⑤ 6 分配器出力：90.5dB →
- ⑥ 直列ユニット入力：88.5dB → ⑦ 直列ユニット出力：76.5dB

● TV 信号受信レベルの条件

端末（直列ユニット出力）において **60～85dB**

※ (1) の実習システム図では、この条件を満たしている。

- (2) 実習用 高速インターネット（ケーブルモデム）+TV 共同受信システム（例）  
 TV 信号+高速データ信号を5世帯に配信・通信（1世帯につき TV 端子：1、  
 データ端子：1）するシステム



※ 青字はセンターモデムの下り信号レベル

- TV 共同受信システムから高速インターネット（ケーブルモデム）+TV 共同受信システムへの変更

【追加機器】

- ・ センターモデム（AHLC-400）×1台
- ・ 2分配器（混合器）×2個
- ・ 端末モデム（BMR-400EX）×5台
- ・ PC×5台
- ・ 必要に応じてアッテネータもしくは宅内アンプ等

- センターモデムの下り出力レベルの計算（設定）

【下り送信レベル設定の条件】

- ・ 隣接もしくは近接するテレビ搬送波レベルに対して 0～-10dB の値（基本的には-10dB）であること。
- ・ センターモデムの下り送信レベルが、全ての端末レベル（端末モデムの入力レベル）に対して 45～75dB の範囲内であること。

※ (2) の実習システム図では、これら条件を満たしている。

● センターモデムの上り入力レベルの計算

【上り入力レベルの条件】

上り損失（上りパスロス）が **35～55dB** の範囲内であること。

★ この範囲内であれば

端末モデムの出力レベル自動調整機能により、センターモデムの上り入力は適正なレベルに調整される。

★ この範囲外の場合

上りアンプの増設、もしくはアッテネータの追加を検討する。

【上りパスロスの計算（例）】

① 直列ユニット結合損失：12dB＋②ケーブル損失：2dB＋③6分配器分配損失：9.5dB＋④2分配器分配損失：3.5dB＋⑤2分配器分配損失：3.5dB＝**30.5dB**

※ 従って（2）の実習システム図では、この条件を満たしていない。

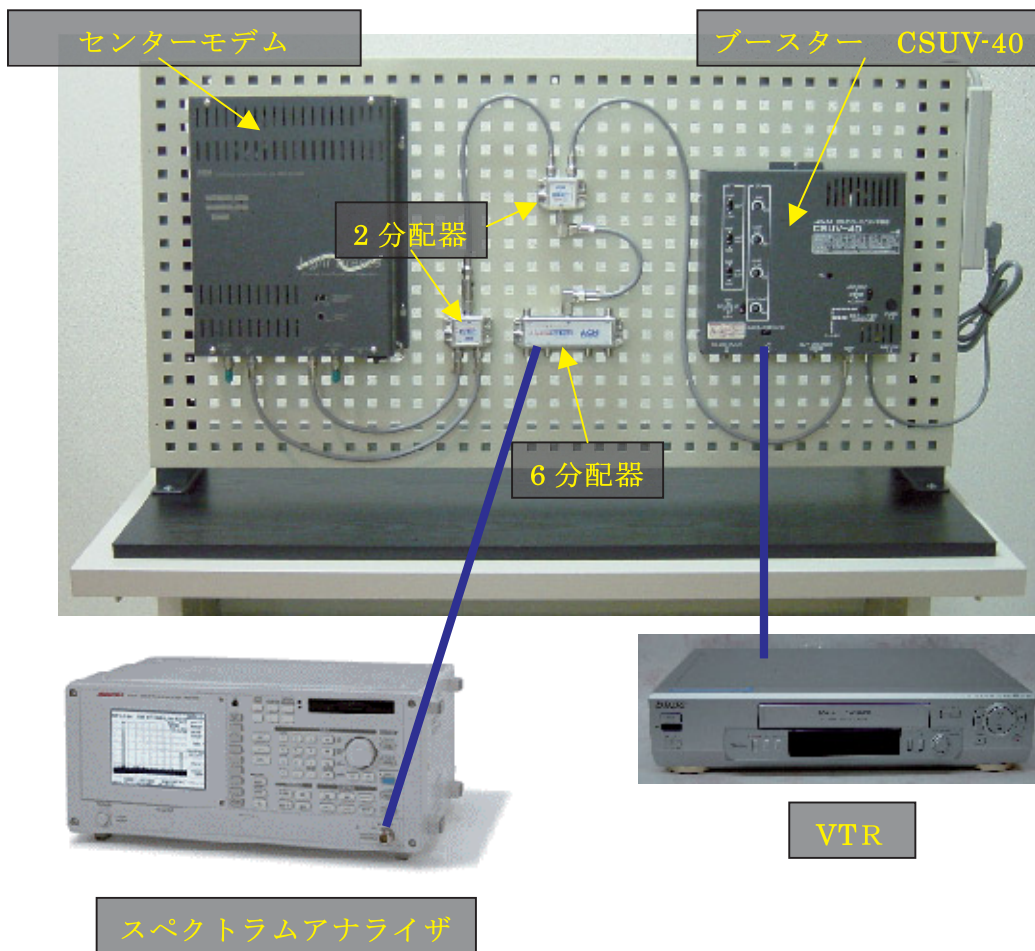
★ 対応策

センターモデムへの上り信号レベルオーバーのため、センターモデム上り端子に10dB程度のアッテネータを付加する。



1-6 CATVネットワーク通信実習

(1) センター側機器の設置及び調整



[実習手順]

1. VTR の出力を CH2 に設定し、VTR の RF 出力端子とブースターの UV-IN を接続する。
2. ブースターを以下のように設定する。
  - ・ ヘッド・ライン切替スイッチ：HEAD（左）側にセット
  - ・ 動作電源切替スイッチ：AC100V 側にセット
  - ・ VHF（Lo）帯用 GC：MAX 側に設定
  - ・ VHF（Lo）帯用入力 ATT：0 dB 側に設定
  - ・ BS・CS コンバータ用電源重畳スイッチ：OFF 側に設定
3. 上図に従い、センター側機器を取付ける。
4. 実際の伝送チャンネルを確認し、センターモデムの⑦下り設定スイッチを 7CH もしくは 8CH に設定。  
(次項、センターモデム技術資料を参照のこと)

5. 6分配器の出力端子にスペクトラムアナライザを接続。

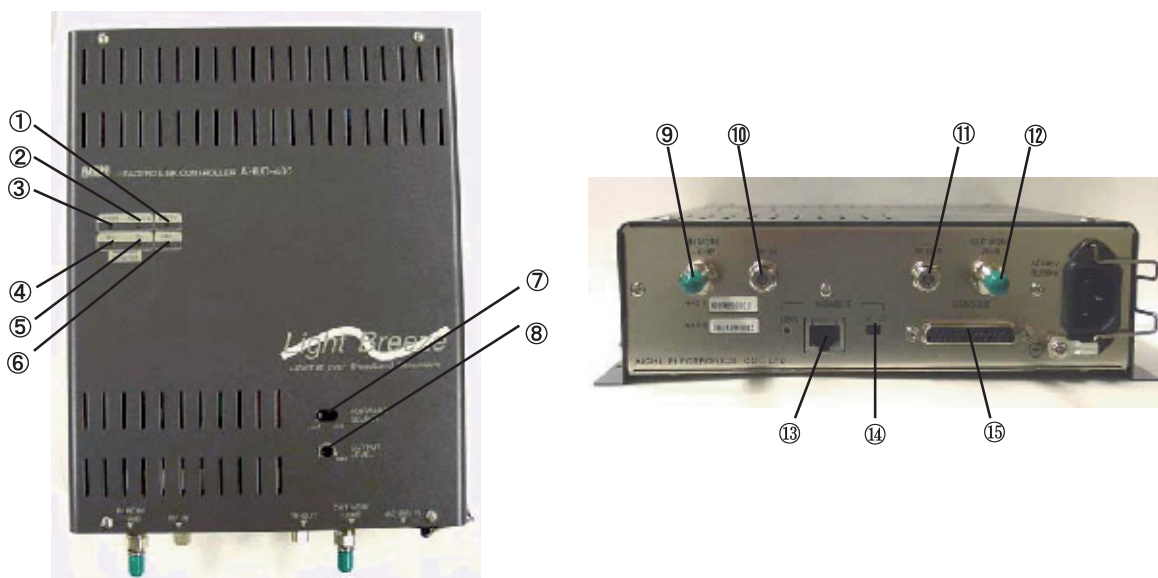
(レベルチェッカーは不可)

6分配器の空き端子には、必ず終端器(ダミー)を接続すること。

6. テレビ映像搬送波のピークレベルに対して、センターモデム出力レベルが0～10dBになるように、⑧出力調整ボリュームを調整する。もし、ボリュームがMINの状態でも信号レベルが高すぎる場合、適切な外部アッテネータを⑪ブロードバンド出力端子に取付ける。

★ 技術資料

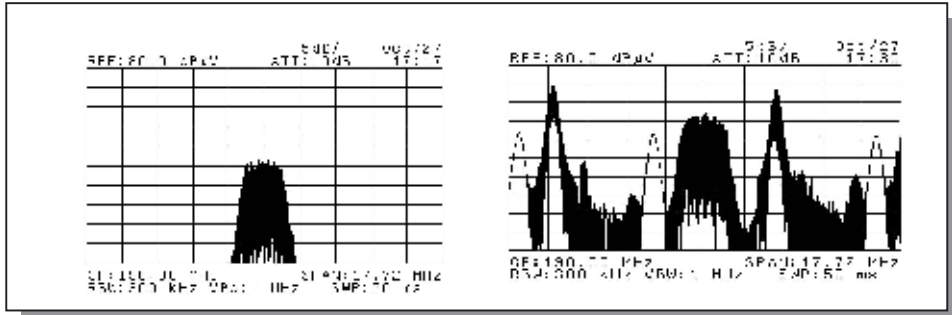
- センターモデム(AHLC-400)：配下の端末モデム(BMR-400EX)を制御する装置。



番号	名 称	番号	名 称
①	BB Tx ランプ (ブロードバンド 送信表示)	⑨	入力モーター端子
②	ACTIVE ランプ (動作モード 表示)	⑩	ブロードバンド 入力端子
③	PWR ランプ (電源表示)	⑪	ブロードバンド 出力端子
④	Ethernet Rx ランプ (Ethernet 受信表示)	⑫	出力モーター端子
⑤	Ethernet Tx ランプ (Ethernet 送信表示)	⑬	10BASE-T コネクタ
⑥	FAIL ランプ (異常表示)	⑭	スライド・スイッチ(10BASE-T 内部接続切替用)
⑦	下りチャンネル設定スイッチ	⑮	コンソール端子
⑧	ブロードバンド 出力レベル調整ボリューム		

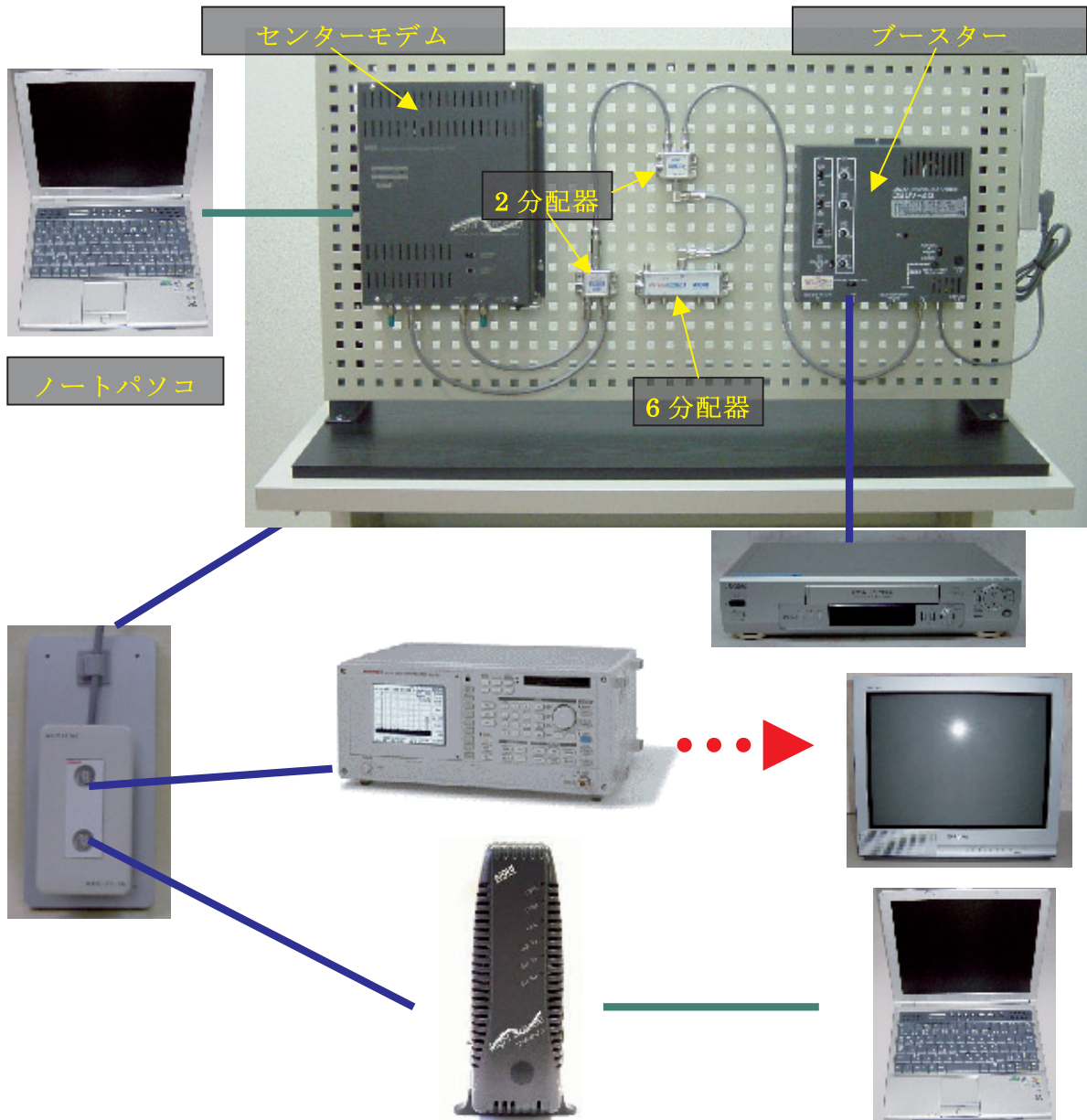
【スペクトラムアナライザ管面データ（例）】

中心周波数：190MHz、RBW：300kHz、VBW：1MHz、MAXHOLD：有



CH6 及び CH8 に TV 信号があり、ケーブルモデム出力信号を CH7 に設定した場合

(2) 端末側機器の設置及び調整



〔実習手順〕

1. センターモデムとパソコン（以下 PC）を RS-232C ケーブルで接続。
2. 直列ユニットと 6 分配器の出力端子を同軸ケーブルで接続。
3. 直列ユニットの出力端子に、スペクトラムアナライザ及び端末モデムを接続。
4. 端末モデムと PC を 10BASE-T ケーブルで接続。
5. スペクトラムアナライザを用いて、TV 信号（CH2）及びケーブルモデム下り信号（CH7）を測定。

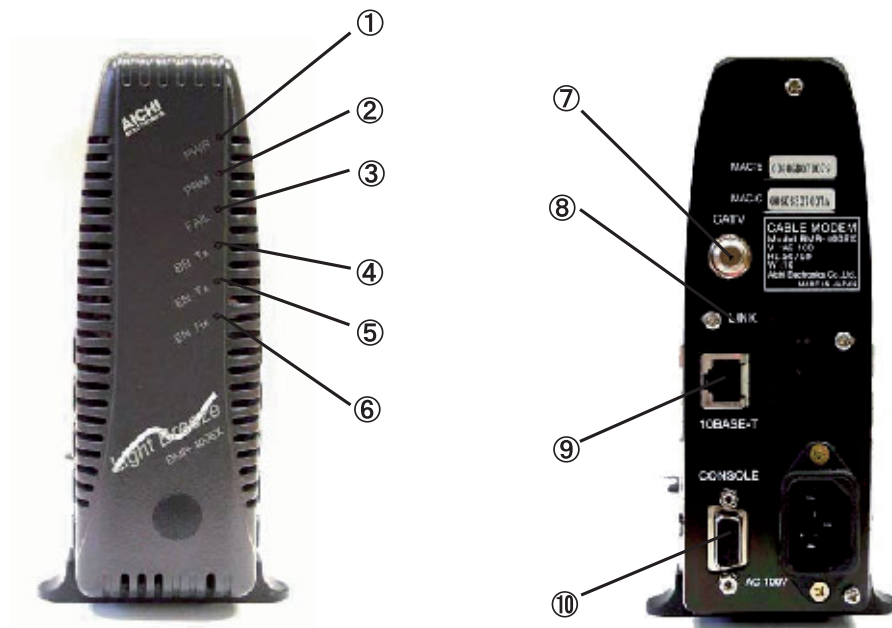
この時、それぞれの信号レベルが規定値内であることを確認。

- TV 信号レベル：60～85dB
  - ケーブルモデム下り信号レベル：45～75 dB
  - 且つ、ケーブルモデム下り信号レベル = TV 信号レベル - (0 ～ 10 dB)
6. 上記内容を確認後、スペクトラムアナライザを取外し、TV モニタを取付け画質確認。
  7. 上り損失（上りパスロス）をシステム図より計算し、35～55dB の範囲内であることを確認。
  8. 本実習構成では、上りパスロスが 35dB 未満になるため、センターモデムの上り端子に 10dB のアッテネータを付加。（上手く動作しない場合には 20dB のアッテネータに変更）

9. 接続の確認

ネットワークへの接続確認は、端末モデムの LED ランプにより確認可能である。各ランプの点灯状況により、どのような状態であるかを、確認。

## 【 端末モデム (BMR-400EX) 】



番号	名 称	番号	名 称
①	PWR(電源)ランプ	⑥	EN Rx (10BASE-T 受信)ランプ
②	PRM(動作状態)ランプ	⑦	CATV 端子 (F 型接栓座)
③	FAIL (異常・故障)ランプ	⑧	LINK ランプ
④	BB Tx (CATV へ送信)ランプ	⑨	10BASE-T 端子
⑤	EN Tx (10BASE-T 送信)ランプ	⑩	CONSOLE (コンソール) 端子

## ① PWR ランプ

BMR-400EX の電源の ON / OFF を表示するための緑色のランプ。電源が ON の時点灯し、OFF の時消灯する。

## ② PRM ランプ

BMR-400EX の動作状態を表示する黄色のランプ。

## ③ FAIL ランプ

通常使用時は BMR-400EX の異常を知らせるための赤色のランプ。  
ヘッドエンド・リンク・コントローラからの下り信号が受信できない場合や、ヘッドエンド側から管理者の操作によりアップグレードのためのソフトウェアをダウンロード中は、PRM ランプとともに点滅する。

④ B B T x ランプ

BMR-400EX からテレビ共聴設備へのデータ送信中に点灯する黄色のランプ。  
送信するデータ量やテレビ共聴設備上のトラフィック量によって明るさが変化する。

⑤ E N T x ランプ

BMR-400EX が 10BASE-T 端子からパーソナルコンピュータ等にデータ送信中に点滅する黄色のランプ。

⑥ E N R x ランプ

BMR-400EX が 10BASE-T 端子にパーソナルコンピュータ等からデータ受信中に点滅する黄色のランプ。

⑧ L I N K ランプ

10BASE-T が正常に接続され、P C 等との間で通信が可能になると点灯。

通信状態確認表

PRM	FAIL	BB Tx	BMR-400EX の動作状態
○	●	○	正常に接続し通信している状態。
☆ (2回/秒)	●	●	送信するデータが無いため待機状態。
☆ (1回/秒)	●	●	接続を試みたが接続できず、一旦待機中。30秒後に再度接続を開始。
—	○	—	故障。
☆ (2回/秒)	☆ (1回/秒)	●	運用周波数を自動検索中。
☆交互 (4回/秒)		●	BMR-400EX の内部プログラムをダウンロード (更新) 中。点滅中は電源を OFF しないこと。
☆交互 (4回/秒)		●	制御信号が受信不可。受信レベル等に問題が無いか一度確認すること。

○ : 点灯 ☆ : 点滅 ● : 消灯

このランプの点灯状態を確認して端末の動作状況の目安にする。

(3) P I N G コマンドによる通信状態の確認

センターモデムと端末モデム間の通信が出来ているかどうかは、P C から P I N G コマンドを実行しパケットが返ってくるかどうかで確認。

## 必要機材

PC (WINDOWS ノートブックタイプ) ハイパーターミナルが使用可能なもの  
 10BASE-T ケーブル (モデムとの接続用 ストレート)  
 RS-232C シリアルケーブル (ストレート DSUB25&DSUB9←→DSUB9)

PCとセンターモデムをRS-232Cケーブルにて接続。  
 スタートボタン>プログラム>アクセサリ>通信>ハイパーターミナルを起動。  
 DAコマンドを実行しセンターモデムと通信できていることを確認。  
 ハイパーターミナルでは以下のように表示される。

```
>DA
Copyright (C) 2000 Aichi Electronics.,Ltd All rights reserved.
Compile date 00/07/25
terminal Firmware type..... 0421
terminal Firmware version.. 3101
terminal Firmware checksum. 0c2d
BMR-400EX firmware are transmitting.
o Cable Network Identification :FF
o Ether MAC address : 00-60-6b-06-00-0B
o Cable MAC address : 00-60-6b-06-00-0C
x Ether IP address : none
x Ether IP net mask : none
x Cable IP address : none
x Cable IP netmask : none
x MAC address filter disable
x IP packet filter disable
```

ULコマンドでパスワードを解除。

```
>UL
PASSWORD ***** (初期設定では” password” )
0 UNLOCK
```

パスワードは管理者の責任において変更する。変更したパスワードは、管理者以外の不特定の人に漏洩しないよう注意すること。

パスワード変更はPWコマンドにより下記の手順で行う。

```

>PW
  old password      )*****   変更前のパスワードを表示
  new password      )*****   新しいパスワードを入力
  new password(again)*****   もう一度、新しいパスワードを入力
o change done      完了
    
```

パスワードに使用できる文字数は、半角で4～8文字。大文字、小文字の区別をすること。

センターモデムにIPアドレスをSIコマンドにて設定。

```

>SI
SI(Set IP address) command menu

A:All IP address
C:Cable IP address
D>Delete IP address
E:Ether IP address

Enter command      ) C
XCable IP address  : none
Cable IP address   : 192.168.1.90 ←
XEther IP net mask : none
Ether IP net mask  : 255.255.255.0
o done
    
```

ネットワーク上で  
使用されていない  
IP アドレスを指  
定

以上でセンターモデムの設定は終了。



次に、端末モデムとPCを10BASE-Tケーブルにて接続しPCを起動。

(⑧LINKランプが点灯すれば通信可能。)

MS-DOSプロンプトから次のPINGコマンドを実行。

下記は正常に通信している場合の結果。

```
Microsoft Windows 2000 [Version 5.00.2195]
(C) Copyright 1985-2000 Microsoft Corp.

C:\>PING 192.168.1.90 ← 入力して enter キーを押

Pinging 192.168.1.90 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.1.90: bytes=32 time<10ms TTL=255
Reply from 192.168.1.90: bytes=32 time<10ms TTL=255
Reply from 192.168.1.90: bytes=32 time<10ms TTL=255
Reply from 192.168.1.90: bytes=32 time<10ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.1.90:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

通信していない場合は下記の表示となる。

```
C:\>PING 192.168.1.90
Pinging 192.168.1.90 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

Ping statistics for 192.168.1.90:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

P I N G コマンドの応答率は 9 0 % が目安となる。大幅に下回る場合は、上り下りの到達レベルを再度確認。下りは端末モデムの I N 側で 7 o r 8 c h が 4 5 ~ 7 5 d B の範囲に入っているか、スペクトラムアナライザで確認し、上りは下記手順にてモデムの出力レベルを確認。

・上り 端末モデム出力レベルの表示方法

端末モデムと P C を R S - 2 3 2 C ケーブルにて接続。ハイパーターミナルにて D A コマンドを実行。

```

>DA
  Copyright (C) 2000 Aichi Electronics.,Ltd All rights reserved.
  ESKADB-02/XFW_BMR_42101 : LBSL Modem BMR-400EX control program.
  Compile date 00/08/01
  version number = 0001
  o Transmit frequency   : 40[MHz]
  o Receive frequency   : 196[MHz]
  o Modem output level : 99[dBu] ← 端末モデム上り出力レベル
  o Network Identity    : FF
  o Ether MAC address   : 00-60-6b-07-01-01
  o Cable MAC address   : 00-60-6b-07-01-02
  x Ether IP address    : none
  x Ether IP net mask   : none
  x Cable IP address    : none
  x Cable IP net mask   : none
  o MAC address recognition mode.
  o maximum number of recognition mac address = 1
  x IP packet filter disable.
    
```

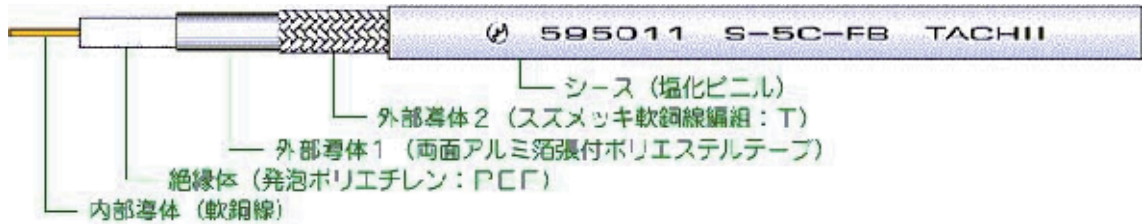
端末モデム上り出力レベルが 8 5 ~ 1 1 5 d B の範囲に入っていれば O K。

8 5 d B や 1 1 5 d B を表示している場合は、センターモデムへの到達レベルが低いか過入力となっている可能性が高い。

※ 送信レベルは、パスロスの気温変化や経年変化を考慮し、91~109dB が望ましい値。

1-7 ケーブルモデムシステム (LBSL) 構築のための参考資料

(1) 同軸ケーブルの構成図と減衰量



同軸ケーブル減衰量 (dB/km)

周波数	5C-FB	5C-2V	7C-FB	7C-2V
50	45	58	32	50
90	61	79	44	68
250	105	139	76	120
450	144	195	105	167
770	193	268	142	228
1340	264	376	197	319
1900	323	470	243	396

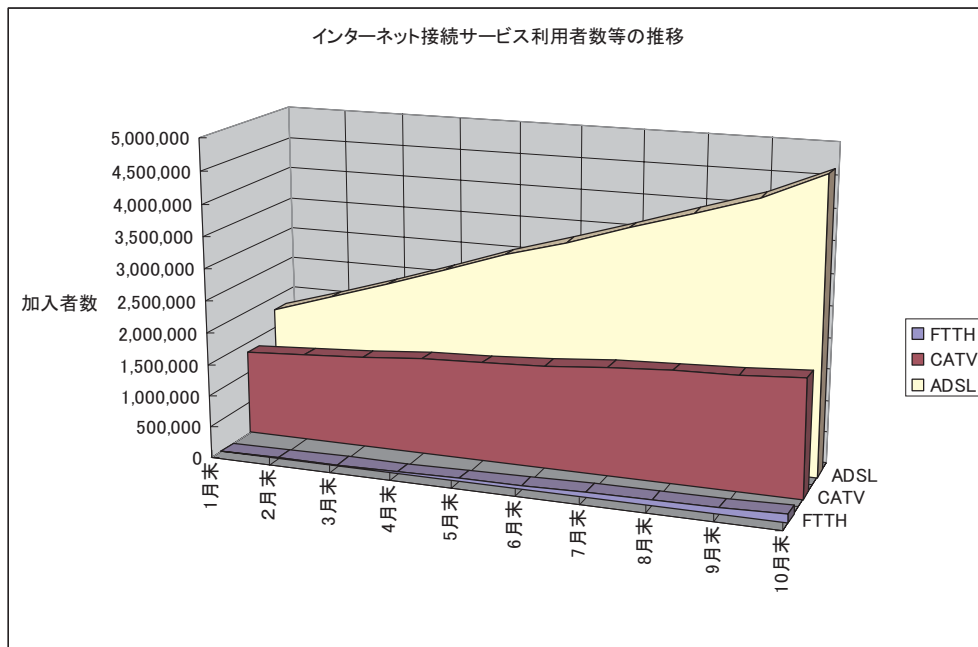
(2) 機器性能表

AHLC-400/BMR-400EX

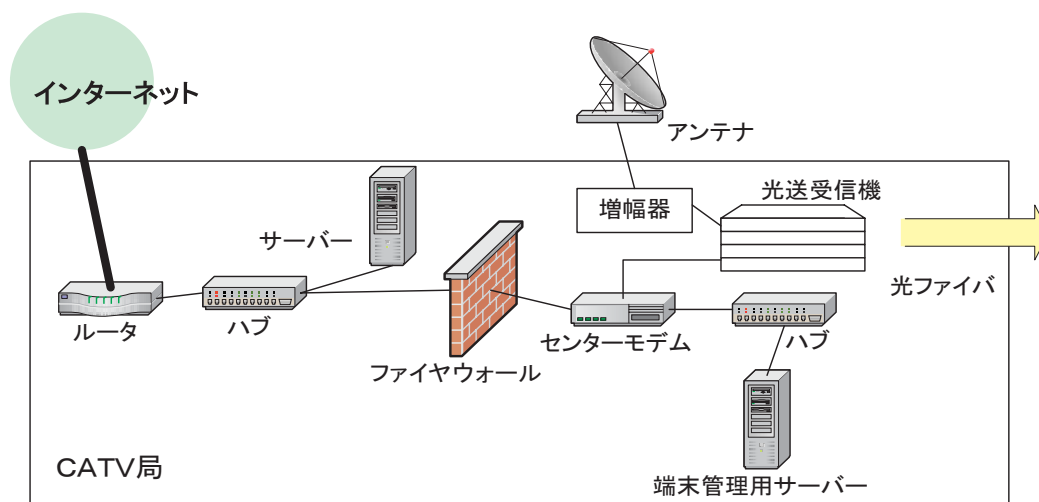
型名	AHLC-400	BMR-400EX
送信周波数 (MHz)	190 (ch7) または 196 (ch8) 切替式	40.0
受信周波数 (MHz)	40.0	190 (ch7) または 196 (ch8) 切替式
占有帯域幅 (MHz)	2.4	
出力レベル (dB $\mu$ )	95~110	85~115
入力レベル範囲 (dB)	53~55	45~75
変復調方式	QPSK	
伝送速度 (Mbps)	10 (Ethernet), 4 (7 <sup>ポート</sup> ハント <sup>ト</sup> )	
入出力インピーダンス ( $\Omega$ )	75	
入力モニター (dB)	-10	-
出力モニター (dB)	-20	-
インターフェイス	10BASE-T (RJ-45)	
消費電力 (W)	20	10
使用温度範囲 ( $^{\circ}\text{C}$ )	0~40	

## 第2節 光ネットワーク接続実習

総務省のデータでは、平成14年10月末までのブロードバンド利用者の推移のデータは、以下の通り。月平均 約39万人の割合で増加している。

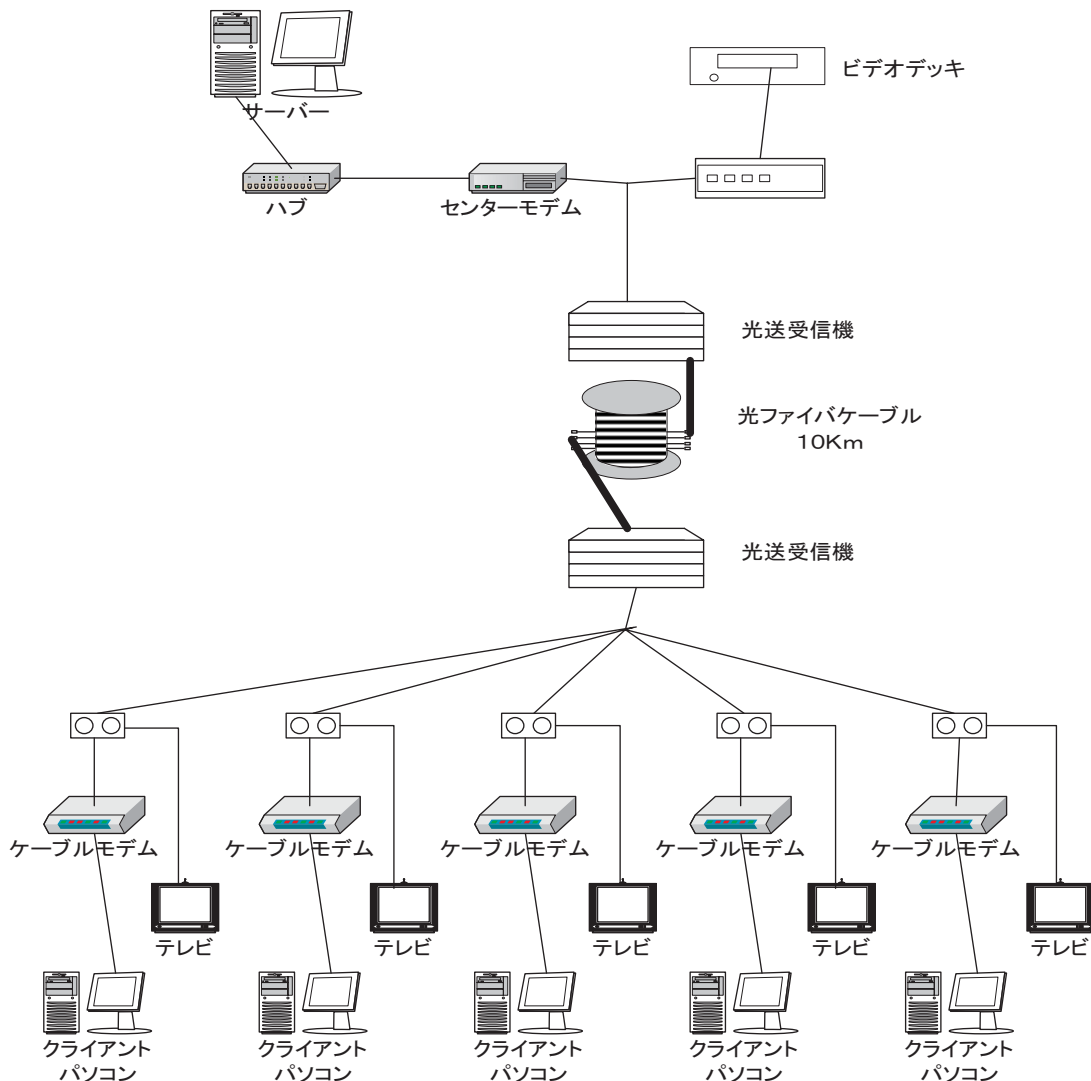


本ブロードバンドの中のCATV（ケーブル）インターネットのCATV局は、以下の構造となっている。



基幹線は、すでに光ファイバ化されており、放送の信号と、インターネットの信号をあわせて送信することができる。ケーブルインターネットは、光ファイバケーブルと同軸ケーブルで、ネットワークを構築されている。電話線により構築されるADSLインターネットは、通信事業者局までの距離により、通信速度が不安定となる。このため、ケーブルインターネットは、ADSLインターネットに比べて、広帯域であり、FTTHに匹敵する高品質な通信が可能である。

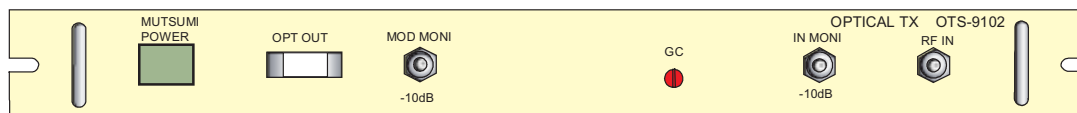
本実習では、以下のCATV通信ネットワークを構築する。



※ 上記以外の必要機材：信号発生器、スペクトラムアナライザ

[光送受信機の設定手順]

- (1) 信号発生器からの出力信号を  $100\text{MHz}$   $60\text{dB}\mu\text{V}$  に設定。
- (2) 信号発生器の出力に、 $75\Omega - 50\Omega$  変換パッド及び N-F 変換アダプタを取り付。
- (3) 信号発生器の出力を光送信ユニットの RF IN 端子に接続。



- (4) スペクトラムアナライザの入力ポートに  $75\Omega - 50\Omega$  変換パッド及び N-F 変換アダプタを取り付。
- (5) 光送信ユニットの MOD MONI 端子からの信号をスペクトラムアナライザの入力端子に接続。
- (6) スペクトラムアナライザを以下の通り設定。
  - CENTER  $100\text{MHz}$
  - SPAN  $10\text{MHz}$
  - REF  $100\text{dB}\mu\text{V}$
- (7) スペクトラムアナライザにより、出力電気信号レベルが「 $82 \sim 90\text{dB}\mu\text{V}$ 」になるように光送信ユニットの GC (ゲインコントロール) つまみを調整。
- (8) 光送信ユニットの OPT OUT 端子に、光ファイバコードを接続。光ファイバコードの片端に光ロステストセットの光検出器を接続して、光送信ユニットの光出力レベル (単位は、 $\text{dBm}$ ) を測定し、記録 ( $x\text{dBm}$ )。
- (9) 光ファイバコードを光ロステストセットより外して、光ファイバドラム ( $10\text{km}$ ) の光コネクタと中継アダプタを使用して接続。
- (10) 光ファイバドラムの出力側の光コネクタを光ロステストセットの光検出器に接続して、光出力を測定し、記録 ( $y\text{dBm}$ )。
- (11) 以下の式より、光ファイバの伝送損失を算出。

$$\text{光ファイバの伝送損失} = (x - y) / 10 \quad [\text{dB} / \text{km}]$$

※ 実際には、光コネクタ損失が 1 接続分含まれている。

- (12) 光ファイバドラムの出力側の光コネクタを光ロステストセットから外して、光受信ユニットのOPT INに接続。



- (13) 光受信ユニットのRF OUTとスペクトラムアナライザの入力端子を接続し、出力電気信号レベルを測定。
- (14) 出力電気信号レベルが「75～80 dB $\mu$ V」になるように光送信ユニットのGC（ゲインコントロール）つまみを調整。
- (15) 信号発生器を外して、ビデオデッキのRF信号出力を光送信ユニットのRF IN端子に接続。
- (16) スペクトラムアナライザを外して、光受信ユニットのRF OUT端子とTVモニタを接続して、ビデオデッキからの映像と音声信号が光ファイバ通信により伝播（長距離10km）されているか確認。

### 第3節 アプリケーション実習例

#### 3-1 センサによる遠隔制御システムの構築

##### (1) はじめ

工業技術の進歩に従って、電力、交通、鉄鋼、環境および一般産業を含むプラント運営の効率化が図られている。その主な内容は、プラントプロセス全体の総合的な動作を集中的に制御するもので、プラントの省力化・省エネ化を求める。また、プラントの集中監視制御により、山間へき地などの悪環境下の職場環境を改善することも期待されるので、センサーによる遠隔制御のニーズも益々高まってくる。

本節では機械構造物の応力・ひずみを測定するひずみゲージを例にして、センサの遠隔制御システムを構築するが、このシステム例の構築により他の類似種類のセンサによる遠隔制御も利用できる構想がある。

##### (2) センサ回路の構築

###### a. センサの概要

センサの種類は用途により光、磁気、温度、圧力などの数多くの種類があるが、ここに、圧力センサの一つ、ひずみゲージを例に上げて、回路を作成する予定なので、その特性について説明する。

一般の金属は圧力や張力によって電気抵抗が変化するという物性を持っている。つまり、金属細線の比抵抗を  $\rho$ 、長さを  $l$ 、断面積を  $A$  とすると、電気抵抗値  $R$  は下記の式で示すことができる。

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2-1-1)$$

また、断面積  $A$  は

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (2-1-2)$$

ここで、 $d$  は直径である。これにより、 $R$  は次の式で表すことができる。

$$R = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} d^2} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} \quad (2-1-3)$$

もし細線の両端を引っ張れば、その長さが  $l + \Delta l$  になるので、直径も  $d - \Delta d$  に変わり、電気抵抗値は  $R + \Delta R$  に増える。

$$R + \Delta R = \rho \frac{4(l + \Delta l)}{\pi (d - \Delta d)^2} = \rho \frac{4(l + \Delta l)}{\pi (d^2 - 2\Delta d d + \Delta d^2)} \quad (2-1-4)$$

上式の  $\Delta d$  は小さいので、省略すると、



$$R + \Delta R = \rho \frac{4l}{\pi (d^2 - 2\Delta d d)} + \rho \frac{4\Delta l}{\pi (d^2 - 2\Delta d d)} \quad (2-1-5)$$

これにより増えた抵抗値  $\Delta R$  は

$$\Delta R = \rho \frac{4\Delta l}{\pi (d^2 - 2\Delta d d)} \quad (2-1-6)$$

### b. ブリッジ回路

ひずみゲージが外力によりひずみの変化で生じた電気抵抗の変化はそれほど大きくないが、この抵抗の変化から電気を取り出すのは一般にブリッジ回路が使用される。

ブリッジ回路は図5-2のように  $R_1, R_2, R_3, R_4$  の4つの抵抗から成り、 $E$  はブリッジの電源、 $e$  は出力電圧とする。

ブリッジの抵抗値が、

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad (2-2-1)$$

の条件が揃えば、ブリッジの出力電圧  $e$  は0となり、これはブリッジの平衡状態という。

もし  $R_1$  から  $R_2$  へ流れる電流を  $I_1$ 、 $R_4$  から  $R_3$  へ流れる電流を  $I_2$  とすれば、

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (2-2-2)$$

$$I_2 = \frac{E}{R_3 + R_4} \quad (2-2-3)$$

となる。

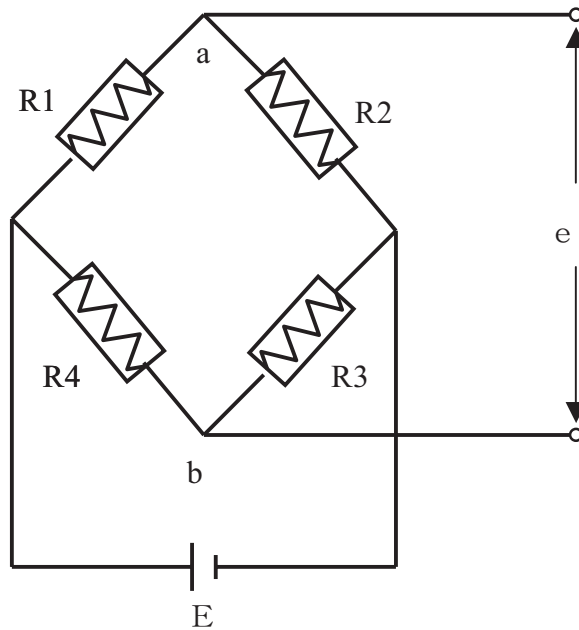


図5-2 ブリッジ回路

また、a 点の電圧  $E_a$  は  $I_1$  と  $R_2$  の積、b 点の電圧  $E_b$  は  $I_2$  と  $R_3$  の積なので、その値は下記の式で表すことができる。

つまり、

$$E_a = R_1 I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E \quad (2-2-4)$$

$$E_b = R_4 I_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \times E \quad (2-2-5)$$

となる。こうすると、ブリッジの出力  $e$  は  $E_a$  と  $E_b$  の差からなるので、次の式で表すことができる。

$$e = E_a - E_b = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} - \frac{R_3 E}{R_3 + R_4} = \frac{(R_2 R_4 - R_1 R_3) E}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (2-2-6)$$

ここで、もしブリッジの平衡状態が保たれれば、 $e = 0$  になる。しかし、 $R_1$  の値が変化すると、 $e$  は

$$\begin{aligned} e &= \frac{R_2(R_4 + \Delta R_4) - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4 + \Delta R_4)} E \\ &= \frac{\Delta R_4 R_3}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_4 + \Delta R_4(R_1 + R_2)} E \end{aligned} \quad (2-2-7)$$

式 2-2-7 の  $\Delta R_1 (R_3 + R_4)$  の値は小さいので、省略することができる。 $e$  は次のように書き換えることができる。

$$e = \frac{\Delta R_4 R_2}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_4} E \quad (2-2-8)$$

上の式から、 $R_4$  の値は変動があれば、出力電圧  $e$  が発生するということがわかる。

### c. 増幅回路

センサは圧力や温度の変動によって抵抗が変わるが、その値は非常に小さい。これによって、ブリッジ回路から発生する電圧も数  $\mu V$  から数  $mV$  だけで、直接に信号を取り出すのは難しい。それで、増幅回路を使って、この出力電圧を数  $V$  までに増幅して計測する。以下、OP アンプを使って、いくつかの増幅回路を紹介する。

## 1 演算増幅器の理想仕様

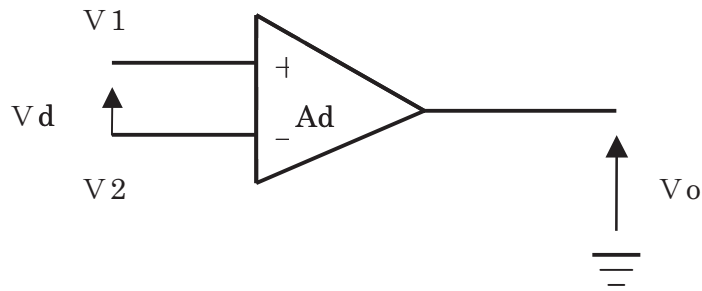


図5-3 オペアンプの差動入力

演算増幅器（オペアンプ）は図5-3のように2つの入力端子と1つの出力端子をもっている。図5-3の「+」入力端子に電圧を加えると、出力は同相電圧で、「-」入力端子に電圧を加えると、出力は逆相電圧である。ここで、もし差動入力電圧を $V_d (= V_1 - V_2)$ 、差動利得を $A_d$ とすれば、出力電圧 $V_o$ は下記の式で表すことができる。  
すなわち、

$$V_o = A_d V_d \quad (2-3-1)$$

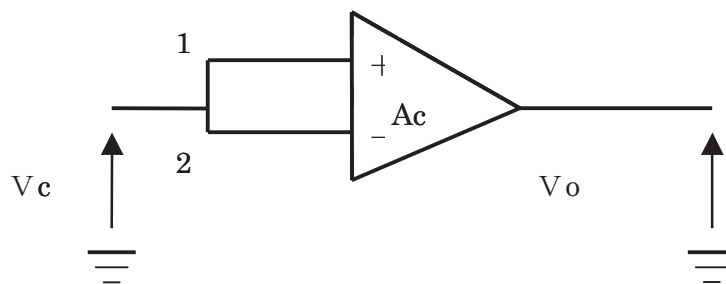


図5-4 オペアンプの同相入力

また、同相入力の回路は図5-4の示すとおりになり、出力 $V_o$ は

$$V_o = A_c V_c \quad (2-3-2)$$

ここで、 $A_c$ は同相利得、 $V_c$ は同相入力という。

以上の2つ入力形式から、差動利得 $A_d$ は大きく、同相利得 $A_c$ は小さい方が望まれるので、オペアンプの理想仕様は次のように上げられる。

1. 差動利得  $A_d = \infty$
2. 同相利得  $A_c = 0$
3. 入力インピーダンス  $Z_{in} = \infty$
4. 出力インピーダンス  $Z_{out} = 0$
5. 増幅周波数帯域幅  $0 \sim \infty \text{ Hz}$

しかし、実際のオペアンプでの値はおおむね次のようになる。

1. 差動利得  $A_d=90\sim 100\text{dB}$
2. 同相利得  $A_c=0\text{ dB}$  程度
3. 入力インピーダンス  $Z_{in}=\text{数 } 100\text{k}\Omega\sim\text{数 } 100\text{M}\Omega$
4. 出力インピーダンス  $Z_{out}=\text{数 } 10\Omega\sim\text{数 } 100\Omega$
5. 増幅周波数帯域幅  $0\sim\text{数MH z}$

## 2 逆相増幅器

逆相増幅器は図5-5の示すようになる。ここで $Z_1$ に流れる電流 $i_1$ は

$$i_1 = V_1 / Z_1 \quad (2-3-3)$$

また、出力電圧 $V_2$ は

$$V_2 = V_i - Z_2 i_1 \quad (2-3-4)$$

式(2-3-4)の $V_i$ は0であるので、次の式を求めることができる。

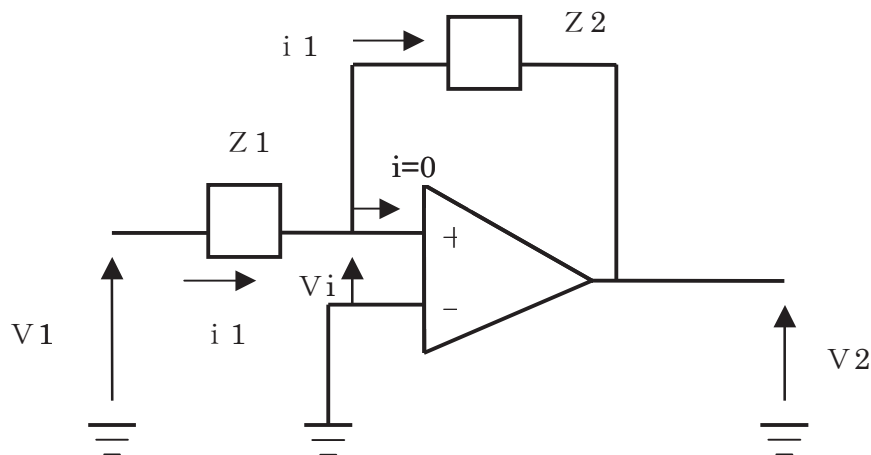


図5-5 逆相増幅器

$$i_1 = -\frac{V_2}{Z_2} \quad (2-3-5)$$

式(2-3-5)を式(2-3-4)に代入すると、次の結果が得られる。

$$V_2 = -\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) V_1 \quad (2-3-6)$$

つまり、電圧利得 $G_v$ は

$$G_v = \frac{V_2}{V_1} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad (2-3-7)$$

## 3 正相増幅器

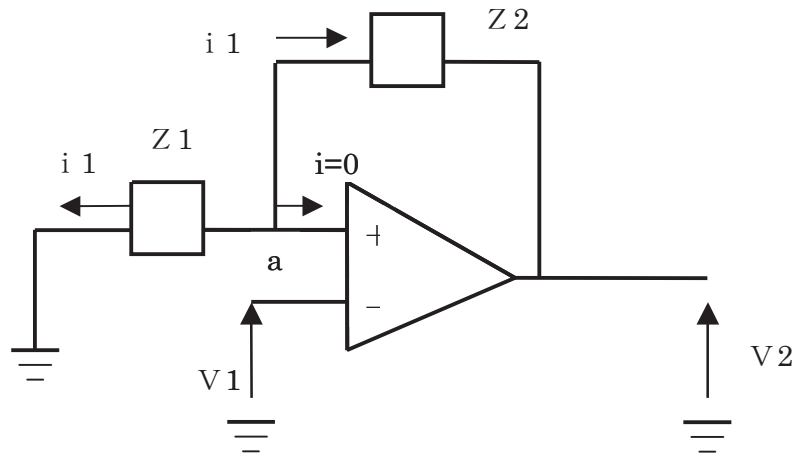


図5-6 正相増幅器

理想的なオペアンプから図5-6の正相増幅器のa点の電圧は $V_1$ に等しい。また、キルヒホッフの第一法則「電気回路中の任意の1点に流入する電流の代数的総和はゼロである」から、a点に流入する電流の和はゼロと考えると、

$$\frac{V_1}{Z_1} + \frac{V_1 - V_2}{Z_2} = 0 \quad (2-3-8)$$

上の式から次の式を求めることができる。

$$V_2 = Z_2 \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) V_1 \quad (2-3-9)$$

したがって、電圧利得 $G_v$ は

$$G_v = \frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2-3-10)$$

一般的にオペアンプの性質から $Z_1$ と $Z_2$ のどちらにもあまり小さくすることができなく、しかも、あまり大きな抵抗も望ましくない。一般的には

$$Z_1 = 100 \Omega \sim 10 \text{ k} \Omega$$

$$Z_2 = 1 \text{ k} \Omega \sim 1 \text{ M} \Omega$$

の範囲内で選ぶ。

## d. ひずみゲージ回路の導入実験

ひずみゲージは抵抗素子、ベース材、ゲージ長などにより、様々な種類に分類される。本システムではひずみゲージ以外、ブリッジ回路、増幅器が市販のものを利用するので、その仕様は表5-1の示すようになる。

表 5-1 システムにおけるひずみゲージ回路の仕様（共和電業製）

品名	型名	説明
ひずみゲージ	KFG-5-120-C1-11N15C2	センサ
ブリッジBOX	DB-120P	ブリッジ回路
計装用コンディショナ	WGA-650A	信号増幅用

表 5-1 からひずみゲージ型名の「KFG」はポリミド樹脂をベースに、抵抗素子に銅・ニッケル合金を用いたものである。

また、「5」はひずみゲージのゲージ長が 5 mm ということである。「120」は圧力を受けていないときの抵抗値が 120 Ω、「C1」は単軸の型状である。

最後の「11N15C2」の「11」は適合線膨張係数 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )、「N」はひずみゲージの種類はポリエステル銅線、「15C」は長さが 15 cm、「2」は 2 線式のことである<sup>4)</sup>。

ひずみゲージの測定には、ゲージ自身にそのまま圧力をかけても、出力が得られないので、被測定物に特殊な接着剤で接着して使わなければならない。ひずみゲージ用の接着剤は大きく分けて常温硬化型と加熱硬化型の 2 種類があり、本システムでは常温硬化型のシアノアクリレート系の接着剤（製品名：CC-33A）を使う。

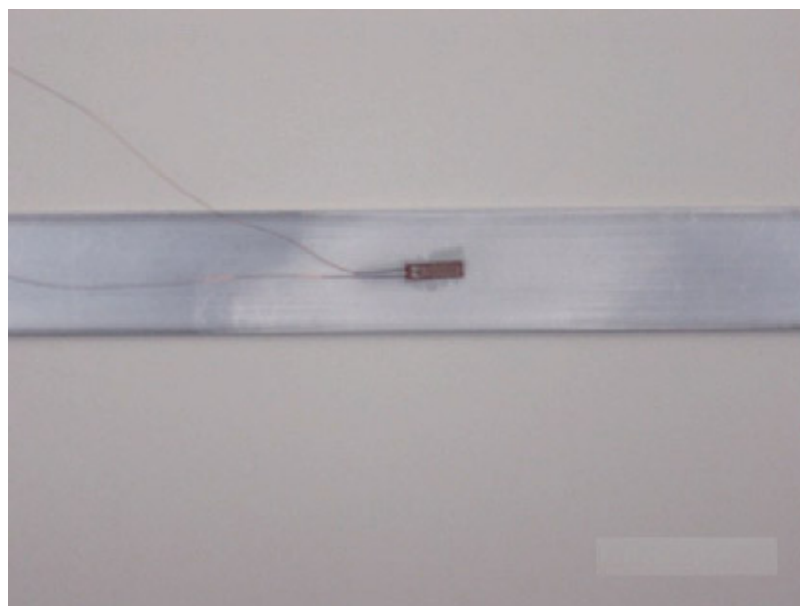


写真 5-1 被測定物に貼り付けたひずみゲージ

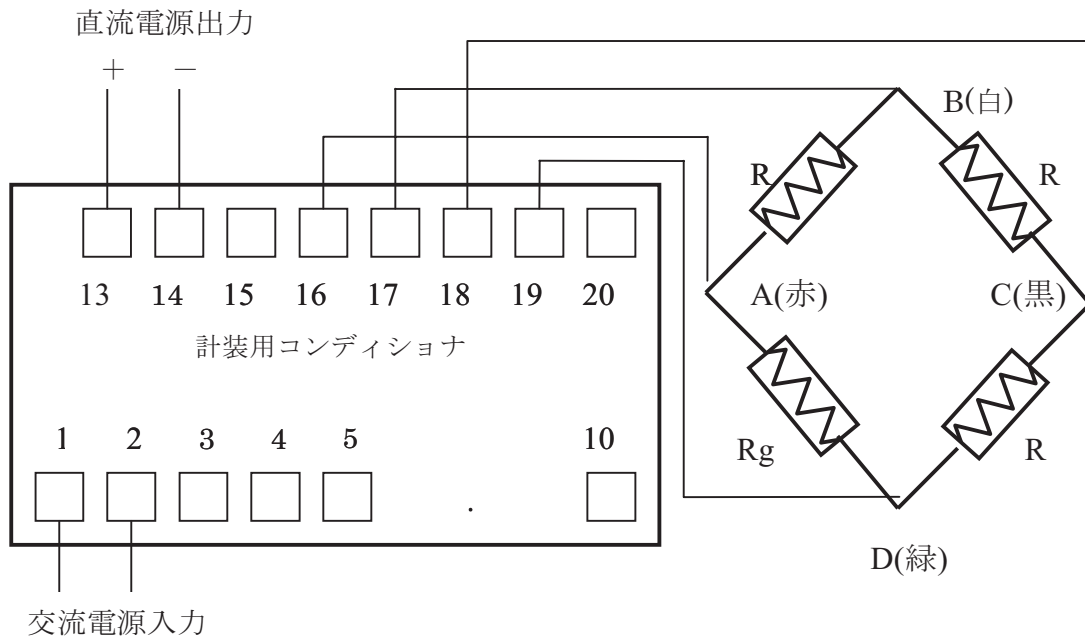


図5-7 ひずみ測定装置の回路構成

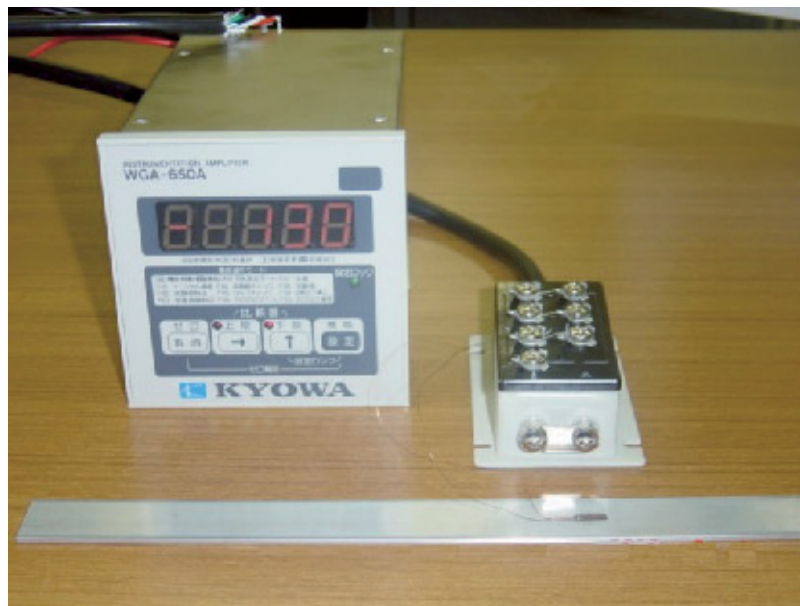


写真5-2 ひずみ測定装置

実際に、ひずみゲージを被測定物に接着する際、被測定箇所には表面処理を行わなければならない。表面処理はまず、サンドペーパーで接着箇所を磨いてから、脱脂綿に油脂を融解する作用のある溶剤をつけて同じ方向に拭き取る。その後接着作業に入るが、方法としては接着剤をつけて、被測定物に貼り付けると、1分間ぐらい手で押さえることである。被測定物に貼り付けたひずみゲージは写真5-1の示すようになる。表5-1の部品に基づいて、ひずみ測定装置の接続図は図5-7、実物の測定装置は写真5-2の示すようになる。

### (3) パソコン同士による遠隔制御

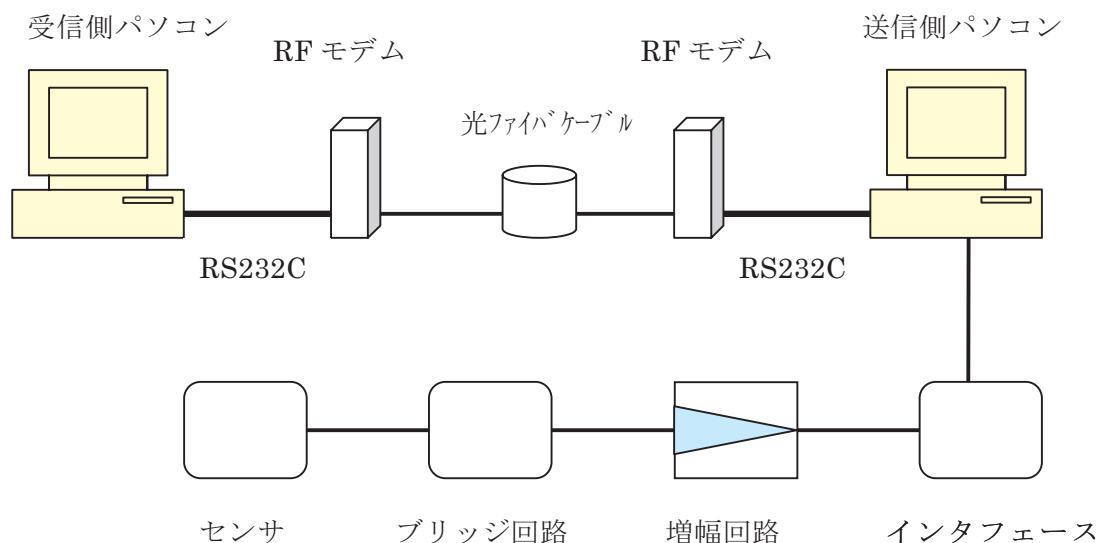


図 5-8 パソコン同士による遠隔制御概念図

パソコン同士による遠隔制御の概念は図 5-8 の示すようになる。ここで、センサをひずみゲージを利用して実験を行う。また、ブリッジ回路と増幅回路の構成は図 5-7 に示すようになるが、全体の開発環境は下記の通りである。

表 5-2 パソコン同士による遠隔制御の開発環境

品名	数量	概要
ひずみゲージ	1	センサ
ブリッジ BOX	1	ブリッジ回路
コンディショナ	1	増幅器
A/D・D/A ボード	1	パソコン・インタフェース
ケーブル	1	パソコン・インタフェースと端子台をつなぐ
端子台	1	ケーブルと増幅器をつなぐ
RF モデム	2	通信用
光ファイバケーブル	1	通信用
パソコン	2	制御用
RS232C	2	通信用



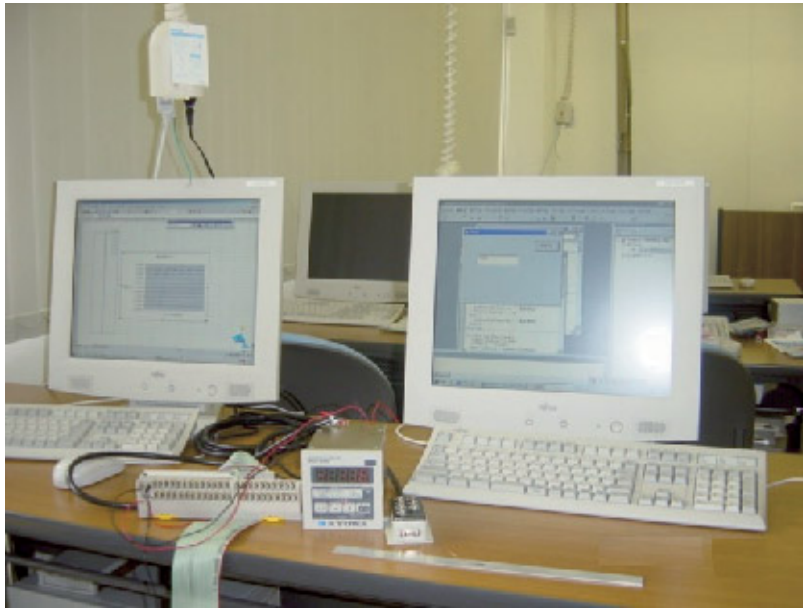


写真 5-3 パソコンによる遠隔制御の実験様子

システムの役割は送信側のパソコンがA/D変換ボードを介して増幅回路から発生する電圧を取り込んで、さらにRS232Cを経由してRFモデムに信号を送る。一方、受信側のパソコンもRS232Cを経由してRFモデムから送ってくる信号を受信する。その後、データをExcelで処理を行う。また、制御に使われるプログラムはVisual Basicである。システムの実験様子は写真5-3の示すようになるが、それぞれのプログラムの概要は以下に説明する。

#### a. 送信用パソコンに組み込んだ制御プログラム

送信用プログラムの主な役割はADボードを使って増幅回路の出力電圧を読み込んで、パソコンの画面に表示するとともに、その値をRS232Cに送る。

まず、データを遠方の受信用パソコンに伝送するとき、RS232Cを利用するが、Visual BasicでRS232Cによる通信を利用する場合はActiveXコントロールのMSCommコントロールを配置しなければならない。処理方法としてはメニューバーの「プロジェクト」の「コンポーネント」を選択し、そして、コンポーネントの一覧表から「Microsoft Comm Control(6.0)」を選択する。こうすると、ツールボックスに「MSComm」(図5-9を参照)が追加されたので、それを選択して、フォームに配置する。



図 5-9 追加された「MSComm」コントロール

また、送信用パソコンは AD ボードを使って、センサからのデータを読みとるが、AD ボードとは、A/D コンバータが搭載されたインタフェースボードであり、センサから得られたアナログ信号の電圧をデジタル信号に変換され、パソコンのハードディスクに記録することができる。

Windows アプリケーションプログラムから直接パソコンの I/O にアクセスできないので、Visual Basic では AD ボードに制御を行うとき、AD ボードメーカーが開発した DLL(Dynamic Link Library)を介してボードの制御を行う。

送信用プログラムのフォーム配置は図 5 - 1 0 のように示す。図の示すようにフォームにコマンドボタン、テキストボックス、タイマーおよび MSComm コントロールがそれぞれ一つ配置されている。そして、プログラムの実行画面は図 5 - 1 1 の示すようになる。

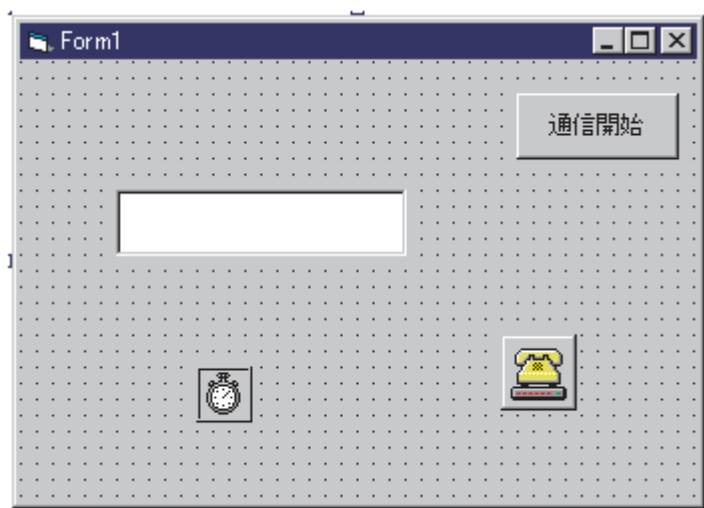


図 5 - 1 0 送信用システムのフォーム配置

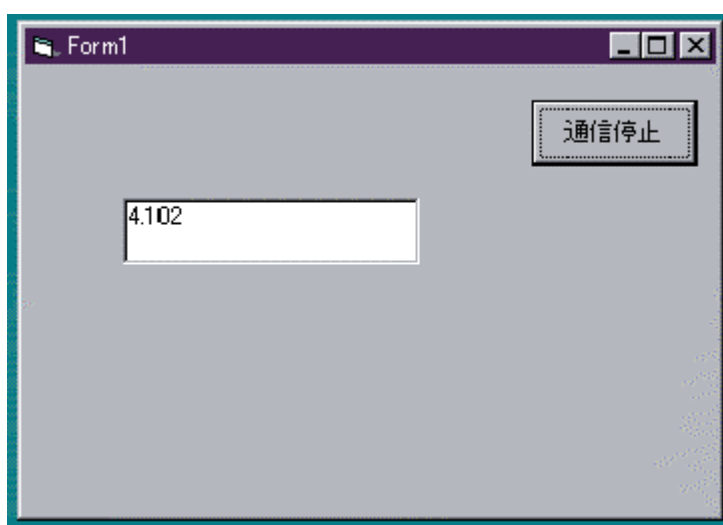


図 5 - 1 1 送信用システムの実行画面

プログラムを実行する前に、ADボードのドライバのインストールを行う必要がある。ADボードのドライバのインストールによって、ウィンドウズはADボードを認識できるようになる。

プログラム処理の流れは図5-12の示すようになる。

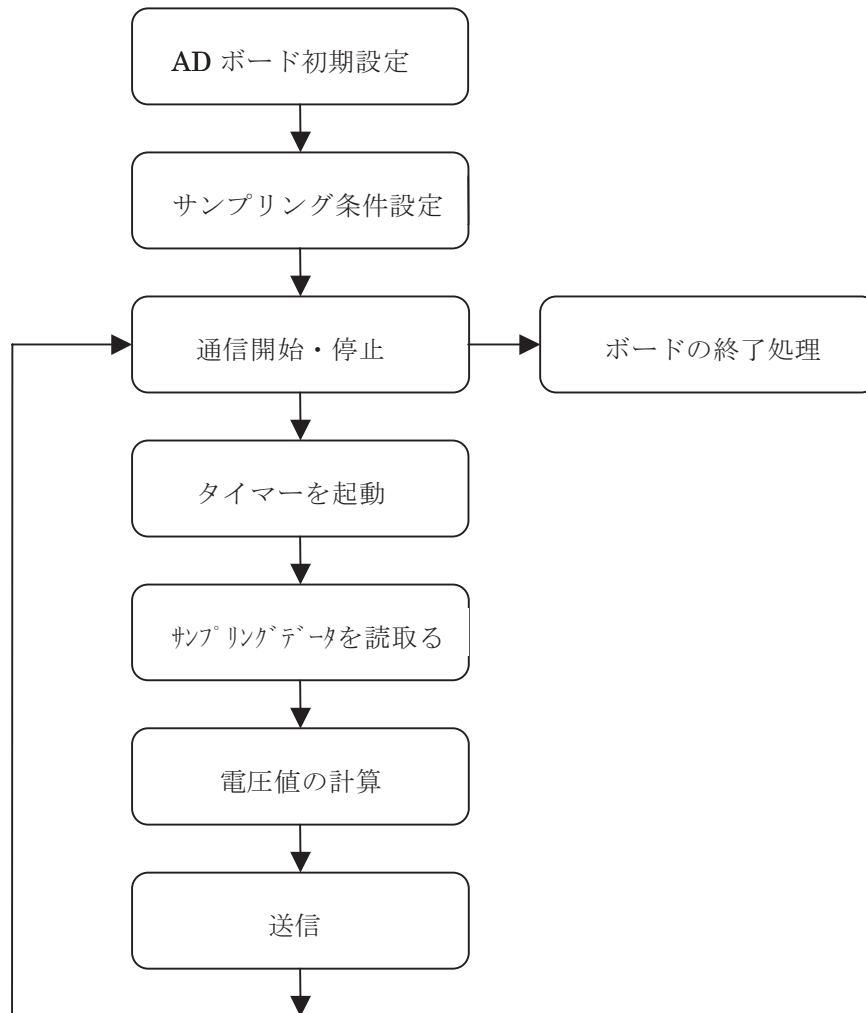


図5-12 送信用プログラムの処理流れ

まず、フォームの Load イベントにADボードのデバイス名を指定して、ADボードの初期化を行うとともに、タイマー実行サイクルの時間を決める。ここでタイマーの実行サイクルを1秒毎に設定する。

次に、「通信開始」ステップには「通信開始」というコマンドボタンをクリックすることから始まる。「通信開始」ボタンをクリックすると、ボタンのキャプションは「通信停止」に反転し、コマンドボタンの Click イベントが実行される。このコマンドボタンが RS232C との通信を開始または停止する制御を行う。RS232C と通信ができるか否かを決めているのは、MSComm コントロールの PortOpen プロパティである。このプロパティに「True」または「false」を指定することによって、通信ポートを開くか閉じるかを定めることがで

きる。「通信開始」ボタンをクリックすると、「タイマーを起動」ステップが実行される。

図5-12の「サンプリングデータを読み取る」のステップはタイマーの **Timer** イベントにより実行される。タイマーの **Timer** イベントに電圧バイポーラ設定(電圧処理範囲)、入力チャンネルの指定があって、その後、DDLを経由して電圧データのサンプリングを行う。

読み取ったサンプリングデータがパソコンのメモリに格納されているが、メモリにはA/Dボードの分解能に応じたバイナリデータが格納されている。したがって、実際の数式処理にはこの値を物理量に変換する必要がある。この試作例は電圧バイポーラ±10Vでのサンプリングを行っているので、変換式は

$$\text{電圧値} = \frac{20}{2^{\text{分解能}}} \times \text{サンプリングデータ} - 10 \quad (3-1-1)$$

となる。ここで、分解能はボードのビット数である。式(3-1-1)で求められた電圧値はフォームのテキストボックスに表示されるとともに、**MSComm** コントロールの **Output** プロパティに送られる。これにより、電圧値はRS232Cを経由して、受信用パソコンに送信される。

#### b. 受信用パソコンに組み込んだプログラム

受信用プログラムのフォーム配置は図5-13の示すようになる。これの実行画面は図5-14の示すとおりである。受信用プログラムのフォームにはコマンドボタン、**MSComm** コントロールおよび **TextBox** がそれぞれ1つある。プログラム処理の流れは図5-15の示すようになる。

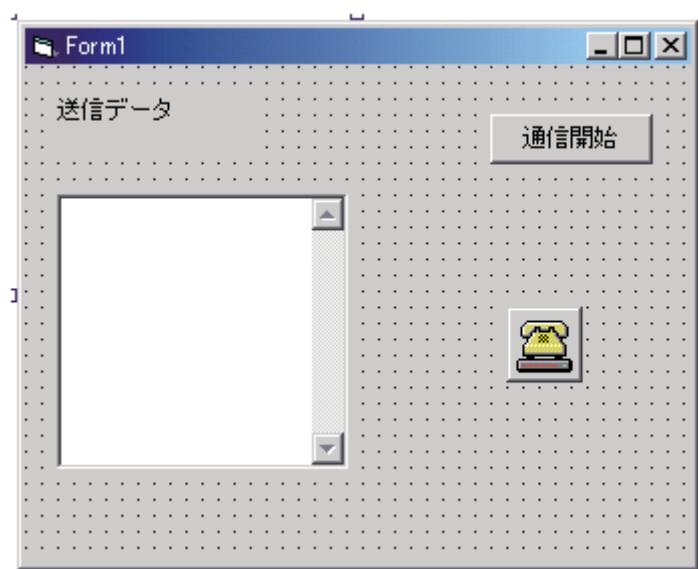


図5-13 受信用プログラムのフォーム配置



図5-14 受信システムの実行画面

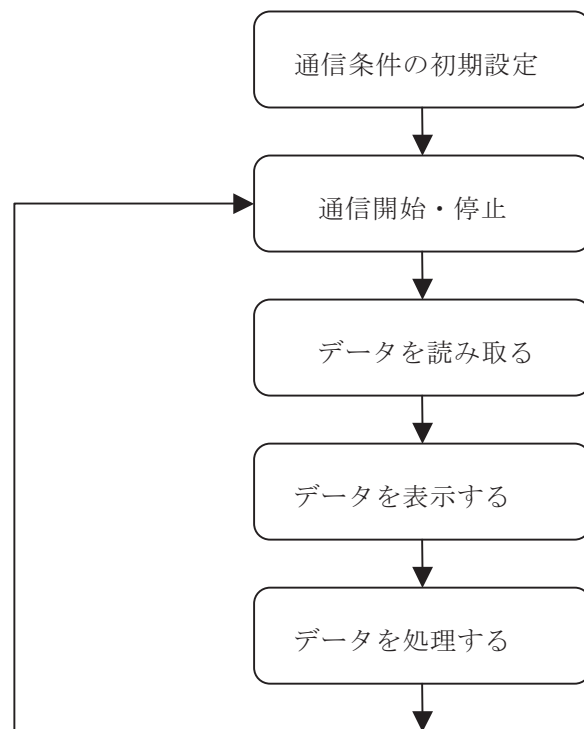


図5-15 受信プログラムの処理流れ

プログラムの実行はフォームの Load イベントの実行から始まる。ここに RS232C 通信用の通信条件の初期設定と Excel を起動するための設定を行う。

通信条件の初期設定はまず、mscPort の CommPort プロパティには通信ポート番号を設定する。通信ポートは 1 の場合、パソコンの COM1 を指定するということである。

また、Settings プロパティは通信速度、パリティチェック、データ長、ストップを設定する。そのうち、通信速度は 300,600,1200,2400,4800,9600,19200bps 等からの選択ができる。パリティチェックは送信データが受信されているかどうかをチェックするもので、「奇数パリティ」、「偶数パリティ」、「パリティチェックなし」から選べる。データ長はデータのビット数のことで、通常は7ビットと8ビットが利用できる。ストップビットは各キャラクターの最後を表すビットであり、1ビット、1.5ビット、2ビットから選択ができる。RS232C通信に正確な送受信ができないとき、送信されたデータを失われることを防ぐためのハンドシェイクという機能がある。その機能は「制御用線にある RTS と CTS を利用するハードウェアによるもの」と「Xon/Xoff 制御のソフトウェアによるもの」とがある。mScPort の Handshaking プロパティは「comRTS」を設定すると、ハードウェアハンドシェイクを選択することである。「RTSEnable」プロパティは RTS ラインを有効にするか否かを設定するプロパティ、「RThreshold」プロパティはデータ受信時に OnComm イベントを発生させるしきい値のバイト数を設定するプロパティである。本プログラムは通信条件の初期設定に表5-3のように設定している。

表5-3 mScPort におけるプロパティの設定

プロパティ	値
CommPort	1
Settings	"9600,n,8,1"
Handshaking	ComRTS
RTSEnable	True
RThreshold	1

最後に、受信データを処理するための Excel を起動するに、Excel のアプリケーション、ワークブック、ワークシートの初期設定もここで行われる。

図5-15の「通信開始・停止」のステップではコマンドボタンにより RS232C との通信を開始または停止する制御を行う。RS232C と通信ができるか否かを決めつけているのは、MSComm コントロールの PortOpen プロパティである。このプロパティに「True」または「false」を指定することによって、通信ポートを開くか閉じるかを定めることができる。これを操作するコードはコマンドボタンのクリックイベントに記述してある。

コマンドボタンをクリックすることによって通信ポートが開いていることを確認できれば、MSComm コントロールの Input プロパティに送信されたデータを受信できる。この受信に必要なコードは MSComm コントロールの OnComm イベントに記述されてある。また、受け取ったデータは Excel のセルに書き込んでグラフ処理（図5-16を参照）を

行うと同時に、データの最後にターミネータとして「・」を附加して TextBox に表示される。ただし、Visual Basic から Excel を立ち上げるために、Visual Basic のメニューバーの「プロジェクト」の「参照設定」画面の一覧表から「Microsoft Excel 100 Object Library」にチェックを入れる必要がある（図5-17を参照）。

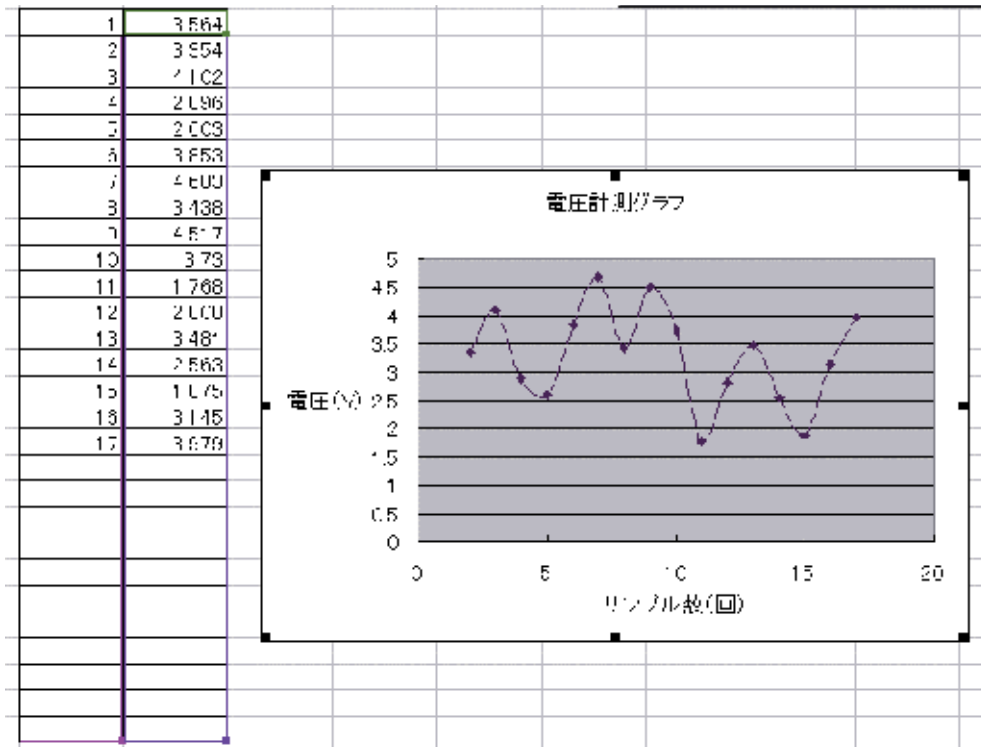


図5-16 受信データの処理

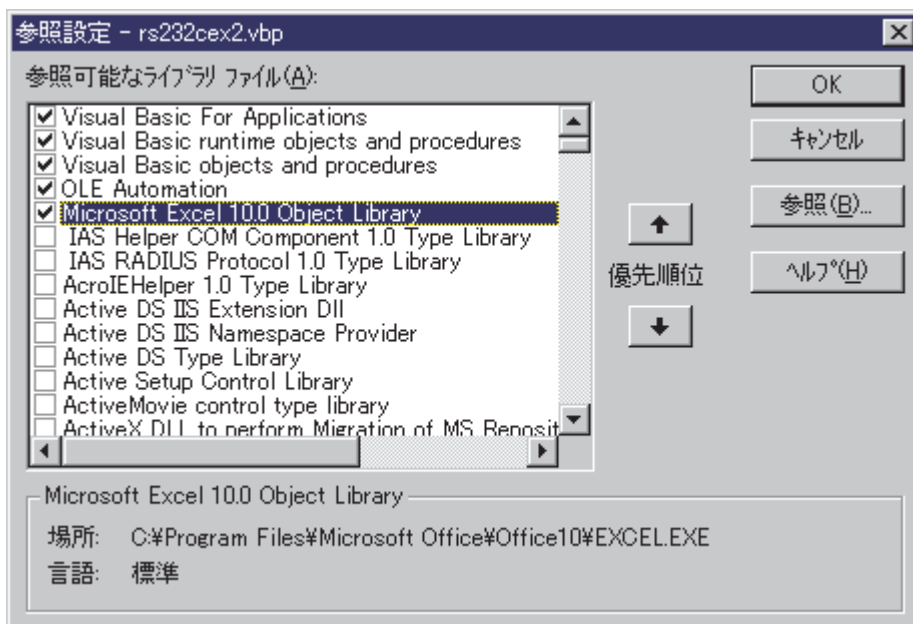


図5-17 Visual Basic から Excel を起動するための設定

(4) マイコンからパソコンへの遠隔制御

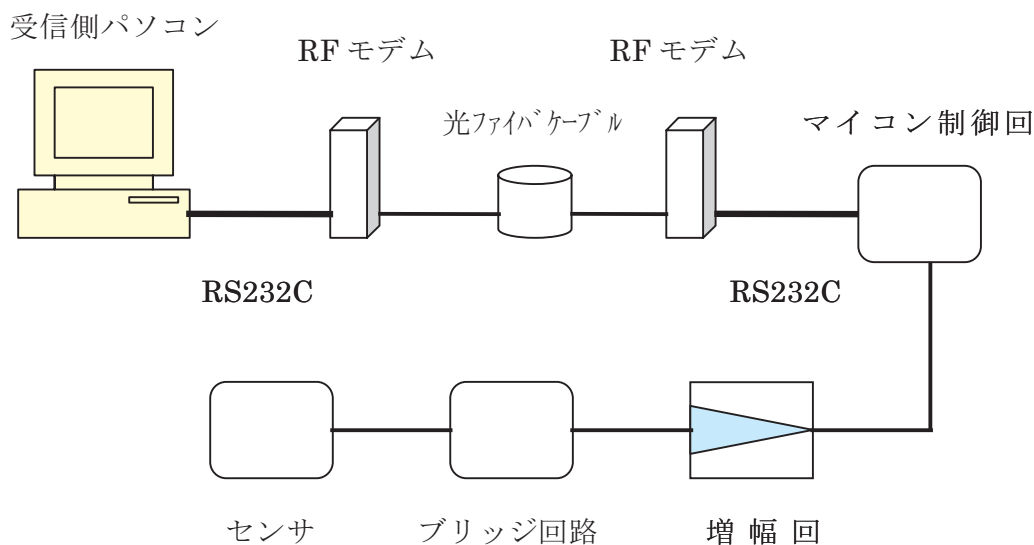


図5-18 マイコンからパソコンへの遠隔制御の概念図



写真5-4 マイコンによる遠隔制御の実験様子

マイコンからパソコンへの遠隔制御の概念図は図5-18、また、基礎的な実験様子は写真5-4の示すようになる。まず、マイコンの選定にはA/Dコンバータおよびシリアルポートの機能付のマイコンを選ばなければならない。本システムでは沖縄職業能力開発大学校生産機械システム技術科比嘉孝満先生の好意により提供される「PIC16F877」のチップが実装されたPIC 実習ユニット（写真5-5を参照）を利用する。



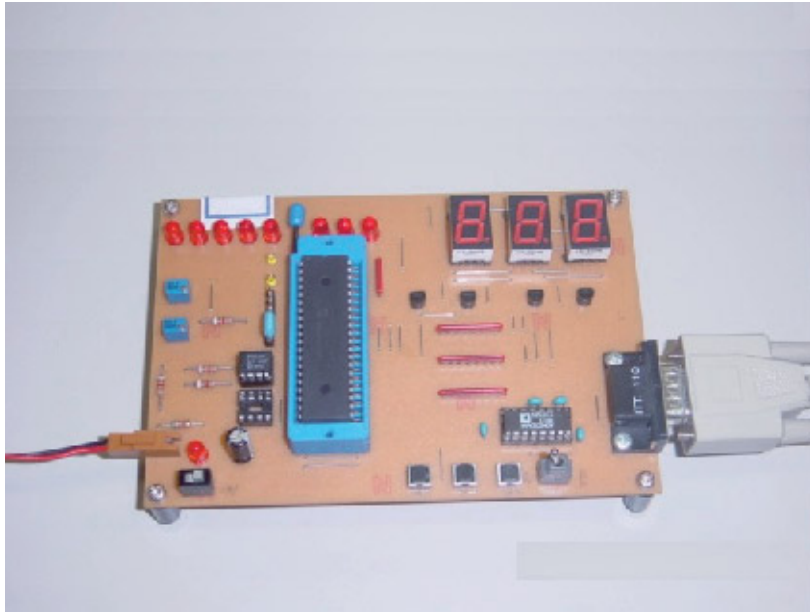


写真5-5 PIC 実習ユニット (沖縄能開大比嘉孝満先生の好意により提供)

「PIC16F87X」の基本的な仕様は表5-4の示すようになる<sup>7)</sup>。ここに、アナログ電圧の入力端子は Port A のピン2、LEDへの出力端子は PortD、RS232C への出力端子は Port C の17,18ピンを使う。マイコン用の電源は5V直流電圧を使用する。プログラムの構築にはマイコンがアセンブラ、パソコン側が Visual Basic を利用する。

表5-4 「PIC16F87X」の基本的な仕様

ピン番号	概要	ピン番号	概要
1,32	Vcc	19~22	Port D
31	Gnd	23~26	Port C
2~7	Port A	27~30	Port D
8~10	Port E	33~40	Port B
15~18	Port C	13,14	OSC

#### a. マイコン側プログラムの取り組み

マイコン用プログラムの概要は図5-19の示すようになる。プログラムの構築はアセンブラを使う。その役割はセンサ回路からもらったアナログ信号の電圧をA/D変換して、結果をLEDに出力すると共に、RS232Cを経由してパソコンに送信する。

まず、プログラムの実行は初期設定から始まる。初期設定の内容はマイコン PIC16F877 のポートAを入力用ポート、ポートC、Dを出力用ポートに設定し、RS232C との通信速度を9600bps に設定する。さらに、ADCON1 でA/D変換ポートを指定する。

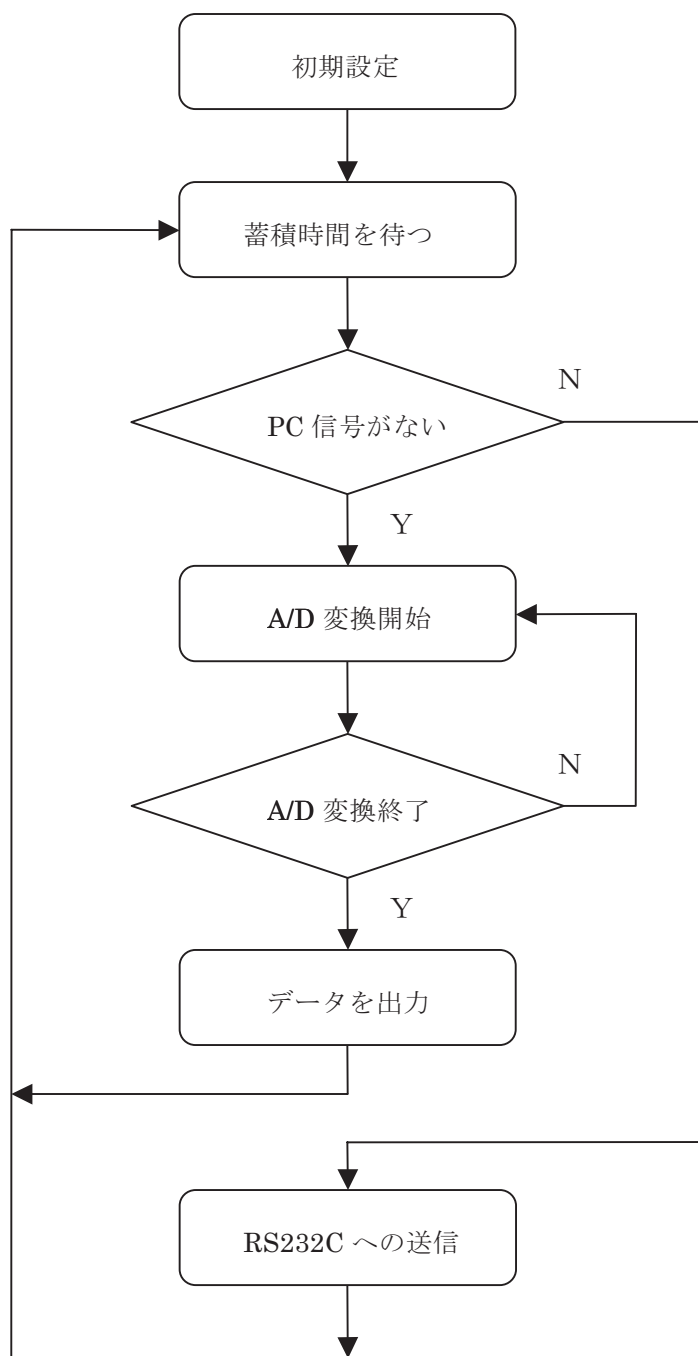


図5-19 マイコン用プログラムの流れ

次にA/D変換を行うために、A/Dモジュールのホールド用コンデンサに外部電圧レベルになるまでの充電時間が必要であるので、ここで「蓄積時間を待つ」というステップに蓄積時間を23.2  $\mu$ Sに設定する。

「PC信号がない」のステップでは、パソコンから「CR」という信号を送ってくることを待つ。パソコンから「CR」信号が送ってくるまでに、プログラムは「A/D変換開始」のステップを実行する。A/D変換の実行は「ADCON0」の「GO」ビットが1になるときから始まる。また、「ADCON0」の「GO」ビットが0になると実行が終わる。

A/D変換の実行が終わると、実行は「データを出力」のステップに移り、このステップで、データがポートDに出力されるので、LEDが点灯される。また、このデータもパソコンに送信用のデータとして送受信バッファ(H24番地)でセーブされる。これで、プログラムの実行は再び「蓄積時間を待つ」ステップに戻る。

このとき、もしパソコンから信号を送ってくれば、PIR1レジスタのRCIFフラグが1になるので、「RS232Cへの送信」ステップが実行される。「RS232Cへの送信」ステップでパソコンから送ってくる信号(RCREGレジスタ)は「CR」であるか否かをチェックする。もし「CR」の信号ならば、送受信バッファ(H24番地)にあるデータを取り出して、RS232Cを経由してパソコンに送信する。その後、プログラムの実行は再び「蓄積時間を待つ」ステップに戻って次サイクル送受信を行う。

#### b. パソコン側プログラムの取り組み

受信用プログラムのフォーム配置は図5-20の示すようになる。さらに、実行画面は図5-21の示すとおりである。

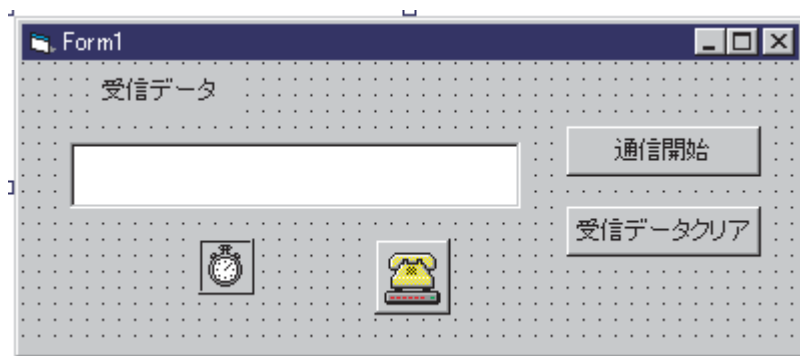


図5-20 受信用プログラムのフォーム配置

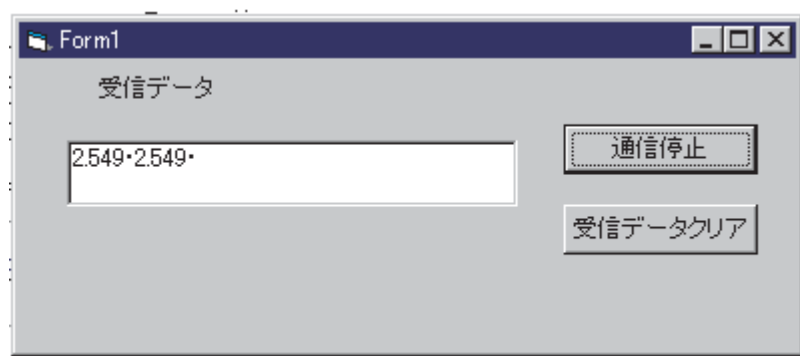


図5-21 受信用システムの実行画面

この図から受信用プログラムのフォームには通信開始か停止かに使われるボタン「通信開始」が一つ、データを受け取るための TextBox「送信データ」が1つ、さらにタイマーと MSComm コントロールもそれぞれ1つある。処理の流れは図5-22の示すようになる。

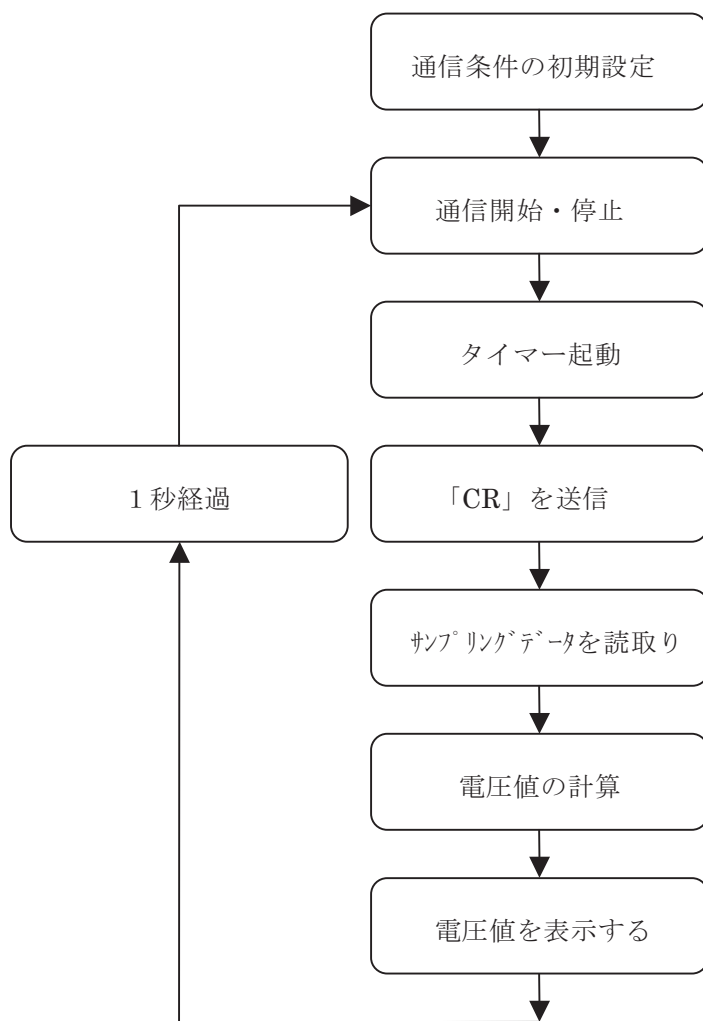


図5-22 受信用システムの処理流れ

プログラムの実行には、Form\_Load()の実行から始まる。フォームの Load イベントに RS232C 通信用の「通信条件の初期設定」を行うが、内容は図5-13のフォームの Load イベントに設定される初期設定と同じである。

次に「通信開始・停止」ボタンにより、RS232C との通信を開始または停止する制御を行うとともに、タイマーの起動も行う。

もし「通信開始・停止」ボタンにより RS232C との通信は始めると、タイマーも起動さ

れるので、タイマーの **Timer** イベントから 1 秒ごとに **RS232C** を経由してマイコンに「**CR**」という信号を送る。マイコンは信号を受け取ると、入力ポート **A** からのサンプリングデータをパソコン側に **CALLBACK** するので、パソコンはこのサンプリングデータを下記の式 (3-2-1) で計算して、テキストボックスに表示する。

$$V = \frac{5}{255} \times \text{サンプリングデータ} \quad (3-2-1)$$

このようにして、システムは 1 秒ごとに新しいデータをパソコンに送れるようになっているので、被測定物の新しい状況を常にチェックすることができるようになった。

【参考文献】

第5章第2節 CATV 通信ネットワークテキスト 武藤一義著 (株)睦コーポレーション

- 1 Interface 社：「チュートリアル Visual Basic による AD 入門書」
- 2 金藤 仁著：「自動計測システムのための VB6 入門」、技術評論社
- 3 吉田、他著：「センサ回路と応用」、近代図書
- 4 高橋・河井著：「ひずみゲージによるひずみ測定入門」、大成社
- 5 三谷政昭著：「パソコンで学ぶ基礎電子回路」、森北出版社
- 6 川口・河野著：「Visual Basic6 基礎編」、技術評論社
- 7 Microchip 社：日本語データシートホームページ
- 8 小川著：「First PICk」、(株) マイクロアプリケーションラボラトリー
- 9 後閑 哲也著：「電子工作者のための PIC 活用ガイドブック」、技術評論社