

長岡技術科学大学講義ノート\*

# 地盤工学における測定技術

豊田 浩史†

## 概要

ひずみ測定器は、いまや機械、電気分野のみならず、非常に多方面で使われるようになっていく。地盤工学の分野でも、荷重、圧力、加速度、トルク、変位などの物理量を電氣的出力として取り出せる変換器を多用している。ここでは、難解な理論や原理の解説は極力省き、その取り扱い方法や使用方法を簡易に解説するように努めた。日常の研究活動において、物理量を正しく把握でき、変換器の能力を最大限に生かし、さらに適切な変換器を購入するための参考になれば幸いです。



## 1 ひずみゲージ式変換器による測定の概要

ひずみゲージ式変換器を用いて測定を行う場合には、変換器本体(圧力計、変位計等)のほかに、ひずみ測定器と測定結果を表示したり記録したりするための装置が必要である。図1に、物理量が電圧に変換され、データが記録されるまでの過程の概略を示してある。この図からわかるように、変換器とは端的に、金属弾性体にひずみゲージをブリッジ回路を組んで、うまい具合に貼り付けたものである。これにひずみ測定器を接続して、ブリッジ電圧を与えてやると、変換器のひずみに応じた信号が得られる。これを記録していけばいいのである。以下に、各装置のしくみを順次説明していく。

## 2 金属弾性体

一般には、高応力に耐え、応力-ひずみ特性にヒステリシスがなく、直線性のよいものが望まれる。

\*研究室ゼミ

†長岡技術科学大学 環境・建設系

さらに、使用状況によっては、耐酸、耐アルカリ性が高いことや温度依存性が小さいことも要求される。定格値におけるひずみを大きく設計できれば、それだけ温度やその他の見かけひずみによる誤差を減少させることもできる。したがって、材料だけでなく、金属弾性体の構造やひずみゲージの貼り付け方法も変換器の性能を決める重要な因子である。

## 3 ひずみゲージ

ひずみゲージはひずみを受けるとその電気抵抗が変化する性質を利用したものである。以下にその過程を説明する。

1. 材料に外力  $P$  が働く。
2. 長さ  $L$  の材料が  $L + \Delta L$  に変化する。
3. 抵抗は長さに比例して断面積に反比例する。
4. 材料に接着されたひずみゲージの抵抗  $R$  は、 $R + \Delta R$  に変化する。

このひずみと抵抗変化との関係をゲージ率  $K$  といい、次式で定義する。

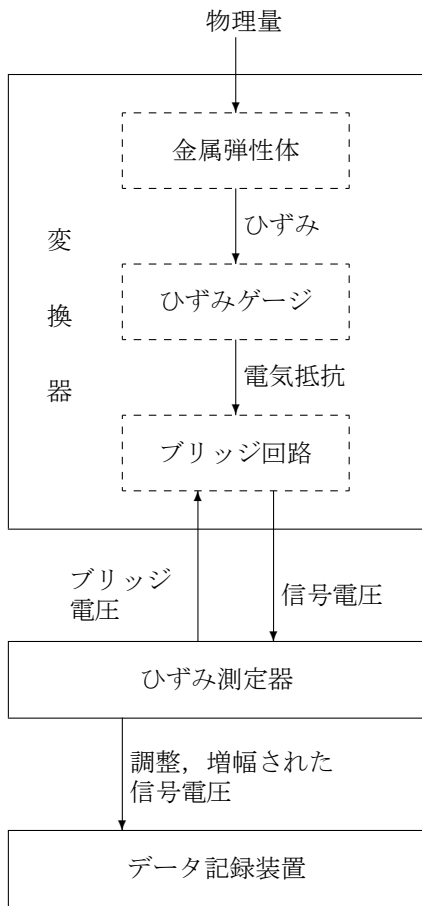


図 1: ひずみゲージ式変換器による測定の原理

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad (1)$$

この比例定数  $K$  は金属材料固有の値で、ひずみの大きさや温度等の環境条件の変動に関係なく一定値を有することが望ましい。ひずみゲージの抵抗材として、銅とニッケルの合金線が使用されることが多い。ひずみゲージは、電気絶縁フィルムの上に、この抵抗線で格子状の受感部を形成し、引き出し線を取り付けて製作する。

## 4 ブリッジ回路

### 4.1 ホイーストンブリッジ

ひずみゲージがひずみを受けた場合に生じる電気抵抗の変化はきわめて微小である。これを電気信号(電圧)として取り出すために、ブリッジ回路(ホイーストンブリッジ)が使用される(図 2)。ブリッジ電圧を  $E_i$  とすると、出力電圧  $E$  は

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

となる。

抵抗が  $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$  変化したとすると、出力電圧  $E$  も  $\Delta E$  変化するが、もし最初にブリッジが平衡していれば ( $R_1 R_3 = R_2 R_4$ )、出力電圧は  $\Delta E = E$  とおけるから、

$$E = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E_i \quad (3)$$

となり、抵抗変化率すなわち、ひずみに比例した出力電圧が得られる。

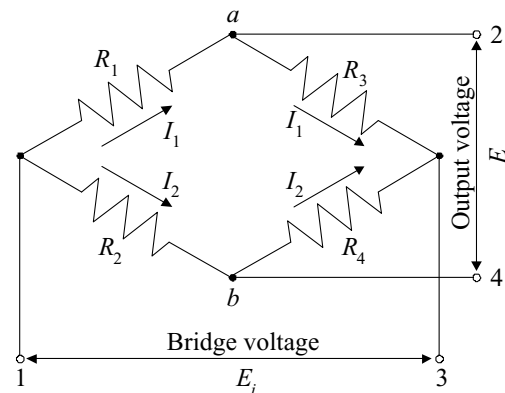


図 2: ホイーストンブリッジ

## 4.2 ひずみゲージの結線法

ブリッジ回路は、測定目的に応じて、1ゲージ法、2ゲージ法、4ゲージ法が用いられる。

1ゲージ法では、ブリッジ回路の1辺のみがひずみゲージで、他の3辺には固定抵抗が接続される。この方法では温度補償<sup>1</sup>ができないが、最近では自己温度補償型ゲージの普及により、広く用いられている。

2ゲージ法では、ブリッジ回路の2辺がひずみゲージで、他の2辺には固定抵抗が接続される。温度補償のために、2枚のひずみゲージのうち、1枚をアクティブゲージとし、他の1枚を温度補償用のダミーゲージとするアクティブ・ダミー法などで用いられる。

4ゲージ法は、ブリッジ回路の各辺すべてひずみゲージで構成される。自由度が大きいので、変換器(ロードセルや水圧計など)においては、変換効率を大きくしたり、温度補償や測定対象以外のひずみ成分を除去するために用いられる。

## 5 変換器

ひずみゲージは、ひずみを抵抗値の変化に置き換え応力を測定するが、この他に各種物理値を測定するための変換器(Transducer)にも使われている。

変換器とは、荷重、圧力、加速度、トルク、変位などの物理量を電圧、電流などの電気量に変換するための装置である。電気量は比較的自由かつ容易に増幅したり、表示したり、デジタル化したりすることができるので、物理量を測定、記録するために変換器を用いると非常に便利である。ひずみゲージ式変換器とは、ひずみゲージを用いて物理量を電圧に変換する変換器のことを言う。

通常、出力電圧はブリッジ電圧によって正規化された無次元量として表され、その無次元単位としてmV/Vが用いられる。出力電圧とゲージのひずみ量との関係はブリッジ回路の設計に依存するが、ほとんどの場合、ひずみ量  $2000\mu = 0.2\%$  に対して出力

<sup>1</sup>ひずみゲージはひずみだけでなく、温度によっても抵抗値変化が生じる。この温度の影響が表れないようにすることを温度補償という。

1.000mV/V となるように設計されている。

ひずみゲージを利用した物理量変換器には、次のような種類がある。

- ロードセル(荷重変換器)  
2万円程度から購入可能である。圧縮、引っ張り兼用になると少し高くなる。三軸試験では水中ロードセルというのを使っている。これは、三軸セルの中で使用しても、セル圧で値が変化しないという優れたものである。セル圧の影響の補正が必要ないので、使い勝手がよい。特注となり、20万円程度である。
- 圧力変換器  
水圧計がよく用いられる。5万円程度で購入可能である。要素試験では、防水性の水圧計でないので、センサーとコードの接合部を水に浸けたりしないように注意する。必ず壊れます。土圧計もこの分類に入ると考えられる。
- 加速度変換器  
基本的に防水型を購入している。7万円程度である。他の変換器も同じであるが、落としたりしないように。簡単に定格容量以上の加速度がかかります。瞬間的な载荷なので、これで壊れることはほとんどありませんが、取り扱いには注意すること。
- 変位変換器  
ダイヤルゲージ式が多くある。5万円程度。ひずみゲージ方式の他、大変位用のポテンシオメータ方式や摩擦が小さい非接触型(インダクタンス方式)、レーザー変位計などもある。
- トルク変換器  
研究室には、特注のロードセル(軸力トルク兼用型)と水中ロードセル(軸力トルク兼用型)がある。測定対象以外のひずみ成分を除くのが難しいのか、非常に高価でそれぞれ50万、70万円ほどする。

以上のひずみゲージ式変換器は自作も可能であり、実際自作している研究室も存在する。これにより費

用を抑えることはできるが、信頼できるものを作れるようになるにはかなりの熟練が必要であろう。

## 6 ひずみ測定器

### 6.1 ひずみ測定器とは

ひずみゲージのみでは、抵抗変化するのみなので、電圧を供給するための電源が必要である。また、この出力は、数 mV と非常に小さく、その出力を直接表示または記録することはできない。そこで、増幅器を用いてこの微小な電気信号を増幅する必要がある。そして最後にこの電圧値を出力する必要がある。一般には、電源と増幅器およびその他の付属機器が一体となったものをひずみ測定器と呼ぶ。このひずみ測定器は測定対象によって、静ひずみ測定器と動ひずみ測定器とに大別される。どちらも高価で、静ひずみ測定器 (10CH) は 100 万円程度、動ひずみアンプ (1CH) は 15 万円以上する。

### 6.2 静ひずみ測定器

ひずみが時間的に緩慢にしか変化しない場合に用いる。測定方式としては、零位法と編位法があるが、最近は編位法が主流である。測定速度は最高でも 1 秒に 1 回程度である。ただし、ドリフトが少なく、長期安定性がある。研究室の要素試験は静ひずみ測定器を用いている。測定値はデジタル値に変換され、印字により出力される。

この静ひずみ測定器に搭載されている調整器械のうち基本的なものを挙げておく。

- 測定ファンクションの設定  
イニシャル値 (ブリッジの初期不平衡値)、メジャー値 (オリジナル値よりイニシャル値を引いた値)、オリジナル値 (生の測定値) を設定。
- 測定モード設定  
ひずみゲージの結線方法 (4 ゲージ法フルブリッジ等) を入力する。

- 定数演算測定  
電圧を物理量に変換し、直読値として結果を得たい場合に使用する。
- 測定方法の設定  
インターバル測定やトリガー測定の設定。

### 6.3 動ひずみ測定器

アンプ (Dynamic strain amplifier) と呼び、振動や衝撃のようにひずみが短時間で大きく変化する場合に用いる。この値を目で読みとることは不可能であるから、記録器と併用して用いる。ブリッジ電圧が直流のものと交流のものがあるが、土質試験のように測定現象が比較的低周波数 (数 kHz 以下) の場合には交流動ひずみ計を用いる。

アンプに搭載されている調整器械のうち基本的なものを挙げておく。

- 抵抗調整器 (“R-VAL” 等)  
ゼロ点を設定する。
- 増幅率調整器 (“VAR”, “GAIN”, “VERN” 等)  
増幅率の微調整を行う。
- 減衰器 (“ATT”, “RANGE” 等)  
増幅率調整器によって調整可能な増幅率の最大値を設定する。増幅率の大まかな調整。
- 較正器 (“CAL” 等)  
任意の信号電圧をアンプ自身 (増幅回路) に負荷し、ひずみゲージが任意のひずみを受けた状態を仮想的に作り出す。増幅率を設定するときに用いる。

## 7 データ記録装置

アンプからの出力電圧の表示装置として最も一般的なものはデジタルボルトメーターである。記録装置としては、磁気記録式データレコーダー、ペン書きオシログラフ、ブラウン管オシロスコープなどがある。また、パソコンを用いれば、表示と記録を一

括して行うことも容易である。最終のデータ処理としてパソコンを使うことを考えると、簡単にデジタル値が抜き出せるものが望ましい。

## 8 変換器の検定方法

### 8.1 検定の重要性

ひずみゲージ式変換器の検定では、既知量の負荷や変位等の実負荷を変換器に載荷し、その時の変換器の出力(ひずみゲージのひずみ量)を測定する。そこで問題となるのは実負荷の載荷方法である。検定の際に実負荷を載荷あるいは測定するための各種の道具があるので、その使用方法を簡単に説明する。正常な使用状態では非常に安定しており、頻繁に検定を行う必要はないが、過負荷などによって狂うこともあるので、1年に1回くらいは検定を行ったほうが無難である。この検定が違っていれば、せっかくの実験データも意味のないものになってしまう。

### 8.2 ロードセルの検定

小容量のロードセルを検定するときには重りを直接ロードセルの上に積み重ねる。また、3000Nまでの検定には専用のでこ(荷重倍率10倍)を用いる方法がある。研究室にはこれらの設備がないので、ロードセルの検定はメーカーに依頼している。

### 8.3 間隙水圧計の検定

20kPa(0.2kgf/cm<sup>2</sup>)程度までの検定では水柱を用いる。それ以上では水銀柱を用いるのが最良である。その他、マスターゲージと呼ばれているブルドン管や信頼のできる水圧計を検定用の圧力計として用いる。圧力源は、コンプレッサーで発生する圧縮空気をレギュレータで調圧して用いる。間隙水圧計への載荷は、空気圧を直接載荷しても水圧に変換して載荷してもかまわないが、完全に乾燥しているか、完全に飽和しているかが重要である。水滴が残ってい

ると、そのサクションにより正確な検定ができない場合がある。

### 8.4 加速度計の検定

加速度計を90度回転し、重力加速度1G=980cm/s<sup>2</sup>を作用させる。

### 8.5 変位計の検定

ゲージブロック(正確な厚さを持つ金属片)をはさむことによって検定する。マイクロメータやダイヤルゲージで検定することもできる。

### 8.6 ポテンシオメーター(回転角計)の検定

ポテンシオメーターはひずみゲージ式変換器ではないが、適切なブリッジ回路を組むことによってひずみ測定器による測定ができる。ポテンシオメーターの回転盤がブロックに接するようにセットし、マイクロメーターでブロックを押して移動させる。ブロックの移動量から回転盤の回転角を計算する。ポテンシオメーターはエンドレスに回転し、出力はサインカーブのように周期的に変動する。したがって、直線近似をして、測定に用いることができる回転角の範囲を明確にしておく必要がある。

### 8.7 トルク計の検定

トルクを載荷するため、ロードセルに合った専用検定器が必要である。基本的に、メーカーに依頼している。

### 8.8 検定表について

変換器を購入すると必ずメーカーによる検定表が付属しており、これを参照することによって変換器の較正係数や性能を知ることができる。メーカーによる検定は精度が高く、変換器が適正な条件の下で

使用されている限り記載されている数値が変化することはない。また、変換器の種類によっては我々の実験室であらためて検定することが不可能なものもあるため、メーカーの検定表は大切に保存しなければならない。自分で検定を行った場合もきちんとした検定表を作成して保存する。

以下に、検査成績表の重要な語句を簡単に説明する。

- 容量：変換器の測定精度が保証される最大値。これを越える値を受けると変換器の塑性変形が生じるなどして性能の変化をきたす。
- 定格出力：容量に対応する値がかけられたときの変換器の出力電圧（ブリッジ電圧に対する比）またはひずみゲージのひずみ量。
- 非直線性：変換器の出力の直線関係からのずれの最大量。定格出力に対する比で表す。
- 較正係数：容量と定格出力の比から求める。

## 9 変換器使用方法の実際

### 9.1 変換器使用の概要

変換器を用いて、実際に物理量を測定する方法を説明する。ここに書かれている説明にしたがって操作を行えば、誰でも正確で安定した測定ができるはずである。測定手順の概要を図4に示す。

### 9.2 変換器の検定

1. 変換器とひずみ測定器を接続する。
2. 静ひずみ測定器では、オリジナル値が読めるように設定する。動ひずみ測定器ではアンプを次のように設定する。
  - (a) アンプの“R VAL”を調節して、デジボルに表示される電圧を0.000Vとする。
  - (b) アンプの“CAL”目盛りを1000 $\mu$ にあわせ、“CAL”スイッチをON(+にする。

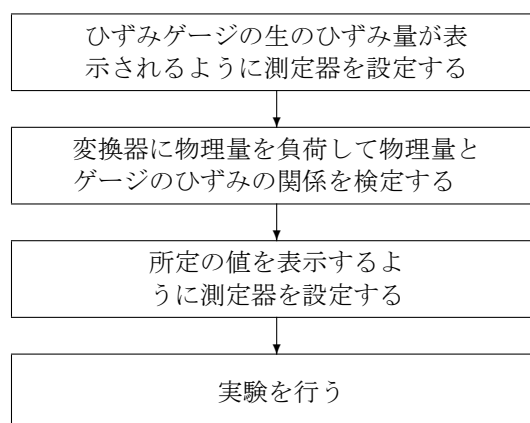


図4: 測定手順の概要

- (c) アンプの“ATT”で大まかな設定を、次に“GAIN(VAR)”で微量の調整を行い、電圧を1.000Vとする。
  - (d) アンプの“CAL”スイッチをOFFにする。
  - (e) “R VAL” “GAIN”の調整を2, 3回繰り返す、アンプのゼロ点と増幅率を正確にセットする。
  - (f) この時、変換器のひずみ量とデジボルに表示される電圧の間には、1000 $\mu$ =1.000Vという関係があるので、ひずみ量を簡単に測定することができる。
3. 物理量を順次負荷していき、各段階での物理量とひずみ量を記録する<sup>2</sup>。変換器の容量(Capacity)を越えて負荷しないように注意する。
  4. 逆の過程(物理量を取り除いていく)でも同様に記録し、ほとんど履歴ループがないことを確かめる。
  5. 物理量とひずみ量の関係を直線近似して、この変換器の校正係数とする。

### 9.3 実験開始時のひずみ測定器の設定

静ひずみ測定器では、メジャー値で記録するのが便利である。校正係数をかけて、物理量に直しておくと、現在の現象(状況)が理解しやすい。

<sup>2</sup>アンプを用いた場合は、物理量と出力電圧の関係を記録しますが、必ず物理量とひずみ量の関係を記録する。これがアンプの設定に左右されない不変な関係となる。

検査成績表 CALIBRATION SHEET		
形式	Model	LP-500
製造番号	Serial No.	376304
定格容量	Capacity	500 kgf
定格出力	Rated output	1.001 mV/V ( 1 mV/V = 2000 $\mu\epsilon$ )
非直線性	Nonlinearity	-0.06 %RO
ヒステリシス	Hysteresis	-0.30 %RO
較正係数	Calibration constant	499.5 kgf / 1 mV/V
検査年月日	Inspected date	1997.07.10
検査者	Inspector	H. Toyota

図 3: 検定表の書式の例

アンプを用いる場合は、ゼロ点および増幅率は時間と共に多かれ少なかれシフトして狂いを生じる(特にゼロ点)。したがって、アンプの設定は実験の開始時に毎回行う必要がある。変換器のひずみ量と物理量の関係は不変であるが、ひずみ量と出力電圧の関係はアンプの設定で自由に変えられる。代表的な設定方法を以下に挙げておく。

- “変換器の許容ひずみ量が、アンプの出力最大電圧になるように設定する。”  
変換器の容量が適切なときに、この方法を用いるとよい。ただし毎回、実験に応じて変換器を変えられず、かつ測定範囲の分解能<sup>3</sup>を上げたいなら、次の方法を用いるべきである。
- “実験で予想される最大物理量負荷時に変換器

<sup>3</sup>分解能とは、アナログ値をデジタル値に変換するときに、どれくらい細かく分割するかを意味する。例えば、12ビットの分解能を有する A/D 変換を用いた場合、指定範囲を 4096(=  $10^{12}$ ) 分割できるということである。分割数は決まっているが、指定範囲を小さくしてやれば、細かい分割が可能になるわけである。

に発生するひずみ量が、アンプの出力最大電圧になるように設定する。”

上述のような理由で、分解能を上げたいときに用いる。ただし限界は存在する。変換器、ケーブル、ひずみ測定器と経路をたどるごとに、それ自身の持つノイズや、外部からのノイズなど様々なノイズが含まれてくる<sup>4</sup>。このノイズの部分をいくら細かく分割しても精度は上がらない。測定精度とは、ノイズや分解能を総合的に評価して、どこまでの値が信頼に値するのか、ということである。

- “物理量とアンプの出力電圧が簡単な関係(0.1, 1, 10 倍等)になるように設定する。”  
使い勝手を重視した方法である。出力値から、実際の物理値が一目でわかるので、実験がうまくいっているかすぐ判断できる。できるだけ分

<sup>4</sup>ノイズ成分が、容量の 1/100 以上ある時は、ノイズを発生させている原因があると考えられる。アース線の取り方は正しいかなどをよくチェックして、原因を探ってみるべきである。

解能が落ちないような設定にするべきである。分解能が落ち、必要とする精度に影響が出てくるようなら、この方法を用いることはできない。

## 10 パソコンの利用

### 10.1 はじめに

図 5 にパソコンを用いた自動計測の一例を示す。図の下半分が自動計測の流れである。各種変換器で読みとられた値は、静ひずみ変換器 (データローガー) で、A/D 変換され、デジタル値に変えられる。このデジタル値を GP-IB インタフェースを介してパソコンに取り込み、パソコンで各種計算を行っている。GP-IB は、高速通信が可能で信頼性があると言われているが、使用に当たっては、新たに GP-IB ボードを購入する必要がある。その他、パソコンに標準で搭載されていることが多い RS232C を使用する方法もある。ここでは、このようなパソコンによる計測・制御が必要となる基礎知識を修得する。

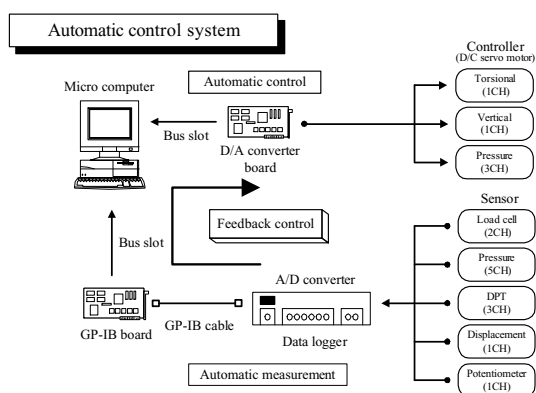


図 5: 自動計測システム例

### 10.2 インターフェースの選択

#### 10.2.1 はじめに

計測・制御機器をパソコンと繋げるには、インターフェースが必要になる。少しパソコンをいじったことがある人なら、MO や LAN の拡張ボードをパソコンに取り付けたことがあるのではないだろうか。このような作業は比較的簡単に済む。これは、パソコン周辺機器が標準化されているからである。最近では、USB に接続すると、すべてパソコンが認識して作業してくれるようになり、初心者でも容易に接続可能である。これに比べ、使用者がマニアックな人に限られるためか、計測・制御機器のパソコンとの接続に関する標準化は遅れている。ただし、以前の MS-DOS を OS としていた頃と違い、Windows になってからは、あまりハード的な構成を理解する必要がなくなってきている。しかし、このような内部操作が公開されていない分、ブラックボックスも多くなっている。ここでは、Windows を用いた計測・制御機器との接続について説明する。

#### 10.2.2 インターフェースの目的と種類

パソコンへの計測データの入力やパソコンから制御データの出力は、すべて I/O ポートを通じて行われる。まず、すべての接続機種にこの I/O ポートのアドレスを割り振る必要がある。以前は、他の器機とアドレスの重複がないように、自分で調べる必要があったが、プラグアンドプレイに対応した機器同士なら、自動的にアドレスを割り振ってくれるので便利である。I/O ポートを増設する一番の基本は、拡張スロットにインターフェースボード (I/O ボード) を取り付けることである。

拡張スロットバスの形式としては次のようなものがある。

##### 1. C バス

一世を風靡した NEC の PC9800 シリーズで採用された拡張スロットバスの規格である。MS-DOS との組み合わせで、I/O ポートアドレスの



並びを理解し、直接 2 進数 (16 進数) でデータを書き込んだものだが、現在この規格は姿を消した。

#### 2. ISA バス

IBM の Dos/V パソコンに取り入れられてきたが、マイクロソフト社が ISA バスを装備しないことを推奨し、市販のパソコンからは完全に消えた。自分でボードの作製が容易にできるメリットがあった。

#### 3. PCI バス

最近の主流である。動かすためには、デバイスドライバ(ユーザーのプログラムをハードウェアに伝える中継をするプログラム)が必要となる。作成はかなり難しいので、通常は市販(ボードについてくる)のものを使う。小型化した Low Profile PCI スロット等も出てきている。

#### 4. PC カード

ノートパソコン用のバスである。ノートパソコンはスペースを取らない点で優れているが、この様な拡張を行う場合、どうしても高価になってしまう。

拡張バスを必要としないものとして、プリンタポート、USB、RS-232C などがある。この中でも、データ転送がきわめて簡単な、RS-232C は計測・制御でよく使われてきている。

次に、計測・制御のため、この拡張スロットバスに挿入するインターフェースボードの種類を挙げておく。

##### 1. A/D 変換ボード

センサーで読みとられるアナログの物理量をデジタルに変換してパソコンに取り込むことができるようにするボードである。

##### 2. D/A 変換ボード

パソコンから計算されたデジタル値を、モータなどの制御機器に入力できるようにアナログに変換するボードである。

##### 3. GP-IB ボード

センサーで読みとられるアナログの物理量が計

測機器に入力され、すでにデジタルに変換されたデータをパソコンに取り込むために使われる。同じ機能を果たすものに RS-232C がある。計測機器の方でどのどのデジタル通信出力を備えているかによって使い分ける。

##### 4. モータコントロールボード

ステッピングモータおよび(パルス列入力方式の)サーボモータの位置決めを行うコントロールボードである。この様なパルス入力型のモータは、使用できる速度幅が広いことと精度の向上により、最近多く使われるようになっている。

##### 5. イーサネット (Ethernet)

いわゆる LAN ボードで接続する方法である。ネットワークの普及と高速化にともない、対応機種が増えてきている。100BASE-TX なら、かなりの高速通信も可能である。グローバルなネットワークでは、様々な障害を受けてしまうことがある。そこで、パソコンと計測機器をサーバーとクライアントの関係にした単線のネットワークが無難である。そのため、グローバルなネットワークにも同時の接続したい場合は、LAN ボードを 2 枚準備する必要がある。

## 10.3 システム構築言語とその使用方法

### 10.3.1 はじめに

パソコンを利用するに当たっては、それらを動かすためのプログラム言語が必要である。NEC の PC-9800 シリーズのパソコンでは、NEC の N88Basic を用いることが多かった。Basic 言語はグラフィック操作が容易であり、N88Basic は GP-IB や各種 I/O ボードにも対応していた。しかし、メモリー上の制限や構造化プログラミングができないなどの多くの問題点もあった。

近年 Windows の普及に伴い、自動計測のシステムも変化してきている。ボードに付属しているドライバーソフトで、各種 DLL を Windows に移植することにより、制御が可能となっている。ボードメーカーからも、計測、制御用のソフトウェアが販売さ

れており、マウス操作のみでシステムの構築(プログラミング)が可能である。Windows 上のプログラム言語も進化してきている。例えば、Visual Basic であるが、Basic 言語の弱点はほぼ克服された上、日頃慣れ親しんでいる Windows 形式のソフトウェアが、簡単に構築できるのである。制御速度やデバイスドライバを作成するなどの面では、C 言語に 1 歩及ばないようであるが、Basic 言語は人間の考え方に近い構成を持っており、楽しみながらのプログラミングが可能であろう。

### 10.3.2 接続のためのプログラミング例

パソコンから、インターフェースボードに命令を出すとき、通常プログラミング言語が使われる。これに時間をかけたくないという方には、市販されているソフト(または、各試験機メーカーが独自に開発したソフト)の購入を勧める。それなりに使いやすく完成されたものであるが、高価であることと、プログラムコードが公開されていないことが多く、自分では改良ができない。自分ですべて簡単にプログラミングをしてみたいという方には、計測・制御開発ソフト(例えば、ナショナルインスツルメント社の LabVIEW)の使用を勧める。計測・制御ソフトを開発するために特化した言語であるため、この目的のためにはかなり使い勝手がよい。最もオーソドックスな方法は、一般的なプログラミング言語(Basic や C)を使い、計測・制御する方法である。Visual Basic や Visual C++ を使えば、簡単に Windows 上のソフトが作成可能である。

これまで述べてきたように、PCI バスを用いるにあたり、各メーカーから提供されているデバイスドライバが必要となり、それがメーカー依存であるため、普通のコードは無い。参考までに、Visual Basic によるインターフェースボード認識(接続)のプログラム例を挙げておく。詳細は各ボードの説明書(または Web)を読んでいただきたい。また変数の定義は、別途行っておく必要がある。プログラム終了時には解放する必要もある。

#### 1. D/A 変換ボード(コンテック社を使用)

```
strErrMsg = ""
lngRet = AioInit(strDABoard, intDAID)
If lngRet <> 0 Then
    strErrMsg = "DA Error: No. " & _
        CStr(lngRet)
    GoTo exitDA:
End If
intRangeDA = 0
' 各チャンネルを初期設定します。
For intN = 0 To intMaxDACH - 1
    lngRet = AioSetAoRange(intDAID, _
        intOutChNo(intN), intRangeDA)
    lngDA = VoltToBinary(sngRangeMax, _
        sngRangeMin, intBits, 0)
    lngRet = AioSingleAo(intDAID, _
        intOutChNo(intN), lngDA)
Next intN
exitDA:
On Error Resume Next
If strErrMsg <> "" Then
    MsgBox strErrMsg, vbOKOnly + _
        vbExclamation, App.Title
End If
```

#### 2. GP-IB ボード(コンテック社を使用)

```
strErrMsg = ""
lngIfcTime = 10
lngDelim = 1
lngEoi = 1
lngRet = GpIni()
If lngRet <> 0 Then
    strErrMsg = "GP-IB Error: No. " & _
        CStr(lngRet)
    GoTo exitGPIB:
End If
lngRet = GpIfc(lngIfcTime)
lngRet = GpRen()
lngRet = GpDelim(lngDelim, lngEoi)
```

、各測定機器に設定されているコマンドを次のように発信します。

```
lngRet = GpTalk(lngCmdTalk(0), _
    lngSrlen, strSrbuf)
exitGPB:
On Error Resume Next
If strErrMsg <> "" Then
    MsgBox strErrMsg, vbOKOnly + _
        vbExclamation, App.Title
End If
```

### 3. モータコントロールボード(コンテック社を使用)

```
strErrMsg = ""
lngRet = SmcInit(strDevice)
If lngRet <> 0 Then
    strErrMsg = "PM(No. 1) Error: No. " & _
        & CStr(lngRet)
    GoTo exitPM:
End If
' モータへのコマンド発信です.
lngRet = SmcSetLimitMask(strDevice, _
    SMC_ALM, SMC_ALM)
lngRet = SmcSetMasterSlave(strDevice, _
    SMC_MASTER)
lngRet = SmcSetStartSpeed(strDevice, _
    dblPMSpeedZero)
lngRet = SmcSetTargetSpeed(strDevice, _
    dblPMSpeedZero)
lngRet = SmcSetAccelRate(strDevice, 0)
lngRet = SmcSetDecelRate(strDevice, 0)
lngRet = SmcSetReady(strDevice, _
    SMC_STOP, SMC_CCW)
exitPM:
On Error Resume Next
If strErrMsg <> "" Then
    MsgBox strErrMsg, vbOKOnly + _
        vbExclamation, App.Title
End If
```

### 4. イーサネット (WinSock を使用)

```
strErrMsg = ""
lngSrlen = 512
' 初期化します.
lngRet = WSASStartup(&H101, musrStartup)
If lngRet = SOCKET_ERROR Then Exit Sub
' クライアントソケットを作成します.
mlngSock = socket(AF_INET, _
    SOCK_STREAM, 0)
If mlngSock = SOCKET_ERROR Then
    strErrMsg = "Socket:did not create"
    GoTo exitConnect:
End If
lngIPAddr = GetHostByNameAlias(strHost)
musrSockBuf.sin_family = AF_INET
musrSockBuf.sin_port = _
    htons(CLng(strPort))
musrSockBuf.sin_addr = lngIPAddr
musrSockBuf.sin_zero = String$(8, 0)
' サーバーに接続します.
lngRet = connect(mlngSock, _
    musrSockBuf, Len(musrSockBuf))
DoEvents
If lngRet = SOCKET_ERROR Then
    strErrMsg = "connect:" & _
        strWSAErrorGet(WSAGetLastError())
    GoTo exitConnect:
End If
DoEvents
strErrMsg = ""
strSend = "LOC"
' データを送信します.
lngRet = send(mlngSock, _
    ByVal strSend, 512, 0)
```

## 参考文献

ひずみゲージを利用した測定技術に関する本は数多く販売されている。しかし、どれもかなり高度なことまで記述しており、すべてを理解することは困

難である。図書館等で、簡単な基本原理のみを拾い読みすることをお勧めする。また、メーカーのカタログやホームページなどには、大変わかりやすく、肩のこらない記述でまとめられていることがある。これらもお勧めである。