

## はじめに

機械分野へのエレクトロニクスの浸透には目覚ましいものがあるが、いざ機械エンジニアがエレクトロニクス技術を習得しようと思っても、そこにあるのは気の遠くなるような電子工学の解説書や意味不明の単語の多い技術書である。

そこで、本講座では、難しい単語は使わずに、計算式は必要最低限にとどめ、目的に対する方法だけを実務的に習得することを主眼に置いた。

その結果、電子工学の基本書としては物足りないが、機械エンジニアが新しい機械システムを設計する際の参考書としては、非常に便利なテキストになっているはずである。

電気・電子工学のエンジニアには機械がよくわからない。しかし、本講座の受講生である皆さんがエレクトロニクス技術を習得することにより、メカトロニクス分野への機械エンジニア進出の助けになれば幸いである。

## 第1章 メカトロニクス

### 1-1 メカトロニクスとは

メカトロニクスとは、「メカニクス」と「エレクトロニクス」の合成語であり、機械工学と電気・電子工学を融合させて、より高度な制御を実現するためのものである。簡単に言えば、従来は歯車やベルト、カムなどを組み合わせて行っていた制御をリレーやICやコンピューターなどを利用して行うものである。

機械要素に電気・電子工学の技術を取り入れることにより、次のような利点が生まれる。

#### ●操作が簡単になる(熟練が不要)

コンピューターを組み込んだ機械では、材料の加工が数値的に行われ、複雑な操作手順を自動化することができる。また、障害時の対処方法を組み込むことにより、誰にでも安全に運転できる機械を作ることができる。

#### ●調整が簡単(再現性が高い)

速度やタイミングなどは、ギアなどを交換することなく、電気的な操作で簡単に換えられるため、調整が簡単になり、生産の余裕度が増す。

#### ●コストを低くできる

機械にエレクトロニクス技術を組み入れることにより、複雑な動きをする機構が不要になり、部品点数が大幅に減ってコストを低くできる。

#### ●故障が少なくなる

複雑な動きや高速回転をする機構が必要がなくなり、摩耗などによる故障が大幅に少なくなる。

#### ●簡単に高精度が得られる

デジタル制御(第2章)により、高精度が簡単に得られる。

#### ●仕様変更が容易

機構では速度やタイミングの変更はギアや取り付け位置の変更が必要になることが多いが、エレクトロニクスではプログラムの変更で済むことも多い。

#### ●生産性が上がる

無駄な動きをする必要がないことと、常に人がいる必要がなくなるため、生産性が大幅に上がる。

### 1-2 電気と電子

電気と電子はどこが違うのだろうか。電気の流れ(電流)というのは、電子の移動により起こるから、結局は電気と電子は同じ物ではないだろうか。

そう考えるのはごく自然で、機械エンジニアがエレクトロニクス技術を習得しようとした場合、まず電気を勉強すれば良いのか、電子を勉強すべきなのか大いに悩み、両方の工学書を手にしてみても、両方とも自分の手には負えないとあきらめてしまうのが、ごく平均的な人なのである。

そもそも、このあたりがエレクトロニクスをわかりにくくしている最初の障壁ではないだろうか。そこで、この疑問に関しては次の2つの事柄だけを念頭において、先に進むのが賢明である。なぜならば、この先にはもっと実用的で楽しい内容がいくらでもあるからである。

#### 1-2-1 電気とは

電気工学で扱う電気とは、電気の持つエネルギーを直接利用したもので、その具体例は冷暖房設備、照明設備、エレベーターやエスカレーターなどの電力を熱あるいは光、運動エネルギーなどとして用いるためのもので、その内容はエネルギー換算や交流理論(電力の基本形態)、モーターの種類や起動方法、それらのものを制御するためのシーケンス回路などである。

### 1-2-2 電子とは

電子工学で扱う電子とは、電気の振る舞いを利用したもので、その具体例はテレビ、ラジオ、CDプレイヤー、ビデオ、携帯電話、パソコンなどである。これらの物では、電気のエネルギーを直接利用するのではなく、電子の流れを利用して信号を強く(増幅)したり、電波にして(変調)送ったり、電波から信号を取り出したり(復調)、電気信号を磁気の変化に変換(録音)したり、磁気の変化を電気信号に変換(再生)したり、電気信号の処理により計算したりして利用するものである。

## 1-2 メカトロニクスの原理

メカトロニクス技術は、機械の制御部分を電気・電子回路に置き換える技術であるが、どの部分を置き換えるかにより多少の違いはあるものの、その概念はよく人間に例えられる。

まず、機械は一般的に何かを動かすものであるから、電気信号を動きに変換する必要がある。人間で言えば筋肉に相当するものであるが、具体的にはモーターやソレノイド(電磁石)やシリンダーがこれにあたる。こうした動きを得る物を**アクチュエーター**(実現化するもの)と呼ぶ。

また、これらの筋肉に相当する部分は、ただやみくもに動けば良いのではなく、状態を見ながら動く必要がある。もっとも単純に言えば、作動範囲を越えないように動くためには、作動の限界点を知るためのリミット・スイッチが必要になる。人間で言えば五感のようなもので、ある場合は見ながら、またある場合は触りながら、音を聞きながら、においを嗅ぎながら動く必要がある。これらは、目であり、手であり、耳であり、鼻である。具体的には各種の**センサー**がこれにあたる。具体的には画像処理、赤外線感知、スイッチ、光電スイッチ、超音波センサー、圧力センサー、温度センサー、湿度センサー、振動センサーなどがこれにあたる。

さて、ここまでで人間で言えば自律神経の働きをすることができる。ただし、このままでは心臓が動き、熱い物に触れば反射的に手を引っ込め、音がすれば注意を引きつけることができるが、材料を加工したり、エレベーターを目的の階に停止させることはできない。

なぜならば、人間の脳に相当する部分がないからで、脳はセンサーからの情報を過去の記憶や法律に照らし合わせて筋肉の動きを制御している。この脳の働きをする部分はいわばピンからキリまであり、もっとも単純なものでは作動範囲を行ったり来たりし、非常停止ボタンが押されたら停止する程度の微生物程度のものから、どうしたら効率よくエレベーターの運転ができるかを考えながら制御したり、電車の乗り心地を考えながら運転するような人工知能的な物まであり、前者はリレーやプログラマブル・コントローラー(PC)を利用して制御するシーケンス回路、後者はマイクロ・コンピューターやパソコンなどを利用するコンピュータ制御として実現されている。

## 1-3 鍵となる技術

メカトロニクスに必要なエレクトロニクス技術を習得するためには、おおよそ次のような項目に関する知識が求められる。

- モーターやソレノイドなどのアクチュエーターに関する知識
- リミット・スイッチや光電スイッチなどの位置センサーに関する知識
- 圧力センサーや温度センサーなどの状態センサーに関する知識
- リレーやデジタル回路などを用いたシーケンス回路の知識
- 電子部品やトランジスタとICについての概略の知識
- センサーからの電気信号をパソコンなどに接続するための知識
- パソコンにおけるプログラム作成に関する知識

これらの知識を習得すれば、機械エンジニアがメカトロニクスに取り組むには十分な足掛かりができると思う。

参考までに、機械エンジニアがメカトロニクスを初めて学習するのに不要な項目を挙げると次のようになる。

- × 電磁気学や静電気に関する物理的な知識(作るわけではない)
- × 交流理論や四端子網に関する詳細な知識(役に立たない)
- × キルヒホッフの法則やホブナン、ノートンの法則(使わない)
- × 微分回路や積分回路、発振回路などに関する知識(使わない)

このように考えると、いわゆる電気・電子工学の本の最初に書かれている部分は、ほとんど必要ないことがわかる。これらのことから、機械エンジニアがメカトロニクスを勉強しようとしたときに、最初でくじけてしまう理由がおわかりいただけたと思う。

## 第2章 センサー

センサーとは、先にも述べたように人間に例えれば五感に相当する部分で、メカトロニクスで扱うセンサーは、電気信号を出力するものに限られる。これには、位置センサーや温度センサー、圧力センサー、超音波センサー、赤外線感知センサーなどがあり、それぞれ目的が異なる。

### 2-1 位置センサー

メカトロニクスでもっとも重要かつ使用頻度の多いセンサーは位置センサーで、これは対象物がどこにあるか(あるいは、ないか)を電気信号に変換するものである。

#### 2-1 リミット・スイッチ

リミット・スイッチとは、対象物の位置を知るためのスイッチで、オンかオフの2通りの状態しか出力しない。メカトロニクスでもっとも多く用いられているセンサーで、シーケンス回路やパソコンなどと非常に簡単に接続でき、調整が簡単で故障も少ない。

リミット・スイッチには、その原理によりいくつかの種類があるが、方式により信頼性や動作速度、検出できる対象物が異なる。

##### 2-1-1 接点形リミット・スイッチ



接点形リミット・スイッチは、金属接点を用いたスイッチに用途に応じた機構を組み込んだものである。種類が豊富な上、安価で入手も容易で、極性(プラス・マイナス)も気にしなくて良いなど、もっとも多く用いられるが、反面、金属接点を用いているため、接触不良や寿命などのトラブルも多く、特に油分や湿気の多い場所には不向きである。

##### 2-1-2 光電形リミット・スイッチ

###### ●透過形

透過形光センサーは、発光部から発した光がそのまま受光部に届いている状態を、物体が光を遮ると、受光部に光が届かなくなることを利用した光電センサーである。この原理上、透明な物体は検出できない。

###### ●反射形

反射形光センサーは、発光部から発した光が物体に反射して受光部に届くことを利用した光電センサーである。原理上、光を反射しない物体は検出できない。

##### 2-1-3 磁気形リミット・スイッチ

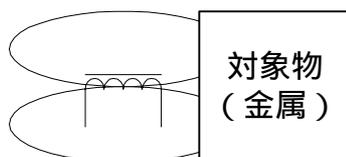


図2-1 磁気形リミットスイッチの原理

図2-1は、対象物に磁界を与え、その変化を読みとるセンサーで、対象物が金属に限られるが、誤動作の非常に少ない検出ができる。しかし、検出距離は対象物の材質や大きさで大きく変化するため、あるかないかを検出するのに適している。検出に磁気を利用するため、汚れや油などに対して強いのが最大の長所である。

#### 2-1-4 圧力形リミット・スイッチ

荷重がある一定を越えると作動するため、一定量の計量や、荷重オーバーの検出などに用いられる。

## 2-2 光電スイッチ

赤外線などの光を放射し、その反射光のあるなしで判断したり、透過光のあるなしで判断したりする。一般的に光電スイッチと呼ばれるものは検出距離が数センチメートルから数メートルと長いのが特徴である。

こうした光電スイッチでは、太陽光や電灯光などの影響を避けるために、放射する光に変調をかけて(非常に速く点滅させる)、点滅間隔が自分の放射した光と異なる光をフィルター回路で取り除く。また、受光部に赤外線フィルターを取り付けて、波長の異なる太陽光や電灯光を取り除くなど二重の誤動作防止策がとられている。

### 2-2-1 反射形光電スイッチ

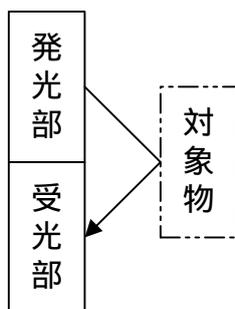


図2-2 反射形光電スイッチの原理

図2-2は赤外線などの光を放射して、対象物がある場合の反射を利用したセンサーである。発射光に赤外線を用いるのは、可視光線と異なり黒っぽい物体にも反射し、人の目に見えない上、室内では赤外線は少なく、太陽光の影響を受けにくいからである。こうしたセンサーは検出距離が数mmから数十cmと短い、センサーの取り付けが1箇所済むことと、光軸合わせが不要なことから、感知する物体に接触しない**非接触センサー**としては、非常に多く用いられている。

### 2-2-2 透過形光電スイッチ



図2-3 透過形光電スイッチの原理

図2-3は、赤外線などの光を放射して、対象物がある場合その光が遮られることを利用したセンサーである。発光部と受光部が別々で、発射した光がきちんと受光部に届く必要があるため、光軸合

わせが必要で(しかも赤外線の場合は目に見えない)、取り付けの手間がかかるが、検出距離を最大10m程度まで長くとることができる上、対象物が透明以外であれば安定した感知ができるため、自動ドアなどのセンサーとして多く用いられている。なお、このセンサーを使用した場合、透明人間では感知できない。

### 2-3 圧力スイッチ

圧力センサーのうち、出力がオンとオフだけのスイッチになっているものを圧力スイッチと呼んでいる。圧力スイッチは、気体や液体の圧力がある一定以上になると作動するもので、水位を検出したり、配管やタンクなどの詰まりや爆発の危険などを感知したりするのに使われる。



図2-4 圧力スイッチ

### 2-4 温度スイッチ

温度スイッチは、ある一定以上の温度になるとスイッチがオン(またはオフ)になるもので、基本的には熱膨張率の異なる異種の金属板を張り合わせたものが、温度の上昇に伴い湾曲する作用を利用した物で、このような板ばねをバイメタルと呼ぶ(図2-5)。また、バイメタルは接点部が空気に触れているため、接触不良が多く、寿命も短いため、最近では感温リードスイッチを利用したものや、サーミスターと呼ばれる温度で電気抵抗が大きく変化する半導体を用いたものもある。こうしたものでは、温度設定が可能であり、暖房や冷房の調温器として使われている。

バイメタルは、こたつやポットなどの温度を一定に保つヒーターに取り付けて使われたり、ドライヤーなどの加熱防止に使われる。また、規定以上の電流を流すと回路を遮断するブレーカーなどにも使われている。

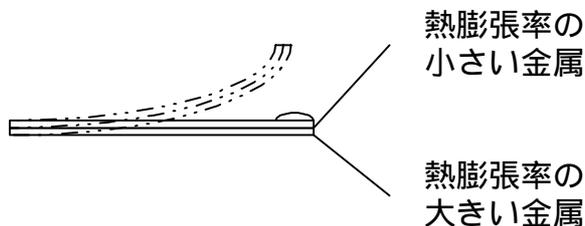


図2-5 バイメタル

### 2-5 温度センサー

温度センサーは温度を電気信号に変換するものであるから、最も重要なことは温度に電圧が正しく比例することである。この特性の善し悪しを直線性と呼んでおり、センサーや増幅器の性能を表す重要な要素である。次に重要なことは簡単に電気信号に変換できることであり、場合によっては小さな温度変化で大きな電気信号の変化を得られる感度の高いものが求められる場合もある。

温度センサーには、いくつかの原理を利用したものがあり、金属の電気抵抗の温度変化を利用したもの、温度差による起電力を利用したものなどがある。以下にそれぞれについて簡単に説明する。

#### 2-5-1 白金測温体

Pt(白金)は温度による電気抵抗の変化が大きく、酸化しないため経年変化が小さく、温度センサーとしては高性能である。しかし、基準になる抵抗器が必要である。電流から抵抗値を得るには基準電圧が必要になる。

#### 2-5-2 熱電対

熱電対とは2種類の異なる金属を接続し、一方を暖めて、もう一方を冷やすとそこに電流が流れる

性質を利用したもので、基準温度に対する温度差に比例した電圧を得ることができる。この効果をゼーベック効果と呼び、流れる電流を熱電流、起電力を熱起電力と呼ぶ。熱起電力の方向と大きさは、組み合わせる2種類の金属の種類と、接合部の温度により決まる。したがって、 $P_1$ あるいは $P_2$ の温度を一定に保ち、あるいは基準温度と現在温度との差を測定して計算することにより、熱起電力から温度を測ることができる。導体の温度変化はほぼ一定であり、直線性の高い正確な温度測定ができる。

熱電対は電圧を得るのであるから、それを温度に変換するためには基準電圧発生器が必要である。また、熱電対と測定温度調節器間を導線でつなぐと、その点で電圧が発生し熱電対の性質が変わるから、正確に温度を測定できなくなる。そこで、熱電対と測定温度調節器間は温度補償の特性を持った温度補償接点を利用する必要がある。

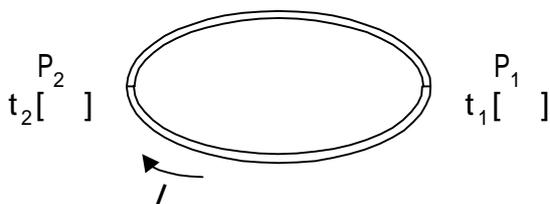


図2-6 熱電対の原理

### 2-5-3 超伝導

導体の電気抵抗は一般に温度が上昇すると増加する。このことを「正の温度特性を持つ」という。一般に金属は温度が高くなると抵抗が増え、電球などでは温度が上昇すると抵抗が増えて電流が減り、結果的に温度が下がる。このように一定の温度を保つ特性があり、このことを「恒温性」と呼んでいる。これは一種の自己制御で、バンダゴてや電子ジャーなども同じ原理を応用しているものが多い。一般的に金属の電気抵抗は温度に比例するが、ある種の金属では温度を絶対0度近くまで下げると、比例関係ならばゼロにはならないはずが、ある温度を境にそれ以下では電気抵抗がゼロになる。このような特性を「超伝導」と呼び、電気抵抗がゼロであることから電力消費がなく、リニアモーターカーの電磁石などに使うと、一度電流を流せば永遠に流れ続け、永久に電磁石となる。

### 2-6 圧力センサー

ひがみが加わると電気抵抗が変化するひずみゲージを利用したセンサーで、重量や応力を電気信号に変えることができる。ひずみゲージあるいはストレインゲージとも呼ばれ、図2-7のように細い金属線(あるいは金属箔)を狭い面積の中で何度も折り返し、圧力により伸び縮みして電気抵抗が変化するものを使用したものであり、図2-8のようにブリッジ回路に差動増幅器を接続して使われる。

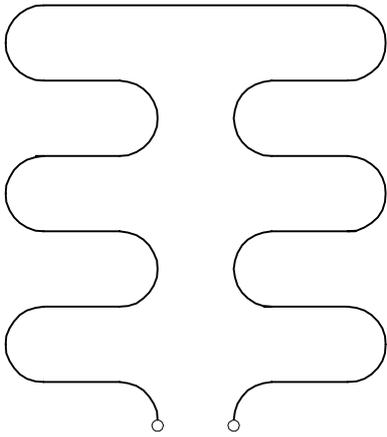


図2-7 ひずみゲージの原理

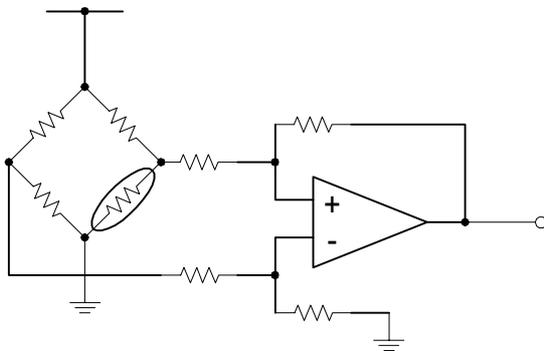


図2-8 ブリッジ回路と差動増幅器

## 2-7 超音波センサー

超音波センサーは、図2-9のように物体に超音波を当て、反射して帰ってきた超音波の大きさや周波数により物体の厚さや傷、速度などを測定するものである。中身の見えない物体の試験を破壊せずに行えるため、医療分野や建築分野、直接触れては測定できない速度計や流速計に利用されている。このうち、速度を計測するものは、反射して帰ってきた超音波の周波数が、近づいてくる物体は高く、遠ざかっている物体は低くなるドップラー効果を利用している。

図2-9 超音波センサーの原理

2-8 赤外線感知センサー

人体や動物などの恒温動物は体の表面から非常に波長の長い赤外線(遠赤外線)を放射している。その赤外線をとらえて検出するのが焦電センサーである。焦電センサーは金属表面に赤外線が当たると、電荷の移動が起こる光電効果の一種を利用した物で、別名をサーモパイルとも呼ぶ。

このままでは、熱を持っている物は全て反応してしまうため、人体検出用の焦電センサーは、横にふたつの焦電センサーを並べ(図2-10)、両方のセンサーに別々の反応が起こったこと、すなわち熱を持った物体が移動したことを感知する(図2-11)。

このため、気温が人間の体温に近い日は、風が吹いただけでも感知してしまい、誤動作となる。このセンサーは警備会社の侵入センサーとして用いられており、この辺のところは課題となっている。



図2-10 焦電形赤外線センサーの原理

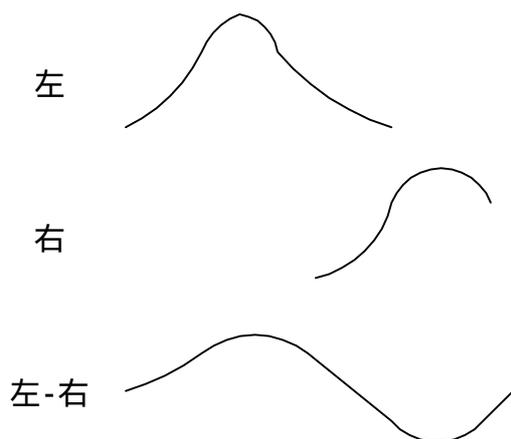


図2-11 移動する熱源の感知

## 第3章 アクチュエーター(actuator)

電気信号のままでは物は動かないので、メカトロニクスには電気信号を動きに変える機器が必要になる。こうした機器をアクチュエーター(現実化させる物、機械を動かす物)と呼んでいる。アクチュエーターは、電磁力すなわち電磁石と永久磁石の吸引・反発力を応用した物が多い。これは、多くの電気エネルギーを運動エネルギーに効率よく変換するのに都合がよいからである。このアクチュエーターには多くの種類があるが、せつかく高度なコンピューターを利用して性能を高めても、アクチュエーターが貧弱だと台無しになってしまうため、アクチュエーター選びは非常に重要である。以下に、代表的なアクチュエーターの種類と特徴について説明する。

### 3-1 ソレノイド

ソレノイドは図3-1のように、電磁石と鉄心の吸引力で、電気信号を直線運動に変換する。構造が簡単で、電気信号のオンオフで制御できるため簡単だが、移動距離(ストローク)が短い、比例制御が難しい(最大と最小の2通りしかない)、消費電力が大きい、作動音が大きいなどの欠点がある。

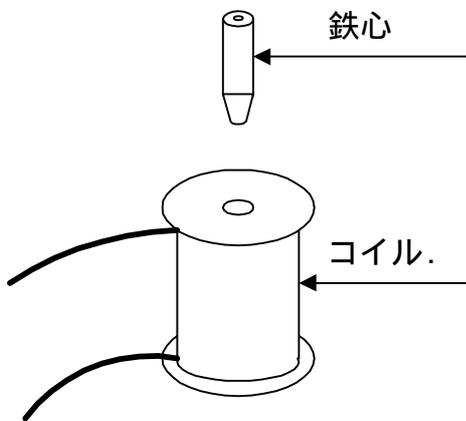


図3-1 ソレノイド

### 3-2 空気圧

空気圧を利用したアクチュエーターは、動きが柔らかく、作動速度をバルブの開閉により調節することができる。しかし、圧縮空気を作るためのコンプレッサーが必要で、空気圧を制御するための電磁弁(ソレノイドに空気弁が付いたもの)が必要になるため、作動音と消費電力の面ではソレノイドよりも悪い。しかし、重い鉄心と銅の巻線のできたソレノイドよりも空気圧シリンダーの方が小さく軽いいため、特に小型で軽量でなければならぬ物に利用される。この場合、コンプレッサーと電磁弁は別の場所に設置する必要があるが、柔らかな動きと、取り付けの柔軟さから、後に述べるサーボモーターと同様に多くのロボットに用いられている。ただし、空気圧を利用するため、吸気音と排気音がうるさいのが難点である。

### 3-3 油圧

油圧を利用したアクチュエーターは、力が非常に大きく、重い物を動かすには最適である。作動音も非常に静かで、安全性も高い。しかし、油圧を作り出すポンプが必要になるため、エネルギー効率と全体の大きさでは劣る。

### 3-4 モーター

モーターは電力を回転運動に変換する装置であるから、必要な動きが回転運動であれば、非常に効率が良く、優れている。しかし、回転運動が必要な場合はそれほど多くはなく、回転運動を直線運動に変換するラック&ピニオンや台形ねじなどが必要になり、機構的に小さくするのが難しい。モーターを利用することで速度や移動量を電氣的に変えることができるため、精密な動きをす

るものには最も優れた特性を示す。

モーターにはいくつかの種類があり(図3-2)、それぞれ特徴が大きく異なっているため、モーターの選定には十分注意する必要がある。以下に、代表的なモーターの種類と特徴を説明する。

直流モーター 

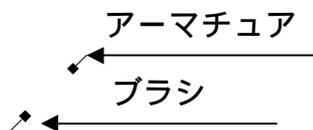
交流モーター 

パルスモーター  
(ステッピングモーター) 

同期モーター 

図3-2 モーターの種類と図記号

また、これらの図記号は、単にモーターの種類を示しているに過ぎないため、個々のモーターの構造を詳細に示す必要がある場合は、図3-3に示す図記号が使われる。一般的にはこれらを組み合わせる示すことが多い。



 巻線 (コイル)

 永久磁石

 ブレーキ

図3-3 モーターの要素図記号

### 3-4-1 直流モーター

直流モーターは図3-4のように、電磁石からなる回転子(ローター)と永久磁石あるいは電磁石からなる固定子(ステーター)で構成される。回転子と固定子の磁力により反発・吸引を繰り返し、回転力を生み出す。このままでは回転しないから、回転子の角度により電流の流れる方向を図3-4のように順番に変えることにより、回転力を生み出す。この順番を変える部分が一番の大きな問題で、一般的には図3-5のように回転子に整流子を設け、接触子(ブラシ)により角度により違うコイルに

電流が流れるようにしている。

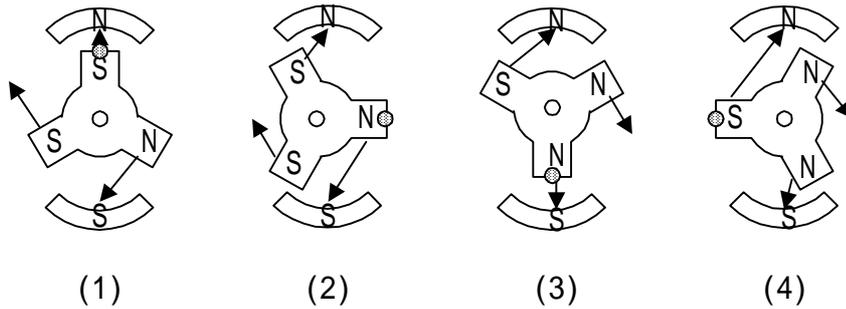


図3-4 直流モーターの回転原理

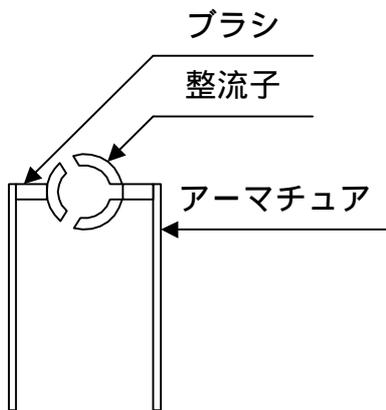


図3-5 モーターの整流子・ブラシ・アーマチュア

もちろん、回転子は回転しているわけであるから、接触子と整流子との間は回転中は常に摩擦が発生し、接触子と整流子の両方が摩耗する。摩耗が進んで隙間ができると電流が流れなくなり、回転しなくなるから、整流子と接触子の両方を交換しなければならない。

しかし、整流子を交換するには、回転子の軸を一旦外すなどの作業が必要となり、しかもコイルに接続されているうえ、どの位置にあるかわからないため、交換は非常に困難である。そこで、接触子を摩耗しやすい材質である炭素(カーボン)などで作ることで、整流子の摩耗を減らし、接触子を摩耗させることにより、接触子を定期的に交換することで、整流子は寿命まで交換する必要がなくなる。

接触子の交換はおおよそ5000時間ごとが一般的である。安全を見込むと約半年ごとに交換しなければならないことになる。そこで、直流モーターの回転子と固定子を反対にする。すなわち、固定子を電磁石、回転子を永久磁石にすることにより接触子も整流子も必要なくなる。しかし、このままでは回転しないから、電流を流すコイルを回転子の角度に応じて切り替えてやらなければならない。回転子の角度を検出するためには、何らかのセンサーを用いれば良いが、もともと回転子は永久磁石であるため、磁気センサーを使えば、回転子に何も細工しなくても、回転子の位置が読みとれる。こうして接触子(ブラシ)交換の手間を省き、接点が無くなったために電気雑音(スパーク・ノイズ)の発生をなくしたモーターがDCブラシレス・モーター(図3-6)である。

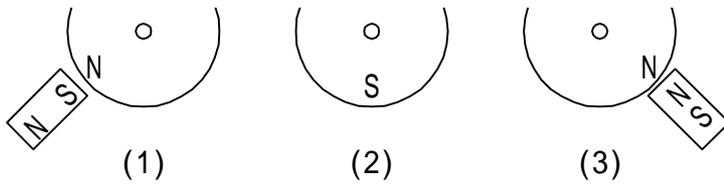


図3-6 DCブラシレスモーターの回転原理

直流電動機のトルクは界磁磁束とコイルに流れる電流に比例する。つまり、電流を変化させることにより、容易に回転数とトルクを制御できるため、電車などの回転速度を制御したい目的に多く利用されてきた。交流用の誘導電動機は電圧や電流を変化させても、トルクが変化するだけで回転数は変化しないため、こうしたモータの速度制御には周波数を変化させるインバータが必要となる。交流電動機でも、整流子電動機は電流により回転数を制御できるため、電気掃除機などに使われている。

直流電動機(DCモータ)の回転速度は、磁界の強さを変化させることにより制御できる。これは、フレミング左手の法則およびアンペア右ねじの法則により、発生する力は磁界の強さに比例し、距離に反比例するからである。モータのコイルの磁界の強さを変化させるには、電流を変化させれば良いし、固定子の磁界の強さを変化させるには距離を変化させれば良い。

したがって、直流電動機の回転速度を変化させる方法としては、電流を変化させる抵抗制御法、磁界の強さを変化させる界磁制御法が有効である。しかし、界磁制御法は固定子の位置を機械的に変化させる必要があるために、電氣的に回転速度を制御するには難しい。

そこで、電氣的に回転速度を制御するためには、抵抗制御法が用いられていたが、この方法は電流を熱に変換することにより制限しているため、電力損失が大きく、地下鉄などでは発生する熱の処理が問題になる。トンネル内が熱くなつては困る上に、電力の無駄が多いということは、電気代がかかるということなので、最近では電流を短時間でオン／オフすることにより、平均電流を変化させて回転速度を制御する方法が主流になってきた。

この方法の制御方式が図3-7のように、交流の斜線部分のエネルギーだけを利用する「サイリスタ・チョッパー」、あるいは、直流を細かく区切って斜線部分のエネルギーを利用するPWM(パルス幅変調)と呼ばれるもので、省エネ電車や高級車のヘッドライトの明るさやカーエアコンのファンの回転数を変えるのに使われている。

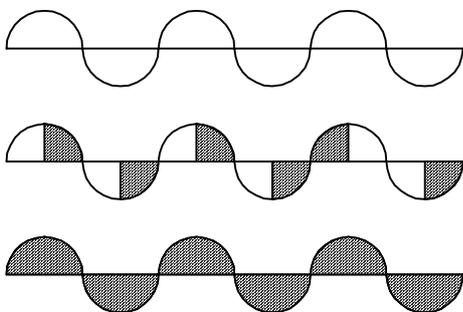


図3-7 サイリスタ・チョッパー

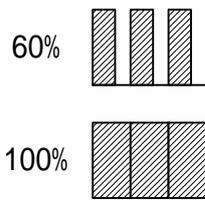


図3-8 PWM

### 3-4-2 交流モーター

交流電動機は、交流の周波数に同期した回転数が得られるため、比較的安定した回転数が必要な動力源として使用される。その回転数は周波数に比例することはもちろんであるが、電動機そのものの極数にも比例する。つまり、式で表せば  $N_s = Pf$  である。

極数が2であれば、電源が50Hzの時に25回転毎秒すなわち  $25 \times 60 \text{秒} = 1500 \text{rpm}$  となる。もっと速い回転数が必要であれば、電動機の極数を減らす(簡単には変えられないが)ことにより、正数倍の回転数を得ることができる。回転数を任意に変化させたい場合は、極数を変えることでは実現できず、周波数を変える必要がある。そこで、交流をいったん直流に変換(整流)し、それを必要な周波数の交流に変換することにより、交流電動機を任意の回転数で使用することができる。このしくみが「インバータ」である。

図3-9に示す回路は、リアクトル始動回路である。コイル(リアクトル)には、電流が急激に流れないようにする作用があり、交流モーターの場合は低回転においてインピーダンス(交流に対する抵抗)が低い関係で、始動時に過大電流が流れる危険があり、これが原因でモーターが焼損することがあるが、リアクトルの特性を活用し、始動時には電流をながれにくくするための回路である。

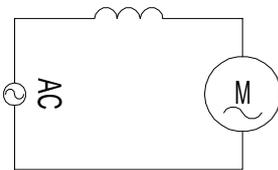


図3-9 リアクトル始動回路

同じことは、蛍光灯の点灯時にもあてはまり、蛍光灯は100Vの電源で点灯させようとする、そのままでは放電開始電圧に満たないために、点灯しない。そこで、点灯時だけフィラメントに電流を流し、加熱して放電を起しやすくする方法がとられているが、この点灯回路にも「安定器」と呼ばれるリアクトル(コイル)が使われている。

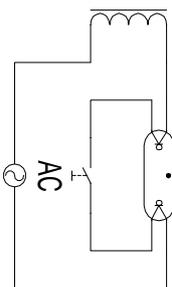


図3-10 蛍光灯と安定器

交流モーターの始動方法には、進相コンデンサによるもの、三相交流の場合は、始動時に結線をYに変えて始動電流を減らすY-Δ(スターデルタ)始動方式が多く用いられる。



図3-11 スター結線

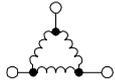


図3-12 デルタ結線

誘導電動機は交流により発生する回転磁界により、周波数に同期して回転機するために、その回転数は周波数に比例する。したがって、周波数が高くなれば回転数は増える。また、モーターの電磁石はコイルであるため、周波数が高くなると電流が小さくなる。逆に、周波数が低くなると電流は多くなるため、モーターの種類によっては周波数が異なると使用できないものもあるので注意が必要である。

$$Ns = \frac{120}{P} f [r.p.m.]$$

ちなみに、回転数は次式で表される。

ただし、Nsは毎分あたりの回転数[rpm]

fは周波数[Hz]

Pはモーターの極数

### ●三相交流モーターの故障

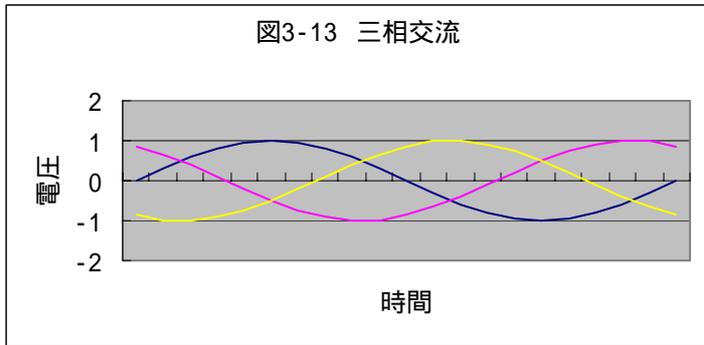
三相交流モータにおいて、過電圧は過電流の原因となり、発熱や異常回転、振動などの現象となって現れる。過小負荷は直流モータでは異常回転の原因となるが誘導電動機では回転速度は周波数に比例するため、特別大きな問題はない(電気代が無駄ではあるが)。また、逆相は単純に逆回転するだけである(逆回転することが大事故につながる場合もある)。回転しないうなりが聞こえる場合は、少なくとも電圧は供給されており(うなりがする)、過負荷あるいは欠相が考えられる。過負荷は一人で車を持ち上げようと思ってもぴくりとも動かないのと同じ現象であり、欠相とは三相交流のうちの一相が欠落している状態で、本来ならば1, 2, 3, 1, 2, 3とリズムをきざんで回転するものが、1, 2, ×1, 2, ×あるいは1, ×, 3, 1, ×, 3のように回転せずに2つの状態を行ったり来たりする現象が起きる。一般的には過負荷も考慮する必要がある。

### ●インバーター

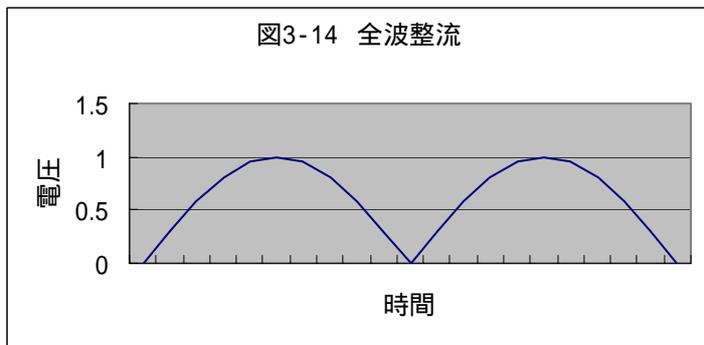
インバーターとは、同期電動機の回転数がほぼ周波数によってのみ変動することから、電動機に加える周波数を変化させることにより、モータの回転数を制御するための変換装置である。一般的に同期電動機は電圧を変化させてもトルクが減少するだけで回転数はあまり変わらない。重負荷の場合は回転数も変化するが、トルクが極端に減少するため、運転がしづらくなるため、電圧は一定のまま使用する。

●三相交流

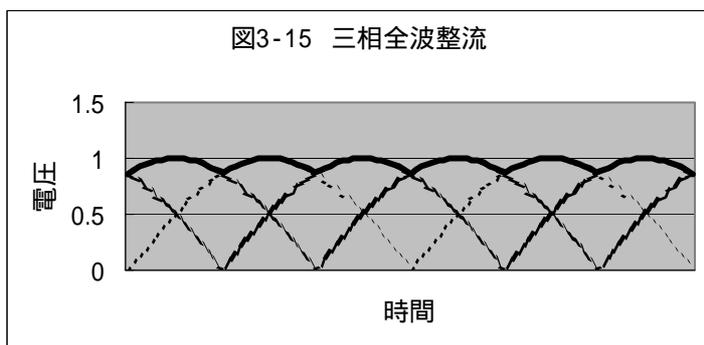
発電所や送電線や工場などの多量の電力を扱う場合に三相交流が用いられる。三相交流とは読んで字のごとく、図3-13のように位相が3つある交流のことである。



一般的な正弦波交流では、電圧が0になる点があり、電力を有効に利用しにくいし、モーターなどでは回転機むらの原因となる。直流に変換するために整流すると図3-14に示す通りラクダのコブのような脈流となり、平滑するために大容量のコンデンサを必要とする。



しかし、三相交流を全波整流すると、それぞれの相電圧の絶対値の最大値であるから、図3-15のようになり、ほとんど直流と変わらない。そこで、交流電源を整流して、直流でモーターを回す電車などでも、三相交流の優位性が発揮される。

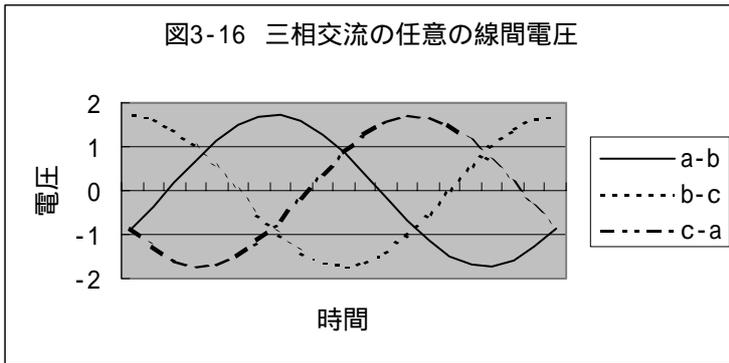


さて、三相交流における電力は各相の電力の合計すなわち3倍であるが、各相の差の電圧は常に変化するため、その分を考えると、各相の相電圧×相電流×力率の 3倍となる。

単相の電力を送る場合と、三相の電力を送る場合、同じ電流であれば、単相の場合2本の電線で1とすると、三相の場合は3本の電線で 3の電力を送ることができ、電線1本につき  $3/(3/2)$

1.15倍の電力を送ることができる。そのため、多量の電力を扱う場合には三相交流が使用されるのである。

三相交流のいずれか2本の線の電圧差(線間電圧)は図3-16のようになり、どの線とどの線との間の電圧も正弦波交流となる。ただし、電圧は三相交流の相電圧の  $\sqrt{3}$  倍となる。



### 3-4-3 ステッピング・モーター

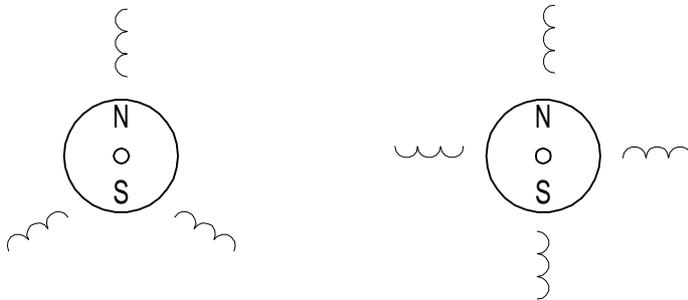


図3-17 ステッピングモーターの原理

ステッピングモーターは、パルスモーターとも呼ばれ、図3-17のように磁石の周囲に3個ないしは4個の電磁石を配置したものである。3個の電磁石を配置したものを三相ステッピングモーター、4個の電磁石を配置したものを4相ステッピングモーターと呼んでいる。

個々の電磁石に順番に電流を流すことにより、図3-18の(1)から(4)の様に電磁石に引っ張られる形で永久磁石の回転子(ローター)が回転する。ただし、回転はスムーズではない。4気筒のエンジンのように、(1)の状態から(2)の状態には、回転子の慣性と軸受けの摩擦のみに妨害されるが、一瞬のうちに移動する。ただし、言い方を変えれば、次のコイルに電流を流すことで、正確に90度だけ回転する。この角度は、モーターのトルクが不足しない限り、負荷の大きさに関係なく、常に正確である。

そこで、ステッピングモーターでは、電磁石(コイル)に電流を流した回数と回転角度は比例する。電磁石に電流を瞬間的に流すことをパルスを与えると言い、パルスを与えることにより、正確に決まった角度だけ回転するため、パルスモーターと呼ばれるのだが、これはフィードバックなしに正確な回転角度が得られることから、精密な制御をする場合に便利である。

特に、加える信号がオンとオフの2通りしかないパルスであるため、デジタル回路による制御に非常に都合がよいのである。

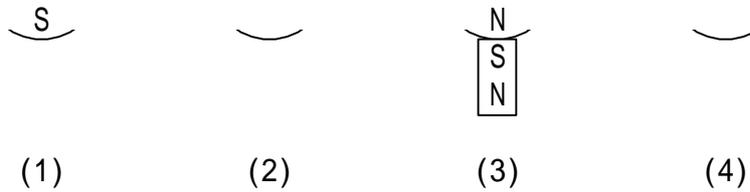


図3-18 4相励磁

最近のアナログ時計は、針が1秒ごとに進む。これはステッピングモーターを用いていることの証拠であるが、周波数(1秒間の電気の振動数)が非常に正確な水晶発振回路を用いて、32768Hzの信号を作り出し、デジタル回路の一種である分周回路を用いて1秒間に1回のパルス(1Hz)に変換し、それをステッピングモーターに加えて、1秒ごとに針を動かすのである。つまり、アナログ時計と呼んでいるのは、表示がアナログ式であるだけで、実際の中身はデジタル回路である。これを水晶(クォーツ)を使った時計という意味で、クォーツ時計と呼ぶが、表示をステッピングモーターの代わりに液晶表示器に変えると、そのままデジタル時計になってしまうのである。

さて、クォーツ時計の秒針(ないものもある)は1回転で1分である。つまり、クォーツ時計に使われているステッピングモーターは、60パルスで1回転するのであるが、1回転当たりのパルス数は60ということになる。ステッピングモーターの1回転当たりのパルス数は電磁石の数の整数倍しかできない。上の説明では回転子は2極の磁石であるが、これを4極とすれば、1回転当たりのパルス数は2倍になる。つまり、8パルス毎回転となるわけであるが、構造上、磁石の極数を奇数にすることはできず、4の整数倍しかできないのである。このことは、逆に言えば1回転当たりのステップ数を4で割り切ることのできないステッピングモーターはあり得ないということになる。クォーツ時計の例で言えば、1回転あたり60パルスであるから、4で割って15、3で割って20であるから、4相でも3相でも実現できる。しかし、一般的なステッピングモーターは100パルス/回転あるいは200パルス/回転であるから、こうしたステップ数のモーターは4相しかあり得ないことになる。

100パルスで1回転と言うことは、1回転は360度であるから、360を100で割って、1パルス当たり3.6度回転することになる。200パルス/回転のステッピングモーターならば1パルス当たり1.8度である。当然、1パルスで確実にこれだけ回転するわけであるから、これよりも細かい角度での制御はできない。つまり、作ろうとしている機械の分解能(動かせる最低単位)が0.01mmであれば、最悪でも1.8度回転した時に0.01mm動くような減速機構が必要になるのである。

ところで、ここまでの例では、ステッピングモーターの電磁石に1つずつパルスを加えてきた。これは、それぞれの電磁石と回転子の永久磁石との吸引力で、回転力を生み出している。そこで、同じモーターを使い、図3-19のように同時に対向する2つの電磁石に互いに逆方向に電流を流すと、一方では吸引力、もう一方では同じだけの反発力が発生し、結果的にモーターのトルクは理論的には2倍になる。当然、消費電力も2倍となるが、同じ大きさのモーターで2倍のトルクが得られるメリットは大きい。

- (1)                      (2)                      (3)                      (4)

図3-19 2相励磁

こうしたステッピングモーターの駆動方法(回す方法)を同時に2つの電磁石に電流を流すから、2相励磁と呼び、トルクの必要な用途である機械での一般的な使い方である。先ほどの例では、同時に1つの電磁石にしか電流を流していないから、1相励磁ということになる。

ところで、隣り合った電磁石をうまく利用し、図3-20のように順番に1つあるいは2つの電磁石に電流を流すと、ステッピングモーター本来のステップ角の半分のステップ角となる。言い方を変えると、1回転当たりのパルス数は2倍になる。つまり、ステップ角3.6度のモーターは1.8度になり、1.8度のモーターは0.9度に高精度化するのである。この方法は1-2相励磁と呼ばれる。

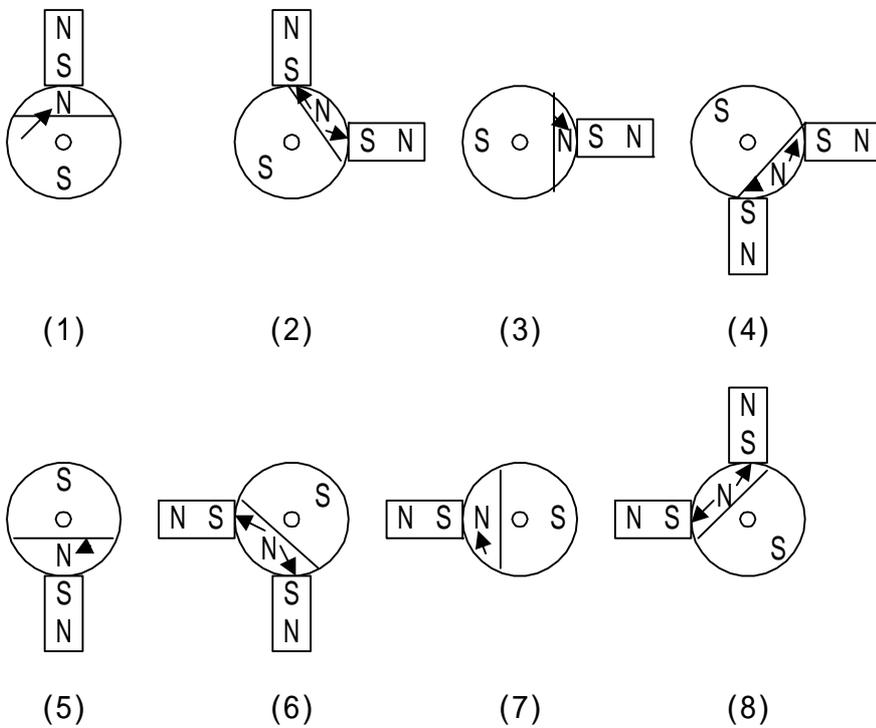


図3-20 1-2相励磁

このようなことをうまく考え合わせると、1相励磁で動くのに十分なトルクがあるモーターを採用すれば、トルクが足りないときには2相励磁に、精度が欲しいときには1-2相励磁とすることで、同じモーターで3通りの使い方ができる。

ステッピングモーターを図記号で表すと、図3-21のようになる。Mの記号はモーターを意味するから、その下のかぎ印がステッピングモーターを意味する。

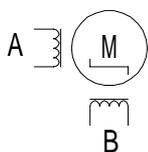


図3-21 4相ステッピングモーターの図記号

このモーターでは、コイルは2個しかない。2個のコイルがそれぞれX方向(A)とY方向(B)に配置されている。Aのコイルに電流を流すと、ローターが引き寄せられる。Bのコイルに電流を流すと、Bにローターが引き寄せられる。その次が困ってしまうが、今度はAのコイルにさっきとは反対の方向に電流を流すのである。すると、ローターはAのコイルに反発し、Aの反対側に回転する。そして、Bのコイルにさっきとは反対の方向に電流を流すとローターはBのコイルに反発し、Bの反対側に回転する。これを繰り返すことにより、反時計回りにモーターは回転する。時計回りに回転させたいければ、電流を流す順番を逆にすれば良い。

これでコイルの数が半分の2個で済むようになり、モーターの体積が減って小型になると思いがちだが、それは間違っていない。では、何が問題かというと、スイッチと違い、**半導体は反対方向に電流を流すのが苦手**なのである。スイッチやリレーであれば図3-22のように配線(B回路は省略)すれば良いのだが、半導体では基本的に1方向にしか電流は流れないため、図3-23のようにしなければならない。このようなステッピングモーターを電流が流れる方向が2通りあることから、2通りの(Bi)、極性(Polar)となり、**バイポーラ形**のモーターと呼ばれる。

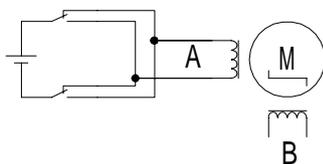


図3-22 スwitchを用いたバイポーラ駆動回路

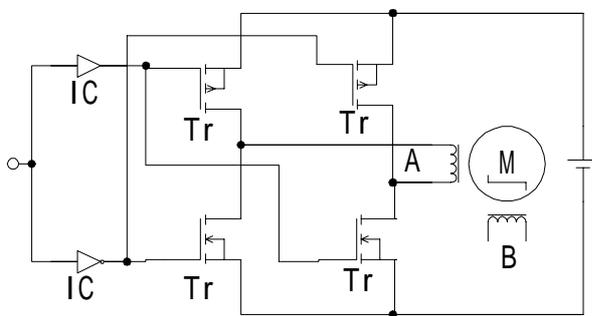


図3-23 半導体を用いたバイポーラ駆動回路

つまり、4個のトランジスタ(Tr)と2個の論理回路(IC)が各コイルごとに必要となるため、モーター1個当たり8個のトランジスタと4個の論理回路が必要となり、モーター2個では16個のトランジスタと8個の論理回路が必要になる。

電子部品の点数を減らすため、4個のコイルをモーターに用意するか、4個のコイルを巻くスペースがない場合には、2個のコイルにそれぞれ反対方向にコイルを巻き、それに電流を流すことにより、反対方向に電流を流したのと同じ効果を得られるモーターがあり、それが**ユニポーラ形**である。ユニポーラとは、ユニ(ひとつの)とポーラ(極)との合成語であり、ユニーク(唯一の)、ユニコーン(角がひとつ)などと同じ様なギリシャ語である。

さて、ユニポーラ形のステッピングモーターの駆動回路をコイル1個分だけ書くと図3-24のようになる。

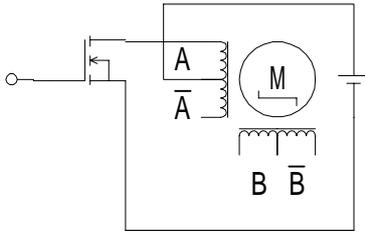


図3-24 ユニポーラー形ステッピングモーターの駆動回路

何だか非常に簡単になったようだが、実際はコイルの数が2倍になるため、必要なトランジスターの数はモーター当たり4個である。それでも、バイポーラー形の半分であり、論理回路も不要であるため、トランジスターが非常に高価であった時代は特に有効である。現在ではトランジスターはそれほど高価ではないが、バイポーラー形の駆動回路は論理回路が故障するか、トランジスターが故障すると、図3-25のように貫通電流が流れてトランジスターが破損する恐れがある。また、トランジスターが安くなったとはいえ、モーターを駆動するトランジスターは発熱量の多いパワートランジスターとなり、放熱板が必要となるため、全体のコストでは現在もユニポーラー形が有利である。

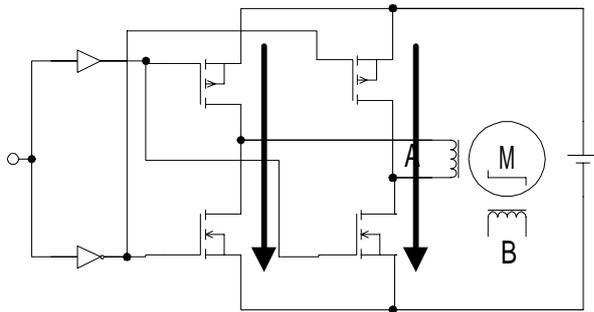


図3-25 バイポーラー形の駆動回路のショート

具体的な4相ユニポーラー形ステッピングモーターの駆動回路を図3-26に示すが、これだけではモーターは回転しない。コイルに順番通り電流を流す回路が別途必要となる。

図3-27 4相ユニポーラー形ステップングモーター駆動回路

●フライホイール・ダイオード

図3-27の4本のダイオード(D)はフライホイール・ダイオードと呼ばれ、モータのコイルに流す電流を止めたときに発生する逆電圧(電磁誘導現象により発生する)を吸収し、トランジスターに高電圧が印加されて壊れないようにするためのものであり、一般的な整流用ダイオードが使える。

ステップングモーターに加えるパルス

ステップングモーターの駆動(励磁)方式にはおよそ3通りの方法があるが、それぞれの特徴は先に述べた通りである。以下、図3-28から図3-30に各励磁方式のパルスのタイムチャート(時間を横軸に、電圧を縦軸に描いたグラフ)を示す。

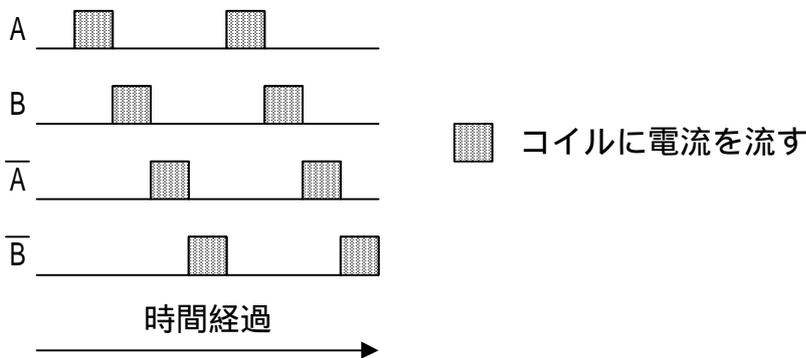


図3-28 ステップングモーターの4相励磁

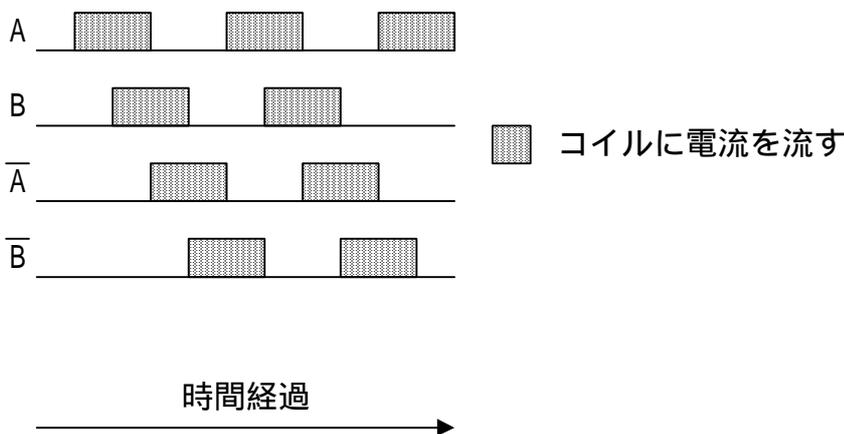


図3-29 ステップングモーターの2相励磁

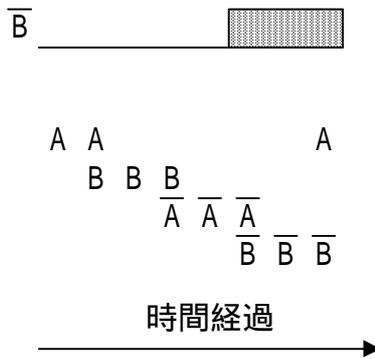


図3-30 ステッピングモーターの1-2相励磁

### 3-4-4 サーボ・モーター

サーボモーターとは、図3-31のようにモーターの運転指示信号とモーターの軸に取り付けられたトランスジューサーとの差の信号を増幅し、実際の回転軸の回転を監視しながらモーターを駆動する一種の自動制御回路である。

こうした機構をフィードバックと呼ぶが、サーボモーターはこのフィードバックを行うことにより、実際のモーターの回転速度、あるいは回転角度を正確に制御することができるため、新幹線やロボットの動力として利用されている。

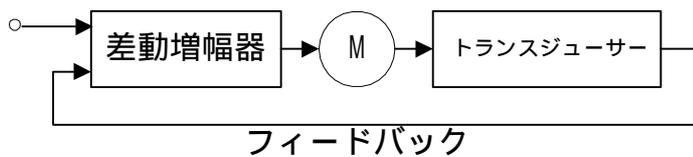


図3-31 サーボモーターの構成

#### 速度制御

モーターの回転速度を正確に制御したいことは多くある。たとえば、多くのベルトコンベアーが順番に設置されたラインなどで、それぞれのコンベアーの速度が異なると、途中で詰まってしまったり、落ちたりして都合が悪い。そこで、モーターをサーボモーターとし、速度をある基準に合わせることで防止できる。

多くの場合、速度制御のサーボモーターの回転速度を決めるのは電圧である。そこで、可変抵抗などを用いて同じ電圧を複数のサーボモーターに入力すれば、この機能は実現できる。

#### ●位置制御

先の速度制御サーボモーターをロボットに使うと困ったことが起きる。多くのロボットで重要なことは回転速度ではなく、回転角度あるいは移動距離である。このため、トランスジューサーを速度でなく角度を計測するものに変更すれば、モーターの回転角度を正確に制御することができる。

回転角度を指示する信号が電圧の場合は、可変抵抗を用いてサーボモーターに入力すれば、そのサーボモーターの回転軸を遠隔操作することができる。これが、ロボットの遠隔操作や子供の頃に欲しかったラジコンのサーボモーターである。ラジコンのサーボモーターは、この信号を電線ではなく電波で送っているのである。

ちなみに、リモコンとはRemote Control(遠隔操作)の略であり、ラジコンとはRadio Control(電波

操作)の略である。ノーコンとは、No Control(操作されていない)の略である。

#### 3-4-4-1サーボモーターというモーター

サーボモーターとして適したモーターは、大きさが小さく、重量が軽く、消費電力が小さく、トルクが強い(価格も安ければ言うことはないのだが)モーターである。そのため、サーボモーター用として開発されたモーターは、特に永久磁石に希土類と呼ばれる残留磁気の非常に大きい磁性体を用いて、非常に強力な磁石を実現している。そのため、同じ巻線、同じ電力でも大きなトルクが得られるため、フィードバックをしない用途でも、高効率モーターとして多用されている。であるから、こうした希土類永久磁石を用いたモーターのことをサーボモーターと呼ぶ場合もあるので注意が必要である。

## 第4章 アナログとデジタル

電子回路の構成方法はアナログからデジタルに移行しつつある。そもそも、アナログとは連続した尺度の単位で、ノギスのように細かく読もうと思えば、意味があるかないかは別として、いくらでも読める値のことをさし、デジタルは決められた有効桁数できっちり読める値をさす。

当然のことながら、アナログでは人によって読む値が異なる。デジタルでは誰が読んでも同じ値となる。このことは、言い方を変えれば、アナログでは読む人によって、精度はいくらでも変わるが、デジタルでは精度はあらかじめ決まっていることになる。

電子回路に当てはめれば、アナログ回路は使用する部品、温度、湿度、操作する人により精度が異なるが、デジタル回路は許容される範囲のどんな環境においても一定の精度を保つことになる。

機械設計に置き換えれば、アナログは部品ひとつひとつの精度の累積で全体の精度が決まるが、デジタルは指定寸法からプラスの誤差かマイナスの誤差かが一定していれば、全体の精度には全く影響しないことになる。

アナログにおける誤差  $\pm 0.01\text{mm} \times 100\text{個} = \pm 1\text{mm}$

デジタルにおける誤差  $\pm 50\% \times 100\text{個} = \pm 0\text{mm}$

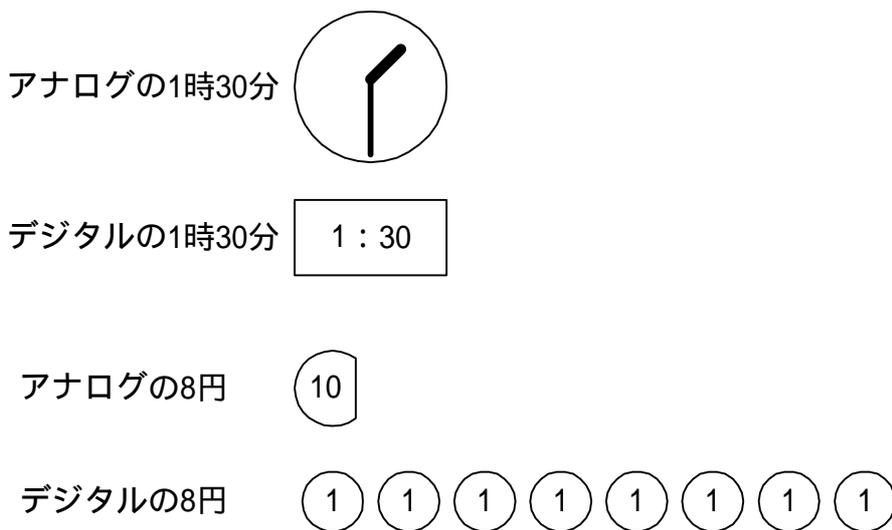
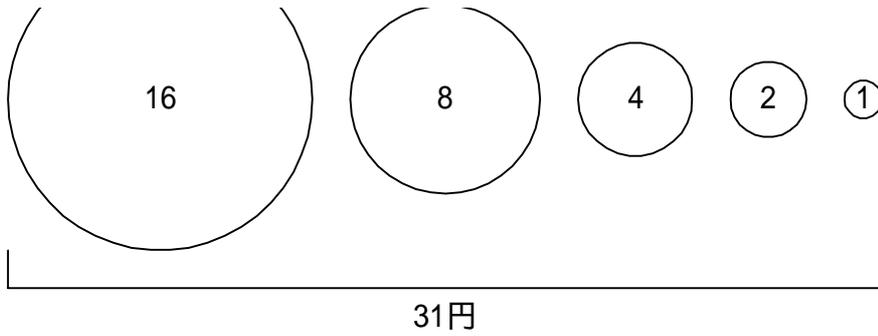


図4-1 アナログ量とデジタル量

非常にわかりにくいと思うが、たとえば、お金の価値が材質と重量で決まるとすれば、少しずつすり減って、お金の価値も変わってくるが、種類で決まるなら、多少すり減っても100円は100円のままである。

このように考えると、デジタル回路で使われる二進数とは、1円玉、2円玉、4円玉、8円玉と倍々の金額の硬貨が存在する世界にたとえられる。私たちが日常暮らしている世界は十進数であり、1円玉、10円玉、100円玉、1000円札、10000円札が基本である。正確に言えば、5円玉、50円玉、500円玉、5000円札もあるが、なくても多少財布がふくれるだけで特に問題はない。



2万	3千	4百	5十	6円
10000	1000	100	10	1
10000	1000	100	10	1
	1000	100	10	1
		100	10	1
			10	1
				1

図4-2 デジタルのお金

つまり、アナログの世界ではたとえばアルミが100グラムで100円であり、消費税を払うときは、やすりで少し削って払わなければならない。これに対して十進数のデジタルの世界では、硬貨と紙幣の組み合わせで、持ち合わせがあれば(これが一番問題である)、いくらでも簡単に払うことができる。二進数のデジタルの良い点は、各硬貨を1枚ずつ持っていれば、どんな金額でも払うことができる上に、それぞれの硬貨のあるなしで金額が決まる。つまり、0と1しか数えられない簡単な回路でも、どんなに大きな数でも扱うことができる。

この0と1しか扱わないということは非常に重要なことである。あるかないかで決まるのだから、電気信号としては「無い」状態が0、「有る」状態が1とすれば、どんなに小さくてもあれば1、なければ0となる。ただし、目に見えない大きさでは「あっても」「ない」ことになってしまうため、簡単に言えば半分以上あれば1、半分未満であれば0とする。こうすることにより、個々の部品の精度は±50%未満の誤差であれば全体としては誤差は生じない。

機械屋さんにしてみれば、許容誤差50%未満ということが、どれほど楽なことか、簡単に理解できるだろう。それほど、デジタル回路というのは適当に作ってもきちんと動くのである。

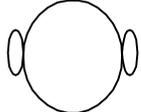
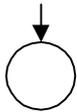
アナログ	デジタル	
少し明るい		<del>500ルクス</del>
うるさい		<del>90dB</del>
リンゴの匂い		<del>酢酸メチル 0.01mg/cc</del>
かなり甘い		<del>砂糖 2g/mm<sup>3</sup></del>
けっこう痛い		<del>100g/cm<sup>2</sup></del>

図4-3 人間の感覚はアナログ

### 4-1アナログ回路

アナログ回路というのは、電圧や電流などのアナログ信号で処理を行う回路であり、誤差が積算されるため、個々の回路に要求される精度がきわめて高く、機器が非常に高価なものとなる。しかし、先にも述べたように人間の感覚はアナログであるために、人間と機械の接するところ、すなわちマン-マシン・インターフェースにはどうしてもアナログ回路を使わざるを得ない。

また、デジタル回路はいい加減に作っても正しく動くのだが、それはあくまでも動作速度が遅く、機能が複雑でない場合に限ってのことで、高速動作や多機能の場合はアナログ回路の技術が必要になる。これは、デジタル回路と言えども、その回路を構成する部品や配線は理想的な特性ではなく、デジタル回路も細かく見れば、アナログ回路そのものである。たとえば、電子回路で多く使われる抵抗も、細かく見れば図4-4のように、いくつかのアナログ要素からできている。

たとえば、リード線が金属である以上、それは小さな抵抗であり、少しでも曲がっていれば(曲がっていないなくても)コイルとなる。金属と金属が間隔を空けて向き合っていれば、それは小さなコンデンサーであり、コイルの巻線の絶縁は完全ではないから、それは非常に大きな抵抗に見える。

このように見ると、電線も抵抗と同じく、抵抗とコンデンサーとコイルからなる合成回路に他ならない。しかし、周波数が低い場合や電流がある程度大きい場合は、これらの回路素子は無視できる。であるから、デジタル回路も高速で動作する場合や複雑に動作する場合はアナログ回路の技術が必要になるのである。

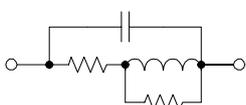


図4-4 抵抗を細かく見ると

このように、実際の回路ではなく、見かけ上の回路を**等価回路**と呼び、電子回路の計算を行う上では重要な概念である。

## 4-2 デジタル回路

デジタル回路とは、二進数の処理を行う回路であり、二進数であるから0と1の2通りの状態しか存在しない。そのため、50%未満の誤差は積算されず、正確な計算や制御ができるのである。であるから、デジタル記録のコンパクトディスク(CD)やデジタル通信の携帯電話やPHS(パーソナル・ハンディーホン・システム)はアナログ式にくらべて音が良いのである。

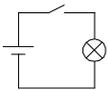


図4-5 最も簡単なデジタル回路

デジタル回路(論理回路ともいう)は0と1の2つの状態しかないのだが、これらは電子回路ではどうやって表現するのであろうか。図4-5の回路では、スイッチをオンにするとランプがつく。この場合、スイッチをオンにするということは、デジタル回路に1を入力することであり、ランプがつくということは1が出力されたということになる。

実際のデジタル回路では、基本的に0と1は電圧で決まるのである。電源電圧の半分より高ければ1であり、低ければ0とみなす。あるいは、コンピューターなどのデジタル信号をアナログ信号(音声)を送るために作られた電話回線を通すためのモデムは、二進数を音の高低に置き換える。色々な方法があるのだが、最も単純な方法は、低い音を1、高い音を0に置き換える方法である。とは言っても、音の高い低い感じ方は個人差があるから、統一するための規格が必要になる。モデムのような電話に関する規格は、万国通信連合(ITU)のITU-T勧告として規格化されている。

このようにデジタルの世界、すなわち二進数では、0と1の2通りの状態しかないため、次に示す3種類の回路の組み合わせで計算も制御もできる。その組み合わせとは、AND回路、OR回路、NOT回路の3種類である。

### 4-2-1 AND回路

AND回路とは、図4-6のように、複数の入力がすべて1の時だけ出力が1になる回路で、いわば全員賛成でないと物事が決まらない回路である。これをデジタル回路記号で表すと、図4-7のようになる。左側は3本以上でも良いが、その場合はすべての入力が1の時だけ出力が1になる。

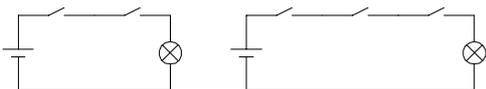


図4-6 AND回路の概念

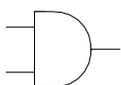


図4-7 AND回路の図記号

### 4-2-2 OR回路

OR回路は、図4-8のように、複数の入力の少なくともどれかひとつが1の時に出力が1になる回路で、いわばひとりでも賛成であれば物事が決まる回路である。これをデジタル回路記号で表すと、図4-9のようになる。左側は3本以上でも良いが、その場合は少なくともひとつ以上の入力が1の時に出力が1になる。

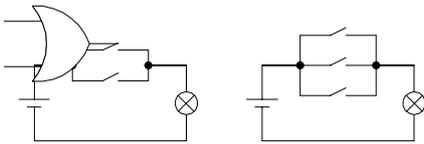


図4-8 OR回路の概念

図4-9 OR回路の図記号

### 4-2-3 NOT回路

NOT回路は図4-10のように、入力が1の時に出力が0になり、入力が0の時に出力が1になる回路である。非常に「あまのじゃく」な回路であるが、図記号で描くと、図4-11のようになる。

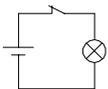


図4-10 NOT回路の概念



図4-11 NOT回路の図記号

### 4-2-4 真理値表

入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

これらの論理回路をいつも図記号で表していると大変なので、入力の状態と出力の状態のすべての組み合わせを表にした真理値表が用いられることがある。これにより、どんなに複雑なデジタル回路でも、入力と出力の関係をわかりやすく示すことができる。表4-1にAND回路、OR回路、NOT回路の真理値表を示す。しかし、このままでは作ることができない。

入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表 4-1 AND回路の真理値表

表 4-2 OR回路の真理値表

表

4

-3

入力	出力
0	1
1	0

NOT回路の真理値表

● 論理式

デジタル回路(論理回路)を数式で表すこともできる。論理は英語でlogicであるから、こうした式をロジック式、あるいは論理式、ブール代数とも呼んでいる。デジタル回路の設計をする際に、最も負担の少ない記述方法である。以下に、AND回路、OR回路、NOT回路の論理式を示す。

$$x = a \cdot b$$

図4-12 AND回路の論理式

$$x = a + b$$

図4-13 OR回路の論理式

$$x = \overline{a}$$

図4-14 NOT回路の論理式

## 第5章 電子部品の基礎

電気回路とは電気のエネルギーを利用するための回路であり、電子回路とは電子の振る舞いを利用する回路であることは前にも述べたが、実際の回路は電線と部品を使って構成されている。センサーやアクチュエーターも部品ではあるが、ここでは電子回路そのものを構成するのに使われる基本的な部品について説明する。

### 5-1基本部品（LCR）

電気回路の基本部品には、電流を制限するための抵抗、電気を蓄える働きをするコンデンサ、電気の衝撃を吸収したり利用したりするコイルの三大要素がある。以下にそれぞれについて説明する。

#### 5-1-1抵抗（R）



写真5-1 炭素皮膜抵抗器

抵抗は、電流の流れを制限するために用いる。ある電圧に対して一定の電流を流す働きをしたり、電気エネルギーを熱にして放散したり、電圧を分割して下げたりすることもできる。以下に、それぞれの用途ごとに説明する。

#### 電流の流れを制限する

電車や電気自動車、エレベーターやエスカレーターなどは、モーターの動力を利用して動かしているが、その速度や加速度を変化させるために、モーターに流す電流を加減して行っている。流す電流が少なければ、得られるトルクも小さくなり、流れる電流が多ければ、得られるトルクも多くなる。そこで、抵抗の値を大きくすれば、電流は流れにくくなり、小さくすれば電流は多くなる。

しかし、大きな問題は、抵抗というのは電力を熱に変換して放散させることにより電流を少なくしていることである。つまり、抵抗を使うことにより熱が発生し、余分な電力がそこで消費されるのである。であるから、最近ではモーターに流す電流を減らすのに抵抗を使わずに、スイッチを目にも止まらぬ早さでオンオフして、平均電流を下げるインバーターやPWM、サイリスタ・チョッパなど一般的になっている。

とはいえ、電子回路を構成する電流制限を行いたい部分にすべてインバーターを使うわけにはいかないため、電力の無駄が小さい部分に限って抵抗による電流制限は数多く使われている。

#### ●電力を熱に変換する

一般的に加熱器(ヒーター)と呼ばれるものの正体は抵抗である。ある抵抗に電流を流すと、電力が熱に変換される。その変換式は次の通りである。

$$P=I^2R$$

ただし、Pは電力[W]、Iは電流[A]、Rは抵抗[Ω]

この電力が熱に変換されると

$$H=0.24P \text{ [cal]}$$

となる。

電圧を分割して小さくする

図5-1のように、2個の抵抗を組み合わせ、入力電圧Viに対して、出力電圧Voは次式で表される。

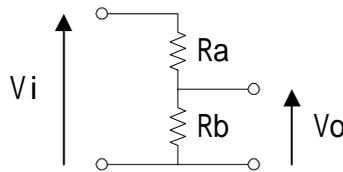


図5-1 抵抗による電圧分割

図記号	名称・用途	価格帯
$V_o = \frac{R_b}{R_a + R_b} V_i$	<b>固定抵抗器</b> 抵抗値が決定している場合に用いる	数円～数百円
	<b>可変抵抗器</b> 抵抗値を頻繁に変える場合に用いる	数十円～数百円
	<b>半固定抵抗器</b> 抵抗値を初期調整する場合に用いる	数十円～数百円
	<b>ポテンショメータ</b> 抵抗値を精密に変える場合に用いる	数百円～数千円
	<b>半固定ポテンショメータ</b> 抵抗値を精密に設定する場合に用いる	数百円

このようにして、入力電圧Viを分割して小さい出力電圧Voを得ることができる。RaとRbの比を連続して変化させることができる抵抗が可変抵抗であるが、これは、たとえばテレビやステレオのボリュームに使われている。音の電気信号を分割して小さくしたり大きくしたり、連続して可変できる。

表5-1に各種抵抗の図記号と用途・価格帯を示す。

表5-1 各種抵抗の図記号と用途・価格帯

### 5-1-1-1抵抗器の構造

抵抗器にはソリッド型、カーボン(炭素)皮膜型、抵抗巻線型、酸化金属皮膜型などがあるが、いずれも極性はない。したがって極性を考慮する必要はない。

しかし、種類により性能や電力容量に違いがあるため、同じ抵抗値でも違う種類の抵抗器は使えないことがある。

以下に抵抗器の種類と特徴について解説する。

#### **ソリッド(固体)型**

炭素の粉末と樹脂を固めてエポキシ樹脂でモールド(成形)したものである。

機械的にも強く、線を巻いたりしていないためコイル成分がなく(無誘導)、高周波にも適しているが、抵抗による発熱がエポキシ樹脂により抵抗器の外に放熱されるのを妨げられるため、大きさの割に電力容量は小さい。

また、製造後の抵抗値の微調整が構造的に不可能なため、抵抗値のばらつきが大きく、また、温度による抵抗値の変化が比較的大きく、精度を必要とする回路には不向きである。

抵抗器の外形が絶縁物で覆われているため絶縁耐圧が高く、真空管時代の高圧回路には多用されていたが、現在はあまり使われていない。

抵抗値はあまり小さいものではなく、あまり大きいものもない。一般的なものは $100\Omega$ から $1M\Omega$ が中心で、電力容量も $1/4W$ から $2W$ 、せいぜい $5W$ 程度が、精度は $\pm 10\%$ あるいは $\pm 20\%$ が多い。

#### **カーボン(炭素)皮膜型**



ステアタイト(磁器)の外側に炭素皮膜を付け、スパイラル(らせん)状に切り込みを入れて抵抗値を調整したものである。

外側に抵抗体があるために、きずなどに弱く、放熱は良いが皮膜の厚さに限りがあるために電力

容量は小さい。

その反面、製造後の微調整が可能のため、精度が比較的高く、現在では最も広く使われている。

抵抗体の表面にらせん状の溝があるために、構造は抵抗体で巻いたコイルと同じであり、ソリッド抵抗のように高い周波数の回路には不向きだが、抵抗値の小さいものはらせんの回数が少ないために、数100MHz程度の高周波にも問題なく使える。

しかし、抵抗体がらせん状になっているために、抵抗体の長さは抵抗器の数倍はあり、温度変化に対する抵抗値の変化は大きい。

抵抗値は一般的なもので $1\Omega$ から $10M\Omega$ 程度のものがあり、電力容量も最近の機器の小型化の要請を受けて $1/8W$ の小型のものから $1/2W$ 程度のものが作られている。

### 巻線型

ステアタイト(磁器)の外側にニクロム線などの抵抗金属線を巻き付けたもので、電流容量も大きく、ステアタイトの部分が割れても巻線が断線したりショートしない限り抵抗値も変わらず信頼性も高い。

放熱も最も良く、抵抗体が金属であるために他の抵抗器よりも高い温度でも断線しないため、大きさの割には電力容量も大きい。しかし、発熱が回路の他の部分に及ぼす影響を考え、間隔を置いて配置しなければならない。

抵抗器の巻線がコイルであるために、特に抵抗値の大きいものほど高周波には不向きで、主に電力回路に用いられる。

巻線の太さが均一ならば、長さをきちんと管理することで、比較的高い精度を保てるが、製造後の微調整は困難である。

抵抗値は一般的なもので $0.01\Omega$ から数百 $\Omega$ が上限であるが、電力容量は $1W$ 程度から数kWのものまで作られている。

### 金属皮膜型

ステアタイトの外側に薄い金属あるいは酸化金属の皮膜を付けたもので、抵抗値の精度はかなり良い。

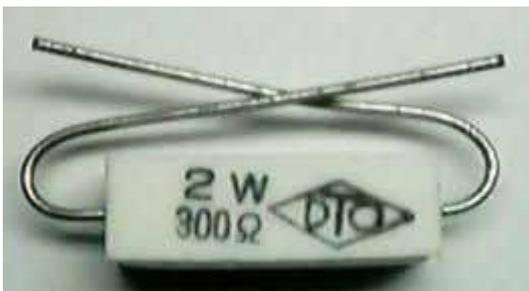
また、抵抗値の調整にらせん状の切り込みを入れたものと入れていないものがあるが、入れていないものはコイル成分がないので高周波回路にも適している。

もとの抵抗体の電導率が高いことと温度による変化が少ないために最も高精度の抵抗器であり、放熱性も良く、抵抗体が金属なので高い温度でも使用でき同じ大きさならば電力容量も大きい。また、高周波になると電流が導体の表面を流れる表皮効果が発生し、ソリッド抵抗などでは抵抗体の中心部に電流が流れなくなるために、結果的に電流が流れにくくなり、見かけ上の抵抗値が大きくなることもあるが、金属皮膜型はもともと表皮にしか抵抗体がないから、表皮効果による抵抗値の変化が少なく、低周波から高周波まで精度が保てる。

現時点で最高の性能を持つ金属皮膜型だが、価格が高いのと抵抗体が金属であるために高抵抗を得にくい欠点がある。

一般的なものでは抵抗値は0.1Ωから1MΩ程度、電力容量は1/8W程度から数W程度のものが作られている。

### セメント抵抗器



セメント抵抗器は巻線抵抗器が発熱してプリント基板に損傷を与えたり、人体に危険を及ぼすの

を防ぐため、巻線抵抗器を絶縁物であるセメントで固めたものである。

内部抵抗器の温度が高くなっても外部に与える影響が小さく、セメントの放熱性がわりと良いため、巻線抵抗器をセメントで固めると2～3倍の電力容量で使うことができる。

しかし、他の抵抗器が焼損すると目視判別できるのに対して、セメント抵抗では焼損しても外見上はわからないため、保守性は悪い。

表5-1 抵抗の種類と特徴

### 5-1-2 コンデンサー

コンデンサーは、簡単に言えば電気を蓄える部品である。単に電気を蓄えるだけであれば、バッテリーで十分ではないかと思うかも知れないが、コンデンサーはバッテリーよりもはるかに蓄えられる電気の量が少ない。そんなものを何に使うのかと言えば、次のようなことである。

- (1) 直流を通さず交流だけを通す
- (2) 周波数の高い信号は通しやすいが、低い信号は通しにくい
- (3) 抵抗などと組み合わせることで時間遅れを実現できる

コンデンサーは非常に多くの種類があり、それぞれ特性が異なるために用途が異なる。コンデンサの図記号を表5-2に示す。

表5-2 代表的なコンデンサーの図記号と用途

次表にコンデンサの種類による容量の範囲と応用範囲、大きさ、価格を示す。

コンデンサの種類	容量範囲	応用範囲	大きさ	価格
アルミ電解コンデンサ	0.1 $\mu$ F ~ 47000 $\mu$ F	電源平滑用 低周波用	やや大きい	安い
タンタル電解コンデンサ	0.1~470 $\mu$ F	計測用 タイミング用	小さい	高い
セラミックコンデンサ	1PF~0.5 $\mu$ F	高周波用 バイパス用	大きい	安い
フィルムコンデンサ	500PF~10 $\mu$ F	低周波用	大きい	安い
メタライズドフィルムコンデンサ	500PF~10 $\mu$ F	計測用	大きい	高い
マイカコンデンサ	10PF ~ 0.1 $\mu$ F	高周波用 高電圧用	大きい	高い
紙コンデンサ	1000PF ~ 500 $\mu$ F	高電圧用 無極性用	大きい	安い
チタンコンデンサ	10PF ~ 0.1 $\mu$ F	高周波用 精密用	小さい	高い

ガラスコンデンサ	100PF 0.1 $\mu$ F	～	高電圧用 計測用	普 通	高 い
----------	----------------------	---	-------------	-----	-----

表5-3 代表的なコンデンサーの種類と特徴

コンデンサは、電気を蓄えるための部品であり、その構造は平行する電極の間が絶縁されているものであるが、誘電率の低い空気を使ったものが空気コンデンサである。空気コンデンサは耐圧が高いが、絶縁体の誘電率が低いいため、静電容量の割には大型になってしまう。そのため、通常は絶縁物として誘電率の高い物質を利用する。この絶縁物の種類によりコンデンサの種類が決まり、その大きさに対する容量や特性が決まる。

表5-3 市販されている主なコンデンサーの種類と容量・用途

#### ●紙コンデンサー(ペーパーコンデンサー)

最も単純な絶縁物は紙であるが、誘電体として紙を使用したコンデンサが紙コンデンサ(ペーパーコンデンサ)である。紙コンデンサは安価で耐圧も比較的高いが、大型で容量の精度を高くするのが困難であり、紙の質が悪いとパンクとって、電極どうしが接触してショートすることがある。特性もあまり良くない。

また、MP(メタライズト・ペーパー)コンデンサと呼ばれるものは、紙に絶縁塗料を塗って、真空中でアルミニウムなどの電極を蒸着(金属を蒸発させてめっきする)して、ロール状にしたものであり、小型で温度特性(温度による容量の変化)も改善されている。

一般的に紙コンデンサは、低周波(音声周波数程度の低い周波数)での利用に適しており、精度はあまり期待できない。

#### ●オイル・コンデンサー

紙コンデンサの紙にパラフィンをしみこませる代わりに油をしみこませたものをオイルコンデンサと呼んでいる。オイルコンデンサは、耐圧が非常に高く、高圧回路に用いられる。

#### ●フィルム・コンデンサ

フィルムコンデンサは、ポリエステルやポリカーボネイトの薄いプラスチック板を電極で挟んでロール状にしたもので、マイラコンデンサとも呼ばれている。小型で安価で絶縁も良く、機械的振動などにも強いいため、電子機器に多く使われる。しかし、電極がロール形状であるため、コイルの役割を果たしてしまうため、高周波(高い周波数)での特性は非常に悪い。

#### ●スチロール・コンデンサー

スチロールコンデンサは、誘電体にポリ・スチロール樹脂を使ったものである。コイル成分が少なく、比較的高周波でも使え、温度による容量の変化も少なく、絶縁抵抗が極めて高い。そのため、精度を要求されるタイミング用や、漏れ電流が小さいことが要求される積分回路に使われる。機械的振動にも強いが、耐熱性に劣り、70℃程度までしか使用できないため、電源回路の近くでは使用できない。

#### ●磁器コンデンサー(セラミック・コンデンサー)



磁器コンデンサ(セラミックコンデンサ)は、チタン酸バリウムなどを焼いて作った磁器製の円盤を銀電極で挟んだものを絶縁塗料や合成樹脂で覆ったもので、誘電率が非常に高く、小型で比較

的容量の多いものが作れる。電極がロール状になっていないため、高周波での使用に適しているが、温度による容量の変化が大きく、精度を要求される回路には適さない。また、誘電率が高いものほどひずみが大きく、音質を重視する音響機器には使えない。耐圧も高く、価格も安い。

最近では、磁器コンデンサを何層にも積層して、大きさの割には容量の大きい積層セラミックコンデンサが論理回路の電源バイパス用に使われている。論理回路の電源バイパス目的であれば、容量の精度も要求されず、ひずみもあまり重要でなく、小型で安価で高周波特性が良いため非常に短い電源スパイク(周波数の高いノイズ)に最も適した特性を持っているからである。

●電解コンデンサー(ケミカル・コンデンサー)



電解コンデンサ(ケミカルコンデンサ)は、誘電体として電解液を利用したものであり、コンデンサというよりも蓄電池(バッテリー)に近い。そのため、大きさに対する容量は最も大きいですが、耐圧が小さく、極性があり、液漏れの可能性があり、高周波特性は最悪である。それでも使われるのは小型で安価で容量が大きいためであり、主として大きな容量の必要な低周波増幅回路や交流を直流に変換する整流後の平滑回路に使われる。電気二重層コンデンサは、電解コンデンサの電解酸化膜の代わりに電気二重層を利用したもので、さらに容量が大きいが高周波特性が悪い。こちらは、短時間のメモリ(記憶装置)の記憶保持回路(バックアップ回路)などに使われている。

●タンタル電解コンデンサー

タンタル電解コンデンサは、電解コンデンサの電極に焼成したタンタルを使ったもので、表面にミクロの無数の穴があるために、見かけ上の表面積が大きくなり、さらに小型で、ロール状にしなくても良いために高周波特性も良く、漏れ電流が少ないために、タイミング回路や積分回路でも使われる。しかし、電解コンデンサ(アルミニウム電解コンデンサ)よりも高価である。

【コラム】コンデンサーと誘電率

コンデンサには、この他にガラス、雲母(マイカ)、酸化チタンなどを使ったものがあるが、現在ではあまり使われていない。コンデンサーの容量と耐電圧は、向かい合った電極の面積と、その間隔、間に挟む絶縁物の誘電率で決まる。当然のことながら、同じ大きさであれば誘電率が大きい方が容量は大きくなるが、信号のひずみが増したり、充放電の特性が悪くなったりする。表5-4に各種絶縁物の比誘電率(真空での誘電率と比較した数値)を示す。なお、誘電率は記号εで表す。

物質	誘電率	物質	誘電率	物質	誘電率
空気	1.00059	セラミック	2.7~3.7	ベークライト	5.1~9.9
水素	1.00026	絶縁油	2.2~2.4	絶縁ワニス	5~6
パラフィン	1.9~2.3	ガラス	3.8~10	环氧树脂	8
紙	2~2.5	雲母	4.5~7.5	水	81

表5-4 絶縁物の種類と比誘電率

5-1-3 コイル

コイルとは日本語で

言うと巻線のことであるが、電線を巻いたものに電流を流すことにより、電磁誘導という現象が発生する。電磁誘導とは、ファラデーの法則により、コイルに電流を流すと、その電流の流れを阻止する方向に磁界が発生することである。もっと簡単に言うと、コイルに電流を流すと、コイルは電磁石に

なり、流した瞬間は電流が阻止されて流れにくくなる。また、コイルに流している電流を切ると、電磁誘導により電流は流れ続けようとする。つまり、機械のばねと同様に、急に力を加えても吸収され、放すと押し戻される。急に押し放すと振動するといった現象が発生する。

この現象をうまく利用すると、電流の急激な変化を吸収するチョーク・コイル(交流を直流に変換する際に用いられる)や蛍光灯などに使われている安定器、急激な変化を吸収するダンパー回路、ばねが固有の振動数を持つように、電流を固有の振動数で振動させる共振回路(電波を利用するラジオやテレビ、携帯電話などに利用される発振回路や同調回路)、ばねを急に押し放すと元の長さよりも長くなるように、電流をコイルに急に流して急に切ると元の電圧よりも高い電圧が得られる昇圧回路(テレビのブラウン管用の高電圧を作るフライバック・トランスやエンジンの点火プラグに利用するイグニッション・コイルなど)として利用できる。

ここまでは、コイルを単体で利用するものであるが、複数のコイルを近づけると、電流を流した方のコイルから磁力が発生し、電流を流さないコイルに電流が流れる。このことを磁気結合と読んでいるが、電流を流す側(一次側)と電流が流れる側(二次側)のコイルの巻数比を変えることにより、電圧が変わる。たとえば、一次側を1000回巻とし、100ボルトの交流(交流でなければいけない)を加え、二次側を100回巻とすると、10ボルトの交流が得られる。こうしたコイルを変圧器(トランス)と呼び、低圧のトランジスタ回路に使われる電源であるACアダプターなどにはなくてはならないものである。

### 【コラム】コイルと逆起電力

コイルに電流が流れると、ファラデーの法則により、電流の流れを妨害する方向に磁界が発生する。反対に電流が途絶えると、電流は今までとは反対の向きに流れようとする性質がある。このときに発生する電流は、そのときの磁力の変化が大きいときほど大きくなる。特に継電器(リレー)のコイルのように、電流をオン/オフするような回路では、電流が途絶えるときに発生する**逆起電圧**は電源電圧の数倍から数十倍にも達することがある。この電圧がトランジスタの最大コレクタ-エミッタ間電圧 $V_{CEO}$ を超えるとトランジスタが破損する恐れがあるため、一般的にトランジスタでリレーのコイル

を制御する際には、この逆起電圧に対する保護が必要になる。保護回路には、変化の早い電流変化を平均化するためのコンデンサや、逆起電圧をバイパスすることにより吸収するダイオード、逆起電圧がある一定電圧を超えた際にバイパスするバリスタやツェナーダイオードなどがある。コンデンサは電流を平均化してしまうため、リレーの作動時間と復旧時間の両方が遅れ気味になり、ダイオードの回路では、復旧するための逆起電力を吸収してしまうため、戻るためのばねの復元力のエネルギーが失われ、復旧時間はかなり長くなる。バリスタまたはツェナーダイオードを使えば、トランジスタを破壊しない電圧に設定することにより、復元力が失われる時間が短時間となり、復旧時間にはほとんど影響しないが、他の方法よりも費用がかかる。どの場合も復旧時間そのものは数十から数百ミリ秒であるため、あまり復旧時間が問題とならないのであれば、ダイオードによる保護回路が最も簡単で確実である。コンデンサの場合は容量や耐電圧の選定に手間がかかり、バリスタやツェナーダイオードの場合は電圧の選定に手間がかかる。このような用途のダイオードをフライホイール・ダイオードと呼び、リレーやモータなどのコイル(誘導)負荷を駆動する回路に用いられている。

### 部品の系列

計算から得られた値の部品をそのまま購入できれば非常に便利であるが、それでは種類が無限大になってしまう。そこで、実際には部品の誤差を考えて、飛び飛びの値のものが売られている。これが部品の系列であるが、系列は1~10までをいくつかの等比数列で表したもので、分割数によりE6系列、E12系列、E24系列、E96系列がある。

許容誤差5%の抵抗などはE24系列、コンデンサーはE12系列、電解コンデンサーはE6系列などが用いられ、許容誤差1%の金属皮膜抵抗はE96系列が用いられている。したがって、一般的にはこの系列以外の値の部品は売られていない。なお、この系列は桁を無視している。つまり、表の10倍、100倍、1000倍...の部品は売られていることになる。

1.0	1.5	2.2
3.3	4.7	6.8

表5-6 E6系列

1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7
3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2

表5-7 E12系列

1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

表5-8 E24系列

1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.55	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32
2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01	3.09
3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76

表5-9 E96系列

## 5-2 半導体

半導体とは、電気を通す導体と、電気を通さない絶縁体の中間の性質を持った物質であり、簡単に言えば、状況により電気を通したり通さなかったりする物質である。この中途半端な性質が電子回路にはなくてはならないものであり、入力信号の大きさにより電気の通りやすさを変化させたり(増幅・発振)、入力信号により電気を通したり通さなかったり(半導体スイッチ)、電圧の方向により電気を通したり通さなかったり(整流・検波)する働きを実現できる。

半導体には、シリコン、ゲルマニウム、リン、炭素などがあるが、現在電子回路に最も多く用いられているのはシリコンである。シリコンは元素記号Siで表され、半導体の代名詞となっている。

電子回路で用いられる半導体には、大きく分けてダイオードとトランジスタがあるが、それぞれについて、予備知識として説明する。

### 5-2-1 ダイオード

ダイオード(diode)のdiはギリシャ語で2つという意味であるが、ダイオードは2極の半導体であり、基本的にリード線が2本ある。ダイオードの最大の働きは、図5-2(a)のように一方にしか電流を流さないことである。この特性を利用して、交流を直流(正確には脈流)に変える**整流**作用や、高周波信号を低周波信号に変える**検波**作用、交流信号を直流電圧の加え方でオンオフするスイッチ作用がある。図5-2(b)に整流回路の例を示す。

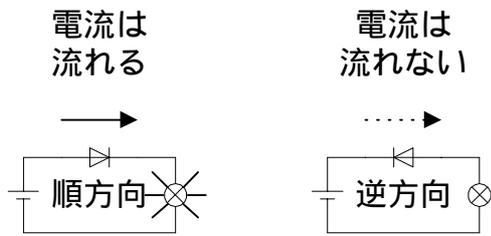


図5-2(a)

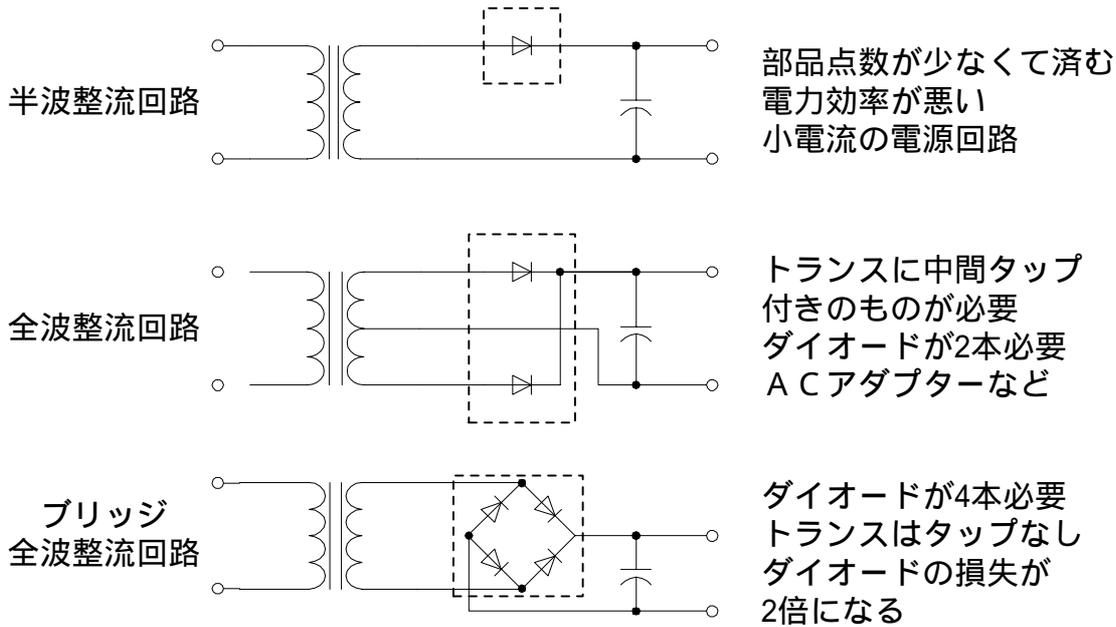


図5-2(b) 整流回路

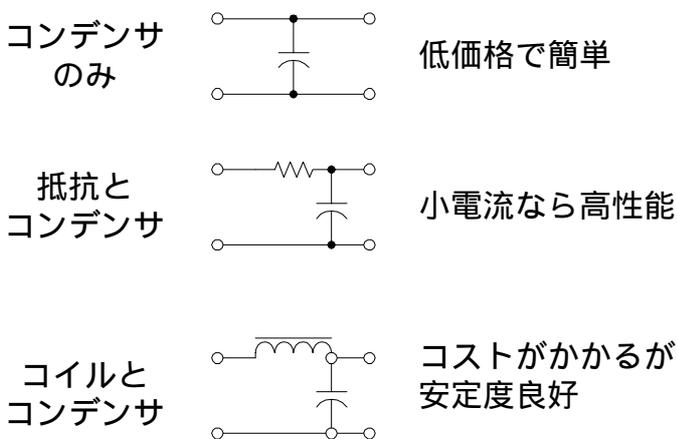


図5-3 平滑回路

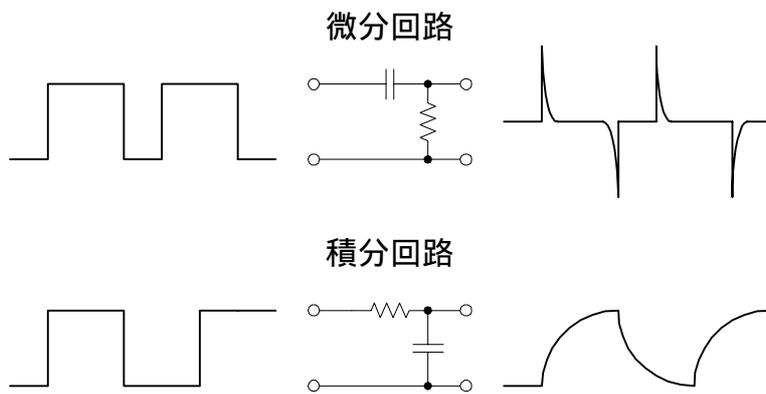


図5-4 微分回路と積分回路

### 5-2-1-1 ダイオードの特徴

ダイオードは、真空管の2極管と同様の整流作用を持つ半導体で、真空管に比較して、ヒーターが不要、低電圧で使える、寿命が半永久的などの利点があり、広く使われている。構造は半導体と半導体を接合したもの、半導体と金属を接合したものなどがあり、用途や容量に応じてさまざまなものがある。

#### 接合ダイオード

図5-5に示すような特性をもち、順方向(P-N)には電流を通し、逆方向(N-P)には電流を通さない。順方向には0.2V(ゲルマニウム)ないしは0.6V(シリコン)の順方向電圧降下があるが、これは整流の際の損失の原因になる。図5-2に示すブリッジ全波整流回路では順方向電圧降下による損失は2倍になる。逆方向の電圧がある電圧を超えると、本来は流れないはずの電流が流れ始める。これを降伏電圧またはブレイクダウン電圧とよび、これ以上の電圧では整流作用はなくなる。このことは、ダイオードを選ぶ場合は、電流容量の他に回路電圧を考慮して余裕のある耐電圧のものを選ぶ必要があることを意味する。接合ダイオードは製造方法から合金形と拡散形に大別される。また、材料によりゲルマニウム・ダイオードとシリコン・ダイオードに大別される。

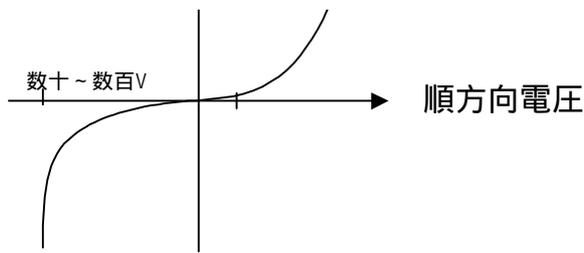


図5-5 ダイオードの特性

### ゲルマニウム・ダイオード

ゲルマニウム・ダイオードは 半導体材料にゲルマニウム(元素記号Ge)を用いたものであり、順方向電圧降下が少ないことから、低電圧で動作する必要のある検波回路に用いられることが多い。初期には整流用にも用いられたが、最大許容温度が約80 と低く、逆方向耐電圧も比較的 low、電流容量も小さいために、整流の用途ではシリコン・ダイオードが用いられる。

### シリコン・ダイオード

シリコン・ダイオードは半導体材料にシリコン(けい素: 元素記号Si)を用いたものであり、整流用に広く用いられている。また集積回路(IC)の内部にも用いられている。順方向電圧降下が高いことから、検波には適していないが、最大許容温度が約150°Cと高く、大電流に適している。

#### 5-2-1-2 ダイオードの構造

##### PN接合ダイオード

P形半導体とN形半導体を接合し、またはN形半導体中に拡散によりP形半導体を形成してPN接合面を作ったもの。

##### 合金形ダイオード

図5-4は一般的な合金形シリコン・ダイオードの構造を示す。合金形ダイオードはN形半導体にアルミニウムを還元性または不活性ガス中で高温で合金とし、P形半導体のかわりにアルミニウムを代用し、高い周波数での整流特性を改善したものである。

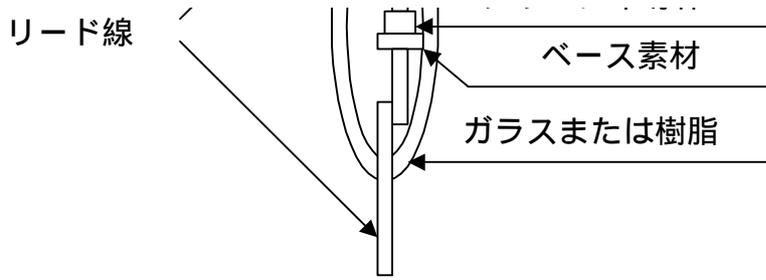


図5-4 合金形シリコン・ダイオードの構造

**点接触ダイオード**

図5-5のようにN形半導体にタングステンやインジウム合金の針先を押し付けたもので、低雑音で高周波に使えるため、AM検波やダイオード・スイッチなどの応用に適している。

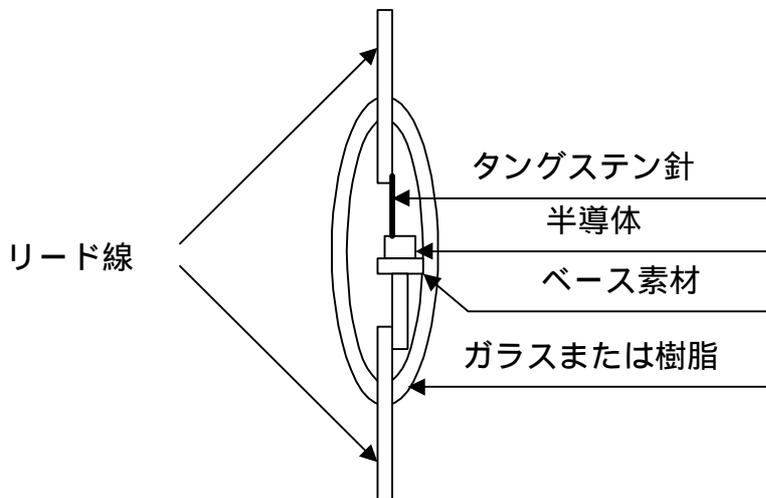


図5-5 点接触ダイオードの構造

5-2-1-3 特殊なダイオード

**定電圧ダイオード**

図5-6のようにダイオードの逆方向電圧を大きくしていくと、ある電圧から逆方向に電流が流れるようになる。この現象をなだれ現象あるいは降伏現象と呼ぶが、雪崩電降伏を起こす電圧を降伏電圧(ツェナー電圧)と呼ぶ。さらに逆方向電圧を大きくしていくとしまいには破損に至るが、一定の電圧以下で使えば、電流に関係なくある電圧を保つ効果(ツェナー効果)が得られ、一定の電圧を保つ定電圧回路が実現できる。ツェナー電圧は不純物の量や合金温度により変えることが可能で、3

～1000V程度のツェナー電圧が得られる。定電流ダイオードは図5-7のように逆方向で使わなくてはならない。

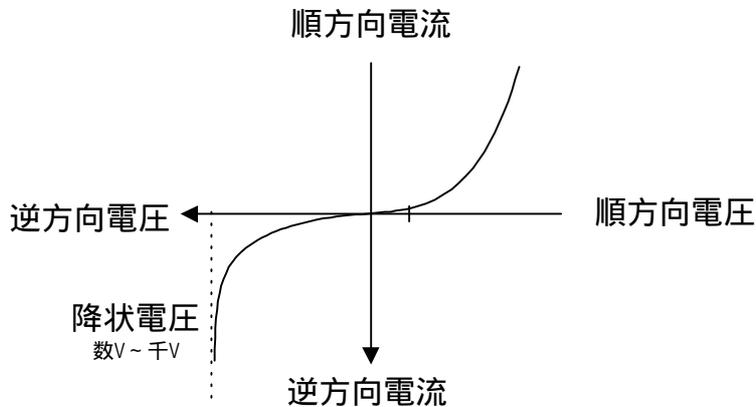


図5-6 ダイオードの降伏電圧

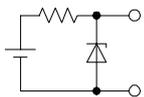


図5-7 定電圧ダイオードの使い方

### 定電流ダイオード

図5-8のように順方向電圧によらずにほぼ一定の電流の流れるダイオードである。このダイオードは電流制限回路や定電圧回路(定電圧ダイオードに流れる電流を一定にすればより安定した電圧が得られる)に使われる。



図5-8 定電流ダイオードの特性

**エサキ・ダイオード**

ノーベル物理学賞を授賞した絵崎博士の発明したダイオードで、図5-9のようにトンネル効果が現れる。この効果は1ビットの記憶や発振、増幅に応用できるが、素子のばらつきが大きく量産化が難しいこと、消費電力が大きいことなどから、電算機ではほとんど使われることはなく、超高周波で使われることがあること程度である。

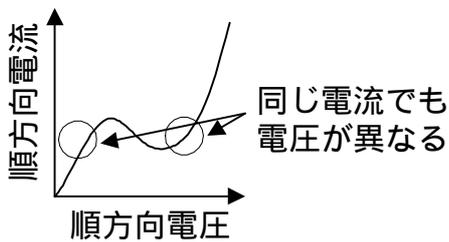


図5-9 トンネル効果

**可変容量ダイオード（バリキャップまたはバラクタ）**

PN接合面のコンデンサとしての働きが逆方向電圧により変化することを利用して、逆方向電圧を変えることにより周波数を変える回路 (FM変調)、受信電波の周波数に自動的に微調整する自動周波数制御 (AFC) 回路などに使いやすいように電圧による容量の変化を大きくしたダイオードで、図5-10のように直流電圧を加えることにより容量 (コンデンサー) が変化する。直流電圧と直列に入っているコイルは、交流信号が電源に流れ込むのを防止する働きがある。

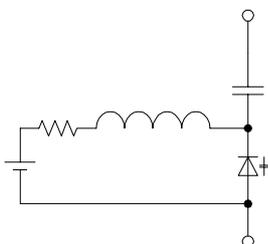


図5-10 可変容量ダイオードの使い方

**発光ダイオード (LED)**

発光ダイオードはガリウム+燐 (GaP) あるいはガリウム+ひ素 (GaAs) またはガリウム+ひ素+燐

(GaAsP)の単結晶からなるPN接合に順方向電流を流すと、電流に応じて発光する原理を応用したもので、LED(Light Emitting Diode)とも言う。

発光ダイオードは電球などに比較して、効率が良く(少ない電流で発光する)、寿命が長く(半永久的:球切れがない)、発熱が小さい(小型化できる)などの利点があるが、反面、あまり明るいものは作れない(許容電力が小さい)、発光色が限られている、価格が高いなどの欠点もあるが、最近では多くの発光ダイオードを組み合わせることで明るくしたり、改良により高輝度(明るい)品が市販されていたり、発光色も赤、だいだい、黄、黄緑、緑、青などがあり、価格は高いが青が市販されたことから光の3原色が揃ったため、白色を含むすべての色が再現できる。

球切れがないことから、電球(ランプ)の代替として、機械や制御盤の表示灯として、あるいは明るさも電球に劣らなくなってきたため、長寿命と高信頼性、低消費電力の利点を生かして、信号機や自動車のストップランプなどにも使われるようになってきた。しかし、白色光を発生する発光ダイオードは非常に高価であるため、照明器具としては、まず使われない。

### 発光ダイオードの使い方

ここで、発光ダイオードを選定あるいは交換する際に最低限必要な知識について簡単に説明する。

#### (1) 発光色

漠然と赤、だいだい、黄、黄緑、緑、青と呼んでいるが、厳密には仕様書には波長で記されている。波長の単位はnm(ナノ・メートル)で、数値が大きいほど波長が長い、すなわち赤色に近いことになる。人間の目に見える光の波長は約400~760nmで、たとえば、波長が850nmの発光ダイオードは人間の目には見えない。見えない発光ダイオードを何に使うのかといえ、この波長は「赤外線(Infra Red:IR, Super Red)」と呼ばれる波長に相当し、障害物や空気中の塵や霧の影響を受けにくいので、テレビやビデオ、エアコンなどのリモコンなどの、いわゆる赤外線通信などに使

われる。

## (2) 明るさ

発生する光の量で、単位はmcd(ミリ・カンデラ)が一般的である。市販品では1～5000mcd程度までである。

## (3) 最大定格

発光ダイオードには、これ以上電流を流すと、寿命が極端に短くなったり、破損したりする「最大電流」と、逆方向にこれ以上の電流を流すと破損する「最大逆方向電流」の2つの重要な最大定格がある。そのため、発光ダイオードを発光させるためには一般的に電流を制限するための抵抗が必要になる。抵抗値と許容電力はオームの法則により求められる。また、電源の逆接続は逆方向最大電流を超える可能性が高いため、十分に注意する必要がある。

$$R = \frac{E - V_F}{I_F}$$

ただし、Eは電源電圧

$I_F$ は順方向電流3～20mA(必要な明るさと発光ダイオードにより異なる)

$V_F$ は順方向電圧1.6～2.1V(単体の場合、赤1.7V、黄1.9V、緑2.1V程度)

制御盤に取り付けるように製品化されたものには、電流制限用の抵抗や逆電流防止用のダイオードが内蔵されたものもあるが、この場合は記載された使用電圧に注意する必要がある。

Light Emitting Diodeの略。発光ダイオード。シリコン(Si)にガリウム(Ga)やリン(P)、ヒ素(As)などを加えて作った半導体に電流を流すと光を発する性質を利用した表示素子。当初は赤しかなかったが、橙色、黄色、黄緑、緑色などの光を発するものがある。近年は青色も市販されるようになり、光の3原色が揃ったことによりフル・カラーでの表示が可能になった。また、赤、青、緑の3色をひとつのパッケージに封入した白く発光するものもある。

日本では、東芝、シャープ、三洋などが多くの品種を出している。また、スタンレー電気(自動車のヘッドライトなどのトップメーカ)のものは、非常に明るいため、電球の代わりに使われることもある。海外では、ヒューレット・パッカード(HP)、モンサントなどのメーカーが有名。

### 5-2-2トランジスター

トランジスタ(transistor)は、ギリシャ語のtriから命名された。triは3という意味であり、triangle(三角形)、trio(三重奏)などとして用いられる。つまり、トランジスタは3極の半導体であり、ダイオードよりもリード線の数が多い。この1本がトランジスタの最大の特徴であり、この1本がゲート(門)の役割を果たす。これは、水門と同じように、トランジスタのベースに信号を送ることにより、水門を開閉し、水路(回路)の水(電流)の流れを自在に制御することができる。しかも、水門を開閉する力は、水路の水圧よりもはるかに小さい。このことがトランジスタの基本作用である増幅(弱い信号を強い信号に変換する)作用である。

重要なことだが、このような働きをする水門係(トランジスター)は、水門を開閉するためにエネルギーを必要とする。これが電子回路でいう電源回路である。電子回路に電源は不可欠であり、この電源が貧弱だと、栄養失調の水門係と同様に、本来の性能を発揮できなくなる。したがって、電子回路の調子が悪いときは、まず最初に電源回路を調べる必要がある。

表5-10によく使われるトランジスターの図記号と用途を示す。

図記号	名称	用途
	NPN形トランジスタ	マイナス側をオン/オフするのに使われる。
	PNP形トランジスタ	プラス側をオン/オフするのに使われる。
	NチャンネルMOS形トランジスタ	マイナス側をオン/オフするのに使われる。 ゲートに電流が流れないので簡単に大電流を扱える
	PチャンネルMOS形トランジスタ	プラス側をオン/オフするのに使われる。 ゲートに電流が流れないので簡単に大電流を扱える

表5-10 よく使われるトランジスターの図記号

#### ●バイポーラー・トランジスター

バイポーラ・トランジスタとは、PNPトランジスタあるいはNPNトランジスタのような、バイ(2つの) + ポーラ(極)を持つトランジスタのことである。

トランジスタには、使用周波数、電力、使用電圧、極性、形状に応じて様々な種類があるが、その中でバイポーラ・トランジスタについては、JIS(日本工業規格)により、型番別に表5-1のように分類されている。

実際の型番は、この形式の後に登録順に番号を付けて分類するが、この方法は次の通りである。

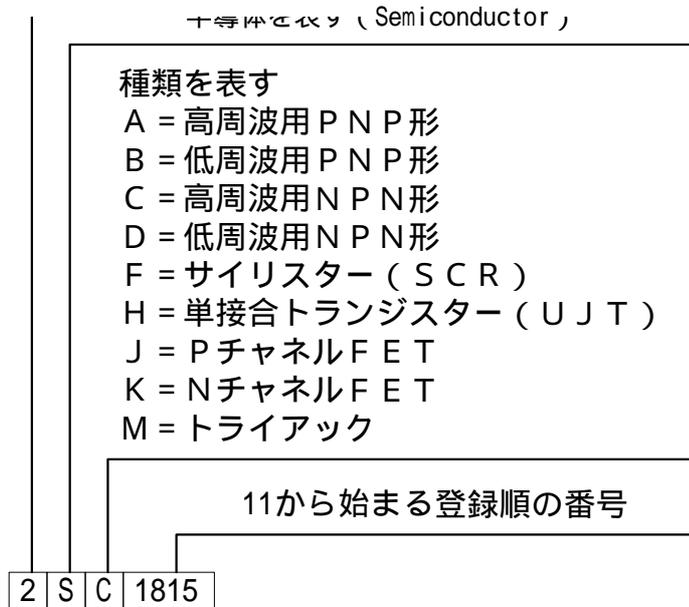


表5-1 トランジスタの型番

トランジスタの登録は日本電子工業会 (EIAJ) で管理されており、型番を見て、それをCQ出版社発行の「トランジスタ規格表」などのトランジスタの性能や定格 (使える範囲) を調べれば、そのトランジスタがどの程度の周波数や電力、電圧で使えるかがわかる。トランジスタの定格には、次のような項目があり、ひとつでも条件を満たさないと、そのトランジスタは使えない。

略号	意味	超えるとどうなるか
$P_c$	コレクタ損失	発熱して焼損する
$I_c$	コレクタ電流	増幅率が低くなり、最悪の場合溶断する
$T_j$	接合部温度	特性が変わったり、燃えたりする
$V_{CBO}$	コレクター-ベース間電圧	ブレイクダウンを起こして焼損する
$V_{EBO}$	エミッター-ベース間電圧	ブレイクダウンを起こして焼損する

表5-2 トランジスタの最大定格

このように、バイポーラ・トランジスタの最大コレクタ損失とは、そのトランジスタがコレクタで消費できる最大の電力であり、これを超えると焼損したり、短時間でもダメージを受けて特性が変わったりする。

コレクタ損失とは、コレクター-エミッタ間電圧 ( $V_{ce}$ ) とコレクタ電流 ( $I_c$ ) の積で求められるが、許容できるコレクタ損失は接合部温度 ( $T_j$ ) の上昇に伴い減少するから、温度の高い場所で使用する場合は、更に小さくなる。

【コラム】トランジスタを使ったマルチバイブレーター

マルチバイブレータとは、複数(マルチ)の回路を組み合わせた(複数の状態を持つ)論理回路で、振動信号を得る回路(バイブレータ)のことである。基本的には2個のトランジスタをたすきがけに接続し、どちらか一方がオン(1)であれば、もう一方は必ずオフ(0)となる回路を指す。ちょうどシーソーのように、どちらか一方が上であれば、もう片方は下になっている。

さて、安定と無安定の違いは、「安定」は時間が経過しても状態が変化しないことを意味し、「無安定」は時間が経過すると状態が変化することを意味している。つまり、双安定マルチバイブレータは時間が経過しても状態は変化せず、1ビットのデジタル情報を記憶できるフリップフロップ(図5-11)となり、単安定マルチバイブレータは時間が経過すると、一方の状態だけが変化するワンショット回路(図5-12)となり、無安定マルチバイブレータはどちらの状態も時間が経過すると変化を繰り返すため、パルス発振回路(図5-13)となる。

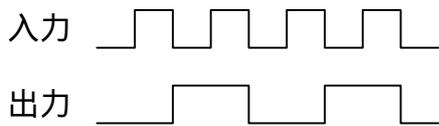


図5-11 フリップフロップの波形

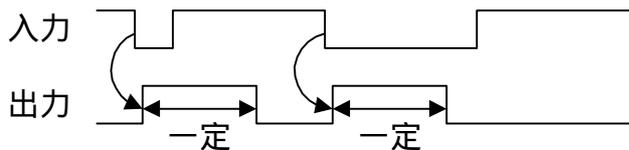


図5-12 ワンショット回路の波形

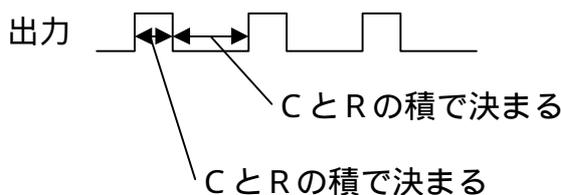


図5-13 パルス発振回路の波形

時間が経過すると状態が変化するためには、抵抗とコンデンサからなる積分回路をトランジスタのベースに入れれば良い。この積分回路のコンデンサの電圧がトランジスタのベースのオン電圧を超えると、そのトランジスタはオンになり、状態が反転する。トランジスタのオン電圧は通常シリコン・トランジスタで0.6ボルト程度であり、最近ほとんど使われないがゲルマニウム・トランジスタでは0.3ボルト程度である。

そこで、この種の問題は、積分回路が入っていないものが双安定、ひとつだけ入っているものが単安定(ひとつが非安定)、両方とも入っているのが無安定マルチバイブレータとなる。

5-2-3 集積回路(IC)

IC(Integrated Circuit)とは、集積回路の略である。集積回路とは、半導体や抵抗などからなる回路をパッケージ化したもので、小型化、高信頼化、低価格化などに効果が期待できる。

ICはその構造により、モノリック形とハイブリッド形に大別される。モノリック形とは、ひとつのシリコン単結晶上に全ての回路を集積したものをパッケージに納めたもので、現在ICと呼ばれているもののほとんどはモノリック形である。ハイブリッド形とは、セラミック基板上に半導体やその他の電子部品を接着剤あるいははんだ付けにより集積したもので、いわゆる小型のプリント配線板のようなものである。

当然、それぞれの特徴は大きく異なる。モノリック形では、1枚のシリコン単結晶上に、全てのトランジスタ、ダイオード、抵抗、コンデンサなどをフォト・エッチングと呼ばれる写真技術を応用して作られるため、同じ品質のものを大量に安く生産することができる。これに対してハイブリッド形では、セラミック基板(非常に高価)上に電子部品を人手や機械で接着し、配線するため、非常に高価になる。しかし、どのような部品でも組み込むことができ、比較的少量の生産も可能である。したがって、特殊な部品を必要とする計測・通信などの分野に利用されている。

ここでは、メカトロニクス分野で利用されるICのほとんどの部分を占めるモノリック形に絞って解説を行う。

### 5-2-3-1論理IC

論理回路とは、デジタル回路のことであり、オンとオフの2通りの状態の信号だけで処理を行う回路のことであるが、従来この論理回路には、リレー(継電器)が使われてきた。リレーは、コイルからなる電磁石と、電磁石により吸着されるアーマチュア、アーマチュアと連動する接点で構成され、要はコイルに電流を流すとスイッチがオンになる(あるいはオフになる)ものであるが、その機械的な構造から、大型であり、消費電力が大きく、動作速度がきわめて遅く、価格が高く、音が大きいなどの理由で、次第に論理素子として使われなくなった。しかし、その反面、高電圧や大電流に耐えるものが作れるため、高電圧を扱う回路や、自動車のセルモーターやヘッドライトのオンオフなどに現在でも使われている。

論理ICは、リレーやトランジスタの論理回路の代用として、論理回路の基本であるAND,OR,NOT回路を始めとして、フリップフロップやラッチ、カウンター、エンコーダー、デコーダーなど、さまざまな機能のものがパッケージに収められている。

論理ICには構造によりTTL(Transistor-Transistor Logic)とCMOS(Complementary Metal Oxide Logic)に大別される。それぞれの特徴を表5-3にしめすが、近年では消費電力が小さく、集積度(パッケージあたりの回路規模)が大きいCMOS形が主流になっている。

表5-3 TTLとCMOSの比較

	TTL	CMOS
消費電力(発熱)	多い	少ない
速度	速い	速い(以前は遅かった)
集積度	低い	高い
品種	多い(生産中止増)	多い(以前は少なかった)
静電気	やや強い	弱い

表を見ればわかるように、現在では静電気に注意さえすれば、CMOSの方が優れていることがわかる。

論理回路ICでは、事実上の世界標準として、TTLに関しては米国テキサス・インスツルメンツ社の74シリーズ、CMOSに関しては米国RCA社(現ゼネラル・エレクトリック社)の4000シリーズ、米国モトローラ社の14500シリーズが一般的であったが、現在では74シリーズを改良した74LSシリーズや、

74シリーズと置き換え可能なCMOSの74HCシリーズが利用されている。次第に74LSシリーズの利用は少なくなり、74HCシリーズや74HCシリーズを改良した74ACシリーズの利用が増えている。

表9-4に74HCシリーズの型番と機能を示すが、74HCシリーズとは、74HCxxのように74HCの後の数字でそのICの機能が異なっている。

### **T T L (Transistor Transistor Logic)**

トランジスタを基本にして設計された論理集積回路。一般的には直流5Vの電源で動作する。最大動作周波数は数十MHz(メガ・ヘルツ:百万ヘルツ)で、消費電力はやや多い。動作速度を速くしたS-TTL(ショットキ)、消費電力を低く抑えたL-TTL(ローパワー)、動作速度を速くして消費電力を抑えた

LS-TTL、更に改良したAS-TTL(アドバンスト・ショットキ)、改良して消費電力を抑えたALS-TTL(アドバンスト・ローパワー・ショットキ)

などがある。

しかし、CMOSも動作速度が速くなり、消費電力も少ないため、大電流を要求される回路(バス・バッファなど浮遊容量の大きい配線を駆動する)を除いてはあまり使われなくなっている。

### **N M O S (N-channel Metal Oxide Semiconductor : Nチャンネル酸化金属皮膜半導体)**

NチャンネルMOS形トランジスタを使った一世代前の集積回路で、現在では一部のメモリやCPUなどを除いて、ほとんど使われなくなった。TTLやCMOSよりも動作速度が遅く、数MHzでしか動作しない。しかし、消費電力はTTLよりは多少少なく、製造が比較的簡単のため、CMOSが難しく作れなかった時代に全盛を誇った。一般的に5Vの電源で動作し、TTLとも直接接続できるものが多かったため、メモリやCPUにNMOSの集積回路を使い、周辺回路にTTLを使ったが、現在ではほとんどCMOSに置き換えられている。

### **P M O S (P-channel Metal Oxide Semiconductor : Pチャンネル酸化金属皮膜半導体)**

PチャンネルMOS形トランジスタを使った二世代前の集積回路で、現在では博物館でしかお目

にかかれなような代物である。消費電力はTTLと同程度で、電源電圧も9V程度と高く、しかもTTLとは直接接続できず、動作速度も遅い、救いようのない集積回路であるが、製造が簡単なことと、価格が安いことなどから初期の電卓用として使われたため、比較的多く出回った。しかし、何も良いところがないため、現在では使われていない。

### 5-2-3-2 フリップ・フロップ

フリップ・フロップ(Flip Flop)は、直訳すれば「素早くぱたと動かす」という意味で、児童公園にあるシーソーのようにどちらか一方が上がっていけば、もう一方は降りている動きをする回路である。デジタル回路であるから、どちらか一方が1ならば、もう一方は必ず0になっていなくてはならない。このようなものを何に使うのかと言えば、データの記憶と計数すなわち、メモリーとカウンターに使われる。

フリップ・フロップは図5-14に示すRSフリップ・フロップを基本形として、それに機能を付加した図5-15に示すような種類がある。以下にそれぞれのフリップ・フロップについて簡単に説明する。

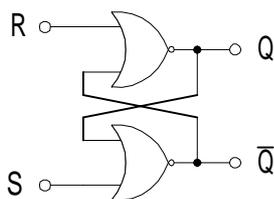


図5-14 RSフリップ・フロップの回路

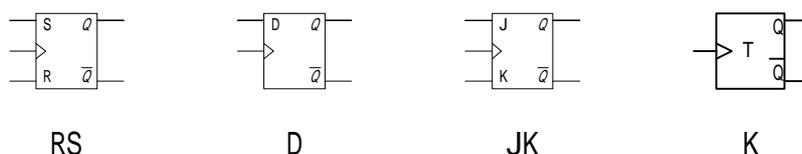
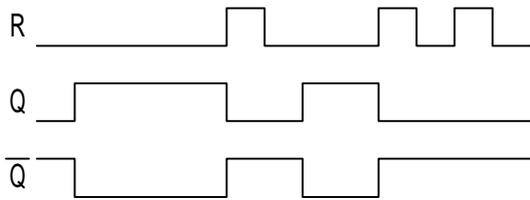


図5-15 各種フリップ・フロップの図記号

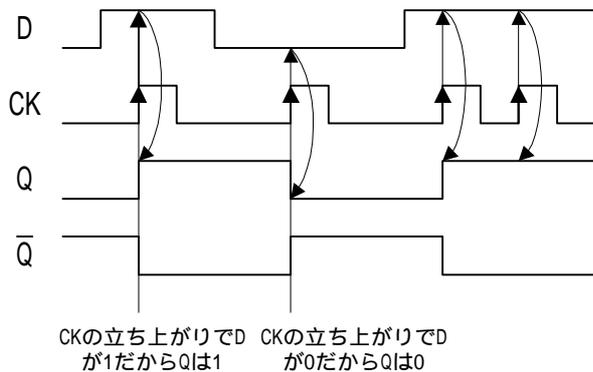
### RSフリップフロップ

RSフリップフロップは、Reset Set Flip Flopの略で、S入力一旦1になると、R入力が1になるまでQ出力が1になっている回路で、S入力でセットし、R入力のリセットすることから、その名前が付けられた。最も単純なフリップ・フロップで、それぞれの入力に押しボタン・スイッチを付ければ、S入力に接続されたスイッチを押すとオンになり、R入力に接続されたスイッチを押すまでオン状態を保ち、R入力に接続されたスイッチが押されるまでオンのままとなるような回路を実現できる。いわば、現在の状態を保持する記憶回路の一種である。



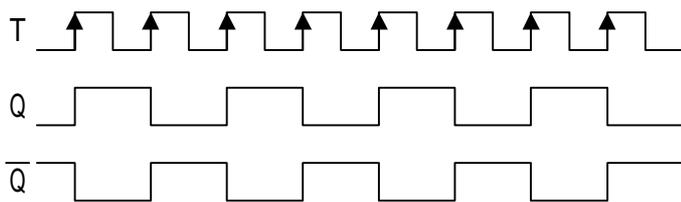
**Dフリップ・フロップ (レジスタ)**

Data Flip Flopの略で、1ビットのデータを記憶することができる。Dフリップ・フロップを複数個組み合わせれば、複数のビットを記憶することができるため、こうしたものをレジスタと呼んでいる。レジスタは二進数のそろばんのようなもので、複数のビット(たま)を組み合わせ、計算することができる。ちなみに、フリップ・フロップには関係ないが、演算回路のことをALU(Arithmetic Logical Unit)と呼ぶ。



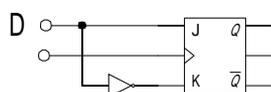
**Tフリップ・フロップ (カウンタ)**

Trigger Flip Flopの略で、トリガ(引き金)がオンになる度に出力が反転するフリップ・フロップである。このフリップ・フロップは前の段の出力を次の段の入力とすることで、二進数で入力されたパルス数を数えることができ、n個のTフリップ・フロップで $2^n - 1$ までの数を数えることができる。また、パルスが2回入力されると、パルスが1回出力されることになるため、入力した周波数を半分にする分周器としても使われ、水晶発振(クォーツ)などの正確な周波数を1Hzなどに落とすことができる。こうした特長を利用したのが、正確なクォーツ時計である。



**J Kフリップ・フロップ**

RSフリップ・フロップの両方の入力をオンにすると、動作が不定になる(どうなるかわからない)ため、両方の入力が1のときは、Tフリップ・フロップとして動作するようにしたものである。図5-16のようにNOT回路と組み合わせることにより、Dフリップ・フロップとして使え、図5-17のように出力を戻すことにより、Tフリップ・フロップとしても使える便利なフリップ・フロップである。



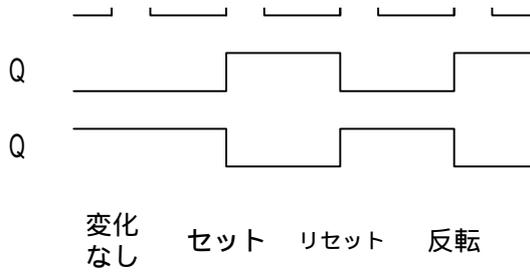


図5-16 JKフリップフロップを使ったDフリップフロップ

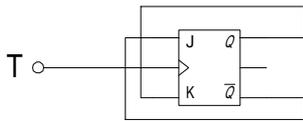


図5-17 JKフリップフロップを使ったTフリップフロップ

5-2-3-3ド・モルガンの定理(論理回路の相互変換)

ド・モルガンの定理により、論理回路の相互変換が可能であり、うまく使えば論理回路の数を大幅に減らすことができる。ド・モルガンの定理とは、論理記号で表せば次の通りである。

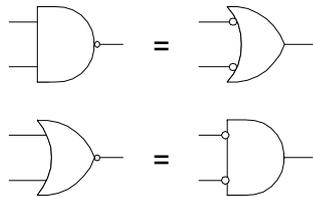


図5-18 ド・モルガンの定理(論理回路の相互変換)

$$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$$

式5-1

$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$$

式5-2

5-2-3-4アナログIC

アナログICは、アナログ信号に使われるICで、一般的なものとしては、増幅回路、発振回路、低周波信号を電波に乘せる変調回路、電波から低周波信号を取り出す復調回路、電源電圧を一定に保つ安定化電源回路などがIC化されている。

**オペアンプ**

増幅回路のうち、メカトロニクスで多く用いられるものにオペアンプがある。オペアンプには差動入力と呼ばれる+と-の2つの入力がある。オペアンプとは、この2つの入力の電圧差を1万倍以上に増幅してくれるICである。

このままでは、増幅器として使えないため、フィードバックを使用する。フィードバックは、出力信号にある処理をして、入力に戻してやる操作である。これにより、オペアンプは自分の出力を監視しながら、適切に加減を行い、ある操作を行うことが出来る。簡単に言えば、人間が旋盤の切削音などで判断しながら、切り込み量を加減するようなものである。電氣的に言えば、オペアンプのフィードバックが正常に機能している際は、出力の1万分の1が入力電圧の差であり、それはほとんどゼロである。つまり、オペアンプは+入力と-入力の電圧差がゼロになるように出力電圧を調整する。

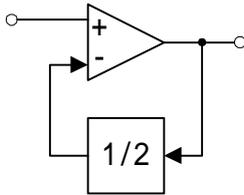


図5-19 1/2のフィードバック

たとえば、図5-19のようにオペアンプの+入力に信号を加え、-入力には出力の1/2の電圧が加わるようにすると、オペアンプは+に入力された電圧と、出力の1/2の電圧が等しくなるように出力電圧を調整する。つまり、出力電圧は+入力に加えられた電圧の2倍となるように自動的に調節されることになる。出力電圧の1/2の電圧を作るには2本の抵抗による分圧を行えばよい。つまり、オペアンプは、2本の抵抗の組み合わせにより、任意の増幅率の得られる増幅器になるのである。

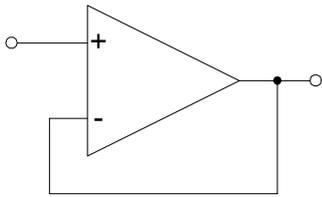
アナログ演算回路は、理想的な差動増幅器に近いオペアンプ(Operational Amplifier: 演算増幅器)を用いて、電圧の増幅や加算、減算、微分、積分などの演算を行ったり、電流から電圧あるいは電圧から電流への変換を行うのに利用される。以前はアナログ演算回路を用いた「アナログ・コンピュータ」が使われていたが、精度が悪い、速度が遅い、高価であるなどの理由により全く使われなくなった。

しかし、コンピュータの入力の信号処理回路として、センサからの信号を増幅したり、不必要な(有害な)周波数成分を取り除くためのフィルタとして使われている。また、最近ではこうした処理をデジタル処理するためのDSP(Digital Signal Processor)が普及してきたため、フィルタ回路などは少しずつDSPに移行しているが、信号がDSPが処理するにはあまりにも小さいことが多いため、オペアンプを用いた増幅回路は今後も使われて行くと思われる。

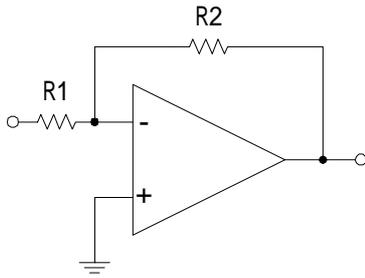
### オペアンプの応用

演算増幅器の応用演算増幅器とは、正入力と負入力の差の電圧をほぼ無限大に増幅する増幅器である。そのままでは、出力電圧は不定となってしまうので、出力電圧に一定の処理を行い、その結果を負入力に戻す。こうした操作を「フィードバック」と呼び、フィードバックの方法により、様々な特性の高精度の回路を簡単に実現できる。

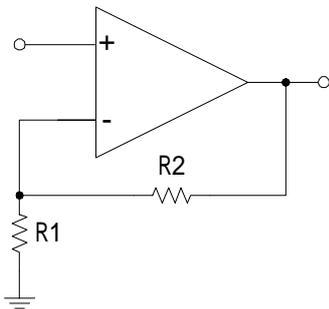
#### (1)バッファ・アンプ



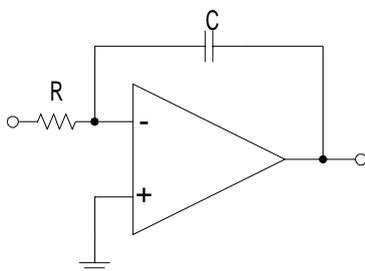
(2)反転増幅器



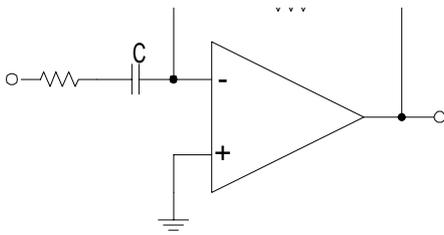
(3)非反転増幅器



(4)積分回路(ローパス・フィルタ)



(5)微分回路(ハイパス・フィルタ)



#### 5-2-3-5マイクロコンピュータ関連IC

マイクロ・コンピュータとは、超小型コンピュータのことであり、パソコンや電化製品で使われているコンピュータのことである。マイクロ・コンピュータ関連ICとは、マイクロ・プロセッサ(CPU)、メモリー(RAM,ROM)、I/O(入出力機器)用のICのことである。これらのICは特に集積度が高く、VLSIなどと呼ばれている。

#### マイクロ・プロセッサ

パソコン用としては、米国インテル社のPentium、パワー・マッキントッシュに採用されている米国モトローラ社のPower PCなどが有名であるが、数の上では炊飯器やポット、加湿器など電化製品に使われているマイクロ・コンピュータの方が圧倒的に多く使われている。マイクロ・プロセッサとマイクロ・コンピュータの違いは、マイクロ・プロセッサを使ってマイクロ・コンピュータを作るには、別にメモリーと入出力装置が必要になるが、マイクロ・コンピュータはそれだけで立派なコンピュータであり、ソフトウェアさえあれば、計算もできれば制御もできる。コストダウンしなければならない電化製品が、パソコンのように大きく、部品点数が多くては困ったことになる。マイクロ・コンピュータは、最小限の部品で構成されており、その処理能力はパソコンのCPUに劣るが、一般的な制御に使うには十分である。

#### メモリー

メモリーは、コンピュータに使われる記憶素子であるが、大きく分けると、電源を切ると内容が失われる揮発性メモリー(RAM)と、電源を切っても内容が失われない不揮発性メモリー(NVRAM)の2通りがある。パソコンなどの主メモリーとして使われるダイナミック・メモリーは、揮発性メモリーの種類である。また、不揮発性メモリーの代表は書き込みはできないが電源を切っても内容が失われない、読み出し専用メモリー(ROM)であるが、ROMの標準は電氣的消去形不揮発性メモリー(EEPROM)から一括消去形不揮発性メモリーであるフラッシュ・メモリーに移行しつつある。

フラッシュ・メモリーは電源を切っても内容が失われない上に、集積度を高くすることができ、同じ大きさで同じ程度の価格でEEPROMよりも大きな記憶容量を実現できる。

#### 入出力装置用IC

これだけでは、計算して記憶することができるが、信号の入出力がまったくできない。人間で言うならば、脳だけの状態で、コンピュータとして使うには人間の目や耳、口や手に相当する入出力装置が必要である。パソコンであればキーボードやマウスなどの入力装置とディスプレイやプリンターなどの出力装置、モデムやLANなどの通信装置が必要になる。これらの装置も回路規模が大きく、IC化されている。

## 第6章 計測・制御

エレクトロニクスのみかトロニクスへの応用は、大きく分けて計測と制御の2通りある。計測とは、いろいろな測定を自動的に、あるいは測定者の手助けをしながら行うことであり、制御とは、さまざまな機器を自動的に動かしたり、あるいは操作者の手助けを行うことある。以下に、それぞれについて解説する。

### 6-1計測

図6-1に一般的な自動計測システムの構成を示す。自動計測システムとは、いくつかのセンサーで得られた物理現象を、計算処理し、記憶された過去の情報を元にさまざまな判断をし、その結果をディスプレイ画面に表示したり、印刷したり、あるいは警報を自動的に発したりする。

こうした自動計測システムは、人手では不可能な、1秒間に数回以上の計測・記録や、24時間・365日のデータ測定、人間に適さない危険な場所や気象条件の厳しい場所、放射線などの影響のある場所などに活躍している。

また、人間にはミスがどうしても避けられないが、こうした自動計測システムで人間の運転操作を監視し、人為ミスを未然に防ぐような使われ方もある。

近年はパソコンの低価格化や高性能化により、このような自動計測システムを容易に利用できるようになったが、実用になるようなシステムを設計・運用するためには、センサーや信号処理の知識の他に、パソコンやデータ処理、表示などの知識が必要になるため、この章ではそうした知識が得られるように、機械エンジニアに理解できる言葉を使って解説する。

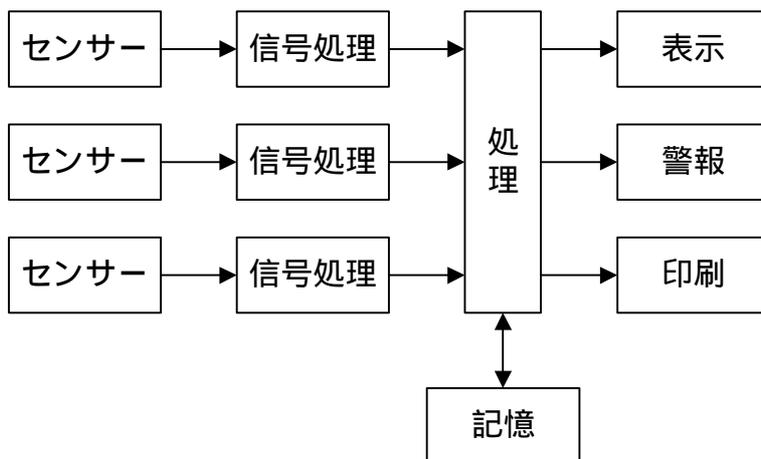


図6-1 自動計測システムの構成

### 6-2制御

図6-2に一般的な自動制御システムの構成を示す。自動制御システムとは、手動操作で指示された動作を、センサーからの信号を監視しながら、過去の記憶と照らし合わせ、最適な状態になるようにアクチュエーターを制御することである。システムによっては、これらのうち必要ない機能もある。

現在の電気製品の多くは簡単な操作で高度な動きができるようになっている。これは内蔵されたマイクロコンピューターが自動制御を行っているからである。



図6-2 一般的な自動制御システムの構成

また、エレベーターや新交通システム、NC工作機なども自動制御により動作している。もちろん、ロボットなども基本的に自動制御である。

### 6-2-1 ロジックICを使った制御

### 6-2-2 リレーを使った制御

### 6-2-3 プログラム・コントローラー

## 6-3 フェールセーフ

運転者が誤った操作をしたり、装置の一部が故障しても、それが人や物に危害を及ぼすことのないように工夫された設計をフェールセーフといい、直訳すれば「失敗しても安全」という意味である。フェールセーフ設計は、人体に危害を及ぼす危険性の高い、航空機、電車、船舶、自動車、エレベータ、原子力発電所、工場設備などには不可欠の概念である。

また、フェールセーフよりも少し劣るが、運転者が誤った操作をしても安全が保たれる設計をフルプルーフと言い、こちらは直訳すれば「馬鹿よけ」という意味である。

たとえば、航空機において、操縦士の誤った判断や操作により地面に接近して危険な際に警報を発する「対地接近警報」や、電車において走行中に赤信号を無視したり、何らかの原因でドアが開いたり、ブレーキが故障した際に非常ブレーキを作動させる「自動列車停止装置:ATS」や「自動列車制御装置:ATC」などが有名であり、船舶ではレーダーを利用して進路に障害物を発見すると自動的に舵を操作して衝突を回避する「自動操舵装置」、自動車においてはブレーキを踏まずにシフト操作をして暴走するのを防止するために、ブレーキを踏まないでシフト操作のできないフルプルーフの「暴走防止装置」、あるいは現在は研究段階であるが、前方の障害物を発見すると警報を発生し、適切な回避操作を行わないと、自動的にブレーキを操作して停止させたり、ハンドル操作により回避する装置などのフェールセーフ装置がある。工作機械においては、装置のカバー

を開けたり、ロボットの作動領域に立ち入ったりするとモータが停止する装置、モータを一度停止させないと逆転のできない装置などがある。

ただし、フェールセーフとは単に誤操作を防止すれば良いのではなく、故障しても安全側に働くシステムのことを示す。たとえばセンサーを複数設置して、そのうちのひとつでも異常な値を示したら運転を停止するとか、配線の断線やショートが誤動作の原因とならないようにするとかの、より余裕のある設計が必要である。

これを実現するのに、プログラムで行うのは意味がない。プログラムのミスにより誤動作するのを防げないからである。あくまでも、回路的に実現する必要がある。停止の方法も、動力としてモーターなどを用いている場合、その電源を遮断するのが最も安全で確実である。

時としてフェールセーフは邪魔にされる場合がある。それはセンサーの誤動作などで停止されては困るから、安全装置の電源を切ってしまうような暴挙に出られると、フェールセーフなど、ない方がましと言われることもある。電源の入っていない火災報知器や、車軸の固着を示す警報を無視して東京から三島まで走り、車輪の3分の1が摩耗していた新幹線や、放射能漏れを警告している警報装置を誤作動と決めつけてナトリウム漏れを起こした原子力発電所など、こうした事例はいくらでもある。

そこで、複数のセンサーの情報を総合的に判断するようなフェールセーフを考える必要がある。電車の衝突事故での運転手のいいわけは、「赤信号でいちいち止まっていたら、時刻表通りに運転できない」であったが、単純に赤信号を無視すると非常ブレーキの作動するフルブレークではなく、本当に危険な場合だけ非常ブレーキの作動する安全装置であれば、このような事故は起きなかったはずである。

## 第7章 コンピューター

### 7-1 パソコンの制御装置としての利用

パソコンは、ソフトウェアを入れ換えて、ワープロや表計算などに利用されているのは当然であるが、意外に多いのが、パソコンを工作機械やロボットなどのコントローラ(制御)装置として、工場の自動化(無人化)に利用されていることである。

また、自動的に計測できる測定器として、さまざまなデータを自動的に取り込んで、パソコン上で処理加工し、見やすい形で表示するような応用例も、数多く見かける。

パソコンをこのようなコントローラや自動計測器として利用する場合に、最初に問題になるのは、工作機械やロボットのモータの制御や、測定物の位置を検出するためのセンサ、温度や湿度、加速度などを検出するセンサなどをパソコンと接続するためのインターフェースである。

そして、反対にパソコンで処理された結果を、実際の動きに変換したり、外部に信号として取り出したりするアクチュエーターなどとのインターフェースである。

どちらにしても、パソコンを制御装置(コントローラ)に利用するには、入力と出力のインターフェースと、パソコン上のプログラムの作成技術が必要となる。

#### 7-1-1パソコンの基本構成

パソコンの基本的な構成は、図7-1のようになっている。これらのうち、ユーザー(利用者)がコントローラとして利用できるインターフェースは、プリンターとRS-232-Cだけである。SCSIインターフェースや、USB、赤外線通信のIrDaなどは利用するのが非常に難しく、こんなものを利用する位ならば、専用のコンピューターを作った方が早いほどである。

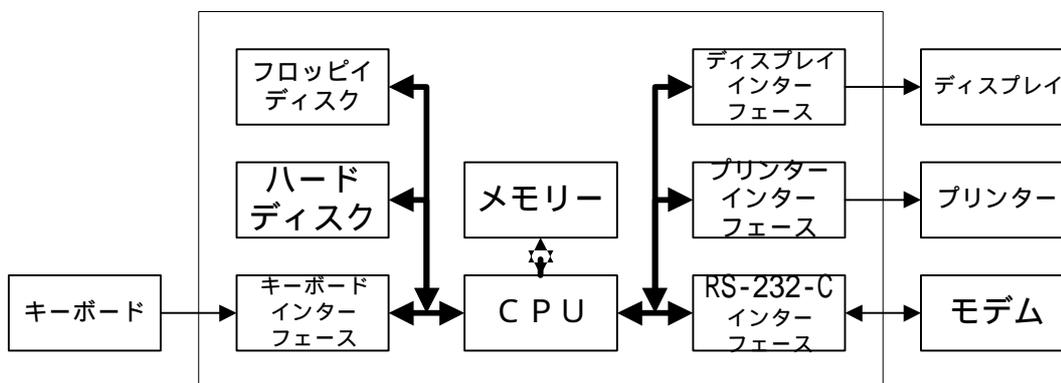


図7-1 パソコンの基本構成

#### 7-1-2利用可能なインターフェース

これらの中で、キーボードは入力のみであり、ディスプレイは出力のみであり、どちらもパソコンを利用する上で不可欠であるため、これらのインターフェースをユーザーが勝手に利用することは困難である。

そこで、残ったプリンターインターフェースとRS-232-Cインターフェース(この呼び方は正確ではない)がユーザーが利用可能なインターフェースであるが、それぞれに問題がある。

##### 7-1-2-1プリンター・インターフェース

プリンター・インターフェースは、本来はプリンターを接続するためのものであるが、デジタルの8本の信号(8ビット)を同時に出力することができるため、8回路のオンオフができる出力として利用

可能である。ただし、この場合はプリンターを接続できなくなるので、プリンターの必要な自動計測装置などには利用できない。

また、プリンター・インターフェースはパソコンからプリンターに一方的に信号を送るだけのものがあるから、パソコンにデータを取り込むことはできない。厳密に言えば、プリンターがパソコンからのデータの受け入れが可能なことを示す入力が1本あるのだが、1本ではあまりにも少なすぎる。

### 7-1-2-2 RS-232-Cインターフェース

RS-232-Cはもともと、オンラインの端末機とモデムを接続するために規格化されたインターフェースであるから、その伝送速度は電話回線の限界を上回ってはいるものの、最大で1秒間にアルファベットにして約2000文字ではあまりにも遅すぎる。

最近では、インターネットの普及により、1秒間にアルファベットで3360文字あるいは5600文字の性能を持ったモデムも普及し、RS-232-Cそのものは11520文字程度まで対応できるため、一般的なメカトロニクスセンサーやアクチュエーターの接続には問題のない速度となった。

しかし、RS-232-Cの信号はデータを1ビットずつ順番に送るシリアル伝送方式であるため、基本的には入出力がそれぞれ1本ずつしかない。しかも、非常に速い速度で常にオンオフしているため、制御用としては使いにくいのである。

パソコンをコントローラとして利用する場合、接続する相手のほとんどがリレーやモーターなどのオンオフで制御するものであり、あるいは、リミットスイッチやオープン・コレクターなどのオンオフの信号を入力するものである。

どうしてもRS-232-Cを使うのであれば、一般的には外部にシリアルからパラレルに変換するための変換装置(コンバーター)が必要となる。このコンバーターさえ用意できれば、パソコンの機種に依存することなく、どのパソコンでもその装置を接続して利用できることになる。

### 7-1-2-3 拡張スロット

現在主流のパソコンの機種は、米国のコンピューターの本家本元であるIBM社の開発したIBM PCパソコンをベースに改良されたIBM PC/ATと同じように使うことのできるコンパチブル・パソコンの、国内ではDOS/V(ドスブイと読む)と呼ばれるものである。

このタイプのパソコンは、パソコン内部に拡張スロットと呼ばれるパソコンに機能を追加するための機構が用意されている。拡張スロットには、従来から使われているISAと呼ばれる方式と、新しい規格であるPCIと呼ばれる方式があり、それぞれ最大の大きさと性能、コネクターの形状が異なる。

このうち、PCIと呼ばれるものは、比較的使うのが難しく、価格も高いため、現在ではメカトロニクスに利用される拡張スロットのほとんどはISA方式である。このISA方式の拡張スロットに装着して使える拡張機能のプリント配線板を、ISAアダプターあるいはISA拡張ボードと呼んでいる。

ISA拡張ボードは各社から市販されており、目的の機能のものを買ってきて取り付ければ、一応その機能は使えるようになる。

ただし、ここで注意しなければならないことは、拡張ボードを買ってきて取り付けただけでは何の役にも立たないことである。これを利用するためには、それ専用のプログラムがなければならない。用途の限定された拡張ボードには、最初からその目的で使えるプログラムが付属しており、このプログラムをパソコンに登録すれば、すぐに使えるようになっているが、パソコンを制御装置として使うには、自分でプログラムを作らなければならないことが多い。

## 7-2パソコンを制御装置として利用するメリット

パソコンを制御装置として利用すると、まずそのディスプレイの大画面で大量の情報を表示でき、

カラフルでわかりやすいグラフや図を表示させることもできるため、非常に使いやすいシステムを作ることができる。この作ることができるというのは、可能であるが結構大変であるという意味も含んでいる。こうしたプログラムを作るためには、コンピューター言語を使いこなせるようになる必要があり、機械エンジニアには非常に高い障壁となることは間違いない。

### 7-3 プログラム

パソコンを制御装置として利用するためには、ほとんどの場合プログラムを自分で作らなくてはならない。ここでは、プログラムについて多少説明する。

#### 7-3-1 言語

パソコンのプログラムは、本来パソコンの中央処理装置(CPU)が理解できる機械語で書くのであるが、機械語はいわゆるコンピューターが理解できる唯一のデータである二進数であるため、人間にとっては非常にわかりにくい。

そこで、プログラムを人間にとってわかりやすい方法で書き、それをコンピューター自身に機械語に翻訳させるようになり、そのための言語がプログラム言語である。このプログラム言語には、人間に理解しやすいがコンピューターには負担が大きい(最近ではコンピューターの性能が高くなったため、負担はあまりないが)高級言語と、コンピューターの負担が少ないアセンブリー言語などがある。アセンブリー言語は、コンピューターの機械語と1対1に対応した略号を用いてプログラムを行う方法で、二進数よりはましだが、CPUが変わると略号も変わるため、非常に大変である。

それに対して、高級言語は基本的なところでは世界共通であり、1つを覚えれば、基本的にどのようなコンピューターでも使えるのが本来ではあるが、力関係によりいくつかの言語に限っては、どのコンピューターでも使える。それらの高級言語のうち、メカトロニクス方面で使われるものは、C言語とBASIC言語である。一般的には事務計算向きのCOBOL言語や科学技術計算向きのFORTRAN言語が有名であるが、このうちFORTRAN言語はBASIC言語と非常によく似ている。これは、BASIC言語の開発がFORTRAN言語をお手本にして行われたことによる。

こうした高級言語は、人間にわかりやすい命令でコンピューターのプログラムを作ることができるはずであるが、コンピューターが発明されたのが米国であるため、われわれ日本人には苦手な英語がベースになっている。言い換えれば、高級言語は英語圏の人間に理解しやすいプログラム言語なのである。

#### 7-3-2 フローチャート

コンピューターのプログラムの手順を流れ図(フローチャート)の形式で記述すると、どのようなプログラムを作れば良いのか、あるいは必要な処理に漏れはないかなどを発見しやすくなる。または、担当者が代わった場合などにフローチャートがあれば自分が作ったプログラムではなくても、そのプログラムの構造を理解する助けになる。

フローチャートに使われる図記号は数多くあるが、専門家ではないため、図7-1に示すようなものだけを使えば十分である。

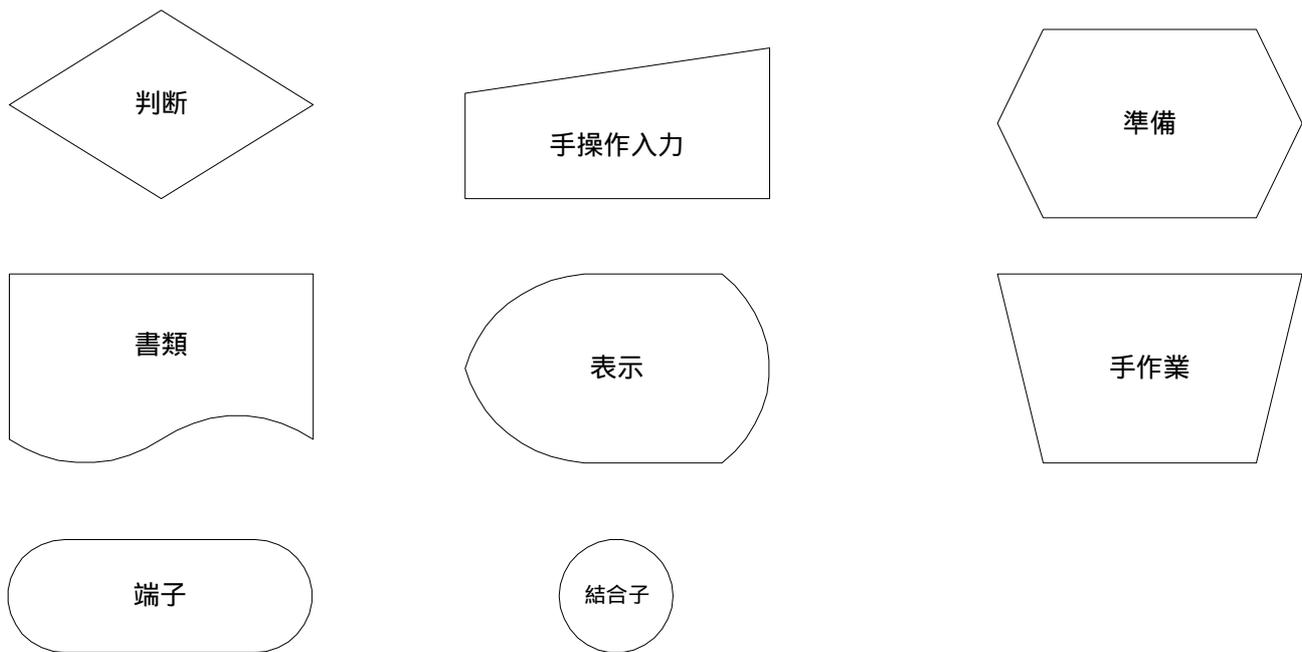


図7-1 フローチャートに使われる図記号(抜粋)

### 7-3-2-1 フローチャート用図記号の使い方

#### ●処理(最重要)

さまざまな処理を示す。メカトロニクスでは、センサーからの入力を判断し、過去の記憶と照らし合わせて、アクチュエーターに信号を出力する。これらの一連の処理はすべてこの図記号で書いてもかまわない。極端ではあるが、処理、判断、端子の3個の図記号だけで書いても十分に通用する。

#### ●判断(最重要)

さまざまな条件判断を示す。センサーの状態あるいは記憶した状態により処理を替える場合などに使われる。たとえば、同じリミットスイッチが作動した場合でも、モーターが回転中に作動した場合は本当にその位置にアクチュエーターがあるが、モーターが回転していないのに作動したような場合は誤作動か、何かがりミットスイッチに接触したことを示すから、警報を出して修理または障害物を取り除かせるような処理をするのに使われる。

#### ●端子(最重要)

処理の最初と最後を示したり、定義済処理の入り口と元に戻るための出口として使用する。

#### ●表示

この図記号は、ブラウン管ディスプレイを想定しているため、メカトロニクスでは処理の図記号で代用しても構わない。表示がブラウン管ディスプレイである場合には、この図記号を使うと格好良い。

#### ●印刷

この図記号は、プリンターでの印刷を表している。検査成績表や、管理に必要な書類を印刷する場合に使われる。

#### ●定義済処理

この図記号は、プログラムのあちこちで同じ様な処理を行う場合に、その処理の名前を二重線の定義済処理の図記号で表し、実際にはその名前の端子で始まる処理を行うことを意味する。

安全のためのインターロック・スイッチ (NC機器のカバーが開けられたり、過電流遮断器が作動したような場合) が作動したら非常停止するというのは、モーターなどのアクチュエーターが動く、プログラムのどの部分でも共通して必要になるため、いわゆる定義済処理 (サブルーチン) として、1回だけ書けば、フローチャートを書くのも楽になるし、実際のプログラムも小さくなるため、メモリーが少なくても済むようになる。ただし、これも処理の図記号で書いても特に問題はない。

#### ● 結合子

フローチャートが複数のページにまたがるような場合、どこからどこへ接続されているかを省略するための図記号で、この図記号によりフローチャートが線だらけになるのを防止する効果がある。

#### ● 入力

傾いた上面はキーボードを想定しているため、キーボードからの入力を表す図記号である。メカトロニクスではキーボードは使わない場合が多く、この図記号はあまり使われない。

#### ● 手作業

コンピューターの処理によらず、手作業でその処理を行うことを表す図記号である。たとえば、切削くずが詰まったような場合、コンピューターはそれをディスプレイや警告灯に表示し、オペレーターが取り除くような処理をフローチャート中に表現したい場合などに使う。これも処理の図記号でも十分である。

#### ● データ

コンピューターで処理するデータそのものを表す図記号である。この形はパンチ・カードの集まりを連想しており、現在では非常に古くさい感じがする。

#### ● 準備

その処理をするに際して、何か準備が必要な場合に使う。たとえば、今月の売上高を集計するのに、納品書の束を用意することなどである。これもメカトロニクスでは、ほとんど使われない。

### 7-3-2-2 フローチャートの書き方

フローチャートは、先の図記号を基本的に上から下へ、左から右へ処理する順番に書く。図記号を結ぶ線は処理の流れを示すが、上から下へ流れる場合は矢印を省略しても構わない。また、特に下から上に流れる場合は、間違いやすいので、矢印を絶対に忘れないように注意しなければならない。その線が長くなる場合は、線の複数箇所矢印を追加するのが望ましい。

こうした決まりを念頭に置いて、ビジネスマンの平日朝の行動フローを書いてみると、図7-3のようになる。

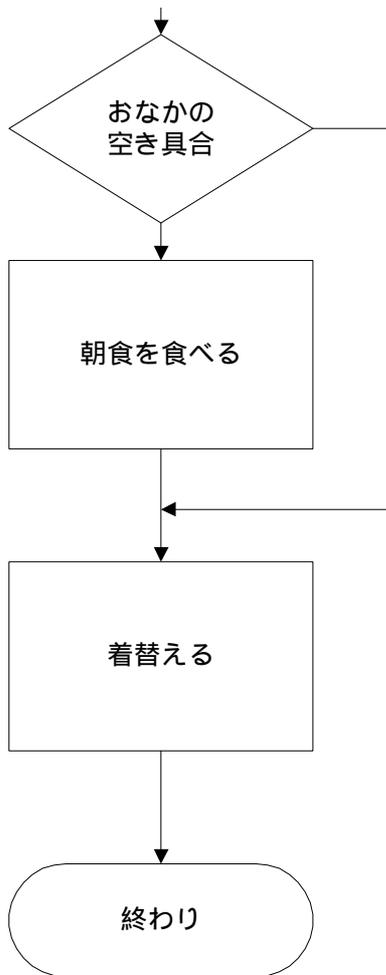


図7-3 ビジネスマンの平日朝の行動フロー

7-3-2-3 実際の制御装置のフローチャート

なんだか、かえってわかりにくくなってしまったような気がする。そこで、実際のロボット制御装置の概要を表す簡単なフローチャートを図7-4に示す。

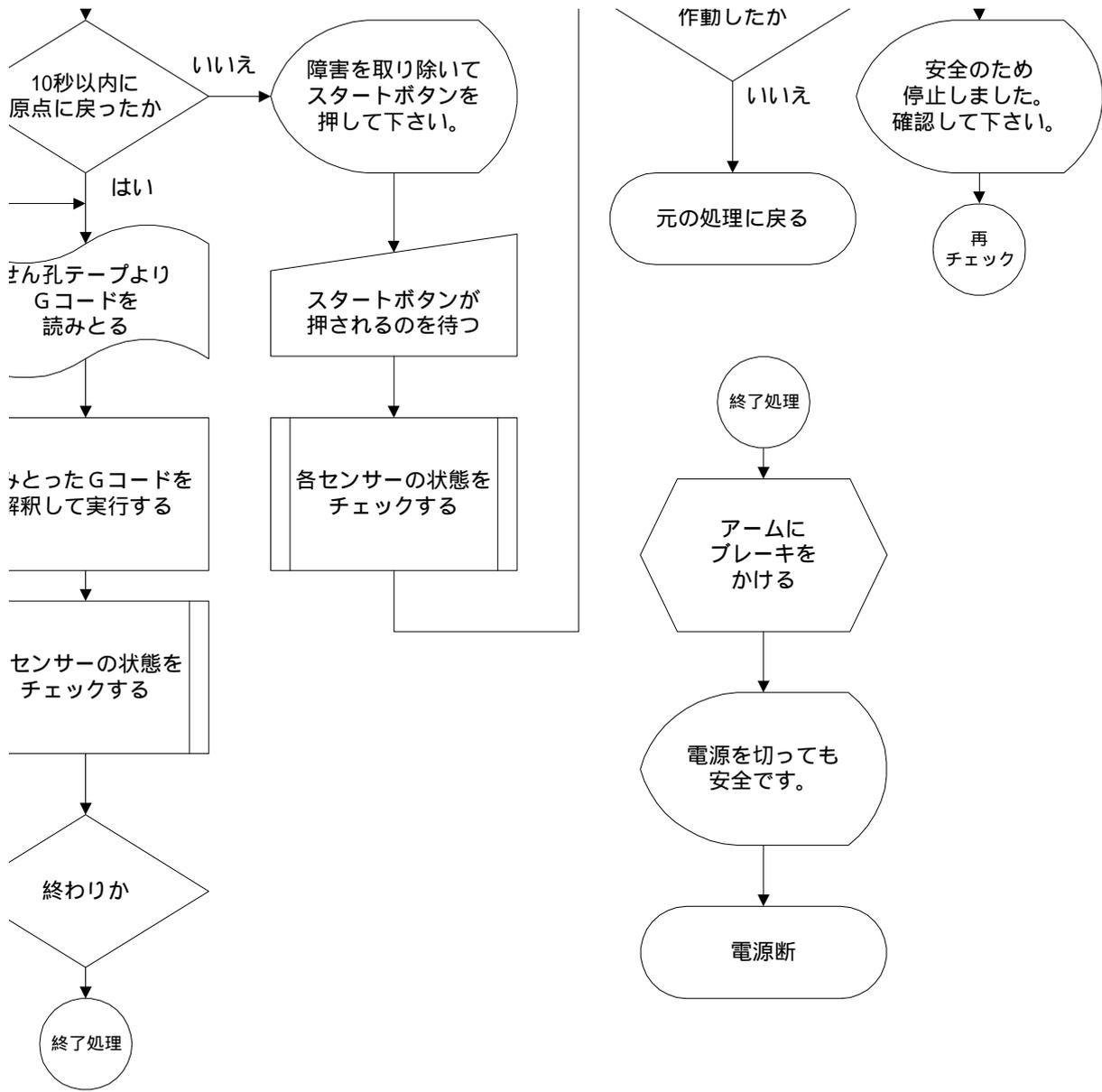


図7-4 ロボット制御装置の簡単なフロー



## 第8章 試作と電源と測定

### 8-1 試作

#### 8-1-1 はんだ付け

はんだ付けは、接続の費用が安上がりで、信頼性も高く、簡単なので電気・電子回路の接続に広く用いられている。しかし、反対に熟練を必要とし、一度付けてしまうと取り外しは極めて困難になる。そのため、はんだ付けはめったに変更を必要としない部分の接続に利用される。

良いはんだ付けとは、振動や引っ張りにより容易にはずれず、経年変化や腐食などにより接触不良を起こさず、できるだけ少ないはんだの量で、放電の原因になるとがりがなく、見た目もきれいなものである。

はんだ付けとは、付けられる部品とはんだにより、境目にははんだとの合金を作り、電気をよく通し、容易にはがれないようにする作業であるから、その注意点はおのずと理解できる。一般にはんだ付けは次の手順で行われる。

(1) はんだづけする物をきれいにする。

はんだ付けは合金を作る作業であるから、長い時間空気中に放置されていた部品を使う場合は、つける部分をきれいにしないと合金はできない。

電線の場合は、はんだ付けする直前に被覆をむき、はんだ付けがしやすいように予めはんだで表面を覆う。最もはんだ付けしやすいものははんだであるから、この作業はあとの作業を容易にする。この作業を「予備はんだ」または「はんだめっき」と呼ぶ。電子部品の場合は配線するためのリード線をきれいにしないとならない。腐食(錆び)により変色しているような場合は、紙やすりなどを使って腐食した部分を削り取る。手垢は腐食の原因になるので、保存の際にもはんだ付けの際にもできるだけ触れない工夫が必要である。

(2) はんだごてを当てる

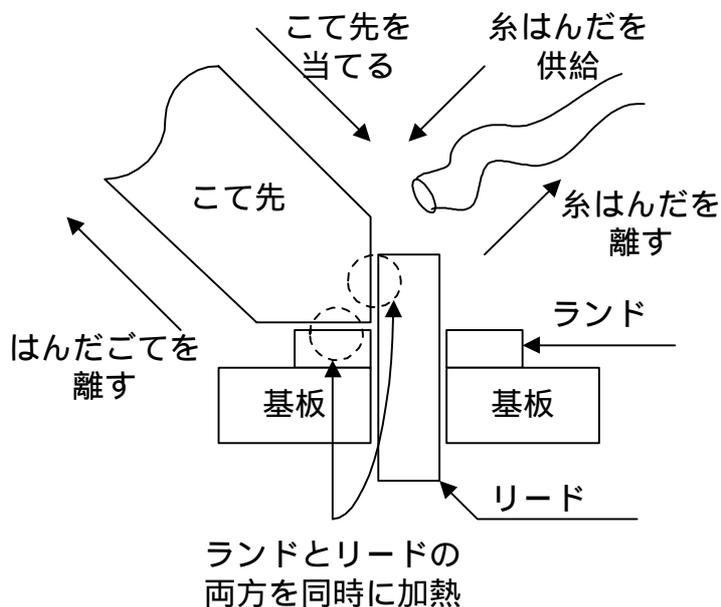
はんだ付けは、接続される両方の金属が同じ温度の場合に最も状態が良くなる。

つまり、はんだごての先は両方の部品に熱が伝わるように図8-1のようにあて、はんだが溶ける温度にまで加熱する。

### (3) はんだを溶かす

両方の金属がはんだの溶ける温度に達したら、はんだをこて先につけるのではなく、両方の金属の接点に糸はんだをつけ、はんだを押し当てながら必要な量に達したら、はんだを離す。

### (4) はんだごてを離す



はんだづけが済んだら、素早くはんだごてを離す。電子部品は熱に弱い部品が多く、あまり長時間加熱していると破損する可能性がある。しかし、はんだより先にはんだごてを離すと、はんだが部品に「はんだ付け」されて取れなくなる。

図8-1 はんだ付けの手順

良いはんだ付けは図8-2(左)のように、きれいに広がっており、はんだの量も十分で電気を良く通し、振動や引っ張りにも強い。

悪いはんだ付けは図8-2(右)のように、部品が全く固定されておらず、電気を通さない、一応電

気を通すがはんだの量が少な過ぎて振動や引っ張りに極端に弱い、一見きちんと付いているように見えるが、実はついておらず、引っ張ると抜け、電気も通さないなどがある。また、隣の部品とショートするようなはんだ付けは論外である。

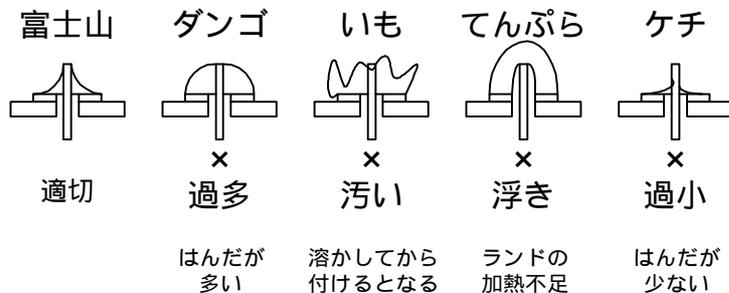


図8-2 良いはんだ付けと悪いはんだ付け

### 8-1-1-1 はんだについて

はんだは一般的に錫と鉛の合金であるが、その合金割合により性質が異なる。電子部品は熱に弱いため、はんだは融点の低い錫60%程度のものが適している。また、鉛が多くなると電気抵抗も大きくなり、誤動作や故障の原因になるため、その意味でも錫の多いほうが良い。しかし、あまり錫が多くても融点が高くなる。融点が最も低いのは錫が61.9%のものである。

### 8-1-1-2 はんだごて

はんだごては、ニクロム線ヒータを使ったものと、セラミック・ヒータを使ったものの2種類が一般的であるが、ニクロム線ヒータを使ったものは、AC電源とこて先との間の絶縁が悪く、こて先に電流が漏れる可能性がある。半導体は静電気や漏れ電流などの、ごくわずかな電流でも故障することがあり、こうした故障を防ぐためには、絶縁の良いセラミック・ヒータを使ったはんだごてを使うのが望ましい。また、セラミック・ヒータは温まるまでの時間が短く、経年変化が少なく、寿命が長く、温度変化が小さいなどの利点があり、価格が多少高いものの、はんだ付けもしやすいなどの利点が多い。

### 8-1-1-3 はんだ付けの順番

はんだ付けは付ける部品のリード線をきれいにする。古くなった電子部品のリード線は酸化してはんだが付きにくくなっており、このまま付けようとするとうンプラ状態になり、付いているように見えても実際には付いていないことが良くある。

はんだ付けする順番は、基本的には背の低いものからの方が、ひっくり返してはんだ付けする際に、部品が浮き上がったりしないため楽である。また、熱に弱いダイオードやトランジスタは最後に

付けるようにする。

- 背の低い部品から付ける
- ICなどのピン数の多い部品はソケットを使う
- 熱に弱い部品は最後に付ける

#### 8-1-1-4 はんだ付けの注意点

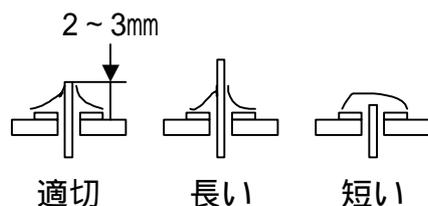
はんだ付けとは、金属とはんだの合金を作り、固定して電気を通すのが目的であるから、電気を通さない酸化膜があると、接続したことにならないし、はつだ付けもできない。したがって、端子が腐食している場合は、きれいに磨いてからのはんだ付けするのが良い。しかし、注意しなければならないことは、部品のリードや端子の表面は酸化を防ぐためにめっきされている場合が多く、このめっきを削ってしまうことで、はんだ付け後の酸化の原因となり、経年変化により不良が発生しやすくなるため、あくまでも部品の酸化を予防することが重要である。部品は使用直前まで袋や箱から出さずに保管し、出したらすぐに使用するよう、心がける必要がある。

はんだ付けは合金を作る作業であるから、はんだを溶かしてからつけようとしても、相手の金属がはんだの融点に達していないため、見かけはついているように見えて実際にはついていないことになる。また、はんだには付きを良くするために、内部にフラックスと呼ばれる溶剤が入っており、はんだを溶かして時間が経過するとフラックスの効果がなくなるばかりか、酸化して更にはんだ付けがしにくくなるため、つける部分を加熱したらすぐに、はんだを加熱部分に供給し、溶かしたらすぐにはんだとこてを離すように行う。

きれいなはんだ付けをするためには、はんだ付けされる物どうしの温度が同じであるのが望ましい。したがって、熱容量の大きい部品は先に加熱し、熱容量の小さい部品はあとから加熱するのが良い。熱容量の小さい部品を長く加熱していると、温度が上昇しすぎて、部品を溶かしたり、特性が悪くなったりするため、加熱のしすぎにも注意しなければならない。

半導体は熱により永久的なダメージを受ける。そこで、はんだ付けする部分と半導体の間を金属製のクリップやラジオペンチなどの工具で放熱しながら、半導体に余分な熱が加わらないようにするのは良いことである。しかし、非常に手間がかかるため、半導体のはんだ付けは十分な熱量のこてで短時間に行うのが良い。

#### 8-1-1-5 リード線の切断



部品のリード線ははんだ付けした後、図8-3のように基板の面から2~3mm程度で切断する。この際、切断したリード線が飛び散らないように注意する。飛び散ったリード線は目に当たったりして思わぬけがの原因となる上、床や机の上に落ちていると刺さったりして危険である。

図8-3 リード線の切断

#### 8-1-2 ユニバーサル基板

ユニバーサル基板は、プリント配線板(プリント基板)のうち、好きな位置に部品を取り付け、配線を行うことにより、プリント配線板の形で試作ができる、汎用(ユニバーサル)な基板である。材質や大きさ、メッキの種類、穴の大きさ、片面/両面など、さまざまな種類がある。

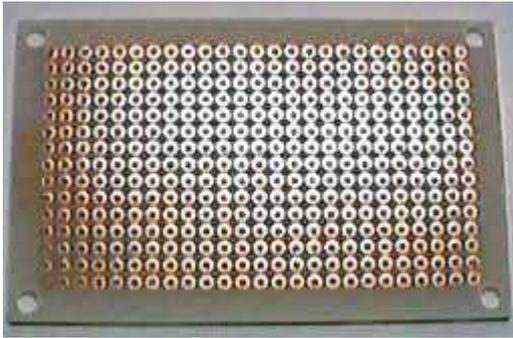


写真8-1 ユニバーサル基板

### 8-1-2-1 ユニバーサル基板の材質

プリント配線板にも共通することであるが、プリント配線板の材質にはいくつかの種類があるが、それぞれ性能や価格が大幅に異なる。

#### ●テフロン

プリント配線板に使用される材質中最も効果であるが、絶縁性、耐熱性、耐湿性、耐薬品性、誘電率ともにきわめて優れている。精密計測器、航空機器、人工衛星などの宇宙機器などに使われている。

#### ●ガラス基材エポキシ樹脂

ガラス繊維で編んだ布をエポキシ樹脂で固めた物で、絶縁性、耐熱性、耐湿性、耐薬品性に優れ、経年変化の非常に少ない材質であるが、やや高価であるため、コンピューターや計測機器などの精密機器に一般的に用いられている。メカトロニクスで使用する場合は、精密なICやLSIを含む回路や、高温や高湿にさらされる恐れのある回路などに用いる。

#### ●紙基材エポキシ樹脂

紙をエポキシ樹脂で固めた物で、絶縁性はまあまあであり、価格が比較的安いために、割と精密な電卓やファクシミリなどの家電製品に使われている。湿度により反りが発生しやすいため、あまり大きい物には向かない。

#### ●紙基材フェノール樹脂

紙をフェノール樹脂で固めた物で、いわゆるベークライト樹脂である。独特のにおいがあり、絶縁性も悪めで、耐湿性もなく、高温に弱い。非常に価格が安く、やわらかいため、加工がしやすく、大量に用いるテレビやビデオ、ラジカセやCDプレイヤーなどの民生用として利用されている。

### 8-1-2-2 ユニバーサル基板の配線

端子間の配線には、3つの基本原則がある。それは、

- (1) 最短距離で配線する
- (2) 直線直角で配線する
- (3) 平面的に配線する

であるが、一般的にこれらは矛盾する。最短距離で配線すれば、直角には配線できず、端子の奥行きに差がある場合には平面的に配線できない。また、部品の上で配線すると、部品交換や調整に支障をきたす。

そこで、一般的には最短距離を犠牲にして部品の上は避け、直線直角に配線する。斜めに配線する必要があるのは、高周波と大電流の場合だけである。これは、高周波や大電流で配線を長くすると、損失が大きくなったり、伝播時間が長くなって誤動作の原因になるからである。

また、他に注意すべきことは次のようなことである。

#### ●アースに沿わせる

シャーシなどのアース付近は静電シールドあるいは磁気シールド効果により、ノイズの発生が少なく、配線の固定にも便利である。配線はしっかり固定しないと、振動や自重により、電線に負担がかかり、断線の原因となるため、アース付近は配線の引き回し場所としては最良である。

#### ●アース点をまとめる

すべての電子回路はアースを基準に動作しており、アース点が何点もあると、アース間の電気抵抗により、場所ごとに電圧が異なることから、デジタル信号の1と0を誤ることにより誤動作の原因となったり、電圧範囲がずれることによりノイズの影響を受けやすくなったりする。そこで、アースは1点にまとめる「1点アース」により、このような問題が発生しにくくなるばかりでなく、1点にまとめることにより、点検がしやすくなり、不良の発見が簡単になる。

#### ●電源と信号の配線を平行にしない

種類の違う信号の電線を平行に配線すると、長さに比例して電磁誘導あるいは静電誘導の影響で、隣の配線の電流の影響を受ける。これが交流電源の配線であれば、ハム(ブーンという音)を信号線に拾ったり、モータの配線であれば、モータが回転している間バリバリといったノイズを拾ったり、信号線がデジタル信号であれば、あるはずのない信号が入力され、誤動作の原因となる。

そこで、電源や電力の配線と信号の配線は別々の場所で行い、どうしても離せない場合は平行させずに直交させる。また、電線の周囲を編線で取り囲んだシールド線を信号の配線に使い、きちんと片側をアースに接続すれば、電力線と平行に配線してもノイズの影響を受けなくなる。ここで注意しなければならないことは、シールド線の両端をアースに接続すると、その2点の電位差からシールドに電流が流れ、シールド線の効果が半減することである。シールド線の両端をアースに接続してはならない。

#### ●ループを作らない

配線をループ状にすると、その部分がコイルとなり、電磁誘導によりノイズの影響をより受けやすくなる。また、シールド線の両端を接続したり、あるいは部品を介してループを形成することもあるので注意が必要である。

#### ●発熱部品に近づけない

電線の被覆は高温に耐えることができず、絶縁不良の原因となる。また、大電流を流す配線に近づけないことも重要である。

#### ●余裕を持たせ最短距離で配線する

最短距離といっても、電線に全く余裕がないと、配線の固定により電線の端子部分に力が加わり、断線の原因となる。また、余裕があれば、誤配線や断線の際に電線を交換しなくて済むため、固定された配線を外したり、短い電線を捨てる無駄もなくなるため、通常は配線を1回だけやり直せる程度の余裕を持たせる。

また、屋外から屋内に引き込む配線については、雨などが配線を伝わって屋内に入らないように、少したるませて配線する。もちろん屋外の配線は雷の誘導や漏電などにより高電圧が印加される恐れがあるため、避雷器や保安器の設置を怠ってはならない。

#### ●配線の種類により色分けする

配線はJIS C 6003により種類ごとに色分けしておくこと、わかりやすく間違いも少なくなる。

### 8-1-3 電子部品の取り付け

#### 8-1-3-1 部品の取り付け方向

端子の配線は、図8-4のように、はんだ付けする電線をあらかじめ予備はんだによりはんだめっきし、それを引っかけるか、あるいは巻き付けてから、十分な熱を加えて端子を加熱し、そこに糸はん

だを流し込むようにする(図8-5)。

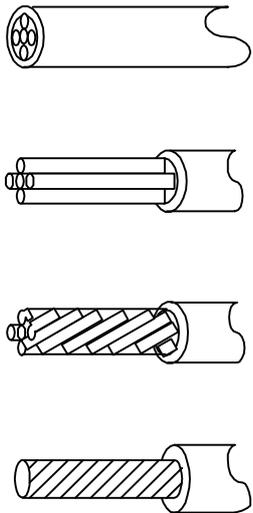


図8-4 予備はんだ

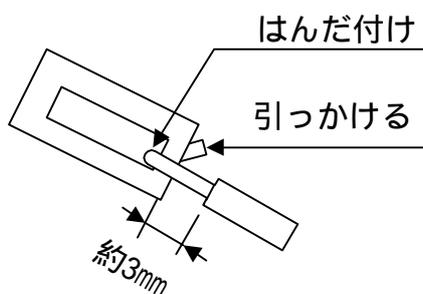


図8-5 端子のはんだ付け

#### 8-1-4 めっきの種類とはんだ付けのしやすさ

端子は、めっきの種類により、はんだ付けのしやすさが大幅に異なる。めっきした金属の種類によるはんだ付けのしやすさは表8-1の通りであるから、端子や部品のリード線ははんだめっきが最も優れ、次いですずめっきとなる。

実際には、端子台のほとんどはニッケルめっきされており、これは酸化しやすいはんだよりも保存性や作りやすさを優先した結果であると思われる。抵抗やコンデンサーのリード線はほとんどがすずめっきとなっている。したがって、古くなった部品はリード線の表面が酸化して、はんだ付けしにくくなっており、こうした部品を保存する際は、湿気が入らないように密封し、使用する直前に開封し、開封したらすぐに使うようにする必要がある。

プリント配線板の銅箔ははんだめっきされていることが多く、この表から見る限り、非常にはんだ付けしやすいはずである。また、金めっきはこの表に登場していないが、金は基本的に酸化しないため、いつまでも安定してはんだ付けができる。しかし、非常に高価であるため、はんだ付けする端子よりも、コネクタの端子として使われており、金めっきされたコネクタは経年変化による接触不良が大幅に少なくなる。ただし、酸化はしないものの、金めっきされた端子を手で触れたりすると、油が付着して接触不良の原因となるため、特にカードエッジ・コネクタの端子部分に直接手を触れないように注意しなければならない。

順位	金属名	順位	金属名	順位	金属名
1	はんだめっき	6	銀	11	鉛
2	すずめっき	7	銅	12	ニッケル
3	銀めっき	8	黄銅	13	亜鉛
4	カドミウム	9	青銅	14	鋼
5	すず	10	ニッケルめっき	15	クロム

表8-1 金属の種類とはんだ付けのしやすさ

### 8-1-3-2 絶縁チューブ

リード線を保護し、感電やショートを防止するためのもの。安価なビニールチューブや高価なテフロンチューブなどがあるが、発熱する部品の場合はビニールチューブは適さない。布チューブをワニスで固めたエンパイアーチューブは経年変化で糊状になり始末に負えなくなるため、使わない方がよい。

また、熱を加えると収縮して密着する熱収縮チューブ(商品名:ヒシチューブ, スミチューブ)もあり、こちらは電線と端子を接続した後に絶縁のため密着させて覆いたい場合に都合が良い。加熱にはドライヤーも使えるが、専用のヒートガンを使うのが安全で効率的である。

#### ●ユニバーサル基板の選び方

ユニバーサル基板は、製作する回路の種類により異なる基板が便利である。デジタル回路にはデジタル回路用が、アナログ回路にはアナログ回路用があるが、一般的に基板の拡張バス側は、拡張バスがデジタルであるためにデジタル回路が、外部コネクタ側には、アナログ回路が多く、市販のユニバーサル基板のほとんどは、基板の全面がアナログまたはデジタル用になっていて大変不便である。

#### ●シングル・イン・ライン

Single In Line: 1列に並んでいること。SIP ICなどはリード線が1列に並んでいるパッケージという意味。これに対して、2列に並んでいるものを、デュアル・イン・ライン(Dual In Line)と呼び、DIP ICなどのように呼んでいる。

#### ●ヘッダー・コネクタ

Header Connector: 一般的にフラット・ケーブル用に用いられる。ハンダ付けを必要としない、圧着で簡単に接続できるコネクタのこと。

### 8-1-4 プリント基板への部品取り付け

プリント配線板への部品の取り付け方向は、間違いを防止するためと、部品の値を読みやすくするために統一するのが基本である。部品の値が印刷されている面が良く見えるようにリード線を折り曲げ、図8-6のようにできるだけ左から右に読めるように横向きになるように取り付ける。また、横向きに取り付けが困難な場合は、下から上に読み上げられる方向に取り付ける。部品によっては(水銀リレーなど)取り付け方向が決められているものもあるので、指示通りに取り付ける。当然のことであるが、発熱する部品は他の部品とできるだけ間隔を取り、特に半導体や電解コンデンサーなどの熱の影響を受けやすい部品は近づけないようにする。高電圧の部分ではできるだけ低電圧の部分と分離し、リード線には感電やショートなどの事故を防止するために絶縁チューブをかぶせるのがよい。

もちろん、ICやトランジスタ、ダイオード、電解コンデンサーのように取り付ける向きや極性がある場合は十分に注意する必要がある。量産機器や必要な全部の部品をセットしたキットなどでは、プリント基板の部品面に部品の取り付け方向や極性をシルク印刷により指示されていることが多

い。

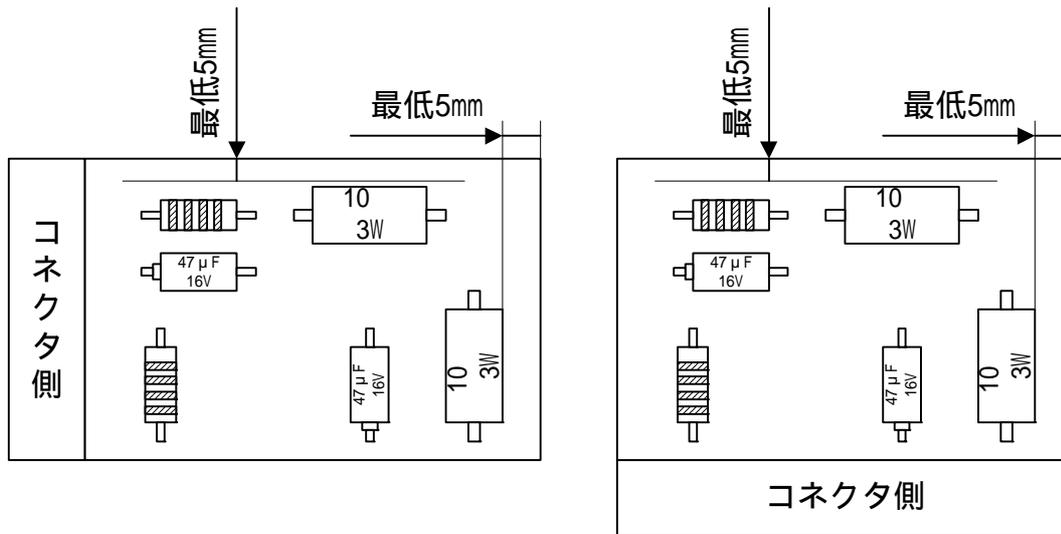


図8-6 部品の取り付け方向

また、部品は倒れたり潰れたりして故障することのないように、基本的には図8-7左側のように、部品のリード線を水平方向に取り付けるのが原則であるが、電解コンデンサーやトランジスター、セラミック・コンデンサーなどの縦型の部品は、高さがあり高くない場合に限って、図8-7右側のように垂直に取り付けることもできる。抵抗やダイオードなども垂直に取り付けることは可能だが、とくに手はんだの際には裏返してはんだ付けすることになるので、垂直に取り付けると非常に作業が困難になる。

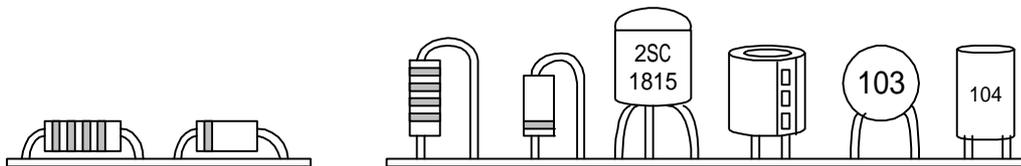


図8-7 部品の水平取り付けと垂直取り付け

プリント配線板と部品の間隔は、通常は密着取り付けと呼ばれる0.5mm以下であるが、発熱する部品や高電圧で動作する部品は3～7mm程度浮かせて取り付ける。この際は部品が斜めになつたりしないように、リード線にチューブを通してから取り付けるのが普通である。なお、発熱の問題だけであれば、ガラス・エポキシ基板のように熱に強い基板の場合、密着取り付けした方がかえって放熱性能が良い場合もあるため、基板にガラス・エポキシを使う場合は、すべて密着取り付けでも問題ない。

### 8-1-5 ユニバーサル基板の配線方法

ユニバーサル基板は、どのような回路でも作ることができる反面、プリント配線板と違って、全部の信号の配線を自分で行わなければならない。この配線は、方法によっては1本当たり10秒程度で済んでしまうものや、数分かかるものもある。また、仕上がりの見た目のきれいさや、信頼性(断線やショートの可能性が少ないこと)なども非常に重要な問題である。ここでは、一般的に使われるユニバ

ーサル基板の配線方法について解説する。

### ●ラッピング・ワイヤー

端子に線を巻き付けるラッピングと呼ばれる方法により配線するために作られた電線で、単線(心線が1本の銅線)をニッケルめっきや銀めっきしたものを、絶縁体で被覆したものである。

ワイヤ・ストリッパを使って、簡単に被覆を剥ぐことができ、部品のピンに簡単にハンダ付けできるが、何回も折り曲げると簡単に芯線が折れて電気が通らなく(断線)になってしまう。

しかし、基板の配線をするには便利で、特にOKインダストリーの製品は、芯線に銀めっきしてあるため、ハンダ付けが容易で、配線効率を上げることができるが、最近では国内で入手しにくくなっている。国産の錫めっき品は、数百メートルで3千円程度と安価であるが、はんだの付きが今ひとつ良くない。あくまでも、これはラッピングのための電線である。

### ●ビニール線

銅線にビニールで被覆した電線であり、価格が安く、被覆の色が豊富であるため、配線の色分けしてわかりやすくできるが、絶縁被覆がビニールのために熱に弱く、1本の配線に数分かかってしまうため、電源の配線など、本数は少ないけれども、太い余裕のある線で配線したい場合以外にはあまり便利ではない。最近熱に強い「耐熱電線」も市販されているので、価格は少々高いが、こちらの方が便利で見た目もきれいである。また、ビニール線には芯線が「より線」(細い銅線をたくさん束ねて一本の電線にしたもの)があり、折り曲げに強いいため、基板間の配線に便利であるが、基板の配線には手間がかかって使いにくい。

### ●ホルマル線

銅線に絶縁塗料を塗って絶縁した電線である。エナメル線と異なる点は、絶縁塗料の種類が異なるため、はんだごて程度の温度で被覆が溶け、被覆を剥くことなく配線することができることにある。このため、1本の配線に約20～30秒程度と比較的早く作業ができるが、溶けた絶縁塗料が焦げ、完成後の見た目が悪いのと、線が細く断線しやすいこと、はんだごての当て方が悪いと必要な部分の絶縁塗料が溶けてショートする危険も高くなる。一応、4色程度の色が用意されていて、ある程度は色分け可能である。しかし、使いこなすには、温度の高めのはんだごてを使い、うまく線を巻き付けて、素早くはんだづけを行わなければならない、かなりのテクニックが必要なため、初心者にはお勧めできない。

### ●錫めっき線

銅線を錫めっきした銅の単線で、電源やグラウンドの配線に使う。なぜならば、電源とグラウンド(アース)は接続する箇所が多く、すべてのICとトランジスタ、抵抗の片側などを接続することになるため、被覆のある電線では、被覆を残すよりもむく部分の方が多く、数mmだけ被覆を残すのは困難であるため、いっそのこと、全く被覆のない電線を使うのである。

こうした配線には、0.8mmないしは1mm程度の太さのものが使われるが、巻かれて売られていることと、はんだごてで加熱すると熱膨張で伸びるため、まっすぐに配線することが難しく、ハンダ付けの際に手で押えていると火傷するため、取扱には注意が必要である。

### ●銅箔テープ

プリント基板に使われている厚さ(35ミクロン)の銅箔をテープ状にして、裏に接着剤を塗ったテープである。錫めっき線と同じように、電源やグラウンドの配線に便利である。まっすぐに配線できるのだが、一旦切断すると交点をハンダ付けする必要がある。このはんだ付けを忘れると、その部分に電源が供給されないため、思わぬ異常な動きをして場所を特定するのに苦労する。テープ幅は、0.8、1.0、1.2mmなどが市販されているが、少々高価であり、テープ幅も細くて不安であるから、電源とグラウンドがプリント配線されたユニバーサル基板を使った方が便利で確実である。

## 【ラッピング配線】

ラッピング配線とは、部品(ICソケット)のピンとピンをビニールなどで被覆された単線を巻き付ける方法により配線するものである。

ラッピング配線の方法は、ICソケットなどにラッピング用のものを使い、ラッピング・ツールにラッピング・ビットを取り付けて、電線をストリッパーで剥いてから、ラッピング・ビットの穴に差し込み、ラッピング・ツールのトリガー(引き金)を引いて、ラッピング・ビットを回転させて行う。

間違った時や配線を変更する時は、アンラッパーを使用して、巻き付けたワイヤ(電線)をほどく。こうしてワイヤをほどいても、熱を加えないために、ほとんど痕が残らず、安心して何度も配線を修正できる。そのため、まだ動作確認が済んでいないような試作基板で、実験しながら修正していく方法が採れるため、試作に最適な配線方法と言われている。

また、ラッピングの信頼性はハンダ付けにも勝ると言われている。これは、もともとラッピング配線は、電話局の交換機の配線用として開発されたものであり、熱を加えない上に、ラッピング・ピンとワイヤーの間に合金層が形成され、簡単に言うと熱を加えないプレス接続のような状態になっているため、信頼性の点でも問題ないどころか、遙かに優れている。そもそも、電話の配線が簡単に断線したりショートしたりしては使いものにならない。通信用に使えると言うことは、それだけ信頼性が高い証拠である。

余談になるが、他の部品も通信用と呼ばれているものは信頼性が高い。これは、電話などの通信機器は、家電製品のように簡単に故障されては影響が大きく、困るからである。通信用の部品は、電話交換機のほか、放送局の設備、通信衛星の地上局、携帯電話などの基地局の設備、防災無線、原子力発電所の設備などにも使われているほど信頼性の高いものである。

通信用よりも更に信頼性の高いのが軍事用(ミリタリー)と呼ばれている部品である。電子回路の故障により、ミサイルが自分の方に飛んで来たら困るので、信頼性の非常に高い部品を使って作る。また、人工衛星など簡単には修理に行けないような場所に設置するものにも使われる。軍事用の部品は民生用(家電製品など)の部品の数十倍から数百倍の価格であるが、ひとたび人工衛星が故障すれば、損害額は数十億円にもなるわけだから、この位の価格は別に大したことはない。

### ●CSWラッピング配線

ラッピング配線は、必要なワイヤーの長さを計ってニッパーで切断し、ワイヤー・ストリッパーで被覆を剥いて、ラッピング・ビットに差し込み、ラッピング・ガンで巻き付けるのに1分程度かかるが、CSWラッピングだとワイヤを差し込んで、そのまま巻き付けると、余分なワイヤが切断され、被覆が剥かれて巻き付けられるため、20秒ほどで1本の配線が終了する。

CSWとは、Cut/Strip/Wrapの略で、ラッピング・ワイヤーを切断して、被覆を剥き、巻き付けるツール(工具)のことである。

具体的には、ラッピング・ビットの溝に、被覆をむくための細くなった部分がある精密工具である。

この約20秒で1本の配線効率、他のどの配線方法よりも早い。CSWビットは通常のラッピング・ビットの5～8倍の4万円以上もする。ラッピング・ガンが約2万円であるから、その高さは普通ではない上に、消耗品であるから、数千本の配線を行うと溝が摩耗して被覆がうまく取れなくなるため、ランニング・コストも相当なものである。

しかし、月に数千本以上の配線を行うのであれば、浮いた1本当たりの時間である40秒×千本としても約11時間の節約になるから、時給を5千円としても、5万円強の人件費が節約できることになるから、十分に採算がとれる。

しかし、ラッピングによる配線は、巻き付けに失敗すると、アンラッパーにより巻き戻して、場合によってはラッピング・ビットを外して、溝にはさまったワイヤーを取り除き、始めからやり直さなければならない。

運が悪い(熟練が足りない)と、何度やり直してもうまく行かず、しまいには嫌になって日を改めようということになり、いつまでたっても完成しないことがある。

また、こうしているうちに、ラッピング・ビットの溝の切り込みが削れて、4万円以上もするCSW用のラッピング・ビットが、ワイヤーを剥かないと使えない単なるラッピング・ビットになったりする。

自慢ではないが、筆者はこうして3本のCSW用ラッピング・ビットを、単なるラッピング・ビットに「改造」したことがある。

### ●CSW用ラッピング・ワイヤ

CSWラッピング・ビットに使用するワイヤーは、CSW用のワイヤを使わなくてはならないが、ラッピング・ツール(ラッピング・ガンともいう)は、通常のもので使える。

CSWラッピングにより配線するために必要なツールとワイヤーの価格と合計金額はおおよそ次の通りである。

ラッピング方式	ラッピング・ガン	ビット	アンラッパー	ワイヤー	合計
通常	¥19,800	¥6,800	¥2,800	¥1,000	¥30,400
CSW	¥19,800	¥45,800	¥2,800	¥1,000	¥69,400

表 8-2 ラッピング・ツールの価格

## 8-1-6 圧着端子による接続

### 圧着端子による接続

圧着端子とは、リングに電線を圧着ペンチと呼ばれる工具で押しつぶして接続し、それをねじ止めすることにより、はんだ付けをしないで配線する方法である。はんだ付けをしないため、電線に熱が加わることもなく、配線を変更しても痕も残らないため、リレーなどを使ったシーケンス回路や、定期的に交換する必要のあるモーターやセンサーなどの配線に用いられている。はんだ付けと異なり、ねじで締め付けるため接触抵抗が小さく、大きな電流を流す配線にも適している。

圧着端子を利用する場合に、最も重要なことは、端子やねじの大きさ、電線の太さに合った圧着端子を選び、その大きさに合った圧着ペンチで図\*\*のように正しく圧着することである。圧着の失敗例は図\*\*のようなものであるが、次のような問題を引き起こす。

#### (a) 芯線露出

電線の芯線(電気を通す部分)が圧着端子から大幅に露出している。その部分から断線したり、ショートしたりする危険性がある。

#### (b) 挿入不十分

電線の芯線の挿入が不十分であり、接触抵抗が大きくなって異常発熱したり、線が抜けて断線や他の端子とショートする危険性がある。

#### (c) 芯線突出

芯線が圧着端子のねじ止め部分にまで突出している。ねじを締めにくくなり、接触抵抗が増大して異常発熱したり、ねじ止めの際に芯線がちぎれて他の配線をしょーとさせたりする。

#### (d) 圧着位置不良

圧着位置が先端に片寄っているため、電線の引っ張りなどにより簡単に抜けてしまって故障やショートなどの原因となる。

#### (e) 圧着位置不良

圧着位置が手前に片寄っているため、電線の断線などの原因となり、切れた線が他の配線とシ

ショートしたりする危険がある。

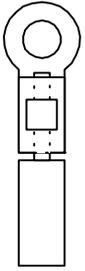


図8-8 適正圧着

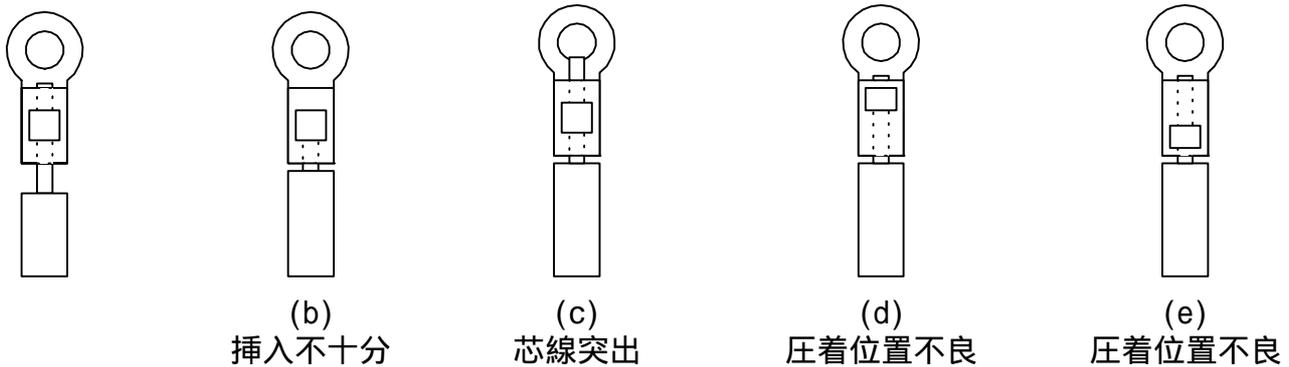


図8-9 圧着不良の例

## 8-2 電源

### 8-2-1 直流電源

#### 8-2-1-1 電池の種類と特徴

電子回路には必ず直流の電源が必要であるが、電源は電灯線すなわち電力会社から買う電力とは限らない。最近の電子回路はCMOSなどの消費電力の小さいものが主流であるため、電池を電源にしてもかなり長時間動作できるようになっている。また、充電できる二次電池を用いたポータブル機器も多くなり、太陽電池などとともに、環境に優しいエネルギーとして、電気を利用する機会がますます多くなってきた。そこで、現在多く用いられている電池の種類と特徴について解説する。

#### 8-2-1-2 一次電池と二次電池

電池には充電のできない一次電池と、充電して繰り返し使える二次電池がある。また、構造、電極、電解液などの違いにより、様々な種類がある。さらに、形状、大きさにより分類される。

表8-3に一般的な電池の特徴を示す。電池を選ぶ際は、負荷電流、特性、形状などをもとに選ぶ

必要がある。

	電池の種類	内部抵抗	容量／体積	電圧安定性	取り扱い
一 次 電 池	マンガン乾電池	×	△	×	◎
	アルカリ乾電池	△	○	△	○
	水銀電池	△	◎	◎	△有毒
	酸化銀電池	○	◎	○	○
	リチウム電池	△	◎	◎	◎
	二 次 電 池	ニカド電池	◎	△	◎
ニッケル水素電池		◎	○	◎	◎
鉛蓄電池		◎	×	○	×重い
リチウムイオン電池		○	◎	◎	◎

表8-3 一般的な電池の特徴

このように、現状では一次電池では小電流の時はリチウム電池、大電流の時はアルカリ乾電池が、二次電池では小電流の時はリチウムイオン電池、大電流の時はニッケル水素電池が最も優れている。

## 電池の内部抵抗と直列・並列接続

電池の端子を短絡しても(非常に危険であるから、絶対に電池を短絡させてはならない)、流れる電流は無限にならない。これは、電池には内部抵抗があるためで、内部抵抗により、電池から $I[A]$ の電流を取り出すと、 $E=I \times r$ の電圧降下が発生する。たとえば、開放電圧 $1.5V$ 、内部抵抗 $1\Omega$ の電池から $1A$ の電流を取り出すと、 $1V$ もの電圧降下が発生し、実際の電池電圧は $1.5 - 1 = 0.5V$ にしかならない。

このため、大電流を必要とする電池には内部抵抗の小さいものを選ぶ必要があるが、内部抵抗の小さい電池が利用できない場合は、並列接続することにより、見かけ上の内部抵抗を小さくすることができる。また、電池を直列接続することにより見かけ上の電圧を大きくすることができるが、その場合は内部抵抗も大きくなる。 $n$ 個の電圧 $E$ で内部抵抗 $r$ を持つ同じ電池を直列に接続すると、電圧は $nE$ であり、内部抵抗は $nr$ になる。並列に接続すると、電圧は $E$ であり、内部抵抗は $r/n$ になる。ただし、電池の直列接続は次に述べるように個々の電池で減り方が異なり、寿命を短くしたり、液漏れや破裂の原因となるため、できれば避ける必要がある。また、電池の並列接続は、個々の電池により微妙に電圧が違うことがあり、電圧の高い電池が電圧の低い電池を充電することになり、特に充電できない一次電池では液漏れや破裂の原因となるため、行ってはならない。小学校の理科の実験でやった乾電池の並列接続は、理論的に間違っているのである。

### 8-2-1-3 直列接続と逆充電

また、内部抵抗 $r$ の電池に電流 $I$ を流した際に、 $I \times r$ が起電力 $E$ よりも大きくなると、電池はプラス／マイナスが逆に充電されることになる。乾電池のような充電できない一次電池においては、充電自体が危険であるのに、逆充電などは危険きわまりない。一般的に電池の内部抵抗は寿命が尽きると大きくなるため、新しい電池と古い電池を直列に接続して使用すると、古い電池が逆充電され

るために非常に危険である。また、新しい電池と古い電池を並列に接続して使用すると、新しい電池で古い電池を充電することになるため、危険であるうえに、電池の寿命が短くなる。こうした理由により、電池交換をする際は、新しい電池と古い電池や種類の異なる電池を混ぜて使ってはならないのである。

#### 8-2-1-4 二次電池とメモリー効果

二次電池とは、充電して再利用できる電池のことを示すが、ニッケル・カドミウム電池とニッケル水素電池は、電池の容量(電気)を使い切らないうちに充電すると、実際の容量よりも少ない電気しか使えなくなることがある。化学的に言えば、使い切った電池とそうでない電池は、電極のニッケル原子の結晶構造が異なり、浅い充放電を繰り返すと、結晶が次第に荒くなり、しまいには電極の絶縁物を破ってショートし、電池として機能しなくなる。

そこで、これらの電池を使う際には、必ず使い切ってから充電する必要がある。そのための放電器(リフレッシュャー)なども市販されており、メモリー効果の発生した電池でも、初期の状態であれば、こうした方法により容量が復活するため、早めに手を打つのが得策である。

とはいえ、携帯電話などのポータブル機器では、外出先では電池を使い、家に帰ったら充電器に戻し、翌朝には満タンになっていないと困る場合が多く、メモリー効果の発生しない二次電池が求められている。

リチウムイオン電池は、まさにこの要望に応えるもので、浅い充放電を繰り返しても容量が少なくなるとされているが、実際にはそれほどでもない。そして、リチウムイオン電池は内部抵抗が大きいため、大電流を流すのには不向きである。従って、携帯電話などの消費電流の少ないものには使えるが、ビデオレコーダーなどのモーターを使った消費電流の大きいものには使えなかった。でも、ビデオレコーダーも翌朝には満タンであって欲しい。メモリー効果を防止するためにいちいち放電させるのは電池の寿命を短くして買い替えなければならなくなるし、エネルギーの無駄でもある。この問題の解決は難しいが単純である。ビデオレコーダーの消費電流を少なくすれば良いのである。こうして、リチウムイオン電池を使って、12時間もの連続録画ができるビデオレコーダーが誕生した。

このように、リチウムイオン電池は体積当たりの容量が大きく、同じ容量であれば小さく軽くなるし、メモリー効果がほとんどないため、充電の制約が少なく、寿命も長いため、次世代の二次電池として有望であるが、唯一の欠点である内部抵抗の高さにより、電気自動車のような大きな電流を必要とするものには使えない。そのため、今後しばらくは、電気自動車には昔ながらの鉛蓄電池、コードレス工具にはニッケルカドミウム電池が使われて行くことになる。

#### 8-2-2 交流電源

電気回路における交流電源とは、いわゆる商用電源(電力会社から買う電力)のことをさすことが多い。電子回路では基本的に交流電源は使わないから、ここでいう交流電源とは、商用電源すなわちコンセントから電子回路で使用する直流電源を得る方法について説明する。

##### 8-2-2-1 ACアダプター

ACアダプターとは、電池の代わりにコンセントから直流電源を得るための電源装置であり、通常は壁のコンセントに差し込むことが多いため、英語ではWall Adapterと呼ばれている。その構成は、トランスにより100ボルトから必要な電圧に変圧し、ダイオードにより整流し、コンデンサーにより平滑して、直流に近い脈流を得る回路が内蔵されている。

中に重い鉄心を使ったトランスが入っているため、あまり電力容量の大きいものは作られていない。もしも作ったとすれば、重みで壁が崩れてしまう可能性もある。そこで、最近のノートパソコン用などの電力容量の大きいものは、後に述べるスイッチレギュレーター(スイッチング電源)が使われている。

ACアダプターの発熱は意外に大きく、手で触って熱く感じるほどであるが、あまり熱い物はトランスに低品質なものを用いている場合が多く、そのまま使用すると火災の原因になるために注意が必要である。

ACアダプターを電源に使う際には、いくつか注意しなければならない点がある。それらの注意点について以下に説明する。

#### ●適切な入力電圧を選ぶ

入力電圧は、国内では100ボルトが一般的であるが、輸入品の中には主にアメリカで使用される115ボルトのものや、ヨーロッパで使用される200～240ボルトのものもあるので注意する。入力電圧が異なるものを使用すると、最悪の場合火災につながる恐れがある。特に、アメリカ仕様ものは、日本とコンセントのプラグ形状が同じであるため、そのまま使えるように見えるが、規定の電圧が出力されなかったり、電流が不足して機器の故障の原因となる。

#### ●適切な出力電圧を選ぶ

ACアダプターの出力電圧は、定格出力電圧で記されることが多いが、安定化回路が内蔵されているわけではないため、無負荷時あるいは微小負荷時に定格電圧を大きく超える電圧が出力されるものもあり、接続する機器が故障する原因もあるため、注意を必要とする。特にIC回路などの許容電圧範囲の狭いものや精密な回路には安定化回路が内蔵されたものを選ぶ必要がある。

#### ●適切な出力電流を選ぶ

電圧が適切でも、必要な電流を供給できる容量がないと、機器が動作しないばかりか故障の原因となることもあるため、必要なアンペアが得られるかどうかを検討する。回路の消費電流は、一般的には平均電流が記されているが、この容量を決める際には瞬間最大電流も考慮しなければならない。

#### ●プラグの種類を選ぶ

従来は中心電極の直径が2.1mmのものと2.6mmのもの2種類があったが、最近ではEIAJ(日本電子工業会)の制定した電圧区分による統一極性プラグも使われるようになってきた。以前は間違えて他の機器用のACアダプターを差し込むと機器が故障する可能性が高かったが、電圧区分ごとにプラグの太さを変えることにより、動かないまでも、まず壊れないようになってきた。

#### ●プラグの極性に注意する

プラグの極性が反対だと、接続する機器を壊す恐れがある。そのため、ほとんどのACアダプターでプラグの極性を示す印刷が本体にされている。これには内側がプラスで外側がマイナスのものと、外側がプラスで内側がマイナスのものがある。EIAJの統一極性プラグでは、外側がマイナスで内側がプラスと決められている。

#### 8-2-2-2 シリーズレギュレーター

シリーズレギュレーターとは、一定の電圧を出力する安定化電源の一種で、トランスにより変圧、ダイオードにより整流、コンデンサーにより平滑した交流分を含む直流(脈流)を、あるいは、電池の電圧を一定の電圧を保つ回路である。図8-8のように、負荷と直列に接続されるために、シリーズ(直列)・レギュレーター(調圧器)と呼ばれている。

図8-8 シリーズレギュレーター

最も簡単な構造のものは、図8-9のように定電圧ダイオード(ツェナー)とトランジスタで作ることができるが、あまり安定度は高くない。そこで、フィードバック回路を利用して出力電圧の変動を監視して、一定の電圧になるように出力電圧を調整することにより、安定度を高くすることができる。安定度が高いということは、入力電圧が変動しても出力電圧が一定であるということなので、脈流を入力しても出力電圧は一定の完全な直流を出力できるということである。この直流の電圧変動をリップルと呼び、小さければ小さいほど高性能である。一般的に増幅器(アンプ)の電源にリップルが含まれていると、それはブーンというハム音となり、音量を小さくすると音声聞き苦しくなる。これを防ぐため、高級な音響(オーディオ)機器では、電源回路にシリーズレギュレーターが内蔵されている。このシリーズレギュレーターは構造的に、後に述べるスイッチレギュレーターよりもリップルは少ない。

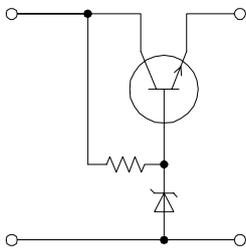


図8-9 最も簡単なシリーズレギュレーター回路

実際には、この定電圧回路は非常に多く使われるため、IC化されたものが数多く市販されている。ここでは、その中で、最も一般的な78シリーズのICについて紹介する。

出力電圧	出力電流0.1A	0.5A	1A
5V	78L05	78M05	7805
8V	-	-	7808
9V	78L09	-	-
12V	78L12	78M12	7812
15V	78L15	78M15	7815

表8-2 78シリーズ定電圧電源IC

これらのICは、端子が3本であることから、三端子レギュレーターと呼ばれている。価格はどれも100円前後である。

これらのICを使う場合、入力電圧は出力電圧よりも少なくとも3V以上高くないと動作しない。また、あまり入出力電圧に差がありすぎると、その分の電気エネルギーがIC内部で熱になり消費されるため、放熱板を取り付ける必要が出てくる。78Mxxと78xxの場合は表の電流は十分な放熱をした場合の値である。放熱板を取り付けない場合は、この値の1/5程度の電流しか流せない。

8-2-2-3スイッチング電源

スイッチング電源はスイッチレギュレーターとも呼ばれ、パルス状にトランスの入力をオンオフする

ことにより、必要なだけの時間しか負荷側に電流を供給しないことにより平均電圧を下げ、電圧が高すぎる時はパルス幅を縮めて電流が流れる時間を短くし、電圧が低すぎる時はパルス幅を広げて電流が流れる時間を長くして出力電圧を一定に保つ電源のことで、余分な電圧を熱に変換して消費するシリアズレギュレーターに比較して、必要最低限しか電流を流さないため、原理的には発熱はせず、無駄な電力を消費しない。また、パルスの周波数を高くすることにより変圧のためのトランスの鉄心をフェライト(磁性粉を焼成したもの)にすることができ、同じ電力の電源を軽く小さくすることができる。そのため、比較的容量の大きい直流を必要とするパソコンやプリンターなどの電源として利用されている。

最大の欠点は、電流をパルス状にするために、出力に多くのノイズが出ることであり、オーディオ機器の電源には適していない。つまり、ステレオやテレビ、ラジオやビデオなどの電源には適していない。

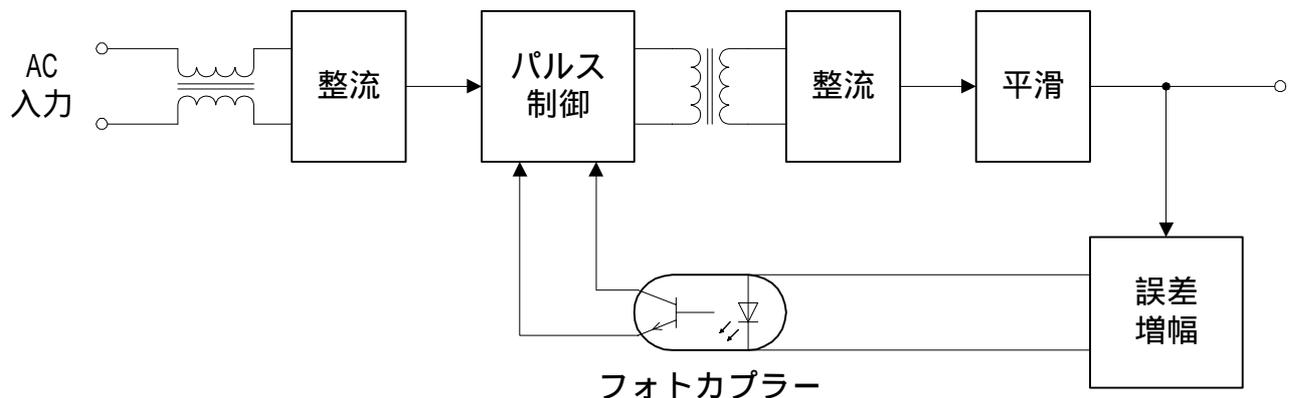


図8-10 スイッチング電源の構成

### 8-2-3 実験の際の注意

電子回路には、直流の電源が不可欠であるが、実験段階でいきなりスイッチング電源などの電源を接続するのは危険である。なぜならば、実験回路は配線を間違える誤配線や抵抗などの誤計算により過大電流が流れる可能性が多分にあるからである。

それならば、ヒューズを挿入すれば良いかと言うと、それではヒューズがいくつあっても足りないかも知れない。そこで、実験に使う電源は、過電流保護回路が内蔵された実験用電源装置を利用する。実験用電源装置には、出力電圧を表示する電圧計、負荷電流を表示する電流計が内蔵されており、計算値の合計電流よりも少し多めに制限電流を設定しておけば、たとえ誤配線があっても、部品が壊れる危険性が大幅に減り、異常発熱による火傷などの事故も極力防止することができる。これらの電源装置は数万円するが、安全のためを思うなら惜しんではならない。

どうしても負担が大きいようであれば、消費電流の小さい回路に限って、三端子レギュレーターを通して電源を供給する。一般的な78シリーズなどの三端子レギュレーターには過電流保護回路が内蔵されており、その品種ごとに0.1A,0.5A,1Aを超えて負荷電流が流れると、電圧を下げて、それ以上電流が流れないような保護が働く。

## 8-3 測定器の使い方

### 8-3-1 テスター

#### 8-3-1-1 テスターによる測定手順



回路計(テスタ)は、1台で電気回路のさまざまな故障診断ができる最も基本的な小型の計測器である。一般的に直流電圧、交流電圧、直流抵抗、直流電流などを切り替えて計測することができる便利な計測器であるが、切り替え式であるためと、小型で簡易な計測器であるために、実際の使用に際しては次のようなことに注意する必要がある。

(1) 回路電圧あるいは対地電圧が規定の電圧を超えないようにする。

小型であるため、電気絶縁が十分ではなく、規定の電圧(ものにより500~1000V程度)を超えた電圧を印加すると、絶縁破壊を起こして感電したり、被測定回路に損傷を与えたりするため。

(2) レンジ(ダイヤル)の切り替えは必ずテストリードを回路から離してから行う。

抵抗あるいは電流レンジは外部電圧に対して非常に弱く、高い電圧に対しては短絡(ショート)したのと同じことである。最悪の場合は回路計や被測定回路が爆発することもある。

(3) レンジは最初は最大にしておき、最適なレンジまで徐々に下げる。

電圧測定の低レンジは内部抵抗が低く、いきなり低レンジに設定した回路計を接続すると短絡事故を起こす可能性がある。また、メータが振り切るような状態ではメータや回路計の内部を焼損したり、内部のヒューズが切れたりすることがある。

(4) 絶対に電圧測定と電圧測定を間違えない。

電流レンジでは、内部抵抗が微小であるために回路と並列に接続すると短絡して回路計や被測定回路を破損する。一般に回路計の最大目盛りは約250mAと小さく、しかも直流電流しか計測で

きないため、低圧電子回路にしか使えない。どうせ電気回路ではほとんど使えないのなら、電流レンジのない回路計の方が、被測定回路を短絡する危険性がないだけ安全である。

(5) 交流電圧は正弦波以外では正確な値を示さない。

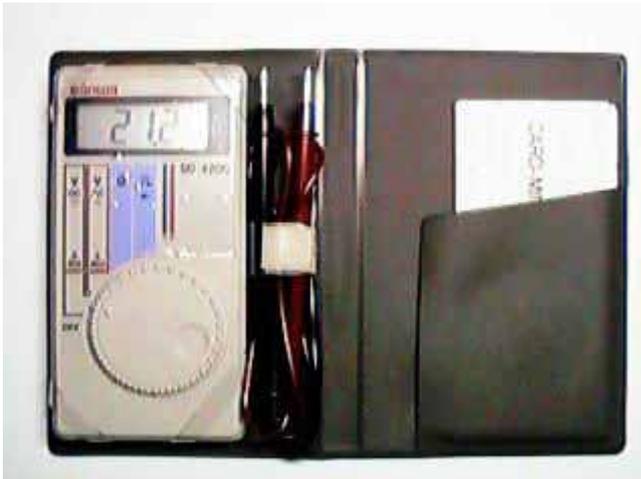
メータの特性としては平均値を示すのであるが、交流電圧は一般的に実効値で表すため、正弦波の実効値を平均値に変換した値で実効値(電圧)の目盛りが割り付けてある。そのため、正弦波以外の交流を測定すると正しい値を示さない。

デジタルテスタ(デジタルマルチメータ)の一部では真の実効値を表示するものもあり、この場合は正弦波以外の交流でも正しい値を示す。



#### 8-3-1-2 テスターによるダイオードの測定

ダイオードは通常、アノードからカソードに向かってのみ電流が流れるから、プラス側をアノードに、マイナス側をカソードに接続した時のみ電流が流れる。これを行うためには、テスタを「直流抵抗測定レンジ」に切り替えてプローブを接続する必要がある。ただし、一般的にアナログ・メータ式のテスタは黒がプラス、赤がマイナスになっているため注意が必要である。



### 8-3-1-3 波形の見られるマルチメーター(テスター)

最近のデジタル・マルチメーターには、波形が測定できるものもある。こうしたものは、低周波信号の測定であれば、後述するオシロスコープを使わずに、現場で簡単に波形を測定できるため、非常に便利である。



### 8-3-2 ロジック・テスター

デジタル回路では、信号の種類は0と1との2通りしかないのであるから、通常は電圧を測定する必要がない。そこで、ロジック・テスターと呼ばれるデジタル信号の0(low)と1(high)が簡単に識別できるものが使われる。ロジック・テスターには、信号の0と1がLEDにより光で表示されるもののほか、音の高低で1と0がわかるものもあり、こうしたもの場合は、先端のプロープに神経を集中していても、表示を見ることなく音で判断できるため、非常に使い勝手が良い。また、素早く変化する信号をテスターで見ると、アナログ・テスターではその平均値を示すため、どの程度のデューティ比(1と0の割合)かどうか推定できるが、デジタル・テスターだと全くどんな状態なのかかわからないが、素早くオンオフしているパルス状の信号の時だけ別のLEDが点灯するものもあり、更に音で判断できるものもあるので、デジタル回路にはテスターよりも便利である。また、デジタル回路の電圧は基本的に対アース(グラウンド)間で測定するため、テストリードをずっと押しつけている必要のない、クリップ式が便利である。信号側はプロープになっている物が便利である(ほとんどそうになっている)。



図8-8 デジタル・テスター



図8-9 信号表示部



図8-10 プローブ部



図8-11 パルス表示部

### 8-3-3 オシロスコープ

オシロスコープは信号の波形(時間に対する電圧の変化)を目で見るための測定器であり、パルス信号の波形や、2つ以上の信号のタイミングを見るのに便利である。比較的高価な測定器であるが、増幅回路やパルス回路の実験や調整にはなくてはならないものである。

オシロスコープは基本的にブラウン管を表示に用いているため、大きくて重いのが常識であったが、最近はデジタル・マルチメーターに波形を見られる機能が付いていたり、あるいはオシロスコープもデジタル技術と液晶表示器を用いることにより、小さくて軽い物も市販されるようになってきた。

メーカーによってはシンクロスコープと呼ぶこともあるが、これは米国ヒューレット・パッカード社の

登録商標であり、一般的にはオシロスコープといえばトリガー機能のあるシンクロスコープのことである。

#### 8-3-3-1 オシロスコープによる測定の手順

次にオシロスコープによる波形測定の方法について説明する。オシロスコープは基本的にブラウン管に信号の波形を映す測定器であるから、その調整項目はテレビと似ている。そのことを念頭に置いて考えると理解しやすい。

##### ①電源を入れる

当然であるが、旧式のオシロスコープの中には、真空管を用いている物もあり、電源を入れてから測定ができるまでに30分以上も要する物があった。現在ではこのようなことはないが、ブラウン管が真空管の一種である以上、正確な測定を行うにはヒーターが十分に暖まる5分後程度が目安となる。

##### ②画面に波形が映るように調節する

初めはどのような信号であるかはわからないから、とりあえずプローブは接続しないでおき、ブラウン管に波形がきれいに映るようにする。まず、カップリングをGNDに設定し、入力信号を無視してグラウンド・レベルすなわち0Vと仮定して、表示される波形の垂直位置を設定する。この際、全く何も映らない場合は、トリガーがNormalやSingleになっている場合が多いので、まず、トリガーをAutoに設定する。それでも映らなければ、輝度調整(Intensity)が暗くなりすぎているので、時計回りに回して適当な明るさにする。あまり明るくするとブラウン管の蛍光面が焼き付いてしまい、測定の邪魔になるので注意する。これでうまく水平線が映ったら、ピント(Focus)つまみを回して、はっきりとした線になるように調節する。Scale Illumはブラウン管の目盛り照明の明るさを調節するもので、オシロスコープではこの目盛りを使うことにより、だいたいの電圧や周期、周波数などがわかるようになっている。特に波形を写真撮影する場合は、目盛りをある程度明るくする必要がある。

### ③垂直軸、水平軸の設定とプローブの接続

あらかじめ測定する信号の電圧や周波数が分かっている場合は、垂直軸の電圧ダイヤルと水平軸の時間ダイヤルを合わせる。わからなければ、垂直軸は最大の値に設定し、垂直方向の振幅が小さいようであれば、徐々に下げていく。水平軸は時間を長めに設定しておくとうわかりやすい。

垂直軸のブラウン管上の目盛りが1目盛り当たり何ボルトかを設定する。測定する信号の電圧が5ボルトであれば、現在の位置から5目盛り分だけ上に表示される。

また、水平軸は1目盛り当たりの時間で、1ms/divであれば、1目盛りが1msである。たとえば1kHzの信号を0.5ms/divで観測したとすれば、2目盛りで1周期の波形を見ることができる。

この設定が終わったら、カップリングをDCあるいはAC(直流分をカット)に戻し、プローブの先端を被測定回路に、クリップをアース(グラウンド)に接続すると波形が映るはずである。

### ④トリガーの設定

測定する波形が繰り返し同じ波形が現れる繰り返し波形でない場合、波形がちらちらと左右に流れ、非常に見にくくなる。そこで、トリガーという機能の出番であるが、これは、トリガーされた時点で、画面左側からスタートするようになっている機能で、そのスタートがトリガーである。複数の信号が入力されている場合、どの信号に合わせてスタートをするのかを切り替え(Trigger Channel)、トリガーをかける電圧をどうするのか(Trigger Level)、トリガーをかける信号の形態はDC(直流電圧)、AC(交流電圧)、LF Reject(低周波信号をカット)、HF Reject(高周波信号をカット)などのさまざまな条件から選ぶことができる。よく分からなければ、とりあえずDCにしておいて、いろいろ切り替えてみると良いだろう。これらの機能は、トリガーモードをNormalにしないと効果がない。Single Triggerは単発現象をとらえるためのトリガーで、何か異常などが起こった際に、その時だけスイープする機能であり、波形を記憶できるストレージスコープ以外では、波形が一

瞬しか見えなくなるため、よほど頻繁にトリガー条件が成立する場合以外は使われない。ストレージスコープであれば、この機能を使えば、異常が発生した前後の状態を記憶してくれるため、セットしておいて、翌朝調べるなどということも可能になり、数時間に一度以上の周期で発生するトラブルなどに効果を発揮する。

また、機種によっては、デレイ・トリガーの機能があるものもあり、この場合はトリガー条件が成立してから一定時間後にスイープ(波形の左端からの観測)ができるようになっており、何か原因があってから、たとえばモーターに通電してから10秒後の細かい信号を見たい場合などに効果的である。

#### ⑤見やすくするための設定

さて、とりあえず波形が表示されたら、見やすくするためにいくつかの調整ができる。Horizontal Positionは、波形の水平位置を移動することができるつまみであり、これを回すことにより、目盛りと波形を合わせて、周期や時間差などを読みやすくなる。Vertical Positionは、波形の垂直位置を移動することができるつまみであり、電圧や電圧差を読むのに便利である。

Uncalは目盛りと縦軸あるいは横軸の関係を無視して引き延ばす機能で、目盛りが特に大きな意味がない場合に、画面いっぱいに波形を表示して見やすくしたり、増幅器の入力と出力の波形を重ね合わせて、ひずみや時間遅れなどを観測する場合に使う。目盛りが役に立たなくなるため、ほとんどの機種で警告の赤いランプが点灯するが、不要になったら、必ず左に回しきった位置に戻しておかないと、後で測定を誤る原因となる。

また、入力が複数ある場合に、どの信号を表示させるのか、あるいは反転させるのか、機種によっては、入力信号の和や差を表示できるものもある。

最近のデジタル式のものでは、入力信号の最大値や実効値、平均値、周波数などの測定を自動的にを行い、画面に表示してくれるものもあり、そこまでいなくても、カーソルと呼ばれる2本の基準

線をつまみを回して動かすことにより、その差の電圧や差の時間、周期、周期の逆数(1周期に正確に合わせれば周波数になる)などを表示してくれる「リードアウト」付きのものも多い。

### 8-3-3-2 オシロスコープのつまみやスイッチ

ここまで、オシロスコープによる波形測定の手順を説明してきたが、実際に測定する段になり、ここまでを全部読んでいたのでは日が暮れてしまう。そこで、繰り返しになる部分もあるが、つまみやスイッチごとの説明を記しておく。

#### (1)SCALE ILLUM(目盛照明)

オシロスコープの管面には、電圧や時間のめやすとなる目盛りが刻まれている。波形の写真撮影や目盛りが見にくい場合などに、この目盛りを明るく照らす機能が付いたものがあり、目盛り照明の明るさを調整する。

#### (2)INTENSITY(輝度調整)

ブラウン管に表示される波形の明るさを調整する。あまり暗いと見にくいし、あまり明るいと表示がにじむだけでなく、ブラウン管を焼き付けて二度と元には戻らなくするため、こまめに調整する必要がある。また、左に回しきると全く表示されなくなるために注意が必要である。

#### (3)FOCUS(ピント)

ブラウン管を使っている関係で、電子ビームがきちんと収束して蛍光面に当たらないと、ぼやけた波形や文字が映るため、ここを回して見やすいように調節する。なお、地磁気の影響で、オシロスコープを移動した際にはピントがずれることが多い。

#### (4)VERTICAL POSITION(垂直位置調整)

表示の垂直位置(上下)を調整する。調整が悪いと、波形がブラウン管に納まらずに全く見えないこともある。左に回しきった状態から右に回しきった状態まで調節して見えなければ別の原因が考えられる。

#### (5) HORIZONTAL POSITION (水平位置調整)

表示の水平位置(左右)を調節する。調節が悪いと、トリガ直後の肝心な部分が見えないため、一般的には目盛りの左端に波形の左端がくるように調節する。

#### (6) TRIGGER SELECT (トリガ選択)

高級なオシロスコープ(現在ではほとんどがそうであるが)では、入力信号に同期して常に同じ位置に表示する「トリガ」機能がある。このように入力信号に同期して表示できるオシロスコープを「シンクロスコープ」と呼ぶが、これは米国テクトロニクス社の登録商標であるために、他社は名称を使うことができず、同期して表示できるにもかかわらずオシロスコープと呼んでいる。特定のメーカーの製品名を使うことのできない試験では、「シンクロスコープ」と書くと問題になるので注意が必要である。

トリガ選択はトリガの方法を決めるもので、ほとんどの場合はAUTO(自動)で使えるが、AUTOで表示が安定しない場合はMANUAL(手動)に設定してTRIGGER LEVELつまみを回して最も安定して表示される状態に調整する。また、SINGLE(単トリガ)に設定してTRIGGER LEVELを設定すると、1回のトリガで1回の走査(左から右に表示)しかしない。

トリガ選択がAUTO以外に設定されている時は、とりあえずAUTOに戻して使うのが良い。

#### (7) VERTICAL VOLT/DIV (電圧軸)

画面に表示される波形の縦軸の大きさを変更するためのつまみである。時計回りに回せば波形が大きく表示されるが、画面に入り切らなくなる可能性がある。反時計回りに回せば波形は小さく表示されるが、あまり小さいと波形の細部が判別できなくなる。

そこで、このつまみを回して、最も見やすい大きさに波形を変更する。交流と直流の混じった信号を表示する際は、時計回りに回すと、波形が画面の外に出てしまうため、(9)のCOUPLINGをACに切り替えると、交流成分だけが表示されるようになるため、交流成分だけを大きく表示できるようになる。逆に直流成分を見たい場合は、DCに切り替える。

内側のつまみを回すと、正確に1目盛りが何ボルトであるかがわからなくなるが、波形をある大きさに表示したい場合や、細部を見たい場合に一時的に使うことができる。便利な機能だが、元に戻し忘れると測定を誤る原因となるので、この機能を使っている場合はUNCALと表示されたり、赤いLEDが点灯したりするため、これらの警告が表示されている場合は、内側のつまみを反時計回りに回しきる必要がある。

なお、縦軸の大きさはチャンネルごとに変更できる。ただし、プローブの倍率によっては、目盛りと

実際の電圧が違うこともある。よく使われる×10(10:1)プローブでは、縦軸の設定が10V/divのとき、実際の1目盛りは100Vになる。

#### (8)HORIZONTAL TIME/DIV(時間軸)

画面に表示される波形の横軸の大きさを変更するためのつまみである。時計回りに回せば波形の横幅は広くなり、反時計回りに回せば波形の横幅は狭くなる。

そこで、このつまみを回すことにより、見たい部分が画面に収まるように波形の大きさを調節する。ただし、横軸はチャンネルごとに変えることはできない。また、プローブに関係なく、常に横軸の1目盛りは設定値と同じである。

内側につまみが付いている場合は、そのつまみを時計回りに回すと、波形を横に引き延ばして表示させることができるが、これも時間や周波数の測定を誤る原因となるため、使用後は速やかに元に戻す必要がある。これにも、警告の表示が付いているものがある。

#### (9)COUPLING(結合選択)

測定する波形とオシロスコープの結合を選択する。必ず付いているのが、DC,AC,GNDで、それぞれ、直流成分も含める、交流成分のみ、入力信号を無視してグラウンド電圧(アース)を入力することになる。次に、それぞれの結合の利用方法について説明する。

##### ●DC(直流成分を含む)

電池やバッテリーなどの直流電圧を測定する場合や、バイアスされた増幅回路の信号を観測する場合などに使う。プローブ入力の実際の電圧が表示されるため、基本的に最初はこの状態で測定する。

##### ●AC(交流成分のみ)

直流成分を含むバイアスされた信号の交流成分のみを観測する場合に使う。電源などのノイズだけを観測したい場合や、バイアスされた増幅回路の交流信号だけを観測する場合などに直流成分を取り除いて、交流成分のみを拡大表示することができる。

直流成分を含まなければ、たとえ観測する信号が交流であっても、DC結合で問題はない。

##### ●GND(入力をゼロとみなす)

波形の垂直位置を調整する際に、実際に波形が入力されていると、どこが基準点であるか判別できない。そこで、こうした場合に入力信号を無視して入力が0ボルトの状態を作り出し、表示位置の調整を行う。

測定時には使用しないため、垂直位置の調整が終わったら、すぐにDCあるいはACに戻しておく。

## 第9章 ヒント

### 9-1 安全設計

メカトロニクスのシステムに安全設計が必要なのは先にも述べた通りであるが、ここでは回路の保護を目的とした安全設計の方法について説明する。せっきくの安全対策がほどこされたシステムであっても、故障や誤操作により自分自身が壊れてしまっははどうしようもない。

#### 9-1-1 ヒューズ



ヒューズは、電流の熱作用により、過電流が発生した場合に、導体の温度が上昇して導体が溶けることにより、回路を遮断し、保護する目的で用いられるが、その特性は日本工業規格(JIS)により、水平に設置した状態で次のように規定されている。

- (1) 定格電流の1.1倍の電流に耐えること。
- (2) 表1の電流区分に応じ、定格電流の1.6倍および2倍の電流において規定の時間内に溶断すること。

定格電流の区分	溶断時間	
	定格電流の1.6倍の電流を通じた場合	定格電流の2倍の電流を通じた場合
30A以下	60分	2分
30Aを超え60A以下	60分	4分
60Aを超え100A以下	120分	6分
100Aを超え200A以下	120分	8分
200Aを超え400A以下	180分	10分
400Aを超え600A以下	240分	12分
600Aを超えるもの	240分	20分

#### 9-1-2 電源回路の安全対策

電子回路には必ず電源が必要であるが、電源回路は大きな電流や場合によっては大きな電圧を扱うため、故障した際に異常発熱や発火の原因とならないとも限らない。そこで、ヒューズやブレーカーなどを使って保護する必要がある。

ただし、電源回路は正常であっても電源投入時に**突入電流**と呼ばれる**定格電流**よりも大きい電流が流れるため、速断形ヒューズを使うと、回路は正常なのにヒューズが切れる故障が多発するた

め、短時間の過電流では切れない遅延形ヒューズが使われる。

短時間でも大電流が流れると故障する可能性のあるトランジスタ回路などでは、**速断形ヒューズ**が使われる。

#### 9-1-2-1 ブレーカー

ブレーカーは遮断器とも呼ばれ、過電流が流れた際に負荷を遮断することにより、電源回路や負荷回路を保護するためのものであり、ヒューズと異なるのは、繰り返し使えることである。まず切れることのない電子回路のヒューズと異なり、モーター回路などでは過負荷により簡単にヒューズが切れてしまう。こうした場合にブレーカーを使えば、簡単な操作で復帰できるため、ヒューズを交換する手間や、同じ容量のヒューズを入手するために、あわてて電気屋を走り回らなくても済む。

遮断器は、サーキット・ブレーカーとも呼ばれ、比較的大型の物をさすことが多い。変電所やビルの電気室、工場の変電室などで使われているものなどがそうであるが、メカトロニクスで遮断器あるいはブレーカーと言えば、後に説明する配線用遮断器のことである。

#### 9-1-2-2 配線用遮断器(MCCB)

ノーヒューズ・ブレーカー(NFB)あるいはサーキット・ブレーカー(CB)と呼ばれる過電流遮断器である。ヒューズなどを交換することなく、手でレバーを操作することにより復帰できるため、交換の手間がかからない。

定格はDC250VあるいはAC600V以下で、10Aから4000A程度の定格電流の範囲のものが作られている。過電流の遮断方法にはいくつかの種類があり、それぞれ特性が異なる。

##### ●熱動形(サーマル)



熱膨張率の異なる2種類の金属板を張り合わせたバイメタルが温度上昇により曲がることを利用して、バイメタルに電流を流し、曲がりがある一定を越えた際に遮断するようになっている。比較的小型で安価であるが、あまり定格電流の大きいものは存在しない。また、遮断と復旧を繰り返すと定格電流以下で遮断するようになることがある。

##### ●電磁形(マグネット)

コイルに電流を流し、磁力がある一定を越えた際に遮断する。定格電流の大きいものの方が電気抵抗が小さく、負荷に対する影響が少ないが、大型になり高価である。また、定格電流の小さいものは電気抵抗が大きく、遮断器での損失が大きくなるため、比較的定格電流の大きいものが中心である。

##### ●熱動電磁形(サーマル・マグネット)

バイメタルに負荷電流を流し、曲がりがある一定を越えた際に引き外しコイルに電流を流して遮断する。一般的にバイメタルは反応が遅いため、モーターなどの始動時に大電流が流れるものに適している。こういったものに電磁形を使うと、始動時の電流で遮断されてしまうため、サーマル形が適しているが、サーマル形は大電流を遮断できないため、電磁コイルを組み合わせた熱動電磁形が使われる。しかし、構造が複雑で大型になり、高価である。

##### ●漏電遮断器

一般的に漏電とは負荷以外の場所に電流が流れることであるが、ほとんどの漏電遮断器は**地落**

(アースに電流が流れること)を検出しているため、感電事故のすべてを防ぐことはできない。しかし、配電盤や分電盤や電気機器をきちんと接地(アース)しておけば、漏電は基本的に地落となり、人体に電流が流れることはほとんどなくなる。反対の言い方をすれば、**漏電遮断器を取り付けてもアースがきちんと接続されていないと無意味である**。漏電遮断器は遮断器すなわちブレーカの機能も併せ持っており、回路を短絡しても作動するようになっているが、特性はあまり良くないため、安全のために遮断器と漏電遮断器は併用する必要がある。

## 9-2 部品の選定と購入

### 9-3 センサーのトラブル

#### 9-3-1 光電センサーの誤動作

光電センサとは、光の透過あるいは反射により物体の検出を行うものである。したがって、太陽光のような強い光が入射したり、弱い光でも蛍光灯のように点滅する(人間の目には判別できないが、1秒間に100または120回点滅している)光が光電センサに当たると誤動作の原因になる。また、レンズなどの光学系が汚れていると、光が弱くなって誤動作することがある。距離が長くなるとセンサの感度が悪くなるから、センサと対象物の距離を短くすることは効果的である。しかし、センサによってはある一定以上の距離がないと正常に機能しないもの(反射形に多い)もあるため、その場合は基準を守らないといけない。

光電センサは光により物体を検出するものであるため、磁気とは直接の因果関係はないので、周囲にある磁性体を移動するのは無意味である。このことを逆に利用して、磁性体に囲まれた場所で磁気センサを使うと誤動作するが、光電センサならば影響をなくすることが可能である。

## 9-4 液晶表示器 (液晶ディスプレイ)

液体と固体(結晶)の中間の性質を持つ液晶に電圧を加えると、結晶配列が変化して光を吸収したり反射したり透過させることができる。この液晶を一定の隙間を持つガラス板に封じ込め、微少な電極を多数並べることにより、文字や図形を表示することができるが、こうして作られた液晶表示器は、消費電力が極めて小さく(基本的に電流は流れない)、薄形にできるため、携帯テレビや携帯パソコン、薄形テレビなどの表示器として注目されている。ところで、表示器としての見易さは反射と吸収の光のコントラストや応答速度などによって決まる。コントラストは液晶の成分により大きく左右され、また電極の間隔が狭ければ狭いほど高くなる。TNはTwist Nematicの略で、液晶の光軸のねじれが優れているものであり、STNはSuper Twist Nematicの略で、更にねじれが優れている。DS TNはDouble Super Twist Nematicの略で、STNの駆動方法をパソコンの大画面などに向くように改良したものである。したがって、コントラストはTN, STN, DSTNの順に優れており、見やすい。

また、液晶の光の反射と透過は透明電極に電圧を加えることで制御するが、回路の都合で電極を縦と横に分け、その交差したところに電圧が加わる回路にしたほうが回路と配線が簡単になる。なにしろ、パソコンなどで標準的な800×600ドットの液晶ディスプレイでは、その電極の数は $800 \times 600 = 480,000$ にもなり、48万本もの配線を液晶と回路の間で行うことはできないため、このようにするのである。こうすることにより配線の本数は $800 + 600 = 1400$ 本に減らせるが(現実には画面を更に分割している)、それぞれの画素(点)を順番に制御しているため、ちらつきが目立つようになり、見にくくなる。そこで、液晶表示器内部にトランジスタを入れ、そのトランジスタで交差した点を記憶することにより、ちらつきをなくすることができる。これがTFT(Thin Film Transistor)液晶であるが、この方式は画素数と同数のトランジスタ(この場合は48万個)を液晶表示器に付けなければならず、そのうちの1個でも不良があるとその画素には永遠に電圧が加えられずドット抜けとなる。現実

には数個のドット抜けは良品として出荷しているが、歩留まり(製造数に対する良品の割合)が非常に悪く、製造コストが高くなるため、ちらつきがなく、応答速度が速いが、高価である。また、カラー表示できるものでは、各画素ごとに赤・青・緑の3色のフィルタが付けられており、トランジスタの数は3倍になる。そのために非常に高価となる。

### 9-5 デシベル ( dB )

デシベル(dB)とは、電話の発明者であるアレキサンダー・グラハム・ベルの頭文字Bの10分の1(デシ)を意味する単位であり、人間の聴覚は対数で音の大きさを感じる特性があることを利用した単位である。たとえば、音の大きさが10倍になっても、人間の耳には2倍としか聞こえない。この特性のおかげで人間の耳は小さな音でも聞くことができ、大きな音でもひずみなく聞くことができる。また、デシベルには値が大きくなっても桁数を少なくできる利点もある。たとえば、電流の百万倍は数字で書けば1000000であるが、デシベルで表せば120dBとなる。また、デシベルには増幅率の計算が足し算でできる利点もある。たとえば、1000000倍の増幅器の出力に1000000の増幅器を接続した場合、出力電圧は入力電圧の1000000000000倍になるが、デシベルならば120 + 120 = 240dBとなる。

デシベルの計算方法は電圧と電流の場合と電力の場合とは異なる。電圧と電流においてデシベルと増幅率との間には、増幅率をAとすると、

$$dB = 20 \log_{10} A$$

の関係がある。電力の場合は、

$$dB = 10 \log_{10} A$$

となる。

また、1mWに対する電力の比をdBm(デシベル・ミリ)と表し、電界強度(電波の強さ)の単位であるV/m(ボルト毎メートル)の百万分の1の単位である1μV/mに対する比をdBμ(デシベル・マイクロ)と表す。以下にデシベルの各単位の対応表を示す。

dB(電圧・電流)	dB(電力)	倍率	dBm	dBμ
0	0	1	1mW	1μV/m
20	10	10	10mW	10μV/m
40	20	100	100mW	100μV/m
60	30	1,000	1W	1mV/m
80	40	10,000	10W	10mV/m
100	50	100,000	1000W	100mV/m
120	60	1,000,000	1kW	1V/m
3		1.41		
6	3	2		
10		3.16		

## 9-6 CMOSの4000シリーズ一覧

型名	機能
4000	Dual 3 Input NOR Gate
4001	Quad 2 Input NOR Gate
4002	Dual 4 Input NOR Gate
4006	18-Stage Static Shift Register
4007	Dual Complementary Pair Plus Inverter
4008	4-Bit Full Adder with Parallel Carry Out
4009	Hex Buffer/Converter(Inverting)
4010	Hex Buffer/Converter(Non-Inverting)
4011	Quad 2 Input NAND Gate
4012	Dual 4-input NAND Gate
4013	Dual "D" with Set/Reset Capability Flip Flop
4014	8-Stage with Synchronous Parallel or Serial Input/Serial Output Static Shift Register
4015	Dual 4-Stage with Serial Input/Parallel or Output Shift Register
4016	Quad Bilateral Switch
4017	Decade Counter/Divider Plus 10 Decoded Decimal Output
4018	Presetable Divide-by-N Counter
4019	Quad AND/OR Select Gate
4020	14-Stage Ripple-Carry Counter/Divider
4021	8-Stage with Asynchronous Parallel Input or Synchronous-Serial Input/Serial Output Static Shift Register
4022	Divide-by-8 Counter/Divider with 8 Decimal Outputs
4023	Triple 3-Input NAND Gate
4024	7-Stage Binary with Buffered Reset Counter
4025	Triple 3-Input NOR Gate
4026	Decade Counter/Divider with 7-segment Display Output and Display Enable
4027	Dual J-K Master-Slave Flip Flop
4028	BCD-to-Decimal Decoder
4029	Presetable Up/Down Counter or BCD-Decoder
4030	Quad Exclusive-OR Gate
4031	64-Static Shift Register
4032	Triple Serial Adder(Positive Logic)
4033	Decade Counter/Divider with 7-segment Display Output and Ripple Blanking
4034	8-Stage Static Bidirectional Parallel/Serial-Input/output Bus Register
4035	4-Stage Parallel-in/Parallel-out with J-K Input and True Complement Output
4038	Triple Serial Adder(Negative Logic)
4040	12-Stage Ripple-carry Binary Counter/Divider

4041	Quad True/Complement Buffer
4042	Quad Clocked "D" Latch
4043	Quad NOR R/S Latch(3-State Output)
4044	Quad NAND R/S Latch(3-State Output)
4045	21-Stage Counter
4047	Low-Power Monostable Multivibrator
4048	Multi-Function Expandable 8-Input Gate
4049	Hex Buffer/Converter(Inverting)
4050	Hex Buffer/Converter(Non-Inverting)
4051	Single 8-Channel Multiplexer/Demultiplexer
4052	Differential 4 Channel Multiplexer/Demultiplexer
4053	Triple 2-Channel Multiplexer/Demultiplexer
4054	4-Segment Display Driver
4055	BCD to 7-Segment Decoder/Driver with "Display-Frequency" Output
4056	BCD to 7-Segment Decoder/Driver with Strobed-Latch Function
4060	14-Stage Ripple-Carry Binary Counter/Divider and OSC
4063	4-Bit Magnitude Comparator
4066	Quad Bilateral Switch
4067	Single 16-Channel Multiplexer/Demultiplexer
4068	8-Input NAND Gate
4069	Hex Inverter
4070	Quad Exclusive-OR Gate
4071	Quad 2-Input OR Gate
4072	Dual 4-Input OR Gate
4073	Triple 3-Input AND Gate
4075	Triple 3-Input OR Gate
4076	4-Bit "D"-Type with 3-State Output Register
4077	Quad Exclusive-NOR Gate
4078	8-Input NOR Gate
4081	Quad 2-Input AND Gate
4082	Dual 4-Input AND Gate
4085	Dual 2-Wide 2-Input AND-OR-invert Gate
4086	Expandable 4-Wide 2-Input AND-OR-Invert Gate
4089	Binary Rate Multiplier
4093	Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger
4094	8-Stage Shift-and-Store Bus Register
4095	Non-inverting Gated J-K Master-Slave F/F
4096	Inverting and Non-Inverting Gated J-K-M-S F/F
4097	Differential 8 Channel Multiplexer/Demultiplexer
4098	Dual Monostable Multivibrator
4099	8-Bit Addressable Latch
40100	32/Static Left/Right Shift Register

40101	9-Bit Party Generator/Checker
40102	Presetable 2-decade BCD Down Counter
40103	Presetable 8-Bit Binary Down Counter
40104	4-Bit Bidirectional Universal Register
40105	4-Bit WideX16-Bit Long FIFO Register
40106	Hex Schmitt Trigger
40107	Dual 2-Input NAND Buffer/Driver
40108	4X4 Multiport Register
40109	Quad Low-to-High Voltage Level Shifter
40147	10-Line to 4-Line BCD Priority Encoder
40160	Decade Counter/Asynchronous Clear
40161	Binary Counter/Asynchronous Clear
40162	Decade Counter/Synchronous Clear
40163	Binary Counter/Synchronous Clear
40174	Hex "D" Flip Flop
40175	Quad "D" Type Flip Flop
40181	4-Bit Arithmetic Logic Unit
40182	Look-Ahead Carry Generator
40192	Presetable 4-Bit BCD Up/Down Counter
40193	Presetable 4-Bit Binary Up/Down Counter
40194	4-Bit Bidirectional Universal Register Shift Register
40195	4-Bit Parallel Shift Register
40208	4X4 Multiport Register
40240	Inverting Octal 3-State Buffer
40244	octal 3-State Buffer

## 9-7 CMOSの4500シリーズの一覧

4500	Industrial Control Unit
4501	Dual 4-Bit NAND Gate+2 Input
4502	Strobed Hex Inverter/Buffer
4503	Hex 3-State Buffer
4504	Hex TTL or CMOS to CMOS Level Shifter
4506	Quad Exclusive-OR Gate
4508	Dual 4-Bit Latch
4510	Presetable 4-Bit BCD Up/Down Counter
4511	BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver
4512	8-channel DATA Selector
4513	BCD-to-Segment Latch/Decoder/Driver
4514	4-Bit Latch/4-to-16 Line Decoder(Output High)
4515	4-Bit Latch/4-to-16 Line Decoder(Output Low)
4516	Presetable 4-Binary Up/Down Counter
4517	Dual 64-Bit Static Shift Register
4518	Dual BCD Up Counter
4519	4-Bit AND/OR Selector
4520	Dual Binary Up Counter
4521	24-Stage Frequency Divider
4522	Programmable Divide-by-"N" BCD Counter
4526	Programmable Divide-by-"N" Binary Counter
4527	BCD Rate Multiplier
4528	Dual Monostable Multivibrator
4529	Dual 4-Channel Analog DATA Selector
4530	Dual 5-Input Majorrrity Logic Gate
4531	12-Bit Parity Tree
4532	8-Bit Priority Encoder
4534	5 Decade Counter
4536	Programmable Timer
4538	Dual Precision Monostable Mulutivibrator
4539	Dual 4-channel Multiplexer
4541	Oscillator/Timer
4543	BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver
4544	BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver
4547	BCD-to-7 Segment Decoder/Driver
4549	Successive Approx Register
4551	Quad 2-input Analog Multiplexer/Demultiplexer
4553	Three Digit BCD Counter
4554	2X2 Bit Parallel Binary Multiplier
4555	Dual Binary to 1 of 4 decoder/Demultiplexer("H"OUT)

4556	Dual Binary to 1 of 4 decoder/Demultiplexer("L"OUT)
4557	Variable Length 64-Bit Shift Register
4558	BCD-to-7 Segment Decoder
4559	Successive Approx Register
4560	N BCD ADDER
4561	9`S Complementer
4562	128-Bit Static Register
4566	industrial Time Base Generator
4568	Phase Comparator/Programmable Counter
4569	Dual Programmable BCD/Binary Counter
4572	Hex Functional Gate
4580	4X4 Multiport Register
4581	4-Bit Arithmetic Logic Unit
4582	Look-Ahead Carry block
4583	Dual Schmitt Trigger
4584	Hex Schmitt Trigger
4585	4-Bit Magnitude Comparator
4597	8-Bit Bus-Compatible Latches(3-State Out)
4598	8-Bit Bus-Compatible Latches(3-State Out)
4599	8-Bit Addressable Latches

## 9-8 CMOSの74HCシリーズ一覧

型名	機能
74HC00P	Quad 2-Input NAND Gate
74HC01P	Quad 2-Input NAND Gate(Open Drain Output)
74HC02P	Quad 2-Input NOR Gate
74HC03P	Quad 2-Input NAND Gate with Open Drain Output
74HC04P	Hex Inverter
74HCU04P	Hex Inverter
74HC05P	Hex Inverter Open Collector
74HC08P	Quad 2-Input AND Gate
74HC09P	Quad 2-Input Pos AND Gate(Open Drain)
74HC10P	Triple 3-Input NAND Gate
74HC11P	Triple 3-Input AND Gate
74HC14P	Hex Schmitt Inverter
74HC20P	Dual 4-Input NAND Gate
74HC21P	Dual 4-Input AND Gate
74HC27P	Triple 3-Input NOR Gate
74HC30P	8-Input NAND Gate
74HC32P	Quad 2-Input OR Gate
74HC34P	Hex Buffer
74HC36P	Quad 2-Input OR Gate
74HC42P	BCD to Decimal Decoder
74HC48P	BCD-to-7-Segment Decoder
74HC51P	Dual 2-Wide 2-Input AND/OR Invert Gate
74HC58P	2-Wide 2-Input/2-Wide 3-Input AND/OR Gate
74HC73P	Dual J-K Flip-Flop with Clear
74HC74P	Dual D-Type Flip-Flop
74HC75P	Quad Bistable Latch
74HC76P	Dual J-K Flip-Flop
74HC77P	4-Bit Bistable Latches
74HC78P	Dual J-K Flip-Flop
74HC83P	4-Bit Binary Full Adder
74HC85P	4-Bit Magnitude Comparator
74HC86P	Quad Exclusive OR Gate
74HC90P	4-Bit decade Counter
74HC91P	8-Bit Shift Register
74HC92P	4-Stage Binary Ripple Counter
74HC93P	4-Bit Binary Counter
74HC95P	4-Bit Right-Shift/Left-Shift Register
74HC107P	Dual J-K Flip-Flop
74HC108P	Dual J-K Negative Edge Triggered Flip-Flop

74HC109P	Dual J-K Flip-Flop
74HC112P	Dual J-K Flip-Flop
74HC113P	Dual J-K Negative Edge Triggered Flip-Flop
74HC114P	Dual J-K Negative Edge Triggered Flip-Flop
74HC123P	Dual Retriggerable Monostable Multivibrator
74HC125P	Quad 3-Stage Noninverting Buffer
74HC126P	Quad 3-Stage Noninverting Buffer
74HC131P	3-Line to 8-Line Decoder/Latch
74HC132P	Quad 2-Input Schmitt NAND
74HC133P	13-Input NAND Gate
74HC137P	1-of-8 Decoder/Demultiplexer with Address Latch
74HC138P	3 to 8-Line Decoder
74HC139P	Dual 2 to 4-Line Decoder
74HC147P	10 to 4-Line Priority Encoder
74HC148P	8 to 3-Line Priority Encoder
74HC149P	8-Line to 8-Line Priority Encoder
74HC150P	16-Line to 1-Line Multiplexer
74HC151P	8 to 1-Line Multiplexer
74HC153P	Dual 4 to 1-Line Multiplexer
74HC154P	4-Line to 16-Line Decoder/Demultiplexer
74HC155P	Dual 2 to 4-Line Decoder/Demultiplexer
74HC157P	Quad 2 to 1-Line Multiplexer
74HC158P	Quad 2 to 1-Line Multiplexer(INV.)
74HC160P	SYNC.Decade Counter
74HC161P	SYNC.Binary Counter
74HC162P	SYNC.Decade Counter
74HC163P	SYNC.Binary Counter
74HC164P	8-Bit SIPO Shift Register
74HC165P	8-Bit PISO Shift Register
74HC166P	8-Bit Shift Register(PI,S0)
74HC173P	Quad D-Type Register(3-State)
74HC174P	Hex D-Type Flip-Flop
74HC175P	Quad D-Type Flip-Flop
74HC180P	9-Bit Odd/Even Parity
74HC181P	4-Bit Arithmetic Logic Unit
74HC182P	Carry Lookahead Generator
74HC190P	Presetable-BCD Up/Down Counter
74HC191P	Presetable 4-Bit Binary Up/Down Counter
74HC192P	SYNC.Up/Down Decade Counter
74HC193P	SYNC.Up/Down Binary Counter
74HC194P	4-Bit PISO Shift Register
74HC195P	4-Bit PISO Shift Register

74HC221P	Dual Monostable Multivibrator
74HC237P	3-Line to 8-Line Decoder with Address Latch
74HC238P	3-to-8 Line Decoder
74HC240P	Octal Bus Buffer(INV.)
74HC241P	Octal Bus Buffer
74HC242P	Quad Bidirectional Bus Buffer(INV.)
74HC243P	Quad Bidirectional Bus Buffer
74HC244P	Octal Bus Buffer
74HC245P	Octal Bidirectional Bus Buffer
74HC251P	8 to 1-Line Multiplexer(3-State)
74HC253P	Dual 4 to 1-Line Multiplexer(3-State)
74HC257P	Quad 2 to 1-Line Multiplexer(3-State)
74HC258P	Quad 2 to 1-Line Multiplexer(3-State/INV.)
74HC259P	8-Bit Addressable Latch
74HC266P	Quad Exclusive NOR Gate
74HC273P	Octal D-Type Flip-Flop
74HC280P	9-Bit Odd/Even Parity Generator/Checker
74HC283P	4-Bit Binary Full Adder
74HC292P	Programmable Frequency Divider/Digital Timer
74HC294P	Programmable Frequency Divider/Digital Timer
74HC298P	Quad 2-Input Multiplexers
74HC299P	8-Bit Bidirectional Universal Shift Register
74HC354P	8-Input Multiplexer
74HC356P	8-Input Multiplexer
74HC365P	Hex Bus Buffer
74HC366P	Hex Bus Buffer(INV.)
74HC367P	Hex Bus Buffer
74HC368P	Hex Bus Buffer(INV.)
74HC373P	Octal D-Type Latch
74HC374P	Octal D-Type Flip-Flop
74HC375P	Quad D-Type Latch
74HC386P	Quad 2-Input Exclusive-OR Gate
74HC390P	Dual Decade Counter
74HC393P	Dual Binary Counter
74HC423P	Dual Retriggerable Monostable Multivibrator
74HC490P	Dual 4-Bit Decade Counter
74HC533P	Octal D-Type Latch(INV.)
74HC534P	Octal D-Type Flip-Flop(INV.)
74HC540P	Octal 3-State Inverting Buffer/Line Driver/Line Receiver
74HC541P	Octal 3-State Noninverting Line Driver/Line Receiver
74HC563P	Octal D-Type Latch(INV./3-State)
74HC564P	Octal D-Type Flip-Flop(INV./3-State)

74HC573P	Octal D-Type Latch(3-State)
74HC574P	Octal D-Type Flip-Flop(3-State)
74HC589P	8-Bit Shift Register with 3-State Output
74HC595P	8-Bit Shift Register with Latched 3-State Output
74HC597P	8-Bit Shift Register with Input Latch
74HC640P	Octal Bidirectional Bus Buffer
74HC643P	Octal Bidirectional Bus Buffer
74HC646P	Octal 3-State Noninverting Bus Transceiver and D F.F.
74HC648P	Octal 3-State Inverting Bus Transceiver and D F.F.
74HC670P	4 wordX4-Bit Register File
74HC4002P	Dual 4 Input NOR Gate
74HC4015P	Dual 4-Bit Shift Register
74HC4016P	Quad Analog Switch/Multiplexer/Demultiplexer
74HC4017P	Decade Counter/Divider
74HC4020P	14-Stage Binary Counter
74HC4022P	Octal Counter/Divider
74HC4024P	7-Stage Binary Counter
74HC4028	BCD to Decimal Decoder
74HC4029P	Binary to BCD Decoder
74HC4040P	12-Stage Binary Counter
74HC4049P	Hex Buffer(INV.)
74HC4050P	Hex Buffer
74HC4051P	8-Channel Analog Multiplexer
74HC4052P	Dual 4-Channel Analog Multiplexer
74HC4053P	Triple 2-Channel Analog Multiplexer
74HC4060P	14-Stage Binary Counter/OSC.
74HC4066P	Quad Bilateral Switch
74HC4067P	16-CH Analog Multi/Demulti
74HC4072P	Dual 4-Input OR
74HC4075P	Triple 3-Input OR Gate
74HC4078P	8-Input NOR Gate
74HC4094P	8-Bit SIPO Shift Register/Latch(3-State)
74HC4515P	4 to 16-Line Decoder/Latch
74HC40102P	8-Bit SYNC.BCD Down Counter
74HC40103P	8-Bit Binary Down Counter
74HC40104P	4-Bit Bidirectional Register
74HC40105P	4-BitX16W FI FO Reg

## 9-9抵抗とコンデンサーの系列（本文に解説あり）

## E6系列

1.0	1.5	2.2
3.3	4.7	6.8

## E12系列

1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7
3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2

## E24系列

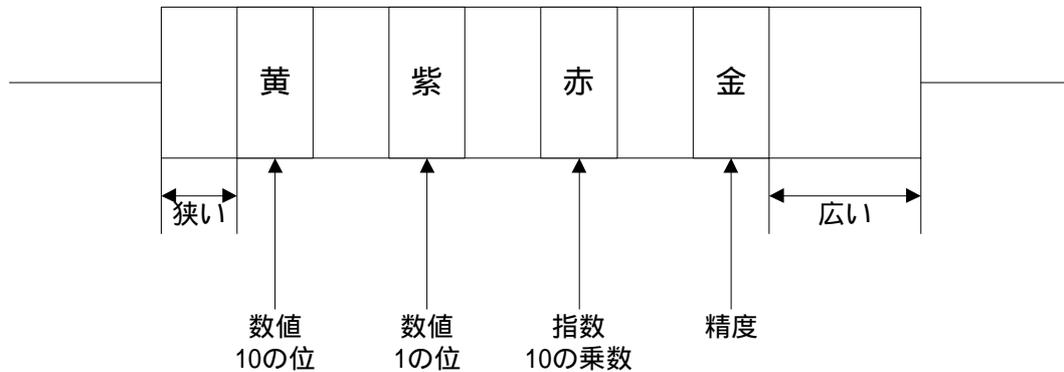
1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

## E96系列

1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69
1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26
2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01
3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02
4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36
5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15
7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53

### 9-10 抵抗器のカラーコード

抵抗器などの電子部品は、部品に直接その値を記入しておくのが望ましいのであるが、大きさの小さい部品までそのようにすると、文字が小さくなりすぎて肉眼では読めなくなってしまう。そこで、その値を色により識別できるようにしたのがカラー・コードである。カラー・コードはJIS(日本工業規格)により規定されている。その詳細は次のように、抵抗器の端に近い方から数値(2桁)、指数(10の乗数)、精度の順に色が付けられている。その数値(2桁)に指数を掛けたものが、その抵抗器の値である。精度は最後の色が示している。



色による数値を次表に示す。

色	値	乗数	倍率	結果	精度(許容差)
黒	0	$10^0$	$\times 1$	? ? $\Omega$	
茶	1	$10^1$	$\times 10$	? ? 0 $\Omega$	$\pm 1\%$
赤	2	$10^2$	$\times 100$	? . ? k $\Omega$	$\pm 2\%$
橙	3	$10^3$	$\times 1,000$	? ? k $\Omega$	
黄	4	$10^4$	$\times 10,000$	? ? 0 k $\Omega$	
緑	5	$10^5$	$\times 100,000$	? . ? M $\Omega$	$\pm 0.5\%$
青	6	$10^6$	$\times 1,000,000$	? ? M $\Omega$	
紫	7	$10^7$	$\times 10,000,000$	? ? 0 M $\Omega$	
灰	8	$10^8$	$\times 100,000,000$	使われない	
白	9	$10^9$	$\times 1,000,000,000$	使われない	
金		$10^{-1}$	$\times 0.1$		$\pm 5\%$
銀		$10^{-2}$	$\times 0.01$		$\pm 10\%$
—					$\pm 20\%$

おわりに

ここまで読んで来られたあなたには、電気と電子の世界の言葉が一通り通じるようになっているはずである。冒頭にも述べたが、現在は本当のエレクトロニクス・エンジニアは非常に数が少ない。まして、動力や摩擦などの力学計算となると、敬遠してしまって、無責任になる電気・電子技術者が多い。

確かに、モーターの動力や加速度に関する計算は、電気工学の一分野でもあるが、実際には他に勉強することが多くて、とてもそこまで手が回らない。また、電子工学にしても非常に奥が深いため、力学を学んでいる余裕はない。なにしろ、電子工学の世界は日進月歩であり、ちよっとでも油断すればすぐに置いて行かれるからである。

そうした中で、機械エンジニアには力学の基礎を身に付けている人が多い。そこで、それらの人がエレクトロニクスを少しでも理解してくれれば、実際の設計や製造の現場で、これほど心強い人はいない。

私も多少そうであるが、基本的にエレクトロニクス技術者というのは、モーターに電気信号を送ってしまえば、あとのことは何が起ころうとも責任を機械技術者に押しつけて、知らん顔をしているのである。

特に最近大幅に数が増えているコンピューターのプログラマーにはこの傾向が強い。それは、彼らが(彼女らが)育ってきた環境が、もうすでにコンピューターという道具がそこにあつたために、その道具の使い方には優れた能力を発揮するものの、それをセンサーやアクチュエーターにつなげたり、機械を動かしたりすることには興味すらないのである。

エレクトロニクスは難しいと良く言われるが、それは電磁気学や交流理論、ブール代数などが難しいだけであって、実際の現象としては力学と何ら違いはない、単なる自然現象なのである。そしてこれらの難しい理論は、モーターを作ったり、通信機を作ったり、コンピューターを作ったりするのでなければ、特に必要のない学問ばかりである。もちろん、知っていれば何かの役に立つかも知れないが、これらが理解できなくても、エレクトロニクスは十分できるのである。

エレクトロニクスを扱う上で、生命の危険があるのは高電圧による感電と、大電流による発熱、高周波や放射線などの電磁波の影響などである。従って、作業を行う際にはこれらの危険分子に十分注意し、どんな実験でもブレーカーやヒューズなどの安全装置を必ず挿入するように気を付ければ、最悪でも部品が壊れるだけで済むことが多いため、あまり難しく考えずに、とりあえずやってみることをお勧めする。

<http://www.serial.co.jp/electronics/>

Copyright(c) 2006 by Yutaka Takami All Right Reserved. 高見 豊