

## 実際のおもちゃの電子回路

志村 健次

### ■はじめに

おもちゃに使用されている電子回路を理解するには、やはり実際に使用されているものを研究することが最も手っ取り早いと思います。

最近のおもちゃの電子回路はIC (Integrated Circuits) 化されており、その中身は分かりませんが殆どがマイクロコンピュータとなっているようです。

すなわちこれはROM (Read Only Memory) 化されたプログラムによって動いているのです。ですからおもちゃドクターとしては手も足も出せませんが製品としては単純化されており、ダイオードやトランジスター回路の基本さえ知っておれば簡単に理解できます。

さて、今回おもちゃメーカーであるトイボックスの石川純一様のご誠意により、当社の人気商品である「やわらかトーマス」のメカ部品を提供していただきましたので、これを使いトランジスター等の電子回路について研究してみたいと思います。

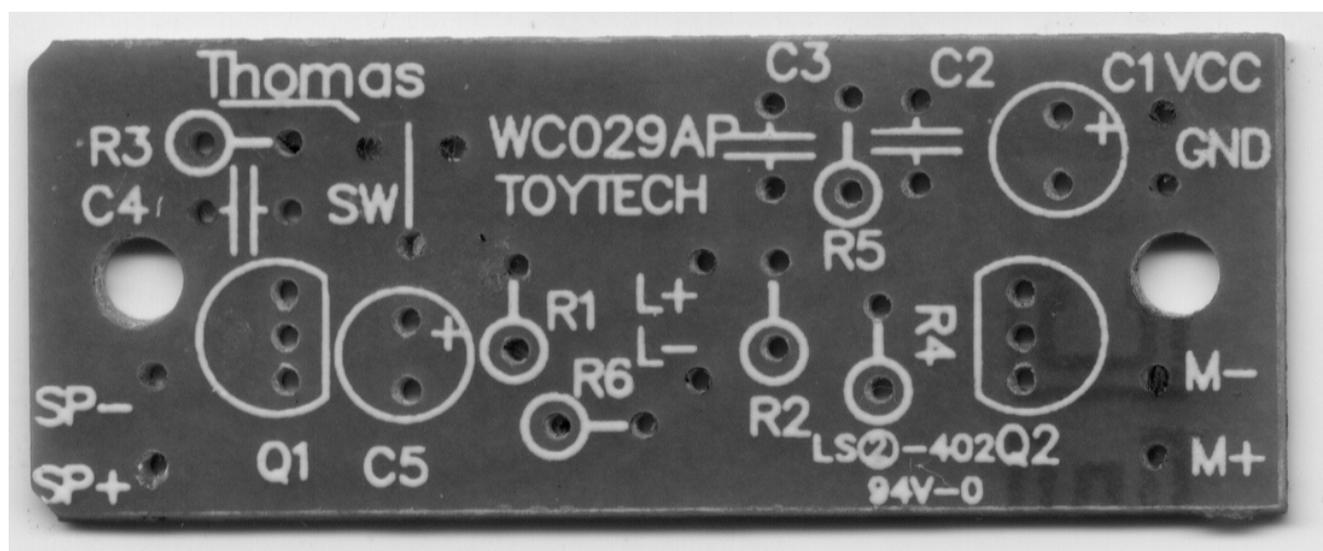
「やわらかトーマス」の電子回路は非常にシンプルでしかも同様な機能を持った幼児用玩具の基本的なものをすべて持っています。私の少ない経験からですが研究材料としては最も適していると思います。

### ■回路図の作成

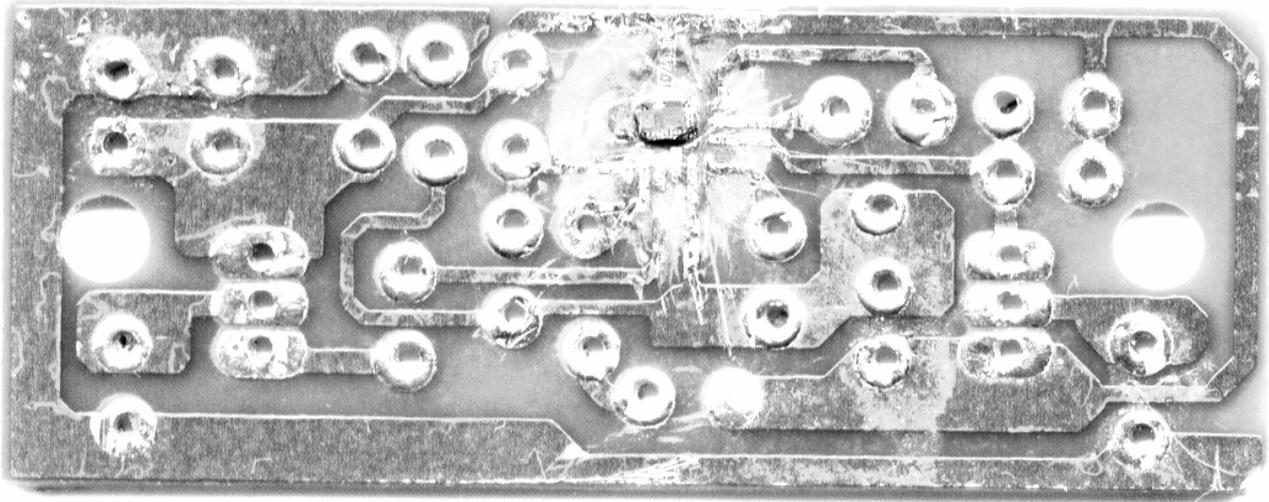
下図の写真が部品を外した状態の電子回路基板です。

上が部品側、下がプリント配線側です。左右が反転していますので注意してください。

部品側には装てんする部材が印刷されているので分かりやすいと思います。



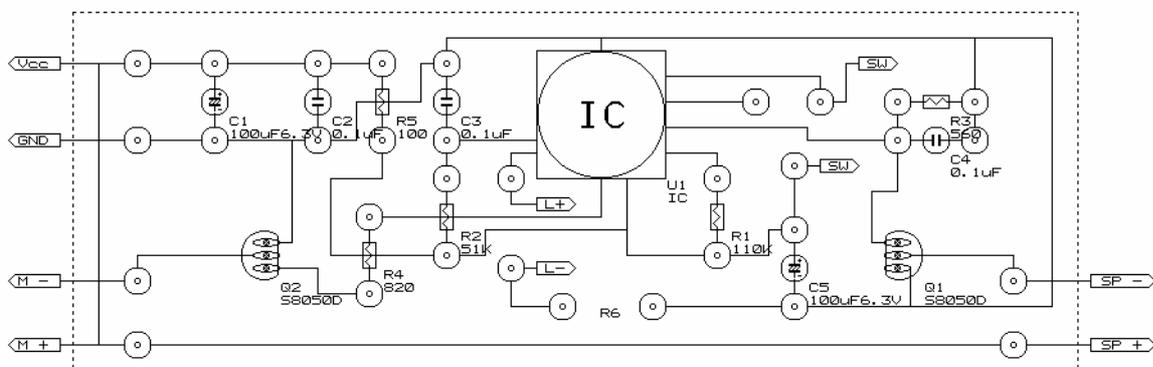
部品側の写真



配線側の写真

配線側の中央少し上の所が IC です。なんとか動く状態で IC の保護用ピッチを取ろうとしましたが、見事に失敗いたしました。しかも IC が欠けてしまい自分の浅はかさを露呈してしまいました。基板作成の工程を効率化するためにこのような作りにするのでしょうか。基板そのものが一個の IC と成っているようなものです。

下の図は回路図を作成するために私が行っている作業の途中過程で、配線側を見ながらパッド（部品を取り付けるための穴のある部分）を基準にしなが配線を書き写します。次にパッド間に部品記号や分かりやすい図形を使用して部品を書き写します。

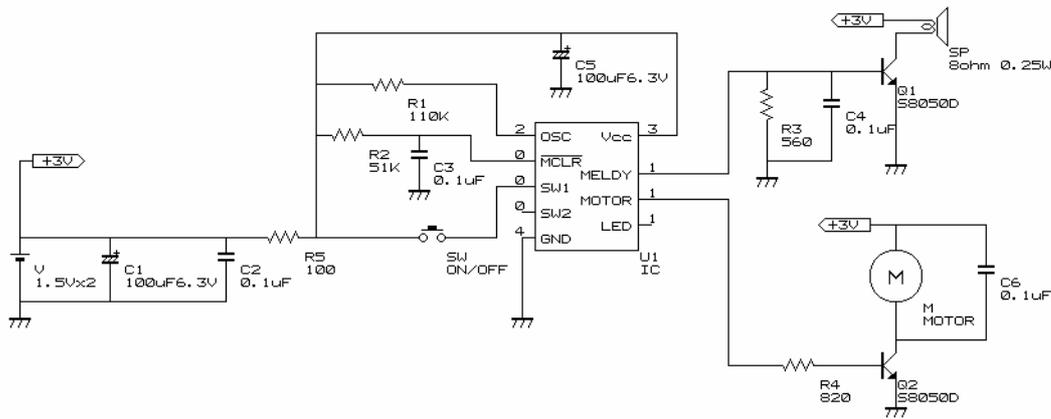


基板の配線と部品の見取り図

ここまでの作業が結構大変な作業ですが、これがあると問題点など見つけるのに大変助かります。ここからは、必要な部分だけを必要に応じて回路図に書き換え、問題点の検討や対策などを立てるのです。

今回は全体の働きを考えますので、すべてを回路図にします。あまり綺麗にはまとまりませんが、下図のようになります。IC のピン番号は適当で意味がありませんので気にしないでください。また、IC の端子で LED というのがありますが、私の勝手な創造です。しかも、実際にはプログラムされておらず機能していませんでした。スイッチの SW1 が Thomas 側で実際に配線されている側です。

「やわらかトーマス」 TOYBOX



基板の回路図

■部品の説明

先にも書きましたがこの回路は基本的なものをすべて持っていますので、簡単にそれぞれの部品の働きを私の独断と偏見で説明しておきます。

- V : 単3型乾電池2本 3Vで動作します。電源用のスイッチは付いていませんので電池が装てんされていると僅かですがICにより電流が消費されていると思います。  
ここからのプラス側はスピーカーとモーターの負荷回路に直接配線されています。  
マイナス側がグランドとなっています。
- C1 : 100uF6.3Vの電解コンデンサーです。負荷の変動による電圧の急激な変化をカバーします。  
コンデンサーは電気を蓄えることができるのでそれを利用している。
- C2 : 0.1uFのコンデンサー こちらは交流分の電気を通し易いという性質を利用しています。  
スピーカーとかモーターからは高い周波数成分のノイズが発生しますので、それらを速やかにアースに逃しています。
- R5 : 100Ωの抵抗器です。IC回路にノイズの少ない安定した電圧を加えるためあります。  
もちろんここでの電圧降下はありますがIC回路の電流が少ないので電圧降下分も僅かです。
- C5 : 100uF6.3Vの電解コンデンサー、C1と同じ機能です。IC回路の急激な電圧変化をカバーしています。  
コンピュータ回路の電気信号は主に方形波が使用されています。いわゆるデジタル信号ですから高周波成分が多く含まれており電圧変化が急激ですし、ノイズなども発生し易いのです。
- R1 : 110KΩの抵抗器です。ICの発振回路に使用されています、通常百KΩからMΩ（メガ：1000KΩ）単位の抵抗が使用されています。正確で安定なクロックを必要とする場合は水晶振動子が使われることもあります
- R2,C3 : 51KΩの抵抗と0.1uFのコンデンサーです。これらは通常ペアで使用されており、電子回路の積分回路と称してよく使われています。  
一定の時間を作り出す場合に抵抗とコンデンサーの値を適当に変えて目的の時間を作ります。  
この場合は電源をオン（電池を挿入）した後のコンピュータを初期状態にするために使用されています。

**SW :** モーメンタリータイプのスイッチが使われています。鍵盤があるタイプのおもちゃなどでよく使われているゴム製のパッドタイプのスイッチでも機能します。抵抗値が 50K $\Omega$ 程度までならうまく働きました。光や音などもスイッチの応用例として考えられます。

**IC :** このプリント基板のメイン部品です。WC029AP と基板上に書いてありますがこれが IC の型番でしょうか？よくは分かりません。  
Vcc は平滑された 3V の電源プラス側に接続します。GND は電源マイナス側に接続します。

OSC は R1 の説明でも書きましたが、IC 内部で使用するクロック周波数を決めるための端子です。この端子はハイインピーダンス（インピーダンスとは交流分を含めた抵抗のことです）ですので指などで触れると異常動作をすることがあります。

MCLR は IC（コンピュータ）を初期化するための端子で、電圧が 0V に近い Low の状態のとき有効となります。したがって電源を入れた後電圧が安定するまでのしばらくの間 Low が続き IC をリセット状態にします。

SW1 と SW2 は電圧の+3V 側に近い Hi の状態が有効となります。ここでは SW2 は使用されていませんが SW1 と同じ動作をするようにプログラムされているようです。  
以上が入力端子です。次からは出力端子の説明になります。

MELODY 端子は 3 種類の電子音によるメロディー信号を出力します。IC が休止時は 0V（Low）の状態です。SW が押されて動作状態になると矩形波によるメロディー信号が出力されます。1 回の SW オンで同じメロディーが 3 回出力されるようにプログラムされています。  
動作中に SW が押されると即休止状態に入ります。

MOTOR 端子は休止時には Low となっており、動作時には Hi の状態が続きます。

LED 端子は使用されていません。常に Low 状態です。（残念です）

**R3 :** IC のメロディー出力端子の負荷抵抗で、出来るだけ効率よく音に変えるため整合を取っている抵抗です。実際には C4 と Q1 の入力抵抗の並列インピーダンスとなります。

**C4 :** 0.1 $\mu$ F のコンデンサーです。IC で作られるメロディーの信号は矩形波が元になっています。矩形波には周波数の非常に高い成分が含まれていますので、この高調波を取り除き可聴周波数成分に近いものだけを取り出すためのフィルターの働きをしています。

**Q1 :** S8050D NPN 型のトランジスターです。この S8050 は中国製で、多くのおもちゃで使用されています。私の感じでは結構丈夫なようです、と言うかトランジスターの規格的に見て余裕のあるものです。今回トイボックスさんから提供していただいた商品では別の名前になっていますが刻印が不鮮明で読み取れませんでした。でも性能的には同じと考えてよいと思います。  
IC から出力されたメロディー信号を電力増幅してスピーカーにて音として出せるようにしています。

**SP :** どなたも御存知のいわゆるダイナミックスピーカーです。音質は結構よいタイプです。

**R4 :** 820 $\Omega$  の抵抗器です。Q2 トランジスターに適切な電流を流すよう制限をする働きをしています。

**Q2 :** Q1 と同様の S8050D NPN 型トランジスターです。IC からの信号によってモーターに駆動電流を流す働きをしています。

**M :** 1.5V~3.0V 程度で使用する DC モーターです。このおもちゃの場合はシャフトの両端に重石をつけて振動モーターとして使用しています。

**C6 :** 0.1 $\mu$ F のコンデンサーです。DC モーターはブラシと整流子により電力を供給するため回転時にスパ

ーク（火花）が発生し、これがノイズとなって電子回路に影響を与えます。このスパークを少なくするためにこのコンデンサーをモーターの端子間に直接接続します。  
 コンデンサーの容量はモーターの制御方法で変わってきますが、このおもちゃの場合は大き目のものを使用しています。

以上がこのおもちゃで使用されている電子部品の種類と大まかな働きです。  
 このおもちゃにはメインスイッチがありません。電池がセットしてあれば何時でも動ける状態となっています。従って IC には僅かですが停止時でも電流が流れています。長時間遊ばないときなどは電池を取り外しておかないと電池関係のトラブルの元となります。  
 最近この形式のおもちゃを多く見かけます。使用者に注意を促すことが必要だと思います。

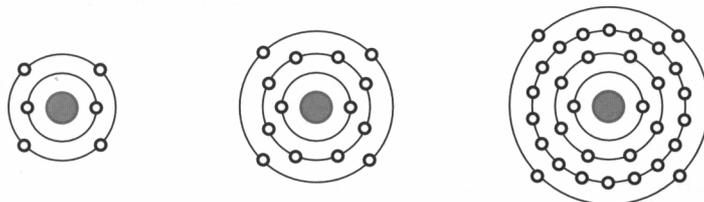
## ■半導体

トランジスターを知るためにはまず半導体について少しだけ知っておくことがあります。難しいことはありません。

半導体とは電気をよく通す導体でもなく電気を通さない絶縁体でもない中間的な存在のものです。中間的とは電気の通り具合を調整できるようにした物質です。実際に広く使われているものは、シリコン・ゲルマニウムの高純度のものに不純物としてホウ素やヒ素などを適量混ぜることにより作られています。そしてこの不純物として混ぜ合わせた物質によって 2 種類のタイプの違うものが出来るのです。

シリコン・ゲルマニウム + ホウ素 (ボロン) → P 型半導体 電子が不足したタイプ  
 シリコン・ゲルマニウム + リン・ヒ素 → N 型半導体 電子 (自由電子) が多いタイプ

外側の電子が4個の仲間

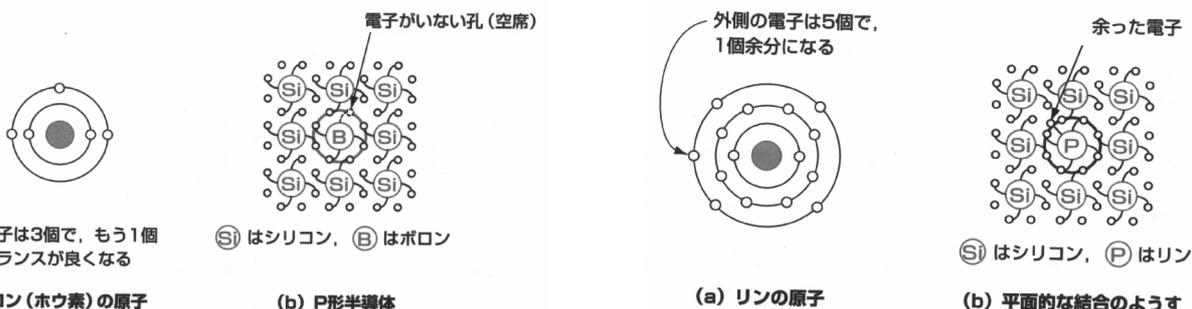


炭素

シリコン

ゲルマニウム

半導体の元となるもの



外側の電子は3個で、もう1個あるとバランスが良くなる

Ⓢはシリコン、ⓑはボロン

Ⓢはシリコン、ⓐはリン

(a) ボロン (ホウ素) の原子

(b) P形半導体

(a) リンの原子

(b) 平面的な結合のようす

P 型半導体

N 型半導体

シリコンやゲルマニウム原子の一番外側には 4 個の電子があります。この電子が隣の原子と共有結合をして結晶となっています。

ここに一番外側に 3 個の電子のあるホウ素などをほんの少しだけ混ぜて結晶を作ると周囲のシリコンに対して電子が一つ不足します。これを正孔 (hole) と呼び電流の運び手となります。これが P 型半導体です。

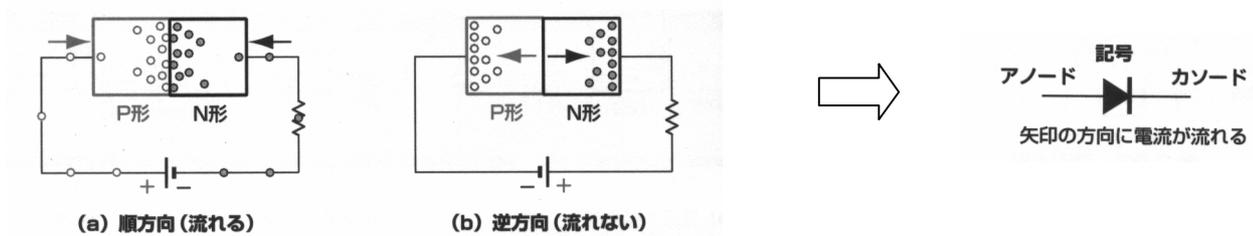
P はプラスの意味の positive から来ています。

また一番外側に 5 個の電子のあるリンなどを混ぜると今度は電子が 1 つ余ってしまいます。これが自由電子と

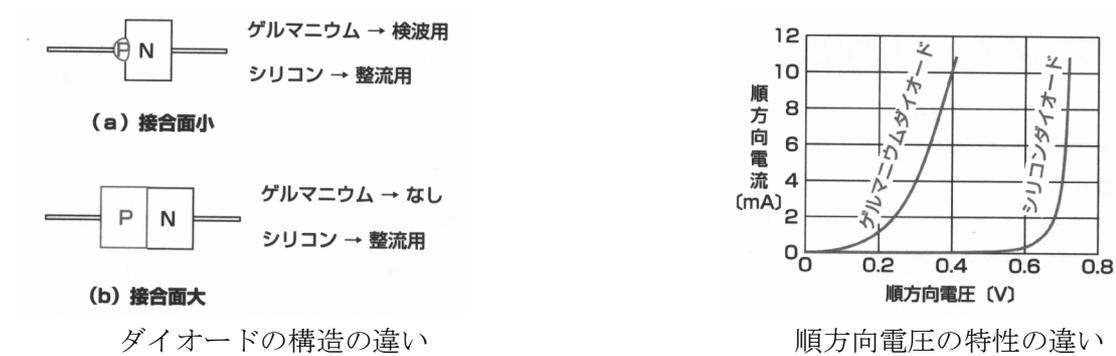
なり電流を運びます。これがN型半導体です。Nはマイナスの意味の **negative** から来ています。

## ■ダイオード

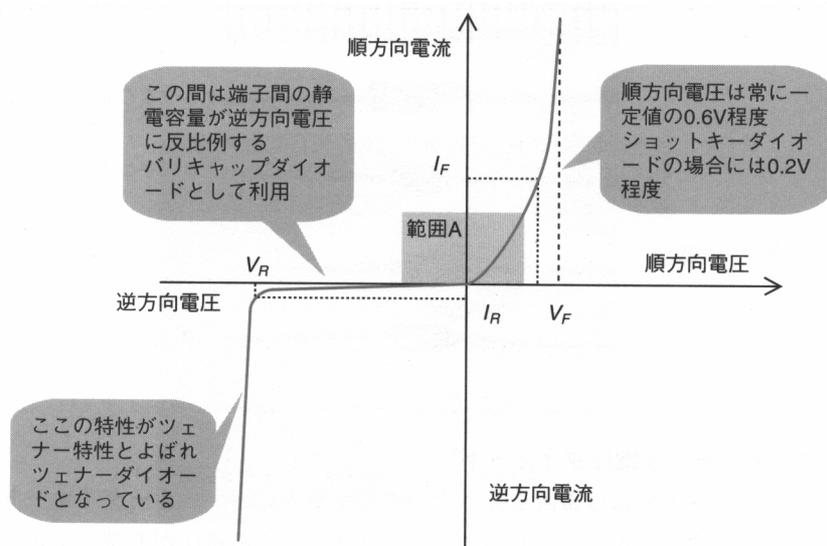
半導体が出来ただけでは面白くありません。ここから面白いのです。異なったタイプの半導体同士を特殊な方法で接続しそこに電圧をかけてみます。すると電圧をかける向きにより電流が流れたり流れなかったりするのです。これがダイオードです。



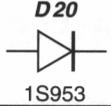
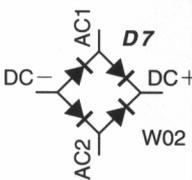
先の話題の中で半導体の元になった材料にシリコンとゲルマニウムがありましたが、この材料の違いによって特性の違うシリコンダイオード、ゲルマニウムダイオードが出来ます。



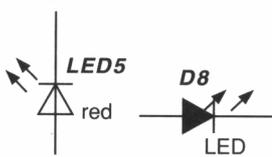
ダイオードは色々な特性を持っています。その特性を生かした使用方法によって何種類かのタイプのダイオードが作られています。発光ダイオードもダイオードの仲間です。半導体に特定の不純物が混入していると、不純物の種類により特定の波長の光が放出されます。これを効率よく発生するようにしたものです。



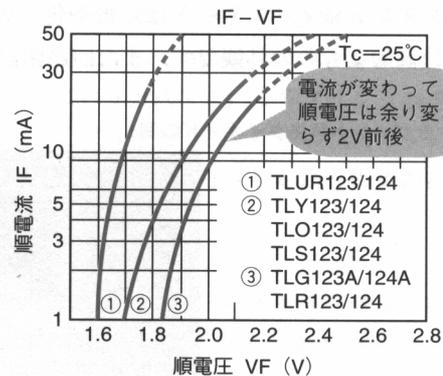
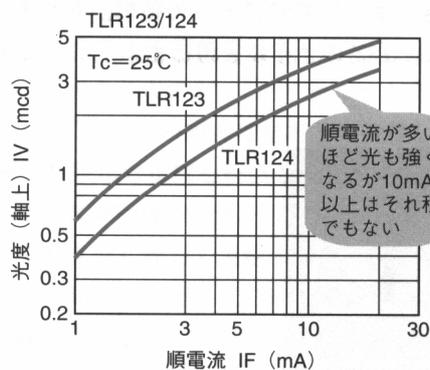
ダイオードの基本特性

回路図記号	略号	名称	機能・特徴
 D20 1S953	D	汎用ダイオード PINダイオード	整流, スイッチング, 検波用 小型で周波数特性が良い
 D6 RD5A	ZD	ツェナーダイオード	定電圧作用ダイオード 一定の電圧降下特性を示す
 D4 1SS99	SD	ショットキー ダイオード	高周波スイッチング用 降下電圧が低い特性も利用されている
 D5 1SV101	VD	バリキャップ	可変容量ダイオード 電子同調用に使う 数pFから数100pFまで範囲が広い
	DB	ダイオードブリッジ	電源整流用で4個の整流ダイオードが1個の中に実装されてモジュール化されたもの。耐電圧, 電流量によって多くの種類がある。

ダイオードの種類と記号

回路図記号	略号	名称	特徴
	LED (Light Emitting Diode)	発光ダイオード	赤, 緑, 黄, 青があり, これ以外に白もある。 電流を流す量に比例して明るく光る

発光ダイオードの記号



発光ダイオードの特性

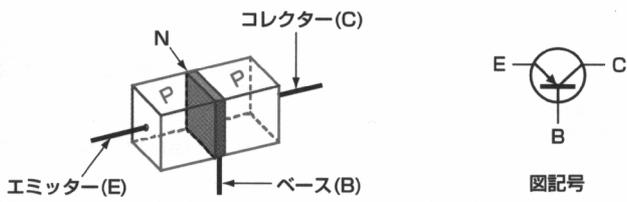
## ■ トランジスター

2本足の半導体がくれば次は3本足の半導体です。

P型半導体とN型半導体を組み合わせたものを作ると面白いことが起こります。

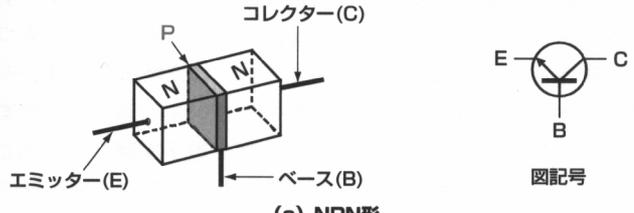
一見するとダイオードを向かい合わせに置き、間に電極を付けた形です。でも内部の構造は少々変わっており、間に挟まれた半導体は非常に薄くできています。此处に仕掛けがあるのです。

そうして出来たものがトランジスターです。間に挟まれた半導体をベースと呼び、両端の一方をエミッター、反対側をコレクターと呼びます



(b) PNP形

PNP 型トランジスタの仕組み



(a) NPN形

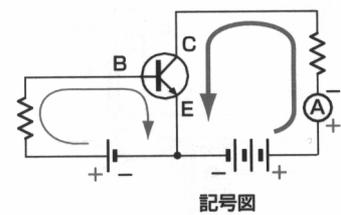
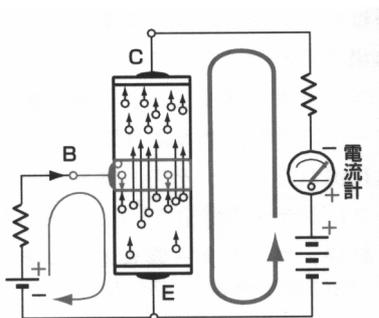
NPN 型トランジスタの仕組み

N 型半導体を P 型半導体で挟んだものを PNP 型トランジスタ、P 型半導体を N 型半導体で挟んだものを NPN 型トランジスタと呼びます。違いは電流の流れる向きが逆になります。この違いを利用して回路にあわせていろいろ組み合わせて使用します。

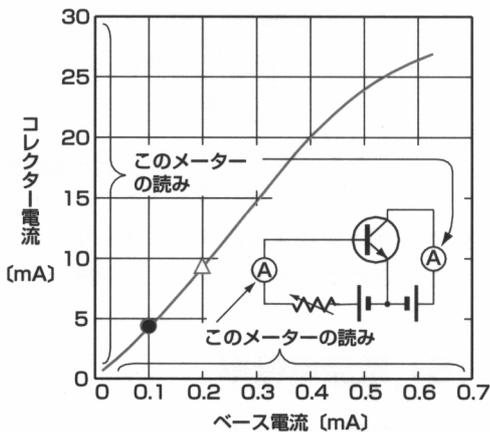
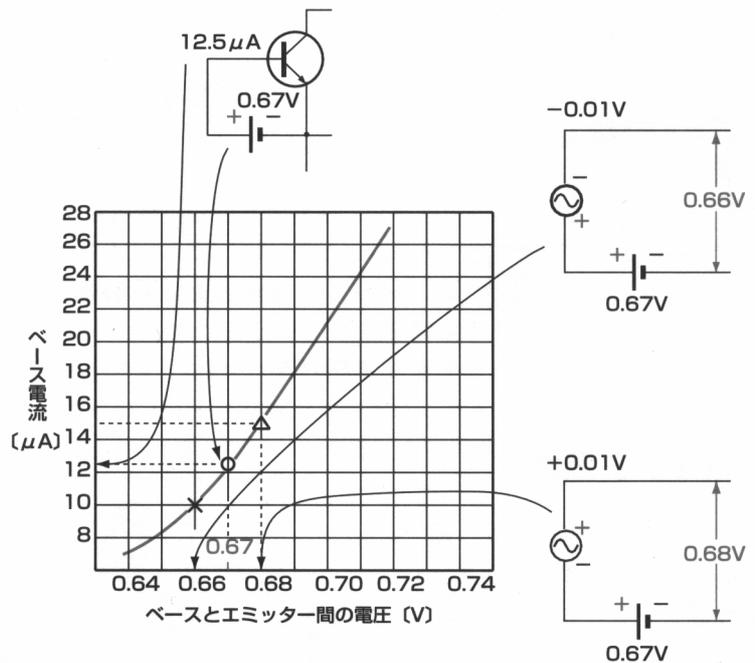
一般的によく使われるトランジスタは NPN 型シリコン・トランジスタですので、このタイプで話を進めます。

下図のような回路を作りベースとエミッタとの間の電圧を徐々に高くして行きますと 0.6V 付近から急にベースとエミッタ間、コレクタとエミッタ間に電流が流れはじめます。この電圧はシリコンダイオードの順方向電圧（順電圧）と同じです。その後はベース電流とコレクタ電流がほぼ比例して増加して行きます。

しかし此処で注目することは電流の量の違いです



記号図



トランジスタの特性

上図の場合で見ると、ベース電流 (Ib) が 0.1mA 変化するとコレクター電流 (Ic) は 5mA 変化しています。これは小さな電流が大きな電流に増幅されたと言います。この割合をトランジスタの電流増幅率 (hFE) と言います。ベース電流 (Ib)、コレクター電流 (Ic) と電流増幅率 (hFE) の関係を式に表すと次のようになります。

$$I_c = I_b \times hFE$$

トランジスタのコレクター電流は負荷に何が接続されていようともコレクターとエミッター間に約 0.5V 以上の電圧が加わっておれば負荷抵抗の大きさに関係なくベース電流のみによって決まります。ベース電流によってコレクターエミッター間の抵抗値が必要な電流が流れるように変化するのが、これがトランジスタの性質です。

電流増幅率も個々のトランジスタによって色々大きさに違いがありますが、その他にも大変重要な特性があります。それは最大定格と呼ばれるものです。どんなものにも使える限界というものがあり、それを越えて使うと性能が落ちるのはもちろんですが壊れてしまう可能性もあります。

- 1 : 最大コレクター電圧  
エミッターに何もつながらないときのコレクターとベース間に加えられる最大電圧  $V_{CBO}$   
ベースに何もつながらないときのコレクターとエミッター間に加えられる最大電圧  $V_{CEO}$
- 2 : 最大コレクター電流  
そのトランジスタに流しても壊れない最大のコレクター電流  $I_c$
- 3 : 最大コレクター損失  
トランジスタに電圧を加えて電流を流すと電力を使いますので熱になります。その熱が大きいとトランジスタが焼けてしまいますのでその最大の電力を最大コレクター損失と表します  $P_c$

トランジスタはこの値を目安にして使用します。これらの値は規格表に必ず表示して有ります。

- 110 -

型名	社名	用途	最大定格 (Ta=25°C, *印はTc=25°C)					電気的特性 (Ta=25°C) [*印はtyp値]									
			Vcbo (V)	Vceo (V)	Ic(DC) (A)	Pc (W)	Pc* (W)	Icbo(max) (μA)	Vcb (V)	hFE (min)	hFE (max)	Vce (V)	Ic/Ie (A)	Vce(sat)(max) (V)	Vbe(sat)(max) (V)	Ic (A)	Ib (A)
2SC1741S	ローム	PA	40	32	0.5	0.3		1	20	82	390	3	0.1	0.6		0.5	0.05
2SC1755	三洋	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005
2SC1756	三洋	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005
2SC1757	三洋	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005
2SC1775	日立	LF LN A	90	90	0.05	0.3		0.5	75	400	1200	12	0.002	0.5		0.01	0.001
2SC1775A	日立	LF LN A	120	120	0.05	0.3		0.5	100	400	1200	12	0.002	0.5		0.01	0.001
2SC1780A	三菱	LF LN A	120	120	0.05	0.2		0.1	100	250	800	6	0.001	0.6		0.01	0.001
2SC1789	松下	HF OSC	25	18	0.05	0.4				50	200	10	0.002				
2SC1809	ローム	HF A	25	20	0.02	0.15		0.5	20	39	180	6	0.001	0.1*		0.01	0.001
2SC1809S	ローム	HF A	25	20	0.02	0.15		0.5	20	39	180	6	0.001	*0.1		0.01	0.001
2SC1815	東芝	LF A	60	50	0.15	0.4		0.1	60	70	700	6	0.002	0.25	1	0.1	0.01
2SC1815L	東芝	LF A	60	50	0.15	0.4		0.1	60	70	700	6	0.002	0.25	1	0.1	0.01
2SC1840	日電	LF A	40	35	0.1	0.5		0.05	40	200	800	6	0.001	0.3	1	0.1	0.01
2SC1841	日電	LF A	120	120	0.05	0.5		0.05	120	200	800	6	0.001	0.3	1	0.01	0.001
2SC1842	日電	LF LN A	40	35	0.1	0.25		0.1	60	200	1200	6	0.001	0.3	1	0.1	0.01

- 111 -

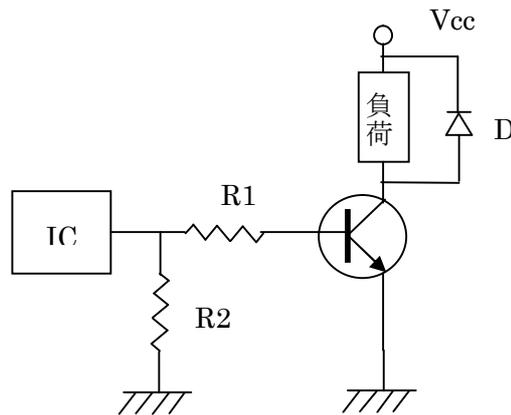
fr (MHz)	電気的特性 (Ta=25°C) [*印はtyp値]										コンプリメンタリ	外形	電極接続備考	型名
	Vce (V)	Ic/Ie (A)	ton (μs)	SW Time tf (μs)	tstg (μs)	Cob (max) (pF)	Cre (max) (pF)	その他の主要項目						
	項目	特性	測定条件											
250*	5	0.02				6.2*					2SA854S	(SPT)	ECB	2SC1741S
50	30	0.01				5.3						TO-220AB形	BCE	2SC1755
50	30	0.01				5.3						(TO-220)ド形	BCE	2SC1756
50	30	0.01				5.3						TO-220AA形	BCE	2SC1757
200*	12	0.002				1.6*	NF	MAX 1.5dB	f=1KHz/Rg=50K		2SA872	TO-92形	ECB	2SC1775
200*	12	0.002				1.6*	NF	MAX 1.5dB	f=1KHz/Rg=50K		2SA872A	TO-92形	ECB	2SC1775A
150*	6	0.001				1.8*	NF	typ 0.5dB	f=1KHz Rg=10K			TO-92形	BCE	2SC1780A
600	10	0.01					1.5	PG	f=10.7MHz			TO-92形	ECB	2SC1789
300	6	0.001				1.4*						TO-92形	ECB	2SC1809
300	6	-0.001				*1.4						SC-72(SPT)		2SC1809S
80	10	0.001				3.5	NF	max 10dB	f=1KHz Rg=10K		2SA1015	TO-92形	ECB	2SC1815
80	10	0.001				3.5	NF	max 3dB	f=1KHz Rg=10K		2SA1015L	TO-92形	ECB	2SC1815L
50	6	0.001				8						TO-92形	ECB	2SC1840
50	6	0.001				2.5						TO-92形	ECB	2SC1841
150	6	0.01				4	NV	max 50mV	Gv=80dB Rg=100K			TO-92形	ECB	2SC1842
50	6	0.001				4	NV	max 40mV	Gv=80dB Rg=100K			TO-92形	ECB	2SC1843
50	6	0.001				8	NV	max 45mV	Gv=80dB Rg=100K		2SA991	TO-92形	ECB	2SC1844

## ■ トランジスタ回路

今まではトランジスタそのものの基本を見てきました。今度はトランジスタを使用した電子回路について見ていきます。

囲碁には囲碁の定石というものがあります。電子回路にも電子回路の定石があります。そしてそれらは誰が作ってもほぼ同じになるのです。なぜならその設計上の計算式も先人達を作り出してくれているからです。そして、幼児用おもちゃの電子回路の定石はこの『やわらかトーマス』の中にあるのではないかと考えています。

### ◆ ドライバ回路の基本



ドライバ回路の基本

デジタル回路における出力は **Hi** と **Low** の電圧が出力されます。**Hi** は使用されている電源電圧によって変わってきますが、**Low** はほぼ **0V** です。

**Hi** の電圧が **0.6V** 以上あれば **R1** を通してトランジスタにベース電流が流れトランジスタが **On** となり、コレクター電流が流れることになります。

**Low** では **0V** に近いですからベース電流が流れなくなりトランジスタは **Off**、コレクター電流も流れません。

この回路での注意点を上げておきます。

- 1 : ベースに電流を流しすぎないこと。  
トランジスタを **On** にするときには、ベースに電流を流しますが制限するものがないといくらでも流れてしまいトランジスタを壊してしまいます。そこで抵抗 **R1** を挿入してやります。抵抗値は次のように計算します。

$$\begin{aligned} (\text{最大ベース電流 } (I_b)) &= (\text{最大コレクター電流 } (I_c)) \div (\text{電流増幅率 } (hFE)) \\ (\text{抵抗値}) &= (\text{Hi 電圧} - 0.6V) \div (\text{最大ベース電流 } (I_b)) \end{aligned}$$

- 2 : 電源 **On** 時に出力が不安定にならないようにすること  
**IC** などは電源 **On** 直後は出力がハイインピーダンスになっています。そのような時トランジスタは **On** でのなく **Off** でもない中途半端な状態となり電流が流れたりします。そのようなことを防ぐために抵抗 **R2** を挿入します。こうすることで、電源投入直後でもトランジスタのベース電位は **0V** となりますから、必ず **Off** 状態となり安定な状態になります。  
抵抗値はベース漏れ電流としてわずかに流れるだけですから、**10K $\Omega$**  程度の抵抗でよいです。

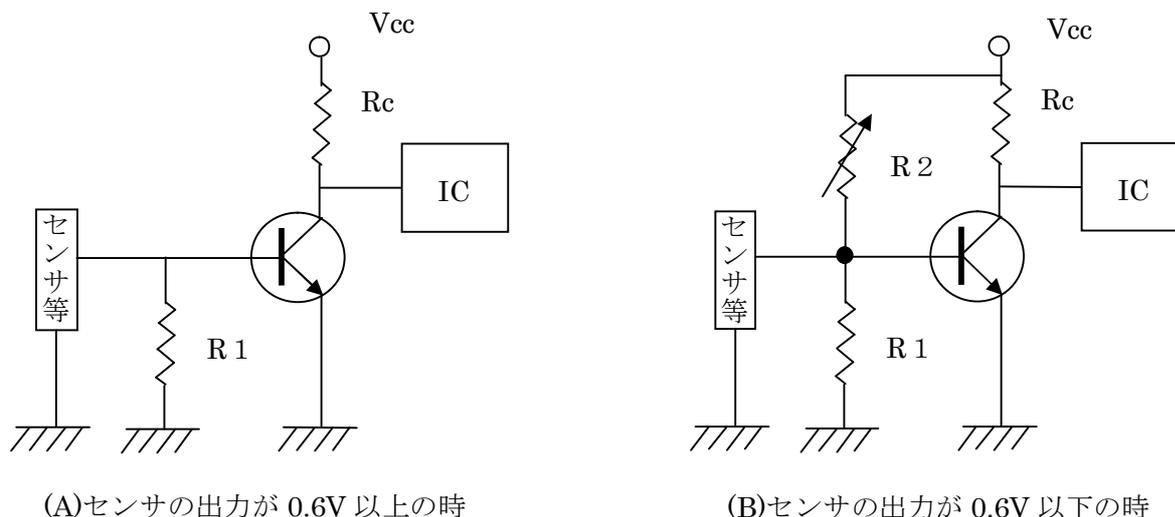
- 3 : コイルの逆起電力に注意  
負荷にモーターやリレーなどのコイルが使用されている場合は逆起電力に注意する必要があります。トランジスタが **On** から **Off** する場合に逆向きの高い電圧が発生してコレクターエミッター間に加わり、場合によってはトランジスタが壊れることがあります  
そこで、これを防ぐために負荷に並列に図のような向きでダイオードを接続します。このダイオード

により逆起電力はショートされ高電圧は発生しません。  
一般整流用のダイオードをなるべく負荷に近い位置に取り付けます。

#### 4 : トランジスタの発熱に注意

ドライブ用トランジスタの On 時には電流が流れます。これは全て熱に代わりますから、電流が多いときにはかなりの発熱になります。したがって放熱板などの対策が必要です。

#### ◆電圧レベル変換回路の基本



各種のセンサ類で出力電圧が低く、IC の On/Off を直接制御できないようなとき、トランジスタで電圧増幅をしてレベル変換を行います。

#### ●(A)センサの出力が 0.6V 以上の時

センサの出力が常時 0V に近いとすれば、その間はトランジスタは Off となり、IC への入力ほぼ電源電圧 Vcc となり Hi となります。センサ感知時にセンサ出力が 0.6V 以上になればトランジスタが On となり、IC への入力は 0V となり Low となります。

この回路での Rc、R1 の抵抗値の決定法は、まず Rc はプルアップ用で、トランジスタが Off の時に Rc を通して IC に電流が流せるようにします。IC の入力電流は数 10uA 以下と少ないですから、数 10KΩ 以下の抵抗でよく、多くは 5KΩ ~ 20KΩ 程度が使われます。

R1 はセンサが負荷に流せる電流によって決まります。小さくするとセンサの負荷が重くなってセンサ感度が下がり、大きくすると感度が上がります。多くは数 10KΩ までは大丈夫で、数 KΩ ~ 50KΩ 程度が使われます。ただし、センサによっては最適負荷抵抗値という規格があつたりするので、その時はそれに合わせた抵抗値を使います。

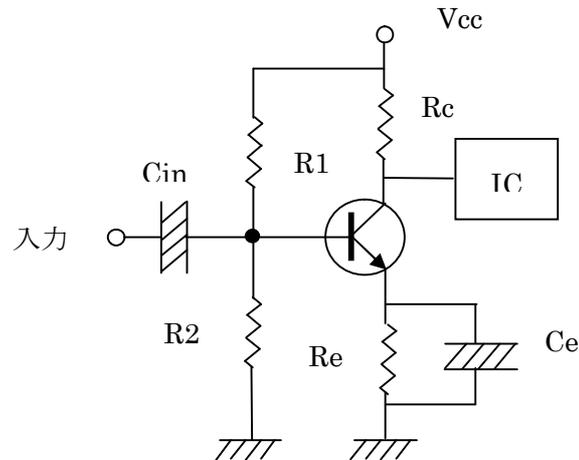
正確にはセンサの負荷としては、この R1 とトランジスタの入力抵抗が並列になります。このような時のトランジスタの入力抵抗は数 10KΩ 程度です。

#### ●(B)センサの出力が 0.6V 以下の時

センサの出力が 0.6V 以下の場合にはトランジスタを直接 On できないのでベース電圧を少し上げておき、センサ感知時に On となるようにします。

Rc に関しては(A)の場合と同じですが、R2 は数 10KΩ の可変抵抗器にします。やはりトランジスタのベース電圧は 0.6V 程度ですから、R1 と R2 の比が、0.6V 対 Vcc の比とほぼ同じくらいになるように決めます。R1、R2 とトランジスタ入力抵抗の並列抵抗が、センサの負荷となるのは同じなので、センサの負荷ドライブ能力超えないよう、R1 が数 KΩ (多くは 2KΩ から 5KΩ 程度) の抵抗になるようにします。

## ◆アナログ増幅回路の基本



アナログ増幅回路の基本

一般的な音声など比較的周波数の低いアナログ信号を増幅するための基本回路です。エミッター接地、電流帰還バイアス回路と呼ばれている標準回路で多く使用されています。

### 1 : コレクター抵抗の決定

負荷にどれほどの電流を流す必要があるかにより決まってきます。アナログ変換への入力であれば殆ど電流は必要ないので、 $I_c$  として通常は数百  $\mu A$  から数  $mA$  程度にするのが一般的です。

トランジスタの無信号時の出力電圧、つまりコレクター電圧は、電源電圧の  $1/2$  のところとすれば、出力信号として最大振幅が得られます。

$$R_c = (V_{cc}/2) \div I_c$$

(例 :  $V_{cc}=3V$   $I_c=1mA$  とすると  $R_c=1.5K\Omega \rightarrow 1K\Omega$ )

### 2 : エミッター抵抗の決定

この抵抗は増幅が安定に出来るようにする働きがあります。値の決定はラフに考えてよく、 $R_c$  の  $1/5 \sim 1/10$  程度の値にします。ただしその分だけコレクターの出力電圧が減ることになります。

$$(例 : 1K\Omega \div 10 = 100\Omega)$$

### 3 : ベース抵抗の決定

ベース電圧 ( $V_b$ ) を求めます。

無信号時には  $R_e$  に  $I_c$  の電流が流れており、ベースエミッター間電圧は約  $0.6V$  でほぼ一定です

$$V_b = I_c \times R_e + 0.6$$

(例 :  $1mA \times 200\Omega + 0.6V = 約 0.8V$ )

次にベース電流 ( $I_b$ ) を求めますが、これは電流増幅率 ( $h_{FE}$ ) から簡単に求められます。

$$I_b = I_c \div h_{FE}$$

(例 :  $h_{FE}=100$  とすれば  $1mA \div 100 = 0.01mA$ )

ここで、ベース抵抗には、このベース電流の 10 倍以上の電流を流すようにして、ベース電流の変化に対し、ベース電圧が大きく変動しないようにします。ここでは 20 倍とします。

$$R_1 = (V_{cc} - V_b) \div (20 \times I_b)$$

$$R_2 = V_b \div (20 \times I_b)$$

$$\begin{aligned} \text{(例: } R1 &= (3V - 0.8V) \div (20 \times 0.01mA) = 11K\Omega \\ R2 &= 0.8V \div (20 \times 0.01mA) = 4K\Omega \rightarrow 3.9K\Omega \end{aligned}$$

実は、このベース抵抗は重要な働きをしていて、トランジスタの電流増幅率  $hFE$  はばらつきが大きく、例では 100 としましたが、実際はこれとは大きく異なっているかもしれません。しかし、ベース電圧は大部分が抵抗の比だけで決まってしまうから、 $hFE$  が多少変わっても影響を受けず、一定の値となり安定な動作点を維持することが出来ます。

#### 4 : カップリングコンデンサ ( $C_{in}$ ) の決定

交流信号の増幅の場合には直流電圧を前段と無関係にして交流だけを通過させるようにするためカップリングコンデンサ ( $C_{in}$ ) が必要になります。この値は入力信号の最低周波数 ( $f_c$ ) に対し十分無視できるだけのインピーダンスになるようにします。  
トランジスタの入力インピーダンスを  $R_{in}$  とすると

$$f_c > 1 \div (2\pi \times R_{in} \times C_{in})$$

となるように決めます。

また入力インピーダンス  $R_{in}$  はおよそ次のようになります。

$R_{in} = R1$  と  $R2$  の並列抵抗値

(例:  $f_c$  を 20Hz とすると、 $R_{in} = 11K\Omega$  と  $3.9K\Omega$  の並列 =  $2.9K\Omega$ )

$$C_{in} = 1 / (6.3 \times 2.9K\Omega \times 20Hz) = \text{約 } 2.7\mu F \rightarrow 4.7\mu F$$

#### 5 : バイパスコンデンサ ( $C_e$ ) の決定

$C_e$  の働きは、 $R_e$  によりコレクター出力が減少しますが、これを交流に対しては  $R_e$  が小さくなるようにして効率よく出力が取り出せるようにします。従って使用する最低周波数にに対して十分低いインピーダンスになるように決めます。

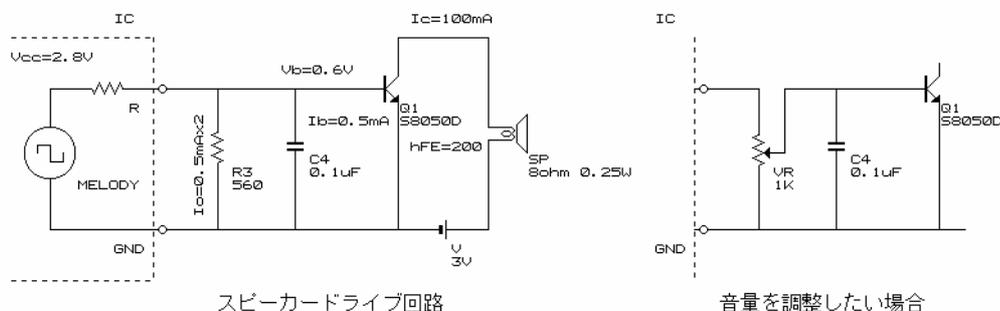
$C_e > 1 \div (2\pi \times f_c \times R_e)$  で求めます。

$$\text{(例: } C_e > 1 / (6.3 \times 20Hz \times 100\Omega) = \text{約 } 79\mu F \rightarrow 100\mu F)$$

これで決まった回路定数は、トランジスタが NPN 型であれば何でも共通に使えます。

## ■実際の回路について

### 1 : スピーカー回路



スピーカーから音を出すためには電力が必要です。ですからこの回路はドライブ回路 (電力増幅回路) と言います。『やわらかトーマス』をはじめ最近のおもちゃの場合コントロール部分は殆ど IC 化されております。

しかも IC 回路はデジタル化されており、出力や入力もデジタル信号として扱われています。C4 の説明でも書きましたが IC から出力されるメロディー信号はアナログ信号ではなく、デジタル信号の音階の周波数に対応した矩形波が出ています。

出力がベースエミッター飽和電圧 0.6V 程度以上のときはベース電流が流れトランジスターが On となり、コレクター電流が流れて負荷であるスピーカーに電流が流れます。0.6V より低い電圧となりますからベース電流が流れなくなります。ベース電流が流れなくなるとトランジスターは Off となり、スピーカーにも電流が流れなくなります。こうしてスピーカーから音として聞こえてくるのです。

ドライブ回路では電流を多く流しますので、先ほどの最大コレクター電流と最大コレクター損失の比較的大きなトランジスターを使う必要があります。

ここで使用している S8050D は中国製で詳しい事は分かりませんがほぼ次のような特性（東芝製 2SC2120 と同程度）と考えます。

$$V_{CBO}=30V \quad I_C \text{ max}=0.8A \quad P_C \text{ max}=0.6W \quad h_{FE}=200$$

スピーカーは 8 Ω 0.25W です。許容電流は 176mA になります。実際の測定では 100mA 程度になっています。

$$I_b=100mA \div 200=0.5mA \quad R_3=0.6V \div (0.5mA \times 2) =560\Omega$$

また、音量の調整が必要な場合はベース電流を制限するように抵抗を入れてやれば出来ることになります。

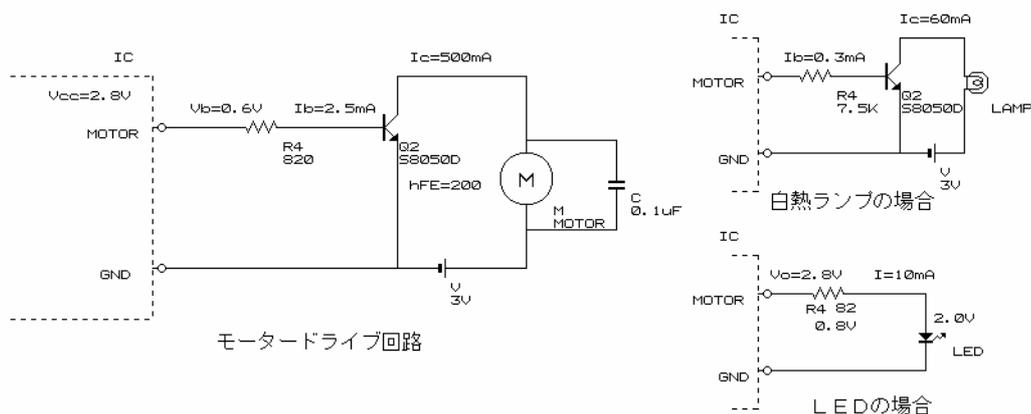
ところで、おもちゃの場合はこのようにスピーカーが負荷に直接接続してあります。一般的にはスピーカーのインピーダンスが低いのでトランスなどで整合を取り、効率よく出力電力を得ています。

しかし直接の場合は電流の割には出力電力は大きくなりません。無駄が多いということです。

またもう一つ問題は、スピーカーに交流ではなく直流が流れていますのでコーンが前方（極性による）にせり出した状態で音が出ていることになります。従って音に歪みが出やすくなります。

おもちゃでのスピーカートラブルが多いのもこんな事が関係しているかもしれません。

## 2: モーター駆動回路



IC からモーター回路への出力は Off の時が Low で 0V です。On になると Hi となり +2.8V が出力されます。Hi になればトランジスターのベース電圧がベースエミッター飽和電圧 (0.6V 程度) 以上になりますから、トランジスターが On となりコレクターエミッター間に電流が流れます。そこでモーターも回るようになりますが、このままでは電流がいくらでも流れることになります。ですから R4 によって流れ過ぎないように制限しています。

モーターの場合は最大で 500mA 程度流せるようにしておりますので R4 として 820Ω を使用しています。

$$I_b=500mA \div 200=2.5mA \quad R_4= (2.8V-0.6V) \div 2.5mA=820\Omega$$

白熱ランプを点灯する場合は 60mA 程度ですので R4 としては 7.5KΩ になります。

$$I_b = 60\text{mA} \div 200 = 0.3\text{mA} \quad R4 = (2.8\text{V} - 0.6\text{V}) \div 0.3\text{mA} = 7.5\text{K}\Omega$$

さらに、リレーなどでも流す電流に併せて抵抗値を替えてやります。

もう一つ LED も使用できますが、この場合は電流が少ないのでドライブ用のトランジスタは必要有りません。R4 を 82Ω 程のものにして直接 LED を付けて GND に接続すればよいのです。

$$R4 = (2.8\text{V} - 2.0\text{V}) \div 10\text{mA} = 82\Omega$$

最後に参考例として音と光によるスイッチ回路を描いておきます。

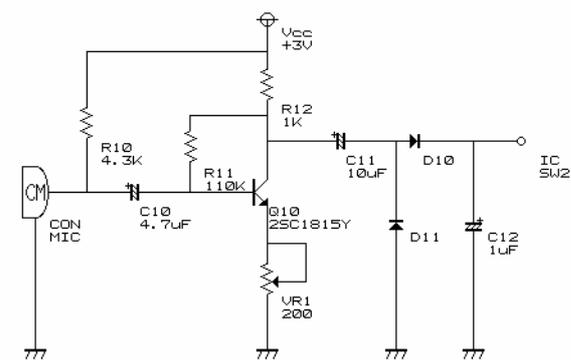
マイクはコンデンサマイクを使用しました。コンデンサマイクはバイアス電圧を加える必要があります。次の計算式により求めた値の R10 を挿入しています。

$$R10 = V_{cc} \div 0.00068 = 3\text{V} \div 0.00068 = 4.3\text{K}\Omega$$

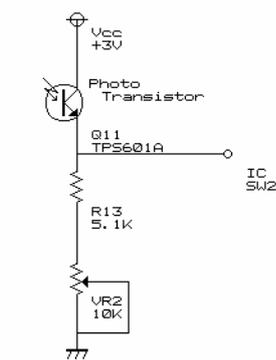
音声増幅回路は部品数の少ない自己バイアス回路を使用しました。バイアス抵抗 R11 の求め方は次の計算で求めます。

$$I_b = I_c \div h_{FE} = 1\text{mA} \div 100 = 0.01\text{mA}$$

$$R11 = ((V_{cc} - V_b - V_e) \div 2) \div I_b = ((3\text{V} - 0.8\text{V}) \div 2) \div 0.01\text{mA} = 110\text{K}\Omega$$



R10=3/0.00068(ohm) 音を感知するセンサ回路



光を感知するセンサ回路

## ■ あとがき

精密な電子機器は別として簡単な電子回路の場合は意外と大まかな値で動くことが分かります。

回路の設計となると難しいかもしれませんが出来上がったものの修理の場合は、それぞれの部品の働きが大まかに分かれば出来ると思います。しかも最近は IC が多く手を出せる部分は非常に少なくなってきています。ですから回路的には単純化されていますので大いにチャレンジしましょう。

おもちゃの電子回路で結構難しいのはラジコン関係でしょう。高周波から低周波、それにデジタルと電子回路の総合的色合いが強く、部品も込み入っています。でも最近はこれも IC 化が進んでいるようです機会がありましたらまとめてみたいと思います。

殆どが参考資料の丸写しとなってしまいました。

皆さんにとってお役に立つかどうかはなはだ疑問ですが、一読してみてください。

ありがとうございました。

## ■ ご協力者

株式会社 トイボックス

担当 石川純一様

## ■ 参考図書

ビギナーズ・トランジスター読本  
はじめてトランジスター回路を設計する本  
誰にでも手軽にできる 電子工作入門  
作って遊べる ロボット工作  
ビギナーのための 小型モータ回路集  
トランジスタ規格表

奥澤清吉・奥澤熙著  
奥澤清吉・奥澤熙著  
後閑哲也著  
後閑哲也著  
谷腰欣司著

誠文堂新光社  
誠文堂新光社  
技術評論社  
技術評論社  
日刊工業新聞社  
CQ 出版社