

ロボットののためのデジタル回路入門

概要

電子サイコロの作成を通して、入力と出力を持ったシステムの考え方と、ロボットを一から作るために最低限必要な電子回路の知識、特にデジタル回路の設計製作に関する知識の習得を目指す。

目的

- 入力と出力を持ったシステムの考え方を身につける。
- ロボット製作に必要な電子回路の知識を身につける。
- デジタル回路の設計製作に関する知識を身につける。

目次

1	デジタル回路	3
2	電子サイコロの概要	4
3	デジタル回路	5
3.1	電源	5
3.2	信号入力	6
3.3	発振回路	7
3.4	カウンタ	8
3.5	論理回路（ロジック回路）	9
3.6	サイコロの目の表示（LED）	9
4	各回路の設計	10
5	回路図	13
6	回路の製作	15

1 デジタル回路

電子回路にはアナログ回路とデジタル回路があります。デジタル回路では電気が H と L の 2 値のみを扱います。図 1 にアナログ値とデジタル値の例を示します。アナログ値(図 1 上)では、時間が経過することに連続的に電圧が変化するのにたいし、デジタル値 (図 1 上) ではある閾値 (しきいち) V_s 以上なら H (High), 閾値 V_s 以下ならば L (Low) の 2 値として扱います。

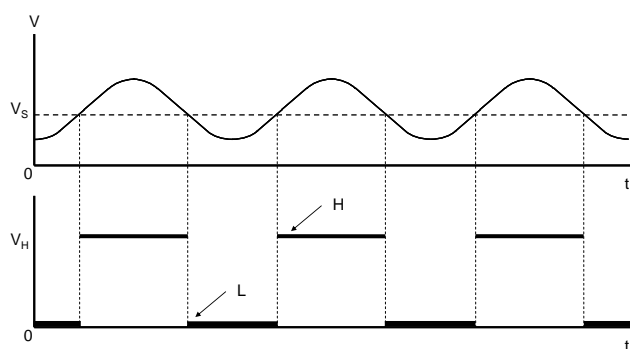


図 1 アナログ値 (上) とデジタル値 (下).

この H と L を組み合わせて、様々な情報処理を行うのがデジタル回路であり、ロボット制御の主役となるマイコンはデジタル回路の花形選手です。今回はマイコンはひとまず脇に置き、デジタル回路の設計製作例として電子サイコロを作り、デジタル回路の知識を身につけましょう。

2 電子サイコロの概要



図2 電子サイコロと学習項目.

図2に電子サイコロを製作する電子サイコロを示します. 電子サイコロは, スイッチを押すことにより 7 個の LED を点灯させ 1 から 6 までの目をランダムに表示させるものです. 電子サイコロの製作を通して, ①電源の確保 (三端子レギュレーターの使い方), ② CR 発信回路, ③カウンタとロジック IC (74HC シリーズの使い方), ④LED の使い方, および ⑤フォトリフレクタ (センサ) の使い方を学びましょう.

なお, サイコロの 1 から 6 の各目は図3のように表示させることにします.

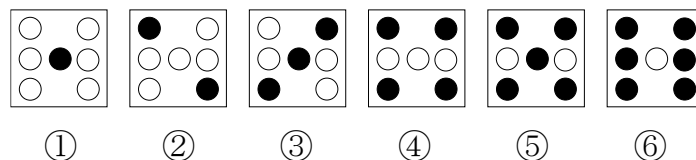


図3 電子サイコロの各目において点灯させる LED (●が点灯).

サイコロの回路構成は図4の通りになります.

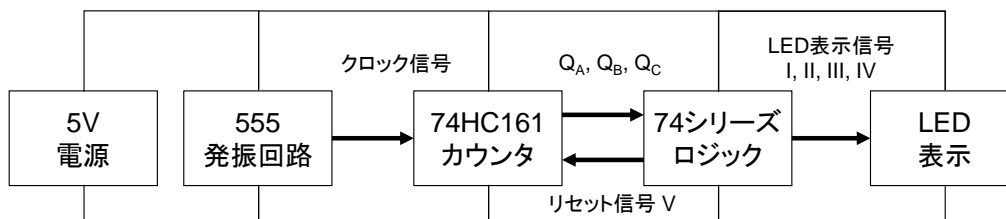


図4 電子サイコロの回路構成.

発振回路で生成したクロック信号 (クロックパルス) を 6 進カウンタでカウントし, その値をロジック部でデコードし, 表示部の LED を点灯させます. 回路全体は 5V で動作させます.

では, 次章から各部分の原理をもう少し詳しく見ていきましょう.

3 各回路の原理

本章では、電子サイコロで使う各部品とその回路の原理を解説します。

3.1 電源

電源の直流 5V を得るために、三端子レギュレータ (7805) を用いて角電池 9V から 5V に降下させます。三端子レギュレータとは安定した電圧を得るための電源用 IC で、入力、出力、GND の 3つの端子を持っています (図 5)。

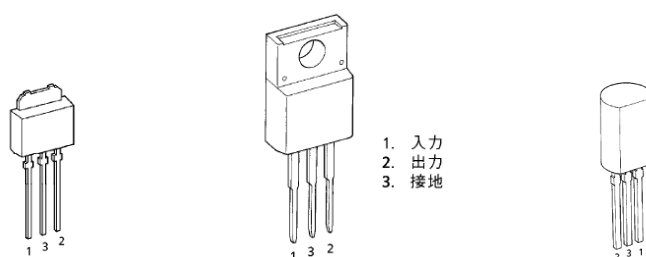


図 5 様々な三端子レギュレータ。

これらの部品を用いて実際に回路を製作する際は、データシートの標準応用回路を参考にします。図 6 に三端子レギュレータの標準応用回路例を示します。一般に電子部品を使う際は、その部品のデータシートが最初の教科書になります。

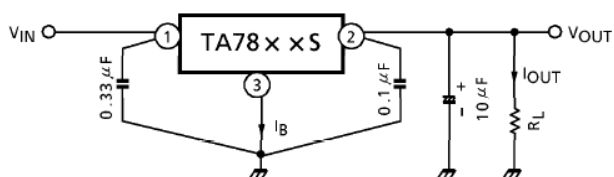


図 6 三端子レギュレータの標準応用回路例。

3.2 信号入力

デジタル回路における信号入力の扱い方には、High アクティブと Low アクティブの 2 種類があります (図 7)。

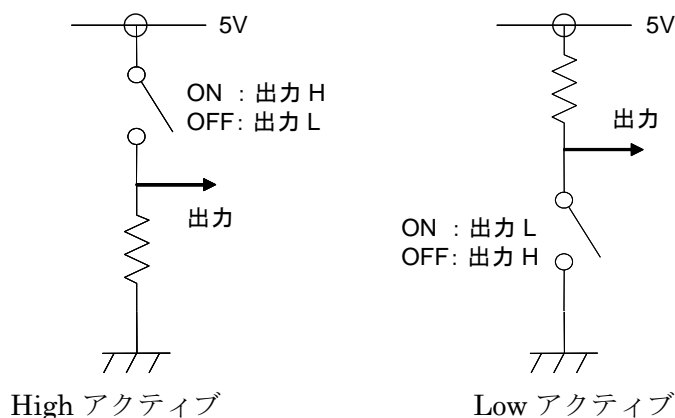


図 7 High アクティブと Low アクティブ.

High アクティブではスイッチを入れると H が出力され、スイッチを OFF にすると L が出力されます。Low アクティブではスイッチが OFF のときには H が出力され、スイッチを ON にすると L が出力されます。

つまり High アクティブと Low アクティブでは、スイッチ入力に対する出力が反対になります。論理的な面からすれば High アクティブと Low アクティブはどちらを使っても差はありません。しかし回路設計では、場合によって使い分ける必要があります。たとえば、スイッチ入力部では、High アクティブ、Low アクティブのどちらも用いることができますが、ロジック IC から LED への出力部は Low アクティブを用います。ここでは、使い分けの例だけ示しておきますので、理由を考えてみて下さい。理由は 3.6 表示の項で解説します。

3.3 発振回路

発振回路部分には、555 と CR 回路を組み合わせた CR タイマを用います。555 は各メーカーから〇〇555 という製品型番でリリースされている汎用タイマ IC で、NE555 がオリジナルになります。

555 に接続する CR 回路の値によって出力パルス幅が変化します。図 8 に CR 回路における電圧の変化（左上）とその出力（下）を示します。スイッチを OFF のときはコンデンサの電圧が上がります。スイッチを ON にすると電流が流れ電圧が下がります。このスイッチの ON/OFF を 555 で行うことにより図のような出力波形を得ます。詳しくはデータシートの無安定発振回路例の部分をご参考ください。

今回の電子サイコロ製作では、R に可変抵抗を用いることにより、出力パルス幅を変化させサイコロの点滅時間を調整することができるようになります。この信号をカウンタのクロック入力として用います。

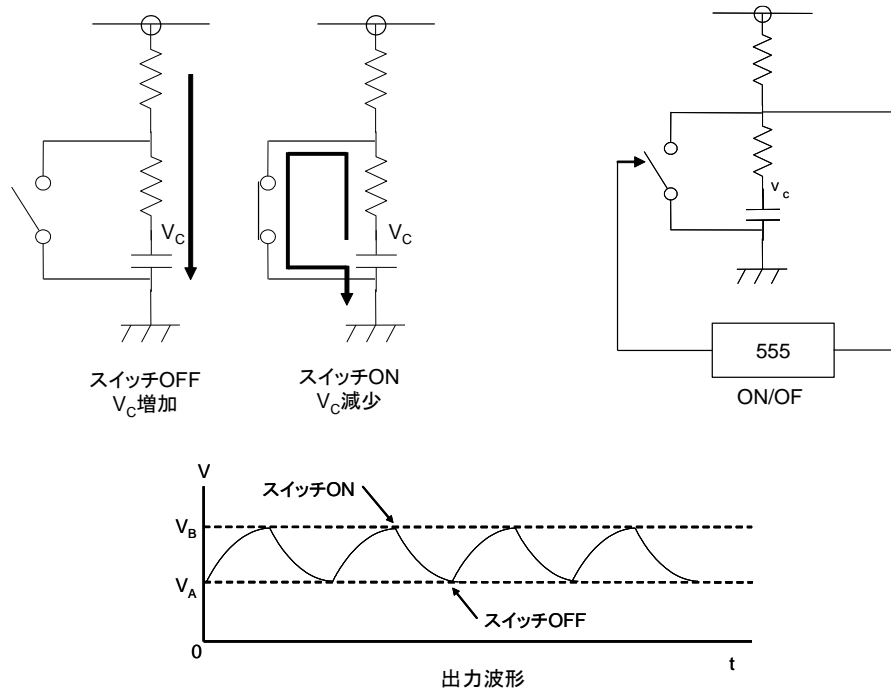


図 8 555 による発振回路.

3.4 カウンタ

カウンタは入力パルスの立ち上がり（または立ち下り）を数えるものです。今回用いる 74HC161 は、クロック入力の立ち上がりについて、4 ビットバイナリアップカウント動作を行います。

表 1 74HC161 の出力.

出力	0	1	2	3	4	5	6	7
Q _A	L	H	L	H	L	H	L	H
Q _B	L	L	H	H	L	L	H	H
Q _C	L	L	L	L	H	H	H	H
Q _D	L	L	L	L	H	H	H	H



カウンタの出力が L,H,H となったときにリセットがかかるようにすれば、6進カウンタになる

表 2 10進数と2進数(参考)

10進数	2進数
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

電子サイコロでは、74HC161 が NE555 からのパルスをクロック (CLK) として読み取ります。74HC161 は、クロック入力に対して、表 1 のように Q_A から Q_D の 4 種類のパルスを出力します。サイコロではこのうち Q_A , Q_B , Q_C の 3 つのパルスを用います。3 つのパルスを用いると 3 ビット、つまり 0 から 7 までの数値をカウントする 8 進カウンタになります (表 2 は参考のための対応表)。

これを 6 進カウンタとして使用するためには出力 6 (7 番目) の位置でカウンタにリセットをかける必要があります。

3.5 論理回路（ロジック回路）

以下に各論理ゲートとその出力の真理値表を示します。これらの論理ゲートを組み合わせて論理回路を作ります。すべての演算は否定 NOT、論理和 OR、論理積 AND の3つの基本演算で構成できます。これは「すべての基本演算は NAND と NOR の2つから構成できる」ということ同値です。よって電子回路での論理回路は NAND と NOR の2つを基本にします。（ですので汎用ロジック IC の74シリーズでは、74HC00 が NAND, 74HC02 が NOR というように、NAND と NOR に若番が振られています。）

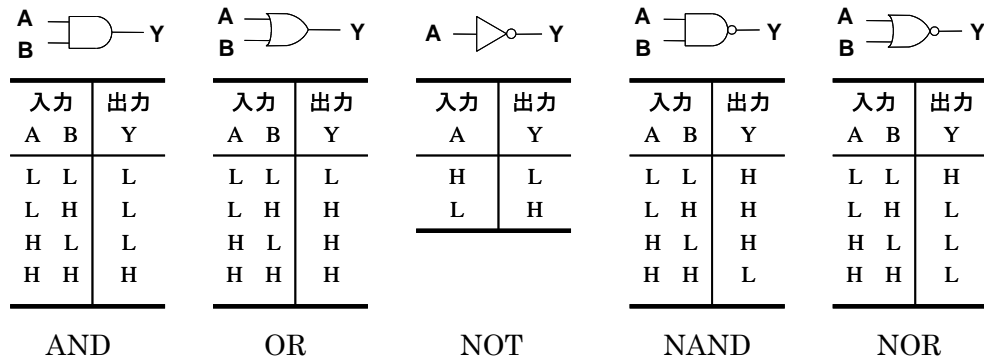


図9 論理ゲートと各出力。

3.6 サイコロの目の表示 (LED)

表示では LED を点灯させます。ロジック IC からの出力には 3.2 信号入力の項で示した通り Low アクティブを用います。なぜ Low アクティブを用いるのでしょうか。その理由は、ロジック IC の出力では LED を点灯させるのに十分な電流が得られないからです (図 10)。「論理的には High アクティブ、Low アクティブのどちらでも問題ないが、電子回路的には問題があった」、ということでした。どうでしょう。予想は当たってましたか？

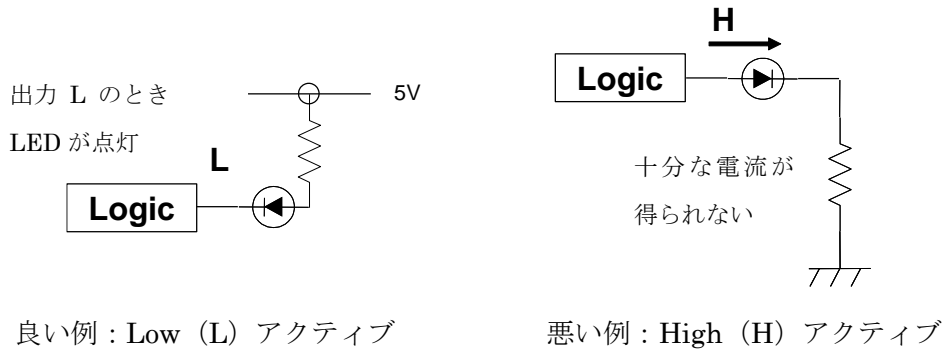


図10 Low アクティブと High アクティブ。

以上が、各回路のおおまかな原理です。では、次章からは課題を通して、今までの回路を設計し回路図を書いて見ましょう。

4 各回路の設計

本章では、各課題を通して、データシートを読みながら実際に回路を設計していきます。

課題 0) 74HC161 のデータシートを参考にしてリセットのための入力を求めましょう。

課題 0 では、部品のデータシートを見ながら、どのように回路を設計するのかをいっしょに考えて行きましょう。

IC には入力に対して常に決まった出力しかない単機能型と、複数の機能をスイッチして（切り替えて）出力を行う複数機能型があります。今回使う IC では単機能型は論理ゲート（NAND, NOR）、複数機能型はカウンタ IC（74HC161）とタイマ IC（NE555）です。

74HC161 のような複数機能型の IC では、各ファンクションピンへの入力に応じてその機能（function）をスイッチさせます。74HC161 のデータシートを実際に見ながら、使用する機能とピンへの入力を見ていきましょう。

下の表 3 が 74HC161 のデータシートにのっている真理値表です。INPUT の下の CLR, LD, ENP, ENT, CK の各ピンに表のような入力（H/L）が与えられたとき、FUNCTION にある動作をし、出力ピンから OUTPUT にある出力を返します。

表 3 TC71HC161A, TC71HC163A の真理値表（TC71HC161A, TC71HC163A データシートより）

TC74HC161A					TC74HC163A					OUTPUTS				FUNCTION
INPUTS					INPUTS					QA	QB	QC	QD	
CLR	LD	ENP	ENT	CK	CLR	LD	ENP	ENT	CK	L	L	L	L	"0" にリセットします。
L	X	X	X	X	L	X	X	X	↑	A	B	C	D	データをプリセットします。
H	L	X	X	↓	H	L	X	X	↓	変化しない				カウントしません。
H	H	X	L	↓	H	H	X	L	↓	変化しない				カウントしません。
H	H	L	X	↑	H	H	L	X	↑	カウントアップ				カウント動作をします。
H	X	X	X	↓	X	X	X	X	↓	変化しない				カウントしません。

Note X : Don't Care
 A, B, C, D: データ入力の論理レベル
 Carry : CARRY = ENT · QA · QB · QC · QD

各ピンの実際の位置は下の図 1 1 の通りです。

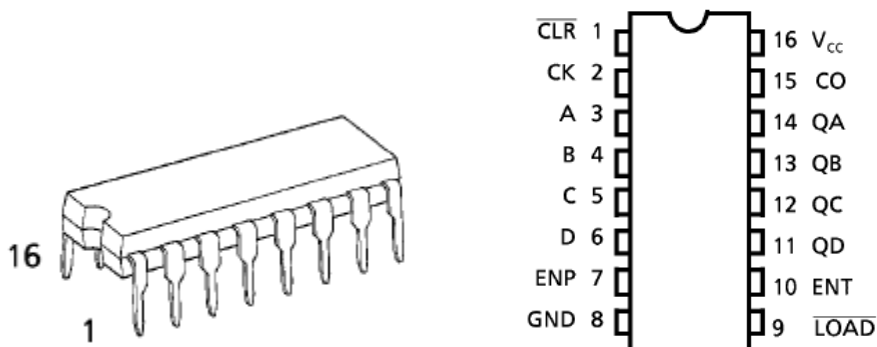


図 1 1 74HC161 の外観とピン配置。

今回、使用する機能は”カウント動作”と”リセット”です。表3の”FUNCTION”の欄をみると1段目がリセット、5段目がカウント動作なのでこの2つの機能を使います。

この解説では、リセットだけ見てみましょう。この表から CLR (クリア) に L を入力されたときにリセットがかかるということがわかります。

6進タイマとして使用するためには6(7番目)のときにはじめてLが来れば良いということです。リセットのための入力V(5とします。なぜ5は後ほどわかります)は下の表4の通りとなります。

表4 リセットのための入力V

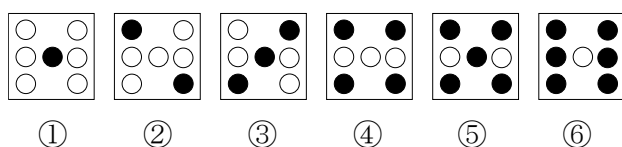
	0	1	2	3	4	5	6	7
V	H	H	H	H	H	H	L	L(H)

6でリセットがかかるため、7以降はH、Lどちらでもよいでしょう。

以上を参考にして、以下の課題を進めてください。

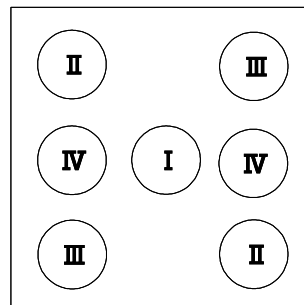
課題1) サイコロを点灯させるのに必要な入力を求めましょう。

(ヒント)



① ② ③ ④ ⑤ ⑥

各目でLEDがこのように点灯するとする



配線例

図12 サイコロの各目におけるLEDの点灯。

サイコロが各目を出す際、図12のようにLEDが点灯するとしましょう。そのとき、LEDを図のようにIからIVに組分けて点灯させることにします。同じ組のLEDは同じタイミングで点灯します。

表5 各目における信号の例

	①	②	③	④	⑤	⑥
I	L	H	...			
II	H	L				
III	H	H				
IV	H	H				

例えば①の目を出すときにはIのLEDのみを表示させればよいのでIからIVの各LEDへの入力パルスは左の表5のようになります。

課題 2) 74HC161 からの出力 Q_A , Q_B , Q_C をもとに, LED への入力信号 I から IV, およびリセットへの入力信号 V を得るための論理回路を求めましょう. ただし, 用いてよい論理ゲートは NAND と NOR のみとします.

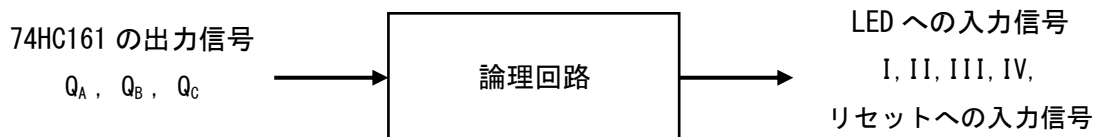


図 1 3 論理回路の働き.

5 回路図

本章では、各課題を通して、データシートを読みながら実際に回路を設計していきます。例として電源、発振部（NE555 を使った CR タイマ）、LED 表示部の回路図を図 1 4、図 1 5 に示します。

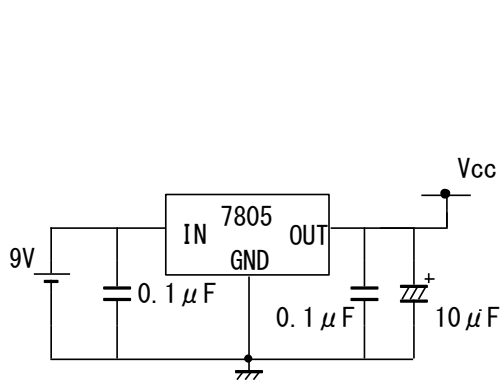


図 1 4 電源部の回路図.

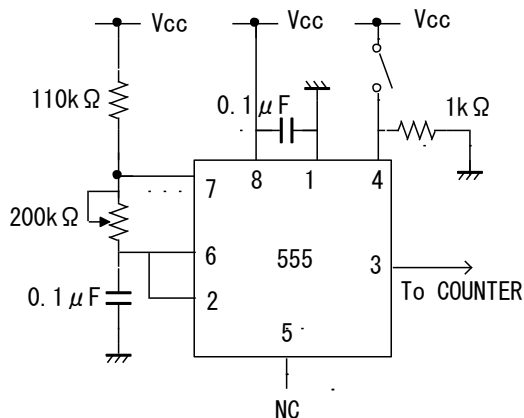


図 1 5 発振回路部の回路図.

その他の回路図を各自で書きましょう。

課題 3) 74HC161 のデータシートを参考にしてカウンタ部の回路図を書きましょう。

課題 4) 74HC00, 74HC02 のデータシートを参考にロジック部の回路図を書きましょう。

以上と、下の図 1 6 に示す表示部 (LED) の回路を組み合わせると全体の回路図を作ることができます。

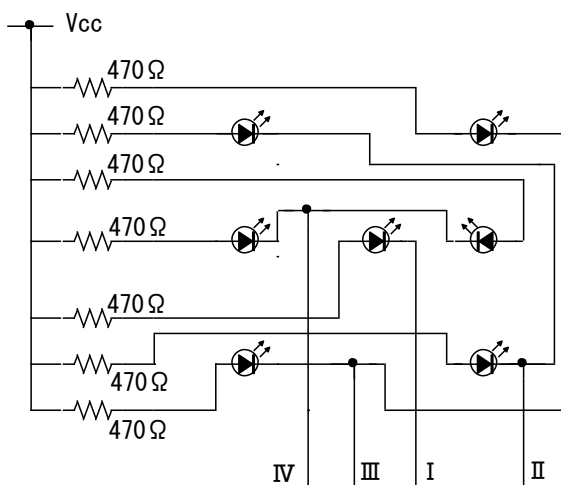


図 1 6 LED 表示部の回路図.

課題 5) 全体の回路図を描いてみましょう.

以上で, スイッチを押すと点滅する電子サイコロが設計できました. 次に入力スイッチをフ
ォトリフレクタによるセンサ入力に置き換えます. スイッチと並列にフォトリフレクタ入
力を追加してください.

課題 6) フォトリフレクタ LBR-127HLD の仕様を調べ, 既存のスイッチとフォトリ
フレクタによる 2 つの入力を持つ回路図を作成してください.

6 回路の製作

本章では、回路図をもとに、実際に電子サイコロを製作します。

課題 7) 以上の回路から実際に使用する部品を全て数え、パーツリストを作りましょう。

注) 回路図からパーツを洗い出す際、回路図に表記されない部品に注意してください。以下に回路図に表記されない部品の代表的な例を挙げます。

- IC のソケット

IC が半田付けの熱で破壊されないように、また交換しやすいように、IC は直接基盤に着けず、各 IC の足の数に合ったソケットを用います。

- IC のパスコン

各 IC の Vcc と GND の間に、バイパスコンデンサ (パスコン) として $0.1\mu\text{F}$ 程度のセラミックコンデンサを設置します。電源からのノイズを抑えます役割を持ちます。

- 電池ソケット

課題 7 までできた時点で、初めて実際に部品を買い揃えることができます。以下に部品をまとめて購入しやすい店舗、サイトを紹介します。

秋月電子通商	http://akizukidenshi.com/
千石電商	http://www.sengoku.co.jp/
マルツオンライン	http://www.marutsu.co.jp/

課題 8) 回路図をもとに実際の配線図を書いてみましょう。

課題 9) 実際に回路を作成してみましょう。