

1. 目的

授業で学んだ論理回路の基本動作を理解し、小規模な回路設計に応用する能力を修得することを目的としている。併せて設計から製作まで一連の工程を体験することで電子工作技術のスキルアップを図り、ものづくりに必要なデザイン能力、行動力を養う。また、実験の最終週に自分で製作した回路について発表を行い、プレゼンテーション能力の向上に努める。

2. 実験の流れ

本実験は以下のような流れで4週に渡って実習を進めていく。スムーズな進行のためには実験の準備が不可欠であるので、各自で予習復習を行うこと。また、分からない点は相談したり、質問に来ること。

また、3年生では自ら考察し、自分なりの結論まで導くことができるようにトレーニングする。実験中から最後までどのようにまとめるか考えていること。そのために実験ノートを用意して、細かにメモをとることを推奨する。

【1週目】実験テキストに沿って論理回路をブレッドボードに組んでみて、動作を確認する。

- [学習上の要点]
- ・ブレッドボードの使い方を理解すること。
 - ・論理回路素子の使い方を理解すること。
 - ・これまで学習した論理回路の授業内容を復習し、確認すること。
 - ・色々な機能のICがあることを理解すること。

- [2週目までの課題]
- ・課題回路について回路の簡単化をおこなうこと。
 - ・多数決回路を考えてくること。
 - ・各自の課題回路の設計をすること。

【2週目・3週目】課題回路を実際に組んで動作を確認する。

- [学習上の要点]
- ・1週目の内容を応用して、各自でブレッドボード上に回路が組めること。
 - ・うまく動作がしていないとき、その原因を自分で見つけられること。

- [4週目までの課題]
- ・自分が設計する回路の回路図と部品のリストを作成すること。
 - ・自分が設計した回路の部品のライブラリがあるか事前に確認すること。

【4週目】自分で設計した回路についてプレゼンテーションを行う。

- [学習上の要点]
- ・限られた時間の中でまとめること(発表5分、質疑2分の予定)。
 - ・目的をもってプレゼンテーションを行うこと。プレゼンテーションも評価の対象になる。
 - ・積極的に質問も行うこと。

【Extra】自分で設計した回路について、回路基板の設計と製作を行う。

・希望者を募ってCADソフト(EAGLE(イーグル))を使った基板の設計とエッチング、ドリル加工、はんだ付けなどの製作を行う。放課後を利用して行う予定であるが、実施日は日程を調整の上で都度決定する。

【レポートのまとめ方】

- ・自分が実験で行った内容を要領よくまとめること。テキストを全部写す必要はない。
- ・考察および考察課題は自分の学力や知識の向上のために行います。必ず自分で調べ、考えること。
- ・ワープロの使用を認めます。ただし、コピーと認められる場合は手書きで再提出してもらいます。ここでいうコピーとは、他人のレポートのコピーのほか、インターネット上の図表、文章をそのままコピーすることも含みます。

【成績評価について】

- ・考察、考察課題を含めたレポートの内容、プレゼンテーション、実験に対する姿勢で評価します。100点満点で評価します。
- ・レポートの体裁は50点満点で評価します。分かりやすくまとめられていること、図表が図番号、表番号を含めて適切に用いられていること等を評価します。「実験実習の手引」を参考にして下さい。
- ・レポートの考察課題は20点満点で評価します。9.考察課題を参考にして下さい。(1)～(4)は各3点、(5)は8点とします。
- ・レポートの考察は自分が設計製作した回路についてまとめて下さい。10点満点で評価します。
- ・プレゼンテーションは10点満点で評価し、レポート点に加味します。
- ・実験に対する姿勢は10点満点で評価します。

3. ブール代数の公理

以下にブール代数の公式と定理を示す。証明は自分で真理値表を書くか、教科書を参考にすること。

交換法則	$A + B = B + A$	$A \cdot B = B \cdot A$
分配法則	$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
単位元	$A + 0 = A$	$A \cdot 1 = A$
補元	$A + \bar{A} = 1$	$A \cdot \bar{A} = 0$
結合則	$A + (B + C) = (A + B) + C$	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$
吸収則	$A + (A \cdot B) = A$	$A \cdot (A + B) = A$
巾等律	$A + A = A$ $A + 1 = 1$ $A + (\bar{A} \cdot B) = 1$ $(A + \bar{B}) \cdot (\bar{A} + B) = (A \cdot B) + (\bar{A} \cdot \bar{B})$	$A \cdot A = A$ $A \cdot 0 = 0$ $A \cdot (\bar{A} \cdot B) = 0$ $(A \cdot \bar{B}) + (\bar{A} \cdot B) = (A + B) \cdot (\bar{A} + \bar{B})$
ド・モルガンの定理	$\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B}$	$\overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B}$
二重否定	$\overline{\bar{A}} = A$	

4. 回路製作の基礎

4-1 ブレッドボードの使い方

ブレッドボードの概略図を図4-1に示す。ブレッドボードとははんだ付けなどを行わなくても回路製作ができるように、それぞれの穴に素子を差し込むだけで回路を組むことができる。

色々なメーカーのボードがあるが、使用に当たっては以下の点を覚えておくだけで対応できるはずである。

(1)図4-2の左側のボード

- ・アルファベット方向はつながっており、数字方向はつながっていない。
- ・溝では隣同士はつながっていない。これはICが両側から端子が出ているためである。

(2)図4-2の右側のボード

- ・赤ラインと青ラインはラインの方向につながっている。隣同士はつながっていない。

一般に回路製作は左側のボードで行い、右側のボードは電源とアースに利用する。

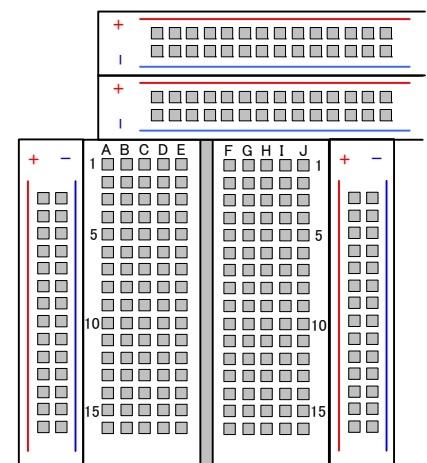


図4-1 ブレッドボードの概略図

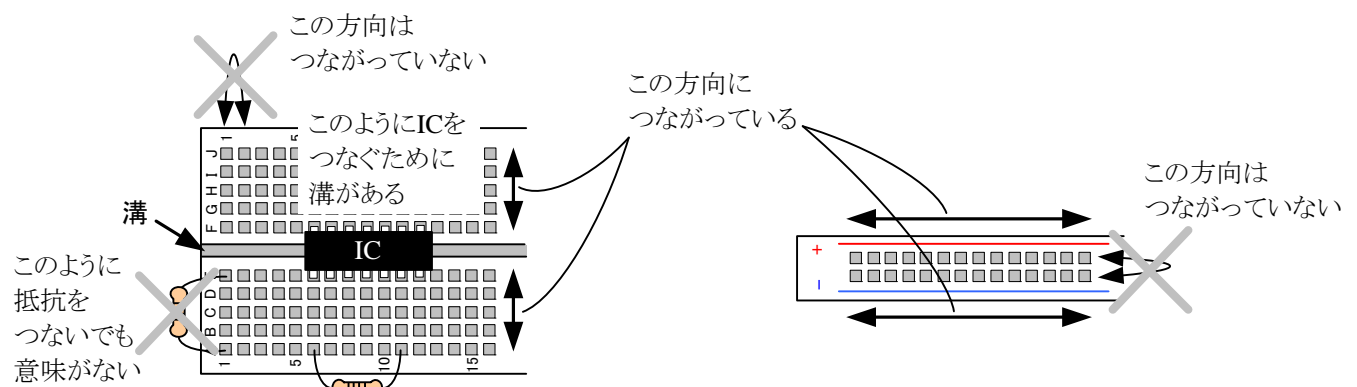


図4-2 ブレッドボードの使い方

4-2 回路の組み方

(1) タクトスイッチの使い方

図4-3に示すように、押しボタンスイッチを押すと導通する。ただし、導通するのは押ししている間だけである。

1と2、3と4はそれぞれつながっており、独立ではないことに注意すること

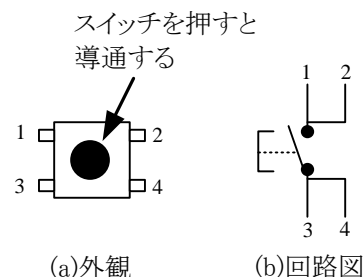


図4-3 タクトスイッチの使い方

(2) トランジスタの使い方

トランジスタは3本の足を接続する。つなぐ位置を間違えると動作しないので注意する。図4-4は外観であるが、図を参考にして足の配置を間違えないこと。

- ・ベース(B)
- ・コレクタ(C)
- ・エミッタ(E)

トランジスタも電子的スイッチとして使う。使い方については後述する。

今回用いるトランジスタの型番は2SC1815である。トランジスタに明記してあるので各自確認すること。

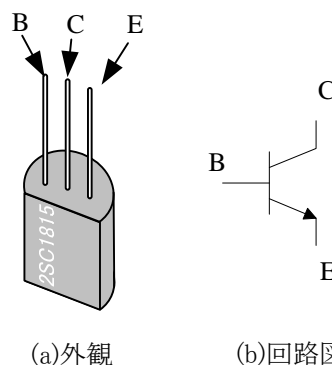


図4-4 トランジスタの使い方

(3) ICの使い方

本実験では、論理回路ICを使って回路を組むことがメインとなる。

注意すべき点としては、ICとは集積回路のことであり、内部は多数のトランジスタなどの半導体部品で構成されている。トランジスタで構成される場合、TTL-ICといい、MOSFETで構成される場合はC-MOS-ICという。詳細については考察課題とするので各自で調べること。

回路を組むときに必要となる実験で使う各ICのピン配置を次ページの図4-5に示す。参考にする。

V_{cc} は直流供給電圧、GNDはグラウンド(アース)、NCはどこにもつながらないことをそれぞれ示している。覚えておいて欲しいことはICを含む半導体製品は直流電圧を加えないと動かないことである。今回は5 Vを供給することとする。

(4) 回路の基本構成

論理回路は”0”と”1”という2つの状態を考えるだけでよいことは既に理解しているだろう。理論的に考える場合はこれだけでよいが、実際の回路を動かすときには、0と1に対応した信号が必要であり、一般には電圧の大きさより、

0 ... 0 V
1 ... 5 V

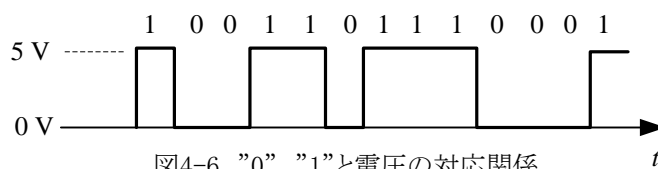


図4-6 ”0”、”1”と電圧の対応関係

のように対応させる。

例として、図4-6のように時間の経過とともに”0”と”1”がランダムに現れている場合について示す。

ただし、TTLの場合は5 Vで固定であるが、現在主流になって

いるC-MOSでは5 Vでなくても動作する。ただし、混乱を避けるため、実験では0 Vと5 Vを用いることにする。

それでは、スイッチを押すと”1”となり5 Vの信号を出すためにはどのような回路を組めばよいのか？

簡単に作るためには図4-7のように抵抗の電圧降下を利用するとよい。スイッチを押したときに電圧降下 V は5 Vになることが分かるだろうか？

また、出力側もテストで電圧を測定して”0”と”1”を判断してもよいが、”1”の時にLEDが光るようにすると分かりやすい。そのためには図4-8のように接続するとよい。この回路の動作は考察課題とするので各自で調べること。

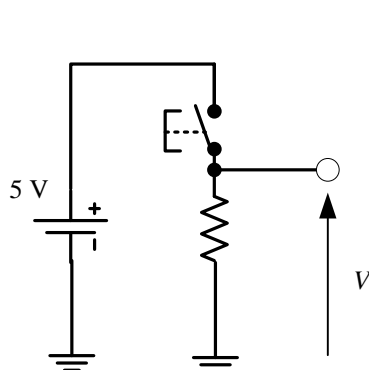


図4-7 0と1の発生回路

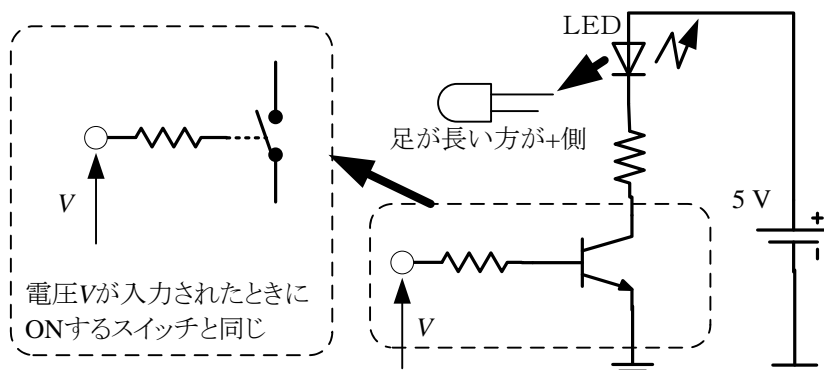
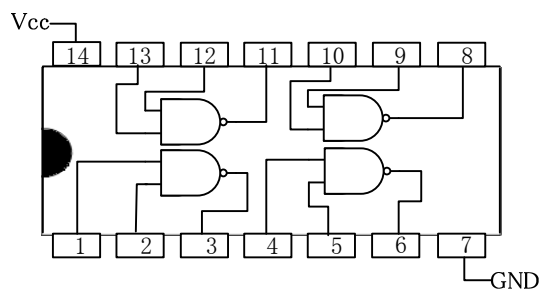
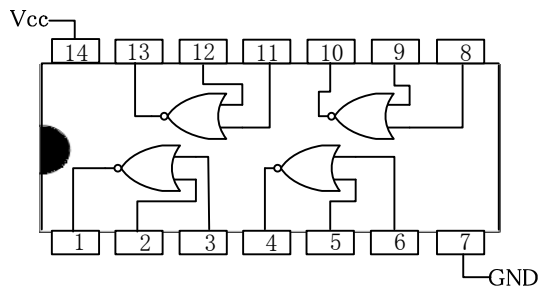


図4-8 出力側のLED点灯回路

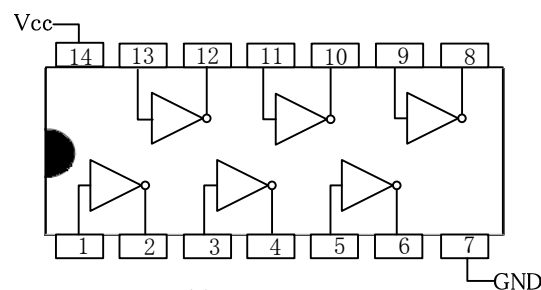
※ Vccには5Vを供給すること。GNDはグラウンド(0V)を接続すること。



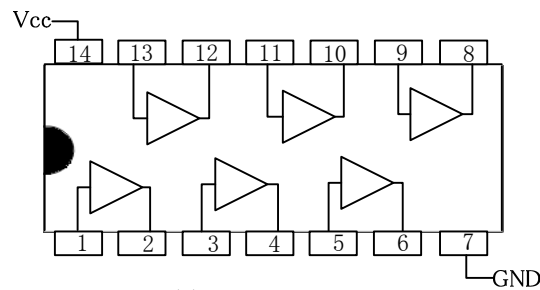
(a)TC74HC00AP



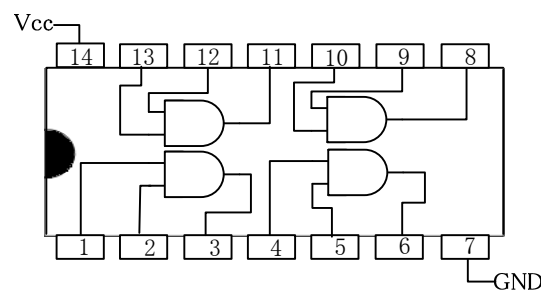
(b)TC74HC02AP



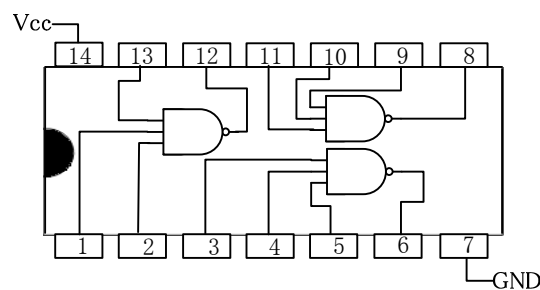
(c)TC74HC04AP



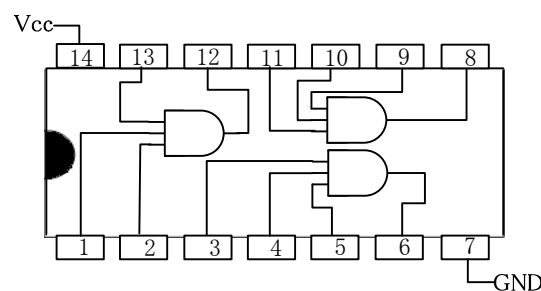
(d)TC74HC07AP



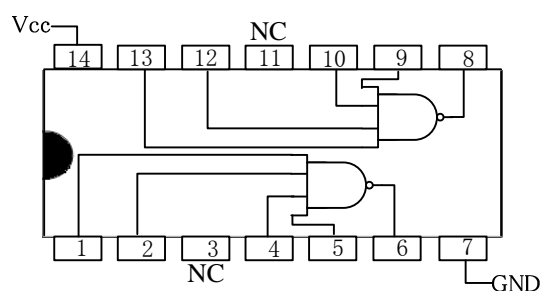
(e)TC74HC08AP



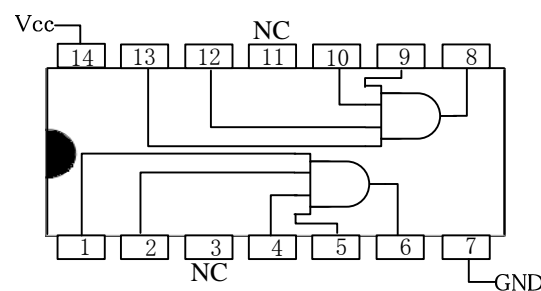
(f)TC74HC10AP



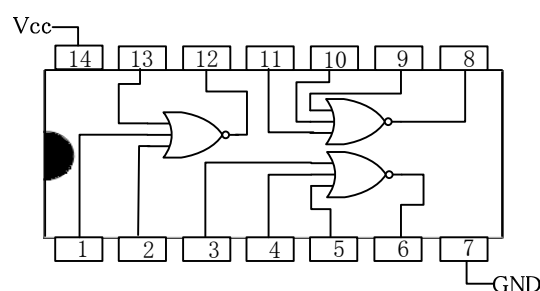
(g)TC74HC11AP



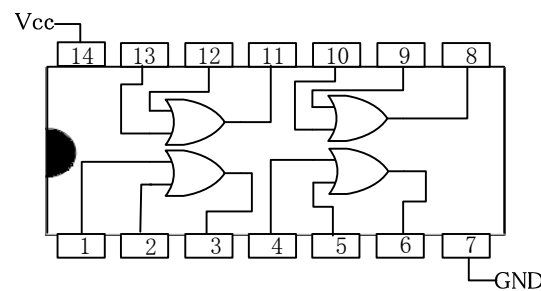
(h)TC74HC20AP



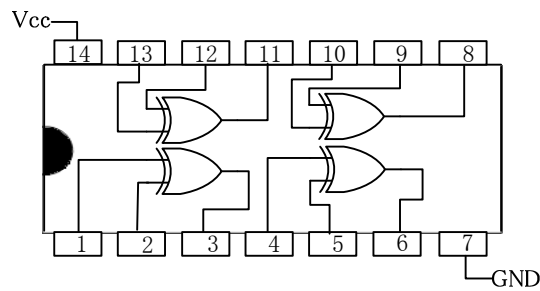
(i)TC74HC21AP



(j)TC74HC27AP



(k)TC74HC32AP



(l)TC74HC86AP

図4-5 基本的な論理回路ICのピン配置

5. 基本論理素子の実習(基本編) ※選択課題。動作を確認したい場合や回路製作の練習をしたい場合は行うこと。

図5-1～5-6の回路では入力はSWがONで”1”、OFFで”0”となる。出力はLEDが光ったら”1”、光らなかったら”0”となる。抵抗値は図の値でなくても動作する。色々と試してみることに。

5-1 論理積(AND)

- (1) 図5-1のように配線する。
(2) 動作を確認して、結果を表5-1の真理値表に記録する。

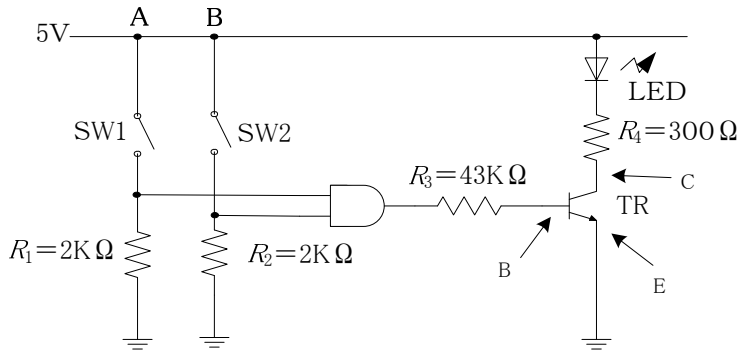


図5-1 論理積(AND)の回路図

表5-1 論理積(AND)の真理値表

A	B	出力
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

5-2 論理和(OR)

- (1) 図5-2のように配線する。
(2) 動作を確認して、結果を表5-2の真理値表に記録する。

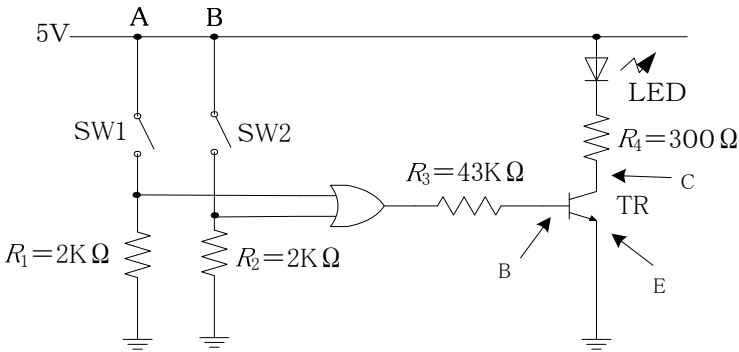


図5-2 論理和(OR)の回路図

表5-2 論理和(OR)の真理値表

A	B	出力
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

5-3 否定(NOT)

- (1) 図5-3のように配線する。
(2) 動作を確認して、結果を表5-3の真理値表に記録する。

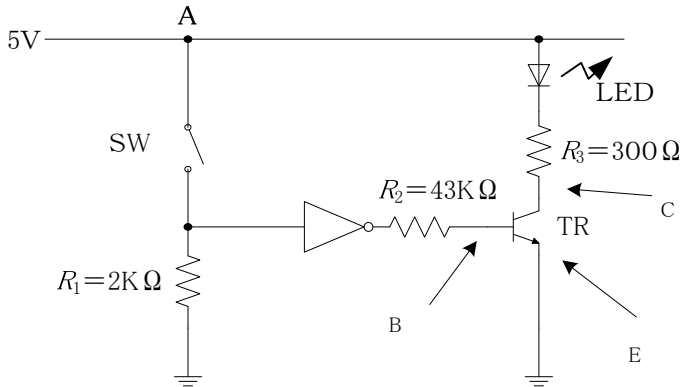


図5-3 否定(NOT)の回路図

表5-3 否定(NOT)の真理値表

A	出力
0	
1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

5-4 否定論理積(NAND)

- (1) 図5-4のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表5-4の真理値表に記録する。

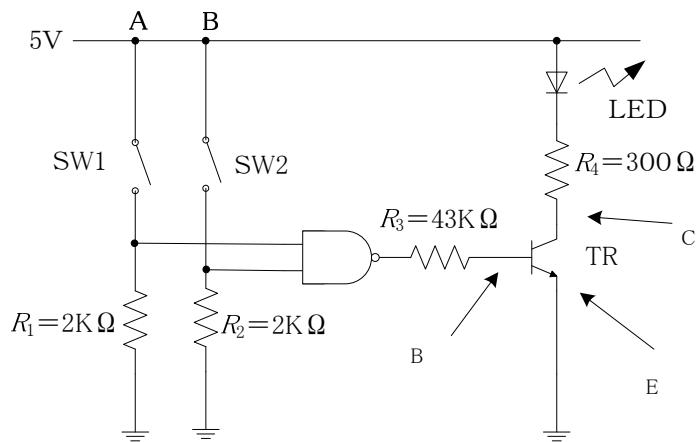


図5-4 否定論理積(NAND)の回路図

表5-4 否定論理積(NAND)の真理値表

A	B	出力
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

5-5 否定論理和(NOR)

- (1) 図5-5のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表5-5の真理値表に記録する。

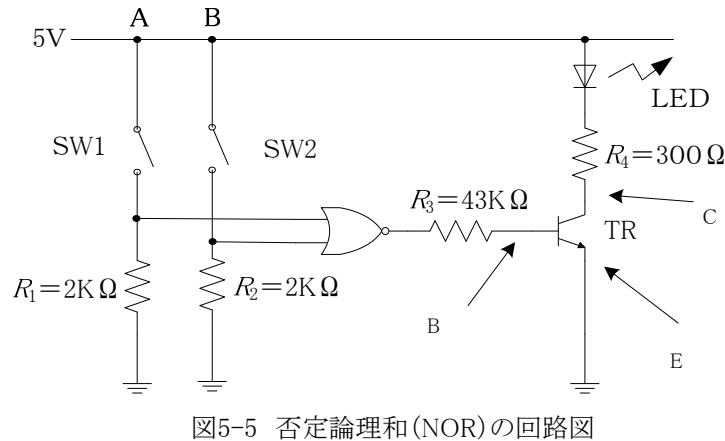


図5-5 否定論理和(NOR)の回路図

表5-5 否定論理和(NOR)の真理値表

A	B	出力
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

5-6 排他的論理和(EX-OR)

- (1) 図5-6のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表5-6の真理値表に記録する。

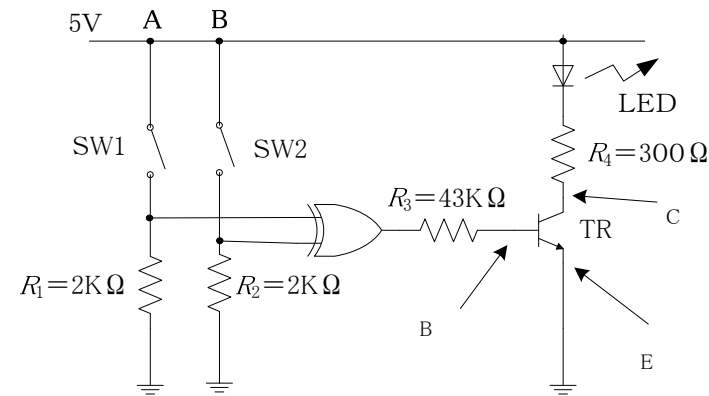


図5-6 排他的論理和(EX-OR)の回路図

表5-6 排他的論理和(EX-OR)の真理値表

A	B	出力
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

出力をYとして論理式を書きなさい。

6. 基本論理素子による実習(応用編)

ここからは全員が回路製作を行うこと。
回路図は全て示しているので回路の製作スキルが問われる。徐々にレベルアップするので6-1～6-4の全ての回路を製作して動作を確認すること。
以下の回路図ではスイッチ、トランジスタ、LEDなどが省略されている。図5-1～5-6の回路図を参考にして同様に回路を組むこと。

6-1 半加算器

・半加算器とは
半加算器は、2進数の1桁の入力(0, 1)の二つの和をとり、その結果を出力Sに出力し、桁上がりは桁上げ出力Cに出力する演算器である。表6-1に真理値表を示す。

表6-1 半加算器の真理値表

A	B	出力	
		S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

- (1) 図6-1のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表6-2の真理値表に記録する。
- (3) 図6-1の破線部はEX-ORに等しい。図6-2のように置き換えて同様の実習を行う。

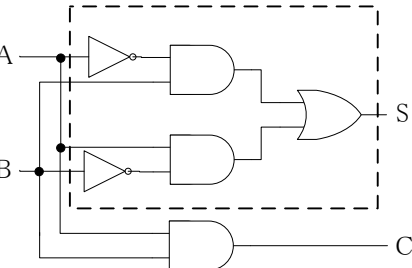


図6-1 半加算器

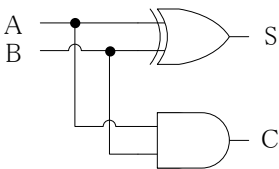


図6-2 EX-ORを用いた半加算器

表6-2 半加算器の真理値表

A	B	出力(図6-1)		出力(図6-2)	
		S	C	S	C
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

SとCの論理式を書きなさい。

6-2 全加算器

・全加算器とは
全加算器は、2進数の1桁の入力(A、B、桁上げ入力Ci)の3入力を演算し、下位からの桁上げ入力を含めて出力S、桁上げ出力Cに出力する。
下位の桁上げ出力を上位の桁上げ入力に接続することにより、任意の桁数の2進数の加算が可能となる。表6-3に真理値表を示す。

表6-3 全加算器の真理値表

入力			出力	
A	B	Ci	S	Co
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

- (1) 図6-3のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表6-4の真理値表に記録する。
- (3) 半加算器と同様に、図6-4のようにEX-ORに置き換えて同様の実習を行う。

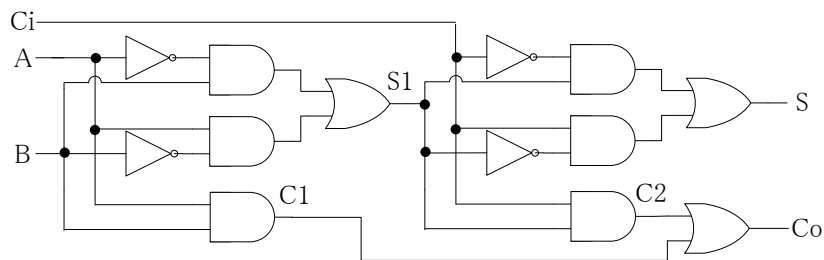


図6-3 全加算器

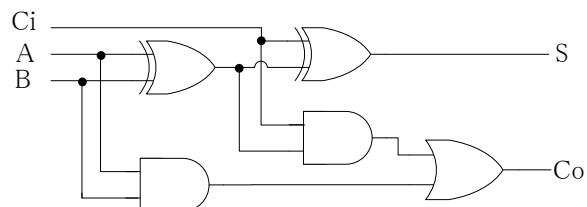


図6-4 EX-ORを用いた全加算器

表6-4 全加算器の真理値表

A	B	Ci	出力		出力	
			S	Co	S	Co
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
0	1	1				
1	0	0				
1	0	1				
1	1	0				
1	1	1				

SとCoの論理式を書きなさい。

6-3 エンコーダ

・エンコーダとは
10進数を2進数に変換する回路をエンコーダという。

- (1) 図6-5のように配線する。
- (2) 動作を確認して、結果を表6-5の真理値表に記録する。

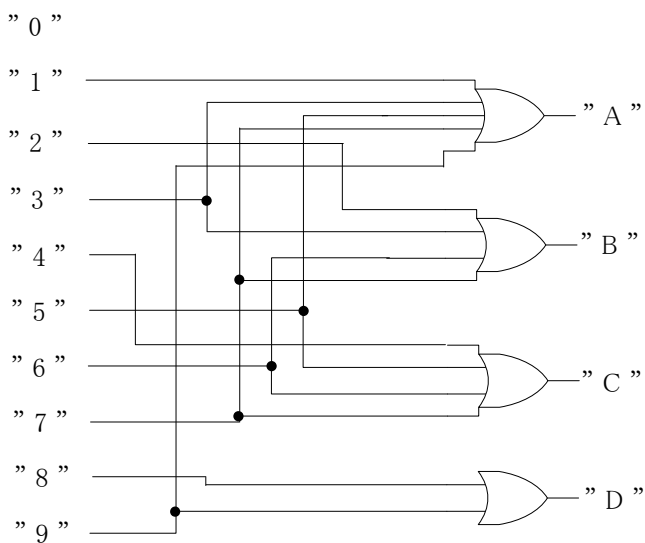


図6-5 エンコーダ

表6-5 エンコーダの真理値表

10進入力	2進出力			
	A	B	C	D
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

6-4 10進2桁カウンタ回路

・10進2桁カウンタとは

スイッチからの入力回数をカウントする回路。デコーダカウンタICを利用して2進数を10進数に変換し、7セグデコーダICを利用してカウント数を7セグに10進数で表示する。

- (1) 各ICの回路図は図6-6、図6-7を参考にする。7セグは図6-8を参考にする。
- (2) 図6-9のように配線し、正しく動作することを確認すること。
- (3) 動作の説明を考察課題としてレポートにまとめること。

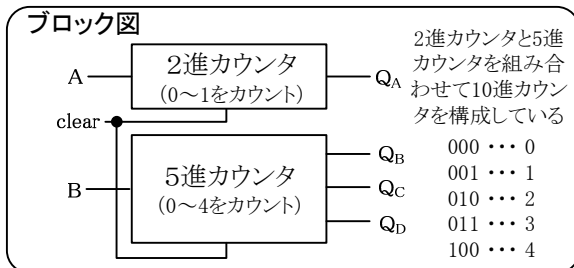
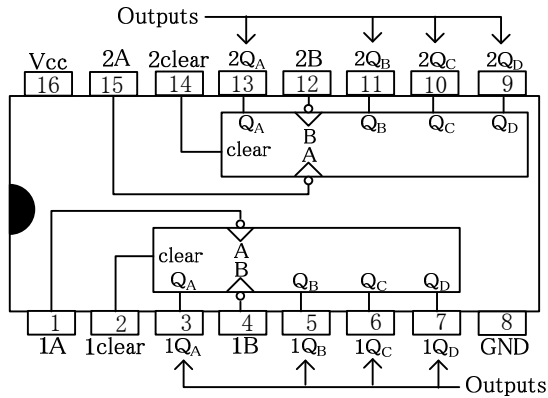


図6-6 デコーダカウンタIC (74390) の回路図

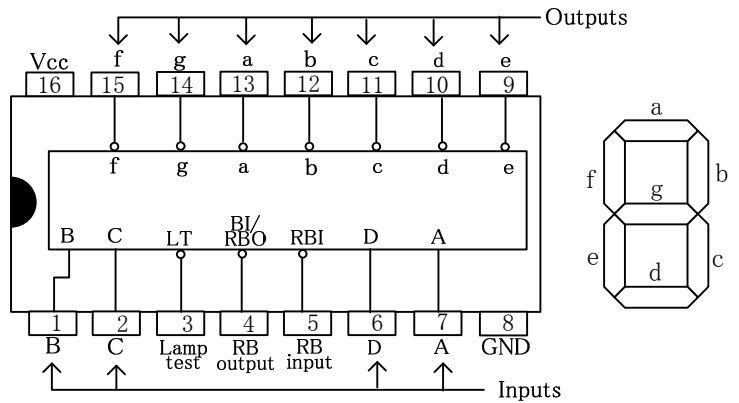


図6-7 7セグデコーダIC (7447) の回路図

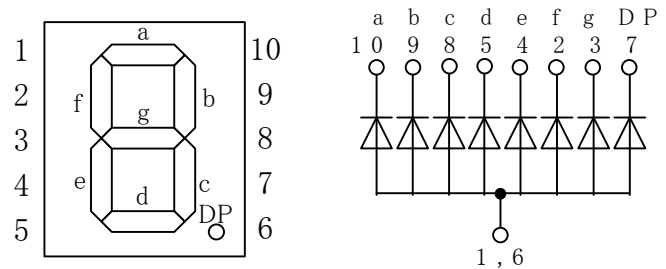


図6-8 7セグ (GL9A040G) の回路図

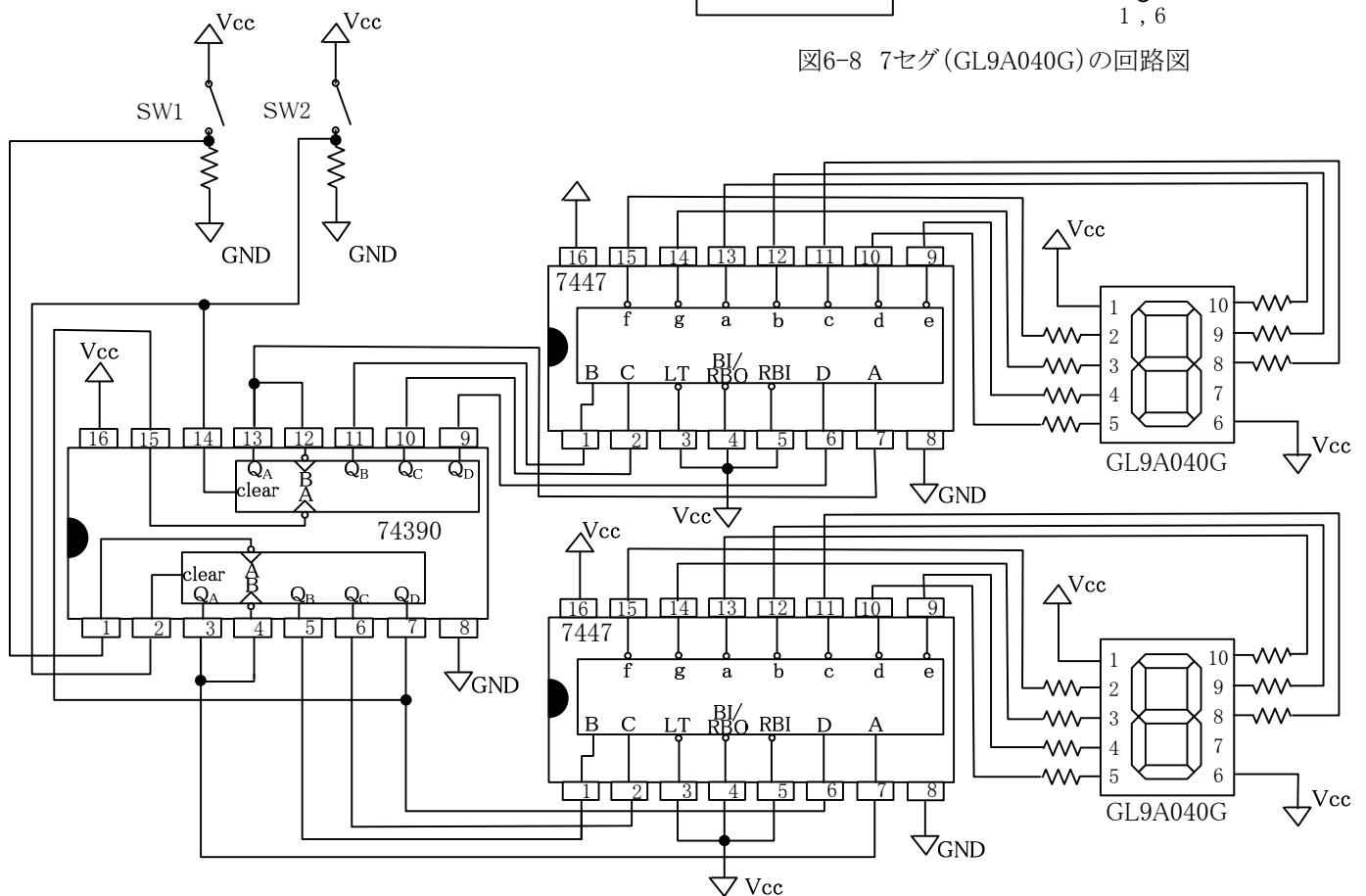


図6-9 10進2桁カウンタ回路

7. 課題回路

以下の課題について2週目までに各自調べておくこと。そして、2週目、3週目に回路をブレッドボード上で製作し、動作を確認すること。課題(1)と(2)についてレポートでは回路図、真理値表、論理式をそれぞれ示すこと。

- (1) 3人の投票とする。多数決で成立のとき"1"、そうでないとき"0"となる出力を持つ回路を作成しなさい。
- (2) 次式が示す回路をAND, OR, NOT, NAND, NORの各素子を用いて製作し、真理値表の結果と比較せよ。
さらに、式を簡単化した場合についても同様の作業を行うこと(1問ずつ割り当てます)。

(a) $Y = A \cdot \overline{B} + A \cdot C$

(f) $Y = \overline{A + B} \cdot C + \overline{C}$

(b) $Y = (A + B) \cdot (A + C)$

(g) $Y = A \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + A \cdot \overline{B} \cdot C$

(c) $Y = A \cdot B + A \cdot \overline{B} \cdot C$

(h) $Y = (A \cdot B + C) \cdot A$

(d) $Y = (A + B) \cdot (A + B)$

(i) $Y = (\overline{A \cdot C}) \cdot (B + \overline{C}) \cdot \overline{B}$

(e) $Y = \overline{A} \cdot (\overline{B + B}) + A \cdot B$

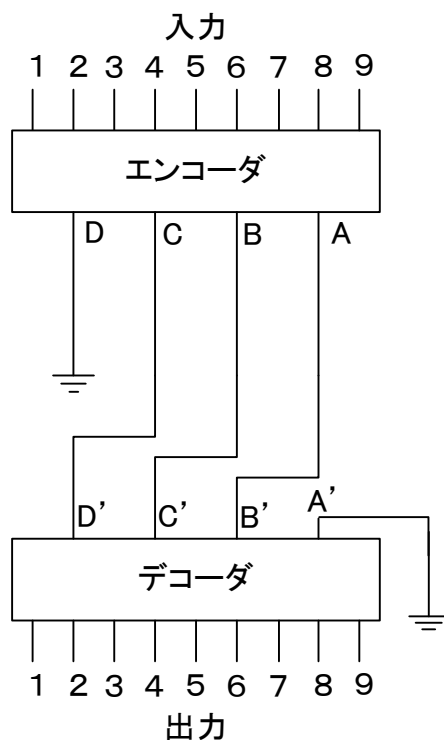
課題回路(2)の留意事項

- ・レポートでは回路の簡単化について実験結果を検証し、自分なりの見解をまとめること。
例えば、6個の論理回路で表されていた回路が簡単化により4個で構成されたとする。しかし、実際に使うICの数はどうなったのか考える。

- (3) これまでの実習内容を応用して、各自で自由に回路を作成し、その動作を確かめなさい。

課題回路(3)の留意事項

- ・設計、製作では資料等参考にしながら主体的に行動すること。また、回路が正しく動作するまであきらめないこと。
- ・レポートでは自分で設計、製作した回路についてまとめることを考察とする。回路の特徴を分かりやすくまとめること。写真など入れるなど工夫すること。
- ・4週目に自分で設計、製作した回路についてプレゼンテーションを行う。



例) エンコーダとデコーダを用いて作成した”二倍器”の回路図を図7-1に示す。二倍器は、エンコーダに入力された10進数を2進数としてデコーダへ出力するとき、一桁ずらしている。これにより、1ビット左にシフトしたことと同じ効果があるため必ず入力された値は2倍されて出力される。

図7-1 二倍器

8. (特別編)プリント基板の設計と製作

各自回路を設計し、動作を確認しているはずである。希望者はでCADソフトを使ったプリント基板の設計と製作作業を行う。以下にプリント基板の設計と製作の概要をまとめる。

8-1 プリント基板製作手順

図8-1に基板(これは絶縁体)と呼ばれる板上に電気が導通するための銅箔が貼られている基板のことをプリント基板とよぶ。市販されている基板は全面に銅箔が貼られており、後述するエッチングにより図8-1のような回路パターンを製作する。今回用いるプリント基板は図8-2のように3層により構成されている。

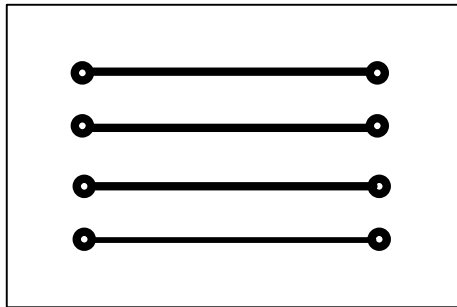


図8-1 プリントパターンの例

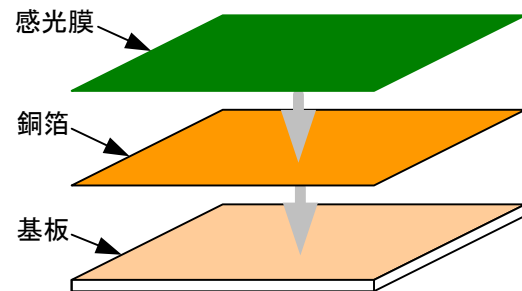


図8-2 ポジ感光基板の構造

以下にプリント基板製作の流れを説明する。図8-3に大まかな流れ図を示す。

感光膜は紫外線を当てると溶ける性質を持っている。例えば、図8-1のパターンをOHPシートなどの透明なシートに印刷して用意する。このシートを通して感光膜に紫外線を当てるとパターンのあるところは紫外線を通さないが、それ以外の所は紫外線により変色し、現像液で溶ける状態になる。この作業を露光という。

この状態のプリント基板を現像液に入れると変色した部分の感光膜が溶けてパターンだけが残る。この作業を現像という。

次にエッチング液に基板を入れる。エッチング液は銅箔を溶かす液体である。銅箔がむき出しになっている部分は溶けるが、感光膜が残っているところは溶けない。これより、基板上にパターンのみ残ることが分かる。この作業をエッチングという。

最後に、パターンの上に残っている感光膜をアルコールで拭き取るとプリント基板ができる。ドリルによる穴空け作業が終わると完成となる。

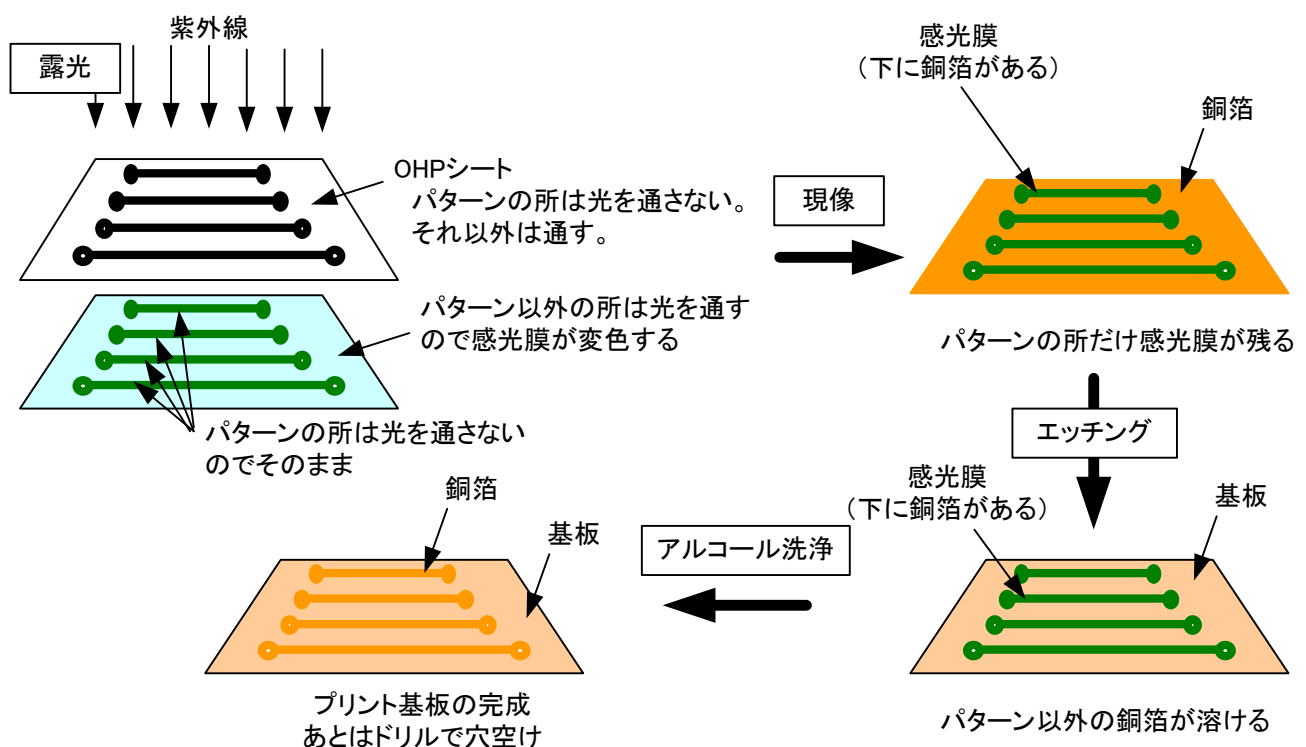


図8-3 プリント基板作成の流れ

8-2 プリント基板ソフトについて

プリント基板設計ソフトはCadsoft社が開発したEAGLE(イーグル)を使う。詳しい使用方法については別途マニュアルを参考にするとし、ここでは概略だけ述べる。

電気情報工学科コンピュータールームにインストールされているのはEAGLEのLight版であり、設計できる基板サイズが100 mm×80 mmと機能が制限されている。しかし、非営利目的ならばフリーで使えるほか、自動配線機能が使える。

作業としては回路図エディタで回路図を書き、回路図から生成される電子部品をボードエディタによりレイアウトする。そして、自動配線によりパターンを自動的に生成する。もし、自動配線がうまくいかない場合は手動でジャンパ線を配線すればよい。

ほとんどの電子部品はライブラリとして用意されており、ユーザーは使うだけでよい。しかし、部品がない場合でもライブラリは新規に作ることができる。ただし、ノウハウが必要になるので今回は対象外とする。

8-3 製作実習の留意事項

- ・製作するプリント基板のサイズは100 mm×75 mmである。4週目の実験開始前までにOHPシートに回路パターンを印刷しておくこと。なお、印刷するときは経費削減のため、1枚のOHPに2回路印刷できるように工夫すること。OHPは担当教員から必要枚数をもらうこと。

- ・露光からエッチングまでの作業は担当教職員の指示に従うこと。

- ・OHPシートは感光プリント基板に合わせて、ずれないように隅をセロハンテープで固定する。このとき、パターンの表と裏が逆にならないよう注意すること。

- ・プリント基板ができたら、ドリルで穴空け作業を行う。0.8mmのドリルで行うこと。ドリルは台数に制限があるので手早く作業を進めること。

- ・穴空け作業まで完了したら部品のはんだ付けを行う。ICは直にはんだ付けを行わず、必ずICソケットを利用すること。

- ・はんだ付け終了後、動作確認を行うが、直流電源をつなぐ前に基板上の電源の+と-の両端子がショートしていないか確認すること。動作が確認できれば実験終了となる。

9. 考察課題

- (1) TTLとC-MOSは何の略か答えなさい。また、それぞれのICの特徴をまとめなさい。
- (2) 全加算器を用いて並列加算方式について説明しなさい。
- (3) 減算回路はどのように構成すればよいか説明しなさい。補数を使うこと。
- (4) チャタリングについて説明しなさい。また、チャタリングに対してどのような対策があるか説明しなさい。
- (5) 図6-9の回路の動作を説明しなさい。

10. その他

- (1) コンピュータールームにあるソフトウェアを最大限活用して下さい。回路図を作成するにはVisioが便利です。このテキストもVisioで書いています。使い方などは聞きに来ること。

- (2) 各会社のホームページにICのデータシートがPDFファイルで用意されています。色々なICがあることも分かるので参考にになります。今回、使用したICはほとんど東芝製です。以下のページからカタログを見ることができます。

東芝セミコンダクター社 <http://www.semicon.toshiba.co.jp/>

- (3) Eagleのマニュアルは伊藤研究室ホームページで公開している(PDFファイル)。希望者は参考にすること。

伊藤研究室 <http://www.ipc.akita-nct.ac.jp/itok/>