

論理回路学習による体系的情報教育について

工業科 工藤雄司 金城幸廣 深澤孝之
茂木好和 加島 倫

開発科目「工学情報基礎」は、総合学科における工業教育として、生徒が最初に取り組む実習を中心とした科目である。この中で取り組んでいる実習項目「ICブレッドボード実験」では論理回路学習を体系的情報教育の内容として実施している。

そして、論理回路学習を中学生対象の体験授業にも使用できるように内容を見直すことで、中学・高校一環の体系的情報教育のための教材としたので報告する。

キーワード：総合学科における工業教育、論理回路学習、体系的情報教育

1. はじめに

2年次に実施する開発科目「工学情報基礎」は、総合学科における工業教育として、「工学システム・情報科学系列」を志望する生徒が最初に受講する実習を中心とする系列必修科目である。したがって、生徒の興味関心を最大限に引き出すように科目の内容としてライントレースカーの製作を中心に構成している。

この中で取り組んでいる実習項目「ICブレッドボード実験」では論理回路学習を体系的情報教育の内容として実施している。

なぜなら、中学・高校における体系的情報教育は、「科学的理解」を重要な要素としてコンピュータの本質、すなわちブール代数や回路論などの学問体系である「記号論理学」の内容が必修事項であると考えたからである。こうして、生徒の発達段階を踏まえ、カリキュラムの中に論理回路学習を取り入れることにした。

2. 論理回路学習の実践内容について

本報告では、論理回路学習を中学生対象の体験授業にも使用できるように内容を見直すことで、中学・高校一環の体系的情報教育のための教材とした。資料として作成したテキストを示す。

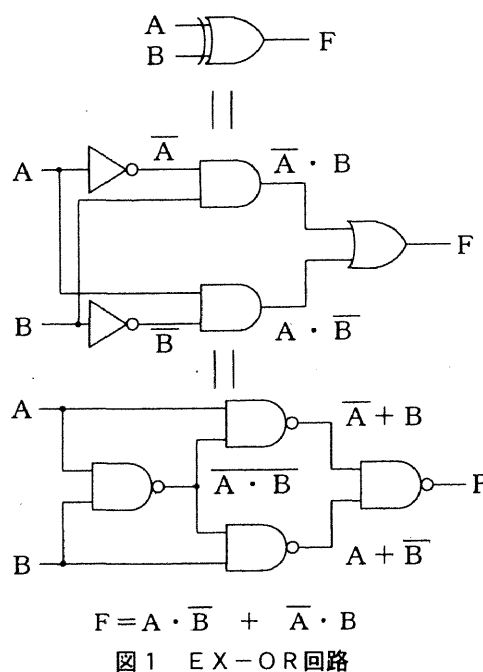
本実践での論理回路学習は、実習を主としている。教材は、生徒・学生の各々のレディネスに基づき、指導範囲を決定した。実践では、基本論理回路(NOT回、AND回路、OR回路)とNAND回路を組み合わせた基本論理回路、EX-OR (EXCLUSIVE-OR：排他的論理和) 回路を作成していく。

実習は、テキストに示すように写真による実物配線図を組み込み、実験・実習を容易にする工夫を取り入れて

いる。こうした学習過程でブール代数の定理、回路設計の基礎の理解を図っている。

例えば、NAND回路を組み合わせてOR回路を作る過程で回路設計の基礎に触れ、TTL-ICの74シリーズにおいて何故NAND回路が00番なのかを実感する。また、ド・モルガンの定理「 $\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$ 、 $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$ 」もテキスト7ページの図17に示すよう論理式に回路図を加えて提示することで、容易にその重要性を理解することになる。

これまでのEX-OR回路の学習においては、図1(中)に示すように基本論理回路を使用して作成する方法と、図1(F)のNAND回路で作成する方法を比較していた。しかしながら、中学生に対象を広げたため、図1(上)のEX-OR回路が4個入ったTTL-ICの86番を用いて難易度を下げることとした。



また、コンピュータを構成する回路の基礎となる半加算回路が、図2に示すようにEX-OR回路とAND回路により構成されることを理解する。

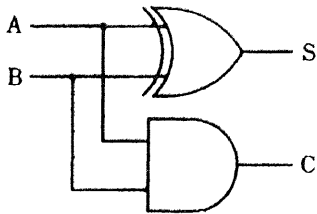


図2 半加算回路

さらに、回路の組み立ての中での気づき・ひらめきとしては次の関係があげられた。

- 「5色の配線コード」→「配線の色分け」
- 「実態配線図通り」→「回路図に沿って」
- 「実態配線図」≠「回路図」

3. まとめ

本教材は、論理回路学習を体系的に学べ、かつ情報教育における「ものづくり」のあり方にも方向性を示したものである。

実践の結果、コンピュータの本質である進数と回路の見方を体系的に理解していくことがわかった。この結果は、科学的理解を教授するのに題材から学習分野へ発展する本教材が妥当であることが示唆され、情報教育の体系化にあたり回路図と実態配線に関する「気づき」や「ひらめき」など学習行動に成長過程がみられた。

【参考文献】

- 1) 工藤雄司, 大平典男, 他4名: 『2進数理解を支援する教材・教具の開発について』, 筑波大学附属坂戸高等学校研究紀要第40集, pp.129~pp.132, 2003年
- 2) 工藤雄司, 本村猛能: 『高等学校総合学科工業系における情報教育の内容分析』, 日本工業技術教育学会誌「工業技術教育研究」第9巻第1号, pp.17~28, 2004年
- 3) 工藤雄司, 茂木好和, 他3名: 『新科目「工学情報基礎」の開発について』, 筑波大学附属坂戸高等学校研究紀要第42集, pp.85~pp.91, 2004年
- 4) 工藤雄司, 茂木好和, 他3名: 『新科目「工学情報基礎」の開発についてII』, 筑波大学附属坂戸高等学校研究紀要第43集, pp.97~pp.109, 2005年

- 5) 工藤雄司, 本村猛能: 『体系的情報教育における「論理回路学習」の知識の構造化』, 日本工業技術教育学会誌「工業技術教育研究」第11巻第1号, pp.55~64, 2006年

論理回路実習テキスト

筑波大学附属坂戸高等学校 工学システム・情報科学系列

1 目的

基本論理回路や、NAND回路の組み合わせによる基本的な論理回路の動作を確認する。あわせて、デジタルICの使い方を習得する。

2 使用機器

機器の名称	記号	定格など
論理回路実験装置		ブレッドボード, 配線材
IC (AND, OR, NOT, NAND, EX-OR)		74AS08, 74AS32, 74LS04, 74F00, 74LS86
発光ダイオード	LED	高輝度型
抵抗	R	1 k Ω
スイッチ (2個)	S ₁ , S ₂	スイッチ (ICピッチ足間隔)
ACアダプタ		5V

ここの赤色の発光ダイオードは電源ランプ代わりなので外さないでください。



図1 論理回路実験装置(ブレッドボード)の概観

図1に示すブレッドボードは、IC (integrated circuit:集積回路)や配線を差し込むだけで通電できるので、組み立て実験が容易におこなえる。電源は、図1右上の赤と黒の端子に差し込むとよい。ブレッドボードの内部構造は、図1左下の黒線で示すように、最上部の2列の穴と、最下部の2列の穴が横方向に接続されているので電源ラインとなる。それ以外の穴は中心線を境に縦方向に5個の穴が接続されている。

2 使用するICについて

ICの外観、回路およびピン配置は、図2 (a) ~ (d) の通りである。



テキスト1

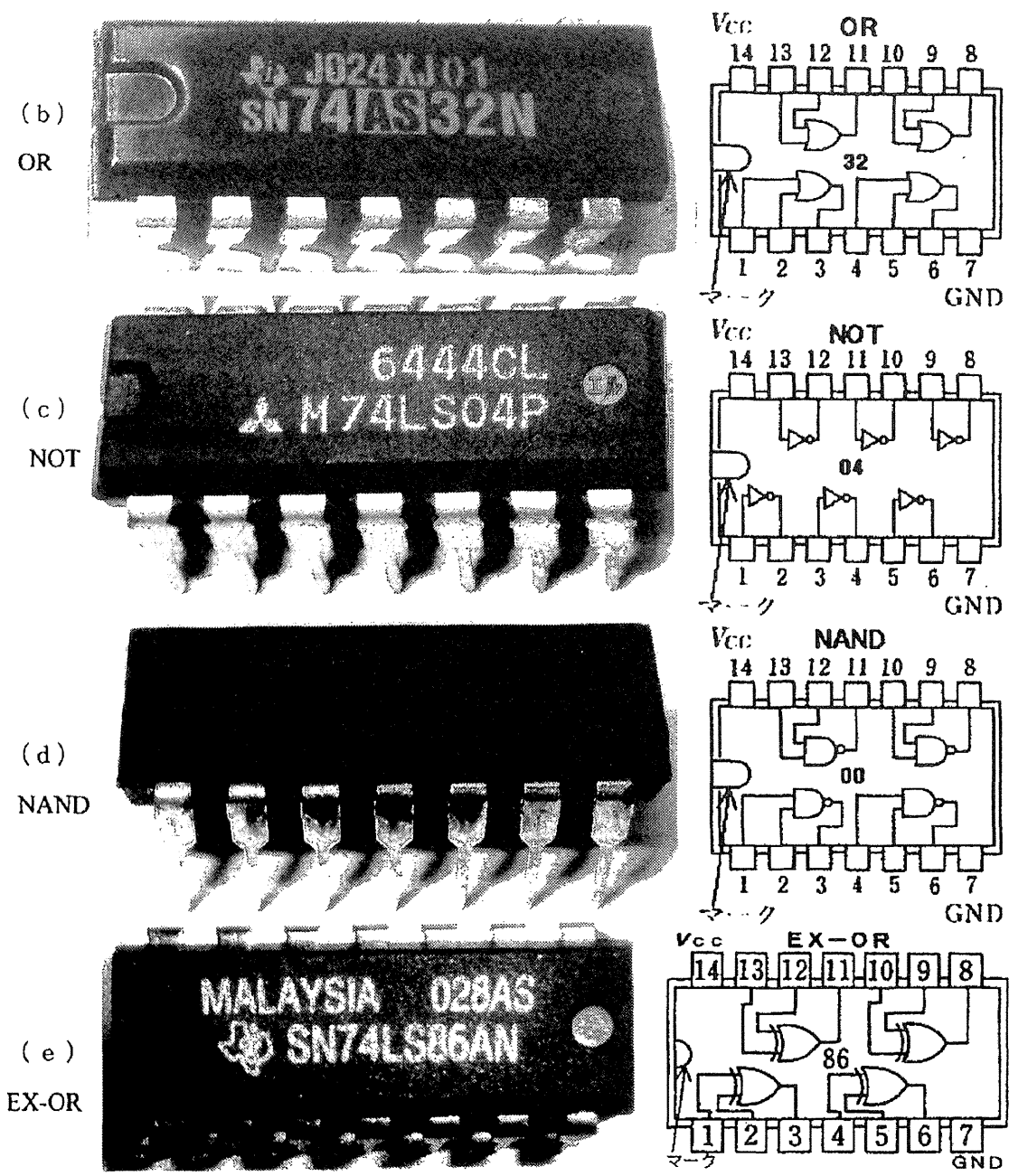


図2 ICの外観、回路およびピン配置(ピン番号は1～14まで逆時計回り)

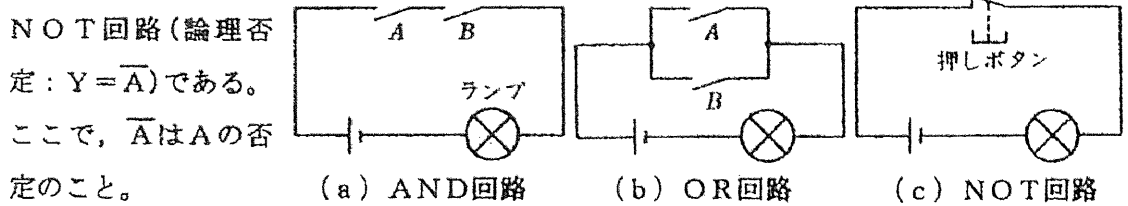
図2の回路およびピン配置は、パッケージのマークを左側にして上側から見た場合のピン配列を示している。図2のAND回路などの内部は、1か0のデジタル信号を処理するので論理回路という。そして、主にトランジスタにより構成されているので、TTL (transistor transistor logic) - ICという。

- 7400 : スタンダード (最初に開発されたTTL-IC)
- 74LS00 : ローパワー・ショットキー(低消費電力・より高速型:よく使われていた)
- 74F00 : FAST (より低消費電力・より高速型)
- 74AS00 : アドバンスト・ショットキー (より低消費電力・高速型)

- 74ALS00 : アドバンスド・ローパワー・ショットキー (低消費電力・高速型)
- 74HC00 : ハイスピード・CMOS (超低消費電力・より高速型 : トランジスタに比べMOSFETを用いたCMOS-ICは, 集積度が高く消費電力が少ない)

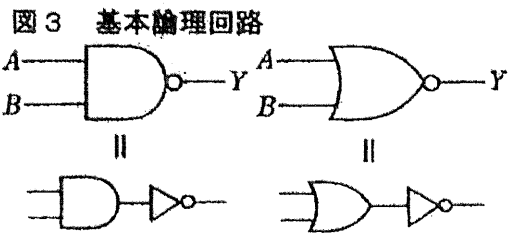
3 論理回路について

図3に基本論理回路を示す。図(a)はAND回路 (論理積 : $Y = A \cdot B$), 図(b)はOR回路 (論理和 : $Y = A + B$), 図(c)は



NOT回路 (論理否定 : $Y = \overline{A}$) である。ここで, \overline{A} は A の否定のこと。

図4の論理回路は, 図3の基本論理回路を組み合わせたものである。図(a)はAND回路にNOT回路を組み合わせたNAND回路 ($Y = \overline{A \cdot B}$), 図(b)はOR回路にNOT回路を組み合わせたNOR回路 ($Y = \overline{A + B}$) である。



次式のように基本論理回路やNOR回路は, (a) NAND回路 (b) NOR回路 NAND回路の組み合わせで作ることが可能である。

- (a) NOT回路 : $Y = \overline{A} = \overline{A \cdot A}$ (入力 A, B が同じ場合は入力が A のみと同じというブール代数の定理より)
- (b) AND回路 : $Y = A \cdot B = \overline{\overline{A \cdot B}}$ (否定の否定は肯定というブール代数の定理より)
- (c) OR回路 : $Y = A + B = \overline{\overline{A + B}} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$ ($A + B = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$, $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$)
- (d) NOR回路 : $Y = \overline{A + B} = \overline{\overline{\overline{A + B}}}$ という「ド・モルガンの定理」より)

4 実験

実験1 電源ランプ回路

①図5に示すブレッドボード上の電源ランプ回路を確認する。

発光ダイオード (Light emitting diode: LED) は足の長い (折り曲げた) 方を + 側に接続すること。

②ACアダプタ ($V_{cc}=5V$) をコンセントに差し込み, 電源ランプ (発光ダイオード) が点灯することを確認する。

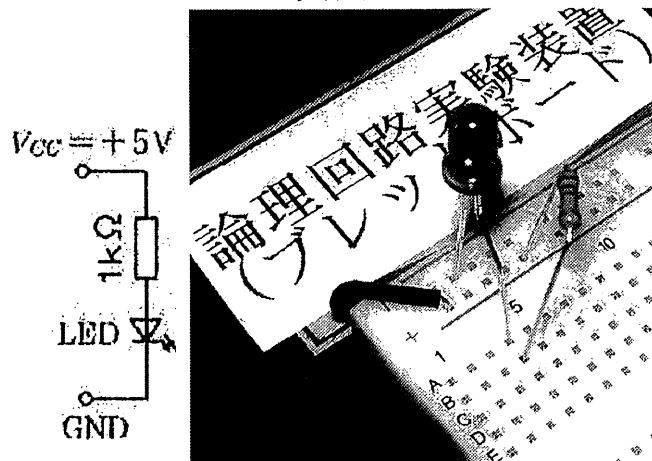


図5 電源ランプ回路と実物配線図

実験2 IC実験回路

①ブレッドボード上に図6のIC実験回路を図7のように配線する。

左側をスイッチ $S_1=A$,

右側を $S_2=B$ とする。

②図6のAとYを接続し、表1を作成する。ここで、スイッチ S_1 を

左側にスライドするとき”0”側の GND

GND=0V となり、右側にスライドする

図6 IC実験回路図

表1 LEDの状態

とき”1”側の $V_{cc}=5V$ となる。また、LEDは点灯すれば”1”，消灯すれば”0”となる。

A	LED
0	
1	

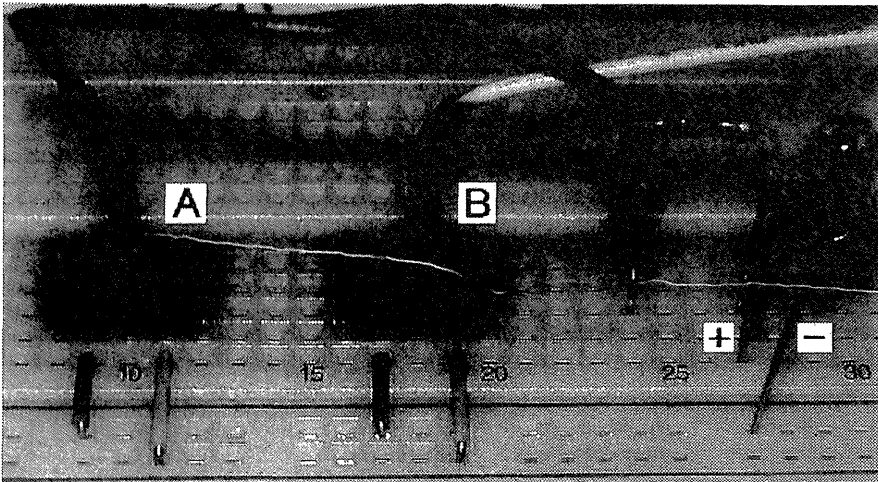
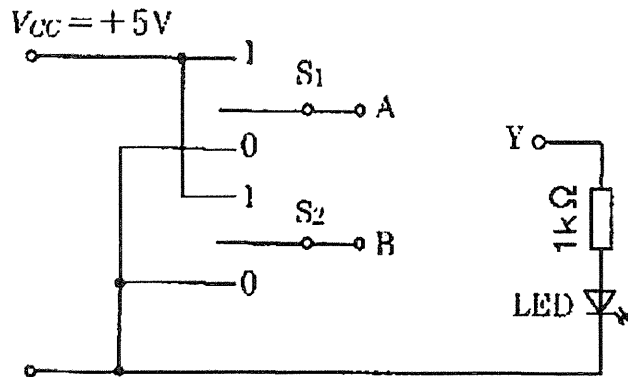


図7 実物配線図

実験3 NOT回路

① IC 実験回路の LED と抵抗を取り、図8の NOT 回路を配線する。

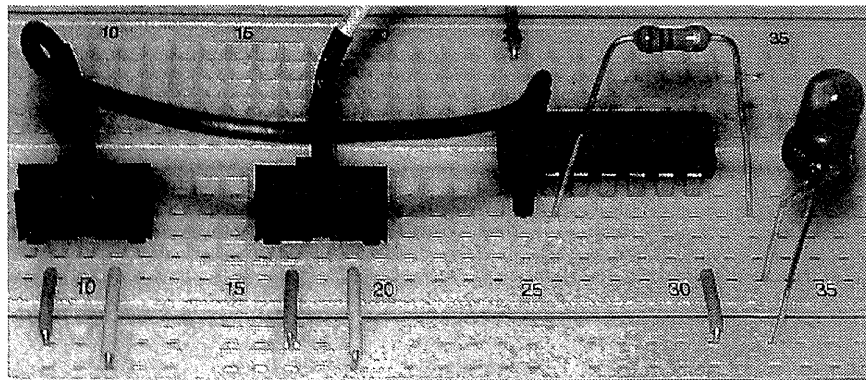
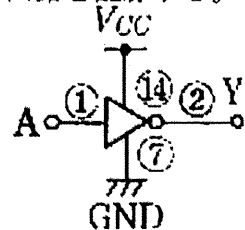


図8 NOT回路(74LS04: ①~⑭はICのピン番号)と実物配線図

スイッチ S_1 からの線を IC の 1 番ピンに、抵抗を 2 番ピンに接続する。IC の電源の接続を確実にすること。

表2 NOT 真理値表

②表2の真理値表に従ってスイッチ S_1 を操作して、真理値表を作成する。

A	Y
0	
1	

注意事項：ただし、電源+5Vに接続したときを”1”，GNDに接続したときを”0”とする。そして、出力表示のLEDは、点灯時が”1”，消灯時が”0”である。

実験4 AND回路・OR回路

① IC 実験回路の IC と抵抗を取り，図9のAND回路を配線する。スイッチからの線を IC の1，2番ピンに，抵抗を

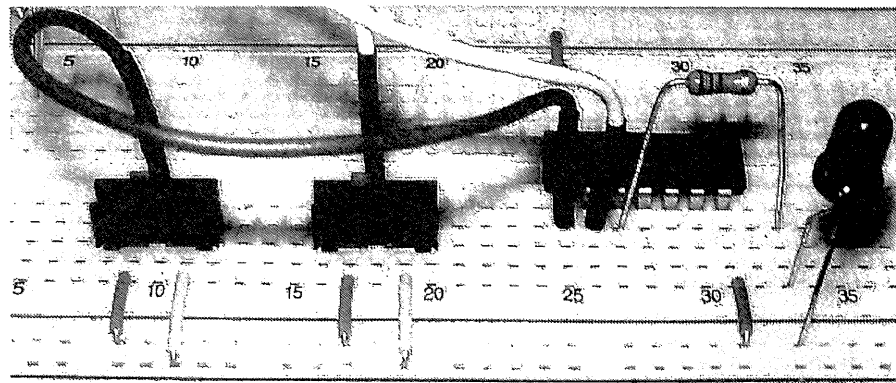
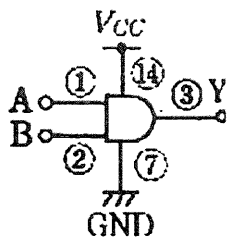


図9 AND回路(74AS08)と実物配線図

3番ピンに接続する。

②表3の真理値表に従ってスイッチS₁，S₂を操作して，真理値表を作成する。
③同様にOR回路を配線し，真理値表を作成する。

表3 AND 真理値表

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

表4 OR 真理値表

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

実験5 NAND回路

① IC 実験回路に図10のNAND回路を配線する。
②表5の真理値表に従ってスイッチS₁，S₂を操作して，真理値表を作成する。
③NOR真理値表を予想して記入する。

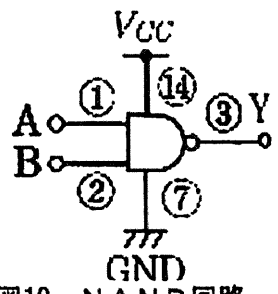


表5 NAND真理値表

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

NOR真理値表

Y

実験6 各種の論理回路

①実験5のNAND回路を使用して，図11の回路を図12のように配線し，表6の真理値表を作成する。何回路と同じか考える。

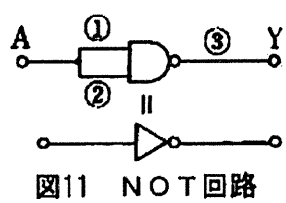


図11 NOT回路

表6 真理値表

A	Y
0	
1	

図12 NAND回路(74F00)によるNOT回路の実物配線図

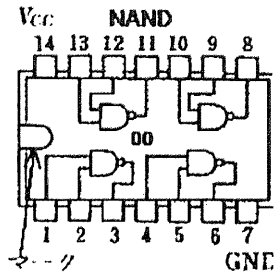
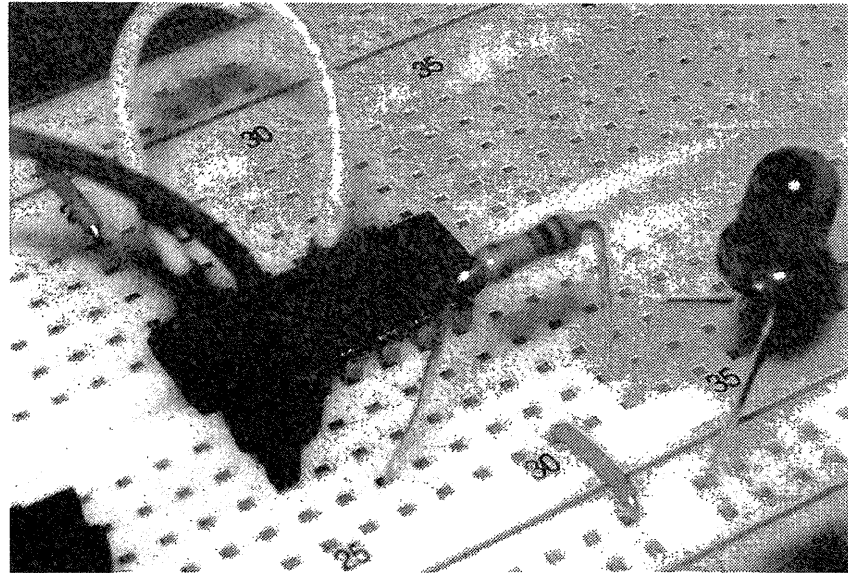


図2(d) NAND-ICのピン接続(既出)



留意点：図11は、A、B二つの入力端子に同じ入力Aを接続しているため、 $A=B=0$ か、 $A=B=1$ の二種類の入力しかない。

②図13の回路を図14のように配線し、表7の真理値表を作成する。何回路と同じか考える。このとき表の中の「③： $\overline{A \cdot B}$ 」の③は図13の回路の中程にあるNAND回路の出力のことで表5の結果を記入するとよい。また、 $\overline{A \cdot B}$ はテキスト3ページの15行目に示したようにNAND回路の論理式のことである。

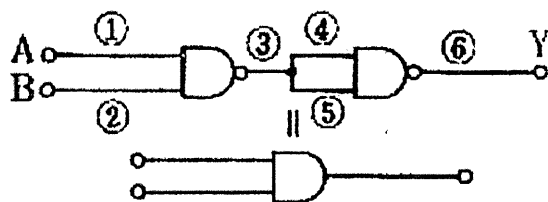
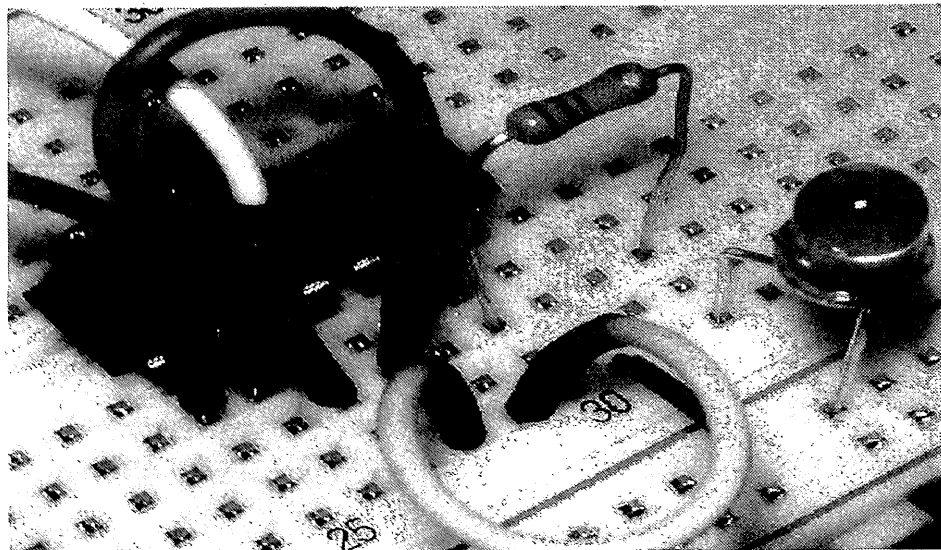


図13 AND回路

表7 真理値表

A	B	③： $\overline{A \cdot B}$	Y
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

図14 NAND回路(74F00)によるAND回路の実物配線図



③図 15 の回路を図 16 のように配線し、表 8 の真理値表を作成する。図 17 のド・モルガンの定理を参考に何回路と同じか考える。このとき表の中の \bar{A} , \bar{B} はテキスト 3 ページの 8 ~ 11 行目に示したように \bar{A} は A の否定を、 \bar{B} は B の否定を表すので記入するとよい。

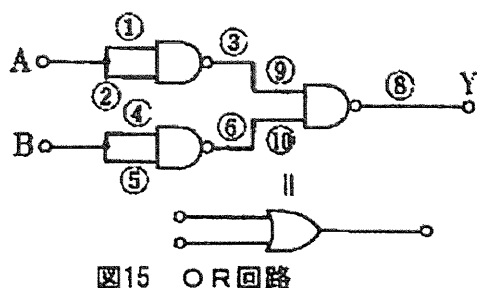


図15 OR回路

表 8 真理値表

A	B	\bar{A}	\bar{B}	Y
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

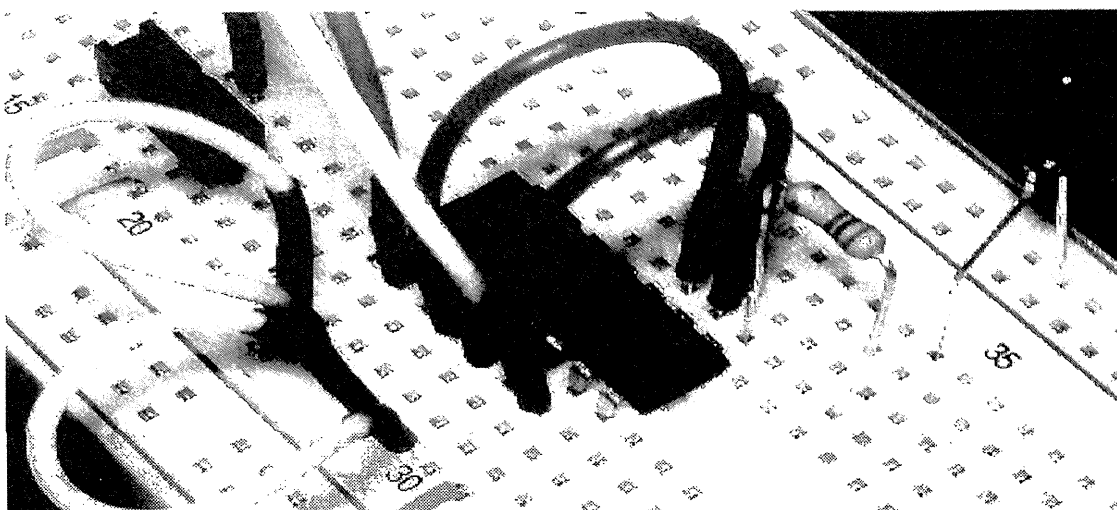


図16 NAND回路(74F00)によるOR回路の実物配線図

ド・モルガンの定理は右図のようにANDとORの変換ができるので回路を設計する際にはよく利用されている。

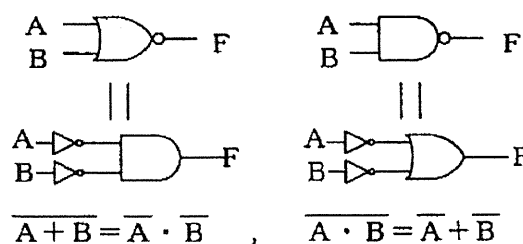


図17 ド・モルガンの定理

実験7 EX-OR回路

① IC 実験回路に図 18 に示した EX-OR (EXCLUSIVE-OR: エクスクルーシブ・オア: 排他的論理和) 回路を図 2 (e) EX-OR を参照しながら配線する。

②表 9 の真理値表に従ってスイッチ S_1 , S_2 を操作して、真理値表を作成する。

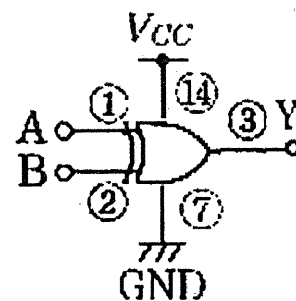


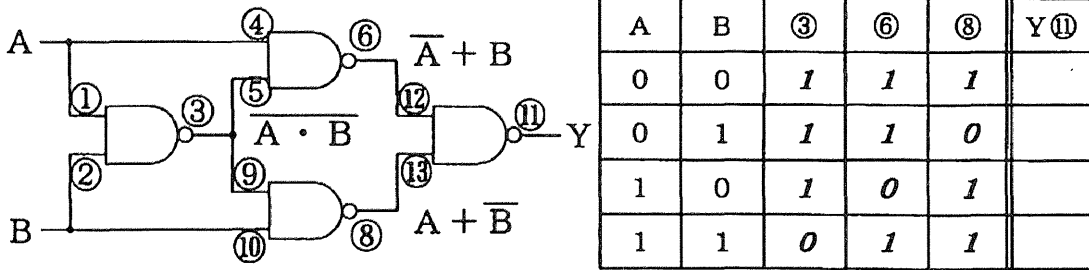
図18 EX-OR回路

表 9 EX-OR 真理値表

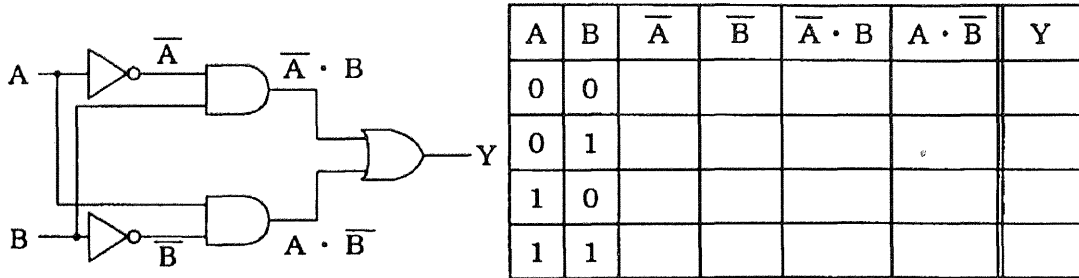
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

結果是頁 1

[1] 図の回路の真理値表を実験 5 を参照して作成し、どの回路と同じか調べてみよう。



[2] 図の回路の真理値表を作成して、どの回路と同じか調べてみよう。



結果是頁 2

[1] 図 19 の半加算回路を配線する。LED を追加して、S と C の両方の出力で点灯させよう。

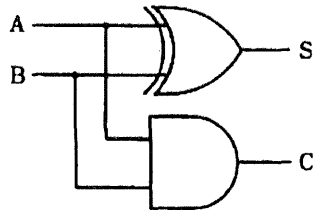


表 10 真理値表

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

[2] 表 10 の真理値表に従って 図19 半加算回路スイッチ S₁, S₂ を操作して、真理値表を作成する。

[3] 「2進数の足し算」を調べてみよう。

$$\begin{array}{r} 0 \\ +0 \\ \hline 0 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 0 \\ +1 \\ \hline 1 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 1 \\ +0 \\ \hline 1 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 1 \\ +1 \\ \hline 10 \end{array}
 \quad \leftarrow \text{注目}$$

EX-OR回路は、加算の和を計算する回路であることが分かる。

$$\begin{array}{r} A \rightarrow 0 \\ B \rightarrow +0 \\ \hline CS \rightarrow 00 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 0 \\ +1 \\ \hline 01 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 1 \\ +0 \\ \hline 01 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 1 \\ +1 \\ \hline 10 \end{array}
 \quad \leftarrow \text{桁上げ無しを0とすると,}$$

AND回路は加算の桁上がりを計算する回路であることが分かる。

2桁の足し算 (2つの数の足し算は半加算回路, 3つの場合は全加算回路という。)

$$\begin{array}{r} 0 \\ 01 \\ +00 \\ \hline 01 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 0 \\ 01 \\ +10 \\ \hline 11 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 1 \\ 01 \\ +01 \\ \hline 10 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 11 \\ 11 \\ +01 \\ \hline 100 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r} 11 \\ 11 \\ +11 \\ \hline 110 \end{array}
 \quad \leftarrow \text{桁上げ}$$