

論理演算の学習のための教材開発

高藤 清美*

Development of the Learning Materials for the Logical Operations

TAKATO Kiyomi *

Abstract

In learning logical operations, which are often included in the introductory course of computer learning, use of actual experimental circuits will deepen the understanding of learners. With this in mind, I have developed various experimental materials for logical operations. Based on the results of my previous efforts^{1, 2)}, I developed a new, multipurpose material which allows learners to simulate logical operations through multifaceted experiments. I also developed a new experimental material providing practical experience in basic logical operations.

要 旨

コンピュータの学習の入門コースでよく扱われる論理演算についての学習では、実際に動作する実験回路を用いて学習を進めることで、より理解が深まり効果的な学習を進めることが期待できる。このような観点で論理演算の学習のための実験教材の開発を進めてきた。今回は、従来の成果^{1, 2)}を踏まえ、さまざまな論理演算の実験が可能な、汎用的な教材を新たに開発した。さらに、基本的な論理演算の仕組みを実験できる論理演算の体験用の教材も新たに開発した。

キーワード：論理演算の学習、コンピュータの入門コース、論理回路実験、教材開発

1. はじめに

コンピュータ基礎に関するカリキュラムの一項目として論理演算や論理回路を扱うことが一般的である。コンピュータのハードウェアを構成する電子回路が論理回路の集合体であることから、コンピュータの基本的な仕組

みを理解するための一環として扱われている。しかし、論理演算の考え方の基本は単純であるが、我々の実世界における数に対する常識とは異なる世界を構成しているため、論理演算の基本的な公式である論理積、論理和、否定の考え方を理解した後でも応用的な問題に対応できない学習者が出てしまう。

* 情報コミュニケーション学部情報メディア学科、Tsukuba Gakuin University

筆者は論理演算の考え方を実際に実験で確かめることができる教材を開発してきた^{1,2)}。先に開発した教材^{1,2)}は、実験のためには特殊な工具が必要であり、また特定の課題を対象としていた。今回は新たに各種の論理回路の実験が可能な汎用用途の教材および基本的な論理演算の実験に特化した教材を開発したので、これらの成果について報告する。

2. 教材の開発方針

2. 1 先に開発した教材^{1,2)}の特徴と問題点

先に開発した教材^{1,2)}の主たる目的は、論理演算式の変換方式(簡単化方式)として広く用いられているカルノー図を用いた方法の実験を可能とするものであった。さまざまなパターンを一度に学習可能とするために、入力を2個(トグルスイッチを使用)、出力を8個(7セグメント発光ダイオード

(LED)を使用)持ち、最大8パターンの論理回路を一度に実験できるようにした。基板には論理積(AND)ゲートIC、論理和(OR)ゲートIC、否定(NOT)ゲートICをそれぞれ1つずつ搭載した。いずれのゲートICもC-MOSタイプを使用することを前提とした回路設計をおこなっているので、TTLタイプのゲートICでは正常な動作をしない³⁾。ANDゲートICとORゲートICは、4個の論理演算回路を内蔵している。またNOTゲートICは否定回路を6個内蔵し、このうち2個をスイッチ回路に使用した。したがって、3種類の基本論理回路を4個ずつ使用することができる。この教材の回路図および製作したプリント基板を図1、2に、仕様を表1に文献1より引用した。

この教材の問題点としては、想定している実験内容が論理式の簡単化に特化している点、配線の変更をするためにはやや特殊な工具であるラッピングツールやラッピング配線用のケーブルを必要とする点などが挙げられ

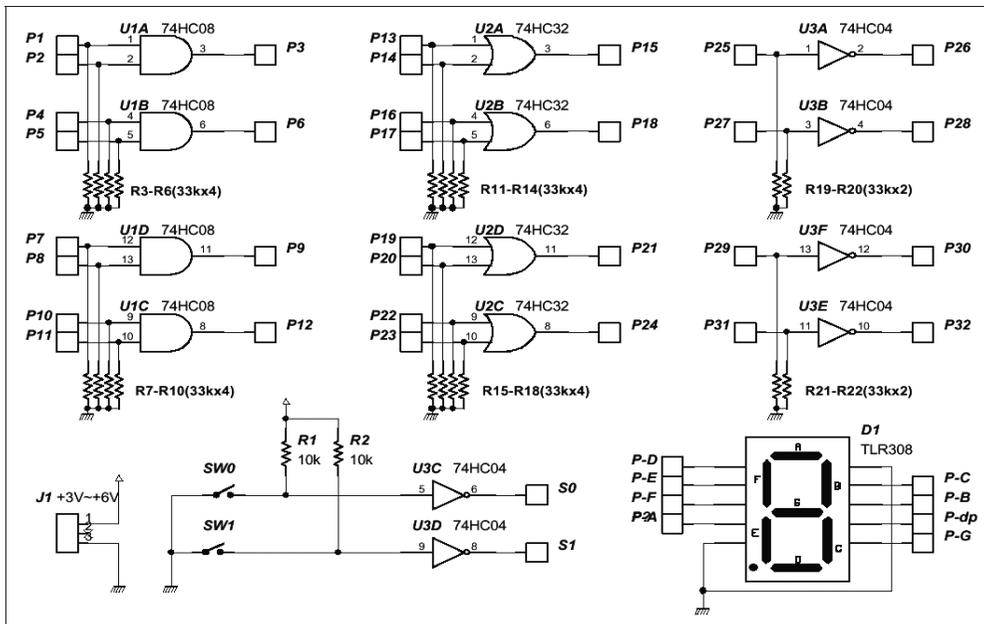


図1 教材の回路図(文献1、p.29より引用)

る。

2. 2 新規教材の開発方針

今回新たに開発した教材（汎用用途教材）の開発方針は次のように設定した。

- ・様々な論理回路の実験を可能とするために、単純な仕組みとする
- ・基本論理回路である AND 回路、OR 回路、NOT 回路を基本とし、それぞれの回路数がある程度確保する
- ・入力はスイッチで操作できるようにし、2 回路とする
- ・出力は LED で確認できるようにし、2 回路とする
- ・配線に使用するケーブルの入手が容易で、

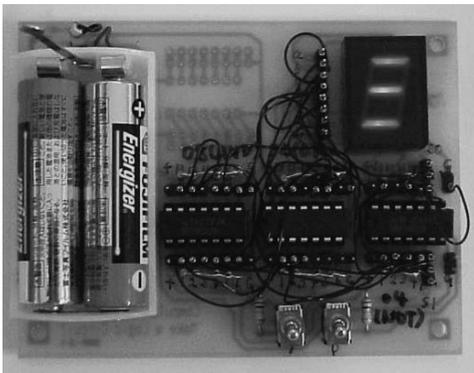


図2 製作した教材（文献1， p.29より引用）

表1 教材の仕様（文献1， p.28より引用）

入力	2（2個のスイッチと2個のNOTゲートを使用）
ゲート回路	ANDゲート（4 = IC 1個） ORゲート（4 = IC 1個） NOTゲート（4 = IC 4/6個）
出力	8（カソードコモンタイプの7 segLED 1個）
電源	3 V（単3乾電池2本）
大きさ	100mm×75mm

配線の変更も特殊な工具を必要としない

- ・乾電池での動作を可能とする

以上をもとに設計をおこなった。

また、基本的な論理回路（AND、OR、NOT、否定論理積（NAND）、否定論理和（NOR）、排他的論理和）の動作を確認するための実験基板（体験教材）を別に設計した。

3. 論理演算学習教材の開発

3. 1 汎用用途教材の開発

汎用用途教材は上記の開発方針にしたがって設計した。回路の構成は、基本論理演算である論理積、論理和、否定に対応したAND回路、OR回路、NOT回路だけで構成し、それぞれの回路間を自由に配線できるように各入出力を端子台に接続し、一般的な配線コードで配線できるようにした。基板上にはANDゲートIC、ORゲートIC、NOTゲートICをそれぞれ1つずつ搭載した。NOTゲートICに内蔵された否定回路のうち2個をスイッチ回路に使用した。したがって、3種類の基本論理回路を4個ずつ使用することができる。なお、いずれのゲートICもC-MOSタイプを使用することを前提とした回路設計をおこなっているため、TTLタイプのゲートICでは正常な動作をしない³⁾。

設計した汎用用途教材の回路図および製作したプリント基板の写真を図3、4に、仕様を表2に示す。

3. 2 体験教材の開発

体験教材は、基本的な論理演算である論理積（AND）、論理和（OR）、否定（NOT）、否定論理積（NAND）、否定論理和（NOR）、排他的論理和（Exclusive OR）の動作の確認だけを目的としたもので、ANDゲートIC、ORゲートIC、NOTゲートICを各1個ずつ使用し、6種類の基本的な論理演算をおこなう回路を構成している。入力はそれぞれの論理演

算回路に合わせ、NOT 回路については 1 回路のスイッチを使用し、AND、OR、NAND、NOR、Exclusive OR についてはそれぞれ 2 回路のスイッチを使用した。出力については 6

種類の論理演算回路に合わせ 6 個の LED を使用した。なお、いずれのゲート IC も CMOS タイプを使用することを前提とした回路設計をおこなっているので、TTL タイプ

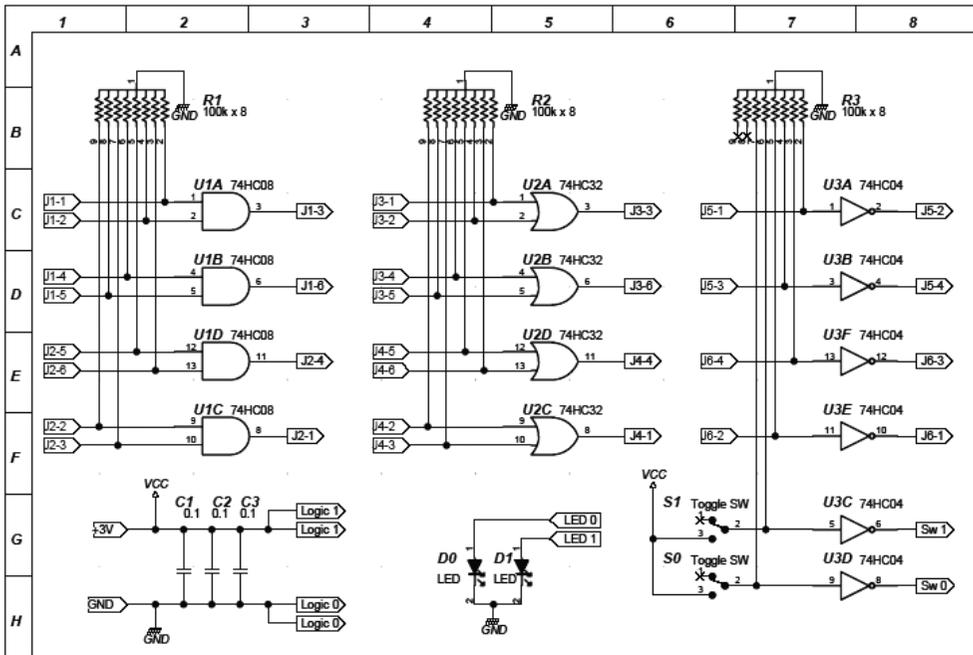


図 3 汎用用途教材の回路図



図 4 製作した汎用用途教材

のゲート IC では正常な動作をしない³⁾。

これらの基本的な論理回路を構成しても、OR 回路と NOT 回路がそれぞれ 1 回路余るため、これらを用いて発振回路を作成した。発振回路は OR 回路の一方の入力を制御することで停止させることができるため、このためにスイッチを 1 回路使用し、制御できるようにした。さらにこの発振回路の出力で LED を点滅させるためにトランジスタを用いた LED 制御回路を付加した。論理演算回路による発振回路は体験教材の本来の目的ではないが、論理回路 IC のアナログ回路的な使用

方法としては代表的なものであり、電子回路に対する興味を喚起させるための仕組みとして有効であると考えている。

設計した体験教材の回路図および製作したプリント基板の写真を図 5、6 に、仕様を表 3 に示す。

4. 製作した教材の使用例

4.1 汎用用途教材の使用例

汎用用途教材を用いて実験できる論理演算式の例としては、基本的な論理演算である論理積 (AND)、論理和 (OR)、否定 (NOT)、否定論理積 (NAND)、否定論理和 (OR)、排他的論理和 (Exclusive OR)、論理回路を用いた 2 進加算回路の基本回路である半加算回路などの組み合わせ回路、および RS-FF (リセット・セット-フリップフロップ) などの順序回路など多岐におよぶ。

汎用用途教材は2005年10月に実施された茨城県つくば市主催のつくば科学フェスティバ

表 2 汎用用途教材の仕様

入力	2 (2 個のスイッチと 2 個の NOT 回路を使用)
基本論理回路	AND 回路 (4 = IC 1 個) OR 回路 (4 = IC 1 個) NOT 回路 (4 = IC 4/6 個)
出力	2 (LED 2 個を使用)
電源	3 V (単 3 乾電池 2 本)
大きさ	160mm×70mm

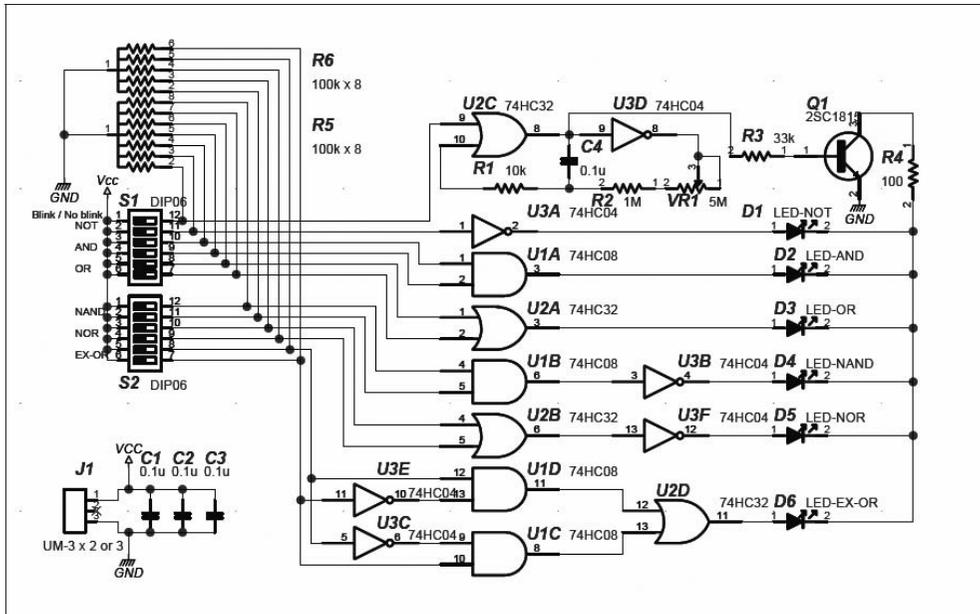


図 5 体験教材の回路図

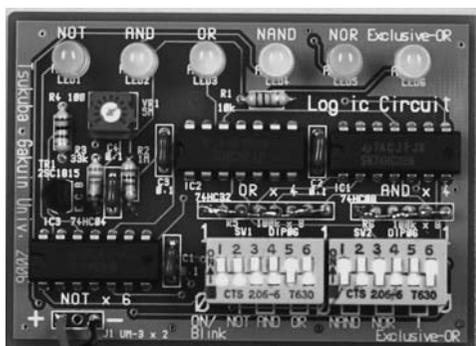


図 6 製作した体験教材

表 3 体験教材の仕様

実験可能な論理演算	否定 (NOT) 論理積 (AND) 論理和 (OR) 否定論理積 (NAND) 否定論理和 (NOR) 排他的論理和 (Exclusive OR)
入力	各入力にスイッチを 1 回路、発振回路の制御スイッチ 1 回路、合計 12 回路
出力	各論理演算の確認用に LED を 1 個使用、合計 6 個
付加機能	出力 LED の点滅機能 (点滅の停止可能)
電源	3 V (単 3 乾電池 2 本)
大きさ	70mm×50mm

ルおよび2006年5月におこなわれた東京都立忍岡高等学校の土曜学校で試用した。双方の試用例では表4に示した実験を想定した。これらの実験は、論理回路を用いた一般的な実験である^{4,5)}。資料1-Aにつくば科学フェスティバルで使用したテキストを示す。また資料1-Bに配線を検討するとき使用するワークシートを示す。このワークシートを使用して回路の検討や配線の仕方を検討することができ、また実験の記録を残すことができる。なお、つくば科学フェスティバルにおいては3日間で延べ70名を超える参加者があった。参加者の年齢層は小学生から成人まで多岐に渡った。忍岡高等学校の土曜学校では、

表 4 汎用用途教材による実験例

実験名称	使用する論理回路 ()内は使用個数
論理積 (AND)	AND(1)
論理和 (OR)	OR(1)
否定 (NOT)	NOT(1)
否定論理積 (NAND)	AND(1), NOT(1)
否定論理和 (NOR)	OR(1), NOT(1)
排他的論理和 (Exclusive OR)	AND(2), OR(1), NOT(1)
半加算回路	AND(3), OR(1), NOT(2)
スイッチ回路 ^{a)}	AND(2), OR(1), NOT(1)
RS-FF ^{a)}	OR(2), NOT(2)
発振回路 ^{a, b)}	AND(1), NOT(1または2)
単安定マルチバイブレータ ^{a, b)}	AND(1), NOT(1)

a) つくば科学フェスティバルのみで扱う。
b) 使用する論理回路の入力に接続されているプルダウン抵抗を外す必要がある。

高校生を対象に延べ約80名の参加があった。これらの使用例では十分な実習時間を確保し、時間を掛けた実験はできなかったが、新しい概念に触れることができ、興味を強く持った参加者もいた。

資料1-Aのアナログ回路的な動作の項について補足をする。論理回路といえども電子回路としてみると、アナログ回路として扱うことのできる動作条件が存在する。発振回路や単安定マルチバイブレータ (一定の時間幅の1つのパルスが発生する回路) は、信号発生部はアナログ回路で、信号の出力部はデジタル回路といった動作をしている。

4. 2 体験教材の使用例

体験教材を用いた体験学習用に作成した手引の例を資料2に示す。資料2の手引きを使用した体験教材の試用を高校生(1名)に対して実施したところ、短時間のうちに実験を終了し、基本的な論理演算について理解することができた。この体験教材でできる実験は限られている (NOT、AND、OR、NAND、

NOR、Exclusive OR のみ) が、この体験教材を使用して論理演算の学習を始めることは、基本的な論理演算の仕組みの理解や確認に有効であることがわかった。

5. まとめ

先に開発した論理演算の学習用教材とは異なる観点で新たな論理演算の学習のための教材を2種類開発した。

一方は、さまざまな論理演算の実験をできるようにした汎用用途教材で、2005年10月のつくば科学フェスティバルや2006年5月の東京都立忍岡高等学校の土曜学級で使用し、述べ150名を超える体験者を得て、論理回路の仕組みに興味を持った体験者も出ている。

もう一方は、基本的な論理演算の仕組みの体験や確認を目的とした体験教材である。使用実績はまだ少ないが体験者は基本的な論理演算の理解を短時間でおこなうことができた。

これらの教材を論理演算の学習における適切なポイントで使用することで、机上の学習だけでは理解しにくい論理演算の学習を、実験や体験を通して進めることができ、理解を深めることが期待できる。また論理回路を始めとした電子回路に対する興味を持たせることも可能であると考えている。

付 記

本研究の一部は、文部科学省・大学教育高度化推進特別経費、平成17年度～平成20年度(予定) 教育・学習方法等改善支援経費(補助金番号:17E0265)の補助を受けて実施された。

引用・参考文献

- 1) 高藤清美、“本物を指向した論理回路学習教材と制御用マイクロプロセッサ学習教材の試作”、第18回パソコン利用技術研究発表会講演論文集、18、61-64、(2001)。
 - 2) 高藤清美、“論理回路教材と制御用マイクロプロセッサ教材の開発”、パソコンリテラシ、26(8)、27-32、(2001)。
 - 3) 猪飼國夫・相田泰志・(株)デザインウェーブ、“2000年版 最新 汎用ロジック・デバイス規格表”、CQ 出版社、(2000)。
 - 4) 相磯秀雄・天野英晴・武藤佳恭、“だれにもわかるデジタル回路(改訂2版)”、オーム社、(1991)。
 - 5) 中村次男、“専修学校教科書シリーズ4電子回路(2) デジタル編”、コロナ社、(1988)。
- (注) 4)、5)に類するテキストは多数出版されている。

つくば科学フェスティバル2005

ロジック IC で遊ぼう

2005年10月8日～10日

つくばカピオ（茨城県つくば市）

筑波学院大学・情報コミュニケーション学部・情報メディア学科・高藤研究室
〒305-0031 茨城県つくば市吾妻3-1



【目次】

導入編	2
ロジック IC ってなに？	
この実験ではなにをやるの？	
デジタルとアナログ	
デジタルと 2 進数	
論理代数入門	
コンピュータと論理代数	
論理回路とロジック IC	
製作編	4
実験で使う部品	
制作するプリント基板の回路図	
製作手順	
実験編	9
論理値と電圧の関係	
基本的な論理演算の動作を確認しよう	
(1) 論理積 (AND)	
(2) 論理和 (OR)	
(3) 否定 (NOT)	
(4) 否定論理積 (NAND)	
(5) 否定論理和 (NOR)	
(6) 排他的論理和 (XOR)	
いろいろなロジック回路を作ろう	
(1) 入力切換回路	
(2) 加算回路	
(3) RS・FF (リセット/セット・フリップフロップ)	
こんなこともできる！ アナログ回路的な動作をさせよう	
(1) 発振回路	
(2) 単安定マルチバイブレータ (モノステーブルマルチバイブレータ)	

参考書籍

- ・ 著者に「論理代数」、「ブール代数」、「論理回路」、「ロジック回路」、「デジタル回路」、「デジタル回路」などが入っている書籍。
- ・ コンピュータのハードウェアの入門書や経済産業省主催・情報処理技術者試験向けの参考書の中で取り扱われている場合もあります。

導入編

ロジック IC ってなに？

コンピュータのハードウェアはロジック回路（日本語では論理回路といいますが）を組み合わせて作られています。ロジック回路は「論理代数」の考え方にしなやかになって動作します。論理代数の世界では、扱われるのは0と1の2つしかありません。また論理代数の計算は、論理積(AND)、論理和(OR)、否定(NOT)の3種類の計算の組み合わせでおこなわれています。論理代数を電子回路にしたものをロジック回路と呼び、ロジック回路がIC(Integrated Circuit=集積回路)化されたものをロジック IC と呼びます。現在はたくさん種類の種類のロジック IC が作られています。最も基本的なロジック IC は論理積、論理和、否定と否定論理積(論理積の結果を否定する)、否定論理和(論理和の結果を否定する)の5種類です。

この実験では何をやるの？

この実験では、論理積、論理和、否定の3種類の基本的なロジック IC (半導体)を使った電子回路を組み立て、ロジック IC やロジック回路の仕組みや動作を調べます。「論理積、論理和、否定とはどんな計算？」、「ロジック回路で私達の世界の計算はできるの？」、「ロジック回路は記憶もできるの？」などの実験をします。



今回の実験で使うロジック IC (左から、論理積、論理和、否定を計算するロジック IC)

デジタルとアナログ

私達の世界には数値で表すことのできるものが多いです。例えば、距離や重量、数を数える時の個数などです。このように個数のような0、1、2、・・・と表すことのできるものをデジタル量といいますが、これに対し、距離や重量のような量をアナログ量と呼んでいます。

デジタルと2進数

私達の世界では数値を表すのに10進数を使うことが多いですが、時間の秒や分は60進数と見ることもできます。また西洋ではオース(12進)やグロス(12×12=144進)などの12進数を使う方もよく使います。

デジタル量の一番単純な形式は0と1のどちらからの値だけをよる場合です。また数値のあらわし方の

中で、0と1の2つの数値しかないものは2進数と呼びます。このことから一番単純なデジタル量と2進数は対応が可能です。

論理代数入門

数学の分野には0と1の二つの量しかない世界を対象とした「論理代数」と呼ばれる分野があります。論理代数を考え出した人の名を取って「ブール代数」と呼ばれることもあります。論理代数の世界では、扱われるのは0と1の2つしかありません。また、私達が生活している世界で使われている数学の考え方に比べると、とても単純なものです。例えば、論理代数の計算は、論理積(AND)、論理和(OR)、否定(NOT)の3種類の計算の組み合わせでおこなわれています。論理和(OR)、否定(NOT)の3種類の計算の組み合わせでできています。論理代数の世界には数値は0と1だけなので、次の表のように3種類の基本計算をすべて書き上げることも簡単にできます。

論理積 (AND) の計算	論理和 (OR) の計算	否定 (NOT) の計算
0 AND 0 = 0	0 OR 0 = 0	NOT 0 = 1
0 AND 1 = 0	0 OR 1 = 1	NOT 1 = 0
1 AND 0 = 0	1 OR 0 = 1	
1 AND 1 = 1	1 OR 1 = 1	

コンピュータと論理代数

コンピュータは電子回路を使っている計算やデータの処理をするための装置です。電子回路では、アナログ量、デジタル量のどちらを扱うかがこのことでもあります。しかしアナログ量を使う電子回路では、同じ計算処理をしたときに、いつも全く同じ結果を出すことは非常に難しいです。これに対しデジタル量を使う電子回路の場合、同じ計算処理に対して、いつも全く同じ結果を出すようにすることは簡単にできます。

このことから現在のコンピュータのほとんどすべてでは、デジタル量を使う電子回路を使って組み立てられています。またデジタル量を使う電子回路の動作原理は論理代数の考え方をもとにしていています。実際のコンピュータで扱う私達の世界のデータは、論理代数の世界に比べると非常に複雑です。コンピュータの中では、いろいろな方法を使って、私達の世界のデータを論理代数の世界に対応させて計算処理をしています。

論理回路とロジック IC

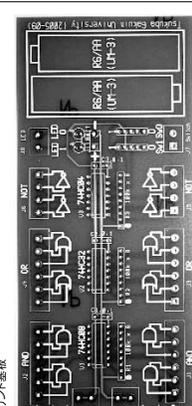
論理代数を電子回路で処理できるようにしたものロジック回路と呼び、ロジック回路が IC (Integrated Circuit=集積回路)化されたものをロジック IC と呼んでいます。現在はたくさん種類のロジック IC が作られています。最も基本的なロジック IC は論理積、論理和、否定と否定論理積(論理積の結果を否定する)、否定論理和(論理和の結果を否定する)の5種類です。

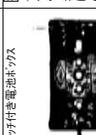
この実験では、論理代数の基本的な3つの計算(論理積、論理和、否定)ができる3種類のロジック IC を使います。

製作編

実験で使う部品

この実験で使う部品を表に示します。使い方に注意のいるものもありますので、注意書きをよく確認しましょう。

<p>プリント基板</p>  <p>この板の上に電子部品を乗せハンダ付けにより固定します。電子部品の端子間の配線は銅箔のプリントパターンによってプリント基板の高密度銅に済ませています。</p>	<p>ロジックIC-74HC08(論理積)</p> <p>接続する向きに注意！ 4つの論理積(AND)を計算しているロジックICの向きが異なります。ICの端子の向きにより部品の接続の向きを区別できます。</p>	<p>ロジックIC-74HC04(反転)</p> <p>接続する向きに注意！ 反転(NOT)を計算するロジック回路が集積されているICの端子の向きにより部品の接続の向きを区別できます。</p>	<p>集合抵抗器(100kΩ × 8)</p> <p>接続する向きに注意！ 抵抗とは電流を流しにくい性質のことです。このような性質を持つ電子部品を抵抗器といいます。集合抵抗器は複数の抵抗器をひとつの部品としてパッケージングしたものです。銅箔面の向きを区別します。</p>	<p>ロジックIC-74HC03(論理和)</p> <p>接続する向きに注意！ 4つの論理和(OR)を計算しているロジックICの向きが異なります。ICの端子の向きにより部品の接続の向きを区別できます。</p>	 <p>光ファイバ(LED)赤・緑</p> <p>積層セラミックコンデンサ0.1μF</p>
--	--	---	--	---	--

<p>トランスイッチ</p>  <p>電子回路で用いられる一般的なスイッチです。ここでは論理値の0と1を作り出すために使用します。</p>	<p>電子回路で用いられる一般的なスイッチです。ここでは論理値の0と1を作り出すために使用します。</p>	<p>端子台の端子4個(端子)</p>  <p>端子台には一般的なコネクタを差し止めることができます。コネクタの端子は、コネクタの端子台に差し込み、端子台の端子を差し止めることができます。</p>
<p>3乾電池ボックス</p>  <p>接続する向きに注意！ 単3乾電池用のスイッチ付き電池ボックスです。電池ボックスは、電池の端子に単3乾電池の端子を差し込み、電池の端子を差し止めることができます。</p>	<p>単3乾電池</p>  <p>接続する向きに注意！ 一般的な単3電池です。マンガン電池、アルカリ電池などが使用できます。</p>	<p>コードの先端の被覆を除去し、よじった状態</p> 

製作するプリント基板の回路図

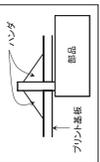
製作するプリント基板の回路図を示します。論理積、論理和、否定のロジックICが3個、論理値の0と1を作るためのスイッチ、論理値の0と1を表示するための発光ダイオードなどで構成されています。

実験に使用することのできるロジック回路数は、論理積、論理和、否定についてそれぞれ4個になります。否定の2個は論理値を作るための回路に使用されています。1つの論理回路を“ゲート”と呼ぶこともあります。

製作手順

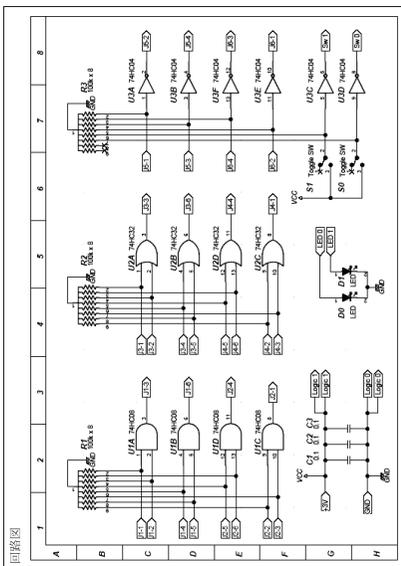
注意
 ・ハンダごての温度は 300 度程度まで上がりますので、やけどをしないように十分に熱をつけてください。
 ・ハンダごてに無理な力を加えてはいけません。

基本的な製作手順は、部品の高さの低いものから順にハンダ付けをしていきます。部品が基板から浮かないように、リード線の二本か2本を先にハンダ付けし、部品が基板から浮いていたら、ハンダを解かして押し込んでください。



ハンダ付けのコツは、ハンダ付けするところにハンダの先を付けてから、ハンダごてを付け、ハンダが溶けて銀色に光るハンダ付け用の場所（パター）に必要分量が乗っている状態まで2から3秒間、ハンダごてを離さずにいることです。上司にできるとハンダを付けたところの断面が右の図のようになります。

- ① ロジック IC (3 個)＝論理積 (AND) 74HC08、論理和 (OR) 74HC32、否定 (NOT) 74HC04 を付ける。付ける向きは、IC の横のくぼみの位置で判断します。(プリント基板から浮かさないように、対角線上にある 2 本のリード線を先にハンダ付けし、浮いたらハンダを溶かして IC を押し込んでください。以下、他の部品も基板から浮かさないように、確認しながらハンダ付けをします。)
 - ② 集合抵抗 (3 個) を付ける。集合抵抗の表面に印刷してある黒い点 (●) とプリント基板上の白い点の位置を合わせます。
 - ③ 横断セラミックコンデンサ (3 個) を付ける。どちら向きに付けてもかまいません。
 - ④ 発光ダイオード (LED) を付ける。長い方のリード線を A の記号のあるほうに入れます。
 - ⑤ 黒色と橙色 (オレンジ色) の端子台 (各 1 個) を付ける。基板の外側から線を差し込むので、取り付ける向きを間違えないようにします。また基板から浮かさないように側面に取り付けてください。
 - ⑥ 青色の端子台 (6 端子=4 個、2 端子=2 個) を付ける。基板の外側から線を差し込むので、取り付ける向きを間違えないようにします。また基板から浮かさないように側面に取り付けてください。
 - ⑦ トグルスイッチ (2 個) を付ける。取り付ける向きはどちらでもかまいません。基板から浮かさないように側面に取り付けてください。
 - ⑧ 電池ボックス (1 個) のリード線を付ける。はじめに赤と黒のリード線をからめておきます。赤のリード線は J11 Batt の表示のそばの “+” のところに、黒のリード線は J11 Batt の表示のそばの “-” のところにハンダ付けします。むとよりうまくいかない時は表裏と協力してハンダ付けをします。
- ハンダ付けができたら、電池ボックスを前面アープでプリント基板に固定します。このとき、電池ボックスのスイッチがうまく動かせる位置にできるようにします。



回路図中の記号の意味は次の通りです。

(入力) U1A 74HC08 (出力) ゲート 論理積 (AND) ゲート	(入力) U2A 74HC32 (出力) ゲート 論理和 (OR) ゲート	(アノード) D0 LED (カソード) 発光ダイオード (LED)
集合抵抗 出力端子 -JF3	S1 Toggle SW スイッチ	入力端子 U1-1
VCC 電源の記号	GND グラウンド (基準電位 = 0 ボルト) の記号	

実験編

論理値と電圧の関係

論理代数の世界の値 (論理値) は 0 と 1 の二つです。ロジック回路では 0 と 1 を電圧の大きさで区別しています。大まかには、0 は 0 ボルト、1 は電源の電圧 (製作した回路の電源は単 3 電池 2 本なので、約 3 ボルト) になります。 (正確には、今回使用したロジック IC、東芝製 TC74HC08AP、TC74HC32AP、TC74HC04AP の場合、電源電圧が 4.5 ボルトならば、1.35 ボルト以下は論理値 0、3.15 ボルト以上は論理値 1 と判断されます。電源電圧が 2 ボルトならば、0.5 ボルト以下は論理値 0、1.5 ボルト以上は論理値 1 と判断されます。)

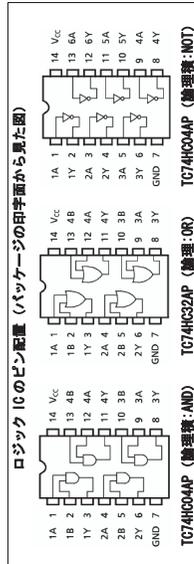
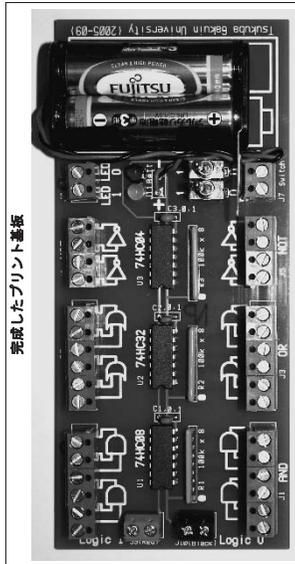
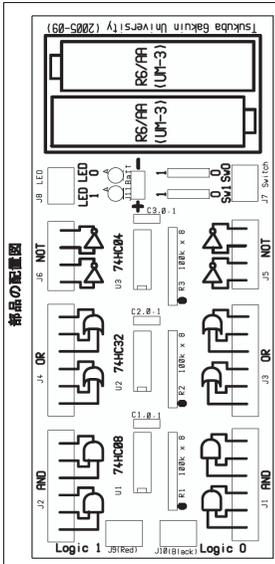
製作したプリント基板上に、黒い端子台がありますが、ここは 0 ボルトに接続されていますから、常に論理値は 0 になります。また、青色 (オレンジ色) の端子台は、電源に接続されていますので、常に論理値は 1 になります。

実験の手順

- ① 電池ボックスのスイッチは切っておきます。
 - ② 回路図を参考にどのような配線をするか決めます。
 - ③ 論理値は 2 つあるスイッチ (Sw1, Sw0) を使い、ロジック IC に入力することができます。どちらに閉すと 0 になるか、1 になるかはプリント基板に書いてあります。
 - ④ ロジック IC の出力の論理値は 2 つある発光ダイオード (LED) で確認することができます。
- LED が光ったとき = 論理値は 1
LED が消えたとき = 論理値は 0
- ⑤ 配線ができたなら、電池ボックスのスイッチを入れ、実験をします。

注意

- ・ 配線のしかたによってはけむりが出たり、部品が発熱し、やけどをすることがあります。
- ・ 部品が熱くなればじめたら、電池ボックスのスイッチを切り、配線を確認しましょう。



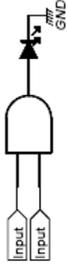
基本的な論理演算の動作を確認しよう

(1) 論理積 (AND)

図のような回路を作りましょう。この回路では論理積 (AND) の2つの入力の入力が論理値の0または1を入力し、論理積の結果を出力端子に接続した発光ダイオードの点滅で確認することができます。発光ダイオードが点滅しているときは出力の論理値は0、点灯している時は出力の論理値は1となります。

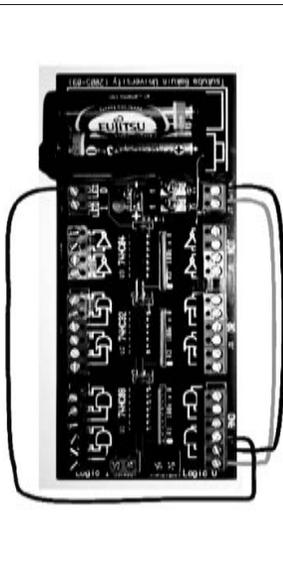
入力の組み合わせは全部で4通りあります。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想を立ててみましょう。予想ができたら、配線をし、実験結果を表にまとめてみましょう。

製作する回路



Sw1	Sw0	LED	
		予想	実験
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

論理積 (AND) の実験の配線例



(2) 論理和 (OR)

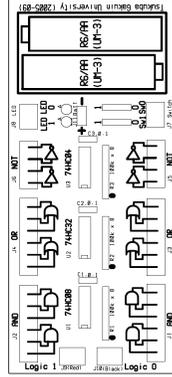
図のような回路を作りましょう。ここでは論理和 (OR) について、(1) の論理積と同じ実験をします。入力の組み合わせは全部で4通りあります。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想を立ててみましょう。予想ができたら、配線をし、実験結果を表にまとめてみましょう。

製作する回路



Sw1	Sw0	LED	
		予想	実験
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。



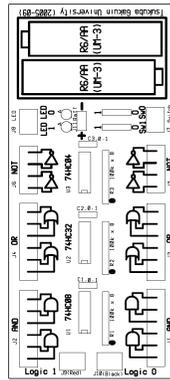
(3) 否定 (NOT)

図のような回路を作ります。ここでは否定 (NOT) について実験をします。否定 (NOT) の入力には1つしかありませんので、“入力が0のとき”、“入力が1のとき”の2とおりの実験をします。それぞれの場合、出力はどうなるか予想を立てましょう。予想ができたなら、配線をして、実験結果を表にまとめてみましょう。

製作する回路

Sw0	LED	
	予想	実験
0		
1		

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。



- 12 -

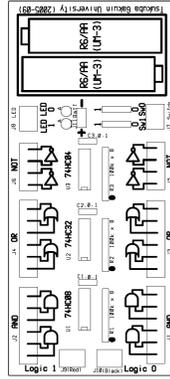
(4) 否定論理積 (NAND)

図のような回路を作ります。この回路は論理積 (AND) の結果を否定 (NOT) するので、否定論理積 (NOT AND ⇒ NAND “ナンド”と読みます) と呼ばれています。否定論理積 (NAND) は、実際の論理回路の中では最もよく使われているゲートです。否定論理積も、論理積や論理和と同じように、入力の組み合わせが全部で4通りあります。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想を立てましょう。予想ができたなら、配線をして、実験結果を表にまとめてみましょう。

製作する回路

Sw1	Sw0	LED	
		予想	実験
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。



- 13 -

(5) 否定論理和 (NOR)

図のような回路を作りませう。この回路は論理和 (OR) の結果を否定 (NOT) するので、否定論理和 (NOT OR ⇒ NOR (ノアブ”と読みます)) と呼ばれています。否定論理和 (NOR) は、否定論理積 (NAND) と比べると、使用量はいまいはいようになりませう。

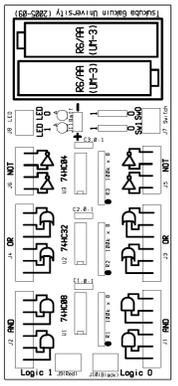
否定論理和も、論理積や論理和と同じように、入力の組み合わせは全部で4通りありませう。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想をたてませう。予想ができたたら、配線をし、実験結果を表にまとめてみませう。

製作する回路



		LED	
		予想	実験
Input	Input	0	0
		0	1
		1	0
		1	1

配線を考えよ。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよ。

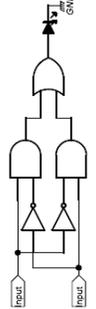


(6) 排他的論理和 (XOR)

図のような回路を作りませう。この回路は一種の比較回路になります。排他的論理和 (XOR: Exclusive OR) の2つの入力が一致しているとき (両方とも論理値が0、または両方とも論理値が1) のときは出力が0、2つの入力が不一致 (片方が論理値0で、他方が論理値1) のとき出力が1となります。排他的論理和はコンピュータの論理回路 (NAND) のようによく使われるゲートです。

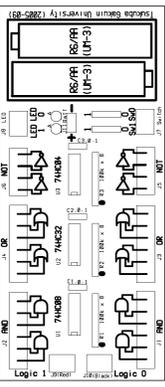
排他的論理和も、論理積や論理和と同じように、入力の組み合わせは全部で4通りありませう。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想をたてませう。予想ができたたら、配線をし、実験結果を表にまとめてみませう。

製作する回路



		LED	
		予想	実験
Input	Input	0	0
		0	1
		1	0
		1	1

配線を考えよ。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよ。



いろいろなロジック回路を作ろう

(1) 入力切換回路

図のような回路を作りませう。この回路は切換入力 C が論理値 1 のとき入力 A の値が出力に出でます。切換入力 C が論理値 0 のとき入力 B の値が出力に出でます。したがって、この回路は入力切換回路と呼ぶことができます。

実験では、2 個のスイッチ (Sw1, Sw0) を入力 A、入力 B に接続します。切換入力 C への入力は、配線コードを引ま出し、青色 (論理値は常に 0)、青色 (オレンジ色) (論理値は常に 1) の端子台に触れることでおこないます。それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想をたてませう。予想ができたら、配線をし、実験結果を基にまとめてみませう。

製作する回路

切換入力		入力		出力	
C	A	B	予想	実験	LED
0	0	0	0		
0	0	1	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
1	0	0	0		
1	0	1	0		
1	1	0	1		
1	1	1	1		

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。

(2) 加算回路

図のような回路を作りませう。この回路は 1 けたの 2 進数の足し算 (加算) の計算をする回路です。1 けたの 2 進数の加算は次のように 4 種類あります。この回路では、論理値の 0/1 を 2 進数の 1 けたの数字と見立てます。1 + 1 の場合だけ、くり上がりがありますが、他の足し算 (加算) はくり上がりがありません。この回路では、くり上がりを表示するために 2 つめの LED を使います。回路図の中の "C" はくり上りを示しています。

0	+	0	=	0
0	+	1	=	1
1	+	0	=	1
1	+	1	=	10

それぞれの組み合わせのとき、出力はどうなるか予想をたてませう。予想ができたら、配線をし、実験結果を基にまとめてみませう。

製作する回路 (半加算回路)

Sw1		Sw0		LED	
C	A	C	B	予想	実験
0	0	0	0		
0	1	0	1		
1	0	1	0		
1	1	1	1		

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。

こんなこともできる！ アナログ回路的な動作をさせよう

今回の部品には含まれていませんが、抵抗やコンデンサを使うことで次のような実験もできます。

(1) 発振回路

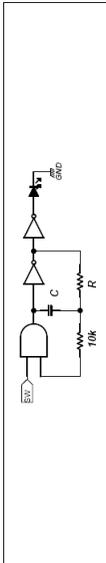
一定時間ごとに0・1の信号を出力する回路です。時間は、図中のコンデンサ (C) と抵抗器 (R) の値で決まります。条件によりずれを生じます。次の式で時間幅を求められます。

$$T = 2.2 \times C \times R$$

例えばCとして0.1マイクロF (0.000001 F) のコンデンサ、Rとして1メガΩ (1000000Ω) の抵抗を使用した場合、 $0/1$ の繰り返しは、 $2.2 \times 0.000001(F) \times 1000000(\Omega) = 2.2$ (秒)となります。このときの発光ダイオード(LED)の動作は、1.1秒間の点灯と1.1秒間の消灯を繰り返します。このような信号をパルス(脈流)波形といいます。また波形が連続的に出力される現象を“発振”といいます。

参考

F:ファラッド(コンデンサの電気容量の単位)、電気関係の研究で有名がマイケル・ファラデー(イギリス、1790~1867)の名前に由来する単位です。
 Ω:オーム(抵抗器の抵抗値の単位、Ωはギリシャ文字のオメガの大字)。電気の研究で有名なオルク・シモン・オーム(ドイツ、1789~1854)の名前に由来する単位です。

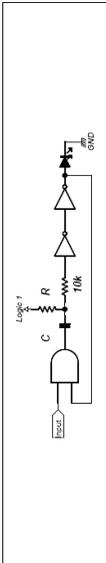


(2) 単安定マルチバイブレータ (モノステーブルマルチバイブレータ)

単安定マルチバイブレータは、図のInputに1から0に変化する信号が入力されると、これをきっかけに一定時間幅を持つパルス波形が1つだけ出力されます。条件によりずれを生じます。パルスの時間幅は次の式で計算できます。

$$T = 0.69 \times C \times R$$

例えばCとして0.1マイクロF (0.000001 F) のコンデンサ、Rとして1メガΩ (1000000Ω) の抵抗器を使用した場合、パルスの時間幅は、 $0.69 \times 0.000001(F) \times 1000000(\Omega) = 0.69$ (秒)となります。



(3) RS・FF (リセット/セット・フリップフロップ)

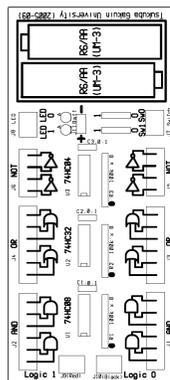
図のような回路を作ります。この回路はリセット/セット・フリップフロップと呼ばれます。下の説明のDの動作により、一種の記憶回路とみることができます。

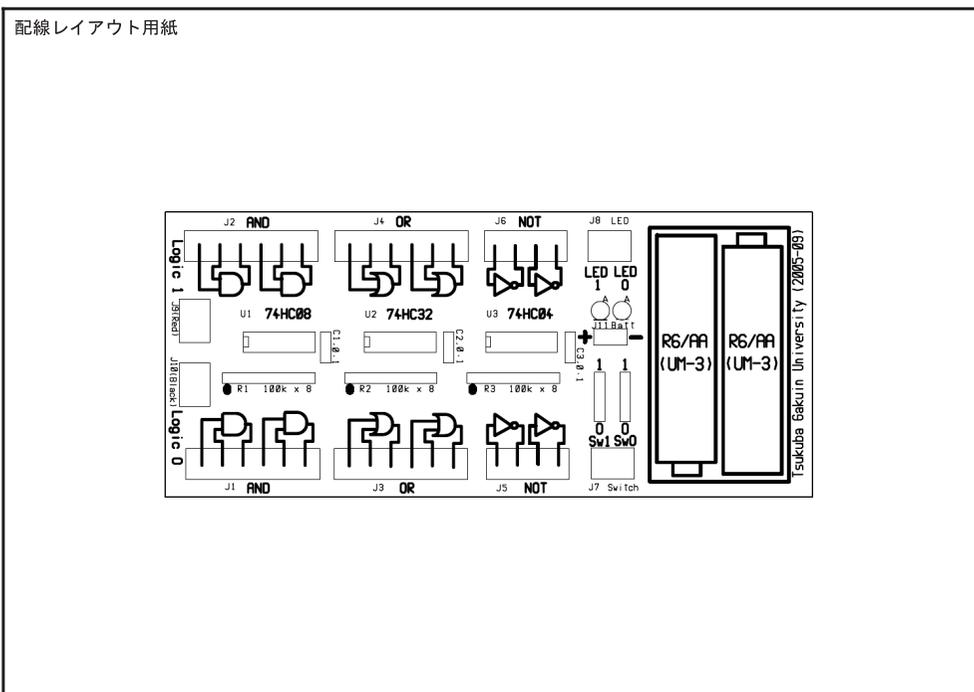
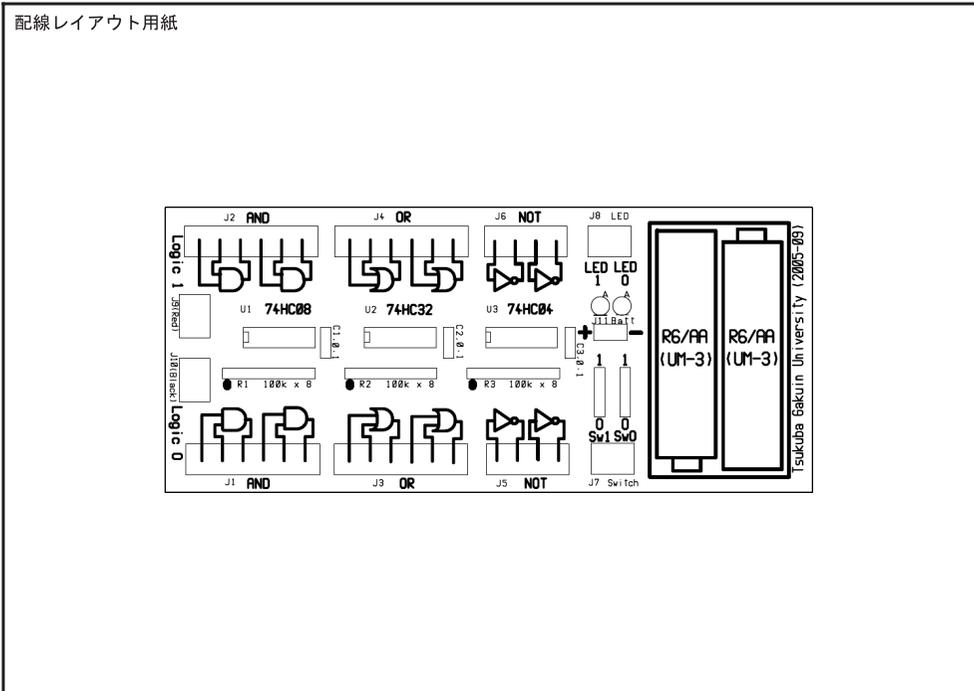
- ① リセット (R) とセット (S) の入力ともとも0のときは、2つの出力 (Q, \bar{Q}) の状態は変化しません。
 - ② リセット (R) だけが1になると、2つの出力 (Q, \bar{Q}) がどのような状態でもQ=0、 \bar{Q} =1になります。
 - ③ セット (S) だけが1になると、2つの出力 (Q, \bar{Q}) がどのような状態でもQ=1、 \bar{Q} =0になります。
 - ④ リセット (R) とセット (S) がともにも1になると、2つの出力はともにも0になります。(この状態は、一般的に使用されません)
- それぞれ組み合わせたとき、出力はどうなるか予想をたてましょう。予想ができたなら、配線をし、実験結果を表にまとめてみましょう。

製作する回路

	LED		
	予題	実験	
S	R	Q	\bar{Q}
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	1

配線を考えよう。図の中にどんな配線をするか書いてから、実験を始めよう。





資料 1-B 資料 1-A と併用するためのワークシートの例

基本的な論理演算の実験

筑波学院大学

1. 導入編

ロジック IC についてなに？

コンピュータのワードウェアはロジック回路（日本語では論理回路といいますが）を組み合わせて作られています。ロジック回路は「論理代数」の考え方にしたがって動作します。論理代数の世界では、扱える数は0と1の2つしかありません。また論理代数の計算は、論理 AND、論理 OR、否定 NOT の3種類の計算の組み合わせでこなされています。コンピュータの中でおこなわれている複雑な計算も、この3種類の計算の組み合わせでこなされています。

論理代数を電子回路にしたものをロジック回路と呼び、ロジック回路が IC (Integrated Circuit = 集積回路) 化されたものをロジック IC と呼びます。現在はたくさんの種類のロジック IC が作られています。最も基本的なロジック IC は論理積、論理和、否定、否定論理積 (論理積の結果を否定する) (NAND)、否定論理和 (論理和の結果を否定する) (NOR) と論理回路を構成するときには排他的論理和 (Exclusive OR) の6種類です。

この実験では何をやるの？

この実験では、基本的な論理演算である、否定 (NOT)、論理積 (AND)、論理和 (OR)、否定論理積 (NAND)、否定論理和 (NOR)、排他的論理和 (Exclusive OR) の6種類について、その動作を調べ、確認することができます。

デジタルとアナログ

私達の世界には数値で表すことのできるものが多いいろいろなあります。例えば、距離や重量、数を数える時の個数などで。このうち個数のような0、1、2、・・・と表すことのできるものをデジタル量といいます。これに対し、距離や重量のような量をアナログ量と呼んでいます。

論理代数入門

数学の世界には0と1の二つの値しかない世界を対象とした“論理代数”と呼ばれる分野があります。論理代数を考え出した人の名を取って“ブール代数”と呼ばれます。これは、距離が生かしてある世界で使われている数学の考え方に比べると、とても単純なものです。例えば、論理代数の計算は、論理積 (AND)、論理和 (OR)、否定 (NOT) の3種類の基本になり、複雑な計算式もあまり、論理積、論理和、否定の3種類の基本計算の組み合わせでできています。

論理代数の世界にある数値は0と1だけなので、次の表のように3種類の基本計算をすべて書き上げることが出来ます。他の基本的な論理演算である、否定論理積(NAND)、否定論理和(NOR)、排他的論理和 (Exclusive OR) についても計算を書き上げることが出来ます。

論理積 (AND) の計算	論理和 (OR) の計算	否定 (NOT) の計算
0 AND 0 = 0	0 OR 0 = 0	NOT 0 = 1
0 AND 1 = 0	0 OR 1 = 1	NOT 1 = 0
1 AND 0 = 0	1 OR 0 = 1	
1 AND 1 = 1	1 OR 1 = 1	

否定論理積 (NAND) の計算	否定論理和 (NOR) の計算	排他的論理和 (XOR) の計算
0 NAND 0 = 1	0 NOR 0 = 1	0 XOR 0 = 0
0 NAND 1 = 1	0 NOR 1 = 0	0 XOR 1 = 1
1 NAND 0 = 1	1 NOR 0 = 0	1 XOR 0 = 1
1 NAND 1 = 0	1 NOR 1 = 0	1 XOR 1 = 0

コンピュータと論理代数

コンピュータは、電子回路を使っているいろいろな計算やデータの処理をするための装置です。電子回路では、アナログ量、デジタル量のどちらを扱うこともできます。しかしアナログ量を使う電子回路では、同じ計算処理をしたときに、いつも全く同じ結果を出すことは非常に難しいです。これに対しデジタル量を使う電子回路の場合、同じ計算処理に対して、いつも全く同じ結果を出すようにすることは簡単にできます。

このことから現在のコンピュータのほとんどとすべては、デジタル量を使う電子回路を使って組み立てられています。またデジタル量を使う電子回路の動作原理は論理代数の考えをもとにしています。実際のコンピュータで扱う急速の世界のデータは、論理代数の世界に比べると非常に複雑です。コンピュータの中では、いろいろな方法を使って、私達の世界のデータを論理代数の世界に対応させて計算処理をしています。

論理回路とロジック IC

論理代数を電子回路で処理できるようにしたものをロジック回路と呼び、ロジック回路が IC (Integrated Circuit = 集積回路) 化されたものをロジック IC と呼んでいます。現在はたくさんの種類のロジック IC が作られています。最も基本的なロジック IC は論理積、論理和、否定と否定論理積 (論理積の結果を否定する)、否定論理和 (論理和の結果を否定する)、排他的論理和の6種類です。

この表題で使用する体験教材の基礎には、基本論理演算である論理積、論理和、否定を計算できる3種類のロジック IC のみを使用していますが、基本論理演算回路を組み合わせることで否定論理積、否定論理和、排他的論理和を始めすべての論理演算式を計算することができます。

2. 実験編

論理値と電圧の関係

論理代数の世界の値 (論理値) は0と1の二つです。ロジック回路では0と1を電圧の大きさに区別しています。大まかに、1は0ボルト、0は電源の電圧 (製作した回路の電源は単3電池2本なので、約3ボルト) に対応します。(正確には、今回使用したロジック IC、東芝製 TC74HC08AP、TC74HC32AP、TC74HC04AP の場合、電源電圧が4.5ボルトならば、1.35ボルト以下は論理値0、3.15ボルト以上は論理値1と判断されます。電源電圧が2ボルトならば、0.5ボルト

ト以下は論理値 0、1.6 ボルト以上は論理値 1 と判断されます。) 体験教材基板は 12 個のスイッチ、6 個の発光ダイオード(LED)、8 種類のロジック IC、その他の回路から構成されています。12 個のスイッチのうち 1 つは LED の点滅表示の ON/OFF に使用しています。実験では、論理値を入力するためのスイッチと論理演算の結果を表示する LED の点滅を確認することになります。スイッチと LED、実験できる論理演算の種類を表に示します。

スイッチ	論理演算の種類	スイッチ	論理演算の種類
左1 (ON/Blink)	LEDの点滅表示の ON/OFF	右1 (NAND)	否定論理積 (NAND)
右2 (NOT)	否定 (NOT)	右3 (NOR)	否定論理和 (NOR)
左3 (AND)	論理積 (AND)	右5 (Exclusive OR)	排他的論理和 (Exclusive OR)
左4 (AND)	論理積 (AND)	右6 (Exclusive OR)	排他的論理和 (Exclusive OR)
左5 (OR)	論理和 (OR)		
左6 (OR)	論理和 (OR)		

実験の手順

- ① 論理値はそれぞれのスイッチを使い、それぞれの論理回路に入力することができます。すべての入力の組み合わせに対して、出力を表示する LED の点滅/消滅の結果を確認することで、それぞれの論理演算の動作調べることができます。
- ② 入力のためのスイッチと論理値の関係は次のようになります。

スイッチが ON = 論理値は 1

スイッチが OFF = 論理値は 0

- ③ LED の点滅/消滅で示される出力の論理値は次のようになります。

LED が光ったとき = 論理値は 1

LED が消えたとき = 論理値は 0

- ④ スwitchの設定ができたなら、電池ボックスのスイッチを入れ、出力LEDの点滅/消滅調べ、結果を表にまとめます。

6種類の論理演算の動作を確認しよう

- (1) 否定 (NOT)

SW 左 2 (NOT)	LED1 (NOT)	SW 左 2 (NOT)	LED	LED
(NOT)	(NOT)	(NOT)	予想	実験
0		0		
1		1		

- (2) 論理積 (AND)

SW 左 3 (AND)	SW 左 4 (AND)	LED2 (AND)	SW 左 3 (AND)	LED	LED
(AND)	(AND)	(AND)	(AND)	予想	実験
0	0		0		
0	1		0		
1	0		1		
1	1		1		

- (3) 論理和 (OR)

SW 左 5 (OR)	SW 左 6 (OR)	LED3 (OR)	SW 左 5 (OR)	LED	LED
(OR)	(OR)	(OR)	(OR)	予想	実験
0	0		0		
0	1		1		
1	0		1		
1	1		1		

- (4) 否定論理積 (NAND)

SW 左 1 (NAND)	SW 左 2 (NAND)	LED4 (NAND)	SW 左 1 (NAND)	LED	LED
(NAND)	(NAND)	(NAND)	(NAND)	予想	実験
0	0		0		
0	1		1		
1	0		1		
1	1		1		

- (5) 否定論理和 (NOR)

SW 左 3 (NOR)	SW 左 4 (NOR)	LED5 (NOR)	SW 左 3 (NOR)	LED	LED
(NOR)	(NOR)	(NOR)	(NOR)	予想	実験
0	0		0		
0	1		1		
1	0		1		
1	1		1		

- (6) 排他的論理和 (Exclusive OR = XOR)

SW 左 5 (XOR)	SW 左 6 (XOR)	LED6 (XOR)	SW 左 5 (XOR)	LED	LED
(XOR)	(XOR)	(XOR)	(XOR)	予想	実験
0	0		0		
0	1		1		
1	0		1		
1	1		1		