

低学年実験におけるプレゼンテーションを用いた指導

大西 孝臣*

Training on experimental consideration for lower grades by means of experimenters' presentation.

Takaomi OHNISHI

Abstract

The author has been putting a kind of training for lower grades in the practice for a decade since the author became a new arrival teacher. The training makes the students acquire the way of experimental consideration by means of their presentation.

In this article, the author shows what was the motive for starting the training for the second grade students, and also shows how to hold it.

1. はじめに

本稿では、著者が本校着任以来の10年間に渡って情報工学科の2年生の実験において実施している、学生によるプレゼンテーションを用いた指導について紹介する。

2. 実施の動機—進路対策の視点から

2. 1 1次試験—能力適性試験

現在、大学生や高校生、もちろん高専生や再就職希望者をも含めた全ての就職希望者を対象に、ほとんどの会社の就職試験においては1次試験として種々の能力適性試験を実施するのが通例であり、このような能力適性試験が信頼できる評価基準として採用されているのが常識である。能力適性試験には、1976年にリクルート社（当時の日本リクルートセンター社）によって開発され、最も普及しているSPI（Synthetic Personal Inventory）を初めとして、会社独自のものなどがある。就職希望の本校学生にとっては、工業高専卒として相応しい、理工系を得意とし、更に技術者であるという素養が備わっているのかどうか、当然のことながら問われており、十分な成績結果をもって通過できない者は、形式的に面接試験などの過程を経たとしても、結果的に事実上の“門前払い”とされている。

この種の問題は、本校においては全てを進路対

策として取り扱われ、専門学科が対応している。

情報工学科においては、4年後期に実施している情報工学セミナーの時間を中心に、適宜、学生への指導を行っている。この指導の現場において非常に多いケースとして目に付く事柄としては、SPIの「非言語能力」の試験など、受験者の基礎的な論理的思考能力を調べるために出題される文章問題に関して、学生が不得意としており、事実、問題の文面での表面的な内容に惑わされ、振り回されて、文章に潜んでいる命題論理的な出題意図を捉える事が出来ないということが挙げられる。つまり、理工系の者であるという客観的評価がなされないのである。

従って、より早期からの論理的思考能力を養うための訓練が必要である。

2. 2 2次以降の試験—面接試験

1次試験を通過した者が続いて課されるのは、2次あるいは3次以降の試験、あるいは最終試験としての、1回から複数回に渡る面接試験である。この段階にて落とされる原因として最も多いのが、入社動機について、技術者としての自身の長所やセールスポイントについて、あるいは自身の短所についての自覚や弁明に関して、聞き手の受け取り方を理解しながらの筋道の通った説明を行えず、宣言的（“選言的”ではない）で独善的な説明しか行えないことである。この他に、筆者が学生に教授している分野で例えると「電圧が“流れる”」などといった、技術者同士としての最低限のコミュニケーションが断ち切れられてしまう程の支離

* 助 手 情報工学科

減裂な言動がうかがえるという事例が漏れ伝わってきている。

また、大学3年への編入学試験においても、面接試験の場において、事前に行った教養や専門に関する筆記試験において正答できなかった問題などに関しての口頭試問、時には板書を伴ったプレゼンテーションを受験生に課すケースが増えている。

従って、あくまでも技術者としての自覚や基礎的素養を養うことを目的の中心に据えた、コミュニケーション能力を養うための訓練が必要である。

2. 3 筋道の通った説明能力の必要性

ものづくりにおいては、その語義通りの総合的な活動としての設計及び実現などの機会に、あるいは分析的・解析的な活動としての不具合の原因や不具合箇所の検出などの機会に、更には工業的な業務の現場における引継ぎ、意見・見解の統一などの機会に、技術者としての筋道の通った説明能力が必要とされる。

しかし、本校、特に低学年における現状では、たとえ宣言的にせよ（真偽の意味で）真の命題を答えれば、命題の導出過程に関わる知識の広さ、認識に深さや熟練の度合いなどについてはほとんど問われることなく、結局、その者は良い評価を受けてしまうという傾向が強い。

このような、論理性に基づかないもの、説明できないものをも無反省に評価する教育手法は、経験や熟練の軽視につながり、学生の精神面における短絡的思考や分裂的発想への指向や幼児性の助長につながると考える。

従って、たとえ真の命題であっても、筋道の通った“論理の鎖”によって導かれない宣言的な事柄を評価せずに、真の命題同士でも“論理の鎖”として編み上げられることによって初めて良い評価がされるように指導できる教育手法へと改める必要がある。

以上が、低学年実験におけるプレゼンテーションを用いた指導を開始した主たる動機である。

3. 対象とする実験項目

3. 1 ダイオード論理回路

プレゼンテーションの対象とする実験項目はダイオード論理回路である。学生にとっては、あくまで論理的なブール代数を学習する上でのANDやORなど演算を行う意味でのゲート回路を学ん

でいる他は、アナログ回路としては固定抵抗のみで構成される回路しか扱っていないため、ダイオードが初めて扱われる非線形の変動素子という事になる。

ダイオード論理回路の実験を行う以前に、単体としてのダイオードの特性を学ぶために、スイッチングダイオード1S1588の順方向および逆方向の電圧電流特性に関する実験、発光ダイオードTLR113Aの順方向の電圧電流特性と発光特性に関する実験を既に行っている。

ダイオード論理回路の実験において、学生はブレッドボード上において種々のダイオード論理回路の作製を行い、各回路について指導教官が指示する数箇所の電位をオシロスコープを用いて測定する。測定結果を用いて各回路の各素子に掛かる電圧や各素子を流れる電流の値を算出して、測定結果・算出結果のデータから各回路の動作原理についての解析・考察を行う。

学生が作製する論理回路は、シリコンを母材とするスイッチングダイオード1S1588を使用した2入力ANDゲート回路(図1)、2入力ORゲート(図2)、図3のように2個の2入力ANDゲートをカスケード接続させることにより実現する3入力AND回路、そして、発光ダイオードTLR113Aを使用した、図1と同じ構成による2入力ANDゲート回路である。

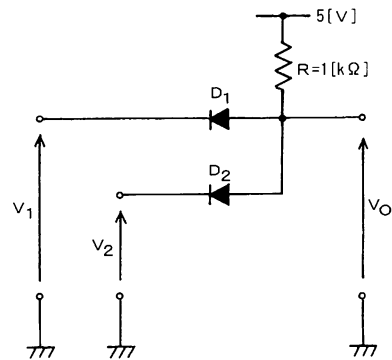


図1 2入力ANDゲート回路

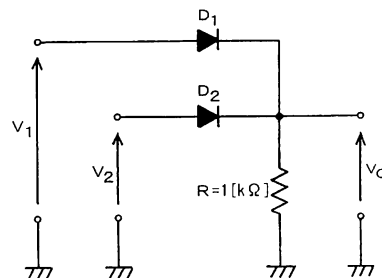


図2 2入力ORゲート回路

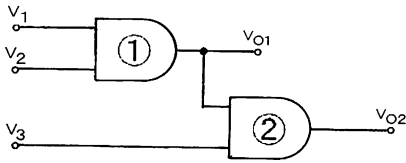


図3 カスケード接続による3入力AND回路

3. 2 ダイオードの特性の解釈と等価モデル

ダイオードは有向素子であり、2つの端子にはアノード（陽極）、カソード（陰極）という名称が付けられている。学生にはこれら2つの端子に付けられた名称を初めとして、有向素子としてのダイオードの性質が確実に記憶に残るように、各端子に掛かる電位に対する変数などを定義せずに、あえて図4のように「アノードの電位」、「カソードの電位」といった呼称にする。

また、図4のように、ダイオードに掛かる電位差は、アノードの電位からカソードの電位を引いたものであり、 V_D と定義する。ダイオードを流れる電流は、アノードからカソードの向きに流れる方向を正として I_D と定義する。これまで固定抵抗などの無向性の受動素子しか扱ったことの無い学生は、物理量を代数的に扱うことに関する能力や経験や訓練の量が非常に乏しく、実際の電位の高低や電流の向きに従って、あるいは身勝手にデタラメな定義を行うケースが非常に多い。その際は、 V_D 、 I_D の類の変数は、その向きを万国共通に定義したものであり、定義の向きを変える場合は正負の符号の操作するなどの、代数的な変数に対する適切な対応をしなければならないなどの指導を繰り返し、粘り強く行わなければならない。

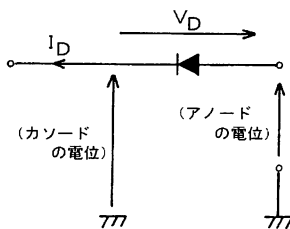


図4 ダイオードに関わる電圧、電流の定義

図4のように代数的変数として定義された電圧 V_D 、電流 I_D の間には、図5に示すような電圧電流特性が成立する。

図5の特性として解釈されるダイオードは、理想ダイオードに対して実在ダイオードとして扱われる特性である。電圧 V_D が正となる順方向バイアスをかけた場合でも、必ずしも電流 I_D が流れ

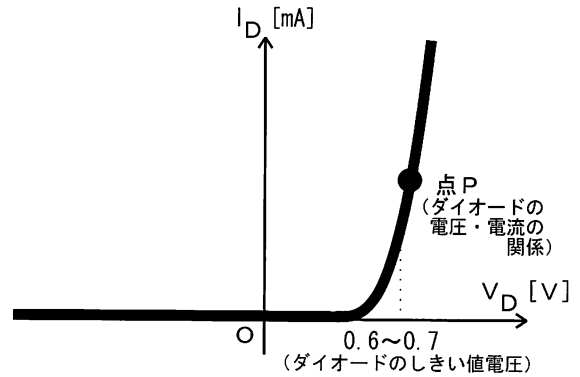


図5 シリコン製のスイッチングダイオードの電圧電流特性

るわけではなく、 I_D が流れるための V_D についての必要十分条件となるとして、しきい値電圧（あるいはオフセット電圧）分の順方向バイアスが必要である。しきい値電圧には個体差があり、個々のダイオードが持っているものと考えて良いが、母材の材質によっておよそその値が定まり、生産時のロット毎に厳密な値が定まる。シリコンを母材とするスイッチングダイオード1S1588の場合は $0.6 \sim 0.7$ [V]程度であり、発光ダイオードTLR113Aについては 1.8 [V]～ 2.0 [V]程度である。

更に、 I_D が流れる場合においても、ダイオードには $0 \sim \infty$ 抵抗成分が存在し、グラフの傾きは非常に大きなものであるが、無限大ではなく、有限である。

実在ダイオードに対しては指数関数を用いた近似モデルが採用されるケースもあるが、学生にダイオードに対する現実味のある物理的イメージを与えるために、特性のグラフをそのまま用いての回路の解析を行わせる。学生に指導する場合は、ダイオードがいかなる回路にいくつ、いかなる状況で接続されていても、各ダイオードにおける電圧 V_D と電流 I_D の関係は、図5の点Pのようにグラフの線上から外れる事が無い。例えて言うならば、（図5のグラフの座標平面上に、差し棒などで原点Oを通る正の傾きの直線となる固定抵抗の特性を表して、ダイオードの特性との差異を示しながら）回路上の全ての固定抵抗に対してオームの法則が成立する事実と同じだけの重要性を持つことを指摘する。

図5の特性のグラフ上にある点Pのようなダイオードの“動作点”は、図6に示す2つの領域のいずれかに属するものと解釈する。2つの領域は、ダイオードが電流を流すためのスイッチであると

見立てた時に、スイッチの on / off の観念に対応するものであり、第1象限にある、グラフが立ち上がった箇所が属する領域では、ダイオードが on 状態であるといい、グラフの横軸 (V_D 軸) にある、グラフが横に寝ている箇所が属する領域では、ダイオードが off 状態にあるという。

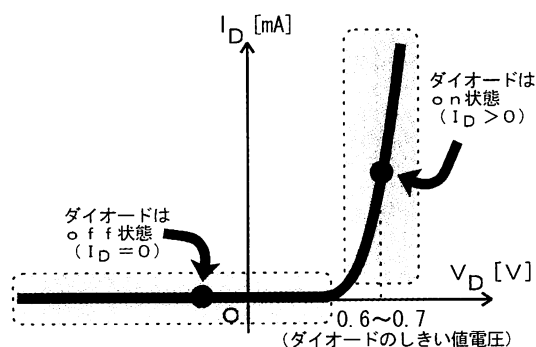


図6 特性のグラフ上での on / off 状態

on 状態であると判明したダイオードは、図7のようにアノード側を陽極とする理想電圧源と内部抵抗分が組み合わされたものとして解釈される。電圧 V_D に関しては、必要十分な条件として、理想電圧源と内部抵抗分が接続された箇所全体に、しきい値電圧がおおよそ固定された形で掛かっているといえる。電流 I_D に関しては、必要十分な条件として、順方向（アノードからカソードの向き）に流れているといえるが、電流 I_D が具体的にいくらであるかは指摘できない。

学生に指導する際、長い間学んできた固定抵抗における電圧電流特性、すなわちオームの法則の感覚に縛られている学生が「電圧が掛かっている素子には電流が流れているはずである」といった類の誤謬や固定観念を持つことが頻繁に起こることを知っておくべきである。实在ダイオードにおいて、電流 I_D が流れていることすなわちダイオードが on 状態にあることは、電圧 V_D が正すなわち順バイアスであることに対する十分条件で

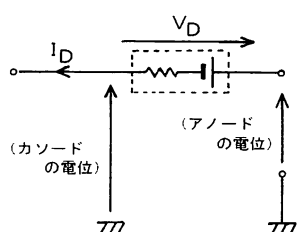


図7 on 状態のダイオードの等価モデル

はあるが必要条件ではないことを注意深く押さえさせなければならない。

off 状態であると判明したダイオードは、図8のようにその場で導線が開放されたものとして解釈される。電流 I_D に関しては、必要十分な条件として、ゼロであるといえる。電圧 V_D に関しては、必要十分な条件として指摘できるのは、しきい値電圧に満たないということである。電圧 V_D が具体的にいくらであるかも正負の判定についても指摘できない。

学生に指導する際、長い間学んできた固定抵抗における電圧電流特性、すなわちオームの法則の感覚に縛られている学生が「電流が流れてない素子には電圧が掛かっていないはずである」といった類の誤謬や固定観念を持つことが頻繁に起こることを知っておくべきである。实在ダイオードにおいて、電圧 V_D がゼロであることは、ダイオードが off 状態であることに対する十分条件ではあるが必要条件ではないことを注意深く押さえさせなければならない。

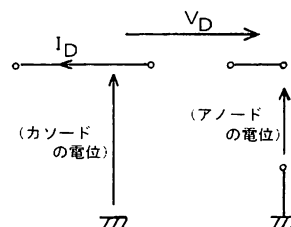


図8 off 状態のダイオードの等価モデル

3. 3 プレゼンテーションの対象とする項目

3. 1 節で述べた実験項目の内から、プレゼンテーションの対象とする項目は、学生1人当りに掛ける時間の都合を考え、シリコンスイッチングダイオード1S1588を使用した図1の2入力ANDゲート回路、図2の2入力ORゲート、そして図3のカスケード接続による3入力AND回路に限定した。

図1の2入力ANDゲート回路については、入力電圧 V_1 、 V_2 と出力電圧 V_O に関して、理想的な例として、表1のような結果を得る。

表1 2入力ANDゲートに関する
理想的な測定結果
(シリコンスイッチングダイオードを使用)

$V_1[V]$	$V_2[V]$	$V_O[V]$
0	0	0.628 ± 0.002
0	5.00 ± 0.02	0.662 ± 0.002
5.00 ± 0.02	0	0.662 ± 0.002
5.00 ± 0.02	5.00 ± 0.02	5.00 ± 0.02

図2の2入力ORゲート回路については、入力電圧 V_1 、 V_2 と出力電圧 V_O に関して、理想的な例として、表2のような結果を得る。

表2 2入力ORゲートに関する理想的な測定結果
(シリコンスイッチングダイオードを使用)

$V_1[V]$	$V_2[V]$	$V_O[V]$
0	0	0.000 ± 0.001
0	5.00 ± 0.02	4.36 ± 0.02
5.00 ± 0.02	0	4.36 ± 0.02
5.00 ± 0.02	5.00 ± 0.02	4.38 ± 0.02

図3の3入力AND回路については、3入力の真理値(正論理に、真理値の“0”は入力電圧0[V]、“1”は5[V]に対応させる) V_1 、 V_2 、 V_3 と図3のゲート①の出力電圧 V_{O1} 、ゲート②の出力電圧 V_{O2} に関して、理想的な例として、表3のような結果を得る。

表3 カスケード接続による
3入力AND回路に関する理想的な測定結果
(シリコンスイッチングダイオードを使用)

V_1	V_2	V_3	$V_{O1}[V]$	$V_{O2}[V]$
0	0	0	0.630 ± 0.002	0.662 ± 0.002
0	0	1	0.658 ± 0.002	1.320 ± 0.002
0	1	0	0.662 ± 0.002	0.662 ± 0.002
0	1	1	0.696 ± 0.002	1.352 ± 0.002
1	1	0	5.00 ± 0.02	0.664 ± 0.002
1	1	1	5.00 ± 0.02	5.00 ± 0.02

4. プレゼンテーションの実施内容

4.1 プレゼンテーションの実施条件

プレゼンテーションの対象となるダイオード論理回路の実験は、例年9月の中旬頃に行われ、同中旬頃までに初回分の実験報告書が提出される。この実験報告書に関する評価を済ませた後、前期の定期試験明け、10月中旬頃までに、学生に対し紙

面をもって、プレゼンテーションを行うという予告を行っている。

プレゼンテーションを実施する際には、ルールとして以下の項目を守っている。

- ・学生のプレゼンテーションには、筆者が必ず立ち会う。発表者以外の者が立ち会うことは構わないが、過去に発表を済ませた者が興味本位で立ち会うことを認めない。
- ・プレゼンテーションの期間は、高専祭明け(平成14年度は、筆者の都合でロボットコンテスト北海道地区予選明け)よりとする。発表後の再実験・実験報告書の再提出を含めて、12月末の終業時に締め切る。
- ・プレゼンテーションの際には、実験指導書、返却した実験報告書を持参させる。
- ・実験報告書の再提出・再実験の実施については、プレゼンテーションを行った際に、筆者が指示する。プレゼンテーションを行う前に実験報告書を再提出しても、受理されない。
- ・1日に多くても4・5名程度しかプレゼンテーションを行う機会が無いので、放課後はなるべく、通学生・女子寮生を優先して実施する。男子寮生については、主に筆者が当直勤務に当たる日の夜間、男子寮生の自習時間を利用して実施する。都合の悪い男子寮生については事前に相談させることとする。
- ・遠距離からの通学生であるなどの理由で(アルバイトなどは正当な理由とは考えない)、平日は都合が悪く、土曜日・日曜日にプレゼンテーションを実施したいと希望する学生については事前に相談させることとする。

この他、女子学生のみが放課後にプレゼンテーションを実施する場合、会場となる部屋の廊下が続くドアについては、女子学生の意思によって閉めない限りは開放状態のままにするなどの対応をしている。

4.2 プレゼンテーションの実施内容1

(2入力ANDゲート、2入力ORゲート)

プレゼンテーションを実施する際には、図1の2入力AND回路、図2の2入力OR回路のそれぞれの回路図と、図5のシリコンスイッチングダイオードの電圧電流特性のグラフを、筆者が黒板あるいはホワイトボードに描く。回路図を学生に描かせない理由は、学生の一部には、意図的に回

路図を描き替えないと回路を解析できない者もあり、回路の描き替えを容認していると、後になっても回路解析に関する融通が効かないままになるケースがあるためである。そして表1の枠の部分のみを書いて、実験報告書にある測定結果を学生に記入させる。この測定結果の記入の際には、時間の節約のため、“±”以降にある測定の許容誤差については省略させる。

記入の後には、2入力のANDゲートやORゲートについて、入力電圧の各ケース (V_1, V_2) = (0[V], 0[V]), (0[V], 5[V]), (5[V], 0[V]), (5[V], 5[V]) について、ダイオード D_1, D_2 それぞれについての図5の電圧電流特性上の何処に“動作点”があるのかを指摘しながら、回路の動作についての説明を行うように指導する。2入力 (V_1, V_2) が (0[V], 5[V]) の場合と (5[V], 0[V]) の場合についても、それぞれを省略させずに説明させるが、その理由は、繰り返しによってプレゼンテーションの技能を向上させる目的と、低学年の内から繰り返しの事象を省略させることを容認してしまうと、とても繰り返しとは認められないような事象に関しても、事象同士の類似点や相違点などについてはまったく指摘せずに、とにかく無反省に「同様に」などといった用語や指示代名詞をもって省略させるという“手抜き”が頻発し、結果的に実験指導書が読むに耐えない内容になるケースが増えるためである。(省略を行わせることは、報告書を必要な分量だけ書くという習慣が身に付いた中・高学年より行うべきだと考える。)

説明は2つの段階をもって行う。1段階目では、表1あるいは表2のデータを使って、ダイオード D_1, D_2 それぞれについて、on状態であるのか、off状態であるのかを判定する。2段階目では、ダイオードがon/off状態の判定結果を使って、結果的に出力電圧 V_O が表1あるいは表2に示される値になる原因について指摘する。

9月の上旬頃に行われるダイオード論理回路の実験の際に、実験前の説明として、測定結果を利用せずにダイオードの原理的な観点からの回路の動作に関する定性的なプレゼンテーションを実験指導教官から学生に行っているのに影響されて(言い換えれば、無反省に教官によるプレゼンテーションをトレースしようとして)、測定結果に基づかない説明を始める学生が多い。しかし、学生によるプレゼンテーションが実験後に行うため、定量的で具体的な内容にすべきであるので、測定

結果を評価する所から、プレゼンテーションを始めるように、指導しなければならない。

図1の2入力AND回路の場合、ダイオード D_1, D_2 がon状態であるのかoff状態であるのかを判定するには、各ダイオードにおける図4に示したアノード-カソード間の電位差 V_D を調べなければならない。そこで、表1を使って、入力 V_1, V_2 の値から D_1, D_2 ぞれぞれのカソードの電位、出力 V_O の値から D_1 および D_2 のアノードの電位を導く。

回路の解析能力が不十分であり、教官による実験前に行ったプレゼンテーションのトレースを試みる学生の多くは、表1の測定結果を用いての考察を行わず、例えば (V_1, V_2) = (0[V], 0[V]) のケースの場合でも、「抵抗 R から何らかの電圧降下が生じており…ダイオード D_1 に電流が流れている。」(R に電圧降下が生じていること、 D_1 に電流が流れていること共に真であるが、両者は論理的につながっていない、定性的な表現である。), 「抵抗 R の上にある5[V] がそのまま降りてきて…」(これは V_O が 0.628[V] であるという測定結果と矛盾する。) などと説明する。前者の学生の場合は、測定結果から考察を初めてアノード、カソード間の各電位を述べるように指導すれば良いが、後者の学生の場合は、電位と電位差の概念、特に(高周波や大電力の回路などのケースは別として)導体である導線で接続されている箇所は、素子などをまたがない限り同電位であるという、実践的な理解が不十分であり、測定結果のみを用いてダイオードの2つの端子の電位を導出できることを理解できないというケースである。例えば、彼らにANDゲート回路の中でダイオード D_1 のアノードの電位と同じ箇所が何処から何処までの範囲であるのかといった問題を出すと、正しく回答できないはずなので、図9のよ

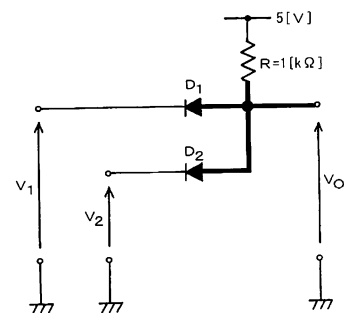


図9 ダイオード D_1 のアノード端子と同じ電位の全ての箇所

うに違う色のチョーク・マーカーで実際に描かせて指導すべきである。

各ダイオードにおける電位差 V_D を調べることができたならば、図5（あるいは図6）を用いて D_1 、 D_2 がそれぞれ on 状態か off 状態かを判定させる。

2つのダイオードの状態が判明すれば、判定結果を使って、出力電圧 V_O の値についての説明を行うが、学生の中には、on 状態のダイオードに掛かっている電圧が V_O と同じ値であることから、3. 2節で述べた on/off 状態におけるダイオードの性質について言及せず、回路に対する扱いをブラックボックスにしたまま、十分に筋道を通さずに、短絡的な考察で説明しようとする者も多い。このような学生が主張する、 V_O を導く過程において論理的な体系が不十分である事例を図10に示す。特に、「 D_1 のアノード端子と V_O の出力端子は結線しているから出力 V_O は 0.662 [V] となった。」という説明には、入力 (V_1 、 V_2) が (0[V], 0[V])、(0[V], 5[V])、(5[V], 0[V])、(5[V], 5[V]) の全てケースにおいて、 D_1 のアノード端子と V_O の出力端子は常に結線しているから、出力 V_O は 0.662 [V] となったという理由にはならないと説明しなければならない。

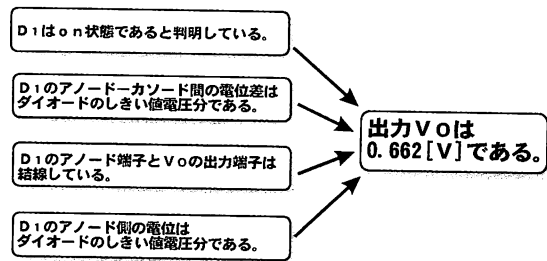


図10 V_O を導く論理的体系が不十分な事例

図11に示す体系を説明できた場合、 V_O を導く過程における論理的な体系が十分であるといえる。特にカソードの電位が 0[V] であるという説明を値が零であることから容易に省いてしまう傾向にあるので、注意すべきである。

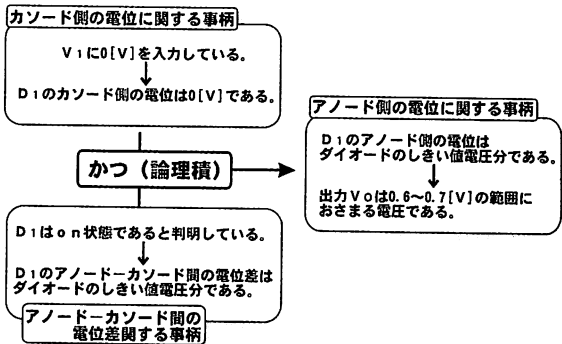


図11 V_O を導く論理的体系が十分である場合

先程述べた、「 D_1 のアノード端子と V_O の出力端子は結線しているから出力 V_O は 0.662 [V] となった。」という説明を行うタイプの学生は、違う角度から考察する力に欠ける場合が多いので、図12の a 点から e 点までを、学生に指し棒で指させつつ、電位の変化について試問することを通じて、図11に示した理解までに到達させる。

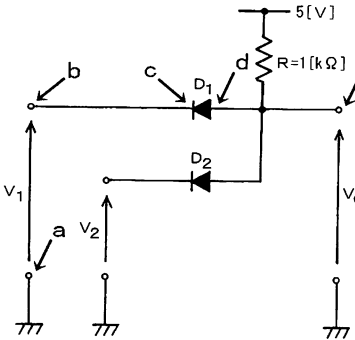


図12 回路解析における試問（その1）

試問は、以下の要領で行う。

- a 点は、グランドと導線で結ばれているので、a 点の電位は 0[V] である。
- 入力電圧 V_1 として 0[V] を入力しているので、b 点の電位は 0[V] である。
- b 点から c 点へは導線で結ばれているので、c 点の電位は 0[V] である。
- ダイオード D_1 は on 状態であるので、カソード側である c 点からアノード側である d 点へとダイオードのしきい値電圧分 (0.6~0.7[V]) 電位があがる。d 点の電位はダイオードのしきい値電圧分 (0.6~0.7[V]) である。
- d 点から e 点へは導線で結ばれているので、e

点の電位はダイオードのしきい値電圧分 ($0.6 \sim 0.7[V]$) である。

出力電圧 V_O は e 点の電位であるといえるので、従って、 V_O はダイオードのしきい値電圧分 ($0.6 \sim 0.7[V]$) である。

入力 (V_1, V_2) が ($5[V], 5[V]$) の場合は、ダイオード D_1, D_2 が共に $o f f$ 状態となり、図13のような単純な回路になってしまうが、回路が単純になるほど、「抵抗 R の上にある $5[V]$ が“そのまま”降りてきて…出力 V_O は $5[V]$ である。」(“そのまま”という表現が曖昧である。 R に電圧降下が生じていないこと、出力 V_O は $5[V]$ であること共に真であるが、両者は論理的につながっていない。) といった、短絡的な考察で説明しようとする者が増える。このような場合、図13の f 点から h 点までを、学生に指し棒で指させつつ、試問しなければならない。

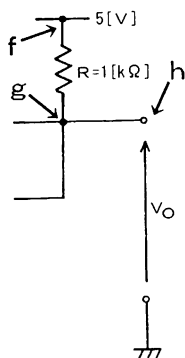


図13 回路解析における試問 (その2)

試問は、以下の要領で行う。

f 点の電位は電源電圧 ($5[V]$) に定められている。

g 点より下方の導線の先には何らの素子も接続されていないので、ループが形成されずに開いた回路になっている。回路が開いているので、回路全体に電流が流れない。回路全体に電流が流れていないので、抵抗 R においても電流が流れていない。 R は抵抗であるので、オームの法則により、電流が流れていない R においては電圧降下がない。g 点の電位は f 点と同じ電源電圧の値である。

g 点から h 点へは導線で結ばれているので、h 点の電位は電源電圧の値である。

出力電圧 V_O は h 点の電位であるといえるので、従って、 V_O は電源電圧の値である。

また、表1の結果より、入力 (V_1, V_2) が ($0[V], 0[V]$) の場合の出力 V_O の値が $0.628[V]$ であるのに対し、(V_1, V_2) が ($0[V], 5[V]$) や ($5[V], 0[V]$) の場合の V_O の値が $0.662[V]$ と少し大きくなっていることについても考察しなければならない。

入力 (V_1, V_2) が ($0[V], 0[V]$) の場合、図14のように、ダイオード D_1, D_2 が共に $o n$ 状態となるので、抵抗 R を通った電流は2分されて、 $2.2[mA]$ 弱ずつ、各ダイオードを流れる。

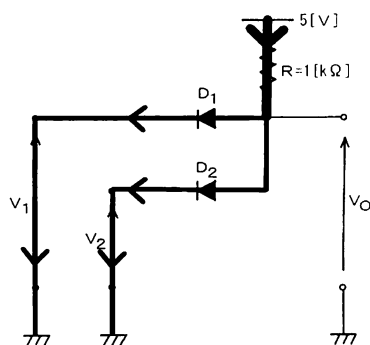


図14 (V_1, V_2) が ($0[V], 0[V]$) の場合の電流の流れ

一方、入力 (V_1, V_2) が ($0[V], 5[V]$) のような場合、図15のように、ダイオード D_1 のみ $o n$ 状態となるので、抵抗 R を通った電流 $4.4[mA]$ 弱は全て D_1 を流れる。

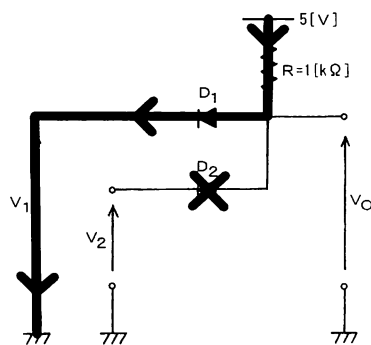


図15 (V_1, V_2) が ($0[V], 5[V]$) の場合の電流の流れ

以上のように、(V_1, V_2) が ($0[V], 0[V]$) の場合と ($0[V], 5[V]$) のような場合とでは、ダイオード D_1 に流れる電流の量が異なるため、図5のダイオードの電圧電流特性に当てはめると、図16のように、ダイオードには $o n$ 抵抗成分が存

在し、グラフの傾きは無限大ではなく、有限であることから、 V_D の値にはわずかの差が生じることとなり、結果として、 V_O のわずかの差の原因になる。

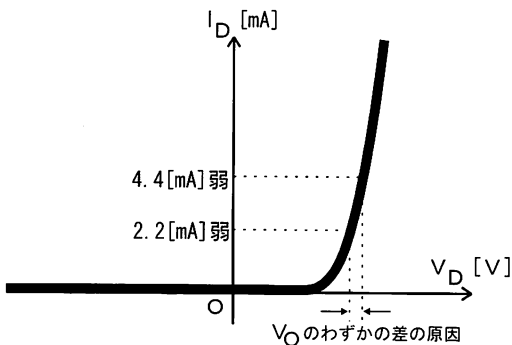


図16 図のタイトル

以上のAND回路に対する考察は、表2のOR回路に対する結果についても、入力 (V_1, V_2) が $(0[V], 5[V])$ や $(5[V], 0[V])$ の場合の出力 V_O の値が4.36[V]であるのに対し、 (V_1, V_2) が $(5[V], 5[V])$ の場合の V_O の値が4.38[V]と少し大きくなっていることについても考察すべきということになる。

4. 3 プレゼンテーションの実施内容2
(カスケード接続による3入力AND回路)

図3に示したカスケード接続による3入力AND回路は、具体的に図17のようになる。

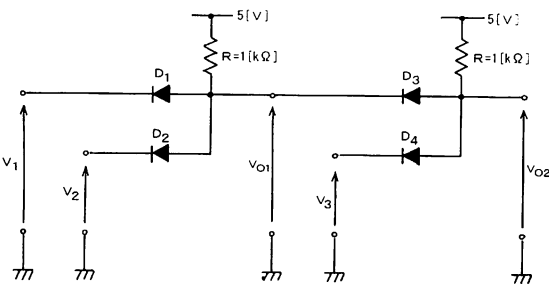


図17 実際のカスケード接続による3入力AND回路

このAND回路に対する考察は、表3の結果より、入力 (V_1, V_2, V_3) が $(0, 0, 0)$ と $(0, 0, 1)$ の場合を比較して、入力 $(0, 0, 0)$ の電圧 V_{O1} の値が0.630[V]であるのに対し、入力 $(0, 0, 1)$ の場合の V_{O1} の値が0.658[V]と、同じ $(V$

$_1, V_2)$ が $(0, 0)$ の場合であっても、 V_3 の値が変わると V_{O1} が少し大きくなっていることについて考察すべきである。また、入力 (V_1, V_2, V_3) が $(0, 1, 0)$ と $(0, 1, 1)$ の場合を比較して、入力 $(0, 1, 0)$ の電圧 V_{O1} の値が0.662[V]であるのに対し、入力 $(0, 1, 1)$ の場合の V_{O1} の値が0.696[V]と、同じ (V_1, V_2) が $(0, 1)$ の場合であっても、 V_3 の値が変わると V_{O1} が少し大きくなっていることについて考察すべきである。

図1の2入力ANDゲート回路の場合は、出力端子 V_O に電流が流れ込む場合があり得ないが、図17の3入力AND回路は、図18に示すように、左側のゲートの出力端子 V_{O1} に、右側のANDゲートからの電流が流れ込む場合があり、結果、入力 V_3 によってダイオード D_4 のon/offの状態が変化すると、on状態の際のダイオード D_1 や D_2 を流れる電流の値が変わることになり、 V_{O1} の値が増える原因になっている。

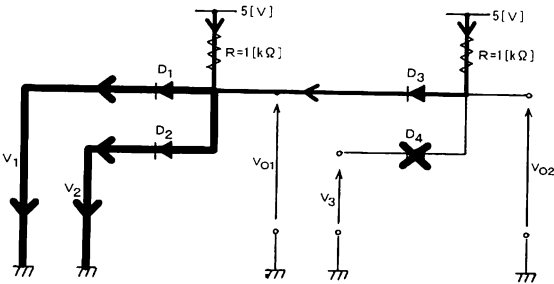


図18 右側のゲートから左側のゲートへと電流が流れる例

従って、図19に示すように、論理ゲート回路としての信号の向きは①のゲートから②のゲートへ方向であるが、同時に②のゲートから①のゲートへ方向へと電流という形の影響が及んでいることが分かる。

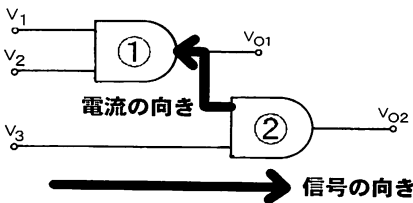


図19 信号とは反対向きの電流による影響

又、表3の V_{O2} が、例えば入力 $(V_1, V_2,$

V_3) が (0, 0, 1) のような場合に 1.320[V] になることについての説明は、②のゲートの入力 V_{01} が説明できたものと仮定して、②のゲートのみに着目させて、2 入力 AND ゲート回路における説明と同じ手続きを行わせると良い。

5. おわりに

本稿では、著者が実施している学生によるプレゼンテーションを用いた実験の考察の指導について、その動機と実践方法について報告した。

(平成14年11月29日受理)