

# 講義と実験の一体化を目指す取り組み —ブレッドボードを用いた講義中の電子回路実験—

葉山 清輝\*

## Approach of integration of lecture and experiment — Experiment for the study of electronic circuit during lecture using bread board —

Kiyoteru Hayama\*

**Abstract:** The attempt to correct the unbridgeable gulf of the lecture and the experiment for the study of electronic circuit at electronic engineering 3<sup>rd</sup> year class are presented. The student bought 28 kinds of parts for about 1000 yen, and the experiment over 12 items was done. Experiment during lecture using bread board and electronic parts is effective to learn the electronic circuit than the usual lecture.

**キーワード:** 机上実験, 電子回路, 電子部品, ブレッドボード

**Keywords:** Desk-top experiment, electronic circuit, electronic devices, bread board

### 1. はじめに

高専は実践的技術者育成を目的としているため、実験・演習を重視したカリキュラム構成となっており、本校においても全学科で3年生以上は独立した科目として週3時間の工学実験が行われている。本来なら講義（座学）の進捗状況と合わせた実験が行われるべきであるが、毎週の時間割り当てがあるために、実験カリキュラムが独立して生まれ、講義と実験とが乖離していることも多い。

本研究では、講義と実験の乖離を是正する試みとして、電子工学科3年の電子回路学の講義において実体験を通して電子回路学について学んでもらうために、座学のみで行われていた授業の代わりに、授業中に各自で簡単な実験ができるように工夫した事例を紹介し、その効果について論じる。

### 2. 講義への机上実験の導入の意義と方法

電子工学科の教育課程の電子工学実験（以下、工学実験と略記）では、学生が主体的に実験に取り組めるように、1クラスを3から5班に分け、さらに1班を3から4人の小グループに分けた少人数で実験を行っている。学生自身の実験テーマに対する取組みの姿勢がよければ実験の効果は十分にあると考えられる。しかし実際には、少人数といえども複数名のグループで行う限りは実験に関与しないま

まの学生も存在する。学生一人一人が主体的に実験に取り組むためには、できるだけ個々に実験を行う必要があると考えている。

著者の担当する電子工学科3年の電子回路学の講義では、半導体の基礎から始まり、ダイオード、トランジスタの特性について解説し、続いてこれらのデバイスを用いた回路の解析へと講義を進め、CR結合2段増幅回路までを学ぶ<sup>(1)</sup>。一方、工学実験中では、「ダイオードの測定」および「トランジスタの静特性」の2項目が電子回路学に関する実験として組み込まれているが、これらは後期の実施で、同内容は前期前半の講義で学ぶことから実験実施が半年も遅れている。さらに後期の講義で学ぶ増幅回路に関する実験は4年次の工学実験に組まれている。このような講義と実験の乖離は他の科目に関しても多いのが現状である。

この状況を是正するため、座学の講義中に、学生が個々に机上でできる実験形態（以下、机上実験と略記）を考え、平成20年度より実際に授業に導入している。

工学実験における上記2項目の実験では、AC100Vで動作する安定化電源および直流計測器を用いてバイアス電圧（電流）を変化させた時の直流特性の測定を行っているが、教室にAC100Vと計測器を学生の人数分そろえることはできない。そこで、学生は単3電池4本を電源とし、計測器としては学生が所有しているデジタルテスター(sanwa, PC20TK)を用いてブレッドボード上で実験を行うことにした。本課程の学生は1年次に全員がデジタルテスターのキット製作を行っているのをこれを持参してもらう。工学実験においては、デバイスの静特性を正しく測り動作原理を理解することを主体としているが、机上実験では、デバイ

\* 情報通信エレクトロニクス工学科  
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2  
Department of Information, Communication and Electronics  
engineering, 2659-2, Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102

スを活用できるようになることを主目的として実験項目を考えた。そのため、トランジスタやダイオード、バイアスや負荷の抵抗だけでなく、低価格で入手できる各種デバイスを購入させ、一連の実験を考えた。

平成 21 年度の購入物品を図 1 に示す。また、部品一覧とその価格を表 1 に示す<sup>(2)</sup>。一人当たり、約 1,181 円となった。購入数と購入金額で割り切れない部分があるが、これはまとめ売りにより単価が安くなる通販を利用して物品をそろえたためであり、端数は予備として保管して故障・破損に応じて適宜交換に応じている。

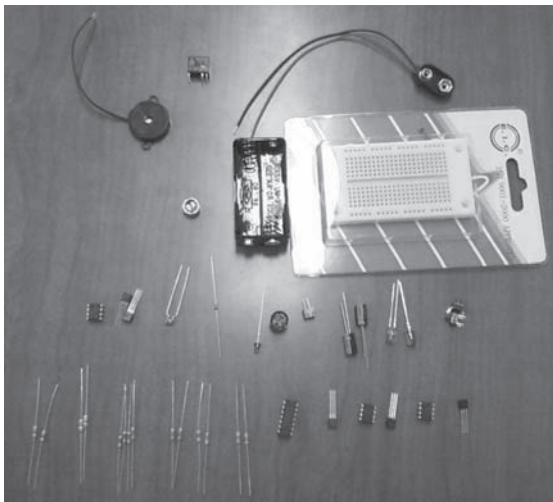


図 1 購入した電子部品  
Fig. 1. Bought electronic parts.

表 1 電子部品一覧と価格

Table 1 Electronic parts list for the experiment.

品目	個数	金額
ブレッドボード	1	181
コンデンサマイク	1	32
トランジスタ(2SC1815Y)	2	16
カーボン抵抗(0Ω)	2	3
カーボン抵抗(100Ω)	2	3
カーボン抵抗(1kΩ)	4	5
カーボン抵抗(10kΩ)	2	3
カーボン抵抗(100kΩ)	2	3
カーボン抵抗(1MΩ)	2	3
高輝度 LED	2	11
ダイオード(1N4148)	1	3
照度センサ(PTr)	1	67
オペアンプ(LM358N)	1	27
積セラコンデンサ(4.7μF)	1	27
半固定ボリューム(10k)	1	27
タクトスイッチ	2	19
電池ボックス(単 3x4)	1	60
バッテリースナップ	1	13

スズメッキ線(5cm)	3	5
FET(2SK30A)	1	24
タイマー IC(NE555)	1	24
PIC マイコン(12F675)	1	144
3 端子レギュレータ(78L05)	1	26
圧電スピーカ	1	51
電解コンデンサ(100μF)	2	48
インダクタ(1mH)	1	26
電池(単3)	4	264
ロジック IC(74HC00)	1	66
	合計	1,181

### 3. 机上実験項目

約 30 分から 1 時間で行う 12 項目の実験を考えた。当該クラスの学習範囲の使用教科書<sup>(1)</sup>の目次抜粋と机上実験との対応については表 2 に示す通りである。3 年の電子回路学の講義の範囲では、発振回路や OPAMP は学習しないが、これらは 4 年次の電子回路学の範囲であり、予習として実験を組み入れた。また、論理 IC や PIC マイコンの実験は著者が当該クラスで計算機工学の講義<sup>(3)</sup>も担当しているためこの科目に関連する実験として取り入れた。各項目の実験概要を以下に述べる。

- ①ダイオードの電流・電圧の関係
- ②LED 点灯・ボリュームで明るさ可変
- ③ベース接地トランジスタ増幅回路
- ④トランジスタの固定バイアス回路
- ⑤自己バイアス回路
- ⑥電流帰還バイアス回路
- ⑦FET を用いた増幅回路
- ⑧トランジスタ 2 段増幅回路
- ⑨OPAMP を用いた増幅回路
- ⑩タイマー IC (555) による LED 点滅
- ⑪論理 IC (74HC00, NAND 回路) の入出力の関係
- ⑫PIC マイコンによるキッチンタイマー

表 2 学習内容と机上実験の関連

Table 2 Relation between desk-top experiment and content of study.

学習内容(1-6は教科書の各章)	関連する机上実験
1. 半導体	該当なし
2. ダイオード	①, ②
3. ベース接地トランジスタ増幅器	③
4. エミッタ接地トランジスタ増幅器	④, ⑤, ⑥
5. 高入力インピーダンス回路	⑦
6. CR 結合増幅回路	⑧
次学年の学習内容関連	⑨, ⑩
別科目(計算機工学)関連	⑪, ⑫

- ①ダイオードの電流・電圧の関係

図2に示す抵抗とダイオードの直列回路に電圧を加えて抵抗とダイオードの電圧降下を測定し、ダイオードを順方向に挿入すると電流が流れ、逆方向では流れないことを確かめる。また抵抗値が変わってもダイオードの電圧降下は約0.7Vではぼ一定になることを確認する。

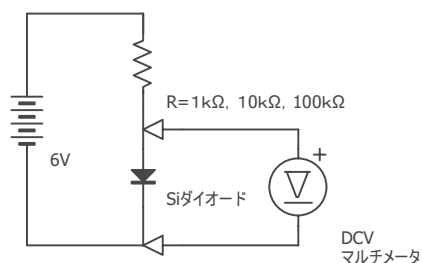


図2 ダイオードの実験回路

Fig. 2. Experimental circuit of diode.

### ②LED点灯・ボリュームで明るさ可変

図3の回路によりLEDが点灯し、抵抗値によりLEDの明るさが変わること確かめる。またLEDの電圧降下はダイオードより大きく、約2Vとなることを確認する。

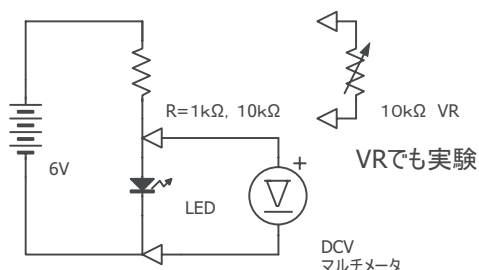


図3 LEDの実験回路

Fig. 3. Experimental circuit of LED.

### ③ベース接地トランジスタ増幅器

この実験は電池を2組必要とするので2人1組で行う。図4の回路のトランジスタが遮断または飽和しない領域で $V_{EB}$ に対する $V_{CB}$ の値を2点測定し、2点間の差分 $\Delta V_{EB}$ より $\Delta V_{CB}$ が大きく、両者の比よりベース接地の電圧増幅度を求める。

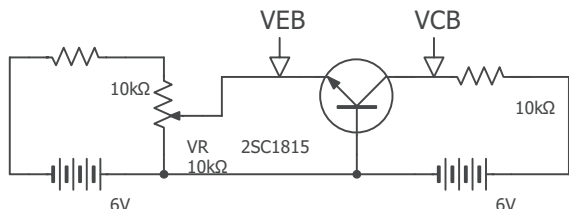


図4 ベース接地トランジスタ増幅器の実験回路

Fig. 4. Experimental circuit of base-common configuration.

### ④トランジスタの固定バイアス回路

図5の回路においてコレクタ電圧 $V_C$ を測定しながらトランジスタが遮断または飽和しないようにベースに接続され

た抵抗値を決め、抵抗値と各点の電位から電流を求めて電流増幅率を算出する。トランジスタの温度による電気的な特性の変化をみるため、トランジスタを指で暖めて $V_C$ の値の変化を調べる。

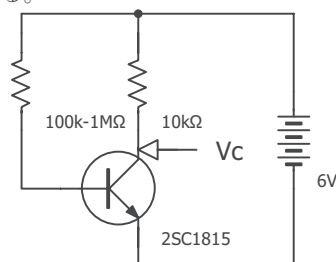


図5 トランジスタの固定バイアス回路

Fig. 5. Experimental circuit of fixed-bias configuration.

### ⑤自己バイアス回路

図6の回路のトランジスタが遮断または飽和しないようにベース抵抗を決める。トランジスタを指で暖めてコレクタ電圧 $V_C$ の変化を調べ、固定バイアス回路の場合と温度に対する安定性を比較する。

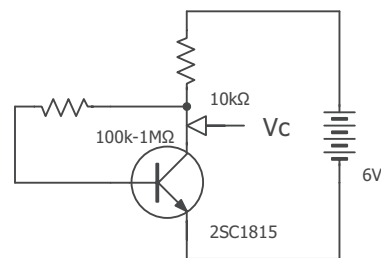


図6 自己バイアス回路

Fig. 6. Experimental circuit of self-bias configuration.

### ⑥電流帰還バイアス回路

コレクタ電圧 $V_C$ が電源電圧の約半分になるように各抵抗値を決めて記録する。

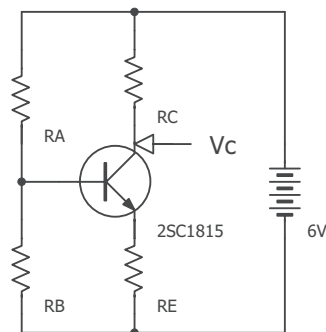


図7 電流帰還バイアス回路

Fig. 7. Experimental circuit of current-feedback configuration.

### ⑦FETを用いた増幅回路

図8の回路で音声が増幅されてスピーカから出力されるか確認する。各接続点の電位を測定して接合型FETによる増幅回路のバイアスのかけ方について理解する。

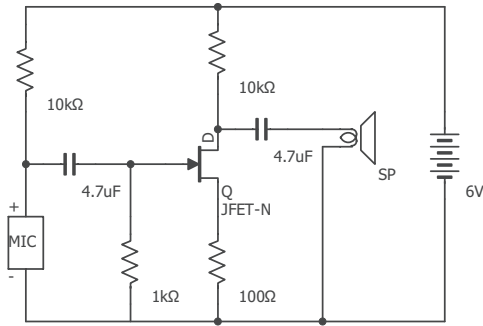
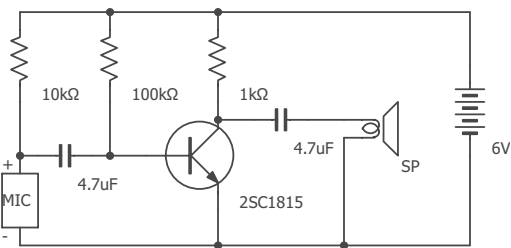


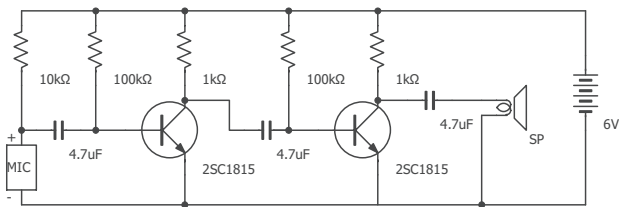
図 8 FET を用いた増幅回路  
Fig. 8. Experimental circuit of FET amplifier.

⑧ トランジスタ 2 段増幅回路

図 9(a)の 1 段増幅回路で音声が増幅され、スピーカから出力されるか確認する（小さな音声）。2 段増幅を行うと十分な音声出力が得られることを確かめる（図 9(b)）。



(a) 1 段増幅回路



(b) CR 結合 2 段増幅回路

図 9 トランジスタ 2 段増幅回路  
Fig. 9. Experimental circuit of amplifier of two stages.

⑨ OPAMP を用いた増幅回路

単電源 OPAMP と抵抗 2 本で増幅回路が構成でき、マイクから音声を加えると増幅しスピーカから出力されることを確認する。

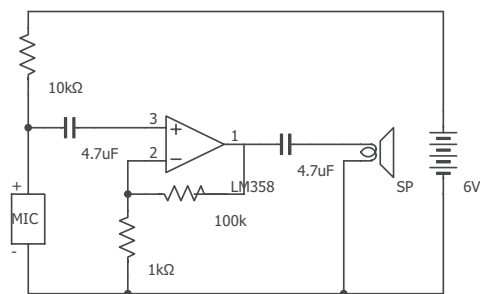
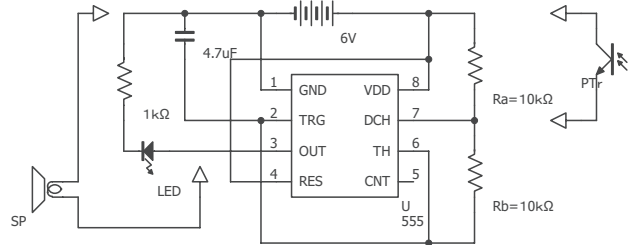


図 10 OPAMP を用いた増幅回路  
Fig. 10. Experimental of operational amplifier.

⑩ タイマー IC (555) による LED 点滅

図 11 の発振回路を用いて、抵抗値の変化による LED の点滅間隔の変化や光量によってフォトトランジスタの特性が変化することを確かめる。



Ra=Rb=10kΩの時、約0.2秒間隔でLEDが点滅  
Ra=Rb=1kΩの時、約150Hzで発振する。1-3端子に圧電ブザーを接続する。  
Raをフォトトランジスタ、Rb=1kΩで光量で変化する断続音になる。

図 11 タイマー IC (555) による実験回路  
Fig. 11. Experimental circuit of the 555 timer IC.

⑪ 論理 IC (74HC00, NAND 回路) の入出力の関係

論理 IC に電源を接続し、NAND 素子の一つを使って 2 入力に抵抗を介して 0V または 5V を接続して出力電圧を測定し、NAND 動作を確認する。

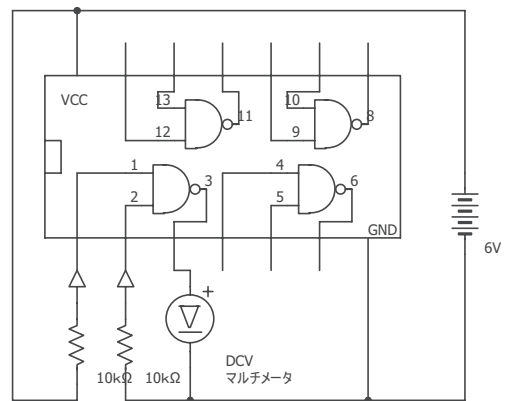


図 12 論理 IC の実験回路

Fig. 12. Experimental circuit of the digital IC.

⑫ PIC マイコンによるキッチンタイマー

PIC マイコンの応用例としてスイッチにより 10 秒単位で時間設定し、時間経過後に圧電スピーカよりブザー音を鳴らす簡易キッチンタイマーを製作する<sup>(4)</sup>。スイッチや LED のマイコンとの接続方法、スイッチのチャタリング、動作フローとプログラムについて解説する。

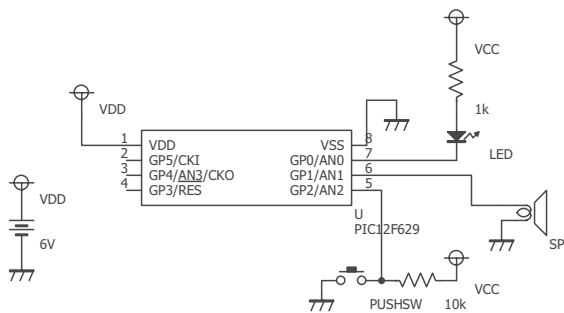


図 1 3 キッチンタイマーの回路

Fig. 13. Experimental circuit of the kitchen timer.

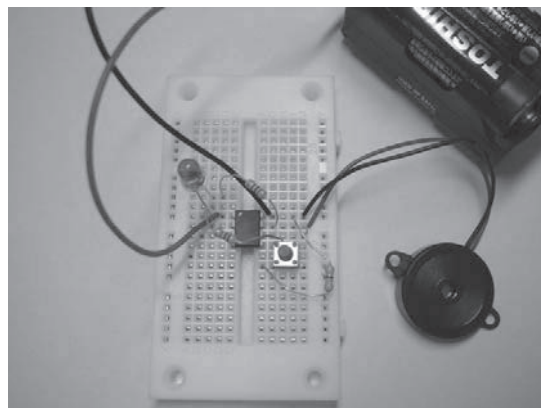


図 1 6 実験事例 (PIC を用いたキッチンタイマー)

Fig. 16. Experiment of the kitchen timer.

## 5. 机上実験実施とアンケートの結果

平成 21 年度は実験項目③を除く 11 項目の机上実験を実施した。実験中の写真を図 1 4 と 1 5 に示す。また実験項目⑫をブレッドボード上に配線した事例を図 1 6 に示す。2 単位の講義で 6 0 時間の講義時間中の約 1 0 時間で実験を行った。

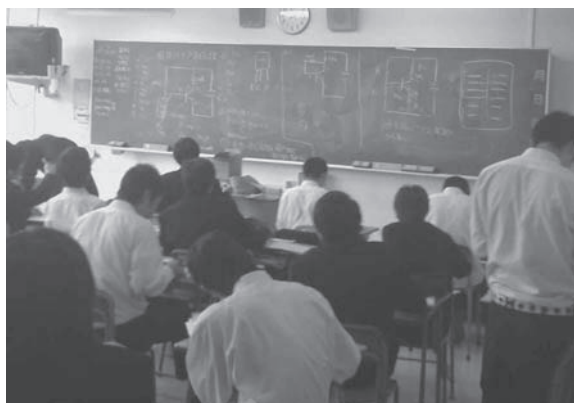


図 1 4 実験中の様子 (教室)

Fig. 14. Students who are experimenting in classroom.

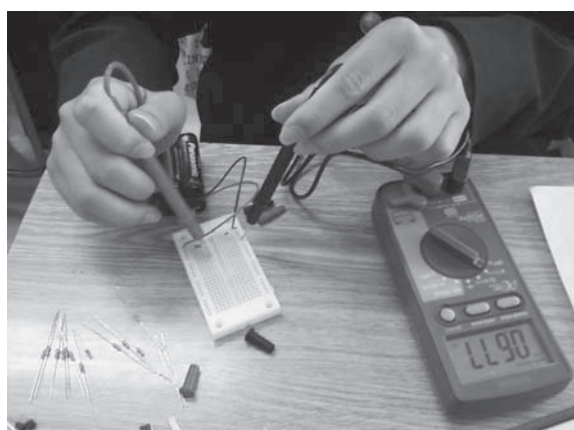


図 1 5 実験中の様子 (手元拡大)

Fig. 15. Appearance under experiment using bread board.

机上実験の効果について受講した学生にアンケートを実施した結果をまとめる。アンケートの設問は以下の通りである (図 1 7)。

平成21年度 電子回路学 電子3年

ブレッドボードを用いた電子回路演習についてのアンケート

座学の講義時間中にブレッドボードと電子部品を用いた簡単な実験・実習を取り入れたことについてご意見をお聞かせください。

1. 教材費の価格(28 品目, 1181 円)は? 高価 5 4 3 2 1 安価
2. 実験項目数は? 多い 5 4 3 2 1 少ない
3. 講義時間と比較して時間配分は? 長い 5 4 3 2 1 短い
4. 以下の実験内容についての理解度または実験の達成度 (各項目 できた 5 4 3 2 1 できなかった の5段階評価)
  - ・ダイオードの電流・電圧の関係
  - ・LED 点灯・ボリュームで明るさ可変
  - ・トランジスタの固定バイアス, 自己バイアス, 電流帰還バイアス回路
  - ・論理 IC (74HC00, NAND 回路) の入出力の関係
  - ・タイマー IC (555) による LED 点滅
  - ・PIC マイコンによるキッチンタイマー
  - ・トランジスタ2段増幅回路
  - ・FET を用いた増幅回路
  - ・OPAMP を用いた増幅回路
5. 全体を通して, 授業中にこのような演習を入れることに対して効果があると思うか. 効果ある 5 4 3 2 1 効果ない
6. 次年度以降に向けて改善点についてあれば書いてください。  
(自由記述)

図 1 7 アンケートの設問

Fig. 17. Questions of questionnaire.

アンケート集計結果を以下に示す。教材の価格については大半の学生が高価とは感じていない。実験の項目数や時間配分についても問題はなかったようだ。演習の効果については、過半数の学生は効果があったと答えている。



今後の改善を検討していく。

## 6. まとめと今後の取り組み

従来実験室でなければできなかった実験を講義に取り込み、講義時間中に机上でする実験を導入した結果、座学と実験との乖離を解消した電子回路学の授業の提案をした。各実験項目に対して板書と口頭による説明で実験を行ったが、電子回路学の講義は本校の他学科でも行われており、今後広く机上実験を導入してもらえるように簡単な実験マニュアルを作成中である。

現在はデジタルテスターのみを計測器に用いたため直流動作点の確認にしか利用できず、交流信号に対する回路の応答が確認できなかった。低周波発振器とオシロスコープを学生が個別に持っていれば、これらの実験が授業中や自学自習もできることになり更なる教育効果の期待できる。市販の低周波発振器とオシロスコープは教材として購入させるには高価だが、自作あるいはキット製作ならこれらの機器は低価格で購入できるので、今後の導入を視野に入れて、電池駆動で安価な低周波発振器とデジタルオシロスコープキットを独自に開発中である。

（平成 22 年 9 月 26 日受付）

## 文 献

- (1) テキストブック電子回路 伊藤規之著 日本理工出版会
- (2) (株)秋月電子通商, <http://akizukidenshi.com/>
- (3) 作って学ぶ CPU 設計入門 葉山清輝著 森北出版, p. 38
- (4) C 言語ではじめる PIC マイコン 中尾真治著 オーム社

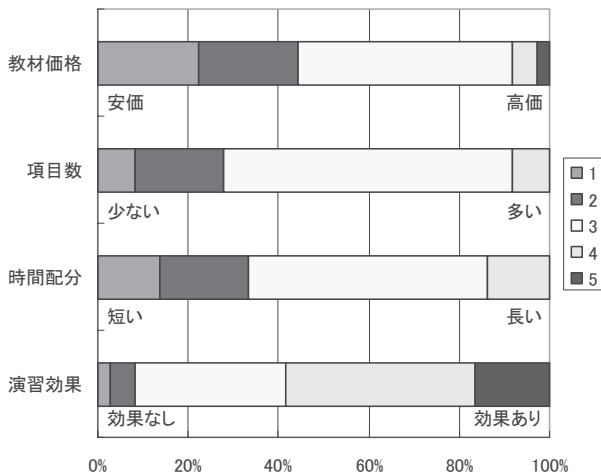


図 18 全般に関するアンケート集計

Fig. 18. Result of the questionnaire for over whole.

個別の実験項目については図 19 に示すように、実験項目①、②のように難易度の低い実験は理解度が高く、難易度が高くなるに従い理解度も下がっている。

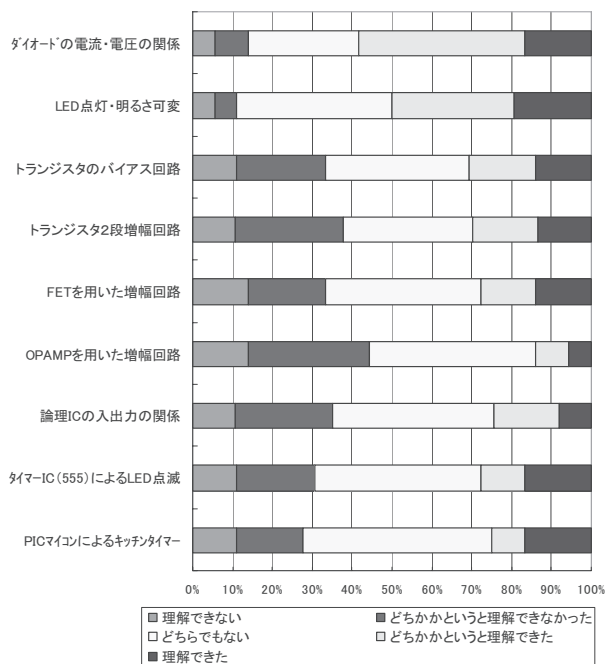


図 19 個別の項目に対するアンケート集計

Fig. 19. Result of the questionnaire for the experiment.

自由記述としては、もっと実験時間をのばしてほしい、教材費を上げて部品点数を増やして欲しい、もっとシンプルな実験があっても良い、実験中に遊んでいる人がいた、などの意見があった。

最後の意見について、実験に真面目に取り組まない学生がいたことは把握しており指導して回ったが、講義時間中に 1 人で当てるには限界があった。実験内容や指導方法の