

アナログ回路設計の教材開発と実践

— 赤外線センサの製作 —

辻 正敏

Development and Use of Teaching Materials for Analog Circuit Design

— Fabrication of Infrared Sensor —

Masatoshi TSUJI

We present in this report an infrared sensor that has been developed as a teaching material on analog circuits, and how it has been used in class. The teaching material proposed in this report contains the core elements of analog circuits, is at a difficulty level suitable for students, can be built from generic parts, and operates stably. Problem solving skills, cooperativeness and communication skills of students can be fostered by using the teaching material as proposed. These benefits were demonstrated by the outcome of a questionnaire and by the reaction of students in class. The proposed teaching material and lecture plan was useful in teaching analog circuits at national college of technology.

KEYWORDS : analog circuit, education of analog circuit, infrared sensor, circuit design

□1. まえがき

高専教育では、学生の学習意欲や創造性を高めるため、ものづくり教育がこれまでに実践され、その成果が多数報告されている^{1)~3)}。電子系のものづくり教育において、学生に電子機器を製作させようとした時、多くの場合においてプログラミング、デジタル回路、アナログ回路の教育が必要となる。その中でもアナログ回路の教育は最も難しく、一般的にアナログ技術の修得に10年必要と言われていた。アナログ回路の修得には多くの時間が

必要となるため、学校での限られた時間内で学生がアナログ回路を修得するのは難しい⁴⁾。そして知識が十分でない学生にとってアナログ回路の設計・製作は困難となる。また教員にとってもアナログ回路の指導は難しい。アナログ回路はデジタル回路のように安定動作をしないため、安定度の悪い教材をラフな作り方をする学生に与えて製作させると、動作不良の作品が1度に多数出現する。アナログ回路の不具合箇所を見つけるのに多くの時間がかかるため、少人数の教員では指導が困難となる。

創造教育を目指す高専教育では、アナログ回路の教材で学生が興味を持ち、短時間でアナログ技術が修得でき、かつ教員が指導しやすい教材がこれまで求められている。本論文では、これらの要求に答える教材を開発し、実践を行ったのでその結果を報告する。教材は「赤外線センサの製作」で、センサ部で人体を検出すると5秒間警報ランプが点灯する装置である。これをグループに分かれて一人が一つの作品を製作する。電子回路の座学を1年間学んだ後、この教材を製作することで、学生は、簡単なアナログ回路の設計、製作、評価が出来るようになる。

本論文は2章で教材の回路説明、3章で教材のコンセプト、4章で授業概要と指導方針、5章で授業の進め方、6章で学生の授業の様子、7章アンケート結果、8章あとがき、で構成されている。

□ 2. 教材の回路説明

図1は完成した作品の写真、図2は赤外線センサの回路図である。以下に各ブロックの回路を説明する。

ブロック A 電源回路

ブロック B 赤外線センサ部

S1は焦電センサで、検知した赤外線量に応じて出力電圧が変化する。

ブロック C アンプ部

単電源動作の非反転増幅回路、反転増幅回路である。

ブロック D ウィンドコンパレータ回路 & タイマー回路

増幅された信号が R7,R8,R9 で設定され

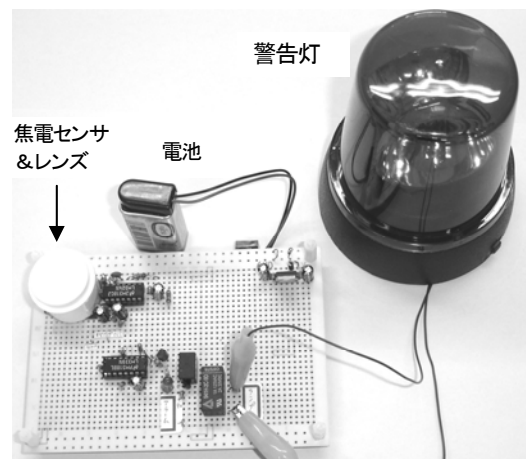


図1 製作した赤外線センサ

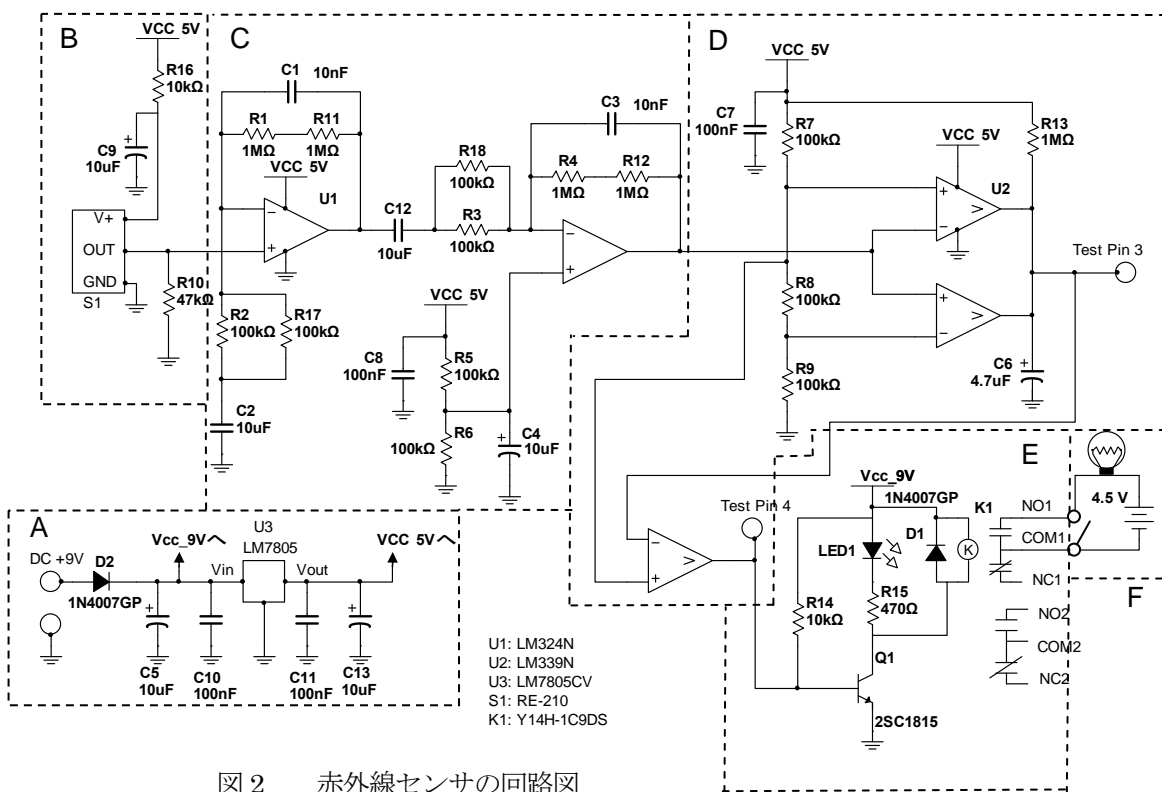


図2 赤外線センサの回路図

た閾値を越えると R13 と C6 で構成されたタイマー回路が動作する。

ブロック E 表示&外部機器制御の拡張端子 LED とリレーの駆動にランジスタを用いる。回路を理解しやすいように NPN タイプを用いているが、後で消費電流を下げるため PNP に変更するよう学生に勧める。リレーは2連式で2系統の拡張端子を持つ。
ブロック F 市販の警告灯

□3. 教材のコンセプト

教材は次の点を考慮して開発した。

- ・ **重要技術を用いる**

教材で使用した回路は、レギュレーター回路、オペアンプ回路、コンパレータ回路、トランジスタのスイッチング回路であり、アナログ回路で頻繁に使用する重要な回路を用いた。

- ・ **適切な難易度である**

座学で学ぶ初級の回路で構成され、学生が理解しやすい回路とした。アンプ部はオペアンプ、比較部にはコンパレータを用いて、ブロックごとに回路が完結し、ブロック間の入出力インピーダンスの影響を考えなくても良いようにした。

- ・ **安定動作する**

配線や引き回しが少々荒くても安定して動作するように、アンプの帯域は 0.34~8Hz で低周波動作、またアンプゲインは 62dB とした。

- ・ **汎用部品を用いる**

専用 IC を用いると製作は楽だが、ブラックボックスとなり知的好奇心を削ぐことになる。また販売中止となった場合、教材が使用できなくなるため、回路の基礎理論を学びやすく、部品の入手をしやすい汎用部品をなるべく用いた^{注1)}。

- ・ **試作完成までの一連作業を学ぶ**

回路設計者が試作品を製作する際、一般的に「設計→回路シミュレーション→製作→評価→修正→完成」の手順で行う。作品完成までにこれらの作業を一通り体験できるようにした。

- ・ **自宅で使用できる**

製作した作品は、自宅で使用できる実用的

な物で、かつ電池で動作するようにした。これは学生の製作意欲を高めるためと、学生が自宅に持ち帰ることで、学校の教育成果を保護者に伝える2つの目的が含まれている。

- ・ **安価である**

学生の負担を考えなるべく安価にした。本教材の部品価格は1セット約1400円である。

- ・ **改良の余地を残す**

学生が改良できるように完璧な回路にしないようにした。あえて使い勝手を悪くし、学生が不満を持ち、改良したいと思わせる回路にした。また周辺の電気製品を制御できるように、リレーを用いて拡張端子を設けた。

- ・ **ユニバーサル基板を用いる**

基板は、サイズ 95×140mm の片面ユニバーサル基板を用いた。初心者でもスペースに困ることがないように回路規模に対して基板サイズは大きめの物を選択した。ユニバーサル基板はエンジニアが何かを試作する時、よく使われるため、将来の実務練習としても良い。また半田付けの技能向上のためにも有効である。学校でよく用いられるブレッドボードは、接触不良、耐久性に乏しい。また長い配線の引き回しによる回路の不安定さが出やすいので複雑な回路には好ましくない。

- ・ **一般的な測定器で評価できる**

評価に使用する測定器は、他の高専でも実施しやすいように、電源、デジタルマルチメータ、オシロスコープ、信号発生器の一般的な測定器とした。

- ・ **コンテストができる**

グループ間で作品の性能を競争できるようにした。

□4. 授業概要と指導方針

この教材の実践は、本校電気情報工学科 5 年生の回路設計 (電子) の授業で行う。本科では5年生で電子系と情報系の2つのコースに分かれ、回路設計 (電子) は、電子系の必修得科目である。授業は通年科目で、赤外線センサの製作は、その中の前期 1 コマ 90 分 15 回で行う。1 クラスの人数は 20 名である。指導員数は、教員 1 人と技官 1 人である。作品は個々の製作技能を高めるためと製作意欲を高めるために、一人一作品作らせる。

授業の指導方針は、実習を通して「問題解決能力」と「協調性・コミュニケーション能力・表現力」の育成を心がけて指導する。

学生の問題解決能力の育成のために、製作に必要な全部の情報を与えないようにして、あえて途中で問題点にぶつかるとする。問題点を解決するのに自分らで調べ、考え、計算が必要となるようにする。学生より質問されても、なるべく答えは教えず、ヒントを与えるか、グループ内で相談するように促す。ただ学生が問題解決をするためするには、回路に対する理解が必要となる。そのため授業の最初に15分程度の講義を行い、座学で学んだことのおさらいや実習で必要となる内容を教える。また、作品が正しく動作しない時は、自分らで修理できるように、製作後に各端子のバイアス電圧、信号波形を測定・記録させる。この測定値を基に、学生に不具合箇所を推定させる。

協調性やコミュニケーション能力の育成のために、実習はグループに分かれて行う。学生が作業に行き詰った時、グループ内で互いに教え合うよう指導する。1グループはコミュニケーションが取りやすい3～4名とする。グループ分けは公平性が出るように、出席番号より決定する。

表現力の育成のために、授業の最後に発表会を行い自分らの作品を紹介させる。また、レポートを提出させて、文章をまとめさせる。

□ 5. 実習の進め方

回路は、図1のブロックAよりFの順で製作する。初期に学生に渡す回路図にはR11, R12, R17, R18が省略されている。回路図通りに製作してもアンプのゲインは必要ゲインの1/16のため正常に動作しない。学生は、上の4つの抵抗を追加し、アンプの増幅度を上げるための改良が必要になる。また、初期に渡す回路では、ブロックD,E,Fは四角で囲んだブロック図のみの記載となっている。これは早くできた者が、次の製作に進めないようにしてある。早くできた者は、グループ内の進行の遅い者を教えるように指導する。またグループ内の足並みを揃えることで、全体の進行の歩調を合わせ、指導をしやすくして

いる。授業の指導手順とポイントを以下にまとめる。()の中の数字は作業に要する概略の授業回数である。

i. ガイダンス&電源部の製作 (2)

最初の授業では、学生の誰もが早く作ってみたいとの気持ちを持っている。そこでガイダンスは早々に終わらせ、説明なしてすぐに電源部より製作させる。完成したら出力電圧をマルチメータで確認させる。

ii. アンプ部の製作 (3)

講義時間にアンプ回路の各ノードのバイアス電圧と波形を考えさせておく。製作が完了した学生に対しては、バイアスと出力波形をデジタルマルチメータとオシロスコープで測定させ、計算した理論値と比較させる。正常に動作しなかった学生に対しては、測定値と理論値の違いより、どの辺りに原因があるかを推定させ、配線チェックをさせる。

iii. ウィンドコンパレータ&タイマー

&表示回路の製作 (3)

アンプの製作が完了後、ブロック図D,Eの回路が書かれた回路図を渡す。ただし、回路図中のR7, R8, R13, R14, R15の定数は記入されていない。学生は与えられた設計条件より定数を計算して求める。まだ知識の乏しい学生にとってアナログ回路を何も無い状態より考えさせるのは、困難であるため、回路設計は定数計算のみとした。製作終了後にデジタルマルチメータで各端子のバイアス電圧を測定させ、定数計算時に求めた理論値と比較させる。正常に動作させることができない学生に対しては、理論値と測定値の違いより間違い箇所を推定させ、自分で修理させる。

iv. アンプの改良 (2)

前に述べたように回路図通り製作してもアンプゲイン不足のため、センサ近くの物体しか感知しない。正常に動作させるには、R11, R17, R12, R18を追加する必要がある。回路に設計上の問題があることを学生に告げ、ゲインを16倍にすることを課題を与える。次に学生の考えた改良方法でゲインが上がったことを確かめるため、回路シミュレータ(Multisim, National Instruments)で周波数特性の

グラフを取らせる。学生はシミュレーションの操作を4年生の実験で修得している。

v. アンプ回路の測定 (1)

回路の改良を行った後、周波数特性を測定させる。入力信号に発振器、出力波形の確認にオシロスコープを用いる。シミュレータで得た周波数特性のグラフ上に測定値をプロットさせて、理論値と測定値の比較をさせる。(3図参照)

vi. 外部機器の接続 (0.5)

拡張端子を用いてセンサが感知した時、市販品の警告灯が点灯するよう課題を与える。ブロック F は学生には提示しておらず、接続方法は学生に考えさせる。

vii. 早く終了した者に対する課題 (1)

電池駆動の際、消費電流を少なくすることが望まれることを教え、PNP トランジスタを用いたスイッチング回路に改良するように指導する。また身の回りの電子機器や自作した電子機器を拡張端子に接続して制御させる。作業の遅れている者は、この時間を使って製作する。

viii. コンテスト&発表会 (2.5)

コンテストとしてグループ対抗で感知距離を競う。グループ内の平均距離が最も長いグループを優勝とし、評価に加点する。学生は、コンテストの期日を目標に製作の完成を目指す。コンテストの際に教員は、学生の作品の出来栄を評価する。

発表では、パワーポイントを用いてグループごとに工夫した点、反省点、感想、発見したことを発表させる。

電源の製作では、学生にとって初めてのユニバーサル基板を用いての製作のため、作り方が分からず、手をつけられない状態であったが、教員が製作したサンプルを見せると、サンプルより部品の配置、配線方法を学び、教員の指導なしで製作を始めた。1人1作品を義務付けているため全員が熱心に作業に取り組んだ。講義中の学生態度は、通常の座学よりも学習意欲は高かった。

アンプの製作では、製作後に正常に動作させたのは1/3の学生で、その他の者は配線ミスや半田不良で動作させることができなかったが、バイアス電圧の測定値と理論値の違いより不具合個所を探す手法を教えることで、ほとんどの者が自分らで解決する。また、グループ内で理論に詳しい者が、周囲に教える様子が見られた。

ウインドコンパレータ&タイマーの製作で学生は、初めて与えられた仕様要求で回路を設計する。これまでの座学で学んだ知識が本当に実践で活かすことができるか半信半疑の様子であったが、作品が理論通りに動作するのを体験して驚いた様子であった。

アンプの改良を終え、作品が仕様要求通り動作すると多くの学生より歓喜の声が上がった。

6. 学生の授業の様子

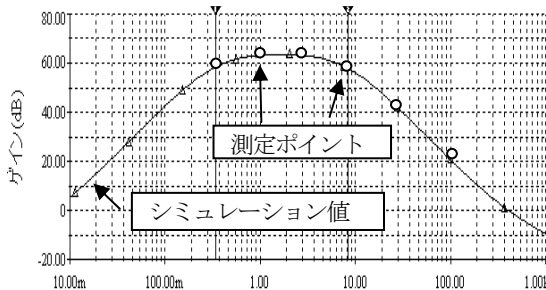
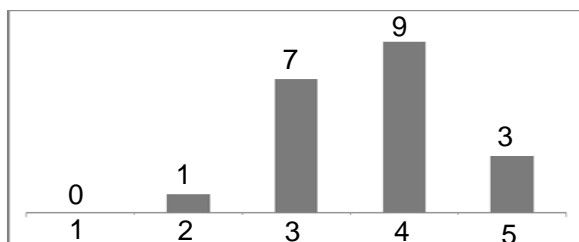


図3 シミュレーション値と測定値の比較



図4 授業風景

Q.この授業は何点ですか



Q. あなたの取り組みの自己評価は何点ですか

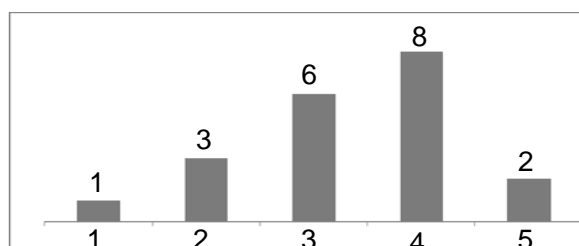


図5 学生アンケート結果

た。ほとんどの学生は、仲間の協力や教員のヒントを得ながら自力で完成させることができた。完成させることができなかった学生は数名残ったが、これまでの測定データを基にして学生と共に問題箇所を見つけることにより、最終的には全員が完成させることができた。

コンテストではグループ対抗であるため、期日までに完成していないと責任が問われる。作業の遅れている者は、コンテストまでに完成させようと放課後残って努力した。グループ内の早くできたメンバーは、遅れた者に協力する姿が見られた。

完成した作品の活用を学生に尋ねたところ、「部屋の前に置いて親が近づいたことを知らせる。庭に置いて、ねこが入ってこないようにする。防犯センサとして使う。家の暗い場所（駐車場）に置く」との意見があった。

7. アンケート結果

図5は本授業に対する学生20人に対して無記名方式で行ったアンケート結果である。アンケートの質問は「この授業は何点ですか」、「あなたの取り組みの自己評価は何点ですか」の2つで、5段階評価（5が最も良い）で行った。

「この授業の点数は？」の問いは教材と授業全体に対する学生の満足度を示している。結果を平均すると3.7であり、学生はまずまずの満足度を得たものと考えられる。

「あなたの取り組みの自己評価は？」の問いは、教材に対する興味度を示している。平均3.25であった。教材に興味を持つためには、電子回路のある程度の知識が必要であるため、理論の苦手な学生にとっては単なる作業となり、興味が持てなかったのではないかと推測する。また学校を休みがちの学生にとっては、自己評価が低かったと考えられる。

8. あとがき

アナログ回路の教育教材として開発された赤外線センサとそれを用いた授業方法について、さらにはそれらを授業で実践した結果を述べた。本論で提案した教材は、「アナログ回路の重要技術が含まれる。学生に適切な難易度である。拡張性がある。汎用部品で構成される。汎用測定器で評価できる。安定に動作する。少人数の指導員で対応できる」といった特徴を持っており、また提案した授業方法を実施することで、学生の問題解決能力や協調性やコミュニケーション能力を育成することができる。これらは、アンケート結果や学生の授業中の様子より実証された。本論文で提案した教材と授業方法は、高専学生のアナログ回路の教育に役立つものである。

□参考文献

- 1) 出口幹雄他：電子創造性教育の試み，高専教育，No. 28，pp. 125-130（2005）
- 2) 塩野計司他：創造性と実践力の発揮を促す実験科目の構成，高専教育，No. 31，pp. 433-438（2001）
- 3) 辻原治：創造プログラミング演習の実践とその評価，高専教育，No. 24，pp. 229-234（2001）
- 4) http://www.njr.co.jp/j06/j6_s_r_1.htm
- 5) <http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20091026/191228/>

□注記

注1) 特殊部品は次の3つである。いずれも他社製品を用いることが可能。焦電センサ：RE-210，レンズ：AE-01，警告灯：ピーライト(柵)グリーンオーナメント