

量子型光学センサを用いた計測・制御の題材開発

原田 信一・平川 義宏*・小椋 秀一**・安東 茂樹

Development of the Subject Matter for Education of the Measurement and Control
Using a Quantum Type Optical Sensor

Shinichi HARADA, Yoshihiro HIRAKAWA*, Shuichi OGURA**, and Shigeki ANDO

Accepted December 27, 2012

抄録: 学習指導要領の改訂により, 中学校技術・家庭技術分野は 4 つの内容が必修となり, すべての生徒に「D 情報に関する技術」(3)「プログラミングによる計測・制御」を履修させることとなった。そのため, 指導を達成するのに授業時間が不足することが予想される。したがって, 基礎的・基本的な知識や技能を効率よく身に付けられる教材・教具の活用や, 短時間で設計・製作可能な製作題材の必要性が求められる。

本研究では, 「D 情報に関する技術」における計測・制御学習の実習教材として, 量子型光学センサを用いた照明用自動スイッチを開発した。そして, この製作題材を活用して指導計画を提案することを目的とする。

索引語: 計測・制御, 題材開発, 量子型光学センサ

Abstract: By revision of the Japanese government guidelines for teaching, as for junior high school technology and the home field, the four contents became a requirement. All the students have to study “D: The technology about information” and “(3): The measurement and control by programming.” Therefore, it is expected that time required to completion runs short. That is, practical use of teaching materials that can help students master fundamental knowledge and skills effectively, and the subject matter for training in which students can perform design and manufacture in a short time are required. We developed an automatic switch for lighting using the quantum type optical sensor as a subject matter for training of study of “measurement and control” in “D: The technology about information.” and we proposed an instruction plan that utilized this.

Key Words: Measurement and control, Subject development, Quantum type optical sensor

* 広島市立瀬野川中学校非常勤講師 (有限会社平川製作所代表取締役)

** 広島市立二葉中学校非常勤講師 (有限会社平川製作所取締役)

1. はじめに

科学技術が発展し情報化が進展する中、ものづくりに関する経験や身の回りの技術的な製品の仕組みを知るといった経験が少なくなっている。そして、科学技術の急速な発展により、社会及び家庭において様々な技術システムや技術製品が見られるようになった。そのため、日本のものづくりを支える能力や技術を安全に活用できる力の育成が必要である。

これまでのシステムや製品は、使用者が目的や状況に応じて操作や調整をしていたが、今日では自動制御されるようになった。例えば、最新のテレビは、見ている人の動きを感知する機能があり、設定した時間の間、テレビの前に人がいないことをセンサが感知すると、消画状態になり音声だけが流れる。消画状態になってから 30 分間、人を感知しないと自動的に電源を切るように設定できる。消画や電源を切るような自動化を可能としたものに計測・制御がある。一方、これらの製品はブラックボックス化が進み、そのしくみは複雑で分かりにくいものとなっており、現在の子どもたちは様々な技術を使用しながら生活していると考えられる。

以上のことから、新学習指導要領が改訂され中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術科）において「プログラムによる計測・制御」が必修内容とされた。従前では、この内容が選択であったために、ほとんどの学校で履修されなかったのが実態であった。しかし、新学習指導要領では必修化されたにも関わらず、技術科の時間数は従前のままである。これらのことから、学校現場においては、この内容を効果的に指導できるようにするために、履修事項を相互に関連させた題材や指導過程が求められている。中学校学習指導要領解説技術・家庭編では題材設定の具体例として「題材の設定に当たっては、各項目及び各項目に示す事項との関連を見極め、相互に有機的な関連を図り、系統的及び総合的に学習が展開されるよう配慮することが重要である」と示されている¹⁾。

本研究では、題材と教材の位置付けを図 1 のようにし、技術科の「プログラムによる計測・制御」において、他の履修事項の内容と有機的に関連を図った指導過程を構築するとともに、効果的な題材を開発することを目的としている。

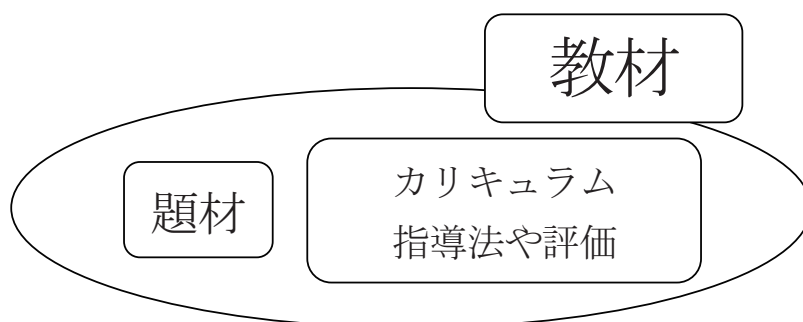


図 1：本研究における題材と教材との位置付け

2. 研究方法

本研究では、これまでの計測・制御に関する先行研究と学習指導要領の検討から、この学習における現状と課題を明らかにする。次に、この結果から題材を設定するための要件を明確にし、計測・制御学習における題材を開発し、具体的な指導計画を構築する。

3. 技術科の計測・制御学習における現状と課題

(1) これまでの計測・制御における先行研究

今年度から新学習指導要領が中学校で全面実施された。必修化された技術科の計測・制御に関する先行研究として、日本産業技術教育学会第 55 回全国大会の講演内容 166 件から「技術科における計測・制御」に関するものは 10 件であった²⁾。これらの研究の多くは制御教材の開発及び改良に関するもので、その他には制御教材用のシミュレーションソフトウェアの開発と授業内容や指導方法の検討などがあった。

さらに、2008 年の学習指導要領改訂に伴い、計測・制御に関して取り組まれた過去 3 年間（2009 年度～ 2011 年度）の日本産業技術教育学会誌に掲載の研究 81 編は、ほとんどがロボット等の制御教材開発に関するものであり、その内容は次のとおりである。

紅林らが、3 モータ制御が可能な教材用ロボット基板を開発し、授業実践を通して技術科におけるロボット製作とコンピュータ制御の学習が融合できる教材システムを提案している。さらに、計測学習を取り入れたロボット制御教材の開発も行っている^{3) 4) 5)}。古平らは、自律型ロボット教材を用いて中学校の技術科で授業実践を行い、課題、学習方法などの授業計画を立案している⁶⁾。針谷らは、プログラム学習やロボット教材を用いた学習計画の検討を行い、学習計画を基に授業実践し、教材や学習効果などの有用性について調査している⁷⁾。井戸坂らは、自律型ロボット教材の活用から、生徒が授業を楽しく感じ、コンピュータや制御機器への興味・関心が高まり、身近にある制御の仕組みに関する理解も深まることを、ロボット教材の評価と授業において検討している⁸⁾。紅林らは、ボール式マウスを用いた位置を把握できる教材用自律型移動ロボットの開発を試みている⁹⁾。そして、樋口らは、コンピュータによる計測・制御学習のための汎用制御基板を開発している¹⁰⁾。また、計測・制御学習に対する生徒の意識や実態把握等に関する研究として、松村らは、ロボット学習を通して形成される生徒の技術観・職業観を把握する意識尺度の開発を行っている¹¹⁾。萩嶺らは、技術科「プログラムによる計測・制御」の学習に対する生徒のレディネスとして、計測・制御システムに関する既有概念の実態を、概念地図法を用いて把握している¹²⁾。

以上の先行研究から、計測・制御学習においてロボット等制御教材の開発がほとんどであり、センサに視点をあてた教材開発はほとんど行われていないことが分かった。したがって、生徒の生活に身近な計測・制御の学習として、センサを用いた制御学習用実習題材を取り入れることで、より効果的な指導過程を構築することができるとともに、教材も開発できると考える。さらには、このことにより技術科の備えている教育としての意義や本質についても生徒に理解させることができないかと位置付けたい。また、本題材は、寺石らが省エネルギー教育のために試作した自動照明スイッチを基軸としているが、新しく開発されたセンサを導入するなど、高い動作信頼性及び安全性と長期耐久性を得

られるよう改良を加え、制御に関して効果的に学習させることのできる実習題材として開発を行った¹³⁾。

(2) 学習指導要領との関わり

2008年に改訂された中学校学習指導要領解説技術・家庭編の教科目標には、「生活と技術とのかかわりについて理解を深め」と示されている¹⁾。このことについては、「人間が生活する様々な場面において、技術を適切に評価し活用できるようにするためには、生活と技術との関わりについて、一層の理解を深めることが重要である」ことを示したものである。また、技術分野の目標には、「技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め」と示されている。このことについては、「技術と社会や環境とは相互に影響し合う関係にあり、このことへの理解を深めることが、技術を安全性や経済性だけではなく環境に対する負荷等の多様な視点から評価することの意義の理解や、技術を適切に活用しようとする意欲につながる」ことを示している。次に「D 情報に関する技術」について、「情報に関する技術が社会や環境に果たす役割と影響について理解を深め」というねらいが示されている。さらに、この分野を指導するに当たっては「情報に関する技術の進展が、社会生活や家庭生活を大きく変化させてきた状況」について理解させる必要があるとされている。最後に、この内容は「B エネルギー変換に関する技術」で製作した作品を用いることにより、効果的に学習することができることが示されている。

以上のことから、計測・制御の学習では、技術の発展が人間の生活に影響を与え、暮らしを向上させてきたことを理解させる必要があると考える。さらに、この学習教材として、エネルギー変換に関する技術を利用した製作題材を用いることとする。

4. 題材の開発

(1) 題材設計の設定要件

これまでの計測・制御学習に関する先行研究や学習指導要領の検討から、技術科の計測・制御学習における題材を設定する要件を以下に示す。

- ① 生徒の生活に身近なものであること
- ② 計測・制御の発展と生活の向上とのかかわりを理解できること
- ③ 省エネルギーに有効なものであるなど、エネルギー変換を利用した製作品を用いること
- ④ 簡単かつ効果的なものであること
- ⑤ 各部品の耐久性に留意し、国際安全基準、規格に対応するなど、安全なものであること
- ⑥ 部品（各構成部）の互換性があること
- ⑦ 安価なものであること

(2) エネルギー変換を利用した製作題材

これらの要件から、本研究では省エネルギーに有効なエネルギー変換を利用した照明機器を題材として取り上げることとする¹³⁾。その理由として、照明は人間の生活にとって必要不可欠なものであり、

学校や家庭はもちろんのこと、広く世の中の建物には照明器具が設置してある。そのため、生徒にとっても身近なものとして考えやすい。

(3) 回路構成の検討

① ブロックとしての検討

回路をそれぞれの働きに分け、ブロックとして検討する。

② メインブロックからの検討

回路構成の検討は、機器の目的に最も大きな影響を与えるメインブロックから行なう必要がある。したがって、回路心臓部が必ずしもメインブロックになるわけではない。今回の題材製作に当たっては、信号処理部がメインブロックに該当する。

(4) 動作方式の検討

製作する題材は、そこに人がいることを自動判断するセンサである。今日、焦電型赤外線センサは安価な自動照明用スイッチとして広く実用化され身近なものになっているが、不連続出力のため、周辺回路が複雑になり、信頼性が低い。そこでそれを簡略化して安価にするため、PICなどを合わせて一体化するのが普通であるが、制御学習の題材としては適さないものになっている。

小型の半導体赤外線レーザーダイオードとアバランシェフォトダイオードなどを組み合わせた高精度三角測距式センサは、単体で連続出力が得られ、周辺回路が簡単であるため、信頼性が格段に向上する。自動照明用スイッチとして、一般生活用照明機器についても焦電型赤外線センサとの置き換えがはじまっている。したがって今回はこれを用いることにし、得られる出力を実習用としていかに処理するかが課題になる。すなわちメインブロックは信号処理部であることになる。

(5) 全体構成の検討

全体構成の検討を行なう。フローチャートのものから最終的にブロック図的なものにまとめる。図2に検討したブロック図を示す。

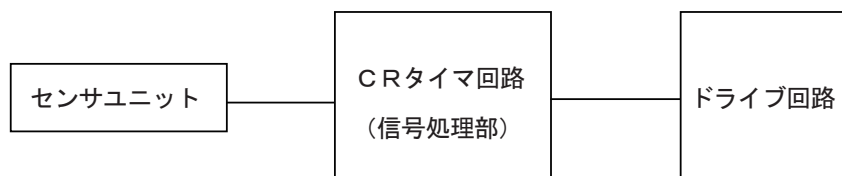


図2：動作方式ブロック図

(6) 各ブロックの検討とユニットの構成

各ブロックの検討を行う。この段階で実回路の決定が可能になり、それぞれの動作を行なう部品（ユニット）としてまとめていく。

① 各ユニットへの入出力の統一

各ユニットからの出力電圧、各ユニットへの入力電圧、正負どちらの論理で行なうのか、またパルスの立ち上がりでみるのか立ち下りでみるのかをあらかじめ明確にしておかないと、後でそれぞ

れ完成させたユニットの組み合わせができない。

② 各ユニットの電源電圧の統一

各ユニットの電源電圧が統一されていないと失敗，また事故の原因になる。

③ 各ユニットへの信号入力に必要な電流量ができるだけ小さいこと

信号の受け渡しに必要な電流量が大きいと，後段ユニットの動作はおろか前段ユニットの動作も不安定になる。必要な受渡し電流量の計算は重要である。

④ ユニット間での交流の受け渡しはできるだけ行なわない

ノイズに弱いデジタル信号を扱うので，できるだけ行なわない。

⑤ 動作環境条件への考慮

完成品を各生徒が自宅などに持ち帰り，安全に長く使用できることは重要である。すなわち，温度，湿度などへの耐久性を考慮する。併せて絶縁，耐静電気，耐サージ，さらに自己発熱量なども十分考慮し，安全なものにすることが必須である。JISなどを参考にして，はじめに安全性評価シートを作り，統一しておく。

このような点を十分考慮し，今回は以下のように決定した。

- ユニット間の信号受け渡しは原則，負論理で行なう
汎用の制御用部品を使うことから，実際の電子制御で使われるものと同じとした
- 電源電圧は+5Vとする
- 集積回路はC-MOSタイプのものとする
- 強電，弱電回路は物理的に十分離隔する。放熱に十分配慮する
- 動作環境は0～50℃，相対湿度25～85%と設定し，これに耐えられること
必要な場合，少なくともJIS要求の各種評価試験を行ない，安全性を確認する

以下，細かい実回路設計とユニット化を行なっていく。

5. 実回路の構成

(1) センサユニット

自動制御の初歩を理解することが目的であるため，実習時間の短縮を考慮して丈夫で使いやすい既製品を用いることにした。今回は最大で2000mmの検出距離を持つ高精度三角測距式センサを用いた送受光一体のセンサユニットである。同電源電圧，同出力で検出距離のみ異なるものが，シリーズとして揃えられており，目的に応じて取り替えて使うことができる。詳細仕様，信頼性データをセンサメーカーより取り寄せ，十分検討した上で使用した。いずれもCEマーキング品である。

定格検出圏内での誤検出は詳細仕様書通りほとんどない。なお設定した環境，定格使用条件における期待寿命は，別途独自に実施したJIS各要求試験の結果，概ね15年であり，またその故障モードは開放で，今回の目的に十分適するものである。

しかし，UL認証やCEマーキングの規定は厳格であり，個別部品使用方法なども詳細に仕様書，取扱説明書に記載されることからそれを熟読し各指定に従えば，特に別途評価をしなくても大丈夫であ

る。

(2) CR タイマ回路ユニット

今回、PIC などを使用すれば簡単であるが、制御学習の題材であるためソフトロジックではなくハードロジック、すなわち汎用ロジック IC、ダイオード、トランジスタなどを用いて構成した。特に論理回路がよく見えるようにできるだけ配慮した設計とし、NAND ゲートの入力ピンを短絡させれば NOT、NAND ゲートを 2 個使うと AND、抵抗器とコンデンサ、NAND ゲートで遅時タイマが構成され、ダイオード OR、トランジスタ NOT などがわかるものにした。操作スイッチについても中点 OFF 付き微小電流用のものを用い「自動」「切」「入」の 3 動作が選択できるようにし、時定数を持たせた滑らかな切り替えとあわせてより実用性を高めた。

また入力部には実用制御でよく使用されるフォトカプラを使用し、センサユニットの複数並列使用が簡単にできるようにした。センサの出力 NPN トランジスタの特性が近く、かつ検出で CE 間 ON、負接続になるものであれば、別の汎用センサとすることも可能である。応用例として、圧力センサとしてそれを椅子に装着すれば、着座 ON となるようにもできるようにした。

十分な実用性を有し長期使用できるものにする必要があることから、各所保護回路を十分検討し、各部品には十分な余裕を持たせた。特に電解コンデンサに注意し、105℃、50WV、漏れ電流の少ない長寿命品で統一した。部品数を増やすことは故障率を高め、また組み立てに要する時間を増やすことになることから必要最小限になるよう十分考慮して構成した。

安全性、耐久性については絶縁試験、部品開放短絡試験、熱衝撃試験、耐静電気試験、耐サージ試験、振動試験と順次実施して評価したが、5V の低圧回路であること、また発熱が問題になる部分もないことから、詳細仕様が明らかにされている余裕のある部品を使用基準に従い正しく使えば、詳細評価が不要である。最終的に FIT 計算などにより耐久性評価をして信頼を得ることができる。なお本 CR タイマ回路ユニットの期待寿命は概ね 15 年である。

技術科の授業時間の制約などによりこのユニットの製作が難しい、あるいは部品入手が困難で製作が難しいといった場合には、プリント基板回路の製作会社に依頼し、面実装基板として完成したものを用品いてもよい。使用部品の全てが面実装用として用意されているため問題はない。ただし、超小型パッケージの部品をプリント基板上に一杯に詰め込むと、配線を追うことができなくなって生徒の理解を妨げるため、また部品故障が発生した場合、部品交換ができないため、その発注時には十分な配慮が必要である。

(3) ドライブ回路ユニット

継電器ユニットであるブロック型汎用 15A SSR を使用した。今日、低信頼性の機械接点を有するリレーは日用製品においてもその使用が激減し、SSR への置き換えが進められている。このことから今日の継電器を知る上で SSR の使用は実習題材に好適である。100V を直接ドライブする (ON - OFF する) 部品であるため、高い信頼性と安全性を有するものを使う必要がある。本試作においては UL 認証品を用いた。発熱する部品であるため、その放熱には十分留意する必要がある。取り付け面が放熱面となっていて、これを収容する金属筐体を放熱器として利用することが可能で、全体をコンパクト化できる。適正な放熱がなされた場合の期待寿命は、概ね 15 年である。おおよそではあるが、その定格最大電流の 60 ~ 70% 程度までを最大電流とすると放熱設計が容易になる。本試作においては、SSR の

定格最大電流の 67%，すなわち 10A 最大とした。

(4) 直流電源ユニット

今日広く使われ、部品の供給に問題がなく、生徒にわかりやすく長寿命の整流定電圧回路を採用した。三端子レギュレータの放熱に注意が必要で、詳細仕様書に従った正しい使用を行なう必要がある。これに外付けする変圧器，100V 回路部品にも，十分な安全設計が必要である。その上での期待寿命は概ね 15 年である。

技術科の授業時間の制約などにより，このユニットの製作が難しい場合には，低ノイズの完成スイッチング電源としてもよい。ただし汎用の安価なスイッチング電源は，概ね全体が消耗部品として設計しており，概して短命（期待寿命 5 ～ 10 年）であるため推奨できない。

以上，全ユニットを組み合わせた全回路例を図 3 に示す。総合耐久性，安全性試験も実施し，得られたその期待寿命は概ね 15 年，簡単，確実，堅牢な実習用題材として十分，満足できるものになった。なお図 4 は CR タイマ回路ユニットについて，面実装用部品を用いる（オーダー製作した完成基板を用いる）場合の全回路例である。

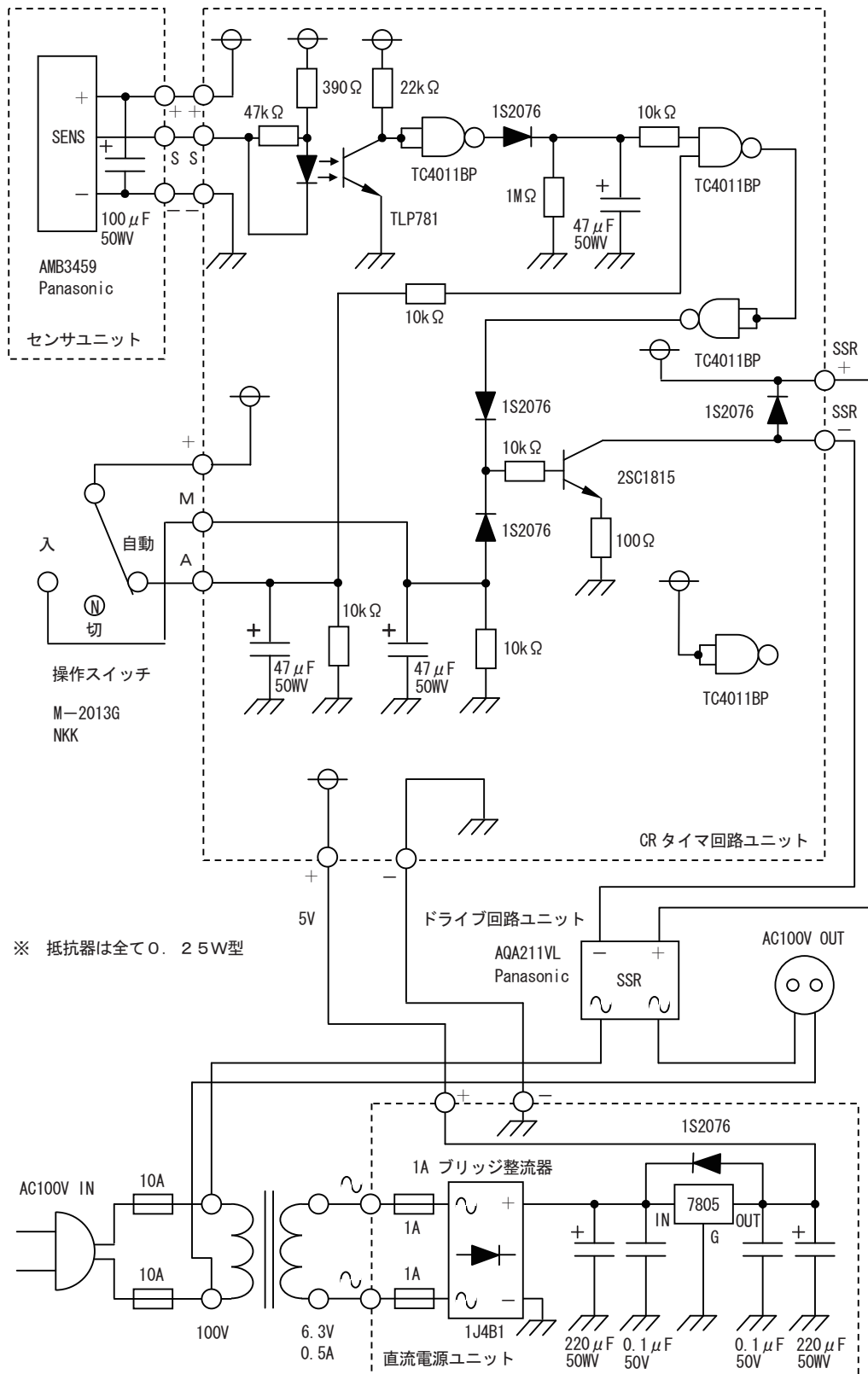


図 3 : 全回路図 1

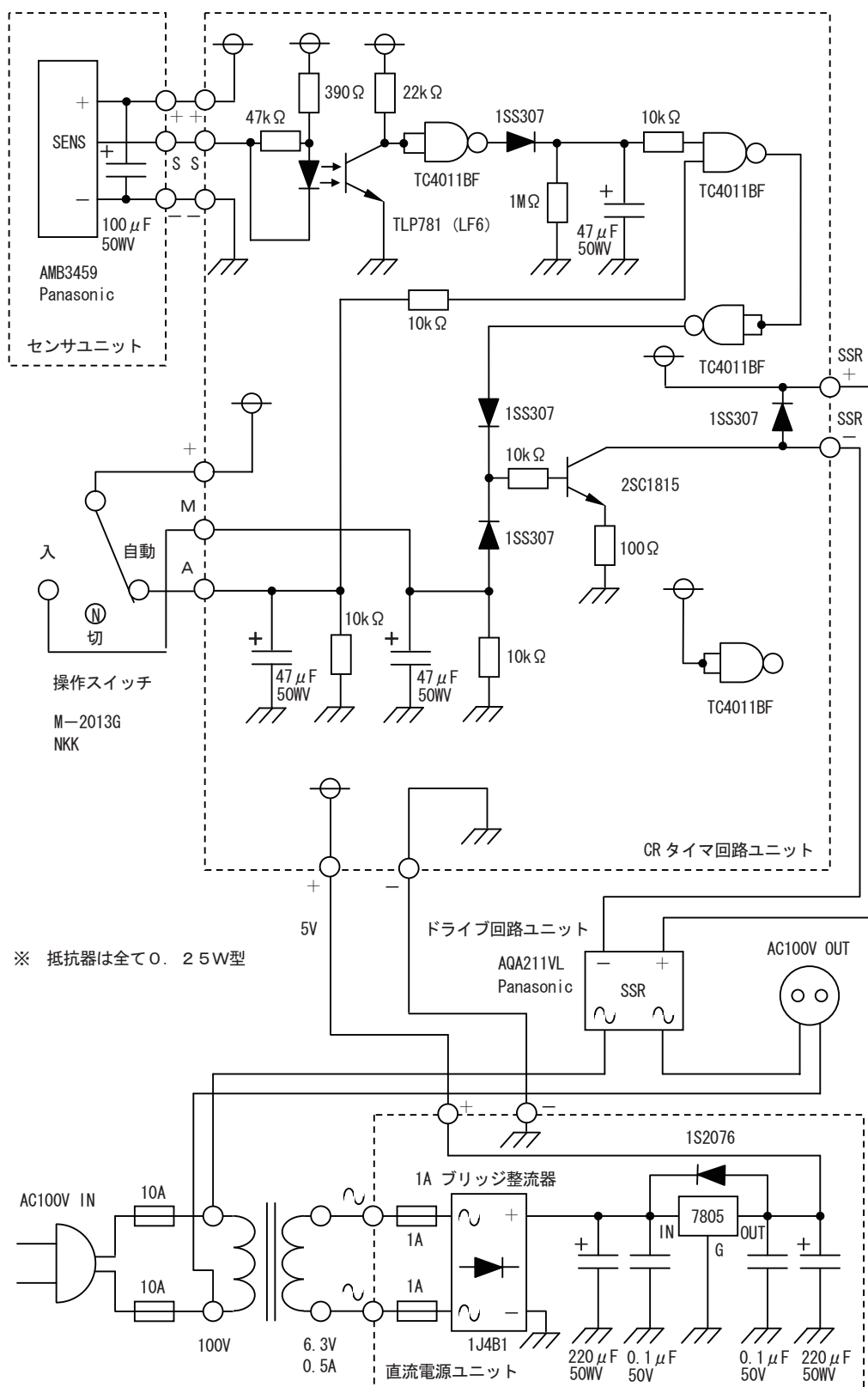


図 4 : 全回路図 2



図 5：開発した照明用自動スイッチの概観

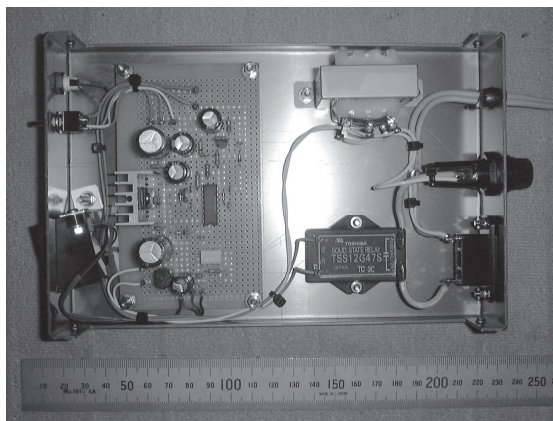


図 6：開発した照明用自動スイッチの基板面

6. 試作の結果

試作機をテストしてみたところ、周囲の明暗の影響を受けることなく、センサ検出圏内に人が立ち入った途端に正確に ON、約 30 秒とした遅延時間も適当であり、トイレ、洗面所の照明自動化にも問題はない。短距離検出型センサとの交換も簡単で、例えばデスクライト、キッチンカウンタ照明などの局所照明にも好適である。CR タイマ回路ユニットのセンサ入力にフォトカプラを入れているため、センサを複数個並列増設することも簡単である。したがって、一般家庭であれば、ほぼ全ての場所の照明に問題なく対応できる高実用性のものであることが明らかになった（図 5、図 6）。

7. 本実習題材を使用した指導計画例と指導案例

中学生が本題材を使用する場合の学習指導計画例を、表 1 に示す。「情報に関する技術」のほか、製作などを通して「エネルギー変換に関する技術」の一部が学習できるように計画した。

表 1：指導計画例

時	学習活動	評 価					
		関 心 ・ 意 欲 ・ 態 度	工 夫 ・ 創 造	技 能	知 識 ・ 理 解	評価規準	評価 方法
1	人の操作とコンピュータによる制御の共通点と相違点を比較する	○			○	・計測・制御について理解する。 ・人の操作による制御とコンピュータによる制御の違いについて関心をもって調べようとしている。	ワークシート 観察
2	照明機器の自動化と人間の暮らしについて考える				○	・照明機器が発展してきた過程を理解する。	ワークシート
3	センサの種類と働きを知る（光センサ）				○	・光センサを用いた照明機器の回路，自動制御について理解する	ワークシート
4	センサの種類と働きを知る（赤外線センサ）	○			○	・焦電型赤外線センサの特徴を理解する。 ・赤外線センサを用いた照明機器を使用していこうと意欲的に取り組む。	ワークシート 観察
5 6 7	制御題材を製作する		○	○		・量子型光学センサを用いた照明用自動スイッチを製作できる。	作品 観察
8	コンピュータのプログラミングによる計測・制御技術について考える				○	・プログラムの特徴と役割について理解する。 ・プログラムによる計測・制御の利用について知る。	ワークシート
9	コンピュータを用いた計測・制御の具体的な利用について，照明機器を基に考える				○	・コンピュータによる計測・制御の概要を理解する。	ワークシート
10	コンピュータを用いた計測・制御技術の社会での役割を考えていく	○				・計測・制御技術の役割や利用に関心をもつ。 ・計測・制御技術を評価し，活用していこうとする。	ワークシート 観察

8. おわりに

省エネルギーに有効なエネルギー変換を利用した量子型光学センサを用いた照明器具の教材化を図り、技術科の計測・制御学習の題材開発を行った。そして、それを基にして指導過程の検討を行った。

本題材は、例えば CR タイマユニットの各ポイントから、わかりやすい論理信号を簡単に取り出すことができることなどから、若干、回路を追加し、現状基本のシーケンス制御からフィードバック制御にすることなども容易で、また PIC などと組み合わせて高度な制御系に展開することも可能である。また、実際に、小椋が平成 24 年 4 月より行っている広島市立二葉中学校における授業実践においても生徒の反応は良く、本題材の有用性が示唆された。

今後は、本製作題材は現状ややコスト高であるため、増産、一般汎用化により、価格を抑えることが求められる。そして、これらを用いた授業実践を行い、その有効性を実証的に検討する。

謝 辞

教材開発用に特別にセンサをお譲りくださいましたパナソニック株式会社、調査実施にご協力くださいました広島市立二葉中学校の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編，教育図書（2008）
- 2) 日本産業技術教育学会：日本産業技術教育学会第 55 回全国大会講演要旨集（2012）
- 3) 紅林秀治，井上修次，江口 啓，鎌田敏之，青木浩幸，兼宗 進：自律型 3 モータ制御用ロボット教材の開発，日本産業技術教育学会誌，第 51 巻第 1 号，pp. 7-16（2009）
- 4) 紅林秀治，青木浩幸，室伏春樹，江口 啓：自律型 3 モータ制御ロボット教材を用いた授業による学習効果の検討，日本産業技術教育学会誌，第 51 巻第 3 号，pp. 195-202（2009）
- 5) 紅林秀治，室伏春樹，樋口大輔，江口 啓：計測学習を取り入れたロボット制御教材の開発，日本産業技術教育学会誌，第 52 巻第 3 号，pp. 159-167（2010）
- 6) 古平真一郎，坂本弘志，針谷安男：自律型ロボット教材を用いた「プログラムによる計測・制御」学習の授業実践に基づく学習効果の検証，日本産業技術教育学会誌，第 51 巻第 4 号，pp. 285-292（2009）
- 7) 針谷安男，飯塚真弘，山菅和良：プログラムによる計測・制御学習の授業実践とその学習効果の検証，日本産業技術教育学会誌，第 52 巻第 3 号，pp. 205-214（2010）
- 8) 井戸坂幸男，久野 靖，兼宗 進：自律型ロボット教材の評価と授業，日本産業技術教育学会誌，第 53 巻第 1 号，pp. 9-16（2011）
- 9) 紅林秀治，高山大輝：ボール式マウスを用いた位置を把握できる教材用自律型移動ロボットの開発，日本産業技術教育学会誌，第 53 巻第 4 号，pp. 243-253（2011）
- 10) 樋口大輔，紅林秀治：コンピュータによる計測・制御学習のための汎用計測・制御基板の開発，日本産業技術教育学会誌，第 53 巻第 3 号，pp. 169-178（2011）

- 11) 村松浩幸, 杵淵 信, 渡壁 誠, 水谷好成, 山本利一, 河原田康文, 川崎直哉, 吉田昌春, 松永泰弘, 紅林秀治, 松岡 守, 関根文太郎, 大橋和正, 田口浩継: ロボット学習を通して形成される生徒の技術観・職業観を把握する意識尺度の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第 52 巻第 2 号, pp. 103-110 (2010)
- 12) 萩嶺直孝, 島田和典, 森山 潤: 概念地図を用いた計測・制御システムに対する中学生の既有概念の類型化, 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻第 4 号, pp. 263-271 (2011)
- 13) 寺石 稔, 渡邊紀彦, 平川義宏: 省エネルギー教育のための自動照明スイッチの試作, 大阪教育大学研究紀要, 第 V 部門第 40 巻第 1 号, pp. 125-134 (1991)