

マイコンを用いたリレー・シーケンス制御の学習の試み

三谷祐一朗^{*1}, 中澤新吾^{*2}, 外園玲央^{*1}, 西由季央^{*3}

Learning Activities of Relay Sequence Control by Using Microcomputer

Yuuichiroh Mitani^{*1}, Shingo Nakazawa^{*2}, Reo Hokazono^{*1}, Yukio Nishi^{*3}

This relay sequence control class was opened in the later term of 2018. The objective of this class is to learn about basic ways to construct sequence control circuits and make progress in group work training. It is a common way to learn relay sequence control by using PLC (Programmable Logic Controller) but that will require many PLCs and software licenses for all of the groups. It means that a large amount of expenses would be necessary to have such a way to learn the relay sequence control. Moreover, since many cables would be needed to connect between the PLC and the control circuit, it obviously takes a lot of work and time to prepare and use in the class. In this study, a new way to learn relay sequence control without PLC but by using microcomputer is proposed. It is very low cost and students can learn relay sequence control without having to require usage of the software and troublesome cable connecting handwork. Students can learn the basic skills by only using a breadboard, relay, microcomputer, and some commonly used electronic components, such as register, capacitor, transistor, LED (Light Emitting Diode), and so on. Other components that would further interest and motivate the class are photoelectric sensor, motor, and electric buzzer which are also introduced as input or output devices, to get the best use of the relay sequence control technique. The strong selling point of this study is that students can prepare all of the learning equipment by themselves because the total costs are less than only four thousand yen. The software to develop the program for the microcomputer is free. It can be expected that the class can open up to be interested in not only the relay sequence control but also electric circuits for the students of this class.

Key Words: Relay sequence control, Problem-based learning, Group work, Microcomputer, Breadboard

1. 緒言

我が国の生産年齢人口は減少の一途をたどっており、海外に労働力を求めざるを得ない時代になった。それに伴い生産現場では、ロボットなどの導入による自動化が進み、工場内の生産機器の制御に用いる PLC (Programmable Logic Controller) は今後ますます利用台数が増加し、高速・高機能化していくと思われる。

高専機構はオムロン株式会社 (以下、オムロンと称す) と連携し、2011 年度より全国高専生を対象とした「制御技術教育キャンプ」を開始した。これは、新型の PLC をはじめとする高機能な制御機器を複数活用し、学生がマニュアルや参考書を用いて学習しながら与えられた課題を解決する、PBL (Problem Based Learning) 形式の教育活動である。高専の夏季休業期間を利用し、異なる高専の学生同士がグループを作っておよそ 1 週間、昼夜を問わず課題解決に取り組む。2018 年度までの 8 年間継続して実施しており、参加学生の、

制御機器に関する専門知識だけではなく、グループワークを通じてコミュニケーション能力も向上させる事を狙っている。毎年終了後にアンケートを取っており、高い教育効果が確認されている^{[1][2][3]}。

沼津高専機械工学科においても、2013 年度より 5 年次の選択科目「メカトロニクス」にてリレー・シーケンス制御教育を開始した。2014 年度には、全 2 年生対象のミニ研究において、「PLC を用いた制御システムの構築」というタイトルで PLC を自主的に学ぶ教育活動を始めた。ミニ研究とは、沼津高専に所属する全教員が、学科に関係なく 3 名の学生に対し、独自のテーマに関して自主的に学習するスタイルの科目である。「PLC を用いた制御システムの構築」に配属が決まった 3 名の学生は、まずリレー・シーケンス制御の基礎を学習し、その後 PLC をはじめとする制御機器の使い方を自主学习する。そしてそれらの知識を活用し、自由な発想で制御システムを、ハードウェア・ソフトウェア共に製作して、ミニ研究の発表会にてそのデモンストレーションおよび説明を行った。2018 年度まで 5 年間継続して同じタイトルで実施した結果、参加した学生は例外なくリレー・シーケンス制御に興味を持ち、なかには将来、PLC を用いる業務に携わりたいと希望する学生も現れた^[4]。

*1 機械工学科 Department of Mechanical Engineering

*2 技術室 Technical Support Division

*3 オムロン株式会社 Omron Corporation

また、同 2014 年度、沼津高専にて秋に実施される「中学生のための体験授業」において、PLC やリレーを活用した「生産システムに用いられる制御技術を体験しよう」というタイトルの体験授業を開始した。定員 20 名で 2018 年度まで 5 年間継続して実施しており、推薦入学では、本体験授業を受けたことがきっかけで本校を志望した受験生が現れた。翌 2015 年度からは、高専祭における「ミニ体験授業」、2018 年度には、一日体験入学の「夏の体験授業」においても同様の体験授業を開始し、いずれも参加した中学生や保護者からも、とても興味深い授業であったとの感想が寄せられた⁵⁾⁶⁾。

さらに 2017 年度には、同一の制御機器を活用し、5 年次の前期科目「システム制御工学基礎」において、PLC を用いた DC モータの PID 制御器の設計と実装および実験を、アクティブラーニング形式で開始した。主体的に学んだ学生は、PLC の活用方法が確実に習得できたという実感が得られたようである⁷⁾。

以上の実績から、リレー・シーケンス制御は社会において必須の制御技術となっているだけではなく、学生にとっても自主的に学習しやすく魅力的な技術あると言える。そこで 2018 年度の後期より、機械工学科 1 年生を対象として、「工学基礎 II」において、リレー・シーケンス制御教育を開始した。ただし諸事情より、沼津高専が保有する多数のコンピュータが使用できる教室を利用することが困難なため、講義を行っているホームルームでの実施となった。すなわち、プログラミングを要する PLC が利用できない。そこで、マイクロコンピュータに PLC と同様のタイマやカウンタの機能を持たせ、PLC の代用とした。また、9V の乾電池を用いることで電源コンセントを不要とした。これらの工夫により、省スペース・低コストの教材とすることができ、普通の授業で用いている学生用機のスペースを用いた、二人一組のグループワークが可能となった。本報では、授業で用いる制御教材について紹介し、ここで提案する教材の有効性について検討することを目的とする。

2. 授業構成

本授業を実施する「工学基礎 II」は通年科目であり、2017 年度までは全学科同一の内容を実施していた。しかし 2018 年度からは、低学年から専門教育を実施するべきであるという合意がなされ、後期の 15 回は各学科での実施に変更された。そこで、最初の 3 回分はエネルギー関係の講義やスターリングエンジンの模型を用いた実習が実施され、残り 12 回がリレー・シーケンス制御の授業に充てられることとなった。以下に、12 回の授業の主な内容および実施方法を紹介する。

第 1 週から 4 週までは、基礎的な知識の習得、第 5 週から 7 週に、与えられた課題を達成する回路の作成練習、第 8 週

から 11 週で、学んだことをもとに、各グループで独自の制御回路を製作、最終週である第 12 週にその発表会を実施する。授業で用いる電子パーツ等は、その都度教員室から教室へ運び込んで授業を実施した。

【第 1 週】

- グループ分け、使用機器の配付
- シーケンス制御の概要（講義）
- 12 週の実施内容の紹介
- 使用機器の名称・役割
- ブレッドボードの使い方、電子パーツの配線方法
- タクトスイッチと LED を用いた AND・OR 回路

【第 2 週】

- リレーを用いた a 接点、b 接点
- リレーによる、ブザーやモータの駆動
- 応用問題：コインパーキング回路の作成
- 自己保持回路（セット・リセット優先）

【第 3 週】

- フォトマイクロセンサの原理
- フォトマイクロセンサのスイッチとしての利用
- フォトマイクロセンサによるモータの起動

【第 4 週】

- マイコンの概要
- タイマ・カウンタ回路
- マイコンによるタイマ・カウンタ
- フォトマイクロセンサの検知回数のカウント回路

【第 5～7 週】

- 課題回路の作成
 - (1) モータの正逆転回路
 - (2) インタロック回路
 - (3) 自動シャッター付ガレージ
 - (4) 省エネエスカレータ

【第 8 週】

- 自作制御回路の検討
 - (1) 想定するシーケンス制御の考案
 - (2) 回路図作成
 - (3) 配線図作成

【第 9～11 週】

- 自作制御回路の作成および動作テスト

【第 12 週】

- 自作制御回路の発表会および評価

3. 使用機器と構成

以下に、各班に配付した電子パーツ等のリストを示す。PSoC マイコンの定格電圧が 5V のため、電子パーツは 5V 仕

様で選定した。また DC モータは、単 3 乾電池を用いた別電源により駆動した。DC モータやフォトマイクロセンサ、単 3 電池ソケットは、それらのケーブルをブレッドボードに接続しやすくするために棒端子を圧着し、端子台に挿入して使用した。合計金額は、1 セット約 4 千円である。なお、パーツが故障や破損、または自作回路作成時に部品が不足する場合に備え、予備のパーツを別に準備した。

表 1 使用物品リスト

No.	品名	個数
1	ブレッドボード	1
2	PSoC マイコン	1
3	リレー	2
4	電子ブザー	1
5	フォトマイクロセンサ	1
6	DC モータ	1
7	LED	16
8	タクトスイッチ	16
9	固定抵抗	20
10	9V 乾電池	1
11	9V 乾電池用スナップ	1
12	1.5V 単 3 乾電池	1
13	単 3 乾電池ボックス	1
14	電解コンデンサ	1
15	積層セラミックコンデンサ	1
16	ダイオード	2
17	3 端子レギュレータ	1
18	ジャンパ線	100
19	マイナスインプ	1
20	ピンセット	1
21	端子台	2



図 1 パーツボックス

図 1 に、班の数だけ準備したパーツボックスを、図 2 に、その中身を示す。パーツボックスのサイズは、220×290×60 mm、使用するすべてのパーツを中へ入れた際の重さは、約

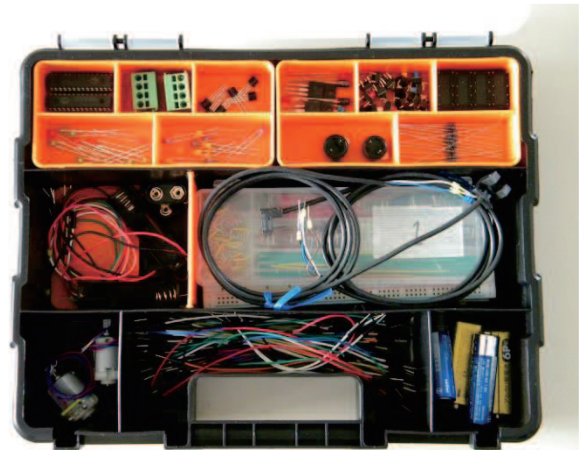


図 2 2 班分のパーツ

1 kg である。1 個のパーツボックスには 2 班分のパーツ類が入っている。4 人の机を合わせて 1 つの島を作り、2 つの班が共同で 1 つのツールボックスを使用する。

4. マイコンを用いたタイマ・カウンタ

ここでは PLC の代わりに、PSoC マイコンを用いてタイマやカウンタを利用したシーケンス制御回路を構築する。ただし、将来的に学生が PLC によるシーケンス制御を学習する際、違和感なく扱えるように工夫する。つまり、マイコンには PLC が持つタイマやカウンタに近い機能を持たせた。

例えばタイマは、マイコンの決められた入力ポートが high (5V) で保持し続けると計時し、設定時間に達するとタイマは計時を停止、計時終了を示すポートが high になる。タイマの入力ポートがわずかな時間でも low になると、計時中でもタイマは停止してリセットし、計時終了のポートも low になる。なお、ここで設定できるタイマの時間は秒単位である。

カウンタは、マイコンの入力ポートが high になる度にカウントし、設定回数に達するとカウントは停止、カウント終了を示すポートが high になる。マイコンのリセット入力端子が high になったとき、カウンタは設定回数に達してなくてもリセットし、カウント終了の出力信号も low となる。

なお、タイマ、カウンタ共にタクトスイッチを用いて設定し、最大 3 ビット、つまり 1~7 の間で設定可能である。また、設定値および計時時間、カウント数はすべて LED で 3 ビット表示できる。ここで用いたマイコンは、入出力ポートを都合の良い位置に設定可能な PSoC (Programmable System-on-Chip) マイコンを用いた。型式は CY8C27443-24PXI であり、8 ビット、最高クロック周波数 24 MHz、プログラムメモリ 16 KB である。プログラムの時間管理は Timer モジュールを利用し、サンプリングタイムは 10 msec に設定した。タクトスイッチを使用する際のチャタリングについては、ソフトウェアにて対策を施した。

5. 作成した回路および動作

5. 1 基礎回路

まず、シーケンス制御を構成するための、基礎的な回路およびその動作を以下に示す。授業では、これらの回路は必修課題として丁寧に指導する。学生は、ここに示す基礎回路を組み合わせることで、5. 2 節の応用課題に挑戦し、シーケンス制御に関する理解を深める。

1) 電源回路

電源電圧の定格が 5V の PSoC マイコンを駆動するために、9V 乾電池を使用する。新日本無線の三端子レギュレータ NJM7805FA を用いて 9V を 5V に変換する。電流は 1A 程度なら問題なく取り出せる。図 3 に電源回路を示す。出力端子にそれぞれ電圧の安定化のために、0.1 μF 積層セラミックコンデンサおよび、10 μF の電解コンデンサを接続した。電源供給時には LED を点灯させた。

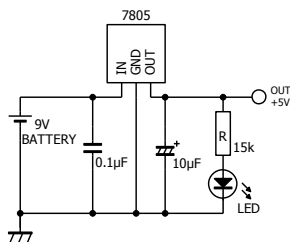


図 3 電源回路

2) マイコンによるタイマ回路

2 個のタクトスイッチにより、タイマの設定開始・終了の切り替え、設定値の入力を行う。タイマの設定値および計時中の時間は、3 個の LED を用いて 2 進数表示することで把握できるようにした。図 4 にタイマ回路を示す。

設定開始・終了スイッチ SW1 を 1 回押して設定を開始すると、下一桁の LED1 が点灯する。すなわちデフォルトでは 1 秒が設定されている。設定値入力用スイッチ SW2 を 1 回押す毎に設定値が 1 ずつ加算され、7 秒まで設定可能である。スイッチ SW1 を再度押した後、タイマ信号入力ポー

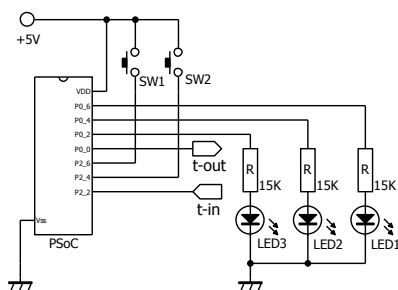


図 4 マイコンによるタイマ回路

ト t-in が high になっている間のみタイマは計時動作を行う。また、計時が終了したらポート t-out が high になる。t-in の入力が高になると、タイマがリセットされ、同時に t-out が low になる。

3) マイコンによるカウンタ回路

タイマ同様、2 個のタクトスイッチにより、カウンタの設定・終了の切り替え、設定値の入力を行う。カウンタの設定値およびカウント値は、3 個の LED を用いて 2 進数表示することで把握できるようにした。図 5 に回路を示す。

設定開始・終了スイッチ SW1 を 1 回押して設定を開始すると、下一桁の LED1 が点灯する。すなわちデフォルトでは 1 回が設定されている。設定値入力用スイッチ SW2 を 1 回押す毎に設定値が 1 ずつ加算され、7 回まで設定可能である。再度スイッチ SW1 を押して設定を終了した後、カウント入力ポート C-in が high になる度にカウント動作を行い、カウント値が設定値に達したらカウンタは停止、C-out が high になる。リセット信号入力ポート reset が high になると、いつでもカウンタはリセットし、C-out は low になる。

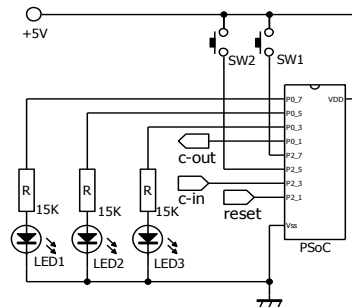


図 5 マイコンによるカウンタ回路

4) マイコンによるリレーの駆動回路

図 6 に、マイコンによるリレーの駆動回路を示す。ここで用いたリレーは、オムロンの形 G5V-2 であり、コイルの定格が DC5V、40 mA である。一方 PSoC マイコンのポートからのソース電流は 10 mA なので、マイコンからの信号により直接リレーを駆動することはできない。そこで、TOSHIBA のトランジスタ 2SC1815 を介して、マイコンによりリレーを駆動する。ただし、リレーが off になる際にコイルに生じる逆起電力（サージ電圧）からトランジスタを保

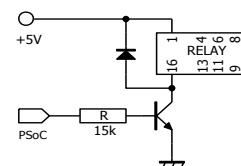


図 6 マイコンによるリレーの駆動回路

護するために、Semiconductor の汎用小信号高速スイッチング・ダイオード 1N4148 (定格 100V, 200 mA) を用いた。

5) センサによるリレーの駆動回路

図 7 に、オムロンのフォトマイクロセンサ (EE-SX951-W) によるリレーの駆動回路を示す。センサの光が遮光されると黒の端子が high になる。その信号を利用して上記 4) と同一のトランジスタを用い、リレーを駆動する。

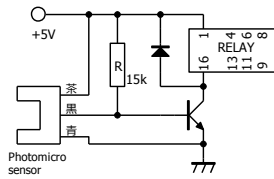


図 7 センサによるリレーの駆動回路

5. 2 課題回路

次に、基礎回路を応用した課題回路の例を示す。1)~3) は優先課題とし、学生全員が組めることをめざす。4) および 5) は応用課題として、進捗状況に応じて取り組む課題とした。

1) コインパーキング回路

図 8 に、コインパーキング回路の例を示す。コインパーキング回路は、オムロンが実施するリレー・シーケンス制御技術に関するセミナーにおいて、必ず取り上げられる回路であり、重要な概念の一つである論理回路を理解するために用いられる。

コインパーキング回路では、3 台の駐車スペースにそれぞれ車の有無を検知するセンサが設置されていると想定し、空車スペースが 1 つでもあれば青ランプ、満車の際は赤ランプを点灯させるという制御を想定している。ここでは、3 つのセンサの代わりにスイッチ SW1~SW3 を、青ランプとして LED-GRN, 赤ランプとして LED-RED を用いた。

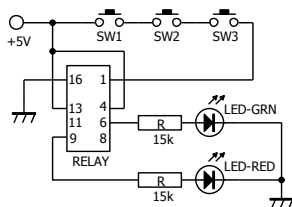


図 8 コインパーキング回路

2) 自己保持回路

図 9 に、2 種類の自己保持回路を示す。どちらも SW を押すことで LED が点灯し、SW が off になっても点灯し続ける。リレー・シーケンス制御における最も重要な回路の一つであるが、PLC を用いたラダープログラムと比較して、リレ

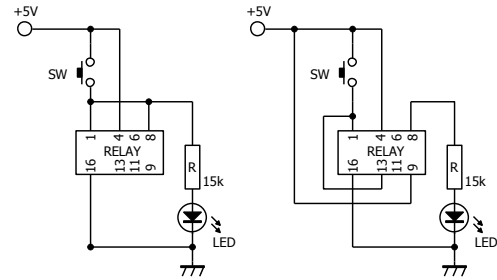
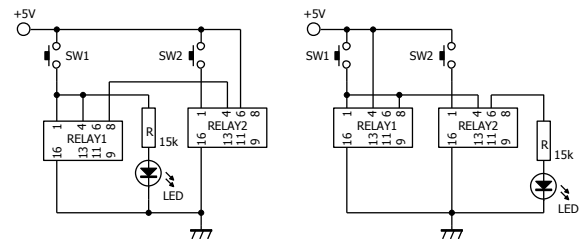


図 9 自己保持回路

ーを使った配線は意外に難しく、それゆえ面白く感じることができる。

図 10 には、off スイッチ付自己保持回路を示す。SW1 を押すことで LED が点灯、SW1 が off になっても点灯し続け、SW2 が押されると消灯する。(a)はセット優先、(b)はリセット優先回路であり、SW1 と SW2 を同時に押すと、(a)は、LED が点灯、(b)は消灯する。



(a) セット優先 (b) リセット優先

図 10 off スイッチ付自己保持回路

3) モータ正逆転回路 (インタロック付)

図 11 に、リレーを用いたモータ正逆転回路を示す。SW1 を押すと正転、SW2 を押すと逆転する。図 12 には図 11 に加えて、二つのスイッチが共に押されてモータの正逆転が同時に on になるのを防止する、インタロック回路を示す。この回路は、一方のスイッチが押された際、もう一方のスイッチを無効とするように構成されている。リレーを学ぶための例として、非常に有効な回路である。

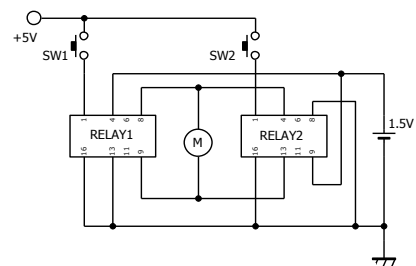


図 11 モータ正逆転回路

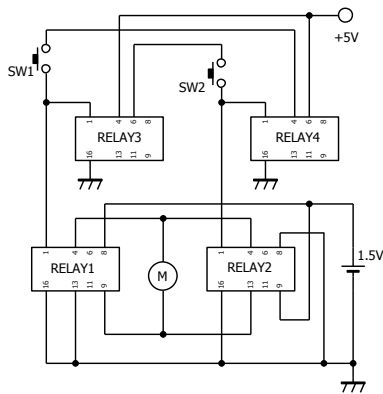


図 12 モータ正逆転回路 (インタロック付)

4) 省エネエスカレータ回路

図 13 に、省エネエスカレータ回路を示す。この回路は、以下の条件を満たすように動作するエスカレータを想定した課題である。

エスカレータの入口に設置されたセンサが人の通過を検知すると、エスカレータが自動的に動き出す。エスカレータは省エネのため、人が降りるまでの一定時間 (T_s 秒) のみ動作し、その後自動停止するように設定されている。ただし、自動停止する前に再びセンサが人を検知した場合、エスカレータは停止することなく動き続け、 T_s 秒間センサが反応しなければ、自動停止する。

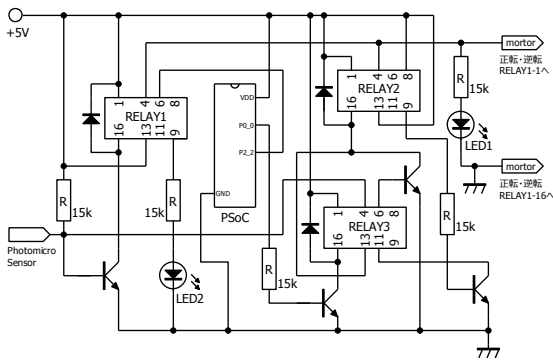


図 13 省エネエスカレータ回路

この自動制御回路を与えられたパーツにて構築するにあたり、以下のように読み替え、学生への課題とした。

- ① フォトマイクロセンサが反応すると、反応している間のみ LED1 を点灯させ、同時にモータを回し、LED2 を点灯させる。
- ② モータは3秒後に自動停止し、同時に LED2 も消灯する。
- ③ フォトマイクロセンサが3秒以内に再び反応した場合は、モータを回転させ続け、LED2 も点灯を続ける。

- ④ 3秒間センサに反応がなければ、モータは停止し、LED2 も消灯する。

5) 自動シャッター付ガレージ回路

図 14 に、自動シャッター付ガレージ回路を示す。この回路は、以下の条件を満たすように動作するガレージを想定した課題である。

ガレージへ駐車する車がガレージ前に停車し、停車した車に感知するセンサが反応している状態でパッシングを3回行くと、ガレージのシャッターが自動的に開く。ガレージ内に車を駐車し、運転手がガレージの外にあるボタンを押すと、ガレージが閉まる。

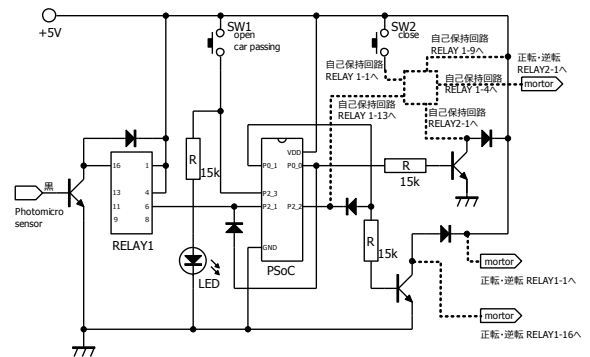


図 14 自動シャッター付ガレージ回路

この自動制御回路を与えられたパーツにて構築するにあたり、以下のように読み替え、学生への課題とした。

- ① フォトマイクロセンサが反応している状態でスイッチ SW1 を3回押すと、押す度に LED が点灯し、3回目にモータが回転し始める。
- ② シャッターが動作する時間を想定し、モータは3秒間動作した後、自動停止する。
- ③ スイッチ SW2 を押すと、モータは逆回転を開始し、スイッチから手を離しても、モータは回転し続ける。
- ④ 3秒後にモータは停止する。

ここで、図 14 における破線部に示す経路については、自己保持回路と、モータ回路への接続とし、それぞれ図 10 (a) と図 11 における各リレーのポートへ接続することでモータの正転・逆転の動作を行っている。

6. 授業における教育効果

沼津高専機械工学科では、ブレッドボードによる回路作りはほとんど実施しておらず、5年次の機械工学実験のメカト

ロニクスにおいて、わずか10~15分程度、受動素子を使った回路を作っているのみというのが現状である。しかし、AI (Artificial Intelligence) などにより制御技術が高度化し、生産システムが自動化される現代において、機械工学においても電気回路の知識は必須であると考ええる。本授業における教育効果として、以下に示す項目を習得することを狙う。

- (1) リレーの有用性
- (2) 「定格」の意味
- (3) トランジスタの働き
- (4) ダイオードの用途
- (5) センサのスイッチとしての利用
- (6) シーケンス制御の考え方
- (7) マイコンの汎用性とシーケンス制御に用いる限界

PLC を併用してリレー・シーケンス制御回路を構築することを考えたとき、上記に挙げた項目はすべて、以下に述べるように有用であるといえる。

- (1) オムロンの新型 PLC によるモーション制御を行う際に、動作の限界位置を超えて動かないように停止させるための回路には、リレーが用いられる。
- (2) シーケンス制御の基礎である、スイッチとランプのみのデジタル I/O 回路の作成においては、定格を意識して回路を組む。
- (3) センサや PLC を用いた配線では、トランジスタの動作をイメージして行う。
- (4) オムロンの新しいランプは、極性を区別せずに配線することが可能であり、そこにはダイオードが用いられている。
- (5) センサは自動化に必須の入力デバイスである。
- (6) (7) マイコンを用いたシーケンス制御の実装は、PLC のラダー回路に相当する処理が繰り返し文の中にあり、大量の条件分岐からなる。すなわち、シーケンス制御の高級言語による記述のわずらわしさが理解できる。

本授業の回路作りを通じて、機械工学科の学生が電気回路の役割とその重要性を習得し、時代に即したエンジニアとなる事を願う。

7. 結言

沼津高専機械工学科1年生を対象として、ブレッドボードとマイコンを使ったリレー・シーケンス制御教育のための教材開発を行った。2018年度の後期より活用を開始し、授業の後半はアクティブラーニング形式で学生が主体的に考え、学ぶスタイルとした。授業においては二人一組で班を構成し、グループワークを基本とする教育方法を取った。教材は1ク

ラス分準備し、電源コンセントを必要としない乾電池による制御回路を構築することにより、講義を行う教室での実施が可能とした。リレー・シーケンス制御回路において、最も重要なリレー以外に、マイコンやトランジスタを利用することで、電気回路やプログラミングにも興味を持てるようにした。将来的には、パソコンやPLCを併用し、回路を組みながら本格的なシーケンス制御教育へ発展させたいと考えている。そうすることで、PLCの有用性が明確に理解できると期待する。

参考文献

- [1] 教育向け高度 FA 制御教材の開発と創造的 PBL 教育の試み, 堤, 三谷, 櫻庭, 谷埜, 西, 川村, 岸, 日本工学教育協会工学教育, Vol.63, No.3, 2015, pp.73-79
- [2] Educational training program for the manufacturing control system using the new type of programmable logic controller Sysmac NJ, Y. Mitani, H. Tanino, T. Kojima, T. Sato, Y. Iwano, ISATE2015 (International Symposium on Advances in Technology Education), 2015
- [3] Educational training Japan-Korea joint program for the manufacturing control system, Y. Mitani, Y. Kami, Y. Nishi, ISATE2016 (International Symposium on Advances in Technology Education), 2016
- [4] オムロン株式会社での教員研修における PLC を活用した制御教材開発, 三谷, 谷埜, 岸, 西, 沼津工業高等専門学校研究報告第 49 号, 2015, pp.1-6
- [5] 中学生を対象とする PLC を活用した体験授業, 三谷, 谷埜, 沼津工業高等専門学校研究報告第 50 号, 2016, pp.1-6
- [6] PLC を用いた小型で汎用性のあるシーケンス制御学習教材の開発, 三谷, 高矢, 西, 山之内, 沼津工業高等専門学校研究報告第 51 号, 2017, pp.1-8
- [7] マイクロ PLC を活用したアクティブラーニングの試行 - PID 制御器の実装を課題とするシーケンス/フィードバック制御の融合 -, 三谷, 藤沼, 西, 沼津工業高等専門学校研究報告第 52 号, 2018, pp.1-8