

電気電子工学科におけるシーケンス制御実験*

下尾 浩正**, 茂木 貴之***

Sequential Control Experiment in Electrical and Electronic Engineering

Kosei SHIMOO and Takayuki MOGI

1. はじめに

平成20年8月にオムロン創業75周年記念「ものづくり技術者の育成」事業として全国の高等専門学校にオムロン株式会社から電子制御技術の学習用教材（FAキット）が寄贈された¹⁾。その後、全国高専の教職員を対象としたFAキットセミナーが実施された。これを受け、高専機構では電子制御技術教材活用プロジェクト（オムロンプロジェクト）を行っている²⁾。FAキットを活用したシーケンス制御実験の成果報告が行われ³⁾、様々な場面で電子制御技術教材を活用した実験が活発になっている⁴⁾。

本校電気電子工学科では、従来から工学実験でシーケンス制御の実験を2テーマ実施していたが、基本要素の動作確認実験に留まっており、理解を深めるための制御対象モデルを用いた応用実験の必要性を検討していた。また、4年次に実施する工場実習（インターンシップ）の報告会で、シーケンス制御の実習を行ったという報告が一定数あることや、卒業生が就職先で研修を行ったという報告があった。

そこで、本学科のシーケンス制御実験の見直しを行い、従来から実施している基礎実験に加え、具体的な制御対象モデルを用いたテーマを実施して、シーケンス制御実験の充実を図った。

本稿では、オムロン社製のFAキットを利用した佐世保高専電気電子工学科で実施したシーケンス制御実験の紹介と学生実験の様子を報告する。

2. シーケンス制御

制御装置を用いて機械などの制御を自動的に行う自動制御は、フィードバック制御とシーケンス制御に分けられる。フィードバック制御は、現在のデー

タを制御装置に戻して、目標値と比較し、一致させるように訂正動作を行う制御である。シーケンス制御とは、あらかじめ定められた順序に従って、制御の各段階を逐次進めていく制御である。

本学科では自動制御に関して、4年次の制御工学でフィードバック制御の講義を行う。シーケンス制御は、自動制御の先行実験として位置づけ、3年次の実験で実施している。2年生からある程度数の電気回路の配線実験を行ってきた学生にとって、スイッチの開閉により逐次動作を実現するシーケンス制御実験は、比較的なじみやすい。

3. 電気電子情報工学実験

本学科の工学実験は、1年生の創作実習が2時間（100分）、2・3年生の電気電子情報工学実験Ⅰ（工学実験Ⅰ）が3時間（150分）、4・5年生の電気電子情報工学実験Ⅱ（工学実験Ⅱ）が6時間（300分）である。毎週、班ごとに1テーマずつ実験を実施し、1週間以内に実験報告書を提出する。

工学実験Ⅰでは1班の人数を4～5人、工学実験Ⅱでは1班の人数を5～6人とし、年度末の成績順に班分けしている。成績順に班分けすることは、実験の作業分担の偏りを無くすと共に、班員の実験内容の理解度の差を少なくすることを目的としている。

創作実習（1年生）は、実験の導入教育として位置づけ、電気電子現象を光や音で捉える実習やノート型パソコンを用いてロボットを動作させる制御情報系の実習を行っている。

工学実験Ⅰ（2年生）は、電気回路の基礎実験である抵抗・コイル・コンデンサを用いた電流・電圧の測定を行う。3年生では、電子回路素子（ダイオード・トランジスタ）の静特性測定などの電子工学実験（弱電系）と電動機・発電機を用いた電気機器・電力工学実験（強電系）を行っている。

* 原稿受付 平成23年9月30日

** 佐世保工業高等専門学校 電気電子工学科

*** 佐世保工業高等専門学校 技術室

工学実験Ⅱ（4年生）は、3年生の電子工学および電気機器・電力工学の内容を深めた応用実験に加え、デジタル IC やパソコンを用いた計測などの情報工学実験を行っている。5年生では、情報工学実験に加え、高電圧工学、通信工学の実験を行っている。

シーケンス制御実験は、工学実験Ⅰ（3年生）の電気機器実験として基礎実験を実施し、パソコンを利用するプログラマブルロジックコントローラ（PLC）を用いた実験は、工学実験Ⅱ（5年生）で実施している。

4. 実験テーマ

4. 1 シーケンス制御の基礎

本実験は工学実験Ⅰ（3年生）で実施し、シーケンス制御で用いる基本要素（スイッチやリレーなど）の理解とシーケンス図とタイムチャートの読み書きを目的とした。実験内容は、シーケンス制御の基本要素である押しボタンスイッチ（a 接点, b 接点）、表示灯ランプ、電磁リレー、タイマーを実際に結線し、各種基本回路の動作を表示灯ランプの点灯/消灯で確認する。図1に実験で用いた回路の外観を示す。

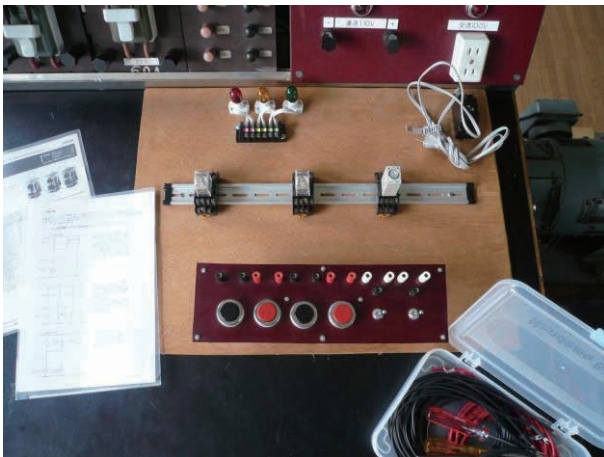


図1. 基礎実験回路の外観

実験回路は、ボード上に、DIN レール、スイッチ4個、表示灯ランプ3個および電源で構成し、二人に1台割り当てられるように複数台制作した。実験方法は、シーケンス図の読み方/書き方、電磁リレーの動作状態/復帰状態の構造、タイムチャートの読み方/書き方を実験書から理解し、例示している

論理積回路のシーケンス図を基に実験回路上に電磁リレーを配置して、押しボタンスイッチと表示灯ランプを結線して動作確認を行う。動作確認の結果は、タイムチャートで書き表す。図2に論理積の実験結果として、学生の実験報告書の一部を示す。

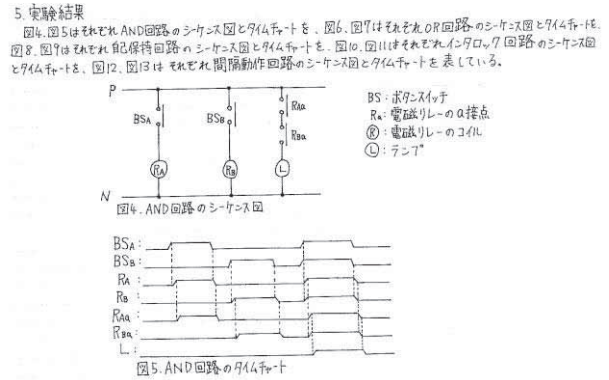


図2. シーケンス図とタイムチャート

その後、実験ノートに論理和回路、自己保持回路、インターロック回路、間隔動作回路、遅延復帰回路のシーケンス図を設計し、基礎実験回路を用いて動作確認を行う。

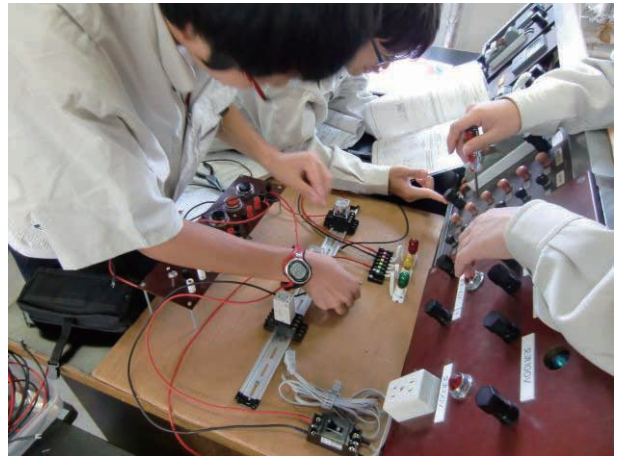


図3. 基礎実験の様子

本実験は、150分で実施した。学生は、これまでの電気回路計測実験と異なる部分で少しとまどいを感じ、サンプル回路の結線・動作確認にささ躊躇し多少時間がかかるが、班員の誰かが一旦内容を理解すると躊躇することなく回路を変更して実験をすすめていた。電磁リレーの構造は、FAキット付属の分

解可能な電磁リレーを手元で確認して、説明すると理解が深まるようであった。基本要素の実験であるため、各種回路が制御対象の動作と具体的に結びつかない学生もいるようであった。

4. 2 PLCの基礎

本実験は工学実験Ⅱ（5年生）で実施し、基礎実験で用いた電磁リレーやタイマーをPLCに置き換えることによって、シーケンス制御の基本要素の復習とPLCの理解を目的とした。実験内容は、押しボタンスイッチ、表示灯ランプ、PLCを実際に結線し、ラダーチャートを基にPLC向けのプログラムに変換して、プログラミングコンソールからプログラムをダウンロードして、各種基本回路の動作を確認する。

実験方法は、基本要素の復習を兼ねて、論理積回路のラダーチャートを例にプログラムに変換する。その後、PLCにプログラムをダウンロードして、押しボタンスイッチと表示灯ランプを配線して動作確認を行う。動作確認の結果は、タイムチャートで書き表す。その後、基礎実験と同様の自己保持回路などを実装し、動作確認を行う。

学生は、複数の電磁リレーを用いていた回路が、PLC1台で実装できることに気づく反面、ラダーチャートをプログラムに変換することへの煩わしさを多少感じるようであり、シーケンス制御の理解に直接結びつかない傾向があった。

そこで、FAキットに付属のソフトウェアとPLCを用いるとラダーチャートの入力だけで、動作確認が簡単に行えることをセミナーで知り、プログラム変換の煩わしさが軽減されると考え、ソフトウェアを使った実験方法に変更した。図4にオムロン社の

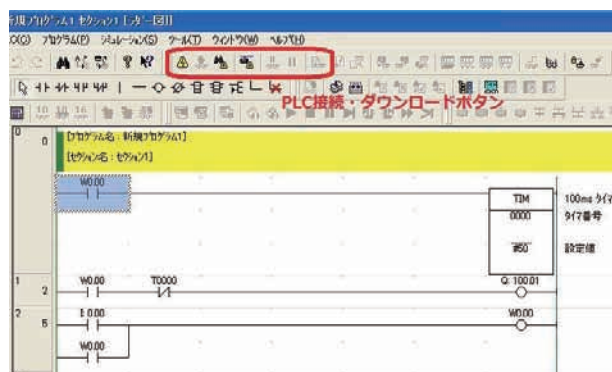


図4. PLC用プログラミングソフトウェア

PLCプログラミングツールCX-Programmerのラダーチャート編集画面を示す。マウスを用いてラダーチャートを作成しコンパイル後、USBケーブルで接続したPLCへクリック動作でプログラムをダウンロードできる（図5）。

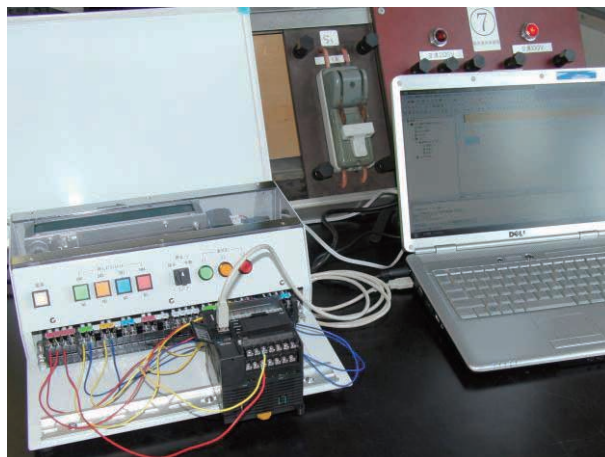


図5. ノートパソコン接続型PLC

学生は、アドレス・命令・データにとらわれることなく、ラダーチャートの設計に集中できる。実験開始直後は、ソフトウェアの使い方に慣れるまで多少時間がかかるが、これまでの実験や講義でパソコンを利用しているため、すぐに慣れて実験をすすめていた。



図6. PLC実験の様子

CX-Programmerでは、実際のPLCの動作とリアルタイムで電気の流れる様子がラダーチャートに色づけて示されるため、PLC内の回路動作の様子が分かりやすくなった。

従来のプログラミングコンソールを用いた PLC の動作を確認する実験では、ラダーチャートの作図後、プログラムに変換し、押しボタン入力する必要があった。ソフトウェアを用いた実験に変更することで実験時間の短縮が予想されたが、一方で上級生の実験ではマニュアルから必要な情報を得て実験をすすめる能動的な態度の養成に取り組んでいるため、付属のマニュアルをそのまま学生に与え、敢えて詳しい説明をしなかった。その結果、ソフトウェアの使い方に慣れるまでに時間のかかる学生が見られ、実験時間の短縮には繋がらなかったが、ラダーチャートの変更が従来と比べて容易になったため、回路の変更をこまめに行なって、シーケンス制御の理解を深めているようであった。

以前は、上述の基礎テーマの 2 つのみの実験に留めており、具体的な対象物の制御実験を行っていなかった。しかし、ソフトウェアを用いることによってラダーチャートの変更が容易になり、具体的な対象物を制御する実験ができるのではないかと考え、応用実験を導入し、シーケンス制御のイメージの把握と理解の向上を図った。

4. 3 センサ・電車モデルの制御

本実験は工学実験Ⅱ（5 年生）で実施し、入力として、押しボタンスイッチに替わる、光電センサ、近接センサの動作原理の理解と電車モデルの制御を通じて、シーケンス制御の理解を深めることを目的とした。実験内容は、FA キットに付属の透過型、回帰反射型、拡散反射型の三種類の光電センサおよび近接センサと表示灯ランプを結線して、制御対象物の検出を行う。その後、PLC とセンサを組み合わせで自己保持回路などの動作確認を行う。最後に電車モデルの制御を行う。

電車モデルは、昭和電業社製 KENTAC2250 を用い、電車を検知するための拡散反射型の光電センサを 16 個、リレーを応用したポイント（内周／外周の切替）を 6 個備え、電車は進行方向（時計／半時計回り）と速度（低／中／高）を指定できる。

複数のリレーやセンサを制御する必要があるため、入力 24 点、出力 16 点の PLC（オムロン CP1L-M40D）を用いた。電車の検出に光電センサを使用するため、先にセンサ単体の実験を行って特性を



図 7. 電車モデル

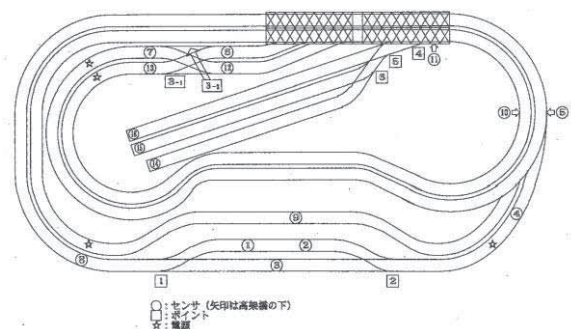


図 8. 電車モデルのセンサとポイント⁵⁾

理解した後、電車モデルの制御へ移行する流れとした。センサは、型ごとに対象物の検出範囲が異なるため、学生はセンサと対象物との距離を伸ばして、それぞれの用途をイメージしながら実験を進めていた。また、押しボタンスイッチがセンサに替わることによって、自動ドア開閉の検出器に応用できることが容易にイメージできていた。

電車モデルの制御は、サンプルラダーチャートを入力し、改変しながらあらかじめ指定した課題を実現する制御実験とした。サンプルラダーチャートを入力すると 6 箇所のポイントを 1 秒ごとに直進方向に切り替え、外周を時計回りに中速で走ることを繰り返す。課題は、センサ 5（図 8 右部）により電車を検出したら、低速走行に切り替え、センサ 3（図 8 下部）の前で電車を停止する制御とした。課題は 1 つしか指定せず、以降は自由課題とした。

制御対象が見える形の実験であるため、学生は制御動作のイメージを捉えやすく、電車モデルの制御



図 9. 電車モデル制御実験の様子

の自由課題を積極的に考え、様々な実験を行ない時間が足りないようであった。理解度の向上につながる実験であったが、班の人数に対して、電車モデルを実質二人で扱うことになったため、消化不足と感じる学生もいた。そこで、制御対象物を二人で一台扱えるような実験を導入する必要があると考えた。

4. 4 信号機／エレベータモデルの制御

本実験は工学実験Ⅱ（5年生）で実施し、制御対象モデルの制御を行うことによってシーケンス制御の理解を深めると共に自発的に計画して実験に取り組む姿勢を身につけることを目的とした。実験内容は、制御対象モデルと PLC および電源を結線して、付属のサンプルラダーチャートを入力し、動作を確認する。制御対象モデルの現実的な動作を考え、動作を実現するためのラダーチャートの作図・デバッグを限られた時間で行う。実験書は、制御対象モデルの仕様と結線図の最低限必要な情報のみ示し、敢えて実験課題を指定しないことによって、計画的かつ能動的に実験を行うように設定した。

制御対象モデルは、図 10 に示す BYNAS 社製 EV-3F/S 信号機／エレベータユニットを用いた。信号機とエレベータが両面に実装され独立に使用できるため、二台導入することにより、2人に1面を割り当てると、最大8人同時に実験が可能である。本実験では、2人1組とし、信号機とエレベータの制御どちらかを選択することにした。

信号モデルは、4方向3色の信号機表示灯と歩行者ボタンを備えている。サンプルラダーチャートを入力すると縦方向の信号機が赤（3秒）、青（2秒）、

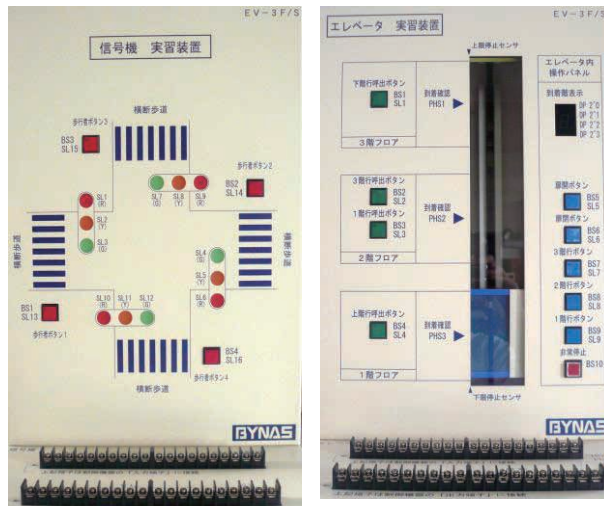


図 10. 信号機／エレベータモデル（表裏）

黄（1秒）を繰り返す、同時に横方向の信号機が青（2秒）、黄（1秒）、赤（3秒）を繰り返す動作を確認できる。多くの学生は、全赤動作や押しボタンの実装、時差式動作を課題としていた。

エレベータモデルは、3階構造になっており、各階の到着センサ3個、エレベータ外の呼び出しボタン4個とエレベータ内の行き先階ボタン3個、扉開閉ボタン2個、非常停止ボタン1個と階表示ランプを備えている。サンプルラダーチャートを入力すると1階の呼び出しボタンを押すと3秒間エレベータが上昇した後、1階の到着センサがONになるまでエレベータを下降する（1階にエレベータを降ろす）。多くの学生は、2階と3階の停止、ドアの開閉動作、階表示ランプの点灯を課題としていた。



図 11. 信号機／エレベータモデル制御実験の様子

サンプルラダーチャートの動作確認後、課題を指定されないことにとまどいを見せ、何をすればよいか自身で決めることができない学生が見られる一方、時間が足りないという学生も見られ、班毎に実現した結果に差が見られた。

実験報告書は、設計したラダーチャートを結果とし、制御対象モデルに対する現実的な動作とラダーチャートに沿って実現した動作を報告するものとした。しかし、制御対象モデルの動作の記述が難しいことや実験結果に差が見られることから、実物を動作させながら説明するプレゼン形式の結果報告が適すると考えられた。

5. まとめ

オムロン創業 75 周年記念「ものづくり技術者の育成」事業をきっかけに本学科のシーケンス制御実験を見直した。シーケンス制御に用いる個別部品要素の基礎実験に加え、制御対象モデルを用いた応用実験へ展開し、実験内容の充実を図った。

今後は、制御対象モデルの実演動作をもとにプレゼン形式による実験報告を検討している。

謝辞

本報告にあたり、オムロン株式会社には多大なるご支援を頂きました。また、制御対象モデルの実験に関して有明工業高等専門学校 高松竜二 准教授、吉富貴司 技術専門職員にご助言頂きました。御礼申し上げます。なお、本研究は平成 22 年度校長裁量経費の支援により実施した。

参考文献

- 1). 榑野隆弘, オムロン創業 75 周年記念「ものづくり技術者の育成」に対する寄附(〈小特集〉企業と高専), 高等専門学校の教育と研究, 日本高専学会誌, Vol. 13, No. 3, pp. 35-36, (2008)
- 2). 国立高等専門学校機構, オムロンプロジェクト http://www.kosen-k.go.jp/omron_project.html
- 3). 吉富貴司ほか, 電気工学科におけるシーケンス制御の学習方法の改善, 平成 23 年度 全国高専教育フォーラム 教育研究活動発表概要集, pp239-240, (2011)

- 4). 兼重明宏ほか, シーケンス制御系設計実習装置の製作と実習プログラムの作成, 平成 22 年度 全国高専教育フォーラム 教育研究活動発表概要集, pp93-96, (2010)
- 5). 昭和電業社, シーケンシャル実習装置電車モデル KENTAC2250 USER' S MANUAL, (2000)