

Factory Automation 実験のテーマ開発と改善

前原 健二*

Development and improvement of the subjects for the factory automation experiments

Kenji MAEHARA

This paper reports the development and improvement of the subjects for the factory automation of the experiments in electrical and electronic Engineering III class. The subjects contains the relay sequence and the programmable controller sequence with the BASIC FA KIT of the omron Co. Ltd. and have carried out from 2009. In the subject of the programmable controller sequence, the SFC is adopted as the tool of sequence program development.

From the results of the questionnaire to the students, these subjects are a help to understand the sequence control learned in the basic electrical controls class. For the lessons of the second term in 2010, the subject of the programmable controller sequence is improved on the contents so that students will experiment with it in more thinking style.

Key Words : factory automation, relay sequence, programmable controller, SFC, experiment

1. はじめに

平成 20 年度初め、オムロン株式会社から国立高等専門学校機構への教育支援として、「ベーシック FA 学習キット」および寄付金の提供が申し出された。これを受け、津山工業高等専門学校には平成 21 年度までに「ベーシック FA 学習キット」5 台と 200 万円の寄付金が支給されることになり、電気電子工学科には、2 台の「ベーシック FA 学習キット」、シーケンサ、ソフトウェアライセンスとともに 18 万円程度の物品購入費が配分された。

電気電子工学科の第 2 学年で開講される「制御基礎」の授業では、シーケンス制御についてリレーシーケンス、無接点シーケンス、シーケンサ (Programmable Controller, PC) について学ぶ。また、第 2 学年の電気電子工学実験Ⅱでリレーシーケンス制御の実験が実施されている。提供された「ベーシック FA 学習キット」はリレーシーケンスとシーケンサの学習に利用できるため、著者は第 3 学年の「電気電子工学実験Ⅲ」に「FA 制御」の実験テーマを 2 つ作り平成 21 年度から実施している。実験テーマはリレーシーケンス制御およびシーケンサのプログラム開発の実験であり、本論文では開発したテーマの内容および学生へのアンケート結果、アンケート結果による実験内容の改善について報告する。

2. ベーシックFA学習キットとシーケンサ

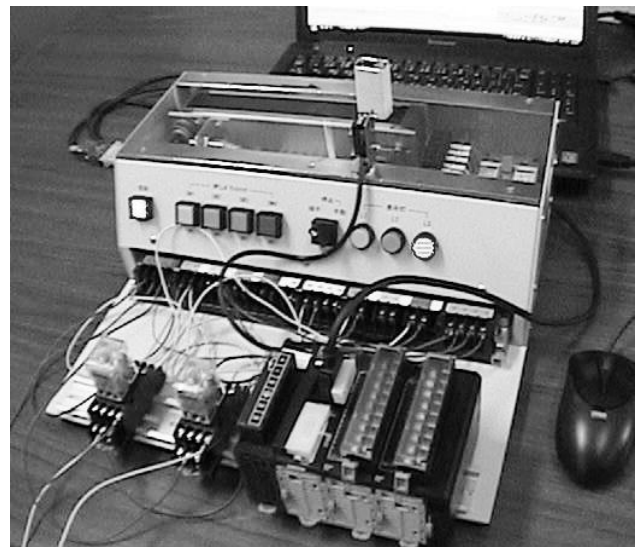


図 1 ベーシック FA 学習キットと PC (CJ1M)

「ベーシック FA 学習キット」はベルトコンベア機材や照光式スイッチ、表示灯、電源などからなる本体と、リレー、タイマ、カウンタ、マイクロスイッチ、光電センサ、近接センサなどの制御器具がセットになっており、「つなぎの技術」を体系的に学習できるシーケンス制御学習に最適な機材である。

寄附物品に付属のシーケンサはベーシックパッケージシリーズの CP1L で、プログラミングサポートツール CX-Programmer によりラダーおよびストラ

原稿受付 平成 22 年 8 月 23 日

* 電気電子工学科

クチャードテキスト言語 (ST 言語) によるプログラム開発ができる。¹⁾しかし、CPIL では実験テーマに相応しい内容の実験が難しいため、上記 2 言語の他に SFC (Sequential function chart) 言語にも対応するビルディングブロックシリーズのシーケンサ CJ1M と関連ユニットを寄付金により購入した。

3. リレーシーケンス制御実験の内容

第 2 学年の「制御基礎」の授業のリレーシーケンスで扱う基本回路は、AND, OR, NOT, NAND, NOR の論理回路、自己保持回路、インターロック回路、並列優先回路、新入力優先回路、直列優先回路、遅延動作回路、一定時間動作回路、カウンタを用いた制御である。

電気電子工学実験Ⅲは 150 分の授業であり、この時間内で学生が自主的に実験に取り組み結果を出せるよう、系統的に実験内容を組み立てた。

実験は① AND 回路、② OR 回路、③ NOR 回路、④自己保持回路、⑤一定時間動作回路、⑥センサを用いた物体検知制御、⑦カウンタを用いた制御の 7 つの制御からなり、基本的に前の制御を活かして次の回路を作っていく、タイムチャートに従って実験させる内容とした。

まず、① AND 回路は、「ベーシック FA 学習キット」本体の配線接続と論理回路の基礎理解のための導入である。② OR 回路は、AND 回路からの接続変更で機能を考えさせる。③ NOR 回路は、OR 回路からリレーを用いた信号反転により、リレーの使い方と a 接点、b 接点を学ばせる。以上が基礎的な接続実験である。

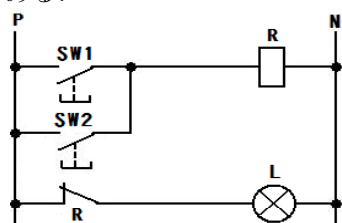


図 2 NOT 回路のシーケンス図

④自己保持回路は AND, OR, リレーを含む制御の基本回路であり、学生は 2 年生の授業で回路を覚えているが、改めて①～③をもとに配線を考えさせ、回路からその動作が説明できるようにさせる。

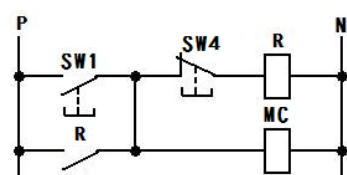


図 3 自己保持回路のシーケンス図

⑤一定時間動作回路は、自己保持回路の停止スイッチをタイマーの b 接点で置き換えたものなので、自己保持回路から容易に変形して作れ、動作も理解しやすい。

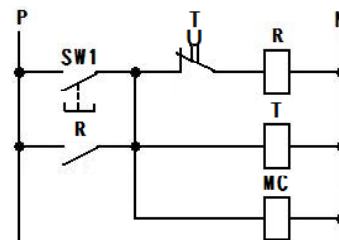


図 4 一定時間動作回路のシーケンス図

⑥センサを用いた物体検知制御は、自己保持回路でベルトコンベアを動かし、ベルトコンベア上の移動物体を光電センサで検知させて停止させる、応用的な制御である。制御は複雑であるが、回路は自己保持回路の停止スイッチをセンサーの信号で動作する 2 つ目のリレーの b 接点で置き換えるものなので、自己保持回路から容易に変形して作れる。この実験では、実用的なベルトコンベア制御を実現させて学生に達成感と面白さを感じさせるとともに、センサの負論理入力の扱いを理解させる。

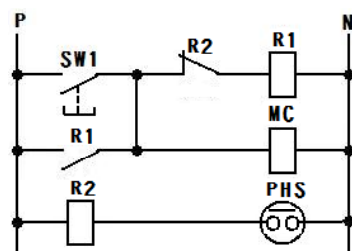


図 5 物体検知停止制御のシーケンス図

⑦カウンタを用いた制御は、自己保持回路でベルトコンベアのモータを動かし、その回転を近接センサでカウント入力させて表示灯を点灯制御させる、応用的な制御である。制御は複雑であるが、回路接続は④の自己保持回路と「ベーシック FA 学習キット」本体から出ている近接センサの信号をカウンタに入れ、カウンタの出力を表示ランプに繋ぐだけ、と簡単である。リセットはカウンタの RST ボタンを使う。この実験も、複雑な制御を実現させて学生に達成感と面白さを感じさせるとともに、「ベーシック FA 学習キット」全体とカウンタの使い方を理解させることができる。

4. シーケンサのプログラム開発実験の内容

第 2 学年の「制御基礎」の授業のシーケンサでは、ラダープログラムと SFC を扱う。

ラダープログラムは、リレーを使ったシーケンス

図を基にしたシーケンスプログラム作成図面であり、リレーシーケンスを勉強してきた学生には馴染みやすい。しかし、ラダープログラムは回路と同様に、プログラム全体が時々刻々実行されて制御が進んでいくため、制御の規模が大きくなると設計が難しく初心者では扱えない。

一方、SFC はシーケンス制御をステートメントのつながりで表し、処理は各ステートメントを順番に行うことで実行される。ある時間帯には1つのステートメントのみが実行されるため、全体の制御を時間推移で分割して小さな制御の集まりとして設計できる。このため、各ステートメントの制御内容はリレーシーケンスで学習した回路で十分実現でき、初心者にも大きな規模の制御が作成可能である。なお、SFC の各ステートメントの制御内容は、ラダープログラムやST 言語により作成する。

実験は学生に実用的でなじみ深い制御の開発体験をさせることを目的としており、ある程度複雑な処理が必要であるため、SFC によるシーケンサのプログラム開発を採用した。実験の課題は自動販売機の模擬動作であり、制御は図 6 のような流れになる。

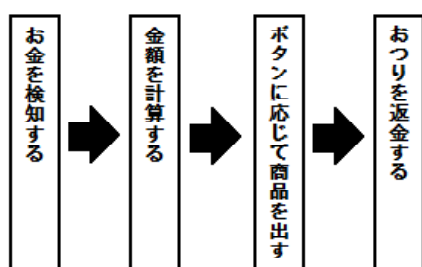


図 6 自動販売機の制御

この制御実験では、ベーシック FA キットの押しボタン SW1 を 100 円硬貨検知ボタン、SW2 を 120 円商品ボタン、SW3 を 150 円商品ボタンとし、表示ランプ L1 を 120 円商品販売ランプ、L2 を 150 円商品販売ボタン、L3 をお釣りの 10 円硬貨の数だけ点滅する返金表示ランプとする。

プログラム開発はプログラミングサポートツール CX-Programmer (図 7) を用いて行う。

一般に、ソフトウェア開発ツールはその使い方を習得するまでに時間がかかる。まして電気電子工学科ではこの種の授業はなく、プログラムの経験もない学生がこのソフトを使いこなすのは容易ではない。このため、実験書にはプログラム開発の手順と操作を具体的に事細かく記述し、学生は記述されたとおりに操作してプログラム開発を行う。実験書の趣旨は余分な操作を避けて、要点だけで設計を完結し、学生に設計過程をスッキリと理解させることである。

以下では開発の流れに沿って、設計方針の考慮点を説明する。

①プロジェクトの作成

CX-Programmer では以前に設計された時の諸設定がデフォルトで残されるので一度プログラム開発をしておけば、学生は指示に従って何度かマウスをクリックするだけで操作が完了する。

②I/O テーブル・ユニット設定

指示に従って、入力および出力ユニットに使用している CJ1W-ID211 と CJ1W-OD203 を選択する。

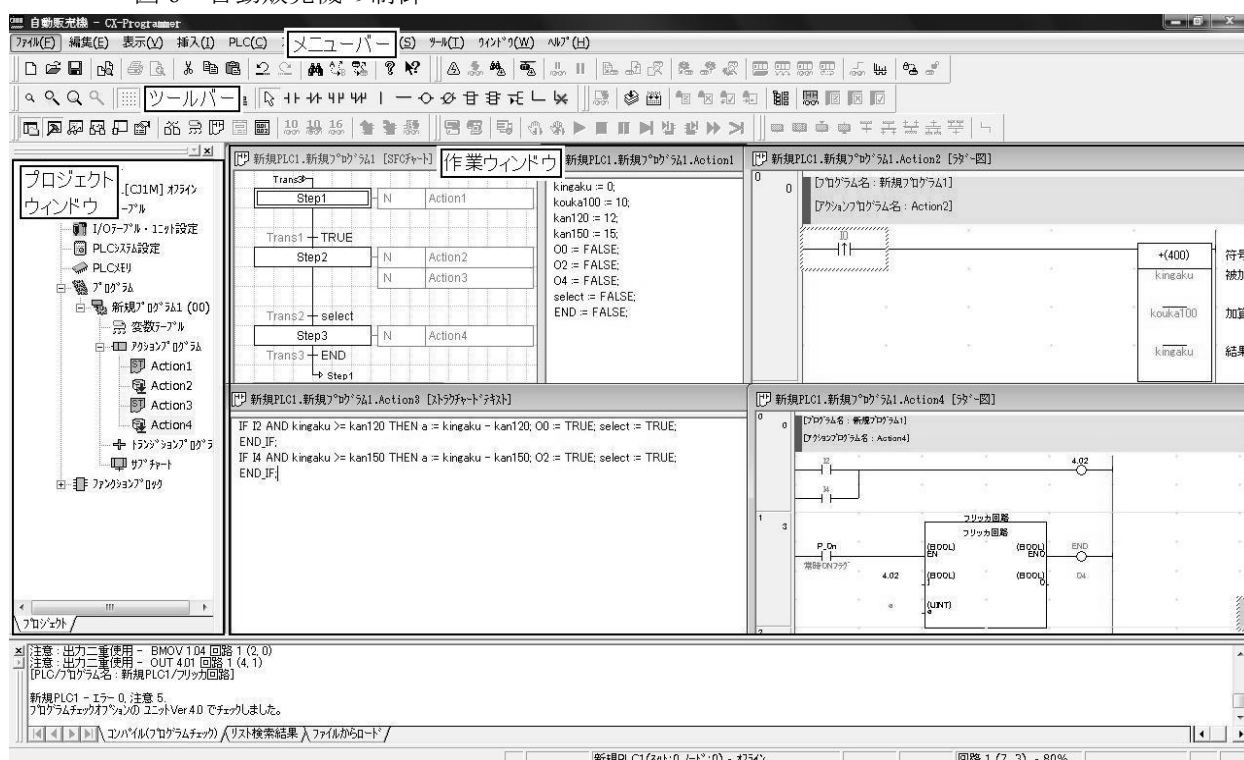


図 7 CX-Programmer の画面

③プログラムに使う変数の作成

プロジェクト内ではグローバル変数とローカル変数が定義できるが、このプロジェクトではプログラムは1つなのでローカル変数テーブルにのみ指定された変数名、データ型、アドレスまたは値を追加入力する。

④ファンクションブロックの使用

ファンクションブロックは設計者が予め作った部品回路であり、登録しておくことで部品として使える。自動販売機の模擬動作ではお釣りの数の点滅表示をフリッカ回路で行うが、この回路は複雑な回路で学生が作ると実験時間が足りない。このため、回路を事前に用意しておき、端子の接続法だけを指示する。また、ファンクションブロックは内部回路を隠すことができるので、余分なものを見せず自動販売機の制御に焦点を絞ることができる利点もある。

⑤ SFC のステートメントとアクションの枠作成

自動販売機の模擬制御の SFC は、ステートメント 1 で変数の値の初期設定 (アクション 1) を、ステートメント 2 で投入金額の計算 (アクション 2) および商品販売とお釣りの計算 (アクション 3) を、ステートメント 3 でお釣りの数の点滅表示 (アクション 4) を行う。枠作成の作業は、これらのステートメントおよび移行条件の追加と連結線のジャンプ追加、そしてアクション 1 と 3 の「ST プログラム」追加およびアクション 2 と 4 の「ラダープログラム」追加を指示する。なお、アクションにはクオリファイアの設定も必要であるが、実験ではデフォルトのノーマルのままとし、何も解説していない。

⑥移行条件フラグの変更

先の SFC の枠作成ではデフォルトの移行条件フラグ「FALSE」になっているので、各フラグに値または変数名を設定する。なお、移行条件の名前を変更することもできるが、余分な操作を避けるためデフォルトの名前のままにしておく。

⑦アクションの作成

アクション 1 および 3 は ST プログラムであるが、プログラムの授業は第 4 学年までなく、ST プログラムも第 2 学年の「制御基礎」の授業で扱っていないため、学生には示された記述をそのまま入力させる。

```
IF I2 AND kingaku >= kan120 THEN a := kingaku - kan120 ;
O0 := TRUE ; select := TRUE ;
END_IF ;
IF I4 AND kingaku >= kan150 THEN a := kingaku - kan150 ;
O2 := TRUE ; select := TRUE ;
END_IF ;
```

図 8 アクション 3 の記述

アクション 2 と 4 はラダープログラムであり、ツールバーの各アイコンと部品ウィンドウでの詳細設

定についての説明をもとにそれぞれの部品の配置と値の設定をする。アクション 4 で使用しているフリッカ回路の端子についても、指示に従って処理する。

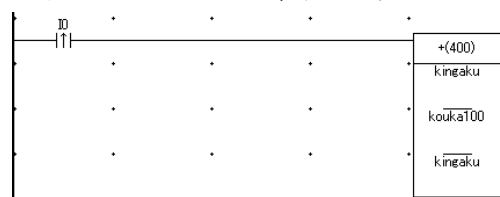


図 9 アクション 2 の回路

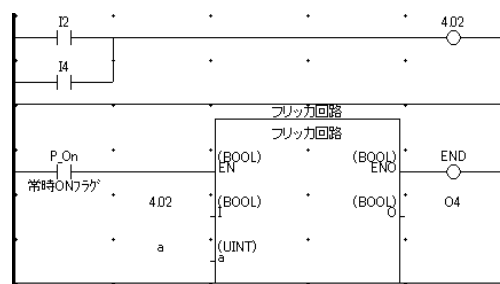


図 10 アクション 4 の回路

アクション作成では、入力作業を通じて制御内容の意味を理解させることを目的としている。アクション 2 では硬貨検知入力の立ち上がりで投入金額が累算され、アクション 3 では投入金額が選択された商品金額以上ならお釣りの数を計算し商品を販売している。アクション 4 では select 信号を使ってフリッカ回路のみで動作させることもできるが、練習のために敢えて商品選択ボタン I2 または I4 による OR 信号 (4.02) を作らせ、さらに商品が販売されたという条件 (select 移行条件からの P_on 信号) で動作するようにしている。

⑧コンパイルおよびプログラム転送と制御実験

ベーシック FA キットとシーケンサを接続し、パソコンとケーブル接続して、コンパイルおよびプログラム転送をし、タイムチャートに従って実験する。コンパイルやプログラム転送についても特別な設定はなく、指示の通りにマウスをクリックしてだけで処理できる。

5. FA制御実験の実施とアンケート調査結果

5. 1 FA制御実験の実施

ベーシック FA キットとパソコンおよびプログラミングサポートツール CX-Programmer が 2 セット揃ったのが平成 21 年 7 月であり、後期の電気電子工学実験Ⅲで FA 制御 1 (リレーシーケンス制御実験) と FA 制御 2 (シーケンサのプログラム開発実験)²⁾ を並行して行った。実験は 1 テーマ 4 人で行うが、ベーシック FA キットが各 1 台なので 4 人で 1 台の実験となる。プログラム開発実験のパソコンは

2人で1台の実験である。

①リレーシーケンス制御の実験

第3学年のFA制御実験に先立ち、第2学年の電気電子工学実験Ⅱのリレーシーケンス制御(1)(2)では、AND回路、OR回路、自己保持回路、インターロック、並列優先回路、直列優先回路、遅延動作回路、一定時間動作回路、カウンタ回路について、動作を確かめる実験を行っている。³⁾ この実験は、リレーシーケンストレナというスイッチ、ランプ、リレー等の部品とそのa接点、b接点の端子が沢山並ぶ実験装置を使い、実験書に書かれたシーケンス回路図のとおり接続して動作を確かめていくものである。この実験では回路は示されており、回路どうしの連続性もなく、実験装置上の配線は入り組み接続関係が直感的にイメージ出来ない。

これに対し、今回開発した第3学年のFA制御1では第3章で述べた7つの制御が発展的に関連づけであり、学生にはリレーシーケンス図を考えて描かせ、ベーシックFAキットでの配線もイメージしやすく、タイムチャートに示された順でスイッチを操作して各部の状態を記入させていくようにしている。さらに、レポートでは回路の動作説明も考えさせる。

これらの制御の殆どは第2学年で学習した内容であり、授業ノートを持参し内容を理解している学生は、器具の簡単な説明をするだけで大凡実験を旨く進めていた。授業ノートを用意せず学習内容も忘れていた学生でも、回路構成についてのヒントを与えれば回路を作成できていた。ただし、4人で1台の実験であるため、内2人は手持ちぶさたになっている様子が見受けられた。

②FA制御の実験

FA制御2の実験では、シーケンサCJIMのプログラム開発実験の前に、シーケンサCP1Lを用いてランプを5秒間点滅させる制御と物体検知停止制御の2つの制御をスイッチで切り替えて実行する制御を実験させている。この制御はベーシックFAキットのマニュアル¹⁾に掲載されている制御で、事前にシーケンサにプログラムが書き込んであり配線するだけで実験を行う。実験はタイムチャートに示された順でスイッチを操作して出力の状態を記入させていく。この実験では学生に複雑で複数の制御がシーケンサ1台で簡単に実現できることを実感させることを目的としている。その後、シーケンサCJIMのプログラム開発実験を2人1組で行う。学生は、操作を間違えてどうしたらよいか分からないときなどに質問をしてくるだけで、実験書のとおりに進めればほぼ問題なくプログラム開発を行うことができていた。実験はタイムチャートに示された順でスイッチを操作して出力の状態を記入させていく。レポートでは動作説明も考えさせる。

5. 2 アンケート調査結果

平成21年度に導入したFA制御実験について、これらの実験内容が今まで学習した授業内容の理解に役立っているかや第2学年の実験と比較してどうかを見るため、実験対象者の第3学年45名の学生に対し、学年末にアンケート調査を行った。アンケート結果の棒グラフを図11に示す。

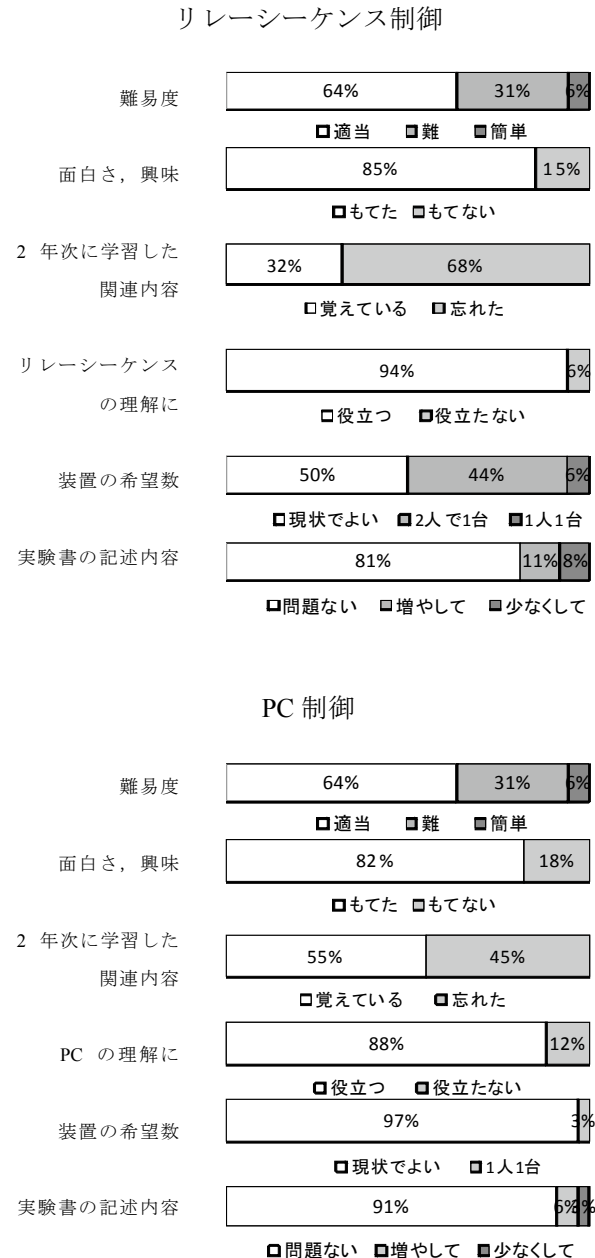


図11 FA制御実験のアンケート結果

リレーシーケンス制御のアンケート結果からは、前年度の授業で「学習した関連内容を忘れた」との意見が多く、実験中に回路図を直ぐに書けない学生の比率と符合している。「装置の希望数が現状の4

人で1台でよい」とする学生は、実験意欲の薄い学生と思われる。

PC制御のアンケート結果からも授業で学習した関連内容を忘れてしまっている学生が多いことが分かる。なお、実験内容が実験書通りに進めていくだけなので、「実験書の記述内容に問題ない」とする意見が多いことは期待はずれであった。数人からは、「SFC図くらい自分で考えさせるべき」との意見があり、もっともであると思う。

このアンケートは単年度だけのものでこれだけで検証を得ることはできず、今後も同様のアンケートを継続して検証する必要があるが、FA制御実験を新たに導入した教育効果はあったと見てよい。

6. FA制御実験の改善

平成22年度の電気電子工学実験Ⅲでは、リレーシーケンス制御実験の4人で装置1台の体制を改善するため、リレーシーケンス制御実験とPC制御実験の実施時期を前期と後期にずらせ、2人で装置1台の体制をとった。これにより、平成22年度のリレーシーケンス実験では学生の取り組み意欲に大幅な改善が見うけられた。要因の1つに実験時期が半年早まったため、前年度に習った学習内容を忘れていない学生が増えたこともあるようだ。

平成22年度のPC制御の実験書には、学生に考えさせる要素を取り入れた。⁴⁾シーケンサCP1Lを用いた2つの制御をスイッチで切り替えて実行する制御のSFC図を考え動作を説明させることと、自動販売機の模擬動作の制御開発では平成21年度に行っていたアクションの完成版資料とおりに入力していく方法ではなく、入力手法の説明文を見て課題に合わせて考えながら入力するようにした。ただし、学生は情報処理プログラムを一切習っていないため、アクション3のSTプログラムは資料とおりに入力させる。

なお、後期のPC制御実験は本論文作成時点では

実施していないため、成果は確認できていない。

7. ま と め

津山高専電気電子工学科の電気電子工学実験Ⅲ(3年生対象)に、平成21年度からオムロン(株)のベーシックFAキットを用いたFA制御実験を2テーマ取り入れた。

リレーシーケンス制御の実験では、AND回路から物体検知停止制御やカウンタを用いた制御まで、段階的に回路を応用、拡張して実験していくことで、学生が回路構成を理解し易く実験に取り組み易くしている。

PC制御の実験では自動販売機の模擬制御のプログラム開発を行わせることで、学生に実用的でなじみ深い制御の開発体験をさせている。PCのプログラム開発には、規模の大きな制御をステップ毎に分けて小単位で開発できるSFCを用いて、初心者でも理解し易く分かり易い内容にしている。

学生へのアンケート結果からは、これら2つのFA制御実験に学生たちは好感度を持っていることが分かる。残念ながら、前年度に学習している制御基礎の授業内容について実験時に覚えている学生の割合が低い、この実験で再度学習することで、シーケンス制御に対する理解を大いに深める効果があった。

参 考 文 献

- 1) オムロン(株)セミナ教育課:「ベーシックFA」マニュアル, オムロン(株), (2008)
- 2) 前原健二:FA制御(1)(2), 平成21年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト, (2009) 59-1 - 59-8
- 3) 小坂睦夫:リレーシーケンス制御(1),(2), 平成21年度後期電気電子工学実験Ⅱテキスト, (2009) 29-1 - 29-5
- 4) 前原健二:FA制御(2), 平成22年度後期電気電子工学実験Ⅲテキスト, (2010) 59-1 - 59-7