

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

三谷祐一朗^{*1}, 高矢昌紀^{*2}, 西由季央^{*3}, 山之内亘^{*2}

Compact size and customizable learning system of sequence control by using Programmable Logic Controller

Yuuichiroh Mitani, Masanori Takaya, Yukio Nishi, Wataru Yamanouchi

A learning system of sequence control was developed in 2016 as part of the educational collaboration project between KOSEN and Omron Corporation. The size of the system is so compact as to carry into different rooms easily. The dimensions of the equipment are 420×140×200 (W×L×T) mm and 2.1kg weight. Which means, the developed system is intended to be utilized in different classes, i.e. regular classes of the mechanical and the electrical & electronics engineering department, trial classes for junior high school students who are interested in KOSEN, and extension program for employees of some corporations. The control system is composed of: micro PLC (Programmable Logic Controller), programmable terminal, DC-motor, encoder, photo-micro sensor, relay, buzzer, LEDs, push buttons, and power supply. The typical feature of the system is that users can customize the control system readily because all of the control components are connected by a breadboard and wires. It means, the educational style or content using the learning system has the excellent flexibility to adapt it each of the classes easily. The manufacturing technology is progressing rapidly in recent years. KOSEN and Omron collaborated in 2011 and proceeded the educational project for students at KOSEN. The developed learning system can be so widely used for training of manufacturing technology that it can expect to make contribution to the project as effective education.

Key Words: Sequence control, Programmable Logic Controller, Collaboration, Manufacturing technology

1. 緒言

2007年度, オムロン株式会社(以下, オムロンと称す)は, 生産システムの制御機器の使い方や制御技術を学ぶことができる, ベーシック FA 学習キット(FAB)を, 全国高専に5台ずつ寄贈した. FAB は, 生産ラインに必須の PLC (Programmable Logic Controller)をはじめ, 各種センサ, リレー, カウンタ, タイマ, 表示灯, 押ボタンなど, 実際の生産現場で用いられる制御機器が用意されており, 小さなベルトコンベアを使って, 生産システムを模擬した学習ができる. シーケンス制御に要求される制御技術の基礎を, 付属するテキストを用いて独学することも十分に可能である. FAB は,

オムロンの 세미나・教育課が開催する社外向けのセミナーにおいて, 最も受講希望者が多い「制御機器入門」という名称のセミナーに使用されており, 社会的ニーズの高い技術を習得できる機材である. 2016年の夏にオムロンが調査した結果によると, 全国51高専において, 約5分の3の高専にてFABが何らかの教育に活用されている.

しかし, FABの単価は358,200円であり^[1], 高専の教員に配分される研究予算で容易に買い足せる金額ではない. また, 複数の学科や教員での共有を想定した場合, 週に1度の授業や実験の度に, 異なる学科の建物から機材を運び出し, 終了後に再度運搬するという作業を要することになる. しかし, 専用の収納トランクに納めた際の機材の重量やサイズを考えると, エレベータの無い建物においては, 階上や階下に複数台のFABを頻繁に持ち運ぶするのは相当な労力を要する. そこで, 低コストで小型のシーケンス制御教材を開発し, 高専における複数の学科で活用するという, 学科を横断した教育に活用することを目指す. なお, 本教材を用いた学習目標は, 「リレー・シーケンス制御の基礎を習得し, タッチパネルを活用して実用的な制御システムの構築を行う事ができる」とした.

^{*1} 沼津高専 機械工学科 National Institute of Technology, Numazu College, Mechanical Engineering

^{*2} 沼津高専 電気電子工学科 National Institute of Technology, Numazu College, Electrical & Electronics Engineering

^{*3} オムロン株式会社 Omron Corporation

2. 収納性を考慮した教材

開発した教材を図 1 に示す。この装置は、2015 年度に沼津高専で開催された「中学生のための体験授業」における、機械工学科で開催した授業、「生産システムに用いられる制御技術を体験しよう」のために製作した教材を改良したものである²⁾。以下に主な改良点を示す。

- 1) 制御回路と PLC とをコネクタを用いて接続することで、制御回路部のみを容易に切り離せるようにした。
- 2) PLC、電源、タッチパネルを、折り畳み式の整理棚に固定することで、持ち運びおよび収納を容易にした。
- 3) 制御回路に、モータの回転角度を検知するエンコーダを取付け、PLC が持つ PWM 機能を併用することで、モータの回転速度を設定できるようにした。
- 4) タッチパネルを追加することで、ハードウェアを変更することなくデジタル IO を容易に追加でき、かつオシロスコープのように、センサ信号の時間波形もモニタできるようにした。

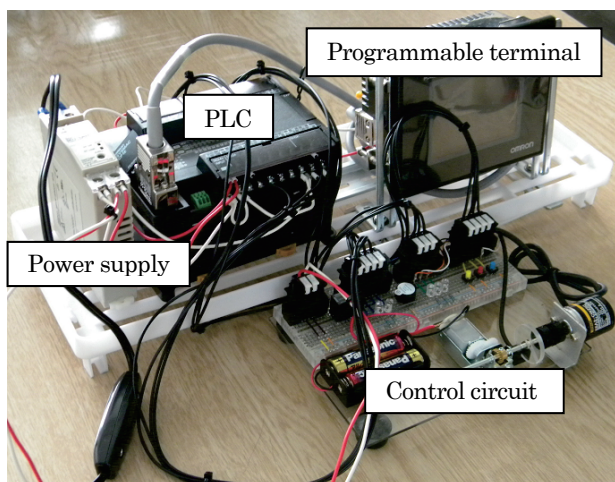


Fig.1 Developed learning system

この教材のサイズは、 $420 \times 140 \times 200$ (W×L×H) mm であり、重さは制御回路部を含めて約 2.1kg なので、片手で持ち運び可能である。使用時には、制御回路をタッチパネルの手前または右横におくことができるよう、コネクタにつながるケーブルを長く取っている。したがって図 2 に示すように、デスクトップパソコンを用いてプログラムを作成する際には、ディスプレイとキーボードの間に置いて使用することができる。なお、PLC およびタッチパネルは、USB ケーブルにてパソコンと接続するため、パソコンには 2 個の USB ポートを要する。

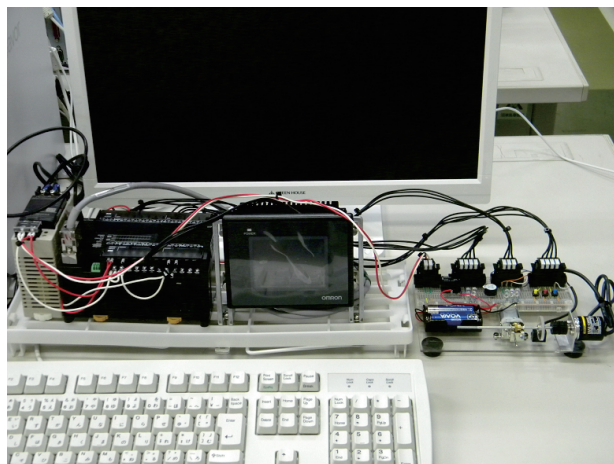


Fig.2 Usage with a personal computer

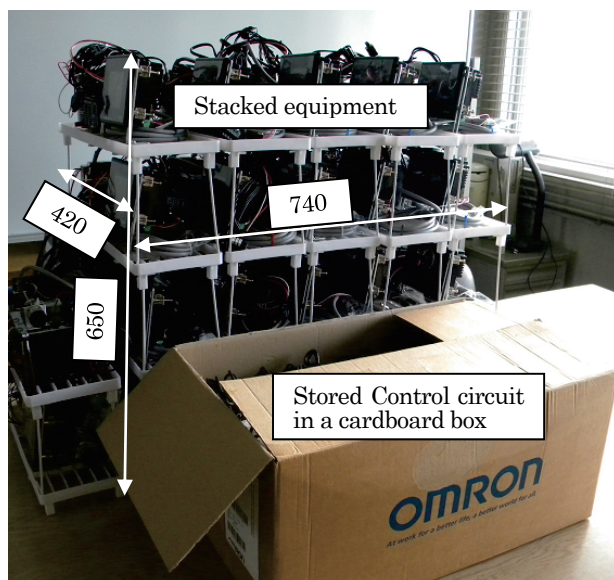


Fig.3 Stored state of the equipment



Fig.4 Stored control circuits

図 3 に、教材 22 セットを収納した状態を示す。PLC などを固定している収納棚の足を開いて立てた際、収納棚は複数

個を重ねて固定できる機構を有している。そこで教材の高さを収納棚の足の長さ以内とし、重ねて収納できるよう配慮した。図3のように4段重ねにすると、20台ならば、800×500 mmのスペースに置くことができる。また、図3、4に示すように、制御回路はPLCから外し、段ボール：540×340×250 (W×L×T) mmに楽に収まる。表1に、主な制御機器とその価格を示す。教材1セットあたり約6万5千円であり、20台製作するとその製作費は約130万円となる。教員研究費で製作するのは厳しいが、外部予算などで対応すれば構築可能な価格であるといえる。なお教材を20台製作したのは、1クラス40名において二人一組での利用かまたは、20名の少人数教育を想定している。

Table 1 Components of the control system

Item	Type	Price [yen]
PLC	CP1E-N30DT-D	19,872
Programmable terminal	NB3Q-TW01B	18,500
Encoder	E6A2-CWZ5C	9,180
Power supply	S8VM-01524-CD	4,104
Others	-	13,712
Total	-	65,368

3. 制御回路

製作した制御回路を図5に示す。主な構成部品は、DCモータ、エンコーダ、フォトマイクロセンサ、リレー、ブザー、LED、押しボタンスイッチ、単3乾電池(2個)、コネクタである。DCモータには減速機が付いており、その回転軸にカップリングを介してエンコーダが取り付けられている。また同回転軸にはアクリル製の円盤があり、その回転数をフォトマイクロセンサで検知できる。制御回路はブレッドボードを用いて構成しており、コネクタ部まで含めて容易に配線や使用する電子パーツを変更することができる。したがって、教育内

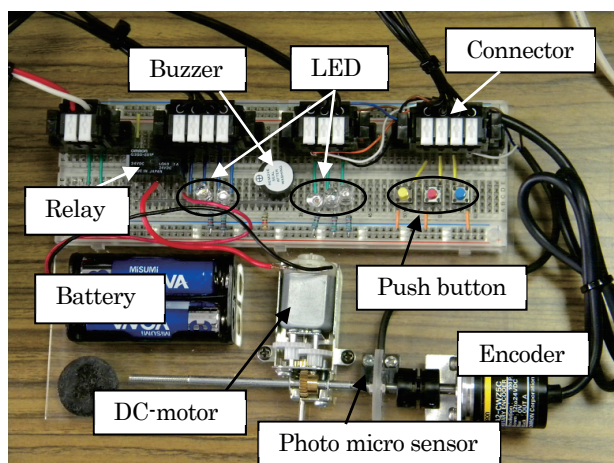


Fig.5 Control circuit

容に応じて自由にその用途を変更可能であり、高い汎用性を有している。回路の実体配線図を図6に示す。PLCの入力ポート0CHはエンコーダのパルス検知用として、出力ポート100CHはモータのPWM駆動用として、それぞれ接続した。

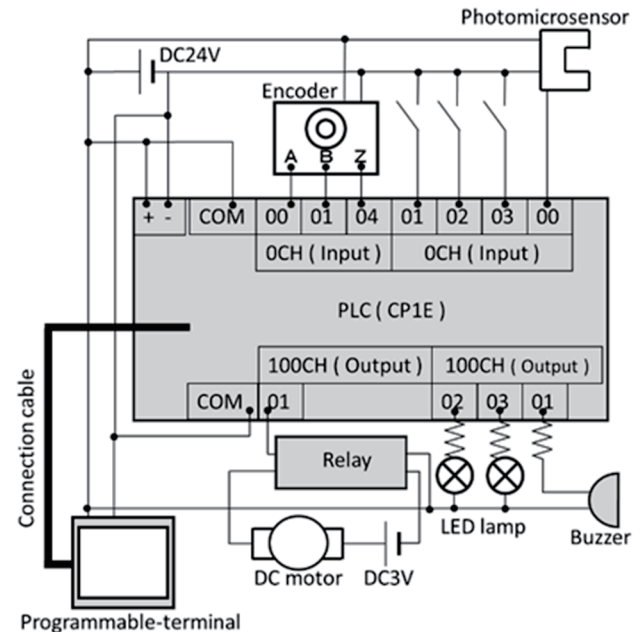


Fig.6 Wiring diagram of the control circuit

4. 2016年度における教材の活用

3章で述べた教材は、2016年8月上旬には試作や調整がほぼ終了しており、夏休み中には量産が終了した。そして同年、沼津高専で開催された二つの行事、「中学生のための体験授業」、「ミニ体験授業」にて活用した。以下にその詳細を述べる。

4. 1 中学生のための体験授業

2016年9月2日(日)、沼津高専にて「中学生のための体験授業」が開催された。午前(10:00~11:30)の部、午後(14:00~15:30)の部でそれぞれ9件、合計18件の授業が全学科一斉に開催され、定員は16~25名であった。本教材を活用した授業は、「生産システムに用いられる制御技術を体験しよう」というタイトルで、機械工学科棟4階にあるコンピュータ演習室にて実施した。実施内容を以下に示す。

- ① オムロン株式会社の紹介
- ② オムロンの教材FABの紹介
- ③ PLCとは何か(概要説明)
- ④ 教材の構成・使用方法
- ⑤ 生産システムを模擬したプログラムの動作体験
- ⑥ I/O制御の基礎

- ⑦ AND・OR 回路
- ⑧ 練習問題（コインパーキング）
- ⑨ 自己保持回路
- ⑩ タイマ・カウンタ
- ⑪ 実用プログラム例：押しボタン信号の体験
- ⑫ 質疑・応答

参加者は 10 名であり、全員中学 3 年生であった。PLC のプログラム開発ソフトウェアである CX-Programmer を使用し、サンプルプログラムの PLC への転送、動作体験を行った後、シーケンス制御に関する基礎的なプログラムの入力やその動作テストを行った。実施の様子を図 7 に示す。



Fig.7 Trial class for junior high school students

制御動作の手順を考えながら CX-Programmer を用いたラダー図を作成するのは、多少時間をかけて練習が必要である。1 時間半という短時間でのプログラム作成は、うまくできない学生の対応に手間取り、今回は、上記⑩のタイマまでのプログラム作成体験まででとどめた。カウンタや押しボタン信号は、簡単な説明と事前に用意したプログラムの動作体験のみとした。また、タッチパネルやモータの速度制御に関しては、時間の関係で説明を割愛した。それでも事後に取ったアンケートによると、参加者 10 名のうち 9 名が実施内容は「良かった」、また全員が「進路を考えるうえで参考になった」と答えた。これまで経験したことのない新しい世界に触れることは、実施内容に多少の不手際があっても中学生にとって斬新で、素直にその魅力を感じ取っていると思われる。

4. 2 ミニ体験授業

2016 年 11 月 5 日(土)、6 日(日)の二日間にわたって、沼津高専において高専祭が開催され、その中の行事として「ミニ体験授業」が実施された。合計 12 件のテーマで、午前 11:00～11:30、午後 14:30～15:00 に、全学科一斉に開催された。

二日間とも 2 回実施する授業もあり、多い授業では 100 名の参加者があった。本教材を用いた授業は二日間、午前の部に実施した。30 分間という短時間での実施なので、タイマやカウンタなどの基本命令を体験することを主とした。最初に、事前に準備したプログラムを実行して、シーケンス制御とは何かを把握してもらい、次に 5 行程度の簡単なラダーを作成し、制御プログラム作成および実行の流れを体験してもらった。その様子を図 8 に示す。小学生や保護者も参加し、賑やかな雰囲気での実施となった。事後に取ったアンケートには、もっと違った動作をするプログラムを作りたいという意見が複数件見られ、大変好評であった。



Fig.8 Short trial class in the College Festival

5. 教材の有用性のテストを兼ねた活用

上述した教材において、その学習効果を事前に検証するための活用テストを、三谷が企画した「PLC 勉強会」および、沼津高専の授業「ミニ研究」にて実施した。以下に、その実施状況を簡単に紹介する。これらの活用テストを通じて、図 1 に示した教材とすることを最終的に決定した。

5. 1 PLC 勉強会での活用テスト

2016 年 3 月 22 日(火)・23 日(水)の、春休みの二日間を利用し、沼津高専の 3 年生を対象とした「PLC 勉強会」を開催した。参加者は、制御情報工学科 2 年および 3 年の学生がそれぞれ 1 名ずつ、合計 2 名であった。実施内容は、初日は学習にあて、上記の体験授業の内容に加えて、タッチパネルのプログラミングや、エンコーダを用いたモータの PWM による速度制御を行った。二日目は、初日に学習した事を用いて、自由に制御システムの構築を行った。その結果、

2 年生：「昇降兼用エスカレータ」

3 年生：「Aero Supporter Ver.1.0」

というタイトルで、独自のシステムを構築した。

2年生が作ったシステムを図9に示す。リレーを2個使って正逆転（ブリッジ）回路を作り、エスカレータの動力源に見立てたDCモータの回転方向を切り替えた。その際、昇り・降り口への設置を想定した2個のフォトマイクロセンサの信号を、人の通過と見なし、エスカレータの速度と長さを仮定し、反対側からの後から来た人を待たせる案内を、待つ時間と合わせてディスプレイに表示した。

3年生が作ったシステムを図10に示す。スポーツジムのエアロバイクを想定し、ペダルを回すタイミングをブザーで知らせ、かつエンコーダで検出したモータの回転速度を自転車の速度と見なし、一定範囲内の速度でトレーニングするというシステムを構築した。

「リレー・シーケンス制御の基礎を習得し、タッチパネルを活用して実用的な制御システムの構築を行う事ができる」という目標に対して、2名の学生が構築した制御システムを教員2名で評価した結果、実施内容はともに到達目標を上回るレベルであると判断した。したがってここで開発した教材は、生産システムに関する必要な技術を学習するために、十分な機能を持っていると判断した。

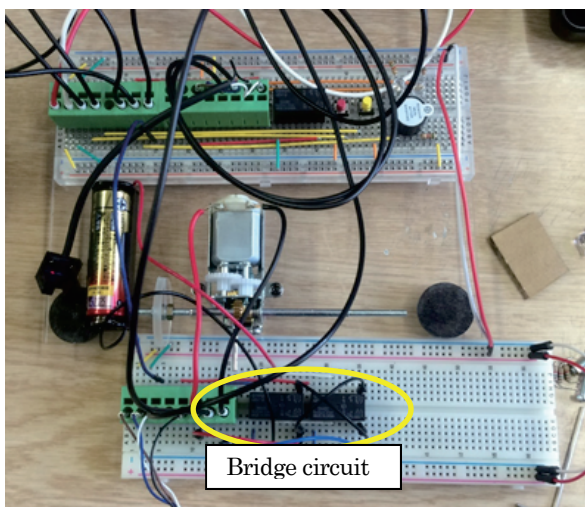


Fig.9 Production by the 2nd grade student

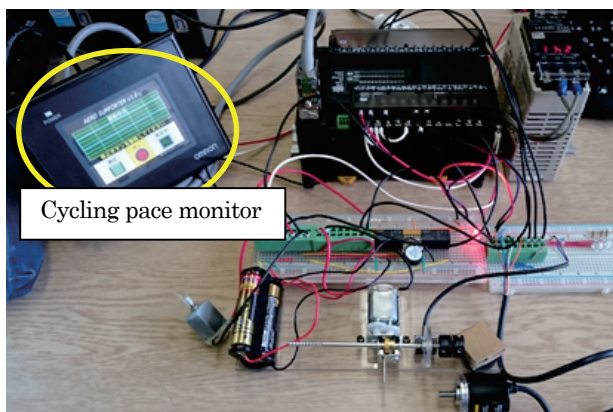


Fig.10 Production by the 3rd grade student

5. 2 ミニ研究での活用テスト

沼津高専の全2年生を対象とする前期必修科目として、「ミニ研究」がある。これは、教養科を含む全教員が担当し、1教員あたり原則3名の学生を対象とし、教員が設定するテーマに関して自主学習を行うPBL形式での教育科目である。その1テーマとして「PLCを使った制御システムの構築」を2014年度より実施しており、2016年度は3回目となる。そのいずれにおいても、PLCを用いたリレー・シーケンス制御の基礎学習を実施してきたが、最初の2年間は、その内容や手順は整理されたものとはいえず、5～6回の授業時間を費やした。それに対して今年度は、ここで紹介する教材を活用した結果、最初の3回の授業で効率良く教育することができた。

このテーマに取り組んだ3名の学生は、「迷路攻略システム」と題して3つのフォトマイクロセンサを使った自立移動ロボットを製作し、迷路を自立走行するシステムを構築した。残念ながら、センサの不具合で想定する動作は得られなかったものの、PLCやリレー、センサを活用したシーケンス制御アルゴリズムは、タイマやカウンタを駆使したレベルの高いものであった。なお、ミニ研究は前期科目であり、その最終日に沼津高専体育館にて、全ての2年生がポスター形式で発表会を行った。その発表の様子を図11に示す。多くの保護者や教員が、興味を持って発表を聞いていたようである。

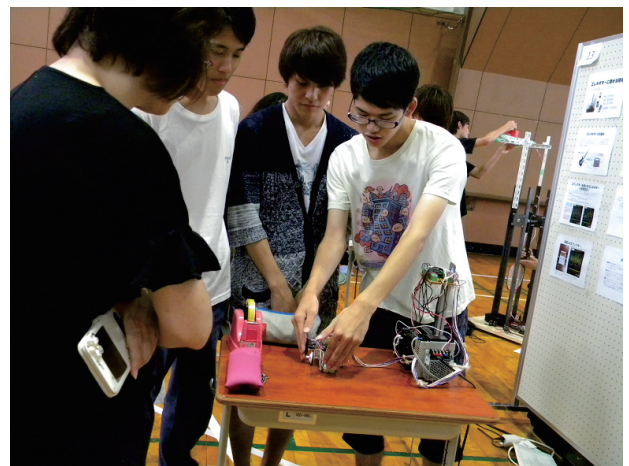


Fig.11 Presentation of the research achievement by the 2nd grade students

以上、ここで述べた教材の構成や活用内容についての記事を、オムロンが管理する情報共有サイト「iQube」に掲載した。iQubeは、オムロンが主催する高専教職員対象の生産システム制御技術に関するセミナーへの参加者に提供する、情報共有Webシステムである。これまでに、のべ140回のアクセスがあり、多くの高専教職員が関心を持って閲覧しているようである（URL: <https://app.iqube.net/login>）。

6. 2017年度以降における教材の活用計画

本報で紹介した教材は、2017 年度に本格的に活用する。以下に、活用予定を述べる。

6. 1 「機械工学実験 II」での活用 — 温度制御への拡張

2016 年度、機械工学科 5 年の必修科目「機械工学実験 II」は、振動工学、医療福祉工学、メカトロニクス、熱工学、計算力学の分野に関するテーマを実施している。その中のメカトロニクスにおいて、「片持梁における振動の能動制御」というタイトルで、PD フィードバック制御を用いた閉ループ系の周波数応答を測定し、制御効果を検証している。しかし、実験やレポート作成にかなりの時間を要するにもかかわらず、教育効果が期待するほど高くないのが実感である。そこで、生産システムの制御において、様々な場面で必要な温度制御に関する実験への移行を検討している。

前述した PLC を活用した教材を用い、温度制御実験装置として拡張したものを図 12 に示す。温度センサ E52-CA20B-ND=3.2、温度センサユニット CP1W-TS001、ソリッドステ

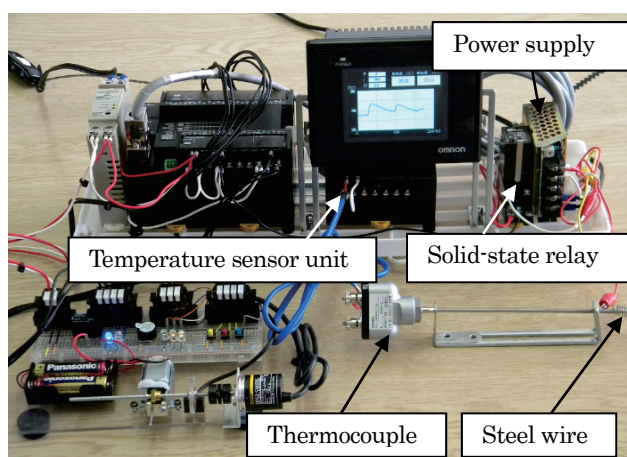


Fig.12 Temperature control system

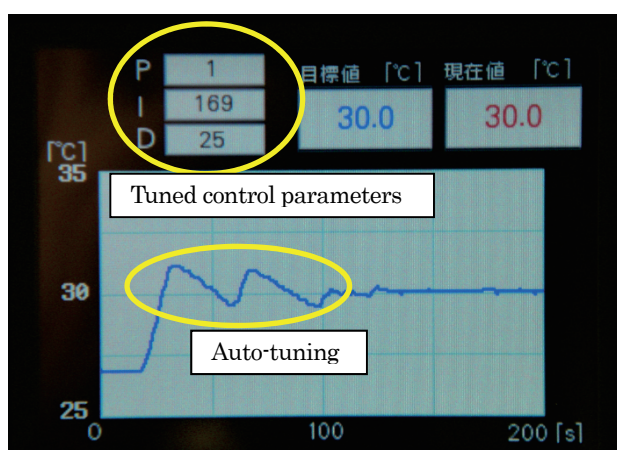


Fig.13 Control result with the auto-tuning function

ートリレーG3FD-X03SN および、温度制御対象として用いた鋼材の加熱用電源ユニットを追加した。図 13 には、PLC が持つオートチューニング機能を用い、PID 制御した際の、制御パラメータおよび温度の時間変化を示す。表示にはタッチパネルを用いている。約 80 秒間の 2 回の加熱・冷却を経て、目標値 30 度に維持できていることが分かる。

6. 2 「メカトロニクス」・「制御工学特論」・「情報工学特論」での活用

2016 年度、機械工学科 5 年の前期科目「メカトロニクス」、制御情報工学科 5 年前期科目「制御工学特論」および後期科目「情報工学特論」は、いずれも選択科目として開講されている。しかし、その受講学生が 40 名近くになる科目がある。一方、授業に使用しているシーケンス教材は 8 台しかなく、学生全員が十分な教育を受けられていないのが現状である。そこで 2017 年度以降において、本教材を活用することを授業担当者と検討中である。

6. 3 「電気電子工学実験 III」での活用

電気電子工学科 3 年の通年必修科目である「電気電子工学実験 III」において、新たな実験テーマとして本教材を活用することを検討している。

7. 結言

PLC を活用したシーケンス制御教育のために、小型・軽量で安価な教材を開発し、20 セット製作した。ブレッドボードを使用しており、教育内容に応じて自由に変更できる汎用性のある教材である。2016 年度、中学生対象の体験授業に活用し、その有効性を確認した。2017 年度以降、本科の授業にも活用予定である。また、iQube などを通じて、他の高専にも引き続き情報提供し、高専生の生産システム制御技術の向上とともに、高専教員間の連携の強化を図る。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 16K01047 および、平成 28 年度沼津高専校長裁量経費の助成を受けて実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] オムロン株式会社ホームページ「オムロン FA ストア」:
http://store.fa.omron.co.jp/associates/skill/learning/basic_fa.html (2016 年 10 月 21 日参照)
- [2] 三谷, 谷埜, 中学生を対象とする PLC を活用した体験授業, 沼津工業高等専門学校研究報告, 第 50 号, 2016, pp.1-6