

# 開発した温度制御教材の課題研究における利用

三谷祐一朗\*1, 馬場勝人\*2

## Introduction of the Produced Temperature Control Educational Apparatus to the Problem-Based Learning Class

MITANI Yuuichiroh\*1 and BABA Katsuhito\*2

**Abstract:** The educational apparatus to learn about temperature control technology was introduced to the problem-based learning class in August of 2023. The educational effect of the class exceeded the previous expectations, and the results provided a valuable opportunity to reconsider the significance of education with actual equipment. A test model of the educational apparatus was developed in 2021, and eight units present type of educational apparatus were produced in 2022. The introduction to the class in 2023 was to evaluate the usefulness of the apparatus, the class contents were improvisation reflecting the progress of the participants. Remarkably, although the participating students were third-grade students, their submitted reports displayed numerous analyses that anticipated key concepts taught in the fourth-grade control engineering course. This paper outlines the structure and usage procedures of the control educational apparatus, introduces the measured data by the students, and presents their feedback and insights. This class was an absolutely valuable starting point for considering how to integrate these findings into future education.

Key Words: Temperature control, Educational apparatus, PID control, Control engineering

### 1. 緒言

2023年8月, 学生の夏季休業期間を利用して, 途中休日を1日挟んだ実質4日間, 課題研究の1テーマとして, 「PLCおよびタッチパネルを用いた温度制御装置の評価」を実施した。夏季休業期間を利用したのは, 設置に多少手間のかかる制御機器を用いるために, 一度設置したら終了時まで設置したままにしたいことより授業の無い期間としたこと, 平日の放課後での短時間での実施とするのは効率が悪いこと, 参加学生と教員との日程の都合がつけやすいことがあった。時間帯は通常の授業とほぼ同じ, 午前9:00より午後16:30までとし, 1時間の昼休憩をはさんで1日6.5時間, 合計26時間, 機械工学科のコンピュータ演習室にて行った。

同年5月17日に, 学生課教務係より1~4年生全員宛にメールにて課題研究の募集案内が送信された。その際, 本課題研究の実施内容は, 以下とした。

『株式会社新冷熱技研との共同研究により開発した, 小型温度制御装置の温度制御性能評価を目的に, PLC (Programmable Logic Controller) およびタッチパネル (プ

ログラマブルターミナル) の基礎を学び, 基礎的なシーケンス制御から, 実践的な温度制御技術に触れます。生産現場等にて役立つ知識が身に付きます。なお, ここで使用する制御装置は, R6年度以降に, 社会人対象の公開講座や, M5機械工学実験等に活用する予定でR4~R5年度に開発しました。』

募集人数は, 準備できる装置の台数の関係で, 1~8名とした。この募集内容に対して参加した学生は, 機械工学科3年生5名, 電気電子工学科3年生1名, 合計6名であった。ただし, そのうち1名は実施二日目に都合で途中棄権したため, 最後まで継続参加したのは5名であった。また, 参加が3年生のみとなったのは, おそらく1, 2年生にとっては難易度が高く思えたこと, 4年生はインターンシップへの参加があったことが考えられる。参加した学生は全員, 制御工学をまだ学んでいなかったが, それでも実施できるような内容を準備した。

参加学生には, 課題研究として課せられる, 活動日誌および学修報告書を書かせた他に, 実験を行うために作成した制御プログラムと, 授業を受けた感想を別途提出させ, 評価の参考とした。事前に作成したルーブリックに基づいて評価した結果, 最後まで参加した学生全員がA評価以上であった。4日間だけであったが, 修得した技術は, 製造現場における温度制御に必要な技術に相当しており, 学生から提出された

\*1 機械工学科 Department of Mechanical Engineering

\*2 株式会社新冷熱技研 Co., Ltd, Shinreinetsugiken

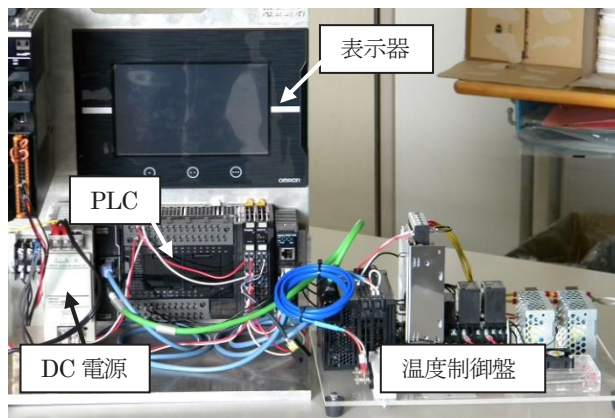
活動日誌の内容から、本課題研究は学生にとって非常に有益であったと思われる。

## 2. 実験装置

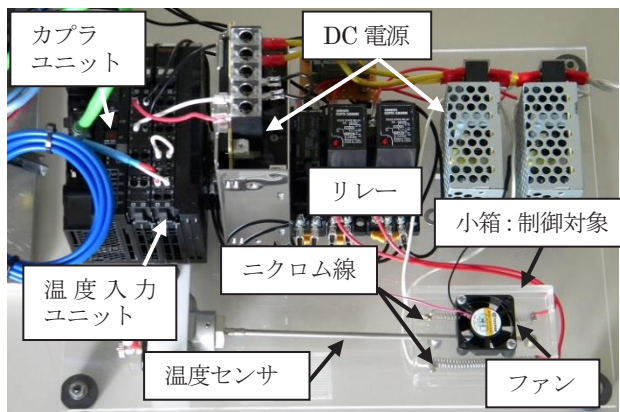
### 2. 1 概要

図1に、本授業で用いた温度制御実験装置を示す。(a)は全体図、(b)は(a)の右側に見える温度制御盤を上から見た様子である。2018年度に、単軸ステージを用いた振子の制振制御教材として8台製作[1]、2021年度に同じものを4台追加製作し、合計12台所有している。それらは2019年度より5年間、本校機械工学科5年後期選択科目「メカトロニクス」にて活用中であり[2]、図(a)の左側は、PLCや表示器、DC電源やハブ等をアルミ板に固定した装置本体部分である。ここでは単軸ステージ部を切り離し、その代わりに温度制御盤を接続している。なお、表示器の左側に見えるのはサーボドライバであるが、ここでは使用しない。

本装置では、図(b)の温度制御盤に設置した、アクリル製の透明な小箱内部の温度を制御する。小箱には温度センサが挿入されており、小箱内部に設けたニクロム線を通電加熱することで変化する温度を測定する。ニクロム線は2本設けてあり、それぞれ2個のリレーにより、リレーの右に設置した2



(a) 実験装置全体



(b) 温度制御盤

図1 温度制御実験装置

個のDC電源からの電流を供給して通電加熱する。箱の蓋に設置したファンは、箱内部の温度を均一にするために攪拌すると同時に、ファンの強度を変えることで、温度制御系における外乱としての役割も持たせている。温度センサの信号は、カプラユニットに設置した温度入力ユニットにより取得する。カプラユニットは、拡張ユニットを用いることで様々な機能を付加することができる。カプラユニットとPLCとは、EtherCAT (Ethernet Control Automation Technology) ケーブルを用いて接続でき、高速に通信が可能である。

### 2. 2 部品リスト

表1に、主な部品のリストを示す。No.1~4は本体、それ以外は温度制御盤に設置したものである。

表1 温度制御教材主要部品

No.	品名	型式
1	PLC	NX1P2-1140DT
2	表示器	NA5-7W001B
3	DC電源 (本体側)	S8VS-02024
4	スイッチングハブ	W4S1-03B
5	カプラユニット	NX-ECC203
6	温度入力ユニット	NX-TS2101
7	ソリッドステートリレー パワーMOS FET リレー	G3FD-X03SN DC5-24 G3RZ-201SLN DC24
8	DC電源 (カプラユニット・リレー用)	S8FS-G01524CD
9	DC電源 (ニクロム線用)	ESP10-15-5
10	温度センサ	E52-CA20B-N D=3.2
11	ファン	5V30mm 角 DC ファン
12	ニクロム線	ELPA 600W PE-56NH

### 2. 3 配線

図2に、温度制御盤の配線図を示す。PLCに内蔵されているデジタル出力端子をマイナスコモンとしてSSRと接続した。SSRはDC24V電源にて稼働し、それぞれニクロム線とファンの駆動に用いた。ニクロム線とファンは共に、DC5V電源により稼働した。温度センサは温度入力ユニットに補償導

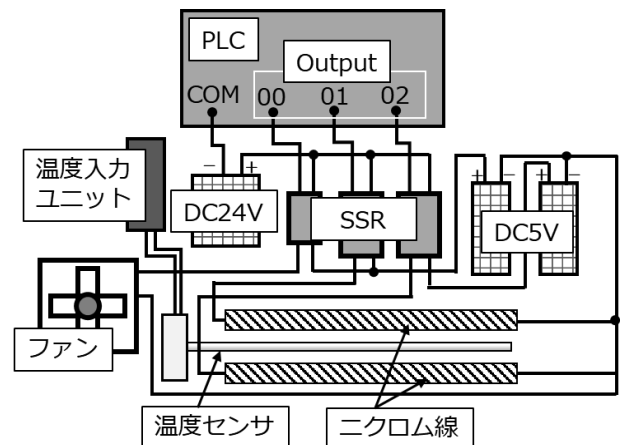


図2 温度制御盤配線図

線を用いて接続し、測定温度値を、カプラユニットを通じて PLC に取り込んだ。

### 3. 授業目標および到達基準

ループリックとして、以下の 1)~5)の授業目標および到達基準を設定した。

- 1) 接点やコイルを用いた基礎的なラダープログラムが書ける。

未到達：接点やコイルを用いた基礎的なラダープログラムが書けない。

最低基準：接点やコイルを用いた基礎的なラダープログラムが書ける。

標準基準：接点やコイルを複数回利用するラダープログラムが書ける。

優秀基準：接点に立上り・立下り微分、コイルにセット・リセットを用いた応用的なラダープログラムが書ける。

- 2) タイマ・カウンタ命令を用いたシーケンス制御プログラムが書ける。

未到達：タイマ・カウンタ命令を用いたシーケンス制御プログラムが書けない。

最低基準：タイマ・カウンタ命令を用いたシーケンス制御プログラムが書ける。

標準基準：複数のタイマ・カウンタ命令を用いたシーケンス制御プログラムが書ける。

優秀基準：状況に応じた適切なタイマ・カウンタ命令を用いたシーケンス制御プログラムが書ける。

- 3) 表示器へのボタン、ランプ、数値表示、数値入力等の作成ができる。

未到達：タッチパネルへのボタン、ランプ、数値表示、数値入力の作成ができない。

最低基準：タッチパネルへのボタン、ランプ、数値表示、数値入力の作成ができる。

標準基準：状況に応じた、タッチパネルへのボタン、ランプ、数値表示、数値入力の作成ができる。

優秀基準：タッチパネルへの実測値のグラフ表示ができる。

- 4) PIDAT 命令を利用した目標値が一定の温度制御ラダープログラムが書ける。

未到達：PIDAT 命令を利用した目標値が一定の温度制御ラダープログラムが書けない。

最低基準：PIDAT 命令を利用した目標値が一定の温度制御ラダープログラムが書ける。

標準基準：適切なパラメータを選定しつつ、PIDAT 命令を利用した目標値が一定の温度制御ができる。

優秀基準：PIDAT 命令により調整される制御パラメータ値の意味を説明できる。

- 5) 温度制御システムとしての定量的評価ができる。

未到達：温度制御システムとしての定量的評価ができない。

最低基準：温度制御システムとしての定量的評価ができる。  
標準基準：外乱が加わる際の、温度制御システムとしての定量的評価ができる。

優秀基準：数式を利用した温度制御システムとしての定量的評価ができる。

日々の課題への取り組み状況や、実施内容を記録した活動日誌から、ループリックに基づいた評価を行った。参加した学生たちは、制御工学をまだ学んでいないにもかかわらず、実験結果から読み取れることを的確に探し出し、結果を鋭く分析できていた。

### 4. 実施内容および実施状況

4 日間の実施内容および実施状況を、以下に述べる。なお、学生によって多少の進捗の差はあったが、教員から学生への説明は、おおむね学生全体に対して行った。

< 1 日目 >

- ① 実験装置の設置・接続
- ② ハードウェアの概要
- ③ 内部・外部・グローバル変数
- ④ IP アドレスの設定、各制御機器の登録・接続
- ⑤ I/O マップの作成、グローバル変数の登録
- ⑥ 表示器の諸設定、変数マッピング、ボタン・ランプ・数値表示・数値入力の作成
- ⑦ a 接点・b 接点、AND・OR 回路、自己保持回路、タイマ・カウンタ、コインパーキング・省エネエスカレータのラダープログラム作成
- ⑧ 温度データの取得、データトレース・CSV ファイルへのエクスポート・Excel によるグラフ化
- ⑨ ヒータによる加温テスト、温度上昇の観察、危険温度への上昇時におけるヒータ自動停止プログラムの作成

1 日目の内容は、装置の準備や使用する制御機器の大まかな説明から入り、PLC や表示器を使うための準備の後、ラダープログラムの基礎および練習問題を実施した。そして、本課題研究の主たる学習内容である温度制御に必要な、ヒータの加熱、温度測定方法を学び、測定データの記録やグラフ化の方法を習得した。

1 日目に初めて装置を稼働した際、ヒータによる加熱テストの実施中、接触不良や DC 電源の破損により 2 本あるうちの 1 本のヒータが駆動しない、ヒータに用いたニクロム線が

アクリルの小箱に触れて溶ける、という 2 件のトラブルが発生した。とりあえずその場合は、余っている装置と交換することで授業を継続した。ここで、装置が火傷をするほどの高温になるのを防ぐために閾値を設け、測定温度が閾値以上になった際に自動停止する安全装置としてのプログラムを、ラダーの基礎練習として急遽加えた。なお授業後に、ニクロム線のはんだ付けのやり直し、DC 電源の交換、ニクロム線の張り具合を改善して、発生したトラブルはすべて解消した。

#### < 2 日目 >

- ① 時分割比例制御による、ヒータ、ファンの強度制御
- ② ヒータの一定強度での稼働による温度のステップ応答の測定と、強度の正規化による応答の特性調査
- ③ PIDAT 命令の諸設定、使用方法、オートチューニング
- ④ PIDAT 命令のパラメータの一つである、ATCalcGain 値を変更した際の PID 制御結果の違いの観察
- ⑤ 異なるファンの強度による PID 制御結果の違いの観察

2 日目の実施内容は、例えば機械工学科においては、4 年次の制御工学 I（前期）にて学習する重要な基礎に相当する。すなわち、上記②は一次遅れ要素における時定数・ゲイン定数の概念、④は閉ループ系の時間応答、⑤は制御系に作用する外乱に対する応答に、それぞれ相当する。

2 日目の目標は、ファンクションブロックの一つである時分割比例制御を利用して、任意の強度でヒータやファンを稼働すること、および PID 制御を体験することである。ラダープログラムの作成はそれほど困難ではなく、見本を参考にすれば、目標は容易に達成された。しかし、PID 制御を行う際に、ファンクションブロック PIDAT に対して、多くの設定パラメータ値を与える必要があった。この際、それらのパラメータの意味をすべて理解するためには、4 年次に学習する制御工学の知識を要するため、いくつかのパラメータの説明を割愛した。その結果、1 名の学生が理解不十分との理由で継続参加を取りやめた。工学的な説明をせずとも、それぞれのパラメータが持つ概念だけでも伝えるべきであった。

また、2 日目の授業を開始時に、1 日目は問題なくプログラムが動作していたはずが、制御機器の電源を投入すると、温度測定ユニットにエラー（軽度フォールト：スレーブアプリケーション異常、スレーブ初期化異常）が発生し、プログラムが動作しないというトラブルが発生した。ここでも、余っている装置との交換により対処したが、事後の調査で、ユニットのパラメータの設定不足によることが判明した。すなわち、温度測定ユニットは 2 チャネルあり、未使用のチャネルは使用しない（チャネルの無効、冷接点補償の無効）という設定が必要であった。この設定の必要性はこれまで認識しておらず、温度測定ユニットについての新たな収穫となった。

#### < 3 日目 >

- ① 表示器への、リアルタイムでの温度グラフの表示
- ② 複数回の実験結果のグラフの、表示器への表示
- ③ 表示器からの、目標温度やファンの強度の設定
- ④ 目標温度やファンの強度を変化させた際の、PID 制御による温度変化・制御入力測定
- ⑤ 異なる ATCalcGain 値に対する上記④の測定

3 日目には、アルゴリズムを考えたラダープログラムの作成を要する課題設定とした。すなわち、目標値を一定時間ごとに変化させるためにタイマを、目標値を変化させる回数を与えるためにカウンタを、それぞれ要する。このとき、C 言語などの高級言語を学んできた学生たちは、ラダープログラム中に繰り返し処理を組み込もうとして、失敗していた。ラダープログラム全体が、PLC のプライマリタスク周期で繰り返し処理されていることを充分認識できていないこと表れであったと思われる。PLC へのラダープログラムの作成練習の初期に、ST (Structured Text) 言語を用いたカウント、または積分演算等を行えば、PLC の繰り返し処理がイメージできるようになるかもしれない。

ここで頻繁に、表示器を使った数値入力や数値表示、さらには、リアルタイムでのグラフ表示を行うために、グローバル変数を使った設定を行う必要があった。内部変数と外部変数の違い、表示器での変数マッピングなどの知識に加えて、表示器への折れ線グラフの表示のためには、データグループや配列の概念を把握する必要がある。複数回のグラフを重ねて表示する方法は、表示器のマニュアルには記載されていないが、学生たちは試行錯誤により短時間でその技術を習得し、実験結果のグラフを表示して、目標温度やファンの強度、PID 制御における設定パラメータの違いによる PID 制御の性能を検証していた。また、PID 制御のオートチューニングを、複数回連続して実施する必要があったが、PIDAT 命令が持つ変数をうまく利用して自動処理できるラダーを組んでいた。

#### < 4 日目 >

- ① コイルの、セット・リセット命令
- ② 表示器における複数ページの作成
- ③ オートチューニングにより調整された PID フィードバックゲインを用いた、P 制御、PI 制御、PID 制御による制御時の目標値の変化に対する応答の測定。
- ④ 報告書の作成
- ⑤ 実験装置の撤収

最終日の 4 日目は、ループリックにあるコイルのセット・リセット命令の意味と使い方を説明して、プログラム中に活用するよう指示した。また、ループリックには記載がないが、

表示器での操作が増えた際に便利になる、表示器におけるイベントの概念を用いた複数ページの作成と移動の説明も行った。これは、表示器のマニュアルだけでは分かりにくく、今後も課題研究や公開講座等、何らかの教育活動にて実施するならば、リアルタイムでのグラフ表示の方法と合わせて、別途マニュアルを準備する必要があると思われる。

以上の説明の後は、制御則 (P, PI, PID) の違いによる制御性能を検証せよという指示を出したのみであり、それ以降は学生たちの自主的な課題解決の時間とした。表示器の画面やラダープログラムの作成に慣れた学生たちは、お互いに相談しながらも、独自のアルゴリズムによるプログラムを作成し、得られた結果を懸命に分析して、授業時間を過ぎた後も熱心に活動日誌にまとめている。

## 5. 活動日誌および報告書からの考察

### 5. 1 活動日誌からの学習効果の分析

ここで示す図は、学生の活動日誌からの抜粋であり、図としてのデータしか入手できなかったため、学生達が作成したグラフをそのまま掲載した。

図3は一日目に、加熱による温度変化データ取得の練習のために取ったデータである。PLCの内蔵出力端子に対応付けたa接点をONにすることで、リレーを介してニクロム線を通電加熱し、小箱内の温度変化を温度センサにより取得、PLCのデータトレース機能を利用して温度データを保存し作成したグラフである。この実験を開始した際、ある学生の亚克力製の小箱がニクロム線の熱により溶けるトラブルが発生した。この装置は、ニクロム線の設置状態に問題があったため、このトラブルにつながったが、これを受けて、温度が50℃を超えたら自動的に加熱を停止、小箱の蓋に取り付けたファンを駆動して冷却する安全装置をラダーに組み込むことを学生たちに指示した。その結果が図3である。温度が50℃に達して加熱を停止した直後、逆に急こう配の温度上昇が起き、その後緩やかに温度が低下する現象が見られ、学生達が不思議がっていた。これはおそらく、ファンを稼働することによ

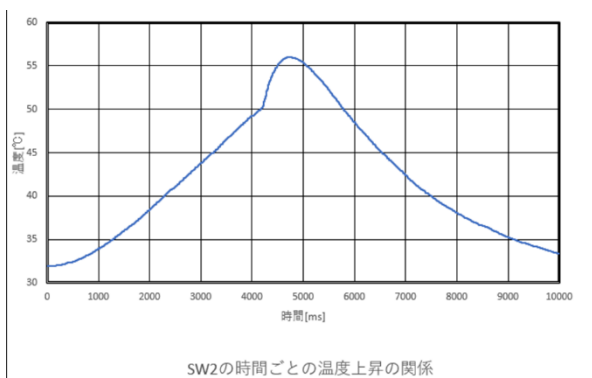


図3 ニクロム線の通電加熱による温度変化

て小箱内の空気が攪拌され、最も高温になっているニクロム線付近の温度が温度センサに伝わりやすくなった結果と思われる。加熱を停止しても、すぐには温度測定値が低下しないという意外性を経験した学生たちは、熱伝導という工学に加え、「製造現場」で考えなければならない安全性に関する経験もできたと言える。

図4は二日目に、PLCが持つPID制御機能を用いて、制御器の調整および、温度制御を行った結果である。小箱内の攪拌のために、ファンを50%のデューティー比でPWM駆動した状態で、目標温度を、35℃、40℃、45℃と設定した際の、オートチューニングの様子である。設定した目標温度に依存せず、ほぼ同様の時間応答が得られ、チューニングが行われていることが分かる。つまり、環境が同じであれば、目指す制御特性に対し、PID制御における適切なフィードバックゲインは同一であることが確認できている。これは、制御対象の動特性が分かれば、ある設計仕様を満たすようにPID制御系が設計できるという制御工学の重要な概念である。

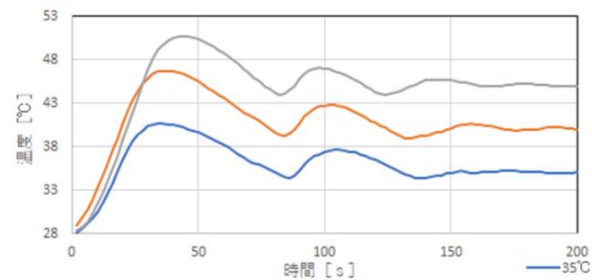
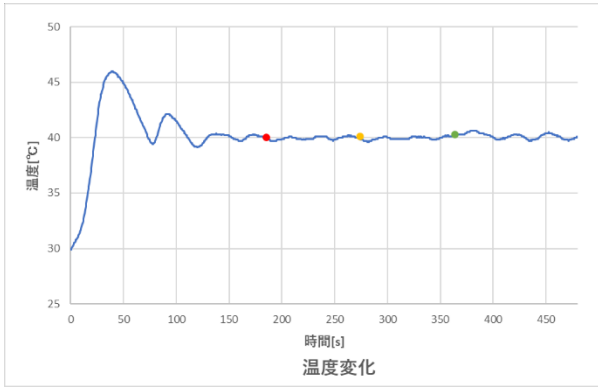


図4 異なる目標値に対するオートチューニング結果

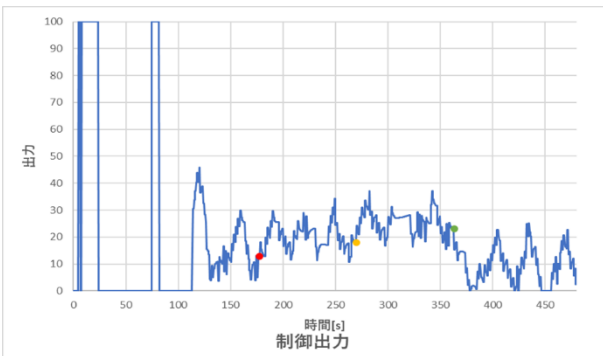
図5は三日目に、PID制御中に外乱としてファンの強さを一定時間間隔で変化させた際のデータであり、(a)は温度、(b)は制御入力の推移である。目標温度は40℃に設定しており、オートチューニングは130秒付近で終了している。赤、黄、緑の点が記されている時刻でファンの強さ (PWM信号のデューティー比) を、50%から、70、100、3%に順に変化させた。±1℃程度の温度の変動は見られるが、効果的に外乱の影響を抑制している。このとき、学生は制御入力 (グラフ中のタイトルは「制御出力」と記載されている) についてもグラフを作成し、以下のように考察している。外乱を抑制するための制御器の働きをイメージできていることが分かる。

『温度の変化はFANを弱くしたとき他と比べ、温度の振れ幅がやや大きくなっていることが分かった。出力 (制御入力の意味) がFANの強さに応じて、強くなったり弱くなったりしていることが分かった。』

また、この日に作成したラダープログラムの一部を図6に示す。高級言語に慣れた学生は、制御プログラムにおける多



(a) 温度の変化



(b) 制御入力の変化

図 5 PID 制御における外乱の影響

多くの条件分岐を、ST 言語を用いて書いている。従来、ラダープログラムは、接点やコイル、応用命令などを組み合わせて、ハードウェアを意識したプログラム作成が必要であったが、このように、高級言語に慣れ親しんだ者でも、ラダープログ

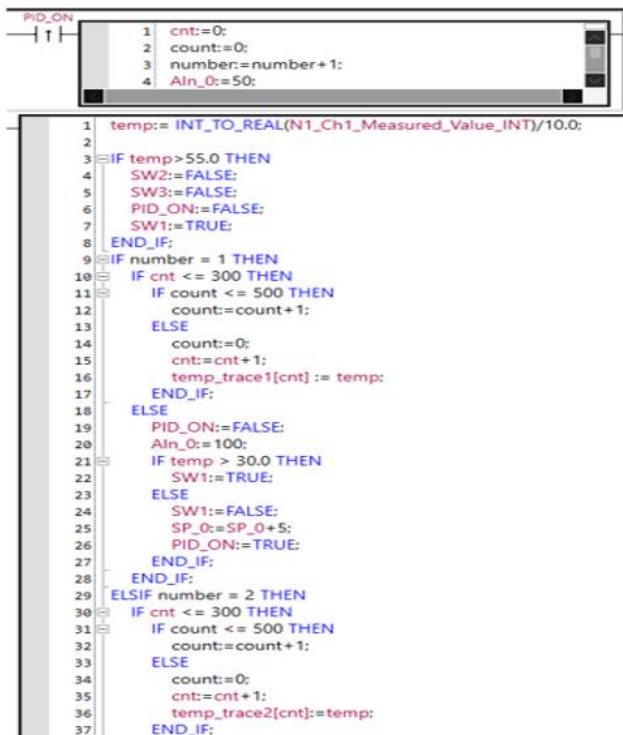


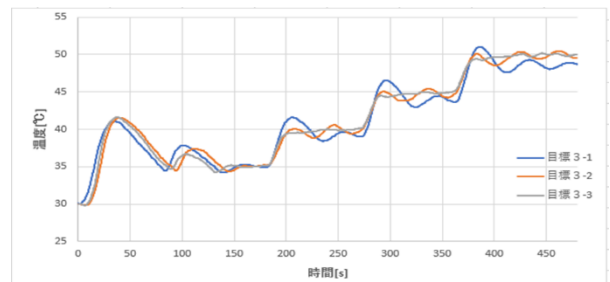
図 6 学生が作成したラダープログラム

ラムが書きやすくなったことも、近年の PLC の進化の特徴である。ただし、条件分岐を多用するプログラムを書いた学生は、活動日誌に以下の感想を残していたことから、ラダープログラムの必要性は理解できているようであった。

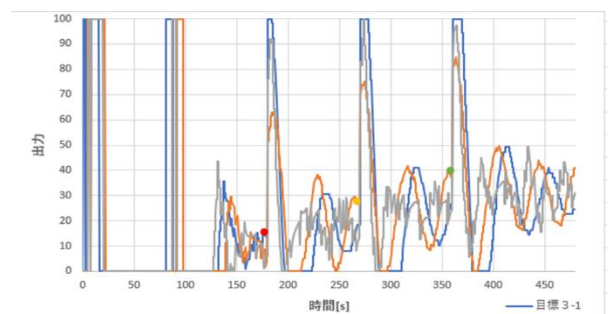
『IF 構文の数が多くなってしまい、プログラムが長くなるのに加え、デバッグもしづらくなってしまったため得策ではないと考える。プログラムだけではなく、ラダーもうまく使用することが大切であると考え。』

図 7 に、四日目に測定した、制御則による制御効果の違いを比較したグラフを示す。目標 3-1、3-2、3-3 はそれぞれ、P 制御、PI 制御、PID 制御を意味する。約 150 秒までは、PID 制御器がオートチューニングを行っている時間であり、目標値を 35°C に設定している。その後、180 秒付近から 90 秒ごとに、目標値を 5°C ずつ上昇させた。その結果、P 制御では大きくオーバーシュートし、その後振動しながら目標値より低い温度に収束しつつある、PI 制御では、同じく振動はするが、目標値へ収束に向かっていく、PID 制御では、振動が抑制され、目標値に収束している、ということがグラフより観察できる。これらは制御工学にてラプラス変換等を使って理論的に説明できるが、このように実機を使って体験することができれば、より学習効果が高まると期待できる。

ここで以下に、この実験結果に対する学生の考察を引用する。制御工学を学習していないにもかかわらず、適切な考察がなされており、本教材が、制御工学の学習に有効利用でき



(a) 温度の変化



(b) 制御入力の変化

図 7 用いる制御則による制御効果の違い

ることを期待させる。若干説明内容に分かりづらい点があるが、そのまま掲載する。

『Pゲインのみでも目標値に近づくことからPゲインは目標値に近づけるために出力を制御する役割があると考えられる。PゲインのみとPIゲインのみとで比較すると、温度の振りが小さくなっていることから、振動を防ぐ効果があると考えられるが、出力の方に注目するとさほど振りが小さくなっていない。このことからIゲインは、振動を防ぐ効果ではなく、目標値に保持しようとする役割があると考えられる。PIゲインとPIDゲインを比較すると、温度、出力両方で振りは小さくなっていることから、Dゲインは振動を防ぐ役割があると考えられる。IゲインとDゲインの役割は予想に過ぎないため、より確実にするためにPDゲインのみを与えたデータをとれば良かったと思った。』

#### 5. 2 参加学生からの感想・意見

最後に、参加学生が書き残した、本授業に関する主な感想や意見を以下に紹介する。

- 最初は理解できていなかった作業も最終日には理解できたと感じる。難しかったがその分達成感がありとても良い経験になった。
- はじめは、自分にこんなことができるのだろうかと不安が募っていました。ですが、少しずつ操作に慣れていき、徐々に自分の力になっている実感がありました。この4日間有意義な時間を過ごせてよかったです。
- これまで勉強してきたプログラムの内容を活用できるタイミングが多くあり、勉強することの大切さに気付けた。
- 課題研究という固いイメージがあったが実際に参加してみると、自由な学習をすることができ質問もいつでも行えるため比較的リラックスして課題研究に向かうことができました。もっと課題研究の利点や、内容が他の学生に伝われば参加者はもっと増えるのではないかと思った。
- 今まで温度の制御にあれほど多くの変数が必要になることを知らなかったが、今回の学習を通して物事の制御には多くの要素が必要で、困難であることを知ることができたので良かった。
- 今まで課題研究のようなイベントに積極的に参加することはなかったので自分の積極性を高めることができる良い機会になったと思う。

## 6. 結言

図8に、実施中の様子を示す。最後まで参加した学生5名は、終始、とても熱心に取り組んでいた。座学にて学習する前に実機を使って実験を行い、その結果を今持っている知識にて分析し、その後、改めて座学にて理論を学習すれば、今よりはるかに明確な動機づけが存在し、学習意欲が高くなること期待できる。将来的には、制御工学を学習中の4年次の、機械工学実験に組み込んでも良いかもしれない。

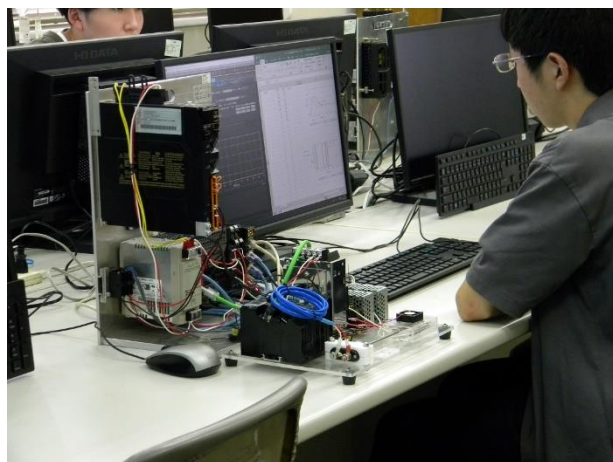


図8 課題研究実施の様子

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、新冷熱技研より研究費を補助頂いた。ここに謝意を表す。

### 参考文献

- [1] 外園, 三谷, 新型 PLC を用いたシステム制御技術習得のための小型倒立振り実験装置の開発, 日本機械学会東海学生会第 50 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 2019, pp.247-248
- [2] 三谷・村中, 単軸ステージを用いたシーケンス・モーション・現代制御の統合アクティブラーニングの試み, 沼津工業高等専門学校研究報告第 54 号, 2020, pp.1-8