

# 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

三谷祐一朗<sup>\*1</sup>・村中常高<sup>\*2</sup>

## Experimental Integrated Active Learning of Sequence-Motion-Modern Control System Using the Single Axis Stage

MITANI Yuuichiroh<sup>\*1</sup>, MURANAKA Tsunetaka<sup>\*2</sup>

The new class was started this year to learn about the sequence, motion, and modern control in the integrative manner. This class is opened for the fifth-grade of the mechanical engineering department as an elective course. The achievement objective of this class is to get the programming skill of sequence and motion control, and the technical knowledge of design and implementation of the modern controller to the PLC (Programmable Logic Controller). The feature of this class is that the active learning style is introduced to encourage the students to learn the new control technology by themselves through the group work. The assignment of this class is to control the swing motion of the single pendulum, and construct an inverted pendulum control system by the motion control of the stage which supports the rotation shaft of the pendulum. A text file and some manual files of the control equipment have been uploaded on the e-learning system in PDF format. The students can refer the documents to achieve their assignment by themselves at their own pace. Three groups completed and succeeded to control the inverted pendulum. The paper examination, which was held at the end of the term, shows that 86% students were satisfied with the class and achieved the objective of this class.

Key Words: Active learning, Sequence control, Single-axis stage, Programmable logic controller, Group work

### 1. 緒言

2012年度より、オムロン・高専機構共同プロジェクトの一つとして、高専の教職員がオムロン株式会社（以下、オムロンと称す）にて1年間、オムロン社員として働く、いわば教職員にとってのインターンシップとも言える、「教員研修」が開始された<sup>[1]</sup>。その初年度は、仙台高専の佐藤拓教員が研修に参加し、オムロンの東京事業所内にある、セミナ・教育課にて業務に携わった。そこで開発された、新型PLCであるSysmac NJを用いた直交XYステージは、その後20台がオムロンにて量産され、広く教育に活用されている。例えば、高専の教職員を対象としたセミナや、オムロン社内の新人研修、さらには、オムロン・高専機構共同プロジェクトとして、全国高専生を対象に、2011年度より実施している「制御技術教育キャンプ」、2014年度より実施している「生産技術コン

テスト（現在、PLC制御コンテストに改名）など、7年間の多くの利用実績がある<sup>[2][3]</sup>。つまり、PLCが開発された当時の、リレー・シーケンス制御のために利用するという役割から脱却し、高速・高精度な位置決めや速度・加速度制御を複数軸に対して同期制御することが、強く求められる時代になったと言える。

しかしその一方で、我が国の生産年齢人口は減少の一途をたどっており、製造業における人材不足は、深刻な問題となっている。すなわち、少子高齢化に伴い、企業が優秀な技術者を確保するのが困難な現状がある。それに加えて、ベテラン技術者の高齢化や退職により、企業における技術の伝承や維持が難しくなっている。このような状況下において、日本の技術が発展していくためには、技術者自身における生産性の向上が不可欠であると言える。しかし、従来の職人技やノウハウに頼ることができなくなってしまい、これまでにない新しい技術が必要となった。

この問題に対し、PLCにおけるアプリケーション開発の効率化のために、1992年にPLCopenが設立された。これは、メーカごとのプログラムの差異をなくし、製造業における国

\*1 機械工学科 Department of Mechanical Engineering

\*2 オムロン株式会社 Omron Corporation

際的な発展のために設立された第三者機関であり、プログラムの構造化や再利用を可能するために、国際標準規格 IEC-61131-3 が制定された<sup>[4]</sup>。これにより、高いスキルを持たずとも、機械制御プログラミングの生産性を大きく向上させる環境が整いつつある。ただしこの動きは、欧州ではすでに広まっているが、日本ではまだ浸透していない状況にある。

その状況を少しでも改善するために、2015 年度、オムロンよりその直交 XY ステージを 8 台借用し、沼津高専にて「PLC を用いたサーボ制御」と題して、企業技術者を対象に公開講座を実施した。実施内容は、オムロンが高専教職員行ったものと同一とし、1 日での開催とした。実施後のアンケート結果より、受講者の評価は非常に高く、PLC によるモーション制御をはじめとする、高速な制御機器との通信による制御技術は、社会からの強いニーズがあることを実感した。しかし、その公開講座を実施する際に大変苦労したことがあった。それは、機材の運搬や発送が重労働だったことである。直交 XY ステージ機材 1 セットは、PLC やサーボドライバからなる制御盤と、XY ステージから構成される。それぞれが金属製のトランクにそれぞれ収納され、運搬用の取手が付いている。しかしその重量は、成人男性でも両手に 1 つずつ持つのが厳しい程であり、それを届いた建物の 2 階から降ろし、講座の開催会場である別の建物の 4 階に運搬して、終了後にまた元の場所へ運搬するのは、大変な重労働であった。

そこで同年、女子学生でも充分持ち運びできるサイズの、単軸ステージ制御教材の製作に到了。製作予算として、学内マスター プランを申請して獲得し、2017 年度に卒業研究にて試作、性能試験ののち、2018 年度に 8 台を量産した。そして 2019 年度、機械工学科 5 年の選択科目「システム制御工学基礎」にて、アクティブラーニング形式にて活用した。22 名の学生が受講し、一班 2~3 名の合計 8 班構成で実施した。学生達はグループワークにより、1) 古典制御則による振子の制振制御、2) 現代制御理論による倒立振子の、2 つの課題に取り組んだ。本報では、用いた装置、授業内容、および成果について報告する。

## 2. 実験装置

図 1 に、本講義で使用した実験装置を示す。持ち運びや交換をしやすくするために、単軸ステージは独立させ、コネクタを用いて結合できるようにした。図 1 の下側に示したステージは、AC サーボモータを用いてベルトにより水平方向に駆動でき、ステージ両端には限界センサとしての近接センサを設置した。台車に取付けた振子には、エンコーダを同軸に設置し、振子の角度情報を取得できるようにした。図 1 の上側に示した制御盤は主として、コントローラである PLC、AC サーボドライバ、表示器（プログラマブルターミナル）、DC

電源、スイッチングハブから成り、PLC の右側面には、振子のエンコーダ信号取得用の拡張ユニットが付いている。AC サーボドライバは、超高速通信システムである EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) と呼ばれる産業用オープンネットワークにより PLC と接続し、高速・高精度な位置決めや速度制御などが可能である。また、表示器と PLC とは EtherNet/IP 通信を行い、入出力や制御量のモニタリングなどができる。これらの PLC などの制御機器を、それらの背面にてアルミ板に固定しており、表示器の上部に空けた取手を持って片手で運搬できる。表 1 に、主な構成部品のリストを示す。

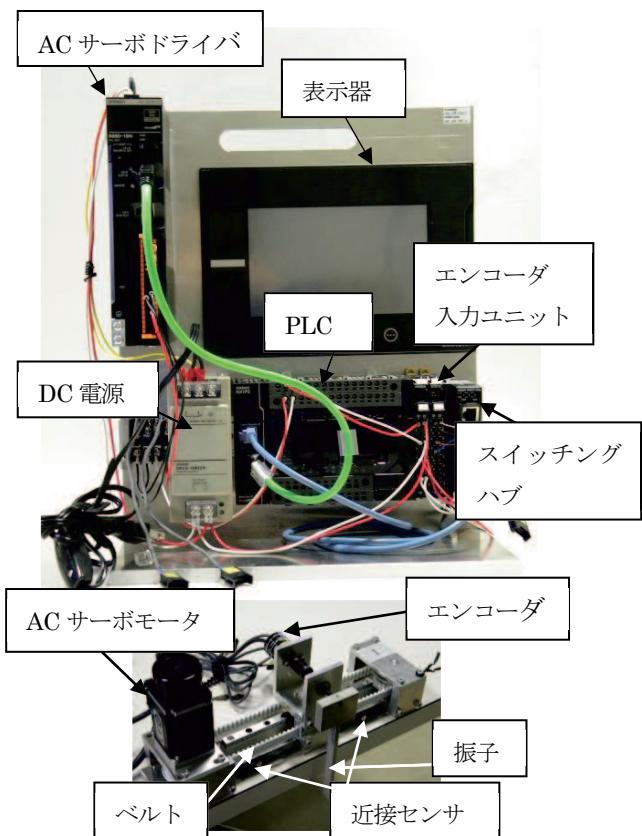


図 1 単軸ステージ実験装置

表 1 単軸ステージ主要部品

No.	品名	型式
1	PLC	NX1P2-1140DT
2	AC サーボモータ	R88M-1M10030S
3	AC サーボドライバ	R88D-1SN01L-ECT
4	動力ケーブル	R88A-CAKA003S
5	エンコーダケーブル	R88A-CRKA003C
6	スイッチング・パワーサプライ	S8VS-09024
7	産業用スイッチングハブ	W4S1-03B
8	産業用イーサネットケーブル (EtherCAT)	XS6W-5PUR8SS50CM-G

9	表示器	NA5-7W001B
10	I/O 電源追加供給ユニット	NX-PF0630
11	インクリメンタル型 ロータリエンコーダ	E6A2-CW5C 500P/R 0.5M
12	インクリメンタルエンコーダ 入力ユニット	NX-EC0112
13	フラットタイプ近接センサ	TL-W3MC2

使用した PLC およびサーボモータの、主な仕様は以下の表 2, 表 3 に示すとおりである。

表 2 PLC (NX1P2-1140DT)の仕様 \*1

項目	仕様
通信用コネクタ	Ethernet/IP 用 RJ45×1 EtherCAT 用 RJ45×1
NX バスコネクタ	NX ユニット 8 台増設可
オプションボードスロット	2 個
プライマリ周期	最小 1ms
制御軸最大数	12 軸
電源電圧	24V
内蔵 I/O	入力 24 点 出力 16 点

\*1 オムロンホームページの仕様より引用

表 3 サーボモータの仕様 \*2

項目	仕様
電源電圧	AC100V
定格出力	100W
定格トルク	0.318Nm
定格回転数	3000r/min
最大回転数	6000r/min
瞬時最大トルク	0.95Nm
定格電流	1.5A(rms)
瞬時最大電流	4.7A(rms)

\*2 オムロンホームページの仕様より引用

ステージは、モータ軸に取付けたプーリによるベルト駆動であり、プーリの歯数は 24、ベルトの山の幅は 5mm であることより、モータ 1 回転でステージは 120mm 移動する。したがって表 3 の定格回転数より、ステージの最高速度は 6m/sec となる。ステージに与えることができるモーション命令として速度制御命令があり、本実験装置にて取扱う振子の制御においては、PLC より速度を制御入力として与える。したがって、線形制御則を適用する場合は、制御入力値がこの最高速度を超えないことを確認する必要がある。また、サーボモータ用エンコーダは 23 ビットであるので、約 0.143μm の位置決め精度を持つ。

一方、振子に取付けたエンコーダは、表 1 の No.11 より 500P/R (pulse/rev) であるので、4 通倍して用いると、2000P/R である。PLC のプライマリタスクはデフォルト値が 2ms であり、変更せずに用いた場合、振子の回転角速度の分解能は、

360 度/2000/2ms = 90 度/sec となる。振子の制振制御や倒立振子の制御を考えた際、この分解能では不十分のように思われたが、それほど大きな支障はないことを、5 章に示す実験より確認した。

### 3. テキストの内容

本講義で用いたテキストは、沼津高専にて E-learning システムとして運用するフリーソフトウェア Moodle に掲載し、学生が自由にダウンロード、閲覧できるようにした。また、各制御機器のマニュアルを、オムロンのホームページよりダウンロードし、同じく Moodle に掲載した。さらに、最終課題である倒立振子の制御用プログラムを作成する際の参考として、著者がオムロンにて研修を受けた 2013 年度に、高専教職員を対象とするセミナ用に作成したテキストファイルも同様に掲載し、学生に利用させた。

本授業用に作成したテキストは、以下の章にて構成した。この内容は、振子の制御に至るまでの手順書となっており、この順で自学自習を進めれば、PLC や表示器の未経験者であっても、課題が達成できるような構成とした。

#### 第 1 章 実習機材・開発用ソフトウェア

#### 第 2 章 PLC・表示器との接続・初期設定

#### 第 3 章 表示器の画面作成

#### 第 4 章 プログラミング

#### 第 5 章 モーション制御

#### 第 6 章 MATLAB® / Simulink® を用いた FB (Function Block) の作成

#### 第 7 章 倒立振子の制御

#### 付録 1 振子のモデリングと制御

#### 付録 2 最適レギュレータを用いた制御系の設計

テキストの冒頭では、装置に用いている制御機器および、プログラミングに用いるソフトウェアの紹介や特徴を述べた。また、制御機器の接続ができるように、配線についてもオムロンのマニュアルを適宜引用して説明した。なお、ここで用いた PLC (NX1P) には、デジタル IO が内蔵されており、入出力機器を接続できる。しかし、装置のスペースや製作の手間を考慮し、それらをあえて使わず、表示器で代用した。したがって、ラダープログラムなどに用いるスイッチやランプ類は、表示器に構成することとし、テキストの最初の方に説明を設けた。スイッチやランプ、センサなどを別途準備すれば、それらを用いた学習への拡張も容易である。

テキスト後半では、ラダープログラムの基本的な入力方法やモーション制御のための基礎となる FB を簡単に紹介した後、第 6 章からの MATLAB / Simulink を用いた FB の作成手順を、パソコンのスクリーンショットを多く掲載して、詳

細に説明した。ここで取り上げた単振子の制振制御は、次章で述べるように、振子の角度信号のみをフィードバックすることで、振子運動の減衰効果を生じさせる、非常に簡単な制御システムの事例である。手順に従って操作すれば、制御理論を把握せずとも、制振実験を試すことが可能である。

テキストの最後の付録は、主として学生のレポート作成時の自主学習用に掲載した。ここを学習することで、第 7 章の倒立振子に必要な、必要最小限の現代制御理論を学ぶことができる。

#### 4. 制御対象のモデリングおよび制御則

制御器の設計においては、制御対象のモデリングが最も重要なと言つても過言ではなく、モデリングが実機における制御性能を左右する。しかし本授業においては、MATLAB / Simulink を用いて設計した制御器を PLC に実装し、ラダープログラム上で用いるための方法に主眼を置く。したがつて簡単のために、振子のモデリングは粘性や摩擦を考慮していない。その結果、実機における制御性能はシミュレーションとは大きく異なるが、振子がなぜ制振効果を得るのか、その理解と実機を用いた確認に留めることとした。

図 2 に、台車の加速度制御による振子の制御モデルを示す。各記号の意味は、以下のとおりである。

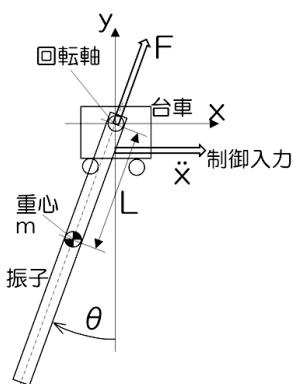


図 2 振子の制振モデル

$m$  : 振子の質量

$X$  : 台車の位置

$F$  : 振子の回転軸に作用する力

$L$  : 振子の回転軸から重心までの距離

$\theta$  : 振子の回転角度 (時計回りが正)

台車の動きは、AC サーボモータにより正確に制御されるので、制御入力は台車の角速度  $\ddot{x}$  で与える。このとき、振子の重心座標は以下の式で与えられる。

$$(x - L \sin \theta, -L \cos \theta) \quad (1)$$

したがつて、減衰や摩擦を無視すると、運動方程式は式(2), (3)のように書き表される。 $g$  は重力加速度である。

$$x \text{ 方向} : m \frac{d^2}{dt^2} (x - L \sin \theta) = F \sin \theta \quad (2)$$

$$y \text{ 方向} : m \frac{d^2}{dt^2} (-L \cos \theta) = F \cos \theta - mg \quad (3)$$

これらより  $F$  を消去すると、以下の非線形微分方程式が得られる。

$$\ddot{\theta} = -\frac{g}{L} \sin \theta + \frac{\ddot{x}}{L} \cos \theta \quad (4)$$

$\theta$  が微小であるとして線形化すると、以下の式となる。

$$\ddot{\theta} = -\frac{g}{L} \theta + \frac{\ddot{x}}{L} \quad (5)$$

この式から、初期値  $\theta(0)=\theta_0$  を与えたとき、フィードバックゲインを  $k_d$  として、

$$\ddot{x} = -k_d \dot{\theta} \quad (6)$$

とすれば減衰効果が得られ、振子が制振できることが分かる。ただし、PLC に実装できるコントローラには、台車、すなわち AC サーボモータの加速度を直接制御する機能はない。しかし、速度を制御する機能は兼ね備えている。そこで、式(6)の両辺を一階積分し、式(7)のように振子の角度を速度指令値としてフィードバックすれば、振子の角速度をフィードバックして台車の加速度を制御した場合と同様の効果が得られる。

$$\dot{x} = -k_d \theta \quad (7)$$

すなわち、本制御装置を用いて学生達が最初に構築する制振制御器は、振子の角度信号を定数倍するだけの、最も簡単な制御器である。

#### 5. 制御器の実装

前章で説明したように、ここで用いる制御器は、振子の角度という物理量を定数倍するという、1 回の乗算をするのみである。したがつて MATLAB による制御系の設計や Simulink による制御効果の検証はほぼ不要であり、ラダープログラム用に準備された既存のファンクションや、ST (Structured Text) 言語により容易に記述できる。また、乗算する定数値を試行錯誤により与えれば、適切な制振制御が達成できる。しかし、ここで説明する一連の操作を習得すれば、複雑な制御器も全く同様の手法を用いて、PLC への実装が可能である。図 3 に、Simulink にて作成した制御ブロック線図を示す。

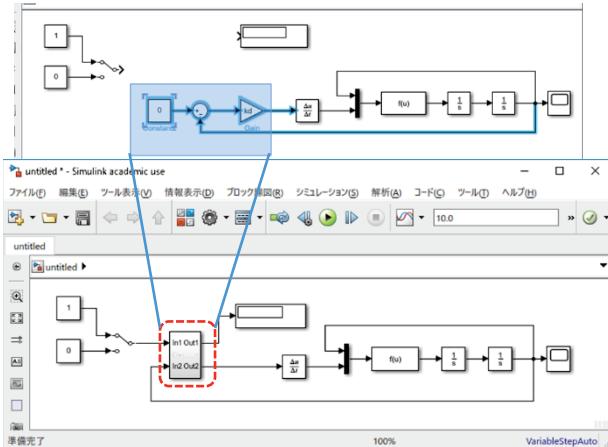


図3 制御用 Simulink ブロック線図

図3上側の、長方形に選択した部分が制御器である。振子の目標角度を正方形の定数ブロックにてゼロと設定し、制御対象からの信号との差分を、三角形の乗算器に与える構造である。この部分をサブシステム化したものを、図3の下側に示す。破線部がサブシステム化された部分であり、図には表示されていないが Subsystem1 というデフォルトの名称が付けられている。このサブシステムを、Simulink PLC Coder<sup>®</sup>を用いてコード変換し、Sysmac StudioにてFBとして使用する。テキストから引用した制御用ラダープログラムを図4に示す。図中の5行および7行目にある Subsystem1 が、コード変換して得られたFBであり、Simulinkでの名称と同一のFB名が付けられる。振子の角度 angle を入力し、台車の速度 Velocity を出力する。5行目のFBは、ラダーが開始された直後に、初期値を計算するために1回のみ実行され、それ以降は7行目のFBが実行されるよう、ラダープログラムが組まれている。以下、ラダープログラムの解説の、テキストからの引用である。

0. SW1 が ON すると、サーボ ON して GRN が点灯する。
1. GRN が点灯中に SW2 が ON すると、原点復帰する。
2. 振子の角度 MC\_Axis001.Act.Pos および角速度 MC\_Axis001.Act.Vel をそれぞれ、angle, ang\_vel に代入する。
3. SW3 が OFF の場合、Velocity に 0.0, Smv\_Ex に FALSE, need\_init に TRUE をそれぞれ代入する。
4. need\_init が OFF(FALSE) の場合、end\_init にジャンプする。
5. 角度 angle を用いて、制御器 Subsystem1 により制御入力 Velocity を計算する。なお、ssMethodType の値 0 は、制御器の初期処理を意味し、プログラムが開始された最初の1回のみ実行する。

6. need\_init に FALSE を代入する。
7. 5行目と同様である。ただし、ssMethodType の値 1 は、初期処理後の2回目以降の処理をここで行うことを意味する。
8. Smv\_Ex に TRUE を代入する。
9. Velocity = Velocity × kd を計算する。
10. SW3 が ON でかつ、Smv\_Ex が ON した瞬間に MC\_SyncMoveVelocity を起動し、Velocity を目標値とする速度制御を行う。
11. SW2 または SW3 が OFF になった（接点が立ち下がった）とき、モータを停止する。

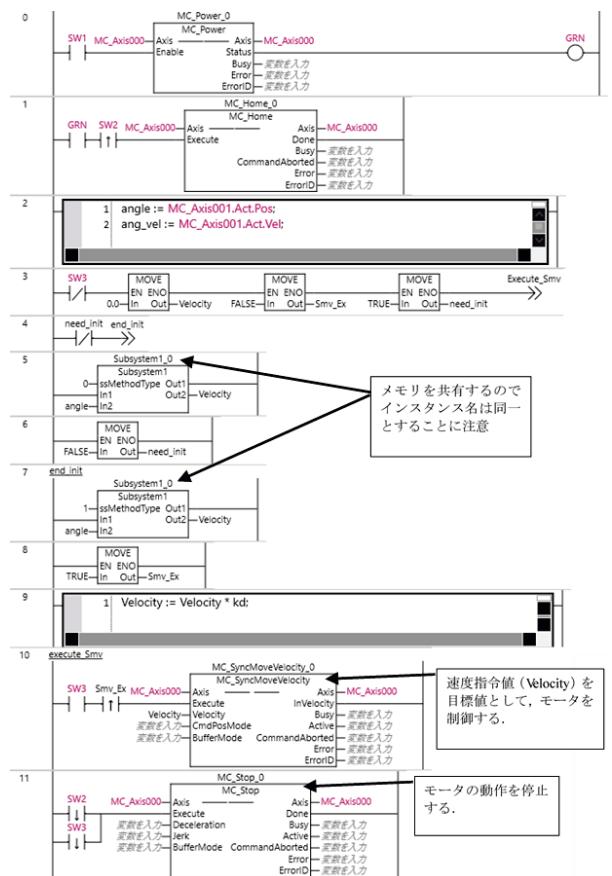


図4 制御用ラダープログラム

## 6. 制御実験結果(模範例)

図5に、前述した制御器を用いた、振子の制振実験結果の模範例を示す。鉛直下方向にぶら下がった角度を0度としている。まず、制御効果を確認するための比較用として、初期角度を約30度として自由振動させた際のデータを取った。角度信号を青(細線)、台車の位置を茶(太線)で示す。減衰して静止するまでに、およそ7秒かかっている。続いて再度、振子を初期角度30度まで引き上げ、角度信号をフィードバックして制御を行った。図5(a)および(b)はそれぞれ、図

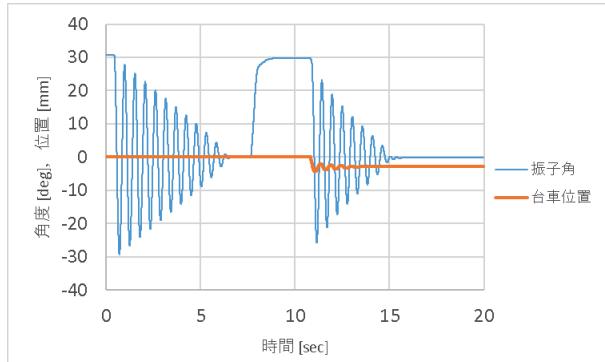
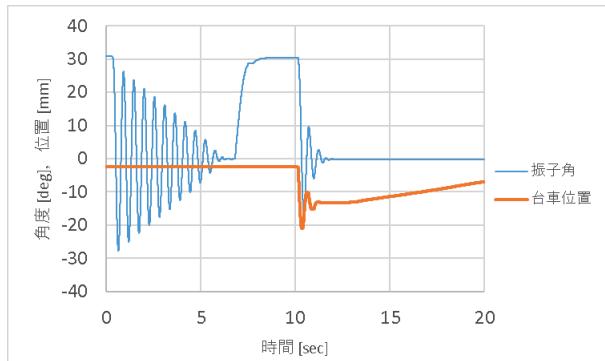
(a)  $kd = 1$ (b)  $kd = 5$ 

図 5 D 制御による振子の制振実験結果

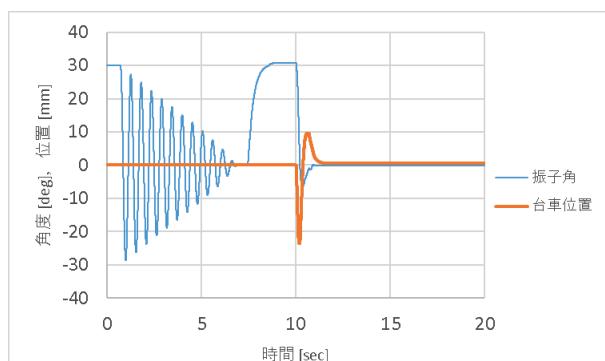


図 6 LQR による振子の制振実験結果

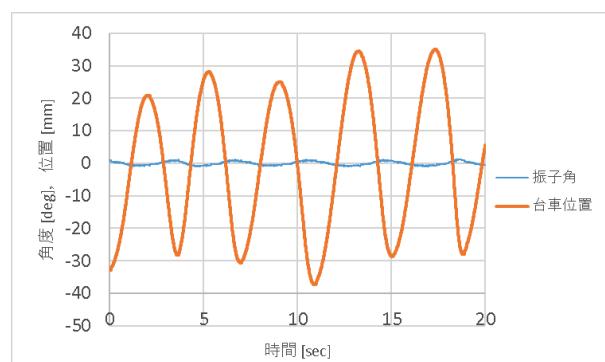


図 7 倒立振子の実験結果

3 および図 4 のフィードバックゲイン  $kd$  を、1 および 5 としたときの結果である。(a) に比べて (b) は制振効果が大きく、短時間で振子が静止していることが確認できる。しかし、角度のみフィードバックした結果、(b) は台車の速度がゼロにならず、動き続ける結果となる。ここで学生は、一入力一出力しか扱えない古典制御の限界を体験することとなる。

次に、振子の角度および台車の位置の 2 つの物理量を、同時にゼロに収束させるために、LQR (Linear Quadratic Regulator: 最適レギュレータ) を用いて制御系の設計を行った。その際、振子の角度および角速度、台車の位置および速度の、4 つの物理量を状態量としており、それらはすべてセンサ出力信号として実測値を取得できる。したがって、状態量を推定するためのオブザーバは使用せず、実測値を用いた状態フィードバック制御を行った。図 5 と同様の実験を行った結果を、図 6 に示す。振子の角度および台車位置が共にゼロに 2 秒程度で収束していることが分かる。

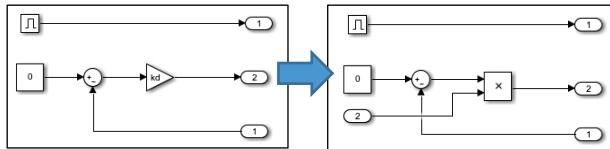
最後に、倒立振子の制御実験結果の例を図 7 に示す。制御則は図 6 の制振と同様の LQR である<sup>[5]</sup>。振子の回転軸に生じる摩擦の影響を受けて、台車が左右に約 30mm 摆れるが、安定した倒立制御が維持できていることが分かる。

## 7. 自主学習のための課題

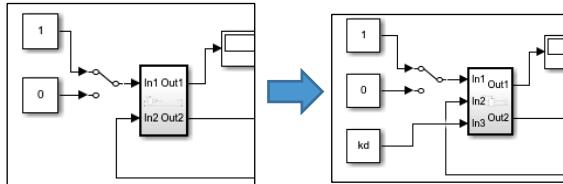
テキストにしたがって自主学習を進めるに際し、その動機付けとして各章に問題を準備した。問題は合計 8 題あり、最終章の問題は前 6 章で示した、振子の制振および倒立制御である。それらを授業の冒頭で学生に説明し、学生達はそのゴールを目指して、周辺機器の使い方やプログラミング手法を、テキストやマニュアルを用いて主体的に学ぶ、アクティブラーニング形式で授業を実施した。以下に、学生から最も質問の多かった問題の例を示す。

**練習問題⑦：**6-5 で作成したプログラムでは、フィードバックゲイン  $kd$  をインライン ST にて用い、Velocity に乗じていました。そのインライン ST の行を消去し、代わりに、Simulink ブロックからコード変換して作成する FB に、もう一つの入力端子「 $kd$ 」を設け、その  $kd$  がフィードバックゲインとして作用するよう改良しましょう。その際、 $kd$  を表示器から与えられるようにしましょう。

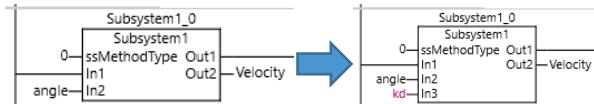
この課題を達成するにはまず、図 3 に示す Simulink の制御ブロックにおいて、コード変換する制御器 Subsystem1 の内部を図 8(a)のように修正する。このとき Subsystem1 は、図 8(b)に示すように入力端子が増え、 $kd$  を外部から与えられるようになる。このサブシステムをコード変換すると、図 8(c) のように、FB の入力として  $kd$  が設定できるように変化する。ここで  $Kd$  が赤色になっているのは、グローバル変数で



(a) Subsystem1 内部



(a) Subsystem1 外部



(c) ラダープログラムにおける FB

図 8 練習問題⑦における Subsystem1 の修正例

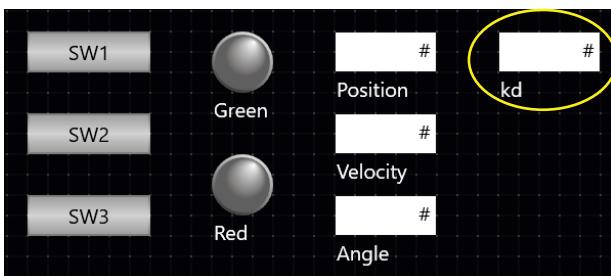


図 9 表示器画面作成例

あることを意味する。この  $kd$  を、表示器から与えられるようにした例を、図 9 に示す。なお、SW1～3 はオルタネートスイッチ、Green と Red はビットランプであり、Position, Velocity はモーション用 FB への指令値入力、Angle は振子角のモニタ用である。これらは、練習問題⑥までの実施において作成する。

## 8. 授業内容および実施の様子

2019 年度の前期に、15 回の授業を実施した。教員からの講義形式の説明は最初の 2 回分のみであり、原則、授業中は学生が資料を見ながら、班ごとにそれぞれのペースで実施する形態とした。教員は同室で待機し、学生の質問やトラブルに適宜対応した。多くの班が共通して自力で解決できない事項については、全体に解説する時間も設けた。

図 10 に、授業中のグループワークの様子を示す。最初はグループ内で実施していたが、後半になるにつれて、グループを超えて相談したり助け合ったりする様子が見られた。また、倒立振子の制御に必要な現代制御理論は、講義では全く扱っていないが、実験を行う際、教員に熱心に質問してくる



図 10 授業の様子

学生が現れた。動機付けが具体的であれば、学習意欲は自然に生まれることが感じられる授業となった。

## 9. 実施結果および評価

本授業は選択科目であり、機械工学科 5 年生 39 名の学生のうち、22 名が受講した。提出された課題や期末試験の結果より、19 名が授業目標の 7 割を達成し、そのうち 7 名がほぼ 10 割に近い達成率であった。以下、授業後に学生に書かせた、授業の良い点、悪い点の主なものを挙げる。

### 良い点：

- 学生が受け身にならず、自ら学んでいる。
- チーム内で試行錯誤し、思ったとおりに動くと非常に大きな達成感が得られた。
- チームと協力する中で、自分では思いつかない考え方を学ぶことができた。
- 自分のペースで進められるので、分からぬところを、じっくり時間をかけて理解できる。
- 自由的に学スタイルであったことで、楽しく学べ、覚えやすかった。
- 新しい知識を、自分で考えながら身に付けることができ、できることができが広がったのが嬉しかった。
- 分からないときには、他のチームとの協力ができた。

- 資料を自分で調べ、自分たちで工夫することができた。
- コミュニケーション能力の向上が実感できた。
- 実験的な内容を、チームの人と協力して進めていくのは楽しかった。
- 将来、生産技術関連の仕事に携わると思うので、とても参考になった。
- 意欲がなければ目的は達成できない、ということを痛感できた。自学自習の大切さが分かった。
- 目の前で物が動くので、座学より理解しやすかった。
- 自由な雰囲気の授業で、先生に質問しやすかった。
- つまずいたときの試行錯誤などを通じて、問題解決能力が養われた。
- 先生に頼らず自力で解決することも多くあり、自信になった。
- 制御の教科書には載っていないような、実務的なことが学べた。
- チームでスケジューリングして進めることができ、計画の大切さがわかった。

#### 悪い点：

- 学生数に対する指導者が不足しており、学生の質問に迅速に対応できていない。
- 途中でつまずくと、進まなくなる。
- 課題を、自宅で進めることができない。
- 時間不足で、課題が最後まで終わらなかった。
- 課題が達成できず、物足りなさが残った。
- チームの中に優秀な人がいると、その人に頼ってばかりになる。
- チームの中に、学習の差が出た。
- チームの中に役割分担があると、誰かが休んだときに進まなくなる。
- テキストがマニュアルのようになっているので、その作業が何を意味するのか、理解できていないことがあった。
- 基礎的な制御の内容が分かっていない者には少し辛い。
- プログラム例が載っていたが、理解が追いついていないと丸写しになり、十分身に付かない。
- チームの能力等によって、進捗度が大きく違っていた。
- Q&Aを共有できる環境があると良かった。
- 参考になる教科書が欲しい。
- 頑張ってもできないとき、あきらめたくなる。
- 諸設定が間違っていてつまずくのは、もったいない気がする。
- 1回授業を休むと、チームの人について行けない。
- 装置が3人に1台なので、各自の課題が実施しづらい。

#### 10. 結言

2019年度の前期、機械工学科5年生を対象に、PLCと表示器、およびACサーボにより駆動する単軸ステージと振子を用いて、制振制御の実装を題材にアクティブラーニング形式の授業を実施した。1チーム2~3人構成とし、グループワークによる課題解決を目指した。その結果、振子の制振は全チーム、倒立制御は3チームが成功した。学生からは、主観的に学ぶので知識が定着し、楽しいとの感想が寄せられた。次年度は、学生からの「悪い点」をできる限り改善する。具体的には、多くが進捗に関する意見があるので、毎週実施内容をまとめた日誌を提出させ、その内容を教員が確認し、翌週に進捗の遅れている班を重点的にサポートする。また、それぞれの制御機器の設定や操作の意味をテキストに加え、獲得した知識の応用性を向上させた内容に改善する。さらに、学生が学習意義をより具体的に持てるように、天井走行クレーンへの技術として応用できる、搬送制御の実装を新たに加えることを考えている。

#### 参考文献

- [1] 三谷, 谷塙, 岸, 西, オムロン株式会社での教員研修におけるPLCを活用した制御機材開発, 沼津工業高等専門学校研究報告 第49号, pp.1-6, (2015)
- [2] 三谷, 谷塙, 堀, 金田, 高難易度な生産技術コンテストによるPBL型次世代技術者養成プロジェクト, 公益社団法人日本設計工学会 学会誌「設計工学」Vol. 51, No.10, pp.737-746, (2016)
- [3] Y.Mitani, H.Tanino, Y.Kami, T.Kojima, T.Sato, Y.Iwano, Educational Training Program for the Manufacturing Control System Using the New Type of Programmable Logic Controller Sysmac NJ, The 9th International Symposium on Advances in Technology Education, (2015)
- [4] PLCopen for efficiency in automation  
<https://www.plcopen-japan.jp/> 2019年10月21日参照
- [5] 三谷, 佐藤, 谷塙, 次世代PLCの新たな活用方法を学習するための可搬性を有する倒立振子制御装置の開発, 公益社団法人日本設計工学会 学会誌「設計工学」, Vol.50, No.12, pp.662-667, (2015)