

マイクロ PLC を活用したアクティブラーニングの試行

—PID 制御器の実装を課題とするシーケンス／フィードバック制御の融合—

三谷祐一朗^{*1}, 藤沼謙斗^{*1}, 西由季央^{*2}

Active Learning by Using the Micro Programmable Logic Controller
—Integration of Sequence and Feedback Control in the Class of Design
and Implementation of PID Control System—

Yuuichiroh Mitani, Kento Fujinuma, Yukio Nishi

The class of active learning style was conducted in the department of mechanical engineering, 5th grade. The participating students worked on the assignment which is; “Design and implement a PID controller to the PLC (Programmable Logic Controller) to control the rotational speed of the DC motor”. The PID controller is widely applied in manufacturing control systems, and uncountable PLCs are installed for high-efficiency automation. The training of the engineers who are highly skilled in both the PID controller and PLC is required in a variety of industries. In this active learning class, the educational tool utilized was the compact learning system of sequence control. The system was developed only for the learning of the sequence control last year. But the PLC installed in the learning system, named CP1E produced by Omron Corporation, is a kind of a micro PLC which has two attractive functions in addition to the conventional sequence control. One of them is a generation of the PWM (Pulse Width Modulation) waveform, and the other is a high-speed pulse counter. Moreover, the CP1E can be utilized as a PID controller by itself. The combination of these functions makes it possible to apply the system for the rotational speed control of the DC motor. But the PID control function of the CP1E is originally provided for slow response system such as a thermal control. It means that many difficulties would appear in order to implement the PID control system of the DC motor. This is something that surely does provide a prime opportunity to the participating students in the class for solving this possibly occurring situation.

Key Words: Active learning, Programmable logic controller, PID control, DC motor, Sequence control

1. 緒言

近年, 高専教員を対象とする研究集会においては, 必ずアクティブラーニングに関する話題が取り上げられ, その具体的な実践例が数多く報告されている^[1]. 学生自身が, 学習内容の明確な意義を認識し, 自主的に学習するスタイルは, 教育内容に関する学生相互の協力が自然に生まれ, 学習したことの確実な理解と定着が期待できるといえる. 一方, AI (Artificial Intelligence) が急速に生活や仕事に利用されはじめた現代社会において, 教育機関における学習内容は, 解法をトレーニングするような記憶を重視する内容から, 自主性

や創造性を育む内容の移行が求められると考えられる.

平成 29 年度, 機械工学科 5 年次の前期科目として開講された「システム制御工学基礎」において, アクティブラーニング形式の授業を試みた. 4 年次の開講科目, 「制御工学」にて学習した PID 制御系の設計を, DC モータの回転速度制御に適用し, その制御効果を検証するという課題を設定して, 実機を用いて行った. ハードウェアとしては, 平成 27~28 年度にかけて, 学科横断型 PBL (Problem Based Learning) 制御教育および, 中学生対象の体験授業用として開発した, 小型のシーケンス制御教材を利用した^[2]. それに伴い授業においては, オムロン株式会社 (以下, オムロンと称す) の PLC (Programmable Logic Controller) プログラム開発ソフトウェア CX-Programmer および, プログラマブルターミナル (オムロン NB シリーズ) 用の開発ツール NB-Designer を用い

*1 機械工学科 Department of Mechanical Engineering

*2 オムロン株式会社 Omron Corporation

た。また、制御システム開発用として、Mathworks の MATLAB®および Simulink®を利用した。ここで紹介する授業内容が、他学科や他高専に参考にされることを期待する。

2. 「システム制御工学基礎」の授業内容

機械工学科 5 年次の前期選択科目「システム制御工学基礎」を、以下の内容で実施した。なお、実施内容におけるディスカッションや検討は、グループ単位で行った。また、毎週用紙を配付して、その日の実施内容を記録させた。ディスカッションを行った週は、グループごとにその内容を発表させた。用紙はすべて毎回、授業の冒頭で学生に返却して参照させ、授業の最後に回収した。

[1 週目]

- 課題の提示：「DC モータにおける速度制御（定値制御）」を行う。設計仕様を与え、PID 制御系を設計せよ。
- 3 人 1 組のグループを学生に作らせ、課題解決方法をディスカッションする。
- 教科書 (JSME テキストシリーズ 制御工学) に、DC モータのモデリング方法が掲載されていることをヒントとして伝え、制御対象としてのモデルをグループ内で検討する^[3]。

[2 週目]

- DC モータのインダクタンスが小さいとき、DC モータのモデルは一次遅れ要素と近似できることを、教科書を参考に教員が説明する。
- DC モータのモデリングに必要な定数を提示し、その測定方法および、1 週目に検討したモデルとの対応についてディスカッションする。
- 設計仕様および PID 制御系の設計方法をディスカッションする。

[3 週目]

- 制御実験に用いるハードウェアを提示し、それぞれのハードウェアの概略および使い方について、教員が説明する。
- DC モータの速度制御に用いる、PWM (Pulse Width Modulation) およびエンコーダについて、教員が説明する。
- 具体的な実験手順や方法をディスカッションする。

[4 週目]

- 制御系の安定理論（閉ループ系、極、ベクトル軌跡、ナイキストの安定判別法など）について、教科書を参考にグループ内で復習・ディスカッションする。
- DC モータの、速度制御系の設計に必要な安定理論について、レポートにまとめる。

[5 週目]

- オムロンの PLC 用ソフトウェア CX-Programmer、表示器用ソフトウェア NB-Designer、MATLAB/Simulink について、教員が説明する。
- オープンソースの e ラーニングプラットフォームである Moodle を活用し、PLC、タッチパネル、MATLAB / Simulink の基礎的な使い方のみを掲載したマニュアルを学生に提示している。学生はそれを利用し、それぞれの使い方の基本を自主学習する。

[6~13 週目]

- 課題達成のために、グループワークを実施する。

[14~15 週目]

- 総まとめとして、実験レポートを作成する。

図 1 に、授業風景を示す。学生達は、グループに関係なく相互に情報交換しながら作業を進めていた。なお、途中経過の確認および、最終成果までの手順の確認の意味で、中間・期末試験を実施した。試験には、毎回の授業で作成した記録を持込み可能とし、試験問題は、実施内容の理解度を確認するものとした。



Fig.1 Classroom view

3. 使用した実験装置

図 2 に、本授業で使用した装置全体を、図 3 に、使用した回路の詳細を示す。エンコーダのパルスを PLC にて取得し、PLC が持つ機能を用いて回転角速度を求め、PWM による DC モータの回転速度制御を行う。回路上のスイッチを、モデリング時の、モータのステップ応答の測定開始、制御パラメータの初期設定、PID 制御開始などに利用した。また、表示器を、目標回転速度の設定や現在の回転速度の表示、PID フィードバックゲインの表示や入力、回転速度の時間的推移を表すグラフの表示などに用いた。エンコーダの分解能は、

100P/R であり、4倍速して利用した。なお、図2に示した装置は、コネクタを回路から抜くことで本体と回路を簡単に分離でき、また、本体を重ねて収納することができる^[2]。

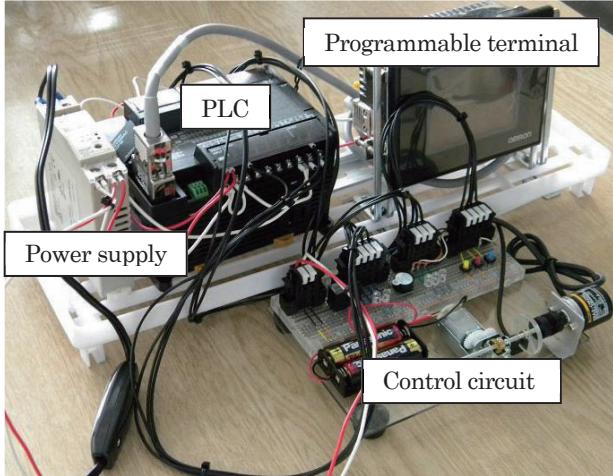


Fig.2 Developed learning system

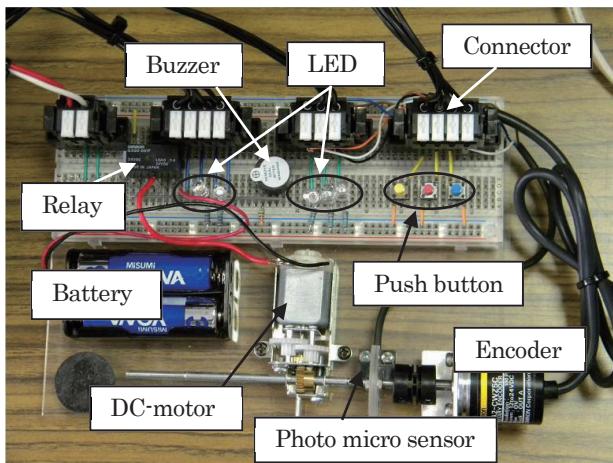


Fig.3 Control circuit

表1に、実験装置における、スイッチおよびモータの、PLCとの接続ポート番号を示す。ここで使用しているPLCは、CP1E-N30DT-D および CP1E-N40S1DT-D であり、エンコーダは、E6A2-CWZ5C 100P/R である。異なる2種類のPLCを用いたのは、2014年度、オムロンから寄贈されたものを、本制御装置の製作に充てたことによる。

Table 1 Connection ports number

Item	PLC Port No.
Red switch	1.01
Yellow switch	1.02
Blue switch	1.03
DC motor	100.01

4. PID制御実験

以下に、本授業で実施したPID制御実験までの手順および取得データの一例を紹介する。なお、ここで紹介する手順は、授業における学生のディスカッションやレポートをもとに作ったものであることを申し添える。

4. 1 DCモータのモデリング

DCモータのモデリングは、モータにデューティ比が一定のPWM信号を加え、エンコーダの信号から回転速度を、PLCを用いて取得し、その時間的変化を記録することで行う。以下に、その手法を示す。

4. 1. 1 PWM信号の生成

CP1Eは、PWM信号出力(可変デューティ比パルス出力)機能を持っている。図4の、オムロンのCP1Eのマニュアルに示されるように、PWM信号はPLCの出力ポート100.01に定められているため、表1のようにモータを接続した^[4]。図5に、PWM信号を出力するためのラダープログラムを示す。#は16進数、&は10進数を意味する。PWM命令は、信号の立ち上がりで動作を開始し、パルス出力を停止せずにデューティ比を変更可能である。ここでは、周波数を100Hz(&1000)とし、デューティ比はD1200メモリ上に20%と設定した。赤スイッチ(1.01)を押すと、PWM信号は停止する。

チャネル	ビット	PWM命令で指定	
		100 CH	
	00		–
	01	PWM出力0	
	02		–
	03		–

Fig.4 PWM signal output ports

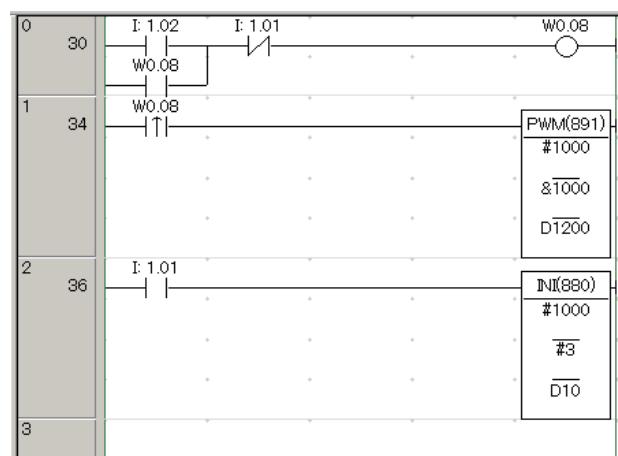


Fig.5 PWM signal generation

4. 1. 2 エンコーダ信号の検出

CP1E を用いたエンコーダ信号の検出は、高速パルスキャッチ機能を用いる。この機能により、PLC のラダー図のループ速度に無関係に、外部パルス信号を検出できる。PWM と同様に、高速パルスキャッチ機能も接続ポートが決められており、図 6 に、マニュアルからの引用（編集有り）を示す^[4]。

PLC の入力ポートの、0.00, 0.01, 0.04 にそれぞれ、エンコーダの A 相、B 相、Z 相を接続する。図 7 は、エンコーダ信号を取得するためのラダー図であり、PRV 命令を用いる。ここでは高速カウンタ入力 0 を使用（#10）し、100ms サンプリング方式（#23）で回転速度 P/sec を取得して、D100 メモリにデータを格納する。なお、高速パルスキャッチ機能を使用するためには、図 8 に示すように PLC のシステム設定を行う必要がある。ここで用いるエンコーダは 100P/R なので、

		位相差入力 (4 適倍) 加減算 パルス入力
0 CH	00	カウンタ 0 (A 相/加算)
	01	カウンタ 0 (B 相/減算)
	02	カウンタ 1 (A 相/加算)
	03	カウンタ 1 (B 相/減算)
	04	カウンタ 0 (Z 相/リセット)

Fig.6 Encoder signal input ports

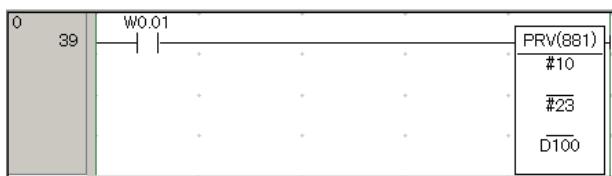


Fig.7 Encoder signal acquisition

リングカウンタ最大値を 400 に設定する。PLC システム設定を変更した場合は、PLC を再起動しなければ設定が有効にならず、エンコーダの信号が取得できない点に注意する。

4. 1. 3 データの記録

エンコーダから取得した回転速度データの記録は、ユーザ

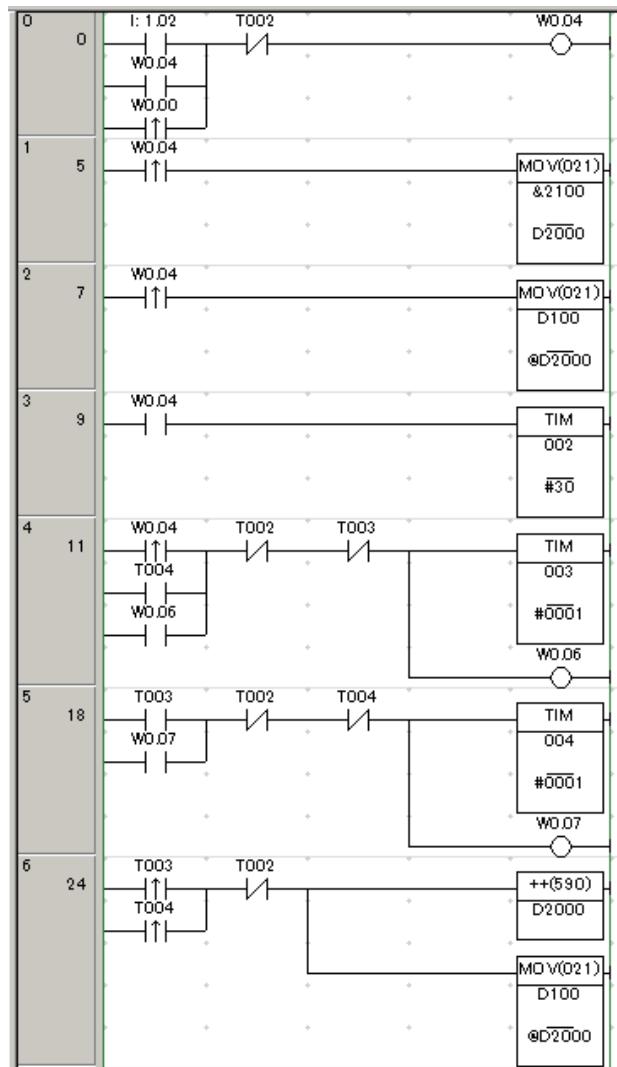


Fig.9 Data save on the PLC memories

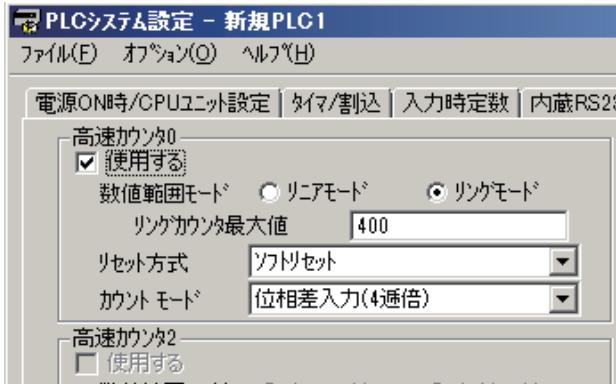


Fig.8 PLC system configuration

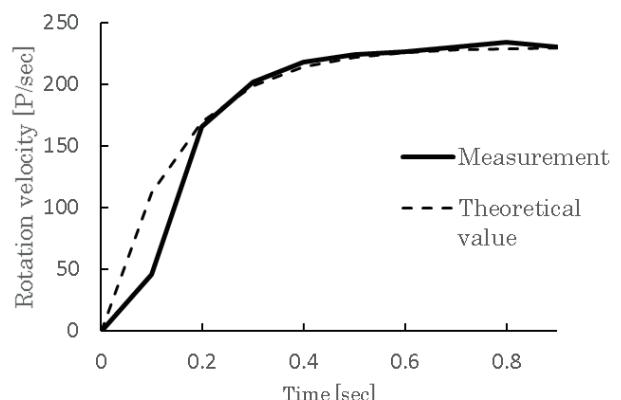


Fig.10 Step response of the DC motor

が自由に使用できるPLCのデータメモリ領域に格納し、そのデータを、CX-ProgrammerのPLCメモリモニタ機能を用いて表示させ、それをExcelに入力することで記録した。図9に、データを保存するためのラダー図を示す。MOV命令を用いて、サンプル毎にインクリメントするPLCメモリの間接指定したアドレスへ、100msタイマにより0.1sec毎のデータを3秒間保存する。黄スイッチ(1.02)が押されたら、モータにステップ信号が入力されると同時に、データのメモリ上への保存を開始する。

図10に、DCモータのステップ応答実測値と、そこから読み取った時定数0.15、最終値230を用いて計算した、一次遅れ系におけるステップ応答の理論値とを比較した結果を示す。実験データは、5回測定を行った平均値である。0から0.2秒までに違いが見られるが、それ以外の応答はほぼ一致した。実験データにおける立ち上がり波形から、ここで用いているギアボックスの付いたDCモータは一次遅れ系ではないと考えられるが、ここでは簡単のために制御対象を一次遅れと近似し、PID制御系を設計することとした。

4. 2 PID制御器の設計

PID制御器の設計は、規範モデルとしての閉ループ伝達関数を一次遅れ系として与えることで、PID制御パラメータを決定して行う。PLCが有するPID制御機能における制御入力信号(t)は、以下の式で与えられる^[5]。

$$u(t) = \frac{100}{PB} \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right\} \quad (1)$$

ここで、e(t)は目標値との誤差、PBは比例帶 %、T_i、T_dはそれぞれ積分時間、微分時間 secである。制御対象であるDCモータの伝達関数G(s)を式(2)、規範モデルG_c(s)を式(3)のように与えれば、制御パラメータはそれぞれ式(4)のように計算される。ただし、T、KはそれぞれDCモータの時定数、ゲイン定数、T_mは規範モデルの時定数である。すなわち、制御仕様としてステップ応答の立ち上がりの早さを指定することで、PID制御系を設計する。ここではT_m=0.5 secとした。

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (2)$$

$$G_c(s) = \frac{1}{T_ms + 1} \quad (3)$$

$$PB = \frac{100KT_m}{T}, \quad T_i = T, \quad T_d = 0 \quad (4)$$

4. 3 PID制御器の実装

図11に、PID制御器を実装したラダー図を示す。PID制御器のPLCへの実装は、PIDAT命令を用いる。PIDATは指定したビット数でPID演算を行い、目標値や制御量は正の整数值で与えるため、通常はそれらの物理量（ここではエンコ

ーダから取得した回転速度：最大400P/sec：実測値より決定）を、APR命令を用いてスケーリングし、取得する。また、PIDATが計算した操作量もAPR命令を用いてスケーリン

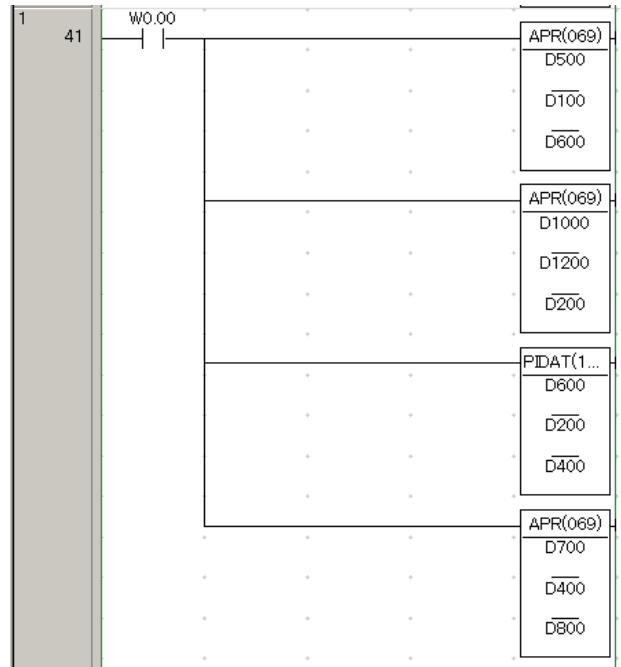


Fig.11 Implementation of the PID controller

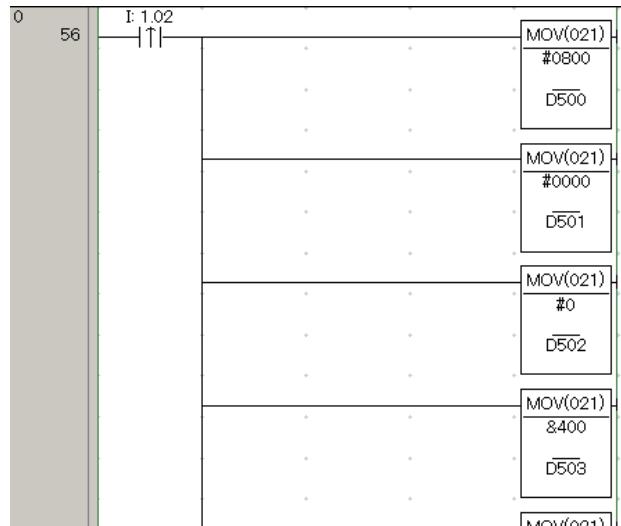


Fig.12 Preset the PID control parameters

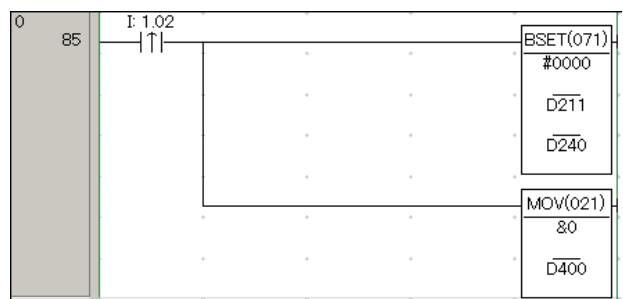


Fig.13 Zero-clear of the other parameters

グし、制御入力（ここでは PWM 信号：最大 100%）として制御対象に加える^[4]。なお、これらスケーリングをはじめとする PIDAT 命令に必要な設定値はすべて、図 12 に示すように、黄スイッチ (1.02) を押すことで MOV 命令により PLC のデータメモリ領域に与える（図 12 はその処理の一部）。その領域は、図 11 に示した APR, PIDAT 命令で指定したメモリ領域とする。また図 13 に、PIDAT 命令が制御中に使用するデータメモリ領域（ワークエリア）の、初期化処理を行うラダー図を示す。PID 制御の実行前にワークエリアを初期化しなければ、正確な制御結果が得られない。なお、PIDAT 命令における目標値フィルタは 1 ($a=0$) とした。

各データメモリ領域に与えた値を、表 2 にまとめた。ここでは、D206 にて PIDAT の入出力データを 13 ビットに指定している。D500～D504 はモータの回転速度値、D1000～D1004 は目標回転速度値を共に、0～400 から 0～#1FFF へ変換する際の APR での設定値である。また、D700～D704 は PIDAT にて計算された操作量 0～#1FFF を、0～100 (&1000 : 0.1% 単位) に変換する際の APR の設定値である。なお、PIDAT に必要な、目標値 (D200), 比例帶 (D201), 積分時間 (D202)，はすべて、表示器から入力できるようにした。

Table 2 PID control parameters on the D-memories

D	Value	D	Value	D	Value
500	#0800	206	#0515	703	#1FFF
501	#0	207	&0	704	&1000
502	#0	208	&0	1000	#0800
503	&400	209	&0	1001	#0
504	#1FFF	210	&0	1002	#0
203	&0	700	#0800	1003	&400
204	&1	701	#0	1004	#1FFF
205	#1002	702	#0		

4. 4 表示器画面の作成

図 14 に、NB-Designer を用いた表示器（プログラマブルターミナル）NB3Q-TW01B の作成画面を示す。画面左側にある 3 つのスイッチはすべてオルタネートとした。PID ON は、図 11 の w0.00 を割り当て、PID 制御の開始に用いる。Encoder ON は、図 7 の w0.01 を割り当て、エンコーダから

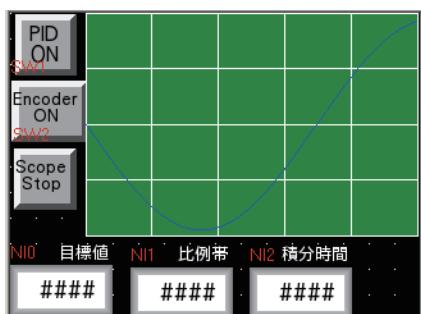


Fig.14 Programming on the NB-terminal



Fig.15 Freeze-frame configuration

の信号の読み取りを有効にする。Scope Stop は w0.02 を割り当て、表示器中央に設けたオシログラフに表示する回転速度信号の、時系列データの一時停止を行う。オシログラフのプロパティに、図 15 に示すような波形の一時停止機能があり、ここで w0.02 を指定している。図 14 の目標値・比例帯・積分時間はそれぞれ設定値を、表示器をタッチして現れるテンキーを用いて入力する。なお微分時間は、PID 制御器の設計結果（式(4)の T_d ）よりゼロのため、表 2 に示すように D203 へラダー図でゼロ (&0) を与えることとした。

4. 5 DC モータのゲイン定数の測定

図 14 で入力する積分時間を 9999 とすると、積分動作なしの設定ができる。これをを利用して P 制御のみ動作させ、DC モータの回転速度の定常値（便宜上 $y(\infty)$ と表す）を読み取ることで、閉ループ伝達関数より DC モータのゲイン定数を測定する。本来ゲイン定数は、単位ステップ応答の最終値を測定することで直接調べることができる。しかし、数値のスケーリングを行っていることや、モータを PWM 信号により駆動していること、制御量である回転速度はエンコーダによる近似値であること、ギアボックスの摩擦などの影響を受け、ステップ応答では出力値のばらつきが大きい。そこで P フィードバック制御を行い、以下の式(5)より比例帯 PB と最終値 $y(\infty)$ からゲイン定数 K を計算する手法をとる。なお、r は目標回転速度である。

$$K = \frac{y(\infty) \cdot PB}{100\{r - y(\infty)\}} \quad (5)$$

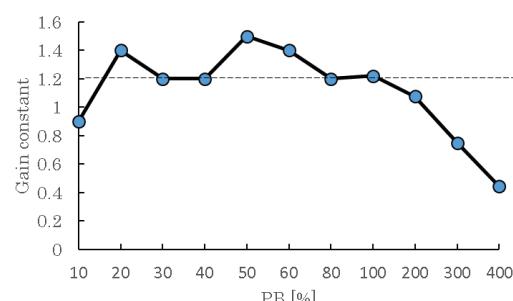


Fig.16 Measurement of the gain constant

図16にその結果を示す。PB値が大きくなると、機械的摩擦の影響を受け、モータの回転速度が落ち、正確な値が取得できていないと考えられる。この結果より、ゲイン定数をK=1.2と定め、4. 2で述べた式を用いてPID制御器を設計し、実験を行った。

4. 6 MATLAB/Simulinkによる設計・シミュレーション

図17に、Simulinkを用いたPID制御のシミュレーションを行うためのブロック線図を、図18に、MATLABのスクリプトファイルに記載した、シミュレーションに用いたパラメータを示す。PLCによるデジタル制御を行うことから、シミュレーションでは、PID制御器の入力信号すなわち誤差信号を1ステップ遅延させ、ゼロ次ホールドした。また、Simulinkにおける離散時間PID制御器においては、以下の式で制御入力を計算しており、それに合わせて制御パラメータを、図18のスクリプトファイルに示すように与えた。

$$u(t) = kp \cdot e(t) + ki \cdot \int e(t)dt + kd \cdot \frac{d}{dt}e(t) \quad (6)$$

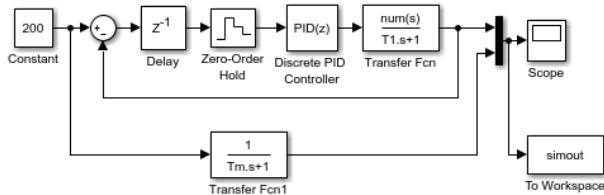


Fig.17 Simulation of the PID control

```
ts = 0.1; % Sampling time
K1 = 230; % Final value
T1 = 0.15; % Time constant
Tm = 0.5; % Time constant (Desired value)

kp = T1 / ( K1 * Tm ); % P-feedback gain
ki = 1 / ( K1 * Tm ); % I-feedback gain
kd = 0; % D-feedback gain

PB = 100 * K1 * Tm / T1; % Proportional band
Ti = T1; % Integral time
```

Fig.18 PID control parameters

4. 7 PID制御シミュレーション・実験結果の比較

図19に、4. 6で示したシミュレーション結果を、図20に、その実験結果をそれぞれ示す。破線が規範モデルの応答、実線がPID制御系の出力信号である。ほぼ同様の結果が得られており、PLCのPIDAT命令を用いたDCモータの制御は、ある程度可能であるといえる。ただし、サンプリングタイムは0.1secが最短であり、規範モデルの時定数をあまり小さく取ることはできない。また、実験結果の立ち上がりを見ると、2次以上の高次または非線形性の影響が見られる。より正確な制御を行うためには、複雑なアルゴリズムを実装できる、

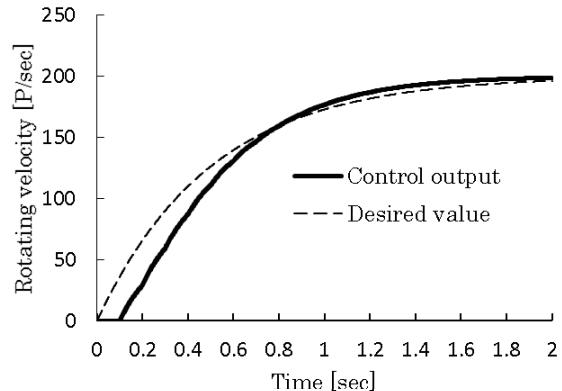


Fig.19 Simulation result of the PID control

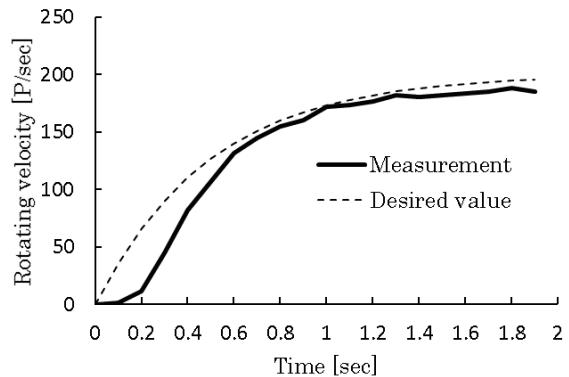


Fig.20 Experimental result of the PID control

上位機種のPLCを用いる必要があると思われる。

5. アクティブラーニング形式の授業による学習効果

アクティブラーニング形式で授業を行うことで、確かに学生の専門知識に関する理解度は向上した。それは、4年次の制御工学で講義したことを、学生自らが復習し、使いこなしている様子から感じられた。アクティブラーニングの効果や問題点を具体的に把握するために、授業後に次のような間にに対する回答を学生に書かせた。

【問い合わせ】: 本授業は、与えられた課題に対して学生が自主的に調査・学習し、課題達成を目指す「アクティブラーニング」形式で実施した。通常の講義では得られなかつた成果および改善点について述べよ。

従来方式の講義において学生が提出するレポートは、あまり文章を書かず、説明が不十分なことが多い。しかし本授業における上記問い合わせに対する回答は、多くの学生が熱心に回答してくれた。その主な回答を以下に示す。

成果

- 進捗を自己管理できるように、グループ内で自主的に予定表を作成した。

- 他の授業より、圧倒的に授業時間外で授業のことを考えていた。
- 自分のペースで進められるので、ちゃんと理解しながら次に進められた。
- 制御機器のマニュアルを自力で読む練習ができた。
- 学生が相互に学習内容を説明し合い、情報交換することで、自分自身の理解度が深まった。
- 言われたとおりに作業するだけの授業より、自分で考えて作業する授業の方が、より深く課題の意味を理解できた。
- グループ内のメンバや、他のグループのメンバとのコミュニケーションをとることで、異なる考え方につれることができた。
- 講義を受けるのではなく自分で考えて作業することで、実際に使える生きた知識や経験を身に付けることができた。
- 自分で調べたり勉強したりするので、先生に教えてもらうより自分の頭に入りやすいと感じた。
- 座学で学んだことが、身近なこととしてとらえられた。
- 勉強することが楽しいと感じられた。
- 何度も失敗しながら課題を解決するという経験ができた。
- 自分の興味が広がった。
- 通常の授業と異なり、自らアクションを起こすため、やる気が起る。

改善点

- マニュアルを充実させるか、または質問できる教員を増やしてほしい。
- 進捗がグループによって異なり、中途半端な状態で終わるところがあった。
- 授業が週 1 回なので、前回までの実施内容を忘れており、その確認のために時間がかかった。
- メンバの一人が休むと、作業が滞る。
- グループ内での作業がかみあわず、待ち時間が発生することがあった。
- 学生同士で話し合っても分らない時、講義をしてほしい。
- 分らないことがそのままになってしまふことがあるので、定期的な意見交換会のような場がほしい。
- グループ内で役割分担をすると、人によって学んだことが異なる。
- 授業とは無関係な話をすることがあった。
- 行き詰まって解決方法が見つかないと、モチベーションが上がらない。
- 明確な目標提示がないと、今何をすべきかが分らなくなる。
- 進捗状況を発表し合い、遅れているグループのサポートを進んでいる人が行うと、全体の理解度が上がると思う。
- 半期では時間が足りない。
- 他の人に頼りっきりになることがある。

上記改善点を、次年度にすべて解消するのは難しいかもしれない。対策として、授業の始めに各班の前回までの進捗を報告させ、進捗の遅れている班を進んでいる班がサポートすることを試みる予定である。また、各班の担当は決めずに、学生の自主性に任せることとする。

本報告で紹介したシステム制御工学基礎は選択科目であり、機械工学科 5 年生 37 名中 18 名が受講した。そのうち、PID 制御実験まで到達した学生は 12 名、実験結果までレポートにまとめられたのは 7 名だった。そのデータは、必ずしも制

御効果が充分検証されたものではなかったが、PLC を使った PID 制御の実装方法はよく理解できたようであった。授業後にある学生に、将来同じことを PLC のマニュアルだけを頼りにできるかと問うと、「できると思う」と、自信を持って答えていたのが印象的であった。

6. 結言

機械工学科 5 年生を対象に、オムロンの、マイクロ PLC の一種である CP1E を用いて、DC モータにおける PID 制御の実装を課題とした、アクティブラーニング形式の授業を実施した。機械工学科は、2・3 年次でプログラミングや電気のことを学び、3 年次に微分方程式、4 年次にラプラス変換や制御工学を学ぶ。本科目は、それらの集大成として取り組む事ができる。PLC やラダー図という新しいものを自主学習しつつ、学んだことを復習しながら実機を使って応用し、実用的な知識としての定着を図った。少なくとも受講学生の約 4 割に、充分な学習効果が見られた。

ここで用いた PLC が持つ PID 制御機能は本来、温度制御やタンクの液面レベル制御など、比較的応答の遅い制御を対象としている。しかし、PLC の高速パルスキャッチ機能および PWM 信号出力機能を用いて、DC モータの速度制御にもある程度適用できることができた。ここで述べた試みが他高専、さらにはオムロンにおける教育部署で、活用されることを期待する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 16K01047 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 国立高等専門学校機構、平成 29 年度全国高専フォーラム、<https://www.kosenforum.kosen-k.go.jp/> (2017 年 11 月 13 日参照)
- [2] 三谷、高矢、西、山之内、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、沼津工業高等専門学校研究報告、No.51、2017、pp.1-6
- [3] 日本機械学会、JSME テキストシリーズ 制御工学、2002
- [4] オムロン株式会社、プログラマブルコントローラ Sysmac CP シリーズ CP1E CPU ユニット ユーザズマニュアル ソフトウェア編、2016
- [5] オムロン株式会社、プログラマブルコントローラ Sysmac CP シリーズ CP1E CPU ユニット コマンドリファレンスマニュアル、2014