

## 第0回 ～はじめに～ この教材の特徴と使い方

# 0-1 はじめに

本書の基礎編に相当する実験マニュアルとして、～モータ制御基礎編～と～PID 制御の実装編～がある。前者では、最終的に ON/OFF 制御でモータの角度フィードバックを実現するのに必要な・電気部品の基礎・と・組み込みプログラミング・をイチから実習によって学習する内容だった。具体的には、

- やってみましょう 0 : ベース基板の組み立てや半田付けの学習
- やってみましょう 1 : ポテンショメータ（可変抵抗）の仕組みの学習
- やってみましょう 2 : モータを駆動することで、トランジスタの仕組みを学習
- やってみましょう 3 : H ブリッジでモータを駆動することでモータの回転方向の切り替えの学習
- やってみましょう 4 : H8 マイコンで LED を点灯することで、開発環境の構築とポートの出力の学習
- やってみましょう 5 : H8 マイコンで Dip スイッチの値を取得することで、ポートの入力の学習
- やってみましょう 6 : ポテンショメータによる角度の測定によって、A/D 変換の学習
- やってみましょう 7 : エンコーダのパルスカウントによって、割り込み処理の学習
- やってみましょう 8 : PWM 信号によるモータ駆動によって、PWM の学習
- やってみましょう 9 : モータ角度の制御によって、フィードバック制御の基礎の学習

といった内容である。

モータの角度制御において、与えられた制御仕様（制御する目的、目標など）によっては ON-OFF 制御では制御できない場合がある。例えば、「オーバーシュート無しに目標値に追従すること」といった制御仕様が与えられた場合、ON-OFF 制御では目標値と実際の値に偏差があると目標値に追従する方に方向を切り替えるだけなので、どうしてもオーバーシュートしてしまう。そういった場合、もはや ON-OFF 制御では制御できないので、他の方法を考える必要がある。

そこで続編となる～PID 制御の実装編～では、産業界で一番良く用いられている PID 制御を実装を学習した。最終的に PID 制御を実装するにあたって必要な組み込みプログラミングの基礎を学習し、最後に P 制御、D 制御の挙動をロギングデータで解析し、PID 制御についても学習した。具体的には、

### ===== タイマーの基礎 =====

- やってみましょう 10 : 一定間隔で LED を点灯させることによって、タイマーの学習  
これは、一定間隔でデータ測定することや制御周期に必要な技術となる
- やってみましょう 11 : 一定間隔で LED を点灯させる演習

### ===== シリアル通信の基礎 =====

- やってみましょう 12 : 文字を送信することでロギングデータを取得するのに必要な通信の学習
- やってみましょう 13 : DipSW の情報を送信する演習
- やってみましょう 14 : 文字の受信によって、通信の学習

やってみましょう 15 : 受信した情報によって LED を切り替える演習

やってみましょう 16 : 文字を割込受信によって受信することで、通信の学習

やってみましょう 17 : 割込受信した情報によって LED を切り替える演習

#### ===== シリアル通信の応用 =====

やってみましょう 18 : バッファを用いたデータ送信によって、バッファの学習

やってみましょう 19 : 10msec 毎にロギングデータを送信することで、タイマーと通信のまとめ

やってみましょう 20 : ON-OFF 制御のモータ制御のロギングデータをとる演習

#### ===== PID 制御器の実装 =====

やってみましょう 21 : 線形補間関数によって、データの補間の学習

やってみましょう 22 : ポテンシオメータの AD 変換値から補間関数を用いて角度に変換する演習

やってみましょう 23 : 浮動小数点による PID 制御器の実装の学習

やってみましょう 24 : PID 制御器のチューニングの学習

といった内容である。組み込みプログラミングの基礎を、実習、演習の繰り返しによって身につけるような構成になっている。また、PID 制御では、P 制御、D 制御の挙動がロギングデータだけでなく動きが見てとれるので、PID 制御の役割を理解するのに相応しい題材と言える。これは、大学などでの学生実験においての使用が可能である。

そして、本書～PID 制御の設計と実習編～で学習する内容としては、大きく2つある。一つはノイズ除去のための一次ローパスフィルタの学習。もう一つは、トルク制御による PID 制御の設計、実装、チューニングである。～PID 制御の実装編～で学習した PID 制御は、目標値に追従するように制御器が PWM 信号の Duty[%]を適宜変更してモータを駆動しており、各ゲインは試行錯誤によって決めた。PID 制御の各ゲインを設計的に求めようとすると、この PWM 方式ではあまり都合がよくない。そこで一つの方法は、電流フィードバックを構築することによって電流指示(トルク指示)ができるものとして、制御対象をモデリングして、ゲインを設計する手法がある。これが、トルク制御による PID 制御である。本書の内容は、

#### ===== フィルタの実装 =====

やってみましょう 25 : 一次遅れフィルタの学習

やってみましょう 26 : 一次遅れフィルタの実装 (浮動小数点演算)

やってみましょう 27 : 一次遅れフィルタのチューニング

やってみましょう 28 : PID 制御のチューニング (I 制御)

#### ===== PID 制御器の実装と設計 =====

やってみましょう 29 : モデルベース制御とモデリングの学習

やってみましょう 30 : モデリングとアナリシス (解析) の学習

やってみましょう 31 : 制御系設計 (PID 制御のゲインの設計の学習)

やってみましょう 32 : 電流フィードバックの実装 (整数演算を用いた PID 制御の学習)

やってみましょう 33 : PID 制御器のチューニング

やってみましょう 番外編 : トルク制御を用いた PID 制御の挙動

である。特に、今までは、組み込みプログラミングの基礎というコンセプトで、初歩の初歩から学習していくことを前提としていたので、理解しやすいという観点から浮動小数点を用いて実装してきた。しかし、通常はより安価なマイコンでより多くの処理をしたいという要求があるので、float はあまり使われない。電流フィードバックの実装は短い制御周期としたいことから浮動小数点による実装は現実的ではない。そこで、電流フィードバック制御は整数演算による実装をしている。組み込みプログラミングにおいて、整数演算の考え方は非常に重要なので、ここで学習する。

本書を用いて学習するにあたっては、C 言語の基礎を理解していることが望ましい。また、本書の基礎編に相当する実

験マニュアル～モータ制御基礎編～と～PID 制御の実装編～を学習した後に、本書を用いて学習するとより効果が得られると思われる。また、ラプラス変換などの数学の基礎、伝達関数や PID 制御などの古典制御などの基礎知識があることが望ましい。本書の中では、一部 MATLAB を用いた演習があるが、フリーのソフトである Octave を使っても問題ない。ただし、MATLAB とコマンドの互換性がある程度あるが、スクリプトを多少改修する必要があるかもしれない。尚、Octave のインストール方法については、付録にまとめてある。

# 0-2 この教材の特徴

- 【対象】 工業高等専門学校、大学学部、大学院  
企業の新人研修・組み込みプログラミング研修・制御技術研修
- 【分野】 機械系、電気系、制御系、情報系学部
- 【内容】 一次遅れフィルタの実装とトルク制御による PID 制御を実装するのに必要な組み込みプログラミングの基礎を学習する
- ・ 一次遅れフィルタ
  - ・ モデルベース制御
  - ・ 制御系設計
  - ・ 電流フィードバックの実装(整数演算を用いた PID 制御)
  - ・ PID 制御のチューニング(PID 制御の挙動や役割の体験)
- 【機材】 e-nuvo BASIC Ver.1.10 以降 (Ver.1.00 はシャント抵抗が搭載されていないため電流フィードバックができない。)