

オンライン型Global Project Based Learningの制御工学教育への応用

AE24941 石黒遼太郎

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに^[1]

PBLとはProject Based Learningの略語であり、課題解決を目的として参加者が主体的に取り組み、議論しながら推進していくことで、実践的な課題解決スキルを身に付けることができる教育手法として注目されている。これにオンラインによるコミュニケーション手段を組み合わせ、海外協定校との協同実施を行うタイプが、オンライン型Global PBL (gPBL) となる。

本稿では、キットを用いて制御理論を学んだ後、同期発電機の優れた回転数と電圧の制御を実現することを目的とし、教材と機器の紹介、そして実験内容を記す。また、オンライン上では親密な交流をすることは難しいが、地理的な制約がなくなり交流の幅が広がることや渡航などのコストを抑えられるなどといった利点が挙げられる。これらの取り組みを通じて、今後の教育プログラムの発展に寄与することを目指す。

2. 本プログラムで使用する機器, 教材

前半では基礎的な制御理論を学ぶ際にテキストとして図1の平田 光男「ArduinoとMATLABで制御系設計をはじめよう!」(Physical Computing Lab)を使用した。本書は英語版もあり、さらに本書に基づくArduinoをベースにした制御実験キットも市販されている。そのため協定校の学生達とも共通した実験を実施可能である。



図1 実験キット

後半の同期発電機の実験では、本研究室にあるモジュール型電力系統実習装置と呼ばれている機材を使用する。

図2の左側にはインバータモジュールがあり、市販のインバータへ外部から速度制御指令を入力できる。中央には誘導電動機-同期発電機モジュールが配置されており、同期発電機はインバータで制御される誘導電動機に直結される。右側には制御モジュールがあり、同期発電機の実出力電圧と回転速度を観測し、Arduinoで回転速度制御指令と励磁制御を出力する。この部分は、プログラム前半の制御設計をスムーズに理解できるように、できるだけ共通仕様としている。

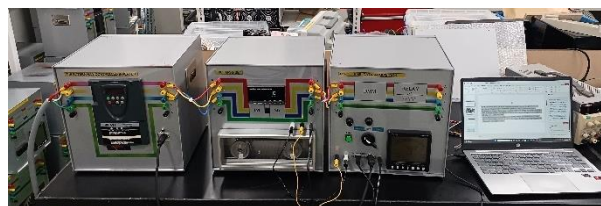


図2 モジュール型電力系統実習装置

3. プログラムの構造

参加大学は芝浦工業大学(SIT)のほか、海外協定校の4大学である。

期間は3か月で、内訳としては最初の2か月で、前章末で紹介した制御実験キットを用いて、それぞれの大学で実験を行う。週1回のオンラインミーティングでは、進捗状況を報告するとともに、動作不具合などのトラブルシューティングについて意見交換を行う。この期間を通して、制御工学の基礎を学ぶとともに、参加学生間の交流を促進する。

3か月目には、同期発電機運転の制御実験を行なう。使用する機材は本学にしかないもので、本学で実験を行い、得られたデータを協定校と共有する。そして内容の検討を協定校が行う。実験の目標は、同期発電機の定速度および定電圧での運転を実現することである。協定校では、制御工学の知識を基に最適な制御方式を検討し、実験方法やパラメータ取得について詳細に分析する。本学はオンラインで指示を受けながら実験を行い、その結果をフィードバックする役割を担う。この分担作業には高いコミュニケーション能力と語学力が求められるが、参加者は全員英語非ネイティブであり、共通の電気工学の知識があれば十分対応可能である。

4. 実験内容^[2] ^[3]

前半の制御実験キットを用いた学習では、図1のテキストに沿って以下を中心に学んでいく。

- 第1章 はじめに: Arduino, 動作環境
- 第2章 準備: インストール, MATLAB/Simulink の設定, スケッチの転送
- 第3章 ArduinoIO を使おう: 入力インターフェース, 出力インターフェース, RC サーボ
- 第4章 モータの速度制御実験をしよう: PI ゲイン調整, 限界感度法, モデルベース設計, 極指定
- 第5章 モータの角度制御実験をしよう: 伝達関数, 2次遅れシステム, ステップ応答, 極指定によるPID制御, 2自由度制御
- 第6章 Ball & Beam の実験をしよう (図4): 赤外線距離計の利用, I-PF+FF 制御器, パラメータの再同定

後半の同期発電機運転実験では、負荷変動が生じた際に、回転速度と電圧をより安定させるかである。制御方法についてはPID制御を使用した。

ただし、単独負荷の場合は、電圧が変動することで負荷の消費電力も変化して、回転速度も変化するため、それぞれの制御は完全に独立しているわけではないことに注意が必要である。

MATLABのSimulinkを用いて回転速度制御と電圧制御のモデルを作成した。計測した回転速度と電圧を、PI制御を用いて出力が目標値に追従するように制御を設計した。作成したSimulinkモデルを図3、図4に示す。

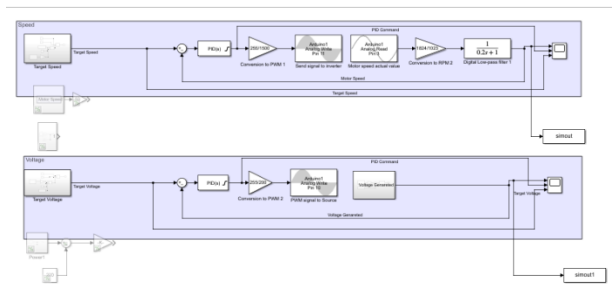


図3 Simulinkモデル(上段:回転数制御,下段:電圧制御)

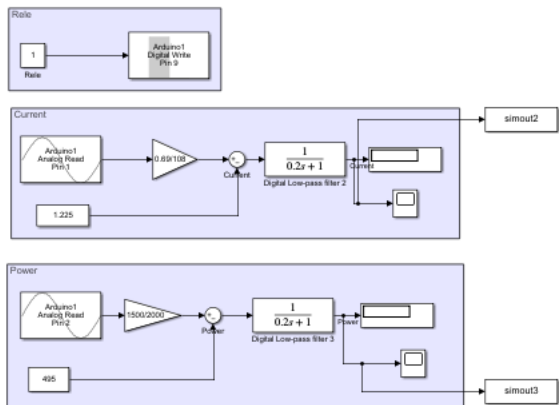


図4 Simulinkモデル(上段:リレー制御,中段:電流計,下段:電力計)

図5は得られた応答特性の例である。目標値 (オレンジ色) に対して、PID制御器により指令値 (赤色) がインバータに加えられ、同期発電機 (と直結するモータ) の回転速度 (青色) が制御されている。PID制御器に各ゲインを繰り返し入力し応答波形を比べた結果、以下のことが分かった。

比例 (P) パラメータが大きすぎると、オーバーシュートが発生し制御が振動的になる。逆に、Pが小さすぎると、目標に到達するまでの時間が遅くなり、定常偏差が大きくなる。

積分 (I) パラメータが大きすぎると、制御が弱くなり応答の速さが遅くなる。一方Iが小さすぎると、制御が強くなりハンチングが起きやすくなる。

微分 (D) パラメータが大きすぎると、制御が強くな

り急激な変化には速く対応できるが、初期の目標値への上昇が抑制され時間がかかる。Dが小さすぎると、目標値に到達するまでの時間は早いもののオーバーシュートが発生しやすくなり、急な変化に対応できない。

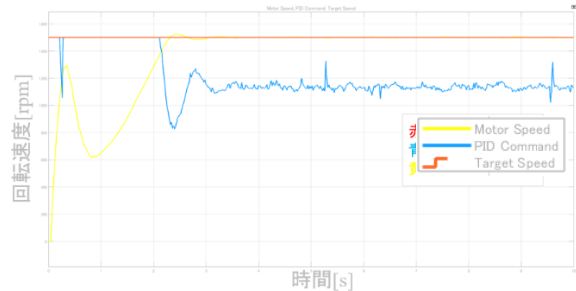


図5 応答波形

5. まとめと今後の展望

このような取り組みを通して、スムーズに進めていくには制御工学、電気工学での主要な英語の事前学習が必要となる。よって、この部分もプログラムとして組み込みことが有効である。また、実際に体験することでより身に付き、異なるバックグラウンドの人とかかわることで見分が広がり、質の高い教育手段であることから、授業の副教材としての活用も考えられる。

参考文献

- [1] 伊東敏夫, 渡邊大, 長谷川浩志「学部3年生向グローバルPBLの実践 創生設計のハノイ工科大学との共同演習」, 工学教育研究講演会講演論文集, 第66回年次大会(2018)
- [2] 武田幸男, 根岸道明「自動電圧調整器」, オーム社(2000)
- [3] 一松祥右, 藤田吾郎, 坂井直樹, 三岡功治「モジュール型電力系統実習装置の提案」, 工学教育, vol.62, No.2 (2013)
- [4] 梁元碩, 荒山莉穂, 白雲豪, 延明欽「グローバルPBLによる学生参加型授業の実践的考察」, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 日本デザイン学会 第64回春季研究発表大会(2017)