

高専におけるモーションコントロール基礎教育の試み

Basic Education on Motion Control in College of Industrial Technology

曹 梅芬¹⁾

Meifen Cao¹⁾

Abstract: Motion control means theories and technologies about the control of general motion. In 1990, the Institute of Electrical Engineers of Japan set up the Advanced Motion Control Investigation Expert Committee and held the first IEEE International Workshop on Advanced Motion Control. Since then, motion control has developed rapidly and continually. It is now greatly expected to be going to contribute to the society as a fundamental technology of industrial technology, transport technology, robotics and mechatronics. However, the motion control education in industrial colleges is more insufficient than in universities at present. Therefore, the motion control education is indispensable in industrial colleges which develop manufacturing specialists of industrial. In this paper, approaches in basic education on motion control in industrial college are reported.

Keywords: Motion control, basic education, approach, industrial college.

1 はじめに

近年、地球規模での環境問題やエネルギー問題が世界的に顕在化している。日本は資源が少なく、高齢化・少子化が進むなど多くの問題が抱えているが、一方で技術立国として世界に知られている。この技術立国日本を支えてきたのは、信頼性が高く、高品質製品を造り出すものづくり技術だと言える。ところで、製造プロセスの中では、運動が大きな役割を果たしている。「モーションコントロール」の英語表記は「Motion Control」で、直訳すると「運動の制御」であり、全般の運動の制御に関する理論と技術を意味する。モーションコントロールの研究は歴史的には比較的新しく、1990年に、電気学会で「アドバンスドモーションコントロール調査専門委員会」を設置し、IEEE International Workshop on Advanced Motion Controlを開催して以来、研究が大きく発展してきた。従来のサーボ制御技術を越えて、産業技術、ロボティクス、メカトロニクスやナノスケールサーボ制御などの社会を支える基盤技術として現在浸透しつつある。産業界のものづくりスペシャリストを育成する本高専にはモーションコントロールの基礎教育が不可欠である。

2 モーションコントロール基礎教育の試み

前述の通り「モーションコントロール」の英語表記の「Motion Control」は「運動の制御」と直訳できるが、「電気機械複合系を主とする制御対象に所望の運動を実現するための総

合的な理論および技術」⁽¹⁾と定義されている。モーションコントロールを行う際に必要な学問には物理学、電気・機械・制御工学などがあり、具体的には次に示す理論と手法⁽²⁾がある。

- 運動のダイナミクスを記述する基礎理論。例えば、運動の法則、エネルギー保存則、キルヒホッフの法則など
- ラグランジュの運動方程式によるモデル化手法
- 古典制御のPID制御法及び現代制御の外乱オブザーバー、2慣性系の制御など
- 機械エネルギー・電気エネルギーの変換を担う電気機器の駆動原理、制御法
- 多自由度の電気・機械複合系に必要な運動学 (Kinematics)、静力学 (Statics)、動力学 (Dynamics)

本学電気電子工学コースでは、4学年までに、物理学、制御(古典)工学、機器制御工学を習得しており、平成21年度第5学年対象の「応用物理」(1単位)では、モーションコントロールの基礎教育として、表1に示す内容の教授を試みた。この講義では、電気・機械複合系であるロボットに着目し、それを駆動するアクチュエータである電動機と結び付け、モーションコントロールの基礎知識を身につけさせることを目標とした。数学、物理学、制御工学で勉強した内容についても復習しながら授業を進めた。表1に授業時間毎のテーマ、時間数、内容及び演習問題をまとめる。表に示した合計26時間のほかに、中間試験2時間及び試験問題解説2時間を加えると1単位30時間の講義になる。

¹⁾東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科
電気電子工学コース

表 1: 授業内容・演習・学習状況

テーマ	時間数	内容	演習	学習状況
ベクトル, 行列演算	2	ベクトルの定義・ 演算 (特に内積・外積) 行列の演算, 逆行列	外積計算式の証明 逆行列の導出	「線形代数」で習った 内容であるが復習の 時間がより多く必要
ロボットの 力学基礎	2	力のモーメント, 角運動量保存則, 運動エネルギー	固定点で支持された 棒の支持点回りの トルクの計算	「応用物理」 で習った内容であるが 知識が不足している
剛体の 3次元 動力学基礎	2	固定軸周りの 剛体の回転, 固定点周りの運動	クレーンのアームの 角加速度・ 先端の加速度	ベクトルの微分を 分り易く説明する 工夫が必要
運動学 1 (座標変換)	4	回転行列, 同次変換行列 オイラー角, 位置・姿勢	ある空間の点 P の 各座標系での座標計算	演習の出来が良かった
運動学 2 (DH パラメータ 表記法)	2	マニピュレータの定義 DH パラメータの求め方	6 自由度マニピュレータ の DH パラメータ を求める	時間数が不足していた, 演習例題をより多く する必要がある
逆運動学	4	定義・解法 (3 自由度) ヤコビ行列	3 自由度マニピュレータ 関節角速度と手先速度 の関係を求める	演習の出来が良かった
静力学	2	仮想仕事の原理	手先にかかる力と 各関節の駆動トルク の関係を求める	トルクと力の関係に ついてもう一度復習する 必要がある
動力学	4	ラグランジュの 運動方程式	ラグランジュ法による 2 自由度系の運動方程式 の導出	時間数が不足していた, 運動エネルギーの復習 が必要
モデリング	4	1・2 自由度回転系, 回転モータで駆動 される 1 自由度直動系	バネで壁に固定された 円柱をトルク T で回転 させる場合の運動方程式	時間数が不足していた, 演習例題をより多くする

3 ゼミナールにおけるモーションコントロールの基礎教育

本研究室のゼミナール教育内容及び演習課題等を表 2 に示す。

3.1 モータ制御に関する基礎教育

機械を駆動するアクチュエータとして、もっとも使用されるのは電動機である。その利用技術を身に付けさせるために、大学の講義ではモータの構造や駆動原理・特性を中心にこれまでに行われて来たが、近年はコンピュータやマイコンを利用したベクトル制御をはじめとする高性能制御技術の内容を含めたものに移行しつつある。一方、モーションコントロール分野において、モータ制御効率の改善は使用エネルギーを削減し地球環境保全につながるため、近年注目されている。本研究室のゼミナールでは、本科のカリキュラムに含まれていないベクトル制御の基礎や PID 制御をテーマに基礎教育

を行いながら、直流モータを例として取り上げ、モデリングや外乱がある場合の速度制御などの課題を通して、卒業研究に必要とするモーションコントロールの基礎技術を身に付けさせる。

3.2 ロボットに関する基礎教育

ロボットなどの多自由度の電気機械複合系に所望の作業を実施させるには、複数関節間の協調動作を行う必要がある。その実現に、運動学、静力学、動力学の知識が不可欠である。モーション (運動) コントロール (制御) 技術は制御以外にも、動作・軌道計画が複雑な運動を実現するために欠かせない内容である。ロボットなどの多自由度の軌道計画には位置と姿勢を記述する座標系、同次変換行列、運動学、逆運動学など学生に難しいと思われるがちな内容をもう一度ゼミナールで教育している。さらに、学外のイブニングセミナーや展覧会なども活用し、研究への興味や視野を広げるような指導も心掛けている。

表 2: ゼミナール内容・演習課題 (2 単位 60 時間)

テーマ	時間数	内容	演習課題	目的・効果
C 言語	8	制御文, 関数, 構造体, ポインタ	C 言語基礎課題	シミュレーション の前に復習して おく必要がある
シミュレーション (基礎)	6	数値計算, オイラー法, ルンゲクッタ法	C 言語による RC 回路の シミュレーション	実例を用いて 数値計算への 理解を深める
シミュレーション (応用)	6	直流モータのモデル化, 2 階微分方程式 の数値解法	C 言語による 直流モータの シミュレーション	電気機械複合系 の例を用いて 理解を深める
WEB ラーニング (ロボット)	6	アクチュエータ, ビジョン, センサ, アーム, 移動ロボット	自己診断 テストの実施	動画など視覚 教材による 学習効率の向上
ロボット基礎	8	座標系, 同次変換行列, 運動学, 逆運動学	空間の点 P の座標, DH パラメータを求める	2 足歩行ロボットの 基礎の育成
制御基礎	4	PID 制御	定常偏差から P と PI 制御の違い の検証	制御の性能 評価等への理解
直流モータ の速度制御	8	速度制御設計, シミュレーション方法	P と PI 制御による 直流モータの 速度制御	卒業研究に必要な 知識や能力 を育成する
ロボット制御	4	ダイナミクス, 軌道計画	6 自由度 2 足歩行 ロボットの軌道生成 (実施予定)	卒業研究に必要な 知識や能力 を育成する
科学技術論文 の書き方	4	本やインターネット による学習	【科学技術論文の書き方】 と題する論文の作成	技術者・研究者 に必要な基礎知識 を身につける
ビデオ鑑賞	4	NHK スペシャル: ロボットカー サイボーグ	聴講感想の発表	研究への興味や 視野を広げる
学外セミナー	2	(H20)「私のロボットと ビジョンの研究」 講師: 金出武雄教授 カーネギーメロン大学	聴講感想の発表	研究への興味や 視野を広げる

3.3 成果

本研究室の学生が在学期間中に学会などで活発に研究成果の発表⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾を行った。

4 おわりに

今回は、高専でのモーションコントロールの基礎教育に関する試みについて報告した。モーションコントロールの理論や手法は学生に難しいと思われる部分が多く、特に必要とする知識として数学・物理の知識も多いため、高専のカリキュ

ラム構成の中に少ない講義時間で実施することは難しく感じた。しかし、ゼミナール・卒業研究では、少人数の教育の利点を発揮し、一定の成果が得られた。今後は教材や教育の手段・方法を更に探究し、高専のカリキュラム構成の中でも教育効果を向上するための方法を検討したい。

参考文献

- (1) 島田 明: 多自由度のモーションコントロール 運動学, 動力学, そして静力学との関係を考えて, 計測と

制御, Vol.39, 615-620, 2000 年 10 月

- (2) 島田 明: モーションコントロール, EE Text, 電気学会・オーム社, 平成 16 年
- (3) 江頭潤, 曹梅芬: 埋込永久磁石同期モータの高調波電流抑制の実験検証, 平成 20 年電気学会産業応用部門大会講演論文集 Y-36
- (4) 永松耕平, 曹梅芬: 画像情報を用いた自律移動ロボットの車線維持走行, 平成 20 年電気学会産業応用部門大会

講演論文集 Y-100

- (5) 金子和秀, 曹梅芬: 埋込永久磁石同期モータの高効率駆動法に関する研究, 第 16 回関東高専卒業研究発表交流会, 2009 年 2 月
- (6) 池田恭平, 曹梅芬: 視覚系を搭載した自律移動ロボットの開発, 第 27 回ロボット学会学術講演会, 1N2-08, 2009 年 9 月