

自動制御の理論と応用

Automatic Control

- Theory and Application -

平成 27 年

辻 峰男

まえがき

センサからのフィードバック信号を基に目標値通りに対象物を動作させる制御理論は多くの分野で使われている。飛行機やロケットが安定に運転できているのはこのお蔭である。電気で動く物（エレベータ、電車、電気自動車、ロボット、工作機械、エアコンなど）には必ずモータが入っているが、モータの電流、速度、位置を自由に操るには制御理論が欠かせない。自動車のエンジンの制御、化学プラントの温度や圧力の制御及び構造物の制御にも制御理論が役立っている。制御理論は数学と同じようにこれらの各分野に共通した学問である。

本テキストでは、ラプラス変換して得られる伝達関数に基づく**古典制御理論**(classical control)が中心であるが、**現代制御理論**(modern control)の出発点となる状態方程式についても基本的なことを述べている。古典制御理論というと、古いイメージであるが、むしろより基本的な制御理論と考えるべきである。古典制御理論は実際に多く使われているのである。本テキストでは、電気電子に関係の深いシステムを例題として多く取り上げ、具体的に判りやすく述べたつもりである。工学の立場から実際にどのように応用するかという点に力を入れて書いている。電気以外のシステムでも多くの制御対象は微分方程式で記述できるので、本講義で学ぶ理論を応用できる。これは先にも述べたように制御理論が数学と同じように各分野に共通した学問であることを考えれば当然のことである。

本テキストの特徴を具体的に述べるとすれば以下の点があげられる。

- (1)第1章で、最も簡単な制御対象を例題として示し、自動制御という学問はどんな内容かをおよそつかむことができるようにしている。
- (2)第3章で、広く利用されている負帰還増幅器（オペアンプ）の伝達関数に関してやや詳しく述べている。
- (3)第5章は、周波数応答の物理的な意味を理解しやすいように、フェーザを用いた交流回路理論から出発している。電気系の学科では、1年次に既に交流理論を履修していると思われるので、理解が得やすいだろう。
- (4)第6章で、安定判別の応用例として不安定現象を利用する発振器を取り上げている。またモータの例を用いて非線形システムを線形化して安定判別する方法を示している。
- (5)第7章で、ナイキストの安定判別法を説明するが、従来の教科書では見られない伝達関数の軌跡と安定条件の説明を行って、理解が得やすいようにしている。
- (6)第9章で、PID制御の説明を行うが、ここで定常偏差に関する内部モデル原理も説明している。
- (7)第11章で、制御系の設計法を説明するが、具体的なモータの電流、速度、位置制御系の例を取り上げている。また、PLL回路の設計法も紹介している。

目次

第1章 自動制御で何をするのか？	1
1.1 制御システムの数学的表現(モデリング)	2
1.2 ブロック線図	3
1.3 時間応答	4
1.4 周波数応答	5
1.5 制御工学の歴史	8
第2章 ラプラス変換	
2.1 ラプラス変換の定義	10
2.2 ラプラス変換の性質	16
2.3 ラプラス変換とフーリエ変換の関係	19
第3章 システムの表現ー伝達関数とブロック線図ー	
3.1 線形システムの伝達関数	21
3.2 ブロック線図	27
3.3 状態方程式	34
第4章 時間応答	
4.1 1次遅れ要素の時間応答	38
4.2 2次遅れ要素の時間応答	41
4.3 零点の影響	46
4.4 むだ時間要素の時間応答	47
4.5 インパルス応答	49
4.6 状態方程式による応答の計算	51
第5章 周波数応答	
5.1 周波数応答とは？	56
5.2 1次遅れ要素の周波数応答	59
5.3 積分要素と微分要素の周波数応答	62
5.4 2次要素の周波数応答	64
5.5 むだ時間要素の周波数応答	67
5.6 一般の伝達関数の周波数応答の描き方	68
第6章 フィードバック制御系の安定判別 I	
6.1 伝達関数と安定条件	72
6.2 ラウスの安定判別法	77
6.3 状態方程式の安定判別	85
6.4 非線形システムの安定判別	86

第 7 章 フィードバック制御系の安定判別 II	
7.1 ナイキストの安定判別法	90
7.2 むだ時間を含むシステムの安定条件	101
7.3 ボード線図による安定判別法	102
7.4 ニコルス線図	106
第 8 章 根軌跡	
8.1 特性方程式の根と応答の関係	110
8.2 根軌跡の描き方	114
第 9 章 PID 制御	
9.1 PID 制御とは？	121
9.2 定常特性	123
9.3 PI 制御器を含む制御系の状態方程式	131
第 10 章 制御系の設計 I	
10.1 制御系に要求されるもの	136
10.2 両立できない制御性能	136
10.3 制御系の設計指針	138
10.4 補償要素と制御系の設計	141
10.5 2自由度制御系	151
第 11 章 制御系の設計 II	
11.1 電動機制御系の設計	156
11.2 プロセス制御系の設計	163
11.3 PLL 周波数シンセサイザの設計	168
参考文献	172
索引	173