

## 1. 序 論

1.1	制御工学における安定論の歴史 .....	1
1.2	システム表現と安定性 .....	2

## 2. 状態方程式

2.1	状態方程式によるシステムの表現 .....	5
2.1.1	状態変数と状態方程式 .....	6
2.1.2	非線形システムと線形システム .....	8
2.2	状態方程式の解 .....	11
2.2.1	解の存在性と一意性 .....	11
2.2.2	線形システムの解 .....	17
	演習問題 .....	21

## 3. 内部安定性

3.1	内部安定性の定義 .....	23
3.1.1	システムと平衡点 .....	23
3.1.2	安定性, 漸近安定性, 指数安定性 .....	24
3.2	リアプノフの安定性理論 .....	32
3.2.1	正定関数 .....	33
3.2.2	各種の安定性に対する定理 .....	35
3.2.3	非線形時変システムの安定性 .....	42
3.3	線形システムの安定性 .....	46

3.3.1 線形時不変システムの安定性.....	46
3.3.2 線形時変システムの安定性.....	55
3.3.3 離散時間線形システムの安定性.....	60
演習問題.....	63

#### 4. リアプノフの安定定理の拡張

4.1 逆定理.....	66
4.2 ラサールの不変性原理.....	71
4.2.1 不変集合とその安定性.....	71
4.2.2 可観測性とリアプノフ方程式.....	75
4.3 線形近似システムに基づく安定判別.....	79
4.3.1 リアプノフの線形近似による安定判別.....	79
4.3.2 中心多様体定理による安定判別.....	82
演習問題.....	85

#### 5. 入出力安定性

5.1 入出力安定性の定義.....	87
5.1.1 入出力関係による表現.....	87
5.1.2 $L_p$ 空間, 拡張 $L_p$ 空間, 因果性.....	89
5.1.3 $L_p$ 安定性の定義.....	94
5.2 線形システムの入出力安定性.....	97
5.2.1 線形システムの入出力表現.....	97
5.2.2 $L_p$ 安定条件.....	99
5.2.3 入出力安定性と内部安定性.....	106
5.3 非線形システムの入出力安定性.....	107
演習問題.....	111

#### 6. フィードバック系の安定性

6.1 線形システムからなるフィードバック系.....	113
6.1.1 フィードバック系の内部安定性と入出力安定性.....	113
6.1.2 ナイキストの安定定理.....	118
6.2 スモールゲイン定理と受動定理.....	123
6.2.1 スモールゲイン定理.....	123
6.2.2 受動定理.....	130
6.2.3 スモールゲイン定理と受動定理の関係.....	136
6.3 ルーリエ系の安定解析.....	139
6.3.1 円板条件.....	139
6.3.2 ポポフの安定条件.....	143
6.3.3 リアプノフの安定定理に基づく解法.....	145
演習問題.....	148

#### 7. 消散性, 有界実性, 正実性

7.1 消散性.....	149
7.2 線形システムの有界実性と正実性.....	154
7.2.1 有界実性と強有界実性.....	155
7.2.2 正実性と強正実性.....	160
演習問題.....	167

#### 8. ロバスト安定性

8.1 ロバスト安定性と不確かさの表現.....	169
8.1.1 パラメータにおけるモデル化誤差の表現.....	170
8.1.2 周波数領域におけるモデル化誤差の表現.....	172
8.2 ロバスト安定条件.....	175
8.2.1 線形時不変システムのロバスト安定条件.....	175

8.2.2	時変要素を含むシステムのロバスト安定条件	177
8.3	$\mu$ 解析	178
8.3.1	構造的な不確かさの表現	178
8.3.2	構造化特異値とロバスト安定条件	181
8.3.3	構造化特異値の計算	182
8.4	IQC (積分 2 次拘束) による安定解析	185
	演習問題	190
	<b>付録 A. 数学的準備</b>	191
A.1	行列	191
A.2	ベクトル空間, ノルム空間	195
A.2.1	ベクトル空間	195
A.2.2	ノルム空間	196
A.3	ルベグ積分, フーリエ変換, ラプラス変換	198
A.3.1	ルベグ積分	198
A.3.2	フーリエ変換とラプラス変換	199
	<b>付録 B. 可制御性と可観測性</b>	201
B.1	線形システムの可制御性, 可観測性	201
B.1.1	可制御性, 可観測性	201
B.1.2	可安定性, 可検出性	202
B.2	非線形システムの可制御性, 可観測性	203
B.2.1	可制御性	204
B.2.2	可観測性	208
	<b>付録 C. 証明</b>	210
C.1	線形システムの消散性に関する補題	210
C.2	定理 7.4 の (1) $\leftrightarrow$ (3) の証明	213
	<b>引用・参考文献</b>	217
	<b>演習問題の解答</b>	220
	<b>索引</b>	236