

# 目 次

## 1. 線形システム

1.1	序 論	1
1.1.1	基本的概念と術語	1
1.1.2	静的な挙動と線形化	4
1.1.3	1次系の応答	6
1.1.4	1次系の信号流線図	9
1.2	集中定数系の数式およびグラフによる表現	14
1.2.1	状態ベクトルとベクトル微分方程式	14
1.2.2	線形系の $s$ -領域表現	17
1.2.3	伝達関数から状態変数モデルへの変換	18
1.2.4	行列 $\mathbf{A}$ の対角化	20
1.2.5	離散時間線形系	22
1.3	線形集中定数定常系の応答	23
1.3.1	解行列	23
1.3.2	逆ラプラス変換による解	24
1.3.3	行列 $\mathbf{A}$ の対角化	26
1.3.4	可制御性と可観測性	30
1.3.5	状態空間における運動	32
1.3.6	離散時間線形系	36
1.4	システムの安定性	40
1.4.1	トラジェクトリと安定性	40
1.4.2	リヤプノフの定理	43
1.4.3	集中定数線形定常系の安定性	44
1.4.4	離散時間系に対するリヤプノフの方法	46
1.4.5	ラウスの安定判別法	47
1.5	スカラー入出力線形系とフィードバック制御	50
1.5.1	フィードバック制御系の構造	50
1.5.2	フィードバック制御系の応答	52
1.5.3	根軌跡法	54

1・5・4	制御の質とその補償による改善	60
1・6	周波数応答	61
1・6・1	正弦波状入力および出力	61
1・6・2	ナイキストの安定判別法	66
1・6・3	一巡伝達関数による制御系の設計	68
1・6・4	フィードバック系の周波数応答	74
1・7	多変数制御系	77
1・7・1	多変数制御系の伝達関数による設計	77
1・7・2	集中定数系のモード制御	80
1・7・3	分布定数系のモード制御	84
1・8	線形デジタル制御	86
1・8・1	デジタル制御	86
1・8・2	単一フィードバックデジタル制御系	90
1・8・3	有限整定時間制御のアルゴリズム	93
参考文献		95
問題		95

## 2. 非線形システム

2・1	入門例	104
2・1・1	平衡点	104
2・1・2	平衡点における安定性	104
2・1・3	状態面上のトラジェクトリ	106
2・2	状態面上のオンオフ制御系	108
2・2・1	断片的に線形なシステム	108
2・2・2	むだ時間を含むシステム	112
2・2・3	断片的に線形なシステムのリミットサイクル	114
2・2・4	性能向上のための補償	116
2・2・5	離散時間系	117
2・2・6	離散時間系のトラジェクトリ	120
2・3	非線形系の発振	122
2・3・1	記述関数	122
2・3・2	リミットサイクルの推定	125
2・3・3	自然的非線形性によるリミットサイクル	126
2・3・4	状態空間の安定境界	131

2・3・5	跳躍現象	132
2・4	非線形系の安定性	134
2・4・1	リヤプノフの第一の方法	134
2・4・2	リヤプノフ関数の若干	137
2・4・3	ポポフの定理	140
2・4・4	周波数特性に注目するポポフの安定判別法	141
2・4・5	円板定理	145
2・5	非線形性の積極的活用	148
2・5・1	時間最適制御	148
2・5・2	ポジカスト制御	150
2・5・3	適応制御	152
2・5・4	動特性の同定	156
2・5・5	適応ループによる同定および追従	158
2・5・6	ポポフ定理による適応ループの設計	161
参考文献		164
問題		168

## 3. 線形ランダムシステム

3・1	統計的検討	173
3・1・1	確率変数	173
3・1・2	相関関数	176
3・1・3	線形系の入出力	179
3・1・4	ポアソン分布	182
3・1・5	血統の断絶	184
3・1・6	種族の断絶	185
3・2	周波数領域における統計的關係	187
3・2・1	スペクトル密度関数	187
3・2・2	線形系の入出力関係	190
3・2・3	出力の二乗平均	192
3・3	状態空間における統計的關係	195
3・3・1	不規則ベクトル雑音	195
3・3・2	線形系の入出力	195
3・3・3	着色フィルタ	198
3・3・4	等価白色ノイズ	199

3・4	最適フィルタの原理	202
3・4・1	状態の最適推定	202
3・4・2	1次系の最適フィルタ	204
3・4・3	フィルタ公式の誘導	208
3・4・4	1次連続時間系の最適フィルタ	211
3・5	最適フィルタの各種アルゴリズム	212
3・5・1	状態ベクトルの推定	212
3・5・2	連続時間系の場合	217
3・5・3	確定的入力をもつシステム	218
3・5・4	ノイズが有色の場合	220
3・6	線形観測器	224
3・6・1	観測器の原理	224
3・6・2	観測器の簡単化	226
3・6・3	状態ベクトルフィードバック系への応用	228
参考文献		230
問題		231

## 4. 最適制御

4・1	問題の提起および最適トラジェクトリの性質	236
4・1・1	最適制御問題の代表例	236
4・1・2	ダイナミックプログラミング	237
4・1・3	最大原理	240
4・1・4	最適トラジェクトリの特性	244
4・2	最大原理	246
4・2・1	定理	246
4・2・2	線形対象の場合	247
4・2・3	最大原理の意味	250
4・2・4	ダイナミックプログラミングとの関係	256
4・3	最大原理の応用若干	257
4・3・1	制御の形式	257
4・3・2	終着時刻が指定される場合	261
4・3・3	横断条件	263
4・4	線形最適フィードバック制御	267

4・4・1	フィードバック解の誘導	267
4・4・2	一般化	271
4・4・3	出力方程式を含むシステム	273
4・5	離散時間系の最適制御	276
4・5・1	最大原理	276
4・5・2	連続時間系との相違	278
4・5・3	線形最適制御	280
4・5・4	フィードバック最適制御	284
4・6	線形の統計的対象の最適フィードバック制御	287
4・6・1	問題とその答	287
4・6・2	制御法則の誘導	290
4・6・3	性能の算定	294
4・6・4	応用	296
参考文献		296
問題		303
	<b>問題解答</b>	309
	<b>主な記号と添字記号</b>	367
	<b>索引</b>	373