

# 目 次

## 第1編 基礎編

<b>1. 緒 論</b> .....	3
1.1 プロセスの設計と操作, 制御 .....	3
1.2 フィードフォワード制御とフィードバック制御 .....	5
1.3 プラントオペレーションの高度制御と課題 .....	6
1.4 プロセス制御の現状と動向 .....	8
<b>2. プロセスの入出力表現</b> .....	10
2.1 プロセス方程式と伝達関数 .....	10
2.1.1 伝達関数の定義 .....	10
2.1.2 線形プロセスの伝達関数 .....	10
2.1.3 非線形プロセスの伝達関数 .....	12
2.1.4 多変数プロセスの伝達関数 .....	14
2.2 入出力関係の図的表現 その1—ブロック線図 .....	18
2.2.1 ブロック線図の構成 .....	18
2.2.2 ブロック線図の等価変換 .....	19
2.3 入出力関係の図的表現 その2—シグナルフロー線図 .....	22
2.3.1 シグナルフロー線図の構成 .....	22
2.3.2 メーソンの公式とその応用 .....	23
2.4 離散系に対する入出力表現 .....	25
2.4.1 サンプリングと $z$ 変換 .....	25
2.4.2 パルス伝達関数 .....	26
2.4.3 状態方程式の離散時間表現 .....	28
演習問題 .....	29
<b>3. プロセスの動的挙動</b> .....	31
3.1 線形プロセスの過渡応答 .....	31
3.1.1 ステップ応答 .....	31
3.1.2 インパルス応答 .....	32
3.2 線形プロセスの周波数応答 .....	34
3.2.1 周波数応答の型 .....	34

3.2.2	周波数伝達関数	35
3.2.3	直列結合系の周波数応答特性	37
3.2.4	周波数応答特性の図的表示	38
3.3	プロセスの安定性	40
3.3.1	平衡点と安定性	40
3.3.2	平衡点の安定判別法 その1—リアプノフ第1定理	41
3.3.3	ラウス-フルビッツ法およびミハイロフ法	43
3.3.4	平衡点の安定判別法 その2—リアプノフ第2定理(直接法)	46
3.4	CSTRの安定性	47
3.4.1	CSTRの定常操作点	47
3.4.2	van Heerdenの安定判別	49
3.4.3	リアプノフ第1定理による安定判別	50
3.4.4	計算例	50
	演習問題	52
4.	プロセスモデリング	54
4.1	物理モデル(構造モデル)	54
4.1.1	物質・熱収支モデル	54
4.1.2	理想流れ系 その1—完全混合流れ系	55
4.1.3	理想流れ系 その2—押し出し流れ系	57
4.1.4	非理想流れ系	61
4.1.5	モデリングの具体例	64
4.2	ブラックボックスモデル(非構造モデル)	67
4.2.1	動特性の測定	67
4.2.2	過渡応答法	67
4.2.3	周波数応答法	69
4.2.4	ランダム信号入力による方法	71
4.2.5	システム同定法	73
4.2.6	モデリングの具体例	76
	演習問題	84
5.	フィードフォワード制御とフィードバック制御	86
5.1	制御対象の入出力関係	86
5.1.1	1-制御量, 1-操作量, 1-外乱系	86
5.1.2	$n$ -制御量, $r$ -操作量, $m$ -外乱系	87
5.2	フィードフォワード制御系の設計	88
5.2.1	フィードフォワード制御系の入出力関係	88
5.2.2	フィードフォワード制御条件	89

5.2.3	多変数系への拡張	90
5.3	フィードバック制御系の設計 その1—1-制御量, 1-操作量, 1-外乱系	92
5.3.1	フィードバック制御系の入出力関係	92
5.3.2	フィードバック制御系の安定条件	93
5.3.3	PID制御系の設計	95
5.4	フィードバック制御系の設計 その2— $n$ -制御量, $r$ -操作量系	100
5.4.1	多変数フィードバック制御系の入出力関係	100
5.4.2	安定判別法	101
5.4.3	INA法による制御系設計法	101
5.5	制御系の改良による制御性能の向上	103
5.5.1	スミス補償器	103
5.5.2	カスケード制御系	104
5.5.3	非干渉制御系	104
5.5.4	2自由度フィードバック制御系	109
5.5.5	IMC系	111
	演習問題	113
6.	アドバンスト制御 その1—最適制御	115
6.1	変分原理	115
6.1.1	オイラーの式	115
6.1.2	随伴系	116
6.1.3	レギュレータ問題	117
6.2	最大原理とその応用	118
6.2.1	最大原理	118
6.2.2	最大原理の反応器最適操作問題への応用	119
6.3	ダイナミックプログラミングとその応用	122
6.3.1	最適性の原理	122
6.3.2	ダイナミックプログラミングの化学プロセス最適操作問題への応用	125
6.4	最大原理と最適性の原理との等価性	128
6.4.1	オイラーの式	128
6.4.2	ハミルトン-ヤコビの式	129
	演習問題	130
7.	アドバンスト制御 その2—多変数制御	132
7.1	状態空間における多変数フィードバック制御	132
7.1.1	状態フィードバック制御	132
7.1.2	外乱不感制御	134
7.1.3	分離制御	136

7.2 適応制御	138
7.2.1 適応制御系	138
7.2.2 モデル規範型適応制御 その1—連続系	139
7.2.3 モデル規範型適応制御 その2—離散系	141
7.3 プロセスの状態推定と制御	144
7.3.1 オブザーバ	144
7.3.2 カルマンフィルタ	146

## 第2編 実践編

8. 改良型フィードフォワード制御系と適応フィードバック制御系の設計と応用	149
8.1 改良型フィードフォワード制御系の設計と応用	149
8.1.1 プロセスの概要	149
8.1.2 従来型フィードフォワード制御系の問題点	150
8.1.3 改良型フィードフォワード制御系の設計	151
8.1.4 適用結果と評価	151
8.2 バッチ重合反応器のフィードフォワード制御系の設計の応用	152
8.2.1 プロセスの概要	152
8.2.2 反応器のモデリングとモデル検証結果	153
8.2.3 フィードフォワード制御系の設計	155
8.2.4 適用結果と評価	155
8.3 適応フィードバック制御系(オートチューニングコントローラ)の設計と応用	156
8.3.1 PID オートチューニングコントローラの動向	156
8.3.2 PID オートチューニングコントローラ機能の概要	156
8.3.3 閉ループ型オートチューニングコントローラの設計と応用	159
9. 繰り返し学習制御系の設計と応用	166
9.1 繰り返し学習制御の基本的概念	166
9.2 繰り返し学習制御の原理	166
9.3 繰り返し学習制御系の設計	170
9.4 改良型繰り返し学習制御系の設計	173
9.4.1 初期操作量パターンの探索	173
9.4.2 誤差修正関数の設計	174
9.5 バッチ重合反応器への適用	175
9.5.1 プロセスの概要	175
9.5.2 仮想目標値設定型繰り返し学習制御系の設計	176
9.5.3 適用結果と評価	177

10. モデル予測制御系の設計と応用	178
10.1 モデル予測制御の基本的概念	178
10.2 モデル予測制御のアルゴリズム	179
10.2.1 MAC	179
10.2.2 DMC	182
10.3 モデル予測制御の構造	184
10.4 モデル予測制御の設計パラメータ	189
10.5 連続重合反応器への適用	189
10.5.1 プロセスの概要	189
10.5.2 制御システム構成	190
10.5.3 適用結果と評価	192
11. ファジィ制御系の設計と応用	194
11.1 ファジィ制御の基本的概念	194
11.2 ファジィ制御系の概要と基礎となる理論	196
11.2.1 差分型PI制御系とファジィ制御系	196
11.2.2 ファジィ集合とメンバシップ関数	199
11.2.3 ファジィ変数とファジィ関係	200
11.2.4 ファジィ論理	201
11.2.5 ファジィ制御系のアルゴリズム	203
11.3 自己調整付ファジィ制御系の設計と蒸留塔への応用	204
11.3.1 制御系の構成	204
11.3.2 ファジィ制御規則とファジィ推論	205
11.3.3 自己調整機能	205
11.3.4 蒸留塔への適用結果と評価	206
索引	209