I 部　データ取得から制御まで

部主査：砂原善文

1章　I 部の読み方と使い方

章主査：砂原善文
執筆委員：砂原善文

1・1　I 部の目的……5
1・2　I 部の構成……6
1・3　I 部の使い方……6

2章　システムとデータ

章主査：砂原善文
執筆委員：大松　繁，片山　徹，児玉慎三，相良節夫，須田信英，砂原善文，原　敬，福田得夫，和田　清

2・1　データの処理……7
2・1・1　データを眺めて……7
2・1・2　連続形波形表現……8
2・1・3　離散形波形表現……13
2・1・4　相関関数とスペクトル密度の評価……16
2・1・5　データ処理総括……20
2・2　システムの特性表現……21
2・2・1　システムとは……21
2・2・2　入出力特性の表現……23
2・2・3　状態方程式表現……27
2・2・4　過渡特性と定常特性……32
2・2・5　信号形成とシステム……43
2・3　システムの結合……45
2・3・1　部分と全体……45
2・3・2　シグナルフロー線図とブロック線図……46
2・3・3　回路網グラフとボンドグラフ……52
2・3・4　結合における注意……61
2・3・5　中間標準形……64
2・4　システムモデリング……65
2・4・1　システムモデリングの手続き……65
2・4・2　物理法則によるモデリング……67
2・4・3　実験に基づくモデリング……70
2・4・4　統計的手法によるモデリング……75
2・4・5　時系列表現によるモデリング……80
2・4・6　システムの低次元化……85
2・4・7　システムモデリング総括……89
参考文献……90

3章　線形連続時間フィードバック系の解析と設計

章主査：伊藤正美
執筆委員：荒木光彦，池田雅夫，伊藤宏司，伊藤正美，河野道夫，小林尚登，鈴木正之，須田信英，早勢　実，平井一正，藤井隆雄，舟橋康行，細江繁幸，堀田和之，松尾　勉，美多　勉，森　隆比古，渡部慶二

3・1　解析と設計概説……93
3・2　フィードバック系の応答解析……93
3・2・1　過渡応答解析……93
3・2・2　周波数応答解析……98
3・3　システム構造……102
3・3・1　分解と既約システム……102

3・3・2 可制御性・可観測性とシステム構造……104
3・4 安 定 性……108
3・4・1 安定判別の基礎概念 ……108
3・4・2 フィードバック系の安定性 ……109
3・4・3 安定度の評価 ……114
3・4・4 安定性と固有値 ……115
3・4・5 時変システムの安定性 ……116
3・4・6 多変数制御システムの安定性 ……118
3・5 設 計 ……119
3・5・1 設計手法の概観 ……119
3・5・2 フィードバック制御の目的と評価基準…120
3・5・3 補償要素法（1変数系）……124
3・5・4 PID 調節計のパラメータ調整（1変数系）……130
3・5・5 大きなむだ時間を持つ系の制御（1変数系）……131
3・5・6 多変数レギュレータの設計 ……134
3・5・7 多変数サーボ系の設計 ……148
3・5・8 非干渉制御とモデル適合 ……154
3・5・9 周波数応答法による多変数制御系設計…160
参 考 文 献……176

4章 線形確率システムの解析と設計

章 主 査：砂 原 善 文
執筆委員：相 原 伸 一，大 住 晃，大 瀬 長 門，亀 島 鉱 二，佐 野 昭，杉 本 末 雄，
砂 原 善 文，中島不二雄，中 溝 高 好，安 田 寿 彦

4・1 確定システムと確率システム……181
4・1・1 確定システムから確率システムへ ……181
4・1・2 方法論を支配する要因 ……181
4・2 システムの応答解析……182
4・2・1 定常応答と非定常応答 ……182
4・2・2 フィードバック回路応答 ……183
4・2・3 システム応答 ……184
4・2・4 確率的安定性 ……188
4・3 確率的可観測性・可制御性……192
4・3・1 確率的可観測性 ……192
4・3・2 確率的可制御性 ……196
4・3・3 確率的可観測性と可制御性の関係 ……200
4・4 推 定 問 題……200
4・4・1 古典理論からの推移 ……200
4・4・2 ウィーナーろ波器の構成 ……202
4・4・3 システム状態変数の推定 ……206
4・4・4 パラメータ推定 ……215
4・5 設 計……222
4・5・1 統計的設計と制御規範 ……222
4・5・2 統計的最適構成 ……223
4・5・3 パラメータ調整 ……225
4・5・4 LQG 問題 ……227
4・5・5 推定-最適制御……230
参 考 文 献……235

5章 線形離散システムの解析と設計

章 主 査：須 田 信 英
執筆委員：木 村 英 紀，羽根田博正

5・1 連続システムから離散システムへ……239
5・2 動特性解析と設計……241
5・2・1 応 答 解 析 ……241
5・2・2 安 定 性 ……243
5・2・3 サンプル値制御系設計 ……244
5・2・4 有限整定応答 ……245
5・3 離散時間システムの応答と設計……246
5・3・1 状 態 推 定 ……246
5・3・2 離散的観測 ……250
5・3・3 最 適 制 御 ……252
5・3・4 ディジタル制御 ……256
参 考 文 献……257

6章　非線形フィードバック系の解析と設計

章主査：伊藤正美
執筆委員：朝倉俊行，安藤和昭，池田雅夫，市川邦彦，大住　晃，砂原善文，
田村捷利，中島不二雄，中溝高好，平井一正，松村文夫，森田洋二

6・1　非線形現象と特性……259
6・1・1　非線形特性……259
6・1・2　非線形現象……260
6・2　過渡応答解析……264
6・2・1　位相面と解軌道……264
6・2・2　断片線形系……269
6・2・3　リレー制御系……271
6・3　周波数応答解析……274
6・3・1　記述関数とそれによるリミットサイクル解析……274
6・3・2　記述関数による周波数応答の算出……276
6・3・3　記述関数の精度……278
6・3・4　ルーリエ系の安定解析……279
6・3・5　リレー制御系（チプキン法）……285
6・4　非線形最適制御……287
6・4・1　最短時間制御……287
6・4・2　特異最適制御……292
6・5　非線形フィードバック系の統計的解析と設計……293
6・5・1　統計的等価線形化法……293
6・5・2　応答の統計的評価……296
6・5・3　等価線形化法によるリレー制御系の設計……301
6・5・4　非線形特性による制御性能の改善……304
6・6　非線形確率システムの安定解析……306
6・6・1　非線形フィードバック系の安定性……306
6・6・2　非線形確率システムの安定解析……309
6・6・3　不安定系の安定化……313
6・6・4　総　　括……316
6・7　非線形確率システムの状態推定と最適制御……316
6・7・1　近似フィルタの選択……316
6・7・2　離散形観測データによる推定……323
6・7・3　準最適制御……326
6・7・4　総　　括……331
参考文献……331

II部　基　礎　理　論

部主査：北森俊行

1章　信号解析論

章主査：有本　卓
執筆委員：佐藤俊輔

1・1　信　号　空　間……343
1・1・1　信号とは……343
1・1・2　ヒルベルト空間……344
1・1・3　$L^p(Q)$ の空間……347
1・1・4　イェンセンの不等式……347
1・1・5　$L^2(Q)$ の空間……347
1・1・6　完全正規直交系……348
1・1・7　2次過程……350
1・2　信　号　変　換……350
1・2・1　同形写像，信号の離散化……350
1・2・2　周期関数のフーリエ級数展開……351
1・2・3　フーリエ変換……352
1・2・4　有限継続信号，有限帯域信号，サンプリングの定理……353
1・2・5　多次元フーリエ変換……354
1・2・6　共役関数，ヒルベルト変換……354
1・2・7　ラプラス変換……355
1・3　線形システム……356
1・3・1　線形システム……356
1・3・2　ヒルベルト空間の線形作用素……356
1・3・3　インパルス応答関数……357
1・3・4　フィルタの振幅と位相特性……358
1・3・5　伝達関数……359
参　考　文　献……363

2章　線形システム理論

章主査：須田信英
執筆委員：池田雅夫，須田信英，羽根田博正，藤井隆雄，前田　肇

2・1　線形システムの表現……365
2・1・1　ダイナミカルシステム……365
2・1・2　標準形状態方程式……365
2・1・3　中間標準形……365
2・1・4　入出力微分方程式……368
2・1・5　荷重関数とインパルス応答……369
2・1・6　伝達関数……370
2・2　状態方程式の解とその性質……370
2・2・1　解の存在と一意性……370
2・2・2　状態遷移行列……371
2・2・3　状態空間における座標変換……373
2・2・4　固有値，固有ベクトル，ジョルダン形……374
2・2・5　モード分解……376
2・2・6　安　定　性……377
2・2・7　特異摂動解……378
2・2・8　感度解析……379
2・3　線形システムの構造……380
2・3・1　システムの内と外……380
2・3・2　可制御性と可観測性……380
2・3・3　正準構造……385
2・3・4　内部安定性と外部安定性……386
2・3・5　強可制御性と強可観測性……387
2・3・6　可　逆　性……390
2・4　線形システムの実現……391
2・4・1　伝達関数の最小実現……391
2・4・2　伝達関数の多項式行列分解形……393
2・4・3　伝達関数の有理行列分解形……394
2・4・4　状態方程式の正準形……395
2・5　線形離散時間システム……396
2・5・1　解の存在と一意性……396
2・5・2　状態遷移行列……397
2・5・3　安　定　性……398

2·5·4 構 造 ……400
2·5·5 連続時間システムとの関連 ……402
2・6 線形システム理論における幾何的方法……403
2·6·1 幾何的方法とは……403
2·6·2 (A, B) 不変部分空間 ……403
2·6·3 (A, B) 可制御性部分空間 ……404
参 考 文 献……405

3章 非線形システム論

章 主 査：平 井 一 正
執筆委員：安 藤 和 昭，上 田 晥 亮，平 井 一 正，松 村 文 夫

3・1 非線形システム解析の基礎概念……409
3·1·1 非線形システムの解の特徴 ……409
3·1·2 非線形システムのモデル ……410
3·1·3 非線形システム解析の方法論 ……411
3・2 位相面解析法……411
3·2·1 平 衡 点 ……411
3·2·2 位相面軌道 ……413
3·2·3 リミットサイクル ……415
3・3 リレー制御系の解析法……417
3·3·1 アメル法 ……417
3·3·2 チプキン法 ……418
3·3·3 リミットサイクルの安定判別 ……420
3・4 記述関数法……421
3·4·1 記述関数の適用 ……421
3·4·2 2入力記述関数とディザによる応答改善 ……422
3·4·3 2正弦波入力記述関数とその性質 ……423
3・5 微小パラメータを含む非線形システムの解析法……424
3·5·1 微小パラメータ法の概要と問題点 ……425
3·5·2 非共振時における非自律システムの周期解 ……426
3·5·3 共振時における非自律システムの周期解 ……426
3·5·4 自律システムの周期解 ……427
3·5·5 平 均 法 ……428
参 考 文 献……429

4章 安 定 論

章 主 査：平 井 一 正
執筆委員：荒 木 光 彦，池 田 雅 夫，北 村 新 三，児 玉 慎 三，早 勢 実，平 井 一 正，安 田 一 則

4・1 安定性の定義と解析法……431
4·1·1 安定性の定義 ……431
4·1·2 安定解析の方法論 ……434
4・2 線形システムの安定判別……435
4·2·1 連続時間システム ……435
4·2·2 離散時間システム ……437
4·2·3 むだ時間システム ……438
4・3 内部安定性……439
4·3·1 リヤプノフ安定論 ……439
4·3·2 リヤプノフ関数の構成法 ……441
4·3·3 離散時間システム ……444
4·3·4 むだ時間システムの安定性 ……445
4・4 入出力安定性……446
4·4·1 基礎定理 ……446
4·4·2 基礎定理の応用 ……448
4·4·3 超 安 定 ……450
4·4·4 内部安定性との関係 ……451
4・5 非線形システムの線形化法による安定判別……453
4·5·1 局所的安定性に対するリヤプノフ第1の方法 ……453
4·5·2 リレー制御系における平衡点の局所的安定性 ……454
4·5·3 大域的安定性に対する線形化法（アイザーマンの推測とカルマンの推測）……455
4・6 漸近領域と安定領域……456
4·6·1 状態空間 ……456
4·6·2 パラメータ空間 ……458
参 考 文 献……459

5章　線形フィードバック制御論

章主査：古田勝久
執筆委員：神山眞一，川路茂保，木村英紀，原　辰次，疋田弘光，古田勝久，細江繁幸，美多　勉

5・1　システム表現と制御系設計……463
5・1・1　システム表現と設計法……463
5・1・2　設計の仕様と手順……464
5・2　フィードバック制御……465
5・2・1　フィードバックの構造と特徴……465
5・2・2　状態フィードバックによる極設定と安定化……466
5・2・3　出力フィードバックによる極指定と安定化……469
5・2・4　非干渉化……469
5・2・5　状態フィードバックによるほかの制御方式……470
5・3　観測器と動的補償器……472
5・3・1　観測器……472
5・3・2　動的補償器……475
5・3・3　閉ループ系の特徴……477
5・4　サーボ系設計……478
5・4・1　多変数サーボ系の設計……478
5・4・2　内部モデル原理と可読性……481
5・4・3　型とサーボ補償器……483
5・5　離散時間系の制御……485
5・5・1　状態推定……485
5・5・2　離散形観測……489
5・5・3　最適制御……491
参考文献……495

6章　最適制御論

章主査：北森俊行
執筆委員：市川惇信，市川邦彦，嘉納秀明，神山眞一，坂和愛幸，田村捷利，美多　勉

6・1　最適制御……497
6・1・1　最適制御問題……497
6・1・2　最適制御問題の諸相……497
6・2　最適問題への数学的方法……499
6・2・1　変分法……499
6・2・2　最適制御問題と最小原理……500
6・2・3　動的計画とハミルトン・ヤコビ方程式……502
6・2・4　状態変数が拘束される場合の最適制御……503
6・2・5　離散時間システムの最適制御……504
6・3　最適制御の諸問題……505
6・3・1　評価関数の形と制御入力のパターン……505
6・3・2　定係数線形系の最適制御……506
6・3・3　特異制御問題……508
6・3・4　最適周期制御問題……509
6・3・5　準最適制御……510
6・3・6　多目的制御……511
6・4　線形2次形式最適制御……512
6・4・1　レギュレータ……512
6・4・2　追従制御系……516
6・4・3　感度解析……517
6・5　最適制御問題の数値解法……520
6・5・1　連続時間系の解法……520
6・5・2　ペナルティ関数法……522
6・5・3　離散時間系の解法……523
参考文献……525

7章 確率システム理論

章主査：砂原善文
執筆委員：相原伸一，朝倉俊行，大住 晃，狩野弘之，亀島鉱二，小島史男，杉本末雄，砂原善文，中島不二雄，福田得夫，最上義夫，森田洋二

7・1 確率過程論とシステム理論……527
7・2 確率システムの表現……527
7・2・1 ブラウン運動と確率積分……527
7・2・2 伊藤形確率微分方程式……528
7・2・3 確率システムの離散形表現……528
7・2・4 ディジタルシミュレーションと数学モデル……529
7・3 線形確率システム……530
7・3・1 スペクトル応答解析……530
7・3・2 非定常応答評価……532
7・3・3 線形確率システムの実現問題……533
7・4 非線形確率システム……535
7・4・1 統計的記述関数（統計的等価線形化法）……535
7・4・2 非線形フィードバック回路の安定解析……538
7・4・3 非線形確率システムの安定性解析……541
7・4・4 確率的可制御性……543
7・5 確率システムの推定理論……545
7・5・1 確率システムにおける推定問題……545
7・5・2 ウィーナーフィルタの設計……547
7・5・3 カルマンフィルタの設計……548
7・5・4 非線形ろ波理論とフィルタの設計……551
7・6 確率システムの最適制御……553
7・6・1 確率的制御規範……553
7・6・2 制御入力の最適構成……554
7・6・3 線形レギュレータ問題……556
7・6・4 推定-制御問題……557
参考文献……559

8章 システム同定

章主査：秋月影雄
執筆委員：秋月影雄，相良節夫，添田 喬，中溝高好

8・1 システムのモデル……561
8・1・1 静的システムと動的システム……561
8・1・2 非線形システムと線形化……561
8・1・3 連続時間システムモデル……562
8・1・4 離散時間システムモデル……563
8・2 特定入力による同定……564
8・2・1 過渡応答法……564
8・2・2 周波数応答法……565
8・2・3 不規則入力を用いた同定……566
8・3 パラメータ推定……568
8・3・1 推定値の性質……568
8・3・2 線形推定……568
8・3・3 最小2乗推定……568
8・3・4 重みつき最小2乗推定……570
8・3・5 補助変数法……570
8・3・6 最ゆう推定法……571
8・3・7 逐次計算アルゴリズム……573
8・3・8 逐次計算形近似最ゆう推定……575
8・4 システムの同定……576
8・4・1 可同定性……576
8・4・2 極と零点の相殺……577
8・4・3 多変数系の同定……578
8・4・4 雑音モデルの同定……580
8・4・5 フィードバック系の同定……581
8・4・6 非線形システムの同定……582
8・5 次数の決定……584
8・5・1 F 検定法……584
8・5・2 情報量基準 AIC……585
8・5・3 行列式比……587
8・5・4 モデル検証……588
参考文献……589

9章　数　値　解　析

章主査：有本　卓
執筆委員：有本　卓，宮崎文夫

9・1　連立1次方程式と逆行列……591
9・1・1　ガウス消去法……591
9・1・2　直接 LU 分解……592
9・1・3　コレスキー分解……593
9・1・4　3重対角行列の LU 分解……593
9・1・5　繰返し法……594
9・1・6　加速法……594
9・1・7　残差修正法……595
9・2　固有値と固有ベクトル……596
9・2・1　べき乗法……596
9・2・2　直交化法と双直交化法……596
9・2・3　逆繰返し法……597
9・2・4　ヤコビ法……597
9・2・5　ギブンス法……598
9・2・6　ハウスホルダー法……599
9・2・7　対称3重対角行列の固有値，固有ベクトル……600
9・2・8　ハイマンの方法とダニレフスキー法……600
9・2・9　フランシスの QR 法……602
9・2・10　特異値分解……603
9・3　線形システムの計算法……603
9・3・1　e^{At} の計算法……603
9・3・2　行列の安定判別……604
9・3・3　リヤプノフ方程式の解法……606
9・3・4　可制御・可観測正準形の導出……607
9・3・5　可制御・可観測性の判定法……609
9・4　リカッチ行列方程式の解法とスペクトル分解……609
9・4・1　リカッチ行列方程式の解法……609
9・4・2　スペクトル分解（連続時間）……610
9・4・3　スペクトル分解（離散時間）……611
参考文献……612

10章　ベクトルと行列

章主査：須田信英
執筆委員：児玉慎三，須田信英，藤井隆雄

10・1　行列とその演算……613
10・1・1　行列の構成……613
10・1・2　行列の要素……613
10・1・3　行列の演算……613
10・1・4　いろいろな行列……613
10・2　行列式とトレース……614
10・2・1　行列式……614
10・2・2　トレース……615
10・2・3　逆行列……615
10・2・4　ブロック行列の行列式と逆行列……615
10・3　体上の基本変換と階数……615
10・3・1　基本行（列）変換……616
10・3・2　体上の行列の階数……616
10・3・3　連立1次方程式……616
10・3・4　一般化逆行列……617
10・4　多項式行列……617
10・4・1　多項式と多項式行列……617
10・4・2　主イデアル整域上での基本変換と階数……618
10・4・3　互いに素な行列……619
10・4・4　列（行）プロパーな行列……619
10・4・5　行列（$sI-A$）の性質……620
10・4・6　ペンシルとその正準形……621
10・4・7　有理関数行列とマクミラン次数……622
10・5　ベクトル空間と行列……622
10・5・1　ベクトル空間と部分空間……622
10・5・2　内積空間……624
10・5・3　線形変換と行列……625
10・6　固有値と固有ベクトル……627
10・6・1　固有値……627
10・6・2　特性多項式と最小多項式……628
10・6・3　行列変換と行列の標準形……629
10・6・4　行列要素と固有値……631
10・6・5　非負行列と M 行列……631
10・7　行列の関数……632
10・7・1　行列関数の定義……632
10・7・2　行列関数の表現……633
10・7・3　行列のノルムと行列級数……634

10·7·4 行列の微分と積分……635
10·7·5 行列の指数関数……635
10・8 行列方程式……636
10·8·1 線形方程式……636
10·8·2 非線形方程式……637
参考文献……640

III 部　制御理論の展開

部 主 査：古 田 勝 久

1章　ディジタル信号処理

章 主 査：有 本　卓
執筆委員：有 本　卓，平野浩太郎，門 田 良 実

1・1　信 号 と 情 報……647
1・1・1　離散時間信号とその周波数領域での表現 ……647
1・1・2　因果性数列と絶対加算可能な数列 ……648
1・1・3　z 変換とその性質 ……648
1・1・4　量　子　化 ……649
1・1・5　Rate-distortion 理論……651
1・2　高速フーリエ変換……652
1・2・1　基数 2 のクーリィ・テュキィ形算法 ……652
1・2・2　混合基数の FFT 算法 ……654
1・2・3　たたみ込み，相関関数の高速計算法 ……655
1・2・4　FFT の実装 ……656
1・2・5　巡回たたみ込みの高速計算法 ……657
1・2・6　ウィノグラードの FFT……658
1・2・7　数論変換に基づく FFT……658
1・3　高速スペクトル計算……659
1・3・1　レビンソン・ダービンの算法……659
1・3・2　スペクトル密度行列の高速計算法 ……661
1・3・3　非定常過程の高速スペクトル計算 ……662
1・4　ディジタルフィルタ……665
1・4・1　FIR フィルタ ……665
1・4・2　IIR フィルタ ……668
1・4・3　ディジタルフィルタの実現 ……672
1・4・4　2 次元ディジタルフィルタ ……673
参　考　文　献……676

2章　システムグラフと線形システムの構造

章 主 査：須 田 信 英
執筆委員：須 田 信 英，前 田 浩 一

2・1　システムグラフから状態方程式へ……679
2・1・1　グラフとシステム制御理論 ……679
2・1・2　回路網グラフとキルヒホッフの法則 ……679
2・1・3　回路網グラフから状態方程式へ ……683
2・2　状態方程式から構造的特性へ……686
2・2・1　状態方程式の構造とグラフ表現 ……686
2・2・2　システムの既約性 ……688
2・2・3　構造可制御性と構造可観測性 ……689
2・2・4　構造的システムタイプとロバストレギュレータ ……691
2・3　システムグラフから入出力特性へ……693
2・3・1　シグナルフロー線図のメーソン公式 ……694
2・3・2　回路網グラフの位相幾何的公式 ……695
2・3・3　ボンドグラフの場合 ……696
2・4　システムグラフから構造的特性へ……697
2・4・1　システム既約性 ……697
2・4・2　構造可制御/可観測性……699
参　考　文　献……700

3章 適応制御

章主査：鈴木 隆

執筆委員：市川邦彦，大松 繁，金井喜美雄，鈴木 隆，田村捷利，藤井省三

3・1 適応制御序論……701
3・1・1 適応制御の概要……701
3・1・2 MRASのためのパラメータ調整則……703
3・1・3 STRのためのパラメータ同定法……706
3・2 適応観測器……707
3・2・1 適応観測器の考え方……707
3・2・2 連続時間適応観測器の設計……708
3・2・3 離散時間適応観測器の設計……712
3・2・4 適応観測器を用いた適応制御系……713
3・2・5 雑音の影響，その他……714
3・3 モデル規範形適応制御系（MRACS）……714
3・3・1 MRACSの考え方……714
3・3・2 連続時間MRACSの設計……715
3・3・3 離散時間MRACSの設計……719
3・3・4 非最小位相系の適応制御……723
3・4 セルフチューニングレギュレータ（STR）……723
3・4・1 STRの考え方……723
3・4・2 最小分散形STRの設計……724
3・4・3 STRの収束解析……727
3・4・4 極零指定形STCの設計……728
参考文献……730

4章 分布定数システム

章主査：坂和愛幸

執筆委員：嘉納秀明，北村新三，坂和愛幸，中桐信一，藤井信夫，増淵正美

4・1 分布定数システム序論……735
4・1・1 分布定数システムとは……735
4・1・2 分布定数システムの表現……736
4・1・3 作用素の固有値と固有関数……738
4・2 可制御性・可観測性と関連問題……739
4・2・1 可制御性……739
4・2・2 可観測性……740
4・2・3 双曲形分布システムの可制御性と可観測性……741
4・2・4 放物形分布システムのフィードバックによる安定化……741
4・3 パラメータ同定……744
4・3・1 分布定数システムの可同定性……744
4・3・2 同定法……747
4・4 安定性……748
4・4・1 リヤプノフ安定……748
4・4・2 入出力安定……751
4・5 最適制御と有限次元近似……752
4・5・1 ハミルトン・ヤコビの方程式と変分不等式……752
4・5・2 グリーンの積分公式とLQ問題……754
4・5・3 モード解析とスピルオーバ……755
4・5・4 重みつき残差法と有限次元モデル……756
参考文献……759

5章 むだ時間システム

章主査：示村悦二郎

執筆委員：池田雅夫，内田健康，示村悦二郎，舟橋康行，山中一雄，渡部慶二

5・1 システムの表現……763
5・1・1 むだ時間要素……763
5・1・2 微分方程式による表現……763
5・1・3 関数微分方程式による表現……764
5・1・4 多項式環上の微分方程式による表現……764
5・2 可制御性および可観測性……764
5・2・1 可制御性……764
5・2・2 可観測性……766
5・3 最適制御……767
5・3・1 最適問題……767
5・3・2 最適性の条件……768
5・3・3 レギュレータ問題……771

5・4　フィードバック制御……772
5・4・1　安定化問題……772
5・4・2　極配置問題……774
5・4・3　観　測　器……776
5・5　その他の問題……777
5・5・1　時変むだ時間……777
5・5・2　不規則変動むだ時間……780
参　考　文　献……781

6章　非線形システム

章主査：古田勝久
執筆委員：石島辰太郎，大久保重範，雛元孝夫，舟橋康行，古田勝久，若松秀俊

6・1　非線形の表現……783
6・1・1　線形系と非線形系……783
6・1・2　I/O 関係……784
6・2　双線形システムと多項式アフィンシステム……788
6・2・1　構造問題……788
6・2・2　実現アルゴリズム……790
6・2・3　制御系設計……792
6・3　非線形系の制御系設計……794
6・3・1　非線形システムの非線形フィードバックによる線形化……794
6・3・2　その他……794
6・4　非線形システム……798
6・4・1　可到達性……798
6・4・2　可制御性……799
6・4・3　可観測性……800
6・4・4　実　　現……800
6・4・5　フィードバック系……801
6・4・6　逆システム……801
参　考　文　献……802

7章　確率システム

章主査：砂原善文
執筆委員：相原伸一，石川昌明，大住晃，小島史男，相良節夫，中野和司，中溝高好，福田得夫

7・1　確率システムモデリング……805
7・1・1　確率分布定数システムモデリング……805
7・1・2　システム環境のモデリング……805
7・1・3　システム境界のモデリング……807
7・1・4　確率分布定数システムモデルに対する数学的保証……808
7・1・5　非線形時系列モデル……808
7・2　状態およびパラメータ推定……810
7・2・1　極限フィルタ……810
7・2・2　線形分布定数システムの状態およびパラメータ推定……812
7・2・3　観測器の配置問題……814
7・2・4　不規則パラメータを持つ分布定数システムの状態推定……816
7・3　分布定数システムの最適制御……818
7・3・1　線形分布定数システムの最適制御……818
7・3・2　制御器の最適配置……820
7・3・3　分布定数システムの推定-制御……822
7・3・4　観測器と制御器の最適配置……823
7・3・5　不規則パラメータを持つ分布定数システムの最適制御……825
7・4　有限次元近似法……826
7・4・1　有限次元近似の方法論……826
7・4・2　推定・制御問題における偏微分方程式の近似法……829
参　考　文　献……832

8章 大規模システム

章主査：志水清孝，吉川恒夫
執筆委員：荒木光彦，相吉英太郎，池田雅夫，小林博明，志水清孝，辻 毅一郎，
前田 肇，吉川恒夫

8・1 大規模システム理論の概要……835
8・1・1 大規模システムの特徴 ……835
8・1・2 理論的手法の概説 ……835
8・2 大規模システムのモデル……835
8・2・1 取扱いの考え方 ……835
8・2・2 簡約モデル ……836
8・2・3 複合モデル ……838
8・3 複合システムの安定性……841
8・3・1 複合システムのリヤプノフ安定条件……841
8・3・2 複合システムの入出力安定条件 ……843
8・4 分散制御……847
8・4・1 分散制御と集中制御 ……847
8・4・2 安定化と極指定 ……847
8・4・3 サーボ問題 ……850
8・4・4 最適制御問題 ……851
8・4・5 推定と制御の分離 ……854
8・5 階層制御……855
8・5・1 多レベル制御 ……855
8・5・2 2レベル制御と分割法 ……856
8・5・3 多層制御 ……858
8・5・4 Stackelberg 制御 ……860
参考文献……862