

# 目 次

## 〈第 I 部 基礎編〉

<b>1. ロバスト制御系設計の概要</b> .....	(佐伯正美) ... 3
1.1 ロバスト制御と $H_\infty$ 制御理論 .....	3
1.2 モデル誤差表現 .....	4
1.3 モデル誤差と制御 .....	6
1.4 ロバスト安定性解析 .....	7
1.5 $H_\infty$ ノルムと入出力安定条件 .....	8
1.6 $H_\infty$ 制御理論と $\gamma$ -反復法 .....	11
1.7 ロバスト安定化問題を $H_\infty$ 制御系 CAD で解く .....	13
1.8 $\mu$ -解析と $\mu$ -設計 .....	15
1.9 ロバストパフォーマンス .....	17
1.10 より良い設計のために .....	19
<b>2. 関連・基礎事項の整理</b> .....	(佐伯正美) ... 20
2.1 特異値とフロベニウスノルム .....	20
2.1.1 特 異 値 .....	20
2.1.2 フロベニウスノルム .....	22
2.2 状態方程式表現と変換公式 .....	23
2.2.1 状態方程式表現 .....	23
2.2.2 変 換 公 式 .....	25
2.3 可安定性と可検出性 .....	26
2.4 リアプノフ方程式 .....	27
2.5 リッカチ方程式 .....	28
2.5.1 ハミルトニアン行列と解の求め方 .....	28
2.5.2 リッカチ方程式の性質 .....	32

<b>3. <math>H_\infty</math> ノルムと <math>H_2</math> ノルム</b> .....	(佐伯正美) ... 34
3.1 周波数領域でのノルムの定義とゲイン特性の評価 .....	34
3.1.1 有理行列に関する言葉の定義 .....	34
3.1.2 $H_\infty$ ノルムの定義と性質 .....	35
3.1.3 $H_\infty$ ノルムを用いたゲイン特性の評価 .....	36
3.1.4 $H_2$ ノルムの定義と性質 .....	37
3.2 時間領域でのノルムの定義 .....	38
3.2.1 $H_\infty$ ノルム .....	38
3.2.2 $H_2$ ノルム .....	39
3.2.3 $H_\infty$ ノルムと $H_2$ ノルムの比較 .....	41
3.3 ノルムの数値計算法 .....	41
3.3.1 $H_\infty$ ノルムの計算 .....	41
3.3.2 $H_2$ ノルムの計算 .....	43
3.3.3 $H_\infty$ ノルムと $H_2$ ノルムの計算の比較 .....	44
<b>4. <math>H_\infty</math> 制御理論</b> .....	(佐伯正美) ... 46
4.1 $H_\infty$ 標準問題と解 .....	46
4.1.1 $H_\infty$ 標準問題 .....	46
4.1.2 $H_\infty$ 標準問題の解 .....	48
4.1.3 標準問題の仮定 A6 と A7 に関する補足 .....	51
4.1.4 コントローラの働き .....	53
4.2 $H_\infty$ 標準問題の解の導出 .....	56
4.2.1 解の導出 .....	56
4.3 $H_\infty$ 制御問題の前提条件を満たすには .....	62
4.3.1 前提条件の意味 .....	62
4.3.2 前提条件を満たすには .....	65
4.4 $H_2$ 制御理論や LQG 制御理論との関係 .....	68
4.4.1 $H_2$ 制御問題と解 .....	68
4.4.2 仮定 A6 と A7 に関する補足 .....	70
4.4.3 LQG 制御理論や $H_2$ 制御理論との関係 .....	70

<b>5. ロバスト安定性解析</b> .....	(佐伯正美) ... 76
5.1 モデル誤差の表現 .....	76
5.1.1 加法的モデル誤差表現 .....	76
5.1.2 乗法的モデル誤差表現 .....	78
5.1.3 正規化左既約分解表現によるモデル誤差表現 .....	79
5.1.4 モデル誤差の LFT 表現 .....	81
5.1.5 複数のモデル誤差を含むシステムの LFT 表現 .....	82
5.2 ロバスト安定条件 .....	84
5.2.1 ナイキスト安定条件とスモールゲイン定理 .....	84
5.2.2 ロバスト安定条件の導出 .....	85
5.3 $\mu$ -安定解析 .....	87
5.3.1 構造化特異値とロバスト安定条件 .....	87
5.3.2 構造化特異値の性質と計算 .....	88
5.3.3 $\mu$ -安定解析の例 .....	91
5.3.4 ロバストパフォーマンスの評価 .....	93
5.3.5 ロバストパフォーマンスの評価の数値例 .....	93
5.4 非線形システムの安定性解析と定数スケーリング行列 .....	95
<b>6. 制御特性とトレードオフ</b> .....	(佐伯正美) ... 97
6.1 感度関数と相補感度関数 .....	97
6.1.1 感度関数と相補感度関数の定義 .....	97
6.1.2 感度関数と相補感度関数の制約 .....	98
6.2 外乱抑制と雑音除去 .....	101
6.3 感度特性 .....	102
6.4 制御性能間のトレードオフとループ整形 .....	105
6.4.1 ロバスト安定性と感度特性 .....	105
6.4.2 外乱と雑音の抑制とトレードオフ .....	106
6.5 古典制御とループ整形 .....	107
<b>7. ロバスト制御系設計法</b> .....	(佐伯正美) ... 110
7.1 混合感度法によるループ整形 .....	110
7.1.1 混合感度法と特徴 .....	110

7.1.2	虚軸に近い極が存在する場合の修正混合感度法	113
7.2	正規化既約分解 (NCF) 法によるループ整形	115
7.2.1	正規化既約分解に基づくロバスト安定化問題の解	115
7.2.2	NCF 法	117
7.2.3	NCF 法の重み $V, W$ の選び方	118
7.3	ロバスト極配置法	122
7.4	サーボ系の設計法	123
7.4.1	システムタイプと定常偏差	124
7.4.2	ロバスト定常特性の達成	125
7.4.3	2自由度制御系	126
7.5	$\mu$ -設計法	128
7.5.1	$\mu$ -設計と DK 反復法	128
7.5.2	定数スケーリング行列つき $H_\infty$ 制御	132
第 I 部 参考文献		134
〈第 II 部 応用編〉		
8.	倒立振子の制御 (佐伯正美)	138
8.1	倒立振子のモデル	138
8.2	混合感度法の適用	140
8.3	ロバスト極配置法の適用	142
9.	2 慣性系の制振制御 (佐伯正美)	145
9.1	2 慣性系モデルと設計仕様	145
9.2	コントローラの設計	146
9.2.1	フィードバックコントローラの設計	146
9.2.2	フィードフォワードコントローラの設計	148
9.3	シミュレーションによる時間応答の比較	150
10.	磁気浮上系 (藤田政之)	152
10.1	磁気浮上系の記述	152
10.1.1	柔軟ビーム磁気浮上系	152
10.1.2	理想的な数学モデル	154

10.2	$H_\infty$ 制御系設計 1	156
10.2.1	モデリング	156
10.2.2	問題設定	159
10.2.3	制御系設計	161
10.2.4	実験結果	165
10.3	$H_\infty$ 制御系設計 2	167
10.3.1	モデリング	168
10.3.2	問題設定	170
10.3.3	制御系設計	173
10.3.4	実験結果	177
第 10 章 参考文献		180
11.	燃料噴射ポンプ (大羽勝広)	181
11.1	電子制御ディーゼルエンジンシステム	182
11.2	モデル化	183
11.3	制御系設計	186
11.3.1	$H_\infty$ 制御理論の適用	186
11.3.2	重み関数に積分器を含ませる方法	192
11.3.3	最適レギュレータの実現	195
11.4	コントローラの実現	197
11.5	実験結果	199
第 11 章 参考文献		200
12.	アクティブサスペンション (藤森一雄・山下勝司)	201
12.1	モデリング	204
12.1.1	単輪シミュレータベンチの概要	204
12.1.2	数式モデルの作成	204
12.1.3	未知パラメータの同定	206
12.1.4	状態空間表現	208
12.2	制御系設計	208
12.2.1	$H_\infty$ ノルムと $H_\infty$ 制御問題	208
12.2.2	パフォーマンスに関する制御仕様	209

12.2.3	ロバスト性に関する制御仕様	212
12.2.4	拡張プラント	214
12.2.5	$H_\infty$ 制御系設計問題	215
12.3	制御系評価	216
12.3.1	路面外乱に対する周波数応答	216
12.3.2	路面外乱に対するステップ応答	217
12.3.3	操縦負荷に対するステップ応答	218
12.3.4	ロバスト性に関する評価	218
第12章	参考文献	220
索 引		223