



# 自動制御

## 目次

### 第1章 線形自動制御総説

1.1	自動制御の概要	1
1.2	フィードバック制御系の構成	2
1.3	制御系の解析法	4
1.3.1	過渡解	4
1.3.2	定常解、周波数レスポンス	5
1.3.3	ラプラス変換法	5
1.4	線形制御系の安定度	10
1.4.1	線形制御系の安定度	10
1.4.2	ルースの判別法	12
1.4.3	根軌跡法	13
1.4.4	ナイキスト線図と安定判別法	16
1.4.5	逆軌跡	18
1.5	オープンループ伝達関数の対数表示、ボード線図	20
1.5.1	概 説	20
1.5.2	振幅曲線だけに基づく考察	23
1.5.3	最小位相系	25
1.6	閉ループ系の特性の考察	26
1.6.1	$M$ 軌跡による考察	26
1.6.2	対数振幅一位相角平面におけるニコルス線図	28
1.7	制御系における外乱	29
1.8	制御系の精度	30
1.9	摘要	32
1.10	問題	33

## 第2章 制御系のシンセシス

2.1	制御系の設計一般.....	36
2.2	系の仕様.....	37
2.3	減衰特性の合成.....	40
2.4	制御系の特性改善法.....	42
2.4.1	ゲインの調整.....	42
2.4.2	補償回路を用いる方法..... 概　説——進相回路——遅相回路	43
2.5	摘　要.....	45
2.6	問　題.....	45

## 第3章 非直線系とサンプリング制御系

3.1	リレー制御系.....	49
3.1.1	概　説.....	49
3.1.2	記述関数.....	51
3.1.3	コーヘンバーガーの方法.....	53
3.1.4	位相面による解析.....	54
3.1.5	平衡点，閉軌道..... 平衡点——閉軌道	58
3.1.6	リニヤスイッチング.....	60
3.1.7	オプチマム・スイッチング.....	63
3.2	サンプリング制御.....	65
3.2.1	パルス列.....	65
3.2.2	要素の結合.....	69
3.2.3	誤差係数.....	72
3.2.4	有限整定時間応答.....	72
3.2.5	拡張 z 変換.....	75
3.3	摘　要.....	78

3.4 問題	78
--------	----

## 第4章 統計的手法

4.1 総説	80
4.2 確率の基礎	81
4.2.1 事象と集合	81
4.2.2 確率空間、確率分布および確率	82
4.2.3 確率空間の混成	84
4.2.4 分布関数	86
4.2.5 直積集合	87
4.2.6 確率変数	87
4.2.7 保測変換とエルゴード定理	88
4.2.8 定常確率過程	89
4.3 相関関数	90
4.3.1 相関係数	90
4.3.2 相関関数	91
4.3.3 連続関数の相関関数	91
概説——自己相関関数——相互相関関数——有限相関関数	
4.4 スペクトル密度	98
4.5 自動制御への応用	103
4.5.1 不規則入力の要素通過	103
4.5.2 信号の分析	105
4.5.3 動特性の決定	106
4.5.4 自動制御系の設計	109
4.6 概説	114
4.7 摘要	115
4.8 問題	116

## 第5章 プロセス制御

5.1 プロセス制御系の構成	117
----------------	-----

5.2	プロセスの特性	118
5.3	プロセスの制御動作	120
5.3.1	比例動作	120
5.3.2	積分動作および PI 動作	122
5.3.3	微分動作および PID 動作	123
5.4	プロセス工業系の計測器および制御用機器の記号	126
5.5	摘要	129
5.6	問題	129

## 第 6 章 プロセス信号変換器

6.1	総 説	130
6.2	温 度 計	130
6.2.1	概 説	130
6.2.2	気体または液体膨脹温度計	131
6.2.3	バイメタル温度計	132
6.2.4	熱電温度計	132
6.2.5	抵抗温度計	134
6.2.6	放射温度計	135
6.2.7	光電管高温計	136
6.2.8	温度計の動特性	137
6.2.9	接触形の温度計と放射による温度計との一般的得失の比較	138
	接触形温度計の得失——放射による温度計の得失	
6.3	压 力 計	139
6.3.1	概 説	139
6.3.2	機械式圧力計	139
6.3.3	電気式圧力計	140
6.4	流 量 計	141
6.4.1	概 説	141
6.4.2	差圧式流量計	142
6.4.3	面積式流量計	144

6.4.4	流速式流量計	145
6.4.5	容積式流量計	146
	歯車式流量計——円板式流量計——ドラム式流量計——湿式ガスマ ータ——ピストン式流量計——乾式ガスマータ	
6.4.6	電磁流量計	147
6.4.7	起音波流量計	148
6.5	液面計	149
6.5.1	概　　説	149
6.5.2	差圧式液面計	150
6.5.3	フロート式液面計	150
6.5.4	γ線液面計	151
	フロート式——透過式——追従式	
6.5.5	起音波液面計	152
6.6	ガス成分	153
6.6.1	概　　説	153
6.6.2	熱伝導式ガス成分計	153
6.6.3	燃焼式ガス成分計	154
6.6.4	音響式ガス成分計	154
6.6.5	磁気酸素計	155
6.6.6	赤外線ガス成分計	156
6.7	液体成分計	158
6.7.1	概　　説	158
6.7.2	pH計（水素イオン濃度計）	158
6.7.3	液体濃度計	159
6.8	湿度計	160
6.8.1	概　　説	160
6.8.2	電気式乾湿球湿度計	160
6.8.3	電気抵抗湿度計	161
6.8.4	デュー・セル電気露点計	162
6.8.5	光電管式露点湿度計	163

6.9	連続厚さ計	163
6.9.1	概 説	163
6.9.2	電気式連続厚さ計	164
6.9.3	放射線連続厚さ計	164
6.10	摘 要	166
6.11	問 題	167

## 第7章 プロセス用調節器および操作装置

7.1	調節器の構成と分類	168
7.2	調節器の動作	169
7.2.1	プロセスの自己平衡性	169
7.2.2	二位置動作	170
7.2.3	単速度動作 プロセスに自己平衡性のない場合——プロセスに自己平衡性のある 場合	172
7.2.4	比例速度動作	176
7.2.5	P 動作	178
7.2.6	P I 動作	180
7.2.7	P I D 動作	181
7.3	電気式調節器	182
7.3.1	電気式二位置調節器	182
7.3.2	電気式 P 調節器	183
7.3.3	RC 回路と電気式 P I D 調節器	184
7.3.4	入力変換器	186
7.4	空気圧式調節器	187
7.4.1	比較機構	187
7.4.2	空気圧式 P 調節器	188
7.4.3	空気圧式 RC 回路と空気圧式PID 調節器	188
7.4.4	力平衡式の P 調節器	189
7.5	油圧式調節器	189

7.5.1	油圧式速度動作調節器	189
7.5.2	油圧式P調節器	190
7.6	操作装置	191
7.6.1	電気式操作装置	191
7.6.2	空気圧式操作装置 弁軸移動形弁——バルブポジショナ——弁の特性——弁座——インナーバルブ	193
7.6.3	油圧式操作装置	195
7.7	摘要	197
7.8	問題	198

## 第8章 同期発電機用無接点形自動電圧調整器

8.1	総説	199
8.2	無接点形同期発電機 AVR の形式および主要機器の配置	199
8.2.1	形式	199
8.2.2	主要機器の配置	200
8.2.3	増幅発電機の駆動方法	201
8.2.4	磁気増幅器用の交流電源	201
8.3	電圧検出回路	201
8.3.1	不平衡電圧に対する電圧要素のとり方	201
8.3.2	電圧偏差検出回路	202
8.4	調整偏差と速応性	204
8.4.1	電圧調整偏差	204
8.4.2	速応性	205
8.5	無接点形同期発電機用 AVR の実例	204
8.5.1	アンプリダインを用いた例	204
8.5.2	HTD を用いた例	205
8.5.3	トランスタクタレギュレータ	205
8.5.4	ロートトロールレギュレータ	206
8.5.5	マグアンプレギュレータ	206

8.5.6	磁気増幅器を用いる例	207
8.6	系統運転に伴なう付加補助装置	207
8.6.1	横流防止装置	207
8.6.2	励磁の上限を制限する装置（無効電流制限）	208
8.6.3	力率調整器	208
8.6.4	励磁の下限を制限する装置（広範囲調整）	209
8.6.5	その他	209
8.7	摘要	210
8.8	問題	211

## 第9章 電動機速度制御

9.1	総説	212
9.2	速度の検出法	212
9.3	速度に関する要求と制御方式	215
9.3.1	定速度運転の要求	215
	ほぼ定速度の要求——多段ほぼ定速度の要求——定速度(固有平衡) 運転——連続可変速度運転	
9.3.2	定速度制御	216
9.3.3	連続広範囲定速度制御	220
9.3.4	急加減速制御	221
9.3.5	プログラム制御	222
9.3.6	揃速制御	223
9.3.7	可変速度運転	225
9.4	静止レオナード方式の運転制御	225
9.4.1	任意速度における定速運転	225
9.4.2	加減速および正逆切替運転	227
	1台の水銀整流器で行う場合——2台の水銀整流器を用いる場合	
9.4.3	揃速制御	228
9.5	電流・トルクに関する要求と制御方式	228
9.5.1	定電流制御（定張力制御・定トルク制御）	228
	定張力制御——定トルク制御	

9.5.2	電流制限制御.....	229
9.5.3	負荷平衡制御.....	230
	電源の負荷平衡——電動機の負荷平衡	
9.5.4	負トルクが要求される場合.....	232
9.6	分塊圧延機の自動制御.....	233
9.7	位置およびループに関する要求と制御方式.....	234
9.7.1	追従制御と位置制御.....	234
	ロートトロールを用いた例——アンプリダインを用いた例	
9.7.2	ループ制御.....	235
9.7.3	レジスタ制御.....	237
9.8	誘導電動機を用いる速度制御.....	238
9.8.1	概　　説.....	238
9.8.2	周波数制御法.....	239
9.8.3	一次電圧制御法.....	241
	リアクトルを各相に挿入する方式——リアクトルの接続を工夫した	
	正逆転方式——同期ブースタ法	
9.8.4	二次回路制御法.....	246
	自動すべり調整器——静止セルピウス方式——静止クレーマ方式	
	——巻線形誘導電動機群の揃速制御	
9.8.5	継手機構を用いる方法.....	248
	概説——液体継手による方法——電磁継手による方法	
9.8.6	交流巻上機の制御法.....	251
9.9	摘　　要.....	251
9.10	問　　題.....	253

## 第10章 サーボ機構の応用

10.1	総　　説.....	255
10.2	增幅器, 変調器, 復調器.....	255
10.2.1	増幅器.....	255
	增幅器の種類——增幅回路の分類	

---

10.2.2	変調器（交直変換器）	257
	変調器に要求される事項——バイブレータ形——リクトル形——	
	検流計形——真空管形（多極管を用いるもの）——真空管形（2極 管を用いるもの）	
10.2.3	復調器	260
10.3	自動平衡計	261
10.3.1	動作の大要	261
10.3.2	電流規正装置	262
10.3.3	増幅器, モータ, ギヤ	263
10.3.4	すべり抵抗	264
10.3.5	閾数抵抗	264
10.3.6	記録, 調節機構	264
10.3.7	感度, 応答速度	265
10.3.8	持色, 用途, その他	265
10.4	レーダへの応用	266
10.4.1	レーダの概要	266
	Aスコープ——Jスコープ——PPI	
10.4.2	アンテナおよび指示機構の制御	269
10.4.3	自動距離測定（自動時間差測定）	271
10.4.4	位置の自動追尾	272
	円すい走査——自動追尾機構設計の問題点	275
10.4.5	その他の応用	276
10.5	工作機構への応用	277
10.5.1	概説	277
10.5.2	ならい制御	278
	テンプレート加工工作機——曲線追従式ガス切断機——その他	
10.5.3	数値制御	281
	フィードバックにパルスの数を用いる方法——駆動機構にステップ モータを用いる方法——D-A 変換とアナログサーボ機構を用いる 方法——ディジタルサーボ機構を用いる方法	

10.6	摘要	283
10.7	問題	283

## 第11章 データ処理装置

11.1	アナログ-デジタル変換器	284
11.1.1	情報の量子化	284
11.1.2	アナログ-デジタル変換器の構成および分類	285
11.1.3	符号板形変換器	286
11.1.4	計数形変換器	291
11.1.5	不連続平衡形変換器	294
11.1.6	変換器の性能	296
	精度—変換速度—測定範囲	
11.2	数字式データ処理装置	298
11.2.1	数字式データ処理と物理系の結合	298
11.2.2	数字式データ処理装置の構成と機能	299
11.2.3	プロセス変数の検出と変換	301
11.2.4	スケール・ファクタと直線化	302
11.2.5	走査器	303
11.2.6	アナログ-デジタル変換器	304
11.2.7	指令器（プログラミング機構）	304
11.2.8	出力装置	305
11.2.9	数字式データ処理装置の実際	305
	Arnoux 社 MADIS I—Beckman 社 Model 210—Fischer & Porter 社 1200 形データ処理装置	
11.3	計算機制御	309
11.4	摘要	311
11.5	問題	312
付録Ⅰ	ラプラス変換法の制御系解析における応用	313
付録Ⅱ	自動制御標準用語（自動制御専門委員会）	315
索引		328