

I 部 要 素

部 主 査：多 田 修

1 章 検 出 要 素

章 主 査：大 手 明，光 安 秀 雄

執 筆 委 員：荒 川 美 明，石 川 宏 俊，今 村 誠，牛 窪 肖，大 手 明，大 幡 秀 一，
桑 原 一，玄 忠，坂 田 衛，沢 山 武 弘，高 橋 昭，玉 手 徳 太 郎，
西 原 正，原 田 謹 爾，福 澤 勝 義，古 谷 隆 志，前 田 利 重，増 田 良 介，
松 本 俊 哲，吉 田 清

1.1	プロセス量検出要素	3	1.3.1	力・ひずみセンサ	41
1.1.1	温度センサ	3	1.3.2	変位・角度センサ	45
1.1.2	湿度センサ	7	1.3.3	厚さのセンサ	50
1.1.3	熱流センサ	9	1.3.4	重量センサ	51
1.1.4	圧力センサ	11	1.3.5	速度・加速度センサ	53
1.1.5	流量センサ	15	1.3.6	振動センサ	56
1.1.6	液位・レベルセンサ	20	1.3.7	回転速度センサ	57
1.1.7	密度センサ	23	1.3.8	トルクセンサ	59
1.1.8	粘度センサ	25	1.4	その他の検出要素	61
1.1.9	濁度センサ	26	1.4.1	交通方位・姿勢・速度センサ	61
1.2	組成量検出要素	28	1.4.2	視覚・触覚・力覚センサ	64
1.2.1	液体組成量センサ	28	1.4.3	光・パターンセンサ	67
1.2.2	気体組成量センサ	35		参 考 文 献	71
1.3	機械量検出要素	41			

2 章 信号伝達・処理要素

章 主 査：垂 井 忠 明

節 担 当：光 安 秀 雄 (2.4)

執 筆 委 員：小 川 利 訓，小 笠 原 良 成，小 柳 勝 海，白 庄 司 進，鈴 木 荘 一，田 中 裕 久，
徳 重 芳，土 沼 健 一，長 島 良 武，中 野 和 夫，浪 本 敬 二，平 田 照 宙，
広 瀬 謙 二，松 本 邦 雄，向 出 靖 弘

2.1	アナログ処理要素	75	2.2.4	半導体メモリー	97
2.1.1	増幅要素	75	2.2.5	マイクロプロセッサと周辺 IC	100
2.1.2	アナログ処理要素	81	2.3	光伝達・処理要素	110
2.1.3	半導体結合素子	89	2.3.1	発光素子	110
2.2	デジタル処理要素	91	2.3.2	受光素子	111
2.2.1	リレー	91	2.3.3	光ファイバ	111
2.2.2	汎用ロジック用集積回路	91	2.3.4	光伝送システム構成部品	112
2.2.3	論理用 LSI	94	2.4	流体伝達・処理要素	114

2-4-1 油空圧回路	114	2-4-5 空気圧サーボ弁	120
2-4-2 油圧制御弁	115	2-4-6 フルイディクス (純流体素子)	121
2-4-3 油圧サーボ弁	118	参 考 文 献	124
2-4-4 空気圧制御弁	119		

3 章 操 作 要 素

章 主 査：牧 野 洋

執筆委員：浅見有一，大池洋三，大田吉彦，大築貞治，川端実，久保島毅，
佐久間馨，佐甲進，寺島宏，名取正樹，新村佳久，保城武，
山田一

3-1 電動機・電気アクチュエータ	127	3-2-4 クラッチ，ブレーキ	143
3-1-1 DC サーボモータ	127	3-2-5 ボールねじ	144
3-1-2 AC サーボモータ	130	3-2-6 直動ころがり案内軸受	145
3-1-3 ステッピングモータ	133	3-2-7 ベルト	145
3-1-4 リニアモータ	137	3-3 油空圧アクチュエータ	147
3-1-5 ソレノイド	138	3-3-1 油圧アクチュエータ	147
3-2 サーボ機構用機械要素	140	3-3-2 空気圧アクチュエータ	149
3-2-1 減速機	140	3-3-3 真空アクチュエータ	150
3-2-2 変速機	141	参 考 文 献	150
3-2-3 軸継手	142		

4 章 表示・スイッチ要素

章 主 査：渡 部 一 字

執筆委員：渥美晴夫，上出久，岡崎大陸，坂口芳郎，住田恒世，高井哲也，
林 哲

4-1 機械式表示要素	151	4-4 液晶表示要素	164
4-1-1 面選択式表示器	151	4-4-1 セグメント形液晶ディスプレイ	164
4-1-2 パターン選択式表示器	151	4-4-2 マトリクス形液晶ディスプレイ	167
4-2 電子管式表示要素	152	4-5 スイッチ	167
4-2-1 ネオンランプ	152	4-5-1 押ボタンスイッチ	168
4-2-2 けい光表示管	153	4-5-2 電けん	169
4-2-3 表示放電管	154	4-5-3 トグルスイッチ	169
4-2-4 間接放電形パネルディスプレイ	154	4-5-4 ロータリスイッチ	170
4-2-5 直接放電形パネルディスプレイ	155	4-5-5 マイクロスイッチ	170
4-2-6 工業用ブラウン管	156	4-5-6 表示回転スイッチ	170
4-3 固体発光表示要素	158	4-5-7 スライドスイッチ	171
4-3-1 発光ダイオード(LED)表示要素	158	参 考 文 献	171
4-3-2 電界発光(EL)表示要素	160		

II部 複 合 要 素

部 主 査：長谷川健介

1 章 複合要素基礎技術

章 主 査：小林 彬

執筆委員：大手 明，小畑秀文，加藤肇彦，川崎忠道，小林 彬，田中 智，
山田 光

1・1 アナログ演算技術	179	1・3・2 D/A変換技術	185
1・1・1 基本演算回路	179	1・4 変調，復調技術	185
1・1・2 抵抗演算回路	179	1・4・1 変復調器の種類と構成	185
1・1・3 電流出力回路	180	1・4・2 各種変復調方式	185
1・1・4 比例・積分・微分演算回路	180	1・4・3 誤り率とS/N	187
1・1・5 対数演算回路	180	1・5 相 関 技 術	188
1・1・6 折線回路	180	1・5・1 相関関数とスペクトル密度	188
1・1・7 開平演算回路	180	1・5・2 相関関数およびスペクトル密度の 測定法	188
1・2 デジタル演算技術	181	1・5・3 高速フーリエ変換	189
1・2・1 デジタル演算回路の分類	181	1・6 フィルタ技術	190
1・2・2 ゲートのみを応用したデジタル 演算回路	181	1・6・1 デジタルフィルタ	190
1・2・3 フリップフロップを含む演算回路	182	1・6・2 空間フィルタ	193
1・3 A/D, D/A変換技術	183	参 考 文 献	194
1・3・1 A/D変換技術	183		

2 章 信号変換機器

章 主 査：嘉山長興

執筆委員：秋山忠次，嘉山長興，木村 惇，吉田 豪

2・1 信号変換機器の概要	195	2・3・5 シングルループコントローラ	210
2・2 電気信号変換器	196	2・4 A/D, D/A変換器	210
2・2・1 圧力・差圧変換器(伝送器)	196	2・4・1 素子概観	210
2・2・2 流量変換器	199	2・4・2 付加機能	211
2・2・3 レベル変換器	203	2・4・3 多機能D/A変換器	212
2・2・4 温度変換器	204	2・4・4 出力絶縁機能	213
2・2・5 濃度変換器	207	2・4・5 自動校正	213
2・3 電気信号演算器	207	2・4・6 デジタル電圧計	215
2・3・1 リニアライザ付A/D変換器	208	2・5 空気圧・信号変換器	215
2・3・2 デジタル演算器の構成	209	2・5・1 圧 力	215
2・3・3 アナログプロセッサ	209	2・5・2 流 量	216
2・3・4 デジタル演算器の演算機能	209	2・5・3 液 位	217

2・5・4	温度	218	2・6・3	開平演算器	221
2・5・5	比重・密度	218	2・6・4	遅れ補償器	221
2・5・6	変位(角度)	219	2・7	電圧・空電変換器	221
2・5・7	パルプ濃度	219	2・7・1	電空変換器	221
2・6	空気圧・信号演算器	219	2・7・2	空電変換器	222
2・6・1	加減算器	219	2・8	信号変換器の今後の動向	222
2・6・2	乗除算器	220		参考文献	222

3章 デジタル伝送の方式と装置

章主査：上谷晃弘

執筆委員：上谷晃弘，奥原弘夫，筑間誠，南部滋雄

3・1	伝送方式とその特長	223	3・3・1	概説	230
3・1・1	概説	223	3・3・2	伝送システムの水平・垂直的展開	231
3・1・2	デジタル伝送のアーキテクチャ	223	3・3・3	計装制御システムにおける伝送 システムのレベルと構成	231
3・1・3	伝送速度とその位置付け	223	3・3・4	今後の方向	235
3・1・4	動向	225	3・4	光伝送	235
3・2	伝送機器	225	3・4・1	概説	235
3・2・1	概説	225	3・4・2	光伝送の特長と適用分野	235
3・2・2	データ伝送方式	226	3・4・3	光伝送システムの構成	236
3・2・3	データ交換方式	226	3・4・4	今後の動向	237
3・2・4	伝送機器	226		参考文献	238
3・2・5	今後の方向	229			
3・3	伝送システムのレベルと構成	230			

4章 アナログ調節計

章主査：福田隆平

執筆委員：志賀龍英，中川一良

4・1	空気式調節計	239	4・2・2	汎用小形アナログ電子式調節計	246
4・1・1	概説	239	4・2・3	分離形アナログ電子式調節計	247
4・1・2	空気式計器の基本原理と構成要素	239	4・2・4	電子式調節計の各種機能とその働き	247
4・1・3	空気式調節器の動作原理	241	4・2・5	コンピュータとの接続	251
4・1・4	小形空気式調節計システム	242	4・2・6	調節計の信頼性	254
4・1・5	現場形指示調節計	245	4・2・7	アナログ電子式調節計の具体的回路	256
4・2	電子式調節計	246		参考文献	256
4・2・1	概説	246			

5章 デジタル調節計

章主査：甲斐忠道

執筆委員：大森和男

5・1	デジタル調節計の概要	257	5・2・1	概説	259
5・2	デジタルブレンド/バッチングコントローラ	259	5・2・2	システム構成とコントローラ	259

5.2.3	ハードワイヤードデジタルブレン ディング/パッチングコントローラ	260	5.3.3	機能とソフトウェア	262
5.2.4	マイクロコンピュータによるデジタル パッチング/ブレンディングコントローラ	260	5.4	シングルループコントローラ	263
5.3	マルチループコントローラ	261	5.4.1	概 説	263
5.3.1	概 説	261	5.4.2	構成とハードウェア	263
5.3.2	マルチループコントローラの構成	261	5.4.3	機能と内蔵プログラム	263
			参 考 文 献		266

6 章 調 節 弁

章 主 査：田代佳也

執筆委員：椎木 晃, 田代佳也, 難波誠司

6.1	弁本体と主要構造	267	6.3.2	流量特性	286
6.1.1	弁 本 体	267	6.4	材料選定と応用上の留意点	286
6.1.2	主要構造	267	6.4.1	圧力容器部材料(本体材料)	287
6.1.3	バルブトリム	270	6.4.2	トリム材料	288
6.1.4	上 蓋	272	6.4.3	シール材料(ガスケット, グラウンドパッキン材料)	288
6.1.5	圧力容器の基準と配管接続の基準	272	6.4.4	駆動部および付属品関連材料	289
6.2	駆 動 部	273	6.5	安全, 環境および保全技術	291
6.2.1	駆 動 部	273	6.5.1	安 全	291
6.2.2	アナログ駆動部	274	6.5.2	環 境 保 全	292
6.2.3	デジタル駆動部	281	6.5.3	保 全 技 術	293
6.3	サイジングと流量特性	283	参 考 文 献		293
6.3.1	サイジング	283			

7 章 シーケンス制御機器

章 主 査：大野秀嶺

執筆委員：大野秀嶺, 関口 隆

7.1	制御装置の構成機器	295	7.3	プログラマブルコントローラ(PC)	298
7.1.1	構成機器の機能	295	7.3.1	PLCの特徴	298
7.1.2	制御用機器の種類	295	7.3.2	PLCの基本構成と動作原理	299
7.2	プログラム制御機器	296	7.3.3	PLCの種類	302
7.2.1	ダイオードマトリクス	296	7.3.4	PC-PLCの拡張形	303
7.2.2	プログラム制御機器の例	297	参 考 文 献		304

8 章 マンマシンインタフェース関連機器

章 主 査：高 藤 剛

執筆委員：中川脩一, 樋口政信, 光安秀雄, 村上義英

8.1	指 示 計	305	8.2	表 示 装 置	306
8.1.1	可動コイル形アナログ指示計	305	8.2.1	CRTディスプレイ	306
8.1.2	光示式アナログ指示計	305	8.2.2	特殊CRTを用いたディスプレイ	307
8.1.3	デジタル指示計	306	8.2.3	その他の表示装置	308

8・3 記 録 計	308	8・6 音声入出力装置	316
8・3・1 サーボ記録計	308	8・6・1 音声入力(認識)装置	316
8・3・2 ハイブリッド記録計	309	8・6・2 音声出力(応答)装置	318
8・4 記 録 装 置	311	8・7 支 援 記 憶 装 置	319
8・4・1 プリンタ	311	8・7・1 表示装置用	319
8・4・2 ハードコピー	312	8・7・2 記録装置用	320
8・5 図形入出力装置	313	8・7・3 図形入出力装置用	320
8・5・1 図形入力装置	313	8・7・4 音声入出力装置用	320
8・5・2 図形出力装置	314	参 考 文 献	320

9章 画像処理装置

章主査：佐藤 敬

執筆委員：井原廣一，烏野 武，高木幹雄，山本眞司

9・1 画像処理装置の概要	321	9・2・3 アレイプロセッサ	324
9・1・1 デジタル画像処理	321	9・2・4 汎用イメージプロセッサ	324
9・1・2 デジタル画像処理の流れ	322	9・3 画像処理装置の応用	325
9・1・3 デジタル画像処理の目的	322	9・3・1 産業用画像処理装置	325
9・1・4 デジタル画像処理の応用分野	323	9・3・2 医用画像処理装置	326
9・2 汎用画像処理装置	323	9・3・3 衛生画像処理	327
9・2・1 プロセッサの分類	323	参 考 文 献	329
9・2・2 高速化・汎用化のための基本的な方法	324		

10章 記 憶 装 置

章主査：横山 晃

執筆委員：平野 徹，横山 晃

10・1 記憶装置の概要	331	10・3・3 バブルチップ構成	336
10・1・1 記憶技術	331	10・3・4 磁気バブルメモリー装置の構成	336
10・1・2 各種記憶装置の概要	331	10・4 半導体記憶装置	336
10・2 磁気記憶装置	332	10・4・1 スタティック形RAM	336
10・2・1 磁気記録技術と高密度化	332	10・4・2 ダイナミック形RAM	337
10・2・2 磁気ディスク装置	333	10・4・3 ROM	337
10・2・3 磁気テープ装置，その他	334	10・5 光学的記憶装置	337
10・2・4 制御装置	334	10・5・1 概 説	337
10・3 磁気バブル記憶装置	335	10・5・2 光磁気記憶装置	337
10・3・1 磁気バブル	335	10・5・3 ビデオディスク技術の応用	338
10・3・2 バブル記憶素子	335	参 考 文 献	338

11章 制御用計算機

章主査：今井 溥

執筆委員：井手寿之，平井浩二，平沢宏太郎

11・1 制御用計算機の概要	339	11・1・1 制御用計算機の特徴	339
----------------	-----	------------------	-----

目	次
11・1・2 制御用計算機のシステム構成……………339	11・3 ソフトウェア……………345
11・1・3 計算機制御システムの複合構成……………340	11・3・1 オペレーティングシステム……………346
11・2 制御用計算機のハードウェア……………341	11・3・2 言語プロセッサ……………349
11・2・1 制御用計算機……………341	11・3・3 ソフトウェア生産技術……………350
11・2・2 入出力方式……………344	参 考 文 献……………351

12章 制御用動力源

章 主 査：福島豊治

執筆委員：大田吉彦，林 久高，深沢民三，福島豊治

12・1 空気圧および真空源……………353	12・2・4 直流電源……………359
12・1・1 空気圧源概論……………353	12・2・5 蓄電池について……………359
12・1・2 空気圧源の構成……………354	12・2・6 保護協調の考え方……………359
12・1・3 空気圧源と制御機器間……………355	12・2・7 接地の考え方，その他……………360
12・1・4 真空源……………355	12・3 油 圧 源……………360
12・2 電 源……………356	12・3・1 油圧源の構成機器……………360
12・2・1 概 説……………356	12・3・2 油圧源の構成……………361
12・2・2 電源システムの構成……………356	参 考 文 献……………361
12・2・3 交流電源システム……………358	

13章 機器の安全保護対策

章 主 査：伊藤洋一郎

執筆委員：伊藤洋一郎，対比地正昭

13・1 危険場所，爆発性ガスの分類と防爆対策 ……363	13・2 ノイズの種類とノイズ対策……………366
13・1・1 危険場所と爆発性ガスの分類……………363	13・2・1 ノイズの発生原因……………366
13・1・2 防爆構造の種類……………363	13・2・2 ノイズ対策……………366
13・1・3 耐圧防爆構造……………364	参 考 文 献……………368
13・1・4 本質安全防爆構造……………365	

III部 基礎制御技術

部主査：長谷川健介

1章 フィードバック制御の基礎

章主査：長谷川健介

執筆委員：長谷川健介

1.1 フィードバック制御の概要.....	373	1.4 線形フィードバック制御系の特性.....	385
1.1.1 制御とは.....	373	1.4.1 フィードバック制御系の基本構成.....	385
1.1.2 シーケンスと制御.....	373	1.4.2 フィードバック制御系の安定問題.....	386
1.1.3 定量的な制御と外乱.....	373	1.4.3 フィードバック制御系の定常特性.....	388
1.1.4 フィードバック制御系の構成.....	374	1.4.4 フィードバック制御系の動特性.....	388
1.1.5 フィードバック制御の分類.....	375	1.4.5 極・零点配置と動特性.....	391
1.2 動的システムの表現(伝達関数法).....	375	1.5 特性改善方法.....	393
1.2.1 信号の伝達と伝達関数.....	375	1.5.1 補償方式と補償要素.....	393
1.2.2 過渡応答.....	377	1.5.2 周波数応答による特性設計.....	394
1.2.3 周波数応答.....	377	1.6 サンプル値制御.....	396
1.2.4 ブロック線図.....	379	1.6.1 離散値信号.....	396
1.2.5 信号流れ線図.....	379	1.6.2 離散値信号の伝達.....	397
1.3 動的システムの表現(状態変数法).....	381	1.6.3 サンプル値制御系の解析.....	398
1.3.1 線形系の状態変数表示.....	381	1.7 非線形制御.....	400
1.3.2 状態方程式・出力方程式と伝達関数.....	382	1.7.1 概説.....	400
1.3.3 状態変数による解析方法.....	384	1.7.2 位相面解析法.....	401
1.3.4 可制御性・可観測性.....	384	1.7.3 記述関数法.....	403

2章 サーボ機構

章主査：松島皓三

執筆委員：内山 隆, 中野道雄

2.1 サーボ機構とは.....	405	2.4.1 定常特性.....	411
2.2 サーボ機構の分類.....	405	2.4.2 過渡特性.....	412
2.3 サーボ機構の構成.....	406	2.4.3 過渡特性の改善.....	413
2.3.1 サーボモータ.....	406	2.4.4 位置決めサーボ機構と過渡特性.....	413
2.3.2 歯車および負荷.....	408	2.5 サーボ機構の設計.....	415
2.3.3 角度(位置)・電圧変換器.....	409	2.5.1 特性設計.....	415
2.3.4 増幅回路.....	409	2.5.2 製作設計.....	418
2.3.5 サーボ機構のブロック線図.....	410	2.6 サーボ機構の応用.....	421
2.4 サーボ機構の特性.....	411	参考文献.....	426

3章 プロセス制御

章主査：渡辺成一

執筆委員：渡辺成一

3.1	プロセス制御の概要	427	3.4.3	フィードフォワード制御	440
3.2	プロセスとフィードバック制御	427	3.4.4	比率制御	442
3.2.1	プロセス制御の特質	427	3.4.5	選択制御	443
3.2.2	プロセス動特性のモデル	428	3.4.6	干渉補償制御	443
3.2.3	プロセスの形式	430	3.5	制御系の評価	444
3.2.4	プロセスの制御性	431	3.5.1	制御系の評価方法	444
3.2.5	フィードバック制御	431	3.5.2	PID定数の設定公式	445
3.3	単ループ制御系	431	3.5.3	プロセス動特性測定の問題点と 実際的手法	446
3.3.1	単ループ制御	431	3.6	流量の制御	446
3.3.2	PID制御	431	3.6.1	流量制御系の特質	446
3.3.3	積分圧飽和現象	434	3.6.2	伝送器の応答性と流量制御系の安定性	446
3.3.4	微分先行PID制御	435	3.6.3	流量制御とバルブポジションナ	448
3.3.5	線形PID制御とプロセス	435	3.6.4	流量とループゲイン	448
3.3.6	非線形PID制御	436	3.6.5	非線形PI制御の利用	448
3.3.7	むだ時間補償制御	436	3.7	単位プロセスの計装例—ボイラ	448
3.3.8	出力制限制御	437	3.7.1	ボイラと自動制御	448
3.3.9	デジタルPID演算	438	3.7.2	給水流量制御系	449
3.4	複合制御系の構成法	438	3.7.3	燃焼制御系	450
3.4.1	複合制御系	438	3.8	プロセスの自由度と制御系の構成	450
3.4.2	カスケード制御	439			

4章 回転機の制御とパワーエレクトロニクス

章主査：原島文雄

執筆委員：佐藤則明, 長坂長彦, 山本潤二

4.1	パワーエレクトロニクス技術	453	4.2.2	電動機の閉ループ制御	475
4.1.1	パワーエレクトロニクスと制御	453	4.3	原動機制御	478
4.1.2	電力用半導体素子	453	4.3.1	速度制御と負荷制御	478
4.1.3	半導体電力変換回路	462	4.3.2	電圧制御と力率制御	482
4.2	電動機制御	469		参考文献	485
4.2.1	電動機の可変速駆動方式	469			

5章 シーケンス制御

章主査：大野秀嶺

執筆委員：大野宣男, 大野秀嶺

5.1	制御システムの構成と機能	487	5.1.3	制御の方式と運転モード	490
5.1.1	シーケンス制御の特質	487	5.2	制御機能設計と表現図	491
5.1.2	シーケンス制御の種類と方式	488	5.2.1	制御機能の設計ステップ	491

目	次
5.2.2 シーケンス制御の表現図	492
5.3 論理設計	493
5.3.1 論理回路	493
5.3.2 組合せ回路	494
5.3.3 順序回路	496
5.4 機能ブロックによる条件制御の設計	498
5.4.1 システム構成の考え方	498
5.4.2 条件制御系の基本構成	498
5.4.3 機能ブロックによる設計例	498
5.5 タイムチャートによる設計	503
5.5.1 設計手順とその適用法	503
5.5.2 論理要素の基本的動作パターン	503
5.5.3 設計手法	505
5.5.4 インタロックを考慮した設計	506
5.6 プログラム制御の設計	507
5.6.1 設計の考え方	507
5.6.2 カムタイマの応用	507
5.6.3 ダイオードマトリクスの応用	508
参 考 文 献	509

6章 モデリングと同定

章主査：秋月影雄

執筆委員：秋月影雄, 片山 徹, 中溝高好

6.1 システムのモデル	511	6.3.3 一般化最小2乗法	517
6.1.1 モデリングの基礎	511	6.3.4 補助変数法	518
6.1.2 静的モデルと動的モデル	511	6.3.5 拡張最小2乗法	519
6.1.3 確定モデルと確率モデル	512	6.3.6 同定法の比較	520
6.1.4 離散時間モデル	513	6.3.7 最ゆう推定法	520
6.2 同定信号を用いた同定法	514	6.4 同 定 の 実 例	521
6.2.1 正弦波入力による同定	514	6.4.1 1入・出力システムのシミュレーション	
6.2.2 過渡応答による同定	514	データに対する同定例	521
6.2.3 不規則入力による同定	515	6.4.2 多入力システムのシミュレーション	
6.3 パラメータ推定	516	データに対する同定例	524
6.3.1 同定のためのモデル	516	6.4.3 実システムの同定例	527
6.3.2 最小2乗法	516	参 考 文 献	528

7章 最適制御

章主査：久村富持

執筆委員：内田健康, 早勢 実, 久村富持

7.1 変 分 法	531	7.3.4 例題(LQ問題)	538
7.1.1 固定端点問題	531	7.4 最適レギュレータ問題(LQ問題)	539
7.1.2 可動端点問題	532	7.4.1 最適レギュレータ法の背景	539
7.1.3 条件つき変分問題	532	7.4.2 最適レギュレータ法の特徴	539
7.2 最 大 原 理	533	7.4.3 最適レギュレータの分類	540
7.3 ダイナミックプログラミング(動的計画法)	536	7.4.4 1入力最適レギュレータの解法	541
7.3.1 多段決定過程と評価関数	536	7.5 応 用	542
7.3.2 最適性の原理と離散時間システムの最適化	536	7.5.1 自動操舵装置への応用	542
7.3.3 連続時間システムへのDPの適用	538	7.5.2 産業用ロボットへの応用	543
		参 考 文 献	544

8章 最適化手法

章主査：志水清孝

執筆委員：相吉英太郎，亀山嘉正，志水清孝，田村坦之

8・1 線形探索法(1次元最適化法).....	545	(BFGS法).....	548
8・1・1 囲い込み.....	545	8・5・3 Gill-Murray法.....	548
8・1・2 関数値比較による区間縮小.....	545	8・6 線形計画法.....	548
8・1・3 曲線近似による区間縮小.....	545	8・6・1 数学モデル.....	548
8・2 オンライン山登り法(試行探索法).....	546	8・6・2 線形計画問題の基礎的性質.....	549
8・2・1 Davies-Swann-Campeyの方法 (DSCの方法).....	546	8・6・3 シンプレックス法の原理.....	549
8・2・2 シンプレックス法.....	546	8・6・4 実 例.....	550
8・3 最急降下法.....	546	8・7 ペナルティ法と乗数法.....	550
8・4 共役方向法.....	546	8・8 許容方向法.....	552
8・4・1 共役方向.....	546	8・9 射 影 法.....	552
8・4・2 Powell法.....	547	8・10 縮約勾配法.....	553
8・4・3 共役勾配法.....	547	8・11 制約条件付準ニュートン法.....	554
8・5 準ニュートン法.....	547	8・12 切除平面法.....	555
8・5・1 Davidon-Fletcher-Powell法(DFP法)	548	8・13 制約付シンプレックス法.....	555
8・5・2 Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno法		8・14 制御問題への応用.....	556
		参 考 文 献.....	557

IV部 システム

部主査：森下 巖

1章 プロセス計装制御システム概説

章主査：松井潤吉

執筆委員：白崎善宏，松井潤吉，三吉弘道，吉田武司

1.1 プロセスと計装制御システム	563	1.3.2 システムの設計手順	567
1.2 プロセス計装制御システムの構成	564	1.3.3 基本設計	567
1.3 システム設計	566	1.3.4 詳細設計	569
1.3.1 システムの計画	566	参考文献	571

2章 アナログ計装制御システム

章主査：衣笠晨策

執筆委員：石井一字，古野二三也，吉田 豪

2.1 アナログ計装制御システムの特徴	573	2.2.2 統一電気信号・デジタル制御システム	577
2.1.1 アナログ計装制御システムとデジタル計装制御システムとの比較	573	2.2.3 デジタルブレンディングシステム	577
2.1.2 アナログ計装制御システムの分類	574	2.2.4 簡易形温度制御システム	578
2.1.3 アナログ計装制御システムを構成する機器	574	2.3 空気式によるシステム構成	579
2.2 電子式によるシステム構成	575	2.3.1 現場形指示調節計を用いたシステム	579
2.2.1 統一電気信号・アナログ制御システム	575	2.3.2 電気入力調節計を用いたシステム	579
		2.3.3 統一空気圧信号システム	579

3章 デジタル計装制御システム

章主査：森下 巖

執筆委員：今井 溥，上谷晃弘，黒岩重雄，富田芳生，福井康裕，的場 徹，渡辺成一

3.1 デジタル計装制御システムの概要	581	3.2.4 システム構成の代表例	586
3.1.1 デジタル計装制御システムの発展と定着	581	3.2.5 冗長化構成	587
3.1.2 パネルレスオペレーション	582	3.3 コントローラ	588
3.1.3 今後の発展	582	3.3.1 コントローラの構成	588
3.2 システム構成の方式	583	3.3.2 ソフトウェアの方式	589
3.2.1 分散の方式	583	3.3.3 制御アルゴリズム	590
3.2.2 分散システムの基本的構造	583	3.3.4 演算モジュールの種類	593
3.2.3 システムアーキテクチャ	584	3.3.5 DDC とシーケンス制御	593
		3.4 マンマシンインタフェース	593

3.4.1	概 説	593	3.6.2	単一ループのコンフィギュレーション	601
3.4.2	パネルオペレーション	594	3.6.3	複合ループのコンフィギュレーション	603
3.4.3	CRT オペレーション	594	3.6.4	判断機能の付加	603
3.5	データ伝送	597	3.7	エンジニアリング	603
3.5.1	データ伝送の役割	597	3.7.1	概 説	603
3.5.2	データ伝送の基本的概念	597	3.7.2	分散方式の決定	604
3.5.3	データウェイとデータバス	598	3.7.3	マンマシンインタフェースの検討	604
3.5.4	伝送インタフェースと伝送制御	599	3.7.4	安全性・信頼性の検討	604
3.5.5	計算機との伝送	599	3.7.5	制御機能に関する構成機器の決定	604
3.6	システムコンフィギュレーション	600	3.7.6	エンジニアリングにおける留意点	605
3.6.1	デジタル計装のソフトウェア	600	参 考 文 献		605

4章 プロセス計算機制御システム

章 主 査：渡辺昭雄

執筆委員：荒井 孝，石井信義，小林徳也，境 巖，松本吉弘，渡辺昭雄

4.1	計算機制御の目的とシステム構成	607	要求	611	
4.1.1	計算機制御の目的	607	4.3.2	プロセス用計算機ソフトウェアの機能	611
4.1.2	システム構成	608	4.3.3	プログラミング作業と技法	614
4.1.3	システムの信頼性	608	4.3.4	プログラミング言語	615
4.2	システム導入の手順	609	4.4	実 施 例	616
4.2.1	プロセス解析	610	4.4.1	モデル構成による最適制御	616
4.2.2	プログラミング	610	4.4.2	大規模システムの総合制御	621
4.2.3	据付けおよび評価	610	4.4.3	スタートアップ-シャットダウン制御	627
4.2.4	オペレータ教育	610	4.4.4	マンマシンインタフェースの高度化	629
4.3	ソフトウェアとプログラミング	611	参 考 文 献	633	
4.3.1	プロセス用計算機ソフトウェアへの				

5章 自動加工・組立システム

章 主 査：岩田一明

節 担 当：牧野 洋(5.2)，米本完二(5.3)

執筆委員：伊東章郎，岩田一明，内海敬三，梅原 誠，尾崎典彦，川名 武，
小島利夫，今 常義，沢田 潔，土橋 亮，成瀬正之，野田敦彦，
橋本 寛，林 保夫，尾藤征史，堀向 仁，牧野 洋，松元逸郎，
松本義雄，宮川正威，米本完二，和田龍児

5.1	自動加工システム	635	5.2.2	専用自動組立機	644
5.1.1	自動加工システムの概要	635	5.2.3	移送形フレキシブル組立システム	646
5.1.2	ならい制御	635	5.2.4	集積形組立システム	649
5.1.3	数値制御システム	637	5.3	産業用ロボット	651
5.1.4	マシニングセンタ	639	5.3.1	産業用ロボットの概要	651
5.1.5	フレキシブル製造システム	640	5.3.2	産業用ロボットの制御方法	652
5.2	自動組立システム	643	5.2.3	代表的な産業用ロボットの利用分野	655
5.2.1	自動組立システムの概要	643	参 考 文 献	663	

6章 自動検査システム

章主査：沼倉俊郎

執筆委員：秋山伸幸，小黒延郎，加賀万亀男，片方 威，鎌田晨平，神谷 章，
川口郁夫，久邇朝宏，中川泰夫，新田義雄，沼倉俊郎，原 靖彦，
日野元和，福岡浩平，前田 暲，益子羊了，松村 昭，矢内順一，
若杉健一

6・1 自動検査システムの概要	665	6・4・3 X線による検査	680
6・2 寸法検査	665	6・5 性能検査	681
6・2・1 LSIの寸法計測(マスク，ウエハ)	666	6・5・1 電気特性の検査	681
6・2・2 トロリ線摩耗測定	667	6・5・2 機械特性の検査	689
6・3 外観検査	668	6・6 総合検査システム	694
6・3・1 傷・異物の検査	668	6・6・1 概 説	694
6・3・2 パターン形状の検査	671	6・6・2 東北・上越新幹線用電車の特徴	694
6・4 内部欠陥の検査	677	6・6・3 全般検査	694
6・4・1 超音波による検査	677	6・6・4 全般検査総合回路試験装置	695
6・4・2 AEによる検査	679	参 考 文 献	697

7章 包装・荷役・保管システム

章主査：保志 尚

執筆委員：井原信行，中井英一，長谷部靖雄，三船 晃

7・1 包装自動化ラインシステム	699	7・3 自動仕分機	708
7・1・1 包装自動化の推移とラインシステム	699	7・3・1 仕分けとは	708
7・1・2 包装の機能と包装作業	700	7・3・2 仕分けシステム構成	708
7・1・3 包装工程における物品の ハンドリング	701	7・3・3 仕分機における制御システム	709
7・1・4 包装ラインシステムの技術的問題点	702	7・3・4 仕分機の比較	712
7・1・5 包装ラインシステムの実例	703	7・4 自動倉庫	712
7・2 荷役搬送機器	704	7・4・1 概 説	712
7・2・1 荷役搬送システムの概要	704	7・4・2 自動倉庫システムの概要	712
7・2・2 無人搬送車の機能	705	7・4・3 自動倉庫の制御概要	712
7・2・3 信号伝送装置の機能	707	7・4・4 スタッカクレーンの制御	714
7・2・4 中央制御コンピュータ	708	参 考 文 献	718

8章 交通制御システム

章主査：原島文雄

執筆委員：曾根 悟，富岡源一郎，東口 實，松本俊哲，水町守志

8・1 自動車交通	719	8・1・4 車両検出器	722
8・1・1 自動車交通システムの特異性	719	8・2 鉄 道	723
8・1・2 交通信号制御システムの発達過程	719	8・2・1 列車の速度制御	723
8・1・3 広域信号制御システム	721	8・2・2 信号保安と自動運転	724

8・2・3	列車群の制御とシステムの総合管理	725	8・4	船 舶	729
8・2・4	その他の制御	726	8・4・1	概 説	729
8・3	航 空	726	8・4・2	船舶運航のフェーズ	730
8・3・1	航法と飛行方式	726	8・4・3	船舶用自動化機器	730
8・3・2	飛行情報区	727	8・5	ロケット・人工衛星	735
8・3・3	管制区と管制圏	727	8・5・1	ロケットの誘導制御	735
8・3・4	管制と管制間隔	728	8・5・2	人工衛星	737
8・3・5	レーダ管制と運航票管制	729	8・5・3	宇宙船	738
8・3・6	管制の機械化	729		参 考 文 献	738

9章 CAD/CAM システム

章 主 査：木村文彦

執筆委員：木村文彦, 須藤常太, 津田順司

9・1	CAD/CAM システムの概要	741	9・3・1	論理 VLSI 設計概論	747
9・1・1	概 説	741	9・3・2	設計データベースと設計言語	748
9・1・2	統合 CAD/CAM システム	741	9・3・3	機能設計と論理設計	748
9・2	機械製品の CAD/CAM	742	9・3・4	回路設計	750
9・2・1	機械製品の設計/製造過程と CAD/CAM	742	9・3・5	配置配線設計	751
9・2・2	機械製品の CAD	743	9・3・6	LSI 設計における CAD の効果	752
9・2・3	機械製品の CAM	746	9・3・7	電子装置の CAM	752
9・3	電子装置の CAD/CAM	747		参 考 文 献	753

10章 ラボラトリオートメーションシステム

章 主 査：釜 三 夫

執筆委員：釜 三 夫

10・1	ラボラトリオートメーションシステムの 概要	755	10・3	ラボラトリオートメーションシステムの ソフトウェア	761
10・1・1	システムの目的	755	10・3・1	実時間モニタシステム	761
10・1・2	システムの形態	755	10・3・2	プログラム言語	763
10・2	ラボラトリオートメーションシステムの ハードウェア	757		参 考 文 献	763

V部 応 用

部主査：大島 真

1章 生産管理

章主査：大島 真，新田謙治郎

執筆委員：石山幹夫，岩波健人，江口泰生，小島利夫，杉山尚志，高出昭士，
田中弘明，田宮稔士，成合靖正，光沢邦男，三浦高弘，宮崎 迪，
吉谷龍一，若月文也

1.1 生産管理システム概説.....769	1.5.5 今後の製造の自動化の方向と問題点.....804
1.1.1 生産管理システム.....769	1.6 自動車工業における生産管理システム.....804
1.1.2 ロジスティックスシステム.....769	1.6.1 概 説.....804
1.2 鉄鋼業における生産管理システム.....775	1.6.2 生産管理の構成と特徴.....804
1.2.1 鉄鋼製造工程の概要.....775	1.6.3 生産管理システム.....805
1.2.2 鉄鋼プロセスの自動化とシステム化.....776	1.6.4 組立工場の自動化，工業用ロボットの 応用.....809
1.2.3 多品種大量生産の計画と管理.....776	1.6.5 組立工場の品質管理システム.....811
1.2.4 操業システムとプロセスの自動化.....778	1.6.6 今後の方向.....812
1.2.5 プロセス制御システムの例.....780	1.7 半導体製造業における生産管理システム.....812
1.3 都市ガス工業における生産管理システム.....784	1.7.1 集積回路製造工程とその特徴.....812
1.3.1 生産管理システムの構成と特徴.....784	1.7.2 ウェハ工程の自動化.....813
1.3.2 広域管理.....784	1.7.3 組立工程の自動化.....815
1.3.3 工場管理システム.....789	1.7.4 試験検査工程の自動化.....816
1.4 石油工業における生産管理システム.....793	1.7.5 集積回路の生産管理.....817
1.4.1 製油所の構成と特徴.....793	1.8 機械工業の生産管理システム.....819
1.4.2 生産計画.....793	1.8.1 概 説.....819
1.4.3 製油所の自動化.....794	1.8.2 フレキシブル生産システム.....820
1.4.4 工場内物流.....796	1.8.3 加工セル.....820
1.5 造船工業の生産管理システム.....798	1.8.4 フレキシブル生産システムの 導入事例.....821
1.5.1 生産面から見た造船工業の特徴.....798	1.8.5 今後の課題.....825
1.5.2 生産管理システムの構成.....799	参 考 文 献.....825
1.5.3 造船工業における CAD, CAM.....801	
1.5.4 造船工業における製造の自動化.....803	

2章 設備管理

章主査：菊池義彦

執筆委員：菊池義彦，豊田利夫

2.1 プラントの設備管理.....827	2.1.3 設備保全実施のために考慮すべき 項目.....828
2.1.1 設備管理とは.....827	2.1.4 設備管理システム.....829
2.1.2 設備管理の技法の変遷.....827	

2・2 設備診断	831	2・2・3 設備診断システム	834
2・2・1 設備診断技術とは	831	参考文献	835
2・2・2 主要設備(要素)の診断法	832		

3章 省エネルギー

章主査：田中弘明

執筆委員：田宮稔士，平田賢，松木正勝，矢野恒臣

3・1 省エネルギー概説	837	3・3・1 概説	849
3・1・1 省エネルギーの本質	837	3・3・2 エンジン集中電子制御システムの設計	850
3・1・2 エネルギーのシステム利用	837	3・3・3 システムのハードウェア	852
3・1・3 要素技術の開発	840	3・3・4 システムのソフトウェア	853
3・1・4 今後の課題	841	3・4 航空機の省エネルギーと制御	853
3・2 製鉄所における省エネルギーと制御	841	3・4・1 ACT	854
3・2・1 製鉄所における省エネルギー活動	841	3・4・2 FADEC	855
3・2・2 高炉燃料比の低減	842	3・4・3 フライトマネージメントシステム	855
3・2・3 連続鑄造設備の計装	843	3・4・4 エンジンモニタリングシステムおよびAIDS	856
3・2・4 排エネルギー回収	847	参考文献	857
3・2・5 製鉄所副生ガスの有効利用	847		
3・3 自動車の省エネルギーと制御	849		

4章 物流

章主査：保志尚

執筆委員：坂井邦夫，下浦省三

4・1 保管・搬送システム	859	4・2・2 安全性と信頼性	866
4・1・1 電気製品の保管出荷システム	859	4・2・3 集中制御方式と分散制御方式	867
4・1・2 ブラウン管の仕分け保管システム	860	4・2・4 情報伝送方式	868
4・1・3 航空貨物の保管搬送システム	862	4・2・5 列車自動運転制御	868
4・1・4 郵便物の搬送システム	864	4・2・6 マンマシンインタフェース	869
4・2 無人輸送システム	865	4・2・7 異常検知	869
4・2・1 輸送システムの自動化と無人化	865	参考文献	870

5章 安全・防災・環境

章主査：佐山隼敏

執筆委員：佐山隼敏，矢田光治，矢部禎昭

5・1 プラントの安全	873	5・2・2 防災システムの構成	876
5・1・1 リスクアセスメント	873	5・2・3 防災センサ	877
5・1・2 システム安全工学の手法	874	5・2・4 防災システムの例	878
5・1・3 リスクアセスメントの現状	875	5・3 環境の監視システム	879
5・1・4 プラント安全解析の事例	875	5・3・1 環境監視の目的	879
5・2 防災システム	875	5・3・2 環境監視の現況	879
5・2・1 防災システムの概念	875	参考文献	882

6章 シミュレーション

章主査：三浦高弘

執筆委員：茅陽一，佐藤章，津村俊弘，松田郁夫，諸岡泰男

6.1 シミュレーション概説	883	6.3.3 車両とレールに関するシミュレーション	890
6.2 シミュレータ	884	6.4 圧延機のシミュレーション	891
6.2.1 シミュレータとは	884	6.4.1 圧延機制御系の概要	891
6.2.2 シミュレータの分類	884	6.4.2 総合シミュレータ	891
6.2.3 訓練・教育用シミュレータ	885	6.4.3 シミュレーションモデル	893
6.2.4 ビジュアルシステム	886	6.4.4 シミュレータシステム	894
6.2.5 フライトシミュレータ	886	6.5 社会的システムのモデリング	894
6.3 鉄道におけるシミュレーション	887	6.5.1 構造モデル	895
6.3.1 新幹線列車トラフィックシミュレーションシステム(STRATS)	888	6.5.2 定量的モデル	895
6.3.2 ヤード系およびヤードシミュレーション	889	6.5.3 最適化モデルと選好構造のモデル化	896
		参考文献	896