

# 目 次

## 1章 電気加熱の進歩と役割

1・1 「加熱」とは	1	1・2・1 電気加熱の基本特性	5
1・1・1 火の発見	1	1・2・2 電気加熱の特徴	7
1・1・2 火の用途……「加熱」	1	1・2・3 エネルギーの転換	7
1・1・3 「加熱」の変遷	2	1・2・4 電気加熱の多様性	8
1・1・4 「加熱」用の熱源	2	1・2・5 電気加熱適用マトリクス	8
1・1・5 「加熱」のもう1つの見方	4	1・3 電気加熱の役割	8
1・2 「電気加熱」のプロフィール	5	参 考 文 献	13

## 2章 電気加熱のしくみ

2・1 電力を熱エネルギーに変換する方法	15	2・4・1 損失分布図	30
2・1・1 電気加熱方式の分類と応用の概観	15	2・4・2 損失要素	31
2・1・2 加熱原理の概要と特徴	15	2・5 電 気 配 線	31
2・1・3 電気加熱と利用周波数	22	2・5・1 母線の実効抵抗	31
2・2 加熱エネルギーとしての電力	23	2・5・2 母線のインダクタンス	32
2・2・1 電力会社が供給する電力	23	2・5・3 母線の電流容量	34
2・2・2 負荷（電気機器）の特性	24	2・5・4 誘導加熱用高周波母線の例	35
2・2・3 電源と負荷の整合	24	2・5・5 母線の接続抵抗	36
2・2・4 電源と負荷の不整合	25	2・5・6 近接鉄材の温度上昇	36
2・2・5 電源および負荷の品質	25	2・6 伝熱の基礎計算	37
2・3 電気加熱の基礎計算	26	2・6・1 熱伝導	38
2・3・1 電気加熱の等価回路と特性	26	2・6・2 熱放射	38
2・3・2 三相の電気回路	27	2・6・3 熱伝達	38
2・3・3 代表的な電源機器	27	2・6・4 熱通過	38
2・3・4 単相への給電方式	28	2・6・5 熱伝達率の計算	41
2・3・5 解析手法	30	2・6・6 伝熱量の計算例	42
2・4 電気加熱の熱精算	30	参 考 文 献	49

## 3章 抵抗加熱

3・1 特徴と用途	51	3・2 原理と装置	53
3・1・1 特 徴	51	3・2・1 原 理	53
3・1・2 加熱方式	52	3・2・2 装置の種類	55
3・1・3 用 途	53	3・2・3 構築材料	61

3・3 間接抵抗加熱装置の仕様と設計	77	3・4・2 保守および点検	101
3・3・1 炉の加熱仕様	77	3・5 直接抵抗加熱（通電加熱）の応用	102
3・3・2 設計手順	78	3・5・1 直接抵抗加熱装置の構成	102
3・3・3 設計例	88	3・5・2 特徴	102
3・3・4 その他の応用例	96	3・5・3 応用	103
3・4 炉の運転と保守	97	参考文献	108
3・4・1 炉の運転	97		

## 4章 アーク加熱

4・1 特徴と用途	109	4・3・4 運転と保守	137
4・1・1 アーク加熱の特徴	109	4・4 直流アーク炉	140
4・1・2 アーク加熱の用途	111	4・4・1 装置と原理	140
4・2 交流アーク炉	112	4・4・2 設備構成	140
4・2・1 概要	112	4・4・3 適用効果	142
4・2・2 炉体各部構造	112	4・4・4 容量の選定	143
4・2・3 電極	115	4・4・5 レイアウト	143
4・2・4 電気設備	116	4・4・6 運転と保守	144
4・2・5 炉前作業の自動化設備	121	4・4・7 実施例	145
4・2・6 自動制御装置	123	4・5 レードルファーネス	145
4・2・7 集じん機	126	4・5・1 装置と原理	145
4・2・8 スクラップ予熱装置	128	4・5・2 システム計画手順	146
4・3 システム計画手順	130	4・5・3 LFの方式とレイアウト	147
4・3・1 容量の選定	130	4・5・4 操業と保守	147
4・3・2 環境対策	133	4・5・5 実施例	147
4・3・3 レイアウト	137	参考文献	148

## 5章 プラズマ加熱

5・1 特徴と用途	149	5・2・5 プラズマ炉と反応炉	154
5・1・1 プラズマとは	149	5・2・6 高周波誘導プラズマ発生器	155
5・1・2 熱プラズマの人工的発生方法	149	5・3 アークプラズマの産業プロセスへの応用	155
5・1・3 プラズマ特性	150	5・3・1 製鉄および製鋼	155
5・1・4 プラズマ加熱の応用	150	5・3・2 合金鉄	157
5・2 プラズマ加熱装置	151	5・3・3 非鉄金属	158
5・2・1 アークプラズマ発生器	151	5・3・4 鑄造産業	158
5・2・2 電極	154	5・3・5 化学産業	158
5・2・3 電源	154	参考文献	159
5・2・4 プラズマガス	154		

## 6章 誘導加熱

6・1 誘導加熱の特徴と用途	161	6・1・2 誘導加熱の用途	161
6・1・1 誘導加熱の特徴	161	6・1・3 展望	163

6・2 原理	164	6・5・3 焼入装置のシステム検討	187
6・2・1 誘導加熱方式	164	6・5・4 焼入装置設計の基本	187
6・2・2 電流の浸透深さ	164	6・5・5 焼入装置の運転と保守	187
6・2・3 吸収電力	166	6・5・6 高周波焼入装置の設計事例	188
6・2・4 適正周波数	168	6・6 応用装置	189
6・3 誘導炉	169	6・6・1 薄板誘導加熱装置	189
6・3・1 誘導炉の分類と概要	169	6・6・2 大容量高周波電線管溶接装置	192
6・3・2 誘導炉の耐火物	172	6・6・3 表皮電流加熱装置	195
6・3・3 誘導炉のかくはん力	173	6・6・4 誘導発熱ジャケットローラ	196
6・3・4 誘導炉の設備計画	174	6・6・5 ドリルパイプ熱処理装置	197
6・3・5 上手な運転と保守	176	6・6・6 配管継手用誘導加熱装置	199
6・4 熱加工	180	6・6・7 電磁調理器	200
6・4・1 システム計画手順	181	6・7 誘導加熱用電源装置	201
6・4・2 運転と保守	183	6・7・1 誘導加熱における電源の選定方法	201
6・4・3 事例	184	6・7・2 電源	202
6・5 熱処理装置	186	6・7・3 整合	207
6・5・1 高周波焼入れ	186	6・7・4 フィーダ	210
6・5・2 焼入仕様	186	参考文献	210

## 7章 電磁波（高周波およびマイクロ波）加熱

7・1 原理と特徴・用途	211	7・2・1 装置構成	219
7・1・1 電磁波（誘電）加熱の原理	211	7・2・2 応用分野とシステム設計	224
7・1・2 マイクロ波の殺菌作用	213	7・2・3 実用上の注意事項	228
7・1・3 電磁波加熱の特徴	214	7・2・4 応用事例	229
7・1・4 電磁波加熱の種類	215	7・3 マイクロ波（誘電）加熱	237
7・1・5 電磁波加熱の用途	215	7・3・1 マイクロ波加熱装置	237
7・1・6 電磁波加熱の計算法と使用周波数帯	217	7・3・2 応用分野とシステム設計	243
7・1・7 マイクロ波プラズマトーチ	218	7・3・3 実用上の注意事項	253
7・2 高周波誘電加熱	219	7・3・4 応用事例	255
		参考文献	266

## 8章 赤外・遠赤外放射加熱

8・1 特徴と用途	267	8・2・5 加熱に有効な赤外放射の波長領域	276
8・1・1 放射加熱（赤外線・遠赤外線）の特徴	267	8・2・6 遠赤外放射の浸透深さ	278
8・1・2 実用上の注意	269	8・2・7 放射加熱に適する素材	278
8・1・3 放射加熱の用途	270	8・3 放射体	278
8・2 原理	273	8・3・1 遠赤外放射と波長区分	278
8・2・1 熱の伝達三方式	273	8・3・2 遠赤外放射の発生と放射率	279
8・2・2 放射の概念	273	8・3・3 赤外・遠赤外放射材料の種類と特性	280
8・2・3 放射の基本法則	274	8・3・4 赤外・遠赤外放射源の種類と特性	281
8・2・4 放射加熱のメカニズム	276		

x	目 次
8・3・5	赤外・遠赤外反射材料 ……287
8・4	加熱装置 ……288
8・4・1	加熱装置の形状による分類 ……288
8・4・2	赤外加熱装置の温度測定と温度制御 ……292
8・5	システム構成の手順 ……295
8・5・1	加熱装置仕様決定の手順 ……296
8・5・2	設計の手順および熱量計算方法 ……296
8・5・3	測温・温度制御の方法 ……298
8・6	保守と安全対策 ……299
	8・6・1 保 守 ……299
	8・6・2 安全と安全対策 ……302
	8・7 応 用 事 例 ……303
	8・7・1 電子部品への応用 ……303
	8・7・2 プラスチック加工への応用 ……305
	8・7・3 塗装, 印刷の乾燥への応用 ……306
	8・7・4 暖房への応用 ……309
	8・7・5 食品加工への応用 ……311
	8・7・6 厨房用機器への応用 ……316
	参 考 文 献 ……318

### 9章 電子ビームおよびレーザー加熱

9・1	電子ビーム加熱 ……319	9・2	レ ー ザ 加 熱 ……335
9・1・1	特徴と用途 ……319	9・2・1	特徴と用途 ……335
9・1・2	原理と基本構成 ……323	9・2・2	原理と基本構成 ……338
9・1・3	システム計画の手順 ……325	9・2・3	システム計画の手順 ……342
9・1・4	保守と安全対策 ……330	9・2・4	保守と安全対策 ……345
9・1・5	電子ビーム加熱 (加工) 応用装置の 具体的事例 ……331	9・2・5	応 用 事 例 ……346
			参 考 文 献 ……349

### 10章 ヒートポンプ

10・1	原 理 ……351	10・3・4	仕様決定手順 ……368
10・1・1	ヒートポンプ発展の経緯 ……351	10・3・5	システム制御方式 ……370
10・1・2	ヒートポンプの原理と機能 ……351	10・4	ヒートポンプの適用事例 ……371
10・2	特 徴 ……355	10・4・1	産業用ヒートポンプの利用実態…372
10・2・1	ヒートポンプサイクル ……355	10・4・2	産業用ヒートポンプ導入事例 ……372
10・2・2	ヒートポンプの種類と特徴 ……356	10・5	ヒートポンプの熱負荷容量制御について…382
10・2・3	ヒートポンプシステムの効用 ……358	10・5・1	遠心圧縮機の容量制御 ……382
10・3	システム計画手順 ……358	10・5・2	スクリュウ圧縮機の容量制御 ……382
10・3・1	適用留意事項 ……358	10・6	産業用ヒートポンプの課題 ……384
10・3・2	設計計画手順 ……362		参 考 文 献 ……387
10・3・3	熱バランス ……366		

### 11章 関連技術

11・1	イオンビーム ……389	11・2・2	装置の構成 ……409
11・1・1	特徴と用途 ……389	11・2・3	応 用 事 例 ……410
11・1・2	原 理 ……389	11・3	紫 外 線 応 用 ……411
11・1・3	システム計画の手順 ……390	11・3・1	原理と特徴 ……411
11・1・4	その他のイオンビーム応用装置…399	11・3・2	ランプと応用 ……412
11・2	低温プラズマ, グロー放電の応用 ……401	11・3・3	エキシマレーザーと応用 ……417
11・2・1	原理と特徴 ……402	11・4	熱 電 変 換 ……418

	目 次	xi	
11・4・1	特徴と用途 ……418	11・5	膜 応 用 技 術 ……428
11・4・2	原 理 ……420	11・5・1	膜技術の基礎および特徴 ……428
11・4・3	材 料 ……422	11・5・2	装置の構成 ……433
11・4・4	システム計画手順 ……423	11・5・3	応 用 事 例 ……435
11・4・5	応 用 事 例 ……426		参 考 文 献 ……436

### 12章 測定と制御

12・1	センサと測定法 ……437	12・5・3	最適調整とセルフチューニング…468
12・2	温度と温度目盛 ……437	12・5・4	各種の制御手法 ……470
12・2・1	熱力学温度と温度目盛 ……437	12・6	調 節 計 ……472
12・2・2	国際実用温度目盛 ……438	12・6・1	調節計の種類 ……472
12・2・3	トレーサビリティ ……438	12・6・2	調節計の機能 ……474
12・3	温 度 測 定 ……439	12・6・3	プログラム調節計および設定器…475
12・3・1	温度測定法の基本 ……439	12・7	自動制御関連機器 ……476
12・3・2	熱電温度計 ……441	12・7・1	リレー・SSR ……476
12・3・3	抵抗温度計 ……453	12・7・2	サイリスタ ……476
12・3・4	放射温度計 ……456	12・7・3	調 節 弁 ……478
12・4	圧力・流量・成分などの測定 ……459	12・8	シーケンス制御 ……478
12・4・1	圧 力 計 ……459	12・8・1	シーケンス制御の概念と種類 ……478
12・4・2	真 空 計 ……460	12・8・2	シーケンス制御装置 ……478
12・4・3	流 量 計 ……460	12・8・3	シーケンス制御の表現方式 ……479
12・4・4	分 析 計 ……460	12・9	分散形制御システムと CRT オペレーション ……480
12・4・5	湿 度 計 ……461	12・9・1	分散形制御システム ……480
12・4・6	重 量 計 ……461	12・9・2	CRT オペレーション ……482
12・5	自動制御の概要 ……462		参 考 文 献 ……482
12・5・1	プロセス制御の基礎 ……462		
12・5・2	制 御 動 作 ……465		

### 13章 安全・環境対策と法規・規格

13・1	概 説 ……483	13・3	環 境 影 響 対 策 ……493
13・1・1	電気関係法令と規格 ……483	13・3・1	電力系統への影響と対策 ……493
13・1・2	安全対策 ……487	13・3・2	電気系統以外の機器への影響と 対策 ……496
13・1・3	環境対策 ……487	13・3・3	作業環境への影響と対策 ……499
13・2	安全対策 ……487	13・3・4	自然, 生態系への影響と対策 ……500
13・2・1	電気取扱いに関する保安対策 ……487	13・4	電気加熱装置に関する法規と諸規格 ……500
13・2・2	電磁波の取扱いに関する安全対策 ……490	13・4・1	電気関係法令 ……500
13・2・3	高温取扱いに関する安全対策 ……490	13・4・2	電気加熱関係規格 ……502
13・2・4	放射体取扱いに関する安全対策…493		参 考 文 献 ……506

## 付 録

1. 国際単位系 (SI) および記号	509	9. ステンレス鋼の耐食環境	516
2. 熱関係の単位換算表	511	10. 化学プロセス機器における高温腐食	517
3. 圧力の単位換算表	511	11. 耐熱鋼鑄鋼品	518
4. 耐熱材料・熱絶縁物の熱伝導率	512	12. 耐熱鋼板	519
5. 市販耐火物の電気抵抗率	514	13. ステンレス鋼鑄鋼品の用途例	521
6. レトルト炉およびマッフル炉に対する耐熱鋼の寿命	514	14. 熱間圧延ステンレス鋼板	522
7. 耐熱用の鋼および合金の使用温度と許容応力	515	15. IPTS-68 の二次基準点	524
8. 炉の付属品に推奨できる耐熱鋼	515	16. JIS 熱電対の規準熱起電力	524
		17. JIS 以外の熱電対の熱起電力	527
		18. 白金測温抵抗体の規準抵抗値	528
索引	529		