

化学工学便覧

改訂五版

化学工学便覧

化学工学協会
編

丸善株式会社

序

化学工学協会では、化学工学の進展に伴い約10年ごとに“化学工学便覧”の改訂を行ってきており、改訂四版が昭和53年に刊行されて現在に至っている。今回も昭和63年の刊行を目標に改訂五版が計画され、昭和58年6月に化学工学便覧編集委員会が設けられ、改訂作業が始められた。

編集委員会では改訂五版に対する編集方針の大綱が練られたが、基本方針として前改訂四版の長所を積極的に受け継ぐと共に、現在進行している広義の化学産業構造の変貌と発展に対処し得る便覧をつくり上げることを目標とした。基本方針の具体的な結論は次のようなものである。

- (1) 改訂四版でとられた“教科書的というより実用性を旨とする”という方針を踏襲する。
- (2) 実用性から考えて、単位操作別分類を原則とする。
- (3) “化学装置便覧”も改訂作業が進んでいることから、その重複を避けるため機能設計に重点をおく。
- (4) 今後の化学工学の展開を考えると、バイオ、新素材などの生産は必ずしも従来からの単位操作の結合のみで可能であるとは限らず、熱力学、移動現象論、化学反応速度、粉粒体特性などの基礎現象に関する学識の直接的活用の必要性が考えられるので、従来とりあげられていなかったこれらの基礎現象の章を設ける。
- (5) 反応工学の進歩は著しく、また化学プロセスのなかの重要事項でもあるので、章を増やして拡充させる。
- (6) 化学工学は単位操作のみならず化学プロセス全体の計画、設計、運転、制御への貢献が常識になってきた現状から、プロセスシステムの設計、最適化、プロセス制御などの章を、さらに化学工学の活用が必要な環境、生物、食品、原子力などの境界領域プロセスについての特質に関する章を設ける。

上記の方針に基づき、Ⅰ．基礎編(1～4章)、Ⅱ．単位操作編(5～22章)、Ⅲ．反応操作編(23～29章)、Ⅳ．プロセス編(30～32章)の4編構成、通し番号の32章、付録3項目を、昭和60年7月の会員によるアンケート調査の結果を踏まえて決定した次第である。

改訂五版のこの便覧についての情報化社会の流れをうけたもう一つの大きい事柄は、PRO-

DECE (PROcess DEsign assisting system for Chemical Engineers, プロデス) の開発についてである。従来の便覧の使い方は、便覧を手元に置いて計算尺、電卓などを用いて計算するといった姿であったが、著しいパソコンの普及の現在、化学工学便覧による技術計算にパソコンを利用することは必然と考え、本編集委員会は昭和59年10月“便覧電算機プログラム小委員会”を設け、検討に入ったのである。アンケート調査の結果、プログラム化の要望が極めて高いことが明らかになり、昭和61年度、丸善(株)、(株)東洋情報システムの協力、ならびに情報処理振興事業協会(通産省特別認可法人、IPA)の開発資金援助を得て、プログラムの開発に着手し、わずか数章だけではあるが便覧の発刊の前に既にプログラムのディスクが丸善(株)より発売され、大きい反響を呼んでいる。現在この便覧の全章のプログラム化を目指して関係者一同鋭意努力しているところである。

さてこの便覧が今回順調な出版の運びになったのは、編集委員、各章担当者、執筆者の諸氏をはじめ協会、丸善(株)出版事業部の関係者の方々の並々な御尽力の賜であり深甚なる謝意を表したい。なお、本便覧の歴史的流れの重要性に鑑み、編集の節々で御意見を頂戴する目的で監修委員会を設けさせていただいた。終りに、長期にわたって御尽力いただいた編集委員ならびに的確な御意見を賜った監修委員の各位の名前を列記して謝意を表しておきたい。

【編集委員】	井 上 博 愛	江 口 彌	大 島 榮 次
	大 谷 茂 盛	*岡 崎 守 男	片 山 俊
	田 中 達 夫		(* 幹事)
【監修委員】	大 竹 伝 雄	国 井 大 藏	白 戸 紋 平
	城 塚 正	桐 榮 良 三	宮 内 照 勝

昭和63年1月

編集委員長 高 松 武一郎

編集委員・担当委員一覧

委員長	高 松 武一郎	京都大学工学部
委員	明 昌 高 司	東京工業大学大学院総合理工学研究科
☆	井 上 博 愛	東京大学工学部
	伊 藤 龍 象	大阪大学基礎工学部
☆	江 口 彌	京都大学工学部
	江 見 準	金沢大学工学部
☆	大 島 榮 次	東京工業大学資源化学研究所
☆	大 谷 茂 盛	東北大学工学部
	岡 崎 達 也	徳島大学工学部
*	岡 崎 守 男	京都大学工学部
☆	片 山 俊	大阪大学基礎工学部
	金 川 昭	名古屋大学工学部
	木 村 尚 史	東京大学工学部
	楠 浩一郎	九州大学工学部
	佐 田 榮 三	京都大学工学部
	佐 山 隼 敏	岡山大学工学部
	斎 藤 正三郎	東北大学工学部
	三分一 政 男	山口大学工学部
	神 保 元 二	名古屋大学工学部
	鈴 木 睦	東北大学工学部
☆	田 中 達 夫	北海道大学工学部
	竹 内 雍	明治大学工学部
	只 木 楨 力	東北大学工学部
	外 山 茂 樹	名古屋大学工学部
	豊 倉 賢	早稲田大学理工学部

編集委員・担当委員一覧

架 谷 昌 信	名古屋大学工学部
橋 本 健 治	京都大学工学部
北 條 英 光	東京工業大学工学部
蒔 田 董	神戸大学工学部
村 瀬 敏 朗	名古屋大学工学部
山 田 幾 穂	名古屋工業大学工学部
吉 田 邦 夫	東京大学工学部

(☆編集委員，*幹事)
(昭和63年1月，五十音順)

目 次

I 基 礎 編 (1章～4章)

1 熱力学および物性 (3～106)

1.1 物質の状態定数	6	1.6.3 化学ポテンシャル・ フガシティー・活量	40
1.1.1 液密度・融点・沸点・臨界定数・ 偏心因子	6	1.6.4 臨 界 条 件	41
1.1.2 臨界定数の推算	6	1.7 気 液 平 衡	42
1.2 p - V - T 関 係	10	1.7.1 概 説	42
1.2.1 気体の p - V - T 関係	10	1.7.2 低圧気液平衡	42
1.2.2 液体の p - V - T 関係	15	1.7.3 高圧気液平衡	52
1.3 蒸気圧・蒸発潜熱	18	1.7.4 気液平衡データ	57
1.3.1 水の蒸気圧	18	1.8 溶 解 度	58
1.3.2 純粋物質の蒸気圧	18	1.8.1 ガスの液への溶解度	58
1.3.3 水の蒸発潜熱	27	1.8.2 固体の液への溶解度	63
1.3.4 純粋物質の蒸発潜熱	27	1.8.3 高圧ガスへの溶解度	64
1.3.5 非凝縮性ガスが共存するときの液 体の蒸気圧	28	1.9 液 液 平 衡	65
1.3.6 溶液の蒸気圧	29	1.9.1 概 説	65
1.4 熱 容 量	29	1.9.2 液液平衡の推算	66
1.4.1 気体の熱容量	29	1.9.3 液液平衡データ	69
1.4.2 気体の定圧熱容量の推算	29	1.10 化学平衡・反応熱	69
1.4.3 高圧気体の熱容量	30	1.10.1 化学平衡の基礎	69
1.4.4 液体の熱容量	33	1.10.2 平衡定数に対する温度の影響	71
1.4.5 固体の熱容量	35	1.10.3 平衡定数の求め方	71
1.5 熱力学関数	36	1.10.4 基準状態における熱力学定数	73
1.5.1 重要熱力学公式	36	1.10.5 平衡組成の計算	77
1.5.2 エンタルピー	36	1.10.6 反応熱の計算	78
1.5.3 エントロピー	38	1.10.7 反応熱に対する温度・圧力の効果	79
1.5.4 熱力学線図	38	1.11 表 面 張 力	80
1.6 相平衡の基礎	40	1.11.1 純液体の表面張力	80
1.6.1 相平衡の条件	40	1.11.2 溶液の表面張力	80
1.6.2 相 律	40	1.11.3 表面張力の推算	82
		1.11.4 界 面 張 力	83

1・12 粘 度	83	1・13・5 水溶液の熱伝導率	97
1・12・1 気体の粘度	83	1・13・6 液体熱伝導率の推算	97
1・12・2 混合気体の粘度	85	1・13・7 固体の熱伝導率	98
1・12・3 気体粘度の推算	85	1・14 拡散係数	99
1・12・4 液体の粘度	89	1・14・1 気相における拡散係数	99
1・12・5 水溶液の粘度	91	1・14・2 気相拡散係数の推算	99
1・12・6 液体粘度の推算	91	1・14・3 液相における拡散係数	101
1・13 熱伝導率	92	1・14・4 液相拡散係数の推算	104
1・13・1 気体の熱伝導率	92	1・14・5 固相における拡散係数	104
1・13・2 混合気体の熱伝導率	93	1・15 無次元物性定数	104
1・13・3 気体熱伝導率の推算	95	1・15・1 プラントル数 (Pr)	104
1・13・4 液体の熱伝導率	96	1・15・2 シュミット数 (Sc)	105

2 移動現象 (107~182)

2・1 基礎的事項	110	2・6 レオロジー	165
2・1・1 保存式	110	2・6・1 物体のレオロジー的性質	165
2・1・2 輸送係数	112	2・6・2 構成方程式	166
2・1・3 基礎式	112	2・6・3 相似法則	169
2・2 乱流に関する基礎的事項	112	2・6・4 レオロジー定数の測定法	169
2・2・1 基礎式	112	2・6・5 各種流体の構成方程式の実例	171
2・2・2 乱流構造	114	2・6・6 層流流動の例	172
2・2・3 乱流拡散	118	2・6・7 円管内乱流摩擦係数	172
2・3 流れに関する基礎的事項	120	2・6・8 レオロジーの応用としての流動の シミュレーション	172
2・3・1 組織的うず流れ	120	2・7 圧縮性流体の流れ	173
2・3・2 流れ場の基礎的取扱い	121	2・7・1 基礎式	173
2・3・3 速度分布と摩擦係数	125	2・7・2 定常準1次元流れ	173
2・3・4 流体混合	134	2・7・3 臨界ノズルと自由噴流	174
2・4 界面を通しての移動現象	137	2・7・4 非定常1次元流れ	175
2・4・1 流れと移動現象	137	2・7・5 衝撃波	176
2・4・2 分散系移動現象の基礎	144	2・8 電磁流体の流れ	177
2・4・3 粒子層の移動現象	153	2・8・1 基礎式	177
2・4・4 相変化を伴う移動現象	155	2・8・2 Hartmann の流れ	178
2・4・5 複合移動現象	156	2・8・3 電導性気体の準1次元流れ	179
2・5 不連続流体の移動現象	158	2・8・4 MPD アークスラスタ	179
2・5・1 希薄気体の流動	158	2・8・5 磁場によるプラズマの閉じ込め	180
2・5・2 粒子層内の気体の流動	160		
2・5・3 減圧下の拡散(細孔内拡散)	161		

3 化学反応速度 (183~216)

3・1 化学反応速度の基礎	185	3・1・3 反応速度の相関	189
3・1・1 反応速度	185	3・2 均一系反応速度	189
3・1・2 反応速度の測定と解析	186	3・2・1 均一熱化学反応速度	189

3・2・2 連鎖反応	190	3・3・2 固体触媒反応	191
3・2・3 均相触媒反応	190	3・3・3 固相反応	192
3・3 不均一系反応速度	191	3・4 酵素反応	193
3・3・1 化学反応と物質移動過程	191	3・5 工業反応速度式および速度	193

4 粉粒体の特性 (217~256)

4・1 粉粒体の形態的特性	219	4・3 粒子の充てん特性	239
4・1・1 粒子の大きさ	219	4・3・1 粒子充てん層の構造	239
4・1・2 粒度分布とその表し方	220	4・3・2 粒子層内の流体流動	241
4・1・3 粒子の形状とその測定法	222	4・4 固体表面の物性と評価	244
4・1・4 粒度および粒度分布測定	224	4・4・1 表面の特性	244
4・2 流体中の粒子の挙動	231	4・4・2 表面と他物質の相互作用	245
4・2・1 流体抵抗則と粒子の慣性運動	231	4・5 粉体の力学的特性	248
4・2・2 流体中の粒子の拡散と粒子沈着	235	4・5・1 粉体の付着特性とその測定	248
4・2・3 粒子に作用する諸外力と粒子の運動	237	4・5・2 粉体層の摩擦特性	250
4・2・4 粒子分散系における粒子の 凝集と分散	238	4・5・3 実用的な粉体の力学的・ 機械的特性測定法	253

II 単位操作編 (5章~22章)

5 流 動 (259~322)

5・1 粘性流体の管路内流動	261	5・3・2 固 定 層	278
5・1・1 円管内の速度分布	261	5・3・3 流動層および噴流層	278
5・1・2 円管内の流れの摩擦損失	261	5・3・4 かん液充てん塔	283
5・1・3 管路の諸抵抗	262	5・3・5 ぬ れ 壁 塔	289
5・1・4 円形以外の断面の管路の抵抗	264	5・3・6 段 塔	289
5・1・5 曲り管およびコイル内の流動	265	5・3・7 液液接触装置内の流動	289
5・1・6 管路網における流動	266	5・3・8 分散型気液接触装置内の流れ	293
5・1・7 管壁に孔のある管の流動	266	5・3・9 スクリュー押出し機内の流動	294
5・1・8 脈 流 動	267	5・3・10 装置内の旋回流	294
5・2 混 相 流 動	268	5・3・11 噴 流	295
5・2・1 気泡の生成, 運動および消滅	268	5・3・12 液体の微粒化	296
5・2・2 液滴の生成, 運動および消滅	268	5・4 装置内の流体混合	298
5・2・3 固 気 二 相 流	268	5・4・1 気 泡 塔	298
5・2・4 固 液 混 相 流	270	5・4・2 流 動 層	300
5・2・5 気 液 二 相 流	272	5・4・3 スプレー塔など	301
5・2・6 気液固三相流	276	5・5 流動に関する測定法	302
5・3 装置内の流動	276	5・5・1 流れの可視化	302
5・3・1 管群と熱交換器	276	5・5・2 粘 度 の 測 定	303

5・5・3 流速の測定	304	5・6・2 液体輸送計画	309
5・5・4 圧力の測定	305	5・6・3 真空・排気計画	311
5・5・5 流量の測定	306	5・6・4 気体輸送機	313
5・6 流体輸送機器と計画	308	5・6・5 液体輸送機	316
5・6・1 気体輸送計画	308	5・6・6 真空装置	319

6 伝 熱 (323~394)

6・1 熱 伝 導	326	6・3・1 熱放射の基礎	361
6・1・1 定常熱伝導	326	6・3・2 固体面の熱放射	362
6・1・2 非定常熱伝導	328	6・3・3 体放射体の熱放射	364
6・1・3 有効熱伝導率	332	6・3・4 黒体面の放射伝熱	369
6・2 熱 伝 達	333	6・3・5 実在面の放射伝熱の計算	374
6・2・1 熱伝達係数	333	6・4 熱 交 換 器	376
6・2・2 管内強制対流熱伝達	333	6・4・1 総括熱伝達係数および汚れ係数	376
6・2・3 管外および物体まわりの強制対流熱伝達	336	6・4・2 熱交換器の設計理論	379
6・2・4 自然対流熱伝達	340	6・4・3 熱交換器の熱的設計	381
6・2・5 非ニュートン流体の熱伝達	342	6・4・4 熱交換器の種類と構造	384
6・2・6 沸騰伝熱	343	6・4・5 熱交換器の性能	386
6・2・7 凝縮伝熱	347	6・5 伝 熱 媒 体	387
6・2・8 結霜伝熱	350	6・5・1 熱媒体の種類と性質	387
6・2・9 伝熱促進	351	6・5・2 熱媒体の選定	387
6・2・10 充てん層伝熱	354	6・6 保 温 材	389
6・2・11 移動層伝熱	356	6・6・1 保温材とその性質	389
6・2・12 流動層伝熱	357	6・6・2 保温層の設計	390
6・2・13 攪拌槽伝熱	359	6・7 温 度 の 測 定	391
6・3 熱 放 射	361	6・7・1 国際温度目盛	391
		6・7・2 実用温度計の種類	392

7 蒸 発 (395~428)

7・1 基礎的事項	397	7・3・3 フラッシュ蒸発	415
7・1・1 蒸発操作と蒸発現象	397	7・3・4 加熱蒸気の凝縮	416
7・1・2 水蒸気表とモリエ線図	397	7・4 伝熱面の汚れとその制御	417
7・1・3 蒸発操作に関連する諸物性	403	7・4・1 生成、性状および伝熱係数	417
7・2 蒸 発 装 置	404	7・4・2 スケール生成機構—— スラッジ防止の必要性	418
7・2・1 蒸発装置の各種形式と摘要	404	7・4・3 制 御 法	419
7・2・2 蒸発装置の配列と操作方式	407	7・4・4 除去および洗浄	423
7・2・3 蒸発装置の付属設備	408	7・5 蒸発装置の設計	423
7・2・4 蒸発操作の費用	409	7・5・1 単一蒸発缶の設計	423
7・2・5 蒸発装置の選定	411	7・5・2 多重効用缶の設計	425
7・3 蒸発の諸方式と伝熱	412	7・5・3 フラッシュ蒸発装置の設計	426
7・3・1 管内流の蒸発	412		
7・3・2 下降膜の蒸発	414		

8 晶 析 (429~460)

8・1 概 論	431	8・2・4 気相からの晶析	439
8・1・1 晶析操作の選定	431	8・2・5 結 晶 純 度	440
8・1・2 過飽和の生成法	431	8・3 晶析装置と操作法	441
8・1・3 晶析現象と製品結晶	432	8・3・1 分 類 と 選 定	441
8・1・4 媒 晶 作 用	432	8・3・2 各 論	443
8・2 晶 析 現 象	433	8・4 晶析装置・操作の設計	450
8・2・1 過 飽 和 状 態	434	8・4・1 設計のためのデータ実測法	450
8・2・2 結 晶 核 発 生	436	8・4・2 回分装置の設計	451
8・2・3 結 晶 成 長	437	8・4・3 連続装置の設計	452

9 蒸 留 (461~494)

9・1 蒸 留 の 基 礎	464	9・9 抽 出 蒸 留	476
9・1・1 気液平衡の概要	464	9・9・1 気液平衡関係と溶剤濃度	477
9・1・2 気液平衡の計算	464	9・9・2 物質収支と溶剂量	477
9・2 単 蒸 留	464	9・10 反 応 蒸 留	478
9・3 水 蒸 気 蒸 留	466	9・11 棚 段 の 性 能	479
9・4 平衡フラッシュ蒸留と平衡分縮	466	9・11・1 棚 段 の 構 造	479
9・5 連続多段蒸留(連続精留)	467	9・11・2 塔径と段間隔	479
9・5・1 塔全体の物質収支と原料供給状態	467	9・11・3 棚段の圧力損失	481
9・5・2 操作線と逐次段計算	468	9・11・4 飛 沫 同 伴	482
9・5・3 有限段, 有限還流操作の解法 (操作型)	469	9・11・5 棚段の安定操作域	483
9・5・4 全還流操作の解法	470	9・11・6 棚 段 の 効 率	484
9・5・5 最小還流操作の解法	470	9・12 蒸留プロセスの制御	485
9・5・6 還流比と理論段数の関係	472	9・12・1 制御の目的と種類	485
9・6 回分多段蒸留(回分精留)	472	9・12・2 蒸留塔の特性の把握	485
9・6・1 各段のホールドアップを考慮した 場合	472	9・12・3 変数の組合せの選択	486
9・6・2 各段のホールドアップを無視した 場合	473	9・13 蒸留プロセスの省エネルギー	487
9・6・3 Rose の 関 係	473	9・13・1 蒸留プロセスのエクセルギー	487
9・7 充てん塔による連続精留	473	9・13・2 中間加熱と中間冷却領域	489
9・8 共 沸 蒸 留	474	9・13・3 Petlyuk 蒸留プロセス	490
9・8・1 気液平衡関係の特徴	474	9・13・4 多重効用プロセス	491
9・8・2 最 小 還 流 比	476	9・14 分 子 蒸 留	492
9・8・3 溶 剤 選 択	476	9・14・1 分子蒸留の概要	492
		9・14・2 分子蒸発速度	492
		9・14・3 平均自由行程と蒸留間げき	493
		9・14・4 各種分子蒸留器	493

10 吸 収 (495~536)

10・1 吸収における物質移動	498	10・2・5 多成分系の吸収	516
10・1・1 物理吸収の物質移動	498	10・3 吸収装置の種類と特性	519
10・1・2 化学反応を伴う物質移動	500	10・3・1 吸収装置の種類	519
10・1・3 分散液への物質移動	504	10・3・2 液分散型装置	520
10・2 吸収装置設計の基本	507	10・3・3 ガス分散型装置	527
10・2・1 気液の接触方式	507	10・3・4 吸収装置の設計および経済性	530
10・2・2 微分接触方式の装置の設計	508	10・4 吸収プロセス	532
10・2・3 階段接触方式の装置の設計	513	10・4・1 ガス精製プロセス	532
10・2・4 非等温系の吸収	514	10・4・2 ガス状大気汚染物質の除去プロセス	532

11 抽 出 (537~584)

11・1 抽出操作の基礎的事項	540	11・5 液液抽出装置の設計	563
11・2 液液平衡および固液平衡	540	11・5・1 ミキサーセトラー抽出器	563
11・2・1 平衡関係の表現	540	11・5・2 向流微分型抽出塔	566
11・2・2 抽 剤 の 選 定	543	11・5・3 非攪拌式段型抽出塔	567
11・2・3 金属イオンの溶媒抽出平衡	544	11・5・4 攪拌式段型抽出塔	569
11・3 抽 出 速 度	546	11・5・5 遠心式抽出機	574
11・3・1 液液系の物質移動速度	546	11・6 固液抽出装置	575
11・3・2 固液抽出速度	549	11・6・1 浸透貫流型固液抽出装置	575
11・4 抽出操作の設計計算	552	11・6・2 固体分散型固液抽出装置	576
11・4・1 単抽出および多回抽出	552	11・6・3 貫流-浸漬併用型固液抽出装置	576
11・4・2 半回分微分抽出	553	11・7 液膜による分離操作	577
11・4・3 向流多段抽出	555	11・7・1 液膜分離の基礎	577
11・4・4 中間原料のある向流多段抽出	558	11・7・2 液膜分離操作	579
11・4・5 還流を伴う向流多段抽出	558	11・8 超臨界ガス抽出	580
11・4・6 向流多段多成分分別抽出	560	11・8・1 超臨界ガス抽出の基礎	580
11・4・7 段 効 率	561	11・8・2 超臨界ガス抽出の原理とプロセス	582
11・4・8 向流微分抽出	562	11・8・3 応 用 例	583

12 吸着・イオン交換 (585~624)

12・1 吸着・イオン交換操作の基礎事項	588	12・4・1 概 説	598
12・2 吸着剤と吸着平衡	589	12・4・2 固 定 層 吸 着	599
12・2・1 吸着剤の物性	589	12・4・3 移動層吸着・流動層吸着	605
12・2・2 吸 着 平 衡	589	12・4・4 その他の固定層吸着操作	606
12・3 吸着における物質移動	595	12・4・5 攪拌槽吸着操作	607
12・3・1 概 説	595	12・4・6 再 生 操 作	607
12・3・2 固定層における物質移動係数	598	12・5 工業的吸着操作と装置	608
12・4 吸着操作の設計	598	12・5・1 気相吸着操作と装置	608

12・5・2 液相吸着各論	611	12・7 イオン交換操作および装置設計	618
12・6 イオン交換の基礎事項	613	12・7・1 固定層イオン交換	618
12・6・1 イオン交換の概説	613	12・7・2 移動層・流動層イオン交換	620
12・6・2 イオン交換平衡	614	12・8 イオン交換操作と装置	621
12・6・3 イオン交換における移動速度	614	12・8・1 水処理装置	621
12・6・4 キレート樹脂における交換平衡関係 と拡散速度	618	12・8・2 溶液処理	621

13 調湿・水冷却 (625~652)

13・1 湿度図表	627	13・4・1 調湿・冷水操作の基礎	630
13・1・1 湿り空气の諸特性値	627	13・4・2 増湿装置	632
13・1・2 圧力に対する補正	628	13・4・3 減湿装置	634
13・1・3 有機蒸気の湿度図表	628	13・4・4 冷水装置	637
13・2 気液接触面における熱と物質の 同時移動現象	628	13・4・5 諸接触装置の特性	640
13・2・1 熱と物質の同時移動	628	13・5 工業用装置の操作例	644
13・2・2 高流速時の補正	629	13・5・1 空気調和	644
13・3 湿度の測定法	629	13・5・2 冷水製造装置	647
13・4 装置の特性と設計	630	13・5・3 エアワッシャー (空気洗浄器)	649
		13・5・4 冷却塔の実用設計	650

14 乾 燥 (653~692)

14・1 乾燥特性	655	14・4・1 回分式熱風乾燥器の設計	666
14・1・1 基礎的事項	655	14・4・2 回分式伝導乾燥器の設計	667
14・1・2 材料内水分の状態と移動機構	655	14・4・3 連続式熱風乾燥器の設計	667
14・1・3 各種乾燥法による材料乾燥特性	657	14・4・4 連続式伝導乾燥器の設計	670
14・1・4 限界含水率	660	14・4・5 回分式通気乾燥器の設計	672
14・1・5 平衡含水率	660	14・4・6 乾燥器による試験	673
14・1・6 乾燥収縮	660	14・5 各種乾燥器の特性	673
14・1・7 風化および潮解	661	14・5・1 回分式材料静置型乾燥器	673
14・2 乾燥速度	661	14・5・2 連続式材料移送型熱風乾燥器	674
14・2・1 定率乾燥速度	661	14・5・3 材料攪拌型乾燥器	676
14・2・2 減率乾燥速度	662	14・5・4 連続式熱風搬送型乾燥器	684
14・3 乾燥器の分類と選定	663	14・5・5 真空・凍結乾燥器	689
14・3・1 分類	663	14・5・6 円筒乾燥器	689
14・3・2 選定の基準	663	14・5・7 赤外線乾燥器	690
14・3・3 乾燥器容積の概算	665	14・5・8 マイクロ波乾燥器	691
14・4 乾燥器の設計	666	14・5・9 溶剤含有材料の乾燥法	691

15 滷 過・圧 搾 (693~730)

15・1 基礎的事項	696	15・2 ケーク滷過	696
------------------	-----	------------------	-----

15・2・1 汙過速度	696	15・4・2 汙過助剤	713
15・2・2 各種汙過法と特性	698	15・5 汙過装置の構造と選定	714
15・2・3 汙過試験	703	15・5・1 ケーク汙過器	714
15・2・4 汙過ケーキの洗浄	706	15・5・2 清澄汙過器	720
15・2・5 汙過ケーキの通気脱水	707	15・5・3 汙過装置の選定	722
15・3 清澄汙過	708	15・6 圧 搾	723
15・3・1 閉塞汙過	709	15・6・1 圧搾速度	723
15・3・2 深層汙過	709	15・6・2 各種圧搾法と特性	224
15・4 汙材と汙過助剤	711	15・6・3 圧搾試験	726
15・4・1 汙 材	711	15・6・4 圧搾装置	726

16 沈降・遠心・浮上分離 (731~766)

16・1 基礎的事項	733	16・3・4 凝集沈殿装置と設計法	748
16・1・1 各分離法とその選択	733	16・4 遠心分離	750
16・1・2 流体中の粒子の運動	734	16・4・1 基礎的事項	750
16・1・3 流体中の粒子群の運動	735	16・4・2 遠心沈降	751
16・1・4 理想的分離	735	16・4・3 遠心汙過	753
16・2 清澄および沈殿濃縮	736	16・4・4 遠心脱水	754
16・2・1 回分沈降過程	736	16・4・5 遠心分離機	757
16・2・2 界面の沈降速度式	737	16・5 浮上分離	759
16・2・3 清澄および清澄装置	739	16・5・1 気泡浮上分離法	759
16・2・4 連続沈殿濃縮	741	16・5・2 油水分離法	762
16・2・5 連続シックナーの設計	742	16・6 泡沫分離法	763
16・3 凝 集	745	16・6・1 気液界面平衡	763
16・3・1 凝集作用と凝集剤	745	16・6・2 分離操作	763
16・3・2 凝集操作	746	16・6・3 泡沫分離に影響を及ぼす因子	764
16・3・3 凝集試験法	747	16・6・4 泡沫分離装置と応用	765

17 集じん・分 級 (767~812)

17・1 集 じ ん	769	17・2 空 気 清 浄	790
17・1・1 集じんの原理	769	17・2・1 エアフィルターと空気清浄化技術	790
17・1・2 集 じ ん 率	770	17・2・2 エアフィルターの選定の基準と 装置の形式	790
17・1・3 圧 力 損 失	770	17・2・3 集じん性能測定法	791
17・1・4 集じん装置の分類と選定の指針	771	17・2・4 集じん性能の推定と評価法	792
17・1・5 集じん性能測定法	773	17・2・5 静電エアフィルター	794
17・1・6 重力集 じ ん	777	17・3 分 級	795
17・1・7 慣性集 じ ん	778	17・3・1 分級操作の基礎	795
17・1・8 遠心力集 じ ん	779	17・3・2 湿式分級機	797
17・1・9 洗浄集 じ ん	781	17・3・3 乾式分級機	799
17・1・10 汙布集 じ ん	782	17・3・4 微細粒子の分級	805
17・1・11 電気集 じ ん	785	17・4 磁 気 分 離	809
17・1・12 高温高圧下の集じん	788		

17・4・1 基礎理論	809	17・4・3 磁気分離機	811
17・4・2 物質の磁気的性質	810	17・4・4 磁気分離操作	811

18 粉 碎 ・ 造 粒 (813~852)

18・1 粉碎の基本概念	815	18・6 粉碎機の各論と粉碎システムの選択	826
18・1・1 粉碎の定義と目的	815	18・6・1 粉碎機の分類と方法	826
18・1・2 粉碎機構と粉碎方法	815	18・6・2 粗 碎 機	826
18・1・3 粉碎操作と粉碎システム	815	18・6・3 中 碎 機	828
18・2 粉碎に関する固体の基礎的性質	816	18・6・4 粉 碎 機	828
18・2・1 碎料の強さに関する基礎的考え方	816	18・6・5 粉碎プロセスとシステムの選択	837
18・2・2 碎料の強度ならびにヤング率, ポアソン比などの材料力学的性質	816	18・7 造 粒 の 基 礎	838
18・2・3 固体の表面エネルギー	818	18・7・1 目的と分類	838
18・2・4 粉碎抵抗と粉碎能	818	18・7・2 造粒体の形成	841
18・3 粉碎仕事に関する法則と粉碎の効率	821	18・7・3 造粒体の強度	844
18・3・1 粉碎の仕事法則	821	18・8 各種の造粒装置	845
18・4 粒度分布と粉碎速度論	822	18・8・1 自足造粒系	845
18・4・1 粉碎生成物の粒度分布	822	18・8・2 強製造粒系	848
18・4・2 粉 碎 速 度 論	822	18・9 転動造粒の速度理論	849
18・5 閉回路粉碎システム	824	18・9・1 ボピュレーションバランスと 合体確率	849
18・5・1 閉回路粉碎の特徴	824	18・9・2 造粒体の圧密速度と強度	850
18・5・2 閉回路粉碎系の設計	824	18・9・3 特性限界粒度と造粒体の 力学的性質	852
18・5・3 粉碎機の動特性と排出特性	826		

19 粉粒体の混合・貯蔵・輸送 (853~886)

19・1 固 体 混 合	855	19・5 機械的輸送法	874
19・1・1 一般的事項	855	19・5・1 ベルトコンベヤー	874
19・1・2 混合状態の指標と混合過程	856	19・5・2 スクリューコンベヤー	876
19・1・3 混合状態の測定, 推定および検定	858	19・5・3 チェーンコンベヤー	878
19・1・4 混合所要動力	860	19・5・4 振動コンベヤー	880
19・1・5 混合機の種類と特徴	864	19・6 空 気 輸 送	880
19・2 貯槽内の圧力	867	19・6・1 低濃度輸送	881
19・2・1 貯槽内粉体圧の概要	867	19・6・2 高濃度輸送	881
19・2・2 静的粉体圧力	868	19・6・3 エアスライド	881
19・2・3 動的粉体圧力	869	19・6・4 所要動力	882
19・3 粉粒体の供給方法	870	19・7 水 力 輸 送	883
19・3・1 特徴と分類	870	19・7・1 濃 度	883
19・3・2 回転運動式	870	19・7・2 スラリーポンプ	884
19・3・3 エンドレス式	872	19・7・3 所要動力	884
19・3・4 推力式	872	19・8 カプセル輸送	884
19・3・5 走行回転式	872	19・8・1 水力カプセル	884
19・4 自然発火	873	19・8・2 空気カプセル	885

20 攪拌・捏和 (887~920)

20・1 攪拌および混合操作	889	20・3・3 固 液 系	907
20・1・1 攪拌操作の一般的事項	889	20・4 高粘度液の攪拌	910
20・1・2 混 合 作 用	890	20・4・1 高粘度液の取扱い	910
20・2 低粘性液の攪拌	891	20・4・2 攪拌機の形式	911
20・2・1 均 相 攪 拌	891	20・4・3 高粘性攪拌の特性	913
20・2・2 均相攪拌操作の性能	896	20・5 捏和と混練	916
20・3 異相系の攪拌	900	20・5・1 一般的事項	916
20・3・1 気 液 系	901	20・5・2 装置とその選定	917
20・3・2 液 液 系	905		

21 膜 分 離 (921~954)

21・1 限 外 滲 透	924	21・4・3 電気透析の処理プロセス	941
21・1・1 限外滲透膜の種類	924	21・5 ガス分離膜	943
21・1・2 限外滲透膜の輸送現象	924	21・5・1 ガス分離膜の種類	943
21・1・3 限外滲透のモジュール	927	21・5・2 ガス分離膜の輸送現象	943
21・1・4 限外滲透プロセス	928	21・5・3 ガス分離膜モジュール	946
21・2 逆 浸 透	929	21・5・4 ガス分離膜プロセス	946
21・2・1 逆浸透膜の種類	929	21・5・5 バーバレーション法 (浸透気化法)	947
21・2・2 逆浸透膜の輸送現象	930	21・6 ガス拡散法	948
21・2・3 逆浸透のモジュール	932	21・6・1 ガス拡散の輸送現象	948
21・2・4 逆浸透処理プロセス	934	21・6・2 ガス拡散モジュール	950
21・3 透 析	935	21・6・3 カスケードの段数計算	950
21・3・1 透析膜の種類	935	21・7 生 体 膜	951
21・3・2 透析膜の輸送現象	936	21・7・1 生体膜における輸送現象の分類	952
21・3・3 透析のモジュール	937	21・7・2 受 動 輸 送	952
21・3・4 透析処理プロセス	939	21・7・3 キャリヤー輸送の速度	952
21・4 電 気 透 析	939	21・7・4 能 動 輸 送	953
21・4・1 イオン交換膜の種類	939	21・7・5 生体膜のシミュレーション	953
21・4・2 電気透析の輸送現象	940		

22 同 位 体 分 離 (955~974)

22・1 熱 拡 散	957	22・2・3 ガス遠心分離機の構造	960
22・1・1 熱拡散法の概要	957	22・2・4 向流型ガス遠心分離機の性能	961
22・1・2 熱拡散分離装置	957	22・3 ノズル分離	963
22・1・3 熱拡散係数	958	22・3・1 は じ め に	963
22・2 ガス遠心分離	959	22・3・2 分離ノズル装置	963
22・2・1 ガス遠心分離法の概要	959	22・3・3 分離ノズル法のカスケード	964
22・2・2 ガス遠心分離法の基礎	960	22・3・4 分離ノズル法の原理	966

22・4 質 量 拡 散.....966	22・5・1 化学交換法の基礎968
22・4・1 質量拡散法の原理966	22・5・2 装置および設計法968
22・4・2 質 量 拡 散 塔967	22・6 レーザー分離.....971
22・4・3 分 離 係 数967	22・6・1 レーザー法の基礎971
22・4・4 質量拡散法の適用例967	22・6・2 原 子 法971
22・5 化 学 交 換 法.....968	22・6・3 分 子 法973