

目 次

『粉体工学便覧』出版に当って

序 文

『粉体工学便覧』編集委員会

執筆者一覧

I 粒子特性とその測定法

1. 粒子径	1
1.1 粒子径の定義	1
1.1.1 3軸径	1
1.1.2 投影径	1
1.1.3 球相当径	3
1.2 粒子径の物理的意味	3
1.2.1 Feret径, Martin径, 投影面積円相当径	3
2. 粒子径分布	4
2.1 正規分布	4
2.2 対数正規分布	5
2.3 Rosin-Rammler分布	7
2.4 Gaudin-Schuhmann分布	11
3. 平均粒子径	11
3.1 平均粒子径の定義	12
3.2 主要な平均粒子径	12
4. 粒度測定法	15
4.1 粉体の粒度測定法	15
4.1.1 はじめに	15
4.1.2 顕微鏡法	17
4.1.3 エレクトロゾーン法	22
4.1.4 遮光法	23
4.1.5 グラインド計	23
4.1.6 電磁波干渉法	24
4.1.7 ふるい分け法	26
4.1.8 沈降法	27

4.1.9	遠心沈降法	35
4.1.10	簸別法	36
4.1.11	慣性力法	37
4.1.12	単粒子膜法	38
4.2	エアロゾル	39
4.2.1	光散乱現象を利用する方法	39
4.2.2	粒子の慣性力を利用する方法	41
4.2.3	重力および遠心沈降速度を利用する方法	43
4.2.4	電気移動度を利用する方法	45
4.2.5	粒子の拡散現象を利用する方法	47
4.2.6	その他の方法	49
4.2.7	粒子濃度の測定	50
4.2.8	粒度測定器の校正	50
4.2.9	粒度測定法の適用範囲	50
5.	粒子密度	51
5.1	密度の定義	51
5.2	粒子密度の測定	52
5.2.1	液浸法	52
5.2.2	気体容積法	54
6.	粒子形状	57
6.1	幾何学的形状	57
6.1.1	粒子形状の幾何的表示	57
6.1.2	粒子形状, 性状を表す語	58
6.1.3	単一粒子の形状表示のためのおもな諸元	59
6.1.4	均斉度 (プロポーション)	60
6.1.5	充足度	60
6.1.6	平面および立体幾何的諸量を用いた形状指数	61
6.1.7	立体幾何的形状係数	61
6.1.8	輪郭曲線についての形状指数	62
6.1.9	その他の形状指数, 形状指標	63
6.2	動力学的形状	64
6.2.1	抵抗力形状係数	64
6.2.2	動力学的形状係数	66
7.	1個粒子の付着力	67
7.1	付着力の要因	67
7.2	1個粒子の付着力測定法	70
7.2.1	付着力測定の原理	70

7.2.2	各種の測定法	70
7.2.3	1個粒子の付着力に影響する諸因子	71
8.	粒子のかたさ	73
8.1	定性的かたさ測定法	73
8.2	定量的かたさ測定法	74
8.2.1	ヌープかたさ	74
8.2.2	マイクロビッカースかたさ	75
8.2.3	測定用試料の作り方	75
8.2.4	微小かたさ計と測定上の注意事項	76
8.3	各材料のかたさ	76
9.	粒子の表面物性	79
9.1	粒子表面のマクロな構造	80
9.2	ミクロな表面特性	81
9.2.1	固体の表面エネルギー	81
9.2.2	粒子表面の構造	82
9.2.3	表面の化学構造	83

II 粉粒体特性とその測定法

1.	粉体力学	89
1.1	粉体力学の概況	89
1.2	粉体力学の基礎方程式	90
1.2.1	応力のつり合い式とモーメントのつり合い式	90
1.2.2	連続の式と幾何学的関係式	91
1.2.3	構成方程式（応力ひずみ関係式）	91
1.3	有限要素法による解法	93
1.4	すべり線（特性曲線）による応力の解析	94
1.5	塑性学の利用	97
1.6	粒子間に粘着力が働く場合	99
1.7	除荷および再荷圧の場合	100
2.	充填特性	101
2.1	等球の充填	101
2.1.1	等球のランダム分散系の空間構造	102
2.1.2	等球のランダム充填体の空間構造	103
2.1.3	等球の規則充填構造	104
2.2	多成分系の充填	105
2.2.1	最密充填された等大球形粒子間隙への規則充填	105

2.2.2	2成分系のランダムな充填	106
2.2.3	多成分系のランダムな充填	107
2.3	かさ密度（など）の測定	108
2.3.1	粉体のかさに関する用語	108
2.3.2	かさ密度などの測定法の実際	109
3.	摩擦特性	114
3.1	粉粒体の摩擦角	114
3.2	粉粒体の剪断試験	116
3.2.1	一面剪断試験	116
3.2.2	三軸圧縮試験	118
3.2.3	平面ひずみ試験および3主応力制御試験	119
3.3	粉粒体の破壊規準	120
4.	付着・凝集	122
4.1	粒子間に働く相互作用（付着，凝集性）の定義	122
4.2	相互作用力（付着，凝集力）の発生機構	123
4.2.1	粒子間の付着力	123
4.2.2	粉体層の付着力	125
4.2.3	粉体層の摩擦特性	125
4.3	粉体の付着力の測定法	126
4.3.1	引張破断法	126
4.3.2	圧裂破断法	128
4.3.3	その他の方法	129
4.4	特殊雰囲気中における付着力の測定	129
4.4.1	高湿度下ならびに湿潤粉体の付着力	131
4.4.2	液中における粉体の付着力	131
4.5	粉体の付着力の測定法の将来と展望	132
4.6	粉体の飛散性	132
5.	粒子成形体の強度	133
5.1	焼結体の強度	133
5.1.1	焼結体の強さと化学結合	133
5.1.2	焼結体の理論強度と現実の強度	134
5.1.3	焼結体の破壊源	134
5.1.4	粒内強度と粒界強度	135
5.1.5	焼結体の強度と結晶粒径	135
5.1.6	粉末成形体の強度	137
5.2	造粒体の強度	137
5.2.1	強度試験法	137

5.2.2	圧縮・引張強度	137
5.2.3	衝撃・摩耗強度	140
6.	流動性	142
6.1	流動性の定義と表現	142
6.1.1	流動性の定義	142
6.1.2	流動性の表現	142
6.2	流動性の測定法	142
6.2.1	重力流動	143
6.2.2	強制流動	145
6.2.3	剪断特性と流動性	148
6.2.4	流動化流動	150
6.2.5	総合評価	150
6.3	流動性の改善	153
6.3.1	外力の付加	153
6.3.2	流動性改善剤の添加	153
7.	透過特性	154
7.1	粒子充填層の圧力損失	154
7.1.1	流路モデルによる圧力損失の計算	155
7.1.2	抗力モデルによる圧力損失の計算	158
7.2	繊維充填層の圧力損失	159
8.	吸着特性	160
8.1	概 論	160
8.2	吸着の測定	161
8.2.1	測定法の種類	161
8.2.2	試料の調製	161
8.3	吸着等温線の理論	162
8.3.1	等温線の型	162
8.3.2	吸着等温式	162
8.4	吸着速度	165
8.5	吸着質の吸着状態	166
8.6	吸着による粉体表面の評価	167
8.6.1	表面の化学的特性	167
8.6.2	表面の幾何学的特性	168
9.	比表面積	169
9.1	比表面積	169
9.1.1	比表面積の定義および粒子径との関係	169
9.1.2	吸着法	170

9.1.3	浸漬熱法	178
9.1.4	透過法	179
9.2	細孔分布の測定	182
10.	水分	184
10.1	結合水と付着水	184
10.2	水分の分析, 測定法	186
11.	湿潤粒子層	189
11.1	湿潤粒子層の含液の状態	189
11.1.1	湿浸粒子層内の含液率分布	189
11.1.2	含液率の表示法, 飽和度	192
11.1.3	平衡状態の平均飽和度	192
11.2	湿潤粒子層の毛管上昇高さ	193
11.2.1	均一球粒子の規則充填層の場合	193
11.2.2	均一球粒子の不規則充填層の場合	194
11.2.3	一般の粒子層の場合	194
11.2.4	毛管上昇(平均飽和域)高さの測定法	196
11.2.5	粒子層の毛管上昇のヒステリシス	197
11.3	残留平衡飽和度	199
11.3.1	均一球粒子層の場合	199
11.3.2	一般粒子層の場合	200
11.4	遠心力場での湿潤粒子層	201
11.4.1	飽和域の消滅	201
11.4.2	高遠心力場での残留平衡飽和度	201
12.	スラリー粘度	203
12.1	概 説	203
12.2	スラリーの流動特性	203
12.2.1	流動特性に影響を与えるパラメータ	203
12.2.2	基本的な流動特性	203
12.2.3	時間依存性	204
12.2.4	粘度式	204
12.3	測定法	206
12.3.1	測定装置	206
12.3.2	細管式粘度計による測定	207
12.3.3	回転式粘度計による測定	207
13.	伝熱特性	208
13.1	単一粒子に関する伝熱機構	208
13.2	粒子層の伝熱	210

13. 2. 1	多孔体での伝熱	210
13. 2. 2	充填層伝熱の有効熱伝導度	212
13. 2. 3	粒子流体間の伝熱係数	214
13. 2. 4	振動層における伝熱	215
13. 2. 5	攪拌層における伝熱	217
13. 2. 6	回転層における伝熱	217
13. 3	浮遊粒子の伝熱	218
13. 3. 1	流動層での伝熱	218
13. 3. 2	噴流層での伝熱	222
13. 3. 3	空気輸送における伝熱	222
14.	電気特性	224
14. 1	比抵抗	224
14. 2	誘電率	227
14. 3	比電荷(帯電量)	229
15.	磁気特性	231
15. 1	磁性と磁力	231
15. 2	微粒子の強磁性	232
15. 3	単一物質の磁性	235
15. 3. 1	強磁性物質の磁性	235
15. 3. 2	弱磁性物質の磁性	239
15. 4	片刃粒子の磁性と吸引限界	240
16.	振動特性	243
16. 1	概 論	243
16. 2	粉粒体の動的応力-ひずみ関係	244
16. 2. 1	測定法	244
16. 2. 2	粉粒体の動的応力-ひずみ関係の非線形性	245
16. 2. 3	微小ひずみでの粉粒体の剪断弾性係数	246
16. 3	粉粒体の水平振動	246
16. 3. 1	水平振動による乾燥粉粒体の密度変化	246
16. 3. 2	水平振動による疎充填飽和粉粒体の液化化	248
16. 4	粉粒体の鉛直振動	250
16. 4. 1	鉛直振動による容器内粉粒体の空隙率変化	250
17.	音響特性	252
17. 1	概 論	252
17. 2	粉体系からの音の発生	253
17. 2. 1	粒子衝突音	253
17. 2. 2	粉体層の摩擦音	255

17.3	音場における粒子の共振運動	258
17.4	粒子群による音波の減衰	261
17.4.1	分散粒子群による音波の減衰	261
17.4.2	粉体層中の音波の減衰	262

III 粉体諸現象

1.	拡散	277
1.1	ブラウン拡散	277
1.1.1	ブラウン拡散の基礎式	277
1.1.2	粒子濃度の変化	278
1.1.3	重力沈降の影響	280
1.1.4	その他の因子の影響	282
1.2	乱流拡散	282
1.2.1	概論	282
1.2.2	乱流拡散方程式	283
1.2.3	乱流拡散係数	284
2.	光学的現象	287
2.1	概論	287
2.2	光散乱現象	288
2.2.1	粒子による光散乱理論	288
2.2.2	粒子の屈折率	289
2.2.3	散乱光強度	291
2.2.4	光の減衰	293
2.3	光の回折現象	296
2.4	光照射圧力	296
2.5	光泳動	296
2.5.1	粒子内熱発生分布	297
2.5.2	$K_n \ll 1$ の場合	299
2.5.3	$K_n \gg 1$ の場合	300
3.	静電現象	301
3.1	粒子の帯電	302
3.1.1	接触帯電	302
3.1.2	衝突帯電	303
3.1.3	破碎帯電その他	304
3.2	帯電粒子の運動	305
3.3	電気泳動	307

3.3.1	電気泳動速度	307
3.3.2	電気泳動速度の測定	310
3.4	誘電泳動	311
4.	凝 集	312
4.1	気中における凝集	313
4.1.1	凝集の速度式	313
4.1.2	ブラウン凝集	314
4.1.3	速度勾配による凝集	316
4.1.4	乱流凝集	316
4.1.5	音波凝集	317
4.2	液中における凝集	318
4.2.1	電解質による凝集	318
4.2.2	DLVO 理論	319
4.2.3	高分子による凝集	323
4.2.4	界面活性剤による凝集	324
5.	衝突・反発	324
5.1	衝突と反発の力学	324
5.1.1	反発係数	324
5.1.2	衝突・反発過程の摩擦	325
5.1.3	壁面における粒子反発の解	325
5.2	壁面での粒子反発の特徴	326
5.2.1	反発の統計的性格	326
5.2.2	反発による粒子の運動エネルギー成分の転換	328
6.	粒子の沈降と浮遊	329
6.1	概 論	329
6.2	単一粒子の運動	329
6.2.1	粒子の受ける抗力	329
6.2.2	粒子の運動方程式	332
6.2.3	終末沈降速度	334
6.2.4	壁が存在する場合の粒子の沈降	334
6.2.5	非球形粒子の沈降	337
6.3	2粒子の沈降	338
6.4	粒子群の沈降	340
6.5	遠心力による粒子の沈降	342
6.6	微小気泡の浮遊	343
7.	剪断速度場における粒子の運動	344
7.1	概 論	344

7.2	揚 力	344
7.3	粒子の軌跡	346
8.	移動・飛散	348
8.1	粒子層の移動	348
8.2	粒子の飛散	350
8.2.1	粒子層表面における境界層	350
8.2.2	粒子の移動限界	351
8.3	伝熱面における剥離、堆積	354
8.3.1	伝熱面の汚れの特性	354
8.3.2	粉体の伝熱面への沈積の要因	354
8.3.3	対策技術	354
9.	燃焼・蒸発	354
9.1	概 論	354
9.1.1	火炎の性質	355
9.1.2	予混合火炎と拡散火炎	355
9.2	揮発・燃焼機構	357
9.2.1	単一液滴の熱および物質移動速度	357
9.2.2	液滴の蒸発、着火および燃焼速度	358
9.2.3	液滴の着火	359
9.2.4	液滴の燃焼速度と噴霧燃焼火炎の長さ	360
9.2.5	滴の相互干渉	361
9.3	霧滴の燃焼	362
9.3.1	揮発性液滴群の燃焼	362
9.3.2	煤(すす・スート)の発生	363
9.3.3	重質油燃焼で排出するコーク粒子	364
9.4	粉体の燃焼	365
9.4.1	有機粉体の熱分解(ガス化・炭化)	365
9.4.2	粉体の着火とガス化燃焼	366
9.4.3	炭素粒子の燃焼と総括燃焼速度	367
10.	粉塵と粉塵爆発	371
10.1	粉 塵	371
10.2	粉塵爆発	372
11.	偏 析	374
11.1	偏析現象	375
11.2	偏析の機構	377
11.3	偏析度	379
11.4	偏析の防止法	380

12. 架橋	381
12.1 架橋の種類	381
12.2 かみ合いによる粗粒子の架橋	381
12.3 付着性微粉体の架橋	382
12.4 架橋防止法	385
12.4.1 容器の寸法, 形状などの適切な決定	385
12.4.2 粉体材料の調整	385
12.4.3 アーチブレーカ	385
13. 焼結	387
13.1 焼結現象の駆動力	387
13.2 焼結過程	388
13.2.1 単一成分系粉体の焼結過程	388
13.2.2 多成分系粉体の焼結過程	390
13.2.3 液相焼結過程	390
13.3 固相焼結の機構	392
13.3.1 粒子結合部の形成機構	392
13.3.2 粒子結合部の成長機構	392
13.3.3 空隙孔の収縮と成長の機構	394
14. 溶解	395
14.1 溶解に関する基本的事項	395
14.2 溶解性に関する一般的知見	395
14.3 溶解度を高める方法	395
14.3.1 結晶形, 結晶度を変える	395
14.3.2 水和物を無水物とする	396
14.3.3 溶解補助剤の添加	396
14.3.4 混合溶媒の使用	396
14.3.5 界面活性剤による可溶化	396
14.4 溶解速度	397
14.4.1 溶解の律速段階	397
14.4.2 溶解速度の測定法	399
14.4.3 溶解速度を増大させる方法	400
15. メカノケミカル現象	400
15.1 概論	400
15.2 粉碎による固体粒子のメカノケミカル変化	401
15.3 メカノケミストリーの工学的応用	407

IV 粉体の調製

1. テストエアロゾルの発生	421
1.1 蒸発凝縮法	421
1.1.1 ミストの発生	421
1.1.2 フュームの発生	422
1.2 液体分散法	422
1.2.1 噴霧型ネブライザ	423
1.2.2 超音波ネブライザ	424
1.2.3 振動オリフィス型分散装置	424
1.2.4 遠心分離型分散装置	424
1.3 固体粒子分散法	425
1.4 単分散粒子の発生	425
2. 分散	426
2.1 気中分散	426
2.1.1 分散機構	426
2.1.2 各種分散機	428
2.1.3 分散度の評価	431
2.2 液中分散	431
2.2.1 静電的反発力による分散	431
2.2.2 高分子による分散	432
2.2.3 界面活性剤による分散	432
2.2.4 非水溶媒中における分散	434
3. 荷電・中和	435
3.1 気中における荷電・中和	435
3.1.1 イオン	435
3.1.2 拡散荷電	435
3.1.3 電界荷電	440
3.1.4 その他	441
3.2 液中における荷電・中和	441
3.2.1 水溶液中における粒子の帯電, 電気二重層	441
3.2.2 非水溶媒中の粒子の帯電	446
4. 粉体サンプリング	447
4.1 サンプリング装置	447
4.2 サンプリングの解析	450
5. 表面改質	453

5.1	コーティング	453
5.1.1	表面改質の基本的なとらえかた	454
5.1.2	表面改質の具体的なとらえかた	456
5.2	マイクロカプセル	459
6.	反応による生成	461
6.1	気相反応	461
6.1.1	気相反応と微粉・超微粉	461
6.1.2	微粉と超微粉の調製	461
6.1.3	気相反応微粉, 超微粉への期待	464
6.2	液相反応	464
6.2.1	沈殿法	465
6.2.2	溶媒蒸発法	467
6.3	固相反応	468
6.3.1	概 論	468
6.3.2	熱分解法	469
6.3.3	固相反応法	472
6.3.4	結 言	473
7.	標準粉体	473
7.1	分 類	473
7.2	特 性	474
7.2.1	基礎物性用標準粉体	475
7.2.2	基準粉体	475
7.2.3	試験用ダスト	478
7.3	試験用ダストを定めている各種の規格	479

V 粉粒体を扱う単位操作

1.	粉 碎	487
1.1	概 論	487
1.2	単粒子破碎と粉碎法則	487
1.2.1	単粒子破碎と碎料の材料力学的性質	487
1.2.2	固体の表面エネルギーと粉碎効率	491
1.2.3	粉碎抵抗と粉碎能	493
1.2.4	粉碎仕事に関する法則と理論	495
1.3	粉碎速度論と粉碎操作	497
1.3.1	粒子集合体の粉碎速度過程	497
1.3.2	粉 碎 操 作	498

1.4	粉 碎 機	502
1.4.1	粉砕機の分類	502
2.	分 級	514
2.1	乾式分級	514
2.1.1	分級結果の評価	515
2.1.2	乾式分級機の種類	515
2.2	湿式分級	518
2.2.1	湿式分級の原理	518
2.2.2	湿式分級装置	520
2.3	ふるい分け (スクリーニング)	529
2.3.1	ふるい分け機械	529
3.	集 塵	537
3.1	重力集塵	539
3.2	慣性集塵	540
3.3	遠心力集塵	542
3.4	汙過集塵	543
3.4.1	バグフィルタ	543
3.4.2	エアフィルタ	545
3.5	電気集塵	547
3.6	その他の集塵	550
4.	貯 槽	551
4.1	概 論	551
4.2	貯槽の特徴と分類	552
4.2.1	貯槽の一般的な特徴	552
4.2.2	貯槽の分類	552
4.2.3	構造形式および工法	553
4.3	貯槽の計画	555
4.3.1	貯槽容積の算定	555
4.3.2	排出装置	556
4.4	設計荷重	557
4.5	貯槽内粉体荷重の概要	560
4.6	静置粉体圧の算定式	561
4.7	設計粉体圧力	564
5.	供 給	566
5.1	供給機の特徴と分類	566
5.2	各種供給機の機構	567
5.2.1	重力供給機	567

5.2.2	機械力供給機	569
5.3	プロセス制御と供給機	572
6.	輸 送	572
6.1	空気輸送	572
6.1.1	固体粒子の流れの状態	573
6.1.2	沈 降 速 度	573
6.1.3	粒子群の平均速度または速度比	574
6.1.4	流れの特性	574
6.1.5	定常状態の直管の圧力損失	575
6.1.6	加 速 損 失	576
6.1.7	ベンドの圧力損失	576
6.1.8	閉 塞 限 界	576
6.1.9	高濃度低速流れ	578
6.2	水力輸送	578
6.2.1	濃 度	578
6.2.2	沈 降 速 度	578
6.2.3	流れの分類	579
6.2.4	直管部の圧力損失	579
6.3	その他の輸送法	580
6.3.1	種類と特徴	580
6.3.2	トラフ式コンベア	581
6.3.3	循環式コンベア	583
7.	乾 燥	588
7.1	湿り粉粒体材料の乾燥速度	588
7.1.1	含水率と乾燥特性曲線	588
7.1.2	材料内の水分移動	589
7.1.3	乾 燥 速 度	590
7.2	乾燥装置の形式	591
7.3	装置の選定と装置容積の概算	593
8.	造 粒	596
8.1	造粒の分類と目的	596
8.1.1	分 類	596
8.1.2	目 的	596
8.2	造粒機構	598
8.2.1	粉体と液体結合剤	598
8.2.2	自 足 造 粒	601
8.2.3	強 制 造 粒	602

8.3	造粒機の形成と特性	605
9.	混 合	608
9.1	概 論	608
9.2	粉粒体混合機の種類	609
9.2.1	容器回転型混合機	609
9.2.2	容器固定型混合機	609
9.2.3	複合型およびその他の型式の混合機	611
9.3	混合状態の表示法および混合過程	611
9.3.1	混合度, 最終混合度	611
9.3.2	混 合 機 構	613
9.3.3	混 合 曲 線	613
9.3.4	混 合 速 度	614
9.4	混合機の所要動力	614
9.5	混合装置の選定	616
10.	晶 析	618
10.1	晶析現象	618
10.1.1	過飽和溶液	618
10.1.2	核化現象	618
10.1.3	結晶成長	619
10.1.4	晶析現象に影響する因子	620
10.2	装置の形式	620
10.3	晶析装置の特性と設計	620
10.3.1	回分装置容積の決定法	620
10.3.2	連続装置容積の決定法	621
11.	汙 過	622
11.1	概 論	622
11.2	汙過の基礎理論	623
11.3	真 空 汙 過	624
11.3.1	ドラム型真空フィルタ	624
11.3.2	ディスク型真空フィルタ	625
11.3.3	水平ベルト型真空フィルタ	627
11.4	圧 力 汙 過	628
11.4.1	フィルタプレス	628
11.4.2	ベルトプレスフィルタ	629
11.4.3	密閉容器型加圧汙過器	630
11.5	遠 心 脱 水	632
11.5.1	バスケット型遠心脱水機	632

11.5.2	ボウル型遠心脱水機	634
12.	沈降分離	635
12.1	概 論	635
12.2	沈降分離装置の構造および設計	635
12.2.1	連続シクナの所要面積の決定	635
12.2.2	連続シクナの所要容量の決定	638
12.2.3	クラリファイヤの構造および所要面積の決定	639
13.	混練・捏和	640
13.1	概 論	640
13.1.1	混練と捏和の区分	640
13.1.2	混練の定義と意義	640
13.1.3	混練物の種類	642
13.2	混練に影響する主要因子	642
13.2.1	粘 性	642
13.2.2	濡 れ 性	643
13.2.3	混 練 力	643
13.2.4	混 練 早 さ	645
13.3	混練機とその選び方	645
13.3.1	混練機の種類	645
13.3.2	特殊混練	647
13.3.3	混練機の選び方	647
14.	圧 搾	648
14.1	圧搾機構	648
14.2	圧搾の基礎理論	650
14.3	圧搾の実際	651
15.	成 形	653
15.1	セラミックス	653
15.1.1	概 論	653
15.1.2	セラミックスの成形技術上の基本的事項	653
15.1.3	伝統セラミックスの成形技術	654
15.1.4	ファインセラミックスの成形技術	656
15.2	薬 剤	661
15.2.1	製 造 法	662
15.2.2	錠 剤 機	664
16.	焼 成	667
16.1	概 論	667
16.2	技術的問題点とその対策	667

16.3	焼成装置	668
16.3.1	窯炉の形式	668
16.3.2	電気炉の種類	670
16.4	焼成過程で起こる現象—焼結—	671
17.	粉体の反応装置	673
17.1	流動層	673
17.1.1	流動化状態とその設計	673
17.1.2	ガス分散器の設計	678
17.1.3	粒子の飛出しとフリーボード	679
17.1.4	スケールアップと流動層モデル	680
17.2	移動層	681
17.2.1	概 要	681
17.2.2	粉体機器としての特性	683
17.2.3	設 計 法	684
17.3	回 転 窯	685
17.3.1	形式と特徴	685
17.3.2	粒子の挙動と滞留時間	687
17.3.3	焼成機構	688
18.	燃 焼 炉	692
18.1	燃 焼 装 置	692
18.1.1	気体燃焼装置	692
18.1.2	液体燃焼装置	693
18.1.3	固体燃焼装置	693
18.1.4	低 NO _x 燃焼技術	696
18.2	加 熱 炉	696
19.	浮 遊 選 鉱	697
19.1	概 論	697
19.2	鉱物の粒子の浮遊と接触角	698
19.3	浮 選 剤	699
19.3.1	捕 収 剤	699
19.3.2	起 泡 剤	701
19.3.3	抑 制 剤	701
19.3.4	活 性 剤	702
19.4	浮 選 機	702
19.4.1	空気吹込み式浮選機	702
19.4.2	機械攪拌式浮選機	703
19.4.3	その他の浮選機	704

19.5	優先浮選	704
20.	磁気分離	706
20.1	概論	706
20.2	磁気分離法ならびに磁気分離機の種類	707
20.2.1	磁気分離法の種類	707
20.2.2	磁気分離機の種類	708
20.3	静磁界型磁気分離機による分離法	710
20.3.1	ドラム型磁気分離機	710
20.3.2	強磁界型磁気分離機	712
20.4	電磁誘導型磁気分離機	716
20.5	磁性流体による比重分離	716
20.6	磁気分離操作上の要点	717
20.6.1	粗選ならびに精選とスカベンジング	717
20.6.2	非磁性粒子の抱込みと磁着妨害	717
20.7	磁気分離試験法	718
20.7.1	磁気分離試験機	719
20.7.2	磁気分離成績の表示	719
20.8	将来における問題点	719
21.	静電分離	719
21.1	概論	719
21.2	分離機構	720
21.3	分離装置	721
21.3.1	純静電型	721
21.3.2	コロナ放電型	721
21.3.3	混合型	722
21.3.4	摩擦帯電型	722
21.4	表面処理・湿度処理による優先選別法	722
22.	包装	723
22.1	粉体包装の概要	723
22.2	計量方式	723
22.2.1	質量計量方式	724
22.2.2	オーガ方式	724
22.2.3	容積計量方式(カップ計量方式)	725
22.3	吐出し装置	725
22.4	製袋充填機	725
22.4.1	縦型ピロー包装機	726
22.4.2	縦型製袋包装機	726

22. 4. 3	横型製袋包装機	726
22. 4. 4	横型製袋ロータリ式包装機	727
22. 5	製袋包装機の粉体包装適性	727

VI 粉粒体プロセスのオンライン計測

1.	粉塵サンプリング	745
1. 1	等速サンプリング	745
1. 2	導管中での粒子沈着	748
1. 2. 1	直線状サンプリング管での粒子沈着率	748
1. 2. 2	一般のサンプリング管での沈着率	749
2.	粉体流量, 濃度	751
2. 1	乾 式	751
2. 1. 1	流 量	751
2. 1. 2	濃 度	753
2. 2	湿 式	755
2. 2. 1	スラリの濃度計測	755
2. 2. 2	流量の測定	758
3.	粉体層のレベル	760
3. 1	レベル計測	760
3. 2	レベル計の種類	760
3. 2. 1	回転羽根式レベルスイッチ	761
3. 2. 2	ピストン式レベルスイッチ	762
3. 2. 3	揺動式レベルスイッチ	762
3. 2. 4	振子式レベルスイッチ	762
3. 2. 5	音叉式レベルスイッチ	763
3. 2. 6	重錘式レベル計	764
3. 2. 7	ダイヤフラム式レベルスイッチ	765
3. 2. 8	静電容量式レベル計	765
3. 2. 9	超音波式レベル計	765
3. 2. 10	放射線式レベル計	766
3. 2. 11	導電率式レベルスイッチ	766
3. 2. 12	マイクロウェーブ式レベルスイッチ	766
4.	粉粒体の温度計測	766
4. 1	熱接触型計測	766
4. 2	非接触型計測	768
5.	粉体圧の計測	770

5.1	粉粒体応力と検出器	770
5.2	圧力の検出	772
5.3	摩擦応力の検出	775
5.4	粉粒体応力測定の実用分野および測定例	776

VII 粉粒体プロセスの実際

1.	小麦製粉	781
1.1	小麦および小麦粉概論	781
1.2	小麦粉製造工程	782
1.2.1	原料の精選・調質・配合工程	782
1.2.2	挽砕工程	783
1.2.3	仕上げ工程	783
1.3	小麦粉製造用の粉粒体機器	784
1.3.1	ディスクセパレータ	784
1.3.2	ミリング, レシービングセパレータ	784
1.3.3	ロール式粉碎機	786
1.3.4	シフタ	786
1.3.5	ピュリファイア	786
2.	医薬品	786
2.1	医薬品の種類	786
2.2	医薬品製造プロセスの特徴	787
2.2.1	厳正な品質管理	787
2.2.2	作業者の安全の確保	787
2.2.3	少量多品種生産	787
2.3	顆粒の製造	787
2.3.1	原料	787
2.3.2	攪拌造粒	787
2.3.3	転動造粒	788
2.3.4	流動造粒	789
2.3.5	押出し造粒	789
2.3.6	乾式造粒	790
2.3.7	コーティング造粒	790
2.4	錠剤の製造	790
2.5	粉末注射剤充填工程	791
3.	ニューセラミックス	792
3.1	概論	792

3.2 種類	792
3.3 組織と製造工程	794
3.4 原料	795
3.5 原料処理および成形	796
3.6 焼結	797
3.6.1 常圧焼結	797
3.6.2 加圧焼結	798
3.6.3 ホットプレス	798
3.6.4 熱間静水圧焼結 (HIP)	799
3.6.5 反応焼結法	799
3.7 仕上加工	800
4. 鑄造	800
4.1 概論	800
4.2 鑄物製造プロセス	800
4.2.1 鑄型の構成	800
4.2.2 粉体プロセスのフローシート例	801
4.3 鑄物製造用の粉体処理装置	804
5. 製鉄	805
5.1 高炉	805
5.2 鉄鉱石の事前処理	809
5.3 コークス	813
5.4 直接製鉄法	815
6. 食品	816
6.1 飼料工業	816
6.1.1 概要	816
6.1.2 配合飼料製造プロセス	816
6.1.3 配合飼料用の粉粒体機器	817
6.2 乳製品	820
6.2.1 牛乳の粉末化	821
6.2.2 造粒	824
7. 肥料	827
7.1 概論	827
7.2 化成肥料製造プロセス	828
7.3 肥料製造用の粉粒体機器	830
7.3.1 造粒装置	830
7.3.2 回転式乾燥機	830
7.3.3 ふるい分け機	830

7.3.4	粉 碎 機	830
7.3.5	冷 却 機	830
8.	セメント	831
8.1	概 論	831
8.2	ポルトランドセメントの製造プロセス	831
8.3	粉粒体処理上の問題点	832
8.3.1	原料工程での問題点	832
8.3.2	仕上工程での問題点	833
8.4	セメント製造用の粉粒体機器	833
8.4.1	原料乾燥粉碎機	833
8.4.2	セメントミル	836
8.4.3	エアセパレータ	836
9.	粘 土	837
9.1	概 論	837
9.2	ろう石クレーの製造プロセス	838
9.2.1	湿 式 法	838
9.2.2	乾 式 法	842
9.2.3	粉粒体処理上の問題点	842
9.3	クレー製造用の粉粒体機器	843
9.3.1	湿式サイクロン	843
9.3.2	遠心分離機	844
9.3.3	液体輸送 (スラリー輸送)	845
10.	プラスチック	845
10.1	充 填 材	845
10.2	熱硬化性樹脂	846
10.3	熱可塑性樹脂	846
10.3.1	充填材の表面処理	846
10.3.2	複 合 工 程	847
11.	黒 鉛	849
11.1	概 論	849
11.2	天然黒鉛製造プロセス	849
11.2.1	精 練 工 程	849
11.2.2	粉 碎 工 程	850
11.2.3	分 級 工 程	851
11.3	FW 型浮遊選鉱機	851
12.	洗 剤	852
12.1	概 論	852

12.2	粉末合成洗剤製造プロセス	853
12.2.1	硫酸化, 中和設備	854
12.2.2	噴霧乾燥設備	854
12.3	問題点の概説	854
12.3.1	粉体原料の貯蔵と輸送	855
12.3.2	前処理工程での原液調整	855
12.3.3	噴霧乾燥	856
12.3.4	後処理工程	857
13.	研 磨 材	857
13.1	研磨材の定義	857
13.2	生産推移と分類	857
13.3	製 法	860
13.4	研磨材として必要な性質	860
13.4.1	硬 度	860
13.4.2	靱 性	861
13.4.3	幾何学的性質	864
13.4.4	その他の性質	865
13.5	用 途	865
14.	アルミナ	866
14.1	概 論	866
14.2	アルミナ製造プロセス	866
14.3	特徴的な単位操作	867
14.3.1	粉 碎	867
14.3.2	沈 降 分 離	867
14.3.3	汙 過	868
14.3.4	析出槽における攪拌	868
14.3.5	焼 成	869
14.4	アルミナの物性	869
15.	農 薬	870
15.1	概 論	870
15.2	粉剤および水和剤の製造プロセス	871
15.2.1	粉 剤	872
15.2.2	水 和 剤	873
15.3	粒剤の製造プロセス	874
15.3.1	押し出し法造粒	874
15.3.2	吸着法およびコーティング法造粒	876
15.4	製造用機器および問題点	876

16. 炭酸カルシウム	877
16.1 概 論	877
16.2 沈降炭酸カルシウム製造プロセス	877
16.2.1 製 法	877
16.2.2 軽質およびコロイド性炭酸カルシウムの製法と物性	878
16.3 沈降炭酸カルシウム製造用の粉粒体機器	879
16.3.1 脱 水 機	879
16.3.2 加熱乾燥機	879
16.3.3 粉 碎 機	880
16.3.4 分 級 機	880
17. 耐 火 物	880
17.1 概 論	880
17.2 耐火物製造プロセス	881
17.3 耐火物製造用機器	882
17.3.1 粉碎およびふるい分け	882
17.3.2 混合, 混練	883
17.3.3 成 形 機	883
17.3.4 乾 燥 炉	885
17.3.5 焼 成 窯	885
18. 粉 末 冶 金	886
18.1 概 論	886
18.2 金属粉製造プロセス	887
18.2.1 電 解 法	888
18.2.2 還 元 法	888
18.2.3 噴 霧 法	889
18.2.4 機械的粉碎法	890
18.3 粉末冶金製品製造プロセス	890
18.4 粉末冶金用の粉粒体機器	891
18.4.1 金属粉末特性測定装置	891
18.4.2 成 形 機	892
18.4.3 焼 結 炉	892
19. 調 味 料	893
19.1 概 論	893
19.2 製造プロセス	893
19.2.1 晶析型プロセス	893
19.2.2 乾燥型プロセス	894
19.2.3 混合型プロセス	896

19. 2. 4	調味料製造プロセス上の留意点	897
20.	塩	898
20. 1	概 論	898
20. 2	塩の粉体物性	898
20. 3	イオン交換膜法による製塩プロセス	899
20. 4	製塩用粉粒体機器	899
20. 4. 1	結 晶 缶	899
20. 4. 2	脱 水 機	902
20. 4. 3	乾 燥 機	902
20. 4. 4	乾燥散塩の輸送と貯蔵	903
21.	核 燃 料	903
21. 1	核燃料サイクル	903
21. 2	核 燃 料	904
21. 3	核燃料の製造	905
21. 3. 1	ウラン製錬	905
21. 3. 2	二酸化ウラン粉末のペレット加工	906
21. 3. 3	ペレットに対する照射効果	907
22.	電 子 材 料	908
22. 1	概 論	908
22. 2	電子材料としての粉体の取扱い	909
22. 3	基本的なプロセス	909
22. 3. 1	原料調製工程	910
22. 3. 2	成 形 工 程	912
22. 3. 3	焼 結 工 程	912
22. 4	ま と め	913
23.	フェライト粒子粉末	914
23. 1	概 論	914
23. 2	フェライト粒子粉末の製造プロセス	915
23. 2. 1	乾式法製造フロー	916
23. 3	フェライト成形体の製造プロセス	917
23. 3. 1	焼結フェライト	917
24.	顔 料	918
24. 1	概 論	918
24. 2	二酸化チタン	919
24. 2. 1	二酸化チタン概要	919
24. 2. 2	二酸化チタンの規格、物性および品質	919
24. 2. 3	二酸化チタンの製造工程	920

24. 2. 4	二酸化チタン製造工程における粒度管理	923
25.	トナー	924
25. 1	概 論	924
25. 2	トナーの製造プロセス	925
25. 3	トナー製造用の粉粒体機器	927
25. 3. 1	予備混合工程	927
25. 3. 2	混練工程	927
25. 3. 3	冷却工程	927
25. 3. 4	粉碎工程	927
25. 3. 5	分級工程	928
25. 3. 6	外添工程	929
25. 3. 7	充填工程	929
26.	化粧品	929
26. 1	概 論	929
26. 1. 1	取り扱う粉粒体の種類	930
26. 1. 2	化粧品用粉粒体の性質	930
26. 2	製造装置	931
26. 2. 1	混合機, 捏和機	931
26. 2. 2	粉 碎 機	932
26. 3	製造プロセス	932
26. 3. 1	乾式化粧品製造プロセス	932
26. 3. 2	湿式化粧品製造プロセス	932
26. 3. 3	乳化系化粧品製造プロセス	934
26. 3. 4	分散系化粧品製造プロセス	935
26. 3. 5	油性化粧品製造プロセス	935
27.	選 鉱	935
27. 1	概 論	935
27. 2	金属硫化鉱の選鉱プロセス	935
27. 2. 1	破 碎	936
27. 2. 2	粉 碎	936
27. 2. 3	浮 選	938
27. 2. 4	産物処理	939
27. 2. 5	鉱石処理上の問題点	939
27. 3	選鉱用の粉粒体機器	940
27. 3. 1	破 碎 機	940
27. 3. 2	粉 碎 機	940
27. 3. 3	浮 選 機	940

27. 3. 4	濃縮, 脱水機	940
28.	選 炭	940
28. 1	概 論	940
28. 2	前 処 理	941
28. 3	選 別	941
28. 4	後 処 理	945
29.	コールセクタ	946
29. 1	概 論	946
29. 2	コールセクタプロセス	946
29. 3	石炭貯炭搬送用機器	949
29. 3. 1	アンローダ	949
29. 3. 2	スタ ッ カ	950
29. 3. 3	リクレーマ	951
29. 3. 4	シ ッ プ ロ ー ダ	952
29. 3. 5	自動サンプリング装置	952
29. 3. 6	ヤード散水機	952
30	都市廃棄物	952
30. 1	概 論	952
30. 2	流動層焼却プロセス	953
30. 3	都市ごみの分別に関する要素技術	953
30. 3. 1	風力分別装置	954
30. 3. 2	トロンメル	954
30. 3. 3	反発式分別法	954
30. 3. 4	光学的分別装置	954
30. 3. 5	渦電流式分別法	955
30. 3. 6	浮上分離法	955
30. 3. 7	静電分別装置	955
30. 3. 8	選択破碎分別装置	955
31.	産業廃棄物(焼却)	956
31. 1	概 論	956
31. 2	焼 却 装 置	957
31. 2. 1	ロータリキルン型(向流式)	957
31. 2. 2	ロータリキルン型(並流式)	957
31. 2. 3	多段炉床型	957
31. 2. 4	回転炉床型	959
31. 2. 5	流 動 層 型	959
31. 3	集 塵 装 置	959

31.4	貯留・供給装置	959
31.5	搬送装置	960
32.	排水処理	960
32.1	概 論	960
32.2	1次処理	962
32.3	2次処理	963
32.4	3次処理	965
32.5	汚泥処理	965
33.	火 薬 類	966
33.1	概 論	966
33.2	製造工程における保安のための特異点	966
33.2.1	危険性物質であるための対策	966
33.2.2	法規による特別な規制	966
33.3	製造工程における品質管理上の問題点	967
33.3.1	製品の水分と原料乾燥工程	967
33.3.2	成分の粒度と原料の粉碎およびふるい分け工程	967
33.3.3	原料成分の混合度と混合工程	971
33.3.4	製品の比重と填薬工程	972
33.4	粉粒状火薬類の製造工程のフローシート	972
33.4.1	黒色火薬（黒色粉火薬，同鉍山火薬，同小粒火薬）	972
33.4.2	硝安爆薬	972
33.4.3	硝安油剤爆薬	972
付 録		979
索 引		995