

# ユーザーのための実用固液分離技術

(日本液体清澄化技術工業会 編)

## 目 次

第1章 固液分離の基礎	1
1.1 固液分離の目的・用途	1
1.2 固液分離法の種類と装置の分類	3
1.2.1 分離の場と分離方法の種類	3
分離の場と推進力(作用力)	3
固液分離法の種類	3
1.2.2 固液分離装置の種類と特徴	7
1.3 固液分離の基礎式	9
1.3.1 沈降・浮上法	10
単一粒子の移動速度(運動方程式)	10
移動する単一粒子が受ける流体抵抗	10
各分離の場における単一球形粒子の移動速度(ストークス域)	11
非球形粒子の移動速度	14
凝集粒子(フロック, flocc)の移動速度	14
粒子群の沈降速度	15
沈降装置における粒子の分離特性と分離効率	15
1.3.2 ろ過法	18
ろ過速度とろ過抵抗(圧力損失)の関係	18
透過係数と圧力損失	19
ろ材(細孔)閉塞ろ過	21
深層ろ過	23
ケーキろ過	27
圧搾	30
遠心ろ過	34
重力場と遠心力場における脱液特性	36
ろ過性能に影響を及ぼす因子	38

1.4	物質収支と分離効率	38
	物質収支	39
	分離粒子径と分離効率	40
	分離性能に影響を与える因子	42
	演習問題	48
第2章	固液分離操作に関する諸現象	54
2.1	粒子の存在状態および粒子と分散媒体の性質	54
2.1.1	液中粒子の種類と存在状態	54
2.1.2	粒子における水の存在状態(水和)	55
2.1.3	液中粒子の帯電の起源	57
	無機酸化物の水和	57
	表面解離基の解離	57
	荷電を持つ溶質の吸着	58
2.2	粒子の界面動電現象	58
2.2.1	電気二重層(電解質溶液)	58
2.2.2	界面動電現象とゼータ電位	62
	ゼータ電位(電位)	62
	電気浸透	63
2.3	液中粒子の粒子間相互作用と分散・凝集条件	64
2.3.1	粒子間相互作用の形態	64
2.3.2	DLVO理論	65
2.3.3	臨界凝集濃度と急速および緩速凝集	68
2.3.4	界面活性剤および可溶性高分子の吸着と分散・凝集	70
2.3.5	非水溶媒中の粒子の凝集・分散	72
	アルコールなどの極性溶媒中の粒子の凝集・分散	72
	ベンゼンなどの非極性溶媒中の粒子の凝集・分散	72
2.4	凝集操作	73
2.4.1	凝集剤の種類と凝集作用	73
	無機凝集剤による凝集作用	73
	有機高分子凝集剤と凝集作用	76
2.4.2	凝集速度	78

2.4.3	攪拌操作と最適攪拌条件	79
2.5	粒子の沈降特性と Kynch の理論	81
2.5.1	粒子の沈降形態	81
2.5.2	界面沈降を伴うスラリーの沈降・濃縮特性	83
	沈降層内でスラリー濃度が不連続に変化する場合	83
	沈降層内でスラリー濃度が連続に変化する場合	85
	Kynch の理論と沈降曲線からの $v_h(\phi_p)$ の求め方	85
	界面沈降曲線に関する関係式	86
2.5.3	重力および遠心沈降装置における沈降面積と分離効率	87
	重力沈降槽における沈降面積	87
	沈降面積と分離効率	88
	遠心沈降機における遠心沈降面積と分離効率	89
	液体サイクロンの粒子分離特性	92
	排泥を伴う沈降濃縮槽の所要面積と深さ	93
	沈降・濃縮装置の所要沈降面積の推算法(スケールアップ)	97
2.6	粒子堆積物の性質とスラリーの流動特性	98
2.6.1	粒子沈積物の性質	98
	沈降体積とかさ密度	98
	力学的性質	99
	塑性	100
2.6.2	スラリーの流動特性と圧力損失	101
	流動曲線の種類	101
	流動曲線と圧力損失	103
	スラリーの粘度	104
2.7	ろ過・圧搾の現象と実際	105
2.7.1	ろ過操作の基礎	105
	ろ過・圧搾操作の流れ	106
	ろ材およびフィルターの種類と分類	107
	ろ過装置の種類と分類	111
	ろ過プロセスの基本構成と運転方法およびろ過性能の維持	112
	ろ過装置の選定と選定基準	116
2.7.2	ろ材閉塞ろ過	119

ろ材による粒子の捕捉特性に影響を及ぼす因子と捕捉状態	120
ろ材閉塞ろ過モデルにおける粒子および液の透過特性	120
2.7.3 深層ろ過	124
ろ材の種類と装置	124
分離粒子径およびろ過係数に影響を及ぼす因子と粒子の分離特性	126
ろ過試験	129
2.7.4 ケークろ過・圧搾	130
ケークろ過から圧搾過程への移行とケーク層内の状態変化	131
ろ過・圧搾過程におけるケーク層内の応力状態とケーク比抵抗	133
ケーク比抵抗に影響を及ぼす因子	136
スラリーの凝集処理とろ過助剤の使用	137
ケークろ過・圧搾機の形状とスケールアップ	138
ケークの洗浄・脱水	139
ろ布の種類と選定法	139
ケークろ過・圧搾試験	140
演習問題	140
第3章 固液分離装置の基礎	155
3.1 清澄	155
3.1.1 清澄装置概論	155
3.1.2 沈降清澄装置	157
重力清澄装置	157
遠心清澄装置	162
3.1.3 清澄ろ過装置	170
固定ろ材ろ過装置	170
可動ろ材ろ過装置	188
3.2 濃縮	196
3.2.1 濃縮装置概論	196
3.2.2 沈降濃縮装置	197
重力濃縮装置	197
遠心濃縮装置	201

3.2.3	ろ過濃縮装置	208
	ベルト濃縮機	208
	ドラム濃縮機	209
	分離膜濃縮機	212
3.3	脱水	214
3.3.1	脱水装置概論	214
3.3.2	遠心沈降・ろ過脱水装置	215
	遠心沈降脱水装置	215
	遠心ろ過脱水機	221
3.3.3	ろ過脱水装置	223
	真空ろ過脱水装置	223
	加圧ろ過脱水装置	228
3.3.4	圧搾脱水装置	238
	ベルトプレス	238
	スクリーブレス	241
	回転加圧脱水機	244
	多重円盤脱水機	246
	演習問題	251
第4章	固液分離効率を高める方法	257
4.1	概論	257
4.2	凝集・造粒操作	258
4.2.1	凝集剤注入方法と攪拌条件	258
	凝集(凝結)過程での攪拌	258
	フロック形成過程での攪拌	259
	高分子凝集剤による凝集過程での攪拌	260
	攪拌強度の指標	260
	攪拌操作における留意点	261
4.2.2	高分子凝集剤と沈降促進剤および沈降促進装置	262
	凝集・凝結とフロック形成	262
	高分子凝集剤	263
	造粒沈殿装置	263

沈降促進剤添加型凝集沈殿装置	264
傾斜板(管)	264
4.2.3 濃縮凝集	265
4.2.4 クリスタリゼーション(晶析)	267
晶析現象	267
凝集操作と晶析操作	268
晶析操作を用いた回収技術	269
4.2.5 湿式(液中)造粒	270
湿式造粒とは	270
湿式造粒の因子と機構	271
石炭および石油コークス燃料灰の液中造粒	272
4.3 加熱・冷却および化学的操作	274
熱改質	274
凍結改質	275
薬剤による改質	275
4.4 電気・磁気的処理	279
電気泳動	279
電気浸透	279
磁性分離	281
4.5 ろ過助剤の利用	282
ろ過助剤の用途と種類	282
ろ過助剤の使用法	283
ろ過助剤の物理的特性	284
ろ過助剤のリサイクル	286
4.6 分離場におけるファウリング防止	287
充填層ろ過におけるろ材の洗浄	287
洗浄媒体の活用	288
乱流促進	289
演習問題	293
第5章 固液分離装置の選定およびプロセス事例	295
5.1 装置選定の考え方と手順	295

5.1.1	装置選定の考え方	295
5.1.2	固液分離装置の選定	297
5.1.3	装置選定のための試験法	298
	濃縮分離法	299
	捕捉分離法	300
5.2	設備の導入手順	301
	設備導入手順	302
	事例	302
5.3	各種固液分離装置とプロセス事例	307
	醤油製造工程における固液分離	307
	酵素製造工程における固液分離	309
	製薬工程における固液分離	311
	半導体製造用の超純水製造工程における固液分離	314
	ポリマー製造工程における固液分離	316
	紙パ廃水処理工程における固液分離	318
	浄水処理工程における固液分離	321
	下水処理工程における固液分離	324
5.4	エネルギー効率とコスト削減	326
	珪藻土ろ過と膜ろ過設備の省エネルギー対応事例	326
	膜ろ過設備における最適膜モジュールの選定法	327
	膜ろ過設備におけるトータルコストの削減法	332
	汚泥脱水機の経済的な機種選定法	334
	演習問題	338
	演習問題解答(第1章～第5章)	340
	付録	411
	索引	414