

目 次

第1章 緒 論	1
1. はじめに	1
2. クラフトパルプ法の歴史	4
2.1 アルカリパルプ法の発明と発展	4
(1) ソーダパルプ (AP) 法の発明と工業化	4
(2) クラフトパルプ (KP) 法の発明	4
2.2 サルファイトパルプ (SP) 法の台頭	5
2.3 クラフトパルプ (KP) 法の時代	5
3. クラフトパルプ工程の概要	6
3.1 パルプ化工程	6
3.2 薬品回収工程	7
4. クラフトパルプ技術用語の説明	8
参考文献	10
第2章 蒸 解 工 程	11
1. はじめに	11
2. クラフト蒸解の機構	12
2.1 木材の構造と成分	12
(1) 細胞壁および細胞間成分	12
(2) その他の成分	14
(3) 細胞壁構成成分の分布	14
2.2 リグニンの反応	16
(1) モデル実験	17
(2) クラフトリグニンの構造	20
(3) パルプ中の残留リグニン	21
2.3 炭水化物の反応	21
(1) 脱アセチル化	22
(2) ピーリング反応	23
(3) 停止反応	24
(4) ヘミセルロースの反応	25
(5) キシランの再沈澱と吸着	26
(6) パルプ中の多糖組成	27
2.4 その他の木材成分の反応	27
(1) テルペン類	27
(2) タンニン, フェノール類, 色素	27
(3) 樹 脂	28
3. 蒸解変数	28
3.1 はじめに	28
3.2 木材に関連した変数	29
(1) 材 種	29

(2) 木材密度 (比重)	33
(3) 樹種内の変数	33
(4) 木材の貯蔵	34
(5) チップへの薬液の浸透	35
(6) チップのサイズ	37
3.3 工程に関連した変数	40
(1) 温度の影響	40
(2) 有効アルカリ添加率	45
(3) 有効アルカリ濃度	48
(4) 硫化度	51
4. 蒸解工程の設備	54
4.1 連続蒸解釜	54
(1) カミヤ式連続蒸解釜	54
(2) チップ供給システム	54
(3) 1 ベッセル液相釜	59
(4) 1 ベッセル気相/液相釜	64
(5) 2 ベッセル気相/液相釜	64
(6) 2 ベッセル液相釜	68
(7) MCC 蒸解システム	68
(8) 排熱回収システム	72
(9) 蒸解釜の材質	72
(10) エスコ式連続蒸解釜	74
(11) M&D 式連続蒸解釜	76
4.2 バッチ式蒸解釜	76
(1) バッチ釜	76
(2) チップ供給設備	79
(3) 蒸解液送入設備	79
(4) ブロー設備	80
(5) ブロー熱回収	80
5. 蒸解工程の操業	84
5.1 連続蒸解釜の操業	84
(1) 空釜からのスタート	84
(2) コンベンショナル蒸解から MCC 蒸解への切替	87
(3) MCC 蒸解からコンベンショナル蒸解への切替	87
(4) 空釜停止	87
(5) 連釜操業管理の特性要因図	88
(6) 操業管理上の注意点	90
(7) 品質管理上の注意点	91
(8) 設備保全	91
5.2 バッチ釜の操業	92
(1) バッチ釜の運転	92
(2) 操業管理	95
(3) 品質管理	96
(4) 設備保全	96
6. 蒸解工程の制御	97

6.1 制御理論	97
(1) Vroom の H ファクター理論	97
(2) Kerr の式	98
(3) Hatton の回帰式	99
6.2 連続蒸解釜の制御	99
(1) 蒸解度制御	99
(2) 具体的計算方法の例	100
(3) 生産量変更制御	101
(4) 材種変更制御	102
(5) チップフィード系の制御	102
(6) 釜内洗浄およびブロー量制御	103
6.3 バッチ釜の制御	105
(1) 蒸解度制御	105
(2) 圧力制御	105
(3) 蒸気負荷の平準化	105
7. 新技術	106
7.1 パルプ取率の増加	107
(1) NaBH_4 による還元	108
(2) ポリサルファイドによる酸化	108
(3) アントラキノンによる酸化	109
7.2 低銅価蒸解	111
(1) MCC 蒸解	112
(2) ディスプレイスメントバッチ蒸解	113
7.3 まとめ	114
8. 副生物 (トール油, ターペンチン) の回収	114
8.1 概要	114
8.2 トール油の回収	116
(1) スキミングの回収	116
(2) トール油石鹼の酸性化 (粗トール油の製造)	119
(3) トール油の収量, 組成, 用途	119
8.3 ターペンチンの回収	120
(1) 回収システム	120
(2) ターペンチンの収量, 組成, 用途	122
参考文献	123
第3章 未晒パルプの洗浄工程	125
1. 工程の概要	125
2. 基本理論	125
2.1 基本方式	125
2.2 用語の説明	125
(1) 黒液	125
(2) 稀釈系数; Dilution Factor : DF	126
(3) 置換比 (率); Displacement Ratio : DR	126
(4) 洗浄効率; Washing Efficiency : WE	127
(5) 洗浄ロス	127

2.3	置換洗浄	127
2.4	稀釈洗浄	127
2.5	向流洗浄	128
2.6	洗浄効率	128
2.7	洗浄システム (マテリアルバランス)	129
3.	設 備	134
3.1	ディフューザー	134
3.2	ドラム型真空洗浄機	135
	(1) 真空バルブ付フィルター	136
	(2) バルブレスフィルター	137
3.3	ドラム型加圧洗浄機	138
3.4	ベルトタイプ洗浄機	141
3.5	連続蒸解釜内洗浄	142
3.6	ディフュージョンウォッシャー	142
3.7	加圧ディフュージョンウォッシャー	144
3.8	プレス洗浄機	146
3.9	付属設備	148
	(1) プロータンク	148
	(2) ノッター	148
	(3) 濾液タンク	150
	(4) フォームブレイカー	150
3.10	各種洗浄機の組み合わせと最近の傾向	151
4.	操 業	151
4.1	洗浄設備の操業	151
4.2	洗浄工程の管理	152
第4章 黒液濃縮工程		153
1.	はじめに	153
1.1	黒液について	153
1.2	組 成	153
1.3	性 状	154
	(1) 比 重	154
	(2) 比 熱	154
	(3) 粘 度	154
	(4) 沸点上昇	155
	(5) 伝 熱	156
1.4	黒液の得量と発熱量	156
1.5	黒液の分析	157
	(1) ガンマ線式密度計の原理	157
	(2) 差圧式比重計の原理	158
	(3) 屈折式濃度計の原理	158
2.	理 論	158
2.1	伝熱理論	158
2.2	総括伝熱係数	159
2.3	黒液濃縮装置への応用	160

(1) 加熱蒸気側の伝熱抵抗	160
(2) 管壁の伝熱抵抗	160
(3) スケールの影響	160
(4) 沸騰液側の伝熱抵抗	160
(5) 伝熱抵抗及び総括伝熱係数(U 値)の計算例	160
2.4 平均温度差	161
2.5 多重効用蒸発理論	161
(1) 真空蒸発の目的と多重効用の原理	161
(2) 効用数と蒸発倍数	162
(3) 沸点上昇の影響	163
2.6 多重効用に関する計算方法	163
(1) 蒸発能力及び蒸発倍数の計算	163
(2) 設備新設に伴う計算	164
(3) 操業状況把握に必要な計算	164
3. 設備	166
3.1 全体構成とフロー	166
(1) 黒液のフロー	166
(2) 蒸気、凝縮水および非凝縮性ガスの流れ	167
(3) 凝縮器冷却水	167
(4) 二次濃縮装置付き回収ボイラーに対応した黒液濃縮装置	167
(5) 低臭気型(二次濃縮なし)回収ボイラーに対応した黒液濃縮装置	167
3.2 黒液酸化装置	168
(1) 黒液酸化の反応式と効果	168
(2) 黒液酸化装置の例	169
3.3 長管薄膜上昇型エバポレーター (Long Tube Vertical Type=LTV 型)	170
3.4 強制循環型エバポレーター (Forced Circulation Type=FC 型)	170
3.5 液膜流下型エバポレーター (Falling Film Type=FF 型)	171
3.6 直接接触式エバポレーター (回収ボイラー二次濃縮装置)	173
3.7 コンデンサー	174
3.8 プレエバポレーター	174
4. 操業	177
4.1 飛沫同伴の防止とドレンの再利用	177
4.2 非凝縮性ガスの除去による伝熱性能の維持	178
4.3 スケール付着と洗浄	178
(1) 蒸気側スケール	178
(2) 黒液側スケール	178
4.4 稀黒液供給の改善	179
4.5 制御	180
(1) 第一効用缶廻りの制御	181
(2) 立ち上げ及び停止の自動化	181
(3) 中間黒液タンクレベル制御	181
参考文献	183
第5章 回収ボイラー工程	185
1. 回収炉の歴史	185

1.1	初期の回収炉・回収ボイラー	185
1.2	無臭気型回収ボイラー	185
1.3	高効率型回収ボイラー	187
2.	回収ボイラーの役割と機能	188
2.1	回収ボイラーの役割	188
2.2	回収ボイラーの主な機能	188
3.	回収ボイラーの設備	189
3.1	全体構成とフロー	189
(1)	燃焼, 熱回収部	189
(2)	黒液系統および緑液系統	190
(3)	補助燃料系統	191
(4)	空気供給系統	192
(5)	排ガス系統	192
(6)	給水系統	192
3.2	火 炉	192
3.3	過熱器 (スーパーヒーター)	192
3.4	蒸発管群	193
3.5	節炭器 (エコノマイザー)	194
3.6	集塵器	195
(1)	電気集塵器	195
3.7	熱交換器	197
(1)	黒液加熱器	197
(2)	ボイラー排ガス熱回収	197
(3)	デゾルバー排熱回収	198
3.8	高効率化と省エネルギー	198
(1)	高効率化	198
(2)	省エネルギー	198
3.9	自動化, 省力化	198
(1)	自動空気口掃除装置	198
(2)	その他の自動化, 省力化	198
3.10	計操と制御	198
(1)	制御装置	199
(2)	モニタリング機器	200
4.	回収ボイラーの操業	202
4.1	黒液の燃焼	202
(1)	炉内での主な反応	202
(2)	黒液の噴射方法	204
(3)	空気吹き込み方法	206
4.2	操 業	207
(1)	黒液の品質管理	207
(2)	スメルト・水爆発および補助燃料による爆発反応	207
(3)	ダストトラブル	208
(4)	腐食対策	210
5.	回収ボイラーでの物質および熱バランス	211
5.1	黒液の成分, 発熱量および補給芒硝の成分	212

(1) 黒液固形分の元素組成および発熱量	212
(2) 補給芒硝の元素組成	214
5.2 回収ボイラーの物質バランス計算	214
(1) 物質バランス計算に使用するデータ	214
(2) 物量計算(スメルト, 燃焼ガスの計算)	216
5.3 回収ボイラーの熱バランス計算	219
(1) 熱バランス計算の前提条件	219
(2) 熱バランス計算	219
参考文献	223
第6章 苛性化, 石灰焼成工程	225
1. 工程の概要	225
1.1 苛性化, 石灰焼成工程の位置付け	225
1.2 全体工程の概要	226
1.3 用語, 定義の説明	226
2. 苛性化工程	228
2.1 苛性化工程の概要	228
2.2 消和, 苛性化の化学	229
(1) 消和反応	229
(2) 苛性化反応	230
2.3 白液の清澄機構	231
(1) 沈降方式	231
(2) ろ過方式	231
(3) 白液清澄に影響を与える因子	231
3. 苛性化設備と操業	232
3.1 緑液処理	232
(1) 緑液処理設備, ドレックス処理設備	232
(2) 操業	236
3.2 苛性化処理	237
(1) スレーカー, 苛性化槽	237
(2) 操業	239
3.3 白液清澄, 石灰泥処理	241
(1) 白液清澄設備	241
(2) 石灰泥処理設備	244
(3) 操業	246
4. 苛性化工程のマテリアルバランス	246
4.1 パルプ1 ADT 当たりの物質収支	246
(1) 計算条件	247
(2) 木釜送り白液量	247
(3) 緑液供給量	247
(4) 緑液全アルカリの組成	247
(5) 緑液中の Na_2CO_3 の苛性化量	248
(6) 生石灰添加量	248
(7) 石灰泥発生量	248
4.2 パルプ1 ADT 当たりのアルカリバランス(石灰泥洗浄槽2基の場合)	248

(1) 白液クラリファイヤー	248
(2) 石灰泥洗浄工程	248
5. 石灰焼成工程	249
5.1 石灰焼成工程の概要	249
5.2 石灰焼成の反応	250
6. 石灰焼成工程の設備	250
6.1 石灰キルン（ロータリーキルン）本体	250
6.2 ショートキルンとロングキルン	254
(1) ショートキルン	254
(2) ロングキルン	255
6.3 耐火物ライニング	255
6.4 熱回収装置	256
(1) 石灰顕熱回収装置	256
(2) 排ガス熱回収装置	256
6.5 集塵装置	259
6.6 石灰泥脱水装置	260
7. 石灰焼成工程の操業	260
7.1 石灰キルン操業の概要	260
7.2 焼成石灰の品質に影響を与える因子	260
7.3 石灰キルン内でのリング、ボールの発生	262
8. 石灰キルンの物質・熱収支	262
8.1 前提条件	262
8.2 基礎計算	263
8.3 入出熱計算	264
9. 流動床炉カルサイナー	265
参考文献	266
第7章 連続蒸解釜のシミュレーション	267
1. はじめに	267
2. 従来の研究	268
3. 数学的モデルの構築	269
3.1 モデルの構想	269
3.2 前提条件	270
3.3 クラフト蒸解挙動の描写	270
3.4 薬液成分変化の描写	271
3.5 パルプ粘度の描写	271
3.6 チップコンパクション（充填）と滞留時間の描写	271
3.7 熱バランスの描写	271
4. 結 果	272
4.1 シミュレーションモデルの検証	272
4.2 コンベンショナル法と Lo-Solids 法の比較	272
5. おわりに	280
参考文献	281

第8章 溶解パルプ	283
1. はじめに	283
2. サルファイト法	284
3. 前加水分解クラフト法	286
(1) 概要	286
(2) 前加水分解	287
(3) フルフラール実証試験	287
(4) チップ供給装置	288
(5) パルプドライヤー設備	288
4. おわりに	288
参考文献	289