

液体清澄化技術（単位操作）の基礎実験

（日本液体清澄化技術工業会 編）

目 次

はじめに（本書の目的）

<概 論 編>

第 1 章 清澄化技術の基礎知識（基本概念）

1. 1 液体清澄化技術とは

1. 2 分離法の種類

1. 2. 1 速度分離法

1. 2. 2 平衡分離法

1. 2. 3 反応分離法

1. 3 分離の原理と基礎式

1. 3. 1 速度差分離

(1) 移動速度・流速 (Flux) の定義式

(2) 速度差分離を利用した例

(3) 移動速度を大きくする方法

(4) 移動量

1. 3. 2 平衡分離

(1) 平衡分離の種類

(2) 分配係数

(3) 分離係数

(4) 平衡分離における分配係数の例

1. 3. 3 反応分離

(1) $A \cdot B + C = A \cdot C + B$

(2) $A + B = C + D$

(3) $A + B = A \cdot B$

1. 4 分離性能・分離効率

(1) 回収率（分離率）

(2) 阻止率（捕集効率）

1. 5 分離性能に影響を与える因子（理論値と実験値の関係）

1. 5. 1 実際的な分離性能に影響を与える因子

(1) 共存物質の影響

(2) 装置特性

- (3) 実液性状の変化
- (4) 不適切な操作条件
- (5) 不十分な維持管理
- 1. 5. 2 理論式の適用条件
- 1. 6 液体清澄化技術の種類と適応分野**
- 1. 7 固液分離技術選定のための予備知識**
 - 1. 7. 1 懸濁固形物の分離
 - 1. 7. 2 固液分離法選定のための手順
 - 1. 7. 3 分離方法検討のための予備調査
 - (1) pH 測定
 - (2) 原水中の固形物挙動の確認
 - (3) 蒸発残渣や電気伝導率の確認
 - (4) 粘度（粘性係数）
 - (5) 凝集性
 - (6) ろ過助剤、吸着剤

第2章 清澄化技術単位操作の概論

- 2. 1 凝集沈降・凝集浮上**
 - 2. 1. 1 初めに
 - 2. 1. 2 凝集理論 ー凝集と分散ー
 - 2. 1. 3 高分子凝集剤の作用機構
 - 2. 1. 4 凝集剤の種類
 - (1) 無機凝集剤
 - (2) 高分子凝集剤
 - 2. 1. 5 沈降分離の基礎
 - (1) 沈降分離
 - (2) 沈降分離装置
 - 2. 1. 6 浮上分離の基礎
- 2. 2 急速濾過**
 - 2. 2. 1 急速ろ過とは
 - (1) ろ過の歴史
 - (2) 急速ろ過の特徴
 - (3) 急速ろ過のろ過速度と洗浄の必要性
 - 2. 2. 2 急速ろ過のろ過装置と凝集ろ過
 - (1) 砂ろ過における圧力式・重力式および通水経路による分類
 - (2) 凝集ろ過法

- 2. 2. 3 粒状ろ材の種類とろ材構成および洗浄方法
 - (1) 粒状ろ材の種類と使用法
 - (2) 粒状ろ材における単層ろ過と多層ろ過
 - (3) 粒状ろ材における各種洗浄方式
- 2. 2. 4 高速ろ過用ろ材の種類と洗浄方法
 - (1) 高速ろ過用ろ材の種類
 - (2) 長繊維ろ材における洗浄
- 2. 2. 5 ろ過および逆洗理論
 - (1) 急速ろ過におけるろ過速度
 - (2) ろ過方程式
 - (3) 粒状ろ材におけるろ過圧力損失
 - (4) 最適膨張比率と必要逆洗速度
- 2. 3 遠心分離
 - 2. 3. 1 遠心分離機の種類
 - 2. 3. 2 遠心沈降機の対象液
 - 2. 3. 3 重力による固液分離
 - (1) 重力沈降速度
 - (2) 相当径
 - (3) バッチ式から連続式への沈降プロセスの効率化
 - 2. 3. 4 遠心場における固液分離
 - (1) 遠心沈降速度
 - (2) 遠心場での連続分離
 - (3) 分離板型遠心沈降機の分離経路
 - (4) 分離板の分離限界粒子の挙動
 - (5) 分離板型遠心沈降機の処理能力
 - (6) 円筒型遠心沈降機による固液分離
- 2. 4 脱水ろ過
 - 2. 4. 1 脱水ろ過の位置付け
 - 2. 4. 2 装置と特徴
 - (1) 真空ろ過機
 - (2) フィルタープレス
 - (3) スクリュープレス
 - (4) ベルトプレス
 - 2. 4. 3 ろ過の基礎
 - (1) ろ過式とケーキ比抵抗
 - (2) ケーキ含水率

- 2. 4. 4 脱水ろ過試験法
- 2. 4. 5 前処理
- 2. 4. 6 ろ材
- 2. 5 精密ろ過 (MF)**
 - 2. 5. 1 精密ろ過とは？ (用途と特徴)
 - 2. 5. 2 ろ過装置とろ過操作
 - (1) ろ過装置
 - (2) 定圧ろ過と定流量ろ過
 - (3) ろ過操作
 - 2. 5. 3 フィルターの種類と材質
 - (1) メンブレンフィルター
 - (2) 不織布フィルター
 - (3) 精密ろ過フィルターの素材と構造
 - 2. 5. 4 ろ過理論 (ろ過モデル)
 - (1) 標準閉塞 (Standard Blocking)
 - (2) 完全閉塞 (Complete Blocking)
 - (3) ケークろ過 (Cake Filtration)
 - 2. 5. 5 精密ろ過フィルターの試験方法
 - (1) 細孔径の評価法
 - (2) ろ過流束とろ過容量の評価法
- 2. 6 限外濾過 (UF)**
 - 2. 6. 1 分離膜の用途と特長
 - 2. 6. 2 膜法について
 - 2. 6. 3 膜の性質
 - (1) 透過流束
 - (2) 阻止率
 - 2. 6. 4 膜素材とその構造
 - 2. 6. 5 膜モジュール
 - (1) 円筒型モジュール (チューブラーモジュール)
 - (2) 中空糸モジュール (ホローファイバーモジュール)
 - (3) 平板型モジュール
 - (4) スパイラルモジュール
 - 2. 6. 6 膜選択のポイント (膜、モジュール)
 - 2. 6. 7 膜の洗浄
 - 2. 6. 8 運転方法
 - 2. 6. 9 MF、UF の用途

2. 7 ナノろ過 (NF)・逆浸透ろ過 (RO)

2. 7. 1 液体清澄化における NF および RO 膜の位置付け

2. 7. 2 NF および RO 膜分離の基本概念と基礎式

- (1) 浸透現象と逆浸透
- (2) 浸透圧
- (3) 膜透過流束と阻止率
- (4) 濃度分極

2. 7. 3 NF および RO 膜分離性能に影響する因子

- (1) クロスフロー流速
- (2) 濃縮率および回収率
- (3) モジュール配列
- (4) 前処理

2. 8 イオン交換

2. 8. 1 歴史

2. 8. 2 原理

2. 8. 3 イオン交換樹脂の構造と種類

2. 8. 4 イオン交換樹脂の選択係数

2. 8. 5 用語の解説

- (1) 交換容量
- (2) 再生レベル
- (3) BV (Bed Volume)
- (4) SV (Space Velocity)
- (5) LV (Linear Velocity)

2. 8. 6 イオン交換樹脂の用途、使用例

- (1) イオン交換樹脂のイオン交換性を利用する用途
- (2) イオン交換樹脂の溶剤の吸着性を利用する用途
- (3) イオン交換樹脂に第三成分を負荷させ選択性を増加させる方法
- (4) イオン排除を利用した分離

2. 9 オゾン酸化

2. 9. 1 清澄化技術における酸化還元操作の位置付け

2. 9. 2 オゾンの基礎知識

- (1) オゾンの性質
- (2) オゾンの製造

2. 9. 3 オゾン反応操作

2. 9. 4 オゾンの酸化反応機構

- (1) オゾンの反応経路

- (2) 促進酸化反応
- 2. 9. 5 オゾン注入率と反応効率
- 2. 9. 6 オゾン処理の実施例
- 2.10 第2章参考文献

＜実験編＞

第3章 実験およびレポート作成の基礎

3. 1 実験を効果的かつ安全に行うための準備と留意点

- (1) 実験を開始する前に準備しておくべき課題
- (2) 安全の確保
- (3) 実験実施中の注意事項
- (4) 実験終了後の注意事項

3. 2 実験レポートの書き方

- (1) 実験レポート作成の目的
- (2) 正確で分かりやすい実験レポートの書き方
- (3) 表紙
- (4) 目的
- (5) 理論
- (6) 方法
- (7) 結果
- (8) 考察
- (9) 結論
- (10) 使用記号
- (11) 引用文献 (参考文献)

3. 3 有効数字

- (1) 有効数字の考え方
- (2) 測定値を読み取るルール
- (3) 測定値はどの桁まで信用できるのか
- (4) 有効数字の読み取り時の注意 (デジタル値の有効数字)
- (5) 読み取り時の注意
- (6) 有効数字の取り扱いの注意

3. 4 計測と自動化

3. 4. 1 自動計測用機器

- (1) 流量
- (2) 液量

- (3) 圧力
- (4) 温度
- 3. 4. 2 電気回路の基礎
 - (1) 基本法則
 - (2) 制御機器とシーケンス制御
 - (3) アナログ信号とデジタル信号
- 3. 4. 3 コンピューター (PC) によるデータの取り込み
 - (1) アナログデータ
 - (2) デジタルデータ
- 3. 4. 4 実際の装置例
 - (1) 電子天秤によるろ過量の測定
 - (2) PC カードを使用した測定
 - (3) 測定ソフトの動き
- 3. 4. 5 データ解析
 - (1) センサーの校正
- 3. 4. 6 実習：データ収集と解析法
 - (1) 電子天秤からのデータ取り込み
 - (2) データ処理
 - (3) 圧力などからのデータ取り込み
 - (4) 圧力への変換
 - (5) データ処理

第4章 清澄化技術単位操作の実験

4. 1 凝集分離

- 4. 1. 1 目的
- 4. 1. 2 概要
- 4. 1. 3 シリンダーテスト (沈降試験)
 - (1) 試料および使用薬品
 - (2) シリンダーテストの進め方
 - (3) 凝集剤の決定手順
 - (4) データのまとめ
 - (5) 応用試験
- 4. 1. 4 ジャーテスト (凝集試験)
 - (1) 試料および使用薬品
 - (2) ジャーテストの進め方
 - (3) 添加剤の決定手順

- (4) データのまとめ
- (5) 応用試験
- 4. 1. 5 浮上テスト
 - (1) 試料および使用薬品
 - (2) 浮上テストの進め方
 - (3) 加圧水量の決定方法
 - (4) データの整理方法
 - (5) 応用試験
- 4. 2 砂ろ過**
 - 4. 2. 1 目的
 - 4. 2. 2 懸濁粒子除去率とろ過係数
 - 4. 2. 3 試料と試験器具
 - (1) 試料
 - (2) ろ過材と試験器具
 - (3) 測定用機器
 - 4. 2. 4 実験方法
 - (1) 試験条件
 - (2) 試料の調整
 - (3) ろ過試験
 - 4. 2. 5 実験結果
 - (1) 濁度と粒子除去率
 - (2) ろ層の粒子除去特性
 - 4. 2. 6 理論と実際
 - 4. 2. 7 応用問題
 - 4. 2. 8 応用のための実験
 - (1) ろ液中の微粒子径と粒子個数の測定
 - (2) 逆洗展開率と粒子の流動状態の関係
 - 4. 2. 9 Q & A
- 4. 3 遠心沈降**
 - 4. 3. 1 スピンテストの目的
 - 4. 3. 2 スピンテストの原理
 - (1) スピンテストによる V_g の算出
 - (2) 連続遠心分離機の処理量の公式
 - 4. 3. 3 スピンテスト
 - (1) 準備
 - (2) スピンテストの手順

- (3) スピンテスト結果からの実用機選定手順
- (4) パン酵母のスピントテスト実施例
- 4. 3. 4 応用のための実験
 - (1) サンプル
 - (2) 機器
 - (3) 実験方法
 - (4) スケールアップ
 - (5) 実施例
- 4. 3. 5 Q & A
- 4. 4 脱水ろ過**
 - 4. 4. 1 目的
 - 4. 4. 2 原理・理論・概要
 - (1) ろ過速度
 - (2) ケーク比抵抗
 - (3) 圧縮性指数
 - 4. 4. 3 試料と装置
 - (1) 試料
 - (2) 試験器具
 - 4. 4. 4 実験方法
 - (1) 比抵抗測定実験
 - (2) プリコートろ過実験
 - (3) 含水率の測定
 - 4. 4. 5 データ整理とその例
 - 4. 4. 6 考察
 - 4. 4. 7 応用問題
 - 4. 4. 8 応用のための実験
 - 4. 4. 9 Q & A
- 4. 5 MF膜評価実験（デッドエンドろ過）**
 - 4. 5. 1 目的
 - 4. 5. 2 メンブレンフィルター評価試験の必要性
 - 4. 5. 3 メンブレンフィルターの評価項目
 - 4. 5. 4 標準閉塞ろ過式
 - 4. 5. 5 実験概要
 - (1) 試験器具
 - (2) 試験装置
 - 4. 5. 6 実験方法

- (1) 原液の調整
- (2) 膜の予備洗浄（フラッシング）手順
- (3) ろ過試験手順
- 4. 5. 7 ろ過試験
 - (1) 試験条件
 - (2) ろ過試験結果
 - (3) ろ過試験結果の解析
- 4. 5. 8 演習問題
- 4. 6 UF膜による有機物の分画と濃縮**
 - 4. 6. 1 目的
 - 4. 6. 2 概要
 - 4. 6. 3 実験装置
 - (1) 小規模実験器
 - (2) ベンチトップ試験機
 - 4. 6. 4 実験
 - (1) 小規模実験器
 - (2) 膜モジュールを用いた中規模実験
 - 4. 6. 5 理論と解析法
 - (1) 透過流束
 - (2) 阻止率
 - (3) 計算例
 - 4. 6. 6 スケールアップ（応用問題）
 - 4. 6. 7 Q & A
- 4. 7 NF膜、RO膜による脱塩と分画**
 - 4. 7. 1 目的
 - 4. 7. 2 原理・理論・概要
 - (1) 純水透過係数
 - (2) 見かけの阻止率と浸透圧
 - (3) 物質移動係数と濃度分極
 - 4. 7. 3 試料と装置
 - (1) 実験装置
 - (2) 平膜セルの組み立て方法
 - (3) 実験のコツ、留意点
 - 4. 7. 4 実験方法
 - (1) 純水透過係数の測定
 - (2) 見かけの阻止率と浸透圧の測定

- (3) 見かけの阻止率と回転数の影響
- (4) 軟水化处理
- 4. 7. 5 データ整理とその例
 - (1) 純水透過係数の測定
 - (2) 見かけの阻止率と浸透圧の測定
 - (3) 見かけの阻止率と回転数の影響
 - (4) 軟水化处理
- 4. 7. 6 理論と実際
 - (1) 透過流速
 - (2) 見かけの阻止率
- 4. 7. 7 応用問題
 - (1) 平膜セルの物質移動速度の計算
 - (2) スパイラル型 RO 膜モジュールの濃度分極
- 4. 7. 8 モジュールの性能評価
 - (1) 目的
 - (2) 連続式実験装置
 - (3) 実験手順
 - (4) データ整理
- 4. 7. 9 Q & A
- 4. 8 イオン交換による硬水軟化**
 - 4. 8. 1 目的
 - 4. 8. 2 理論
 - 4. 8. 3 試料と装置・器具
 - (1) イオン交換樹脂
 - (2) カラム (ガラス製、プラスチック製)
 - (3) 架台、クランプ・ムッフ類
 - (4) 原水タンク
 - (5) ポンプ
 - (6) 配管材 (軟質 PVC など)
 - (7) バルブ (テフロン製コック、スクリューコックなど)
 - (8) オートサンプラー (フラクションコレクター)
 - (9) 処理水試料採取容器
 - (10) 分析器具・機器
 - 4. 8. 4 実験方法
 - (1) 装置の組み立て
 - (2) 原水の調整

- (3) 再生剤の調整
- (4) 樹脂のコンディショニングおよび計量、樹脂充填
- (5) 樹脂の再生
- (6) 通水処理
- (7) 試験サイクル
- (8) 実験のコツ・留意点
- 4. 8. 5 データ整理とその例
- 4. 8. 6 理論と実際
- 4. 8. 7 スケールアップ（応用問題）
- 4. 8. 8 応用のための実験
 - (1) カラム操作
 - (2) イオン交換樹脂銘柄のスクリーニング
 - (3) イオン交換樹脂のコンディショニング・再生・通水処理の一般的方法
- 4. 8. 9 Q & A
- 4. 9 オゾン酸化による水中有機物の分解**
 - 4. 9. 1 目的
 - 4. 9. 2 概要
 - 4. 9. 3 オゾン濃度の単位表示
 - 4. 9. 4 試料と装置
 - (1) 処理原液
 - (2) 主要機器
 - (3) 測定用機器
 - (4) その他の器具
 - 4. 9. 5 実験方法
 - (1) 実験条件と実験項目
 - (2) 実験手順
 - 4. 9. 6 データ整理とその例
 - 4. 9. 7 考察
 - (1) オゾン処理における反応効率の検討
 - 4. 9. 8 応用問題
 - 4. 9. 9 応用のための実験
 - (1) オゾン・過酸化水素処理による有機物の除去
- 4.10 第4章参考文献

編集者・執筆者一覧