

「エネルギー・化学プロセスにおける膜分離技術」 目次

第1章 膜による分離技術と応用

1. 気体分離
2. 浸透気化分離

- 3.1 二酸化炭素分離特性
- 3.2 プロパン/プロピレン分離特性
- 3.3 浸透気化特性(水/アルコール,酢酸)

第2章 高分子ガス分離膜の分離機構と開発,応用動向

第1節 高分子ガス分離膜の分離機構と開発,応用技術

1. 高分子膜の気体透過機構
2. 高分子ガス分離膜の応用
 - 2.1 高分子二酸化炭素分離膜
 - 2.2 高分子水素分離膜
 - 2.3 高分子バリア膜

第2節 ポリイミド膜の開発と応用

1. ポリイミドの構造と物性
2. ポリイミド膜の開発
 - 2.1 ポリイミド膜の歴史と課題
 - 2.2 ガス透過モデルと透過係数,透過速度,分離係数
 - 2.3 拡散係数(D)の増大
 - 2.4 架橋構造の導入
 - 2.5 溶解係数の向上
 - 2.6 他素材とのハイブリットとその他の方法
 - 2.7 薄膜化とモジュール化
3. ポリイミド膜の応用
 - 3.1 H₂, He 分離膜
 - 3.2 O₂/N₂ 分離膜
 - 3.3 CO₂ 分離膜
 - 3.4 除湿膜(H₂O 透過膜)と有機蒸気透過膜
 - 3.5 その他のガス分離膜

第3節 実用化したポリイミド分離膜とその応用

1. ガス分離用ポリイミド中空糸膜
2. 応用場面と膜モジュールの構造
3. 窒素富化
4. 炭酸ガス分離
5. 除湿
6. 水素分離
7. 有機蒸気脱水

第3章 無機分離膜の分離機構と開発,応用動向

第1節 セラミックス分離膜の分離機構と開発,応用技術

1. 多孔質内の膜透過モデル
 - 1.1 粘性流
 - 1.2 Knudsen 拡散
 - 1.3 表面拡散
 - 1.4 分子篩における透過モデル
Modified Gas translation model
2. ナノ/サブナノ細孔の測定手法
 - 2.1 パームポロメトリー法(バブルポイント法)
 - 2.2 ナノパームポロメトリー法(毛管凝縮法)
 - 2.3 膜透過性に基づく評価
3. セラミック膜の開発と応用

第2節 ゼルゲル法によるシリカ膜の開発と応用技術

1. ゼルゲル法による多孔質シリカ膜の作製
2. アモルファスシリカネットワーク制御技術
3. オルガノシリカ膜の各種分離特性

第3節 CVD 法によるシリカ膜の開発と応用技術

1. CVD 法により作製されるシリカ膜
 - 1.1 シリカ膜の構造・形状
 - 1.2 CVD 法
 - 1.3 細孔径制御
2. CVD 法により作製されるシリカ膜を用いた応用技術
 - 2.1 水素分離精製
 - 2.2 水素以外のガス分離系
 - 2.3 膜反応器(触媒膜反応器)
 - 2.4 NF 膜/RO 膜
3. 実用化に向けた課題
 - 3.1 膜の大面积化・モジュール化
 - 3.2 膜の耐水蒸気性・長期安定性

第4節 ゼオライト膜の開発と応用技術

1. ゼオライト膜の製膜
2. 気体分離
3. 浸透気化分離
4. その他の応用

第5節 炭素膜の開発と応用技術

1. フラン樹脂の炭化・賦活による炭素膜の合成と細孔径制御
 - 1.1 フルフルリアルアルコール(FFA)蒸気を用いた
マイクロポーラス炭素膜の合成
 - 1.2 FFA 炭素膜の水素分離特性と細孔径制御
 - 1.3 水素と芳香族化合物の分離(賦活ガスの影響)
 - 1.4 膜反応器への適用(有機ハイドライド)
2. 有機鋳型法による炭素膜の細孔径制御
 - 2.1 有機鋳型法によるマイクロポーラスカーボンの合成
 - 2.2 ミクロポーラス炭素膜の合成
 - 2.3 ガス透過分離特性
 - 2.4 水・有機物分離特性

第6節 中空糸炭素膜モジュールおよび 分離プロセスの開発

1. 中空糸炭素膜の製造工程
 - 1.1 前駆体高分子の選択
 - 1.1.1 酢酸セルロース(CA)およびセルロース類
 - 1.1.2 芳香族ポリイミド
 - 1.1.3 ポリアクリロニトリル(PAN)
 - 1.1.4 ポリエーテルイミド(PEI)
 - 1.1.5 ポリフェニレンオキシド(PPO)およびその誘導体
 - 1.2 中空糸高分子膜の紡糸
 - 1.3 炭化処理
 - 1.4 炭素膜のモジュール化
2. 中空糸炭素膜のガス分離性能
 - 2.1 中空糸炭素膜のガス透過特性
 - 2.2 前駆体の異なる中空糸炭素膜のガス分離性能
 - 2.3 中空糸炭素膜による CO₂/CH₄ 混合ガス分離
3. 中空糸炭素膜を用いた分離プロセス

第7節 金属有機構造体(MOF)の分離膜への応用

1. 分離膜に用いる金属有機構造体(MOF)の種類
2. 金属有機構造体(MOF)膜の作製方法
 - 2.1 混合マトリックス膜
 - 2.2 直接重合法
 - 2.3 二次成長法
 - 2.4 対向拡散法
3. ZIF-8 膜によるプロピレン/プロパン分離
 - 3.1 プロピレン/プロパン分離と ZIF-8
 - 3.2 直接重合法および二次成長法による ZIF-8 膜の作製
 - 3.3 対向拡散法による ZIF-8 膜の作製

第8節 計算機支援による無機膜の構造および透過性評価

1. ガス透過理論
 - 1.1 Knudsen モデルと GT モデル
 - 1.2 修正 GT モデル
 - 1.3 修正 GT モデルの細孔径評価への応用
 - 1.4 NKP プロットと k0 プロット
 - 1.4.1 Simple NKP プロット
 - 1.4.2 Full NKP プロット
 - 1.4.3 k0 プロット
2. 分子シミュレーションによる多孔性膜の構造評価
 - 2.1 分子シミュレーションによる仮想膜作製
 - 2.2 分子シミュレーションによる膜構造評価
3. 分子シミュレーションによる多孔性膜における気体透過性評価
 - 3.1 透過モデルと分子シミュレーションのハイブリッド法
 - 3.2 透過係数の直接計算法-非平衡 MD 計算-
4. 分子シミュレーションによる細孔径評価法の検証

第4章 二酸化炭素(CO₂)分離膜

第1節 高分子 CO₂ 分離膜

1. 膜分離技術の概要
2. CO₂ 分離膜研究開発の国際動向
 - 2.1 高分子膜
 - 2.2 無機膜
 - 2.3 イオン液体膜
 - 2.4 促進輸送膜
3. 分子ゲート膜

第2節 イオン液体含浸膜

1. イオン液体
2. イオン液体含浸膜
 - 2.1 CO₂ 吸収性
 - 2.2 CO₂ 選択性
 - 2.3 CO₂ 透過性
3. 耐圧性イオン液体含有 CO₂ 選択透過膜
 - 3.1 高分子化イオン液体膜
 - 3.2 イオンゲルフィルム
4. 反応性イオン液体含有促進輸送膜
 - 4.1 反応性イオン液体の設計概念と反応性イオン液体含浸液膜の CO₂ 透過機構
 - 4.2 アミノ酸イオン液体含浸膜
 - 4.3 反応性イオン液体含浸膜の課題

第3節 CO₂ 膜分離を用いた

次世代型水素ステーション用水素製造システム

1. CO₂ 分離型メンブレン CO 変成器 (メンブレンリアクター)の効果

2. CO₂ 分離型メンブレン CO 変成器 (メンブレンリアクター)の開発
 - 2.1 CO₂ 選択透過膜の開発
 - 2.1.1 CO₂ 選択透過膜の作成・性能評価実験
 - 2.1.2 CO₂ 選択透過膜の性能
 - 2.1.3 CO₂ 選択透過膜の耐久性
 - 2.1.4 CO₂ 選択透過膜の耐熱性の向上
 - 2.2 高性能 CO 変性触媒の開発
 - 2.3 メンブレンリアクターの試作・テスト結果
3. メンブレンリアクターによる水素ステーション全体の効率化・ダウンサイジング

第4節 ゼオライト膜

1. ゼオライト膜による二酸化炭素分離
 - 1.1 ゼオライト膜の概要
 - 1.2 種々のゼオライト膜による二酸化炭素分離
2. 高シリカ CHA 膜(MSM-1)の開発
 - 2.1 高シリカ CHA 型ゼオライトの特徴, MSM-1 の特徴と浸透気化特性
 - 2.2 高シリカ CHA 型ゼオライト膜, MSM-1 の特徴と浸透気化特性
 - 2.3 MSM-1 のガス分離特性

第5章 水素分離膜

第1節 Pd 系水素分離膜の高性能化

1. Pd 系膜の水素透過機構
2. 薄膜化・複合膜化による高性能化
3. 合金化による高性能化
4. Pd 膜の耐久性向上

第2節 V 系を中心とした Pd 代替金属系水素分離膜

1. 金属系水素分離膜の周辺状況
2. 金属膜による水素分離の原理と特徴
 - 2.1 水素原子の格子拡散を利用して水素のみを透過する金属膜
 - 2.2 金属膜における各パラメーター間の関係式
3. 実用の状況
4. 金属系水素分離膜の研究開発における国際動向
5. 我が国を中心とする V 系水素分離膜の開発状況
6. メンブレンリアクターへの応用に向けて解決すべき技術課題
 - 6.1 水素製造用メンブレンリアクター
 - 6.2 化学合成用メンブレンリアクター

第3節 水素分離型リフォーマーシステム

1. 従来型水素製造システム
 - 1.1 水蒸気改質反応・CO シフト反応
 - 1.2 システム構成
2. 水素分離型リフォーマーシステム
 - 2.1 原理
 - 2.2 システム構成
3. 40 Nm³/h 級試験システム
 - 3.1 40 Nm³/h 級試験システムの構成
 - 3.2 水素製造効率
 - 3.3 製品水素純度
 - 3.4 耐久試験結果

第6章 化学プロセスへの膜分離の適用

- 第1節 化学プロセスへの無機膜分離プロセスの適用と展望

1. 石油化学における分離技術の革新の重要性
2. 無機分離膜開発の必要性と
化学プロセス適用に対する優位性
3. 化学プロセス用脱水膜開発の事例：
イソプロピルアルコール脱水膜

第2節 無機多孔体の実用化動向

1. ゼオライト膜用多孔質セラミックス基材の開発
2. ゼオライト膜用多孔質アルミナ基材の作製
3. 基材の機械的強度
4. 基材の表面特性
5. 多孔質基材の特性とゼオライト膜性能

第3節 ゼオライト膜の実用化

1. PV(VP)分離
2. ゼオライト複合膜
 - 2.1 製膜
 - 2.2 ゼオライト複合膜の特性
 - 2.2.1 ナノ孔径分布特性
 - 2.2.2 透過特性
 - 2.3 機械的強度および耐熱性
 - 2.4 耐酸性
3. 円筒型ゼオライト膜モジュール
 - 3.1 二重円筒型膜モジュール
 - 3.2 円筒型膜モジュール

第4節 化学プロセスにおけるゼオライト分離膜技術

1. ゼオライト分離膜エレメント
2. 膜分離のメカニズム
3. 膜モジュール
4. 膜分離方法
5. プロセス適用事例
6. プロセス最適化検討

第5節 ゼオライト膜のエステル化反応と酸化反応への応用

1. 膜反応器
2. ゼオライト膜を用いた膜反応器
3. エステル化反応への適用
4. ゼオライト膜の選択透過能と触媒能の利用
5. 液相酸化反応の触媒膜としての利用

第6節 無機系水素分離膜と膜反応器の 化学系水素キャリアシステムへの応用

1. 再生可能エネルギー
 - 1.1 水力発電
 - 1.2 WE-NET 計画
 - 1.3 エネルギーキャリア
2. 水素分離精製への無機および金属膜の利用
 - 2.1 サブナノ細孔膜
 - 2.1.1 ゼオライト膜
 - 2.1.2 シリカ膜
 - 2.2 パラジウム膜
3. 膜反応器
 - 3.1 MCH 系
 - 3.2 アンモニア系

第7節 セラミック膜の適用例と最近の開発

1. セラミック膜の特徴
 - 1.1 有機膜との比較
 - 1.2 セラミック膜の構造

- 1.3 セラミック膜の製造方法
- 1.4 セラミック膜の特性
- 1.5 セラミック膜によるろ過方法
2. セラミック膜の適用
 - 2.1 適用分野
 - 2.2 膜選定条件と操作条件
 - 2.3 食品分野への適用例
 - 2.3.1 飲料ボトリングの除菌
 - 2.3.2 発酵液の菌体分離及び清澄化
 - 2.4 電子分野への適用例
3. 最近の開発
 - 3.1 新たなニーズ
 - 3.2 DDR 型ゼオライト膜の特徴
 - 3.3 DDR 型ゼオライト膜の製造方法
 - 3.4 DDR 型ゼオライト膜の特性
 - 3.5 DDR 型ゼオライト膜の適用先

第8節 メタンの水蒸気改質反応への応用をめざした 多孔質セラミックスの開発研究

1. 水素分離用多孔質セラミックス膜
2. 高温水蒸気雰囲気下における
アモルファスシリカ膜の劣化挙動
3. 耐水蒸気性の向上をめざした分離膜材料の合成開発
 - 3.1 メソポーラス中間層
 - 3.2 分離活性層

第9節 水素製造用触媒一体化 PdAg 膜モジュールの開発

1. 触媒一体化モジュールのコンセプト・構造・動作原理
2. MOC の性能評価
3. 耐久劣化要因とその対策
4. 対策実施による耐久性向上

第10節 膜分離技術によるバイオブタノールの精製

1. ブタノールについて
 - 1.1 ブタノールの特徴
 - 1.2 ブタノール発酵
 - 1.3 ブタノールと水とを分ける技術
2. 浸透気化膜分離法によるブタノールの濃縮
 - 2.1 ポリジメチルシロキサン分離膜
 - 2.2 シリカライト-1 分離膜
 - 2.3 浸透気化膜分離法の所要エネルギー
 - 2.4 発酵液成分の膜分離への影響

第11節 ポリイミド膜のバイオマスへの展開

1. バイオ燃料製造プロセスとガス分離膜
2. バイオメタン製造プロセスへのガス分離膜の適用
 - 2.1 バイオガス・バイオメタンについて
 - 2.2 バイオメタン製造プロセス
3. ガス分離膜によるバイオガスのメタン濃縮
 - 3.1 ガス分離膜
 - 3.2 膜モジュール
 - 3.3 ガス分離膜によるバイオガスのメタン濃縮法
 - 3.4 ガス分離膜によるバイオガスのメタン濃縮の実例

第12節 新潟県におけるバイオ燃料実証事業と ゼオライト膜脱水について

1. 事業の概要
 - 1.1 実証事業の規模
 - 1.2 プラントの特徴
 - 1.3 バイオエタノール製造工程

2. 膜脱水装置の概要
3. 脱水工程
4. メンテナンス状況

第13節 イオン伝導体分離膜による海水からのリチウム回収技術

1. 海水リチウム資源回収システム
2. イオン液体によるリチウム分離回収技術
3. イオン伝導体によるリチウム分離回収技術
4. リチウム分離回収液からの炭酸リチウム精製