

目 次

はじめに

第 1 部 研究開発成果

第 1 編 高温二酸化炭素分離膜技術の研究開発

第 1 章 無機膜及びそのガス透過機構の解析研究と評価技術開発

ガス分離膜測定技術の開発	1
分離機構のシミュレーション	6
He 吸着法による細孔構造評価	14
透過型電子顕微鏡による分離膜の微構造解析	18

第 2 章 セラミックス分離膜の研究および開発

多孔質無機膜による二酸化炭素分離	38
ゼオライト系ガス分離膜開発	47
ゼオライト膜の大面积製膜技術の開発	53
多孔性シリカ膜の開発とガス透過機構	71
ゾルゲル法によるセラミックス分離膜の開発	80
シリカ系分離膜（耐水蒸気性シリカ-ジルコニア膜）	97
メソポーラスシリカの合成とキャラクタリゼーション	109
多孔質窒化ケイ素基材を用いた溶出法シリカ質分離膜の開発	113
S i - N - C 系非晶質膜の研究	125
S i - N - C 系プレカーサーの研究	142
熔融炭酸塩を用いた高温二酸化炭素濃縮の研究	144
高温ガス選択性陽極酸化アルミナ膜の開発	152
C V I による分離膜修飾技術の開発	160
チタニア中間層を持つ支持体と二酸化炭素透過シリカ膜の研究	167
モノリス基材開発	186
炭化ケイ素多孔質基材の開発	190

第 3 章 モジュールの試作開発

高温シール技術の開発	210
高信頼性多孔質基材と基材利用技術の開発	224
平板積層型モジュールエレメント	241

第2編 開発システム最適化、市場適応性等調査研究	
はじめに	246
1. 調査の目的	246
2. 調査活動の概要	246
3. 調査研究成果の概要	247
第1章 二酸化炭素高温分離・回収再利用技術の現状及び研究動向	
1-1. セラミックス分離膜及び分離システム技術	252
1-1-1. 現状及び研究動向の概観	252
1-1-2. 膜支持体	253
a. 基材と中間層	253
b. 膜支持体と分離膜	255
1-1-3. 細孔制御型分離膜	259
a. CVD法	259
b. ゴルゲル法	261
c. 水熱合成法	263
d. ガラス膜（溶出法）	265
1-1-4. 表面改質型分離膜	266
1-1-5. 選択溶融型分離膜	267
1-1-6. ミクロ細孔の評価	270
1-1-7. 既存分離技術との比較（低温分離／高温分離）	273
a. 高分子分離膜を用いた低温分離	273
b. 無機多孔質分離膜を用いた高温分離	275
1-1-8. 膜性能の推移と予測	277
第2章 概念設計	
2-1. プロセスシミュレーション	279
2-2. モジュール概念設計	279
2-2-1. はじめに	281
2-2-2. モジュール構造	281
a. 平膜単純型モジュール	281
b. 平膜複雑型モジュール	281
c. キャピラリー型モジュール	283
d. モノリス型モジュール	283
e. ハニカム型モジュール	283
2-2-3. 高温シール技術	283
a. シール材	283
b. シール構造	285
2-2-4. シール部のリーク	287
2-2-5. キャピラリー型モジュールの圧力分布と濃度分布	289

2-2-6. 構造的信頼性の検討	290
2-2-6-1. はじめに	290
2-2-6-2. 分離膜と基材の強度評価	290
2-2-6-3. 二酸化炭素高温分離システムの信頼性	291
2-2-6-4. 多孔質無機系材料の構造的信頼性評価	291
2-3. プラント概念設計	292
第3章 利用可能プラントの現状及び最適処理システムの検討	
3-1. CO ₂ 分離膜の利用	294
3-1-1. はじめに	294
3-1-2. 発電プラント	294
3-1-2-1. 石炭ガス化複合発電 (IGCC)	295
3-1-2-2. LNG複合発電	296
3-1-2-3. 燃料電池発電システム	297
3-1-3. 製鉄プラント	297
3-1-3-1. 二酸化炭素分離技術	297
3-1-3-2. その他の分離プロセス	299
3-2. 分離CO ₂ の利用	299
3-2-1. はじめに	299
3-2-2. 化学プロセス	301
3-2-2-1. スチレン製造プロセス	301
3-2-2-2. 高温化学プロセス	303
3-2-2-3. 低品位炭素によるCO ₂ の還元プロセス	305
3-2-3. フィラーセメント製造プロセス	307
第4章 無機膜による波及効果	
4-1. 反応・分離	309
4-2. エネルギー・環境分野	311
4-3. 石油精製・石油化学分野	313
4-4. 液系での分離	315
第2部 研究発表・講演、文献・特許等の状況	317~361
おわりに	362
参考資料	363~413

はじめに

通商産業省ニューサンシャイン計画の下で実施された「二酸化炭素高温分離・回収再利用技術研究開発」プロジェクトは、平成4年10月から平成6年3月までF S研究として、また平成6年4月から平成12年3月まで本格研究として実施された。本プロジェクトの目的は、大規模固定発生源から排出される二酸化炭素を無機系材質の分離膜を用いて高温条件下で分離し、高温状態での二酸化炭素の活性を活かして、その有効利用を図るための技術課題の研究開発、ならびに開発される技術の市場適応性、波及効果等の調査研究を行うことにある。

本成果報告書は、本プロジェクトで得られた成果をとりまとめたもので、第1部 研究開発成果、第2部 研究発表・講演、文献・特許等の状況、参考資料から構成される。第1部の第1編では無機膜のガス透過機構、細孔構造等の評価解析、分離膜の研究開発、モジュールの試作等を紹介した。第2編では無機膜の研究開発動向、高分子膜との比較評価を概観するとともに、無機膜を組み込んだプラントの概念設計、発電プラント等への適用システムの検討、分離二酸化炭素の有効利用に関する検討事例の解析、環境・エネルギー分野等への波及効果を紹介した。参考資料では、無機膜及び高分子膜による分離データ集を紹介した。

本成果報告書を通じて、無機膜技術が今後の地球環境問題の解決、省エネルギー技術の発展等に少なからず寄与されることを期待するものである。