

平成 25 年度シャトルシップによる CCS を活用した
二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務

報 告 書

平成 2 6 年 3 月

みずほ情報総研株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所
千代田化工建設株式会社

目 次

要約	1
Executive Summary.....	2
1. 国内外の技術動向調査.....	3
1.1. CCS 技術の動向調査.....	3
1.1.1. 分離・回収	3
1.1.2. 輸送	42
1.1.3. 貯留	54
1.1.4. モニタリング	68
1.1.5. CCS に対する社会的合意形成のための論理の構造化と知識ベースの整備... 74	
1.1.6. 社会受容性に関する事例調査.....	91
1.1.7. CCS 実用化促進のための制度整備に関する調査	104
1.1.8. 参考文献.....	113
1.2. 大水深海底下への貯留に係る技術.....	119
1.2.1. 大水深掘削	120
1.2.2. シャトルシップ輸送・貯留	138
1.2.3. 大水深モニタリング	144
1.2.4. 参考文献.....	155
2. 技術の適用可能性の検討	157
2.1. シャトルシップ輸送・貯留技術検討	157
2.1.1. シャトルシップ輸送・貯留に関する基本条件の整理.....	157
2.1.2. ピックアップ・オペレーション試験	178
2.1.3. シャトルシップ輸送・貯留技術の実現へ向けた検討課題.....	217
2.1.4. 補足 A) CO ₂ 船舶輸送・貯留の海外事例.....	256
2.1.5. 参考文献.....	262
2.2. 貯留適地検討.....	263
2.2.1. 検討内容の概要	263
2.2.2. 詳細検討ブロックの抽出.....	269
2.2.3. 貯留適地候補案の選定	278
2.2.4. 調査候補地点の抽出.....	291
2.2.5. 二次元反射法地震探査測線の提案.....	301
2.2.6. 今後の課題	310
2.2.7. まとめ	335
2.2.8. 補足 B) 途上国における適地調査の課題.....	336
2.2.9. 補足 C) 貯留候補地の抽出に利用可能なデータの取り扱いに関する国別比較	

2.2.10.	参考文献	342
2.3.	石炭火力 CCS 優位性分析	346
2.3.1.	はじめに一電源モデルによる電源ポートフォリオの分析	346
2.3.2.	経済性評価モデルの改良	347
2.3.3.	多様なシナリオに対するパラメータの整備	356
2.3.4.	我が国を対象とした電力需給最適化分析	396
2.3.5.	仮想 JCM 対象国の電源計画と CCS 影響分析	405
2.3.6.	石炭火力 CCS 優位性分析の結論と今後の課題	422
2.3.7.	参考文献	423
3.	技術提供先国の検討	424
3.1.	調査対象国の選定	424
3.1.1.	貯留層	424
3.1.2.	CO2 排出源	426
3.1.3.	調査対象国の選定	426
3.2.	政策	427
3.2.1.	インドネシア	427
3.2.2.	マレーシア	433
3.2.3.	タイ	437
3.2.4.	ベトナム	441
3.3.	経済	444
3.3.1.	他地域における既存事業の事業スキーム例	444
3.3.2.	東南アジア地域における経済メカニズムの検討	449
3.4.	排出源	453
3.4.1.	インドネシア	454
3.4.2.	マレーシア	461
3.4.3.	タイ	467
3.4.4.	ベトナム	473
3.5.	貯留層	481
3.5.1.	インドネシア	481
3.5.2.	マレーシア／ベトナム	483
3.5.3.	タイ	485
3.6.	現地ヒアリング結果	487
3.6.1.	バンドン工科大学	487
3.6.2.	Pertamina	490
3.6.3.	国家気候変動協議会	492

3.7.	参考文献	493
4.	MRV 方法論の調査	497
4.1.	CCS の CDM 化に関する調査	497
4.1.1.	CCS の CDM 化の制度調査	497
4.1.2.	プロジェクト事例調査	504
4.2.	CCS の JCM 化に関する調査	517
4.2.1.	既往検討事例調査	517
4.2.2.	CCS に関する MRV 方法論のあり方の提案	523
4.3.	参考文献	528

表 目 次

表 1-1	排出源の種類と CO ₂ 濃度、CO ₂ 分圧、およびガス中のその他の成分	5
表 1-2	CO ₂ 回収技術の実用化状況	6
表 1-3	CO ₂ 分離・回収技術の比較	7
表 1-4	新設石炭火力発電所におけるアミンによる CO ₂ 回収のコスト事例	12
表 1-5	既設石炭火力発電所におけるアミンによる CO ₂ 回収のコスト事例	13
表 1-6	新設天然ガス火力発電所におけるアミンによる CO ₂ 回収のコスト事例	14
表 1-7	石炭火力発電所におけるアミンによる燃焼後回収のコスト事例	15
表 1-8	国内における新設石炭火力からの分離回収・昇圧コストの事例	17
表 1-9	国内における既設石炭火力からの分離回収・昇圧コストの事例	18
表 1-10	化学吸収法の石炭火力発電所への適用事例	19
表 1-11	代表的なアミン系吸収液の分離回収エネルギー比較	22
表 1-12	新設 IGCC 発電所における CO ₂ 回収のコスト事例	25
表 1-13	IGCC 発電所における燃焼前回収のコスト事例	26
表 1-14	IGCC プロジェクト事例	27
表 1-15	膜分離法による CO ₂ 回収コスト算定の前提条件	28
表 1-16	技術を開発/保有する機関とその概要	30
表 1-17	空気吹き IGCC における物理吸着による CO ₂ 回収コスト	31
表 1-18	技術を開発/保有する機関とその概要	32
表 1-19	発電所における酸素燃焼による CO ₂ 回収のコスト事例	35
表 1-20	石炭火力発電所における酸素燃焼回収のコスト事例	36
表 1-21	技術を開発/保有する機関とその概要	38
表 1-22	技術を開発/保有する機関とその概要	41
表 1-23	JFE スチール株式会社の納入実績	44
表 1-24	東洋エンジニアリング株式会社の納入実績	45
表 1-25	韓国・中国における船舶輸送 CCS プロジェクトの概要	46
表 1-26	CO ₂ 貯留コスト(帯水層)	57
表 1-27	帯水層貯留プロジェクト	57
表 1-28	CO ₂ 貯留コスト(枯渇油ガス田)	58
表 1-29	EOR プロジェクト	60
表 1-30	夕張プロジェクトの概要	62
表 1-31	3,000m 以深の海洋隔離技術のコスト	65
表 1-32	海洋隔離プロジェクト	66
表 1-33	CCS 実施に当たり関連するモニタリング技術	68
表 1-34	CCS 関連モニタリング技術の概要	68

表 1-35	海域での事前調査・モニタリング費用.....	71
表 1-36	CO ₂ 挙動モニタリング技術の適用状況.....	72
表 1-37	技術を開発/保有する機関とその概要.....	73
表 1-38	CCS と誘発地震間の因果関係を調査するための 7 つの質問.....	78
表 1-39	図 1-27 の裏付け.....	82
表 1-40	図 1-28 の裏付け.....	83
表 1-41	図 1-30 の裏付け (その 1).....	85
表 1-42	図 1-30 の裏付け (その 2).....	86
表 1-43	Otway プロジェクトの概要.....	91
表 1-44	Otway プロジェクトで実施されたコミュニケーションタイプと頻度.....	93
表 1-45	Longannet プロジェクトの概要.....	95
表 1-46	Longannet プロジェクトで使用されたコミュニケーション素材.....	96
表 1-47	Barendrecht プロジェクトの概要.....	99
表 1-48	Barendrecht プロジェクトの経過.....	100
表 1-49	世界のリグタイプ別のリグ数.....	121
表 1-50	JAS によるルイジアナ州における掘削コスト (1999 年).....	125
表 1-51	水深別 27 事例の平均データ.....	126
表 1-52	セミサブリグおよびドリルシップリグの保有数上位企業.....	131
表 1-53	1958 年～2008 年の日本の海域試掘事例における水深とリグ.....	132
表 1-54	第 5 白竜による水深 200m 以深の掘削事例.....	132
表 1-55	日本が所有するリグ (タイプ別).....	133
表 1-56	HAKURYU-5 の基本情報.....	134
表 1-57	「ちきゅう」の掘削データ.....	135
表 1-58	2014/2/1 現在の「ちきゅう」の掘削実績.....	135
表 1-59	検討ケース.....	140
表 1-60	コスト評価結果 (まとめ).....	143
表 1-61	大水深モニタリング技術と確立状況.....	144
表 1-62	国内における AUV 開発事例.....	148
表 1-63	水深 200m 以深を潜航可能な我が国の AUV.....	154
表 2-1	シャトルシップの形状、機械装置.....	161
表 2-2	Phase-1、Phase-2 の検討条件.....	167
表 2-3	シャトルシップからの CO ₂ 圧入時の基本条件.....	175
表 2-4	2.1.1 項のコスト一覧表.....	177
表 2-5	ピックアップ・オペレーション試験の主要検討課題.....	179
表 2-6	JAMSTEC 研究船の諸元.....	186
表 2-7	作業分担.....	187

表 2-8	FRP 構造案 A	191
表 2-9	FRP 構造案 B	192
表 2-10	FRP 検討部材	193
表 2-11	FRP の性能評価項目	194
表 2-12	遠方移動時解析結果	199
表 2-13	近接移動時解析結果	200
表 2-14	FRP 検討項目と工程	200
表 2-15	DPS 検討の工程案	204
表 2-16	嵌合装置の検討工程表	212
表 2-17	FRP 逆止弁の検討工程	214
表 2-18	ピックアップ・オペレーションの検討工程	215
表 2-19	2.1.2 項のコスト一覧表(1) ピックアップ・オペレーション試験	216
表 2-20	2.1.2 項のコスト一覧表(2) FRP/DPS の検討	216
表 2-21	圧縮・脱水設備及びパイプライン輸送設備検討工程	223
表 2-22	CO ₂ 液化・一時貯留・ローディング設備検討工程	229
表 2-23	シャトルシップ上の昇圧設備検討工程	235
表 2-24	想定されるコミュニケーションバイ諸元	244
表 2-25	コミュニケーションバイ関連機材	244
表 2-26	4 年間の検討項目とその工程	245
表 2-27	オペレーションシステム概要表	246
表 2-28	シャトルシップ CCS 運転費試算例(0~10 年)GCCSI Phase-2 報告書	250
表 2-29	シャトルシップ CCS 運転費試算例(期間平均)GCCSI Phase-2 報告書	251
表 2-30	2.1.3 項のコスト一覧表	255
表 2-31	CINTRA プロジェクトの参画企業と役割	257
表 2-32	CINTRA の立ち上げスキーム	258
表 2-33	CINTRA の CO ₂ 船舶輸送の概要	259
表 2-34	STL ブイの概要	260
表 2-35	船舶輸送 CCS の海外事例	261
表 2-36	平成 25 年度我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会 委員リスト	263
表 2-37	平成 25 年度我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会 開催状況	264
表 2-38	CO ₂ 貯留に適した海域を抽出するための確認事項	266
表 2-39	詳細検討ブロックおよび調査候補地点の抽出の考え方と抽出に用いた指標	267
表 2-40	CO ₂ 概算貯留量	270
表 2-41	各ブロックの地層孔隙率	271
表 2-42	探鉱活動の有無	272

表 2-43	プレート境界型地震震源断層の分布	275
表 2-44	ブロック選定結果.....	277
表 2-45	調査候補地点情報.....	290
表 2-46	操業漁業の確認結果	292
表 2-47	船舶運航量調査	294
表 2-48	沖合海底域における生物多様性保全上重要度の高い海域.....	295
表 2-49	沖合表層域における生物多様性保全上重要度の高い海域.....	295
表 2-50	調査候補地点案 総合評価表.....	298
表 2-51	総合評価配点表	299
表 2-52	過去における基礎物理探査の主な仕様.....	309
表 2-53	必要な調査仕様	310
表 2-54	有力地震探査会社 3 社の調査船	312
表 2-55	貯留候補地の抽出に利用可能なデータの取り扱いに関する国別比較	338
表 2-56	ステージごとに含まれる費用等	348
表 2-57	輸送コスト計算機能の改良	350
表 2-58	圧入コスト計算機能の改良	351
表 2-59	コスト分析の前提.....	352
表 2-60	コスト計算結果（ステージごとのコスト）	353
表 2-61	コスト計算結果（ステージごとの発電単価）	353
表 2-62	コスト計算結果（発電単価と回収／アボイデッドコスト）	353
表 2-63	2030 年～2050 年の全国の需要電力量の推移（単位：TWh）	357
表 2-64	2030 年の各供給エリアの最大電力	357
表 2-65	シナリオ設定	358
表 2-66	火力の燃料価格	362
表 2-67	低炭素電力供給システムに関する研究会資料（抜粋）	363
表 2-68	2030 年の太陽光の導入容量（MW）	366
表 2-69	風力の各社への配分比率と導入量.....	368
表 2-70	その他の新エネルギー導入量（GWh）	370
表 2-71	その他の新エネルギーの系統別発電電力量（GWh）	370
表 2-72	再生可能エネルギーの合計導入容量（2030 年、シナリオ 1） GW ...	372
表 2-73	再生可能エネルギーの合計導入電力量（2030 年、シナリオ 1） TWh	372
表 2-74	再生可能エネルギーの合計導入容量（2030 年、シナリオ 2a-4a） GW	372
表 2-75	再生可能エネルギーの合計導入電力量（2030 年、シナリオ 2a-4a） TWh	372

表 2-76	再生可能エネルギーの合計導入容量 (2050 年、シナリオ 1・2a-4a)	GW	373
表 2-77	再生可能エネルギーの合計導入電力量 (2050 年、シナリオ 1・2a-4a)	TWh	373
表 2-78	コージェネの導入量 (億 kWh)		374
表 2-79	【家庭用】都道府県別の一般世帯の世帯人員 (2005 年)		374
表 2-80	【業務用】都道府県別の業務用建物施設の床面積の合計 (2001 年)		375
表 2-81	【産業用】都道府県別の産業付加価値額の合計 (2010 年)		375
表 2-82	電気自動車の導入想定		378
表 2-83	HP 給湯器の導入想定(HP 給湯機は全て前日スケジューリング可)		379
表 2-84	定置バッテリーの導入想定		380
表 2-85	2030 年のバッテリー導入量		381
表 2-86	CCS 付き電源の緒元		382
表 2-87	電源、能動化需要の需給調整力のパラメータ		384
表 2-88	大間原子力の運開に伴う融通設定(MW)		393
表 2-89	シナリオ 3a における 2030 年までの各系統間の融通 (MW)		393
表 2-90	CO ₂ ペナルティの推移 (2030 年~2050 年)		395
表 2-91	最適電源計画における各エリアの CCS 付き電源の累計導入台数		397
表 2-92	最適電源計画における全国の CCS 付き電源の導入台数の年推移		398
表 2-93	全国の設定構成の年推移 (単位: 万 kW)		399
表 2-94	全国の発電電力量の年推移 (単位: 億 kWh)		400
表 2-95	全国の火力の設備利用率の年推移		401
表 2-96	全国の燃料費の年推移 (単位: 億円)		402
表 2-97	全国の CO ₂ 排出量、回収量の年推移		403
表 2-98	各ケースにおける候補電源の導入台数		407
表 2-99	各ケースにおける発電電力量 (単位: 億 kWh) (1/2)		410
表 2-100	各ケースの火力の設備利用率		414
表 2-101	各ケースにおける総燃料費 (単位: 億円)		417
表 2-102	各ケースにおける年間総費用の推移 (単位: 億円)		418
表 2-103	各ケースにおける CO ₂ 排出量 (単位: Mt)		420
表 3-1	東南アジアの海域における推定 CO ₂ 貯留可能量 (CO ₂ 随伴油ガス田/枯渇油ガス田)		425
表 3-2	調査対象国のまとめ		427
表 3-3	インドネシアの地球温暖化対策にかかわる政策		428
表 3-4	インドネシアのエネルギーにかかわる政策		429
表 3-5	インドネシアの環境影響評価にかかわる政策		431

表 3-6	インドネシアの化学物質規制にかかわる政策	432
表 3-7	マレーシアの地球温暖化対策にかかわる政策	433
表 3-8	マレーシアのエネルギーにかかわる政策	434
表 3-9	マレーシアの環境影響評価にかかわる政策	436
表 3-10	マレーシアの化学物質規制にかかわる政策	436
表 3-11	タイの地球温暖化対策にかかわる政策	437
表 3-12	タイのエネルギーにかかわる政策	438
表 3-13	タイの環境影響評価にかかわる政策	439
表 3-14	タイの化学物質規制にかかわる政策	440
表 3-15	ベトナムの地球温暖化対策にかかわる政策	441
表 3-16	ベトナムのエネルギーにかかわる政策	442
表 3-17	ベトナムの環境影響評価にかかわる政策	443
表 3-18	ベトナムの化学物質規制にかかわる政策	443
表 3-19	East Natuna の開発にかかわる CO ₂ 輸送・圧入設備のコスト推計	450
表 3-20	地域別火力発電所の設備容量 (単位: MW)	457
表 3-21	インドネシアのガス処理プラントの設備容量	459
表 3-22	インドネシアの主な CO ₂ 随伴油ガス田	460
表 3-23	地域別火力発電所の設備容量 (単位: MW)	464
表 3-24	マレーシアのガス処理プラントの設備容量	465
表 3-25	マレーシアの主な CO ₂ 随伴油ガス田	466
表 3-26	地域別火力発電所の設備容量 (単位: MW)	469
表 3-27	タイのガス処理プラントの設備容量	471
表 3-28	タイの主な CO ₂ 随伴油ガス田	472
表 3-29	地域別火力発電所の設備容量 (単位: MW)	476
表 3-30	ベトナムのガス処理プラントの設備容量	478
表 3-31	ベトナムの主な CO ₂ 随伴油ガス田	480
表 3-32	インドネシアの主な貯留層の性状	482
表 3-33	マレーシア/ベトナムの主な貯留層の性状	484
表 3-34	タイの主な貯留層の性状	486
表 4-1	CCS WG メンバー	502
表 4-2	CCS に関する PDD が CDM 理事会に提出された事例	504
表 4-3	CDM と比較した JCM の主な特徴	520
表 4-4	インドネシア CCS プロジェクトのフィージビリティ調査の方法論における リファレンス排出、プロジェクト排出	522
表 4-5	プロジェクトベースのアカウンティングルールオプション (長期漏洩リスク 関連)	526

目 次

図 1-1 「環境エネルギー技術革新計画」における CCS 技術のロードマップ	3
図 1-2 CO ₂ の分離・回収	4
図 1-3 化学吸収法による排ガスからの CO ₂ 回収プロセスフロー	8
図 1-4 酸素燃焼法による分離プロセスの模式図	33
図 1-5 石炭火力発電所におけるケミカルループ反応	39
図 1-6 Chemical looping の仕組み	39
図 1-7 世界の大規模 CCS プロジェクトにおけるパイプライン輸送の概要	43
図 1-8 我が国のガスインフラの状況	43
図 1-9 CINTRA プロジェクトの概要	48
図 1-10 輸送距離と輸送コストの関係	49
図 1-11 輸送距離別のコスト内訳	49
図 1-12 Coral Carbon のイメージ図	50
図 1-13 シャトル船・洋上圧入方式 CCS の概要	51
図 1-14 欧米を前提としたパイプライン輸送と船舶輸送の輸送距離とコスト	52
図 1-15 日本国内を前提としたパイプライン輸送と船舶輸送の輸送距離とコスト ..	53
図 1-16 トラップメカニズムの貢献度の時間変化	54
図 1-17 帯水層貯留の概念 (In Salah プロジェクト)	56
図 1-18 EOR の概念 (Weyburn-Midale プロジェクト)	59
図 1-19 炭層固定の概念	61
図 1-20 夕張プロジェクトの CO ₂ 圧入レートと CH ₄ 生産レート	63
図 1-21 マイクロバブル技術を利用した貯留の概念図	67
図 1-22 流体注入圧による有効拘束圧と鉛直応力の減少の概念	75
図 1-23 モール・クーロンの破壊基準による地震発生の判断の概念	76
図 1-24 デンバー地震における流体注入量と地震の発生回数の関係	77
図 1-25 誘発地震及び地震影響に対する Safety and Security Pyramid	80
図 1-26 CCS によって地震が誘発される可能性に関する討論モデル	81
図 1-27 論証「中越地震と同様の地震は当該地域でこれまでに生じている」の根拠 と裏付け	81
図 1-28 論証「CO ₂ の注入と地震との間に明瞭な因果関係はない」の根拠と裏付け	83
図 1-29 論証「CO ₂ 注入地点と中越地震の震源の間には位置的な関連性がない」の再 論証	83
図 1-30 図 1-29 中の論証の根拠と裏付けおよび反証	84
図 1-31 実証試験地点の地質概要	85

図 1-32	新潟県中越地震の震度分布	85
図 1-33	各深度における圧入率.....	86
図 1-34	論証「CO ₂ の注入による圧力上昇は地震を誘発し得るような大きなものではない」の再論証と根拠および反証.....	87
図 1-35	中越地震が二酸化炭素地中貯留によって生じたものではないことについての討論モデル	88
図 1-36	炭素の最低価格 (CPF) の推移	110
図 1-37	Fit CfD の仕組み.....	111
図 1-38	海洋石油開発における大水深記録.....	120
図 1-39	海洋掘削で用いられる移動式掘削装置.....	121
図 1-40	ライザー掘削とライザーレス掘削.....	123
図 1-41	掘削原価カテゴリー別の掘削コストに占める割合	126
図 1-42	2001～2010 のリグタイプ別リグレートの推移と稼働率の推移	127
図 1-43	2013 年 8 月～2014 年 1 月のリグタイプ別リグレートの推移と稼働率の推移	128
図 1-44	圧入システムの概念図.....	138
図 1-45	RITE による常設型 OBC 観測の費用推定	145
図 1-46	メキシコ湾と西アフリカにおける調査コストの比較	147
図 1-47	JAMSTEC が運用するリアルタイム深海底観測システムの所在地	150
図 1-48	初島沖深海底総合観測ステーション設置位置	151
図 1-49	室戸岬沖システム設置位置	151
図 1-50	釧路・十勝沖システム設置位置	152
図 2-1	シャトルシップ・洋上圧入方式説明図.....	158
図 2-2	シャトルシップ洋上圧入方式 CCS の全体説明図	160
図 2-3	シャトルシップ全体配置	162
図 2-4	CO ₂ ローディングシステム	163
図 2-5	カーゴタンクへの CO ₂ ローディング	163
図 2-6	CO ₂ 圧入の流れ(Phase-2 の場合)	164
図 2-7	昇温・昇圧設備配置図(Phase-2 の場合)	164
図 2-8	フレキシブル・ライザー・パイプの形状	165
図 2-9	シャトルシップへのライザーパイプの嵌合	166
図 2-10	ピックアップブイとピックアップフロート	166
図 2-11	分離回収～輸送～圧入貯留～モニタリング関係図	169
図 2-12	シャトルシップ運航計画(例示).....	171
図 2-13	FRP ピックアップ・オペレーションにおける制約事項.....	173
図 2-14	シャトルシップからの CO ₂ 圧入時の FRP の入水角度	174

図 2-15	ピックアップ・オペレーション試験概念図	179
図 2-16	オペレーション試験検討方針説明図	180
図 2-17	実証試験の全体全体配置	181
図 2-18	フック投げ込み	182
図 2-19	ブイの引き上げ	182
図 2-20	嵌合試験	183
図 2-21	海洋調査船かいよう説明図	185
図 2-22	FRP 基本構造	188
図 2-23	CO ₂ 圧入用 FRP 構造	189
図 2-24	FRP 設計フロー	190
図 2-25	FRP 端末構造	193
図 2-26	フリーハンギング形状	195
図 2-27	海中懸垂方式	196
図 2-28	レイズィウェイブ形状	196
図 2-29	FRP ピックアップシステム図	197
図 2-30	圧入作業中の FRP 形状図	198
図 2-31	FRP 着脱時を想定した DPS のイメージ	202
図 2-32	DPS 制御設計の主な流れ	202
図 2-33	DPS 確認試験のイメージ	203
図 2-34	DPS シミュレーションの出力例	203
図 2-35	係留の基本形状	205
図 2-36	概略係留特性図	206
図 2-37	船体動揺を考慮した係留力の変化	207
図 2-38	ブイ Pick Up 用フック	207
図 2-39	もやい索発射器の例	208
図 2-40	Bow Loading System の例	209
図 2-41	嵌合機構の検討フロー	211
図 2-42	嵌合機構及び周辺装置の参考例	211
図 2-43	CO ₂ 圧縮・脱水設備概略フローシート	218
図 2-44	CO ₂ 液化・一時貯留・ローディング設備概略フローシート	225
図 2-45	シャトルシップ上の昇圧設備概略フローシート	233
図 2-46	コミュニケーションブイ全体概念図	242
図 2-47	コミュニケーションブイ本体	242
図 2-48	オペレーションシステム概要図	246
図 2-49	各種現場型化学センサー搭載 AUV	253
図 2-50	今後のシャトルシップ方式の詳細検討体制 [例]	254

図 2-51	CINTRA プロジェクト概念	256
図 2-52	作業フロー	265
図 2-53	基礎試錐位置図	273
図 2-54	全国地震動予測地図	274
図 2-55	ひずみ集中帯の位置	276
図 2-56	絞込検討の例	278
図 2-57	絞り込んだ貯留適地候補	279
図 2-58	基礎試錐位置図	280
図 2-59	基礎試錐柱状図	280
図 2-60	基礎試錐「金沢沖」近傍の地震探査解釈記録 SJX-42 測線	281
図 2-61	基礎試錐「香住沖」近傍の地震探査解釈 C-2 測線	281
図 2-62	測線位置図	282
図 2-63	地震探査解釈と地質層序	282
図 2-64	基礎試錐位置図	283
図 2-65	基礎試錐「五島灘」柱状図	284
図 2-66	基礎試錐「五島灘」近傍解釈断面	284
図 2-67	断層抽出図	285
図 2-68	ブロック 8 北陸—隠岐沖 調査候補地点案	287
図 2-69	ブロック 9 山陰沖 調査候補地点案	288
図 2-70	ブロック 14 天草—五島沖 調査候補地点案	288
図 2-71	船泊運行量調査例	293
図 2-72	ブロック 9-4 測線計画案	303
図 2-73	ブロック 14-1 測線計画案	304
図 2-74	ブロック 8-1 測線計画案	305
図 2-75	ブロック 14-4 測線計画案	307
図 2-76	活断層調査の事例	311
図 2-77	従来型と広帯域型の反射法弾性波探査によって得られた断面の比較(メキシコ湾)	314
図 2-78	Over/Under 法の概念図	315
図 2-79	Over/Under 法による 2D 探査の例	315
図 2-80	Over/Under 法による広帯域反射法弾性波探査の例 (メキシコ湾)	316
図 2-81	Variable-depth streamer 法の概念図	316
図 2-82	Variable-depth streamer 法による広帯域反射法弾性波探査の例 (西アフリカ)	317
図 2-83	測定概要	318
図 2-84	測定模式図と解析イメージ	318

図 2-85	VSP (Vertical Seismic Profiling)の測定模式図	320
図 2-86	オフセット VSP データを用いた P 波速度トモグラフィ解析 (西テキサス陸上)	321
図 2-87	オフセット VSP の例 (ノルウェー領北海)	321
図 2-88	3D-VSP の概念図.....	322
図 2-89	3D-VSP によるイメージング例 (カナダ陸上)	322
図 2-90	多重反射波利用型 VSP の概念図	323
図 2-91	3D 多重反射波利用型 VSP の例 (メキシコ湾)	324
図 2-92	地調査段階のワークフロー	325
図 2-93	構造解釈の例.....	327
図 2-94	地震層序学的解釈による舌状の海底堆積物の抽出例	327
図 2-95	フレームモデルの例.....	328
図 2-96	堆積環境を反映したセルモデルの作成例.....	329
図 2-97	サイスミック地形学的解析と堆積環境解釈の例	330
図 2-98	タービダイト砂岩の分布状況の可視化の例 (ブラジル沖)	331
図 2-99	地質モデル (岩相モデル) の例.....	332
図 2-100	毛管トラップを無視した場合の、圧入後の CO ₂ プリュームの広がり ...	333
図 2-101	地下水流れのある傾斜貯留層における毛管トラップを考慮した場合の CO ₂ プリューム	333
図 2-102	CO ₂ 移動予測の例.....	334
図 2-103	一般的な CCS 適地調査フロー (例示)	336
図 2-104	エネルギー需給影響評価モデル群の関係	346
図 2-105	コスト計算結果 (資本費・発電単価)	354
図 2-106	改良前モデルのコスト計算結果 (資本費・発電単価) (参考)	355
図 2-107	2030 年～2050 年の全国の需要電力量の推移	356
図 2-108	各シナリオの原子力の設備容量 (2050 年までの推移)	361
図 2-109	日立資料「VGB Congress Power Plant 2011」(抜粋)	364
図 2-110	2050 年までの太陽光発電導入量の推移	365
図 2-111	風力の導入量の推移.....	367
図 2-112	2030 年におけるコジェネ導入時の運用・発電パターン (上：産業、下：業務)	376
図 2-113	需要に対する PV・風力、能動化需要を反映した残余需要の作成イメージ	377
図 2-114	電気自動車による電力需要と調整容量の推移 (調整可能/不可能分)	379
図 2-115	HP 給湯機による電力需要と調整容量の推移 (業務用/家庭用)	380
図 2-116	定置バッテリーによる調整可能量と調整容量の推移	381

図 2-117	PV の必要調整力	386
図 2-118	東京 2006 年 5 月の合計発電量の変動状況	386
図 2-119	風力の該当時出力に対する変動率の推移	387
図 2-120	東北 2006 年 1 月の合計発電量の変動状況	388
図 2-121	従来の ESPRIT の調整力評価機能.....	389
図 2-122	改修後の ESPRIT の調整力評価機能.....	389
図 2-123	揚水機の追加稼働の考え方.....	390
図 2-124	太陽光発電の導入コストの推移	392
図 2-125	CO ₂ ペナルティの推移 (2030 年~2050 年)	395
図 2-126	全国の設定構成の年推移	399
図 2-127	全国の発電電力量の年推移.....	400
図 2-128	全国の火力の設定利用率の年推移.....	401
図 2-129	全国の燃料費の年推移.....	402
図 2-130	全国の CO ₂ 排出量、回収量の年推移	403
図 2-131	各ケースにおける発電電力量 (1/2)	408
図 2-132	各ケースの火力の設定利用率 (上 : ベース、中 : LNG1、下 : LNG2)	413
図 2-133	各ケースにおける総燃料費.....	416
図 2-134	各ケースにおける年間総費用の推移	418
図 2-135	各ケースにおける CO ₂ 排出量.....	419
図 3-1	東南アジアにおける CO ₂ 貯留層の例 (特に赤丸の部分)	424
図 3-2	セクター別 CO ₂ 排出量 (2012 年)	426
図 3-3	Sleipner CO ₂ Injection 事業の概観.....	445
図 3-4	Cidade de Paraty FPSO のイメージ	446
図 3-5	Weyburn-Midale Field の位置.....	448
図 3-6	East Natuna の位置	451
図 3-7	FLNG のイメージ	452
図 3-8	既存 CCS プロジェクトにおける主要な CO ₂ 排出源の部門.....	453
図 3-9	最終エネルギー消費量の割合 (2013 年) (左) / 部門別 CO ₂ 排出量の割合 (2010 年) (右)	455
図 3-10	燃料種別炭素排出量の割合	455
図 3-11	インドネシアにおける火力発電所が集中する地域の分布	458
図 3-12	East Natuna Basin の位置.....	461
図 3-13	最終エネルギー消費量の割合 (2013 年) (左) / 部門別 CO ₂ 排出量の割合 (2010 年) (右)	462
図 3-14	燃料種別炭素排出量の割合	463
図 3-15	マレーシアにおける火力発電所が集中する地域の分布.....	464

図 3-16	Malay Basin の位置.....	466
図 3-17	最終エネルギー消費量の割合 (2013 年) (左) / 部門別 CO2 排出量の割合 (2010 年) (右)	467
図 3-18	燃料種別炭素排出量の割合	468
図 3-19	タイにおける火力発電所が集中する地域の分布	470
図 3-20	Gulf of Thailand Basin の位置.....	472
図 3-21	最終エネルギー消費量の割合 (2013 年) (左) / 部門別 CO2 排出量の割合 (2010 年) (右)	474
図 3-22	燃料種別炭素排出量の割合	474
図 3-23	ベトナムにおける火力発電所が集中する地域の分布	477
図 3-24	Malay Basin 及び Nam Con Son Basin の位置.....	479
図 3-25	インドネシアにおける貯留層.....	481
図 3-26	マレーシア/ベトナムにおける貯留層.....	483
図 3-27	タイにおける貯留層	485
図 3-28	グンディガス田の位置と貯留層候補の位置関係 (赤い線は 2D 探査の実施域)	488
図 4-1	プロジェクト境界.....	506
図 4-2	プロジェクト境界.....	511
図 4-3	ベースラインシナリオ.....	512
図 4-4	可能性のある CO2 漏出ルート	515
図 4-5	JCM プロジェクトにおけるプロジェクト排出量、リファレンス排出量、BaU 排出量の関係.....	517
図 4-6	保守的なデフォルト値を用いた場合のプロジェクト排出量 (計算されるプロ ジェクト排出量) と BaU 排出量の関係	519
図 4-7	EUA/CER 価格推移 (1 トンあたり)	528