

CO₂固定化・有効利用分野
技術に関する施策・事業
評価報告書

平成24年3月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月31日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

また、第25回産業構造審議会評価小委員会（平成21年1月）において、新たな評価類型として「技術に関する施策評価」が審議・了承された。技術に関する施策評価は、当該技術分野全体の方向性等を勘案しつつ、当該施策の下に位置付けられる技術に関する事業のまとまりを俯瞰する形で、各事業の相互関係等に着目し、個々の事業に係る評価結果を踏まえて行うこととしている。

経済産業省において実施している技術に関する施策「CO₂固定化・有効利用分野」は、我が国の産業界を所管し、かつ、エネルギー政策を所管する立場から、自主行動計画の推進・強化、省エネ機器の開発・普及、エネルギー利用効率の改善、技術開発の一層の促進、社会経済システムの転換等、温暖化対策への積極的な取組により、新たな投資や技術革新を推進し、さらには企業や国の競争力を高め、経済の活性化が環境を改善させる「環境と経済の好循環」の実現を目指すための施策を実施する。加えて、我が国の温室効果ガス排出量の約9割がエネルギー起源CO₂であることを踏まえ、実効性のある温暖化対策を進めるためにエネルギー政策と連携し、環境保全と確実な経済成長の双方の実現を目指すため、以下の技術に関する事業から構成される施策である。

- ①二酸化炭素回収技術高度化事業（プロジェクト）（平成22年度から平成26年度）
 - ・二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業
 - ・二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業
- ②二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）（平成21年度から平成25年度）
- ③二酸化炭素回収・貯留安全性評価技術開発事業（プロジェクト）
（平成23年度から平成27年度）
- ④バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）
（平成20年度から平成23年度）

今回の評価は、技術に関する施策「CO₂固定化・有効利用分野」、及びこの構成要素である技術「二酸化炭素回収技術高度化事業（中間評価）」、「バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（終了時評価）」に関する事業評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」（座長：持田 勲 九州大学 炭素資源国際教育センター 特命教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（小委員長：平澤 洽 東京大学名誉教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成24年3月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

委 員 名 簿

委員長	平澤 洽	東京大学名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学 バイオサイエンス研究科研究科長 バイオサイエンス学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学 特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	中小路 久美代	株式会社S R A先端技術研究所所長
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」
委員名簿

座長	持田 勲	九州大学 炭素資源国際教育センター 特命教授
	伊藤 高敏	東北大学 流体科学研究所 教授
	伊藤 久敏	財団法人電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員
	梶田 真也	東京農工大学 大学院 生物システム応用科学府 准教授
	金子 憲治	株式会社日経BP 日経エコロジー編集部 副編集長
	釜谷 広志	電気事業連合会 立地環境部長
	芝尾 芳昭	イノベーションマネジメント株式会社 パートナー
	山本 隆三	富士常葉大学総合経営学部 教授

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携・技術室
経済産業省製造産業局紙業服飾品課

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」に係る省内関係者

1. 技術に関する施策

【中間評価時】

(今回)

産業技術環境局 環境政策課地球環境連携・技術室長 秦 茂則（事業担当室長）

製造産業局 紙業服飾品課長 坂本 敏幸（事業担当課長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

2. 技術に関する事業

A. 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）

【中間評価時】

(今回)

産業技術環境局 環境政策課地球環境連携・技術室長 秦 茂則（事業担当室長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

産業技術環境局 環境政策課地球環境技術室 三橋 敏宏（事業担当室長）

「総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価」（平成20年12月8日）

B. バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）

【終了時評価時】

(今回)

製造産業局 紙業服飾品課長 坂本 敏幸（事業担当課長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」

審 議 経 過

- 第1回評価検討会（平成23年12月1日）
 - ・評価の方法等について
 - ・技術に関する施策・事業の概要について
 - ・評価の進め方について
- 第2回評価検討会（平成24年2月3日）
 - ・評価報告書(案)について
- 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成24年3月13日）
 - ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」委員名簿

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」に係る省内関係者

「CO₂固定化・有効利用分野評価検討会」審議経過

	ページ
技術に関する施策・事業評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	
1. 評価目的	1
2. 評価者	2
3. 評価対象	2
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3
第2章 技術に関する施策の概要	
1. 施策の目的・政策的位置付け	5
2. 施策の構造及び目的実現の見通し	9
第3章 技術に関する事業の概要	
A. 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）（中間評価）	
1. 事業の目的・政策的位置付け	16
2. 研究開発等の目標	20
3. 成果、目標の達成度	24
4. 事業化、波及効果について	178
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	179
B. バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト） （終了時評価）	
1. 事業の目的・政策的位置付け	184
2. 研究開発等の目標	191
3. 成果、目標の達成度	198
4. 事業化、波及効果について	224
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	239
第4章 技術に関する施策評価	
1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性	240
2. 施策の構造及び目的実現の見通しの妥当性	244
3. 総合評価	247
第5章 技術に関する事業評価	
A. 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）総合評価	251
B. バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト） 総合評価	257
第6章 今後の研究開発の方向等に関する提言	259
第7章 評点法による評点結果	265

第8章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針	268

(参考) 今後の研究開発の方向等に関する提言と対処方針

技術に関する施策・事業評価報告書概要

技術に関する施策

技術に関する 施策名	CO ₂ 固定化・有効利用分野
担当課	産業技術環境局 環境政策課地球環境連携・技術室 製造産業局 紙業服飾品課
<u>技術に関する施策の目的・概要</u> 経済産業省では、我が国の産業界を所管し、かつ、エネルギー政策を所管する立場から、自主行動計画の推進・強化、省エネ機器の開発・普及、エネルギー利用効率の改善、技術開発の一層の促進、社会経済システムの転換等、温暖化対策への積極的な取組により、新たな投資や技術革新を推進し、さらには企業や国の競争力を高め、経済の活性化が環境を改善させる「環境と経済の好循環」の実現を目指すための施策を実施する。加えて、我が国の温室効果ガス排出量の約9割がエネルギー起源 CO₂であることを踏まえ、実効性のある温暖化対策を進めるためにエネルギー政策と連携し、環境保全と確実な経済成長の双方の実現を目指す事を目的としている。 <u>技術に関する事業一覧</u> ①二酸化炭素回収技術高度化事業（プロジェクト）（平成22年度から平成26年度） ・二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業 ・二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業 ②二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）（平成21年度から平成25年度） ③二酸化炭素回収・貯留安全性評価技術開発事業（プロジェクト）（平成23年度から平成27年度） ④バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）（平成20年度から平成23年度） <u>技術に関する施策評価の概要</u> 1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性 地球温暖化は徐々に進行しているとみられており、地球温暖化を抑止することを目的としたCO₂の排出削減およびCO₂固定化技術の確立は、我が国を含め世界各国が達成すべき共通の目標となっている。日本の国際社会における責任を果たす意味でも新しい事業や産業を創出するためにも、CO₂固定化・有効利用分野の技術開発は重要であり、施策の目的は明かである。 再生可能エネルギー、省エネルギーなどの技術と異なり、CO₂固定化技術は、それ自体でコスト削減などの直接的な経済価値を生まない。排出量取引や炭素税など、CO₂排出削減自体に経済価値を付ける世界的枠組みが無いなかでは、国が率先して研究・開発に資金を投じるのは合理的な理由がある。 一方、東日本大震災の影響は非常に大きなものであり、福島第1原子力発電所の事故を契機と	

する電力供給における原子力発電比率の低下は少なくとも短期的には天然ガス等の化石燃料の消費を増やし、CO₂の排出量を増加させると見られている。この変化を考えると、CO₂固定化技術開発も既存の仕組みで個別施策を推進していくのではなく、省庁横断的な施策として取り組み、施策の実施の効率を向上し、かつ加速させていく必要性を感じる。

また、本技術開発は、海外展開も見据え、国としての実力や収益力を高めるための方策も常に盛り込むことが大切であり、開発に長期間を要するプロジェクトでは、国際競争を意識した事業としてのスピード感やタイミングの取り方がとりわけ重要である。

2. 施策の構造及び目的実現の見通しの妥当性

「CO₂固定化・有効利用技術」の分野についてロジックツリーで分かりやすく整理しており、幅広い検討や調査、基礎的な研究などを経て漏れのない網羅的な技術探索、絞込みができています。各プロジェクトの戦略への貢献も非常に分かりやすくなっており、地中貯留やバイオエタノール化に適した樹木の効率的植林技術など、必要かつ実現性の高い事業が選択されており、実用化に向けた工程にも無理がないと評価できる。

一方で、2020年以降にCO₂地中貯留を本格適用するには、現在の取り組みだけでは不十分と考える。CCSの開発・導入目標を達成するための克服すべき課題（安全性評価、社会的受容性、コストなど）について早期に整理しておくことが必要である。CCSの商用化については、国内展開に固定するのか、海外へ展開していくのか、将来の展望についても示すことが必要である。すでに、海外では複数のCCS事業の実施や計画が持ち上がるなど、CCSの温暖化対策、産業技術としての重要性は急速に高まっているため、競争を考えればより前倒して進める必要も考えられる。

また、原理的に可能であるが、成果達成のためのブレークスルーがまだできていない研究開発テーマも重要であり、このような技術をいかに前進させるかを、国として取り組むことも重要である。

3. 総合評価

CO₂固定化・有効利用分野における施策として、大規模排出源からのCO₂排出削減技術と大気中のCO₂低減技術に分け、それぞれ網羅的リサーチを経て最も重要と考えられる施策について国がインセンティブを与えており、概ね妥当と考えられる。

現在CO₂は、一部ではクレジットとして取引されており、CO₂を削減することのインセンティブは一定程度あるものの、CO₂固定化・有効利用技術開発には多大な開発コストと長期の開発期間を必要とするために民間企業が単独で取り組むことは難しく、欧米諸国でも国の援助を得て、事業化への試みが実施されているのが現状となっている。しかし、将来CO₂に価格がついた時点などでは、開発された技術により民間企業が事業実施に踏み切ることが可能になり、中国、インドなどのCO₂排出量の多い新興国への展開も期待されるため、当該分野の技術は日本としては是非とも競争力を確保したい次世代技術である。

現状の温暖化政策の枠組みでは金銭価値を生まないCO₂固定化技術を、国が率先して資金を投じて、優れた要素技術を蓄積しておく意義は極めて大きい。

一方、今後、本施策が実証ステージに近づくにつれ、予算規模も大きくなり実施リスクへの対

応がより重要となってくる。今後は、技術リスクだけでなく、プロジェクト遂行に関わる実施リスクをも考慮した計画や推進ができる取り組みを考える必要がある。このためには、技術開発途中でも民間や国際資金を積極的に取り込む発想も持つ必要がある。勿論、技術知財の核を維持することが前提であるが、その上で事業を想定して技術開発に取り組むことが肝要である。一方、CCS等のCO₂固定化技術は認知度が未だ低いため、実用化にあたっては技術確立といったハード面だけでなく、社会的受容性の確保といったソフト面のアプローチも並行して実施していくことが重要である。

現在、化石燃料を使用する石炭火力発電所等は今後も増加する可能性が世界的にも高く、世界の多くの国で使用され得るCO₂固定化・有効利用技術分野では、先進国が覇権を争う可能性もある。そのため、成果の実用については世界的な視野を持ち、戦略的に技術開発を加速することが必要である。

また、大規模植林による地上隔離技術は、CO₂固定化・有効利用だけでなく、わが国の林産資源の確保の方策につながり、かつ乾燥地帯での植林への応用は、砂漠化の抑制等により国際貢献にもなる。こうした現実面の効果も明確に認識しておきたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

技術マップを活用し、アウトプット・アウトカムに視点を置く方式は、技術開発の成果を確実にするためには不可欠な手法であると考ええる。今後は、この手法を技術開発だけに限らず、様々な施策においても活用するようにして頂きたい。

CCSの本格適用を実現するためには、①トータルのコストダウンを図ること、②我が国で大規模に貯留できるサイトを確保すること、の二つの要件を満たすことが必要である。今後は実用化に向けて、様々な提案を受け入れる体制・枠組みなど検討する必要がある。また、二酸化炭素削減技術については、先進国間の競争にもなっている。現実的にはCCSも大規模植林によるCO₂固定化も、国内より海外の方が費用対効果の大きい適地が多いと考えられるため、日本として蓄積した技術を戦略的に海外展開に生かすことも必要である。

バイオ技術等を活用し、乾燥地域や酸性土壌地域等の植生の乏しい地域を緑豊かな地域に変える技術には、経済性のある国際貢献の観点から、国が民間等に提示するインセンティブを強化して欲しい。

技術に関する事業

技術に関する事業名	A 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）
上位施策名	温暖化対策
担当課	産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携・技術室

事業の目的・概要

二酸化炭素回収・貯留（CCS）はCO₂を直接的に削減する技術としてその効果が期待されており、世界各国で実証試験の計画が進んでいるところ。

我が国においても、2003年から2005年にかけて約1万トンのCO₂を地下約1,100mの帯水層に圧入する試験を実施し、圧入されたCO₂が1,000年にわたり貯留できることを高い精度で確認するとともに、CO₂の挙動の把握や予測を行うシミュレータやモニタリング手法等の開発を行ってきた。

今般の大規模実証試験は、これらの技術開発の成果もふまえ、実用化レベルに近い規模として10万トン／年以上の規模でCO₂の圧入を行い、CCSの実用化レベルでの検証を行うもの。実証試験では、安全にCCSが実施できることの検証に加えて、コストの低減化を行うためにはどのようなシステム、運用方法を構築することが求められるかなど幅広い観点での検証を行うこととしている。

予算額等（委託）

（単位：百万円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成20年度	平成25年度	平成23年度	—	日本 CCS 調査株式会社
H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算	総執行額
9,748	5,900	4,900	20,548	10,631

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

項目	目標・指標	成果	達成度
(1)候補地点における事前調査	実証試験候補地点ごとの諸条件をふまえ、地質調査や実証試験設備の仕様等、必要な事前調査を実施し、実証試験計画(案)の策定に資する調査成果を得る。	地質調査については既存データと実地調査データを用いて、「苫小牧地点における貯留層総合評価」を作成し、実証試験計画(案)の策定に資する成果を得た。	達成

(2)実証試験計画(案)の策定	実証試験候補地点について、調査成果に基づき実証試験計画(案)を策定する。	特に調査が進んでいる苫小牧地点について「苫小牧地点における実証試験計画(案)」を策定し、経済産業省に提出した。	達成
(3)法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	国内外の関連法規、モニタリング技術等について調査し、実証試験計画(案)における法規制対応や安全性確保に資する成果を得た。	達成
(4)社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	報道機関を通じての情報発信の他、パネル展示、フォーラム開催等により、情報発信を継続的に実施した。	達成

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1)候補地点における事前調査			
地質調査による CO ₂ 地中貯留に適した地層の確認	石油・天然ガスの地下資源開発等で蓄積された地質調査技術を応用して、地中貯留に適した地層(貯留層、遮蔽層)の範囲(深度・広がり)と貯留・遮蔽性能を確認する。併せて、CO ₂ 挙動シミュレーションに必要な諸物性値を確認する。	既存データを用いた地質検討に加えて、弾性波探査、坑井(調査井)掘削と物理検層、コア試料採取と分析・試験等の地下資源開発で使用される調査技術を用いて実施し、貯留層、遮蔽層の性状確認を実施した。	達成
数値シミュレーションによる貯留後 CO ₂ の挙動予測	地質調査結果をふまえて、CO ₂ 地中貯留対象地点周辺の地質モデルを構築し、圧入開始以降の CO ₂ 挙動予測シミュレーションを行い、貯留後の CO ₂ の長期的挙動を確認する。	調査により得られた物性値、岩相、深度情報等の各種パラメータを適用して地質モデル構築と CO ₂ 長期挙動の予測シミュレーションを行い、CO ₂ の長期的挙動を確認した。	
貯留層周辺環境の評価	貯留層周辺の断層の有無・活動度、地震履歴等を調査・検討し CO ₂ 地中貯留の安全性への影響を評価する。	貯留層周辺の断層について調査し、安全性への影響評価を行った結果を、「苫小牧地点における貯留層総合評価」に示した。	
CO ₂ 分離・回収・輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステム概念設計	CO ₂ 分離・回収・輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステムについて、CO ₂ 排出源への影響を最小化することを念頭に設備仕様・規模・配置、並びに、工程を概略検討する。	実証試験設備の概念設計等により設備仕様を検討した。検討成果は「苫小牧地点における実証試験計画(案)」に活かした。	

(2)実証試験計画(案)の策定			
実証試験候補地点における実証試験計画(案)の策定	地質調査、CO ₂ 挙動予測、周辺環境の評価、並びに、概念設計成果を総合して実証試験候補地点における実証試験計画(案)(モニタリング計画を含む)を策定する。	地質調査、設備検討の成果を総合して、「苫小牧地点における実証試験計画(案)」を策定し、経済産業省に提出した。	達成
(3)法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査			
法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	国内外の関連法規、モニタリング技術等について調査し、実証試験計画(案)における法規制対応や安全性確保に資する成果を得た。	達成
(4)社会受容の醸成に向けた情報発信			
社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	報道機関を通じての情報発信の他、パネル展示、フォーラム開催等により、情報発信を継続的に実施した。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

苫小牧地点については深度 1,100～1,200m 付近の萌別層（非構造的帯水層）を貯留対象層とした検討を進めていたが、2009 年に日本海沿岸地域（構造的帯水層）の地質調査を中断したことを受け、苫小牧地点の対象貯留層として深度 2,400～3,000m 付近の滝ノ上層（構造的帯水層）を検討対象に加える調査計画の見直しを行った。滝ノ上層については 2010～2011 年に、萌別層については 2011 年にそれぞれ調査井を掘削して物理検層やコア試料採取等の地質調査データを取得した。2009～2010 年に取得した弾性波探査データの解析、および 2 坑の調査井で取得したデータ解析を進めて、滝ノ上層と萌別層に関する「苫小牧地点における貯留層総合評価」をとりまとめ、これを基にした「苫小牧地点における実証試験計画（案）」とともに 2011 年 10 月に経済産業省に提出した。

<共通指標>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与

本事業は CCS 技術の確立に必要な実証試験の実施を目標とした事業であるため学術論文や特許発明はないが、情報発信として、業界誌および学会誌への投稿、国内外における講演・発表（33 件）を多く実施した。

総合評価概要

CCS は、CO₂ を直接的に削減する技術であり即効性と規模の観点から米国や欧州などでも技術開発が進められ、地球温暖化対応において日本のリーダーシップを発揮するためにも戦略的に重要な意味を持つと考えられる。また、将来的に CCS 技術がビジネスベースの戦略技術に成り得る可

能性もあることから、研究機関である公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）による研究開発に続き、関係する知見を持った国内企業が出資する日本 CCS 調査株式会社が実施主体となって事前調査を行ったことは妥当である。

地中貯留の対象となる地層は、構造および深度が様々に異なることが予想される。これに対して、先行して調査を進めている苫小牧地点では、一般に想定される地中貯留深度の上限（800m）と下限（3000m）のそれぞれに近く、かつ、構造的な性質と非構造的な性質が異なる2つの地層での試験が可能となっており、実証試験のサイトとして適当である。また、地中貯留の候補地（苫小牧）での調査にあたっては、事前の情報発信が十分に行われていることも好ましい。

予測モデルに関しては、RITEが長岡での実証試験で開発したものを活用するなど、これまでの蓄積を最大限に生かしており、これまで経験のない事業に取り組む上で、十分な対応がされているものと考ええる。

一方、今後実証実験によって、費用が大幅に増大することが想定されるが、今後の進め方についてはこれまでの探索的なアプローチではなく、事業として経済的な視点を取り入れたアプローチも検討し、資金の割り当ても含め費用対効果の検討をふまえた実施計画とする必要がある。

実施にあたっては地震国であることに配慮し、安全性確保について十分に検討し、国民の CCS に対する関心は必ずしも高くないと思われるため、今後、同技術の社会的受容性の確保がより一層進むよう、各種の媒体を通じた積極的な情報発信が望まれる。

また、CCS 事業については国際的アライアンスを含め世界展開をいかに実現していくかが重要であり、その基盤として貯留コストを正確に予測する技術も必要である。CCS 技術開発は国内外への展開も明確に意識して、立地ごとの経済課題を確認しつつ実施計画を立案する必要がある。

今後の研究開発の方向等に関する提言

実証実験を行う上でのリスクをできる限り洗い出し、リスクの評価や対応を事前に充分検討し、リスクへの対応力を持って推進していく必要がある。

また、事業化にあたってはリスクとプロフィットを勘案し、複数のプランニングを行うなど十分な検討が必要である。

CCS の実用化に向けては、CCS について広く理解してもらうことが必要であることから、講演など一方向の情報発信だけでなく、見学会や勉強会など市民が参加できるような双方向の情報発信が必要である。

CCS を実際に適用する際には地下構造があまり分かっていない場所が開発対象となることも予想されるため、実証試験では、地中貯留を行うために必要な事前調査の項目やコストを相当に明らかにできる具体例と考えることが重要と考える。

将来の海外展開も視野に入れた、試験及び事業の実施が望まれる。場合によっては早い段階で新興国の有力企業との提携なども考えられる。

CCS 普及のためには、CO₂ の挙動シミュレーションの信頼性を高めることが重要であり、そのためには海外の CCS 研究プロジェクト、地質調査などとの連携や情報交換を積極的に行い最新の情報を得ることも必要である。

評点結果

A 二酸化炭素削減技術実証試験(プロジェクト)

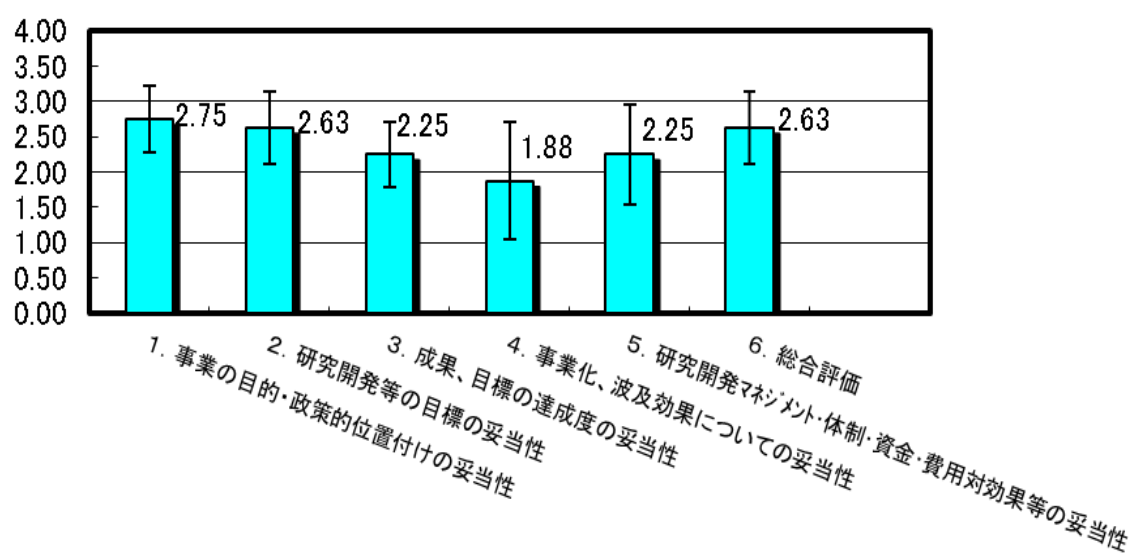
評点法による評点結果

評 価 項 目	平 均 点	標準偏差
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.75	0.46
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.63	0.52
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.25	0.46
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.88	0.83
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.25	0.71
6. 総合評価	2.63	0.52

(各項目:3点満点)

■ 平均点

┘ 標準偏差



技術に関する事業

プロジェクト名	B バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）			
上位施策名	温暖化対策			
事業担当課	製造産業局 紙業服飾品課			
プロジェクトの目的・概要				
温暖化対策及びバイオエタノールの生産に適し既存製紙産業等にも波及効果の大きい、高セルロース樹木を現行の植林技術体系で探索・育成するには、長期を要すること、精度や汎用性が低いこと、不良環境地の利用拡大等の課題がある。これらの課題の解決を図り、将来のバイオエタノール生産に適した高セルロース樹木を開発するため、バイオ技術の活用による現行の育種・育林技術の革新を計り、それぞれの林地に最も適した優良木の選抜育種や施肥等の育林施業の適否を迅速かつ正確に診断判定すること、不良環境耐性遺伝子の組換え等により、高セルロース樹木を効率よく探索育成させることを目的とする。				
予算額等（補助（補助率：2/3））（単位：千円）				
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成20年度	平成23年度	—	平成23年度	王子製紙株式会社
H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算額	総執行額
76,967	75,000	66,663	295,600	295,567
目標・指標及び成果・達成度				
目標・指標		成果		
高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術を開発する。これにより、従来の樹木に比して50％大きく生長できる樹木を、早期に探索・開発することを目指す。		最大で約70％生長が良く、材積比約4倍のユーカリ優良木を選抜できる技術とバイオマーカーを特定できた。		
不良環境耐性組換え樹木作出に関する技術開発および不良環境耐性組換えユーカリ作出を行う。これにより、不良環境下において、従来の樹木より50％大きく生長できる樹木を開発することを目指す。		温室栽培では、最大で樹高生長が約30％増大した組換えユーカリ（約3ヶ月生）を作出できた。野外の場合ではさらに生長差が開いていくと期待されるため、50％の生長増大を達成できる見込み。		

要素技術	目標・指標	成果	達成度
高セルロース性に 関わる材質診断 SNP バイオマーカ ー ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率 ・カップー価 ・繊維長 ・樹皮率	各30種程度のマーカ ーを開発する	・パルプ生産性 23種のマーカ―を開発した。これ により対照比でパルプ(セルロー ス)量が20.9%増の優良木を苗 木段階で探索可能。 ・容積重 45種のマーカ―を開発した。これ により対照比で容積重が15.2% 増の優良木を苗木段階で探索可 能。 ・パルプ収率 55種のマーカ―を開発した。これ により対照比で収率が4.4%増 の優良木を苗木段階で探索可能。 ・カップー価 50種のマーカ―を開発した。これ により対照比でカップー価が6. 1%減の優良木を苗木段階で探索 可能。脱リグニン時の省エネ化が 可能。 ・繊維長 37種のマーカ―を開発した。これ により対照比で繊維長が13.2% 増の優良木を苗木段階で探索可 能。 ・樹皮率 79種のマーカ―を開発した。これ により対照比で樹幹木部が3. 1%増の優良木を苗木段階で探索 可能。	達成
不良環境耐性診 断 SNP バイオマー カー ・酸性 AI 土壤耐 性	30種程度のマーカ― を開発する	現在までに9種特定済み。継続し て成果獲得中(事業終了時(平成 24年3月末)には達成見込み)	達成見込み

高セルロース性に関わる材質診断転写物バイオマーカー ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率 ・カップー価 ・繊維長	各10種程度のマーカーを開発する	・パルプ生産性 30種のマーカーを開発した。適用実証試験では、ユーカリ植林木のパルプ生産性の高・低識別を、約82%の正解率で早期推定診断可能であることが確認できた。 ・容積重 56種のマーカーを開発した。(事業期間内に適用実証試験予定) ・パルプ収率 26種のマーカーを開発した。(事業期間内に適用実証試験予定) ・カップー価 164種のマーカーを開発した。適用実証試験では、ユーカリ植林木のカップー価の高・低識別を、約91%の正解率で早期推定診断可能であることが確認できた。 ・繊維長 26種のマーカーを開発した。(事業期間内に適用実証試験予定)	達成
不良環境ストレス診断転写物バイオマーカー ・酸性 ・酸性 AI	各10種程度のマーカーを開発する	・酸性 7種のマーカーを開発した。ユーカリ植林木のストレス状態を診断し、定量的な数値で把握可能であることが確認できた。 ・酸性 AI 10種のマーカーを開発した。ユーカリ植林木のストレス状態を診断し、定量的な数値で把握可能であることが確認できた。	達成
栄養充足度診断代謝物バイオマーカー ・窒素 ・リン酸 ・カリウム ・ホウ素	5種程度のマーカーを開発する	・窒素 6種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、窒素充足度状態診断が可能であることが確認できた。 ・リン酸	達成

・水分		5種のマーカーを開発した。事業後に適用実証試験予定。 ・カリウム 6種のマーカーを開発した。事業後に適用実証試験予定。 ・ホウ素 6種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、ホウ素充足度状態診断が可能であることが確認できた。また、施肥効果や施肥適量の早期判定も可能であることも確認できた。 ・水分 4種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、水分充足度状態診断が可能であることが確認できた。	
優良雑種識別代謝物バイオマーカー ・生長優良ユーカリ雑種	5種程度のマーカーを開発する	高生長ユーカリ・ペリータ/ブラシアーナ雑種を識別可能な2種のマーカーを開発した。これにより、コントロールに比べ樹高78.8%、直径49.3%、材積3.6倍増加した生長優良木を苗木段階で探索できた。	達成
不良環境耐性付与技術	耐性遺伝子を複数導入した組換えユーカリを5系統以上作出し、耐性の有無および安全性の評価結果を取得する	耐性遺伝子を2種同時に導入した組換えユーカリを20系統以上作出し、評価試験に8系統を供した。温室にて組換え体の耐性獲得と30%(平成23年9月時点)の生長増大を確認した。野外栽培により50%達成見込み。事業終了時(平成24年3月)までには、閉鎖系温室内での安全性評価(生物多様性影響評価)試験結果取得を達成見込み	達成見込み

(2) 目標及び計画の変更の有無

無

<共通指標>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	取得ライセ ンス料	国際標準へ の寄与
4	—	8	—	—	—	—

総合評価概要

高セルロース樹木の探索育成技術と酸性土壌耐性樹木の創出技術は、ともに CO₂ の地上隔離技術として今後の進展が期待され、大規模植林と温暖化対策の両立は、ライフサイクルの中でカーボンニュートラルを実現するという意味では非常に期待できる技術開発である。

樹性能の判定と、遺伝子組み換えで酸性土壌耐性樹木を開発する方法論は正しく、数値を含めた明確な目標が設定され、その達成に向けた開発が着実に進められている。近年発達が著しい複数のオミクス技術を上手く統合し、効率的な育種・育林技術の開発がなされている。ゲノム解析に加えて、転写物や代謝物を含めた緻密で精度の高いマーカーの探索が行われており、比較的短期間であるにも関わらず十分な成果が得られている。日本が途上国と連携を進めるうえでも有用な技術であり、温暖化に対する日本の責務および世界への貢献として、重要である。

一方、本プロジェクトは、エタノール原料確保の面からのアプローチであり、エタノール生産のコスト低減等にどれだけ寄与するのかなどの検討が期待されている。現状ではセルロースからのバイオエタノールの生産については、経済性がなかなか確立できないのではないかとわれ、バイオエタノール生産のコスト低減に向けた技術開発も並行、連携して実施していくことが求められる。

開発した技術の有効性・実用性を、実際の林地において実証することが必要である。

遺伝子組み換え樹木の実施には、依然困難があり、社会的な受容性に大きな課題を抱える。従って、他樹種への影響など生態系に与えるインパクト調査も同時に行うべきである。

本プロジェクトの技術は世界共通の問題である CO₂ 削減への有効な対応策であり、本技術を積極的にプロモーションし、海外企業にも積極的にライセンスアウトすることで植林事業を推進する等、バイオ技術を活用した温暖化対策ができる将来ビジョンを描くことを期待したい。ここで、日本の製紙等工業原料として、経済性の担保を是非確認戴きたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言

今後は、本プロジェクトで得られたノウハウをどのように国内外で活用していくかを検討し、ビジネス的な視点も含めて事業展開するような取り組みを推進し、プロジェクトでの成果を広く普及し具体化していくとともに、可能であればノウハウの提供による資金回収も行い、その資金をもとに、より広く普及を加速して頂きたい。将来的には同業他社にも積極的に技術を供与することにより、我が国の民間企業が広大な面積で実施している植林事業の効率化を期待する。

バイオエタノール製造に結び付く技術だけに期待度が高い。今後、単にセルロース増量だけで

はなく、アルコール製造に適した樹種選別等の取り組みにも期待する。肝腎のセルロースからのエタノール製造コストそのものに懸念はあるが、既に実施され成果を上げているエタノール製造に関するプロジェクト等と連携し、今後、エタノール製造まで取り組む事を望む。バイオ技術は他省庁所轄のものが多数あることから、省庁を超えた横断的な取組みを是非やって頂きたい。

温暖化問題が深刻になっていく中で生物多様性に配慮しつつ、いかに森林での CO₂ 固定化効率を高めるかという視点が出てくる可能性が高い。そうした議論に備え、バイオマーカーによる樹種選択や遺伝子組み換え樹種の生態系への影響も研究しておく必要があると考える。特に遺伝子組み換えについては、実施できる環境の一般的な整備でなく、特定の課題について、その安全性等からも実施できる方向性を見出すことを期待している。

評点結果

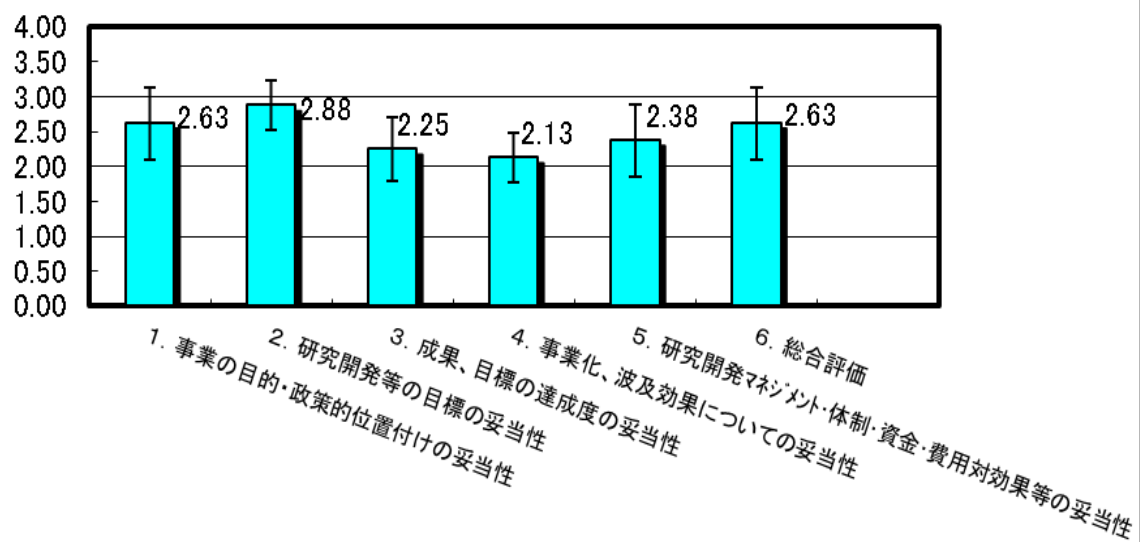
B バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）

評点法による評点結果

評 価 項 目	平 均 点	標準偏差
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.63	0.52
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.88	0.35
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.25	0.46
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.13	0.35
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.38	0.52
6. 総合評価	2.63	0.52

（各項目：3点満点）

■ 平均点
I 標準偏差



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。）及び第25回産業構造審議会産業技術部会評価小委員会（平成21年1月28日）において審議・了承された「技術に関する施策の評価」に基づき、実施した。

1. 評価の目的

以下の（１）～（４）を目的として評価を実施した。

（１）より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

（２）より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上など、研究開発を効率的・効率的に推進すること。

（３）国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む技術に関する施策・事業の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

（４）資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を技術に関する施策・事業の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。また、研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等通じて次の段階に連続してつなげることなどにより、研究開発成果の国民・社会への還元効率化・迅速化に資すること。

また、評価の実施に当たっては、以下の①～④を基本理念として実施した。

① 透明性の確保

推進課、主管課及び研究開発機関においては、積極的に成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評

評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

② 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

③ 継続性の確保

技術に関する施策・事業においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけでなく、評価とそれを反映した技術に関する施策・事業の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

④ 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な技術に関する施策・事業が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、技術に関する施策・事業の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけることのない費用対効果の高い評価を行うこと。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、技術に関する施策、技術に関する事業（プロジェクト等）の目的や研究内容に即した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある8名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携・技術室及び製造産業局紙業服飾品課が担当した。

3. 評価対象

技術に関する施策「CO₂固定化・有効利用分野」

技術に関する事業

- A. 二酸化炭素削減技術実証試験（実施期間：平成21年度から平成25年度）
- B. バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（実施期間：平成20年度から平成23年度）

を評価対象として、研究開発実施者（日本ＣＣＳ調査株式会社、王子製紙株式会社）から提出された資料をもとに、技術に関する事業（プロジェクト）の評価を行うとともに、それらの事業評価の結果を踏まえて、各事業を俯瞰する形で各事業の相互関係等に着目し、技術に関する施策の評価を実施した。

４．評価方法

第１回評価検討会においては、担当課室、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第２回及び第３回評価検討会においては、それらを踏まえて、第２５回産業構造審議会産業技術部会評価小委員会（平成２１年１月）において審議・了承された「技術に関する施策」及び「技術に関する事業」の評価項目に従い評価を実施し、今後の研究開発の方向等に関する提言をいただいた。技術に関する事業評価については、加えて３段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

５．評価項目

【技術に関する施策】

○施策の目的・政策的位置付けの妥当性

- ・ 施策の目的の妥当性
- ・ 施策の政策的位置付けの妥当性
- ・ 国の施策としての妥当性、国の関与が必要とされる施策か。

○施策の構造及び目的実現見通しの妥当性

- ・ 現時点において得られた成果は妥当性
- ・ 施策の目的を実現するために技術に関する事業が適切に配置されているか。

○総合評価

【技術に関する事業】

○事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- ・ 事業の目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
- ・ 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

○研究開発等の目標の妥当性

- ・ 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。

○成果、目標の達成度の妥当性

- ・ 成果は妥当か。
- ・ 目標の達成度は妥当か。

○事業化、波及効果についての妥当性

- ・ 事業化については妥当か。

- ・波及効果は妥当か。

○研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- ・研究開発計画は適切かつ妥当か。
- ・研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・資金配分は妥当か。
- ・費用対効果は妥当か。
- ・変化への対応は妥当か。

○総合評価

第2章 技術に関する施策の概要

第2章 技術に関する施策の概要

1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性

1-1 施策の目的の妥当性

本技術に関する施策目的は、二酸化炭素の削減であり、地球温暖化対策の推進の下でその妥当性は明らかになっている。

なお、地球温暖化対策基本法案（平成22年10月8日閣議決定）では次のように規定されており、施策の目的は明確になっている。

○地球温暖化対策基本法案（平成22年10月8日閣議決定）

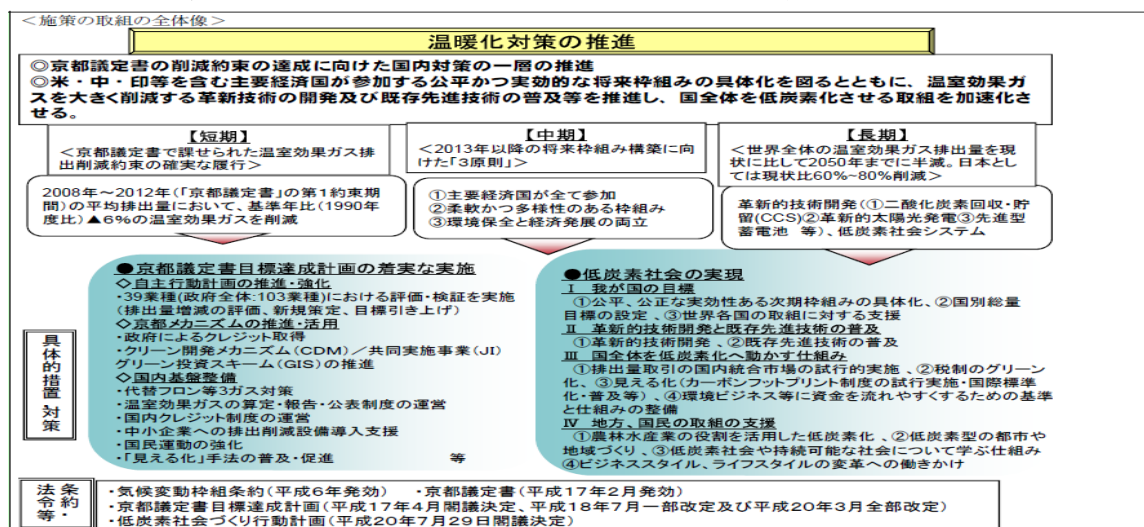
（革新的な技術開発の促進等）

第19条 国は、地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の高度化及び有効活用を図るため、再生可能エネルギーの利用、安全の確保を基本とした原子力発電、エネルギーの使用の合理化、燃料電池、蓄電池並びに二酸化炭素の回収及び貯蔵に関連する革新的な技術その他の地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の開発及び普及の促進のために必要な施策を講ずるものとする。

1-2 政策的位置付けの妥当性

23年度予算概算要求等に係る事前評価書の政策名「5. エネルギー・環境政策」、施策名「30. 温暖化対策」の中で図表に表されているように温暖化対策の推進の中で「温室効果ガスを大きく削減する革新技術の開発及び既存先進技術の普及などを推進し、・・・」と述べられ、技術推進の方向性が明確にされている。

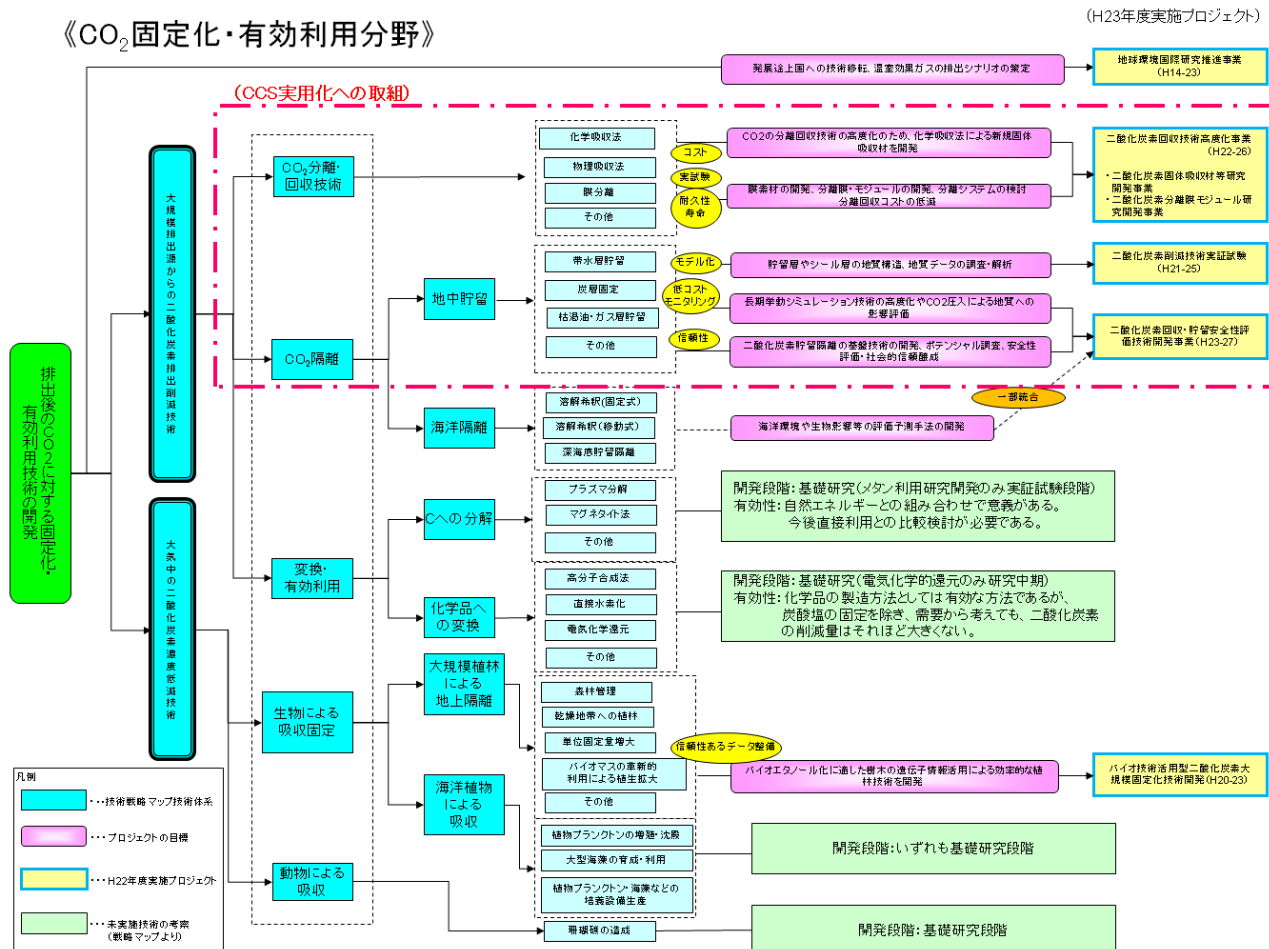
図表 22年度施策事前評価書に見られる温暖化対策の推進



図表 22 年度施策事前評価書に見られる施策効果が発現するまでのロジックモデル

施策名	大目標 (施策目的)	アウトカム目標(上位) ＜施策の大きな柱＞	アウトカム目標(中位)	アウトカム目標(下位)
30 温暖化対策	①温室効果ガス排出削減を通じた低炭素社会の実現 ②環境と経済の両立を通じた日本の国際競争力の強化	京都議定書の削減約束を達成する	①自主行動計画の推進・強化 ②中小企業の排出削減対策の推進 ③京都メカニズムの推進・活用 ④温室効果ガス排出削減への国民運動が活発になる ⑤代替フロン等3ガスの排出が抑制される ⑥温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度の着実な実施 ⑦上記の①～⑥を含む京都議定書目標達成計画の各施策の進捗管理	①産業界のCO2排出削減に向けた取組の推進 ②中小企業の排出削減に向けた取組の推進 ④温暖化問題への国民の意識と知識の向上 ⑤産業界の代替フロン等3ガスの除害の徹底・回収などに向けた取組の推進 ⑤代替技術が開発され、実用化・導入の進展 ⑤冷凍空調機器の適切なフロン冷媒回収の進展 ⑥事業者の排出量情報の公表・可視化 ⑦上記の①～⑥を含む京都議定書目標達成計画の各施策の着実な実施
		ポスト京都議定書(2013年以降)における実効ある産業部門等の対策整備	排出量取引の国内統合市場の試行的実施	国内クレジット制度の運営等
		①実効的かつ公平な次期フレームワーク(ポスト京都議定書)を構築・具体化する ②我が国として、中期目標を達成する ③我が国として、2050年までに温室効果ガスを現状比60%～80%削減する	①主要経済国(米、中、印等)を取り込んだセクター別アプローチによるCO2削減に向けた取組 ②セクター別アプローチによる国別総量目標の設定	
			①革新的技術の開発・既存技術の普及 ②日本型低炭素社会システムの構築・展開	大規模実証事業の開始を含めた二酸化炭素回収・貯留(CCS)の促進等 省エネルギー対策の抜本的強化(住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進、省エネとノンフロン両立を図る技術開発の推進等) 新エネルギー対策の抜本的強化(住宅太陽光発電システム・燃料電池の導入促進等) 低炭素社会の構築に必要な有望技術・社会システムの導入実証 原子力発電の着実な推進

図表 二酸化炭素固定化・有効利用分野のロジックツリー



・ 経済産業省のCO₂固定化・有効利用分野の技術戦略マップ(2010)によると、「地球温暖化対策として、省エネルギー技術の開発・導入や代替フロン等の削減対策等、CO₂をはじめとする温室効果ガスの排出を抑制する取組が行われている。しかしながら、大気中のCO₂濃度は上昇を続けており、現行の取組のみならず排出後のCO₂に対する固定化・有効利用技術についても、将来的に導入可能な対策オプションとすべく、技術開発を推進する必要がある。」とされている。

また、「CO₂固定化分野の中でも、CCSは、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第4次評価報告書において、温暖化緩和策のキーテクノロジーの1つとして期待されている。また、我が国が2008年3月に策定した「クールアースーエネルギー革新技术計画」においても2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するために必要な革新的技術の1つとして、CCSが位置づけられている。また、2009年12月の国連気候変動枠組み条約第15回締約国会議(COP15)

では、各国の排出削減目標に関する議論が困難を極める一方で、森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減(REDD)の資金拠出が決定されるなど、植物による炭素固定も CO₂ の大規模削減に寄与し得る技術である。」とされている。

1-3 国の関与の必要性

①国の関与の必要性

23 年度予算概算要求等に係る事前評価書において、「施策の必要性」の中の「経済産業省が関与する必要性」において以下のような記述がされており、技術革新の推進や企業や国の競争力強化、経済の活性化による環境改善の実現を目指した施策を展開することを明記している。

「経済産業省では、我が国の産業界を所管し、かつ、エネルギー政策を所管する立場から、自主行動計画の推進・強化、省エネ機器の開発・普及、エネルギー利用効率の改善、技術開発の一層の促進、社会経済システムの転換等、温暖化対策への積極的な取組により、新たな投資や技術革新を推進し、さらには企業や国の競争力を高め、経済の活性化が環境を改善させる「環境と経済の好循環」の実現を目指すための施策を実施する。加えて、我が国の温室効果ガス排出量の約 9 割がエネルギー起源 CO₂ であることを踏まえ、実効性のある温暖化対策を進めるためにエネルギー政策と連携し、環境保全と確実な経済成長の双方の実現を目指す。」

②国民や社会のニーズとの適合性

23 年度予算要求等に関わる施策の事前評価書では、施策の背景として以下のように述べている。

「温暖化問題は、その予想される影響の大きさや深刻さに鑑み、人類の生存基盤に関わる最も重要な問題のひとつとなっている」とされていることから、国民の関心の高い分野である。さらに、「我が国は京都議定書を締結しており、6%削減約束を達成する国際的な責任を負っている。」

と同事前評価書で記しており、社会的ニーズも高いものと考えられる。

③官民の役割分担

研究体制では、国が基盤的な研究支援を行い民間企業等と共同研究を行う点など、官民の役割分担がはっきりしている。また、利用者側も鉄鋼、火力発電所、セメント工場等と受ける側がはっきりしている点も特徴的である。ただし、二酸化炭素削減技術開発は、利益に直結しないことから投資リスクが高く、民間単独で取り組むことが困難であること、一般的に相当規模の投資と相当程度の研究機関を要する点など企業単独では実施のインセンティブが働かない分野で

あり、国の積極的関与が求められるところであり（23 年度予算概算要求等に係る事前評価書の各事業の必要性部分にそれぞれ記載）、国関与の必要性が大きい。

2 施策の構造及び目的実現の見通しの妥当性

2-1 現時点において得られた成果

① 二酸化炭素回収・貯留安全性評価技術開発事業（H23-27）（委託）

<アウトプット>

- ・帯水層モデリング手法、常設モニタリング手法および挙動予測シミュレーション等の要素技術を開発し、地質構造モデル構築による貯留性能評価手法および CO₂ 挙動解析による長期挙動予測手法を確立する。
- ・CO₂ 移行安全性評価手法および CO₂ 環境影響評価手法等の要素技術を開発し、貯留層から浅部地層に至る潜在的な CO₂ 移行解析に基づく CCS の安全性評価手法を確立する。

<アウトプットからアウトカムへ展開>

- ・実証事業を進めている日本 CCS 調査会社との連携により、本事業で必要とされる技術開発を実施。
- ・CCS 実用化本格導入に向けたパブリックアウトリーチ手法の開発を推進する。
- ・日本 CCS 調査会社が進める実証事業の中で貯留量可能量の算出、最適な圧入条件、環境影響評価等の技術を、広く CCS 実施者・公的 CCS 関係機関等に提供することにより、円滑な実施について貢献することが可能となる。

<アウトカム>

- ・日本 CCS 調査会社における実証事業の中での開発技術実践。

② 二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業（H22-26）（委託）

<アウトプット>

- ・CO₂ 回収エネルギーの少ない固体吸収材を開発する。
- ・化学吸収液の性能評価手法を確立する。

<アウトプットからアウトカムへ展開>

- ・実証研究を進めている米国 NETL との共同研究により、本事業で必要とされる技術開発を実施。
- ・化学吸収法の成果は CO₂ 回収技術の実証試験を実施する民間企業へ展開される予定。

<アウトカム>

- ・ CO₂ 分離回収コストの低減。
- ・ 民間におけるパイロット規模での実用化試験。

③ 二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業（H23-26）（委託）

<アウトプット>

- ・ 膜素材の性能向上・プロセス適合性を付与する。
- ・ 分離膜モジュールの開発及び生産技術を確立する。
- ・ 分離システムを開発する。

<アウトプットからアウトカムへ展開>

- ・ 国内外の実サイトにおける実ガス試験を通じて、パイロット規模での実用化試験へ展開が可能。

<アウトカム>

- ・ パイロット規模での実用化試験。
- ・ CO₂ 分離回収技術コストの半減（H27 年度：1500 円/t・CO₂ 以下を予定）。

④ 二酸化炭素削減技術実証試験（H21-25）（委託）

<アウトプット>

- ・ 3D 探査、調査、ボーリングなどによる地下貯留層構造解明などの基盤技術
- を確立する。

- ・ 事業コスト指標を検討する。
- ・ 安全性評価指標開発する。

<アウトプットからアウトカムへ展開>

- 公的研究機関、実証試験実施機関などが基盤技術や安全性評価結果を受け継ぎ、実証試験を実施。

<アウトカム>

年 10 万 t 規模での貯留実現実証試験

⑤ 地球環境国際研究推進事業（H14-23）

○国際研究推進事業

<アウトプット>

- 温室効果ガス排出シナリオを作成。

＜アウトプットからアウトカムへ展開＞

温室効果ガス排出シナリオを作成し、これが IPCC の次期排出シナリオ及び第 5 次評価書にインプットされるというアウトカムにつながる。

＜アウトカム＞

IPCC の次期排出シナリオ及び第 5 次評価報告書

○技術普及推進事業

＜アウトプット＞

- ・中国、インド、フィリピン等で効果が大きい地域セクターを選定し、モデル企業のエネルギー向上に向けた現地での技術支援、人材育成
- ・モデル企業の成果、教訓について他企業、他地域、他セクターへの展開。

＜アウトプットからアウトカムへ＞

現地モデル企業と日本の技術保有企業等が連携し、モデル企業での対策実施

＜アウトカム＞

モデル企業における CO₂ 削減効果

⑥ バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（H20-23）（補助）

＜アウトプット＞

- ・高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発
- ・不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発

＜アウトプットからアウトカムへ展開＞

- ・データ蓄積後、他社や活用が期待されるアジア諸国の公的機関への展開等を予定

＜アウトカム＞

- ・高セルロース樹木の大規模植林による CO₂ 固定化の大幅な促進
- ・植林業者の育種・育林の加速化、効率化
- ・バイオマス燃料の原料としての利用拡大
- ・植林業者、土壌分析業者、肥料製造業者への分析事業の拡大

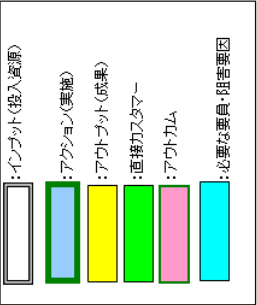
2-2 施策の構造

次に示すとおり。

「H23年度実施プロジェクト」



地球環境国際研究推進事業



第3章 技術に関する事業の概要

A. 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト）の概要

（中間評価）

内容

1-A. 事業の目的・政策的位置付け.....	16
1-1-A 事業の目的.....	16
1-2-A 政策的位置付け.....	16
1-3-A 国の関与の必要性.....	19
1-3-1-A 背景.....	19
1-3-2-A 官民の役割分担.....	19
1-3-3-A 本事業での国の関与の必要性.....	19
2-A. 研究開発等の目標.....	20
2-1-A 研究開発目標.....	20
2-2-A 全体目標設定.....	22
2-3-A 個別要素技術目標設定.....	22
3-A. 成果、目標の達成度.....	24
3-1-A 成果.....	24
3-1-1-A 全体成果.....	24
3-1-2-A 個別要素技術成果.....	24
3-1-2-1-A 事業の経緯.....	24
(1) 調査事業の経緯.....	24
(2) 実証試験候補地点の絞り込み.....	25
① 貯留層の分類.....	25
② 実証試験候補地点の選出.....	27
(3) 実証試験候補地点ごとの調査実施状況.....	28
① 苫小牧地点.....	28
② 勿来・磐城沖地点.....	28
③ 北九州地点.....	29
④ 日本海沿岸地域.....	29
⑤ 地点ごとの調査実施状況のまとめ.....	29
(4) 「C C S 実証事業の安全な実施にあたって」への対応.....	30
3-1-2-2-A 苫小牧地点.....	31
(1) 調査概要.....	31
① 実証試験モデルの概要.....	31
② 調査項目.....	32

(2) 地質調査によるCO ₂ 地中貯留に適した地層の確認	33
① 地質概要	33
② 三次元弾性波探査（以下、「苫小牧3D(2009)」という）の成果.....	34
③ 追加三次元弾性波探査（以下、「苫小牧3D(2010)」という）の成果.....	38
④ 調査井（苫小牧CCS-1）を活用した地質調査成果.....	40
⑤ 調査井（苫小牧CCS-2）を活用した地質調査成果.....	45
⑥ 調査成果のまとめ.....	47
(3) 数値シミュレーションによる貯留後のCO ₂ 挙動予測	50
① 既存データを用いた地質モデル構築とCO ₂ 挙動予測シミュレーション（その1）	50
② 三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築とCO ₂ 挙動予測シミュレーション（その2）	53
③ 追加三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築とCO ₂ 挙動予測シミュレーション（その3）	57
④ 調査井掘削での取得データを用いた地質モデル構築とCO ₂ 挙動予測シミュレーション（その4）	60
⑤ まとめ	65
(4) 貯留層周辺環境の評価.....	66
① 北海道周辺のテクトニクス概要.....	66
② 北海道周辺の地殻応力分布.....	66
③ 北海道周辺および苫小牧周辺の地震活動.....	67
④ 苫小牧周辺の断層分布.....	69
⑤ 苫小牧地点で予想される地震.....	71
(5) CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入、貯留までのCCSトータルシステム概念設計 ..	72
① 実証試験設備の検討概要.....	72
② 分離・回収設備（D1-1基地、D1-2基地）の検討成果.....	72
③ 液化供給基地（D2基地）の検討成果.....	74
④ 圧入設備（D0基地）の検討成果.....	76
(6) 実証試験計画（案）	79
① 実証試験設備の全体概要.....	79
② 対象貯留層の選定結果、および圧入予定箇所.....	79
③ 実証試験の全体工程.....	81

④ 圧入計画	82
⑤ モニタリング計画.....	84
⑥ 異常事態発生時の対応.....	89
3-1-2-3-A 勿来・磐城沖地点.....	91
(1) 調査概要	91
(2) 貯留層評価	92
①磐城沖ガス田概要.....	92
②貯留層評価	92
(3) シミュレーションモデル.....	94
(4) モニタリング	95
(5) CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入、貯留までのトータルシステム概念設計.....	95
①CO ₂ 分離・回収設備設計検討成果.....	95
②CO ₂ 昇圧・輸送、圧入・貯留システム.....	104
(6) 輸送・海底設備に係る調査・検討成果.....	110
①パイプラインルート調査成果.....	110
②ベントスタックからの排出ガス拡散予測成果.....	110
③腐食・不純物影響評価成果.....	111
④生産終了ガス田輸送貯留技術調査成果.....	112
(7) 廃坑井腐食に係る調査・検討成果.....	112
①磐城沖地点における生産終了ガス田の既存廃坑井の耐腐食性検討成果.....	112
②廃坑井のセメント劣化試験及び劣化予測シミュレーション成果.....	113
③既存廃坑井のケーシング耐腐食性調査と試験計画策定成果.....	114
(8) まとめと今後の課題.....	114
3-1-2-4 北九州地点.....	116
(1) 調査概要	116
(2) 地質調査によるCO ₂ 地中貯留に適した地層の確認	117
① 北九州地点の広域地質概要.....	117
② 重力データ解析による地質構造の推定.....	118
③ ボーリング調査（北九州CCS-1）による地質調査.....	120
④ VSPと陸上弾性波探査.....	122
(3) 数値シミュレーションによるCO ₂ 貯留性能の確認.....	124
① 地質モデルの構築.....	124

② CO ₂ 長期挙動予測シミュレーション.....	125
③ 坑口圧力の検討.....	126
(4) 調査結果のまとめ.....	126
(5) 今後の調査	127
3-1-2-5-A 日本海沿岸地域.....	128
(1) CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入、貯留までのトータルシステム概念設計.....	128
① 実証試験モデルの概要.....	128
② 陸上設備の基本設計.....	129
3-1-2-6-A 地点共通	130
(1) 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査・検討.....	130
① CCS大規模実証に係る法規制等調査成果.....	131
② 海外における坑井関連技術および法規制動向調査成果.....	131
③ 貯留層モニタリングおよび微小振動・自然地震観測システム.....	133
④ 石炭火力における燃焼後排ガスからのCO ₂ 分離・回収概念設計成果.....	138
(2) 社会受容醸成に向けた情報発信.....	140
① CCSに対する意識調査結果（平成21年度）	140
② 情報発信の活動実績.....	141
③ 今後の情報発信活動計画.....	151
3-1-2-7-A 用語集	155
3-1-3-A 特許出願状況等.....	171
3-2-A 目標の達成度	175
4-A 事業化、波及効果について.....	178
4-1-A 事業化の見通し.....	178
4-2-A 波及効果	178
5-A 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等.....	179
5-1-A 研究開発計画	179
5-2-A 研究開発実施者の実施体制・運営.....	180
5-3-A 資金配分	181
5-4-A 費用対効果	181
5-5-A 総合技術会議における事前評価での指摘事項への対応.....	182
(1) 貯留地点の諸条件に対応した実施計画の適切な検証・評価の実施及び実施期間の 適正化	182

(2) 関連施策も含めたＣＣＳ技術の研究開発の計画的な推進.....	182
(3) 安全性確保等への取組強化と国民への情報開示等の徹底.....	182
5-6-A 変化への対応	183

1-A. 事業の目的・政策的位置付け

1-1-A 事業の目的

二酸化炭素回収・貯留（CCS）はCO₂を直接的に削減する技術としてその効果が期待されており、技術的にも地下の掘削技術、CO₂分離・回収技術及び地下へのCO₂圧入技術など石油開発や化学プラントなどで培われた技術が応用できる。しかしながら、個別の技術を組み合わせたトータルシステムとしての技術の検証は不可欠であり、この点において世界各国で実証試験の計画が進んでいるところ。

我が国においても、2003年から2005年にかけて約1万トンのCO₂を地下約1,100mの帯水層に圧入する試験を実施し、圧入されたCO₂が1,000年にわたり貯留できることを高い精度で確認するとともに、CO₂の挙動の把握や予測を行うシミュレータやモニタリング手法等の開発を行ってきた。

今般の大規模実証試験は、これらの技術開発の成果もふまえ、実用化レベルに近い規模として10万トン／年以上の規模でCO₂の圧入を行い、CCSの実用化レベルでの検証を行うもの。CCSを実用化するためには、安全に長期間にわたりCO₂を隔離できることは勿論のこと、CO₂を貯留するコストの低減が不可欠である。実証試験では、安全にCCSが実施できることの検証に加えて、コストの低減化を行うためにはどのようなシステム、運用方法を構築することが求められるかなど幅広い観点での検証を行うことを目的としている。

1-2-A 政策的位置付け

温室効果ガスの排出削減に向けて、短期的には温室効果ガス排出削減に資する事業活動の促進、技術の開発・普及の推進、京都メカニズムの活用等によって「京都議定書」の6%削減約束を達成するとともに、中期的には2013年以降の将来枠組み構築に向けた国際交渉への対応と国内対策の検討、長期的には革新的な技術の開発と既存先進技術の普及を通じて地球全体での温室効果ガスの排出削減を実現し、将来にわたって我が国が地球温暖化問題に着実に対応しつつ、国際的に競争力ある経済活動を持続させる必要がある。

本事業は、経済産業省の定める「温暖化対策の推進」施策の中の革新的技術開発の一部として位置付けられている（図1-1）。

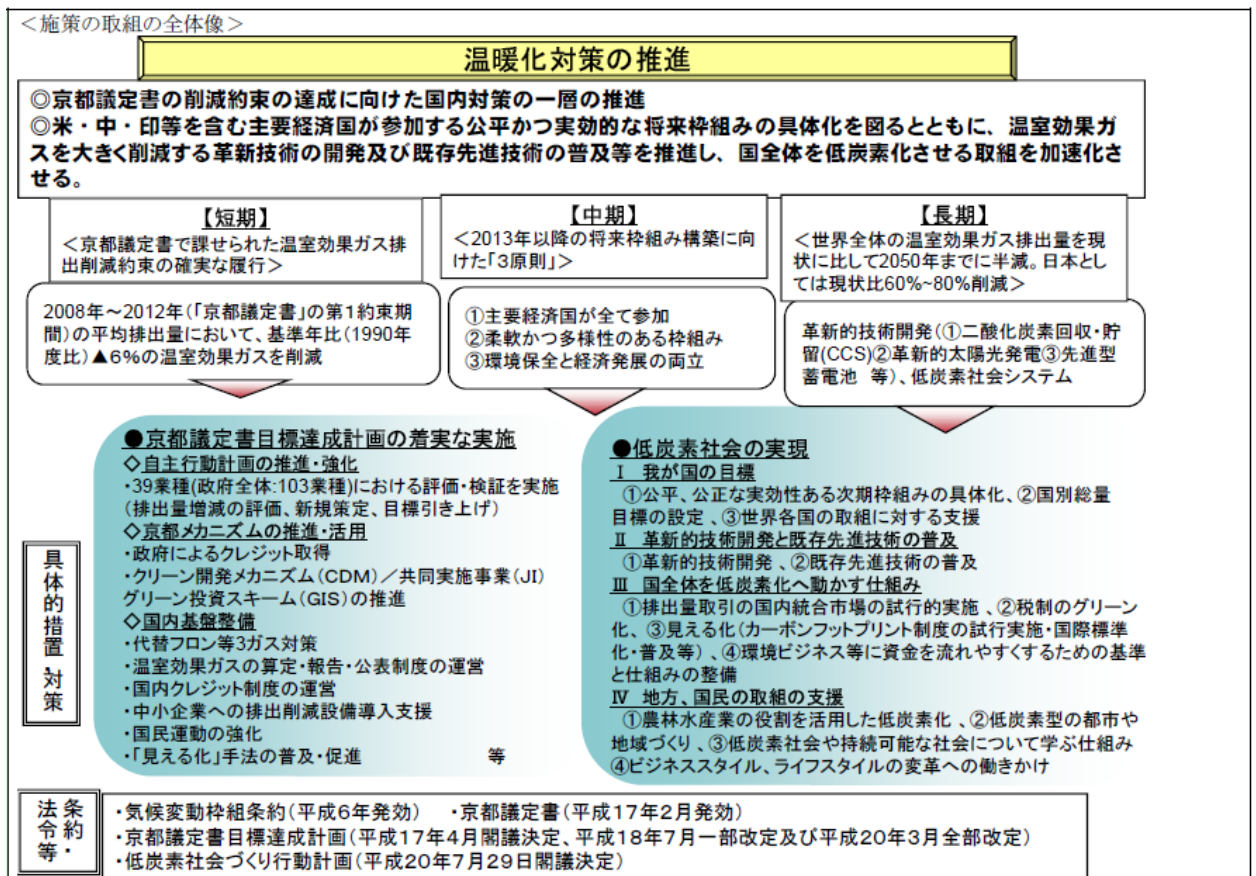
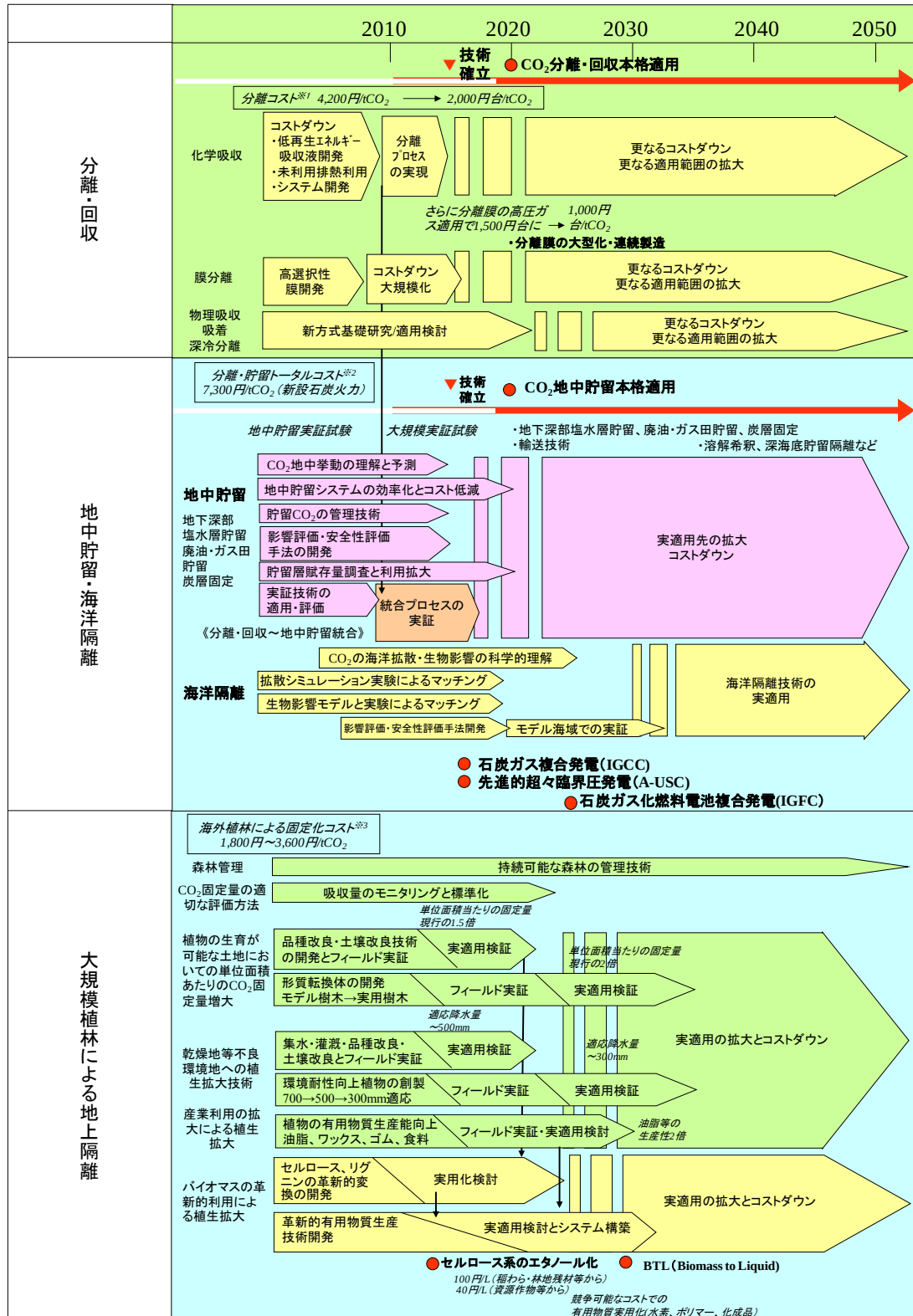


図 1-1 平成 22 年度施策評価書（事後）に見られる温暖化対策の推進

また、経済産業省では、技術開発を推進するにあたり「技術戦略マップ」を策定している（図 1-2）。技術戦略マップは、新産業の創造やリーディングインダストリーの国際競争力を強化していくために必要な重要技術を絞り込むとともに、それらの技術目標を示し、かつ研究開発以外の関連施策等を一体として進めるプランを総合的な技術戦略としてとりまとめたもので、いわば、産学官の研究開発投資の戦略的実施のナビゲーターともいうべき俯瞰的ロードマップとなっている。

その中で本プロジェクトは、2020 年までに技術を確認すべき技術として位置付けられている。

CO₂固定化・有効利用分野の技術ロードマップ



※1 分離回収: 新設石炭火力(830MW)、回収量: 100万t-CO₂/年、7MPaまでの昇圧含む、蒸気は発電所の蒸気システムから抽気 [コストベース: 2001年]
 ※2 地中貯留: 上記分離回収コスト+パイプライン輸送20km+圧入(昇圧15MPa、10万t-CO₂/年・井戸) [コストベース: 2001年]
 ※3 植林: 植林周期7年伐採+萌芽再植林、バイオマス生産量20m3/ha・年、植林管理費17-31%、用地リース費: 50\$/ha・年

<出典: 技術戦略マップ 2010>

図 1-2 CO₂固定化・有効利用分野の導入シナリオ

1-3-A 国の関与の必要性

1-3-1-A 背景

温暖化問題は、その予想される影響の大きさや深刻さに鑑み、人類の生存基盤に関わる最も重要な問題の一つとなっている。我が国は、平成17年2月に発効した地球温暖化対策のための国際的な枠組である京都議定書を締結しており、6%削減約束を達成する国際的な責任を負っている。この約束を確実に達成するため、国は、地方公共団体、事業者、国民、NPO等、それぞれの役割に応じた取組を促す多様な政策手段を、その特徴を活かしながら、有効に活用する必要がある。

1-3-2-A 官民の役割分担

CO₂削減技術開発の研究体制では、国が基盤的な研究支援を行い民間企業等と共同研究を行う点など、官民の役割分担がはっきりしている。また、利用者側も鉄鋼、火力発電所、セメント工場等と受ける側がはっきりしている点も特徴的である。ただし、CO₂削減技術開発は、利益に直結しないことから投資リスクが高く、民間単独で取り組むことが困難であること、一般的に相当規模の投資と相当程度の研究期間を要する点など企業単独では実施のインセンティブが働かない分野であり、国の積極的関与が求められるところであり、国の関与の必要性が大きい。

1-3-3-A 本事業での国の関与の必要性

CCS技術は、大規模に温室効果ガスを隔離する手法として、世界各国で注目され、実証試験や実用化検討が行われており、わが国でも1,461億トンの概算貯留可能量、世界全体では2兆トンの貯留可能量が算出されている有望なCO₂隔離技術と位置づけられている。

また、地球温暖化問題という制約の中で、わが国の総合的な環境・エネルギー政策については、本プロジェクトのような技術成果をどのように織り込んでいくかも含めて、国が主体となって、民間企業および研究機関の知見を結集して推進していくことが重要である。さらには、地中貯留は省エネルギー技術などと異なり、CO₂削減に特化した技術であり、温暖化問題がなければ民間企業には技術開発のインセンティブが働きにくい。

以上のことから、地球規模の温暖化問題として、国が主導し、産業界、大学、官界等の研究機関の能力を集結して国家事業として推進させることが不可欠である。

2-A. 研究開発等の目標

2-1-A 研究開発目標

本事業はC C S 技術の確立に必要な実証試験の実施を目標とする。具体的には大規模発生源から分離・回収したC O₂を年間約 10 万トン規模で地下帯水層へ貯留する技術を実証するとともに、長期挙動予測可能な二酸化炭素挙動予測シミュレーション技術、モニタリング技術等の基盤技術の確立も行うことを目標として研究開発を行っている。

本事業は平成 20 年度に総合科学技術会議において事前評価を受け、平成 20 年度補正予算で事業を立ち上げ、大規模実証試験の候補地点について事前調査を進めてきた。本年度（平成 23 年度）は事業受託者である日本C C S 調査(株)により、実証試験候補地点の中でも特に調査が順調に進んでいる苫小牧地点について、貯留層総合評価と実証試験計画(案)が策定され経済産業省に提出された。

今回の中間評価は、本事業において最初の中間評価となることから事業開始時点の平成 20 年度から平成 22 年度までの事業を評価対象とする。但し苫小牧地点の実証試験計画(案)を策定するにあたって平成 23 年度の事業成果も一部織り込まれたことから、苫小牧地点に係る成果についてのみ平成 20 年度から平成 22 年度までの事業に加えて平成 23 年度事業も評価対象に含めることとする。

本事業は大規模実証試験による貯留技術の実証、モニタリング等の基盤技術の確立を行うものであるが、最終的な事業成果を得るまでには①候補地点における事前調査と実証試験計画(案)の策定、②実証試験設備の設計・建設からC O₂分離・回収、輸送、圧入・貯留の実施、③圧入後モニタリング技術の実証、の段階を経ると想定され、必要な個別要素技術もそれぞれ異なったものとなる（表 2-1）。今回の中間評価はこのうちの平成 20～23 年度に当たるものである。

表 2-1 二酸化炭素削減技術実証試験の研究目標

※平成 24 年度以降については、現在の予定。

平成 20-23 年度 研究項目	平成 20-23 年度 目標	平成 24-29 年度 研究項目	平成 24-29 年度 目標	平成 30-32 年度 研究項目	平成 30-32 年度 目標
(候補地点における事前調査、実証試験計画(案)の策定)		(CO ₂ 分離・回収・貯留技術の実証)		(圧入後の CO ₂ 挙動モニタリング技術の実証)	
(1)候補地点における事前調査	実証試験候補地点ごとの諸条件をふまえ、地質調査や実証試験設備の仕様等、必要な事前調査を実施し、実証試験計画(案)の策定に資する調査成果を得る。	(1)CO ₂ 分離・回収・輸送、貯留技術の実証	大規模排出源から分離・回収した CO ₂ を年間 10 万トン以上の規模で地中貯留する技術を実証する。 併せて、圧入中における貯留層内の CO ₂ の賦存範囲等、CCSに係るモニタリング技術を実証する。	(1)圧入後のモニタリング技術の実証	圧入終了後の CO ₂ 賦存範囲等の測定技術、CO ₂ 挙動予測精度等、CCSに係るモニタリング技術について実証する。 海洋環境等、CCSに係る環境影響評価に関する調査、評価技術を実証する。
(2)実証試験計画(案)の策定	実証試験候補地点について、調査成果に基づき実証試験計画(案)を策定する。	(2)CCS 実証試験設備の設計・建設	実証試験に必要な設備を設計・建設するとともに、実証試験を安全に操業できる運用体制を整備する。	(2)地中貯留の安全性確保に係る技術の実証	圧入終了後における坑井保全技術や廃坑方法等、地中貯留の安全性確保に係る技術について実証する。
(3)法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	(3)法規制対応等に係る調査、検討	現行法制下において実証試験設備の設計・建設から実際の圧入運転終了までを実施し、必要に応じて制度上の課題を確認する。	(3)法規制対応等に係る調査、検討	実証試験の実施を通して抽出された法規制対応について、必要に応じて制度上の課題を確認する。
(4)社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	(4)社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	(4)社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。

2-2-A 全体目標設定

表 2-2 候補地点における調査、実証試験計画(案)の策定における全体目標

項目	目標	設定理由・根拠等
(1) 候補地点における事前調査	実証試験候補地点ごとの諸条件をふまえ、地質調査や実証試験設備の仕様等、必要な事前調査を実施し、実証試験計画(案)の策定に資する調査成果を得る。	候補地点の諸条件に対応した大規模実証試験の実施計画が必要であり、総合科学技術会議の事前評価においてもその必要性について指摘を受けている。
(2) 実証試験計画(案)の策定	実証試験候補地点について、調査成果に基づき実証試験計画(案)を策定する。	
(3) 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	関係法令の遵守、安全性確保や環境影響防止等に向けた体制整備、国民の理解を醸成するための情報開示等の徹底は国内初の大規模実証試験を進めるにあたっていずれも重要であり、総合科学技術会議の事前評価においてもその必要性について指摘を受けている。
(4) 社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	

2-3-A 個別要素技術目標設定

表 2-3 候補地点における調査、実証試験計画(案)の策定における個別要素技術目標

項目	目標	設定理由・根拠等
(1) 候補地点における事前調査		
地質調査による CO ₂ 地中貯留に適した地層の確認	石油・天然ガスの地下資源開発等で蓄積された地質調査技術を応用して、地中貯留に適した地層（貯留層、遮蔽層）の範囲（深度・広がり）と貯留・遮蔽性能を確認する。併せて、CO ₂ 挙動シミュレーションに必要な諸物性値を確認する。	安全な地中貯留を実施するために地質調査・評価を適切に行うことは極めて重要である。 経済産業省が 2009 年 8 月に公表した「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」においても地質調査、数値シミュレーション、断層評価等の必要性について言及されている。
数値シミュレーションによる貯留後 CO ₂ の挙動予測	地質調査結果をふまえて、CO ₂ 地中貯留対象地点周辺の地質モデルを構築し、圧入開始以降の CO ₂ 挙動予測シミュレーション	

	ンを行い、貯留後の CO ₂ の長期的挙動を確認する。	
貯留層周辺環境の評価	貯留層周辺の断層の有無・活動度、地震履歴等を調査・検討し CO ₂ 地中貯留の安全性への影響を評価する。	
CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステム概念設計	CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステムについて、CO ₂ 排出源への影響を最小化することを念頭に設備仕様・規模・配置、並びに、工程を概略検討する。	候補地点ごとの諸条件をふまえた実証試験設備全体の構成・仕様の検討成果は実証試験計画(案)の一部を成すものとして不可欠である。
(2) 実証試験計画(案)の策定		
実証試験候補地点における実証試験計画(案)の策定	地質調査、CO ₂ 挙動予測、周辺環境の評価、並びに、概念設計成果を総合して実証試験候補地点における実証試験計画(案)（モニタリング計画を含む）を策定する。	候補地点の諸条件をふまえた実施計画案の策定は実証試験に不可欠であり、総合科学技術会議の事前評価においてもその必要性が指摘されている。
(3) 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査		
法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	関係法令の遵守や、安全性確保は重要であり、総合科学技術会議の事前評価においても技術的課題のほかに取り組むべき課題として必要性が指摘されている。
(4) 社会受容の醸成に向けた情報発信		
社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	広く国民的な理解の醸成を図ることは重要であり、総合科学技術会議の事前評価においてもその必要性が指摘されている。

3-A. 成果、目標の達成度

3-1-A 成果

3-1-1-A 全体成果

平成 20～23 年度は実証試験の具体的な実施計画案を策定することを目標に、実証試験候補地の 4 地点に係る地質調査、実証試験設備の検討等の必要な事前調査を実施した。調査結果を基に、特に調査が順調に進んでいる苫小牧地点について貯留層総合評価と実証試験計画(案)を策定し経済産業省に提出した。

本事業は先行する国内事例がない国内初の大規模実証試験となることから、具体的な実施計画の策定に資するため、候補地点での事前調査と並行して C C S の実施に係る関連法規制や安全性の評価・確保に関連する技術動向等について国内外における調査を行い、必要に応じて実証試験計画(案)に織り込んだ。

また、本事業を進めるうえで市民への情報発信はとりわけ重要である。そこで実証試験候補地点における調査を進めるにあたっては地元関係者を中心に説明を行うとともに、マスメディアへの情報提供、取材への協力等を行う事で、新聞記事掲載、TV のニュース番組報道による情報発信を継続的に実施した。併せて苫小牧地点においては平成 23 年度に「地球温暖化と C C S」をテーマに地域の一般市民を対象とした参加費無料のフォーラムを開催して C C S 技術全般の紹介を行うとともに、市内の数箇所の公共施設等において C C S 技術の紹介パネルの展示を行うなど、市民への情報発信を実施した。

3-1-2-A 個別要素技術成果

3-1-2-1-A 事業の経緯

(1) 調査事業の経緯

日本 C C S 調査㈱は平成 20 年度に経済産業省の平成 20 年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業費補助金「二酸化炭素地中貯留技術研究開発（実証試験に適する地下帯水層等に係る評価技術開発）」事業（以下「平成 20 年度補助事業」という。）により補助を受け、実証試験候補地の 4 地点を選出した。

また、以下の経済産業省の委託事業を受託し、実証試験候補地点における調査、検討を進めている。

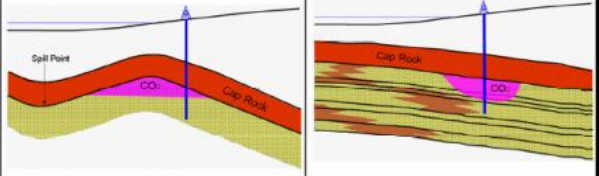
・平成 20 年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」（2008 年 12 月～2010 年 3 月）

（以下「平成 20 年度委託事業」という。）

層賦存量調査（経済産業省 平成 17 年度～平成 20 年度「二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策費補助金（二酸化炭素地中貯留技術研究開発）」）において、地層構造によってカテゴリー A（背斜構造への貯留）およびカテゴリー B（層位トラップなどを有する地質構造への貯留）にカテゴリーを大別し、国による基礎調査（基礎試錐および基礎物探）で取得された地質データにより評価精度が異なることを考慮した A 1～A 3、B 1～B 2 の準カテゴリーに細分された上でそれぞれの貯留可能量が推定されている。

表 3-1 地下深部塩水層への CO₂ 貯留のカテゴリー分類

（出典：RITE/ENAA, 平成 17 年度～平成 20 年度）

地 質 データ		カテゴリー A (背斜構造への貯留)	カテゴリー B (層位トラップなどを有する 地質構造への貯留)
既存油ガス田	坑井・震探データが豊富	A1	B1 (水溶性ガス田)
基礎試錐	坑井・震探データあり	A2	
基礎物探	坑井なし、震探データあり	A3	B2 (16 海域)
主なトラップメカニズム		・ Structural & stratigraphic trapping ・ Solubility trapping ・ Residual gas trapping ・ Mineral trapping	
貯留概念図の例			

しかしながら、平成 20 年度補助事業においては、表 3-2 による分類にあるように従来慣例的に使われてきた「構造性帯水層」「非構造性帯水層」の用語を用いることとした。ここで「構造性帯水層」とは背斜構造を有する帯水層のことを言い、「非構造性帯水層」とは背斜構造を形成しないが、CO₂ 貯留に適したある程度の範囲（例えば数 km 以上）で水平または緩傾斜になっている地質構造を有する帯水層のことを言う。

表 3-2 平成 20 年度補助事業における貯留層のカテゴリー分類

(貯留可能量の出典：RITE/ENAA, 平成 17 年度～平成 20 年度)

平成 20 年度補助事業における 貯留層のカテゴリー分類	相当する R I T E のカテゴリー分類	貯留可能量合計 (C O ₂ トン)
①生産終了油・ガス層	A 1	3 5 億トン
②構造的帯水層	A 2, A 3	2 6 6 億トン
③非構造的帯水層 (新第三紀以降)	B 1, B 2	1, 1 6 0 億トン
④非構造的帯水層 (古第三紀)		

- ◆「①生産終了油・ガス層」天然ガスが安定して存在した実績のある層。
- ◆「②構造的帯水層」主として背斜構造などの地質構造で二酸化炭素を貯留する層。
- ◆「③非構造的帯水層 (新第三紀以降)」および「④非構造的帯水層 (古第三紀)」。
比較的緩傾斜で連続した遮蔽層が存在し層位トラップ等による貯留が期待される層。
対象とする貯留層の地質時代 (新第三紀以降、古第三紀) により区別する。

この分類の中で①～③は地質時代として新第三紀以降に分類されるものを対象としており早期実証試験の対象となり得る貯留層タイプである。さらに、日本における貯留可能量の追加確保には、主に九州地域での分布が見られ地質時代の異なる④について評価することが必要となる。

② 実証試験候補地点の選出

平成 20 年度補助事業では、R I T E / E N A A による全国貯留層賦存量調査において評価された貯留地点候補のうち 98 地点 (地域)、および民間企業により貯留可能量評価がなされている 17 地点の合計 115 地点を評価対象とし、既存の検討資料を基に全国の 115 地点の中から陸域か海底下貯留か、掘削深度 500m 以上の既存坑井データの有無、近傍 C O₂ 排出源の有無、活構造による既知の漏出リスクの評価によりスクリーニングを行い 7 地点に候補対象を絞り込んだ。

さらに 7 地点の中から、貯留層の既存の地質調査データの豊富さや、近傍の C O₂ 排出源事業所の立地、当該排出源に適すると想定される分離・回収プロセスが既に実用レベルにあるかなど、C C S 実証試験を早期に開始するために必要であると考ええる要件について比較検討し、実証試験候補地の 4 地点を選出した。

選出した 4 地点は「苫小牧地点」「勿来・磐城沖地点」「北九州地点」「日本海沿岸地域」で、それぞれの貯留層タイプは表 3-3 の通りである。

表 3-3 実証試験候補地点の貯留層タイプ

平成20年度補助事業における 貯留層のカテゴリー分類	実証試験候補地点
①生産終了油・ガス層	勿来・磐城沖地点
②構造的帯水層	日本海沿岸地域
③非構造的帯水層（新第三紀以降）	苫小牧地点
④非構造的帯水層（古第三紀）	北九州地点

(3) 実証試験候補地点ごとの調査実施状況

① 苫小牧地点

a 地質調査：

苫小牧沖の対象貯留地点周辺における石油・天然ガスの探鉱時や、やや離れた内陸部に存在する勇払油・ガス田の開発時に取得された既存の地質調査データを参考として机上検討を行った。さらに実地調査として三次元弾性波探査と調査井掘削を実施し、得られた探査データ、物理検層データ、コア試料分析データ等を用いて地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーションを行い、それらの成果を「苫小牧地点における貯留層総合評価」として取りまとめた。

b 設備検討：

実証試験設備として必要な排出源からのCO₂分離・回収設備、CO₂液化設備、輸送、圧入設備について概念設計を実施した。圧入用坑井仕様やモニタリング計画案、関連法規対応等も併せて検討し、それらの検討成果を総合的にとりまとめ、「苫小牧地点における実証試験計画(案)」を策定し、貯留層総合評価とともに2011年10月に経済産業省に提出した。

② 勿来・磐城沖地点

NEDO委託事業により、福島県いわき市にあるIGCC実証機をCO₂排出源とし、磐城沖の生産終了ガス田へ貯留するCCSのトータルシステム(CO₂分離・回収、輸送、貯留)のフィージビリティ・スタディ(F/S)を行った。NEDO委託事業は本事業と事業期間が一部重なっている。

本事業としては、平成20年度委託事業においてIGCC実証機から磐城沖生産終了ガス田までの約80kmのCO₂輸送の想定経路(パイプラインルート)について海底地形や海

底土質の実地調査を行い、パイプラインに生じる応力の予測解析結果から、海底地形に応じてパイプラインルートの若干の修正を行うことで海底パイプラインが敷設可能であることを確認した。パイプラインルート調査成果はNEDO委託事業のF/Sに織り込んだ。また、NEDO委託事業のF/S成果に引き続き、CO₂分離・回収、輸送、圧入、貯留のトータルシステムのF/Sから一段進めた詳細検討を行うとともに、必要な周辺技術の検討を行った。

なお、勿来・磐城沖地点では東日本大震災が発生したことを受け、当面、調査は中止することとした。このため、当時計画していた調査井掘削による地質調査は事前の準備段階で中止としたほか、実地調査を必要とするその他の調査、検討についても当面、中止とした。

③ 北九州地点

北九州地点は候補地点の中で唯一地質時代の異なる古第三紀層を貯留対象とするが、石油・天然ガスの探鉱開発に伴う地質調査データが豊富な他の候補地点とは異なり、一般的にCO₂を貯留するために必要とされる800m以深を対象とした既存の掘削データが無いなど基礎的なデータが乏しいことから、実排出源と組み合わせた実証試験を行う前に、まずは古第三紀の帯水層の貯留性能の確認を行うことが必要と判断し、平成22年度に地質調査のためのボーリング調査を行った。

現在はボーリング調査により得られたコア試料やデータの解析を進めているが、貯留層評価のためには更に弾性波探査や別の掘削地点でのボーリング調査など、今後も実地調査が必要な状況にある。

④ 日本海沿岸地域

日本海沿岸地域は石油・天然ガスを目的とした探鉱が日本国内で最も集中して行われてきた地域であり、既存の地質調査データが豊富である。既存データによる地質評価に加えて、CCSに必要な事前調査として調査井掘削を計画していたが、地元関係機者との調整が付かなかったため調査は中断している。

設備検討については、当該地点における化学工場内のプラント等をCO₂排出源として、CO₂回収、輸送、圧入までの一連の実証試験設備の概念設計を実施した。

⑤ 地点ごとの調査実施状況のまとめ

表3-4には地質調査について、表3-5には設備検討について、候補地点ごとの状況をそれぞれ整理した。

表 3-4 実証試験候補地の 4 地点における地質調査の実施状況概要

候補地点	既存データの豊富さ	弾性波探査	調査井の掘削	貯留層の総合評価
苫小牧	石油・天然ガス探鉱時の試掘データ蓄積あり	貯留層周辺海域における探査を実施	2つの対象貯留層について計2坑を掘削	貯留層総合評価を作成し経済産業省に提出した
勿来・磐城沖	ガス田開発・生産による豊富なデータ蓄積		[未実施] 東日本大震災が発生したことを受け、当面、調査は中止	
北九州	600m 以深の既存坑井が無いいため平成 21 年度委託事業でボーリング調査を実施	[未実施] 基礎的なデータが乏しいことから、今後も実地調査が必要な状況にある		
日本海沿岸地域	油ガス田開発・生産による豊富なデータ蓄積	[未実施]		

表 3-5 実証試験候補地の 4 地点における設備検討の実施状況概要

候補地点	設備仕様の検討状況	実証試験計画(案)
苫小牧	2つの工場の水素製造装置をCO ₂ 排出源とし分離・回収、輸送、圧入の実証試験設備の概念設計を実施	実証試験計画(案)を策定し経済産業省に提出した
勿来・磐城沖	・海底パイプライン敷設想定ルートの実地調査（パイプラインルート調査）を実施 ・IGCC 実証機をCO ₂ 排出源とし分離・回収、輸送、圧入の実証試験設備全体の概念設計を実施	[未実施]
北九州	[未実施]	[未実施]
日本海沿岸地域	化学工場をCO ₂ 排出源として分離・回収、輸送、圧入の実証試験設備の概念設計を実施	[未実施]

(4) 「CCS実証事業の安全な実施にあたって」への対応

CCSの大規模実証事業を実施する際に安全面・環境面から遵守することが望ましい基準として「CCS実証事業の安全な実施にあたって」（2009年8月、経済産業省）が策定された。

本事業においては「CCS実証事業の安全な実施にあたって」に記載された基準をふまえて、地質調査、対象貯留層・遮蔽層の評価、実証試験設備の仕様、モニタリング技術等の調査、検討を実施しており、各候補地点の調査成果はそれらを反映したものである。

3-1-2-2-A 苫小牧地点

平成20年度委託事業から平成23年度委託事業において、地質調査と貯留層の評価、および地上設備の検討を実施した。

(1) 調査概要

① 実証試験モデルの概要

商業運転中の製油所(2ヶ所)の水素製造装置を排出源として、CO₂含有ガスから分離・回収した気体CO₂および既分離CO₂を液化した液体CO₂を圧入基地へ輸送する。圧入基地では、これらのCO₂をそれぞれ圧縮、昇圧・加温して統合し、年間15~25万トン程度(排出源の操業状況等による)を2層の貯留層に圧入する。

ガス供給基地(以下、「D1-1基地」という。)では、水素製造装置から発生したCO₂含有プロセスガスを昇圧し、送出配管により製油所に隣接する分離・回収基地(以下、「D1-2基地」という。)に送出する。D1-2基地では分離・回収を行い、年間10~20万トン程度の気体CO₂を同じ敷地内に設置する圧入基地(以下、「D0基地」という。)に移送する。

液化供給基地(以下、「D2基地」という。)では年間5万トン程度の既分離CO₂を液化し、タンクローリーにてD0基地に輸送する。

D0基地ではD1-2基地、D2基地から輸送されたCO₂を、圧入に必要な圧力まで昇圧し、圧入井を通じて苫小牧沖の2つの貯留層に貯留する。

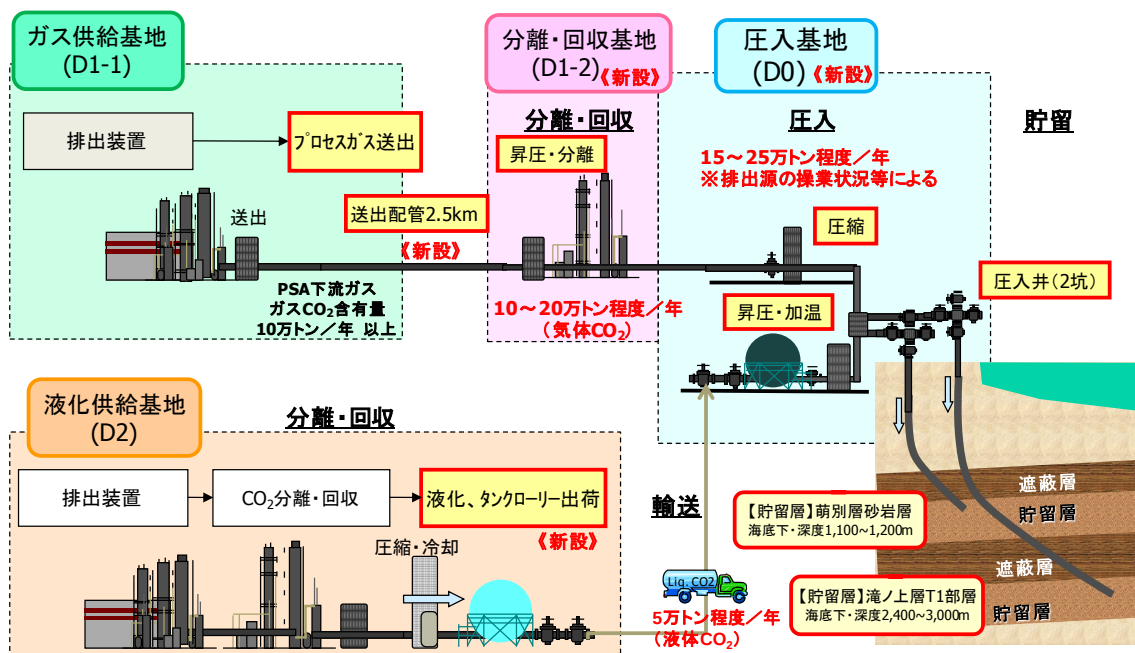


図 3-2 実証試験モデル図

② 調査項目

a 地質調査によるCO₂地中貯留に適した地層の確認

地質調査によるCO₂地中貯留に適した地層を確認するために、既存地質情報に基づく下記の調査を実施した。

- 1) 既存地質情報調査 平成 20 年度
- 2) 地質・貯留層の火山層序学的な総合評価 平成 21 年度

貯留対象となる地層が分布する海域において、下記の弾性波探査を実施した。

- 3) 三次元弾性波探査（苫小牧 3 D (2009)） 平成 21 年度
- 4) 追加三次元弾性波探査（苫小牧 3 D (2010)） 平成 22 年度

貯留対象海域に近接した陸上から、下記の調査井掘削による地質調査を実施した。

- 5) 調査井（苫小牧 CCS-1）による地質調査 平成 22 年度
- 6) 調査井（苫小牧 CCS-2）による地質調査 平成 23 年度

b 数値シミュレーションによる貯留後のCO₂挙動予測

地質調査の進捗に合わせ、その調査・解析データと解釈結果を反映して、下記の地質モデルの構築とCO₂挙動予測シミュレーションを繰り返し実施した。

- 1) 地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その 1） 平成 21 年度
- 2) 地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その 2） 平成 22 年度
- 3) 地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その 3） 平成 22 年度
- 4) 地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その 4） 平成 23 年度

c 貯留層周辺環境の評価

貯留層周辺環境の評価として、苫小牧周辺のテクトニクス、応力分布、断層分布、地震活動、などの貯留層周辺をとりまく地質環境の調査を実施した。

- 1) 貯留層周辺環境の評価 平成 20 年度

d 貯留層総合評価

以上の地質調査成果に基づき、「苫小牧地点における貯留層総合評価」を実施した。

e CO₂分離・回収、輸送、圧入・貯留までのCCSトータルシステム概念設計

各基地の地上設備と輸送設備について下記の検討を実施した。

- 1) 地上設備の概念設計 平成 20 年度
- 2) 地上設備の基本設計 平成 21 年度
- 3) 地上設備の設備設計準備 平成 22 年度、平成 23 年度

f 実証試験計画（案）

以上の設備検討成果と貯留層総合評価に基づき、「苫小牧地点における実証試験計画

(案)」を策定した。

(2) 地質調査によるCO₂地中貯留に適した地層の確認

① 地質概要

調査区域（苫小牧港西港区沿岸海域）および周辺地域では、これまで国による基礎物理探査、民間企業による石油・天然ガスを対象とした探鉱活動により、地下の地質層序および地質構造が明らかになっている。

a 地質概要

調査区域は、「苫小牧リッジ」と呼ばれる中生代火山岩類の基盤岩の隆起帯に位置しており、基盤には上位の古第三紀以降の様々な構造場のもとで形成された堆積盆に古第三系、新第三系および第四系の地層が認められる（図 3-3）。調査区域では古第三系の上位に、下位より滝ノ上層、振老層、平取+軽舞層、荷葉層、萌別層、鵠川層などの地層が堆積しており、滝ノ上層から荷葉層にかけては新第三系、萌別層と鵠川層は第四系に区分されている。

調査区域から東方に向けては、波長が 10km 程度の褶曲構造が南北ないし北北西-南南東方向に並列して複数認められ、一般に東側の背斜構造群は逆断層を伴った変形を受けているが西側の背斜構造群はいずれも比較的弱い変形とされている。

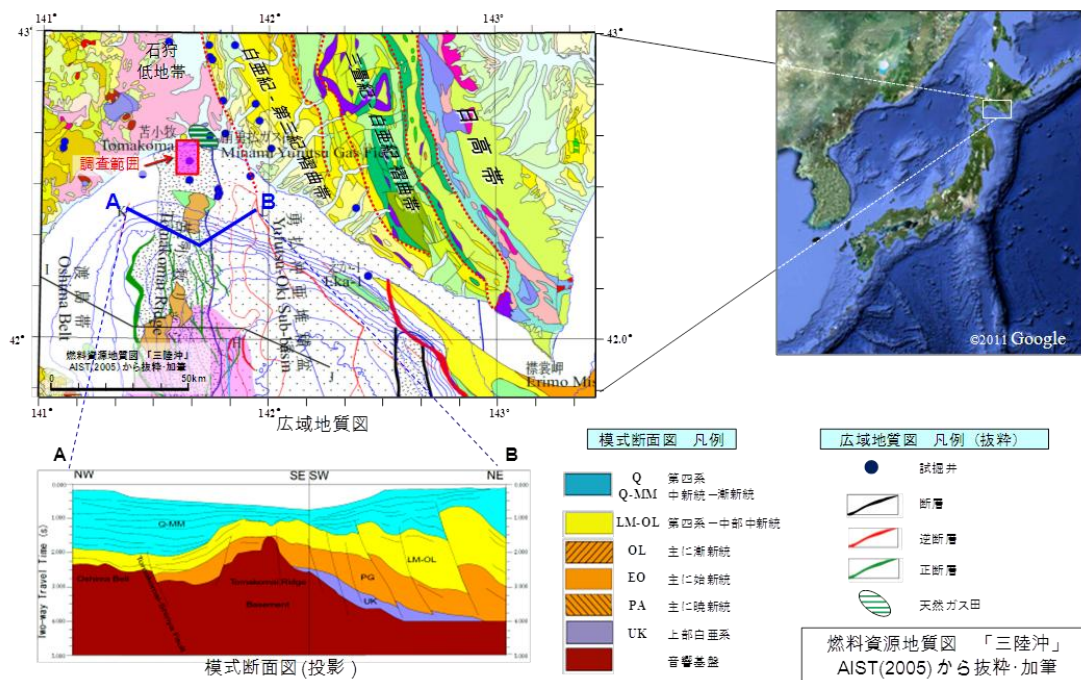


図 3-3 苫小牧地点の地質概要

b 地質・貯留層の火山層序学的な総合評価

苫小牧沖の調査地域の地下約 2,400~3,000m に分布し火山岩類を主体とする滝ノ上層 T1 部層に対して層序学的な検討を加え、CO₂の圧入対象として想定される T1 部層火山岩類の地域特性を把握した。実施した作業は以下の通りである。

- 1) 坑井資料を用いた予察検討
- 2) カッティングス試料を用いた薄片観察およびコア観察
- 3) 薄片観察結果と物理検層データとの総合解釈に基づく滝ノ上層 T1 部層の岩相の推定
- 4) 二次元弾性波探査の反射波断面における反射波と岩相を関係づけ、滝ノ上層 T1 部層の岩相区分(Complex (岩相組合せ) I、Complex II、Complex III)
- 5) それぞれの岩相区分に含まれる火成活動に由来すると想定される形態の反射波の抽出、マッピング、火山活動の復元

以上の作業により、滝ノ上層が形成された時代の火山活動の状況が以前より明らかとなった。即ち、火山活動は検討範囲の南部から始まり(Complex I)、その後火山活動が北西方向に拡大して北北西-南南東方向の割目とその西側の単成火山群が噴出源となり火山岩類を供給した(Complex II)。Complex I および Complex II が形成された時期には、溶岩～凝灰角礫岩は噴出源から主に西方に供給された。Complex II が形成された時期以降、本検討範囲内の火成活動は衰退し、主に凝灰岩が堆積する場に変化した(Complex III)。この時代には削剥や二次堆積が頻繁に起こっていたと考えられる。

② 二次元弾性波探査（以下、「苫小牧 3D (2009)」という）の成果

a 調査目的

当海域では、30 年以上前から国や民間企業による石油天然ガス探査を目的とした二次元弾性波探査が実施されており、その結果、数 km メッシュで地質断面データが得られていた。ただし、CO₂長期挙動予測シミュレーションにより CO₂の貯留層評価を行うためのデータとしては密度が粗いため、より詳細な地下構造情報を得ることを目的とした苫小牧 3D (2009) を実施した。

b 調査範囲および調査期間

調査地域は、苫小牧港沖合約 2km の東西浅海域の範囲で、浅海域の二次元弾性波探査、海陸接続の二次元弾性波探査 1 測線、および陸域の二次元弾性波探査 1 測線の測定を実施した。調査範囲並びに測線位置を、図 3-4 と図 3-5 に示す。調査は 2009 年 10 月 4 日から 11 月 7 日の期間に行った。

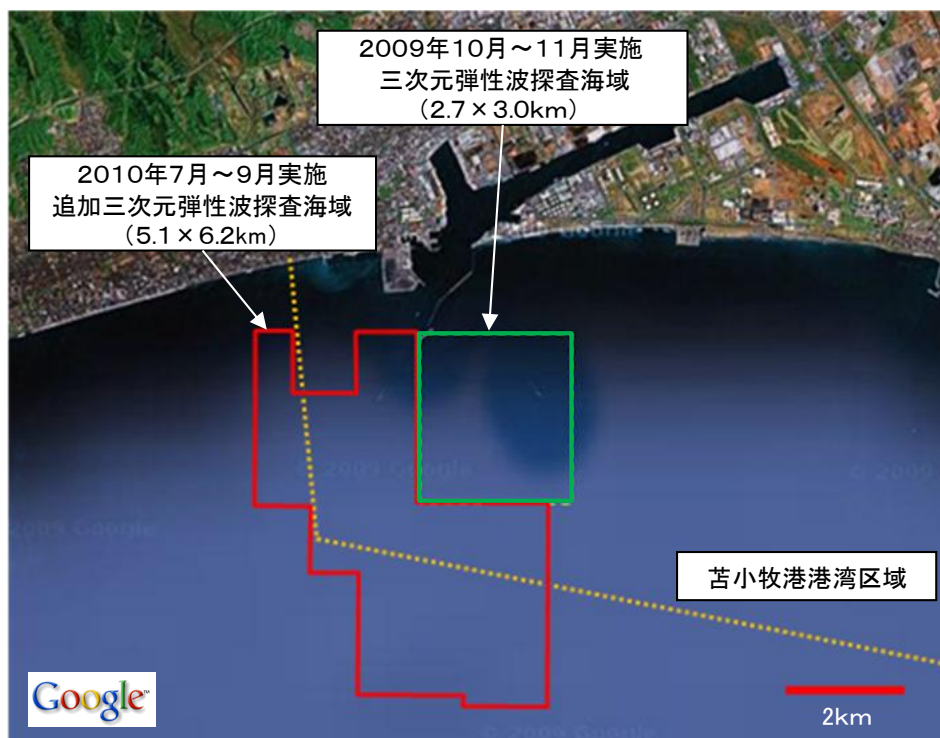


図 3-4 苫小牧 3 D (2009) の調査範囲図 (広域)

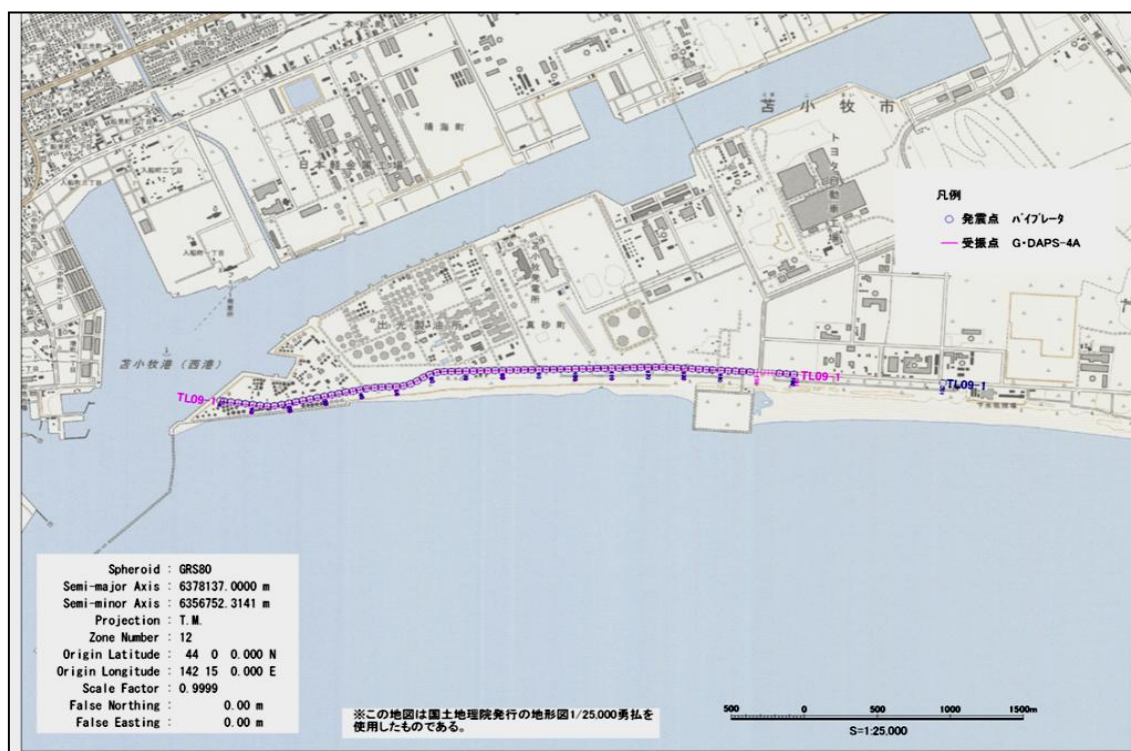


図 3-5 測線(陸域東西測線)の測線位置図

(背景地図：国土地理院発行の 1/25,000「勇払」)

c 探査結果の考察

CO₂貯留対象層を含め質の高い反射データが取得できたと考える。図 3-6 に、探査結果の一例を示す。

苫小牧 3 D (2009) の発振記録を見ると受振器の O B C (Ocean Bottom Cable) に起因する突発的な電気ノイズ、船舶の航行に伴うノイズ、あるいは振源に起因する表面波などのいくつかの種類のノイズが認められるが、これらのノイズの抑制処理を実施した結果、ノイズレベルが低く、反射波が明瞭な三次元データを得ることができ、今後の詳細な地下構造の推定や CO₂挙動予測シミュレーション等の解析に資する結果を得た。

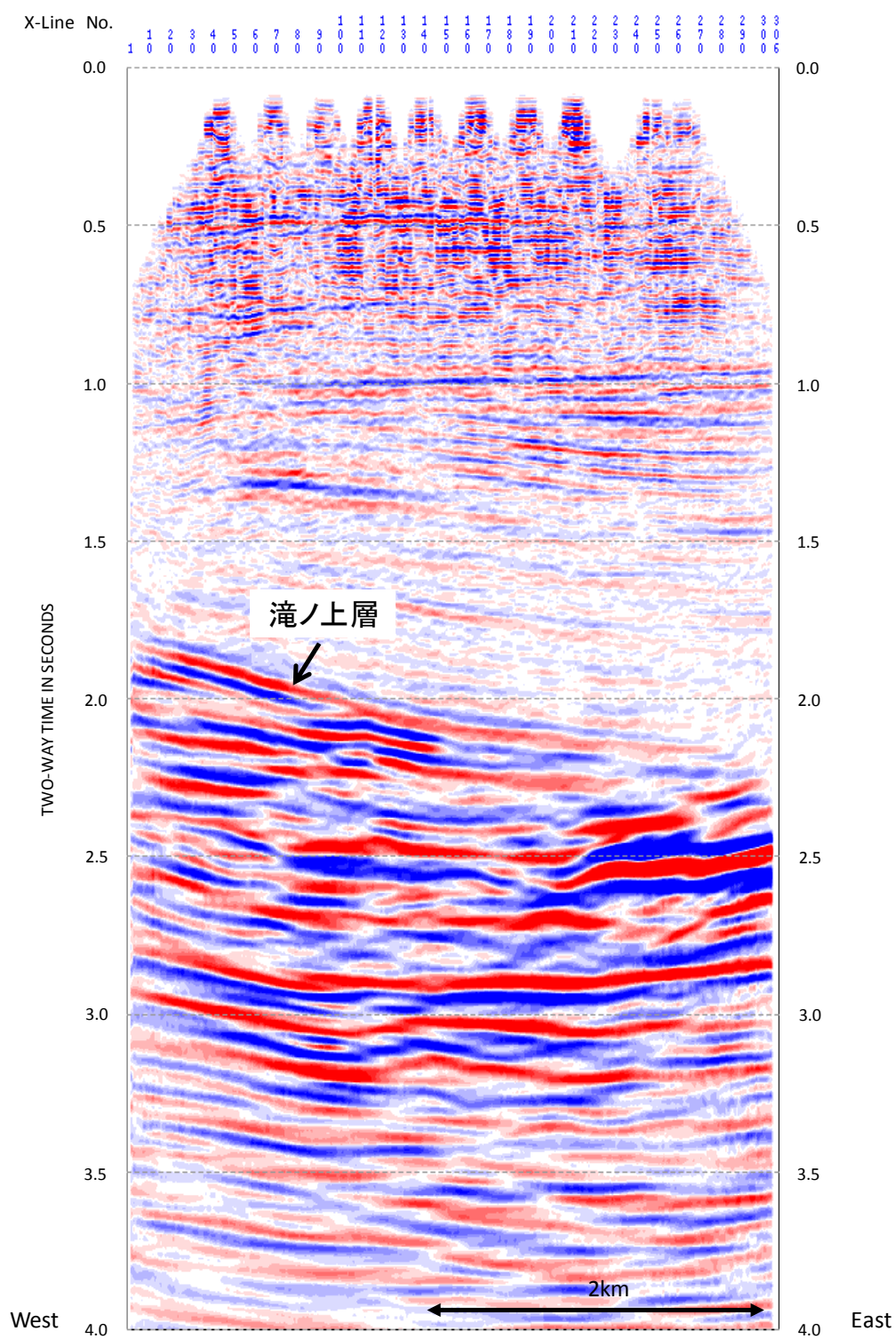


図 3-6 最終重合断面図（東西方向中央断面）

③ 追加三次元弾性波探査（以下、「苫小牧 3 D (2010)」という）の成果

a 調査目的

苫小牧 3 D (2009) の結果、貯留層の広がりや断層の構造形態を把握すること、および既存坑井データ（坑井 A：1970 年代に民間企業によって海域に掘削された試掘井で滝ノ上層以深まで調査されている）と直接比較して解釈精度を向上させる必要があることが課題として挙げられたため、調査範囲を西側および南側に広げた苫小牧 3 D (2010) を追加実施した。

b 調査範囲および調査期間

調査地域は、苫小牧港西港区沖合で、南北 7.6km、東西 5.9km の浅海域である。「苫小牧 3 D (2009)」および「苫小牧 3 D (2010)」の調査範囲を図 3-4 に示す。調査は 2010 年 7 月 15 日から 9 月 10 日の期間に行った。

c 探査結果の考察

苫小牧 3 D (2010) で取得されたデータの多くは、苫小牧 3 D (2009) で取得されたデータ同様に、全体的に良好なデータが得られた。図 3-7 に、データ処理結果の一例を示す。

発振記録を詳細に見ると苫小牧 3 D (2009) のデータ同様に、船舶ノイズ、表面波ノイズ等のいくつかの種類のノイズが認められるが、データ処理においてはこれらのノイズの抑制処理を適用することで、深部まで反射波が明瞭で良好な品質の三次元データを得ることができた。最終的には、苫小牧 3 D (2009) および苫小牧 3 D (2010) で取得されたデータを合わせた処理により、広域的な三次元弾性波探査のデータを作成し、高精度な地質構造解釈および地質モデル構築に資する成果が得られた。

図 3-8 に、三次元弾性波探査結果解釈断面図の一例を示す。

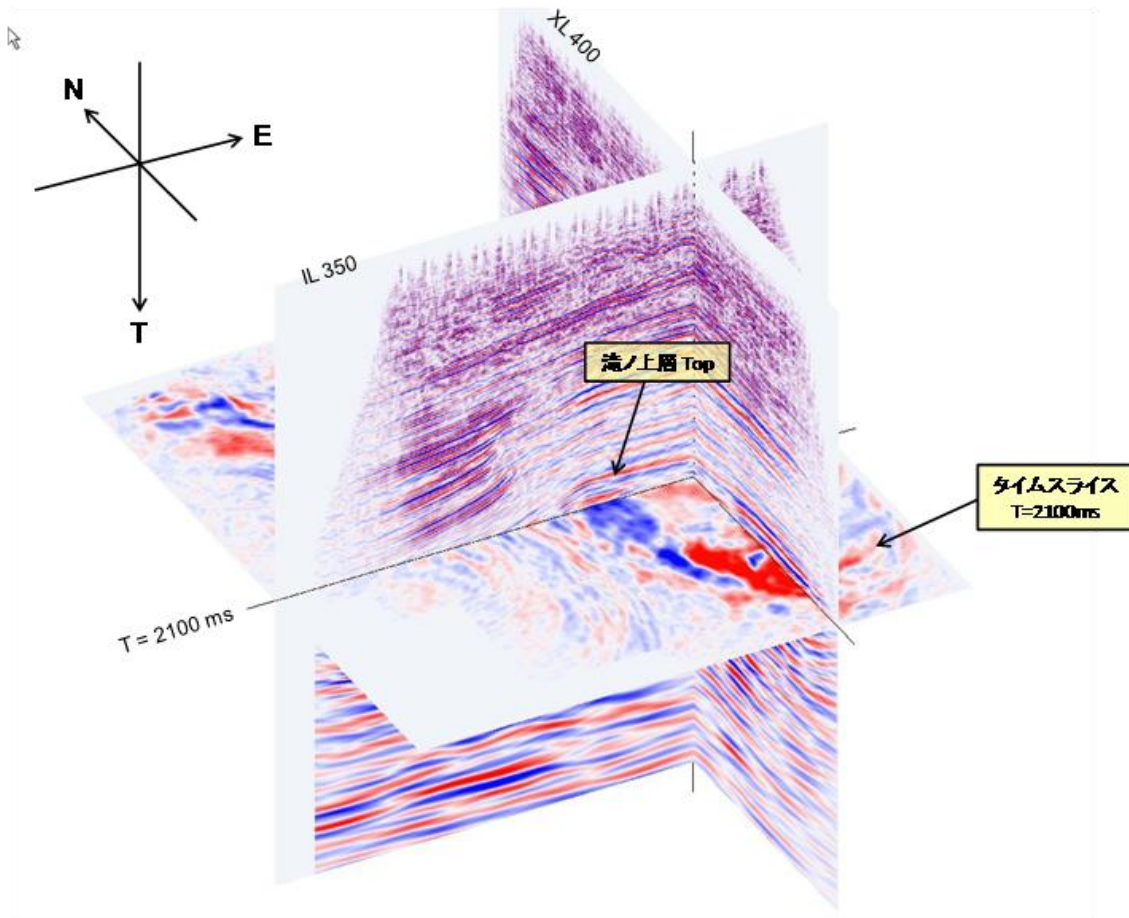


図 3-7 3D Seismic Volume (2010) の鳥瞰図

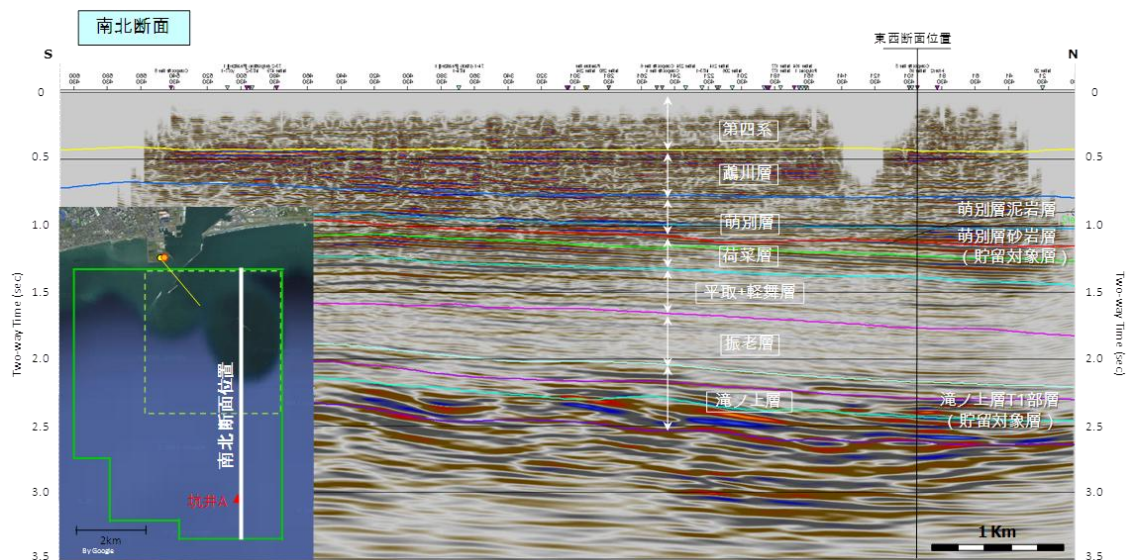


図 3-8 三次元弾性波探査結果解釈断面図（南北断面）

④ 調査井（苫小牧ＣＣＳ－１）を活用した地質調査成果

a 調査目的

苫小牧ＣＣＳ－１は、萌別層砂岩層と滝ノ上層Ｔ１部層を貯留対象層とし、物理検層、コア試料の採取（振老層・滝ノ上層）、ならびに掘削データから貯留対象層および遮蔽層の性状を調査することを目的として掘削された。

b 坑井諸元

坑井名 : 苫小牧ＣＣＳ－１

種別 : 調査井

所在地 : 北海道苫小牧市汐見町地先西港区土砂処分場

位置 : 坑口（世界測地系第ⅩⅡ系）

X=-152,965.378m、Y=-52,024.990m 標高=7.035m

ターゲット 垂直深度=2,409.49m 偏距=1,163.61m

X=-153,856.757m、Y=-51,277.031m

坑底 垂直深度=3,046.89m 坑底偏距 = 1,754.00m

X=-154,308.438m、Y=-50,896.850m

坑底方位=N 140.00° E（真北より時計回りに 140° の方向）

使用リグ : 1320-M

作業期間 : 予定期間：2010年11月5日～2011年2月22日（110日間）

実績：2010年11月5日～2011年2月21日（109日間）

掘削深度 : 予定 3,700m / 3,050.12m（垂直深度）

実績 3,700m / 3,046.89m（垂直深度）

傾斜掘り実績 : KOP（キック・オフ・ポイント） 870m

増角区間 870～1,338m、

増角率 +3.0° / 30m、

沿角角度 42.07°

許容範囲 指令点にて半径 100m 以内

坑井位置 : 本井の掘削敷地を、図 3-9 に示す。



図 3-9 坑井敷地位置図

c 地質調査結果

掘削中のカッティングス調査、コア試料採取ならびに物理検層（後述）により、層序ならびに岩相を確認するとともに、既存坑井との比較を行うために微化石分析を実施した。その結果、同定された層序区分を表 3-6 に示す。

表 3-6 地質層序と岩相

地層名	インターバル m (垂直深度)	岩 相
第四系	0 - 458	未固結砂礫等
鵠川層	458 - 873	砂礫岩を主体とし、シルト岩を伴う
萌別層	873 - 1,230 (1,211)	上部はシルト岩～シルト質泥岩主体とし、下部は砂岩からなる。 砂岩層上限深度は 1,076m (垂直深度 1,071m)。
荷菜層	1,230 (1,211) - 1,638 (1,524)	シルト岩～砂岩を主体とし泥岩を伴う。稀に凝灰質シルト岩～砂岩・マールの薄層みを挟在する。
平取+軽舞層	1,638 (1,524) - 2,289 (2,006)	シルト岩～砂岩主体とし泥岩を伴う。稀に凝灰質シルト岩～砂岩・マールの薄層みを挟在する。
振老層	2,289 (2,006) - 2,826 (2,404)	シルト岩～砂岩を主体とし泥岩を伴う。稀に凝灰質シルト岩～砂岩・マールの薄層みを挟在する。
滝ノ上層 T1部層	2,826 (2,404) - 3,700 (3,046)	火山角礫岩・凝灰岩等の火山岩再堆積相を主体とし、一部に枕状溶岩を確認した。

基礎的な地質情報の取得、各層の岩石物性特性（孔隙率、浸透率など）の把握、ならびにCO₂挙動シミュレーションのために必要なパラメータの取得を目的に、表 3-7 に示すコアやカッティングスを用いた室内試験を実施した。

表 3-7 室内試験項目一覧（CCS-1）

試験項目 [貯留層のみ、遮蔽層のみ] Core: コア試料、Ctgs: カッティングス試料計 (H22+H23) MSCT: MSCT サイドウォールコア試料		個数	試験目的・摘要
微化石分析	有孔虫 珪藻	140 (20+120) 90 (90+ 0)	層序対比、堆積環境・堆積年代
岩石鉱物分析	X線回折 (XRD)	Core 62 (44+18) Ctgs 67 (53+14) MSCT 14 (0+14)	鉱物組成の把握 (CO ₂ との反応性の基礎データ、物理検層データ検証・補正用基礎データ)
	蛍光 X 線 (XRF)	Core 62 (44+18) Ctgs 21 (0+21) MSCT 14 (0+14)	貯留層の鉱物組成の把握 (CO ₂ との反応性の基礎データ、物理検層データ検証・補正用基礎データ)
	薄片作成・観察 (ブルーレジン圧入、ポイントカウンティング 1,000 点)	Core 62 (26+36) Ctgs 14 (0+14) MSCT 14 (0+14)	貯留層の鉱物組成の把握 (CO ₂ との反応性の基礎データ、物理検層データ検証・補正用基礎データ)
			貯留層の空隙状況の把握
岩石物性分析	コアガンマ線	131.8m	コア深度 (掘削深度: mDD) とワイヤーライン深度 (mWL) 間の誤差の補正 (坑井元で、コアエンジニアによる測定)
	コア記載・写真撮影	131.8m	コアを構成する岩石の岩種・岩相・産状の把握
	帯磁率	256 (256+ 0)	貯留層区間の物理検層データ検証・補正用基礎データ

	プロファイル空気浸透率(PDPK)		115.6m 2,817 点	貯留層性能(浸透性)の把握 有効測定点数:2,632 点
	孔隙率・空気浸透率(常圧下)	Core	121(121+ 0)	コアを構成する岩石の一般的物性の把握
	粒子密度	MSCT	14(14+ 0)	
	孔隙率・空気浸透率(封圧下)	Core	121(121+ 0)	コアを構成する岩石の一般的物性の把握
		MSCT	14(14+ 0)	
	毛細管圧力測定(遠心分離法)		9(0+ 9)	貯留層性能(毛細管圧力曲線)の把握
遮蔽能力	孔径分布測定 (水銀ポロシメータ)	Core Ctgs	8(4+ 4) 26(10+16)	遮蔽層性能の把握
	水浸透率		4(2+ 2)	遮蔽層性能の把握
	ブレイクスルー圧力 (Hildenbrand 法)		4(0+ 4)	遮蔽層性能の把握、N ₂ ガスによる残差圧力測定
	三軸圧縮試験 (封圧下ヤング率・最大強度測定)		5 セット 20(20+ 0)	岩石強度の測定(坑内安定性・流体圧入設計および圧入流体挙動評価)
	一軸圧縮試験(大気圧下)		5(5+ 0)	岩石強度の測定(坑内安定性・弾性波探査データ解析)
	三軸圧縮試験 (弾性波速度測定・ポアソン比測定)		5(5+ 0)	岩石強度の測定(坑内安定性・弾性波探査データ解析)
相対浸透率 (コアフラッド試験)	孔隙率・空気浸透率(大気圧下・封圧下)、X線 CT 画像撮影		10(10+ 0)	上記試験目的に準ずる、一般的なコア試験との比較検討用データの測定
	水浸透率		5(0+ 5)	スタック編成・単体貯留岩プラグにて測定、全て no-flow
	水銀圧入法(Drainage)		2(1+ 1)	泥岩・貯留岩 各 1 プラグ測定
	N ₂ 圧入法(Drainage)		1(0+ 1)	N ₂ ガス-水系相対浸透率曲線、残留水・ガス飽和率 △P=1,000&2,000psi でフラッド、全て no-flow
	ブライン飽和		1(0+ 1)	上記N ₂ 圧入した試料をCO ₂ 圧入のためにブライン充填
	CO ₂ 圧入法(Drainage)		1(0+ 1)	超臨界CO ₂ -水系相対浸透率曲線、残留水・ガス飽和率 △P=1,000&2,000psi でフラッド、no-flow
	CO ₂ を用いる泥岩フラッド実験		2(0+ 2)	5 段階圧力(最大△P 約 11.7MPa)で加圧、全て no-flow
泥水試験 (濾液)	密度、動粘度		1(1+ 0)	検層データを補正する為の、原位置条件下での掘削泥水濾水の粘度の測定

※ctgs : 掘り屑 (cuttings)

d 物理検層による地質調査

コア試料分析は直接的ではあるが非連続的な分析方法であり、物理検層は、間接的であるが連続的なデータを比較的容易に取得可能な手法である。各坑径掘り止め時に以下の種目の物理検層を実施し、岩相や物性を評価するための基礎データを取得した。主な種目は、比抵抗、ガンマ線、見かけ密度、音波速度などである。物理検層の測定モード・対象区間は、それぞれの検層項目の目的に応じて決定した。図 3-10 に主な物理検層結果を示す。

的とし、9-5/8” ケーシングセット後に振老層（泥岩）に通常のリークオフ圧力だけではなく、フラクチャー閉合圧力までを測定するエクステンディッド・リークオフ・テスト（以下、「ELOT」）を実施した。CO₂圧入の際の圧入圧力設計に必要な遮蔽層のリークオフ圧力およびフラクチャー閉合圧力を求めた。

f 坑井掘削に関する付随調査（VSP調査）

坑井掘削に関する付随調査の一つとして、VSP調査を実施した。また、深部の滝ノ上層と同様にCO₂貯留層として期待される萌別層（深度約900m-1,300m）を主体とした浅層部の地下構造の概要把握を目的として、坑井敷地南側の道路に沿って約500mの短い簡易測線を設け、VSP調査を補完する調査として二次元反射法データを取得した。

今回のVSP調査によって、苫小牧CCS-1における走時-深度関係を取得することができた。これにより、坑井データと海域における弾性波探査との間のより精度の高い対比が可能となった。また、VSPデータの反射波イメージング処理によって、苫小牧3D（2009）と同（2010）を補完する地下構造情報を得ることができた。さらに、簡易的ではあるが坑井敷地南部での反射法データ取得によって、調査井近傍の萌別層を中心とする浅部の地下構造の概要把握が可能となり、かつ3Dデータと坑井データとを対応させることが可能となった。

g 圧入テストによる貯留層評価

圧入テストは、CO₂の圧入能力評価に必要なパラメータ（浸透率、圧入指数等）の把握を目的とし、滝ノ上層T1部層（苫小牧CCS-1では2,824~3,700mMD）及び萌別層砂岩層（苫小牧CCS-1では1,076~1,200mMD）を対象に圧入テストを実施した。

滝ノ上層T1部層については、圧入テストを実施したほぼ全ての区間で低浸透性であることを確認した。比較的高浸透性を有する区間でも浸透率は0.5~1mDという評価を得た。

萌別砂岩層については、圧入テストの解析結果より浸透率が数10mDの比較的高浸透率を有していると評価した。萌別層砂岩層に関しては、以下の調査を追加して実施することが必要との結論を得た。

- 1) 遮蔽層のリークオフテストおよび岩石コア試料の採取・分析
- 2) 貯留層の岩石コア試料の採取および地層流体の採取・分析

⑤ 調査井（苫小牧CCS-2）を活用した地質調査成果

a 調査目的

苫小牧CCS-2は、萌別層砂岩層を貯留対象層とした場合の遮蔽層（萌別層泥岩層）

および貯留層（萌別層砂岩層）のコア採取、ならびに遮蔽層の強度（地層破壊圧力：リークオフ圧力）を測定することを目的として掘削された。

b 坑井諸元

坑井名 : 苫小牧 C C S - 2

種別 : 調査井

所在地 : 北海道苫小牧市汐見町地先西港区土砂処分場

位置 : 坑口（世界測地系第Ⅱ系）

X=-152,952.064m、Y=-51,990.387m 標高=7.183m

坑底 垂直深度=1,218m 坑底偏距 = 0.00m

X=-152,952.064m、Y=-51,990.387m

使用リグ : TSL-1

作業期間 : 予定期間 : 2011 年 5 月 4 日～2011 年 6 月 29 日 (57 日間)

実績 : 2011 年 5 月 4 日～2011 年 6 月 23 日 (51 日間)

掘削深度 : 予定 1,200m (垂直井)

実績 1,218m (垂直井)

坑井位置 : 苫小牧 C C S - 2 は、苫小牧 C C S - 1 の坑口位置から東北東へ約 37m 離れた地点。

c 地質調査結果

萌別層砂岩層は、砂岩を主体とし、礫岩・シルト岩・泥岩を伴い、数十 cm～数 m オーダーの互層をなす。本層の特徴を以下に示す。

- 1) 三次元弾性波探査の結果から調査対象地域において層厚は 100m 程度と見込まれる
- 2) 周辺の陸上の取水井・石油井の掘削結果から良好な浸透率を有する帯水層であると見込まれる
- 3) 遮蔽層として萌別層砂岩層の上位に萌別層泥岩層が分布し、泥岩層の層厚が約 200m と見込まれる
- 4) 地層水塩分濃度に関しては、萌別層泥岩層を挟んで上位の鵲川層との間に明確な差があり、両層間で流体の導通が無いと見込まれる

苫小牧 C C S - 2 においては、萌別層砂岩層を対象として深度 992.66m～1,218.00m 間にて、直径 80mm のコア掘りを実施し、合計 218.70m のコア試料を採取した。これらのコ

ア試料に対し、各種分析を実施した。

本井と苫小牧 CCS-1 との比較のために、8-1/2"坑区間 ($\phi=215.9\text{mm}$) および PQ-WL コア掘削区間 ($\phi=139.8\text{mm}$) にて物理検層 (比抵抗値・ガンマ線値・SP 値・坑内温度) を実施した。

d リークオフテスト結果

深度 989～993m の萌別層泥岩層下部において、遮蔽層強度を測定することを目的としてリークオフテストを実施した。

e コア試料の室内試験

採取したコア試料の室内試験項目は表 3-8 に示す。

表 3-8 室内試験項目一覧 (CCS-2)

試験項目 [貯留層のみ、遮蔽層のみ]		個数	試験目的・摘要
岩石鉱物分析	蛍光 X 線 (XRF)	5	鉱物組成の把握 この他に、CCS-1 のカッティングス試料 7 個にて、萌別層砂岩層の分析を実施した
	薄片作成・観察 (ブルーレジンを圧入、ポイントカウンティング 1,000 点)	5	貯留層の鉱物組成の把握 (CO_2 との反応性の基礎データ、物理検層データ検証・補正用基礎データ) 貯留層の空隙状況の把握
岩石物性分析	コア記載・写真撮影・X 線 CT 画像撮影	218.70m	コアを構成する岩石の岩種・岩相・産状の把握
	孔隙率・空気浸透率 (常圧下)、粒子密度	55	コアを構成する岩石の一般的物性の把握
	孔隙率・空気浸透率 (封圧下)	54	コアを構成する岩石の一般的物性の把握
	毛細管圧力測定 (遠心分離法)	20	貯留層性能 (毛細管圧力曲線) の把握
	孔径分布測定 (水銀ポロシメータ)	10	遮蔽層性能の把握 (注: 別途、10 個をコアフラッド試験に付随して測定)
	水浸透率	4	遮蔽層性能の把握
	スレシヨルド圧力	1	遮蔽層性能の把握、 N_2 ガスによる段階昇圧法
	ブレイクスルー圧力 (Hildenbrand 法)	4	遮蔽層性能の把握、 N_2 ガスによる残差圧力測定
	水銀圧入法 (孔隙率・浸透率・孔径分布測定)	10	上記試験目的に準ずる、一般的なコア試験との比較検討用データの測定
相対浸透率 (コアフラッド試験)	スレシヨルド圧力	2	遮蔽層性能の把握、超臨界 CO_2 による段階昇圧法
	ブレイクスルー圧力 (Hildenbrand 法)	2	遮蔽層性能の把握、超臨界 CO_2 による残差圧力測定
	弾性波測定	3	原位置温度・圧力条件下で、地質試料に超臨界 CO_2 を注入するコアフラッド試験中に P 波速度を測定する
	CO_2 圧入法	2	超臨界 CO_2 -水系相対浸透率曲線、残留水・ガス飽和率

⑥ 調査成果のまとめ

CCS-1 と CCS-2 の地質調査結果から滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層の貯留層の性状、ならびに振老層および萌別層泥岩層の遮蔽層の性状についてまとめた結果を表 3-9～3-12 に示す。

表 3-9 滝ノ上層 T 1 部層 貯留層性状

項 目	
対象深度	約2,400～3,000m(垂直深度)
層厚	約600m
岩相	溶岩～凝灰角礫岩、凝灰岩
孔隙率	5～18%(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下) 3～19%(周辺坑井のコア試験:封圧下)
浸透率	0.68～1.18mD(苫小牧CCS-1圧入テスト解析結果)* 0.001～0.01mD(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下、空気) 0.002～7mD(周辺坑井のコア試験:封圧下) 0.01mD～2.6D(坑井Aでの物理検層解析結果)
水圧入テスト (苫小牧CCS-1)	最大650kl/日(掘削深度2,907～3,698mのうち186m)*

*圧力・温度測定結果から圧入区間は 2,907～2,931m のみと判断した。

表 3-10 滝ノ上層 T 1 部層 遮蔽層性状

項 目	
層序	振老層および平取+軽舞層
岩相	泥岩
層厚	約1,100m
孔隙率	12.4～18.0%(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下)
浸透率	$8.2 \times 10^{-6} \sim 36.7 \times 10^{-6}$ mD(苫小牧CCS-1コア試験:水浸透率)
スレシヨルド圧力	1.29～12.3MPa※以上(苫小牧CCS-1コア試験:N ₂ -水系残差圧力法) 11.72MPa※以上(苫小牧CCS-1コア試験:CO ₂ -水系段階昇圧法) ※ブレイクスルーしなかったことから測定値以上のスレシヨルド圧力を有すると判断。
リークオフ圧力 (苫小牧CCS-1 リークオフテスト)	45.3MPa(等価泥水比重1.96) (振老層(苫小牧CCS-1)2,352mVD(垂直深度))

表 3-11 萌別層砂岩層 貯留層性状

項 目	
対象深度	約1,100～1,200m(垂直深度)
層厚	約100m
岩相	砂岩(礫質砂岩、シルト岩を伴うファンデルタ堆積物)
孔隙率	25～40%(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下) 20～40%(物理検層解析結果)
浸透率	9～25mD(苫小牧CCS-1圧入テスト解析結果) 1～1,000mD(苫小牧CCS-2コア試験:封圧下、空気) 1～120mD(物理検層解析結果)
水圧入テスト (苫小牧CCS-1)	最大1,200kl/日(掘削深度1,077～1,217mのうち57.5m)

表 3-12 萌別層砂岩層 遮蔽層性状

項 目	
層序	萌別層泥岩層(萌別層上部)
岩相	シルト岩～泥岩
層厚	約200m
孔隙率	32.4～37.2%(苫小牧CCS-2コア試験:封圧下)
浸透率	$0.80 \times 10^{-3} \sim 1.73 \times 10^{-3}$ mD(苫小牧CCS-2コア試験:水浸透率)
スレシールド圧力	0.75, 1.65, 1.67MPa(苫小牧CCS-2コア試験:CO ₂ -水系段階昇圧法)
リークオフ圧力 (苫小牧CCS-2 リークオフテスト)	14.6MPa(等価泥水比重:1.50) (萌別層泥岩層(苫小牧CCS-2)991mVD(垂直深度))

(3) 数値シミュレーションによる貯留後のCO₂挙動予測

貯留層総合評価の精度を向上させるためには、新たな地質データの取得に応じて地質モデルの精度を向上させ、CO₂挙動予測シミュレーションを実施し、必要となる地質調査の実施を繰り返すことが重要である。平成 21 年度から平成 23 年度に、三次元弾性波探査と調査井掘削による最新の地質データの取得に応じ、下記の 4 段階の地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーションを実施した。

- 1) 既存データを用いた地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーション (その 1) :
三次元弾性波探査を行う前に実施
- 2) 三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーション (その 2) :
2009 年 10 月から行った苫小牧 3 D (2009) のデータ取得後に実施
- 3) 追加三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーション (その 3) :
2010 年 7 月から行った苫小牧 3 D (2010) のデータ取得後に実施
- 4) 調査井掘削での取得データを用いた地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーション (その 4) :
2010 年 11 月に行った調査井 (苫小牧 CCS-1 および CCS-2) 掘削による地質調査のデータ取得後に実施

① 既存データを用いた地質モデル構築と CO₂ 挙動予測シミュレーション (その 1)

a 調査目的

苫小牧 3 D (2009) の実施に先行して、滝ノ上層 T 1 部層への想定量の CO₂ 貯留の可能性について評価・検討を行うために、(2)①b の地質・貯留層の火山層序学的な総合評価の結果と、既存の弾性波探査データおよび坑井データとを用いて地質モデルを構築し、シミュレーションを実施した。具体的な実施項目は以下の通り。

- 1) 苫小牧沖を中心とした地域を対象に、二次元弾性波探査データや坑井データを用い、地質構造解釈および物性解釈を行い、解釈の不確実性についての検討を行う。
- 2) それらをふまえて、圧入想定地点を含めたより広い範囲のモデルを構築する。
- 3) 広い範囲のモデルにおける検討をふまえ、遮蔽層および貯留対象層に関する複数の三次元地質モデルを構築する。
- 4) 構築したモデルを用いて CO₂ 挙動予測シミュレーションを実施する。

b 調査結果

図 3-11 と図 3-12 に地質モデル構築と CO_2 挙動予測シミュレーション結果の一例を示す。

本検討で得られた、地質モデルおよび CO_2 挙動予測シミュレーションについての評価を以下に示す。

- 1) 苫小牧沖地域において、 CO_2 貯留対象層である滝ノ上層 T 1 部層について既存坑井データ等を用いて地質解釈を行い、圧入層の岩石学的な特徴を検討した結果、滝ノ上層 T 1 部層は流紋岩質と安山岩～玄武岩質の火山岩類からなり、溶岩、凝灰岩およびそれらが様々な割合で混合する凝灰角礫岩から構成され、溶岩～凝灰角礫岩は、凝灰岩に比べて低い孔隙率を持つ反面、浸透率は高い傾向にあることがわかった。ただし、これらの岩相ユニットを坑井間で対比するには不確実性があることから、空間的な分布予測が難しいことが確認された。
- 2) 既存坑井における圧力データ解析からは、滝ノ上層 T 1 部層ではその上位層と比べて地層圧力勾配が明らかに大きいことから、上位層とは圧力的に隔離されているものと判断される。また、地層水塩分濃度の鉛直方向の変化からも、滝ノ上層上位の振老層泥岩層は良好な遮蔽層であると判断される。
- 3) 圧入された CO_2 は、時間の経過とともに、浮力によって背斜構造上位方向にわずかに移動するものの、残留トラップと地層水への溶解トラップの効果によって、1,000 年間経過した後も大きく移動することはないと予測される。
- 4) ここで用いた二次元弾性波探査と坑井データだけでは、滝ノ上層 T 1 部層の各岩相分布を明らかにするためには十分とは言えず、 CO_2 の圧入挙動および挙動予測結果には様々な不確実性が残されている。今後、調査井を掘削することによって CO_2 圧入予定地点周辺の岩相分布等に関する地質情報を蓄積し、三次元弾性波探査等を実施することによって火山岩類の岩相分布、特に浸透率が比較的良好な溶岩～凝灰角礫岩の分布形態および連続性をより高い精度で予測することが必要である。
- 5) 本検討作業実施時点では、圧入対象地域における滝ノ上層 T 1 部層の CO_2 -水系相対浸透率、毛管圧力、残留 CO_2 飽和率等の基本的なデータが得られておらず、調査井のコア試料を用いてこれらのデータを取得することが不可欠である。また、遮蔽層の物性に関してもコア試料を用いてデータを取得する必要がある。

ここでの検討は、既存の二次元弾性波探査データおよび坑井データに基づいたものであり、あくまで初期段階の検討であることから、三次元弾性波探査データおよび調査井掘削により得られる地質データを加味した検討を行うことにより、シミュレーション精度を向上することが可能と考えられる。

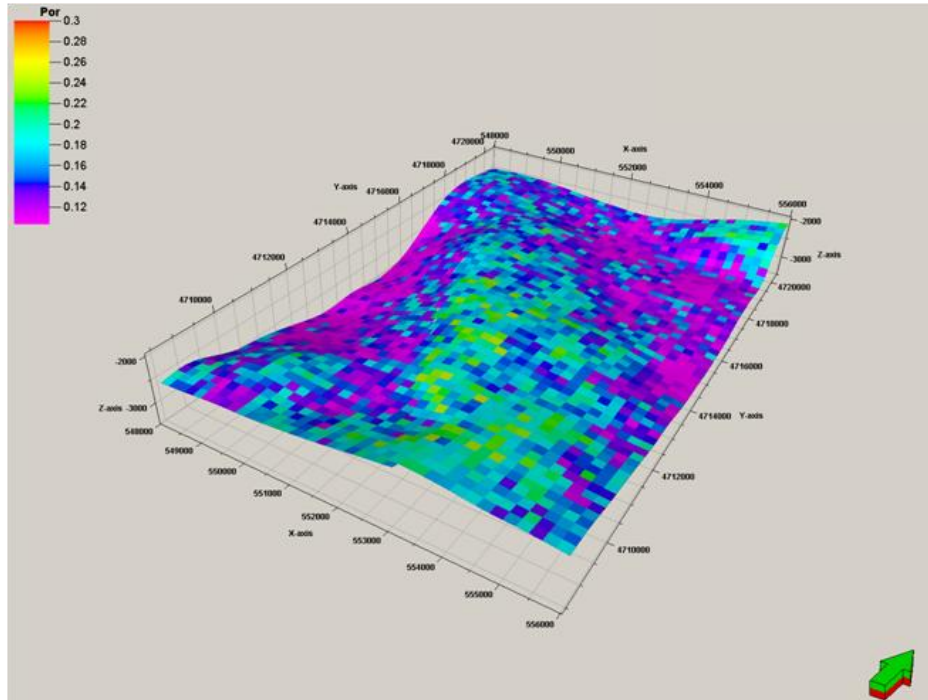


図 3-11 ランダムモデルにおける滝ノ上層T1 部層上限の孔隙率分布
(グリッドスケール：500m)

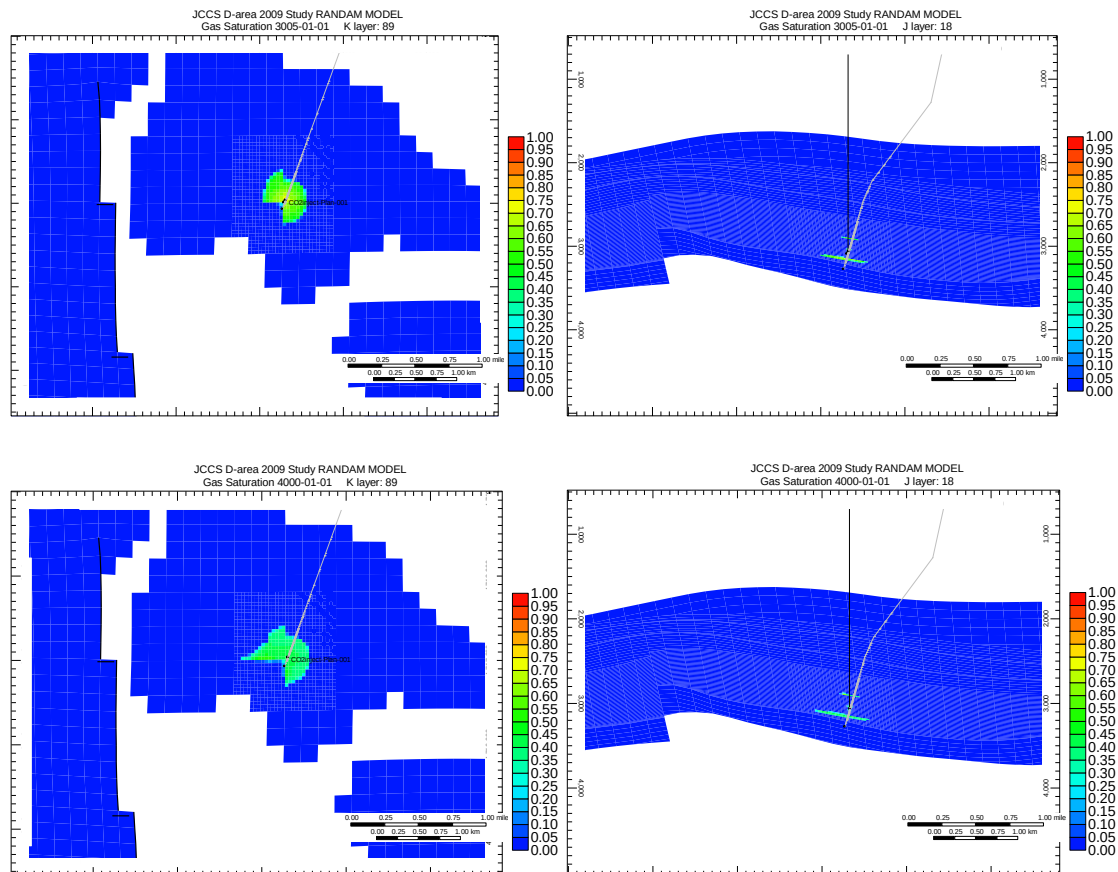


図 3-12 CO_2 飽和率の変化の例(滝ノ上層 T 1 部層)

(上：圧入終了時(圧入開始 5 年後) 下：圧入開始 1,000 年後)

(左：平面分布(高浸透率層 72) 右：東西断面)

② 三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築と CO_2 挙動予測シミュレーション (その 2)

a 調査目的

地質モデル構築と CO_2 挙動予測シミュレーション(その 1)において滝ノ上層 T 1 部層を圧入対象層として構築した地質モデルに使用した各岩相分布は、異方性を表現するには十分なものとは言えず、シミュレーションの予測結果には様々な不確実性が残されていた。2009 年 10 月～11 月に実施された苫小牧 3 D (2009)により新たなデータが得られたことから、このデータを使用して滝ノ上層 T 1 部層での地質モデルをより詳細なものへと改良し、より高精度な地質モデルを構築して CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。

b 調査結果

図 3-13 と図 3-14 に地質モデル構築と CO_2 挙動予測シミュレーション結果の一例を示す。

地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その2）の検討で得られた、地質モデルおよびCO₂挙動予測シミュレーションについての評価を以下に示す。

- 1) 苫小牧3D(2009)データを解釈することで、既存の二次元弾性波探査記録のみを用いた解釈結果に比べて、より詳細な地質構造形態および内部構造が明らかとなった。滝ノ上層T1部層は、上部の凝灰岩卓越層と下部の火山岩卓越層とに分けられる。T1部層上部は下位層に対して傾斜して重なり、T1部層上部の基底および同層下部の基底の構造形態は滝ノ上層上限のそれとは異なる。
- 2) 苫小牧3D(2009)データを用いて音響インピーダンスを求めるための逆解析を実施した。その結果、滝ノ上層内に低インピーダンスを示す層の存在が認められた。ただし、苫小牧3D(2009)の範囲には参照する坑井Aが入っておらず、疑似坑井を範囲内に想定し解析を行ったために不確実性が残る。また、SOM (Self-organizing Maps: 自己組織化マップ) 解析による波形分類とクラスター解析の代表的な手法であるK-means 解析を用いて、滝ノ上層内の溶岩～凝灰角礫岩の分布領域を推定した。この際、使用したデータに坑井Aが含まれていないため、上記同様に不確実性が残る。
- 3) CO₂圧入に適すると考えられる孔隙体積の最大・平均・最小の3種類の地質モデルを用いてCO₂挙動予測シミュレーションを行ったところ、全てのモデルにおいて25万トン/年のCO₂圧入が可能との結果が得られた。CO₂は高浸透率層に選択的に圧入され、構造的に傾斜上位側である南西方向に拡がるという結果が得られた。また、上位泥岩層への浸透は認められなかった。さらに、圧入開始200年後以降は圧入されたCO₂の移動はほとんどなかった。
- 4) 苫小牧3D(2009)で得られた結果から岩相の異方性に関しては、（その1）での検討より改善した。しかし、前述のように苫小牧3D(2009)の対象地域内に探査結果と照合するための坑井Aが入っていないことから、地質モデルには不確実性が残る。

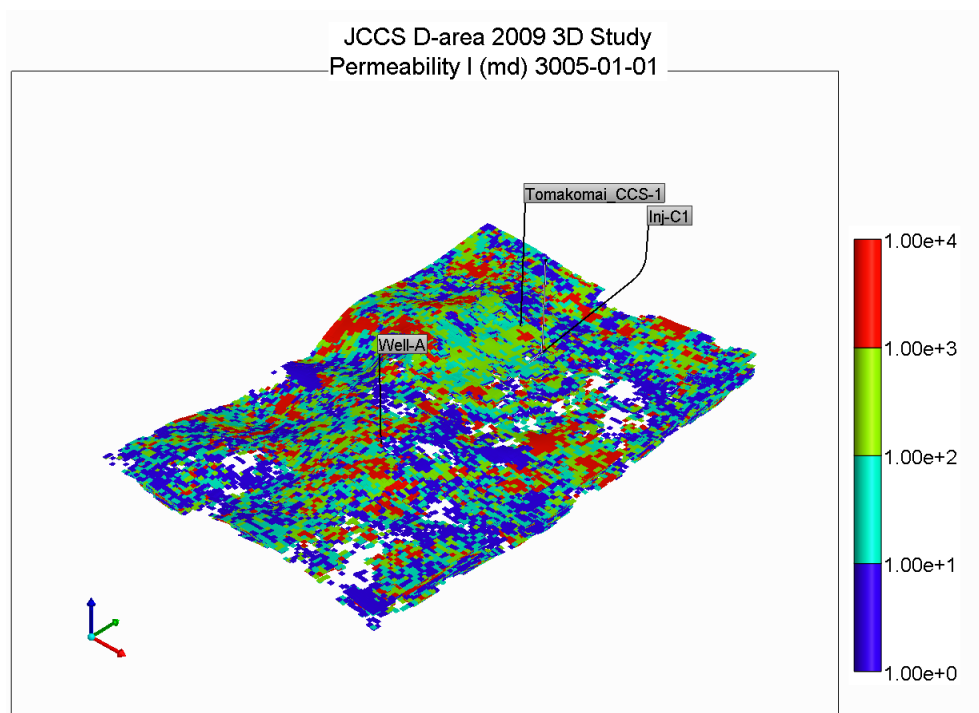


図 3-13 構築した地質モデル（浸透率（単位：mD））の一例

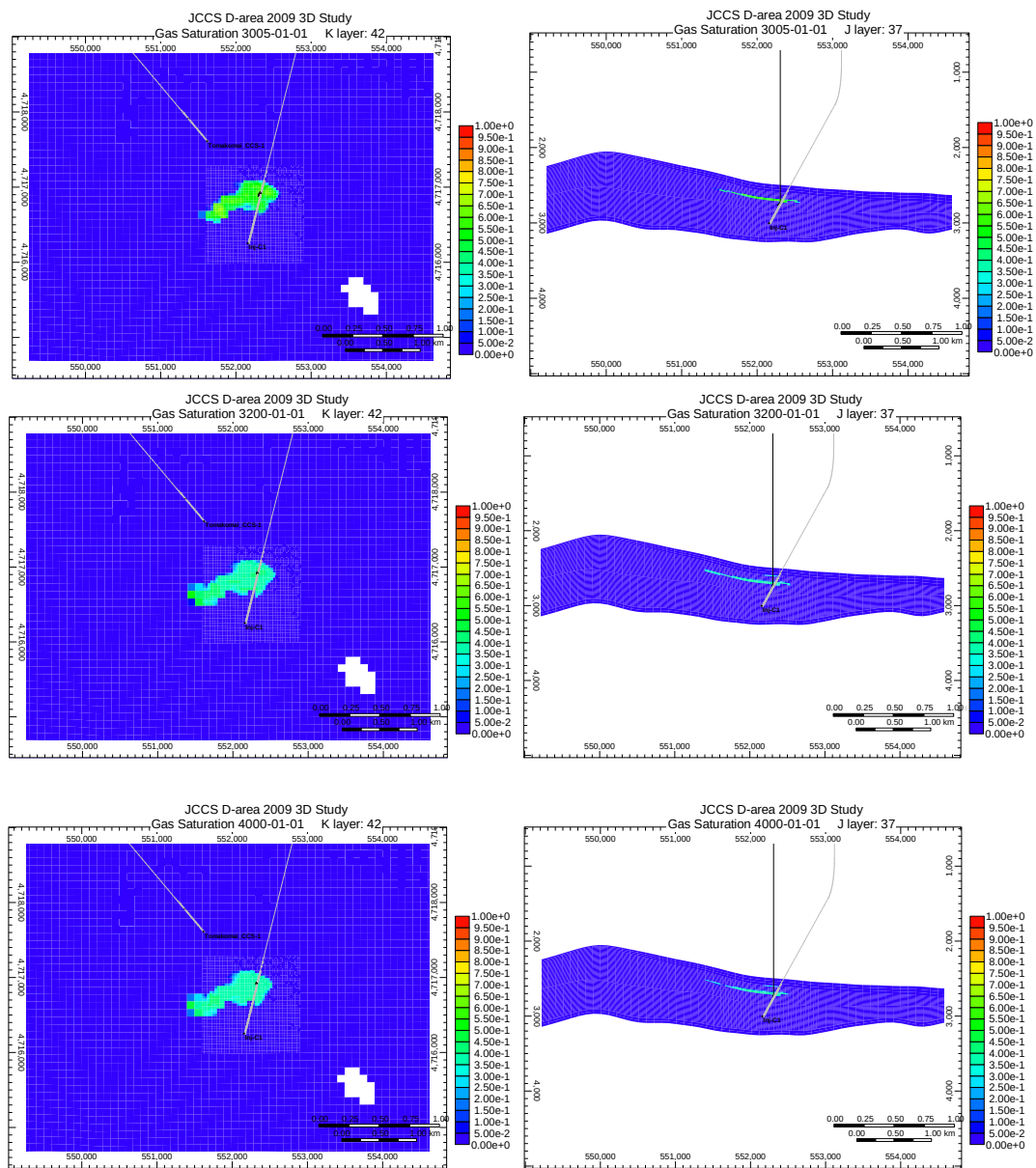


図 3-14 CO_2 飽和率の変化の一例

(上 : 圧入終了時 (5 年後) 中 : 200 年後 下 : 1,000 年後)

(左 : CO_2 飽和率の平面分布(高浸透率層 42) 右 : 東西断面)

③ 追加三次元弾性波探査データを用いた地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その3）

a 調査目的

地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その2）と同様に滝ノ上層T1部層を貯留対象層として、坑井Aが範囲内に含まれている苫小牧3D(2010)の結果を追加してデータ解析および解釈を実施し、地質モデルの精度を向上させ、CO₂挙動予測シミュレーションを実施した。

b 調査結果

図3-15と図3-16に地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション結果の一例を示す。

地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その3）の検討で得られた、地質モデルおよびCO₂挙動予測シミュレーションについての評価を以下に示す。

- 1) 苫小牧3D(2009)に苫小牧3D(2010)を加えて三次元的な構造解釈を行った。その結果、苫小牧3D(2009)のみを用いた構造解釈で滝ノ上層は水平方向に比較的連続性の良い岩相からなることが推定されていたが、本検討によって、滝ノ上層T1部層上部にはドーム構造があり、その周辺で高い孔隙率および浸透率が期待できる岩相が分布している可能性があることがわかった。また、萌別層にも砂礫岩層が発達している可能性が示唆され、その砂礫岩層は北東部を中心に発達していると考えられる。
- 2) 苫小牧3D(2010)データを用いて音響インピーダンスを求める逆解析を実施した。苫小牧3D(2010)の範囲には坑井Aが入っているため、苫小牧3D(2009)のみを用いた解析よりも信頼性の高い結果が得られた。解析結果から、坑井Aで確認された低インピーダンスの領域は北側にもある程度広がっていることが確認された。今後、苫小牧CCS-1坑井の詳細解析結果を加えて再度音響インピーダンスを求める逆解析を実施することで低インピーダンスの領域の広がりをより詳細に把握することが可能と考えられる。また、前述のSOM解析による波形分類とK-means 解析を用いて、滝ノ上層内の溶岩～凝灰角礫岩の分布領域を推定した。上記同様に苫小牧3D(2010)の範囲には坑井Aが入っているため、苫小牧3D(2009)のみを用いた解析よりも信頼性の高い結果が得られた。
- 3) CO₂挙動予測シミュレーションにより 25 万トン／年のCO₂を圧入可能との結果が得られた。圧入終了時の圧力上昇量による序列で5番目(P10)、25番目(P50)、46番目(P90)の3種の地質モデルを取り上げ、貯留CO₂の挙動予測シ

ミュレーションを実施した。C O₂は高浸透率層に選択的に圧入され、構造的にアップディップ（傾斜上位）側である西方向に広がるという結果が得られた。また、上位泥岩層への浸透はほとんど認められなかった。さらに、圧入開始1,000年後では圧入開始200年後と比較して圧入されたC O₂の移動はほとんどなかった。

この地質モデルは、調査井の掘削により得られたデータ（コア分析結果・物理検層データ等）を使用して更なる改良を図り、C O₂挙動予測シミュレーションを実施し、貯留対象層としての評価を行う必要がある。

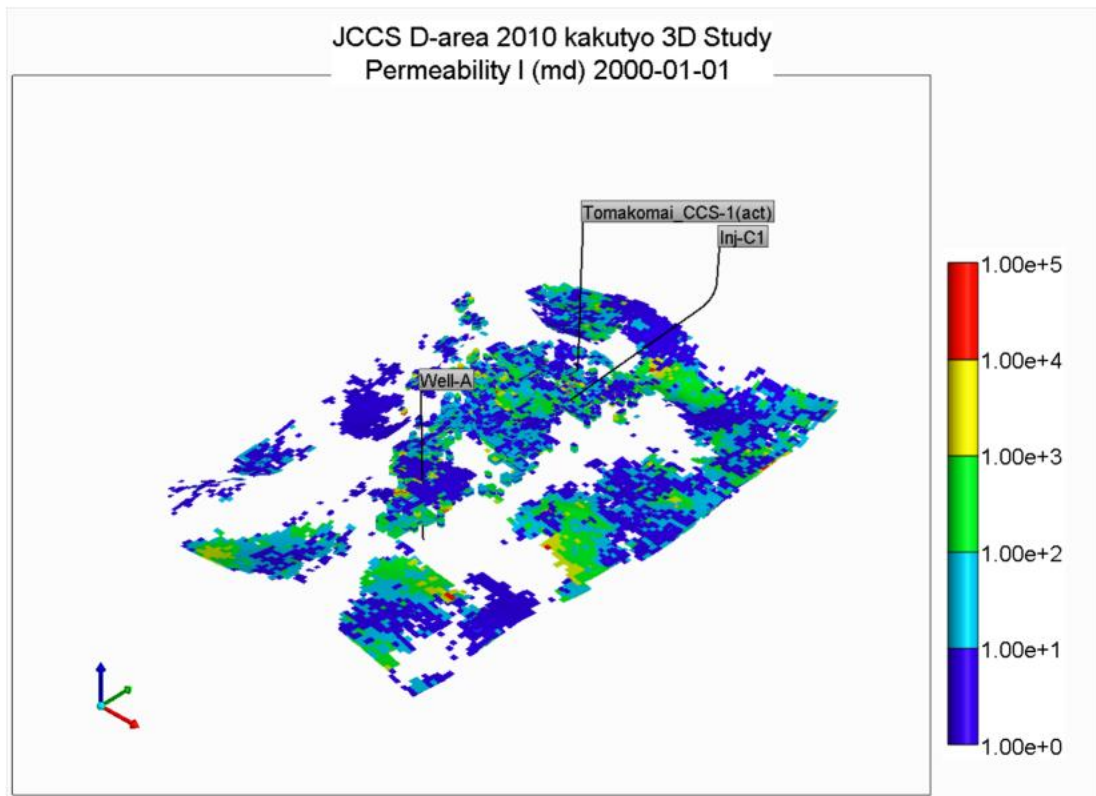


図 3-15 構築した滝ノ上層 T 1 部層の地質モデル（浸透率（単位：mD））の一例

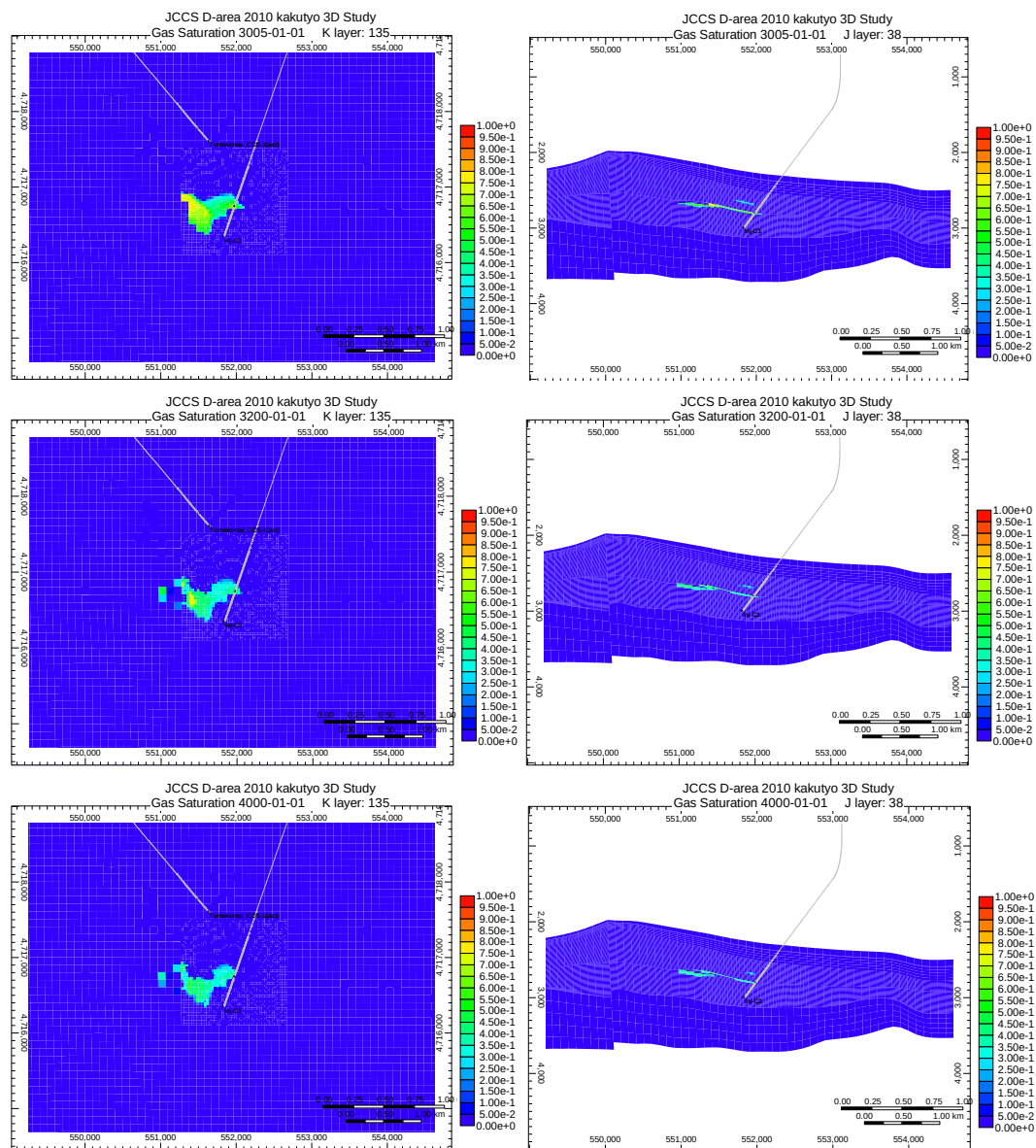


図 3-16 CO₂飽和率の変化の一例（滝ノ上層 T1 部層）
 （上：圧入終了時（5 年後） 中：200 年後 下：1,000 年後）
 （左：CO₂飽和率の平面分布（高浸透率層 135） 右：東西断面）

④ 調査井掘削での取得データを用いた地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その4）

a 調査目的

これまでの調査データに加えて調査井（苫小牧CCS-1および苫小牧CCS-2）の掘削によって得られた物理検層データ、コア試料分析データなどを用いて地質モデルを修正し、CO₂挙動予測シミュレーションを実施した。なお、滝ノ上層T1部層および萌別層砂岩層を圧入対象層として作業を実施した。

滝ノ上層T1部層は、苫小牧CCS-1で得られたデータを追加して、三次元弾性波データの解釈、震探相解析を行い、地質モデルの精度を向上させた。萌別層砂岩層は、苫小牧CCS-1およびCCS-2で取得したデータおよび3Dデータを用いて地質構造解釈および堆積相解析を行い、それらのデータに基づいて地質モデルを構築した。

構築した地質モデルを用い、シミュレーションによってCO₂挙動予測を行った。この結果をふまえて苫小牧地点における貯留層総合評価を実施した。

b 調査結果

図3-17～図3-20に地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション結果の一例を示す。

地質モデル構築とCO₂挙動予測シミュレーション（その4）の検討で得られた、地質モデルおよびCO₂挙動予測シミュレーションについての評価を以下に示す。

- 1) 滝ノ上層T1部層の圧入対象層は、溶岩～凝灰角礫岩相と凝灰岩相とに大別され、凝灰岩相では貯留層としてそれほど良好な性状は期待できないが、溶岩～凝灰角礫岩相では良好な性状が期待できる。
- 2) 滝ノ上層T1部層の上位には主に泥岩からなる層厚約1,100mの振老層および平取+軽舞層が分布する。調査データから、苫小牧沖構造の西翼を通る断層が存在するものの、振老層および平取+軽舞層は良好な遮蔽性能を有する地層であると期待できる。
- 3) 滝ノ上層T1部層を圧入対象層とした場合の貯留層の性能、遮蔽層の性能を評価するため、25万トン/年×3年間のCO₂を圧入し、圧入終了後997年間（圧入開始から1,000年間）のCO₂挙動を予測するシミュレーション実施した。シミュレーションの結果をまとめると、以下の通りである。
 - ・作成した50個のモデルの全てにおいて25万トン/年×3年間の圧入は可能であった。
 - ・気相CO₂の拡がりとは圧入終了時点で、圧入井から水平にP10モデルで約

- 600m 程度、P50 モデルで 450m 程度、P90 モデルで約 400m 程度であった。
- ・溶解 CO_2 の拡がりとは圧入終了時点で、P10 モデルで約 800m 程度、P50 モデルで 700m 程度、P90 モデルで約 500m 程度であった。
 - ・3 つのモデルでは遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）への CO_2 の到達は確認されなかった。
- 4) 滝ノ上層 T1 部層は堆積岩と比較して不均質性・異方性が高く、掘削後の解析結果から苫小牧 CCS-1 を掘削した領域は滝ノ上層 T1 部層の高 AI（低孔隙率、低浸透率）領域であることが確認された。今後、滝ノ上層 T1 部層の低 AI（高孔隙率、高浸透率）領域に掘削すれば、十分な圧入性能を期待できると考えられる。
- 5) 萌別層砂岩層は、沖合に前進しながら陸棚に堆積したファンデルタからなり、砂岩を主体とし、砂礫岩、シルト岩を伴う。緩やかな西傾斜で安定的に堆積し、層厚は約 100m である。砂礫岩は北東部を中心に発達していると解釈される。
- 6) 萌別層泥岩層は、萌別層砂岩層の上位に安定して堆積したと考えられる層厚約 200m のシルト岩～シルト質泥岩からなる。貯留対象領域で十分な厚さがあり良好な遮蔽性能が期待される。
- 7) 萌別層砂岩層を圧入対象とした場合の貯留層の性能、遮蔽層の性能を評価するため、25 万トン/年×3 年間の CO_2 を圧入し、圧入終了後 997 年間（圧入開始から 1,000 年間）の CO_2 挙動を予測するシミュレーション実施した。
- 8) シミュレーションの結果をまとめると、以下の通りである。
- ・7 つのケース中 6 ケースで 25 万トン/年×3 年間（累計圧入量：75 万トン）の圧入は可能であった。貯留層の浸透率を 9mD とした低浸透率ケースでは 3 年間で累計圧入量が 45.2 万トン（平均 15.0 万トン/年）であることを確認した。
 - ・気相 CO_2 の拡がりとは、圧入井に沿って水平方向に南北 600m 程度、東西 400m 程度までであり、溶解 CO_2 の拡がりとは南北に 800m 程度、東西 800m 程度までであった。
 - ・遮蔽層（萌別層泥岩層）については、遮蔽層の下限のセルに溶解 CO_2 の状態で CO_2 は存在するものの、それより上位への移動はないことを確認した。

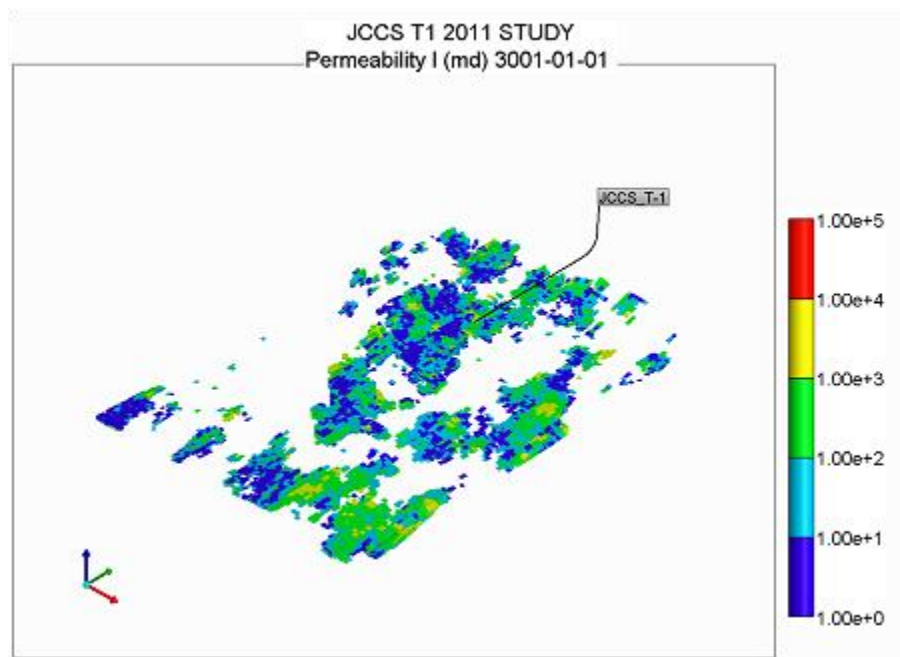


図 3-17 構築した滝ノ上層 T 1 部層の地質モデル（浸透率（単位：md））の一例

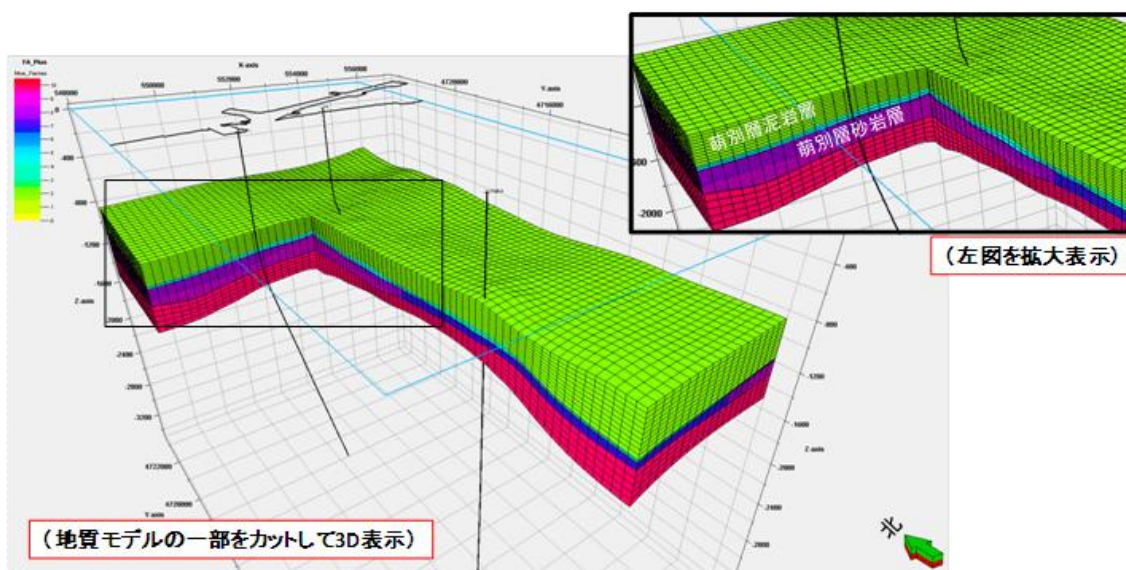


図 3-18 構築した萌別層砂岩相の地質モデル（岩相区分）の一例
 （萌別層砂岩層は砂岩なので、一様に拡がっているとして孔隙率・浸透率を与えた。）

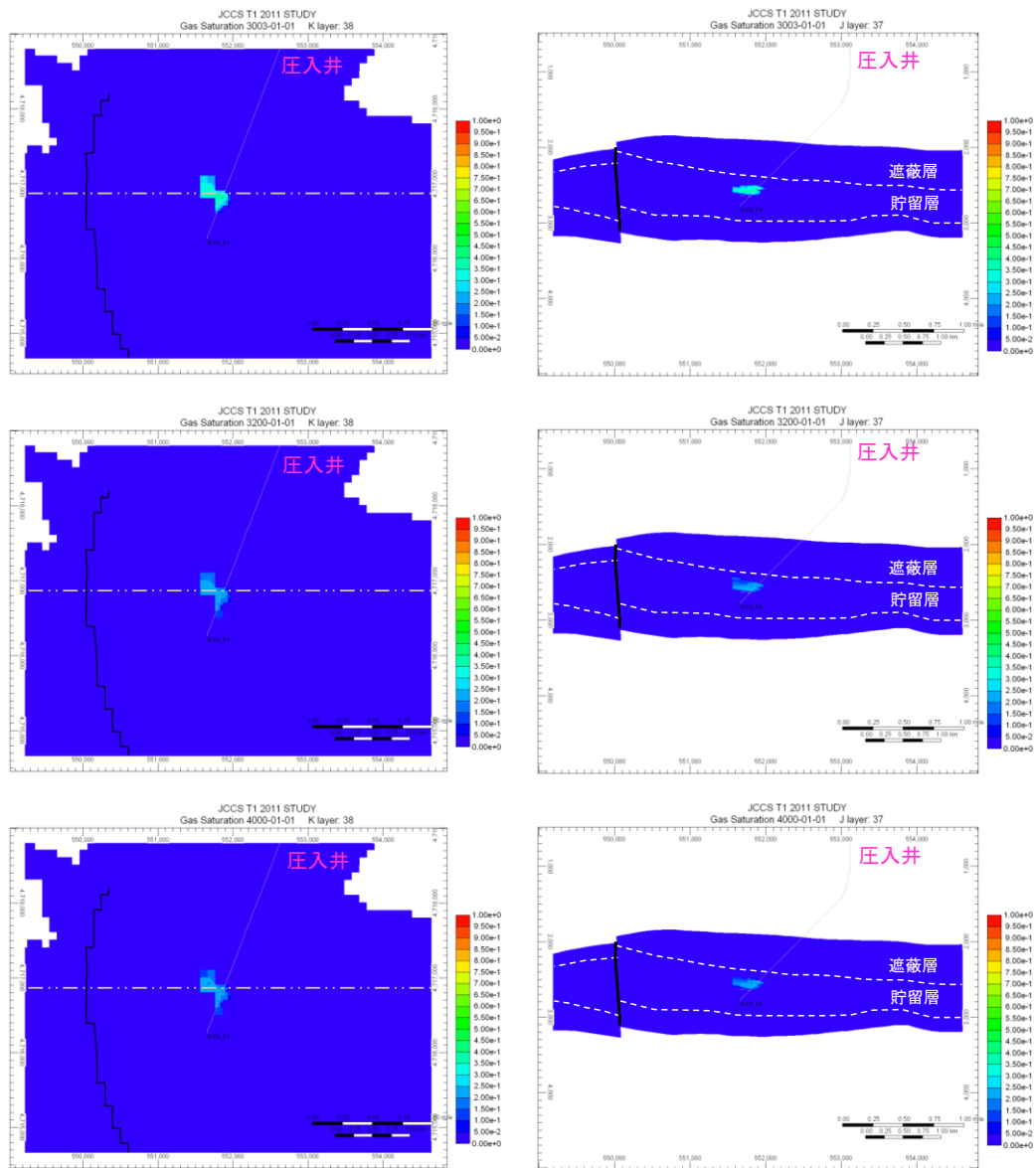


図 3-19 CO_2 飽和率の変化の一例（滝ノ上層 T 1 部層：P50 case）

（上：圧入終了時（5 年後） 中：200 年後 下：1,000 年後）

（左： CO_2 飽和率の平面分布（高浸透率層 135） 右：東西断面）

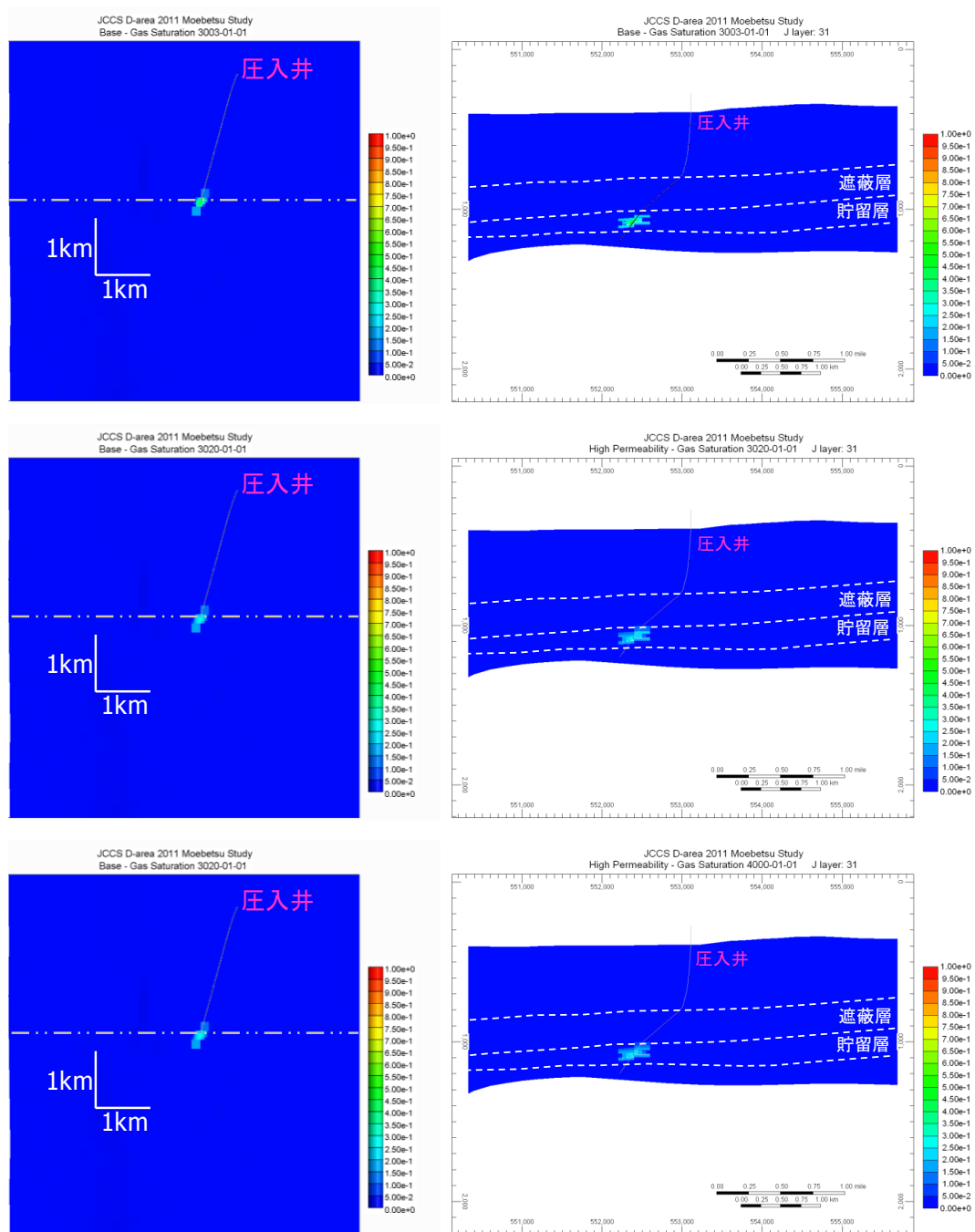


図 3-20 CO_2 飽和率の変化の一例（萌別層砂岩層、ベースケース）

（上：3 年後 中：20 年後 下：1,000 年後）

（左：平面分布（k 方向セル 28） 右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））

⑤ まとめ

これまで、既存地質データ、三次元弾性波探査データおよび調査井掘削での取得データを用いて、新規データが追加される度に地質モデルを改良し、シミュレーションによるCO₂挙動予測を実施した。取得データおよびシミュレーション結果を総合的に判断し、苫小牧地点の貯留対象層である滝ノ上層T1部層および萌別層砂岩層のCO₂貯留に関する適性について評価し、貯留層総合評価として取りまとめを行った。滝ノ上層T1部層については、CO₂の25万トン/年×3年間（累計圧入量75万トン）の圧入は可能であり、遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へのCO₂の拡がりはないと評価する。また、萌別層砂岩層については、貯留層の浸透率が低い場合以外は、25万トン/年×3年間（累計圧入量：75万トン）の圧入は可能と評価する。また、遮蔽層（萌別層泥岩層）へのCO₂の拡がりもないと評価する。

(4) 貯留層周辺環境の評価

ここでは、苫小牧周辺のテクトニクス、応力分布、断層分布、地震活動などの貯留層周辺をとりまく地質環境について記述する。

① 北海道周辺のテクトニクス概要

苫小牧周辺のテクトニクスは、西方に向かって前進する北北西－南南東方向の褶曲・衝上断層帯で特徴づけられる（図 3-21）。この褶曲・衝上断層帯は、中新世に始まった東北日本弧と千島弧の衝突によって形成された日高衝突帯の西側前縁部に位置している。

地表で最も西側に確認されるのは、馬追断層に代表される断層群である。また、馬追断層の西側に複数の伏在衝上断層が推定されている。これらの断層群は、南北に延びる活断層である「石狩低地東縁断層帯」を形成している。

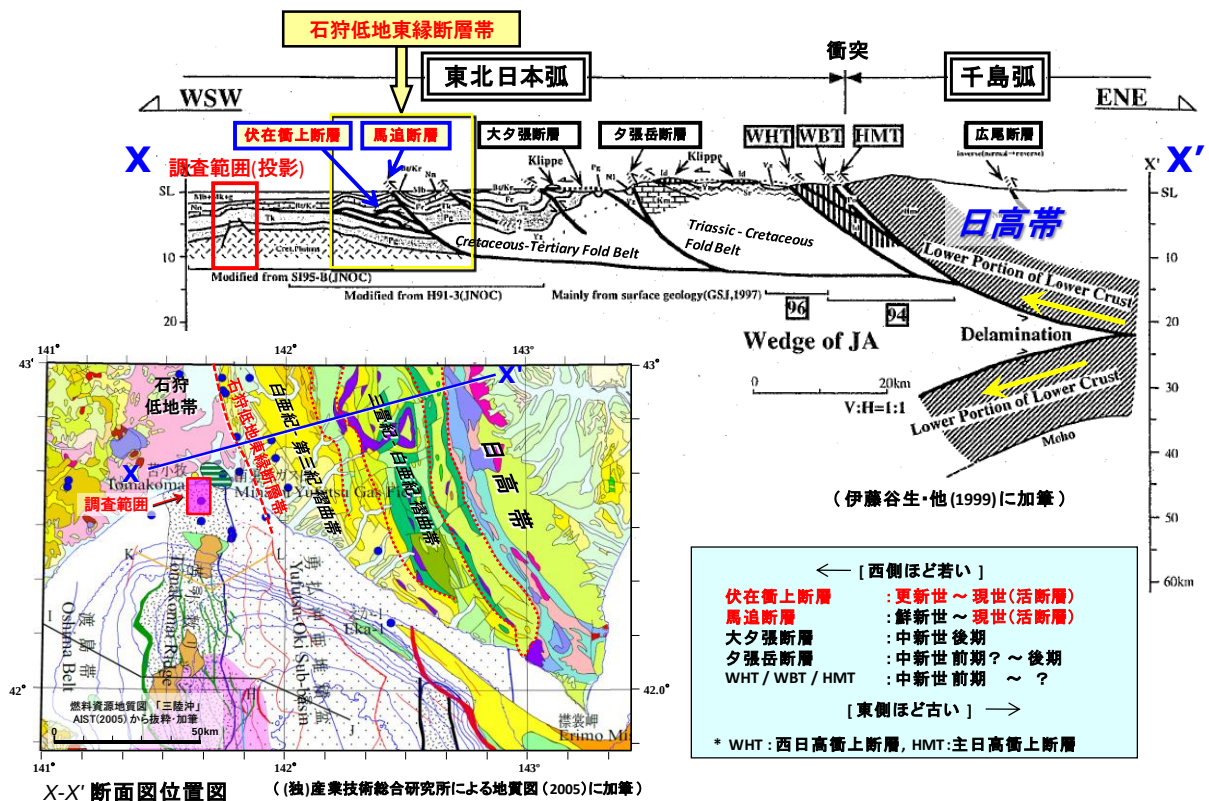


図 3-21 苫小牧周辺のテクトニクス概要

② 北海道周辺の地殻応力分布

図 3-22 は、地殻応力データベース World Stress Map と国土地理院の G P S 観測点網 (GEONET) から求めた北海道地域の応力分布図および札幌を固定点とした変位速度図である。太平洋とユーラシアの両プレートが衝突している道南東部-日高山脈南部における変位速度は、この衝突と整合的である西から西北西への変位が顕著であり、南東ほど大きく年

間 20mm 以上に達している。道北部から苫小牧-室蘭に至る地域では変位は小さい。また応力分布は日高山脈南端付近に逆断層型の東西圧縮を示すデータがあり、変位速度ベクトルとも調和的である。

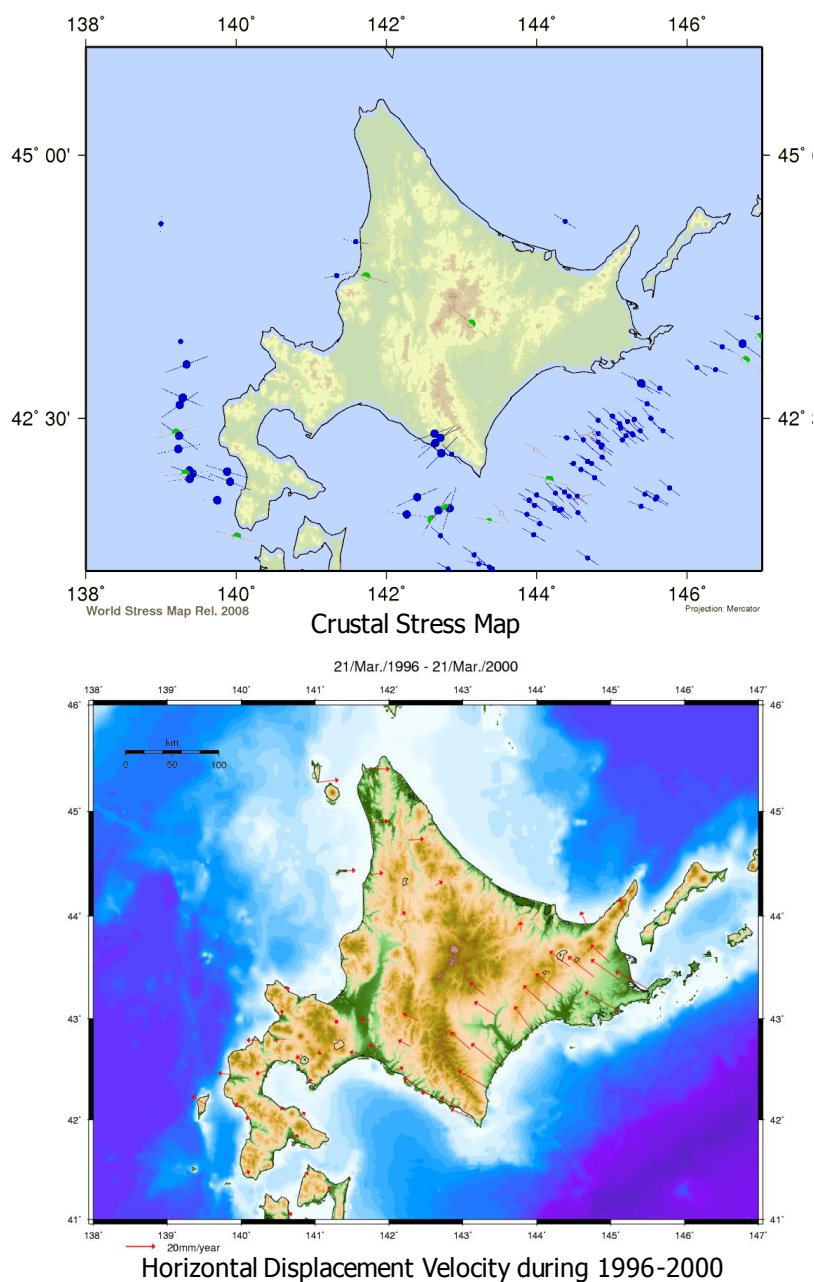


図 3-22 北海道地域の地殻応力分布図（上）および水平変位速度分布図（下）

③ 北海道周辺および苫小牧周辺の地震活動

北海道周辺では、震源が約 100km 以深のプレート境界型と、約 40km 以浅の内陸型の 2 タイプの地震活動がある。プレート境界型地震は、千島海溝-日本海溝に沿って津波を伴うマグニチュード (M) 8 クラスの地震が繰り返し発生している (図 3-23)。

苫小牧周辺における 1998 年～2008 年の地震活動を図 3-24 に示す。震源分布断面図から、プレート境界型との内陸地震の 2 タイプの地震活動があることが明瞭である。平面分布図から圧入想定地点周辺の地震活動度は、他の地域とほとんど差異はないことがわかる。苫小牧市南西側には樽前山などの活火山があり、群発地震が発生することがあるが、ほとんどの地震は M5 以下であり、1～3 ヶ月の比較的短い期間で収まることが多いが、1 年を超えることもある（札幌管区気象台火山活動解説資料による）。

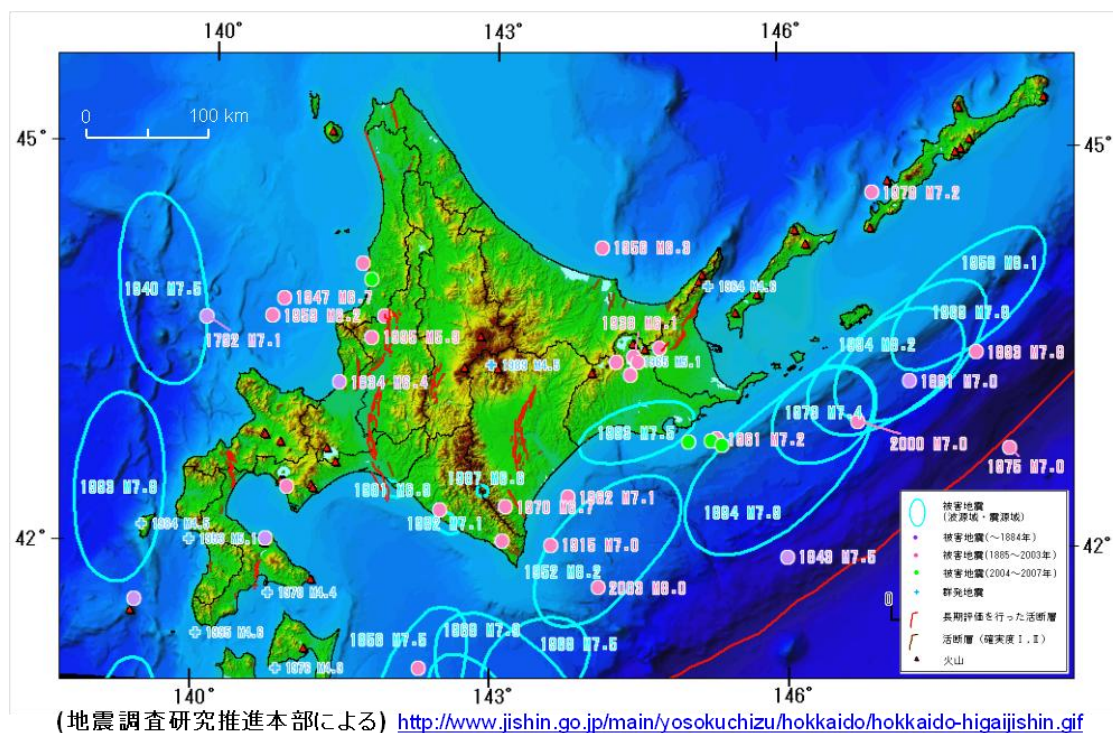


図 3-23 北海道周辺の地震活動

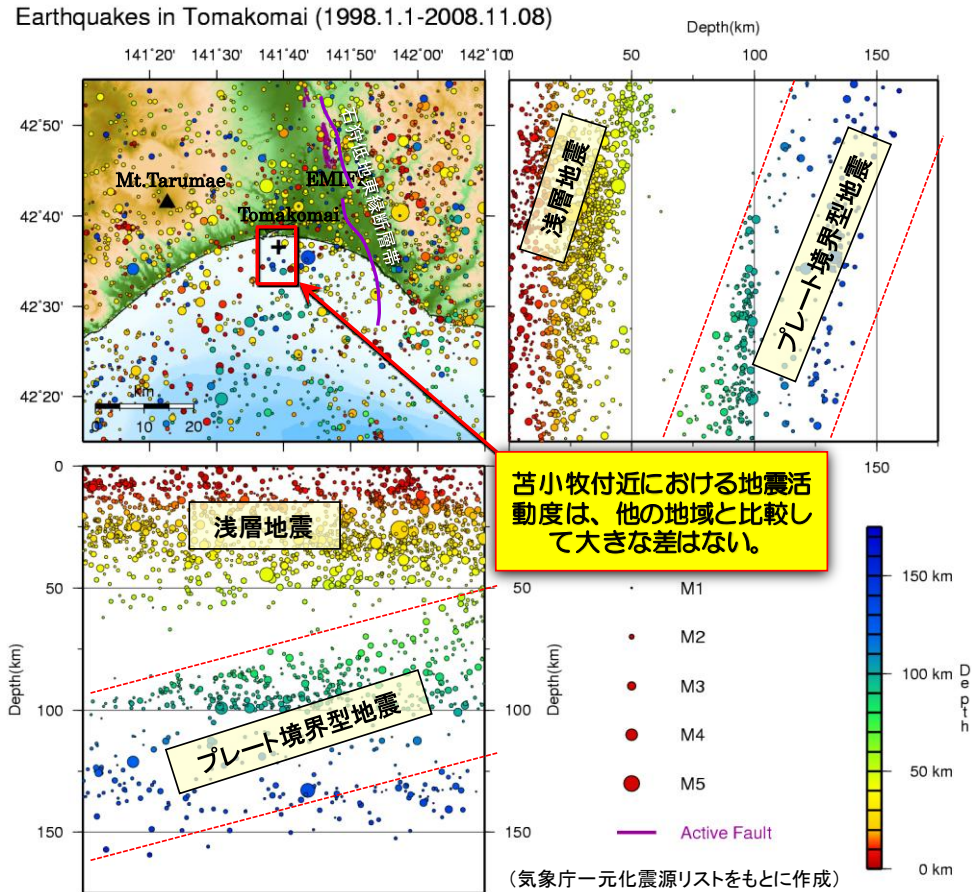


図 3-24 苫小牧周辺の最近の地震活動 (1998 年～2008 年、M>1)

④ 苫小牧周辺の断層分布

a 苫小牧周辺の活断層

ここでは、(独)産業技術総合研究所の定義にほぼ準拠し、活断層とは「約 13 万年前 (第四紀 後期更新世) 以降現在まで活動的である断層」と定義する。

北海道地方の活断層のほとんどは逆断層であり、北海道の中央部が圧縮されていることを示している。これは地殻変動観測結果 (図 3-22) と整合的である。

苫小牧周辺では、石狩低地東縁に沿って南北に走る活断層「石狩低地東縁断層帯」がある (図 3-21)。図 3-25 は、地震調査研究推進本部による「石狩低地東縁断層帯」の分布図 (南部を延長した平成 22 年 8 月改訂版) である。南部延長部は、断層活動に伴う変形を表す背斜構造軸として表現されている。後述する震度予測では、断層主体は背斜軸の東方、圧入想定地点から 20km 以上の十分離れた場所に想定されている。

地震調査研究推進本部
「石狩低地東縁断層帯の評価の
一部改定(2010.08.26)」
＜南側の海域まで伸長＞

項目	評価	
断層の長さ	54km以上	○
断層の傾斜	東傾斜 (深さ約3km以深では低角 度、約2.5kmでほぼ水平)	◎
1回のずれの量	4m程度以上	△
平均活動間隔	1万7千年程度以上	△
想定される地震の規模	M7.7程度以上	△
地震発生確率 (30年:ポアソン)	0.2%以下	d

信頼度 ⇒ ◎:高い、○:中程度、△:低い
発生確率 ⇒ a:高い、b:中程度、c:やや低い、d:低い

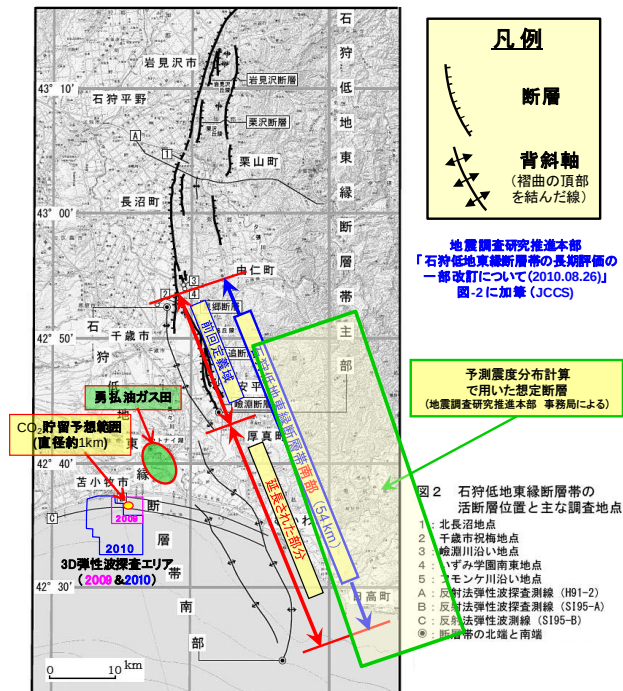


図 3-25 石狩低地東縁断層帯

b 三次元弾性波探査断面図に見られる断層

本地域で実施された三次元弾性波探査断面図には、断層と判断される不連続面が確認されている。図 3-26 はその一例で、滝ノ上層の想定貯留地点を横切る東西断面図のほぼ中央に断層が認められる。この断層はほぼ南北方向に約 7 km 伸びており、滝ノ上層から平取+軽舞層までを切っているが、萌別層までは達してはいない。このことから活断層ではないと推定する。本断層は振老層の分布形状から中新世の中期以前の引張応力場で形成された正断層と推定する。その後、荷菜層の堆積時に西側が下がるような活動があったと考えられ、その後、萌別層堆積時以降は活動を停止した。そのため、現在の圧縮応力場では再活動の可能性は低いと判断する。

また、地層水の塩分濃度分布から求めた水理地質構造から、本断層は不透水性と推定され、CO₂の圧入による圧力の伝播が断層にあたえる影響は小さいと判断する。

以上により、本断層は滝ノ上層 T 1 部層への CO₂の圧入に際しては安定していると判断する。

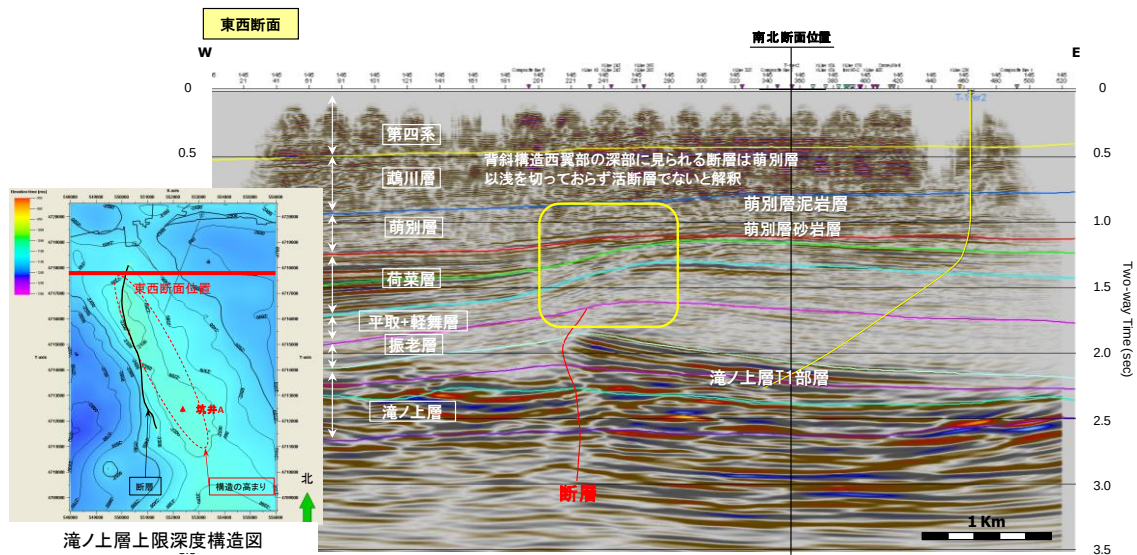


図 3-26 三次元弾性波探査断面図上でみられる断層例（中央部の赤い縦線）

⑤ 苫小牧地点で予想される地震

地震調査研究推進本部によれば、「石狩低地東縁断層帯南部」（図 3-25）が、全域に破断した場合、地震規模は M7.7 程度以上になるとされている。図 3-27 は、この地震による予測震度分布であり、苫小牧市から勇払平野にかけては震度 6 強（赤色）が、また、調査地域の陸上沿岸域では震度 6 弱（オレンジ色）が予測されている。

なお、苫小牧市地域防災計画でも、想定される複数種の地震について震度予測がなされており、最悪のケース（M6.8 の直下型）で、ほぼ同様な震度となると予想されている。

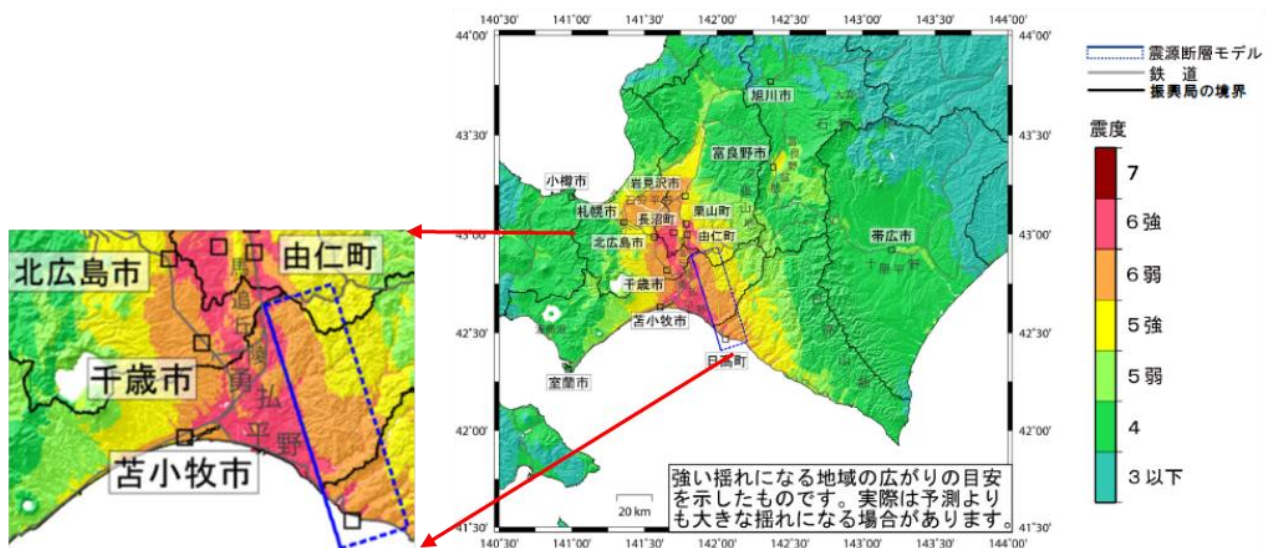


図 3-27 石狩低地東縁断層帯南部の地震による予測震度分布（地震調査研究推進本部、2010 年 8 月）

(5) CO₂分離・回収、輸送、圧入、貯留までのCCSトータルシステム概念設計

① 実証試験設備の検討概要

a 全体システム

商業運転中の製油所（2ヶ所）の水素製造装置を排出源としてCO₂含有ガスを送出し、CO₂含有ガスから分離・回収した気体CO₂および既分離CO₂を液化した液体CO₂を圧入基地へ輸送する。圧入基地では、これらのCO₂をそれぞれ圧縮、昇圧・加温して統合し、年間15～25万トン程度（排出源の操業状況等による）を2層の貯留層に圧入する。

以下に示すそれぞれの地上設備について概念設計を実施した。

- ・CO₂ガス供給設備（D1-1基地）
- ・CO₂分離・回収設備（D1-2基地）
- ・CO₂液化供給設備（D2基地）
- ・CO₂圧入設備（D0基地）

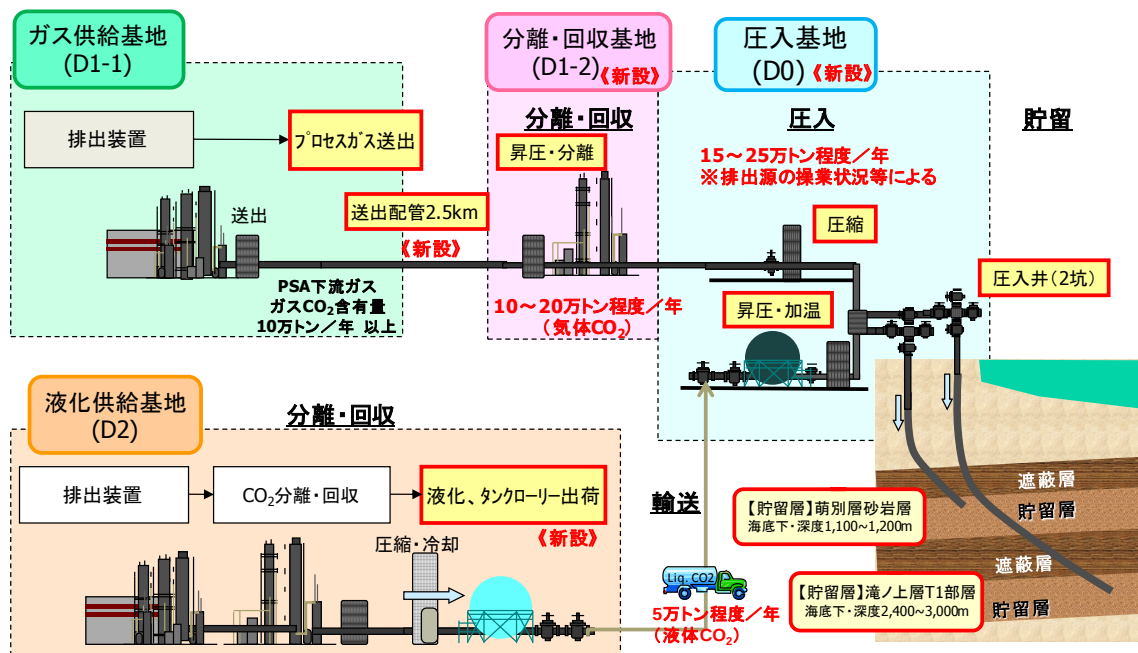


図 3-28 実証試験全体フロー

② 分離・回収設備（D1-1基地、D1-2基地）の検討成果

D1-1基地は、排出源である水素製造装置がある製油所内に設置する。D1-1基地で発生するCO₂を含むガスの一部を送出配管でD1-2基地に送り、D1-2基地でCO₂を分離・回収する。D1-1基地およびD1-2基地の基本フローを図3-29に示す。

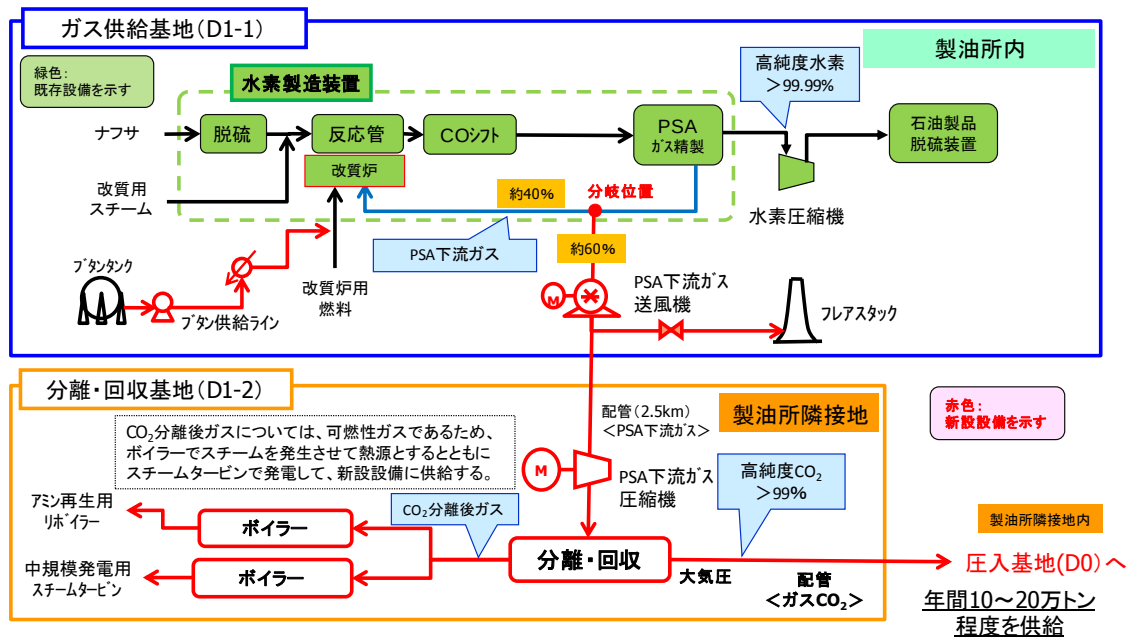


図 3-29 D 1 - 1 基地、D 1 - 2 基地の基本フロー

水素製造装置には、その水素の精製方式により P S A（物理吸着）方式と化学吸収方式の 2 つの方法がある。D 1 - 1 基地の水素製造装置では P S A 方式が採用されており、ナフサの脱硫とシフト反応で生成された原料ガス（P S A 上流ガス）を、高純度の H₂（製品）と C O₂ を含むその他のガス（P S A 下流ガス）に分離している。P S A 下流ガスは水素製造装置の改質炉燃料に用いられている。C O₂ の分離・回収の原料ガスの候補としては、P S A 上流ガスと P S A 下流ガスのいずれもが考えられるが、どちらの場合も高純度 C O₂ を得るために C O₂ 分離・回収装置を新たに設置する必要がある。

P S A 上流ガスからの分岐は、P S A 下流ガスと比較して C O₂ 分圧が高く、分離・回収をする場合にも分離・回収のアミン再生熱を低減するための昇圧設備が不要となるなど有利な点があるが、水素製造装置本体に係る改造として、P S A 吸着塔内高性能吸着剤の更新、水素圧縮機的能力増強、水素製造装置の改質炉バーナーの交換が必要となり、既設装置の改造コストが大きくなるとともに安全対策上考慮すべきポイントも多い。

一方、P S A 下流ガスの分岐は、既設設備である水素製造装置本体の改造箇所が少ない上、商用設備の安定的な運転を確保しつつ、分離・回収プロセスを実証できる。このため、実証試験計画（案）では分離・回収の原料ガスを P S A 下流ガスとし、商業設備の安定的な運転を確保する観点から、C O₂ を分離・回収した後のガスについては D 1 - 1 基地へ還流しないこととした。分岐した P S A 下流ガスは、D 1 - 1 基地に設置した送風機により、D 1 - 2 基地までの約 2.5km を配管により移送する。

なお、P S A下流ガスは、現在は製油所内で水素製造装置の改質炉燃料として利用しているため、P S A下流ガスのもつ熱量を改質炉用燃料に補給することが必要となる。

D 1－2 基地は製油所の隣接地に設置する。D 1－2 基地では、配管でD 1－1 基地から受入れたP S A下流ガスを昇圧した後、分離・回収設備で高純度のC O₂（濃度 99 容量%以上）を回収し、同一敷地内にある圧入基地（D 0 基地）へ構内配管で移送する。分離・回収装置でC O₂を分離した後のガスは、H₂、CH₄、CO等を含む可燃性ガスであるため、i）D 1－2 基地内に設置するボイラーでスチームを発生させてアミン再生用リボイラーの熱源として利用するとともに、ii）スチームタービンにより発電して、C C Sに係る新設設備への電力の一部として供給する。

分離・回収プロセスには、活性アミン法と省エネルギー型フロースキームを採用した。本システムは近年アンモニアやL N Gプラントでの省エネルギー分離・回収プロセスとして注目されており、使用実績が多いものである。

通常のアミン再生塔では、C O₂を吸収したアミンを再生して高純度C O₂を取り出し、スチーム加熱器により再生塔を加熱して吸収液からC O₂を回収する。

一方、省エネルギー型フロースキームでは、再生塔に低圧フラッシュドラムと呼ばれる低圧塔を設置する。減圧による吸収液からのC O₂放散効果に加えて、再生塔における水蒸気の熱を低圧フラッシュドラムで活用するための低圧フラッシュドラムでは追加の熱を必要とすることなくC O₂を放散する。吸収液中に残ったC O₂は再生塔においてスチーム加熱器により分離されるが、その分離に必要な供給熱量を削減できることから、通常のアミンの再生熱と比較して、再生熱の低減効果が期待できる。

③ 液化供給基地（D 2 基地）の検討成果

D 2 基地は、C O₂排出源である製油所内に設置する。D 2 基地で発生する既分離C O₂ガスを、液化設備で液体C O₂とし、構内配管で移送して貯蔵設備、出荷輸送設備を経て、タンクローリーで液体C O₂をD 0 基地まで約 80 k m輸送する。D 2 基地の基本フローを図 3-30 に示す。

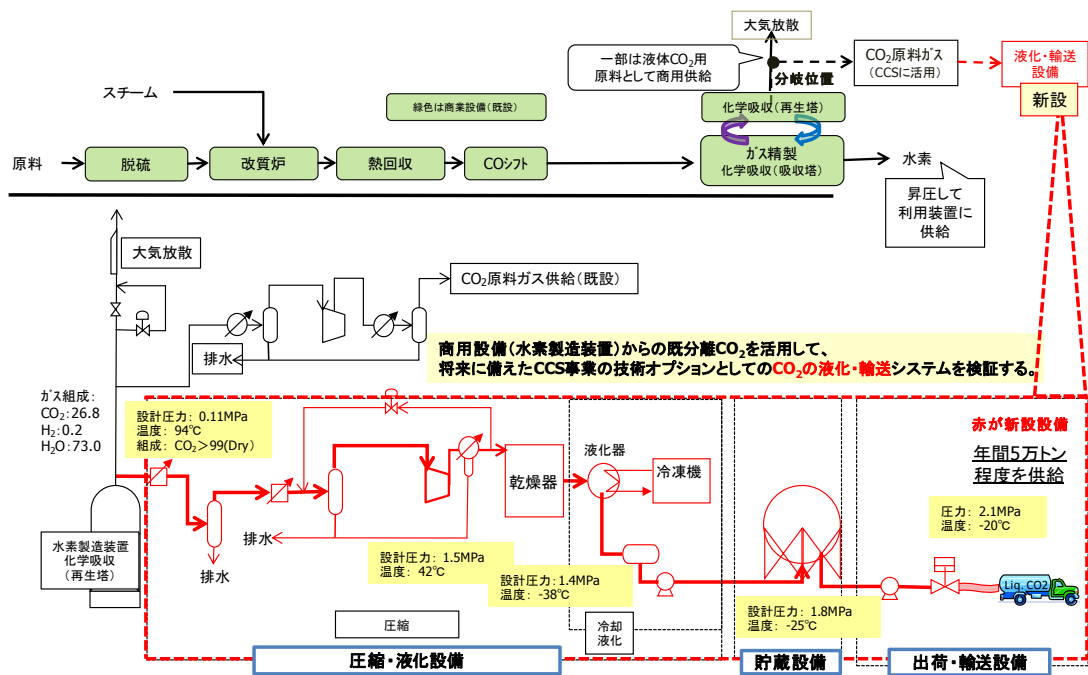


図 3-30 D 2 基地の基本フロー

D 2 基地における水素の精製方式は化学吸収方式であり、ガス精製装置の再生塔では高濃度の CO_2 を含むガス（ドライベースで濃度 99 容量%程度、以下、「既分離 CO_2 ガス」という）に分離されている。このガスの一部は、液体 CO_2 用原料として商用供給されており、残りは大気放散されている。このガスは液化することでさらに CO_2 の純度が上がるため、新たに分離・回収装置を設置する必要はなく、液化・輸送等の設備を新設するのみでCCSに適した CO_2 の供給が可能となる。

実証試験では、再生塔から放出されている既分離 CO_2 ガスを分岐し、水分を除去して原料ガス圧縮機（オイルフリーターボ式圧縮機を想定）で圧縮する。その後、チリングクーラーを経て、乾燥器ユニットに移送する。そこで脱湿された既分離 CO_2 ガスは液化設備に送られ、スクリー式冷凍機ユニットで冷却され、液化器を経て液体 CO_2 となる。液体 CO_2 は移送ポンプ、加温器を経て、構内配管により貯蔵設備である球形タンク、タンクローリー出荷設備に移送する。

なお、球形タンクの貯蔵量は、国内で製造実績のある最大容量の 850 トンとした。 CO_2 液化設備が停止した場合でも 2 日間は継続して出荷できること、出荷が停止した場合でも、液化設備の運転を停止する必要のないように配慮した。

また、貯蔵および出荷設備は、石油製品の貯蔵・出荷エリアの近隣に設置して、製油所との一体運用が可能となるように配慮した。石油製品の貯蔵・出荷エリアが水素製造装置から離れた場所にあることから、液体 CO_2 移送配管は既設の配管ラックを最大限活用す

ることとした。

これまでの水素製造装置の稼働実績等を十分にふまえて、年間5万トンの CO_2 の出荷が可能となるような液化設備および出荷設備仕様とした。

④ 圧入設備（D0基地）の検討成果

D0基地については、 CO_2 貯留ポイントまでの圧入井の坑跡デザインを検討した結果、製油所の隣接地から圧入井を掘削することが適当であると判断し、D1-2基地と同様に製油所の隣接地に設置することとした。

貯留層総合評価では、萌別層砂岩層と滝ノ上層T1部層の2つの地層で CO_2 が安全に貯留できることが示されている。このため、D0基地の設備設計については、2本の圧入井を用いて年間15～25万トンの CO_2 を圧入可能な設備とした。

D0基地の基本フローを図3-31に示す。

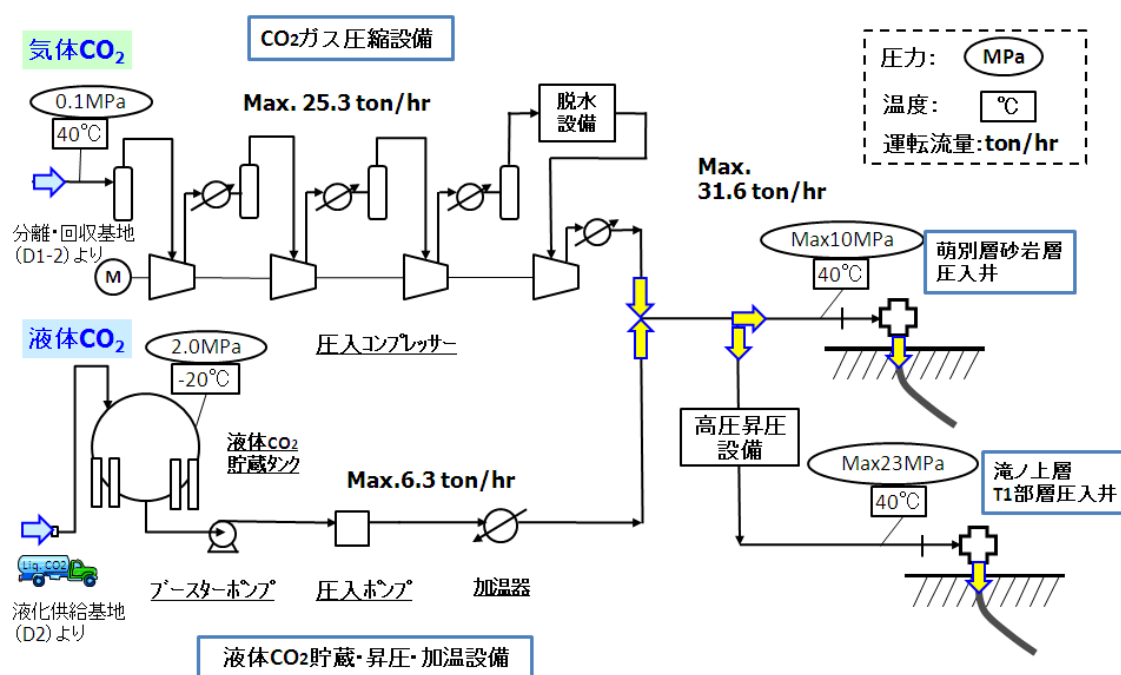


図 3-31 D0基地の基本フロー

a CO_2 ガス圧縮設備

D1-2基地から受入れる CO_2 ガスは、圧縮機を用いて萌別層砂岩層の圧入圧力（最大10MPa程度）まで昇圧する。

なお、圧縮機には容積型（往復動式と回転式）とターボ型（軸流式と遠心式）のタイプがあるが、往復動式や回転式は高圧縮が可能であるものの大容量には適さない。軸流式は大容量には適しているが高圧縮には適さない。以上から、将来、年間100万トン規模の

CO₂を圧入・貯留する実用化段階を想定し、遠心式の圧縮機を採用することとした。ただし、実証試験では、実用化段階のものより小規模（最大年間 20 万トン規模）の遠心式圧縮機を採用する。

CO₂圧入運転時には、貯留層に負荷を与えない安定した圧入量で圧入運転する必要がある。このため、圧縮機には流量と圧力を最適に制御できる応答性の優れた制御システムが求められる。また、運転時には圧縮機高圧段のCO₂流量が不足してサージを発生させないように十分注意する必要がある。

これらを考慮して圧縮機の制御システムとして、回転数制御システムおよびアンチサージシステムを採用する。

回転数制御システムには、いくつかの方法があるが、VVVFがよく知られたシステムである。これにより、i) 起動時電力を通常運転時並みに抑制し、ii) 圧入流量や坑口圧に合わせて圧縮機の回転数を自動で制御でき、通常時運転の消費動力を削減することが可能となる。

また、アンチサージシステムは、吐出流体の一部を吸込み側に戻すことにより、一定値以上の吐出流量が確保できる制御システムである。例えば、回転数制御システムにVVVFを採用した場合、吐出流量が圧縮機定格の 70%程度以下になった場合、流量の制御が困難となるが、アンチサージシステムによりVVVFがカバーできない低流量域においても、サージを回避することが可能となる。

b 液体CO₂受入設備

D2基地で生成された液体CO₂を、タンクローリーによりD0基地に輸送し、液体CO₂貯蔵タンクに貯蔵する。D2基地から輸送する液体CO₂は、平均すると一日 160 トンであり、タンクローリー（13.3 トン積み）6 台によりピストン輸送が行われる。タンクローリーからの荷卸しによる車両の滞留を防ぐため、タンクローリー荷卸場を 3 レーン設置するとともに、タンクローリーのスムーズな運行が可能となる配置計画とする。

液体CO₂貯蔵タンクには、貯蔵タンクからの供給時に生じる内圧低下によりタンク内温度が低下することを避けるため、温浴式の気化器を設置する。

c 液体CO₂およびCO₂ガスの統合設備

液体CO₂は、ブースターポンプおよび圧入ポンプにより萌別層砂岩層の計画圧入圧力（最大 10MPa 程度）まで昇圧し、加熱器により圧入温度（40℃）まで昇温する。

加熱器下流のCO₂は、CO₂ガス圧縮設備から供給されるCO₂と混合して、萌別層砂岩層（坑口圧：最大 10MPa 程度）に圧入する。滝ノ上層T1部層には、さらに圧入に必要な圧力（坑口圧：最大 23MPa 程度）まで高圧昇圧設備で昇圧して圧入する。また、それぞれ

の圧入井の上流には、圧入するC O₂性状を測定する監視システム（温度計、圧力計、流量計および分析計）を設置する。

d 緊急放散設備

稼働日数を330日（連続運転）と想定し、適用法令を遵守して安全性を確保する。主な関連法令は、高圧ガス保安法、工場立地法等である。

加えて、D0基地には緊急時に系内のC O₂を大気中へ安全に放散するため、C O₂緊急放散用ベント設備（ベントスタック）を設置する。具体的には、i）D0基地緊急停止時にD1－2基地から受入れるC O₂を緊急放散して、D1－2基地への影響回避することと、ii）圧入井メンテナンス時の活用が想定される。

ベントスタックの高さは、労働安全衛生法が安全な作業環境として定めるC O₂の着地濃度(0.5%)未満となるように設定する。

ベント設備以外の緊急放散設備として、i）各所の安全弁（圧縮機ドラム、液体C O₂貯蔵タンクなど）、ii）圧縮機吐出緊急放散弁、iii）加温器出口緊急放散弁を設置し、緊急時の安全性を確保する。

(6) 実証試験計画（案）

① 実証試験設備の全体概要

図 3-32 に、実証試験全体フローを示す。

なお、実証試験に関わる地上設備としては、以下に示す設備はあるが、図 3-33 には、各設備の主な技術課題も併記している。

- ・ CO₂ ガス供給設備（D 1－1 基地）
- ・ CO₂ 分離・回収設備（D 1－2 基地）
- ・ CO₂ 液化供給設備（D 2 基地）
- ・ CO₂ 圧入設備（D 0 基地）

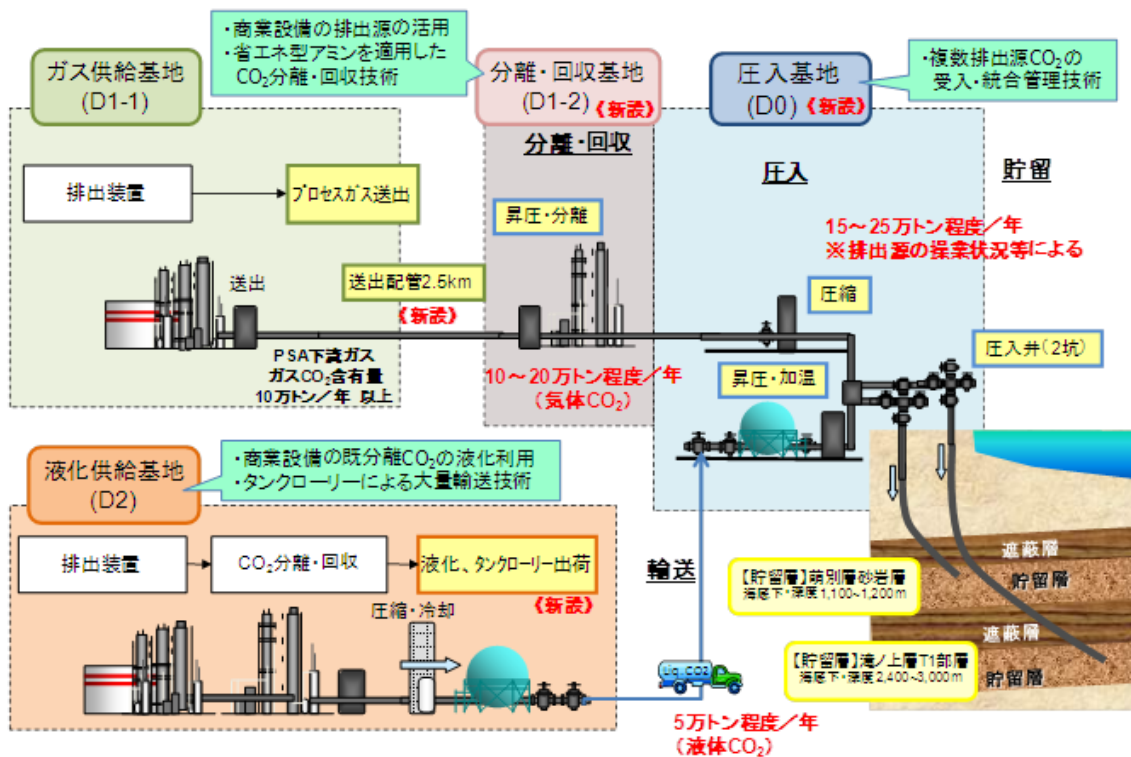


図 3-32 実証試験全体フロー

② 対象貯留層の選定結果、および圧入予定箇所

既存地質データおよび三次元弾性波探査、調査井掘削によって得られた様々な地質データを解釈・評価して、良好な貯留性能を広域的に確認できた、地質構造が異なる滝ノ上層 T1 部層（構造性帯水層）と萌別層砂岩層（非構造性帯水層）をそれぞれ貯留対象層として選定した。これらの貯留対象層に対して実施した CO₂ 長期挙動シミュレーションの結果、および陸域からの圧入井掘削可能な範囲等を考慮して設定した圧入予定箇所を図 3-33、図 3-34 に示す。

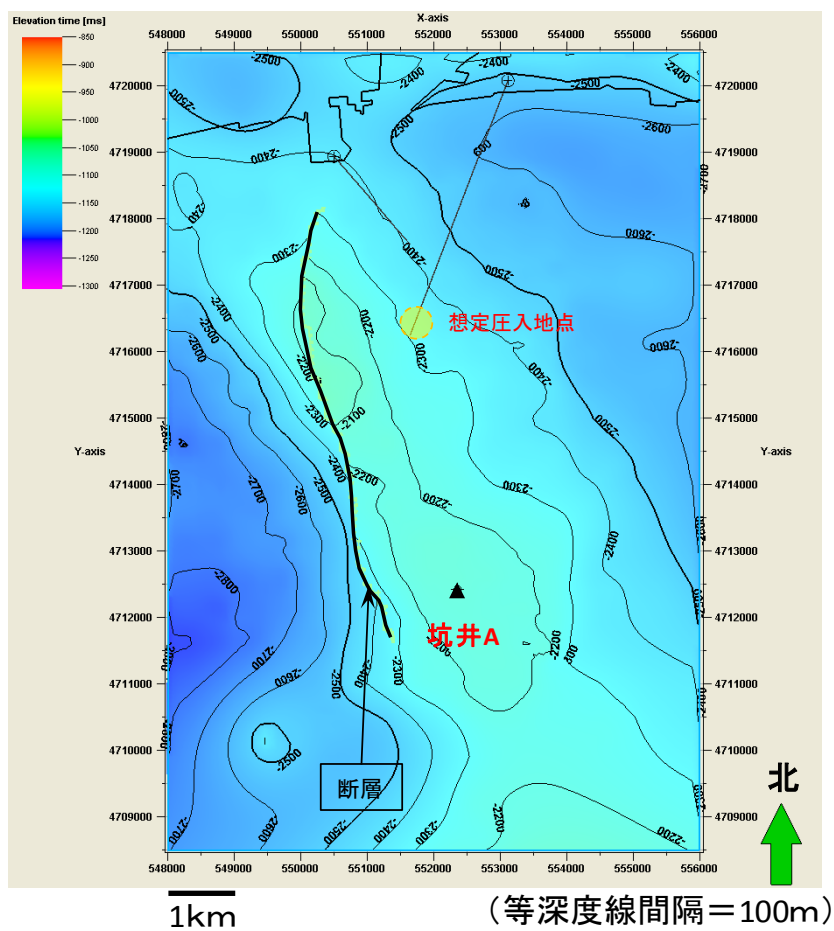


図 3-33 圧入予定箇所（滝ノ上層 T 1 部層）

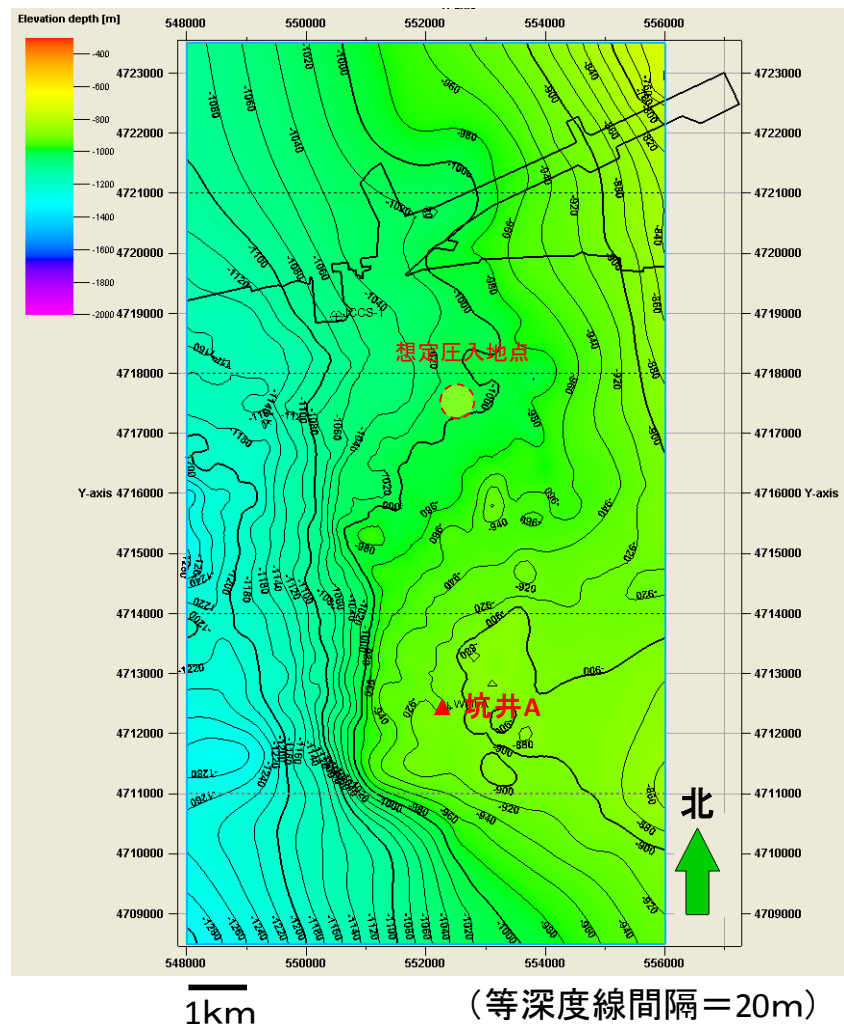


図 3-34 圧入予定箇所（萌別層砂岩層）

③ 実証試験の全体工程

以下の実施期間を基本案とし、2020 年までに試験を完了する。

- ・ 設備建設期間 : 3.5 年
- ・ 設備運転・CO₂圧入期間 : 3.5 年
- ・ 貯留層モニタリング : 圧入前・圧入中・圧入後に実施（微小振動、自然地震観測を含む）（圧入後モニタリング期間：2.5 年）
- ・ 海洋系モニタリング : 圧入前（ベースライン調査）・圧入中・圧入後に実施（圧入後モニタリング期間：2.5 年）

圧入およびモニタリングに使用した坑井については、継続的にモニタリングに利用するもの以外は9年目までに、長期的な安全性に配慮した適切な方法（耐CO₂セメントプラグ等）で廃坑する。

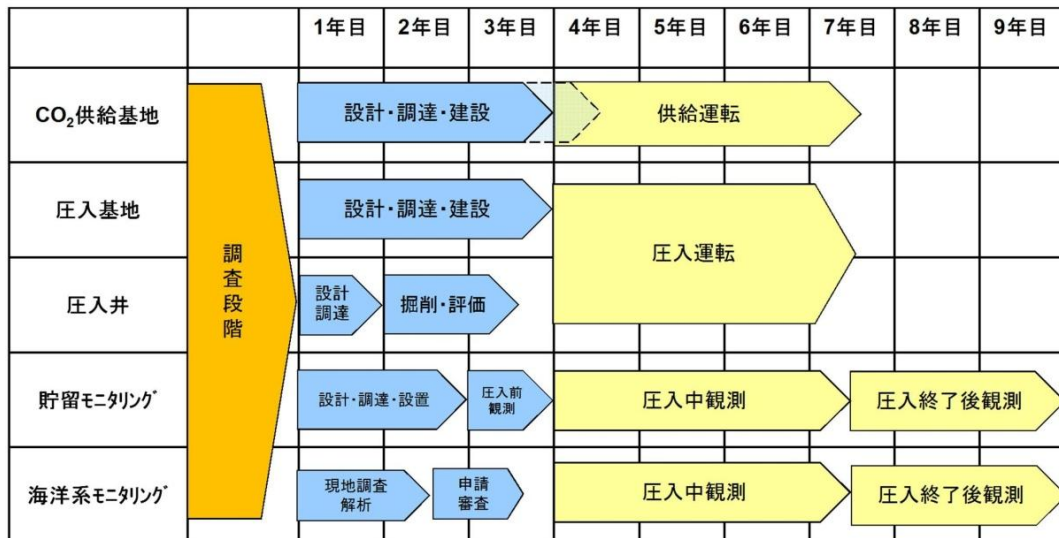


図 3-35 実施工程表

④ 圧入計画

貯留層である滝ノ上層T1部層、並びに萌別層砂岩層に対する圧入計画を以下に示す。

a 定常運転（基本圧入運転）

貯留層へのCO₂圧入は、以下に示す圧入レートを基本とする（図 3-36、図 3-37 参照）。

圧入レートは、各貯留層においてCO₂の挙動検知が可能と想定される累計圧入量をふまえて算出したものであり、最低限必要とされる値である。また、圧入圧力（坑口）は、現在想定している圧入深度、管内ロス、遮蔽層の強度等を考慮したもので、より正確な値は圧入井掘削後の状況をふまえて最終的に決定する。

滝ノ上層T1部層

- ・圧入期間：3.5年
- ・圧入レート：10万トン/年以上
- ・圧入圧力：坑口最大23MPa程度、坑底最大44MPa程度

萌別層砂岩層

- ・圧入期間：3.5年
- ・圧入レート：5万トン/年以上
- ・圧入圧力：坑口最大10MPa程度、坑底最大15MPa程度



図 3-36 圧入対象層（平面図）

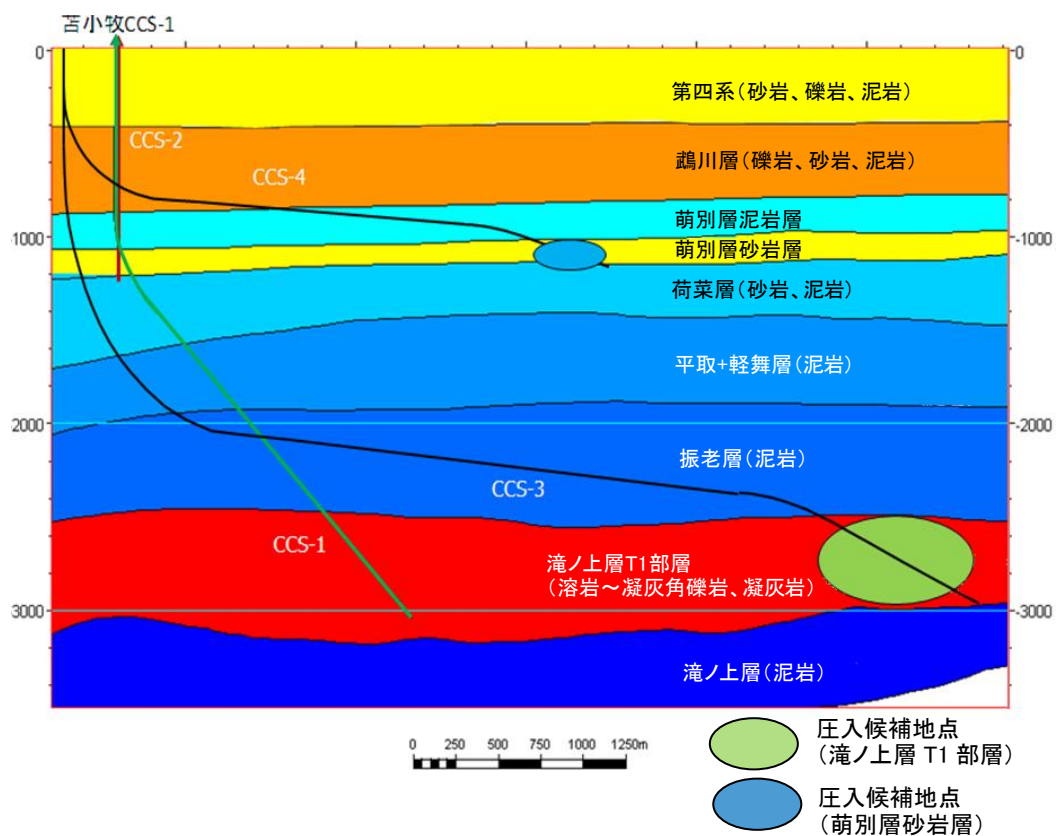


図 3-37 圧入対象層（断面図）

原則として2層に対してCO₂を同時に圧入し、モニタリングを適切に行うことで、滝ノ上層T1部層（構造的帯水層）と萌別層砂岩層（非構造的帯水層）の両層へCO₂が安全に貯留できることを実証する。これにより地質構造と深度の異なる貯留層に対するモニタリング技術を確立する。なおモニタリングでは近接する異なる深度の2つの貯留層内におけるCO₂の挙動を弾性波探査により把握する必要があるため、それぞれの貯留層に対する圧入ポイントを的確に設定する必要がある。

圧入運転開始時は、徐々に昇圧しながら、それぞれの貯留層の圧入上限圧力を超えないように圧入する必要があるため、所定の圧入レートに達するまでに数ヶ月程度かかることも想定される。この間の貯留層の圧力挙動を観測することによって、不均質性の大きな火山岩貯留層（滝ノ上層T1部層）と層状をなした砂岩貯留層（萌別層砂岩層）の性状の違いを検証する。予定の圧入レートに達した後は、貯留層の圧力を監視しながら一定のレートで連続運転する。

b 非定常運転

実証試験においては定常運転を基本とするが、実用化に向かって各層の基礎データ取得することを目的とし、以下の非定常運転を適宜実施する。

滝ノ上層T1部層と萌別層砂岩層のそれぞれに対して、最大圧入レート25万トン/年でCO₂を短期的に圧入し、貯留層の圧力挙動およびCO₂の挙動をモニタリングする。

⑤ モニタリング計画

a CO₂モニタリング計画に関する基本的考え方

CCSを安全かつ安定的に実施するためには、貯留したCO₂の挙動の把握や貯留層外部への漏出・漏洩検知を継続的に行う必要がある。このため、貯留層に圧入したCO₂の量や圧入方法に応じたモニタリングを実施する。加えて、CO₂の圧入が微小振動を生じさせているかを確認、検証するべく微小振動と自然地震のモニタリングを実施する。

実証試験では、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」（以下「海洋汚染防止法」という。）に加えて、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の内容もふまえて、CO₂の圧入開始前、圧入中、圧入後において適切な場所および頻度でモニタリングを実施する。

なお、シミュレーションによれば、CO₂圧入後貯留層内の圧力が安定するまでに2～3年を要する。このため帯水層に安定的にCO₂を貯留できることを確認するためには、圧入後2～3年程度のモニタリングが必要である。これは、あくまで実証試験としてのモニタ

リング期間であって、現行の海洋汚染防止法に基づき、その後もモニタリングを継続することが必要である。

実証試験におけるモニタリングの目的は、以下の通り。

目的 1 : CO_2 の漏洩、貯留層圧力の異常の検知

- ・ 圧入された CO_2 が計画通りに安全に貯留層内に留まっていることを確認する。
- ・ 貯留層から CO_2 の漏洩を検知する。

目的 2 : 圧入された CO_2 の貯留層内での挙動把握（貯留層モニタリング）

- ・ CO_2 の圧入および貯留が計画通り安定的に行われていることを確認する。
- ・ 安全に CO_2 の圧入が行われていることを確認する。
- ・ CO_2 の圧入後も安定して貯留されていることを確認する。

目的 3 : モニタリングにより得られたデータをもとに貯留層モデルの更新、および CO_2 の挙動予測シミュレーションの精度向上（貯留層モニタリング）

- ・ 貯留層モデルの信頼性を向上させる。
- ・ シミュレーションによる CO_2 の長期挙動予測の信頼性を向上させる。

目的 4 : CO_2 の圧入と微小振動の関連性検証（微小振動、自然地震モニタリング）

- ・ CO_2 の圧入により、貯留層付近で発生する微小振動の規模、振源位置を求め、 CO_2 の地中貯留との関連性の有無を確認する。
- ・ 自然地震により観測される振動の貯留層内の CO_2 に対する自然地震の影響について評価する。

図 3-38 に圧入前から圧入後に至るまでのモニタリングスケジュールの概要を示す。

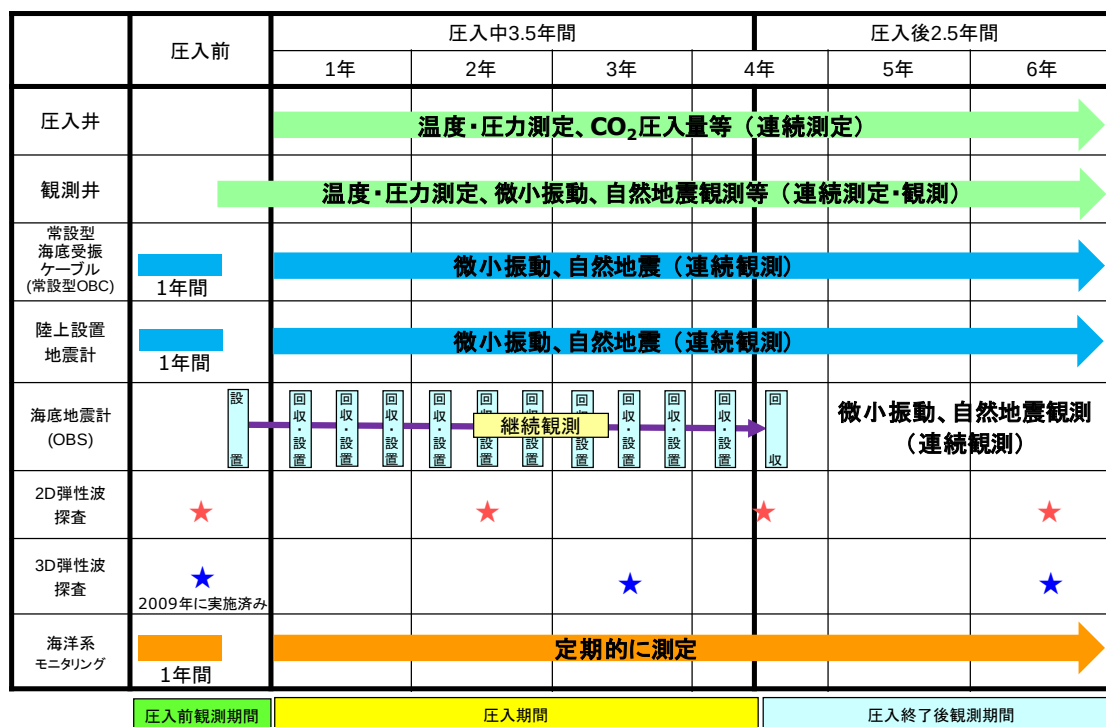


図 3-38 モニタリングスケジュールの概要

b 海洋系におけるモニタリング計画

ア) 圧入前

圧入前のモニタリングは、海洋汚染防止法の規定に基づき、ベースラインとしての海洋環境調査を四季を通して1年間行い、CO₂漏出を想定した海洋環境への事前影響評価を実施する。図 3-39 に海洋汚染防止法に基づいて実施する事前影響評価に関するフローを示す。表 3-13 にベースライン調査の計画概要を示す。

イ) 圧入中

圧入中のモニタリングは、原則としてベースライン調査と同様の調査範囲、調査項目、調査頻度等により実施することを基本とし、定期的な監視により漏出の有無を確認するためのデータを取得する。表 3-14 に圧入中におけるモニタリングの計画概要を示す。

なお、圧入前におけるCO₂の海洋環境への事前影響評価を考慮して調査範囲、調査項目、調査頻度等の計画を見直す。

ロ) 圧入後

圧入後のモニタリングでは、圧入中と同様に定期的な監視によりCO₂漏出の有無を確認する。

圧入後のモニタリングは、圧入中のモニタリングと同様に通常時監視、懸念時監視およ

び異常時監視に区分され、海水中へのCO₂漏出の恐れの数値によってより詳細な監視段階に移行する。

なお、圧入後のモニタリングは、圧入前におけるベースライン調査および圧入中におけるモニタリング結果に加えて、以下の点を考慮して調査範囲、調査項目、調査頻度等の見直しを検討する。

- 1) 環境基準が設定され、実測値が基準値を大きく下回っている項目
- 2) CO₂濃度上昇に連動して変動を受ける可能性がない、あるいは極めて低い項目
- 3) CO₂漏出の検出に適した項目の中、技術のブレークスルーにより経済的、効率的に測定可能となった項目

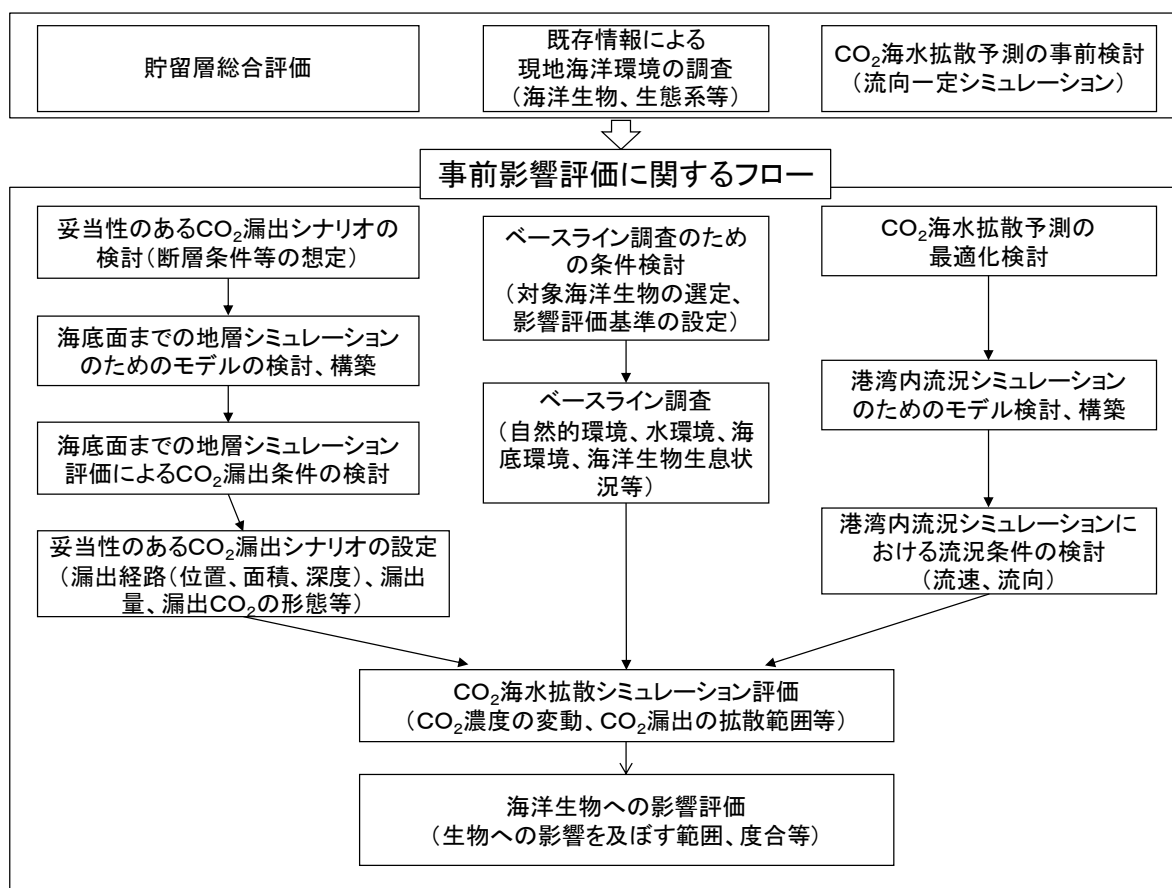


図 3-39 海洋環境への事前影響評価に関するフロー

表 3-13 ベースライン調査の計画概要

区分	項目	方法	深さ方向の測点	頻度
流況	・流向、流速	係留	表層・底層	4回/年(四季)
水環境	・水温、塩分、温度躍層・密度躍層の有無	採水	表層・中層・底層	4回/年(四季)
	・CO ₂ 濃度指標:全炭酸濃度、アルカリ度 ・水素イオン濃度			
	・有害物質の濃度:硫化水素、重金属類		表層・底層	4回/年(四季)
海底環境	・CO ₂ 濃度指標:全炭酸濃度、アルカリ度	採泥	海底	1回/年
	・有害物質の濃度:硫化水素、重金属類			1回/年
海洋生物	・魚類等遊泳動物の生息状況 ・底生生物の生息状況(石灰質の殻の有無による種を分類)等	採水、ネット、採泥 既存情報	(層別なし)	4回/年(四季) (採泥は1回/年)
生態系	・藻場、干潟、脆弱な生態系 ・重要生物種の産卵場・生育場等	既存情報		1回/1年
海洋の利用等	・レクリエーション、海中公園、漁場、航路 等	既存情報		1回/1年

表 3-14 圧入中におけるモニタリングの計画概要

区分	項目	方法	深さ方向の測点	頻度
流況	・流向、流速	係留	表層・底層	4回/年(四季)
水環境	・水温、塩分、温度躍層・密度躍層の有無	採水	表層・中層・底層	4回/年(四季)
	・CO ₂ 濃度指標:全炭酸濃度、アルカリ度 ・水素イオン濃度			
	・有害物質の濃度:硫化水素、重金属類		表層・底層	4回/年(四季)
	・気泡有無の確認	サイドスキャンソーナー	底層	4回/年(四季)
海底環境	・CO ₂ 濃度指標:全炭酸濃度、アルカリ度	採泥	海底	1回/年
	・有害物質の濃度:硫化水素、重金属類			1回/年
海洋生物	・魚類等遊泳動物の生息状況 ・底生生物の生息状況(石灰質の殻の有無による種を分類)等	採水、ネット、採泥 既存情報	(層別なし)	1回/年
生態系および海洋の利用等		既存情報による調査を1回/5年(廃棄期間)		

⑥ 異常事態発生時の対応

実証試験の実施にあたっては、以下に示す保安に関連する法令を遵守し、また、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の内容をふまえ、安全を確保し、事故・災害の発生を未然に防ぐように努める。

- ・ 海洋汚染防止法
- ・ 高圧ガス保安法
- ・ 労働安全衛生法

また、実証試験期間に発生し、CO₂の圧入運転、設備、周辺環境、人命あるいは人の健康等に多大な影響を与える事象である異常事態の発生に備え、圧入作業開始以前に異常事態発生時の対処を準備しておく必要があり、以下に取り組む。

a 異常事態の想定とその対処方法の確立（保安規程の策定）

発生が予見される異常事態をリストアップし、それら異常が発生した場合にとるべき措置や異常発生を未然に防ぐために準備する内容を規定し（保安規定）、同規定の中で、保安管理体制の整備、保安に携わる人員の選任とその職務範囲の決定、異常事態の判別方法とその対処方法に関することを取り決める。

b 保安設備の設置

遵守すべき関連法令を満たし、策定した保安規定に即した保安設備を設ける。その際は、異常事態の規模や頻度、影響度を考慮し、必要に応じて遠隔操作が可能な保安設備や、複数のバックアップ設備の設置等の措置を講じる。

c 保安訓練の実施

異常事態が発生した際に、策定した保安規定に即して関係者が迅速に対応できるように、定期的に保安訓練を実施する。また、訓練を通じて問題点の抽出および必要な改善措置をとる。

CO₂圧入中に想定される異常事態としては、主に以下が挙げられる。異常事態が発生した際には、図 3-40 に示す対応が求められる。ここに示した手順と関係法令をふまえて保安規定を策定する必要がある。

- ・ CO₂の大規模な漏洩、漏出
- ・ 大規模な地震、津波の発生
- ・ 関係施設の事故や火災の発生

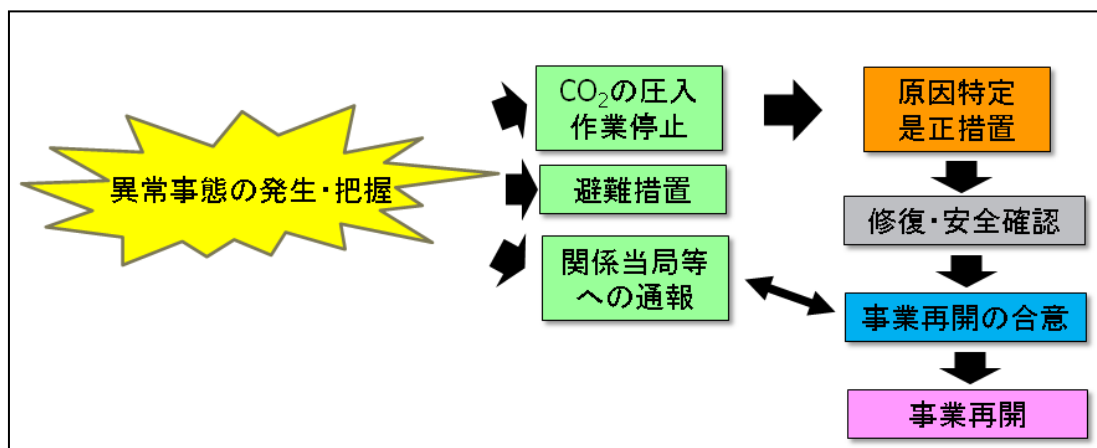


図 3-40 異常事態発生時の基本的対応

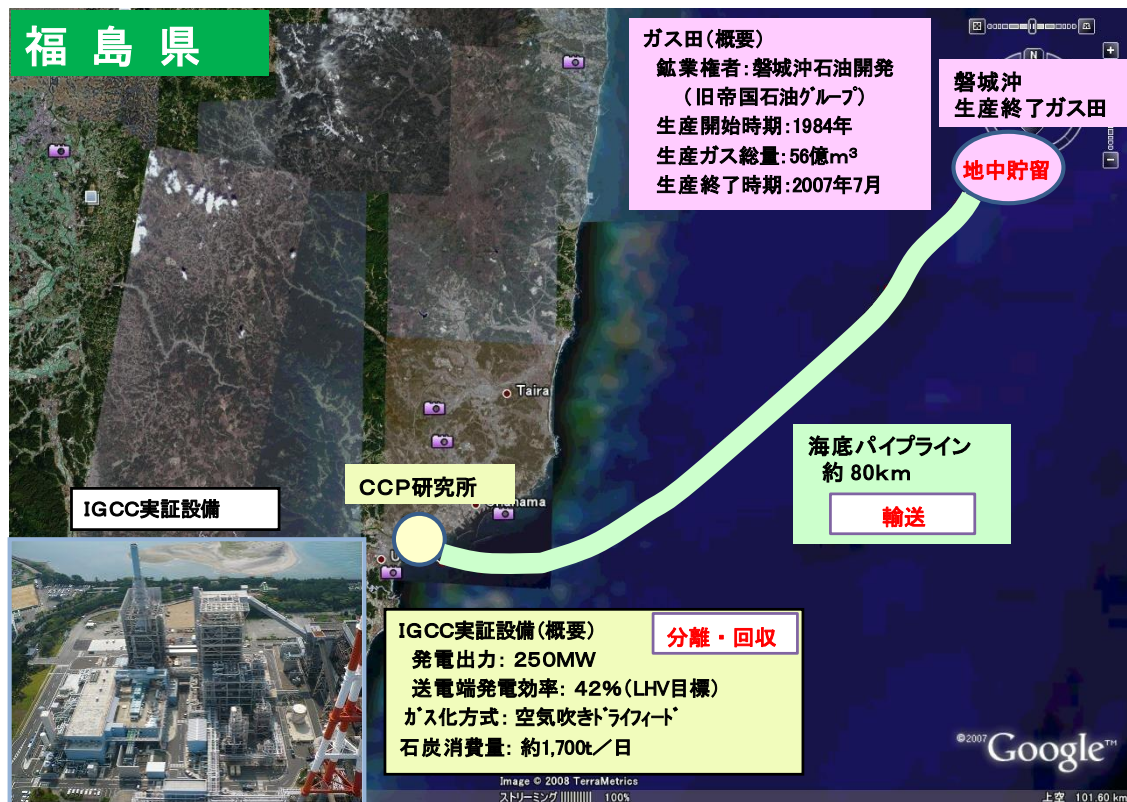
実証試験実施中に異常事態が発生・検知された場合は、CO₂の漏出を回避するために、CO₂圧入作業を直ちに中断する。その上で、人的被害の回避のための避難や設備に対する被害拡大防止の措置（火災時の消火活動等）を講じる。また、同時に関係当局等に対して異常事態発生の通報を行い、周辺環境への影響拡大を防止する。

異常事態への対処終了後は、被害状況の把握、異常事態の原因特定、関係当局への情報提供を行い、必要な修復を実施する。修復後は、安全確認を十分に行い、関係当局等との間で試験再開に関する合意を得たのち、試験を再開する。

3-1-2-3-A 勿来・磐城沖地点

(1) 調査概要

福島県いわき市の常磐共同火力（株）勿来発電所構内に設置された、㈱クリーンコールパワー研究所の空気吹き石炭ガス化複合発電実証試験設備（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle）から CO_2 を分離・回収し、この回収した CO_2 ガスを脱湿・昇圧して、海底パイプラインにて輸送し、海底坑口装置を通じて、磐城沖ガス田の生産終了ガス層に圧入・貯留するCCSトータルシステムを想定した（図3-41、図3-42）。



写真出典) クリーンコールパワー研究所HP (<http://www.ccpower.co.jp/igcc/about.html>)

図3-41 勿来・磐城沖地点における分離・回収、輸送、貯留層の位置関係図

本調査では、IGCC実証機から CO_2 を分離・回収する最適なシステム検討を行い、回収 CO_2 ガスを輸送・貯留するCCSトータルシステムの成立性を検証し、実用化に向けて検討すべき課題を明らかにした。

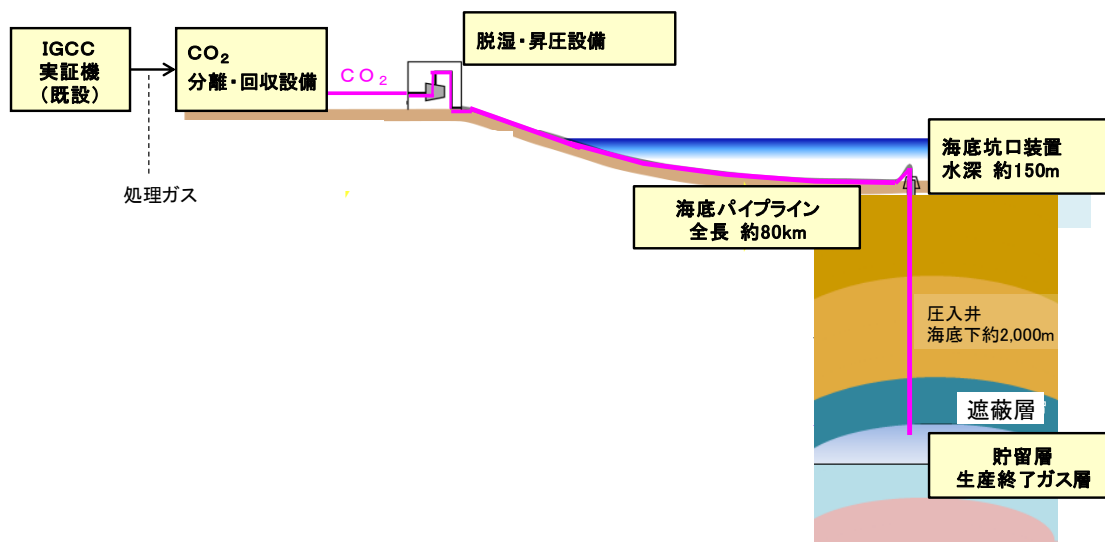


図 3-42 勿来・磐城沖地点における C C S トータルシステム（概念図）

（出典：N E D O 委託事業平成 21 年度報告書）

(2) 貯留層評価

①磐城沖ガス田概要

勿来・磐城沖地点における貯留層は、福島県檜葉町沖合約 40km の地点に位置する磐城沖ガス田（生産終了）を検討対象とした。

当該ガス田は、1970 年代にエッソ社及び帝国石油㈱が、共同で実施した福島県沖合の二次元弾性波探査をもとに試掘を行い、1973 年に試掘井磐城沖-1 号井により発見された。本ガス田では、帝国石油㈱の子会社である磐城沖石油開発㈱が構造中央部に海洋プラットフォームを設置し、1984 年から 2007 年まで、14 坑の生産井から生産した天然ガスを、海底パイプラインを通じて東京電力㈱の広野発電所に火力発電の原料として供給を行ってきた。天然ガスの生産に伴い、ガス層の圧力が低下することで生産量が減少し、2007 年に生産を終了した。2011 年までに、天然ガス生産に使用した全ての生産井は廃坑され、プラットフォームも撤去されている。

②貯留層評価

磐城沖ガス田の貯留層は、過去の天然ガス生産実績のある下部中新統砂岩層を対象とする。本砂岩層は深度約 2,000m にある計 6 枚の砂岩層が対象となる。本砂岩層の構造は、二次元弾性波探査及び試掘・生産井掘削により把握している。また、貯留層性状についても、坑井掘削により得られたコア分析・物理検層データから、ガス田全体の性状を把握してい

る。貯留層圧力は、初期圧力 21MPa から天然ガスの生産に伴い約 5MPa まで低下している。

遮蔽層としては、上位層に泥岩層が約 500m にわたり発達しており、天然ガスが集積したことから、上位に向けた遮蔽能力は十分あるものと判断しているが、上位泥岩層の岩石特性については、ガス田開発時には把握する必要がなかったことから、定量的なデータは取得されておらず、実証試験実施に向けては調査井の掘削によりコアを採取し、岩石特性を把握する必要がある。なお、本ガス田は東日本大震災の地震震源域に近いことから、今後は、新たな断層形成の有無の確認など、三次元弾性波探査の実施も必要と考えられる。

時代	ナンノ化石帯	柱状図	ガス層	層厚	岩 質
更新世				380m	Clay Silt
	CN14a CN13a				
鮮新世	CN12			450m	Claystone Siltstone with thin Sandstone
	CN11 CN10				
後期中新世	CN9			250m	Claystone with Siltstone and thin Sandstone
中期中新世	CN5			350m	Claystone Siltstone with Sandstone
前期中新世					Siltstone Claystone with thin Sandstone
				300m	Siltstone Claystone Sandstone with Conglomerate and Lignite

図 3-43 磐城沖ガス田標準柱状図

(出典：「最近の我が国の石油開発」石油技術協会)

(3) シミュレーションモデル

磐城沖ガス田におけるCO₂貯留において、CO₂の挙動を把握するため、地質・掘削・貯留層データをもとに、CMG社GEM-GHGを使用したCO₂挙動予測シミュレーションを実施した。本シミュレーションの過程では、磐城沖ガス田天然ガス生産量並びに圧力挙動をパラメータとしたヒストリーマッチングを実施した。本シミュレーションをもって、実証試験時の貯留層の挙動把握が可能となった。

本シミュレーションにより、現在の貯留層圧力から、上位層の遮蔽能力が担保されるガス層初期圧(21MPa)までのCO₂貯留量を計算すると、約2,000万トンのCO₂が貯留可能と計算された。

また、実証試験として年間10万トン×3年のCO₂圧入を想定し、貯留層内でのCO₂挙動変化を計算した結果を図3-44に示す。天然ガスで飽和された孔隙にCO₂を圧入することから、ガス飽和率の変化は見られないが、圧入井を中心にガス・地層水中にCO₂が入り込んでいる様子が見られる。また、貯留可能量と比較して、実証試験によって貯留されるCO₂の量が多くないため、磐城沖ガス田中の圧力変化は小さいものとなっている。

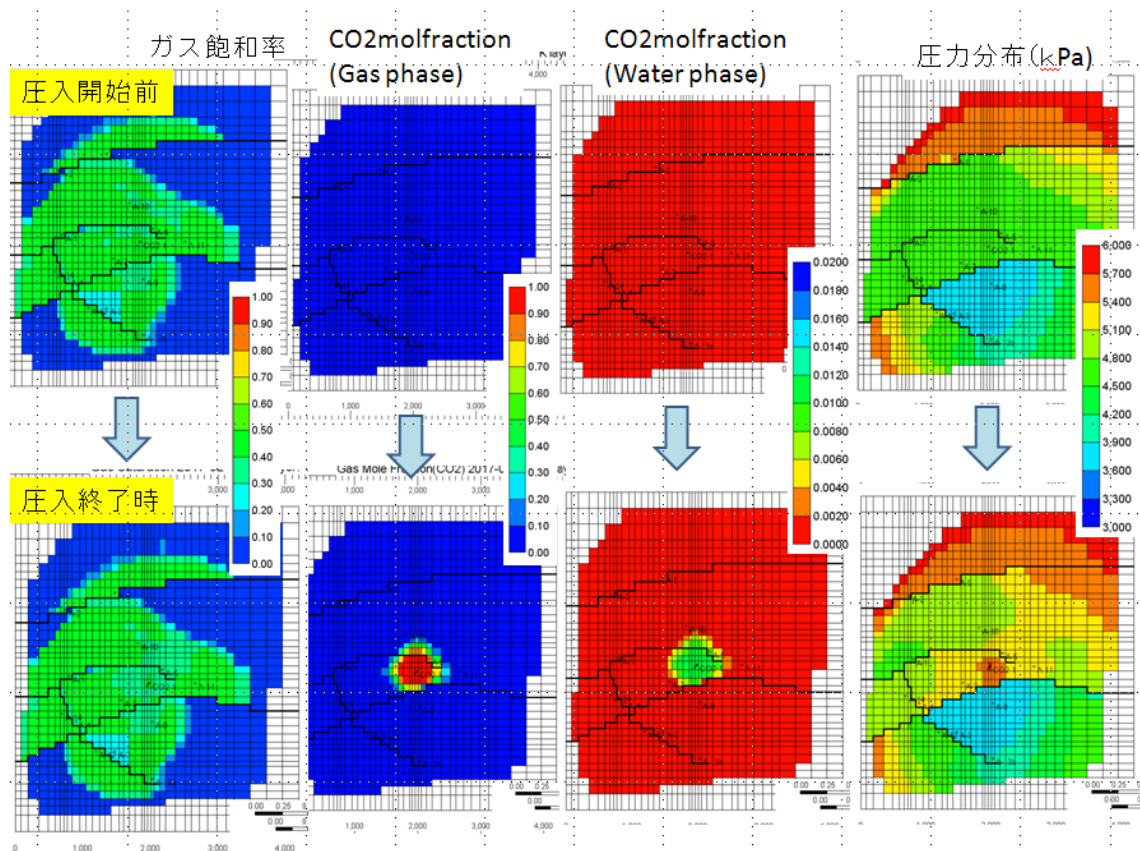


図 3-44 10 万 t×3 年圧入時の貯留層挙動

(出典：NEDO 委託事業平成 21 年度報告書)

(4) モニタリング

貯留層モニタリングについては、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」を参照するとともに、海洋汚染防止法に係るモニタリング項目を網羅する内容としている（図 3-45 参照）。

磐城沖ガス田における貯留では、圧入したCO₂がもともと貯留層内に存在する天然ガスの間に入り込む形で貯留されることから、貯留層における密度差を検知する繰返し弾性波探査では、CO₂の賦存範囲の同定は困難であることが予測される。そこで、繰返し弾性波探査は上位層への漏洩の有無の検知にとどめ、天然ガス生産時のヒストリーマッチングを終了しているCO₂挙動予測貯留層シミュレーションにより、CO₂の貯留を確認する手法を採用することとした。

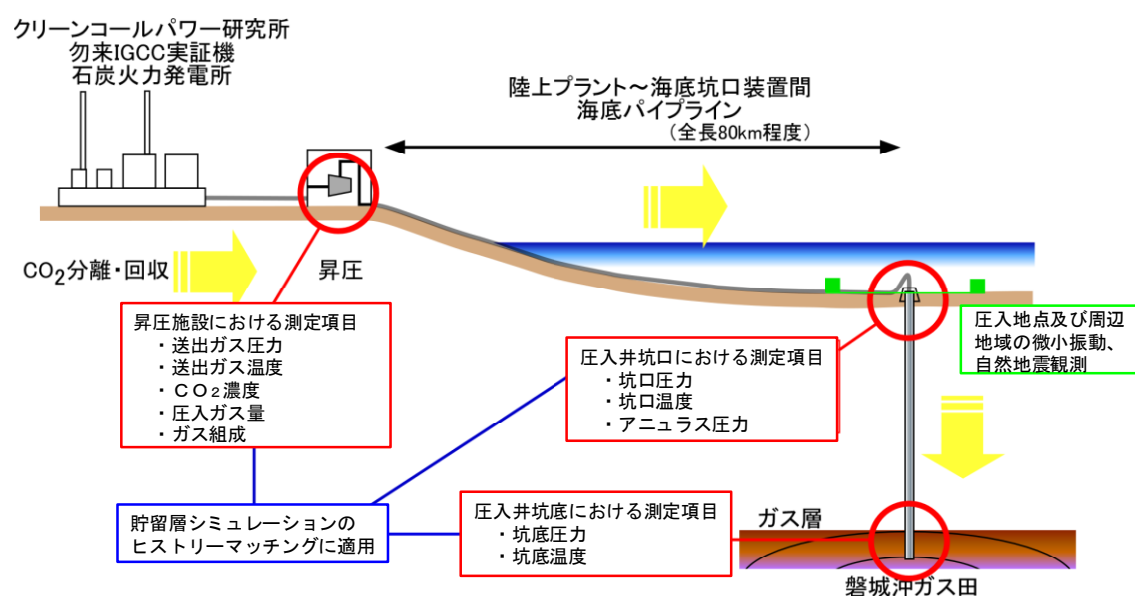


図 3-45 CCSにおけるモニタリング(常時監視項目)

(出典：NEDO委託事業平成 22 年度報告書)

(5) CO₂分離・回収、輸送、圧入、貯留までのトータルシステム概念設計

① CO₂分離・回収設備設計検討成果

a CO₂回収方式の選定

IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle) は、固体の石炭をガス化し、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電を行うものであり（図 3-46）、最新鋭微粉炭火力の発電効率（約 42%）に対して、商用段階の IGCC では 48～50% と約 2 割の効率向上が見込まれる技術である。勿来・磐城沖地点では、勿来発電所構内に設置された空

気吹き I G C C 実証試験設備を CO_2 排出源と想定し、 CO_2 を回収する方式を選定した。

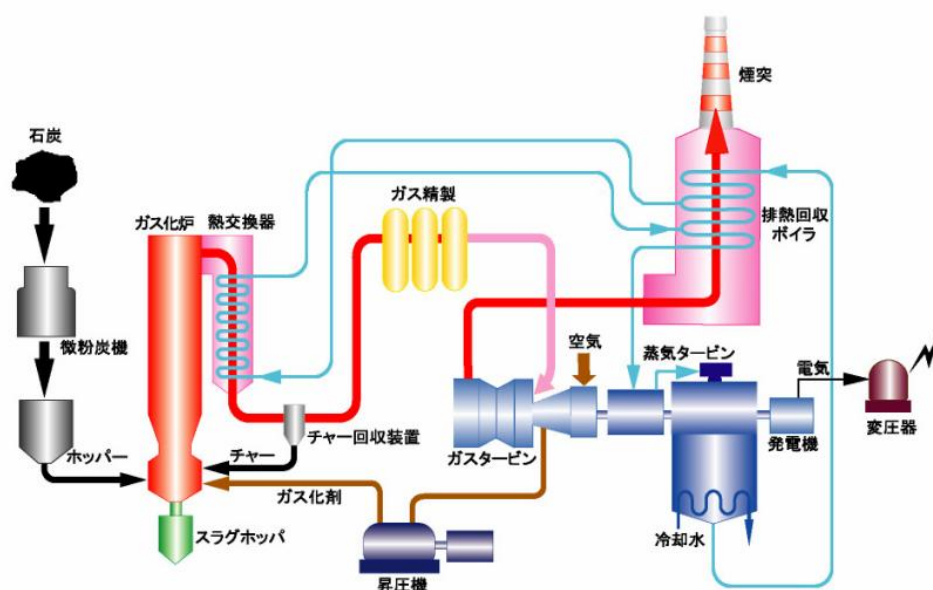


図 3-46 勿来 I G C C 実証プラント系統図（概略）

（出典：クリーンコールパワー研究所 H P (http://www.ccpower.co.jp/research/pdf/doc/2009gt01_semi37.pdf)）

合成ガス、天然ガスなどの各種ガスから CO_2 を分離・回収するために、数多くの CO_2 回収プロセスが開発され、いくつかは実用化されている。それらは、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、物理吸着法、深冷分離法の 5 つに大別することができる。

しかし、膜分離法（多孔質の気体分離膜にガスを通し、孔径によるふるい効果や拡散速度の違いを利用する分離方式）は未だ研究開発段階にあり、また、物理吸着法（ガスを活性炭やゼオライトなどの吸着剤と接触吸着させ、温度差や圧力差を利用して CO_2 を脱着させる方式）は、99%を超える CO_2 濃度を得ることが困難であり、深冷分離法（ガスを圧縮冷却後、蒸留操作によって分離する方式）は、分離・回収に要するエネルギーが大きく制御性等に課題がある。

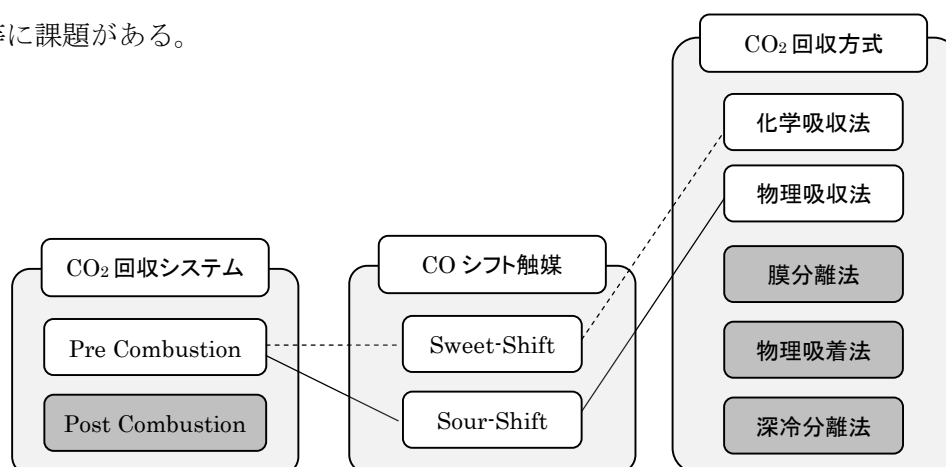


図 3-47 CO_2 回収方式の選定
（出典：N E D O 委託事業平成 21 年度報告書）

本検討では、既に世界的に広く活用されており、実績のある化学吸収法と物理吸収法を、I G C C に適用するC O₂分離・回収方式として選定し、既存設備からの熱源やユーティリティを考慮し、他地点の検討事例を参考に検討を進めた。

なお「C C S 実証事業の安全な実施にあたって」では、I G C C に関して海洋汚染防止法に規定されたアミン吸収法に限らず、技術開発の現状に対応した適切なC O₂分離・回収方法と濃度の規定が必要であると言及されている。

b C O₂回収システムの選定

石炭ガスからC O₂を回収する方式には、プレコンバクション（燃焼前回収）とポストコンバクション（燃焼後回収）及び酸素燃焼の3つを挙げることができる。

ガス化炉から生成した石炭ガスを加圧状態のままC O₂分離・回収設備に供給する燃焼前回収方式は、石炭ガスを燃焼した後の排ガス（大気圧相当）を処理する燃焼後回収方式と比べて、処理ガスの実流量を少なくすることができ、分離・回収設備本体のコンパクト化（建設コストの低減等）を図れる等、メリットが大きい（表 3-15）。一方、酸素燃焼には、酸素製造装置を設置する必要があり、所要動力が大きくなるうえ、設備のコンパクト化に課題が残る。

よって、当該I G C C に適用するC O₂回収システムとしては、燃焼前回収方式を選定した。

表 3-15. C O₂回収方式の比較

（出典：N E D O 委託事業平成 21 年度報告書）

項目	I G C C + プレコンバクション	I G C C + ポストコンバクション
ガス種	ガス化炉出口生成ガス	ガスタービン出口排ガス
処理ガス量	（ベース）	約 4.1 倍
処理ガス圧力	高圧（加圧状態）	大気圧
処理ガス体積流量 （@40℃）	（ベース）	約 100 倍
C O ₂ 回収溶剤再生用 エネルギー	小	大

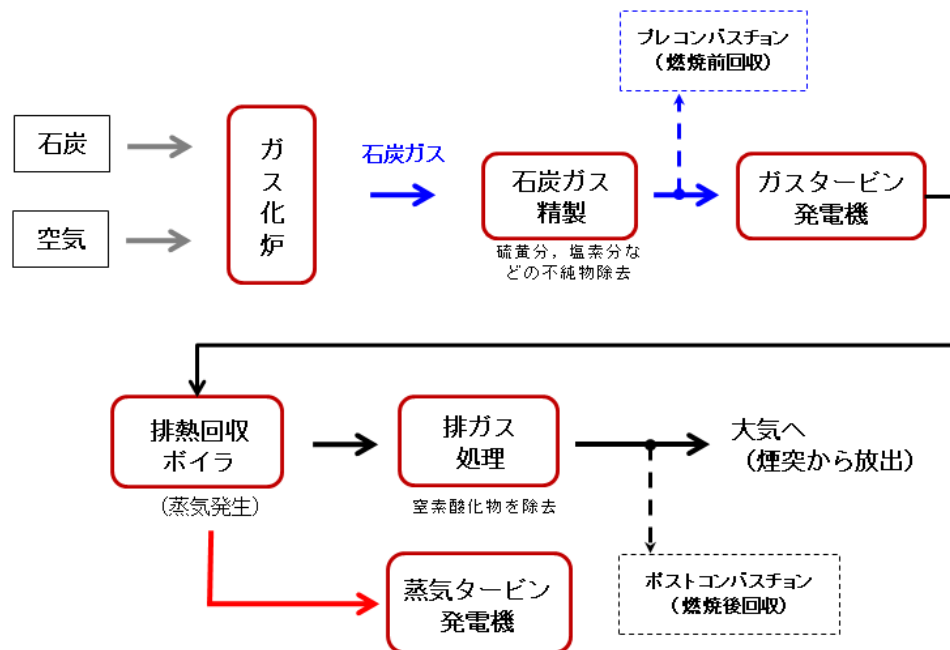


図 3-48. プレコンバクションおよびポストコンバクションにおけるCO₂回収位置

(出典：NEDO委託事業平成 21 年度報告書)

空気吹き I G C C ガス化炉から生成される石炭ガスの概略組成を図 3-49 に示す。

石炭ガスに含まれているCO₂は約 3%であり、このガスからCO₂を直接、燃焼前回収しても量的に少なく、また、約 29%を占めるCOは後段のガスタービンで燃焼した後、CO₂となって大気へ放散してしまう。CO₂回収を効果的に行うためには、石炭ガスに含まれているCOを水蒸気改質（COシフト反応）させてH₂とCO₂に変換し、変換後のガスからCO₂を回収する方法が考えられる。

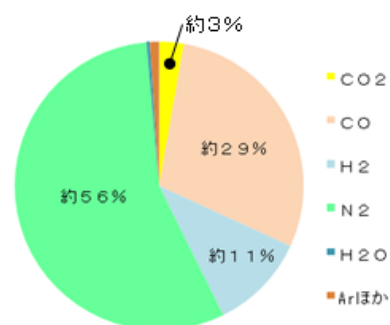
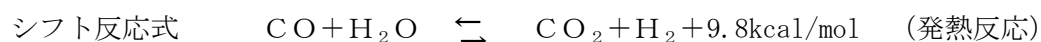


図 3-49 石炭ガスの概略組成
(出典：NEDO委託事業
平成 21 年度報告書)



c CO₂回収方式とCOシフト触媒との組合せ検討

高圧の石炭ガスからのCO₂回収方法としては、化学吸収法と物理吸収法が挙げられることから、両者を用いることを想定して検討した。

化学吸収法における吸収液にはアミン類や熱炭酸カリなどが挙げられるが、高圧の石炭ガスに適用することから、高圧領域におけるCO₂吸収特性ならびにエネルギー効率性に

優れ、かつ、触媒や吸収促進剤を添加することでCO₂吸収速度を高める活性アミン溶液を選定した。

物理吸収法については、化学プラント等で多くの実績のある Selexol 法と Rectisol 法が挙げられる。ここでは、Rectisol 法よりもH₂S除去性能は低いものの、所要動力の少ない Selexol 法を選択した。

また、COシフト反応には、H₂Sの存在下でコバルト・モリブデン系の触媒を用いる Sour シフトと、H₂Sのほとんど存在しない条件下で鉄系や銅・亜鉛系触媒を用いる Sweet シフトの2種類があることから両者を比較した（表 3-16）。

表 3-16 Sour シフトと Sweet シフトの特徴

（出典：NEDO委託事業平成21年度報告書）

プロセス	Sour Shift	Sweet Shift	
概略フロー			
触媒	Co-Mo, Pd-Al ₂ O ₃	低温系 Cu-Zn	高温系 Fe-Cr
触媒の形状	押し出し成型等	タブレット、ハニカム等	タブレット等
使用温度	250～480℃	190～230℃	340～480℃
S被毒性	ほとんど無し、むしろ活性維持のためにH ₂ S存在(>100ppm)が好ましい	永久的 (許容濃度<0.1ppm)	一時的 (許容濃度<50ppm)
その他の毒	重質HC(ベンゼン環を有するもの)、ハロゲンなど	ハロゲン、Hg、Cd等の重金属	ハロゲンなど
触媒メーカー	Sud-chemie, Topsoe, Johnson Matthey など	Sud-chemie, Topsoe, Johnson Matthey など	Sud-chemie, Topsoe, Johnson Matthey など

Sour シフト後のガスにはH₂Sが含まれるが、化学吸収法ではH₂SとCO₂を別々に回収できないため適用することはできない。一方、物理吸収法ではH₂SとCO₂を別々に回収できるため、Sour シフト後のガスには物理吸収法が適する。

一方、Sweet シフト後のガスにはH₂Sがほとんど含まれておらず、化学吸収法、物理吸収法、どちらも適用可能であるが、物理吸収法ではCO₂吸収液を極低温にするための大きな冷凍機動力ならびに減圧再生したCO₂を再昇圧する動力が必要であり、化学吸収法と比較して設備費、消費エネルギーともに大きくなる。

以上から、Sour シフト+物理吸収法と Sweet シフト+化学吸収法（活性アミン法）の組合せを選定し、評価した。

d CO₂回収量の検討

既設IGCC設備にCO₂分離・回収設備を追加設置する場合、石炭ガス中のCOを

CO₂に変換させるために多量の蒸気（純水）が必要となり、また、冷却塔ブローダウンに伴う排水を処理する必要がある。このため、既設設備の純水使用可能量および排水処理可能量の制約を考慮して、物理吸収法、化学吸収法のそれぞれについて、処理可能な石炭ガス量（石炭ガスの最大分岐率）を検討した結果、処理可能な石炭ガス量は純水量により制約され、最大石炭ガス分岐率は10%程度となった（表3-17）。石炭ガス分岐率10%におけるCO₂分離・回収規模は年間10万トンに相当する。

表 3-17 最大ガス分岐率

（出典：NEDO委託事業平成21年度報告書）

制約条件	物理吸収	化学吸収
排水量	12%	17%
純水量	11%	11%

なお、分離・回収設備のスケールアップデータ取得には、分岐率が3%以上あれば可能であり、また年間10万トン規模のCO₂を圧入し、モニタリングすることによりCO₂貯留状態の確認は可能であることから、IGCCからのCO₂の分離・回収、昇圧・輸送、圧入・貯留にわたるトータルシステムを評価できるものとする。

e CO₂回収規模を反映したCO₂分離・回収プロセスの比較検討

石炭ガス分岐率を10%としてCO₂分離・回収する場合のプロセスについて、比較検討した結果を表3-18に示す。

空気吹きIGCCにCCSを組み合わせたトータルシステムは世界初であり、IGCC実機にCO₂分離・回収を組み込む最適化技術は日本独自のものであることから、化学吸収法、物理吸収法の両方式とも開発意義は大きい。

両方式のIGCC送電端効率についてはほぼ同等であるものの、高純度CO₂が得られやすく、また、既設設備に追加設置する機器点数が少なく、設備費、必要土地面積の面でも有利となることから、COシフトとCO₂回収方式の組み合わせは、Sweet シフト＋化学吸収法（活性アミン法）を選定した。

なお、選定したSweet シフト＋化学吸収法（活性アミン法）によって回収されたガスは、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令」における規定（第11条の5：海底下廃棄をすることのできるガスの基準）に適合するものである。

表 3-18 勿来 I G C C 実証機からの石炭ガス 10%分岐時の C O₂ 分離・回収方式比較

(出典：N E D O 委託事業平成 21 年度報告書)

評価項目		化学吸収法 採用ケース (Sweetシフト適用)	物理吸収法 採用ケース (Sourシフト適用)
国内技術としての 独自性・新規性		同等 空気吹きIGCCとのトータルシステムとして世界初・日本独自の技術であり、 CO ₂ 回収方式によらず開発意義は大きい	
経済性	運転費	同等 10%分岐の場合、送電端効率率はほぼ同等	
	設備費	○ 物理吸収法よりも追加機器点数が少なく、 機器設備費が安く抑えられる	△ 化学吸収法よりも追加機器点数が多く、 機器設備費が化学吸収法より約2割高くなる
運用性		○ 物理吸収法よりも機器点数が少なく、 通常運転・メンテナンスが容易	△ 化学吸収法よりも機器点数が多く、 通常運転・メンテナンスとも不利
環境性		○ 化学吸収法では高純度のCO ₂ を得ることができ、 不純物は少ない	△ 物理吸収法ではCO ₂ がフラッシュ再生されるため、 回収CO ₂ 純度が化学吸収法と比較して低くなり、 不純物が多い
必要土地面積		○ 物理吸収法よりも追加機器点数が少なく、 必要スペース小	△ 化学吸収法よりも追加機器点数が多く、 必要スペース大 (化学吸収法と比較し、CO ₂ 分離・回収設備エリア40%増)

f Sweet シフト+活性アミン法による分離・回収システムの構成

C Oシフト反応に伴い発生する熱を多段回収し、省エネルギー性を高めたC O₂分離・
回収設備の構成を検討し、システム系統図を作成した(図 3-50)。

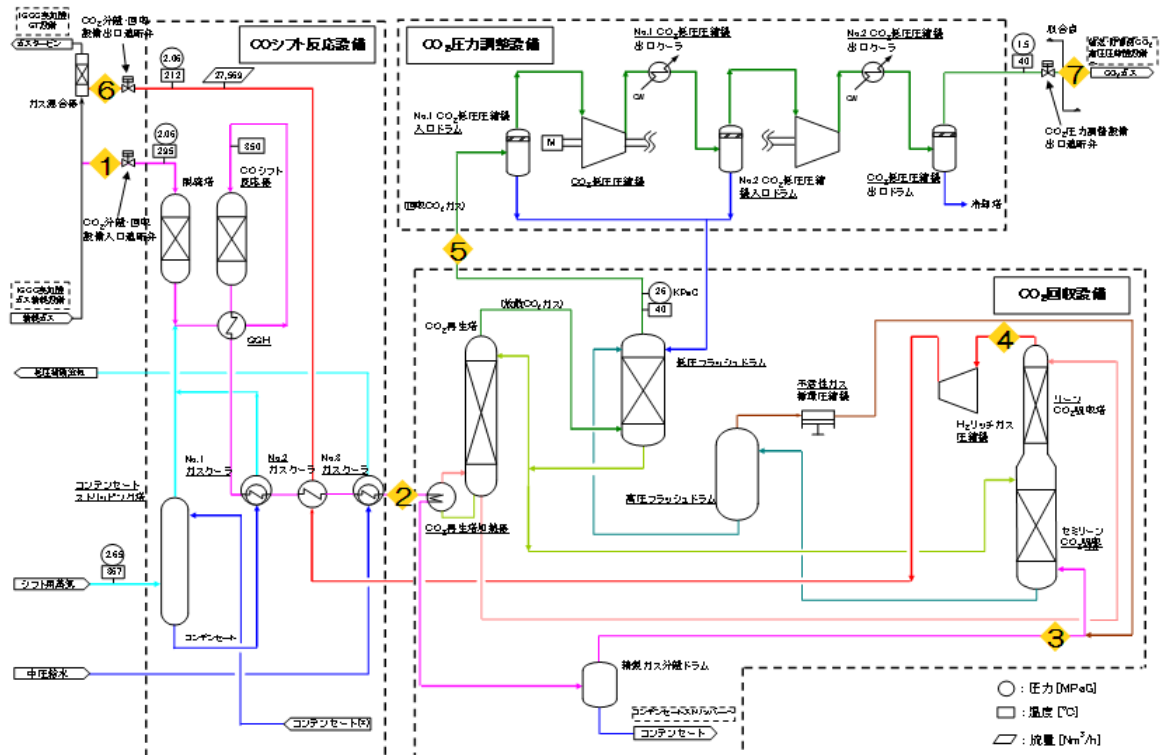


図 3-50 C O₂ 分離・回収設備系統図

(出典：N E D O 委託事業平成 21 年度報告書)

前図のCO₂分離・回収系統上に1～7の番号を付しているが、それぞれの部位におけるガス組成、流量、圧力、温度を表3-19に示す。なお、計算によると、CO₂分離・回収設備出口における回収ガスCO₂濃度は99vol%以上（dryベース）となることが分かる。

表 3-19 CO₂分離・回収系統におけるガス性状

番号(系統図参照)		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
名称		CO ₂ 分離・回収設備入口	シフト反応後のガス	セミリーンCO ₂ 吸収塔入口	リーンCO ₂ 吸収塔出口	低圧フラッシュドラム出口	H ₂ リッチガス	CO ₂ 分離・回収設備出口	
流量	Nm ³ /h (wet)	28,260	51,271	36,231	27,542	9,166	27,542	8,680	8,630
	ton/h	32.35	50.85	38.76	21.82	17.32	21.82	16.93	16.89
圧力	MPaG	2.06	1.66	1.51	1.50	0.026	2.06	1.50	1.50
温度	℃	295	158	50	50	40	212	40	40
CO	vol% (wet)	29.08	0.83	1.17	1.53	Trace	1.53	Trace	Trace
CO ₂	vol% (wet)	2.76	16.73	23.67	0.03	93.51	0.03	98.76	99.27
H ₂	vol% (wet)	10.82	21.17	29.96	39.38	0.13	39.38	0.134	0.135
H ₂ O	vol% (wet)	0.36	29.87	0.76	0.77	5.80	0.77	0.51	-
Ar	vol% (wet)	0.75	0.41	0.58	0.76	0.005	0.76	0.005	0.005
CH ₄	vol% (wet)	0.28	0.16	0.22	0.29	0.002	0.29	0.002	0.002
N ₂	vol% (wet)	55.94	30.83	43.63	57.23	0.55	57.23	0.586	0.587
H ₂ S	vol ppm (wet)	20	<5	<5	Trace	<20	Trace	<20	<20
COS	vol ppm (wet)	20	<10	<15	<15	Trace	<15	Trace	Trace
NH ₃	vol ppm (wet)	10	10	10	10	Trace	10	Trace	Trace

(本表は計算値であり今後の設計進捗により変更の可能性があります)

g CO₂分離・回収設備の概略図

既設IGCC設備と組み合わせるCO₂分離・回収設備の概略図ならびに主要機器の配置の一例を、図3-51および図3-52に示す。塔槽類をコンパクトに配置した結果、架構および機器の高さは最大で40m程度になった。なお、騒音防止のためポンプ類周りには防音壁を設ける計画とした。

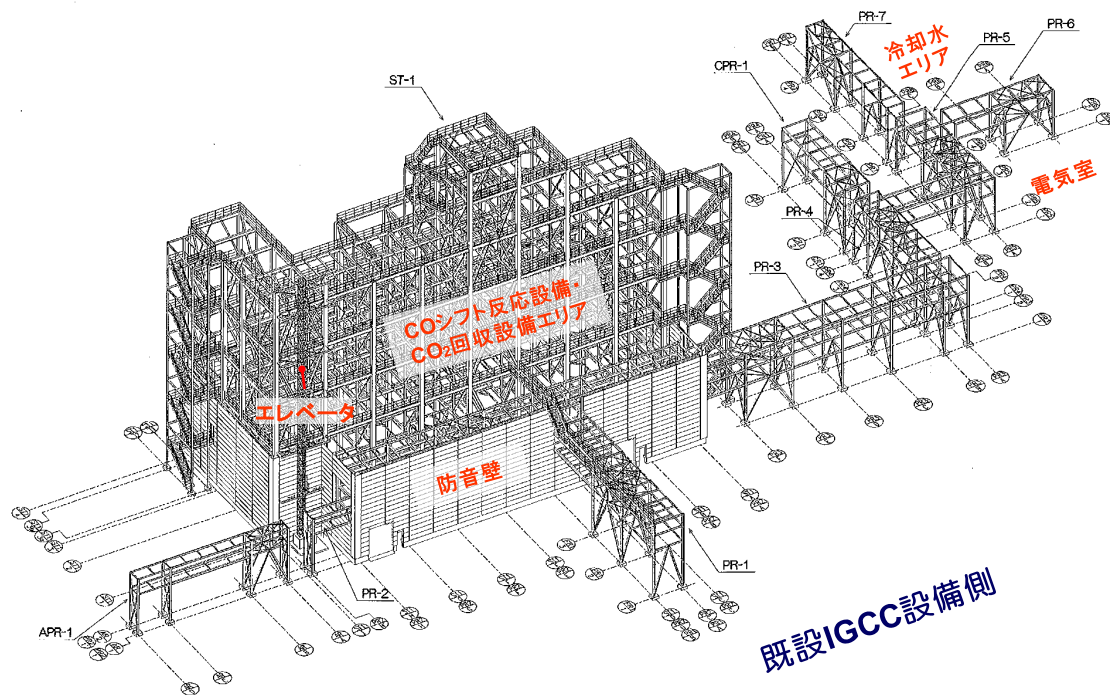


図 3-51 プラント全体予想図（鋼構造物）

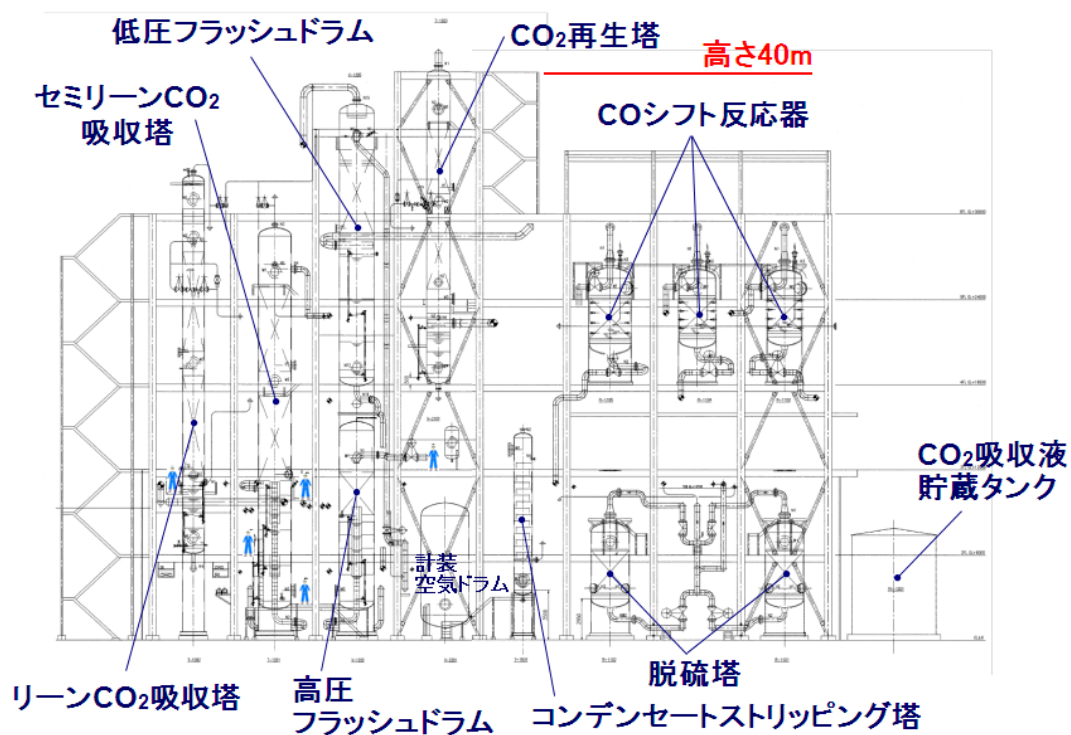


図 3-52 COシフト反応設備・CO₂分離・回収設備の機器配置

h CO₂分離・回収設備設置による効率低下

既設IGCC実証機に400トン-CO₂/日（年間10万トン-CO₂規模）のCO₂分離・回収設備を組み込んだ場合のIGCC送電端発電効率を計算すると、5%程度低下（相対値）することがわかった（図3-53）。

主な効率低下の要因としては以下が挙げられる。

- ア) ガスタービンに投入されるガスの重量・流量減による化学熱量の低下、ガス温度の低下に伴うガスタービン出力の低下
- イ) シフト用蒸気の取り出しに伴うスチームタービン出力の低下
- ウ) CO₂低圧圧縮機等の所内動力の増加

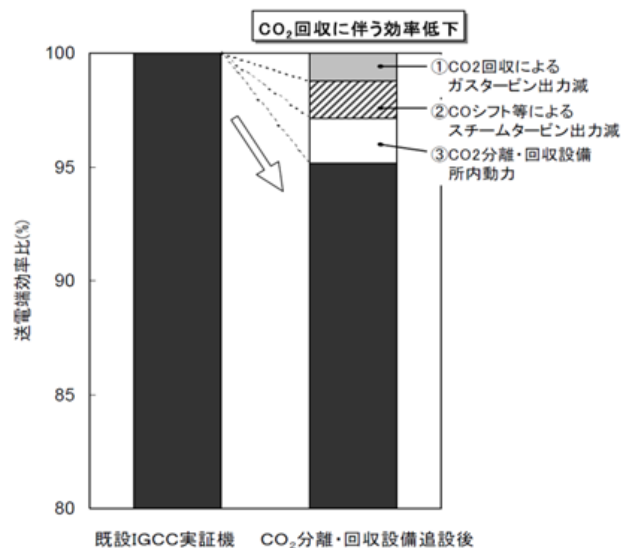


図3-53 プラント送電端効率比較

（出典：NEDO委託事業平成21年度報告書）

②CO₂昇圧・輸送、圧入・貯留システム

分離・回収設備において回収したCO₂は、分離・回収設備と同敷地内に設置する陸上昇圧設備（図3-54参照）にて脱湿・昇圧を行い、海底パイプラインを通じて約80km北東に位置する磐城沖ガス田に輸送する。磐城沖ガス田は2007年に生産を終了しており、天然ガス生産に使用された坑井はすべて廃坑され、プラットフォームも撤去済みである。今回の検討では実証試験に向けた設備を最小限とすべく、磐城沖ガス田直上の海底面に海底設備を設置し、同位置から新規に掘削する圧入井を通じて生産終了したガス層に圧入・貯留することを計画した。

まず、この設計の基礎となる流動解析を行い、その結果をもとに各設備の設計を実施した。

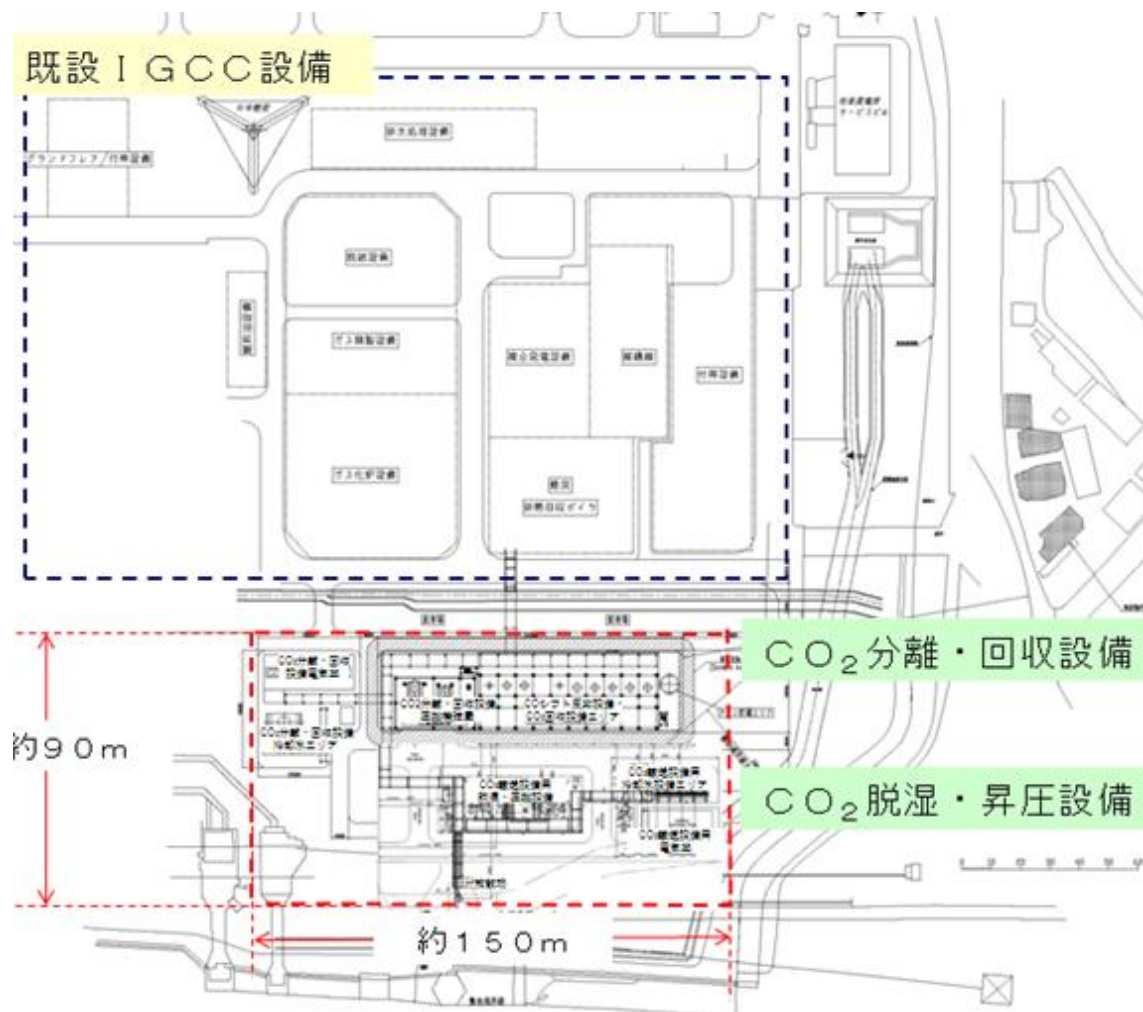


図 3-54 地上設備の概略配置図

a 流動解析(フローアシュアランス)

今回のシステムでは輸送手段として約 80km の海底パイプラインを使用するが、このライン内では海水温度による温度低下が見込まれること、生産終了ガス田を対象とした地中貯留であり、圧入開始初期における貯留層圧力が CO_2 の臨界圧力以下であることから、輸送中に気液二相状態になることが推定される。そこでパイプライン輸送・圧入井の圧力を一元化した流動解析により、圧入時における適正な圧入パターンの把握を目的としてシミュレーションを実施した。

流動解析では、初めに一般的な CO_2 の輸送方法である臨界圧力以上の液相でのパイプライン輸送を設定したが、この方式を採用するためには圧入井直前に圧力調節弁の設置が必要となること、調節弁で減圧する際に断熱膨張により極低温域が発生することが判明し、海底設備の凍結対策や低温材の採用が必要なことから、既存の技術で対応困難と判断して、

この方式による輸送を断念した。

次に、貯留層圧力に応じてガス相で輸送する方法を検討したが、冬季間の周囲の海水温度が低い場合や貯留層圧力が上昇した場合は、気液二相状態での CO_2 輸送を余儀なくされることが判明した。

最終的には陸上部で貯留層圧力に応じた圧力(約 4MPa)まで昇圧することで、周囲の環境により一部気液二相の領域に入るものの、圧入可能との計算結果を得た。気液二相状態での安定した輸送を行うためには、図 3-55 に示すような、管内の流動状況が大きく変化する乱流領域のプラグフローやスラグフローを避けることが基本である。一定レートの輸送に加え、圧入開始や停止時等の非定常状態でのシミュレーションを実施したが、今回の検討範囲では図 3-55 左側の層流領域での輸送となることから問題ないとの結果を得た。

また、ライン閉塞の原因となるハイドレート生成についても併せ検討を行い、十分に脱湿した CO_2 を輸送すれば、ハイドレートは生じないとの結果を得た。

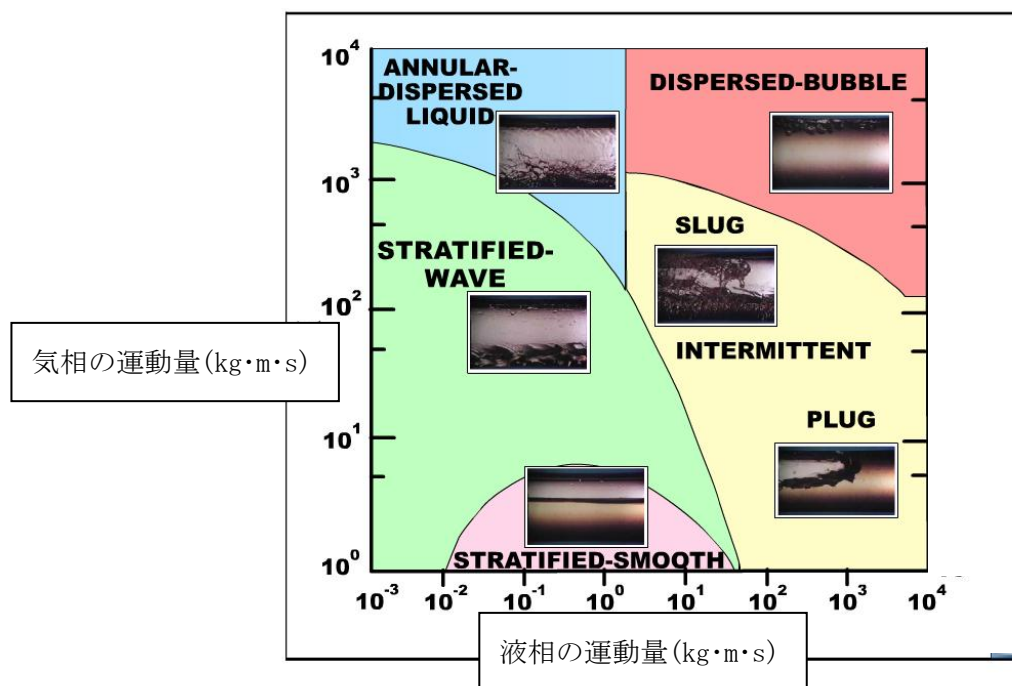


図 3-55 水平流におけるフローパターン

(出典：NEDO委託事業平成 22 年度報告書)

b CO_2 昇圧・輸送システムの構築

1) CO_2 昇圧・輸送システムの概要

陸上昇圧設備は、 CO_2 の水分を除去する脱湿設備、圧入井へ CO_2 を圧送するための昇圧設備、緊急時対応の CO_2 放散設備により構成される。さらに、主要なユーティリティ

イ設備として冷却水設備と制御空気設備を有する。昇圧したCO₂は海底パイプラインにより磐城沖ガス田貯留サイトの海底設備（圧入井）へ輸送する(図 3-56 参照)。このうちパイプラインサイズについては、分離・回収設備の検討結果から年間CO₂輸送量を10万トンとし、前述の坑井を含めた流動解析結果も考慮して、配管サイズを8インチ（200A）とした。

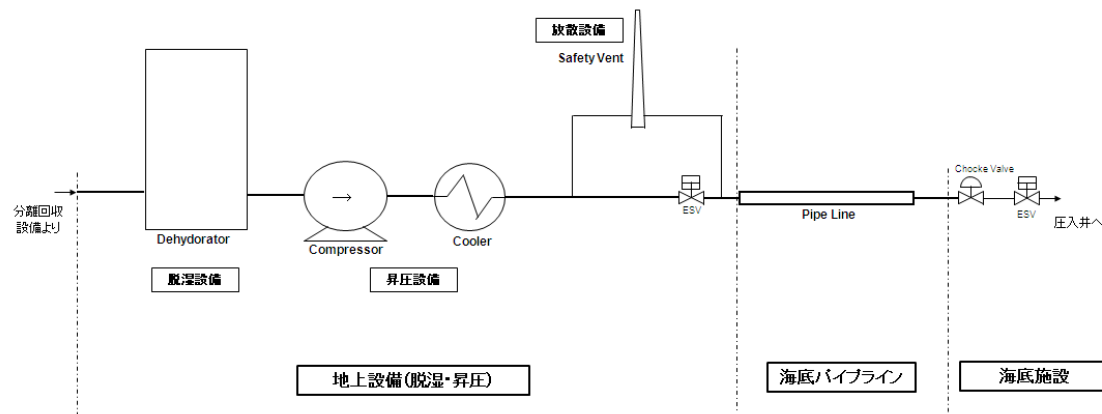


図 3-56 パイプラインシステムプロファイル

（出典：NEDO委託事業平成 22 年度報告書）

イ) 地上設備(脱湿・昇圧)の設計

i) CO₂条件

- ・ 流 量：8,600 Nm³/h (Dry)
- ・ 受入圧力：1.5MPaG
- ・ 送出圧力：4.14MPaG
- ・ 送出温度：35℃
- ・ 送出時水分量：90ppm-vol (パイプライン内に腐食環境を生じさせないため、操業中に水分が凝縮しないレベルまでCO₂を脱湿するものとし、パイプラインの運用圧力における露点が-5℃以下となるよう水分量を制限した。)

ii) 脱湿設備

分離・回収設備から受け入れるCO₂は、水分が飽和状態で高い腐食性を有するため、上流側に脱湿設備を配置して、下流側の腐食環境を改善することとした。

高精度の脱湿が要求されるため、二段階のプロセスで脱湿を行う。第一段プロセスは膨脹冷却式による粗脱湿とし、第二段プロセスには国内実績等から乾式吸収型を採用して所

定の露点を達成する。

iii) 昇圧設備

所定の圧力まで CO_2 を1段で圧縮する。圧縮機には、実績等を考慮し容積型往復式（オイルフリータイプ）を採用した。

iv) 放散設備

緊急時、 CO_2 は自立型放散塔から放散することとし、放散時の地上濃度と騒音から放散塔の高さ(18m)と位置を決定した。パイプライン脱圧時における CO_2 の減圧温度降下を防止するため、放散前に蒸気ヒータにより CO_2 を加熱する。

c CO_2 貯留システム

磐城沖ガス田では、圧入設備は海底面に設置する前提で、海底設備及び圧入井の設計を実施した。

7) 海底設備の設計

海底設備は、PLET（Pipeline End Termination：海底パイプラインの終端部、パイプライン清掃用のピグ設備を含む）・海底坑口装置(サブシーツリー)およびこれら設備の保護ストラクチャー(OPS：Overtrawlable Protection Structure)より構成される(図 3-57 参照)。圧入井の坑口装置にあたるサブシーツリーは圧入量から1基のみとし、据付け作業の容易性とメンテナンス性を重視し、小型軽量な水平型を選択した。サブシーツリーへの接続配管は2分割で配置され、中間にはピギング用バルブ、ピグランチャー、サブシーツリーへの縁切り用バルブを装備するPLETが取付けられる。

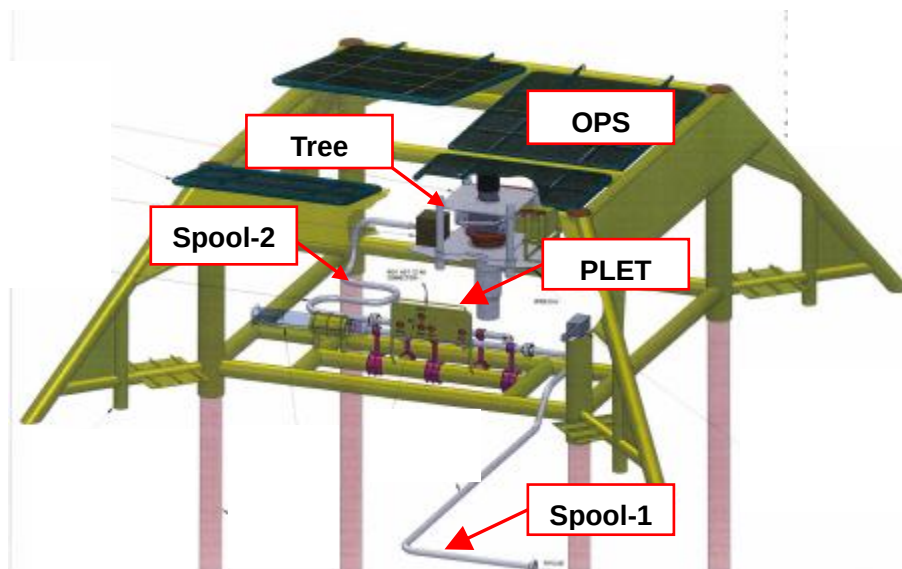


図 3-57 海底設備概略図

また磐城沖ガス田では天然ガスの生産に用いた全坑井が廃坑されているため、 CO_2 の

圧入には新規の圧入井が必要となる。そこで新たな圧入井の設計を行った。圧入井の掘削位置は、磐城沖ガス田内でも最も生産実績があり多くのCO₂貯留可能性が考えられる中央ブロックの、地層水の影響が少なく廃坑された既存井と重ならない地点とした。圧入井はCO₂圧入時の耐腐食性を考慮し、チュービングおよび、貯留層部のケーシングには、耐食性をもつ13Cr鋼を、セメントは耐CO₂セメントを使用する計画とした(図3-58参照)。

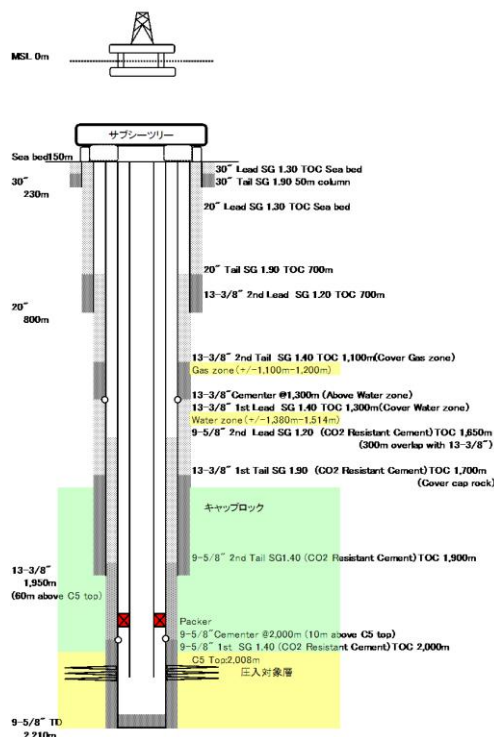


図 3-58 圧入井坑内図

(出典：NEDO委託事業平成21年度報告書)

1) 制御システムの設計

海底設備と陸上を結ぶ制御のための信号を伝送するアンビリカルケーブルについては、昇圧設備と海底設備を直接つなぐとコスト高になることから、磐城沖ガス田より直線距離約40kmの檜葉地区に無人地上制御システムを設置する計画とした。本システムは、昇圧設備側から無線遠隔制御システムでコントロールが可能である。よって海底設備の制御システムは、下記により構成される。

- 油圧供給、電力供給、制御信号を送受信する無人地上制御システム
- 電力、油圧、信号を40km先の海底設備まで送るアンビリカルケーブル
- ツリーのバルブ操作や各センサーを制御するサブシーコントロールモジュール

(6) 輸送・海底設備に係る調査・検討成果

①パイプラインルート調査成果

パイプラインルート調査においては、排出源が位置するいわき市沿岸から貯留地点となる檜葉町沖合約 40km に至る海域において、海底パイプライン敷設に必要となる、海底地形、海底地質等の情報を事前を取得するため、音響探査機や電気式静的コーン貫入試験機などにより深浅測量と海底地質調査を行った。さらに、海底地形に対するパイプラインの応力解析を行い敷設可能なパイプラインルートを選定した。

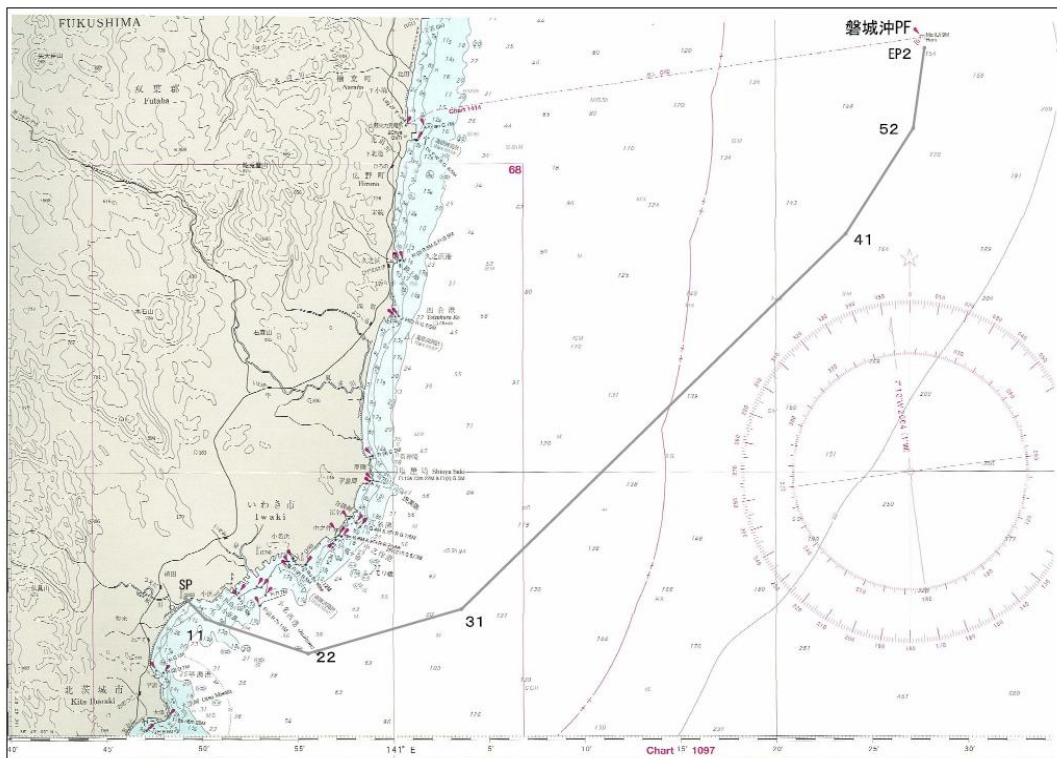


図 3-59 パイプライン敷設推奨ルート図

(背景地図：海上保安庁発行の海図 1/200,000 「塩谷崎 至 石巻港」)

②ベントスタックからの排出ガス拡散予測成果

地上昇圧設備において、異常時にベントスタックから排出される CO_2 の拡散濃度を、建物の影響を考慮した手法で解析し、周辺環境の安全性を評価した。

解析には、建物後流のダウンウォッシュを考慮できるME T I - L I Sモデルを使用した(図 3-60 参照)。

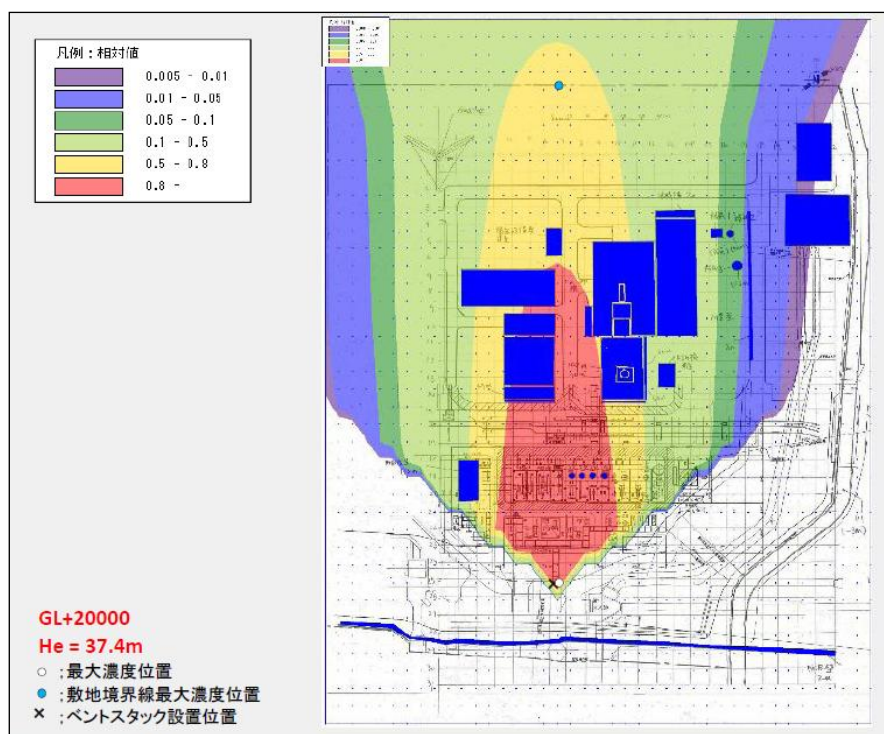


図 3-60 MET I - L I S 計算結果(一例)

解析結果より、ベントスタック近傍の低い位置で、建物のダウンウォッシュにより拡散濃度が高くなることが確認された。

無風時におけるベントスタック放出口の直上付近を除き、安全性を確保する基準として定めた 5,000ppm を超える拡散濃度は算出されなかった。ベントスタック放出口の上部には設備は計画されておらず、運用時にオペレーターが接近する可能性はない。さらに、基準を超える範囲も局部的に極めて限定されていることから、安全上の問題はないものと判断した。

③腐食・不純物影響評価成果

分離・回収された CO_2 に含まれる不純物の 1 つである水分が、パイプラインの腐食に及ぼす影響について調べた。その結果、計画されている回収 CO_2 ガスの組成に対し、含有水分量が約 170ppm の条件においては、選定した鋼材であればパイプラインの健全性を損ねる腐食は起こらないことが確認された（図 3-61 参照）。

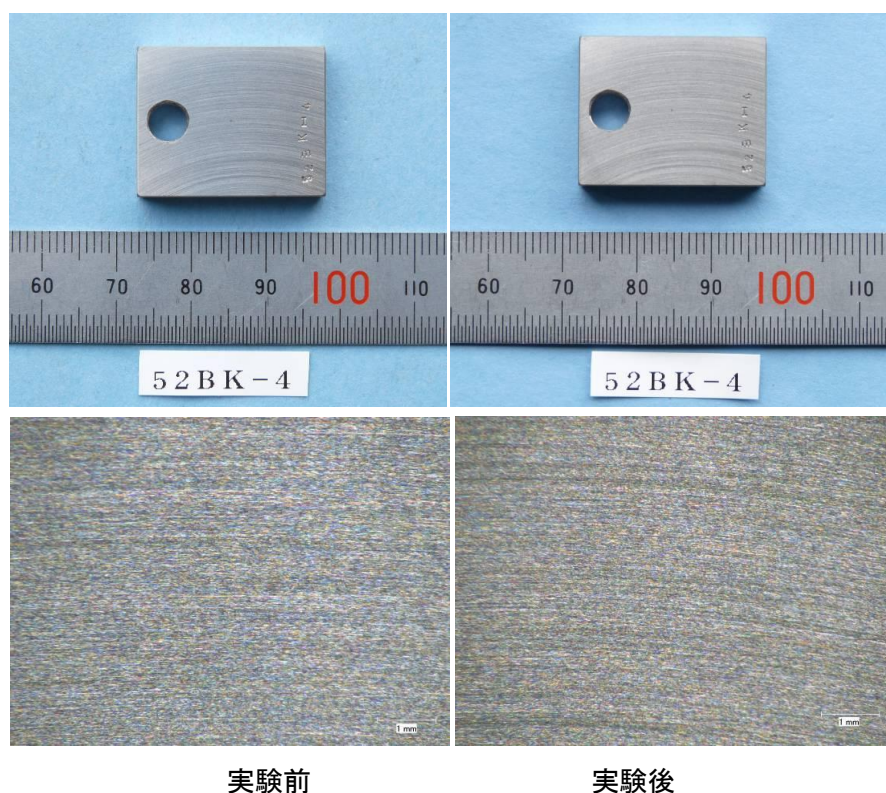


図 3-61 腐食・不純物影響評価試験サンプル(実験前後)

④生産終了ガス田輸送貯留技術調査成果

本検討では生産終了ガス田という低圧の貯留層を対象とした場合に対し、輸送・貯留の両面に対しエンジニアリング的見地から問題点の解決策を模索した。他のプロジェクトにおいては、 CO_2 の長距離輸送が気相もしくは Dense Phase (臨界圧力以上での液相の状態) で実施されており、現在検討している二相流による長距離輸送の前例がないことが再確認された。また輸送中に減圧部を設けると断熱膨張により低温領域が生じ、ハイドレート生成を含めた輸送障害が発生する懸念があり、これに対し様々な方面から検討はされているものの、具体的に対応している事例はなく、世界においてもこの分野も検討段階であることが判明した。

(7) 廃坑井腐食に係る調査・検討成果

①磐城沖地点における生産終了ガス田の既存廃坑井の耐腐食性検討成果

磐城沖ガス田での CO_2 貯留において、17 坑の既存廃坑井からの CO_2 圧入開始から 1,000 年間に渡る CO_2 漏洩リスクを評価することを目的として検討を実施した。既存廃坑井 17 坑のデータ収集と解析を行い、最も CO_2 漏洩リスクの高い 2 坑 (キーウェル) に関して 1,000 年間に渡る CO_2 の移動をモデル計算した (図 3-62 参照)。モデル計算結果を

基にキーウェルからの CO_2 漏洩リスクを推定した。2坑のキーウェルでの結果をその他の15坑井に反映させ検討した結果は、以下に示す通りである。

- i) 坑内からの漏洩： CO_2 は最深のセメントプラグ以深までしか坑内に侵入しない。
 - ii) 坑井の周りからの漏洩： CO_2 はキャップロック層の基底以深までしか移動しない。
- 従って、全ての既存廃坑井において、 CO_2 は貯留層から外部に漏洩する可能性は低いものと考えられる。

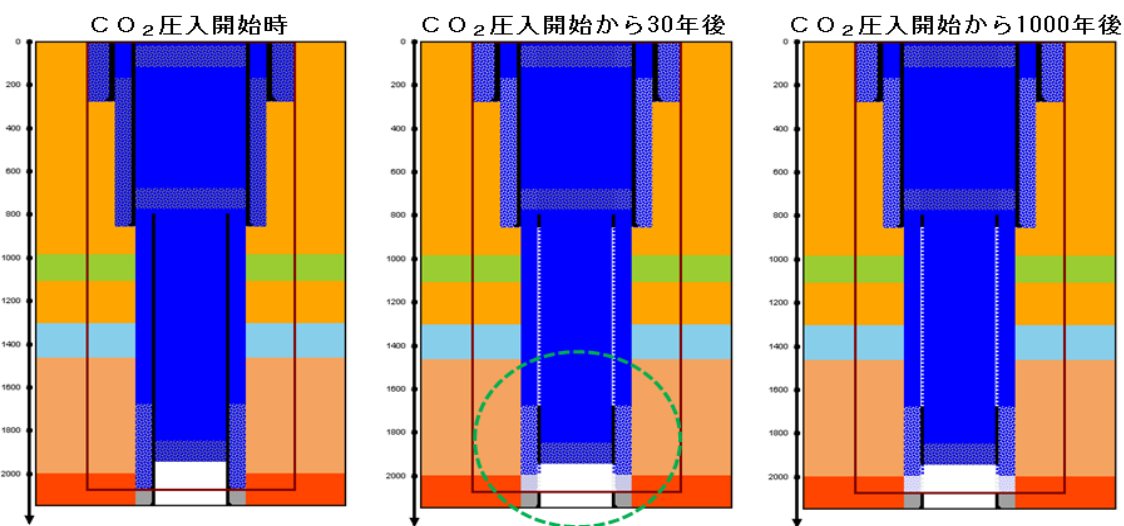


図 3-62 モデル計算結果(一例)

②廃坑井のセメント劣化試験及び劣化予測シミュレーション成果

本検討では、廃坑井のセメント劣化について、文献調査・室内実験・予測シミュレーションを実施した(図 3-63 参照)。その結果、 CO_2 によるセメント劣化は時間に対してリニアに進行するものではなく、二次鉱物の生成等で CCS の対象とする長期間(1,000年)に対し、 CO_2 漏洩に対する抵抗性が向上する方向にあることが確認された。今後、セメントの劣化の仕組みにつき、より精度の高いモデル化を進めるとともに、地層・ケーシング鋼材を含めたトータルシステムでの健全性評価が必要と考える。

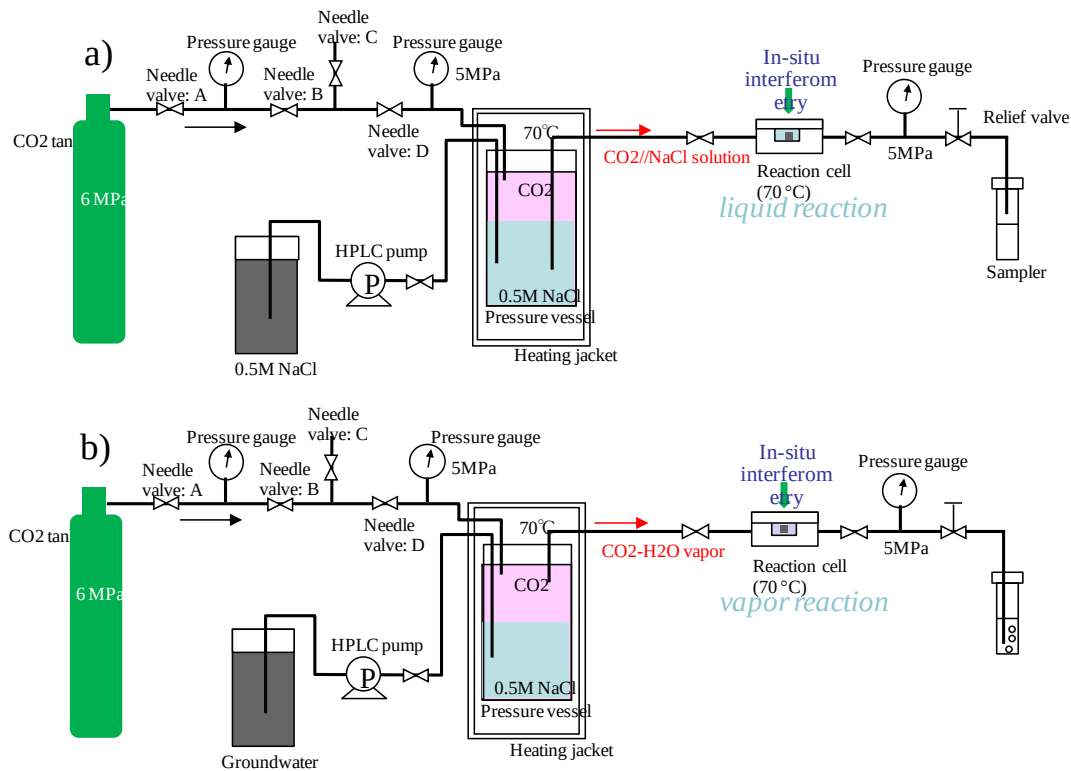


図 3-63 セメント腐食評価試験フロー図

③既存廃坑井のケーシング耐腐食性調査と試験計画策定成果

本検討では、文献調査を行い、磐城沖ガス田にある廃坑井のケーシングの、地層内温度・圧力条件に近い環境において予想される腐食状況についてまとめた。結果として、貯留層環境においては、廃坑井のケーシングは腐食環境下にあり、 CO_2 が到達することにより腐食が発生することが想定される。この度合いを定量的に評価するために、貯留層状態での腐食状態の再現試験について、実験装置の内容、実験方法の手順・指針を作成した。今後、ケーシングの腐食試験を実施し、セメントの劣化評価試験と併せて総合評価をすることで、既存廃坑井の漏洩可能性に関する見解を取りまとめることができるものとする。

(8) まとめと今後の課題

勿来・磐城沖地点における調査では、まず、ガス田の開発並びに生産時に得られた種々のデータから貯留層評価を実施し、 CO_2 貯留可能量の概略を、また、シミュレーションモデルを構築し、貯留した CO_2 の挙動に関する結果を得た。さらに、モニタリングに関する計画を作成した。

今後の課題としては、実証試験開始前に、遮蔽層に関するデータが不足しているため、調査井を掘削、遮蔽層のコアを取得・分析することで、遮蔽能力の定量評価を実施する必要がある。また、古い二次元弾性波探査しか実施していない磐城沖ガス田に対し、新規に

三次元弾性波探査を適用することで、貯留範囲の明確化並びに東日本大震災による新たな断層の有無の確認が可能となるものと考えられる。

次に、分離・回収について、NEDO委託事業成果および今回の検討の結果、勿来IGCC実証機からCO₂の分離・回収を行うための要件（基本条件、機器仕様、全体概略工程など）を明らかにし、概ね実証試験に必要となる設計検討を終了した。

今後の課題としては、商用化に向けた更なるCO₂回収エネルギー削減を目指した検討や、設備のメンテナンスエリア・パトロール通路等を考慮した機器配置・配管ルート計画等が必要である。

また、設備建設エリアにおける地下埋設物等の有無によっては、地上設備のレイアウトに大きな変更が生じることが考えられ、変更後のレイアウトをベースに、既設／新設機器を含めた合成騒音予測ならびに騒音対策、及び、後述するベントスタックからのCO₂等のガス拡散による影響評価ならびに対策を検討する必要がある。

また、CO₂昇圧・輸送、圧入・貯留システムについては、流動解析を実施し、その結果に基づき、各設備の設計を行った。この中で、生産終了ガス田を貯留層とする場合、層内の圧力が下がっていることが原因で、輸送方法に固有の課題があることを明らかにした。

CCSトータルシステムに関する全体調査を進める一方、明らかになった個別の課題、具体的には「パイプラインルート」「ベントスタックからの排出ガス拡散」「不純物の腐食への影響」「廃坑井からの漏洩」に着目し、個別に調査を実施した。

3-1-2-4 北九州地点

北九州地点は候補地点の中で唯一、古第三紀の帯水層を貯留対象とする。石油・天然ガスの探鉱開発に伴う地質調査データが豊富な他の候補地点とは異なり、貯留対象層の深度に達する既存の掘削データが無いなど基礎的なデータが乏しいことから、実排出源と組み合わせた実証試験を検討する前に、古第三紀の帯水層について貯留性能の確認が必要であり、以下に示す通り必要な地質調査を進めている。

(1) 調査概要

北九州地点では、深部地質構造を推定するためのボーリング調査や弾性波探査は行われていないが、既存の地表調査や浅層ボーリング調査により、CO₂貯留可能な深度 1,000m 以深にCO₂貯留に適した古第三紀層が北九州沖合に発達していると推定されている。

基礎実証試験の実施に向けて、複数のボーリング調査、二次元海上弾性波探査および三次元海上弾性波探査による段階的な深部地質構造調査と貯留対象層調査の初期段階として、古第三紀層の確認とCO₂貯留可能性を評価するために、下記の調査を実施した。

1) 既存地質情報調査

既存情報による当該地域の地質の把握

2) 重力データ解析

広域の概略的な地質構造の推定

3) ボーリング調査（北九州CCS-1）

調査地点の層序、岩層、貯留対象層の存在、基盤層の確認

4) VSP（Vertical Seismic Profiling）と陸上弾性波探査

ボーリング調査地点周辺において、ボーリング調査で確認された古第三紀層、基盤層の空間的分布状況を確認

5) 地質モデル構築

1)～4)で得られた結果を基に、当該地点の地質構造を推定

6) CO₂挙動シミュレーション

5)で得られた地質モデルによる古第三紀の非構造性帯水層におけるCO₂挙動の予測

7) 坑口圧力の検討

5)で得られた地質モデルによる古第三紀の非構造性帯水層へのCO₂圧入可能性の確認

(2) 地質調査によるCO₂地中貯留に適した地層の確認

① 北九州地点の広域地質概要

既存地質データに記述されたこの地域の地質概要は図3-64に示す通りであり、下位より秋吉帯を構成する古生界呼野層群、下部白亜系関門層群、これらに貫入した白亜紀花崗岩類、古第三系の大辻層群と芦屋層群、および鮮新世～更新世玄武岩類などが分布している。山地には上部古生界の地層（呼野層群）、下部白亜系の関門層群、および後期白亜紀の花崗岩～花崗閃緑岩類が分布する。台地や丘陵には白亜系の関門層群と古第三系の大辻層群・芦屋層群が発達している。段丘や低地には第四系の段丘堆積物や沖積層が分布している。

このうち、CO₂貯留対象層は、古第三系大辻層群の出山層の下部（上津部層～天籟寺部層）である。

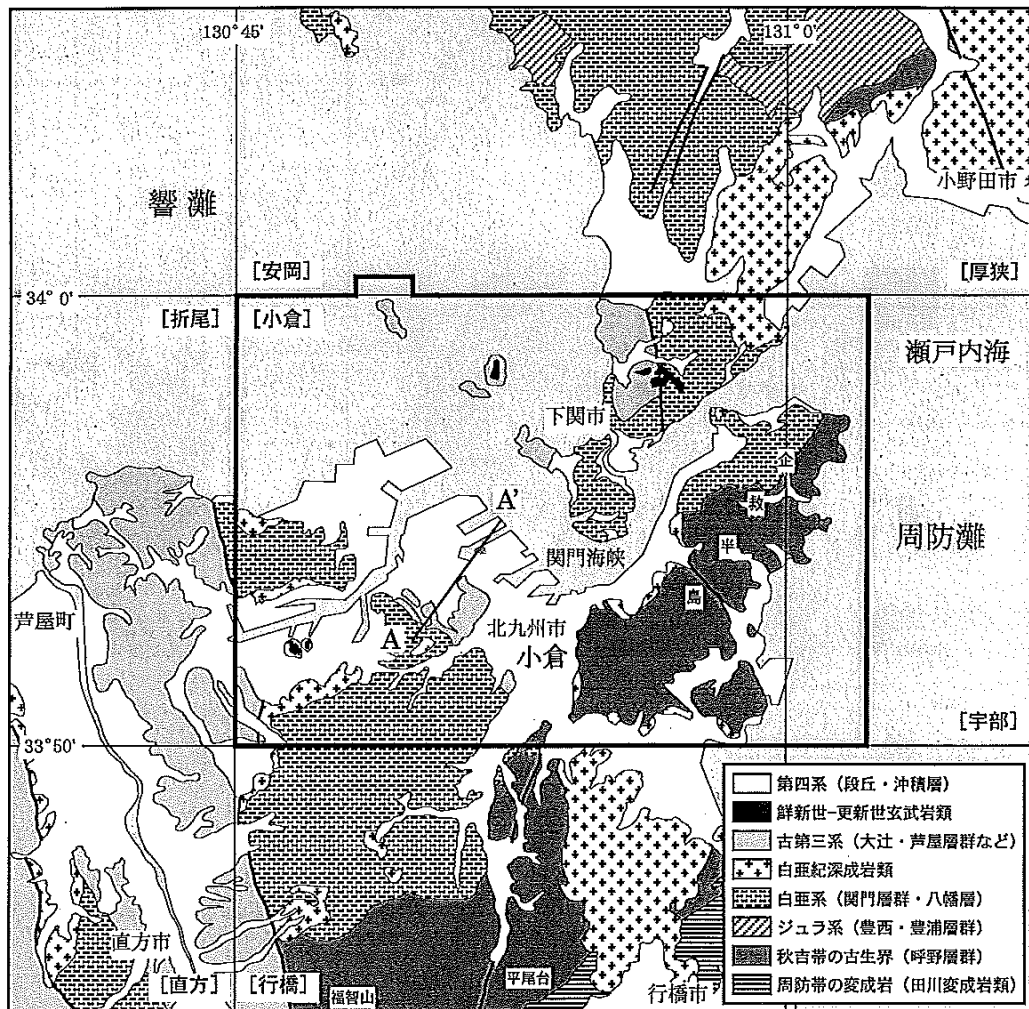


図3-64 広域地層概要（中江ほか、1998）

CO₂貯留対象層を含む古第三系の地質概要は、以下に示す通りである。

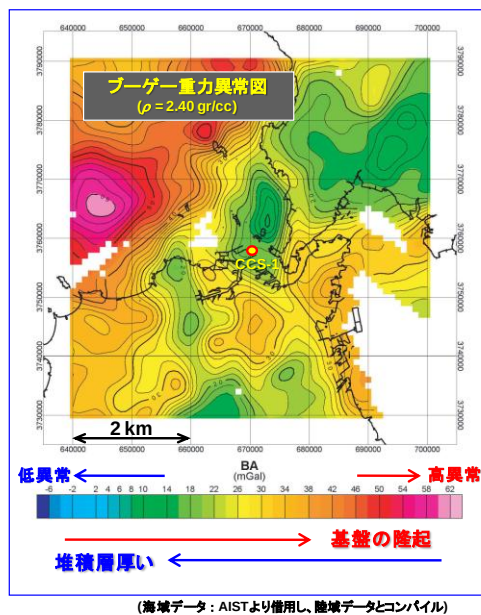
福岡県北部に分布する古第三系は、下位より直方層群、大辻層群、芦屋層群に区分されている。CO₂貯留対象域周辺では直方層が欠如し、大辻層群が基盤を不整合で覆っている。大辻層群は陸生層であり、下位より出山層と遠賀層に二分される。一方、芦屋層群は主に浅海成層からなる。

- ・大辻層群出山層は、礫岩、礫質砂岩を主体とする粗粒碎屑物が卓越した地層であり、堆積サイクルに基づき7つの部層に区分される。出山層は、傾斜不整合で基盤（白亜紀関門層群、花崗岩類等）を覆う。この基盤の起伏は、極めて起伏に富んでいると推定される。
- ・大辻層群遠賀層は、頁岩から砂質シルト岩を主体とし、頻繁に石炭や炭質頁岩を伴う細粒岩相からなる。小倉炭田で唯一の夾炭層であり、8枚の主要炭層を挟んでいる。
- ・芦屋層群は、砂岩、泥岩を主体とする浅海成層からなる。海進による浸食はあるものの、上位の大辻層群とは堆積時の時間間隔はほとんどなかった可能性が高い。

② 重力データ解析による地質構造の推定

ボーリング調査に先立ち、既存の重力データを用いた重力解析を実施し、調査海域の地質構造を推定した。図3-65に、重力解析の背景と目的を示す。

重力データ解析から、CO₂貯留対象とした調査海域の北部から東部端において、既存のRIITE/ENAAによるスタディ結果（古第三系の出山層下部と想定された貯留層上面が北東に傾斜した単斜構造）では表記されていなかった堆積盆状の構造形態を示す結果が得られた。図3-66に、重力解析の結果と今後の課題を示す。



背景 & 目的

- ① 既存深部地下地質情報 : ほとんどなし
ボーリング調査: 最深 深度600m
弾性波探査: なし
- ② 物理探査データ: 既存データとして**重力データ**が利用可能。



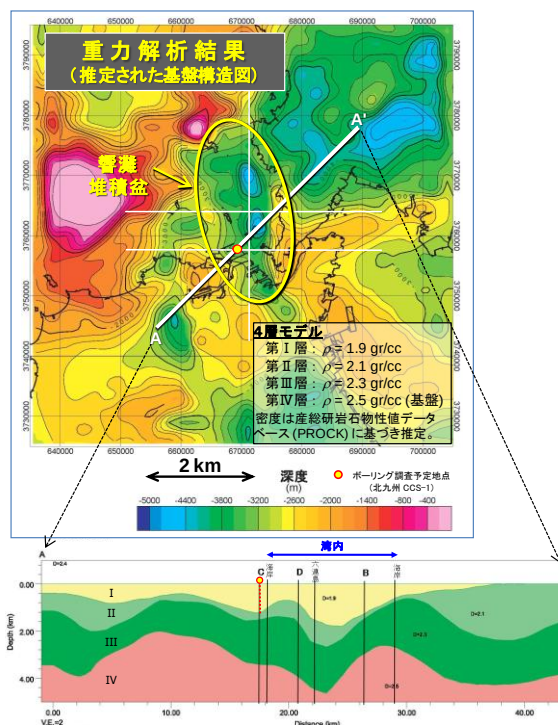
地下構造(特に海域部)の概略の推定

重力解析

精度は劣るものの、比較的**簡単・安価**に地下構造(密度分布)を推定可能。

産総研より響灘地域を中心とする海域データを借用し、陸域データと**コンパイル**して本地域の地下構造の推定を行った(左図はブーゲー異常図)。

図 3-65 重力解析の背景と目的



結果のまとめ・課題

結果のまとめ

重力解析の結果、北九州市近傍の地下構造の概略が判明し、**響灘に堆積盆状構造**の存在が推定できる。

課題

コントロールポイントがほとんどないため、不確実性はまだ大きく、精度の向上が必要(密度は他地域データに基づき設定)

⇒重力再解析

- ・北九州CCS-1データ(コントロールポイント)を用いた解析
- ・データ密度が低い地点での重力測定(島嶼部等)

図 3-66 重力解析の結果

重力データ解析によって得られる密度境界面が示す盆地状の形状は、その付近の堆積物が周囲に比べて孔隙率に富む場合や、塩基性火成岩等の高密度な岩石が少ない場合などに現れると推定される。本解析領域は主に堆積岩よりなり、周囲と比較して沈降し相対的に新しい堆積物によって構成されているものと推定されることから、北九州地点の海域に古

第三紀の堆積盆が存在する可能性を示唆するものと考えられる。

ただし、重力データから密度分布を一意的に求めることは不確実性が大きいことから、今回推定された盆地状構造について、海域における二次元あるいは三次元弾性波探査による確認が必要である。

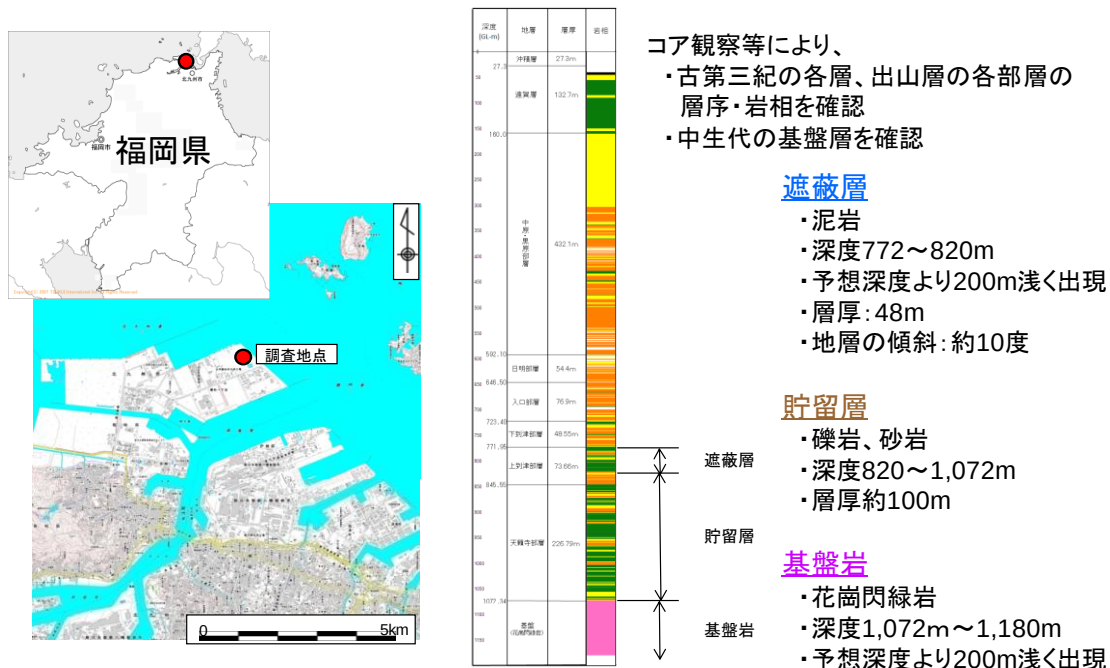
③ ボーリング調査（北九州CCS-1）による地質調査

初期段階の調査として北九州に分布する古第三紀層の確認と貯留可能性を評価することを目的とし、海域に比べ施工性が容易でありコストが安い陸域からのボーリング調査を、古代三紀層が800m以深に分布すると推定される埋立地で実施した。

図 3-67 にボーリング掘削設備の概要を、図 3-68 にボーリング調査結果を示す。



図 3-67 ボーリング掘削設備の概要



出典：数値地図 25000「八幡」

「六連島」 国土地理院

図 3-68 ボーリング調査結果

本ボーリングでは、深度 303m 以深の全ての区間でコアを採取し、調査対象の古第三紀出山層を確認し、更に、基盤岩（白亜紀花崗岩類）を 100m 確認して、深度 1,180m で掘削を完了した。

本ボーリングではカッティングス試料観察の結果、遠賀層と出山層頂部の境界が深度 160m で認められた。コア観察等により、出山層の各部層の層序・層厚を確認した。出山層底部と花崗閃緑岩の境界が深度 1,072m で認められ、この地域で初めて中生代の基盤層を確認した。遮蔽層と想定した出山層上津部層上部が深度 772～820m で認められた。貯留層と想定した出山層上津部層～天籟寺部層が深度 820～1,072m で認められ、泥岩、砂岩、礫岩の互層を確認した。

貯留対象層および遮蔽層を対象としたコア分析や物理検層、岩石物性の分析や試験（特に孔隙率と浸透率試験）、原位置での透水試験や物理検層などを行い、貯留性能と遮蔽性能を評価した。

採取したコアを用いた室内試験の結果、遮蔽層および貯留層の性状を確認した。

遮蔽層は、水浸透率が $4.5 \times 10^{-3} \sim 8.9 \times 10^{-3} \text{mD}$ と非常に小さく、かつ残差圧力法によるスレショルド圧力の測定では全周圧 11.4MPa、差圧 7.7~20.5MPa で 14 日後においてもブレイクスルーできなかったことから、非常に高い遮蔽性能を有することが確認された。貯留層は、原位置での透水試験による水浸透率は 2~3mD であるが、検層結果およびコア室内試験の結果等から異方性・不均質性が大きいと推定されるため、貯留性能の評価には不確実性が残っている。また、各層の平面的な分布に関しては 1 点のみのボーリング調査では不明であり、貯留層評価のためには、今後、追加のボーリング調査および海上弾性波探査などを実施し、貯留層や遮蔽層の分布およびそれらの性質を把握する必要がある。

④ V S P と陸上弾性波探査

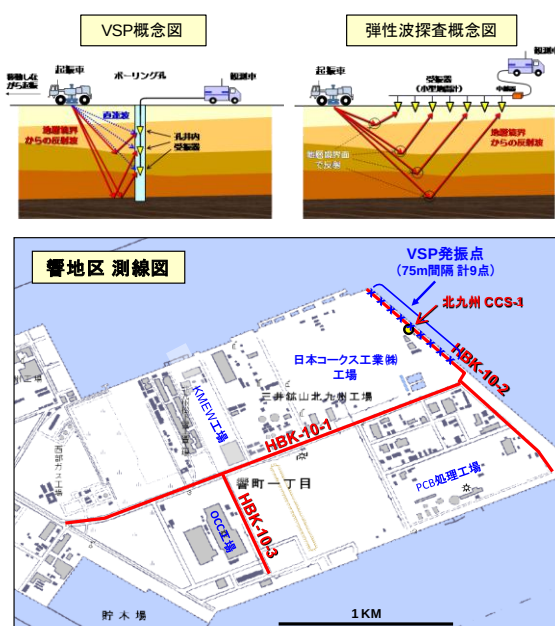
a 調査の概要

北九州 C C S - 1 による調査の結果、当該調査地点で想定した古第三紀層の発達を確認された。北九州 C C S - 1 調査で確認された古第三紀層、基盤岩の孔近傍での空間的分布を把握するため、ボーリング孔を利用した V S P (Vertical Seismic Profiling) 調査と地上弾性波探査を実施した。

b 調査結果

図 3-69 に、調査の背景と目的を示す。図 3-70 に成果例を示す。

調査地点は埋立地の工場地帯のため、表層の埋立土層および軟弱な第四紀層の影響や、工場操業による常時微振動、近隣での杭打ち工事、重車両交通等による振動の影響によるノイズを除去し、V S P による各地層の弾性波伝播速度の測定結果と、北九州 C C S - 1 ボーリングの調査結果との対比により、地質断面図を作成した。



背景は国土地理院発行の地形図を使用

図 3-69 VSP と陸上弾性波探査の背景と目的

背景&目的

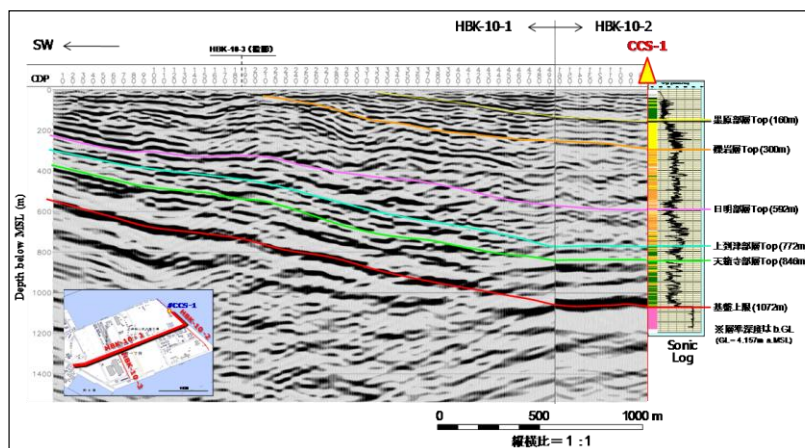
ボーリング調査(線のデータ)を空間的に内外挿するためには、追加のボーリングや物理探査調査の実施が必須である。

そこで、物理探査手法である、VSP (Vertical Seismic Profiling) および弾性波探査を実施した。

◆ VSP (震源は地表、受振器は孔内)
初動読み取りから走時-深度関係を計測し、また、記録した波から反射波を抽出し、地下構造を知る。

◆ 弾性波探査 (震源・受振器共に地表)
測線に沿う地下構造プロファイルを知る。

◇ VSP は、合計9点にて発振。
弾性波探査は計3本の測線を設置



弾性波探査成果例：中央道路に沿う測線と孔井を通る測線を繋げた深度変換後の地下構造プロファイル

成果例(左図)

・基盤(花崗岩)や、上部の地層からの反射波がみられ、埋立地(響灘地区)における地下構造が明らかとなった。
・北九州CCS-1結果と将来の実施する調査結果とを補間するためのデータを取得



課題

海域の地下構造を明らかにする必要
⇒海上2D・3D弾性波探査

図 3-70 VSP と陸上弾性波探査の成果例

基盤岩および遮蔽層・貯留層の候補と考えられる出山層上・津部層と天籟寺部層の上面深度・層厚の分布状況を確認した。各層は、傾斜角度が約8~10度で南西から北東方向に

落ちて行く緩やかな単斜構造となっており、この地域において推定されていた単傾斜構造が確認された。また、響灘埋立地内の狭い範囲のデータであるが、各層の分布状況が確認された。

本調査結果は、北九州 CCS-1 孔のみを地層のコントロール点とするため、信頼度は十分とは言えないが、CO₂挙動シミュレーションにおける地質モデル構築の基礎データとして利用した。また、響灘埋立地内の狭い範囲のデータではあるが、将来の本格的海上弾性波探査計画の策定を行う際にも役立つものと期待される。

(3) 数値シミュレーションによるCO₂貯留性能の確認

当地点の貯留層におけるCO₂挙動を予測することを目的として、重力データの解析やVSP調査により推定された地質構造と、ボーリング孔を利用した原位置試験やボーリングコア試料を用いた室内試験により得られた貯留層と遮蔽層の物性値を反映した地質モデルを構築し、圧入場所を仮定してCO₂の挙動予測シミュレーションを実施した。

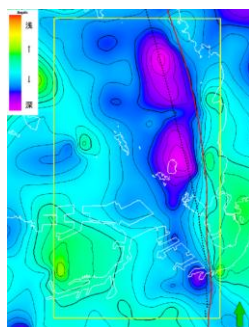
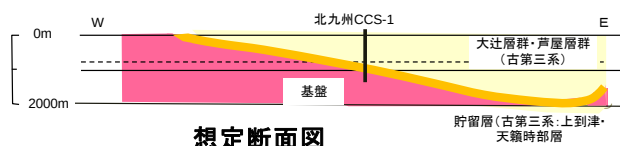
ただし、北九州地点での調査は、古第三紀層の基礎的性状を把握するための初期段階の調査である。この調査結果に基づき地質モデルを構築し、実施したCO₂挙動予測であることから、本予測結果は、古第三紀層での貯留可能性を否定するものでないことを確認判断するためのものと位置付けられる。

① 地質モデルの構築

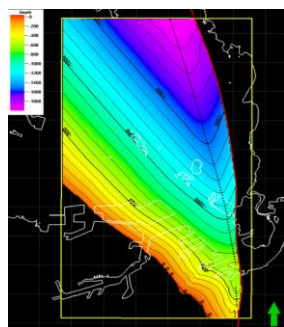
北九州沖合に半地溝状に分布していると考えられる古第三紀堆積岩の出山層が分布している範囲と、その周辺を対象範囲とし、地質解析を実施した。現時点では北九州地点の海域を網羅する弾性波探査が行われていないことから、既存地質データ、重力解析結果、北九州 CCS-1 調査結果、VSP調査と陸上弾性波探査結果から、地質学的考察に基づく部分的な修正を加味して図 3-71 に示す広域地質モデルを構築した。

調査結果と既存地質データを基に、
広域地質モデルを想定

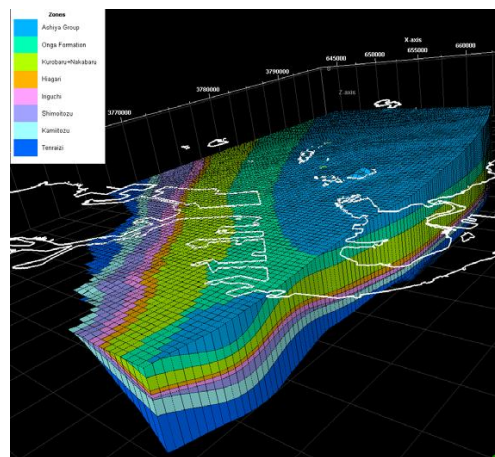
- ① 出山層(遮蔽層、貯留層)
単斜構造:北東傾斜(8~10°)
東部境界:小倉断層・褶曲
側方変化:考慮せず
- ② 基盤:重力解結果をモディファイ



基盤層上面



遮蔽層上面



広域地質モデル

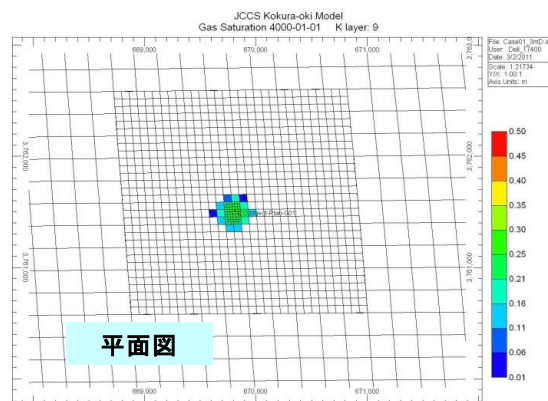
図 3-71 広域地質モデルの構築

② CO₂長期挙動予測シミュレーション

上記で構築した地質モデルを用い、CO₂を圧入した場合の、圧入直後から1,000年後までのCO₂挙動予測シミュレーションを8ケース実施した。

北九州地点の海域における遮蔽層・貯留層に関する地質情報は少なく、かつ、北九州CCS-1の結果は、岩石特性の不均質性が大きいことを示している。このため、現時点の限られた地質情報から当該地質の性状を平均的に表すと考えられるパラメータを設定し、ベースケースとした。加えて、CO₂圧入レートと圧入後のCO₂挙動に影響する、孔隙率、浸透率、残留飽和率、地層破壊圧の各パラメータについて取り得る幅を検討し、各パラメータの値を変えた7ケースについてシミュレーションを実施した。図3-72にシミュレーション結果の一例を示す。

CO₂圧入レートは、ベースケースで年間平均4.6万トン、浸透率の設定により0.8万トンから10万トン以上(シミュレーションの条件設定で圧入レートの最大値を10万トンと設定したため、圧入圧力低下が見られた高浸透率のケースでの最大圧入レートは未確認)の値が得られた。浸透率以外では、許容される最大坑底圧力により、CO₂圧入レートは大きく異なった。圧入されたCO₂の圧入点からの移動距離は最大で約390m程度であり、圧入開始より1,000年後には移動が収束する結果が得られた。



計算条件
 圧入期間: 3年間
 浸透率: 3 mD
 孔隙率: 13%

計算結果

圧入レート : 年間約5万トン
 CO₂移動距離 : 約230m程度

図 3-72 CO₂挙動シミュレーション例

③ 坑口圧力の検討

上記で構築した地質モデルを用い、CO₂圧入の検討を実施した。圧入の仕様を数パターン変化させ、CO₂圧入に必要な坑口圧力が取り得る値(振れ幅)の推算を実施し、将来当該地域の貯留層評価が進展した際に再度実施される坑口圧力検討において何が重要なパラメータであるかを検討した。

今回の坑口圧力の検討は初期段階の調査により推定された地質モデルによるものであり、古第三紀層での貯留可能性を判断するための基礎データである。CO₂長期挙動シミュレーションと同様に、より詳しい古第三紀層の性状を把握するための調査結果を基に、より精緻な地質モデルを構築し、坑口圧力の検討を実施する必要がある。

坑口圧力、圧入レート、チュービングサイズによる圧力損失を比較検討し、適切なサイズのチュービングを選択することにより、CO₂挙動シミュレーションの全ケースで貯留層と考えられる地層へのCO₂の圧入が可能であることを確認した。

(4) 調査結果のまとめ

本事業のボーリング調査により、ボーリング調査地点とその近傍の地下に分布する古第三紀層において、これまで既存の地質データにより推定されていたCO₂地中貯留を実施するために必要な遮蔽層・貯留層となり得る地層の存在が確認された。

既存の地質データと今回の地質調査結果から推定した地質モデルを用いて実施したCO₂長期挙動シミュレーションと坑口圧力の検討により、古第三紀層へのCO₂地中貯留の可能性が示された。

本事業の地質調査は初期段階の調査であり、地質モデルの構築には大きな不確実性がある。古第三紀層へのCO₂地中貯留の可能性が示されたことにより、今後、更なる地質調査により対象地域の地質データを取得し、古第三紀層へのCO₂地中貯留の可能性評価の精度向上を計る必要がある。

(5) 今後の調査

本事業では、北九州CCS-1より得られたボーリング調査データ解析と、地質モデル構築とCO₂長期挙動シミュレーション、坑口圧力検討を同時並行的に進めたため、ボーリング調査の最終結果を各解析に反映することができなかった。また、北九州地点海域の遮蔽層・貯留層に関する地質情報は少なく、かつ、北九州CCS-1の結果は、岩石特性の不均質性が大きいことを示している。本地域の貯留層は異方性・不均質性が大きいと考えられ、貯留性能の推定には大きな不確実性が残っている。

より確度の高い地質モデルによりCO₂地中貯留の可能性を検討するため、今後の調査で得られる地質情報および北九州CCS-1の調査・試験結果の総合評価に基づき、地質モデルを再構築することが必要である。

今後、下記の調査・検討を進め、貯留層並びに遮蔽層の評価精度を向上していく。

次段階以降の地質調査は、重力解析の再実施、他の場所（島嶼部等）でのボーリング調査、海域での弾性波探査の実施が考えられる。各調査結果を反映した地質モデルを再構築し、古第三紀層へのCO₂地中貯留の可能性を判定することが重要である。

3-1-2-5-A 日本海沿岸地域

日本海沿岸地域は、国内において石油・天然ガスを目的とした探鉱活動が最も集中している地域である。探鉱活動による十分な地質データの蓄積と、 CO_2 圧入に適した地層（第四紀更新世の帯水層）が広域に分布する。

平成 21 年度に地質調査の準備および設備の検討を実施したが、地質調査については地元関係者との調整が付かなかったため調査準備を中断した。設備の検討については以下の通り実施した。

(1) CO_2 分離・回収、輸送、圧入、貯留までのトータルシステム概念設計

① 実証試験モデルの概要

沖合に位置する第四紀更新世の帯水層を CO_2 貯留層とし、近隣に存在する CO_2 排出源を対象とした実証試験モデルを設定し、地上設備の検討を実施した。

CO_2 貯留層は、沖合に位置する第四紀更新世の構造的帯水層とした。 CO_2 排出源は、すでにアンモニア製造プラントに併設されている CO_2 分離設備から年間 5 万トン規模で CO_2 を回収可能な化学工場とした。

CO_2 を回収した後に約 8km 離れた陸上圧入基地まで中圧パイプラインで CO_2 を輸送し、傾斜井として掘削された圧入井により、海底下で深さ約 1,450m の構造的帯水層に、年間 5 万トンの CO_2 を圧入・貯留する実証試験モデルである。

図 3-73 に全体フローを示す。

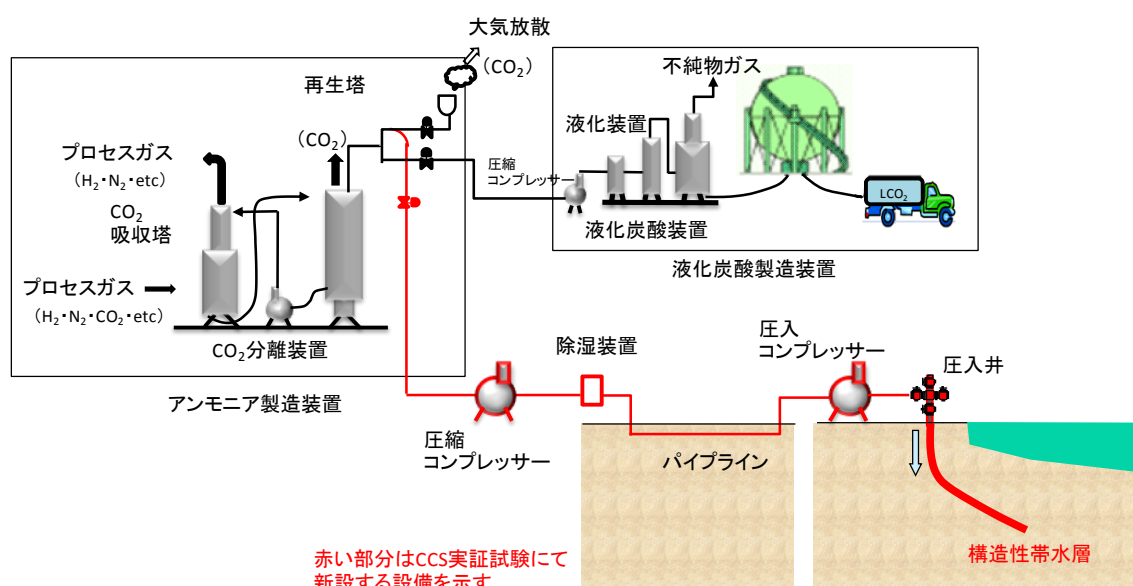


図 3-73 日本海沿岸地域の実証試験モデルの全体フロー

② 陸上設備の基本設計

平成23年度以降に日本海沿岸地域が実証試験地に決定された場合を想定し、円滑にEPCを実施するための準備として、下記の平成20年度補助事業の結果を反映し、C1モデルの陸上設備の基本設計の追加検討を行い、基本設計資料をまとめた。

- 1) CO₂ガス輸送用パイプラインに関わる適用法規が明確になった。
- 2) 圧入井に使用するチュービング材料を圧入するCO₂ガスに微量の酸素が混入していても腐食しない材料とすることで脱酸素装置を不要とした。
- 3) CO₂ガス輸送用圧縮機をメンテナンスの容易なスクリータイプに変更した。
- 4) 圧縮機タイプの変更により、圧縮機入口に供給されるCO₂ガス中に含まれる炭酸カリ飛沫の除去装置を設置する。

3-1-2-6-A 地点共通

(1) 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査、検討

実証試験候補地点に共通の課題として、法規制対応や安全性確保に係る技術等に関する事項が挙げられる。本事業においてはこれらについて、主な事項として下記の調査を行った。

a C C S 大規模実証に係る法規制等調査、および海外における坑井関連技術・法規制動向調査

実排出源から CO_2 を分離・回収して地中貯留を行うC C S大規模実証試験は国内初の試みで先行事例がないことから、適用となる法規制、あるいは規制範囲には該当しないが準用することが望ましい関連法規について、実証試験実施に先立って予め調査し、対応を進めておく必要がある。本事業においては、C C S大規模実証に係る法規制等調査として関連法規の調査、及び該当する関連法規の遵守、準用等の対応方法について調査を行った。

併せて米国において既にC C S実証試験を開始している事例を元に、C C Sの実施に際して遵守が必要な法規制、安全基準等について、本事業における法規制対応の調査、検討に資するための調査を行った。

b 貯留層モニタリングおよび微小振動、自然地震観測システム

「C C S実証事業の安全な実施にあたって」では、 CO_2 圧入開始以降の地層のモニタリング技術については観測井での測定監視のほか、弾性波探査が有効であるとされ、一方で弾性波探査を補完する他のモニタリング技術の活用も検討すべきとされている。また、自然地震や微小振動の観測について十分にバックグラウンドデータを取るべきとされている。本事業では、C C S大規模実証試験の実施に資するものとして適用が考えられるこれらモニタリング技術について調査を行った。

c 石炭火力における燃焼後排ガスからの CO_2 分離・回収概念設計

既設の石炭火力発電へ CO_2 分離・回収設備を追加した場合、一般的には分離・回収設備の運転に多くのエネルギーが必要となり、場合によっては既設設備の大規模改造も必要になることが知られている。一部の石炭火力はいずれ設備更新も必要になると想定されることから、C C Sが実用化された後の将来の更新等に備えた調査、検討として、新設石炭火力を検討モデルとした CO_2 分離・回収設備の概念設計を行い、そのエネルギー効率等について検討した。

① C C S 大規模実証に係る法規制等調査成果

C C S の大規模実証事業に適用される法規制等の調査を実施した。

- ・ C C S に係る設備等の建設、操業等に関しては、

高圧ガス保安法

電気事業法

都市計画法

港湾法

などを適用すること、

- ・ C O₂ 海底下貯留に関しては海洋汚染防止法を遵守すること
- ・ 坑井の掘削、仕上げ及び閉鎖の安全確保に関しては鉱業法、鉱山保安法を準用すること

により実施できることが確認できた。

② 海外における坑井関連技術および法規制動向調査成果

実証試験候補地点での安全な坑井掘削計画に資するために必要な周辺情報の収集を目的として調査を行った。

a 米国 UIC Class VI

E P A (United States Environmental Protection Agency : 米国環境保護庁) は、C C S 坑井について UIC (Underground Injection Control) Program の Class VI という新たなカテゴリーで規制を行うこととし、2010 年 12 月に最終案を承認した。UIC Program の目的は、E P A が所管する飲料水安全法 (SDWA: Safe of Drinking Water Act) に基づく飲用地下水源の汚染防止である。

なお、いくつかの規定については、飲料水の地下水源 (Underground Source of Drinking Water : 清水層) の最下部以深へ圧入する場合は適用が除外されている。例えば、セメンチングに関して Class VI では圧入層から地表部までのフルホールセメンチングを規定しているが、圧入層が清水層より深く、かつ所定の条件を満たす場合には適用除外となり、フルホールセメンチングは要求されない。

b 坑井仕上げ

米国の C O₂ 圧入井の仕上げ事例を調査し、以下の点が明らかとなった。

- ・ ケーシングは全て炭素鋼を使用している。

- ・チュービングも全て炭素鋼を使用しているが、ニッケル等の内面コーティングを施しているものもある。
- ・サーフェスケーシングは、普通セメントを使用したフルホールセメンチングである。
- ・インターミディエートケーシングも、普通セメントを使用したフルホールセメンチングが多い。
- ・プロダクションケーシングは、耐CO₂セメントを使用したパーシャル（セメントトップはその前のケーシングの管内）セメンチングが多い。

③ 貯留層モニタリングおよび微小振動、自然地震観測システム

CCSの安全かつ安定した操業実施のためには、圧入されたCO₂の挙動（一定方向への移動や空間的な拡がり）の把握や貯留層外部への漏出・漏洩の監視を継続的に行うために、様々な事象の変化を監視するモニタリング（貯留層モニタリング）の実施が求められている。また、CO₂圧入と微小振動発生に関連性の確認や周辺での地震活動監視のため、微小振動、自然地震モニタリングも必要とされている。

モニタリングは、圧入前のベースライン測定、圧入中の測定、さらに圧入終了後の測定からなる。モニタリングによって、安定的なCO₂の貯留が確認でき、CO₂挙動予測シミュレーションのアップデートも可能となる。圧入後のモニタリング期間は、貯留層内の圧力が低下しCO₂が安定的に賦存していることを確認するために、圧入後2～3年程度が必要と推定される。

a 貯留層モニタリングの各種手法について

貯留層モニタリングでは、坑井内の温度・圧力計測の他に、周辺で実施される物理探査的手法による計測が実施される。最も有力な物理探査的手法について以下に記述する。

物理検層などの坑井での計測は分解能や精度が高いが、空間的には「線」の情報である。空間的な情報を得るためには物理探査法的計測が必須である。物理探査法的手法としては、弾性波探査、電磁気探査、重力探査、地表変動計測などがある。

1) 弾性波探査手法

弾性波探査は資源探査や地下構造探査で最も広く用いられている手法である。地表あるいは海面に設けられた測線に沿って実施し、地下断面プロファイルを得る二次元探査（2D）と、これを空間的に密に実施する三次元探査（3D）がある。

浅海域における典型的な二次元弾性波探査の概念図を図3-74に示す。

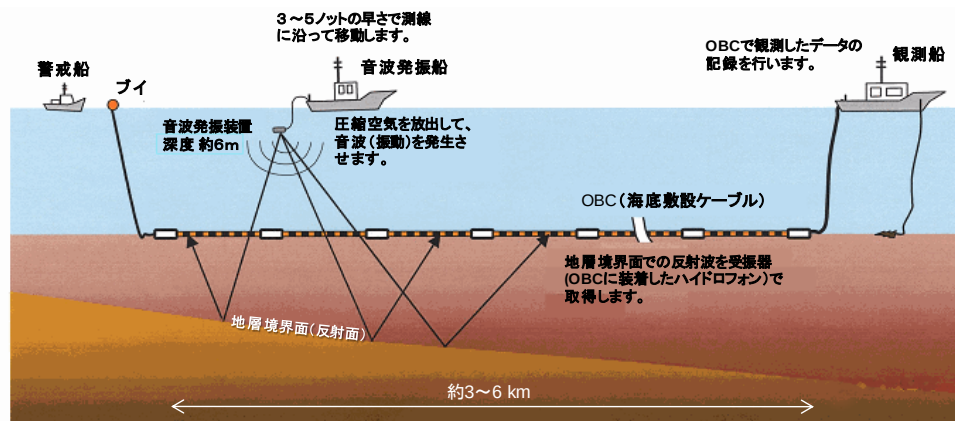


図3-74 浅海域弾性波探査（2D）概念図（海底敷設ケーブル[OBC]方式）

坑井における物理検層などのデータと組み合わせれば、弾性波探査結果から地層の物性値（弾性波速度、孔隙率、浸透率など）も空間的に把握できる可能性があり、十分な圧入量があれば CO_2 の賦存範囲も知ることができる。弾性波探査を1回行うごとに、その測定を実施した時の地下構造や地下の状態がわかる。

圧入前、圧入中、圧入後に測定を繰り返し実施し（これを「繰り返し弾性波探査」と呼ぶ）各々の結果を比較し、変化を知ることによって、 CO_2 の賦存域の変化が分かり、貯留層の健全性の確認や漏洩監視に役立てられる。さらに変化情報は貯留シミュレーションにフィードバックし、貯留層地質モデルの改良に役立てることができる。とりわけ3次元繰り返し弾性波探査の場合は、3次元的な変化を可視化・把握できるため極めて有力なモニタリング手法となる。その一例として、ノルウェー領北海の Sleipner ガス田において、1996 年から開始された年間 100 万トン規模の CCS における繰り返し弾性波探査の結果を図 3-75 に示す。年間 100 万トンの圧入に伴い、異常域（ CO_2 賦存域）が徐々に広がって行くのが明瞭である。

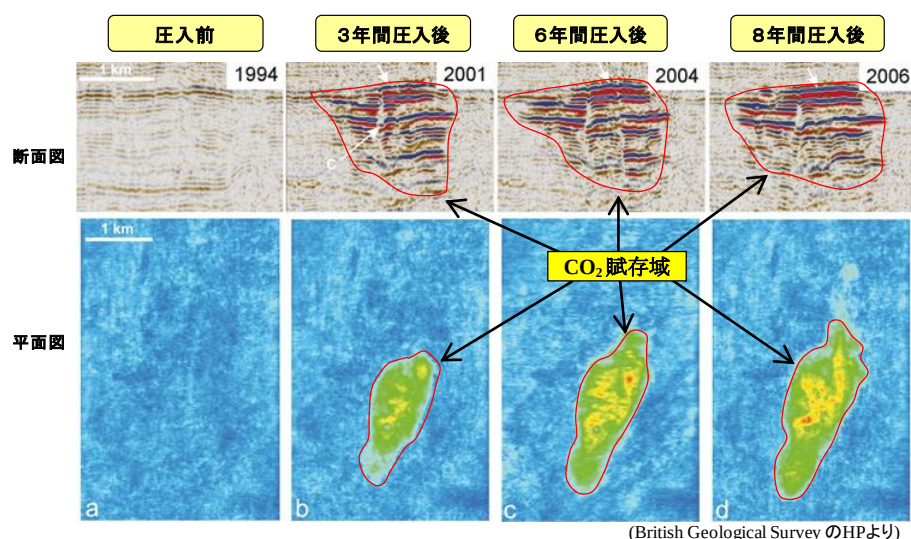


図 3-75 繰り返し弾性波探査（3D）による貯留層モニタリング事例
（ノルウェー北海、Sleipner ガス田の例）

4) 電磁気探査・重力探査手法・その他

貯留層の弾性波の P 波速度は、 CO_2 飽和率が 20%を越えると変化率が小さくなり変化を捕らえづらくなる性質があるが、比抵抗（電気伝導度）は CO_2 飽和率の増加に伴ってほぼ直線的に増加する。このため、電磁気探査手法は、分解能は劣るものの、 CO_2 飽和率が 20%を越える領域では有効となる可能性がある（図 3-76 参照）。

P-wave velocity and resistivity vs CO₂ saturation
(1116.0m @ OB-2)

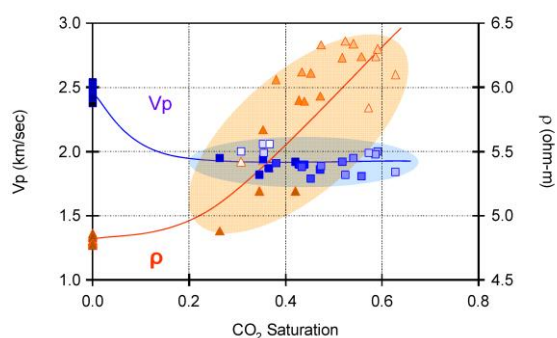


図 3-76 CO₂飽和度に対するP波速度と比抵抗の関係（三戸及び薛、2009）

地下の密度分布を捕らえる重力探査を用いる手法では、CO₂密度が周囲の媒質よりも小さいので、重力値の減少として検出される可能性がある。圧入量が大きくならないと変化を捉えることが困難であるが、陸域のCCSの場合は弾性波探査と比べると簡便に測定することが可能な手法である。海域では高価な海底重力計を設置し、データ回収も大がかりになるためコストは高くなる。図3-77は、Sleipner ガス田における海底重力モニタリングの実例である。周囲よりも密度が低いCO₂の圧入に伴い重力値は減少していることがわかる。

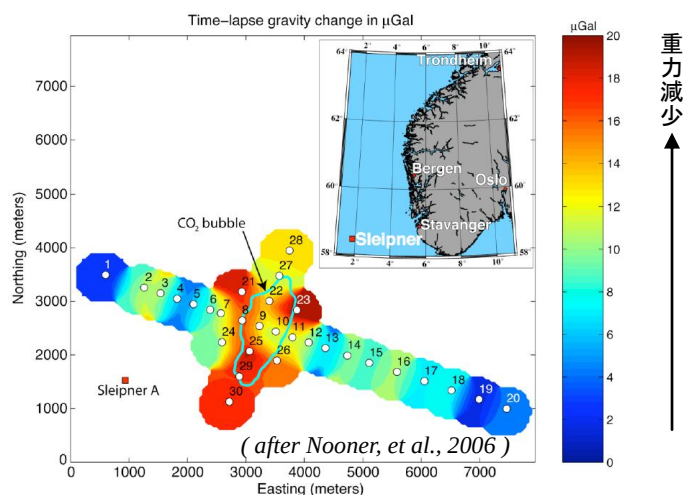


図 3-77 ノルウェー北海、Sleipner ガス田におけるCCSに伴う重力変化(2002年 - 2005年)

陸域CCSの場合は、地表変動を観測することも可能となる。すなわち、圧入したCO₂による僅かな地表変形を、地表に設置した傾斜計やGPS、さらにはレーダー衛星を用いた干渉SAR解析、などで観測する手法が実用化され、地下の貯留層の状態を推定する研

究開発が進んでいる。

b 微小振動、自然地震モニタリング

圧入に伴い発生する可能性がある微小振動（マグニチュードが2以下のAE（Acoustic Emission）とも呼ばれている小さな振動）や周辺での自然地震をモニタリングすることは、安全な圧入操業を保障するために重要である。そのためには、観測井内、および地表もしくは海底に高感度地震計を設置して常時地震動をモニタリングする必要がある。観測された微小振動や自然地震は、既設の地震観測網（防災科学研究所による20kmメッシュのHi-Net）のデータとともに正確な震源決定や震源メカニズム解析を行い、CO₂圧入に起因する微小振動なのか自然地震なのかを判別し、圧力伝播状況や異常事象の有無を常に監視し、異常があった場合や大規模な自然地震の場合は直ちに圧入を停止するシステムを構築する必要がある。また、大地震が発生した際の貯留層への影響の把握にも資することが可能となる。

地震観測網は、正確な震源決定のために貯留域を囲むように設置する必要がある。圧入地点が海域の場合は、陸域の浅層ボーリング孔内に設置する地震計（Hi-Netに準ずる性能）の他に、海底に設置する地震計が必要となる。ただし、離岸距離が大きい場合（例：20km以上）は、新規設置は海底地震計だけで、陸域についてはHi-Netデータの利用を考慮する。

海底地震計には、常設型の海底ケーブル（Ocean Bottom Cable：OBC）と海底設置型地震計（Ocean Bottom Seismometer：OBS）の2種類がある。以下に特徴を記す。

- ・海底ケーブル（OBC）：＜長所＞リアルタイムの観測が可能。多数の受振器組み込み可能。
＜短所＞高価で初期投資が大きい。
- ・海底地震計（OBS）：＜長所＞OBCに較べれば安価。柔軟なシステム構成ができる。
＜短所＞リアルタイムの観測は困難。数ヶ月おきにデータ回収する必要があるためランニングコストはOBCよりも高価。

海底ケーブルの場合は長期に使用すれば、総コストは海底地震計の場合よりも安くなる可能性がある。

海底ケーブルは、能動的な地震観測の他、海面にてエアガン発振をすれば、独自でケーブルに沿う二次元弾性波探査データの取得が可能であり、また、定期的な繰り返し弾性波探査の際にも反射波記録を別途取得できる。取得した反射波データを解析することによって2次元繰り返し弾性波探査モニタリングが可能となる。

また、より微小な振動を捕らえ、より精密な震源決定が可能となるように、観測井や圧入井内にも、温度・圧力センサーとともに地震計を設置することが望ましい。

図 3-78 には、微小振動および自然地震観測網の案を示す。

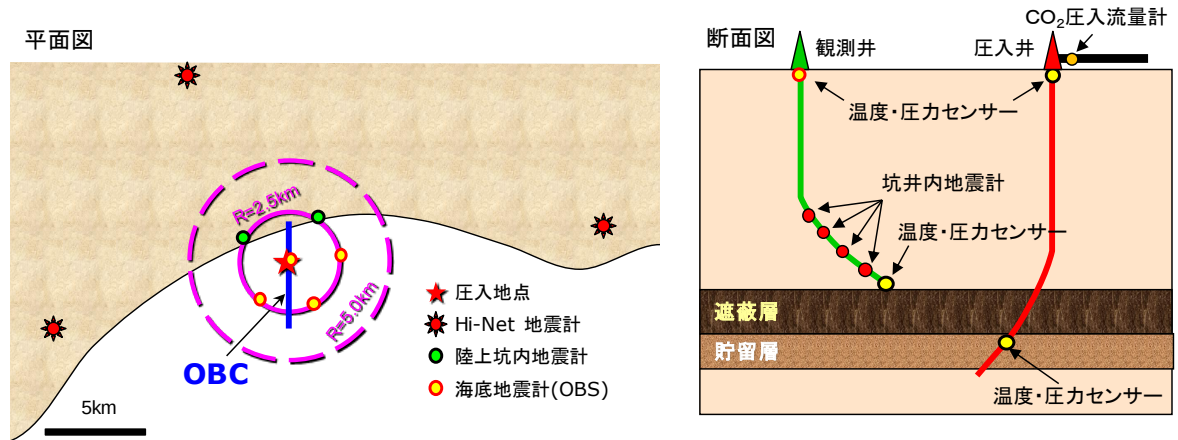


図 3-78 微小振動、自然地震観測網および坑内モニタリング構成の一例。

左：陸上地震計、海底地震計（圧入点から約 2.5km の円周上）および海底ケーブル(OBC)併用設置例
右：坑内モニタリング機器設置例

c モニタリング計画

圧入前から圧入後までの、モニタリング計画は、圧入規模、圧入期間、圧入層深度、貯留層性状などを十分勘案して、最小の費用で最大の効果が得られるように計画する必要がある。海底下への二酸化炭素圧入実証試験におけるモニタリング計画案の一例を図 3-79 に示す。苫小牧地点における実証試験計画（案）を例として、約 25 万トン/年・圧入 3.5 年間の実証試験を想定し、圧入終了後のモニタリングは 2.5 年間としている。

種 目	圧入前 (ベースライン測定)	圧入中3.5年間				圧入後2.5年間	
		1年	2年	3年	4年	5年	6年
圧入井		温度測定・圧力測定・流量等					
観測井		温度測定・圧力測定・微小振動観測					
海底地震計 OBC/OBS	1年間	微小振動/自然地震(常時連続観測)					
陸上坑内 地震計	1年間	微小振動/自然地震(常時連続観測)					
繰り返し弾性 波探査 2D★ / 3D★	★	★	★	★	★		★
海洋系 モニタリング	1年間	定期的に測定					
圧入前観測期間		圧入期間				圧入終了後観測期間	

図 3-79 実証試験（25 万トン/年 クラス）での貯留層モニタリング計画案（例）

④ 石炭火力における燃焼後排ガスからのCO₂分離・回収概念設計成果

電気事業からのCO₂排出量は、わが国GHG総排出量の約30%を占める。そのうち約半分は石炭燃料由来であり、石炭の有効利用の観点からも石炭火力のCO₂抑制対策について技術開発を進める必要がある。そこで、石炭火力からのCO₂抑制に資することを目的として、国内で最新の出力1,000MWの標準的な微粉炭火力発電所（超々臨界圧：USC）をモデルとした燃焼後排ガスからのCO₂分離・回収の概念設計を行った。主なシステム諸元は以下の通りである。

- ・主蒸気は600℃/25.0MPa、再熱蒸気は610℃/4.4MPa、低圧蒸気は371℃/0.9MPa
- ・発電端出力を1,000MWとし、発電端効率は42.9%(HHV*)、送電端効率40.2%(HHV*)
- ・石炭投入量は308.6トン/時間（7,406トン/日）

*HHV: Higher Heating Value（高位発熱量） 石炭=27.1 MJ/kg

本検討では、図3-80に示した分離・回収システムで排ガス分岐量を変えることにより、CO₂を回収しないケースをベースケースとして、CO₂を約20%回収するケース、約35%回収するケース、50%回収するケース、および、最大限の90%回収するケースの熱効率解析を実施した。また、エネルギー低下を抑えるために、背圧タービンによる動力回収システム（PRT:Power Recovery Turbine）を適用してそれぞれのCO₂回収率での熱効率解析を実施した。

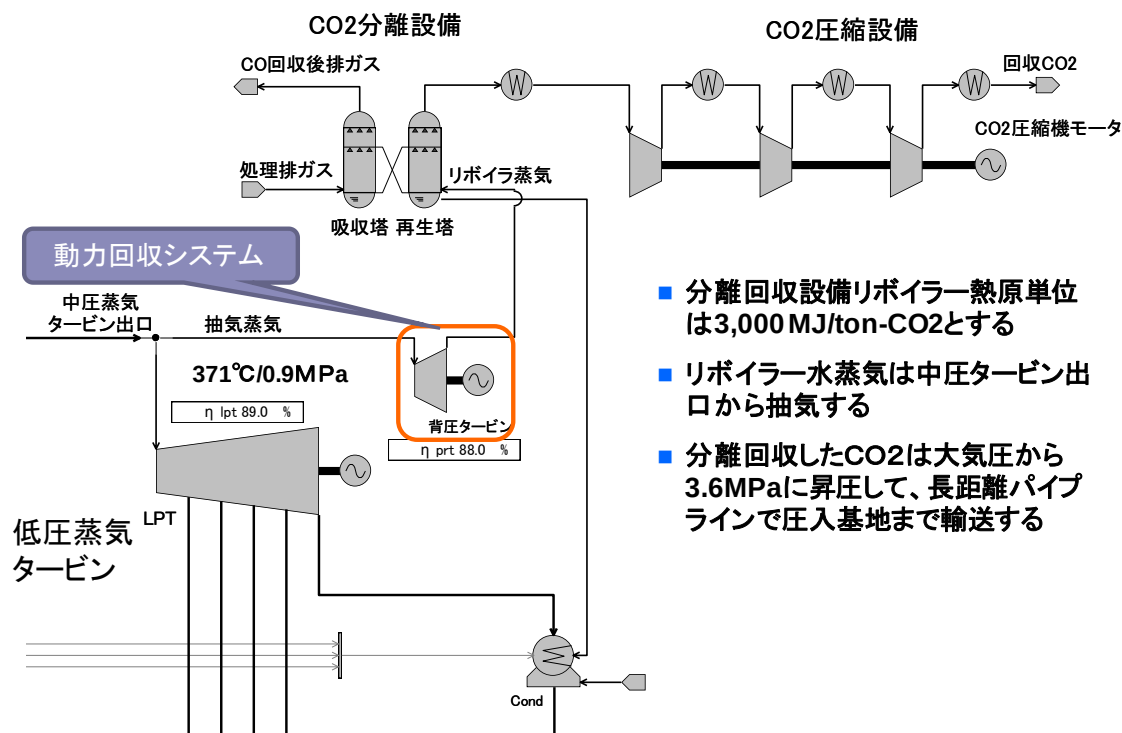


図3-80 分離・回収システムの系統

表 3-20 にそれぞれのケースでの熱効率解析結果を示す。ケース 1 はCO₂を回収しないベースケース、ケース 2～5 は動力回収を行わない条件(USC)でCO₂の回収率を変えたケース、ケース 6～9 は動力回収を行う条件(USC-PRT)でCO₂の回収率を変えたケースである。

CO₂を回収する場合、回収率が大きくなればなるほどリボイラ蒸気が増加するため低圧蒸気タービン(LT)の出力が低下し、システムの送電端出力は低下する。動力回収システムを適用すると、CO₂を 90%回収する場合で約 60MW の出力増加、送電端効率にして絶対値で約 2.5%の効率向上に繋がっており、熱エネルギー統合による効果は大きい。

表 3-20 検討結果一覧表

ケース	凡例	送電端出力 (HHV)		送電端効率 (%)	CO ₂ 回収量 (万トン/年)	CO ₂ 排出 原単位 (kg/kWh)
1	USC-0%	936.7 MW	相対値 100	40.2	0 *	0.781
2	USC-20%	876.1	93	37.6	100	0.673
3	USC-35%	835.7	89	35.9	167	0.591
4	USC-50%	781.4	83	33.5	256	0.468
5	USC-90%	657.1	70	28.2	462	0.111
6	USC-20%- PRT	888.7	95	38.1	100	0.663
7	USC-35%- PRT	856.6	91	36.8	167	0.577
8	USC-50%- PRT	813.5	87	34.9	256	0.450
9	USC-90%- PRT	715.0	76	30.7	462	0.102

*ケース-1のCO₂排出量は年間513万トン(利用率80%)

今回の概念設計により、以下の点が明らかとなった。

- ・最新アミン法(再生熱：3GJ/トン-CO₂)を適用しても、動力回収無しの 90%CO₂回収(ケース-5)では、送電端効率が 28.2%となり、CO₂回収無し(ケース-1)よりも相対的に 30%減少した。この電力損失では発電単価が大きく上昇する恐れがある。
- ・送電端出力低下を改善するためには動力回収システムが有効であり、90%CO₂回収(ケース-9)では送電端効率を 30.7%まで改善し、CO₂回収無し(ケース-1)より相対的に 24%減少に抑えられる(20%の損失改善)。
- ・LNG複合発電の排出原単位(0.376kg-CO₂/kWh)と同等のレベルを達成するには、60%以上のCO₂回収が必要となる。
- ・更なる熱回収システムが考えられるが(高温凝縮水の熱回収等)、再生熱のより小さい化学吸収法の開発が期待される。

(2) 社会受容醸成に向けた情報発信

① C C Sに対する意識調査結果（平成 21 年度）

a 調査概要

C C Sの実施にあたっては、関係者の理解と協力が重要であることが多くの国際会議等の場で言及されている。国内におけるC C S大規模実証事業においても例外ではなく、候補地点ならびに周辺地域における関係者の理解と協力は必要不可欠である。

国内におけるC C Sの実証事業や実用化に向けては技術開発と並行してC C Sの認知度を高めることが重要であり、情報の伝達手法についても十分に検討する必要がある。

C C Sが求められる背景、C C Sの技術等について情報公開と説明が求められている。

市民のC C Sに対する認識を現状把握することによって今後の広報活動における課題を認識し、重視すべき情報伝達手法等を確認することで、今後、社会的受容を得るためにより効果的・効率的な広報の実施に資するために本調査を行った。

具体的にはC C Sに対する市民の意識調査を行い、その結果をふまえながら情報伝達手段の検討等を行った。

b 調査結果

ア) 温暖化対策、およびC C Sに関する市民の意識調査

全国 20 地点の合計 300 名(回答者数)を対象としたアンケートを実施し、C C Sの認知、希望する情報伝達手段等について調査した。

- ・太陽光発電などの再生可能エネルギーや、低燃費自動車などの省エネルギー化などが一般的によく知られている(7割以上)のに対して、C C Sについては知らない・聞いたことがないとの回答が 67%を占め、C C Sはまだまだ認識されていない現状であることが確認された。
- ・C C Sについて知っていると回答した回答者のうち、主にテレビ報道、新聞記事から情報を得たケースが多く、市民がテレビ・新聞のマスメディアを主な情報源としている傾向が確認された。
- ・C C Sについて情報を得ると想像した場合の希望伝達手段としては、テレビ報道を希望するのが 63.9%(優先順位 1 番目で 63.9%、2 番目として 20.5%)、新聞記事掲載を希望するのが 15.4%(優先順位 1 番目で 15.4%、2 番目として 45.8%)であり、テレビ報道、新聞記事を希望する回答者が多く、今後の広報活動において重要な手段として活用する必要があることが確認された。

1) 情報伝達手段の検討

マスメディア等の情報伝達手段について、それぞれの特徴や留意点について検討・考察した。

- ・テレビ番組報道、新聞記事掲載はいずれも不特定多数の視聴者を広く対象とした非常に有効な情報伝達手段であり、視聴者に対して一方通行で伝達される提供型の伝達手段である。また、アンケート結果からもこの手段を用いての情報提供が望まれている。番組や記事の制作は、情報提供側（ＣＣＳ実施者）と利害関係のない第三者が行うため、情報の公平性・中立性が保たれる反面、伝達する情報の優先順位は情報提供側であるＣＣＳ実施者の優先順位と異なる場合がある点をふまえて活用を図る必要がある。
- ・ウェブサイト、展示会はいずれも視聴者の来訪行為によって成り立つ、受け身型の情報伝達手段である。テレビ・新聞等の提供型の伝達手段に比べて、伝達できる視聴者の数は限られるが、より詳細な情報内容を伝達できる点が優れる。但し第三者が介在しないため、視聴者は一歩引いた姿勢で受け取ることが考えられるので、客観的な説明論拠など、情報の質には特に配慮する必要がある。

② 情報発信の活動実績

前節のアンケート結果から、情報を受け取る市民の側においては、テレビ番組報道や新聞記事掲載といったマスメディアから主に情報を得ている傾向が確認され、また、ＣＣＳについて情報を得る場合を想像しても同様の情報伝達手段によって情報を得たいと考えていることが判った。

そこで、本節では市民のこのような傾向を考慮して、本事業の実施期間内にマスメディアへの情報提供を行った結果として番組報道や記事掲載された広報活動の実績(2011年10月分まで)について報告する。

なお取材を受けたものの、記事制作者側の判断によって掲載されなかった場合もあるが、本節では報道または掲載され、市民が情報を得る機会に至った実績のみを対象とした。

a テレビ番組での本事業またはＣＣＳ全般に関する報道実績（表 3-21）

苫小牧地点では平成21年度に海上からの弾性波探査による地質調査を実施した。調査に先立ち、地元関係者への事前説明の後にテレビ局や新聞社へ調査内容について情報提供を行った結果、NHKニュース番組内で取り上げられた。その後の苫小牧地点の調査についてもニュース番組で取り上げられ、市民が情報を得る機会が継続的に提供された。

また、2009年12月にはテレビ朝日のニュース番組内において、地球温暖化対策をテーマとしてＣＣＳ全般を紹介する特集枠をテレビ局が自主的に制作することとなり、取材協

力した。この特集枠放映によりＣＣＳ全般概要について市民が広く情報を得る機会が提供された。

表 3-21 テレビ番組によるＣＣＳに関する報道実績

放映局	放映日	主な報道内容
NHK札幌放送局 まるごとニュース 北海道	2009 年 10 月 21 日	【苫小牧地点】特集“ＣＯ ₂ を地中に” 地質調査開始の報道。ＣＣＳ技術全般や、弾性波探査等の調査技術についても紹介。
テレビ朝日 報道ステーション	2009 年 12 月 1 日	【ＣＣＳ全般概要】「特集：地球温暖化対策の切り札～”ＣＣＳ”最前線」 ＣＣＳ技術および大規模実証試験の紹介。候補地の苫小牧沖で海底の地質調査。調査従事中の日本ＣＣＳ調査(株)社員へのインタビューと調査概要解説。
NHK室蘭放送局 ネットワークニュース	2010 年 7 月 6 日	【苫小牧地点】ＣＯ ₂ 封じ込め。苫小牧沖で 10 月から地層が実験に適しているかどうか 2 回目調査へ。 深さ 3,000m の穴掘り地層を採取・性質など分析へ。
NHK札幌放送局 ネットワークニュース北海道	2011 年 1 月 20 日	【苫小牧地点】特集・“温暖化対策”最新実験誘致へ。 苫小牧市は誘致に向けて期待が高まる。調査井掘削現場の紹介。
NHK室蘭放送局 テレビ	2011 年 5 月 12 日	【苫小牧地点】ネットワークニュース北海道 苫小牧沖 ＣＯ ₂ 封じ込めで新たな調査、調査井ＣＣＳ－２掘削開始。
NHK室蘭放送局 テレビ	2011 年 6 月 10 日	【苫小牧地点】ネットワークニュース北海道 ＣＯ ₂ 封じ込め 国に働きかけへ（苫小牧） ＣＣＳ促進協議会、苫小牧市長インタビュー、調査井掘削完了。
北海道文化放送 （フジテレビ系列）	2011 年 7 月 27 日	【苫小牧地点】FNNスピーク（北海道版） ＣＣＳを紹介するパネル展が苫小牧市役所で開かれる。
北海道放送 （ＴＢＳ系列）	2011 年 10 月 18 日	【苫小牧地点】「北海道NEWS 1」特集 二酸化炭素の封じ込める実験の候補地に苫小牧が。注目集まる「ＣＣＳ」その最先端技術とは。

b 新聞記事および雑誌記事での本事業に関する報道実績（表 3-22）

本事業の実施期間中において、実地調査の開始前には地元関係者への事前説明を必ず行って理解と協力を得た後に、新聞社へ調査内容等について情報提供を行った結果、掲載記事として紙面上で取り上げられた。

なお、調査作業等に関しては新聞記事 1 回の掲載だけでは市民が見逃してしまう場合もあるので、調査の進捗の節目・節目において可能な限り何度も新聞社への情報提供を行い、継続的に記事の掲載が可能となるべく努めた。

表 3-22 本事業に関する新聞記事および雑誌記事での主な報道実績

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
電気新聞	2009 年 7 月 1 日	【勿来・磐城沖地点】C C S 実証へ向けて、海底パイプラインの敷設ルート調査に着手。	1 面
電力時事通信	2009 年 7 月 3 日	【勿来・磐城沖地点】海底パイプラインを敷設するための調査を開始。	p. 2
北海道新聞	2009 年 7 月 4 日	【苫小牧地点】C C S の実用化に向けて苫小牧沖で 10 月から海底の地質調査開始。	3 面
苫小牧民報	2009 年 7 月 4 日	【苫小牧地点】C C S の実用化に向けて苫小牧沖で 10 月から海底の地質調査を開始。	1 面
日経産業新聞	2009 年 7 月 7 日	【苫小牧地点】日本 C C S 調査が苫小牧港から 2km 沖合の区域の地質構造を調査。	2 面
日本経済新聞	2009 年 7 月 9 日	【苫小牧地点】10 月～11 月に海底地質を調査。費用は数億円。海底から 1,100m 以深に貯留層。	北海道経済面 p. 1
どうしん WEB、 北海道新聞	2009 年 10 月 9 日	【苫小牧地点】発震船など 4 隻入港、11 日に調査開始。実証実験誘致へ市が協議会を設立。	ウェブサイト
WEB みんな、 苫小牧民報	2009 年 10 月 9 日	【苫小牧地点】調査開始へ。北欧では実用化。国内ではコスト面などが課題。	ウェブサイト
どうしん WEB、 北海道新聞	2009 年 10 月 12 日	【苫小牧地点】苫小牧沖で調査始まる。「温暖化対策の切り札」C C S。	ウェブサイト
北海道新聞	2009 年 10 月 17 日	【苫小牧地点】苫小牧実験に期待。施設誘致で経済効果。コスト高が課題。日本 C C S 調査との Q & A も掲載。	31 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
室蘭民報	2009 年 11 月 13 日	【苫小牧地点】胆振 20 企業・団体＝優れた技術力発信。ビジネス EXPO 環境展開幕（札幌）。苫小牧沖で C C S 調査を進めている。	1 面
北海道新聞	2009 年 11 月 25 日	【苫小牧地点】200 億円の「効果」期待、誘致組織も。地質調査が 21 日に終了。	11 面
財界さっぽろ 12 月号	2009 年 12 月 1 日	【苫小牧地点】苫小牧沖で C O ₂ 海底封印調査。C C S 技術、長岡実験、大規模実証、苫小牧地点等紹介。促進協議会立ち上げ予定。	p. 229
電気新聞	2010 年 1 月 19 日	【勿来・磐城沖地点】経産省 C C S 調査井戸を掘削（方針）。年内にも貯留地決定。いわき沖 C C S. 国内初調査井戸掘削計画の紹介。	1 面
読売新聞 （北海道版）	2010 年 1 月 24 日	【苫小牧地点】苫小牧市が C C S 誘致に前向きな協力姿勢。施設発注や雇用で地元で経済効果期待。	33 面
電気新聞	2010 年 1 月 26 日 27 日	【大規模実証】「低炭素への道標上・下」経済成長の原動力に／活発な実用化の動き進め方巡り思惑交錯／国内での実証計画経済産業省は実地調査を行っている。	1 面
西日本新聞	2010 年 3 月 26 日	【北九州地点】北九州で調査へ。北九州市は実証試験候補地選定のための事前調査が北九州市若松区で実施されると発表。	3 面
日本経済新聞	2010 年 3 月 26 日	【北九州地点】北九州北部沿岸で地質調査。九州初。貯留が可能になれば各企業の C O ₂ 削減に役立ちそう。	37 面
日経産業新聞	2010 年 3 月 26 日	【北九州地点】北九州市で地質調査。地下 1300 メートルまで掘削。先端技術として C C S に関心が高まる。	2 面
読売新聞	2010 年 4 月 21 日	【苫小牧地点】C O ₂ 貯留実験「苫小牧に」 回収→地中に 誘致へ促進協賛足。	32 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
フジサンケイ ビジネスアイ	2010 年 4 月 21 日	【苫小牧地点】CO ₂ 地中封じ込め実証実験 苫小牧誘致へ官民協議会。	p. 9
電力時事通信	2010 年 4 月 23 日	【大規模実証】日本CCS調査は今年度、国内 におけるCCS実証試験に向けた調査事業を 加速する。	p. 2-3
室蘭民報 日高	2010 年 7 月 1 日	【苫小牧地点】CCS実証試験地選定 岩石試 料採取調査井掘削へ。10 月から調査の第 2 ス テップとなる調査井掘削工事をスタート。	14 面
苫小牧民報	2010 年 7 月 1 日	【苫小牧地点】日本CCS調査は、7 月から苫 小牧沖の地質調査へ。	1 面
北海道新聞	2010 年 7 月 1 日	【苫小牧地点】CCS実用化へ。苫小牧沖で海 底の地質データを集める調査を 10 月から始め る。	11 面
苫小牧民報	2010 年 7 月 7 日	【苫小牧地点】苫小牧沖で追加調査。範囲広げ 詳細な地質データ収集。	1 面
北海道新聞	2010 年 7 月 7 日	【苫小牧地点】CCSの実用化へ。苫小牧沖で 再調査 7 月から。	23 面
室蘭民報	2010 年 7 月 9 日	【苫小牧地点】再び地下構造調査 弾性波発 振、データ取得。7 月下旬からスタートする 3 次元弾性波探査の概要を発表。	14 面
苫小牧民報	2010 年 7 月 13 日	【苫小牧地点】調査井の掘削工事開始 日本C CS調査。苫小牧沖CO ₂ 貯留。	1 面
北海道新聞	2010 年 7 月 13 日	【苫小牧地点】CCS調査本格始動。苫小牧 岩石収集、地層を確認。	25 面
室蘭民報	2010 年 7 月 14 日	【苫小牧地点】二酸化炭素輸送・貯留技術。C CS調査井掘削現場公開。西港区土砂処分場で 実施。	12 面
読売新聞	2010 年 7 月 14 日	【苫小牧地点】CO ₂ 貯留実験へ調査。候補地 の苫小牧掘削準備始まる。	26 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
北海道新聞	2010 年 7 月 19 日	【苫小牧地点】CO ₂ 貯留へ広範囲調査。苫小牧沖音波探査あす開始。	27 面
苫小牧民報	2010 年 7 月 20 日	【苫小牧地点】苫港・西港沖で日本CCS調査が3次元弾性波使い地層調査の範囲を20平方キロに拡大。	1 面
読売新聞	2010 年 7 月 22 日	【苫小牧地点】CCS実用化へ音波調査を苫小牧で開始。対象区域は前回の2.5倍。	27 面
北海道新聞	2010 年 8 月 5 日	【苫小牧地点】日本CCS調査・石井社長に聞く。苫小牧はコスト面で有力、地層、誘致姿勢も高い評価。	23 面
苫小牧民報	2010 年 8 月 25 日	【苫小牧地点】CO ₂ の海底貯留技術公開。苫小牧沖でCCS試験調査見学会。	1 面
室蘭民報	2010 年 8 月 26 日	【苫小牧地点】CCS促進協議会メンバーが海底探査作業を視察。実証実験へ理解深める。	12 面
電気新聞	2010 年 9 月 3 日	【北九州地点】9月5日クリーン・コール・デー 石炭新世紀 最新の技術動向紹介。CCS調査が九州で地質調査。	6 面
北海道新聞	2010 年 9 月 11 日	【苫小牧地点】CO ₂ 封じ込めの地質調査が終了。苫小牧沖音波を使った海底下の地質調査が10日に終了。	28 面
苫小牧民報	2010 年 9 月 13 日	【苫小牧地点】海底調査が終了し、日本CCS調査が苫小牧沖データ解析へ。	5 面
電気新聞	2010 年 9 月 24 日	【苫小牧地点】エネ基本計画で重要性強調。CO ₂ 抑制の具体策を提示。日本CCS調査は苫小牧沖で調査井を掘削する計画。	7 面
北海道新聞	2010 年 9 月 28 日	【苫小牧地点】CCSの国際会議で報告。苫小牧沖調査 他国から高い関心。日本CCS調査はオランダ・アムステルダムで行われた温暖化効果ガスに関する国際会議に参加し、苫小牧調査の現状を報告した。	13 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
苫小牧民報	2010 年 10 月 5 日	【苫小牧地点】日本 C C S 調査がオランダで技術披露。	5 面
苫小牧民報	2010 年 10 月 16 日	【苫小牧地点】 C C S 試験候補地調査は来月 5 月から掘削開始。苫小牧沖で日本 C C S 調査は大型掘削機械を報道関係者に公開した。	1 面
北海道新聞	2010 年 10 月 16 日	【苫小牧地点】 C C S 試験地選定調査を来月 5 月に着手。日本 C C S 調査は土壌サンプル採取のための掘削を始める。	27 面
室蘭民報	2010 年 10 月 21 日	【苫小牧地点】 二酸化炭素地下貯留 来月から調査井掘削。11 月から掘削工事をスタートさせる。	12 面
朝日新聞	2010 年 10 月 22 日	【苫小牧地点】 C O ₂ 温暖化防止のため、実証試験地を地元が誘致。3,000 メートル下まで調査官民一体で協議会。	25 面
電気新聞	2010 年 10 月 22 日	【苫小牧地点、勿来・磐城沖地点】電力各社 I G C C 実証 2 年延長、C C S 事業の受託に備え。経産省は苫小牧沖といわき沖で調査井を掘削する計画。	1 面
西日本新聞	2010 年 10 月 29 日	【北九州地点】 C O ₂ 貯留北九州に適地。温暖化対策 地中に活路。経産省実用化へ前進。	1 面
日本経済新聞	2010 年 11 月 3 日	【苫小牧地点】北海道沖で C O ₂ 貯留について日本 C C S 調査が検討。	10 面
苫小牧民報	2010 年 11 月 5 日	【苫小牧地点】苫小牧沖で C C S の実証試験に向けて土砂処分場で掘削開始。	1 面
読売新聞	2010 年 11 月 5 日	【苫小牧地点】 C C S 実証試験に向けて、きょうから苫小牧で掘削開始。来年 2 月にテスト。	32 面
北海道建設新聞社	2010 年 11 月 6 日	【苫小牧地点】日本 C C S 調査が苫小牧で調査井掘削。海底 3,000 メートルの地質サンプル採取へ。	1 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
北海道新聞	2010 年 11 月 6 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ試験地選定調査が苫小牧沖でサンプル採取のため掘削。	31 面
読売新聞	2010 年 11 月 7 日	【苫小牧地点】「ＣＯ ₂ 海底へ」。調査最終段階。苫小牧で掘削開始。試験地選定に期待。	32 面
日本経済新聞	2010 年 11 月 7 日	【苫小牧地点】地下貯留について苫小牧で国内初試掘。経産省向けデータ採取。	北海道経済面 p. 1
日経産業新聞	2010 年 11 月 8 日	【苫小牧地点】日本ＣＣＳ調査は沖合へ深さ 3,000 メートル、北海道苫小牧市で試掘調査を開始した。本格的な試掘調査は苫小牧沖が初めて。	2 面
苫小牧民報	2010 年 11 月 29 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ理想的な地層。苫小牧地区協同組合等連絡協議会が研修。環境産業誘致に期待。	5 面
室蘭民報	2010 年 12 月 17 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ促進協メンバーが掘削現場を視察。	12 面
苫小牧民報	2010 年 12 月 17 日	【苫小牧地点】苫小牧に優位性。ＣＣＳ促進協が調査井掘削を視察。	1 面
苫小牧民報	2011 年 1 月 1 日	【苫小牧地点】エコ時代の産業インフラＣＣＳ誘致に官民連携。ＣＯ ₂ を地下に封じ込め。	22 面
北海道新聞	2011 年 3 月 2 日	【苫小牧地点】必要なデータを得た苫小牧のＣＣＳ調査終了。	23 面
苫小牧民報	2011 年 3 月 2 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ実証のための今年度調査完了。大型掘削機の解体作業着手。	5 面
読売新聞	2011 年 3 月 5 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ実験地選定のための苫小牧の調査終了。	31 面
苫小牧民報	2011 年 4 月 19 日	【苫小牧地点】苫小牧の生涯学習市民サークル（エンジョイクラブ・マナビスト 21）が「ＣＣＳ」の出前講座を開催し、日本ＣＣＳ調査の社員が講師として参加。	1 面
苫小牧民報	2011 年 4 月 21 日	【苫小牧地点】市民向け出前講座 海外のＣＣＳの先行事例も紹介。	1 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
苫小牧民報	2011 年 4 月 22 日	【苫小牧地点】日本ＣＣＳ調査は苫小牧沖で追加の調査を行うと発表した。1,100m付近の地質サンプル採取。	1 面
北海道新聞	2011 年 4 月 22 日	【苫小牧地点】サンプル採取追加調査実施。新たに浅い地層でも貯留に適しているとみられる場所が見つかり、今回調べることを決めた。	31 面
室蘭民報	2011 年 4 月 22 日	【苫小牧地点】来月から追加調査。昨年の調査評価と合わせて経産省に評価報告へ。	12 面
北海道新聞	2011 年 6 月 11 日	【苫小牧地点】日本ＣＣＳ調査が行う地質調査の現場を見学。市や商工会議所など 18 団体から約 40 人が出席。	29 面
苫小牧民報	2011 年 7 月 22 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ出前講座開催。仕組みや安全性を説明（マヒスト 21）。日本ＣＣＳ調査は講師として参加。	6 面
苫小牧民報	2011 年 7 月 28 日	【苫小牧地点】「ＣＣＳの意義理解を」市役所でパネル展。	1 面
北海道新聞	2011 年 7 月 28 日	【苫小牧地点】ＣＣＳの仕組みは？ 市役所でパネル展始まる。	25 面
北海道建設新聞	2011 年 7 月 29 日	【苫小牧地点】仕組みや技術概要など紹介。日本ＣＣＳ調査が苫小牧でパネル展。	15 面
室蘭民報	2011 年 7 月 29 日	【苫小牧地点】ＣＣＳ技術理解を。市役所でパネル展。	16 面
読売新聞	2011 年 7 月 30 日	【苫小牧地点】ＣＯ ₂ 地中圧入技術紹介 苫小牧 安全性周知パネル展。	31 面
苫小牧民報	2011 年 8 月 8 日	【苫小牧地点】日本ＣＣＳ調査 石井社長に聞く。天変地異にも備え ＣＯ ₂ の移動、漏出厳しく監視。安全性や海洋環境影響評価について言及する。	1 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
北海道新聞	2011 年 9 月 1 日	【苫小牧地点】苫小牧沖「CO ₂ 地中封じ込め」。10 月に市民フォーラムで技術解説や意見交換を行う。	26 面
北海道新聞	2011 年 10 月 9 日	【苫小牧地点】CCS について考えるフォーラムが開かれ、約 300 人が CCS の安全性や意識について理解を深めた。	29 面
室蘭民報	2011 年 10 月 9 日	【苫小牧地点】CCS フォーラム 講演や討論会を通して CO ₂ 貯留に理解を深める。	2 面
読売新聞	2011 年 10 月 9 日	【苫小牧地点】苫小牧でフォーラムが開かれ、CCS の技術や有効性を市民に説明する。	35 面
苫小牧民報	2011 年 10 月 10 日	【苫小牧地点】CCS の安全性は？苫小牧でフォーラムが開催され、市民ら 300 人出席。専門家による講演とパネルディスカッションが行われた。	1 面
WEB みんなの、 苫小牧民報	2011 年 10 月 11 日	【苫小牧地点】鳩山由紀夫元首相が CCS の調査井などを視察。日本 CCS 調査の石井社長が施設概要を説明した。	ウェブサイト
北海道新聞	2011 年 10 月 12 日	【苫小牧地点】政治メモ 鳩山氏が CCS 視察。日本 CCS 調査 石井社長が同行し、調査の概要などを説明。	27 面
北海道建設新聞	2011 年 10 月 12 日	【苫小牧地点】経産省は苫小牧で CCS フォーラムを開いた。市民ら約 300 人が参加し、CCS 技術について理解を深めた。	15 面
苫小牧民報	2011 年 10 月 13 日	【苫小牧地点】CCS って何だろう？10.8 市民フォーラム。日本総合研究所 寺島実郎理事長の講演を紹介。	1 面
苫小牧民報	2011 年 10 月 13 日	【苫小牧地点】苫小牧信用金庫本店で CCS パネル展が行われる。日本 CCS 調査がパネルを作成し、苫小牧沖での調査の様子などを紹介。	5 面

掲載紙	掲載日	記事の要点	備考
苫小牧民報	2011 年 10 月 15 日	【苫小牧地点】ＣＣＳって何だろう？10.8 市民フォーラム。東大大学院佐藤光三教授の講演を紹介。	1 面
苫小牧民報	2011 年 10 月 17 日	【苫小牧地点】ＣＣＳって何だろう？10.8 市民フォーラム。パネルディスカッションを紹介。	1 面
電気新聞	2011 年 10 月 20 日	【苫小牧地点・大規模実証事業】国内ＣＣＳ、経産省が苫小牧沖実証へ検討会。苫小牧で実施した地質調査結果を反映。	2 面

表 3-23 本事業に関するテレビ、新聞のこれまでの報道件数

報道手段	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度 (10 月現在)	合計
テレビ番組	2	2	4	8
新聞記事	19	46	26	91

③ 今後の情報発信活動計画

市民の大多数はまだＣＣＳについて知らないというアンケート結果、及びテレビ、新聞といったマスメディアを通じた伝達手段での情報提供を市民が望んでいる実態をふまえ、今後も市民への情報発信を継続的に行うことが重要である。

これまでの報道機関への取材協力やプレスリリースに加えて、ＣＣＳに関してより深掘りし、かつ平易な表現でまとめられた解説ツール（図 3-81、図 3-82 参照）の整備も並行して進めている。さらに、ＣＣＳに関するパネル展（表 3-24、図 3-83 参照）やフォーラム（表 3-25）を企画・実施しており、今後も市民への情報発信を継続していく必要がある。

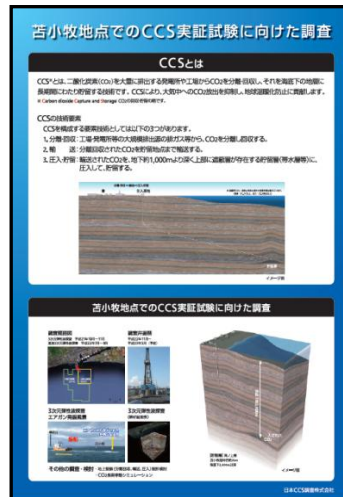


DVD



パンフレット

図 3-81 解説ツール（DVD、パンフレット：平成 22 年度制作）



展示用パネル

図 3-82 CCS及び苫小牧地点の調査概要を解説したパネル（平成 22 年度制作）

表 3-24 パネル展（「CCSパネル展 in 苫小牧」）の開催実績（平成 23 年度）

No.	場所	開催期間	備考
1	苫小牧市役所 2 階市民ギャラリー	7 月 27 日－8 月 9 日	
2	駅前プラザ e g a o 7 階（苫小牧）	8 月 10 日－8 月 21 日	
3	イオン苫小牧 SC：1 F ウェストコート	8 月 17 日－8 月 23 日	
4	北海道庁本庁舎 1 階道民ホール	8 月 22 日－8 月 26 日	
5	苫小牧信用金庫沼ノ端支店	9 月 5 日－9 月 9 日	
6	苫小牧信用金庫澄川支店	9 月 12 日－9 月 16 日	
7	北海道庁本庁舎 1 階道民ホール	9 月 12 日－9 月 16 日	
8	苫小牧市文化交流センター 1 階ロビー	9 月 20 日－10 月 2 日	
9	グランドホテルニュー王子 3 階グランドホール	10 月 8 日	フォーラム同時開催
10	苫小牧信用金庫本店	10 月 11 日－10 月 17 日	
11	苫小牧駒澤大学 研究・講義棟 2 階	10 月 11 日－10 月 21 日	

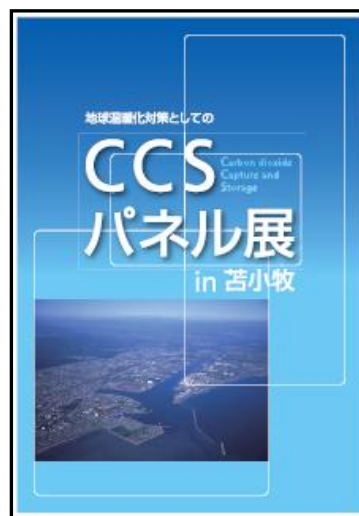


図 3-83 パネル「CCSパネル展 in 苫小牧」（平成 23 年度制作）
（パネル 10 枚構成）

表 3-25 CCS フォーラム開催実績（平成 23 年度）

フォーラム名／目的 ／開催日時／会場等	講演者／パネリスト	備考
・ CCS フォーラム 「地球温暖化と CCS」 [目的] ・ 苫小牧市民を対象として、CCS の必要性、しくみ、安全性などを情報公開、周知を行い、正しい理解を得る。 ・ 主催：経済産業省 ・ 後援：苫小牧市 [開催日時] ・ 10 月 8 日(土)14 時-16 時 10 分 [会場] ・ グランドホテルニュー王子 (苫小牧市)	来場者 297 名。 ・ 挨拶 中西宏典（経済産業省 大臣官房審議官） 岩倉博文（苫小牧市長） ・ 第一部 講演 寺島実郎（財）日本総合研究所理事長） 「エネルギー・環境問題のパラダイム転換」 佐藤光三（東京大学大学院 教授） 「CCS の概要」 ・ 第二部 パネルディスカッション 「地球温暖化と CCS」 佐藤光三（東京大学大学院 教授） 川島和浩（苫小牧駒澤大学 教授） 岩倉博文（苫小牧市長） 石井正一（日本 CCS 調査(株)代表取締役社長） 中西宏典（経済産業省 大臣官房審議官） [コーディネーター] 林美香子(慶應義塾大学大学院 特任教授／ キャスター) ・ 質疑応答	パネル展同時 開催

3-1-2-7-A 用語集

略語一覧

【組織名】

E N A A : 一般財団法人 エンジニアリング協会

E P A : United States Environmental Protection Agency、米国環境保護庁

I E A : International Energy Agency

N E D O : 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

R I T E : 財団法人 地球環境産業技術研究機構

【事業名】

平成 20 年度補助事業 :

経済産業省 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業費補助金 平成 20 年度「二酸化炭素地中貯留技術研究開発（実証試験に適する地下帯水層等に係る評価技術開発）」

平成 20 年度委託事業 :

経済産業省 委託事業 平成 20 年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」

平成 21 年度委託事業 :

経済産業省 委託事業 平成 21 年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」

平成 22 年度委託事業 :

経済産業省 委託事業 平成 22 年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」

平成 23 年度委託事業 :

経済産業省 委託事業 平成 23 年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」

N E D O 委託事業 :

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 委託事業「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究／特定サイトにおける石炭ガス化発電から C O₂ 貯留に至るトータルシステムの概念設計」

用語一覧

表 3-26 用語集

五十音	用語	説明
ア行	アクティブ・ブロック	シミュレーションでのグリッドモデルにおいて属性値の入力されたブロック(セル)数。
ア行	圧縮率	本書では、貯留層岩石にかかる圧力と体積の関係を表す物理量。
ア行	圧入能力テスト	流体を圧入することで、圧力および圧入量の時間変化を調査して、貯留層の圧入性能を評価するためのテスト
ア行	アニュラス	ケーシングとチュービングあるいはケーシングとケーシングの間の環状の間隙。
ア行	アミンリボイラー	CO ₂ 分離回収過程で、CO ₂ を吸収したアミン溶液からCO ₂ を取り出すために熱を加えるためのボイラー。
ア行	安山岩	火山岩の一種である。火山岩とは、溶岩が地表あるいは地下浅部で急冷され固結してできた岩石。岩石の化学組成(主に SiO ₂)により、他に玄武岩、流紋岩などに分類される。
ア行	アンチサージシステム	圧縮機における必要最低限の流量を確保するシステム。圧縮機流量の低下により、流量、圧力、回転速度が周期的に大きく変動して、正常な運転が不能となる事態を回避する。
ア行	アンプリチュード値	アンプリチュードとは振幅のこと。弾性波探査データはさまざまな波から構成されるが、振幅とは波の強さを表す。
ア行	逸泥	坑井内の泥水が地層に流出し、坑内に戻らない状態。
ア行	インターミディエートケーシング	サーフェスケーシングとプロダクションケーシングの中間でセットされるケーシングの総称。地質状況、地層圧力等により数段のケーシングがセットされる場合がある。
ア行	エクステンディッド・リークオフテスト (Extended Leak-off Test)	リークオフテストと同様に地層強度を測定する手法の一つ。リークオフテストとの違いは地層内にフラクチャーが成長する圧力まで加圧することで、地層破壊圧をはじめ最小主応力まで求めることが出来る。
ア行	LNG複合発電	液化天然ガス(LNG)を燃料とし、ガスタービン発電と蒸気タービン発電を組み合わせた発電方式。
ア行	塩基性火成岩	岩石の化学組成の内、SiO ₂ が重量比で約 45～52%を占める火成岩である。火成岩とは、溶岩が冷却され固結してできた岩石の総称。
ア行	遠心分離法	水をしみ込ませた岩石試料を遠心分離器にかけて、回転数を上げながら回転数(遠心力)に応じて試料から排出される水の量を測定することにより、毛細管圧力を測定する手法。
ア行	遠心式圧縮機	ターボ型の圧縮機のうち外周部に吐出することで圧力を与える形式。
ア行	塩水帯水層	地下 1,000m 以上の深部にある帯水層に含まれる地層水は、一般に塩分濃度が高いことから、飲料用あるいは工業用地下水を含む帯水層と区別するための呼称。
ア行	オイルフリーターボ式圧縮機	潤滑に油分を用いないターボ型圧縮機。

五十音	用語	説明
ア行	往復動式圧縮機	容積型圧縮機のうち、ピストンの往復運動による容積変化で圧縮する形式。
ア行	音響インピーダンス	地層の物性を示すパラメータの一つで、地層密度と弾性波伝播速度との積である。一般的に大きい値ほど緻密で硬い岩石を示す。アコースティック・インピーダンス Acoustic Impedance(AI) とも言う。
ア行	音響探査	探査船から繰り出した音波発生装置からの音響パルスの反射波を受波することで、海底面の露岩分布の把握や底質判別を実施すること。
ア行	温度躍層	海洋中の水温は、一般に深さと共に減少していくが、その鉛直勾配が特に大きな層。
ア行	音波検層	坑井内において音波を発信し、坑壁近傍の地層の一定区間を伝播する音波の到達時間を連続測定し、地層中の音波速度情報を取得する物理検層種目。
ア行	オンラップ	堆積物が高まりに向かって堆積する時の様式。
カ行	海進期堆積体 (TST)	シーケンス層序学に基づいて堆積物を解析する際に用いる堆積物の名称の1つ。海水準が上昇する過程で海底で堆積する堆積物。TST:Transgressive Systems Tract)。
カ行	海底坑口装置	海洋に設置する坑井の海底部に設置される装置で、坑井をコントロールするバルブ類の集合体。
カ行	海底地震計(OBS)	海底に設置できるように設計された地震計。Ocean Bottom Seismograph の略。
カ行	海底受振ケーブル (OBC)	地震計およびデータ転送装置を内蔵した海底に設置するケーブルで、Ocean Bottom Cable の略。長期間設置用に開発されたものは、常設型 OBC とよばれ、長期間にわたる地震動のモニタリングに適している。
カ行	回転式圧縮機	容積型圧縮機のうち、回転するピストンとシリンダーの組合せで圧縮する形式。
カ行	化学吸収法	CO ₂ を分離回収する方法の一つで、吸収剤との化学反応により CO ₂ を分離する方式。
カ行	核磁気共鳴検層	医療用の MRI と同じ原理で、岩石の孔隙率と浸透率とを測定する物理検層種目。
カ行	花崗岩	深成岩の一種である。深成岩とは、溶岩が地下深部で徐々に冷却され固結してできた岩石。
カ行	花崗閃緑岩	深成岩の一種であり、花崗岩とは鉱物組成が若干異なる。深成岩とは、溶岩が地下深部で徐々に冷却され固結してできた岩石。
カ行	火山碎屑物	火山の噴火で火口から直接噴出された岩石が壊れてできた破片や粒子の堆積したもの。
カ行	活性アミン法	化学吸収法の吸収溶剤に、1～3級アミンとCO ₂ 吸収促進剤との組み合わせを用いる方法。
カ行	カッティングス	坑井掘削中に生ずる掘り屑。
カ行	干渉 SAR 解析	繰り返して観測された衛星搭載合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR) データを比較する「干渉解析」から、地表の変位(変動)を推定する方法。地震や火山活動の地表変動や、地滑り、地盤沈下などの検出で利用されている。数十 m グリッドで、一度に広域(約 5,000km ²)の検出が、精度数 mm でできる経済的な手法である。CCS では アルジェリアの In Salah での地表変動検出で有効性が確認された。

五十音	用語	説明
力行	岩相	地層の特徴。
力行	ガンマ線検層	岩石に含まれるカリウム等の放射性同位体が発するガンマ線量を測定する物理検層種目。
力行	気相CO ₂	貯留層の温度圧力によっては、CO ₂ は気体と液体の特性をあわせ持つような状態になるが、本書では地層水に溶解したCO ₂ と区別して、気相CO ₂ と呼ぶ。
力行	基礎物理探査	国内の石油・天然ガス資源の開発を目的に、昭和30年から国によって実施されている全国規模の弾性波探査や重力・地磁気探査などの地球物理学的調査。ちなみに調査掘削は基礎試錐と呼ばれている。
力行	基底	ある地層の下限。
力行	基盤岩	本書では、石油や天然ガス鉱床を形成する地層の最下部より下位の地層。
力行	逆断層	断層に沿って上の地層が下の地層の上にのし上がっている断層。横から強く圧縮されたときに生ずる。
力行	凝灰角礫岩	溶岩由来の角礫岩片を多量に含む凝灰岩。
力行	凝灰岩	火山灰や軽石が固結した岩石。
力行	強反射	弾性波が地下から戻ってくる時の波の振幅が強い状況。
力行	空気浸透率	測定対象試料に空気・ヘリウム等の気体を圧入して測定した浸透率。
力行	空気吹き石炭ガス化複合発電	微粉化した石炭(微粉炭)と空気(ガス化剤)をガス化炉(微粉炭をガス化するための反応炉)に吹き込み、炉内で燃焼させ、この熱により石炭のガス化反応が起こり、高温の石炭ガスが発生する。 この燃料ガスをガスタービンに導き、燃焼させることにより、ガスタービンを回し、さらに高温の排ガスをボイラに導いて蒸気を発生させ、蒸気タービンを回す。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電することから、複合発電と呼ばれる。
力行	具現モデル	地球統計学的手法により表現された地下のモデル。
力行	クラスター解析	データを分類する手法の1つ。類似した特性によって物事をクラスター(集落)に分ける統計的分析手法。
力行	グリッドセル	シミュレーションにおいて計算に用いられる地層を模した最小の単位。
力行	グリッドモデル	CO ₂ 挙動予測シミュレーションを行うためのグリッドセルからなるモデル。
力行	傾斜井	掘削ターゲットの位置が坑口位置から水平方向に離れている場合、坑井をある深度から曲げてターゲットへ向けて掘削される角度を持った坑井。
力行	珪藻化石	単細胞の藻類の1種の化石。
力行	ケーシング(CSG)	坑井掘削時に坑壁を保護するために設置する鉄製のパイプ。Casingの略。
力行	頁岩	剥離性に富む泥岩。

五十音	用語	説明
力行	玄武岩	火山岩の一種である。火山岩とは、溶岩が地表あるいは地下浅部で急冷され固結してできた岩石で、岩石の化学組成(主に SiO_2)により、他に流紋岩、安山岩などに分類される。
力行	コア	井戸を用いて採取される円筒形の地層試料。
力行	高海水準期堆積体(HST)	海水準が高い時期に堆積した堆積物。堆積する場所が順次海側へ前進するという特徴を有する。HSTは、Highstand Systems Tract の略。
力行	後期更新世	用語集末尾の「地質年代表」参照
力行	坑径検層	坑井の直径を測定する検層種目。
力行	孔径分布	岩石中の孔隙の半径と容積とを頻度分布で表したもの。
力行	孔隙率	岩石の“かさ容積”に対する孔隙の容積の割合のこと。%で表すこともある。
力行	更新世	用語集末尾の「地質年代表」参照
力行	合成弾性波記録	物理検層データ(音波速度と見かけ密度)から計算される反射係数から合成した弾性波反射記録。坑井位置での弾性波探査記録と比較することによりキャリブレーションとして用いられる。
力行	坑跡デザイン	傾斜井において掘削作業をスムーズに行うために、坑井の最適な軌跡(坑跡)を設計する。
力行	構造運動	褶曲を形成したり断層を変位させる作用。テクトニクスともいう。
力行	構造的帯水層	本書では、伏せたお椀のような封じ込め構造をなし、上位に浸透性の低い遮蔽層を伴う帯水層をいう。
力行	構造場	本書では、過去において火山岩が形成されたり堆積物が堆積する時の地質構造。
力行	構造モデル	CO_2 挙動予測シミュレーションにおいて、種々のパラメータを与える前の枠組みのみのモデル。
力行	坑底圧力	本書では、貯留層上限深度での坑内圧力をいう。
力行	港湾内流況シミュレーション	本書では、港や湾などの海岸や海底の形態を考慮して海水の流れを予測し、万が一、 CO_2 が海水中へ漏出した場合の CO_2 の拡散をシミュレーションする技術のことをいう。
力行	コーン貫入試験	円錐上の棒(コーン)を海底に貫入させ、海底面下 4m までの地層の硬さを調査する。
力行	古生界	用語集末尾の「地質年代表」参照
力行	古第三系	用語集末尾の「地質年代表」参照
力行	古第三紀	用語集末尾の「地質年代表」参照
力行	コントロール点	本書では、弾性波探査データを地質学的に解析する際の起点をいう。たとえば、重力異常から地下構造を推定する場合、坑井での地層深度データを坑井位置における既知情報としてモデル作成時に利用する。

五十音	用語	説明
サ行	サージ	圧縮機等で流量をしぼって運転した際に、振動と騒音を起こし、流量、圧力、回転速度が変動する現象。
サ行	サーフェスケーシング	坑井で最初にセットされるケーシングの総称。地表付近の軟弱層保護のためにセットされるケースが多い。
サ行	最大残留ガス飽和率	残留CO ₂ トラッピングにより移動できなくなるCO ₂ の最大限の容積の、全孔隙容積に対する比。
サ行	再堆積相	一度堆積した地層が、水流等により別の場所に流されて堆積した地層。
サ行	砂質シルト岩	主としてシルト(粒子直径 1/256～1/16mm)の中に砂(粒子直径 1/16～2mm)が混在し、構成された堆積岩。
サ行	差分法	微分方程式を解く際の数値解析方法の1つ。
サ行	残差圧力法	コア試料を水で充填し、気体にスレショルド圧力よりも大きい圧力をかけてブレイクスルーさせた後でスレショルド圧力を測定する方法。
サ行	三次元弾性波探査	面的に発振点、受振点を配置し、測定を空間的に密に行うことで、三次元的な地下構造を把握するための反射法弾性波探査。
サ行	産出	本書では、坑井を用いて圧入テストにおいて、貯留層から流体が坑内に流入することをいう。
サ行	産出能力テスト	坑口圧力を開放して坑内流体や地層流体を産出させるテスト。圧力および産出量の時間変化を調査して、貯留層性能の評価に加え地層流体が採取できることもある。
サ行	残留CO ₂ トラッピング	貯留層に貯留されたCO ₂ は、圧入中の圧力が貯留層の毛細管圧を超えた場所では微細な孔隙中に入り込み、その後、その場所から移動できなくなる。このような毛細管圧による固定されるメカニズム。
サ行	残留ガス飽和率	残留CO ₂ トラッピングにより移動できなくなるCO ₂ の容積の、全孔隙容積に対する比。
サ行	CO ₂ 海水拡散シミュレーション	本書では、万が一、CO ₂ が海水中へ漏出した場合のCO ₂ の拡散をシミュレーションする技術。
サ行	CO ₂ 挙動予測シミュレーション	本書では、貯留層にCO ₂ を圧入した際の温度・圧力や貯留層内での広がりを予測するシミュレーションをいう。
サ行	CO ₂ 挙動モニタリング	帯水層に貯留されたCO ₂ の動きや広がりの観測。
サ行	CO ₂ 濃度指標	海水中のCO ₂ 濃度を直接測定できないことから、換算するために測定する全炭酸濃度、pH、全アルカリ度など。
サ行	CO ₂ 分離・回収	石炭ガス化ガス・化学合成ガス・天然ガスなどから、製品不純物としてのCO ₂ を分離して大気に放散する方法を分離と呼ぶ。帯水層にCO ₂ を貯留するには、これらのガスや燃焼排ガスからCO ₂ を分離して更に貯留用に回収する工程を分離・回収という。
サ行	CO ₂ 飽和率	貯留されたCO ₂ のうち地層水に溶解していないものの全孔隙容積に対する比。
サ行	シーケンス層序学	地層がいつ、どこで、どのような堆積過程で形成されたのかを目的とした地質解析の1手法。
サ行	時間構造図	弾性波データによる解析結果の1つで、地下の等深度線図の1つ。地表からの深度は弾性波が伝搬する往復走時で表される。
サ行	軸流式圧縮機	ターボ型の圧縮機のうち吸いこみと吐出する方向が同一方向の形式。

五十音	用語	説明
サ行	自然電位検層	掘削泥水と地層水の塩分濃度差により生じる、岩石の地下状態での電位差を測定する物理検層種目。
サ行	シフト反応	一酸化炭素と水蒸気から二酸化炭素と水素を生成する反応。一酸化炭素含有ガスから水素を製造する場合、この反応を利用して触媒存在下で水蒸気を添加し、副生する二酸化炭素を分離することにより、水素を得る。
サ行	自噴	本書では、坑井を通じて地下水などが自然に地表まで流出することをいう。
サ行	シミュレーション	模型あるいは数値モデルによる模擬試験のこと。本書では、地下の状況をモデル化して(計算式プログラム)、圧入したCO ₂ の挙動をコンピューターにより予測計算することを指す。
サ行	斜面(Slope)	本書では、陸棚から深海へ向かって傾斜した地形での主に泥岩からなる堆積物のこと。
サ行	褶曲	地層が横からの圧縮力を受けて、波状に押し曲げられている構造のこと。
サ行	衝上断層	緩傾斜の逆断層を介して、上の地層が下の地層の上にのし上げた断層。
サ行	シルト岩	主として砂と粘土の中間のサイズの粒子(1/16~1/265mm)によって構成された堆積岩。
サ行	シンセティックベースマッド	坑井を掘削する際に利用する泥水の1種で、潤滑効果などの特性を高めた合成有機化合物を用いた泥水。Synthetic Base Mud (他には WBM: Water Base Mud、OBM: Oil Base Mud がある)
サ行	新第三紀	用語集末尾の「地質年代表」参照
サ行	新第三系	用語集末尾の「地質年代表」参照
サ行	浸透率	岩石などの中を流れる流体の通りやすさを表す物性値の1つ。単位は D(ダルシー)。絶対浸透率ともいう。
サ行	深度構造	弾性波探査データ解析で求めた時間構造を深度に変換したもの。
サ行	水平浸透率	砂岩層は一般には層状に堆積しており、ある範囲では横方向には比較的均質であるが、縦方向には不均質となることから、浸透率も横方向と縦方向とで異なるのが一般的である。そこで横方向の浸透率を水平浸透率、縦方向の浸透率を垂直浸透率という。
サ行	水理地質	地下水を含む地層の岩相変化や連続性、透水性、貯留性などの地層特性。
サ行	スクリー式の冷凍機	冷媒を昇圧するための回転軸がネジ状の形態である冷凍機。
サ行	スクリー型圧縮機	ケーシングとローター間の容積変化により圧縮する圧縮機のうち、ローターがネジ状の形態であるもの。
サ行	スケルトン・アトリビュート	弾性波探査データは波から構成されていることから、波の形状の特徴を数値化したデータ。
サ行	スラグフロー	気液二相流の流れ方の形態の一つ。気体の比率が増えると、気泡が発達して、液中に気体が大きな気泡塊(スラグ)として分散した状態で流れる。(図 3-55 参照)
サ行	スレショルド圧力	本書では水が充填された岩石の孔隙に、気体が浸入するために必要な最小の圧力。

五十音	用語	説明
サ行	成層構造	本書では、層状に整然と積み重なっている様をいう。
サ行	世界測地系 WGS84 の UTM54 系	世界測地系とは国際間で共通に用いる地球上の座標系のことであり、WGS84 とは地球を近似する準楕球円体の一種である。WGS84 は GPS で用いられている。UTM54 系の UTM とは、球面の座標を地図などの使いやすい平面の座標に直す投影法の一つである、ユニバーサル横メルカトル (Universal Transverse Mercator) 図法を示す。平面の地図上に直す場合、歪みが一番小さくなるように、場所場所によって投影する基準面を変化させる必要がある。54 系は関東～北海道まで使われている。
サ行	セメンチング	ケーシング降下後に地層とケーシングの間隙にセメントを充填させる作業。
サ行	Selexol 法	物理吸収法の一つ。ポリエチレングリコール・ジメチルエーテルを用い、-40 ～ -5 °C の低温条件で運転される。
サ行	層位トラップ	CO ₂ の物理的トラップの一つであり、背斜構造のようなドーム型構造ではなく、地層のせん滅や岩相の側方変化等によって CO ₂ がトラップされること。なお、尖滅 (せんめつ) とは、特定の岩相により特徴づけられた地層がある方向に向けて徐々に薄くなり、最終的には消滅する地質構造である。
サ行	増角率	傾斜井の掘削における掘削深度あたりの傾斜の増加率のこと。通常は 30m 当たりの傾斜角度の増加分で表す。
サ行	操業管理技術	本書では、貯留層に対して、圧入時・圧入後の CO ₂ 挙動を観測し、圧力とレートを的確に制御しながら圧入・貯留する技術の意。
サ行	層準	地層の中のある特定の時代を示す面、あるいはある厚さをもったある特定の地層の区間を指す。
サ行	層序学	化石や地質年代等の地質情報を考慮して地層の成り立ちを明らかにする地質学の一分野。
サ行	相対浸透率	砂岩に 2 種類以上の流体が共存して流れている時、各流体のその時の浸透率の絶対浸透率に対する比のこと。
サ行	属性	グリッドセルに与える各種のパラメータのこと。
サ行	属性モデル	グリッドモデルに、孔隙率、浸透率等の各種パラメータ (属性値) が与えられたモデル。
サ行	速度構造モデル	地下での弾性波探査の伝播速度分布をモデル化したもの。
タ行	ターボ型圧縮機	圧縮機のうち、回転する翼型の羽根によって気体に運動エネルギーを与えて圧力を加えるタイプ。
タ行	弾性波トモグラフィ	X 線 CT などと同様な原理を利用した断層撮像法の一つで、弾性波を用いて地層の断面や物性を把握する手法。一般的には、P 波の初動走時データが用いられる。
タ行	帯水層	水を通しやすい地層で、孔隙や割れ目が地下水で飽和されたもののこと。
タ行	堆積学	地質学の 1 分野で、堆積物が形成される機構を研究し、堆積物の分布や性質などを調べる学問。
タ行	堆積環境	堆積物が堆積する場のいろいろな条件 (地理的、物理的、化学的、生物的など) の総体。
タ行	堆積相	堆積物の分類名称のこと。

五十音	用語	説明
タ行	堆積盆	堆積盆地。地質構造的な沈降や海水準の上昇などによって生じた堆積可能な空間に、堆積物が供給され地層が形成された地域。
タ行	大偏距(ERD)坑井	一般に水平偏距と垂直深度の比が2以上の坑井。ERDはExtended Reach Drillingの略。
タ行	第四系	用語集末尾の「地質年代表」参照
タ行	ダウンウォッシュ	煙の大気拡散現象を表す用語。煙突から排出された煙は普通、その吐出速度と高温による浮力によって上昇し、気流や希釈により大気中に拡散していく。しかし排出されるガスの吐出速度が周囲の風速よりも小さく、また、排煙温度が低い場合には、煙はあまり上昇せず、煙突の背後の気流の変化によって生じる渦に巻き込まれて降下することがある。この現象をダウンウォッシュという。
タ行	ダウンラップ	堆積物が低い場所に向かって堆積する時の様式のこと。
タ行	卓越層	複数の岩石から形成されている地層で、特にある岩石が卓越する場合に用いる呼称。
タ行	段階昇圧法	コア試料を水で充填した後、気体にスレシールド圧力よりも小さい圧力から徐々に圧力をかけて、スレシールド圧力を測定する手法のこと。
タ行	段丘堆積物	段丘を構成する堆積物である。段丘とは、河川や海等に面して平坦面と急崖が階段状に配置する地形であり、平坦面は、かつての河床や海底に相当する。
タ行	単傾斜構造	一定の地層傾斜で広がる地質構造。
タ行	弾性波探査	地表や海中で振動(弾性波)を発生させ、地下の地層境界ではね返ってくる弾性波を計測することにより、地下の地質構造を知る手法のこと。反射法(弾性波)探査とも呼ばれる。
タ行	弾性波探査シミュレーション	本書では、想定される帯水層中でのCO ₂ 分布が、弾性波探査によりどのようなデータ(弾性波速度や振幅値)が得られるのかを予測すること。
タ行	弾性波データ	弾性波探査による取得されたデータのこと。測定点における反射波の振幅が時系列(往復走時)で記録されたものである。
タ行	地温勾配	地層の温度は深度ともに増加するが、その時の上昇率のこと。
タ行	地球統計学的手法	地球科学データを処理するための統計学的手法のこと。もともとは鉱床の位置を高精度で推定するために開発された手法。不確実性を客観的に表すために用いる。
タ行	地質構造	地層の形態。
タ行	地質層序	地層の積み重なり方。
タ行	地質モデル	複雑な地下深部の地質状況を、単純化し模式化したものをいう。問題にしている現象に対して必要なパラメーターを設定しシミュレーションを実施する。そこから得られる結果を利用して、現象の把握、解決、予測を行う。
タ行	地層圧力	地層の孔隙内に存在する流体の圧力。
タ行	地層水	地層が堆積した当時の海水または陸水が、堆積物中の孔隙内に閉じ込められたもの。
タ行	地動変位速度ベクトル	変位速度ベクトルに同じ。

五十音	用語	説明
タ行	中新統	用語集末尾の「地質年代表」参照
タ行	中性子孔隙率検層	岩石の物理量の1つである孔隙率を中性子線を用いて測定する物理検層種目。
タ行	中新世	用語集末尾の「地質年代表」参照
タ行	沖積層	現在の河岸・海岸平野を最終的な堆積面とする堆積物により構成される地層。
タ行	チュービング	坑井で地下の石油やガスを地上まで導く、あるいはCO ₂ を地下に圧入するために、ケーシング内に設置される小口径のパイプ。
タ行	超々臨界圧:USC	発電所施設の蒸気タービンの圧力条件を表す用語の一つ。一般的な超臨界プラントの蒸気圧力 24.1MPa、蒸気温度 566℃を超える蒸気条件のこと(Ultra Super Critical)。
タ行	貯留層モデル	CO ₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、種々のパラメータを与えた後のモデルのこと。
タ行	チリングクーラー	水分を凝縮分離等の目的で使用される、冷却水より低温の冷媒を用いた冷却器。
タ行	継手	パイプ類をつなぎ合わせるネジ部。
タ行	低圧フラッシュドラム(LPFD)	再生のために別途に低圧塔を設置し、減圧による吸収液からのCO ₂ 放散効果と、再生塔からの熱を活用するシステム。LPFDはLow Pressure Flash Drumの略。
タ行	泥岩	主として粘土(粒子直径 1/256mm 以下)並びにシルト(粒子直径 1/256～1/16mm)によって構成された堆積岩。
タ行	泥水比重	坑井掘削において、掘屑の除去や坑壁の安定の保持ために使用する泥水の比重。
タ行	ディップメータ検層	地層の傾斜を測定する物理検層種目。
タ行	テクトニクス	現在の地質構造を形成した枠組みのこと。例えば、海溝や山脈、褶曲や大規模断層の位置など示し、応力場の推定の参考にする。
タ行	電磁気探査	地下構造を探る物理探査手法の一つ。電磁気的な測定から地層の電磁気的性質(電気抵抗や帯磁率など)の分布状況を推定する。また、CO ₂ は電気抵抗が大きいので、電気抵抗分布から帯水層中のCO ₂ の賦存の様子がモニタリングできる可能性がある。
タ行	等価泥水比重	坑井の坑底にかかる圧力を泥水比重に換算した値。
タ行	ドラグ	坑井掘削時にパイプ類を坑井内へ降下または坑井内から引き上げる場合にパイプと坑壁との間に発生する摩擦力。
タ行	ドリルパイプ	掘削時に、ビットに回転を伝達し、また泥水を坑底まで送る掘削作業用のパイプ。
タ行	トルク	坑井掘削時に回転しているパイプ類と坑壁との間に発生する摩擦等によって生じる回転方向の力。
ナ行	二次元弾性波探査	直線状に発振点、受振点を配置し、測定を行い、測線に沿う地下構造を把握するための反射法弾性波探査。

五十音	用語	説明
ハ行	パーフォレーション	油・ガスを地層から生産するため、またはCO ₂ を地層内に圧入するために、火薬を使用して坑壁を保護しているケーシングとセメントの一部区間に穿孔し、地層まで穴を開け坑内と導通させる技術。
ハ行	背圧タービン	蒸気タービンの内、背圧(タービン出口の蒸気圧力)が大気圧以上のもの。タービンから排出した蒸気は、まだ十分に高い温度であり、加熱などに利用することができる。
ハ行	背斜	褶曲の1種で上に凸の形態のもの。
ハ行	背斜構造軸	断面図上で背斜構造の最も高い点が、水平面上で形成する線。
ハ行	ハイドレード	低温高圧の下で、ガスが水の分子の中に取り込まれてできるシャーベット状の物質。 パイプライン中に発生すると管を閉塞するため輸送障害を発生させる。
ハ行	白亜紀	用語集末尾の「地質年代表」参照
ハ行	白亜系	用語集末尾の「地質年代表」参照
ハ行	パッカー	ケーシングとチュービングの間の環状の間隙を閉塞する装置。
ハ行	発電効率	発電効率には、発電端効率と送電端効率がある。 単位時間あたりの発電電力量(熱量換算)を、当該電力量を発電するために要した化石燃料等の消費量を熱量換算した値で除算したものを、発電端発電効率と言う。 また、単位時間あたりの発電電力量からプラントを運転するために必要な電力量(所内電力量)を差し引いた電力量(熱量換算)を、当該発電電力量を発電するために要した化石燃料等の消費量を熱量換算した値で除算したものを、送電端発電効率と言う。
ハ行	反射面	弾性波探査において、地表で発生させ地下に伝播した弾性波が反射する地層境界面。
ハ行	半深海	海洋環境の深度による区分の1つで、深度 200～4,000m の間を指す。
ハ行	微化石	同定に顕微鏡が必要な微小な化石の総称。坑井掘削においては有孔虫や珪藻、花粉化石などの分析がなされることが多い。
ハ行	ピグ設備	パイプライン内の検査・洗浄作業を目的にライン内にツールを圧送する作業をピグ作業といい、このピグ作業の圧送・受入装置がピグ設備である。
ハ行	非構造的帯水層	本書では、伏せたお椀のような明確な封じ込め構造を形成しないが、上位に浸透性の低い遮蔽層を伴う帯水層をいう。
ハ行	微小振動	荷重をかけたり、流体を圧入することにより、地層内で生ずる可能性のある極めて微小な振動。
ハ行	ヒステリシス	本書では、最初は水で満たされた貯留層にCO ₂ を圧入した後でCO ₂ を抜き出しても、毛細管現象により貯留層中にCO ₂ が残ってしまうことから、元の状態には戻らない現象をいう。
ハ行	比抵抗画像検層	坑内の坑壁のイメージを比抵抗を用いて測定する物理検層種目。
ハ行	比抵抗検層	岩石の物理量の1つでの単位体積当たりの抵抗値を測定する物理検層種目。

五十音	用語	説明
ハ行	微粉炭火力発電所	数十 μ m程度の微粉炭を空気搬送によりバーナーから火炉内に噴出・燃焼し、ボイラで高温高圧の水蒸気を作り、その蒸気でタービンを回転させて発電する発電所。
ハ行	ビルドアップ	本書では、坑井を用いて地層の温度を測定する際に、坑井内を泥水などの流体を循環させることによって低下した地層温度が元の状態に戻ることをいう。
ハ行	ファンデルタ	河川から延びる臨海部に扇状に広がった堆積体のこと。海岸や湖岸から沖合にむかって急激に深くなるような海底や湖底に、河川から大量の粗粒（礫質）堆積物が供給される場合に形成される。
ハ行	封圧	本書では、コア試料を用いて孔隙率や浸透率を測定する際に、地下状態を模して試料全体に均等に加える圧力のことをいう。
ハ行	ブースターポンプ	圧力を高めるために中継用に用いるポンプ。
ハ行	伏在衝上断層	衝上断層の先端が地表に出ておらず、地下で止まった状態のもの。
ハ行	不整合	地層が堆積するときに時間の大きな断続があり、下の地層を切るようにして、上に地層が堆積しているような地層の重なり。
ハ行	物理吸収法	二酸化炭素の分離・回収技術の一つ。メタノールやポリエチレングリコール等の吸収液を使用して、高圧・低温下で物理的に二酸化炭素を吸収させ、その後減圧（加熱）して二酸化炭素を放散させることにより回収する。
ハ行	物理検層	坑井掘削時に、各種のセンサーや測定器を坑内に降下させ、種々の物理量を測定する調査方法。
ハ行	物理的トラッピング	貯留層に貯留されたCO ₂ は、浮力により貯留層内を上方へと移動するが、上方の遮蔽層のところではそれ以上上方には移動できなくなる。地層の形態によってはそれ以上移動できない状態となるが、このメカニズムを物理的トラッピングという。
ハ行	不動水飽和率	岩石は水に親和性を示すことから、水と気体が共存する場合には毛細管現象により小さな径の孔隙に入っている水はある程度大きな圧力を気体にかけないと押し出すことが出来ない状態になる。この時の水の容積の全孔隙容積に対する割合。
ハ行	フラクチャー	地層ができた後に力学的な力が作用して生じた割れ目。
ハ行	プラグフロー	気液二相流の流れ方の形態の一つ。プラグは栓の意味。気体の比率がスラグフロー（用語集のサ行参照）よりも更に増えると、液中に大きな気泡が栓状に分散した状態で流れる。（図 3-55 参照）
ハ行	フレアスタック	プラントの運転時に発生する可燃性ガスを含んだ余剰ガスを、安全弁等を通して受入れ、燃焼処理する保安設備。
ハ行	ブレイクスルー	コア試料を水で充填し、一方の端から気体に圧力をかけることにより、他方の端へ気体が到達する時の状態。
ハ行	プロダクションケーシング	坑井の最終段階でセットされるケーシングの総称。生産流体（又は圧入流体）と接触する可能性のあるケーシングのことを言う。
ハ行	閉合圧力	エクステンディッド・リークオフテストにより坑内に圧力をかけて生じたフラクチャーが閉合する圧力（最少主応力に一致）。
ハ行	ベースライン	CO ₂ 圧入前の状態のデータのこと（Baseline）。ベースラインデータは圧入後のデータと比較することにより変化を知ることができるため、モニタリングでの基準データとなる。

五十音	用語	説明
ハ行	変位速度ベクトル	地殻の水平変動の速度の大きさと方向を、ある点を固定して相対的に表したものの。
ハ行	ベントスタック	大気中に気体を放出することをベントといい、周辺に高濃度の気体溜まりができないよう、高所でベント作業をするための塔をベントスタックと呼ぶ。
ハ行	ベントナイト泥水	坑井掘削時に用いる泥水の1種でベントナイトと呼ばれる粘土を用いるもの。
ハ行	飽和率	地層の孔隙を占める流体の容積と全孔隙容積の比率。
マ行	マール	炭酸塩鉱物成分を含む泥岩。
マ行	マッピング	同じ特徴を持つ分布範囲を特定すること。
マ行	見かけ密度検層	岩石の物理量の1つである密度を測定する物理検層種目。
マ行	水浸透率	測定対象試料に水を圧入して測定する浸透率。
マ行	密度躍層	海水の密度は深さと共に増大していくが、その鉛直勾配の大きな層。
マ行	毛管圧力	毛細管圧力。毛細管現象によって生ずる張力。
ヤ行	有孔虫	主に石灰質の殻と網状仮足をもつ原生生物の一種。地層中に含まれる殻の化石により堆積時代や堆積環境を知ることができる。沖縄地方の星の砂は有孔虫の殻。
ヤ行	遊離水	セメント硬化時に分離してくる、セメントの水和反応に必要とされる以外の水。
ヤ行	溶解トラッピング	貯留層に貯留されたCO ₂ が孔隙中にもともと存在する地層水に溶解し地層に固定されるメカニズム。
ヤ行	容積型圧縮機	圧縮機のうち、気体の占める空間の体積変化によって圧力を加えるタイプ。
ヤ行	翼部	地層が横からの圧縮力を受けて、波状に押し曲げられた構造(褶曲)の、地層が傾いている部分。
ラ行	ランダムモデル	本書では、地質モデルのうち、地球統計学的手法を用いて物性値を与え、不均質性を表現したモデル。
ラ行	リークオフテスト	坑井掘削時に行う地下状態の地層強度を測定する1手法のこと。坑内に圧力をかけて地層に微小な割れ目が生じる(リークオフする)圧力を測定する。
ラ行	陸棚(Shelf)	海岸から水深約 200メートルまでの傾斜の緩やかな海底。
ラ行	流紋岩	火山岩の一種である。火山岩とは、溶岩が地表あるいは地下浅部で急冷され固結してできた岩石。岩石の化学組成(主に SiO ₂)により、他に玄武岩、安山岩などに分類される。
ラ行	臨界ガス飽和率	孔隙に気相を含んだ2相が共存する場合、気相はその飽和率が、ある限界値より低いと流れない。その時の気相の飽和率をいう。
ラ行	礫岩	主として礫(粒子直径 2mm 以上)によって構成された堆積岩。
ラ行	礫質砂岩	主として砂(粒子直径 1/16~2mm)の中に礫(粒子直径 2mm 以上)が混在し、構成された堆積岩。

五十音	用語	説明
ラ行	漏洩	本書では、貯留対象とする貯留層からの移動をいう。
ラ行	漏出	本書では、地中から大気または海洋への移動をいう。
英数	AE	Acoustic Emission の略。アコースティックエミッション。物質や材料が変形したり、亀裂ができたりする時に物質や材料から発生する音波や振動。
英数	AI	音響インピーダンス(Acoustic Impedance)。地層密度と弾性波伝播速度との積に等しい。地層の物性を示すパラメータの一つで、一般的に大きい値ほど緻密で硬い岩石を示す。
英数	BTC	API 規格(American Petroleum Institute)の代表的なネジ Butress Thread Coupling の略。
英数	CCS	CO ₂ の回収と貯留のこと。Carbon dioxide Capture and Storage の略。
英数	CMR	物理検層の一種で、Schlumberger 社により開発された Combinable Magnetic Resonance 検層。核磁気共鳴の原理を用いて地層の孔隙率や浸透率を求める際に用いる。
英数	EPC	設備の設計、調達、建設。Engineering、Procurement、Construction の略。
英数	FMI	物理検層の一種で、Schlumberger 社により開発された Fullbore Formation Micro Imager 検層。比抵抗を用いて坑内の地層の画像を取得する際に用いる。
英数	Follow Base	CO ₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、グリッドセルを構築するための手法の一つで、ある地層の下面に平行にセルを分割すること。
英数	Follow Top	CO ₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、グリッドセルを構築するための手法の一つで、ある地層の上面に平行にセルを分割すること。
英数	GHG	Greenhouse Gas(温室効果ガス)の略。一般に、太陽放射に対しては比較的透明で、地表からの赤外放射に対しては不透明な性質をもった気体のこと。主なものには水蒸気、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、フロンなどがある。
英数	IGCC	石炭や重質油などを原料としたガス化複合サイクル発電のこと。Integrated Gasification Combined Cycle の略。
英数	K-means 法	SOM でグループ分けしたデータの境界を決定するための統計学的手法。
英数	KOP	傾斜井を掘削する時に、坑井を曲げ始める深度。Kick Off Point の略。
英数	MD	坑井の掘削深度。Measured Depth の略。
英数	Opacity Curve	本書では、3次元データの振幅値表示などで、表示領域を限定(部分的に透明化)する際のカーブ。堆積相解析の際に、堆積体の抜き出しに使われる。
英数	PJ	Premium Joint の略。
英数	PLET	Pipeline End Termination の略。海底パイプラインの端末部。海底坑口装置と PLET の間はジャンパーと呼ばれる配管で結ばれる。
英数	Premium Jt	油井用ケーシングに使われる API 規格(American Petroleum Institute)以外にあたる特殊なネジの総称。プレミアムジョイント。
英数	PSA	物理吸着を利用して目的ガス中の不純物を除去する方式。Pressure Swing Adsorption の略。水素製造装置等で用いる。

五十音	用語	説明
英数	RCBL	坑井周りのセメンチングの膠着の度合いを放射状の 8 方向について測定する検層。Radial Cementbond logging の略。
英数	Rectisol 法	物理吸収法的一种。メタノールを用い、-60 ～-40 °Cの低温条件で運転される。
英数	SGP	配管用炭素鋼管。Steel Gas Pipe の略。
英数	SOM	Self Organizing Maps の略称で自己組織化写像とも呼ばれる。多数のデータのグループ分けに用いられる。
英数	TD	坑井の坑底深度。Total Depth の略。
英数	TVD	傾斜井の場合の垂直深度のこと。True Vertical Depth の略。
英数	VSP	坑井内に受振機器を設置して、地表で発生させた弾性波を測定し、地質構造を知る手法。Vertical Seismic Profiling の略で垂直弾性波プロファイリングとも呼ばれる。地表での弾性波探査よりも分解能の高い記録が得られるほか、深度と伝播時間を直接計れるため深度変換用の速度を正確に求められる。
英数	VVVF	電圧と周波数を可変に制御できる電源。Variable Voltage Variable Frequency の略。
英数	XPT	探針を坑壁に押し当て、少量の流体を地層から引き出して、地層の圧力と浸透率を求める検層。

表 3-27 地質年代表

(日本地質学会の地質年代表から抜粋して作成)

界／代	系／紀	統／世	階／期	年代／ 百万年前
新生界／代	第四系／紀	完新統／世		0. 0117
		更新統／世	上部／後期	0. 126
			中部／中期	0. 781
			カラブリアン	1. 806
			ジェラシアン	2. 588
	新第三系／紀	鮮新統／世	※	5. 332
		中新統／世	※	23. 03
	古第三系／紀	漸新統／世	※	33. 9±0. 1
		始新統／世	※	55. 8±0. 2
		暁新統／世	※	66. 5±0. 3
中生界／代	白亜系／紀	※		145. 5±4. 0
	ジュラ系／紀	※		199. 6±0. 6
	三疊系／紀	※		251. 0±0. 4
古生界／代	※			542. 0±1. 0

※記載を省略

“注：「界」「系」「統」は地層の年代を表す場合に用い、
「代」「紀」「期」は時代を表す場合に用いる。”

3-1-3-A 特許出願状況等

本事業はCCS技術の確立に必要な実証試験の実施を目標とした事業であるため学術論文や特許発明はないが、情報発信として、業界誌および学会誌への投稿、国内外における講演・発表を多く実施した。

表 3-28 特許・論文等件数

	論文数	論文の 被引用 度数	特許等件 数(出願を 含む)	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	取得ライ センス料	国際標 準への 寄与
計							

表 3-29 投稿、発表リスト

	題目・メディア等	時期
投稿	石油開発時報(N0.161)2009年5月号「CCSのすすめ」 発行：石油鉱業連盟	H21.5
	石油開発時報(N0.162)2009年8月号「CCSのすすめ(その2)－CCSにおけるCO ₂ 分離・回収技術－」 発行：石油鉱業連盟	H21.8
	石油開発時報(N0.163)2009年11月号「CCSのすすめ(その3)－CCSにおけるCO ₂ の輸送技術－」 発行：石油鉱業連盟	H21.11
	石油開発時報(N0.164)2010年2月号「CCSのすすめ(その4)－CCSにおけるCO ₂ の圧入・貯留技術－」 発行：石油鉱業連盟	H22.2
	石油技術協会誌75巻3号「石油開発技術のCCSプロジェクトへの適用」 発行：石油技術協会	H22.4
	土木学会誌2010年6月号「CO ₂ 地中貯留の動向」 発行：(社)土木学会	H22.6
	Journal of MMIJ Vol.126「日本CCS調査(株)の事業概要」 発行：(社)資源・素材学会	H22.9
	月刊土木技術2011年1月号 「CO ₂ 地中貯留の動向－実証試験にむけて－」 発行：土木技術社	H23.1

	題目・メディア等	時期
発表	IEA-GHG 5th Monitoring Network Meeting (東京) 「Monitoring Future Plans at CCS Demonstrations in JAPAN」 主催：IEA	H21. 6
	日本技術士会 資源工学部会 9 月例会「C C S が地球を救う」 主催：日本技術士会	H21. 9
	平成 21 年度 精製講演会「C C S 実証試験に向けて」 主催：(社)石油学会	H21. 10
	第 3 回 九州低炭素システム研究会「C C S 国内実証事業への取り組み」 主催：経済産業省、九州経済産業局	H21. 12
	日尼技術協力対話 (尼国) 「Large-Scale Demonstration Projects in JAPAN」	H22. 3
	苫東推進担当者会議 「C O ₂ 回収・貯留の概要」 主催：苫小牧市産業経済部	H22. 3
	CSLF Financing Roundtable 2010(米国) 「Japanese CCS Projects」 主催：CSLF	H22. 4
	エネルギー貯槽等安全専門研究委員会 「日本における C C S 実証試験に向けた準備状況」 主催：(社) 日本高圧力技術協会	H22. 5
	地域振興委員会 「C C S 調査の現状について」 主催：苫小牧商工会議所 商工振興部	H22. 7
	製造業部会 「C C S 実証試験について」 主催：苫小牧商工会議所 製造業部会	H22. 7
	苫小牧臨海企業懇話会例会 「C C S 実証試験に向けた取り組み」 主催：苫小牧臨海企業懇話会	H22. 9
	GHGT-10 (The Greenhouse Gas Control Technologies conference)(蘭) 「Study of Geological Storage for a Candidate CCS Demonstration Project in Tomakomai, Hokkaido, Japan」 主催：IEA-GHG	H22. 9

	題目・メディア等	時期
発表	GHGT-10 (The Greenhouse Gas Control Technologies conference) (蘭) 「Engineering Consideration of Surface Facilities for Candidate CCS Demonstration Project in Japan」 主催：IEA-GHG	H22. 9
	新エネルギー勉強会 「CCSに関する国内外の動向について」 主催：苫小牧東部地域企業誘致推進協議会	H22. 9
	平成 22 年度苫小牧地区協同組合等連絡協議会・講演研修会 「最先端技術（CCS）で創る低炭素社会 ～苫小牧 CCS 実証試験実 現へ向けた取り組み～」 主催：苫小牧地区協同組合等連絡協議会、(共催)北海道中小企業団体中 央会胆振支部	H22. 11
	新エネルギー部会講演会 「日本における CCS 実証試験に向けた取り組み」 主催：(社) 石油学会	H22. 10
	韓国 CCS 輸送ワークショップ (韓国) 「Japan is moving forward to large-scale CCS demonstrations」 主催：韓国海洋研究院 (KORDI)	H22. 10
	CCS テクニカルワークショップ 「Japan is moving forward to large-scale CCS demonstrations」 主催：RITE (財)地球環境産業技術研究機構	H22. 12
	日加 CCS/CC T セミナー 「日本における CCS 実証試験に向けた取り組み」 主催：カナダ大使館	H23. 2
	日尼 CCS ワークショップ (尼国) 「Large-Scale Demonstration Projects of CCS in JAPAN」 主催：RITE/インドネシアエネルギー鉱物資源研究開発庁	H23. 2
	Korea CCS Conference In Jeju 「Progress on CCS demonstration project in Japan」 主催：Korea CCS Association 他	H23. 4

	題目・メディア等	時期
発表	Rotterdam Climate Initiative & GCCSI 意見交換会 「Progress on CCS demonstration project in Japan」 コーディネーター：GCCSI	H23. 4
	平成 23 年度石油技術協会 春季講演会 「日本における CCS 実証試験に向けた取り組み」 主催：石油技術協会	H23. 6
	エネルギー・資源学会研究プロジェクト「低炭素社会に関する調査研究」 第 27 回調査委員会 「日本における CCS 実施試験に向けた取り組み」 主催：エネルギー・資源学会	H23. 7
	日本技術士会応用理学部会 「日本における CCS 大規模実証試験に向けた取り組み」 主催：日本技術士会	H23. 9

3-2-A 目標の達成度

成果と目標の達成度は、全体目標については表 3-30、個別要素技術目標については表 3-31 に示した。

表 3-30 全体目標に対する成果・達成度の一覧表

項目	目標・指標	成果	達成度
(1) 候補地点における事前調査	実証試験候補地点ごとの諸条件をふまえ、地質調査や実証試験設備の仕様等、必要な事前調査を実施し、実証試験計画(案)の策定に資する調査成果を得る。	地質調査については既存データと実地調査データを用いて、「苫小牧地点における貯留層総合評価」を作成し、実証試験計画(案)の策定に資する成果を得た。	達成
(2) 実証試験計画(案)の策定	実証試験候補地点について、調査成果に基づき実証試験計画(案)を策定する。	特に調査が進んでいる苫小牧地点について「苫小牧地点における実証試験計画(案)」を策定し、経済産業省に提出した。	達成
(3) 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査する。	国内外の関連法規、モニタリング技術等について調査し、実証試験計画(案)における法規制対応や安全性確保に資する成果を得た。	達成
(4) 社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	報道機関を通じての情報発信の他、パネル展示、フォーラム開催等により、情報発信を継続的に実施した。	達成

表 3-31 個別要素技術目標に対する成果・達成度の一覧表

項目	目標・指標	成果	達成度
(1)候補地点における事前調査			
地質調査による CO ₂ 地中貯留に適した地層の確認	石油・天然ガスの地下資源開発等で蓄積された地質調査技術を応用して、地中貯留に適した地層（貯留層、遮蔽層）の範囲（深度・広がり）と貯留・遮蔽性能を確認する。併せて、CO ₂ 挙動シミュレーションに必要な諸物性値を確認する。	既存データを用いた地質検討に加えて、弾性波探査、坑井（調査井）掘削と物理検層、コア試料採取と分析・試験等の地下資源開発で使用する調査技術を用いて実施し、貯留層、遮蔽層の性状確認を実施した。	達成
数値シミュレーションによる貯留後 CO ₂ の挙動予測	地質調査結果をふまえて、CO ₂ 地中貯留対象地点周辺の地質モデルを構築し、圧入開始以降の CO ₂ 挙動予測シミュレーションを行い、貯留後の CO ₂ の長期的挙動を確認する。	調査により得られた物性値、岩相、深度情報等の各種パラメータを適用して地質モデル構築と CO ₂ 長期挙動の予測シミュレーションを行い、CO ₂ の長期的挙動を確認した。	
貯留層周辺環境の評価	貯留層周辺の断層の有無・活動度、地震履歴等を調査・検討し CO ₂ 地中貯留の安全性への影響を評価する。	貯留層周辺の断層について調査し、安全性への影響評価を行った結果を、「苫小牧地点における貯留層総合評価」に示した。	
CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステム概念設計	CO ₂ 分離・回収、輸送、圧入・貯留までの CCS トータルシステムについて、CO ₂ 排出源への影響を最小化することを念頭に設備仕様・規模・配置、並びに、工程を概略検討する。	実証試験設備の概念設計等により設備仕様を検討した。検討成果は「苫小牧地点における実証試験計画(案)」に活かした。	
(2)実証試験計画(案)の策定			
実証試験候補地点における実証試験計画(案)の策定	地質調査、CO ₂ 挙動予測、周辺環境の評価、並びに、概念設計成果を総合して実証試験候補地点における実証試験計画(案)（モニタリング計画を含む）を策定する。	地質調査、設備検討の成果を総合して、「苫小牧地点における実証試験計画(案)」を策定し、経済産業省に提出した。	達成
(3)法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査			
法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査	実証試験における体制整備に資するものとして法規制対応や安全性確保に係る技術等について調査	国内外の関連法規、モニタリング技術等について調査し、実証試験計画(案)における法規制対応や安全	達成

項目	目標・指標	成果	達成度
	する。	性確保に資する成果を得た。	
(4) 社会受容の醸成に向けた情報発信			
社会受容の醸成に向けた情報発信	社会受容の醸成に向け、国民への情報発信を広く、かつ継続的に実施する。	報道機関を通じての情報発信の他、パネル展示、フォーラム開催等により、情報発信を継続的に実施した。	達成

4-A 事業化、波及効果について

4-1-A 事業化の見通し

CCSは、大規模排出源から排出されるCO₂を分離・回収し地下の帯水層に貯留することで直接的に大気中へのCO₂排出抑制を図る技術であり、実用化されれば大規模なCO₂排出を伴う火力発電等と組み合わせての適用が可能なことから、温暖化対策の重要なオプションの一つとして、2020年までの実用化を目指して大規模実証試験を通して必要な基盤技術の確立を行うものである。

CCSは基本的に省エネルギーや再生可能エネルギーとは異なるタイプの技術である。すなわち、CO₂排出抑制による温暖化対策に特化した方策であり、民間での導入に関して現時点においては経済的なインセンティブは働かないことから、CCS単独での事業化は成り立たない。

4-2-A 波及効果

CCSは「Cool Earthーエネルギー革新技术計画」（平成20年3月公表）で選出された21の革新的技術の中で、エネルギー分野における低炭素化を図る技術の1つと位置づけられた。その後策定された「エネルギー基本計画」（平成22年6月公表）において、CCSは今後も適切に活用していく地球環境と調和した石炭利用技術の一つと位置づけられ、将来的には新設火力発電所へのCCS Ready導入検討、CCSを組み合わせた化石燃料からの水素製造が盛り込まれた。

国際社会においても2010年12月に開催されたCOP16において、CCSは原則としてCDMとして適格であると認められたことにより、今後CCSがCO₂排出削減の制度の一つとして展開されていくと期待される。

CCSは実用化された後、温暖化対策のオプションの一つとしての有効利用への期待が高まっている。

また、複雑な地質条件を有する国内において大規模CCSのトータルシステムを実証することにより、今後、国外への積極的な事業展開が期待される。

5-A 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1-A 研究開発計画

本事業は日本CCS調査㈱が経済産業省からの委託を受け、実排出源から分離・回収した年間10万トン以上の規模のCO₂を地中貯留する技術を実証し、将来のCCS実用化に資することを目的として実施している。

平成20年度の総合科学技術会議の事前評価時点では平成21年度～平成25年度の5箇年間の計画としていたが、この期間は経済産業省による中間的な見直しを実施する一般的な期間として設定したものである。事前評価では、実際の貯留地点の諸条件に応じた実施計画の適切な検証・評価の実施と実施期間の適正化を図るべきとの指摘を受けた。

表5-1には貯留地点の諸条件をふまえ策定した実証試験計画案(平成24～32年度)を含む全体スケジュールを示した。平成23年度までは候補地点における事前調査、候補地点における実証試験計画(案)の策定を実施する。平成24年度～平成30年度までは実証試験設備の設計・建設と、CO₂分離・回収、輸送、圧入、貯留の実証試験を実施する。平成30年度～平成32年度までは貯留後のモニタリング技術の実証を行う。

表 5-1 二酸化炭素削減技術実証試験委託費の全体スケジュール

(※平成24年度以降については、現在の予定。)

年度 研究項目	平成20	平成21	平成22	平成23	平成24	平成25	平成26	平成27	平成28	平成29	平成30	平成31	平成32
1)候補地点における事前調査													
2)実証試験計画(案)の策定													
3)実証試験設備の設計・建設													
4)CO ₂ 分離・回収・貯留技術の実証													
5)貯留モニタリング技術の実証													
6)法規制対応、安全性評価等に係る調査・検討													
7)社会受容の醸成に向けた情報公開推進													

5-2-A 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、日本ＣＣＳ調査㈱が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、平成２１年度事業については再委託先として東京電力㈱、国際石油開発帝石㈱、出光興産㈱が参加した。他に必要に応じ、外注先として約４０社の民間企業、および(財)エンジニアリング協会、(財)地球環境産業技術研究機構が参加した。

また研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー(石井正一 日本ＣＣＳ調査㈱ 代表取締役社長)を設置するとともに、調査成果の技術的確認のため、専門的知見を有する第三者の学識経験者(委員長１名、委員６名)からなる「技術委員会」を日本ＣＣＳ調査㈱に設置した。

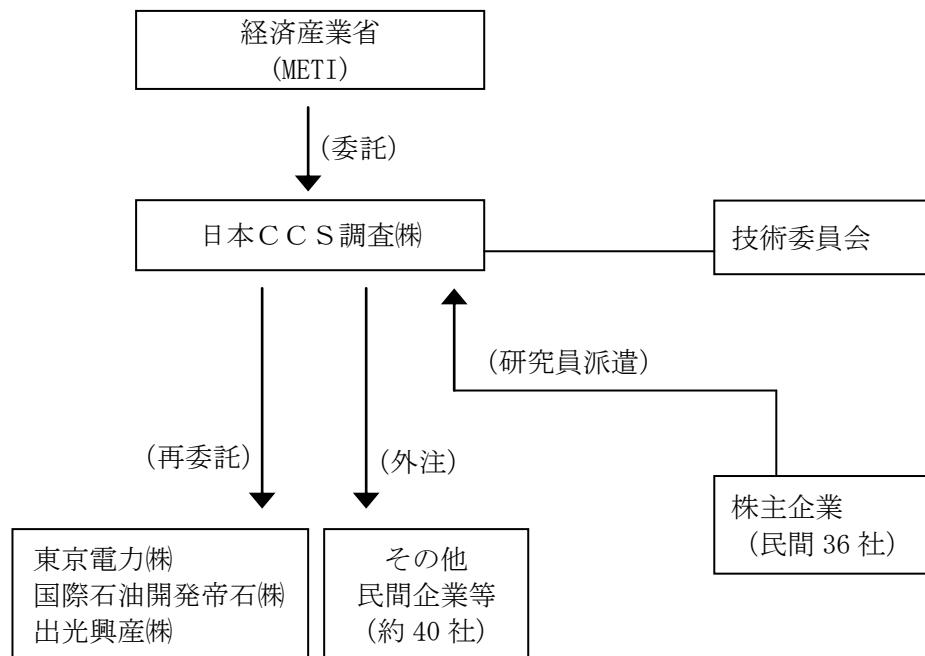


図 5-1 研究開発実施体制

5-3-A 資金配分

表 5-2 資金配分

(単位：百万円)

年度（平成）	20	21	22	23 (契約額)	合計
苫小牧地点	518	1,366	4,032	699	6,615
勿来・磐城沖地点	287	351	842	0	1,480
北九州地点	9	477	7	231	724
日本海沿岸地域	22	90	0	0	112
法規制対応、安全性評価等	0	172	142	988	1,302
社会受容	4	150	89	155	398
合計	840	2,606	5,112	2,073	10,631

5-4-A 費用対効果

国内に分布すると推定される貯留対象層は生産終了油・ガス層、構造的帯水層、非構造的帯水層（新第三紀以降、古第三紀）のタイプに大別されることから、本事業では複数の候補地点について実証試験に向けて必要な調査を実施してきた。さらに調査の実施にあたっては「CCS実証事業の安全な実施にあたって」（2009年8月、経済産業省）で示されたCCSの大規模実証事業を実施する際に安全面・環境面から遵守することが望ましいとされる基準を考慮する必要がある、必ずしもコスト最優先で進められるものではなかった。また同基準は将来CCSが実用化される際に整備されるべき安全上のルールを先取りするものではないとされており、本事業の実施を経た後に安全面・環境面から遵守すべき基準について改めて議論される余地があるものとする。

本事業は気候変動問題への対策として取り組む国内初のCCS大規模実証試験事業であり、技術面に限らず、実証試験を通して得た経験を基に今後の制度設計等の施策課題もあり、効率性のみで実施の是非を論ずることは適当ではないと考える。

5-5-A 総合技術会議における事前評価での指摘事項への対応

総合技術会議における「気候変動問題対策二酸化炭素削減技術実証試験」の評価結果（2008年12月8日）では、以下に示す3点の指摘がなされている。

- 1) 貯留地点の諸条件に対応した実施計画の適切な検証・評価の実施及び実施期間の適正化
- 2) 関連施策も含めたCCS技術の研究開発の計画的な推進
- 3) 安全性確保等への取組強化と国民への情報開示等の徹底

それぞれの指摘事項への対応は、以下に示す通りである。

- (1) 貯留地点の諸条件に対応した実施計画の適切な検証・評価の実施及び実施期間の適正化

日本CCS調査㈱においては、第三者の学識経験者を委員とする「技術委員会」を設置し、それぞれの実証試験候補地点における調査成果に対する技術的確認がなされてきた。

苫小牧地点については「技術委員会」での確認を経て、「苫小牧地点における貯留層総合評価」とモニタリング計画を含む「苫小牧地点における実証試験計画（案）」を経済産業省に提出し、これらについて経済産業省では「CCS実証試験実施に向けた専門検討会」において専門的知見を有する第三者により技術的な観点から確認及び評価がなされているところである。

- (2) 関連施策も含めたCCS技術の研究開発の計画的な推進

経済産業省では、技術開発を推進するに当たり「技術戦略マップ2010」を策定している。技術戦略マップは、新産業の創造やリーディングインダストリーの国際競争力を強化していくために必要な重要技術をCCSを含み絞り込むとともに、それらの技術目標を示し、かつ研究開発以外の関連施策等を一体として進めるプランを総合的な技術戦略として取りまとめたものである。

- (3) 安全性確保等への取組強化と国民への情報開示等の徹底

実地調査の実施等に際しては、国民への情報発信を新聞記事やテレビ番組報道等を通じて適時行っている。

日本CCS調査㈱の「技術委員会」では、安全性確保と環境影響防止を重要課題として、

各実証試験候補地点における調査成果について技術的確認を行っている。

5-6-A 変化への対応

苫小牧地点については深度 1,100～1,200m 付近の萌別層（非構造的帯水層）を貯留対象層とした検討を進めていたが、2009 年に日本海沿岸地域（構造的帯水層）の地質調査を中断したことを受け、苫小牧地点の対象貯留層として深度 2,400～3,000m 付近の滝ノ上層（構造的帯水層）を検討対象に加える調査計画の見直しを行った。滝ノ上層については 2010～2011 年に、萌別層については 2011 年にそれぞれ調査井を掘削して物理検層やコア試料採取等の地質調査データを取得した。2009～2010 年に取得した弾性波探査データの解析、および 2 坑の調査井で取得したデータ解析を進めて、滝ノ上層と萌別層に関する「苫小牧地点における貯留層総合評価」をとりまとめ、これを基にした「苫小牧地点における実証試験計画（案）」とともに 2011 年 10 月に経済産業省に提出した。

第3章 技術に関する事業の概要

B バイオ技術活用型二酸化炭素大規模 固定化技術開発（プロジェクト）

（終了時評価）

目 次

1-B 事業の目的・政策的位置付け-----	184
1-1-B 事業の目的-----	184
1-2-B 政策的位置付け-----	186
1-3-B 国の関与の必要性-----	190
2-B 研究開発目標-----	191
2-1-B 研究開発目標-----	191
2-2-B 全体の目標設定-----	191
2-3-B 個別要素技術の目標設定-----	192
3-B 成果、目標の達成度-----	198
3-1-B 成果-----	198
3-1-1-B 全体成果-----	198
3-1-2-B 個別要素技術成果-----	199
3-1-3-B 特許出願状況等-----	217
3-2-B 目標の達成度-----	219
4-B 事業化、波及効果-----	224
4-1-B 事業化の見通し-----	224
4-2-B 波及効果-----	227
5-B 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等-----	229
5-1-B 研究開発計画-----	229
5-2-B 研究開発実施者の実施体制・運営-----	231
5-3-B 資金配分-----	233
5-4-B 費用対効果-----	235
5-5-B 変化への対応-----	238

1－B 事業の目的・政策的位置付け

1－1－B 事業目的

本事業は、温暖化対策とバイオエタノールの生産に適した高セルロース樹木を、バイオ技術を活用した新規探索育成技術や不良環境耐性付与により開発することを目的とする。

現在、地球温暖化対策としてバイオ燃料、特にバイオエタノールの生産・利用拡大が図られ、世界中で研究が展開されている。しかしながら、その研究のほとんどはトウモロコシやサトウキビなどの“食糧”を原料としている。将来の供給の安定性や人口増加・食糧問題の観点から、食糧作物と競合しない木質バイオマスの利用が必須である。そのため、木質バイオマス原料として優れた高セルロース樹木の開発とその効率的な生産・管理技術の開発が必要とされている。

一方、製紙産業を中心に製紙原材料の調達と環境保護の観点から、世界的に多くの植林事業が進められている。これら植林事業では、生産量の増大（高セルロース樹木開発）と植林面積の拡大（不良環境地利用）を目標とし、優れた形質の優良木の育種と適正な育林（森林経営）技術の開発を行っている。しかしながら、現行の植林技術体系では、高セルロース樹木である優良クローン系統の育種、各林地に適合した優良木候補クローン系統（適地適木）の選定、施肥などの施業効果判定を行うには、広大な試験植林地を多数箇所に設定し、各林地に大量の候補クローン系統を導入し、開花期（数ヶ年）～伐期（10年）まで育成してパフォーマンスを見ることが必要となる。そのため、時間・コスト・労力・精度等の面で非常に効率が悪い。また、将来的に良好な土地は農地や牧草地としての利用が優先され、植林にあたっては乾燥・塩・酸性土壌等の不良環境地を利用せざるを得なくなることが予想される。

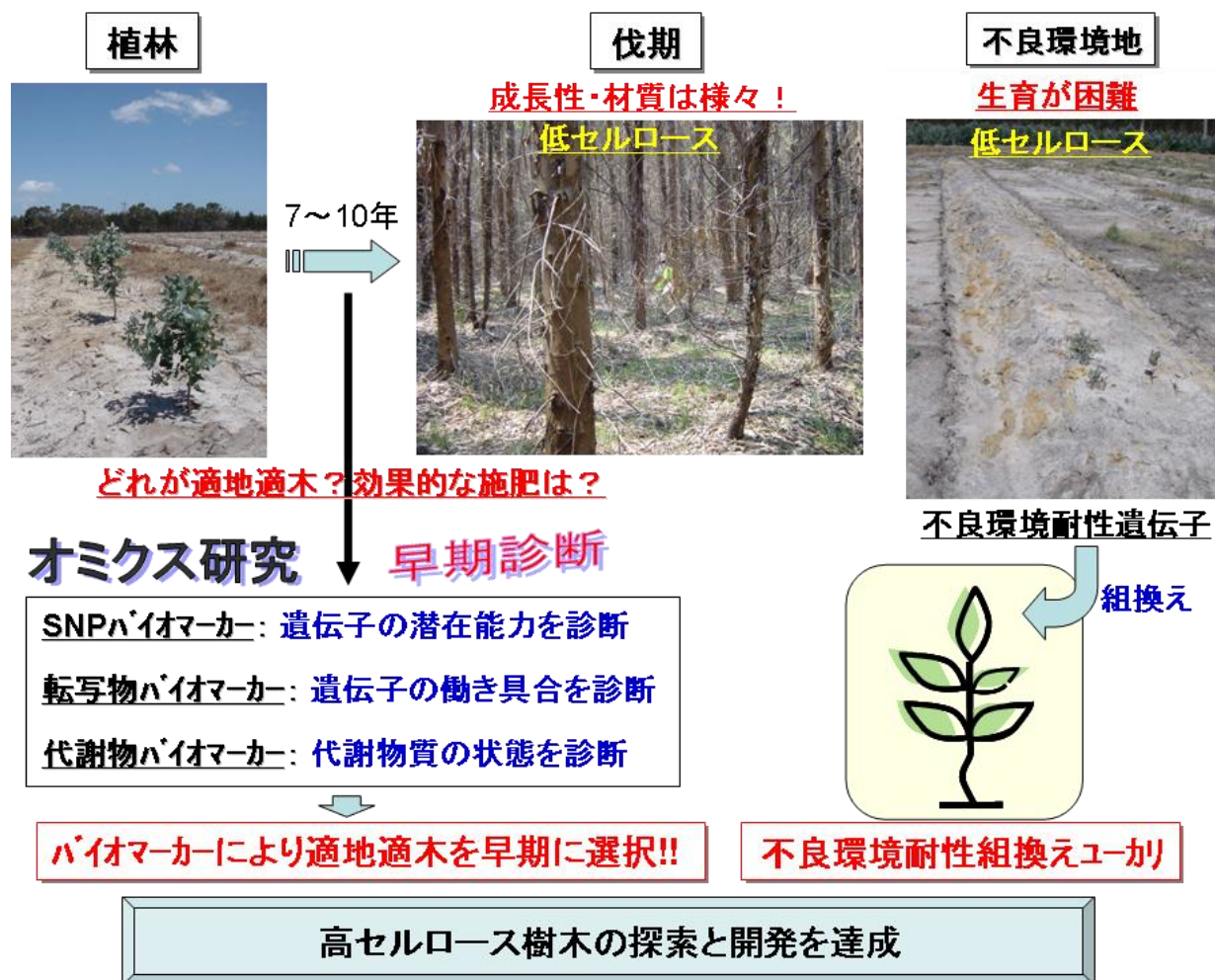
以上のように、温暖化対策とバイオエタノールの生産に適し既存製紙産業等にも波及効果の大きい高セルロース樹木を、現行の植林技術体系で探索・育成するには、長期を要すること、精度や汎用性が低いこと、不良環境地の利用拡大等の課題がある。これらの課題の解決を図り、将来のバイオエタノール生産に適した高セルロース樹木を開発するために、バイオ技術の活用による現行の育種・育林技術の革新を計り、それぞれの林地に最も適した優良木の選抜育種や施肥等の育林施業の適否を迅速かつ正確に診断判定すること、不良環境耐性遺伝子の組換え等により、高セルロース樹木を効率よく探索育成させることが必須である。

近年、バイオ分野での解析技術は、飛躍的な進歩を遂げつつあり、全ゲノム解読や数万種もの遺伝子の働き状態（遺伝子発現情報・転写物情報）等の大量情報の網羅的把握と理解が可能になってきている。これらの最先端技術はオミクス研究と呼ばれ、全ゲノム情報に基づいた解析等のゲノミクス、網羅的遺伝子発現（転写物）情報に基づいた解析等のトランスクリプトミクス、網羅的代謝物情報に基づいた解析等のメタボロミクスなどが含まれている。このオミクス研究の進んでいる医学分野では、病気発症リスク（事前）の早期診断や治療効果（事後）の早期判定に利用できるバイオマ

ーカー（SNP、転写物、代謝物）開発が盛んに行われている^{1~5)}。本事業提案時には、ユーカリにおいても全ゲノム解読が開始され（2011年1月公開）、マイクロアレイによる転写物（遺伝子発現）情報解析を中心としたオミクス研究分野が徐々に始められた時期であった（実施機関でも転写物解析を2002年より既に開始）。また当時は、ユーカリやマツに關与するSNP研究の報告^{6, 7)}も徐々になされてきており、今後はゲノミクスやメタボロミクス研究等で得られたオミクス情報を活用することで、優良木選抜・育種や育林技術の適否を早期に診断・判定できるバイオマーカーの開発は可能であると考えた。

一方、地球上には酸性土壌や乾燥地、塩害地等の不良環境地が多く存在するが、近年の地球温暖化に伴いそれらはさらに広がる傾向であることは周知の通りである⁸⁾。将来的には、良好な土地は農地や牧草地としての利用がさらに優先され、植林にあたっては酸性土壌・乾燥・塩害等の不良環境地を利用せざるを得なくなることが予想される。本事業の従前事業であるRITE 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業「二酸化炭素大規模固定化技術開発（植生拡大プロジェクト）」の成果として、耐酸性土壌等の不良環境耐性を付与するユーカリ遺伝子群（クエン酸合成酵素遺伝子、クエン酸トランスポーター遺伝子等）の獲得に成功している。これらの遺伝子群をユーカリへ遺伝子導入することで、不良環境耐性組換えユーカリを創生することが可能であると考えた。

そこで本事業では、図表1に示すように、ゲノミクスやメタボロミクス等のオミクス研究を基盤とした最先端のバイオ技術を活用することで、バイオマーカーおよびそれを利用した高セルロース樹木の新規探索育成技術の開発し、また不良環境耐性遺伝子組換えによる耐性付与技術を開発し、温暖化対策とバイオエタノールの生産に適した高セルロース樹木を開発することを目指した。



図表 1 事業目的と戦略の概要

1－2－B 政策的位置付け

(1) 施策の目的の妥当性

本技術に関する施策目的は、二酸化炭素の削減であり、地球温暖化対策の推進の下でその妥当性は明らかになっている。

なお、地球温暖化対策基本法案（平成 22 年 10 月 8 日閣議決定）では次のように規定されており、施策の目的は明確になっている。

○地球温暖化対策基本法案（平成 22 年 10 月 8 日閣議決定）

（革新的な技術開発の促進等）

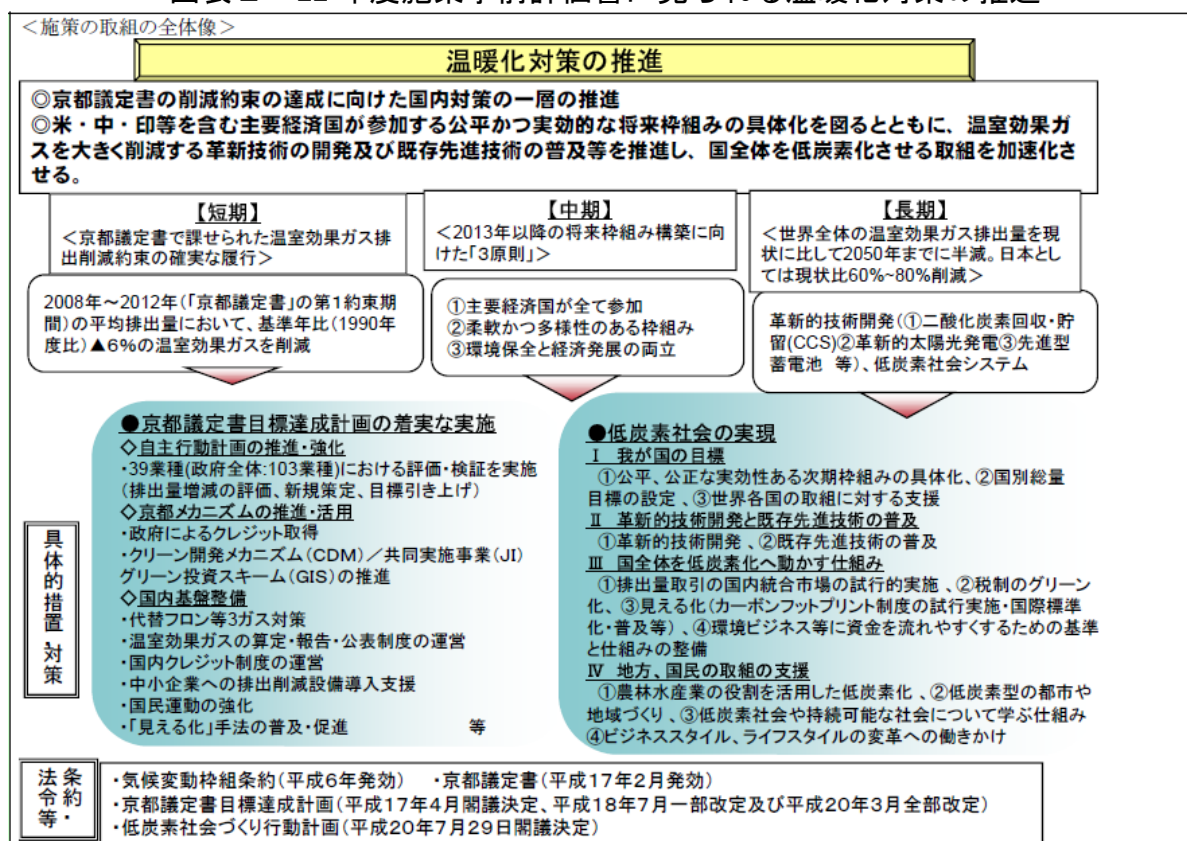
第 19 条 国は、地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の高度化及び有効活用を図るため、再生可能エネルギーの利用、安全の確保を基本とした原子力発電、エネルギーの使用の合理化、燃料電池、蓄電池並びに二酸化炭素の回収及び貯蔵に関連する革新的な技術その他の地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の開発及び普及の促進のために必要な施策を講ずるものとする。

（２）政策的位置づけの妥当性

23 年度予算概算要求等に係る事前評価書の政策名「５．エネルギー・環境政策」、施策名「30. 温暖化対策」の中で図表に表されているように温暖化対策の推進の中で「温室効果ガスを大きく削減する革新技術の開発及び既存先進技術の普及などを推進し、・・・」と述べられ、技術推進の方向性が明確にされている。

経済産業省の CO2 固定化・有効利用分野の技術戦略マップ（2010）によると、「地球温暖化対策として、省エネルギー技術の開発・導入や代替フロン等の削減対策等、CO2 をはじめとする温室効果ガスの排出を抑制する取組が行われている。しかしながら、大気中の CO2 濃度は上昇を続けており、地球温暖化を緩和・抑止し持続可能な社会を構築するためには、現行の取組のみならず排出後の CO2 に対する固定化・有効利用技術についても、将来的に導入可能な対策オプションとすべく、技術開発を推進する必要がある。」とされている。

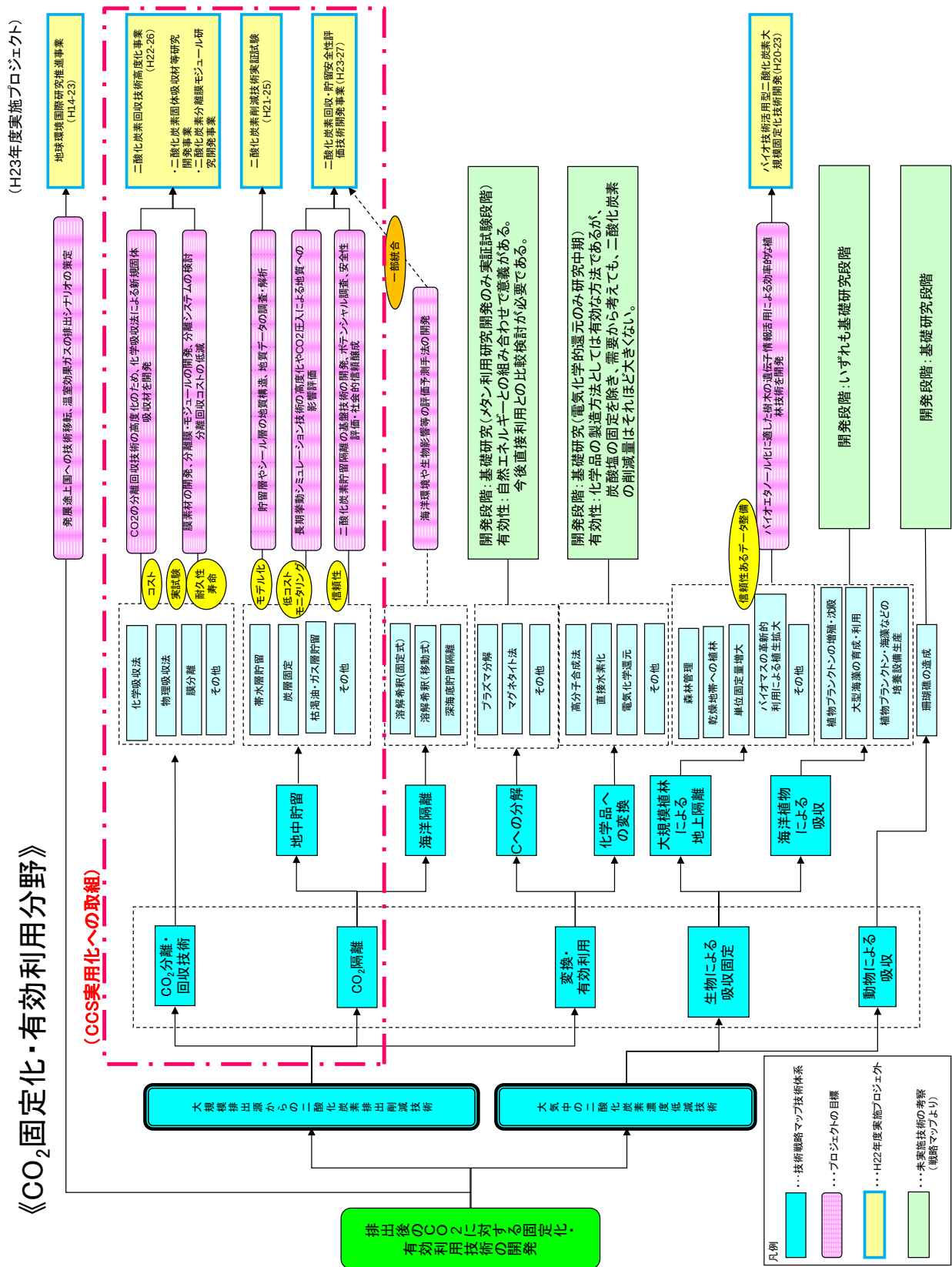
図表2 22年度施策事前評価書に見られる温暖化対策の推進



図表3 22年度施策事前評価書に見られる施策効果が発現するまでのロジックモデル

施策名	大目標（施策目的）	アウトカム目標（上位） ＜施策の大きな柱＞	アウトカム目標（中位）	アウトカム目標（下位）
30 温暖化対策	①温室効果ガス排出削減を通じた低炭素社会の実現 ②環境と経済の両立を通じた日本の国際競争力の強化	京都議定書の削減約束を達成する	①自主行動計画の推進・強化 ②中小企業の排出削減対策の推進 ③京都メカニズムの推進・活用 ④温室効果ガス排出削減への国民運動が活発になる ⑤代替フロン等3ガスの排出が抑制される ⑥温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度の着実な実施 ⑦上記の①～⑥を含む京都議定書目標達成計画の各施策の進捗管理	①産業界のCO2排出削減に向けた取組の推進 ②中小企業の排出削減に向けた取組の推進 ④温暖化問題への国民の意識と知識の向上 ⑤産業界の代替フロン等3ガスの除害の徹底・回収などに向けた取組の推進 ⑥代替技術が開発され、実用化・導入の進展 ⑤冷凍空調機器の適切なフロン冷媒回収の進展 ⑥事業者の排出量情報の公表・可視化 ⑦上記の①～⑥を含む京都議定書目標達成計画の各施策の着実な実施
		ポスト京都議定書（2013年以降）における実効ある産業部門等の対策整備	排出量取引の国内統合市場の試行的実施	国内クレジット制度の運営等
		①実効的かつ公平な次期フレームワーク（ポスト京都議定書）を構築・具体化する ②我が国として、中期目標を達成する ③我が国として、2050年までに温室効果ガスを現状比60%～80%削減する	①主要経済国（米、中、印等）を取り込んだセクター別アプローチによるCO2削減に向けた取組 ②セクター別アプローチによる国別総量目標の設定	
			①革新的技術の開発・既存技術の普及 ②日本型低炭素社会システムの構築・展開	大規模実証事業の開始を含めた二酸化炭素回収・貯留（CCS）の促進等 省エネルギー対策の抜本的強化（住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進、省エネとノンフロン両立を図る技術開発の推進等） 新エネルギー対策の抜本的強化（住宅太陽光発電システム・燃料電池の導入促進等） 低炭素社会の構築に必要な有望技術・社会システムの導入実証 原子力発電の着実な推進

図表 4 二酸化炭素固定化・有効利用分野のロジックツリー



1－3－B 国の関与の必要性

(1) 国の関与の必要性

23 年度予算概算要求等に係る事前評価書において、「施策の必要性」の中の「経済産業省が関与する必要性」において以下のような記述がされており、技術革新の推進や企業や国の競争力強化、経済の活性化による環境改善の実現を目指した施策を展開することを明記している。

「経済産業省では、我が国の産業界を所管し、かつ、エネルギー政策を所管する立場から、自主行動計画の推進・強化、省エネ機器の開発・普及、エネルギー利用効率の改善、技術開発の一層の促進、社会経済システムの転換等、温暖化対策への積極的な取組により、新たな投資や技術革新を推進し、さらには企業や国の競争力を高め、経済の活性化が環境を改善させる「環境と経済の好循環」の実現を目指すための施策を実施する。加えて、我が国の温室効果ガス排出量の約9割がエネルギー起源 CO₂であることを踏まえ、実効性のある温暖化対策を進めるためにエネルギー政策と連携し、環境保全と確実な経済成長の双方の実現を目指す。」

(2) 国民や社会のニーズとの適合性

23 年度予算要求等に関わる施策の事前評価書では、施策の背景として以下のように述べている。

「温暖化問題は、その予想される影響の大きさや深刻さに鑑み、人類の生存基盤に関わる最も重要な問題のひとつとなっている」とされていることから、国民の関心の高い分野である。さらに、「我が国は京都議定書を締結しており、6%削減約束を達成する国際的な責任を負っている。」

と同事前評価書で記しており、社会的ニーズも高いものと考えられる。

(3) 官民の役割分担

研究体制では、国が基盤的な研究支援を行い民間企業等と共同研究を行う点など、官民の役割分担がはっきりしている。また、利用者側も鉄鋼、火力発電所、セメント工場等と受ける側がはっきりしている点も特徴的である。ただし、二酸化炭素削減技術開発は、利益に直結しないことから投資リスクが高く、民間単独で取り組むことが困難であること、一般的に相当規模の投資と相当程度の研究機関を要する点など企業単独では実施のインセンティブが働かない分野であり、国の積極的関与が求められるところであり

(23 年度予算概算要求等に係る事前評価書の各事業の必要性部分にそれぞれ記載)、国関与の必要性が大きい。

2-B 研究開発目標

2-1-B 研究開発目標

本事業では、温暖化対策とバイオエタノールの生産に適した高セルロース樹木を、現状における育種・植林技術の時間・コスト・労力・精度等の課題を解決するため、バイオ技術を活用した新規探索育成技術や不良環境耐性付与により開発することを目的としている。そこで本研究開発では、この目的を達成するために、製紙原料木として世界的に最も有用であり植林事業に盛んに用いられているユーカリを対象に、植林情報（環境、成長性、施業効果等）とバイオ技術・情報（ゲノム・転写物・代謝物の網羅的解析技術とそれによって得られる情報等）の活用による（１）高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発および（２）不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発の２つを目標として、４年間のスケジュールで実施した。

以下に、（１）高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発および（２）不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発の全体目標について説明する。

2-2-B 全体の目標設定

（１）高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発

本技術開発では、ユーカリを対象に、ゲノミクスやメタボロミクス等のオミクス研究の実施と得られた情報の統合活用により、高セルロース樹木の探索や施業効果の適否判定を行うためのSNP※、転写物（mRNA）、代謝物のバイオマーカー３種を開発し、それらを利用した新規な高セルロース樹木探索育成技術の開発を行う。本技術開発の全体目標としては、平均的なユーカリ植林木に比して、生長性（主として材積）で約５０％増またはセルロース（パルプ）量で約２０％増の高セルロース性ユーカリ優良木を、早期に探索育成可能なバイオマーカーを開発することを設定した。

前記の目標の設定理由は以下の通りである。現在、ユーカリの自然交配実生集団（ナチュラルバリエーション）から優良木を選抜する場合、選抜基準を候補木の周辺に生育している植林木２５本の胸高直径の平均＋１．５倍以上の標準偏差（＋１．５σ）としている。その基準を満たした場合の生長性（樹高や幹の直径・材積等）は、周辺木に比して約５０％増である。また、セルロース（パルプ）量については、ユーカリ自然交配実生集団に見られる変異分布の中で、平均＋１．５倍以上の標準偏差（＋１．５σ）に相当するセルロース量が、平均的なユーカリ植林木に比して約２０％多い。以上の理由から、前述の目標値を設定した。

※SNP；Single Nucleotide Polymorphism、１塩基多型、スニップと読む

（２）不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発

本技術開発の全体目標として、アジア・オセアニア地域に広範囲に広がる酸性土壌地を不良環境地のターゲットとし、耐性遺伝子を組換えた不良環境耐性組換えユーカリの作出と評価を行い、不良環境下において従来の樹木より５０％大きく生長できる樹木を

開発することを目指した。使用した耐性遺伝子群は、従前事業（R I T E 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業「二酸化炭素大規模固定化技術開発（植生拡大プロジェクト）」の成果である酸性土壌等の不良環境耐性を付与する遺伝子群（クエン酸合成酵素遺伝子、クエン酸トランスポーター遺伝子等）を用いた。

地球上には酸性土壌や乾燥地、塩害地等の不良環境地が多く存在するが、近年の地球温暖化に伴いそれらはさらに広がる傾向であることは周知の通りである⁸⁾。将来的には、良好な土地は農地や牧草地としての利用がさらに優先され、植林にあたっては酸性土壌・乾燥・塩害等の不良環境地を利用せざるを得なくなることが予想される。アジア・オセアニア地域に広がるアルミニウム（以下 Al）を多く含む酸性土壌が顕著な植林地では、事業として成立しない生長量（年平均生長量 MAI=5~8m³/ha/年、当社値）のため、植栽不可能地（セルロース生産がゼロ）となっている。しかしながら、50%大きく生長できる組換えユーカリを開発することで、事業利用可能な生長性（10m³/ha/年以上）が確保でき、森林創生すなわちセルロース生産が可能になる。そこで、不良環境下において従来の樹木より50%生長増大を目標として設定した。

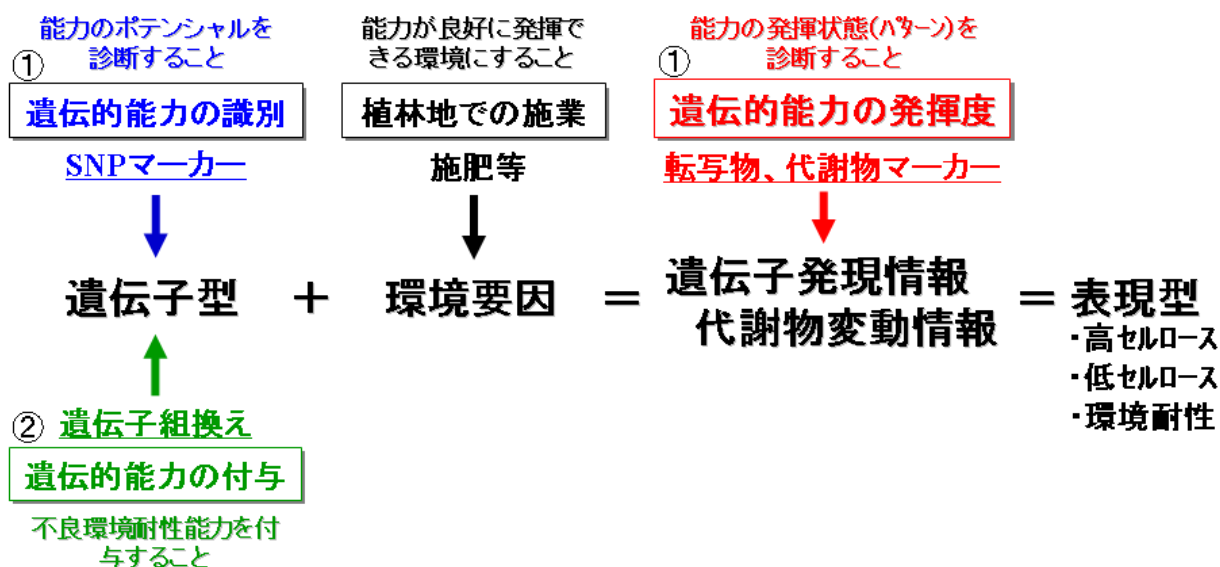
図表 5. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術を開発する。高セルロース性の指標としては、平均的なユーカリ植林木に比して、生長性で50%増またはセルロース量で20%増とし、そのような性質のユーカリ優良木を、早期に探索育成可能なバイオマーカーを開発することを目指す。	ユーカリ実生由来の植林地から、生長性やセルロース含量に優れた優良木を選抜する際の基準（胸高直径の平均+1.5倍以上の標準偏差）に基づき、その基準を満たした場合のユーカリの生長性とセルロース量の平均値からの増加分を目標値として設定。
不良環境耐性組換え樹木創生に関する技術開発および不良環境耐性組換えユーカリ創生を行う。これにより、不良環境下において、従来の樹木より50%大きく生長できる樹木を開発することを目指す。	アジア・オセアニア地域に広がる Al を多く含む植栽に不適な酸性土壌地で、事業利用可能（森林創生、セルロース生産）な成長率で組換えユーカリの創生を設定。

2-3-B 個別要素技術の目標設定

図表 6 に、本事業での研究開発内容の概念と個別要素技術の位置付けを示した。生物の表現型は、遺伝子型と環境要因の相互作用の結果もたらされる遺伝的能力の発揮度（遺伝子発現や代謝物変動）によって決定される。例えば、良い遺伝子型と良い環境要因が得られれば、遺伝的能力は良好に発揮され、結果として優良な表現型が得られる。良い遺伝子型であっても不適切な施業や不良環境地であれば、遺伝的能力は良好に発揮

各要素技術の目標については、以下の通りである。



を実施した。前記の各形質について、その良否を診断可能なSNPバイオマーカーを、各30種程度開発することを目標として設定した。

事業提案時(平成20年3月)の樹木のSNPマーカーは、ユーカリで1種⁶⁾、マツで4種⁷⁾が報告されていた。それを超えインパクトのある数を目指したことと、事業後にマーカーを利用した各材質に関する定量値算出の推定式導出へと発展させるのに十分な数を想定して、この目標値を設定した(本マーカーは遺伝に関わるマーカーであるため、マーカー数はできる限り多い方が望ましいと考えている)。

※パルプ生産性：立米当たりの木材から得られるパルプ(セルロース)量の値(kg/m³)。容積重×パルプ収率で求められる。

容積重：立米当たりの木材の重量(kg/m³)。

パルプ収率：木材中のパルプ(セルロース)量の割合(%)。

カップー価：木材からパルプを得る時(蒸解)の脱リグニン性の指標(%)。値が低い方が省エネルギーでパルプ(セルロース)を得ることができ、その収量ロスも少なくなる。

繊維長：木材の構成要素である木繊維細胞の長さ。一般的に長繊維の方が高セルロース。

樹皮率：樹幹直径に占める樹皮の割合(%)。値が低い方が木部の割合が高くなり高セルロース。

(2) 転写物バイオマーカー(遺伝的能力の発揮状態やストレスを診断するマーカー)

本バイオマーカーは、生育中の植林木が高セルロース樹木(高セルロースになる遺伝子発現状態)であるか否かの判別や、SNPマーカーで選ばれた高セルロース性の遺伝的能力に優れた苗木が、その遺伝的能力を各植林地で良好に発揮できているか(良好な遺伝子発現状態か否か)の早期診断に用いることを想定している。また、植林木が被っている不良環境ストレスの強弱レベルの定量的把握に用いることも想定している。これにより、高セルロース性優良木の選抜・育成管理の精度向上や不良環境ストレスの強弱に応じた適切な施業を行うことで、伐期時に高セルロース木が高い確率で収穫可能になると期待される。

マーカー開発対象形質としては、高セルロースに関連する材質であるパルプ生産性・容積重・パルプ収率・カップー価・繊維長を、不良環境ストレスについては酸性・酸性アルミニウム(AI)をターゲットとし、転写物バイオマーカー開発を実施した。前記の各形質について、その遺伝的能力の発揮状態の良否を診断可能な転写物バイオマーカーを、各10種程度開発することを目標として設定した。この目標は、事業発足前に同分野の公知情報等がなかったため、実施機関内の予備試験で得た情報⁹⁾、具体的にはユーカリの約3万種類の転写物の内、詳細解析することでマーカー化の可能性が高いと推定された転写物数に基づいて設定した(本マーカーの場合、定量性が高く正確な診断が可能であれば、マーカー数はできる限り少ない方が実用上望ましいと考えている)。

(3) 代謝物バイオマーカー(栄養状態や遺伝的能力の発揮状態を診断するマーカー)

本バイオマーカーは、生育中の植林木の栄養状態が良好であるか否かの診断(窒素、

リン、カリウム、ホウ素、水分が十分に吸収できているか）や、施肥等の施業効果の早期判定・適不適の早期診断、優良雑種木の早期識別に用いることを想定している。従来、施業効果の早期判定では2～3年程度を要し、主に目に見える生長量（樹高や幹直径）のみでなされていたが、本技術は数ヶ月程度に短縮でき、科学的かつ定量的な指標で判定できる点が優れている。また、栄養状態の把握は土壌分析や葉元素分析等の間接的指標でなされてきたが、本技術は植物体内の物質を直接の指標に、植物体自体がどのような状態にあるのかを把握できる点が新規かつ優れている。さらに本技術は、通常2～5年程度かかる高生長が期待できる優良雑種木の識別を、苗木（数ヶ月）の段階で出来る点が優れている。本技術により、高セルロース性優良木の育成管理の精度向上や施業の最適化・優良雑種木識別を早期に行うことで、伐期時に高セルロース木が高い確率で収穫可能になると期待される。

マーカー開発ターゲットとしては、植物の3大栄養素である窒素・リン・カリウム、東南アジア植林地で問題となっているホウ素、生長性確保に重要な水分、生長優良ユーカリ雑種として知られているユーカリ・ペリータ/ブラシアーナ雑種をターゲットとし、代謝物バイオマーカー開発を実施した。前記の各ターゲットについて、その充足・不足状態または優良雑種であることを診断・識別可能な代謝物バイオマーカーを各5種程度開発することを目標として設定した。この目標は、事業発足前に同分野の公知情報等がなかったため、実施機関内の予備試験で得た情報、具体的には葉中の約3千～5千種類の代謝物の内、詳細解析することでマーカー化の可能性が高いと推定された代謝物数に基づいて設定した（本マーカーの場合、定量性が高く正確な診断が可能であれば、マーカー数はできる限り少ない方が実用上望ましいと考えている）。

（4）不良環境（酸性Al土壌）耐性ユーカリ組換え体作出

世界の酸性土壌地は、耕作可能陸地面積の30%程度を占めており、その利用のために石灰等の投入など多大なエネルギーが費やされている。酸性土壌における主要な生育阻害要因は、アルミニウム害とリン欠乏（難溶性無機態リン）であるが、これらに対する有効な耐性形質として、根端からの旺盛なクエン酸放出が知られている。ユーカリのクエン酸放出レベルは旺盛な植物のレベルより低く、クエン酸放出能力を強化することにより、酸性土壌でのユーカリの生育向上が期待できる。しかしながら、クエン酸放出はいくつかの生理現象によって構成されており、多くの遺伝子が関わっている^{10, 11)}。従って、実用レベルの遺伝子組換え体を作成するためには、鍵となる遺伝子をいくつか同時に組換えることが重要であると考えた。

前述の通り事業実施機関では、従前事業における成果として、鍵となるクエン酸合成酵素遺伝子、クエン酸輸送を担うクエン酸トランスポーター遺伝子を得ている。そこで本要素技術開発では、不良環境（酸性アルミニウム土壌）耐性組換えユーカリ創生のため、耐性遺伝子群を導入した多重遺伝子組換えユーカリを5系統以上作出し、耐性の有無および安全性の評価（生物多様性影響評価試験）結果を取得することを目標とした。この目標値は、組換え効果を統計的に判断する際に必要な系統数に基づいた。また、

耐性の有無および安全性の評価結果の取得は、事業後の隔離圃場における野外評価試験の実施段階へ移行するために必要な工程ということで設定した。

図表 7 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
高セルロース性に関わる材質診断 SNP バイオマーカー ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率、 ・カップー価 ・繊維長 ・樹皮率	各 30 種程度のマーカーを開発する	事業提案時（H20 年 3 月）の既報の樹木材質 SNP マーカーはユーカリ 1 種、マツ 4 種。それを超えインパクトのある数を目指したこと、事業後にマーカーを利用した推定式の導出へと発展させるのに十分な数を想定して設定
不良環境耐性診断 SNP バイオマーカー ・酸性 Al 土壌耐性	30 種程度のマーカーを開発する	同上
高セルロース性に関わる材質診断転写物バイオマーカー ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率 ・カップー価 ・繊維長	各 10 種程度のマーカーを開発する	ユーカリの約 3 万種類の転写物の内、予備試験でマーカー化の可能性が高いと推定された転写物数に基づいて設定
不良環境ストレス診断転写物バイオマーカー ・酸性 ・酸性 Al	10 種程度のマーカーを開発する	酸・Al に最も影響を受けるユーカリの約 3 万種類の転写物の内、予備試験でマーカー化の可能性が高いと推定された転写物数に基づいて設定
栄養充足度診断代謝物バイオマーカー ・窒素 ・リン酸 ・カリウム ・ホウ素	各 5 種程度のマーカーを開発する	葉中の約 3 千～5 千種類の代謝物の内、予備試験でマーカー化の可能性が高いと推定された代謝物数に基づいて設定

・水分		
優良雑種識別代謝物バイオマーカー ・生長優良ユーカリ雑種	5種程度のマーカーを開発する	同上
不良環境耐性付与技術	耐性遺伝子群を導入した組換えユーカリを5系統以上作出し、耐性の有無および安全性の評価結果を取得する	組換え効果を統計的に判断する際に必要な系統数を目標値として設定。耐性・安全性評価は事業後の野外試験に移行するための工程

3-B 成果、目標の達成度

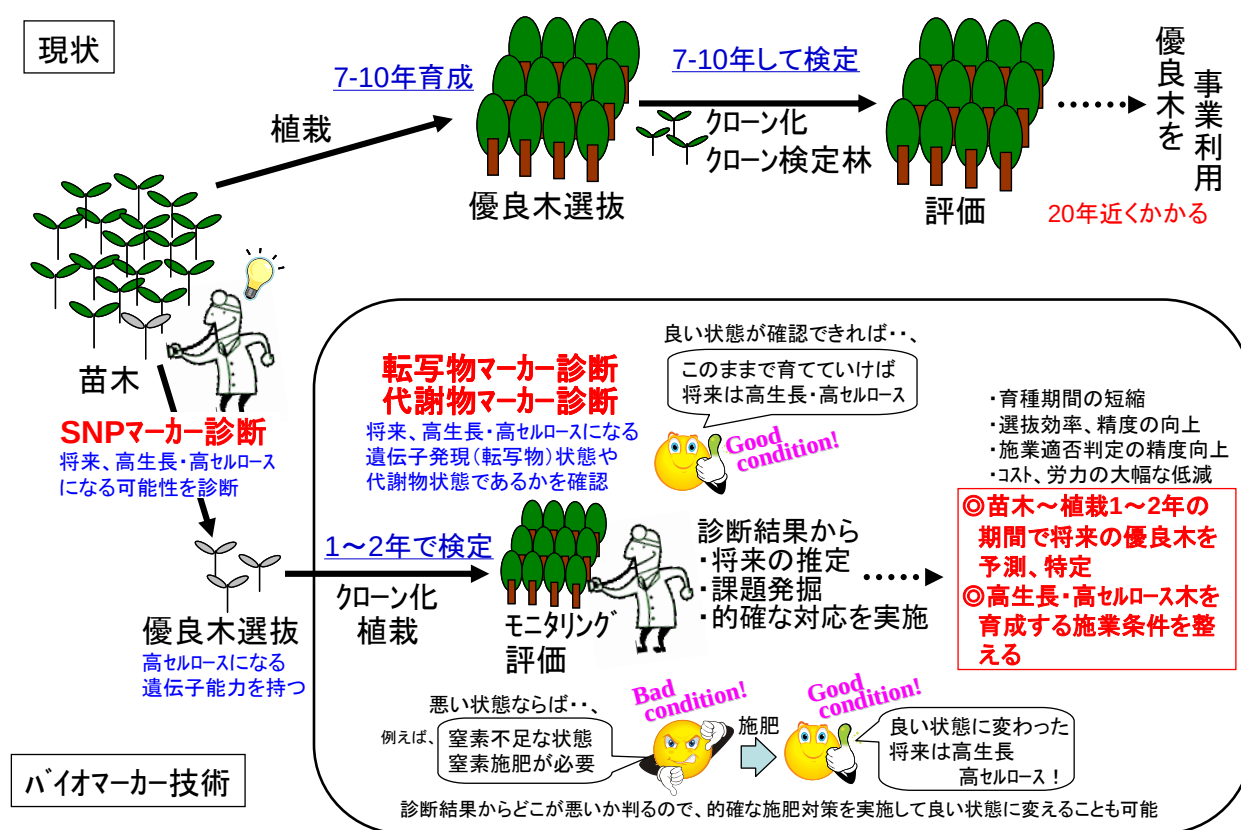
3-1-B 成果

3-1-1-B 全体成果

(1) 高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発

本技術開発では、ユーカリを対象に、ゲノミクスやメタボロミクス等のオミクス研究の実施と得られた情報の統合活用を実施した。その結果、高セルロース樹木の探索や施業効果の適否判定を行うためのSNP、転写物、代謝物のバイオマーカー3種の開発、それらを利用した新規な高セルロース樹木探索育成技術の開発を達成した。これにより、平均的なユーカリ植林木の生長性に比して、樹高で最大約70%生長が良く、材積比が約3.6倍に増加したユーカリ優良木を選抜できる技術とバイオマーカーを特定できた。

開発できた3種のバイオマーカーを、図表8に示すような形で事業活用することで、高セルロース性の優良木を、従来よりも極めて短期間で探索し、植栽後も確実に育成・収穫できる革新的な植林技術体系が構築できると考えている。



図表8 バイオマーカー3種を組合せた事業での利用

(2) 不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発

本技術開発では、アジア・オセアニア地域に広範囲に広がる酸性土壌地を不良環境地のターゲットとし、従前事業成果である不良環境耐性遺伝子2種を同時に組換えた不良環境耐性組換えユーカリの作出と評価を行った。その結果、不良環境下において、従来

の樹木より最大で樹高生長が約30%増大した組換えユーカリ（平成23年9月末時点、約3ヶ月生）を作出できた。事業期間内は、閉鎖系温室でのポット栽培（生長がある段階で止まる）のため、目標値である50%増大までには至らないと予想されるが、野外試験では生長差がさらに開いていくと期待されるため、目標は達成できる見込みであると考えている。

図表9 全体の成果

目標・指標	成果
高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術を開発する。これにより、従来の樹木に比して50%大きく生長できる樹木を、早期に探索・開発することを目指す。	最大で約70%生長が良く、材積比約4倍のユーカリ優良木を選抜できる技術とバイオマーカーを特定できた。
不良環境耐性組換え樹木作出に関する技術開発および不良環境耐性組換えユーカリ作出を行う。これにより、不良環境下において、従来の樹木より50%大きく生長できる樹木を開発することを目指す。	温室栽培では、最大で樹高生長が約30%増大した組換えユーカリ（約3ヶ月生）を作出できた。野外ではさらに生長差が開いていくと期待されるため、50%の生長増大を達成できる見込み。

B-3-1-2 個別要素技術成果

（1）SNP バイオマーカー

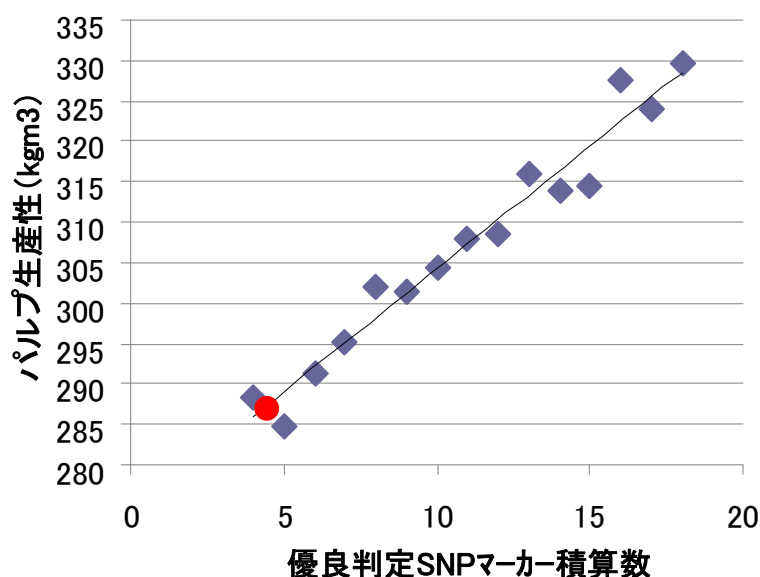
高セルロース性に関わる材質診断 SNP バイオマーカー

・パルプ生産性診断SNPバイオマーカー

パルプ生産性（容積重×パルプ収率）のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、パルプ生産性診断SNPバイオマーカーの開発を実施した。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型とパルプ生産性の高・低について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた23種のマーカーの開発に成功した。また、このマーカー情報に基づき、パルプ生産性を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカーの遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体のパルプ生産性の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（ 287 kg/m^3 ）と比べ、最大でパルプ（セルロース）量が 60 kg/m^3 増（20.9%増）の優良木（ 347 kg/m^3 ）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表10）。さらに、そのような優良木が創出できるように、優良判定SNPマーカーの積算数が最大になるような両親・交配組合せを特定することができ、高セルロース木を計画的かつ早期に育

種することも可能となった。



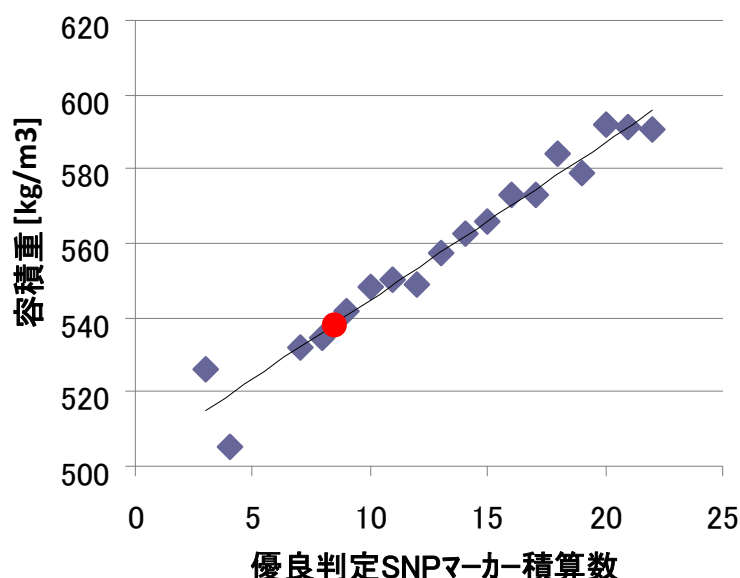
図表 10 パルプ生産性診断SNPマーカ-とパルプ生産性の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の優良と判定されたSNPマーカ-の積算数とパルプ生産性の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である優良判定SNPマーカ-の積算数が増加すると、表現型であるパルプ生産性増加する。優良判定マーカ-積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（287kg/m³、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

・容積重診断SNPバイオマーカ-

容積重のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、容積重診断SNPバイオマーカ-の開発を実施した。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型と容積重の高・低について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた45種のマーカ-の開発に成功した。また、このマーカ-情報に基づき、容積重を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカ-の遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体の容積重の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（539kg/m³）と比べ、最大で容積重が82kg/m³増（15.2%増）の優良木（621kg/m³）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表11）。さらに、そのような優良木が創出できるように、SNPマーカ-で良と判定される遺伝子型が最大数になるような両親と交配組合せを特定することができ、高セルロース木を計画的かつ早期に育種することも可能となった。



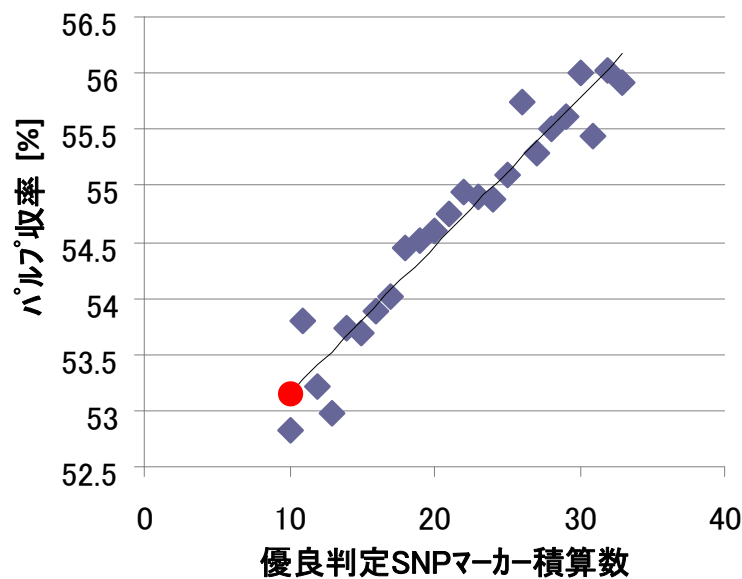
図表 1 1 容積重診断SNPマーカ-と容積重の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の優良と判定されたSNPマーカ-の積算数と容積重の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である優良判定SNPマーカ-の積算数が増加すると、表現型である容積重増加する。優良判定マーカ-積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（539kg/m³、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

・ パルプ収率診断SNPバイオマーカ-

パルプ収率のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、パルプ収率診断SNPバイオマーカ-の開発を実施した。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型とパルプ収率の高・低について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた55種のマーカ-の開発に成功した。また、このマーカ-情報に基づき、パルプ収率を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカ-の遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体のパルプ収率の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（53.2%）と比べ、最大で収率が4.4%増の優良木（57.6%）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表12）。さらに、そのような優良木が創出できるように、SNPマーカ-で良と判定される遺伝子型が最大数になるような両親と交配組合せを特定することができ、高セルロース木を計画的かつ早期に育種することも可能となった。



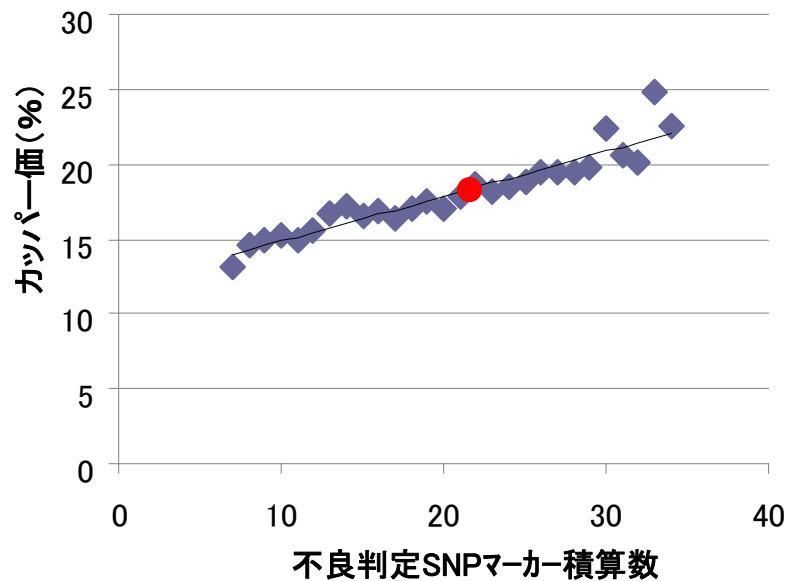
図表 1.2 パルプ収率診断SNPマーカ-とパルプ収率の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の優良と判定されたSNPマーカ-の積算数とパルプ収率の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である優良判定SNPマーカ-の積算数が増加すると、表現型であるパルプ収率増加する。優良判定マーカ-積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（53.2%、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

・ カッパ-価診断SNPバイオマーカ-

カッパ-価のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、カッパ-価診断SNPバイオマーカ-の開発を実施した。木材は、主としてパルプ（セルロース）とリグニンによって構成されている。カッパ-価は、木材からパルプを得る時（蒸解）の脱リグニン性の指標（%）であり、値が低い方が省エネルギーでパルプ（セルロース）を得ることができ、収量のロスも少なくなる。つまり、値が高い方が不良、低い方が優良となる。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型とカッパ-価の高・低について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた50種のマーカ-の開発に成功した。また、このマーカ-情報に基づき、カッパ-価を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカ-の遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体のカッパ-価の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（17.9%）と比べ、最大で6.1%減の優良木（11.8%）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表1.5）。さらに、そのような優良木が創出できるように、SNPマーカ-で不良と判定される遺伝子型が最小数になるような両親と交配組合せを特定することができ、易蒸解性（省エネルギー）で高セルロース性が期待できるユーカリを計画的かつ早期に育種することも可能となった。



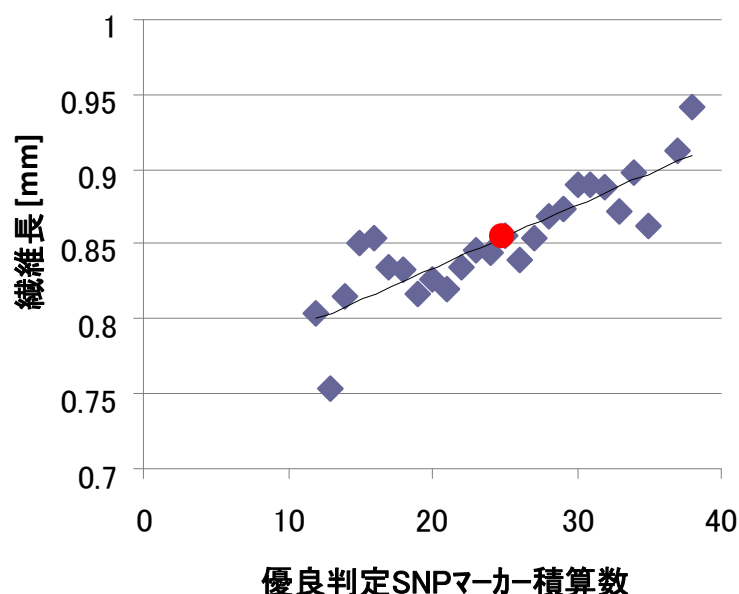
図表 1 5 カップー価診断SNPマーカ-とカップー価の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の不良（カップー価が高くなる）と判定されたSNPマーカ-の積算数とカップー価の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である不良判定SNPマーカ-の積算数が増加すると、表現型であるカップー価増加する（不良な表現型になる）。このマーカ-を用いる場合は、カップー価が低いことが良性（高セルロース性）となるため、不良判定SNPマーカ-数が少ないほうが望ましい。不良判定マーカ-積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（17.9%、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

・ 繊維長診断SNPバイオマーカ-

繊維長のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、繊維長診断SNPバイオマーカ-の開発を実施した。繊維長は、長い方がセルロース量も高くなる傾向がある。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型と繊維長の長・短について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた37種のマーカ-の開発に成功した。また、このマーカ-情報に基づき、繊維長を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカ-の遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体の繊維長の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（0.854 mm）と比べ、最大で長さが0.113 mm増（13.2%増）の優良木（0.967 mm）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表13）。さらに、そのような優良木が創出できるように、SNPマーカ-で良と判定される遺伝子型が最大数になるような両親と交配組合せを特定することができ、高セルロース性が期待できるユーカリを計画的かつ早期に育種することも可能となった。



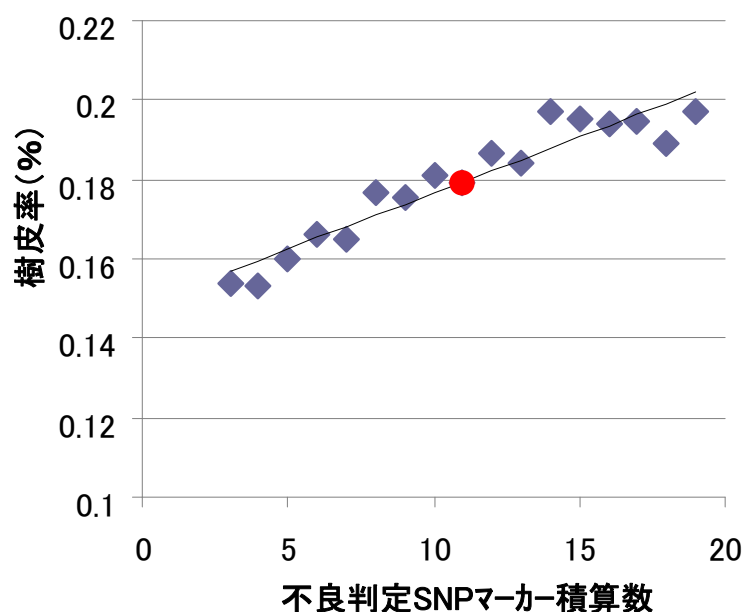
図表 1.3 繊維長診断SNPマーカ-と繊維長の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の優良と判定されたSNPマーカ-の積算数と繊維長の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である優良判定SNPマーカ-の積算数が増加すると、表現型である繊維長増加する。優良判定マーカ-積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（0.854mm、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

・ 樹皮率診断SNPバイオマーカ-

樹皮率のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約500個体）を用いて、樹皮率診断SNPバイオマーカ-の開発を実施した。樹皮率は、低い方が樹幹木部率が高くなるため、高い方が不良、低い方が優良となる。ユーカリの約3万種類の遺伝子コード領域DNA配列内に見出されたSNPの遺伝子型と樹皮率の高・低について遺伝統計解析を行った結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められた79種のマーカ-の開発に成功した。また、このマーカ-情報に基づき、樹皮率を定量的に推定する推定式の導出にも、プロトタイプではあるが成功した。

上記成果により、各SNPマーカ-の遺伝子型の情報から、苗木の段階で各ユーカリ個体の樹皮率の遺伝的能力を、定量的に診断・把握することが可能になった。その結果、実生由来の植林地平均（17.9%）と比べ、最大で樹皮率が3.1%少ない、つまり樹幹木部直径が3.1%多い（材積換算で6%増）の優良木（14.8%）を、天然のユーカリ集団から苗木段階で早期探索可能となった（図表1.4）。さらに、そのような優良木が創出できるように、SNPマーカ-で不良と判定される遺伝子型が最小数になるような両親と交配組合せを特定することができ、高セルロース性ユーカリを計画的かつ早期に育種することも可能となった。



図表 1 4 樹皮率診断 S N P マーカ―と樹皮率の関係

各ユーカリサンプル（図表中の◆）の不良（樹皮率が高くなる）と判定された S N P マーカ―の積算数と樹皮率の関係を示した。サンプルの遺伝子型情報である不良判定 S N P マーカ―の積算数が増加すると、表現型である樹皮率増加する（不良な表現型になる）。このマーカ―を用いる場合は、樹皮率が低いことが良性（高セルロース性）となるため、不良判定 S N P マーカ―数が少ないほうが望ましい。不良判定マーカ―積算数を基準にすれば、実生由来の植林地平均（17.9%、図表中の●）より優れた木を、苗木段階で早期に獲得できる。

不良環境耐性診断 S N P バイオマーカ―

・不良環境（酸性 A I 土壌）耐性

酸性 A I 耐性のデータが得られている当社ユーカリ解析集団（約 6 0 0 個体）を用いて、酸性 A I 土壌耐性診断 S N P バイオマーカ―の開発を実施している（平成 23 年 11 月時点）。現在までの遺伝統計解析の結果、有意（ $P < 0.05$ ）な相関が認められるマーカ―を 9 種開発できた。現在も継続して解析を実施中であり、23 年度内には目標値達成の見込みである。

図表 1 6 S N P バイオマーカ―開発成果

マーカ―診断対象	マーカ―数
パルプ生産性	2 3 種
容積重	4 5 種
パルプ収率	5 5 種
カップ―価	5 0 種
繊維長	3 7 種
樹皮率	7 9 種
酸性 A I 土壌耐性	9 種（解析継続中）

（２）転写物バイオマーカー

高セルロース性に関わる材質診断転写物バイオマーカー

・パルプ生産性診断転写物バイオマーカー

１０年生（伐期）時のパルプ生産性のデータが得られている当社ユーカリ個体群（２９個体）を用いて、パルプ生産性診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。前述の個体群が若い時期（約１．５～２．５年生時）に、各個体の樹幹木部で機能している約１万種類の遺伝子の転写物情報を収集し、パルプ生産性の高い木と低い木の間で量（発現量）差を解析した。その結果、２．５倍以上の差が認められた３０種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この３０種の転写物マーカーの量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの転写物情報を解析することで、そのユーカリが高パルプ生産性となる転写物（遺伝子発現）状態にあるのか、低パルプ生産性となる転写物状態にあるのかを診断することが可能となった。

このパルプ生産性診断転写物バイオマーカーの植林現場への適用実証試験を行った。２００８年１月に、事業植林地に植栽されているユーカリ１１個体の樹幹木部を採集し、各個体の転写物情報を取得して、パルプ生産性の高・低を個々に推定診断した。それらユーカリは、２００９年６月に伐採され、２０１０年２月に詳細分析によりパルプ生産性データが得られた。２００８年１月の診断結果と２０１０年２月の実際の分析データとを比較した結果、１１個体中９個体の診断結果（パルプ生産性の高・低）が的中していた。この結果は、本バイオマーカーによりユーカリ植林木のパルプ生産性の高・低識別を、約８２％の正解率で２年早く推定できたことを示しており、パルプ生産性を伐期（植栽後１０年）まで待たずに早期推定診断可能であることが確認できた。本事業後は、さらに若い時期（約１．５～２．５年生時）のユーカリでの診断を実施する計画である。これにより、従来７～１０年かかっていたパルプ生産性の評価期間を大幅に短縮できることや、パルプ生産性の高いユーカリの特定や育種を早期に実施できると考えている。

・容積重診断転写物バイオマーカー

５年生時の容積重のデータが得られている当社ユーカリ個体群（１８個体）を用いて、容積重診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。各個体の樹幹木部で機能している約１万種類の遺伝子の転写物情報を収集し、容積重の高い木と低い木の間で量（発現量）差を解析した。その結果、２．５倍以上の差が認められた５６種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この５６種の転写物マーカーの量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの転写物情報を解析することで、そのユーカリが高容積重となる転写物（遺伝子発現）状態にあるのか、低容積重となる転写物状態にあるのかを診断することが可能となった。本事業後は、若い時期（約１．５～２．５年生時）のユーカリを用いた現場適用の実証試験を行う

計画である。これにより、従来5年程度かかっていた容積重の評価期間を大幅に短縮できることや、容積重の高いユーカリの特定や育種を早期に実施可能になると考えている。

- ・ パルプ収率診断転写物バイオマーカー

10年生(伐期)時のパルプ生産性のデータが得られている当社ユーカリ個体群(29個体)を用いて、パルプ収率診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。前述の個体群が若い時期(約1.5~2.5年生時)に、各個体の樹幹木部で機能している約1万種類の遺伝子の転写物情報を収集し、パルプ収率の高い木と低い木の間で量(発現量)差を解析した。その結果、2.5倍以上の差が認められた26種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この26の転写物マーカーの量的変動情報をトレーニング(教科書的)データとし、調べたいユーカリの転写物情報を解析することで、そのユーカリが高パルプ収率となる転写物(遺伝子発現)状態にあるのか、低パルプ収率となる転写物状態にあるのかを診断することが可能となった。本事業後は、若い時期(約1.5~2.5年生時)のユーカリを用いた現場適用の実証試験を行う計画である。これにより、従来従来7~10年程度かかっていたパルプ収率の評価期間を大幅に短縮できることや、パルプ収率の高いユーカリの特定や育種を早期に実施可能になると考えている。

- ・ カッパー価診断転写物バイオマーカー

10年生(伐期)時のカッパー価のデータが得られている当社ユーカリ個体群(29個体)を用いて、カッパー価診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。前述の個体群が若い時期(約1.5~2.5年生時)に、各個体の樹幹木部で機能している約1万種類の遺伝子の転写物情報を収集し、カッパー価の高い木と低い木の間で量(発現量)差を解析した。その結果、2.5倍以上の差が認められた164種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この164種の転写物マーカーの量的変動情報をトレーニング(教科書的)データとし、調べたいユーカリの転写物情報を解析することで、そのユーカリが高カッパー価となる転写物(遺伝子発現)状態にあるのか、低カッパー価となる転写物状態にあるのかを診断することが可能となった。

このカッパー価診断転写物バイオマーカーの植林現場への適用実証試験を行った。2008年1月に、事業植林地に植栽されているユーカリ11個体の樹幹木部を採集し、各個体の転写物情報を取得して、カッパー価の高・低を個々に推定診断した。それらユーカリは、2009年6月に伐採され、2010年2月に詳細分析によりカッパー価データが得られた。2008年1月の診断結果と2010年2月の実際の分析データとを比較した結果、11個体中10個体の診断結果(カッパー価の高・低)が的中していた。この結果は、本バイオマーカーによりユーカリ植林木のカッパー価の高・低識別を、約91%の正解率で2年早く推定できたことを示しており、パルプ生産性を伐期(植栽後10年)まで待たずに早期推定診断可能であることが確認できた。プロジェクト期

間後は、さらに若い時期（約 1.5～2.5 年生時）のユーカリでの診断を実施する計画である。これにより、従来 7～10 年かかっていたカップー価の評価期間を大幅に短縮できることや、カップー価の低いユーカリの特定や育種を、伐期 10 年を経ずに早期に実施できると考えている。

・ 繊維長診断転写物バイオマーカー

5 年生時の繊維長のデータが得られている当社ユーカリ個体群（18 個体）を用いて、繊維長診断転写物バイオマーカーの開発を実施した各個体の樹幹木部で機能している約 1 万種類の遺伝子の転写物情報を収集し、繊維長の長い木と短い木の間で量（発現量）差を解析した。その結果、2.5 倍以上の差が認められた 26 種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この 26 種の転写物マーカーの量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの転写物情報を解析することで、そのユーカリが長繊維長となる転写物（遺伝子発現）状態にあるのか、短繊維長となる転写物状態にあるのかを診断することが可能となった。本事業後は、若い時期（約 1.5～2.5 年生時）のユーカリを用いた現場適用の実証試験を行う計画である。これにより、従来 5～7 年程度かかっていた繊維長の評価期間を大幅に短縮できることや、繊維長の長いユーカリの特定や育種を早期に実施が可能になり、高セルロース性ユーカリの早期獲得が期待できるようになると考えている。

不良環境ストレス診断転写物バイオマーカー

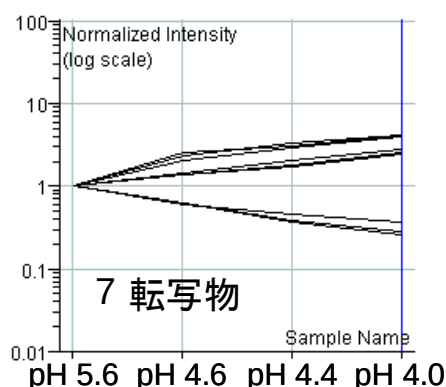
東南アジアでは、広範囲に酸性・酸性アルミニウム (Al) 土壌が広がっており、ユーカリ等植林木の生育に大きな影響を与えている。しかしながら、生長の悪い植林地があった場合、実際は土壌栄養不足の問題なのか酸性 Al 土壌ストレス（根の生育阻害と可給態リン欠乏による栄養・水分吸収阻害）の問題なのかは、把握できない状態である。酸性 Al 土壌ストレスであるか否かを正確かつ定量的に把握できれば、石灰施肥等の適切な対策を施すことができ、高セルロース木を確実に育成・収穫できるようになると期待される。そこで、当社ユーカリ実生個体群（40 個体）を用いて、酸性・酸性 Al ストレス診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。

・ 酸性ストレス診断転写物バイオマーカー

酸性ストレス診断転写物バイオマーカー探索実験では、コントロールとして pH 5.6、低 pH 区として pH 5.0、pH 4.6、pH 4.0 条件で生育させた各ユーカリの葉で機能している約 3 万種類の遺伝子の転写物（発現）情報を収集し、pH によって量が変動する転写物を解析した。その結果、pH が低くなるにつれて転写物量（発現量）が増減する 7 種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この 7 種の転写物マーカーの量的変動は、図表 17 に示すように直線的（対数グラフ上）な増減を示していたため、回帰により定量的なストレス状態（例：pH 〇〇程度のストレス状態にある、等）を診断できる推定式の導出に成功した。従って、調べたい

ユーカリの転写物マーカ一量を推定式に代入することで、そのユーカリがどの程度の酸性ストレスを被っている状態にあるのかを、定量的に診断することが可能となった。

この酸性ストレス診断転写物バイオマーカーの検証試験を行った結果、実際に栽培した土壌 pH 条件とほぼ一致する推定 pH ストレス値を得られることが確認で来た。従って、本バイオマーカーにより、ユーカリ植林木の酸性ストレス状態を定量的に診断・把握し、早期の適切な施業対策が可能になると考えている。本事業終了時もしくは期間後には、事業植林地のユーカリを用いた現場適用の実証試験を行う計画である。

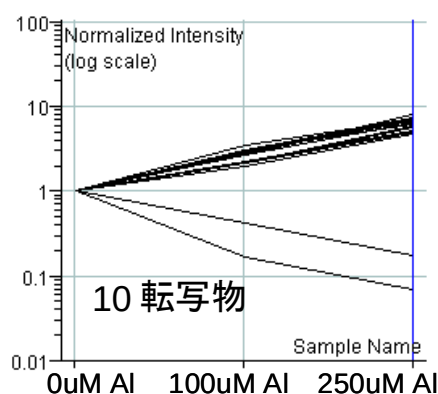


図表 1 7 酸性ストレス状態診断転写物マーカーと pH の関係

・酸性 Al ストレス診断転写物バイオマーカー

当社ユーカリ実生個体群（40 個体）を用いて、酸性 Al ストレス診断転写物バイオマーカーの開発を実施した。実験では、コントロールとして $Al\ 0\ \mu M$ の通常条件、Al 処理区として $50\ \mu M$ 、 $100\ \mu M$ 条件で生育させた各ユーカリの葉で機能している約 3 万種類の遺伝子の転写物（発現）情報を収集し、酸性条件下で Al 濃度によって量が変動する転写物を解析した。その結果、Al 濃度が高くなるにつれて転写物量（発現量）が増減する 10 種の転写物、すなわち転写物マーカーの特定に成功した。この 10 種の転写物マーカーの量的変動は、図表 1 8 に示すように直線的（対数グラフ上）な増減を示していたため、回帰により定量的なストレス状態（例： $Al\ 0\ 0\ \mu M$ 程度のストレス状態にある、等）を診断できる推定式の導出に成功した。従って、調べたいユーカリの転写物マーカ一量を推定式に代入することで、そのユーカリがどの程度の酸性 Al 土壌ストレスを被っている状態にあるのかを、定量的に診断することが可能となった。

この酸性 Al ストレス診断転写物バイオマーカーの検証試験を行った結果、実際に栽培した酸性 Al 条件とほぼ一致する推定酸性 Al ストレス値を得られることが確認で来た。従って、本バイオマーカーにより、ユーカリ植林木の酸性 Al 土壌ストレス状態を定量的に診断・把握し、早期の適切な施業対策が可能になると考えている。本事業終了時もしくは期間後には、事業植林地のユーカリを用いた現場適用の実証試験を行う計画である。



図表 1 8 酸性 Al ストレス診断転写物マーカーと pH の関係

図表 1 9 転写物バイオマーカー開発成果

マーカー診断対象	マーカー数
パルプ生産性	3 0 種
容積重	5 6 種
パルプ収率	2 6 種
カップー価	1 6 4 種
繊維長	2 6 種
酸性	7 種
酸性 Al	1 0 種

(3) 代謝物バイオマーカー

栄養充足度診断代謝物バイオマーカー

本バイオマーカーの開発対象形質としては、植物の3大栄養素である窒素・リン・カリウム、東南アジア植林地で問題となっているホウ素、生長性確保に重要な水分をターゲットとし、これら各々についてその充足・不足状態を診断可能な代謝物バイオマーカーを開発した。同定された代謝物マーカーを用いて、高セルロース樹木を育成するための植林地栄養管理や施肥等の施業の早期評価と適正化を行い、効率的に高セルロース樹木を育成し収穫する。

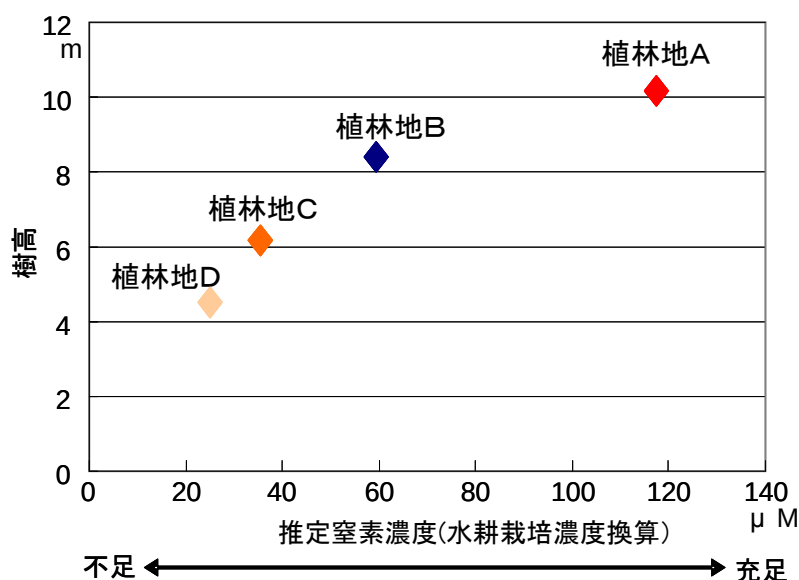
・ 窒素充足度診断代謝物バイオマーカー

実施機関内の温室・圃場にて、様々な窒素栄養条件でユーカリを生育させ、その葉中の多数の代謝物を網羅的に解析することで、窒素充足度診断代謝物バイオマーカーの開発を実施した。各ユーカリ葉中の約5千種類の代謝物情報を収集し、窒素栄養条件によって量変動する代謝物を解析した結果、6種の代謝物マーカーの特定に成功した。この6種の代謝物マーカーの量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの代謝物情報を解析することで、そのユーカリが窒素栄養分について充足しているか不足しているかを診断することが可能となった。さらに、

1種のマーカーについては、回帰により定量的な充足度状態（例：窒素濃度〇〇 μM 程度で水耕栽培した時と同じ充足度状態にある、等）を診断できる推定式の導出に成功した。従って、調べたいユーカリの代謝物マーカー量を推定式に代入することで、そのユーカリがどの程度の窒素充足度状態にあるのかを、定量的に診断することも可能となった。

この窒素充足度診断代謝物バイオマーカーの事業植林地への適用実証試験として、ラオス事業植林地ユーカリの窒素充足度診断を行った。各植林地の樹高生長性は、植林地A>B>C>Dの順であった。栄養状態の診断結果では、成長の良い植林地Aのユーカリの窒素栄養状態が最も良好であり、生長性に相関して徐々に栄養状態が悪くなり、生長の最も悪い植林地Dのユーカリの窒素状態が最も不良であることをマーカーで確認できた（図表20）。マーカー診断結果で判断する限り、植林地CやDでは、何らかの対策（窒素施肥等）を講じなければ、今後の成長回復は見込めない可能性が考えられる。

従来、上記のような植林木の栄養状態把握と将来推定は困難であったが、バイオマーカー診断技術により可能になることが示された。本バイオマーカー診断技術により、ユーカリ植林木の窒素栄養分の充足度状態を定量的に診断・把握することで、生長不良等のトラブルに対しての早期の適切な施業対策や、3年程度を要していた施肥試験等の効果評価の短縮化が可能になり、高セルロース木を確実に育成・収穫できるようになると考えている。



図表20 窒素充足状態診断代謝物マーカーの事業植林地での実証試験結果

・リン充足度診断代謝物バイオマーカー

実施機関内の温室・圃場にて、様々なリン栄養条件でユーカリを生育させ、その葉中の多数の代謝物を網羅的に解析することで、リン充足度診断代謝物バイオマーカー

一の開発を実施した。各ユーカリ葉中の約5千種類の代謝物情報を収集し、リン栄養条件によって量が変わる代謝物を解析した結果、5種の代謝物マーカ－の特定に成功した。この5種の代謝物マーカ－の量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの代謝物情報を解析することで、そのユーカリがリン栄養分について充足しているか不足しているかを診断することが可能となった。本事業期間後には、事業植林地への適用実証試験を行う予定である。

・カリウム充足度診断代謝物バイオマーカ－

実施機関内の温室・圃場にて、様々なカリウム栄養条件でユーカリを生育させ、その葉中の多数の代謝物を網羅的に解析することで、カリウム充足度診断代謝物バイオマーカ－の開発を実施した。各ユーカリ葉中の約5千種類の代謝物情報を収集し、カリウム栄養条件によって量が変わる代謝物を解析した結果、6種の代謝物マーカ－の特定に成功した。この6種の代謝物マーカ－の量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの代謝物情報を解析することで、そのユーカリがカリウム栄養分について充足しているか不足しているかを診断することが可能となった。現在、実施機関の事業植林地で顕著なカリウム欠乏害が報告されている林地がないこともあり、実証試験には行っていない。しかしながら、本バイオマーカ－で診断することで、従来法では認識できていなかったカリウム欠乏害を把握することができる可能性が高いと考えている。本事業期間後、事業植林地への適用実証試験を行う予定である。

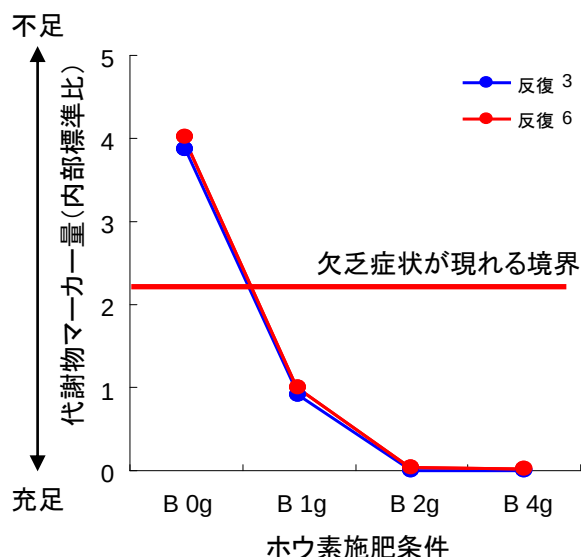
・ホウ素充足度診断代謝物バイオマーカ－

実施機関内の温室・圃場にて、様々なホウ素栄養条件でユーカリを生育させ、その葉中の多数の代謝物を網羅的に解析することで、ホウ素充足度診断代謝物バイオマーカ－の開発を実施した。各ユーカリ葉中の約5千種類の代謝物情報を収集し、ホウ素栄養条件によって量が変わる代謝物を解析した結果、6種の代謝物マーカ－の特定に成功した。この6種の代謝物マーカ－の量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの代謝物情報を解析することで、そのユーカリがホウ素栄養分について充足しているか不足しているかを診断することが可能となった。

このホウ素充足度診断代謝物バイオマーカ－の事業植林地への適用実証試験として、ラオス事業植林地のホウ素施肥試験地に植栽しているユーカリ（6ヶ月生）のホウ素充足度状態を診断した。その結果、ホウ素施肥量に related 代謝物マーカ－の挙動（量の変動）が確認できたことから、本マーカ－が事業現場の植林木においても、その充足・不足の診断が可能であることが確認できた（図表2-1）。診断結果からは、バイオマーカ－で診る限り、ホウ素施肥量1g/植林木では見た目には欠乏症状が出ないが、軽い欠乏状態と診断されるため、2g/植林木程度の施肥条件が必要と考える。

従来、上記のような施肥試験の評価やそれに基づいた施業方針の立案に2～3年か

かっていたが、バイオマーカーにより数ヶ月程度で実施できるようになることが示された。本バイオマーカー診断技術により、ユーカリ植林木のホウ素充足度状態を診断・把握することで、生長不良等のトラブルに対しての早期の適切な施業対策や、3年程度を要していた施肥試験等の効果評価の短縮化が可能になり、高セルロース木を確実に育成・収穫できるようになると考えている。



図表 2 1 ホウ素充足度診断代謝物マーカーによるホウ素施肥試験地の診断

グラフの縦軸はマーカー代謝物量を、横軸はホウ素施肥量を示す。本代謝物マーカーは、ホウ素欠乏時に量が増加する代謝物である。ホウ素が充足するにつれ量は減少する。赤線は、植林地の健全ユーカリとホウ素欠乏症ユーカリの代謝物量比較から設定した欠乏症状が見た目に現れるマーカー量(閾値)を示している。

・水分充足度診断代謝物バイオマーカー

水分は、植物の生長にとって重要な要素であり、これが不足すると生長性が悪くなる、つまり乾燥害が生じることは周知の通りである。また、水分が不足した状態では、十分に施肥をしても前記マーカー群による栄養状態診断結果が不良となってしまうことも確認されている。そこで、植林木が乾燥ストレスをどの程度被っているのかの定量的把握と栄養診断結果の正確な解釈のため、本マーカーを開発した。

実施機関内の温室にて、様々な水分（灌水）条件でユーカリを生育させ、その葉中の多数の代謝物を網羅的に解析することで、水分充足度診断代謝物バイオマーカーの開発を実施した。各ユーカリ葉中の約5千種類の代謝物情報を収集し、水分条件によって量の変動する代謝物を解析した結果、4種の代謝物マーカーの特定に成功した。この4種の代謝物マーカーの量的変動情報をトレーニング（教科書的）データとし、調べたいユーカリの代謝物情報を解析することで、そのユーカリが水分について充足しているか不足しているかを診断することが可能となった。

この水分充足度診断代謝物バイオマーカーの事業植林地への適用実証試験として、前述の窒素充足度診断を実施したラオス事業植林地ユーカリの水分充足度状態を診

断した。その結果、どの林地も水分は充足状態であることが確認できたことから、本マーカーが事業現場の植林木においても、その充足・不足の診断が可能であることが確認できた。また、窒素充足度診断結果の良否は、水分状態に影響されたものでないことも確認できた。

優良雑種識別代謝物バイオマーカー

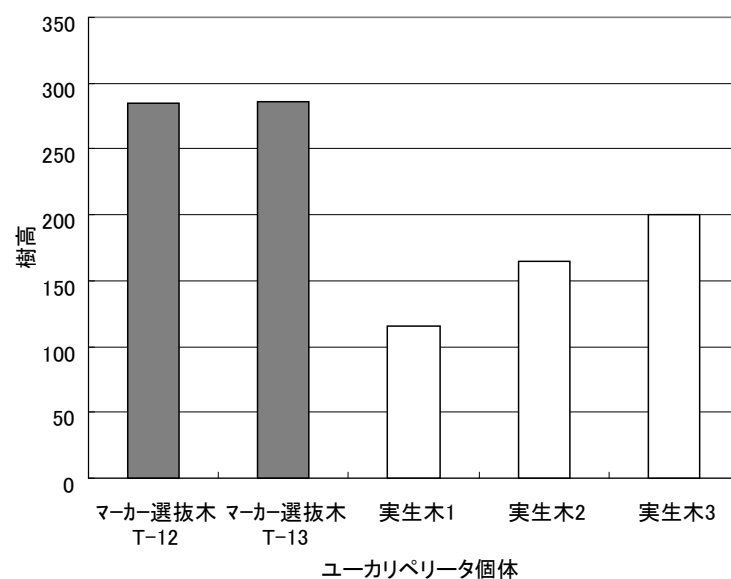
・ 生長優良ユーカリ雑種識別代謝物バイオマーカー

東南アジアの植林現場での経験から、特徴的な樹皮表現型（表面が平滑）を持つユーカリ・ペリータとブラシアーナの雑種には、生長が良好な個体が多いと言われている。そこで、樹皮が平滑な雑種個体とそうでない雑種個体の代謝物分析を実施した。その結果、樹皮表現型と関連性がある葉中の２種の代謝物マーカーの特定に成功した。この２種の代謝物マーカー情報を指標に、生長優良すなわち高セルロース性であるペリータ／ブラシアーナ雑種を苗木の段階で選抜が可能になり、従来２～５年程度を要していた期間の短縮化とコスト削減、効率的選抜が可能になった。

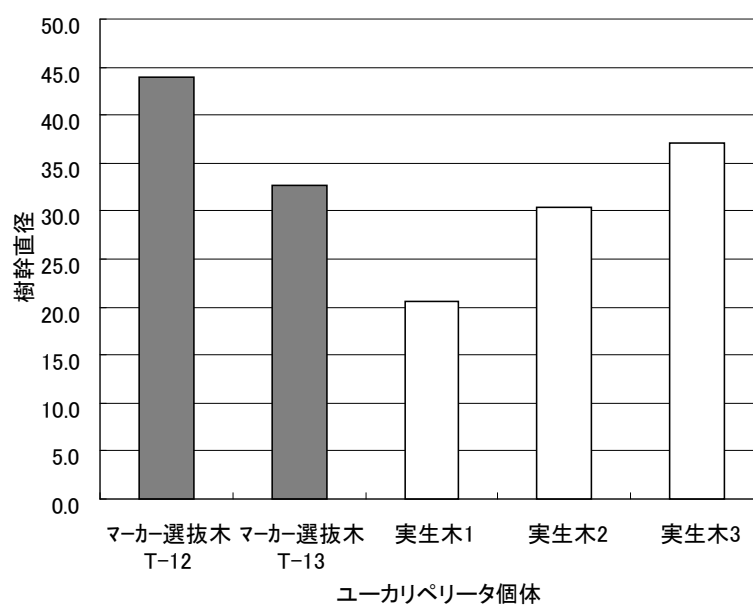
この生長優良ユーカリ雑種木識別代謝物バイオマーカーの適用実証試験として、ペリータ／ブラシアーナ雑種が含まれているペリータ実生集団（苗木）を診断した。診断により、２個体を候補として選抜できたので、実施機関の圃場に植栽し生長性を観察した。その結果、コントロールとした雑種よりも高生長性を示す（植栽９０日目で樹高７８．８％増、直径４９．３％増、材積３．６倍）ことが確認できた（図表２２～２４）。本技術により、高生長な優良ユーカリ雑種木を苗木段階で探索できるようになった。これらの高生長ユーカリ雑種は、事業利用を目指し平成２４年度以降にラオスでの植栽試験を開始する予定であり、既にラオスへ輸出済みである。



図表２２ 生長優良ユーカリ雑種識別代謝物マーカーで特定したユーカリ・ペリータ／ブラシアーナ雑種個体（植栽後９０日目）



図表 2 3 生長優良ユーカリ雑種識別代謝物マーカーで特定した個体の樹高



図表 2 4 生長優良ユーカリ雑種識別代謝物マーカーで特定した個体の樹幹直径

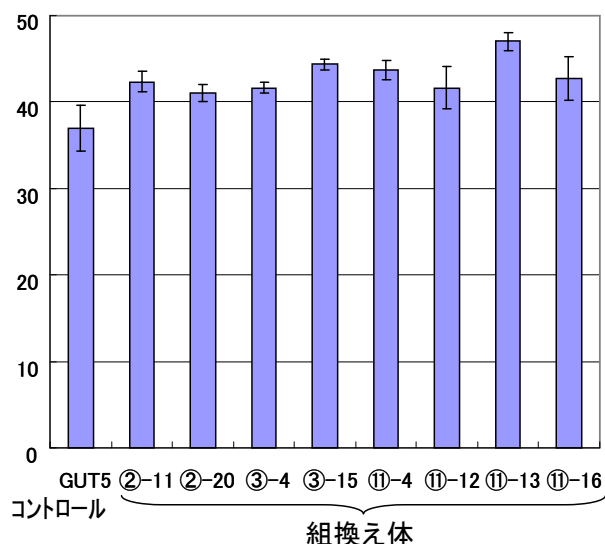
図表 2 5 代謝物バイオマーカー開発成果

マーカー診断対象	マーカー数
窒素充足状態	5 種
リン酸充足状態	5 種
カリウム充足状態	6 種
ホウ素充足状態	6 種
水分充足状態	4 種
生長優良ユーカリ雑種識別	2 種

(4) 不良環境（酸性 AI 土壌）耐性ユーカリ組換え体

酸性土壌における主要な生育阻害要因であるアルミニウム害とリン欠乏（難溶性無機態リン）に対する有効な耐性形質として、ユーカリのクエン酸放出レベルを向上させる遺伝子（クエン酸合成酵素遺伝子、クエン酸輸送体遺伝子）を、従前事業における成果として得ている。そこで、この耐性遺伝子群を導入した多重遺伝子組換えユーカ리를 5 系統以上作出し、耐性の有無および安全性の評価（生物多様性影響評価試験）した結果、酸性 AI 土壌においてコントロール（野生株）に比べ樹高生長が約 15 ～ 30 % 増大した不良環境耐性組換えユーカリ創生に成功した（図表 26）。この生長差は、野外圃場に植栽した際には、さらに大きくなっていくと考えられるため、目標である 50 % 生長増を達成できると考えている。

事業終了時（平成 24 年 3 月）までには、閉鎖系温室内での安全性評価（生物多様性影響評価）試験結果取得を達成する見込みである。事業期間後は、事業利用に向けた野外試験のため、国内およびベトナムの公的研究機関等との共同研究準備を進める計画である。



図表 26 不良環境耐性組換えユーカリの樹高生長（ポッド植栽後 30 日目）

3-1-3-B 特許出願状況等

図表 27 特許・論文等件数

要素技術	論文数 (投稿を含む)	論文の被 引用度数	特許等件 数(出願を 含む)	特許権の 実施件数	ライセン ス供与数	取得ライ センス料	国際標準 への寄与
SNP	1		1				
転写物	1						
代謝物			6				
不良環境 耐性	2		1				
計	4		8				

図表 28 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	BMC Plant Biology 誌 9:32 「Comparative transcriptomic characterization of aluminum, sodium chloride, cadmium and copper rhizotoxicities in Arabidopsis thaliana」	H21.3
	Plant Physiology 誌 150:281-94 「STOP1 (Sensitive TO Proton Rhizotoxicity 1) regulates multiple genes which protect Arabidopsis from proton and aluminum toxicities.」	H21.5
	Appita 2010 Proceedings (2010 環太平洋紙パルプ会議紀要)「Biomarker discovery for tree breeding and silviculture.」(Peer reviewed)	H22.4
投稿	国立遺伝学研究所・遺伝子データベース DDBJ Sequence Read Archive 「ユーカリプタス・グロブラス EST データ (DRA000362)」 (http://trace.ddbj.nig.ac.jp/DRAsearch/submission?acc=DRA000362)	H23.3
発表	第 52 回紙パルプ技術協会年次大会 「植林事業へのバイオ IT 技術適用の可能性」	H21.
	理研理事長ファンドワークショップ 「企業における木質バイオマス生産研究」	H21.
	第 4 回メタボロームシンポジウム 「植林事業への代謝物バイオマーカーの適用」	H21.
	細胞壁研究者ネットワーク 「ユーカリ木部二次壁形成に関連した SNP マーカーの開発」	H21.
	木材学会ウッドサイエンス・ミキサー 「若手の視点からの木材学の未来」	H22.3
	64th Appita Annual Conference (2010 Pan Pacific Conference)	H22.4

	「Biomarker discovery for tree breeding and silviculture」	
	第 77 回紙パルプ研究発表会 「代謝物情報を用いた樹種識別技術の開発」	H22. 6
	第 61 回日本木材学会大会 「代謝物情報を用いた種・種間雑種識別技術の開発」	H23. 3
	日本農芸化学会 2011 年度年会 「総合林産業の推進に向けた東南アジア植林 -バイオマーカーの適用-	H23. 3
特許	特願 2009-23947「ユーカリのクエン酸輸送体の遺伝子および当該遺伝子がコードする蛋白質」	H21. 2
	特願 2009-86922「植物の二次細胞壁形成を促進する方法」	H21. 3
	特願 2009-200839「植物の栄養状態診断用マーカー選択方法、植物の栄養状態診断方法及び成長状態判定方法」	H21. 8
	特願 2009-260080「代謝物情報を利用した樹種識別法」	H21. 11
	国際出願番号 PCT/JP2010/070219「植物代謝産物を利用した植物の種同定用マーカーの選択方法並びにそのマーカーを用いた種、雑種及び雑種両親種同定方法」	H22. 11
	特願 2011-097023 「植物雑種の形質推定方法」	H23. 4
	特願 2011-199569「植物のホウ素充足度判定用マーカー及びそれを用いたホウ素充足度判定方法」	H23. 9
	特願 2011-201162「植物の水分充足度判定用マーカー及びそれを用いた水分充足度判定方法」	H23. 9

3-2-B 目標の達成度

「2-1-2-B 個別要素技術の目標設定」で述べた個別要素技術の目標は、一部の達成見込みの状態のものはあるが、当初予定していた項目よりも多数のマーカー開発を達成できた。各要素技術の成果と達成度について、以下の表にまとめた。なお、一部の達成見込みは、現在解析実施中または経過観察中の研究項目であり、事業期間終了時もしくは終了後の数ヶ月～数年の育成期間を経て、達成が確認できる見込みである。

図表 2 9 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
高セルロース性に関わる材質診断 SNP バイオマーカー ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率、 ・カップー価 ・繊維長 ・樹皮率	各 30 種程度のマーカーを開発する	・パルプ生産性 23 種のマーカーを開発した。これにより対照比でパルプ（セルロース）量が 20.9% 増の優良木を苗木段階で探索可能。 ・容積重 45 種のマーカーを開発した。これにより対照比で容積重が 15.2% 増の優良木を苗木段階で探索可能。 ・パルプ収率、 55 種のマーカーを開発した。これにより対照比で収率が 4.4% 増の優良木を苗木段階で探索可能。 ・カップー価 50 種のマーカーを開発した。これにより対照比でカップー価が 6.1% 減の優良木を苗木段階で探索可能。 脱リグニン時の省エネ化が可能。 ・繊維長 37 種のマーカーを開	達成

		発した。これにより対 照比で繊維長が13. 2%増の優良木を苗木 段階で探索可能。 ・樹皮率 79種のマーカを開 発した。これにより対 照比で樹幹木部が3. 1%増の優良木を苗木 段階で探索可能。	
不良環境耐性 診断 SNP バイ オマーカ ・酸性 AI 土壌 耐性	30種程度のマーカを開発する	現在までに9種特定済 み。継続して成果獲得 中（事業終了時平成2 4年3月には達成見込 み）	達成見込み
高セルロース 性に関わる材 質診断転写物 バイオマーカ ・パルプ生産性 ・容積重 ・パルプ収率 ・カップー価 ・繊維長	各10種程度のマーカを開発する	・パルプ生産性 30種のマーカを開 発した。適用実証試験 では、ユーカリ植林木 のパルプ生産性の高・ 低識別を、約82%の 正解率で早期推定診断 可能であることが確認 できた。 ・容積重 56種のマーカを開 発した。（事業期間内に 適用実証試験予定） ・パルプ収率 26種のマーカを開 発した。（事業期間内に 適用実証試験予定） ・カップー価 164種のマーカを開 発した。適用実証試験 では、ユーカリ植林木 のカップー価の高・ 低識別を、約91%の	達成

		正解率で早期推定診断可能であることが確認できた。 ・ 繊維長 26種のマーカーを開発した。(事業期間内に適用実証試験予定)	
不良環境ストレス診断転写物バイオマーカー ・ 酸性 ・ 酸性 AI	各10種程度のマーカーを開発する	・ 酸性 7種のマーカーを開発した。ユーカリ植林木のストレス状態を診断し、定量的な数値で把握可能であることが確認できた。 ・ 酸性 AI 10種のマーカーを開発した。ユーカリ植林木のストレス状態を診断し、定量的な数値で把握可能であることが確認できた。	達成
栄養充足度診断代謝物バイオマーカー ・ 窒素 ・ リン酸 ・ カリウム ・ ホウ素 ・ 水分	5種程度のマーカーを開発する	・ 窒素 6種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、窒素充足度状態診断が可能であることが確認できた。 ・ リン酸 5種のマーカーを開発した。事業後に適用実証試験予定。 ・ カリウム 6種のマーカーを開発した。事業後に適用実証試験予定。 ・ ホウ素	達成

		6種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、ホウ素充足度状態診断が可能であることが確認できた。また、施肥効果や施肥適量の早期判定も可能であることも確認できた。 ・水分 4種のマーカーを開発した。適用実証試験では、事業植林地のユーカリについて、水分充足度状態診断が可能であることが確認できた。	
優良雑種識別 代謝物バイオ マーカー ・生長優良ユー カリ雑種	5種程度のマーカーを開 発する	高生長ユーカリ・ペリ ータ/ブラシアーナ雑 種を識別可能な2種の マーカーを開発した。 これにより、コントロ ールに比べ樹高78. 8%、直径49.3%、 材積3.6倍増加した 生長優良木を苗木段階 で探索できた。	達成
不良環境耐性 付与技術	耐性遺伝子を複数導入し た組換えユーカリを5系 統以上作出し、耐性の有 無および安全性の評価結 果を取得する	耐性遺伝子を2種同時 に導入した組換えユー カリを20系統以上作 出し、評価試験に8系 統を供した。温室にて 組換え体の耐性獲得と 30%（平成23年9 月時点）の生長増大を 確認した。野外栽培に より50%達成見込	達成見込み

		み。事業終了時（平成 24年3月）までには、 閉鎖系温室内での安全 性評価（生物多様性影 響評価）試験結果取得 を達成見込み	

4-B 事業化、波及効果について

4-1-B 事業化の見通し

本事業の研究開発で得られた成果の事業化の見通しとして、以下に挙げたシナリオを考えている。当面（事業終了後3～5年程度）は、自社関連植林事業での利用を中心に、そこで運用実績を積み重ね、事業植林地のユーカリのデータを蓄積した後、他社への展開等を進める計画である。

（1）自社での事業利用

本事業の研究開発で得られた成果の事業化としては、まず実施機関である森林資源研究所での図表8に示したような事業利用が挙げられる。既に事業期間内より開発できたバイオマーカーから順に試験的な利用を始めており、自社関連の植林事業地（ラオス、インドネシア、西豪州）にて採集したユーカリ試料（葉、樹幹等）を用いて、各種バイオマーカーによる診断を行っている。得られた結果については、各植林現場へ情報をフィードバックし、現場での施業や育種方針決定、推定育種価・表現型値に基づいた交配計画策定等の基盤情報として利用され始めている。また、マーカー選抜で得られた高成長（セルロース）性のユーカリ優良木候補については、自社ラオス事業植林地での試験植林を開始する計画である。既に、無菌処理した苗木をラオスへ輸出済み（平成23年9月）であり、現地にて苗木を増殖させた後、事業終了後速やか（平成24年夏を予定）に試験に移行する計画である。このような事業での試験的な利用の中で、マーカー運用効果の実績を3～5年程度積み上げ有効性を示した後、自社関連の植林会社10社の植林地（約23万ha、<http://www.ojipaper.co.jp/envi/mori/syokurin/index.html>）での利用を進める計画である。

一方、自社関連植林会社での事業利用のみならず、森林資源研究所における他社からの分析受託サービス・植林事業コンサルティング業務への展開も検討する予定である。これらの事業実施場所は、王子製紙(株)内の分析部門（研究開発本部分析センター http://www.ojipaper.co.jp/business/r_d/index.html）も候補の1つとして考えている。これについては、自社事業での本格運用時（事業後3～5年）に検討したい。

一方、不良環境耐性組換えユーカリは、まず東南アジアの自社植林事業実施国にて、現地の公共試験研究機関と共同で野外での生物多様性影響評価試験を実施し、実施国政府の承認を受けた後に事業利用を進める計画（事業後約10年を想定）である。現時点では、ベトナムでの実施を目指し、現地政府研究機関と日本の公的研究機関の3者共同研究プロジェクトについて、議論を進めている状態である。事業終了後には共同研究契約を締結し、速やかに評価試験を実施し事業化につなげたいと考えている。

（2）同業他社への展開

本事業の研究開発成果は、日本、東南アジア、豪州、南米、南ア等の製紙会社への技術・情報ライセンスと、各社が実施している関連植林事業での活用が期待できる。想定される同業他社としては、日本製紙、Siam Forest 社（タイ）、Siam Tree Development 社（タイ、伊藤忠関連会社）、Suzano 社（ブラジル）、Sappi 社（南ア）、Elders Forestry 社（豪

州)等が挙げられる。これら同業他社の関連植林地の総面積は百万 ha を超えるため、技術利用による高セルロース木の育種・育林の加速により、飛躍的なセルロース生産性向上とCO₂低減が期待できると考えられる。

一方、不良環境耐性組換えユーカリは、評価試験実施を予定しているベトナムで承認を受けた後、同国内で実施されている植林会社への苗販売や苗生産会社へのライセンスングを進めたいと考えている。

(3) 分析会社への展開

①ユーカリの遺伝子診断サービス会社への技術ライセンスング

現在、マイクロサテライトマーカー（既存DNAマーカーの1種）を用いた各ユーカリ個体の類縁関係を解析する事業が既に実施されている（Taag GENETICS 社 <http://www.taag-genetics.com> 他）。多様な性質を一度に診断解析できるSNPマーカー情報の提供および診断技術ライセンスングにより、該サービス会社での遺伝子診断事業拡大が期待できる（ヒトでは遺伝子診断事業が既に成立して拡大中。ドラッグストアでも商品を販売中）。また、

②土壌分析会社への技術提供

農業分野では、施肥の基準を決める1つの指標に土壌中の元素（窒素、リン他）を分析する受託サービスが広く利用されている（株）つくば農業環境科学研究センター <http://www.aguri.cc/trc/faq.html> 他）。土壌中の栄養分を分析してその結果を施肥計画等の立案を行っている。植林事業でも一般的に利用されているサービスであるが、植林地の分析結果は整備された農地のような安定した分析結果が得られないため、施肥計画への正確な反映が困難という課題がある。しかしながら、他に術がないから利用されている状態である。これまでの自社分析結果から、不安定で結果のばらつき非常に大きい土壌分析結果より、代謝物バイオマーカー診断の方が直接的に植物体内の栄養状態を把握できるため、結果の精度は優れていると考えている。そのため、土壌分析会社が既存分析サービスにバイオマーカー診断サービスを追加する、つまり技術ライセンスングが期待できる。この事業化過程で問題となるのは、バイオマーカー技術の信頼性を如何に土壌分析会社へ理解して使用してもらうかだが、この点は自社植林事業での成果を示すこと、バイオマーカー診断の基になるデータベースも同時にライセンスングすることで解決できると考えている。

③肥料会社への技術提供

作物を中心とした農業分野では、肥料の過不足を診断するために葉の元素（窒素、リン他）分析サービスを、肥料会社自らが行なっている（Baileys Fertiliser 社 <http://www.baileysfertiliser.com.au/analysis.asp#> 他）。これは、肥料の過不足を診断して自社肥料を売るためである。多くの植林会社でも、この分析サービスを利用しており。弊社植林会社も利用している。得られた分析結果から施肥計画等の立案を行っている

植林会社も多い。このように植林事業でも一般的に利用されているサービスであるが、植林木の分析結果は整備された農地で生育する作物のように、安定した精度の高い結果が得られない課題がある。他に術がないから利用されている状態である。これまでの自社分析結果から、従来技術の元素分析より代謝物バイオマーカー診断の方が、直接的に植物体内の栄養状態を把握できるため、診断精度は優れていると考えている。そのため、肥料会社が既存分析サービスからバイオマーカー診断サービスへと転換する、つまり技術ライセンスが期待できる。この事業化過程での問題点とその解決方法も②で述べたものと同じと考えている。

4-2-B 波及効果

本事業の成果に基づく波及効果（当該事業による成果の他産業分野への活用等、あるいは成果の高度化など）については、以下のような効果が期待できると考えている。

異業種への展開

（１）診断ツールの製作

本事業後に、遺伝子（SNP）やバイオマーカーを簡便かつ迅速に検出する分子診断ツール（妊娠検査キットのようなデバイス）の製造・販売に関する事業化が期待できると考えている。事業化への課題としては、分子診断ツールの技術開発や製造・販売の方策であるが、下段に示すように分子診断に関する学会や研究会は多数あり活動も活発である。また診断ツールの製作会社は非常に多く、事業化に際してはそれら製作会社との共同開発、製作会社での生産・販売への展開が期待できる。事業終了後の平成24年度以降には、植林現場で簡易に使用可能なバイオマーカー分子診断キットの作成を検討したいと考えている。

製造会社の例：(株)イニシアム (<http://www.initium2000.com/index.html>)

日本ベクトン・ディッキンソン株式会社 (<http://www.bdj.co.jp/>)

学会：分子診断学会 (<http://www.infoshop-japan.com/conference/tri-conference09/>)

日本遺伝子診療学会 (<http://www.congre.co.jp/gene/index.html>)

備考：米国のバイオテック調査会社の Jain PharmaBiotech 社による調査（2006年8月）では、分子診断市場は2010年で120億ドル、2015年で350億ドルと予測。参入企業は500社超

<http://www.sciric.com/molecule/7c7330fb8abf67fb4f1a793e300120055e74306e4e16754c306e52065b508a3a65ad5e025834309265510430eb300120105e74120510430eb300120155e74350510430eb30684e886e2c300253c251654f01696d306f500793e8d85-20065e7486708465e5>

（２）リモートセンシング装置（フィールドサーバ）の製作

フィールド（圃場）に長期間設置して、環境の計測、動植物のモニタリング、農園の監視等を行う超分散モニタリングデバイスとして、Webサーバ、複数のセンサ、ネットワークカメラ、無線LAN通信モジュール、超高輝度LED照明など様々な電子機器を搭載した「フィールドサーバ」(<http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/default.htm>)が、既に販売利用されている。将来的には、このフィールドサーバにバイオマーカーを自動でセンシングするツールを組み込み、研究室にしながら植林地と植林木の状態をモニタリングできるようにすることが期待できる。事業化への課題としては、関連の技術開発や製造・販売の方策であるが、下段に示すようにフィールドサーバの製造メーカーも多数あることから、これら製造会社との共同技術開発や商品開発により解決できると考えている。

フィールドサーバの製作メーカー

- ・ elab-experience 社 (<http://www.elab-experience.com/>)
- ・ パナソニック電工（旧松下電工：<http://panasonic-denko.co.jp/>）
- ・ (株)メック (<http://www.mecs.co.jp/product/all/products-index.htm>)

診断技術ライセンス、キット販売、コンサルティング

簡易診断法

- ・センサーデバイス開発
- ・診断キット開発



ネットワーク技術と融合

- ・フィールドサーバー
- ・衛星リモートセンシング



図表 3 0 事業成果の他産業分野への展開イメージ

5－B 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5－1－B 研究開発計画

SNPバイオマーカー開発研究は、遺伝子配列およびSNPの存在位置と遺伝子型等の基礎データ（SNP探索）を、時間を掛け網羅的かつ大量に収集し続けなければ解析段階へ移行できない。そのため、プロジェクト期間の約2／3をこの基礎データ取得に充てた。解析に必要な基礎データが整い始めた平成22年度から、マーカー特定のための遺伝統計解析と特定できたマーカーのユーカリ植林木での検証を実施した。その結果、計画通りのスケジュールで目標を達成できた。

転写物バイオマーカー開発研究では、事業前に遺伝子発現（転写物）情報の蓄積⁹⁾があったため、データ解析とマーカー探索の期間は他のマーカーより短く設定した。一部の開発対象（パルプ生産性等）のマーカーについては、この予定よりもさらに前倒しでマーカー特定とユーカリ植林木での検証試験を実施できた。残りのマーカーについては、当初の計画スケジュールに沿って実施することができ、目標を達成できた。

代謝物バイオマーカー開発研究については、実施機関に主要な分析機器がなく、またそれらの解析技術も不足していたため、代謝物解析とマーカー探索期間を長期間設定していた。しかしながら、初年度（平成20年度）において機器導入および分析技術習得・条件検討が予定より早く進捗し完了したこと、様々な環境下で生育させたユーカリ試料を、実施機関内の温室、水耕設備、圃場ポッド栽培地で調達できたため、代謝物の基礎データ収集が短期間に大量に実施できた。その結果、当初予定スケジュールより早期にマーカー特定とユーカリ植林木での検証試験段階へ到達し、目標を達成できた。

一方、不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発では、従前事業成果である不良環境耐性付与の鍵となるクエン酸合成酵素遺伝子、クエン酸輸送を担うクエン酸トランスポーター遺伝子について、計画スケジュールに沿ってユーカリへ導入した後、得られた組換え体の耐性獲得の確認、閉鎖系温室内の安全性評価を達成（見込みを含む）できた。当初国内での野外安全性評価試験を計画していたが、国内での安全承認を得てから植林事業現場（海外）で組換え効果を検証することは2度手間となり効率的でないこと、また2010年10月の生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）に先立ち開催された「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」（以下、「カルタヘナ議定書」という。）の第5回締約国会議（COP-MOP5）において、組換え体の取り扱いや被害救済ルールが定まるまで状況を見据える必要があったことから、国内野外試験実施の戦略を海外での実施に戦略変更した。それに伴い、海外実施のための情報収集等を行い、共同実施が可能な研究機関との体制構築に向けた作業を進めている。そのため、本事業後に速やかに野外試験へ移行できるよう、閉鎖系温室内の安全性評価工程を終えることを目指し達成できた（見込み）。

図表 3 1 研究開発計画

	20年度	21年度	22年度	23年度
①高セルロース樹木探索育成方法 (バイオマーカー)に関する技術開発				
a. SNPバイオマーカーの開発				
・SNP探索			→	
・SNPマーカーの同定と林地検証				→
b. 転写物バイオマーカーの開発				
・発現解析とマーカー探索		→		
・転写物マーカーの同定と林地検証				→
c. 代謝物バイオマーカーの開発				
・代謝物解析とマーカー探索				→
・代謝物マーカーの同定と林地検証				→
② 不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発				
a. 組合せ効果の評価と解析		→		
b. ユーカリへの導入評価と野外試験				→

5-2-B 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、王子製紙株式会社が経済産業省からの補助金の交付を受けて実施した。実施に際しては、同社内の研究開発本部・森林資源研究所が担当して研究を行った。また、共同研究先とし、小山博之教授（平成 20～22 年度：岐阜大学）および出村拓教授（平成 20～21 年度：理化学研究所→平成 22 年度：奈良先端科学技術大学院大学）が参加した。また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（森林資源研究所・F2 チームチーフ・佐藤茂）を設置した。

プロジェクトの全体運営・管理等は、プロジェクト代表者が実施機関の長（森林資源研究所長）や総務室経理担当者と相談しながら行った。研究開発の細かな進捗管理および研究チーム内の人員配置や仕事量の調整・方針決定は、毎週の F2 チーム研究者ミーティングと毎月のチームミーティングおよび所内研究討論会、年 2 回（上・下期）の所内期末報告会での報告内容を基に、森林資源研究所長・プロジェクト代表者とサブリーダーとなる研究者と相談して実施した。また、機器購入や海外植林地への出張、植林会社への研究協力依頼等では、関連の上層部門（研究開発本部、資源戦略本部）への説明と承認を得ながら進めた。その結果、プロジェクト内研究者の能力を十分に発揮できる研究環境が整備され、研究開発を効率的・効果的に進めることができ、成果の事業現場での実証試験段階まで到達できたと考えている。

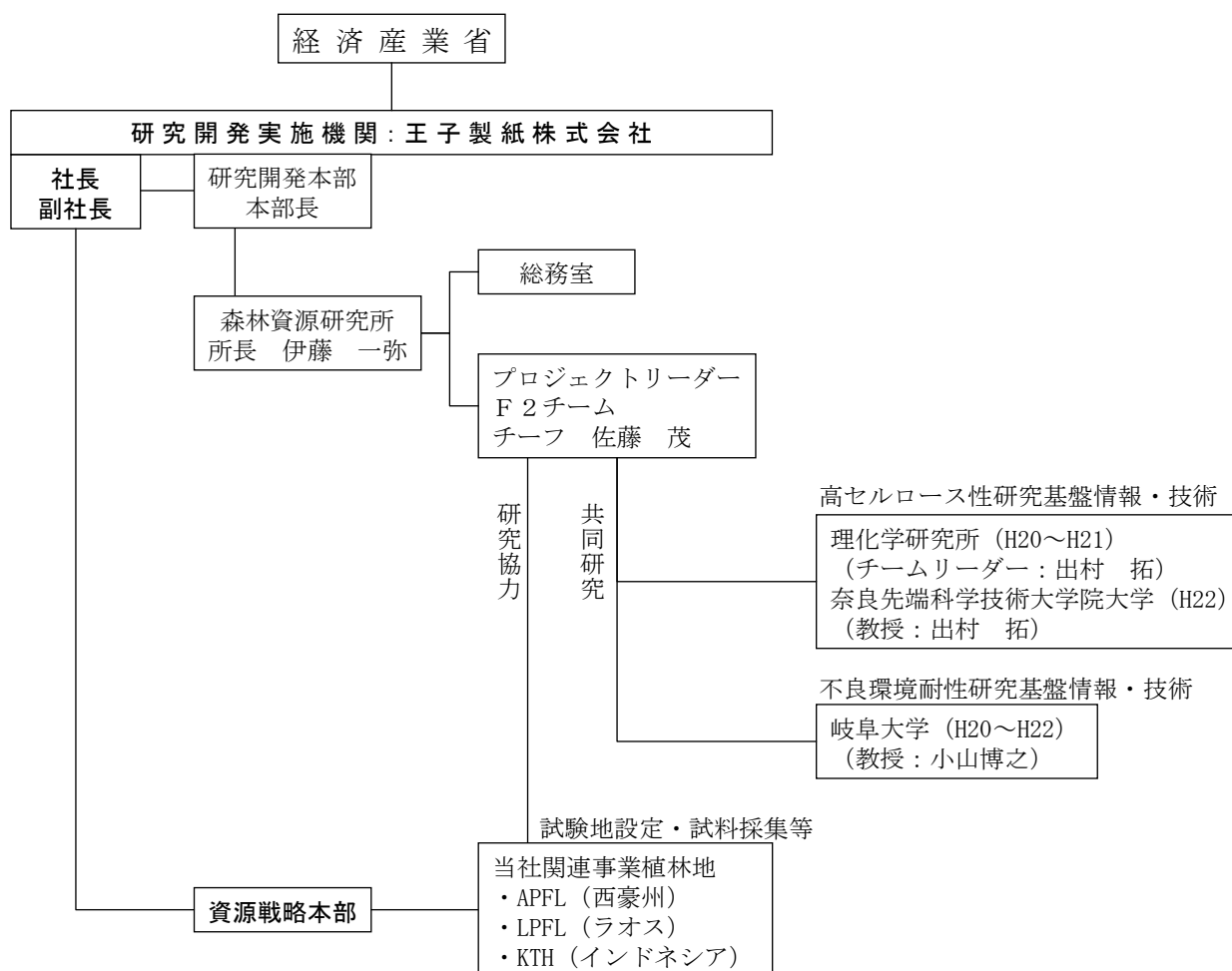
本研究開発では、高セルロース性と不良環境耐性について、バイオマーカー開発および組換えユーカリ作出を行う計画であった。そのため、高セルロース性と不良環境耐性に関する生理学的・分子生物学的な基盤情報が必要とされた。また、それらに関する分析技術も必要とされた。それらの情報や技術は、実施機関独自で実施するよりも、大学等の公的研究機関から導入・習得することが、質・量のレベルで優れており、期間が限定されているプロジェクトにおいては効率的でもある。また、研究開発における成果内容に関して、学術的側面からの指導・助言をいただく必要もあった。そこで、高セルロース性に関しては、細胞壁研究分野で世界的に評価の高い出村先生との共同研究を実施した。また、不良環境耐性に関しては、世界的に評価の高い小山先生との共同研究を実施した。

共同研究では、目標達成のために両先生方との連携を密に取りながら実施した。具体的には、毎年度の研究開始前と終了時の打合せに加え、期中に複数回（平均 3 回／年）に渡って互いの研究室にて中間打合せを行った。また、実施機関（森林資源研究所）の研究者を両先生の研究室に出張させ、実際に実験を実施しながらその結果について議論を行うこともあった。このような連携の中で、両先生方から研究に対しての貴重なコメントや助言をいただけたと同時に、学術レベルの最新情報等にも触れることができ、結果の解釈や研究の進め方等の良い参考となった。その結果、目的としていた基盤情報収集や分析技術習得ができ、有用なバイオマーカー開発と不良環境耐性組換えユーカリ創出を達成できた。

本研究開発の用いたユーカリ試料の提供や実証試験のための試験地の設定等につい

ては、西豪州、ラオス、インドネシアの実施機関関連の植林会社の協力を得て行った。植林事業現場での実証試験を行えたことで、事業地のユーカリデータ収集、運用ノウハウ習得等でき、本事業期間後に実用化へ速やかに移行できる基盤と体制を整えることができた。

図表 3 2 研究開発実施体制



本事業によって得られた成果・知的財産などを周知するため、論文・学会・シンポジウム・研究会での発表を、事業開始から３年半の間に計１３件、特許出願を８件行った。長期を要する樹木の研究であり、研究着手から３年半の期間であることを考えると、多くの学術発表ができたと考えている。研究開発の成果を踏まえて、学術論文としての内容を整えている状態のため、事業期間後には学会発表のみならず論文発表もさら増えていく見通しである。

一方、森林資源研究所への外部からの来客者（年間約６０組３００人以上訪問）に対して、本事業の内容および成果について説明を行った。来客者の中には、分析会社等も含まれており、本事業成果利用（技術ライセンスの可能性）についての質問も既に受けている。

本事業の成果の利用主体は、自社（植林会社）が筆頭に挙げられる。自社での成果利用、具体的には「植林現場でのサンプル採集→森林資源研究所にて分析→結果連絡→事業への反映」のシステム構築に向け、研究サンプル（ユーカリ植林木）採集での出張時に、現地の研究スタッフおよび事業経営層への技術周知説明（豪州・ラオス・インドネシア）を複数回行っている。これらの周知活動により、平成 22 年度には植林地にて実証試験用の試験地設定を（豪州・ラオス）進めることができ、また平成 23 年度には、事業植林地のユーカリ植林木を用いて、技術の事業利用を試験的に開始することもできた。これら試験地での実証試験および事業利用試験において、技術の効果を証明した後には、他社への技術紹介や分析会社への技術ライセンスを積極的に進める方針である。

5-3-B 資金配分

本事業資金の年度配分と各要素技術開発への内部配分は、以下の通りである。

図表 3 3 資金年度配分 (単位：百万円)

年度 平成	2 0	2 1	2 2	2 3	合計
SNP バイオマーカー	25.4	37.8	48.0	29.5	140.7
転写物バイオマーカー	5.7	8.9	6.2	14.2	35.0
代謝物バイオマーカー	37.2	17.7	12.2	14.9	82.0
不良環境耐性ユーカリ	8.6	12.5	8.6	8.0	37.7
合計	76.9	76.9	75	66.6	295.4

平成 23 年度は見込み額

資金総額約 295.4 百万により、最終年度までの 4 カ年で（１）高セルロース樹木探索育成方法（バイオマーカー）に関する技術開発および（２）不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発に取り組んできた。その結果、目標とした各要素技術開発を達成し、高セルロース（高生長性）優良ユーカリの特定や不良環境耐性組換えユーカリ創出に成功した。また、多数の特許出願、論文、学会発表等の成果も収めることができた。このような成果および事業運営の結果より、資金総額とその内部配分は妥当であったと考えている。

SNP バイオマーカー開発研究は、遺伝子配列および SNP の存在位置と遺伝子型等の基盤情報を、時間を掛け網羅的かつ大量に収集し続けなければ解析ができない。この情報収集には、実験機器を整えることと実験に必要な高価な試薬・消耗品を大量に使用することが必要なため、プロジェクト期間全般を通じて資金を配分した。具体的には、平成 20 年度は分析機器の購入・整備に重点的に資金を配分した。また、プロジェクト 2 年目以降（平成 21～23 年度）は、次世代シーケンサと呼ばれる超高速遺伝子配列解読機器による受託分析サービスシステムが整ったこともあり、その委託も含めた基盤

情報収集に重点的に資金を配分した。同期間に並行して、得られた基盤情報からマーカ―を特定するために必要な遺伝子型決定（ジェノタイプング）用の機器購入（平成22年度）およびその試薬消耗品購入にも重点的に資金を配分した。

転写物バイオマーカー開発研究では、プロジェクト開始時には解析機器（マイクロアレイスキャナ等の網羅的転写物情報収集実験機器）を既に所有していたため、試薬消耗品の購入に資金を配分した。平成23年度は、転写物バイオマーカーの実証試験や SNP バイオマーカー開発のための情報収集のためにマイクロアレイ実験が増加すること、また機器が老朽化し故障時に修理不能であったため、実験機器購入と実験ツール（マイクロアレイスライド）の作製委託に資金を配分した。

代謝物バイオマーカーでは、平成20年度および21年度にかけて、分析機器の購入・整備に重点的に資金を配分した。その後は、主として試薬消耗品の購入やユーカリ試料の採集・試験地設定のための海外出張旅費に資金を配分した。

一方、不良環境耐性組換え樹木創出に関する技術開発では、主として培養に関する試薬・消耗品の購入および温室維持・整備に重点的に資金を配分した。

5-4-B 費用対効果

マーカで探索・育成された高セルロース性ユーカリ木や不良環境耐性組換えユーカリ木を植林地に植栽し、10年後に伐採して樹幹をバイオエタノール変換に使用した場合、以下の試算のような(1)セルロース・エタノール量増産および(2)省エネルギー効果が期待できる。また、(3)に事業での補助金費用に対する成果の効果を試算した。

(1) セルロース・エタノール量増産

試算は、A) マーカで探索・育成された高セルロース性ユーカリ木を現状で植林事業が可能な土地に植栽した場合と、B) 不良環境耐性ユーカリ木を現状では植林事業が困難な不良環境地に植栽した場合の2ケースを想定して行った。

A) 現状で植林事業が可能な土地での効果

パルプ生産性診断SNPマーカで選抜したユーカリ優良木を10年伐期の植林事業地1万haに植栽した場合、平均年間材積生長量(MAI)を現状(10m³/ha/年)¹²⁾のままで試算しても、以下のような効果が期待できる。

●セルロース量(パルプ生産量)

パルプ生産性診断SNPマーカでは、パルプ量平均347kg/m³のユーカリ・グロブラス優良木を探索可能である。この優良木は、実生林の平均287kg/m³と比べてセルロースを60kg/m³増産できる。したがって、伐採時の樹幹セルロースの増産量は以下の計算になる。

$$\begin{aligned}\text{伐採時樹幹セルロース増加量} &= 60 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 10 \text{ (m}^3\text{/ha/年)} \times 10 \text{ (年)} \times 1 \text{ 万 (ha)} \\ &= \boxed{6 \text{ 万トン} \cdots (1)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 \text{ 固定増加量} &= 6 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.44 \text{ (セルロース(C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_n \text{ 中の C 量 72/セルロース分子量 162)} \\ &= \boxed{2.64 \text{ 万トン}}\end{aligned}$$

以上の計算から、本プロジェクト成果により、2.4万トンのCO₂固定量増加による伐採時の樹幹セルロース6万トンの増産が見込める。

●エタノール生産(転換)については、NEDOプロセス¹³⁾に基づき糖収率(エタノール発酵の基質である単糖の回収率)を0.9、発酵率(エタノール発酵で回収できる率)を0.9、エタノール変換理論値(1分子グルコース(分子量:180)から2分子のエタノール(分子量:46)ができる:(46×2=92)/180=0.511)を0.511とする。

$$\begin{aligned}\text{エタノール増産量} &= \text{セルロース増加量 (1)} \times 0.9 \times 0.9 \times 0.511 \\ &= 6 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.9 \times 0.9 \times 0.511 \\ &= \boxed{2.48 \text{ 万トン}}\end{aligned}$$

エタノールの比重からエタノール容積換算係数を1.25(kL/トン)とすると、

$$\begin{aligned}\text{エタノール増産量} &= 2.48 \text{ 万 (トン/年)} \times 1.25 \\ &= \boxed{3.1 \text{ 万 kL} \cdots (2)}\end{aligned}$$

エタノールー原油変換率を0.64(原油換算トン(toe)/トン)¹⁴⁾、1.08(原油換

算 kL/toe)¹⁵⁾ とすると、

$$\begin{aligned}\text{エタノール増産量原油換算} &= 2.48 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.64 \times 1.08 \\ &= \boxed{1.7 \text{ 万 (原油換算 kL)} \cdots (3)}\end{aligned}$$

以上の計算から、本プロジェクト成果により増加した樹幹セルロースから、約 2.48 万トン = 3.1 万 kL のエタノールが見込める。これは 1.7 万 (原油換算 kL) に相当する。

B) 現状では植林事業が困難な不良環境地での効果

●不良環境地である酸性 AI 土地や乾燥 (年間降水量<500mm)・塩害地での平均的な年材積生長量は、7 m³/ha/年以下であり、事業としては成立しない。そのため、実質は生長量ゼロと見なすことができる。一方、事業として成立する最低限の平均的な年材積生長量は、10 m³/ha/年程度である (当社植林地実測)。本プロジェクト成果である不良環境耐性組換えユーカリは、現状で最大約 30%の生長性 (樹高) が増加しているため、不良環境条件下でも平均年材積生長量 10 m³/ha/年を得られることが強く期待できる。この場合の事業効果は、以下のように算出される。なお、生長性増加以外の容積重およびセルロース含量での事業効果は含めていない。

●1 万 ha の新規植林を実施、10 年伐期と仮定する。

・開発樹木

$$\begin{aligned}\text{伐採時樹幹バイオマス量} &= 1 \text{ 万 (ha)} \times 10 \text{ (m}^3/\text{ha/年)} \times 10 \text{ (年)} \times 500 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 50 \text{ 万 (トン/年)} \cdots (4)\end{aligned}$$

●セルロース含量は平均的な 47%を見込む¹⁶⁾。

伐採時樹幹セルロース増加量

$$\begin{aligned}&= \text{伐採時樹幹バイオマス量 (4)} \times 0.47 = 50 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.47 \\ &= \boxed{23.5 \text{ 万トン}} \cdots (5)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 \text{ 固定増加量} &= 23.5 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.44 \text{ (セルロース中の C 量 72/セルロース分子量 180)} \\ &= \boxed{10.34 \text{ 万トン}}\end{aligned}$$

以上の計算から、本プロジェクト成果により、不良環境地での 9.4 万トンの CO₂ 固定量増加による樹幹セルロース 23.5 万トンの増産が見込める。

$$\begin{aligned}\text{●樹幹由来エタノール増産量} &= \text{樹幹セルロース量 (5)} \times 0.9 \times 0.9 \times 0.511 \\ &= 23.5 \text{ 万 (トン/年)} \times 0.9 \times 0.9 \times 0.511 \\ &\doteq \boxed{9.7 \text{ 万トン}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{エタノール増産量} &= 9.7 \text{ 万トン/年} \times 1.25 \\ &\doteq \boxed{12.1 \text{ 万 kL}} \cdots (6)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{エタノール増産量原油換算} &= 9.7 \text{ 万トン} \times 0.64 \times 1.08 \\ &\doteq \boxed{6.7 \text{ 万 (原油換算 kL)}} \cdots (7)\end{aligned}$$

以上の計算から、本プロジェクト成果により増加した不良環境地での樹幹セルロースから、約 9.7 万トン = 12.1 万 kL のエタノールが見込める。これは 6.7 万 (原油換算 kL) に相当する。

以上の効果をまとめると、10年伐期の植林事業をA) 現在植林事業が可能な土地1万haとB) 現在植林事業が困難な不良環境地1万ha、合計2万haで行った場合、伐期時（植栽10年後）に樹幹から(2) + (6) = 3.1万 + 12.1万 = 15.2万 kL… (8) のエタノール増産が見込まれ、原油換算では(3) + (7) = 1.7万 + 6.7万 = 8.4万（原油換算 kL）… (9) 相当の増産が見込まれる。

(2) 省エネルギー効果（投入エネルギーを差し引いたエネルギー取得量）

エタノール転換に必要な投入エネルギー量は、NEDO プロセスによる以下の数値に基づいて求めた。

NEDO プロセスによるエタノール転換に係る投入エネルギー量は、1,923 kcal/L エタノール（副生リグニン全量を電力と熱に変換利用）¹⁷⁾、 1.08×10^{-7} 原油換算 kL/kcal¹⁵⁾ である。これを国際単位系（S I）のジュールで表すと（1 カロリー = 4.1868 ジュール）、それぞれ約 8,051 kJ/L エタノール、 2.58×10^{-8} 原油換算 kL/kJ となる。エタノール転換投入エネルギー量は以下の計算から求められる。

$$\text{エタノール転換投入エネルギー量} = \text{合計エタノール増産量 (8)} \times 8,051 \times 10^3 \times 2.58 \times 10^{-8}$$

$$= 15.2 \text{ 万 (kL/年)} \times 8,051 \times 10^3 \times 2.58 \times 10^{-8}$$

$$\div 3.2 \text{ 万 (原油換算 kL)} \cdots (10)$$

したがって、トータルなエネルギー取得量は以下の式から求められる。

$$\text{エネルギー取得量} = \text{合計エタノール増産量 (原油換算 kL/年) (9)} - \text{エタノール転換投入エネルギー量 (原油換算 kL/年) (10)}$$

$$= 8.4 \text{ 万} - 3.2 \text{ 万}$$

$$= 5.2 \text{ 万 (原油換算 kL)} \cdots (11) \text{ である。}$$

以上のように、本プロジェクトの成果について、A) 現在植林事業が可能な土地1万haとB) 現在植林事業が困難な不良環境地1万ha、合計2万haで10年伐期の植林事業に適用した場合、伐期時（植林10年後）の省エネルギー効果は5.2万（原油換算 kL）と試算される。

(3) 費用対効果

本事業の4年間補助金合計約2.954（億円）を基に、費用対効果を試算した。

①省エネ量（kL）(29) / 事業に要する費用（億円）

$$= 5.2 \text{ 万 (原油換算 kL/年)} \div \text{補助金合計 2.954 (億円)}$$

$$\div 1.76 \text{ 万 (原油換算 kL/億円)}$$

②事業に要する経費（円） / （省エネ（kL） × @ 25,000（円/kL））

$$= 2.954 \text{ 億 (円)} \div (5.2 \text{ 万 (原油換算 kL)} \times @ 25,000 \text{ (円/kL)})$$

$$= 2.954 \text{ 億 (円)} \div 1.3 \text{ 億 (円)}$$

≡ 0. 23年

上記試算結果から、マーカーで選抜された高セルロースユーカリおよび不良環境耐性組換えユーカリを事業植林した場合、10年後の伐採時に事業費用を0. 23年で回収できることが期待される。また、短期間で費用回収が期待されることから、本事業へ投入された資源量に見合った成果及び波及効果が獲得できたと考えられる。

5-5-B 変化への対応

(1) ユーカリ全ゲノム解読プロジェクトへの対応

平成23年1月に、米国JGI (Joint Genome Initiative) よりユーカリ・グランディスの全ゲノム配列情報が公開された (<http://www.phytozome.net/>)。同機関は、引き続きユーカリ・グロブラスの全ゲノム配列解読を進めているとの発表であったため、本事業の研究開発過程で得られた成果であるグロブラス遺伝子配列 (EST) データベース (データ量は100万種の遺伝子断片配列情報) を、全ゲノム配列解読の基盤情報として役立ててもらうため公開・供与した。その貢献により、平成23年6月に開催された国際学会「Tree Biotechnology 2011」(国際森林研究機関連合 IUFRO の樹木分子生物分科会主催) のサテライトミーティング「EUCAGEN, Eucalyptus Genome Workshop」の席上にて謝意が述べられた。

公開された全ゲノム配列情報を本事業に活用するため、研究実施体制 (チーム内での研究担当の交代等)・機器整備 (計算機設置等)、技術 (生物情報処理技術等) 習得を実施し、実施機関内で独自に解析可能な技術を習得し体制を整えた。それにより、SNP マーカー開発が加速化され、開発項目・数を目標以上に達成できた。

(2) カルタヘナ議定書の第5回締約国会議 (COP-MOP 5) への対応

平成22年10月に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議 (COP 10) に先立ち、遺伝子組換え体の取扱を定めた「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」(以下、「カルタヘナ議定書」という。) の第5回締約国会議 (COP-MOP 5) が開催された。本会議にて、長年の懸案であったカルタヘナ議定書「責任と救済」(遺伝子組換え生物 (LMO) の国境を越える移動により、生物多様性及び持続可能な利用に損害が生じた場合の責任と救済に関して、締約国が講ずるべき措置を規定するもの) に関し、「バイオセーフティに関するカルタヘナ議定書の責任及び救済についての名古屋・クアラルンプール補足議定書」が全会一致で採択された。これにより、組換え体利用に関する大きな懸案が取り除かれたため、事業利用への可能性がさらに高まった。

そこで、当初は国内にて本事業成果物の組換え体の野外安全性評価試験を実施する方針であったが、海外で実施する方針を変更した。海外実施のための情報収集等を行った結果、日本の公的研究機関とベトナムの公的研究機関との共同体制を構築する計画を立案することができた。本事業後に速やかに野外試験へ移行できるよう、契約等に関わる作業を進めている。

引用文献

- 1) Seki et al., (2005) Nature Genet., 37: 607-12.
- 2) 特開 2007-6836 「MMP-1 遺伝子の SNP を用いた口腔癌の検査方法」
- 3) Jeng et al., (2008) Medicine (Baltimore), 87: 87-98.
- 4) Kaxman et al., (2008) Cancer Res., 68: 645-649.
- 5) Kellert et al., (2008) Chem Res Toxicol., 21: 761-768.
- 6) Thumma et al., (2005) Genetics, 171: 1257-1265.
- 7) González-Martínez et al., (2007) Genetics, 175: 399-409.
- 8) Monthly Jica (2008) January 022 「地球温暖化の影響」
- 9) Shigeru Sato, (2005) Bio Industry, 22: 39-44.
- 10) Kihara et al., (2003) Plant Cell Physiol., 44: 901-908.
- 11) Magalhaes et al., (2007). Nature Genet., 39: 1156-1161
- 12) Ugalde L. and Pérez O. (2001) FAO Forestry Department Working Paper FP/1. p5
- 13) バイオエネルギー高効率転換技術開発／セルロース系バイオマスを原料とする新規な発酵技術等による燃料用エタノールを製造する技術の開発、平成 17 年度成果報告書、NEDO
- 14) 欧州委員会 http://ec.europa.eu/index_en.htm
- 15) 総合エネルギー統計 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編
- 16) Hills W.E. (1978) In: Hills W.E. and Brown A.G. (ed.) Eucalypts for wood production. CSIRO. p259
- 17) 山田富明 (2007) バイオ液体燃料 エヌ・ティー・エス p91

第 4 章 技術に関する施策評価

第4章 技術に関する施策評価

1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性

地球温暖化は徐々に進行しているとみられており、地球温暖化を抑止することを目的としたCO₂の排出削減およびCO₂固定化技術の確立は、我が国を含め世界各国が達成すべき共通の目標となっている。日本の国際社会における責任を果たす意味でも新しい事業や産業を創出するためにも、CO₂固定化・有効利用分野の技術開発は重要であり、施策の目的は明かである。

再生可能エネルギー、省エネルギーなどの技術と異なり、CO₂固定化技術は、それ自体でコスト削減などの直接的な経済価値を生まない。排出量取引や炭素税など、CO₂排出削減自体に経済価値を付ける世界的枠組みが無いなかでは、国が率先して研究・開発に資金を投じるのは合理的な理由がある。

一方、東日本大震災の影響は非常に大きなものであり、福島第1原子力発電所の事故を契機とする電力供給における原子力発電比率の低下は少なくとも短期的には天然ガス等の化石燃料の消費を増やし、CO₂の排出量を増加させると見られている。この変化を考えると、CO₂固定化技術開発も既存の仕組みで個別施策を推進していくのではなく、省庁横断的な施策として取り組み、施策の実施の効率を向上し、かつ加速させていく必要性を感じる。

また、本技術開発は、海外展開も見据え、国としての実力や収益力を高めるための方策も常に盛り込むことが大切であり、開発に長期間を要するプロジェクトでは、国際競争を意識した事業としてのスピード感やタイミングの取り方がとりわけ重要である。

【肯定的意見】

○地球温暖化は徐々に進行しており、温暖化の影響は日本においても時間100mmを超える集中豪雨などによる洪水が頻繁に見られるようになり、誰もが地球温暖化の影響を実感できるとともに、異常気象による災害リスクも以前に比べて格段に高くなってきている。さらには、海外においてもヒマラヤにおける氷河湖決壊による洪水、モンゴル地区における砂漠の拡大、アフリカにおける干ばつ地域の拡大、近年においてはタイの未曾有の洪水など、過去に比べて異常気象の数が格段に増すとともに様々な被害を人々に与えはじめている。海外の災害も人ごとではなく、タイにおける水害が現地の日本企業に大きなダメージを与えたことも記憶に新しい。さらには、3.11の東北大震災による福島原発事故は原子力政策の見直しを迫り、電力供給における原子力発電比率の低下は短期的には天然ガス等の化石燃料の消費を増やし、逆にCO₂の排出量を増やすという結果を

引き起こしている。このような環境を鑑みても、日本国内におけるニーズだけでなく、日本の国際社会における責任を果たす意味でもCO₂の削減は待ったなしの状況であり、CO₂削減に関する取り組みはより加速され取り組まなくてはならない課題として、これまで以上に重要性が増してきている。

○地球温暖化と二酸化炭素削減は国際的に認知された課題となっており、政策的な裏付け（地球温暖化対策基本法案）も成されていることから、当該施策の目的の妥当性は明らかである。

○施策の目的などは、よく具体化されている。技術的課題の整理も十分なされている。温暖化対策は世界的に重要な課題であり、政策としての重要度は極めて高い。

○京都議定書はわが国が不参加の形で第2約束期間の設定に向け動き出したが、その先の新たな国際的な枠組みは見えない。ただ、先進国の間では2050年に60～80%を削減するという長期目標でコンセンサスがある。その先鞭となった「2050年に半減」は、わが国が率先して打ち出した目標であり、かつ技術立国を標榜するなら、技術の力でCO₂を大幅に減らす革新を世界に先駆けて実用化すべきである。実現し得る現実的な可能性としては、技術戦略マップで示した、原子力、再生可能エネルギー、CCSの3つであることに議論の余地は無い。その意味で、「CO₂固定化・有効利用分野技術」に関して広くリサーチし、その実現可能性や産業競争力の視点から、要素技術を洗い出し、研究・開発を支援する技術政策の方向性は的を射たものであろう。福島第一原発の事故により、原発の拡大が難しくなるなか、CCSへの期待、重要性はますます高まっており、CO₂固定化に早くから着目し、実証プロジェクトにつなげてきた技術施策の先見性は、高く評価すべきである。

○CO₂固定化分野の中でも、CCSは地球全体のCO₂排出量の大幅削減を可能とする革新的技術と位置づけられているが、今後のCCS実証に向けては多くの課題も存在する。これら課題の克服さらには潜在する課題を明らかにするためには、国の関与の必要性は極めて高い。

○目的を達成するために段階的に解決すべき課題の内容と時期が明確に示されている。CCSは何かを生み出す技術ではないし、炭素税のような二酸化炭素排出の抑制を誘導する仕組みがない現状では、CCSの技術開発を民間企業が自主的に行うことは考えにくい。よって、国として取り組む必要があることは明らかである。

○CCSはCO₂の大気中への排出削減において、重要な手段であり、その実現は喫緊の課題である。一方で、民間企業のインセンティブの働かない課題であることから、国が主導すべき課題であり、本施策は妥当と考える。

○費用と収益の面から民間企業が単独で取り組むことは不可能である。欧米諸国でも大規模な温暖化防止対策事業には国が支援を行うのが通常である。経済産業省が二酸化炭素削減のための事業を支援するのは、当然と思われる。また、バイオ技術活用の二酸化炭素大規模固定化技術開発では関係省庁との連携も十分採られている。

○再生可能エネルギーや原子力、省エネと違い、CO₂ 固定は、それ自体、コスト削減など経済価値を生まない。排出量取引や炭素税など、CO₂ 排出削減自体に価格を付ける政策が無いなか、国が率先して、研究・開発に資金を投じるのは、合理的な理由がある。

○地球温暖化を抑止することを目的とした二酸化炭素の排出削減および固定化技術の確立は、我が国を含め世界各国が達成すべき共通の目標である。これを実現するために設定された施策においては、取り組むべき技術的課題や各々の課題が達成すべき目標も具体的に示されている。

○個々の技術的な目標を達成すべき時期についてもロードマップ等により明示されている。難易度の高い技術の開発、或いはその取り組みに相当程度の経済的、社会的リスクを伴う技術開発を実施することになるので、国および経済産業省の施策として取り組むことに疑問の余地はなく、全体として本施策の目的は妥当であると考えられる。

○CO₂ 排出削減に関する技術ニーズを網羅し、そこから可能性のあるシーズを挙げ、その検証・実証・実用を段階的に進め、各段階で評価を加えて、テーマを選別する実施法は正しい。いずれも国の関与が必要であり、商用性に応じて事業者の負担を求めることも、事業性の確認と開発加速に適切である。

【問題点・改善すべき点】

●3. 11 の影響は非常に大きなものであり、代替エネルギーによる CO₂ 増加への対応は本施策の重要性をさらに引き上げたと考えられる。この変化を考えると、これまでの経済産業省を中心とした取り組みの中で他省庁との連携を図るという従来の構造では、期待したスピードがだせず変化に対する対応が不十分なまま推進される可能性も否めない。既存の仕組みでの推進方法を見直し、省庁横断的な施策として予算、体制をとり施策のスピードを国民ニーズの沿うように加速させていく必要性を感じる。

●低炭素社会の実現に向けて、CCSの革新的技術には期待しているところであるが、コストの低減や地層の選定など多くの難しい課題を克服していくことが必要であるため、国が主導する大規模な実証試験を積極的に推進していくことが必要である。

●平成 21 年度の評価報告書にも指摘があるように、大きな目標を達成するために省庁間の有機的な連携が図られた様子が評価用資料からは伺えないことから、今後の検討課題として頂きたい。

●短期の目標として「6 %の温室効果ガス削減」の内容と「2008～2012 年」という時期が示されているが、期限に達しているにも拘わらず、CCS によって目標を達成するにはほど遠いのが現状である。実態に合わせて内容を修正する必要があるのではないかと。検討会での意見にもあったが、新規に計画されている発電プラントでは地中貯留と組み合わせることが必須の条件になりつつある。これは地中貯留技術がなければ発電プラントを輸出できなくなることを意味する。このことから、発電プラント輸出産業の活性化という観点から地中貯留の技術開発を行うことも施策の目的の一つになるのではない

か。

- 大きく変化する世界の状態に追随して、国としての実力、収益力を高めるための方策について常に考え、盛り込むことが大切。特に、開発実施に長期を要するプロジェクトでは、世界競争における時期感覚を研ぎ澄ますことが、とりわけ必要である。
- 将来の海外展開も見据えた、波及効果の測定も行って欲しい。温暖化が世界規模の問題である以上、海外に技術を展開する必要があるのは間違いない。その点も是非視野に入れて欲しい。
- 低炭素化社会の実現のために、CCS レディ（新設の火力発電所が CCS を行うことを義務付ける仕組み）のような法的措置の導入が必要と考える。
- これまで日本政府の環境・エネルギー政策の中で、CO₂固定化、なかでも CCS がどんな位置付けになるのか、まったく見えなかった。技術施策と環境エネルギー政策に完全な整合が取れている必要はないものの、将来の選択肢の1つとして、温暖化政策と技術政策の関連性を示す必要はあろう。日本政府は、国内的には原子力、対外的には2国間クレジット制度をCO₂大幅削減の主軸に据えてきた。原発事故に伴い、再生可能エネルギーの促進がうたわれているが、CCS については国内外でどんな形で日本の技術が生かされる可能性があるのかが、現段階では不透明だ。CCS はCO₂削減の最後の手段とも言える手法だが、炭素税や排出量取引などCO₂削減を経済価値に変える施策を打てば、民間企業の経済合理性のなかで、導入が進む可能性はある。今後のエネルギー・環境政策の見直しのなかで、ある程度、CCS 技術が生かされる可能性の筋道を示すべきだろう。
- 大規模植林による地上隔離に関しても、REDD（森林の減少・劣化抑制による排出削減）やバイオマスの大規模な利用など、国際的に近い考え方が出てきているが、日本として温暖化対策にどんな形で生かそうしているのか見えない。

2. 施策の構造及び目的実現見通しの妥当性

「CO₂ 固定化・有効利用技術」の分野についてロジックツリーで分かりやすく整理しており、幅広い検討や調査、基礎的な研究などを経て漏れのない網羅的な技術探索、絞り込みができている点は評価できる。各プロジェクトの戦略への貢献も非常に分かりやすくなっており、地中貯留やバイオエタノール化に適した樹木の効率的植林技術など、必要かつ実現性の高い事業が選択されており、実用化に向けた工程にも無理がないと評価できる。

一方で、2020 年以降に CO₂ 地中貯留を本格適用するには、現在の取り組みだけでは不十分と考える。CCS の開発・導入目標を達成するための克服すべき課題（安全性評価、社会的受容性、コストなど）について早期に整理しておくことが必要である。CCS の商用化については、国内展開に固定するのか、海外へ展開していくのか、将来の展望についても示すことが必要である。すでに、海外では複数の CCS 事業の実施や計画が持ち上がるなど、CCS の温暖化対策、産業技術としての重要性は急速に高まっているため、競争を考えればより前倒しで進める必要も考えられる。

また、原理的に可能であるが、成果達成のためのブレークスルーがまだできていない研究開発テーマも重要であり、このような技術をいかに前進させるかを、国として取り組むことも重要である。

【肯定的意見】

○施策を実現するためのプロジェクト（事業）は技術ロードマップをもとに展開され、切り出され、戦略の実現との明確な関係性を持ちながら実施されているのでプロジェクトの戦略への貢献が非常に分かりやすくなっており、プロジェクトの優先度などプロジェクト間の予算配分を合理的に行いやすく、とてもよい取り組み方ができていると言える。

また、各プロジェクトにおいてはプロジェクトの成果として期待するアウトプット・アウトカムを意識した取り組みが行われていることで、これまで以上に期待した成果が出しやすくなっていると考えられる。

○CO₂固定化・有効利用分野における目指すべき技術目標が、ロジックツリーで分かりやすく整理され、それぞれのプロジェクトの関係性が明確になっている点は評価できる。

○世界各地でCCSの実証試験が進められている現状で、日本としても実証試験に着手することは至って当然である。地中貯留やバイオエタノール化に適した樹木の効率的植林技術など、必要かつ実現性の高い事業が選択されている。

○解決すべき各々の技術課題に対する適切な事業が合目的・効率的に配置されており、現時点では十分な成果が得られているものと判断できる。

○CCS の実証試験とバイオ技術活用型 CO₂ 大規模固定化の 2 つのプロジェクトに至るま

で、「CO₂固定化・有効利用技術」に関し、幅広い検討やリサーチ、基礎的な研究などを経ており、漏れのない網羅的な技術探索、絞込みができている点は評価できる。なかでも将来の必要性和重要性が見えてきた CCS に関しては、国の研究機関による基礎的な実証を経て、民間出資企業に委託した規模の大きい実証プロジェクトに進んでおり、その知見も引き継がれている。実用化に向けた無理のない、プロセスであると評価できる。○CCS は国内で実施されるべきであり、そのために、国内において CO₂ の分離・回収から地中貯留までを実証する試験は必要であり、本施策は妥当と考える。

○配置された技術開発事業は妥当であり、その選択も概ね妥当である。成果も大概妥当である。

○現時点での成果は妥当と判断される。また、プロジェクトの配置も予算内では適切である。

【問題点・改善すべき点】

●期待する各プロジェクトのアウトプット、アウトカムの内容は明らかになってきたことは進歩であるが、その効果が定性的な評価にとどまっている。限られた予算の中で優先度を決めていくことを考えて、プロジェクトを横断して評価できる定量的なアウトカムを意識した、ある程度の納得感のある評価方法の確立を整備する必要があると思われる。

●技術ロードマップでは、2020年頃のCCS本格適用が示されているが、このCCS開発・導入目標を達成するためには、多くの難しい課題を克服していくことが必要である。CCS に対する課題を認識するうえでも、克服すべき課題について整理しておくことが必要ではないか。

●CCSの商用化について、国内で展開していくのか、海外で展開していくのか、将来の展望についても示すことが必要ではないか。

●地中貯留の実証試験を行うためには、事前の安全性評価が不可欠である。にもかかわらず実証試験と安全性評価が独立した2つの事業として配置されているのは奇妙である。しかも、安全性評価事業の開始が、実証試験事業の後から始まっているのも奇妙である。そのような誤解を生まない工夫がいるのではないか。

●核廃棄物の地層処分では、法規制をクリアすることはもちろんながら、それよりも社会受容を得ることが遙かにハードルが高くて難しいことが明らかとなっている。このことから、同種の課題である地中貯留の可否も、社会受容に大きく左右されることは間違いないであろう。この意味で、社会受容の醸成という課題は、技術開発に匹敵するレベルで重要である。もちろん両者では課題の性格が大きく異なるので並列にはならないだろうが、社会受容の醸成という課題をより大きく取り上げる必要があるのではないか。現状の計画では、社会受容の醸成が地中貯留の実証試験の中に含まれている。むしろ実証試験にあたっては実施地域の了解を得ることは当然必要なことであるが、その場合に

は地域にもたらす経済効果も考慮されるであろうし、上項に述べた意味での社会受容の醸成とは性格が大分異なる。このため、上項に述べた意味での社会受容の醸成に対しては、事業主だけではなく、もっと国が前面に出て実施すべきと考える。

●2020 年以降に CO₂ 地中貯留を本格適用するには、現在の取り組みだけでは不十分と考える。年間に地中貯留されるべき CO₂ の目標値の明示が困難としても、少なくとも国内で年間 1000 万トン地中貯留しなければ CCS を実施する意味がない。それを可能ならしめる方策をオプションとして用意すべきと考える。例えば、苫小牧地点で実証試験を行いつつ、経済的に可能な大規模貯留サイトの候補地を今から選定する作業も同時に、精力的に進めるべきである。また、CO₂ の輸送技術（パイプラインや船舶輸送）についても実証する必要があると考える。

●シーズが充分でない技術を取り進めることは妥当である。原理的に可能であるが、成果達成のためのブレークスルーができていないテーマについて、いかに前進させられるかを、国として組織的に考えて欲しい。

●先進国は、2050 年に CO₂ を 60～80%削減する長期目標を打ち出している一方、海外では EOR（石油回収増進）用など複数の CCS 事業の実施や計画が持ち上がるなど、CCS の温暖化対策、産業技術としての重要性は急速に高まっている。2020 年に本格適用といういまのスケジュールでは、出遅れてしまう可能性もある。より前倒しで進める必要がある。

3. 総合評価

CO₂ 固定化・有効利用分野における施策として、大規模排出源からの CO₂ 排出削減技術と大気中の CO₂ 低減技術に分け、それぞれ網羅的リサーチを経て最も重要と考えられる施策について国がインセンティブを与えており、概ね妥当と考えられる。

現在 CO₂ は、一部ではクレジットとして取引されており、CO₂ を削減することのインセンティブは一定程度あるものの、CO₂ 固定化・有効利用技術開発には多大な開発コストと長期の開発期間を必要とするために民間企業が単独で取り組むことは難しく、欧米諸国でも国の援助を得て、事業化への試みが実施されているのが現状となっている。しかし、将来 CO₂ に価格がついた時点などでは、開発された技術により民間企業が事業実施に踏み切ることが可能になり、中国、インドなどの CO₂ 排出量の多い新興国への展開も期待されるため、当該分野の技術は日本として是非とも競争力を確保したい次世代技術である。

現状の温暖化政策の枠組みでは金銭価値を生まない CO₂ 固定化技術を、国が率先して資金を投じて、優れた要素技術を蓄積しておく意義は極めて大きい。

一方、今後、本施策が実証ステージに近づくにつれ、予算規模も大きくなり実施リスクへの対応がより重要となってくる。今後は、技術リスクだけでなく、プロジェクト遂行に関わる実施リスクをも考慮した計画や推進ができる取り組みを考える必要がある。このためには、技術開発途中でも民間や国際資金を積極的に取り込む発想も持つ必要がある。勿論、技術知財の核を維持することが前提であるが、その上で事業を想定して技術開発に取り組むことが肝要である。一方、CCS等のCO₂固定化技術は認知度が未だ低いため、実用化にあたっては技術確立といったハード面だけでなく、社会的受容性の確保といったソフト面のアプローチも並行して実施していくことが重要である。

現在、化石燃料を使用する石炭火力発電所等は今後も増加する可能性が世界的にも高く、世界の多くの国で使用され得るCO₂固定化・有効利用技術分野では、先進国が覇権を争う可能性もある。そのため、成果の実用については世界的な視野を持ち、戦略的に技術開発を加速することが必要である。

また、大規模植林による地上隔離技術は、CO₂固定化・有効利用だけでなく、わが国の林産資源の確保の方策につながり、かつ乾燥地帯での植林への応用は、砂漠化の抑制等により国際貢献にもなる。こうした現実面の効果も明確に認識しておきたい。

【肯定的意見】

○本施策は、技術の選定評価の段階から着実に進捗しており、現段階ではより実証的なステージに移行してきている。施策の戦略を技術ロードマップに落とし込み、プログラムのアプローチでプロジェクトを取捨選択し優先度を決めて実施してきた本施策は、従来の場当たりのプロジェクト実施アプローチと比べてより確実に成果を上げてき

たと確信している。同じもので、やり方の違いによる差を比較できないことが残念であるが、従来のやり方を踏襲しておれば、もっと余分な予算が無駄に費やされ、成果の今以上に出ていないと容易に想像される。今回の取り組みは、ある意味では国の施策としてはパイロット的な取り組みであるかもしれないが、今後はこの取り組み方を広く国の施策推進において普及させ、より効率的・効果的に成果を上げていくことを期待する。

○地球温暖化対策のために技術開発として取り組むべき課題が適切に抽出され、それを実現する為のステップと時期などの方向性が顕示されている。

○CO₂固定化・有効利用分野における施策として、大規模排出源からのCO₂排出削減技術と大気中のCO₂低減技術に分け、それぞれで最も重要と考えられる施策について国がインセンティブを与えており、概ね妥当と考えられる。

○本事業の必要性は大きく、国の関与も必要である。現時点で、技術選択も適切である。

○温暖化対策は極めて重要な課題だが、二酸化炭素に必ずしも価格がついておらず、固定化の成果をもとに収益を得ることは現状では難しい。このため、二酸化炭素の固定化に民間企業が単独で取り組むことは難しく、欧米諸国でも国の援助を得て、事業化への試みが実施されているのが現状だ。二酸化炭素固定化の「事業化」に向け、国が支援を行うのは重要と思われる。開発された技術により、将来二酸化炭素に価格がついた時点で、民間企業が事業実施に踏み切ることが可能になる。また、中国、インド、インドネシアなどの二酸化炭素排出量の多い新興国への展開も可能になる。施策の目的、課題は明確であり、将来の海外展開も見通すことができる施策である。

○CO₂固定化・有効利用技術は、化石燃料を使いつつCO₂排出を大幅に減らせる唯一の手法である。原子力の安全リスク、再生可能エネルギーの技術リスクが大きいなか、将来的に温暖化対策の国際枠組みによる規制リスクを考えれば、日本として持っておきたい次世代技術である。いまの国内の温暖化政策の枠組みでは金銭価値を生まないCO₂固定化技術を、国が率先して資金を投じて、要素技術を蓄積しておく意義は極めて大きい。技術の絞込みに関しては、網羅的なリサーチによるプログラム型を経て、取捨選択しており、実用性と革新性を加味した、適切な技術開発戦略と言えよう。

○CO₂削減効果の高いCCS等の革新的技術については、積極的に協力していきたいと考えている。特に国が主導する大規模な実証試験の実施が重要であることから、今後とも積極的に推進していくべきである。

○全体として上位の政策に基づいた適切な施策が行われていると思われる。特に、二酸化炭素の分離・回収技術や隔離技術に関する施策については、予算規模が比較的大きく、国を挙げて取り組む姿勢が強く打ち出されていることから、今後の着実な進展を期待したい。

【問題点・改善すべき点】

●今後、本施策が実証ステージに近づくにつれ、予算規模も大きくなり実施リスクへの

対応がより重要となってくると思われる。成果の獲得レベルと実施リスクとはある意味では相反する場合もあり、プロジェクト推進に対するリスクマネジメントの重要性がより増してくることになる。今後は、技術リスクだけでなく、プロジェクト遂行に関わる実施リスクをも考慮した複数の実施シナオを考慮したプランニングを行い、リスク発生に対しての対応力のあるプロジェクト計画や推進ができるような取り組みを考えて頂きたい。

●CCS等のCO₂固定化技術は認知度が未だ低いため、2020年の本格適用に向けて技術確立といったハード面だけでなく、貯留に対する地元了解の取得といったソフト面のアプローチも並行して実施していくことが必要ではないか。

●京都議定書が技術開発を求める根拠の一つになっており、同議定書では2012年までに6%の温室効果ガス削減を達成することになっている。しかし、ほぼ期限に達しているにもかかわらず、義務を果たすに足りる技術は未だに開発されておらず、計画からの遅れが明らかである。このため、技術開発を加速するための施策が必要であろう。温暖化対策技術を開発することは、相当の温暖化ガスを排出する日本の責務である。一方、東日本大震災の原発事故に伴って強まった脱原発の流れから火力発電が今後増加する可能性が世界的に高く、さらに火力発電所を新たに設置する際には温暖化対策のために地中貯留と組み合わせることが必須になる情勢である。このことから、他国よりも進んだ地中貯留の技術を有することは、技術立国を掲げる日本にとって戦略的に重要であろう。このような観点からも、技術開発をさらに加速するための施策が必要であろう。

●日本のエネルギー環境政策の中心的課題のひとつであることから、日本の国益を実現するという視点を明確にして、成果の実用について、世界的視野を持つように考えて欲しい。そのためには、国益実現の場を、本事業の範囲に閉じ込めることなく、国が一体となって取り組む必要が生じているプロジェクトもある。総合的、統一的な政策施策の実施を心がけて欲しい。同時に、事業実施の際の事業スキームも、従来型にとどまらずに、長期にわたって国益が得られる種々のスキームを考えておくべきである。つまり、技術開発の背景、出口、実施も国として十分に準備しておかなければならない。

●問題点ではないが、例えば米国エネルギー省の二酸化炭素地中固定化技術開発予算と比較すると日本の予算は一ケタ少なくかなり大きく見劣りがする。世界の多くの国で使用される技術になる可能性が極めて高く、先進国間で技術の覇権を争う可能性もある。その観点からは、国の財政が厳しいことは理解するが、米国なみと言わなくても、もう少し予算を増額し、実験場所を増やすなどの拡大策を是非採って欲しい。この技術で世界をリードすることが日本には必要だと思う。

●原子力発電所の稼働を見通すことができず、火力発電所の稼働率向上も将来予想される。火力発電所の温暖化対策にはCCSが必要になる可能性が高い。その意味からも技術開発が急がれ国の支援がますます重要と思われる。

●国がインセンティブを与えるべき施策として、例えば、乾燥地帯への植林は、CO₂固

定化・有効利用だけでなく、砂漠化の抑制等により国際貢献にもなる。このように、他にも重要な施策があると思われるので、それらについても国が先導すべきと考える。

●陸域での CCS、遺伝子組み換え植物の活用とも、一般のフィールドで実証し、普及させるためには、新たな法的枠組みや規制緩和が必要になる。実証プロジェクトと並行して、こうした障壁を乗り越える努力にも力を入れるべきであろう。

第5章 技術に関する事業評価

第5章 技術に関する事業評価

A. 二酸化炭素削減技術実証試験（プロジェクト） （総合評価）

CCS は、CO₂ を直接的に削減する技術であり即効性と規模の観点から米国や欧州などでも技術開発が進められ、地球温暖化対応において日本のリーダーシップを発揮するためにも戦略的に重要な意味を持つと考えられる。また、将来的に CCS 技術がビジネスベースの戦略技術に成り得る可能性もあることから、研究機関である公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）による研究開発に続き、関係する知見を持った国内企業が出資する日本 CCS 調査株式会社が実施主体となって事前調査を行ったことは妥当である。

地中貯留の対象となる地層は、構造および深度が様々に異なることが予想される。これに対して、先行して調査を進めている苫小牧地点では、一般に想定される地中貯留深度の上限（8 百m）と下限（3 千m）のそれぞれに近く、かつ、構造的な性質と非構造的な性質が異なる 2 つの地層での試験が可能となっており、実証試験のサイトとして適当である。また、地中貯留の候補地（苫小牧）での調査にあたっては、事前の情報発信が十分に行われていることも好ましい。

予測モデルに関しては、RITE が長岡での実証試験で開発したものを活用するなど、これまでの蓄積を最大限に生かしており、これまで経験のない事業に取り組む上で、十分な対応がされているものと考えられる。

一方、今後実証実験によって、費用が大幅に増大することが想定されるが、今後の進め方についてはこれまでの探索的なアプローチではなく、事業として経済的な視点を取り入れたアプローチも検討し、資金の割り当ても含め費用対効果の検討をふまえた実施計画とする必要がある。

実施にあたっては地震国であることに配慮し、安全性確保について十分に検討し、国民の CCS に対する関心は必ずしも高くないと思われるため、今後、同技術の社会的受容性の確保がより一層進むよう、各種の媒体を通じた積極的な情報発信が望まれる。

また、CCS 事業については国際的アライアンスを含め世界展開をいかに実現していくかが重要であり、その基盤として貯留コストを正確に予測する技術も必要である。CCS 技術開発は国内外への展開も明確に意識して、立地ごとの経済課題を確認しつつ実施計画を立案する必要がある。

【肯定的意見】

○大量の CO₂ 回収・貯留を可能とする CCS 技術は、即効性と規模の観点から CO₂ 削減対策の重要な位置づけにあるが、その技術を保有することは地球温暖化対応を国策として推進している日本にとって、今後グローバルにおいてリーダーシップを発揮するために重要な意味を持つと考えられる。CCS 技術における本格的な実証実験で成功するか失敗するかは、今後の CCS 技術を推進する上で大きな影響を与えることは必至である。

○CCS 実証に向けては多くの課題が存在し、これら課題の克服さらには潜在する課題を明らかにするためには、国が主導する大規模な実証試験の実施が重要であることから国が主導的役割を担い技術開発を進める本プロジェクトは高く評価できる。

○地中貯留技術は、日本の責務としてのみならず、戦略的に重要である。それが具体的に進展していることは大変望ましい。

○CO₂ を分離・回収、地中に貯留する CCS 事業は、圧入する技術とともに、事前の地質調査とそれに基づく貯留した CO₂ の挙動予測、そして圧入後のモニタリングも非常に重要である。というのは、将来、貯留場所を確保する上で、挙動予測やモニタリングの精度、信頼性が社会的受容性の確保に大きく影響するからだ。その意味で、大規模な CCS の実証事業を国内で実施する意義は大きく、中長期的に CO₂ の大幅削減を求められる国際的な規制リスクを踏まえれば、喫緊の課題でもある。また、将来的に CCS 技術がビジネスベースの戦略技術になりえる可能性もあることから、国の研究機関である RITE による実証研究に続き、民間企業の出資による日本 CCS 調査が実施主体となり、関係する知見を持った国内企業が参加し、事前調査を行ったことは妥当である。

○本格的な実証実験となると予算的にも相当な規模が必要となり、国内の財政事情から成功の確度を上げた取り組みが不可欠であることは言うまでもない。そのためには、実証実験を確実に進める場所の選定と実施計画の策定は重要であるが、本プロジェクトでは複数の候補地で調査、分析を行い、その中で苫小牧においては弾性波探査、ボーリング調査、貯留層評価を行い、実証実験が可能であることを示した実施計画を策定できたことは一つの成果であるといえることができる。

○地中貯留の対象となる地層は、構造および深度が様々に異なることが予想される。これに対して、選定された苫小牧地点では、一般に想定される地中貯留深度の上限（8 百 m）と下限（3 千 m）のそれぞれに近く、かつ、構造性と非構造性と性質が異なる 2 つの地層での試験が可能となっており、実証試験のサイトとして適当である。

○地中貯留の候補地（苫小牧）で事前の情報発信が十分に行われていることは好ましい。

○3 月の震災による事業への影響が少なからずあったものと思われるが、実証試験へ向けての十分な調査が実施されており、事業の目標は達成されている。

○苫小牧地点での実証試験は妥当と考える。本実証試験により、日本においても中規模（年間 10 万トン程度）CCS を適用できることを実証するとともに、大規模（年間 100

万トン以上) CCS を適用する際の問題点・技術課題等を洗い出し、それらを克服すること
とで、2020 年以降の本格適用に繋がる成果が得られることを期待する。

○目的、計画に沿って概ね成果を達成している。苫小牧地域を重点に研究を進めること
も妥当。日本の貯留可能量総量を明らかにすることについても順次、調査・試験確定し
ていくことが妥当。

○日米欧で技術開発が行われている、極めて重要な技術であり、日本でも商業ベースで
の事業実施が急がれる。現状の取り組みに問題はないが、さらに取り組みをスピードア
ップする施策も是非考えて欲しい。

○主要な目的の 1 つである CO₂ 長期挙動予測シミュレーション技術の確立に関しては、
苫小牧地点において 3 年後、200 年後、1000 年後を予測し、貯留性能、遮蔽性能を試算
し、詳細な圧入試験計画をまとめることができた。

○計画案に関しては、多様な排出源、貯留条件に対応しつつ、相対的に低コストかつ現
在の法制化で可能な地上基地から海底下に大偏距坑井を掘ることにしており、費用対効
果と応用可能性に配慮したものになっている。

○予測モデルに関しては、石油開発で利用されているものをベースに RITE が長岡での
実証試験で開発したものを活用するなど、これまでの蓄積を最大限に生かしている。CCS
というこれまで経験のない事業に取り組む上で、十分な対応がされているものとする。

【問題点・改善すべき点】

●今後実証実験によって、費用が大幅に増大することが想定されるが、今後の進め方
についてはこれまでの探索的なアプローチではなく経済的な視点を取り入れたアプロ
ーチも含めて検討して頂きたい。つまり実験成果を費用対効果の視点でも評価し、いく
つかのシナリオを比較検討し、予算と成果の観点からベストなシナリオを策定して進め
ていくやり方である。複数のシナリオを検討することで、新たなリスクも明確になるで
あろうし、新しいアイデアを生む可能性もでてくる。計画を一つとは決めつけずに最低限
クリアすべき成果とできれば出したい成果、それに対しての実施リスクと費用などを幅
広く検討シミュレーションし、経済性のあるリスク耐性を持った練られた実施計画がで
きあがることを期待する。

●北九州地点については、今後の実地調査により、CO₂ を大規模に（年間 100 万トン以
上）貯留できる見通しが得られるのであれば、その意義を認めるが、追加ボーリングを
実施したとしても、新たに得られる知見・情報は限定的と思われる。従って、これに割
り当てられる予算は、新たな地点開拓などに回すほうが良いと思われる。

●法規制対応、安全性評価等に多額の資金が投入されているが、この資金を削減し、技
術開発等の実用的な項目により多くの資金を割り当ててほしいと思われる。

●社会受容の醸成に向けた情報発信では、現状 CCS の認知度はまだまだ低いと言わざる
を得ないので、マスコミを対象とした勉強会などを計画・開催し、報道する側の認知度

をまずは高めていくことも一つの方法ではないかと思う。

●社会受容醸成に向けた情報発信の一環として、CCS に関する市民の意識調査が行われているが、おそらく同様な調査が例えば RITE によって行われているのではないか。過去の調査と対比するなど、プラス α の成果が望まれる。

●国民の CCS に対する関心は必ずしも高くないと思われ、今後、同技術の社会受容の醸成がより一層進むよう、各種の媒体を通じた積極的な情報発信が望まれる。

●目標の一つに安全性確保に関わる技術等の調査が挙げられている。そのような調査を行う場合、まず a. どのような危険性があり、b. それをどのように検知し、c. 対策するかを検討するのが一般的と思われる。しかし、本プロジェクトでは、b の検知方法の調査は行われているが、a の危険性と c の対策に対する調査・検討が十分行われていないようである。このため、実施計画で示されている検知方法の規模や頻度などが適当なのか判断できない。例えば、弾性波探査を用いて漏洩（漏出）を検知するとされているが、それがなぜ必要（どこから、どのように漏れる可能性があるのか）で、検知した後の対策は検討されていない。また、同様に微小振動を連続観察する計画となっているが、その必要性や、検知した後の対策への検討が十分なされていないようである。この点で改善が必要と考える。

●勿来・磐城沖地点に関しては、東北地方太平洋沖地震により、地下環境が変化したかどうかを調査する等により、巨大地震が起きても、CCS に影響を与えないということを確かめる必要があると思われる。

●勿来・磐城沖地点、北九州地点の 2 地点に関しては、詳細な計画案の作成にまでは至らなかった。勿来・磐城沖に関しては、東日本大震災などの影響もあったものの、限られた研究予算から効果的に成果を得るという観点から、今回の候補地点の選定が適切であったのか、検証も必要になろう。また、海外の石油掘削をベースにした CO₂ 挙動シミュレーションには、日本のような複雑な地層や地震により新たな断層が生じた場合の影響など、想定していないと思われる。今後、CCS の社会的受容性を高めるうえでは、地殻変動などの可能性、リスクも踏まえた挙動シミュレーションも実施し、安定的な貯留を維持できる可能性を確率的に表現することも、結果的に予測の信頼性を高めることになると思う。

●貯留技術事業には、国内で閉じることで必ずしも国の未来の目的が達成できるとは限らないので、事業の世界展開をいかに実現していくか、国として計画を考えて欲しい。その基盤として貯留のコストを正確に予測する技術も早急に取り組んでほしい。

改めて、貯留技術は国内、国外、EOR 事業への展開を明確に意識して、経済課題を確認しつつ、計画を立案して欲しい。

●将来の海外展開も視野に入れた実験地点の選定なども行って欲しい。

B. バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発（プロジェクト）

（総合評価）

高セルロース樹木の探索育成技術と酸性土壌耐性樹木の創出技術は、ともに CO₂ の地上隔離技術として今後の進展が期待され、大規模植林と温暖化対策の両立は、ライフサイクルの中でカーボンニュートラルを実現するという意味では非常に期待できる技術開発である。

樹性能の判定と、遺伝子組み換えで酸性土壌耐性樹木を開発する方法論は正しく、数値を含めた明確な目標が設定され、その達成に向けた開発が着実に進められている。近年発達が著しい複数のオミクス技術を上手く統合し、効率的な育種・育林技術の開発がなされている。ゲノム解析に加えて、転写物や代謝物を含めた緻密で精度の高いマーカーの探索が行われており、比較的短期間であるにも関わらず十分な成果が得られている。日本が途上国と連携を進めるうえでも有用な技術であり、温暖化に対する日本の責務および世界への貢献として、重要である。

一方、本プロジェクトは、エタノール原料確保の面からのアプローチであり、エタノール生産のコスト低減等にどれだけ寄与するのかなどの検討が期待されている。現状ではセルロースからのバイオエタノールの生産については、経済性がなかなか確立できないのではないかとわれ、バイオエタノール生産のコスト低減に向けた技術開発も並行、連携して実施していくことが求められる。

開発した技術の有効性・実用性を、実際の林地において実証することが必要である。遺伝子組み換え樹木の実施には、依然困難があり、社会的な受容性に大きな課題を抱える。従って、他樹種への影響など生態系に与えるインパクト調査も同時に行うべきである。

本プロジェクトの技術は世界共通の問題である CO₂ 削減への有効な対応策であり、本技術を積極的にプロモーションし、海外企業にも積極的にライセンスアウトすることで植林事業を推進する等、バイオ技術を活用した温暖化対策ができる将来ビジョンを描くことを期待したい。ここで、日本の製紙等工業原料として、経済性の担保を是非確認戴きたい。

【肯定的意見】

○植物による CO₂ 吸収、削減は CO₂ 削減問題において根治療法の一つであり、生態系や環境問題に対しても好影響は及ぼしても、害は殆どないというメリットの多い施策であることは確かである。また、地球温暖化による深刻な影響が出ている砂漠化問題においても、植林は有効な対応策であり、極悪環境でも生育できる植物を作り出す技術は世界

中でニーズが増してきている。その中で、バイオ技術を利用して、不良環境耐性に優れ、しかも生長性のバイオエタノール生産に適した高セルロース樹木を開発することはエネルギー、CO₂問題を解決するにおいて、メリットが多い理想的な解答であると言える。

○バイオエタノール生産に適した高セルロース樹木開発とその高セルロース樹木の大規模植林による温暖化対策の両立は、バイオエタノール生産に伴うエネルギー量がどのくらいになるかは別として、ライフサイクルの中でカーボンニュートラルを実現するという意味では非常に期待できる技術開発である。

○数値を含めた明確な目標が設定され、その達成に向けた開発が着実に進められている。温暖化に対する日本の責務および世界への貢献として、バイオによる CO₂ 固定化技術を開発することは重要である。

○高セルロース樹木の探索育成技術と酸性土壌耐性樹木の創出技術は、ともに CO₂ の地上隔離技術として今後の進展が期待されると考えられ、一定の成果は得られていると思われる。

○バイオエタノールの生産増につながる高セルロース樹木の開発であり、将来の化石燃料枯渇を視野に入れた場合には、その意義は高い。また、バイオマス資源による二酸化炭素削減策は米国を中心に多くの諸国が真剣な検討を開始し、既に森林資源を保有する途上国の囲い込みも一部の先進国は行っている。この技術は日本が途上国と連携を進めるうえでも有用な技術である。

○異常気象の頻発など温暖化問題が深刻化するなか、今後、CO₂の排出抑制だけでなく、一度出してしまった CO₂を炭素に固定化し、大気中の CO₂濃度を下げる取り組みが求められ可能性もある。その意味で高セルロース木を早期に選択できるバイオマーカー、不良環境下にも耐性のある樹木を遺伝子組み換えで開発することは、大きな意義があり、将来、産業的に戦略技術になる可能性も秘める。

○実証には長期間を要するため国の関与が不可欠である。

○現在、民間企業が自主的に取り組みには事業リスクが大きく、国の関与で研究を促進する合理的な理由がある。

○本プロジェクトにおいて、バイオマーカーを用いて、環境耐性、生長性、高セルロースの樹木を早期に選別し、効果的に樹木を育成できる手法を確立したことは画期的であり、今後の CO₂問題の解決に対して、一つの大きな成果を示したと言えよう。

○穀物等の草本植物に比較して格段に遅れている林木の育種技術を進展させるため、近年発達が著しい複数のオミクス技術を上手く統合し、効率的な育種・育林技術の開発がなされている。ゲノム解析に加えて、転写物や代謝物を含めた緻密で精度の高いマーカーの探索が行われており、比較的短い事業期間であるにも関わらず十分な成果が得られている。

○パルプ用樹木の急速成長、加速のための技術開発として、樹性能の判定と、遺伝子組み換えで耐性土壌樹木を開発する方法論は正しく、概念、成果も計画通り達成している。

○不良環境地への適用技術は、東日本大震災で塩害を受けた地域へ応用できそうである。
○成果に関しては、バイオマーカーは70%樹高生長、組み換えユーカリについては30%の樹高生長を達成し、十分なレベルといえよう。バイオマーカーに関しては、温暖化対策としてばかりでなく、カンや経験に頼っていた林業（間伐）を素人でも的確に行える可能性も秘めており、林業経営の生産性向上にも役立つ可能性もあるなど、現時点でも波及効果は大きい。また、複数のバイオマーカーを組み合わせることで、モノカルチャーになりがちな現在の林業樹種を、意識的に多様化することも可能と考えられる。その結果、病害虫や天災にも強い林業経営を実現できる可能性もあるなど、林業への応用範囲は大きい。

【問題点・改善すべき点】

●本技術を国内製紙会社が積極的に利用し、製紙事業にとって必要な樹木の植林を海外において推進的に推進していくことを意思表示していることは、技術の事業への活用の道が既に開けていることを意味しており、非常に好ましいことである。ただ、本技術を国内企業だけで活用することは、日本の国際的な役割から考えてあまり好ましいこととは思えない。本技術は世界共通の問題であるCO₂削減への有効な対応策であるので、本技術を積極的にプロモーションし海外企業にも積極的にライセンスアウトすることで植林事業を推進させ、そのライセンス料をもってさらに本研究を進めていくような、バイオ技術を活用した温暖化対策がある程度自立できるような将来ビジョンを描き、より積極的に推進して頂きたい。

●酸性土壌耐性樹木の適用先は主に海外になると思われ、事業化においては相手国の理解も必要であり、事業化までの見通しが立ちにくいと思われるが、成功例となることを期待する。

●バイオエタノールの生産にかかるエネルギー量（コスト）が大きいままでは、このプロジェクトの意義が半減してしまうので、バイオエタノール生産のコスト低減に向けた技術開発も並行して実施していくことが必要である。その意味でも、本プロジェクトと連係して、効率的なバイオエタノール生産について強力に推進してほしい。

●高セルロース樹木でバイオエタノールを生産し、温暖化対策に役立てることが事業目的として述べられているが、それに対する検討がなされていない。つまり、本プロジェクトの技術によってエタノール生産のコストがどれだけ下げられるのか、そして、カーボンニュートラルという概念の実現にどれだけ寄与するのかなどの検討がなされていない。

●残念なことに、現状ではセルロースからのバイオエタノールの生産については、経済性がなかなか確立できないのではないかとと思われる。バイオエタノール製造プロセスについても改善のための研究を是非進めて欲しい。

●植物は成長時にCO₂を吸収するが、朽ち果てるときに同量のCO₂を排出する。この意

味において、本プロジェクトが開発した技術、つまり高セルロース樹木を効率良く探索育成する技術を固定化技術と呼ぶのは適当ではない。

●開発した技術の有効性・実用性を、実際の林地において実証することが必要である。

●遺伝子組み換え樹木の実施には、依然困難があり、その困難解決について、国としての取り組みと安全性に関する指針の制定も必要である。製紙等工業原料として、経済性が担保されているか考慮願いたい。

●遺伝子組み換え樹木に関しては、現在ではフィールドでも実験さえできない状況で、社会的な受容性に大きな課題を抱える。生長増大効果の測定とともに、他樹種への影響など生態系に与えるインパクトを調べることも同時に行っていくべきであろう。

第6章 今後の研究開発の方向等に関する提言

第6章 今後の研究開発の方向等に関する提言

【技術に関する施策】

(CO₂固定化・有効利用分野)

技術マップを活用し、アウトプット・アウトカムに視点を置く方式は、技術開発の成果を確実にするためには不可欠な手法であると考えます。今後は、この手法を技術開発だけに限らず、様々な施策においても活用するようにして頂きたい。

CCSの本格適用を実現するためには、①トータルのコストダウンを図ること、②我が国で大規模に貯留できるサイトを確保すること、の二つの要件を満たすことが必要である。今後は実用化に向けて、様々な提案を受け入れる体制・枠組みなど検討する必要がある。また、二酸化炭素削減技術については、先進国間の競争にもなっている。現実的にはCCSも大規模植林によるCO₂固定化も、国内より海外の方が費用対効果の大きい適地が多いと考えられるため、日本として蓄積した技術を戦略的に海外展開に生かすことも必要である。

バイオ技術等を活用し、乾燥地域や酸性土壌地域等の植生の乏しい地域を緑豊かな地域に変える技術には、経済性のある国際貢献の観点から、国が民間等に提示するインセンティブを強化して欲しい。

【各委員の提言】

○技術マップを活用した、アウトプット・アウトカムに視点を置くプログラム方式の技術開発は、技術開発の成果を確実にするためには不可欠の手法であると考えられる。今後は、この手法を技術開発だけに限らず、様々な施策においても活用するように普及していくようにして頂きたい。

○類似、あるいは同一目的の技術開発事業について必ずしも否定するものでもなく、むしろ多様性を支援したいが、その違い、協力、統一の可能性も充分考えて欲しい。総合科学技術会議等の上部機関が考えるだけでは十分でない。

○新興国による化石燃料の使用量の増加は確実であり、そのためには、二酸化炭素の固定化は必須になる。早期の商業化技術の確立が必要であり、施策のスピードアップが必要だ。

○CO₂固定化・有効利用分野の技術開発は、温暖化防止対策として極めて重要なものであり、その施策の殆どが国内でというよりはむしろ海外で期待され、かつ海外に展開していくべきものである。よって、これらの施策は今後、実証試験を繰り返し行い様々な潜在する課題を明らかにすることが必要であることから、長期的な視点にたって海外の環境対策に貢献できるように国が積極的に主導して、施策を推進して頂きたい。

○二酸化炭素削減技術については、先進国間の競争にもなっている。今後の温暖化対策の重要度とそのため使用される資金を考えると、この技術開発を日本が担うことは極めて重要であり、将来の温暖化対策を左右することになる。

○これまで CO₂ 固定化・有効利用のような長期的に必要な技術施策は、純粋に研究・開発という位置づけで、必ずしも中期的な温暖化政策との連動性が十分でなかった面がある。ただ、CCS や森林による効率的な CO₂ 固定の実現可能性が見えてきたなか、国の中長期的な温暖化対策との関係性を明確にしていくことも求められよう。現実的には CCS、大規模植林による CO₂ 固定も、国内より海外の方が、コスト効果の大きい適地が多いと考えられる。この点を踏まえれば、例えば、現在、政府が構想している 2 国間クレジットのような仕組みのなかに、海外での CCS や大規模植林を明確に位置付け、実施するなど、日本として蓄積した技術を戦略的に生かすことも必要だろう。また、こうしたフィールドでの実績を積み上げることで、温暖化対策の次期国際枠組みへの採用を促すなど、環境外交と産業技術戦略を連携させることも可能になる。

○地中貯留においては、間隙率と浸透性がある程度大きな地層が適当な深度にありさえすれば、CO₂ を注入すること自体に技術的な課題はあまりないであろう。新たな開発が必要なのは、a. 貯留に適した地層を探索する方法、b. 貯留層内の CO₂ 移動（漏洩を含む）を監視する方法、そして、c. 漏洩が起きた場合の対策（修復）方法である。これらの方法の技術開発を進めるための施策が必要と考える。

○CCS の本格適用を実現するためには、①トータルのコストダウンを図ることと、②我が国で大規模に貯留できるサイトを確保すること、の二つの要件を満たすことが必要である。特に②に関しては、低コストで実施可能で、かつ社会的にも容認可能なサイトが確保できるのか、見通しは明るくないと思われる。②に関しては、現状の施策では不十分で、今後、公募等により、様々な提案を受け入れる体制・枠組みを作る必要があると思われる。

○バイオ技術等を活用し、乾燥地域や酸性土壌地域等の植生の乏しい地域を緑豊かな地域に変える技術に国がもっと予算を多く配分し、民間等にインセンティブを与えるべきと思われる。

【技術に関する事業】

(A 二酸化炭素削減技術実証試験 (プロジェクト))

実証実験を行う上でのリスクをできる限り洗い出し、リスクの評価や対応を事前に充分検討し、リスクへの対応力を持って推進していく必要がある。

また、事業化にあたってはリスクとプロフィットを勘案し、複数のプランニングを行うなど十分な検討が必要である。

CCS の実用化に向けては、CCS について広く理解してもらうことが必要であることから、講演など一方向の情報発信だけでなく、見学会や勉強会など市民が参加できるような双方向の情報発信が必要である。

CCS を実際に適用する際には地下構造があまり分かっていない場所が開発対象となることも予想されるため、実証試験では、地中貯留を行うために必要な事前調査の項目やコストを相当に明らかにできる具体例と考えることが重要と考える。

将来の海外展開も視野に入れた、試験及び事業の実施が望まれる。場合によっては早い段階で新興国の有力企業との提携なども考えられる。

CCS 普及のためには、CO₂ の挙動シミュレーションの信頼性を高めることが重要であり、そのためには海外の CCS 研究プロジェクト、地質調査などとの連携や情報交換を積極的に行い最新の情報を得ることも必要である。

【各委員の提言】

○今後は規模の大きな実証実験が開始されるが、経済性を含めてプロジェクトを成功に導くには、実証実験を行う上でのリスクを出来る限り洗い出し、リスクの評価や対応を事前に充分検討しリスクへの対応力を持って推進していく必要がある。リスクには、技術的なリスクだけでなく、周辺住民からの抵抗、プロジェクト実施面におけるリスクなど様々あるが、できれば各専門家を集めてリスクを洗い出し実施計画をよりリスク耐性を持たせたものに仕上げて頂きたい。

○地中貯留では、コストの問題から排出源の近くに貯留層を確保することが必須である。このため、実際に適用する際には地下構造があまり分かっていない場所が開発対象となることが多いと予想される。つまり、苫小牧や磐城沖地点のように地下構造が良く分かっていることはまれで、北九州地点のように過去の調査結果がない場所が大半となるであろう。このため、北九州地点での調査を継続して、地下構造が良く分からない場所で地中貯留を行うために必要な事前調査の項目やコストを検討する具体例とすることが適当と考えられる。

○CCS 普及の鍵は、CO₂ の挙動シミュレーションの信頼性を高めることが重要だ。そのためには、今後、CO₂ を圧入後、モニタリングして実際の挙動を把握し、予測との違いからモデルの数式やパラメーターを修正していく作業が大切になる。また、気候変動で

の気候モデルのように海外の他の研究チームなどが構築した複数のモデルを比較することも、信頼性を高めることになる。その意味で、海外の CCS 研究プロジェクトなどとの連携や情報交換を積極的に行うことが重要だろう。

○CCS の実用化に向けては、技術面だけでなく、地域住民や漁業権など貯留に対する地元了解の取得が非常に重要である。そのためにも CCS について広く理解してもらうことが必要であることから、投稿や講演など一方向の情報発信だけでなく、見学会や勉強会など市民が参加できるような双方向の情報発信ができるように工夫して頂きたい。

○2020 年以降に CCS の本格適用を行うには、1～2 地点の成功例では不十分だと思われる。例えば、国内外の適当な場所で、限界圧を超えた CO₂ の圧入を行い、少量の CO₂ を海底に漏洩させてみる、断層から CO₂ を漏洩させてみる、といった本格適用の際には実施不可能なテストも行い、様々な経験・知見の蓄積を図る必要があると思われる。

○貯留コストの見積もりと国内外での実施の経済性の検討を早急に開始して欲しい。

○将来の海外展開も視野にいった、試験及び事業の推進方法も考えて欲しい。日本よりも中国あるいはインドで商業化された技術が展開される可能性が高く、海外での事業に適応されることが将来必ず必要になる。場合によっては早い段階で新興国の有力企業との提携なども視野に入れて欲しい。

(B バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発 (プロジェクト))

今後は、本プロジェクトで得られたノウハウをどのように国内外で活用していくかを検討し、ビジネス的な視点も含めて事業展開するような取り組みを推進し、プロジェクトでの成果を広く普及し具体化していくとともに、可能であればノウハウの提供による資金回収も行い、その資金をもとに、より広く普及を加速して頂きたい。将来的には同業他社にも積極的に技術を供与することにより、我が国の民間企業が広大な面積で実施している植林事業の効率化を期待する。

バイオエタノール製造に結び付く技術だけに期待度が高い。今後、単にセルロース増量だけではなく、アルコール製造に適した樹種選別等の取り組みにも期待する。肝腎のセルロースからのエタノール製造コストそのものに懸念はあるが、既に実施され成果を上げているエタノール製造に関するプロジェクト等と連携し、今後、エタノール製造まで取り組む事を望む。バイオ技術は他省庁所轄のものが多数あることから、省庁を超えた横断的な取組みを是非やって頂きたい。

温暖化問題が深刻になっていく中で生物多様性に配慮しつつ、いかに森林での CO₂ 固定化効率を高めるかという視点が出てくる可能性が高い。そうした議論に備え、バイオマーカーによる樹種選択や遺伝子組み換え樹種の生態系への影響も研究しておく必要があると考える。特に遺伝子組み換えについては、実施できる環境の一般的な整備でなく、特定の課題について、その安全性等からも実施できる方向性を見出すことを期待している。

【各委員の提言】

○今後は本プロジェクトで得られたノウハウをどのように国内、国外で活用していくか、ビジネス的な視点も含めて事業展開するような取り組みを推進し、プロジェクトでの成果を広く普及し具体化していくとともに、できればノウハウの提供による資金回収も行い、その資金をもとにより広く普及を加速して頂きたい。

○本事業で開発された技術は、業際的な観点および学際的な観点のいずれから見ても、極めて有用な技術であると思われる。補助金を受けて開発した民間企業が優先的に利用することは当然であるが、時期を見て同業他社にも積極的に技術を供与することにより、我が国の民間企業が広大な面積で実施している植林事業の効率化を期待する。

○本プロジェクトだけではその成果は半減されてしまい、バイオエタノールを低コストで生産できて初めて、この技術開発の意味が出てくる。特にバイオ技術は他省庁所轄のものが多数あることから、経産省単独での開発は難しい面があるかと思うが、経産省が主導的立場で省庁を超えた横断的な取組みを是非やって頂きたい。

○植物を作るだけでは CO₂ の排出削減にはならないし、植物から燃料を使う際に化石燃

料を多く消費しては元も子もない。これを回避するために自然エネルギーを利用することで化石燃料の消費を極力少なくするための技術開発を行うことが適当と考える。

○バイオエタノール製造に結び付く技術だけに期待度が高いが、肝心のエタノール製造コストがまだ高いとの問題がありそうだ。もし、可能であればエタノール製造まで踏み込んだ開発をお願いしたい。エタノール製造コストの引き下げが実現すれば、プロジェクトの価値は極めて高くなる。

○実用実施について、試験地の同意、協力の可能性を強化して欲しい。遺伝子組み換えについて、実施できる環境の整備一般でなく、特定課題について、その安全性等から実施する方向性を見出すことを期待している。

○現在、国連の気候変動枠組み条約では、REDD プラス（森林の減少・劣化防止による排出削減）という仕組みが議論され、温暖化対策の次期国際枠組みでの採用が有力になっている。現在の REDD プラスは、熱帯雨林など天然林を想定しているため、バイオマーカーや遺伝子組み換え樹種は活用できないと思われる。ただ、温暖化問題が深刻になっていくなかで、生物多様性に配慮しつつ、いかに森林での CO₂ 固定効率を高めるかという視点が出てくる可能性が高い。そうした議論に備え、バイオマーカーによる樹種選択や遺伝子組み換え樹種の生態系への影響も研究しておく必要がある。

第 7 章 評点法による評点結果

第 7 章 評点法による評点結果

「二酸化炭素削減技術実証試験(プロジェクト)」及び「バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発事業(プロジェクト)」に係る評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成 11 年度に評価を行った研究開発事業(39 プロジェクト)について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第 9 回評価部会(平成 12 年 5 月 12 日開催)において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成 21 年 3 月 31 日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき、点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。

2. 評価方法

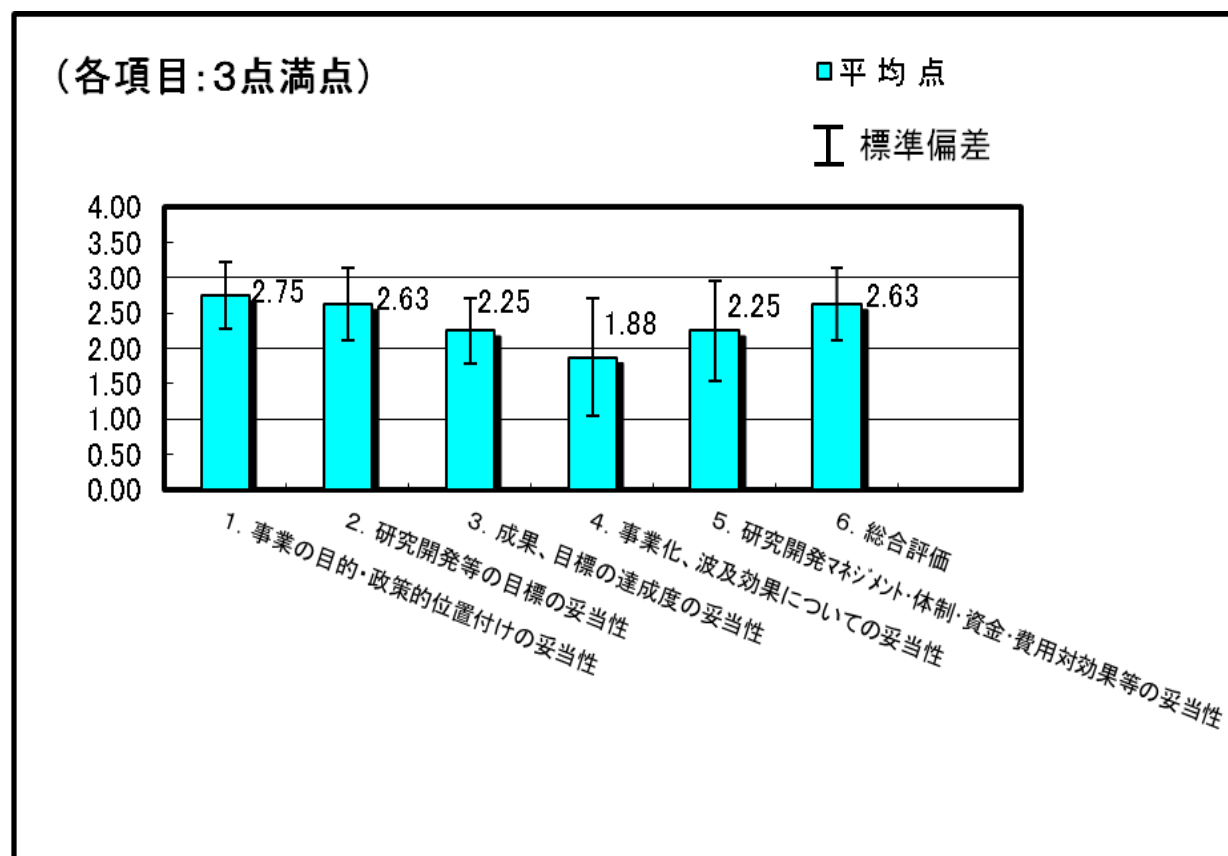
- ・ 各項目ごとに 4 段階 (A (優)、B (良)、C (可)、D (不可) < a, b, c, d も同様 >) で評価する。
- ・ 4 段階はそれぞれ、A (a) = 3 点、B (b) = 2 点、C (c) = 1 点、D (d) = 0 点に該当する。
- ・ 評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・ 大項目 (A, B, C, D) 及び小項目 (a, b, c, d) は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・ 総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

A 二酸化炭素削減技術実証試験(プロジェクト)

評点法による評点結果

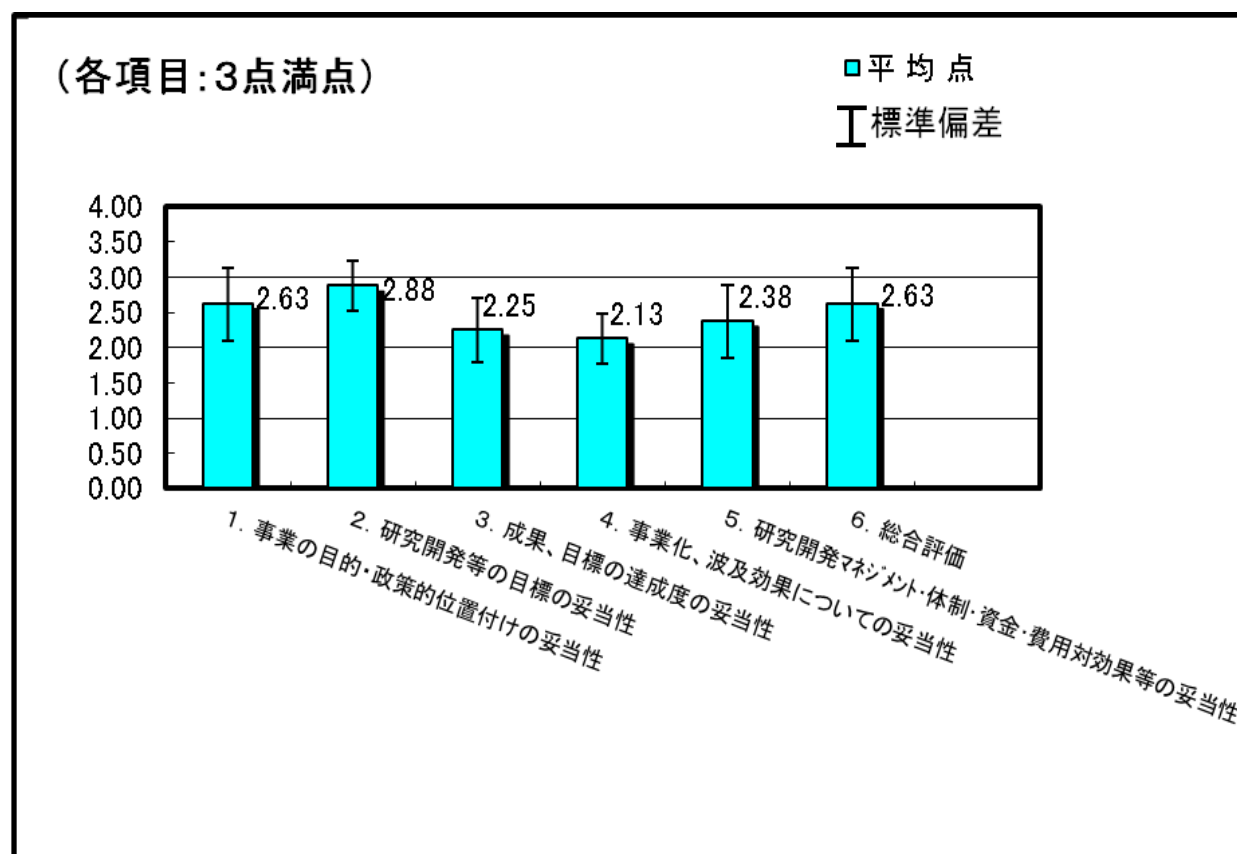
評 価 項 目	平 均 点	標準偏差
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.75	0.46
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.63	0.52
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.25	0.46
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.88	0.83
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.25	0.71
6. 総合評価	2.63	0.52



B バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発事業(プロジェクト)

評点法による評点結果

評 価 項 目	平 均 点	標準偏差
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.63	0.52
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.88	0.35
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.25	0.46
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.13	0.35
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.38	0.52
6. 総合評価	2.63	0.52



第 8 章 評価小委員会のコメント及びコメント に対する対処方針

評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

CO₂ 固定化・有効利用分野技術に関する施策・事業評価に係る評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対処方針は、以下のとおり。

（コメント①）（二酸化炭素削減技術実証試験について）

技術開発に焦点が当てられているが、安全性や環境への影響も懸念されることから、引き続き、社会に受け入れられるかどうかにもっと配慮し、経済的有効性をさらに真剣に考えるべきである。そのために、プロジェクト単体ではなく、経済性や安全性や環境に十分配慮したプログラムとして実施すべきである。

（コメント②）（バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発について）

荒れた山に植林するなど山の整備や、地域緑化などの地域ニーズに合わせた活動に繋がるすそ野の広い事業であり、また製紙業の振興にも役立つものであり、小規模ながらも波及効果の大きい事業として有意義であったといえる。

（対処方針①）

CCS を実用化するためには、周辺環境へ影響を与えることなく安全に長期間にわたり CO₂ を貯留できることは勿論のこと、CCS のコストを低減させることが不可欠と考えております。

実証試験では、周辺環境へ影響を与えることなく安全に CCS を実施し、コスト低減のためにはどのようなシステム、運用方法を構築することが求められるかなど幅広い観点での検証を行うこととしていますが、ご指摘を踏まえ、プログラムとしての観点から、経済性や安全性や環境に更に配慮した実証試験となるよう努めてまいります。

（対処方針②）

いただいたご意見を踏まえ、今後は、得られた成果について、事業化・普及に向けて取り組んで参る所存です。

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

提 言	対 処 方 針
○技術マップを活用し、アウトプット・アウトカムに視点を置く方式は、技術開発の成果を確実にするためには不可欠な手法であると考え。今後は、この手法を技術開発だけに限らず、様々な施策においても活用するようにして頂きたい。	○アウトプット・アウトカムに視点を置く方式は、施策評価の際にも活用しているところであり、引き続きこのような観点も含め実施して参りたい。
○CCS の本格適用を実現するためには、①トータルのコストダウンを図ること、②我が国で大規模に貯留できるサイトを確保すること、の二つの要件を満たすことが必要である。今後は実用化に向けて、様々な提案を受け入れる体制・枠組みなど検討する必要がある。	○CCS については、今後大規模実証試験を通じて実用化に向けての様々な課題を整理・検証することとしており、ご指摘の点もふまえて今後取り組みたい。
○また、二酸化炭素削減技術については、先進国間の競争にもなっている。現実的には CCS も大規模植林による CO₂ 固定化も、国内より海外の方が費用対効果の大きい適地が多いと考えられるため、日本として蓄積した技術を戦略的に海外展開に生かすことも必要である。	○大規模植林については、既に海外で一部実施しているところであり、CCS についても国内に限らず海外展開も見据えて技術開発を推進して参りたい。

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

提 言	対 処 方 針
○実証実験を行う上でのリスクをできる限り洗い出し、リスクの評価や対応を事前に充分検討し、リスクへの対応力を持って推進していく必要がある。	○実証試験計画を策定するにあたっては、第3者による有識者の評価を得つつ推進しているところであるが、今後もこのような体制を継続して参りたい。
○また、事業化にあたってはリスクとプロフィットを勘案し、複数のプランニングを行うなど十分な検討が必要である。	○ご指摘をふまえ、今後、実証試験を推進して参りたい。
○CCSの実用化に向けては、CCSについて広く理解してもらうことが必要であることから、講演など一方向の情報発信だけでなく、見学会や勉強会など市民が参加できるような双方向の情報発信が必要である。	○ご指摘をふまえ、今後、実証試験を推進して参りたい。
○CCSを実際に適用する際には地下構造があまり分かっていない場所が開発対象となることも予想されるため、実証試験では、地中貯留を行うために必要な事前調査の項目やコストを相当に明らかにできる具体例と考えることが重要と考える。	○ご指摘をふまえ、今後、実証試験を推進して参りたい。
○将来の海外展開も視野に入れた、試験及び事業の	○ご指摘をふまえ、今後、実証試験を推進して参りたい。

実施が望まれる。場合によっては早い段階で新興国の有力企業との提携なども考えられる。

○CCS 普及のためには、CO₂の挙動シミュレーションの信頼性を高めることが重要であり、そのためには海外の CCS 研究プロジェクト、地質調査などとの連携や情報交換を積極的に行い最新の情報を得ることも必要である。

○海外の CCS 研究プロジェクトなど常に最新の情報の把握に努めると共に、一部では協力関係を築き研究開発を進めているところであるが、今後も適宜、連携や情報交換を積極的に行って参りたい。

(参考)

「バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発」プロジェクト評価(事後)

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

提 言	対 処 方 針
○今後は、本プロジェクトで得られたノウハウをどのように国内外で活用していくかを検討し、ビジネス的な視点も含めて事業展開するような取り組みを推進し、プロジェクトでの成果を広く普及し具体化していくとともに、可能であればノウハウの提供による資金回収も行い、その資金をもとに、より広く普及を加速して頂きたい。将来的には同業他社にも積極的に技術を供与することにより、我が国の民間企業が広大な面積で実施している植林事業の効率化を期待する。	○ご指摘のとおり、今後の進め方の方針として参りたい。
○今後、単にセルロース増量だけではなく、アルコール製造に適した樹種選別等の取り組みにも期待する。既に実施され成果を上げているエタノール製造に関するプロジェクト等と連携し、今後、エタノール製造まで取り組む事を望む。バイオ技術は他省庁所轄のものが多数あることから、省庁を超えた横断的な取組みを是非やって頂きたい。	○NEDO等のプロジェクトで日々進歩しているバイオエタノール生産技術動向を注視し、本技術によりそれら最新技術によるエタノール生産コストが、どの程度下げられるのか等についても、検討して参りたい。
○バイオマーカーによる樹種選択や遺伝子組み換え樹種の生態系への影響も研究しておく必要があると考える。特に遺伝子組み換えについては、実施できる環境の一般的な整備でな	○ご指摘を踏まえ、安全性・経済性及び社会的な受容性等の多様な状況を考慮し配慮しながら、今後の研究開発を進めて参りたい。

く、特定の課題について、その安全性等からも実施できる方向性を見出すことを期待している。	