

第2章 実証試験計画（案）の内容

2.1 全体計画の概要

2.1.1 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。

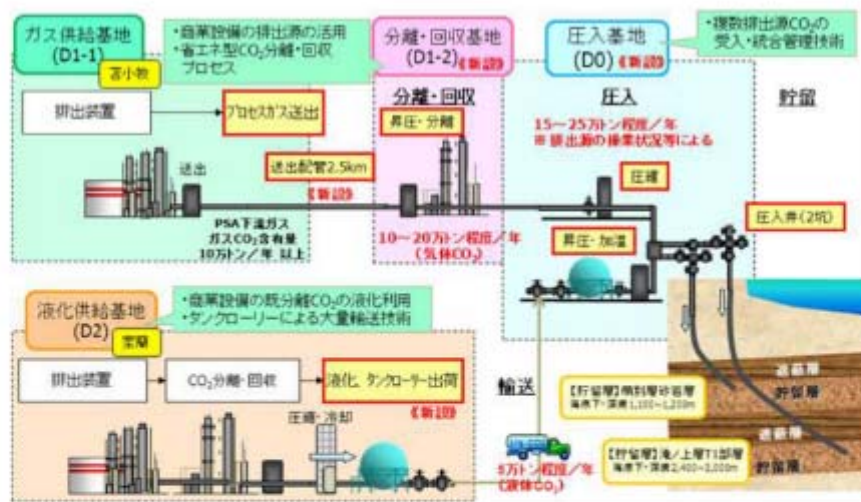


図 2.1-1 実証試験全体フロー

2.1.2 実施工程

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。ただし、詳細な実施工程を策定する際は、実証試験の進捗を十分にふまえて、無理なく実施可能なスケジュールを組むことが重要であり、その点に留意する。

- ・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 2.1-2 実施工程表

2.2 技術検証課題と実証方法

設備設計・建設、システム運用、貯留モニタリングおよび海洋系におけるモニタリングに関するそれぞれの計画について、基本的な考え方を示すとともに、技術検討課題およびその実証方法ならびに安全性確保に関する取り組みについて記す。

2.2.1 設備設計・建設計画

(1) 設備設計に関する基本的考え方

- 1) 実証試験の意義をふまえた必要十分な規模、仕様とする。
- 2) 省エネルギー、低コスト化に向けた検討が可能な全体システムとする。
- 3) 排出源装置（商業設備）への影響を考慮する。
 - ・ 排出源装置の稼働状況をふまえた適正な規模とする。
 - ・ 商業設備の安全性、安定運転を確保する。
- 4) 緊急停止時等の安全性確保、周辺環境への影響を局限するものとする。

(2) 分離・回収設備設計（D1-1基地、D1-2基地）

① 全体フロー

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2.2-1に示す。

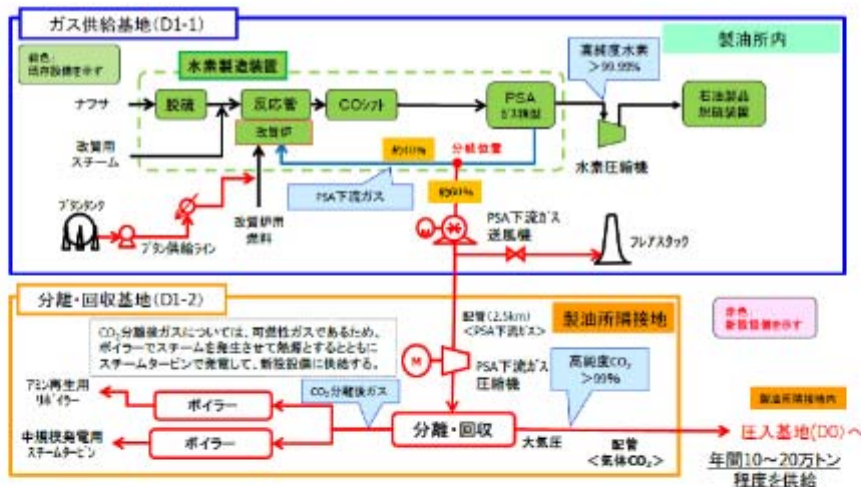


図 2.2-1 D1-1基地、D1-2基地の基本フロー

水素製造装置には、その水素の精製方式によりPSA方式と化学吸収方式の2つの方法がある。D1-1基地の水素製造装置ではPSA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（PSA上流ガス）を、高純度のH₂（製品）とCO₂を含むその他のガス（PSA下流ガス）に分離している。PSA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。CO₂の分離・回収の原料ガスの候補としては、PSA上流ガスとPSA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CO₂を得るためにCO₂分離・回収装置を新たに設置する必要がある。

PSA上流ガスからの分岐は、PSA下流ガスと比較してCO₂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、PSA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、PSA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、本実証試験計画案では分離・回収の原料ガスをPSA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、CO₂を分離・回収した後のガスについてはD1-1基地へ還流しないこととした。分岐したPSA下流ガスは、D1-1基地に設置した送風機により、D1-2基地までの約2.5kmを配管により移送する。

なお、PSA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、PSA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。

D1-2基地は製油所の隣接地に設置する。D1-2基地では、配管でD1-1基地から受入れたPSA下流ガスを昇圧した後、分離・回収設備で高純度のCO₂（濃度99容量%以上）を回収し、同一敷地内にあるD0基地へ構内配管で移送する。分離・回収装置でCO₂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) D1-2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、CCS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LNG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、CO₂を吸収したアミンを再生して高純度CO₂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CO₂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CO₂放散効果に加えて、再生塔における水蒸気の熱を活用するため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CO₂を放散する。吸収液中に残ったCO₂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。

CO ₂ 吸収アミン溶剤	1級・2級アミン	3級アミン	混合アミン	活性アミン
基材溶剤 吸収促進剤	MEA, DEA なし	MDEA なし	MDEA 1-2級アミン等	MDEA あり
再生熱 (GJ/トンCO ₂)	3.5	-	3.5	(通常型フロー) 2.0~3.5

②MDEA: Methyl Di Ethanol Amine

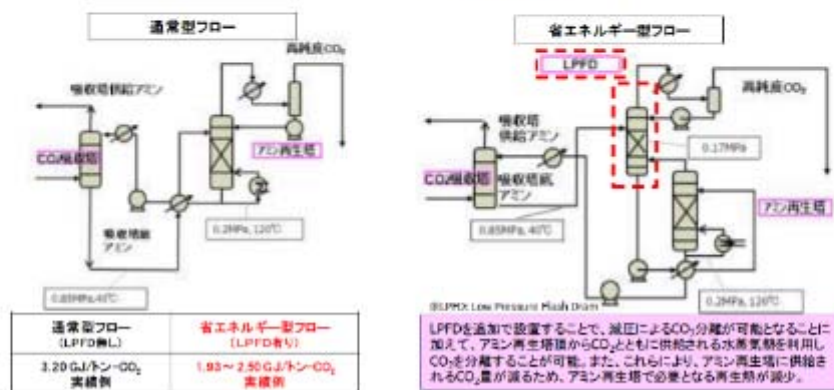


図 2.2-2 分離・回収システム（活性アミン法と省エネルギー型フロースキーム）

D1-1基地およびD1-2基地の設備は、稼働日数を330日（連続運転）と想定し、関連法令や技術基準を遵守するように設計する。また、製油所内に設置する設備については、製油所内の設備に係る法令や安全基準も満たす仕様とする。具体的に、新設設備に係る関連法令としては、高圧ガス保安法、電気事業法、ガス事業法、工場立地法等が挙げられる。

更に、D1-2基地では、緊急時に系内のPSA下流ガス、分離後ガス、高純度CO₂を安全に処理するための設備を設置する。具体的には、PSA下流ガスおよび分離後ガスについてはフレアスタック、高純度CO₂については放散用ベント設備（ベントスタック）を設置する。放散用ベント設備については、2.2.1(4)にて設計の考え方を示す。

② 技術検証課題

a 既存施設、設備への影響の局限化

CO₂排出源である水素製造装置は既存施設内にあるため、CCS実証試験用の設備設置やその稼働状況が既存施設に与える影響を局限化するための対策が不可欠である。この点について十分に配慮した仕様とする。

b 省エネルギー型分離・回収プロセスの性能確認

化学吸収プロセスの中でも活性アミンは特にCO₂の吸収性能に優れ、装置コスト・運転コストを他のプロセスに比べて低く抑えることが期待できる。分離・回収エネルギーは、現在運用されている分離・回収法におけるエネルギー値等を考慮して2.5GJ/トン-CO₂以下を目標とし、費用対効果等も勘案しながら、2.0GJ/トン-CO₂程度まで低減することも狙う。この値は、アミンリボイラーにおけるスチーム消費量と溶剤循環ポンプ動力の変化を測定し、評価する。

(3) 液化・輸送設備設計 (D2基地)

① 全体フロー

D2基地は、CO₂排出源である製油所内に設置する。D2基地で発生する気体CO₂を圧縮・液化設備で液体CO₂とし、構内配管、貯蔵設備、出荷輸送設備まで移送して、タンクローリーによりD0基地まで輸送する。D2基地の基本フローを図2.2-3に示す。

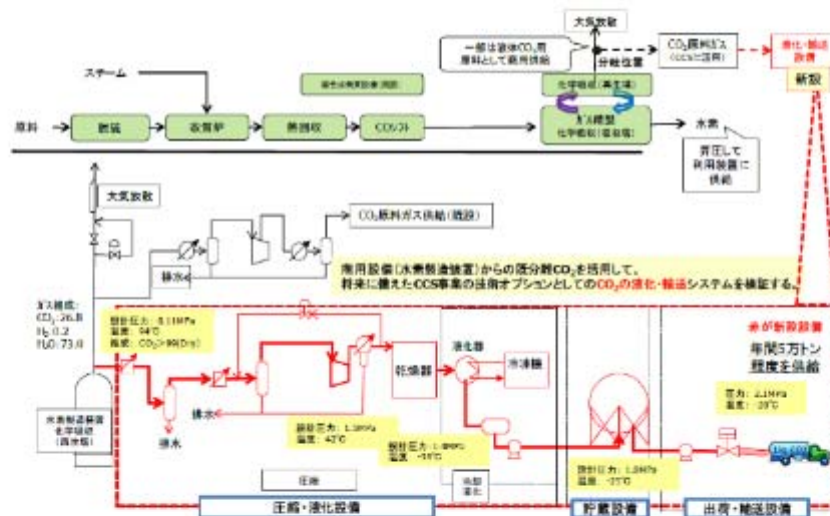


図 2.2-3 D2基地の基本フロー

D2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CO₂を含むガス（ドライベースで濃度99容量%程度、以下、「既分離CO₂ガス」という）に分離されている。このガスの一部は、液体CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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CO₂となる。液体CO₂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。これは、CO₂液化設備が停止した場合には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がないように配慮したものである。

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CO₂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CO₂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。



図 2.2-4 液体CO₂の大規模輸送システム

液体CO₂の輸送で利用するタンクローリーは、運用の効率化、コスト削減の観点から、市場での利用実績がある最大容量13.3トン積載トレーラーとして、タンクローリー積場は3レーンとした。これにより、1日あたりの往復回数は12回（6台×2往復）となる。液体CO₂は、出荷時に濃度等の性状および出荷量の確認を行った上でタンクローリーに積み込む。

D2基地の設備は、稼働日数を330日（連続運転）と想定し、製油所内設備に対する適用法令および安全基準を遵守し、安全性を確保する。関連する主な法令は、高圧ガス保安

法、消防法、石油コンビナート等災害防止法である。また、タンクローリー輸送についても、高圧ガス保安法や道路交通法等の規定を遵守するように設計および運行管理を行う。

② 技術検証課題

a 水素製造装置の負荷変動に対応した液化装置の性能確認

本実証試験に用いる既分離CO₂ガスのD2基地における発生量は、水素製造装置の稼働状況(主として水素の製造量)により変動する。CO₂液化設備に供給できる既分離CO₂ガスの量は、最大でも大気放散ガス量から水素製造装置の圧力バランスをとるため最低限必要な大気放散量を差し引いた量となる。本実証試験では、実際の水素製造装置の稼働状況をふまえた出荷量実績を見ることで、設備性能に係る検証を行う。

b 構内配管を含む出荷設備の気化ロス分低減

液体CO₂は、外気からの熱によって一部気化するためロスが生じる。このため、液体CO₂出荷設備では、構内移送部分も含めたロス分の低減が重要である。水素製造装置の稼働状況が著しく低下した場合も考慮した設計としているが、本実証試験においては、実稼働状況もふまえて、このロス分を検証し、効率的な運転手法を確立する。

(4) 圧入設備設計 (D0基地)

① 全体フロー

D0基地については、CO₂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基地と同じく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CO₂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CO₂を圧入可能な設備とする。

D0基地の基本フローを図2.2-5に示す。

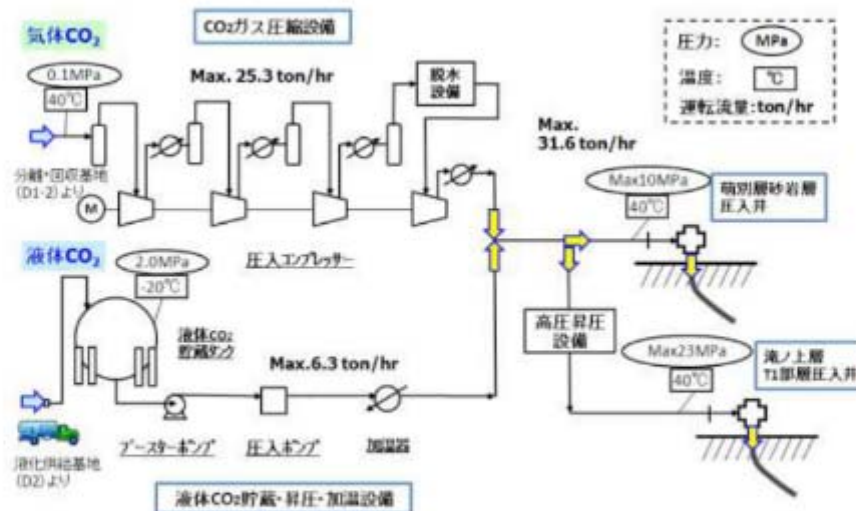


図 2.2-5 D0 基地の基本フロー

a 気体CO₂圧縮設備

D1-2 基地から受入れる気体CO₂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V V V F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V V V F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

D 2基地で生成された液体CO₂を、タンクローリーによりD 0基地に輸送し、液体CO₂貯蔵タンクに貯蔵する。D 2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南別層砂岩層の計画圧入圧力(最大10MPa程度)まで昇圧し、加温器により圧入温度(40℃)まで昇温する。

加温器下流のCO₂は、CO₂ガス圧縮設備から供給されるCO₂と混合して、南別層砂岩層(坑口圧:最大10MPa)に圧入する。滝ノ上層T 1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CO₂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。主な関連法令としては、高圧ガス保安法、工場立地法がある。

加えて、D 0基地には緊急時に系内のCO₂を大気へ安全に放散するため、CO₂緊急放散用バント設備(バントスタック)を設置する。具体的には、i) D 0基地緊急停止時にD 1-2基地から受入れるCO₂を緊急放散して、D 1-2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。

バ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CO₂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CO₂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。

② 技術検証課題

技術検証項目として最も重要なものは、圧縮設備における最適な制御システムの検証である。このため、回転数制御およびアンチサージシステムの性能を確認し、CO₂を安定的に圧入できることを検証する。

(5) 圧入井掘削

製油所に隣接する敷地内のD0基地に坑井掘削基地を設け、萌別層砂岩層および滝ノ上層T1部層の2層を圧入対象層として、それぞれに圧入井を掘削する。以下では、滝ノ上層T1部層を対象にした圧入井を「CCS-3」、萌別層砂岩層を対象にした圧入井を「CCS-4」とする。2つの坑井を掘削することにより、深度および離岸距離ならびに地質状況に応じた坑井掘削技術を検証する。

なお、圧入井掘削時には、これまでの調査で採取しなかった地下水を採取・分析(同位体測定等を含む)し、地層水流動や貯留層および遮蔽層の地化学的検討に用いる。

① CCS-3

圧入井CCS-3は、苫小牧CCS-1および3D弾性波探査の解析結果に基づき、滝ノ上層内でも圧入性状が良好な地点を目標に掘削する。これにより、坑底までの水平偏距4,103m、垂直深度2,789m、掘削長5,570m、最大傾斜角70°の高傾斜坑井となる(図2.2-6および表2.2-1参照)。

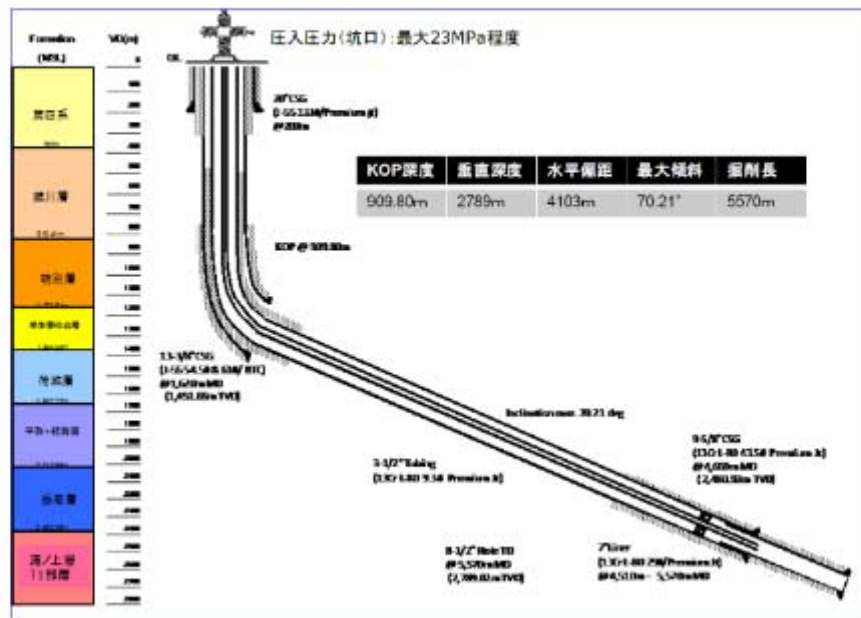


図 2.2-6 滝ノ上層T1部層を対象とした圧入井CCS-3の坑跡

表 2.2-1 CCS-3ケーシング計画

坑径 (inch)	パイプ径 (inch)	パイプ管種			
		重量 ft/lb	グレード	継手	深度 m
打込み管	30	t=16mm	SGP	溶接	0-25
26	20	133	J-55	PJ	0-200
17-1/2	13-3/8	54.5	J-55	BTC	0-1,620
12-1/4	9-5/8	43.5	L-80 13Cr	PJ	0-4,660
8-1/2	7	29	L-80 13Cr	PJ	4,510-5,570
TBG	3-1/2	9.3	L-80 13Cr	PJ	0-4,660

② CCS-4

圧入井CCS-4は、3D弾性波探査の解析結果に基づき、萌別層砂岩層が厚く発達している地点を目標に掘削する。これにより、坑底までの水平偏距2,911m、垂直深度1,169m、掘削長3,520m、最大傾斜角度86°の大偏距(ERD)坑井となる(図2.2-7および表2.2-2参照)。

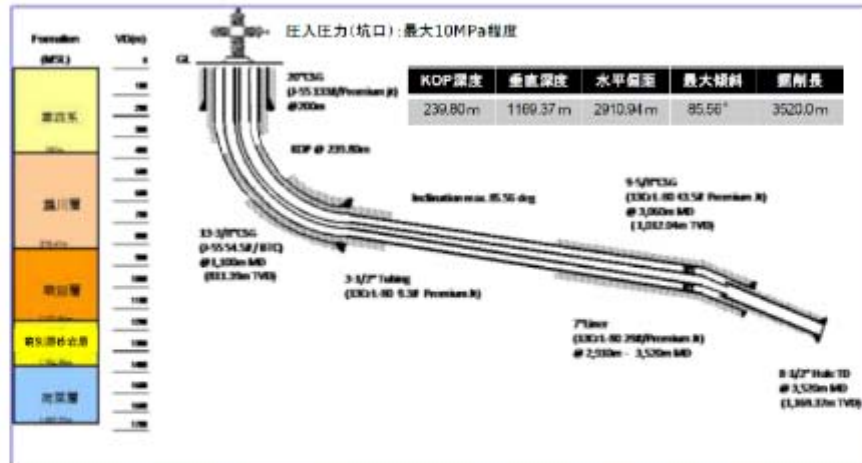


図 2.2-7 萌別層砂岩層を対象とした圧入井 CCS-4 の坑跡

表 2.2-2 CCS-4 ケーシング計画

坑径 (inch)	パイプ径 (inch)	パイプ管種			
		重量 ft/lb	グレード	継手	深度 m
打込み管	30	t=16mm	SGP	溶接	0-25
26	25	133	J-55	PJ	0-200
17-1/2	13-3/8	54.5	J-55	BTC	0-1, 100
12-1/4	9-5/8	43.5	L-80 13Cr	PJ	0-3, 060
8-1/2	7	29	L-80 13Cr	PJ	2, 910-3, 520
TBG	3-1/2	9.3	L-80 13Cr	PJ	0-3, 060

坑井の掘削および廃坑作業にあたっては、労働安全衛生法はもとより、鉱業を目的として坑井を石油鉱山内で掘削する際に適用される鉱山保安法、鉱業法等の技術基準を準用して作業の安全を図る。また、経済産業省ガイドライン「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の項目「5. CO₂地中貯留を目的とした坑井の掘削・閉鎖にあたっての安全確保」をふまえて作業を実施し、安全を確保する。

③ 坑井の仕上げ

圧入するCO₂の漏洩を防止し、長期的な安定性に配慮するため、坑井に降下したケーシングと坑壁との間にセメントを必要区間充填することとし、7"（インチ）および9-5/8"

ケーシングのセメンチングには、耐CO₂セメントを使用する（図2.2-8参照）。

坑井の仕上げには、チュービングとパッカーを使用し、CO₂計画圧入圧力、圧入レート、ケーシングとチュービングの強度等を総合的に検討し、CO₂の圧入により坑井の健全性が損なわれないようにする。圧入するCO₂による腐食を防止し、長期的な安定性に配慮するため、チュービング、7"および9-5/8"ケーシングは耐CO₂材を使用し、パッカーおよび坑口装置でCO₂と接触する箇所には耐CO₂材料を使用する。

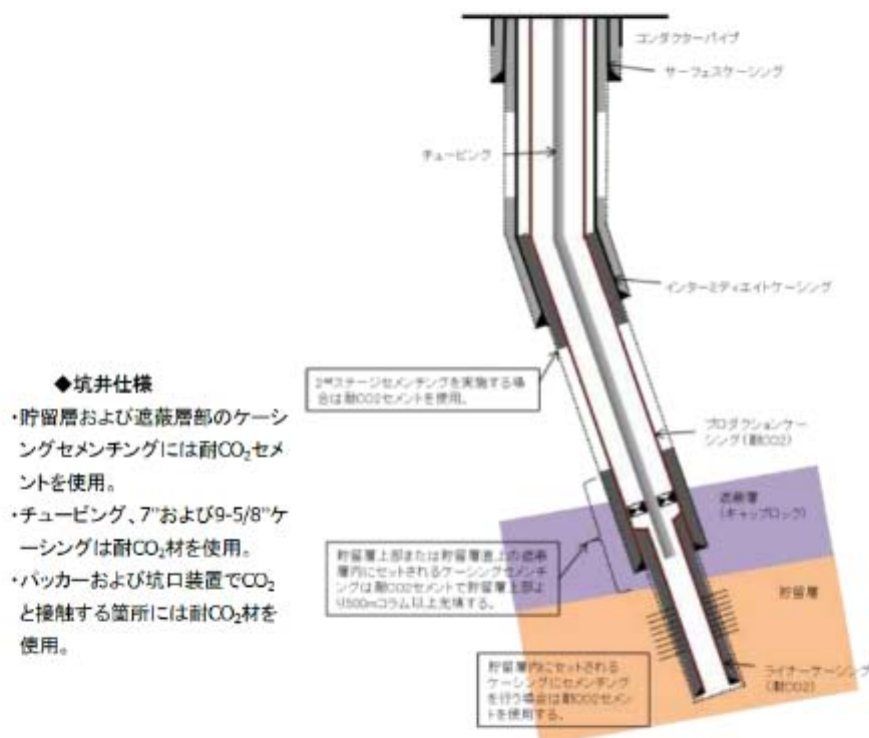


図 2.2-8 圧入井掘削 坑井仕様

④ 技術検証課題

CCS-3およびCCS-4は、いずれも高傾斜井であり、特にCCS-4は大偏距(ERD)の坑跡となる。これらの高傾斜の坑井の掘削における技術検証項目は以下の通り。

- a トルク（回転方向の負荷）およびドラグ（掘削方向の負荷）を考慮したケーシング、ドリルパイプおよび掘削装置の選定

高傾斜井においては、坑内のパイプ類（ドリルパイプ、ケーシングおよびチュービン

g) と坑壁との摩擦は、高傾斜区間が長くなることにより大きくなる。このため、通常の傾斜井よりもパイプ類にかかるトルクおよびドラグが大きくなり、掘削障害のリスクが高まる。そこで、計画した坑跡におけるトルクおよびドラグの大きさを予測し、最適なケーシング、ドリルパイプおよび掘削装置を選定する必要がある。

b 坑内洗浄のためのポンプ速度の最適化

高傾斜区間では掘進中の掘り屑が坑内下側に停滞しやすいため、抑留事故が発生するリスクがある。これを低減するため、坑内洗浄に必要とされる最適ポンプ速度を得るためのドリルパイプの径、泥水システムおよびポンプ性能についての検討が必要である。

c 坑壁安定性確保のための適正な泥水比重の検討

CCS-4のように、深度が浅い区間で高傾斜の裸坑区間が長くなると坑壁崩壊が発生する可能性が高くなる。坑壁の崩壊を防ぐためには泥水比重を上げる必要があるが、深度が浅い地層では岩石強度が小さいため、泥水比重を上げることによる逸泥が発生する可能性がある。このため事前に岩石力学的な検討を行い、岩石強度を考慮した適正な泥水比重を求めることが必要である。

d 最適な泥水システムの選定

高傾斜区間の坑内洗浄能力の向上、潤滑性の向上および坑壁安定性を考慮した最適な泥水システムを選定することが重要である。上記bおよびcを考慮し、さらに苫小牧CCS-1およびCCS-2の掘り屑の分析結果と合わせて検討した結果、CCS-3およびCCS-4の泥水システムは表2.2-3示すシステムを検討する。

表2.2-3 滝ノ上層T1部層および萌別層砂岩層圧入井 泥水システム

坑径 (inch)	ケーシング (inch)	泥水の種類	比重 (S.G)	粘性 (sec/qt)	備考
26	20	ベントナイト	1.10	150-300	
17-1/2	13-3/8	ベントナイト	1.30	150-300	
12-1/4	9-5/8	シンセティックベースマッド	1.30	60-70	
8-1/2	7	シンセティックベースマッド	1.30	60前後	滝ノ上層は1.48SG
仕上げ流体		NaCl ブライン NaCl/NaBr ブライン	1.10	-	滝ノ上層は1.48SG

e 傾斜掘り機器の選定

CCS-4においては、浅い軟弱層内から傾斜掘りを開始しなければならない。国外

で掘削されている大偏距井の情報を収集して、軟弱層内において計画通りに傾斜方向を制御できる傾斜掘り機器を選定する必要がある。

f 最適なセメンチングの実施

高傾斜区間にセットするケーシングのセメンチングにおいては、坑内下側にある泥水や掘り屑をセメントと置換することが難しく、ケーシングを坑内中央に設置するのが難しいことに加えて、セメントからの遊離水により坑内上側にセメンチング不良が生じることが原因となって、良好なセメンチングは容易ではない。これらに対処するために、セメンチング前にスパーサー（泥壁の洗浄を目的とした特殊溶液）を多く流し込む方法や、セメンチングを補充するバッカーを使用する方法の検討が必要である。

2.2.2 システム運用計画

(1) システム運用計画に関する基本的考え方

- 1) 以下に示すCO₂供給計画と圧入計画との整合を取りつつ、全体を最適化したトータルシステムを運用する。
- 2) CO₂供給計画については、排出源の稼働状況を十分にふまえたものとする。
- 3) CO₂圧入計画については、それぞれの貯留層の圧入性能を十分にふまえたものとする。
- 4) CO₂輸送計画については、効率化および経済性を考慮する。
- 5) CO₂受入・圧入は、複数排出源からのCO₂の管理と圧入量のコントロールを適切に行う。

(2) CO₂供給計画（D1-1基地、D1-2基地）

① 基本計画

D1-1基地から供給されるPSA下流ガスから、D1-2基地においてCO₂を分離・回収し、高純度CO₂（濃度99容量%以上）とした後、D0基地に気体CO₂を年間10～20万トン程度供給する。ただし、供給量については、排出源の稼働状況等による。

② 技術検証課題

D1-2基地の分離・回収設備および付帯設備に係るエネルギー消費データを蓄積し、エネルギー消費要因を明らかにする。また、分離・回収設備および昇圧設備の運用実績をふまえて、システム最適化に向けた課題を抽出し、対応策をとりまとめる。

(3) CO₂供給計画 (D2基地)

① 基本計画

D2基地から、タンクローリーによりD0基地へ年間5万トン程度の液体CO₂を供給する。ただし、具体的な供給量については、排出源の操業状況等による。D2基地では、既分離CO₂ガスを圧縮・液化設備により液体CO₂にしてタンクローリーでD0基地まで輸送する。

輸送については、市場実績がある最大容量が13.3トン積載のトレーラータイプのタンクローリーを使用し、出荷・輸送に係る設備および運行に係るコストの最適化を図れるように計画する。



図 2.2-9 液化出荷タンクローリー輸送システム

② 技術検証課題

a 運用基本性能の確認

車両輸送システムの運用により、CO₂液化出荷・輸送・受入に係る管理手法を確立する。

b 既存設備への影響の確認

液体CO₂の出荷量実績を把握することで、商用設備である水素製造装置の稼働に影響を及ぼさず、液体CO₂の供給が可能であることを確認する。

(4) 圧入設備運転計画（D0基地）

① 基本計画

D0基地では、D1-2基地から気体CO₂を年間10～20万トン程度、D2基地から液体CO₂を年間5万トン程度受け入れる。

D0基地において、D1-2基地およびD2基地から受け入れるCO₂の流量（D2基地からの液体CO₂については、タンクローリーによる受入れ量を重量にて測定）、温度、圧力およびCO₂濃度を測定し、受け入れるCO₂の管理を行う。

受け入れたCO₂は2.2.2(6)に示す圧入計画に従い、2本の圧入井により滝ノ上層T1部層と萌別層砂岩層に圧入する（年間15～25万トン程度）。その際、2ヶ所の排出源から供給されるCO₂を、適切に2層の貯留層に圧入するべく、温度、圧力および流量の統合管理を行う。

なお、D0基地においてCO₂圧入運転を行う際には、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。）の規定に基づき、D1-2基地およびD2基地からCO₂を受け入れる際に行う測定とは別に、D0基地における圧縮設備と圧入井の取り合い部において、圧入するCO₂の流量、温度、圧力および濃度を測定する。同法で定める測定方法に基づき、ガスクロマトグラフィーにて、圧入流体中のN₂、O₂、H₂、CO、CH₄の濃度を測定して、CO₂濃度が体積百分率で99%以上であることを確認する。

また、これらの流量および圧力の測定結果から見込まれる圧入レートと、D1-2基地およびD2基地の予定稼働状況から推定されるCO₂供給可能量を比較し、D0基地の貯蔵量や圧入量を調整する。

D0基地は、高圧ガス保安法が定める第一種製造者に該当するため、同法に基づき、保安統括者、保安技術管理者および保安係員を選任する必要がある。また、D0基地は、電気事業法が定める自家用電気工作物を設置し、特別高圧電力を受電するため、電気主任技術者を選任する必要がある。これらの者が、設備点検を定期的に行い、安全性を確保する。

また、D0基地には1日に12台の液体CO₂タンクローリーが入り出す。タンクローリーからD0基地内の受入タンクへの液体CO₂の移し替え作業時は、立会要員を配置し、同作業の安全性を確保する。

さらに、圧入運転中には、貯留層の温度、圧力に関するデータを取得する。圧入ができなくなるなどの緊急事態においては、基本的には遮断弁が自動で作動し、地下と地上設備を遮断することで安全を確保するが、これに加えて、圧入井監視要員を常時配置し、取得

したデータをもとに的確に運転状況を判断した上で、緊急事態においては手動でも遮断弁を閉めることが可能となるよう管理体制を構築する。

② 技術検証課題

a プロセス基本性能の確認

圧入量の変動に対する圧縮設備の負荷追従性や電力節減量を測定、確認する。

b 気体・液体CO₂の統合管理

D0基地内のCO₂貯蔵量や圧入量といったCO₂の量的推移に加えて、システム全体の消費エネルギーを測定することにより、システム全体の効率向上に向けた検討を行う。

CCSが実用化された際には、効率性の観点等から、複数の排出源から排出されるCO₂を、さまざまな輸送形態を用いて、1つの貯留地点に輸送一括して圧入する方式が考えられる。排出源となる商用装置は、稼働状況によりCO₂供給量が変動するため、安全かつ効率的にCO₂を圧入する上で、CO₂圧入量や貯蔵量を適切に管理することが不可欠である。このため、本実証試験では、運用管理システム等に対するオペレーションズリサーチ等の手法によるシミュレーションを実施し、技術的に問題がないことを確認する。また、本実証試験で得られた知見を十分に活用することで、圧入基地の効率的な運用や圧入に係るコストが低減されることが考えられる。

(5) 地上設備運用における確認事項のスケジュール

システム運用における地上設備の実証項目と長期信頼性に係る確認事項のスケジュールを図2.2-10に示す。

1年目から2年目にかけて実証項目のデータ取得を行う。運転中は日常点検のほか、1年目末に簡易点検（目視）、2年目末に開放点検（法定：高圧ガス保安法）を実施する。3年目初頭にはそれまでのデータとりまとめ、3年目以降の運転計画の策定を行う。また、コストダウン策の提案等を行う。3年目～4年目前半は、2年目までに得られた課題を解決するための継続データを取得するために追加試験等を行い、3年半の運転を終了する。4年目後半はデータ解析による信頼性評価等の結果をとりまとめ、最終評価を行い、設備・運転にかかる総合評価を行う。

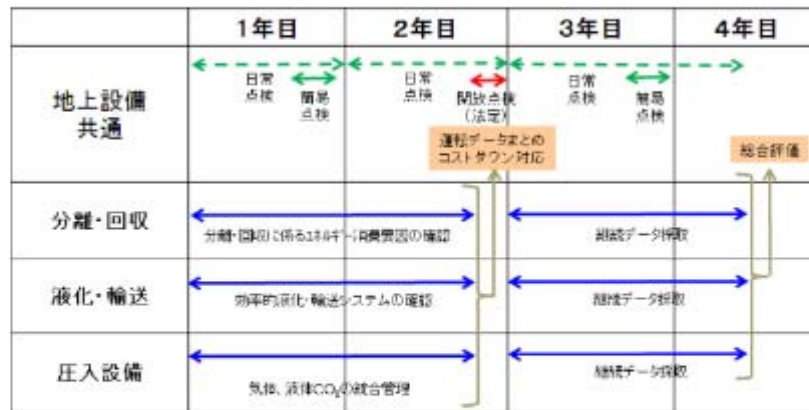


図 2. 2-10 設備の運用に係る確認事項と評価スケジュール

(6) 圧入計画

萌別層砂岩層および滝ノ上層T1部層の2層を圧入対象層として、2層の貯留層へ圧入する。圧入に当たっては、坑底圧力等を常にモニタリングし、遮蔽層の破壊圧を基に算出した圧入圧力の上限値を超えないようにすることが必要不可欠である。

① 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による滝ノ上層T1部層と萌別層砂岩層への圧入を基本とする（図 2. 2-11、図 2. 2-12 参照）。

圧入レートは、各貯留層においてCO₂の挙動を検知する上で最低限必要と想定される累計圧入量をふまえて算出したものである。また、圧入圧力は、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

定常運転では、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部層と萌別層砂岩層両層へCO₂が安全に貯留できることを実証する。これにより、地質性状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、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が想定される。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と層状をなした砂岩貯留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圧入レートで連続運転する。

② 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、実用化に向けて各層の基礎データを取得することを目的に、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/年の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。

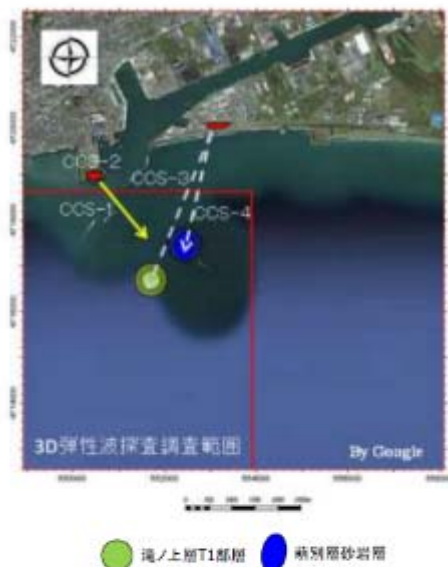


図 2.2-11 圧入対象層 (平面図)

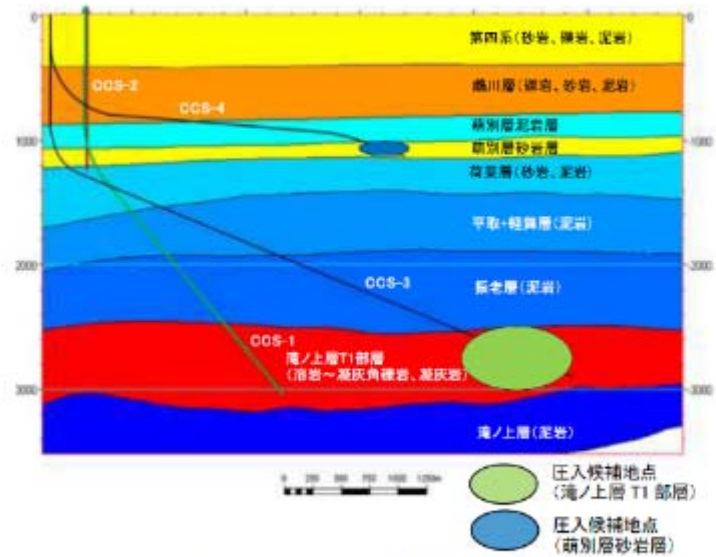


图 2.2-12 压入对象層 (断面图)

2.2.3 貯留モニタリング計画

(1) 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（移動・拡がり）の把握や貯留層外部への漏洩・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。これらのモニタリングのベースは弾性波探査であるが、試験中は、常にその時点での最新の技術（BAT（Best Available Technology））を用いることとする。また、実証試験の状況や結果によっては、弾性波探査以外のモニタリング手法（新しいボーリングによる検層、トモグラフィ、海底の電磁場の連続測定等）も臨機応変に適用する。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とともに、各種モニタリングを通じて、継続的に断層活動の有無や他の断層の可能性を確認する。また、モニタリング計画については適宜見直す。その際は、想定外の地震も考慮する。なお、微小振動や自然地震のモニタリングについては、原則的に連続観測とする。

実証試験では、海洋汚染防止法に加えて、「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、「苫小牧地点における貯留層総合評価」における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り、その後も海洋汚染防止法の規定に基づき、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：CO₂の漏洩、貯留層圧力の異常の検知

- ・圧入されたCO₂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。
- ・貯留層からのCO₂の漏洩を検知する。

目的2：圧入されたCO₂の貯留層内での挙動把握（貯留層モニタリング）

- ・CO₂の圧入および貯留が計画通り安全かつ安定的に行われていることを確認する。
- ・CO₂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、CO₂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CO₂の長期挙動予測の信頼性を向上させる。

目的4：CO₂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）

- ・CO₂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、CO₂の地中貯留との関連性を確認する。
- ・自然地震により観測される振動の貯留層内のCO₂に対する影響について評価する。

図2.2-13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2.2-13 モニタリングスケジュールの概要

(2) 圧入前モニタリング

① モニタリング項目

CO₂圧入前には、圧入後の各種物性値（弾性波速度、圧力、温度等）の変化、微小振動の発生の有無や発生する場合その振源を把握できるようにベースラインデータを取得する。モニタリング項目については、必要に応じて追加するとともに、ベースラインデータは、その後の実証試験結果を評価する上で基本となるため、十分なデータを蓄積する。

以下に、圧入前に実施するモニタリング項目を示す。

- ・2D弾性波探査（ベースラインデータ取得のための調査）
- ・3D弾性波探査（ベースラインデータ取得のための調査）

以下は、連続測定・観測する項目である。

- ・観測井（調査井CCS-1坑を改修）内の受振器による微小振動、自然地震観測

- ・常設型海底受振ケーブル(OBC)による微小振動、自然地震観測
- ・海底地震計(OBS)による微小振動、自然地震観測
- ・陸上設置地震計による微小振動、自然地震観測

また、上記ベースラインデータを取得し、圧入井掘削時の地下水採取を行った際には、地質モデルを改良し、地化学反応も考慮したCO₂長期挙動シミュレーションを行う。なお、CO₂長期挙動シミュレーションを実施する際には、浸透率分布の地球統計学を利用した感度分析の他、スレシヨルド圧力の低減を含めた感度分析の実施も検討する。

② 弾性波探査

弾性波を用いたモニタリング手法には、弾性波探査のほかに坑井間の弾性波トモグラフィ探査がある。しかし、本実証試験では貯留層におけるCO₂の拡がり弾性波トモグラフィ探査の測定限界を超えることが想定されるため、同探査は実施せず、2D弾性波探査および3D弾性波探査を実施する。

一般的に、CO₂を貯留層内に圧入することによる弾性波速度の減少と振幅の変化を捉えることにより観測時点におけるCO₂の分布域を把握することが可能となる。弾性波速度や振幅について圧入前のデータ(ベースラインデータ)を取得し、CO₂の圧入開始後に同様の手法で観測を行い、結果を比較することでそれらの変化の把握が可能となる。

また、地下構造を2次的に把握することを目的に、2D弾性波探査では、図2-14に示すように海底にOBCを直線状に敷設する。2D弾性波探査の調査位置(OBCを敷設して観測を行う測線位置)は、滝ノ上層T1部層と萌別層砂岩層の両圧入地点直上を通過する直線とする。3D弾性波探査では、複数のOBCを海底に平行に敷設することで、地下構造を3次的に把握する。3D弾性波探査は、2009年の3D弾性波探査調査結果をベースラインデータとし、CO₂の圧入開始以降は2009年の3D弾性波探査の範囲について定期的に探査を実施する(図2-2-15)。2D弾性波探査については、ベースラインデータ取得のための探査を圧入前に実施し、圧入開始以降は、3D弾性波探査実施時期の間を補充する形で探査を実施する。

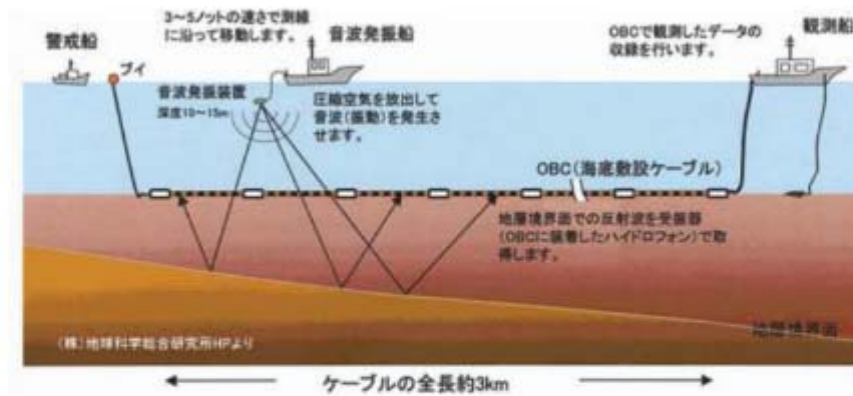


図 2. 2-14 弾性波探査作業概念図 (海底敷設ケーブル方式)

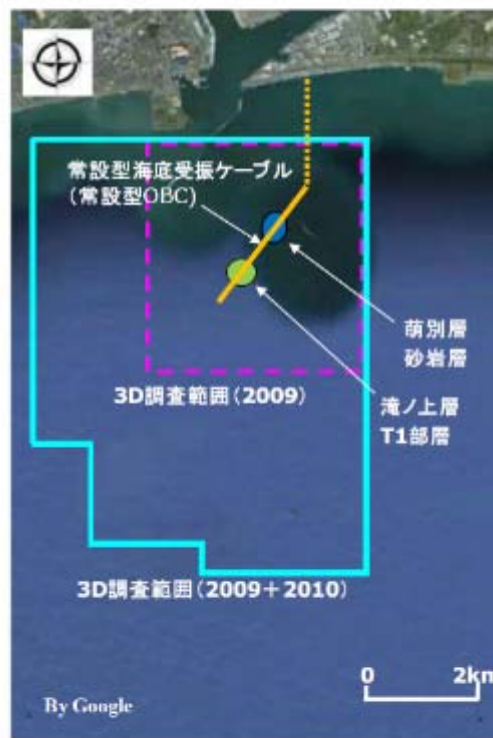


図 2. 2-15 2Dおよび3D弾性波探査の調査範囲

③ 微小振動、自然地震のモニタリング

観測井内には複数の3成分受振器(上下動、水平2成分)を、貯留層の直上の海底にはOBC(2D弾性波探査と兼用)を、貯留層の直上の海底を含む数ヶ所には高感度の地震

計（OBSおよび陸上設置地震計）をそれぞれ設置し、微小振動と自然地震の連続観測を実施する（図 2.2-16、図 2.2-17 参照）。

国内外での研究成果によれば、貯留層近傍においてCO₂の圧入に起因する微小振動が発生する可能性がある。図 2.2-17 に示す配置の観測機器により、萌別層砂岩層と滝ノ上層T1部層においてCO₂の挙動に関連して発生する微小振動を検知し、その振源位置を決定する。特に、滝ノ上層T1部層の圧入予定地点西側約2kmにある断層を十分に観測できるような測定システムを構築する。

また、これらの観測機器により自然地震を観測し、震源位置の決定と地震規模の把握を行い、自然地震が貯留したCO₂等に与える影響について検証する。自然地震に関しては、防災科学技術研究所のHi-net（図 2.2-18 参照）の観測データを利用することにより、実証試験地点を含む広い範囲の自然地震の活動を把握することが可能となる。

なお、実証試験計画地点の東方20～30kmには活断層である石狩低地東縁断層帯南部が分布する。この活断層分布域で発生する自然地震のデータを捕捉するHi-net等の既設の地震観測網があるが、これに加えて、石狩低地東縁断層帯南部などにおける地震活動を把握できるように地震計の設置を検討する。

以上を含め、必要十分な範囲をカバーし、最適かつ経済的な地震観測網を構築する。

ベースラインデータを取得するために、微小振動と自然地震の連続観測は、圧入開始約1年前から開始する。

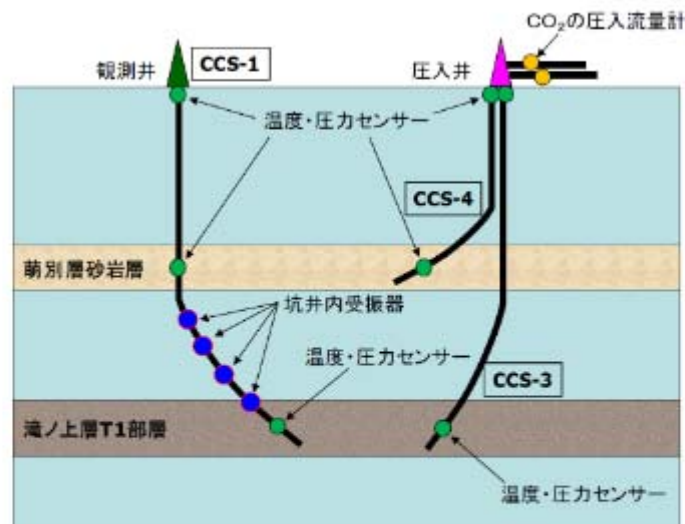


図 2.2-16 圧入井・観測井におけるモニタリング概念図

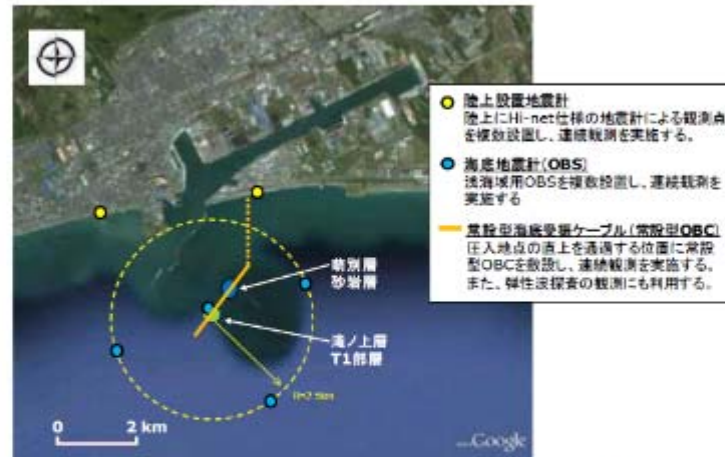


図 2.2-17 微小振動、自然地震観測機概略配置図



(防災科学研究所の高感度地震観測網 Hi-net: 防災科学技術研究所が運営している地震動の観測システムで、全国に観測点を配置し、緊急地震速報の発信にも活用されている。)

図 2.2-18 陸上設置地震計による自然地震観測システムの事例

(3) 圧入中モニタリング

CO₂ 圧入中のモニタリングに関しては、安全にCO₂ 地中貯留が実施されていることを確認することが最も重要な目的である。圧入中のモニタリングでは、i) 圧入したCO₂ の

挙動を観測し、ii) 貯留層からのCO₂の漏洩を検知することで、計画通りにCO₂の圧入および貯留が安全かつ安定的に実施されていることを確認する。また、iii) モニタリングにより得られたデータとCO₂長期挙動予測シミュレーション結果とを比較して、地質モデルの改良を図る。

また、これらのモニタリングの結果、仮に異常が検知された場合は、2.3に示す対応をとる。

以下に、圧入中に実施するモニタリング項目を示すとともに、図2.2-19にモニタリングの概念図を示す。

a 連続測定・観測項目

- ・圧入井坑底における温度・圧力測定
- ・圧入井坑口における温度・圧力、アニユラス圧力、CO₂圧入量測定
- ・観測井坑底における温度・圧力測定
- ・観測井坑口における温度・圧力、アニユラス圧力測定
- ・観測井内における微小振動、自然地震観測
- ・OBSによる微小振動、自然地震観測
- ・OBCによる微小振動、自然地震観測
- ・陸上設置地震計による微小振動、自然地震観測

上記観測井はCCS-1坑を改修するものであるが、より観測精度を高める観点から、必要に応じて追加観測井を掘削する。

b 定期的実施する項目

- ・2D弾性波探査
- ・3D弾性波探査

なお、貯留層総合評価の結果をふまえて、弾性波探査の実施時期に関しては、各貯留層の貯留量（累積圧入量）が同探査に適切な量に達した時点から実施する。また、滝ノ上層T1部層と萌別層砂岩層という深度の異なる2層のそれぞれにCO₂を圧入するため、2層の貯留層におけるCO₂の挙動を正確に把握するには、上位層（萌別層砂岩層）に圧入されたCO₂が下位層（滝ノ上層T1部層）からの弾性波の情報に与える影響をシミュレーションし、その結果に基づく適切な圧入ポイントの選定が必要である。



図 2.2-19 圧入中のモニタリング概念図

(4) 圧入後のモニタリング

CO₂圧入後（圧入運転終了後）は、引き続き貯留層内におけるCO₂の挙動を把握し、安定的にCO₂が貯留されていることを確認するため、圧入中と同様に以下のモニタリングを実施する。

- ・ 圧入井坑底における温度・圧力測定
- ・ 圧入井坑口における温度・圧力、アニュラス圧力測定
- ・ 観測井坑底における温度・圧力測定
- ・ 観測井坑口における温度・圧力、アニュラス圧力測定
- ・ 観測井内における微小振動、自然地震観測
- ・ OBSによる微小振動、自然地震観測
- ・ OBCによる微小振動、自然地震観測
- ・ 陸上設置地震計による微小振動、自然地震観測
- ・ 2D弾性波探査
- ・ 3D弾性波探査

なお、実証試験終了後も、海洋汚染防止法の規定に基づきモニタリングを継続する。圧入井と観測井の廃坑については、その後のモニタリング継続の方法と内容を必要性和有効性の見地から検討の上、実施の可否を決定する。

2.2.4 海洋系におけるモニタリング計画

(1) モニタリング計画に関する考え方

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1年通して行い、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。また、自然界由来のCO₂とCCS起因のCO₂を判別するための同位体比の測定等、追加的な調査項目の実施も検討する。

圧入中のモニタリングは、CO₂漏出を想定した海洋環境への事前影響評価をふまえた上で、圧入前に実施したベースライン調査における調査範囲、調査項目、調査頻度等を基本として実施する。

圧入後のモニタリングは、圧入前に実施したベースライン調査における調査範囲、調査項目、調査頻度等を基本とするが、圧入中におけるモニタリング結果をふまえて、調査範囲、調査項目、調査頻度等について見直しを行う。

(2) 圧入前

海洋汚染防止法では圧入前に貯留対象海域のベースライン調査を実施し、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ことが義務付けられている。事前影響評価のポイントは、i) 妥当性のあるCO₂漏出シナリオの設定、ii) 貯留対象海域における海洋環境の現況を把握するためのベースラインの調査、iii) 港湾内流況を反映できるモデルの構築、およびiv) i～iiiをふまえた想定漏出CO₂の海水拡散シミュレーション評価とそれに基づく海洋生物への影響評価である。図2.2-20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。

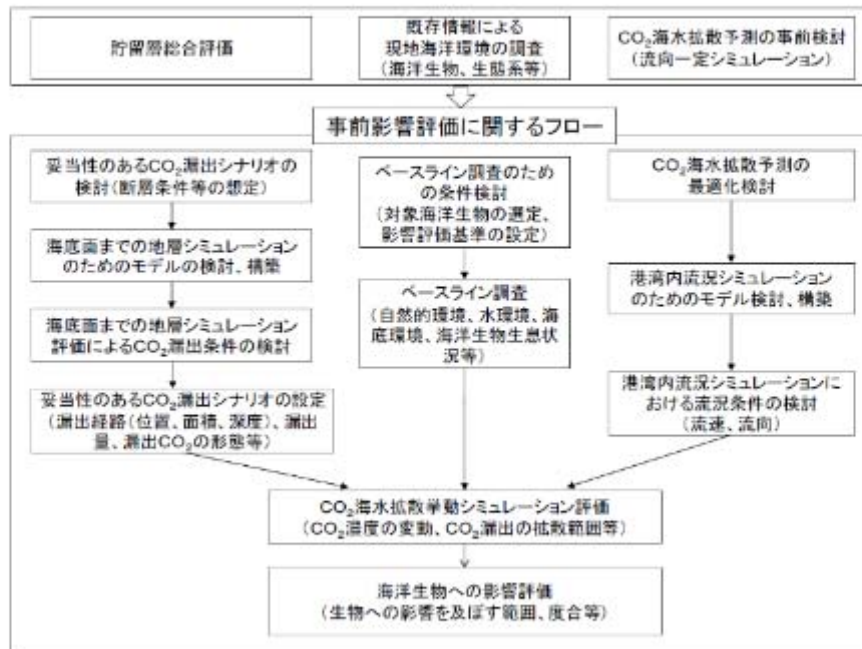


図 2. 2-20 海洋環境への事前影響評価に関するフロー

① 妥当性のあるCO₂漏出シナリオの設定

廃坑井等の人造物の破損事故等からのCO₂の漏出は、各種安全対策等により防止されると考えられることから、CO₂漏出シナリオの設定にあたっては、断層からのCO₂漏出が最も可能性が高いシナリオと想定される。このため、ここでは断層からのCO₂漏出を想定する。

具体的には、「苫小牧地点における貯留層総合評価」に基づき、確認されている断層および存在可能性のある未検出の断層に対する検討、評価を行い、地質構造、堆積層、岩石物性等のデータに基づき、海底面までの地層シミュレーションモデルを検討、構築する。その上で、地層シミュレーション評価によりCO₂漏出条件を検討する。

地層シミュレーション評価の結果に基づき、海底面への漏出経路（位置、面積、深度）、漏出量、漏出CO₂の形態等のCO₂漏出シナリオを設定する。

② ベースライン調査

ベースライン調査は、環境省「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可の申請に係る指針」（以下、「環境省指針」という。）に基づいて実施し、圧入前の貯留対象海域の海洋環境の現況を把握する。

調査範囲は、海洋生物および生態系の広がりならびに事前検討におけるCO₂海水拡散子測結果等を考慮して範囲を設定する。

調査項目は、環境省指針に基づいて設定する。

調査頻度は、季節変動を受けると考えられる流況、水環境および海洋生物については4回/年(四季)を原則とし、季節変動を受けにくいと考えられる海底環境等の項目については1回/年とする。また、深さ方向の測点は、温度躍層や密度躍層の季節変動を考慮して選定する。表2.2-4にベースライン調査の計画概要を示す。

表2.2-4 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	水質 ・水温、塩分、温度躍層・密度躍層の有無 ・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:硝化水素、重金屬類	採水	表層・中間・底層	4回/年(四季)
			表層・底層	4回/年(四季)
			海底環境	底質 ・CO ₂ 濃度指標:全炭酸濃度、アルカリ度 ・有害物質の濃度:硝化水素、重金屬類
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(石炭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、独特な生態系 ・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、遊歩、航路等	既存情報		1回/1年

③ 湾岸内流況を考慮したモデルの構築

ベースライン調査により得られた港湾内の流況を用いて、港湾内流況シミュレーションモデルを検討し、構築する。その上で同シミュレーション結果をふまえて、CO₂海水拡散挙動シミュレーションに用いる流況を予測する。

④ CO₂海水拡散挙動シミュレーション

CO₂海水拡散挙動シミュレーションには、CO₂漏出シナリオによる漏出経路、漏出量等、ベースライン調査により得られた水環境の現況、港湾内流況シミュレーション結果をふまえて得られた流況を使用する。CO₂海水拡散挙動シミュレーション結果によりCO₂漏出の範囲等を推定する。

⑤ 海洋生物への影響評価

海洋生物への影響評価の対象とすべき海洋生物の選定、海洋生物に影響を与える評価基

準を設定した上で、CO₂海水拡散挙動シミュレーションから得られたCO₂濃度および影響範囲に基づき、評価対象海洋生物への影響度合い等を評価する。

(3) 圧入中

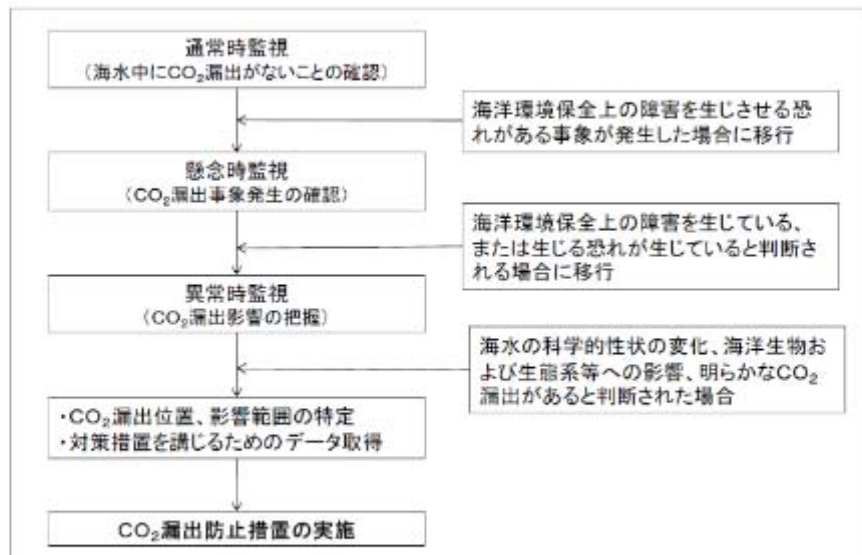
圧入中のモニタリングは、原則としてベースライン調査と同様の調査範囲、調査項目、調査頻度等により実施することを基本とし、定期的な監視により漏出の有無を確認するためのデータを取得する。表 2.2-5 に圧入中におけるモニタリングの計画概要を示す。

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、必要に応じて調査範囲、調査項目、調査頻度等の計画を見直す。

表 2.2-5 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、透明度・密度層の有無	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、重金屬類		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、重金屬類			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(実業期間)		

圧入中のモニタリングは、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漏出の恐れ度合いによってより詳細な監視段階に移行する。図 2.2-21 に環境省指針が定める通常時監視、懸念時監視および異常時監視の移行フローを示す。



(「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可の申請に係る指針」より抜粋)

図 2.2-21 圧入中のモニタリングにおける移行フロー

(4) 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漏出の恐れ具合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

2.3 異常事態発生時の対応

実証試験の実施にあたっては、以下に例示する保安に関連する法令を遵守し、また、「C S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応を準備しておく必要があり、以下に取り組む。

2.3.1 異常事態の想定とその対処方法の確立（保安規定の策定）

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。保安規定及び保安管理体制については、想定外の地震も考慮し対応できるよう、適宜、見直しを行う。

2.3.2 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。

2.3.3 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 2.3-1 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。その際は、想定される異常事態の内容を十分に検討し、より具体的な対策・措置を盛り込むことが必要である。

- ・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

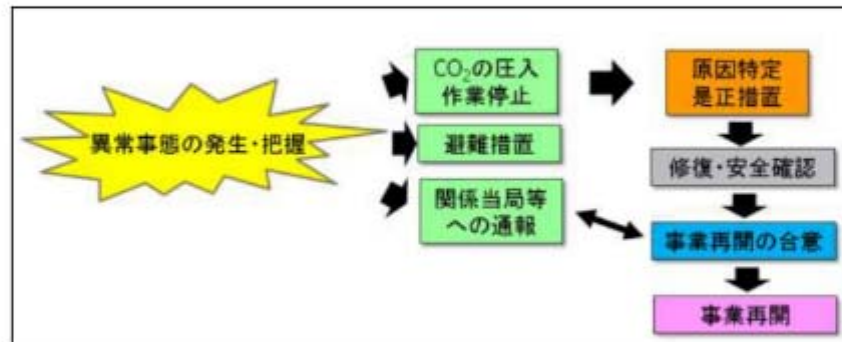


図 2.3-1 異常事態発生時の基本的対応

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）を講ずる。また、同時に関係当局等に対して異常事態発生のお知らせを行い、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。

第3章 まとめ

3.1 実証試験計画の概要

3.1.1 CCSトータルシステム

- ・CO₂排出源：苫小牧地点近傍のCO₂排出源の内、技術的に比較的容易にCO₂を分離・回収でき、かつ実証試験に対する協力が得られる2ヶ所の製油所の水素製造装置（D1-1基地、D2基地）を排出源とする。CO₂回収量はD1-1基地が年間10～20万トン程度、D2基地が年間最大5万トン程度で、合計年間15～25万トン程度（排出源の操業状況等による）である。
- ・CO₂分離・回収（D1-2基地）：D1-1基地で水素製造装置から排出されるCO₂含有プロセスガスをD0基地に隣接するD1-2基地まで、2.5kmの配管により移送し、CO₂を分離・回収する。
- ・CO₂液化・輸送（D2基地）：D2基地では既分離のCO₂を回収・液化し、13.3トン積タンクローリー計6台により、D0基地内の受け入れ設備まで約80km輸送する。
- ・CO₂圧入：D0基地で2ヶ所の排出源より輸送されたCO₂を受け入れ、海底下の2層の貯留層に対してそれぞれの圧入井（傾斜井）によりCO₂を圧入・貯留する。

3.1.2 圧入計画

貯留層は、沿岸域海底下の新第三紀の構造性帯水層である滝ノ上層T1部層（深度2,400～3,000m）および非構造性帯水層である萌別層砂岩層（深度1,100～1,200m）である。

滝ノ上層T1部層に対する圧入井（CCS-3）は、垂直深度2,789m、水平偏距4,103m、垂直深度2,789m、掘削長5,570m、最大傾斜角70°である。萌別層砂岩層に対する圧入井（CCS-4）は、垂直深度1,169m、水平偏距2,911m、掘削長3,520m、最大傾斜角86°であり、いずれも高傾斜坑井あるいは大偏距（ERD）の坑井となる。

基本圧入計画は以下の通り。

- 1) 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
- 2) 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

3.1.3 モニタリング

モニタリングの目的は以下に示す 5 項目であり、これらの目的に応じてモニタリングの項目、期間、頻度を設定している。

- 1) CO₂の漏出、貯留層圧力等の異常の検知 (貯留層モニタリング)
- 2) 圧入されたCO₂の貯留層内での挙動把握 (貯留層モニタリング)
- 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、CO₂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)
- 4) CO₂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)
- 5) 海水中へのCO₂漏出の検知 (海洋系モニタリング)

CO₂の圧入前は、ベースラインデータの取得のために、2D弾性波探査、3D弾性波探査、微小振動、自然地震観測および海洋環境調査を実施する。

CO₂の圧入中・圧入後は、2D弾性波探査、3D弾性波探査、海洋環境調査を定期的実施するとともに、微小振動、自然地震観測と圧入井および観測井での温度・圧力の連続測定・観測を継続する。

3.1.4 実施工程

EPC (設計・調達・建設) 期間約 3.5 年、設備運転・圧入期間 3.5 年、圧入後モニタリング期間 2.5 年を基本とし、わが国がCCS実用化の目標としている 2020 年までに試験を完了する。

3.2 実証試験成果の活用性、実用展開

本実証試験は、2ヶ所の製油所の水素製造装置からCO₂を分離・回収・輸送し、2層の海底下帯水層に圧入する実証試験である。わが国で初となる分離・回収から輸送、圧入、貯留までのCCSトータルシステムでの大規模実証試験であることから、事業を通じて種々の技術的課題、安全性に関する課題等を検証し、将来のCCSの実用展開及び技術開発に貢献する。さらに、システム全体および個々の要素のコスト構造を明らかにし、それぞれの最適化を検討することにより、将来のCCS実施にかかるコスト低減に資するデータを提供する。

以下、要素毎に成果の活用可能性について示す。

3.2.1 技術的成果の活用可能性

(1) 分離・回収

高分圧CO₂下での省エネルギー型CO₂分離・回収プロセスを実証し、将来の石油精製、アンモニア製造、天然ガス精製、LNG製造、IGCCなどにおけるCCSのトータルシステム構築のための資とする。具体的には、以下が考えられる。

- 1) 省エネルギー型プロセスの分離・回収エネルギーを実測、解析することにより、エネルギーの削減手法を検討する。国際的な基準の制定状況も加味して、将来のCCSトータルシステムの最適化に向けた資料として活用する。
- 2) 実証設備の設計および運転実績をふまえ、実用設備のプロセス性能や長期運転性を確保するための設備設計等に関する基本的な考え方をまとめる。

(2) 輸送

国内最大規模（5万トン/年）の車両輸送システムを運用することで、大規模液化輸送に係る管理手法をまとめ、将来の複数分散小規模排出源を集約したCCSシステムのための基礎データとして活用とする。

圧入基地の検討の過程では、圧入基地の設置場所を分離・回収基地から港湾を横断した地点とするケースについて、気体CO₂の輸送パイプラインの概略設計を行い、パイプラインの敷設に係る技術的課題を検討した。結果的には、本実証試験計画では、圧入基地を分離・回収基地に隣接して設置することとし、パイプラインは敷設しないこととした。パイプラインは、将来の実用化段階における沿岸工業地域、港湾地域でのCCSトータルシステムのためには必要不可欠な設備であり、更なる検討・検証が必要であるが、本検討結果はその基礎資料となる。

(3) 圧入

複数の排出源からの受け入れ、統合管理および圧入に関する技術の実証成果は、将来の複数排出源の統合管理によるCCSトータルシステムの実用化に向けた基礎資料となる。また、沿岸部にある陸上基地から沿岸海底下の貯留層へCO₂を圧入する際に必要となる大偏距坑井掘削技術（ERD）の実証成果は、わが国沿岸部における将来の大規模CO₂圧入のための基礎技術となる。

(4) 貯留・モニタリング

沿岸海底下の複数の帯水層貯留層に年間15～25万トンのCO₂を安全かつ安定的に貯留できることの実証と、圧入時、圧入後のCO₂の挙動を観測することによる貯留層の管理技

術の実証成果は、わが国における将来の沿岸域大規模CO₂地中貯留の基礎技術となる。

また、モニタリングの内容、結果等の本実証試験に関する情報については広く提供し、CCSに対する国民の理解促進および社会的受容性の確保ならびに科学的知見の蓄積やCCSを含む関連技術の発展に役立てる。

3.2.2 将来の法制度化へ向けて

2020年以降の実用化段階においては、民間事業者が商業ベースでCCSを実施することが可能になると考えられる。このため、本実証試験を通して得られる知見等を基に、必要に応じてCCSを実施する際に必要な法制度等を検討し整備する。

用語集

五十音	用語	説明	
ア行	アニユラス	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空隙。	
	アミンリポイラー	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ポイラー。	
	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。	
	逸泥	坑井内の泥水が地層に湧出し、坑内に湧らない状態。	
	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。	
	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まず帯水層と区別するための呼称。	
	オイルフリーターボ式圧縮機	蒸気による油分を用いないターボ型圧縮機。	
	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。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。	
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。	
	海底受検ケーブル(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計のモニタリングに適している。	
	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。	
	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。	
	活性アミン法	化学吸収法の吸収剤に、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。	
	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。	
	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に向けて掘削される角度を持った坑井。	
	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数層のパイプ。Casingの略。	
	構造性帯水層	本書では、伏せたお椀のような封じ込め構造(背斜構造)をなし、上位に浸透性の低い遊離層を伴う帯水層をいう。	
	港湾内流況シミュレーション	本書では、津や高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。	
	サ行	サージ	圧縮機等で流量をばらけて運転した際に、振動と騒音を起こし、流量、圧力、回転速度が変動する現象。
		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。
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。	
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の略。(他にはWBM: Water Base Mud, OBM: Oil Base Mudがある)	
スクリー式冷凍機		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。	
セメンティング		ケーシング降下後に地層とケーシングの間にセメントを充填させる作業。	
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。	
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。	

五十音	用語	説明
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。
	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。
	ターボ型圧縮機	圧縮機のうち、回転する翼型状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。
	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。
	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。
	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。
	チューピング	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。
	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。
	継手	パイプ類をつなぎ合わせるネジ部。
	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。
	泥水比重	坑井掘削において、泥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。
	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。
	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。
	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。
	ハ行	バックラー
非構造性帯水層		本書では、伏せたお椀のような明確な対じ込め構造を形成しないが、上位に浸透性の低い遮断層を伴う帯水層をいう。
微小振動		荷重をかけた時、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。
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。
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。
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。
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。
マ行	密度産層	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。
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なとされる以外の水。
	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。
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。
	漏出	本書では、地中から大気または海洋への移動をいう。

五十音 英数	用語	説明
	BTC	API規格(American Petroleum Institute)の代表的なネジ Butress Thread Couplingの略。
	CCS	CO ₂ の回収と貯留のこと。Carbon dioxide Capture and Storageの略。
	CO ₂ 海水拡散シミュレーション	本言では、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。
	CO ₂ 挙動モニタリング	帯水層に貯留されたCO ₂ の動きや漏がりの観測。
	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。
	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。
	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。
	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。
	MD	坑井の掘削深度。Measured Depthの略。
	PJ	Premium Jointの略。
	Premium Jt	油井用ケーシングに使われるAPI規格(American Petroleum Institute)以外にある特殊なネジの総称。プレミアムジョイント。
	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。
	SGP	配管用炭素鋼管。Steel Gas Pipeの略。
	TD	坑井の坑底深度。Total Depthの略。
	TVD	傾斜井の場合の垂直深度のこと。True Vertical Depthの略。
	VVVF	電圧と周波数を可変に制御できる電源。Variable Voltage Variable Frequencyの略。

仕様書

1. 件名

平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託費(全国二酸化炭素貯留層基礎調査)

2. 目的

二酸化炭素回収・貯留(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)は、中長期的に最も重要な地球温暖化対策として世界的にも期待されており、2008年に開催されたG8北海道洞爺湖サミットでは、2050年までに二酸化炭素排出量を世界で半減するという目標の共有が合意された。そして地球温暖化への取組としてエネルギー効率の改善、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの促進等とともにCCSを含む先進的なエネルギー技術の開発と展開の必要性が確認された。

国際エネルギー機関(IEA)の試算によると、2050年に温室効果ガスを半減させるためにはCCSが約2割の削減分を担うとされている。2050年に世界の温室効果ガスを半減するためには、日本としても国際社会の一員として二酸化炭素の削減に取り組むことが重要であり、そのためには、省エネルギーや再生可能エネルギーのみならず、CCSも活用しなければ大量のCO₂削減を達成することは困難であると考えられる。

これらを踏まえ、平成20年3月に公表された「Cool Earth -エネルギー革新技術計画-」において、CCSは今後重点的に取り組むべき21の革新技術の一つとして位置づけられており、さらに、平成22年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、2020年頃のCCSの商用化を目指した技術開発の加速化を図ることが述べられているところである。

経済産業省は2020年頃のCCSの実用化に向け、平成24年度から北海道苫小牧市において、CCS大規模実証事業が開始したところであり、経済産業省と環境省が設置した東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議において、2050年目標との関係から国は、炭素貯留適地の調査を進めることとされている。

これを受け、本事業では、平成26年度以降に二酸化炭素貯留可能地点の全国的な実地調査を行うことを想定し、事業決定後、速やかに調査を開始出来るよう、二酸化炭素貯留層基礎調査の調査計画(案)を作成する。

3. 実施概要

(1) 調査計画（案）の作成

①実施内容

平成 24 年度から実施している CCS 大規模実証事業の地点選定に当たっては、国内で見られる典型的な 4 種類の貯留層を含む候補地点をリストアップしたが、2020 年頃の CCS 実用化に向け、早期に実証試験を開始出来るよう、既存の地質データが多く存在する地点に注目して絞り込みを行い、結果として最も早く調査及び評価が終了した苫小牧地点が選定された。

これに対して、本事業は十分な量の二酸化炭素貯留を可能とすることを目的として、比較的大きな貯留ポテンシャルを有すると期待される貯留層を主たる対象として調査を行うための調査計画（案）を作成する。

調査計画（案）には、以下の内容を含む。

- ・調査対象区域の抽出（10 カ所程度）
- ・調査対象区域の既存調査情報と今後必要となる調査項目の整理
- ・弾性波探査に関する既存データの確認または新規測線計画の作成
- ・調査対象区域の評価と優先順位検討
- ・優先される調査対象区域に対する調査費用の概算及び調査スケジュール（案）の作成
- ・以上をまとめた調査計画（案）報告書の作成

②実施方法

調査対象区域の候補は、これまでの調査で抽出されているものを中心に行う。例えば、これまでの調査・評価事業には以下のものがある。

- ・平成 17 年度～平成 19 年度に公益財団法人 地球環境産業技術研究機構が実施した「全国貯留層賦存量調査」
- ・平成 20 年度～平成 24 年度に独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構が実施した「ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究」

その他、民間ベースでの地質調査の結果があれば、積極的に当該調査結果の情報を盛り込むこととする。

(2) 委員会による調査業務の推進

①実施内容

調査計画（案）を作成するに当たって有識者の指導を受けるために委員会を開催する。

②実施方法

- ・3回程度、都内において開催することを想定（委員数10名程度）。
- ・委員会開催の事務局を務める（委員の先生への謝金、交通費の支払い等を含む。）

(3) 貯留層基礎調査の準備業務

①実施内容

調査計画（案）に基づいて、次年度以降の調査を円滑かつ速やかに進めるために年度内に着手することが望ましい業務は、準備業務として着手する。

②実施方法

- ・調査の優先度が高い区域の自治体等から漁期等の基本情報を収集するとともに、貯留層基礎調査への自治体の考え方、協力を得るための進め方を整理する。

4. 事業期間

委託契約締結日から、平成26年3月31日まで。

5. 成果物

成果報告書の電子媒体（透明テキスト付きPDFファイル（CD-ROM等の記録媒体に保存）） 3式

6. 成果物の納入場所

経済産業省産業技術環境局地球環境連携・技術室

仕様書

1. 件名

平成 26 年度二酸化炭素貯留適地調査事業

2. 目的

二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）は、中長期的に最も重要な地球温暖化対策として世界的にも期待されており、国際エネルギー機関（IEA）の試算によると、地球温暖化による気温の上昇の影響を 2 度以下にする場合、CCS が約 2 割の削減分を担うとされている。

我が国は国際社会の一員として二酸化炭素の削減に取り組むことが重要であり、中長期的には、省エネルギーや再生可能エネルギーのみならず、CCS の活用も視野に入れることが必要である。

政府は 2020 年頃の CCS の実用化に向け、平成 24 年度から北海道苫小牧市において、CCS 大規模実証事業を開始したところであり、平成 25 年 4 月には経済産業省と環境省による「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議とりまとめ」において、2050 年目標との関係から、国は 2020 年頃の商用化を目指した CCS 等の技術開発の加速化を図るとともに、CCS 導入の前提となる貯留適地調査等についても早期に結果が得られるように取り組むこととなった。

これを受け、本事業では、経済産業省「平成 25 年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）に係る委員会」（以下、「H25 経済産業省委員会」と言う。）及び環境省「平成 25 年度シャトルシップによる CCS を活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務」における「我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会」（以下、「H25 環境省検討会」と言う。）において選定された調査候補地点をベースとして、二酸化炭素の貯留適地調査を行う。また、平成 27 年度以降の調査地点の選定及び調査計画（案）の作成を行う。

3. 実施概要

(1) 二酸化炭素貯留適地調査に係る二次元弾性波探査の実施

二酸化炭素貯留適地調査を行うにあたり、H25 経済産業省委員会及び H25 環境省検討会において選定された調査候補地点（(2) ①に示す地点を除く。）について、民間等の保持する既存の弾性波探査データ（以下、「既存民間弾性波データ」と言う。）の確認を行った上で、地元との調整及び経済的な観点から妥当と考える 3 カ所を選定する。

選定した 3 カ所に対しては、必要に応じて H25 経済産業省委員会及び H25 環境省検討会の検討結果に加えた調査を行った上で、既存民間弾性波データの取得及び二次元弾性波探査を実施し、得られたデータの整理・解釈を行って、二酸化炭素の貯留適地かどうか検討する。

ただし、既存民間弾性波データの取得に最大限努めることとし、これにより、十分なデータが得られる場合には、二次元弾性波探査の実施を省略することが

できる。

また、調査で得られたデータ及び情報について、WEB上で公表できるよう整理を行う。

※ 平成 26 年度における調査スベックは別紙のとおりとする。また、提案する調査地点は実施可能性を十分に検討の上、提案することを前提とするが、実際に調査を実施する地点は、有識者の意見や地方自治体等との調整状況を踏まえ、経済産業省及び環境省と協議の上、決定する。その場合も、双方の委員会及び検討会により選定された地点をそれぞれ 1 カ所以上含むこととする。

(2) 平成 27 年度以降の調査候補地点の選定及び調査計画（案）の作成

平成 27 年度以降の調査候補地点の選定、調査計画（案）及び測線計画（案）の策定を行う。さらに、各調査候補地点について、調査費用の概算及び調査スケジュール（案）の作成を行う。

なお、当該計画における調査候補地点については、以下に示す調査等を行った上で、選定することとする。

- ① H25 経済産業省委員会及び H25 環境省検討会において、既存の二次元弾性波探査データにより、三次元弾性波探査の実施に必要なデータ解析に進むことができるとされた地点及びこれに相当する地点について、地質構造解析を行う。
- ② H25 経済産業省委員会及び H25 環境省検討会において選定された地点の内、①の対象地点以外の地点については、必要に応じて既存民間弾性波データの取得及び追加文献調査を行う。
- ③ H25 経済産業省委員会及び H25 環境省検討会において、今後情報を収集しながら検討していく等とした地域については、必要に応じて、調査候補地点を絞り込み、既存民間弾性波データの取得及び追加文献調査を行う。

(3) 委員会による調査業務の推進

(1) 及び (2) の業務に当たって有識者の助言及び指導を受けるために委員会を開催する。委員会は 5 回程度、都内において開催することを想定(委員数 10 名程度)。また、委員会開催の事務局を務める(委員への謝金、交通費の支払い等を含む)。

(4) 平成 27 年度以降に実施予定の二酸化炭素貯留適地調査における準備業務

(2) で策定した調査計画（案）に基づいて、27 年度以降の調査を円滑かつ速やかに進めるために 26 年度内に着手することが望ましい業務は、準備業務として着手する。

具体的には、調査の優先度が高い区域の自治体等から漁期等の基本情報を収集するとともに、二酸化炭素貯留適地調査への自治体の考え方、協力を

得るための進め方等を整理する。

4. 事業期間

委託契約締結日から、平成27年3月31日まで。

5. 成果物

成果報告書の電子媒体（透明テキスト付きPDFファイル）並びに調査で得られたデータ及び情報の電子媒体（CD-ROM等の記録媒体に保存） 5式

6. 成果物の納入場所

経済産業省産業技術環境局地球環境連携・技術室

7. その他

H25 経済産業省委員会及びH25 環境省検討会において検討された内容については、入札説明会において資料等に基づき説明し、説明会参加者等からの質問については、可能な限り詳細に回答するものとする。

(別紙) 平成 26 年度における調査スペックについて

1 調査地点内の測線間隔について

2. 5 km 程度とする。

2 長基線測線について

長基線測線については、対象エリアを含むより広範囲なエリアでの地質構造形態を把握し、周辺での活断層の発達状況を確認しつつ、一帯の地質構造安定度をとらえるためのものとする。

長基線測線の本数は各調査地点について 6 本以上とし、長さは各 50 km から 100 km 程度とする。

3 総測線長について

1, 000 km 程度 (長基線測線を含む)

実施計画書（仕様書）

平成27年度二酸化炭素貯留適地調査事業

1. 事業概要

我が国においては、地球温暖化抑制のための有効な対策の一つとして期待されている二酸化炭素回収・貯留（CCS）の2020年頃の実用化を目標に、苫小牧地点においてCCS大規模実証試験事業が推進されている。CCS導入の前提となる二酸化炭素貯留適地の調査については2013年4月に経済産業省と環境省による「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ」において、2050年目標との関係から、国は、早期に結果が得られるよう取り組むこととされている。

これを受け、経済産業省「平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）に係る委員会」（以下、「平成25年経済産業省委員会」と言う。）及び環境省「我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会」（以下、「平成25年環境省検討会」と言う。）において、二酸化炭素貯留適地の調査候補地点が選定された。これら検討結果に基づき、「平成26年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（以下、「平成26年度適地調査事業」と言う。）では、調査対象地点を選定し、二酸化炭素貯留適地調査を開始した。

「平成27年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（以下、「本事業」と言う。）では、「平成26年度適地調査事業に係る有識者委員会」（以下、「平成26年度有識者委員会」と言う。）において検討された調査候補地点をベースとして二酸化炭素貯留適地の調査を行い、併せて平成28年度以降の調査地点の選定及び調査計画（案）の作成を行うものである。これら業務の実施にあたり、有識者による確認と指導・助言を受けるために委員会を開催し、当該委員会の事務局として円滑な運営を図る。なお、本事業の成果は、貯留地点候補の抽出を通じ、新たな輸送手段の実証を含むCCSの実用化に向けた検討に資するものとする。

2. 事業内容

(1) 二酸化炭素貯留適地調査に係る2D探査の実施

平成25年経済産業省委員会及び平成25年環境省検討会において選定された調査候補地点や、平成26年度有識者委員会で検討された調査候補地点について、民間等の保持する既存二次元弾性波探査（以下、「2D探査」と言う。）測線の配置等を可能な限り確認したうえで、地方自治体等の調査への意向等も踏まえて、妥当と考える3カ所程度を調査対象地点（案）として抽出し、有識者による確認を経て調査対象地点とする。

調査対象地点については、民間等が2D探査データを所有することが確認された場合は、可能な限りデータの借用に努め、データ借用後はデータ再処理を行った上で、地質解釈作業を行う。

なお、借用した民間等の2D探査データが、地質解釈や貯留可能量評価を行うにあたりデータ量が不足する場合や記録媒体の品質劣化等の理由により使用に耐えないものであった場合には、新規に2D探査を実施し、データを取得する。借用データや新規取得の2D探査データは、処理を施した上で概略解析を行い、二酸化炭素貯留適地としての可能性を検討する。

(2) 平成28年度以降の調査候補地点の選定及び調査計画（案）の作成

平成28年度以降の調査候補地点の選定、測線計画を含む調査計画（案）の策定を行い、

各調査候補地点について調査費用の概算及び調査工程（案）の作成を行う。

当該計画における調査候補地点は、上記（1）に加え、以下に示す検討等を行った上で選定する。

a. 平成26年度適地調査事業で2D探査を実施した地点の地質解析と貯留可能性評価

平成26年度適地調査事業で2D探査を実施した地点について、新たに取得した2D探査データ及び活用可能な民間等の2D探査データを用いて、地質構造解析や貯留層・遮蔽層分布推定を行い、貯留可能性評価を実施する。

b. 既存2D/3D探査データの処理・解析と貯留可能性評価

平成25年経済産業省委員会及び平成25年環境省検討会において選定された調査候補地点のうち、上記（1）と（2）a.以外の調査地点、並びに平成26年度適地調査事業において検討した新たな貯留候補地点については、民間等による既存の2D探査及び三次元弾性波探査（以下、「3D探査」と言う。）データの活用を検討する。既存データの活用が可能な地点については、有識者による確認を経て、探査データ処理を必要に応じ進めたいうえで、測線間隔等を踏まえて、地質構造解析、貯留層・遮蔽層分布推定、貯留可能性評価を実施する。

c. 今後の情報収集が必要な地点及び新たな調査候補地点の検討

平成25年経済産業省委員会、平成25年環境省検討会および平成26年度有識者委員会において、今後、情報を収集しながら検討を加えていくとされた調査地点については、優先順位を考慮しつつ、文部科学省による断層調査や地震動予測情報等の最新情報の入手に努めながら検討を加えていく。また、新たな調査候補地点として、同委員会や検討会において対象とならなかった地点における貯留可能性についても検討する。

（3）CCSデータ・情報の整理

平成26年度適地調査事業に加え、本事業で取得するデータや情報については、データや情報の提供者から公開に係る了解を得る等、適切に管理を行ったうえで、WEB向けに情報の公開を可能とするべく整理する。

（4）社会受容醸成に向けた情報発信

調査対象区域を中心に、社会受容醸成に向けた情報発信活動を計画し実施する。

（5）委員会の運営

本事業を的確に実施するために、第三者の有識者により構成される委員会を設け、指導及び助言を受ける。また、委員会事務局として円滑な委員会の運営に努める。

（6）平成28年度以降の二酸化炭素貯留適地調査に向けた準備業務

上記（2）で策定した調査計画（案）に基づき、平成28年度以降の調査を円滑に進めるために、平成27年度内に着手することが望ましい業務は、準備業務として実施する。

具体的には、調査の優先順位が高い地点の自治体等から漁期等の基本情報を収集するとともに、二酸化炭素貯留適地調査への自治体の考え方を整理する。

（7）成果報告書の作成

本事業での成果を、成果報告書として取りまとめる。

4. 成果物

成果報告書の電子媒体（透明テキスト付きPDFファイル）並びに調査で得られたデータ及び情報の電子媒体（CD-ROM等の記録媒体に保存） 5式

5. 成果物の納入場所

経済産業省 産業技術環境局 環境政策課 環境調和産業・技術室

6. 事業実施期間

委託契約締結日から平成28年3月31日まで

7. 支出計画

別添支出計画書のとおり。

実施計画書（仕様書）

平成 28 年度二酸化炭素削減技術実証試験事業

本実施計画書は、苫小牧地点における平成 28 年度の CCS 大規模実証試験事業（平成 28 年度「二酸化炭素削減技術実証試験事業」。以下、「本事業」と称する）の実施計画を取りまとめたものである。

1. 苫小牧実証試験事業の概要

我が国においては、地球温暖化対策への対応として、二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術の速やかな実用化が求められている。実用化のためには、実排出源から分離・回収したCO₂を用いて、実用に近い規模（年間10万トン-CO₂規模以上）で分離・回収から圧入、貯留に至るまでのトータルシステムとしてCCS技術を実証する必要がある。

平成 24 年度「二酸化炭素削減技術実証試験事業（国庫債務負担行為に係るもの）」にて、CCS 大規模実証試験を実施するために必要な準備を苫小牧地点に整えた。すなわち、商業運転中の製油所の水素製造装置を排出源として、CO₂含有ガスからのCO₂分離・回収、圧入に必要な圧力までの昇圧、苫小牧沿岸の2つの貯留層（萌別層、滝ノ上層）への年間10万トン以上のCO₂の圧入の、各々に必要な設備を建設、試運転を2016年2月末までに完了した。実証試験設備のフローを図1に示す。

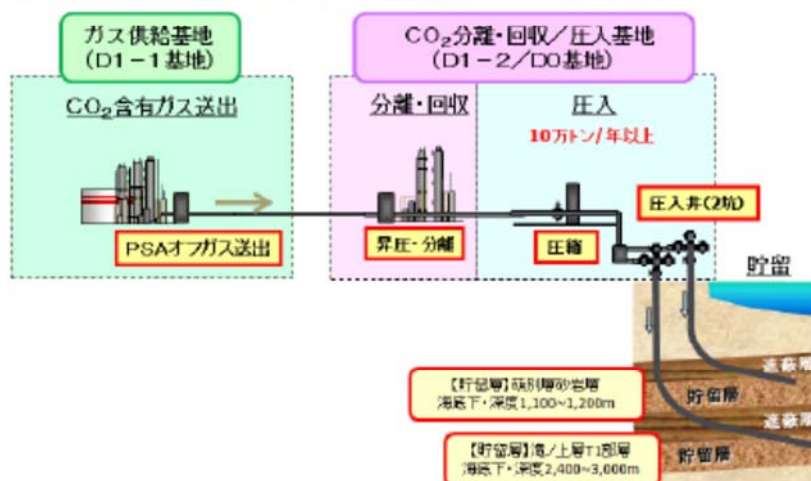


図 1 苫小牧地点の CCS 実証試験設備フロー

圧入井については、滝ノ上層T1部層への圧入井（IW-1）と萌別層砂岩層への圧入井（IW-2）を掘削した。

観測井として、滝ノ上層観測井OB-1、滝ノ上層観測井OB-3、萌別層観測井OB-2の3坑を整備し、坑内に温度、圧力計及び地震計を設置した。微小振動、自然地震を観測するモニタリング設備として、常設型海底受振ケーブル1式、海底地震計4器、陸上設置地震計1器を設置した。苫小牧地点のCCS実証試験設備の位置関係を図2に示す。

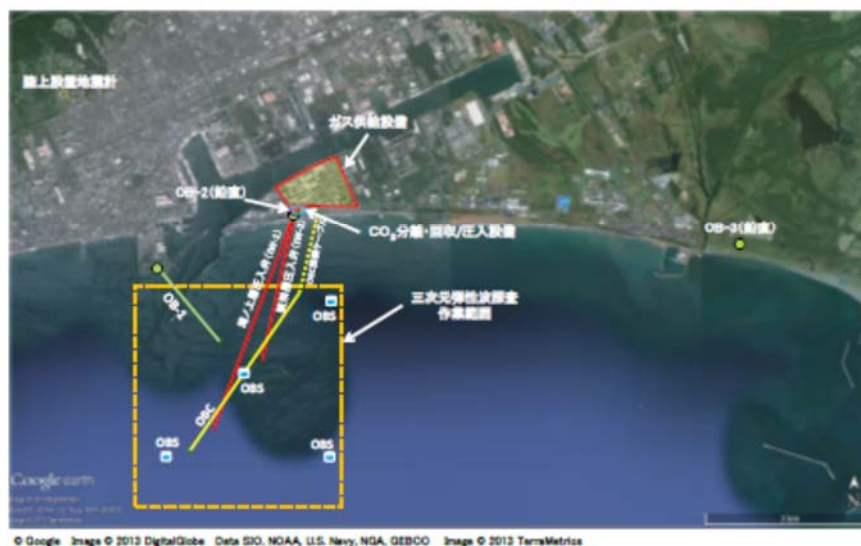


図2 苫小牧地点のCCS実証試験設備

これまでの実証試験事業において出された課題、指摘事項等を以下に記す。

2012年2月当省作成の「苫小牧地点における実証試験計画」の1章3項「苫小牧実証試験の技術的位置付け」に記載されている地上設備（分離・回収、圧入設備）の課題は以下のとおりまとめられる。

イ) システム全体

わが国として初となる分離・回収から輸送、圧入、貯留までのCCSトータルシステムを実証し、CCS技術を確立する。

ロ) 分離・回収システム

ガス供給基地及び分離・回収基地では、水素製造装置から送気されるCO₂含有原料ガス（PSAオフガス）からのCO₂分離・回収について、消費エネルギー

ギーの少ないモデルを実証する。

ハ) 圧入システム

異なるタイプの貯留層に対して、圧力とレートを的確に制御しながらCO₂を圧入、貯留する。

上記実証試験計画第2章「実証試験計画（案）の内容」には以下の具体的な課題が記載されている。

- 1) CO₂分離・回収について消費エネルギーの少ないモデルを実証する。
- 2) 省エネルギー型分離・回収プロセスの性能を確認する（スチーム消費量と溶剤循環ポンプ動力の変化の測定、評価等）。分離・回収エネルギーは、現在運用されている分離・回収法におけるエネルギー値等を考慮して2.5 GJ/t-CO₂以下を目標とし、費用対効果も勘案しながら、2.0 GJ/t-CO₂以下まで低減することも狙う。
- 3) 圧縮設備における最適な制御システムを検証する（回転数制御及びアンチサージシステムの性能を確認し、CO₂を安定的に圧入できることを検証する）。
- 4) 圧入量の変動に対する圧縮設備の負荷追従性や電力消費量を確認する。
- 5) D1-2基地の分離・回収及び付帯設備に係るエネルギー消費データを蓄積し、エネルギー消費要因を明らかにする。
- 6) D1-2基地の分離・回収設備及び昇圧設備の運用実績を踏まえて、システム最適化に向けた課題を抽出し、対応策を取りまとめる。
- 7) 省エネルギー型プロセスの分離・回収エネルギーを実測、解析することにより、エネルギーの削減手法を検討する。
- 8) 実証設備の設計及び運転実績を踏まえ、実用設備のプロセス性能や長期運転性を確保するための設備設計等に関する基本的な考え方をまとめる。

2012年9月の総合科学技術会議評価専門調査会での本実証試験への指摘事項は以下のとおりである。

- A) 本事業で年間10万トン規模のCO₂貯留で実証できる技術内容を明確にするとともに、100万トン規模に拡大する場合の技術的課題とその実現のための手段、方法を明確にする必要がある。
- B) コスト削減目標（特に分離・回収コスト）を設定し、随時検証を行いつつその見直しを行っていくことが必要。

平成28年度以降の事業においてはこれら課題、指摘事項の解決を含め、トータルシステムとしてCCS技術を実証する。

2. 本事業の内容

CO₂の圧入は2016年4月以降、2019年3月までの計3年間、モニタリングはさらに2年間継続し2021年3月までの計5年間が計画されている。本事業はその1年目を担うものである。

2.1 地上設備における実証試験

地上設備について、大きく以下4つの課題を検証する。

- イ) 本設備はCO₂の分離・回収について消費エネルギーの少ないプロセスを採用して設計したが、実際の設備におけるCO₂分離・回収エネルギーを検証する。また、運転負荷の変動によるCO₂分離・回収エネルギーの変化を検証する。
 - ロ) 異なるタイプの貯留層に対して、圧力とレートを的確に制御しながらCO₂を圧入するための圧縮設備における最適な制御システムを検証する。
 - ハ) 緊急遮断システム（ESD）等の安全システム及び装置個別の保安設備等の安全対策機能を確認し、また、開放点検時等に腐食、劣化、損傷状況のデータを採取し設備使用実績をまとめる。
- ニ) これらを総合的に解析し、実用への展開を図る。

2.1.2 設備運転及び性能検証

(1) 分離・回収設備

① 分離・回収エネルギーの検証

設備設計における分離・回収エネルギーを運転で検証する。

分離・回収エネルギー (GJ/トン-CO₂)

$$= \text{CO}_2\text{放散塔アミンリボイラー熱量 (GJ/トン-CO}_2) / 0.9 \text{ (スチームボイラー効率)} + \text{分離・回収設備電力消費量 (kWh/トン-CO}_2) \times 0.0036 \text{ (GJ/kWh)} / 0.420 \text{ (代表発電効率: LHV基準)}$$

ガス供給基地（D1-1基地）から供給されるPSAオフガス中のCO₂濃度は、44%から59%の範囲で変動し、分離・回収エネルギーもCO₂濃度によって変動する。

CO₂分離・回収量が設備設計値の25.3トン/時（年間20万トン回収に相当）でも、吸収塔出口CO₂濃度を一定（0.1%乾式基準）に維持するためには、吸収塔入口CO₂濃度に応じてアミン溶液循環量を調節する必要があり、放散塔アミンリボイラーの熱量が変動する。

CO₂回収率（代表組成ケースにおいて設計値99.9%以上）、回収CO₂純度（設計値99%以上）及びCO₂吸収量（設計値：25.3トン/時）を実測し、更に、アミンリボイラーsteam消費量とポンプ動力を実測することにより分離・回収エネルギー（GJ/トン-CO₂）を算出する。

代表組成ケースにおいては、アミンリボイラーのsteam消費量及び溶剤循環ポンプの

動力を合算した分離・回収エネルギーは、期待値として1.11 GJ/トン-CO₂、最大値として1.22 GJ/トン-CO₂を想定している。

② 負荷変動とプロセス性能変化

CO₂回収量100%負荷以外にも、50%負荷、75%負荷でプロセス性能を測定する。期待値として、代表組成ケースの50%負荷では1.51 GJ/トン-CO₂、75%負荷では1.27 GJ/トン-CO₂を想定している（最大値は10%程度多くなる）。

(2) 圧入設備の運転、検証

① CO₂回収量変動への追従性

基本的に、CO₂供給量（PSAオフガス流量）及びCO₂分離・回収量は、年度ごとに計画的に決定される。萌別層と滝ノ上層への圧入量は、主たる圧入を流量制御（FC）とし、従たる圧入を圧力制御（PC）とする。

短期間のプロセス性能確認において、運転可能な最低負荷である、設計量の30%負荷（6万トン/年相当）で自動化運転範囲を確認する。萌別層と滝上層の圧入井坑口での流量、圧力、温度は、各圧入井で単独に変更できる制御システムになっている。

② 圧入量変動への追従性

各圧入井に並行あるいは単独に安定的に圧入ができること、各圧入井合計で最大25.3トン/時（年間20万トン相当）を圧入できることを確認する。さらに、萌別圧入井の最小流量は1.7トン/時（年間13,300トン、計器精度保証値）、滝ノ上圧入井の最小流量は0.024トン/時（年間190トン、計器精度保証値）を実測できることを確認する。圧入設備は、圧入計画に基づいて最小～最大流量の範囲で運転し、坑口装置の上流で流量、圧力、温度を測定する。

③ 圧入圧力への追従性

CO₂圧縮機（第1低圧、第2低圧、高圧）にはアンチサージシステムが適用され、異なるタイプの貯留層（萌別層、滝ノ上層）に対して、圧力と流量を制御し安定的に圧入できることを検証する。

操業運転では、CO₂回収量として、50%負荷（年間10万トン回収）、75%負荷（15万トン回収）、100%負荷（20万トン回収）の性能運転を実施し、短期間に主として萌別層圧入圧縮機のアンチサージコントロールの実績データを採取しデータを解析する。

(3) 運用システムの検証

① 緊急遮断システム (ESD)

3年間の試験運転で、自動緊急停止、安全弁の作動、統合フレア/ペントスタックへの放出などの発生現象を解析し、本設備設計の安全対策が妥当か否かを検証する。

実運転期間にCO₂圧縮設備の急激な変動により、自動緊急停止 (ESD)、安全弁の作動、ペントスタックへの放出などが発生した場合、その実績データを解析して基本設計時のダイナミックシミュレーションの結果が妥当であるか否かを評価する。

② 圧縮機制御システム

圧入量の計画変更に伴う短期的な変動や計画以外の短期的な変動の際は、CO₂圧縮機の負荷追従性や電気消費量の変動を確認する。また、短期的に圧入量を低下する際は、受入れた量と圧入量との差分量であるCO₂が圧力制御により自動的に分離・回収設備からペントスタックへ放出されることを確認する。

一方、PSAオフガス圧縮機では30%~100%の負荷運転が可能であるので、実証試験の課題の一つである負荷追従性を自動化するための回転数制御は、最も電気消費量が大きいPSAオフガス圧縮機に適用し(4, 100kW)、流量変動に対する性能、追従性を確認する。

2. 1. 3 設備増強、設備運用段階の開放点検、安全管理及び保安設備の検証

(1) 設備増強

① 可燃性ガス対策

回収したCO₂は99%以上(乾式基準)の純度であるが、1%以下の可燃性ガスが同伴する。この可燃性ガスはCO₂吸収塔でアミン水溶液がPSAオフガス中に含有する水素、メタン、一酸化炭素を物理的に同伴したものである。上記2. 1. 2 (3) ②で述べたように、回収CO₂は一時的にペントスタック(高さ30m)から放出されることがあり、1%以下の可燃性ガスも大気に放出される。通常的气象条件下ではこの可燃性ガスは十分に拡散されて着地濃度は安全範囲(一酸化炭素: 10ppm未満)となるが、厳冬の異常な気象条件下ではペントスタック風下500m~800mで可燃性ガス検知器(熱線型半導体式)が発報することが確認された。近隣工場の安全管理の観点から、ペントスタックと少量可燃ガス燃焼装置を追加設置して可燃性ガスの排出を防止し、可燃性ガス検知器が発報しないよう対策を講じる。

② 滝ノ上圧入井(IW-1)への少量圧入流量計の設置

H24年度の事業で滝ノ上圧入井(IW-1)に設置した超音波流量計の精度は、0.2トン/時(年間1,500トン)で±2.5%であった。少流量を精度良く測定するため