

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等と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。

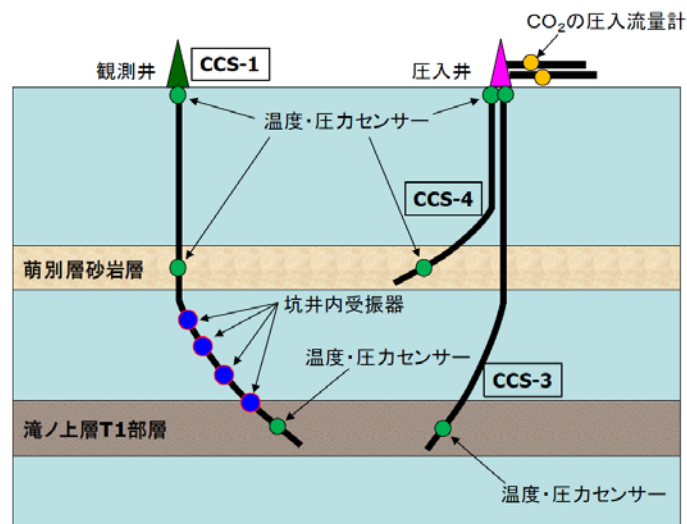


図 2.2-16 圧入井・観測井におけるモニタリング概念図

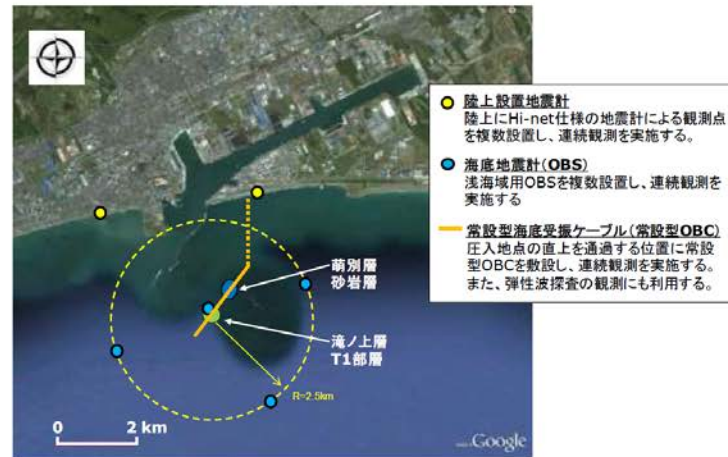


図 2.2-17 微小振動、自然地震観測機概略配置図



(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、アニュラス圧力、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

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。

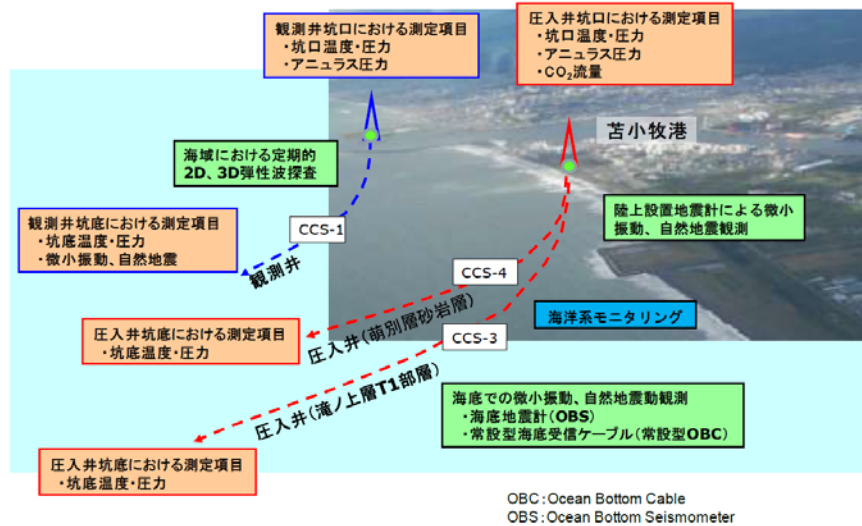


図 2.2-19 圧入中のモニタリング概念図

(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と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。

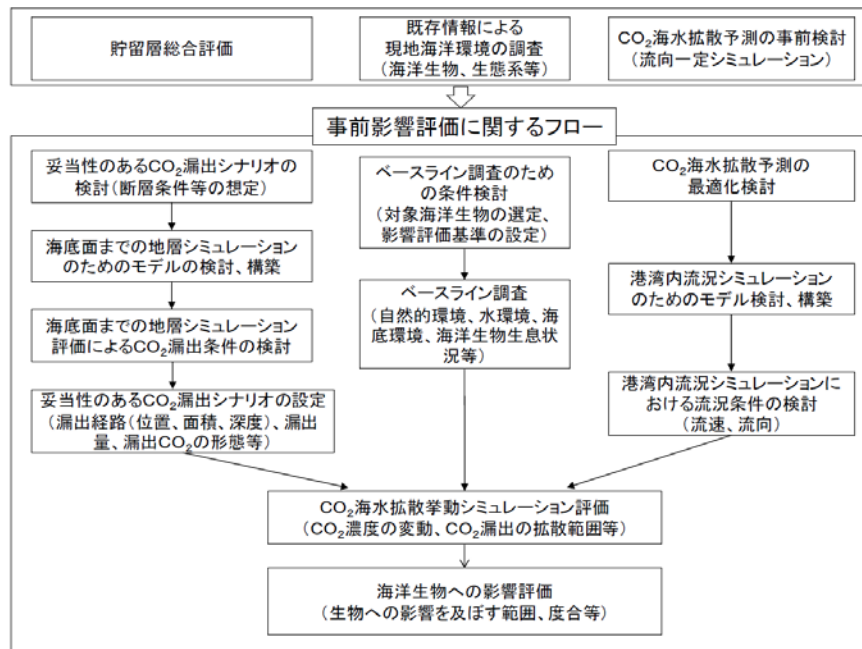


図 2. 2-20 海洋環境への事前影響評価に関するフロー

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海水拡散予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:硫化水素、重金属類	採水	表層・中層・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:硫化水素、重金属類
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

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

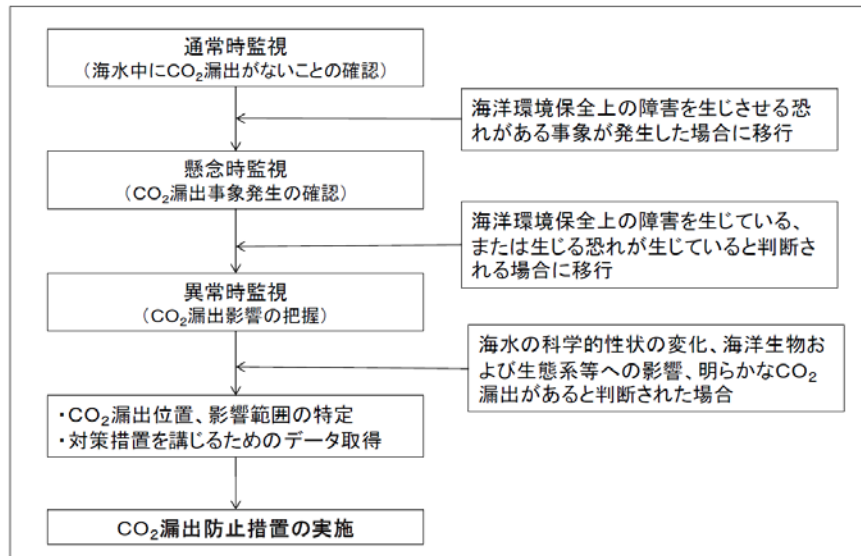
圧入中のモニタリングは、原則としてベースライン調査と同様の調査範囲、調査項目、調査頻度等により実施することを基本とし、定期的な監視により漏出の有無を確認するためのデータを取得する。表 2.2-5 に圧入中におけるモニタリングの計画概要を示す。

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、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)		

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処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

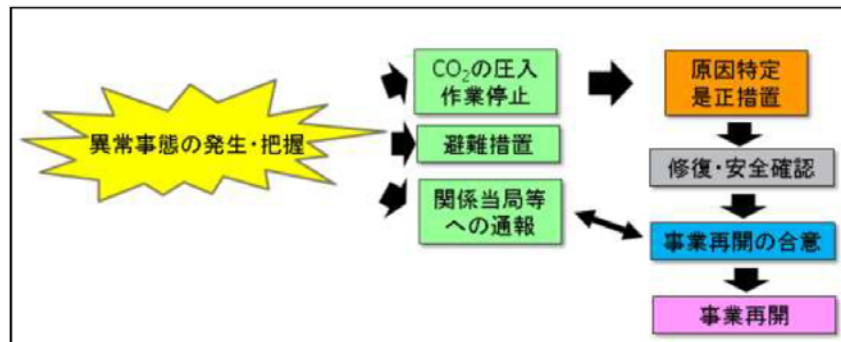


図 2.3-1 異常事態発生時の基本的対応

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。

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的帯水層である滝ノ上層T1部層（深度2,400～3,000m）および非構造的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。