

別紙-2

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄する海域の特定二酸化炭素ガスに起因する汚染状況の監視に関する計画に係る事項

目 次

1. 監視の全体計画	1
2. 通常時監視に係る事項	4
2.1 監視の方法	4
(1) 特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項	4
① 海底下廃棄実施期間に海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの数量	4
② 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をしている海域において海底下廃棄をされ していると推定される特定二酸化炭素ガスの数量	4
③ 特定二酸化炭素ガスに含有される物質ごとの当該特定二酸化炭素ガス中に 占める割合又は濃度	4
④ 特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件の 経時的変化の概要	5
(2) 海域の状況に関する事項	5
① 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び 地質の状況並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等	5
② 海水の化学的性状	8
ア) 通常時監視	8
a. 採水による水質分析	9
b. 多項目センサーによる鉛直観測	9
c. 採泥による底質分析	9
イ) 確認調査	10
③ 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況	10
ア) 海洋生物の状況	10
イ) 生態系の状況	10
ウ) 海洋の利用の状況	10
2.2 監視の実施時期及び頻度	11
(1) 特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項	11
① 海底下への廃棄量	11
② 廃棄した特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素並びに不純物の濃度	11
③ 特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件の 経時的変化	11
(2) 海域の状況に関する事項	11
① 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び 地質の状況並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等	11

ア) 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況	11
イ) 特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等	12
② 海水の化学的性状	13
ア) 通常時監視	13
a. 酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係による監視段階の移行基準	13
イ) 確認調査	14
③ 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況	15
3. 懸念時監視に係る事項	16
3.1 監視の方法	16
(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化並びに海底下廃棄をした地層の状態並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等	16
(2) 海水の化学的性状	16
(3) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目	16
3.2 監視の実施時期及び頻度	16
(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化並びに海底下廃棄をした地層の状態並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等	16
(2) 海水の化学的性状	17
(3) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目	17
4. 異常時監視に係る事項	18
4.1 監視の方法	18
(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化及び海底下廃棄をした地層の状態並びに海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の詳細	18
(2) 海水の化学的性状	18
(3) 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況	18
① 海洋生物の状況	18
② 生態系の状況	18
③ 海洋の利用の状況	19
(4) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目	19
4.2 監視の実施時期及び頻度	19
(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化及び海底下廃棄をした地層の状態並びに海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の詳細	19
(2) 海水の化学的性状	19

(3) 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況	19
① 海洋生物の状況	19
② 生態系の状況	20
③ 海洋の利用の状況	20
(4) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目	20

1. 監視の全体計画

監視は、特定二酸化炭素ガスの廃棄が計画に従い安全に行われていること、廃棄された特定二酸化炭素ガスが予定した位置に確実に貯蔵されていること、廃棄海域における海洋環境への影響が事前の予測・評価の範囲に収まっていることを確認するために行う。また、海底下での特定二酸化炭素ガスの貯蔵の状態に影響を及ぼすことが懸念される特別な事情が発生した場合に備え、漏出が生じていること、または漏出のおそれが生じていることの確認や、漏出による海洋環境の保全上の障害の程度の把握のための方法についても事前に立案する。したがって本計画は、「通常時監視」、「懸念時監視」および「異常時監視」から構成される。

監視の項目は、大きくは「特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項」と「海域の状況に関する事項」があり、後者はさらに「特定二酸化炭素ガスが廃棄された地層の状況」、「廃棄された特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲」および「廃棄海域の海洋環境の状況」に分類される。

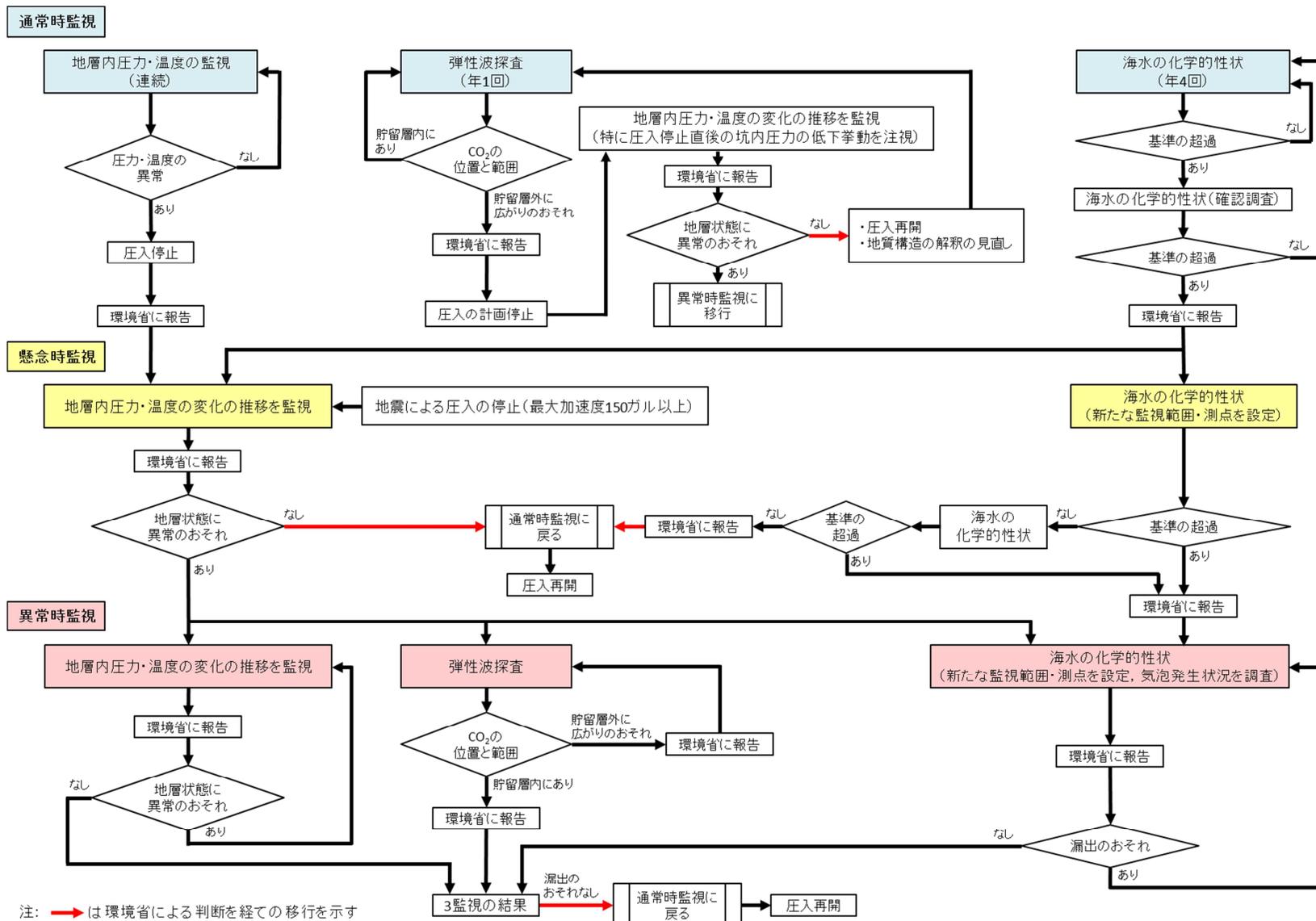
監視の方法としては、「特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項」については、廃棄する特定二酸化炭素ガスの分離・回収・圧入基地内に設置するプロセス計装機器による計測・監視、「特定二酸化炭素ガスが廃棄された地層の状況」については、圧入井および観測井における坑内圧力および坑内温度の計測・監視、「廃棄された特定二酸化炭素ガスの位置および範囲」については、弾性波探査による調査および観測井における坑内圧力および坑内温度の計測・監視、「廃棄海域の海洋環境の状況」については、海洋環境調査および文献調査ならびにヒアリング調査とする。

監視計画の全体概要を、第 1-1 表に示す。また、監視計画のフロー概要を、第 1-1 図に示す。

なお、この計画は、今後の科学的知見の充実または国際的な動向等を踏まえ、必要に応じて見直しを行う。

第 1-1 表 監視計画の全体概要

監視項目		①特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項			②海域の状況に関する事項						
		廃棄量	濃度	圧入条件	地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況		特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲		海水の化学的性状	海洋生物の状況	生態系及び海洋の利用の状況
監視方法		流量計	ガスクロマトグラフ分析	圧入圧力・速度, 圧入時の温度	圧入井の圧力・温度	観測井の圧力・温度	弾性波探査	観測井の圧力・温度	海洋環境調査	海洋環境調査	文献調査・ヒアリング調査
通常時監視	頻度等	連続監視	定期分析	連続監視	連続監視	連続監視	年 1 回	連続監視	年 4 回	年 4 回	許可期間終了年の前年に 1 回
	報告	年 1 回	年 1 回	年 1 回	年 1 回	年 1 回	年 1 回	年 1 回	年 4 回	年 4 回	許可期間終了年
懸念時監視	頻度等	運転停止			連続監視	連続監視	/	連続監視	複数回 新たな監視範囲・測点を設定	/	/
	報告				海水の化学的性状と同時	海水の化学的性状と同時		海水の化学的性状と同時	直ちに		
異常時監視	頻度等	運転停止			連続監視	連続監視	速やかに実施	連続監視	複数回 新たな監視範囲・測点を設定 気泡発生状況を調査	状況に応じて実施	状況に応じて実施
	報告				海水の化学的性状と同時	海水の化学的性状と同時	海水の化学的性状と同時	海水の化学的性状と同時	直ちに	直ちに	直ちに



第 1-1 図 通常時・懸念時・異常時監視の移行の流れ

2. 通常時監視に係る事項

2.1 監視の方法

(1) 特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項

① 海底下廃棄実施期間に海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの数量

特定二酸化炭素ガスの圧入量を流量計にて計測し、CO₂分離・回収・圧入基地内の管理棟に設置する分散形制御システム（Distributed Control System; DCS）にて連続監視、記録するとともに、その積算値を特定二酸化炭素ガスの数量とする。

圧入量を計測する流量計の仕様は第 2.1-1 表の通り。

第 2.1-1 表 圧入量（圧入速度）を計測する流量計の仕様

流量計	使用範囲	(保証範囲) 精度
滝ノ上層少量圧入流量計 (コリオリ式)	0~380kg/h	(24~380kg/h) ±1.1%RD (10~24kg/h) ±2.5%RD (期待値)
滝ノ上層圧入流量計 (超音波式)	0~30,000kg/h	(6,744~30,000kg/h) ±1.0%RD (1,686~6,744kg/h) ±0.2%FS (193.9~1,686kg/h) ±5%RD (期待値)
萌別層圧入流量計 (コリオリ式)	0~30,000kg/h	(3,000~30,000kg/h) ±1.0%RD (1,200~3,000kg/h) ±1.5%RD

注：1. RD (Reading) は、読み値に対する精度を表す。

2. FS (Full Scale) は、最大流量に対する精度を表す。

滝ノ上層少量圧入流量計と滝ノ上層圧入流量計は、高圧 CO₂ 圧縮機出口から滝ノ上層圧入井坑口の間に、並列に設置し、圧入する流量に応じて切り替えて使用する。

萌別層圧入流量計は、第 1 低圧 CO₂ 圧縮機出口から萌別層圧入井坑口の間に設置している。

② 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をしている海域において海底下廃棄をされていると推定される特定二酸化炭素ガスの数量

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をしている海域において海底下廃棄をされていると推定される特定二酸化炭素ガスはなく、0 トンである。

③ 特定二酸化炭素ガスに含有される物質ごとの当該特定二酸化炭素ガス中に占める割合又は濃度

特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素および含有される物質ごとの濃度の測定は、「特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素の濃度測定の方法を定める省令」（平成十九年九月十九日環境省令第二十二号）に従う。

具体的には、CO₂ 分離・回収設備の下流（CO₂ 圧縮設備の上流）のガスをサンプリングし、ガスクロマトグラフ分析法にて第三者機関による組成分析を行う。

ガスクロマトグラフ分析法では、サンプリングしたガス中の不純物（水素、窒素、酸素、炭化水素および一酸化炭素）の濃度を測定し、当該ガス中の二酸化炭素の濃度は次の式により算定する。

$$C = 100 - (A_h + A_n + A_o + A_c + A_m)$$

C : 二酸化炭素の濃度 (単位 体積百分率)

A_h : 測定された水素の濃度 (単位 体積百分率)

A_n : 測定された窒素の濃度 (単位 体積百分率)

A_o : 測定された酸素の濃度 (単位 体積百分率)

A_c : 測定された炭化水素の濃度 (単位 体積百分率)

A_m : 測定された一酸化炭素の濃度 (単位 体積百分率)

また、CO₂分離・回収設備の運転管理のため、定期的に自動でサンプリングし、プロセスガスクロマトグラフ (横河電気株式会社製、GC8000) で分析を行う。分析結果はDCSにて監視、記録する。

④ 特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件の経時的変化の概要

特定二酸化炭素ガスは、運転計画に従い圧力と速度 (圧入量) を適確に制御しながら圧入する。

圧入圧力および速度 (圧入量) ならびに圧入時の温度等の圧入条件は、それぞれ該当するプロセス計装機器で計測し、そのデータはDCSにて監視、記録する。

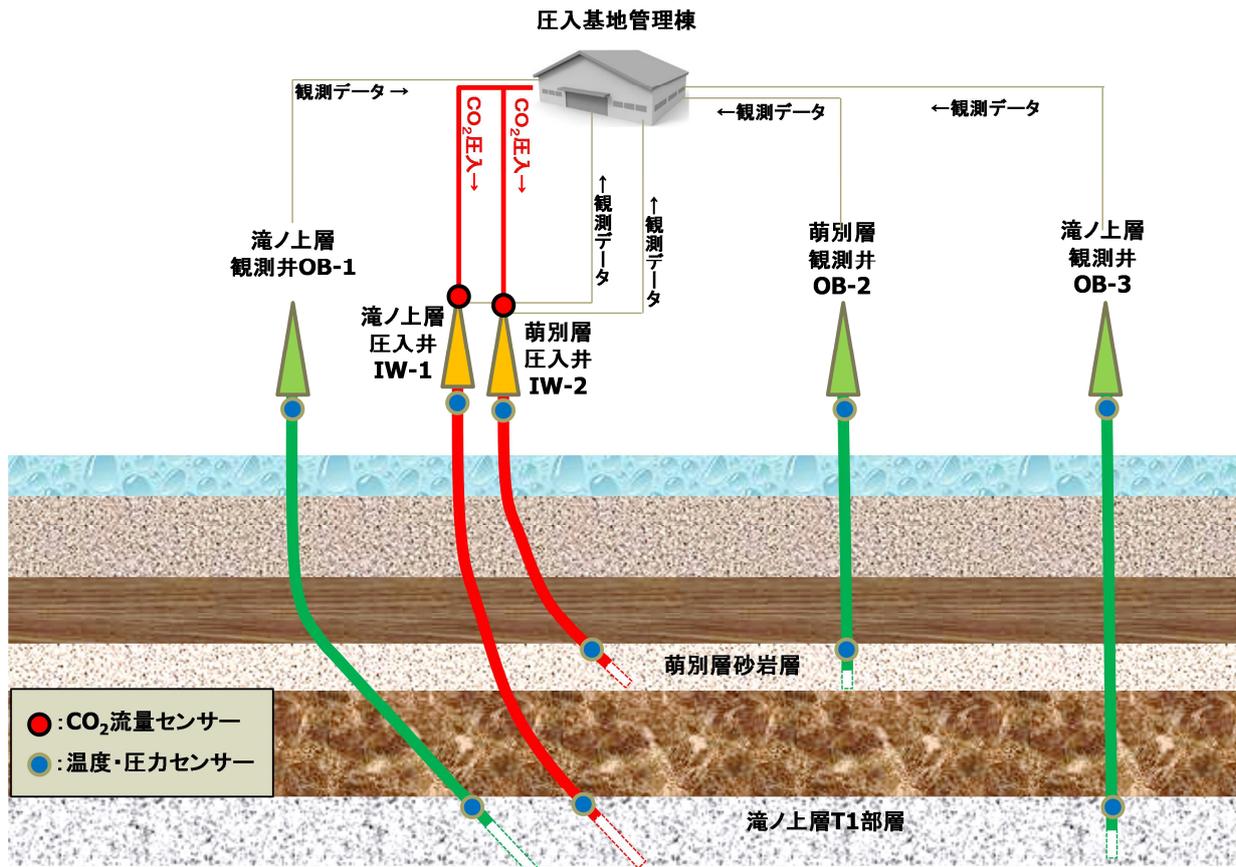
圧入前の圧力と温度は、CO₂圧縮機出口と圧入井坑口の間に設置する圧力計と温度計で監視する。貯留層内での圧力と温度は、圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した温度・圧力センサー (P/T Sensor) により監視する。圧入速度 (圧入量) を計測する流量計については上記①にて記載の通り。圧入速度 (圧入量) の制御は圧入井坑口で監視する圧力値にて行う。一方、圧入圧力の異常の判断は、圧入井の遮蔽層最下部付近で監視する圧力値にて行う。

(2) 海域の状況に関する事項

① 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等

特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況を監視する方法として、本計画では、2坑の圧入井での地層内圧力および温度の観測に加え、3坑の観測井による地層内圧力および温度の観測を実施する。観測井での観測データは、海底下地層に廃棄した特定二酸化炭素ガスの広がり監視にも活用される (第2.1-1図)。

圧入井の観測データは専用の光ケーブルによって、観測井の観測データは電話回線を利用してCO₂分離・回収・圧入基地内管理棟の坑井モニタリング監視システムに送信され、監視、記録される。

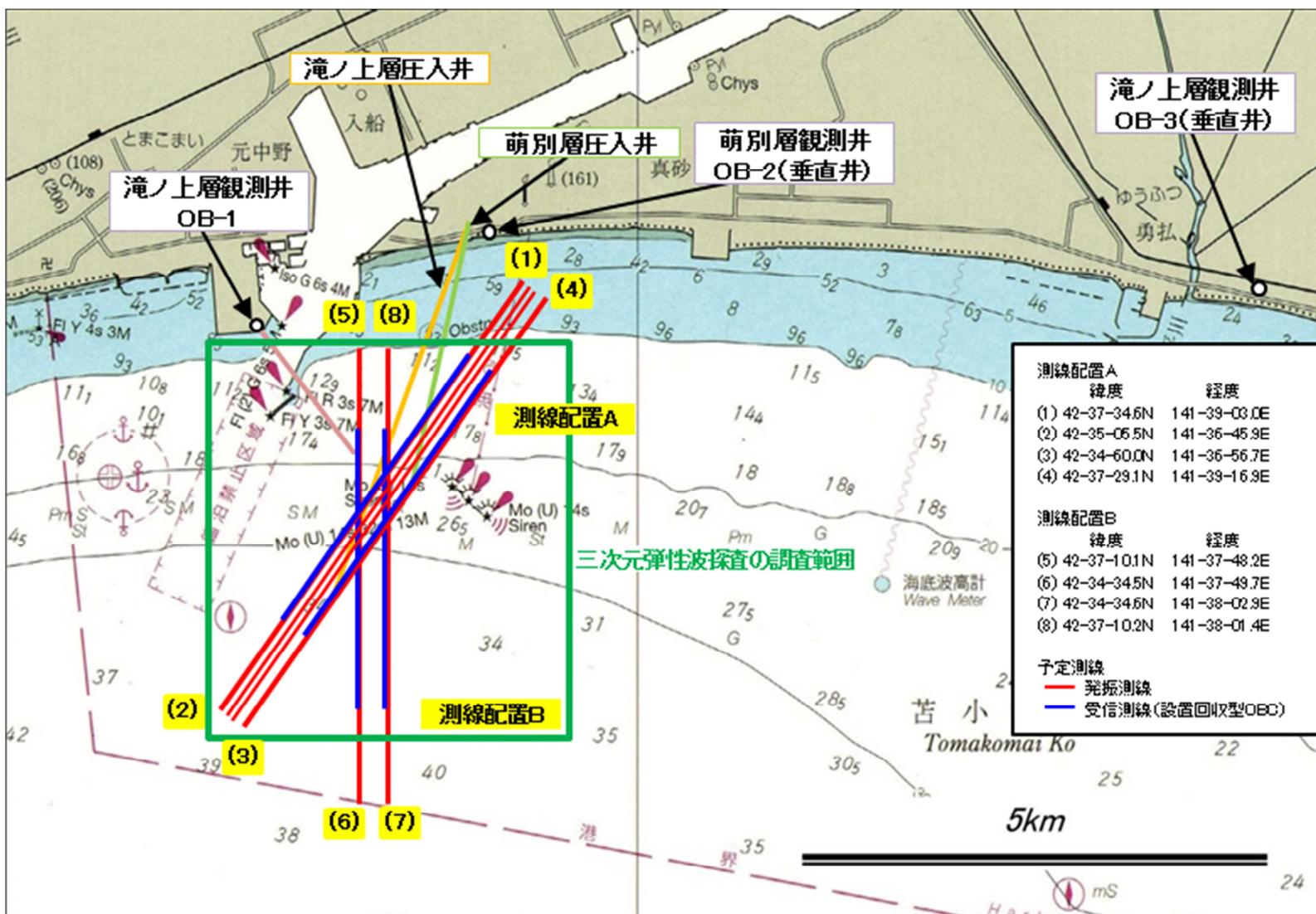


第 2.1-1 図 坑井モニタリングシステムの概要

また、海底下地層に廃棄した特定二酸化炭素ガスの分布状況や挙動を把握するための手段として、定期的に弾性波探査を実施する。三次元弾性波探査および二次元弾性波探査を計画しており、三次元弾性波探査は、第 2.1-2 図に示す範囲を設置回収型の海底受振ケーブル (Ocean Bottom Cable; OBC) を受振器として使用し、エアガン発振によりデータを取得する。二次元弾性波探査は、第 2.1-2 図に示す(1)～(8)の測線配置で、常設型 OBC と設置回収型 OBC を受振器として使用し、エアガン発振によりデータを取得する。二次元弾性波探査のデータでは、三次元弾性波探査のデータに比べ、CO₂の面的な分布状況を把握することは困難であるが、測線方向への CO₂の広がりを確認することが可能である。

圧入開始後に弾性波探査を実施し、平成 21 年 10 月 8 日～11 月 27 日に実施した三次元弾性波探査の結果および平成 25 年 8 月 14 日～8 月 21 日に実施した二次元弾性波探査の結果と比較し、差分の抽出と解析を行うことにより、海底下地層に廃棄した特定二酸化炭素ガスの分布範囲を把握し、圧入開始後の地下での海底下地層に廃棄した特定二酸化炭素ガスの挙動を確認する。

圧入量が少量の場合は弾性波探査による特定二酸化炭素ガスの挙動確認は難しいことも想定されるが、弾性波探査は貯留した地層に新たな漏洩経路が形成されていない等の状況を確認するには有効であるため継続して実施する。併せて圧入井での地層内圧力および温度の連続観測や、圧入地点を含む海域での定期的な海洋モニタリングにより、圧入が計画に沿って実施され、総合的な判断として漏洩がないことの監視とする。



注：海上保安庁発行の海図（W1034）に加筆

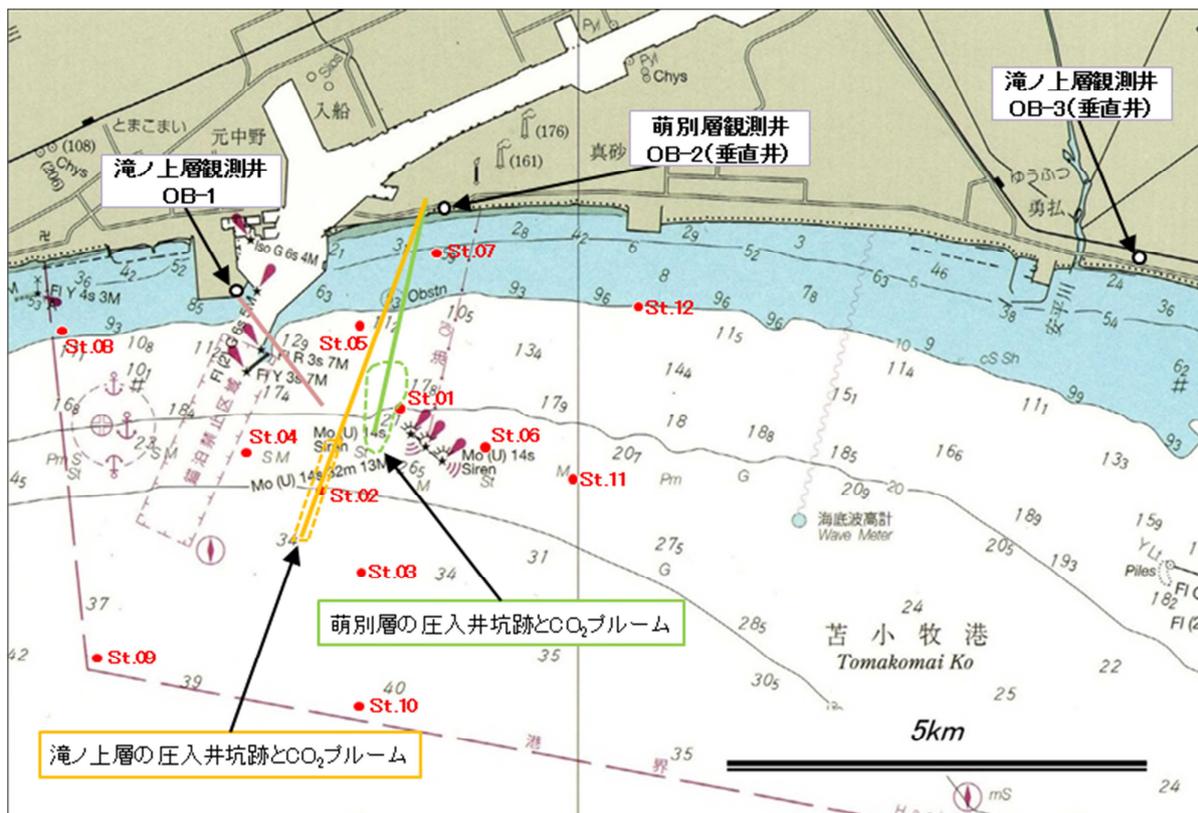
第 2.1-2 図 弾性波探査（三次元と二次元）の調査位置

② 海水の化学的性状

7) 通常時監視

特定二酸化炭素ガスの圧入前に行った海域のベースライン調査（平成 25～26 年に実施）と同じ 12 測点（第 2. 1-3 図および第 2. 1-2 表）において、ベースライン調査と同様に採水による水質分析，多項目センサーによる鉛直観測および採泥による底質分析を行う。

なお，以下の観測を実施する際には，海面への気泡上昇の有無を船上より目視で監視する。



第 2.1-2 表 海水の化学的性状の調査測点の緯度経度

調査測点	緯度	経度
St. 01	北緯 42° 36' 30"	東経 141° 38' 28"
St. 02	北緯 42° 35' 59"	東経 141° 37' 46"
St. 03	北緯 42° 35' 26"	東経 141° 38' 07"
St. 04	北緯 42° 36' 14"	東経 141° 37' 07"
St. 05	北緯 42° 37' 04"	東経 141° 38' 07"
St. 06	北緯 42° 36' 15"	東経 141° 39' 13"
St. 07	北緯 42° 37' 31"	東経 141° 38' 47"
St. 08	北緯 42° 37' 02"	東経 141° 35' 31"
St. 09	北緯 42° 34' 53"	東経 141° 35' 49"
St. 10	北緯 42° 34' 34"	東経 141° 38' 06"
St. 11	北緯 42° 36' 03"	東経 141° 40' 00"
St. 12	北緯 42° 37' 12"	東経 141° 40' 33"

注：世界測地系 WGS84

a. 採水による水質分析

採水層は、表層（海面下 0.5m）、上層（海面下 5m）、下層（海底面上 5m）および底層（海底面上 2m）とする。水質分析項目は、塩分、溶存酸素（Dissolved Oxygen; DO）、全炭酸、アルカリ度および硫化物イオン濃度とする。水質分析方法を、第 2.1-3 表に示す。

第 2.1-3 表 水質分析方法

分析項目	分析法	参考文献
塩分	海洋観測指針 5.3.4.2	海洋観測指針(気象庁：1999)
溶存酸素(DO)	ウインクラー法 海洋観測指針 5.4	海洋観測指針(気象庁：1999)
全炭酸	リン酸添加，電量滴定法 ・参照物質(Reference material for oceanic CO ₂ measurements)による分析精度管理	Dickson AG, Sabine CL and Christian JR (eds.) (2007). Guide to best practices for ocean CO ₂ measurements. PICES Special Publication 3, 191 pp.
アルカリ度	改良グランプロット法 ・参照物質(Reference material for oceanic CO ₂ measurements)による分析精度管理	Dickson AG and Goyet C (1994). DOE Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2, ORNL/CDIAC-74, Dep. Of Energy, Washington, D.C.
硫化物イオン濃度	ガスクロマトグラフによる GC-FPD 法	環境省告示第9号別表第2第3(昭和47年)

b. 多項目センサーによる鉛直観測

温度、塩分、DO および水素イオン濃度指数 (pH) を 0.5m 間隔で観測する。

c. 採泥による底質分析

採取した底質は、船上にて速やかに泥色の観察を行い、pH および酸化還元電位を測定する。底質分析項目は、全有機炭素、無機炭素、硫化物および含水率とする。底質分析方法を、第 2.1-4 表に示す。

第 2.1-4 表 底質分析方法

分析項目	分析法	参考文献
全有機炭素	塩酸による前処理後、 全有機炭素を CHN 元素分析で測定	底質調査方法 (H24.8) II 4.10
無機炭素	全炭素量 (TC) - 全有機炭素量 (TOC)	底質調査方法 (H24.8) II 4.10
硫化物	亜鉛アンミン溶液で現地固定後、よう素滴定法	底質調査方法 (H24.8) II 4.6
含水率	110±5℃の炉乾燥による方法	日本規格協会 (2009) JIS A 1203:2009

イ) 確認調査

通常時監視の結果、後述の移行基準を超えた観測値が得られた場合には、さらに確認調査を行う。確認調査では、移行基準を超えた調査測点を中心として、そこから東西南北方向に 100m 離れた 4 点を新たな調査測点として設定する。この新たな調査測点および通常時監視と同じ 12 測点 (第 2.1-3 図および第 2.1-2 表) において、通常時監視における調査項目のうち、採水による水質分析と多項目センサーによる鉛直観測を行う。

③ 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況

ア) 海洋生物の状況

海洋生物の状況の監視は、海域のベースライン調査を実施した 12 測点 (第 2.1-3 図) において実施する。監視項目は、メイオベントス、マクロベントスおよびメガロベントスとする。メイオベントスおよびマクロベントスは、採泥器によって採取し、出現状況を分析する。メガロベントスは、遠隔操作無人探査機 (Remotely Operated Vehicle; ROV) による水中カメラ観察方法を用いて、出現状況を分析する。なお、ROV 観察を実施する際には、気泡発生の有無を同時に監視する。

イ) 生態系の状況

対象海域における貝類、カニ類、魚類等の生態系の主要構成要素について、水産統計等を利用してこれらの資源変動を監視する。

ウ) 海洋の利用の状況

対象海域の利用状況について、既往文献による調査、関係者へのヒアリング等を用いて海域のベースライン調査における知見からの変化について監視する。

2.2 監視の実施時期及び頻度

(1) 特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項

① 海底下への廃棄量

特定二酸化炭素ガスの圧入期間中は、特定二酸化炭素ガスの圧入量を DCS にて連続監視、記録するとともに、その積算値を特定二酸化炭素ガスの廃棄量として日ごとおよび月ごとに集計する。

これらの値について、海底下廃棄期間の単位期間ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

② 廃棄した特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素並びに不純物の濃度

特定二酸化炭素ガスの圧入期間中は、第三者機関による分析（計量証明書と同様の記載内容が記された試験結果報告書による）を、年 1 回（9 月頃）行う。なお、第三者機関による分析は、定期的な分析の他に運転状況により必要に応じて実施する。

また、CO₂ 分離・回収設備の運転管理のため、定期的に自動でサンプリングし、プロセスガスクロマトグラフによる分析も行う。この分析結果は、DCS にて監視、記録し、特定二酸化炭素ガスの判定基準に適合した濃度管理範囲に収まるように、CO₂ 分離・回収設備の運転を行う。

年 1 回以上行う第三者機関による分析結果は、海底下廃棄期間の単位期間ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

③ 特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件の経時的変化

特定二酸化炭素ガスの圧入期間中は、圧入圧力および速度（圧入量）ならびに圧入時の温度等の圧入条件を、それぞれ該当するプロセス計装機器で連続的に計測し、そのデータは DCS にて監視、記録する。

これらの値について、海底下廃棄期間の単位期間ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

(2) 海域の状況に関する事項

① 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等

ア) 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況

特定二酸化炭素ガスの廃棄期間中は、圧入井および観測井における坑内圧力と坑内温度を、CO₂ 分離・回収・圧入設備内の管理棟に設置する坑井モニタリング監視システムにて連続監視、記録する。

これらの値について、海底下廃棄期間の単位期間ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

坑内圧力または坑内温度の監視で、あらかじめ設定する範囲（第 2.1-5 表）から外れた場合や事前に予測した挙動から外れた急な変化が観測された場合は、漏出のおそれが生じ

ていることを類推させる事象と考えられるため、圧入を停止して懸念時監視体制に移行するとともに、直ちに環境大臣に報告を行う。

なお、坑内圧力と坑内温度の変化範囲の予測および坑内圧力の挙動の予測については、圧入開始前に作成した地質モデルを使用して行う。また、これらの予測結果を日々の圧入運転における貯留層の圧力と温度の変化の実測値と比較し、乖離が生じた場合にはパラメータ調整などによるヒストリーマッチングによる地質モデルの修正を行う。あわせて年一回実施する弾性波探査により特定二酸化炭素ガスの分布範囲を把握し、数値シミュレーションによる予測結果と比較することによる地質モデルの修正を行う。これらは、より正確な挙動予測の実現を目的としたものである。なお、シミュレーションによる予測と実績に解離が生じた場合でも常に異常と判断されるものではなく、特定二酸化炭素ガスの貯留層外（遮蔽層）への広がりのおそれが確認された場合等を異常時と判断する。

坑内圧力と坑内温度の変化範囲の予測および坑内圧力の挙動の予測については、圧入の実績を反映して改良した地質モデルによる見直しの結果を、遅滞なく環境大臣に報告する。

第 2.1-5 表 あらかじめ設定する圧入時の坑内温度・坑内圧力の範囲

坑井	坑内温度範囲 (PT センサー位置)	坑内圧力範囲 (PT センサー位置)
萌別層圧入井	31.5～52.5℃	9.27～12.63MPa
滝ノ上層圧入井	65.6～109.4℃	32.60～38.04MPa

注：1. 温度範囲の初期設定は、圧入前の予測値の±25%で設定。

2. 圧入時の温度範囲に関しては、圧入井周辺の実際の地温勾配およびチュービング管内の断熱圧縮の影響で貯留層温度よりも上昇する可能性があるが、現状では正確な予測は困難である。よって、圧入開始直後に実施する試験圧入時のデータから見直しを行う。

イ) 特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等

特定二酸化炭素ガスの廃棄期間中は、廃棄された特定二酸化炭素ガスの位置および範囲にかかる調査として、弾性波探査を第 2.2-1 表の計画にしたがい、実施する。

弾性波探査の実施時期は、圧入計画では 2016 年度が冬季(2 月頃)、2017 年度以降が夏季(8 月頃)を予定しているが、具体的な実施月については地元漁協との調整により各年度で定める。

第 2.2-1 表 弾性波探査の実施計画

実施時期	実施計画
2016 年度	二次元弾性波探査
2017 年度	三次元弾性波探査
2018 年度	二次元弾性波探査
2019 年度	三次元弾性波探査
2020 年度	二次元弾性波探査

注：三次元弾性波探査時には、常設型 OBC 設置位置での二次元弾性波探査データも取得する。

調査の解析結果は、海底下廃棄期間の単位期間ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

解析の結果、特定二酸化炭素ガスの貯留層外（遮蔽層）への広がりのおそれが疑われた場合は、弾性波探査の調査実施から解析結果が判明するまでの間に実施されている他の通常時監視項目（地層内圧力及び温度の変化等の地層及び地質の状況、海水の化学的性状）では、懸念時監視への移行に該当する異常値は観測されていない状況にある。したがって、懸念時監視への移行に該当する異常ではないが、直ちに当該結果および対応とその実施時期について環境大臣に報告を行い、対応とその実施時期について、環境省の判断に基づき早急に対応する。次いで、地層内圧力・温度の監視に異常が認められない状況での地層状態の異常のおそれを確認する方法として、圧入を計画的に停止し、圧入停止直後（数日程度）の坑内の圧力と温度（特に圧力の低下挙動）を注視した観測を行う。観測結果により地層の状態の異常のおそれが類推される場合は、異常時監視に移行する。なお、地層の状態の異常のおそれの判断については、異常が懸念される以前の通常時監視時の一時的圧入中断時の圧力低下挙動の解析結果を異常判定の基礎データとし、この基礎データと確認のため行う圧入停止直後の圧力低下挙動の観測結果を比較し、新たな特定二酸化炭素ガスの流動経路が遮蔽層に発生した可能性などが予想された場合、異常のおそれが類推される。

観測結果により地層の状態の異常のおそれが類推されないと環境省により判断された場合は、圧入を再開し、通常時監視体制を継続する。この場合、貯留層と遮蔽層の境界が予想と異なるケースなどが考えられることから、弾性波探査による地質構造の解釈の見直しに着手するとともに、次年度の弾性波探査で特定二酸化炭素ガスの広がりの変化を確認する。地質構造の解釈（貯留層と遮蔽層の境界）の見直しは、モデルを修正し、圧入予測シミュレーションを実施するため、4か月程度の期間を要すると考えている。見直したモデルによるシミュレーションで、圧入したCO₂の分布や圧入時の圧力挙動を予測することとなり、見直した結果は、その後の特定二酸化炭素ガスの貯留層外（遮蔽層）への広がりのおそれがあるか否かの判断に活用する。

② 海水の化学的性状

7) 通常時監視

海水の化学的性状の監視は、年4回実施する。実施時期は、春季（5～6月）、夏季（8～9月）、秋季（11～12月）、冬季（2～3月）の予定とし、具体的な実施月については地元漁協との調整により決定する。

これらの結果は、各季の調査ごとにとりまとめ、速やかに環境大臣に提出する。

通常時監視の結果は、ベースライン調査から設定した下記の移行基準と比較し、St. 01, St. 02, St. 03, St. 04, St. 06, St. 09, St. 10 および St. 11 の8測点の観測値が a. に示す移行基準を超えた場合、1)にて後述する確認調査を直ちに行う。

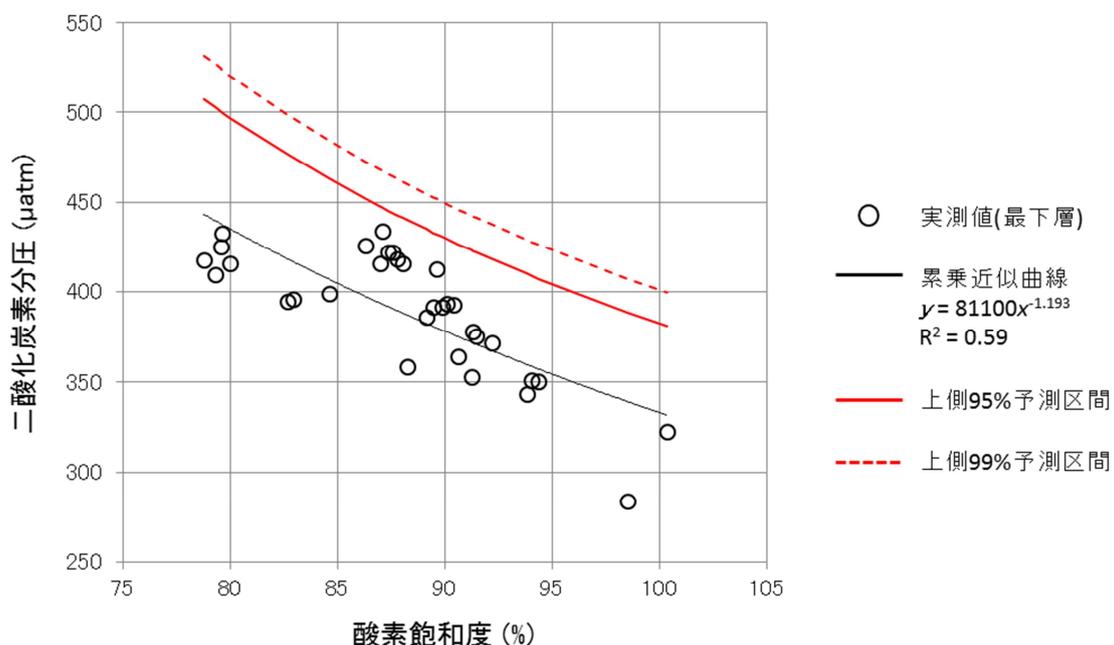
a. 酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係による監視段階の移行基準

St. 01, St. 02, St. 03, St. 04, St. 06, St. 09, St. 10 および St. 11 の8測点について事前のベースライン調査で得られた底層（海底面上2m）の酸素飽和度（%）と二酸化炭素分圧（ μatm ；温度、塩分、全炭酸およびアルカリ度から算出）との累乗近似による曲線関

係から、自然変動の予測区間を算出した（第 2. 2-1 図）。この上側 95%予測区間を基準とし、ここから上側に外れた値が観測された場合には監視を次の段階に移行する。

ただし、本申請書で示した第 2. 2-1 図は 1 年間の観測による限られたデータに基づくものであり、通常時監視を継続することで毎年蓄積される自然変動のデータを加えることにより、酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係の精度を高めることができるので、データ追加の統計学的な可否について確認した上で、第 2. 2-1 図は毎年見直すこととする。

なお、St. 05, St. 07, St. 08 および St. 12 の 4 測点をこの基準から除外した理由は、水深が浅く鉛直混合を介した大気海洋間のガス交換の影響を強く受ける可能性があり、他の測点とは異なった酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係となることも考えられるためである。



第 2. 2-1 図 ベースライン調査で得られた底層の酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係による監視段階の移行基準（累乗近似による上側 95%予測区間）

イ) 確認調査

7) a. で設定した移行基準は、統計的な予測手法に基づく基準であるため、特定二酸化炭素ガスの漏出がなく自然変動に起因する場合においても、2.5%の確率で基準超過が生じることが想定される。このため、通常時監視において移行基準を超えた場合、直ちに懸念時監視に移行せず、データの再現性を確認し、基準超過の要因が海底下地層に廃棄した特定二酸化炭素ガスの漏出によるものか、または、自然変動によるものかを確認するために、確認調査を行う。

確認調査において監視段階の移行基準を超えた観測値が得られた場合には、懸念時監視に移行するとともに、直ちに環境大臣に報告を行う。確認調査を行ったすべての測点において、観測値が監視段階の移行基準内に収まっており、漏出またはそのおそれが生じていないことが環境省により判断された場合、通常時監視を継続する。

③ 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況

海洋生物の状況の監視は、年 4 回実施する。実施時期は、春季（5～6 月）、夏季（8～9 月）、秋季（11～12 月）、冬季（2～3 月）の予定とし、具体的な実施月については地元漁協との調整により決定する。

調査結果は、各季の調査ごとにとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

生態系および海洋の利用の状況の監視は、許可期間終了年の前年（2020 年度予定）に 1 回実施する。これに係る文献調査は 4 月から 9 月頃を予定するが、当該年度の最新情報を収集するよう努める。

調査結果は、調査実施年度にとりまとめ、遅滞なく環境大臣に報告する。

3. 懸念時監視に係る事項

特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を生じるおそれのある事象が発生した場合、海水の二酸化炭素濃度指標等の異常が確認された場合および地震（最大加速度 150 ガル以上（震度 5 弱相当））により CO₂ 分離・回収・圧入設備が緊急停止した場合は、状況を適確に把握するため、異常の事象に応じて以下の懸念時監視を実施する。

懸念時監視の結果、海底下に廃棄した特定二酸化炭素ガスの漏出またはそのおそれが生じていないことが環境省により判断された場合、通常時監視に戻り、圧入を再開する。

3.1 監視の方法

(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化並びに海底下廃棄をした地層の状態並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等

通常時監視と同様の方法とするが、圧入井および観測井における坑内圧力と坑内温度の監視においては、特に坑内圧力および坑内温度の変化の推移を注視することで地層の状態の把握に努める。

(2) 海水の化学的性状

通常時監視と同じ 12 測点（第 2. 1-3 図および第 2. 1-2 表）、確認調査で新たに設定した調査測点、および確認調査の結果で移行基準を超えた調査測点から東西南北方向に 100m 離れた点を、調査測点として設定する。これらの監視測点において、通常時監視と同様の方法で採水による水質分析（測定項目：塩分、DO、全炭酸、アルカリ度および硫化物イオン）と多項目センサーによる鉛直観測（測定項目：温度、塩分、DO および pH）を行う。

(3) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目

気泡発生の有無を確認するために、海水の化学的性状の調査測点で、海面での気泡の存在を船上から目視で観察するとともに、水中カメラを垂下して海水中での気泡の存在を観察する。

3.2 監視の実施時期及び頻度

懸念時監視は、特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を生じるおそれのある事象が発生した場合、海水の二酸化炭素濃度指標等の異常が確認された場合および地震（最大加速度 150 ガル以上（震度 5 弱相当））により CO₂ 分離・回収・圧入設備が緊急停止した場合、直ちに実施する。

(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化並びに海底下廃棄をした地層の状態並びに特定二酸化炭素ガスの位置及び範囲等

圧入井および観測井における坑内圧力と坑内温度の監視を継続し、監視結果の集計/解析状況は、海水の化学的性状の報告時に、直ちに環境大臣へ報告する。

懸念時監視では、圧入停止直後（数日程度）の坑内の圧力と温度（特に圧力の低下挙動）を注視した観測を行う。観測結果により地層の状態の異常のおそれが類推される場合は、直ちに環境大臣に報告を行う。

懸念時監視での異常の判断は、特定二酸化炭素ガスの圧入停止直後の坑内の圧力と温度（特に圧力の低下挙動）に注視した観測結果に基づいて短期的に行うものである。異常が懸念される以前の通常時監視時の一時的圧入中断時の圧力低下挙動の解析結果を異常判定の基礎データとし、この基礎データと懸念時監視時の圧入停止直後の圧力低下挙動の観測結果を比較し、新たな特定二酸化炭素ガスの流動経路が遮蔽層に発生した可能性などが予想された場合、異常のおそれが類推される。

(2) 海水の化学的性状

懸念時監視における海水の化学的性状調査において、監視段階の移行基準を超えた観測値が得られた場合には、異常時監視へ移行するとともに、直ちに環境大臣に報告を行う。また、観測値が監視段階の移行基準内に収まっている場合は、10日程度の間隔で再調査を実施する。再調査で監視段階の移行基準を超えた観測値が得られた場合には、異常時監視へ移行する。再調査での観測値が、監視段階の移行基準内に収まっており、漏出またはそのおそれが生じていないことが環境省により判断された場合には、通常時監視に戻る。

これらの結果は、各回の調査ごとにまとめ、直ちに環境大臣へ報告する。

(3) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目

気泡発生の確認は、海水の化学的性状の調査と同時に行う。この結果は、海水の化学的性状の結果と併せて、直ちに環境大臣へ報告する。

4. 異常時監視に係る事項

懸念時監視の結果により特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を生じ、または生ずるおそれが生じていると判断された場合、海洋環境の保全上の障害の程度を適確に把握するため、または障害を生ずるおそれが生じている場所を特定するため、以下の異常時監視を実施する。

異常時監視項目のすべてにおいて異常が認められず、漏出またはそのおそれが生じていないことが環境省により判断された場合には、通常時監視に戻り、圧入を再開する。

4.1 監視の方法

(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化及び海底下廃棄をした地層の状態並びに海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の詳細

通常時監視と同様に、圧入井および観測井における坑内圧力と坑内温度の監視と弾性波探査により、海底下廃棄をした地層の状態並びに海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の把握に努める。

(2) 海水の化学的性状

懸念時監視によって確認された漏出のおそれについて、漏出の規模を把握し効果的な漏出防止措置につなげるという観点から、通常時監視および懸念時監視で設定した全ての監視測点において、通常時監視と同様の方法で採水による水質分析（測定項目：塩分、DO、全炭酸、アルカリ度および硫化物イオン）と多項目センサーによる鉛直観測（測定項目：温度、塩分、DO および pH）を行う。また、採泥による底質分析（測定項目：pH、酸化還元電位、全有機炭素、無機炭素、硫化物および含水率）も行う。なお、技術的に可能である場合は、漏出が疑われる海域の近底層に炭酸系物質観測のためのセンサー（pH 計、pCO₂ 計など）を設置し、連続観測する。

(3) 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況

① 海洋生物の状況

海水の化学的性状の監視結果により、海洋環境を保全するために影響を把握する必要があると考えられる場合に行う海洋生物の状況（メイオベントス、マクロベントスおよびメガロベントスの出現状況）の監視は、通常時監視と同様の方法とする。

② 生態系の状況

海水の化学的性状の監視結果により、海洋環境を保全するために影響を把握する必要があると考えられる場合に行う生態系の状況（貝類、カニ類、魚類等の資源変動の状況）の監視は、通常時監視と同様の方法とする。

③ 海洋の利用の状況

海水の化学的性状の監視結果により、海洋環境を保全するために影響を把握する必要があると考えられる場合に行う海洋の利用の状況における変化の監視は、通常時監視と同様の方法とする。

(4) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目

気泡が発生しているか否かの確認、また気泡が発生していた場合には、気泡の漏出量などを推定するために、水中カメラあるいは音響等によって気泡発生状況を調べる。なお、技術的に可能である場合は、気泡が漏出に起因するものかなどを確認するため、ダイバーやROVなどによって気泡を採取し、炭素の安定同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) などの成分分析を行う。

4.2 監視の実施時期及び頻度

異常時監視は、懸念時監視の結果により特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を生じ、または生ずるおそれが生じていることが否定できない場合、直ちに実施する。

異常時監視は、海底下に廃棄した特定二酸化炭素ガスの漏出またはそのおそれが生じていないことが、環境省により判断されるまで継続して行う。

(1) 海底下廃棄をした地層内の圧力及び温度の経時的変化及び海底下廃棄をした地層の状態並びに海底下廃棄をした特定二酸化炭素ガスの状態の詳細

圧入井および観測井における坑内圧力と坑内温度の監視結果の集計/解析状況は、海水の化学的性状の調査報告時に、直ちに環境大臣へ報告する。

弾性波探査の結果は、解析後速やかに環境大臣へ報告する。

異常時監視における弾性波探査の結果、特定二酸化炭素ガスが圧入した貯留層から他の地層に移動していることが疑われた場合は、対応について環境省と協議する。

(2) 海水の化学的性状

異常時監視における採水による水質分析と多項目センサーによる鉛直観測は2回以上行い、各調査は10日程度の間隔で実施する。採泥による底質分析は、海水の化学的性状と同時に行う。さらに、漏出が疑われる海域の近底層に炭酸系物質を観測するためのセンサー（pH計、 pCO_2 計など）を設置し、連続観察することが可能であった場合には、採水と同様に10日程度の頻度で観測値を確認する。

これらの結果は、各回の調査ごとにまとめ、直ちに環境大臣へ報告する。

(3) 海洋生物及び生態系並びに海洋の利用の状況

① 海洋生物の状況

海洋生物の状況は、通常時監視および懸念時監視で設定した全ての監視測点において、特に海水の化学的性状調査および気泡発生状況調査によって漏出のおそれが生じていると判断される範囲を重点的に、年4回実施する。実施時期は、春季（5～6月）、夏季（8～9月）、秋季（11～12月）および冬季（2～3月）の予定とし、具体的な実施月については地

元漁協との調整により決定する。なお、海洋生物の状況に漏出による明らかな影響が認められる場合には、監視の頻度を月1回とする。これらの結果は、各回の調査ごとにまとめ、直ちに環境大臣に報告する。

② 生態系の状況

生態系の状況は、異常事象の発生の確認後、直ちに監視を開始する。監視の頻度は、年1回とするが、資源変動の状況については入手できる最新の情報を常時把握するよう努める。この結果は、とりまとめ後、直ちに環境大臣に報告する。

③ 海洋の利用の状況

海洋の利用の状況は、異常事象の発生の確認後、直ちに監視を開始する。監視の頻度は、年1回とするが、入手できる最新の情報を常時把握するよう努める。この結果は、とりまとめ後、直ちに環境大臣に報告する。

(4) その他特定二酸化炭素ガスの状況及び海域の状況を把握するために必要な項目

気泡発生の状況は、通常時監視および懸念時監視で設定した全ての監視測点、特に海水の化学的性状調査によって漏出のおそれが生じていると判断される測点を重点的に、監視する。監視は、異常事象の発生の確認後、直ちに実施し、海水の化学的性状の調査と同様に10日間程度の頻度で実施する。この結果は、とりまとめ後、直ちに環境大臣に報告する。