

変更の理由

平成28年10月13日付環水大水発第1610133号をもって指導のあった「今後の監視計画のあり方」を受け、以下の理由から、変更許可申請を行う。

現在の監視計画は、CO₂の圧入設備や地層の圧力・温度に係るデータが正常値を示していたとしても、採水調査の結果において、1年間のベースライン調査結果を用いて設定した移行基準の超過が確認された場合には、海水の性状が1年間の調査結果から想定された状態と異なることのみをもって、監視の段階を通常時監視から懸念時監視、懸念時監視から異常時監視へとより厳しい段階に移行するものとなっている。

CO₂の圧入設備や圧入井・観測井の圧力・温度に係るデータからはCO₂の漏出を疑う状態にはない場合においても、偶然に海水の化学的性状の移行基準の超過等を観測する可能性はあり、懸念時監視に移行するとCO₂の圧入を停止することとなるが、実際にCO₂が漏出していないにも関わらず、長期間に渡り圧入を停止するような事態は、本事業の信頼性と社会的受容性が揺らぎ、安全側に立った考え方とはいえ、この状況は可能な限り避けなければならない。

そこで、通常時監視において移行基準の超過が観測された場合は、次の監視段階に移行すべきかを確認するための調査（確認調査）において、採水調査とは別に、より直接的にCO₂の漏出の有無やそのおそれを具体的に確認するための詳細な調査を迅速に実施して、CO₂漏出の有無を総合的に判断できる監視計画にしておく必要がある。

海底下 CCS 事業に係る監視計画のあり方について

平成 28 年 10 月 13 日

1. 目的

苫小牧沖海底下 CCS 事業に係る現在の監視計画においては、CO₂ の圧入設備や地層の圧力・温度に係るデータが正常値を示していたとしても、採水調査の結果において、移行基準の超過が確認された場合には、海水の性状が想定された状態と異なることのみをもって、監視の段階を通常時監視から懸念時監視、懸念時監視から異常時監視へとより厳しい段階に移行すると判断することがあるものとなっている。

これにより、迅速に監視の段階を引き上げ、CO₂ の漏出や直接的に漏出が疑われる事象（気泡の発生等）が具体的に確認されていない段階であっても、海水の性状が想定された状態と異なっている要因が CO₂ の漏出であると疑われる状態であるかどうかを入念的に確認するため、より詳細な調査を長期的に繰り返していくこととなる。これは、

漏出により、まず性状が変化すると考えられるのが海水であること

海水を分析した結果、漏出により発生すると予想される海水の化学的性状の変化と同様の変化が偶然観測される確率が統計的に予測可能で、かつ、その確率は十分低いこと

海水の分析は比較的短時間で実施可能であり、仮に漏出が発生した場合、海水の化学的性状の変化を示すデータが迅速に得られ、その結果から、監視の段階を速やかに移行し安全を確保した上で、より詳細な調査を実施可能であること

から、海洋環境の保全の観点からは、安全側に立った優れた考え方であると評価できる。

一方で、何らか別の要因により移行基準の超過が確認された場合、CO₂ の圧入設備や圧入井・観測井の圧力・温度に係るデータからは CO₂ の漏出を疑う状態にはないにも関わらず、懸念時監視に移行し、より詳細な調査を長期的に行った上で CO₂ の漏出によるものであると疑われる状態かどうかを判断することとなる可能性は否定できない。

しかしながら、実際に漏出が発生し、海水の化学的性状に変化が生じたとしても、通常時監視における採水調査で海水の化学的性状の変化が確認された時点では、CO₂ の漏出量、漏出速度、漏出場所等の漏出の実態は明らかではない。一方、海洋環境を保全するためには、漏出の実態把握が必要不可欠である。

また、確率は十分低いものの、偶然に海水の化学的性状の異常を観測する可

能性があり、懸念時監視に移行するとCO₂の圧入を停止することとなるが、CO₂の漏出を確実に検知し海洋環境を保全することを大前提としつつも、実際にCO₂が漏出していないにも関わらず、長期間に渡り圧入を停止するような事態は、本事業の信頼性と社会的受容性が揺らぎ、風評被害等が発生する懸念がある。安全側に立った考え方とはいえ、この状況は風評被害等から地元関係者を守る観点から、可能な限り避けなければならない。実際にCO₂の漏出がないにも関わらず、懸念時監視へ移行することにより、CO₂の圧入を停止し、長期間にわたり繰り返し調査を行った上で、CO₂の漏出がないと判断される状態となることは避ける必要がある。

このため、通常時監視において移行基準の超過が観測された場合は、次の監視段階に移行すべきかを確認するための調査（確認調査）において、採水調査とは別に、より直接的にCO₂の漏出の有無やそのおそれを具体的に確認するための詳細な調査を迅速にいくつか実施して、CO₂漏出の有無を総合的に判断できる監視計画にしておく必要がある。

また、長期に渡り、監視計画のとおり、適正に計画を運用するためには、分析者の違いが分析値に及ぼす影響を可能な限り小さくするため、採水調査のあり方（手法、気象・海象条件の考慮等）について詳細に定め、その作業手順に従って実施される必要がある。

2．監視計画の全体像

通常時監視、通常時監視確認調査、懸念時監視及び異常時監視の各段階において、3．～6．に示す計画で監視・調査等を実施することが求められる。別紙1にそのフローを示す。

なお、ここでは、漏出シナリオとして、「ある一定の期間、継続して、特定の地点から、CO₂が漏出している」事態を想定する。

3．通常時監視

3 - 1．圧入井・観測井における圧力・温度データの確認（現在の監視計画から変更なし）

圧入井及び観測井における圧力及び温度を連続監視する。圧力または温度について、あらかじめ設定する範囲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、圧入を停止し、懸念時監視に移行する。

3 - 2．弾性波探査（現在の監視計画から変更なし）

廃棄されたCO₂の位置及び範囲に係る調査として、弾性波探査を年1回実施

する。CO₂の貯留層外（遮蔽層）への広がりのおそれが疑われた場合、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。

3 - 3 . 通常時監視における採水調査

4季毎に、ベースライン調査を実施した12地点において、7. に示す手法に従って（以降の全ての採水調査についても同様）実施する。

採水層は、表層（水深0.5m）、上層（水深5m）、下層（海底上5m）及び底層（海底上2m）の4層とし、採水器を用いて海水を1回採水する。ただし、水深が10m以浅の地点（St.05、St.07、St.08及びSt.12）では、上層を水深2m、下層を海底上3m、底層を海底上1.5mとする。

採水器から塩分、溶存酸素、全炭酸、アルカリ度、pHの各分析項目を測定するために、専用の海水試料1検体を採取し、適切な手法を用いて分析する。12地点のうち、鉛直混合の影響を受ける沿岸の4地点を除いた8地点の底層で採水した試料の分析結果について、移行基準超過の有無を確認する。

8地点の分析結果のうち1地点でも移行基準を超過した場合、4. に示す通常時監視確認調査を実施する。

4 . 通常時監視確認調査

通常時監視における採水調査の結果、移行基準の超過が確認された場合、以下（1）を行った上で、必要に応じて、（2）及び（3）の調査を行い、それらの結果を総合的に検討した上で、懸念時監視への移行について判断する。

- （1）圧入井及び観測井における圧力・温度データの再確認
- （2）現地概況調査（採水再調査、センサ調査、気泡確認調査）
- （3）現地詳細調査（採水再々調査、気泡確認詳細調査、気泡の成分分析及び¹⁴C同位体比分析）

なお、通常時監視において移行基準の超過が複数地点で観測された場合、現地概況調査が広範囲にわたる可能性がある。この場合、（1）圧入井及び観測井における圧力・温度データの再確認を行うと同時に、シミュレーションによる漏出懸念点の存在範囲の推定を行い、（2）現地概況調査の調査範囲設定に活用することも考えられる。

4 - 1 . 圧入井・観測井における圧力・温度データの再確認

通常時監視における採水調査の結果、移行基準の超過が確認された場合、圧入井及び観測井における圧力及び温度について、引き続き明らかな異常が無いか再確認する。

異常が確認された場合、懸念時監視に移行し、異常が確認されなかった場合、
4 - 2 . に示す現地概況調査を行う。

4 - 2 . 現地概況調査

現地概況調査においては、以下に示す 、 、 の調査を実施する。これらの調査結果を踏まえ、4 - 3 . に示す現地詳細調査を実施すべきかを判断する。

、 、 の調査で予想される結果と、それらの結果を踏まえた対応を別紙2にまとめた。

採水再調査

通常時監視で移行基準を超過した地点において、採水再調査を実施する。当該地点における現場濃度について信頼性の高い観測値を得るため、移行基準の超過の有無を判断する底層の採水は5回以上行う。採水した試料の処理及び分析は、通常時監視と同様に7 . に示す手法に従って行う。5回以上の採水試料の分析結果の平均値¹について、移行基準の超過の有無を確認する。表層、上層及び下層については1回採水し、分析を行う。

また、分析手法に起因する測定値の違いの有無を確認するため、移行基準を超過しなかった調査点を対照点として設定し、上記の超過地点と同様に採水分析を行う。

センサ調査

通常時監視において移行基準を超過した地点の周辺（漏出点が存在している可能性がある海域）において、漏出懸念点の存在範囲を絞り込むことを目的として、pHまたはpCO₂を測定する化学センサを用いた面的な調査を行う。

事前評価におけるシミュレーション結果²によると、最も影響範囲が広いケース（1%漏出 - 100m）においても、 $\Delta pCO_2 > 100 \mu atm$ （ $\Delta pH > 0.1$ ）となる範囲は漏出点から半径100m以内である。このため、調査範囲は、海流による高CO₂水塊の移動の可能性も考慮して、通常時監視において移行基準を超過した地点を中心に1km×1km程度の範囲とするのが望ましい。

観測は、センサを直線状に曳航して行う。観測線の間隔は100m以内とし、センサは海底近傍（海底上2m）を曳航する。

¹ 採水や分析で生じる誤差を減らして、通常時監視において移行基準を超過する値が得られた地点の海水中のCO₂濃度を正確に把握するため、5回以上採水し、分析し、その平均値をとる。

² 添付書類 - 1 事前評価書 p.168 第4.4-8図

センサを曳航するプラットフォームとしては、船舶をはじめとして、AUV³、ROV⁴、シーグライダーなどが考えられる。化学センサは、pH センサまたは pCO₂ センサを用いる。観測しようとする水深で適切に曳航できたかどうかを確認するために、CTD（水温、塩分、圧力）を同時に用いる。なお、pH は、CO₂ 以外の要因によって変動する可能性もあるため、直接的に CO₂ のデータを観測できる pCO₂ センサ⁵ を用いることが望ましい。また、化学センサを使って長期間にわたり正確な値を得るためには、ドリフト補正や校正等が必要であるが、本調査のように pH または pCO₂ の不均一な分布を検出することが目的であれば、これらのセンサは十分実用可能なことがこれまでの知見⁶ から確認されている。ただし、pH センサとして一般的なガラス電極の pH センサを用いる場合には、水温及び圧力(水深)の影響により出力値が変化しやすいため、留意する必要がある⁷。

得られた観測データをマッピングし、漏出が懸念される pH または pCO₂ の不均一な分布（pH の低下または pCO₂ の増加）の有無を確認する。

気泡確認調査

サイドスキャンソナー（SSS）を用いて海底面からの気泡の発生状況を調査する。また、必要に応じて、サブボトムプロファイラーを用いて、海底直下に存在すると予想される気泡溜まりを探索する。

センサ調査と同様の考え方にに基づき、調査範囲は、1km×1km 程度の範囲とするのが望ましく、観測線の間隔は 100m 以内とする。観測データは、簡単な処理（ノイズ除去等）を行い、データ全体を統合した上で気泡の発生の有無を確認する。センサ調査で漏出懸念点の存在範囲を絞り込めた場合は、当該範囲においてサイドスキャンソナーを用いて調査を行うことや、計量魚探やマルチビーム等の音響探査装置を用いて調査を行うことも検討すべきである。

現地概況調査の結果を踏まえた対応

採水再調査において移行基準を超過し、センサ調査において pH または pCO₂ の不均一な分布が観測されず、気泡確認調査において気泡の発生が観測されない場合は、再度、より綿密に現地概況調査を実施し、漏出の可能性が

³ AUV で調査を実施する場合は、サイドスキャンソナーによる気泡確認が可能な場合がある。

⁴ ROV で調査を実施する場合は、カメラ映像取得を同時に実施することが可能である。

⁵ pCO₂ センサは、反応速度は遅いが、分布状況の変化を観測することを目的として使用することに支障はない。ただし、分布状況の変化の観測のみならず漏出点の特定を目的とする場合には、観測値と観測位置の整合性を取るため、時定数補正を行う必要がある。

⁶ K. Shitashima, Detection and monitoring of leaked CO₂ through sediment, water column and atmosphere in a sub-seabed CCS experiment International Journal of Greenhouse Gas Control 38(2015)135–142

⁷ 同水深での水平観測を行うこととし、調査範囲の水深の変化に合わせて、海底近傍から深さ 5m 毎に観測水深を設定する。

ある範囲の特定に努める。

再度の現地概況調査の結果、

- 採水調査において移行基準を超過し、 センサ調査において pH または pCO_2 の不均一な分布が観測されず、 気泡確認調査において気泡の発生が観測されない状況が続く場合には、 現地概況調査を繰り返し、 漏出の可能性がある範囲の特定に努める。
- センサ調査において漏出懸念点の存在範囲が絞り込まれた場合は、 4 - 3 . に示す現地詳細調査を行う。
- 気泡確認調査において漏出懸念場所が特定された場合には、 4 - 3 . に示す現地詳細調査を行う。
- センサ調査、 気泡確認調査両方において漏出の可能性がある範囲が特定された場合は、それぞれの調査に対応するよう 4 - 3 . に示す現地詳細調査を行う。
- 採水再調査で移行基準を超過せず、 センサ調査、 気泡確認調査で漏出の可能性がある範囲が確認できなかった場合には、全ての現地概況調査の結果も踏まえ総合判断する。

センサ調査、 気泡確認調査において、 pH または pCO_2 の不均一な分布、あるいは気泡の発生が観測された場合は、 漏出のおそれの有無についてより詳細に確認するため、 4 - 3 . に示す現地詳細調査を行う。

採水調査において移行基準を超過せず、 センサ調査において pH または pCO_2 の不均一な分布が観測されず、 気泡確認調査において気泡の発生が観測されない場合は、全ての現地概況調査の結果も踏まえ、再度、現地概況調査を実施するか、通常時監視を継続するかについて総合的に判断する。

4 - 3 . 現地詳細調査

4 - 2 . ~ の調査結果を踏まえ、更なる調査が必要である場合は、以下に示す 及び の調査を実施する。これらの調査結果を踏まえ、 5 . の懸念時監視へ移行すべきかについて判断する。 、 の調査で予想される結果と、その結果を踏まえた判断について、別紙 1 にまとめた。

採水再々調査

4 - 2 . 採水再調査と同様の手法で採水再々調査を実施し、移行基準の超過の有無を確認する。調査地点については、以下のとおり。

- 4 - 2 . 現地概況調査の センサ調査において、 pH または pCO_2 の不均一な分布が観測された場合、観測された分布異常範囲 (pH または

pCO₂の不均一な分布が観測された範囲)の大きさに合わせて、この範囲内に1点あるいは複数点、また、対照地点として分布異常範囲外の沖側1地点を調査対象地点とする。

- 4 - 2 . 現地概況調査の 気泡確認調査において、気泡の発生が観測された場合、気泡確認地点、また、対照地点として気泡確認地点以外の沖側500m以上離れた1地点を調査対象地点とする。

なお、採水再々調査においては、第三者機関において、または、第三者機関の協力・指導の下、採水・分析を行う。

また、採水再々調査では、14C 同位体比分析のための採水も行う。採水にあたっては、仮に漏出があったとしても漏出の影響を受けていないと考えられる海水の14C 同位体比との比較を行うため、分布異常範囲外、気泡確認地点以外の沖側の対照地点においても採水を行う。

分布異常範囲内または気泡確認地点の海水の14C 同位体比が対照地点と比べて有意に低い値を示した場合、圧入したCO₂の漏出が発生していることを示唆する。

気泡確認詳細調査

4 - 2 . 現地概況調査の センサ調査において pH または pCO₂ の不均一な分布が観測された場合は、観測された分布異常範囲において、また、 気泡確認調査において気泡の発生が確認された場合は、気泡確認地点の周辺において、ROVまたはダイバーによるカメラ撮影を行い、撮影映像から気泡の発生状況を詳細に調査する。

気泡の発生が観測された場合は、可能な限り、気泡を採取し成分分析を行う。成分分析の結果、CO₂濃度が著しく高い場合は、さらに14C 同位体比分析を行う。

発生した気泡が圧入された化石燃料起源のCO₂を含む場合は、14C 同位体比が低くなるため、14C 同位体比を分析した結果、当該気泡に含まれる14C 同位体比が、海水に溶存する二酸化炭素あるいは海底で自然に生じる気泡の14C 同位体比に比べて有意に低い場合、圧入したCO₂の漏出によって気泡が発生していることを強く示唆する。

現地詳細調査の結果を踏まえた対応

及び の調査を実施した結果、海水または気泡の14C 同位体比分析の結果により、圧入されたCO₂の漏出またはそのおそれが生じていると判断された場合、懸念時監視へ移行する。海水または気泡の14C 同位体比分析の結果により、圧入されたCO₂の漏出またはそのおそれが生じていないと判断された場合は、

現地概況調査結果も踏まえ総合判断する。

海水の 14C 同位体比分析の結果、圧入された CO₂ の漏出またはそのおそれが生じていないことが判断されたが、気泡確認詳細調査において、気泡の発生が観測された場合、観測された気泡が圧入した CO₂ を含むものであるかを確認するため、再度、現地詳細調査を実施し、懸念時監視への移行について判断する。

5 . 懸念時監視

通常時監視から懸念時監視へ移行した後は、圧入を停止した上で、圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データについて、明らかな異常がないか確認する。

また、圧入井・観測井における圧力・温度データについて、明らかな異常が確認されなかった場合、以下(ア)～(オ)の場合について、5 - 2 . ~ 5 - 4 . に示すとおり、調査を実施する。それぞれの場合に実施する調査の内容について、別紙 3 にまとめた。

- (ア) 通常時監視において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合
- (イ) 通常時監視における確認調査において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合
- (ウ) 通常時監視における確認調査において気泡の発生が確認されないまま、海水の 14C 同位体比分析の結果、懸念時監視に移行した場合
- (エ) 通常時監視における確認調査を実施した結果、懸念時監視に移行した場合((イ)及び(ウ)を除く)(現地概況調査または現地詳細調査において気泡の発生が観測され、海水または気泡の 14C 同位体比分析の結果により、懸念時監視に移行した場合)
- (オ) 地震により圧入停止した結果、懸念時監視に移行した場合

5 - 1 . 圧入井・観測井における圧力・温度データの確認(現在の監視計画から変更なし)

圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データについて、明らかな異常がないか確認する。

異常が確認された場合、異常時監視に移行し、異常が確認されなかった場合、5 - 2 . ~ 5 - 4 . に示す調査を行う。

5 - 2 . 懸念時監視における採水調査

以下のとおり、調査を行う。

- 5.(ア)及び(オ)の場合、4-2.に示す採水再調査と同様の手法により調査を行う。なお、漏出が懸念される範囲が絞り込めていないため、通常時監視における採水調査地点の8地点を調査地点とする。
上記の調査において、移行基準を超過した地点が確認された場合は、4-3.に示す採水再々調査と同様の手法により調査を行う。
- 5.(イ)の場合、通常時監視における確認調査と同様の手法により調査を行い、移行基準の超過の有無を確認する。
- 5.(ウ)及び(エ)の場合、4-2.に示す採水再々調査と同様の手法により調査を行い、移行基準の超過の有無を確認する。なお、通常時監視における確認調査において漏出が懸念された地点と当該地点の東西南北に100m離れた4地点を調査地点とする。

5-3. 懸念時監視におけるセンサ調査

以下のとおり、調査を行う。

- 5.(ア)及び(オ)の場合、5-2.に示す採水調査(4-2.に示す採水再調査と同様の手法により行う調査)を行った結果、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における確認調査と同様の手法により調査を行う。
- 5.(イ)の場合、通常時監視における確認調査と同様の手法により調査を行う。
- 5.(ウ)及び(エ)の場合、通常時監視における確認調査での14C同位体比分析の結果、漏出の懸念がある場所は特定されているため、センサ調査の実施は必須とはしない。

5-4. 懸念時監視における気泡確認調査

以下のとおり、調査を行う。

- 5.(ア)及び(オ)の場合、5-2.に示す採水調査(4-2.に示す採水再調査と同様の手法により行う調査)を行った結果、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における確認調査と同様の手法により調査を行う。
- 5.(イ)の場合、通常時監視における確認調査と同様の手法により調査を行う。
- 5.(ウ)の場合、4-2.に示す気泡確認調査と同様の手法により調査を行う。なお、通常時監視における確認調査の現地詳細調査において14C同位体比分析のための採水を行った地点を中心に1km×1km程度の範囲を調査範囲とするのが望ましい。

上記の調査において、気泡の発生が確認された場合は、4 - 3 . に示す気泡確認詳細調査と同様の手法により調査を行う。

- 5 . (エ) の場合、4 - 3 . に示す気泡確認詳細調査と同様の手法により調査を行う。なお、通常時監視における確認調査の現地詳細調査において 14C 同位体比分析のための採水または気泡採取を行った地点の周辺を調査範囲とする。

5 - 5 . 懸念時監視の結果を踏まえた対応

5 - 2 . ~ 5 - 4 . の調査を実施した結果、通常時監視における確認調査と同様に監視段階の移行について判断することとし、海水または気泡の 14C 同位体比分析を行った結果、発生している事態が漏出によるものと判断された場合、または、異常な事象の解消が確認できない場合、異常時監視に移行する。

海水または気泡の 14C 同位体比分析を行った結果、発生している事態が漏出によるものではないと判断された場合、または、異常な事象の解消が確認できた場合、通常時監視へ戻る。

6 . 異常時監視

懸念時監視の結果、漏出が発生していると判断された場合、異常時監視に移行し、以下の調査を実施する。

6 - 1 . 圧入井・観測井における圧力・温度データの確認（現在の監視計画から変更なし）

圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データについて、引き続き、異常がないか確認する。

6 - 2 . 弾性波探査（現在の監視計画から変更なし）

弾性波探査により、貯留層の状態及び貯留層内の CO₂ の状態を把握する。

6 - 3 . 異常時監視における採水調査

以下のとおり、調査を行う。

- 通常時監視において、弾性波探査を行った結果、異常時監視に移行した場合、5 . (ア) (または (オ)) と同様の手法により調査を行う。
- 通常時監視における確認調査において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認され、懸念時監視において圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合、5 (イ) と同様の手法により調査を行う。

- 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認されないまま、海水の 14C 同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合、5 . (ウ)と同様の手法により調査を行う。
- 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認され、海水または気泡の 14C 同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合、5 . (エ)と同様の調査を行う。

6 - 4 . 異常時監視におけるセンサ調査

以下のとおり、調査を行う。

- 通常時監視において、弾性波探査を行った結果、異常時監視に移行した場合、5 . (ア) (または (オ))と同様の手法により調査を行う。
- 通常時監視における確認調査において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認され、懸念時監視において圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合、5 (イ)と同様の手法により調査を行う。
- 以下の場合、懸念時監視での 14C 同位体比分析の結果、漏出の懸念がある場所は特定されているため、センサ調査の実施は必須とはしない⁸。
 - ◇ 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認されないまま、海水の 14C 同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合
 - ◇ 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認され、海水または気泡の 14C 同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合

6 - 5 . 異常時監視における気泡確認調査

以下のとおり、調査を行う。

- 通常時監視において、弾性波探査を行った結果、異常時監視に移行した場合、5 . (ア) (または (オ))と同様の手法により調査を行う。
- 通常時監視における確認調査において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認され、懸念時監視において圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合、5 (イ)と同様の手法により調査を行う。
- 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認されないまま、海水の 14C 同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合、5 . (ウ)と同様の手法により調査を行う。

⁸ ただし、漏出の影響範囲の特定を目的として、センサ調査を実施することは有効と考えられる。

- 異常時監視に移行するまでに気泡の発生が確認され、海水または気泡の¹⁴C同位体比分析の結果、異常時監視に移行した場合、5.(工)と同様の調査を行う。

6 - 5 . 異常時監視の結果を踏まえた対応

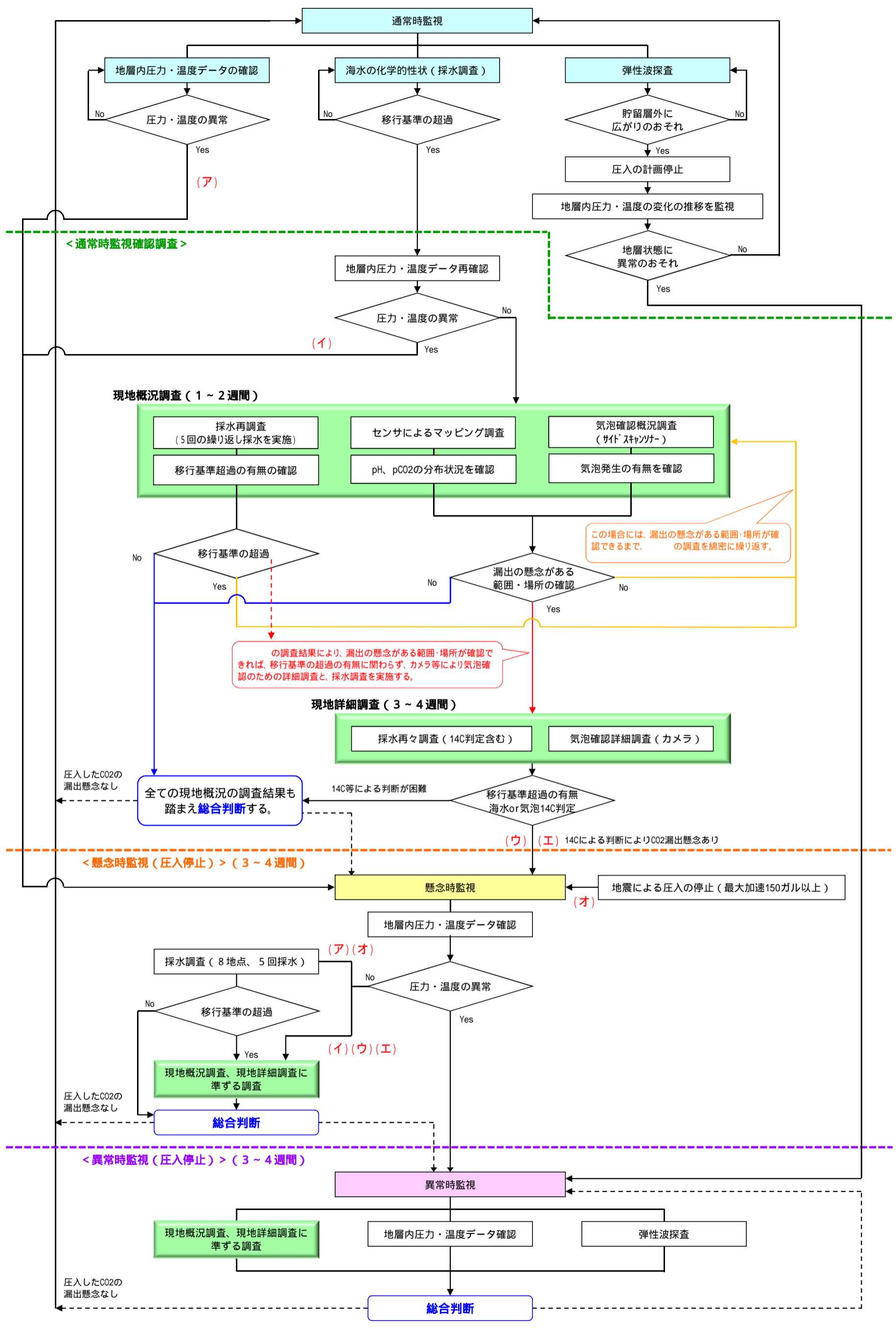
6 - 1 . ~ 6 - 4 . の調査の結果を総合的に検討し、漏出がないと総合的に判断された場合、通常時監視へ戻る。漏出がないと判断されない場合、異常時監視を継続し、その結果について、再度、総合的に判断する。

7 . 採水調査の手法の詳細

長期に渡り、監視計画のとおり、適正に計画を運用するためには、分析者の違いが分析値に及ぼす影響を可能な限り小さくする必要がある。このため、採水調査のあり方(手法、気象・海象条件の考慮等)について別紙4のとおり詳細に定め、その作業手順に従って実施する必要がある。

以上

監視計画のフロー



通常時監視確認調査における調査内容及び調査結果の判断について

(基本的な考え方)

- ・通常時監視における採水調査の結果、移行基準を超過した場合は、「採水地点を中心とした直径 1 km 以内に漏出点があること」を検出した可能性がある。
- ・センサ調査は漏出懸念点の存在範囲の絞り込みを目的とし、気泡確認調査は漏出懸念場所(気泡が発生している場所)の特定を目的として行う。
- ・センサ調査で漏出の懸念が確認された場合の採水再々調査は、pH または pCO₂ の不均一な分布が確認された範囲(分布異常範囲)で行う。また、気泡確認調査で漏出の懸念が確認された場合の採水再々調査は、気泡確認地点で行う。
- ・採水再々調査では、海水の 14C の確認を行う。
- ・漏出の有無の最終的な判断は、海水の 14C または気泡の 14C の確認で行う。

(凡例)

採水再	再	: 移行基準を超過した	: 移行基準を超過しなかった
センサ	センサ	: pH または pCO ₂ の不均一な分布が観測された	: pH または pCO ₂ の不均一な分布が観測されなかった
気泡確認	再々	: 気泡の発生が観測された	: 気泡の発生が観測されなかった
採水再々	気泡確認詳細	: 移行基準超過・海水 14C 低い	: 移行基準超過なし、海水 14C 低い
気泡確認詳細	気泡 14C 分析	: カメラ等により気泡を確認できなかった	: カメラ等により気泡を確認できなかった
気泡 14C 分析		: 気泡採取し 14C 低い	: 気泡採取し 14C 低い : 気泡採取できない

ケース	現地概況調査の結果			現地概況調査の結果を踏まえた対応	現地詳細調査の結果		現地詳細調査結果、判断
	採水再	センサ	気泡確認 (SSS)		採水再々 (含 14C)	気泡確認詳細 (カメラ等)	
				<p>【再度綿密な現地概況調査を実施】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・採水地点周辺において、pH または pCO₂ の不均一な分布及び気泡の発生は見られなかったものの、2 回連続で移行基準を超過したことから、漏出の懸念を完全に否定できないため、再度、より綿密に現地概況調査を実施し、漏出の可能性のある範囲の特定に努める。 ・再度の現地概況調査の結果、ケース が続く場合には、現地概況調査を繰り返し、漏出の可能性のある範囲の特定に努める。その際、第三者機関において、または、第三者機関の協力・指導の下、採水・分析を行う。 <p>【現地詳細調査を実施】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・再度、綿密な現地概況調査を行った結果、センサ調査で漏出懸念点の存在範囲が絞り込まれた場合は、ケース の現地詳細調査を実施する。 ・気泡確認調査で漏出懸念場所が特定された場合は、ケース の現地詳細調査を実施する。 ・センサ、気泡確認調査両方で確認された場合は、ケース 及び の現地詳細調査を実施する。 <p>【総合判断】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・再度、綿密な現地概況調査を行った結果、採水調査で移行基準を超過せず、センサ調査、気泡確認調査で漏出の可能性のある範囲が確認できなかった場合には、<u>全ての現地概況調査の結果も踏まえ総合判断する。</u> 			
				<p>【現地詳細調査を実施】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・pH または pCO₂ の不均一な分布が観測されていることから、漏出懸念場所の特定を行うため、現地詳細調査を実施する。 ・採水再々調査地点は、分布異常範囲の大きさに合わせて 1 点あるいは複数点で実施し、対照地点として分布異常範囲外の沖側 1 地点においても採水を行う。その際、第三者機関において、または、第三者機関の協力・指導の下、採水・分析を行う。 			<p>カメラ等で気泡が確認され、採水再々調査により、圧入した CO₂ が漏出していることが確認されたため、<u>懸念時監視へ移行する。</u>カメラ等で確認された気泡については可能な限り採取し、14C 分析に供する。</p> <p>カメラ等で気泡が確認されなかったが、採水再々調査により圧入した CO₂ が漏出していることが確認されたため、<u>懸念時監視へ移行する。</u></p> <p>採水再々調査により圧入した CO₂ の漏出は確認されなかったが、気泡確認詳細調査で気泡が確認されたため、<u>ケース の現地詳細調査を実施する。</u></p> <p>pH または pCO₂ の不均一な分布は、何らか別の要因により観測されたと考えられるため、漏出の懸念はなく、<u>これまでの調査結果を踏まえ総合判断する。</u></p>
				<p>【現地詳細調査を実施】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・採水地点周辺において気泡の発生が観測され、漏出の懸念があることから、現地詳細調査を実施する。 ・採水再々調査地点は、気泡確認地点とする。対照地点として気泡確認地点以外の沖側 1 地点においても採水を行う。その際、第三者機関において、または、第三者機関の協力・指導の下、採水・分析を行う。 			<p>カメラ等で気泡が確認され、採水再々調査により圧入した CO₂ が漏出していることが確認されたため、<u>懸念時監視へ移行する。</u>カメラ等で確認された気泡については可能な限り採取し、14C 分析に供する。</p> <p>カメラ等で気泡が確認されなかったが、採水再々調査により圧入した CO₂ が漏出していることが確認されたため、<u>懸念時監視へ移行する。</u></p> <p>気泡 14C 分析 圧入した CO₂ が漏出していることが確認されたため、<u>懸念時監視へ移行する。</u></p> <p>カメラ等で確認された気泡は圧入した CO₂ ではなかったため、<u>これまでの調査結果を踏まえ総合判断する。</u></p> <p>気泡は確認されたが採取が出来なかったため、<u>これまでの調査結果を踏まえ総合判断する。</u></p> <p>気泡の発生は、何らか別の要因により観測されたと考えられ、漏出の懸念はなく、<u>これまでの調査結果を踏まえ総合判断する。</u></p>
				<p>現地概況調査では漏出が疑われる事象が確認されなかったため、<u>通常時監視の調査結果を踏まえ総合判断する。</u></p>			

懸念時監視への移行パターンとそれに対応する懸念時監視における調査内容

懸念時監視へ移行した後、圧入停止後の圧入井・観測井における圧力・温度データに異常が確認された場合、異常時監視へ移行する。
 圧入停止後の圧力・温度データに異常が確認されなかった場合、以下に示す調査を行う。

	懸念時監視への移行パターン	懸念時監視における調査内容		
		採水調査	センサ調査	気泡確認調査
(ア)	<p>通常時監視において圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合</p> <p>(通常時監視の採水調査において移行基準超過地点はない)</p>	<p>通常時監視における確認調査の現地概況調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5 回以上採水、平均値で判断 ・ 第三者機関はなし <p>漏出が懸念される範囲が絞り込めていないため、通常時監視における採水調査地点の 8 地点を調査地点とする。</p> <p>上記 の調査において、移行基準を超過した地点が確認されなかった場合は、総合判断を行う。</p>		

		<p>上記の調査において、移行基準を超過した地点が確認された場合は、通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p>左記の調査において、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p>左記の調査において、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>
(イ)	<p>通常時監視における確認調査において <u>圧入井・観測井における圧力・温度データの異常が確認された場合</u></p> <p>(通常時監視の採水調査において移行基準超過地点あり)</p>	<p>通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5回以上採水、平均値で判断 ・ 第三者機関はなし <p>通常時監視において移行基準を超過した地点を調査地点とする。</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p>通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p>通常時監視における確認調査と同様の手法により実施</p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>
(ウ)	<p>通常時監視における確認調査において <u>気泡の発生が確認されないまま、海水の14C分析の結果、懸念時監視に移行した場合</u></p>	<p>通常時監視における確認調査の現地詳細調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5回以上採水、平均値で判断 ・ 第三者機関 ・ 海水の14C分析 	-	<p>通常時監視における確認調査の現地概況調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ サイドスキャンソナー

	<p>現地概況調査のセンサ調査で、pHまたは pCO₂ の不均一な分布が観測され、現地詳細調査で懸念時監視に移行するケース（「確認調査における調査内容及び調査結果の判断について」の 2 段目のケース）</p>	<p>通常時監視における確認調査において漏出が懸念された地点と当該地点の東西南北に 100m 離れた 4 地点を調査地点とする。</p>		<p>通常時監視における確認調査の現地詳細調査において 14C 分析のための採水を行った地点を中心に 1km×1km 程度の範囲を調査範囲とするのが望ましい。</p> <p>上記 の調査により、気泡の発生が確認された場合は、通常時監視における確認調査の現地詳細調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ ・気泡の 14C 分析
(工)	<p><u>通常時監視における確認調査を実施した結果、懸念時監視に移行した場合</u>（(イ)及び(ウ)を除く）</p> <p>現地概況調査または現地詳細調査において気泡の発生が観測され、採水または気泡の 14C 分析の結果により、懸念時監視に移行するケース</p>	<p><u>以下、(ウ)と同様。</u></p> <p><u>通常時監視における確認調査の現地詳細調査と同様の手法により実施</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5 回以上採水、平均値で判断 ・ 第三者機関 ・ 海水の 14C 分析 <p>通常時監視における確認調査において漏出が懸念された地点と当該地点の東西南北に 100m 離れた 4 地点を調査地点とする。</p>	-	<p>通常時監視における確認調査の<u>現地詳細調査と同様の手法により実施</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ ・気泡の 14C 分析 <p>通常時監視における確認調査の現地詳細調査において 14C 分析のための採水または気泡採取を行った地点の周辺を調査範囲とする。</p>

<p>(オ)</p>	<p>地震により圧入停止した結果、懸念時監視に移行した場合</p> <p>(<u>通常時監視の採水調査において移行基準超過地点はない</u>)</p> <p>右の調査内容は、(ア)の場合と同様</p>	<p><u>以下、(ア)と同様。</u></p> <p>通常時監視における確認調査の現地概況調査と同様の手法により実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5 回以上採水、平均値で判断 ・ 第三者機関はなし <p>漏出が懸念される範囲が絞り込めていないため、通常時監視における採水調査地点の 8 地点を調査地点とする。</p> <p>上記 の調査において、移行基準を超過した地点が確認されなかった場合は、総合判断を行う。</p> <p>上記 の調査において、移行基準を超過した地点が確認された場合は、通常時監視における<u>確認調査と同様の手法により実施</u></p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p><u>以下、(ア)と同様。</u></p> <p>左記 の調査において、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における<u>確認調査と同様の手法により実施</u></p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>	<p><u>以下、(ア)と同様。</u></p> <p>左記 の調査において、移行基準の超過が確認された場合は、通常時監視における<u>確認調査と同様の手法により実施</u></p> <p>(調査結果の判断についても通常時監視における確認調査と同様)</p>
------------	--	--	---	---

海底下 CCS 事業に係る監視計画における海水の化学的性状調査の 作業手順及び採水プロトコル等について

1. はじめに

長期に渡り、監視計画のとおり、適正に計画を実施するためには、分析者の違いが分析値に及ぼす影響を可能な限り小さくする必要がある。このため、採水調査のあり方(手法、気象・海象条件の考慮等)について詳細に定め、その作業手順に従って実施する必要がある。以下に、海底下 CCS 事業に係る監視計画における海水の化学的性状調査の作業手順、採水プロトコル及び特に留意すべき事項について示す。

2. 調査項目

海水の化学的性状調査の調査項目は、水温、塩分、溶存酸素、全炭酸、全アルカリ度、pH 及びクロロフィル a である。採水した海水試料を分析室に持ち帰り、分析を行う。pCO₂ については、塩分、全炭酸、全アルカリ度の分析結果から計算で求める。

分析項目及び分析方法等を表 1 に示す。

表 1 分析項目及び分析方法等

分析項目	単位	分析方法	試料ボトル	前処理
塩分	-	海洋観測指針(1999) 5.3.4.2	塩検瓶	
溶存酸素	mg/L	海洋観測指針(1999) 5.4	D0瓶	液 1mL添加後、液 1mL添加 密栓して水封
全炭酸	μ mol/kg	りん酸添加、電量滴定法	125mLハイアル	飽和塩化第二水銀溶液を50 μ L添加 満水、密封冷蔵送付
全アルカリ度	μ mol/kg	改良グランブロット法 (Dickson & Goyet(1994))	250mLポリ	飽和塩化第二水銀溶液を100 μ L添加 満水、密封冷蔵送付
pH	-	海洋観測指針(1999) 5.6	250mLポリ	満水、密封
クロロフィルa	μ g/L	海洋観測指針(1990) 9.6.1	μ g/L	MgCO ₂ 溶液1mLを加えて、ろ過後、別のろ紙に 挟んでシリカゲル入り密閉容器で冷蔵保存

3. 調査準備(陸上作業)

(1) 採水器

塩分、溶存酸素、全炭酸、全アルカリ度、pH 試料の採水器は、化学分析用中性洗剤で洗淨したニスキン採水器または北原式採水器とする。

ニスキン採水器については、容量が大きくなると採水器内の上層と下層で成分濃度差が生じる可能性があるため、5L 程度の容量が望ましい。

採水器から試料瓶への分取に使う採水チューブについては、内部に汚れが残留していないかを確認するとともに、経年劣化により亀裂等が生じていないことを事前に確認する。

(2) 試料瓶

全炭酸濃度分析用試料瓶は、密封性の高いスリガラス栓付きガラス瓶またはブチルゴム栓及びアルミキャップで密栓できるガラス製バイアル瓶を用いる。試料瓶に付着した汚れにより分析値を過大評価することを防ぐため、化学分析用中性洗剤で洗浄し、純水での洗浄、乾燥処理したものを試料瓶として用いる。

溶存酸素濃度分析用の試料瓶はガラス製 DO 瓶を、全アルカリ度分析用試料瓶はポリプロピレン製瓶を、塩分分析用試料瓶にはゴム栓付塩検瓶を用いる。DO 瓶及び全アルカリ度試料瓶については、付着した汚れにより分析値を過大評価することを防ぐため、化学分析用中性洗剤で洗浄し、純水での洗浄、乾燥処理したものを試料瓶として用いる。

(3) 固定液

全炭酸及び全アルカリ度分析用海水試料には、生物活動による試料変質を防ぐため、塩化第二水銀飽和溶液を添加する。固定液を添加しない場合、試料瓶内で生物活動により有機物が分解され全炭酸が増加し、分析値が過大評価になる。塩化第二水銀飽和溶液は、飽和状態を確認するため、結晶が残留している状態にする。

溶存酸素については、固定液 として硫酸マンガン()溶液、固定液 としてアルカリ性ヨウ化カリウム溶液を準備する。固定液は、海洋観測指針に準拠した方法で調製する。

4. 採水作業(船上作業)

(1) 地点確認

調査地点で停船し、GPS 情報により船位を確認する。船位が目標位置の 100m 程度以内の範囲であれば、気象・海象観測、CTD による調査地点水塊の鉛直プロファイルの確認、採水作業へと移行する。なお、停船の際には、海底を攪拌し、底泥や間隙水が混入する可能性のあるアンカリングは行わない。潮で流された場合は船長と連携し、微修正を行い、所定の位置に船位を安定させる。

(2) 鉛直プロファイルの確認

船位が確保できたら、CTD または多項目センサを海に投入し、調査地点における水温・塩分等の鉛直分布を確認する。また、採水層の水深を決め、当該水深の水温を確認する。観測機器は、魚探等の水深を目安に海底近傍で降下させる速度を遅くし、アンカリングと同様の海底攪拌が可能な限り生じないように着底させる。

(3) 採水

採水は、目標深度で確実に海水試料を採取する。特に、海底直上は、海水の化学的性状の濃度勾配が大きいため、底層採水層(海底上 2m)の採水は確実に目標深度で行う。

ロープ長を目安に、採水器を底層採水層（海底上 2m）の水深まで投入して採水する。その際、採水器を着底させた後に 2m 引き上げるのではなく、採水器は着底させないようにする。

投入時のロープの角度がほぼ垂直であることを確認する。ロープ長を目安に採水器を投入する際、ロープ角度が海面に対して斜めになっている場合、目標水深より浅い水深で採水してしまう可能性がある。そのため、船長と連携して定点に留まった状態で、ロープが海に垂直に入るようにする。

採水が完了したら、直ちに採水器内の水温を測定し、事前に得られている CTD の水温データと比較する。±0.5 の範囲であれば目標深度で採水できたと判断し、試料採取を開始する。±0.5 の範囲外の場合は、目標水深で採水できていないと判断し、再度、採水する。また、圧力センサや転倒圧力計等を使い、採水深度の確認を行うことが望ましい。採水深度の圧力の確認は、簡易なセンサでも構わない。

その他の採水層（下層、上層、表層）についても、原則、上記プロトコルに準じて採水を行う。

（４）試料採取

塩分、溶存酸素、全炭酸、全アルカリ度、pH の試料瓶への採取は、採水チューブを用いて行う。チューブ内の気泡が完全になくなったことを確認し、チューブの先端を試料瓶の底に付け、気泡が入らないよう静かに採取を行う。試料採取時には、試料水温が変化しないよう試料瓶の口の部分を持って速やかに実施する。

また、溶存酸素、全炭酸、全アルカリ度、pH については、共洗いを行わず、試料瓶等量以上をオーバーフローさせて満水状態とする。

試料採取の順番は、周辺空気の影響を受けやすさ等を考慮して、塩分、溶存酸素、全炭酸、全アルカリ度、pH の順番とするのが望ましい。

採取した海水試料が海底泥等で濁っていないことを確認する。著しく濁っていた場合は、着底した可能性が高いため、採水からやり直す。

(5) 固定

全炭酸

全炭酸については、生物活動を停止させるため、試料採取後直ちに塩化第二水銀飽和溶液を添加する。添加量は試料 100mL に対して 50 μ L とする。添加量が不十分な場合、試料瓶の中で生物活動が進み有機物が分解され、分析値を過大評価する可能性がある。

固定液の添加には、分注器やマイクロピペットを使用し、固定液添加時に気泡を試料に混入させないように留意する。

全炭酸濃度分析用試料瓶は、ガラス製であることから、海水試料の体積膨張による試料瓶の破裂を防ぐため、ヘッドスペース (1%程度) をとり、ブチルゴム栓及びアルミキャップで密栓する。

全アルカリ度

全アルカリ度も全炭酸同様に生物活動を停止させるため、試料採取後直ちに塩化第二水銀飽和溶液を添加する。添加量は試料 200mL に対して 100 μ L とする。

固定液の添加には、分注器やマイクロピペットを使用し、固定液添加時に気泡を試料に混入させないように留意する。

固定後は密栓するが、気泡を混入させないように留意する。

溶存酸素

固定液、固定液 の順番で各 1mL を添加する。固定液の添加には、駒込ピペット等を用いるが、固定液の添加時に、気泡が試料に混入しないように留意する。

固定液添加後は、気泡が入らないように栓をして、転倒混和し、瓶の口を水封する。

(6) 保管

船上では、蓋付のコンテナを用いて、遮光状態で常温保管する。気温の高い夏季はコンテナ内に保冷剤を入れ、可能な限り、冷暗所保存とする。

帰港後、試料は冷蔵保存状態で分析機関に発送する。

採水から分析までの所要日数は、溶存酸素は 3 日程度以内で出来るだけ早く、全炭酸及び全アルカリ度は 1~2 週間以内となるようにする。

5. その他の留意事項

海水の化学的性状は、水塊構造の影響を大きく受ける。そのため、台風や低気圧の風や波浪によるかく乱により起こる水塊の鉛直混合や降雨による陸水の流入等による影響を避ける必要がある。特に全炭酸は影響を受けやすいため、事前の気象情報に留意して調査日を設定する。

採水作業は、調査経験のある技術者が、または、調査経験のある技術者の指導の下、実

施す必要がある。技術者は、潮の流れにより採水水深が影響を受けていないか確認するとともに、採水した海水試料に異常がないか判断する。

なお、有機物残渣が分析結果に影響を与える場合もあるため、常に甲板上は清潔に保つ必要がある。