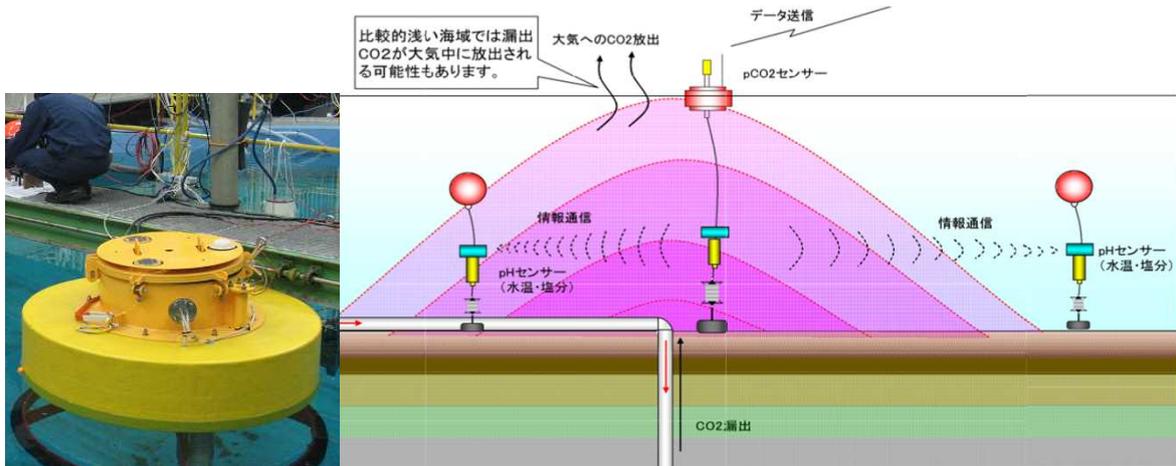


対象物性 海水のpH・pCO₂

原理 海底面から漏出したCO₂ガスが海水に溶解すると海水のpHやpCO₂が大幅に変化する。そこでセンサによりpH及びpCO₂を自動的に測定することでCO₂ガス漏出が検知可能になる

【海底面・海上ブイ（マルチセンサ観測システム）】

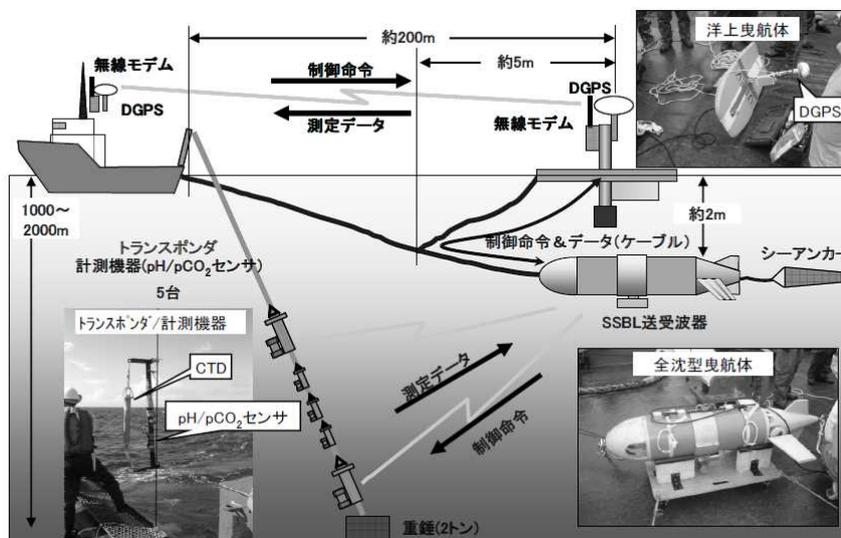
海底面及び海水表面に複数のpH/pCO₂センサを配置し、低pH・高pCO₂海水の拡散を3次的にモニタリングする。CO₂の漏出場所を特定した後、溶解CO₂の拡散状況のモニタリングに適している。長期間にわたってセンサを海水中に固定するため、センサの安定性や生物付着による影響を考慮する必要がある。



左：pCO₂センサを装着した海上ブイ（(株)KANSOテクノスが撮影）
 右：マルチセンサ観測システムの概念図（(株)KANSOテクノスが作成）

【曳航式観測システム】

複数のpH/pCO₂センサを配したケーブルを曳航して海水中のpH・pCO₂を測定するシステム。漏出場所が特定された後にCO₂の拡散を長期間にわたって監視する際に有効な観測手法であると考えられる。



曳航式観測システムの概念図（下島，2009，電力中央研究所報告，No. V09034）

対象物性 海水のpCO₂

原理 CO₂と特異的に結合するアミン分子を電極表面に修飾した化学センサである。このセンサは開発途中であるが海水のpCO₂を直接測定することが可能となり、漏出監視の精度を向上させることが期待できる。

【アミン-フェロセン修飾電極によるCO₂検出】

アミン分子はCO₂と特異的に結合することが知られていることから、アミン分子を電極表面に修飾し、海水のpCO₂を直接的に測定する。

検出原理の実証では、表面にアミンとフェロセン（電極に電圧を掛けると電流が流れる物質）を同時に固定した電極（図1）を用いて、電圧-電流特性を測定すると、水中のCO₂濃度が高いほど、電流が流れにくくなる現象が確認された（図2）。

これは、CO₂濃度の上昇により、電極表面でCO₂とアミンが結合して負電荷を持つカルバメートイオンが生成され、静電的反発によってフェロセンの酸化反応（フェロセン分子から電極正面への電子の移動）が阻害されるためと考えられる（図3）。

以上より、表面にアミンとフェロセンを同時に固定した化学センサにより、水中のCO₂が検出できる可能性が確認され、今後の実用化が期待される技術である。

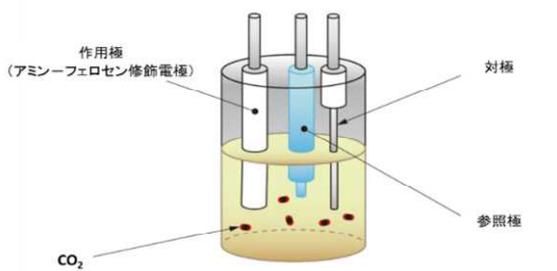


図1. アミン-フェロセン修飾電極の模式図 (IHI技報 Vol. 56 No. 1 (2016) より引用)

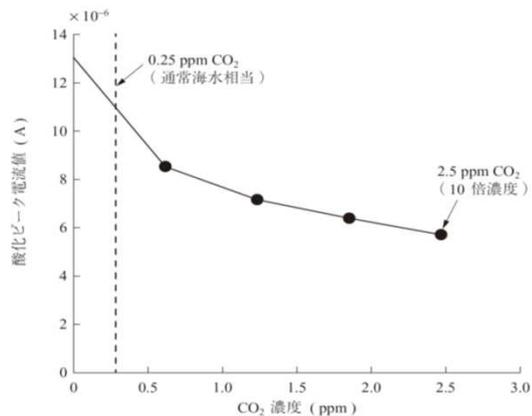


図2. アミン-フェロセン修飾電極を用いて作成されたCO₂濃度測定の見量線 (IHI技報 Vol. 56 No. 1 (2016) より引用)

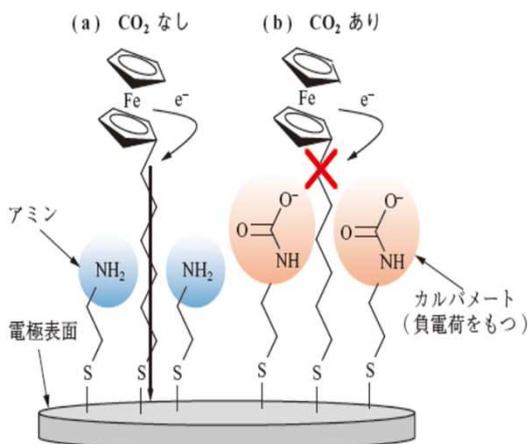


図3. アミン-フェロセン修飾電極によるCO₂検出原理の模式図 (IHI技報 Vol. 56 No. 1 (2016) より引用)

対象物性 海水中のpH

原理 海底面から漏出したCO₂ガスが海水に溶解すると海水のpHが大幅に変化する。そこでセンサによりpHを自動的に測定することでCO₂ガス漏出が検知可能になる

【ハイブリッドpHセンサ (HpHS)】

既存のpHガラス電極センサと現場型比色pHセンサを一体化させ、通常は省電力なガラス電極センサで高頻度に測定し、定期的に正確で安定な比色法で補正することによって、消費電力を抑えて長期間、安定したpH測定を可能とするセンサである。また、海洋酸性化の調査研究に使われる海水用pHセンサの国際コンペティション「Wendy Schmidt Ocean Health XPRIZE」において、「値の正確さ」部門 (Accuracy Prize) において3位を獲得するといった実績を有する。なお、当該機器は、北極海や南極海などでも係留観測に用いられ、pHデータの継続的なデータ蓄積に貢献している。

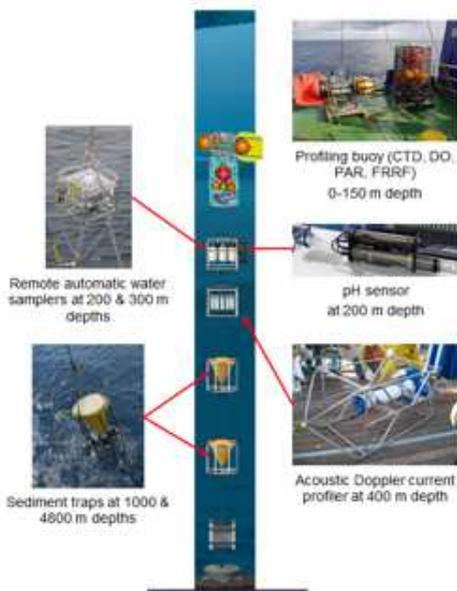


試薬バッグ類

- ・ pH指示薬
- ・ 標準液
- ・ 純水

ポンプ・バルブ ユニット

バッテリー ユニット



上：HpHS外観及び構成図

(https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/archive/2015/20150730_2.pdf)

下：ハイブリッド係留系の概要

(<https://www.jamstec.go.jp/sdgs/j/case/022.html>)

対象物性 海水の化学的性状 (水温、塩分、DO、 pCO_2 等)

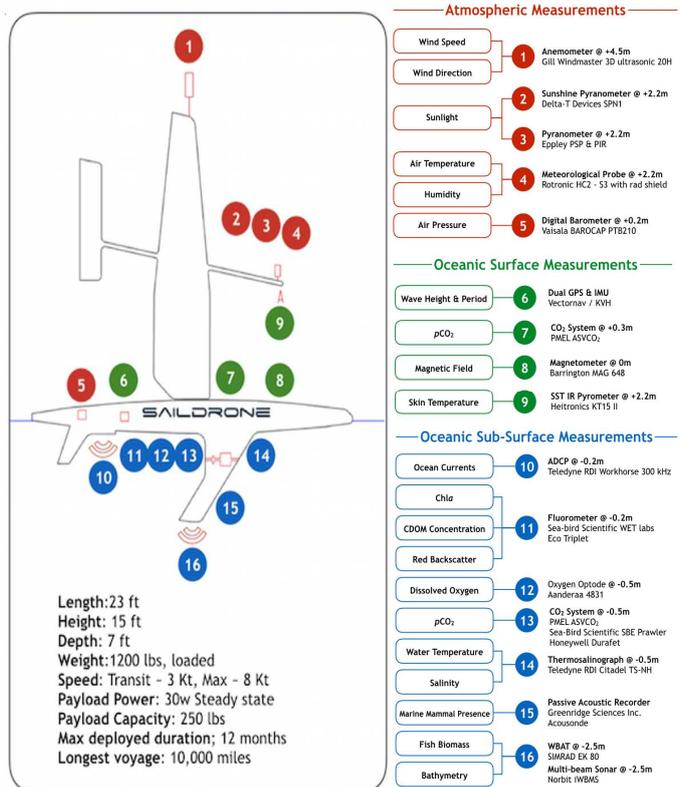
原理 移動式プラットフォームの自律型海上無人探査機 (ASV : Autonomous Surface Vehicle) であり、様々なセンサを搭載し広範囲を自動観測することで、効率的なマッピング調査やモニタリング調査が可能となる。

【セイルドローン (Saildrone) による海洋観測】

セイルドローンは、太陽光発電と風力発電により自力航行できるように設計された移動式プラットフォームである。

大気観測や海表面、海面下の観測に適した各種センサを搭載しており、海面下観測については、水温、塩分、DO、 pCO_2 等のパラメータを観測できる。平均3~5ノットで自動航行し、6~12ヶ月にわたり自動観測を行う事が可能である。収集されたデータについては、衛星通信経由でほぼリアルタイムに共有・参照できる。

大西洋、太平洋、メキシコ湾、ベーリング海などで実績があり、従来方法と比較して時間や人員等のコストを大幅に下げることができる技術として期待できる。



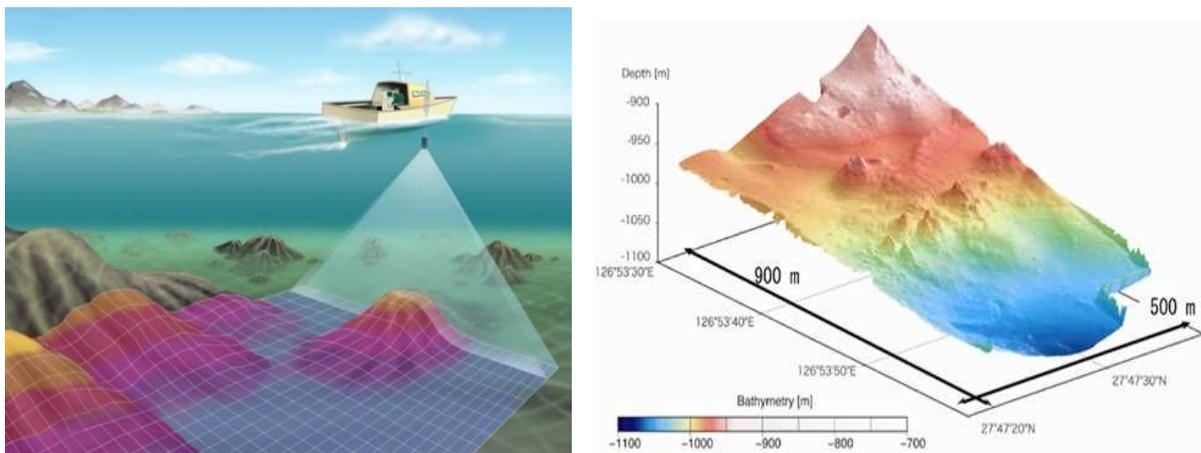
左：セイルドローンの外観図

右：セイルドローンの概要及び搭載されている各種センサの詳細 (両方とも、<http://saildrone.com/>)

対象物性	対象物までの距離、対象物の物性（硬さ・密度）
原理	超音波を発振し物体に反射して返ってくるまでの、はね返り時間（反射時間）を測定することで物体までの距離を測定する。また反射波の振幅を測定することで、超音波が反射した物体の物性を推定可能である。

【マルチビーム測探機（MBES）】

船舶の船底に装着した発振器から音波（音響ビーム）を発振し、音波が海底にぶつかってはね返ってくるまでの時間を測り水深を計算する。扇形に複数波長の音波を発射しながら航行するため、海底を帯状に隙間なく測深できる。海底を面的に測量するので、作業効率が良く地形を正確にとらえることができるうえにデジタル測量なので、コンピュータを用いて海底面の3次元画像をリアルタイムで取得することが可能である。また、AUVにも搭載可能である。



左：測定の概念図

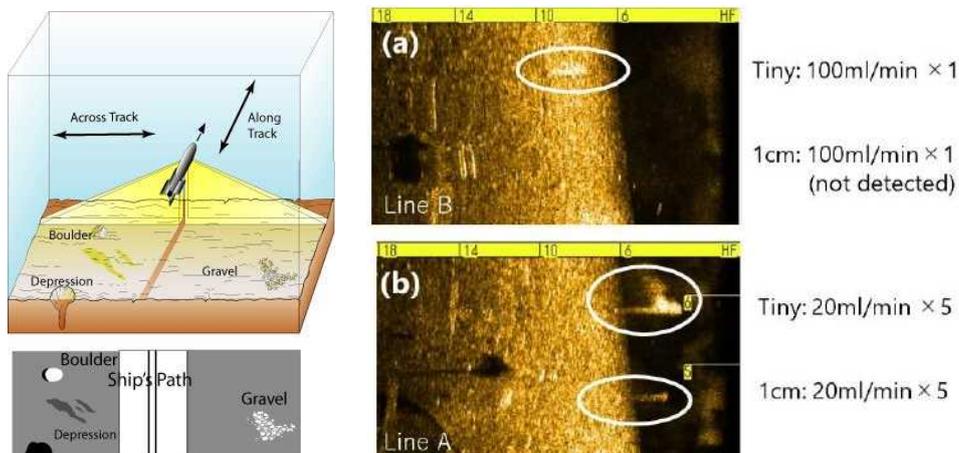
(<http://ojs.a.la9.jp/Okijitan/multi/sokuryo-rei.html>)

右：マルチビーム測探機（AUV搭載）で取得したデータをもとに作成した高精度海底地形図

(https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20071214/)

【サイドスキャンソナー（SSS）】

調査船に曳航された送受振器から左右に向けて音波を発振し海底の地形を詳細に測定する技術。反射波の強度（振幅）を測定することにより海底面の底質（泥・砂・礫）を相対的に判別可能。MBESと異なり水深の測定はできないが、より広範囲の海底面の状況を面的に把握するのに適している。



左：観測の概念図

(https://pubs.usgs.gov/of/2010/1332/html/docs/figures/figure04-sstow_diagram.html)

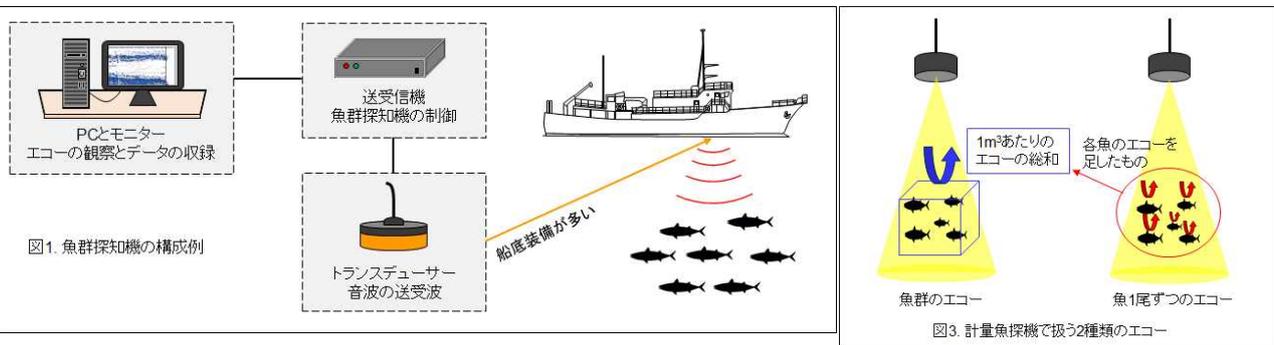
右：気泡観測例（Uchimoto et al. (2019) より引用）

対象物性 対象物までの距離、対象物の物性（硬さ・密度）

原理 超音波を発振し物体に反射して返ってくるまでの、はね返り時間（反射時間）を測定することで物体までの距離を測定する。また反射波の振幅を測定することで、超音波が反射した物体の物性を推定可能である。

【計量魚探】

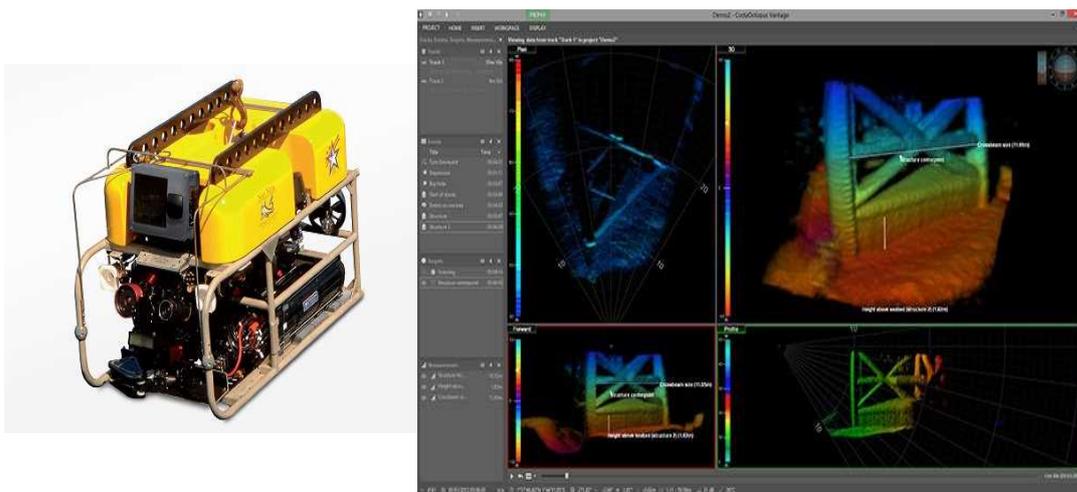
高周波数の音波を使い、音波の反射の強さと反射波の到達時間を測定することで、水中の生物・海底を探査する機器。一般的な魚探としての機能に加え音源の強さや音波の後方散乱強度を測定することができるため、定量的なデータの取得が可能である。



左：魚群探知機の構成例
 右：計量魚探で扱う2種類のエコー
 (<https://repun-app.fish.hokudai.ac.jp/course/view.php?id=223>)

【3Dソナー】

3次元音響画像を取得することができ、最大毎秒12コマの画像を連続的に撮影できるため、気泡などの動きをリアルタイムで捉えることができる。

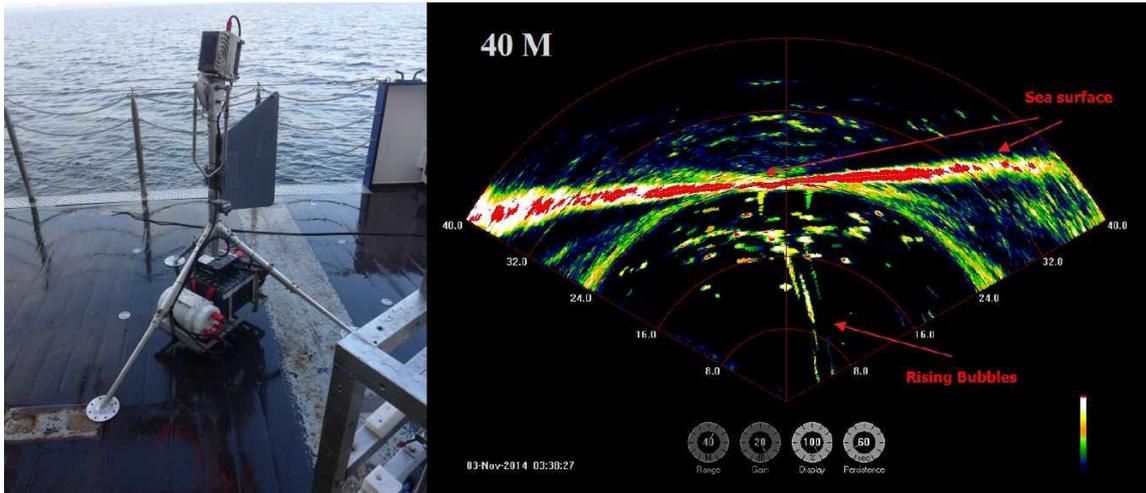


左：3Dソナーの例（CodaOctopus製）
 右：観測の実施例 (<http://www.codaoctopus.com/product-list/3d>)

対象物性	対象物までの距離、対象物の物性（硬さ・密度）
原理	超音波を発振し物体に反射して返ってくるまでの、はね返り時間（反射時間）を測定することで物体までの距離を測定する。また反射波の振幅を測定することで、超音波が反射した物体の物性を推定可能である。

【海底設置型ガス測定システム（GasQuant II）】

海底に設置した固定式のブイから水平方向に扇状の音波を発振し、気泡の湧出を監視する。水平方向に発振するため、広範囲の監視・観測が可能である。



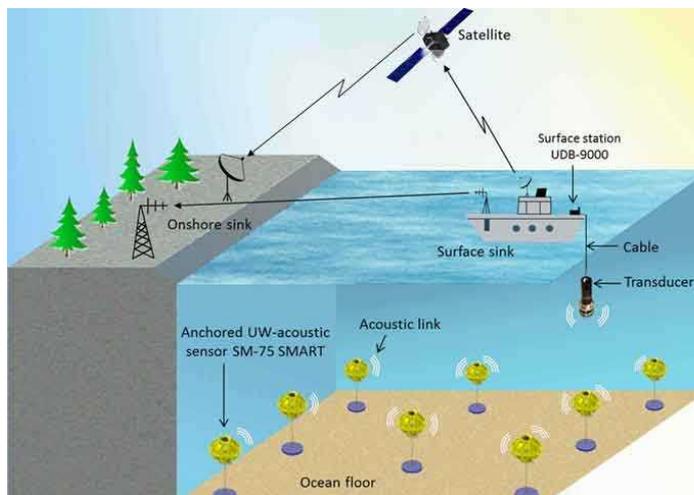
左：GasQuant II の外観

右：海底面からの気泡発生状況の観測例

(両方とも、<https://www.geomar.de/en/research/fb2/fb2-mg/deepsea-monitoring/work-topics/gasquant-ii/>)

【聴音探査（スマートハイドロフォンセンサ）】

従来のハイドロフォンに信号処理機能、メモリ、バッテリーを統合し、ハイドロフォンからPCやネットワークへの接続を可能にしたセンサ。将来的に複数のセンサをネットワークでつなぐことで、空間的なデータ可視化と、恒常的なモニタリングが可能になると考えられる。



スマートハイドロフォンセンサーの運用例

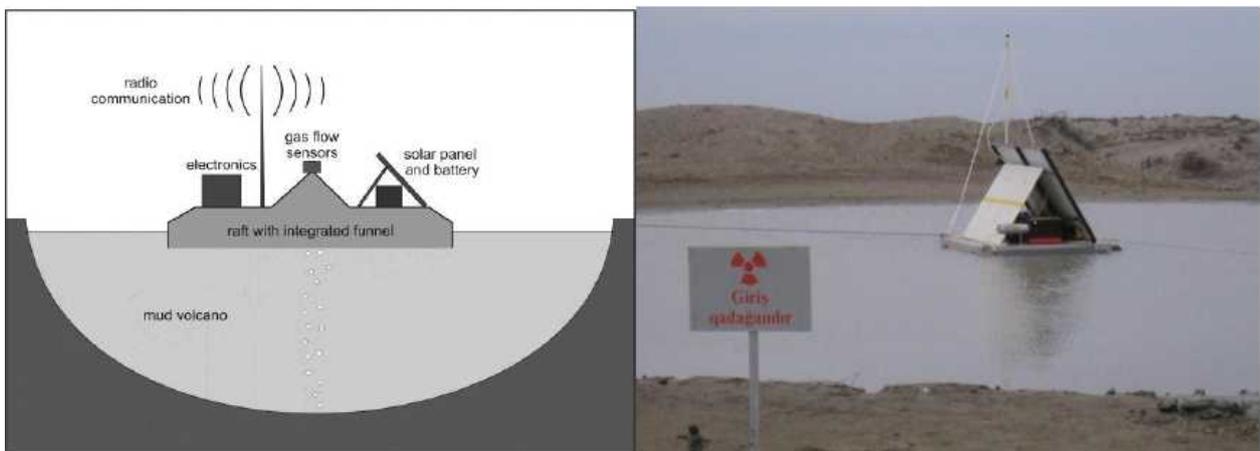
(https://ece.northeastern.edu/wineslab/underwater_testbed.php)

対象物性 漏出ガスの流量・化学成分

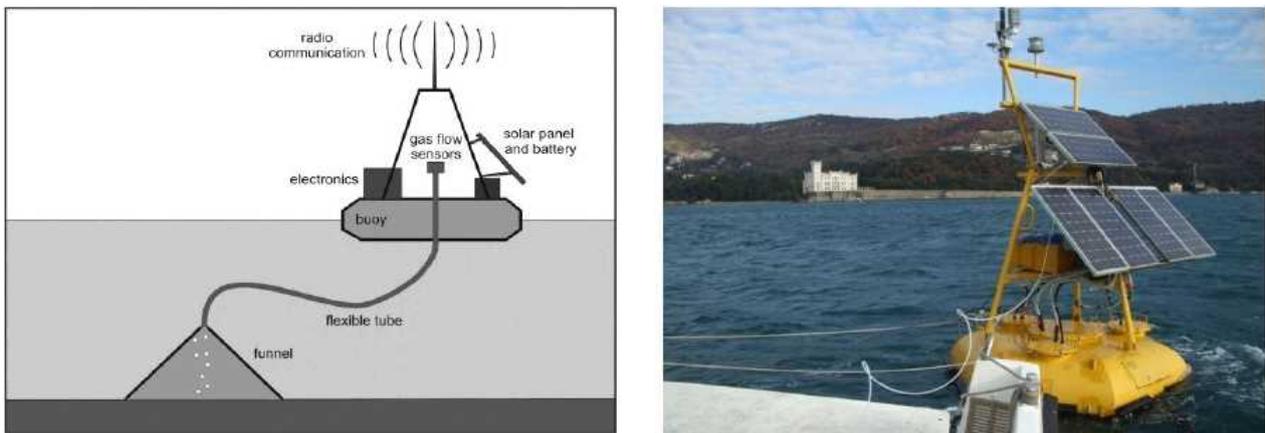
原理 物理探査により気泡の漏出個所を検知するが、気泡が圧入起源かどうか確認するために、漏出ガスの流量及び成分を分析するシステムが必要。

【海上観測ブイによるガスの捕集】

海底から漏出するガスの気泡を漏斗状の捕集器で回収し、ブイ内の測定器で流量及び成分分析とデータ送信を自動的に行う観測システム。海水面でガスを捕集するタイプと捕集器を海底面に降ろし、直接ガスを捕集するタイプが検討されている。ヨーロッパにおけるCCSプロジェクトで検討されており、水深約20 mの浅海からガスを捕集する際に有効な観測手段であると考えられる。



海底面でガスを捕集する観測ブイの概念図及び火山湖における実証実験 (IEAGHG (2012) から引用)



海底面からガスを捕集する観測ブイの概念図及び実証試験 (IEAGHG (2012) から引用)

対象物性 気泡中のトレーサー物質 (He、Xe同位体、PFC、SF₆等)

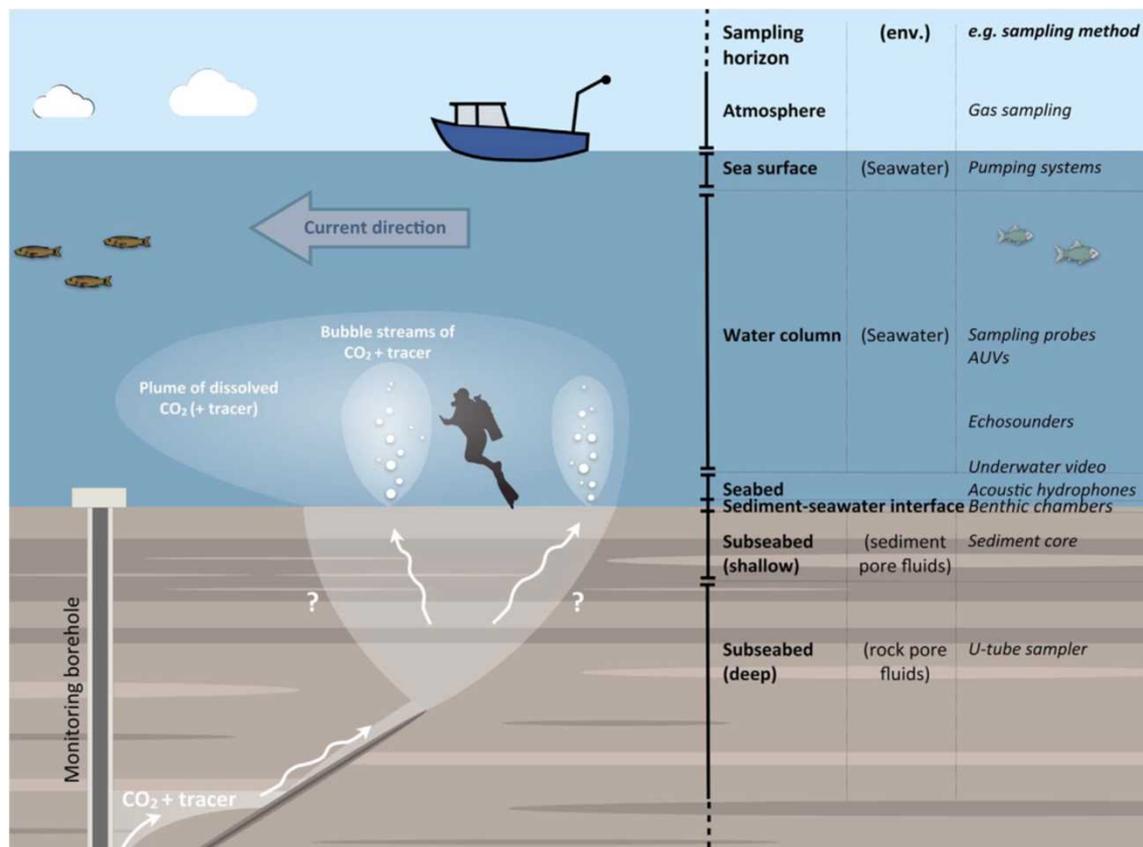
原理 圧入CO₂ガスにトレーサー物質を添加し、CCS対象海域で気泡が確認された場合、トレーサー物質の有無で圧入起源かどうかの判別を行う。

【トレーサー分析法】

海水中の存在量が極めて少ない物質をトレーサー物質として圧入するCO₂ガスに添加し、CCS対象海域で気泡が確認された場合、気泡を採取してトレーサー物質の有無を確認することで、圧入起源かどうか判別する手法である。

トレーサー物質の候補として考えられるのが、希ガス(HeやXe同位体等)や人為起源のSF₆やPFCである。

本技術は、トレーサー物質の寿命や海洋中のバックグラウンドレベル、海洋堆積物またはCO₂中の挙動、トレーサー物質の環境影響評価、サンプリング及び分析手法の確立、コストの問題など、実用化に向けて課題は多い。



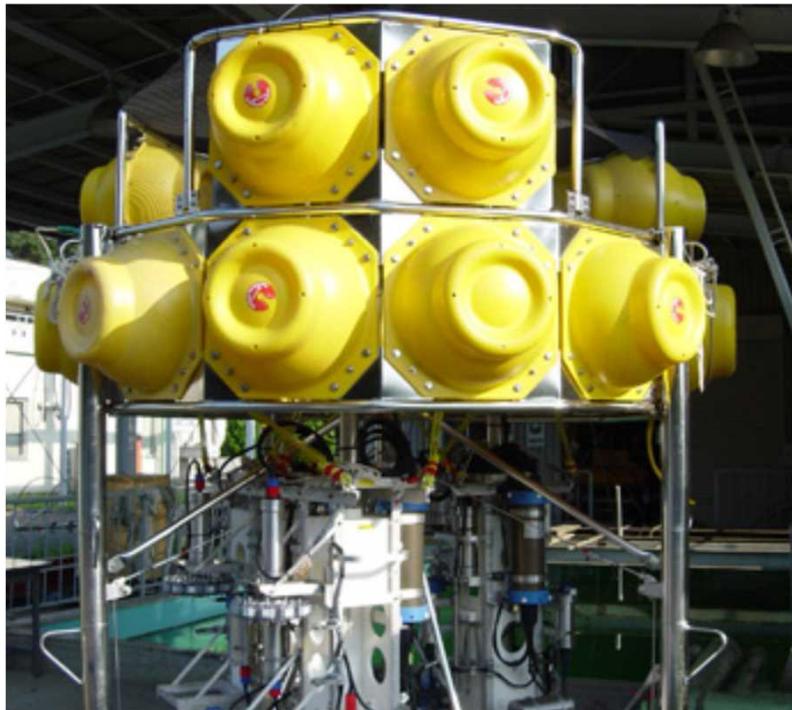
圧入ガス漏出時におけるトレーサー物質の採取方法の模式図 (Roberts et al. (2017) より引用)

対象物性 底泥生態系

原理 潜在的環境影響評価に資するCO₂漏出による底泥生態系への影響評価試験を現場海域で実施できるシステム。チャンバーで隔離した海底上層に高CO₂を注入し、pHや溶存酸素、生物相の変動を確認する。

【ベンティックチャンバー】

チャンバーが海底に貫入することで周辺環境から隔離された試験区を作り、高CO₂を注入するCO₂曝露試験を現場海域で実施することができる。各チャンバー内にはpHセンサやDOセンサが配置され、回収時に底泥を採取しベントス等の生物相を確認する。複数のチャンバーで構成され、対照区と曝露区を比較することでCO₂漏出による底泥生態系への影響評価が可能となる。写真は深海用ベンティックチャンバーで、フロート等が付くため大掛かりなシステムだが、浅海用も開発されており小規模なシステムとなっている。深海で実施された結果は、IPCC 特別報告書“Carbon Dioxide Capture and Storage” (2005) に引用されている。



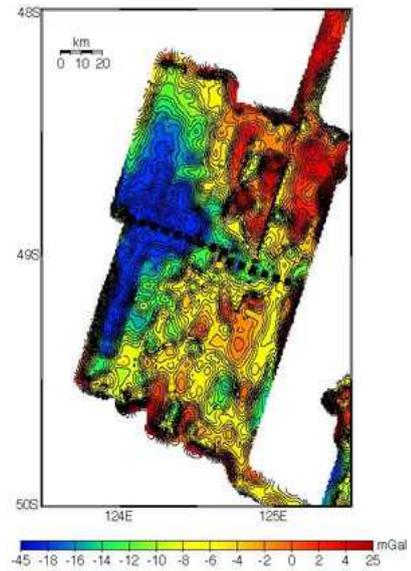
深海型ベンティックチャンバー外観
(株)KANSOテクノス撮影

対象物性 地下の密度

原理 地表面における重力値は地下の密度分布によって変化することを利用し、重力値を精密に測定することで地下の密度構造を推定する。

【海上・海底・AUV搭載重力探査】

船舶や海底面、あるいはAUVに重力計を設置し重力を測定する。広範囲の観測には、船舶やAUVを利用した方法が適しているが、高精度な情報が得られるのは海底設置型の方法である。



左：船上設置型重力計システム
右：インド洋海嶺で観測された重力異常の例
(両方とも、<http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/GRAVITY/gravity-j.html>)

対象物性	地下の音響インピーダンス
原理	地下深部を探る弾性波探査（地震波探査）に比べ周波数の高い音波を利用することにより、地下浅部の音響インピーダンス構造を測定し、地下の構造を高解像度で調査する。

【サブボトムプロファイラー】

曳航式の送受振器から4 kHz前後の比較的周波数の低い音波を使い、反射波をとらえて海底下浅部（～数100 m）の構造を探る。AUVへの搭載も可能である。



曳航式のサブボトムプロファイラー例
[\(https://www.edgetech.com/product/3400-portable-sub-bottom-profiler/\)](https://www.edgetech.com/product/3400-portable-sub-bottom-profiler/)

【ブーマー・スパーカ弾性波探査】

数百～数千Hzの周波数が卓越する発振源（ブーマーやスパーカー）を利用し、地下浅部（～200 m）の構造を観測するシングルチャンネル方式の弾性波探査。比較的短いストリーマケーブルを曳航するタイプと送受振器一体型の曳航体を用いるタイプがある。エアガンやウォーターガンを用いた大規模な観測に比べ曳航体までの距離が短いため、狭い湾内や浅海でも観測できる。



左：スパーカーの例

[（https://engan.jp/wordpress/?page_id=172）](https://engan.jp/wordpress/?page_id=172)

右：小型船舶でブーマー音源（送受振器一体型）を曳航した調査の様子

[（https://www.daiwatansa.co.jp/pages/39/#block317）](https://www.daiwatansa.co.jp/pages/39/#block317)

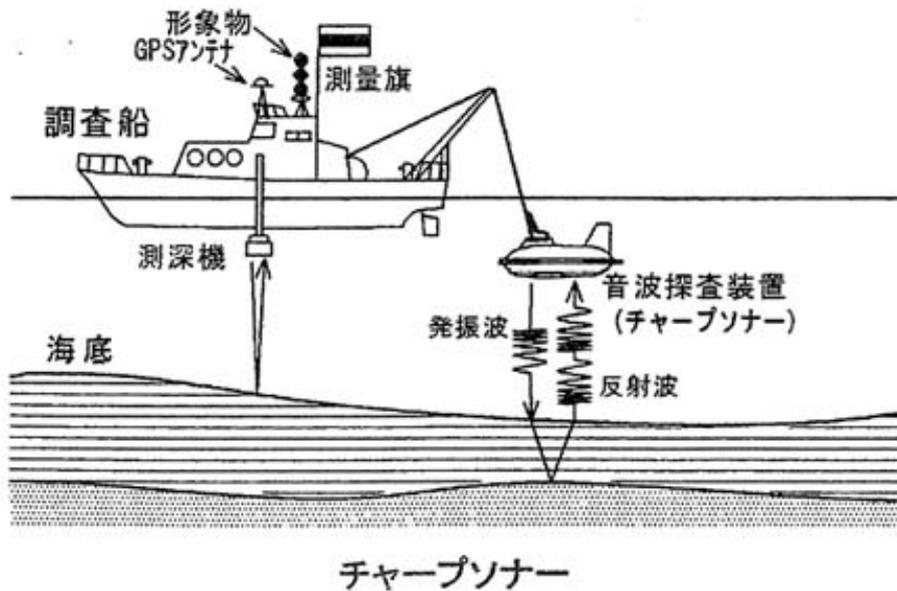
対象物性 地下の音響インピーダンス

原理

地下深部を探る弾性波探査（地震波探査）に比べ周波数の高い音波を利用することにより、地下浅部の音響インピーダンス構造を測定し、地下の構造を高解像度で調査する。

【チャープ弾性波探査】

曳航体から周波数変調波（スイープFMパルス）を発振し、曳航体に内蔵したハイドロフォンで受振するシステム。水底下数十センチメートル程度のごく表層の堆積物の状態を、分解能数センチメートルで探査可能。



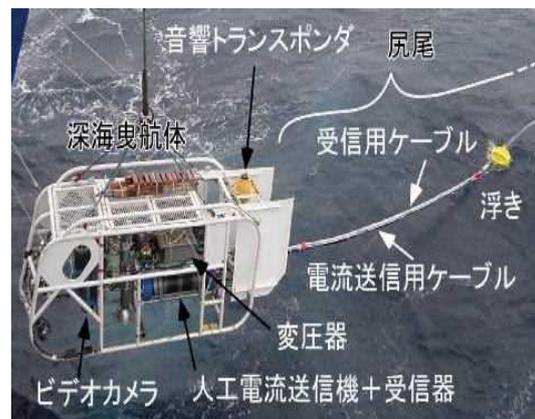
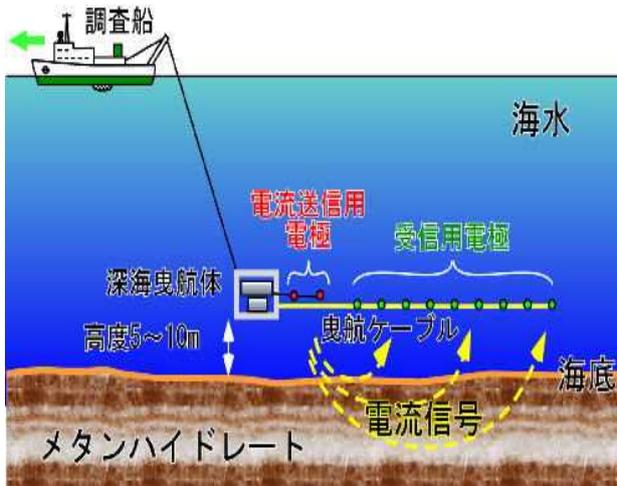
船舶を利用したチャープ式音波探査システムの概念図
(<https://www.hp1039.jishin.go.jp/danso/Akita9/figures/f3-4.jpg>)

対象物性 地下の比抵抗

原理 地中に電流を流すと地中の比抵抗の分布と地形に対応した電位分布が地中に生じる。この電位分布を地表面で測定することにより地中の比抵抗分布を推定する。

【海上電気探査】

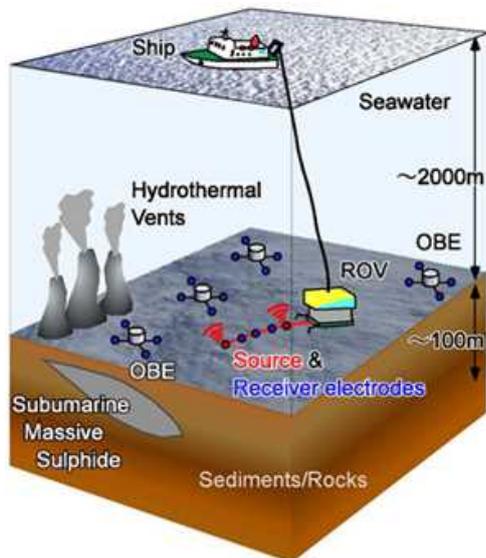
電流電極と電位電極が複数個付いたケーブルを調査船で曳航しながら、一定時間隔で電位データの計測を同時に行う。



左：ケーブル曳航式海上電気探査によるメタンハイドレート調査の概念図
 右：深海曳航体
 (両方とも、http://obem.jpn.org/chitei/100_1km.html)

【海底電気探査】

海底に電極を固定し、電流電極と電位電極を切り替えながら電位データを計測する。電極設置型であれば陸域から海域まで連続的に比抵抗を得ることができる。



海底熱水鉱床近辺における海底電気探査の概念図

ROV：遠隔操作型無人探査機

OBE：海底電位差計

(https://spc.jst.go.jp/hottopics/0911inquiry/r0911_goto.html)

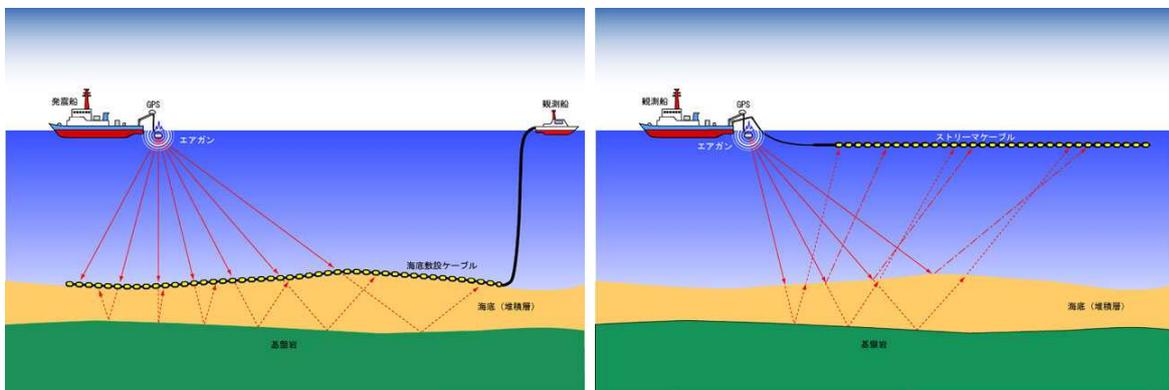
対象物性 地下の音響インピーダンス

原理

地下を伝わる弾性波が物性（主にP波速度、S波速度及び密度）の異なる境界で屈折や反射することを利用して地下構造を調査する。人工的に発生させた弾性波（地震波）が伝播する速度を測定・解析することで、地下の地震波速度構造・音響インピーダンス構造を把握する。

【反射法探査システム】

地表で発生させた地震波が、地中の反射面（主に、速度や密度が変化する地層境界面）で反射して帰ってくる様子をとらえ、その到達時間などの情報から地下構造を探査する手法。発振源の種類（エアガンやウォーターガン）によって地震波の周波数は異なり可探震度や分解能が変化する。ひとつの受信器で観測するシングルチャンネル方式と複数の受振器で観測するマルチチャンネル方式に分けられる。実際の観測では船舶で発振器を曳航し、受振器を内蔵したストリーマケーブルを曳航もしくは海底面に設置して観測を実施する。



左：海底面に受振器（海底敷設ケーブル）を設置する場合の概念図

右：受振器を内蔵したストリーマケーブルを曳航する場合の概念図

（両方とも、<https://www.hanshin-consul.co.jp/services/exploring/exploring1.php>）

【海底地震計屈折法システム】

複数の海底地震計（OBS）を設置し、反射法と同様に発振を行い、地震計の記録から音波が到達するまでの時間を解析することで、音波が通過した地層の密度を計算する。反射法地震探査の結果と組み合わせることで、地殻構造をより詳細に推定できる。



左：自己浮上式海底地震計

(<https://www.katsujima.co.jp/archives/product/obs>)

右：設置作業の様子

(https://www.jamstec.go.jp/obsmps_db/j/photo/index.html?name=04)



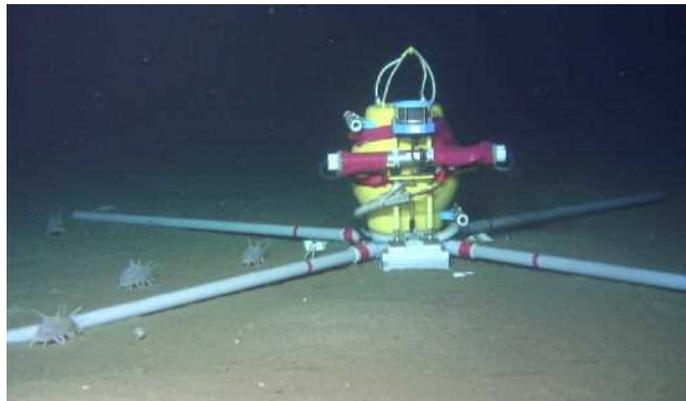
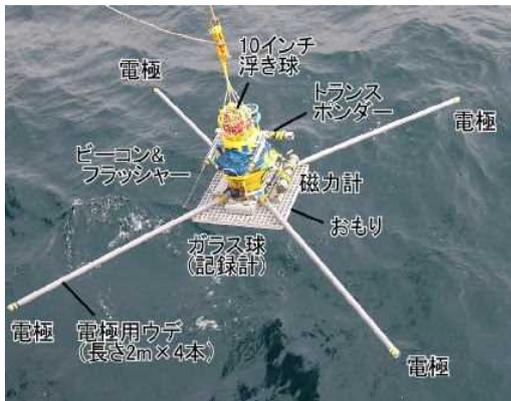
対象物性 地下の比抵抗

原理

地球上で磁場が変化した場合、地中や海中には誘導電流が生じる（電磁誘導）。誘導電流の大きさは導体（地球）の電気抵抗率（比抵抗）が大きいほど小さくなるため、磁場変化の大きさと誘導電流の大きさから、導体の比抵抗を知ることができる。そこで海底面上で地磁気変化と電場変化を測定することにより海底下の比抵抗が推定可能である。

【MT法】

海底に海底電位差磁力計（OBEM）を複数設置し、自然電磁波が海底に浸透したときに生じる電場と磁場を測定することで、地下の比抵抗を推定する。



左：海底電位差磁力計（OBEM）

右：海底への設置例

(両方とも、http://obem.jpn.org/chitei/10_100km.html)

【MCSEM法・MMR法・MDCR法・曳航式CSEM法】

人工電磁波により地下の比抵抗を推定する方法。受信器（OBEM）を海底に固定し、送信器を船舶で曳航する方法（MCSEM法・MMR法）と、送受信器が一体化し船舶で曳航して観測する方法（MDCR法・曳航式CSEM法）に分けられる。一般的に前者（送受信器分離型）は可探深度が深い（1~数 km）が分解能が低く、後者（送受信器一体型）は可探深度が浅い（~1 km）が分解能は高い。



人工電磁波を利用した電磁探査の概念図
(<http://obem.jpn.org/research049.html>)

対象物性 地下の比抵抗

原理

地球上で磁場が変化した場合、地中や海中には誘導電流が生じる（電磁誘導）。誘導電流の大きさは導体（地球）の電気抵抗率（比抵抗）が大きいほど小さくなるため、磁場変化の大きさと誘導電流の大きさから、導体の比抵抗を知ることができる。そこで海底面上で地磁気変化と電場変化を測定することにより海底下の比抵抗が推定可能である。

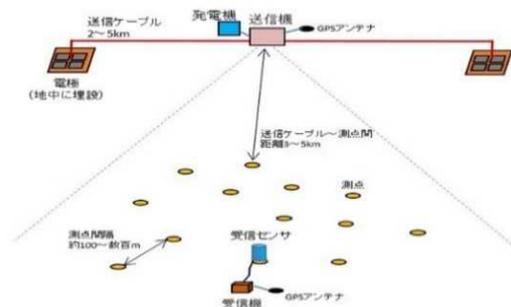
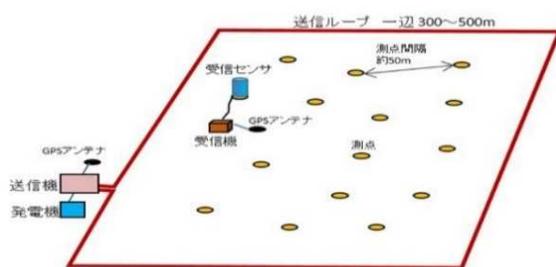
【高感度超電導磁気センサ（SQUID）を用いた時間領域電磁探査法（TEM法）】

高感度超電導磁気センサ（SQUID：Superconducting QUantum Interference Device）を用いた探査システムである。SQUIDは低周波から高周波まで連続して高感度を有する磁気センサであり、低周波まで高感度に検知できることで、探査深度を向上させている。

液体窒素を用いた簡易な冷却（77.3K）で使用可能であり、野外・現場での使用に適している。

しかし、これまでにCCS事業への適用例はなく、センサ及び磁場発生源を海底に設置する手法は確立されていない。

現在、金属鉱物資源探査やCO₂-EOR（Enhanced Oil Recovery）のモニタリング用の広域検層に係る技術として開発が進められており、今後、CCS事業への適用が期待できる。



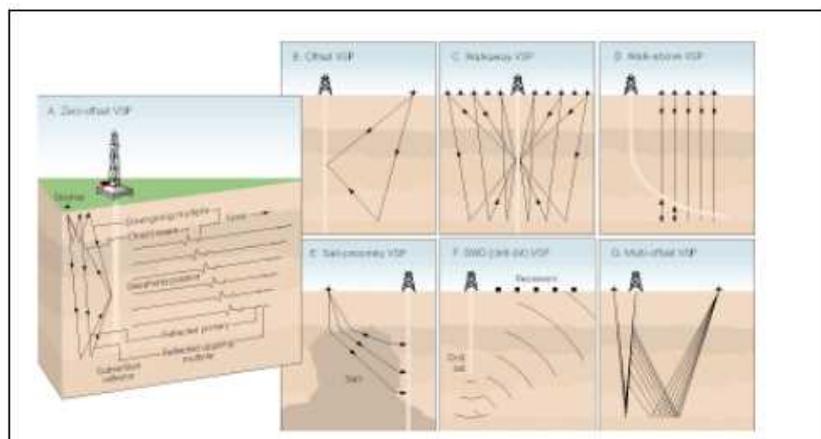
上図：探査機材一式（左から受信機、FLLユニット、磁力計デューワ）
 下左図：磁場計測時の機材等や受信点の配置例（ループ信号源使用時）
 下右図：磁場計測時の機材等や受信点の配置例（ライン信号源使用時）
 （いずれも <https://www.mindeco.co.jp/squitem/>）

対象物性	地下の音響インピーダンス
原理	地表に設置された震源から発生した地震波を、坑井内に設置されたセンサ（ジオフォンや水中マイク等）で受振することで地層の詳細な情報を得る手法である。地震波が地層を通過する際の速度や反射特性を分析することで、地下の地質構造を高精度で把握する。

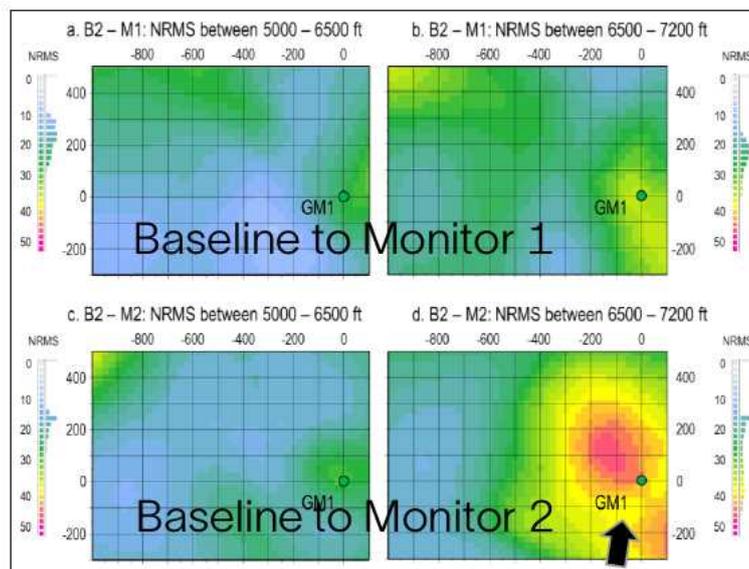
【VSP調査】

地震探査の一種であり、坑井を利用してデータを取得する。地表における3次元弾性波探査と比較して、探査対象の範囲が限られる一方、受信機をより密に設置できることから、高解像度な画像取得が可能である。また、坑井直上の地震波だけでなく、坑井間や坑井近傍の2・3次元的な画像作成にも活用できる。なお、広範囲を対象とする一般的な反射法地震探査と比べ、低コストとなることが多い。

海外のCCSプロジェクトでも実績があり、近年では、光ファイバーセンサ等を利用した事例も増加している。



VSPの実施例（SLB Energy Glossaryから引用）



IBDPでの例。Coueslan et al. (2013) より抜粋

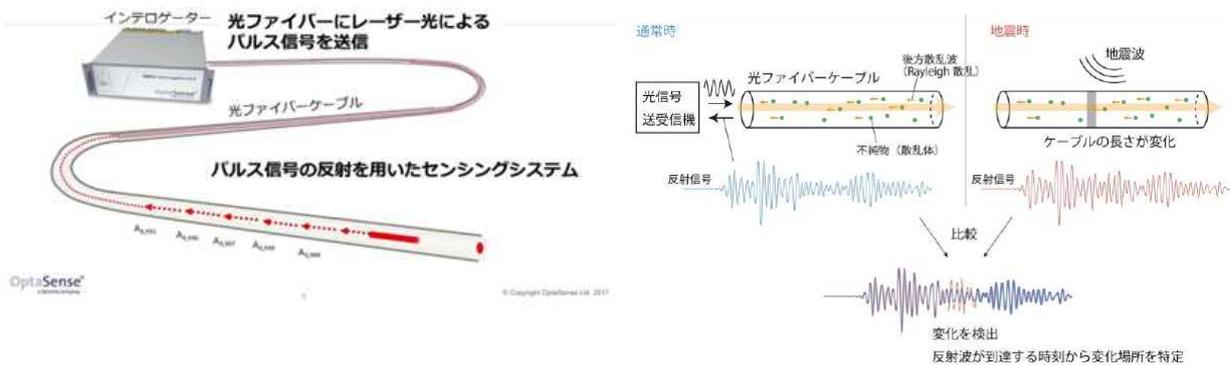
Plume development

IBDP (Illinois Basin Decatur Project) での例 (Coueslan et al. (2013) から引用)

対象物性	地層内の温度、圧力、歪み、貯留層飽和度、微小地震等
原理	圧入井や観測井等の坑井にセンサ等を設置して貯留層内（坑底部）の温度や圧力の変動や微小な振動（微小地震）を観測し、層内の状況の監視（モニタリング）を行う。

【光ファイバー計測】

光ファイバーを通じて光を伝送し、その光の特性変化を利用して測定を行う手法である。光ファイバー自体がセンサであるため電気回路がなく、故障しにくいという特徴がある。また、光ファイバーは電磁干渉を受けず、化学的に安定しているため、過酷な環境下でも使用可能であり、海底下CCSにおいては地下の連続監視に適している。一般的に安価かつ長寿命性が期待されている。光ファイバー計測の運用例として、DAS(Distributed Acoustic Sensing)、DTS(Distributed Temperature Sensing)、DSS(Distributed Strain Sensing)がある。



左：光ファイバーセンシングシステムのイメージ図

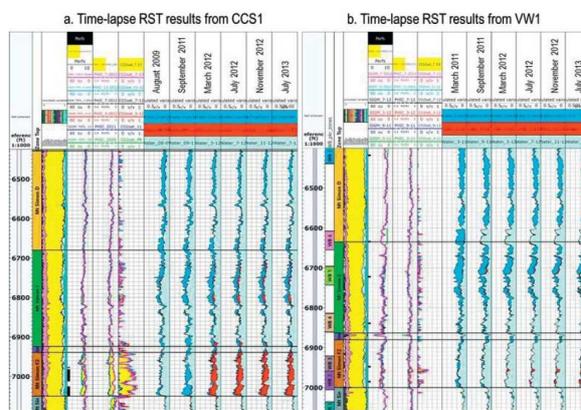
(https://oilgas-info.jogmec.go.jp/info_reports/1009585/1009639.html#_edn5)

右：DASを用いた地震波受振のイメージ図

(<https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/228/image228/228.pdf>)

【貯留層飽和度計測 (RST ; Reservoir Saturation Tool)】

貯留層内の流体飽和度を測定・評価する検層ツールである。特にCO₂飽和度の経時変化の把握を可能とし、貯留層モデリングやシミュレーションの精度向上に寄与できる。このツールでは中性子を地層に放出させ、これにより地層から発生するガンマ線を測定する。中性子と地層及び流体との相互作用により、地層内に存在する流体の種類と量を特定できる。また、非破壊での測定を可能としており、坑井の仕上げの状況（ケーシングやオープンホールなど）によらず、使用が可能である。米国のIllinois州のDecaturプロジェクト等での運用実績がある。

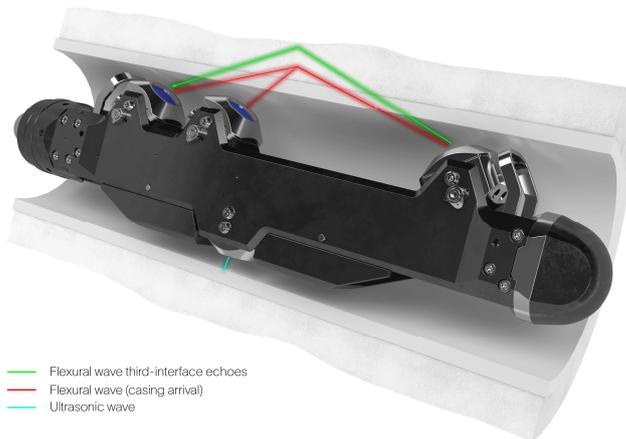


Decaturプロジェクトでの測定事例 (Goueslan et al. (2014) から抜粋)

対象物性	地層内の温度、圧力、歪み、貯留層飽和度、微小地震等
原理	圧入井や観測井等の坑井にセンサー等を設置して貯留層内（坑底部）の温度・圧力や微小な振動（微小地震）を観測し、貯留層内の状況の監視（モニタリング）を行う。

【坑井健全性モニタリング】

既存の古井戸や試掘井、観測井、圧入井等からの漏洩を防ぐためには、ケーシングの腐食やケーシング背後のセメントなどの坑井の健全性に係る評価が重要になる。検層ツールとして音波・超音波・電磁波などを用いた測定ツールが提供されており、これらを用いることで非破壊での坑井健全性の監視が可能となる。

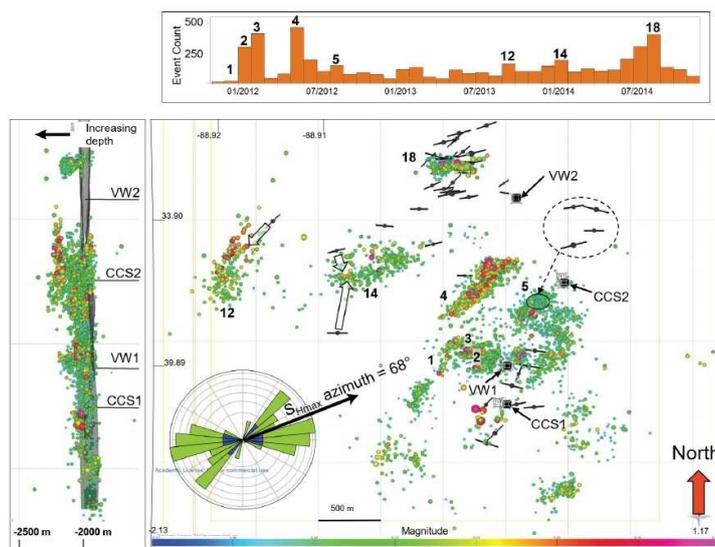


検層ツールの例

(<https://www.slb.com/products-and-services/innovating-in-oil-and-gas/well-construction/well-cementing/cement-evaluation/isolation-scanner>)

【微小地震（Microseismic）モニタリング】

微小地震のモニタリングは、貯留層の安定性評価（貯留層や遮蔽層破壊の有無）や漏洩検出（漏洩発生位置の特定）、圧力変動の監視（圧力プルームの広がり解釈）や有感地震リスク管理（断層付近での漏洩検知）の観点から、極めて重要である。モニタリングにあたっては、海底や地表に受信機（OBN ; Ocean Bottom Node、OBC ; Ocean Bottom Cable）を設置し、連続観測を行う。また、坑内DASやジオフォンを用いることで、より小規模の微小地震を検知する。



Decaturプロジェクトでの測定事例（Williams-Stroud(2020)から抜粋）

【参考文献】

Couëslan, M.L., Butsch, R., Will, R., and Randall A., & Locke II, R.A., 2014. Integrated reservoir monitoring at the Illinois Basin-Decatur Project. *Energy Procedia* **63**(2014), 2836-2847. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.11.306

Couëslan, M.L., Gulati, J., Campbell, A., Nutt, L., 2013. Monitoring CO₂ Injection at the Illinois Basin -- Decatur Project with Time-lapse 3D VSPs. Second EAGE Workshop on Borehole Geophysics, Apr 2013. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20142571>

IEAGHG, 2012. Quantification Techniques For CO₂ Leakage: IEA Greenhouse Gas R & D Programme (IEAGHG).

Roberts, J.J., Gilfillan, S.M.V., Stalker, L., Naylor, M., 2017. Geochemical tracers for monitoring offshore CO₂ stores. *International Journal of Greenhouse Gas Control* **65**(2017), 218-234. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.07.021>

Uchimoto, K., Nishimura, M., Xue, Z., Watanabe, Y., 2018. A preliminary experiment on the detection of bubbles in the sea with side-scan sonar. 14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-14.

Williams - Stroud, S., Bauer, R., Leetaru, H., Oye, V., Stanek, F., Greenberg, S., Nadege Langet, N., 2020. Analysis of Microseismicity and Reactivated Fault Size to Assess the Potential for Felt Events by Injection in the Illinois Basin. *Bulletin of the Seismological Society of America* (2020) **110** (5), 2188-2204. DOI: <https://doi.org/10.1785/0120200112>

下島公紀 2010 海底下地層貯留における貯留CO₂漏洩の検知・モニタリング技術の提案 (一財)電力中央研究所, 研究報告: V09034

佐藤裕・秋久保一馬 2016 海洋貯留モニタリングに向けた溶存CO₂検出技術に関する研究 IHI技報 Vol.56 No.1 (2016)

担当者等連絡先

部署名：環境省水・大気環境局海洋環境課

T E L : 03-5521-9023 (直通)

担当者名：課長補佐 堀野上 貴章 (内線：25523)