

海上3次元反射法探査システム P-Cable の特長と適用性

松村 謙一*・鴨下 智裕*・宮本 賢治*

P-Cable : High-resolution 3D Marine Seismic Acquisition System — Features and Applicability to New Fields —

Kenichi MATSUMURA*, Tomohiro KAMOSHITA* and Kenji MIYAMOTO*

Abstract

P-Cable is a newly developed three dimensional (3D) marine seismic acquisition system manufactured by Geometrics Inc., USA. Compared to the existing 3D seismic system which is mostly used for marine resource exploration, P-Cable is a lighter-weighted and smaller-sized system, which can be deployed to a relatively small-sized vessel. Very-high-resolution 3D surveying is available for detailed mapping of sub seafloor targets, such as geological structures, gas hydrate reservoirs, shallow gas migration, and active faults.

Furthermore, P-Cable is also expected to be applicable to shallower water areas for various purposes, such as marine engineering and earthquake disaster prevention.

In consideration of introducing the P-Cable to the Japanese marine survey market, the authors have learned the P-Cable technology and the system operation for more than a year in USA, and have conducted the market research around Japan at the same time.

This technical note shows the P-Cable system features, some application samples, and foresight for future new applications.

Keywords: P-Cable, 3D seismic, High resolution, Resource exploration, Active faults

(要 旨)

P-Cableは、米国Geometrics社により開発・製造された、高分解能海上3次元反射法地震探査システムである。海上における3次元反射法探査は、特に石油や天然ガスを対象とした海洋資源探査の分野で広く用いられてきた技術であるが、P-Cableはこれら従来型の3次元探査システムに比べて、軽量・小型・高分解能という特長を有し、これまで3次元探査の適用が難しかった沿岸部～浅海部における探査や、新たな分野における高分解能3次元探査への適用が期待できる。2000年代初頭に初期モデルが開発されて以来、P-Cableは技術改良を重ねながら欧米を中心にすでに地質構造調査、海底下のガス・ハイドレート分布把握、海底活断層調査などに利用され始めている。

筆者らは、P-Cableのこうした操作性の良さ、ならびに他分野への適用可能性に着目し、その探査技術・ノウハウの習得を進めるとともに、同時に日本国内における探査ニーズや有望適用分野を探りながら、国内へのシステム導入・適用を検討してきた。P-Cableは、特に比較的浅い海域において高分解能な探査が必要な場合にその効力を発揮し、今後有望な分野としては、資源・エネルギー開発、地震防災、洋上立地プロジェクト等が挙げられる。

キーワード: P-Cable, 3次元地震探査, 高分解能, 資源探査, 活断層

* 応用地質(株)エンジニアリング本部

* OYO Corporation

1. まえがき

海上における反射法地震探査は、海底下の地質構造の把握および岩相推定の目的で、1940年代半ば頃から用いられてきた技術であり、その後石油資源の探査や海底活断層の調査などの分野を中心に、その利用が拡大してきた¹⁾。さらに1990年代に入ると、特に石油・天然ガスを対象とした海洋資源探査では、3次元の構造探査が一般的となり、データ取得およびデータ処理技術が急速に発展することとなった²⁾。3次元探査では、従来の2次元探査では解明できなかった海底下の立体的な地下構造を捉えることができ、海底下地盤状況に対する理解は格段に深まることとなった。

海洋資源探査における3次元探査では、通常、専用の大型探査船を用いて長さ数千mの複数の受振ケーブルを曳航するなど、探査システムは大掛かりなものとなる。そのため、探査できる海域は、海上の障害物や他の航行船舶が少ない大洋のような場所に限られる。

それに対してP-Cableは、システム全体を極力小型化し500～1,000トン程度の汎用船を用いて3次元探査ができることを設計思想とし、2000年代初頭より開発されてきた探査システムである。システムが小型であることから、これまで3次元探査が試みられることのなかった浅海域における適用など、新たな分野への3次元探査の適用の可能性が開けることとなった。

筆者らは、P-Cableシステムの軽量・小型化、汎用性等による斬新性・優位性に着目し、日本国内における種々の分野に対するP-Cableの適用性を検討するとともに、P-Cableによる探査技術の習得を積み重ねながら、国内への探査システム導入を計画してきた。

本稿では、P-Cableの特長、海外での適用事例を紹介しながら、国内における適用性、有望適用分野、また適用における課題についてまとめる。

2. P-Cableの概要

2.1 P-Cableの測定原理

3次元探査システムであるP-Cableの測定原理に先立ち、より単純な2次元海上反射法探査の測定原理について述べる。

海上反射法探査³⁾は、図-1に示すように、1組の震源と1本のストリーマーケーブル(複数の受振器を内蔵し1本に連ねたケーブル)を曳航しながら、パルス状の音波を海中で発振させ、海底面及び海底下からの反射波を捉えることによって、海底下の地質層・構造を把握する方法である。探査手法は海底の水深を計測する音響測深と原理的には良く似た方法であるが、海中に向けて発振する音波のエネルギーを音響測深よりも強くするとともに、減衰の少ない低周波数の音波を使用するのが特徴である。発振された音波は海底面を透過しその下にある音響インピーダンス(媒質

中の音速×媒質の密度)が異なる箇所では反射する。この反射した音波を受振器で受振して記録することにより、海底面および海底下からの反射記録を得ることができる。この探査記録断面は海底の地質断面のイメージに近く、堆積物の厚さや基盤の深さ、断層、褶曲構造などを読み取ることができる。

一般に地震探査では、発振源の周波数が高いほど分解能は高くなるが、水中及び地層中での減衰が大きくなる。一方、周波数が低いほど地下深部まで音波が届くが、分解能は低くなる。主として10 kHz以上の音波は海底地形調査に、数kHzの音波は海底下数十mの未固結堆積層の探査に用いられ、数十Hz以下の音波は海底下数km以上の深さの地層・構造探査に用いられる。

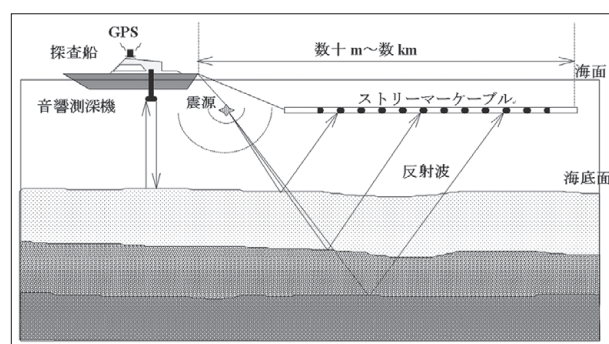


図-1 2次元海上反射法探査概念図

Fig. 1 Image of 2D marine seismic survey

次に3次元海上反射法探査は、上述の2次元探査を応用し、図-2に示すように複数のストリーマーケーブルを平行に展開配置し、通常震源を2組用いて交互に発振する方式で行われる。海洋資源探査における一般的なストリーマーケーブルの長さは3～8km程度、チャンネル数(受振器数)は各ストリーマーケーブルに300～4,000チャンネル程度配列される。ストリーマーケーブルの間隔は50～100mで、曳航本数は8～12本程度である。一例として、日本が保有する唯一の3次元探査船「資源」は、6kmの長さのストリーマーケーブルを12本曳航できる⁴⁾。

P-Cableは、図-3に示すようにストリーマーケーブルの長さは最大で100m、展開幅は最大で24本のストリーマーケーブルを12.5m間隔で曳航した場合287.5mである(2012年末現在)。

次に、反射法探査によるデータ取得方法の要点を述べる。反射法探査においては、発振点と受振点の midpoint を反射点とみなし、多数の発振点-受振点の組み合わせの中から、共通する反射点を通る反射波を重ね合わせて解析を行う。この共通する反射点をCMP(Common Mid Point, 共通反射点)と呼ぶ。

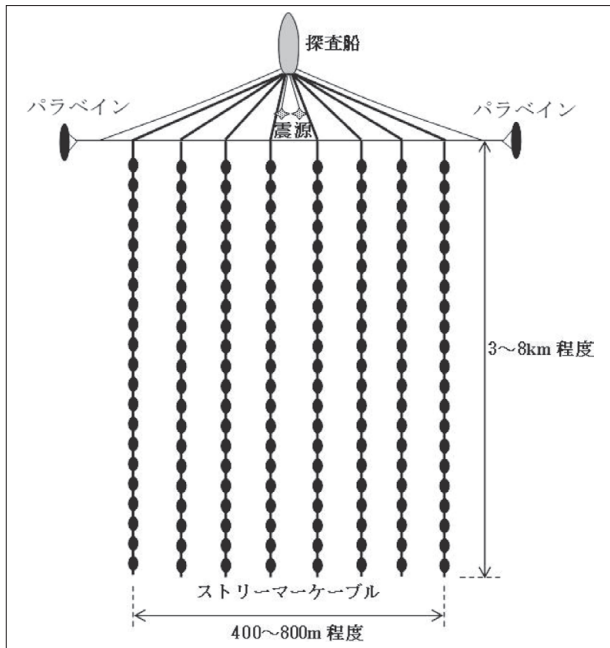


図-2 3次元海上反射法探査模式図
Fig. 2 Image of 3D marine seismic survey

発振・受振を開始し、終点のさらに前方まで測定を継続する。

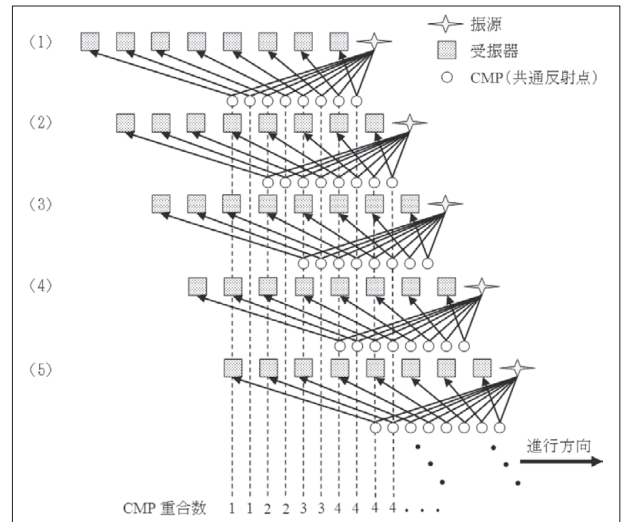


図-4 2次元海上反射法探査におけるCMP概念図
Fig. 4 Image of CMP by 2D marine seismic survey

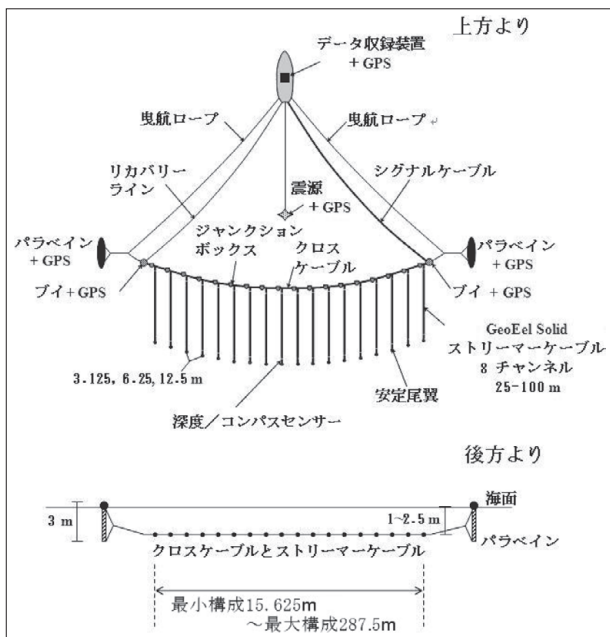


図-3 P-Cableの基本的な配置図⁵⁾
Fig. 3 Image of basic layout of P-Cable

まず、2次元海上反射法探査において、図-4に示すような8チャンネルのストリーマーカーケーブルを曳航したとする。この時、CMP重合数(共通反射点における反射波の重ね合わせ数)を最大の4にするには最低4回の移動が必要となる。CMP重合数は多いほどS/N比(シグナルとノイズの比率)が上がり、品質の高いデータが得られる。このため、探査測線の始点から終点まで十分な数のCMP重合数を確保するために、ストリーマーカーケーブル長に応じて始点の手前から

一方、3次元探査システムP-Cableにおいては、図-5に示したように調査範囲内をBinと呼ばれるグリッドに分け、一つのBinの中に入る反射点をCMPとして扱う。Binは写真等の解像度と同様な考えで、Binサイズが大きくCMP数が少なければ粗い結果になり、逆にBinサイズが小さく、CMP数が多ければ詳細な結果が得られる。Binサイズは、ストリーマーカーケーブル間隔やチャンネル間隔等のシステム構成、探査船の航行速度、震源の種類、探査深度などを考慮し探査計画の段階で決定する。

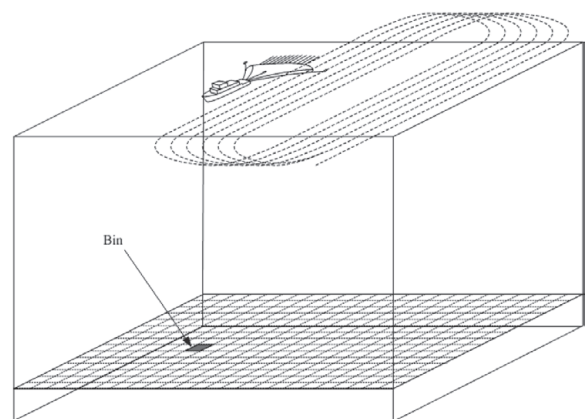


図-5 P-Cable探査におけるCMP(Bin)概念図
Fig. 5 Image of CMP(Bin) by P-Cable survey

次に、P-Cableの海上での測位には、DGPS(ディファレンシャル方式GPS)が用いられることが多い。DGPSは、陸上の既知点で検出したGPS衛星固有の位置測定誤差を探査船に送ることで、リアルタイムに補正をして1~2m程度の精度で測位を可能とする

方法である。この補正データは、海上保安庁が運用する全国 27 箇所の基準局から無料で提供されており、各局から 200 km 以内の海上までカバーされている。

2.2 P-Cableのシステム概要

P-Cable のシステムは、大きく曳航装置と船上装置の 2 つに分けられる。

2.2.1 曳航装置

曳航装置は、先の図-3 に示したような構成である。以下にそれぞれの機器の概要を述べる。

(1) 震源

震源は、対象目的に合わせて探査深度や分解能などを考慮し決定する。一般的には、エアガンや電磁誘導式の震源を使用する。

(2) シグナルケーブル

シグナルケーブルは船上のデータ収録器へ受振信号を伝送するケーブルである。

(3) クロスケーブル

クロスケーブルは、シグナルケーブルと後述するストリーマーケーブルを接続するケーブルである。これには、ジャンクションボックスと呼ばれる部品が付属する。ジャンクションボックスには、方位を計測するコンパスと曳航深度を計測する深度センサーが組み込まれている。

(4) ストリーマーケーブル

ストリーマーケーブルには、音波を受振するハイドロフォンを内蔵し、クロスケーブルに接続する側の端部には A/D 変換装置を装着する。さらに、最後部にストリーマーケーブルの挙動を安定させるための尾翼を取り付ける。また、必要に応じて方位を計測するコンパスやケーブル深度を把握するための深度センサーを取り付けることもできる。

(5) パラベイン

パラベインは、航走に伴う水流を受けてストリーマーケーブルを左右に展開する装置である。

(6) GPS

GPS アンテナは、探査船の他に、震源、左右のパラベイン、およびシグナルケーブルまたはリカバリーラインとクロスケーブルの接続点の計 5 箇所に取り付け、位置情報を得る。

2.2.2 船上装置

船上装置は図-6 に示したような構成である。以下にそれぞれの機器の概要を述べる。

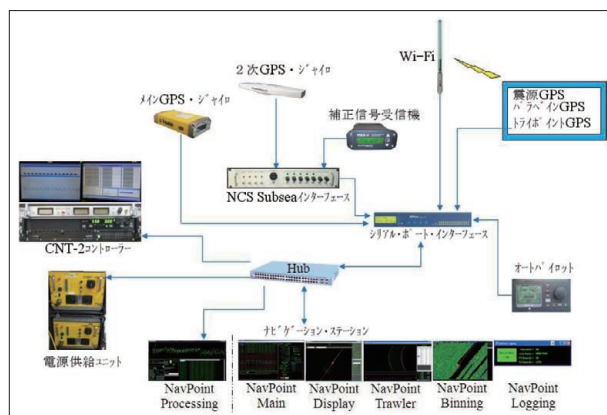


図-6 船上装置

Fig. 6 Onboard equipment diagram

(1) 反射データ収録装置

反射データ収録装置は、Geometrics 社製の専用ソフト CNT-2 Marine Controller を用いる。本装置は PC ベースであり、各発振ごとの受振波形、2 次元 CMP 重合断面、ノイズモニター等のデータ品質確認の表示ができ、SEG-D、SEG-Y、SEG-2 の波形データフォーマットでデータ収録ができる。

(2) 震源コントローラー

震源コントローラーは、震源への電源供給や発振の信号を送る装置である。

(3) オートパイロット

オートパイロットは、探査船が測線に乗った際に、自動航行に切り替える装置である。

(4) ナビゲーションデータ収録装置

ナビゲーションデータ収録装置は、NCS SubSea 社製ソフトウェア NavPoint Trawler を用いる。本ソフトウェアは、PC 上で作動し下記の構成となっている。

- (a) メイン・ソフト “NavPoint Main”
- (b) 位置表示ソフト “NavPoint Display”
- (c) P-Cable 表示ソフト “NavPoint Trawler”
- (d) Bin モニターソフト “NavPoint Binning”
- (e) データ収録ソフト “NavPoint Logging”
- (f) データ処理ソフト “NavPoint Processing”

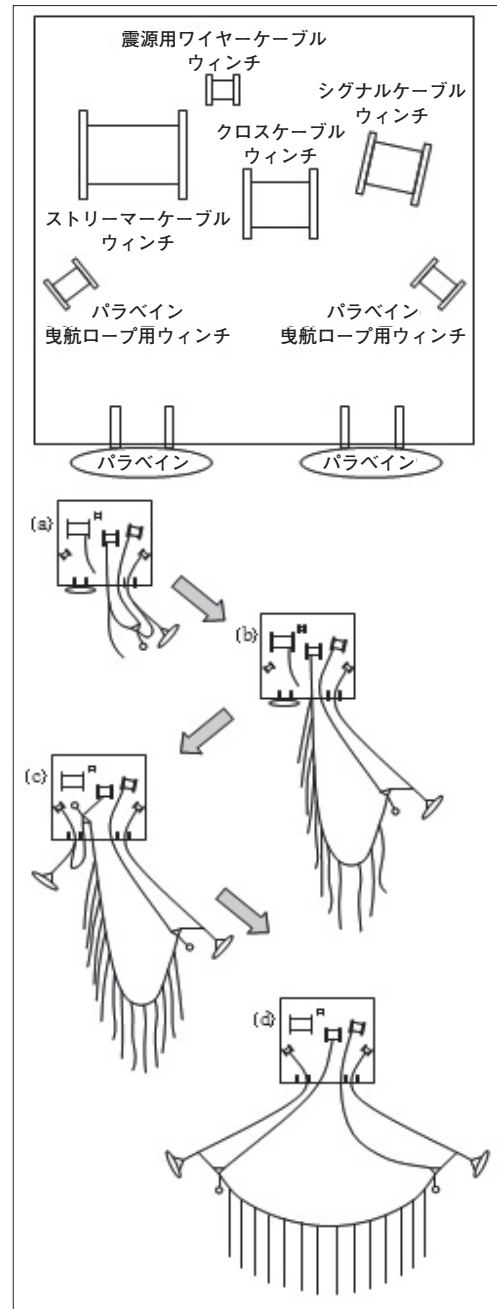
表-1 に P-Cable の主な仕様をまとめた。

図-7 に、P-Cable のウィンチ配置例および展開状況の模式図を示す。P-Cable の展開に要する時間は、ストリーマーケーブルの使用本数にもよるが、14 本の場合で約 1.5 時間であり、揚収は約 1 時間である。作業人員は、5～6 名で対応可能である。また、使用船舶の要件としては、ストリーマーケーブル、シグナルケーブル、クロスケーブル、左右のパラベイン、お

よび震源用にそれぞれウィンチの搭載が必要のため、船の長さ 50 m 程度以上、幅 10 m 程度で後部甲板が広い形状のものが良い。

表-1 P-Cable の主な仕様
Table 1 Specifications of P-Cable

項目	主な仕様
ストリーマケーブル	GeoEel Solid 直径：40 mm 周波数帯域：5-6, 400 Hz
ストリーマケーブル本数	6～24 本
ストリーマケーブル長	25～100 m
チャンネル数	8 チャンネル
チャンネル間隔	3.125, 6.25, 12.5 m
ストリーマケーブルの間隔	3.125, 6.25, 12.5 m
曳航装置	A/D 変換器 8 チャンネル 24 bit A/D 変換 サンプリングレート： 1/8 ～ 2 ms サンプリング数： 最大 16,000 サンプル/トレース 直径：40 mm 長さ：約 25 cm
	コンパスおよび深度センサー (ジャンクションボックス内) コンパス精度：0.3 度 深度センサー精度：10 cm
	パラベイン 長さ：4 m (最大値) 高さ：3 m (最大値) 重量：約 900 kg
船上装置	反射波データ収録装置 Geometrics 社製 CNT-2 Marine Controller ショットギヤサージ表示 2D プルートスタック表示 SEG-D、SEG-Y、SEG-2 フォーマット対応
	ナビゲーションデータ収録装置 NCS SubSea 社製 ソフトウェア：NavPoint Trawler P1/90 P2/94 フォーマット対応



- (a)パラベイン投入後、シグナルケーブル、クロスケーブルを接続しブイと共に投入する。クロスケーブルがジャンクションボックスまで繰り出されたところで、1 番目のストリーマケーブルを接続する。
- (b)シグナルケーブル、クロスケーブルを順次繰り出し、ジャンクションボックスにストリーマケーブルを接続して投入を続ける。
- (c)最後のストリーマケーブルを投入後、左舷側のパラベインとブイを接続し投入する。
- (d)予定したケーブル長になったらウィンチにブレーキを掛け終了する。

図-7 P-Cable のウィンチ配置例および展開模式図
Fig. 7 Image of typical winch layout and P-Cable deployment

2.3 P-Cableの特長^{6), 7), 8)}

ここでは、一般的な海上3次元探査システムと比較して、P-Cableの長所および短所をまとめる。

2.3.1 P-Cableの長所

(1) 軽量・小型システム

システムが軽量・小型であることから、一般的な3次元探査船より小型な船(500~1,000トン程度)でオペレーションが可能であり、専用の探査船を必要としない。そのために、探査作業に要する経費は、専用の大型探査船を用いた3次元探査作業に比べて格段に安くなる。

(2) 操作性に優れ浅海域に適用可能

比較的小型な船で探査ができることから、沿岸域や浅海域などのこれまで3次元探査の適用が難しかった海域においても作業が可能になった。また、システム全体が従来型に比べてシンプルであるため、準備作業・撤収作業も少ない人員かつ短時間で済む。

(3) 高分解能なデータ取得が可能

Binサイズが小さいため、従来型3次元探査に比べて高分解能なデータ取得が可能である。海底下地盤の構造を詳細に把握することが可能になった。

(4) ソリッド・ストリーマー技術により低ノイズ

従来のオイルフィル型のストリーマーケーブルに替わって、最新のソリッド・ストリーマーの採用により、曳航ノイズが最小限に抑えられ、S/N比の高い反射波の収録が可能となった。

(5) 2次元探査システムとしても使用可能

必要に応じて、2次元探査システム(ストリーマーケーブル1本)として使用することも可能である。

2.3.2 P-Cableの短所

(1) オフセット距離が短い

オフセット距離(震源と受振器の離隔距離)は最長でも100~200m程度であり、長いオフセット距離のデータ取得ができない。このことにより、地盤速度の算出精度が悪くなり、データ処理における速度解析、NMO補正、DMO補正、さらには重合前/重合後マイグレーション処理などの、高精度な速度モデルを必要とする地下構造イメージング処理が精度よく行えない。

(2) 大水深海域ではマルチチャンネル効果が薄い

システムが小型であることから水深2,000mを超える大水深海域においては、複数の受振器によるオフセット距離の違いを利用したデータ処理効果が薄れ、シングルチャンネル探査と同等程度の探査成果しか得られない。

(3) 広範囲をカバーするには不利

現状では、最大の24本のストリーマーケーブルを使用しても展開幅が287.5mであるため、一度にカバーできる範囲は従来型の3次元探査より狭くなり、広い範囲を探査する場合には長時間を要する。

3. P-Cableによる現場測定事例

ここでは、P-Cableによる海上探査の作業効率や所要日数・時間を見積る際の参考に資するため、実際の現場測定事例を紹介する。

3.1 現場測定事例①(活断層調査の一例)

調査の目的は海底活断層の位置を把握することであり、水深20~200mの海域で実施した。

表-2に探査の仕様を示し、図-8にP-Cableの展開模式図を示す。

- ・作業工程: 艀装作業 7日間
移動・器材テスト 3日間
測定日 40日間, 悪天候中止 6日間
艀装解除 2日間
- ・総測線長(航行距離): 約1,100km
- ・作業員: 18名
- ・作業効率: 4km×10測線×37.5m/日
日中作業(1日の作業時間: 10時間程度)
展開作業: 1~1.5時間程度
揚収作業: 1時間程度

表-2 探査仕様①

Table 2 Survey specifications

探査船の大きさ	全長: 52.3 m, 幅: 10.6 m
震源の種類	ブーマー
ストリーマーケーブル	14本(長さ50m)
測線間隔	37.5 m
ストリーマーケーブル間隔	6.25 m
展開幅	110 m(パラベイン含む)
展開長	220 m(探査船含む)
受振器間隔	6.25 m
発振間隔	3.125 m
Binサイズ	3.125 m×3.125 m

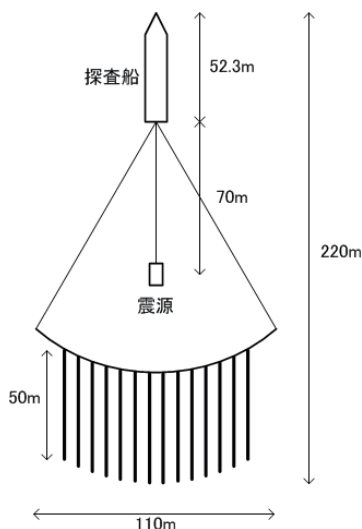


図-8 P-Cable 展開模式図 (適用事例①)

Fig. 8 Image of P-Cable deployment

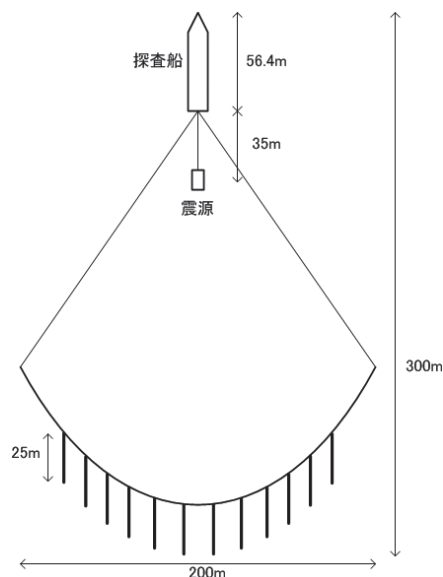


図-9 P-Cable 展開模式図 (適用事例②)

Fig. 9 Image of P-Cable deployment

3.2 現場測定事例② (地質構造調査の一例)

調査の目的は海底地質構造を把握することであり、水深 20 m 程度の海域で実施した。

表-3 に探査の仕様を示し、図-9 に P-Cable の展開模式図を示す。

- ・作業工程： 艀装作業 8日間
 移動・器材テスト 3日間
 測定 10日間, 悪天候中止 1日間
 艀装解除 2日間
- ・総測線長 (航行距離) : 約 900 km
- ・作業員 : 30名
- ・作業効率 12 km × 11 測線 × 62.5 m / 日
 昼夜連続作業
 展開作業 : 1 ~ 1.5 時間程度
 揚収作業 : 1 時間程度

表-3 探査仕様②
Table 3 Survey specifications

探査船の大きさ	全長:56.4 m, 幅:12.2 m
震源の種類	エアガン
ストリーマーケーブル	12本 (長さ 25m)
測線間隔	62.5 m
ストリーマーケーブル間隔	12.5m
展開幅	200 m (パラベイン含む)
展開長	300 m
受振器間隔	3.125 m
発振間隔	12.5 m
Bin サイズ	6.25 m × 6.25 m

3.3 P-Cable適用における留意点

3.3.1 測線設定について

測線間隔は、原則として隣接する測線において CMP を含む Bin が最低 1 列分重複するように設定する。しかし、風や潮流の影響により、探査船が測線上を直線的に航行することは難しく、また、Bin サイズが小さいほど、欠測なく測定することは難しくなる。そのため、Bin の重複は十分余裕を取ることが望ましい。

たとえば、ストリーマーケーブル間隔を 6.25 m、Bin サイズを 3.125 m とした場合、実際の航行位置が計画測線から 6.25 m 離れると、欠測が出てしまう。潮流の状況および Bin サイズ等を考慮して、最も効率の良い測線設定を検討する必要がある。

3.3.2 探査時に考慮すべき事項

P-Cable を使用した探査を実施する際に考慮すべき事項について以下に述べる。

(1) 他船の往来状況

P-Cable は長さ 200 ~ 300 m、幅 100 ~ 300 m 程度あり、急に方向を変えることができないので、付近に他船がいる場合、早めに避ける必要がある。そのため、他船の往来が多い海域では、欠測が多くなり、作業効率が低下せざるを得ない。

また、ストリーマーケーブルは水深 2 m 程度の深さに位置するので、他船が気付かずに進入してくる場合がある。ストリーマーケーブル上を横断すると、器材を破損する危険がある。

以上のことより、他船の往来が多いところでは、警戒船の配置を検討する必要がある。また、漁シーズン

はできるだけ避けるようにする必要がある。

(2) ブイ等の障害物の有無

調査海域によっては、漁業用あるいは航路用のブイ等が存在する場合がある。潮の流れ状況など、予測できないことがあるので、曳航装置がブイから少なくとも 100 m 程度離れるように航行する必要がある。ブイなどの障害物が多いところでの探査作業は困難となる。

以上のことから、調査海域の状況把握のために、探査前に障害物の有無を確認してから展開する必要がある。また、局所的な浅瀬のように、地形的に探査不可能なところがないかも事前に確認しておく必要がある。

(3) 潮流の状況

調査海域および時間によっては潮流変化により、探査船を直線的に航行させることが難しい場合がある。その場合、大幅に欠測が増えてしまう可能性があるため、事前に考慮しておく必要がある。

(4) 測線間の移動

次の測線へ移動するためには、図-10に示すように半径 300 m 以上の半円軌道を航行する必要がある。移動には 15 ~ 20 分程度かかる。

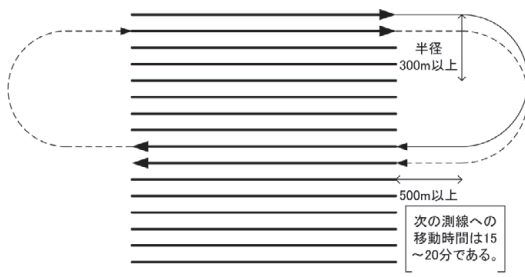


図-10 探査順序模式図
Fig. 10 Image of survey order

3.3.3 昼夜連続探査作業の長所および短所

P-Cable は 24 時間連続測定が可能なシステムである。昼夜連続探査作業の長所および短所は以下のとおりである。

(1) 長所

- ① P-Cable を展開／揚収する時間を削減でき、効率良く測定作業を行なうことができる。
- ② P-Cable を展開／揚収する時、ケーブルにテンションが掛かることやコネクタの脱着の不備による、器材トラブルが発生することがあるので、これらのリスクを軽減することができる。

(2) 短所

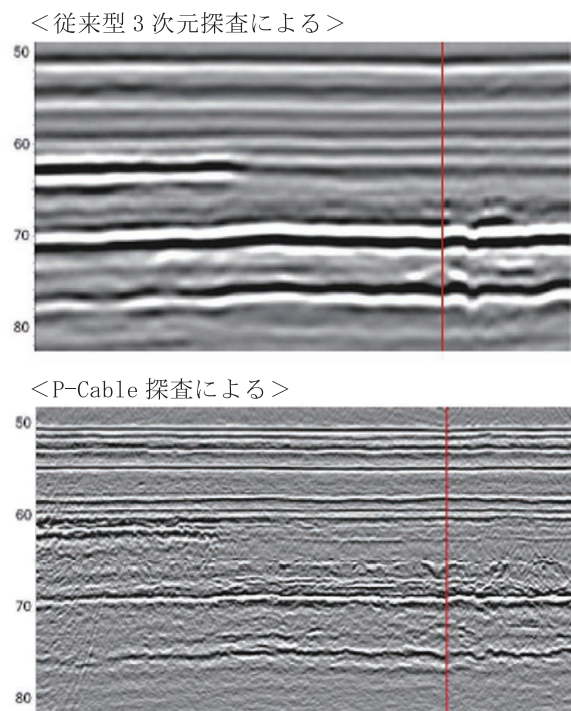
- ① 交替要員を含めて人員が多く必要となり、その人員を収容できる探査船が必要である。全体コストも増大する。
- ② 夜間は見通しが悪く、障害物と接触する危険が高くなる。特に船の往来が多い海域や漁業用のブイがある海域での夜間探査実施は困難である。
- ③ 数日間連続作業する場合、クロスケーブルやパラペインの曳航ロープに海藻が大量に絡まりストリーマーケーブルの間隔が狭くなってしまい、計画していた探査幅が確保できないことがある。そのため、ナビゲーションの NavPoint Trawler/Display をモニタリングしながら、メンテナンスのために曳航装置を引き上げる必要がある。

3.4 P-Cableによる探査結果例^{9)~13)}

2000 年代初頭に開発されて以来、P-Cable は主に欧米各地で種々のプロジェクトにおいて利用されてきている。ここでは、P-Cable 探査により得られた結果（反射構造・反射断面）を 2 例紹介する。

3.4.1 探査結果例①（高分解能記録例）

図-11 に、従来型の 3 次元探査システムと P-Cable による同一区域における反射断面の比較を示す¹⁴⁾。両者ともに強い反射面が黒色あるいは白色で表現されているが、P-Cable の方が、地層中の反射構造がよりきめ細かく詳細に捉えられていることがわかる。



※赤線が同一位置を示す。

図-11 P-Cable 探査記録例①

Fig. 11 P-Cable record sample ①

3.4.2 探査結果例② (3次元地盤構造)

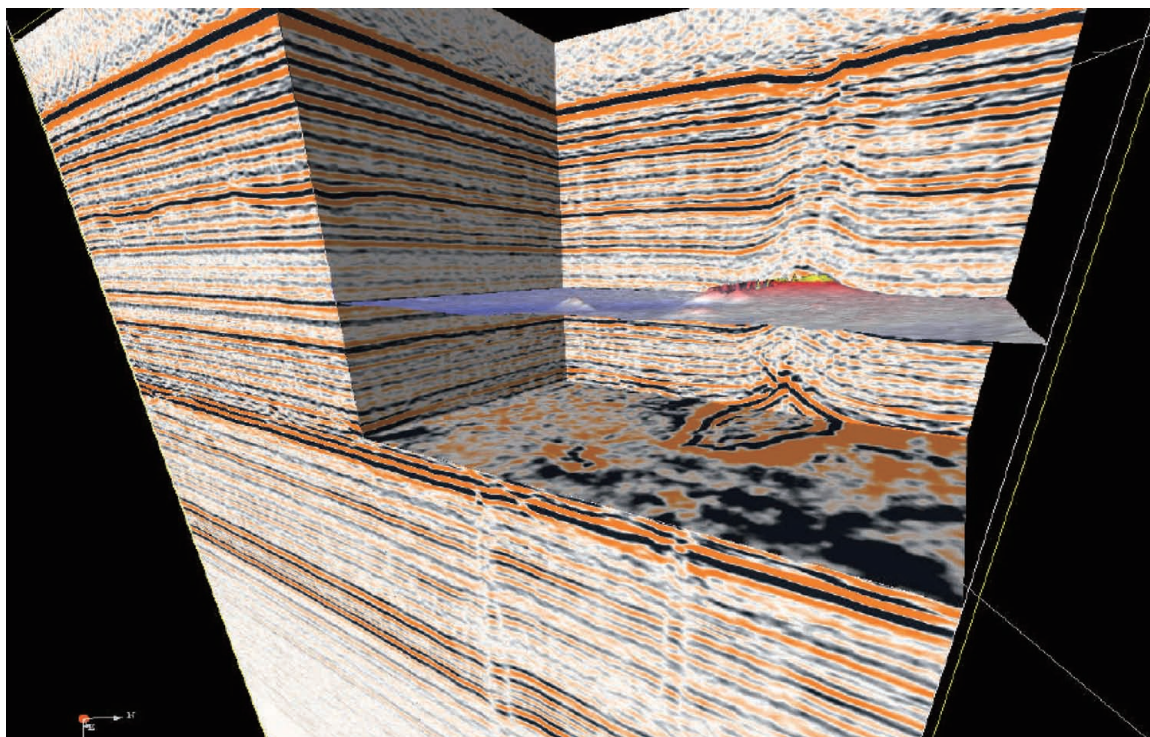


図-12 P-Cable 探査記録例②

Fig. 12 P-Cable record sample ②

図-12に、P-Cableにより得られた3次元反射構造図の例を示す¹⁵⁾。薄い反射面を示す多数の水平方向の筋状パターンが見られ、一部で反射面の乱れが認められる。この反射面の乱れは、ほぼ垂直方向に連続しており、地層中でガスが上昇・移動した、いわゆる“ガスチムニー”の痕跡であると解釈されている。さらに、3次元構造であることからこのガスチムニーの横方向への拡がりの範囲が明瞭に捉えられている。

以上見てきたように、P-Cableを用いることによって、海底下地盤の構造を3次的に、かつこれまで以上に詳細に把握することができる。

4. P-Cableの日本国内の調査への適用性

ここでは、P-Cableを日本国内で適用するにあたっての有望分野、および適用における課題を述べる。

4.1 日本国内における探査ニーズ

まず、表-4に日本国内における海洋探査に対するニーズの動向をまとめて示す^{16)~18)}。

ここで、推定事業規模の金額は、海洋での探査に係る国の計画や予算等を参考に算出したものである。

日本国内における海洋探査に対するニーズをまとめると次のようになる。

表-4 日本国内における海洋探査に対するニーズ
Table 4 Japanese marine survey market

分野	種別	推定事業規模 (億円/年)	対象海域
資源・エネルギー 開発関連	石油・天然ガス	100~200	深海
	メタンハイドレート	10~30	深海
	海底鉱物資源	10~30	深海
エンジニアリング 関連	原発立地	3~5	沿岸~浅海
	洋上発電(風力他)	3~5	沿岸~浅海
	CCS	3~5	沿岸~浅海
地震防災	活断層・地質構造調査	5~10	沿岸~浅海
港湾土木	港湾・離島整備	3~5	沿岸
水産・生物資源	漁場開発	1~3	沿岸~浅海
海洋環境	環境保全	1~3	沿岸~浅海

- ①事業規模としては資源・エネルギー開発関連分野が最大である。石油・天然ガスといった在来型資源にとどまらず、メタンハイドレートや海底鉱物資源などの新規資源を対象とした探査ニーズの創出・拡大が見込まれる。
- ②エンジニアリング関連では、これまで大きな割合を占めてきた原発関連が縮小傾向にある一方で、洋上発電(風力等)やCCS(二酸化炭素回収・貯留)などの新規分野のニーズ創出・拡大が見込まれる。
- ③地震防災分野では、日本沿岸域の海底活断層調査へ

のニーズが想定される。

- ④港湾土木・水産・環境などの分野は、全般的には公共事業縮減により低迷している状況。

4.2 有望適用分野

これまで見てきたように、P-Cable が特に効力を発揮するのは、水深1,000 m程度までの比較的浅い海域において、海底下地盤の構造を高分解能に探査したい場合である。このような観点から、P-Cable の適用が有効と考えられる分野について以下に述べる。

4.2.1 資源・エネルギー開発^{19), 20)}

石油・天然ガス等の在来型資源・エネルギー開発分野では、大水深海域において従来から本格的な3次元探査システムが用いられてきており、ここにP-Cable を新たに適用することのメリットはほとんどない。

一方、メタンハイドレートや海底鉱物資源といった新たに注目されている資源については、深海部だけでなく比較的浅海部にも分布する可能性があるとの報告もあり、また探査技術はまだ確立しているわけではないことから、P-Cable による高分解能な探査を有効に適用できる可能性が十分ある。

4.2.2 地震防災^{21)~24)}

平成23年3月11日に発生した東日本大震災以降、日本周辺海域における海底活断層に対する詳細な調査のニーズが高まっている。海域部における活断層は、いまだよく調査されていない場所が多く、また調査自体も2次元探査がほとんどであり、海底下の地盤状況が十分な精度で解明されてきたとは言いがたい。

陸地に近い沿岸域・浅海域においては特に、P-Cable による高分解能な3次元探査は、活断層の分布性状把握のために極めて有効と考えられる。

4.2.3 洋上立地プロジェクト^{25), 26)}

近年注目を浴びている洋上風力発電に代表される洋上立地プロジェクトにおいては、各サイトにおける海底地盤構造の詳細な把握が必要不可欠である。

これまでのところ、プロジェクト規模があまり大きくないケースでは、地盤構造の概要把握のためには音波探査や2次元反射法探査で十分であったと言えるが、今後さらに大がかりなプロジェクトにおいて広範囲な海域を詳細に調査する場合には、P-Cable による高分解能な3次元探査が有効な手法となり得よう。

4.2.4 CCSプロジェクト^{27), 28)}

海域におけるCCS(二酸化炭素回収・貯留)プロジェクトにおいては、貯留層のモニタリング手法として、高精度な海上探査技術が求められており、P-Cable による高分解能探査技術が有効な手法となり得る。

今のところ、長期間の貯留層モニタリング手法とし

てはOBC(海底敷設型ケーブル)方式の地震計による探査が主に検討されてきているが、高分解能で軽量・小型、機動性に優れたP-Cable は、定期的な貯留層モニタリング手法としても活用できる可能性があり、さらには将来的に地層中のガス漏えい探知の目的でも有効性を発揮できる可能性がある。

4.3 日本国内への適用における課題

4.3.1 沿岸域での作業性

日本国内の沿岸部・浅海部においては、これまでのところ海上3次元探査が実施された例はほとんどない。これは、水深が浅くなると大型探査船の航行が難しくなる上に、特に沿岸部では種々の漁具が設置されるなど漁業活動が活発であることから、ストリーマーケーブルを長くまた広く曳航する3次元探査は実施困難であることが大きな理由である。

P-Cable による探査も漁業活動による制約を受けることには違いがないが、全体システムが格段に小型なため、制約を受ける範囲はずっと少なくすむ。いずれにしても、P-Cable の適用にあたっては、漁業活動の制約を含めた現場海域条件について予め十分検討しておく必要がある。

4.3.2 電波法

P-Cable システムにおいては、ストリーマーケーブルのポジショニングのために、要所にGPSを装着しており、基本的にそれらと探査船との通信は、Wi-Fiを用いた無線式で行う設計になっている。通信には、高速でノイズを受けにくく、かつ安定な方式が要求される。

また、各GPSと船上装置の距離は、最大で300 m程度となるため、出力の大きい通信機器を使用した。現状海外で用いられているWi-Fiは、欧米用の規格であるため出力が大き過ぎ、日本国内では電波法の空中線電力(上限10 mW)を超える仕様となっている。システム構築に当たっては、この制約をクリアする必要があり、現在検討中である。

5. あとがき

以上、P-Cable の特長、適用事例を紹介しながら、日本国内での探査への適用可能性について述べてきた。

P-Cable は、軽量・小型・高分解能という従来型の3次元探査システムにはない特長があることから、これまで3次元探査が試みられてこなかった沿岸域あるいは浅海域で適用できる可能性があり、さらには今後新規の分野においてもその適用が期待される。

一方では、日本国内での適用に当たっては、沿岸域における漁業活動や、電波法などによる制約があることも事実である。

今後は、こうした課題を克服しながら、P-Cable を用いた探査の適用拡大を図っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 海洋調査技術学会編(1993):海洋調査フロンティア—海を計測する—, 海洋調査技術学会, 304p.
- 2) 海洋調査技術学会編(2004):海洋調査フロンティア 海を計測する—増補版—, 海洋調査技術学会, 63-80.
- 3) 物理探査学会(2008):新版 物理探査適用の手引き, 土木物理探査マニュアル2008, 67-89.
- 4) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構:“海の資源・エネルギー「海洋資源のしおり」” <http://www.jogmec.go.jp/news/publish/docs/kaiyou_info.pdf>
- 5) Geometrics P-Cable Basic System Layout, <<http://www.geometricspcable.com/basicssystemlayout.html>>
- 6) Planke S., C. Berndt, J. Mienert, and S. Bunz (2009): P-Cable: High-Resolution 3D Seismic Acquisition Technology, INVEST 2009 workshop, University of Bremen.
- 7) Planke S., O. K. Eriksen, J. Mienert, S. Bunz, C. Berndt, J. E. Lie, and F. N. Eriksen (2010): P-cable High Resolution Seismic Imaging of Shallow Gas in the Barents Sea, 72nd EAGE Conference & Exhibition.
- 8) Petersen, C. J., S. Bunz, S. Hustoft, J. Mienert, and D. Klaeschen (2010): High-resolution P-Cable 3D seismic imaging of gas chimney structures in gas hydrated sediments of an Arctic sediment drift, *Marine and Petroleum Geology*, **27**, 1981-1994.
- 9) Eriksen O. K., C. Berndt, S. Buenz, F. N. Eriksen, and S. Planke (2011): Styles of Shallow Gas Migration and Accumulation on the Norwegian Continental Margin, 73rd EAGE Conference & Exhibition.
- 10) Plaza-Faverola, A., S. Bunz, and J. Mienert (2011): Repeated fluid expulsion through sub-seabed chimneys offshore Norway in response to glacial cycles, *Earth and Planetary Science Letters*, **305**, 297-308.
- 11) Eriksen O. K., C. Berndt, S. Buenz, F. N. Eriksen, and S. Planke (2012): Seismic Characteristics of Gas Migration Structures on North Atlantic Margin Imaged by High-resolution 3D Seismic (2012), 74th EAGE Conference & Exhibition.
- 12) Hustoft, S., S. Bunz, and J. Mienert (2010): Three-dimensional seismic analysis of the morphology and spatial distribution of chimneys beneath the Nyegga pockmark field, offshore mid-Norway, *Basin Research*, **22**, 465-480.
- 13) Crutchley G. J., C. Berndt, D. Klaeschen, and D. G. Masson (2011): Insights into active deformation in the Gulf of Cadiz from new 3-D seismic and high-resolution bathymetry data, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **12**, 1-20.
- 14) Geometrics, P-Cable Data Sheet, <http://www.geometrics.com/pub/seismic/DataSheets/p-cable_data_sheet.pdf>
- 15) Geometrics, P-Cable Literature and Papers, <<http://www.geometricspcable.com/nyegga.pdf>>
- 16) 海洋技術フォーラム編(2007):海を拓く, 海洋立国に向けたロードマップの提言, 13p.
- 17) 経済産業省(2009):海洋エネルギー・鉱物資源開発計画, 42p.
- 18) 文部科学省海洋開発分科会(2009):海洋鉱物資源の探査に関する技術開発のあり方について(中間とりまとめ), 29p.
- 19) 佐伯龍男, 稲盛隆穂, 長久保定雄, P. Ward, 浅川栄一(2009):佐渡南西沖のマウンド・ポックマーク群下の三次元地震波速度構造, 地学雑誌, **118**, 93-110.
- 20) 佐伯龍男, 稲盛隆穂, 高野修(2006):熊野海盆北縁部における三次元地震探査, 物理探査, **59**(3), 249-259.
- 21) 岡村行信(2008):海域における活断層調査—現状と課題—, 活断層研究, **28**, 31-39.
- 22) 活断層研究会(1991):新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 440p.
- 23) 徳山英一, 本座栄一, 木村政明, 倉本真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊藤康人, 徐垣, 日野亮太, 野原壮, 阿部寛信, 坂井真一, 向山健二郎(2001):日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, **13**, 27-53.
- 24) 産業技術総合研究所(2011):「平成22年度沿岸海域における活断層調査」報告書, 21p.
- 25) Federal Maritime and Hydrographic Agency (2008): Standard Ground Investigation for Offshore Wind Farms, 39p.
- 26) 石原孟(2011):洋上風力発電システム実証研究の現状と将来展望, 第41回海洋工学パネル, 11p.
- 27) 薛 自求, 中尾信典(2008):CO₂地中貯留—世界各国の技術動向と政策動向および日本の課題—, 地学雑誌, **117**, 4, 722-733.
- 28) 地球環境産業技術研究機構(2008):「CO₂地中貯留のための常設モニタリングシステム構築に必要な海底計測機器開発の基礎的研究」報告書, 73p.