

海洋深層水取水事業の展開

Deep-sea Water Suction Project

山口卓見*
Takumi Yamaguchi

井上哲夫*
Tetsuo Inoue

平川正夫*
Masao Hirakawa

安部 智*
Satoru Abe

石井健一*2
Kenichi Ishii

籠浦 徹*2
Toru Kagoura

藤原正信*3
Masanobu Fujiwara

概要 深層水取水事業において、古河電工は国内初の深層水取水施設が高知県室戸市に設置された昭和63年から現在まで、国内7箇所11本の深層水取水管を布設した実績をもつ。この間、取水管を初めとする材料構造設計及び工法の改善を積み重ね、管内径で最大280 mm、水深では最大680 m、条長では最大7200 mの製造及び施工が可能となった。

1. はじめに

今やブームを乗り越え、通常の生活に浸透してきた感さもある海洋深層水であるが、古河電工はその海洋深層水を汲み上げる取水管のトップシェアを維持している。

国内初の取水管を敷設してからすでに15年の年月が経過した。その間、取水管設計技術及びその施工技術について数々の改良を重ね発展を遂げてきた。

ここに、海洋深層水に関する説明と現在までの技術開発の成果を紹介する。

2. 海洋深層水について

科学的に厳密な定義はなされていないが、一般的に太陽光の届かない海水（概ね200 m以深）を「海洋深層水」として取り扱っている。

海洋深層水の特徴としては「低温安定性」・「富栄養性」・「清浄性」の3つが挙げられる。さらに現在では研究がすすみ、「熟成性」・「ミネラル特性」といった特性効果も見られ始めている。

これらの特性を利用し、海洋深層水は「新資源」としてさまざまな分野において活用が試みられている。

2.1 海洋深層水の利用分野

深層水取水管が利用されている主な分野は、水産分野、食料品分野、環境保全分野、健康・美容・医療分野、エネルギー・資源分野、農業分野など多岐にわたる。それぞれの分野が海洋深層水の特性を生かし研究・開発・実用化されている。

たとえば「富栄養性」については、水産分野では魚介類の増殖・養殖に、畜産分野では肉質の向上などへの効果が期待されている。

低温安定性を活かし、温暖な地域において寒冷地の魚介及び海藻類の育成、寒冷地あるいは高地野菜の栽培を行うなどの利用が試みられている他、発電所などの冷却水、海洋温度差発電などの可能性も検討・実施研究段階に入ってきている。

また、熟成性やミネラル特性を生かしたビール、シャンプー、スポーツドリンクなどは、既に市販品が販売されている。

図1に、計画あるいは実施されている各分野での利用形態を示す。

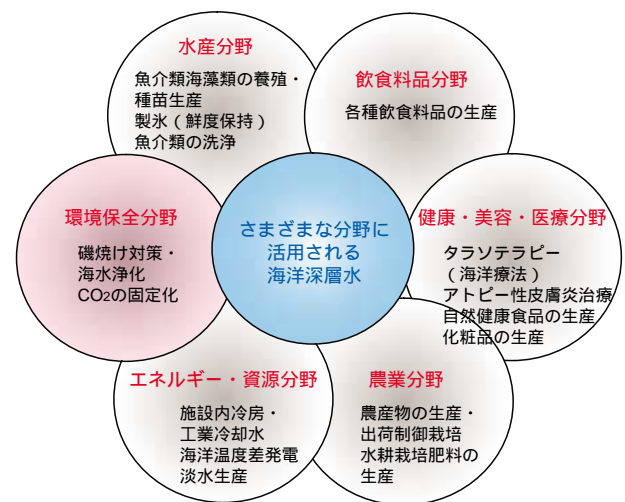


図1 海洋深層水の利用分野
Application areas of deep-sea water

* 電力事業部 電力エンジニアリング部

*2 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

*3 電力事業部 電力ケーブル製造部

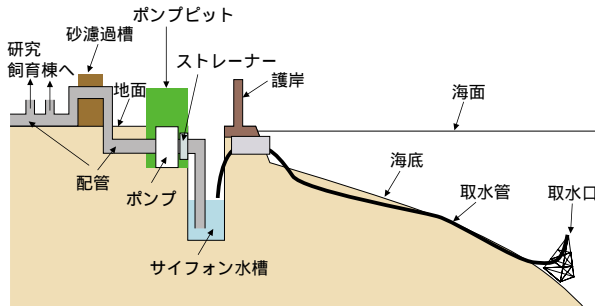


図2 深層水取水施設概要図
Schematic for deep-sea water suction plant

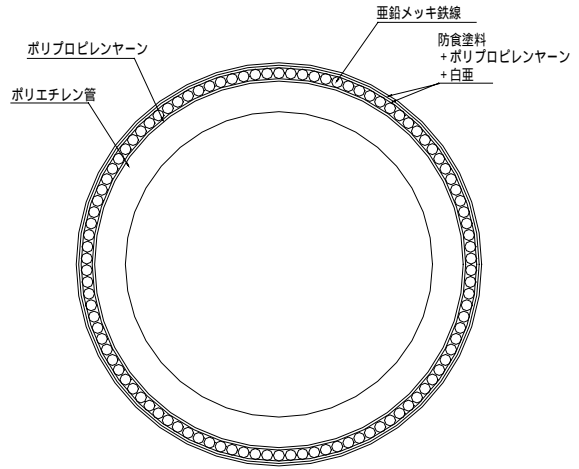


図3 取水管の一般構造図及び外観
Structure and appearance of deep-sea water suction pipe

3. 深層水取水システム

3.1 深層水取水設備概要

深層水取水設備は、取水管、取水口、海洋深層水を汲み上げ各利用箇所へ配水する陸上施設に大別される。図2に設備の概要を示す。

取水管は、目的水深から陸上施設まで海洋深層水を搬送する。

深層水取水管は、なるべく一連続で海底面の起伏になじみ、施工時に海面から海底まで懸垂した状態における張力に耐えるという性能が要求される。

取水口は、海底の砂や泥を吸い込まないように海底面より一定の高さを確保した構造となっている。

陸上施設は、サイフォン水槽（取水の一次水槽であり、サイフォン効果を維持するため海面より深い位置まで掘り下げて設置される）、ストレーナー（ゴミの除去）、ポンプ（汲み上げられた深層水を目的地へ送水する）、ろ過槽（使用目的にあわせ微細な砂などをろ過する）から構成されている。

3.2 深層水取水管

3.2.1 深層水取水管の一般構造

前述した要求性能を満たすための管としては、古河電工が昭和44年より納入してきた鉄線鎧装ポリエチレン管（海底送水管：アクアレックス）が適している。

深層水取水管の海中側は常時開放されており、また、サイフォンの原理を利用して取水しているため従来の送水管に比べ設計圧力は小さく設定することができる。そのため、従来の送水管は補強鋼帯をポリエチレン素管上に巻きつけ後鎧装鉄線を巻き付けているが、深層水取水管は、ポリエチレン素管の上に補強鋼帯を巻かずに、座床層を介して直接鎧装鉄線を巻き付けた構造としている。

図3に、取水管の一般構造図及び外観写真を示す。

3.2.2 大口径深層水取水管

海洋深層水利用が盛んになるにつれ、需要量が多くなり従来の口径では取水量が不足してきた。

複数の管を敷設し、取水量を増加させるには立地条件などの制約があり、また経済的にも非効率であるため、管の口径を大口径化させる事が最も効率的な方法であるとの結論に至った。

大口径化対応では、次の2点が問題となる。

施工上の問題：取水管の自重が重くなり、敷設時の張力保持が難しくなる、

製造上の問題：工場内設備の改造が必要となる。
この二つの問題を解決するために、ポリエチレン素管の薄肉化及び鎧装鉄線の軽量化を行った。

前述のように取水管は通常の送水管に比べ設計圧力を小さく設定することが可能であるため、ポリエチレン素管の外径はそのままにして肉厚を薄くすることで内径を大きくし、取水量の増加を達成した。

薄肉化により管の耐側圧性能の低下という問題が挙げられるが、後述に示すように施工時の側圧を考慮し、各敷設機材の設計開発を行い対応した。

取水管の自重はほとんどが鎧装鉄線の質量によるものだが、その鉄線の一部にポリエチレン被覆鉄線を施し軽量化を図った。

図4に、大口径取水管の一般構造図及び外観写真を示す。

3.2.3 軽量深層水取水管

海洋深層水の定義は概ね200 m以深と言われているが、取水地によってはその取水水深は700 m近くになる場合もある。

水深が深くなるということは、同時に敷設時の張力が増大するということである。3.2.2項においてもある程度の軽量化は行ったが、一歩進め、ポリエチレン被覆鉄線の代わりに比重の軽いPETロッドを使用することによりさらなる軽量化を行った。

図5に、軽量取水管の一般構造図及び外観写真を示す。

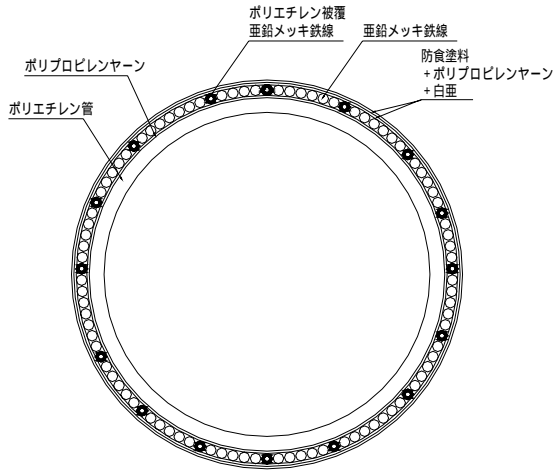


図4 大口径取水管の一般構造図及び外観
Structure and appearance of deep-sea water suction pipe with large diameter

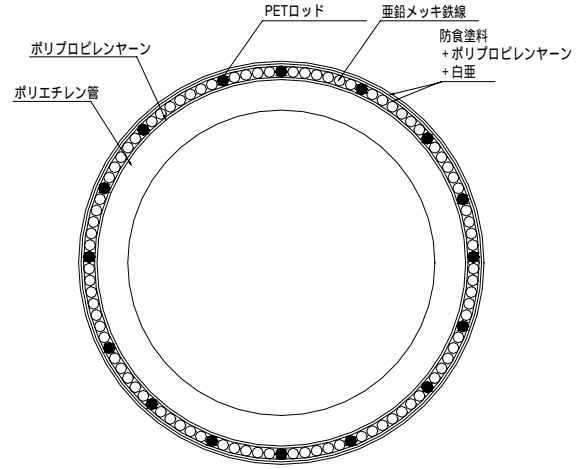


図5 軽量取水管の一般構造図及び外観
Structure and appearance of deep-sea water suction pipe of lightweight type

3.2.4 PE-100適用軽量深層水取水管

ポリエチレンの材質として、クリープ特性の良いPE-100という材料が水道用送水管の中で使用され始めている。PE-100がJISや水道協会の規格でも認知されてきたことに対応し、送水管と取水管の材料統一を図り、取水管にもPE-100を適用した。図6に外観写真を示す。

3.3 深層水取水口

海洋深層水の取り込み口である取水口は、設置後海底の砂や泥の侵入を防ぐフィルター交換などを行うにはその設置水深が深く莫大な費用と時間がかかるため基本的にはメンテナンスフリーでなくてはならない。

海底面の砂や泥の吸い込みを防止するために、取水口は取水管端部を海底面からある高さを保つための架台としての役割を担う。その構造は海底地形の状況に合わせ、六角錐型と三角錐型が適用されている。

六角錐型取水口（図7-1）は、設置部の海底傾斜が急な地形に適している。取水管端部は六角錐底面の中央に位置しており、取水口がどの面で着底した場合においても海底面からの取水高さが変わらないという特徴を持つ。

三角錐型取水口（図7-2）は、設置部の海底地質が浮泥などで取水管端部の位置に高さを要求される場合に適している。取水管端部は三角錐の頂点に位置しているため海底面からの高さは六角錐型より高く設置することが可能であるが、設置の際の姿勢制御には細心の注意を払わなくてはならない。



図6 PE-100適用取水管の外観
Appearance of deep-sea water suction pipe using PE-100

4. 取水管施工技術の変遷

4.1 深層水取水管敷設工法の概要

取水管は、台船上に巻き取られた状態で現地まで輸送される。陸上輸送の場合、ドラムでは取水管の許容曲げ半径が大きく巻き取ることが出来ないため、トラックに積載可能な短尺管での納入となる。短尺管では現地での中間接続個所が多く、施工期間が長くなるため、海象条件に左右され短期間で施工しなくてはならない海洋工事には適さない。

そのため、取水管は積載容量の大きい台船に一連続で巻き取られ現地まで輸送する形態がとられる。取水管を巻き取った台船は、そのまま現地まで回航し布設作業の際の布設台船となる。

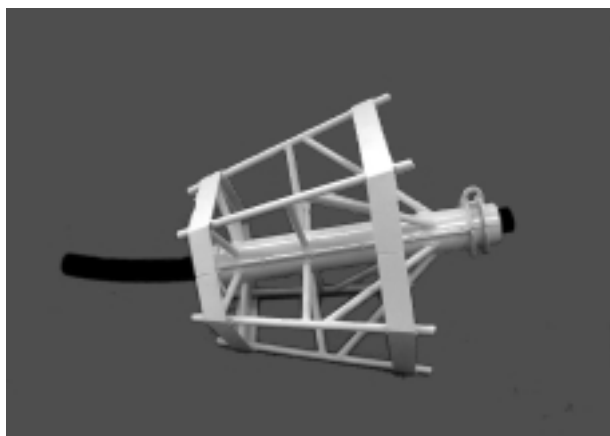


図7-1 六角錐型取水口
Hexangular pyramidal intake

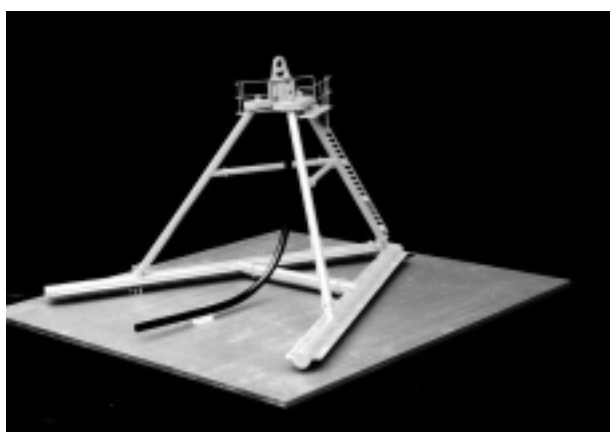


図7-2 三角錐型取水口
Triangular pyramidal intake

深層水取水管布設工法の手順を下記フローに示す。

- 陸揚げ（図8参照）
- 布設（図9参照）
- 取水口沈設（図10参照）

取水管を積み込んだ布設台船が可能な限り岸に近づき、取水管を徐々に海上に繰出し、チューブパイを取付けながら陸上まで引込む陸揚げ作業が最初に行われる。

陸揚げ作業完了後、台船を沖合いに進めながら、徐々に深層水取水管を海底に沈め布設する。

陸揚げ作業及び布設作業方法は従来の送水管及び海底ケーブルと同様である。

取水管の布設において、従来の送水管敷設との大きな違いは片端が海中に設置されるということである。

取水管先端に取水口を取り付け、沈設用ワイヤーを接続しウインチで取水口を沈設していく。

通常の送水管及び海底ケーブルの布設においては管の端部は目に見える場所で作業が行われるが、深層水取水管では先端は

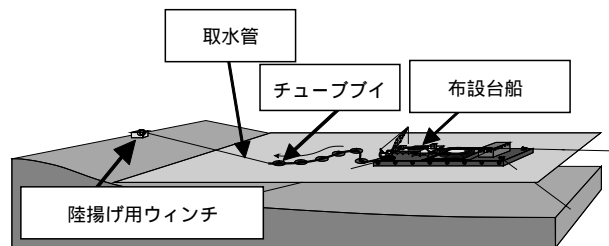


図8 深層水取水管陸揚げ作業概念図
Schematic illustration for landing of deep-sea water suction pipe

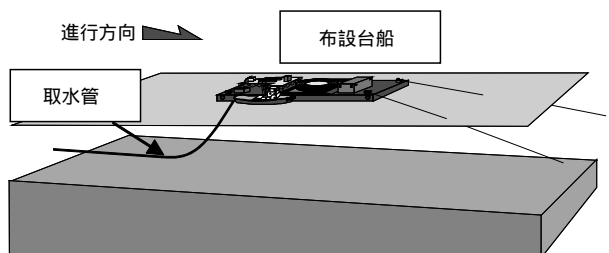


図9 深層水取水管布設作業概念図
Schematic illustration for laying of deep-sea water suction pipe

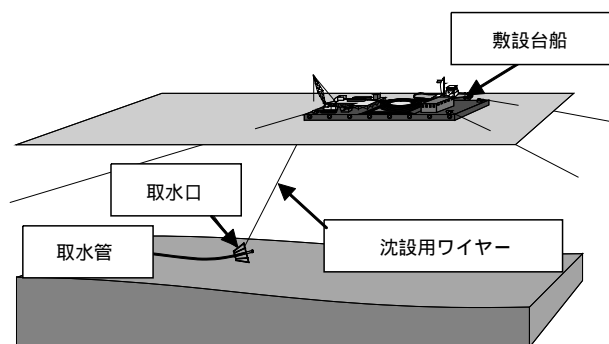


図10 取水口沈設作業概念図
Schematic illustration for sinking installation of deep-sea water intake

海中にあり目視で確認できない。海中カメラは、海中カメラの電源・制御ケーブルが沈設ワイヤーにからまる恐れがあるため使用できない。また、取水管とワイヤーという剛性の違う線状体を沈設させるため、懸垂形状を推測することも難しく、さらに取水口の姿勢制御も行わなくてはならない。

そこで、取水口の着底は水中トランスポンダ、ワイヤー張力、ワイヤー送り出し長さ、入水角などの計測データから、総合的に判断し、布設完了後に海中カメラで取水口の着底状況を目視確認することになる。

取水口沈設ワイヤーは音波信号により取水口に取り付けられた切り離し装置のフックを外し、切り離し装置とワイヤーを回収する。

4.2 取水管施工装置の開発

4.2.1 無限軌道式ブレーキ装置

取水管を海底に布設する際、取水管が一気に海底に滑り込まないように、船上で取水管を保持しながら布設していかなければならない。この取水管を保持する装置が無限軌道式ブレーキ装置である。

無限軌道式ブレーキ装置に要求される性能は、水深と取水管自重により決定される。

実際の施工においては、その現場に適した張力保持能力、圧着部形状、及び圧着長さを有する無限軌道式ブレーキ装置が選定される。

4.2.2 大型ターンテーブル

一連続で取水管を輸送するためには、ターンテーブルが不可欠である。

口径が小さく条長も短かければ、直接台船上にコイル状に巻き取ることも可能である。コイル状に巻き取る場合は、取水管に撚りがはいるため、より大きな許容曲げ半径が要求される。

近年の取水管の大口径化、長尺化に伴い、撚りが入らず曲げ半径を小さくとることが可能なターンテーブルによる積み込みが、現在では主流になっている。

古河電工ではいち早くターンテーブルの開発に着手し、自社製品のみならず他社製品の工事でも実施している。



図11 無限軌道式ブレーキ
Caterpillar brake

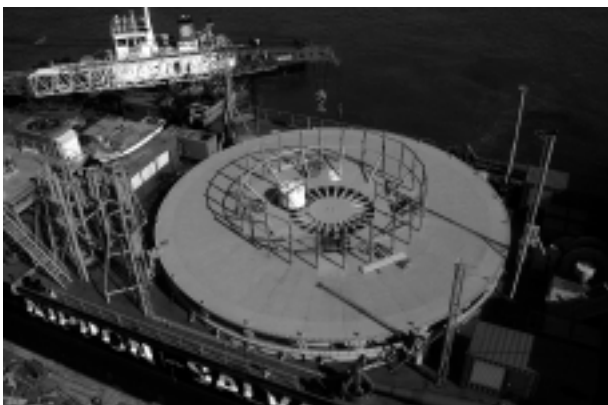


図12 ターンテーブル
Turntable

4.2.3 DPS搭載台船

従来の深層水取水管布設では、布設船を前方に進める方法として、前方に打設されたアンカーに結束したワイヤーを布設船上のウィンチで巻き締めることにより船を前方に進めるアンカーリング工法を採用していた。

この工法においては、およそ水深1000 m付近にアンカーを打設しなくてはならないこと、ルート保持及び定点保持が海象条件に左右されやすいこと、この2点が課題となる。

これらの問題を解決するため、ルート保持及び定点保持機能を持つDPSを搭載可能な布設台船を開発した。

DPSとは、ダイナミックポジショニングシステムの略称で、人工衛星を使用した位置測定装置(G.P.S.)と船を移動あるいは位置を保持するためのスラスター(プロペラ)を連動させ船の位置を制御するシステムである。

従来このシステムは貨物船などの航行装置として採用されているが、貨物船では船幅が狭く取水管を積み込むことができない。

そこで、深層水取水管を積み込み布設できるような船幅の広い台船にDPSを搭載した。

この台船は、深層水取水管のみならず、海底送水管や、海底電力ケーブル等の布設にも適用可能である。

台船の稼働はまだ始まったばかりであるが、実績を重ねるごとに改善・改良が進められ日々発展している。



図13 DPS搭載台船
Barge with a DPS on board



図14 DPS搭載台船コントロールスタンド
Control stand of the barge with a DPS on board



図15 スラスタ
Thruster boat

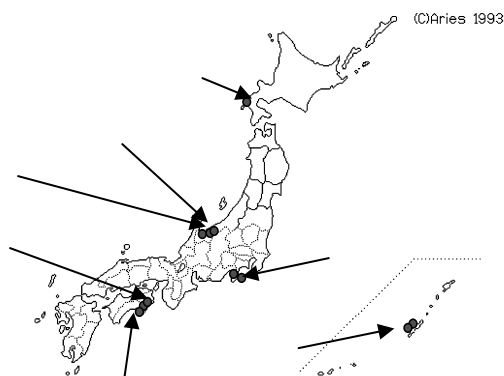


図16 深層水取水管の布設実績
Track records for installation of
deep-sea water suction pipe

5. 施工実績

深層水取水管は、北は北海道、南は沖縄まで国内7箇所に設置されているが、それぞれの設置場所ごとに特色が見られる。

北海道	熊石沖	アワビ種苗生産
富山県	入善町沖	海産物出荷調整，荷捌き洗浄水利用
富山県	滑川市沖	サクラマスの陸上飼育，海洋療法施設
静岡県	焼津市沖	水深の違う2層からの取水
高知県	高岡沖	事業専用深層水供給ターミナル設置
高知県	室戸岬沖	日本初の深層水取水施設
沖縄県	久米島沖	クルマエビの母エビ供給

6. おわりに

今後、海洋深層水の利用分野は、海域の肥沃化，温度差発電，発電所の冷却水など大量取水の傾向が進んでいる。

海洋深層水利用事業は、国内ばかりではなく海外からの引き合いもきており、ますます活発となる事業分野といえる。

また、海洋深層水事業を深海布設技術開発要素としてとらえると、開発された技術は海底電力ケーブルの深海布設などに水平展開されるなど、技術開発分野としての価値も高い。

海洋深層水事業に携わることにより、さらなる海洋深層水利用の発展，地域振興及び海洋工事技術の開発に貢献できれば幸いである。

最後に、開発にあたりご協力頂いた関係各位に感謝申し上げます。