

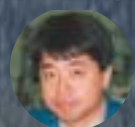
深海調査機器

深海の謎を解き明かす「深海調査システム」

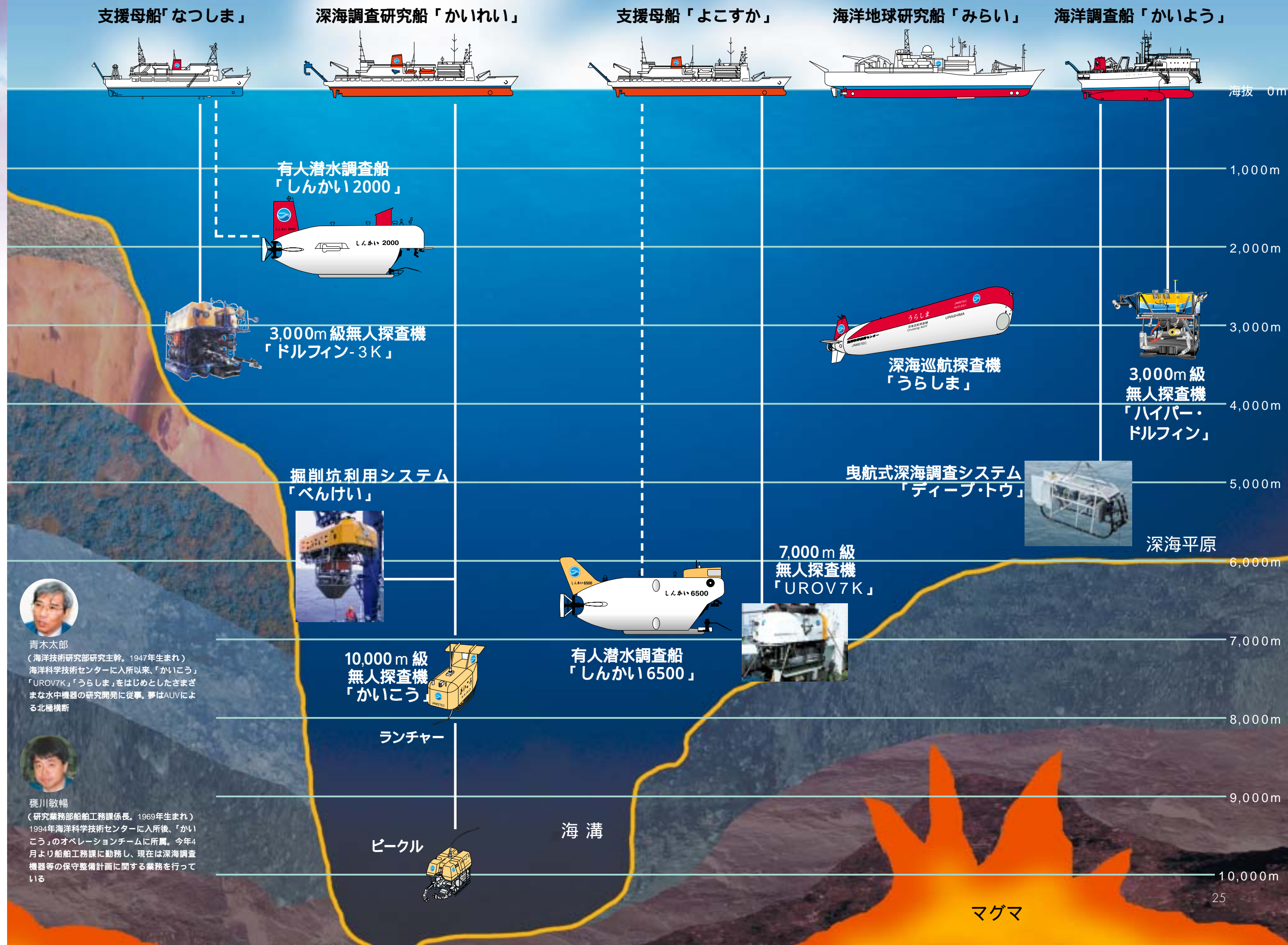
JAMSTECでは、これまでに深海域の研究でさまざまな新発見や非常に重要な成果を残してきた。これらの調査・研究に大きく貢献してきた「深海調査システム」について、開発や運航などを通して深く関わってきた二人のスペシャリストに解説してもらい、その特徴や実績に迫ってみた。



青木 太郎
(海洋技術研究部研究主幹。1947年生まれ)
海洋科学技術センターに入所以来、「かいこう」「UROV7K」「うらしま」をはじめとしたさまざまな水中機器の研究開発に従事。夢はAUVによる北極横断



梶川 敏暢
(研究業務部船舶工務課係長。1969年生まれ)
1994年海洋科学技術センターに入所後、「かいこう」のオペレーションチームに所属。今年4月より船舶工務課に勤務し、現在は深海調査機器等の保守整備計画に関する業務を行っている



ケーブルから解放され自動的に調査・観測を行う巡航探査機

深海巡航探査機「うらしま」



DETAIL 全長：約9.7m 全幅：約1.3m 高さ：約1.5m 空中重量：約7.5トン 最大使用深度：3,500m 水中速力：巡行 約3.0ノット/最大 約4.0ノット 電源：燃料電池+リチウムイオン2次電池(燃料電池は平成14年度より搭載) 観測装置等：音響画像装置(1台) スナップショットデジタルTVカメラ(1台)・ストロボ、サイドスキャンソナー(1台) 多点採水装置(1台) CTDQ(1台) カラーTVカメラ・水中ライト(1台)

3,500mの使用深度を誇る画期的な巡航探査機

平成10年度より建造に着手し、平成12年3月に建造を終えた「うらしま」の主な開発目的は、地球温暖化の原因と考えられる二酸化炭素の移動過程の解明で、この調査には地球上のさまざまな海域で多数の海水サンプルを効率的かつ自動的に採取することが不可欠です。この「うらしま」の開発により、過酷な自然環境下にある海域を含む、グローバルな気象・海象の調査・観測を行うことが可能となります。

未知なる海域の調査を自動的に行う

「うらしま」の最大の特徴は、無人機であるにもかかわらずケーブルがないことです。水中では電波が通らず、音波の通りも遅いため、従来の無人探査機は母船からケーブルでつながれて調査を行っています。しかし、この「うらしま」は、自律して潜航し調査・観測を行うことができます。自律航行を支援するために、深度計や高度ソナーといった航行計測器の他にも、慣性航法装置・音響ホーミングソナー・前方障害物回避用ソナー・速度検出器・姿勢角監視用検出器など、最新テクノロジーの結晶ともいえる自律航行制御装置が搭載されています。これにより、例えば北極の氷塊下や海底火山など、ケーブル式の無人探査機や、有人調査船では不可能であった海域の調査を行うことができるようになります。

現在(平成13年5月)「うらしま」は、5kmの航続距離と1,753mの潜水に成功しています。4年後の実用に向けて10kmの航続と3,500mの深度達成のための試験を継続中です。将来的には航続距離が、2号機あるいは3号機で北極の海底調査が可能となる5,000kmの航続をめざします。



4年後の実用に向け、海上でさまざまな性能試験・検査を実施中。ケーブル切り離し、取り付け作業はダイバーによって行われます



支援母船のオペレーション室で、「うらしま」の潜航状態をチェック。ケーブルでつながれていない分、重要度の増す作業です

支援母船上には巨大なクレーンが装備されている。「うらしま」は空中重量7.5トンという巨体だけに、作業は慎重に行われます



超細径の光ファイバーケーブル利用で飛躍的なコンパクト化を実現

7,000m級無人探査機「UROV7K」



DETAIL 全長：約2.8m 全幅：約1.8m 高さ：約2.0m 空中重量：約2.7トン 最大使用深度：約7,000m 電源：リチウムイオン2次電池108V60Ah(油漬均圧型) 推進機：直流ブラシレス油漬モータ 800W(4基)[内訳：水平スラスト(前後進用)2基、垂直スラスト(上下用)2基] 観測装置等：広角カラーTVカメラ(2台) 白黒TVカメラ、高度計、方位計、リングレーザージャイロ、前方障害物探査ソナー、3-CCDカラーTVカメラ、スチルカメラ、ストロボ、深度計、フラッシュ、音響トランスポンダ、マニピュレータ(1基)

「UROV7K」上部で、潜行前のチェックを行うスタッフ。来年早々の実用化に向け試験・検査が急ピッチで進められています



コンパクトなボディには、観測装置をはじめ、最先端技術がぎっしり。他の無人探査機と違い、バッテリーを搭載しています



支援母船上のオペレーション室で、モニターを通して潜航をチェック。実際に深海にいるような臨場感のある映像が送られてきます



10年前より、システムのコンパクト化に着手

「ドルフィン-3K」や「かいこう」など、JAMSTECが所有する他の無人探査機と「UROV7K」が最も異なるのは、直径約1mmという超細径の光ファイバーケーブルを使っている点にあります。

例えば「かいこう」で使用されるケーブルは45mmの太さがあり、長さ12,000mのケーブルを納めるためには、重さ40トンという巨大なドラム(糸巻き)が必要となります。当然、支援母船には、それだけの船上装置を搭載できる大型船が必要になります。

世界最高峰の光ファイバー技術導入に成功

JAMSTECでは15年ほど前より、よりスマートでコンパクトなシステムを持つ無人探査機の開発をめざし、さまざまな技術についての研究を行ってきました。そこで着目したのが「光ファイバー」技術の導入です。光ファイバーとその周辺技術は日本の独壇場で、開発チームはこの世界最高峰の技術力に支えられて開発を進めていきました。そして15年間という研究・試験の結果、直径約1mmのケーブルだけでつながれた7,000m級の無人探査機が完成したのです。

開発当初の目標通りに光ファイバー10,000mを巻いたドラム(光ファイバースプール)は、直径20cm、長さ1m程度とコンパクトになりました。「UROV7K」はこのドラムに巻いた光ファイバーを繰り出しなが潜行していきます。現在「UROV7K」は2,000mの深度試験に成功し、今年夏までに6,000～7,000mをめざします。その後は、主に深海に設置する係留システムの監視と深海底の調査を目的とした実用化が期待されています。

地球上の最深部到達を実現した記念碑的無人探査機

10,000m級無人探査機「かいこう」



地球上の最深点まで潜航可能な、世界最高峰の無人探査機

DETA

ランチャー

全長：5.2m 全幅：2.6m
高さ：3.2m 空中重量：5.3トン
最大潜航深度：11,000m
曳航速度：1.5ノット以下
観測装置等：CTD(1台) サイドスキャンソナー(1組) サブボトムプロファイラ(1台) 結合監視用白黒TVカメラ(1台) 二次ケーブル監視用、白黒TVカメラ(1台)

ピークル

全長：3.1m 全幅：2.0m
高さ：2.3m 空中重量：5.6トン
最大潜航深度：11,000m
ペイロード：150kg(空中重量)
水中速力/前進：2.0ノット/後進：約1.0ノット/上昇下降：約1.0ノット
観測装置等：放送局級カラーTVカメラ(1台) CCDカラーカメラ(3台) 後方白黒TVカメラ(1台) 35mmスチールカメラ(1台) 照明灯、航海装置等
作業機器：マニピュレータ(7自由度 2基)
一次ケーブル 45mm×12,000m
二次ケーブル 29.5mm×250m



「かいこう」の潜航部分となるランチャーとピークル

母船への揚収作業中。潜航部分はもとより、母船上の装置も巨大で、ケーブル巻き取り用のドラムだけでも40トンという大きさ



海溝域での地球科学研究や深海生物・微生物などの研究に貢献

マリアナ海溝チャレンジャー海淵水深 10,911m。1994 年、「かいこう」は先進的な観測機器を搭載した無人探査機として初めて地球上の最深点に達しました。

「かいこう」は、11,000 mといった大深度の調査潜航を実現するため、ピークルと母船の間に、ピークルの発着のための安定したプラットフォームであるランチャーを組み込んだ中間ランチャー方式が選択されています。この方式を採用したことによって、ピークルで深海の調査を行うと同時に、ランチャーの音響調査機器によって広域の地形調査等を行うことが可能になりました。

6,500 mよりも深い海で、テレビカメラによる即時観察、スチールカメラによる写真撮影、音響機器による障害物監視および測位、マニピュレータなどによる作業、各種追加計測機器による計測など、研究者のマターを確実かつ安全にこなす無人探査機は、世界中に「かいこう」だけしかありません。

驚異的な使用深度が、重要な研究成果と数々の新発見をもたらす

「かいこう」の卓越した性能は、マリアナ海溝において世界で初めて端脚類(ヨコエビ; 約4.5cm)の採集に成功したのをはじめ、同じマリアナ海溝の海底で、現場環境の1,000気圧でも生育する超絶対好圧性菌や、有用酵素の蛋白質分解酵素の発見など、非常に重要な研究成果をもたらしています。特に去年8月、JAMSTECの日本チームが世界に先駆けて達成したインド洋での快挙「熱水噴出孔生物群集の発見」は、「かいこう」のポテンシャルを世界中に知らしめる結果となりました。今後も、世界中のさまざまな海域での調査を行い、深海に潜む神秘の解明に、大いに貢献していくことが期待されています。

数々の新発見など、深海研究に大きく貢献

有人潜水調査船「しんかい6500」

日本の深海研究推進に大きな役割を担う

「しんかい6500」は、日本が世界に誇る有人の潜水調査船として1989年に誕生しました。1999年には、6,500m級の調査船としては驚異的な500回の潜航を達成し、その後も順調に潜航記録を更新し続けています。

「しんかい6500」は、地震や津波・火山活動・地滑り等による生々しい地殻変動の跡や、ガスハイドレートの実験・熱水噴出孔生物群集・鯨骨に群がる新しい生物群集の発見など、深海で発生しているさまざまな変動現象や、深海生物に関する数多くの新発見をし、日本の深海研究を推進するうえで大きな役割を担ってきました。建造後10年以上を経た今も、その安全性と効率の良い運航体制で、海洋研究者の期待に応える活躍を続けています。

DETA

全長：9.5m 全幅：2.7m 高さ：3.2m 空中重量：25.8トン
最大潜航深度：6,500m 乗員数：3名(パイロット2名、研究者1名) 耐圧殻内径：2.0m 通常潜航時間(潜航開始から浮上まで)：8時間 ライフサポート時間：129時間 ペイロード：200kg(空中重量) 最大速力：2.5ノット 観測装置等：CCDカラーTVカメラ(2台) CTDV(塩分・水温・深度・音速測定1台) スチールカメラ(1台) 海水温度計(1台) その他航海装置等 作業機器：マニピュレータ(7自由度 2基) 可動式サンプルバスケッ(2台)



日本初の本格的な有人深海底調査船

有人潜水調査船「しんかい2000」

1981年の完成以来、数多くの調査潜航を実施

2,000mの深度まで潜ることのできる日本初の本格的な潜水調査船「しんかい2000」は、1981年の完成以来、駿河湾や南西諸島近海など日本周辺海域で数多くの調査潜航を実施し、数多くの成果を挙げてきました。

特に、深海底から数百の熱水が噴き出している熱水噴出孔の発見をはじめ、高圧・低温のために液状化したガスハイドレイト、光合成に依存しない生態系であるチューブワームやシロウリガイのコロニーなどの発見は、深海研究に大きな飛躍を与えてきました。

さらに、このシステムの開発成果は、「しんかい6500」より大深度の潜水調査船の建造や、音響機器などの深海用機器の開発にも大きく貢献しています。

DETA

全長：9.3m 全幅：3.0m 高さ：2.9m 空中重量：23.2トン
最大潜航深度：2,000m 乗員数：3名(パイロット2名、研究者1名) 耐圧殻内径：2.2m 通常潜航時間(潜航開始から浮上まで)：6時間 ライフサポート時間：80時間以上 ペイロード：100kg(空中重量) 水中速力：最大3.0ノット 観測装置等：CCDカラーTVカメラ(1台) スーパーハープカラーTVカメラ(1台) 流向流速計(サーボニアスローター/ペーン式1台) STD(塩分・水温・深度測定1台) ステレオスチールカメラ(1台) その他航海装置等 作業機器：マニピュレータ(6自由度 1基)



H2 ロケットやナホトカ号の海底搜索で活躍

曳航式深海調査システム「ディープ・トウ」



調査目的ごとに3タイプのシステムを使い分けることが可能です



使用深度とシステムの異なる3機種のラインアップ

深海調査、中深層生物調査、潜水船や無人探査機による潜航調査の事前調査、人工物の探索や観測機器類の設置作業などを目的として開発された「ディープ・トウ」は、カメラシステム(4,000 m級と6,000 m級)とソーナーシステム(4,000 m級)という、3つのタイプ、2つのシステムがあります。

無人探査機と、この「ディープ・トウ」の最大の相異点は、推進装置の有無にあり、この「ディープ・トウ」は母船によって曳航され、自ら水中では動くことができません。「ディープ・トウ」の主な使用目的が「広域の深海調査」であるために、このような方式が採用されているのです。このような方式には、システムをシンプルにすることができると、運行させるための経費を大幅にカットすることが可能である、というメリットもあります。

広い海域における探査・海底搜索に威力を発揮

広範囲の探査を担う「ディープ・トウ」には、輝かしい実績も少なくありません。1999年夏に打ち上げに失敗した国産H2ロケットのエンジン部分を太平洋の広大な海域で搜索し、3,000 m近い海底から発見することに成功したのをはじめ、ナホトカ号沈没地点付近の海底状況調査や海底搜索など、スポット的に発生するミッションにおいて、大きな実績を残しています。

1979年に運用がスタートした「ディープ・トウ」は、JAMSTECの深海調査の歴史とともに歩んできた重要な深海調査システムで、今なお広大な深海域で活躍を続けています。

DETA

4KC / 4,000 m級(6,000 m級)深海曳航カメラシステム 以下()内は6,000 m級のデータ

特徴：海底の画像をリアルタイムで観測可能 / カメラの観測幅は5 m程度(海底上5 mを曳航する場合) / 支援装置類が少なく、各船で使用可能(6,000 m級) / 光伝送システムを採用しており、画像データの質が良い / オプション追加可能

全長：3.5 m **全幅**：1.0 m **高さ**：1.5 m **空中重量**：1 t(1 t) **水中重量**：700 kg(850 kg) **最大使用深度**：4,000 m(6,000 m) **通常曳航速度**：~1 ノット

搭載機器：スーパーハープ・カメラ(最大3台搭載可能)、水中ライト4台(8台)、ステレオスチールカメラ、CTDプロファイラー、高度計、切り離し装置2台、音響トランスポンダー

支援装置類：4,000 m級同軸ケーブルウィンチ(8,000 m級光電複合ケーブル用ストックドラム)(トラクションウィンチ) 油圧源ユニット、ジンバルシーブ、カメラ、ウィンチ制御コンテナ(2台)

4KS / 4,000 m級深海曳航ソーナーシステム

特徴：シービームより詳細な海底地形、および海底表面の詳細な形状や音響的に捕らえた底質分布がわかる。片舷2,500 mレンジで数mの物体を判別することも可能(周辺条件による)

全長：3.3 m **全幅**：1.5 m **高さ**：1.2 m **空中重量**：1.35 t **水中重量**：760 kg **最大使用深度**：4,000 m **通常曳航速度**：1~2 ノット

搭載機器：サイドスキャンソーナー(右舷周波数：42 kHz 左舷周波数：38 kHz 側方探査能力：片舷250~2,500 m)、サブボトムプロファイラー(周波数：60 kHz)、高度計、CTDプロファイラー、音響トランスポンダー

支援装置類：4,000 m級同軸ケーブルウィンチ、油圧源ユニット、ジンバルシーブ、ウィンチ制御コンテナ、ソーナー制御コンテナ



支援母船から海中に入れられ、このまま曳航されます。広い範囲の調査・探索に最適です

推進器や作業機器がないため、他の無人探査機に比べるとシンプルさの目立つボディ



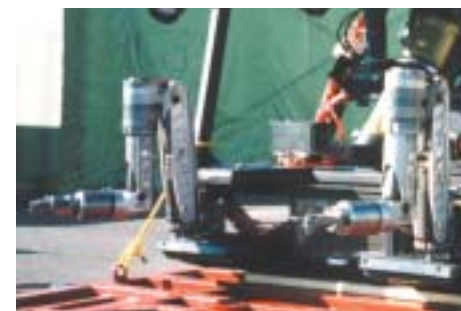
無人探査機の映像に革命をもたらす超高画質ハイビジョンカメラを搭載

3,000 m級無人探査機「ハイパードルフィン」



DETA

全長：3.0 m **全幅**：2.0 m **高さ**：2.3 m **空中重量**：約3.8 t **最大潜航深度**：3,000 m **ペイロード**：100 kg(空中重量) **推進方式**：スラスター方式(6基) **観測装置等**：マニピュレータ(2基) **ハイビジョンカメラ** **カラーCCDテレビカメラ** **デジタルスチールカメラ** **後方監視テレビカメラ** **レスポンド** **照明灯**(メタルハライド5灯、ハロゲンライト1灯) **可動式ライトブーム**(左右) **アンビリカルケーブル**3,300 m **深度計**、**高度計** **障害物探知ソーナー** **55.9 kW電動油圧モータ** **作業機器**：マニピュレータ(7自由度1基) **グラブ**5自由度1基)



重作業が行える高性能のマニピュレータを搭載。映像による観察だけでなく設置作業にも対応します



マニピュレータの間に見える筒状のものがハイビジョンカメラ。高解像度の映像が撮影可能です

最新のコンピュータ技術が取り入れられた探査機



最新機能満載の進化型無人探査機

本年度より本格的運用が開始された「ハイパードルフィン」は、さまざまな最先端の機能を搭載していますが、最大の特徴は超高画質のハイビジョンカメラを搭載している点にあります。

無人探査機のパイロットや研究者が正確な操作を行い、つぶさに深海の様子を観察するためには、映像の鮮明度が非常に重要な役割を担ってきます。特に生物観察の分野では、小さな生物のヒゲ1本の多寡や、模様の微妙な変化が観察結果を大きく左右します。このような生物観察をはじめ、観察を中心とした調査に、「ハイパードルフィン」が、大きく貢献することが期待されています。

あらゆる角度からの撮影が可能なハイビジョンカメラ

テレビ放送局の映像にも匹敵するハイビジョンテレビカメラは、ピークル前方上部にある可動式ライトブームに取り付けられた水中投光器によって、あらゆる角度から鮮明な映像を撮影することが可能です。一方で、支援母船上の操作コンテナ内には6台の大型テレビモニタが設置されていて、重大な発見のわずかなチャンスも見逃さないための万全の設備が整えられています。

さらに、油圧モータで駆動する6基のスラスター(推進装置)と、効率的に重作業の行えるマニピュレータ(作業用アーム)を2基備えていて、深海での観察だけでなく観測機器の設置・回収作業などにも対応することができます。また、水中で約100 kgのペイロード搭載能力に加え、前部には格納式サンプルバスケットを備えていて、深海から生物や岩石、その他の試料を確実に洋上まで持ち運ぶこともでき、あらゆる研究において活躍することが期待されています。

さまざまな深海調査に貢献してきた日本初の大深度用無人探査機

3,000 m級無人探査機「ドルフィン - 3 K」



DETA

全長：3.0m
全幅：2.0m
高さ：2.0m
空中重量：3.7トン
最大潜航深度：3,300m
ペイロード：150kg（空中重量）
水中速力：前進 3.0ノット／横進1.5ノット／後進2.0ノット／上昇下降 約1.0ノット
観測装置等：放送局級カラーTVカメラ（1台）スーパーハープカラーTVカメラ（1台）後方白黒TVカメラ（1台）35mmスチールカメラ（1台）地中温度計（1台）照明灯、航海装置等
作業機器：マニピュレータ7自由度（1基）グラブ（5自由度（1基））
ケーブル：光・電力複合ケーブル、30mm x 5,000m



1987年の開発当時としては、画期的な機能と性能を満載し、現在も幅広い海域で活躍中です



高い性能を発揮するマニピュレータでの採取作業。各種観測器設置作業も行えます



「ドルフィン - 3K」の潜航速度は1ノット。約1時間で3,000mの深海へ到達します

「しんかい2000」の事前調査や周辺海域調査で活躍

JAMSTECでは、深海潜水調査船「しんかい2000」を使用して世界のさまざまな深海域の調査を行い、熱水鉱床の発見など数々の成果を挙げてきました。「ドルフィン - 3K」は、この「しんかい2000」による深海域調査を、より安全かつ効率的に行うことを主たる目的として、1987年に開発された日本初となる大深度用の無人探査機です。また、「ドルフィン - 3K」は、有人潜水船の潜航地点の事前調査や周辺海域の調査の他にも、「しんかい2000」などの有人潜水船では危険と考えられる複雑な地形海域の調査や、有人潜水船の救難という運用使命を持っています。

世界中の深海域調査で、新発見に大きく貢献

大深度の調査を可能にした、日本の大型無人探査機の元祖ともいえるこの「ドルフィン - 3K」には、自動操縦を含む優れた操縦性能、高品質カラーテレビカメラやマニピュレータなどによる優れた調査・作業能力、高速大容量デジタル光通信採用による高度の情報伝達能力など、開発から15年近く経った現在でも十分な調査能力を誇っています。海底地質（鉱物資源・熱水・地形・地質調査）・深海生物資源（中深層～深海底生物調査）・海洋構造物の状況・海洋物理・物理データの鉛直分布・海底の物理・環境調査・海底地質など、広範囲な研究に不可欠な探査機として活躍してきました。

JAMSTEC は、世界中のさまざまな深海域で調査を行い、これまでに知られていなかった種々の現象を発見し、深海域がきわめて変化に富む世界であることを明らかにしてきました。その調査・研究に大きく貢献してきたのが「ドルフィン - 3K」なのです。

深海底に開けられた掘削孔を利用するユニークな調査システム

掘削孔利用システム「べんけい」



DETA

全長：2.3m（ステーション）／5m（ビークル） 全幅：2.3m（ステーション）／2.6m（ビークル） 高さ：2.8m（ステーション）／2m（ビークル） 空中重量：3.6トン（ステーション）／4.8トン（ビークル） 最大使用水深：6,000m
細径光ファイバーケーブル長：3,000m+3,000m センサーケーブル長：1,000m センサー部ペイロード：300kg ステーション電池容量：120V145A



海底孔内に設置するためのセンサーを水中に入れる作業を行っているところです。（写真下）
センサーは孔内深度1,000mまでの計測が行えます。また、センサーを孔内に降ろした後、ビークルと観測ステーション間は細径光ファイバーケーブルでつながれ、船上とリアルタイムで通信を行うことができます



「掘削孔」は海底下深部を覗く有用な「窓」

世界各地の深海底には、深海底の堆積物や岩石を採取する科学調査目的で開けられた掘削孔が数多く存在します。この掘削孔は科学的に大きな価値があります。例えば、この掘削孔内に地震計を設置できれば、これまでにないほど震源地に接近しての観測が可能になるため、地震の詳細なメカニズムを調査・解明できます。このように、地球の深部を調べるうえで価値のある掘削孔を利用し、そこに観測装置を設置する目的で開発されたのが「べんけい」です。

観測装置を海底上の正確な位置にスムーズ設置・回収

「べんけい」は、掘削孔内に吊り降ろされるセンサー、そのプラットフォームとなる観測ステーション、ステーションを運搬・設置・回収するビークル、およびこれらを制御・監視する船上システムから構成されています。重量級の観測装置を海底上の正確な位置に誘導し、スムーズに設置と回収が行える点がこのシステムの大きな特徴で、最大稼働水深は6,000m、さらに孔内深度1,000mまでの計測を行うことができます。各種の操作試験も終わり、現在は慣熟訓練を行っています。平成17年の掘削船完成までは、これまで開けられてきた掘削孔を後利用した調査がメインとなります。

今後は、高精度な孔内地震観測をはじめ、地球内部熱構造解明のための熱学的観測、地球規模の物質循環解明のための孔内流体サンプリングなどを目的とした観測システム（ステーションおよびセンサー）を開発していく計画です。このシステムの完成によって、海底および地球内部を対象としたさまざまな地球科学研究の発展に大いに貢献していくことが期待されています。

ビークル・観測ステーション・センサーで構成される「べんけい」。6,000mの深海底に穿かれた孔内に、正確にセンサーを吊り降ろすことができます

