

今後の深海探査システムの在り方について

令和6年8月
科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

目次

<はじめに>	1
I. 我が国における深海探査システムの現状と課題	4
1. 深海探査の状況と課題	4
(1) 深海大国日本における深海探査の重要性	4
(2) ROV や AUV の大深度化・高効率化の後れ	4
(3) 日本で最深度まで潜航できる HOV の老朽化	4
(4) 人材の育成・確保	4
2. 深海探査システムにおける国内外の状況と課題	5
(1) HOV (Human Occupied Vehicle : 有人潜水調査船)	5
(2) ROV (Remotely Operated Vehicle : 遠隔操作型無人探査機)	5
(3) AUV (Autonomous Underwater Vehicle : 自律型無人探査機)	6
(4) 探査機の運用システム等について	6
3. 各分野の研究開発動向と研究に必要な深海探査システムの能力について	8
(1) 海底地質学	8
(2) 地球生命科学	9
(3) 海底鉱物資源	9
(4) 地震・防災	10
(5) 分野横断型の調査研究	10
(6) まとめ	10
II. 今後の深海探査システムの在り方について	11
1. 今後の方向性	11
(1) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化	12
(2) 新たな大深度無人探査機の開発	13
(3) 母船を含めた新たな大深度探査システムの構築	14
(4) その他	15
2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応	15

＜はじめに＞

我が国は、四方を海に囲まれ、排他的経済水域（EEZ）の面積は世界で第6位であり、その海域は多様性に富み、様々な面で国民の社会経済活動に深く関わっている。また、我が国は四つのプレート境界に位置し、周辺には千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフ、南西諸島海溝等の海溝が存在しており、EEZの面積の約半分が水深4,000m以深の海域であることに加え、水深5,000m以深の体積は世界1位であり、世界有数の深海フィールドを有している。

第4期海洋基本計画¹に掲げられた「総合的な海洋の安全保障」と「持続可能な海洋の構築」を実現するためには、自国のEEZの状況を正確かつ効率的に把握し、利活用することが大前提であり、EEZの面積の約半分を占める水深4,000m以深の探査能力を維持・強化することは不可欠である。また、2023年12月には、総合海洋政策本部において、総合的な海洋の安全保障上も海洋に関する情報収集体制を強化することの重要性が指摘されている²。加えて、2022年8月には、海洋開発分科会において、広くかつ深い海洋を包括的な理解に向けて、海洋調査データを格段に増やす必要があることから、海洋観測フロート、海底設置型観測機器、係留系観測機器、探査機³等を用いた海洋調査観測の拡充を図るとともに、技術の改良・高度化を進めることの重要性が指摘されているところである⁴。

そもそも深海は、海底地質や生態系の調査を通じた環境変動等の解明、多様な鉱物・生物資源の特徴把握、海洋プラスチック汚染等の環境影響モニタリング、海溝型地震発生・海底火山活動のメカニズム等の解明に不可欠なフィールドであり、その探査の意義は極めて大きく、日本はもちろん、世界各国が精力的に探査を行なっている。

具体的には、深海域・海溝の探査により、大規模地震・火山噴火の発生域における変動現象を把握するための観測データの充実や、過去の地震・噴火現象の痕跡の詳細な観察による現象の実態解明により、日本周辺における大規模地震・火山噴火の発生時期や規模、発生シナリオの予測等を行うことが可能となり、自然災害の多い我が国における防災・減災に関する研究開発の進展にも繋がる。

また、資源に乏しい我が国において、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラスト等の海底鉱物資源は数少ない金属資源であり、その採掘可能性等の追究とともに、鉱床の形成過程等の解明が期待されている。

さらに、日本近海の深海の堆積物から、原核生物から真核生物の進化の鍵とされる古細菌の分離・培養の成功といった世界的にインパクトの大きい成果がもたらされており、未知の生物を発見しその機能を解明することで、化学、工学及び医療等における新物質の活用等の発展が期待されている。

加えて、海洋プラスチック汚染については、近年、日本近海の深海平原（一般に水深3,500mから6,500mの範囲に広がる平坦な海底）において、プラスチックごみ集積の実態解明や、生分解性プラスチックの実験的検証等が進んでおり、地球規模課題の解決に向け大きな期待が寄せられている。

そのほかにも、深海は未知の領域であることから、新たな分野横断的学際研究の展開や、新しい学問領域の創生に繋がるポテンシャルを秘めている。

¹ 「第4期海洋基本計画」（令和5年4月28日閣議決定）

² 「我が国の海洋状況把握（MDA）構想」（令和5年12月22日総合海洋政策本部決定）

³ ここでは、有人潜水調査船（HOV）、遠隔操作型無人探査機（ROV）、自律型無人探査機（AUV）を指す。

⁴ 「今後の科学技術の在り方について（提言）～国連海洋科学の10年、関連する主な基本計画を踏まえ～」（令和4年8月30日科学技術・学術審議会海洋開発分科会決定）

このような深海に関わる研究開発等を行うため、我が国では HOV（有人潜水調査船）、ROV（遠隔操作型無人探査機）、AUV（自律型無人探査機）の3種類、それぞれ特徴の異なる探査機を活用している。各探査機の特徴的な機能や能力、調査研究での使用については次頁【現状の深海探査を担う各探査機の特徴（参考1参照）】を参照のこと。

1990年代には世界初・唯一の深度11,000m級を調査できる無人探査機（ROV「かいこう」）を保有し、世界最高の深海探査能力を有していたが、2003年に「かいこう」の一部（ビークル部分）を亡失して以降、水深6,000m以深での調査・作業が可能な探査機はHOV「しんかい6500」を保有するのみである。ここで、現在、我が国が保有している深度3,500m級の航行型AUV「うらしま」を深度8,000m級の航行型AUVとする改造を行っており、再び深い深度への探査能力を有することとなる。しかしながら、航行型AUVは、その探査機としての機能的特徴から、HOVやROVが得意とする試料採取などの調査・作業を代替することは困難である。本格的な調査・作業を行うことができるAUVが現存しない今、深海において個別の調査・作業を行うためにはHOVまたはROVが必要であるものの、我が国が保有している水深6,000m以深での調査・作業が可能な探査機は、「しんかい6500」のみという状況である。さらに、その「しんかい6500」も老朽化が進むなか、海外では深海探査能力が向上し、市販の無人探査機で水深6,000m級の探査を行うことが可能であることから、かつて世界一だった我が国の深海探査能力が他国から後れを取っていることは否めない。

特に、老朽化が深刻な「しんかい6500」の運用が停止すると、調査・作業できる水深は6,500mから4,500mまで大きく後退し、これまで「しんかい6500」が調査・作業を担ってきた様々な探査が不可能となり、これまで培われてきた多くの深海研究等が途絶えてしまう。

また「しんかい6500」に相当するHOVの新規開発や「しんかい6500」と同等の耐圧殻の製作は、後述のとおり技術的な面などから容易ではないため、「しんかい6500」の運用が停止する前に、今後の深海探査の在り方について検討し、可能な限り速やかに対策を行う必要がある、そのタイムリミットは間近に迫ってきている。

以上より、我が国の深海域における探査能力の維持・強化は急務であり、我が国の深海域における探査能力の維持・強化を行うために必要な研究開発及びそれらを運用する際に構築すべきシステムを称して深海探査システムとし、深海探査システムの整備に早急に取り組む必要がある。

本報告書は、深海探査システムを取り巻く現状と課題、これらを踏まえた今後の我が国の深海探査システムの在り方についてとりまとめたものである。

【現状の深海探査を担う各探査機の特徴（参考 1 参照）】

(1) HOV (Human Occupied Vehicle : 有人潜水調査船)

人が搭乗し、機体の操作や観測を搭乗者が行う有人探査機である。母船とは完全に切り離されており、バッテリーによって駆動され、母船とは音響による無線通信を通じて連絡を取る。HOV の最大の特徴は、人が肉眼で直接対象物を観測できるということである。また、母船とケーブルで接続されていないため機動性が高く、コンピュータによる試料採取等も可能である。一方、母船からの電力供給がないことや、耐圧殻に供給する酸素量の制約により、稼働時間に制限がある。さらに、人身の安全や健康に留意する必要があることなどから、製造及び運用コストが高い。

現在、我が国は水深 6,000m 以深で調査・作業が可能な HOV として「しんかい 6500」のみを保有しており、これまで 1,700 回以上の深海探査を実施してきた。「しんかい 6500」は現時点で最も深い海域にアクセスできる探査機であり、これにより、海底地質学、地球生命科学、海底鉱物資源、地震・防災等の分野において様々な成果をあげてきている。加えて「しんかい 6500」は、メディア等にも多く取り上げられており、深海探査における象徴的な役割も果たしている。なお、「しんかい 6500」の調査海域までの運搬、潜航における支援（着水揚収等）は母船である「よこすか」により行われており、「よこすか」は「しんかい 6500」の運用に必要不可欠である。

(2) ROV (Remotely Operated Vehicle : 遠隔操作型無人探査機)

母船と機体がケーブルで接続され、ケーブルを通じて電力供給や母船との通信を行う無人探査機である。機体操作は、母船上でオペレーターが行う。ケーブルにより機体へ電力が供給されているため、長時間探査が可能であり、コンピュータによる大型装置の操作や重量のある試料採取を行うことができる。また、母船とケーブル内の光ファイバーケーブルを通して映像や観測データを高速・大容量・リアルタイムで母船に転送することができる。一方、母船と接続される長いケーブルの取り回しや水中構造物との干渉などの制約から、HOV に比べて探査可能な範囲は限られ、カメラを通じた観測のため、空間認識や瞬時の判断は HOV に劣る。また、大深度化に伴いケーブルの自重が重くなるため、母船やケーブルへの負荷が増大する。

我が国では、深度 4,500m 級の「かいこう Mk-IV」、「ハイパードルフィン」等を保有している。

(3) AUV (Autonomous Underwater Vehicle : 自律型無人探査機)

あらかじめ経路や動作などがプログラミングされたシナリオに基づいて観測する無人探査機である。母船とは完全に切り離され、バッテリーによって駆動される。母船とは音響により通信し、母船から観測シナリオの変更を指示することも可能である。航行型の AUV は比較的航行速度が速く、海底地形データなどを広範囲に取得できる。ホバリング型の AUV は回転・上下運動に優れ、定点を保持（静止）したままの観察・観測ができる。一方、音響無線通信では、伝搬速度が遅く、通信容量も少ないことから、機体を揚収後に船上でデータ回収・解析する必要がある。さらに、バッテリーの制約により稼働時間に制限がある。

我が国では、深度 6,000m 級の「NGR6000（しんりゅう 6000）」、深度 3,500m 級の「うらしま」等を保有している。

I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

1. 深海探査の状況と課題

深海探査については、以下のような現状と課題がある。

(1) 深海大国日本における深海探査の重要性

我が国の EEZ の面積の約半分は水深 4,000m 以深の海域であり、水深 5,000m 以深の体積は世界 1 位であることから、世界有数の深海フィールドを有している。しかし、「しんかい 6500」の運用が停止した場合、EEZ の面積の約半分は他の探査機を使用しても調査・作業することが出来なくなる。本海域を自国で探査する能力は、科学的知見の充実の基盤であることに加え、海洋状況把握 (MDA) の観点からも必須である。また、防災・減災、地球環境変動等への対応のための総合的な海洋の安全保障上において、極めて重要である。

(2) ROV や AUV の大深度化・高効率化の後れ

我が国において、水深 6,000m 以深での調査・作業が可能な探査機は HOV 「しんかい 6500」のみである。海外では、ROV や AUV のいずれも深度 6,000m 級の製品が市販化されており、大深度化や高効率化が著しく進展している。一方で、国産の探査機について、ROV は、かつてフルデプス級⁵の探査機を運用していたが、ROV も深度 4,500m 級まで後退し、海外から大きく後れている状況にある。AUV は、深度 4,000m 級の探査機に留まっており、現在、航行型 AUV 「うらしま」を深度 8,000m 級に改造しているところである。

また、アジア・太平洋域において、水深 6,000m 以深へ到達可能な探査機は特定の国に集中しており、他の海域の国々に比べて探査能力が脆弱である地域といえる。

(3) 日本で最深度まで潜航できる HOV の老朽化

「しんかい 6500」は、建造から 30 年以上が経過しているため、老朽化により、近い将来運用停止となる時期が迫っている。また、「しんかい 6500」を運行させる要である母船「よこすか」についても、就航から 30 年以上が経過し、老朽化が激しく、航海期間や人員の活用等の運用効率面にも課題⁶を抱えている。このように、「しんかい 6500」と母船「よこすか」を合わせた「大深度 HOV システム」が失われつつある危機的状況であることから、広く認識を共有し、早急に対策を講じなければならない。

(4) 人材の育成・確保

海洋科学技術分野においても、少子高齢化に伴う人口減少による影響に加え、イノベーションを創出できる人材不足などの課題が顕著となっている。また、人材育成・確保の強化とともに、EEZ の面積の約半分が水深 4,000m 以深であることの実事や、海洋に関わる諸活動の重要性について国民から広く認識を得る必要があり、そのためのアウトリーチ活動も課題である。

⁵ ここでは、世界最深であるマリアナ海溝の最深部（水深約 11,000m）に到達可能なレベルを指す。

⁶ 2023 年 6 月に日本学術会議が開催した公開シンポジウム等でも議論がなされており、アカデミアからも強い危機感が示されている（日本学術会議公開シンポジウム「有人潜水調査船の未来を語る」<https://www.scj.go.jp/ja/event/2023/336-s-0617.html>）。

2. 深海探査システムにおける国内外の状況と課題

これらの現状と課題を踏まえ、国外との比較も通じた我が国の深海探査システムについて、以下の通り整理する。

(1) HOV (Human Occupied Vehicle : 有人潜水調査船)

海外では、米国、中国、フランス等が水深 6,000m 以深対応の HOV を保有している。例えば、米国では 2018 年に Triton Submarines 社が、また、2020 年には中国科学院がフルデプス級を建造⁷している。

我が国では、水深 4,500m より深い海域で試料採取・重作業が可能な唯一の HOV として、深度 6,500m 級の「しんかい 6500」を保有している。「しんかい 6500」は、これまでの潜航実績から耐圧殻の耐用年数は 2040 年代までと推定されているが、耐圧殻以外の構成機器・部品等も既に生産終了となっているものがあり、また後述のとおり母船「よこすか」の老朽化も深刻であることなどから、耐圧殻の耐用年数まで運用できるとは限らない。1989 年に「しんかい 6500」が建造されて以来、同等以上の大深度 HOV は我が国では建造されておらず、構成機器・部品の生産中止や機器メーカーのサポート停止が進み、技術が失われつつあることや、「しんかい 6500」の運用には多数の船員が必要であり、運用コスト面でも課題があることから、現状のままでは海外から後れをとる恐れがある。

(2) ROV (Remotely Operated Vehicle : 遠隔操作型無人探査機)

7,000m を超える水深にアクセスできる大深度 ROV は製品化されておらず⁸、世界的にも技術が確立していない。また、海外では海底油田等の海洋産業を背景に、欧米の民間企業が 6,000m 級の ROV を多数市販しており、科学調査等での利用を目的として、米国、英国、フランス、ドイツ、ノルウェー、中国、韓国など多数の国の公的機関・大学が 6,000m 級の ROV を保有している。

一方、我が国では、世界初・唯一の水深 11,000m 級を調査できるフルデプス級の「かいこう」を建造し、運用するなど、かつては世界トップクラスの技術力を誇っていたが、「かいこう」のビークル亡失（2003 年）や、母船「かいらい」の退役（2022 年）により、現在では 4,500m 級の「かいこう Mk-IV」及び「ハイパードルフィン」のほか、民間企業を含む幾つかの機関が 3,000m 級 ROV を複数機保有するに止まっている。このような ROV による深海探査能力が海外から後れをとっていることは、海洋状況把握（MDA）や防災・減災、地球環境変動等の総合的な海洋の安全保障上も懸念すべき課題である。また、「しんかい 6500」に不測の事態があった場合の救難活動⁹に備えて、潜航深度が同等以上の大深度 ROV を常に保有しておくことも重要である。

しかし、国内に大深度 ROV を製造する民間企業はほとんど存在せず、その構成機器を含め、基本的には海外から購入しているのが現状である。また、水深 6,000m 以深対応の電力の供給や船舶との通信を行うためのケーブル（電力・通信ケーブル）については、国内メーカーは既に撤退しており、新たな開発には技術的なハードルが高い。さらに、このケーブルは深海探査を行うたびに劣化するた

⁷ 米国では、海軍（運用は WHOI）が唯一保有する HOV の改造を 2021 年に完了し、水深は 4,500m から 6,500m に大深度化。また、2018 年に Triton Submarines 社がフルデプス級 HOV を建造するなど、民間での商用利用向けの開発が進展。中国では、2020 年に中国科学院の HOV がフルデプス級を建造したほか、深度 7,000m 級を複数機、深度 4,500m 級を 1 機保有。インドも深度 6,000m 級を建造する計画。

⁸ ノルウェーの Argus 社は、現状、世界で最も深くにアクセスできる深度 7,000m 級 ROV を製造。

⁹ 現在は、安全を確保するための装置の一つとして救難ブイを搭載。潜航中に、海底に拘束され、自力での浮上が困難となった場合、救難ブイが浮上し、母船「よこすか」に搭載されているワイヤで救難ブイを引っ掛けて「しんかい 6500」を引き揚げる。

め定期的な交換が必要である上に、非常に高価であることから運用コストも課題である。すなわち、技術的なハードルと運用コストの二つの観点から 6,000m 以深対応の ROV の実現に向けた新たな技術開発を考える必要がある。

加えて、水深 6,000m 以深対応の探査機については、海外においても構成機器の市販品が多くないことから、これまで我が国が培ってきた構成機器になりうる要素技術として、例えば水中音響通信技術等を発展させ、国内で開発する意義は大きい。

(3) AUV (Autonomous Underwater Vehicle : 自律型無人探査機)

海外では、米国や英国、ドイツ等の公的機関が深度 6,000m 級 AUV を保有していることが知られているほか、米国、ノルウェー、カナダ等の民間企業において航行型の深度 6,000m 級 AUV が市販化されている。また、中国においては、2021 年に公立大学が開発した AUV が水深約 11,000m まで到達したとの報道もされている。

我が国では、米国企業から購入した深度 6,000m 級の航行型 AUV 「NGR6000 (しんりゅう 6000)」を保有しているほか、深度 3,500m 級の航行型 AUV 「うらしま」を改造し、2025 年度に深度 8,000m 級の航行型 AUV として実運用が開始される見込みである。これらの探査機の中には、運用するにあたり複数の水中作業員 (スイマー) を必要とするものもあるため、運用コストや複数・多機種同時運用などに課題¹⁰がある。

そのほか、我が国では、南極等の極限環境での観測が可能なホバリング型 AUV や、AI を活用したウミガメを自動探知・追跡する航行型 AUV、高速でのパイプトラッキングが可能な AUV 等、用途に応じた多様な AUV の開発¹¹が進行中である。

(4) 探査機の運用システム等について

① 深海探査機の複数・多機種同時運用や長期運用

米国では、ROV や AUV など複数・多機種の深海探査機を用いた 24 時間の連続観測を実施している。また、AUV で取得した高精細な海底地形図を直ちに船上で処理し、これに基づき ROV で海底観察と試料採取を行うため、データを 1 航海、2 週間程度の調査期間 (調査時間は計 200 時間以上) で取得可能であり、航海期間 (シップタイム) に占める深海調査時間の割合を高め、有効活用するという観点で極めて効率性が高い運用がなされている。

一方、我が国の深海探査機及び船舶は、必ずしも複数・多機種同時運用が想定された設計・体制となっていない。そのため、例えば JAMSTEC では、AUV を運用する際と ROV を運用する際にはそれぞれ船舶の運用も必要となり、米国と同等の調査を我が国の深海探査機の通常の運用で実施すると、最低でも 2 航海、計 40 日以上の調査期間が必要と推定され、時間的にもコスト的にも非効率である。

また、複数の AUV を同時運用する技術は、国内外で開発が進展しているが¹²、実際の調査航海で有効活用している事例は数少ない。しかしながら、広域での効率的な探査を実現し、シップタイムの有効活用にもつながる技術として期待されるため、世界に先駆けた技術開発が重要である。

さらに、海底ステーションを基地とし、ROV や AUV を海中に長期展開するレジ

¹⁰ 詳細は I. 2. (4) にて後述。

¹¹ 浅海域向けでは、国内外で小型水中ドローンの開発も進められており、陸上のドローン技術の応用等により、低コスト化が進み、市販品も多く販売。

¹² 我が国では、2018 年に Team Kuroshio が Shell Ocean Discovery XPRIZE で第 2 位を獲得するなど、高い技術力を保持。

デント技術は、母船レスや長期運用の実現に資する基盤技術であり、コンセプトから実現に向けた技術開発が進展している。加えて、国内外の民間企業等で、パイプラインの点検等への活用に向けた開発もなされており、深海探査への活用に向けた技術開発が進められている。

②着水揚収システム

着水揚収システムについては、英国では昇降式システム、米国ではガレージ式システム等の母船への導入が進められている。また、航行型 AUV「NGR6000（しんりゅう 6000）」のように母船を選ばず、揚収に特定のクレーンを必要としない探査機の市販化や船上装置の陸上からの遠隔操作による着水揚収システムの導入などが進められ、効率的な調査が可能なシステムの開発が世界的に進展している。

一方、JAMSTEC の母船においては、A フレームクレーンを使用¹³して着水揚収作業を行っているが、A フレームクレーンは多用途で使用可能な反面、甲板での作業員を多数必要とする。また、HOV「しんかい 6500」及び航行型 AUV「うらしま」の揚収にはスイマーによる作業が必須であり、24 時間観測や複数・多機種同時運用体制を構築する上でも大きな障壁となっているほか、船員不足や安全性確保への対応の観点からも課題である。

③探査機を構成する要素技術

「しんかい 6500」から母船「よこすか」への画像伝送に使用されている水中音響通信装置は、従来の装置に比べ約 10 倍以上の世界最高レベルの伝送容量を達成しており、約 2.5 秒に 1 枚の頻度で画像を送信可能である。

また、従来は別々の装置で処理されていた通信と測位を統合した装置を開発し、これを用いた複数機の AUV の隊列制御を実現している。

他方、AUV の自律性を高める要素技術は、世界的にもまだ開発途上であり、我が国の世界トップレベルの水中音響通信技術等を生かした技術開発の推進が期待できる。

さらに、各探査機の大深度化を推進する上では、通信技術のみではなく、センサ¹⁴やカメラ、マニピュレータ等を含めた現場観測機器についても大深度に対応した技術を開発する必要がある。

④深海探査システムを取り巻く諸課題

10 年前と比べ、研究船の減数に伴う総航海日数の減少¹⁵などにより、特に若手研究者が調査航海に参加する機会が減少し、海洋調査コミュニティが縮小する要因となっている。EEZ の面積の約半分が水深 4,000m 以深となる我が国にとって、科学的基盤の強化及び経済安全保障の観点から海外に後れをとらないよう、海洋科学技術分野に関わる人材の裾野を広げることが不可欠である。また、海洋に関わる諸活動の重要性について国民から広く認識してもらうため、アウトリーチ活動も重要である。

さらに、2023 年 12 月に総合海洋政策本部において、洋上風力発電の設置・保

¹³ 専用の着水揚収装置を備える「KM-ROV」は除く。

¹⁴ 環境センサ（塩分、水温、圧力、溶存酸素等を計測）、航海センサ（慣性航法装置、深度計、スキャニングソナー等）等を想定。

¹⁵ JAMSTEC の研究船（「ちきゅう」を除く）の航海日数は、2013 年度は約 1,700 日であったが、2023 年度は約 1,100 日まで減少している。

守管理、海洋インフラ管理、海洋環境保全等への活用が期待される AUV の社会実装の推進について方針が示された¹⁶ことも踏まえ、民間企業等が行う浅海域における産業向け探査機の技術開発のノウハウなどの活用も検討することが重要である。

3. 各分野の研究開発動向と研究に必要な深海探査システムの能力について

深海は、主に海底地質学、地球生命科学、海底鉱物資源、地震・防災といった研究開発分野のフィールドとなっている。EEZ の面積の約半分が水深 4,000m 以深の海域であり、水深 5,000m 以深の体積が世界 1 位である我が国においては、地球環境保全や社会経済活動へ貢献するためにも、これらの研究開発を推進していくことが重要である。また、各分野のみならず、分野横断型の調査研究から得られる新たな発見も期待される。

各分野の研究開発動向と求められる深海探査システムを以下の通りに整理する。

(1) 海底地質学

海底火山研究では水深 2,000m までの比較的浅い海域、プレートテクトニクスやマグマ活動の研究では水深 4,500m～フルデプスの比較的深い海域が対象となり、それらの研究開発を進めるためには岩石試料の採取が必須である。

特に、マリアナ海溝（最深部 水深約 11,000m）南部の岩石は海溝、島弧、背弧の岩石学的性質の全てを示すと言われているため、HOV や ROV による、海底を詳細に観察しながらの試料採取やピンポイントでの観測機器の設置が重要であるが、1. の現状のとおり、水深 6,500m より深い海域においてそれらの作業を行うことは現在不可能である。

また、伊豆・小笠原海溝の海溝斜面においては、HOV「しんかい 6500」と ROV「かいこう 7000 II」¹⁷を用いて採取した岩石により、プレートの沈み込みに関するメカニズム解明に向けた新たな発見があった。また、水深 6,500m 以深の斜面でカンラン岩の露頭も発見された。しかし、2014 年、ROV「かいこう 7000 II」は電力・通信ケーブルに技術的問題が確認されたことを受け、その後継となる「かいこう Mk-IV」を含め従来のような大深度探査での運用が困難となった。そのため、現在、この水深で調査・試料採取ができる ROV を我が国では保有していない。

2015 年に実施した南西太平洋 Havre 火山噴火調査航海では、米国の調査船による 24 時間体制で無人探査機（ROV、AUV）の同時運用と海底サンプルエレベータを用いた調査を実施した。このような AUV のマルチビームソナー、サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラーを用いて作成した詳細な海底地形図に基づく、効率的な調査を実施可能とするため、AUV における要素技術の高度化、大深度化も進める必要がある。

以上より、海底地質学では、有人・無人問わず少なくとも引き続きこれまで行っていた調査と同じ深度で海底を観察し、試料を採取する手段が必要とされる。

具体的には、以下の能力が必須であり、これらの技術開発を進める必要がある。

- 岩石採取の適地を選定するために、地層や岩石が露出した露頭観察の能力
- 岩石試料の採取が可能な強さを備えたマニピュレーション能力
- 1 潜航あたり数百 kg の岩石の持ち帰りが可能な大容量サンプリング能力

¹⁶ 「自律型無人探査機（AUV）の社会実装に向けた戦略」（令和 5 年 12 月 22 日総合海洋政策本部決定）

¹⁷ 現在は、後継機の ROV「かいこう Mk-IV」となっている。

(2) 地球生命科学

近年、生命誕生や地球外生命圏の理解に向け、初期の地球や火星でも起こっていたとされる、岩石と水の反応（蛇紋岩化）に着目した研究が世界中で盛んに行われている。この反応が起こる海底アルカリ性湧水域は、日本近海を含む北太平洋域の海溝周辺においては水深 2,000~6,500m に分布しており、この解明のためには、湧水、生物、岩石等の採取及びコアリングを行うことが重要である。そのためには、水深 6,500m の調査能力の維持が必要不可欠である。

また、2020 年には、原核生物から真核生物の進化の鍵とされる古細菌の分離・培養の成功や、生態系への影響が懸念されているマイクロプラスチックの動態把握といった、世界的にインパクトの大きい成果が日本近海の深海堆積物の研究よりもたらされており、深海域における地球生命科学の研究への注目度は高い。

さらに、生態系維持の観点から、海洋保護区の指定が進んでいるが、基礎情報の充足に向けて、最近 10 年で急速に深海を含めた海洋生態系に関する研究が進展している。加えて、海底鉱物資源の採掘等による環境影響評価への対応の重要性は世界的にも高まっており、これらの調査・研究には HOV を用いた人の目による現場観察や ROV、HOV の高い操作性を活かした試料採取や現場実験が必要である。

以上より、地球生命科学では、多彩な試料採取（湧水、生物、岩石、堆積物）や現場観測の能力を持つ ROV、HOV が必須である。特に、深海は生物多様性に富んでおり、センチメートルスケールで形成される生物が集中する環境（沈降してきた生物の死骸や巣穴等が形成する小さな構造物）を把握し、併せて数センチメートル単位で地質の化学組成を調査することが重要である。

具体的には、以下の HOV または HOV と同等の能力が必須であり、これらの技術開発を進める必要がある。

- ・ 繊細な試料採取が可能となる マニピュレーション能力
- ・ 試料採取や現場観測を可能にする 視認性、機動性、安定性、作業性
- ・ AI による画像認識等を活用した自律型試料採取システム
- ・ 深海生物の行動をより詳細に把握するための 撮影技術の高度化

(3) 海底鉱物資源

一般的には、海底鉱物資源のうち、海底熱水鉱床は水深 500~3,000m の火山弧や背弧海盆、コバルトリッチクラストは水深 1,000~2,500m の海山・海台、マンガング塊及びレアアース泥は水深 4,000~6,000m の平坦な深海に多く存在する。

これらの海底鉱物資源の採取においては、まずは航行型 AUV によるマッピングにより鉱石の分布を把握し、その後、操作性の高いマニピュレータを備えた ROV・HOV を使用して鉱石及びその周辺の海底熱水の採取を行う。

また、鉱床の成因解明のため、AUV によるマンガングクラストの厚み計測や、ROV・HOV による海底での現場実験が実施されている。加えて、鉱床の形成過程の解明には、幅広い水深範囲（特にこれまで探査の機会が少なかった水深 3,000m 以深）あるいは対照的な地質環境（島弧と中央海嶺）や、鉱石の量が少ない地域と多い地域との調査・比較を行う必要がある。

以上より、海底鉱物資源では、大深度 AUV 等による調査範囲の絞り込みや ROV、HOV による試料採取能力の維持が不可欠である。

具体的には、以下の能力が必須であり、これらの技術開発を進める必要がある。

- ・ 試料採取等のための操作性の高い マニピュレーション能力

- ・ 海底地形の立体的な構造やスケール感は直接の視認が必要であるため、HOV または HOV と同等の高い視認性を持つ高度可視化システム

(4) 地震・防災

海溝近傍で発生する特異な津波地震には未解明な点が多く、学術的にも防災上もフルデプスにおける調査研究が重要である。最近の成果としては、船舶及び探査機を用いた海底観測や GNSS 観測によって、東北地方太平洋沖地震の際の東北沖の断層すべり量が精緻に観測された。また、海外のフルデプス HOV によって、同震災に伴い日本海溝の底（水深約 7,500m）に生じた隆起地形と断層崖が世界で初めて現地で観察・撮影された。

精度の高い地震発生予測には、観測精度を十分に高めた地殻変動観測が必要である。例えば、南海トラフにおいては、船舶及び ROV を用いた海底光ファイバーへのひずみ計の接続作業や、海底掘削孔内への地殻変動観測装置の設置などを行い、微小地殻変動（ゆっくりすべり）等をモニタリングしている。また、今後は、太平洋プレートの沈み込みに伴って、大きな地殻変動が進んでいる北海道・千島列島沖でも観測が必要である。

具体的には、以下の能力を備えた探査機が必須であり、これらの技術開発を進める必要がある。

- ・ 過去の巨大地震の痕跡から発生履歴を解明するため、水深 6,500m 以深において海溝底の岩石や堆積物を採取可能な探査機の開発
- ・ 海底ケーブル式地震・地殻変動観測網の構築のため、測器の海底への設置とケーブルへの接続を行うことが可能な重作業 ROV の開発
- ・ 機動観測型（ケーブル非接続）の測器を断層直近などにピンポイントで設置し、それらで得られる観測データの収集を行うための非接触高速通信機能を有する探査機の開発
- ・ 広域海底測量の実現のため、超高精度な慣性航法能力を備えた AUV の開発

(5) 分野横断型の調査研究

上記の各分野での調査研究のみならず、分野横断型の調査研究から得られる新たな発見も期待されることから、これを活性化するシステムも重要である。

例えば、深海の海溝は、地理的な隔絶と高圧等の環境要因により特殊な生態系が構築されており、少ない調査で多くの新しい生物が発見されているほか、2023 年には東北地方太平洋沖地震で日本海溝底に生じた断層崖が発見されるなど、様々な分野で調査の意義が高いことから、日本海溝等の海溝底へのアクセスが可能なフルデプス級の探査機の開発は大きく期待される。

また、船上あるいは陸上からの遠隔操作の技術を取り入れるなど、より多くの異分野の研究者がディスカッションを行いながら同時に調査に参画できるシステムの開発が必要である。

(6) まとめ

I. 3. (1) ~ (5) に掲げたことから、各分野の研究開発動向を踏まえた深海探査システムに求められる能力を整理すると、大まかには、以下の四つに分類される。

- ・ HOV 及び ROV による海底を詳細に観察しながらの「①試料採取」

- HOV 及び ROV による地殻変動観測装置等の観測機器のピンポイントでの設置などの「②重作業」
- HOV や ROV、ホバリング型 AUV による深海生物や露頭の観察などの「③海底面付近での観察・計測」
- 航行型 AUV による海底地形図作成などの「④広範囲の観察・計測」
 さらに、いずれの分野にも共通するニーズとして、多様な手法を駆使して幅広い空間を対象に高分解能での調査が重要であり、これまでのように HOV、ROV、AUV 各種の探査機を単体で運用するだけでなく、探査機を組み合わせると同時に効果的に運用できるシステムの構築も必要である。

II. 今後の深海探査システムの在り方について

1. 今後の方向性

I. 3. に示したとおり、水深 6,000m 以深～フルデプスの海域には、海溝底¹⁸など科学的観点・社会課題解決の観点から調査意義が極めて高い海域が存在することから、現在、我が国が保有する最大深度の探査機である深度 6,500m 級の「しんかい 6500」が調査・作業できる水深より深い海域においても、調査・作業を行うことが出来るようにする必要がある。そのためには「①試料採取」「②重作業」「③海底面付近での観察・計測」「④広範囲の観察・計測」の能力も必要不可欠であり、これら四つの能力に関する大深度探査機が必要となる。

まず、水深 6,000m までの海域探査については、現在実施されている調査・作業を継続する必要があるため、現行の「しんかい 6500」の運用を可能な限り継続する必要がある。「しんかい 6500」及び母船「よこすか」は、老朽化が深刻であるため、まずはその対策等を最優先で行うことが不可欠である。

一方、水深 6,000m 以深～フルデプスの海域の調査・作業については、現在、我が国で保有している探査機では、その一部分しか行うことができない。四つの能力のうち「④広範囲の観察・計測」については、AUV「うらしま」の改造後に調査・作業を行うことができるが、それ以外の「①試料採取」「②重作業」「③海底面付近での観察・計測」を保有する新たな大深度探査機の開発が必要となる。そのためには、多くの要素技術の開発を新たに手がける必要があり、それには相当の時間を要するため、可能な限り早い時期から水深 6,000m 以深の探査が可能な大深度探査機を開発に着手すべきである。

その際、前述のとおり、現在、我が国では水深 6,000m 以深の調査・作業を「しんかい 6500」以外で行うことができず、I. 2. で示したとおり技術面等の課題が多い「しんかい 6500」のような HOV をただちに開発することが困難であることから、新たに開発する大深度探査機としては、無人探査機が望ましい。すなわち、I. 3. で示すような各研究開発分野における多様なニーズを踏まえ、調査・作業の効率性や精度をより一層高める必要性に加え、現行の HOV に比べて技術面等での課題が少ないことを念頭におけば、無人探査機の開発に早期に着手することが求められる。

加えて、国外との比較において、能力・深度ともに劣らない探査機を開発する必要がある。

さらに、I. 3. で示したような各分野の研究開発動向における多様なニーズや、

¹⁸ 詳細は I. 3. (5) 参照。

I. 2. (4) で示した船員不足や航海日数の減少等の課題、I. 3. (5) で示した分野横断型の調査研究の推進などに対応するためには、大深度無人探査機の開発のみならず、母船の運用を含めた新たな大深度探査システムを構築する必要がある。その際には、新たに開発する大深度無人探査機や、改造中の水深 8,000m 級の航行型 AUV をはじめとする新しい探査機に加え、現在保有している HOV、ROV、AUV の各探査機と母船を効果的に運用ができるよう整備するとともに、幅広い研究者の参画を可能とする複数・多機種同時運用や遠隔操作が可能なシステムの導入を検討する必要がある。

これらの新たな大深度無人探査機の開発や母船を含めた大深度無人探査システムの構築を行う際には、産学官連携による検討や市販品の活用など効率的な開発を行うことも重要である。

以上より、「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化を最優先で進めていくとともに、並行して、新たな大深度無人探査機の開発や母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築に必要な開発を以下のとおり進める。

(1) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

老朽化が深刻な「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の運用が停止すると、我が国が調査可能な水深が 6,500m から 4,500m まで大きく後退するため、EEZ の面積の約半分にあたる水深 4,000m 以深の調査・作業ができなくなる。これは、我が国がこれまで長年継続してきた深海の調査や研究が途絶えることを意味する。

また、「しんかい 6500」には人が安全に乗船するための特別な技術が必要だが、構成機器・部品の生産中止や機器メーカーのサポート停止などにより技術の維持体制が失われており、国内で同等仕様の HOV の新造は開発期間・コストの両側面から困難な状況にある。さらに、母船「よこすか」は、船底外板の減肉などの船体構造の劣化、着水揚収装置の油圧装置などの HOV 潜航支援装置の劣化が激しく、「しんかい 6500」より早い時期に運用停止となる懸念がある。

したがって、我が国の深海の調査や研究が途絶えることを回避するためにも、少なくとも以下の(2)に示す新たな大深度無人探査機を開発し、それが運用されるまでは「しんかい 6500」を最大限活用する必要があるため、母船「よこすか」を含めた老朽化対策を最優先で進める。

また、「しんかい 6500」は、これまでの潜航実績から耐圧殻の耐用年数である 2040 年代までの運用と推定されており、「しんかい 6500」を可能な限り長くかつ効果的に活用することも、我が国の深海の調査・作業を継続させるためには重要である。そのため、「しんかい 6500」の老朽化対策を行いながら、今後の運用に向けた機能強化もあわせて行う。例えば、乗船者間での視野の共有や AUV で広域調査を行い詳細な海底地形図を取得した後に、連続して「しんかい 6500」によりピンポイントで詳細調査を行うことを可能とするなど、AUV と HOV との同時運用に取り組む。

(技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- ・ 緊急離脱ボルト等の生産終了品の代替品
- ・ 乗船者間での視野の共有のための全方位カメラ、VR 技術
- ・ AUV の海底地形図の高精度化・高解像度化、3D 化技術 等

一方、今後の我が国の HOV の在り方については、「しんかい 6500」が深海探査研究の面だけでなくアウトリーチの面でも大きな貢献を果たしていることや、我

が国の深海探査の象徴であることなども踏まえ、多角的な検討が必要であり、今後も引き続き議論していく。

(2) 新たな大深度無人探査機の開発

I. 2. のとおり我が国で対応が後れている大深度での「①試料採取」、「②重作業」及び「③海底面付近での観察・計測」を行う能力の強化や研究者の安全性の確保、多様な研究ニーズに応えるための研究機会の増大及び調査時間の長期化に取り組む。

「③海底面付近での観察・計測」を行う能力については、実際に海底に行って調査する場合と近い感覚での調査を実現するため、高い視認性を確保する高度可視化システムを開発する。また、I. 3. (5) に示すような分野横断型の調査研究を見据えた「多様な研究ニーズに応えるための研究機会の増大及び調査時間の長期化」については、複数の分野に跨る多くの研究者が同時に船上あるいは陸上から調査・研究に参画することを可能とするため、遠隔操作が可能なシステムを開発するなどの新たなコンセプトに基づく大深度無人探査機を開発する。

さらに、水深 6,000m 以深対応の ROV を電力ケーブルに依存せずに運用できるシステムは世界に例が少ない¹⁹ ことに加え、大深度 ROV の構成機器は海外でも市販品が限られているため、これまで HOV や ROV 等において培ってきた我が国の技術を発展させ、世界に先駆けてフルデプス級の大深度無人探査機を開発する意義は大きい。

新たな大深度無人探査機の開発には、下記の i、ii に記述するように、多くの新たな要素技術の開発が必要であり、相当の時間を要する。「しんかい 6500」の運用限界は、これまでの潜航実績から耐压殻の耐用年数である 2040 年代までと推定されているが、先に述べたように母船等の問題もあることから、耐压殻の耐用年数まで運用できるとは限らず、2040 年を待たずに運用が困難になる可能性もあることから、新たな大深度無人探査機の運用を可能な限り早い時期に開始できるよう、国内外の市販品などの活用も含めて以下のように開発を進める。

i. 基盤的な要素技術及び試作機の開発

- 現在、我が国では水深 6,500m 以深を探査できる大深度探査機を保有しておらず、「しんかい 6500」を最大限活用できたとしても耐压殻の耐用年数である 2040 年代までの運用となるため、新たな大深度無人探査機の運用を可能な限り早い時期に開始する。まずは I. 2. (2) のとおり技術面・運用コスト面で課題がある電力ケーブルや通信ケーブルに依存しない高性能な電力貯蔵・供給や通信・測位技術などの基盤的な要素技術を開発する。加えて、24 時間観測や複数・多機種同時運用に向け、AI 等を活用した自律航行・航走機能、探査機間の協調制御、長時間運用、広域調査等に必要な技術開発を進める。また、2030 年までの可能な限り早い時期に、これら技術を搭載した大深度無人探査機の試作機を開発し、その運用を開始する。

(技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 電力ケーブルによる電力供給に代わる大容量バッテリー

¹⁹ 通信ケーブルを活用した海外の事例として、米国の「Nereus」、中国の「Haidou-1」などがある。

- ・ サンプルエレベータを介した水中における探査機のバッテリー交換や探査機のドッキングステーションでの充電
- ・ フルデプス級に対応できる通信ケーブルや通信ケーブルレスでの高速・高精度な通信・測位を可能とする音響通信技術
- ・ 通信ケーブルレス化による動作制御のタイムラグなどにも対応しつつ、自律型試料採取を可能とする AI 等を活用した自律航行・航走機能や試料を識別する画像認識機能
- ・ 協調制御のための AI や音響通信等を活用した自律制御・マルチビークル技術の高度化
- ・ 長時間運用のためのレジデント技術²⁰
- ・ 広域調査のための高精度慣性航法技術
- ・ 海底設置型長期観察システム（ランダー）とランダーに搭載可能なマニピュレータを持つ小型の自律型無人探査機に関する要素技術の開発
- ・ 母船、ランダー、小型無人探査機間の通信に、通信ケーブルではなく、音響通信を活用した試料採取能力に関する要素技術 等

ii. 新たな大深度無人探査機の開発

- ・ i で開発された要素技術等を発展させ、試作機以上の大容量サンプリング能力や岩石試料等の採取のための「①試料採取」の能力及び重作業が可能な強さを持つ試料採取システムのための「②重作業」の能力や、高い視認性に基づく機動的な調査が可能な VR 等を活用した高度可視化システムの技術開発を行い、併せて、幅広い研究者が参画可能な船上あるいは陸上からの遠隔操作等の技術開発を行うことで、2040 年までの可能な限り早い時期にこれらの機能を兼ね備えた新たな大深度無人探査機を開発し、運用を開始する。

（技術開発が必要と考えられる要素技術の例）

- ・ 大容量サンプリング・岩石等の試料採取・重作業を可能とする電力を供給できるバッテリー、上記の作業が可能な強度を持つマニピュレータや作業効率化するサンプルエレベータ、また、サンプルエレベータを介した水中における探査機のバッテリー交換、探査機のドッキングステーションでの充電
- ・ 高度可視化システムのための全方位カメラ、3D 仮想表示技術、SLAM²¹
- ・ 遠隔操作のための高速無線通信
- ・ 海底設置型長期観察システム（ランダー）とランダーに搭載可能なマニピュレータを持つ小型の自律型無人探査機の開発
- ・ 母船、ランダー、小型無人探査機間の通信に、通信ケーブルではなく、音響通信を活用した試料採取能力 等

（3）母船を含めた新たな大深度探査システムの構築

「しんかい 6500」の運用限界は最長で 2040 年代までとされているが、「しんかい 6500」を調査海域まで運搬し、調査を支援する等に必須な母船「よこすか」も「しんかい 6500」と同様に建造から 30 年以上が経過しており、その老朽化は深刻である。「しんかい 6500」が停船（運用停止）するより前に「よこすか」が停船（運用停止）となる可能性も高いため、上記（2）で述べた大深度無人探査機を搭載可能な母船の在り方についても、可能な限り早く検討する必要がある。

母船を含めた新たな大深度探査システムとしては、例えば、船舶の定員や安全

²⁰ 詳細は I. 2. (4) ①参照。

²¹ Simultaneous Localization and Mapping の略称。自己位置推定と地図作成を同時に行う技術。

性の確保等を考慮しつつも、24 時間観測や複数・多機種同時運用を実現することなどが必要である。そのためには、国内外における昇降式システムやガレージ式システムの導入等の最新の動向を調査した上で、いずれの探査機にも幅広く対応した新たな汎用性の高い着水揚収システムを検討することが必要である。その際には、(2) で示した「①試料採取」「②重作業」「③海底面付近での観察・計測」の三つの能力を有する新たな大深度無人探査機や、「④広範囲の観察・観測」の能力を有する現在改造中の航行型 AUV「うらしま」をはじめとする新しい探査機のみならず、既存の探査機における着水揚収時の運用の効率化もあわせた検討が重要である。

上記のように汎用性の高い着水揚収システムを搭載した母船や船上あるいは陸上からの遠隔操作等の技術を取り入れることは省人化・効率化となり、船員不足への対応や運航コスト削減等の運用面の課題に対応することにもつながる。

具体的には、以下のように開発を進める。

i. 汎用性の高い着水揚収システム等を含んだ新たなシステムに関する FS

- 2026 年頃までに、汎用性の高い着水揚収システム、24 時間観測や複数・多機種同時運用の体制構築に繋がる運用面も含めた新たなシステムの構築及びそれを備えた母船について、海外の事例等を調査し、今後の母船の在り方についての検討を行う。加えて、(2) i で開発する試作機が完成した際には、24 時間観測や複数・多機種同時運用の実現に向けた実証試験を実施する。

(技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 昇降式・ガレージ式等の着水揚収システム
- (2) i で開発した試作機の実海域における船舶を活用した実証 等

ii. 新たな大深度探査システムの運用 (参考 2 参照)

- i の FS 及び検討の結果を踏まえ、速やかに汎用性の高い着水揚収システムを実装し、2040 年までの可能な限り早い時期に 24 時間観測や複数・多機種同時運用を開始する。また (2) ii の新たな大深度無人探査機が完成した際には、新たな大深度無人探査機と連携した運用も行う。

(4) その他

上記 (2)、(3) の技術開発を進めるにあたり、AI を用いた自律・協調制御技術や VR を用いた可視化技術、遠隔操作のための通信技術等については、他分野で先行している技術を積極的に取り入れることも重要である。また、海外では既に探査機の 24 時間運用や複数・多機種同時運用等が一部進められていることも踏まえ、上記のシステムの検討にあたっては、例として示した着水揚収システムだけではなく、様々な海外での事例等も調査した上で、最適なシステムを設計する必要がある。

加えて、目的特化型の多様な AUV の開発など、最先端の技術を生かした探査機や要素技術の研究開発を世界に先駆けて行うことも重要である。

2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

海洋科学技術分野では、人材の育成・確保や国民への理解増進が課題となっている。

人材の育成・確保においては、若手人材育成に資する研究航海の機会確保に加え、我が国が国際共同研究等においてリーダーシップを発揮し、海外の優れた研究者を呼び込むことにも繋がるため、海洋科学技術分野の人材育成及び裾野拡大の観点からも、深海探査システムの維持・発展は重要である。特に、「しんかい 6500」等の深海探査機の運用で培われた世界トップレベルのオペレーションの技術は、個々の調査の質を高めるものであり、確実に維持・継承する必要がある。

国民への理解増進においては、これまでも、例えば、国立科学博物館では、深海や海洋科学技術に関する特別展を3回開催しており、極限環境である深海を探査する人々の挑戦や、深海生物をはじめとする深海研究の最前線を国民の目線でわかりやすく紹介している。2023年、2024年に開催した特別展では、「ハイパードルフィン」の実機や海洋生物の骨格標本などを展示するとともに、視覚的に迫力のある4K映像で深海の生物を紹介する映像を上映した。

また、2013年にはJAMSTECにおいて、カリブ海の水深5,000mを「しんかい6500」が潜航・調査する様子を生中継で配信した。科学研究を目的とした有人潜水艇による深海の潜航現場を生中継で配信したのはこれが世界初であり、着水から「しんかい6500」のコックピット内での操縦の様子や、潜航中の深海の映像、深海での研究活動などを約12時間以上にわたって配信し、延べ30万件以上のアクセス数と50万件以上のコメントが寄せられ、多くの反響があった。

文部科学省においても、2022年に開催した「GIGA スクール特別講座～教室から深海探査につながろう！～」では、小学生を主な対象とし、相模湾沖の「新青丸」と「ハイパードルフィン」、陸上の研究者、全国の参加者をオンライン配信によって繋ぎ、船上・陸上の研究者による解説やクイズをリアルタイムで行うことで、深海に対する興味・関心を高める機会の提供を行った。講座では、潜航中の「ハイパードルフィン」を船上から操作する様子の紹介や、「ハイパードルフィン」を用いて深海環境を理解するための現場実験を行った。また、研究者からクイズを出題し、児童がその回答を考えることなどを通じて、深海環境や深海生物に対する理解を深めた。講座で行ったクイズには、全国からオンラインで2万4千件を超える回答が寄せられた。

このように「しんかい6500」等の探査機は、海洋科学技術や深海探査の重要性・必要性を社会的に認識してもらう上でも象徴的な存在であることから、引き続き探査機が実際に行っている作業を公開しつつ、市民目線で分かりやすい成果の発信を行うことが重要である。また、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性について国民から広く認識を得るため、STEAM教育やアウトリーチを推進する。

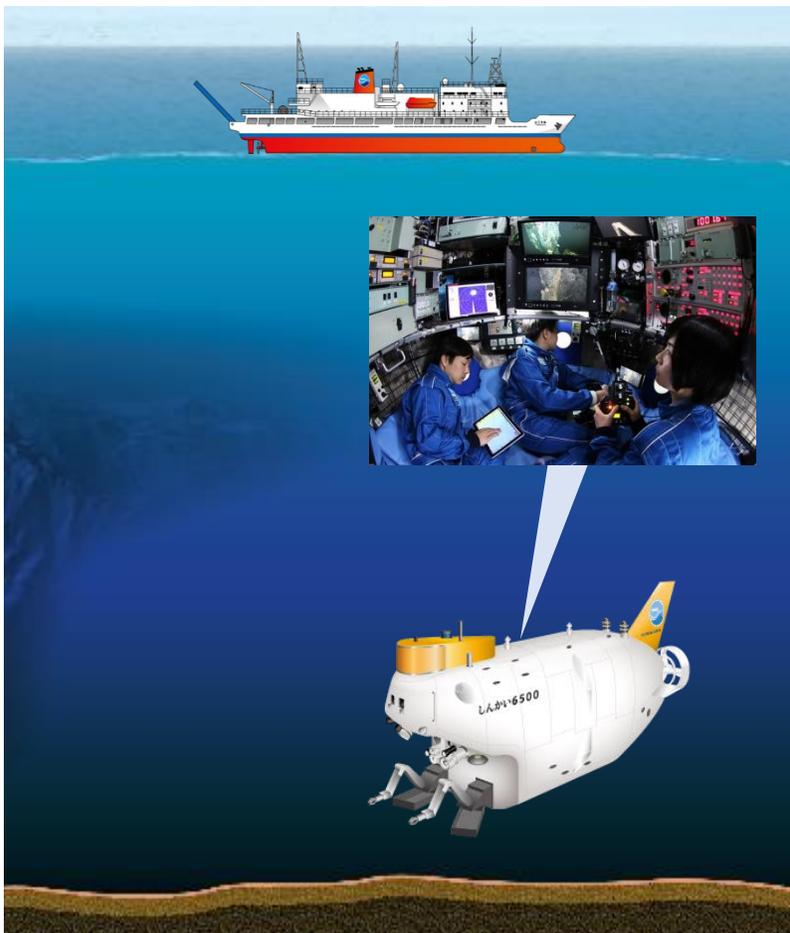
特に深海探査においては、科学博物館などの展示の来場者では30代以下の若年層が6割を占め、国民に人気の高いコンテンツであることから、この強みを活かしつつ、深海のリアルな映像を鮮明に伝えるための技術（4K・8KのHDR映像、全方位カメラなどVR映像、深海広域照明設備等）の開発や、リアルタイムで発信するための大容量通信インフラを整備はもちろんのこと、複数の探査機を同時に展開することによって、深海における観測作業を分かりやすく伝えるための映像を効果的に取得する観点等についても、深海探査システムを新たに開発するにあたり考慮しておく必要がある。

深海探査システムの開発においては、研究機関や大学等に加え、産業界における開発の推進も重要である。深海探査システムの開発で得られた成果や、映像を始めとするコンテンツを活用し、産業の育成さらには経済安全保障の確保なども見据え、産学官の連携を推進する。

有人潜水調査船

(HOV : Human Occupied Vehicle)

人が搭乗し、機体の操作や観測を搭乗者が行う有人探査機。バッテリーにより駆動し、母船とは音響による無線通信を通じて連絡を取る。母船とケーブルで接続されていないため機動性が高く、対象物を直接観察しながら、マニピュレータによる試料採取等が可能。



遠隔操作型無人探査機

(ROV : Remotely Operated Vehicle)

母船とケーブルで繋がっており、ケーブルを通じて電力供給や母船との通信を行う無人探査機。船上のパイロットがリアルタイムで深海の様子を確認しながら操縦し、マニピュレータによる海底の岩や泥などの試料採取等の複雑な海中作業や、重作業が可能。



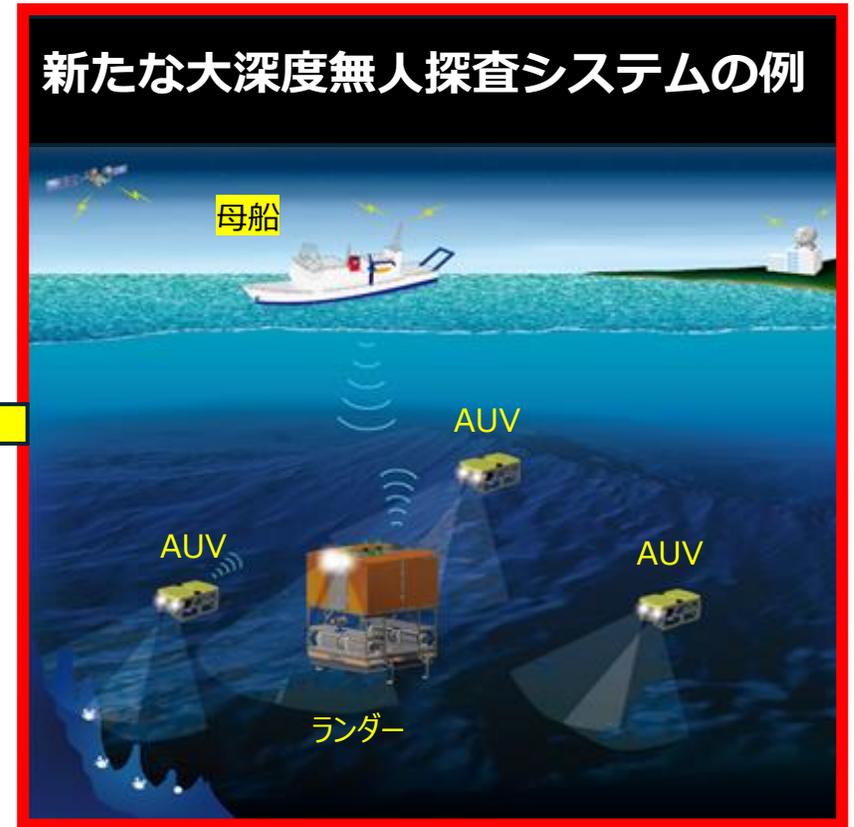
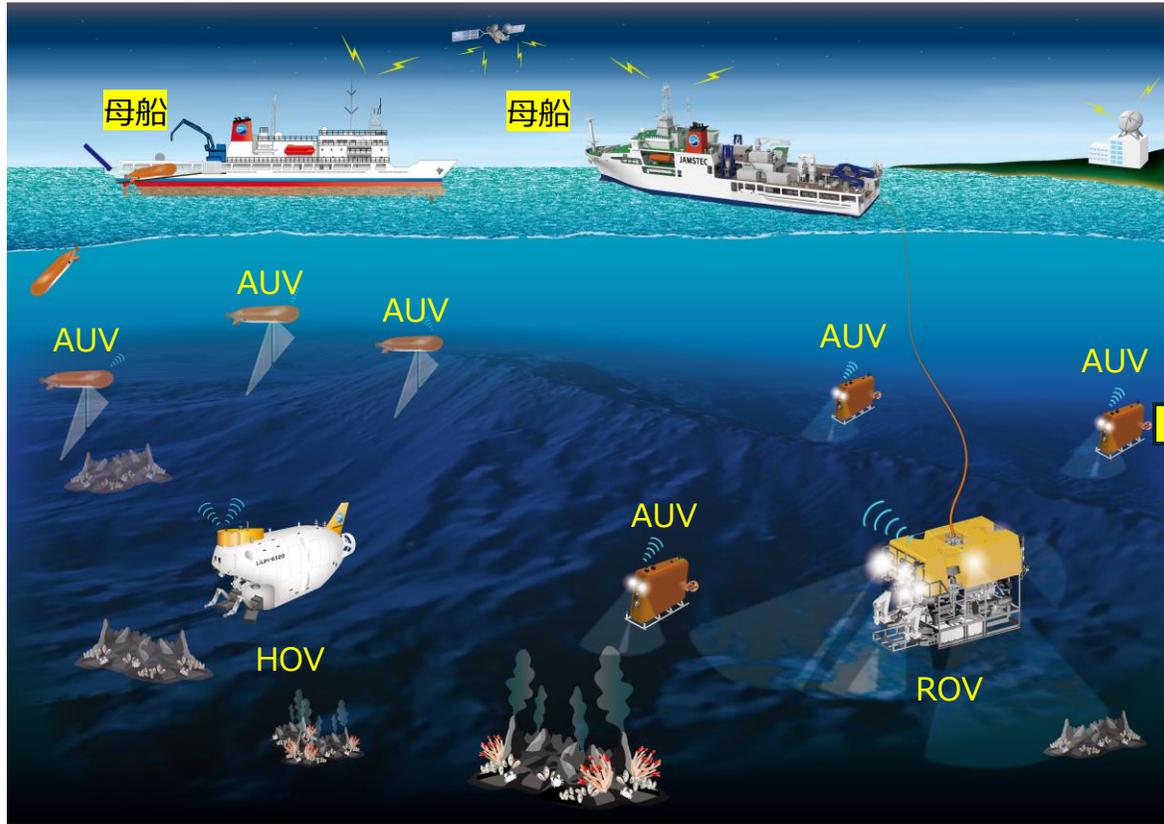
自律型無人探査機

(AUV : Autonomous Underwater Vehicle)

あらかじめ設定した観測シナリオに基づいて自律的に海中を観測する無人探査機。航行型のAUVは比較的航行速度が速く、海底地形データなどを広範囲に取得が可能。ホバリング型のAUVは回転・上下運動に優れ、定点を保持(静止)したままの観察・観測が可能。



汎用性の高い着水揚収システム等を含んだ新たな大深度探査システムに関するFS及びその検討結果を踏まえて、**速やかに新たな大深度探査システムを実装し、2040年までの可能な限り早い時期に24時間観測や複数・多機種同時運用を開始する。**また、新たなコンセプトによる新たな大深度無人探査機が完成した際には、新たな大深度無人探査機と連携したシステム運用も行う。

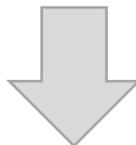


例えば、大深度AUVが事前に広域調査したエリアに対してHOVやROVでピンポイント調査を行うことやAUV間、AUVとHOVやROV間での音響や光無線を使った通信による協調した観測を行うシステム。

海洋開発分科会（深海探査システム委員会）における検討経緯について

海洋開発分科会【第70回】令和5年8月29日（火）

- 深海探査システム委員会の設置及び委員会における調査・検討項目について審議



深海探査システム委員会【第1回】令和5年11月22日（水）

- 国内外の深海探査システムの動向について【ヒアリング】
 - ・ 河野 健 （深海探査システム委員会委員）
- 深海探査システム委員会における検討の進め方について

深海探査システム委員会【第2回】令和5年12月26日（火）

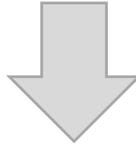
- 深海探査システムに求められる能力について【ヒアリング】
 - ・ 谷 健一郎 （深海探査システム委員会委員）
 - ・ 奥村 知世 （深海探査システム委員会委員）
 - ・ 石橋 純一郎 神戸大学海洋底探査センター教授
- 深海探査システムを実現するための研究開発について【ヒアリング】
 - ・ 志村 拓也 国立研究開発法人海洋研究開発機構技術開発部長

深海探査システム委員会【第3回】令和6年2月5日（月）

- 深海探査システムに求められる能力について【ヒアリング】
 - ・ 日野 亮太 （深海探査システム委員会委員）
 - ・ 道林 克禎 名古屋大学大学院環境学研究科教授
- 深海探査システムを実現するための研究開発について【ヒアリング】
 - ・ 巻 俊宏 （深海探査システム委員会委員）
 - ・ 湯浅 鉄二 （深海探査システム委員会委員）
- 深海探査システムに関する人材育成やアウトリーチ活動について【ヒアリング】
 - ・ 岩崎 弘倫 （深海探査システム委員会委員）
- 将来的に備えるべき深海探査システムについて【ヒアリング】
 - ・ 河野 健 （深海探査システム委員会委員）

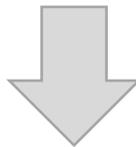
深海探査システム委員会【第4回】令和6年2月22日（木）

- 報告書骨子案に関する意見交換（第1～3回の議論のまとめ）



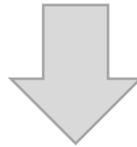
海洋開発分科会【第71回】令和6年3月25日（月）

- 報告書骨子案に関する深海探査システム委員会からの中間報告（第1～4回の議論のまとめ）
- 意見交換



深海探査システム委員会【第5回】令和6年6月6日（木）

- 報告書案に関する意見交換



海洋開発分科会【第72回】令和6年8月1日（木）

- 報告書案に関する深海探査システム委員会からの報告
- 審議

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 深海探査システム委員会 委員名簿

(50音順、敬称略)

(委員)

日野 亮太 東北大学大学院理学研究科 教授

(臨時委員)

河野 健 国立研究開発法人海洋研究開発機構 理事

廣川 満哉 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 特別参与

◎ 松本 さゆり 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所港湾空港生産性向上技術センター 副センター長

(専門委員)

岩崎 弘倫 株式会社NHKエンタープライズ制作本部自然科学番組部
エグゼクティブ・プロデューサー

奥村 知世 高知大学教育研究部総合科学系複合領域科学部門 准教授

小島 茂明 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

谷 健一郎 独立行政法人国立科学博物館地学研究部 研究主幹

巻 俊宏 東京大学生産技術研究所 准教授

湯 浅鉄二 川崎重工業株式会社エネルギーソリューション&マリンカンパニー
船舶海洋ディビジョンエグゼクティブフェロー（潜水艦・AUV 関連技術担当）

(令和6年8月現在)

◎：主査