

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（第5回）  
議事次第

1. 日時 令和6年6月6日（木）14時00分～15時30分

2. 場所 文部科学省会議及びオンライン

3. 議題

（1）今後の深海探査システムの在り方について

（2）その他

4. 資料

資料1 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

資料2 今後の深海探査システムの在り方について（案）

資料3 今後の深海探査システムの在り方について（概要）（案）

参考資料1 今後の深海探査システムの在り方について 中間とりまとめ（案）

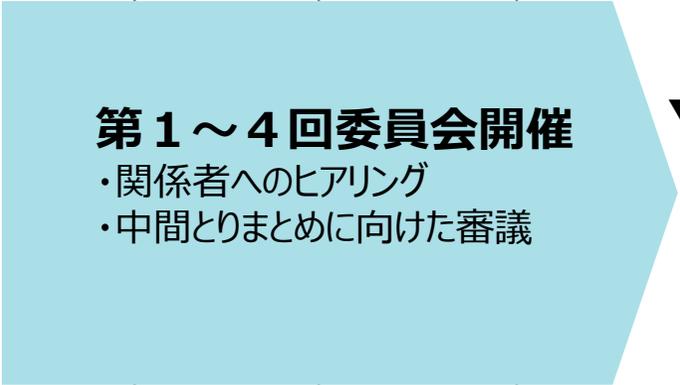
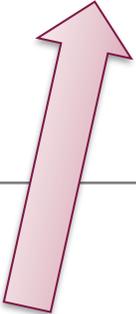
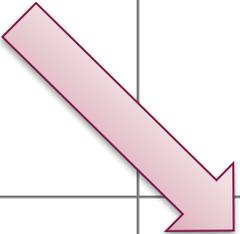
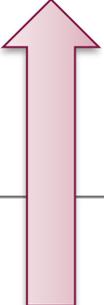
参考資料2 今後の深海探査システムの在り方について 中間とりまとめ（案）（概要）

# 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

資料1

## ・今後のスケジュール

※令和6年6月時点

	R5 11月	12月	R6 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7~8月
<b>海洋開発分科会</b>  ・(8月)委員会の設置   ・中間とりまとめ(案)の報告、審議   ・報告書(案)の報告、審議									
<b>深海探査システム委員会</b>  <p><b>第1~4回委員会開催</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・関係者へのヒアリング</li> <li>・中間とりまとめに向けた審議</li> </ul> <p>▼中間とりまとめ</p>    <p><b>第5回委員会開催(本日)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・報告書(案)とりまとめに向けた審議</li> </ul> <p>▼報告書(案)とりまとめ</p>									

## <はじめに>

- 世界に遅れをとっているから何とかしよう、という動機は違うのではないか。日本周辺には、一番深いところで水深9,780m、それ以外にも6,000mを超える深い海域があり、これは他の国と比べると特異であるといえる。だから、そこを自分で調べる能力が必要であり、そのために何が要るか、ということではないか。【資料2 P1】
- 深海探査による研究開発、特に、海洋汚染や環境影響評価の貢献先は、「地球環境保全」が適切ではないか。【資料2 P1 61行目】

## <I.2.(4) 探査機の運用システム等について>

- 目標やニーズを基にしたモノづくりをする際には、あらかじめ民間企業等との連携が必要である。それがないと時間とコストがかかり、結局は予定していたものが作れない。【資料2 P6 228-230行目】
- 「洋上風力発電の設置等へのAUVの社会実装の推進」と、「産業向け探査機等の技術を取り入れる」との関係がわかりづらい。【資料2 P6 228-230行目】

## <I.3. 各分野の研究開発動向と深海探査システムの求める能力について>

- 深海は、未知の研究や資源の宝庫であるため、各分野において、日本周辺の深海の研究開発を推進していくことを強調してはどうか。【資料2 P6 234-236行目】
- 深海探査による研究開発、特に、海洋汚染や環境影響評価の貢献先は、「地球環境保全」が適切ではないか。(再掲)【資料2 P6 235行目】
- 「HOV・ROV・AUVをバランスよく整備していく」というのは、結局どれも成果が得られにくいのではないか。【資料2 P6 351-352行目】

## <II.1. 今後の方向性>

- 「HOV・ROV・AUVをバランスよく整備していく」というのは、結局どれも成果が得られにくいのではないか。(再掲)【資料2 P10 391-392行目】
- 目標やニーズを基にしたモノづくりをする際には、あらかじめ民間企業等との連携が必要である。それがないと時間とコストがかかり、結局は予定していたものが作れない。(再掲)【資料2 P10 394-395行目】
- 「技術開発が必要とされる要素技術の例」に、「サンプルエレベータを介した水中でのバッテリー交換」を入れてはどうか。それができると、探査機を電池交換のためだけに母船に回収する必要がなくなり、効率化に繋がる。【資料2 P12 461行目】

今後の深海探査システムの在り方について  
(案)

<目次>

<はじめに>

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

(1) 深海大国日本における深海探査の重要性

(2) ROV や AUV の大深度化・高効率化の遅れ

(3) 日本で最深度まで潜航できる HOV の老朽化

(4) 人材の育成・確保

2. 深海探査機における国内外の状況と課題

(1) HOV

(2) ROV

(3) AUV

(4) 探査機の運用システム等について

3. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

(1) 海底地質学

(2) 地球生命科学

(3) 海底鉱物資源

(4) 地震・防災

(5) 分野横断型の調査研究

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

(1) 新たな大深度無人探査機の開発

(2) 母船を含めた新たな大深度探査システムの構築

(3) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

## 29 <はじめに>

30 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  
31 り、また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  
32 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  
33 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  
34 約50%が水深4,000m以上であることに加え、水深5,000m以深の体積は世界1位であ  
35 り、世界有数の深海フィールドを有している。

36 第4期海洋基本計画<sup>1</sup>に掲げられた「総合的な海洋の安全保障」と「持続可能な海  
37 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  
38 用することが大前提であり、EEZの半分を占める深海の探査能力を維持・強化するこ  
39 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  
40 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  
41 おり、政府としても深海探査システムの拡充・強化に対する重要性を示している<sup>2</sup>。

42 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  
43 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  
44 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  
45 査の意義は極めて高く、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。

46 具体的には、深海域・海溝底の探査により、大規模地震・火山噴火の発生域におけ  
47 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  
48 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  
49 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  
50 国における防災・減災に関する研究開発の進展に繋がる。

51 また、資源に乏しい我が国において、海底熱水鉱床は、数少ない金属資源であり、  
52 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に期待されている。

53 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  
54 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  
55 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  
56 る新物質の活用等の発展が期待されている。

57 加えて、気候変動による海水面の上昇や、海洋酸性化、貧酸素化に伴う生態系変  
58 化、海洋プラスチック汚染などの人為的な環境影響は、深海平原（水深3,500mから  
59 6,500mの範囲に広がる平坦な海底）の堆積物を用いた海洋環境の健全性を診断する手  
60 法等により、日本周辺の深海平原で海洋汚染状況とその生態系モニタリングを行うこ  
61 とができ、深海探査は地球環境保全や社会経済活動への貢献に大きな期待が寄せられ  
62 ている。

63 そのほかにも、深海は未解明の研究領域が多いことから、新たな分野横断的学際研  
64 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。

65 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に理解する  
66 ため、海洋調査データを格段に増やす必要があり、そのため海洋観測フロート、海底  
67 設置型観測機器、係留系観測機器、探査機<sup>3</sup>等を用いた海洋調査観測の拡充を図ると  
68 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た<sup>4</sup>。

69 一方、我が国は、1990年代には世界初・唯一の水深11,000m級を調査できる探査機

<sup>1</sup> 「第4期海洋基本計画」（令和5年4月28日閣議決定）

<sup>2</sup> 「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）

<sup>3</sup> 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。

<sup>4</sup> 「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）

70 を所有するなど世界最高の深海探査能力を有していたが、近年では、6,000m 以深での  
71 調査・作業が可能な探査機は「しんかい 6500」のみとなっている。その「しんかい  
72 6500」も老朽化が進む中、海外では深海探査能力が向上し、市販の探査機で水深  
73 6,000m 級の探査を行うことが可能となってきたことから、かつて世界一だった  
74 我が国の深海探査能力は他国から後れを取っていることは否めない。

75 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、深海探査  
76 システムの研究開発及び整備に早急に取り組む必要がある。

77 本報告書では、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  
78 我が国の深海探査システムの在り方及び推進方策についてとりまとめた。

79

【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。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、マンピュレ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、有人のため、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、我が国における最も深海（6,000m 以深）で調査・作業が可能な HOV として「しんかい 6500」のみを所有している。

（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、マンピュレータによる大型装置の搭載や重量のある試料採取を得意とする。さらに、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、探査可能な範囲は HOV に比べて狭く、カメラを通じた観察のため、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り、母船やケーブルへの負荷が増大する。

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

（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を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、バッテリーにより駆動する。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、6,000m 級の「NGR6000」、3,500m 級の「うらしま」等を所有している。

## 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 面積は約 50%が水深 4,000m 以深であり、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・高効率化の遅れ

我が国において、6,000m 以深での調査・作業が可能な探査機は、無人機も含めても、HOV である「しんかい 6500」のみである。海外では、大深度化や高効率化が著しく進展し、ROV や AUV のいずれも 6,000m 級の製品が市販化している一方で、我が国の国産技術は、AUV は 4,000m 級に止まり、かつてフルデプス級<sup>5</sup>を運用していた ROV も 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。

また、アジア・太平洋域では、6,000m 以深へ到達できる探査機が特定の国に集中しており、他の海域に比べて探査能力が脆弱といえる。

#### (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、近い将来使用できなくなる懸念がある。また、「しんかい 6500」の輸送・運用を担う母船「よこすか」においても、就航から 30 年以上が経過しており、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<sup>6</sup>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、早急に対策を講じる必要がある。

#### (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 50%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。

### 2. 深海探査機における国内外の状況と課題

これらを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を深海探査機に分け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 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<sup>7</sup>している。

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

<sup>6</sup> 本年 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.sci.go.jp/ja/event/2023/336-s-0617.html>)。

<sup>7</sup> 米国では、海軍 (運用は WHOI) が唯一所有する HOV の改造を 2021 年に完了し、4,500m から 6,500m に大深度化。また、2018

122 我が国では、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  
123 て、6,500m級の「しんかい6500」を保有している。しかし、「しんかい6500」は、  
124 これまでの潜航実績から推定される耐圧殻の設計限界として、2040年代まで使用  
125 可能であるが、1989年に「しんかい6500」が建造されて以来、同等以上の大深度  
126 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  
127 のサポート停止が進み、技術が失われつつあるため、現状のままでは海外から後  
128 れをとる恐れがある。また、「しんかい6500」の運用には多数の船員が必要であり、  
129 運用コスト面でも課題がある。

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

132 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<sup>8</sup>、世  
133 界的にも技術が確立していないものの、海外では海底油田等の海洋産業を背景に、  
134 欧米の民間企業が6,000m級のROVを多数市販している。加えて、科学調査等での  
135 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  
136 ど多数の国の公的機関・大学が6,000m級のROVを所有している。

137 我が国では、フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの  
138 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  
139 れい」の退役(2022年)もあり、現在では4,500m級の「かいこうMk-IV」及び  
140 「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  
141 複数機保有するに止まっている。ROVによる深海探査能力が海外から後れをとっ  
142 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  
143 海洋の安全保障上も課題がある。また、「しんかい6500」に不測の事態があった  
144 場合の救難活動<sup>9</sup>に備えて、潜航深度が同等以上の大深度ROVが必要である。

145 しかし、現在、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  
146 の構成機器を含め、基本的には海外から購入している。加えて、6,000m以深対応  
147 の一次ケーブルも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  
148 ードルが高い。ケーブルが劣化することへの対策として、開発した後も定期的な  
149 交換が必要であり、運用コストも課題であることから、6,000m以深対応のROVの  
150 実現に向けた新たな技術開発必要である。

151 また、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  
152 があまりないことから、これまで我が国が培ってきた水中音響通信技術等を発展  
153 させ、国内で開発する意義は大きい。

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

156 海外では、米国や英国、ドイツ等の公的機関が6,000m級AUVを保有しているほ  
157 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6,000m級AUVが市  
158 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が約  
159 11,000mまで到達したとの報道もされている。

160 我が国では、米国企業から購入した6,000m級の「NGR6000」を保有しているほ  
161 か、3,500m級の「うらしま」を改造し、2025年度に8,000m級AUVとして実運用  
162 が開始される見込みである。しかし、探査機の使用には、複数の水中作業員(ス

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、7,000m級を複数機、4,500m級を1機所有。インドも6,000m級を建造する計画。

<sup>8</sup> 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7,000m級ROVを製造。

<sup>9</sup> 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、「しんかい6500」を引き揚げる。

イマー)を必要とすることもあるため、運用コストの面や複数・多機種同時運用の実現面などに課題<sup>10</sup>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<sup>11</sup>が進行中であり、引き続き世界に先駆けた研究開発を進めることが重要である。

#### (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。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、我が国の深海探査機の通常の運用では最低でも 2 航海、計 40 日以上 of 調査期間が必要と推定されるデータを 1 航海、2 週間の調査期間で取得可能であり (調査時間は計 200 時間以上)、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。

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ため、例えば JAMSTEC では、AUV を使用する際と ROV を使用する際にはそれぞれ船舶の運用が必要となり、時間的にもコスト的にも非効率である。

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、実際の調査航海で有効活用している事例は数少ない<sup>12</sup>。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。

また、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中である。さらに、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必要である。

##### ② 着水揚収システム

着水揚収システムについては、英国の民間企業では昇降式システムの、米国ではガレージ式システムの母船への導入が進められている。また、AUV 「NGR6000」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 の母船を用いた着水揚収作業には、A フレームクレーンを使用<sup>13</sup>しているが、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く必要とする。また、HOV 「しんかい 6500」及び AUV 「うらしま」の揚収には水中作業員 (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

<sup>10</sup> 詳細は (4) にて後述。

<sup>11</sup> 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。

<sup>12</sup> 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。

<sup>13</sup> 専用の着水揚収装置を備える「KM-ROV」は除く。

204 への対応の観点からも課題がある。

### 206 ③探査機を構成する要素技術

207 「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  
208 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性能を達成して  
209 おり、約 2.5 秒に 1 枚の頻度で画像を送信可能である。

210 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、  
211 これを用いた複数機の AUV の隊列制御にも成功している。

212 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  
213 が国の世界トップレベルの水中音響通信技術を生かした技術開発の推進が必要で  
214 ある。

215 さらに、各探査機の大深度化を推進する上では、センサ<sup>14</sup>やカメラ、マニピュ  
216 レータ等の現場観測機器も大深度に対応した技術開発が必要である。

### 218 ④深海探査システムを取り巻く諸課題

219 10 年前と比べ、研究船の減数に伴う総航海日数の減少<sup>15</sup>などにより、特に若手  
220 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  
221 要因となっている。EEZ 面積の大半を深海域が占める我が国にとって、科学的基  
222 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  
223 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  
224 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  
225 である。

226 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  
227 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  
228 装の推進について方針が示された<sup>16</sup>ことなども踏まえ、民間企業等が行う浅海域  
229 における産業向け探査機の技術開発のノウハウを深海探査システムの開発に取り  
230 入れることも必要である。

## 232 3. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

233 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  
234 開発分野のフィールドとなっている。水深 5,000m 以深の体積が世界 1 位である我が国  
235 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  
236 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  
237 ら得られる新たな発見も期待される。

238 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。

### 240 (1) 海底地質学

241 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  
242 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、  
243 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。

244 特に、マリアナ海溝（最深部 約 11,000m）南部の岩石は海溝、島弧、背弧の岩

<sup>14</sup> 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。

<sup>15</sup> 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。

<sup>16</sup> 「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）

245 石学的性質の全てを示すと言われているため、HOV・ROVによる、海底を詳細に観  
246 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.  
247 の現状のとおり、水深6,500m以深においてそれらの作業を行うことは不可能であ  
248 る。

249 また、伊豆・小笠原海溝（水深6,500m以深）の海溝斜面においては、HOV「し  
250 んかい6500」とROV「かいこう7000Ⅱ」<sup>17</sup>を用いて採取した岩石により、プレー  
251 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が、現状、こ  
252 の水深で調査・試料採取ができるROVを我が国では所有していない。

253 2015年に実施したHavre火山噴火調査航海では、米国の調査船による24時間  
254 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  
255 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、  
256 サブ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  
257 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  
258 る必要がある。

259 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  
260 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。

261 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。

- 262 ・ 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
  - 263 ・ 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
  - 264 ・ 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
- 265

## 266 (2) 地球生命科学

267 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  
268 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  
269 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  
270 溝周辺では水深2,000~6,500mに分布している。この解明のためには、湧水、生  
271 物、岩石等の採取及びコアリングを行うことが重要であり、そのためには、水深  
272 6,500mの調査能力の維持が必要不可欠である。

273 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・  
274 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  
275 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  
276 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。

277 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  
278 が不足しているため、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  
279 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  
280 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による人の目での  
281 現場観察や、ROV・HOVを使用した試料採取、高い操作性を活かした現場実験が必  
282 要である。

283 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）  
284 や現場観測能力が可能なROV・HOVが必要である。特に、深海底は生物多様性に富  
285 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  
286 きた生物の死体や巣穴等が形成する小さな構造物）を把握する必要があり、また、  
287 数cm単位で地質の化学組成とあわせて調査することが重要である。

<sup>17</sup> 現在は、後継機のROV「かいこう Mk-IV」となっている。

288 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  
289 開発を進める必要がある。

- 290 ・ 繊細な試料採取が可能となるマニピュレーション能力
- 291 ・ 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
- 292 ・ 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
- 293 ・ 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

### 294 (3) 海底鉱物資源

295 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  
296 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  
297 ガン団塊及びレアアース泥は水深 4,000~6,000m の平坦な深海底に多く存在する。

298 これらの海底鉱物資源を採取するためには、まずは AUV によるマッピングによ  
299 り鉱物の分布を把握し、その後、操作性の高いマニピュレータを備えた ROV・HOV  
300 を使用して鉱物の試料採取及びその周辺の海底熱水の採取を行っている。

301 また、鉱物の成因解明のため、AUV によるマンガクラストの厚み計測や、  
302 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  
303 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  
304 深）あるいは対照的な地質場（島弧と中央海嶺）や、鉱物の量が少ない地域と多  
305 い地域との調査・比較を行う必要がある。

306 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、ROV・  
307 HOV による試料採取能力の維持が不可欠である。

308 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。

- 309 ・ 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
- 310 ・ 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 又  
311 は HOV と同等の高い視認性を持つ高度可視化システム

### 312 (4) 地震・防災

313 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  
314 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、船舶及び探  
315 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  
316 の断層すべり量が精緻に観測された。また、海外の HOV によって、同震災に伴い  
317 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  
318 で観察・撮影された。

319 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  
320 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  
321 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  
322 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、  
323 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  
324 列島沖でも観測が必要である。

325 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  
326 める必要がある。

- 327 ・ 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  
328 海溝底の岩石や堆積物を採取可能な探査機の開発
- 329 ・ 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  
330 ーブルの敷設

- 332           ケーブルへの接続を行うことが可能な重作業 ROV の開発  
333           ・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、  
334           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  
335           探査機の開発  
336           ・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  
337

#### 338 (5) 分野横断型の調査研究

339           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  
340           たな発見も期待されることから、分野横断型の調査研究を活性化するシステムも  
341           重要である。

342           例えば、深海の海溝底は、地理的な隔絶と高圧等の環境要因により特殊な生態  
343           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、  
344           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、  
345           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  
346           能なフルデプス級の探査機の開発が必要である。

347           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  
348           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  
349           ムの開発が必要である。

350           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  
351           い空間を対象に高分解能での調査が重要であるため、HOV・ROV・AUV 各種の探査  
352           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が必要である。  
353

354           I. 3. (1) ~ (5) に掲げた以上のことから、各分野の研究開発動向を踏  
355           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  
356           つに分類される。

- 357           ・航行型 AUV が得意とする詳細な海底地形図作成などの「広範囲の観察・計測」  
358           ・HOV や ROV、ホバリング型 AUV が得意とする深海生物や露頭の観察などの「海底  
359           面付近での観察・計測」  
360           ・HOV 及び ROV が得意とする海底を詳細に観察しながらの「試料採取」  
361           ・HOV 及び ROV が得意とする地殻変動観測装置等の観測機器のピンポイントでの  
362           設置などの「重作業」  
363

364

## 365 II. 今後の深海探査システムの在り方について

### 366 1. 今後の方向性

367 I. 3. に示したとおり、深海大国である我が国では、水深 4,000m 以深の大深度  
368 海域において、「広範囲の観察・計測」「海底面付近での観察・計測」「試料採取」「重  
369 作業」といったいずれの機能も必要不可欠である。特に、水深 6,000m 以深～フルデ  
370 プスの海域では、海溝底<sup>18</sup>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  
371 て高い海域が存在するため、フルデプス級の機能を持った探査機を備えることが望ま  
372 しい。

373 一方、I. 2. で示した通り、海外において探査機の大深度化や高効率化が著しく  
374 進展する中、我が国は探査機の技術開発等で大きく後れをとっている。特に、海外で  
375 は複数の国が市販の 6,000m 級の ROV やフルデプス級の HOV を所有しているのに対し、  
376 現在の我が国の ROV の最高潜航深度は 4,500m であり、これより深い海域での「試料採  
377 取」及び「重作業」は、「しんかい 6500」のみに依存している状況である。また、AUV  
378 については、8,000m 級の航行型 AUV を開発中であり、「広範囲の観察・観測」の機能  
379 は強化されることとなるが、航行型 AUV のみでは「試料採取」及び「重作業」が十分  
380 に行えず、「海底面付近での観察・計測」にも限界があるため、これらの作業が可能  
381 な ROV 等が必要である。さらに、老朽化が深刻な「しんかい 6500」及び母船「よこす  
382 か」の運用が停止すると、我が国が調査可能な水深が 6,500m から大きく後退し、我  
383 が国がこれまで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。

384 こうした状況を踏まえ、我が国において、深海の調査・研究を継続的に行うために  
385 は、「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進めるとともに、  
386 遅くとも「しんかい 6500」の運用限界と推定される 2040 年頃までに、新たな大深度  
387 無人探査機の運用を開始する必要がある。加えて、I. 3. で示したような深海探査  
388 における多様なニーズに応えるとともに、I. 2. (4) で示した船員不足や航海日  
389 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  
390 するためには、母船の運用を含め、効率的な調査が可能な新たな深海探査システムを  
391 構築する必要がある。そのためには、HOV、ROV、AUV を効果的に運用できるよう整備  
392 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  
393 可能なシステムを導入することで、調査の効率性や精度をより一層高める必要がある。  
394 なお、新たな技術開発や深海探査システムの構築を行う際には、産学官連携による検  
395 討を行うことも重要である。

396 HOV、ROV、AUV 及びそれらの母船において、具体的には以下の三点について、I.  
397 で示した深海探査システムに求められる能力の 4 つの分類に基づいた技術開発を進め  
398 る。

#### 400 (1) 新たな大深度無人探査機の開発

401 上記の通り我が国で対応が後れている大深度での「試料採取」及び「重作業」  
402 の機能の強化、熱水鉱床付近などアクセス困難な海域での調査など研究者の安全  
403 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  
404 化等の観点から、フルデプス対応した新たなコンセプトに基づく無人探査機を開  
405 発する。

406 具体的には、まずは試作機として、海底設置型長期観察システム（ランダー）  
407 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とを組  
408 み合わせ、母船・ランダー・小型無人探査機間の通信にケーブルではなく音響通

<sup>18</sup> 詳細は I. 3. (5) 参照。

409 信を活用した、試料採取を行う探査機が想定できる。また、将来的には、この試  
410 作機で培った要素技術等を応用しつつ、視認性・機動性を向上させ、現場観測・  
411 大容量サンプリング機能を保有した新たな大深度無人探査機を開発することが期  
412 待される。

413 この新たな無人探査機では、一度の調査に多数の研究者が参画し、実際に海底  
414 に行って調査する場合に近い感覚での調査を可能とするため、高い視認性を確保  
415 する高度可視化システムや陸上からの遠隔操作など、これまでの探査機にない新  
416 たな機能を付加することで、効率性・機能性を追及する。加えて、陸上からの遠  
417 隔操作により、複数の分野に跨る多くの研究者が同時に調査に参画し、ディスカ  
418 ッションを行いながら調査することが可能なシステムとすることで、分野横断型  
419 研究の促進など調査研究の質の向上にもつなげる。

420 また、6,000m 以深対応の ROV を太径ケーブル（電力供給を行うケーブル）に依  
421 存せずに運用できるシステムは世界に例が少ない<sup>19</sup> ことに加え、大深度 ROV の構  
422 成機器は海外でも市販品があまりないことから、これまで培ってきた我が国の技  
423 術を発展させ、世界に先駆けて開発する意義は大きい。

424 新たな大深度無人探査機の開発には、下記の①、②に記述した通り、多くの要  
425 素技術の開発が必要であり、相当の時間を要する。そのため、「しんかい 6500」  
426 の運用限界と推定される 2040 年頃までに運用できるよう、以下のスケジュールで  
427 開発を進める。

#### 428 429 ① 基盤的な要素技術及び試作機の開発（～2030 年頃）

- 430 ・ 2040 年頃までに大深度探査システムを運用開始するため、まずは水深  
431 6,500m 以深での簡便な試料採取機能や、I. 2. (1) のとおり技術面・  
432 運用コスト面で課題がある太径ケーブルに依存しない高性能な電力貯  
433 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  
434 て、24 時間観測や複数・他機種同時運用に向け、AI 等を活用した自律航  
435 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  
436 技術開発を進める。また、2030 年頃までにこれら技術を搭載した大深度  
437 無人探査機の試作機の運用を開始する。

438  
439 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 440 ・ ケーブルによる電力供給に代わる大容量バッテリー
- 441 ・ 細径ケーブル（電力供給を行わないケーブル）またはケーブルレスでの高速・高精度  
442 な通信・測位を可能とする音響通信技術
- 443 ・ 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  
444 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
- 445 ・ 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  
446 化
- 447 ・ 長時間運用のためのレジデント技術<sup>20</sup>
- 448 ・ 広域調査のための慣性航法能力 等

#### 450 ② 新たな大深度無人探査機の開発（～2040 年頃）

- 451 ・ ①のシステムのために開発された技術等を発展させ、大容量サンプリ  
452 グ能力や岩石試料等の採取及び重作業が可能な強さを持つ試料採取シス

<sup>19</sup> 細径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。

<sup>20</sup> 詳細は I. 2. (4) ①参照。

453 テム、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  
454 視化システム、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  
455 操作等の技術開発を行い、2040 年頃までにこれらの機能を兼ね備えた新  
456 たな大深度無人探査機の運用を開始する。

457  
458 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 459 ・ 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  
460 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  
461 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
- 462 ・ 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、SLAM<sup>21</sup>
- 463 ・ 遠隔操作のための高速無線通信 等

## 464 465 (2) 母船を含めた新たな大深度探査システムの構築

466 「しんかい 6500」の耐圧殻の設計限界は 2040 年頃と推定されているが、運用  
467 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  
468 過しており、その老朽化は深刻である。「しんかい 6500」が停船するより前に  
469 「よこすか」が停船となる可能性も高いため、上記(1)で述べた大深度無人探  
470 査機を搭載可能な母船の在り方についても、早急に検討が必要である。

471 例えば、船舶の定員や安全性確保の点等を考慮し、24 時間観測や複数・多機種  
472 同時運用を実現するためには、国内外における昇降式システムやガレージ式シス  
473 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  
474 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。また、新た  
475 な汎用性の高い着水揚収システムを検討することにより、現在改造中の AUV「う  
476 らしま」など、既存の探査機に関しても着水揚収時の運用の効率化につながる。

477 さらに、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ため、  
478 今後は、上記のような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  
479 るいは陸上からの遠隔操作等の技術を取り入れることにより、省人化・効率化を  
480 進めることが重要である。

481 具体的には、以下のスケジュールで開発を進める。

### 482 483 ① 汎用性の高い着水揚収システム等に関する FS (～2030 年頃)

- 484 ・ 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  
485 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  
486 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検討  
487 を行う。加えて、(1) ①で開発した試作機の実海域における船舶を活用  
488 した実証など、24 時間観測や複数・多機種同時運用の実現に向けた実証  
489 試験を実施する。

490  
491 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 492 ・ 昇降式・ガレージ式等の着水揚収システム
- 493 ・ (1) ①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

### 494 495 ② 新たな大深度探査システムの構築 (2040 年頃まで)

- 496 ・ ①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

<sup>21</sup> 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。

497 ムを実装し、24 時間観測や複数・多機種同時運用を開始する。  
498

499 上記（１）、（２）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  
500 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  
501 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  
502 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  
503 ムの検討にあたっては、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。

504 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  
505 素技術の研究開発を世界に先駆けて行う。  
506

### 507 508 (3) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

509 前述の通り、老朽化が深刻な「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の運用が  
510 停止すると、我が国が調査可能な水深が 6,500m から大きく後退し、我が国がこれ  
511 まで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。また、  
512 「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  
513 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が失われつつ  
514 あり、国内で同等の能力を持つ HOV の新造は開発期間・コストの両側面から困難  
515 な状況である。加えて、母船「よこすか」は、船底外板の減肉などの船体構造の  
516 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  
517 い 6500」の継続的な運用が危ぶまれている。したがって、「しんかい 6500」及び  
518 母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進め、「しんかい 6500」をこれまでの  
519 潜航実績から推定される耐圧殻の設計限界である 2040 年頃まで、あるいは、上記  
520 (1)、(2) が開発されるまで、最大限活用する。

521 並行して、「しんかい 6500」を可能な限り長くかつ効果的に活用するため、例  
522 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  
523 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 AUV と  
524 の同時運用などの機能強化にも取り組む。  
525

526 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

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

530  
531 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  
532 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  
533 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  
534 後も引き続き議論していく。  
535

## 536 2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

537 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。  
538 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  
539 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  
540 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  
541 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  
542 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・

543 継承する必要がある。

544 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術や深海探査の重要性・必要性を  
545 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、探査機が実際に行って  
546 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。

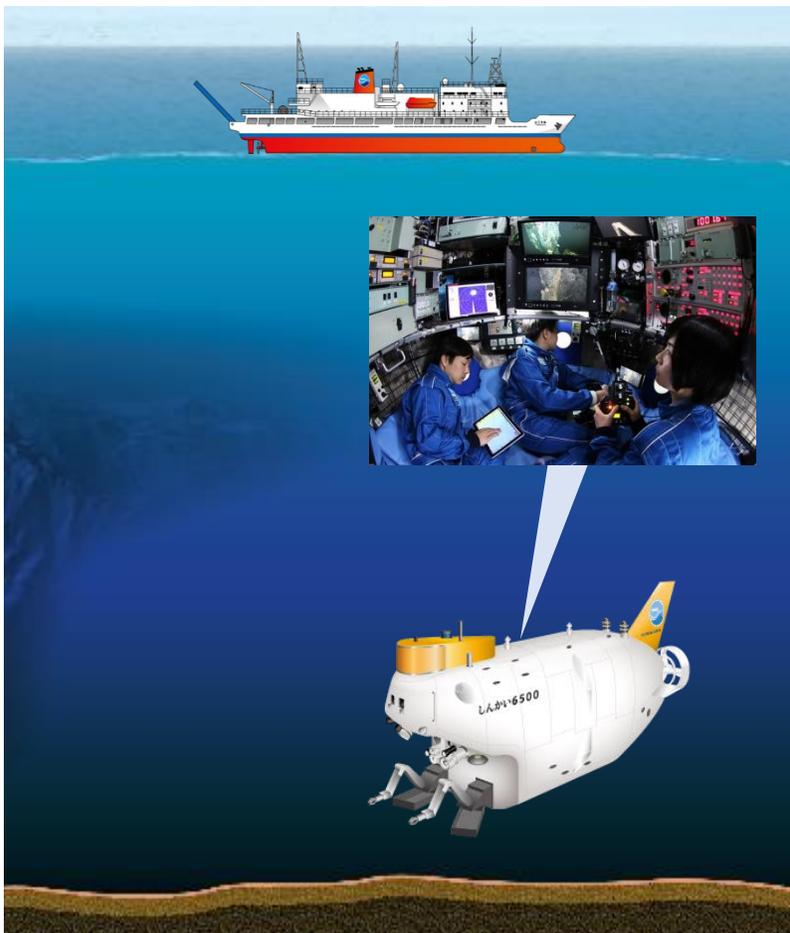
547 また、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性について国民から広く認識を得る  
548 ため、STEAM 教育やアウトリーチを推進する。特に深海探査は、科学博物館などの展  
549 示の来場者では 30 代以下の若年層が6割を占めるなど、国民に人気の高いコンテン  
550 ツであることから、この強みを活かしつつ、深海のリアルな映像を鮮明に伝えるため  
551 の技術（4K・8K のハイダイナミック映像、全方位カメラなど VR 映像、深海広域照明  
552 設備等）の開発や、リアルタイムで発信するための大容量通信インフラを整備し、調  
553 査研究と併せたアウトリーチに活用可能な映像情報の取得を行う。

554 深海探査システムの研究開発においては、研究機関や大学等に加え、産業界におけ  
555 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を活用した産業  
556 育成や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。





## 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

深海大国である我が国では、**深海探査は科学的基盤の強化及び総合的な海洋の安全保障(防災・減災、地球環境変動等)の観点から極めて重要**であるが、以下のような課題を抱えている。

### 2. 深海探査機における国内外の状況と課題

#### <深海探査システムに関する課題>

**(HOV)** 6,500m級のHOV「しんかい6500」は4,500m超の海域で作業が可能な唯一の探査機だが、母船「よこすか」も含め、老朽化が深刻。構成機器、部品の生産中止等が進み、国内の民間企業では大深度HOVを製造技術はほとんど後退。

**(ROV)** フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの技術を誇っていたが、現在では**4,500m級まで後退**。世界に大きく後れをとっている状況。

**(AUV)** **8,000m級AUV「うらしま」を開発中**。運用時に複数の水中作業員を要するため、**コスト面や複数・多機種同時運用の実現等が課題**。

**(運用面)** 探査機、母船いずれも複数・多機種同時運用などの**効率的な運用を想定した設計となっておらず非効率**。一方、海外では**運用システムの効率化**が進んでおり、**シフトタイムを最大限有効に活用**※。

※海外の事例  
・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時間の連続観測など、シフトタイムを有効活用した効率的な調査を実施。  
・米国、英国等では昇降式、ガレージ式の着水揚収システムの導入により省人化を推進。  
・船上装置の陸上からの遠隔操作の導入など、効率的な運用システムの開発も進展。

#### <深海探査システムを取り巻く課題>

**(人材育成)** 研究船の減少に伴う航海日数の減少などにより、特に**若手研究者が研究航海に参加する機会が減少**。海洋研究者の裾野拡大や海洋分野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**。

**(産学官連携)** AUV戦略等も踏まえ、**産業向け探査機のノウハウを深海探査システムに取り入れるなども重要**。

## 3. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

- ✓ 下記に示す各分野のニーズのとおり、多様な手法を駆使して幅広い空間を対象に高分解能で調査が重要であるため、**HOV・ROV・AUV各種の探査機を組み合わせると同時に効果的に運用可能なシステムの構築が必要**。
- ✓ 科学的観点・社会課題解決の観点から調査意義の高い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が必要**。
- ✓ **分野横断型の調査研究を推進**するため、より多くの研究者が参画できる**遠隔操作等の新技術の導入も必要**。

#### <各分野のニーズの例>

【海底地質学】 岩石採取のための露頭観察の能力、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

【地球生命科学】 繊細な試料採取が可能となるマニピュレーション能力、深海生物の行動を詳細に把握できる高い視認性等

【海底鉱物資源】 調査範囲の絞り込みのための広範囲調査、海底面付近を観察できる高い視認性

【地震・防災】 海溝底（6,500m～フルデプス）の岩石等を採取可能な大容量サンプリング能力、海底への測器の設置、ケーブルへの接続等の重作業能力

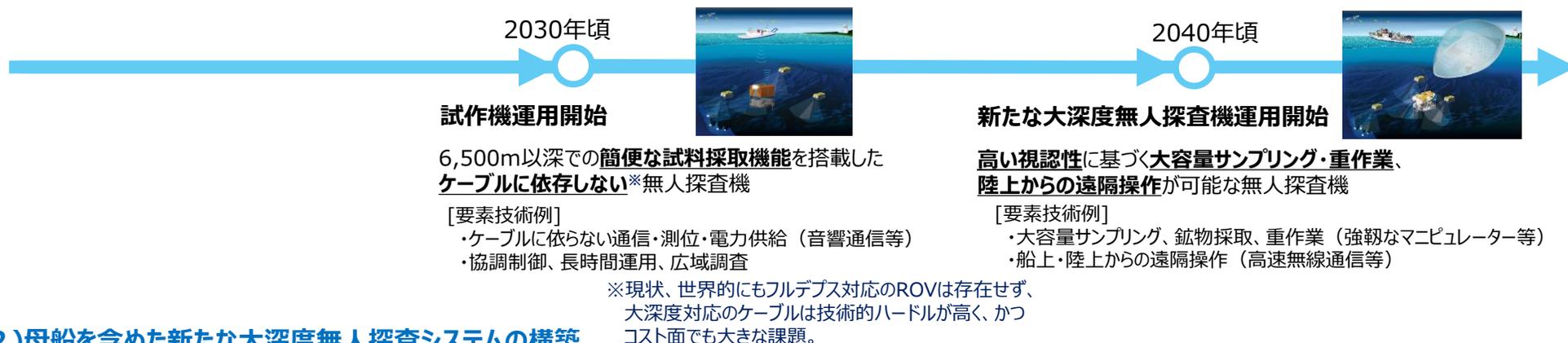
## II. 我が国の深海探査システムの在り方について

### 1. 深海探査システムの今後の方向性について

I. 3. の各分野のニーズから、「しんかい6500」のみに依存せず、4,000m以深で観察・計測、試料採取、重作業の機能を満たす新たな大深度の探査機が必要。そのため、HOV、ROV、AUV及びそれらの母船について、具体的には**以下の三点について開発を推進**。

#### (1) 新たな大深度無人探査機の開発

我が国で対応が後れている**大深度での試料採取及び重作業の機能の強化、研究機会の増大、効率性向上**等のため、**フルデプス対応した無人探査機を開発**



#### (2) 母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築

**24時間観測や複数・多機種同時運用などが可能なシステムを構築**



#### (3) 「しんかい6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

**老朽化対策及び機能強化を最優先**で実施し、「しんかい6500」を**耐圧殻の設計限界である2040年代まで最大限活用**



## II.我が国の深海探査システムの在り方について

### 2.深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

#### <人材育成>

- 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前述の深海探査システムの維持・発展は重要。**

#### <アウトリーチ>

- 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術・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、**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く成果を発信。**
- **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のアウトリーチを推進。**
- 具体的には、**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。**加えて、**調査研究と併せてアウトリーチに活用可能な映像情報を取得。**

#### <産学官連携>

- 深海探査システムの開発で得られた成果を活用した**産業育成や経済安全保障の確保なども見据え、産学官の連携を推進。**

1 今後の深海探査システムの在り方について  
2 中間とりまとめ（案）  
3

4 <目次>

5 <はじめに>

6 I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

7 1. 深海探査システムの国内外の状況

8 (1) HOV

9 (2) ROV

10 (3) AUV

11 (4) 探査機の運用システム等について

12 2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

13 (1) 海底地質学

14 (2) 地球生命科学

15 (3) 海底鉱物資源

16 (4) 地震防災

17 (5) 分野横断型の調査研究

18 II. 今後の深海探査システムの在り方について

19 1. 深海探査システムの今後の方向性

20 (1) 新たな大深度無人探査機の開発

21 (2) 母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築

22 (3) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

23 2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

## 24 <はじめに>

25 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  
26 り、また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  
27 る。

28 2022年8月に、海洋開発分科会において、広くかつ深い海洋を包括的に理解するた  
29 め、海洋調査データを格段に増やす必要があり、そのためフロート、海底設置型観測  
30 機器、係留系観測機器、探査機<sup>1</sup>等を用いた海洋調査観測の拡充を図るとともに、技  
31 術の改良・高度化を進めることの重要性が指摘された<sup>2</sup>。また、2023年12月には、総  
32 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  
33 強化することの重要性が指摘されている<sup>3</sup>。

34 これらの中でも、深海探査は、以下のような喫緊の課題を抱えており、早急に取り  
35 組む必要がある。

### 36 (1) 深海大国日本における深海探査の重要性

- 37 ✓ 我が国のEEZは約50%が水深4,000m以深であり、本海域を自国で探査する能  
38 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  
39 点からも必須であり、防災・減災、地球環境変動等の総合的な海洋の安全保  
40 障上も極めて重要

### 41 (2) ROVやAUVの大深度化・高性能化の遅れ

- 42 ✓ ROVやAUVは、海外で大深度化や高性能化が著しく進展し、いずれも6,000m  
43 級の製品が市販化
- 44 ✓ 一方、我が国の国産技術は、AUVは4,000m級に止まり、かつてフルデプス級<sup>4</sup>  
45 を運用していたROVも4,500m級まで後退し、海外から大きく後れている状況
- 46 ✓ また、アジア・太平洋域では、6,000m以深へ到達できる探査機が特定の国に  
47 集中しており、他の海域に比べ、探査能力が脆弱

### 48 (3) 日本で最深度まで潜航できるHOVの老朽化

- 49 ✓ 「しんかい6500」は、無人機も含めて、現在我が国が所有する6,000m以深で  
50 の調査・作業が可能な唯一の探査機であるが、完成から30年以上が経過し、  
51 老朽化により、近い将来、使用できなくなる懸念
- 52 ✓ 母船「よこすか」も就航から30年以上が経過し、老朽化や陳腐化が激しく、  
53 また、航海期間や人員の活用等の運用効率面にも課題<sup>5</sup>を抱えており、「しん  
54 かい6500」と合わせた「大深度HOVシステム」が失われる危機的状況である  
55 ことから、広く認識を共有し、早急に対策を講じる必要

### 56 (4) 人材の育成・確保

- 57 ✓ 海洋分野においても、少子高齢化に伴う人口減少による影響に加え、イノベ  
58 ーションを創出できる人材の必要性の高まりなどの課題が顕著。人材育成・  
59 確保の強化とともに、EEZの約50%が水深4,000m以深であることの実事や、  
60 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、  
61 そのためのアウトリーチ活動も課題

62 以上より、我が国の深海域における調査・作業能力を維持・強化するため、HOV・

<sup>1</sup>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。

<sup>2</sup>「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）

<sup>3</sup>「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）

<sup>4</sup>ここでは、世界最深であるマリアナ海溝の最深部（約11,000m）に到達可能なレベルを指す。

<sup>5</sup>本年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.sci.go.jp/ja/event/2023/336-s-0617.html>）。

63 ROV・AUVを中心とした深海探査システムの研究開発及び整備に早急に取り組む必要が  
64 ある。

65 本報告書では、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  
66 我が国の深海探査システムの在り方及び推進方策についてとりまとめた。

67

68 I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

69 1. 深海探査システムの国内外の状況

70 深海探査は科学的知見の充実の基盤であるとともに、海洋状況把握（MDA）や防  
71 災・減災、地球環境変動等の総合的な海洋の安全保障上も極めて重要であることから、  
72 海外でも深海探査システムの研究開発が急速に進展している。

73 これらの状況を踏まえ、海外との比較も通じた我が国の深海探査システムの現状・  
74 課題を以下の通り整理する。

75

76 (1) HOV

77 海外では、米国、中国、フランス等が6,000m以深対応のHOVを保有している。  
78 特に、2018年には米国 Triton Submarines 社が、2020年には中国科学院がフルデ  
79 プス級を建造<sup>6</sup>している。

80 我が国では、6,500m級の「しんかい 6500」が4,500mより深い海域で試料採  
81 取・重作業が可能な唯一のHOVである。「しんかい 6500」は、これまでの潜航実  
82 績から推定される耐圧殻の設計限界として、2040年頃まで使用可能であるが、  
83 1991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  
84 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  
85 が進み、技術が失われつつあるため、現状のままでは海外から更に後れをとる恐  
86 れがある。また、「しんかい 6500」の運用には多数の船員が必要であり、運用コ  
87 スト面でも課題がある。

88 また、「しんかい 6500」の母船である「よこすか」も竣工から30年以上が経過  
89 し、老朽化や陳腐化が激しく、また航海期間や人員の活用等の運用効率面でも課  
90 題がある。

91

92 (2) ROV

93 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<sup>7</sup>、世  
94 界的にも技術が確立していないものの、海外では海底油田等の海洋産業を背景に、  
95 欧米の民間企業が6,000m級のROVを多数市販している。このような背景もあり、  
96 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  
97 関・大学が6,000m級のROVを所有している。

98 我が国では、フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの  
99 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  
100 れい」の退役（2022年）もあり、現在では4,500m級の「かいこう Mk-IV」及び  
101 「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  
102 複数機保有するに止まり、ROVによる深海探査能力において海外から後れをとっ  
103 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  
104 海洋の安全保障上も課題がある。また、「しんかい 6500」に不測の事態があった  
105 場合の救難活動<sup>8</sup>に備えて、潜航深度が同等以上の大深度ROVが必要である。

106 しかし、現在、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、構  
107 成機器を含め、基本的には海外から購入している。また、6,000m以深対応の一次

<sup>6</sup> 米国では、海軍（運用はWHOI）が唯一所有するHOVの改造を2021年に完了し、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がフルデプス級を達成したほか、7,000m級を複数機、4,000m級を1機所有。インドも6,000m級を建造する計画。

<sup>7</sup> 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7,000m級ROVを製造。

<sup>8</sup> 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、「しんかい 6500」を引き揚げる。

108 ケーブルも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  
109 が高い。更に、ケーブルが劣化することへの対策として、開発した後も定期的な  
110 交換が必要であり、運用コストも課題であることから、6,000m 以深対応の ROV の  
111 実現に向けた新たな研究開発が必要である。しかし、6,000m 以深対応の探査機に  
112 ついては、海外においても構成機器の市販品がないことから、これまで「しんか  
113 い 6500」等で培ってきた我が国の技術を発展させ、国内で開発する意義は大きい。  
114

### 115 (3) AUV

116 海外では、米国や英国、ドイツ等の公的機関が6,000m 級 AUV を保有しているほ  
117 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6,000m 級 AUV が市  
118 販化されている。また、中国科学院において、2021 年にフルデプス級が開発され  
119 ている。

120 我が国では、米国企業から購入した6,000m 級の「NGR6000」を保有しているほ  
121 か、3,500m 級の「うらしま」を改造し、2025 年度に8,000m 級 AUV として運用が  
122 開始される見込みだが、探査機の使用に複数の水中作業員を必要とするため、運  
123 用コストの面や複数・多機種同時運用の実現面などに課題<sup>9</sup>がある。

124 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  
125 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  
126 ラッキングが可能な AUV 等、用途に応じた多様な AUV の開発<sup>10</sup>が進行中であり、  
127 引き続き世界に先駆けた研究開発を進めることが重要である。  
128

### 129 (4) 探査機の運用システム等について

#### 130 ① 深海探査機の複数・多機種同時運用や長期運用

131 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  
132 測を実施している。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、  
133 これに基づき ROV で海底観察と試料採取を行うため、我が国の深海探査機の通常  
134 の運用では最低でも2 航海、計40 日以上 of 調査期間が必要と推定されるデータを  
135 1 航海、2 週間の調査期間で取得可能であり（調査時間は計200 時間以上）、調査  
136 航海の期間（シフトタイム）を有効活用するという観点で極めて効率性が高い。

137 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  
138 された設計・体制となっていないため、例えば JAMSTEC では、AUV を使用する際  
139 と ROV を使用する際にはそれぞれ船舶の運用が必要となり、時間的にもコスト的  
140 にも非効率である。

141 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、実際の調  
142 査航海で有効活用している事例は確認できない<sup>11</sup>。広域での効率的な探査を実現  
143 し、シフトタイムの有効活用にもつなげる技術として期待されるため、世界に先  
144 駆けた研究開発が重要である。

145 また、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デ  
146 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  
147 実現に向けた技術開発が進展中である。更に、国内外の民間企業等で、パイプ  
148 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

<sup>9</sup> 詳細は（4）にて後述。

<sup>10</sup> 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。

<sup>11</sup> 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。

149 た研究が必要である。

## 150 ②着水揚収

151 着水揚収システムについては、英国の民間企業では昇降式システムの、米国で  
152 はガレージ式システムの母船への導入が進められている。また、AUV「NGR6000」  
153 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、  
154 船上装置の陸上からの遠隔操作の導入などが進められ、効率的な調査が可能なシ  
155 ステムの開発が世界的に進展している。

156 一方、JAMSTECの母船を用いた着水揚収作業には、Aフレームクレーンを使用<sup>12</sup>  
157 しており、多くの人員が必要となる。特に、HOV「しんかい6500」及びAUV「うら  
158 しま」の揚収には水中作業員による作業が必須であり、24時間観測や複数・多機  
159 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  
160 性確保への対応の観点からも課題がある。

## 161 ③探査機を構成する要素技術

162 「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  
163 響通信装置は、従来の装置に比べ約10倍以上の性能を達成し、約2.5秒に1枚の  
164 頻度で画像を送信可能である。

165 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、  
166 これを用いた複数機のAUVの隊列制御にも成功している。

167 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  
168 が国の世界トップレベルの水中音響通信技術を生かした技術開発の推進が必要で  
169 ある。

170 更に、各探査機の大深度化を推進する上では、センサ<sup>13</sup>やカメラ、マニピュレ  
171 ータ等の現場観測機器も大深度に対応した技術開発が必要である。

## 172 ④深海探査システムを取り巻く諸課題

173 10年前と比べ、研究船の減少に伴う、航海日数の減少<sup>14</sup>などにより、特に若手  
174 研究者が研究航海に参加する機会が減少しており、海洋調査コミュニティーが縮  
175 小している。EEZの大半を深海域が占める我が国にとって、科学的基盤の強化及  
176 び経済安全保障の観点から海外に後れをとらないよう、海洋研究者の裾野を広げ  
177 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  
178 く認識してもらうため、アウトリーチ活動も重要である。

179 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・保守管理、  
180 海洋インフラ管理、海洋生態系のモニタリング等への活用が期待されるAUVの社  
181 会実装の推進について方針が示された<sup>15</sup>ことなども踏まえ、浅海域での利用を目  
182 的とした産業向け探査機等の技術を取り入れることも必要である。

## 183 2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

184 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分

<sup>12</sup> 専用の着水揚収装置を備える「KM-ROV」は除く。

<sup>13</sup> 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。

<sup>14</sup> 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（見込み）まで減少している。

<sup>15</sup> 「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）

189 野のフィールドとなっており、EEZ の大半を深海域が占める我が国はこれらの研究を  
190 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  
191 得られる新たな発見も期待される。

192 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。

193

## 194 (1) 海底地質学

195 海底火山研究では水深 2,000m までの比較的浅いところ、プレートテクトニク  
196 スやマグマ活動の研究では水深 4,500~6,500m までの比較的深いところが対象と  
197 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要である。

198 マリアナ海溝（最深部 約 11,000m）南部の岩石は海溝、島弧、背弧の岩石学的  
199 性質の全てを示すと言われているため、HOV・ROV による、海底を詳細に観察しな  
200 がらのサンプリング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  
201 現状のとおり、水深 6,500m 以深においてそれらの作業を行うことは不可能である。

202 伊豆・小笠原海溝（水深 6,500m 以深）の海溝斜面において、HOV「しんかい  
203 6500」と ROV「かいこう 7000Ⅱ」<sup>16</sup>を用いて採取した岩石により、プレートの沈  
204 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が、現状、この水深  
205 で調査・試料採取ができる ROV を我が国では所有していない。

206 また、2015 年に実施した Havre 火山噴火調査航海では、米国の調査船を用いて、  
207 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  
208 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  
209 ナー、サブ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、  
210 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  
211 も進める必要がある。

212 以上より、海底地質学では、有人・無人問わず少なくとも水深 7,000m で海底  
213 を観察して試料を採取する手段が必要とされる。

214 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。

- 215 ・ 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
- 216 ・ 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
- 217 ・ 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

218

## 219 (2) 地球生命科学

220 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  
221 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なっている。  
222 本反応に関連した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  
223 辺では水深 2,000~6,500m に分布しており、湧水、生物、岩石等の採取及びコア  
224 リングが可能な水深 6,500m の調査能力の維持が必要不可欠である。

225 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の成功や、生態系への  
226 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  
227 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いる。

228 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、基礎情報が不足し  
229 ているため、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  
230 いる。また、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  
231 的にも高まっており、これらの調査・研究には HOV による人の目での現場観察や、

<sup>16</sup> 現在は、後継機の ROV「かいこう Mk-IV」となっている。

232 ROV・HOV を使用したサンプリング、現場実験が必要である。

233 以上より、地球生命科学では、多彩な試料採取や現場観測能力（湧水、生物、  
234 岩石・堆積物）が可能な ROV・HOV が必要である。

235 特に、深海底は生物多様性に富んでおり、数 cm の範囲で形成される生物が集  
236 中する環境（沈降してきた生物の死体や巣穴等が形成する小さな構造物）を把握  
237 する必要がある、数 cm 単位で地質の化学組成とあわせて調査することが重要であ  
238 る。したがって、繊細な試料採取が可能となるマニピュレーション能力や、HOV  
239 の視認性、機動性、安定性、作業性は不可欠であり、1. の現状を踏まえ、AI に  
240 よる画像認識等を活用した自律型試料採取システムなど、HOV と同等の作業能力  
241 を持つ探査機が必要である。加えて、深海生物の行動をより詳細に把握するため、  
242 全方位カメラなどによる撮影技術の高度化も重要である。

### 243 (3) 海底鉱物資源

244 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  
245 ストは水深 1,000~2,500m の海山・海台、マンガン団塊及びレアアース泥は水深  
246 4,000~6,000m の平坦な深海底に存在する。これらのような鉱物の分布を把握す  
247 るため、AUV によるマッピングや、鉱物の試料採取及び海底熱水の採取には、操  
248 作性の高いマニピュレータを備えた ROV・HOV が使用される。

249 また、鉱物の成因解明のため、AUV によるマンガンクラストの厚み計測や、操  
250 作性の高いマニピュレータを有する ROV・HOV で鉱物の付着を確認するなどの現場  
251 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、水深によって鉱物  
252 の形態が異なるため、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  
253 深 3,000m 以深）あるいは対照的な地質場（島弧と中央海嶺）における調査・比較  
254 や、鉱物はあるが量的に少ない地域と多い地域とを比較する必要がある。

255 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、ROV・  
256 HOV による試料採取能力の維持が不可欠である。特に、海底地形の立体的な構造  
257 やスケール感は直接の視認が必要であるため、HOV 又は HOV と同等の高い視認性  
258 を持つ高度可視化システムの開発が必要である。

### 259 (4) 地震防災

260 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  
261 も、フルデプスにおける調査研究が重要である。

262 最近の成果として、船舶及び探査機を用いた海底観測や GNSS 観測によって、  
263 東日本大震災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  
264 HOV によって、東日本大震災によって日本海溝の底（水深約 7,500m）に生じた隆  
265 起地形と断層崖を世界で初めて現地で観察・撮影された。

266 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  
267 ある。例えば、南海トラフにおいては、ROV による海底光ファイバーへの歪計取  
268 り付け作業や、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  
269 変動（ゆっくりすべり）等をモニタリングしている。

270 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  
271 海道・千島列島沖でも観測が必要である。

272 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  
273 て海溝底の岩石や堆積物を採取可能な探査機の開発が必要である。

276 また、海底ケーブル式地震・地殻変動観測網の構築のために、測器の海底への  
277 設置とケーブルへの接続を行うことが可能な重作業 ROV の開発も必要である。

278 更に、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  
279 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  
280 有する探査機の開発が必要である。

281 加えて、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  
282 開発も必要である。

#### 283 284 (5) 分野横断型の調査研究

285 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  
286 たな発見も期待されることから、分野横断型の調査研究を活性化するシステムも  
287 重要である。

288 例えば、深海の海溝底は、地理的な隔絶と高圧等の環境要因により特殊な生態  
289 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、  
290 2023 5 年には東日本大震災で日本海溝底に生じた断層崖が発見されるなど、様々  
291 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  
292 フルデプス級の探査機の開発が必要である。

293 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  
294 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  
295 ムの開発が必要である。

296 更に、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  
297 空間を対象に高分解能での調査が重要であるため、HOV・ROV・AUV 各種の探査機  
298 をバランス良く整備し、これらの探査機を組み合わせることで同時に運用できるシステ  
299 ムを構築する必要がある。

302 **Ⅱ. 今後の深海探査システムの在り方について**

303 **1. 今後の方向性**

304 I. 2. に記載されている深海探査機に求められる機能を整理すると、大まかには、  
305 以下の四つに分類される。

- 306 ・ 航行型 AUV が得意とする詳細な海底地形図作成などの「広範囲の観察・計測」
- 307 ・ HOV が得意とする深海生物や露頭の観察などの「海底面付近での観察・計測」
- 308 ・ HOV 及び ROV が得意とする海底を詳細に観察しながらの「試料採取」
- 309 ・ HOV 及び ROV が得意とする地殻変動観測装置等の観測機器のピンポイントでの  
310 設置などの「重作業」

311 深海大国である我が国においては、水深 4,000m 以深の大深度海域において、いず  
312 れの機能も必要不可欠である。特に、水深 6,000m 以深～フルデプスの海域では、海  
313 溝底<sup>17</sup>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  
314 るため、フルデプス級の機能を持った探査機を備えることが望ましい。

315 一方、I. 1. で示した通り、海外において探査機の大深度化や高性能化が著しく  
316 進展する中、我が国は探査機の技術開発等で大きく後れをとっている。特に、海外で  
317 は複数の国が市販の 6,000m 級の ROV やフルデプス級の HOV を所有しているのに対し、  
318 現在の我が国の ROV の最高潜航深度は 4,500m であり、これより深い海域での「試料採  
319 取」及び「重作業」は、「しんかい 6500」のみに依存している状況である。また、AUV  
320 については、8,000m 級の航行型 AUV を開発中であり、「広範囲の観察・観測」の機能  
321 は強化されることとなるが、航行型 AUV のみでは「試料採取」及び「重作業」が十分  
322 に行えず、「海底面付近での観察・計測」にも限界があるため、これらの作業が可能  
323 な ROV 等が必要である。老朽化が深刻な「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の運  
324 用が停止すると、我が国が調査可能な水深が 6,500m から大きく後退し、我が国がこ  
325 れまで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。

326 こうした状況を踏まえ、我が国において、深海の調査・研究を継続的に行うために  
327 は、「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進めるとともに、  
328 遅くとも「しんかい 6500」の運用限界と推定される 2040 年頃までに、新たな大深度  
329 の探査機の運用を開始する必要がある。加えて、I. 2. で示したような深海探査に  
330 おける多様なニーズに応えらるとともに、I. 1. (4) で示した船員不足や航海日数  
331 の減少等の課題、I. 2. (5) で示した分野横断型の調査研究の推進などに対応す  
332 るためには、母船の運用を含め、効率的な調査が可能な新たな深海探査システムを構  
333 築する必要がある。そのためには、HOV、ROV、AUV をバランスよく整備するとともに、  
334 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  
335 を導入することで、調査の効率性や精度をより一層高める必要がある。

336 HOV、ROV、AUV 及びそれらの母船について、具体的には以下の三点について開発を  
337 進める。

338  
339 **(1) 新たな大深度無人探査機の開発**

340 上記の通り我が国で対応が後れている大深度での「試料採取」及び「重作業」  
341 の機能の強化、熱水鉱床付近などアクセス困難な海域での調査など研究者の安全  
342 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  
343 化等の観点から、フルデプス対応した無人探査機を開発する。

<sup>17</sup> 詳細は I. 2. (5) 参照。

344 新たな無人探査機では、一度の調査に多数の研究者が参画し、実際に海底に行  
345 って調査する場合に近い感覚での調査を可能とするため、高い視認性を確保する  
346 高度可視化システムや陸上からの遠隔操作など、これまでの探査機にない新たな  
347 機能を付加することで、効率性・機能性を追及する。加えて、陸上からの遠隔操  
348 作により、複数の分野に跨る多く研究者が同時に調査に参画し、ディスカッショ  
349 ンを行いながら調査することが可能なシステムとすることで、分野横断型研究の  
350 促進など調査研究の質の向上にもつなげる。

351 また、6,000m 以深対応の ROV を太径ケーブルに依存せずに運用できるシステム  
352 は世界に例が少ない<sup>18</sup> ことに加え、大深度 ROV の構成機器は海外でも市販品がな  
353 いことから、これまで培ってきた我が国の技術を発展させ、世界に先駆けて開発  
354 する意義は大きい。

355 新たな大深度無人探査機の開発には、下記の①、②に記述した通り、多くの要  
356 素技術の開発が必要であり、相当の時間を要する。そのため、「しんかい 6500」  
357 の運用限界と推定される 2040 年頃までに運用できるよう、以下のスケジュールで  
358 開発を進める。

#### 359 ① 基盤的な要素技術及び試作機の開発（～2030 年頃）

- 360 • 2040 年頃までに大深度無人探査システムを運用開始するため、まずは水  
361 深 6,500m 以深での簡便な試料採取機能や、I. 1. (1) のとおり技術  
362 面・運用コスト面で課題がある太径ケーブルに依存しない通信・測位技  
363 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・他  
364 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  
365 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、  
366 2030 年頃までにこれら技術を搭載した大深度無人探査機の試作機の運用  
367 を開始する。

368 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 369 • 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、または細径  
370 ケーブルによる通信・測位技術
- 371 • ケーブルによる電力供給に代わる大容量バッテリー
- 372 • 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  
373 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
- 374 • 協調制御のための AI や音響通信等を活用した自律制御・マルチピークル技術の高度  
375 化
- 376 • 長時間運用のためのレジデント技術<sup>19</sup>
- 377 • 広域調査のための慣性航法能力 等

#### 378 ② 新たな大深度無人探査機の開発（～2040 年頃）

- 379 • ①のシステムを発展させ、大容量サンプリング能力や岩石試料等の採取  
380 及び重作業が可能な強さを持つ試料採取システム、高い視認性に基づく  
381 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、幅広い研究  
382 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い、  
383 2040 年頃までにこれらの機能を兼ね備えた新たな大深度無人探査機の運  
384 385 386

<sup>18</sup> 細径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。

<sup>19</sup> 詳細は I. 1. (4) ①参照。

387 用を開始する。

388

389 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

390 ・ 大容量サンプリング・岩石の採取・重作業を可能とする電力を供給できるバッテリー、  
391 上記の作業が可能な強度を持つコンピュータ、サンプリングを効率化するサンプル  
392 エレベータ

393 ・ 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、SLAM<sup>20</sup>

394 ・ 遠隔操作のための高速無線通信 等

395

## 396 (2) 母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築

397 「しんかい 6500」の耐圧殻の設計限界は 2040 年代と推定されているが、運用  
398 に必須な母船「よこすか」の老朽化はより深刻であり、「しんかい」が停船する  
399 より前に停船となる可能性も高いため、大深度無人探査機を搭載可能な母船の在  
400 り方についても、早急に検討が必要である。

401 「よこすか」などの JAMSTEC の多くの船舶の着水揚収システムとして搭載され  
402 ている A フレームクレーンは、作業効率も悪く、船舶の定員や安全性確保の点等  
403 を考慮すると、24 時間観測や複数・多機種同時運用を実現する上でも大きな障壁  
404 となっている。したがって、国内外における昇降式システムやガレージ式システ  
405 ムの導入等の最新の動向を調査した上で、HOV、ROV、AUV いずれの探査機にも幅  
406 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。  
407 また、現在改造中の AUV「うらしま」なども着水揚収時に多くの水中作業員を必  
408 要とするため、上記のような汎用性の高い着水揚収システムを搭載することによ  
409 り、既存の探査機の運用の効率化にもつながる。

410 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ため、今後は、  
411 上記のような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  
412 上からの遠隔操作等の技術を取り入れることにより、省人化・効率化を進めるこ  
413 とが重要である。

414 具体的には、以下のスケジュールで開発を進める。

415

### 416 ① 汎用性の高い着水揚収システムに関する FS (～2030 年頃)

417 ・ 汎用性の高い着水揚収システムやそれを備えた母船について、海外の事例  
418 等を調査し、今後の母船の在り方について検討を行う。加えて、(1) ①  
419 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など、24 時間観  
420 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。

421

422 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

423 ・ 昇降式・ガレージ式等の着水揚収システム

424 ・ (1) ①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

425

### 426 ② 新たな大深度無人探査システムの構築 (～2040 年頃)

427 ・ ①の FS 及び検討の結果を踏まえ、汎用性の高い着水揚収システムを実装  
428 し、24 時間観測や複数・多機種同時運用を開始する。

429

430

<sup>20</sup> SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)自己位置推定と地図作成を同時に行う技術。

431 上記（１）、（２）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  
432 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  
433 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  
434 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  
435 ムの検討にあたっては、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。

436 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  
437 素技術の研究開発を世界に先駆けて行う。

### 440 (3) 「しんかい6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

441 前述の通り、老朽化が深刻な「しんかい6500」及び母船「よこすか」の運用が  
442 停止すると、我が国が調査可能な水深が6,500mから大きく後退し、我が国がこれ  
443 まで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。また、  
444 「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  
445 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が失われつつ  
446 あり、国内で同等の能力を持つHUVの新造は開発期間・コストの両側面から困難  
447 な状況である。加えて、母船「よこすか」は、船底外板の減肉などの船体構造の  
448 劣化、着水揚収装置の油圧装置などのHUV潜航支援装置の劣化が激しく、「しんか  
449 い6500」の継続的な運用が危ぶまれている。したがって、「しんかい6500」及び  
450 母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進め、「しんかい6500」をこれまでの  
451 潜航実績から推定される耐圧殻の設計限界である2040年代まで、あるいは、上記  
452 (1)、(2)が開発されるまで、最大限活用する。

453 並行して、「しんかい6500」を可能な限り長くかつ効果的に活用するため、例  
454 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  
455 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AUVと  
456 の同時運用などの機能強化にも取り組む。

457 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

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

462  
463 一方、今後の我が国のHUVの在り方については、「しんかい6500」が深海探査  
464 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  
465 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  
466 後も引き続き議論していく。

## 468 2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

469 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。  
470 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  
471 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  
472 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  
473 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  
474 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・  
475 継承する必要がある。

476 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性を  
477 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、探査機が実際に行って  
478 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。

479 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  
480 ため、STEAM 教育やアウトリーチを推進する。特に深海探査は、科学博物館などの展  
481 示の来場者では 30 代以下の若年層が6割を占めるなど、国民に人気の高いコンテン  
482 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  
483 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  
484 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し、調査研究と併せ  
485 たアウトリーチに活用可能な映像情報の取得を行う。

486 深海探査システムの研究開発においては、研究機関や大学等に加え、産業界におけ  
487 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を活用した産業  
488 育成や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。

489  
490



## I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

### 1. 深海探査システムの国内外の状況

深海大国である我が国では、**深海探査は科学的基盤の強化及び総合的な海洋の安全保障(防災・減災、地球環境変動等)の観点から極めて重要**であるが、以下のような課題を抱えている。

#### <深海探査システムに関する課題>

- (HOV) 6,500m級のHOV「しんかい6500」は**4,500m超の海域で作業が可能な唯一の探査機**だが、母船「よこすか」も含め、**老朽化が深刻**。構成機器、部品の生産中止等が進み、国内での大深度HOVの製造技術も後退。
- (ROV) フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの技術を誇っていたが、現在では**4,500m級まで後退**。世界に大きく後れをとっている状況。
- (AUV) **8,000m級AUV「うらしま」を開発中**。運用時に複数の水中作業員を要するため、**コスト面や複数・多機種同時運用の実現等が課題**。
- (運用面) 探査機、母船いずれも複数・多機種同時運用などの**効率的な運用を想定した設計となっておらず非効率**。一方、海外では**運用システムの効率化**が進んでおり、**シフトタイムを最大限有効に活用**※。

※海外の事例 ・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時間の連続観測など、シフトタイムを有効活用した効率的な調査を実施。  
・米国、英国等では昇降式、ガレージ式の着水揚収システムの導入により省人化を推進。  
・船上装置の陸上からの遠隔操作の導入など、効率的な運用システムの開発も進展。

#### <深海探査システムを取り巻く課題>

- (人材育成) 研究船の減少に伴う航海日数の減少などにより、特に**若手研究者が研究航海に参加する機会が減少**。海洋研究者の裾野拡大や海洋分野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**。
- (産学官連携) AUV戦略等も踏まえ、**産業向け探査機の技術を取り入れるなどの産学官連携も重要**。

### 2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

- ✓ 下記に示す各分野のニーズのとおり、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を実施するため、**HOV・ROV・AUV各種をバランスよく整備し、これらを組み合わせて同時に運用可能なシステムの構築が重要**。
- ✓ 科学的観点・社会課題解決の観点から調査意義の高い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が必要**。
- ✓ **分野横断型の調査研究を推進**するため、より多くの研究者が参画できる**遠隔操作等の新技術の導入も必要**。

#### <各分野のニーズの例>

- 【海底地質学】岩石採取のための露頭観察の能力、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
- 【地球生命科学】数cm単位で制御可能なマニピュレーション能力、深海生物の行動を詳細に把握できる高い視認性
- 【海底鉱物資源】調査範囲の絞り込みのための広範囲調査、岩石採取のための重作業能力、海底面付近を観察できる高い視認性
- 【地震防災】海溝底（6,500m～フルデプス）の岩石等を採取可能な大容量サンプリング能力、測器の海底への設置、ケーブルへの接続等の重作業能力

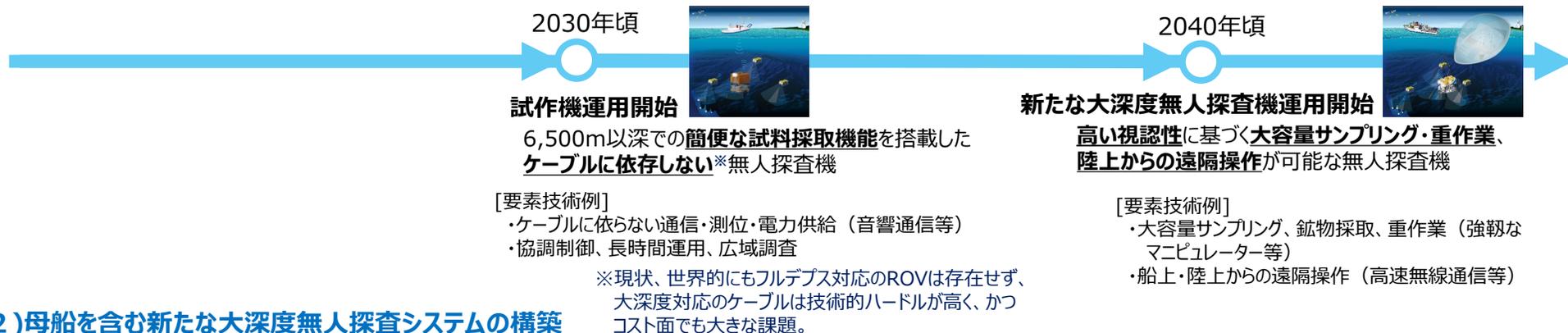
## II. 我が国の深海探査システムの在り方について

### 1. 深海探査システムの今後の方向性について

I、IIの各分野のニーズから、「しんかい6500」のみに依存せず、4,000m以深で観察・計測、試料採取、重作業の機能を満たす新たな大深度の探査機が必要。そのため、HOV、ROV、AUV及びそれらの母船について、具体的には**以下の三点について開発を推進**。

#### (1) 新たな大深度無人探査機の開発

我が国で対応が後れている**大深度での試料採取及び重作業の機能の強化、研究機会の増大、効率性向上**等のため、**フルデプス対応した無人探査機を開発**



#### (2) 母船を含む新たな大深度無人探査システムの構築

**24時間観測や複数・多機種同時運用などが可能なシステムを構築**



#### (3) 「しんかい6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

**老朽化対策及び機能強化を最優先**で実施し、「しんかい6500」を**耐圧殻の設計限界である2040年代まで最大限活用**



## II.我が国の深海探査システムの在り方について

### 2.深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

#### <人材育成>

- 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前述の深海探査システムの維持・発展は重要。**

#### <アウトリーチ>

- 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術・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、**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く成果を発信。**
- **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のアウトリーチを推進。**
- 具体的には、**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。**加えて、**調査研究と併せてアウトリーチに活用可能な映像情報を取得。**

#### <産学官連携>

- 深海探査システムの開発で得られた成果を活用した**産業育成や経済安全保障の確保なども見据え、産学官の連携を推進。**