

今後の深海探査システムの 在り方について

平成 28 年 8 月

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会

次世代深海探査システム委員会

今後の深海探査システムの在り方について

1. 経緯

我が国は、四方を海に囲まれており、四つのプレート境界に位置しているため、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する。このため、我が国の排他的経済水域（EEZ）内では、その面積の約 50%が水深 4,000m 以上であり、また、水深 6000m 以深の海域が約 6%と、世界有数の深海フィールドを有している。

近年、深海域での巨大な海底変動が甚大な災害を引き起こしたことが明らかになり、深海域でのジオハザードに対する迅速かつ長期的な調査や観測の必要性が強く認識されるようになってきている。また、海底下に存在する広大かつ豊かな生命圏の存在が確認される等、深海域においては今後も新たな科学的知見の獲得や人類の未来に役立つ発見が期待されている。

深海域における研究開発については、これまで研究機関や大学等が中心となり実施している。特に、国立研究開発法人海洋研究開発機構（以下「JAMSTEC」という。）は、有人潜水調査船「しんかい 6500」、無人探査機「かいこう」等の深海探査機を開発・運用するとともに、内外の研究機関等と協働して研究を実施するなど、深海域における研究開発の実施機関として世界トップクラスの実績を有している。例えば、海溝底の泥試料から数々の極限環境微生物を発見、東北地方太平洋沖地震の地震断層が海溝底を突き抜けて活動したことなど、深海生物分野や地震・防災分野、海洋底地質分野等において多くの成果を得ている。

一方、「しんかい 6500」は建造・運航開始から 25 年以上の年月がたっており、設計や建造に携わっていた当時の技術者や初期の運航から携わってきた関係者が少なくなっているという現状がある。そのため、このままでは我が国がこれまで培ってきた有人潜水調査船に関する技術やノウハウが失われるのではないかと指摘がある。また、近年までは「しんかい 6500」は世界一深く潜ることのできる高機能な有人潜水調査船であったが、米国の「Alvin」の改造や、中国で水深 7000m 級の「蛟龍号」が運航開始するなど、諸外国でも深海への取り組みが行われている。我が国として、今後とも高度な深海探査システムを保有・整備し続けることは、深海域における研究開発において我が国が世界トップレベルかつ国際的に優位な立場にいるために重要である。

第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）においても、海洋は国家戦略上重要なフロンティアと位置付けられており、『「海洋立国」として、その立場にふさわしい科学技術イノベーションの成果を上げるため、着実に取り組んでいくことが求められる。海洋に関する科学技術としては、（略）深海部（略）等の海洋の持続可能な開発・利用等に資する技術、海洋の安全の確保に資する技術、これらを支える科学的知見・基盤的技術などが挙げられる。』とされているところである。

これらの背景を踏まえ、深海探査のこれまでの成果や評価、科学的観点以外も含めた新たなニーズ、次世代深海探査機のスペックやシステム等を踏まえながら、今後の深海探査システムの在り方について、本委員会にて検討を行った。

2. 各研究分野における深海探査の主な成果

JAMSTEC では、各深海探査機の特長や、探査の目的及びその水深を総合的に判断し、深海探査システムとして運用を行うことで、様々な探査を行っている。また、他機関と協働しながら、各研究分野において多くの成果を生み出してきた。ここでは、各研究分野における主な成果の内容を以下に示す。

(1) 海洋生物分野

海洋生物分野では、地球上最大の生命圏の一つである深海・地殻内微生物生態系の発見や多様な深海化学合成生態系の発見、様々な生理機能の世界記録を持つ微生物の発見や世界最深の微生物群、鯨骨生物群集の発見等、深海における海洋生物の多様性や生態系とその機能を明らかにしてきた。

また、水深 6000m を超える海域での調査において、他の海域では例がない特異な環境に生息する生物とそれら生物による物質循環を発見するとともに、これら深海生物・深海微生物の有用利用に関する研究も進められている。平成 8 年には「かいこう」を用いて世界最深のマリアナ海溝の堆積物を、平成 10 年に「アビスモ」を用いてマリアナ海溝の水塊を採取し、独特な深海微生物の生態を世界で初めて明らかにするなど、世界の研究をリードしてきた。現在も「しんかい 6500」等を用いてインド洋や沖縄海域の海底熱水噴出域の極限環境に存在する生物やその生態系に関する調査研究等が進められている。

(2) 海底資源分野

海底資源分野では、近年、海底鉱物資源として注目を集めている日本周辺の海底熱水噴出域を深海探査機により発見し、その後、継続的な調査が実施されている。特に、沖縄トラフにおける海底熱水噴出域では、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削調査と「ハイパードルフィン」等の深海探査機の協働により、重金属を含む広大な熱水だまりの存在を確認するとともに、形成中の黒鉱物やその成因についての先端的な調査や深海熱水発電など画期的な海底工学研究開発の道を切り開いた。また、平成元年に沖縄トラフにおいて、海底から噴き出す CO₂ ハイドレート「しんかい 2000」で自然界において初めて発見しており、これは現在の CO₂ の回収・貯蔵 (CCS) 計画につながっている。平成 4 年には「しんかい 6500」による調査で、南西諸島海溝の水深 6400m 地点において、海底一面に広がるマンガンクラストを発見した。

(3) 地震・防災分野

地震・防災分野では、「しんかい 6500」による潜航調査で海底地震震源域の直接観測を行い、陸上や海上からでは得られない、多くの貴重なデータを得ている。平成 3 年の最初の日本海溝調査において、昭和 8 年に三陸地方に甚大な津波災害を引き起こしたアウターライズ地震である昭和三陸地震の震源域（水深 6300m）の調査を行い、地震で生じた巨大な亀裂を発見した。また平成 5 年に発生した北海道南西沖地震について、翌年には「しんかい 2000」が震源域において調査を実施し、地震で生じた斜面崩壊や地割れなどを発見した。更に平成

23年の東北地方太平洋沖地震では、その4か月後、「しんかい 6500」により震源域の日本海溝にて調査を実施し、超巨大地震による深海生態系への影響や海水中の化学変化、海底の変動等が確認された。

また、平成10年には、「しんかい 6500」により、リアルタイム多目的海底観測システム（VENUS）の設置展開作業を実施し、ケーブル式地震観測システムの技術基盤の構築に寄与した。こうした成果を踏まえ、平成18年から研究開発を進めてきた「地震・津波観測監視システム（DONET）」計画においては、「ハイパードルフィン」を中心にケーブル敷設地点付近の海底地形調査や観測点の設置作業等を実施し、システム構築に貢献している。

（4）その他

研究分野以外にも、その優れた深海探査システムを用いて、これまでに社会の様々な緊急課題に応じて調査を実施してきた。代表的なものは、平成9年の島根県隠岐島沖の日本海で発生したロシア船籍のタンカー「ナホトカ号」沈没に伴う重油流出事故における水深約2500mの沈没部の状況確認、平成11年に父島北西約380kmの深海に落下したH-IIロケット8号機の第1段ロケットの「かいこう」による捜索・発見がある。

また、国民の科学への理解増進にも多大な貢献をしており、最近では「しんかい 6500」やその女性パイロットを主役とした小説、ドラマや漫画が好評を博し、またIT企業と協力して「しんかい 6500」のカリブ海での潜航について生中継を実施し、多くのアクセスを得るなど、様々なメディアを通じて多くの国民に海洋科学への関心を高める機会を提供してきている。また、平成25年に国立科学博物館で開催された「深海展」では約60万人の来場者を集めたが、その展示内容の多くが深海探査システムによってもたらされたものである。

3. 深海探査機の特長と技術的方向性

今後の深海探査システムを検討するに当たり、各深海探査機の特長と技術的方向性について、その例を示す。

（1）有人探査機：HOV（Human Occupied Vehicle）

有人潜水調査船「しんかい 6500」を始めとする有人探査機は、母船とケーブルがつながっておらず前後左右上下へ移動が可能で機動性が高いこと、マニピュレータ等により海底面での軽作業やサンプリングが可能であること、人が直接観察することによって周辺の空間認識や瞬時の状況判断に優れた探査ができること等の特長を有している。今後、フルビジョン化などの視野性を更に向上させる技術（透明アクリル／ガラス球等による耐压殻）を導入することにより、機動性や作業性の特長を生かしつつ、観察性能を向上させることが可能である。

有人探査機は母船と直接ケーブル等でつながっていないことにより高い機動性がある反面、それによる制限も生じている。母船との通信手段については、音響通信が主な手段であるが、通信速度や容量が低く、リアルタイム通信や船上研究者へ上がる情報に制限がある。

また、母船からの電力供給等がないため、探査機に搭載されているバッテリー容量が稼働時間に影響する。加えて、有人のため製造・運航等の安全性を重視した体制となっており、その分、無人機と比較してコストが割高である。また、我が国では「しんかい 6500」以上に潜航可能な有人機を設計・製造したことがなく、水深 6500m 以深のフルデプス（水深約 12000m）海域への技術が未確立である。

そのため、これらを解決するための技術的方向性を以下に示す。海中通信技術の高度化により、通信性能を向上させる。また、フルデプス海域における活動時間を確保するために、沈降浮上時間の短縮やバッテリー性能を高度化させるほか、フルデプス海域に求められる浮力材や耐圧殻要素技術を開発させる。

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

無人探査機「かいこう」を始めとする遠隔操作型無人探査機（ROV）は、母船からケーブルを通じた電力供給等により長時間探査を実施できること、大型の装置の搭載や海面下での大規模な作業が可能であること、ケーブル内の光ファイバー等を通じて映像やデータが高速かつ大容量、リアルタイムで母船に転送でき、船上の多数の研究者や技術者が同時に情報共有できること、等の特長を有している。今後、カメラや照明性能の技術開発により高画質映像が取得でき、更に臨場感を向上させることが可能である。

一方、ROV は、母船と直接ケーブルつながっているため、ケーブルの取り回しや絡まり防止等の安全を確保する必要があり、探査範囲が比較的限られてしまう。また、水深が深くなるにつれてケーブルの総重量が増加するため、母船やケーブル自身への負荷が増大し、ケーブルが途中で破断することへの対応が必要である。また、基本的にはカメラを通じた遠隔による観察のため、空間認識や瞬時の状況判断では、有人探査機に劣るといった側面もある。

そのため、これらを解決するための技術的方向性としては、機体の軽量化やケーブルの高強度化等といった、探査機自身の機動性の向上に向けた技術開発が挙げられる。

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

深海巡航探査機「うらしま」を始めとする無人探査機（AUV）は、事前に設定したプログラムに基づいた自動航行により、海底地形図や海水の化学データ等を長時間かつ広範囲に取得が可能であること、また、有人での運航やケーブルシステムの操作を考慮する必要が無いため、設計の自由度が高く、小型のものから大型のものまで多様な形態が考えられる等の特長を有している。

一方、AUV は、海底への衝突回避等の安全性を考慮し、海底面から一定距離離れて航行する必要があるため、海底面に接近した映像の取得、海底面や海底下へのアプローチが難しい。また、有人探査機と同様に母船と直接ケーブル等でつながっておらず、データの抽出・解析を基本的に探査機揚収後に船上で行うため、研究者がリアルタイムに情報を取得できる体制になっていない。また、母船からの直接の電力供給等もできないため、搭載されているバッテリー容量が稼働時間に影響してしまう。更に、深度については、JAMSTEC が保有する「うらしま」の最大深度は 3500m、諸外国でも 5000m 級の AUV の開発実績はあるが、フルデプス海域に対応した AUV の技術は未確立となっている。

そのため、これらを解決するための技術的方向性としては、位置検出性能の技術開発により運動性能を向上させること、バッテリーの技術開発により稼働時間を延長させることが挙げられる。また、フルデプス海域に求められる浮力材や耐圧容器の要素技術の開発が挙げられる。

4. 各研究分野における今後の深海探査のニーズ

各研究分野において深海探査による研究の進捗や成果の創出が進むことにより、調査が十分に進んでいないような未知なる深海域の探査等、様々な深海探査へのニーズが発生している。ここでは、各研究分野等における、今後の深海探査への課題やニーズ等の具体例を以下に挙げる。

(1) 海洋生物分野

近年、外洋漁業による深海生態系の壊滅的破壊や、深海資源開発による海洋生態系へのかく乱、また、気候変動による深海生態系への変動も懸念されており、そのため海洋における生物多様性や生態系の保全は、生物多様性条約・気候変動に関する国際連合枠組条約等にも表れているように全世界が取り組む課題となっている。G7 茨城・つくば科学技術大臣会合におけるコミュニケでは、「(略) 海洋で起きている変化やその経済へ与える影響を評価するために必要な科学的知識を発展させることが極めて重要であることを確信した。また、我々は、海洋の持続可能な利用を確立するため、海洋に関する適切な政策を立案しなければならない。(略)」とされており、海洋のガバナンスに向けて、生物資源の情報・知見を蓄積していく必要がある。

例えば、沿岸・浅海の生態系・生物多様性についての調査は深海に比べ進んでいるが、陸からの距離や水深が増すごとに海洋生物の知見は極端に減少する。特に 1000m 以深での生物データは限られたピンポイントでの調査結果が散見される程度である。このため生物多様性に関する知見は限られた環境ゲノムにより推定される大多数の未知種による遺伝的多様性のみであり、種多様性や機能的な多様性の理解はほとんど進んでいない。

世界有数の多様性の高い海を持ち、深海生態系の研究開発や環境影響評価をリードしてきた我が国は、今後一層、深海生態系の構造や機能を明らかにし、これらの課題解決に貢献する責務がある。更には、生物多様性や生物環境評価に関する研究開発により、深海の生物や微生物が有する酵素等の物質や生体機能が解明され、創薬・化学・農業等の産業応用が期待されている。

例えば、これまでの深海域の調査では、地上の生態系とは全く異なる化学合成生態系が発見されている。化学合成生態系研究は、生命起源・地球外生命・進化メカニズムといった人類の根源的命題へ迫ろうとしている。現在確認されている世界最深の化学合成生態系は日本海溝 7450m、世界最深の熱水生態系はケイマンライズ（カリブ海）の 5500m であるが、より深海域にも異なる生態系が数多く存在することが予想されており、調査が十分に進んでいない 7000m 以深の深海探査により、極限環境に適応した未知の生態系等の発見が見込まれ

ている。そのため、深海における現場の環境を保持したままの高度なサンプリング技術や、現場計測・現場培養・現場実験を可能とする新たな機能を備えた深海探査システムが望まれている。

(2) 海洋鉱物分野

我が国では、沖縄トラフ周辺海域や伊豆・小笠原海域において海底熱水鉱床が発見されており、今後もこれらの海域を中心に新たな熱水鉱床が発見される可能性がある。また、海洋基本計画（平成 25 年 4 月 26 日閣議決定）においては、「平成 30 年代後半以降に民間が参画する商業化プロジェクトが開始されるよう（略）」とされ、海底熱水鉱床の開発に向けたプロジェクトが進んでいる。そのため、海底熱水鉱床の探査や開発に関連する需要が増加すると考えられる。また海洋鉱物資源の調査や把握は、海洋生物分野と同様に、海洋のガバナンスの点からも重要な取り組みである。

海洋鉱物資源の探査や開発に向けては、AUV を用いて広範囲の海域を探査し、海底熱水鉱床が存在する地点を効率的に絞り込む技術、ROV 等の海底下で作業可能な機器を用いてサンプリングを実施する技術、更には、開発に伴う環境影響評価手法の確立等が必要である。

(3) 地震・防災分野

我が国はプレート境界に位置しており、世界でもまれに見る地震大国である。大型海底地震の発生地域となっている日本海溝等の日本近海に、長期間の観測が可能な海底地震計を設置しているものの、水深 6000m 以上の海域については、地震計自体の耐圧性能や当該海域へのアクセス手段がないことから、設置ができていない。しかし、東北地方太平洋沖地震では、地震時に海溝付近のプレート境界が大きく滑ったことが判明しているが、震源域近傍（8000m）は未観察であったことから、これまで観測空白域であった超深海域における観測が必要であることが認識されている。

そのため、水深 6000m 以上の超深海域で、地震、津波、地殻変動等の観測が安定的に実施できる装置が必要であるとともに、そうした観測装置を海底下の任意の地点に正確に設置・維持するためのシステムも重要となる。現存の深海探査機では水深 7000m が限界であり、日本海溝最先端部での観測システムの設置・維持のためには、より高深度化への対応が必要である。更に、海底下から断層試料をサンプリングするため、深海の精密な地形の計測や海底下の詳細な構造の調査を可能にするとともに、その情報をもとに正確な位置でのサンプリングが可能となるシステムが望まれている。

(4) 海洋底地質分野

我が国周辺は千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、南海トラフ、南西諸島海溝等様々な深海フィールドを有しており、それぞれの海溝底はプレートの沈み込み角度の違いによって多様である。また、房総沖には海溝の三重点が存在する等、海底地形としては世界有数の特異な場所となっている。また、海溝底はプレート境界断層に沿って海底から海中に向かって多量に地殻構成物質が供給されるなど「地殻内部への窓」とも言われる特異な場所となっている。

しかし、現代の科学においても、プレートがどのように沈み込むか、沈み込み方に違いはないのか、それらを規定する要因は何かに関しては不明点が多く存在しており、それらの解明に向け、プレート沈み込み帯の最前線である深海の海溝底の観測が重要である。また、地質分野ではフィールドワーク調査が重要であることから、深海においても陸上と同程度の精度で海底地形・地質・変動現象を調査・観測できるシステムを整備すべきである。これにより、水深 6000m を超える海洋底の周辺ではどのような状況であるか、どのような現象が発生しているかについてのデータが蓄積され、それらは日本列島や大陸誕生のメカニズムを担うプレートテクトニクス理論の発展に寄与する。また、海底地形変動は海底地震によっても発生することから、地震発生のメカニズムや物理モデルの高度化等にも貢献できる。

5. 水深別の深海探査のニーズ

深海探査機の開発における技術的課題は、水深が深くなるごとにその困難さが増大する。このため、ここでは、深海探査のニーズについて、水深別に分類を行い、整理する。

(1) 水深 3000m 程度までの海域

比較的浅い海域として、これまでも多くの探査がなされている。今後、海洋の保全及び持続可能な利用のための生物多様性・生態系・環境評価等の調査研究、海底鉱物資源の将来的な利用開発を見据えた存在量の調査や必要な研究開発、海底地震観測システムの敷設等のニーズがある。

また、それぞれのニーズにおいて具体的に重要となる探査システムを示す。生物多様性等の調査研究においては、海底面付近を探査し状況の調査及び良質（的確）な試料の採取、モニタリング装置等を設置展開して長期の安定的な観察・観測、特定海域における物理・化学データの効率的取得を可能にさせる探査システムの構築が重要である。海洋鉱物においては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査し資源調査海域の絞り込み、海底面付近を探査し状況の調査及び良質（的確）な試料の採取を可能にさせるシステムが重要である。

更に、海底地震観測システムの敷設においては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査、観測システム等の設置・メンテナンスが可能となるシステムが重要である。

なお、当該海域は、海洋石油・天然ガス開発において産業利用も行われている海域であり、水深 2000m 程度であれば海洋レジャー用の探査機等も製品化されている。そのため、当該分野からの技術導入、当該分野への技術波及も可能である。

(2) 水深 3000m～7000m の海域

我が国が現在保有する深海探査機「しんかい 6500」の水深 6500m や「かいこう」の水深 7000m が対応する海域である。これらの深海探査機を活用しつつ、今後、深海域における生物・生態系・多様性等の調査研究、深海域における地質・地形調査、海底地震観測システムの敷設等のニーズがある。特に、海底地震観測システムにおいては、地震・津波観測監視システム（DONET）を水深 4000m までの海域に敷設をしており、今後も敷設のニーズがあると考えられる。

また、それぞれのニーズにおける具体的に重要となる探査システムを示す。生物等の調査研究においては、海底面付近を探査し状況の調査及び良質（的確）な試料の採取、モニタリング装置等を設置展開して長期の安定的な観察・観測、特定海域における物理・化学データの効率的取得を可能にさせる探査システムの構築が重要である。地質・地形調査においては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査、海底面付近を探査して状況の調査及び良質（的確）な試料の採取、海溝型地震発生時の状況調査を可能にさせる探査システムの構築が重要である。

更に、海底地震観測システムの敷設においては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査、観測システム等の設置・メンテナンスが可能となる探査システムの構築が重要である。

(3) 水深 7000m 以深の海域

以前は、JAMSTEC の 1 万 m 級無人探査機「かいこう」やウッズホール海洋研究所（米国）の無人潜水機ネレウスにおいて探査が可能であったが、ケーブル破断や圧壊により亡失している。ケーブル等の技術的問題は解決しているが、現在、水深 7000m 以深からフルデプスの海域における作業やサンプリング等が可能で深海探査機を保有している機関はない。そのため、当該海域は世界的に未調査領域であり、当該海域を改めて探査することで新たな深海生物・生態系・地質等といった科学的発見等が期待される。また、国・国民の安全安心等の観点から、超深海域の海溝底における大規模地震発生メカニズム等の調査・研究を進めることが重要である。更に、我が国の排他的水域内には 7000m 以深の海域も含まれていることから、当該海域へのアクセス手段を保有することも、安心安全の観点からも必要となってくる。

それぞれのニーズにおいて、重要となる探査システムを示す。大規模地震発生メカニズムにおいては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査、観測システム等の設置、メンテナンス、海溝型地震発生時の状況調査を可能にさせる探査システムの構築が重要である。超深海域における未知の深海生物・生態系・地質等の調査研究においては、海底地形等を広域かつ網羅的に探査して物理・化学・生物サンプルの効率的取得、海底面付近を探査して状況の調査及び良質（的確）な試料の採取を可能にさせる探査システムの構築が重要である。更に、EEZ 内へのアクセス手段の確保のためには、海底面付近における状態の調査及び作業が可能となるシステムが重要である。

6. 次世代深海探査システムの在り方

次世代の深海探査システムについては、それぞれの研究分野や水深別のニーズを踏まえつつ、有人探査機及び無人探査機のそれぞれの特性を生かし、機動的かつ統合的な深海探査システムを構築することが重要であり、ニーズの緊急性や重要性、技術的なフィージビリティを踏まえたシステムを構築すべきである。

具体的には、国・国民の安全安心等の観点から、まずは遠隔操作型無人探査機（ROV）シ

システムを活用し、我が国として、7000m 以深のフルデプス海域へのアクセス能力を確立していくことが必要である。また、現在、活動可能な水深が 3000m 程度である自律型無人探査機（AUV）システムについても、大深度化等を図りつつ、高機動化や高性能な観察能力の付加等により、7000m 以深の超深海域において広範囲の海底地形や科学データの取得を効率的に行う技術を確立していくことが重要である。

更に、有人探査機については、現在保有している「しんかい 6500」の最大限の活用を図り、その運航状況を踏まえつつ、フルビジョン化などの視野性を飛躍的に向上させる技術についても検討すべきである。こうした中で、今後重要性が増す海洋ガバナンス等に適切に対応するため、水深 3000m 程度までの有人探査機の導入（又は開発）について検討することが重要である。

なお、7000m 以深のフルデプスの有人探査機は、上記の深海探査システムによる成果を踏まえ、社会的・科学的ニーズ、技術動向、費用対効果、我が国の技術開発戦略等を踏まえつつ、継続的に検討していく必要がある。

これらの取り組みと平行して、機動的かつ統合的な探査システムの構築に向けては、複数台の有人探査機や無人探査機を同時搭載・同時運用によって、より広範囲の海域を探査することや、複数の観点からの探査することが重要である。これを実現させるため、探査機の軽量小型化や音響通信技術等の研究開発を進めるべきである。

なお、これらの取り組みに当たっては、以下の点に留意すべきである。

海洋石油・天然ガス開発や海洋レジャー等（水深約 3000m 以内）の技術等の既存技術の活用や海洋分野以外の技術（人工知能（AI）や情報通信（ICT）等）の活用を図るとともに、次世代深海探査で使用される技術が産業界や他分野へ効率的に波及していくようにすべきである。

また、諸外国と比較して、我が国の深海探査技術はどのような位置付けにあるのか、これまで我が国と JAMSTEC が 30 年間以上培ってきた有人潜水船を無事故で運航してきた安全管理技術等を次世代ではどのように維持・発展させるべきかといった観点を考慮すべきである。

更に、人類最後のフロンティアである深海の魅力や知見の拡大を効果的に伝えることで国民の海洋分野、更には科学技術全般の理解増進につなげ、将来の科学技術を担う子供たちの深海や科学の探究心を駆り立てられるような深海探査システムを構築すべきである。

以上

(参考1)

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会

次世代深海探査システム委員会 委員名簿

(◎：主査)

(臨時委員)

浦 環	九州工業大学社会ロボット具現化センター長
小原 一成	東京大学地震研究所長
瀧澤美奈子	科学ジャーナリスト
竹山 春子	早稲田大学理工学術院先進理工学部教授
辻本 崇史	(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構理事

(専門委員)

織田 洋一	(株) 三井物産戦略研究所技術・イノベーション情報部 シニア・プロジェクト・マネージャー
竹内 章	富山大学名誉教授
竹内 真幸	清水建設(株) 海洋未来都市プロジェクト プロジェクトリーダー
中野不二男	京都大学宇宙総合学研究ユニット特任教授
西山 淳一	(財) 未来工学研究所政策調査分析センター研究参与
藤井 輝夫	東京大学生産技術研究所所長
◎道田 豊	東京大学大気海洋研究所副所長
山崎 直子	宇宙飛行士

次世代深海探査システム委員会 検討経緯

<第1回> 平成28年1月8日(金)

- ・深海探査に携わる関係機関へのヒアリング

<第2回> 平成28年3月22日(火)

- ・研究機関より深海探査の成果報告
- ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
- ・諸外国における深海探査の動向について

<第3回> 平成28年5月16日(月)

- ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
- ・研究機関より深海探査の成果報告

<第4回> 平成28年6月20日(月)

- ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
- ・次世代深海探査技術システムの方向性に関する意見交換

<第5回> 平成28年7月1日(金)

- ・「今後の深海探査システムの在り方について(案)」について

資料 1-2

平成28年8月5日(金)
科学技術・学術審議会
海洋開発分科会(第48回)

今後の深海探査システムの 在り方について 概要



文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

次世代深海探査システムの検討背景

次世代深海探査システム委員会

科学技術・学術審議会海洋開発分科会において、次世代深海探査システムの在り方を調査するため、「次世代深海探査システム委員会」の設置を決定(2015年7月)

現状の主な深海探査システム

有人潜水調査船
「しんかい6500」



1989年～

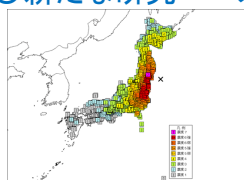
無人探査機
「かいこう」



建造・運航から25年以上経過

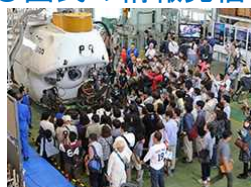
設計・建造の技術者等→退職
初期運航からの関係者→減少

○新たな研究ニーズ

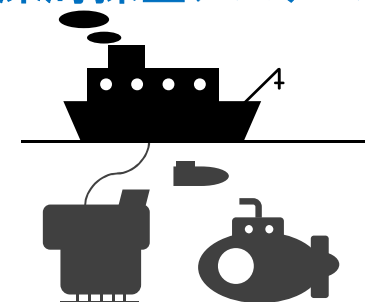


地震防災研究等

○諸外国の深海動向
○国民の情報発信



次世代 深海探査システム



- ・有人潜水機、無人探査機等の性能向上
- ・新たな深海部での探査、科学的成果
- ・深海探査の波及、理解増進等

【委員名簿】

◎道田 豊	東京大学大気海洋研究所副所長
浦 環	九州工業大学社会ロボット具現化センター長
織田 洋一	(株)三井物産戦略研究所技術・イノベーション情報部 シニア・プロジェクト・マネージャー
小原 一成	東京大学地震研究所長
瀧澤美奈子	科学ジャーナリスト
竹内 章	富山大学名誉教授
竹内 真幸	清水建設(株)海洋未来都市プロジェクトプロジェクトリーダー
竹山 春子	早稲田大学理工学術院先進理工学部教授
辻本 崇史	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構理事
中野不二男	京都大学宇宙総合学術研究ユニット特任教授
西山 淳一	(財)未来工学研究所政策調査分析センター研究参与
藤井 輝夫	東京大学生産技術研究所所長
山崎 直子	宇宙飛行士

【開催概要及び主な議題】

- <第1回> 平成28年1月8日(金)
 - ・深海探査に携わる関係機関へのヒアリング
- <第2回> 3月22日(火)
 - ・研究機関より深海探査の成果報告
 - ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
 - ・諸外国における深海探査の動向
- <第3回> 5月16日(月)
 - ・研究機関より深海探査の成果報告
 - ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
- <第4回> 6月20日(月)
 - ・今後の深海探査の在り方についてヒアリング
 - ・次世代深海探査技術システムの方向性に関する意見交換
- <第5回> 7月1日(金)13時～15時
 - ・今後の深海探査の在り方 とりまとめ案について意見交換

有人探査機及び無人探査機の特徴について



有人探査機
(HOV)

- 母船とケーブルが繋がっておらず(無索)、前後左右上下へ移動でき機動性が高い。
- マニピュレータ等により、海底面での軽作業やサンプリングが可能。
- 深海現場での直接観察により、空間認識や瞬時の状況判断に優れた探査。

- 母船との通信速度/容量が低いため、母船とのリアルタイム通信や船上研究者への情報が制限。
- バッテリーの制約による稼働時間の制限。
- 有人のため、製造・運航等の安全性を重視。製造・運航等のコストが割高。水深6500m以深への技術が未確立。

<技術課題>

- ・観察性能向上(フルビジョン化、通信技術) ・運航性能の向上(沈降浮上時間の短縮、バッテリー)
- ・浮力材や耐圧殻の大深度化 等



遠隔操作型
無人探査機
(ROV)

- 母船からケーブルを通じた電力供給等により、長時間探査の実施。
- 大型の装置の搭載や、海面下での大規模な作業が可能。
- 光ファイバー等を通じて映像やデータが高速・大容量・リアルタイムで母船に転送。船上の多数の研究者/技術者で情報共有。

- ケーブルの取回し性能や絡まり等の安全確保のため、探査範囲が狭い。
- 大水深化に伴い、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増大。
- カメラを通じた観察のため、空間認識や瞬時の判断では、有人に劣る。

<技術課題>

- ・高画質映像取得技術(カメラ性能、照明) ・操縦性の高機動化(機体軽量、ケーブル高強度) 等



自律型
無人探査機
(AUV)

- 自律機能搭載により、設定プログラムに基づいた自動航行。
- 海底地形図、海水化学データ等を長時間かつ広範囲に取得。
- 設計の自由度が大きく、多様な形態を考えることが可能。

- 海底への衝突回避等の安全性を考慮し、海底面付近に接近しにくい。海底映像取得や海底下作業に制限。
- 母船との通信速度/容量が低いため、探査機揚収後に船上でデータ抽出・解析。リアルタイムに情報取得できない。
- 大水深における技術が不十分。バッテリーの制約による稼働時間の制限。

- ## <技術課題>
- ・運航性性能の向上(バッテリー、位置検出) ・浮力材や耐圧容器の大深度化 等

今後の深海探査におけるニーズ例

水深
～3000m程度

- 海洋の保全及び持続可能な利用のため、生物多様性、生態系、環境評価等の調査研究
 - ・海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取
 - ・モニタリング装置等を設置、展開し、長期の安定的な観察・観測
 - ・特定海域における物理、化学データの効率的取得
- 海底資源の将来的な利用・開発を見据えた存在量の調査、必要な研究開発
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査し、資源調査海域の絞りこみ
 - ・海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取
- 海底地震観測システムの敷設
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査
 - ・観測システム等の設置、メンテナンス

水深
3000m～7000m

- 深海域における生物、生態系、多様性等の調査研究
 - ・海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取
 - ・モニタリング装置等を設置、展開し、長期の安定的な観察・観測
 - ・特定海域における物理、化学データの効率的取得
- 深海域における地質・地形調査
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査
 - ・海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取
 - ・海溝型地震発生時の状況調査等
- 海底地震観測システムの敷設(例: DONET敷設域の水深～4000m)
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査
 - ・観測システム等の設置、メンテナンス

水深
7000m～以深

- 超深海域の海溝底における、大規模地震発生メカニズム等の調査・研究
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査
 - ・観測システム等の設置、メンテナンス
 - ・海溝型地震発生時の状況調査等
- 超深海域における未知の深海生物・生態系、地質等の調査研究
 - ・海底地形等を広域かつ網羅的に探査、物理・化学・生物サンプルの効率的取得
 - ・海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取
- EEZ内へのアクセス手段の確保
 - ・海底面付近における状態の調査及び作業

今後の深海探査システムの在り方

1. それぞれの研究分野や水深別のニーズを踏まえつつ、有人探査機及び無人探査機のそれぞれの特性を活かし、機動的かつ統合的な深海探査システムの構築。

有人探査機(HOV)
・高機動性、直接観察
・安全性の確保 等



大深度遠隔操作型
無人探査機(ROV)
・長時間、重作業
・狭い探査範囲 等



自律型無人探査機
(AUV)
・自動航行、広範囲探査
・海底面への接近困難 等



2. これらのニーズの緊急性や重要性、技術的なフェジビリティを踏まえながら、以下の5つの方向でシステムを具体的に構築。

- ① 国・国民の安全安心等の観点から、大深度遠隔操作型無人探査機(ROV)システムを活用し、7000m以深のフルデプス海域へのアクセス能力を確立。
- ② また、自律型無人探査機(AUV)システムの大深度化等を図りつつ、7000m以深の超深海海域において広範囲の海底地形や科学データの取得を効率的に行う技術を確立。
- ③ 有人探査機については、現在保有している「しんかい6500」の最大限の活用を図りつつ、今後、重要性が増す海洋ガバナンス等に適切に対応。飛躍的に性能を向上させる技術の導入又は開発について検討。
- ④ 7000m以深のフルデプスの有人探査機は、上記の深海探査システムによる成果を踏まえ、社会的・科学的ニーズ、技術動向、費用対効果、我が国の技術開発戦略等を踏まえつつ、継続的に検討。
- ⑤ 統合的な探査システムに必要となる、複数探査機を活用する技術等について研究開発。

今後の深海探査システムの在り方 概念図

統合的な深海探査システム

<ニーズ例>

- ・地震発生メカニズム等の調査・研究
- ・生物、生態系、多様性等の調査研究
- ・海底地震観測システムの敷設
- ・EEZ内へのアクセス手段の確保 等

探査機の
特性を活かす

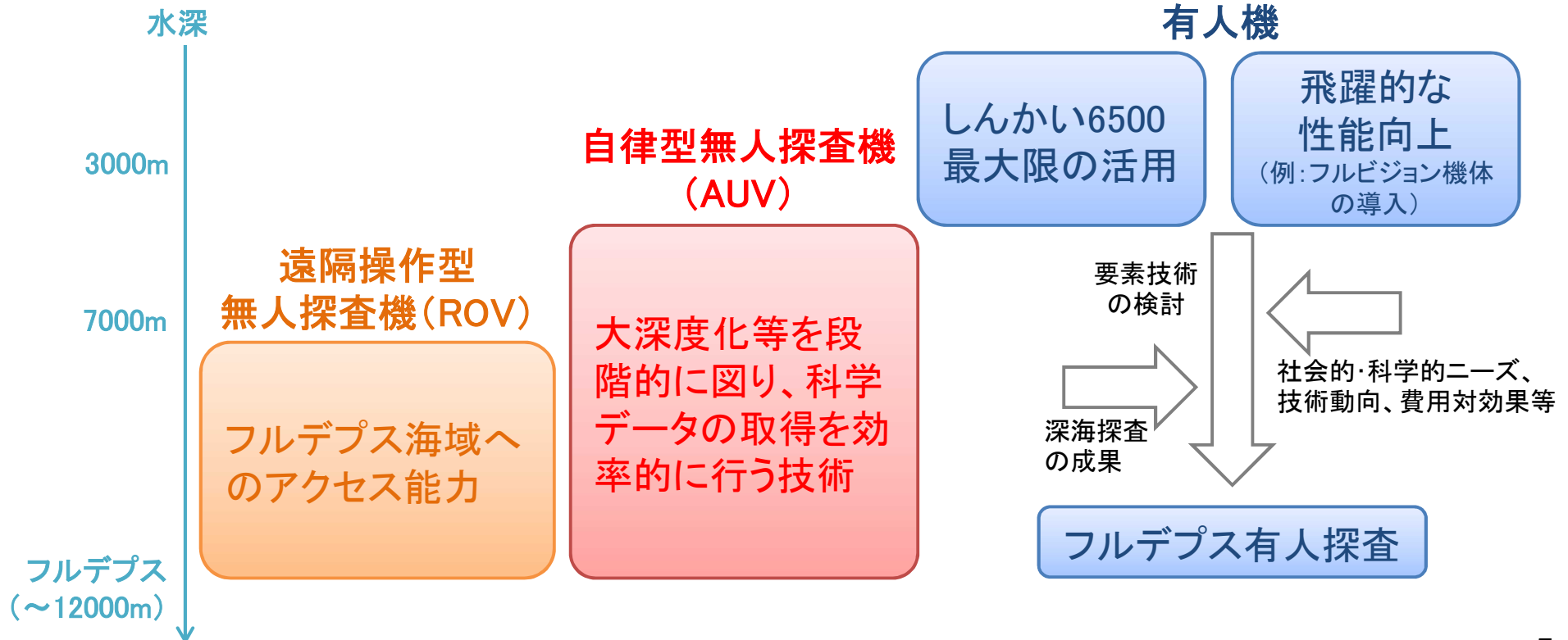


**遠隔操作型
無人探査機(ROV)**
・長時間、重作業
・狭い探査範囲 等

有人探査機(HOV)
・高機動性、直接観察
・安全性の確保 等



自律型無人探査機(AUV)
・自動航行、広範囲探査
・海底面への接近困難 等



今後の深海探査システムの在り方 留意事項

1. 既存技術の活用、技術の波及効果

- (1) 海洋石油・天然ガス開発や海洋レジャー等(水深約3000m以内)の技術の活用
- (2) 海洋分野以外技術(人工知能(AI)や情報通信(ICT)等)における技術も活用
- (3) 使用される技術の産業界や深海・海洋分野以外への波及 等

2. 維持・発展すべき技術、技術動向

- (1) 諸外国と比較して、我が国の深海探査技術の位置付け
- (2) 30年間、有人潜水船を無事故で運航した安全管理技術等のノウハウ 等

3. 国民の理解増進

- (1) 人類最後のフロンティアである深海の魅力や知見の拡大を効果的に伝え、国民の海洋分野、さらには科学技術全般の理解増進
- (2) 子供達の深海や科学への探究心 等

国内外の深海探査 システムの動向

2023年11月22日 第1回深海探査システム委員会
国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC)
理事 (研究開発担当) 河野 健

目次

- 深海探査システムを支える探査機（HOV・ROV・AUV）の整理
- 世界の主要国における深海探査機に関する動向
- 日本における深海探査機の研究開発の現状
- JAMSTECの深海探査機能／母船の変遷
- 今後の深海探査機の研究開発展望
- まとめ

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探査機。母船とは完全に切り離され、電池により駆動する。母船とは、音響無線通信を通じて連絡を取る。



例) しんかい6500

強み

- 母船とケーブルで接続されていないため、前後左右上下へ移動でき機動性が高い。
- マニピュレータなどにより、海底面での軽作業*やサンプリングが可能。
- 操作と機体動作の処理遅延が小さく、操作性が良い。
- 深海現場での直接観察により、空間認識や瞬時の状況判断に優れた探査が可能。

弱み

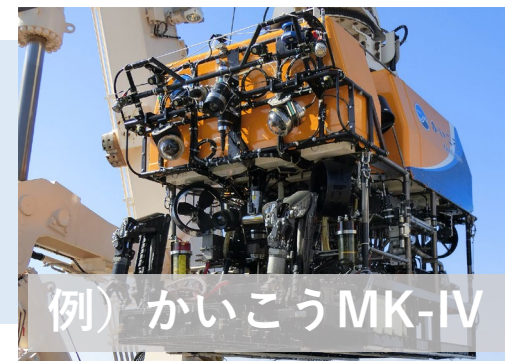
- 母船との通信速度/容量が低いため、母船とのリアルタイム通信や船上研究者への情報が制限。
- バッテリーや酸素量の制約により稼働時間に制限。
- 有人のため、安全性を重視。製造・運航などのコストが割高。

*本資料では、カメラ、ライト、ソーナー（搭載しない場合もある）程度の装備のみで対応可能な範囲の作業に加え、プッシュコア、ニスキン採水器、少量のスラップガンなどによるやや高度な作業も含めて「軽作業」と称する。

ROV

Remotely Operated
Vehicle
遠隔操作型無人探査機

母船と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探査機。機体の操作は、オペレーターによって船上から実施される。



本プレゼンで扱うROVの中には、UROV（Untethered Remotely Operated Vehicle：細径ケーブル式遠隔操作型無人探査機）は含めていない。UROVは、細径ケーブルを用いた光ファイバ通信を行う電池駆動の探査機で、ケーブルの重量が軽くサイズも小さいため、軽作業を得意としている。

強み

- 母船からケーブルを通じた電力供給などにより、**長時間探査**が可能。
- 大型装置の搭載や、**重作業***や**サンプリング**が可能。
- 光ファイバーなどを通じて**映像やデータが高速・大容量・リアルタイムで母船に転送**。

弱み

- ケーブルの取り回しや絡まりなどの制約から、探査可能な範囲が狭い。
- 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。
- カメラを通じた観察のため、空間認識や瞬時の判断ではHOVに劣る。

*本資料では、海底ケーブルの敷設や重量物の運搬などを「重作業」と称する。

AUV

Autonomous Underwater
Vehicle
自律型無人探査機

あらかじめプログラミングされたシナリオに基づいて観測する探査機。母船とは完全に切り離され、電池により駆動する。母船とは、音響無線通信を通じて連絡を取り、母船から観測シナリオの変更を指示することも可能。



強み

- 設定プログラムに基づき、**母船から独立した航行**が可能。
- 航行型は航行速度が大きく、海底地形データなどを**広範囲に取得**することが可能。
- ホバリング型は回転・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。

弱み




- 航行型は、衝突回避など安全上の観点から海底面付近に接近しにくい（※）。
- 母船との通信速度/容量が低く、揚収後に船上でデータ抽出・解析する必要。目で見ながらの情報取得は困難。
- バッテリーの制約により稼働時間に制限。

（※）海底面付近に接近しての画像取得が可能な航行型も存在。

深海探査機 (HOV・ROV・AUV) の整理

表. 深海探査機の得意・不得意項目

◎ : 最適
 ○ : 適する
 △ : 活用しにくい/不適

評価項目	HOV 	ROV 	AUV 	活用例
最大潜航可能深度	約11,000m (中国「奮闘者」/ アメリカ「Limiting Factor」)	約7,000m (ノルウェー「Argus Worker」) ※2003年まで11,000m級が存在	約11,000m (ロシア「VityazD」/ 中国「悟空」)	
海底面付近の観察・観測	◎	○	○ (※基本的にホバリング型の場合)	生物調査・CCS・ 海洋インフラ管理・ 救難調査
広範囲の観察・観測	△	△	◎ (※基本的に航行型の場合)	海底地形/地質調査・ 海洋安全保障・ 海底資源開発・ 環境モニタリング・ CCS
観測装置等の設置・ 展開/メンテナンス	○	◎	△	海底地震/火山調査・ 洋上風力発電・ 海底資源開発
ピンポイント サンプリング	◎	○	△	生物調査・ 海底資源開発・ 救難調査

世界の主要国における深海探査機に関する動向



図. 各国の主要な6,000m級以上のROV、HOVの現状

※第70回海洋開発分科会資料を一部、改変

- 深海探査機能で世界をリードする3エリア（西ヨーロッパ・東アジア・北アメリカ）及びオセアニアの主要国（※）について、**深海探査機の研究開発動向を調査し、日本が今後の深海探査機について検討すべき事項を考察。**

※動向調査対象国

- 北アメリカ
 - ・アメリカ
 - ・カナダ
- 西ヨーロッパ
 - ・イギリス
 - ・フランス
 - ・ドイツ
 - ・ノルウェー
- 東アジア
 - ・中国
 - ・韓国
- オセアニア
 - ・オーストラリア
 - ・ニュージーランド

※オープンソースのみに基づき情報を収集しており、各国のROV、HOVを全て網羅しているものではないことに留意。
※各国の大学や研究機関が所有するROV、HOVのみを対象としており、民間企業が所有または製造するROV、HOVについてはプロットしていない。

※ロシアについては最新情報を掴みにくいため、調査対象国には含めていない。

世界の主要国における深海探査機に関する動向

(機関名の略称)

- ・ WHOI : ウッズホール海洋研究所
- ・ MBARI : モントレー湾水族館研究所

北アメリカ

アメリカ

カナダ

HOV

<公的機関> 2011~2021年にかけて海軍が唯一所有する大深度HOV (※運用はWHOI) の大改造を実施。耐圧殻の大型化や覗き窓の増設、潜航可能深度も4,500mから6,500mに飛躍した。

<民間企業> 2018年にTriton Submarines社がフルデプス級HOVを建造 (2022年に海洋調査組織に売却) 。個人投資家等の出資を基にした商用面での利用も盛んで、4,000m級も市販。一方で、2023年に民間企業が運用する4,000m級HOVが圧壊する事故が発生。

所有・今後の建造情報なし

ROV

<公的機関> 2016年、WHOIが2002年から運用する6,000m級ROVの改造を実施。パイロードも数百kg増加。その他、同機関は海氷下で運用可能な5,000m級ROV、またMBARIも4,000m級ROVを所有。

<民間企業> 民間企業のラインナップも充実しており、6,000m級ROVを市販する企業も存在。大学などでも、民間企業製の市販ROVが使用されたりしている。

<公的機関> 公立大学はアメリカの民間企業製の6,000m級ROVを所有しているものの、公的機関で目立った大深度ROVの運用事例はない。

<民間企業> International Submarine Engineering (ISE) 社が6,000m級ROVを市販 (民間企業がアメリカの民間企業製の6,000m級ROVを運用した事例もある) 。また、浅海用ROVについても複数の民間企業が市販するなど、民間企業の技術力は高い。

AUV

<公的機関> WHOIは、開発した11,000m級HROV (AUVとROV両モードでの運用が可能) が2014年に圧壊する事故が発生したものの、現在も6,000m級AUVやロングレンジ型 (長時間航行型) AUVを運用。海軍の計画では高い自律機能やロングレンジが重視されており、また、MBARIでもロングレンジ型AUVの研究開発が推進。

<民間企業> 研究機関や大学から技術移転を受けた民間企業が汎用性の高いAUVを市販 (REMUS (最大潜航可能深度6,000m) ・Bluefin (最大潜航可能深度4,500m) シリーズ) 。



<公的機関> 公的機関で目立った大深度AUVの運用事例はない。

<民間企業> ISE社が6,000m級AUVを市販 (日本の公的機関や民間企業でも導入実績あり) 。また、同社は、オーストラリアの公立大学と5,000m級AUVを共同で開発。

(機関名の略称)

・NOC：国立海洋学センター

・Ifremer：フランス国立海洋開発研究所

	イギリス 	フランス 
HOV	所有・今後の建造情報なし	<p><公的機関> Ifremerは国内で唯一となる6,000m級HOVを1984年から運用中。</p>
ROV	<p><公的機関> NOCは、<u>公的機関としては世界で最も深くにアクセスできる6,500m級ROVを運用</u>（同機関は6,000m級ROVも所有している）。</p> <p><民間企業> Soil Machine Dynamic社が<u>6,000m級ROVを市販</u>。民間企業の技術力も高い。</p>	<p><公的機関> Ifremerは、<u>6,000m級ROVと2,500m級ROVを所有</u>。前者に限られた母船でしか運用できないという問題があったことから、<u>後者は異なる母船でも運用できるよう、汎用性の高い設計</u>となっている。</p> <p><民間企業> <u>複数の民間企業が浅海用ROVを市販</u>。</p>
AUV	<p><公的機関> NOCは開発の方向性を<u>ロングレンジ型に絞っており、ロングレンジ型6,000m級AUVなどを開発</u>。また、スタートアップ企業などと<u>ロボティクスに関する「共創の場」を構築</u>。一方で、<u>海軍はREMUSシリーズを購入、運用している</u>。</p> <p><民間企業> 世界最大の発電量を誇る<u>洋上風力発電設備のメンテナンスや安全保障を主目的とした、高いAUV需要</u>が見込まれている。スタートアップ企業では地震計型などユニークなAUV開発も盛ん。</p>	<p><公的機関> Ifremerは、<u>3,000m級AUV2機（カナダの民間企業ISE社製）を運用</u>。2017年、大深度域へのAUVのアクセス機能を向上させるため、Ifremerが主導する5年間の計画を発表。計画の中には、「<u>6,000m級国産AUVの建造</u>」や「<u>水中ロボティクス研究所の設置</u>」などが含まれている。</p>

世界の主要国における深海探査機に関する動向

(機関名の略称)

- ・ GEOMAR : ヘルムホルツ海洋研究センター
- ・ AWI : アルフレッド・ウェゲナー研究所

西ヨーロッパ

ドイツ 

ノルウェー 

HOV

所有・今後の建造情報なし

所有・今後の建造情報なし

ROV

<公的機関> GEOMARは6,000m級ROVを運用しており、また、公立大学でも4,000m級ROVと2,000m級ROVを運用。AWIは6,000m級ROVを2機運用しており、これらはドイツ国内の機関・民間企業から構成される、フロンティア領域の探査技術を向上させるための連携協定を通じて開発された。

<公的機関> 公立大学が6,000m級ROVを所有しているものの、公的機関で大深度ROVの目立った運用事例はない。

<民間企業> Argus社は、現状、世界で最も深くにアクセスできる7,000m級ROVを市販。また、浅海用ROVについては複数の民間企業が市販するなど、民間企業の技術力は高い。

AUV

<公的機関> GEOMARは6,000m級AUV (REMUSシリーズ) を運用。また、同機関は6,000m級国産AUVを建造する計画も立てている。AWIでも3,000m級AUVと浅海用AUVが運用されているが、いずれもBluefinシリーズである。なお、公立大学でも5,000m級AUVが運用されている。



<民間企業> 2021年、Huginシリーズを製造するKongsberg Maritime社は、ロングレンジ型6,000m級Huginの販売を開始。また、Oil & Gasの資金源を基に、パイプラインメンテナンス用ウミヘビ型AUVなどのユニークな研究開発を推進するスタートアップ企業も振興。

世界の主要国における深海探査機に関する動向



(機関名の略称)

- ・ KIOST : 韓国海洋科学技術院
- ・ KIGAM : 韓国地質調査研究所

東アジア

	中国 	韓国 
HOV	<p><公的機関> 2020年、中国科学院のHOVが約11,000mの海底に到達。既に「到達」から本HOVを活用した「調査」のフェーズに移行しており、海底地形の観測やサンプリングなども実施。公的機関は、この11,000m級に加え、7,000m級のHOVを複数機、4,000m級のHOVを1機所有している。</p>	<p>所有・今後の建造情報なし</p>
ROV	<p><公的機関> 2018年、中国科学院の海洋先導特別プロジェクトの支援を受けて瀋陽自動化研究所が開発した6,000m級ROVが、最大作業水深6,000mを突破し、国産ROVの新記録を樹立。また、上海交通大学でも6,000m級ROVが開発されており、国内で2機の国産6,000m級ROVを所有している。11,000m級ROVの研究開発に着手しているとの報道もなされている。</p>	
AUV	<p><公的機関> 2035年を視野に、「大深度化」、「高い自律機能」、「有人・無人/大型・小型」全てが共同するオペレーション」という3つの方向性で研究開発を推進。2021年、哈爾濱工程大学が開発したAUVが深度10,896mに到達したとの報道がなされた。</p>	<p><公的機関> 2007年、KIOSTは6,000m級ROVを開発したものの、予算的な制約が強く、運用機会が非常に少ない状況。その後、同機関が新たな6,000m級ROVの開発に着手したとの報道もなされたが、進捗は不明。KIGAMや海軍は3,000m以浅級ROVを運用中。</p> <p><民間企業> Daewoo Heavy Industries社が6,000m級AUVを市販するなど、民間企業の技術力も高い。</p>

※情報はオープンソースに基づき収集したものであり、全ての動向を網羅しているものではないことに留意されたい。

	オーストラリア 	ニュージーランド 
HOV	所有・今後の建造情報なし	所有・今後の建造情報なし
ROV	<p><民間企業> <u>Total Marine Technology社が6,000m級ROVを市販、また、浅海用ROVについても複数の民間企業が市販するなど、民間企業の技術力は高い。</u></p>	<p><公的機関> <u>公的機関、大学では目立った研究開発は実施されていない。</u> NIWAでは、市販の浅海用ROVをバイオセキュリティ分野などで使用している。</p> <p><民間企業> <u>3,000m級ROVを所有・運用する民間企業や、浅海用ROVを市販する民間企業などが存在。</u></p>
AUV	<p><公的機関> 大学を中心としたコンソーシアムにおいて、<u>浅海用AUV (※WHOI製造後、改造) を使用し、サンゴ礁などの定期的な広域モニタリングを実施。</u> 公立大学がカナダの民間企業ISE社と共同で海氷下観測用の5,000m級AUVを開発、また海軍も6,000m級大型AUVの将来的な開発を目指して民間企業と大型契約を締結するなど、<u>大深度用AUVを開発する流れも加速。</u></p>	<p><公的機関> 目立った研究開発は実施されていない。<u>NIWAは他国から融資を受けた3,000m級AUVを使用</u>して地震発生帯の調査を実施しており、また、<u>海軍もREMUSシリーズを購入、運用</u>している。</p>

HOV (まとめ)

- 動向調査対象国の中でも、大深度HOVの所有国は非常に限定的（対象国以外ではロシアが6,000m級を3機、ポルトガルとスペインが1,000m級をそれぞれ1機ずつ所有）。
- 西ヨーロッパの大深度HOVは「Nautile」のみだが、これは、西ヨーロッパは無人> 有人という傾向を示しているわけではなく、主要国の研究の方向性の違いに起因（※）していると思料。一方、アメリカは、廃船も含めた長い検討の末、HOVを6,500m級へと改造し運用を始めており、当面は大深度HOVの運用を継続する見込み。
- 中国は11,000m級に加えて7,000m級も複数機所有しており、1強状態である。
- 開発資金や安全面などの制約や、（科学調査・学術研究を除いて）ニーズも少なく、製品化の事例は極めて少ない。

(※) イギリスは、深海平原など海底を面的にランダムでサンプリングして研究するタイプの研究者が多い傾向にあり、また、ドイツは、極域をはじめとする一般海洋観測などが盛んで、両国ともにHOVを求めるサイエンスは広く実施されていない。一方で、西ヨーロッパで大深度HOVを唯一所有するフランスは、中央海嶺生態系のピンポイント研究が盛んであり、HOVを求めるサイエンスが普及している。

世界の主要国における深海探査機に関する動向

- 1960～1970年代はアメリカやフランスがフルデプス級HOVを開発。
- 1980年代以降は、中国を除き、各国6,000m級HOVを維持する方向性。
- 7,000m以深級HOVは約30年間開発されていなかったが、2010年頃から中国が開発する動き（HOV初建造から短期間で11,000m級へ）。

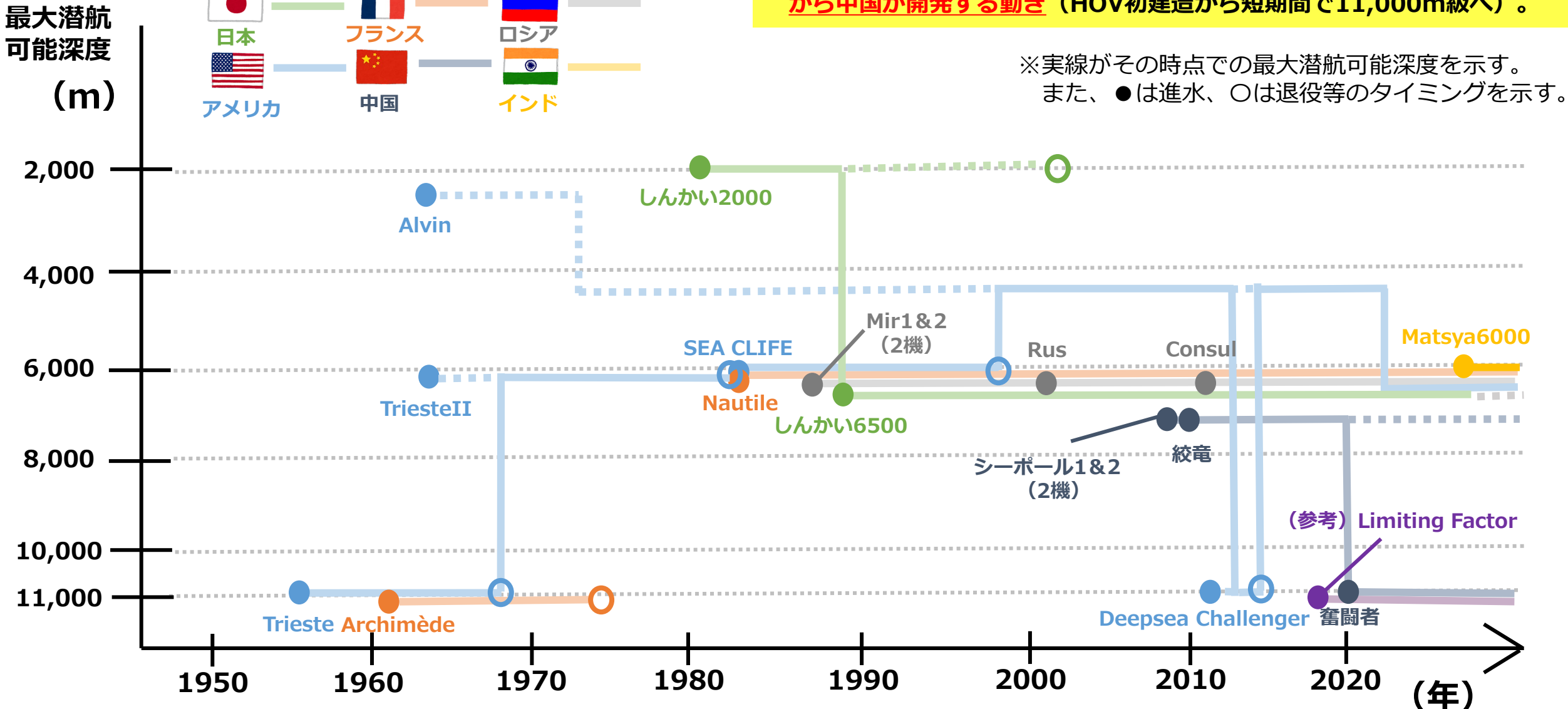


図. 動向調査対象国及び、ロシア、インドの公的機関が所有（または予定）するHOVの最大潜航可能深度の変遷

ROV (まとめ)

- カナダ、オーストラリア、ニュージーランドを除く動向調査対象国の公的機関は6,000m級を所有（カナダも公立大学が6,000m級を所有）。
- 民間企業が6,000m級を市販している事例が多数。ノルウェーの民間企業Argus社は、現状、世界で最も深くにアクセスできる7,000m級ROVも製造しており、浅海用～深海用に至るまで民間企業の製品が充実している。
- 一方、7,000mより深くにアクセスできるROVは民間企業を含めて製品化されていない（※JAMSTECでは1995～2003年まで11,000m級ROV「かいこう」が運用されていた）。ニーズや技術開発上の制約などが原因と考えられる。

AUV (まとめ)

- 世界のトレンドは、ロングレンジ型（充電せずいかに長時間航行できるのか、を重視）。また、アメリカや中国などの開発先進国は、安全保障面などへの展開も意識し、高い自律機能も重要視。
- 航行型AUVについては、6,000m級に至るまで、アメリカ、ノルウェー、カナダなどの特定の民間企業が寡占状態。一方で、フランス、韓国などは国産AUVを開発する計画も立案中であり、その背景には安全保障面などに対する懸念などがあると考えられる。

日本における深海探査の研究開発の現状

限られた保有国の1つには入っており、大深度HOVの耐圧殻技術は世界でも高い水準。今後の方針について、本委員会で改めて検討が必要。

HOV



- **唯一の大深度HOV**である「しんかい6500」は、就航から30年以上が経過。**老朽化・陳腐化によって近い将来、使用できなくなる懸念**がある。
- 「しんかい6500」そのものに加え、**支援母船「よこすか」の老朽化**も進行している。
- 「しんかい6500」の耐圧殻そのものは、**アメリカや中国の基準で換算すれば8,000m級**となり、**世界の中でも高い水準**にある。

日本唯一の大深度HOV



しんかい6500 (JAMSTEC)

潜航可能深度
6,500m

世界の主要国から大きく後れている。HOVの救難用も存在しない。今後の方針について、本委員会で改めて検討が必要。

ROV



- 1995年にJAMSTECが開発したフルデプス級の「かいこう」など、**かつては世界トップクラスの技術力を誇っていた**。
- **公的機関に加え**、海洋調査を主たる業務とする**民間企業も、作業能力を有する3,000m級ROVを複数機所有**している。
- **大深度ROVを製造する民間企業は存在せず、部品を含め、基本的に海外から購入**している。一方、**浅海域の観測用ROVを製造するスタートアップ企業は存在**。

日本で最も深くまでアクセスできる作業能力を有したROV
潜航可能深度
4,500m



かいこうMk-IV (JAMSTEC)



ハイバードルフィン (JAMSTEC)

世界の主要国から大きく後れている。「AUV戦略」の策定に向け検討中。

AUV



- **販売されているAUVの大部分が海外製品**である一方、イギリスの企業から受注を受けるなど、**高度な技術力を有する民間企業も存在**。
- 航行型はJAMSTEC、ホバリング型は海上・港湾・航空技術研究所がそれぞれ**8,000m級、6,000m級を開発中**。
- 産業化には至っていないものの、将来的な産業化などを見据えた「**AUV戦略**」が、**2023年中に政府主導で策定予定**。

日本で最も深くまでアクセスできるAUV
潜航可能深度
6,000m



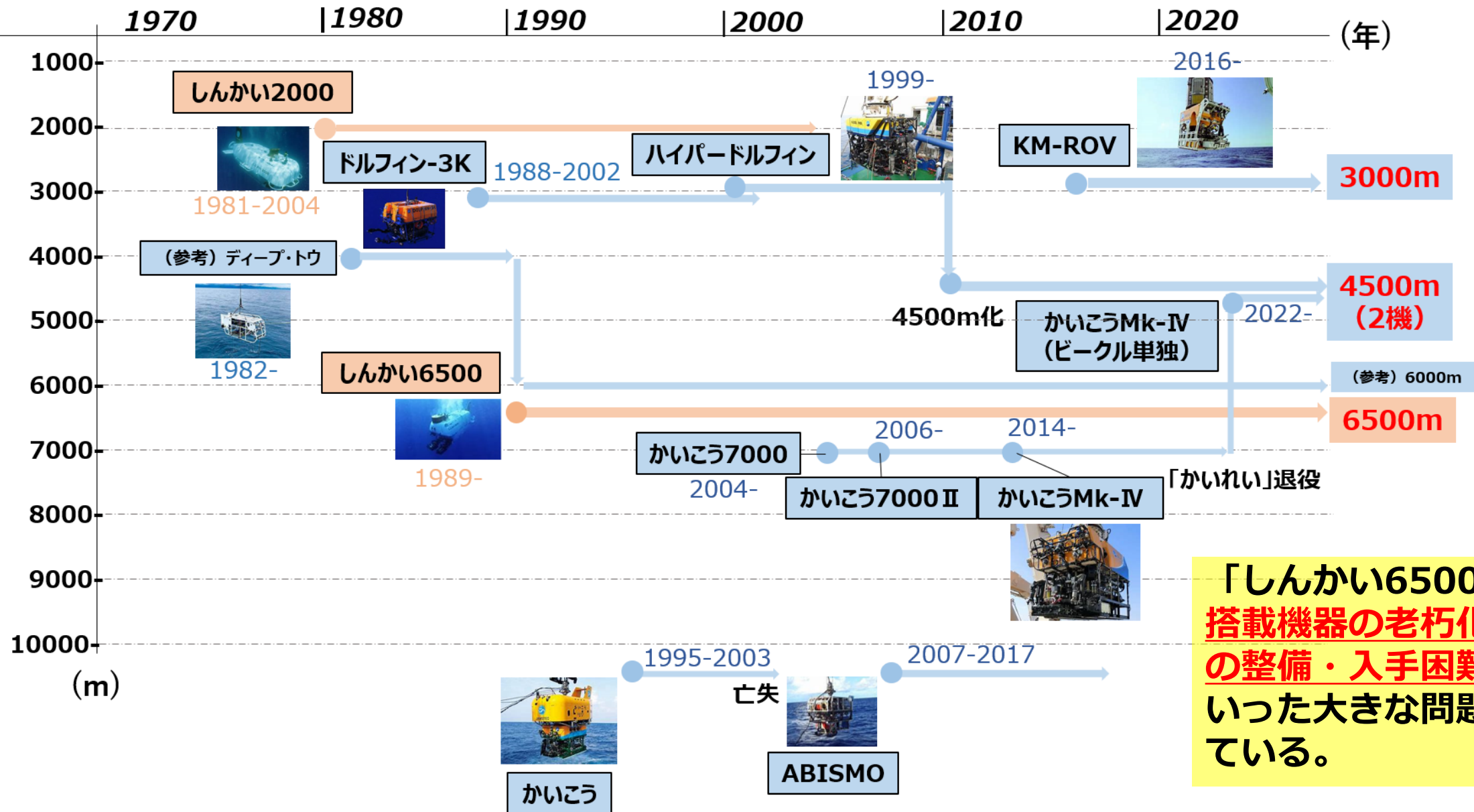
NGR6000 (SIP)



うらしま (JAMSTEC)

※2024年度に6,500m級、2025年度に8,000m級での初潜航を目指して改造中

JAMSTECの深海探査機能の変遷 HOV/ROV



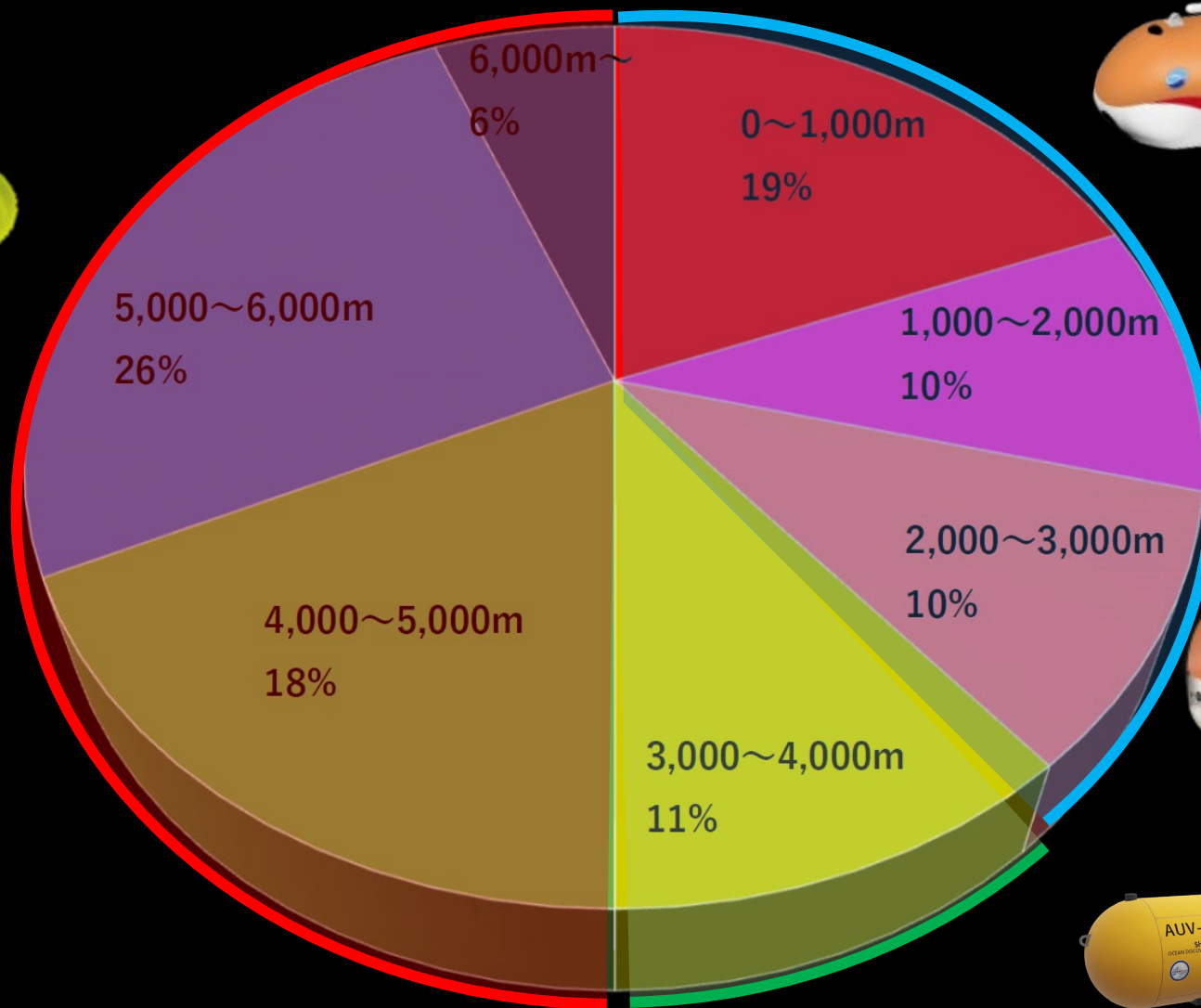
JAMSTECの深海探査機能の変遷 AUV



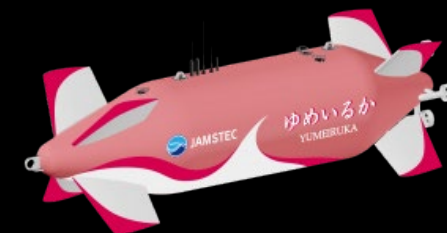
「うらしま」8,000m
(※改造中)



「NGR6000」6,000m



「じんべい」3,000m



「ゆめいるか」3,000m



「うらしま」3,500m



「AUV-NEXT」4,000m

日本の海洋における深度別占有面積の割合

松沢孝俊(2005). 「わが国の200海里水域の体積は？」
Ocean Newsletter. 第123号. 海洋政策研究所に基づき円グラフを作成

探査に必要なJAMSTECの母船の変遷



よこすか (1990~)

HOV「しんかい6500」とAUV「うらしま」の母船

建造から35年が経過し老朽化が進んでおり、「しんかい6500」を潜航させるために必須である機器をはじめとして、以下のような問題を抱えている。

● 船体構造

- ・ 船底外板の減肉
- ・ 各種ダクト及び配管類の破孔発生

● HOV潜航支援装置の劣化

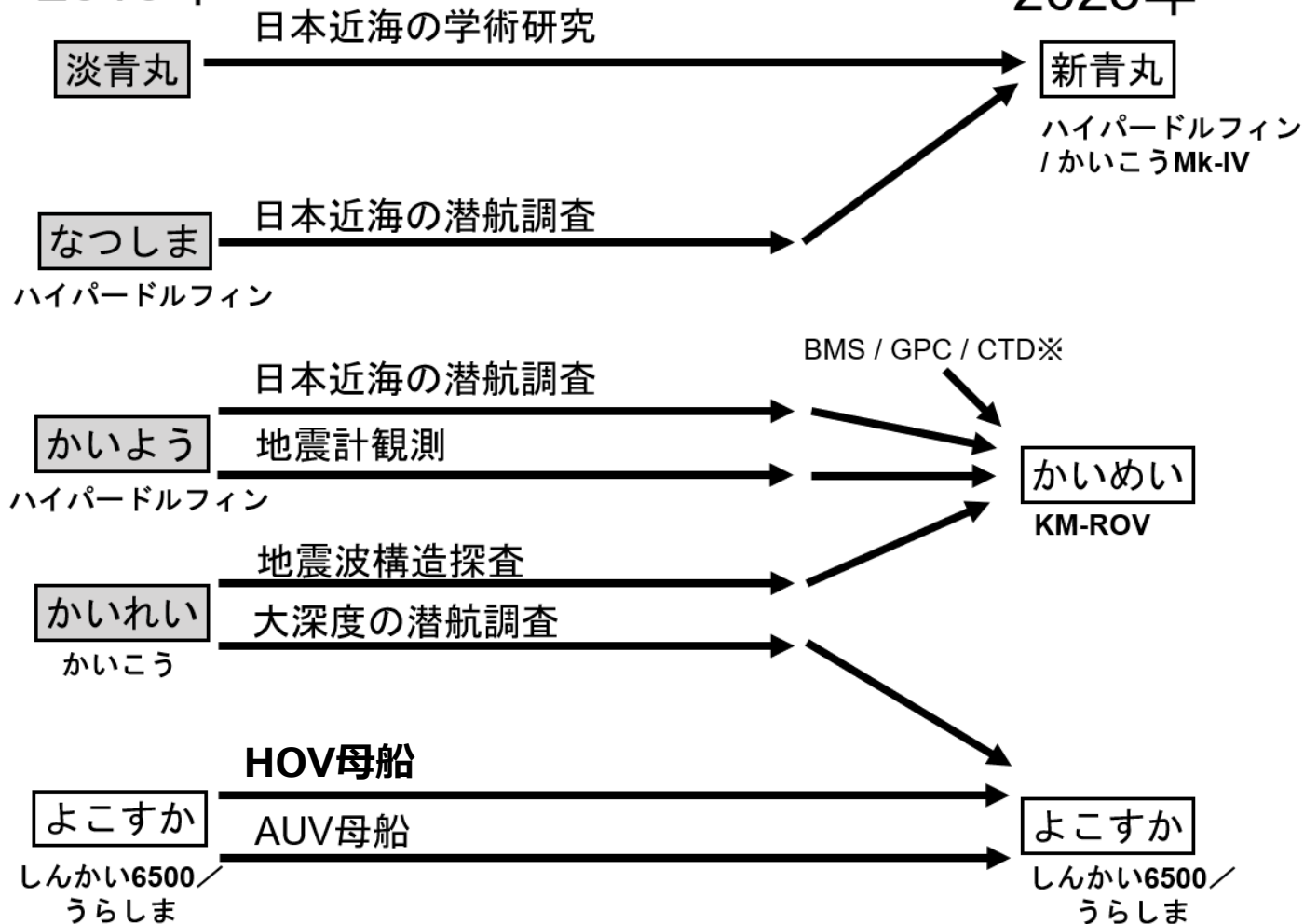
- ・ 着水揚収装置の発錆等に伴う劣化
- ・ 着水揚収装置類の作動に必要な油圧機器や制御盤類の陳腐化
- ・ 音響航法装置の老朽化



上記と共に、各機器に使用されている交換部品類のメーカーによる生産中止などサポート体制に懸念有。

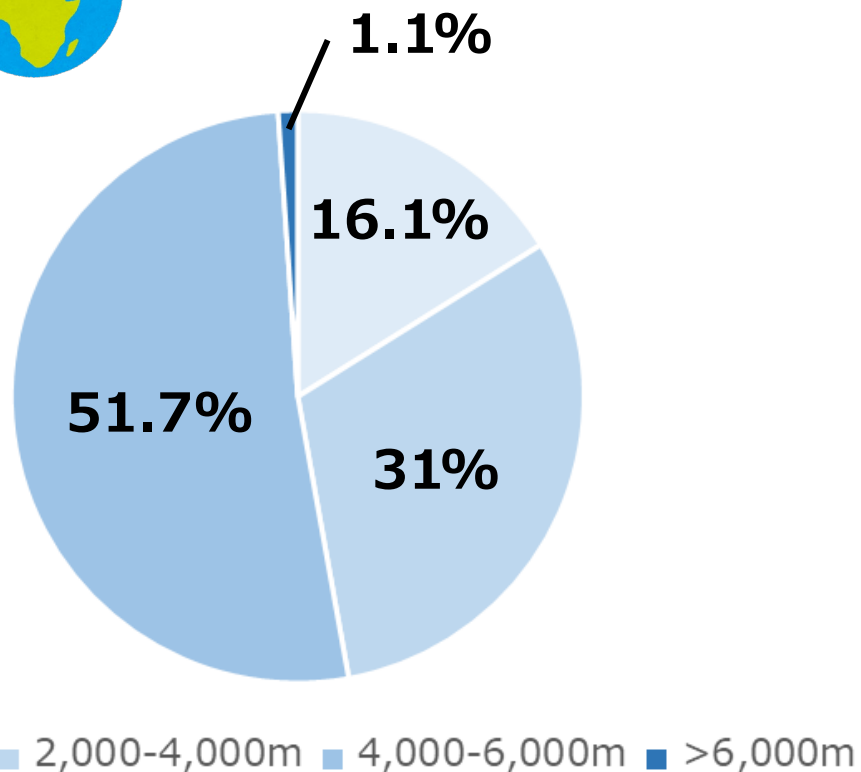
2010年

2023年



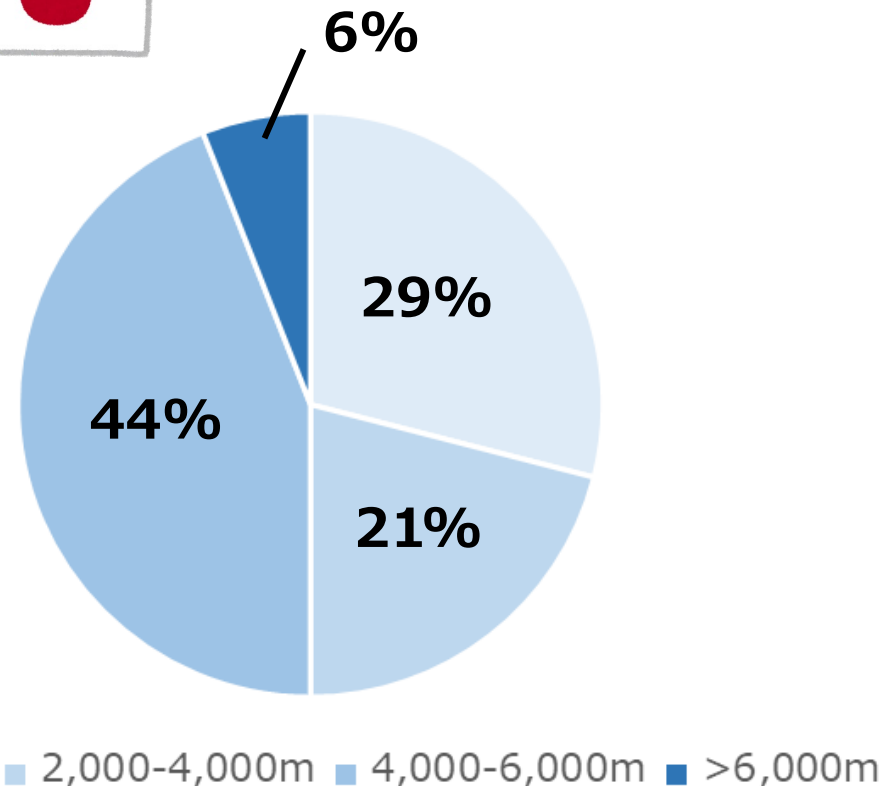
※BMS : Benthic Multicoring System (海底設置型掘削装置)
 GPC : Giant Piston Corer (ジャイアントピストンコアラー)
 CTD : Conductivity Temperature Depth profiler (水温・塩分・深度プロファイラー)

世界



Eakins & Sharman (2012) に基づき作成
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.873700/full>

日本



松沢孝俊(2005).「わが国の200海里水域の体積は？」 Ocean Newsletter, 第123号, 海洋政策研究所に基づき作成

図. 世界、及び日本の海洋における深度別占有面積の割合

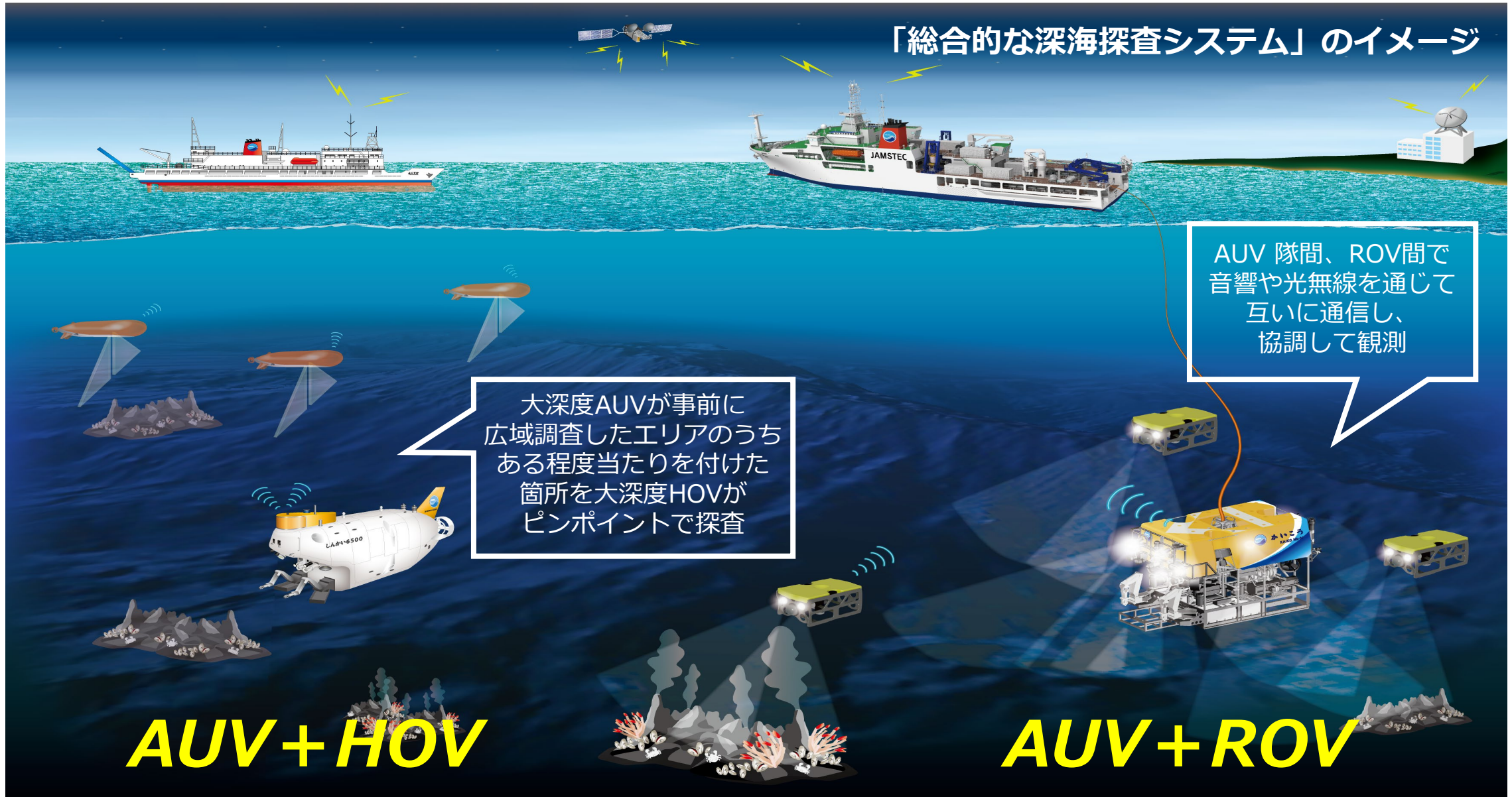
今後の深海探査機の研究開発展望

HOV 同じ分野でもサンプリングや海中構造物の設置等、作業ができる点に強み
 ROV
 AUV 同じ分野でも広範囲のデータ取得ができる点に強み

民生分野			学術調査・研究分野等			
深さ	HOV	ROV	AUV	HOV	ROV	AUV
0m	・観光	・洋上風力 ・CCS ・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 ・水産業 ・海難調査	・海洋安全保障 ・洋上風力 ・CCS ・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 ・水産業 ・海難調査	・海洋安全保障（潜水艦） ・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査 ・海中遺跡調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査 ・海中遺跡調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査 ・海中遺跡調査
浅 2,000m	・観光	・洋上風力 ・CCS ・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 ・水産業 ・海難調査	・海洋安全保障 ・洋上風力 ・CCS ・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 （※海底ケーブル） ・海難調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査
中 4,000m	・観光	・洋上風力 ・CCS ・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 （※海底ケーブル） ・海難調査	・海洋資源開発 ・海洋インフラ管理 （※海底ケーブル） ・海難調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査
深 6,000m	・観光		・海洋インフラ管理 （※海底ケーブル）	・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査		・海域地震・火山 ・海底地形・地質調査 ・環境モニタリング ・生物調査

図. HOV・ROV・AUVの活用が期待される主な分野

「総合的な深海探査システム」のイメージ



まとめ

- 日本の深海探査機の現状は、HOV、ROV、AUVいずれについても世界を大きくリードするものではない。AUVについては産業化なども見据えた国の戦略を2023年中に策定予定だが、HOV、ROVについては放置すればどんどん後れていく懸念がある状態。
- 海外の研究開発動向なども踏まえ、産業、科学技術、経済安全保障などさまざまな側面から今後どのような深海探査機能を持つべきか、また、それを実現するためにどのような深海探査システムを保有すべきかを議論すべき。
- 既に寡占が進んでいるような開発については、他国を追従してしまうと、学術調査・研究分野等で需要のある先端的な要素技術は後れ、廃れていってしまう。深海探査機を用いた調査研究のニーズを踏まえ、大きなビジョンを示した上で、必要となる要素技術等について検討を進めるべき。
- HOV、ROV、AUV単体による深海調査ではなく、それぞれを組み合わせた深海調査のビジョンを作ることが重要。

參考資料

世界と比較した日本の海洋の特徴

順位	200海里面積 (百万km ²)		200海里体積 (百万km ³)	
1	アメリカ	10.7	アメリカ	33.8
2	ロシア	8.03	オーストラリア	18.2
3	オーストラリア	7.87	キリバス	16.4
4	インドネシア	6.08	日本	15.8
5	カナダ	5.8	インドネシア	12.7
6	日本	4.46	チリ	12.5
7	ニュージーランド	4.4	ミクロネシア	11.7
8	ブラジル	3.638	ニュージーランド	11.4
9	チリ	3.635	フィリピン	10.7
10	キリバス	3.43	ブラジル	10.5

図. 世界の200海里水域面積と体積ベスト10

順位	~ 1,000m	1,000~ 2,000m	2,000~ 3,000m	3,000~ 4,000m	4,000~ 5,000m	5,000~ 6,000m	6,000m~
1	アメリカ	アメリカ	アメリカ	アメリカ	アメリカ	日本	日本
2	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	キリバス	キリバス	アメリカ	トンガ
3	インドネシア	キリバス	キリバス	オーストラリア	日本	キリバス	ロシア
4	日本	日本	チリ	日本	オーストラリア	フィリピン	フィリピン
5	ニュージーランド	チリ	日本	チリ	マーシャル諸島	マーシャル諸島	ニュージーランド

第70回海洋開発分科会資料より抜粋

図. 世界の200海里水域における深度別海水体積ベスト5

松沢孝俊(2005).「わが国の200海里水域の体積は？」 Ocean Newsletter, 第123号, 海洋政策研究所 より



世界と比較した日本の海洋の特徴

- 日本の200海里水域の面積は世界第6位であるが、体積では世界第4位に位置し、**他国と比較して大深度水域を広く保有**。特に**5,000m以深の保有体積は世界第1位**。
- 日本の200海里水域の**60%以上が3,000m以深の深海**。**6,000m以深の水域を全体の6%保有しているが、その面積は世界第1位**（第2位のロシアの2倍以上）。

👉大深度までのあらゆる深さへのアクセス機能を維持する意義は大きい。

HOVの潜航深度に関する注意点（国ごとの安全率の違い）

日本の安全率は、**アメリカや中国と比較して厳格。**

☞ 耐圧殻の安全率が**アメリカでは1.25、中国では1.2**であるのに対して、**日本は1.5+300m**。

- ※日本の基準は以下で定義。
- ・潜水船特殊基準（船舶安全法に基づく）
 - ・日本海事協会（NK）鋼船規則

○アメリカの6,500m級HOV「Alvin」



画像出典：
<https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/hov-alvin/>

→日本の基準で換算すると、“**約5,200m級HOV**”となる。

○中国の11,000m級HOV「奮闘者」



画像出典：
<https://japanese.cri.cn/20211206/e49a2c96-583c-fc05-d42a-8fcd947dde7.html>

→日本の基準で換算すると、“**約9,000m級HOV**”となる。

○日本の6,500m級HOV「しんかい6500」



→アメリカの基準（安全率1.25）で換算すると、“**約8,000m級HOV**”となる。

※仮に7,000m以深のHOVの耐圧殻を海外で製造するとしても、現状、日本の基準を満たしているか確認できる耐圧試験水槽が存在しないという別の問題も発生する。

その他、深海探査システムに関して重要な動向

Ocean Infinity社の台頭 ∞

2017年に設立され、イギリスなどに拠点を構えるOcean Infinity社は、**最大全長86mの無人船を活用した海洋観測・調査の船員の完全無人化を構想**。**リモートコントロールセンターからの遠隔操作**によって、無人船やAUVなどを運用し、観測・調査する計画を立てている。



インドのHOV開発



2021年、インド政府は2026年を目途に、**6,000m級の3人乗りHOVを建造**する計画を発表。希少鉱物の探査を主目的としている。建造は国立海洋技術研究所（NIOT）やインド宇宙機関（ISRO）が担う計画となっている。



(画像出典：
<https://www.tnpsctheruvupettagam.com/currentaffairs-detail/matsya-6000>
<https://www.ndtv.com/india-news/matsya-6000-5-points-on-indias-first-manned-submersible-4380366>)

(画像出典：
<https://www.marinelink.com/news/autonomy-inside-building-ocean-infinitys-485302>)

1. 環境モニタリング



航行型AUVやホバリング型AUVを組み合わせることで、広域的な環境モニタリングシステムの確立が可能に。

(画像引用：
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/ocean_policy/content/001378597.pdf)

1. ビジョンを描く

将来的なAUVの活用例

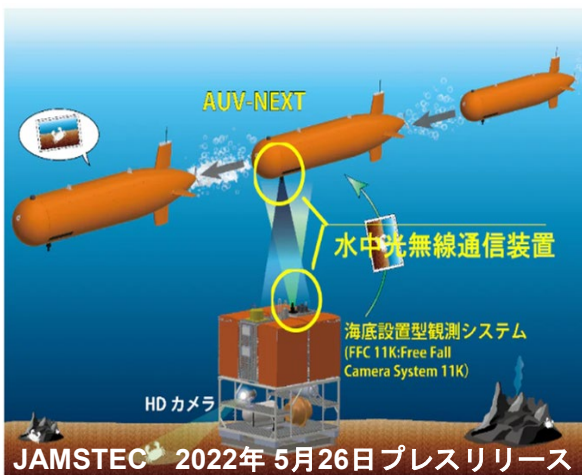
※JAMSTECの計画ではなく、AUVの活用例の提案。

2. 科学調査



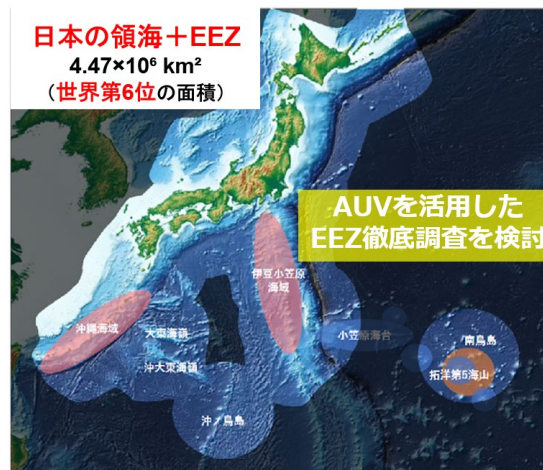
生物を自動識別できる画像観察機器を搭載・運用できるAUVを開発することで、海洋生態系の変動や環境変動のモニタリングが可能に。大深度化することで未知の生物の観測も可能に。

3 : 海底地震・火山観測



水中光・音響通信技術の高度化の向上によりAUVで海底地震計のデータを短時間で回収できるようになった場合、海底地震・火山観測の手段として海底地震計+AUVの組み合わせが検討可能に。

4. 海底鉱物資源調査



広域を効率的に調査する技術開発目標が達成された場合、AUVで日本のEEZ全域の海底鉱物資源をある程度妥当な期間とコストで調査することが可能に。

今後の深海探査機の研究開発展望（AUVの例）

2. 技術課題を抽出、研究開発を推進 将来的なAUVの活用例を実現するために必要となる主な技術開発項目

	環境モニタリング	科学調査	海底地震・火山観測		海底鉱物資源調査
			海底火山監視システム	沿岸域の緊急地震調査システム	
主な個別課題	群制御	シャドーイングシステムの搭載	水中光音響通信高速化	水中光音響通信高速化	群制御
	水中充電	ペイロードスペース	小型AUV (噴火直後サンプリング)	航行スピード調整・制御 観測点の認識	水中充電
主な共通課題	長時間航行を可能にする電池				
	水中ステーションとその電源の確保				

機械設計、電気・回路、プログラミング、ネットワーク等様々な専門知識が必要

AI

ミッションコントロール

ロボティクス・機体

通信技術