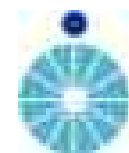


今後の深海探査システムの 在り方について(案) 概要



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～

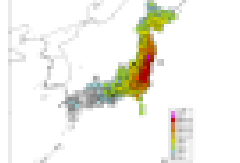
無人探査機
「かいこう」



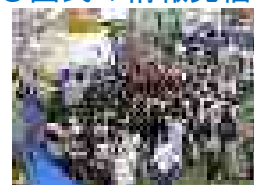
建造・運航から25年以上経過

設計・建造の技術者等→退職
初期運航からの関係者→減少

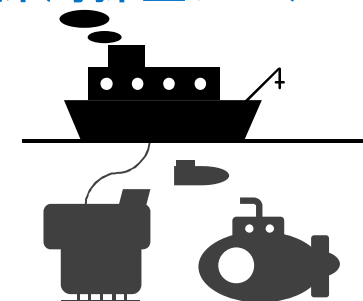
○新たな研究ニーズ
○諸外国の深海動向
○国民の情報発信



地震防災研究等



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、情報発信等

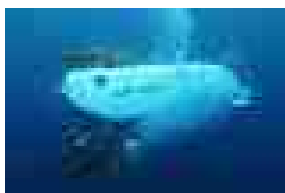
【委員名簿】

◎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



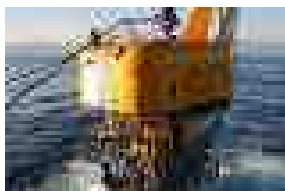
有人探査機
(HOV)

- 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



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



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。

- 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。

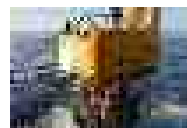
有人機(しんかい6500)

- ・高機動性、直接観察
- ・安全性の確保 等



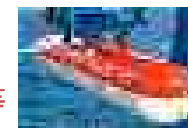
無人機(ROV:かいこう)

- ・長時間、重作業
- ・狭い探査範囲 等



無人機(AUV:うらしま)

- ・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、技術的なフェー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、まずは技術的に確立している無人探査機(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、無人探査機(AUV)システムの大深度化等を図り、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、その運航状況を踏まえつつ、水深3000m程度までは視野が広いフルビジョン機体の導入(及び開発)を検討。
- ④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を進める。
- ⑤7000m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、費用対効果等を勘案しつつ、将来的に検討。

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>

- ・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
- ・地震発生メカニズム等の調査・研究
- ・EEZ内へのアクセス手段の確保 等

探査機の特性を活かす



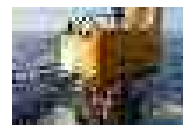
有人機(HOV)

- ・高機動性、直接観察
- ・安全性の確保 等



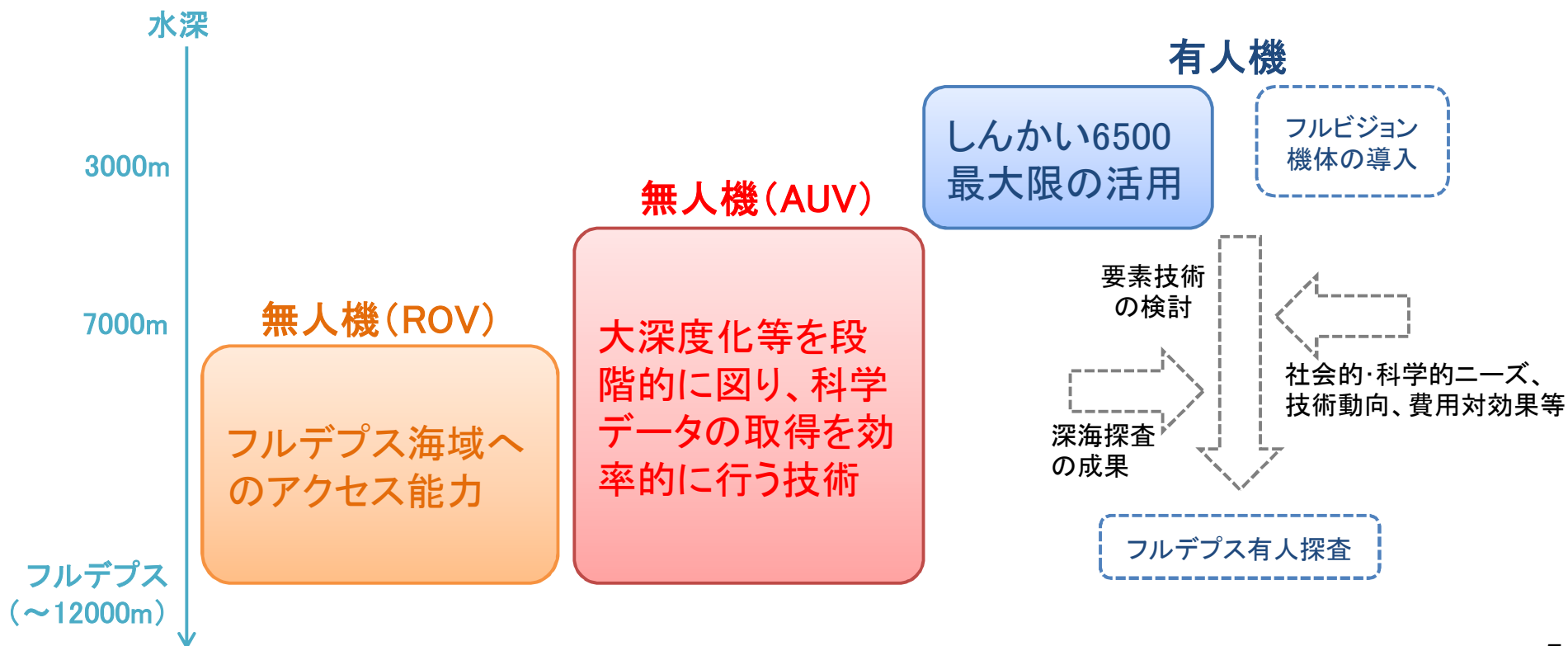
無人機(ROV)

- ・長時間、重作業
- ・狭い探査範囲 等



無人機(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) 使用される技術の産業界や他分野への波及 等

2. 維持・伝承すべき技術、技術動向

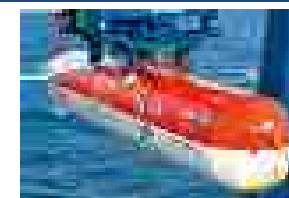
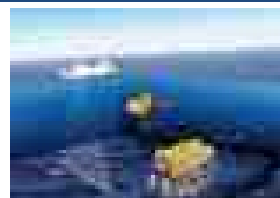
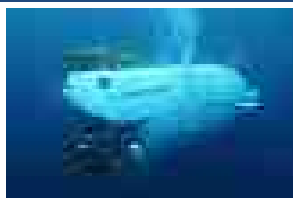
- (1) 30年間、有人潜水船を無事故で運航した、安全管理技術
- (2) 諸外国と比較して、我が国の深海探査の位置付け 等

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

參考資料

JAMSTECの保有する深海探査機のスペック



	有人探査機 (しんかい6500)	無人探査機(ROV) (かいこう7000Ⅱ)	無人探査機(AUV) (うらしま)
大きさ	全長9.7m、幅2.8m、高さ4.1m 重量26.7トン	ランチャー 全長5.2m、幅2.6m、高さ3.2m ビークル 全長3.0m、幅2.0m、高さ2.6m 重量 ランチャー5.8トン ビークル5.5トン	全長10m、幅1.3m、高さ1.5m 重量約7トン(リチウムイオン電池搭載時)
機動性	○最大速力2.7kt ○前後左右・上下移動の3次元移動 ○目視により、任意に方向・速力変更	○最大速力1.0kt ○ケーブルによる移動制限 ・1次ケーブル(母船とランチャー):7000m ・2次ケーブル(ランチャーとビークル):250m ○TVカメラを通じ、任意に方向・速力変更	○最大速力3.0kt ○初期設定プログラムにより探査域が入力済み、瞬時の変更不可
通常運用時間	最大 8時間 (蓄電池の容量による制限)	最大 9時間 (船上からの直接電力供給のため長時間運用が可能。ただし、操縦者等の交代時間を考慮。)	最大 10.5時間 (蓄電池の容量による制限)
探査範囲	250千㎡/DIVE(直接観察) 3,000千㎡/DIVE(音響探査)	110千㎡/DIVE(カメラ観察) 1,800千㎡/DIVE(音響探査)	5,300千㎡/DIVE(音響探査)
作業性	ペイロード:150kg マニピュレータ持ち上げ力:72kg	ペイロード:300kg マニピュレータ持ち上げ力:250kg	ペイロード:33kg
通信性能	音響による通信:16Kbps	光ファイバーによる通信:50Mbps-3Gbps	音響による通信:8-24Kbps
建造費 運航費	125億円(開発費含む) 約600万円/日	50億円(開発費含む) 約480万円/日	30億円(開発費含む)
稼働水深	JAMSTEC:6,500m 世界:7,000m	JAMSTEC:7,000m 世界:6,500m ※「かいこう」及び「ネレウス」(米)は11,000mまで潜航可能だったが亡失	JAMSTEC:3,500m 世界:6,000m

実際の潜航では、水深、海域、搭乗者・操縦者等の諸条件を考慮する必要がある。

諸外国の深海探査機の動向①

各国研究機関が保有する深海探査機器

	アメリカ	イギリス	フランス	ドイツ	ロシア
主な研究機関	ウッズホール海洋生物学研究所 (WHOI)	サウサンプトン研究所	フランス国立海洋研究所 (IFREMER)	キール・ヘルムホルツ海洋研究センター (GEOMAR)	ロシア科学アカデミー
所有するHOV	ALVIN (4,500m) ⇒6,500m化を予定	-	Nautile (6,000m)	JAGO (400m)	MIR1&2 (6,000m) CONSUL (6,270m)
所有するROV	Jason (6,500m) NEREUS (11,000m、 亡失)	-	Victor6000 (6,000m)	-	-
所有するAUV	ABE (4,500m、亡失) Sentry (6,000m)	Autosub6000 (6,000m)	3,000m級AUV2機 (カナダISE社製)	-	-

現在最先端の探査機(例)

- ・中国では、2012年に現在世界最深の水深7,000mまで潜航可能な有人潜水調査船である「蛟龍号」が完成した。なお、10,000m級有人潜水船である「彩虹魚」の建造計画も報じられている。
- ・アメリカでは、民間企業にて6,000m級AUV等最先端の探査機を販売している。また、主としてレジャー向けパーソナルユースや番組撮影などのチャーター用途がメインであるが、潜航深度300～2,000m程度の小型潜水船を建造・販売しているベンチャー企業が複数社ある。中でもTriton社では10,000m級のフルビジョンHOVを開発中である。

諸外国の深海探査機の動向② 米国ALVIN改造

【Committee on Future Needs in Deep Submergence Scienceからの抜粋】

DEVELOPING NEW ASSETS

●NSF/OCE should, after a proper analysis of the cost benefits of distributed facilities, strongly consider basing this new ROV system at a second location that would minimize the transit time for periodic overhaul and refit of both ROV systems.

The best approach to deep submergence science is the use of a combination of tools. Detailed reconnaissance surveys are best achieved using tethered vehicles and AUVs. Experiments and observatory work that require longer time at already well characterized sites on the seafloor are best conducted with ROVs. Moreover, work at depths greater than 6,500m will definitely require unoccupied vehicles, as long as the expense and risk of constructing and operating HOVs capable of work at these depths discourage their use.

As discussed in Chapter 3, human presence at depth remains a significant lynchpin in the nation's oceanographic research effort. Detailed descriptions of specific sites or work in the water column benefit from the direct human observation allowed by HOVs. Despite rapid and impressive growth in the capabilities of unoccupied vehicles (both remotely operated and autonomous), the scientific demand for HOV access can be expected to remain high. However, the capabilities of the existing *Alvin* limit its scientific usefulness for some types of deep ocean research. Improving these capabilities, even without extending its depth range, is clearly necessary if many of the high-priority scientific goals discussed in Chapter 2 are to be achieved.

- ・深海潜水科学において最適な方法は、道具を組合わせて使うこと。
- ・深海における有人の意義は、国家の海洋調査事業において生き続ける。
- ・特定海域における詳細観察は、有人機によって許される人間の直接観察からの恩恵を受ける。
- ・無人機の進歩にも関わらず、有人機への科学的要求は高い。

次世代深海探査システムの社会的波及効果(例)①

つくばコミュニケ(仮訳) G7 茨城・つくば科学技術大臣会合(2016年5月15-17日)

海洋の未来:

～科学的根拠に基づく海洋及び海洋資源の管理、保全及び持続可能な利用に向けて～

(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)

海洋ガバナンスに向けた、海洋生物や海洋鉱物の調査

生物遺伝資源の情報・知見を蓄積

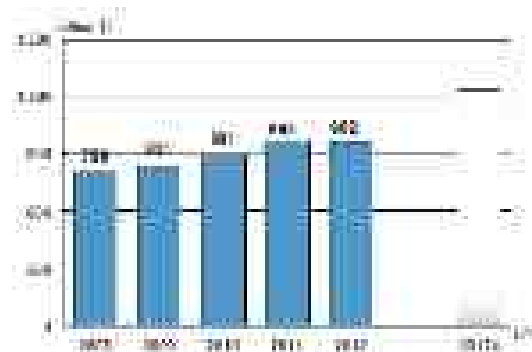
- ・生物多様性や生物環境評価
- ・医療、化学、農業等につながる新物資・新機能

海洋鉱物資源の分布把握

- ・海洋鉱物資源の開発
- ・開発にともなう環境評価

<世界の医薬品市場>

- ・2012年時点で約\$960bn
- ・高齢化進展や新興国の人口増及び所得水準の向上。
- ・2017年には\$1,200bn強の水準まで拡大。



Mizuho Industry Focus Vol. 156

埋蔵量	可採数量	可採総金額額
海底熱水鉱床 7.5億トン	4.5億トン	80兆円～
コバルトリッチクラスト 24億トン(約5万km ²)	11億トン	100兆円～
メタンハイドレード 12.6兆m ³ (約5万km ²)	4.1兆m ³	120兆円～

(出典: 日本プロジェクト産業協議会) 11

次世代深海探査システムの社会的波及効果(例)②

巨大地震に対する防災

南海トラフ巨大地震の被害 最大想定 合計220.3兆円

○資産等への被害 169.5兆円

○経済活動への影響

・生産・サービス低下に起因するもの 44.7兆円

・交通寸断に起因するもの 6.1兆円

出典:内閣府 南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告)

次世代深海探査システムによる、防災減災

想定震源域における地形・地質データの蓄積、
観測精度の向上



・巨大地震(特に連動地震)発生予測の高精度化
・自治体等が提供する津波浸水即時予測の高精度化

広域かつ網羅的な海底面の
地形・地質調査

観測システム等の設置・メンテナンス

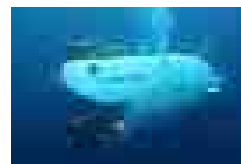
試料の採取



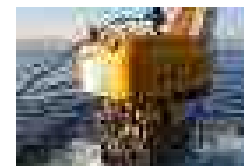
今後の深海探査におけるニーズと探査機の対応①

水深
~3000m程度

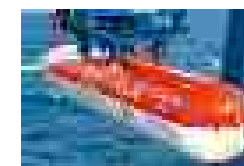
◎:最適
○:適する
△:適しにくい/不適



有人探査機



無人探査機
(ROV)



無人探査機
(AUV)

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、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 ※機動性より、試料の量や作業の複雑性を重視	○	◎	△

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	○	◎	△

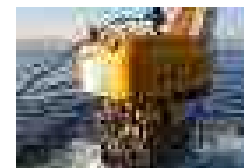
今後の深海探査におけるニーズと探査機の対応②

水深
3000m～7000m

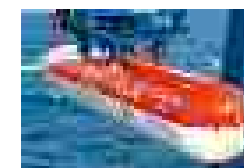
◎:最適
○:適する
△:適しにくい/不適



有人探査機



無人探査機
(ROV)



無人探査機
(AUV)

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)な試料の採取の両立	◎	○	△
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し、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	○	◎	△

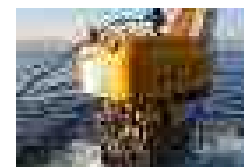
今後の深海探査におけるニーズと探査機の対応③

水深
7000m～以深

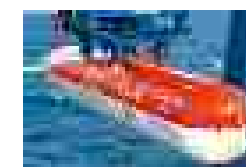
◎:最適
○:適する
△:適しにくい/不適
ただし、7000m以深の
未確立技術は括弧付



有人探査機



無人探査機
(ROV)



無人探査機
(AUV)

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

特定海域における物理、化学データの効率的取得	(△)	△	(◎)
海底面付近を探査し、状況の調査及び良質(的確)な試料の採取の両立	(◎)	○	(△)

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	(○)	○	(△)
--------------------	-----	---	-----

統合的な深海探査システム実現に向け技術的課題

メリット：効率的な調査行動が可能となり、航海に係る費用の削減となる。また、調査目的が多数混在可能となり、総合的な調査が実施できる。

課題

1. 複数の探査機の同時搭載

・搭載できるスペースを確保した船舶が必要となることはあるが、探査機、着揚収装置、通信装置等全体システムを軽量・小型とし汎用化することで民間船舶における運用可能となるシステムとして改良・開発を要する。

2. 複数の探査機の同時運用

・音響測位、音響通信については深度による周波数等の限界等があり、干渉の影響等同一船舶による同時運用までは現状において不可能、AUVの完全自律化、各探査機の適正距離等、機器、運用方法の検討、開発を要する。

・有索探査機と無索探査機との干渉等を考慮した運用方法の構築、及び探査機運用には専用技術を有したオペレーターの乗船が必須であり、船舶定員等の関係上、問題となることがある。少人数で運用可能な探査機の開発とマルチな能力を有する人材の育成を要すると共に、民間船舶においても運用可能となるべく運用技術の確立を要する。