

2024年2月5日(月) 深海探査システム委員会 第三回

# 深海探査システム に関するアウトリーチ活動

NHKエンタープライズ 自然科学部 岩崎 弘倫

# 生きた地球紀行

# PLANET OF OCEAN

めぐる生命の輪  
深層湧流 二千年の大航海

# 海

知られざる世界

# 地球！ ふしぎ大自然

# ダーウィンが来た！

生きもの新発見

NHK総合TV 日曜日 夜7時30分～放送中

<http://www.nhk.or.jp/darwin/>

# プラネット アース

planet earth

# 深海撮影歴

ROV Ventana



HOV しかい6500



ROV ハイパードルフィン



UROV11K



HOV Mir(ロシア)



HOV DeepRover/Nadir / Neptune(米) ROV かいこうmark4

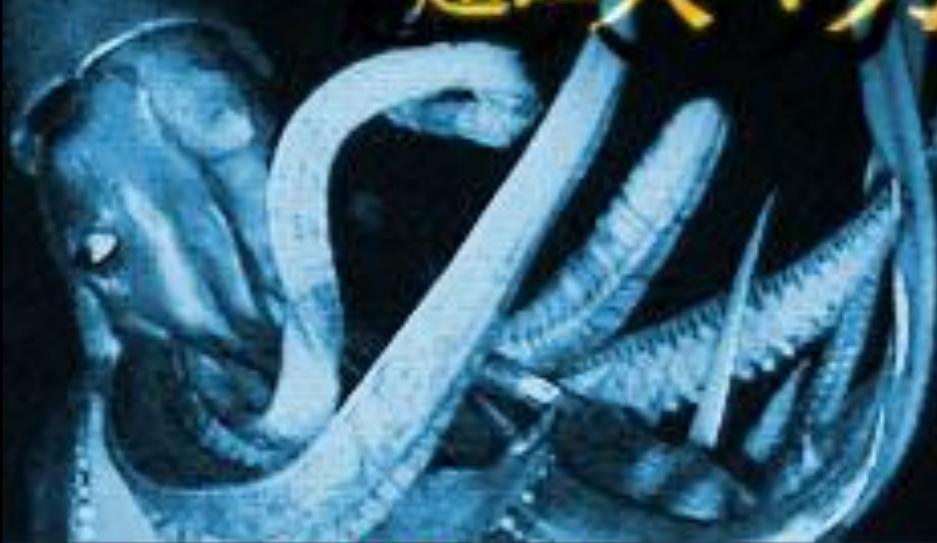


伝説が真実になる

NHKスペシャル

世界初撮影！

深海の  
超巨大イカ



1/13 (日) 総合 夜9:00

国際共同製作：NHK/NHKエンタープライズ/ディスカバリー・チャンネル(株)

伝説が真実になる

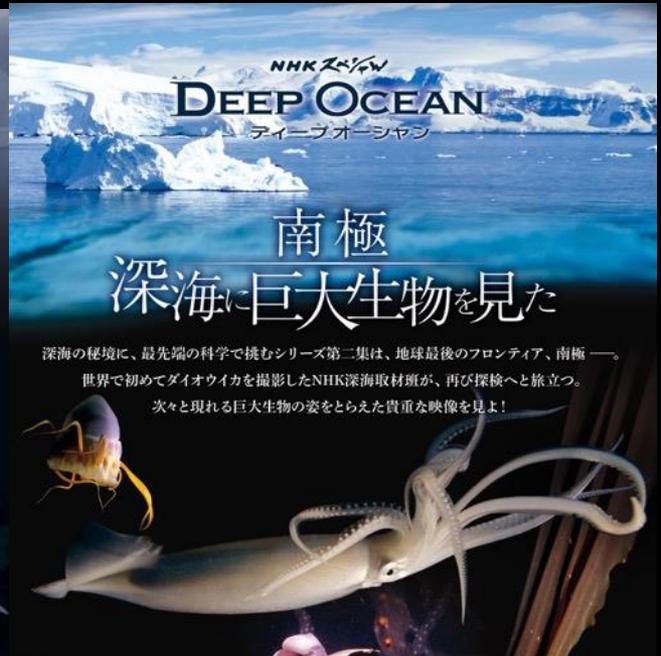
NHKスペシャル

世界初撮影!

# 深海の超巨大イカ



# 謎の海底サメ王国

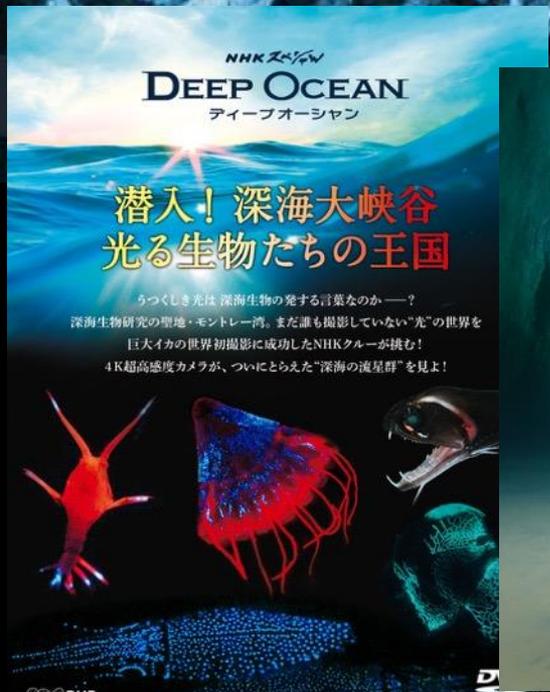


NHKスペシャル DEEP OCEAN

南極

# 深海に巨大生物を見た

深海の秘境に、最先端の科学で挑むシリーズ第二集は、地球最後のフロンティア、南極。世界で初めてダイオウイカを撮影したNHK深海取材班が、再び探検へと旅立つ。次々と現れる巨大生物の姿をとらえた貴重な映像を見よ!



NHKスペシャル DEEP OCEAN

# 潜入! 深海大峡谷 光る生物たちの王国

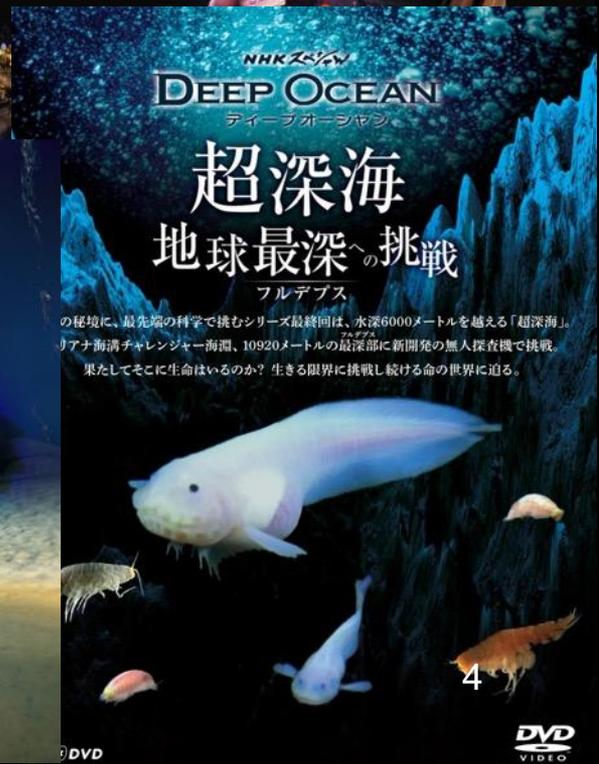
ふつくしき光は、深海生物の発する言葉なのか——? 深海生物研究の聖地・モントレー湾。まだ誰も撮影していない「光」の世界を巨大イカの世界初撮影に成功したNHKクルーが挑む! 4K超高感度カメラが、ついにとらえた「深海の流星群」を見よ!

NHK SPECIAL スペシャル

国際共同制作 DEEP OCEAN II

# 紅海

世界初! 深海の魔境に挑む



NHKスペシャル DEEP OCEAN

# 超深海

# 地球最深への挑戦

の秘境に、最先端の科学で挑むシリーズ最終回は、水深6000メートルを越える「超深海」。リアナ海溝チャレンジャー海淵、10920メートルの最深部に新開発の無人探査機で挑戦。果たしてそこに生命はいるのか? 生きる限界に挑戦し続ける命の世界に迫る。

# 深海三重苦

- 1 生きものに出会う Encounter 船・潜水艇
- 2 暗闇で可視化する Visualize 特殊機材
- 3 美しく撮る工夫 High Quality 照明 高画質

# アウトリーチの課題1 船



Ocean X 72名



Alucia 38名

限られた人数しか乗れない

(乗船定員の4分の1ほど)



Keldysh 90名



よこすか 60名



ディープローバー号  
(2人のり パイロット1)



ナディア号  
(3人のり パイロット1)



しんかい6500  
(3人のり パイロット2)



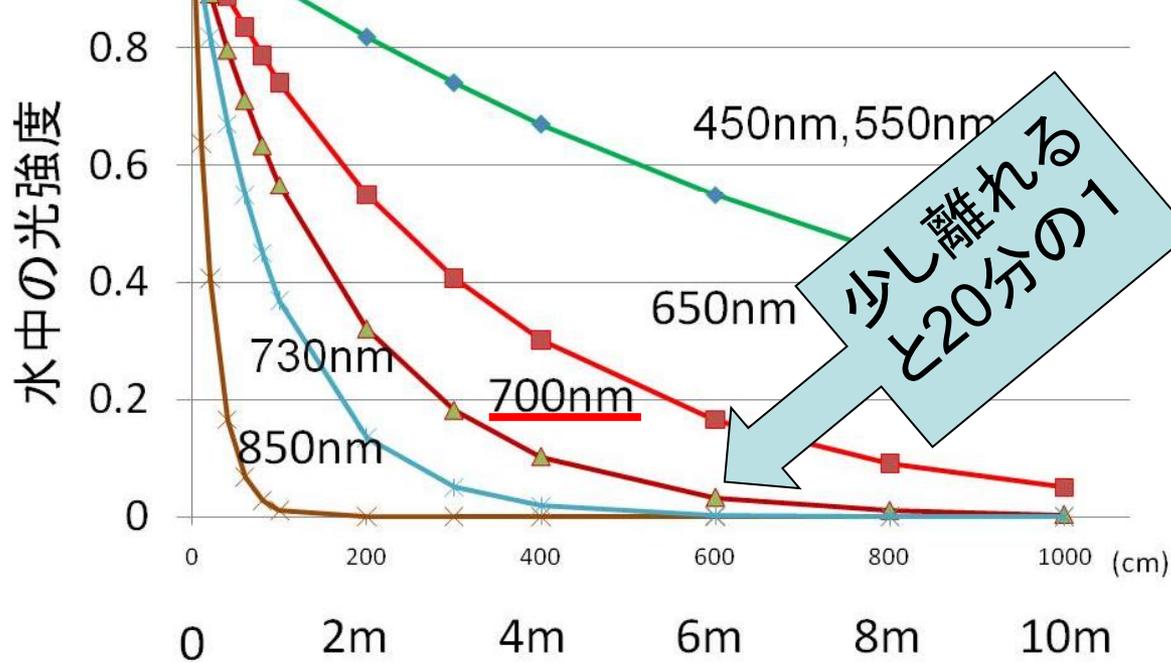
ミール  
(3人のり パイロット1)

# アウトリーチの課題2 機材

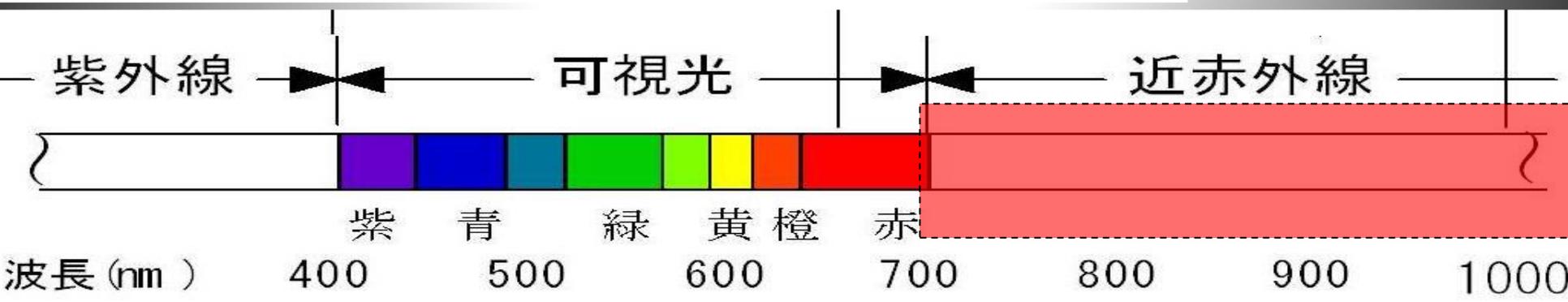


# 水中の光透過グラフ

ダイオウイカには見えない光があるらしい！ ✨

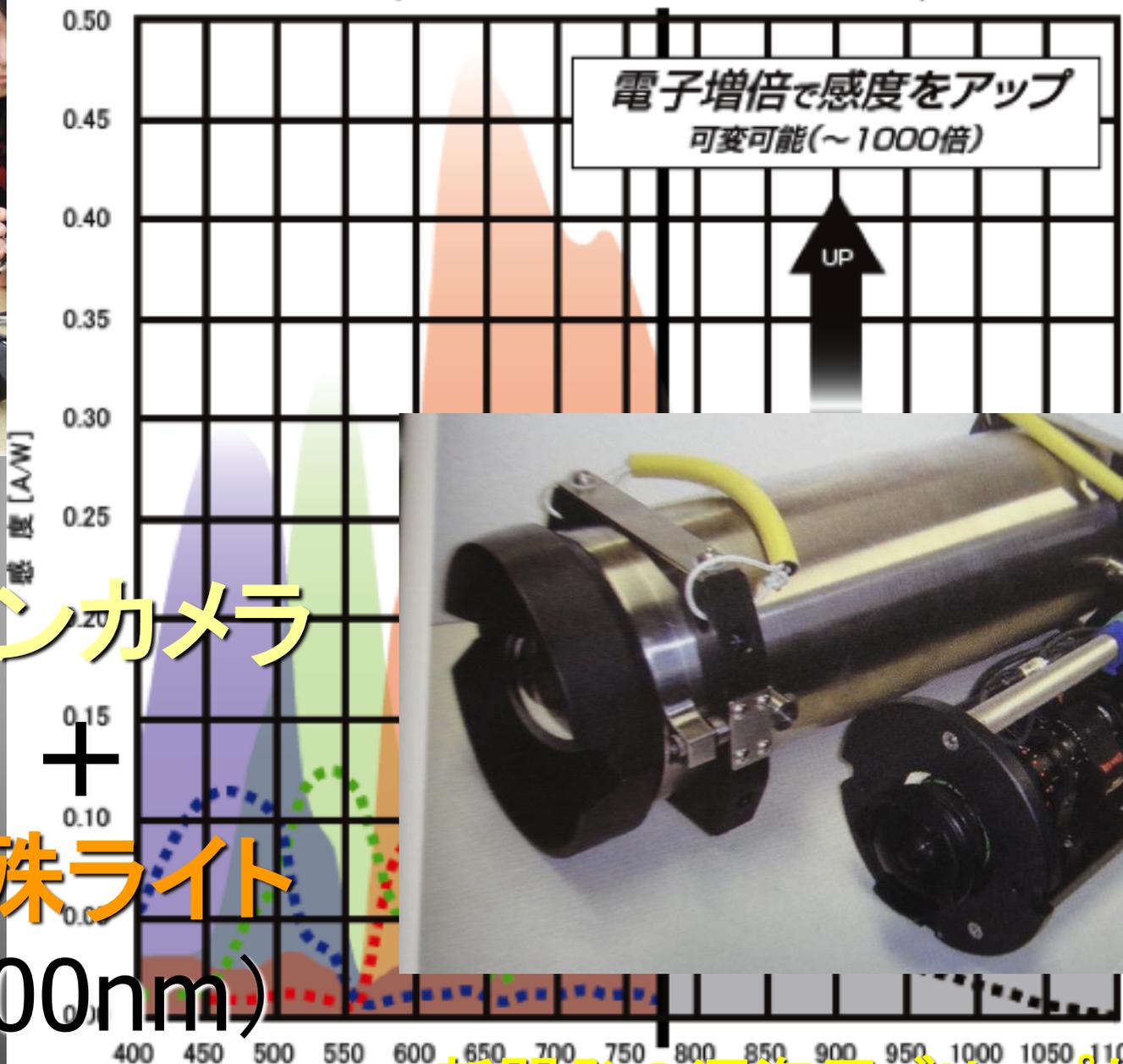


EM-CCD camera





可視光領域 ← → 赤外 (IR) 光領域



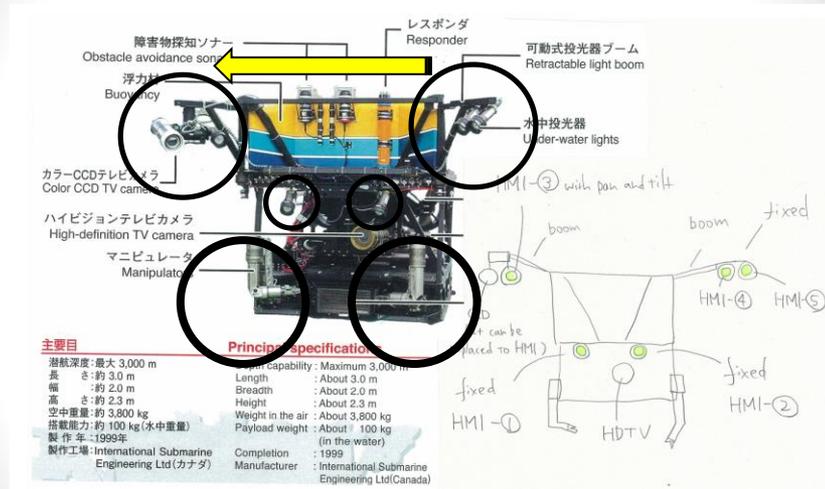
メインカメラ  
+  
特殊ライト  
(700nm)

新開発の深海用ブリンプと中身



**ベースライト**  
 左上1灯を移動し  
 右上2灯に(可動)

ハイパーのライト位置を変更



**スポットライト**      左右アームに各1灯



沖縄 伊是名海穴 (2005年 プラネットアース撮影時)



全灯照明オンの場合 マリンスノー等に反射し見づらい

This image shows an underwater scene with full lighting. The water is dark blue, and the rocky structures are illuminated. There is a significant amount of white, fluffy particles (marine snow) floating in the water, which is reflected by the lights, making the scene appear very bright and somewhat obscured.



片灯り(右アーム)のみオンの場合 浮遊物が消え深海らしい景観となる

This image shows the same underwater scene as the top one, but with only one light source (the right arm) turned on. The water is much darker, and the white particles are no longer visible, revealing a more natural and deep-sea-like landscape of the rocky structures.

# 課題への挑戦

スーパーハイビジョンの映像は 現在放送されているハイビジョンの  
16倍にあたる3,300万画素の超高精細映像です。

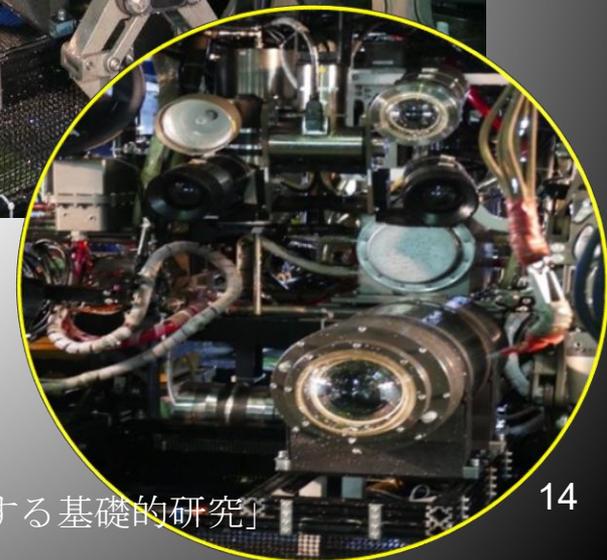


アスペクト比 (横:縦)	16:9
画素数	水平 7,680 × 垂直 4,320
毎秒フレーム数 (枚)	120、60、59.94
走査方式	順次走査
階調 (bit/pixel)	10、12
色域	広色域表色系

# JAMSTEC共同開発 8K撮影システム



無人潜水艇 かいこう  
に搭載



⇒ 超高精細の深海撮影が可能

# 8K超高精細カメラの特徴

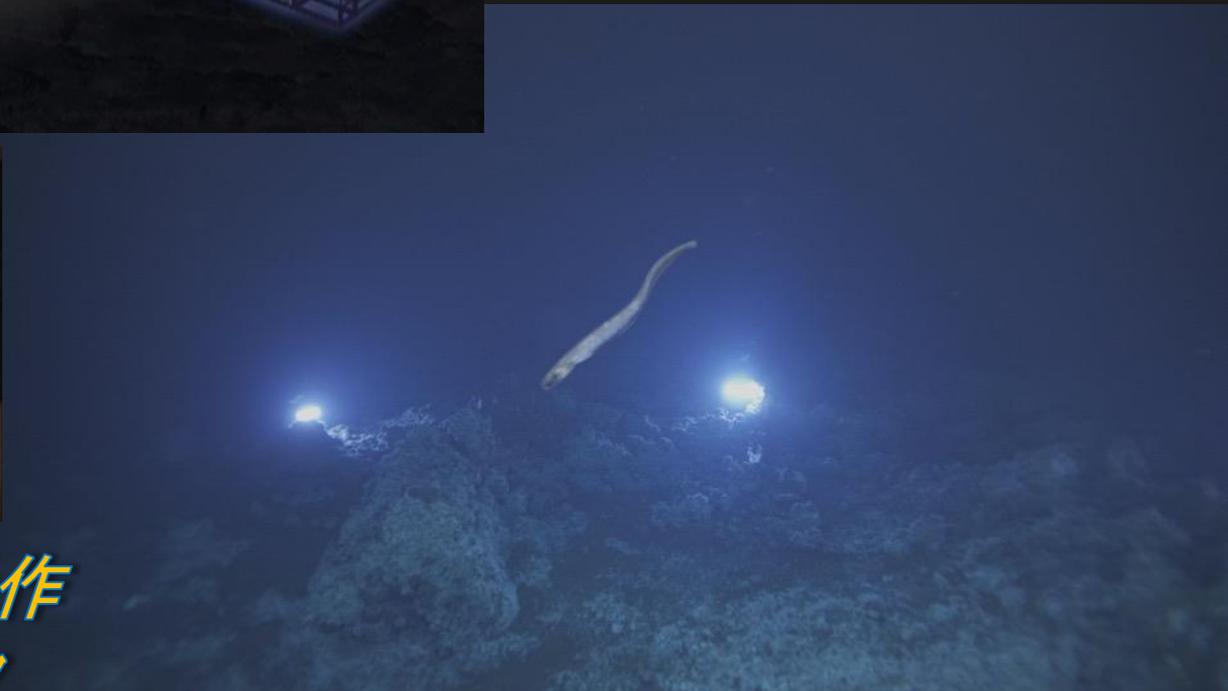
- ・HDR (High Dynamic Range) による高コントラストの再現
- ・自然界の色調の100%をカバーするBT2020規格



# 深海ライティングシステムを開発



- ・LEDライトの遠隔操作
- ・新開発の深海マイク



## まとめ 深海アウトリーチ ロードマップ

「体験と感動を伝える」 オンリーワン技術で世界をリード

☆透明ドーム型潜水艇 8K+ライト 学生・子供達体験用  
(中層・300~1,000m 2027年)\*法律の改正が必要

☆シン・しんかい6K×2台 8K+ライトダブルダイブ  
(海底探査 -6500m 2030年)音響画像技術リンク

☆AUV群 3台 深海遠隔ライティング

☆ROV フルデプス級(超深海日本最深部-9801m)

☆新深海研究母船 (Aフレーム・DPS必須) 2030年



Drone



Helicopter

深海探査システム



新調査船

# 中層探査

HOV 透明ドーム型



8K



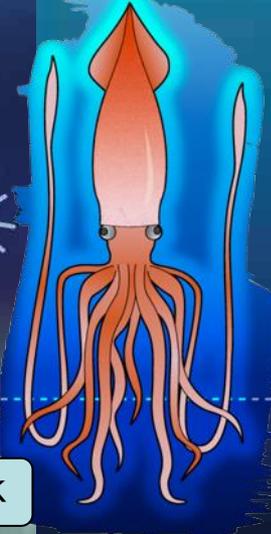
AUV群+深海照明

ROV



8K

HOV しんかい6K



HOV シンしんかい6K

# 超深海探査



8K

# 海底探査



8K

# 将来的に備えるべき 深海探査システムについて

2024年2月5日 第3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

## ● 委員会で挙げられたポイント

1. 大深度での現場観測・サンプリング機能を維持・発展（特に、視認性・機動性などの点で優位性を持つ大深度HOVシステムは重要）
2. 更に汎用性を高めつつ、深海探査機の24時間観測、同時運用・観測体制を構築

## ● 日本の現状分析

## ● 将来的に備えるべき深海探査システム

## ● まとめ

### ポイント1

大深度での現場観測・サンプリング機能を維持・発展  
(特に、視認性・機動性などの点で優位性を持つ大深度HOVシステムは重要)



## 日本の現状分析



- ✓大深度HOVシステム（HOV「しんかい6500」・母船「よこすか」）は**老朽化**が深刻。
- ✓最も深くまでアクセスできる作業能力付きROVの潜航可能深度は**4,500m**（**将来的に後退の懸念**）。
- ✓大深度ROVを製造する民間企業は存在せず、構成機器を含め**基本的に海外から購入**。
- ✓大深度ROVケーブルは**技術的なハードルが高い**。国産にせよ海外製にせよ**定期的な交換が必要**。
- ✓大深度AUVについては、巡行型を開発中。また海外製を輸入、運用実績がある。

## 大深度ROVケーブルの現状

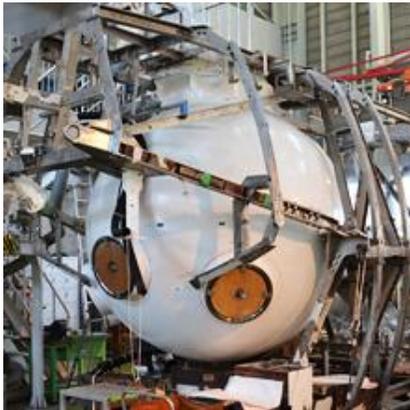
表. JAMSTECで導入または導入が検討されたフルデプス級ROV一次ケーブルの整理

素材A	素材B	素材C（検討のみ）
<p>1995～2014年 1本目：1995～2000年、2本目：2000～2014年 （フルデプス級ROV「かいこう」等で使用）</p> <p>（評価） 安全率を3と設定した場合、製造から4～5年で必要な強度を保てなくなるが、製造実績はある。一方で、実績のあるメーカーでも製造から20年が経過しており、その間同様のケーブルの製造実績もないため、改めて設備投資が必要。</p> <p><b>強度低下に懸念</b></p>	<p>2014年 （試験航海で使用）</p> <p>（評価） 素材Aのような強度低下に対する不安は小さいものの、試験航海で運用に支障をきたす「うねり」の発生が確認された。「うねり」の発生については、体系的に整理された対策は確立されていない。</p> <p><b>「うねり」の発生に懸念</b></p>	<p>（評価） 新素材であり、繊維自体の仕様は素材A、Bと同等以上と推定されるが、実績はなし。ケーブルに組み込むための工程に高いハードルがあり、実用化の目途は立っていない（開発には長期間を要する可能性）。</p> <p><b>実績・開発期間に懸念</b></p>

国産での開発も不可能とは言い切れないものの、**乗り越えるべき技術的なハードルが高い**うえ、**耐用年数に対する投資額も大きい**ため、JAMSTECとしては開発を断念。

# 大深度HOVシステムの現状

## 耐圧殻



現在の潜航ペースだと耐圧殻の限界とされる等価潜航回数1,000回に到達するのは**2040年代**

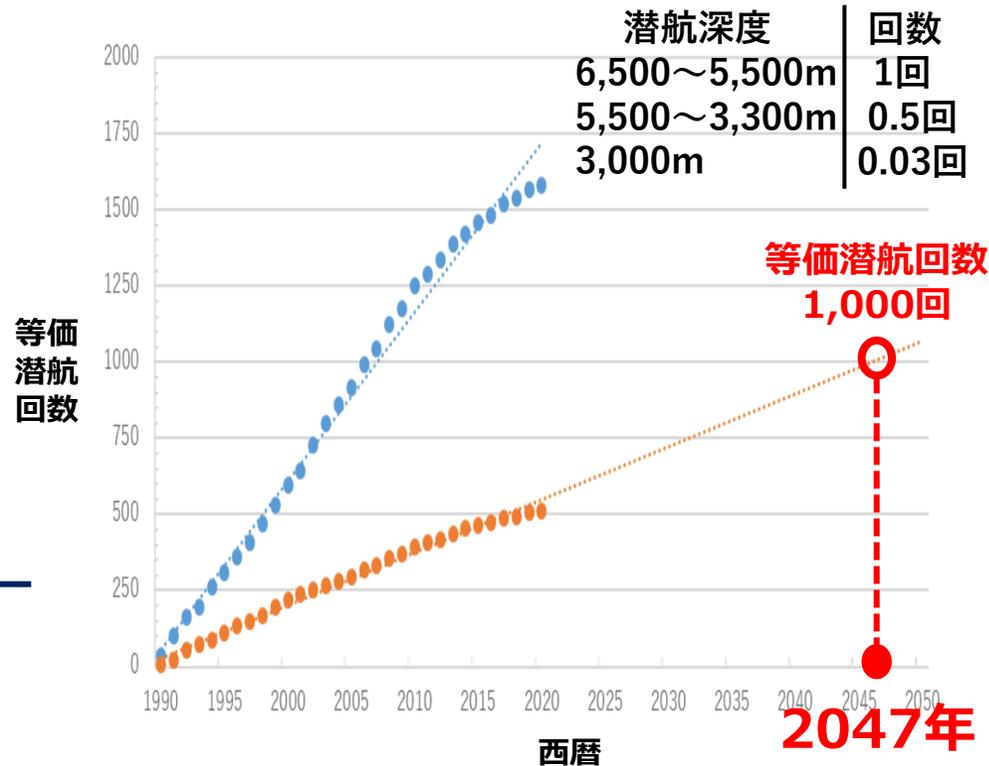


図. 「しんかい6500」の等価潜航回数予測  
(三菱重工業(株)の建造当初の設計書に基づく計算)

## その他の構成機器・部品



緊急離脱ボルト

生産中止の状況だが、2028年が交換期限

緊急時には必須で運航には不可欠(上記は一例)

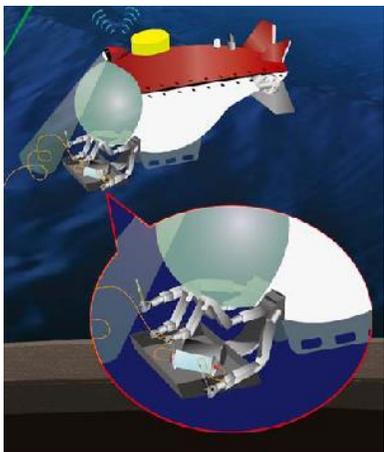
「しんかい6500」は国内で唯一の大深度HOVであるため、**構成機器・部品にオリジナル品**が多く、それらの機器・部品の**生産中止**や**機器メーカーのサポート停止**などが進んでいる状況。**代替品の開発**が必要。

**現在の**大深度HOVシステムの維持には、「よこすか」を含めた老朽化対策が最優先事項。****

## ポイント1

大深度での現場観測・サンプリング機能を維持・発展  
(特に、視認性・機動性などの点で優位性を持つ大深度HOVシステムは重要)

### A. 新たな大深度HOVの開発



「しんかい6500」の建造から30年以上が経過し、大深度HOVの建造ノウハウは失われている。

**技術的ハードルは極めて高い**

### B. 大深度HOVに取って代わる後継システムの開発

直近



応用

将来

大深度HOV最大の特長となる視認性・機動性、かつ現場観測・大容量サンプリング機能を保有した新システム

**技術的ハードルは極めて高い**



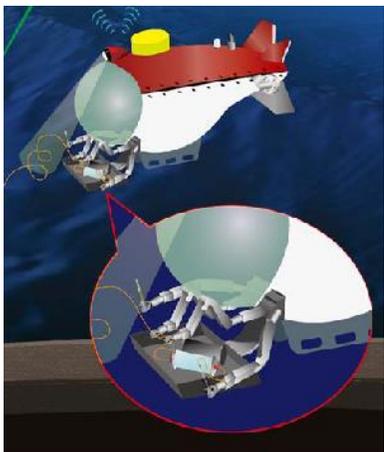
※あくまで後継システムとして考えられる一つの例。

**現在の大深度HOVシステムを最大限活用しつつ、遅くとも2040年代までに後継システムを完成**させておく必要（そのための要素技術の検討・開発は今から進めておく必要）がある。

## ポイント1

大深度での現場観測・サンプリング機能を維持・発展  
(特に、視認性・機動性などの点で優位性を持つ大深度HOVシステムは重要)

### A. 新たな大深度HOVの開発



「しんかい6500」の建造から30年以上が経過し、大深度HOVの建造ノウハウは失われている。

**技術的ハードルは極めて高い**

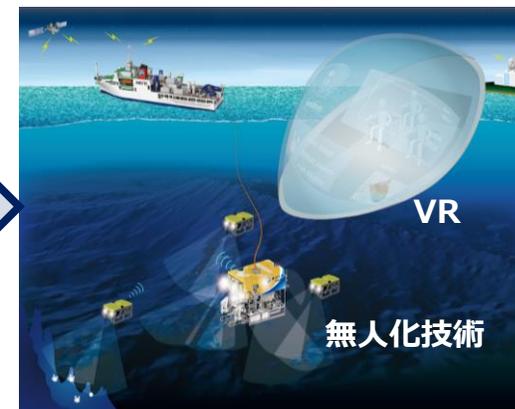
### B. 大深度HOVに取って代わる後継システムの開発

直近



応用

将来



**技術的ハードルは極めて高い**

大深度HOV最大の特長となる視認性・機動性、かつ現場観測・大容量サンプリング機能を保有した新システム

**現在の大深度HOVシステムを最大限活用しつつ、遅くとも2040年代までに後継システムを完成**させておく必要 (そのための要素技術の検討・開発は今から進めておく必要) がある。

### ポイント2

更に汎用性を高めつつ、深海探査機の24時間観測、同時運用・観測体制を構築



## 日本 (JAMSTEC) の現状分析



- ✓ JAMSTECが運用する深海探査機の着水揚収作業には、いずれも船舶のAフレームクレーンを使用（専用の着水揚収装置を備える「KM-ROV」は除く）。
- ✓ Aフレームクレーンは汎用である一方で、これを用いた着水揚収作業には多くの人員が必要。（特にHOV「しんかい6500」及びAUV「うらしま」の揚収にはスイマーによる作業が必須）。
- ✓ 上記の方法は作業効率も悪く、船舶の定員や安全性確保の点等を考慮すると夜間の対応も非現実的。24時間観測・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。
- ✓ 複数・多機種同時運用は必ずしも想定された設計になっていない。



「よこすか」Aフレームクレーンを活用した「しんかい6500」の揚収



「うらしま」の揚収  
(スイマーによる作業)

ポイント2

更に汎用性を高めつつ、深海探査機の24時間観測、同時運用・観測体制を構築

着水揚収の作業体制 (ROVの例)



かいこう Mk-IV

ハイパー  
ドルフィン



KM-ROV

Aフレームクレーン  
を使用した着水揚収作業

13人

専用の装置  
を使用した着水揚収作業

6人

深海探査機の運航行程 (「しんかい6500」と「じんべい」の例)

表. 「しんかい6500」運航行程  
(潜航深度6,500mの場合)

着水	2時間
下降	2.5時間
<b>調査</b>	<b>3時間</b>
上昇	2.5時間
揚収	1時間
<b>合計</b>	<b>11時間</b>

表. 「じんべい」運航行程  
(潜航深度3,000mの場合)

着水	1時間
下降	1時間
<b>調査</b>	<b>5.5時間</b>
上昇	1時間
揚収	1.5時間
<b>合計</b>	<b>10時間</b>

👉 1日当たりの  
調査時間は  
**限定的**

24時間観測、  
同時運用・  
観測体制が  
構築できれば  
大きな効率化

(※着水にプレダイブチェック、  
揚収にポストダイブチェックも  
含めている。)

様々な社会的要求も増加する一方、調査航海の機会は極めて限定的。深海探査機の24時間  
観測、同時運用・観測体制の構築は、限定的なリソースを効率的に運用するためにも重要。

👉 船員不足や運用コストの問題を解決する一助にもなる。

## ポイント2

更に汎用性を高めつつ、深海探査機の24時間観測、同時運用・観測体制を構築

### 着水揚収作業

イギリス 民間企業



👉昇降式着水揚収システム

<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/crew-transfer-vessel-is-100-battery-powered-and-can-be-recharged-offshore-68056>

アメリカ 海軍



👉ガレージ式着水揚収システム

<https://twitter.com/NavalInstitute/status/1530504199582191618/photo/1>

### 同時運用

✓UNLOS船舶の事例



<https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/ships/ships-atlantis/>



<https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/vessels/thompson/thompson.html>

👉ROV「Jason」とAUV「Sentry」の同時運用が可能

✓その他、民間財団や研究機関の事例



<https://www.revocean.org/>



<https://nautiluslive.org/about>

✓無人化を目指す最新の調査船



<https://www.sea-kit.com/>



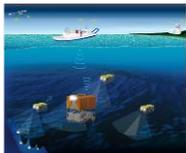
<https://oceaninfinity.com/>

👉複数のAUVやROVが搭載可能

海外の事例も参考にしながら、24時間観測・同時運用等を実現できるような設計思想、オペレーションを検討することが重要で、既存船舶への実装可能性も含めた検討が必要。

# 将来的に備えるべき深海探査システム

## ～2020年代後半



### 新コンセプト無人探査システム

(機能)

- ケーブルを使用しない通信方法により、船上で調査状況把握
- 調査対象エリア内を航行・航走時に発見した研究対象（泥・岩石・生物等）の試料採取
- 複数の探査機の同時運用により、通信可能エリア内の概要調査と、ピンポイント重点調査を同時に実施

#### 主な技術開発要素

##### 自律型試料採取システムの技術

- ・AIを用いた画像認識システム
- ・試料採取機構

##### 小型ビークル航行・航走機能

- ・AIを用いた自律行動
- ・新航走機能

##### 通信・測位技術

- ・海面ーランダー間
- ・ランダーー小型ビークル間

##### 小型ビークル開発

## 2020年代後半～2030年代



### 大深度HOV後継システム

(求められる重要な機能(例))

- 無人で深度6,500mまでアクセスできる機能
- 大容量ピンポイントサンプリング・現場観測・現場作業機能
- 優れた視認性・機動性
- 船上等にいながら実際に搭乗しているかのような感覚で調査・観測できる(VR)機能

(※あくまでVRや無人化技術の実装を想定した場合の一例)

#### 主な技術開発要素

##### 高度可視化システム

- ・3次元仮想表示
- ・SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

##### AIシステム

- ・データ統合システム
- ・検出・識別・自律判断(サンプリング)

##### AUVシステム制御

- ・識別・判断・自律制御
- ・協調制御

一部  
応用

運用  
検討

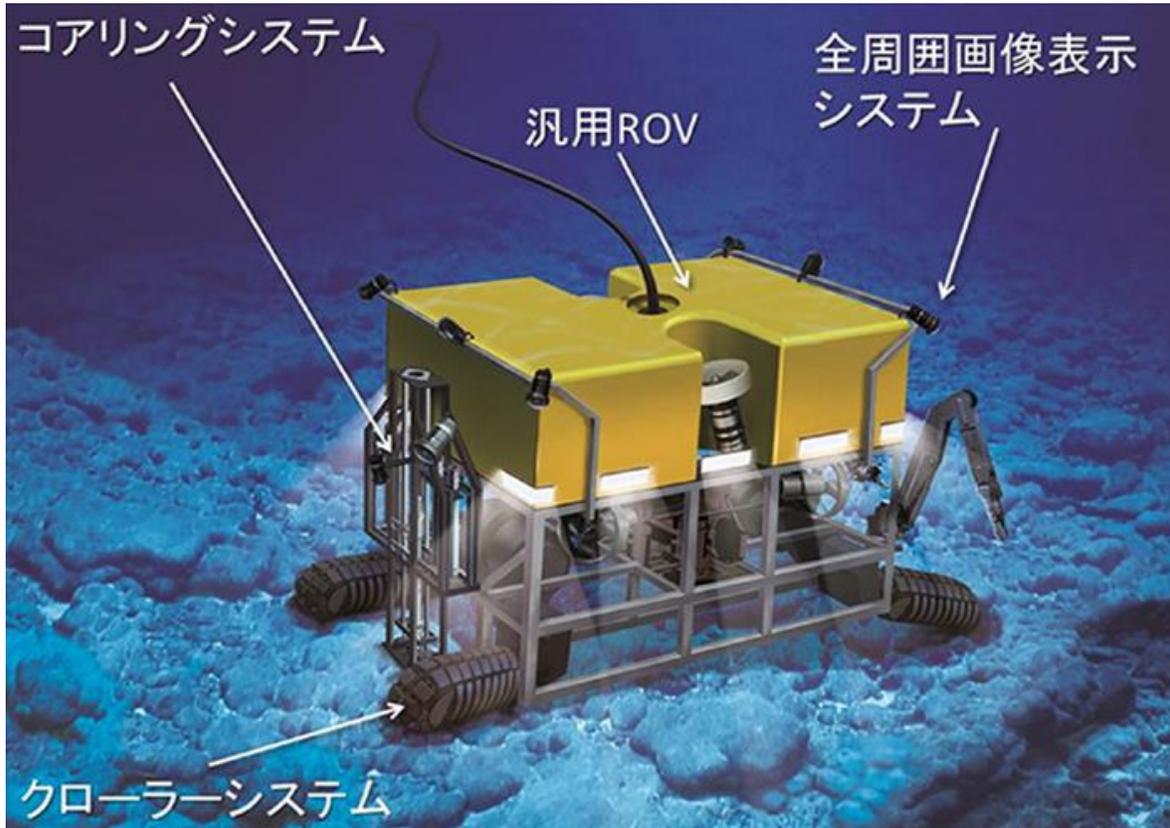
運用  
へ

Aフレームクレーンに依存しない着水揚収システム

# まとめ

- 大深度（理想的にはフルデプス）において「観察」「測定」「試料採取」ができる機能は今後も必要とされる。また、それらをより効率的に行っていくことが不可欠で、これを実現するためには、HOV、ROV、AUVなど多種・複数の深海探査機を同時に運用するとともに、24時間観測など効率的に運用できる深海探査システムを構築することが重要である。
- 将来そのような深海探査システムを構築するためには、今後、以下のような研究開発が必要となる。
  - (1)現在の大深度HOVシステム（しんかい／よこすかシステム）の維持・発展が最優先事項。6,500m級HOVシステムと8,000m級AUVシステムの同時運用（AUVの広域調査後、連続してHOVがピンポイント調査など）も可能とする。そのためには、機能維持に必要な改修や構成機器開発が必須である。
  - (2)深海探査機の24時間観測・同時運用などの実現に向けて、海外の事例も参考にしながら、省人化などを見据えた新たなシステムを設計していくことが重要である。
  - (3)HOVシステムが限界を迎えるであろう2040年代を目途に、後継となる新しいシステムを完成させる必要がある。その実現に向けた要素技術（自律型試料採取システム、通信・測位技術、AIを用いた航行制御技術、VRやマニピュレータ技術など）の検討・開発を進めていかなければならない。

## ROVコアサンプリング装置の現状



<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/quest-20170301/>

✓ SIP第1期では、**開発・試験まで達成**（拓洋第5海山では、約20cmの柱状のコバルトリッチクラストのコアサンプリングに成功）。

✓ **コバルトリッチクラストに特化した装置**であったことや、改良のための費用等**複数の要因が重なり、継続的な運用には至らなかった。**

✓ 日油技研工業（株）が製造したコアリング装置は**当該特許を利用**しており、2020年度以降、**JOGMECのクラスト掘削調査に活用**されている。