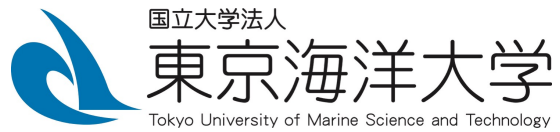
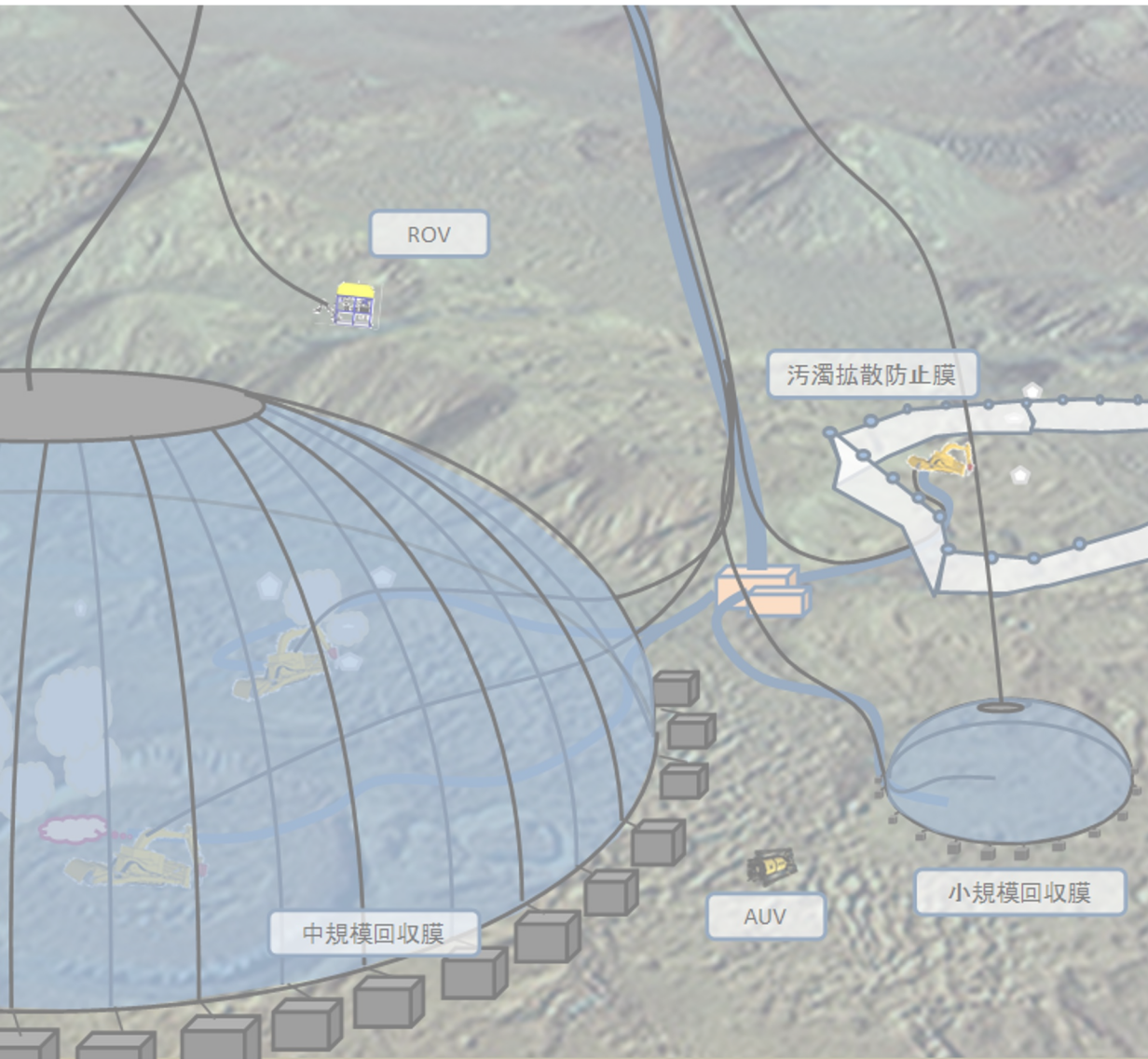


膜構造物の利活用に関する技術開発



目次



メタンハイドレートとは

膜構造物の利活用とは

メタンハイドレート粒子の流動性および膜材の劣化傾向の検証

メタンハイドレート粒状体の挙動分析と数値シミュレーション技術の開発

膜構造への対策；生物忌避行動と深海用録音録画装置を利用したメタンプルームの湧出音の収録

表層型メタンハイドレートの研究開発

「長期的取組」研究成果報告会（2026年6月9日）

「膜構造物の利活用に関する技術開発/
メタンハイドレート粒状体の挙動分析と
数値シミュレーション技術の開発」

研究成果報告

九州大学 大学院総合理工学研究院

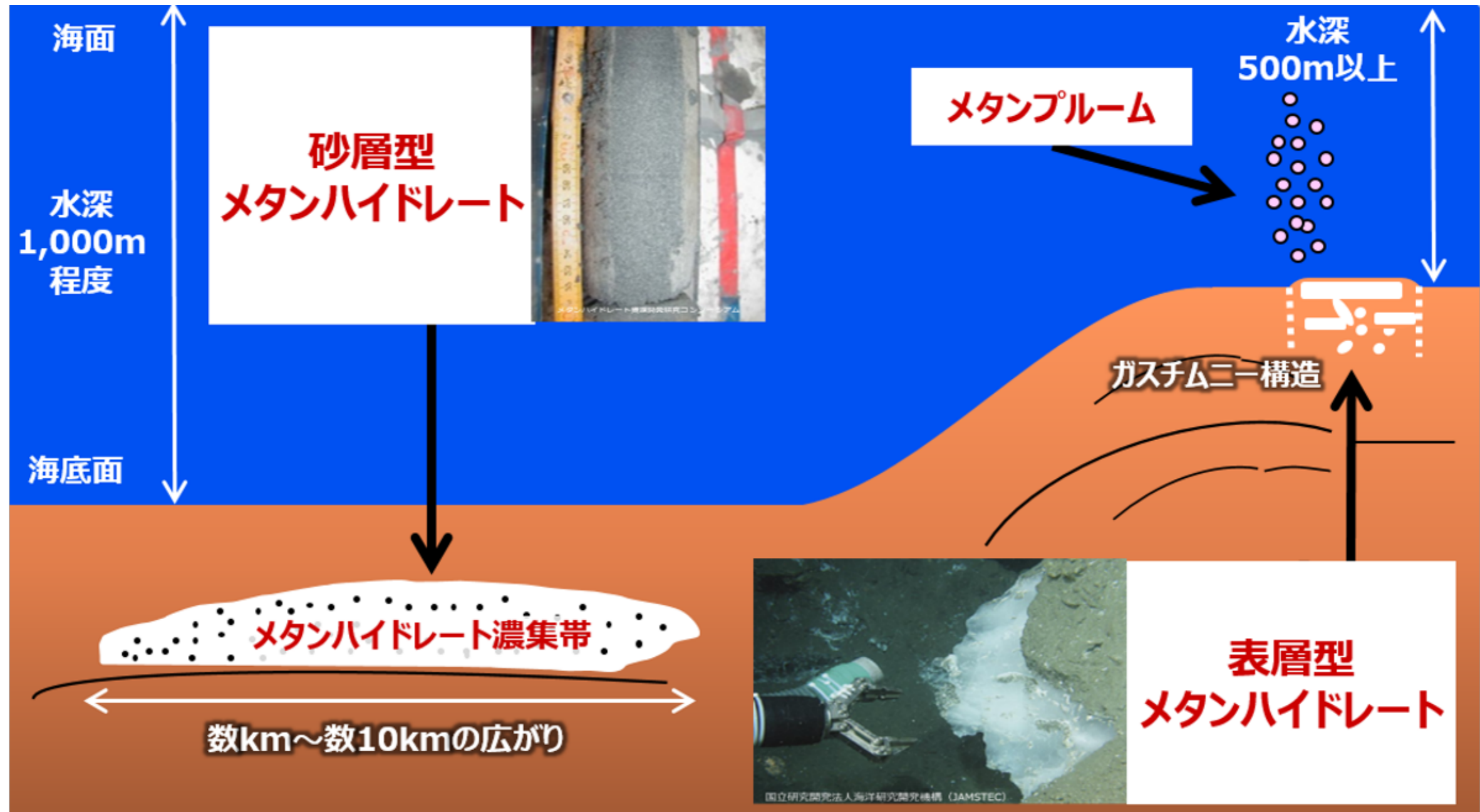
渡邊 裕章



KYUSHU UNIVERSITY

1. 研究の背景・目的
 - ・メタンハイドレート粒状体
 - ・表層型メタンハイドレートと膜構造物の利活用
2. メタンハイドレート粒状体の挙動分析
 - ・海洋調査
 - ・室内実験
3. 数値シミュレーション技術の開発
 - ・数値モデルの開発
 - ・数値シミュレーション
4. まとめ

メタンブルーム連続回収実証試験についての紹介

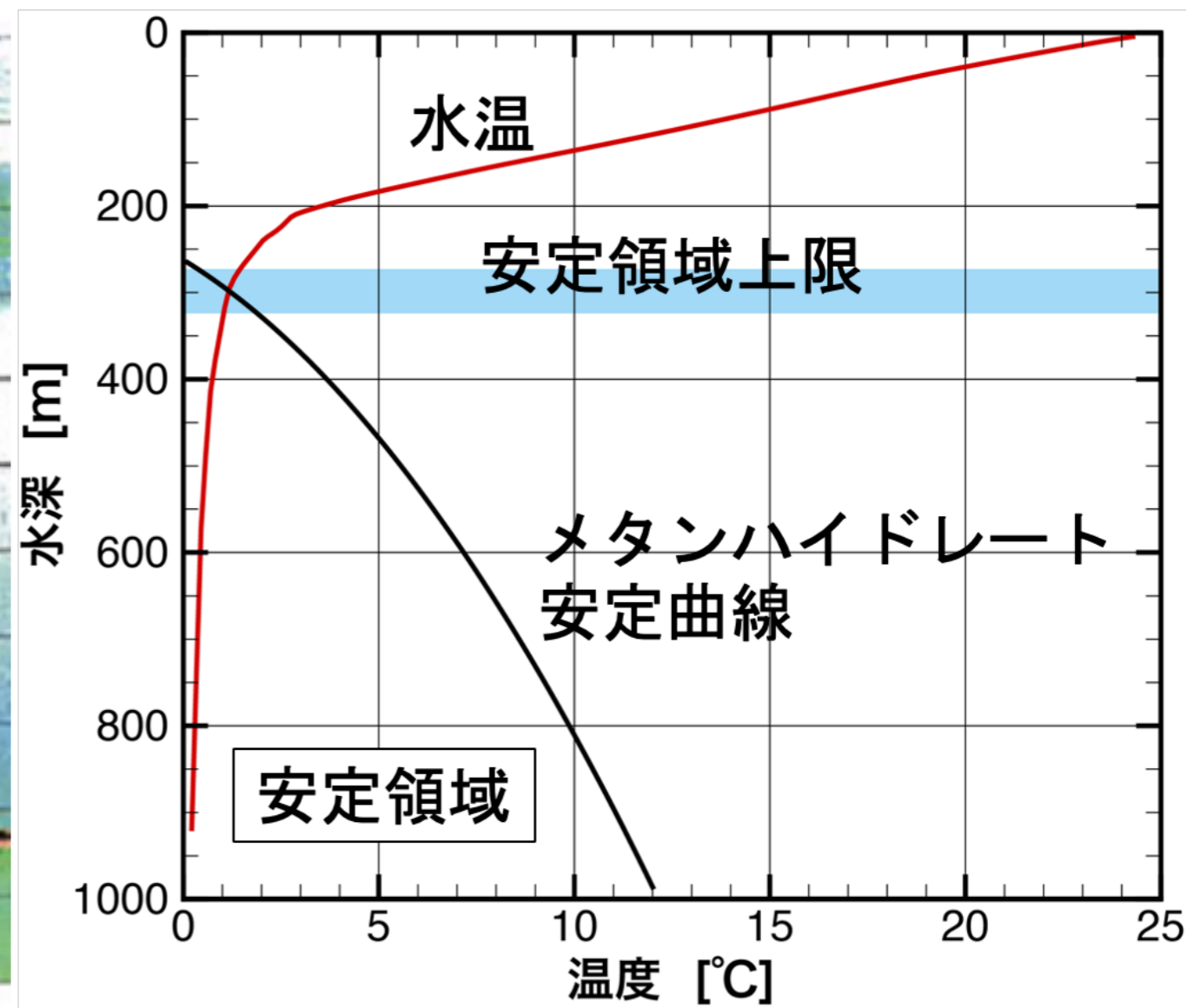
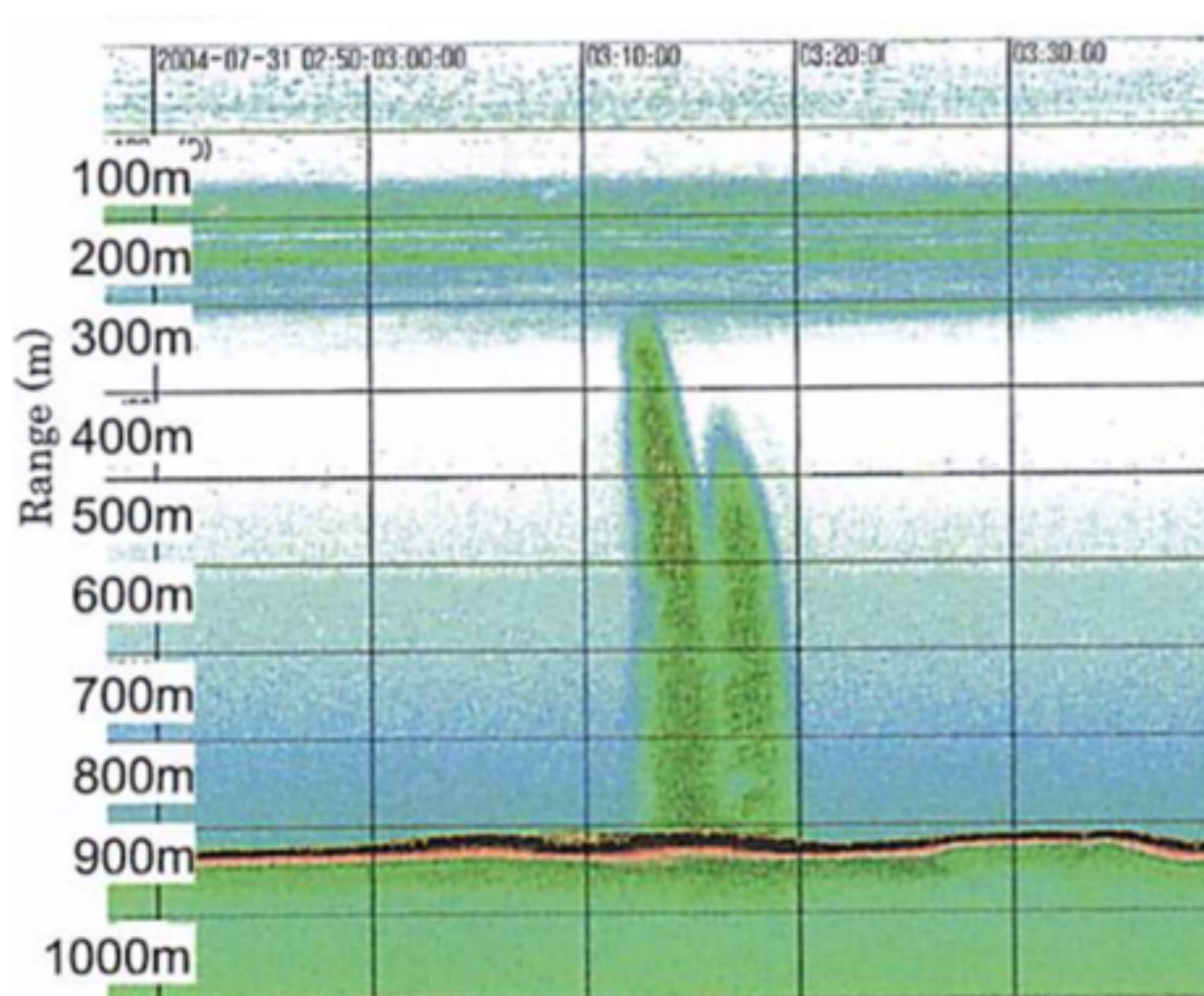


❖ 表層型メタンハイドレート

水深500 m以深の海底面および比較的浅い深度の泥層内に塊状で存在

❖ 砂層型メタンハイドレート

水深500 m以深の海底面下数百mの砂質層内に砂と混じり合った状態で存在

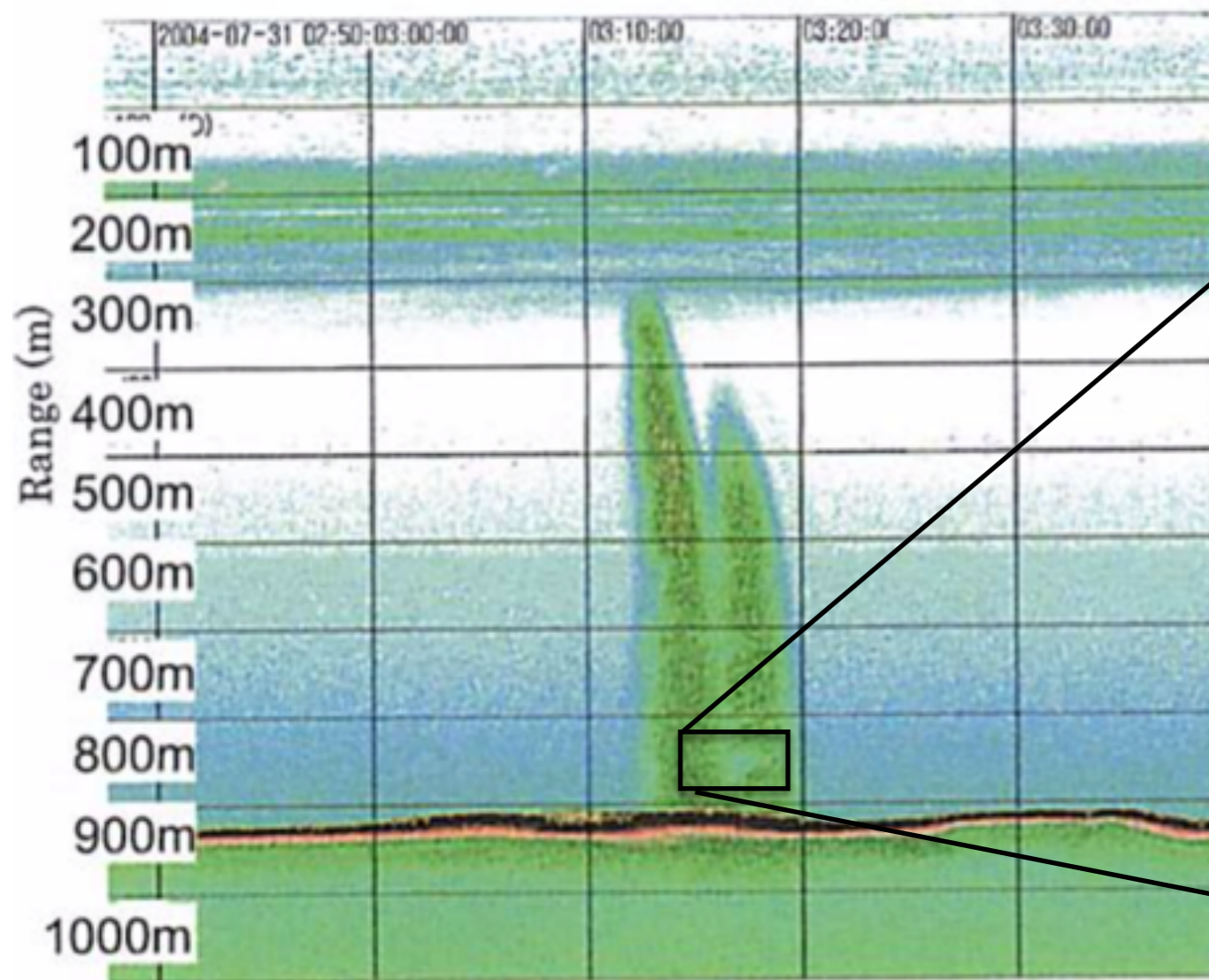


ソナーで検出されたメタンブルーム（上越沖）

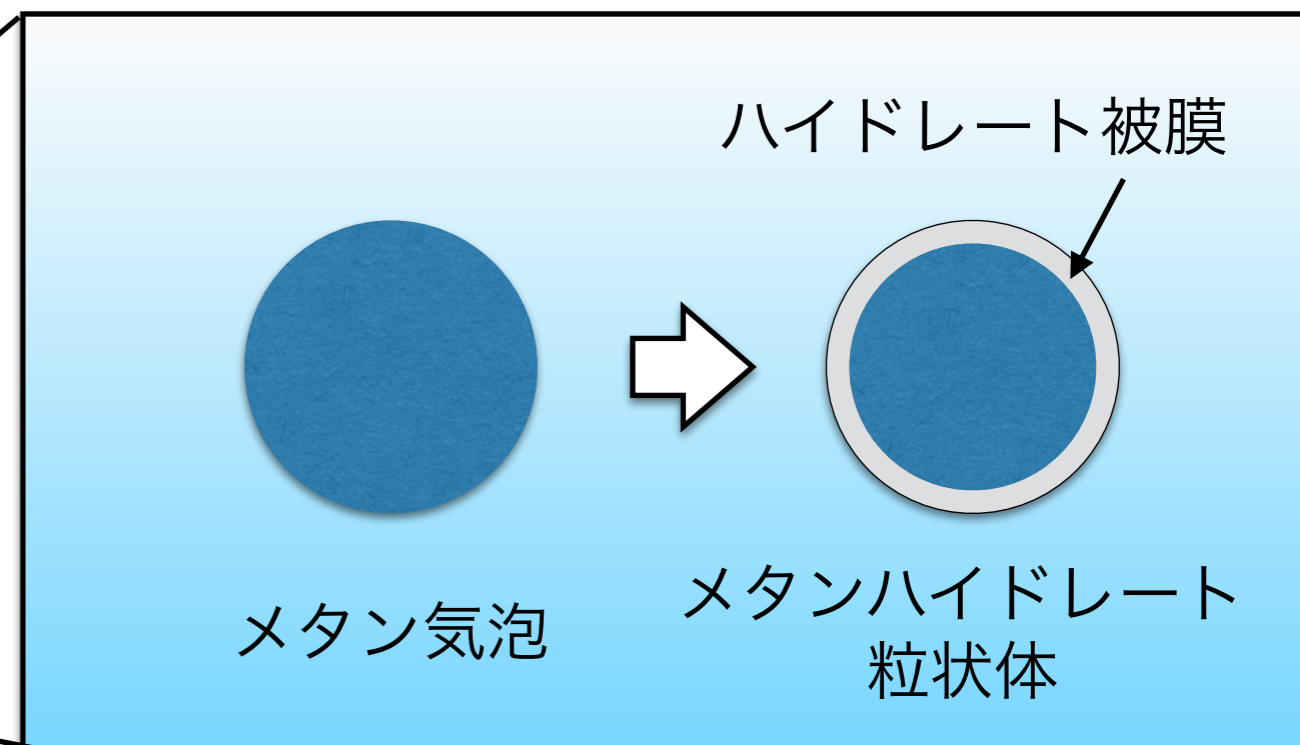
メタンハイドレート安定領域の圧力温度条件

- ・ 海底面から連続的に湧出するメタンガスは気泡となり、海水中を上昇する。
- ・ メタン気泡は、高圧・低温の条件でメタンハイドレート粒状体となる。

メタンハイドレート粒状体



湧出されたメタン気泡がプルーム内で変化

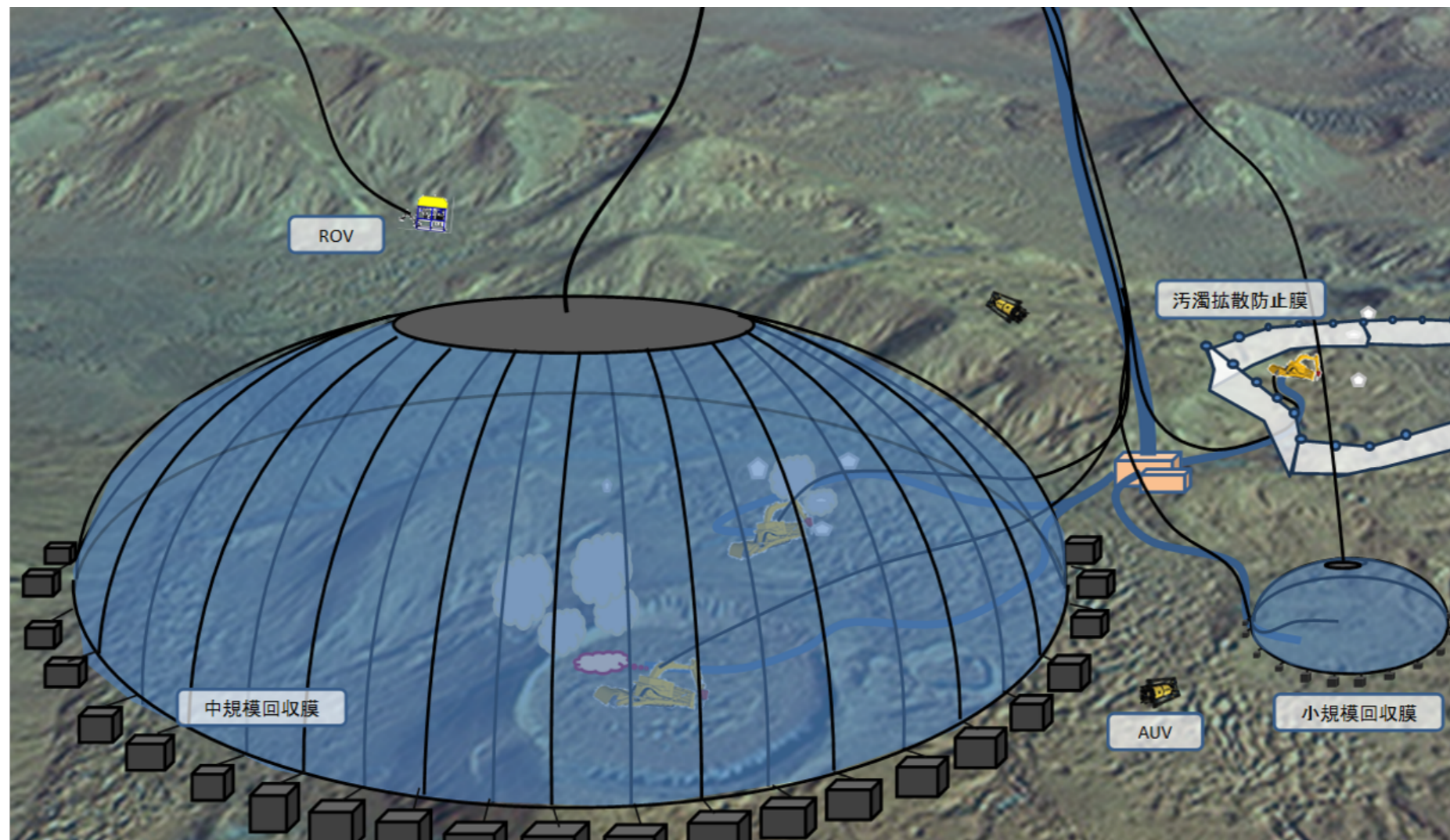


ソナーで検出されたメタンプルーム (上越沖)

- メタンハイドレート粒状体とは、ハイドレート被膜に覆われたメタン気泡。
- 固体の被膜で覆われているため、粒状体同士は合体しない。構造物に接触すると堆積することがある。



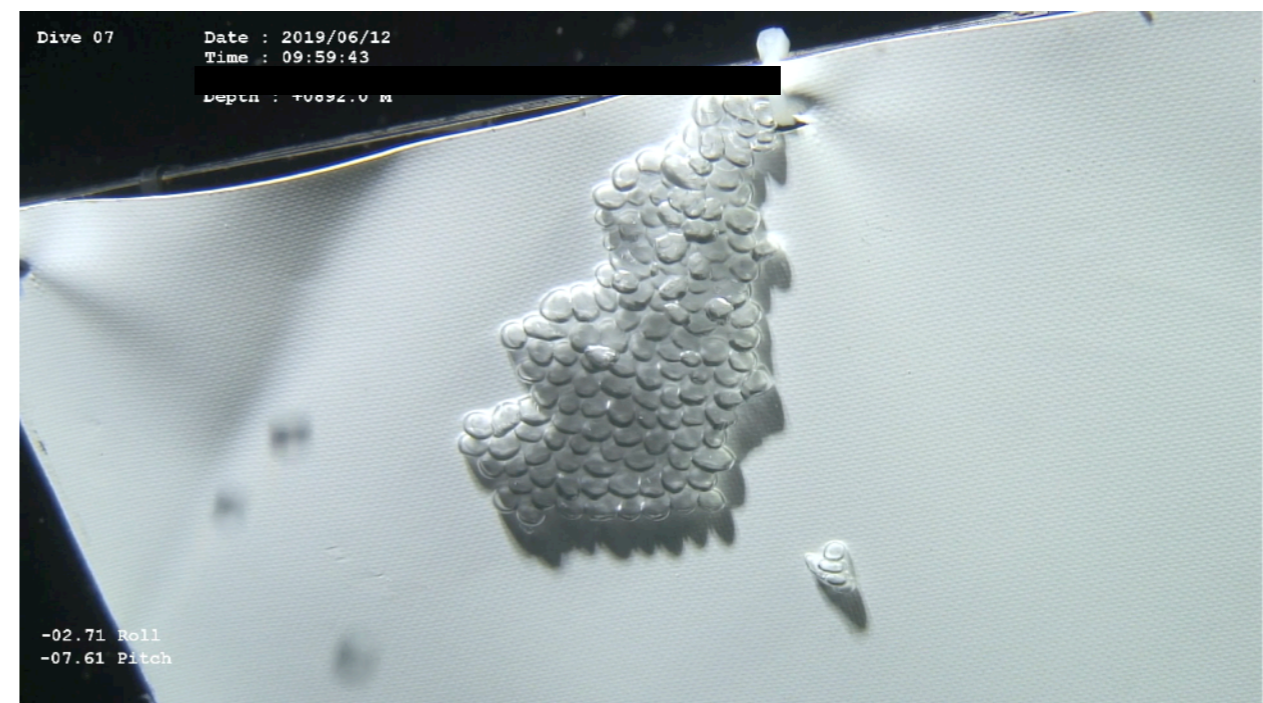
表層型メタンハイドレート回収時に付随するメタンガスや海底面から湧出するメタンガス（メタンプルーム）による海底での環境影響低減・メタンガス回収技術として、回収膜や汚濁拡散防止膜などの膜構造物を活用すること。



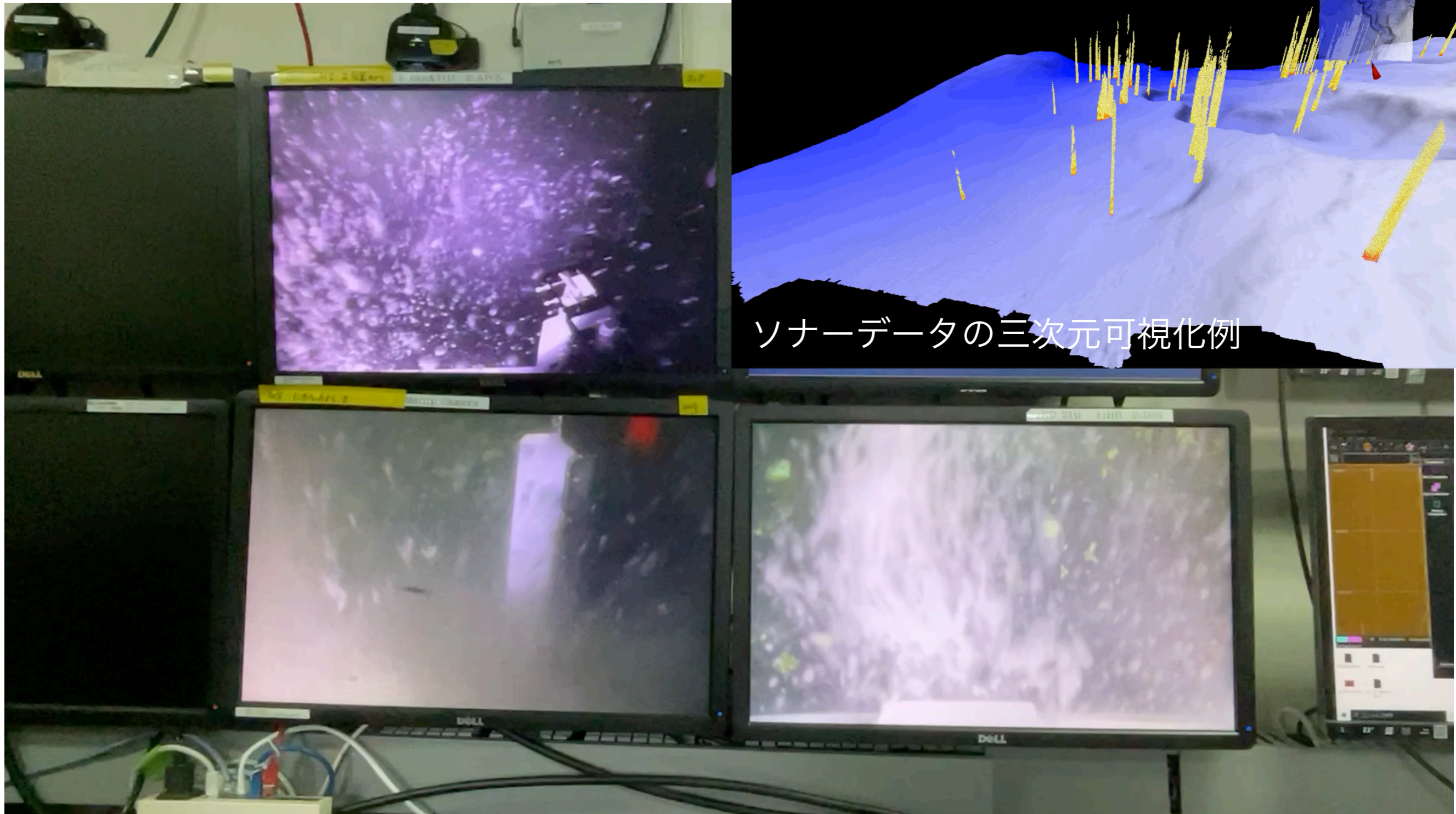
膜構造物の利活用

下記の項目について調査を進める。

- 水中の運動特性
 - 主には浮力による上昇運動
- 膜材料表面上の運動特性
 - 膜材料表面における滑り運動、付着性、焼結性
- メタンハイドレート粒状体の凝集性
 - 粒状体同士の付着性、焼結性

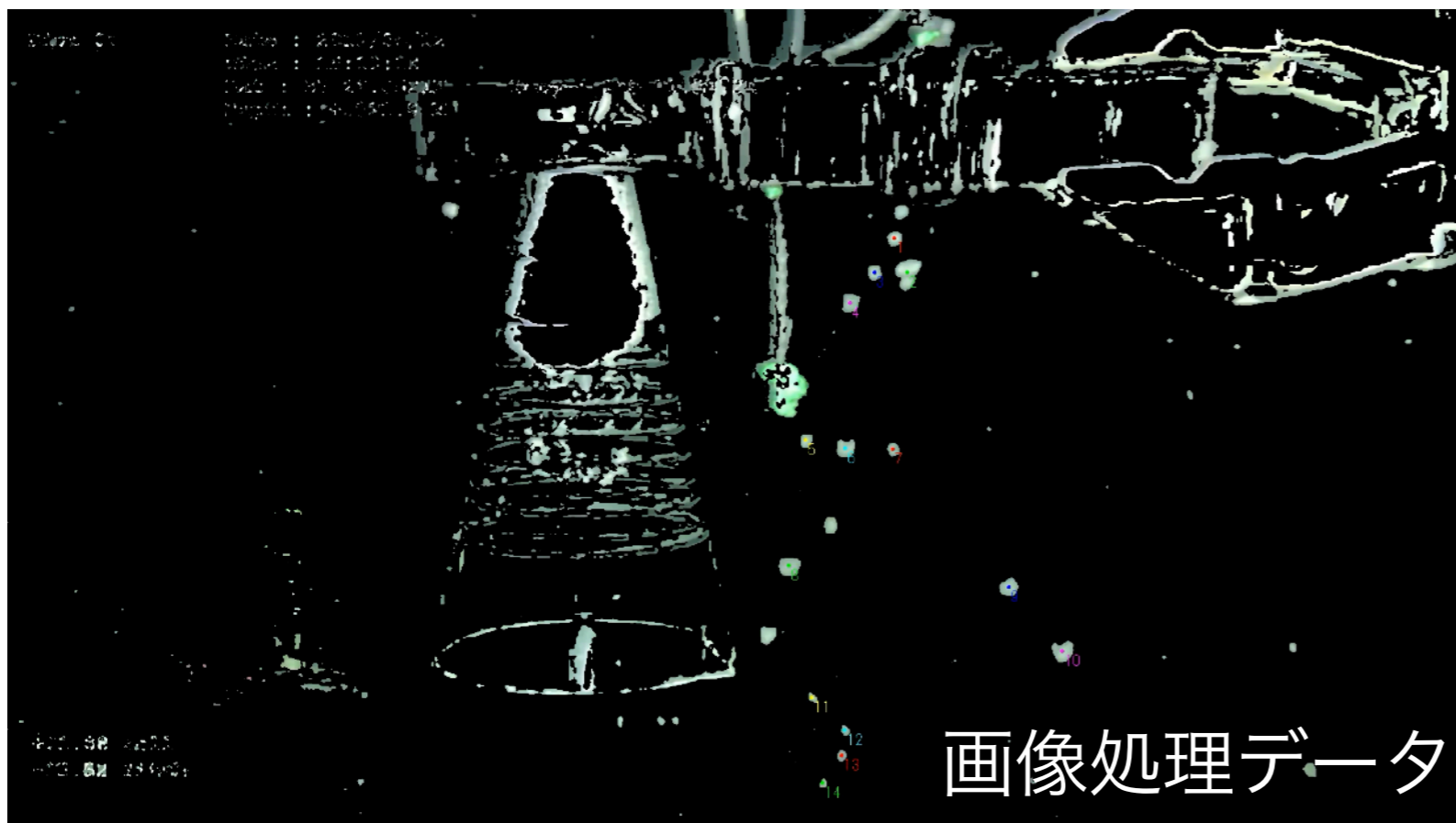
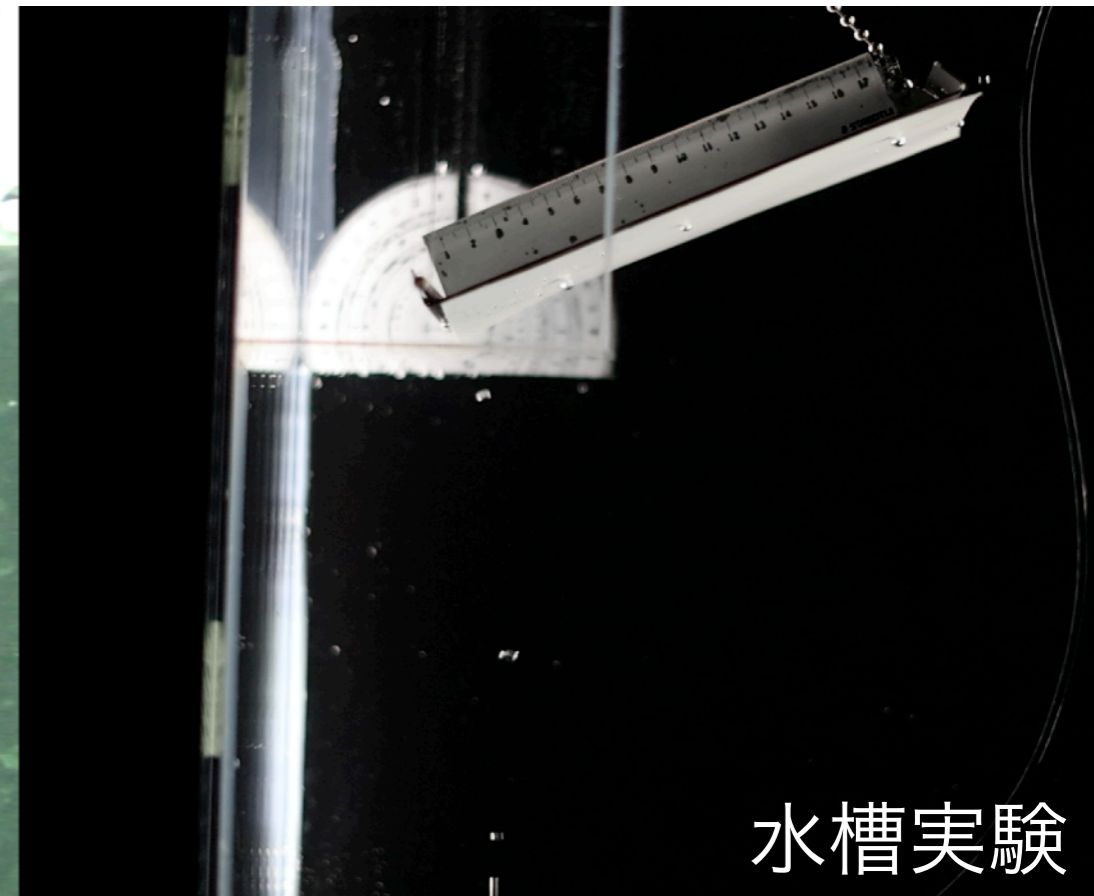
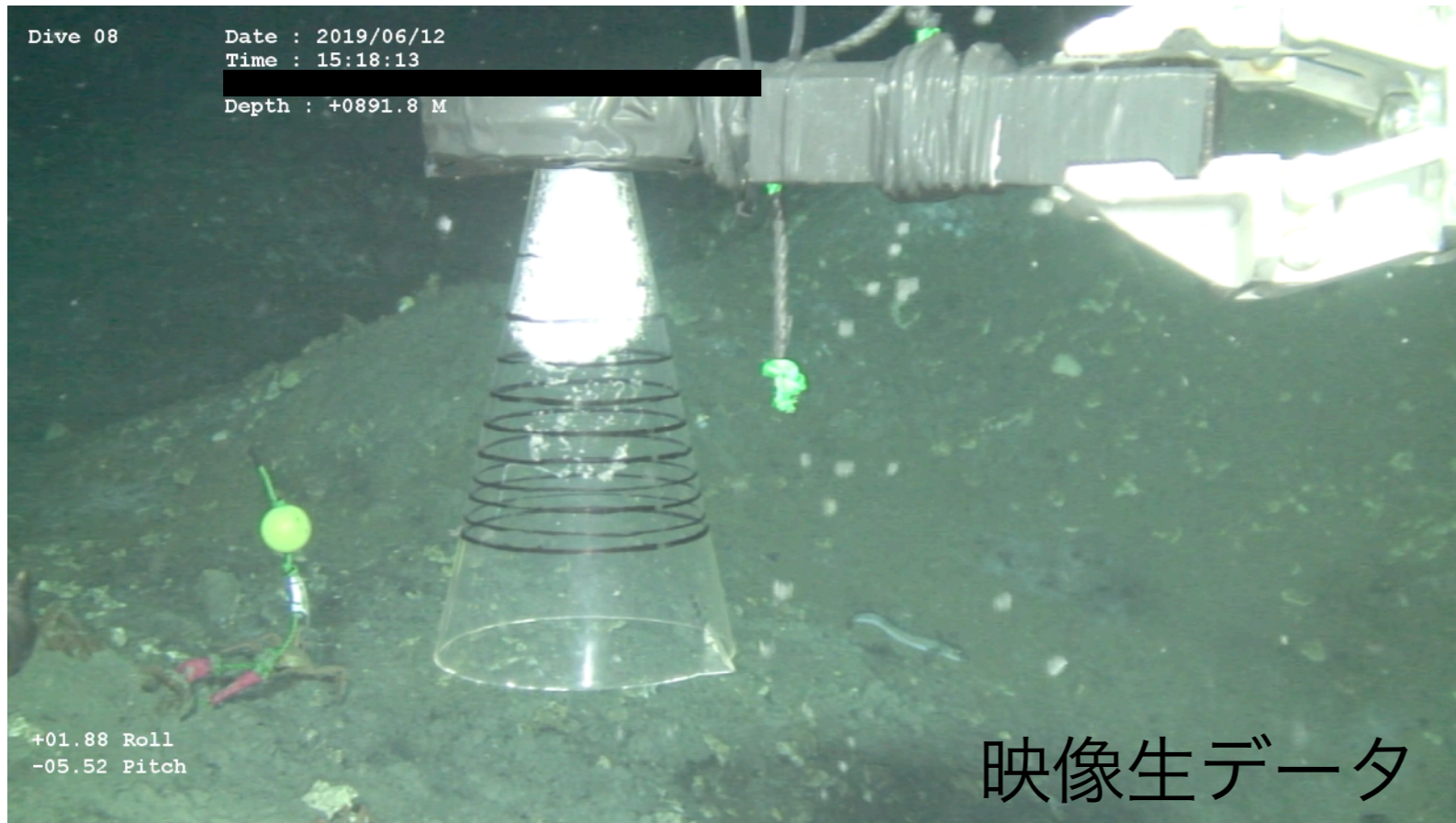


膜表面に付着したメタンハイドレート粒状体

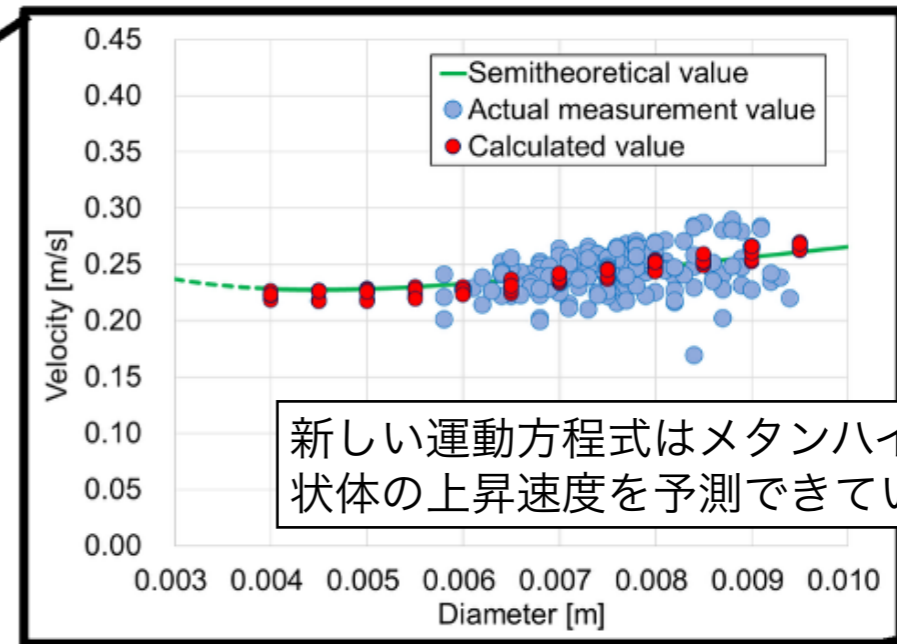
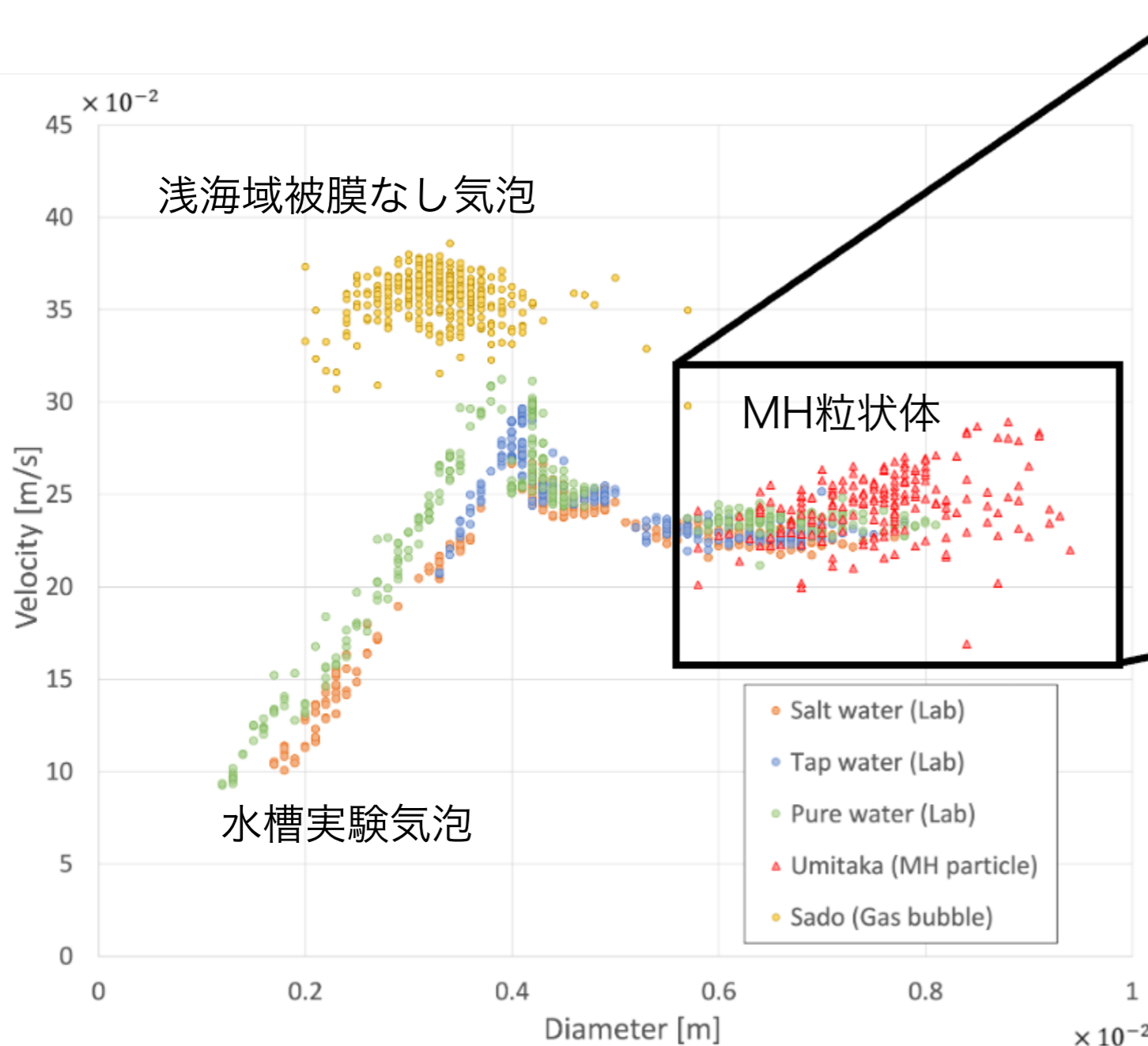


ソナーデータの三次元可視化例

メタンプルームの観測例



- メタンハイドレート粒状体の海水中運動を画像処理により数値化した。
- 併せて、水槽実験も実施した。
- 既存の気泡運動の研究データとの相違点や類似点を整理した。



新しい運動方程式はメタンハイドレート粒状体の上昇速度を予測できている。

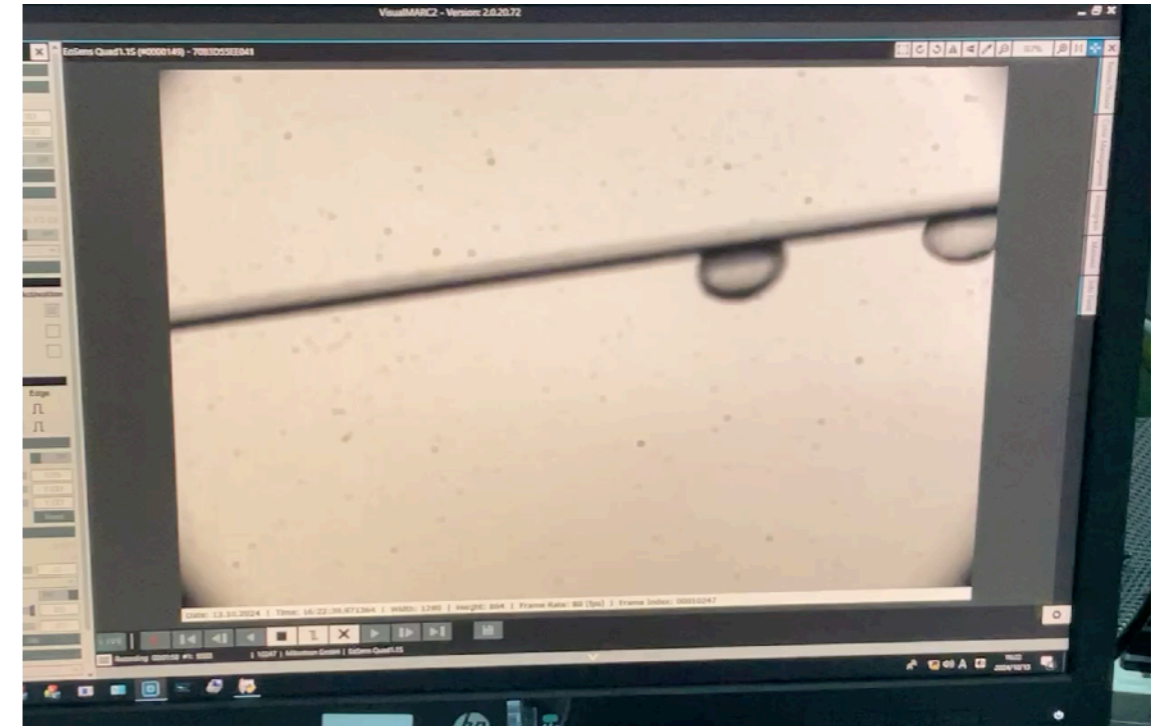
メタンハイドレート粒状体・気泡の大きさと上昇速度の関係

- メタンハイドレート粒状体・気泡の大きさと上昇速度との関係进行分析した。
- 粒子の運動方程式に固体被膜があることの効果を導入した新しい運動方程式を構築した。
- 新しい運動方程式が実測データをよく表すことを確認した。

- ❖ メタンハイドレート粒状体の捕集に適した膜材料、表面加工および膜構造物形状等を検討するための基礎的なデータの取得



調査地点における膜材料実験

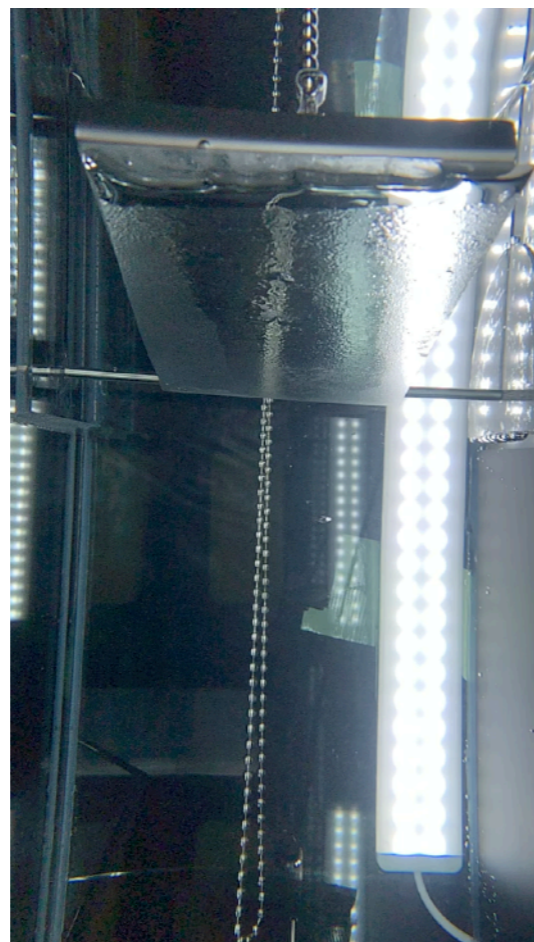


調査地点における膜材料実験

- 膜材料例：ガラス繊維、ポリ塩化ビニル樹脂、シリコン樹脂、etc.
- 表面加工例：ポリ塩化ビニル樹脂、酸化チタン、etc.
- 表面状態例：新材、経年材、汚損材、etc.



超親水加工

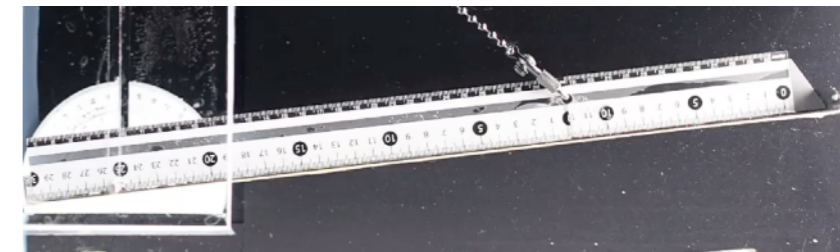


超撥水加工

○膜材料A
衝突した箇所で滞留する。

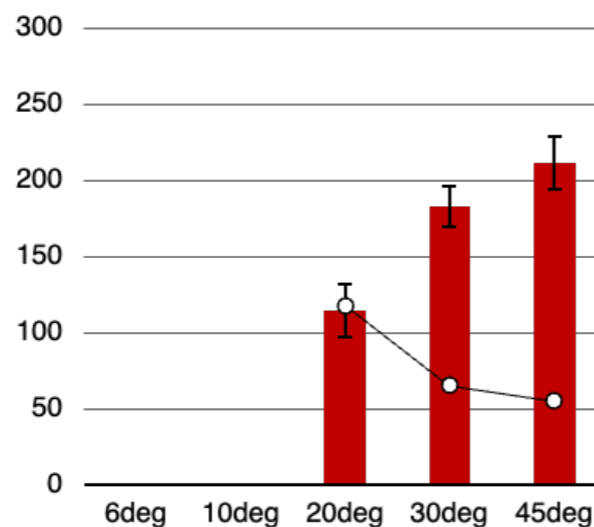
○膜材料B
減速し途中で止まる。

○膜材料C
スムーズに滑って上昇する。

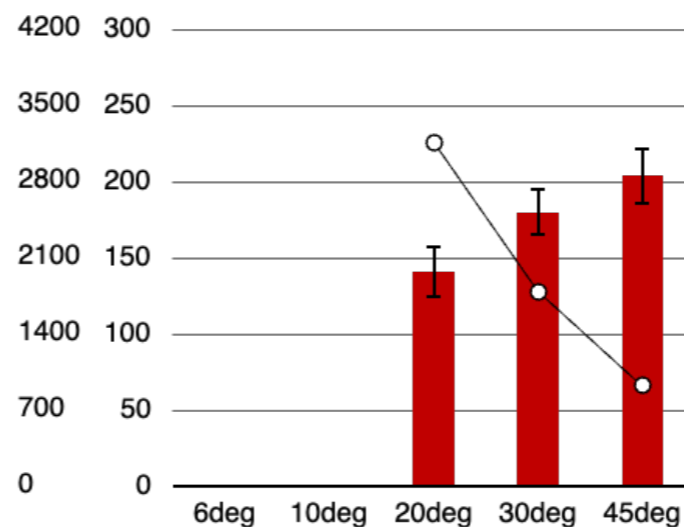


■ : 速度 [mm/s] (左軸)
○ : サンプル数 (右軸)
┆ : 標準偏差 [mm/s] (左軸)

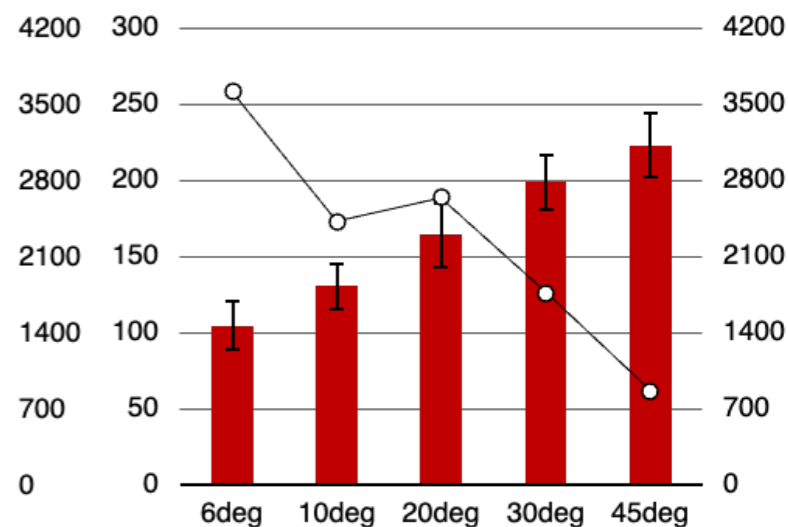
❖ 膜材料表面の特性により、気泡の運動は大きな影響を受けることがわかる。



傾斜角
膜材料A

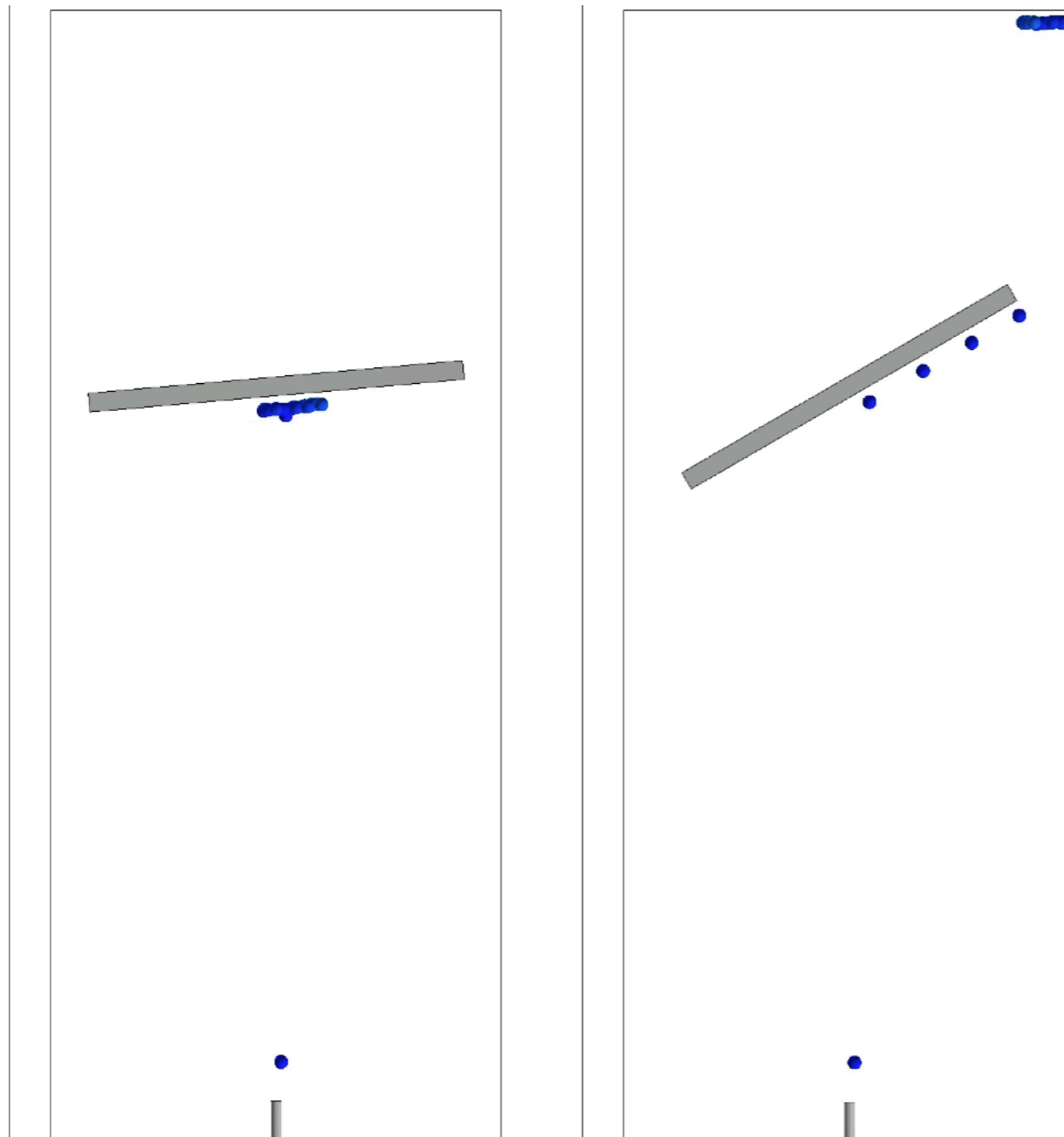


傾斜角
膜材料B



傾斜角
膜材料C

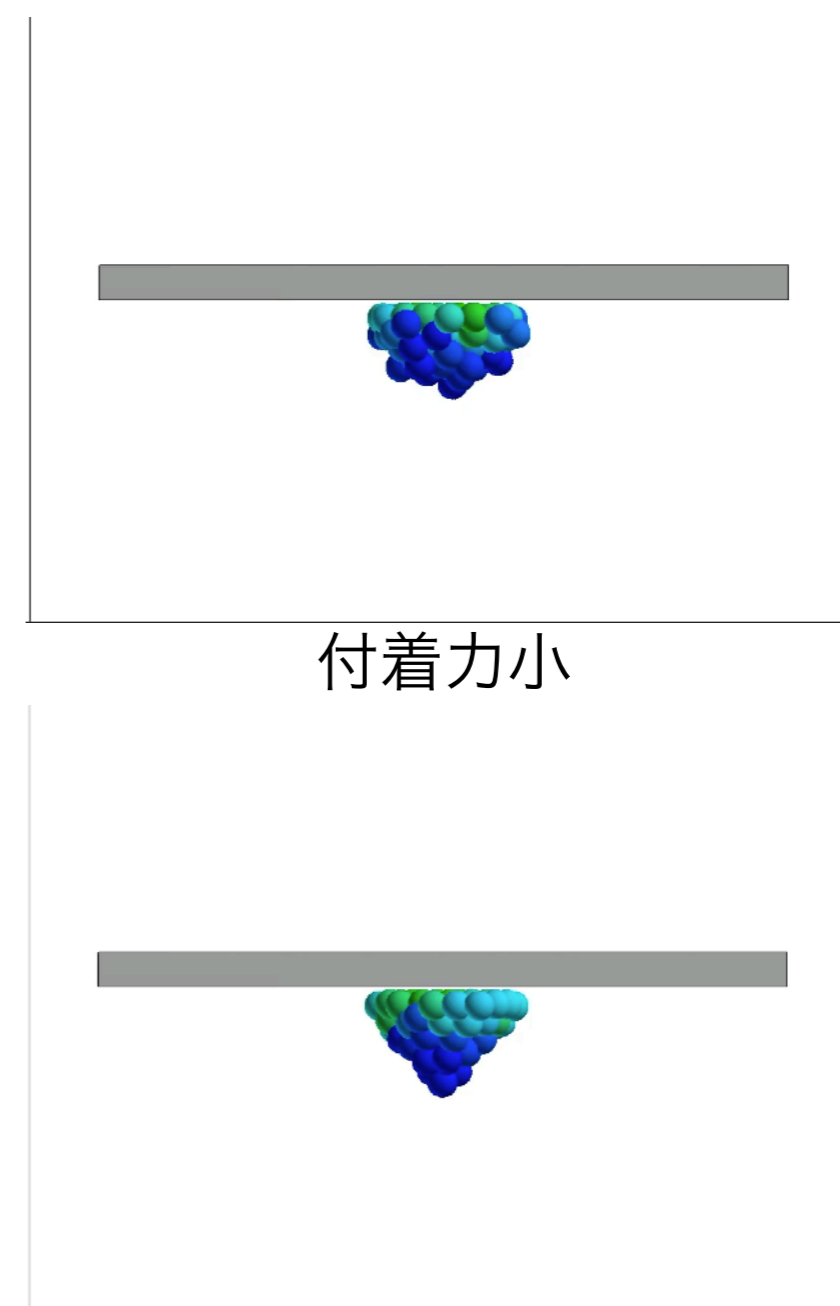
❖ 膜表面との摩擦力



低角度時

高角度時

❖ 粒子の付着（凝集）力



付着力小

付着力大

- 可視化実験（東京海洋大学実験）データや小型水槽実験データをもとに、粒状体-膜表面間の摩擦や粒状体同士の凝集を捉える数値シミュレーションモデルを構築した。

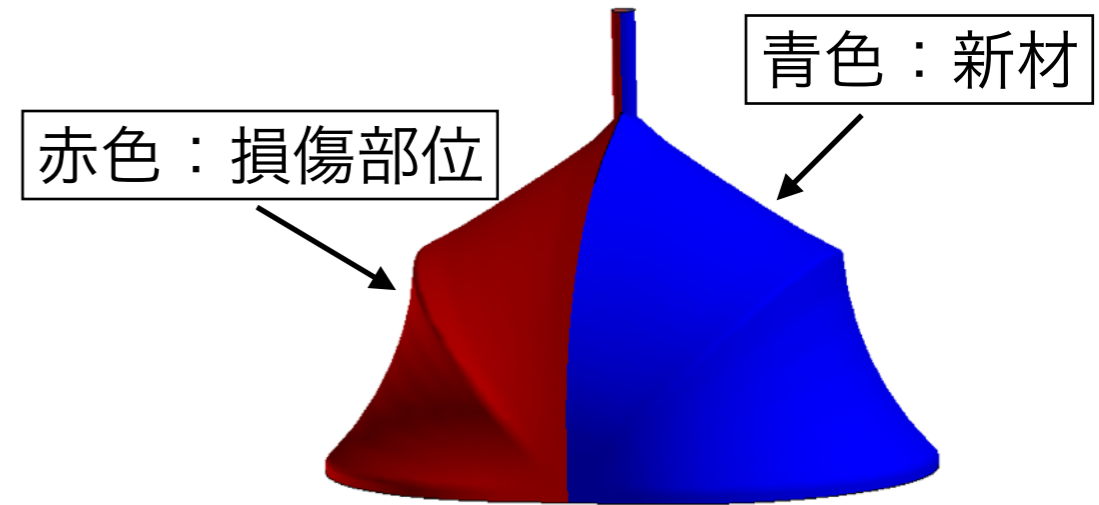
- ❖ 膜材料表面上の損傷部位の影響を数値シミュレーションで予測する。



回収膜プロトタイプ

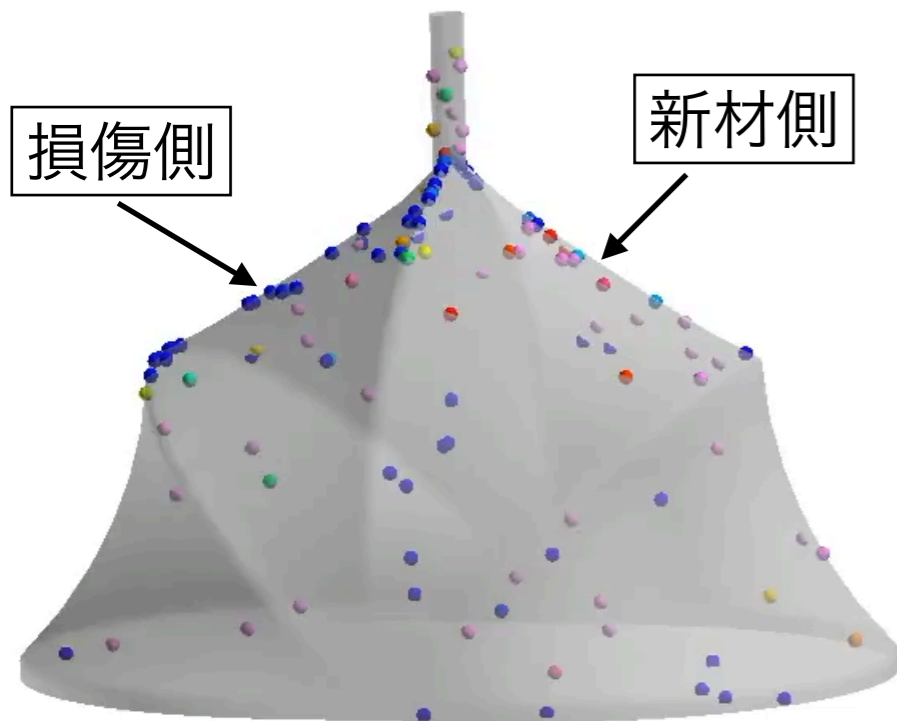


深海底での展開実験状況

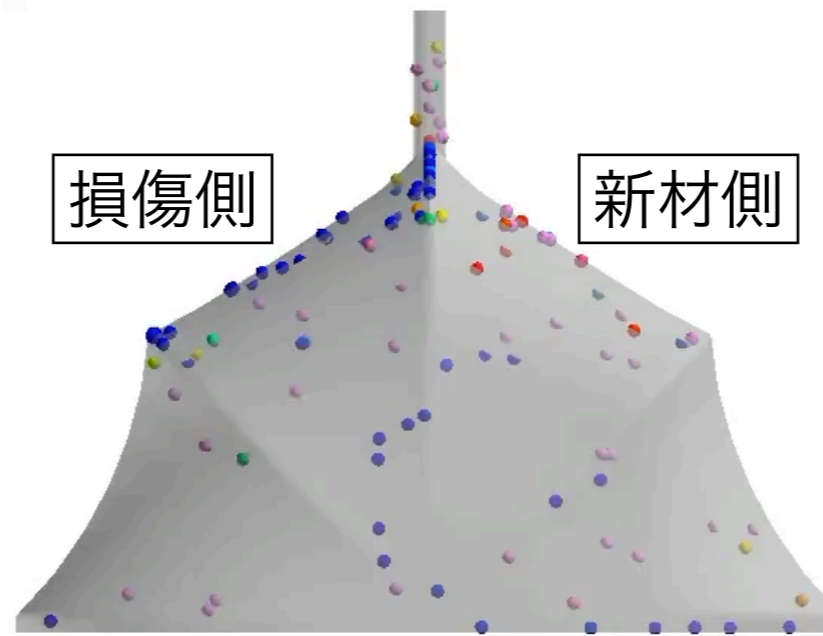


シミュレーション上で損傷部位を再現

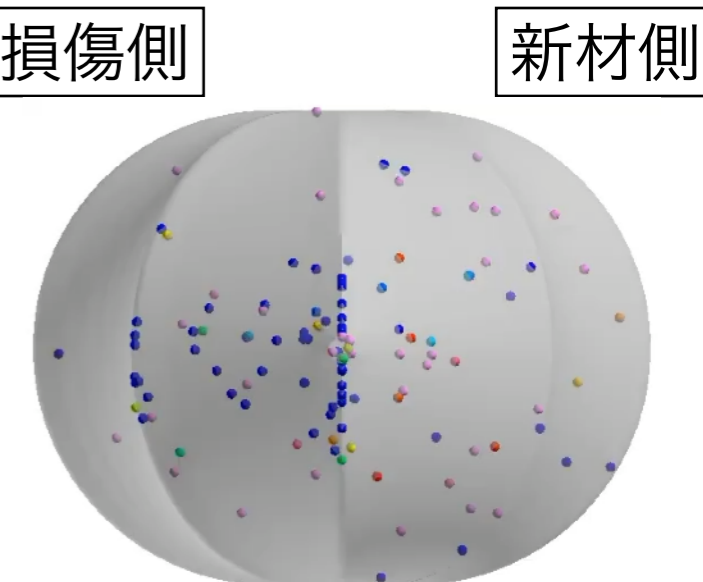
粒状体の色は移動速度を表す。



斜方からの視点



正面からの視点



上方からの視点

- メタンハイドレート粒状体回収膜の設計評価や損傷・劣化時の影響予測などに使用することができる数値シミュレーション手法を開発した。

本研究では、メタンハイドレート粒状体の挙動分析と数値シミュレーション技術の開発を行なった。

- ❖ メタンハイドレート粒状体の挙動分析では、海洋調査における実測データと、室内小型水槽実験ならびに可視化実験のデータに基づいた挙動分析を実施した。
- ❖ メタンハイドレート粒状体の水中運動や、膜材料表面上の運動の計測データから、粒状体の運動モデルを構築するとともに、膜構造物設計に活用できる数値シミュレーション手法を開発した。

今後は、引き続き数値シミュレーション手法の高精度化や高度化を図るとともに、海洋産出試験に向けた実証試験スケールの膜構造物設計に向けた取り組みを進めていく。





メタンブルームからのメタンガス連続回収実証試験



社会と分かち合える価値の創造。

News Release

2026年4月3日

三菱ガス化学株式会社

日本海海底から湧出するメタンガスの連続回収実証に成功

三菱ガス化学株式会社(本社:東京都千代田区、社長:伊佐早 禎則、以下、当社)は、国立大学法人九州大学(本部:福岡市西区、総長:石橋 達朗、以下、九州大学)と共同で、日本海海底の「メタンブルーム」を対象にしたガス回収実証試験を実施し、連続回収システムの有効性を確認しました。

本研究成果は2026年3月31日に日本エネルギー学会誌(Journal of the Japan Institute of Energy)で公開されました^(※)。

メタンブルームとは、海底から自然に湧出する柱状の気泡群のことを指します。この現象は、表層型メタンハイドレートの賦存が確認されている日本海の広範囲で発生することが確認されており、自然に湧出するエネルギー資源として知られています。

当社と九州大学大学院総合理工学研究院環境理工学部流動熱工学講座エネルギー熱物理学分野(渡邊 裕章教授)からなる研究チームは、気泡捕集器、揚収管、水中ポンプ、気液分離器などの装置で構成され、連続的なガス回収を可能にする一連のシステムを設計・製作し、新潟県佐渡北東沖の水深約150mのメタンブルームの湧出地点において、ガスの直接回収実験を行いました。その結果、連続的なガス回収に成功し、その成分分析を実施した結果、主成分がメタンガスであることを確認しました。

今回の実験成果は、広範囲のメタンブルームからの効率的なメタンガス回収技術の将来的な実用化への道筋を示すもので、その商業的な活用は、国内の新たなエネルギー供給源をもたらす可能性を持つと期待されます。また、温室効果ガスのひとつであるメタンの放散を抑制し有効利用することは、カーボンニュートラルへの貢献に繋がる新しい取り組みともなります。

今後同研究チームでは、事業化に向けたメタンブルームの湧出量の正確な評価、安定的なガス回収を可能にする設備設計の最適化、回収コストおよび経済性の検証などを進めていく計画です。

当社は、そのミッション「社会と分かち合える価値の創造」のもと、今回の九州大学との取り組みなどを通じて、環境に調和した持続可能なエネルギー資源の開発を追求してまいります。

※Watanabe,H;Mochinaga,T;Sasaki,T;Takenouchi,T;Aoyama,C., Japan Institute of Energy., pp.79-84 (2026)

Journal of the Japan Institute of Energy, 105, 79-84 (2026)

79

Short Paper

Methane Gas Recovery from a Methane Plume on a Seafloor in Sea of Japan

Hiroaki WATANABE^{*1†}, Tatsuro MOCHINAGA^{*2}, Takuro SASAKI^{*2}, Tsuyoshi TAKENOUCI^{*3}, and Chiharu AOYAMA^{*4*5}

(Received June 16, 2025)

日本海海底から湧出するメタンブルームからのメタンガス回収
渡邊裕章^{*1†}, 持永竜郎^{*2}, 佐々木拓郎^{*2}, 竹ノ内剛^{*3}, 青山千春^{*4*5}

Methane gas recovery from a methane plume on the seafloor in the Sea of Japan was conducted to demonstrate the highly efficient continuous recovery system. The demonstration site was located northeast offshore Sado Island at a water depth of approximately 150 m. The recovery system consisted of a bubble collector, a riser tube, a submersible pump, and a gas-liquid separator. Results showed that the recovery system was operated continuously while recovering gas seeping from the seafloor as well as entrained seawater. It was found that the gas composition analysis confirmed that the gas collected at the outlet of the gas-liquid separator on the research vessel contained methane at a measurable concentration. The methane was considered to have originated from the gas plume seeping on the seafloor.

日本海海底から湧出するメタンブルームからのメタンガス回収を目的に、連続回収試験装置を設計・製作するとともに、洋上において回収試験を実施した。試験は佐渡北東沖の水深約150mの海域で実施した。メタンブルーム連続回収試験装置は、気泡捕集器、揚収管、水中ポンプ、および気液分離器から構成される。回収試験装置は連続的に海底から湧出するガスと周囲の海水を回収することができることを確認した。調査船上の気液分離器出口で捕集されたガスの分析から、一定濃度のメタンガスが含まれていることが明らかとなった。このメタンガスは、海底から湧出するガスブルーム由来であると考えられる。

Key Words

Methane, Methane plume, Gas recovery, Sea of Japan, Energy resources

*1 Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University
6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan

*2 Mitsubishi Gas Chemical Co., Inc.
5-2 Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8324, Japan

*3 Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan

*4 Japan's Independent Institute Co., Ltd.

*5 Faculty of Marine Resources and Environment, Tokyo University of Marine Science and Technology
4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

† Corresponding author: whiroaki@tse.kyushu-u.ac.jp

*1 九州大学大学院総合理工学研究院
〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

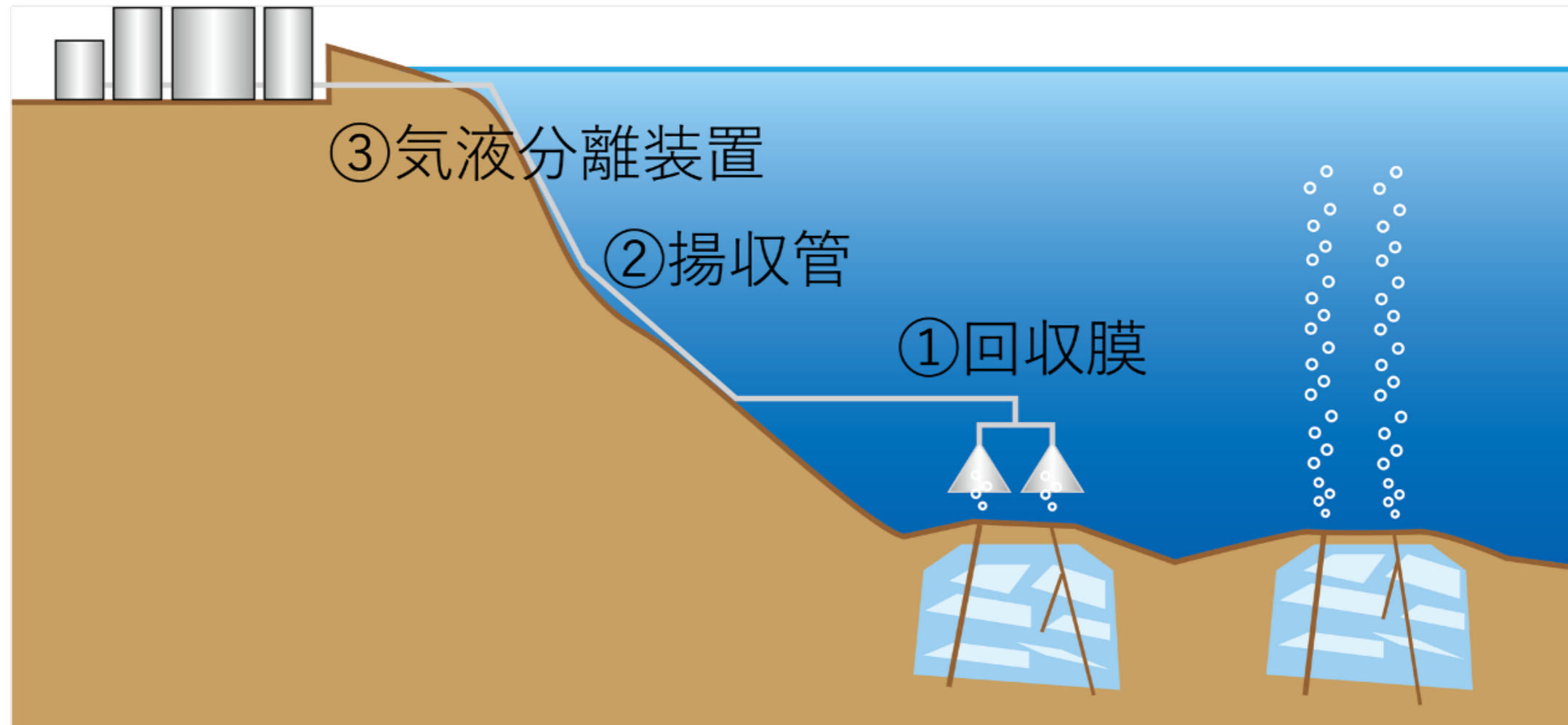
*2 三菱ガス化学株式会社
〒100-8324 東京都千代田区丸の内 2丁目 5-2

*3 九州大学大学院総合理工学府
〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

*4 株式会社独立総合研究所

*5 東京海洋大学海洋資源環境学部
〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

④水素製造設備



①回収膜によるメタンブルーム回収装置

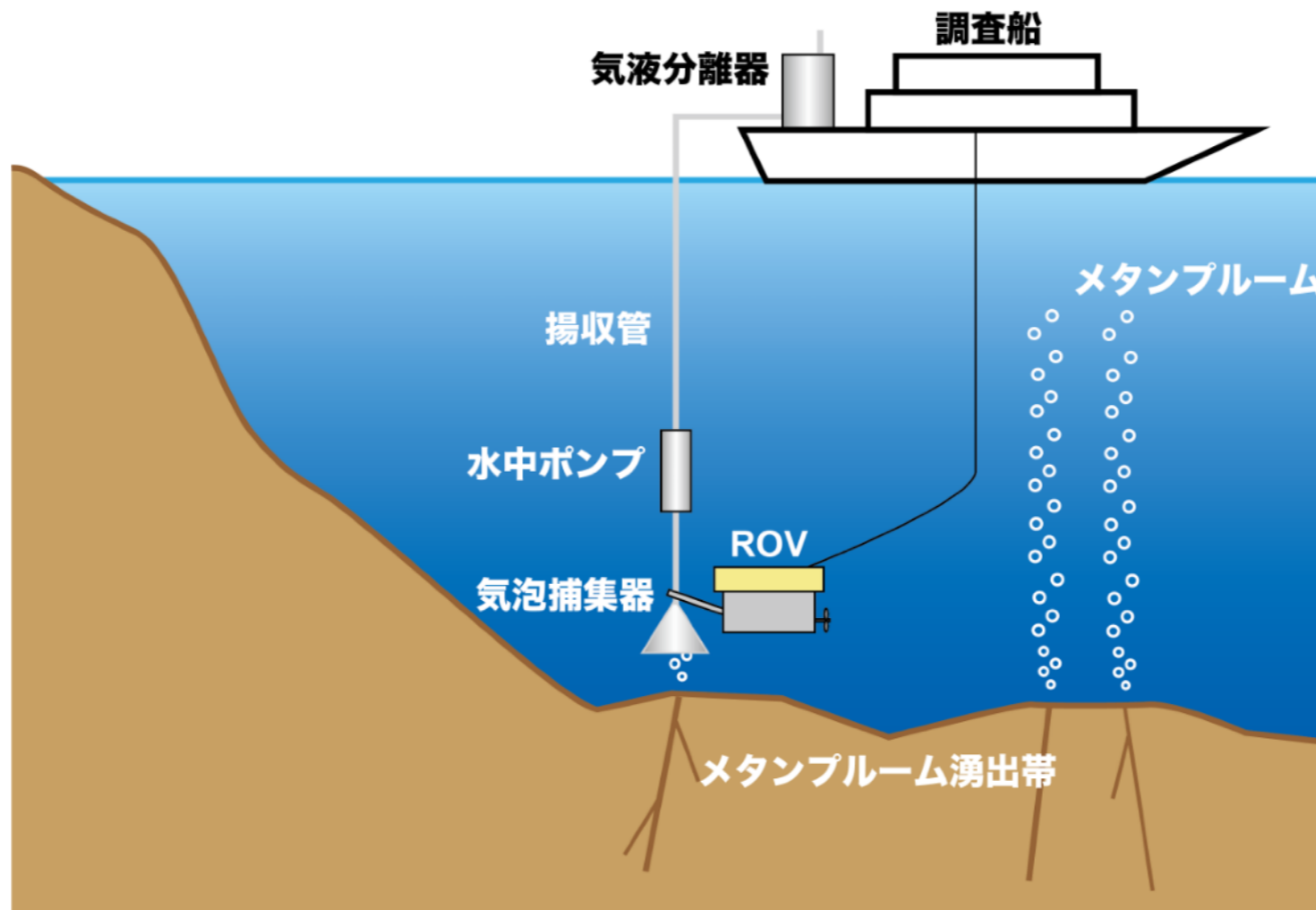
②揚収管による回収メタンの輸送装置

③気液分離装置による回収メタンと海水との分離

④回収メタンの利用設備（例えば、水素製造設備）



揚収管



メタンプルーム回収実験の概要



気液分離器



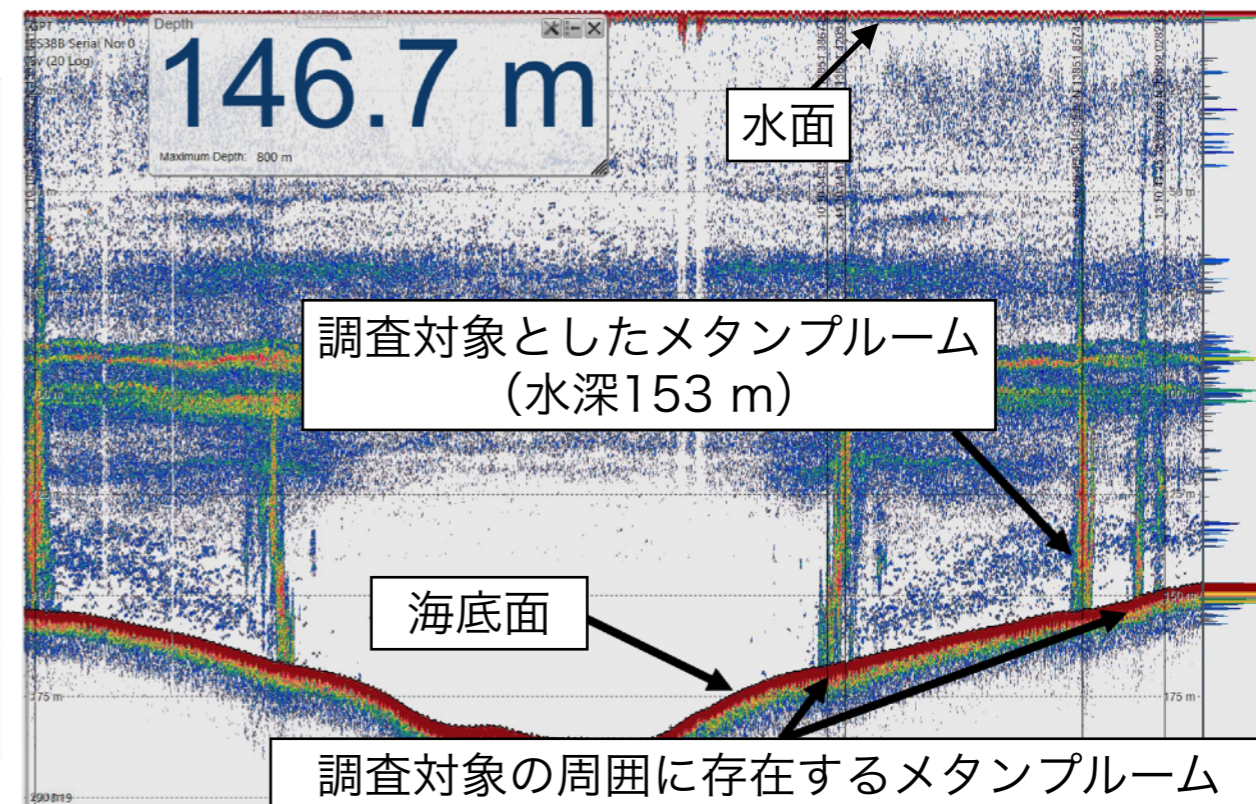
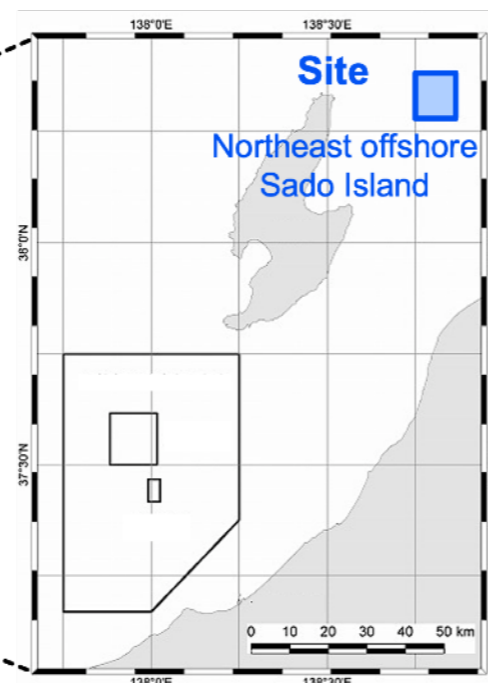
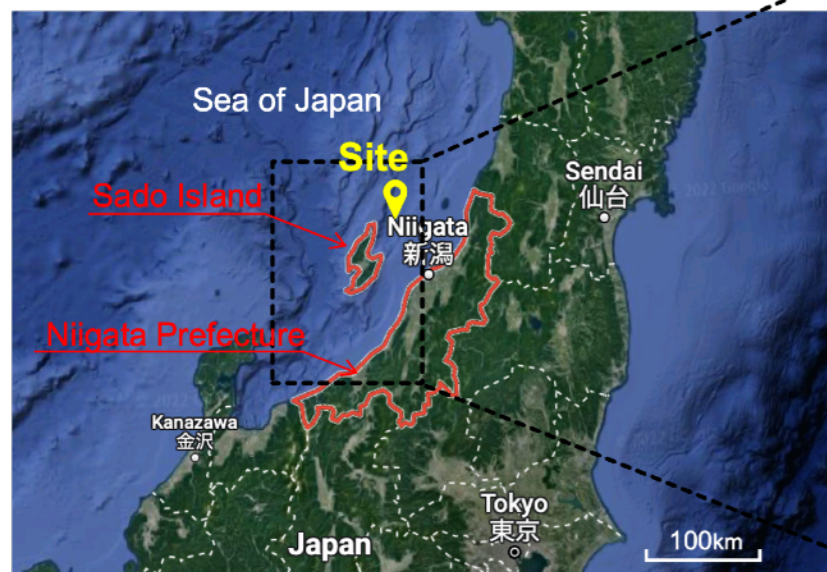
ROV



気泡捕集器を位置決めするROVアーム



水中ポンプ



佐渡北東沖海域の位置

調査地点の超音波ソナーデータ

- 150 ~ 300 m程度の比較的浅い海域であり、回収装置の海底面への設置や撤収が比較的容易である。
- 300 mよりも浅い海域では、メタンブルームを構成する気泡はハイドレート被膜に覆われていないと考えられる。
- 水深153 m地点のメタンブルームを調査対象とした。

Table 1 Gas composition of sampled gas.

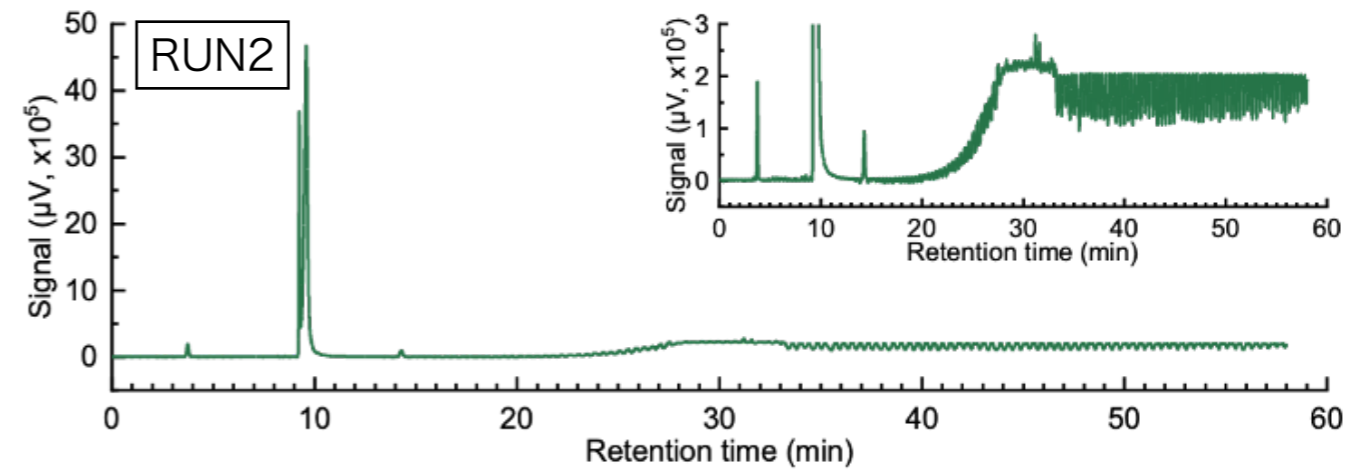
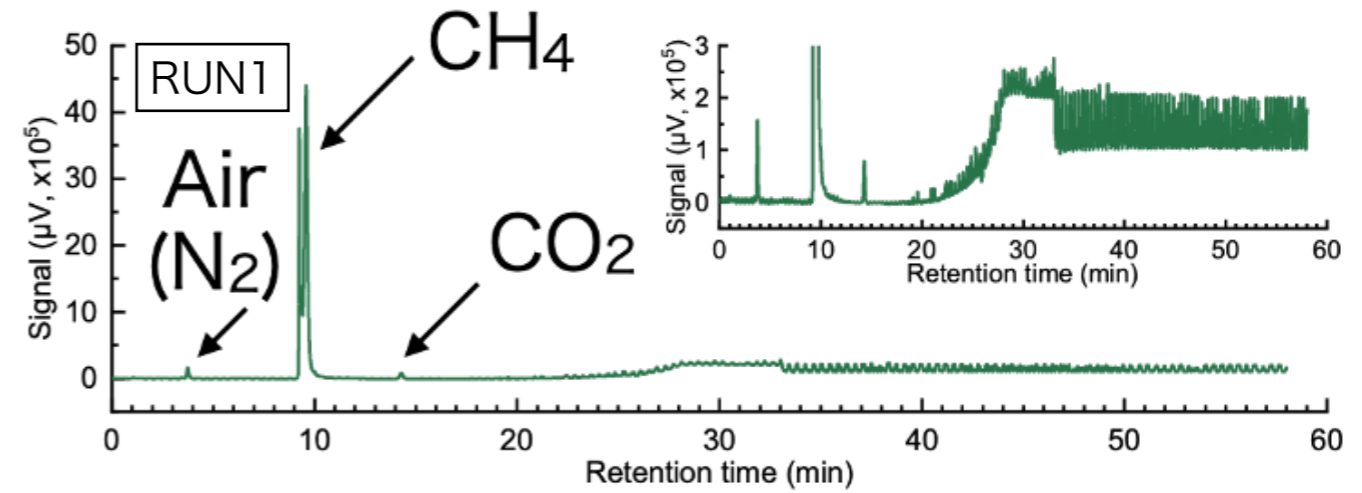
Sample #	#1 11:12	#2 12:25	#3 13:07	#4 13:32	#5 13:43
Gas composition (vol%)					
H ₂	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
O ₂	20.74	18.71	18.69	17.49	17.04
N ₂	77.73	71.75	70.13	63.99	61.16
C ₁	1.47	9.48	11.11	18.46	21.72
C ₂	N.D.	0.00	0.00	0.00	0.00
C ₃	N.D.	0.00	0.00	0.00	0.00
i-C ₄	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
n-C ₄	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
i-C ₅	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
n-C ₅	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
n-C ₆	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
CO ₂	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07
Molar ratio of hydrocarbon (-)					
C ₁ /(C ₂ +C ₃)	-	2.84×10^4	4.74×10^4	7.35×10^4	7.60×10^4
Carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$ ‰)					
C ₁	-62.8	-62.4	-60.5	-57.5	-56.4
CO ₂	-8.2	-7.3	-8.2	-9.0	-9.0

- 2時間30分程度の連続的なガス回収に成功した。
- 船の揺動の影響で配管内部に空気が混入してしまったため、ガスサンプル中のメタン濃度は最大で約21.7%となった。

- ❖ 調査海域：佐渡北東沖 水深153 m地点
- ❖ 調査日：2021年11月14日



ガスサンプリングの様子



サンプルガスの分析

ガス分析結果

ガス組成	濃度
CH ₄	≧ 99.6
CO ₂	0.18
Air (N ₂)	~ CO ₂

❖ エネルギー収支比 (Energy Profit Ratio, EPR) 分析

$$\text{EPR} = \frac{\text{生産エネルギー}}{\text{投入エネルギー}}$$

1.0を超えなければならない。

生産エネルギー：産出メタンガスのエネルギー総量 (総発熱量)

投入エネルギー：設備エネルギー＋運用エネルギー

設備エネルギー：素材エネルギー＋製造エネルギー
＋輸送エネルギー＋建設エネルギー

操業年数分の全エネルギーを計算する。

❖ 経済性 (Cost of Production, COP) 分析

$$\text{COP [円/m}^3\text{N または円/MJ]} = \frac{\text{資本費} + \text{運転維持費} + \text{燃料費}}{\text{メタンガスの生産量またはエネルギー量}}$$

資本費：建設費＋固定資産税＋設備廃棄費

運転維持費：人件費＋修繕費＋諸費＋一般管理費

国産エネルギーの価値は計り知れないが、市場競争力は高い方がなお良い。

本研究では、メタンブルームからの連続的なメタンガス産出が可能なメタンブルーム連続回収実証試験設備の設計・製作、および浅海域（水深153 m地点）における連続回収試験を実施した。

- ❖ 数時間にわたり連続的なメタンガス産出を行なった。本試験で採用した回収システムは、長時間にわたる連続的なメタンガス産出が可能であることを確認した。
- ❖ 船の揺動の影響で配管内部に空気が混入してしまったため、ガスサンプル中のメタン濃度は最大で約21.7%となった。

今後は、ガスサンプル装置の改良によりメタンガスの効率的なサンプリングを可能にするとともに、得られた試験データに基づいたエネルギー収支比分析や経済性評価を行い、メタンブルーム回収プラントの実用化に向けた検討を進めていく。