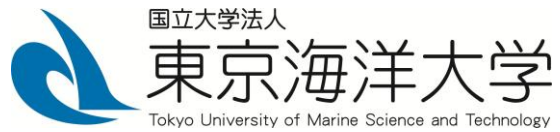
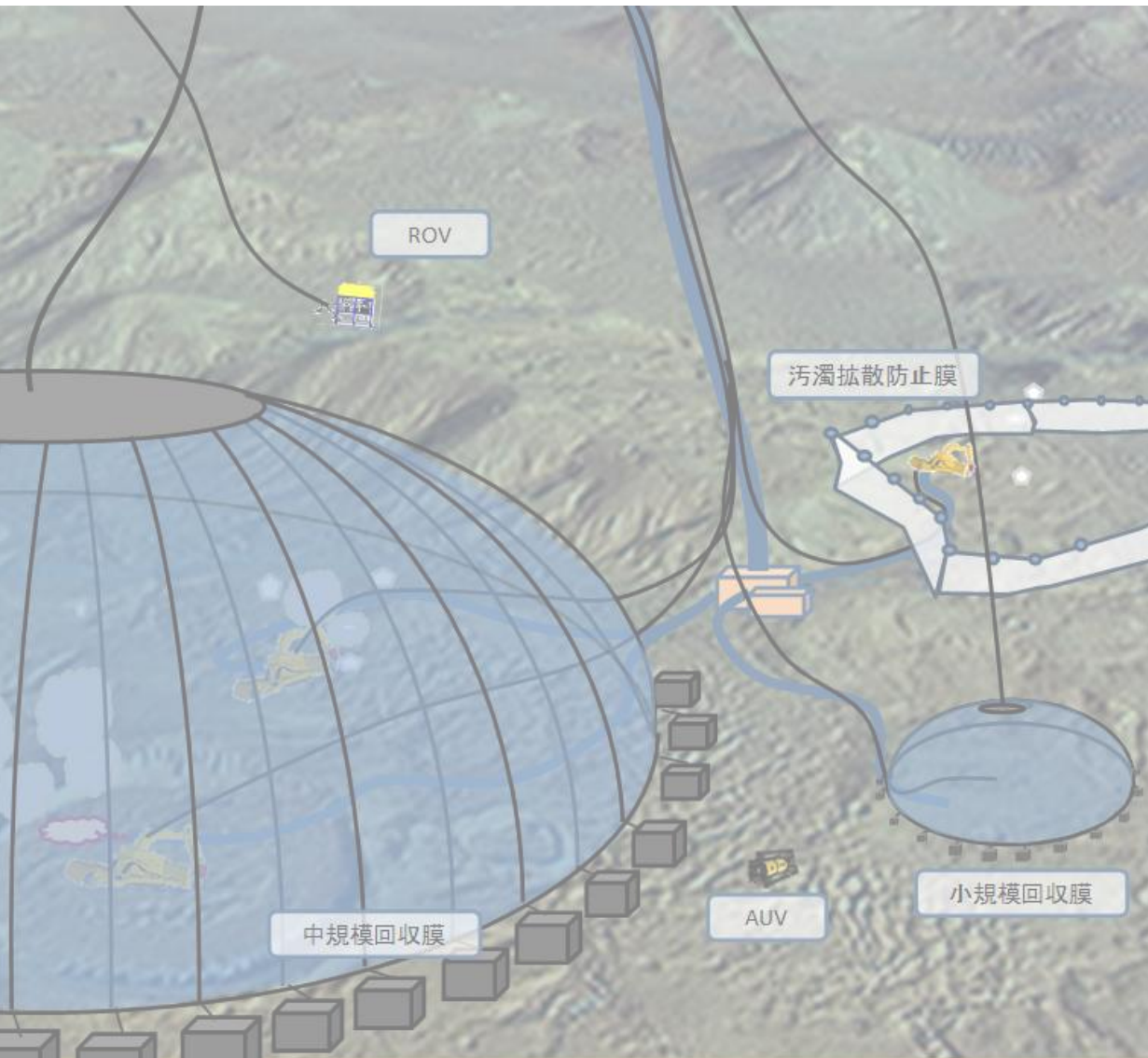


# 膜構造物の利活用に関する技術開発



# 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

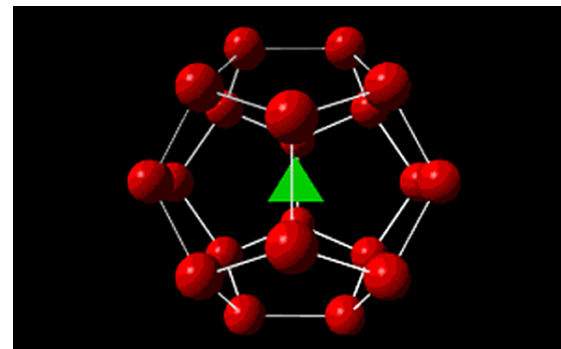
# メタンハイドレートとは

天然ガスの主成分でエネルギー資源である「メタンガス」が水分子と結びつくことでできた、氷状の物質です。火を近づけると燃えるため、「燃える氷」とも呼ばれます。

メタンハイドレート1m<sup>3</sup>から取り出すことのできるメタンガスは、なんと約160m<sup>3</sup>。小さな体積からたくさんのエネルギーを生み出すことが可能です。

その一方で、メタンハイドレートを分解して得られるメタンガスを燃焼させた場合、**石油と比べて約30%、石炭と比べると約50%**ほどCO<sub>2</sub>排出量が少なくなることも特徴のひとつです。

こうした特徴から、  
**石炭や石油に代わる次世代エネルギー資源**  
として期待されています。



緑三角はメタン分子、赤球は水分子  
水分子がカゴ構造を作り、その中にメタン分子が含まれる

メタンハイドレートの結晶構造（正十二面体の小さいカゴ）

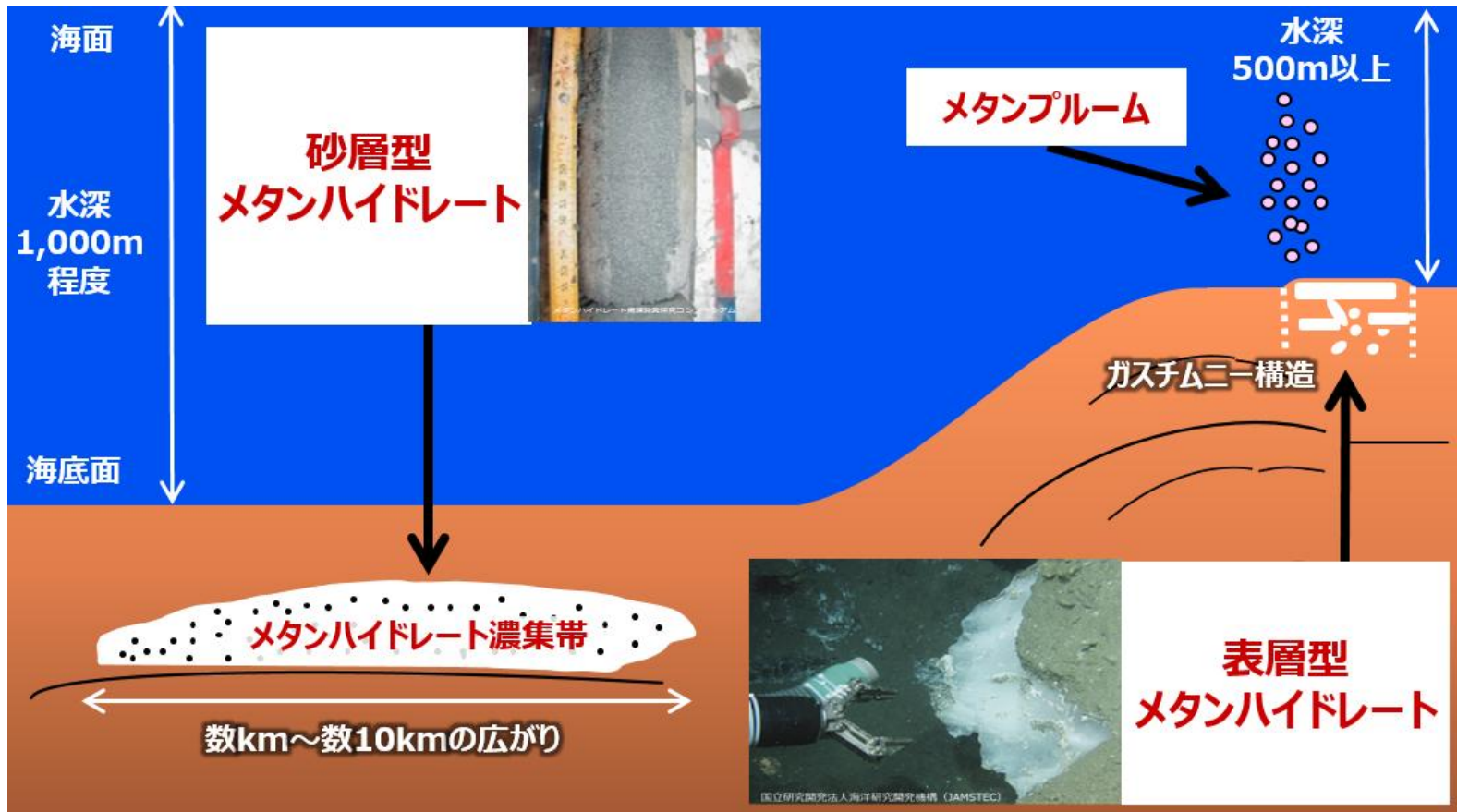


経済産業省 資源エネルギー庁HPより

(出典) メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムより

# メタンハイドレートとは

日本周辺海域に賦存するメタンハイドレートは、主に2つの賦存形態が確認されている。



## ① 砂層型メタンハイドレート

水深500m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し、主に東部南海トラフ海域を中心に賦存が確認されている。

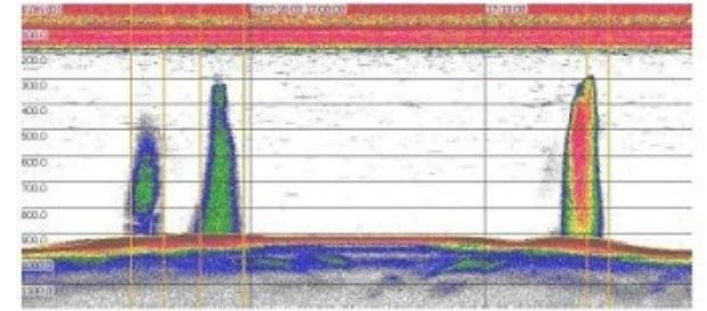
## ② 表層型メタンハイドレート

水深500m以深の海底面及び比較的浅い深度の泥層内に塊状で存在し、主に日本海側を中心に賦存が確認されている。

経済産業省 資源エネルギー庁HPより

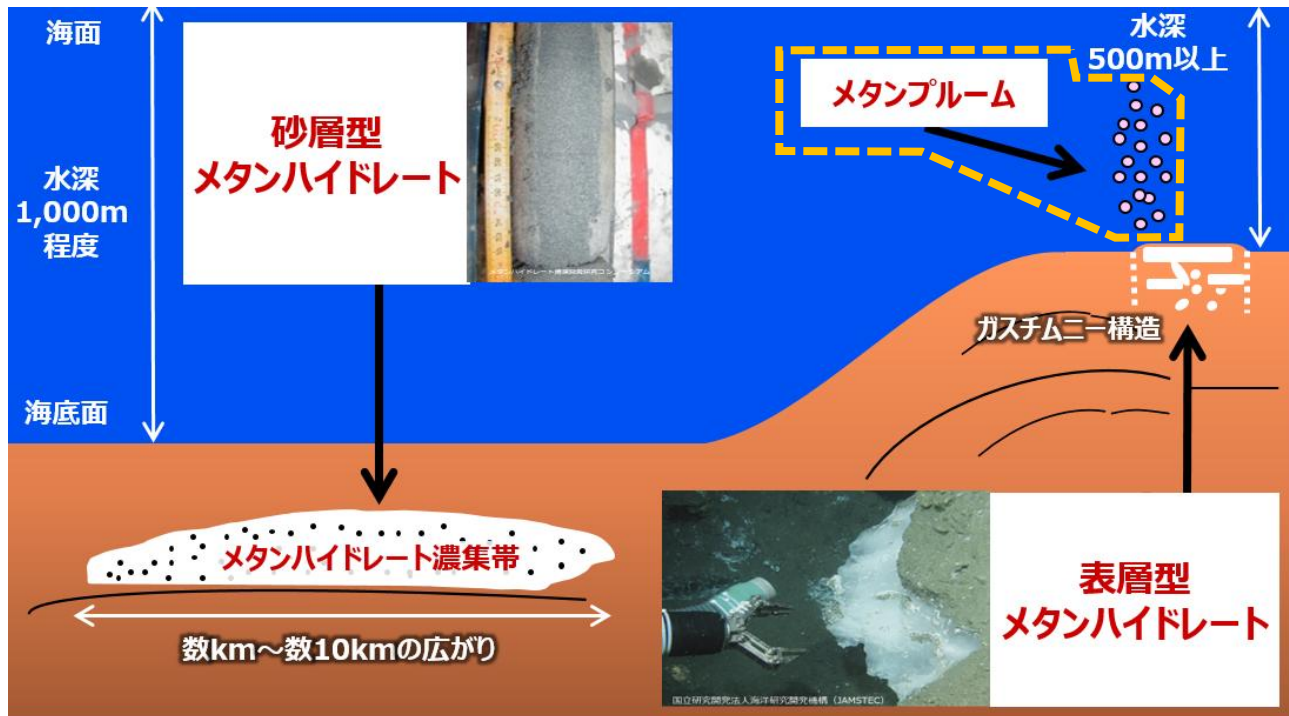
# メタンブルームとは

メタンブルーム（英: methane plume）とは、海底から湧出した（メタン）ガス、あるいはハイドレート被膜のガスのバブル群がつくる柱状の上昇流です。計量魚探などの音響機器により、これらのバブル群の上昇流を計測して図化すると右図のように柱状に示されます。通常、海底から湧き出たメタンガスは直ぐに海水に溶けるが、一定の条件下（低温、高圧）ではハイドレート化して浮上する。



【メタンブルーム観測画像（2007年日本海側にて観測）】

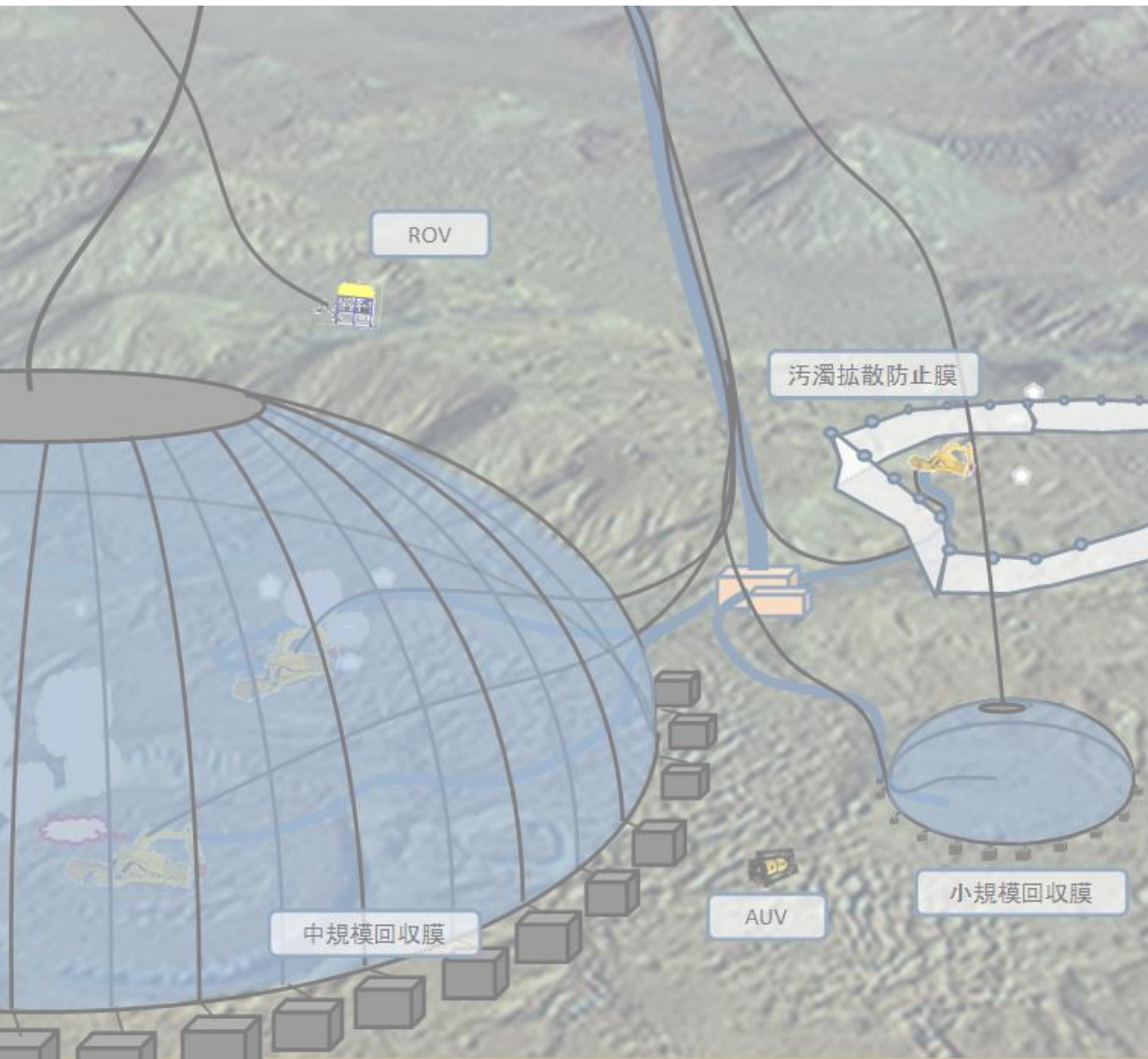
（株）独立総合研究所 メタンハイドレート賦存状況報告書より



経済産業省 資源エネルギー庁HPより



# 目次



メタンハイドレートとは

膜構造物の利活用とは

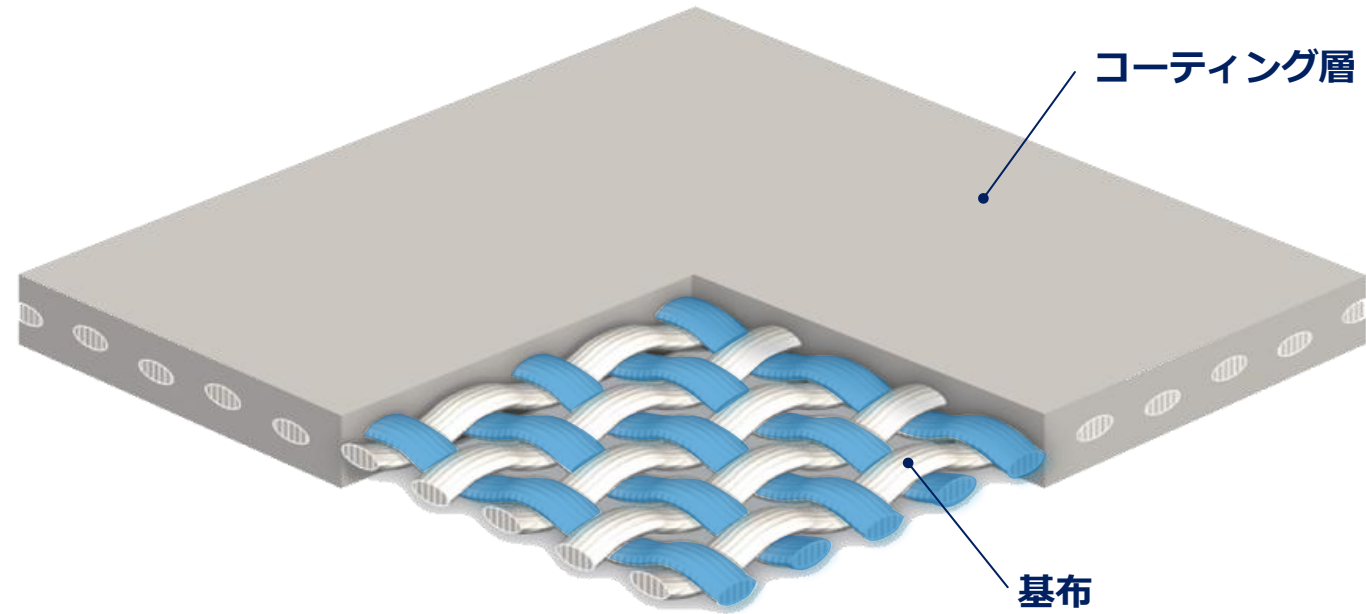
メタンハイドレート粒子の流動性検証

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

# 膜材料について

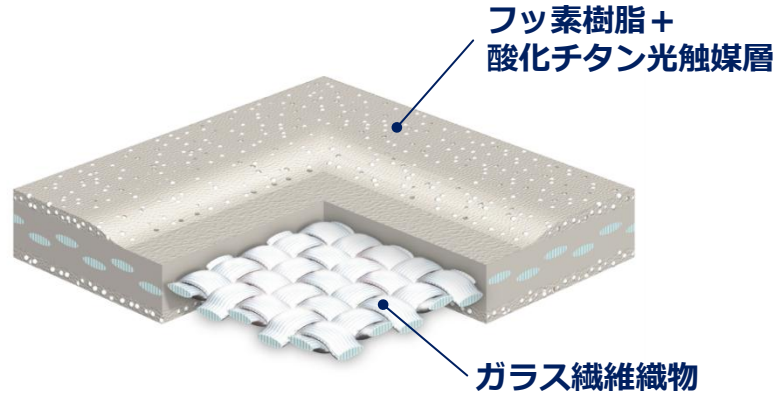
## ● 膜材料の基本構成図



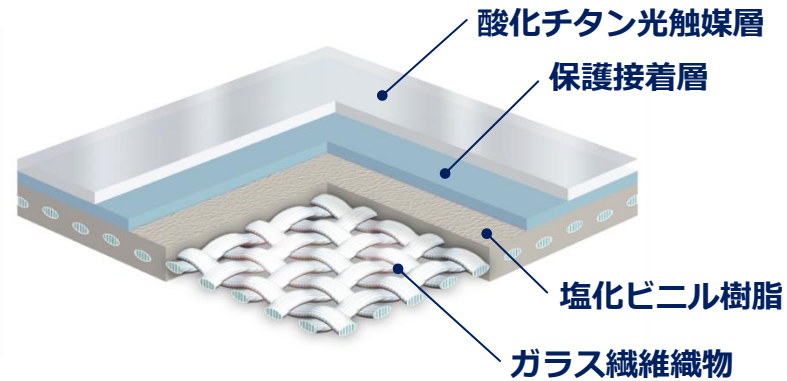
- ・ 基布にはタテ糸（青）とヨコ糸（白）があり、糸方向によって引張剛性が異なります。
- ・ タテ糸とヨコ糸の繊維本数を変えることで強度を変化させることができます
- ・ 基布は引張強度や剛性を負担し、コーティングは耐久性や防汚性能を負担します。
- ・ 膜材製品の大きさはヨコ糸方向は 2~3.8m、タテ糸方向は 100~300mで製造されます。

# 膜材料について

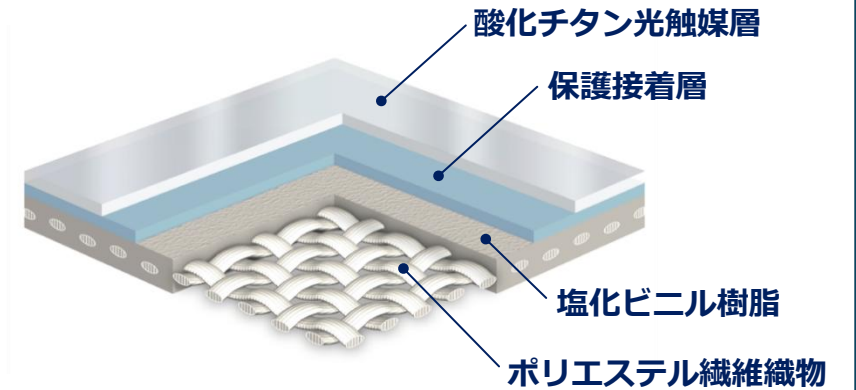
## A種膜材



## B種膜材

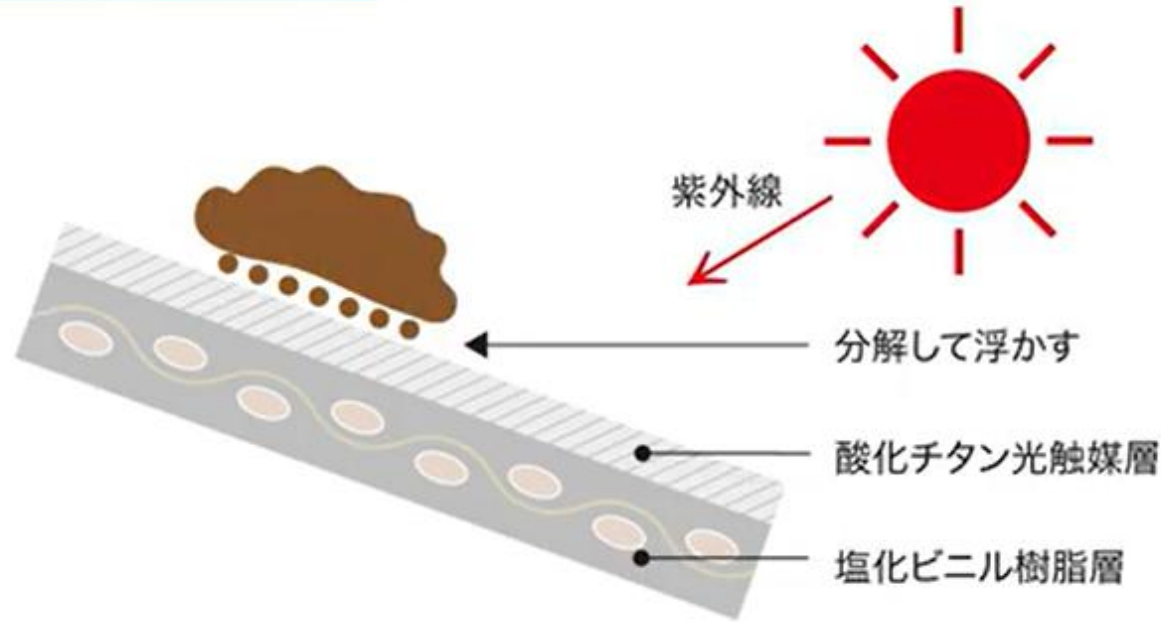


## C種膜材



# 酸化チタンコーティング

白さを保つ仕組み



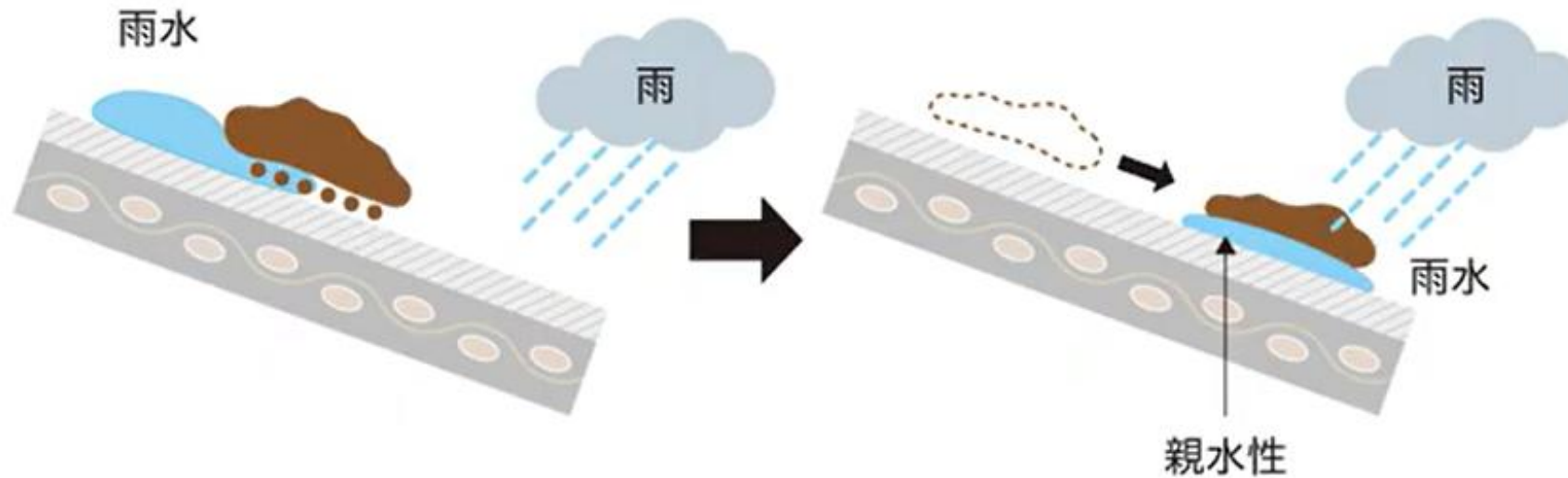
## ① 太陽光を吸収して表面の汚れを分解

【ふしぎ地理雑学百科 | ジオ・ログ；

[大阪万博会場を散歩するだけで楽しめる！パビリオンの建設秘話 | 世界的「膜」企業が挑んだ世界初の挑戦の数々を地理教師が聞いてきた](#)】より

# 酸化チタンコーティング

白さを保つ仕組み



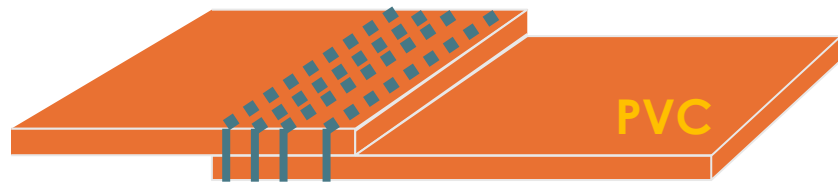
## ②雨水で汚れを洗い流す

【ふしぎ地理雑学百科 | ジオ・ログ；

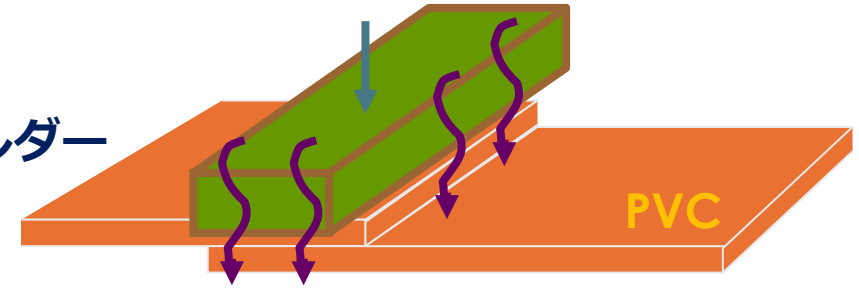
[大阪万博会場を散歩するだけで楽しめる！パビリオンの建設秘話 | 世界的「膜」企業が挑んだ世界初の挑戦の数々を地理教師が聞いてきた】より](#)

# 膜材の加工方法

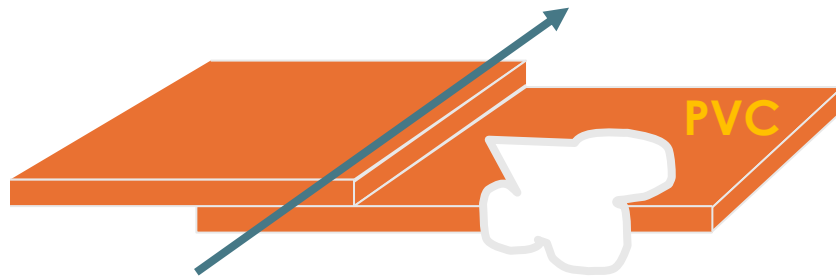
ミシン縫製



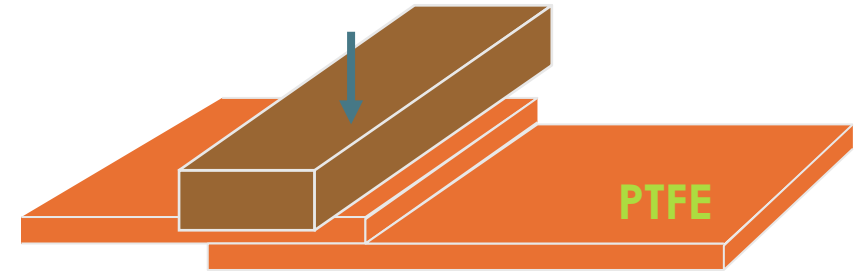
高周波ウェルダー



熱風溶着



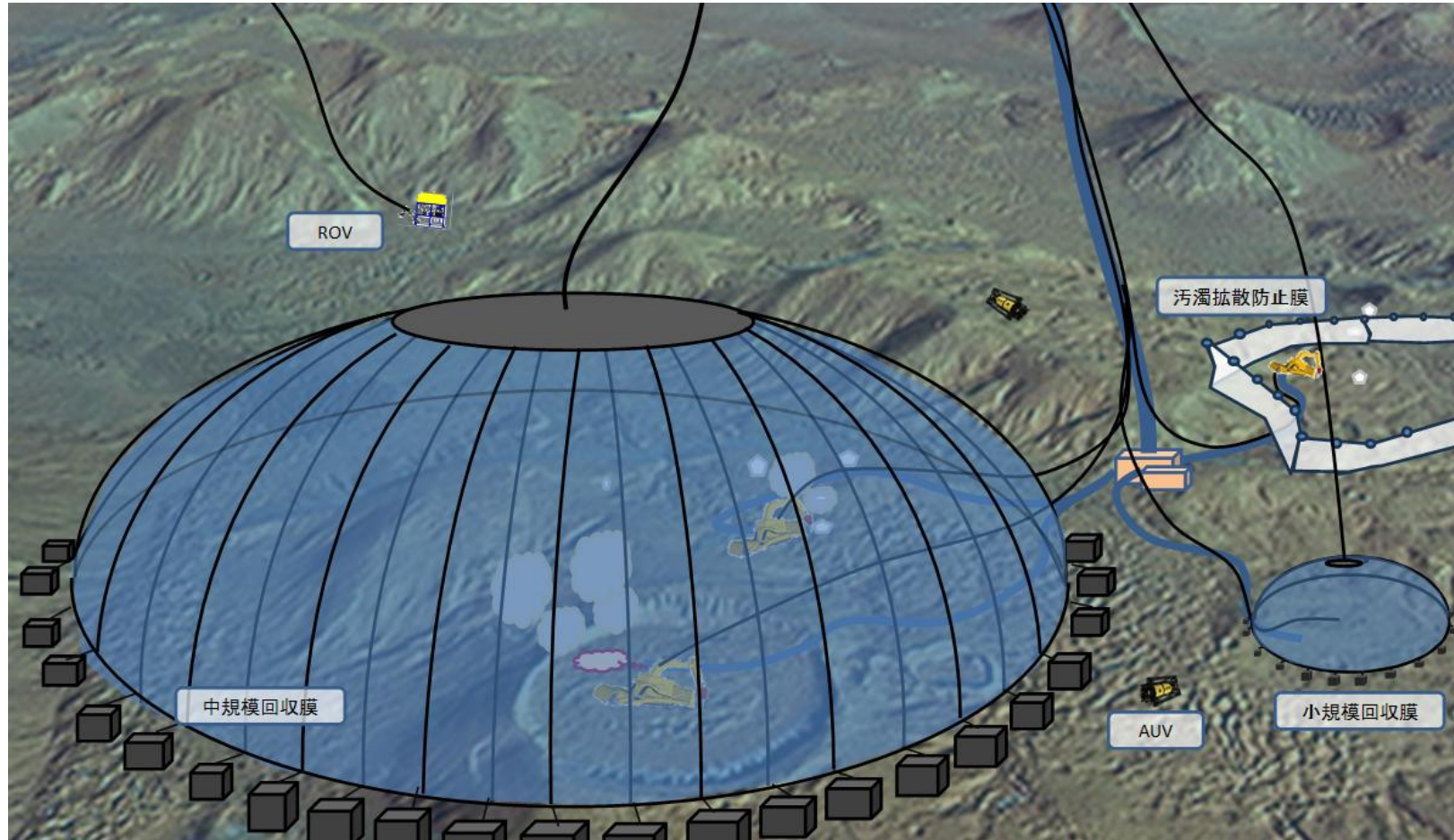
熱板溶着



# 膜構造の利活用

# 膜構造の利活用とは

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（メタンブルーム）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



# 表層型メタンハイドレート回収技術の研究

- 国立研究開発法人産業技術総合研究所より委託研究
  - 国立大学法人 東京海洋大
  - 国立大学法人 新潟大学
  - 国立大学法人 九州大学
  - 太陽工業株式会社

# 国立研究開発法人産業技術総合研究所より委託研究 表層型メタンハイドレート回収技術

浮力 ; Bf (メタンガス ; 気体、MH (メタンハイドレート) ; 固体) ; 有  
 $Bf = (\rho_f - \rho_s) V g \quad \Rightarrow \text{メタンガス} ; 10.1V \text{ (kN)}$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \Rightarrow \text{MH} ; 1.18V \text{ (kN)}$

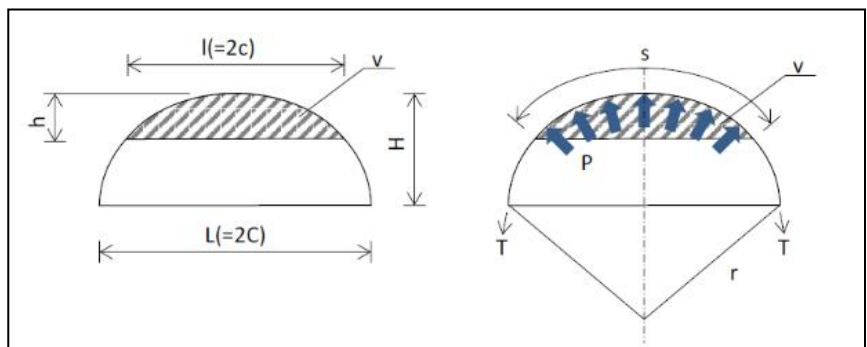
ここで、  
 $\rho_f$  ; 海水の密度 1,020~1,030 (kgf/m<sup>3</sup>) → 採用値 1,030  
 $\rho_s$  ; メタンガスの密度 0.717 (kgf/m<sup>3</sup>)  
 MH の密度 910 (kg/m<sup>3</sup>)  
 V ; メタンガス、MH の体積 (m<sup>3</sup>)  
 g ; 重力加速度 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)

『簡易式』

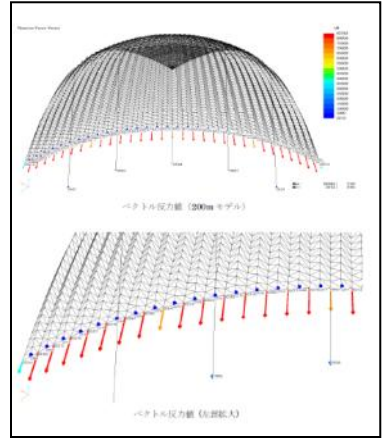
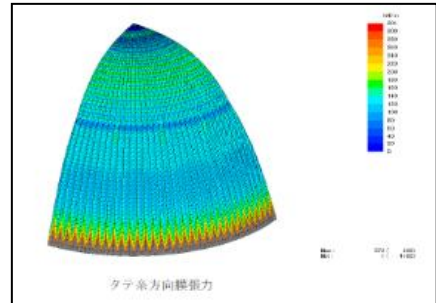
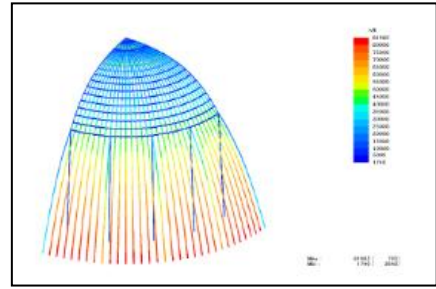
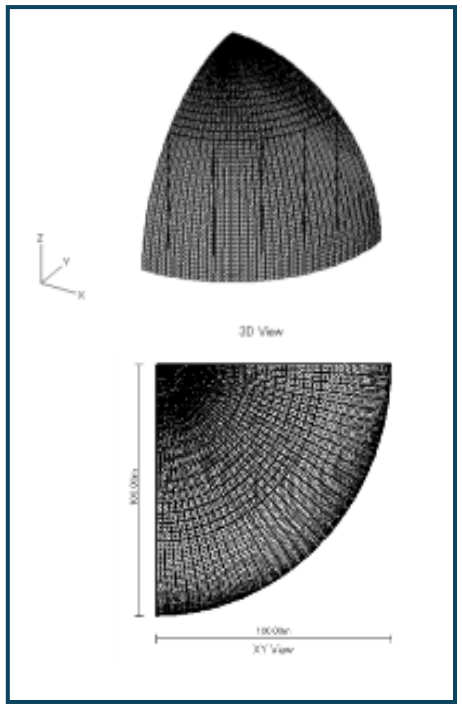
$$T = \frac{pr}{2}$$

$$v = \frac{\pi}{6} h(3c^2 + h^2)$$

$$s = 2\pi rh$$



## 『詳細解析』

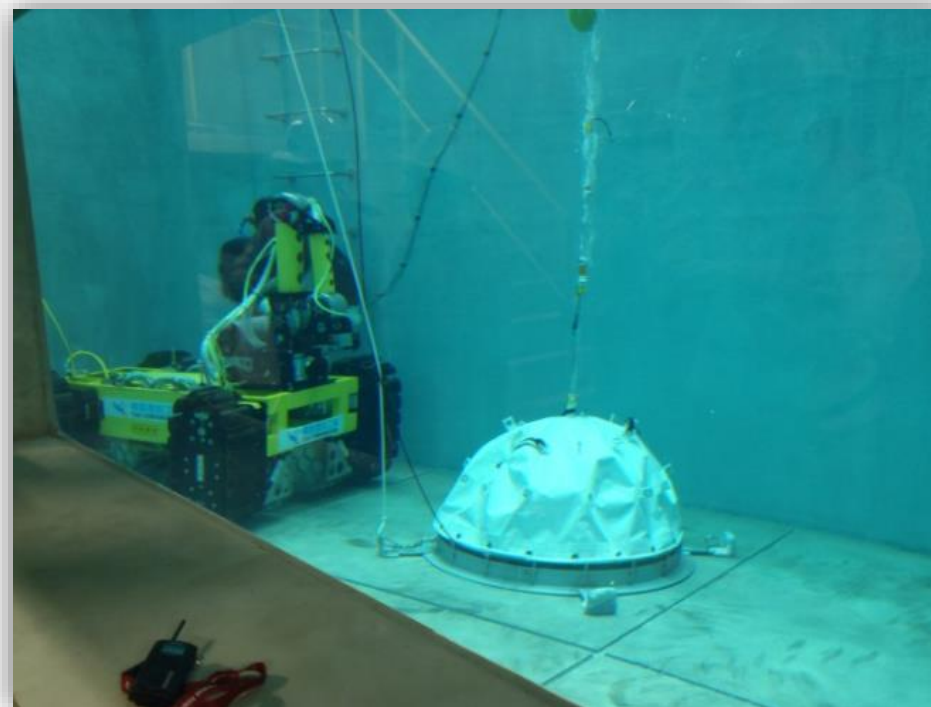
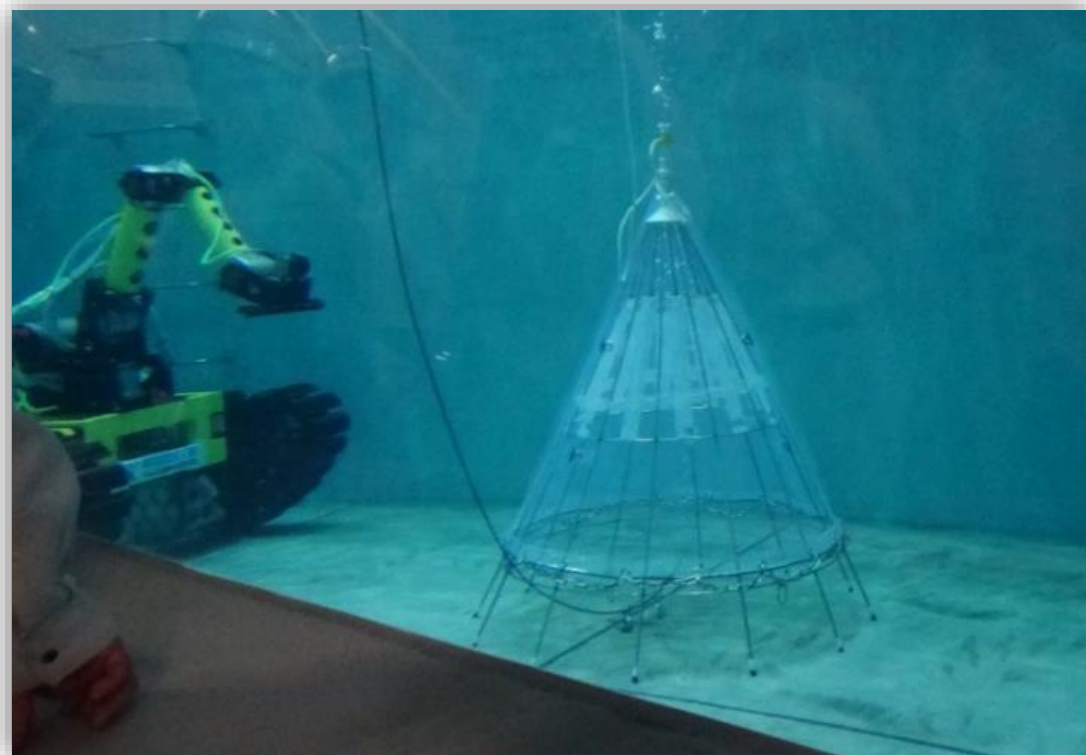


有限要素法により荷重増分法とニュートンランプソン法を組み合わせる幾何学的非線形問題として解析

# 国立研究開発法人産業技術総合研究所より委託研究 表層型メタンハイドレート回収技術

平成29年度より 大型水槽実験

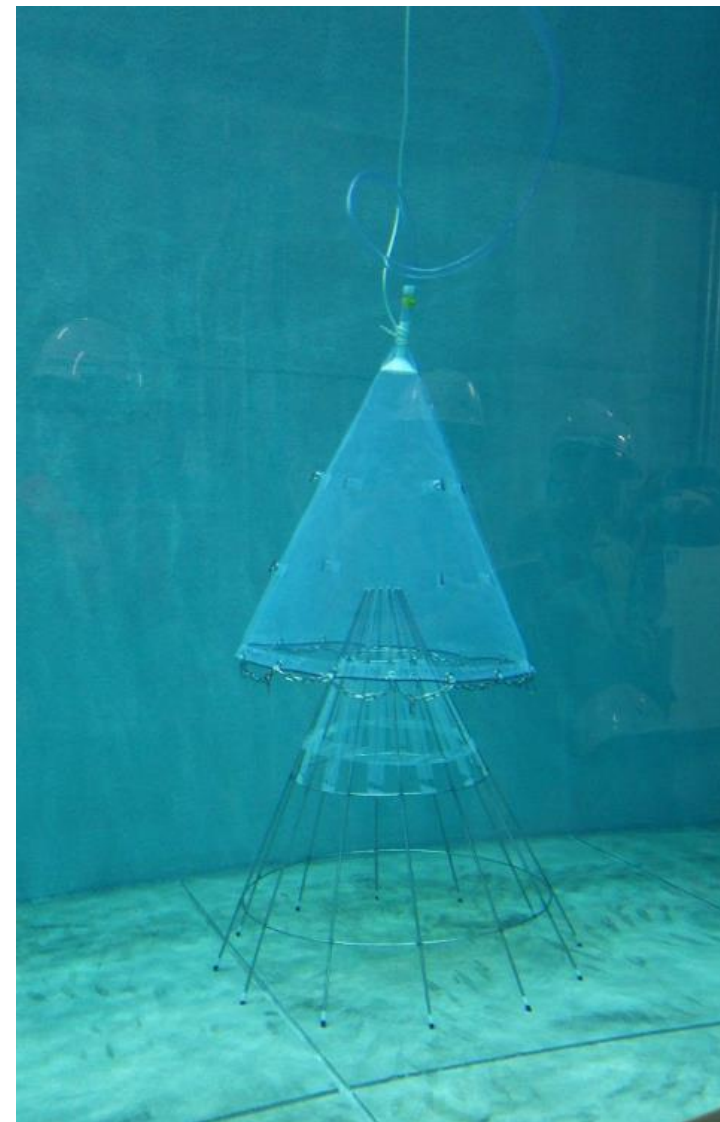
実験装置；神奈川県横浜市  
東亜建設工業(株) 技術開発センター  
(水深5m水槽)



# 国立研究開発法人産業技術総合研究所より委託研究 表層型メタンハイドレート回収技術

平成29年度より 大型水槽実験

実験装置；神奈川県横浜市  
東亜建設工業(株) 技術開発センター  
(水深5m水槽)

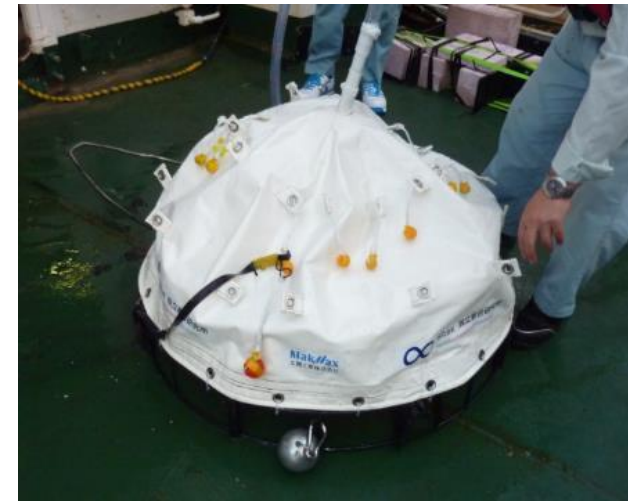
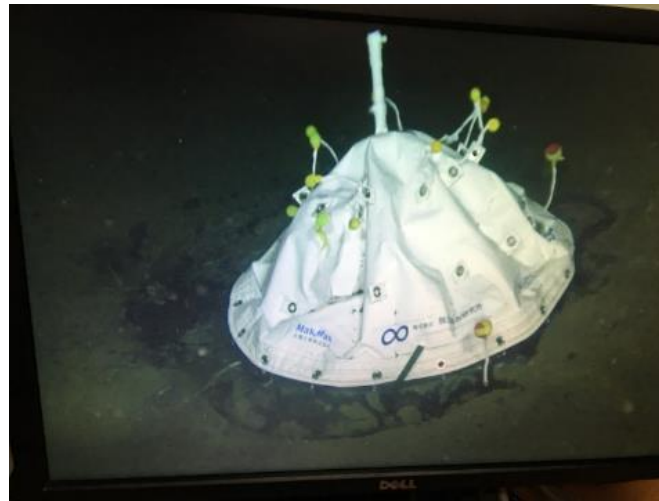


# 新潟県沖調査

# (株式会社独立総合研究所)

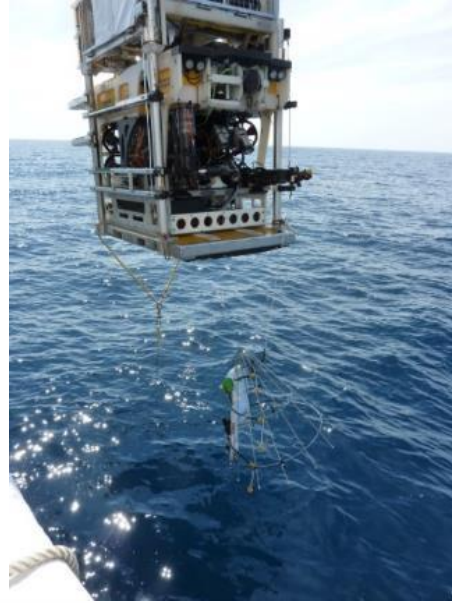
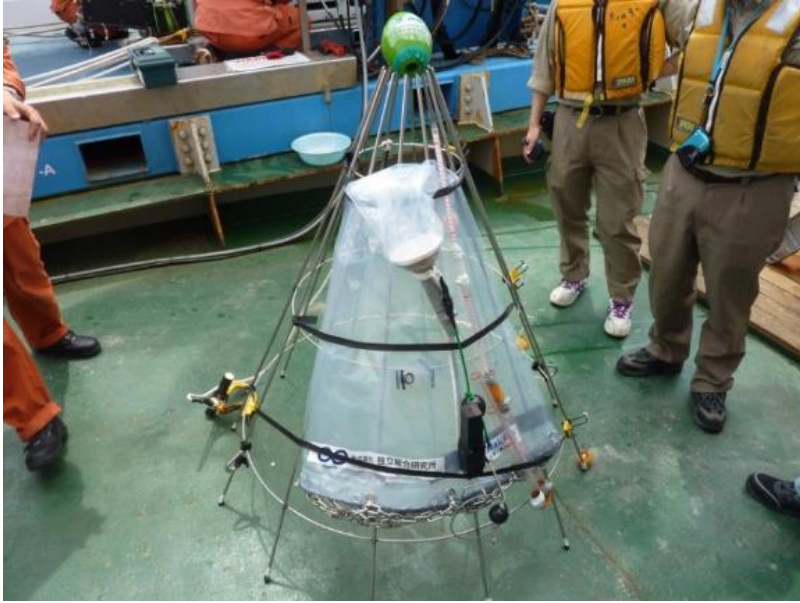


- 調査日；平成29年6月6～10日
- 観測海域；佐渡南西沖
- (ROV潜航) (水深 約900m)



# 新潟県沖調査

# (株式会社独立総合研究所)



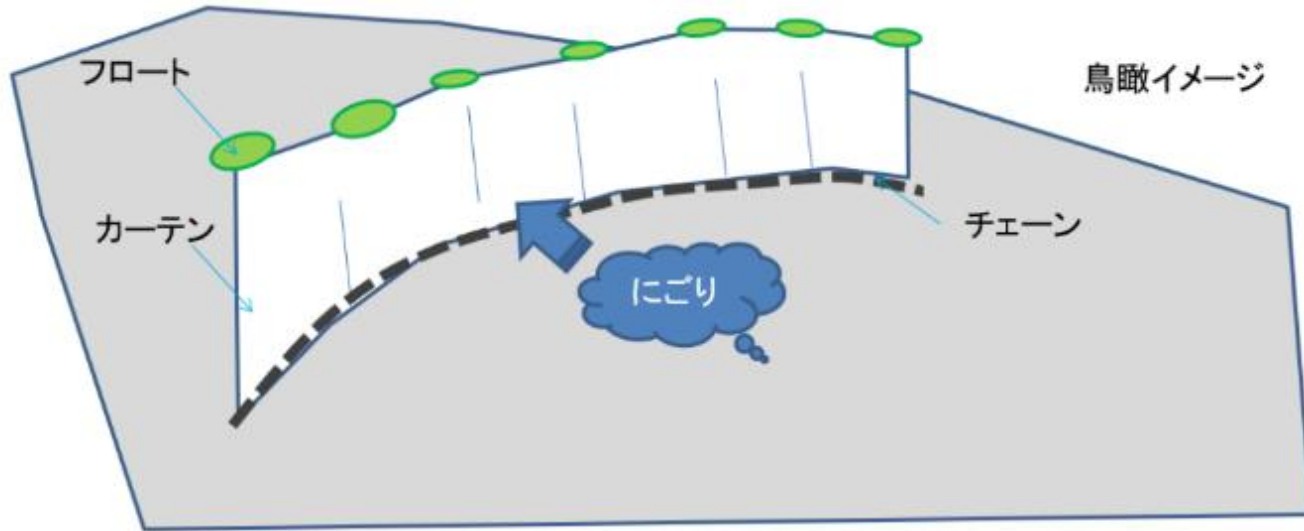
- 調査日；平成29年6月6～10日
- 観測海域；佐渡南西沖
- (ROV潜航) (水深 約900m)



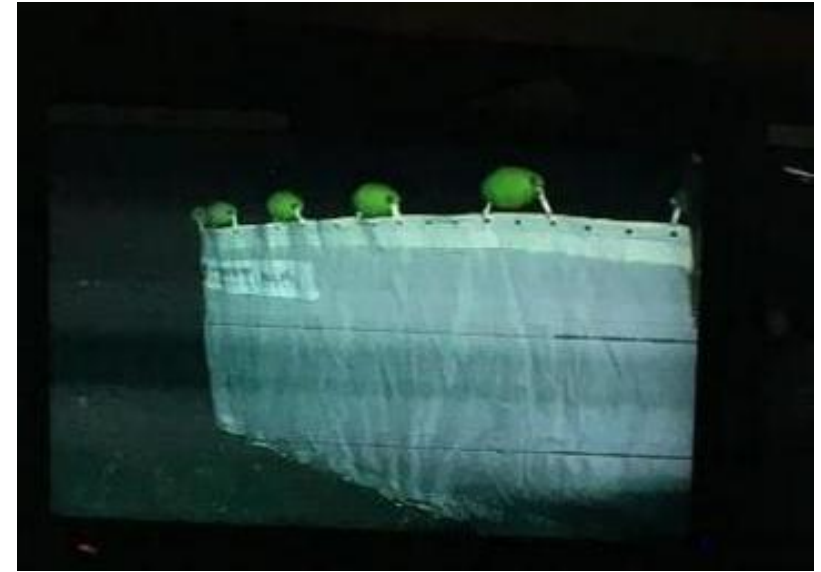
# 新潟県沖調査 (株式会社独立総合研究所)

## 汚濁防止膜の設置、効果確認

断面イメージ



- 観測海域；佐渡南西沖
- (ROV潜航) (水深 約900m)



# 新潟県沖調査

# (株式会社独立総合研究所)

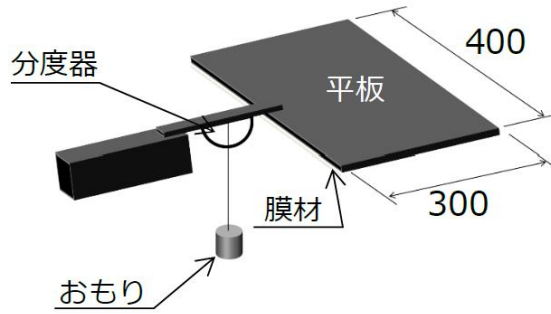


図-4 実験に使用した付着角度測定

観測海域；新潟県上越市沖（ROV潜航）水深 892m付近



図-6 噴出箇所に水平に設置



図-7 メタンハイドレートの付着の確認後、平板の角度を変化させる



図-8 メタンハイドレートが膜材から剥離した際の角度を測定する。

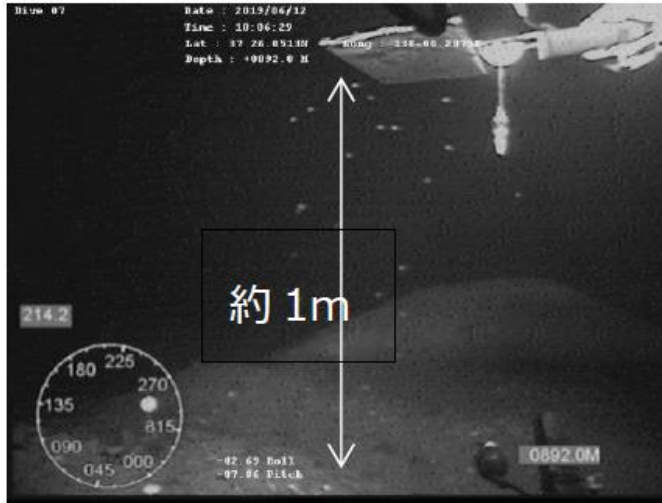


図-5 噴出箇所に水平に設置  
海底面からの高さは約 1.0m

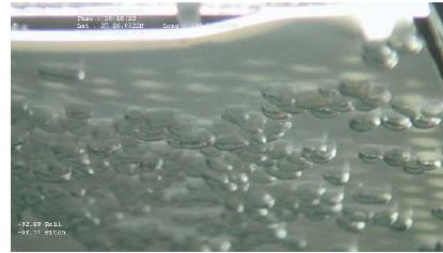


図-9 膜材に付着したメタンハイドレート  
気泡からメタンハイドレートに変化



図-10 メタンハイドレートの付着状況

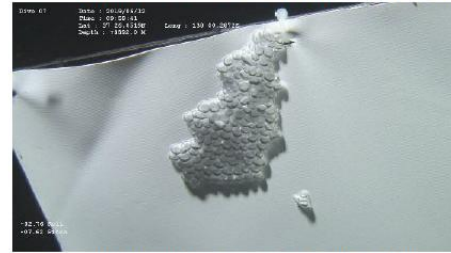
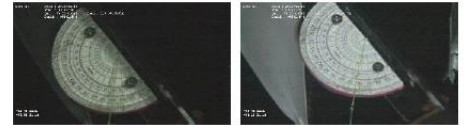


図-11 膜材に付着したメタンハイドレート



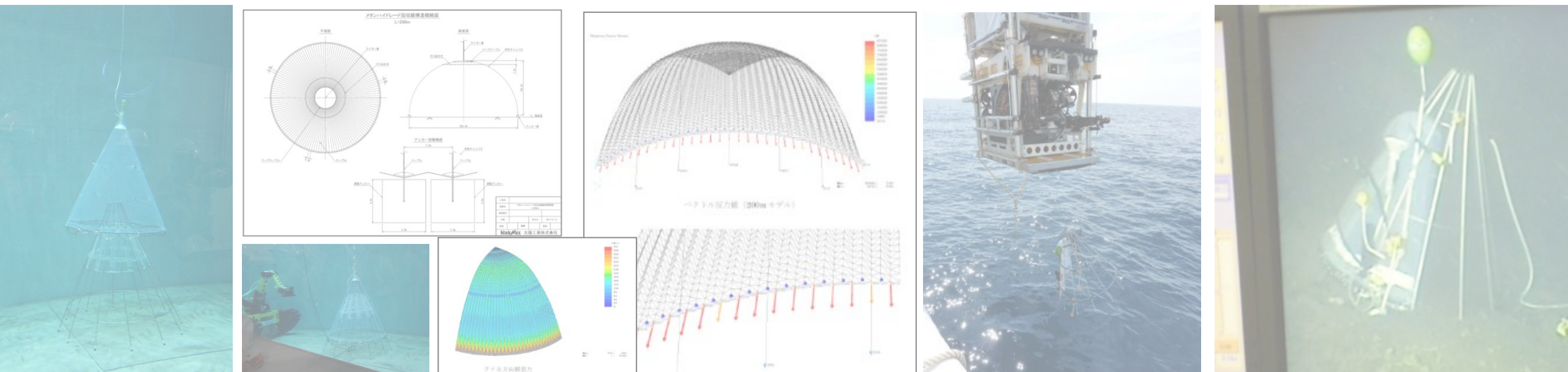
図-12 付着したメタンハイドレート

メタンハイドレートの粒同士が付着し何層にも重なっている。  
気泡の外側の一部がハイドレート化しているように見える。  
粒の大きさは 4~6mm の楕円形状のものが多く見られる。



平板からメタンハイドレートが剥離した際の角度  
1回目 41° (水平面となす角度 49°)  
2回目 44° (水平面となす角度 46°)

# 膜構造の利活用とは



産総研委託研究と株式会社独立総合研究所の調査、実験に参加



# 膜構造の利活用とは

## 表層型メタンハイドレートの回収技術に係る有望技術の特定について

- 平成28年度から3年間実施した表層型メタンハイドレートの回収技術の調査研究を踏まえ、令和元年度に要素技術毎に有望技術を特定した。
- 要素技術の研究開発のみならず、生産システムとしての検討も実施する。

### 要素技術

#### 採掘技術

大口径ドリルを用いた方式と縦掘型掘削機を用いた方式の技術開発を実施。

【大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式】

・三井E&S造船グループ

【吊り下げ式縦掘型掘削機方式】

・三菱造船グループ

#### 分離技術

船上分離方式と海底分離方式の技術開発を実施。

【船上分離方式】

・三井E&S造船グループ

【海底分離方式】

・三菱造船グループ

#### 揚収技術

ガスリフト方式と水中ポンプ方式の技術開発を実施。

【ガスリフト方式】

・三井E&S造船グループ

【水中ポンプ方式】

・三菱造船グループ

### 共通基盤技術

要素技術との組み合わせの検討や生産システムとしての検討を行う上で必要な技術開発を実施。

【膜構造物の利活用】

・東京海洋大学グループ

【貯留層物性・MH分解挙動の検

・鳥取大学グループ

要素技術開発や生産システムの検討に必要な調査・研究を実施。

【海洋調査・環境影響評価等】

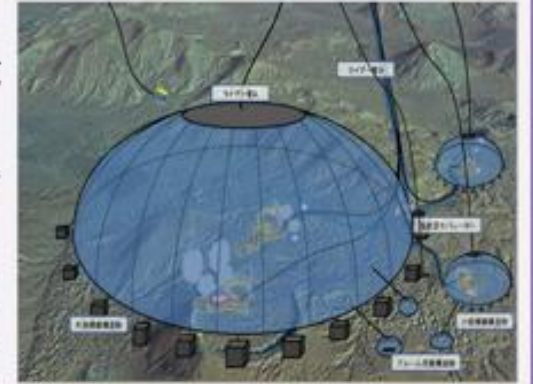
・産業技術総合研究所

## 共通基盤技術

### 膜構造物の利活用

#### 技術の概要

- MHが賦存する海底面にドーム状の膜構造物を設置。
- MH回収時などに湧出するメタンガス（メタンブルーム）を回収するとともに、泥や砂などの拡散を低減させることが可能。



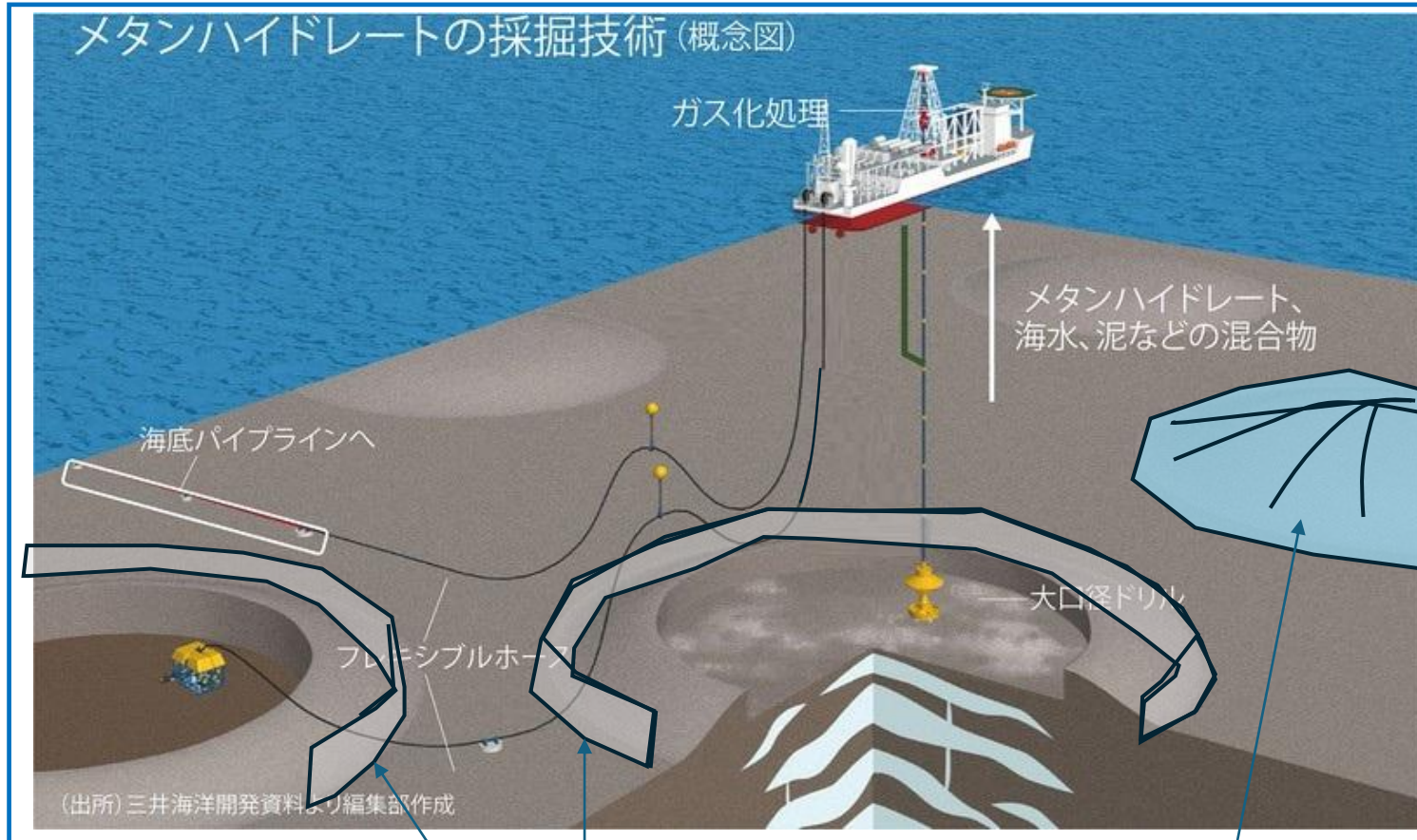
#### 評価委員会における主な評価コメント

- 本技術は、他の実施機関が検討していない提案であり、MH回収時に付随するガスの処理技術として検討する価値が認められる。また、環境面においても、採掘時のガス回収や泥・砂等の拡散の防止を目的とした利活用が考えられる。

産総研 発表資料より

**来年度以降、要素技術毎の研究開発を行うとともに、生産システムの検討を実施。  
今後、研究開発ステージ毎に評価し、生産システムとして最も優れた組み合わせの検討を実施。**

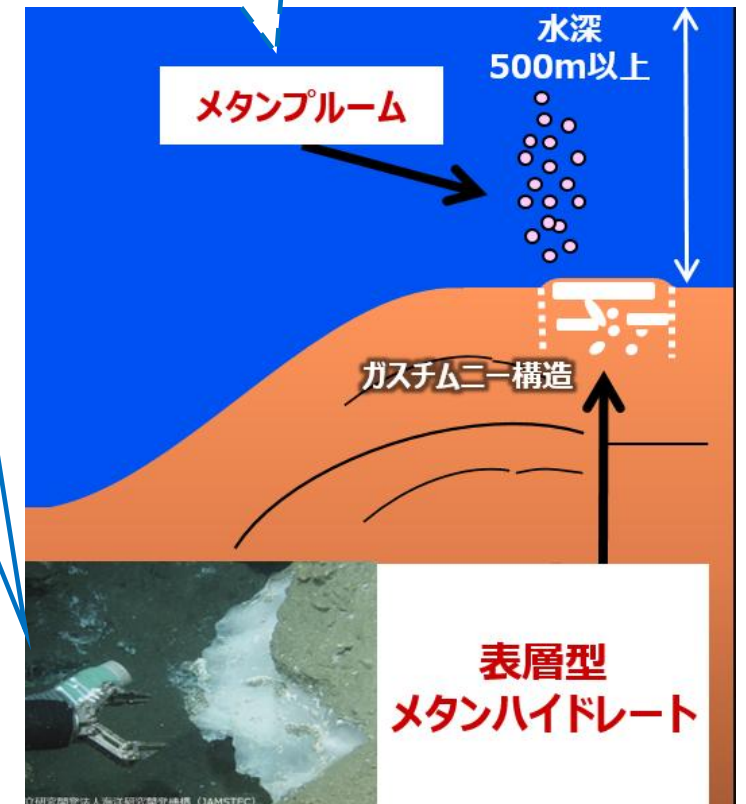
# 膜構造の利活用とは



汚濁防止膜

回収膜 (一次養生)

回収膜



# 膜構造の利活用とは

膜構造物の利活用に関する技術開発 【東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業(株)】 



国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレート研究開発事業  
(メタンハイドレートの研究開発)：膜構造物の利活用に関する技術開発

膜構造物の設計・施工に関するガイドライン (案)

2023 年度版

東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業

左；産総研 発表資料より

# 膜構造の利活用とは

2018～2023年

## 膜構造物の設計・施工に関するガイドライン（案）を作成

国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレート研究開発事業

(メタンハイドレートの研究開発)：膜構造物の利活用に関する技術開発

### 膜構造物の設計・施工に関するガイドライン（案）

2023 年度版

東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業

### 3章 膜構造物の設計

#### 3.1 回収膜

回収膜は、表層型メタンハイドレートからのガス生産時に付随して未回収となるメタンガスがあった場合に適用するメタンガスを回収する膜構造物である。

回収膜は、膜材部とフレーム部、及び固定部から構成される。

##### ○膜材部

膜材部はメタンガスを回収、もしくは一次的に滞留させるための部位である。設置場所における潮流を把握し、メタンガスの浮力などを考慮した上で深海における要求性能を満たす膜材を決定する。

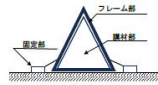


図 3.1-1 イメージ例

##### ○フレーム部

フレーム部は回収膜の形状を維持、安定させる構造部であり、主として鉄骨部材やケーブル材などの剛構造物とする。

##### ○固定部

固定部材は回収膜を設置場所に安全にとどめるための部位である。

回収膜は使用方法、設置場所により形状や大きさが検討され決定される。回収膜の形状例を図 3.1-2 に示す。



図 3.1-2 回収膜の形状例

回収膜は使用方法、施工方法によっては、沈降時には収納した形状で水の抵抗を減らし、着底後・設置時に展開する機能を有する機構が必要となる場合がある。そういった回収膜には収納性と展開性を留意する必要がある。

##### ○収納性能

深海まで沈降させる際に回収膜を展開していた場合、水の抵抗力が構造体に作用する。沈降時は水中と接する面積を可能な限り小さく収納する必要がある。また設置期間を終え回収

ならびに環境再現試験装置での検証方法により決定することができる。焼結性については実測データが無いため、現時点で焼結の速度や強さについて適切な値を設定するのは難しい。

膜構造物内のメタンハイドレート粒子挙動の数値シミュレーションのための入力情報は以下の通りである。

1. メタンハイドレート粒子の流出フラックス
2. メタンハイドレート粒子の密度等の物性値
3. メタンハイドレート粒子の粒径
4. メタンハイドレート粒子の抗力特性
5. メタンハイドレート粒子の対粒子および対膜面への付着性および焼結性
6. 膜構造物の形状

数値シミュレーションにより得られる出力は以下の通りである。

1. メタンハイドレート粒子の膜構造物へ付着、堆積状況
2. メタンハイドレート粒子の回収率

これらのデータを基にして、膜構造物への付着・堆積性を分析することで、膜構造物形状の最適化を図ることが可能となる。

#### 3.2 汚濁防止膜

汚濁防止膜は、表層型メタンハイドレートからのガス生産に伴う環境影響を低減する（周辺環境への濁りの拡散を防止する）ための膜構造物であり、汚濁粒子の沈下を促進させ、汚濁の拡散を適切に防止する機能を有するものとする。

汚濁防止膜は、海底に設置されたアンカー部とカーテン部、及びそれを自立させるためのフロート部から構成される。

##### ○フロート部

フロート部は浮力により汚濁防止膜を垂直方向に安定させるための部位であり、組立、移送、使用時のコスト削減および流木等による外傷等に配慮して、要求される性能を満足する必要がある。また、深海環境下においての耐圧性能および設置期間を考慮した耐久性能をもつフロート部を選定する。

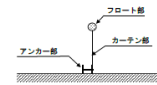


図 3.2-1 イメージ例

##### ○カーテン部（膜材）

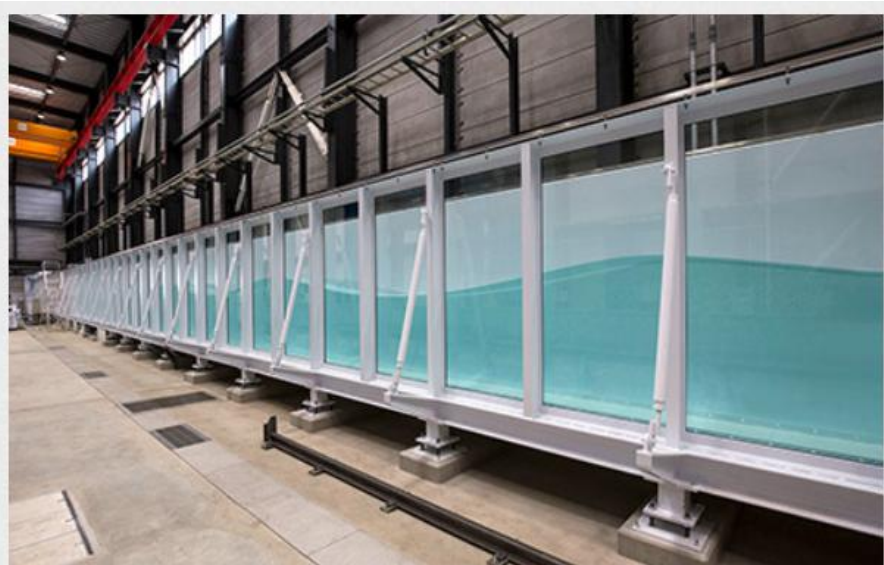
カーテン部は直接に汚濁の拡散を防止するための部位であり、深海における耐久性、耐摩性、耐薬品性、耐腐食性、乾燥強度保持性等を総合的に充足するものとする。また、設置場所

### 内容

1.章	はじめに	1
1.1	全般	1
1.2	適用範囲	1
2.章	膜材の選定	2
2.1	必要性	2
2.2	検証方法	2
2.2.1	引張強度、引裂強度	2
2.2.2	水中物質に対する化学耐性、深海における低温度耐	3
2.2.3	柔軟性、ブロッキング耐性	4
2.2.4	メタンガスの撻動性	4
3.章	膜構造物の設計	8
3.1	回収膜	8
3.1.1	設計外力	9
3.1.2	回収膜の応力検討	12
3.1.3	回収膜内のメタンハイドレート粒子挙動検討	14
3.2	汚濁防止膜	15
3.2.1	設計外力	16
3.2.2	汚濁防止膜の応力検討	16
3.2.3	汚濁防止膜の効果検討	17
3.3	膜構造物の基礎地盤	18
3.3.1	膜構造物のアンカー部の係留力（把駐力）	18
3.3.2	掘削などによる地盤挙動の関係	20
4.章	膜構造物の施工	22
4.1	回収膜	22
4.2	汚濁防止膜	22
5.章	膜構造物への対策	23
5.1	生物との共存	23
5.2	想定量以上のメタンガス滞留時におけるリスク回避措置	23
6.章	参考資料	24
6.1	膜材の選定 柔軟性、ブロッキング耐性 -曲げ剛性の実験例-	24
6.2	膜材の選定 メタンガスの撻動性 -通常気泡での実験例-	25
6.3	膜構造物の設計 回収膜の設計外力 -潮流荷重の算定（抗力係数）	27
6.4	膜構造物の設計 回収膜の設計外力 -施工時、使用時の荷重の算定（抗力係数）	28
6.5	膜構造物の設計 回収膜の応力検討 -ドーム形状の検討例-	30
6.5.1	解析方法	30
6.5.2	解析モデル	31
6.5.3	材料定数	32
6.5.4	設計荷重	32
6.5.5	応力解析	33
6.6	膜構造物の設計 回収膜内のメタンハイドレート粒子挙動 -検討例-	34
6.7	膜構造物の設計 汚濁防止膜 -構造例-	36
6.8	膜構造物の設計 汚濁防止膜の効果検討 -検討例-	37
6.8.1	解析の目的	37
6.8.2	解析の概要	37
6.9	膜構造物の設計 掘削などによる地盤挙動の関係 -検討例-	39
6.10	膜構造物の施工 -回収膜 小型ドーム形状の実験例-	41
6.11	膜構造物の施工 -汚濁防止膜の施工例-	44
6.12	膜構造物への対策 生物との共存 -調査、研究例の紹介-	47

# 膜構造の利活用とは

## 膜構造にかかる応力の検討 水中抵抗係数の測定実験

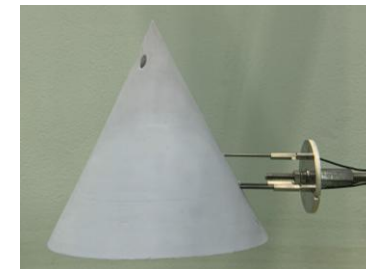
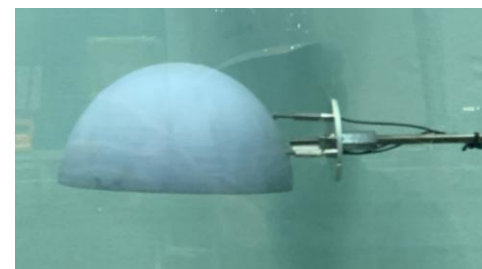
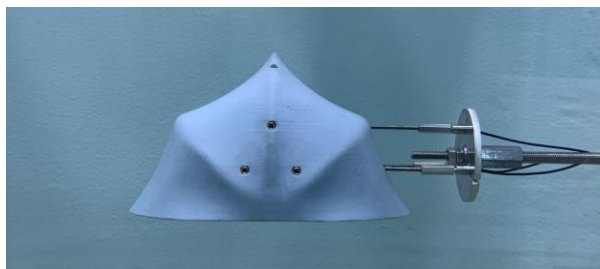
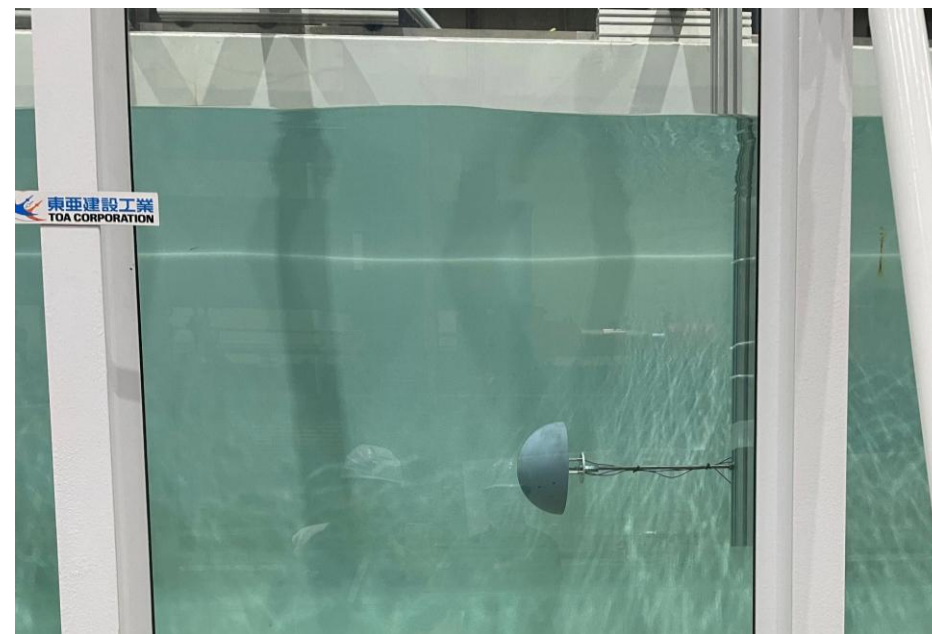


大型造波水路

■仕様

大型造波水路

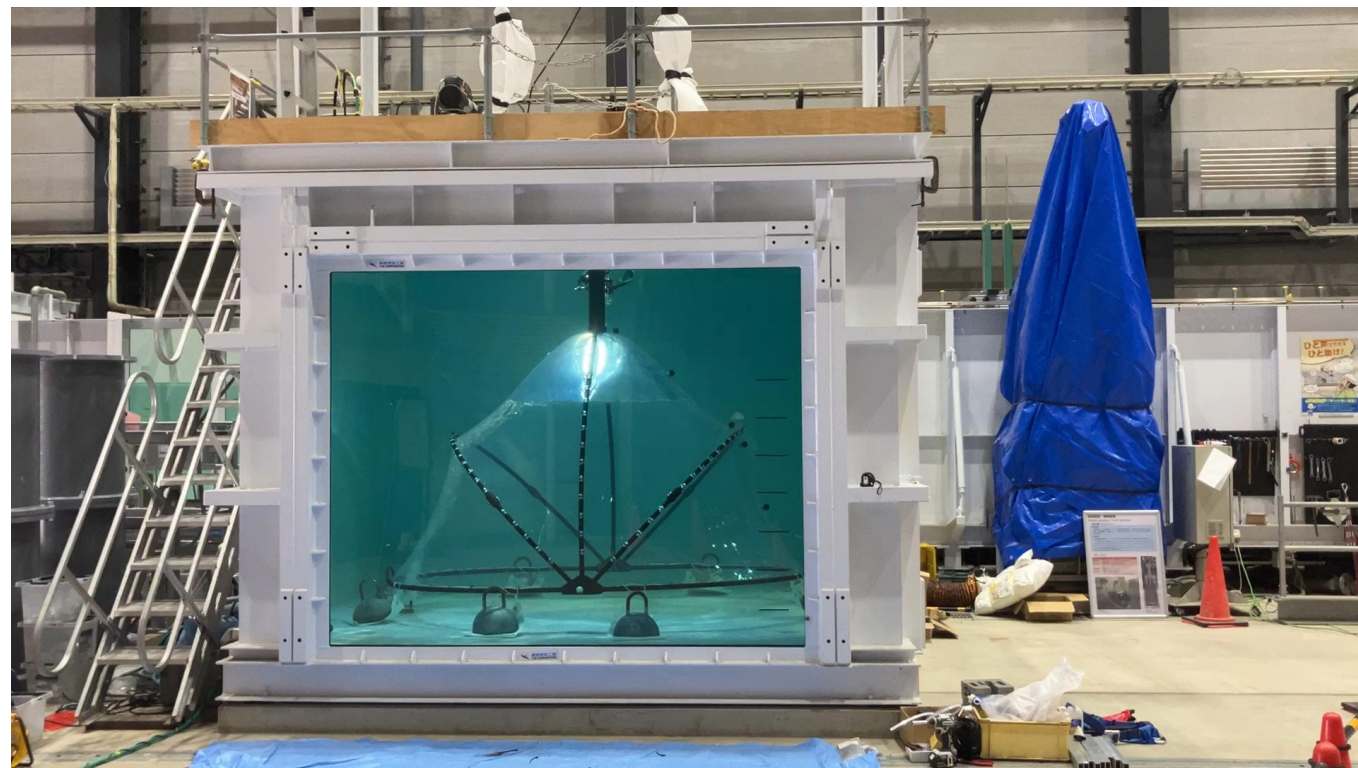
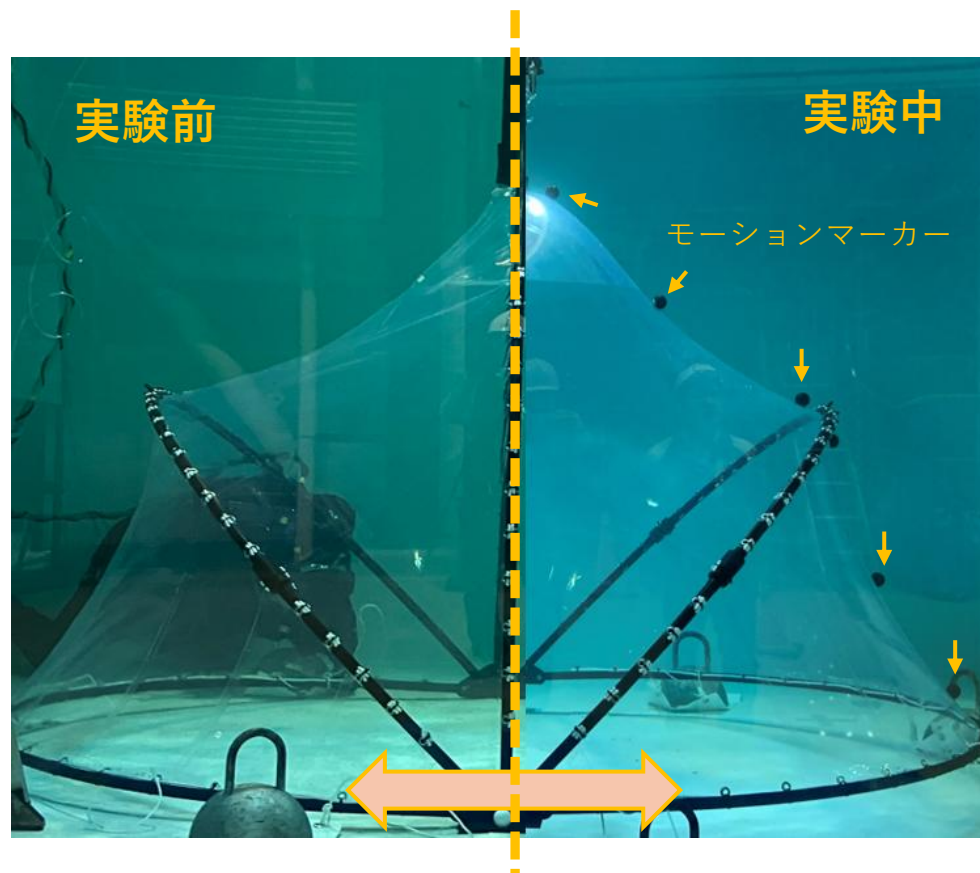
長さ60.0m × 幅1.0m × 高さ2.0m



実験装置；神奈川県横浜市  
東亜建設工業(株) 技術開発センター

# 膜構造の利活用とは

## 膜構造にかかる応力の検討 浮力体滞留時の挙動実験



実験装置；神奈川県横浜市  
東亜建設工業(株) 技術開発センター

# 膜構造の利活用とは

## ①膜材の選定

- 生分解性膜材の調査・検討
- 耐久性・強度などについてスクリーニングを行い、海底環境下での最適な膜材選定
- 膜材の機能低下（劣化、汚れ）に関する原因と、その対策に関する検討、解析
- 膜材のメタンハイドレート流動性

## ②膜構造の設計

- 海底環境下にて膜材の耐久性・強度などに関する長期の検証試験を実施するための計測データの項目、計測手法や計測期間の検討
- 設置範囲を最小とした上で最大の効果が期待できる汚濁防止膜のサイズや配置について検討

## ③膜構造の施工

- 海上からの輸送、海底での設置、移動、海底からの回収をできるだけ簡単な作業で行えるシステムを検討
- 施工(輸送)に係る作業に関して、輸送時の流体抵抗や輸送時間などの施工に必要な情報に関して水槽実験などを通して必要なデータ取得

## ④膜構造への対策

- 生物環境への影響を抑えるための生物の忌避行動の検証（音響の活用）

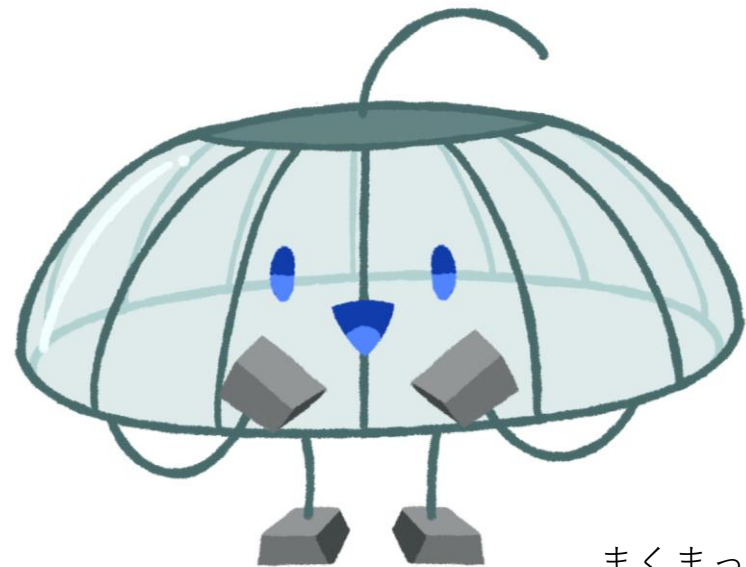


膜構造物の設計・施工に関するガイドライン（案）を更新

ご清聴ありがとうございました。



メタハイくん®



まくまっくん

本研究は、  
経済産業省「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業  
(メタンハイドレートの研究開発)」及び株式会社独立総合研究所との研究の一環として実施した。

関係各位に対し、謝意を表する次第である。

参照：

【表層型MHの研究開発】

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/index.html>