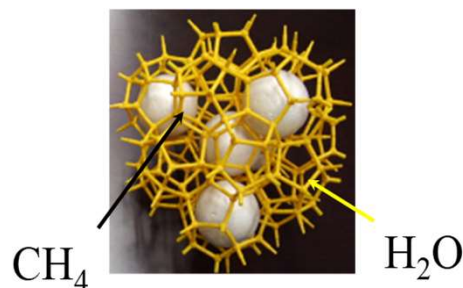


表層型メタンハイドレートの研究開発 生産技術の開発

—要素技術・共通基盤技術の開発概要—

- ・表層型MHの研究開発における生産技術の開発
- ・有望技術の特定
- ・回収・生産技術の開発(要素技術・共通基盤技術)



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

エネルギー・環境領域

エネルギープロセス研究部門

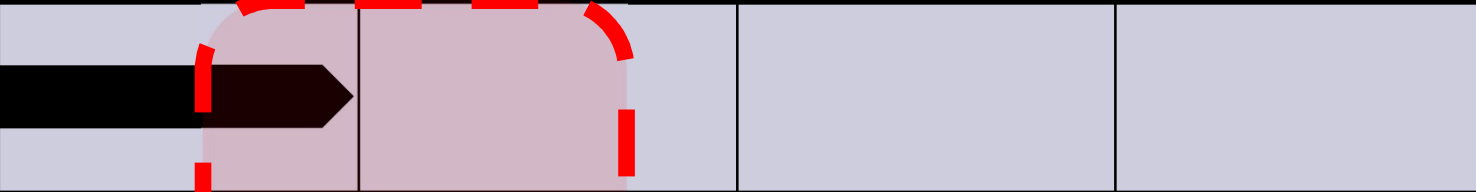
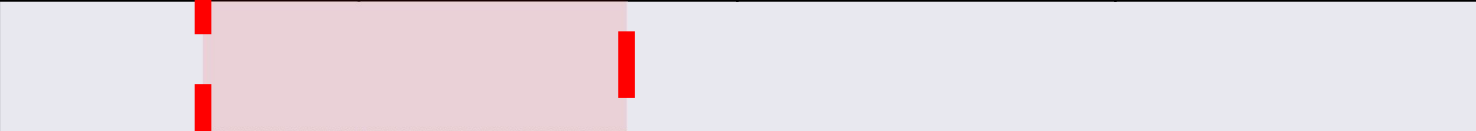
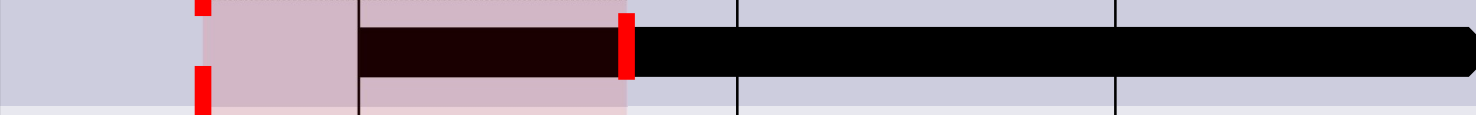

天満則夫

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業(メタンハイドレートの研究開発)」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。

【目標】

- 表層型メタンハイドレートの回収技術に関する調査研究成果の取りまとめ、評価を行い、有望な回収・生産技術を特定する。
- 表層型メタンハイドレートの回収・生産に係る要素技術等の研究開発を行い、成果の評価や検証等を通じて、生産システムの具現化に向けた検討を行う。

<実施スケジュール>

年度	2019	2020	2021	2022
調査研究の評価、技術の特定に向けた検討				
回収・生産技術の研究開発				
・要素技術開発				
・生産システムの検討				

「生産技術の開発」に関する進め方

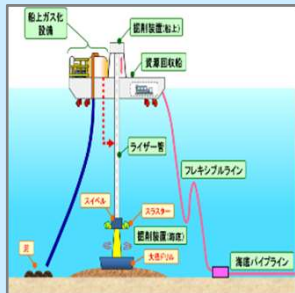
表層型メタンハイドレートの回収技術に関する調査研究

2016～2019年度
回収技術に関する
調査研究

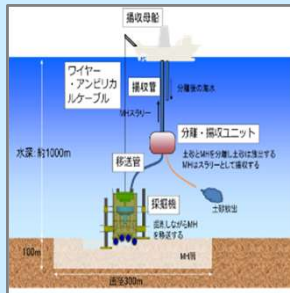
2019年度
調査研究
成果の評価

2019年度
有望技術の
特定

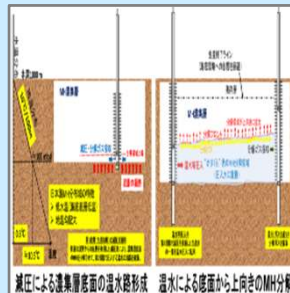
①資源回収船から垂直に掘削装置をつり下げて掘削する方法



②海底鉱物資源採取システムの原理を基にした回収方法



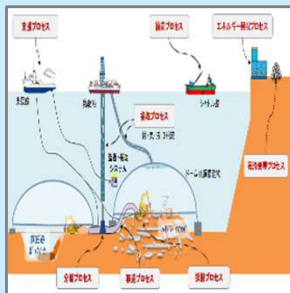
③地層内でメタンガスと水に分解させ、井戸からガスを生産する方法



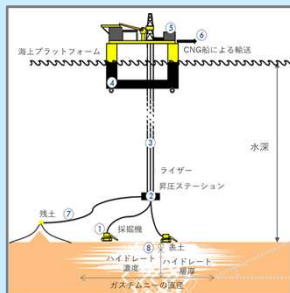
④閉鎖環境下でウォータージェットによってハイドレートを削り、回収する手法



⑤ドーム状の膜構造物を利用したメタンブルームを含めた回収手法



⑥既存の深海掘削技術による回収手法



表層型メタンハイドレートの回収・生産技術の研究開発

2020～2022年度
回収・生産技術の研究開発

採掘技術
の開発

分離技術
の開発

生産システムの検討

揚収技術
の開発

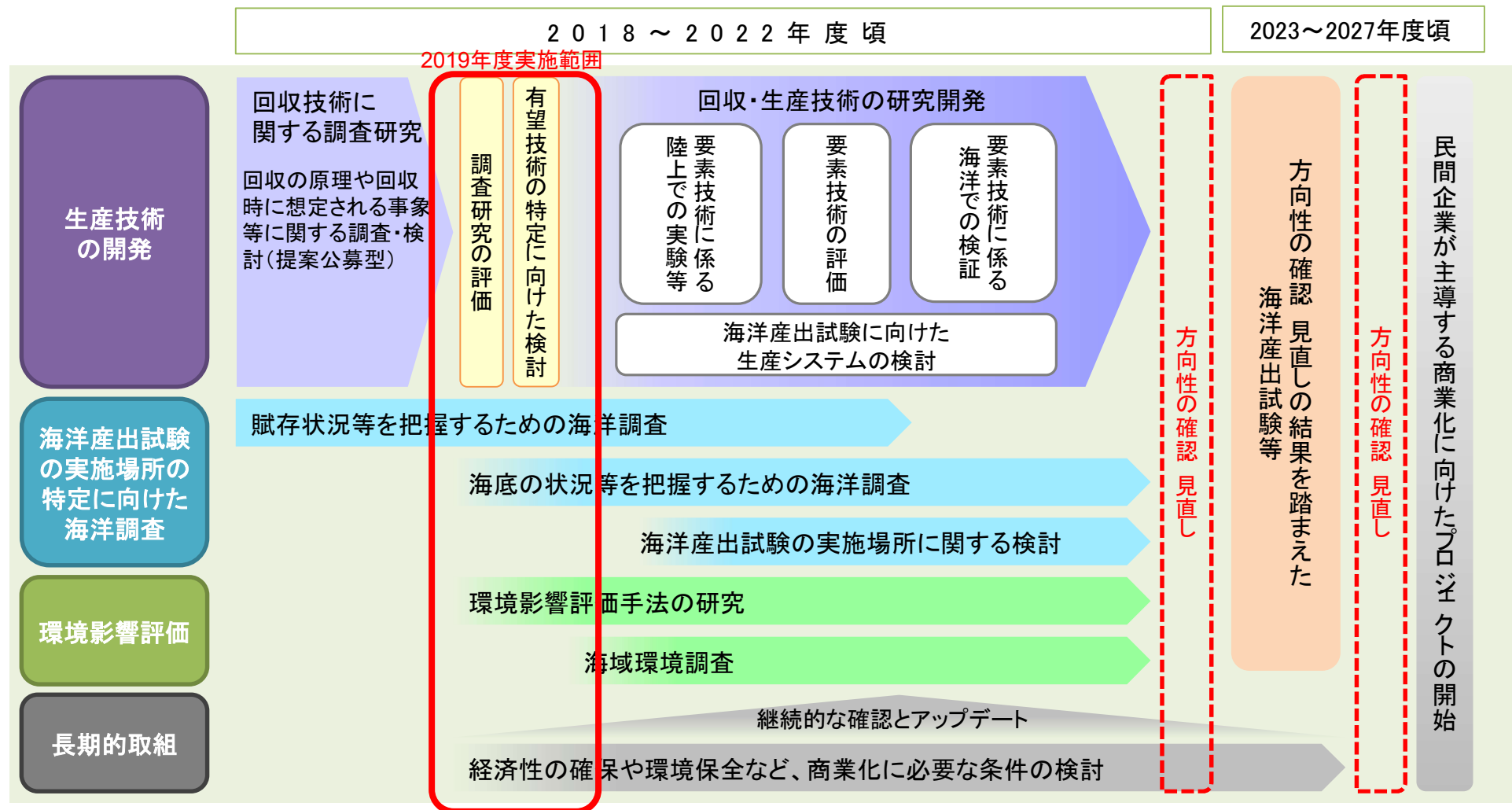
共通基盤技術
の開発

- ・表層型MHの研究開発における生産技術の開発
- ・有望技術の特定
- ・回収・生産技術の開発(要素技術・共通基盤技術)

表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表

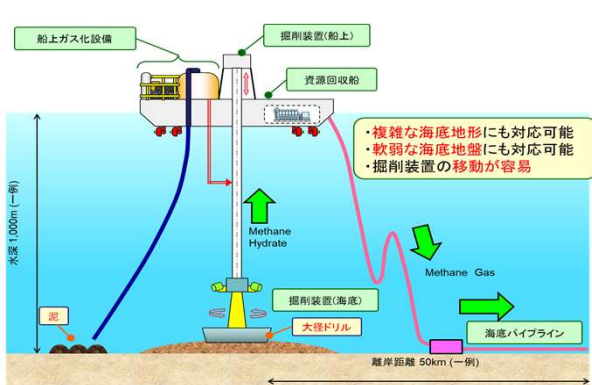
海洋基本計画(平成30年5月15日閣議決定)

- 平成30年代後半に民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指し、将来の商業生産を可能とするための技術開発を進める。

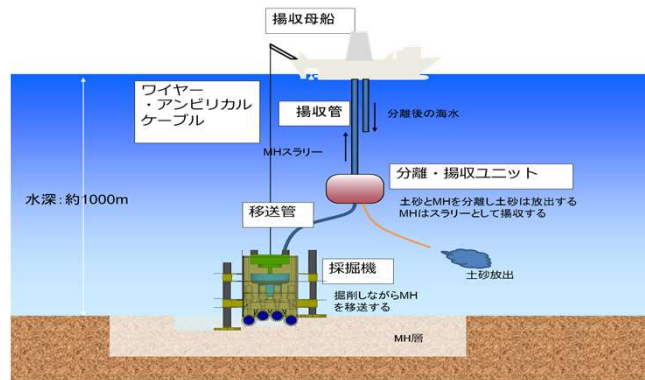


表層型メタンハイドレートにおける回収技術の調査研究

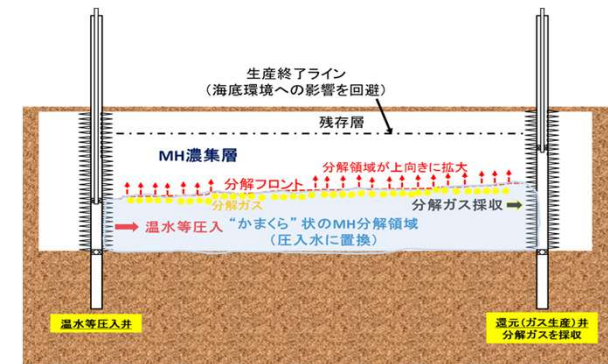
- 表層型メタンハイドレートの資源量把握に向けた調査の結果を踏まえ、平成28年度から、表層型メタンハイドレートの回収、利用方法の具体化に資するため、表層型メタンハイドレートにおける回収技術の調査研究を実施。
- 具体的には、①表層型メタンハイドレートを回収する原理等や、②回収に伴い想定される事象への対応等について、次の6提案の調査研究を実施。



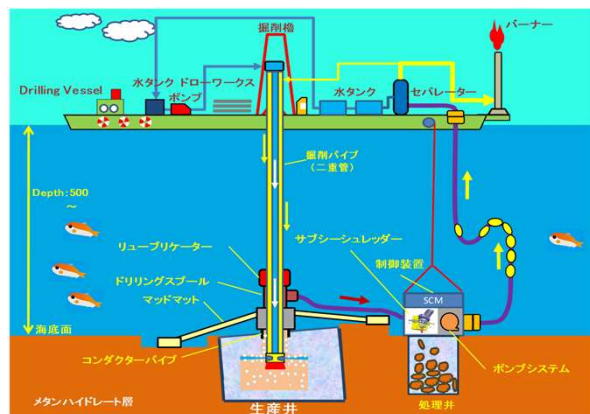
【(株)三井E&S造船・清水建設(株)・日本大学】



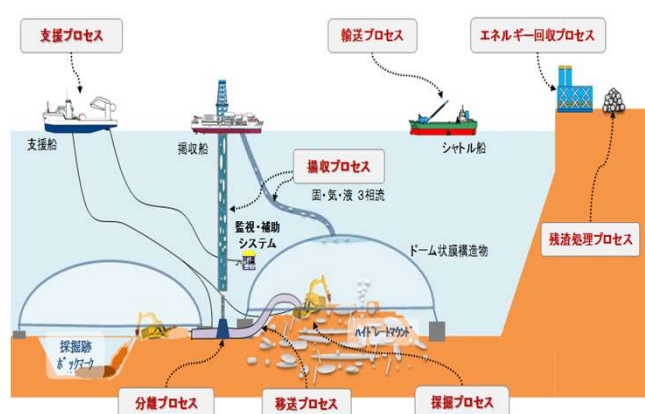
【三菱造船(株)・清水建設(株)・(国研)海上・港湾・航空技術研究所】



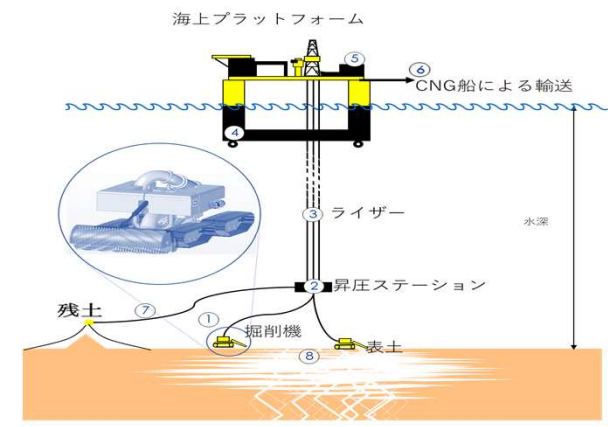
【鳥取大学・日本ミクニヤ(株)】



【石油資源開発(株)】



【東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業(株)】



【シェルジャパン(株)・三菱商事(株)】

回収技術に関する調査研究成果の評価及び有望技術の特定について

- 令和元年度（2019年度）、これまでに実施してきた「回収技術に関する調査研究」について、産総研内に設置した「表層型メタンハイドレート回収技術評価委員会」において、調査研究成果を評価し、調査研究実施機関との調整を経て、有望技術を特定。

【表層型メタンハイドレート回収技術評価委員会 委員名簿】 (◎:委員長)

- ◎ 小野崎 正樹 (一財) エネルギー総合工学研究所 研究顧問
- 内田 努 北海道大学大学院工学研究院 応用物理学部門
凝縮系物理工学分野 ナノバイオ工学研究室 准教授
- 川本 尚実 JXリサーチ株式会社 執行役員
エネルギー経済調査部長
- 中田 喜三郎 名城大学大学院 総合学術研究科 特任教授
- 八久保 晶弘 北見工業大学 地球環境工学科 教授
- 山路 法宏 (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
金属資源技術部海洋資源技術課 担当調査役

【評価方針】

要素技術毎に、下記の観点の評価

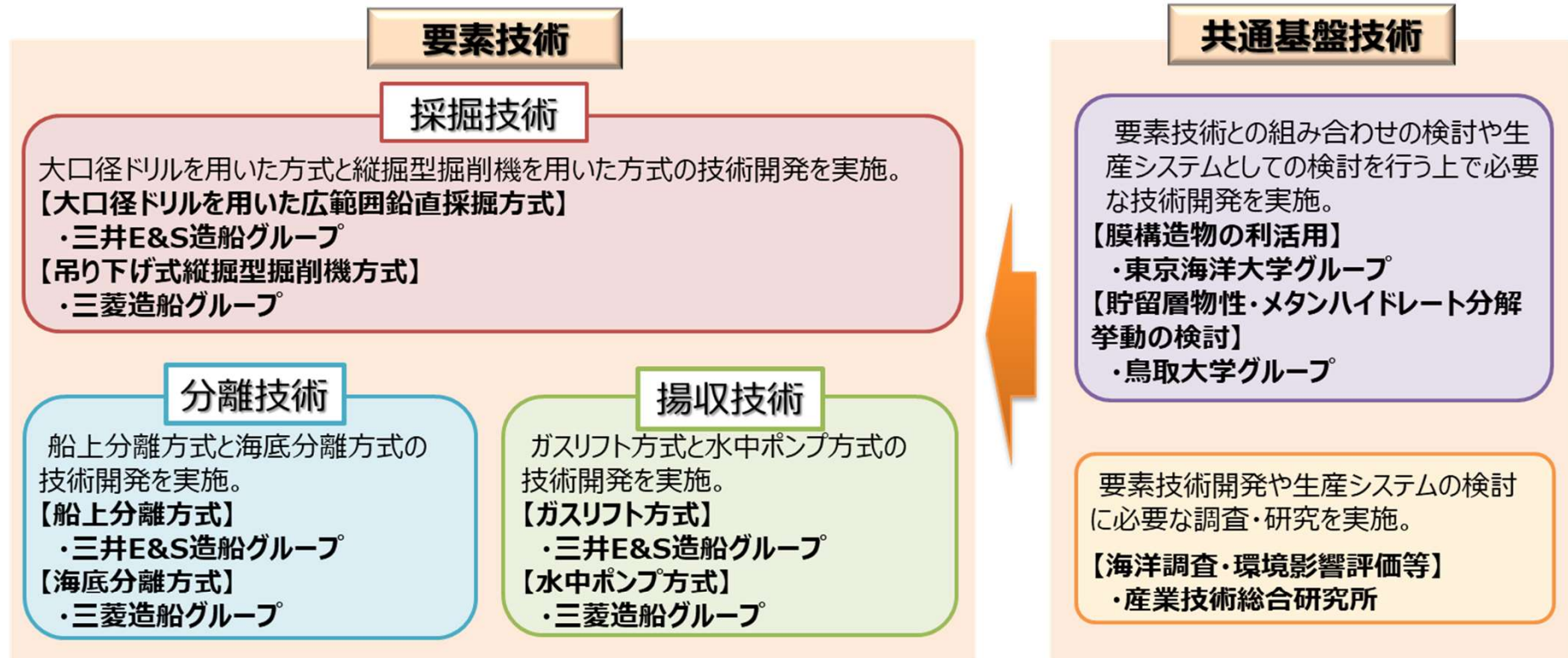
- ① 研究開発を進める上で必要な技術であるか。
- ② 要素技術に先進性や拡張性等はあるか。
- ③ 要素技術の優位性や克服すべき課題は把握出来ているか。
- ④ 要素技術の確立に向けた計画や費用は想定されてるか。
- ⑤ 必要な事業実施能力や体制構築又は想定されてるか。
- ⑥ 知財の状況等は把握出来ているか。

【有望技術の特定に関する過程】

- 令和元年10月7日: 委員会において、評価方針を策定
- 令和元年11月12～29日: 各実施機関から提出されたプレゼンテーション資料を基に事前評価を実施
- 令和元年12月5日、12日: 各実施機関によるプレゼンテーションを基に本評価を実施
- 令和2年2月28日: 委員会において、評価を最終決定するとともに、有望技術を特定

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

- 表層型メタンハイドレートの生産技術を「要素技術」（採掘技術・分離技術・揚収技術）と「共通基盤技術」に分類し、分野ごとに有望技術を特定。



**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。**

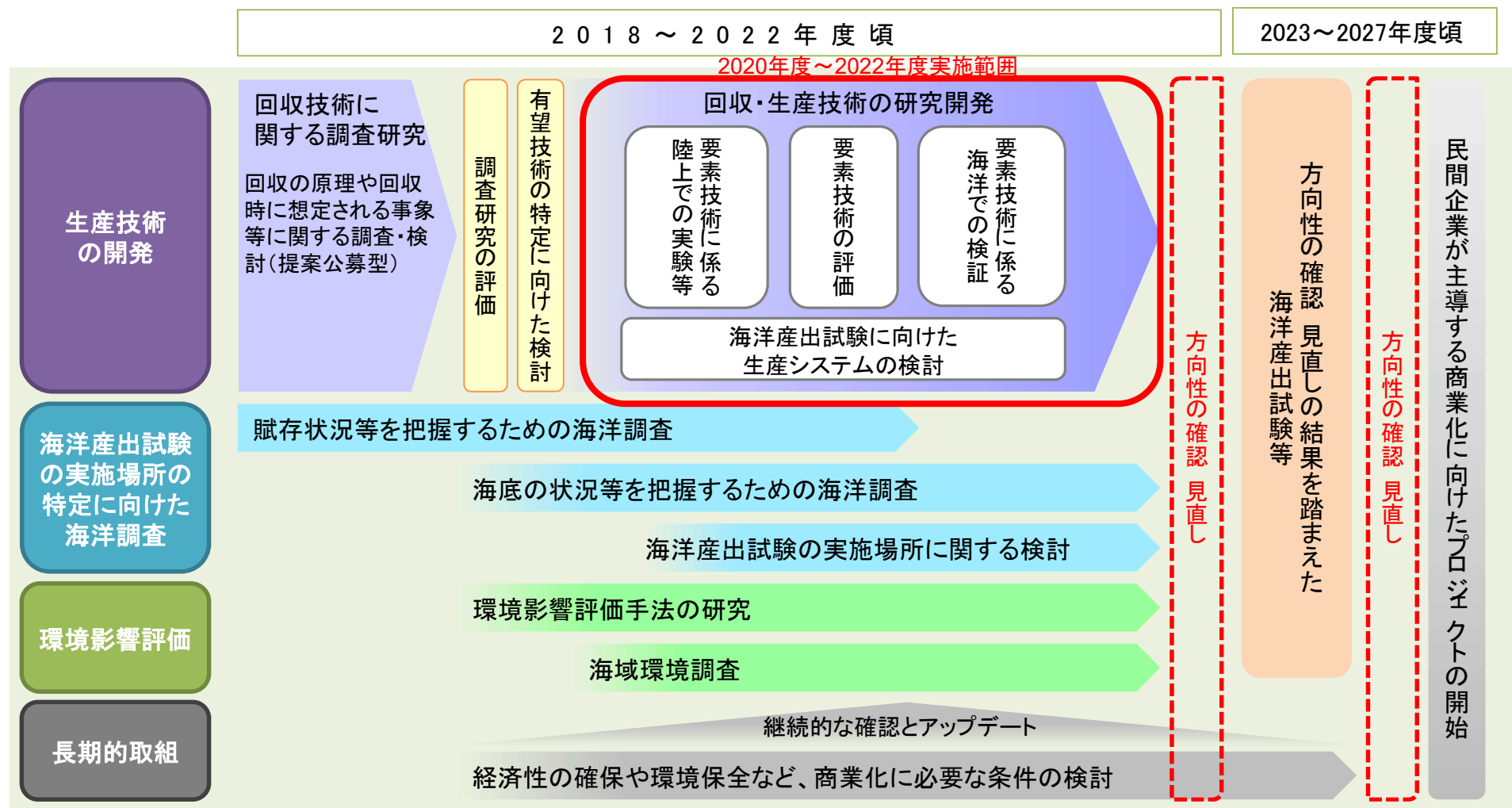
【出典】 第36回開発実施検討会 資料5 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_05_00.pdf

- ・表層型MHの研究開発における生産技術の開発
- ・有望技術の特定
- ・回収・生産技術の開発(要素技術・共通基盤技術)

表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表

海洋基本計画(平成30年5月15日閣議決定)

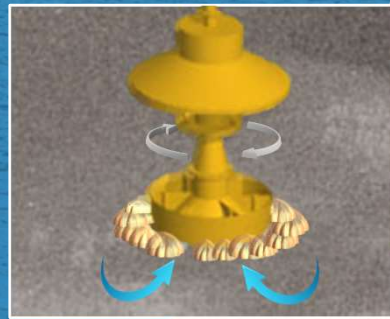
- 平成30年代後半に民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指し、将来の商業生産を可能とするための技術開発を進める。



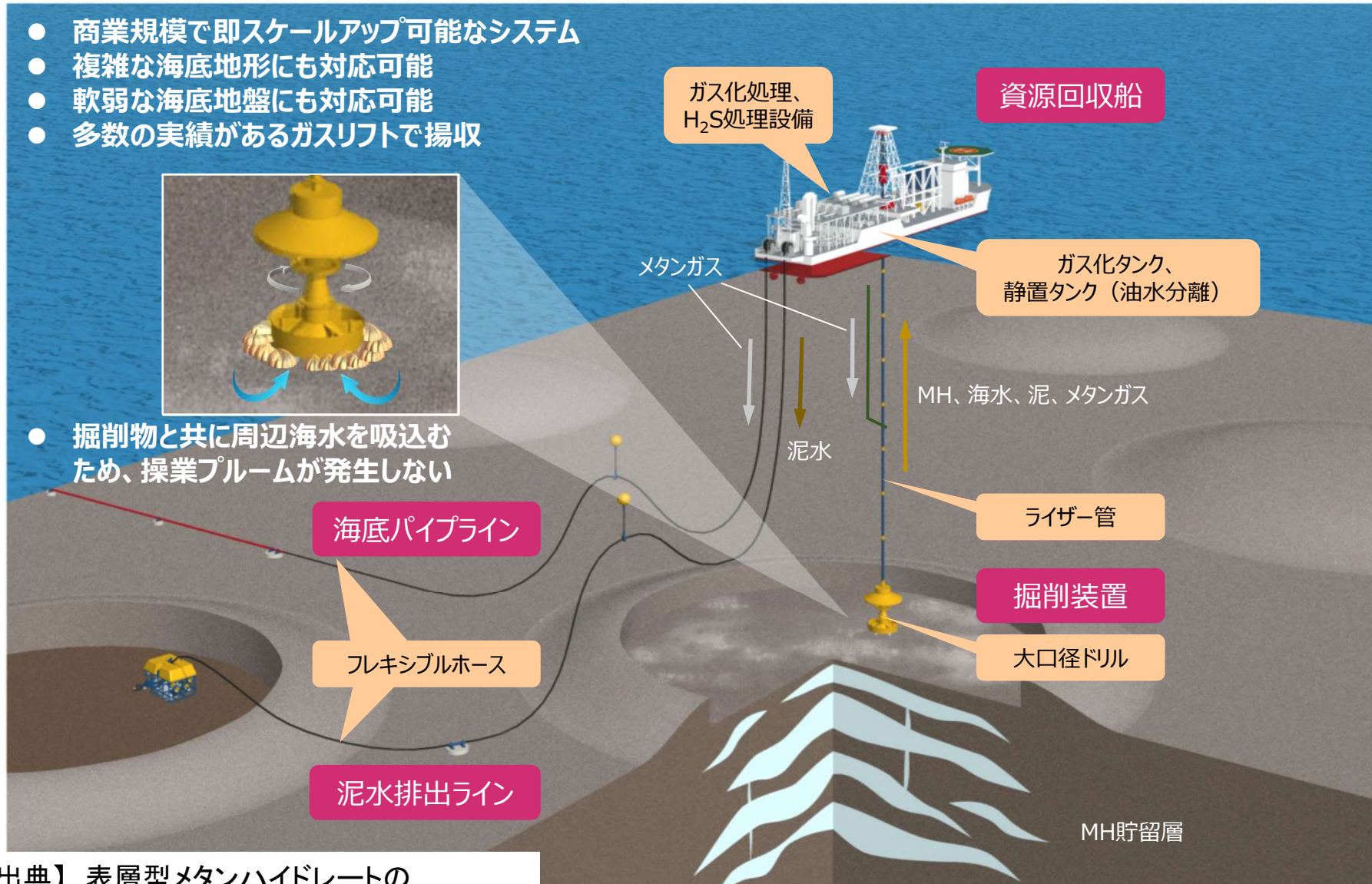
表層型MH回収技術開発に関わる調査研究

【三井E&S造船(株)・清水建設(株)・日本大学】広範囲鉛直掘削法による表層型メタンハイドレート回収の基礎的検討

- 商業規模で即スケールアップ可能なシステム
- 複雑な海底地形にも対応可能
- 軟弱な海底地盤にも対応可能
- 多数の実績があるガスリフトで揚収



- 掘削物と共に周辺海水を吸込むため、操業ブルームが発生しない



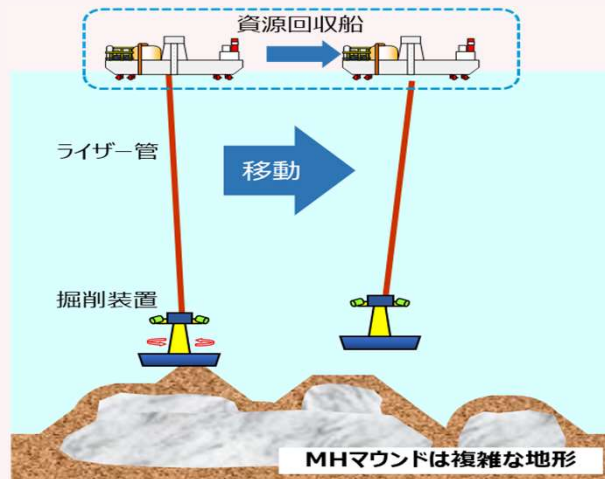
【出典】 表層型メタンハイドレートの
研究開発2019年度 一般成果報告会 より

広範囲鉛直掘削法

【掘削】大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式

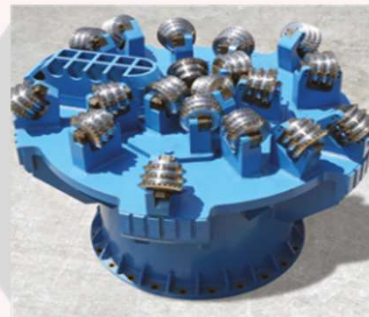
技術の概要

- 大口径ドリルにより、メタンハイドレートを掘削する手法。
- 複雑な海底地形や脆弱な海底地盤にも対応可能。
- 掘削物と共に周辺海水を吸い込むため、高濁度水が発生しない。



掘削装置

(出典：MHWirth)

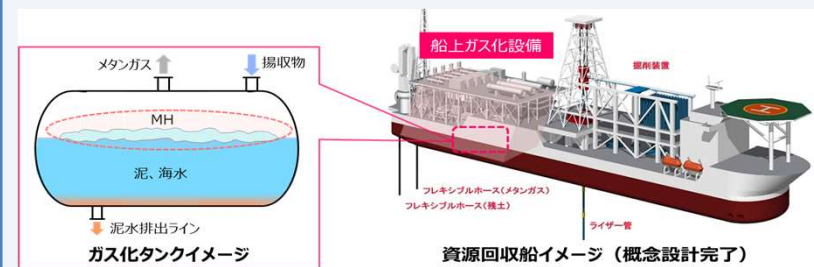


大口径ドリル

【分離】船上分離方式

技術の概要

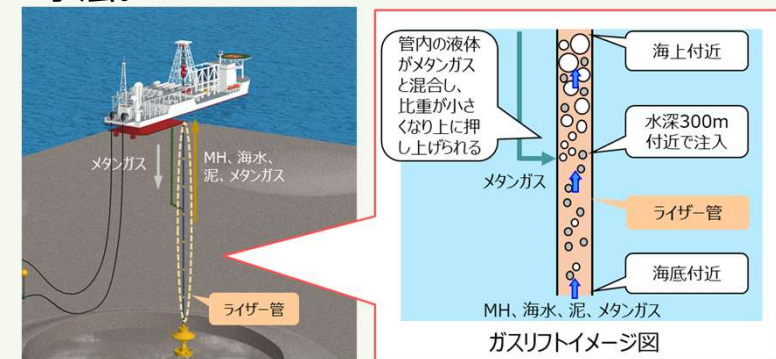
- メタンハイドレートと土砂を洋上（船上）で分離する手法。



【揚収】ガスリフト方式

技術の概要

- ガスを利用して揚収管内の液体の比重を小さくし、メタンハイドレートを含むスラリーを母船まで揚げる手法。



【出典】 第36回開発実施検討会 資料5 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_05_00.pdf

広範囲鉛直掘削法による回収技術開発—要素技術開発の研究計画概要

【三井海洋開発(株)・清水建設(株)・日本大学・北見工業大学・北海学園大学】

目的：海洋等での技術的な検証が可能となるように、陸上で事前検証を行う

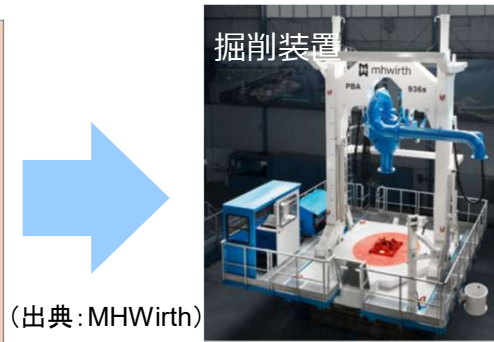
◆【掘削】研究開発計画

→ 環境影響/掘削性能の確認及び実証(北海道)

試験時期/場所 2020年度/ドイツ



TEST A) 掘削時の土粒子拡散試験



(出典: MHWirth)

TEST B) 大型氷による掘削試験 (100%MH)



模擬地盤試作用タンク

TEST C) 模擬地盤による掘削試験 (20%MH)

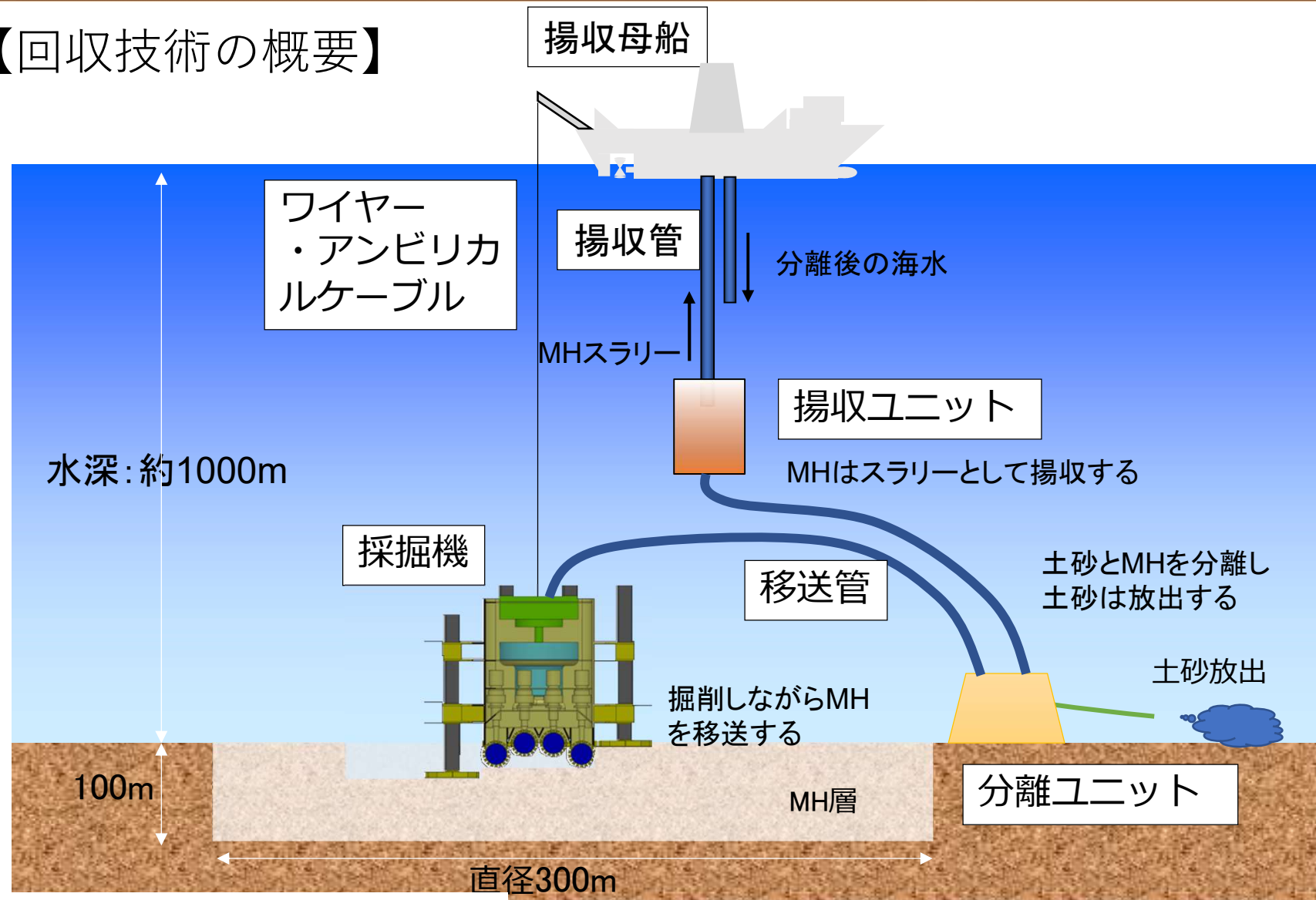
	2020年	2022年
TEST A)掘削時の土粒子拡散試験	製作 → ドイツ実験 → 結果まとめ	
TEST B)大型氷(100%MH)掘削試験	大型氷、装置製作	陸上実験・結果まとめ
TEST C)模擬地盤(20%MH)掘削試験	土の検討、装置製作	陸上実験・結果まとめ

◆【揚収】【分離】研究開発計画

→ 揚収管内の三相流/揚収物分離の制御技術構築

	令和2年度	2022年
ガスリフト法による揚収制御技術の確立	制御技術調査	制御技術の 検証、評価、予備検証
船上分離の制御技術の確立		

【回収技術の概要】



【出典】 表層型メタンハイドレートの研究開発2019年度 一般成果報告会 より

回収技術の概要

【掘削】吊り下げ式縦掘型掘削機方式

技術の概要

- 縦掘型掘削機でメタンハイドレートを掘削する手法。
- 掘削装置は、陸上土木工事の知見や経験から設計。また、掘削したメタンハイドレートを回収する浚渫（しゅんせつ）装置は、海底熱水鉱床パイロット試験の技術を応用。
- 縦掘型掘削機とし、掘削機の移動については吊り下げ式を採用している。軟弱地盤を考慮して機体沈下を防止できる構造とする予定。

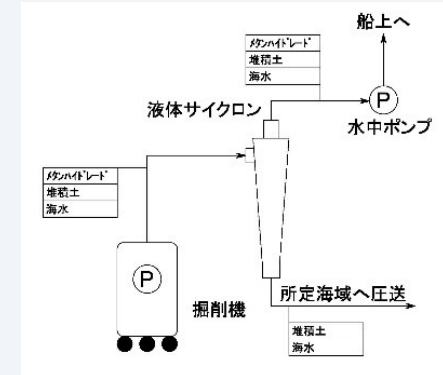


縦掘型採掘機の3D図

【分離】海底分離方式

技術の概要

- 海底で液体サイクロンの遠心分離によって、メタンハイドレートと土砂を分離する手法。
- 海底で分離するため、船上に揚がる土砂を低減させることが可能。



【揚収】水中ポンプ方式

技術の概要

- 海底に水中ポンプを設置し、揚収管を通じてメタンハイドレートを含むスラリーを母船まで揚げる手法。



海底熱水鉱床パイロット試験の水中ポンプ (JOGMEC提供)

【出典】 第36回開発実施検討会 資料5 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_05_00.pdf

【揚収技術】揚収ポンプの開発

揚収方式の検討

- 揚収方式として、循環ポンプ方式と水中ポンプ方式を比較検討を実施。メタンハイドレードは水より比重が小さく、循環方式では払出しが難しいこと、またメタンハイドレードの固着防止に有利な水中ポンプ方式を選定した。

ポンプ仕様の検討

- メタンハイドレート揚液の船上揚収時に、温度上昇、圧力低下により爆噴状態となるリスクを考慮し、メタンハイドレートはガス化させず、そのまま揚収するコンセプトを採用。
- 水中ポンプから船上までの温度上昇を約1.5℃と検討し、ハイドレード状態図の安定領域状態で揚収できるポンプ吐出圧力を検討した。(船上圧力6.0MPaを確保)
- 揚収管圧損を考慮しポンプ吐出圧力を8.4MPaと設定。
- ポンプ仕様として、1台あたり、2,633m³/h x 1.4MPa x 1,200rpmを6台設置することと仮設定。

ポンプの概念設計

- 上記の通り、高圧のポンプ仕様となり、これを考慮した水力形状、構造、軸受、シール他の対応について検討を実施中。

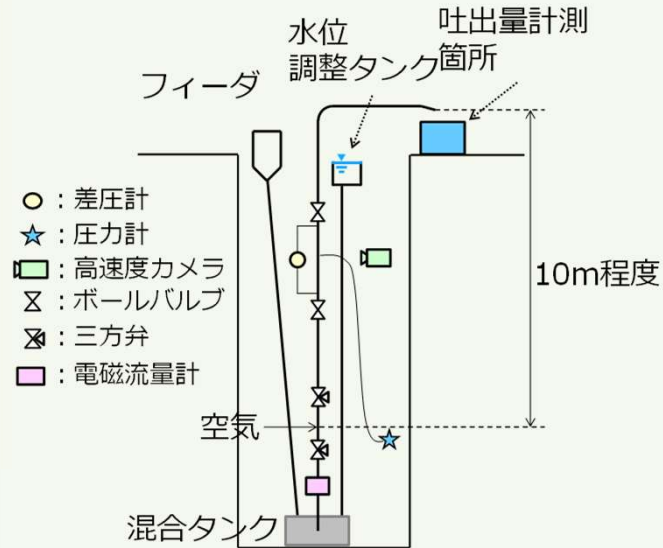


水中ポンプの参考図

(海底熱水鉱床パイロット試験の水中ポンプJOGMEC提供)

【共通技術】三相流移送試験

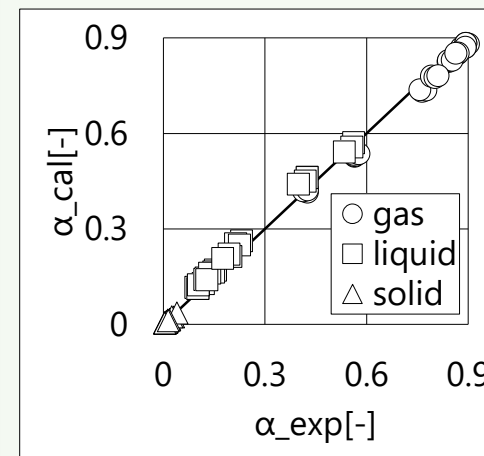
- 揚収中のMHのガス化により揚収管内が高ボイド率（気相のボイド率が0.8以上）の三相流となった状況を想定した移送試験を実施。



試験設備模式図



試験施設(深海水槽)



各相体積率(α)の計測値と計算値の比較

- 内径26mmの透明塩ビ管と樹脂球を用いて三相流移送試験を実施。
- 過年度までに検討していた各相の体積率の推定手法が、高ボイド率となった場合でも適用可能であることが示唆された。

【特徴1】

ドーム状の膜構造物を表層型メタンハイドレートが賦存する海底面に設置してその膜内で海底面を掘削することにより、取りこぼしが少なく、かつ膜外の環境への影響も少ない

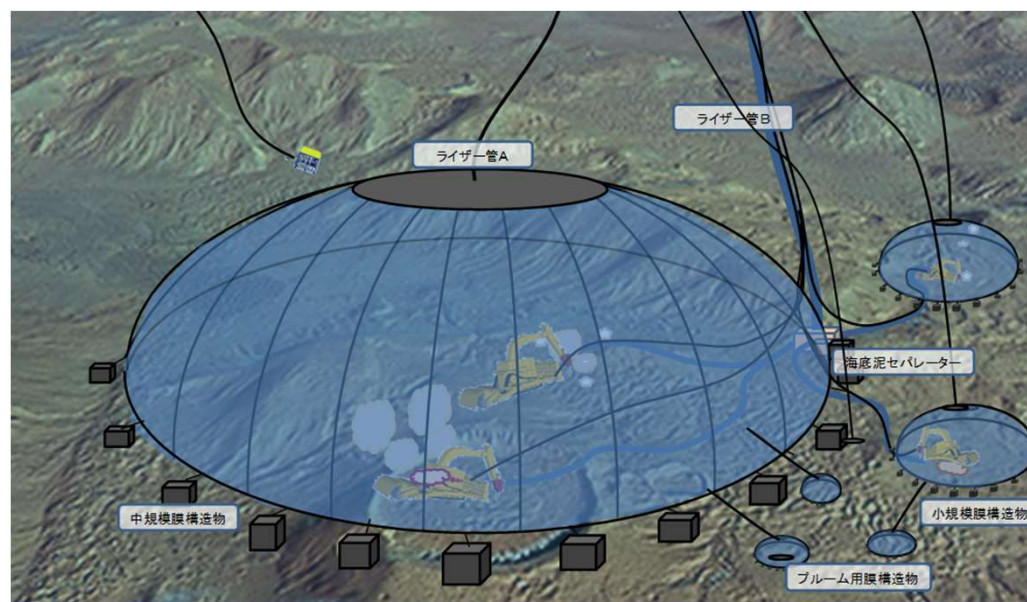
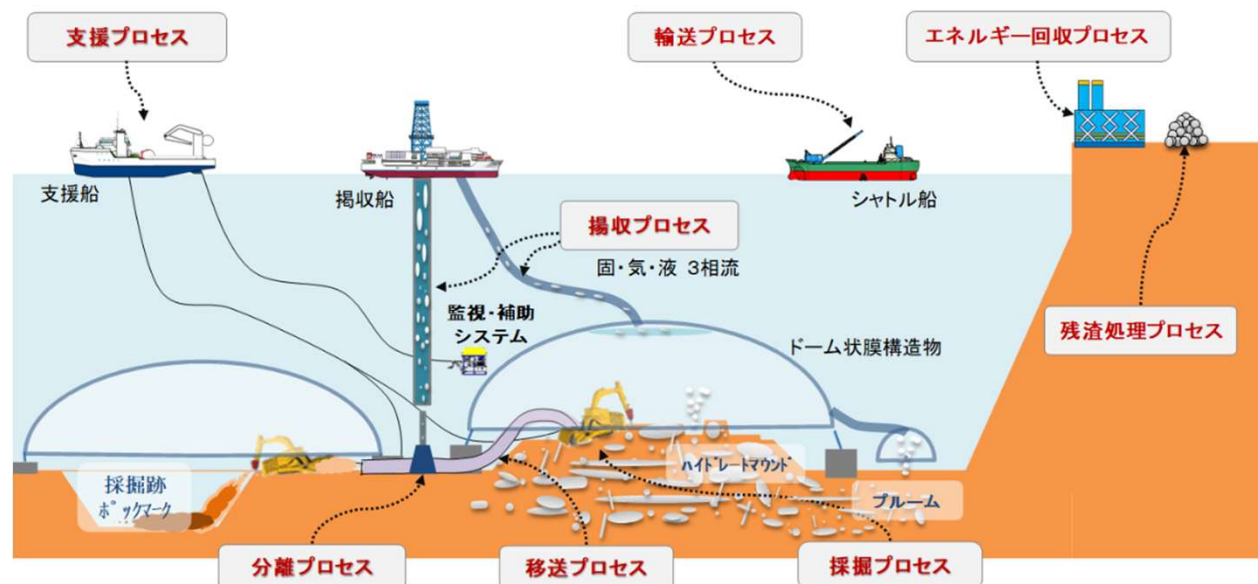
【特徴2】

膜内に自然湧出しているメタンも同時に回収可能

【特徴3】

本構造物はメタンハイドレート回収以外にも深海における鉱物資源などの回収に転用が可能

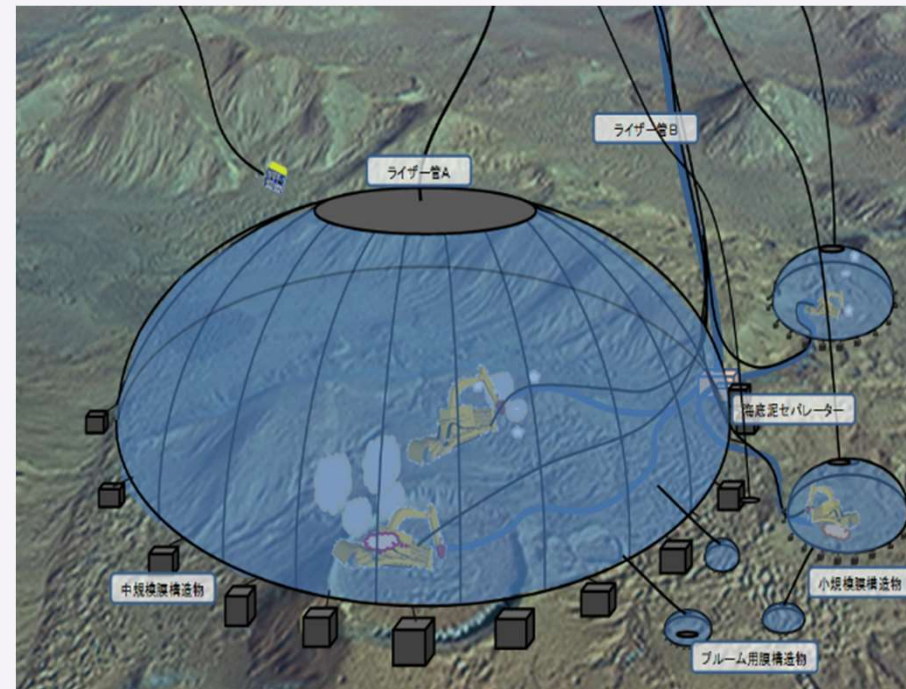
【出典】 表層型メタンハイドレートの研究開発2019年度 一般成果報告会 より



【共通基盤技術】 膜構造物の利活用に関する技術開発

技術の概要

- メタンハイドレートが賦存する海底面にドーム状の膜構造物を設置。
- メタンハイドレート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。




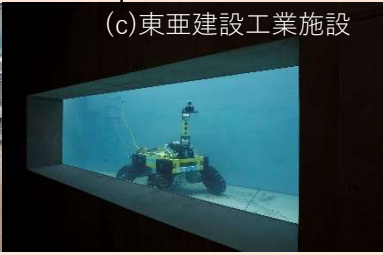
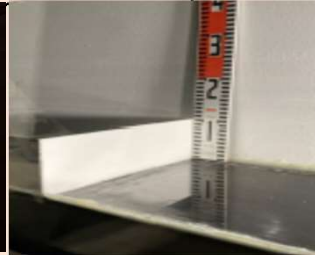

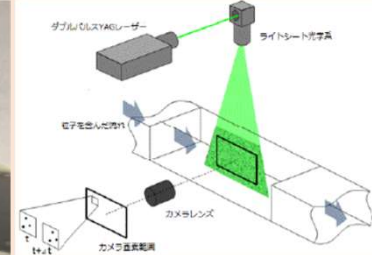
評価委員会における主な評価コメント

- 本技術は、他の実施機関が検討していない提案であり、メタンハイドレート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。

【出典】 第36回開発実施検討会 資料5 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_05_00.pdf

膜構造物の利活用に関する技術開発 – 研究計画概要

【東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業(株)】

	2020年度	2022年度
膜の設計方法の検討	➔	
1) 膜設計のための室内実験 担当：東京海洋大学 九州大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 膜に捕集される際の粒状体の挙動や、膜材料の耐久性評価のための実験・データ取得・評価(東京海洋大学) 実験装置の設計製作・データ取得等	実験・データ取得・評価等
2) 膜設計のための解析 担当：九州大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工時の海中騒音の検討のために、音響に係る室内実験などによる検討や音響計測器で取得したデータの解析等(東京海洋大学・九州大学) 室内実験や既存データの解析等	実験・データ取得・評価等
3) 大型水槽実験 担当：太陽工業	<ul style="list-style-type: none"> ● 膜設計に必要なデータ取得・解析 実験・データ取得・解析等	実験・データ取得・解析等
膜の施工方法の検討	➔	
1) 大型水槽実験 担当：太陽工業	<ul style="list-style-type: none"> ● 膜構造物の施工に必要なデータ取得・解析 実験・データ取得・解析等	実験・データ取得・解析等
2) 汚濁防止膜に作用する力および支持地盤の安定解析 担当：新潟大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 膜の施工に必要な支持地盤条件の検討や、大型水槽実験の解析や考察等の解析・評価 データ取得・解析・評価等	データ取得・解析・評価等
 (c)東亜建設工業施設	 (c)東亜建設工業施設	 汚濁防止膜模型
 施工実験水槽	 小型造波水路	 <small>(出典：https://www.seika-di.com/measurement/combustion/piv/algorithm.html)</small>

【提案手法の特徴】

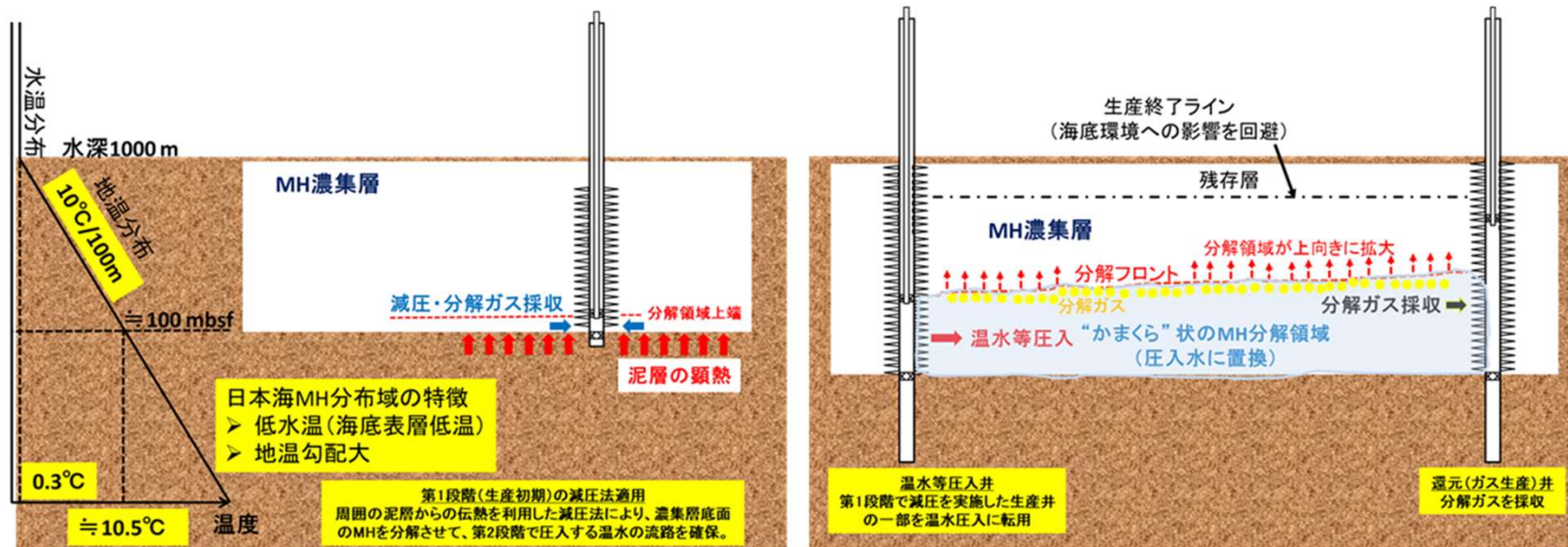
海底環境に配慮して、井戸を設置する以外に大規模な掘削工程を含まず、原位置(地層内)でMHをメタンガスと水に分解させて、井戸からメタンガスを生産。

【日本海の特徴】

日本海固有水(低温の水塊)のために、海底面の温度は0°Cに近い。しかしながら、海底堆積層の地温勾配は、他の海域と比較して3倍以上大きな値。

【ガス回収方法】

- まず、泥質層の熱を利用した減圧法により、MH濃集層の底面に沿って、MHの分解領域を形成。
- 第2段階では、MH分解領域に加熱した海水を流すことによって、底面から上向きにMHを分解。
- 海底の環境に対する影響を避けるために、濃集層の表層を残存させる可能性を検討。



減圧による濃集層底面の温水路形成

温水による底面から上向きのMH分解

【出典】第33回メタンハイドレート開発実施検討会資料 https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/033_06_00.pdf

【共通基盤技術】貯留層物性・メタンハイドレート分解挙動の検討

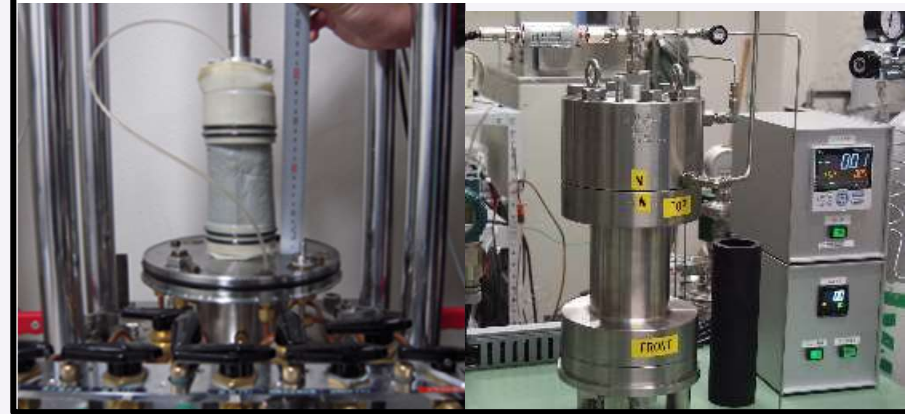
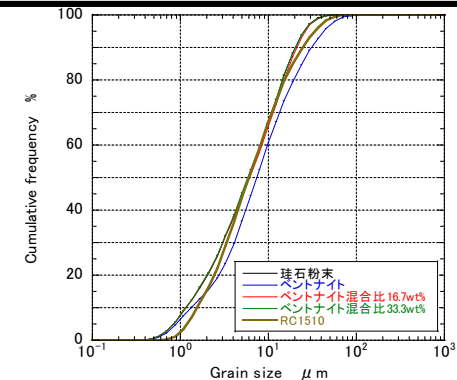
技術の概要

- 泥層内でのガス化になるため、表層型メタンハイドレート分布域特有の粘土質シルト、酸性ガス等と共存するメタンハイドレートの分解挙動の基礎的検討を実施。
- 天然及び模擬コア試料による表層型メタンハイドレート貯留層の物性、強度等の基盤情報取得。

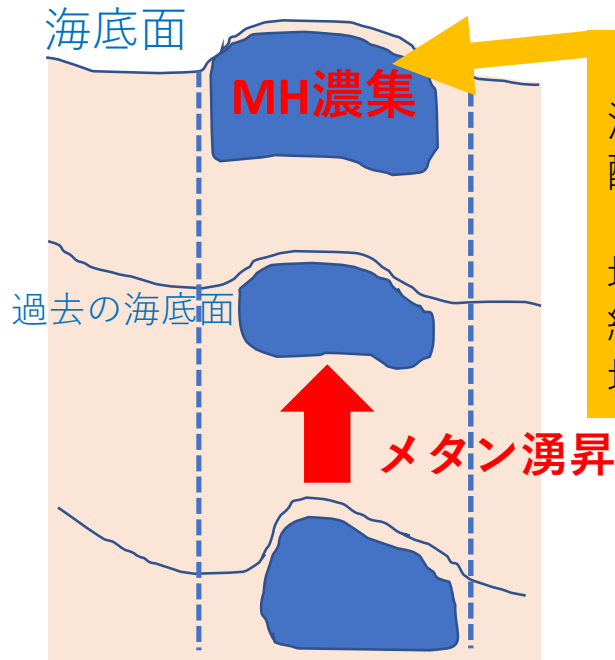
評価委員会における主な評価コメント

- 貯留層内での分解挙動に関する基礎的な検討が来ている。
- この分解挙動に関する知見は、分離・揚収技術における相変化の制御等に重要な知見を与えるため、今後の要素技術開発において必要な貯留層情報に関する寄与が期待される。

泥層内での分解挙動の把握を目的に、高圧試験装置、レーザー粒度計等を用いて、細粒分から成り、炭酸塩鉱物等を含む表層型メタンハイドレート貯留層の特徴を踏まえた物性測定等を実施。



海底面下浅層に分布する表層型メタンハイドレートの特徴を踏まえて、メタンハイドレートの分解条件、海底地盤の変形・強度特性を含む地質及び土質的な特徴等、要素技術開発及び生産システム検討において必要となる共通基盤的な貯留層物性とメタンハイドレート分解挙動を検討。



ガスチムニー構造に存在する表層型MHの特徴

湧昇したメタンは、MHに加えて、微生物の働きにより海水の硫酸イオンと反応して、硫化水素とメタン由来の炭酸塩鉱物を生成。



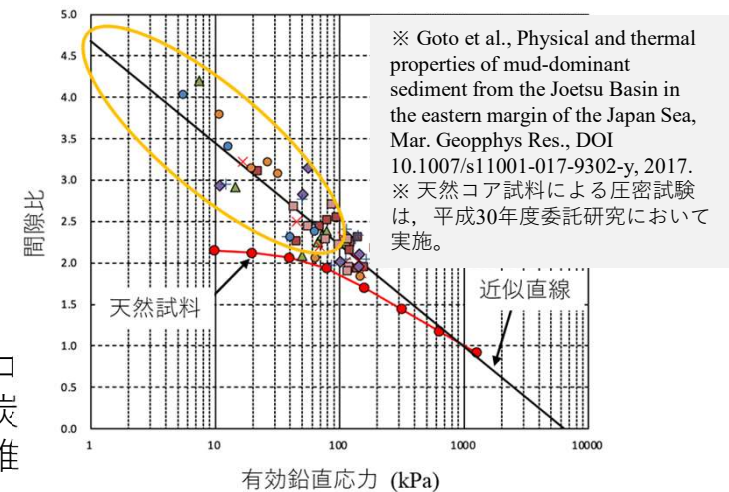
堆積物中のMHの分解条件には、硫化水素を含むガスと間隙水の組成、堆積物の粒度等の物性が影響。また、炭酸塩鉱物は、海底地盤の圧密・強度特性に大きく影響する可能性（膠結作用等）。

表層型MHが存在するガスチムニー構造の模式図

松本他(2019)、日本海の表層型メタンハイドレート：基本概念の確立と新たな課題、表層型メタンハイドレート・フォーラム（講演要旨）、明治大学グローバルフロント（東京・駿河台）を参考に作成。



本委託研究で分析中のコア試料に含まれていた炭酸塩鉱物。周囲の泥質堆積物は、14wt%のCaCO₃を含む。



圧密・強度特性の検討例
有効鉛直応力と間隙比の関係

「生産技術の開発」について

- 要素技術(採掘・分離・揚収)は、それぞれ2方式が提示されており、各方式に関する研究開発が今年度より開始されている。
- 要素技術との組合せや生産システムの検討に必要な技術開発として、膜構造物の利活用、貯留層物性・メタンハイドレート分解挙動の検討、海洋調査や環境影響評価等の共通基盤技術も同様に、進められている。
- 各技術開発の取組の概要について紹介しました。