

「メタンハイドレートの研究開発事業」
中間評価
評価用資料

2022年 2月 9日

経済産業省 資源エネルギー庁 石油・天然ガス課
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
国立研究開発法人産業技術総合研究所
日本メタンハイドレート調査株式会社

(事業の目的等)

事業名	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事業)						
上位施策名	エネルギー基本計画（令和３年１０月２２日 閣議決定） 海洋基本計画（平成３０年５月１５日 閣議決定） 経済財政運営と改革の基本方針 2021（令和３年６月１８日 閣議決定） 成長戦略実行計画（令和３年６月１８日 閣議決定）						
担当課室	資源エネルギー庁、資源・燃料部、石油・天然ガス課						
事業の目的	日本周辺海域に相当量の賦存が期待されるメタンハイドレートについて、我が国のエネルギー安定供給に資する重要なエネルギー資源として、将来の商業生産を可能とするために必要な技術開発を行う。						
類 型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2002 年度～未定			会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計		
評価時期	中間評価：2005 年度、2008 年度、2011 年度、2014 年度、2018 年度						
実施形態	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 国 → 国立研究開発法人産業技術総合研究所 日本メタンハイドレート調査株式会社 } 三者コンソーシアム (委託)						
プロジェクトリーダー	松澤 進一 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 メタンハイドレート研究開発グループリーダー 天満 則夫 国立研究開発法人産業技術総合研究所 メタンハイドレートプロジェクトユニット代表 阿部 正憲 日本メタンハイドレート調査株式会社 常務取締役社長補佐企画部長						
執行額 (百万円)	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度 (概算払額)	総執行額 (2017 年度～ 2021 年度)	総予算額 (2002 年度～ 2021 年度)
	140 億円	104 億円	41 億円	46 億円	102 億円	433 億円	1,533 億円

※ 予算額及び執行額は、メタンハイドレートの研究開発に係る額を記載している。執行額は行政事業レビューシート(公表版)等に準拠して記載。

※ 事業遂行の都合上、一部予算を翌年度へ繰越しているため、執行額が予算額を上回る年がある。

1. 本事業の政策的位置付け/背景

(1) メタンハイドレートについて

メタンハイドレートとは、低温高压の条件下で、水分子にメタン分子（天然ガス）が取り込まれ、氷状になっている物質である。メタンハイドレートは、よく「燃える氷」と称されているが、温度を上げる、ないしは圧力を下げる等の変化を与えると、水分子と気体のメタン分子に分離する。分離されたメタン分子は天然ガスの主成分と同じものであり、メタンハイドレートは、北米で生産されているシェールガス等と同様に非在来型資源として位置づけられている。

また、メタンハイドレートは、世界でも、水深の深い海底面下や極地の凍土地帯の地層に広く分布している。

我が国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。砂層型メタンハイドレートは、水深500m以上の海底面下数百mの砂質層内に砂と混じり合った状態で存在し、主に太平洋側を中心に賦存が確認されている。表層型メタンハイドレートは、水深500m以上の海底面及び比較的浅い深度の泥層内に塊状、脈状、粒状等で存在し、主に日本海側を中心に賦存が確認されている。

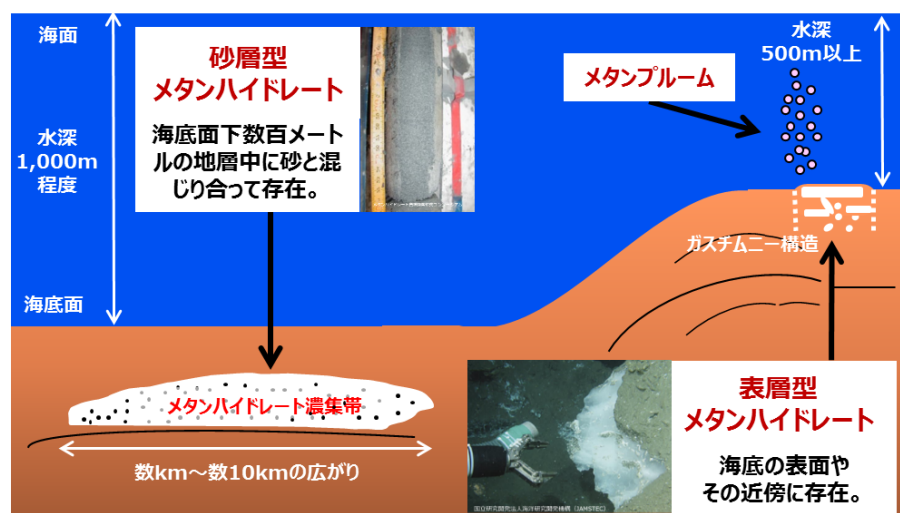


図1. メタンハイドレートの賦存形態

砂層型メタンハイドレートは、平成14～18年度にかけて、静岡県沖から和歌山県沖の『東部南海トラフ海域』において、三次元地震探査や試掘調査などを実施し、東部南海トラフ海域において、メタンガス原始資源量約1.1兆 m^3 （日本の天然ガス消費量の約10年分に相当）のメタンハイドレートが賦存していると推定されている。表層型メタンハイドレートは、平成25～27年度にかけて、日本海側を中心に、資源量の把握に向けた広域的な地質調査を実施し、表層型メタンハイドレートの賦存の可能性がある地質構造（ガスチムニー構造）を合計1,742箇所確認した。その構造1箇所において資源量を試算したところ、メタンガス原始資源量約6億 m^3 のメタンハイドレートが賦存していると推定されている。

これらメタンハイドレートは、我が国周辺海域に相当量の賦存が期待されており、我が国のエネルギー安定供給に資する重要なエネルギー資源として、商業化に向けた技術開発に取り組んでいる。

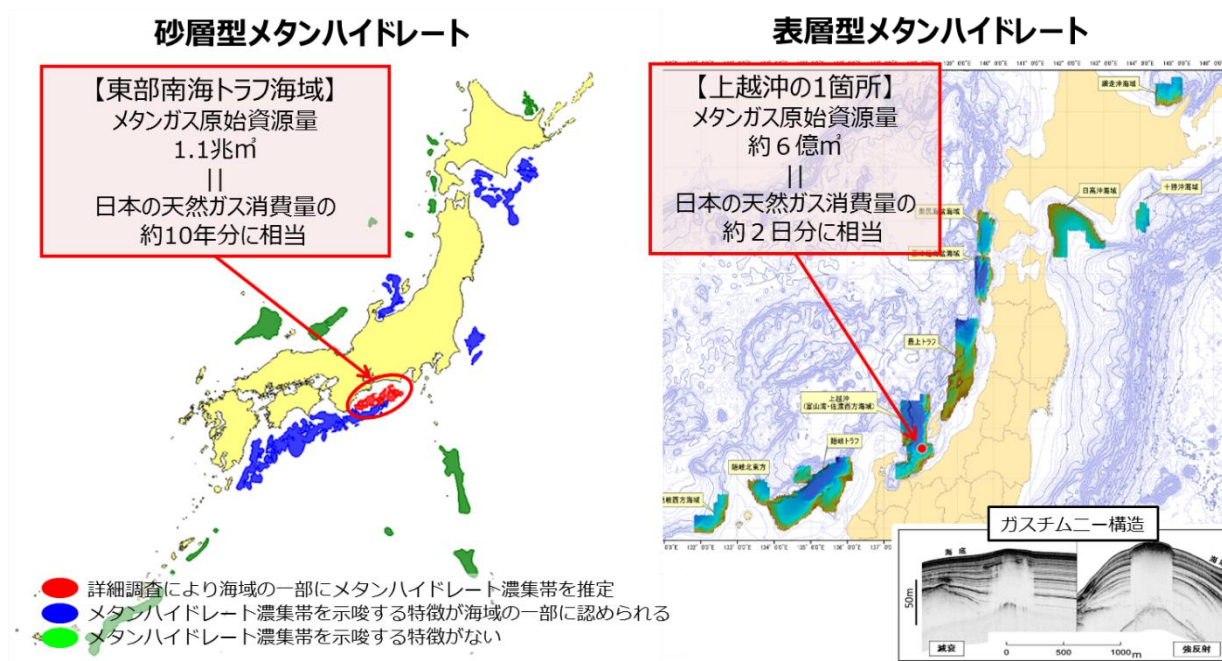


図2. メタンハイドレートの資源量について

(2) 政策的位置づけについて

石油・天然ガスのほぼ全量を輸入に依存する我が国は、輸入依存度が高いことによる調達における交渉力の限界や、中東情勢等により影響を受けやすいという構造的な課題を抱えている。そのため、エネルギー基本計画、海洋基本計画等に基づき、石油・天然ガスの安定供給確保のため、供給源の多角化、アジア LNG 市場の創設・拡大、石油備蓄、国内資源開発等を推進してきた。

一方で、新型コロナウイルス感染拡大に端を発した油価低迷による上流投資の減少、中東情勢の不安定化や南シナ海・東シナ海での緊張の高まりに伴うシーレーンリスクの高まり、さらには2020年10月の2050年カーボンニュートラル宣言や2021年4月の2030年度の新たな温室効果ガス排出削減目標の表明など、石油・天然ガスを取り巻く国内外の情勢は大きく変化をしている。

こうした中にあっても、石油・天然ガスの安定供給確保の重要性は全く変わるものではなく、むしろ、いかなる情勢変化にも柔軟に対応するための基盤として、世界的な環境意識の高まりも踏まえつつ、自主開発比率を可能な限り高めることの重要性は一層増している。

そのため、昨年10月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、国内資源開発は、地政学に左右されず安定的なエネルギー供給の確保が可能となることに加え、2050年カーボンニュートラルに向け、水素・アンモニアの原料としての利用も視野に、引き続きメタンハイドレートを含む国内資源開発を推進することが重要であるとされている。

加えて、メタンハイドレートについては、海洋基本計画（2018年5月閣議決定）に基づき策定された「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」（2019年2月経済産業省策定）において定めた、「2023年度から2027年度の間には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

とを目指す」という目標の中で、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発等を推進するとされている。

(3) これまでの事業の経緯

①砂層型メタンハイドレート（フェーズ3：2016～2018年度）について

フェーズ3の期間中、2017年度には減圧法を用いた第2回海洋産出試験を実施し、2坑井で合計36日間のガス生産を実現した。その結果、第1回海洋産出試験で生じた出砂対策等の技術課題への対応策はおおむね検証できたが、シミュレーションの予測とは異なりガス生産レートの増加傾向が確認できないなど、新たな課題が生じた。

また、第2回海洋産出試験後、技術課題や経済性評価、我が国周辺の資源量評価、周辺環境への影響等を含めた総合的な検証を実施した。

一方で、フェーズ3中には、民間企業の参入を促すための仕組み作りとして、民間企業への研究開発業務の委託や研究開発成果の対外公表等を通じて、民間企業に対する技術と知見の共有を図った。その結果、石油開発やエンジニアリングなどの民間企業間においても知見の共有がなされ、海洋産出試験等への参画を目的とした民間企業が設立された。

長期陸上産出試験については、2018年12月、日米共同で米国アラスカ州の試験候補地点の試験調査を実施した結果、メタンハイドレートの賦存を確認したことから、現在、試験の実施に向けた準備を進めている。

②表層型メタンハイドレートについて

2013～2015年度の3年間、日本海を中心に資源量把握に向けた調査を実施した。その結果、調査した10海域において、1,742箇所を表層型メタンハイドレートの存在可能性がある地質構造（以下、「ガストムニー構造」という。）を確認した。また、ガストムニー構造の内部におけるメタンハイドレートの分布が不連続で広がりやの推定が困難であることや、個々のガストムニー構造ごとに内部の様子が多様であることが分かるなど、多くの知見が得られた。

2016年度から、資源量把握に向けた調査結果の外部有識者による検証等を経て、提案公募型による6提案の回収技術の調査研究を開始した。また、表層型メタンハイドレートの分布や形態の特徴等を解明するための海洋調査を実施した。

(4) 今回の中間評価について

現在の研究開発計画期間については、「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」で規定しており当初2019年度から2022年度までの4年間の計画であったが、新型コロナウイルス感染症等の影響により実施スケジュールが遅延しており、現在、2023年度までの5年間の計画として実施している。

そのため、2019年度から事業開始後3年が経過した本年度に中間評価を実施することとする。

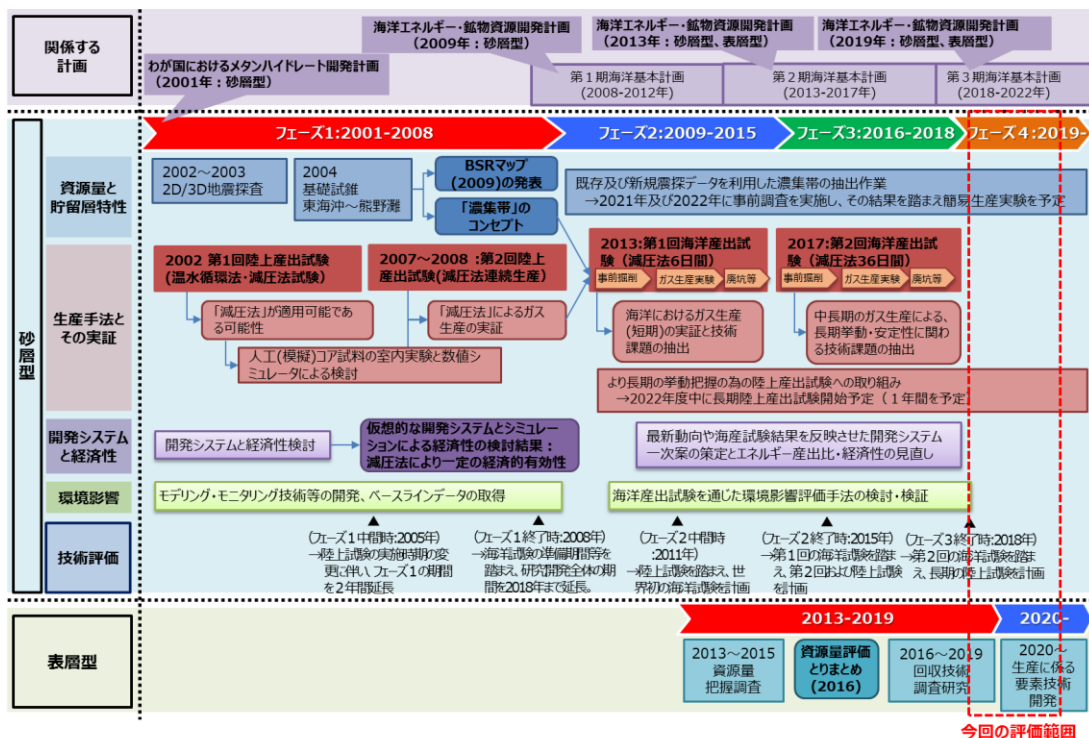


図3. メタンハイドレートの研究開発に係る事業の変遷

2. 当省（国）が実施することの必要性

日本周辺海域に賦存するメタンハイドレートは、貴重な国産資源であり、商業化がなされれば、我が国のエネルギー自給率の向上に資する重要なエネルギー資源である。

メタンハイドレートの研究開発にあたっては、将来的には民間企業が営利事業として投資判断を行い参入する、いわゆる「商業化」の実現を目指す。そのための国の役割としては、商業化のために必要な基盤整備であり、これを着実に推進することが求められている。

メタンハイドレートからのメタンガスを経済的に採取し、利用するためには、未だ解決すべき多くの課題が存在している。今後の研究開発においても、資源開発に係るオペレーションの経験と技術を有する民間企業との積極的な連携の下で推進していく必要がある。

しかしながら、現時点では、民間企業の参入リスクの観点等から民間に委ねることが困難であり、国が率先して、民間企業と連携しつつ、商業的規模での開発システム等の設計や経済性評価までを行い、その成果を民間企業に引き継ぐことにより、民間企業による商業化を促進することが適切である。

3. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

米国：エネルギー省（DOE）傘下のエネルギー技術研究所（NETL）と日本（JOGMEC）は共同研究合意書を2023年3月末まで延長し、協同でアラスカ陸上産出試験実施に向け研究を実施中。また、DOEのNorthern Gulf of Mexico Slope Projectでは、エネルギー資源としてのメタンハイドレートと、地球温暖化に関わるメタンハイドレート貯留層システムの両方を検討するために、2023年1～5月にメキシコ湾の大水深域にてUT-GOM2-2の掘削を行い、圧力コア取得等を実施する予定（テキサス大学地球物理学研究所HPより）

中国：2020 年 2-3 月に南シナ海神狐海域にて水平坑井掘削技術を用いたメタンハイドレート海洋産出試験を実施（ガス総生産量は約 150 万 m³）。ガス総生産量、日産ガス量において世界新記録の樹立を発表したとの報道があった（科学技術日報より）。

2021 年 6 月、CN00C は、国産の深海技術調査船、深海掘削システム、新しい掘削・検層ツールを用い、南シナ海の水深 1,758 メートルのハイドレート評価井 2 本の掘削作業と掘削・検層作業を 2 週間かけて調査した。中国はこれまで、掘削中に地滑りが発生する危険性や掘削機器の不足など、作業の複雑さから、海外の専門オペレータや機器を採用してサンプリングを完了していた。商業化調査の時期は 2028 年から 2030 年の間で、それまでにパイロットエリアを完成させ、商業化の道筋と規模を検討するとの報道があった（stdaily.com より）。

インド：2019 年、これまでに実施された包括的なガスハイドレート科学掘削調査の結果を発表し、インド国家ガスハイドレートプログラム Expedition 02 の指導者は、将来のガスハイドレート生産試験に適していると考えられるいくつかの重要なガスハイドレート濃集帯の発見を報告したとのこと（EMD Gas Hydrates Committee Annual Report より）。

韓国：海洋調査の動きはほぼないが、継続的なガスハイドレートからのガス生産生成のために、循環減圧法を用いたフィールドスケールの数値シミュレーション研究や、ガスハイドレート賦存層の物性を把握するため、過去の掘削データを用いた比較・解釈等の研究は続いている模様（論文情報より）。

ニュージーランド：GNS Science のメタンハイドレート研究プログラム（HYDEE, Gas Hydrates: Economic Opportunities and Environmental）にてニュージーランド沖合の海洋調査を継続している。2018 年以降の反射法地震探査・海洋電磁探査等により、Hikurangi Margin においてメタンハイドレート濃集帯が発見されているほか、環境調査も行われている。2022 年以降 HYDEE の後継プロジェクトが計画されているが、ニュージーランド政府方針により、資源開発を見据えたハイドレート研究ではなく、自然科学を対象としたハイドレート研究が実施される見込み。

4. 研究開発の内容

（１）研究開発の全体構成

① 砂層型メタンハイドレートについて

研究開発の全体構成は次の通り。研究開発項目の実施者については、5.（３）に後述する。

研究開発項目	
【１】生産技術の開発	イ）総合的な検証に基づく課題解決策の検討
	ロ）貯留層評価（生産挙動予測と技術的可採量評価の信頼性向上）
	ハ）生産システム改良（海洋における長期生産技術の開発・改良）
	二）長期陸上産出試験
【２】有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査	イ）三次元地震探査の準備・実施・解析
	ロ）試掘（簡易生産実験を含む）の準備・実施

【3】環境影響評価	イ) 環境影響評価
【4】長期的な取り組み	イ) 生産量向上・コスト低減などの個別技術における新しい技術の取込み（オープンイノベーション）
	ロ) 日本周辺海域の資源量評価
	ハ) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

② 表層型メタンハイドレートについて

研究開発の全体構成は次の通り。研究開発項目の実施者については、5.（3）に後述する。

研究開発項目	
【1】生産技術の開発	イ) これまでの調査研究成果の評価と有望技術の特定に向けた検討
	ロ) 回収・生産技術の研究開発
【2】海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査	イ) 賦存状況等を把握するための海洋調査
	ロ) 海底の状況等を把握するための海洋調査
	ハ) 海洋産出試験の実施場所に関する検討
【3】環境影響評価	イ) 環境影響評価手法の研究
	ロ) 海域環境調査
【4】長期的な取り組み	イ) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討
	ロ) 成果の普及・情報公開

（2）各研究開発項目の内容

① 砂層型メタンハイドレートについて

【1】生産技術の開発

<1> 目標（2019～2022 年度）

- 長期安定生産の見通しがつき、生産挙動予測の信頼性向上がされていて、長期陸上産出試験で検証されていること。
 - イ) 貯留層内並びに坑井近傍の現象の理解が進み、生産の安定性を阻害する要因の抽出と分析が行われ、対策技術が提示されること。
 - ロ) 生産挙動予測の信頼性が向上して、有望濃集帯においては経済性の基準を満たすことが期待される1坑井あたりの生産レート（日産5万立方メートルが目安）※1が見込めることが示されること。
 - ハ) 生産挙動予測の信頼性は長期陸上産出試験における長期生産挙動のデータ等により確認されていること。
- 二) 生産技術の改良がなされ、海洋で数か月程度の連続生産が可能な技術の見込み※2が得られていること。

※1：1坑井あたりの生産レートの定量基準として、第22回総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会（2017年6月21日）資料3「メタンハイドレート開発の今後の在り方について」では、期待される1坑井あたりのガス生産レートとして日産15万立方メートル以上（大気圧下でのガス体積、以下同様）が優先順位「高」、日産5～15万立方メートルが優先順位「中」とされている。ただし、これらの数値はコスト低減などの技術的条件、油価・ガス価などの経済的条件によって変動しうる。

※2：生産技術に関しては、FEED（Front End Engineering Design、基本設計）が着手できるレベルの成熟度であることを基準とし、その実証は 2023 年度以降の次フェーズ海洋産出試験等で行うものとする。

商業化にあたって求められる濃集帯と生産レートの条件

原始資源量 坑井生産レート (8年平均値)	大規模 約500億m ³ (約2TCF) 以上	中規模 約100～500億m ³ (約0.4～2TCF)	小規模 約100億m ³ (約0.4TCF) 以下
高 15万m ³ /日程度以上	◎ (優先順位：高)	○ (優先順位：中)	× (対象外)
中 5～15万m ³ /日程度	○ (優先順位：中)	△ (優先順位：低)	× (対象外)
低 5万m ³ /日程度以下	× (対象外)	× (対象外)	× (対象外)

注) 上記の数値はJOGMECにおいて、LNGの価格見通しや、これまでに得られた地質データやシミュレーション結果等に基づいて試算したものであるため、一定の幅を持って見るべき数値であることに注意が必要。

＜2＞ 中間目標

【マイルストーン①】（2019 年度末頃）

これまでの海洋産出試験における評価を行い、課題と考えられる事項と解決策の案が抽出されていること。

【マイルストーン②】（2022 年度後半）

長期陸上産出試験の長期生産挙動データの取得と生産技術の実証が十分に実施されているこ

＜3＞個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

イ）総合的な検証に基づく課題解決策の検討

＜課題＞

貯留層評価に関しては、過去の海洋産出試験のシミュレーション結果と計測されたガス・水生産挙動等との間に差異が見られ、生産挙動予測、ひいては技術的可採量予測の信頼性が未だ十分ではないため、それらの信頼性を高めることが課題となっている。

生産システムに関しては、過去の海洋産出試験において数週間程度の連続生産を実現したものの、予定していた減圧度を達成できなかったことや、気液分離・フローアシュアランス（坑井から生産される油・ガス・水の多相流体が管内を確実に流れるよう管理すること）等の課題が残っている。

長期生産挙動の把握には長期陸上産出試験が必要であり、データ取得後には結果分析と、海洋における生産挙動予測・生産技術開発に反映させる必要が生じる。また、三次元地震探査の結果を評価して、簡易生産実験を含む試掘作業の実施地点及び実施内容の検討を行う必要が生じる。

<実績（実施内容・実施方法）>

中間目標として設定した【マイルストーン①】（2019年度末頃）において、生産システム、貯留層評価のそれぞれに関して、過去の海洋産出試験において発生した現象を解析し、評価を行い、課題と考えられる事項と解決策の案を抽出し、研究開発計画を策定した。

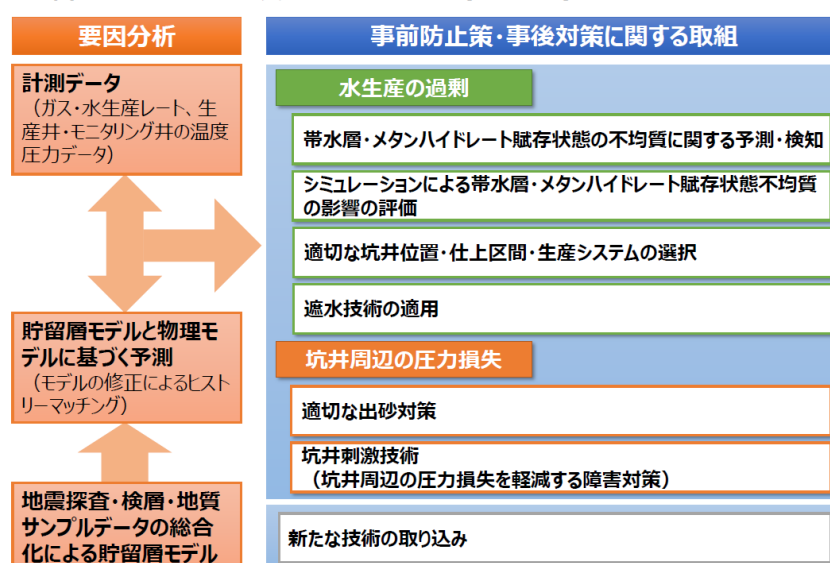
具体的には、これまでの海洋産出試験の結果の総合的な解析・評価を実施し、安定生産阻害要因として水理的要因（水供給の過剰による減圧の妨げ、坑井周辺の圧力損失による減圧の伝達の妨げ）と熱的要因（分解に供給される熱が十分に早く供給されない）を挙げ、水理的要因を最重要課題と位置づけ、熱的要因を長期陸上産出試験を通じて確認すべき課題として抽出した。

今後の研究開発計画について、水供給の過剰については、帯水層・メタンハイドレート賦存状態の不均質性に関するより適切な評価、及び適切な坑井位置・仕上り区間・生産システムの選択、遮水技術の適用、坑井周辺の圧力損失については、適切な出砂対策、坑井刺激技術（坑井周辺の圧力損失を軽減する障害対策）に整理し、目標・解決すべき課題・解決策についてそれぞれ纏めて、全体を通して新たな技術の取り込みを実施することとして立案した。

（詳細は、第36回開発実施検討会の「資料3 総合的検証に基づく技術課題の抽出と解決策の検討（https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_03_00.pdf）」を参照）

これらの成果については、外部有識者からなるアドバイザリー委員会、開発実施検討会にてご議論頂き、ご意見ご助言を頂いている。

技術課題の解決に向けた今後の取組（俯瞰図）



ロ）貯留層評価（生産挙動予測と技術的可採量評価の信頼性向上）

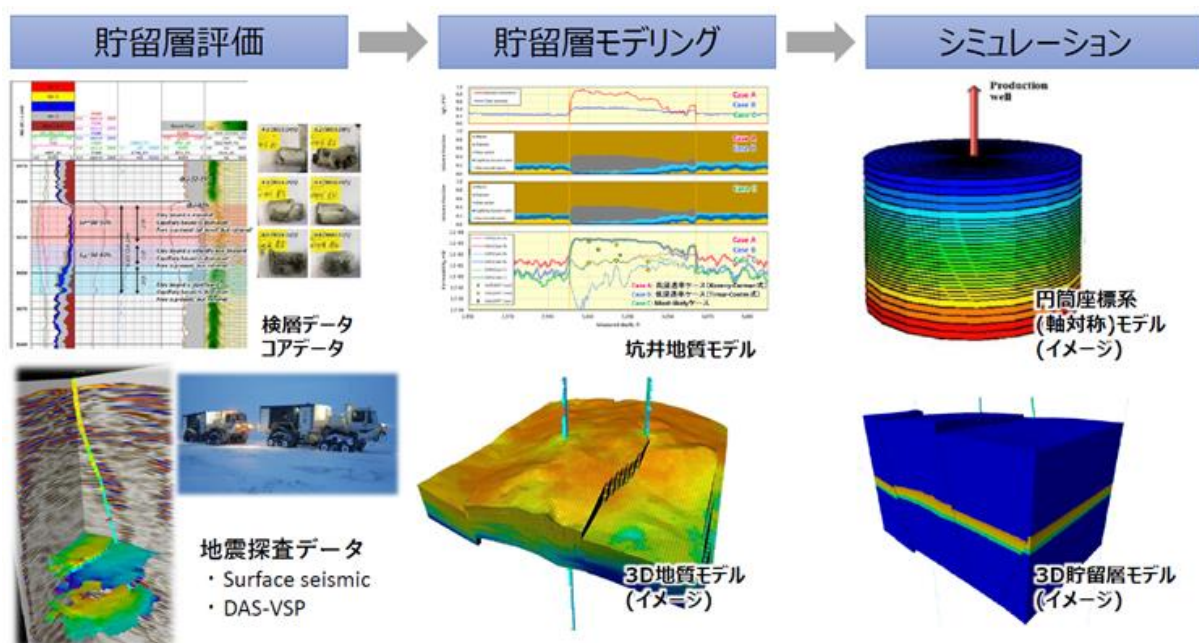
<課題>

貯留層評価に関しては、シミュレーションによる生産量等の予測と実際の試験で得られたデータとの間にかい離が見られることから、生産量予測と技術的可採量評価の信頼性を向上することが主要な課題である。また、それらのかい離の原因とも考えられる安定的な減圧や生産を阻害する要因の特定も課題として挙げられる。

<実績（実施内容・実施方法）>

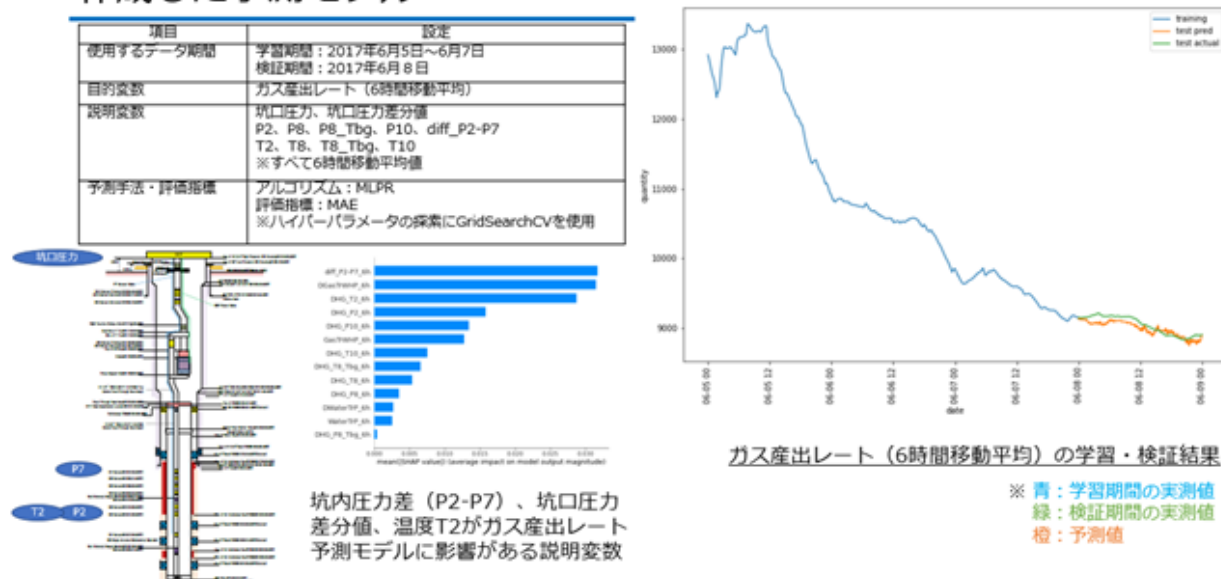
第2回海洋産出試験で得られたコアサンプルの分析（力学特性、熱物性、浸透性等）を進め、地震探査データ、物理検層の解析結果、産出試験時及び試験前後のモニタリングデータ等との統合的な解析を実施し、その結果も踏まえ地質・貯留層モデルの更新を行った。さらに貯留層シミュレーション（ヒストリーマッチング）により、予測と実際の生産量等のかい離の要因を推定した。

米国アラスカ州にて計画している長期陸上産出試験に向けては、掘削済みの層序試験錐井で得られたデータ（物理検層、コア）、試験対象エリアをカバーする地震探査データ、並びに層序試験錐井に設置した音響センサー（Distributed Acoustic Sensing : DAS）を受振器とした坑井内地震探査（DAS-VSP）データ等に基づき、二次元及び三次元の地質・貯留層モデルを構築し生産挙動予測を実施した。それら生産量等の予測結果は、試験の際に設置する坑内機器などの生産設備の仕様に反映されている。また、各種の不確実性（貯留層の側方不均質性、断層の導通性、地層温度等）が生産挙動に与える影響を評価するための感度解析を行い、様々なシナリオについて検討を進めた。



その他、ジオメカニクスの観点から出砂や地層変形をモデル化するため、出砂現象のモデル実験を実施し検討を進めるとともに、メタンハイドレート用貯留層シミュレータ（MH21-HYDRES）の機能を強化するための検討や機械学習等の新しい技術を生産予測等に取り込むための試行的な検討を行った。

作成した予測モデル



ハ）生産システム改良（海洋における長期生産技術の開発・改良）

※生産システムとは、メタンハイドレートからのガス生産に関わる一連の設備・施設群のことであり、具体的には坑井内機器から生産処理設備、フローラインに至るメタンハイドレート開発・生産に関わる一連の設備・施設群を指す

<課題>

次フェーズ海洋産出試験に向けて、商業化プロジェクトへの拡張性、確実にガス生産が継続できる機能、不確実な自然現象への対応性、効率的（低コスト）で確実なデータ収集できる機能を持つ生産システムを確立することが課題である。

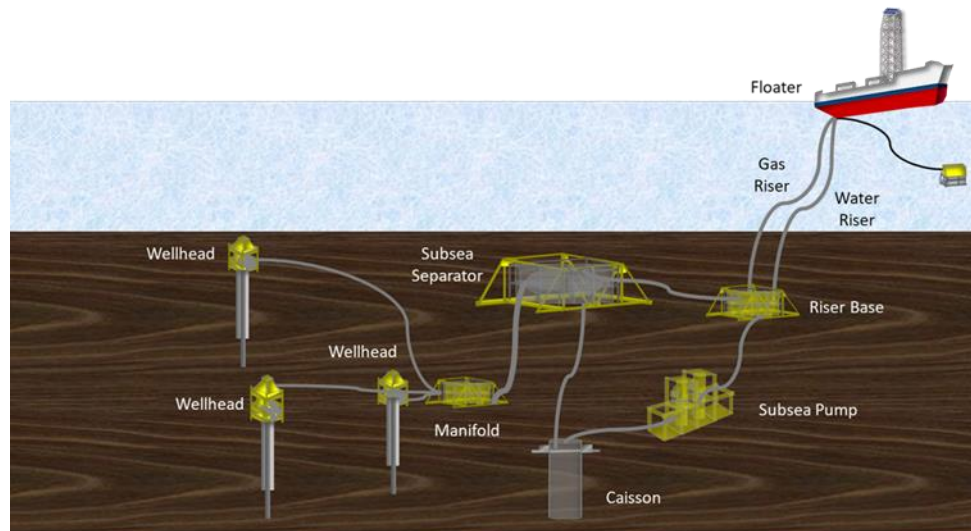
<実績（実施内容・実施方法）>

これらの課題に対して、次フェーズ海洋産出試験において実現性の高い候補案3つの関連技術情報の収集を継続中であり、具体的には、海洋産出試験設備の基礎技術検討としてリフティング技術、サブシーシステムの再ハイドレート化対策、生産水処理技術、ガス水分離技術の検討を継続して実施している。

また過去の海洋産出試験において認識された安定生産阻害要因として、生産システム内の流体の温度が下がることによるハイドレート生成について検討するためのシミュレータ開発、微生物固化等を活用した止水、出砂防止対策の検討等を実施している。

更に生産量を増加させるための方策として複数坑井からの同時生産や、モニタリング井を含む一連の坑井計画、高傾斜井の成立性の検討と坑井に関する課題の整理を実施している。

これら技術課題の検討と並行して、次フェーズ海洋産出試験に向けたFEED準備として、施設設計ベースの策定、工程の検討、関連法規／基準の整理を実施している。



生産システムのイメージ（全体像）

二）長期陸上産出試験

<課題>

過去の海洋産出試験において数週間程度のガス生産を達成できたものの、事前の予測と実際の生産挙動にはかい離が見られ、長期的な挙動や長期安定生産が技術的に可能か否か等は確認できておらず課題として残されている。

また、出砂や過剰な水生産などの海洋産出試験で見られた技術的課題への対策を実証することも課題となっており、海洋と比較して相対的に柔軟な操業が可能な陸上にて産出試験を実施し、長期の生産挙動データを取得するとともに技術課題への対策を検証することなどにより次フェーズ海洋産出試験と商業化に活かすことを目指している。

<実績（実施内容・実施方法）>

これまでの実績は以下の通りである。

a) 準備作業・技術開発

・ オペレータ選定作業

BP 社がアラスカ州に保有する全資産を Hilcorp 社に売却したことに伴い、産出試験対象エリアが位置する PBU (Prudhoe Bay Unit) 鉱区オペレータも BP Exploration Alaska 社から Hilcorp North Slope 社に交替したため（売却手続き完了は 2020 年 7 月）、新たな鉱区権者に本プロジェクト実施に関する理解を得るのに時間を要するなど、当初予定より大幅に遅れたが、2021 年 1 月に ASRC Energy Services Alaska 社（AES 社）をオペレータ（現場作業を委託する事業者）として選定した。

・ 共同研究開発協定の改定

2018 年 12 月に層序試験井を掘削する際に、米国側パートナーである NETL と締結した共同研究開発協定（Cooperative Research and Development Agreement: CRADA）を、産出試験実施に向けて内容を追加（データ取得井・生産井の掘削、データ取得等に関して追記）するとともに期間を 2023 年 3 月末まで延長した。

・ 詳細実施計画策定作業

前述の通りオペレータ選定作業のスケジュールはPBU 鉱区オペレータの交替等により遅れを余儀なくされたが、NETL と協議し詳細実施計画のベースとなる実施計画案を策定した。オペレータ選定後は、直ちに詳細実施計画策定作業を開始し、概ね完了した。

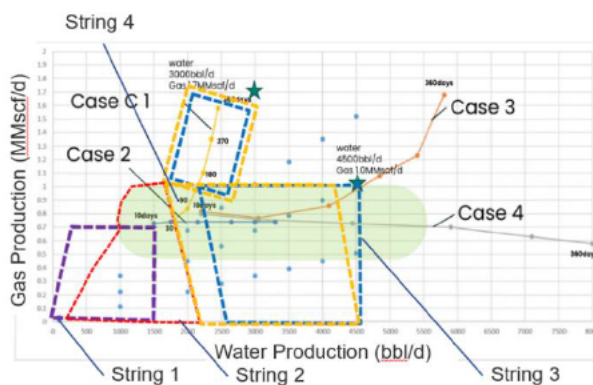
・ 技術開発

海洋産出試験等で得た知見を計画に反映し、出砂対策や坑内設備（ポンプ、ヒーター等）等について検討、技術開発を進め、設計・計画に反映させた。例えば、1)減圧するための電動水中ポンプ（ESP）は、長期試験を達成するため幅広い水生産量に対応すべく交換可能とし、2)出砂への対策は、第2回海洋産出試験で適用した形状記憶ポリマーに加えてその代替策も準備、3)産出ガスは地上試験設備で消費する、等を実施計画に含めている。

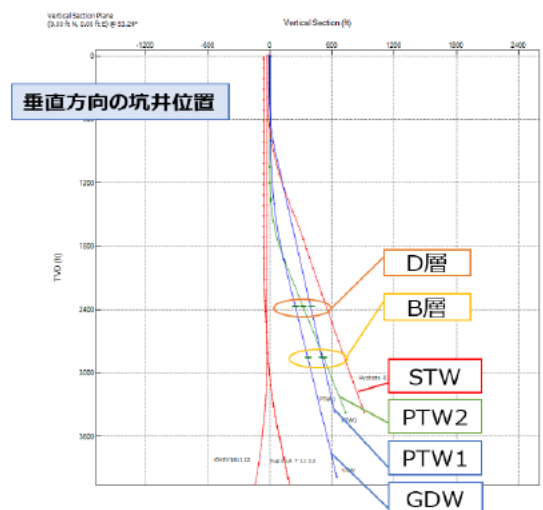
また、坑井を用いた圧力・温度・歪みデータ等の測定技術も検討を進め、圧力については坑井内外での測定ができる（差圧の測定が可能な）設計としている。

各ポンプ編成の運転領域図

（幅広いレンジの水生産（=減圧）を可能にするため、複数のポンプ編成を交換可能とした。）



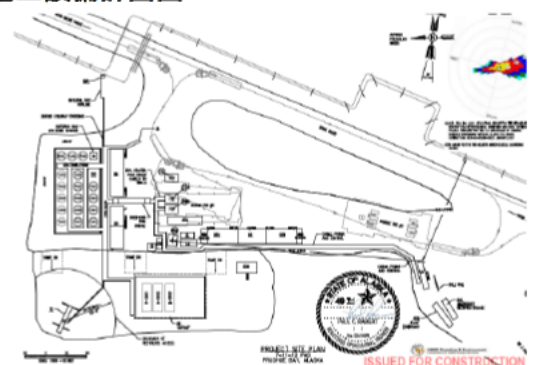
坑跡計画図



出砂対策装置



地上設備計画図



b) 坑井作業

前述のPBU 鉱区オペレータ交替の影響に加えて、新型コロナウイルスの影響により、PBU 鉱区権者から2021年中の第三者の現場作業は許可できないとの意思が示され、大幅な遅延を余儀なくされたため、データ取得井及び生産井の掘削作業には着手できていない。現時点では2022年度前半の掘削作業を想定している。

c) データ取得作業

2018年12月に掘削した層序試験井に設置した温度センサー(Distributed Temperature Sensing : DTS)を利用し、地層温度測定を継続中である。また、2019年3月に実施した、音響センサー(Distributed Acoustic Sensing : DAS、層序試験井内に設置済み)を受振器として用いる坑井内地震探査(DAS-VSP)の解析データに基づき小断層の位置等を推定、それを踏まえた各坑井の最適位置等を実施計画に反映させている。

その他、地表面変位データを継続的に取得し、通年のデータ取得により産出試験実施時に地表面変位を把握するためのベースラインデータとした。

【2】有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査

<1> 目標 (2019~2022年度)

- 次フェーズ海洋産出試験の実施候補地点が抽出されていること。
 - イ) 三次元地震探査等による有望濃集帯候補の抽出と試掘によるデータ取得により原始資源量・貯留層性状等が把握されること。
 - ロ) 候補地点の存在する濃集帯は、経済性の基準(100億立方メートル以上)※1を満たすと評価されること。

※1：経済性の条件を満たす濃集帯の規模として、第22回 総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会(2017年6月21日) 資料3「メタンハイドレート開発の今後の在り方について」においては500億立方メートル以上が優先順位「高」、100~500億立方メートルが優先順位「中」とされている。

<2> 中間目標

- 【マイルストーン①】(2019年度末頃)
なし。
- 【マイルストーン②】(2022年度後半)
試掘候補地点が見いだされて、試掘作業の実施が実現できる見込みであること。

<3> 個別研究開発項目の課題・実績(実施内容・実施方法)等

イ) 三次元地震探査の準備・実施・解析

<課題>

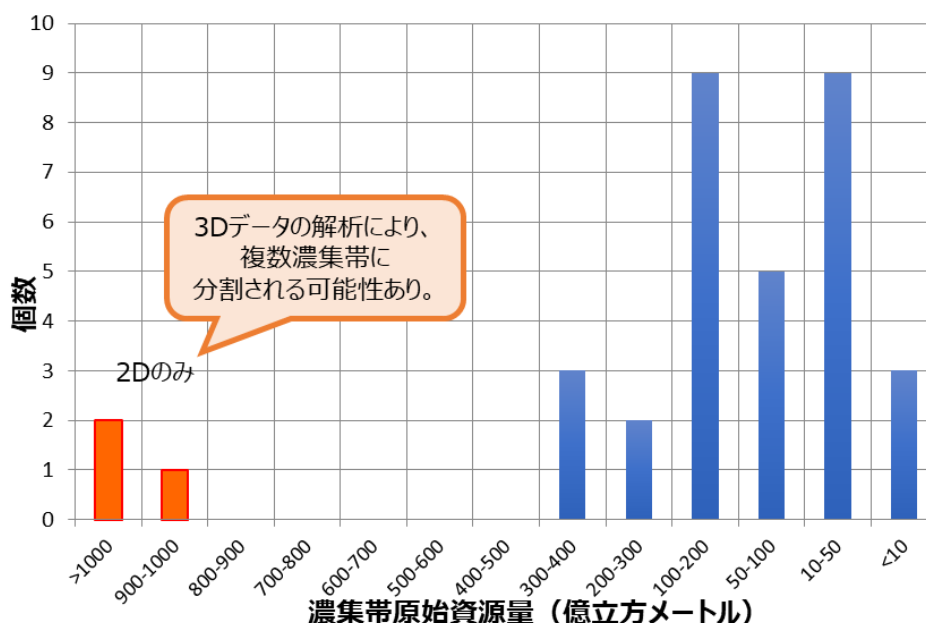
日本周辺海域では、物理探査船「資源」や「たんさ」にて収録されてきた基礎物理探査データなど利用可能な地震探査データが多くある。旧開発計画期間中より、これらデータを精査し、メタンハイドレート濃集帯候補の抽出を実施してきた。抽出された濃集帯候補の中には三次元地震探査データが収録されていないものもあり、その規模や解釈に不確実性が多く残るものもある。

そこで本フェーズでは①調査実施のための関係各所との調整を行い、三次元地震探査を実施する、②既存の探査データの解析や三次元地震探査による探査データの解析等を実施し、次フェーズ海洋産出試験海域の選定のための試掘対象となる有望濃集帯候補を抽出する、ことが課題となった。また、③取得・解析したデータをもとに、有望濃集帯の資源量・貯留層性状に関する知見のとりまとめを行い、次フェーズ海洋産出試験の実施候補地点の抽出に資する、ことが課題となっている。

<実績（実施内容・実施方法）>

二次元地震探査データでのみ確認されている濃集帯のなかで、3海域3濃集帯が三次元地震探査データの取得が望まれる状況であった。そこで、収録エリア、仕様を検討しこれら3海域について基礎物理探査事業として令和元年度に応募した。応募海域のうち、より濃集帯としての暫定評価が高かった2海域にてデータ収録が令和2年度から令和3年度にかけて実施されている。また、収録されたデータに対し、大水深のメタンハイドレート賦存層のイメージングを意識した処理手法の提案をし、反映適用されているところである。収録が先行していた1海域については処理結果を令和3年に提供を受け、海域内の濃集帯解釈作業を実施し、令和3年に実施した事前調査井掘削位置選定に活用した。

今後も順次収録されたデータの処理結果が提供される予定であり、令和4年度に予定されている事前調査井掘削位置検討に活用するとともに、事前調査井にて得られた各種検層データとともにインバーションなどの解析を適用し、有望濃集帯の原始資源量の算出、貯留層特性の把握に活用される予定である。



ロ) 試掘（簡易生産実験を含む）の準備・実施

<課題>

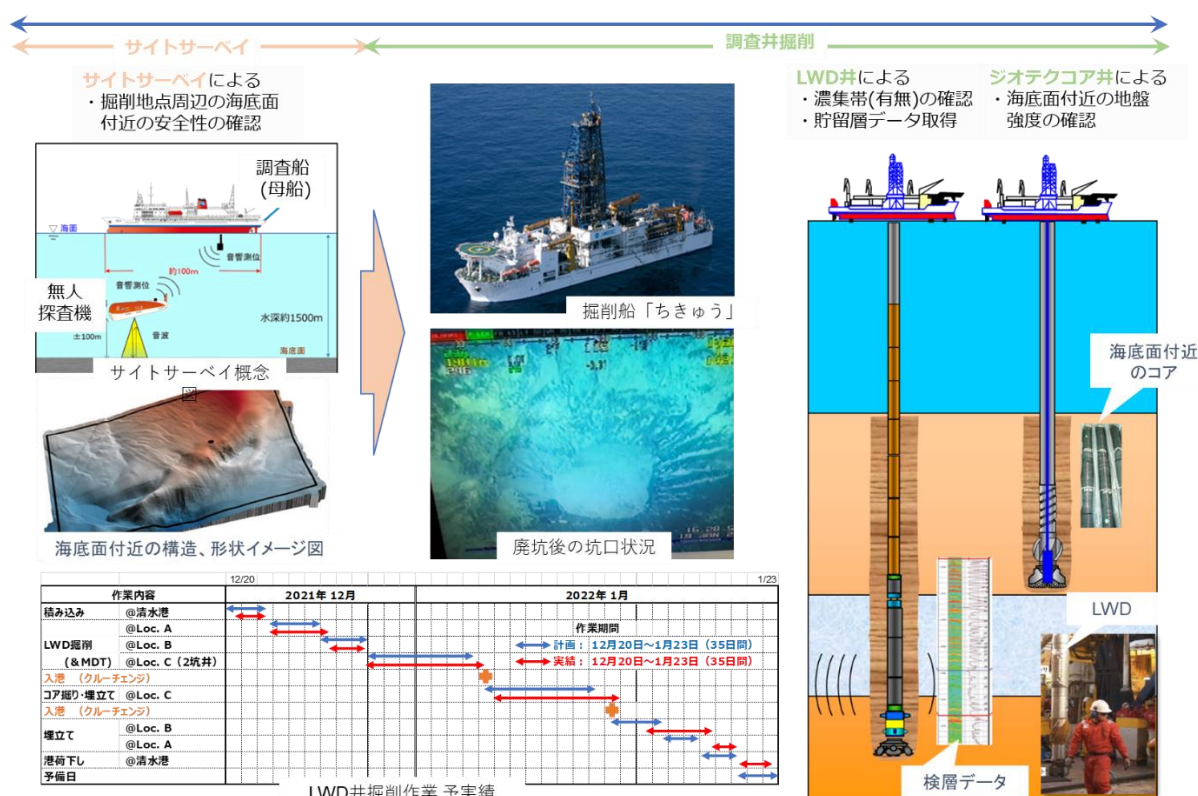
この項目では、以下が課題として挙げられている。

- ① 次フェーズ海洋産出試験の掘削位置を決定するためには、坑井から得られるデータも必要であり、選定された候補地で試掘作業を行い、検層データ・コアサンプル等を取得する。
- ② 掘削技術の課題として坑径拡大の解決策の検討を行う。
- ③ 貯留層特性を把握する目的で、簡易生産実験を含む試掘を実施する。

<実績（実施内容・実施方法）> 上記課題①と②について

簡易生産実験を含む掘削位置選定準備として、濃集帯候補の評価に資するデータを取得するための事前調査として、5 坑の調査井の掘削を実施し、それぞれ必要な地質・貯留層データや地層コアサンプルを取得した。2022 年度も追加の調査井掘削によるデータ取得を計画しており、これで坑井から得る全データが取得できる見込みである。

この掘削作業において坑径拡大の課題を改善すべく、第 2 回海洋産出試験時の作業手順、掘削パラメータ等を見直し、掘削中の掘削流体の循環量をできるだけ少なく、かつ循環時間をできるだけ短くすることを目指して作業手順やツールの改善を行い、可能な限り低流量、かつ短時間の循環となる作業手順を採用し、LWD ツールについても低流量デザインの提供を受けている。



③について

簡易生産実験を含む試掘に用いる試験機器等について基本設計から始め、これまでに大部分の詳細設計や機器間どうしの統合確認も完了している。既に一部の長納期品については製造を開始しており、2022 年度には機器類全てについての製造を行い、2023 年度には簡易生産実験を含む試掘を

実施し貯留層特性の把握、及び次フェーズ海洋産出試験の掘削位置決定に必要な生産能力評価に必要なデータやコアサンプルを取得する予定である。

【3】環境影響評価

<1> 目標（2019～2022 年度）

- 次フェーズ海洋産出試験の実施候補地点が抽出されていること。
- ハ) 海域環境調査が継続され、次フェーズ海洋産出試験候補地点の環境影響の程度が推定されていること。

<2> 中間目標

なし

<3> 個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

イ) 環境影響評価

<課題>

モデル海域（第 1 回および第 2 回海洋産出試験実施海域：第二渥美海丘周辺）において、掘削・廃坑等の作業に伴い生じるカッティングス（掘り屑）やセメント等の被覆により減少した底生生物の回復状況に関するデータや、黒潮大蛇行が日本南岸の海洋環境に与える影響を把握するためのデータを取得し、今後の環境影響の予測・評価に活用可能なデータとして整理する。

有望濃集帯候補海域の環境データを取得し、次フェーズ海洋産出試験の環境影響の予測・評価のための環境ベースラインデータとして整理する。

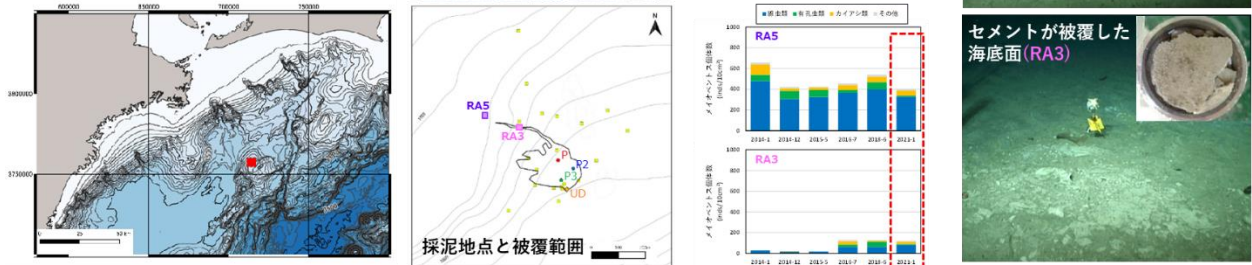
過去の海洋産出試験での海底面観察結果等をもとに、掘削・廃坑等の作業に伴う海底環境への影響をより詳細に把握するためのシミュレーション検討を実施し、影響予測の不確実性を低減する。

<実績（実施内容・実施方法）>

モデル海域においては、遠隔操作型無人潜水機（ROV）による海底面観察および表層堆積物の採取等を実施し、過去の海洋産出試験の掘削・廃坑等の作業による影響で減少した底生生物の回復状況に関するデータ（底生生物・底質等）を取得した。また、黒潮大蛇行中の冬季および夏季に、センサーによる環境計測や、採水・プランクトン採集等を実施し、黒潮由来の水の流入状況や、その流入により影響を受ける水質（栄養塩類等）およびプランクトン類の組成等に関するデータを取得した。

【調査実績】

- ・調査期間：
2021年1月17日～2月27日
- ・調査船舶：
新日丸（深田サルベージ株）
ROVはくよう



有望濃集帯候補海域の環境データについては、有望濃集帯候補の3海域において既存の環境データ（流況・水質・底質・生物相等）を網羅的に収集し、各海域の環境面での特徴や留意事項、新たに取得が必要な環境データ等を整理した。また、事前調査掘削対象海域として抽出された1海域で、2021年8月にROVによる海底環境の調査を実施し、流況、底質、底生生物に関する新規データを取得した。得られた底生生物の分布情報等をもとに、以降の作業（簡易生産実験等）実施の可能性を考慮し、影響を低減するための対策（事前調査掘削井の位置変更）を提案した。

環境影響予測については、カッティングス（掘り屑）等の再浮遊による被覆範囲の変化やセメントの拡散挙動を予測可能なシミュレーション技術の構築を進めている。カッティングスの再浮遊については、漂砂理論に基づく構成式やパラメータ等の検討を行い、モデル海域の環境条件をもとに、再浮遊の量と被覆厚の変化を試算し、パラメータ等の妥当性の検討を進めている。また、セメントの拡散挙動の予測については、セメントの性質（粘性・塑性）を表現可能な計算コードやシミュレーションソフトにより、モデル海域の海底地形を反映した再現計算を実施し、パラメータ等の妥当性の検討を進めている。

【4】長期的な取り組み

個別研究開発項目・項目ごとの取り組みについては、次の通り。

イ）生産量向上・コスト低減などの個別技術における新しい技術の取込み（オープンイノベーション）

技術課題を公にして関心を広める目的で、学会・論文発表などを行うとともに、プレスリリースやホームページによる情報発信のほか、毎年、一般向けの研究開発事業成果報告会として「砂層型メタンハイドレートフォーラム」を開催している。

リモート発表も含め、石油開発会社、東京大学、東北大学、米国地質調査所（USGS）に所属する方からもご講演をいただいた。また、国内外の大学、エンジニアリング会社、地球科学関係企業など業界の内外からも広く参加があり、フォーラムでの質疑応答では、参加者と講演者の双方向のやりとりができる機会となっている。

（1）2019年度：砂層型メタンハイドレートフォーラム2019

日時：2019年12月3日

会場：東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

参加者数：241人

(2) 2020年度：砂層型メタンハイドレートフォーラム2020

日時：2020年12月16日（オンライン開催）

参加者数：355人

(3) 2021年度：砂層型メタンハイドレートフォーラム2021

日時：2021年12月1日（オンライン開催）

参加者数：293人



図4. 砂層型メタンハイドレートフォーラムの様子

なお、全事業実施期間を通して、オープンイノベーションの考え方を取り入れた個別技術における検討において情報収集を継続しており、再委託等を通じて、産学の幅広い知見や技術を活用しながら研究開発を実施している。

ロ) 日本周辺海域の資源量評価

日本周辺海域の資源量評価は次の2項目からなる。

- ① 日本周辺海域におけるメタンハイドレート資源量評価
- ② メタンハイドレートシステムの検討

①日本周辺海域におけるメタンハイドレート資源量評価

<課題>

旧開発計画期間より、日本周辺海域にて得られた地震探査データを評価し、BSR分布の把握、濃集帯の把握を実施してきた。地震探査データの多くを借り受けている基礎物理探査事業は現在も継続的に行われており、随時新規データが公開され利用可能となっている。よって追加海域の評価が課題となっている。

<実績（実施内容・実施方法）>

本フェーズではこれまで取り扱っていなかった海域や新規に公開された海域のデータである22の基礎物理探査データについてBSRの分布の有無、濃集帯の有無の解釈作業を実施し、メタンハイドレート濃集帯の評価エリアの拡充に取り組んできた。また、新規に2つの基礎物理探査データに

て濃集帯の抽出作業に取り組んでおり、今後原始資源量評価を実施し、既知の濃集帯との比較評価を予定している。

②メタンハイドレートシステムの検討

<課題>

新規探鉱エリアの検討や、濃集帯の資源量評価の高精度化にあったってはメタンハイドレートがどのように濃集帯を形成していったかの理解を深める必要がある。よって、東部南海トラフにおけるメタンハイドレートシステムモデルの更新および、次フェーズ海洋産出試験海域選定に資する情報を提供することが課題となっている。

<実績（実施内容・実施方法）>

メタンハイドレートシステムを検討するため、第1回および第2回海洋産出試験の実施場所であった第二渥美海丘エリアを含む東部南海トラフ海域にて得られた検層データ・コア試料等を用い、本フェーズよりメタン生成菌の活性環境の検討、火山灰を用いた年代同定手法の検討などを実施してきた。これら要素技術はメタンハイドレートシステムモデルに組み込まれ、東部南海トラフ海域のメタンハイドレートシステムシミュレーションが更新されている。また、現在得られているシミュレーション結果の濃集帯位置は、有望濃集帯として選出しているエリアと概ね整合的であった。今後は新規に得られた三次元地震探査データや、事前調査井の掘削結果をメタンハイドレートシステムモデルに反映しつつ、シミュレーション結果と有望濃集帯の差を評価することで、シミュレーションの高精度化や濃集帯のリスク評価に活用し、次フェーズ海洋産出試験海域選定に資する予定である。

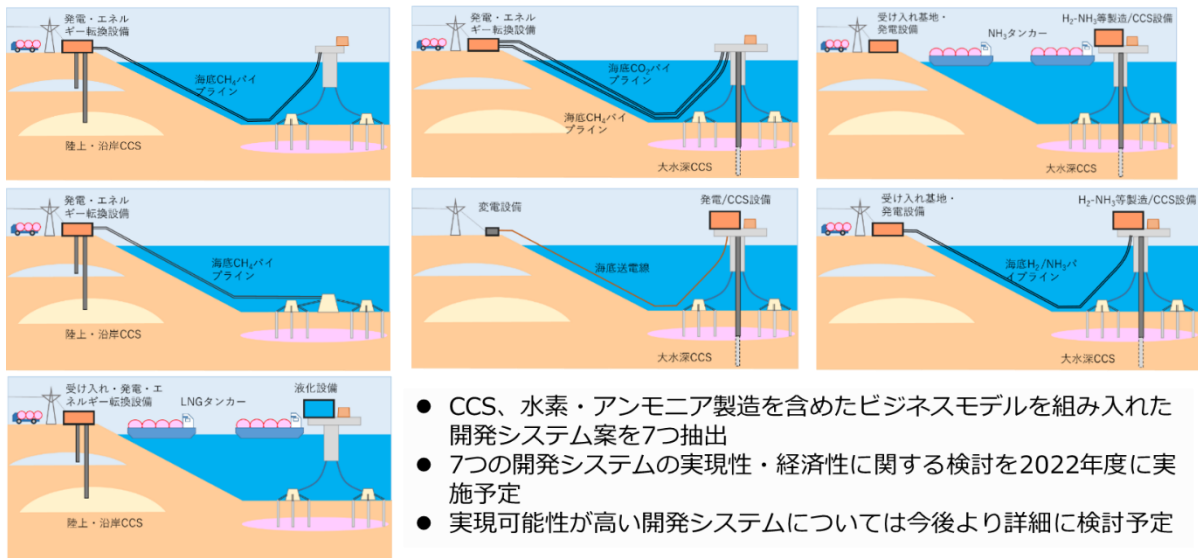
ハ) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

商業化に必要な要件を抽出するとともに、商業開発に関わるステークホルダーを抽出し、ステークホルダーバリューネットワーク（SVN）図として整理した。また、多様な濃集帯条件において、商業開発プロジェクトの実現可能性や経済性を評価するツールを構築した。

一方で、2020年に公表されたカーボンニュートラル宣言により、水素・アンモニア製造およびCCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）を考慮した販売ビジネスモデルを考えなければならなくなった。販売ビジネスモデルが変わると開発システム構成も変わることから、新しい販売ビジネスモデル、および、それに合わせた開発システムの候補を抽出し、その実現可能性や経済性について評価を実施している。

今後は、商業化に必要な要件に関する詳細検討、ステークホルダーへのヒアリング、および、評価精度を上げるための情報収集を行い、それらの結果をもとに事業化シナリオ案を改定していく予定である。

ビジネスモデルの変化 → 開発システムの再検討



② 表層型メタンハイドレートについて

【1】生産技術の開発

<1> 目標（2019～2022 年度）

- イ) 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※¹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。（2019 年度）
- ロ) 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。（2022 年度）

※1：「閉鎖環境を前提としたメタンハイドレート回収技術の研究」、「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」、「表層型メタンハイドレートを対象とした減圧・加熱併用法に関する調査・検討」、「ドーム状の膜構造物利用による回収技術の検討」、「採掘機と分離装置を用いた回収システムの検討」及び「深海掘削技術による回収の可能性について」の6提案による調査研究を指す。

<2> 個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

イ) これまでの調査研究成果の評価と有望技術の特定に向けた検討

2016 年度開始した回収技術に関する調査研究では、これまで、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、③環境影響に関する検討など、調査研究を行ってきた。

2019 年度は、これらの調査研究結果を取りまとめ、評価し、有望な回収・生産技術を特定する。

<実績>

表層型メタンハイドレートの回収技術に係る調査研究の評価を 2019 年度に行い、有望技術の抽出を実施した。評価の対象とした調査研究は 6 提案あり、その内容は多岐にわたっていたために評価を実施するにあたり、①表層型 MH の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できているか、④要素技術の確立に向けた計画や費用は想定されているか、⑤要素技術の開発に必要な事業実施能力や体制は構築又は想定されているか、⑥要素技術に係る知財の状況等は把握できているか、といった評価指針を準備し、調査研究全体の評価と要素(掘削／分離／揚収)技術開発に分けた内容で評価を行った。評価結果を取りまとめ、採掘技術では大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式と吊り下げ式縦掘型掘削機方式、分離技術では船上分離方式と海底分離方式、揚収技術ではガスリフト方式と水中ポンプ方式を特定し、要素技術開発を2020年度より開始した。また、要素技術との組合せや生産システムとしての検討を行う上で必要な共通基盤技術として、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も併せて開始する事にした。

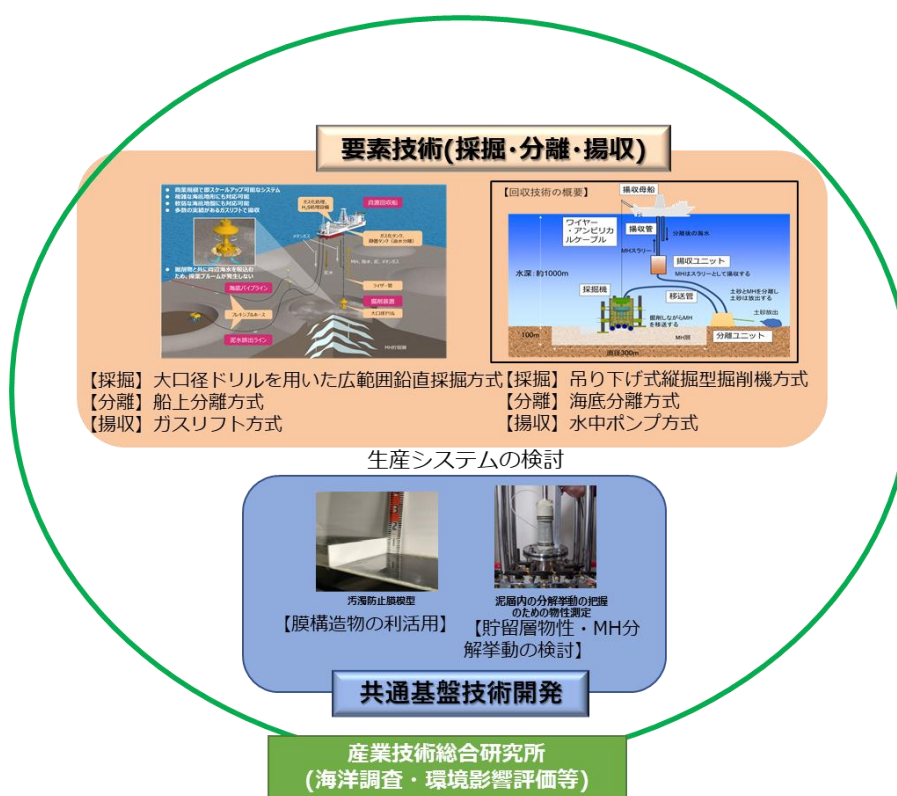


図5. 表層型メタンハイドレートの回収技術に係る有望技術の特定

ロ) 回収・生産技術の研究開発

・要素技術開発

イ)の結果を踏まえ、表層型メタンハイドレートの回収やガス生産技術の確立に必要な、採掘・ガス分離・揚収等の要素技術を中心に、陸上での実験やシミュレーションによる解析等を通じた研究開発を実施する。また、その成果を評価するとともに、有望な技術については海洋での検証を行う。

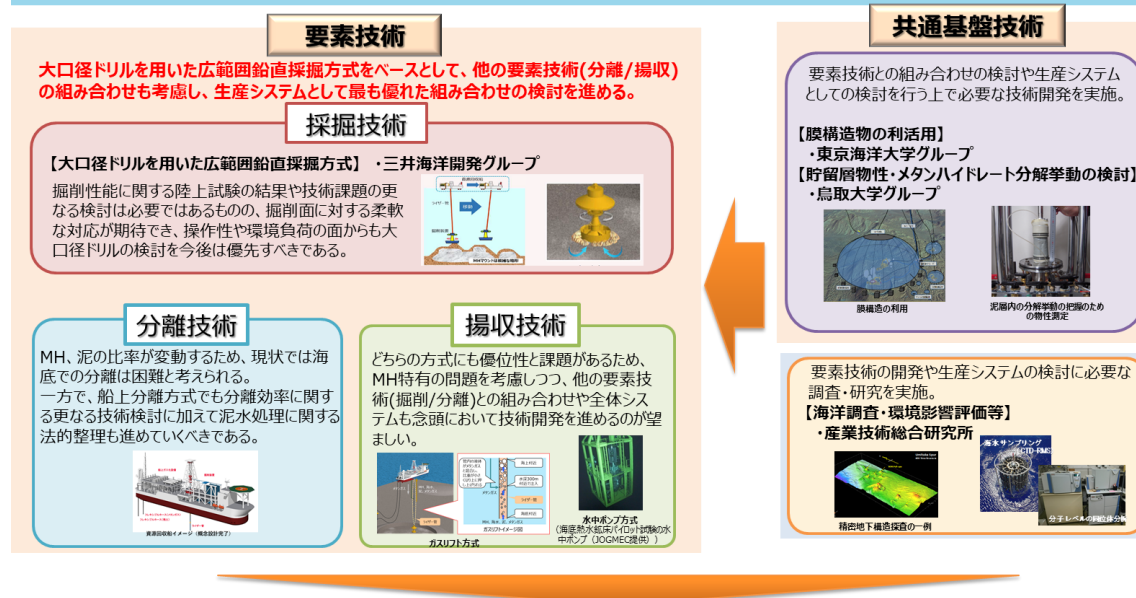
・生産システムの検討

海洋産出試験に向けて、表層型メタンハイドレートの回収・生産に必要な採掘・ガス分離・揚収技術等を統合する生産システムについて検討を行う。

＜実績＞

採掘技術では、大口径ドリルを用いた掘削方式として掘削時の土粒子拡散の状況を把握するためのプール実験の実施、吊り下げ式縦掘型掘削機では姿勢保持のためのアウトリガー方式の設計などを行った。また分離技術では、船上ガス化分離システムのコンセプトの見直しや機器仕様の検討、サイクロンによる海底分離方式の数値解析による検討を行った。更に揚収技術では、揚収シミュレーションの精度向上のための流動様式や混相流での既存データの整理や、水中ポンプの仕様検討や概念設計などが行われた。これらの要素技術開発の進捗に関して外部有識者による評価委員会にて評価を行い、今後は大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式をベースとして、他の要素技術（分離/揚収）の組み合わせも考慮し、生産システムとして最も優れた組み合わせの検討を進めていく事とした。なお、大口径ドリルの掘削機能の確認のために、オホーツク地域創生研究パークにて大型氷や模擬地盤などを用いた掘削実験を予定している。

- ・ 表層型メタンハイドレート生産技術を「要素技術」（採掘技術・分離技術・揚収技術）について評価を踏まえ、各分野ごとの技術開発及び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。



引き続き、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。

図6. 表層型メタンハイドレートの回収技術に係る技術評価

【2】海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査

＜1＞目標（2019～2022 年度）

- イ) 海洋調査を通じて、表層型メタンハイドレートの賦存状況や、生産技術の開発に必要な海底状況を把握する。
- ロ) 上記の調査結果等を踏まえ、海洋産出試験の実施場所に関する検討を行う。

＜2＞個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

将来の表層型メタンハイドレートに係る海洋産出試験を見据え、電磁探査、掘削調査、潜航調査等の詳細データが揃っている3海域（酒田沖海域、上越沖海域、丹後半島北方海域）をモデル調査海域として、必要な海洋調査を実施していくこととする。

イ) 賦存状況等を把握するための海洋調査

・精密地下構造調査

表層型メタンハイドレートの存在が確認されている海域において、高分解能海上三次元地震探査を実施し、表層型メタンハイドレート賦存域の精密地下構造データの取得に取り組む。

・熱流量調査

熱流量データを取得し、高分解能海上三次元地震探査データに観察されるBSR分布と併せて解釈することでハイドレート安定領域下限深度の評価に取り組む。

<実績>

日本海の表層型メタンハイドレートの存在が確認されている海域では、海底下構造が表層型メタンハイドレート賦存状況を強く規制している。また、2015年に上越沖海域で実施した高分解能三次元地震探査の結果、表層型メタンハイドレートの存在可能性を示す音響空白域（ガスチムニー構造）の内部構造は多様であることが明らかにされている。本探査では、高分解能三次元構造データが取得されていない2海域（酒田沖海域、丹後半島北方海域）で高分解能三次元地震探査を実施した。

2019年7月～8月に探査を実施した酒田沖海域での酒田海丘（仮称）では、海丘中央部に音響空白域が存在すること、海丘中央付近及び南東側斜面にBSRが分布することが明らかになった。また、海丘中央部を中心とした放射状に延びる断層が発達しており、この断層が表層型メタンハイドレートの形成に必要なメタンを海底深部から供給する通路になっている可能性が示唆された。2021年6月、丹後半島北方海域の表層型メタンハイドレート賦存域において同様の探査を実施した。今後、取得した高分解能三次元構造データの解析を進める。

また、ハイドレート安定領域下限深度は海底水温と海底深部からの熱流量^(※)に規制される。日本海で表層型メタンハイドレートの存在が確認されている海域（酒田沖海域、上越沖海域及び丹後半島北方海域）では振幅の大きい海底水温変動が確認されている。このような海域で信頼性の高い熱流量データを取得するためには、①長尺温度プローブを使用して海底水温変動の影響が十分に減衰する海底深部で温度計測を実施する、もしくは②海底水温と海底堆積物の温度を長期間モニタリングし、海底堆積物温度データから海底水温変動の影響を除去することで地温勾配を得る方法が適用される。本調査では②の方法を適用して熱流量計測を実施した。

2020年11月、酒田海丘及びその周辺の9地点に長期間計測可能な海底水温計及び地中温度計を設置した。2021年6月にこれらの装置を回収し、海底面直上の層海底水温及び海底堆積物温度の長期データを取得した。現在、海底堆積物温度から海底水温変動の影響を除去するための解析作業を進めている。今後、酒田海丘のハイドレート安定領域下限深度評価を行うとともに、他海域でも海底水温と海底堆積物温度の長期モニタリングを実施し、同様の評価を実施予定である。

※：熱流量は単位時間に単位面積を流れる熱エネルギーで、媒体の地温勾配と熱伝導率の積で表される。海域の熱流量は、海底堆積物の地温勾配及び熱伝導率をそれぞれ計測することで決定する。海底堆積物の熱伝導率は、海底堆積物を採取して実験室で計測もしくは現場で計測される。地温勾配については、海底水温が安定している海域では、複数の温度センサーを取り付けた長さ数メートルの温度プローブを海底堆積物にさし込み、海底堆積物の異なる深度で温度を計測することによって決定する。一方、海底水温変動の振幅が大きい海域では、海底水温変動が海底面付近の海底堆積物の温度を時間変化させるため、数メートルの温度プローブを海底堆積物にさし込む方法で信頼性の高い地温勾配計測は困難である。



高分解能三次元地震探査



地中温度計の設置

ロ) 海底の状況等を把握するための海洋調査

・地盤強度調査

表層型メタンハイドレートが存在が確認されている海域を対象に、海底及びメタンハイドレート賦存深度付近までの胚胎層の地盤強度調査を行う。

・海底現場状況調査

底層流、塩分濃度、海底水温、圧力、海底下のメタンガス、メタンプルーム等の海底の現場状況を把握するための海洋調査を実施する。

<実績>

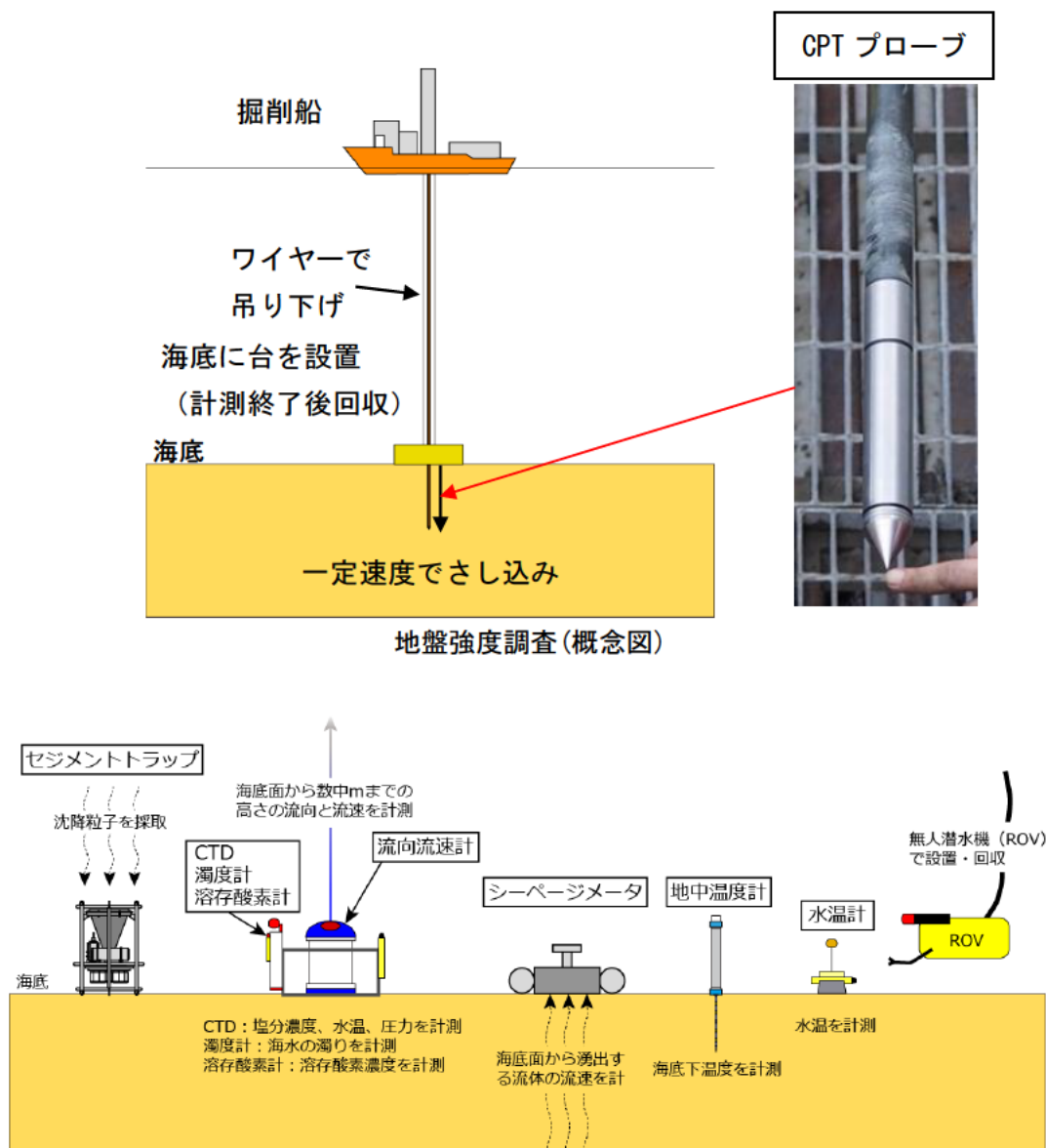
表層型メタンハイドレートは海底面下の比較的浅い未固結堆積物中に賦存しており、生産・回収方法として直接堆積物を掘削する手法が提案されているが、この技術開発にあたり堆積物の強度に関する情報が重要である。表層型メタンハイドレート胚胎地域の海底面下約 100m 以浅における堆積物の地盤強度を把握するため、掘削調査により、コーン貫入試験（CPT）、地質試料採取による室内土質試験、PS 検層による原位置地盤工学的物性の把握を行い、これらの結果を総合的に解釈することにより全体的な地盤強度を評価する。

2021 年 8 月、酒田海丘の表層型メタンハイドレート胚胎地域において掘削調査により、コーン貫入試験（CPT）、地質試料採取、及び PS 検層を行った。採取した地質試料は航海終了後に持ち帰り、CT スキャン画像撮影を実施して亀裂や堆積構造の推定を行った後、試験に適切な区間を抽出し実験室にて室内土質試験を行った。コーン貫入試験（CPT）、室内土質試験及び PS 検層結果の解析が進行中で、これらの総合解釈により酒田海丘の表層型メタンハイドレート胚胎地域の地盤強度評価を行う。今後、他の海域においても同様な地盤強度調査を実施予定で、これらの結果は生産・回収手法開発にあたって活用される。

底層流、塩分濃度、海底水温、圧力、濁度、溶存酸素濃度、冷湧水域での冷湧水速度は、表層型メタンハイドレート賦存域の海底現場を把握するために必要な物理化学的データである。これらのデータは海洋産出試験選定や生産システム設計において基礎となる情報である。

2020年11月、酒田海丘の3地点に長期モニタリング可能な超音波ドップラー多層流向流速計、CTD計^(※)、濁度計、溶存酸素濃度計を装置した。また、冷湧水域の湧水活動の時間変化を調べることを目的にシーページメータ、海底水温計及び地中温度計を設置した。2021年6月にこれらの装置を回収し、底層流、塩分濃度、海底水温、圧力、溶存酸素濃度、海底堆積物温度の長期データを取得した。今後、他の海域において同様な長期モニタリングを実施予定である。また、2021年10月～11月の間の数日間に上越沖海鷹海脚において、現況調査に係るガス湧出量の調査として、遠隔操作型無人潜水機（ROV: Remote Operated Vehicle）に搭載された高分解能三次元音響ビデオカメラと三次元レーザースキャナーを用いた計測等を行った。今後、さらに必要なデータ取得・整理を行っていく予定である。

※：電気伝導度、温度、圧力を計測する装置。得られたデータを使用して塩分濃度や水深を計算する。



ハ) 海洋産出試験の実施場所に関する検討

上記イ)及びロ)の調査結果等を踏まえ、海洋産出試験の実施場所を特定するための検討を行う。

<実績>

取得した地下構造データ、熱流量データ、海底地盤強度データ、海底現場状況に関わる物理化学的データ及び既存データを総合的に解釈し、海洋産出試験の実施場所を検討する。これまでに酒田沖海域において海洋調査を完了した。また、上越沖海域において、一部の調査を実施した。今後、上越沖海域及び丹後半島北方海域で海洋調査を実施して、海洋産出試験の実施場所を検討するためのデータを取得し、既存データと併せて海洋産出試験の実施場所を検討する予定である。

【3】環境影響評価

<1>目標（2019～2022 年度）

- イ) 表層型メタンハイドレート海洋産出試験等が海洋環境に及ぼす潜在的な影響の度合いやその時空間スケールを事前に予測する環境影響評価技術の構築に向け、メタンハイドレート賦存海域の物理・化学及び生物学的特性に関する知見とデータを蓄積する。
- ロ) 表層型メタンハイドレート海洋産出試験等について、事前の環境ベースラインデータの取得や試験期間中・終了後の環境モニタリング手法の構築に向けた検討を行う。

<2>個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

イ) 環境影響評価手法の検討

・技術・社会動向調査

表層型メタンハイドレート開発の環境影響評価技術の構築を効率的に進めるために、砂層型メタンハイドレート開発、海底鉱物資源開発、海底下二酸化炭素回収貯留（CCS）等、先行する大規模な海洋開発事業における環境影響評価の技術動向及び法的・社会的動向の調査を実施する。

・表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

表層型メタンハイドレート賦存域における開発事業（海洋産出試験を含む）に伴う海洋環境への影響予測及び評価に不可欠な、海域の物理、化学及び生物・生態学的な環境特性は十分に把握されていない。そのためベースライン調査や環境モニタリング調査での適切・必須な観測項目も明確ではない。そこで、表層型メタンハイドレート賦存域における物質循環と生態系を特徴づけるプロセス・パラメータ等の抽出と解明^{※1}を、最新の技術等を適用し^{※2}進める。

※1：表層型メタンハイドレート賦存域の海洋表層から海底面下までを対象として、生物の特異性・連結性、メタン等を基質とする微生物反応、水産有用種を含む食物連鎖網、メタンの収支や水質・生物に関連する化学成分（有機物、栄養塩、硫黄、金属元素、炭酸塩等）の動態の解明を試みる。

※2：次項に示す海域環境調査で取得する種々の試料の分析と、ピーカースケールから水槽スケールの疑似現場試験によるプロセス実験等に、最新の遺伝子解析技術、パイオインフォマティクス手法、同位体解析手法等を適用する。

<実績>

特異な化学合成生態系の存在が示唆され、漁業活動の活発な海域に賦存する表層型メタンハイドレートの開発に当たっては、科学的かつ客観的なデータを蓄積し、海洋環境への潜在的な影響を予

測・評価し、近隣のステークホルダーや広く国民の理解を得ることが不可欠である。当該研究では、まず始めに先行する砂層型メタンハイドレート、海底鉱物資源開発、海底下 CCS 技術などの先行する大規模な海洋開発事業・技術を対象に、国内外の事例について環境影響評価の進め方、技術、法的な位置付け等の調査を行った。利用の対象となる海域の特性や開発手法によって予測される影響が大きく異なることに加え、いずれの場合も自然状態での環境ベースラインデータを適切に収集することの重要性が確認された。

開発や産出試験の実施に伴って発生しうる海洋環境への影響を予測するためには、表層型メタンハイドレートが賦存する海域の特性、即ち生物の特異性や連結性、メタン等を基質とする微生物反応、水産有用種を含む食物連鎖網及び関連する有機物や栄養塩類の動態、水質（微量金属等）評価などが不可欠である。多くの先行事例では環境影響評価には Best Available Technology (BAT) の導入が不可欠であることが法令や規約に定められていることから、当該研究においても近年発展の目覚ましい最新のゲノム解析技術、安定同位体分析技術、同位体標識微生物培養技術などの種々の環境評価・分析技術の導入と検討を行い、ロ）で採取した環境試料への適用にも筋道を立てることができた。これら試験管・ビーカースケールの評価技術に加え、汲み上げ海水を利用した水槽スケールの疑似現場影響試験の手法についても検討を進め、表層型メタンハイドレートの賦存する水深帯における代表的な生物のクモヒトデ類を用いた曝露試験方法を構築した。

ロ) 海域環境調査

・表層型メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査

上記イ) の「表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明」を推進するため、表層型メタンハイドレートの賦存する複数の海域において、物理化学的データの取得（センサー計測）のほか、海水、堆積物、生物など種々の試料を採取するための海域環境調査を実施する。

・環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化

表層型メタンハイドレートの海洋産出試験の実施に関しては、試験海域における事前の環境ベースラインデータの取得と、試験中及び試験終了後の環境モニタリングの実施が求められることから、海域における環境調査手法の高度化・最適化を図る^{※3}。漁業活動の活発な海域に隣接する表層型メタンハイドレート賦存域の特性に十分配慮した観測計画の立案を進める。

※3：一般的な海洋観測項目に加え、イ）に記した表層型メタンハイドレート賦存域に特異のプロセスやパラメータを効率的に観測する手法を検討する。産出試験等において懸念される高濁度水、生産水による水柱及び海底近傍の環境と生態系への影響を予測・検出するための海洋調査手法を検討する。

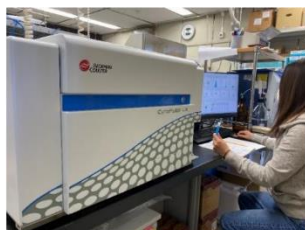
<実績>

【2】海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査で対象となっている3海域のうち、酒田沖及び海鷹海脚・上越海丘の2海域において海洋環境に係る各種の調査（海域環境調査）を実施した。海底を直接攪乱するという表層型メタンハイドレート開発の特性から、特に海底環境の調査について重点化を図り、遠隔操作型無人潜水機（ROV）による海底観察、生物・堆積物・岩石試料の採取を行った。また海底からのメタンフラックスの増大や作業船からの予期せぬ漏洩等、表層型メタンハイドレート開発及び産出試験では海洋表層を含めた海洋環境への影響も評価する必要がある。そのため CTD-CMS（海洋観測採水システム）、プランクトンネットなどを用いた海洋観測も併せ

て上記の2海域で実施した。これらの海洋観測自体は一般的な観測・サンプリング手法であるが、得られた試料についてはゲノム解析や極微量栄養塩の分析、細菌群集からプランクトンまで個々の細胞レベルで解析が可能なフローサイトメトリーなど最新の環境分析技術の適用を実施している。上越沖の試料からは、陸上の牧場由来と推定される牛の遺伝子が検出されるなど興味深い結果が得られている。

従来、メタンハイドレートが賦存する広い海域において、点在する特異的な環境（メタンシープ：メタン湧出地点）を対象とする海底環境調査は、ROVの調査可能範囲や航海時間の制限により網羅的な調査が困難であった。当該プロジェクトでは、高詳細な海底地形データ取得のために事前に実施された三次元海底画像マッピング調査と連携を図ることでこれら特異点などを特定し、サンプリング対象やセンサー設置位置等の事前検討を行うことで調査効率を著しく向上させることができた。海底近傍の流れや濁り、海底直下の化学パラメータ計測等に用いた深海対応の各種センサーは、航海期間中に集中した短期計測だけでなく酒田沖海域では数カ月乃至長期計測も実施しており、いくつかの重要な長期環境パラメータの取得に成功したところである。さらに海底下数10 mに達する長尺コアの採取にも成功し、これらの試料の分析を進めることでメタンハイドレート賦存海域の古環境解析を含めた超長期の環境ベースラインデータの取得に筋道を付けた。

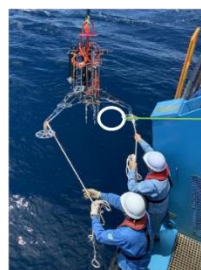
いずれの調査も関係する地元漁協、自治体などと事前に十分な説明と協議を行い、漁期・漁場、漁具設置位置の情報提供を受けるだけでなく、当該プロジェクトからも漁業者を含む地元住民等に対して海底観察動画などを用いた研究成果の発信、海底資源開発に係る環境影響評価の重要性についての啓発活動を準備しているところである。



フローサイトメーター（群集組成）



次世代シーケンサー（遺伝子解析）



マイクロ電極を用いた堆積物表面の微細化学性状の分析（ラボ及び現場）



大型水槽による曝露試験：濁度・メタン・硝酸素など

【4】長期的な取り組み

イ) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

経済性の確保や環境保全等表層型メタンハイドレートの商業化を目指すために必要な条件を検討するため、生産技術や環境影響評価に係る研究開発、海洋調査に取り組むとともに、生産システムの特徴抽出等を行い、商業化に必要な条件の検討に着手する。

<実績>

商業化に必要な条件の検討を行うために、商業生産直前まで進展した海底熱水鉱床開発プロジェクトにおいて、一部が公表されている採鉱システムをベースに、表層型メタンハイドレートの開発モデルを仮定して、基礎的な経済性評価モデルの検討を進めている。

また、技術開発を効率的に進めていくために、外部有識者による検討、整理を適宜進めている。

ロ) 成果の普及・情報公開

ホームページによる情報発信のほか、「表層型メタンハイドレートの研究開発」に関する成果報告会を毎年開催している。これまでに、リモート発表も含め、本プロジェクトに参画している民間企業、大学などからもご講演をいただいた。

また、国内外の大学、エンジニアリング会社、地球科学関係企業など業界の内外からも広く参加があり、成果報告会での質疑応答では、参加者と講演者の双方向のやりとりができる機会となっている。

(1) 2019 年度：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

日時：2019 年 11 月 29 日

会場：(国研)産業技術総合研究所 つくば中央 共用講堂

参加者数：113 人

(2) 2020 年度：表層型メタンハイドレートの研究開発 2020 年度一般成果報告会

日時：2020 年 12 月 17 日 (オンライン開催)

参加者数：244 人

(3) 2021 年度：表層型メタンハイドレートの研究開発 2021 年度研究成果報告会

日時：2021 年 12 月 3 日 (オンライン開催)

参加者数：264 人

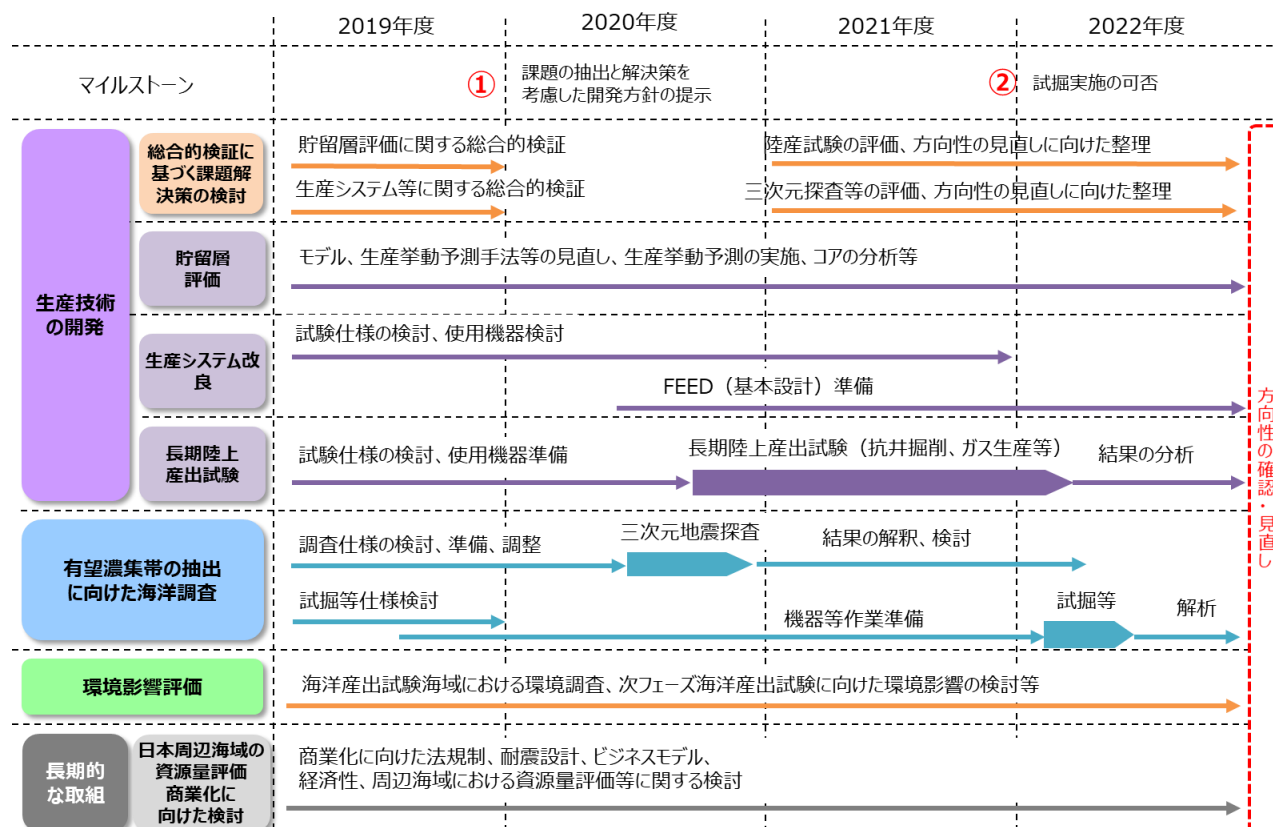
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

① 砂層型メタンハイドレートについて

(i) 実施スケジュール

今フェーズの全体目標を、次フェーズ海洋産出試験に進むための生産技術資源量評価等の環境が整備されているとし、2019年の研究開発計画策定時の実施スケジュールは以下のとおり。



※研究開発計画策定時点のもの

(ii) 実施スケジュールの見直し

砂層型については、海洋エネルギー・鉱物資源開発計画で定めた工程表をベースに、今フェーズの研究開発期間を2019年度から2022年度の4年間として、実行計画を策定し、研究開発を実施しているところ。

今フェーズからは、進捗確認のため、2019年度末頃及び2021年度末頃に「マイルストーン」（中間目標）を設定し、次のステージの移行条件を明確化している。

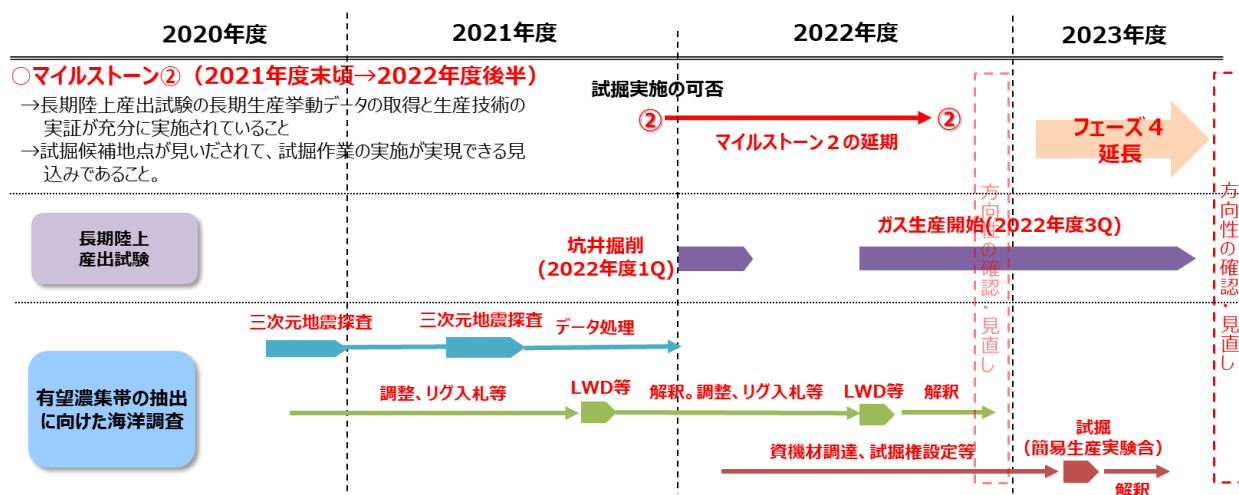
マイルストーン②として、長期陸上産出試験及び有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査を踏まえ、試掘実施の可否するための中間目標を設定しているところ。

長期陸上産出試験については、主要鉱区権者であるBP社の権益売却や度重なる新型コロナウイルス感染症の流行等により、実施スケジュールが大幅に遅延している。そのため、当初2020年度末には掘削を開始する予定が、現時点でまだ掘削が開始されておらず、2022年度になってからの掘削開始、2022年度3Qからの生産開始を予定している。

有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査については、三次元物理探査船「たんさ」が昨年度ほぼ1年間故障のため稼働していなかったため、有望濃集帯候補地の三次元地震探査データが取得出来ておらず、事前調査のLWD等も今年の12月に行うなど、簡易生産実験を含む試掘を実施する準備が整っていない状況である。

そのため、2021年度末のマイルストーンについては、①長期陸上産出試験が開始され一定期間データが取得されるタイミング、②有望濃集帯の抽出に向け、三次元物理探査、LWD等の事前掘削が実際された後のタイミングである2022年度後半へ延期することとする。

また、今フェーズの研究開発期間は、2022年度末に方向性の確認・見直しを実施し総括することで終了する予定であったが、現状の実施スケジュールの遅延状況、マイルストーン②の延期等を踏まえ、1年間延長し、2023年度末までとする。



② 表層型メタンハイドレートについて

(i) 実施スケジュール

2019 年の研究開発計画策定時の実施スケジュールは以下のとおり。

年度	2019	2020	2021	2022
生産技術の開発	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)			
海洋調査	賦存状況等の把握			
	・精密地下構造調査			
	・熱流量調査			
	海底の現場状況等の把握(地盤強度調査/海底現場状況調査)			
環境影響評価	海洋産出試験の実施場所に関する検討			
	環境影響評価手法の検討			
環境影響評価	・技術・社会動向調査			
	・表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明			
	海域環境調査			
	・表層型メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査			
	・環境ベース観測及び環境モデリング手法の高度化・最適化			

※研究開発計画策定時点のもの

(ii) 実施スケジュールの見直し

表層型については、海洋エネルギー・鉱物資源開発計画で定めた工程表をベースに、研究開発期間を 2019 年度から 2022 年度の 4 年間として、実行計画を策定し、研究開発を実施しているところ。

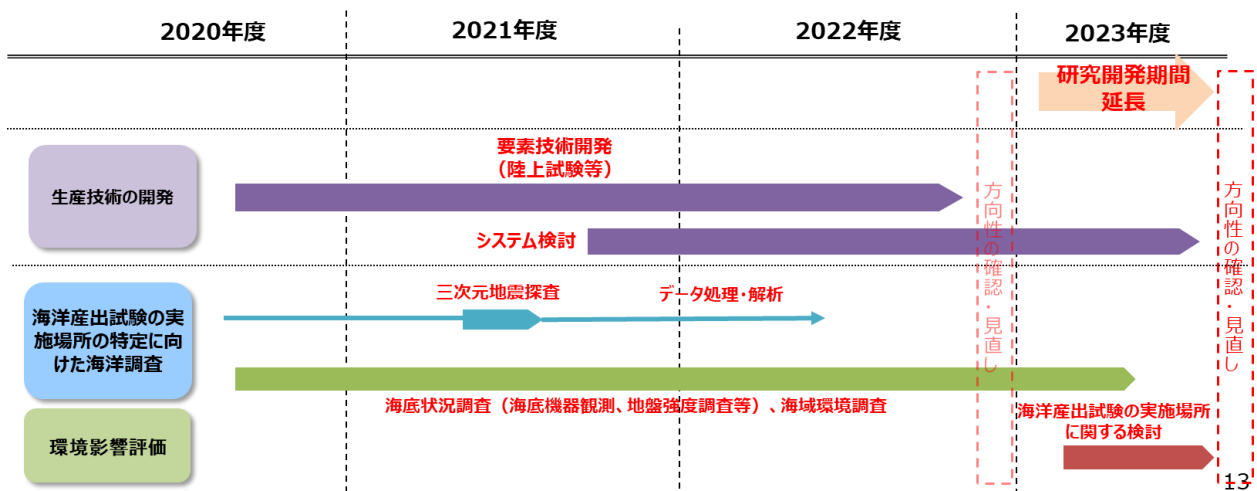
生産技術については、今事業実施期間以前から実施して F S 調査をベースに、2019 年度に要素技術毎に有望技術の特定を実施し、2020 年度から本格的な研究開発を実施しているところ。

今年度は、昨年度の研究結果を評価し、引き続き、各要素技術の研究開発を進めるとともに、組み合わせを考慮した生産システムの検討を実施していく予定。

海洋調査・環境影響評価については、3つのモデル調査海域を中心に海底状況調査等を実施しており、データ取得を実施中。一方で、新型コロナウイルス感染症の流行により、航海が一部先送りされたこと、また、漁期を考慮した実施時期の見直し・調整等により、海洋調査の実実施スケジュールが一部遅延している。

海洋調査として、今研究開発期間において、海洋産出試験の実施場所に関する検討することになっているが、現在のスケジュールでは、検討するための全ての海域のデータを 2022 年度中に取得することが困難な状況である。

そのため、プロジェクト全体の実施スケジュールの見直しを行うこととし、研究開発期間を 2023 年度末へ延長することとする。



(2) 資金配分

(単位：億円)

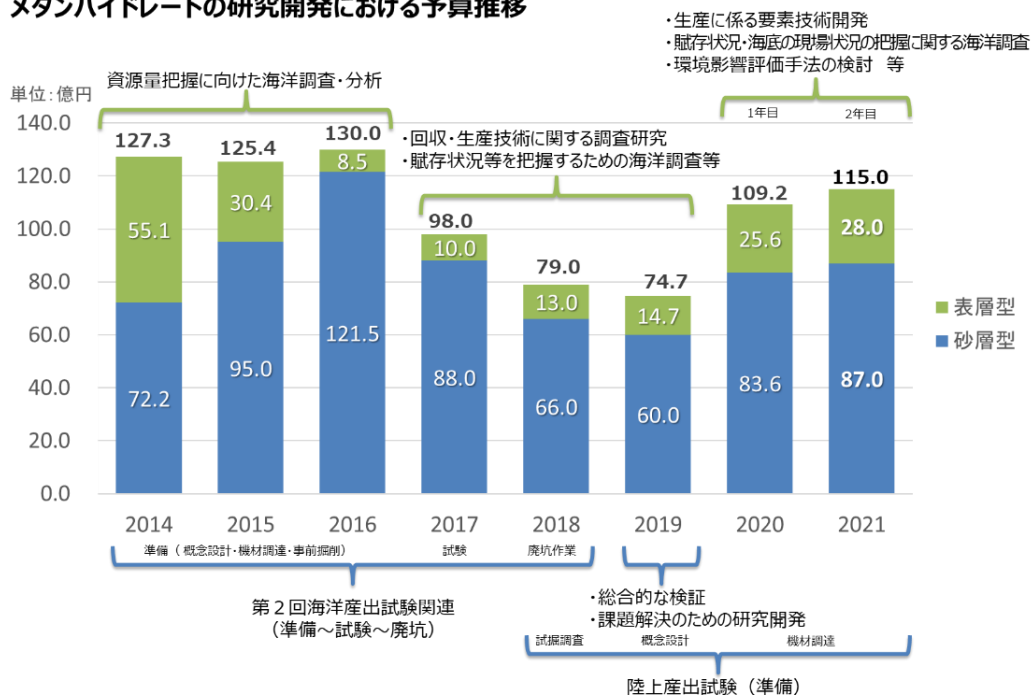
研究開発項目	2002FY	2003FY	2004FY	2005FY	2006FY	2007FY
砂層型メタンハイドレート	30.0 (委託)	55.0 (委託)	67.0 (委託)	39.8 (委託)	39.8 (委託)	40.1 (委託)
表層型メタンハイドレート	—	—	—	—	—	—
計	30.0	55.0	67.0	39.8	39.8	40.1

研究開発項目	2008FY	2009FY	2010FY	2011FY	2012FY	2013FY
砂層型メタンハイドレート	25.3 (委託)	45.3 (委託)	45.4 (委託)	89.3 (委託)	110.6 (委託)	76.4 (委託)
表層型メタンハイドレート	—	—	—	—	—	10.9 (委託)
計	25.3	45.3	45.4	89.3	110.6	87.3

研究開発項目	2014FY	2015FY	2016FY	2017FY	2018FY	2019FY
砂層型メタンハイドレート	72.2 (委託)	95.0 (委託)	121.5 (委託)	88.0 (委託)	66.0 (委託)	60.0 (委託)
表層型メタンハイドレート	55.1 (委託)	30.4 (委託)	8.5 (委託)	10.0 (委託)	13.0 (委託)	14.7 (委託)
計	127.3	125.4	130.0	98.0	79.0	74.7

研究開発項目	2020FY	2021FY	計
砂層型メタンハイドレート	83.6 (委託)	87.0 (委託)	1,337.5
表層型メタンハイドレート	25.6 (委託)	28.0 (委託)	196.2
計	109.2	115.0	1,533.7

メタンハイドレートの研究開発における予算推移



（3）研究開発の実施・マネジメント体制

① 砂層型メタンハイドレートについて

（i）コンソーシアム構成及び体制

フェーズ3までメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（通称MH21）を構成していたJOGMEC、AISTに、第2回海洋産出試験のオペレータとして研究に参画し（2014～2018年度）、資源開発やエンジニアリングに関する知見を有する日本メタンハイドレート調査株式会社（JMH）を加えた三者が、新たなコンソーシアム（MH21-S研究開発コンソーシアム）を組織し、砂層型メタンハイドレートの商業化に向けた検討を推進し、民間企業へのノウハウの移転を進めながら、業務を実行している。

また、外部有識者を委員とするアドバイザー委員会を設置し、客観的な視点での技術評価や助言など、外部の視点からの意見を積極的に取り入れている。

（ii）各組織の役割・連携

研究テーマごとに組織横断的なチームを編成し、各チームに配置したチームリーダーと、MH21-S各法人の実施責任者であるプロジェクトマネージャーが連携して、縦割りを排した、組織及び事業実施の進捗管理を行っている。

各チームは、生産挙動予測の信頼性と生産の安定性を高め、かつ海洋における一定期間の生産が可能な技術の実現性を示して、ガス生産レートが経済性の基準を達成するかどうか評価するための情報を示すパスと、経済性の基準を満たす有望濃集帯を抽出し、次フェーズ海洋産出試験の候補地点を提案するパスに大きく分かれるが、各プロジェクトマネージャー及び各チームリーダーとの連携をとるために、月一度の業務連絡会を実施し、チームリーダーが進捗報告をするなどして、各組織間、チーム間の連携を図っている。

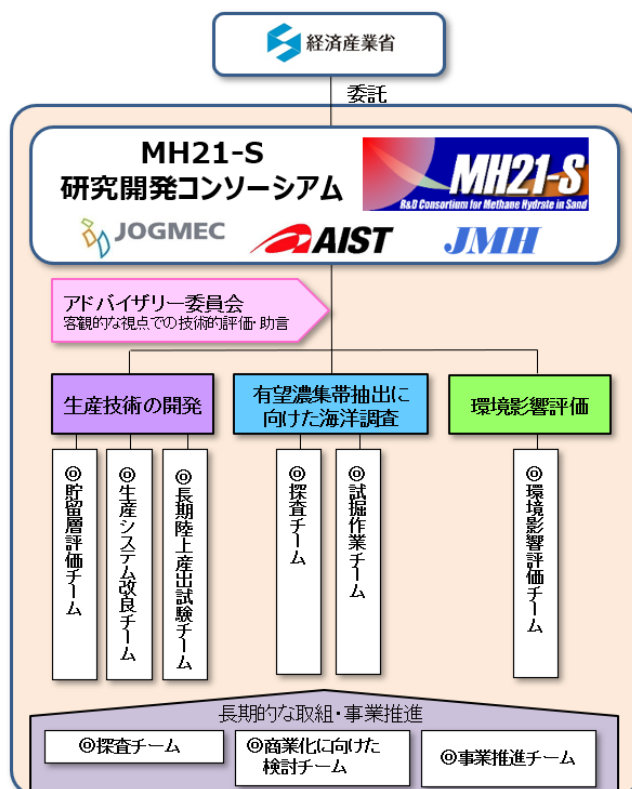


図7. 砂層型メタンハイドレートの研究開発に係る実施体制

（2021年3月より、「三次元地震探査チーム」と「日本周辺海域の資源量評価チーム」を統合して、「探査チーム」に変更）

中間目標として設定した【マイルストーン①】（2019年度末頃）において、これまでの海洋産出試験における評価を行い、課題と考えられる事項と解決策の案を取り纏めて、外部有識者から成るアドバイザー委員会及び開発実施検討会にてご意見を頂いた。

② 表層型メタンハイドレートについて

表層型メタンハイドレートの研究開発は、産業技術総合研究所内の関連する複数領域部門（エネルギープロセス研究部門、環境創生研究部門、地圏資源環境研究部門、地質情報研究部門）にて、連携して研究開発を進めている。また、月一度の表層型全体ミーティングを実施し、研究課題に関する進捗報告をするなどして、関係者の連携を図っている。

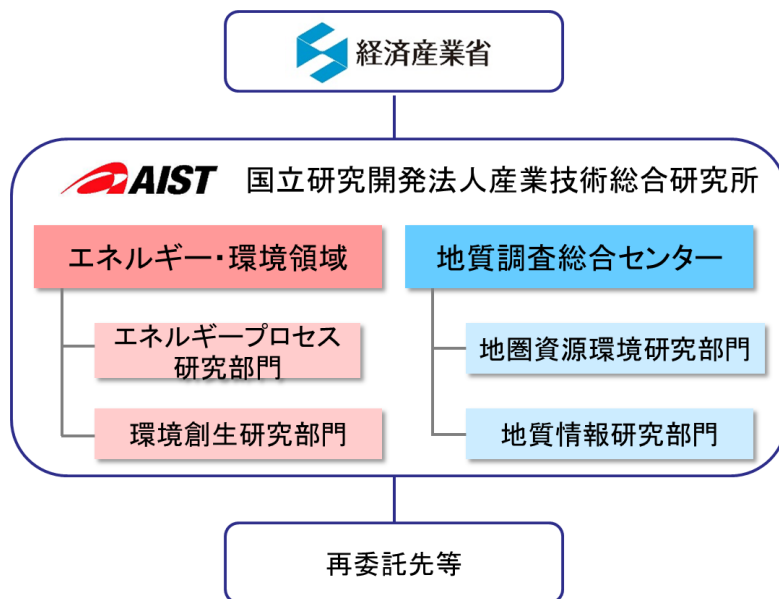


図 8. 表層型メタンハイドレートの研究開発に係る実施体制

(4) 知財や研究開発データの取扱い

① 砂層型メタンハイドレートについて

国との委託契約に基づき、三者コンソーシアムから提出している「データマネジメント届出書」の内容に沿って、日本周辺海域の地質情報に関するデータ、米国の地質情報に関するデータについては、安全保障上の理由から、プロジェクト参加者のみの共有に限定している。

また、三者コンソーシアムにて合意書を締結し、知的財産マネジメント要領を定めており、三者は当該事業に関する秘密である旨を明示された技術上の一切の情報を秘密として保持すること、当該事業にて得られた成果を第三者に開示する場合には所定の手続きを経ること、当該事業により発明等をなした場合には国との委託契約に基づく手続きを実施すること、出願により権利化をするにあたっては国内だけでなく権利化が必要と判断される国においても権利化することを原則とすること、三者コンソーシアム間では自法人が保有する知的財産権について権利を行使しないことを原則とし当該事業の円滑な実施に協力すること、本要領の解釈は経済産業省のガイドラインを参考にするものとし判断が必要な場合は別途定めた知財運営委員会運営要領により設置される知財運営委員会にて審議して決定すること等、を取り決めて知財や研究開発データを取扱っている。

② 表層型メタンハイドレートについて

国との委託契約に基づき、研究開発データについてはデータマネジメントプランを作成し、本プロジェクトで得られる日本周辺海域の海洋調査で得られるデータについては、安全保障上の理由から、プロジェクト参加者のみの共有に限定している。

また知的財産については、再委託先等と知的財産及びデータの取扱いに関する合意書を締結し、当該プロジェクトに関する秘密である旨を明示された技術上の一切の情報を秘密として保持すること、当該プロジェクトにて得られた成果を第三者に開示する場合には全てのプロジェクト参加者の承認を得ること、当該プロジェクトにより発明等をなした場合には国との委託契約に基づく手続き

を実施すること、出願により権利化をするにあたっては国内だけでなく権利化が必要と判断される国においても権利化することを原則とすること、本要領の解釈は経済産業省のガイドラインを参考にするものとし判断が必要な場合は別途定めた知財運営委員会運営要領により設置される知財運営委員会にて審議して決定すること等、を取り決めて知財や研究開発データを取扱っている。

6. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

① 砂層型メタンハイドレートについて

イ) 【マイルストーン①】(2019 年度末頃)

研究開発項目		中間目標 (2019 年度末頃)	設定 (変更) 理由
【1】生産技術の開発	イ) 総合的な検証に基づく課題解決策の検討	これまでの海洋産出試験における評価を行い、課題と考えられる事項と解決策の案が抽出されていること。	これまでの成果のとりまとめ・知見の整理を通して進捗・成果を確認し、それらを踏まえて解決すべき課題を明確化することにより、目標・実施内容の見直しを図り、技術課題の解決に向けたより効果的・効率的な取り組みにつなげるために設定した。

ロ) 【マイルストーン②】(2022 年度後半)

研究開発項目		中間目標 (2022 年度後半)	設定 (変更) 理由
【1】生産技術の開発	ロ) 貯留層評価 (生産挙動予測と技術的可採量評価の信頼性向上)	長期陸上産出試験の長期生産挙動データの取得と生産技術の実証が十分に実施されていること。	2021 年度末に当該中間目標 (マイルストーン②) の評価を実施して進捗確認をし、目標・実施内容の見直しをする予定であったが、主要鉱区権者の権益売却や度重なる新型コロナウイルス感染症の流行等により、実施スケジュールが大幅に遅延し、掘削開始が、2022 年度前半、ガス生産開始が 2022 年度後半の予定になっている。よって、長期陸上産出試験が開始され一定期間データが取得されるタイミングである 2022 年度後半へ延期した。
	ハ) 生産システム改良 (海洋における長期生産技術の開発・改良)		
	二) 長期陸上産出試験		
【2】有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査	イ) 三次元地震探査の準備・実施・解析	試掘候補地点が見いだされて、試掘作業の実施が実現できる見込みであること。	2021 年度末に当該中間目標 (マイルストーン②) の評価を実施して進捗確認をし、目標・実施内容の見直しをする予定であったが、三次元物理探査
	ロ) 試掘 (簡易生産実験を含む) の準備・実施		

			船「たんさ」が 2020 年度ほぼ 1 年間故障のため稼働していなかったため、有望濃集帯候補地の三次元地震探査データの取得が 2021 年度となり、2021 年度の LWD 等の掘削では前述データの一部しか反映できていないため、2022 年度に再度 LWD 等の掘削が必要となった。 よって、試掘候補地点の選定に必要なこれらのデータが揃う後のタイミングである 2022 年度後半へ延期した。
--	--	--	---

ハ)【目標】(2023 年度)

研究開発項目		目標 (2023 年度)	設定 (変更) 理由
【1】生産技術の開発	イ) 総合的な検証に基づく課題解決策の検討	長期安定生産の見通しがつき、生産挙動予測の信頼性向上がされていて、長期陸上産出試験で検証されていること。	今フェーズの研究開発期間は、2022 年度末に方向性の確認・見直しを実施し総括することで終了する予定であったが、現状の実施スケジュールの遅延状況、マイルストーン②の延期等を踏まえ、1 年間延長し、2023 年度末までとした。
	ロ) 貯留層評価 (生産挙動予測と技術的可採量評価の信頼性向上)	イ) 貯留層内並びに坑井近傍の現象の理解が進み、生産の安定性を阻害する要因の抽出と分析が行われ、対策技術が提示されること。 ロ) 生産挙動予測の信頼性が向上して、有望濃集帯においては経済性の基準を満たすことが期待される 1 坑井あたりの生産レート (日産 5 万立方メートルが目安) が見込めることが示されること。	
	ハ) 生産システム改良 (海洋における長期生産技術の開発・改良)	ハ) 生産挙動予測の信頼性は長期陸上産出試験における長期生産挙動のデータ等により確認されていること。	
	二) 長期陸上産出試験	二) 生産技術の改良がなされ、海洋で数か月程度の連続生産が可能な技術の見込みが得られていること。	
【2】有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査	イ) 三次元地震探査の準備・実施・解析	次フェーズ海洋産出試験の実施候補地点が抽出されていること。	今フェーズの研究開発期間は、2022 年度末に方向性の確認・見直しを実施し総括することで終了する予定であったが、現状の実施スケジュールの
	ロ) 試掘 (簡易生産実験を含む) の準備・実施	イ) 三次元地震探査等による有望濃集帯候補の抽出と試掘によるデータ取得により原始	

【3】環境影響評価	イ) 環境影響評価	資源量・貯留層性状等が把握されること。 ロ) 候補地点の存在する濃集帯は、経済性の基準（100 億立方メートル以上）※1 を満たすと評価されること。 ハ) 海域環境調査が継続され、次フェーズ海洋産出試験候補地点の環境影響の程度が推定されていること。	遅延状況、マイルストーン②の延期等を踏まえ、1 年間延長し、2023 年度末までとした。
-----------	-----------	---	--

③ 表層型メタンハイドレートについて

イ) 【目標】（2019 年度）

研究開発項目		2019 年度の目標	設定(変更)理由
【1】生産技術の開発	イ) これまでの調査研究成果の評価と有望技術の特定に向けた検討	イ) 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。	2016 年度から回収技術の調査研究を実施しており、有望な回収・生産技術を特定するために設定した。

ロ) 【目標】（2023 年度）

研究開発項目	目標（2023 年度）	設定（変更）理由
【1】生産技術の開発	ロ) 回収・生産技術の研究開発	生産技術開発について、要素技術開発は陸上試験等を 2022 年度まで実施する予定であり、各要素技術の組み合わせも考慮した生産システムの検討は 2023 年度まで実施することとなる。 また、海洋調査・環境影響評価についても、すべての海域でのデータ取得が 2022 年度までには揃わないことから、海洋産出試験の実施場所に関する検討は 2023 年度に実施することとなる。 そのため、本研究開発期間を 1 年間延長し、2023 年度末までとする。
【2】海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査	イ) 賦存状況等を把握するための海洋調査 ロ) 海底の状況等を把握するための海洋調査 ハ) 海洋産出試験の実施場所に関する検討	イ) 海洋調査を通じて、表層型メタンハイドレートの賦存状況や、生産技術の開発に必要な海底状況を把握する。 ロ) 上記の調査結果等を踏まえ、海洋産出試験の実施場所に関する検討を行う。 ハ) 上記イ) 及びロ) の調査結果等を踏まえ、海洋産出試

		験の実施場所を特定するための検討を行う。	
【３】環境影響評価	イ) 環境影響評価手法の研究	イ) 表層型メタンハイドレートの海洋産出試験等が海洋環境に及ぼす潜在的な影響の度合いやその時空間スケールを事前に予測する環境影響評価技術の構築に向け、メタンハイドレート賦存海域の物理・化学及び生物学的特性に関する知見とデータを蓄積する。 ロ) 表層型メタンハイドレートの海洋産出試験等について、事前の環境ベースラインデータの取得や試験期間中・終了後の環境モニタリング手法の構築に向けた検討を行う。	
	ロ) 海域環境調査		

(2) 研究開発の成果

① 砂層型メタンハイドレートについて

イ) 【マイルストーン①】(2019 年度末頃)

研究開発項目		中間目標 (2019 年度末頃)	成果・意義	達成 状況	未達の原因分析/今 後の見通し
【1】 生産 技術 の開 発	イ) 総合的 な検証に基 づく課題解 決策の検討	これまでの海洋産 出試験における評 価を行い、課題と 考えられる事項と 解決策の案が抽出 されていること。	総合的検証に基づく技術課題 の抽出と解決策の検討を取り まとめ、アドバイザー委員 会、開発実施検討会にて外部 有識者にご議論頂き、以降の 技術課題の解決に向けた取り 組みに反映した。	達成	

ロ) 【マイルストーン②】(2022 年度後半)

研究開発項目		中間目標 (2022 年度後 半)	成果・意義	達成 状況	未達の原因分析/今 後の見通し
【1】 生産技 術の開 発	ロ) 貯留層 評価（生産 挙動予測と 技術的可採 量評価の信 頼性向上）	長期陸上産出試験 の長期生産挙動デ ータの取得と生産 技術の実証が充分 に実施されている こと。	第2回海洋産出試験のコア 分析を進め、地震探査デー タ、物理検層解析結果、モ ニタリングデータ等と合わ せた統合的な解析を実施、 地質・貯留層モデルを更新 し貯留層シミュレーション により、予測と実際の生産 量等のかい離の要因を推定 した。	一部 達成	アラスカ陸上 産出試験に係 るスケジュールの遅れに伴 い、陸上産出 試験で得られ るデータの評 価、それを用 いた解析作業 や生産量予測 等の信頼性の

			アラスカ長期陸上産出試験に向け、層序試験井で得られたデータ、地震探査データ等に基づく二次元及び三次元の地質・貯留層モデルを構築し生産挙動予測、感度解析等を実施した。		向上に資する検討は未実施。 2022年度前半の坑井掘削、後半の産出試験開始を見込んでいる。
	ハ) 生産システム改良 (海洋における長期生産技術の開発・改良)		次フェーズ海洋産出試験に向けたシステムを対象に、一連の準備作業としての基本仕様設定や基礎技術の検討を継続的に実施している。 また、過去の海洋産出試験において認識された安定生産阻害要因の抽出を実施しており継続的に解決策を検討し、実施している	一部達成	マイルストーン②が予定されている2022年度後半に達成の見込み
	二) 長期陸上産出試験		産出試験実施に向け、オペレータ選定、試験の詳細実施計画策定作業等は進めてきたものの、坑井(データ取得井及び生産井)の掘削・仕上げ作業、産出試験の実施には至っていない。	一部達成	PBU 鉱区オペレータの交替、新型コロナウイルスの影響等により、全体スケジュールの大幅な遅延を余儀なくされた。 2022年度前半の坑井掘削、後半の産出試験開始を見込んでいる。
【2】 有望濃集帯の抽出に向けた海洋調査	イ) 三次元地震探査の準備・実施・解析	試掘候補地点が見いだされて、試掘作業の実施が実現できる見込みであること。	2019年度より三次元地震探査データ収録に向け基礎物理探査へ応募し仕様を協議。希望する海域でのデータ収録がなされ、メタンハイドレート賦存層を重視した処理が適用された。得られたデータにて濃集帯解釈を実施し、100億m ³ 以上の原始資源量が期待される規模であることを確認し、事前調査井の掘削位置検討に活用された。 今後公開される海域のデータに関しても、2022年度掘削位置の検討に活用し、また、掘削された濃集帯の原	一部達成	マイルストーン②が予定されている2022年度後半には有望濃集帯がある全海域にて調査が終了し、試掘作業に向けた評価が達成されている見込み

			始資源量評価や貯留層特性評価に活用される。		
	ロ) 試掘 (簡易生産 実験を含む)の準備・実施		簡易生産実験に用いる試験機器等について詳細設計を完了した。2022年度に機器を製造し、2023年度には簡易生産実験を実施できる見込みである。 簡易生産実験の掘削位置選定準備として濃集帯候補の評価に資するデータを取得するため、5坑の調査井を掘削し、必要な地質・貯留層データや地層コアサンプルを取得した。 2022年度も、追加の調査井掘削を行い必要なデータを取得し、これらのデータと他条件等を基に掘削位置を決め、2023年度には試掘(簡易生産実験)を実施できる見込みである。	一部 達成	今後、計画通りに業務が進めば、マイルストーン②が予定されている2022年度後半に達成の見込みである。

ハ)【目標】(2023年度)

研究開発項目		目標 (2023年度)	成果・意義	達成 状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
【1】 生産技術の開発	イ) 総合的な 検証に基づく 課題解決策の 検討	長期安定生産の見通しがつき、生産挙動予測の信頼性向上がされていること。 イ) 貯留層内並びに坑井近傍の現象の理解が進み、生産の安定性を阻害する要因の抽出と分析が行われ、対策技術が提示されること。	現在、マイルストーン②の目標達成に向け事業を実施。	—	2022年度後半のマイルストーン②の評価を踏まえ、目標達成向け、事業を実施する予定。
	ロ) 貯留層評価(生産挙動予測と技術的可採量評価の信頼性向上)	ロ) 生産挙動予測の信頼性が向上して、有望濃集帯においては経済性の基準を満たすことが期待される1坑井あたりの生産レート(日産5万立			
	ハ) 生産システム改良(海洋における長期生産技術の開発・改良)				

	二) 長期陸上 産出試験	方メートルが目 安)が見込めるこ とが示されるこ と。 ハ) 生産挙動予測 の信頼性は長期陸 上産出試験におけ る長期生産挙動の データ等により確 認されているこ と。 二) 生産技術の改 良がなされ、海洋 で数か月程度の連 続生産が可能な技 術の見込みが得ら れていること。			
【2】 有望濃 集帯の 抽出に 向けた 海洋調 査	イ) 三次元 地震探査の 準備・実 施・解析	次フェーズ海洋産 出試験の実施候補 地点が抽出されて いること。 イ) 三次元地震探 査等による有望濃 集帯候補の抽出と 試掘によるデータ 取得により原始資 源量・貯留層性状 等が把握されるこ と。	現在、マイルストーン②の目標 達成に向け事業を実施。	ー	2022 年度後半の マイルストーン ②の評価を踏ま え、目標達成向 け、事業を実施 する予定。
	ロ) 試掘 (簡易生産 実験を含 む)の準 備・実施	ロ) 候補地点の存 在する濃集帯は、 経済性の基準(100 億立方メートル以 上)※1を満たす と評価されるこ と。 ハ) 海域環境調査 が継続され、次フ ェーズ海洋産出試 験候補地点の環境 影響の程度が推定 されていること。			
【3】 環境影 響評価	イ) 環境影 響評価				

② 表層型メタンハイドレートについて

イ) 【目標】(2019 年度)

研究開発項目		2019 年度の目標	成果・意義	達成 状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
【1】 生産 技術	イ) これまでの 調査研究成果の 評価と有望技術	表層型メタンハイ ドレートの回収技 術に関する調査研	6 提案の調査研究成果の 評価を行い、有望技術の 特定を達成した。	達成	

の開発	の特定に向けた検討	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。			
-----	-----------	----------------------------------	--	--	--

ロ)【目標】(2023 年度)

研究開発項目		2023 年度の目標	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
【1】生産技術の開発	ロ) 回収・生産技術の研究開発	ロ) 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。	2020 年度の研究結果を評価し、引き続き、各要素技術の研究開発を進めるとともに、組み合わせを考慮した生産システムの検討を実施する予定。	一部達成	2023 年度 の方向性の確認・見直しに向け、生産技術の技術開発、海洋産出試験の実施の特定に向けた海洋調査、環境影響評価について実施する予定。
【2】海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査	イ) 賦存状況等を把握するための海洋調査 ロ) 海底の状況等を把握するための海洋調査 ハ) 海洋産出試験の実施場所に関する検討	イ) 海洋調査を通じて、表層型メタンハイドレートの賦存状況や、生産技術の開発に必要な海底状況を把握する。 ロ) 上記の調査結果等を踏まえ、海洋産出試験の実施場所に関する検討を行う。	3つのモデル調査海域を中心に、精密地下構造調査、熱流量調査、海底地盤強度調査、海底現場状況調査、海底環境調査、海洋観測を実施し、データ取得及び解析等を実施している。		
【3】環境影響評価	イ) 環境影響評価手法の研究 ロ) 海域環境調査	イ) 表層型メタンハイドレートの海洋産出試験等が海洋環境に及ぼす潜在的な影響の度合いやその時空間スケールを事前に予測する環境影響評価技術の構築に向け、メタンハイドレート賦存海域の物理・化学及び生物学的特性に関する知見とデータを蓄積する。 ロ) 表層型メタンハイドレートの海洋産出試験等について、事前の環境ベースラ			

		インデータの取得や試験期間中・終了後の環境モニタリング手法の構築に向けた検討を行う。			
--	--	--	--	--	--

(共通指標)

① 砂層型メタンハイドレートについて

フェーズ4期間（2019年度、2020年度、2021年度）につき、下の表を作成

年度	論文数	国内 特許出願	国外 特許出願	PCT 出願	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
2019 年度	24 件	1 件	0 件	0 件		
2020 年度	27 件	0 件	0 件	1 件		
2021 年度	18 件	0 件	0 件	0 件		

※ 2021 年は、12 月末時点まで

2019 年度 砂層型メタンハイドレート論文リスト（24 件）

	タイトル	誌名	分類
1	Numerical Study on Enhanced Gas Recovery from Methane Hydrate Reservoir During In-situ Heating Process by Acid Injection	International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE)	論文発表（査読あり）
2	Water Permeability Evolution With Faulting for Unconsolidated Turbidite Sand in a Gas-Hydrate Reservoir in the Eastern Nankai Trough Area of Japan	JGR Solid Earth	論文発表（査読あり）
3	Phase equilibrium for clathrate hydrates formed in the (methane, carbon dioxide or ethane) + water + ammonium chloride system	Fluid Phase Equilibria	論文発表（査読あり）
4	An Experimental Study on Flow Assurance in Methane Hydrate Production System	ISOPE-2019	論文発表（査読あり）
5	Investigating hydrate formation rate and the viscosity of hydrate slurries in water-dominant flow: Flowloop experiments and modelling	Fuel	論文発表（査読あり）
6	The second offshore production of methane hydrate in the Nankai Trough and gas production behavior from a heterogeneous methane hydrate reservoir	RSC Advances	論文発表（査読あり）
7	油層エンジニアから見たメタンハイドレート研究開発の現状と今後	石油技術協会誌	論文発表（査読あり）
8	The second offshore production test of methane hydrates in the eastern Nankai trough and site characterization efforts	Fire in the Ice (NETL methane hydrate newsletter)	投稿（査読なし）
9	Natural Gas Hydrates: Status of Potential as an Energy Resource	Future Energy 3rd Edition	論文発表（査読あり）
10	Characteristics of Microbial Community Structure at the Seafloor Surface of the Nankai Trough	Journal of Pure and Applied Microbiology	論文発表（査読あり）
11	Viable Long-Term Gas Hydrate Testing Site Confirmed on the Alaska North Slope	Fire in the Ice (NETL methane hydrate newsletter)	投稿（査読なし）
12	Micromechanical Investigation of Stress Relaxation in Gas Hydrate-Bearing Sediments Due to Sand Production	Energies	論文発表（査読あり）
13	メタンハイドレート分解・生産挙動予測シミュレータと岩石力学的挙動予測シミュレータの統合化および連成計算の高速化に関する研究	石油技術協会誌	論文発表（査読あり）
14	Distributed fibre optic strain sensing of an axially deformed well model in the laboratory	Journal of Natural Gas Science and Engineering	論文発表（査読あり）
15	Dynamic Simulation of Offshore Conductor Jetting	SPE Drilling and Completion	論文発表（査読あり）
16	特集2「砂層型メタンハイドレート開発の今」	JOGMEC NEWS Vol.58（JOGMEC広報誌）	投稿（査読なし）
17	Characterisation of CaCO ₃ phases during strain-specific ureolytic precipitation	Nature Scientific Reports	論文発表（査読あり）
18	Numerical Investigation of Hydrate-bearing Sediment Formation Heterogeneity during Methane Gas Recovery	ケンブリッジ大学博士論文	投稿（査読なし）
19	第2編メタンハイドレート研究・調査成果各論	平成30年度 JOGMEC石油開発技術本部年報（各論編）	投稿（査読なし）
20	水深1,000mの海底に住む生き物たち〜どのように調べるか？	JOGMEC-TRC通信（メールマガジン） 石油・天然ガス資源情報	投稿（査読なし）
21	「燃える氷」をエネルギー資源へ -砂層型メタンハイドレート研究開発-	平成30年度 JOGMEC石油開発技術本部年報（概要編）	投稿（査読なし）
22	Simulation of axial tensile well deformation during reservoir compaction in offshore unconsolidated methane hydrate-bearing formation	Computers and Geotechnics	論文発表（査読あり）
23	燃料資源に関する情報整備と評価技術の開発	地圏資源環境研究部門年報 平成30年度	投稿（査読なし）
24	砂層型メタンハイドレート資源開発のR&D	エネルギー・資源	投稿（査読なし）

2020 年度 砂層型メタンハイドレート論文リスト (27 件)

	タイトル	誌名	分類
1	Numerical Study on the Application of In situ Low-temperature Oxidation for Enhanced Recovery from Methane Hydrate Reservoir	International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE)	論文発表 (査読あり)
2	Experimental investigation into sand production from turbidite strata	Journal of Petroleum Science and Engineering	論文発表 (査読あり)
3	海底堆積物中でのガスハイドレートの生成・分解モデルとその応用	「日本のガスハイドレート研究の歩み ～黎明期から最先端まで～」	投稿 (査読なし)
4	CO ₂ を用いるメタンハイドレートの増進回収 ～CO ₂ /水エマルションの利用～	「日本のガスハイドレート研究の歩み ～黎明期から最先端まで～」	投稿 (査読なし)
5	メタンハイドレートのフィールド産出試験	「日本のガスハイドレート研究の歩み ～黎明期から最先端まで～」	投稿 (査読なし)
6	日本のメタンハイドレート開発研究	「日本のガスハイドレート研究の歩み ～黎明期から最先端まで～」	投稿 (査読なし)
7	マリック陸上産出試験 第一冬の地質関連作業で学んだこと	「日本のガスハイドレート研究の歩み ～黎明期から最先端まで～」	投稿 (査読なし)
8	Experimental study of impact of shearing velocity and effective normal stress on post-shearing permeability evolution of silica fault gouges	Tectonophysics	論文発表 (査読あり)
9	Upscaling techniques for fully coupled THM simulation and application to hydrate gas production tests	Computers and Geotechnics	論文発表 (査読あり)
10	Water permeability measurements and in-situ morphology observations of a methane hydrate-bearing 2D glass micromodel	Journal of Natural Gas Science and Engineering	論文発表 (査読あり)
11	Numerical Simulation of Laboratory-scale Experiment for Hydrate Dissociation Process in Porous Media by Acid Injection	International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE)	論文発表 (査読あり)
12	講座：海底地すべりと津波/第3章海底地すべりとメタンハイドレート	地盤工学会誌	投稿 (査読なし)
13	ガスハイドレート胚胎堆積物を対象とした圧力コア解析技術の展望 (Current perspectives on Pressure-core Analysis Technology for Gas-hydrate-bearing Sediments)	石油技術協会誌	論文発表 (査読あり)
14	深海底に眠る塊状メタンハイドレートの力学特性 –メタンハイドレート回収技術開発に関わる物性の取得に成功–	地質ニュース	論文発表 (査読あり)
15	An International Code Comparison Study on Coupled Thermal, Hydrologic and Geomechanical Processes of Natural Gas Hydrates	Marine and Petroleum Geology (Elsevier)	論文発表 (査読あり)
16	Microbial-induced carbonate precipitation applicability with the Methane Hydrate-bearing layer microbe	Journal of Natural Gas Science and Engineering	論文発表 (査読あり)
17	Characterisation of CaCO ₃ phases during strain-specific ureolytic precipitation	JOGMEC HP「石油・天然ガス資源情報」	投稿 (査読なし)
18	メタンハイドレート生産に関わる最近の室内試験および模型実験	地盤工学会誌	論文発表 (査読あり)
19	燃える氷 メタンハイドレート	産総研 一般向け (中学生以上) 研究紹介ページ	投稿 (査読なし)
20	Japan's Phase Four Methane Hydrate Research Program: Objectives to be Achieved and Problems to be Solved	Fire in the Ice (NETL methane hydrate newsletter)	投稿 (査読なし)
21	減圧法による海洋メタンハイドレート堆積層からのガス生産時の地層変形予測に関する数値解析	地盤工学会誌	論文発表 (査読あり)
22	Multiple physical properties of gas hydrate-bearing sediments recovered from Alaska North Slope 2018 Hydrate-01 Stratigraphic Test Well	Marine and Petroleum Geology	論文発表 (査読あり)
23	世界初、深海底に眠る塊状のメタンハイドレートの強さや硬さを測定 – 海底表層のメタンハイドレート回収技術開発に関わる重要な物性の取得に成功 –	自動車技術会・会誌「自動車技術」	論文発表 (査読あり)
24	メタンハイドレート事業報告	令和元年度 JOGMEC石油開発技術本部年報	投稿 (査読なし)
25	深層学習を用いた高圧気液二相流遷移領域における流動様式識別	日本混相流学会誌 混相流	論文発表 (査読あり)
26	メタンハイドレートのフィールド産出試験	日本エネルギー学会 機関誌「えねるみくす」2021年3月号 ガスハイドレート特集	投稿 (査読なし)
27	メタンハイドレート開発 –商業生産に向けての課題と現在の研究開発–	日本マリンエンジニアリング学会誌「Marine Engineering」	投稿 (査読なし)

2021 年度 砂層型メタンハイドレート論文リスト (18 件) (2021 年 12 月末時点)

	タイトル	誌名	分類
1	Experimental and Numerical Studies on Dissociation of Methane Hydrate by Simultaneous Injection of Nitrogen and Hot Water	International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE)	論文発表 (査読あり)
2	Gas Hydrate Drilling in the Nankai Trough, Japan	World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins	論文発表 (査読あり)
3	Methane Hydrate in Marine Sands: Its Reservoir Properties, Gas Production Behaviors, and Enhanced Recovery Methods	石油学会・Journal of the Japan Petroleum Institute	論文発表 (査読あり)
4	Comprehensive pressure core analysis for hydrate-bearing sediments from Gulf of Mexico Green Canyon Block 955, including assessments of geomechanical viscous behavior and NMR permeability	AAPG Bulletin	論文発表 (査読あり)
5	Influence of Flow Properties on Gas Productivity in Gas-Hydrate Reservoirs: What Can We Learn from Offshore Production Tests?	Energy & Fuels	論文発表 (査読あり)
6	タービダイトとはなにか	JOGMEC TRC通信 (メールマガジン) 122号	投稿 (査読なし)
7	Behavior of Methane Hydrate-in-Water Slurries from Shut-in to Flow Restart	Energy & Fuels	論文発表 (査読あり)
8	メタンハイドレート事業報告	令和2年度 JOGMEC石油開発技術本部年報	投稿 (査読なし)
9	Hydrate growth and rheology of hydrate slurry in water-dominant system (100% water cut)	学位論文	投稿 (査読なし)
10	第三の天然ガス資源「燃える氷」の商業化を目指して メタンハイドレート研究開発	「石油天然ガス開発技術本部 R&D Activities」(JOGMEC-TRC/コンフレット)	投稿 (査読なし)
11	特集「メタンハイドレートへの期待」のうち 2. 「産総研におけるメタンハイドレートプロジェクトの取組」	月刊エネルギーレビュー 2021年8月号	投稿 (査読なし)
12	Review of energy efficiency of the gas production technologies from gas hydrate-bearing sediments	Frontiers in Energy Research	論文発表 (査読あり)
13	メタンハイドレート開発に向けての掘削技術の挑戦	石油技術協会誌	投稿 (査読なし)
14	Heading for commercialization of "fiery ice," a third natural gas resource(Methane hydrate research and development)	「Oil & Gas Upstream Technology Unit R&D Activities」(JOGMEC-TRC/コンフレット)	投稿 (査読なし)
15	Comparison of the Vertical Gas-Hydrate Production Profile with the Simulation Results Obtained Using Geophysical Log-Based Reservoir Characteristics and Reasons for Their Discrepancies in the Nankai Trough	Energy & Fuels	論文発表 (査読あり)
16	Numerical History-Matching of Modeling and Actual Gas Production Behavior and Causes of the Discrepancy of the Nankai Trough Gas-Hydrate Production Test Cases	Energy & Fuels	論文発表 (査読あり)
17	Characterisation of CaCO ₃ phases during strain-specific ureolytic precipitation	令和2年度 JOGMEC石油開発技術本部年報 (英語版)	投稿 (査読なし)
18	CHAPTER 5: 3D IMAGE-DOMAIN DAS-VSP ELASTIC TRANSMISSION TOMOGRAPHY	著者PhD論文口	投稿 (査読なし)

② 表層型メタンハイドレートについて

年度	論文数	国内 特許出願	国外 特許出願	PCT 出願	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
2019 年度	6 件	0 件	0 件	0 件		
2020 年度	5 件	0 件	0 件	0 件		
2021 年度	6 件	0 件	0 件	0 件		

※ 2021 年は、12 月末時点まで

2019 年度 表層型メタンハイドレート論文リスト（6 件）

	タイトル	誌名	分類
1	Clumped isotope signatures of methane-derived authigenic carbonate presenting equilibrium values of their formation temperatures	Earth & Planetary Science Letters	論文発表（査読あり）
2	Natural Gas Hydrates Recovered from the Umitaka Spur in the Joetsu Basin, Japan: Coexistence of Two Crystals with Distinctly Different Textures and Gas Compositions within a Massive Structure	ACS Earth and Space Chemistry	論文発表（査読あり）
3	日本海東縁における堆積物コアからのイカアイトの発見とその意義	地質学雑誌	論文発表（査読あり）
4	In Situ Mechanical Properties of Shallow Gas Hydrate Deposits in the Deep Seabed	Geophysical Research Letters (GRL)	論文発表（査読あり）
5	Evidence in the Japan Sea of microdolomite mineralization within gas hydrate microbiomes	Scientific Reports (A Nature Research Journal)	論文発表（査読あり）
6	Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea	Chemical Geology	論文発表（査読あり）

2020 年度 表層型メタンハイドレート論文リスト（5 件）

	タイトル	誌名	分類
1	深海底に眠る塊状メタンハイドレートの力学特性 ーメタンハイドレート回収技術開発に関わる物性の取得に成功ー	GSJ 地質ニュース	投稿（査読なし）
2	Dissolution Process Observation of Methane Bubbles in the Deep Ocean Simulator Facility	Energies	論文発表（査読あり）
3	表層型メタンハイドレート採掘時に用いる汚濁防止膜周りの流速分布に関する基礎研究	土木学会論文集B3（海洋開発）	論文発表（査読あり）
4	日本海東縁と北海道周辺の洋上大気メタン濃度と海底ガスブルームの関係	石油技術協会誌	論文発表（査読あり）
5	世界初、深海底に眠る塊状のメタンハイドレートの強さや硬さを測定 ー海底表層のメタンハイドレート回収技術開発に関わる重要な物性の取得に成功ー	自動車技術会・会誌「自動車技術」	投稿（査読なし）

2021 年度 表層型メタンハイドレート論文リスト（6 件）

	タイトル	誌名	分類
1	産総研におけるMHプロジェクトの取り組み	月刊エネルギーレビュー	投稿（査読なし）
2	表層型メタンハイドレートの開発に向けて	月刊エネルギーレビュー	投稿（査読なし）
3	回収技術の開発	月刊エネルギーレビュー	投稿（査読なし）
4	Doubly substituted isotopologues of methane hydrate (13CH3D and 12CH2D2): Implications for methane clumped isotope effects, source apportionments and global hydrate reservoirs	Geochimica et Cosmochimica Acta	論文発表（査読あり）
5	表層型メタンハイドレートの研究開発に関する取り組み	日本船舶海洋工学会誌	投稿（査読なし）
6	JAMSTEC KR21-15C航海クルーズサマリー、およびクルーズレポート	海洋研究開発機構KR21-15Cクルーズレポート	投稿（査読なし）

7. 事業アウトカム

（1）事業アウトカムの内容

エネルギー基本計画及び海洋基本計画において、2023年度から2027年度の間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することを目指しつつ、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発を推進する、と位置づけている。

現在、エネルギー・鉱物資源開発計画で規定した工程表に基づき、砂層・表層とも上記目標として、技術開発を実施しているところ。

【エネルギー基本計画（令和3年10月22日閣議決定：抜粋）】

○国内資源開発は、地政学リスクに左右されず安定的なエネルギー供給の確保が可能となることに加え、水素・アンモニアの原料としての利用も視野に、引き続きメタンハイドレートを含む国内資源開発を推進することが重要である。

○このため、メタンハイドレートについては、「海洋基本計画」（2018年5月閣議決定）に基づき策定された「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」（2019年2月 経済産業省策定）に

において定めた、「2023年度から2027年度の間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す」という目標の中で、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発等を推進する。

(2) 事業アウトカム目標

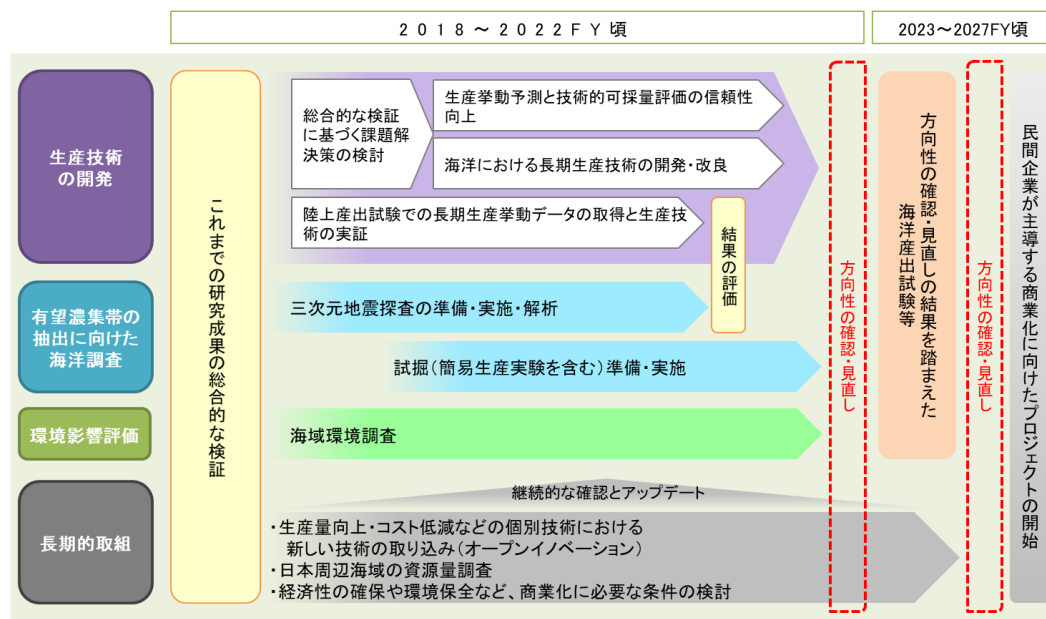
アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2023年度 ～2027年度	民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトの開始	・エネルギー鉱物資源開発計画において、2022年度頃に「次回海洋産出試験等に向けた取組」の終了時を目途に、研究開発等の進捗状況を検証し、方向性の確認・見直しを行うこととしている。 ・2023年度以降、方向性の確認・見直しの結果を踏まえた海洋産出試験等を実施することを予定している。 ・海洋産出試験等の結果を踏まえ、方向性の確認・見直しを行い、民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトを開始することを目標としている	・新型コロナウイルス感染症等の影響により、研究開発や海洋調査等事業の進捗が遅れていることから、本研究開発期間を1年間延長し、2023年度末としている。 ・引き続き、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発を推進する。

8. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

メタンハイドレートの開発は、エネルギー基本計画や海洋基本計画等に基づき実施しており、具体的な工程表については、海洋基本計画に基づき策定された「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（2019年2月経済産業省策定）」において定めている。

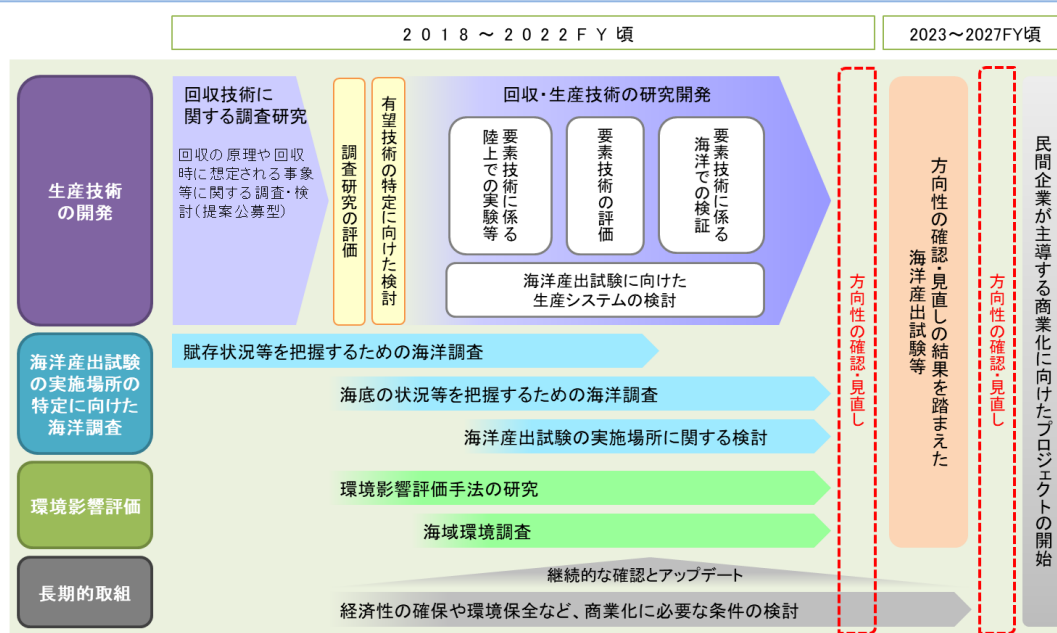
砂層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表（海洋エネルギー・鉱物資源開発計画：平成31年2月）

「海洋基本計画」（平成30年5月閣議決定）・「エネルギー基本計画」（平成30年7月閣議決定）
○2023年度から2027年度の間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の開発に向けた工程表（海洋エネルギー・鉱物資源開発計画：平成31年2月）

「海洋基本計画」（平成30年5月閣議決定）・「エネルギー基本計画」（平成30年7月閣議決定）
○2023年度から2027年度の間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。



9. 費用対効果

砂層型メタンハイドレートの費用対効果については、既に平成27年度に実施したメタンハイドレート開発促進事業(フェーズ2終了時)の中間評価において試算を行っている。

海洋基本計画に記述の「平成30年代後半に、民間企業が主導する商業化のためのプロジェクトが開始される」という目標時点における実用化のイメージに基づき、プロジェクト実施者として、以下のとおり試算した。(天然ガスの価格は貿易統計に基づく。)
(注:事業化のメソッドが確立していないため、現段階では事業化されたときのイメージについて厳密な検討を行うことは難しい。
以下は、これまでの研究開発の成果から類推できる範囲で試算したものである。)

○メタンハイドレートガス田の商業化段階の生産量として下記の規模を想定
100万m³/日/1ガス田

○この規模のガス田が合計10箇所(10ガス田)、操業を開始した状況を想定(1,000万m³/日)。これは、我が国のLNG輸入量(現在の輸入量が当面ほぼ維持されると仮定)の5%程度(熱量換算)に相当。
(仮定の前提:スライド14に示した「東部南海トラフ」エリアでは10箇所以上のメタンハイドレート濃集帯を既に確認。その他の調査箇所でも、今後、それぞれ複数の濃集帯が確認され、これらの濃集帯がのうち10箇所が操業開始すると仮定)

○1ガス田の操業期間を15年とすると、これら10ガス田からのガス生産量は、
合計 約 54,750百万m³ と算出される。

○日本エネルギー経済研究所の「アジア/世界エネルギーアウトルック 2015(2015年10月)」によれば、日本市場の天然ガス実質価格(レファレンスケース)は2030年は12.8\$/MMBtu、2040年は14.1\$/MMBtuとの見通しであり、中間値として13.45\$/MMBtu(0.512\$/m³)をこの期間の近似値と仮定する。(1MMBtu≒25m³)

○これを上記の15年間の合計生産量に乘じると総額約28,032百万ドルの売上高となる。円・ドルの為替レートを1\$=120円と仮定すると、総額約3兆3,638億円の売上高となる。

(まとめ)
○上記のとおり、計画に沿う開発が実現できた場合には、産出されるメタンガス(天然ガス)の売上高がメタンハイドレート開発促進事業のこれまでの予算総額約1,000億円に比して30倍を超える売上を期待することができる。
(注:本試算では、施設整備、操業費等、ガス田運営のためのコストについては除外している。)

(出典)メタンハイドレート開発促進事業(フェーズ2終了時)技術評価結果報告書(中間評価)

カーボンニュートラルを目指す中で、上記の記載されている日本市場の天然ガス実質価格の見通しが変化しているため、価格以外は上記前提のままとした上で、新しい価格を用いて修正を行う。

日本エネルギー経済研究所エネルギーアウトルック 2022 によると、日本市場の天然ガス実施価格は、技術進展ケースの場合、2030 年 7.0\$/MMBtu、2040 年 6.3\$/MMBtu、2050 年 5.1\$/MMBtu との見通しであり、中間値として 6.13\$/MMBtu (0.233\$/m³) をこの期間の近似値として仮定し試算した場合、15 年間の売り上げは総額約 12,757 百万ドルとなり、為替レート 115 円/\$と仮定すると、総額約 1 兆 4,670 億円の売り上げとなる。

これまでのメタンハイドレート開発事業の予算総額が約 1,533 億に比して約 10 倍を超える売り上げを期待することができる。

一方で、現在、事業の進捗上、長期陸上産出試験の実施する前であり、また 2050 年カーボンニュートラルを目指す中で、メタンハイドレートの開発システムの再検討を行っていることから、今フェーズ終了時に費用対効果において再度試算を行うこととする。

なお、表層型メタンハイドレートについては、要素技術ごとに技術開発をしているとともに、全体システムとしての検討を行っているところであり、生産方法がまだ確定しているものでないため、現時点で、費用対効果の試算をすることは困難である。