

メタンハイドレートの研究開発事業
中間評価
技術評価報告書

(案)

2022 年 3 月

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成29年5月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「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」は、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の技術開発を2002年度より実施しているものである。

今般、省外の有識者からなるメタンハイドレートの研究開発事業 中間評価検討会（座長：荒戸 裕之 秋田大学大学院国際資源学研究科 教授）における検討の結果とりまとめられた、「メタンハイドレート研究開発事業 中間評価 技術評価報告書」の原案について、産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（座長：鈴木 潤 政策研究大学院大学教授）において審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

2022年3月

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会
評価ワーキンググループ 委員名簿

座長	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	秋澤 淳	東京農工大学大学院 生物システム応用科学府長・教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所 研究理事
	斉藤 栄子	With 未来考研究所 代表
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院 イノベーションマネジメント研究科教授
	竹山 春子	早稲田大学理工学術院先進理工学部 生命医科学科 教授
	西尾 好司	文教大学情報学部情報社会学科 准教授
	浜田 恵美子	日本ガイシ株式会社 取締役

(敬称略、座長除き五十音順)

メタンハイドレートの研究開発

中間評価検討会 委員名簿

座長	荒戸 裕之	秋田大学大学院国際資源学研究科 教授
	大森 嘉彦	一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 理事 化石エネルギー・国際協力ユニット
	紺野 博靖	西村あさひ法律事務所 パートナー弁護士
	竹田 剛	一般社団法人日本ガス協会 普及部 技術開発担当部長 兼 カーボンニュートラル推進センター長
	長縄 成実	秋田大学大学院国際資源学研究科 教授

(敬称略、五十音順)

メタンハイドレートの研究開発 技術評価に係る省内関係者

【中間評価】

(フェーズ4 中間／2021 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 早田 豪 (事業担当課長)
産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

(フェーズ3 終了／2018 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 佐々木 雅人 (事業担当課長)
産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(フェーズ2 終了／2015 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 定光 裕樹 (事業担当課長)
産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岩松 潤

(フェーズ2 中間／2011 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 平井 裕秀 (事業担当課長)
産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

(フェーズ1 終了／2008 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 保坂 伸 (事業担当課長)
産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 長濱 裕二

(フェーズ1 中間／2005 年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課長 片瀬 裕文 (事業担当課長)
産業技術環境局 技術評価調査課長 陣山 繁紀

メタンハイドレートの研究開発 中間評価の審議経過

(フェーズ4 中間)

- ◆ 産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ
第62回評価ワーキンググループ(2022年3月22日)
 - ・技術評価報告書(案)について
- ◆ 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 中間評価検討会
第1回検討会(2022年2月9日)
 - ・プロジェクトの概要について
 - ・評価の進め方について
第2回検討会(2022年3月9日~11日)※書面開催
 - ・技術評価報告書(案)について

(フェーズ3 終了)

- ◆ 産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ
第48回評価ワーキンググループ(2019年3月13日)
 - ・技術評価報告書(案)について
- ◆ 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 中間評価検討会
第1回検討会(2018年11月21日)
 - ・プロジェクトの概要について
 - ・評価の進め方について
第2回検討会(2019年3月1日)※書面開催
 - ・技術評価報告書(案)について

(フェーズ2 終了)

- ◆ 産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ
第28回評価ワーキンググループ(2016年2月19日)
 - ・技術評価書(中間評価)について
- ◆ 「メタンハイドレート開発促進事業」評価検討会
第1回評価検討会(2015年12月4日)
 - ・事業の概要について
 - ・評価の進め方について

第2回評価検討会（2016年1月29日）※書面開催

- ・技術評価書（中間評価）について

（フェーズ2中間）

◆ 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

第44回評価小委員会（2012年3月13日）

- ・中間評価について

◆ 「メタンハイドレート開発促進事業」評価検討会

第1回評価検討会（2012年1月31日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（2012年2月24日）

- ・中間評価報告書案について

（フェーズ1終了）

◆ 総合科学技術会議評価専門調査会

第79回評価専門調査会（2009年3月26日）

- ・総合科学技術会議による評価指定についての検討

◆ 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

第25回評価小委員会（2009年1月28日）

- ・中間評価について

◆ 「メタンハイドレート開発促進事業」評価検討会

第1回評価検討会（2008年9月26日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（2008年11月7日）

- ・中間評価報告書案について

（フェーズ1中間）

◆ 総合科学技術会議評価専門調査会

第51回評価専門調査会（2006年1月26日）

- ・総合科学技術会議による評価指定についての検討

第52回評価専門調査会（2006年2月24日）

- ・総合科学技術会議による評価指定についての検討

第53回評価専門調査会（2006年3月23日）

- ・総合科学技術会議による評価指定に関する調査・検討の結論

- ◆ 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
 - 第15回評価小委員会（2005年7月25日）
 - ・ 中間評価について
 - 第18回評価小委員会（2006年7月11日）
 - ・ 総合科学技術会議による評価指定に関する検討経緯について
 - ・ 中間評価指摘事項への対応について
- ◆ 「メタンハイドレート開発促進事業」評価検討会
 - 第1回評価検討会（2005年4月25日）
 - ・ 事業の概要について
 - ・ 評価の進め方について
 - 第2回評価検討会（2005年5月27日）
 - ・ 中間評価報告書案について
 - 第3回評価検討会（2006年7月7日）
 - ・ 中間評価のフォローアップについて

目次

第1章 事業の概要

1. 本事業の政策的位置付け/背景	11
2. 当省（国）が実施することの必要性	14
3. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況	14
4. 研究開発の内容	15
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	40
6. 事業アウトプット	47
7. 事業アウトカム	57
8. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	59
9. 費用対効果	60

第2章 評価

1. 当省（国）が実施することの必要性	62
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	64
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	67
4. 事業アウトカムの妥当性	69
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	71
6. 費用対効果の妥当性	73
7. 総合評価	74
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	76

第3章 評点法による評点結果

78

第4章 評価ワーキンググループの所見

80

第1章 事業の概要

(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。

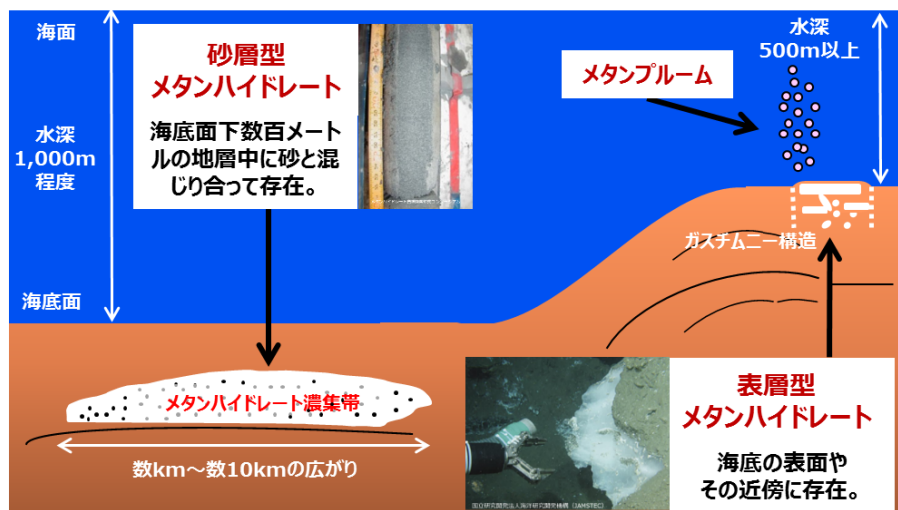


図1. メタンハイドレートの賦存形態

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。

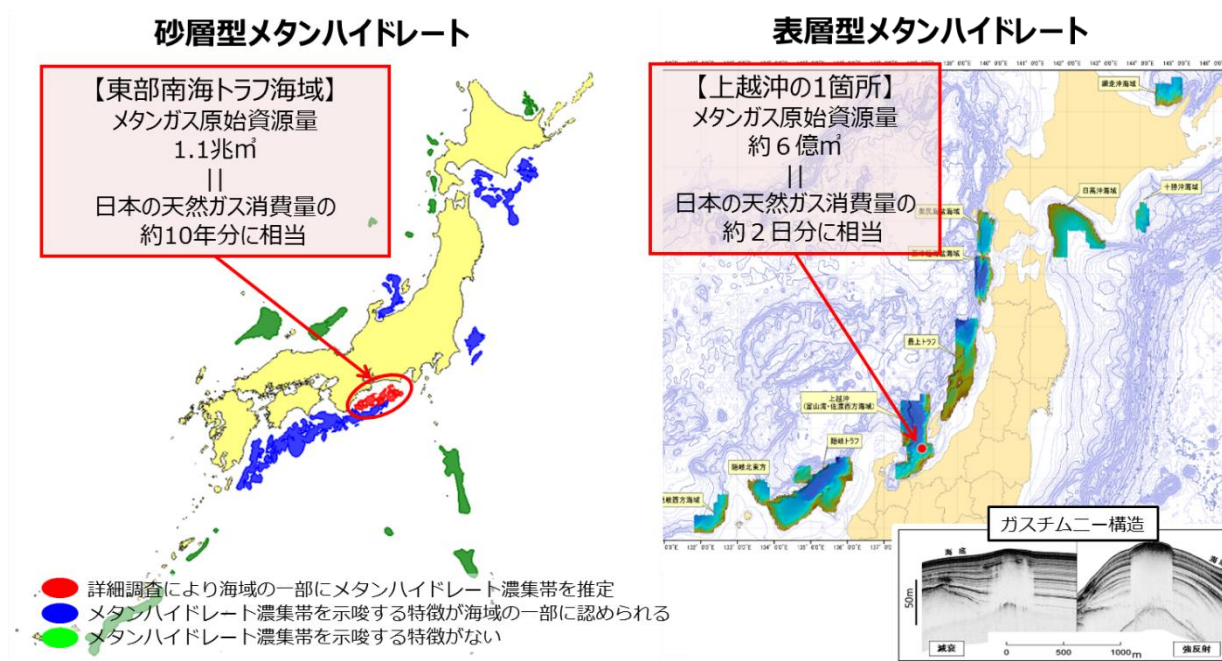


図2. メタンハイドレートの資源量について

(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箇所の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。

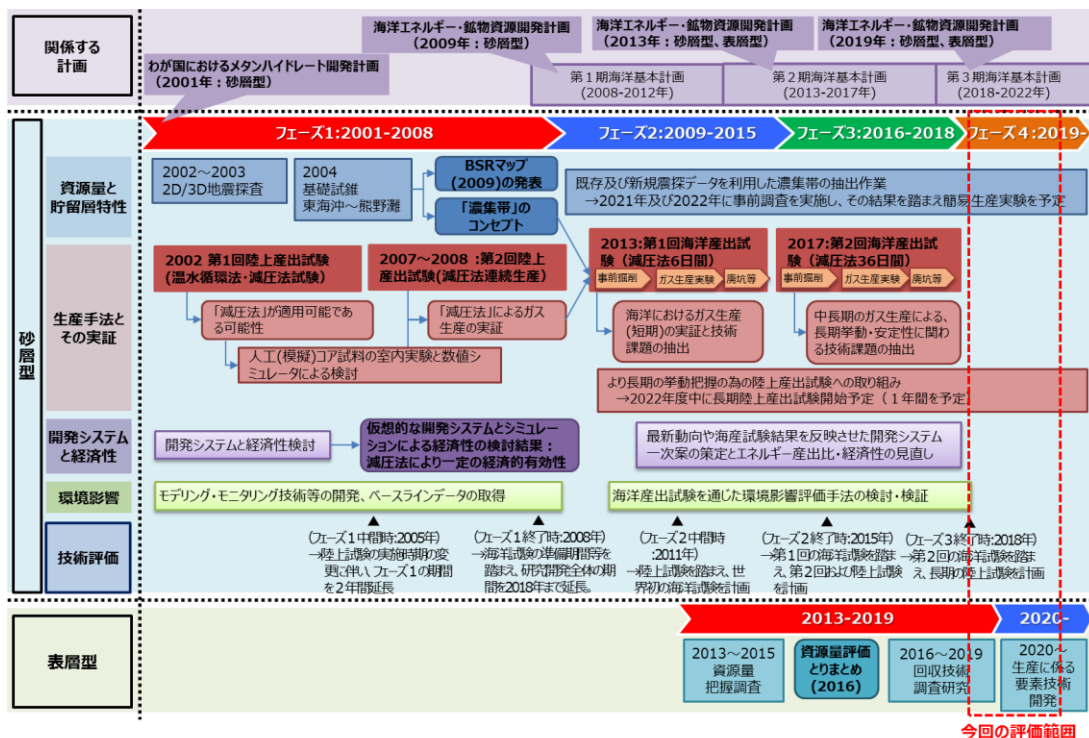


図3. メタンハイドレートの研究開発に係る事業の変遷

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）
	ニ）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充分に実施されていること。

< 3 > 個別研究開発項目の課題・実績（実施内容・実施方法）等

イ) 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、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。

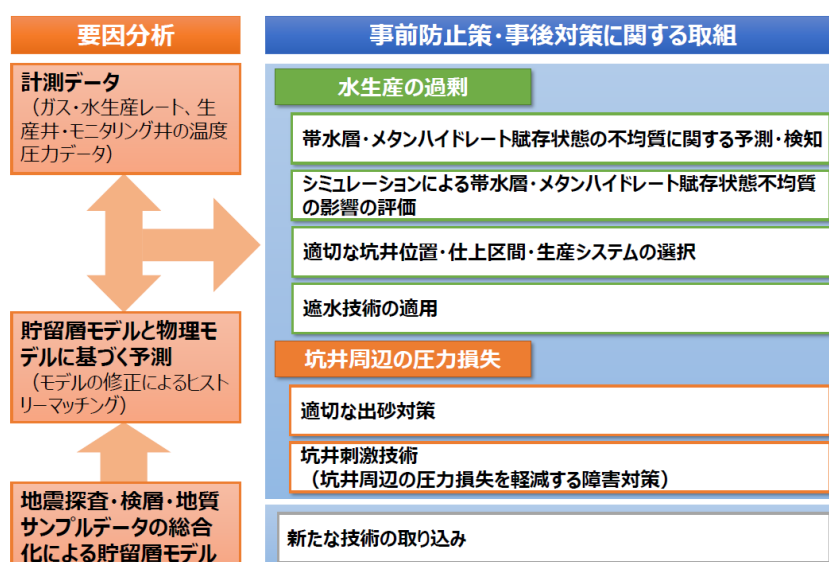
具体的には、これまでの海洋産出試験の結果の総合的な解析・評価を実施し、安定生産阻害要因として水理的要因（水供給の過剰による減圧の妨げ、坑井周辺の圧力損失による減圧の伝達の妨げ）と熱的要因（分解に供給される熱が十分に早く供給されない）を挙げ、水理的要因を最重要課題と位置づけ、熱的要因を長期陸上産出試験を通じて確認すべき課題として抽出した。

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・仕上げ区間・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）

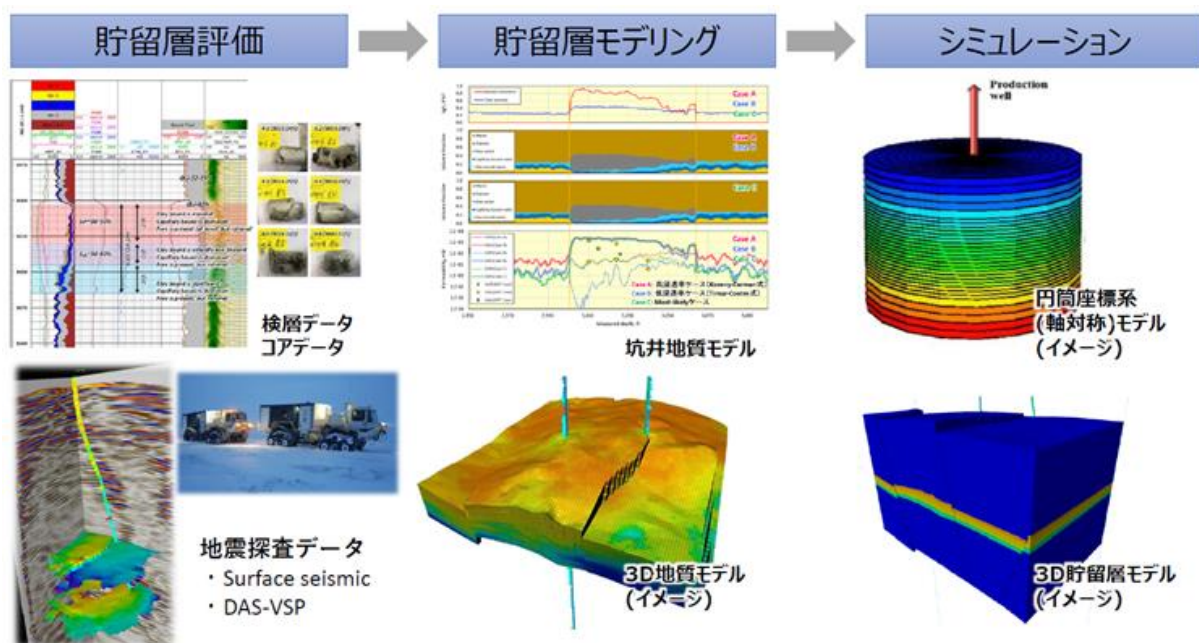
<課題>

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。

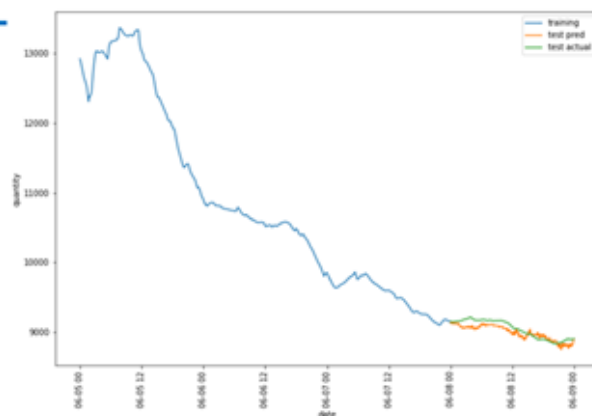
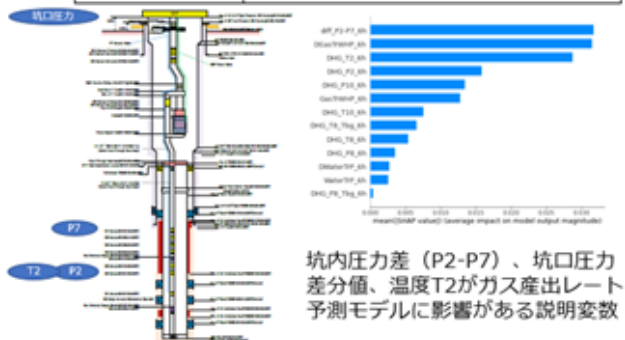
米国アラスカ州にて計画している長期陸上産出試験に向けては、掘削済みの層序試験井で得られたデータ（物理検層、コア）、試験対象エリアをカバーする地震探査データ、並びに層序試験井に設置した音響センサー（Distributed Acoustic Sensing : DAS）を受振器とした坑井内地震探査（DAS-VSP）データ等に基づき、二次元及び三次元の地質・貯留層モデルを構築し生産挙動予測を実施した。それら生産量等の予測結果は、試験の際に設置する坑内機器などの生産設備の仕様に反映されている。また、各種の不確実性（貯留層の側方不均質性、断層の導通性、地層温度等）が生産挙動に与える影響を評価するための感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

項目	設定
使用するデータ期間	学習期間：2017年6月5日～6月7日 検証期間：2017年6月 8 日
目的変数	ガス産出レート（6時間移動平均）
説明変数	井口圧力、井口圧力差分値 P2、P8、P8_Tbg、P10、diff_P2-P7 T2、T8、T8_Tbg、T10 ※すべて6時間移動平均値
予測手法・評価指標	アルゴリズム：MLPR 評価指標：MAE ※ハイパーパラメータの探索にGridSearchCVを使用



ガス産出レート（6時間移動平均）の学習・検証結果

※ 青：学習期間の実測値
緑：検証期間の実測値
橙：予測値

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。

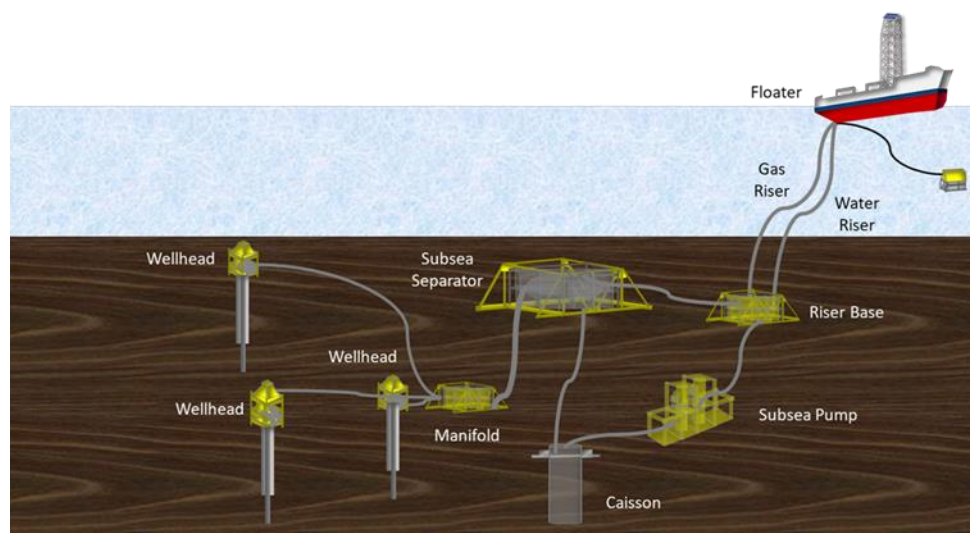
＜実績（実施内容・実施方法）＞

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。

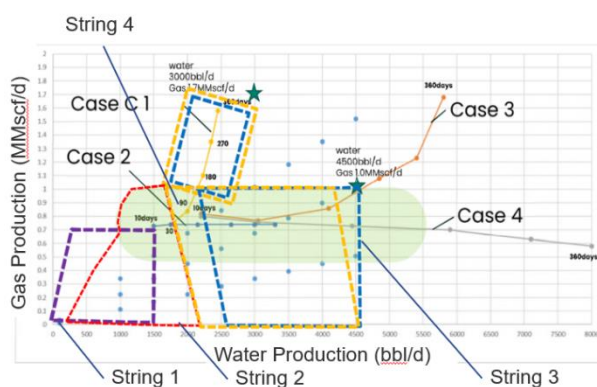
・ 技術開発

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。

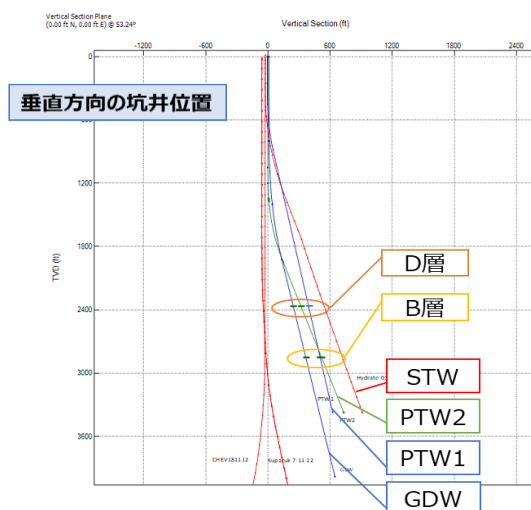
また、坑井を用いた圧力・温度・歪みデータ等の測定技術も検討を進め、圧力については坑井内外での測定ができる（差圧の測定が可能な）設計としている。

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。）



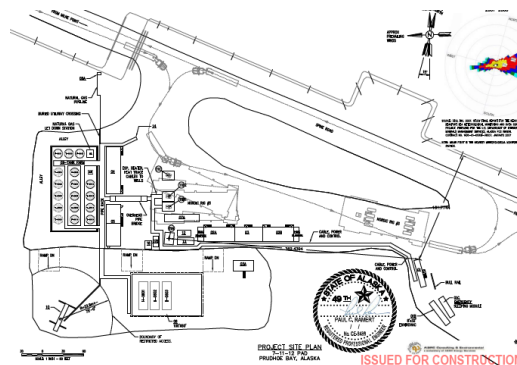
坑跡計画図



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＞

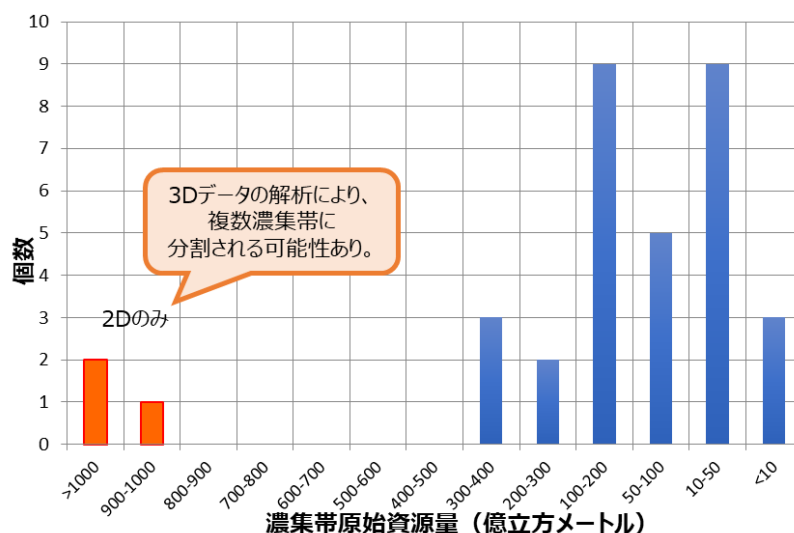
日本周辺海域では、物理探査船「資源」や「たんさ」にて収録されてきた基礎物理探査データなど利用可能な地震探査データが多くある。旧開発計画期間中より、これらデータを精査し、メタンハイドレート濃集帯候補の抽出を実施してきた。抽出された濃集帯候補の中には三次元地震探査データが収録されていないものもあり、その規模や解釈に不確実性が多く残るものもある。

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ジョンなどの解析を適用し、有望濃集帯の原始資源量の産出、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>

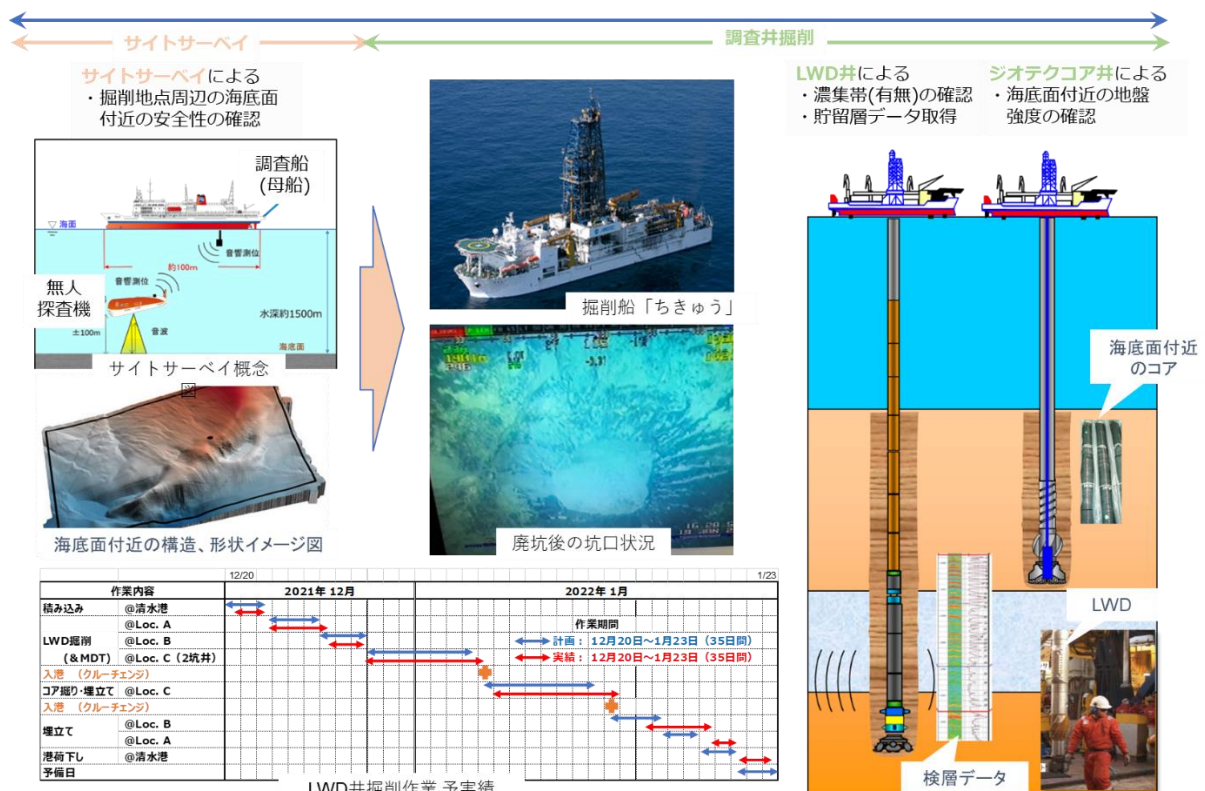
この項目では、以下が課題として挙げられている。

- 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。

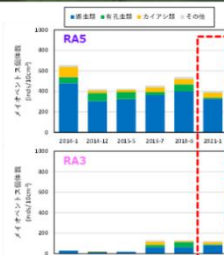
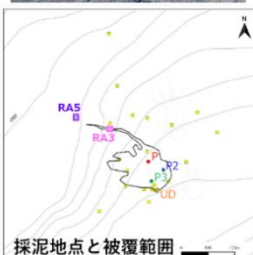
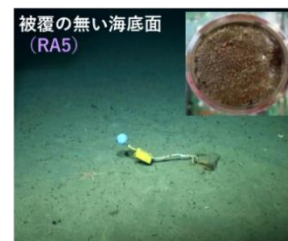
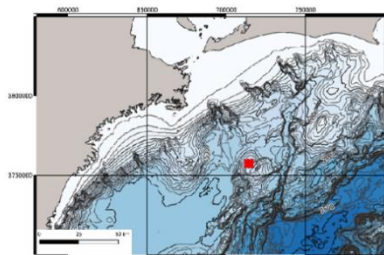
過去の海洋産出試験での海底面観察結果等をもとに、掘削・廃坑等の作業に伴う海底環境への影響をより詳細に把握するためのシミュレーション検討を実施し、影響予測の不確実性を低減する。

< 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（深田サルベージ株式会社）
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。

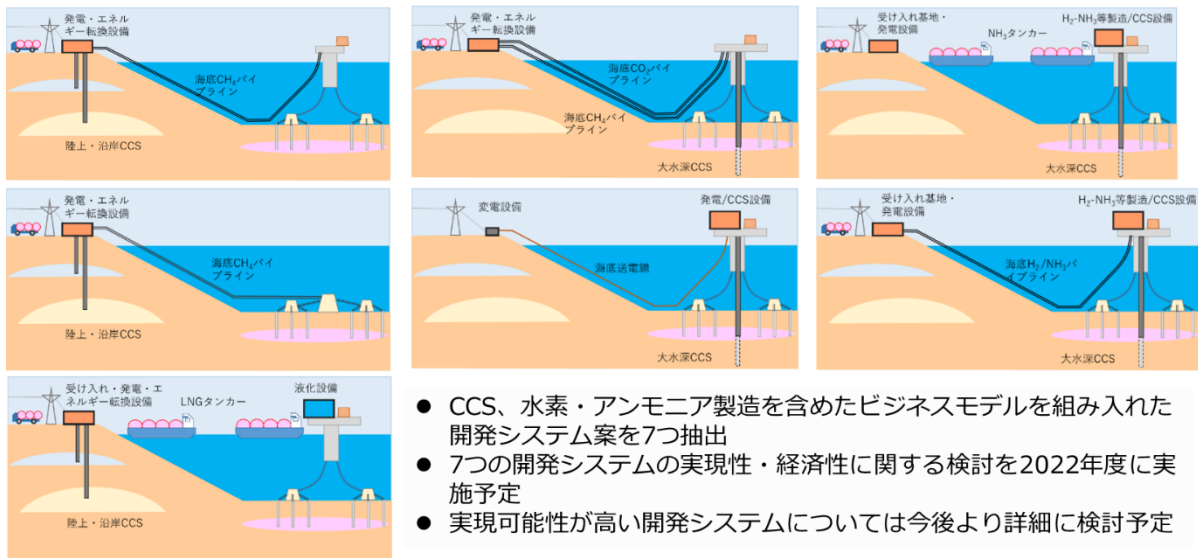
ハ) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

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。

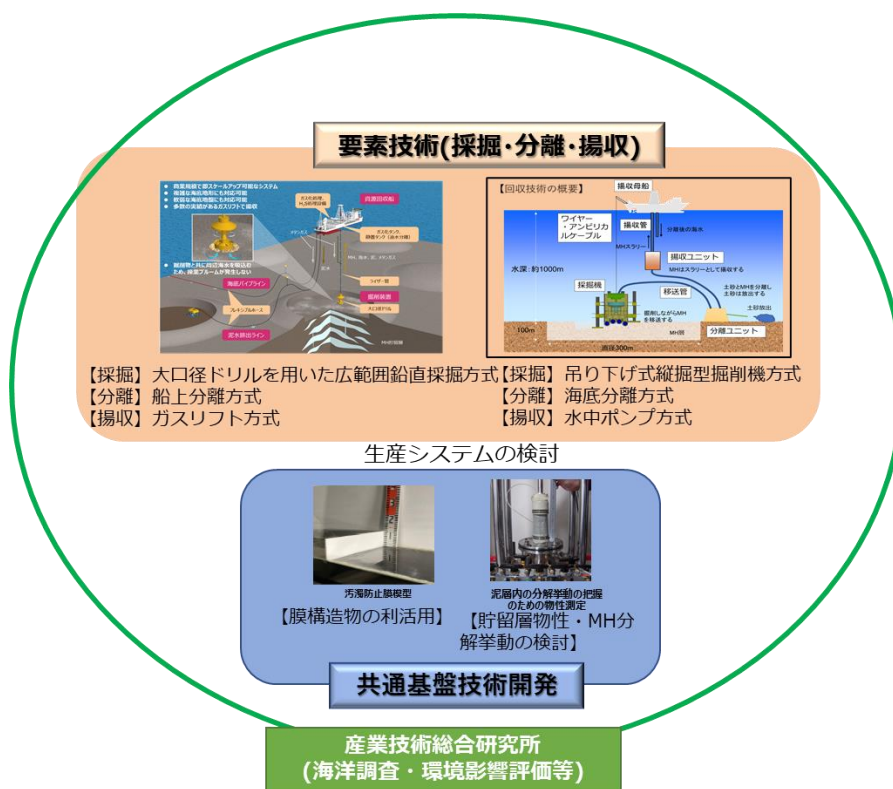


図5. 表層型メタンハイドレートの回収技術に係る有望技術の特定

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。

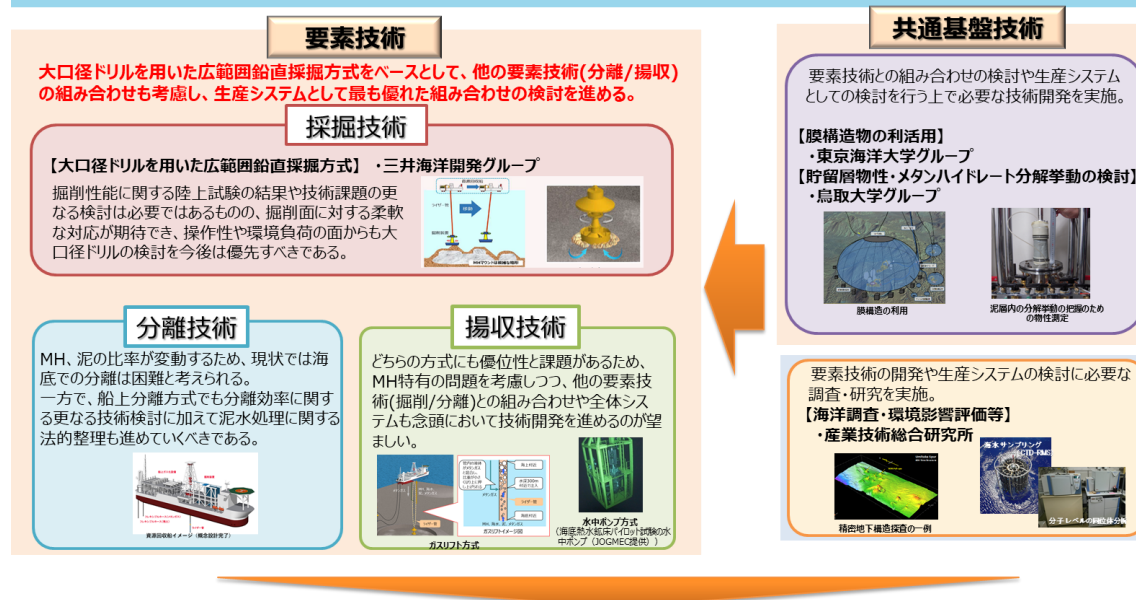
・生産システムの検討

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の生産技術を「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下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下深部からの熱流量^(※)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下深度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の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、メタンブ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。

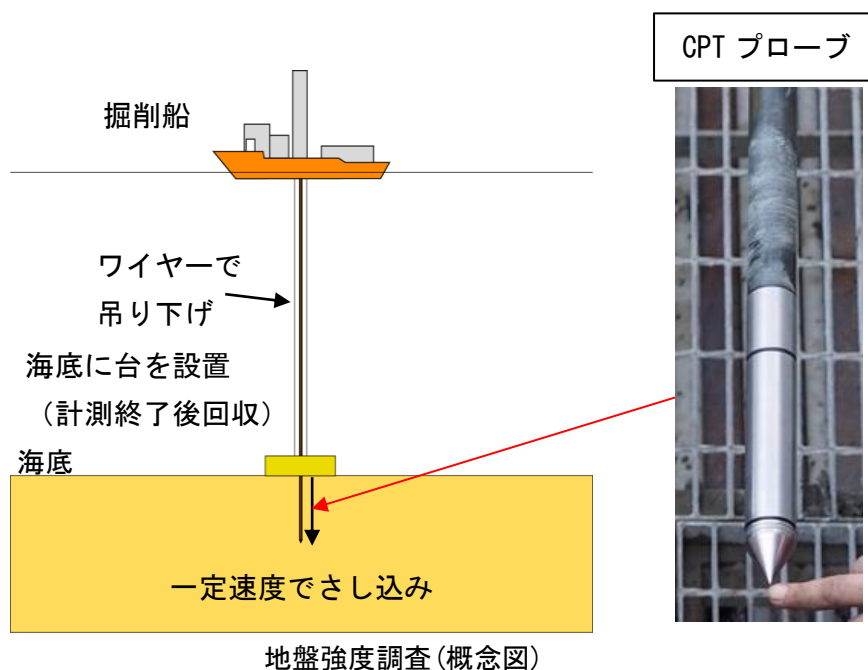
2021 年 8 月、酒田海丘の表層型メタンハイドレート胚胎地域において掘削調査により、コーン貫入試験（CPT）、地質試料採取、及び PS 検層を行った。採取した地質試料は航海終了後に持ち帰り、CT スキャン画像撮影を実施して亀裂や堆積構造の推定を行った後、試験に適切な区間を抽出し実験室にて室内土質試験を行った。コーン貫入試験（CPT）、室内土質試験及び PS 検層結果の解析が進行中で、これらの総合解釈により酒田海丘の表層型メタンハイドレート胚胎地域の地盤強度評

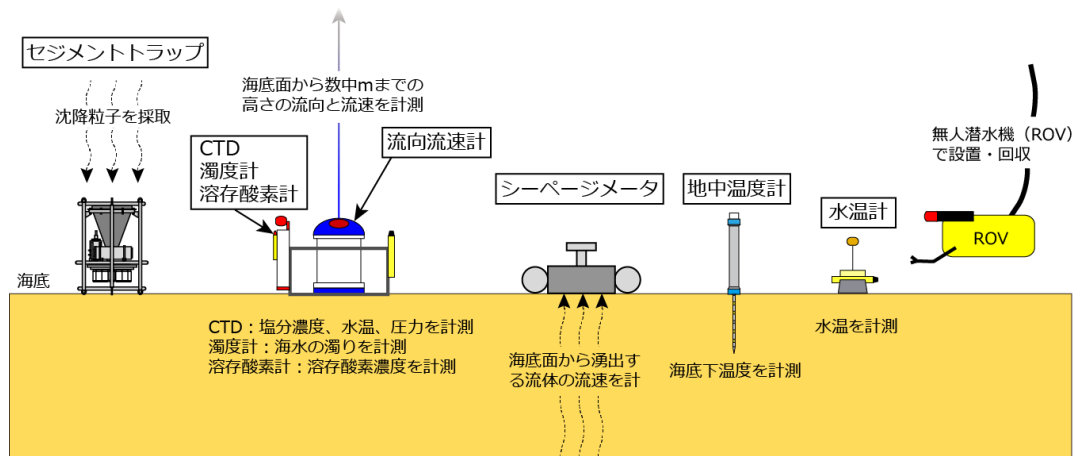
価を行う。今後、他の海域においても同様な地盤強度調査を実施予定で、これらの結果は生産・回収手法開発にあたって活用される。

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。

<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、バ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、口）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・ピ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。

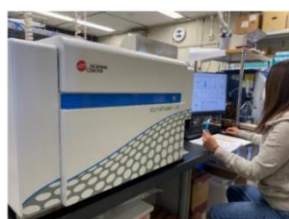
※3：一般的な海洋観測項目に加え、イ）に記した表層型メタンハイドレート賦存域に特異のプロセスやパラメータを効率的に観測する手法を検討する。産出試験等において懸念される高濁度水、生産水による水柱及び海底近傍の環境と生態系への影響を予測・検出するための海洋調査手法を検討する。

<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及び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

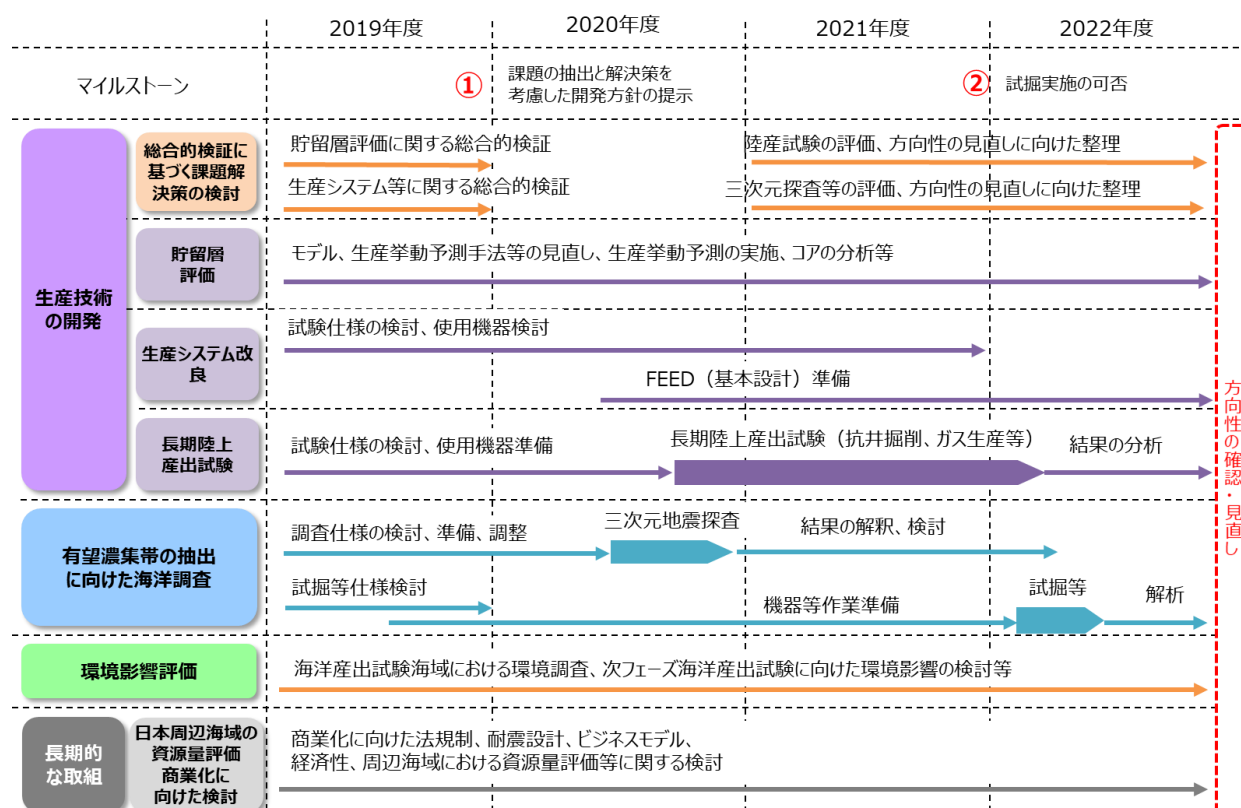
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(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。

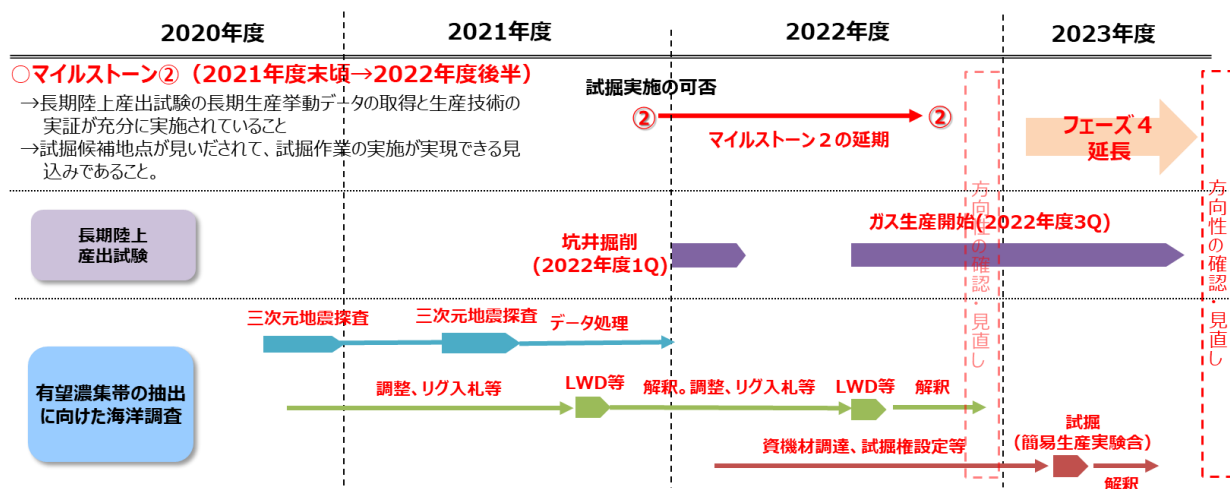
長期陸上産出試験については、主要鉱区権者であるBP社の権益売却や度重なる新型コロナウイルス感染症の流行等により、実施スケジュールが大幅に遅延している。そのため、当初2020年度末には掘削を開始する予定が、現時点でまだ掘削が開始されておらず、2022年度になってからの掘削開始、2022年度3Qからの生産開始を予定している。

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)			
	海洋産出試験の実施場所に関する検討			
環境影響評価	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。

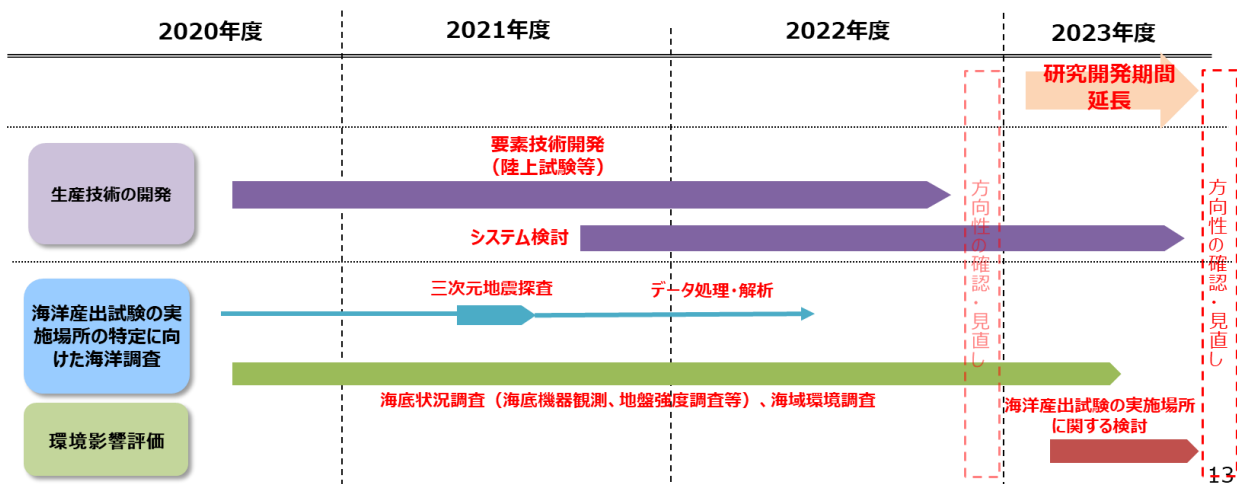
生産技術については、今事業実施期間以前から実施して F S 調査をベースに、2019 年度に要素技術毎に有望技術の特定を実施し、2020 年度から本格的な研究開発を実施しているところ。

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)

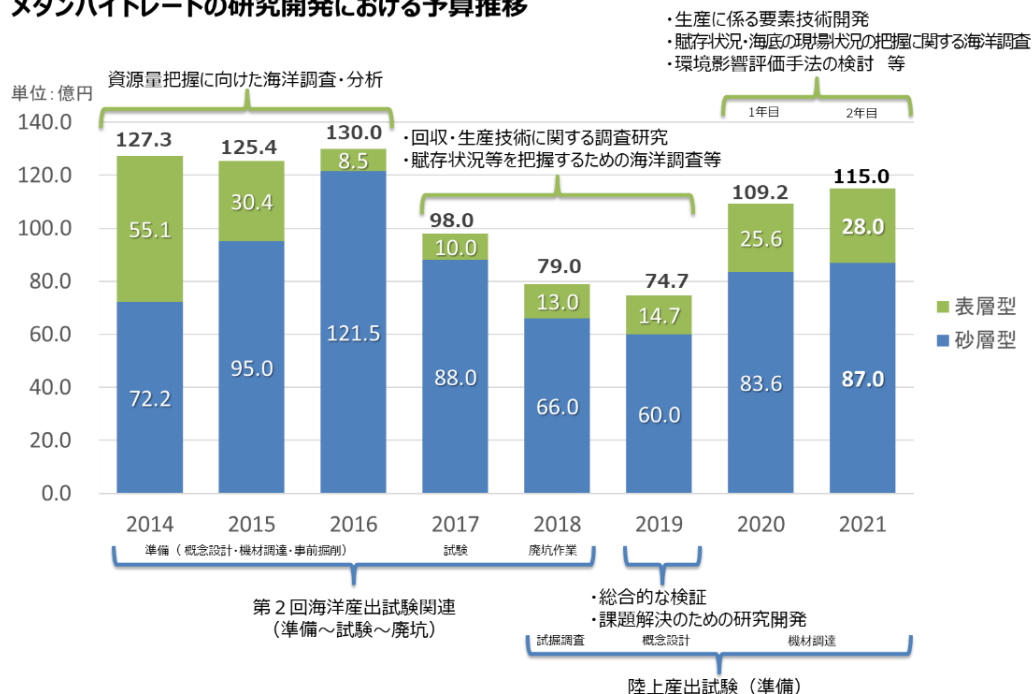
研究開発項目	2002FY	2003FY	2004FY	2005FY	2006FY	2007FY
砂層型メタンハイドレート	30.0 (委託)	55.0 (委託)	67.0 (委託)	39.8 (委託)	39.8 (委託)	40.1 (委託)
表層型メタンハイドレート	—	—	—	—	—	—
計	30.0	55.0	67.0	39.8	39.8	40.1

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。

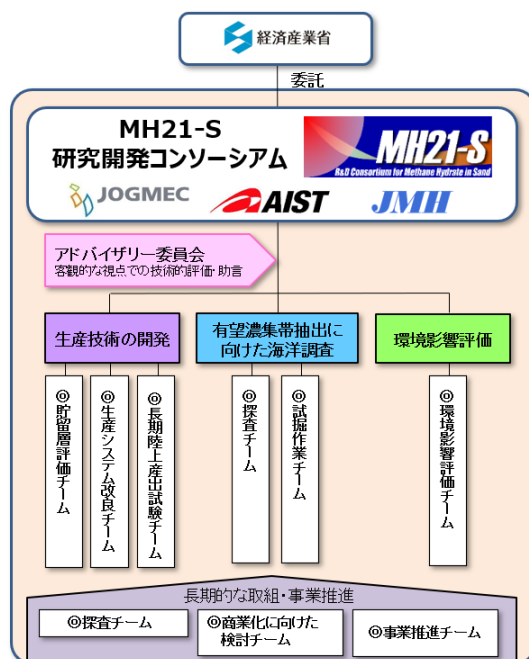


図7. 砂層型メタンハイドレートの研究開発に係る実施体制

（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。

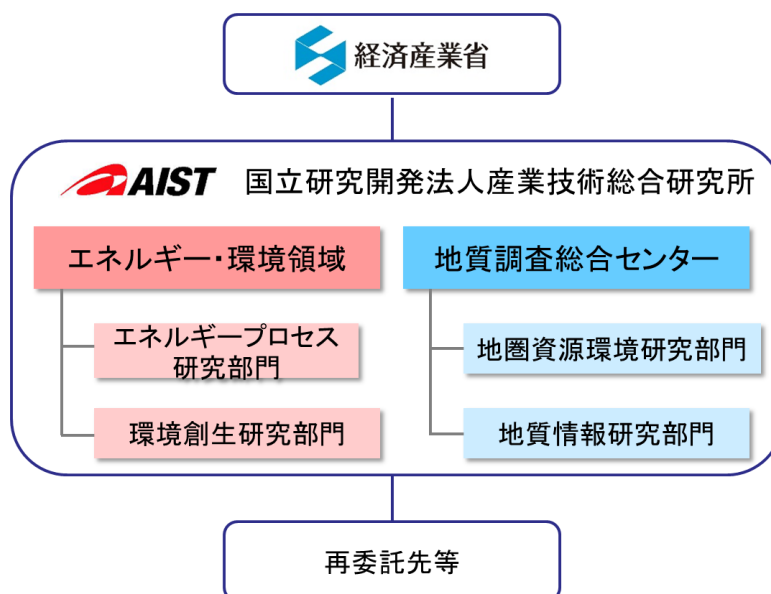


図8. 表層型メタンハイドレートの研究開発に係る実施体制

（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。
	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		

			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。
【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。
	ロ) 試掘（簡易生産実験を含む）の準備・実施		

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。 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。	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）	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) 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	

	二) 長期陸上産出試験	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。	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) 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。	
【3】環境影響評価	イ) 環境影響評価	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 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	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。	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。

【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	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。	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。
	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	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	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

			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。 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。		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 鉦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始資源量評価や貯留層特性評価に活用される。	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

	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。	一	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 万立方メートルが目			
	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	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 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	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。	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	

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 年度の方角性の確認・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へ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	「燃える水」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	マツク陸上産出試験 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/コンプレット)	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/コンプレット)	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探採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	産地における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

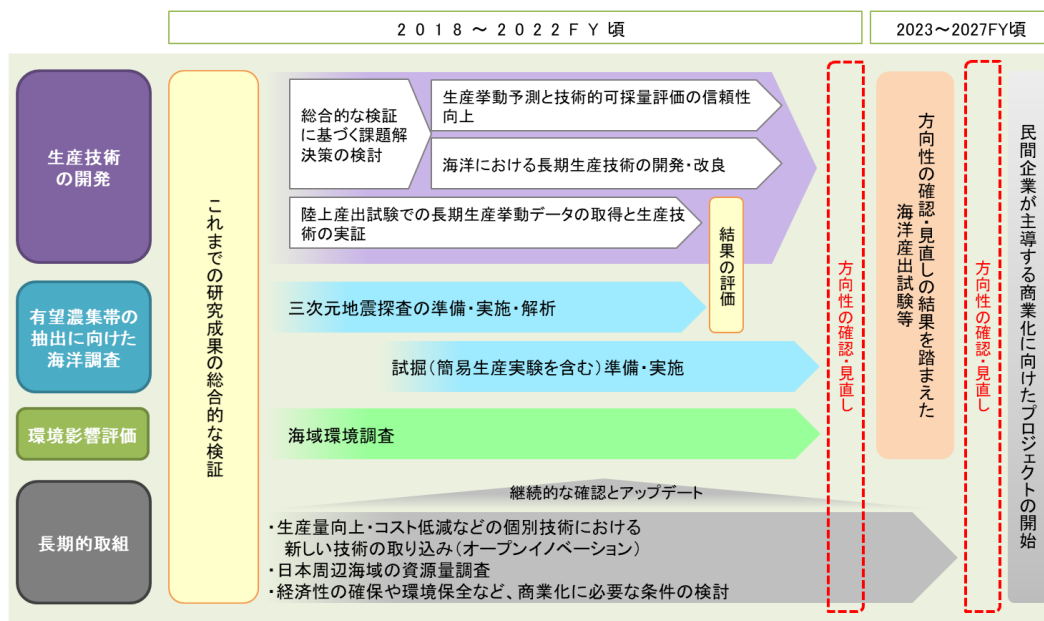
アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2023年度 ～2027年度	民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトの開始	・エネルギー鉱物資源開発計画において、2022年度頃に「次回海洋産出試験等に向けた取組」の終了時を目的に、研究開発等の進捗状況を検証し、方向性の確認・見直しを行うこととしている。 ・2023年度以降、方向性の確認・見直しの結果を踏まえた海洋産出試験等を実施することを予定している。 ・海洋産出試験等の結果を踏まえ、方向性の確認・見直しを行い、民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトを開始することを目標としている	・新型コロナウイルス感染症等の影響により、研究開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。

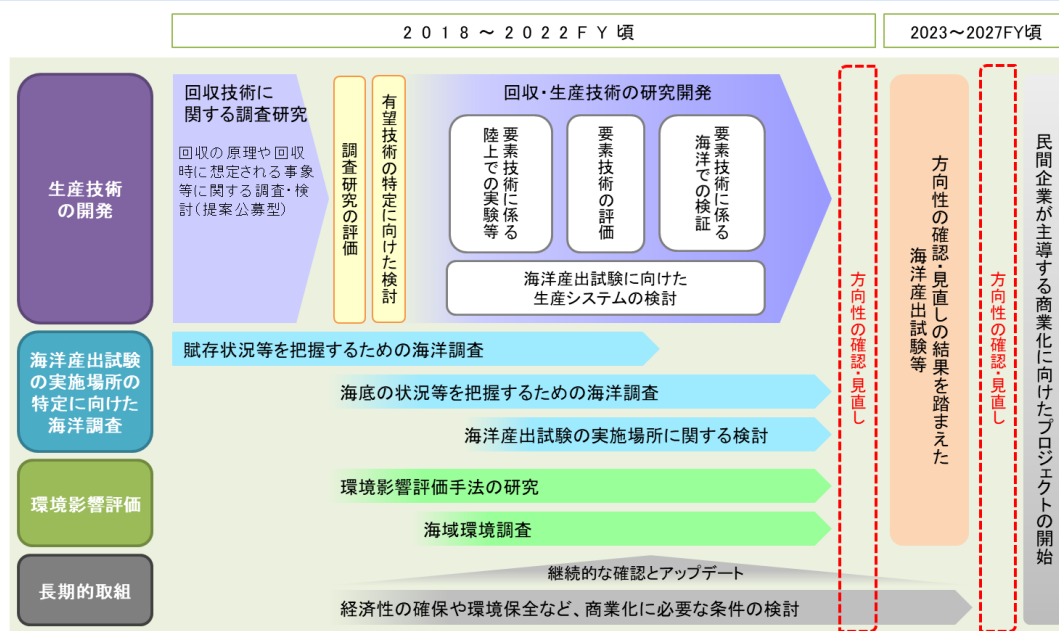
砂層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表（海洋エネルギー・鉱物資源開発計画：平成31年2月）

「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。

第2章 評価

本章では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、枠下の箇条書きは各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

1. 当省(国)が実施することの必要性

メタンハイドレートは、エネルギー安全保障等の観点から優位性は認められる一方、技術的・経済的等の観点から不確実性を伴う研究課題であり、また、昨今のカーボンニュートラル（以下、CN という）対応でビジネスとしての不透明感が増したことから当該研究開発を民間企業グループが独自に行うことは事実上困難であることから、商業化へのプロセスにおいて政府の関与が不可欠。加えて、2050 年 CN を前提とした現行エネルギー基本計画においても、その位置づけが示されており、我が国におけるエネルギーの 3E+S が求められる中、国が本研究に取り組む意義は大きい。

他方、2050 年 CN の達成を念頭に、採取したガスの燃焼によって発生する CO₂ のオフセットコストも踏まえた必要性の説明も求められることから、生産物をどのように取り扱うかについての絵姿も並行して提示されなければならない。資源開発を取り巻く情勢が刻々と変化することを勘案すれば、時間を要するほど国が実施することの意義を問われる場面が多くなる点は注意が必要。また、資源量の不確実さが、民間企業に参入を躊躇させるひとつの要素となっているため、ある程度の制約はやむを得ないとしても、可能な限り海洋調査データや、取組内容を公開して国内の英知を結集させる必要がある。

【肯定的意見】

- （A 委員）本研究は先行者もなく、予見が難しい未知の分野に対する技術開発を多岐に渡る関係者が連携して取り組む必要があり、民間企業による市場原理に基づく研究開発では非常に困難であると考え。加えて、メタンハイドレートについては、第 6 次エネルギー基本計画にもその位置づけが示されており、我が国におけるエネルギーの 3E+S が求められる中、国が本研究に取り組む意義は大きいと考える。
- （B 委員）2050 年カーボンニュートラルを前提とした現行第 6 次エネルギー基本計画においても当面天然ガスが必要とされています。当該天然ガスの安定的な調達の観点からは国内での天然ガスの生産可能性を追求することは必要と存じます。そして、技術が確立し、商業化されるまでは民間企業のみでは実施は困難です。したがって、国において本件プロジェクトを実施することは必要と考えます。
- （C 委員）資源量評価方法、実際の産出技術など、エネルギー資源としての天然メタンハイドレート開発にはもともと未確立の部分が多かったが、昨今のカーボンニュートラル（CN）対応でビジネスとしての不透明感が増したことから、この研究開発を民間企業グループが独自に行うことは事実上困難である。一方でエネルギー安全保障の観点からは、再生不可能炭化水素資源であっても一定量のリスクフリー資源を確保することは国としての当面の重要課題である。したがって、当該研究開発プロジェクトを国が実施することの必要性は明らかである。
- （D 委員）エネルギー安全保障等の観点から優位性は認められる一方、技術的・経済的等の観点から不確実性を伴う研究課題であるため、商用化へのプロセスにおいて政府の関与が不可欠。
- （E 委員）本プロジェクトは、天然ガスハイドレートがまだ資源として認知されていない所からスタートし、他国をリードしながら純国産資源としての商業利用を目指してきたものである。そこには様々な困難な技術的課題があり、まさに「①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合」に相当し、国が実施することが必要な事業であることは明白と考える。

【問題点・改善すべき点】

(A 委員) メタンハイドレートによるカーボンニュートラルへの貢献方法について引き続き検討いただきたい。

(B 委員) 平時の燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、2050 年に近付けば近づく程、2050 年カーボンニュートラルの達成を念頭に、採取された天然ガスの燃焼によって発生する CO2 のオフセットコストも踏まえた必要性の説明が求められてくると考えます。

他方で、平時の燃料源の開発としての側面のみならず、有事（逼迫時など）におけるバックアップ的な燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、有事に対応できる増減産の柔軟性（例えば、生産の Seasonable Flexibility）に着目した開発として必要性の説明が可能になるかと考えます。しかし、「生産、停止を繰り返すと、生産システム上の管内で、再ハイドレート化のリスク等もあり難しいと想定される。」と説明を頂きました。よって、かかる観点から必要性を説明することは現在の技術では難しいと理解しました。

(C 委員) 商業化を念頭におく産出技術開発は、将来にわたって十分な資源量が確保される前提にたつものであるが、日本近海における天然メタンハイドレート賦存量（資源量）やその産状は学術的にみても十分に明らかにされているとはいえない。資源量の不確実さが、民間企業に参入を躊躇させるひとつの要素となっている。

三次元地震探査などの海洋調査は随時進んでいるが、砂層型の資源量を導き出す上で、自然界の循環系におけるメタンハイドレート濃集帯の成因に関する地質学的な理解は欠かせない。こうした理解を実現するためには、当該分野に関わる人材を育成して研究者および技術者の層を厚くする必要がある。そのためには、ある程度の制約はやむを得ないとしても、可能な限り海洋調査データを公開して国内の英知を結集させる必要がある。

さらに、資源量が確保され生産が保証されれば一定の成果と認められたこれまでの在来型資源と異なり、どのような資源であっても CN 対応しなければならない政策転換があったのちは、天然メタンハイドレートからの生産物をどのように取り扱うかについてのヴィジョンも並行して提示されなければならない。

(D 委員) 特になし。

(E 委員) とくに砂層型については、フェーズ 1 開始当初の商業化目標が 2016 年であったところを既に 20 年以上を費やしている。昨今のカーボンニュートラルへ向けての世界的な動きのように、資源開発を取り巻く情勢が刻々と変化することを勘案すれば、時間が掛かればかかるほど国が実施することの意義を問われる場面が多くなるであろう点には注意が必要と考える。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

砂層型・表層型ともにアウトプット指標および目標はおおむね妥当と考える。各研究開発項目は、これまでの研究成果を踏まえて論理的な項目が選択され、また、将来の商業化を見据えた規模の経済性や生産方法が検討されている。特に、砂層型については、長期陸上産出試験と有望濃集帯の探査等に対して本フェーズにおける目標と実施内容が明確かつ定量的に示されている。まずは国の事業として「技術的に採れる」よう、実証に注力するとともに、資源量の推定や生産手法の検討にも必要なメタンハイドレートシステムの検討も確実に進めてほしい。

他方、砂層型の長期安定生産の課題、複数坑井からの同時生産の課題、長期陸上産出試験結果の海洋産出試験への反映、貯留層モデルの妥当性、環境影響評価手法等の検討を行う必要がある。

表層型については、想定される産出試験に向けて、技術面以外の法的課題の整理等を含めた実施目標を明確化、他分野技術の生産技術への活用、海洋産出試験の実施場所に関する他事業との相互作用の検討、より慎重な環境影響調査等の検討を行う必要がある。

今後、生産プロセスにおける GHG 排出対応も念頭に、新たなビジネスモデルの提案に資することを意識したアウトプットを導くべき。

【肯定的意見】

(A 委員) 砂層型については、長期陸上産出試験と有望濃集帯の探査等に対して本フェーズにおける目標と実施内容が明確かつ定量的に示されている。海外の研究事例を把握し、我が国の技術を海外へも適用できる可能性があることを確認している点も評価できる。技術開発の結果は論文発表を中心に発信を行っており、今後も継続することが望ましい。

(B 委員) 各研究開発項目は、先行する開発結果のアウトプットを踏まえて論理的な項目がセクションされており、また、将来の商業化を見据えた規模の経済性や生産方法が検討されていると存じました。

(C 委員) 少なくとも当初は妥当であった。

(D 委員) 妥当な内容・目標値が設定されている。

(E 委員) 砂層型・表層型ともにアウトプット指標および目標はおおむね妥当と考える。成果の発信についても妥当である。砂層型の【4】長期的取り組み②メタンハイドレートシステムの検討の「どのように濃集帯を形成していったかの理解」は、資源量の推定や生産手法の検討にも必要な重要な基礎的な研究であるので、時間がかかっても確実に進めて成果を出してほしい。

【問題点・改善すべき点】

(A 委員) 表層型については、採掘技術、分離技術、揚収技術の各要素技術について取組みの方向性が示されているが、今後実施が必要と想定される産出試験の実施において、技術の絞り込みや技術面以外の法的課題の整理等を含めた実施目標を明確に定める必要がある。

(B 委員) 砂層の長期安定生産の課題（水生産の過剰、坑井周辺の圧力喪失）の特定及び解決見通しについては不確実な点が残っていると理解しました。

砂層の生産システムとして複数坑井からの同時生産が検討されていますが、複数坑井からの同時生産の場合に、単独井で生産する場合と異なる課題が存在しないのか留意する必要があると思われました。

有事（逼迫時など）におけるバックアップ的な燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、有事に対応できる増減産の柔軟性（例えば、生産の Seasonable Flexibility）

に着目した開発が項目として加わることになると思います。しかし、「生産、停止を繰り返すと、生産システム上の管内で、再ハイドレート化のリスク等もあり難しいと想定される。」との説明を頂きました。よって、「バックアップ的な燃料源の開発」という観点から本件プロジェクトを捉えることは現在の技術では難しいと理解しました。

(C委員) 今後へ向けては、新たなビジネスモデルの提案に資することを意識したアウトプットを導いてほしい。

(D委員) 中長期的には得られた生産物並びに、生産プロセスにおける GHG 排出対応への考察に検討が迫って必要。

(E委員) <砂層型>

【1】生産技術

「課題解決策の検討」第2回海洋産出試験で安定生産を阻害する要因となった出砂と出水の問題がアラスカでの陸上産出試験においてクリアされ長期生産に成功したとして、それでも生産量の安定した増加が見られなかった場合のシナリオも描いておく必要があるのではないか。安定生産が得られる前提のみで事業が進められているように見える点に若干の不安を感じる。「貯留層評価」第2回海洋産出試験での予測と実績の生産量の乖離要因の推定が正しかったことを、どのようにして陸上産出試験によって検証するのかが不明確であるように見受けられる。陸上産出試験でよい予測ができて海洋産出試験でもよい予測ができる保証はないのでは？ 機能強化や新しい技術の導入も重要だが、坑井近傍の圧力・温度の伝達の問題を考えると本質的な貯留層モデルの妥当性の検証・検討をいま一度行うべきではないか。「生産システム改良」この実施項目に対して現時点では評価者は否定的な考えを持っている。坑井周りの要因で十分な生産が実現できていない段階で海底生産システムの検討に大きな労力を割くことにどれほどの意味があるのか疑問である。「長期陸上産出試験」ハードウェアの改善の記述は見られるが、どのようなオペレーションをするかの検討が十分できているか評価用資料から読み取れない。また、陸上産出試験で得られた知見が、同じ砂層型といっても地下の状況が異なる海洋での産出試験にどのように生かされるのかが明確でないように見える。

【2】海洋調査

「試掘」の課題のうち坑径拡大対策として循環流体の制御を行うとしているが、坑径拡大の原因はきちんと特定できているのであろうか。

【3】環境影響評価

石油・天然ガスではすでに商業海洋開発における環境影響評価の実績があるので、それに類似した生産方法をとるメタンハイドレート開発と従来の海洋石油開発との違いを明確にして、重複や無駄な作業のないように実施してもらいたい。

【4】長期的な取り組み

「商業化に必要な条件」における具体的な「ビジネスモデル」の検討は長期的な取り組みとしてはよいが、細部についてはいずれ民間が考えればよいのではないかと思える。まずは「技術的に採れる」ことを国の事業として実証することに注力すべきではないか。

<表層型>

【１】生産技術

同様な技術開発として、1980 年代には国のマンガン団塊プロジェクトが、石油掘削の分野では 10 年以上前に MPD（Managed Pressure Drilling）技術の一環として水中ポンプの開発が米国等で行われていたがいずれも商業化はされていない。現時点で絞り込んでいる一つの方式に固執せず、海洋土木や海洋石油開発、海洋工学などの多分野の技術を結集し、常に広い視野に立って研究開発を進めてほしい。

【２】海洋調査

日本海側は、CCS 地中貯留候補地や洋上風力発電事業地域と海域が重なる部分があるので、海洋産出試験の実施場所に関する検討ではそれらとの相互作用（ポジティブ・ネガティブ両方）も考慮する必要があるのではないかと。

【３】環境影響調査

表層型ハイドレートの開発は、環境影響調査実績のある海洋石油開発とは異なり海底面での作業を伴うので、より慎重に進めていただきたい。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

商業化を見据えて、砂層型については、民間の JMH をコンソーシアムに加えたことは、フェーズ 3 までに比べると実情に応じた妥当な実施体制である。また、定期的な報告会等を通じ、連携を行っており、情報発信ホームページの新設等、国民への情報提供は評価できる。更に、新型コロナウイルス感染症の影響による遅延を見込んだ研究開発計画、資金配分や知財管理は妥当と評価できる。

他方、今後、2027 年度までに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のであれば、金融機関や販売先等の問題意識を反映する仕組み、商業化プロジェクトに適切なマネジメント体制等の検討が必要である。加えて、各実施チームの横の連携の一層の強化や、各実施項目の担当や責任の所在の明確化が必要である。

【肯定的意見】

- (A 委員) 研究目標の達成に向けた研究課題を分割して設定し、各課題に適した研究計画の策定を実施している。また定期的な報告会等の場を通じ、関係する研究テーマ間での連携を行っている。砂層型・表層型に関する情報発信ホームページの新設や成果報告会の開催などに取り組み、本事業について国民に広く情報提供を行っている。
- (B 委員) 商業化を見据えて、砂層について民間の JMH をコンソーシアムに加えたことは有益と存じました。
- (C 委員) 実情に応じた妥当な計画と実施体制である。
- (D 委員) 妥当。
- (E 委員) コロナウイルス感染症の影響による遅延・計画変更も含めて研究開発計画、資金配分は妥当であるとする。砂層型の研究開発計画フェーズ 3 までに比べると実施者および実施体制はすっきりしており、チーム間の連携を期待する。知財管理についても妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 商用化に向けたプロジェクトでは、改めて適切なマネジメント体制を検討し、必要に応じて柔軟に対応いただきたい。
- (B 委員) 「長期陸上産出試験が PBU 鉱区オペレータ交代、新型コロナウイルス等の影響により遅れた」とありますが、研究開発現場を海外に依存することの課題が顕在化したものと思料致します。陸上での長期産出場所が国内に存在しないためにやむを得なかったものと理解しておりますが、できる限り、研究開発現場を国内で実施することを追求すべきと存じました。

砂層の有望濃集帯の海洋調査に用いられる予定であった三次元物理探査船「たんさ」の故障で不稼働とあります。今後同様の事象で遅延することがないように、他の三次元物理探査船の配備も検討してもよいのではないかと思います。2050 年カーボンニュートラルを前提とする商業化に向けた課題として、金融機関や販売先（発電事業者等）を取り巻くカーボンニュートラルのニーズの状況を反映する必要があると考えています。現時点では金融機関や販売先のヒアリングを実施しているようですが、それに加えて、金融機関や販売先と定期的に意見交換する枠組みを構築することも一考に値するかと存じました。

メタンハイドレートから生産された天然ガスをスポットで販売することも視野に入れている旨のご説明があったと思いますが、メタンハイドレートプロジェクトに必要な巨額の開発費用について金融機関が資金を融資するためには返済の目途が立たなければなりません。生産された天然ガスをスポットで販売する計画では、返済の目途が立たないとして金融機関が資金を融資できない可能性が高いと思われます。販売先である発電会社などに Take or Pay 義務を負わせて購入をコミットメントさせる長期売買契約が締結されなければ金融機関が資金を融資することは難しいと思われます。このような問題意識を実施体制にインプットする仕組みを構築する必要があると思います。

(C委員) 特段の問題点はない。

(D委員) 特になし。

(E委員) 砂層型の生産技術と坑井設計は密接に関連する部分であるはずだが、坑井設計に関する研究開発が産出試験チームにあるのか試掘作業チームにあるのか明確でないように見える。両者のあいだの横の連携のより一層の強化を期待する。表層型の実施体制において、各実施項目の担当や責任の所在が明確でないように見受けられる。

4. 事業アウトカムの妥当性

現在の事業アウトカムは、CN を目指す中でも、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になるという点でも、当面妥当であると考ええる。

一方で、エネルギー資源開発を取り巻く環境が変化するなか、本フェーズの研究目標を達成した上で、商業化に向けたプロジェクトの開始を判断する項目を整理し、課題を明確にする必要がある。また、国の役割としている「商業化のために必要な基盤整備」の範疇が不明確に見受けられることから、まずは「技術的に採れる資源」であることを国のプロジェクトで示すことに集中すべきと考える。

【肯定的意見】

- (A 委員) 研究着手時のエネルギーセキュリティの観点において、本事業で推定した賦存量より、我が国にとって一定のインパクトがある取り組みと考える。また、2021 年 10 月の第 6 次エネルギー基本計画に示されたカーボンニュートラルの観点について、産業社会に対するインパクトを含めた事業目標を追加設定する考えを示している点も評価に値すると考える。
- (B 委員) 国内天然ガスの生産は、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になるという点で、当面、本件プロジェクトの事業アウトカムは妥当と考えます。
- (C 委員) 概ね効果的なアウトカムがえられつつあるという印象をもつ。
- (D 委員) 概ね妥当。
- (E 委員) 「民間主導の商業化に向けたプロジェクトの開始」という事業アウトカムの設定に対して、世界がカーボンニュートラルに舵を切った今でも、アウトカムが実現した場合には依然として日本の経済や資源開発における国際競争力、問題解決に大きなインパクトを与えるものと考ええる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 本研究開発は世界に先駆けた挑戦的なテーマであるため、実用化に向けては相応のリスクを伴うと考えられる。本フェーズにおける研究目標を達成した上で、商用化に向けたプロジェクトの開始を判断する材料として何が必要かを整理し、課題を明確にする必要があると考える。
- (B 委員) 平時の燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、2050 年に近付けば近付く程、2050 年カーボンニュートラルの達成を念頭に、採取された天然ガスの燃焼によって発生する CO₂ のオフセットコストも踏まえたアウトカムが求められてくると考えます。
他方で、平時の燃料源の開発としての側面のみならず、有事（逼迫時など）におけるバックアップ的な燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、有事に対応できる増減産の柔軟性（例えば、生産の Seasonable Flexibility）に着目した開発のアウトカムになると考えます。しかし、「生産、停止を繰り返すと、生産システム上の管内で、再ハイドレート化のリスク等もあり難しいと想定される。」とご説明を頂きました。かかる観点からアウトカムを設定することは現在の技術では難しいと理解しました。
- (C 委員) エネルギー資源開発を取り巻く環境が変化しつつあるなかで、どのような到達点を目標とするか、あるいはそのための挑戦的な攻めの計画が立案されているか、という点については、現状を踏まえると不足感が否めない。

- (D 委員) 事業誘導を図る際の参考値としての实际的指標 (IRR、CAPEX 等) の検討が追って必要。
- (E 委員) 国の役割としている「商業化のために必要な基盤整備」とは具体的に何をどこまで実施するのか明確でないように見受けられる。「民間主導の商業化に向けたプロジェクトの開始」という表現も、後からどのようにも解釈できる表現という印象を受ける。「参入リスク」は最終的には民間企業が評価・判断するものであると考えれば、民間企業が投資判断を行うのに必要な材料をどこまで提供できるかが国の役割であろう。「商業規模での開発システム等の設計や経済性評価」の詳細まで国がやる必要があるのか、そこから先はもっと民間の知恵を借りて民間に任せてもよいのではないかといった議論もしっかり行ってほしい。その意味でも、まずは「技術的に採れる資源」であることを国のプロジェクトで示すことにより集中すべきではないかと考える。また、砂層型よりも遅れて生産技術開発を始めた表層型の今フェーズのアウトカムがいきなり「商業化に向けた」というのは無理があるのではないか。レアアース泥の揚泥・生産技術開発が当初の目論見よりもかなり時間が掛かっていることを鑑みれば、表層型のこの生産技術開発計画は楽観的すぎないか。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

これまでの研究成果を元に、各研究テーマの進捗状況も考慮した実効性の高いロードマップとなっている。また、新型コロナウイルス感染症の影響など外的要因により計画が一部遅延している中、柔軟な計画変更によりロードマップ改定も概ね妥当であり、最終的に十分なアウトカムを達成し得る余地を残している。

一方で、次期フェーズのロードマップについては、想定される環境変化を織り込んだうえで、複数の具体的なシナリオを用意し、商業化に向けた時間軸、柔軟な対応が可能となるマイルストーンの細分化等を検討する必要がある。また、知財の管理はしっかりと取り組まれている一方で、その有効活用には工夫が不十分であり、最大限活用しアピールすべきである。

【肯定的意見】

（A委員）これまでの研究成果を元に、各研究テーマとの進捗状況も考慮した実効性の高いロードマップとなっている。また、コロナ影響もある中で事業目標を変更することなく、柔軟な計画変更により適切なロードマップを策定している。

（B委員）「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」という目標から逆算したロードマップが作成されているものと存じました。

（C委員）外的要因によって遅延している計画も一部にあるが、これをリカバーするためのロードマップ改定も概ね妥当に行われており、最終的に十分なアウトカムを達成し得る余地を残している。

（D委員）概ね妥当。

（E委員）今フェーズ4のロードマップは概ね妥当と考える。

【問題点・改善とする所見】

（A委員）2022 年度以降に実施予定の研究項目について、想定される環境変化を織り込んだうえで、事業の完遂、目標達成に向けたロードマップとなっているかを再確認いただきたい。そのためには、マイルストーンを細分化し、想定される複数のケースの設定と対応方法の検討等を事前に実施することで、変化に対し柔軟な対応ができるように準備いただきたい。

（B委員）海外での長期陸上産出試験における主要鉱区権者の権益売却、新型コロナウイルス感染症の流行、砂層の有望濃集帯の探査における三次元物理探査船「たんさ」の故障、といった事情があったために、達成状況については「一部達成」に留まっているものがございます。事情はやむを得ないと存じますが、「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」という目標を踏まえると再発防止を徹底する必要があると存じました。

平時の燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、2050 年に近付けば近付く程、2050 年カーボンニュートラルの達成を念頭に、採取された天然ガスの燃焼によって発生する CO₂ のオフセットコストも踏まえたロードマップの作成が求められてくると考えます。

他方で、平時の燃料源の開発としての側面のみならず、有事（逼迫時など）におけるバックアップ的な燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、有事に対応できる

増減産の柔軟性（例えば、生産の Seasonable Flexibility）に着目した開発のロードマップになるかと考えます。しかし、「生産、停止を繰り返すと、生産システム上の管内で、再ハイドレート化のリスク等もあり難しいと想定される。」とご説明を頂きました。よって、かかる観点からロードマップを構築することは現在の技術では難しいと理解しました。

（Ｃ委員）知財の管理はその重要性を踏まえてしっかりと取り組まれているが、一方で知財の有効活用には工夫が不十分である。知財は、秘匿するだけがアドバンテージなわけではなく、最大限に活用しアピールすることによって新たな武器として好循環を生み出す源泉でもある点を意識するべきである。

（Ｄ委員）事業化に向けた時間軸（設定）に対する定義は明確化の方がステークホルダーの共通認識を得やすいと考える。

（Ｅ委員）次期フェーズでは本フェーズの「方向性の確認・見直し結果を踏まえた海洋産出試験等」としか示されておらず、2023 年度以降にどうなっていくのかが、ひどくぼんやりしている。砂層型はこれまでに何度か産出試験を行ってきた実績があるので 2023 年以降の海洋産出試験をイメージしやすいが、表層型はこのロードマップで 2023 年以降に実海域での試験が可能なのかいささか疑問である。砂層型に遅れて技術開発を始めた表層型の長期ロードマップが砂層型と同じで果たしてよいのだろうか。砂層型・表層型ともに、2023 年以降にどのようにして民間に橋渡しをするかの具体的な戦略が見えず、上で指摘した本フェーズのアウトカム目標にあいまいさが残る原因となっているのではないかと。本フェーズ後のロードマップについても、あらかじめ具体的ないくつか複数のシナリオを用意しておくべきではないか。

6. 費用対効果の妥当性

事業費合計に対する、事業化時の想定売上高での試算では費用対効果が高いと言える。現行エネルギー基本計画においても、当面、メタンハイドレートを含む天然ガスが必要とされており、地政学リスクに左右されず安定供給・確保が可能な国産資源という点でも優れていると言え、想定は概ね妥当。

他方、今後、技術開発に目途がつき、商用設備のスペックや生産運用面の検討ができる段階で、あらゆる事業（LNG 事業、水素・アンモニアなど CN 事業、メタンハイドレートで生産された天然ガスの備蓄等）も考慮しつつ、実際に事業化する際の CAPEX/OPEX を踏まえた事業成立性の試算を行うべき。なお、一般の国民の視点からは、成果がわかりにくいことから、費用対効果の妥当性についても、より一層わかりやすく国民へ説明する必要がある。

【肯定的意見】

（A 委員）これまでの事業費合計に対する、事業化時の想定売上高での試算では費用対効果が高いと言える。

（B 委員）2050 年カーボンニュートラルを前提とした現行第 6 次エネルギー基本計画においても当面天然ガスが必要とされています。そして、国内天然ガスの生産は、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になるという点で優れており、その意味で、当面、費用対効果を認めることはできると考えます。

（C 委員）概ね妥当である。

（D 委員）定量的な参考値も示されており概ね妥当。

（E 委員）おおむね妥当であると考えます。

【問題点・改善すべき点】

（A 委員）本フェーズの成果を元にして、技術開発に目途がつき、商用設備のスペックや生産運用面の検討ができる段階で、実際に事業化する際の CAPEX/OPEX を踏まえた事業成立性の試算を行っていただきたい。その際には、第 6 次エネルギー基本計画における位置づけを考慮し、事業化タイミングにおける LNG および水素・アンモニア事業との比較による事業性の検証を実施いただきたい。

（B 委員）2050 年のカーボンニュートラルを前提にした場合、2050 年に近付けば近づく程、生産した天然ガスの燃焼により発生する CO₂ のオフセットコストも考慮した費用対効果が求められると考えます。

LNG を輸入して国内に備蓄する場合の費用対効果と、メタンハイドレートで生産された天然ガスを備蓄する場合の費用対効果との比較も今後求められる可能性があると考えております。

（C 委員）一般の国民の視点からは、成果がわかりにくい。

（D 委員）特になし。

（E 委員）既に当初計画（2016 年商業化）より大きく遅れているので、これから費用対効果の妥当性についてより一層国民への説明が求められることになると思う。

7. 総合評価

メタンハイドレートの研究開発は、エネルギー安全保障等の観点から、国産エネルギー資源開発として、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になるという点において、国が主導して実施する必要がある事業である。これまで蓄積された知見を元に各研究テーマの課題の具体化、目標の定量化により、ロードマップを明確に示す形で推進され、これまでのフェーズ以上によく計画され、実行できているように見られる。新型コロナウイルス感染症の影響などの環境変化にも、柔軟な計画変更を行っている点も評価される。次期フェーズの海洋産出試験や、商業化を見据えた事業目標達成に向け、長期陸上産出試験において有益なデータ・成果が得られることを期待する。

一方、商業化に向けたプロジェクトの検討については、生産技術の開発と合わせて、サプライチェーンにおける販売コスト抑制の課題抽出・検討を行い、2050年CNの達成を念頭に、将来のエネルギー環境の変化も踏まえた事業の検討が必要。また、商業化に向けて、民間の資源開発企業などにどのように橋渡ししていくのかの絵姿を明確化する必要がある。

【肯定的意見】

(A委員) 新たな国産エネルギー開発として国が取り組む意義は大きく、未知の領域の多い挑戦的な事業目標に対し、これまで蓄積された知見を元に各研究テーマの課題の具体化、目標の定量化を行うことで、ロードマップを明確に示す形で推進されている。カーボンニュートラルやコロナ影響などの環境変化にも柔軟に計画変更を行っており、ぜひ長期陸上産出試験を完遂し、商用化を見据えた事業目標達成に向け、事業が前進することを期待する。

(B委員) 2050年カーボンニュートラルを前提とした現行第6次エネルギー基本計画においても当面天然ガスが必要とされています。そして、国内天然ガスの生産は、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になるという点で優れていると考えます。

(C委員) 本事業は、国が主導して実施する必要がある事業であり、妥当な計画に沿って、望みうる限り忠実に実施され十分な成果をあげていると判断される。

(D委員) 連携する海外企業の動向、コロナ渦でのプロジェクト推進にあることなど、不可抗力的外部要因による一部プロジェクトの遅延は致し方ないものと思料。

(E委員) 少なくとも長期産出試験を終えるまでは国の事業として行うことが妥当であり、今フェーズはこれまでのフェーズ以上によく計画され、実行できているように見受けられる。次期フェーズの海洋産出試験の計画に資する有益なデータ・成果が陸上産出試験により得られることを期待する。

【問題点・改善すべき点】

(A委員) 商用化に向けたプロジェクトへの移行を判断する際には、生産技術開発の確立と合わせて、採掘から利用者までの一連のサプライチェーンにおける販売コストをできるだけ抑制するための課題を抽出・検討し、3E+Sやカーボンニュートラルへの貢献、事業の継続性など、将来のエネルギー環境の変化も踏まえての事業の絵姿を示す必要があると考える。

(B委員) 平時の燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、2050年に近付けば近づく程、2050年カーボンニュートラルの達成を念頭に、採取された天然ガスの燃焼によって発生するCO₂のオフセットコストも踏まえたアウトカムと、そのための具体的なロードマッ

プの作成が求められてくると考えます。「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す」という目標における「商業化に向けたプロジェクト」の中身についても、複数の可能性を前提としつつも、上記のカーボンニュートラルの観点を念頭に具体的に検討していく必要があると考えます。

(C 委員) 一般の国民の視点からは、密室で行われている謎の研究開発に見えている恐れがある。公開すべき成果は公開し、国民に対してはせめて夢と希望を与えることのできるプロジェクトであってほしい。

CNの逆風下でも優等生であり得る(かもしれない)MHの優位点を大いにアピールし、炭化水素資源開発業界の閉塞感を打破してほしい。

(D 委員) 特になし。

(E 委員) 次期フェーズの民間が主導する商業化のためのプロジェクトまでは JMH が主体となるのであろうと思われるが、そのあと他の民間の石油開発や海洋開発などの資源開発企業にどう橋渡ししていくのかのビジョンが明確でないように感じた。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
○ 今後の方向性を検討する上で、「技術的に採れる」ことを実証するために、長期陸上産出試験の成果は重要。本成果に基づき商業化に向けた見通しを十分精査する必要がある。過去の実績・方法に囚われず、自由で柔軟な発想でこれからも研究開発に取り組んでほしい。 ○ 2027 年度までの商業化に向けたプロジェクトへの移行に向け、本事業の CN の視点からの価値創出、商業化に向けた優先順位、計画および資源配分を適切に見直すことも視野に入れるなど、商業化実現に向けた目標と実現方法を明確する必要がある。 ○ CN 達成を前提とすると、生産される天然ガスの燃焼によって発生する GHG 排出抑制方法やそのコスト等も検討項目に入れ、脱炭素技術の開発動向にも目配せし、常時、技術的・経済的・政策的な整合性を図っていく必要がある。なお、メタンハイドレートから生産されるガスについては、供給逼迫時などの有事における燃料源としての活用等、様々な選択肢を検討すべき。 ○ 商業化には長期間かかるため、今後 20 年後 30 年後の優秀な人材を育てるためにも、これまで以上に広く資源系の大学との連携する必要がある。	長期陸上産出試験については、新型コロナウイルス感染症等の影響のため、遅延しているものの、2022 年度第 1 四半期に掘削、第 3 四半期から試験を開始出来る見込みである。そのため、試験開始時からデータ取得、解析、分析等を行い、多くの専門家から意見を伺いながら、評価を行うこととする。 今フェーズは、研究開発期間を 1 年延期し、2023 年度末までとしており、今研究開発期間終了時までに、2027 年度までの研究開発の工程表を見直すこととする。 CN 達成に向け、メタンハイドレートが商業化される際の複数のシナリオを検討するとともに、生産されるガスの活用方法についても、想定されるステークホルダーとの意見交換等を通じて、様々な視点から検討を行うこととする。 これまで以上に産学官が連携し、商業化に向けた研究開発に取り組むとともに、メタンハイドレートを含む石油・天然ガス分野の人材育成に係る取組も検討することとする。

【各委員の提言】

(A 委員) 今後の方向性を検討する上で、長期陸上産出試験の成果は重要であり、本成果に基づき商用化に向けた見通しを十分精査する必要があると考える。また、商用化においては、技術開発と並行して海洋調査や環境影響評価など多岐にわたる課題に対し総合的に取り組んでいく必要があり、これまでとは異なる体制での研究マネジメントを実施する必要があると考える。また、本事業のカーボンニュートラルの視点からの価値創出や、砂層・表層の技術開発の商用化に向けた優先順位の判断などについて、然るべき時期に明確にし、計画および資源配分を適切に見直すことも視野に入れるなど、商用化実現に向けた目標と実現方法を明確にした上で、2027 年までの商用化に向けたプロジェクトへ移行することを期待する。

(B 委員) 平時の燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合、2050 年カーボンニュートラルの達成を前提とすることから、生産される天然ガスの燃焼によって発生する CO₂ 或いは水素への改質によって発生する CO₂ のオフセットのコスト・合理性等を念頭に置く

必要性が高まってくるものと考えます。

この点、国内の CO2 貯留ポテンシャルが限定的な場合には、海外に CO2 を輸出せざるを得なくなり、不透明感が高まると考えます。そのため、国内の CO2 貯留ポテンシャルがどの程度あるのかを念頭の置いた検討を推進する必要があると考えております。

他方、有事（逼迫時など）におけるバックアップ的な燃料源の開発として本件プロジェクトを捉えた場合には、異なる観点から本件プロジェクトを評価することができると考えます。ただし、「生産、停止を繰り返すと、生産システム上の管内で、再ハイドレート化のリスク等もあり難しいと想定される。」と説明を頂きましたので、技術的には容易ではないと理解しました。また、バックアップ的な燃料源の開発として捉えることができたとしても、LNG を輸入して国内に備蓄する場合の費用対効果との比較が求められてくると考えております。

（C 委員）特になし。

（D 委員）GHG ネットゼロに向けた動向が加速化する中、生産プロセス・生産物活用における GHG 排出抑制策も検討項目として今後スコープに取り入れ、広く公表していくべき。

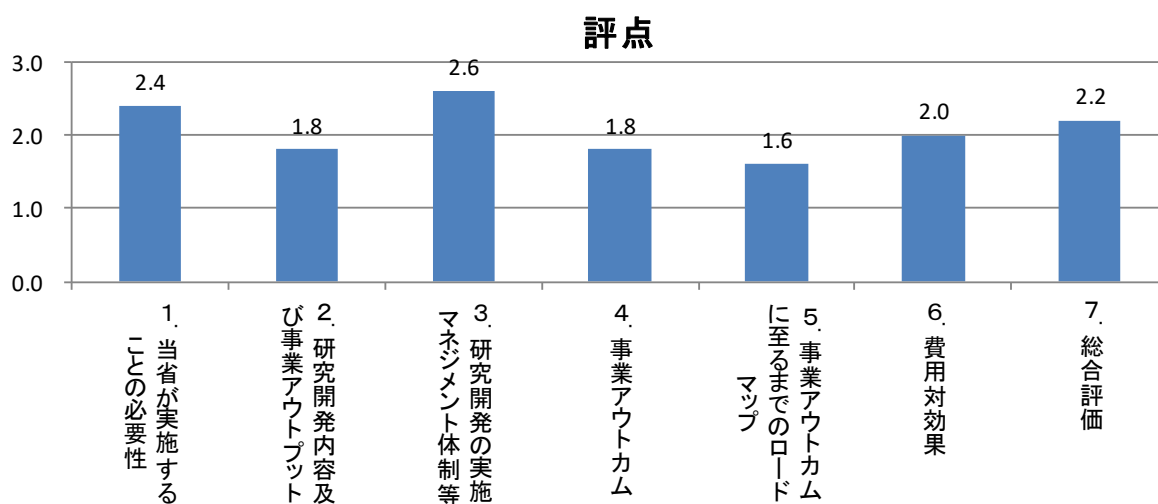
また、その為に、脱炭素技術の開発動向にも目配せし、常時、技術的・経済的・政策的な整合性を図っていく点が肝要と認識する。

（E 委員）海洋のメタンハイドレートは、「技術的に採れる」ようにならないと埋蔵量の評価もできず民間の商業レベルの参入も望めない。逆に言えば、「技術的に採れる」ことが分かれば、技術開発においていかに低コストで採るか、採った天然ガスをどう利用するか、カーボンニュートラルとどう両立するかを検討するフェーズに移行でき、技術レベルの向上に伴って埋蔵量も増加することも期待され、民間の力が活かされるようになるであろう。「技術的に採れる」ことを実証することこそが最大の難関ではあるが、そこに国の事業として実施することの意義があると考えるので、過去の実績・方法に囚われず、自由に柔軟な発想でこれからも研究開発に取り組んでほしい。また、商業化までの道のりは長いので、20 年後 30 年後の優秀な人材を育てるためにも、これまで以上に広く資源系の大学との連携も進めてほしい。

第3章 評点法による評点結果

(評点法による評点結果)

評価項目	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 当省が実施することの必要性	2.4	3	2	1	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	1.8	2	2	1	2	2
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	2.6	3	2	3	3	2
4. 事業アウトカム	1.8	2	2	2	2	1
5. 事業アウトカムに至るまでのロードマップ	1.6	2	1	2	2	1
6. 費用対効果	2.0	2	2	2	2	2
7. 総合評価	2.2	2	2	2	3	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1～6
 3点：極めて妥当
 2点：妥当
 1点：概ね妥当
 0点：妥当でない

評価項目 7 総合評価（中間評価）
 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。
 2点：事業は良好であり、継続すべきである。
 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。
 0点：事業を中止することが望ましい。

第4章 評価ワーキンググループの所見

中間評価（2021 年度（令和 3 年度））

所見	対処方針

中間評価（2018 年度（平成 30 年度））

所見	対処方針
<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性> ・今後の研究開発にあたり、どのタイミングでどこまで実施するかを念頭に置きつつ、マネジメントの進め方を工夫すること。 <当省(国)が実施することの必要性> ・様々な視点からの評価を踏まえた広報活動の実施方法を検討し、社会的受容性につなげる取組を強化すべき。 <研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性> ・今後の実用化に向けて、産業界を巻き込んだ上で優先順位をつけながら推進することを期待する。	<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性> ・研究内容をステージごとに区分し、次のステージへ移行する条件を明確にした上で、その移行期には進捗や成果を検証し、事業の方向性を見極めるとともに、必要に応じて目標の設定や実験の前提条件等を柔軟に見直ししながら事業を進める。 <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が商業化された場合の我が国のエネルギー安定供給上のインパクトは大きい一方、その実現には克服すべき課題が残っており、商業化までに相当の期間と政府による予算措置が必要であることから、研究活動を分かりやすく伝え、正しい国民理解が幅広く得られるよう、パブリックリレーションズに取り組む。 <研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性> ・国が実施する研究開発の段階から、民間企業に対して研究開発の内容に関する情報提供を積極的に行い、オープンイノベーションの観点から、民間企業の優れた技術や知見を最大限取り込むことができる体制の構築や、民間企業の参入を促す仕組み作りに取り組む。

中間評価（2015 年度（平成 27 年度））

所見	対処方針
<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性> 国が関与する必要の高い事業であり、意義も大きい。今後のフェーズ3においては、これまでの開発の遅れを踏まえて、適切な進捗管理を行うとともに商業化フェーズに向けて環境影響も含めた慎重な検討が求められる。	メタンハイドレート開発促進事業では、フェーズ2において5つの重点目標と14の研究開発テーマを設定し研究開発を実施し、平成25年3月には第1回海洋産出試験を実施した。第1回海洋産出試験においては、出砂現象やガス・水分離装置の不調等の技術課題が浮き彫りとなり、その課題克服に向けた研究開発に時間を要したところである。これらの課題克服の取組みに伴って生じた工程の遅れを始めとして、14の研究開発テーマそれぞれの進捗度合を確認、整理の上、平成28年度から平成30年度までを実施期間とする「フ

	フェーズ3実行計画」を作成しているところである。この実行計画に基づき、平成28年度後半以降に予定される第2回海洋産出試験の実施内容も含めて適切な進捗管理に努めていく。 また、フェーズ3の期間を通じ、商業化フェーズを念頭に置きながら、長期的なメタンハイドレート生産のための技術の開発のみならず、生産に伴って生じる可能性のある環境リスクの分析と対策の検討、環境計測技術の開発等にも取り組むことが重要であると認識しており、その旨をフェーズ3実行計画に明記している。
--	---

中間評価（2011年度（平成23年度））

所見	対処方針
・産出にともなう安全性や環境影響について検証を行っているが、その評価については外部の専門家に評価してもらう仕組みを導入し、社会に対して十分説明責任を果たすべき。 ・海外の社会情勢の影響で陸上長期産出試験が未実施になっておりこのこと自体は仕方のない面もあるが、それに関わらず、海洋産出試験に着手するのであれば、ただ漫然と行うのではなく、この事業をさらに改善し、期間を短縮したり、予算額を節約したりするなどの方策を同時に示すべき。 ・商業化を急いで短期間で成果に繋げようとするよりも、長期的なスタンスで研究開発を続けるべき。	・海洋産出試験にともなう安全性や環境影響については、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム内に別途「環境有識者会議」を設置し、外部有識者に検証していただいているところである。更に検証結果については、「メタンハイドレート開発実施検討会」（座長 東京大学 佐藤教授）において評価していただいているところである。今後とも十分説明責任を果たしてまいりたい。 ・海洋産出試験の作業内容、実施時期等については、外部有識者で構成される「メタンハイドレート開発実施検討会」（座長 東京大学 佐藤教授）において検討してきており、長期陸上産出試験を経ずに海洋産出試験を実施することについては、それぞれの試験の現況、意義、目的等を整理した上で、計画通り海洋産出試験の実施が可能との判断がなされているところである。引きつづき、有益な試験とするとともに予算節約に努めてまいりたい。 ・海洋エネルギー・鉱物資源開発計画に基づいて平成30年度までに商業化の実現に向けた技術整備を行うこととしている。今後とも計画に基づいて成果が上げられるよう努力してまいりたい。

中間評価（2008年度（平成20年度））

所見	対処方針
メタンハイドレート開発促進事業は、フェーズ1を終了し、ほぼ目標通りの成果が得られ、フェーズ2の段階に進むところであるが、より効率的に連携のとれた体制により、技術的課題への的確な対応や事業の進展に伴い、経済性のシミュレーションを行うとともに、社会的受容に向けた取り組	—

みを行っていくことが必要である。 また、当初設定した目標や技術上のターゲットに固執せず、その時々状況に応じ、種々のシミュレーションを行いつつ、政策上の戦略的観点から見直しを行うことも必要である。 このような点を踏まえ、本件プロジェクトを遂行していくことが望まれる。	
---	--