

フェーズ3実行計画

平成28年6月1日

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

目次

1. メタハイドレート開発計画のこれまでの取り組みとフェーズ3の方針
 - 1.1 海洋基本計画と我が国におけるメタンハイドレート開発計画
 - 1.2 メタンハイドレート開発計画におけるこれまでの取り組みと成果
 - 1.3 メタンハイドレートの商業的開発を見据えたフェーズ3の方針
 - 1.4 メタンハイドレート開発に関連する動向

2. フェーズ3の概要
 - 2.1 フェーズ3で取り組むべき課題と目標
 - 2.2 フェーズ3の期間
 - 2.3 フェーズ3の体制

3. フェーズ3の分野別課題
 - 3.1 フィールド開発技術に関する研究開発
 - 3.2 生産手法開発に関する研究開発
 - 3.3 資源量評価に関する研究開発
 - 3.4 環境影響評価に関する研究開発
 - 3.5 経済性の評価及びその他の取り組み

1. メタンハイドレート開発計画とこれまでの取り組みとフェーズ3の方針

1.1 海洋基本計画と我が国におけるメタンハイドレート開発計画

我が国は、一次エネルギーの80%以上を海外からの輸入に依存しており、その大部分は、原油・天然ガス・石炭などの化石燃料が占めている。また、原油は中東地域、天然ガスはアジア・太平洋地域への依存度が高いことも特徴である。このため、我が国では、エネルギー安定供給の観点において、資源の自主開発比率の向上と供給源の多様化が喫緊の課題である。非在来型の天然ガス資源のひとつである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見込まれており、メタンハイドレートの生産技術が確立され、商業化が実現すれば、我が国のエネルギー安定供給に貢献する新たな国産エネルギー資源になるものとして期待されている。

このようなメタンハイドレート生産技術が有するエネルギー政策上の重要性に鑑み、経済産業省は、平成13年度に「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」（以下、『MH 開発計画』）を発表した。同計画では、基本方針として「我が国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、将来のエネルギー資源と位置づけ、その利用に向け、経済的に掘削・生産回収するための技術開発を推進し、エネルギーの長期安定供給確保に資する」とし、以下の6項目の目標を提示している。

- ① 日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化
- ② 有望メタンハイドレート賦存海域のメタンガス賦存量の推定
- ③ 有望賦存海域からメタンハイドレート資源フィールドの選択、並びにその経済性の検討
- ④ 選択されたメタンハイドレート資源フィールドでの海洋産出試験の実施
- ⑤ 商業的産出のための技術の整備
- ⑥ 環境保全に配慮した開発システムの確立

上記目標を達成するために、3段階のフェーズ・アプローチを提案し、平成13年度から平成20年度までの8年間をフェーズ1、平成21年度から平成27年度までの7年間をフェーズ2、平成28年度から平成30年度までの3年間をフェーズ3と位置付けている。（当初計画では、フェーズ1：6年間、フェーズ2：5年間、フェーズ3：5年間の合計16年間であったが、フェーズ1の2年延長と、フェーズ2の2年延長[併せてフェーズ3は2年短縮]により、合計18年間に変更されている）

また、『MH 開発計画』の策定後、我が国における将来の国産エネルギー資源としてのメタンハイドレートに関する関心が高まり、平成17年4月に閣議決定された京都議定書目標達成計画には、メタンハイドレートにかかる技術開発の推進が記されている。

更に、平成19年3月に閣議決定されたエネルギー基本計画及び平成20年3月に閣議決定された海洋基本計画（以下、『海洋基本計画』）には、メタンハイドレートの商業化を目指した取り組みが記されており、更に、メタンハイドレートに加え、石油・天然ガス資源、海底熱水鉱床について海洋基本計画に基づく、海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（以下、『鉱物資源開発計画』）が平成21年3月に策定された。また、平成25年4月に閣議決定された新たな「海洋基本計画」では、平成31年度以降も視野に入れ、「商業化プロジェクト開始に向けた準備」、「民間企業を中核とした体制整備等」を経て、「平成30年代後半に民間が主導する商業化プロジェクトが開始されるよう、国際情勢をにらみつつ技術開発を進める」ことが商業化までの移行段階を含む長期的な展望として提示されている。

1.2 メタンハイドレート開発計画におけるこれまでの取り組みと成果

1.2.1 フェーズ1

『MH 開発計画』に先立ち、経済産業省は、平成7年度からメタンハイドレートに関する調査研究に着手し、平成9年度にカナダ北西準州（マリック地域）における実証実験井の掘削や、平成12年1月に静岡県御前崎沖南海トラフにおける試錐にて砂層に胚胎するメタンハイドレートを確認するなどの一定の成果を得ていたものの、

- ・日本近海にどのくらい存在しているかの調査が不十分
- ・メタンハイドレートは井戸を掘っても自噴しないため、新たな採取技術の開発が必要
- ・そのために不可欠なメタンハイドレートの基礎的特性がほとんど解明されていない

との認識にたち、『MH 開発計画』開始当初のフェーズ1では、5分野（探査分野、モデリング分野、フィールド産出試験、開発分野、環境分野）にわたって広範囲な研究項目を掲げた。

また、フェーズ2において2回の海洋産出試験を実施するべく、その実現に向けた具体的な方策として、フェーズ1では、東部南海トラフ海域において集中的に探査を行うことと、カナダ北極圏を試験候補地とする2回の陸上産出試験の実施が計画された。

このように、『MH 開発計画』では、陸上と海洋におけるそれぞれ2回の産出試験の実施を通じて、商業化のための技術基盤の整備を進めていくという方向性が、フェーズ1開始当初からあらかじめ設定されていたものの、具体的な方針・内容については、その後には得られる成果を踏まえて、適宜決定ないし修正していかなければならない部分があった。

東部南海トラフ海域における物理探査・試掘の結果から、タービダイト砂泥互層を貯留層とするメタンハイドレート濃集帯の存在が明らかとなり、その分布推定手法が確立されるとともに、同海域における16ヶ所のメタンハイドレート濃集帯の抽出・原始資源量の算定・海洋産出試験候補地の選定など、探査分野における成果を挙げた。更に、この知見を活用して、東部南海トラフ以外の日本周辺海域におけるBSR（Bottom

Simulating Reflector：海底擬似反射面）分布の見直しが行われた。

一方、フィールド産出試験については、カナダで行った第1回陸上産出試験では、「温水循環法」により、世界で初めてメタンハイドレート層よりメタンガスを生産したものの、生産期間は5日間、累計生産量470m³にとどまり、採収法の観点からは、エネルギー効率や生産の継続性について課題を残した。しかし、同試験におけるMDT（Modular Dynamic Tester:モジュラー型動的地層測試器(Schlumberger 社商標)）による減圧過程の観察において、ガスの発生を確認したほか、圧力解析の結果などから、メタンハイドレート層が浸透性を有し、「減圧法」が適用できる可能性が示された。モデリング分野においても、開発したメタンハイドレートに対する汎用の生産シミュレータ（MH21-HYDRES）を用いて、東部南海トラフ海域のメタンハイドレート濃集帯の貯留層特性をもとに最適な生産手法を検討したところ、主たる手法として「減圧法」が効果的であることが分かった。

これらの探査分野・モデリング分野・フィールド産出試験にわたる研究結果を踏まえて臨んだ第2回陸上産出試験では、「減圧法」による連続生産に成功（生産期間6日間、累計生産量13,000m³）し、減圧法が生産手法として有効であることを実証した。また、この産出試験では、メタンハイドレートの分解に伴う出砂障害に対して、サンドスクリーンを設置するといった手法が採用された。

この他、開発分野においては、東部南海トラフ海域における調査や陸上産出試験の結果等を踏まえて、フェーズ2の海洋産出試験に向けた技術課題（大水深浅層に対するセメンチング・坑井仕上げ、減圧法を適用する坑内システムの構築等）の検討、環境分野においては、環境影響を予測するために必要となる要素技術の研究が進められた。

1.2.2. フェーズ2

このように、フェーズ1において東部南海トラフ海域におけるメタンハイドレート濃集帯が確認され、第2回陸上産出試験等による「減圧法」の有効性が示唆されたことを踏まえ、フェーズ2では、東部南海トラフ海域におけるメタンハイドレート濃集帯を試験候補地として「減圧法」を主体とする海洋産出試験を実施する、といった具体的方向性が固まり、フェーズ2実行計画が作成された。

実行目標として、

- [1]海洋産出試験の実施による生産技術の実証と商業的産出のための技術課題の抽出
- [2]経済的かつ効率的な採収法の提示
- [3]我が国周辺海域でのメタンハイドレート賦存状況の把握
- [4]海洋産出試験を通じた環境影響評価手法の提示
- [5]我が国周辺海域のメタンハイドレート層が安全かつ経済的に開発できる可能性の提示

といった、海洋のメタンハイドレート層からのガス生産手法（[1]、[2]）とそれを支え

る技術（[3]、[4]）の研究開発、及び、総合的な検証（[5]）が設定されるとともに、研究項目の絞り込みが行われ、研究分野別に以下の①～⑭の課題に整理された。

<フィールド開発技術に関する研究>

- ①海洋産出試験の実施
- ②メタンハイドレート資源フィールドの特性評価
- ③海洋開発システムの検討
- ④第2回陸上産出試験の解析と長期試験の実施

<生産手法開発に関する研究>

- ⑤生産手法高度化技術の開発
- ⑥生産性・生産挙動評価技術の開発
- ⑦地層特性評価技術の開発

<資源量評価に関する研究>

- ⑧日本周辺海域のメタンハイドレート賦存状況の評価
- ⑨メタンハイドレートシステムの検討

<環境影響評価に関する研究>

- ⑩環境リスクの分析と対策の検討
- ⑪環境計測技術の開発
- ⑫海洋産出試験における環境影響評価
- ⑬メタンハイドレート層開発における環境の総合評価

<経済性の評価他>

- ⑭経済性の評価及びその他の取り組み

上記の各課題は、海洋産出試験の全般に係わる①以外に、②⑤⑥⑦のように同試験の事前検討・評価に係わる課題、⑩⑪⑫⑬のように同試験を利用した環境影響に係わる検討、同試験の技術検討の延長線上に位置づけられる③など、海洋産出試験を中心にそれぞれが密接に関連している。その他の⑧⑨⑭についても、海洋産出試験によって技術的な課題が整理されていくことを想定し、将来の商業化を目指して課題が設定されている。

また、第2回陸上産出試験の実施のためにフェーズ1が当初の6年間から8年間に2年間延長されたことなどを踏まえ、2回の海洋産出試験を想定するフェーズ2は当初の5年間から7年間に2年延長された（併せてフェーズ3の期間が2年短縮された）。

フェーズ1における2回の陸上産出試験は、いずれもガス生産期間が5～6日にとどまり、当初の目標とした長期試験が実現できなかったが、生産手法として減圧法の有効性は実証できた。そこで、減圧法による生産の長期・安定的な継続を実証するため、長期陸上産出試験の実施がフェーズ2実行計画に追加された（④）。長期陸上産出試験では、現実的には長期の実施が難しい海洋産出試験に代わり長期産出挙動の把握や問題点

の抽出を図ることで、我が国周辺海域のメタンハイドレートの生産手法の確立に資するデータの取得を目指すこととした。

◎海洋産出試験

平成21年度から開始されたフェーズ2では、東部南海トラフ海域のメタンハイドレート濃集帯のひとつが分布する第二渥美海丘を対象に第1回海洋産出試験の検討・準備が進められ、平成22年度の事前調査（詳細海底地形調査・海底地盤調査等）を経て、平成23年度に事前掘削、24年度にガス生産実験、25年度に廃坑作業等が実施された。このうち、平成24年度末（平成25年3月）のガス生産実験では、海底下のメタンハイドレート層からのガス産出を試みた結果、減圧法を適用して、短期間ではあるがほぼ安定したハイドレート分解とガス生産（生産期間は6日間、累計生産量約12万 m^3 ）を実現した。また、メタンハイドレートの分解状況を把握するための多数のデータ（ガス生産状況、モニタリング坑井の温度変化など）が蓄積でき、かつ、それらの挙動を概ね説明できる状況になった。

一方、出砂を原因として試験が6日目に中断されたことを受け、メタンハイドレートに特有の地層の特性を考慮した出砂対策とガス・水分離の改善策を実証し、かつ、より長期のガス生産挙動を把握するため、第1回と同程度の装備・コストにて約1ヶ月間のガス生産実験を目標とする第2回海洋産出試験の計画案（1年目：事前掘削、2年目：ガス生産実験、3年目：廃坑）を作成した。このうち、フェーズ2としては、平成27年度作業として事前掘削を実施する計画である。

◎陸上産出試験

長期試験の実施については、想定相手先の米国側関係者との交渉に時間を要していたが、平成26年度に米国との共同研究調査を開始することができ、陸上産出試験実現までの工程表（試掘地点の候補地、オペレータの候補会社、試掘と試験実施までの研究プログラム等を含む）を示すに至っている。

1.2.3 まとめ

フェーズ1開始当初においては、メタンハイドレートの賦存状況・採取方法・分解挙動等について未解明の部分が多く、最終的な商業化のイメージを十分な精度で描くには制約があったが、フェーズ1やフェーズ2の取り組みを通じて現実のメタンハイドレートの賦存状況と分解挙動を踏まえた知見が蓄積されつつあり、将来の商業化へ至るまでの必要な道筋や、最終的な商業化のイメージに対する、見通しの精度が大きく高まってきた。

このうち、フェーズ2としては、第1回海洋産出試験によって海洋におけるメタンハイドレート層からのガス生産が可能なることを実証し、今後の研究開発に資する多くのデ

ータが得られたことが、主要な成果として挙げられる。

フェーズ3においては、より長期の生産に向けた課題解決のために、第2回海洋産出試験と長期陸上産出試験を実施することと、それらを踏まえた商業化のための技術基盤の整備が課題となる。

1.3 メタンハイドレートの商業的開発を見据えたフェーズ3の方針

1.3.1 メタンハイドレートの商業化プロジェクトの概念

1.1 で述べたように、『海洋基本計画』においては、「平成 30 年代後半に民間が主導する商業化プロジェクトが開始されるよう、技術開発を進める」ことが商業化までの移行段階を含む長期的な展望として提示されている。

現在までの研究成果として、東部南海トラフ海域の地震探査・試掘調査によってメタンハイドレート濃集帯の存在が確認されたこと、更に、それらの濃集帯の 1 つを対象にした第1回海洋産出試験によって、メタンハイドレート層からのガス生産が可能なことが実証できたことにより、一定の現実感をもって、メタンハイドレート商業化段階の開発システムの概念を以下のように描くことができるようになった。

- A 商業開発可能な規模のメタンハイドレート濃集帯が存在する大水深の海域において、
- B 在来型石油・天然ガス開発と比較して比較的掘削長の短い複数の坑井を用いて同時並行して生産することで、
- C 1 個の濃集帯ベースで、長期的に安全かつ経済的なガス生産を実現し、消費地へのガス供給を行う。

メタンハイドレート層の場合は、貯留層の特徴から 1 坑井当たりの生産能力は在来型天然ガスの坑井の場合より劣ると考えられるが、掘削深度が浅く、坑井の仕上げに要する費用は小さいので、経済性を有する生産が可能と考えられる。

当然のことながら、実際の事業化段階では、個々の民間企業の戦略やメタンハイドレート濃集帯の特徴等に応じた開発がなされることとなり、必ずしも特定のイメージに拘束されるものではないことは言うまでもない。しかし、これまでの研究開発の進展に伴い、メタンハイドレート開発を商業化する上での技術の基盤として、重要度が高く、かつ、共通、普遍的なものとして確立を図るべき要素技術の柱がより明確になってきた。

必要となる要素技術は以下の3点と定義する。

- (1)メタンハイドレート層からの長期のガス生産を可能にする技術
- (2)メタンハイドレート層からの長期のガス生産挙動を把握する技術
- (3)経済的な海洋開発システムの設計と実装並びに環境面での影響評価にかかわる技術

以下において、これらの技術の確立に向けた具体的方策を示す。

1.3.2 フェーズ3の位置づけと達成目標（技術基盤の整備）

『MH 開発計画』の仕上げとなるフェーズ3の成果として求められるのは、商業化の実現に向けたさらなる展開が妥当か否かを適正に評価でき、かつ、将来的に必要となる知見が継承されるような技術の基盤を整備することである。そこで、現状の技術レベルに鑑み、上記(1)～(3)の要素技術の柱に対するフェーズ3の達成目標（商業化に向けた技術の基盤）を、それぞれ、以下のとおり設定し、総合的検証の作業も含めてそのための取組みを強化することとする。

- (Ⅰ) 一定期間の生産実験を通じて、将来的に長期のガス生産が可能な技術基盤が構築しうると判断できる知見・データが蓄積されていること
- (Ⅱ) 一定期間の生産実験を通じて、ガスの生産挙動が把握されており、更に長期のガス生産挙動についても一定の精度で予測可能な技術レベルに達していると判断できること
- (Ⅲ) 技術検討等を通じて、実現可能性の高い開発システムの基本案が提示され、かつ、将来の商業化が可能と示唆されるような経済性の評価や、商業化段階での環境面の検討のベースとなる影響評価手法案等が提示されていること

なお、将来的に民間企業がメタンハイドレートの開発事業を推進していくためには、開発・生産段階に関連する知見・技術だけではなく、事業全体に関して総合的な判断を下すための技術基盤も必要となる。そのため、フェーズ3では、MH21 がフェーズ2までの期間において蓄積してきた探鉱段階でのリスク軽減や、開発段階への移行判断、事業全体の経済性の評価などに関する知見・技術等の一層の深化・精緻化を図るため、所要の取組みを進めることとする。

1.3.3 フェーズ3終了時から平成30年代後半までの技術開発の展望等

フェーズ3における技術基盤の整備が行われても、フィールドでの実証という点では、第1回及び第2回の海洋産出試験の規模・装備（DPS 船で対応可能な仕様）にとどまるため、商業化段階で想定される規模・装備（セミサブリグ・サブシー機器等）とは隔たりがある。『MH 開発計画』でのフェーズ3における取組みが終了し、かつ、フェーズ3終了時の総合的検証で肯定的な結論が出された場合に、その後、商業化に至るためには、更に長期の生産を可能とする生産技術や、長期生産挙動等の把握、坑井の生産能力を向上させる技術等の研究開発、海洋開発システムの実装にかかわる技術研究、それらの技術実証のための実フィールドでのより長期のガス生産実験の実施などの努力が続けられていくことが、技術開発プロセスの観点から必須である。

上記の内容は、端的には、『海洋基本計画』が目指す「平成30年代後半に民間が主導する商業化プロジェクトが開始される」ために、1.3.2で掲げた(Ⅰ)～(Ⅲ)のレベル

を更に以下の状態まで引き上げておくこと、と表すことができる。これは、在来型天然ガス田の開発規模と対比したときに、現実的な目安と考えられる。

- 1本の坑井から数年間のガス生産が見込める
- 1本の坑井で数万 m³/日程度、もしくはそれ以上のガス生産が見込める
- 複数坑井のガス生産を制御し、かつ必要に応じてガス増産可能な技術等を擁し、同時に経済性・安全性が担保される

これらの技術実証のためのフィールド試験は、商業的開発の実現に向けての不可欠なプロセスとなる。

ただし、上述の技術展望はあくまで現時点における1つの目安であり、フェーズ3の目標達成状況、フェーズ3終了時から商業化段階までの移行期間の状況により変動する可能性があることは言うまでも無い。

また、研究開発の進捗に沿って、1. 3. 1で述べた(1)~(3)の位置づけも変化すると考えられる。「(1)メタンハイドレート層からの長期のガス生産を可能にする技術」の進展があってはじめて「(2)メタンハイドレート層からの長期のガス生産挙動を把握する技術」に係る研究を進めることができ、かつ、(2)の状況を踏まえて(1)が最適化されていくことから、当面は、(1)と(2)を中心に、研究開発を進めていくことが妥当であろう。一方、「(3)経済的な海洋開発システムの設計と実装並びに環境面での影響評価にかかわる技術」については、(1)と(2)の状況を見極めながら、適切に進めていくことが望ましい。しかし、今後の進展によって、(2)の成果が商業化判断に最も重要な項目となる時期が訪れるであろうし、商業化プロジェクトの開始に際しては、(3)に関する技術開発・整備が重点課題となることを見込まれ、それらに対する時宜を得た調整・判断が必要とされるであろう。

メタンハイドレート開発を実際に商業化していく段階では、各要素技術の仕様の選択については民間企業による独自の判断・方法に委ねられることとなる。しかし、商業化が可能と判断された段階であっても、対象エリアの地質の特性などの技術的リスクや、経済的あるいは社会的なリスクは払拭しきれない。石油・天然ガスの開発においては、地政学的要素も含めた各種のリスクの存在を背景として、公的な支援措置が用意されてきているところであるが、メタンハイドレート開発においても、同様の措置が必要とされる蓋然性が高い。

『鉱物資源開発計画』の工程表上、平成31年度以降から平成30年代後半は「商業化プロジェクト開始に向けた準備」、「民間企業を中核とした体制整備等」を行う期間として位置づけられているが、これらの準備、整備を实のあるものとしていくためには、石油・天然ガスを先行事例とする支援制度のあり方を含めて、フェーズ3の時期から官民連携の下で所要の議論を始めておくことが大切である。

1.4 メタンハイドレート開発に関連する動向

1.4.1 国外の動向

将来のエネルギー資源として期待されるメタンハイドレートについては、我が国以外にも関心を示している国は多く、いくつかの国が研究開発に着手している。また、国という枠組みではなく、民間企業や研究組織単位での動きもある。

対象がエネルギー資源であることから、すべての動きが把握されているわけではないが、「既存エネルギー資源の減少を見込んだ新規エネルギー資源の開発」「自国、もしくはその周辺に潜在的に存在するエネルギー資源の開発」「新事業・新技術に対する優位性の確保」「エネルギー資源の将来に向けた情報・動向収集」「環境への影響等に関するリスク検討」「純粋に科学的な関心・理由に基づく調査」などが、基本的な動機づけとして推測される。

また、国によって対処方針や、研究開発の進捗度は一様ではないが、「資源エネルギーとしての可能性に関心がある」「関連する研究・技術開発の情報を入手・確保したい」「自国に関係するメタンハイドレートの賦存状況を把握したい」「共同研究等の可能性を検討し、状況に応じて積極的に関与する可能性あり」という点はほぼ一致しており、それぞれの立場・背景の違い（エネルギー資源の保有国か消費国か、関連技術に関しての先進国か否か、人的・資金的にメタンハイドレートの研究開発に先行投資を行える環境にあるかどうか、など）によって、戦略等の差が生じている、と考えてよいであろう。

共通の認識として「メタンハイドレートがエネルギー資源として利用可能であると判断できるまでの段階には至っていないが、研究開発の動向を高い関心をもって注視すべき」という状況が醸成されており、その背景には、第1回海洋産出試験を中心とする日本の『MH開発計画』の成果が周知されていることが第一に挙げられる。

以下に、主要な動向を記述する。

<米国>

エネルギー省(DOE)は、2006年にメタンハイドレート研究のロードマップ「An Interagency Roadmap for Methane Hydrate Research and Development」を発表し、DOEを中心とした政府・産業界からなる研究体制のもと研究を実施。

陸域については、2007年にアラスカにおいてメタンハイドレート調査井を掘削。

2014年には、米国エネルギー研究所と日本(JOGMEC)との間で、アラスカにおける陸上産出試験の実現に向けた共同作業実施に関する覚書(MOU)に調印。

海域については、2009年にメキシコ湾においてメタンハイドレート調査井の掘削を実施し、砂層孔隙充填型メタンハイドレートを検層で確認。2013年に実施した震探調査の結果では、大陸棚に豊富なメタンハイドレート賦存の可能性を把握。

<カナダ>

2002年及び2007年～2008年に北西準州（マリック地域）にて日本ほかと共同で陸上産出試験を実施。シェールガス資源の成長に伴い、国としては、2013年にメタンハイドレート研究開発への予算措置を終了。ただし、北西準州は今後の開発に期待。

<インド>

石油天然ガス省は、1997年に「Natural Gas Hydrate Program」（NGHP）を発表。インド炭化水素局が中心となり計画を推進。2006年に実施したNGHP01では、インド沖合で、39坑のメタンハイドレート調査井を掘削し、メタンハイドレートを確認（砂層濃集帯は発見できず）。2015年には、NGHP02を実施し、ベンガル湾沖合にて砂層型を対象に調査井を掘削。このNGHP02では、JDC/JAMSTEC「ちきゅう」が傭船契約を受託し、JOGMECは技術会議出席や乗船支援、AISTは圧力コア分析などでインド側に協力。更に、インドはNGHP03として、日本に続く海洋産出試験の実施を計画中。

<韓国>

2005年 The Gas Hydrate Development Project に基づき Gas Hydrate R&D Organization を設立し、産業資源部、KNOC, KOGAS, KIGAM が参加。2007年、日本海（対馬海盆海域）でメタンハイドレートを発見（UBGH-1）。2010年には、対馬海盆海域にて、11サイト、31坑の調査井を掘削し、孔隙充填型メタンハイドレートのコアを取得（UBGH-2）。2015年に、海洋生産試験を予定していたが、試験の当面見合わせを決定。

<中国>

2001年の「第10次5カ年計画」及び2006年の「第11次5カ年計画」にてメタンハイドレート調査を実施。2007年、南シナ海北部神狐（Shenfu）海域でメタンハイドレートを発見（GMGS-1）。2009年、南シナ海のメタンハイドレート研究を「973計画」（「国家重点基礎研究発展計画」）に組み込み。2013年、南シナ海北部東沙（Dongsha）海域にて23坑の調査井を掘削し、層状、塊状、団塊状、脈状などのメタンハイドレートを確認（GMGS-2）。2015年には3回目となる掘削調査（GMGS-3）を神狐海域で実施し、4サイトでコアを採取。

<台湾>

2002年、經濟部中央地質調査所が「天然ガスハイドレート計画」を開始。2006

年～2007年に、同国南西部にてメタンハイドレートを確認と発表。ドイツと協力しメタンハイドレート調査を推進。

<ニュージーランド>

北島の南～南東部にわたる範囲にメタンハイドレートの存在が示唆されており、物理探査を中心とした研究を実施。2012年、「Harnessing New Zealand Gas Hydrate Resources (GHR)」を開始。2018年までの6年間のプログラムで、ニュージーランド沖合のメタンハイドレート資源のポテンシャル把握。Advisory Boardとして日本(JOGMEC)も協力。

<ブラジル>

ブラジルのガスハイドレートについては、同国南部の深海扇状地(1994年)及び赤道付近の深海扇状地(1998年)の2つの地域において存在が報告。PetrobrasとPUCRS(大学)が主体となり、初期研究に着手。Petrobrasは既存の震探から砂層型の探査、PUCRSは科学的調査を実施。

1.4.2 国内の動向

『MH開発計画』をめぐる国内の関心の高まりのひとつとして、第1回海洋産出試験におけるガス生産実験(2013年3月)の実施前後における各種報道機関の取材の増加を挙げることができる。同試験における6日間のガス生産が商業化に直結するものではないことが認識されつつも、将来の商業化への期待感を抱かせると同時に、事業が妥当なものであるかどうかという点も含めて『MH開発計画』に関する認知度は広まったといえる。

民間企業における動きとしては、2014年10月に、第2回海洋産出試験に参画することを目的とする、民間企業11社の出資による日本メタンハイドレート調査株式会社が設立された。同社は、「メタンハイドレート調査」という社名からもわかるように、商業化・事業化は直接の事業目的としてはいないが、エネルギー資源の開発に関連する資源開発会社やエンジニアリング会社が、『開発計画』に基づき実施される海洋産出試験に積極的に参加することを通じて、知見・成果を共有することを念頭に置いていることは、将来の商業化を見据えた企業レベルの動きのひとつとして評価できる。

また、第1回海洋産出試験の傭船契約を受託した日本海洋掘削株式会社が、2015年1月にインド政府が主導するインド沿岸域でのメタンハイドレート掘削調査(NGHP02)を受注するなど、民間企業の営業活動に直結する具体的な効果があった。

海洋基本法に基づき海洋に関する施策を集中的かつ総合的に推進する総合海洋政策本部の参与会議及びその分科会においては、『開発計画』の進捗状況を聴取するだけでなく、海洋産業の活性化・人材育成等の側面からの議論がなされるようになっている。

そのなかでは、『MH 開発計画』が国の推進するプロジェクトであることを踏まえて、適切な段階・機会に日本の技術が活用できるよう、平成 31 年度以降の長期的な展望なども含めて、民間企業等へ向けた情報発信を行うべきことや、民間企業側にもそれに応える技術開発を期待する主旨のコメントが述べられている。

2. フェーズ3の概要

2.1 フェーズ3で取り組むべき目標と課題

1.3で述べたように、メタンハイドレートの商業化が実現されていくことが、『MH開発計画』の究極的な目標であるが、その大きな区切りとしてのフェーズ3の目標は、海洋基本計画における「商業化に向けた技術の整備」をプロジェクトとしての事業アウトプットとして具体的に設定した上で、それを達成させることである。換言すれば、平成30年度を目途とするプロジェクト終期において、商業化に至る過渡的段階を含めて、商業化の実現に向けたさらなる展開が妥当か否かを適正に評価でき、かつ、将来的に必要な知見が継承されるような技術の基盤を整備することを目標として明確に示すことが求められる。

1.3に述べたとおり、フェーズ3終了時に実現すべき個別の要素技術として、(I)～(Ⅲ)の課題を挙げたが、それを具体的に解決する主要な方策として、約1ヶ月のガス生産実験を行う第2回海洋産出試験の実施を計画するとともに、併せて、米国アラスカを実験候補地とする長期陸上産出試験の実現を追求する。

以下に、(I)～(Ⅲ)の各課題における目標を詳述する。

- (I) 一定期間の生産実験を通じて、将来的に長期のガス生産が可能な技術基盤が構築しうると判断できる知見・データが蓄積されていること
における達成目標として、
- ・約1ヶ月の海洋におけるガス生産実験を通じて、海洋の未固結堆積物中で減圧法が実現できること
- を目指す。具体的には下記を満たすことを目標とする。

【減圧制御】 重力分離によってガス・水分離が適正に行われ、圧力が制御できていること。ESP (Electric Submersible Pump : 電動水中ポンプ) の効率が低下することなく、段階的な制御 (7→5→3MPa) が可能であること、ガスラインにおいて地表へのスラグの到達が起きないことが、適正に制御されていることが目安となる。

【出砂対策】 ガス生産実験期間内に出砂対策装置が計画通り働くこと。流入する砂量が、ESP や地表設備に影響を与えない限界 (数十 ppm) にとどまること。

【坑井の健全性】 坑井が安定に保たれていて、セメントを通じた海水の流入など坑井安定性に起因したトラブルがないこと。

【離脱等の可能性、もしくは、その影響の回避】 ワークオーバーライザー (WOR) の使用により、緊急離脱・計画離脱が発生しないか、または、離脱を実施しても、数日以内に復帰できて、減圧を再開できること。

フェーズ2で実施した第1回海洋産出試験では、出砂対策が正常に機能した期間が6日間にとどまっております。実フィールドでより長期間にわたって継続して機能する対策法が未確認である。また、ガス・水分離が十分とはいえなかったために、段階的な減圧制御を実施できていないことなど、減圧法によるガス生産技術の根幹部分が、実フィールドで完全に実証できていない。このことが、商業化規模（あるいはそれに準じる規模）での機器・装備の開発・製造への判断を困難にしており、そのような懸念要因・制約を取り除くことが、フェーズ3における主要な課題となる。

また、これらの課題が解決される一方で、ガス生産時に何らかの問題が新たに発生した場合には、その原因が究明され、かつ、有効な対策が提案されること、今後の研究開発要素（ガス生産が継続することを保証するために必要な措置等）の提言がなされていることが重要である。

(Ⅱ) 一定期間の生産実験を通じて、ガスの生産挙動が把握されており、更に長期のガス生産挙動についても一定の精度で予測可能な技術レベルに達していると判断できること

における達成目標は、

- ・約1ヶ月の海洋におけるガス生産実験を通じて、少なくともその間に生産量が安定し、その先更に増えていく見通しを示すこと
- となる。その具体的な内容は下記の通りである。

【生産量・生産履歴の把握】 ガス・水量が予想の範囲内で安定していること、また、安定状態のなかで生産量の増加傾向が確認できること。

【生産予測精度の向上】 コア・検層等による貯留層パラメータの評価と、シミュレータによるヒストリーマッチングを行い、信頼性のある長期予想が可能な状態となること。

第1回海洋産出試験における6日間のガス生産実験の生産量のヒストリーマッチング作業では、実験期間の後半部分において、生産量の実測値と推定値がほぼ一致するレベルに達した。ただし、前半部分の実測値は推定値との差が大きく、生産初期の擾乱の影響を受けているものと考えられ、それを脱する後半部分で、値が一致するようになったものと解釈している。生産挙動予測では、メタンハイドレートの分解範囲の拡大に伴い、長期的には、更に生産量は増加していくことが見込まれている。しかし、第1回海洋産出試験におけるガス生産期間自体が短いため、生産量と推定値が一致する期間は限定的であった。第2回海洋産出試験の約1ヶ月のガス生産実験において、

- ・ 擾乱部分を脱した安定期間内で実測値と推測値の一致する期間が持続すること
- ・ また、実測値が推測値と同様に増加傾向を示すこと

・ その後も、ガスの減少を示唆するような兆候がないことを確認することで、生産挙動予測が十分な精度に達し、より長期の生産挙動についても高い精度で予測することが可能となる。

また、1ヶ月程度のガス生産実験によって、メタンハイドレートの分解範囲の拡大に伴う、更に多様な現象を検知できることが期待される。この過程で、水量増加など安定性に問題が生じた場合や、ガスの減少傾向などガス生産量に関する問題が発生した場合には、解析に必要なデータが得られていて、原因を究明できていることや、解決策が提示されることが重要となる。

更に、長期陸上産出試験の実施によって、以下が可能となる。

海洋産出試験においてガスの増加傾向が必ずしも明確に確認できない場合であっても、1年あるいはそれ以上のガス生産挙動を実フィールドにおいて検証することができる。また、長期生産によって発現する可能性の高い、ガス生産量の安定性や増加傾向を阻害する諸現象を実フィールドで確認し、その事前予想技術を検討するとともに、その対策手法の有効性を実フィールドで検証することができる。更に、ガス生産量・回収率を向上させる手法を検討し、実フィールドにおいてその効果を明らかにすることを試みることも可能となる。

長期陸上産出試験については、試験に適した地点の選定と、さらに試掘を通じて、試験の実現可能性を評価する段階にあり、「早期の試験実施が可能な候補地が確認される」、「試験は可能だがインフラ整備に時間を要する」、「試験候補地が見いだせない」などの場合が想定されるため、試掘結果が判明する時点で、長期陸上産出試験及びその準備作業の実施、もしくは、それらに係わる作業の見直し等を適切に判断する必要があることに留意する。

フェーズ3において長期陸上産出試験を実施しない場合には、上記の検討・検証は、室内実験・数値実験が主体となり、さらに、それらの実フィールドにおける検証は、平成31年度以降の商業化までの移行段階でのみ可能と見込まれる。しかしながら、これらの検討・検証項目は、実際の開発に際しての不確定要因となりうるもの（ガス生産の長期挙動の予測精度、生産量の向の有無など）であり、将来の商業化の可否検討の際に、極めて重要な判断材料となる。海洋と陸域のメタンハイドレート層とでは、貯留層の堆積時の環境や地層の物理的特性は厳密には異なるものの、海洋産出試験の長期の実施に一定の制約がある状況に鑑みると、長期陸上産出試験の実施により、可能な限りこれらの項目に係る技術検討を進めておくことが、商業化に至る期間の短縮に寄与することが期待される。

(Ⅲ) 技術検討等を通じて、実現可能性の高い開発システムの基本案が提示され、かつ、将来の商業化が可能と示唆されるような経済性の評価や、商業化段階での環境面

の検討のベースとなる影響評価手法案等が提示されていること
における達成目標として、

・フェーズ2までの検討（第2回海洋産出試験検討時に比較検討した3ヶ月あるいは1年間のガス生産試験を行う想定の前FEED及び開発システム検討）に基づいて、実現可能性の高い将来の開発システムの基本案を提示すること、
を目指す。

また、上記に関して、平成31年度以降に見込まれる技術開発課題を整理するとともに、その解決のための研究開発のロードマップ案の提示のために、下記の検討を行う。

【基本設計】 海洋での長期挙動の実証のために、より長期の海洋産出試験が検討されることを想定して、その基本設計を策定し、実現可能性と費用、期間、技術開発要素等を示す。

【事前調査・検討】 より長期の試験を実現できる海域の候補を示し、気象・海象・海底地盤・貯留層特性・海域環境などの情報を示す。

【経済性の検討】 第2回海洋産出試験の結果を考慮したエネルギー収支と経済性検討を実施して、非在来資源・輸入LNG等の比較で大幅に劣後しないことを示すとともに、劣後する場合はその原因と、生産性・回収率の向上策などの改善策を示す。

【環境評価】 これまでの研究で明らかになった主たる環境影響要因と、それらの評価手法を示す。（ただし、長期的な環境への影響を実フィールドで確認することはできないため、フェーズ3終了時の知見を用いつつ、今後も、長期的な観点で検討・評価していくことが求められる。）

上記の(I)～(III)は、開発・生産技術に直接関連する課題であるが、そのほかにも、将来的に民間企業がメタンハイドレートの開発事業を推進していく際に、探鉱段階、開発段階も含めた事業全体を通じて、適切な取り組み・評価・判断をするための技術基盤の整備をフェーズ2に引き続き実施する。

例を挙げると、フェーズ1において、東部南海トラフ海域を対象とする研究によって一定の成果を挙げた探査分野の技術を、フェーズ2では他海域に適用し、より普遍性の高い知見を得るための検討を進めてきた。フェーズ3においてもデータ精度が低いなどの制約の多い海域でも有効な評価方法を検討して、実用性を高める研究開発を行うように努め、これらの成果をとりまとめた技術基盤を提示する。

また、本来の主旨として、技術基盤の整備は、商業段階での実施主体となる民間企業への情報・知見・技術の提供を念頭に置いたものであることから、商業化段階での主要な実施先・関係先を想定した、意見交換・情報交換の機会を設けるなどしていく。

上記を踏まえて、第3章では、研究分野別に課題と目標、研究内容を整理する。

なお、各分野の研究（1. 1. 2 で述べた①から⑭までのうち、フェーズ2で終了した⑬を除く13項目）は、それぞれの研究分野の垣根を越え、適宜緊密に連携して作業を進めている。（Ⅰ）～（Ⅲ）及びその他の課題と、各分野の研究（①～⑭）の関係は下記のとおりである。

（Ⅰ）「一定期間の生産実験を通じて、将来的に長期のガス生産が可能な技術基盤が構築しうると判断できる知見・データが蓄積されていること」については、「①海洋産出試験の実施」に対応する。

（Ⅱ）「一定期間の生産実験を通じて、ガスの生産挙動が把握されており、更に長期のガス生産挙動についても一定の精度で予測可能な技術レベルに達していると判断できること」については、「②メタンハイドレート資源フィールドの特性評価」、「④長期陸上産出試験に係る作業の実施」、「⑤生産性増進化技術の開発」、「⑥生産性・生産挙動評価技術の高度化」及び「⑦地層特性評価技術の高度化」の各研究分野が連携して検討する。

（Ⅲ）「技術検討等を通じて、実現可能性の高い開発システムの基本案が提示され、かつ、将来の商業化が可能と示唆されるような経済性の評価や、商業化段階での環境面の検討のベースとなる影響評価手法案等が提示されていること」については、「③海洋開発システムの検討」、「⑩環境リスクの分析と対策の検討」、「⑪環境計測技術の開発」、「⑫海洋産出試験における環境影響評価」、及び「⑭経済性の評価及びその他の取り組み」において検討する。

その他、資源量の評価に係るものについては、主として「⑧日本周辺海域のメタンハイドレート賦存状況の評価」及び「⑨メタンハイドレートシステムの検討」の中で検討される。

また、上記の各分野自体が、それぞれに密接かつ相補的な関係にあることも付言しておく（例えば、⑩⑪⑫を検証・実証するための実フィールドは海洋産出試験の実施場所であり、①と連携して研究開発を進めている。また、②③⑥⑧の成果を踏まえて、⑭の経済性の評価が行われる）。

なお、⑬メタンハイドレート開発における環境の総合評価と最適化検討は、フェーズ2までに所期の成果を得たと判断されたため、フェーズ3では実施しないこととした。

2.2 フェーズ3の期間

フェーズ3の実施期間は、経済産業省の方針に基づき平成28年度から平成30年度までの3年間とする。その成果に対して、平成31年度に予定されている、経済産業省のプロジェクト評価（事業終了時）を受ける。

2.3 フェーズ3の体制

フェーズ2の遂行に当たっては、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)及び(国研)産業技術総合研究所(AIST)の2者が、プロジェクトリーダー増田 昌敬東京大学教授の下に新たなメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21 研究コンソーシアム)を組織して、研究開発に取り組んできた。

フェーズ3においても、従来の成果を継承していくために現在の体制を継続することとし、MH21 研究コンソーシアムを組織して、意思決定機関である運営協議会を設置し、研究開発を推進するための4つのグループ(推進グループ、フィールド開発技術グループ、生産手法開発グループ、資源量評価グループ)によって運営していく予定である。また、メタンハイドレートの開発に係る環境に関する研究については、推進グループの統括のもと、同グループ下の環境チームを主体にフェーズ2を通じてMH21 研究コンソーシアム全体で取り組んできていることから、同チームの存在を体制図で明示することとした。なお、フィールド開発技術グループ、生産手法開発グループ、資源量評価グループ、環境チームの所轄分野は、それぞれ、第3章の研究分野(3.1 フィールド開発技術に関する研究開発、3.2 生産手法に関する研究分野、3.3 資源量評価に関する研究分野及び3.4 環境影響評価に関する研究分野)に基本的に対応しているが、内容や必要に応じて各グループが適宜連携・協力する。

同コンソーシアム内の技術者のオープンな意見交換を促すために設置している技術連絡会や、成果普及のための年次成果報告会(メタンハイドレートフォーラム)についても、継続するとともに、その他の意見交換・情報交換についても促進していく。

3. フェーズ3の分野別課題

3.1 フィールド開発技術に関する研究開発

これまでの実績

①海洋産出試験の実施

第1回海洋産出試験において、海底下のメタンハイドレート層からのガス産出を試みた結果、減圧法を適用して、少なくとも短期間はほぼ安定したハイドレート分解とガス生産（約6日間にわたり日量約2万立方m）を実現できることが確認できた。また、メタンハイドレートの分解状況を把握するための多数のデータ（ガス生産状況、モニタリング坑井の温度変化など）が蓄積でき、かつ、それらの生産挙動を概ね説明できる状況になった。

一方、出砂を原因として試験は6日目に中断されたことから、メタンハイドレートに特有の地層の特性を考慮した出砂対策とガス・水分離の改善策を実証し、かつ、第1回試験と同程度の装備・コストにて実施可能な第2回海洋産出試験の計画を策定し、平成27年度作業として、事前掘削を実施する予定である。

②メタンハイドレート資源フィールドの特性評価

第1回海洋産出試験において新たに取得された検層・コアデータ、ガス生産実験中及び前後に取得されたガス生産挙動や温度圧力データ・検層データ等（以上のデータ取得作業は①で実施）に基づき、生産シミュレータ（生産手法開発グループ）を利用したヒストリーマッチング等の評価を行い、生産挙動を概ね説明できる貯留層特性モデルを作成した。また、これらの作業を通じて、地震探査・コアサンプル・検層データを総合化してハイドレート貯留層の評価を行う手法が大幅に改善した。なお、本貯留層特性モデルは経済性評価の検討にも活用された。

③海洋開発システムの検討

第1回海洋産出試験の実施を受けて、「ビジネスモデルの検討」「パイプラインの初期検討」等の検討を行い、商業化の時点での要求される技術についての検討を進めた。また、「掘削・坑井安定化・生産・坑井仕上げ等における技術検討」は第1回試験であきらかになった技術課題への対応及び第2回試験の計画検討という横断的な形で実施された。

④陸上産出試験の解析と長期試験の実施

カナダで実施した第2回陸上産出試験の結果について、総括成果報告書にとりまとめた。

平成 26 年 11 月に米国エネルギー省（DOE）とメタンハイドレート陸上産出試験の実現に向けた協同作業実施に関する覚書に調印し、地下構造の解釈作業を DOE 並びに米国地質調査所（USGS）と実施しており、平成 27 年度末頃までに試掘場所の候補地点を数か所程度に絞り込む予定である。

目的と達成目標

①海洋産出試験の実施

第 2 回海洋産出試験の目的は、第 1 回試験で明らかになった海洋坑井に減圧法を適用する上での技術課題（出砂、坑内ガス・水分離、長期安定操業など）の解決策を検証することと、技術課題を克服した上で、1 ヶ月程度の期間の貯留層応答のデータを取得して、安定的な減圧の維持とガス生産が実現可能であることを示すことが目的である。

そのため、

- ・ 一ヶ月程度の安定した減圧が実現されること
- ・ 緊急離脱や計画切り離しが生じないか、生じても早期に復帰できること
- ・ 安定したガス生産が実現されること
- ・ これらについて、問題が生じた場合はその原因が究明され、対策が立案されること
- ・ ガス・水レートの計測、生産井・モニタリング井における圧力・温度計測などのデータ取得により、貯留層特性評価と貯留層応答に関するデータが取得され、②の特性評価、更には開発システム検討に利用できるようになること

が目標である。

②メタンハイドレート資源フィールドの特性評価

海洋及び陸上のそれぞれについて、資源量評価グループ及び生産手法開発グループと共同で、長期の生産挙動予測や経済性評価が実現できることが目的である。

そのため、海洋・陸上それぞれについて検層・コア・試験結果等のデータを総合化して貯留層モデルを構築して、長期挙動の予測を行い、信頼性のあるデータを海洋開発システムの検討や経済性・エネルギー収支評価に引き渡すことが目標である。

③海洋開発システムの検討

実現性がある海洋開発システムのシナリオを提示し、商業化の実現性の判断と今後の研究計画立案に資する情報を提示することが目的である。

そのため、開発システムの基本案が提示されて、その実現に必要な技術が提示され、経済性・エネルギー収支などの情報が示されていることが目標である。また、海洋におけるより長期のフローが実現できる見通しを示し、我が国周辺海域における貯留層状況のデータを提示し、気象・海象・ジオハザードなど作業の支障となる外的要因が抽出

されてデータが得られていることも目標である。

④長期陸上産出試験に係る作業の実施

商業化の可否の検討に必要な年単位の生産が実現できて、生産挙動が予測できるようになることが目的である。

そのために、適切な試験計画を立案し、実施体制を確立して、1年程度のガス生産実験を実現して、ガス生産量の増大傾向が見られるか確認し、必要なデータの取得を行うことが目標である。また、海産試験で明らかになった課題や、生産挙動がおもわしくない場合の対応策の検証や、生産量の増進策の適用・検証も目標の一部である。

研究開発の実施内容

①海洋産出試験の実施

平成27年度（フェーズ2）に実施された事前掘削に引き続き、平成28年度はガス生産実験を実施して、データを取得する。そのため、平成28年度中は、作業計画の立案・体制構築などとともに、技術課題への対応策である坑内機器、出砂対策装置などの設計・製造・試験を進め、ガス生産実験への準備を整える。

平成29年度は、取得データの評価・解析を進めて、技術課題の克服がなされたか評価する。新たな課題が明らかになった場合は、問題点の解明と、その課題への対策の検討を行い、陸産試験での対策技術の評価や、研究開発計画を策定する。

平成30年度は、より詳細な解析を継続して実施する。

②メタンハイドレート資源フィールドの特性評価

平成28年度は事前掘削で取得されたデータの解析などから、第2回海洋産出試験実施地点の貯留層評価の高精度化を進めて、仕上げ区間の決定、作業上の地質リスク（出砂・出水等）の検討、試験計画の策定などを行う。

また、長期陸上産出試験に関して試験候補地点の貯留層評価、試掘におけるデータ取得計画の策定、取得データの分析などを進める。

平成29-30年度は、第2回海洋産出試験で取得されたデータを用いて、貯留層モデルの検証と評価を進めて、信頼性のある長期挙動の予測が実現できるように情報を整理して、資源量評価グループ・生産手法開発グループと共同で長期挙動の予測を行い、海洋開発システムの検討や経済性・エネルギー収支評価に結びつける。

③海洋開発システムの検討

平成28-29年度で、それまでの検討（第2回海洋産出試験、3ヶ月－1年を期間とする海洋産出試験の基本計画策定作業、及び開発システム検討）に基づいて、実現可能

性の高い開発システムの基本案を提示する。また、経済性向上のための改善策を示す。

平成 29-30 年度には、第 2 回海洋産出試験の結果も考慮して、海洋での長期挙動を実証するのに必要な、より長期の海洋産出試験の基本設計を策定して、実現可能性と費用、期間、技術開発要素等を示す。

また、より長期の試験を実現できる海域の候補を示し、気象・海象・海底地盤・貯留層特性・海域環境などの情報を示す。以上に基づき、平成 31 年度以降に検討が必要な技術開発課題と研究プログラム案を提示する。

④長期陸上産出試験に係る作業の実施

平成 28 年度は試験を実施する候補地点を確定させて、オペレータの選定など日米共同の実施体制を確立し、また、技術課題の検討と技術開発、データ取得計画の立案、機器の設計等を進めて、更に試掘を行って試験実施の可否を判断する。

実施が可能と判断された場合はただちに敷地造成・機器製造などの作業インフラ構築に着手して、平成 29-30 年度にガス生産実験を実現して、長期挙動に関わるデータを取得する。

また、これらの作業を通じて、「長期安定的な生産や生産量の増大」を妨げる要因（海洋産出試験で明らかになった課題を含む）を検討し、対策を講じるための試験の仕様を立案して、可能なものは適用して評価する。

3.2 生産手法開発に関する研究開発

これまでの実績

⑤生産手法高度化技術の開発

氷の潜熱を利用する強減圧法などの生産増進効果を室内実験や数値シミュレーションなどで検証し、強減圧法を比較的浸透率の高い貯留層に適用した場合には、高い回収率が見込めない温度の低い場合では回収率が約2倍に増加するなどの効果を実証した。また、細粒砂の移流・蓄積（スキン形成）による浸透率低下などの対策技術として、坑内での超音波加振機構やフラクチャリングなどによる抑制効果を室内実験にて検証・整理した。

⑥生産性・生産挙動評価技術の開発

貯留層モデルの精緻化を図るために導入した保圧コア解析装置群による解析結果を反映した貯留層モデルを再構築し、第1回海洋産出試験結果の検証から生産シミュレータ(MH21-HYDRES)の精度向上を図るとともに、断層などの不均一性を考慮したモデル化手法を確立した。また、第1回海洋産出試験の事前予測や、モニタリング井配置などの計画策定に反映させた。更に、垂直井と深部坑井の併用システムなどの生産性評価を行うとともにLCA評価については経済性検討で実施し、それを反映した経済的な生産手法などを検討・整理した。

⑦地盤特性評価技術の開発

開発した地層変形シミュレータ(COTHMA)を用い、第1回海洋産出試験で計測された沈下挙動の検証・評価を行い、結果を再現するとともに、出砂現象の原因を評価した。また、坑井の接触面強度のモデル式などを提示するなど、坑井設計指針に必要な物性を明らかにするとともに、断層のタイプ（正断層、逆断層）などの因子が最大沈下量などに及ぼす影響度を感度解析によって明確化し、地層リスクを回避するための判断式を提案した。

目的と達成目標

メタンハイドレート層からのメタンガスの商業的生産のための技術の整備を行うためには、メタンハイドレート層からメタンガスを長期的に大量かつ安定的に生産する生産手法の開発、坑井のガスの生産能力及びメタンハイドレート資源フィールドの長期的な生産挙動を高い精度で予測・解析する評価技術の開発・改良、並びに生産に伴う地層変形・圧密挙動について長期的な安全性を保証するための地層特性評価技術の改良が必要である。このような目的のもと、フェーズ3では、⑤生産性増進化技術の開発、⑥生

産性・生産挙動評価技術の高度化及び⑦地層特性評価技術の高度化に取り組み、以下の目標を設定する。

⑤ 生産性増進化技術の開発

砂泥互層からなるメタンハイドレート層に減圧法を適用した場合のメタンガスの生産性及び回収率は、初期貯留層温度が高いほど増加するが、生産過程における貯留層温度の低下に起因して、徐々に生産量は低下する。そのため、氷の生成潜熱をハイドレート分解に用いる強減圧法など様々な生産増進回収法の目標回収率を60%以上と設定し、想定される商業規模での適用性について検証し、提示する。また、細粒砂蓄積、メタンハイドレート・氷生成などの貯留層障害対策技術に関して検証・整備する。

更に、安定な坑底圧制御を実現するため、坑井内での気固液流動解析を通じた良好な気液分離法の開発やハイドレート再生成などの流動障害に関して想定される商業規模での対策技術の整備を進めるとともに、大型室内試験装置や数値シミュレータなどを用いて、開発した生産性増進技術、生産障害対策技術などの効果について提示する。また、減圧法適用時の地層変形挙動の実験的評価を実施する。

⑥ 生産性・生産挙動評価技術の高度化

フェーズ2までに開発を進めてきた生産シミュレータのさらなる実用性を図るため、産出試験や大型室内装置による実験から得られる実証データの検証を通じて、数値解析の精度向上を果たすとともに、生産シミュレータに対し各種生産増進法及び貯留層障害が取り扱えるように生産シミュレータの機能を拡張する。また、ユーザーインターフェースを改良して、操作性を向上させる。

長期生産時の広域にわたる生産挙動及び地層変形などを高精度に評価するために、海洋産出試験の実施地点などで取得した保圧コア解析を実施するとともに、解析技術の高度化を図る。更に取得した高精度の貯留層パラメータを反映させた貯留層モデルを開発し、開発したモデルを用いて、海洋産出試験などの生産性・生産挙動予測を実施し、試験計画策定に反映させるほか、試験結果の検証から生産シミュレータの信頼性向上を進める。

海洋産出試験などの検証を通して得られた貯留層モデルを用いて、生産シミュレータによる解析を行い、想定される商業規模生産における生産システムについて経済性及び合理性について評価する。

⑦ 地層特性評価技術の高度化

フェーズ2までに開発を進めてきた地層変形シミュレータで地盤挙動をより高精度で取り扱えるように、長期の動的な地盤挙動を解析するための構成式の最適化などを行うための実験パラメータなどの取得を行う。また、ユーザーインターフェースを改良し

て、操作性を向上させる。

減圧法適用時の坑井周辺の地盤挙動に関して、圧潰などのリスク回避、坑井の健全性の確保のため、坑井仕上げ法や坑底圧制御などの最適条件を提示するとともに、海洋産出試験などの検証を通して、長期生産時の広域での地層変形などを評価し、地層変形シミュレータの精度向上を図る。また、出砂評価装置を用いた出砂対策技術の検証を行う。

研究開発の実施内容

⑤ 生産性増進化技術の開発

地層温度を回復し二次回収する手法として開発してきた様々な生産増進回収法や、長期にわたるメタンガスの安定的な生産を行うためにスキン形成等による浸透性の低下などの貯留層障害対策の検証・整備や、メタンハイドレート再生成による流動障害などの対策技術の整備を行う。また、生産増進回収法や生産障害対策技術などについて、大型試験装置や数値シミュレータなどの検証を通して、想定される商業規模での適用性について検証・整備するなど、生産性増進技術の開発、坑井内流動障害対策技術の開発及び大型室内試験装置による実証に取り組むこととする。

⑥ 生産性・生産挙動評価技術の高度化

貯留層の浸透性、熱特性、圧密特性等の変化及び貯留層障害等を評価する解析ルーチンの開発・改良を行い、海洋産出試験などの検証を通じた生産シミュレータの機能強化を達成する。また、生産シミュレータに入力する三次元貯留層モデルについては、海洋産出試験地等で取得した保圧コアの解析、高精度の物性パラメータを取得するための解析技術の高度化を図るとともに、断層などの不連続性や不均質な貯留層パラメータ等の導入を検討し、海洋産出試験などで得られる長期生産時の広域にわたる生産挙動などを検証し、精度向上を図る。これらの成果を通じて、貯留層特性に応じて経済性を最大化させる生産手法と生産システムの総合評価を進めるなど、生産シミュレータの機能強化・改良、高精度貯留層モデルの開発及び産出試験の予測・検証及び商業規模生産の生産性評価に取り組むこととする。

⑦ 地層特性評価技術の高度化

地層変形シミュレータに対して、長期・広域の地盤挙動をより高精度で取り扱えるように構成式の改良等による機能強化を図るとともに、メタンハイドレート開発における出砂現象の解析と対策技術の検証、生産時の坑井安定性や、広域の地層変形等について総合的な評価が可能になるように、第2回海洋産出試験や室内実験などの検証を通して、地層変形シミュレータの精度を向上させる。また、これらの成果を通じて、長期生産時の広域での地盤挙動や坑井近傍からのメタンガス漏洩の可能性などの評価を進め

るなど、地層変形シミュレータの機能強化・改良と坑井周辺力学挙動・広域地層変形評価に取り組むこととする。

3.3 資源量評価に関する研究開発

これまでの実績

⑧日本周辺海域のメタンハイドレート賦存状況の評価

フェーズ2では、東部南海トラフ海域以外のBSR分布域のうち、メタンハイドレート濃集帯の特徴を示し、かつ、三次元地震探査（在来型の石油天然ガスのための基礎物理探査）が実施された8海域（佐渡南西沖3D、道南～下北沖3D、佐渡西方沖3D、宮崎沖3D、能登東方沖3D、三陸東方・北西海域3D、四国沖2D、沖縄海域2D/3D）において、BSR分布の詳細評価及び濃集帯分布状況に関する評価作業を実施し、そのうちの数海域で濃集帯の存在が示唆された。

また、東部南海トラフ海域と上述の濃集帯の評価結果を基に、各濃集帯について面積・離岸距離・水深・貯留層深度・性状（容積・ネットグロス比・孔隙率・飽和率）などの将来の資源開発に関連する情報を整理した。これらの情報は、経済性評価のために、5ケースの濃集帯モデルを構築し、エネルギー収支比、経済性指標を試算することに用いられた。

⑨メタンハイドレートシステムの検討

フェーズ2では、第1回海洋産出試験の事前掘削で得られたコア試料を用い、有機地球化学的な分析・微生物学的な分析を実施し、メタン生成菌によるメタンガスの生成がBSR付近でも活発に行われている可能性が高いことを再確認するとともに、濃集帯の形成を説明しうる、微生物によるメタン生成に係る温度の指標を提示した。

また、濃集帯形成の条件を検討するために、上述の成果や、コア分析・物理検層・地震探査データから得られた各種地質情報を用いて、第二渥美海丘を含む3海域について二次元／三次元堆積盆シミュレーションを実施し、本シミュレーションによって濃集帯の形成過程を再現しうることを示した。

目的と達成目標

フェーズ3の終了時において、商業化に向けた技術の基盤が整備されていることによって、民間企業の参入意欲も増すことが期待される一方、資源量評価の観点からも将来の商業化プロジェクトの検討等を進めやすい状況になっていることが重要である。そのためには、経済性に見合うだけの規模・性状を有する濃集帯がある程度数の、分布しているという見込みが得られており、また、それらがどこに、どのくらい、どのように分布しており、更にどこから手を付ければ良いかと言った指針を与える基礎資料が整っていることが望ましい。

現状では平成30年度までに解析対象となり得る三次元地震探査データは、物理探査

船「資源」によって在来型の石油・天然ガスを対象として取得されたものが中心であり、メタンハイドレートの分布域には二次元地震探査データで評価した海域が未だに多い（東部南海トラフ海域の一部や西部南海トラフ海域の大半）。これらの海域においても、新規の知見・データの収集を試みつつ、民間石油開発企業が本格的にメタンハイドレート開発に着手するためのエリア選定に資するような基礎資料を完成させることを目標として、メタンハイドレート濃集帯の評価エリアの拡充を図るとともに、二次元地震探査エリアなどのデータが少ない海域への資源量評価手法の適用を行うことなどにより、メタンハイドレート探査の評価精度を高める。

研究開発の実施内容

⑧ 日本周辺海域のメタンハイドレート賦存状況の評価

フェーズ 2 までに確立した砂層型メタンハイドレート濃集帯の探査・資源量評価手法をベースとして、今後公開される三次元地震探査データを中心に新たに 2 海域以上で評価作業を行い、より広い海域を対象にしたメタンハイドレート濃集帯及び BSR 分布の評価を行う。特に各濃集帯について、資源開発の可能性に重点を置いた総合的な評価を実施し、本邦石油開発企業が将来的に探鉱開発海域を検討・選定する上で必要となる基礎情報を整理する。

また、これまで二次元地震探査のみが実施されたなど、データが少ない海域において有効かつ精度の高いメタンハイドレートの評価手法を検討・提案する。

⑨メタンハイドレートシステムの検討

フェーズ 2 までに構築した基盤技術を基に、東部南海トラフ以外の主要 2 海域以上において二次元／三次元の堆積盆地シミュレーションを実施し、メタンハイドレートシステムの知見も踏まえた濃集帯の分布推定に重点を置いた総合的な評価手法を提示する。また、上記のシミュレーション技術や関連ツール等の整備を進め、⑧の成果と併せて未探鉱エリアにおける探査方針・手法に関する提言を行う。

3.4 環境影響評価に関する研究開発

これまでの実績

フェーズ2では、第1回海洋産出試験を対象に主要な環境リスク（環境影響）を抽出し、シミュレーション等による影響予測を行い（⑩環境リスクの分析と対策の検討）、その内容をもとに事前の環境影響評価（⑫海洋産出試験における環境影響評価）及び有識者を交えた検討等（⑬メタンハイドレート層開発における環境の総合評価と最適化検討）を実施した。また、環境面での実現象の把握として、試験前後にかけて環境モニタリング（⑪環境計測技術の開発）や海域環境調査を実施し、メタン漏洩や地層変形等に関する環境データを取得し、それらの結果も含めて総括的な評価を実施した（⑫・⑬）。いずれの結果からも、第1回海洋産出試験の規模では周辺の海域環境に大きな変化が生じない結果が得られており、小規模の生産においては環境リスクは小さいことが判明した。上記成果を踏まえて、第2回海洋産出試験に向けた手法の見直しや適正化を進めた。

⑩環境リスクの分析と対策の検討

第1回海洋産出試験を対象に主要な環境リスク（環境影響）を抽出し、シミュレーション等による予測を実施するとともに、試験を対象として環境モニタリング（沈下量、メタン漏洩）や海域環境調査（底質、水質、生物等）を実施した。その結果、第1回海洋産出試験の規模では周辺の海域環境に大きな変化が生じうるリスクは低いことを示唆する結果を得た。

⑪環境計測技術の開発

フェーズ1において開発したセンサー等を用いた計測システムの開発を行い、第1回海洋産出試験に伴うメタン漏洩、地層変形に関するモニタリングを実施した。モニタリングの結果、地層変形においては、ガス生産によるものと推察される変形に関するデータが取得され、メタン漏洩では、海底での作業に伴う海底攪乱に起因すると考えられる溶存メタン濃度のわずかな上昇を確認した。

一方で、システム形状の問題点や、センサーの精度、耐久性等の技術課題も確認され、第2回海洋産出試験に向け、単一坑井での生産時の現象把握を目的としたモニタリングのためのセンサー選定とシステム構築を実施した。加えて、海外の在来型石油・天然ガス開発における環境モニタリングについての情報を整理し、より長期的かつ広域的な現象の把握を目的としたモニタリング手法やモニタリングコンセプトの検討を実施した。

⑫海洋産出試験における環境影響評価

第1回海洋産出試験での一連の作業（掘削、生産、廃坑）について、我が国の法令における環境影響評価の手法を取り入れた環境影響の評価を実施した。また、海外事例（⑬で実施）を参考とし、評価手順等の見直しを行った。事後評価では、海域環境調査結果やモニタリング結果などを参考とし、評価手法や予測手法等の見直しを実施した。評価内容として、6日間の生産期間では、環境へのリスクは低いという結果を得ており、これらの結果をもとに、第2回海洋産出試験での評価項目、評価手法等の適正化を実施した。

⑬メタンハイドレート層開発における環境の総合評価と最適化検討

在来型の環境影響評価に関する海外事例ならびに第1回海洋産出試験での予測・調査データ等をもとにした検討や、環境有識者会議での有識者との議論を通じ、環境影響評価手法と第1回海洋産出試験での評価結果を検討した。これらの結果をもとに、合理的と考えられる環境影響評価の手順を整理した。

目的と達成目標

メタンハイドレートの商業生産に際しては、開発に伴う環境影響について適切に評価を行いながら進めることが重要であり、海洋産出試験を通じて段階的にそのための手法を検討する必要がある。このため、フェーズ3では、以下を目標とする。なお、⑩～⑫までの研究に関しては、相互に関連する研究項目であるため、ここでは「環境影響評価に関する研究開発」全般についての目標を記載した。

○環境影響評価に関する研究開発

第2回海洋産出試験を通じた環境影響の予測・評価を通じて、商業生産の最小単位と考えられる単一坑井でのガス生産を対象とした影響予測手法ならびに影響評価手法を提示する。

また、小規模のガス生産に伴う環境影響の程度を適切に把握するための手法として、深海底環境において1年間程度の期間、安定した連続計測が可能な環境モニタリングシステムを構築するとともに、第2回海洋産出試験の前後にかけてモニタリングを行い、メタン漏洩及び地層変形に関するデータを取得する。同様に、定期的に海域環境に関する調査を実施し、商業生産時の環境影響評価のベースとなる環境データを整理する。これらの結果を踏まえ、商業生産時の環境影響を把握するための計測手法や調査手法について、コンセプトとして整理する。

研究開発の実施内容

⑩環境リスクの分析と対策の検討

フェーズ3では、第2回海洋産出試験を対象とし、環境リスクの見直しを行い、抽出された主要な環境リスク要因についてシミュレーション等による予測を行う。予測結果については、環境モニタリングや環境調査で得られるデータをもとに検証を行い、シミュレーション手法等の適正化を図る。

また、広域的かつ長期間に渡る将来の商業生産時の環境影響を予測するための手法に関する検討を進め、生態系への影響を評価するためのベースモデルを構築する。

⑪環境モニタリング技術の開発

フェーズ3では、第1回海洋産出試験時に実施したモニタリングにより抽出された技術課題への対策（システム形状の適正化やセンサーの信頼性向上など）を講じ、深海底環境において1年間程度安定した連続的な計測が可能なモニタリングシステムの開発を進める。

第2回海洋産出試験では、同システムを用いてメタン濃度や地盤沈下についてのモニタリングを行い、変化の程度を確認するとともに、モニタリングシステムの検証を行う。モニタリングシステムに技術的な課題が生じた場合には、その対応策を検討する。

また、開発したモニタリングシステム等をベースに、広域的かつ長期間に渡る将来の商業生産時のモニタリングを想定した計測手法についてのコンセプトを整理する。

⑫海洋産出試験における環境影響評価

フェーズ3では、第1回海洋産出試験での影響評価結果や「環境リスクの分析」で実施する予測結果等を基に、第2回海洋産出試験を対象とした環境影響評価を実施する。また、試験に伴う環境変化についての検証データを取得するために、試験前後にかけて、試験海域及び周辺海域において、水質・底質・生物相についての調査を実施する。得られた調査結果と環境モニタリング結果と合わせて、予測結果及び評価結果についての検証を行い、調査手法及び評価手法について適正化を図る。最終的な評価結果や調査結果については、第1回海洋産出試験での評価結果と合わせて、小規模なガス生産試験の環境影響評価事例として整備する。

また、得られた結果等をベースに、広域的かつ長期間に渡る将来の商業生産時の環境影響を把握するための調査手法や評価手法についてのコンセプトを整理する。

3.5 経済性の評価及びその他の取り組み

これまでの実績

⑭経済性の評価及びその他の取り組み

フェーズ2では、フェーズ1で実施してきた経済性評価をもとに、海洋開発システムの検討結果や、第1回海洋産出試験を通じて得られた知見を反映して経済性評価の見直しを行ってきた。経済性の有無は、経済条件、ガス価格等の外的条件に大きく依存する。2014年以降、原油価格、ガス価格は、それまでのトレンドから大きくかい離した変動をしており、これを踏まえた経済条件、ガス価格シナリオに基づく経済性評価は継続中である。一方、経済性に影響をおよぼす技術的な条件を解析した結果、最も大きな影響を与えるのは生産性であることを確認した。生産性を向上するためには、適切な坑井配置に基づき坑井数を抑制しつつ、最大の生産量を実現できるような設計が必要となる。そのため、生産性評価技術の高度化や、回収率を向上できる技術が重要であり、掘削・生産設備等のコスト低減も有効であることを明らかにした。

更に、フェーズ2では、経済環境によらない技術的な指標として、LCAの観点を含めたエネルギー収支の評価を行った。評価結果は現在とりまとめ中であるが、今後技術の評価するための指標として活用するための基盤が構築でき、フェーズ3での評価に活用できる見込みである。

目的と達成目標

⑭経済性の評価及びその他の取り組み

将来的に民間企業がメタンハイドレートの開発事業を推進していくためには、リスク、経済性評価などの観点から、開発投資判断に資する知見・技術等についても整理する必要がある。このため、フェーズ3においては、以下を目標とする。

○経済性・エネルギー収支評価

これまでの研究開発の成果等をもとに、評価の見直しを行い、商業化に向けた道筋を整理する。また、エネルギー収支評価に加え、ライフサイクルでのCO₂排出量の評価を行い、メタンハイドレートの政策的位置付け等を検討する際の指標の一つとして整理する。

○総合評価

開発に伴うリスク、実用化による副次的効果、技術項目も含めた、総合的な評価を行い、商業化段階及びそれへの過渡的段階において実施すべき事項をまとめる。

研究開発の実施内容

⑭経済性の評価及びその他の取り組み

○経済性、エネルギー収支再評価

③海洋開発システム検討の結果に基づき、経済性評価・エネルギー収支評価の基礎データを見直し、また、第2回海洋産出試験から得られた知見も踏まえて経済性、エネルギー収支（含む、ライフサイクルCO₂排出量）の評価を行う。

○総合評価

環境影響評価、経済性評価、エネルギー収支評価の結果等に基づき商業化に必要な政策等を検討する。また、メタンハイドレートが実用化された場合の副次的効果（海外展開含む）の解析や、民間企業等との意見交換を行う。これらの結果をとりまとめ、商業化の実現に向けたさらなる展開が妥当か否かを評価する。