

「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」

フェーズ1 総括成果報告書

平成20年8月版

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.	フェーズ1成果のハイライト	1
2.	メタンハイドレートについて	2
3.	我が国におけるメタンハイドレート開発計画とフェーズ1実施体制.....	5
3.1	我が国におけるメタンハイドレート開発計画	5
3.2	フェーズ1実施体制	7
4.	フェーズ1の主な行事	9
5.	開発計画の目標の達成状況.....	10
5.1	目標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」	10
5.2	目標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」	14
5.3	目標3「有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選定、並びにその経済性の検討」	16
1)	メタンハイドレート資源フィールドの選定	16
2)	経済性の検討.....	17
5.4	目標6「環境保全に配慮した開発システムの確立」	18
1)	基礎試錐コア試料の分析と地層変形予測技術の開発	19
2)	海域環境情報の取得と生物影響予測技術の開発	20
3)	メタンハイドレートとグローバルな環境リスクの関係	22
6.	陸上産出試験の成果	25
6.1	第1回陸上産出試験の結果.....	25
6.2	第2回陸上産出試験の結果.....	25
1)	第2回陸上産出試験の目的	25
2)	準備作業.....	25
3)	産出試験.....	26
4)	陸上産出試験の意義.....	26
7.	生産シミュレータ	30
7.1	生産シミュレータの機能、特徴及び成果	30
7.2	MH21-HYDRESによる生産手法の評価.....	32
8.	上記以外の主な成果	37
8.1	メタンハイドレート集積メカニズム、メタンガス起源の解明（1. 探査分野）	37
8.2	メタンハイドレート層の物性測定技術（2. モデリング分野）	38

1) 原位置条件におけるコア試験技術基盤の確立.....	38
2) メタンハイドレート層圧密・変形解析シミュレータの開発.....	38
3) 物性・分解特性イメージング解析技術の確立.....	39
8.3 坑井掘削・仕上げ技術（4. 開発分野）.....	40
8.4 海底環境計測手法の開発とHSE調査（5. 環境分野）.....	42
1) 海底環境計測手法の開発.....	42
2) HSE調査.....	42
9. フェーズ1成果から見た今後の展望.....	44
9.1 フェーズ2の技術開発課題.....	44
9.2 海洋産出試験準備.....	45
10. 主な研究・試験設備.....	47
10.1 改良型PTCS.....	47
10.2 コア試験設備.....	47
10.3 海洋環境調査関係研究設備.....	49
11. その他.....	50
11.1 諸外国との連携・協力.....	50
11.2 学会発表・論文.....	51
11.3 特許.....	52
11.4 研究提案公募.....	53
11.5 内部連携強化・成果普及・広報.....	53
1) 内部連携強化.....	53
2) 成果普及・広報.....	54
12. 英語略語表.....	57

1. フェーズ1成果のハイライト

海洋における孔隙充填型メタンハイドレート層の賦存の姿の解明をはじめ、メタンハイドレート研究のフロントランナーとしての責任を果たす努力が積み重ねられた。

- (1) 地下のメタンハイドレート層からメタンガスの連続した産出に成功
 - 北極圏の地下にメタンハイドレート層が賦存していることは40年ぐらい前から知られていた。
 - カナダの地下1,000m付近の砂岩層を飽和しているメタンハイドレートを分解してメタンガスを連続して産出することに世界で初めて成功した。
 - 温水循環法（平成14年）と減圧法（平成19年と平成20年）の両方法でメタンガス産出に成功し、減圧法が今後の主力の産出手法となることを実証した。
「6. 陸上産出試験の成果」を参照。
 - (2) 東部南海トラフ海域で、世界で初めてメタンハイドレートが開発可能性があると考えられるタービダイト砂泥互層の砂層に胚胎することを発見。
 - 海洋でメタンハイドレートが砂層の孔隙を飽和して存在していることは基礎試錐「南海トラフ（平成11年度）」で初めて発見された。基礎試錐「東海沖～熊野灘（平成15年度）」でタービダイト砂泥互層であることを確認した。
 - メタンハイドレート飽和率の高い砂層から成る砂泥互層の厚い層である濃集帯を抽出する技術を確立した。
「5.1 目標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」」を参照。
 - (3) メタンハイドレート層及び周辺地層のコア試料の原位置条件での試験手法の確立。
 - タービダイト砂泥互層の賦存状況と物性を原位置条件で解明した。
 - 我が国独自の技術である地層試料の圧力と温度を維持して採取するPTCSの改良が貢献した。
「8.2 メタンハイドレート層の物性測定技術（2. モデリング分野）」及び「10.2 コア試験設備」を参照
 - (4) メタンハイドレート層に賦存するメタンガスの原始資源量を坑井データ、地震探査データに基づき確率論的に計算する手法を世界で初めて確立し、東部南海トラフ海域のガス量を算定。
「5.2 目標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」」を参照。
 - (5) メタンハイドレート層からのメタンガスの産出挙動を予測する我が国独自の専用シミュレータを開発。
「7. 生産シミュレータ」を参照
-

2. メタンハイドレートについて

非在来型天然ガス資源の一種であるメタンハイドレートは、水とメタンガスとから成る白色の氷状固体であり、燃える氷とも呼ばれる。メタンハイドレートが安定的に存在しうる圧力と温度の領域は定まっており、その安定領域を図 2-1に示す。

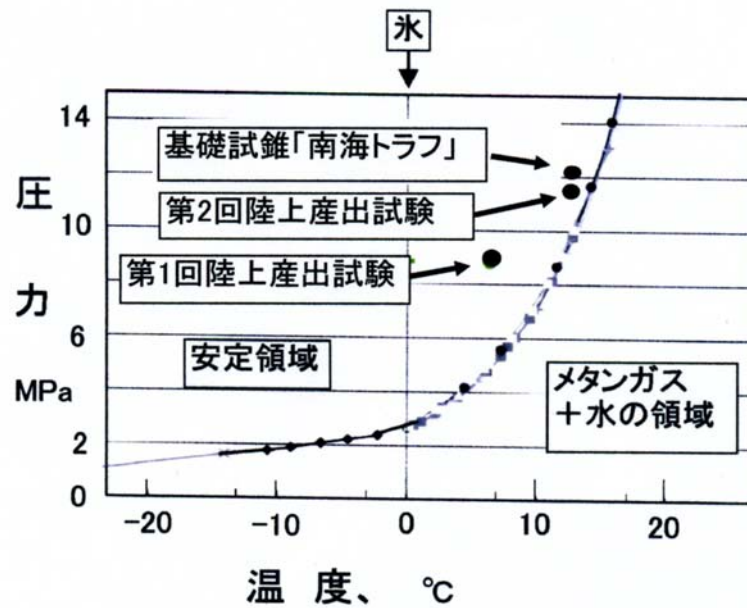


図 2-1 メタンハイドレートの安定領域

メタンハイドレートの結晶は2種類の構造より作られているが、その内の小さい方の構造を図 2-2に示す。水分子の作る籠（ケージ）の中にメタン分子が閉じ込められている構造である。

このようなケージが無数に集まってメタンハイドレートを構成している。全てのケージの中にメタンが閉じ込められているのではなく、メタンが入っていないケージもある。メタンが入っているケージの割合をメタンの占有率で表す。これまでの研究結果によれば、自然界のメタンハイドレートの占有率は0.9～0.95の範囲にある。

メタンハイドレート1 m³が分解すると0.8 m³の水とメタンになる。メタンの量は占有率100%の場合に172 m³ (0 °C、1 atm)であるが、占有率により155-165 m³の範囲になる。目安として165 m³がよく用いられる。

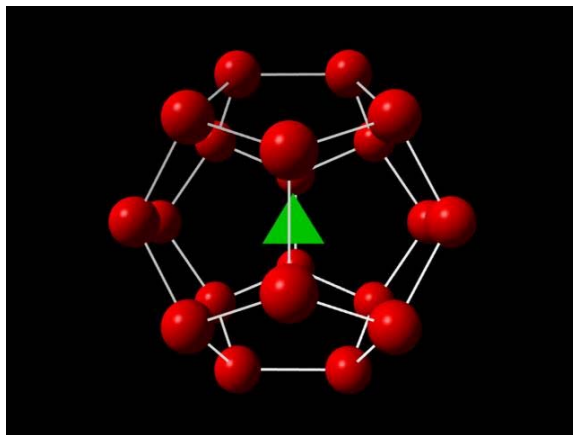


図 2-2 メタンハイドレートの結晶構造を作る小さい方のケージ
緑：メタン分子 赤：水分子

海洋のメタンハイドレートはいろいろな形態で存在している。

図 2-3は基礎試錐「東海沖～熊野灘」において東海沖海域の水深720m、海底下深度164.3mの地層から採取された砂質コアである。砂粒子の間の孔隙をメタンハイドレートが充填している。在来型天然ガス層は孔隙内にガスが貯まっているが、メタンハイドレート層ではガスではなくメタンハイドレートが貯まっている。メタンハイドレートが分解すると、在来型天然ガス層と同じように孔隙内をガスと水が満たす様になる。このような砂質メタンハイドレート層が開発の対象である。



図 2-3 砂質メタンハイドレート層のコア

図 2-4は基礎試錐「東海沖～熊野灘」で熊野灘海域の水深1,862m、海底下深度126mで採取されたもので、泥質層内に塊状のメタンハイドレートが存在している。この様な存在形態のメタンハイドレートは世界中の海洋で広く認められているが、開発の優先度は砂質層のものより低いと考えられている。



図 2-4 泥質層内の塊状メタンハイドレート

図 2-5は海底面に塊として存在しているメタンハイドレート例である。アメリカ・メキシコ湾の水深545mの地点で発見された。色が白くないのは不純物を含むことによる。世界各地の海底で発見されており、日本でも佐渡南西沖海域で発見されている。開発の優先度は砂質層のものより低いと考えられている。



図 2-5 海底に露出して堆積しているメタンハイドレート
(Fire in the Ice, Winter 2004)

3. 我が国におけるメタンハイドレート開発計画とフェーズ1実施体制

3.1 我が国におけるメタンハイドレート開発計画

経済産業省が実施した平成8年度基礎物理探査「南海トラフ」の成果及び平成9年度「カナダマッケンジーデルタにおけるメタンハイドレート実証実験井掘削」の経験を踏まえて行われた平成11年度基礎試錐「南海トラフ」では、世界で初めて海域の砂質層に賦存するメタンハイドレート層を確認する成果を上げた。これらによりメタンハイドレートのエネルギー資源としての可能性が示された。

「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」（以降開発計画と略）（平成13年7月）は、メタンハイドレート層からのメタンガスを経済的に採収し、利用するための多くの課題の解決を目指す中長期的視点に立ってまとめられた。

開発計画の該当箇所を引用する。

「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」

I 目的

我が国周辺に相当量の賦存が期待されてい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付け、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。

II メタンハイドレート開発計画の目標

日本周辺海域におけるメタンハイドレートの商業的産出のための技術を整備すべく、以下の目標を設定する。計画の実施にあたっては、国際協力を図り効率的な技術開発等を進める。また、本計画及びその成果は国のエネルギー政策に反映されるものである。

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. 有望賦存海域からの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産出試験の実施（2011年度まで）。
5. 商業的産出のための技術の整備（2016年度まで）。
6. 環境保全に配慮した開発システムの確立。

III 目標達成への道筋

上記目標達成のために確立すべき重点技術課題及びその道筋は、以下のとおりである。なお、具体的な技術開発事項、実施体制について検討し計画を推進していく。

1. メタンハイドレート開発の対象

(1) 想定される賦存形態

- ①砂質層（未固結砂層と砂岩層）中に賦存するもの
 - a. メタンハイドレート層
 - b. メタンハイドレート層とその下部に接するフリーガス層
ガス相は網目状飽和状態で有効浸透率を有するもの
- ②砂質層以外の地層中に賦存するもの

(2) 開発の対象

本計画においては、メタンハイドレートとして砂質層中に賦存するものを当面の開発対象とする。

ハイドレート中のメタンガスとしてはバイオジェニックガスが主体となるものと

予想されるが、サーモジェニックガスについてもその存在に留意する。
(以下省略)」

フェーズ1においては砂質層中に賦存するメタンハイドレートを研究開発の対象としてきた。開発計画の目標の項目はフェーズ1～3に以下のように割り当てられている。

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。

東部南海トラフ海域で平成18年度までに得られた知見に基づき、日本周辺海域における既往地震探査データを検討する。フェーズ1ではこの海域以外に西部南海トラフ海域、及び佐渡沖南西エリアを主たる対象とした。日本周辺海域におけるBSR分布状況の見直し、メタンハイドレート濃集帯の可能性のあるエリアの抽出を行った。

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。

東部南海トラフ海域を対象に砂質層中にメタンハイドレートとして賦存しているメタンガスの原始資源量を計算する確率論的手法を開発して算定した。それ以外の海域については今後の課題である。

3. 有望賦存海域からの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。

東部南海トラフ海域を対象にメタンハイドレート資源フィールドの選択手法を開発して選択を行った。その一部地域を対象に経済性の検討を行った。

4. 選択されたメタンハイドレート資源フィールドでの産出試験の実施（2011年度まで）。

この項目はフェーズ2に想定されている計画であるが、メタンハイドレート層を対象とした海洋産出試験に必要な技術の開発研究についても部分的にフェーズ1で行った。

5. 商業的産出のための技術の整備（2016年度まで）。

この項目はフェーズ3に想定されているものである。

6. 環境保全に配慮した開発システムの確立。

海洋産出試験が想定されている東部南海トラフ海域の自然環境の基礎的データ調査をフェーズ1で行った。商業的産出の環境保全に配慮した開発システムの確立を目的とした技術の開発研究はフェーズ1において着手され、開発計画の終了まで継続される。

項目4と5に特記されている期限年度については今後の検討課題である。

当初はフェーズ1として平成13年度～平成18年度の6年間で計画されていた。しかし、平成15年度基礎試錐「東海沖～熊野灘」において、東部南海トラフ海域のメタンハイドレートは砂泥互層の砂の部分に賦存することが明らかになったことにより、研究課題が増加したこと、産出試験手法として減圧法の重要性が認識され、それを採用した産出試験の設計を行うことなどにより2年間延長の必要があると判断された。平成17年度に実施されたメタンハイドレート開発促進事業評価検討会、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会、および総合科学技術会議評価専門調査会の評価・勧告により、2年間期間延長が認められ、フェーズ1は平成13年度～平成20年度の8

年間に修正された。その後、フェーズ1終了時に開発計画の見直しが実施され、フェーズ2が平成21年度～平成27年度の7年間に、フェーズ3が平成28年度～平成30年度に修正された(図 3-1参照)。



図 3-1 「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」スケジュール
(フェーズ1終了時)

3.2 フェーズ1実施体制

フェーズ1の目標を達成するために「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」(略称: MH21研究コンソーシアム)が組織された。メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムは(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、(独)産業技術総合研究所(AIST)、(財)エンジニアリング振興協会(ENAA)の三組織を中心に構成され、三組織から委託又は外注された約30の企業・大学・研究機関、300人弱の研究者の知見を結集して研究開発に取り組んだ。

開発計画の遂行は3グループに分けて行われ、その活動を補助する推進グループが設けられた。各グループの担当は以下の通りである。

(1) 資源量評価グループ(担当: JOGMEC)

メタンハイドレート層の探査技術の研究、資源量評価技術の開発と評価、坑井掘削・仕

上げ・生産技術の研究を行う。

(2) 生産手法開発グループ（担当：AIST）

メタンハイドレート層の基礎的な物性の研究、生産シミュレータの開発、及び各種採取法の検討を行う。

(3) 環境影響評価グループ（担当：ENAA）

海域環境調査、開発に伴う環境への影響評価を研究する。

(4) 推進グループ（担当：JOGMEC）

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムのプロジェクトの進捗管理、予算・契約管理、広報・成果普及活動等を行う。

これらグループの研究員の情報交換と協同作業の場として、ワーキンググループあるいはタスクフォースを結成して研究の促進と運営の円滑化を図った（図 3-2参照）。

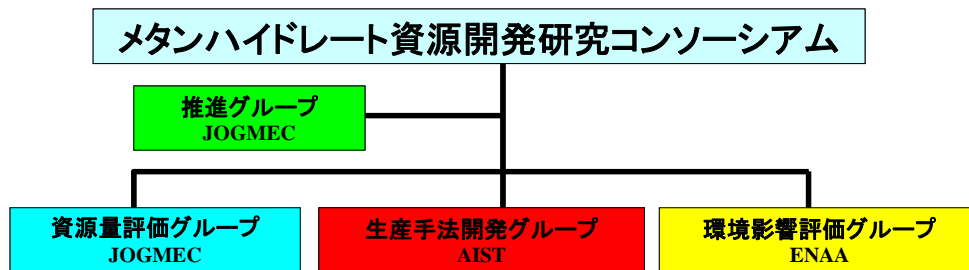


図 3-2 メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム実施体制

4. フェーズ1の主な行事

- 平成13年7月19日：「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」発表
- 平成13年12月～平成14年3月：第1回陸上産出試験
- 平成14年3月20日：メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム設立
- 平成14年4月3日：第1回メタンハイドレート開発実施検討会
- 平成13年：基礎物理探査「東海沖～熊野灘」2D
- （参考）平成13年：基礎物理探査「佐渡沖南西」2D
- 平成14年：基礎物理探査「東海沖～熊野灘」3D
- 平成15年12月：Mallik International Symposium in Makuhari
- 平成16年1月～5月：基礎試錐「東海沖～熊野灘」
- 平成17年4月～5月：メタンハイドレート開発促進事業評価検討会（第1回と第2回）
- 平成17年7月：産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
- 平成18年1月～3月：総合科学技術会議評価専門調査会
- 平成18年7月：メタンハイドレート開発促進事業評価検討会（第3回）
- 平成18年12月～平成19年4月：第2回陸上産出試験第1冬試験
- 平成20年1月～4月：第2回陸上産出試験第2冬試験

5. 開発計画の目標の達成状況

開発計画に沿って策定され、第1回メタンハイドレート開発実施検討会で審議・検討されたフェーズ1実行計画は陸上産出試験関係の遅れを除き、ほぼ計画を達成した。フェーズ1の成果を総合的に示すものとして、開発計画II目標の項目1, 2, 3, 及び6の達成状況をまとめる。

陸上産出試験の成果とシミュレータの進歩に関しては、その重要性に鑑みて、それぞれを「6. 陸上産出試験の成果」と「7. 生産シミュレータ」として詳述する。

これら以外の成果の強調点は、「8. 上記以外の主な成果」にまとめる。

5.1 目標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」

我が国周辺のBSR (Bottom Simulating Reflector: 海底擬似反射面) の分布域 (図 5-1) の調査は旧石油公団を中心に行われたものを引き継ぎ、開発計画実施後は東部南海トラフ海域の物理探査と基礎試錐、及び佐渡南西沖海域の物理探査とがある。基礎試錐「東海沖～熊野灘」では32坑が掘削され、LWD (Logging While Drilling)、ワイヤライン検層、コア採取等の資試料と2D及び3D地震探査資料との比較研究により多くの新しい解析技術が確立され、これらにより既存の地震探査記録の精度の高い解釈が可能となった。

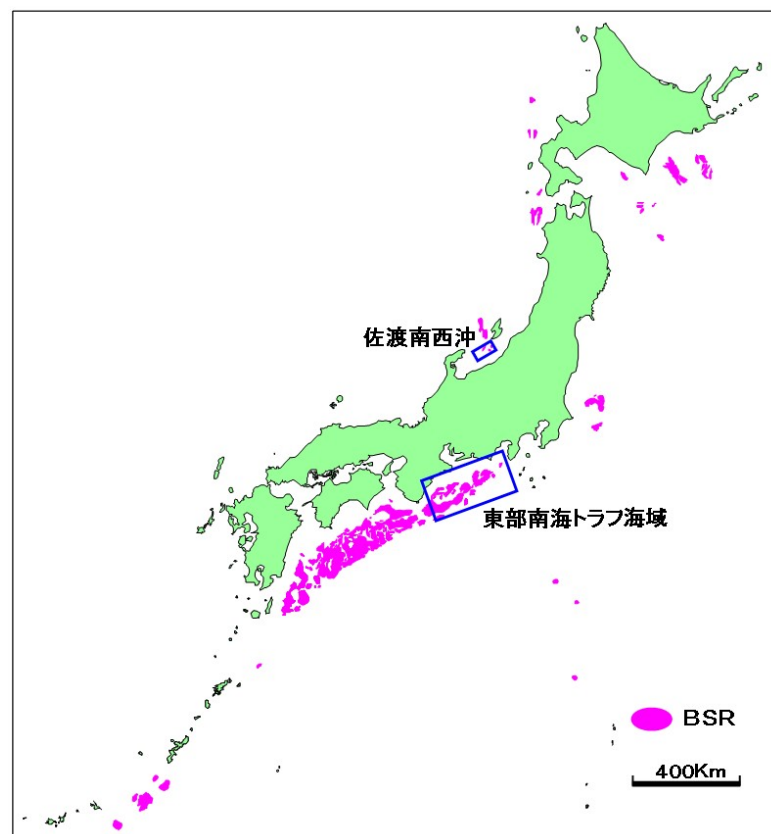


図 5-1 日本周辺海域のBSRの分布

メタンハイドレートの存在の指標としてBSRが用いられているが、東部南海トラフ海域の物理探査と基礎試錐の総合的調査から、BSRの示唆するものの明確化とメタンハイドレート層を定量的に把握する新しい技術が得られた。

- (1) BSRはメタンハイドレート安定領域の下にフリーガスを含む水層が存在する場合にその境界に出現するものであるため、それより離れて浅い深度にのみメタンハイドレートが存在する場合にはBSRは認識されないこともある。
- (2) 明瞭な反射面としては認識されず、位相の変化等で認識できる程度のBSRも存在する。
- (3) BSRはメタンハイドレートが存在することを定性的に示すものであり、資源としての量を示す指標としては不十分である。
- (4) メタンハイドレート安定領域内においてメタンハイドレートの濃集帯を定義し、その抽出技術を確認し、資源量を算定する技術を確認した。

基礎試錐「東海沖～熊野灘」においてメタンハイドレートはタービダイト砂泥互層の砂層に賦存していることが明らかになった（砂層の写真は図 2-3参照）。タービダイト砂泥互層の濃集帯の検層記録の例を図 5-2に示す。検層記録の上では高比抵抗・高速度層として認識できる。

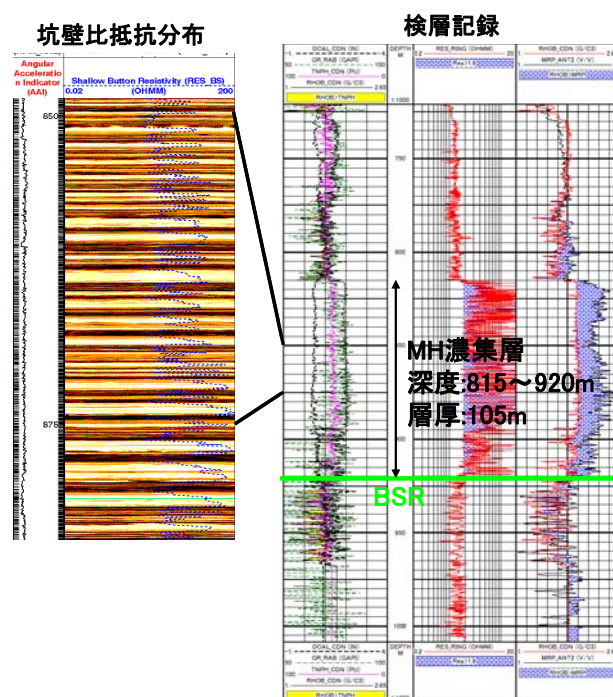


図 5-2 タービダイト砂泥互層の検層記録の例

東部南海トラフ海域のタービダイト砂泥互層の地質学的特徴を図 5-3にまとめる。

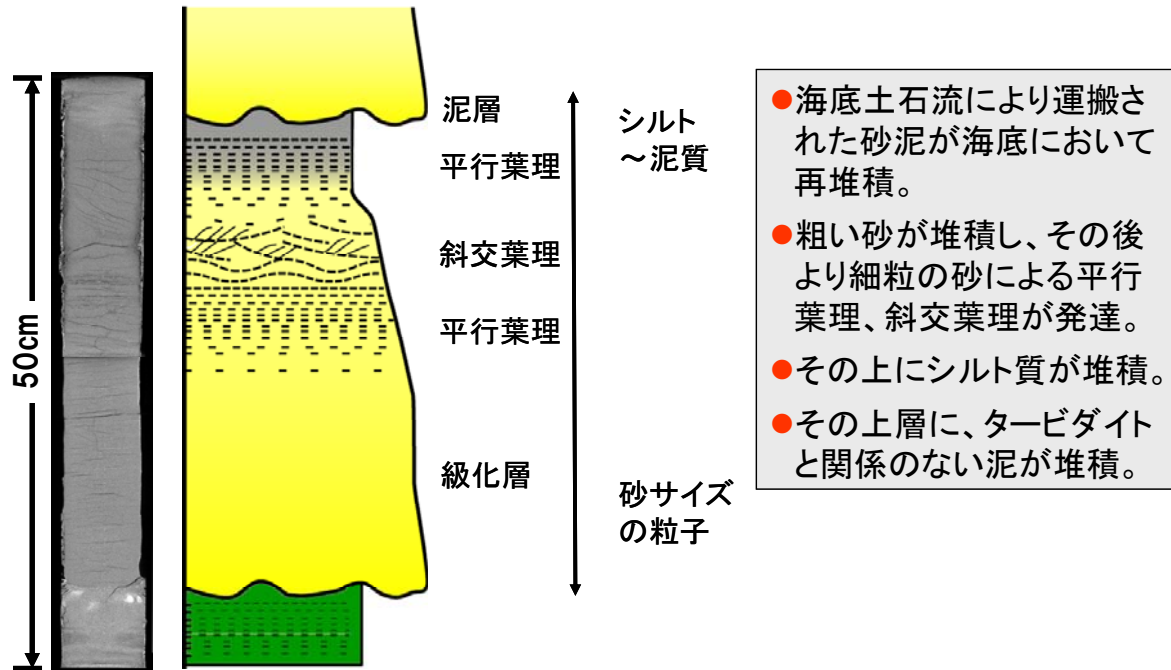


図 5-3 基礎試錐「東海沖～熊野灘」のタービダイト砂泥互層の地質学的特徴

浅い水深に堆積した粗粒堆積物が、地震・暴風・津波などによって数十年や数百年に一度の割合で、周りの流体と混合し流動化して深海へ運搬されると、海底扇状地と呼ばれる地形を形成し、通常は、細粒の泥しか堆積しない沖合において、砂泥互層を形成する。これをタービダイト層と呼び、地震探査データ上では、チャンネルやローブといった形態として認識される。このうち、BSRで示唆されるメタンハイドレート安定領域の部分に、メタンハイドレートが濃集しているものと解釈できる（図 5-4）。

このようにメタンハイドレートが大規模かつ連続的に濃集している場合、資源フィールドとして有望と考えられることから、上記をメタンハイドレート濃集帯とし、それ以外のメタンハイドレート賦存層と区別して評価することとした。

そこで、基礎試錐「東海沖～熊野灘」の全データを検討し、メタンハイドレートの濃集層とそれ以外の層を区別する閾値として、坑井において $3\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗層がネット層厚にして10m以上ある箇所、といった基準を設定した。この基準に基づき、坑井コントロールのある箇所において、地震探査データに見られる各種の特性等を検討し、以下の4つの指標を用いて地震探査データからメタンハイドレート濃集帯を抽出する方法を確立した：

- A) BSRの存在
- B) BSR上位のチャンネルあるいはローブなどのタービダイト砂泥互層の分布
- C) 強振幅反射波
- D) 地震波高速度異常

また、この手法を用いて東部南海トラフ海域において16箇所のメタンハイドレート濃集帯が抽出された。メタンハイドレート濃集帯の平均的な性状として、ネット／グロス比0.37、孔隙率0.44、メタンハイドレート飽和率0.51という算定結果が得られている。

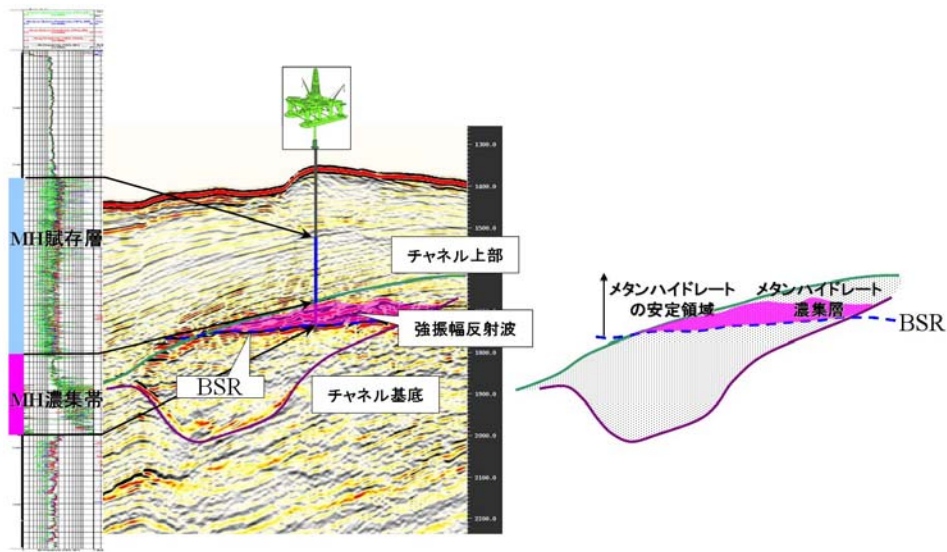


図 5-4 メタンハイドレート濃集帯の例（メタンハイドレート濃集帯β）

「メタンハイドレート濃集帯」という概念とその評価手法が確立されたことにより、次のことが可能となった。

- (1) 原始資源量の確率論的算定が可能となった（5.2節参照）。
- (2) 新たに確立された物理探査データ解析技術を他の海域に適用して、メタンハイドレート濃集帯の可能性のあるエリアの抽出が可能となった。

基礎試錐「東海沖～熊野灘」において認識されたタービダイト砂泥互層の貯留層としての物性は採取コアの分析とメタンハイドレート層を模擬したプロジェクト標準資料により追求された。このために基礎試錐採取コアを再現する模擬メタンハイドレート層コア作成技術の確立と原位置条件下での物性計測基盤技術の整備を行った（8.2節参照）。

これらタービダイト砂泥互層の貯留層としての物性値は生産シミュレータの入力データとして、生産量の推定、経済性の算定等の基礎となるものである。物性値の主なものを列挙する。

A) 熱的性質

熱伝導率；

砂質コア1.56 W/m・K、泥質コア1.15 W/m・K

砂泥互層界面近傍1.7～2.3 W/m・K

比熱（15℃）；

砂質コア砂粒子：0.82 J/g・K

泥質部分：0.77 J/g・K

メタンハイドレート層（孔隙率40%、メタンハイドレート飽和率60%）：1.26 J/g・K

塊状メタンハイドレート：1.91 J/g・K

B) 浸透特性

砂質コアのメタンハイドレート分解後の絶対浸透率：数md～数100 md（異方性あり）

泥層の絶対浸透率：数 μd ～数100 μd

C) 弾性波特性

メタンハイドレート飽和率30%の基礎試錐コア：P波 2,000 m/s、S波 800 m/s

メタンハイドレート飽和率10%当たりの増加率：P波 140 m/s、S波 110 m/s

D) 比抵抗特性

メタンハイドレート飽和率が数%において $3\Omega\cdot\text{m}$ 前後の値

E) 粒径（砂層コア）

骨格構成粒径100 μm -300 μm の比較的大きな砂粒子、砂層下部の平均粒径が200 μm 、砂層上部の平均粒径は100 μm 以下。泥層との境界付近では10%を越えるシルトを含む。

F) 嵩密度

砂質コア：1.6～1.9、泥質コア：1.9～2.0

G) 孔隙率

砂質コア：40%～45%、泥質コア：36%～40%

H) メタンハイドレート飽和率

砂層コア：40%～50%（測定時には分解が進行しており、原位置ではこれより高い飽和率であったと推察される）

泥質コア：メタンハイドレートはほとんど認められない。

砂泥互層界面付近：1%～3%

I) 分解ガス

砂質コア：メタン、一部海域のコアでエタン600 ppm～2,800 ppmを検出

泥質コア：1 ml/g程度のCO₂を検出

J) メタンハイドレート層の強度

砂質コアの測定値から推定される海底下深度100 m付近のメタンハイドレート飽和率60%の砂泥互層の強度：7 MPa～8 MPa。砂泥互層界面の強度についても研究を進めている。

K) メタンハイドレート分解の影響

分解により強度は1/2程度に低下し、圧密は進行し、絶対浸透率も減少する。

L) 毛管圧測定

泥質コア：浸入開始圧0.14 MPa、20%浸入圧1 MPa、十分なガスシール性を有している。

5.2 目標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」

前節5.1（目標1）の研究に基づき、有望メタンハイドレート賦存海域として東部南海トラフ海域（図 5-1参照）を選択してその海域のメタンハイドレート層に含まれるメタンガスの原始資源量の算定を行った。算定手法は容積法の考えに基づき、各パラメータの不確実性の幅を考慮し、確率論的手法による評価を採用した。同海域において図 5-4に示したようにメタンハイドレート濃集帯とメタンハイドレート賦存層の空間分布を抽出して、それぞれについて算定を行った。在来型資源に用いられている容積法の式をメタンハイドレートに適用できるように修正した式を採

用した。

メタンハイドレート濃集帯：

$$\text{メタンガス原始資源量} = \text{GRV} \times \text{N/G} \times \varphi \times \text{S}_{\text{MH}} \times \text{VR} \times \text{CO}$$

メタンハイドレート賦存層（メタンハイドレート濃集帯以外の層）：

$$\text{メタンガス原始資源量} = \text{Area} \times \text{Net} \times \varphi \times \text{S}_{\text{MH}} \times \text{VR} \times \text{CO}$$

ここで、用いたパラメータは表 5-1の通りである。

表 5-1 メタンハイドレート資源量計算に用いたパラメータ

パラメータ	単位	仮定した確率分布
GRV（総岩石容量）	百万m ³	対数正規分布
N/G（ネット／グロス比、砂泥互層の砂層の比率）	分数	対数正規分布
φ（孔隙率）	分数	正規分布
S _{MH} （メタンハイドレート飽和率）	分数	正規分布
VR（容積倍率）	定数	一様分布（172@0℃・大気圧）
CO（ケージ占有率）	分数	三角分布（平均値は天然試料から求めた0.95）
Area（分布面積）	km ³	対数正規分布
Net（砂層の正味の厚さ）	m	対数正規分布

上記の手法で算定した東部南海トラフ海域のメタンハイドレート層に含まれるメタンガスの原始資源量を表 5-2にまとめる。算定はメタンハイドレート分布地域ごとに行い、それらを単純に加算したものである。原始資源量は地下の地層中にあるメタンハイドレートを分解して水とメタンガスにして、メタンガスを標準状態（0℃、大気圧）にもたせると仮定した場合にメタンガスの占める量である。これらの内のある量は地表に生産され、残りは地層内に残留する。地表に生産される割合は現段階では未定であり、産出試験結果の解析と生産シミュレーションによる研究により判明するものである。

表 5-2 東部南海トラフ海域のメタンハイドレート層のメタンガス原始資源量の算定結果

分類	メタンガス原始資源量（億m ³ ）		
	P90	Pmean	P10
メタンハイドレート濃集帯	1,769	5,739	11,148
メタンハイドレート賦存層	1,067	5,676	12,208
合計	2,836	11,415	23,356

P90：この値より大きい量が賦存する確率が90%以上と推定される量

Pmean：この値より大きい量が賦存する確率が50%以上と推定される量、平均値に相当する。

P10：この値より大きい量が賦存する確率が10%以上と推定される量

5.3 目標3「有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選定、並びにその経済性の検討」

この目標にはメタンハイドレート資源フィールドの選定と経済性の検討の2つがある。その達成状況の検討は綿密な連携のもとに行われたが、便宜上2つに分けて記載する。

1) メタンハイドレート資源フィールドの選定

5.1節で定義された16カ所のメタンハイドレート濃集帯から基礎試錐により坑井データが取得されている箇所を対象に41項目について検討して α 、 β 、及び γ の3箇所の濃集帯を海洋産出試験候補海域として選定した。このうち α 及び β の2箇所の濃集帯に対して詳細な地質モデルを構築し、それを基に坑井周辺1km²の貯留層モデルを作成して、生産シミュレーションを実施した。(生産シミュレータについては「7. 生産シミュレータ」を参照)。

選定に用いた41項目を以下に列記する。

- 原始資源量
- 地質的項目：容積、面積、層厚、層序、貯留層タイプ、堆積パターン
- 立地環境：水深、離岸距離
- 貯留層特性：貯留層層厚、砂泥比、貯留層連続性、貯留層の垂直方向浸透性、砂・泥の固結度、貯留層深度、地層温度、貯留層の層厚傾斜、貯留層中の水層の存在、貯留層上部の地層の浸透性、貯留層上部地層内のメタンハイドレートの存在、断層・フラクチャリングの存在、貯留層下部の地層の浸透性、
- 生産関係：生産性予測、生産障害の予測
- 海底面の環境：海底面傾斜、海底面の堆積物性状、海底面の掘削障害の存在、周辺の海底地形
- 海域環境：気象、海象、海流・潮流、溶存メタンの海水中でのバックグランド濃度、堆積物からのメタンフラックス、SMI値から推測したメタンフラックス、海棲哺乳類、海棲爬虫類、回遊魚、底棲生物
- その他：漁業活動、海底ケーブル、演習場

(注：SMI=Sulfate Methane Interface 硫酸塩-メタン境界、海底面近傍のメタンフラックスのひとつの指標)

選定されたメタンハイドレート資源フィールドの3カ所の特性を41項目の内の10項目についてまとめたものを表 5-3に示す。

表 5-3 メタンハイドレート資源フィールドの3候補濃集帯

項目	α 濃集帯	β 濃集帯	γ 濃集帯
原始資源量Pmean(億 m^3)	591	87	111
面積(km^2)	35.5	12.3	23.7
全層厚(平均値)(m)	62.3	39.6	37.8
水深(m)	675~878	857 ~1405	855 ~1,035
離岸距離(km)	40~50	70~80	40~50
貯留層タイプ	タービダイト砂泥互層	タービダイト砂泥互層	タービダイト砂泥互層
貯留層深度(m)	α -1坑井: 815~919 α -2坑井: 922~953	β -1坑井: 1,295~1,339	γ -1坑井: 1,167~1,193
地層温度($^{\circ}C$)	α -1坑井地点 8.6 ~10.3	β -1坑井地点 12.7~14.3	γ -1坑井地点 12.5~13.2
海底面傾斜	α -1と α -2坑井周辺は2度以下であり、大きな問題はない。	β -1坑井周辺の海底地形は複雑であり、傾斜10度を超える場所もある。全体的な平均傾斜は3度程度。ほぼ平らな所も存在し、地点を選べば問題ない。	γ -1坑井周辺は2度以下であり、大きな問題はない。
周辺の海底地形	α -1と α -2坑井周辺は穏やかなスロープ。東へ5km離れた場所から急崖が始まり、凹地へ続く。	β -1坑井周辺の海底地形は複雑。南側に高まりがある。北西へ4km離れた場所に海底地滑り跡が認められる。	γ -1坑井周辺は穏やかなスロープ。4km離れると海底谷につながる急崖が存在する。

2) 経済性の検討

経済性検討の目的としては、メタンハイドレート開発に適した経済性評価計算プログラムを開発すること、メタンハイドレート開発の実現可能性についての見通しを得ること、現状の研究段階から期待できる生産原価を算定して在来型資源のそれと比較すること、経済性を向上させるための技術開発課題を見いだすこと等がある。

前節で選定された α 濃集帯についてなされた生産シミュレーションによる生産挙動を基に経済性の検討を行った。メタンハイドレート開発用に開発した経済性評価計算プログラムMH-ECONOMICS Basic Modelを使用した。

開発計画は、事業開始時期2016年、生産開始時期2021年、生産期間15年、1坑井の生産期間8年と設定した。また、ガス価格の推移等を調査し、2004年ガス価格23.8円/ m^3 、インフレ率を年率2.56%、ガス価上昇率を年率3.88%と設定した。

開発システムとしては、生産設備は海底に設置し、生産されたガスは洋上のプラットフォームに集結し、パイプラインによって消費地まで輸送することとした。すなわち、海底に設置したマニフォールドに複数の坑井を連結し、マニフォールドに集められた生産ガス、生産水はセパレータによって分離後、水は地層に圧入処理されると共に、ガスは数MPaまで昇圧後洋上プラットフォームに集められ、ガスは再度昇圧されパイプラインによって消費地へ供給される。

今回の経済性検討に用いた主な仮定は以下のものである。

- ① 地質が水平方向に均質であると仮定。その地域に掘削された坑井1本のデータを適用した。
- ② 長期生産障害が想定内と仮定。産出試験などでの実証が必要である。

- ③ 生産量の実現を仮定。生産シミュレータによる算定を適用した。
 ④ 機器・技術等の実現を仮定。実証されていない機器・技術等の研究が必要である。

経済性評価は α 濃集帯の6つの開発方法について行ったが、その基本となる α -1開発方法（ α -1坑井周辺を開発するケース）の経済性評価の流れと評価結果を図5-5にまとめる。

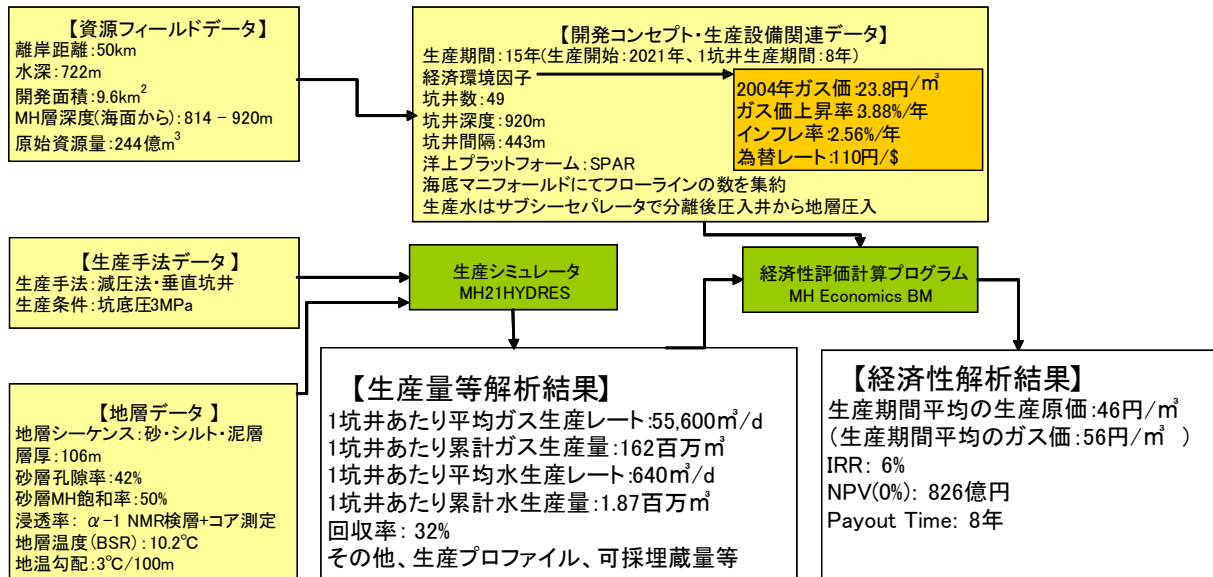


図 5-5 α -1濃集帯の経済性評価の流れと結果

メタンハイドレート層からのメタンガスの生産原価について3パターンを想定して試算した。

- ① 現在の建設コストを前提とする場合： 92円/m³
 (ベース価格は2004年のもののため、仮に3倍とした場合)
 ② 仮定条件が全て成立する場合： 46円/m³
 (2004年ベース)
 ③ 生産量が予想よりも低い(1/4)場合： 174円/m³

経済性の感度分析により技術開発課題について検討した。技術開発面からガス生産レートの増加、回収率の向上、水生産レートの低減、出砂レートの低減等、また、開発システム面からは、サブシーシステム費用の低減、施設建設費の低減のための取り組みが経済性向上にとって効果が高いものと分析された。

5.4 目標6「環境保全に配慮した開発システムの確立」

開発計画の「V 技術開発内容 5. 環境分野」に目標6の基本的考え方が以下の様に示されている。

“メタンハイドレート開発に際しては、開発作業自体の安全性への影響、海洋生態系への影響、漏洩メタンガスの影響を考慮する必要がある。

これらを引き起こす原因としては、開発に伴う低温流体の海表面への流出、生産に伴う坑井周辺地層の圧密によるセメントやケーシング自体の損傷、海底地盤の変動・沈下等によるメタンハイドレート層上部の地層シール機能の低下、メタンハイドレート層自体の崩壊等が考えられる。

これらの事象は開発・生産の方式のみならず、原位置の地層の性状に密接に関連するため、メタンハイドレート層や周辺の地層性状の特性を十分把握し、それらの特性を考慮した解析が必要となる。更に、モデルフィールドにおける海底地形や海底生態系等の経年的な環境調査も重要である。“

フェーズ1では東部南海トラフ海域を中心とする海域環境の調査を基礎試錐「東海沖～熊野灘」の事前と事後の2回に分けて行い、項目によっては経年観測を実施した。同基礎試錐では海底面からメタンハイドレート層の下の地層までの全体地質試料を目的としたコア採取を2カ所で試みた。水深700 m～1,000 mのためコア採取率が低く、浅い部分の粘性土の試料が主であった。

本節では地層変形予測技術の開発、海域環境調査、及び総合科学技術会議評価専門調査会（平成18年3月）で指示された「環境影響に対するマクロなリスク評価」に関する調査状況をまとめる。

1) 基礎試錐コア試料の分析と地層変形予測技術の開発

基礎試錐「東海沖～熊野灘」で海底面からBSR下部の深度250 m前後までの地質試料採取得を2坑井で行った。水深が約1,000 mであり、砂質試料の採取率は低かった。得られた基礎試錐コア試料を用いた物理試験、圧密試験、三軸圧縮試験を行い、海底地盤の物理的性質や力学的性質を調べた。

物理試験では、密度、コンシステンシー、粒度分布、粘土鉱物の分析を行い、基本的な物理特性を把握した。工学的には低液性粘土として分類される地盤材料であった。

圧密試験では、最大5MPaの圧密圧力まで一次元圧縮を行うことにより圧密降伏応力を求めた。海底面付近では過圧密状態にあるが、深度約100m以深ではほぼ正規圧密状態にあることを確認した。

三軸圧縮試験では、試験結果に与える試料の乱れの影響を最小限に抑えるため、圧密試験から求めた圧密降伏応力まで K_0 圧密後、原位置上載圧まで K_0 除荷を行うことにより原位置の応力履歴を再現した後、ひずみ制御の非排水せん断試験を行った。

上記の試験結果を基に海底地盤の力学特性を精度よく表現できる地盤の構成式の構築を行った。

三軸圧縮試験結果を対象に要素シミュレーションならびに有限要素法による3次元解析を実施し、供試体の巨視的な挙動のみならず変形やひずみの不均一化といった供試体内の微視的な挙動についても検討した。図 5-6は一例として、供試体表面の体積ひずみの分布図を示したものである。軸ひずみの増加につれて供試体中央部に膨張側の体積ひずみが次第に集中し、それに伴って供試体上下端部には圧縮側の体積ひずみが増加している様子が明確に表れている。解析結果と試験結果は全く同様の傾向を示しており、解析結果は試験結果をよく再現していることがわかる。

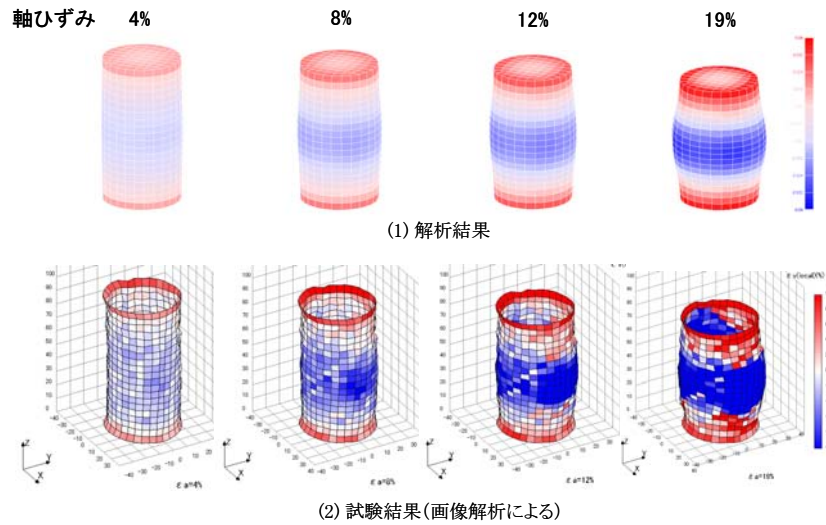


図 5-6 基礎試錐コア試料三軸圧縮試験の数値解析（体積ひずみ分布）

これら検討結果から、構築した構成式によって試験結果を精度良く再現できることが確認された。

構築した海底地盤の構成式を取り込んだ地層変形予測プログラムの開発を行った。プログラム全体をコントロールするコアシステムとともに、地層、解析、荷重の各サブシステムのモジュールの作成を行い、各サブシステムおよびサブシステム間での検証を行い、コアシステムも含めたシステム全体の検証を行った。

生産手法開発分野のシミュレータで計算された生産層変位データを取得することにより、上記開発プログラムを用いて海底地盤全体の変形を予測することが可能となった。この間接的な連結により、海洋産出試験を対象とした事前解析を実施し、その解析結果に基づき、海洋産出試験時地層変形モニタリング測定計画に資する基礎資料を作成した。

2) 海域環境情報の取得と生物影響予測技術の開発

基礎試錐等が想定される東海沖～熊野灘の海域環境の概況を把握するための海域環境調査を実施した。平成15年度から平成17年度においては、南海トラフ広域の海域環境調査を実施し、東海沖、第二渥美海丘近傍海域、熊野灘の3海域の水塊構造、水質環境、底質環境、生物環境の経年的な特徴を把握した。さらに、平成18年度および平成19年度では、基礎試錐実施域周辺において同一地点で季節を変えて海域環境調査を実施し、水塊構造、水質環境、底質環境、生物環境の季節的な相違を把握した。これらの情報をもとに、東部南海トラフ周辺海域および基礎試錐実施域の海域環境特性を解析し、以下の内容を明らかにした。

当該海域は、黒潮の流軸変動に影響される場であり、その海洋構造は沿岸系水、黒潮系水、亜熱帯系水および太平洋深層水の4つの水塊から形成されている。

流動は、東海沖では海底近傍で15日周期を有している。第二渥美海丘近傍では、中層から底層にかけての複雑な流動場が形成されている。これは複雑な海底地形が影響を及ぼしている可能性がある。熊野灘の流動は、海底近傍で31日周期を有し東海沖とは流動パターンが異なっている。

また、黒潮の蛇行状態に影響を受けている可能性が示唆される。

海底から供給されたと考えられる最大約10nmol/kgに達する溶存メタン濃度が随所で確認される海域である。

- 水柱中の溶存メタン分布は、3海域ともに海底付近と水柱の中層付近で3~4nmol/kgと高くなる傾向が認められる。特に、熊野灘では海底付近で7nmol/kgを超える。このような海底付近や水柱の中層付近で溶存メタンが高くなる原因は、東海沖や第二渥美海丘近傍ではその周辺に冷水湧出域が存在するため、熊野灘では泥火山が存在するためと考えられる。
- 海底からのメタン溶出速度は、東海沖で3.1~64.6 (平均27.7) nmol/m²/h、第二渥美海丘近傍で6.1~31.9 (平均19.4) nmol/m²/h、熊野灘で6.5~173.6 (平均64.9) nmol/m²/hであり、熊野灘でより高いメタン溶出速度が測定されている。メタン溶出速度は海底堆積物中の有機物量が高い海域ほど高くなる傾向が認められる。
- 表層堆積物の粒度組成は3海域で大きく異なっている。東海沖は砂ないし砂泥が主体で、粒度の中央粒径値は94~200 μmである。第二渥美海丘近傍は砂泥主体で、中央粒径値は13~94 μmであり、東海沖と比較してやや微細な堆積物である。一方、熊野灘はシルトないし粘土質で、中央粒径値は11 μmであり、3海域中で最も微細な堆積物である。
- 海底近傍層に生息する浮遊生物は、かいあし類と等脚類が主要構成群である。なお、東海沖と第二渥美海丘近傍では、種構成や現存量に大きな違いは認められない。
- 表層堆積物中に生息する底生生物の現存量は、東海沖ではマクロベントスが最も高く、堆積物表層から5cmまでに生息している。第二渥美海丘近傍ではバクテリアが最も高く、生息深度は堆積物表層から25cmまでと東海沖と比較し、より深い。熊野灘は3海域のなかで底生生物現存量が最も高く、その90%以上がバクテリアによって占められている。

上記結果を踏まえ、当該海域で今後海洋産出試験を実施した場合の、環境変化をどのような指標で評価するかを検討した。

生物影響予測技術として、石油・天然ガスの水柱中での拡散モデル (CDOG (Comprehensive Deepwater Oil and Gas Blowout Model)) に、漏洩したメタンの海水中での気泡の挙動特性 (温度と圧力変動に対するサイズ変化や気泡表面のハイドレート膜の形成等) を新たに組み込んだモデルと、メタンハイドレート分解生成水が水中に放出された場合の拡散範囲を予測するモデルを開発した。

これらモデルを用いたメタンや分解生成水の拡散予測結果に、水生生物に対するメタンの急性毒性値 (半数致死濃度および半数影響濃度) や、分解生成水の特徴である低塩分に対する水生生物の耐性データを組み込み、水生生物に対する直接的な影響がどの程度の範囲に波及する可能性があるか検討した。

第二渥美海丘近傍での水温・塩分・流速の10月の条件下で、海底から0.1Nm³/secの速度で6時間、連続的にメタンガスを漏洩させた計算例を図 5-7 (左図) に示した。メタンガスは速やかに上昇し海水に溶解しながら希釈・拡散した。ハイドレートを形成したメタンは海表面下100-200mまででガスに解離した後に溶解したため、海表面にはメタンガスは達しなかった。魚類に対するメタ

ンの半数致死濃度および甲殻類の半数影響濃度から、生物に対するメタンの影響範囲を検討した結果、メタンプルームの中心から数十m範囲程度に生息する生物群が直接的な影響を受ける可能性があるかと推定された。

メタンハイドレート分解生成水を海面、中層、海底から放出した場合の拡散計算を行った。中層で放出したケースでは、放出されるメタンハイドレート分解生成水が淡水であると想定しているため、周辺海水よりも密度が低くなり海面方向に向かい広がりながら、各層の流れにより水平方向に拡散していくことがわかった。海底放出においては（図 5-7（右図））、メタンハイドレート分解生成水が海底に拡がることのないため、海底に生息する生物群には直接的な影響はないと考えられた。海面から放出する場合においては、鉛直方向の広がりも数m程度、また、水平方向への広がりも10m前後であり周辺海域の浮遊生物等への影響は小さいと推定された。放出量を変化させた他の計算結果においても、周辺海流の影響により比較的短時間に拡散し、低塩分領域の範囲は放出口のごく近傍のみであった。メタンハイドレート分解生成水の放出による周辺海水中の生物等に与える影響範囲は、放出域近傍の狭い範囲に留まる可能性が高いと考えられる。

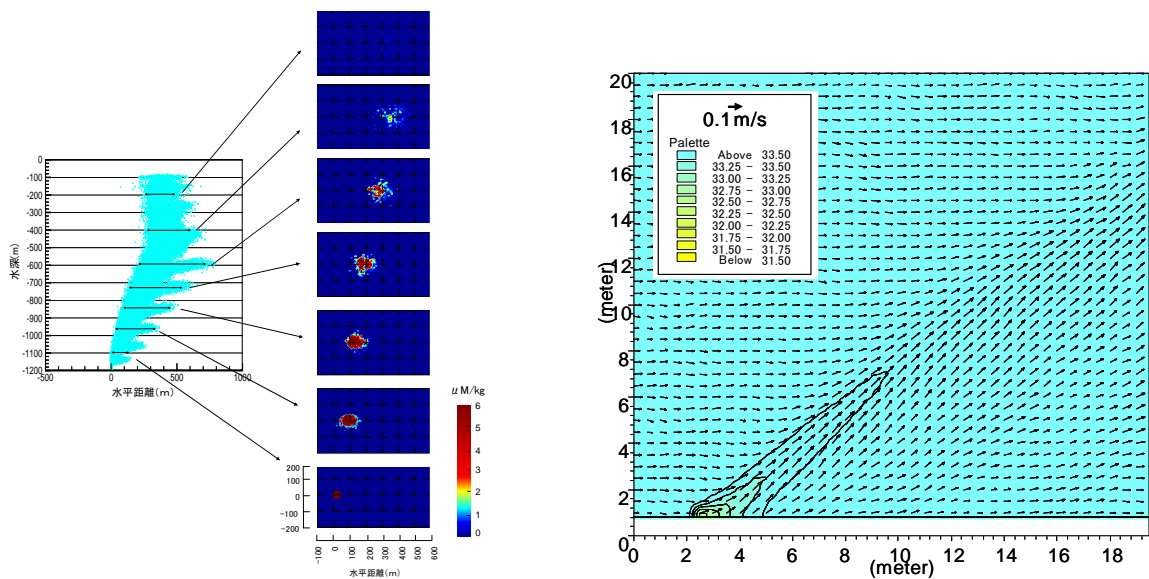


図 5-7 予測モデル計算結果例

(左図) 漏洩メタンの挙動予測モデルの計算結果例。海底から $0.1 \text{ Nm}^3/\text{s}$ でメタンが漏洩したと仮定した場合の拡散計算結果（6時間後）

(右図) メタンハイドレート分解生成水放出影響予測モデルの計算結果例。海底から $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ の速度で分解生成水を放出した場合の塩分分布（放出2時間後）

3) メタンハイドレートとグローバルな環境リスクの関係

「環境影響に対するマクロなリスク評価」はグローバルな環境リスク（温暖化等）評価と広く

解釈し、自然発生的な地球規模の環境リスクとメタンハイドレート開発によって引き起こされる人為的な環境リスクに分けて検討をすすめた。

(a) 自然発生的な地球規模の環境リスク

地層中のメタンハイドレート層が崩壊して、メタンが海中、更に大気中に放出される現象が自然発生的に起こるとされる仮説がある。考え得る3つの地球環境への影響（リスク）に関する仮説の文献調査を行い、その内容を整理した。

- (1) 温暖化によって全地球的にメタンハイドレート層が崩壊し、更に温暖化が加速される。
- (2) 氷期に向かう過程で海面が低下し海底の圧力低下や海水の温度上昇によりメタンハイドレート層が崩壊し大規模な地滑りが起きる。
- (3) 崩壊したメタンハイドレート層から放出された大量のメタンにより海洋中の酸素が消費され、海洋が無酸素化し海洋生物の大量死を招く。

上記3つのリスクに対して現在も多くの研究者が参画し、メタンハイドレート層の崩壊が原因なのか、それ以外の原因によるものかについて諸説が提唱されており、いまだ定説はないのが現状である。

メタンハイドレート層の崩壊によってこれらの事象が生じたとする説では、メタンハイドレート層の崩壊自体が、数千年から数十万年という地質学的な時間スケールの気候の変動に起因しているものとしている。すなわち、超長期の期間に海底の温度が上昇する、あるいは海水準が大幅に低下するほどの気候変動が生じた結果として、地球規模でメタンハイドレート層の崩壊が起きるものとしているのである。

このように、現在議論されている多くのメタンハイドレートに係る地球温暖化のリスクは、主として数千年以上の地質学的な時間スケールの地球規模の気候変動に伴って生じ、それにより地球規模のメタンハイドレート層の崩壊が引き起こされるという事象についてのものである。

(b) メタンハイドレート開発による人為的な環境リスク

開発計画で想定されているメタンハイドレート開発は、東部南海トラフ海域の海底下に賦存するメタンハイドレート層について、減圧法によりメタンハイドレートを分解しメタンガスを採取しようとするものである。

東部南海トラフ海域で実施された基礎試錐「南海トラフ」において発見されたメタンハイドレートを飽和した砂質層の圧力と温度の状態を図 2-1に1例として示した。このように、海洋のメタンハイドレートは、水深約1,000mの海底下200mでは、10MPa以上の圧力、温度は十数度の環境下で固体として賦存している。メタンハイドレートの開発は、砂質層の孔隙中に固体として充填された状態で、安定的に賦存しているものを開発の対象としている。このメタンハイドレートを開発するには、圧力を下げる、あるいは温度を上げる等の人為的な操作を坑井を通して加え続ける必要がある。この操作を中止すると、圧力が元に戻る、あるいは温度が低下するなどの元の状態に戻る過程が自然に進む。これにより圧力・温度状態が安定領域に入れば、分解して発生したメタンガスは固体のメタンハイドレートに戻る。これは開発に際しての安全機構と見做せるものである。

このため、仮にメタンハイドレート開発において、産出機器等に支障が生じたとしても、メタンガスの発生が停止することはあっても、メタンガスが生産システムから外部に継続的に漏洩する恐れは少ないと考えられる。

また、メタンハイドレート層内で分解により生成されたメタンガスは、地層から坑井内へ、さらに海上の機器へ流れて生産されるが、この過程は在来型天然ガス開発と共通する。この過程のリスクは在来型天然ガス開発のリスク評価が適用できると考えられる。

(c) 今後の対応

上述したように、自然現象としてのメタンハイドレート層の崩壊に伴う地球温暖化の懸念については地質学的なタイムスケールで評価すべきものであり、メタンハイドレート層からのメタンガス生産に係る人為的な環境リスクについては、在来型天然ガスの生産事例を取り込むことで評価できるものと考えられるが、今後ともこの両者に関し、多くの研究がなされることが予想されるので、学会等での研究開発等の情報収集を行う必要がある。

自然発生的な地球規模の環境リスクは、開発計画の直接的な課題ではないが、関連事項として情報収集・分析を続け、メタンハイドレート開発に有益なものは取り込み、社会全般に適切な情報提供をしてゆくことが必要である。

6. 陸上産出試験の成果

6.1 第1回陸上産出試験の結果

第1回陸上産出試験は、2002年にカナダ北西準州のマッケンジーデルタ地域マリックサイトで、5カ国（日本・カナダ・米国・インド・ドイツ）、7機関（7機関（JOGMECの前身である石油公団、カナダ地質調査所、米国エネルギー省、米国地質調査所、ドイツGFZ、インド石油天然ガス省インドガス公社、BP-シェブロンテキサコ・マッケンジーデルタ共同企業体）の共同研究として行われた。）の共同研究として行われた。同サイトでは、1998年にJOGMECの前身である石油公団とカナダ地質調査所（GSC）が実施した調査で深度650mまでひろがる永久凍土層の下の、深度890m～1,100mの区間に、4ないし5層に分かれて、砂層の孔隙充填型メタンハイドレートが見出されていた。2002年の試験では、加熱法的一种である温水循環法によって、Mallik 5L-38坑井で5日間の生産期間中に約470m³のガスを生産することに成功した。また、MDT（Modular Formation Dynamics Tester：Schlumberger社登録商標）による減圧過程の観察を行い、ガスの発生を確認したほか、圧力解析の結果などから、地層の浸透率に関する情報を得ることができた。

試験は石油公団が参加したが、取得データの分析と研究はメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムが行った。

6.2 第2回陸上産出試験の結果

1) 第2回陸上産出試験の目的

2002年の第1回陸上産出試験は地下のハイドレート層を分解してガスを産出した世界最初の事例であるが、産出量が少ないこととその継続性に課題を残した。その一方で、前節で述べたように当該地層で減圧法が適用できる可能性が高まったため、将来の海洋産出試験、さらにはメタンハイドレート資源の商業化を視野に入れ、減圧法のフィールドスケールでの実証が望まれた。

第2回陸上産出試験では、減圧法により地層中のメタンハイドレートが長期間継続して分解することを確認することと、生産シミュレータの精度向上を図ることを目的とした。

2) 準備作業

第2回陸上産出試験は、2007年及び2008年の2回の冬季に分けて、JOGMECとカナダ天然資源省（NRCan）が、カナダ北西準州の教育機関であるオーロラカレッジを操業オペレータとして実施した。

当該地域は冬季に河川と海洋が凍結しアイスロードが建設できる時期しか接近できないため、すべての作業は冬季に限られた。また、当該地域が脆弱な極地の生態系の下にあり、希少生物も生育するため、環境保護には最大限の注意が払われ、掘削廃棄物はカナダ南部まで持ち帰って処理し、生産水はハイドレート層より下層の帯水層に圧入した。生産井には1998年に掘削されたMallik 2L-38井を増し掘り、拡張掘、ケーシング・セメンチングして使用した。

2007年1月～4月の期間には、アイスロード、現場敷地の造成後、Mallik 2L-38の改修が行われ、

同時に最新の物理検層ツールによるハイドレート層の物性データの取得も行われた。例年にも増した厳冬による作業の遅れなどの原因で計画されていた観測井の掘削は断念されたが、生産井のケーシング外にはDistributed Temperature Sensor (DTS、ただし深度1,050mまで)、流動電位計測用のLight-ERA電極が設置された。

3) 産出試験

当該地域のハイドレート層のうち、最深部の1,081～1,093mの区間を仕上げ対象層としてパーフォレーションを行い、さらに同一坑井の下部の深度約1,300mの帯水層を圧入層として産出試験を行った。

第1冬（2007年）は作業期間が限られるなか、電動水中ポンプをパーフォレーション区間より下に置き、下部の圧入層に産出水を圧入することで坑内の水位を下げて減圧した。その結果、予想よりも高い坑底圧力約8MPa（初期地層圧力約11.4MPa）でガスの発生を確認し、その後7.2MPaまで減圧ができて、約12.5時間の減圧期間に830m³のガスの産出を見ることができた。しかしながら、予想よりも早く大量の砂が坑内に流入したため、ポンプの動作不良が生じ、最終的には試験開始から60時間で試験を中断せざるを得なかった。

2007年4月に坑井は仮廃坑され、2008年1月に再度開坑した。

前年の教訓から第1冬と同じ仕上げ区間にサンドスクリーンを設置し、地表に汲み上げられた産出水は計量後別の坑井から地下の帯水層に圧入された。坑底の圧力は最終的に4MPaまで減圧され、6日間にわたって、日産2,000～4,000m³、累計産出量13,000m³のガスを産出することに成功した。

坑底、ポンプ深度、及び地表で温度と圧力が計測され、地表ではガスと水の産出量を計量してサンプルを取得した。

表 6-1に取得サンプル・データの一覧表を示す。

2008年4月に廃坑を完了して現地を撤収した。

4) 陸上産出試験の意義

減圧法によりメタンハイドレートからガスを連続して産出することができることが実証されたことは、メタンハイドレートの資源化に道を開く重要な一歩であると言える。このことにより、理論的基礎やシミュレータ、さらに減圧のための基本技術も実証されたといえるが、より長期の試験や海洋の環境下での技術の実証など課題も残されており、今後の研究開発の進展が望まれる。

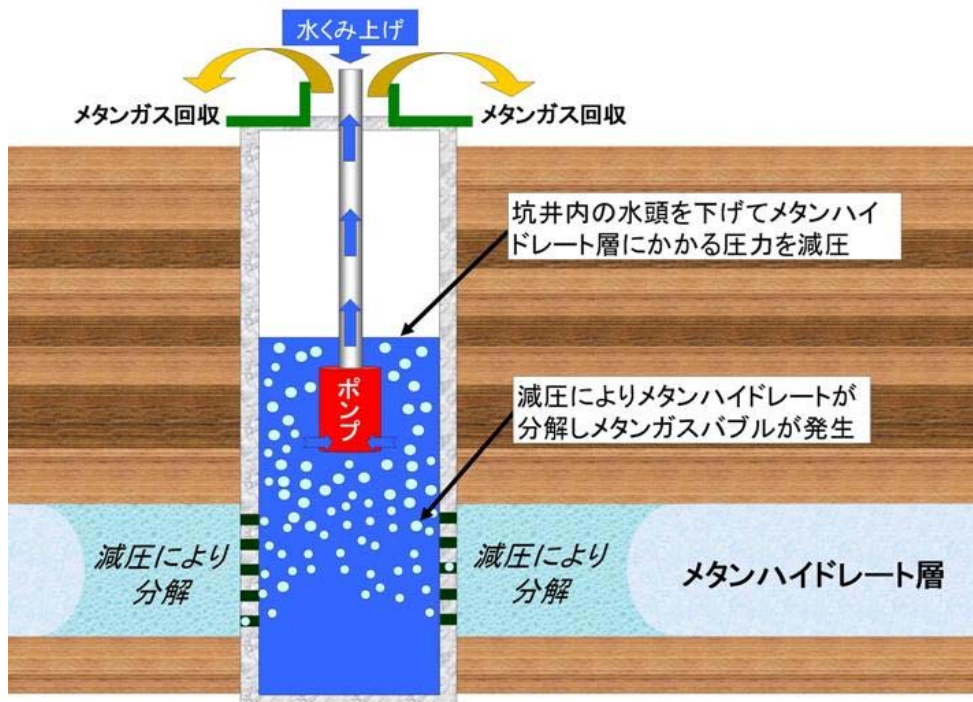


図 6-1 減圧法の概念図

Measured Data (Pumping Rate & Surface Gas Production Rate)

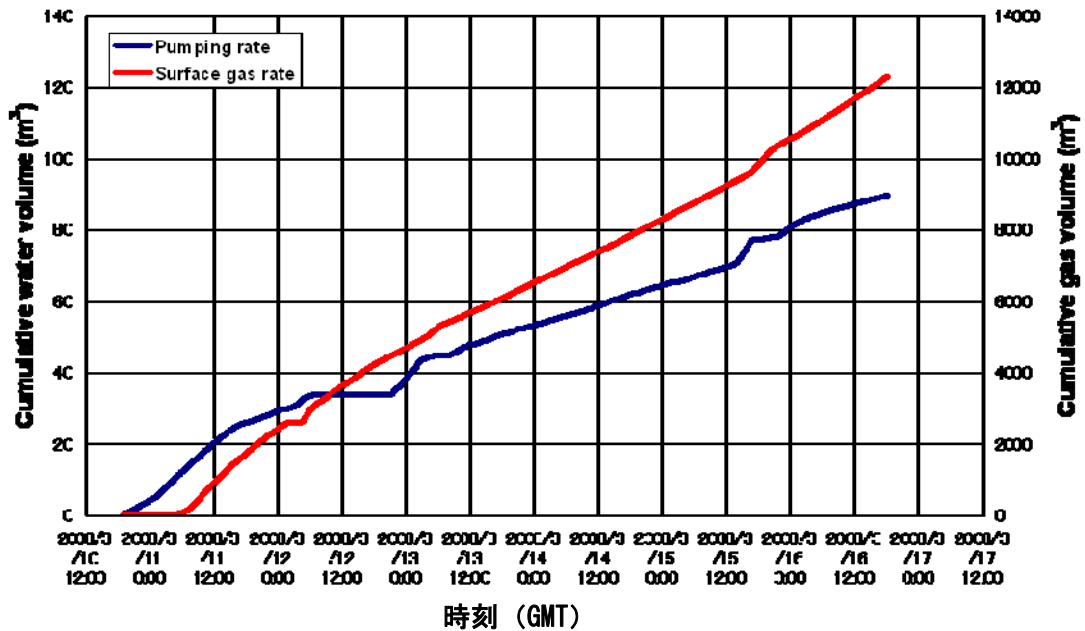


図 6-2 計量された累積水（青線）・ガス（赤線）産出量



図 6-3 継続的に燃焼するガス（左：3月10日夜、右：3月16日朝）

表 6-1 第2回陸上産出試験取得データ一覧

情報源	データ	情報
第1冬試験 (2007年)		
試験前オープンホール検層	比抵抗	ハイドレート飽和率
	自然ガンマ線	粘土鉱物比率、岩相
	中性子散乱断面積	孔隙率 (ϕ)
	密度検層ログ (γ 線減衰)	密度 (ρ_b) →孔隙率、ハイドレート飽和率
	弾性波速度 (V_p, V_s)	地層強度、ハイドレート飽和率
	中性子捕獲 γ 線分光 (ECS)	鉱物組成→浸透率
	核磁気共鳴ログ (NMR)	NMR緩和時間→浸透率、孔隙率、ハイドレート飽和率
	比抵抗坑壁イメージ	ハイドレート分布、き裂・坑壁破壊
セメントボンド検層	超音波検層によるケーシングと背後のインピーダンス比	セメントの良好さ
	音波検層による音波の減衰	セメントの良好さ
試験前後のケースドホール検層	中性子散乱断面積	孔隙率 (ϕ)
	中性子捕獲断面積	地層の元素組成、孔隙率 (ϕ)
	弾性波速度 (V_p, V_s)	地層の構造、ハイドレート飽和率
試験時坑内状態変数	ポンプ吸込口圧力・温度	ハイドレート分解挙動
	ポンプ吐出口圧力・温度	流量の算定
	ケーシング圧力	産出ガス量の算定
サンプル	仕上げ編成回収時砂サンプル	出砂状況
ケーシング外モニタリング	光ファイバー温度計	坑内温度
	流動ポテンシャル	地層内流体移動
第2冬試験 (2008年)		
試験時坑内状態変数	パーフォレーション直上圧力・温度 (メモリーゲージ)	ハイドレート分解挙動
	ポンプ吸込口圧力・温度	ポンプ操作用データ
	ポンプ吐出口圧力・温度	ポンプ操作用データ
産出流体状態変数	産出水圧力・温度	水産出量補正
	ガス圧力・温度	ガス産出量補正
流体産出レート	回転流量計およびタンク計量による水産出量	水産出量
	オリフィス流量計によるガス産出量	ガス産出量
サンプル	産出流体中の砂サンプル	出砂状況
	産出水のサンプル	塩分濃度、生産水の起源
	ガスサンプル	産出ガスの起源
ケーシング外モニタリング	光ファイバー温度計	坑内温度
	流動ポテンシャル	地層内流体移動

7. 生産シミュレータ

メタンハイドレート層専用の生産シミュレータ（MH21-HYDRES）は平成11年度に東京大学で開発された1次元直交座標系に対するものを基に、平成12年度に旧石油公団のプロジェクトにおいて2次元円筒座標系モデルに改良され、平成13年度以降、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムの研究において3次元直交座標系モデルが開発され、更に機能強化・改良が進められている我が国独自のシミュレータである。後述するように現在世界にはメタンハイドレート層対象の生産シミュレータは5つ公表されているが、他と比べて優位性のあるものである。

本シミュレータにより第2回陸上産出試験のガスと水の産出量予測が行われ、坑内並びに地表機器の設計、作業指針の作成等に活用され、産出試験の成功に寄与した。「5.3 目標3「有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選定、並びにその経済性の検討」」の基になるガス産出量予測にも活用された。

7.1 生産シミュレータの機能、特徴及び成果

MH21-HYDRESを構成する計算ルーチンとしては、貯留層の性状、特性、状態を定義する初期貯留層特性定義ルーチン、生産に伴い変化する貯留層特性を記述する貯留層特性変化計算ルーチン、メタンハイドレートの生成・分解に対する平衡条件及び生成分解速度を求める相挙動計算ルーチン、各相の状態量やエンタルピー等を求める相特性計算ルーチンに大別され、その他計算精度を損なわず高速化が可能な動的局所グリッド再分割法、複数坑井群の生産挙動を高速で計算可能なハイブリッドグリッド分割法、並列計算法等の機能、坑井内流動・仕上げ区間内流動計算機能等を有している。さらに、メタンハイドレート資源の生産挙動を表す特徴的かつ重要な因子である地層の圧密・変形特性、生成分解特性、浸透率特性について、計算モジュールを開発し、計算ルーチンとして組み込んでいる。生産性の評価にあたって特に重要な浸透率特性については、砂泥互層の水平、垂直方向の絶対浸透率の定式化を行ったほか、不動水飽和率、残留ガス飽和率に対する砂粒子径の依存性、孔隙内のメタンハイドレート産状による有効浸透率変化、メタンハイドレート飽和率と相対浸透率の関係、圧密による孔隙率の変化と浸透率の関係を定式化し、MH21-HYDRESに組み込んでいる。

MH21-HYDRESは、メタンハイドレート資源開発専用スタンダードアローンで開発していることが特長である。在来型油ガス田の開発に使用される生産シミュレータとの大きな差異は、本シミュレータは以下の機能を有していることである（図 7-1）。

- ガス、水、メタンハイドレート、氷、塩の5相の取り扱いが可能。
- メタン、窒素、水、メタノール、塩の5成分に対応
- メタンハイドレートの生成・分解速度式の導入
- メタンハイドレートの生成・分解に伴う発熱・吸熱挙動に対応
- 氷の生成・分解速度式の導入
- 塩の水相からの析出・水相への溶解およびこれに伴う発熱・吸熱に対応
- メタノールあるいは塩濃度の計算およびメタノールあるいは塩濃度に応じたメタンハイ

ドレート-メタン-水（氷）の3相平衡曲線の移行が可能

- 塩分濃度を考慮したメタンの水相への溶解度の計算が可能
- メタンハイドレート層に垂直、傾斜あるいは水平に掘削された生産井及び圧入井を複数配置した取り扱いが可能
- 温度プロファイルを考慮した坑井内流動計算が可能
- 動的局所グリッド細分割法及びハイブリッドグリッド分割法による計算精度と計算速度の向上が可能
- 定圧、定流量、定圧・定温面等の境界条件に対応
- 圧密による浸透率低下に対応
- メタンハイドレート飽和率を関数とした有効浸透率、相対浸透率の導入
- 減圧法、熱刺激法、熱掃攻法、インヒビタ圧入法、窒素圧入法の各種基本的生産手法及びこれらの併用法における生産性、生産挙動の解析に対応

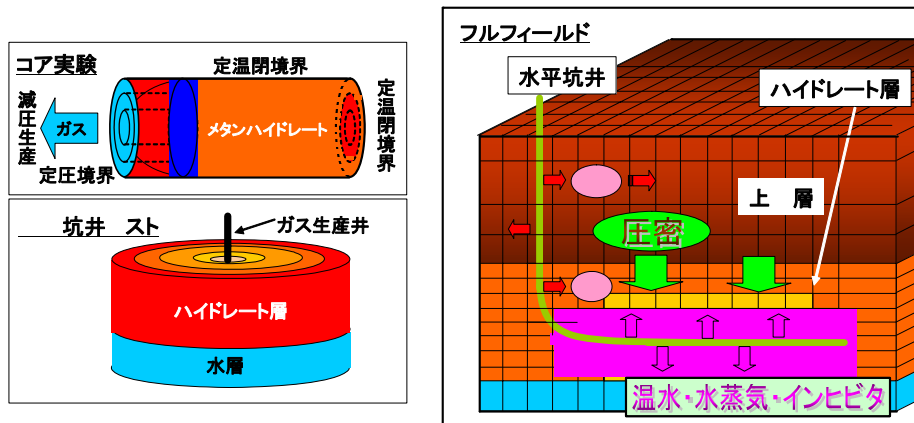


図 7-1 MH21-HYDRESの概要

前述の計算モジュールのうち、圧密・変形特性評価モジュールについては、別途独立した力学特性解析シミュレータを開発し、貯留層の特性や態様に応じた生産に伴う変形挙動を評価可能にした（「8.2 メタンハイドレート層の物性測定技術（2. モデリング分野）」参照）。

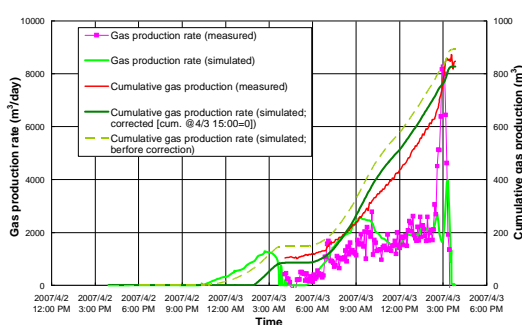
アメリカのエネルギー省研究機関（NETL）と内務省地質調査所（USGS）が主催するメタンハイドレートシミュレータ比較の国際プロジェクトに参加した。MH21-HYDRESの他に次の4つの計5つのシミュレータが参加した。

- TOUGH-Fx/Hydrate : Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) が地熱貯留層のシミュレータとして世界的に有名なTOUGH2をベースにして開発
- HydrateResSim : NETLがTOUGH-Fx/Hydrate v1.0を一般向けに公開したもの

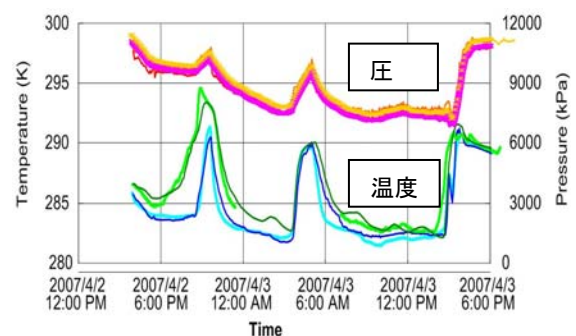
- STOMP-HYD : Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) とアラスカ大学Fairbanks校の石油工学科が開発した多相流動シミュレータ (STOMP) をガスハイドレートの取り扱いが可能になるよう修正したもの
- STARS : カナダのComputer Modelling Group (CMG) 社が開発した熱掃攻法挙動予測用のシミュレータ

本プロジェクトでは、メタンハイドレートを含まない1次元の熱・流動の連成問題から開始して、徐々に問題の難易度を向上させながら、実フィールドを模擬した貯留層の減圧法挙動予測問題まで、7つの問題を実施したが、MH21-HYDRESは全ての問題に対して他のシミュレータと同等以上の合理的な計算結果を示し、メタンハイドレートの生成・分解、氷の生成・融解等のメタンハイドレートシミュレータに必須の物理・化学現象が適切に計算可能であること、メタンハイドレート分解後の2相流動現象を適切に表現できることを示した。また、フィールドスケールの生産挙動予測問題でも計算は適切に収束しており、計算安定性の観点からも優れた結果を示し、現時点でその他のシミュレータに対して優位性のある結果を得ている。

本シミュレータ (MH21-HYDRES) によって、第2回陸上産出試験の中間検証、事後検証を行い、生産挙動を解析・評価した。第1冬試験については、生産期間が約12.5時間と短く、シミュレータの細部機能を十分に検証するには至っていないが、出砂による坑井周辺地層の浸透率増加及び管内流動における非定常な流体流動を想定して貯留層パラメータを調整することによって、産出試験結果をマッチングシミュレーションによってほぼ再現した (図 7-2)。第2冬試験については、約6日間の試験期間における坑底圧力に対するガス生産レートの推移、一定坑底圧力下におけるガス・水産出レートが再現されたほか、坑内温度から推定したメタンハイドレート分解域の地層温度について事前予測との良好な一致を見た。さらに、産出試験のマッチングシミュレーションによってフィールドにおけるガス・水相対浸透率を検証し、生産シミュレータの精度向上を果たした。



(a) ガス産出量のマッチング



(b) 坑内温度・圧力のマッチング

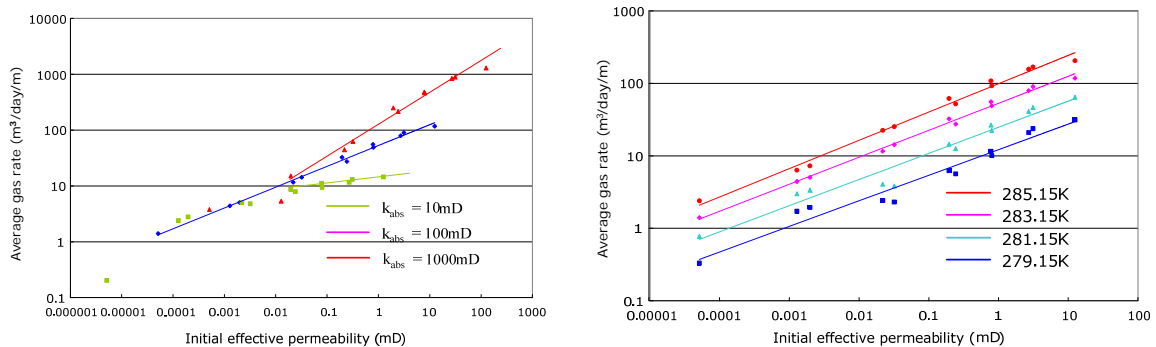
図 7-2 第2回陸上産出試験第1冬試験のマッチング結果

7.2 MH21-HYDRESによる生産手法の評価

東部南海トラフ海域のメタンハイドレート資源フィールド選択 (「5.3 目標 3 「有望賦存海域か

らのメタンハイドレート資源フィールドの選定、並びにその経済性の検討」(参照)に際し作成した坑井周辺貯留層モデルを使用して、生産手法による生産挙動の評価、エネルギー効率の評価等を行った。

- 熱刺激法、熱掃攻法等の加熱法単独では生産性が極めて低く、現実的ではないと判断されたほか、コア試験結果から地層のガスシール性、力学特性の観点からも解決すべき課題が多いことが分かった。
- 一般に、浸透率及び貯留層温度が比較的高い場合は減圧法が適しており(図7-3(a),(b))、東部南海トラフ域の貯留層特性はほぼそれを満足する。
- 厚い濃集帯の場合はメタンハイドレート分解による吸熱分を補償する周辺からの熱移動が追いつかず回収率が低下する。
- メタンハイドレート層が厚い場合や温度が低い貯留層の回収率を増加させることを目的とした場合は、減圧法に加え加熱法を併用する方法が適当である。
- これらの加熱法を併用するとエネルギー産出比の低下は避けられず、効率的な併用法の開発が今後必要と考えられる。

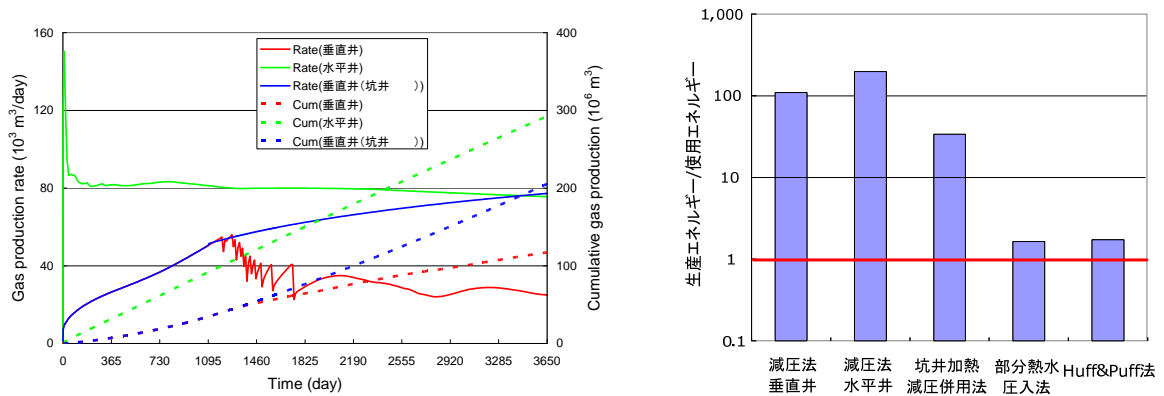


(a) 初期有効浸透率と生産性の関係

(b) 貯留層温度と生産性の関係

図 7-3 減圧法における初期有効浸透率、貯留層温度と生産性の関係

解析結果をもとにエネルギー効率及び簡易的な経済性を試算したところ、減圧法(水平井)、減圧法(垂直井)、減圧・坑井加熱併用法において高いエネルギー産出比が期待できること、Payout timeが早期であることから、その経済性が期待された(図7-4)。



(a) 減圧法によるガス生産挙動予測結果例

(b) エネルギー産出比計算例

図 7-4 南海トラフ簡易モデルによる単一坑井ガス生産挙動予測結果例

「減圧法」は、ポンプによって坑井内の水を汲み出すこと等により坑底圧を下げ、パーフォレーションを通じてメタンハイドレート層の孔隙内の圧力を減じる操作を行う。このため、生産のために直接使用するエネルギーはポンプ動力であり、原理的に高いエネルギー効率が期待できる。メタンハイドレート層孔隙中の圧力を平衡曲線以下に減圧してメタンハイドレートをガスと水に分解し、地層から圧力の低い生産井内へとガス、水が流入して生産される。メタンハイドレート層中の分解は熱を得て進むため、図 7-5のように熱が供給される部分から分解が進行し、熱供給が十分ではないメタンハイドレート層中心に近い部分は分解が進行しにくくなる。分解が進行した部分は孔隙内のメタンハイドレート飽和率が低下するため有効浸透率が増加し、減圧が一層伝わりやすくなり、分解が更に進行する。このように、メタンハイドレート層内の分解は不均質に進み、上下のメタンハイドレートが存在しない層に接した部分が優先的に生産に寄与することとなる。

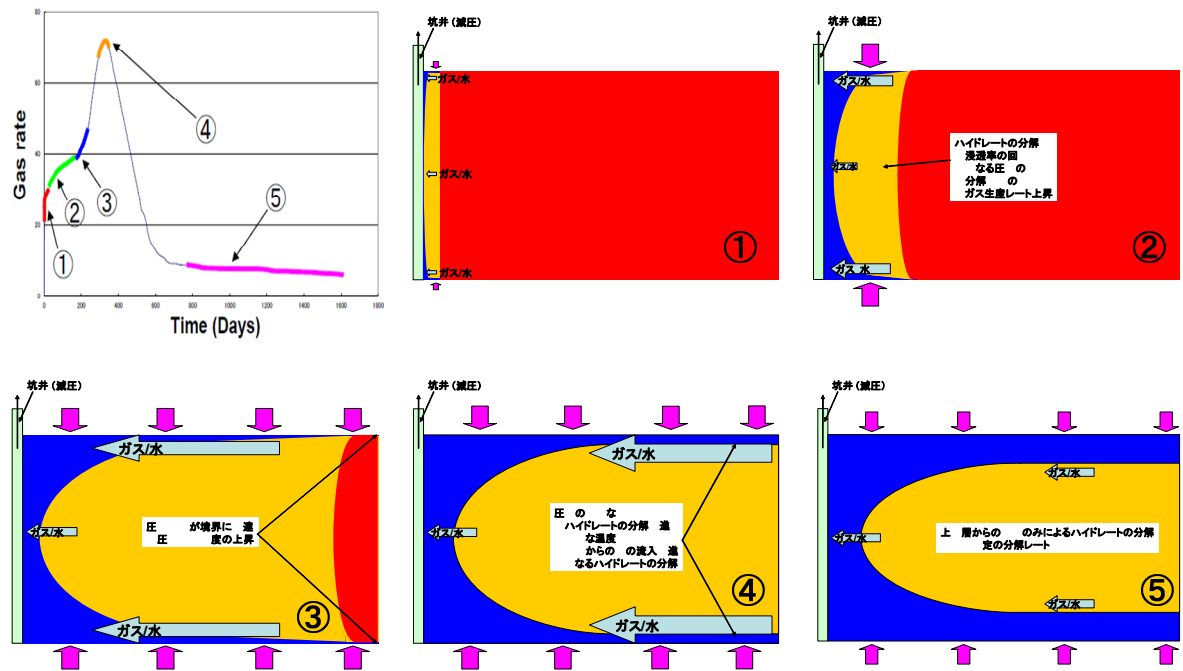


図 7-5 減圧法におけるガス産出挙動とそれと対応した周辺地層からの熱供給とメタンハイドレート分解領域の変化

東部南海トラフ域では、砂泥互層の泥層が有する熱のため人為的な熱供給なしでも一定の生産量と回収率が見込まれるが、回収率を更に上げるため、また温度の低い貯留層に対し生産性を上げるには加熱等も必要と考えられる。減圧法は、図 7-6に示すように人為的な熱供給を含めどのような方法をとるにしても中心となる方法である。

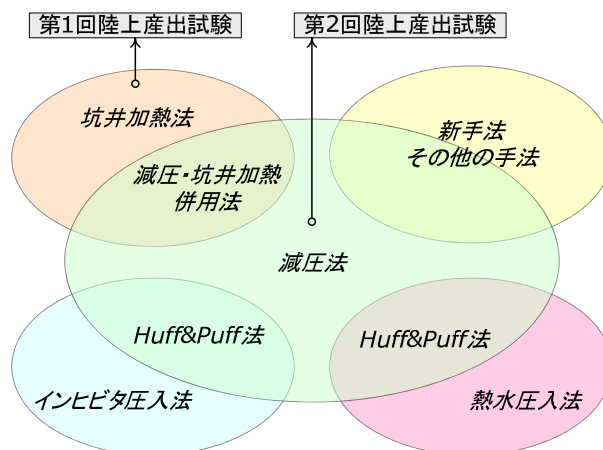


図 7-6 各種生産手法の関係

減圧法は、基本的に貯留層の有効浸透率、絶対浸透率が低下しない限り、長期的に生産性を維

持できるものであるが、生産の過程でシルト成分が坑井周辺に蓄積するスキニングの影響及び減圧に伴う地層の圧密の影響等によって浸透率が低下することが考えられる。また、貯留層の上下層に浸透率の高い水層がある場合はウォーター・コーンニングによって、貯留層に減圧が効率的に伝播しなくなると共に、水生産量が増加することも考えられる。これらの生産障害因子の定量的把握が必要である。

8. 上記以外の主な成果

開発計画「V技術開発内容」には5分野に分けて技術開発内容が記載されている。この技術開発内容の各項目の達成状況は、経済産業省が平成20年度に実施するフェーズ1最終評価に自己評価表として提出されることとなる。それらの内の主な成果を総合的に記述したものが、「5. 開発計画の目標の達成状況」、「6. 陸上産出試験の成果」、及び「7. 生産シミュレータ」の各章である。本研究開発にはこの3つの章に記載された以外にも多くの成果が上がっており、それらの内から選択されたものを開発計画の記載順序に従ってまとめる。

8.1 メタンハイドレート集積メカニズム、メタンガス起源の解明（1. 探査分野）

本研究の目的は、南海トラフの海底下に分布するメタンハイドレートを対象にして、現在の賦存状況に至った過程及び規制要因は何かを解明することにより、日本周辺のメタンハイドレート資源量評価（濃集帯の推定）の精度向上に資することである。

(a) メタンの生成およびその起源

基礎試錐「東海沖～熊野灘」にて取得したコア試料の地化学分析結果から、東部南海トラフ海域で回収されたメタンハイドレート中のガスは、いずれも微生物起源メタンが主体であることが確認された。東部南海トラフのメタンハイドレート賦存深度の全有機炭素量（TOC）は0.5%前後であり、マスバランスの関係から、濃集帯の形成には十分ではない。メタンハイドレートを形成している微生物起源ガスは堆積後比較的浅い深度で生成したと推定されるが、メタンハイドレートの産状や炭素のマスバランスに基づけば、現在の胚胎層内のみで生成したのではなく、下位の地層からのメタンの移動・濃集が起こっていることはほぼ明らかである。そのメカニズムとしては、付加体堆積物が堆積した時に生成し地層水に溶存した微生物起源メタンが堆積物とともに付加作用によって埋没した後、溶存メタン量が地層水への飽和溶存濃度を越えた時点でガスとなり断層、高浸透性砂層、不整合などを通して浸透率の高い砂層に移動・濃集しメタンハイドレート層を形成したと推定される。

(b) メタンハイドレートの形成

生成実験の解析から、メタンハイドレート飽和率は堆積物の比表面積や孔隙径分布と関係することがわかった。小さい孔隙径を多く持つ堆積物（粘土-細粒シルト）の飽和率は小さく、淘汰度がよく大きい孔隙径を多く持つ堆積物（細粒砂以上）は飽和率が高いことから、堆積物中に存在する自由水の量が、メタンハイドレート飽和率に影響すると推定される。

(c) メタンハイドレート貯留層特性と賦存様式

基礎試錐「東海沖～熊野灘」で取得されたコア試料の分析よりメタンハイドレート濃集砂層は、細～極細粒で、孔隙率及び浸透率とも大きい事が判明した。メタンハイドレートの存在により、砂層は埋没続成作用の影響を余り受けなかったものと考えられる。また、地震探査及び検層データを用いてシーケンス層序の解析を行い、堆積シーケンス毎の海底扇状地の形態を復元した。東部南海トラフにおけるメタンハイドレート層は、海底扇状地を形成するタービダイト砂泥互層の砂層部分に発達することが解った。

(d) 浅層地質地化学環境と海底面現象

海底面近傍のメタンフラックスを示すSMI深度の分布とBSRの分布を比較したところ、両者に顕著な関係は認められなかった。これはメタンを含む流体が、単純な上方拡散にコントロールされているのではなく、局所的な断層や、水平方向に広がる高浸透率砂層など浸透性の高い移動経路を選択して海底面に移動しているためと推測された。

(e) 数値シミュレーションからの検討

新たに開発した1次元のメタンハイドレート生成シミュレータにより東部南海トラフ海域のデータを基にケーススタディを試みた。その結果、特に濃集帯形成の規制要因として下方からのメタンの移流が重要であること、さらにメタンハイドレート賦存層内のメタンハイドレート濃度分布変化の規制要因としては堆積物の性状やメタンの供給量、構造運動が重要であることが示唆された。

一方、JOGMECが所有する石油天然ガス堆積盆評価システム「SIGMA」をベースとして、2次元/3次元メタンハイドレート集積シミュレータ（SIGMA-MH）を開発し、南海トラフ海域（東海沖および第二渥美海丘の2次元断面）のケーススタディを行った。感度分析の結果、過去の水深変動がメタンハイドレートの安定領域を大きく変化させ、メタンハイドレートの集積分布に与える影響が大きいことが再認識された。

8.2 メタンハイドレート層の物性測定技術（2. モデリング分野）

1) 原位置条件におけるコア試験技術基盤の確立

メタンハイドレート層は大水深の海底下にある砂泥互層の砂層の孔隙内に胚胎しており、温度10数度、圧力10 MPa以上の環境にある（図 2-1参照）。メタンハイドレート層は海面から地層内までの上載荷重を受け、孔隙内の流体は海面からその深度までの静水圧に近い地層圧力下にある。これらの環境条件下を再現した原位置条件におけるコア試験技術基盤を確立した。コア（円柱状の地質試料）の各種基礎物性、力学特性、分解特性を解析・評価するコアホルダー型の高圧試験装置を開発し、試験の目的に応じて試料内外に温度計及び圧力計等を設置可能なほか、高圧ガス保安法に準拠した防爆仕様としたものである。基礎試錐採取コア及び模擬メタンハイドレートコアの評価試験は原位置条件で可能な限り行われた。これらコア試験結果の一部は5. 1節にまとめられている。

2) メタンハイドレート層圧密・変形解析シミュレータの開発

メタンハイドレートは固体であるが、分解するとメタンガスと水になる。このため、メタンハイドレート開発に伴うメタンハイドレート層の圧密・変形挙動を解析するツールを開発した。これまでは、メタンハイドレート層の力学的特性が不明確であったこともあり、従来の有限要素法による解析では、メタンハイドレート層圧密・変形を十分な精度で予測することが困難であった。

生産シミュレータ開発の一環として圧密挙動評価モジュールが開発され、そのデータは生産シミュレータMH21-HYDRESへ組み込まれている。この圧密挙動評価モジュールを自立型として、

「メタンハイドレート層圧密・変形解析シミュレータ」COTHMA (Coupled thermo-hydro-mechanical analysis with dissociation and formation of methane hydrate in deformation of multiphase porous media)を開発した。

COTHMAを使用して、代表的な地質断面、層序、層厚、傾斜等に基づき、生産に伴う坑井周辺の地層圧密および応力状態の経時変化等の検討を行った。この結果は坑井の掘削・仕上げ時に必要な情報を提供している。

3) 物性・分解特性イメージング解析技術の確立

コアの孔隙率及びメタンハイドレート飽和率を決定するために、高空間分解能 ($10\mu\text{m}$ 以下)のマイクロフォーカスX線CT装置を用いた画像解析によりこれらの物性値を決定する手法を開発した。液体窒素の気化ガスを吹付ける冷却手法を併用することにより、大気圧、 -100°C 以下において砂質堆積層を構成する砂粒子を識別し、孔隙率を精度よく解析する手法を開発した。コアCT像の輝度値分布を、「砂粒子」、「メタンハイドレート」、「水」及び「フリーガス」の4成分へバンド分解し、孔隙に対するメタンハイドレートの面積比からメタンハイドレート堆積物の飽和率を算出した(図 8-1参照)。このCT像から算出したメタンハイドレート飽和率は分解実験から直接算出した値とよく一致した。

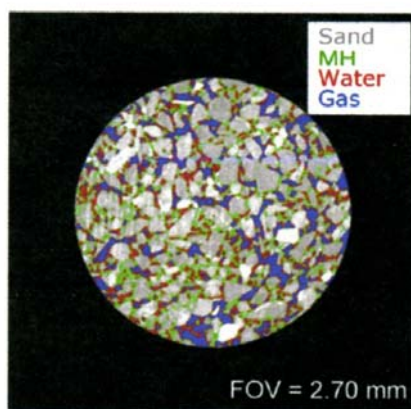


図 8-1 基礎試錐「東海沖～熊野灘」採取砂質コアの砂(Sand)、メタンハイドレート(MH)、水(Water)、及びメタンガス(Gas)の4成分分離像

孔隙内のメタンハイドレートの存在形態を明らかにするために、電子顕微鏡による直接観察手法を開発した。本手法は、飽和蒸気圧が高く高真空度の観察が困難なメタンハイドレートの特徴を踏まえて、安定した観察が期待できるフィールド・エミッション型電子顕微鏡を用いるとともに、メタンハイドレートの分解を抑制する差動排気による試料室低真空装置と低温ステージを併用した。エネルギー分散型X線分析装置(EDS)を使用して、メタンハイドレートと凍結した間隙水を識別した。解析の結果、メタンハイドレート粒子の多くは砂粒子と接していることを明らか

にした。

減圧または加熱によるコア内のメタンハイドレートの分解過程のモデル化のために、メタンハイドレート分解領域の拡大過程、分解により生じたガスと水の流動過程を原位置条件下において可視化観測する手法を開発した。高速スキニングを特徴とするX線CT装置を用いたコア試験手法であり、三軸セル型コアホルダーを挟むX線源とフラット・パネル型検出器が360度回転するコーン・ビーム方式によるイメージングであり、X線源の最大管電圧130kV、最大管電流20mA、可視化断面積100x100mm、スライス・ピッチ0.25mm、1スキャンに要する時間40秒、2分間隔にて繰り返し観測が可能である。コアホルダーの固定式端部には、ホット・ブライン循環による熱交換槽を組み込みことにより、コア温度の応答性よく端面加熱及び熱水圧入実験が可能である。

図 8-2は、左から減圧法、坑井加熱法、温水圧入法における分解過程の高速X線CT画像を示したが、減圧法においては未分解領域が砲弾状になり、これは分解により試料温度が低下するため周囲からの入熱を伴いながら分解が進行すること、坑井加熱法の場合は加熱面から分解フロントが一方向に移動しながら分解が進行すること、温水圧入法では圧入温水前面にガス溜まりが形成され、圧入水のブレイク・スルーによりガス産出速度が増大すること、また分解条件によっては、メタンハイドレートの再生成による浸透率の低下の結果、圧入圧を更に増加させる必要があることなどを明らかにした。

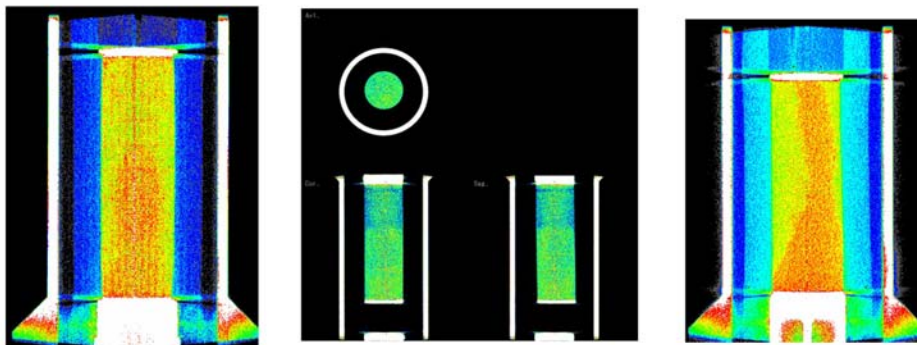


図 8-2 各種分解法でのメタンハイドレート分解過程の高速X線CT可視化像

(試料: 模擬MHコア、左から減圧法、坑井加熱法、温水圧入法、分解開始後30-40分、減圧面及び坑井加熱面は上端、温水圧入は下端からであり、生産流体の出口はいずれも上端側)

8.3 坑井掘削・仕上げ技術 (4. 開発分野)

東部南海トラフのメタンハイドレート層の多くは水深800~2,000mの海底面下200~500mの深度に存在する。海外における在来型石油・天然ガス開発対象はこの水深を超えているが、海底面からの深度がこのような浅いものは希である。メタンハイドレート層を開発対象とするときには、地質年代の新しい未固結の堆積物の中で坑井を掘削・仕上げし、ケーシングと地層の隙間を通るガスや水の流れを阻止するシール性を確保する必要があり、在来型石油・天然ガス開発とは異なる

る課題が存在する。基礎試錐「東海沖～熊野灘」では次の5点に注目した実証実験を行った。

- 泥水技術（泥水タイプと坑壁安定性）に関する実証実験
- セメンチング技術に関する実証実験
- 地層圧・地層破壊圧計測技術に関する実証実験
- 坑内モニタリング技術（坑径・坑内圧力・温度測定）に関する実証実験
- 水平坑井掘削技術に関する実証実験

これらの実証実験は第二渥美海丘の水深約1,000mの海域で、2坑の坑井を掘削して実施した（図8-3）。実験坑井1は垂直井で、海底下404mまで掘削した。この坑井では主にセメンチング技術と地層圧・地層破壊圧計測技術の検証を行い、実験坑井2は海底下340mのメタンハイドレート層内で100mの水平坑井掘削の実証実験を行った。また、泥水技術と坑内モニタリング技術は両坑井で実証した。



図 8-3 実証試験坑井 1 及び 2 の概念図（BSL=Below Sea Level: 海面下）

これらの実証実験により、海洋でのメタンハイドレート開発のための坑井掘削・仕上げ技術適用性の確認を行うことができた。

泥水に関してはKClポリマー泥水とセピオライト泥水という二つのタイプを使用して顕著な差はなく坑壁の安定性を保つことができたが、メタンハイドレート層以外では坑径拡大も見られた。坑内モニタリング技術に関しては掘削中に坑径・坑内圧力・温度を取得でき、作業に有効であった。また、浅層の未固結堆積層でも水平坑井が掘削できることが実証された。地層圧・地層破壊圧データの取得も行ったが、メタンハイドレートの分解の影響が考えられるので、データの解釈には注意が必要であった。セメンチング技術に関しては課題が残り、今後セメントの材料と作業の双方で技術開発が必要である。

8.4 海底環境計測手法の開発とHSE調査（5. 環境分野）

1) 海底環境計測手法の開発

メタンハイドレート開発に伴う海底環境影響評価を行うためには、開発時のガス漏洩や地層変形等の環境への影響を長期的且つ広域にモニタする必要がある。フェーズ1においては、地盤変位検知技術、ガス漏洩検知技術等の計測要素技術の開発、およびそれらを統合化するための観測ネットワーク構築技術の開発、深海曳航測器やROV等による環境指標のマッピング技術等の開発を行うこととしている。

- 海洋産出試験時の環境影響をモニタリングするために、各種センサー類を統合したモニタリングシステム（実証システム）の基本設計を完了させた。
- 既存の溶存メタンセンサー（METSセンサー）を改良し、応答速度を1/2以下に短縮し、安定性の向上を図った。実証機を開発し、室内試験において、水深2,000mと同じ水圧で使用可能であること、既存METSセンサーと比較して濃度測定限界が同程度であること、応答性および安定性が向上していることを確認するとともに、その仕様を明確にした。
- 新規溶存メタンセンサー（集水型モニタリングシステム）の開発では、既存METSセンサーでは検知出来ない微量の溶存メタン検出を可能にするための要素開発を行い、分離膜と赤外系メタン濃度測定機構等から構成される基本システム（実験システム）を開発した。実験システムの設計・製作を進め性能検証を行った。その結果、濃度測定限界は3.4nmol/L以下（4℃）となり、既存METSセンサーの1/2以下の低濃度を検知可能となった。
- 海底でのメタン漏洩を早期に検知するために、バイオマーカーを利用した原位置遺伝子検出装置の実験用システムを開発した。バイオマーカーについては、メタン湧出域に多く存在するメタン酸化細菌固有の遺伝子を選択し、実験用システムで適切に検出する手法を確立した。
- 海水中のメタン気泡を検知するために、超音波を利用した既存センサーの仕様および使用実績を調査し、超音波利用広域モニタリングの手法および使用センサーを決定し、実証システムの基本設計を実施した。
- 大気中のメタンガスを検知するための吸光特性を利用したモニタリングシステムの基本設計を実施した。
- 海底の地盤変形を検知するために、センサーとして加速度計を利用した地層変形モニタリングシステムを開発し、室内および陸域の地すべり地域等で実証試験を行い、得られた結果を反映した実証機を完成させた。総合モニタリングシステムに組み込むための電力供給、データ伝送方法等の検討を行い、耐圧容器内外で電力供給、データ伝送が実行可能であることを確認した。

2) HSE調査

HSEマネジメントシステムは健康、安全及び環境保全を目的とした管理システムである。メタ

ンハイドレートの商業生産は1,000mを越える大水深における炭化水素の生産という点において、我が国において前例のない事業であり、その安全確保に関する知見は、実施側、監督側の双方において不足しており、これをできるだけ補う必要がある。

- 安全面に関する検討として、メキシコ湾等における大水深石油開発や我が国近海で行われたメタンハイドレートを対象とした基礎試錐の経験を参考にし、文献調査や聞き取り調査を通じて、安全管理について指摘できる事項を整理した。
- メタンハイドレート開発に類似点を有する石油開発の事例が多い各国において採用されている安全管理システムの要件とされている点を調査し、整理した。
- メタンハイドレートによる環境影響に関する諸学説を整理し、不特定多数の個人、機関からの問合せに対応するために、その成果をデータベース（HYDREAMS）に格納し、利用できるようにした。
- ノルウェー、英国、豪州、カナダにおける環境影響評価制度を中心とする環境影響管理の方法について出版物および聞き取りによって調査・整理し、これを基に、海洋産出試験において想定される環境影響評価に関して、世界の趨勢から見た考察を行った。
- 環境影響に対するグローバルな環境リスク評価手法の調査として、国内外で開発されている石油・天然ガス開発等の類似オペレーションでの環境影響評価事例、米国エネルギー省のメタンハイドレート開発事例、大規模開発におけるリスク評等の事例、及びメタンハイドレート関連の研究論文を調査し、メタンハイドレート開発において、評価すべきリスクの選定とリスク評価手法の手順を整理した。これらの成果は5.4節3)に反映されている。

9. フェーズ1成果から見た今後の展望

開発計画「IV目標達成に向けた開発スケジュール」の節にはフェーズ1の達成目標として以下の項目が上げられている。

- 基礎的研究（探査技術、基礎物性、分解生成技術等）の推進
- メタンハイドレート探査技術の最適化を達成
- 賦存海域、賦存量を把握
- フェーズ2での海洋産出試験対象となりうるメタンハイドレート資源フィールドを選択
- 陸上産出試験を通じ、連続性をもってメタンハイドレートを分解しメタンガスを地表に取り出す技術を検証

これまでの各章でこれら課題の達成状況を概説したが、陸上産出試験の産出期間が6日間の短期間で終了したことを除けば全て達成している。第6章で記載したように、平成20年3月の第2回陸上産出試験第2冬の試験は予算とインフラストラクチャの無い北極圏地域に特有の操業期間の制限を考慮して設定された当初期限まで産出を継続して終了となった。このことを考慮するとフェーズ1の達成目標はほぼ達成した。フェーズ2へ移行する準備が整っていると判断される。

9.1 フェーズ2の技術開発課題

フェーズ1の成果の検討から導かれるフェーズ2の技術開発課題を表9-1にまとめる。

表 9-1 フェーズ2の技術開発課題

1. 資源量評価対象の拡大	1.1 対象海域の拡大 (2D・3D地震探査、試錐、海底調査の実施) 1.2 メタンハイドレート資源フィールド評価技術 (砂質層、非砂層充填型層) 1.3 メタンハイドレートシステムの解明 (メタンの集積メカニズムの研究)
2. メタンハイドレート生産のための基盤技術確立	2.1 長期間の産出試験 (陸上が望ましい) 2.2 海洋産出試験 (9.2節参照) 2.3 貯留層評価技術 (詳細地質モデル、貯留層キャラクタリゼーション、物性モニタリング等) 2.4 海洋生産技術の開発 (海底・坑内機器、坑井仕上げ技術等) 2.5 生産計画最適化技術 (シミュレータの高精度化、経済性評価技術等) 2.6 経済性向上 (生産システム高度化、生産性増進法等) 2.7 長期生産に伴う総合評価 (メタンハイドレート層内の变化、環境影響等)
3. 環境影響評価手法の確立	3.1 海洋産出試験を対象とした環境影響評価の実施 3.2 環境影響予測モデルの高度化 (生物影響、地層変形) 3.3 モニタリング技術開発 (センサー、総合モニタリングシステム) 3.4 海洋産出試験に対応した安全管理・環境管理システムの適用検討 3.5 環境影響に対するグローバルな環境リスクの評価及び検討

フェーズ2での長期間産出試験は陸上で行い、海洋産出試験を確実に実施しうるように問題点を解決し、試験技術を向上させておくことが望まれる。この陸上産出試験はこれまでの産出試験と同様に国際共同研究で行われることが想定される。陸上あるいは海洋のいずれにおいても、長期間産出試験計画を立案する際に留意すべき点としては次のことが上げられる。

- (1) 対象メタンハイドレート層の性質に適した期間を選択すること。減圧法では時間の経過につれてガス産出レートが増大してゆくことが生産シミュレータで予測されている。産出試験の観測から、この特徴ある産出挙動を定量的に把握して、シミュレータの精度向上に資する必要がある。ガスと水の産出量を精度良く計量できること、坑底圧力を計画値に維持しうることなどが大切な検討項目である。
- (2) 長期間の産出試験に耐えるように坑井の安全性を検討して設計すること。平成20年3月の陸上産出試験では前年の経験からメタンハイドレート層からの出砂を防止するサンドスクリーンを設置して有効であった。長期間の産出によるメタンハイドレート層の変形、坑井周辺の層内の応力変化、ケーシング背後のセメントのシール性の保持能力の変化など未知の課題の解決への糸口となる成果が得られることが期待される。

9.2 海洋産出試験準備

フェーズ2の主課題である海洋産出試験の実施に向けての準備としてのフェーズ1の成果とフェーズ2で検討すべき今後の課題を表9-2にまとめる。

我が国周辺海域における在来型石油・天然ガス開発における産出試験のこれまでの記録としては平成11年に基礎試錐「三陸沖」の水深857 mで深度3,000 m（海面からの深度）以深のガス層で行われたものがある。フェーズ2で計画されているメタンハイドレート層の産出試験は、水深1,000 m前後、深度1,200 m（海面からの深度）前後のような厳しい環境下になることが予想され、これまで我が国において経験したことのないものである。メタンハイドレート層を対象とした海洋産出試験の実施には海洋における在来型石油・天然ガス層開発技術が十分に活用されることが前提である。しかし、メタンハイドレート層の産出試験には在来型石油・天然ガス層に対するものと異なる面があり、それに適した設計が必要であることがこれまでの陸上産出試験から判明している。フェーズ2で想定されている海洋メタンハイドレート層の産出試験は世界で最初の試みになるものと考えられる。在来型石油・天然ガス層に使われている技術に加えて、メタンハイドレート層に適した独自の技術課題を着実に解決し、安全に海洋産出試験を行うためには、課題にもよるが、概ね3年の研究・準備期間が必要であると予測される。

諸課題を解決する手段としては室内における研究の他に現場に即した実機サイズの研究も必要であり、その研究の場となりうるものとして以下の施設、機会の利用が考えられる。

- (1) 陸上基礎試錐等の坑井掘削の際に実機サイズの試験
- (2) 基礎試錐の際に実証試験として実機サイズの試験
- (3) 陸上産出試験における実地試験

海洋メタンハイドレート層産出試験の固有な技術課題についてフェーズ1の成果とフェーズ2

での課題についてのまとめを表 9-2に示す。

表 9-2 海洋産出試験準備の現状と課題

	フェーズ1の成果	フェーズ2の課題
1 陸上産出試験成果の取り組み		
1.1 出砂対策	第2回陸上産出試験で有効	海洋MH層への適用性
1.2 坑内モニタリングシステム	第2回陸上産出試験で有効	海洋坑井への適用性
1.3 坑内とプロダクションライザ内のハイドレート生成防止対策	第2回陸上産出試験で坑井内の対策は確認	海洋坑井への適用性
1.4 坑井のキル方法	第2回陸上産出試験で実行	海洋坑井における具体的な手順の検討
1.5 廃坑方法	第2回陸上産出試験で実行	海洋坑井における具体的な手順の検討
2 シミュレーションによる坑底圧力と水とガスの産出量と産出挙動の予測	第2回陸上産出試験で6日間のシミュレーション予測に成功	長期間シミュレーション、複数の砂泥互層よりなる層への適用
3 坑井と坑壁との間のシール能力の試験・評価と坑井仕上げ		
3.1 ケーシングプログラム	基礎試験実証試験結果の解析	海洋MH層特有のプログラムの検討
3.2 セメンチング材料と注入技術	基礎試験実証試験結果の解析	海洋MH層特有の課題の検討
3.3 産出に伴うMH層の圧密の算定	室内コア実験とシミュレーションで検討	海洋MH層を対象とした実験とシミュレーションによる検討
3.4 産出に伴うMH層下から海底の間の地層と坑井との相対変位の算定	基礎試験採掘コアにてMH層上部から海底までの変形を検討	セメンチングと組み合わせた総合的検討
4 坑井内に降下するESP採用に関する問題点の解決	ESPは第2回陸上産出試験で適用性確認	
4.1 海洋坑井における産出試験での採用例の調査	調査中	海洋坑井への具体的なESPの検討
4.2 海洋坑井における産出試験での使用時の問題点	フロータよりのESP使用の問題点を調査中	海洋坑井における具体的な問題点の検討と対策
4.3 産出試験時の緊急時の対策	第2回陸上産出試験実績の検討	海洋坑井における具体的な対策・機器の検討と対策
4.4 産出試験再開時の問題点	第2回陸上産出試験実績の検討	海洋坑井における具体的な問題点の検討
4.5 在来型油ガス層対象の大水深における産出試験方法の問題点	調査中	海洋坑井における具体的な問題点の検討と対策
5 海底の環境関係		
5.1 産出試験時の海底設置坑口装置周囲のガス漏洩の監視体制	基礎試験で部分的に実施	海洋坑井における具体的な機器と体制の検討
5.2 より広域の環境調査体制	研究中	具体的な体制の検討

注 MH：メタンハイドレート、ESP：電動水中ポンプ

10. 主な研究・試験設備

10.1 改良型PTCS

コア採取に用いられたPTCS (Pressure Temperature Core Sampler) は特別研究「メタンハイドレート開発技術」(平成7年度～平成12年度)において開発された採取機器であり、我が国独自の技術である。地層の圧力と温度を保持してコア採取を行う。基礎試錐「南海トラフ」において、孔隙充填型メタンハイドレート層の発見に貢献した。その後改良を加えて基礎試錐「東海沖～熊野灘」においてはコア回収率80%、圧力保持成功率90%を達成した

表 10-1 PTCSの回収率

	コアリング回数	回収率	圧力保持	温度保持
(基)東海沖～熊野灘	82回 (6坑井)	79%(161.3m/203.5m)	90%	93%
(基)南海トラフ	12回	47% (16.9m/36.0m)	50%	92%

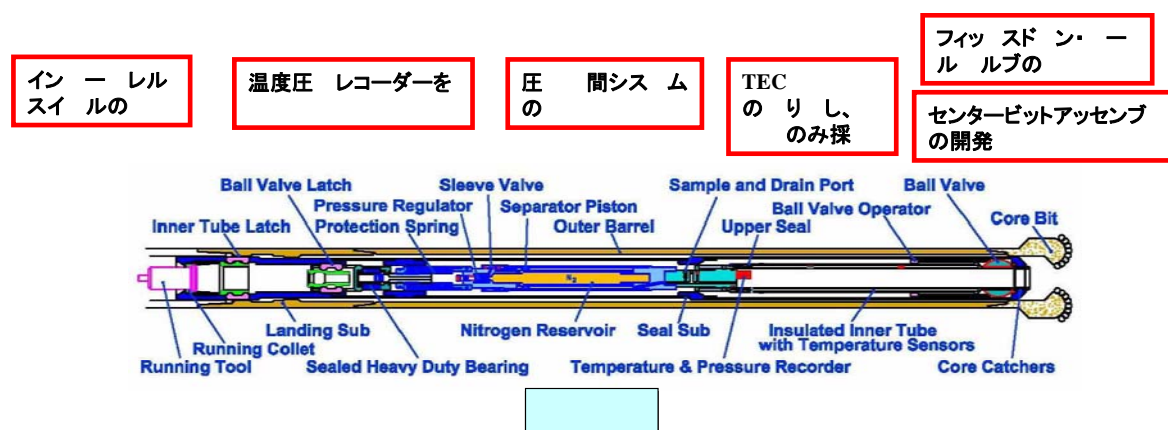


図 10-1 改良型PTCS

10.2 コア試験設備

生産手法開発グループにおいて、各種コア試験を行うために開発した主な試験装置をに示す。

表 10-2 コア試験設備一覧

年度	設備名	本装置の用途と特徴
MH 堆積層基礎物性解析		
H14	MH 堆積物再現コア試料作製装置	含水率を制御した砂試料に高圧メタンガスを浸透させ、孔隙内部に目的とした飽和率のメタンハイドレートを生成させる模擬 MH 堆積物試料を作製する装置。試料寸法 $\phi 50/65\text{mm} \times 150\text{mm}$ 以上。
H14	MH コア分解熱・比熱測定装置	メタンハイドレート砂質コア及び泥質コアの比熱・分解熱を高圧下で測定する装置。
H16	MH コア熱伝導率測定装置	MH 模擬試料及び天然コア試料の熱伝導率を測定する装置。
H14	MH 堆積層圧縮強度測定装置	原位置条件下で MH 堆積物の三軸圧縮強度を測定する装置。
H14	MH 堆積物骨格構造 3 次元解析装置 (マイクロフォーカス X 線 CT 装置)	MH コア試料の孔隙および砂、ハイドレート、水を 3 次元的に識別・可視化し、その分布状態を解析する装置。孔隙率や飽和率を非破壊で計測するためにも用いる。
H15	ガス浸透率・透水係数測定装置	原位置条件下で浸透率を測定し、MH 飽和率の影響等について解析する装置。
H16	泥質層浸透率測定装置	原位置条件下において、泥質層 MH 堆積物の水浸透率を定常法にて測定する装置。ヘッド圧変化に対する堆積物の収縮変化を測定することが可能。
H17	堆積物内細孔圧測定装置	堆積物の原位置応力を再現する载荷装置、圧力セル等が組み付けられた堆積物透過圧力測定装置。堆積層のガスシール性等の評価を行う。
H17	MH 堆積物孔隙径/水浸透率同時測定装置	MH 砂質堆積物の孔隙径と浸透率の関係を解析する装置。水飽和している孔隙径の分布から浸透率を解析する。検層データとの比較検討にも使用。
生産挙動・生産特性の解析		
H14	防爆高圧実験施設	メタンガスを高圧で使用する模擬 MH 堆積物作製、コア分解実験などに使用する実験室であり、強制換気、空調 ($5^{\circ}\text{C}-10^{\circ}\text{C}$) 設備を備える。高圧ガス保安法に適合。
H14	MH コア分解挙動解析装置	原位置条件下で、減圧法、坑井加熱法、熱水圧入法の分解挙動を解析するための実験装置。耐圧 25MPa 、試料寸法 $50\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。
H15	MH コア分解挙動観測装置 (高速 X 線 CT)	MH 堆積物の分解フロントの発達及び堆積物全体の移動現象を、原位置条件下においてリアルタイムに可視化し、解析する装置。堆積物の 3 次元 CT 像を高速で撮ることにより、移動現象のモデル化を行う。
H15	基礎試錐コア圧密/浸透率測定装置	圧密による浸透率の変化を原位置条件下において測定する装置。
H17	出水・出砂現象評価用実験装置	生産障害を引き起こす出砂現象を、原位置条件下において実験的に観測する装置である。出水と出砂の両者を時系列的に観測する。
H18	孔隙内細粒砂流動・蓄積解析装置	生産に伴い移動するシルト質の流動と蓄積現象を原位置条件下で実験的に解析し、スキン形成による生産障害について評価する装置。
H16	熱水圧入法評価試験装置	熱水圧入法の生産性を評価するための原位置条件下分解実験装置。
H16	インヒビタ圧入分解実験装置	インヒビタ圧入法の生産性を評価するための原位置条件下分解実験装置。
H17	水蒸気圧入分解実験装置	水蒸気圧入法の生産性を評価するための原位置条件下分解実験装置。
H14	流動特性シミュレーター装置	各種の流動条件において水、ガス浸透率を測定するための基本装置。浸透率特性計算モジュール開発のための流動観測装置。
H14	圧密特性シミュレーター試験装置	MH 砂質堆積層、砂泥互層の圧密特性を解析する装置。圧密特性計算モジュール開発のための力学試験装置。

) MH:メタンハイドレート

10.3 海洋環境調査関係研究設備

環境影響評価グループの研究に用いた主な設備を表 10-3に示す。

表 10-3 環境影響評価グループ研究で用いた主な設備一覧

年度	設備名	本装置の用途と特徴
H15	データベース用ハードウェア (Web/Aplサーバー/GISサーバー/DBサーバー/周辺機器/機器設置)	不特定多数からの問い合わせ対応システム、環境影響評価グループの成果を収録
H15	超音波ドップラー式流速計	海域環境調査にて流向・流速の測定に使用
H15	セジメントトラップ	海域環境調査にて沈降粒子束の測定に使用
H15	係留系(モータードライブ切離装置付き)	海域環境調査にて流速計、セジメントトラップなどの調査機器類の設置回収に使用
H18	ベンチックチャンバー	海域環境調査にてメタンフラックス等の測定に使用
H15	低温高圧三軸圧縮試験機	海底地盤の地盤物性を把握するための土質試験装置

11. その他

11.1 諸外国との連携・協力

諸外国との連携・協力は以下の通りである。

(1) 第1回陸上産出試験（2002年）

カナダマッケンジーデルタで実施された第1回陸上産出試験は、カナダ、米国、ドイツ、インドとの連携・協力のもと実施された。

(2) 第2回陸上産出試験（2007年および2008年）

カナダマッケンジーデルタで実施された第2回陸上産出試験は、カナダとの連携・協力のもと実施された。

(3) Joint Industry Program 「Characterizing Natural Gas Hydrates in the Deep Water Gulf of Mexico: Application for Safe Exploration and Production Activity」（2001年～）

本プログラムの目的は、メキシコ湾深海域における天然ガスハイドレート賦存堆積物のキャラクタリゼーションを行うことである。特に従来型の油ガス田の開発・操業を安全に行うために必要となるハイドレート賦存層の基礎物性データを取得し、また、貯留層モデル構築などハイドレートの生産に必要なスタディも実施する。参加機関・企業は表11-1の通りである。

表 11-1 Joint Industry Program参加機関・企業

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	Chevron Energy Technology Company
Schlumberger Technology Corporation	Reliance Industries Limited, Oil and Gas Division (インド民間企業)
ConocoPhillips Inc.	
Halliburton Company	Korean National Oil Company (KNOC) (2007年10月から参加)
Minerals Management Service (MMS)	
TOTAL E&P USA, INC	STATOILHYDRO (2008年3月から参加)

(4) 生産シミュレータ国際比較プロジェクト

米国のエネルギー省研究機関と内務省地質調査所が主催するプロジェクトであり、日本、カナダ、米国が参加。現時点では日本のシミュレータが優位性のある結果となっている（「7. 生産シミュレータ」参照）。

(5) 日印協力

2007年2月、JOGMECとインドの石油天然ガス省石油ガス総局 (DGH: Directorate General of Hydrocarbons) がMOUを締結。両国のメタンハイドレート研究に係る情報交換を実施。

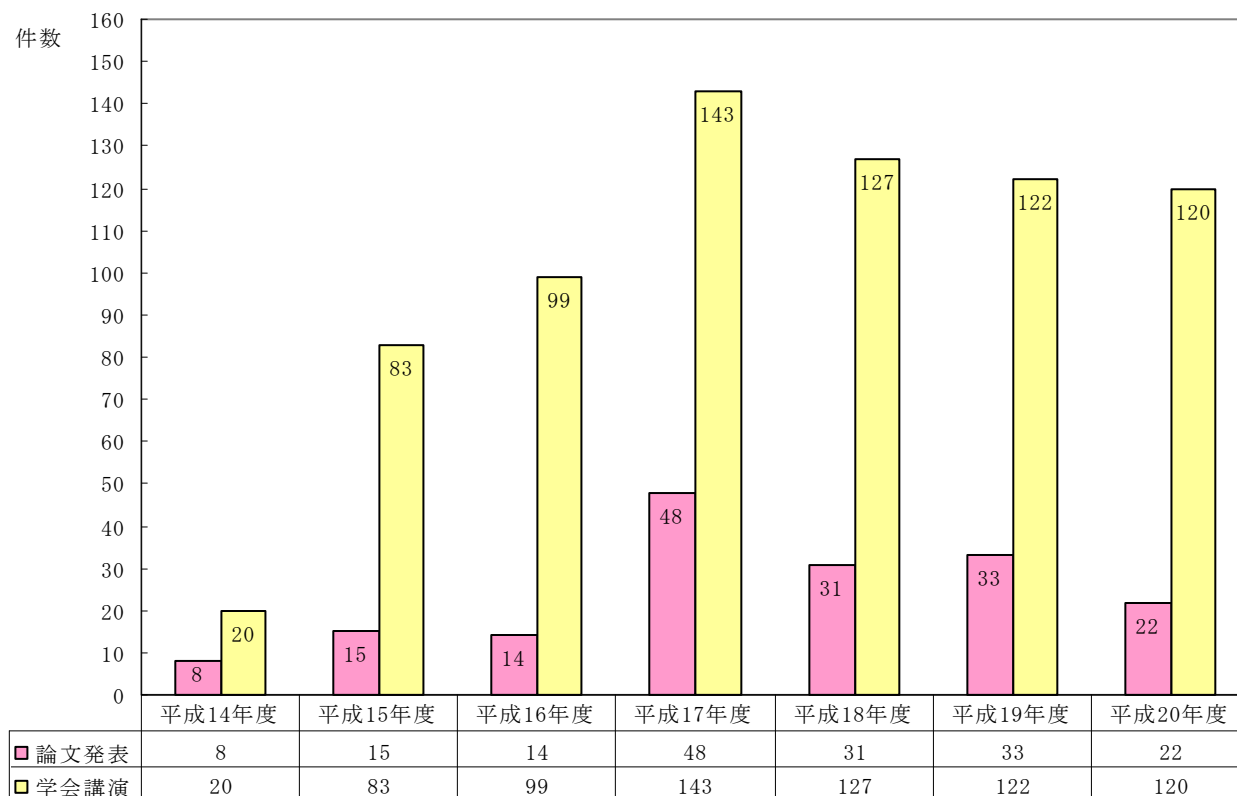
(6) 日米による共同研究

平成20年6月に米国エネルギー省と経済産業省で共同研究について合意。アラスカでの陸上産出試験の共同実施等を予定。

11.2 学会発表・論文

フェーズ1における学会・論文発表数は表 11-2の通りである。

表 11-2 フェーズ1における学会・論文発表（平成20年7月末現在）



※平成20年度は7月末までの数字

11.3 特許

フェーズ1の研究で出願した特許を表 11-3に示す。

表 11-3 フェーズ1の研究で取得した特許一覧

出願番号・公開番号	出願日・公開日	出願人	発明者	発明の名称
特許出願 2003-289857 特許公開 2005-60957 <生産手法開発>	2003年8月8日 2005年3月10日	秋田大学長 独立行政法人産業 技術総合研究所	佐々木 久郎 外3名	メタンハイドレート堆積層からの 主にメタンガスの生産方法、及 び模擬ハイドレート堆積層モデ ルを用いる主にメタンガスの生 産特性を測定する方法
特許出願 2003-379600 特許公開 2005-139825 <資源量評価>	2003年11月10日 2005年6月2日	鹿島建設株式会社	三浦 悟 外4 名	ガスハイドレートの生産方法及 びシステム
特許出願 2004-20524 特許公開 2005-213824 <生産手法開発>	2004年1月28日 2005年8月11日	秋田大学長 独立行政法人産業 技術総合研究所	佐々木 久郎 外5名	メタンハイドレート堆積層からの 天然ガス生産設備と発電設備を 具備する統合設備
特許出願 2004-185103 特許公開 2006-10400 <生産手法開発>	2004年6月23日 2006年1月12日	三菱重工業株式会 社	橋本 秀昭 外1名	加圧試験装置
特許出願 2004-219219 特許公開 2006-37518 <生産手法開発>	2004年7月27日 2006年2月9日	三菱重工業株式会 社	有川 究 外2名	ガスハイドレートの採集方法、ガ スハイドレート採集システム
特許出願 2004-229000 特許公開 2006-45128 <生産手法開発>	2004年8月5日 2006年2月16日	独立行政法人産業 技術総合研究所	羽田 博憲 外6名	メタンハイドレートの分解方法及 び分解装置
特許出願 2004-280861 特許公開 2006-96779 <生産手法開発>	2004年9月28日 2006年4月13日	独立行政法人産業 技術総合研究所	羽田 博憲 外6名	窒素によるメタンハイドレートの 分解方法及び分解装置
特許出願 2004-327728 特許公開 2006-138706 <資源量評価>	2004年11月11日 2006年6月1日	三井造船株式会社	星島 一輝 外3名	ハイドレート層の層厚推定方法
特願 2005-8938 特開 2006-194822 <環境影響評価>	2005年1月17日 2006年7月27日	応用地質株式会社	内山 成和 外2名	加速度センサを用いる地盤等の 変位モニタリング方法
特願 2005-100353 特開 2006-284184 <環境影響評価>	2005年3月31日 2006年10月19日	石川島検査計測株 式会社 国立大学法人山口 大学	森田 幹 外3名	溶存可燃性ガス濃度の測定方 法及び装置
特許出願 2005-166253 特許公開 2006-336435 <生産手法開発>	2005年6月6日 2006年12月14日	独立行政法人産業 技術総合研究所	川村 太郎 外7名	温度勾配付加型コアホルダー 装置及びこれを用いた成分産 出挙動時間変化測定方法
特許出願 2005-317536 特許公開 2007-120257 <生産手法開発>	2005年10月31日 2007年5月17日	独立行政法人産業 技術総合研究所	坂本 靖英 外7名	熱水と窒素の同時圧入によるメ タンハイドレート貯留層の浸透 性改善および分解促進技術
特許出願 2005-34535 特許公開 2007-147428 <生産手法開発>	2005年11月28日 2007年6月14日	独立行政法人産業 技術総合研究所	梶井 明 外3名	三軸試験用メンブレン
特許出願 2006-51099 特許公開 2006-267096 <資源量評価>	2006年2月27日 2006年10月5日	シュルンベルジュ ホールディングスリ ミテッド	福原 政文 外2名	ダウンホール内の熱特性を測定 するシステム及び方法

特許出願 2006-136601 特許公開 2007-308891 <生産手法開発>	2006年5月16日 2007年11月29日	独立行政法人産業 技術総合研究所	皆川 秀紀 外4名	メタン採取方法
特許出願 2007-070013 特許公開 2008-231176 <生産手法開発>	2007年3月19日 2008年10月2日	東京瓦斯株式会社	西尾 晋 他1名	ガスクラスレート生成促進剤及 びガスクラスレートの生成方法
特許出願 2007-196650 特許公開 2008-239651 <生産手法開発>	2007年3月23日 2008年10月9日	東京瓦斯株式会社	西尾 晋 他1名	ガスハイドレート堆積層からガス を回収する方法及びそのための 装置
特許出願 2007-196650 特許公開 2009-30378 <資源量評価>	2007年7月27日 2009年2月12日	日本海洋掘削株式 会社 独立行政法人石油 天然ガス・金属鉱物 資源機構	中村雅洋外 3 名	メタンハイドレートの分解促進お よびメタンガス採取システム
特許出願 2007-287807 特許公開 2009-115560 <生産手法開発>	2007年11月5日 2009年5月28日	独立行政法人産業 技術総合研究所	神 裕介 外4名	分光法によるガスハイドレートの 濃度検出方法及びその装置
特許出願 2008-146046 特許公開 2009-293219 <生産手法開発>	2008年6月3日 2009年12月17日	独立行政法人産業 技術総合研究所	戸梶 慎一 外4名	メタンハイドレート貯留層の浸透 率維持方法
US-12/239821 (US 直接出願) <資源量評価>	2008年9月29日	シュルンベルジュ ホールディングスリ ミテッド	森上 陽子 外5名	Methods and system for acoustically monitoring formations(地層の音響特性を モニタリングする手法及びシス テム)

11.4 研究提案公募

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムの資源量評価、生産手法開発及び環境影響評価各分野に関連する技術課題について独創的、革新的な技術課題をメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム以外から広く募集して実施させ、その研究成果を本研究事業に生かしていく目的で平成14年度から平成17年度まで、研究提案公募事業を実施した。件数は、平成14年度6件、平成15年度5件、平成16年度4件、平成17年度4件である。

11.5 内部連携強化・成果普及・広報

1) 内部連携強化

(a) 運営協議会

プロジェクトリーダー、および、資源量評価グループ、生産手法開発グループ、環境影響評価グループのグループリーダー、サブグループリーダー、および、推進グループリーダーが運営協議会を開催し、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムの研究の現状を確認し、方向性について検討した。運営協議会は46回開催された（平成20年7月末現在）。

(b) ワークショップ

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム発足当初の平成14-16年、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム内の交流を深めメタンハイドレートの基礎知識を共有するため横断

的ワークショップを8回開催した。

(c) ワーキンググループ及びタスクフォース

12のワーキンググループ（WG）と1つのタスクフォース（TF）を設立し（表 11-4）、グループを超えた横断的な研究テーマを検討した。

表 11-4 設立したワーキンググループ（ ）とタスクフォース（T）

WG名称	設置期間
海洋調査WG	平成14年6月～平成19年5月
コア試験検討WG	平成16年4月～平成19年5月
第2回陸上産出試験WG	平成15年10月～平成16年5月
産出試験解析WG	平成14年6月～平成15年9月
海洋産出試験準備WG（第1次）	平成15年9月～平成16年5月
模擬メタンハイドレートコアWG	平成15年3月～平成19年5月
MH資源フィールド選定WG	平成19年5月～
経済性検討WG	平成19年5月～
フェーズ2計画準備WG	平成19年5月～
海洋産出試験準備WG（第2次）	平成19年5月～
環境影響マクロリスク検討WG	平成19年5月～
陸上産出試験解析WG	平成20年5月～平成21年3月（予定）
TF産出試験計画	平成16年5月～

(d) 内部成果報告会

各グループの成果をメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムメンバーで共有するために、前年度成果を報告する内部成果報告会を平成14年度から平成20年度まで、計7回開催した。

(e) 情報共有

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムメンバー専用のグループウェアおよびメーリングリストを構築し、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム内の情報共有を行った。

2) 成果普及・広報

(a) マスメディアおよび教育関係等への資試料の提供

マスメディアおよび教育関係等への写真・図など資試料の提供を252件行った（平成20年7月末現在）。

表 11-5 マスメディアおよび教育関係等への資試料の提供

年度	マスメディア	教育関係	その他 ^注	合計
平成14年度	10	3	9	22
平成15年度	18	7	13	38
平成16年度	16	10	13	39
平成17年度	9	1	17	27
平成18年度	20	6	25	51

平成19年度	10	10	28	48
平成20年度(7月末まで)	16	4	7	27
合計	99	41	112	252

注) 会社・機関のホームページ、社内誌、広告等への資試料提供

(b) 一般成果報告会

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムの成果を一般に公開するために、前年度成果を報告する一般成果報告会を平成14年度から平成20年度まで、計7回開催した。

(c) メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムのパンフレット製作

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムのパンフレットを製作し配布した。

(d) 記録・説明映画の製作

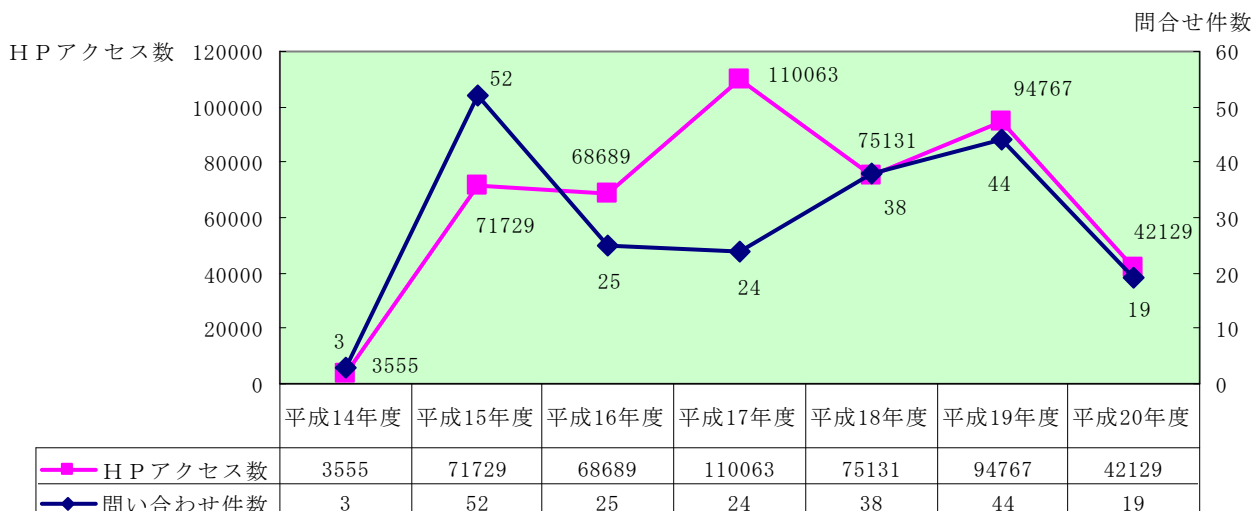
以下の記録・説明映画を製作してホームページに掲載するとともに、DVDもしくはVHSとして教育機関を中心に配布した。

- 記録映像：「カナダマッケンジーデルタでのメタンハイドレート産出試験記録」（日本語および英語）
- 説明映像：「期待高まる次世代資源 メタンハイドレート」
- 説明映像：「MH21 メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」
- 説明映像：「MH21 フェーズ1の成果（仮題）」（平成20年秋完成予定）

(e) ホームページ

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム広報の一環として「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」ホームページを製作し（日本語/英語）、平成15年1月に公開を始めた。平成15年1月からの総アクセス数は466,063件である（平成20年7月末現在）。また、ホームページ内に「問い合わせコーナー」を構築し、205件の問い合わせに対応した（平成20年7月末現在）。

表 11-6 MH21ホームページ(H P)年度別アクセス、問い合わせ件数



※平成20年度は7月末までの数字

MH21 Research Consortium JAPAN
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

MH21 Research Consortium
メタンハイドレートの説明
MH21の説明
成果報告
研究者/技術者 紹介
イベント情報
プレス
ご意見・ご質問
リンク
マリック国際会議
ストリーミング映像
用語集
English site

KIDS
キッズページとぶよ!!

Copyright (c) 2002
MH21 Research Consortium

メタンハイドレートは石油・天然ガスに代わる次世代資源として脚光を浴びています。エネルギー資源に乏しい日本周辺にも、相当量のメタンハイドレートが分布していると推測されています。

この新しく未知なメタンハイドレートを資源として開発するため、経済産業省の検討委員会である「メタンハイドレート開発検討委員会(委員長 田中彰一 東京大学名誉教授)」が「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を作成しました。

そして、その計画に沿った研究を行うため立ち上げられた機関が「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研究コンソーシアム」です。このホームページでは「メタンハイドレートとは何か」「MH21はどんな研究を行っているのか」をご紹介します。

New! [メタンハイドレート第二回陸上産出試験とその意義について](#) New!

[日本地球惑星科学連合2008年大会 MH21身体セッション開催](#)

[メタンハイドレートからの天然ガス連続生産成功について \(JOGMECのホームページからダウンロードします。\)](#)

[東京湾海トラフのメタンハイドレート資源量評価結果について](#)

What's new!

2008年05月20日
フェーズ1総括成果報告会開催について
MH21研究コンソーシアム、フェーズ1総括成果報告会を下記の日程で開催致します。

日時:平成20年6月19日(木)
場所:国立オリンピック記念青少年総合センター(代々木)

参加要領などは下記ページにて公表しております。
URL:<http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>

2008年04月15日
平成19年度研究成果報告会の名称変更について
6月19日に開催予定の「平成19年度研究成果報告会」は「フェーズ1総括成果報告会」に変更となりました。

なお、開催日程・場所に変更はございません。

メタンハイドレートの未来に向かって

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム運営協議会事務局

-このサイトの内容に付いて許可なく転載・引用することを禁じます-

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)
石油開発技術本部 R&D推進部
メタンハイドレート研究チーム 推進グループ内
〒261-0025 千葉県千葉市美浜区浜田1丁目2番2
TEL 043-276-9536 FAX 043-276-4062

図 11-1 メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム・ホームページ

<http://www.mh21japan.gr.jp/>

英語略語表

- JOGMEC: Japan Oil, Gas and Metals National Corporation ⇒ (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
- AIST: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology ⇒ (独)産業技術総合研究所
- ENAA: Engineering Advancement Association of Japan ⇒ (財)エンジニアリング振興協会
- BSR: Bottom Simulating Reflector ⇒ 海底擬似反射面
- LWD: Logging While Drilling ⇒ 掘削同時検層
- SMI: Sulfate Methane Interface ⇒ 硫酸塩-メタン境界
- IRR: Internal Rate of Return ⇒ 内部利益率
- SPAR ⇒ 浮遊式生産システムのひとつ
- NPV: Net Present Value ⇒ 正味現在価値
- CDOG: Comprehensive Deepwater Oil and Gas Blowout Model
- GSC: Geological Survey of Canada ⇒ カナダ地質調査所
- MDT: Modular Formation Dynamics Tester ⇒ Schlumberger社登録商標
- NRCan: Natural Resources Canada ⇒ カナダ天然資源省
- DTS: Distributed Temperature Sensor
- NETL: National Energy Technology Laboratory ⇒ 米国エネルギー省研究機関
- USGS: United States Geological Survey ⇒ 米国内務省地質調査所
- TOC: Total Organic Carbon ⇒ 全有機炭素量
- COTHMA: Coupled thermo-hydro-mechanical analysis with dissociation and formation of methane hydrate in deformation of multiphase porous media ⇒ メタンハイドレート層圧密・変形解析シミュレータ
- EDS: Energy Dispersive X-ray Spectrometer ⇒ エネルギー分散型X線分析装置
- ROV: Remotely Operated Vehicle ⇒ 有索無人潜水機
- METSセンサー: 溶存メタンセンサー (Franatech社登録商標)
- HSE: Health, Safety & Environment ⇒ 労働安全衛生及び環境
- PTCS: Pressure Temperature Core Sampler ⇒ 圧力・温度保持コアサンプラー
- DGH: Directorate General of Hydrocarbons ⇒ インド石油天然ガス省石油ガス総局
- MOU: Memorandum of Understanding ⇒ 研究交流の覚書