

<砂層型メタンハイドレート研究開発>

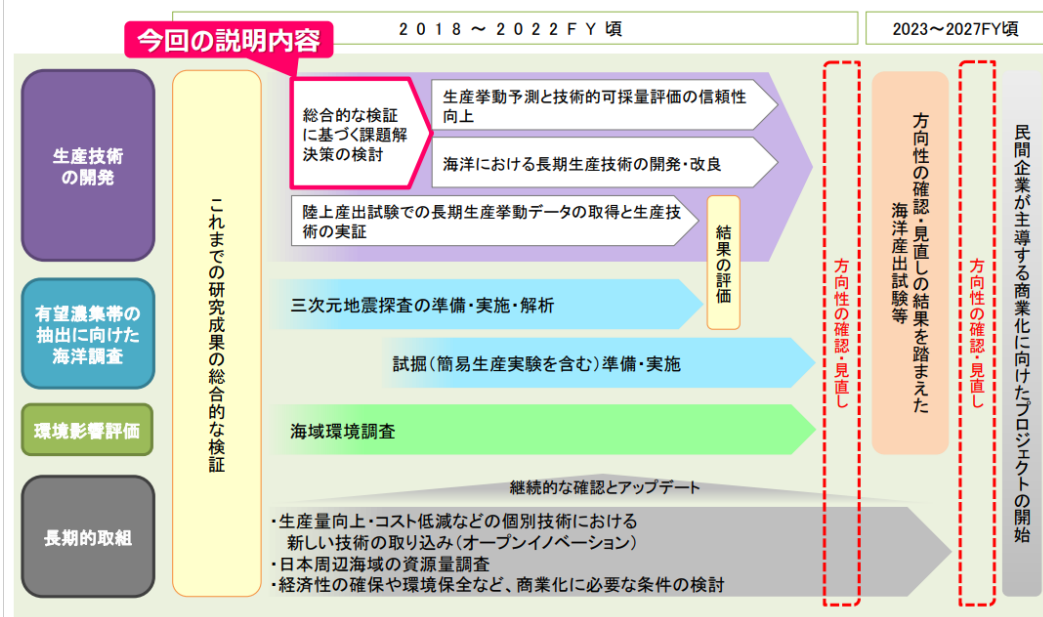
総合的検証に基づく 課題解決策の検討

MH21-S研究開発コンソーシアム

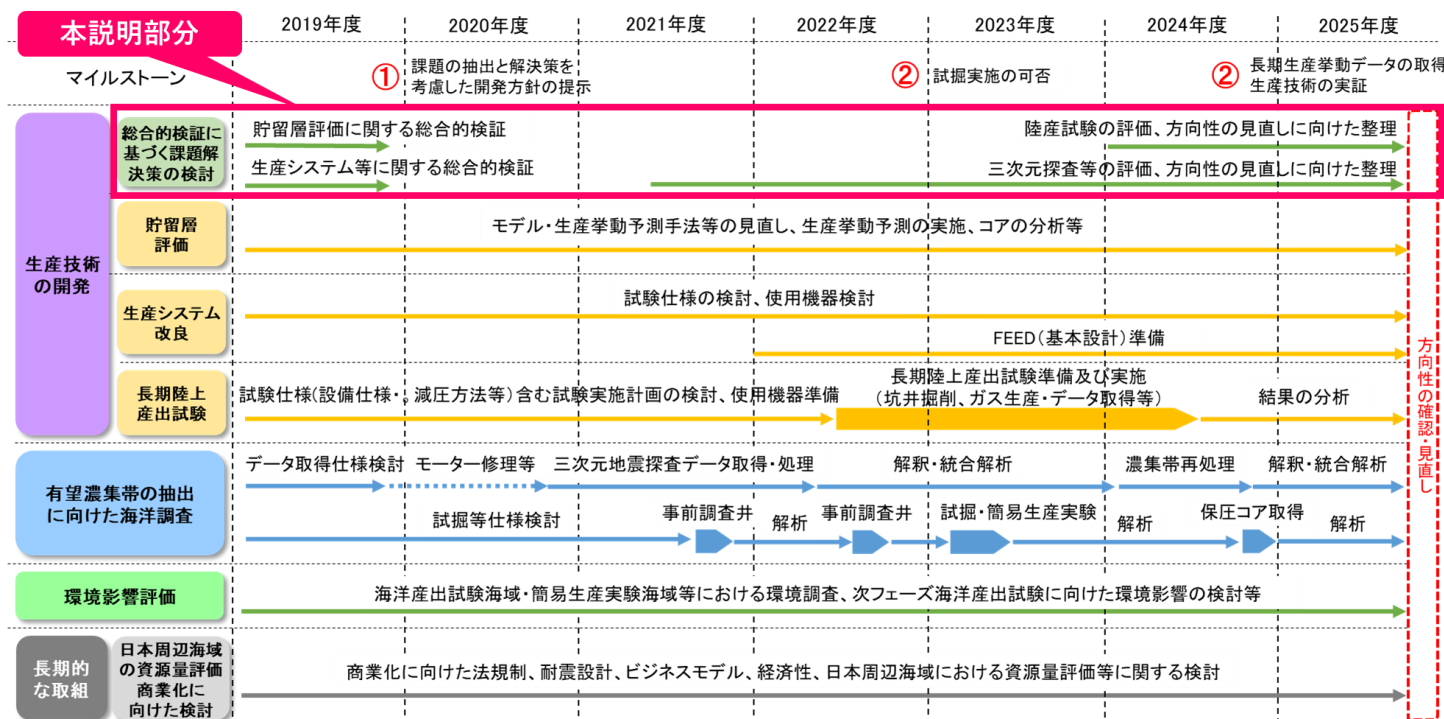
2025年10月24日（金）

総合的検証の位置付け①

「総合的検証に基づく課題解決策の検討」については、改定前の「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」に示されていたもので、コンソーシアムの実行計画においても検討を継続してきたもの。



出典：第36回開発実施検討会資料より抜粋



総合的検証における課題と取り組み（第36回開発実施検討会より）

第36回開発実施検討会において最重要課題及び長期陸上産出試験を通じて確認すべき課題として、

・ **過剰な水供給** ・ **坑井周辺の圧力損失** ・ **分解時の熱供給不足**

の3点を提示。これに基づきフェーズ4における取組として技術課題の解決に向けた今後の取組を提示した。

当時は海洋産出試験の結果から、**生産阻害要因として「水生産の過剰」に着目**されていたが、実際には**地層の不均質性の影響が大きい**事を把握。「水生産の過剰」のみではなく不均質性に着目し、**各Tの検討結果を「技術課題の解決に向けた今後の取組」の視点から成果として整理**した。

安定生産阻害要因の分析

◆ ガス生産レートの増加傾向が見られないなど、シミュレーションによる予測との不一致の原因として、主として次のような安定生産阻害要因があると考えられる。

水理的要因

- ①メタンハイドレート賦存状態の不均質、水層の存在、水層と接続する流路の存在などにより、**水供給が過剰**となり減圧できない。
- ②**坑井周辺の圧力損失**が生じて、地層に減圧が伝わっていない。

→ 第2回海洋産出試験までの規模・期間（数週間程度、メタンハイドレートが大きく分解した範囲は坑井から十数m以内）では、特に上記の要因が影響したと考えられる。

熱的要因

分解に供する熱が十分早く供給されていない。

→ 今後、生産期間が伸びれば重要な要因として現れる可能性がある。

最重要課題

長期陸上産出試験を通じて確認すべき課題

技術課題の解決に向けた今後の取組（俯瞰図）

要因分析

計測データ
（ガス・水生産レート、生産井・モニタリング井の温度圧力データ）

貯留層モデルと物理モデルに基づく予測
（モデルの修正によるヒストリーマッチング）

地震探査・検層・地質サンプルデータの総合化による貯留層モデル

事前防止策・事後対策に関する取組

水生産の過剰

帯水層・メタンハイドレート賦存状態の不均質に関する予測・検知

シミュレーションによる帯水層・メタンハイドレート賦存状態不均質の影響の評価

適切な坑井位置・仕上区間・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

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）

新たな技術の取り込み

出典：第36回開発実施検討会資料より抜粋

～帯水層・メタンハイドレート賦存状態の不均質に関する予測・検知～

目標

地下で三次元的に広がっている、様々なスケールの**帯水層の広がりやメタンハイドレートの不均質を、予測・検知できるようにする。**

解決すべき課題

- 地震探査による分解能限界以下のスケールの不均質は事前の予測が難しい。
- 震探データのみではメタンハイドレート飽和率、浸透率などの定量的な評価が難しい。
- き裂・断層の存在とそれらが水理特性に与える影響についてよくわかっていない。

解決策

- 地震探査、検層、コアデータ、産出試験結果等を総合化し、貯留層条件を評価する。
- 堆積状況等の地質学的知見・ハイドレート形成過程を参考にする。
- 低コストで坑井データを取得する方法（小型船の利用、掘削同時検層（LWD）、圧力検層ツールの利用、サイドウォールコアによる圧力保持サンプル取得など）を開発する

フェーズ4取組内容

- 現状の**データを分析を進める**とともに、**長期陸上産出試験、試掘、簡易生産実験などで順次情報を増やす**。結果は、試掘、次フェーズ海洋産出試験の候補地点に適用し、検証する。

成果

- アラスカ陸上産出試験における検討では、**不均質性を考慮したモデルの構築を実施**。現在、モデルに関する日米間協議を行っており、その後、**シミュレーションによる予測、実生産実績との比較等引き続き検討を行う必要がある**
- アラスカ陸上産出試験では、低コストで坑井データを取得する手法として**圧力を保持したサイドウォールコア取得技術を適用しコアリングを実施**。ただし、当該コアは、分析時に減圧が必要となるため、**アラスカ及び海洋で実施した圧力コアリングでは圧力コアラを用いたコアリングを実施**。
- 事前調査井、試験井、追加調査井における**コア・検層データの取得、MDTなどの結果から不均質性評価に向けた情報整理を実施**した。
- 掘削結果を反映した地震探査データの再処理(PSDM)を実施するとともに、**濃集帯内のガス分布等の不均質性に関する評価を実施**した。
- 有機化学的・微生物的な分析、堆積盆シミュレーション等を通じ、**ハイドレート形成過程の把握を進めメタンハイドレートの広がり、不均質性等の理解に努めた**。

～シミュレーションによる帯水層・メタンハイドレート賦存状態不均質の影響の評価～

目標

不均質性や水層の影響を考慮したシミュレーションにより生産挙動への影響を予測して、坑井位置・仕上げ区間の選定や、適切なポンプの選定などに寄与する。

解決すべき課題

- 貯留層モデル、物理モデルに不確実性がある。
- 不均質性・水層の影響のモデル化・シミュレーションには、三次元モデルの構築と大規模計算の困難さ、具体的な入力データの設定の難しさの課題がある。

解決策

- 貯留層評価の結果やモニタリングデータを用いて、現在の物理モデル・貯留層モデルの評価と改善を進める。
- 不確実性の度合いやその影響の大きさを把握し、結果の不確実性を理解したうえでシステムの設計を行う。
- アップスケーリング手法の開発・機械学習などの技術の導入をする。

フェーズ4取組内容

- これまでのデータの分析とヒストリーマッチングなどの現状のデータを分析を進めるとともに、長期陸上産出試験で検証する。
- 予測の不確実性の理解に基づき、リスクを小さくして生産量を最大化する技術の開発を進める。

成果

アラスカ陸上産出試験における検証

- データ同化などの手法を適用し、ヒストリーマッチングを継続。サイト特有の不均質性の把握等を試行するなど不均質性を考慮した評価検討を実施。今後、不均質性を考慮した予測に向けた検討を進める必要がある。
- 不均質性を考慮したヒストリーマッチングについては成果を得つつあるものの、高いガス水比の原因等については、引き続きの検討が必要。
- 浸透率については、モデルの見直し等を行い、一定の改善がみられている。

生産を最大化する技術の検討

- 陸上産出試験では事前シミュレーションにおいて生産量の幅が想定されたことから、容易にESPの入れ替えが可能な仕上げを検討するとともに、最大生産量の異なる複数のESPを準備するなどの対策を行った。
- 予測の不確実性は水生産量の増加ではなく、極端に少ない状況となったが、圧入ライン等を設けていたため、水を圧入しながらの生産を行うなど対応。不確実性への対応ができていた。

～適切な坑井位置・仕上げ区間・生産システムの選択～

目標

- 予測・検知、評価の結果を用いて坑井の位置、仕上げ区間を選択。
- ガス・水生産量の不確実性を考慮し、**ガス生産量を最大化する坑井設計・生産システムを構築**する
 - 例 1：水過剰生産のリスクを回避しつつ貯留層との接触面積を最大とする坑井
 - 例 2：仕上げ区間やポンプの能力を事後に変更できるような坑井設計

解決すべき課題

- 不均質性とその影響には不確実性が大きい
- 不確実性を考慮した設計や、事後的な対応が可能な坑井の掘削・仕上げは、作業と設備が複雑になりコストが増大するおそれ。

解決策

- 取得データや生産の状況に応じて柔軟に生産区間や生産システムを修正できる仕上げ手法の検討

フェーズ4取組内容

- 長期陸上産出試験で、**複数の坑井・仕上げ区間を設定**する、**ポンプの変更を可能**とするなどの対策を行い、効果を検証。
- **傾斜井・水平井・分岐井などの技術開発を長期的な課題**として、取り組む。

成果

アラスカ陸上産出試験における仕上げ

- ESPについては、シミュレーションをもとに水生産量の振れ幅を考慮した複数ポンプの選定を実施
- リグを用いず、スリックライン等ワイヤーに取り付けるツールを用いた交換を可能となるよう坑井を設計
- **ESPからジェットポンプへの交換**についても実施した。
- **複数の地層からの生産に対応可能な坑井仕上げ**を検討した。
- 適用したESPでは**短時間でポンプの交換が可能**であり、**NPTを短時間**に収め、**生産期間の確保に寄与**した。

坑井仕上げ技術の検討

- 陸上産出試験では、**水層の可能性を考慮しケースドホール仕上げを選択**するなど、水の過剰生産を抑制する検討を実施。
- 陸上産出試験では、位置的な制約から傾斜井を採用し生産の実績を得た。
- **海洋における水平井、傾斜井の可能性についても検討を実施**。**仕上げ区間を長くとる方法など、引き続きの検討**が必要。
- 海洋では、生産量の最大化のため、**坑内における再ハイドレート化を防止**する必要があり、**対策としてのKHIの適用**を実施。

～遮水技術の適用～

目標

- **坑井周辺に適用できる遮水技術**には既に在来型油ガス田で使われている手法※があり、**浅部未固結のメタンハイドレート層での適用性を検討**する。

※機械的手法（ケーシングの適用等）、化学的手法（シリケート系の適用等）、微生物学的手法（有用菌の適用等）

解決すべき課題

- いずれの手法も坑井周辺のための遮水であり、井戸から離れた水層からの水は止められない。
- 在来型油ガス田向けの技術が低温・ガス田で適用可能かを確認する必要がある。
- いずれの手法も、生産に悪影響を与える懸念がある。
- 大水深海洋坑井での作業手順等を検討する必要がある。

解決策

- 海洋での効果・適用性・作業性の検討
- 坑井から離れた広い範囲での適用技術の検討

フェーズ4取組内容

- 長期陸上産出試験では、**ケーシング仕上げで水層を隔離**する予定。
- 有望技術を抽出して、**室内実験等で評価等の基礎的検討と海洋での適用を目指したエンジニアリング**を行う。
- 試掘等で**微生物による地層固化（MICP）への有用菌の調査等**を行う。

成果

アラスカ陸上産出試験におけるケーシング適用

- ケーシング適用した結果、**過剰な水の生産は発生しなかった**。生産した水量が極端に少なく、その**原因が貯留層/井戸周り/坑内のいずれにあるのか明確になっておらず、ケーシングの効果の検証には至っていない**。

有望技術と適用可能性検討

- **遮水技術として遮水材の可能性を検討**。水ガラスを用いた遮水材、微生物固化を用いた遮水などを検討。
- ガラス系液体遮水材については、室内実験や机上検討をもとに、技術的に有望である可能性を確認。微生物による地層固化については、遮水対策の一つとして有効性を検討
- 液体遮水材については、圧入手法等**技術的な可能性について検討**を実施した

試掘等における微生物固化のための有用菌の調査等

- **志摩半島沖におけるコア、アラスカ陸上産出試験におけるコアからも有用菌の採取**を行い、引き続き微生物固化に関する検討を実施。

～適切な出砂対策～

目標

出砂を確実に止めることに加えて、目詰まり等による生産への影響を小さくすることとの両立を目指す。

解決すべき課題

- 適切な技術の選択には個別の貯留層条件において検証が必要である。
 - 出砂対策としての長期的効果
 - 生産への影響（目詰まりのほか、水圧破碎を併用する手法（フラックパック）を用いると、水層との導通を引き起こす可能性などのリスクもある）
 - 長期的安定性（出砂対策用スクリーンの摩耗など）

解決策

- 陸産・簡易試験にむけた適用技術の選択
- 生産レートを最大化するため、出砂をある程度許容して生産するための検討（生産システムへの影響、水生産への影響）

フェーズ4取組内容

- 課題解決のため、各ベンダーからの情報収集に加えて、室内実験にて確認のうえ、陸産・簡易生産実験に適用して、評価・検証する。（陸上油ガス田の坑井での検証も考慮する。）

成果

アラスカ陸上産出試験及び簡易生産実験における出砂対策

- 両試験とも過去の産出試験で実績のあるGeoFORM™を適用
- アラスカ陸上産出試験においては、2か月間の安定生産を実現も、その後のオペレーションにおいてスキンの形成、ケミカルによるGeoFORM™のポリマー部分の圧密などにより生産が困難となった。
- 簡易生産実験では、目詰まり、流量や硬化時間不足による硬化不良により、生産が困難となった。
- 短期的には、適用可能だが、長期的目線では現状の出砂対策は十分ではない可能性を示唆。

新たな出砂対策装置の検討

- GeoFORM™を含め、砂の坑内への流入も考慮した出砂対策装置を検討するため、室内実験（リテンションテスト等）を実施。
- 上記の一環としてグラベルパックの固結化など新たな手法の適用可能性含め検討。
- 陸上産出試験における出砂対策装置を引き抜き、室内実験等を用いた生産阻害要因の詳細検討による要因の把握
- 砂を止める手法から、砂をある程度生産しながらガスを生産する手法への検討範囲の拡大

～坑井刺激技術(坑井周辺の圧力損失を軽減する障害対策)～

目標

坑井周辺での障害対策技術として、障害発生後に坑井周辺のみかけ**浸透率を上げるための技術**を**確立**させる。

解決すべき課題

- 個別の貯留層条件において検証が必要である。(未固結層が影響しないか要検討。)
- 出砂対策を施した坑井に事後で適用する方法の検討が必要である。
- 適用を前提とした場合、坑内機器・船上設備が複雑になるおそれ。
- 水圧破碎などの場合、水層との導通などの副作用も考えられる。

解決策

- 長期陸上産出試験に向けた適用技術の選択
- 超音波、水圧パルス、逆洗、水圧破碎、化学物質による処理等
- 適用可能な坑井の設計

フェーズ4取組内容

- **各ベンダーからの情報収集**に加え、**室内実験にて確認**のうえ、一部(目詰まり対策など)は**陸産に適用して、評価・検証**する。
- **石油開発・建設分野等の技術の検討**と陸上坑井等での試験を行う。

成果

室内実験による検討

- **室内実験において逆洗**について検討を実施
- 逆洗後、**浸透率が回復する一定の効果**を確認

アラスカ陸上産出試験への適用と成果

- 生産試験後半において、**逆洗、ケミカルによる出砂対策装置の除去を試行**
 - 当初多少の効果はあったものの**短期的な効果**であり、**ケミカル圧入後は逆洗による圧入は出来たが効果は出なかった。方法等の見直しが必要。**
 - ケミカルの圧入と水圧パルスによる除去の試みの結果、出砂対策装置が軟化
- 上記結果から、**

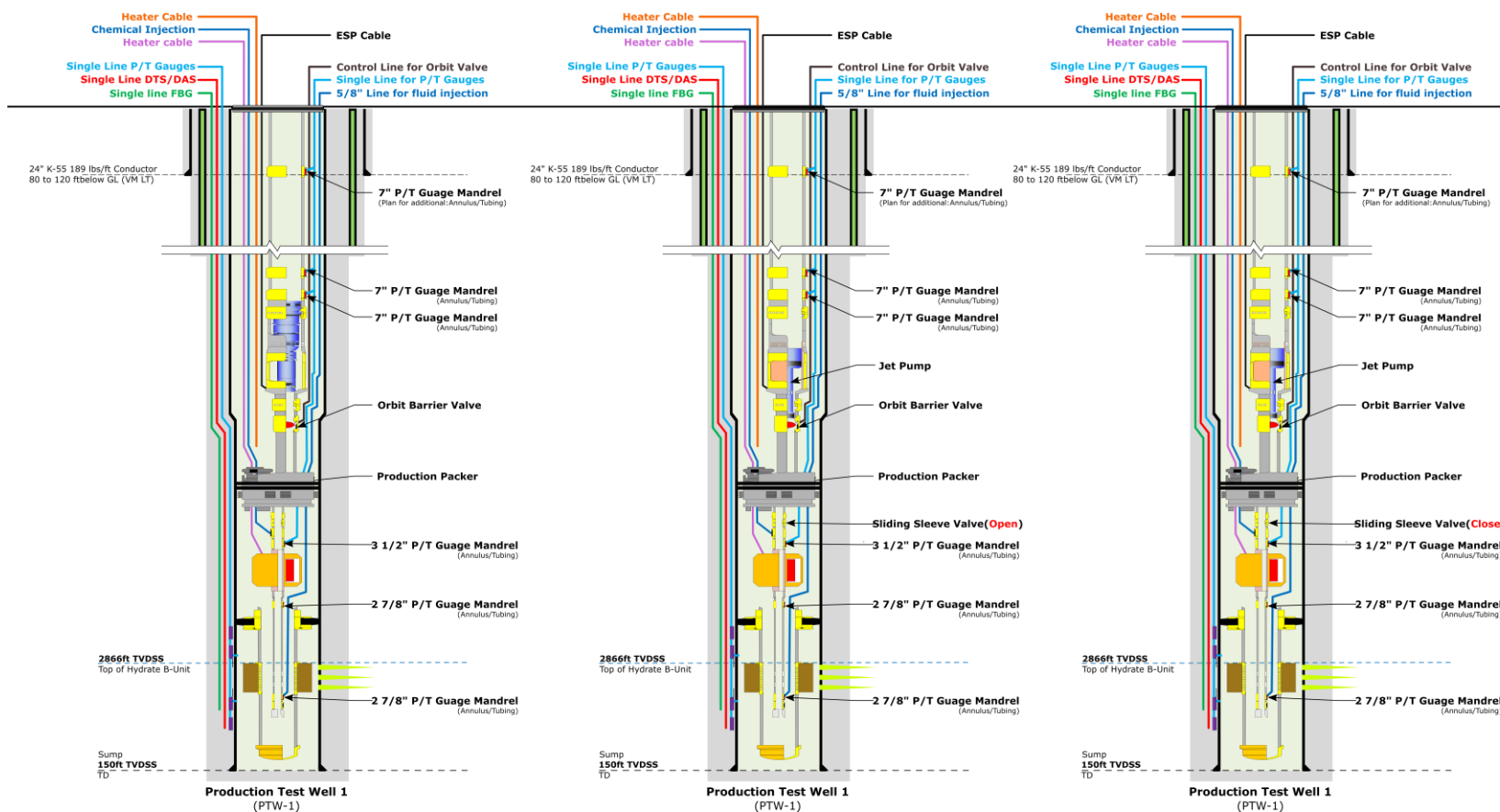
- **適用した出砂対策では、室内実験的には一定の効果**を確認。
- **実生産においては実施方法等に改善の余地あり。**
- **GeoFORM™以外の出砂対策装置におけるこれら対策の有効性**については、**要検討**

出砂対策に付着したスキンと圧密された出砂対策装置のポリマー部分



熱的要因に関する確認と検討 (分解時の熱供給不足)

- 第36回開発実施検討会において「**陸上産出試験において確認すべき課題**」として提示
- 海洋産出試験では、生産期間が短く、熱影響が明確に判断**できない状況であった。
- 生産量が増加も減少もしていない事実から、**分解に供する熱が十分に早く供給されていない可能性**を示唆。
- モニタリングデータから、ハイドレート層および上下シール層の圧力および温度挙動を評価して、**周囲の熱が生産にどの程度の寄与するのかの検討を進める。**



光ファイバー式の温度計(DTS・赤線)や温度・圧力計を用いた分解挙動のモニタリングを実施し、影響を観測した。

新たな技術の取り組み

今フェーズの検討において取り込んだ新たな技術は以下。

技術	内容	成果
DASモニタリング	陸上産出試験・計測技術	光ファイバーを用い3D-VSP、坑井間地震探査(CWS)等を実施し、光ファイバーケーブルを用いた計測の有用性を確認した。特に深度方向の連続的なデータ取得は時間短縮等にも有効であることが確認された。
DSSモニタリング	陸上産出試験・計測技術	坑井に生じるひずみをメタンハイドレート開発においてはじめて計測。シミュレーションでは把握していた分解に伴う変形を裏付けるデータの取得に成功している。
ワイヤレスPTセンサ	簡易生産実験・計測技術	海洋において坑井の外に初めてセンサーの設置が可能となった。これにより、地層側の圧力・温度データが海洋においても取得可能となった。
データ同化	陸上産出試験・データ解析	データ同化を適用することで、解析過程における恣意的な操作を避けた、不確実性を考慮したシミュレーションが可能となった。従来のヒストリーマッチングとは異なるアプローチの適用となっている。
AIの活用	AIによる出砂検知 機械学習の適用	AIに既存データを用い学習させる機械学習を適用することで、出砂検知により、坑内への砂流入予測に関する一定の成果を得た。

今後の課題

不均質性の把握(過剰な水供給)

- 不均質性を考慮したモデルの構築までは実施したが、予測・評価には至っておらず、引き続きの検討が必要。
- データ同化などの手法を適用し、不均質性の把握、水ガスのヒストリーマッチングにおいては一定の成果を得た。
- サイト特有の事象や、高いガス水比の原因の把握、不確実性を考慮した予測については引き続きの検討が必要。

坑井周辺の圧力損失

- 出砂対策については、砂を止める前提でGeoFORM™を採用。陸、海ともに生産阻害による生産性の低下が生じた。
- 上記から、砂を生産しながらガスを生産する手法への見直しも含め、引き続きの検討が必要。

熱的要因に関する確認と検討 (分解時の熱供給不足)

- 取得データにおける熱の議論に先立ち、坑井における生産障害等の把握が必要であり、引き続きの検討が必要。
- ハイドレート層および上下シール層の圧力および温度挙動を評価して、周囲の熱が生産にどの程度寄与するのかについて、検討を進める。

新しい技術の適用

- 計測等も含め、新しい技術の適用を実施し、計測技術については今後の試験でも適用可能なものを確認。
- 計測については、今後の試験において、これらの新しい技術を用い、開発段階において必要な情報をより多く取得できるよう試験計画を立案していくことが必要。
- データ同化、AIの活用については、一定の成果は出ているが、引き続きの検討が必要。