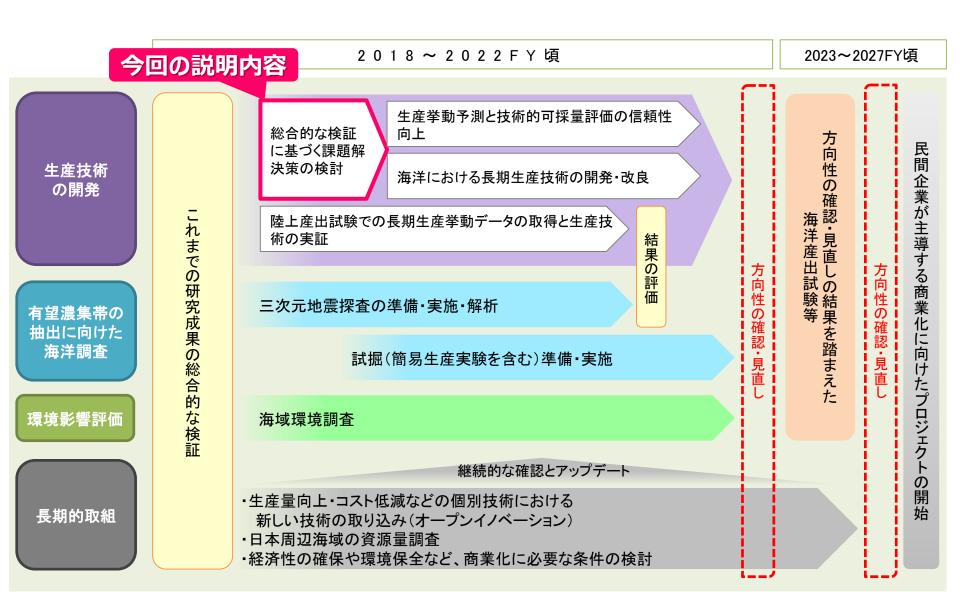
砂層型メタンハイドレートの研究開発フェーズ4(2019年~2022年度)

# 総合的検証に基づく技術課題の抽出と解決策の検討

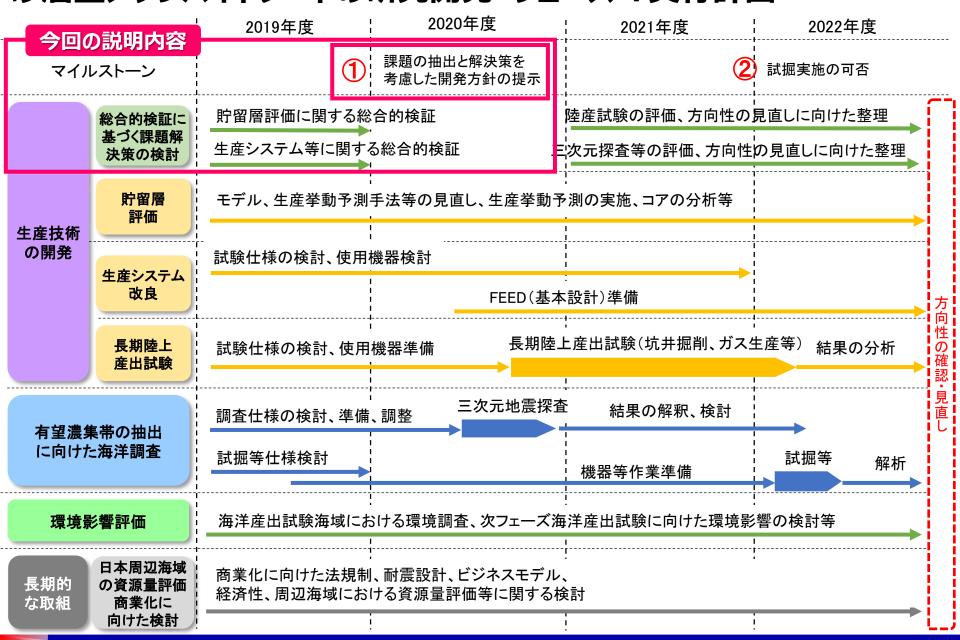
MH21-S研究開発コンソーシアム

# (1)総合的検証に基づく技術課題の抽出と解決策の検討の位置付け

# 砂層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表



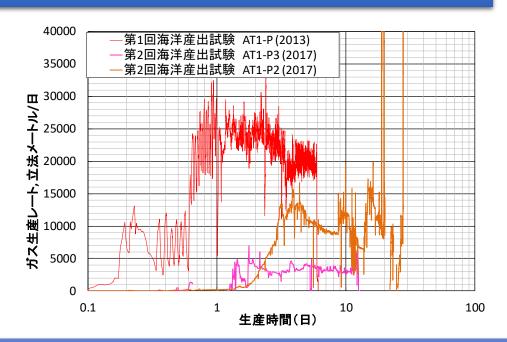
# 砂層型メタンハイドレートの研究開発 フェーズ4実行計画



# (2)技術課題の抽出と解決策

# これまでの海洋産出試験の結果

#### 海洋産出試験におけるガス生産レートの推移



- 我が国では、これまで日本周辺海域 において2回の海洋産出試験を実施。
- 海洋産出試験の実施に際しては、事 前にシミュレーションによる生産挙動の 予測をしており、減圧法によるガス生 産を行う場合、分解フロントの拡大に 伴って生産量が増大するという結果が 得られていた。
- しかし、いずれの海洋産出試験におい ても生産レートの増加は確認できな かった。

#### シミュレーションによる生産挙動予測と海洋産出試験の実績

ガス生産 第1回海洋産出試験 AT1-P (2013) ガス生産6日間 第2回海洋產出試験 AT-P3 (2017) ガス牛産12日間 第2回海洋産出試験 AT-P2(2017) ガス牛産24日間 短期 中期

シミュレーションでは、ガス生産レート の増加が見込まれていた。

いずれの海洋産出試験においても、ガス 生産レートの増大が確認できなかった。

生産時間

長期

# 海洋産出試験の結果と対応策

#### 生産挙動

- ◆ シミュレーションの予測とは異なり、ガス生産レートの増加傾向は確認できず
  - ⇒ 安定生産阻害要因を抽出し、その要因を解決するために必要な研究開発の実施
  - ▶ 現状の数値シミュレーション技術が現実を十分に反映できていないため、改良が必要
    - ✓ メタンハイドレートの分布の不均質性をより反映した地質・貯留層モデルの構築
    - ✓ 物理モデル(貯留層内の現象を表現するための数式)等の妥当性の検証

#### 生産期間

- ◆ 実績:最大24日間(←この期間ではメタンハイドレートの長期生産挙動は未確認)
  - ▶ フェーズ4で計画しているアラスカにおける長期陸上産出試験において、メタンハイドレートの長期安定生産の実現可能性を検証

#### ガス生産レート

- ◆実績:最大20,000 m³/日
  - ➤ 商業化を見据えた当面の目標は、50,000 m³/日
  - ▶ メタンハイドレート層内で坑井がコンタクトする表面積を増加させる手法や生産増進技術を検討(アラスカにおける長期陸上産出試験において、生産増進技術のトライアルを検討中)

# 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。

最重要課題

#### 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。

長期陸上産出試験 を通じて確認すべき 課題

# (2-1)水供給の過剰

# 『水供給の過剰』に関する分析①(事象のまとめ)

- ①生産される 水の過半はハ イドレート分解 水ではなく、 元々地層水と して存在してい た水である。
- ②いずれの生産 井においても、ガ ス・水体積比が 低下する。減圧 を高めても、ガス 生産量が向上し ない。
- ③特異的に <u>水が高いレー</u> <u>トで生産</u>され る区間が存 在する。
- ④第1回海洋 産出試験においては、<u>出砂</u> 後の過剰水生 産で減圧が不 可能になった。

八例 水層の存在 水路の存在 メタンハイドレート の不均質性

⑧地震探査や検層 データから、メタンハイ ドレート賦存状況の 不均質が発見されている。 水供給の過剰により地層内が減圧されない

(メタンハイドレート層中に 帯水層が存在し、 減圧を阻害している。)

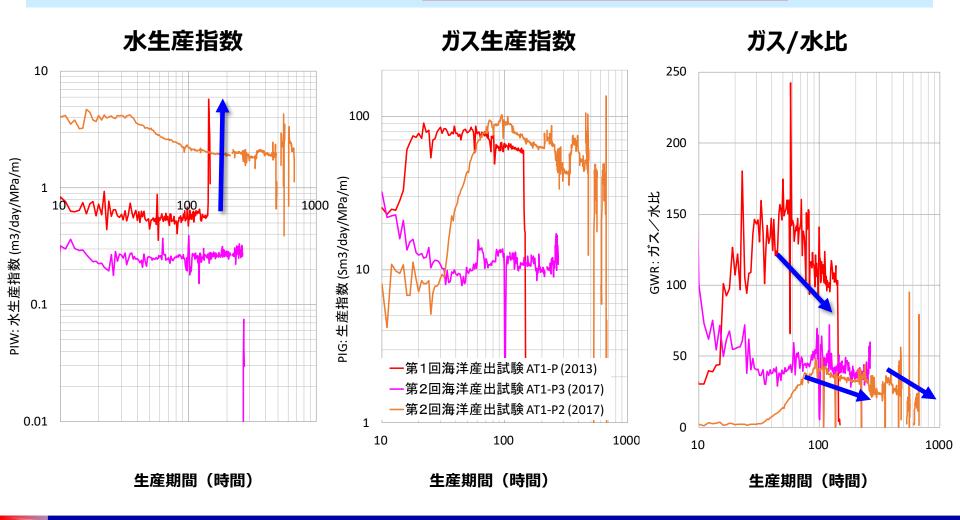
- ⑤<u>生産水の塩分濃</u> 度が上昇した。
- ⑥モニタリング井の温 度・圧力変化が生産 井と連動しないデータ が存在する。

- ⑨海洋産出試験前に実施した物理検層データから評価した浸透率と圧力コア(地質サンプル)から測定した浸透率を比較すると、常に実測の方が高い。
- →小さなスケールの不均質性が影響している可能性。

⑦生産井内の温度が上昇した。 →<u>温度の高い水がメタンハイド</u> レート層内に供給された可能性。

# 『水供給の過剰』に関する分析②(水層の存在・水路の存在)

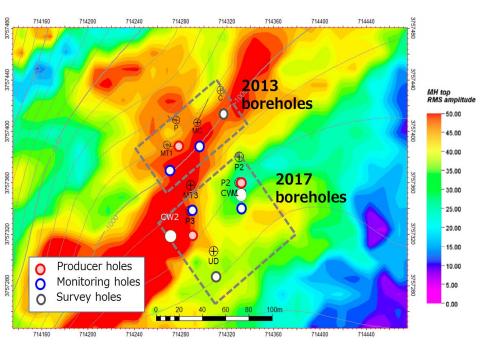
- ◆ 海洋産出試験のガス・水生産レート及びガス/水 比の推移に着目すると、**時間** が進むにつれて、ガス・水体積比の低下がみられた。
- ◆ 第1回海洋産出試験においては、<br/>
  出砂後に急激な水生産指数増加<br/>
  が見られた。



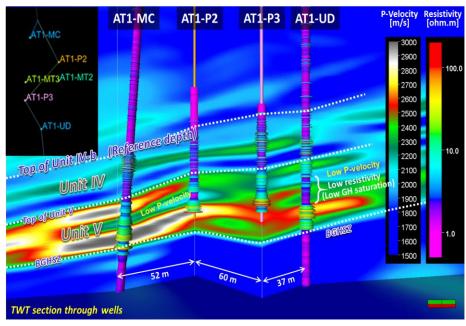
# 『水供給の過剰』に関する分析③(メタンハイドレートの不均質性)

◆ 地震探査や検層のデータから、メタンハイドレート賦存状況の不均質が確認されている。

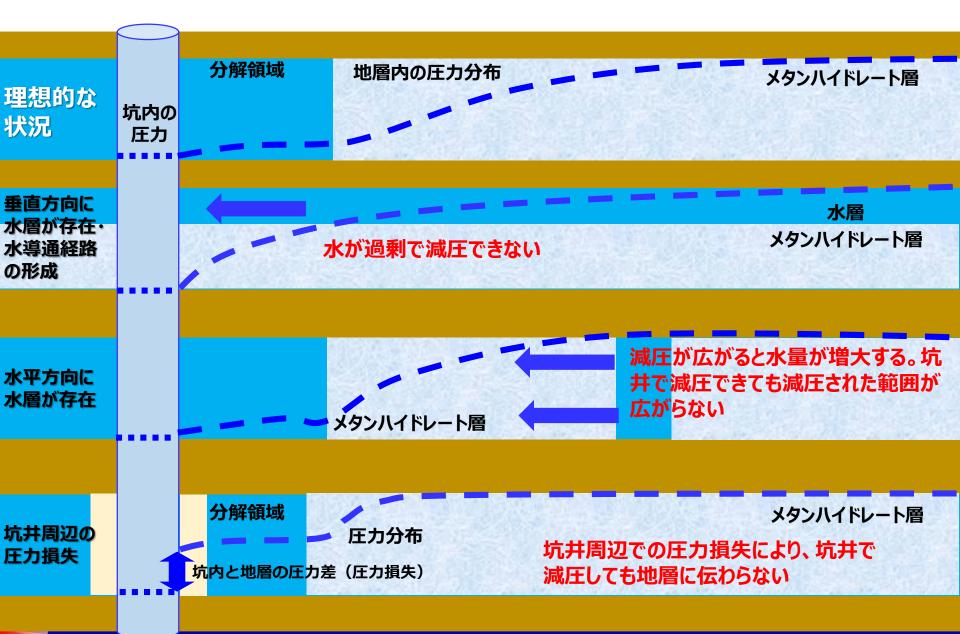
地震探査データから読み解く メタンハイドレートの不均質性①



#### 地震探査・検層データから読み解く メタンハイドレートの不均質性②



# 理想的な貯留層内の状況と実際の違い



MH21-8

# 水供給の過剰に関する「事前防止策」の検討



#### 水層・水流路の存在

垂直方向:濃集帯内 に水層・水流路が存 在、坑井に接触 水平方向:分解が 進んで帯水層・水流 路に接続

力学的な要因(流 路形成) セメントの不良など坑 井健全性(well integrity)の問題

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

適切な出砂対 策により砂を動 かさない

掘削・セメンチン グの技術向上

水供給の過剰

ポンプの入れ替え・能力向上

水生産区間の遮断(ケーシングパッチなど)

水の生産量がポンプのキャパシティーを 超えて坑底圧が下がらない

水処理コスト増大

事後対策なし

坑底圧が下がっても減圧された範囲が広がらない(境界条件がオープンで定常状態になっている)

# 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、簡易試験などで順次 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。

# 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。

- 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。

# 適切な坑井位置・仕上区間・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

- 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、効果を検証する。
- ▶ 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。

### 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(シリケイト系の適用等)、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みの遮水であり、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

- 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。

# 過剰の水供給の解決に向けた見通し

# フェーズ 4

帯 水 層 検 出

予 測 影

響

予

測

遮 水 技 術

濃集帯の三次元地震探査データ 解析:地質的解釈

#### 海洋産出試 験·試掘井 データの評価 地震探查•検 層・地質サンプ

ルの解釈、ヒスト

リーマッチング)

#### 長期陸上産出試験

データ 取得井、 生産井 による データ 取得、 解析

長期陸上産 出試験デー 夕で検証 予測シミュレー ション→ヒスト リーマッチング

水層の予測・検知と仕上 げ方法の選択

#### 各手法の適用性検討

室内実験等

#### 試掘·簡易試験

試掘·簡易試験 でデータ取得 ⇒各濃集帯 で水リスク評価 データ解析・予測シ ミュレーション

#### 適用性検討に必 要なデータ取得

地質・微生物サンプ ルなど

#### エンジニアリング

概念設計、作業手 順検討など

# 次フェーズ

水リスクと を考慮した 試験実施 地点決定 位置•坑井設 計

水量増加 対策を考 慮した設備 設計 坑井・ポンプ 等

滴用遮水 技術決定 詳細設計、

製造、試験

洋 産 出 試 験 等 検 証

海

# (2-2) 坑井周辺の圧力損失

# 『坑井周辺の圧力損失』に関する分析①(事象のまとめ)

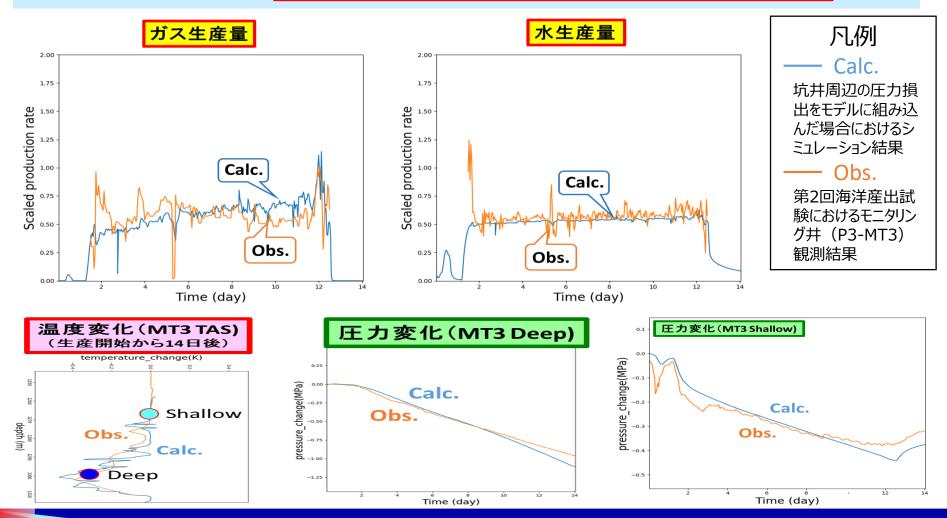
- ① モニタリング井の 温度・圧力変化が 生産井と連動しな いデータが存在する。
- ②<u>生産井</u> 内の温度 が上昇した。
- ③メタンハイドレートが分解する際、温度・圧力の変化は、理論上、平衡曲線に沿って変動するが、<u>第2</u>回海洋産出試験では、平衡曲線に沿って変動しない現象を確認した。

数値シミュレーションによるヒストリーマッチングから<u>坑井周辺の</u> 圧力損失の増大が考えられる。 坑内の圧力が一定でも、地層と坑内の圧力差が生じ て地層側の圧力が徐々に上昇していた可能性が示 唆される。

# 坑井の周辺の圧力損失が 時間経過とともに大きくなっている。

# 『坑井周辺の圧力損失』に関する分析②(ヒストリーマッチング)

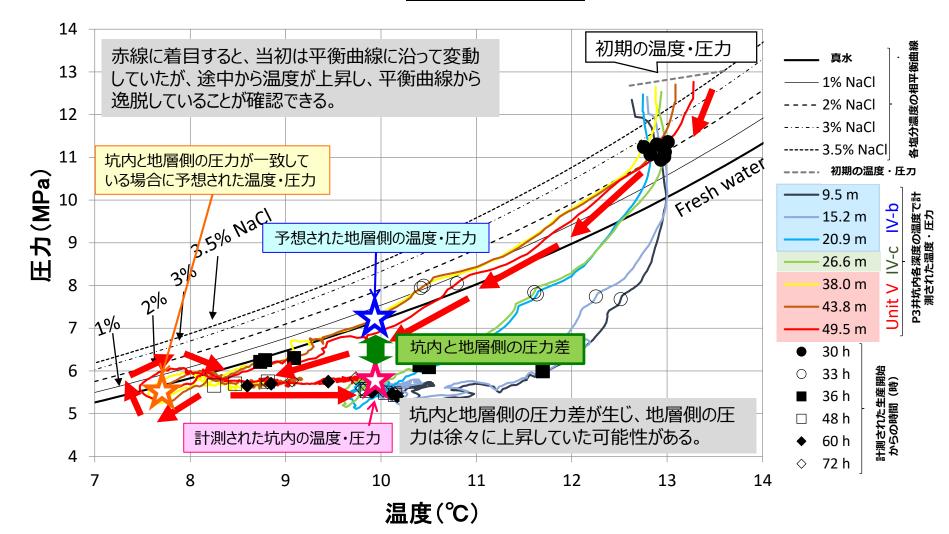
- ◆ 坑井周辺の圧力損失の増大を考慮した数値シミュレーションを実施した。
- ◆ その結果、数値シミュレーション算出結果と第2回海洋産出試験におけるモニタリング井(P3-MT3)観測結果(温度・圧力・ガス生産レート等)が整合した。



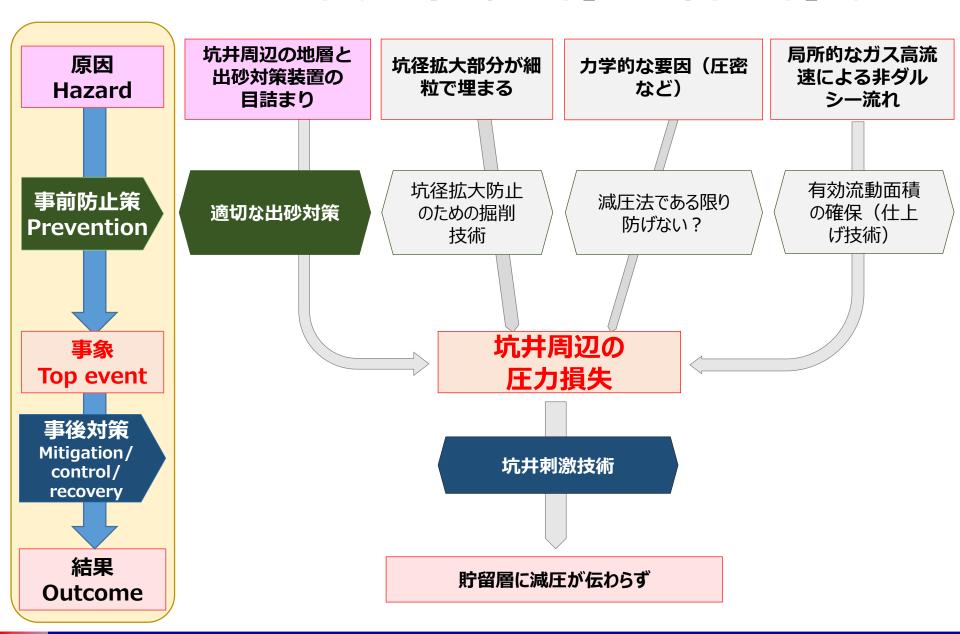
# 『坑井周辺の圧力損失』に関する分析③(温度・圧力平衡曲線)

◆ 第2回海洋産出試験において、メタンハイドレート分解の際に温度が平衡曲線 に沿って変動しない(温度が上昇する)現象を確認した。

#### 第2回海洋産出試験(AT-P3) 坑内の圧力・温度を平衡曲線と重ね書きした図



# 坑井周辺の圧力損失に関する「事前防止策」及び「事後対策」の検討



### 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、水圧破砕を併用する手法(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・ 簡易試験に適用して、評価・検証する。(陸上油ガス田の坑井での検証も考慮する。)

# 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。
- 水圧破砕などの場合、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、水圧破砕、化学物質による処理等
- 適用可能な坑井の設計

- 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、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。

# 坑井周辺の圧力損失の解決に向けた見通し

# フェーズ 4

# 圧力損失の低減

**海洋産出 掘井でかい** 震・コアの 震・コアの は、ヒスト リーマッチング)

# 坑井刺激手法

各手法の 適用性検 討 室内実験 等 海洋産出試験に向けたエンジニ アリング 機器選定・室内実験等

#### 長期陸上産出試験

長期陸上産出試験に向けたエンジニアリング

出砂対策手 法選択•評 価

長期陸上産出試験に向けたエンジニアリング

作業手順、 機器等の準 備 試掘·簡易試験

簡易生産試験 における適用と 評価

坑井内外のモニタ リングデータの解析

長期試験に 向けた必要 データ取得と 分析

コア等による力 学試験・応力計 測など

#### 海洋産出試験に向けたエンジニアリング

析

長期陸上産

出試験への

適用と検証

坑井内外の圧 力等のモニタリ

ングデータの解

作業手順、機器等の準備

# 次フェーズ

適用技 術決定

詳細設計、 製造、試験

適用技術 決定

詳細設計、製造、試験

洋産出試験等による検証

海

# (2-3) まとめ

# 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