

砂層型メタンハイドレートフォーラム 2019

生産挙動予測

貯留層評価

～信頼性の高い予測を目指して～

MH21-S研究開発コンソーシアム(MH21-S)
貯留層評価チーム 松原 修 (JOGMEC)

2019年12月3日(火)

東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

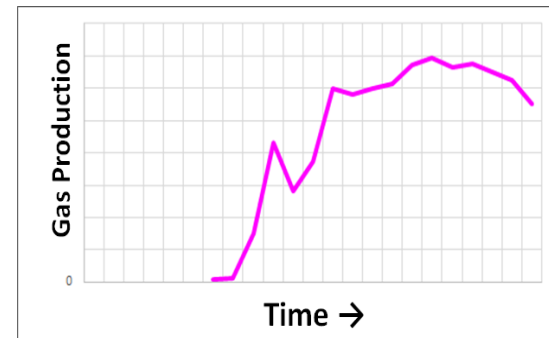
本日本話しする内容

- 「生産挙動予測」は何故重要か？
- MH貯留層評価の特徴と難しさ
- 現状と課題
- 2022年度までの計画
- MH21-S貯留層評価チーム体制

「生産挙動予測」は何故重要か？

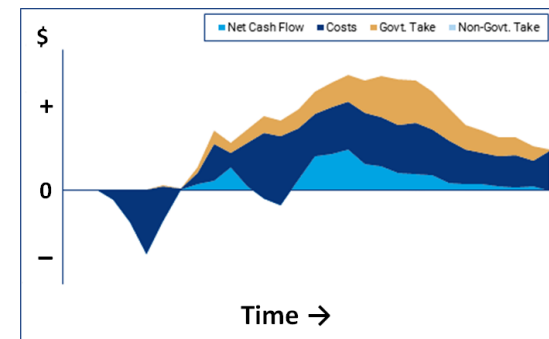
プロジェクト実施者

- ガス田開発への投資を判断する際、プロジェクトライフにわたる支出(開発費、操業費、廃鉱費等)、期待される収入に基づき、契約条件・税制等を踏まえて経済性(NPV, IRR等)を算出。
- 経済性が(各社の)基準を満たすことが投資決定の重要な判断基準の一つ。
- ガス田開発の場合、収入は想定開発計画(生産システム、坑井計画等)を考慮したガスの生産挙動予測に基づき計算。
- 生産挙動予測に基づき、設置する施設の計画、並びに将来の追加掘削・改修等の計画を立案。



ガス購入事業者、金融機関

- 契約(ガス販売契約、融資契約)を結ぶ際、長期間安定的に供給される(十分な量の埋蔵量が確保されている)ことを要求。
- 上記は、信頼性の高い生産挙動予測をもって示される必要がある。



Cumulative Net Cash Flow (Undiscounted)



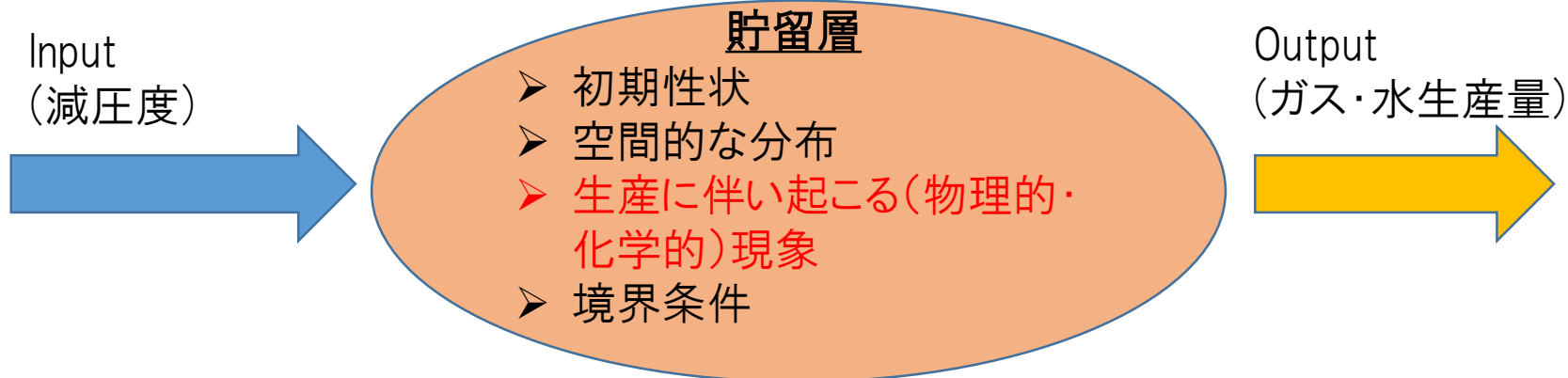
投資判断や開発計画立案、マーケティング等において
信頼性の高い生産挙動予測は不可欠

MH貯留層評価の特徴と難しさ(1/8)

MHの生産挙動予測はなぜ難しいか？(現時点で考えられる要因)

- ① 減圧に伴い貯留層内で起こる(と想定される)現象のメカニズムが複雑。
⇒「MH分解(化学的反応)」「伝熱」「流動」「力学的変形」の要素からなる複雑な現象(他の「非在来型」と比べてもより複雑)。
⇒実験室で再現することは容易ではない。
- ② MH分布の不均質性
⇒不均質性が表現された地質/貯留層モデルが必要。
- ③ 多数の坑井を掘削し大量のデータを取得することは(特に費用面から)容易ではない。
⇒”Data Driven”な手法により信頼性のある生産挙動予測を行うことは現時点では難しい。
- (④生産手法が確立していない)

MH貯留層評価の特徴と難しさ (2/8)



生産挙動予測の代表的な手法

- ① 貯留層の性状、生産に伴い起こる現象を理解しモデル化、数値シミュレーションを用いて予測
- ② (貯留層はブラックボックスとみなし)Outputを統計的に処理して代表的な生産挙動を推定(時間の関数として数式化) ⇒例:タイプカーブ(Type Curve)を用いた手法
- ③ 過去の生産挙動の傾向から外挿して将来の生産量を予測 ⇒例:減退曲線法
- ④ AI等の最新技術を用いた手法??

②～④は豊富な実績(データ)があつて初めて有効

⇒MHにおいては当面①に軸足を置いて検討せざるを得ない

信頼性の高い生産挙動予測の実現

⇔

貯留層評価技術の向上

MH貯留層評価の特徴と難しさ (3/8)

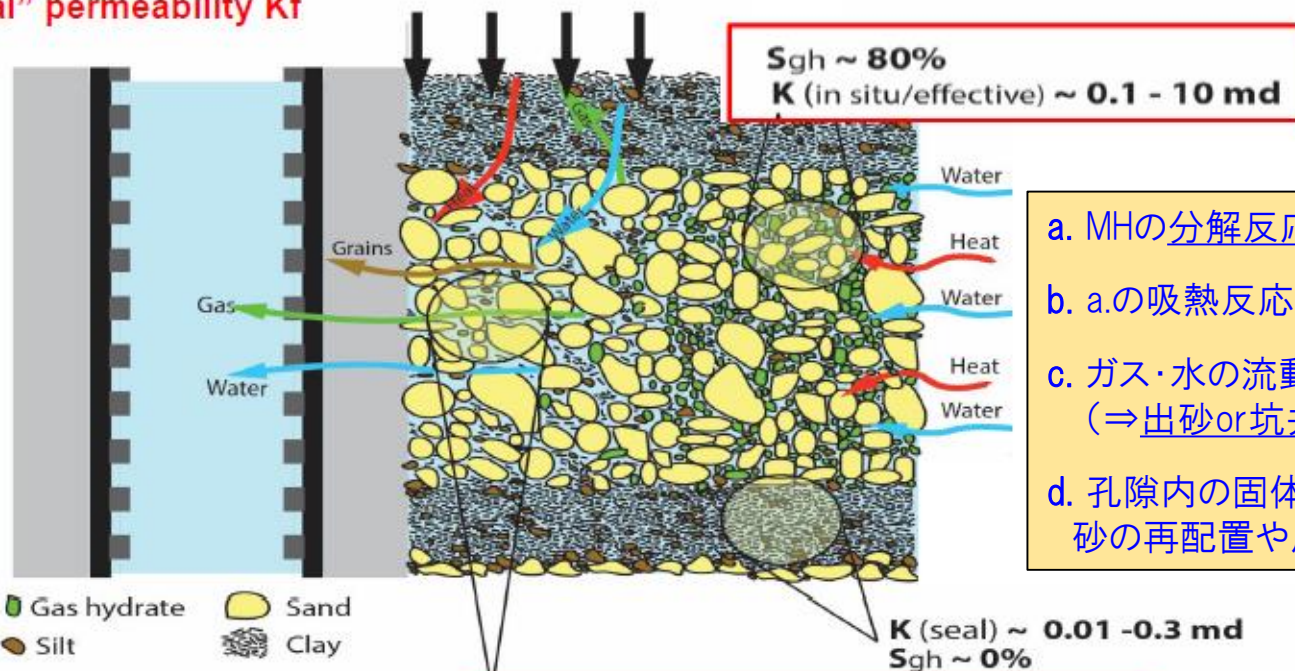
【減圧に伴い起きている(と推定される)現象】

Reservoir Permeability (pressure) Controls

- "Initial" intrinsic permeability K_i
- Effective permeability K_e
- "Final" permeability K_f

- Conductive heat flow: Reservoir & bounding units
- Convective heat flow: Reservoir fluids

Source of Heat



- MHの分解反応(固体⇒気体/液体)
- a.の吸熱反応に伴う熱の移動(伝熱)
- ガス・水の流動に伴う砂(細粒分)の移動(⇒出砂or坑井周りのスキンの形成??)
- 孔隙内の固体の減少(有効孔隙の増加)、砂の再配置や圧密による浸透率変化

Modified from Boswell

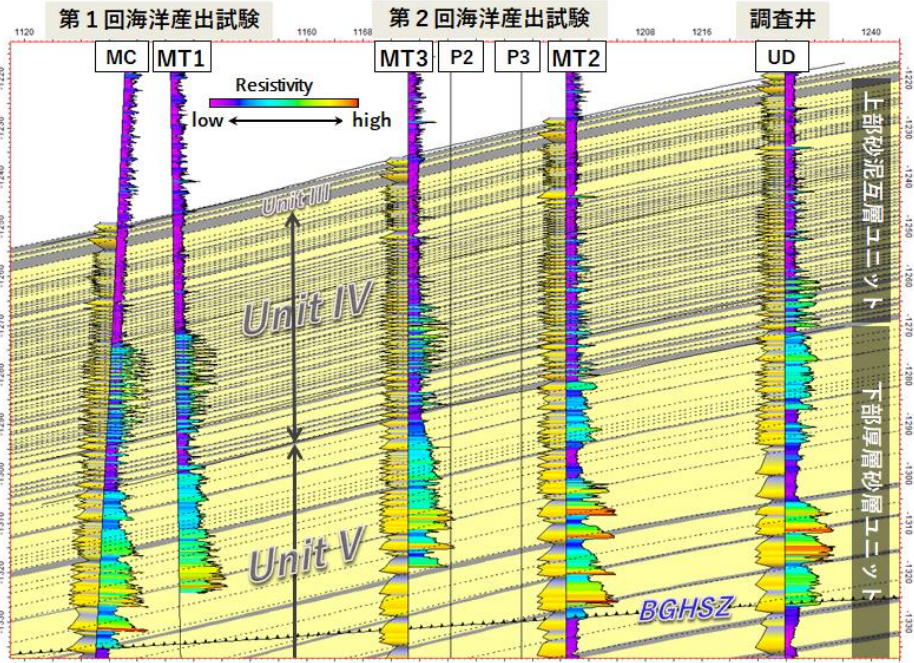
(出典: Tim Collett(USGS), Methane Hydrate Advisory Committee Meeting(Oct 18, 2018)資料を基に編集)

MH貯留層評価の特徴と難しさ (4/8)

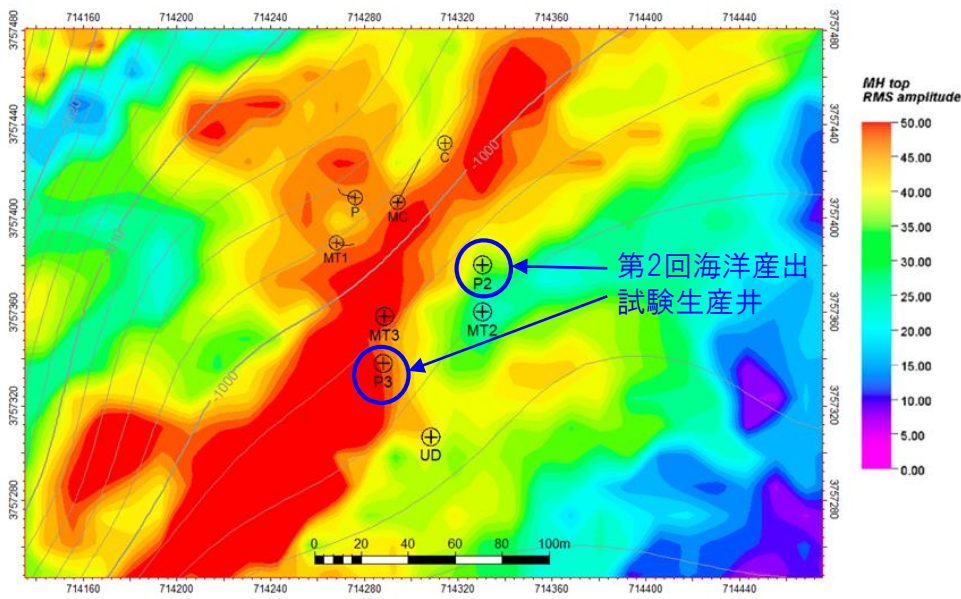
【MH分布の不均質性】

- 地震探査、物理検層結果等から、比較的良好な連続性を有する砂層中においても ハイドレート胚胎(飽和率)の不均質性が示唆されている。

⇒地震探査、検層、コアデータ等に基づく不均質性が適切に表現された貯留層モデルの必要性

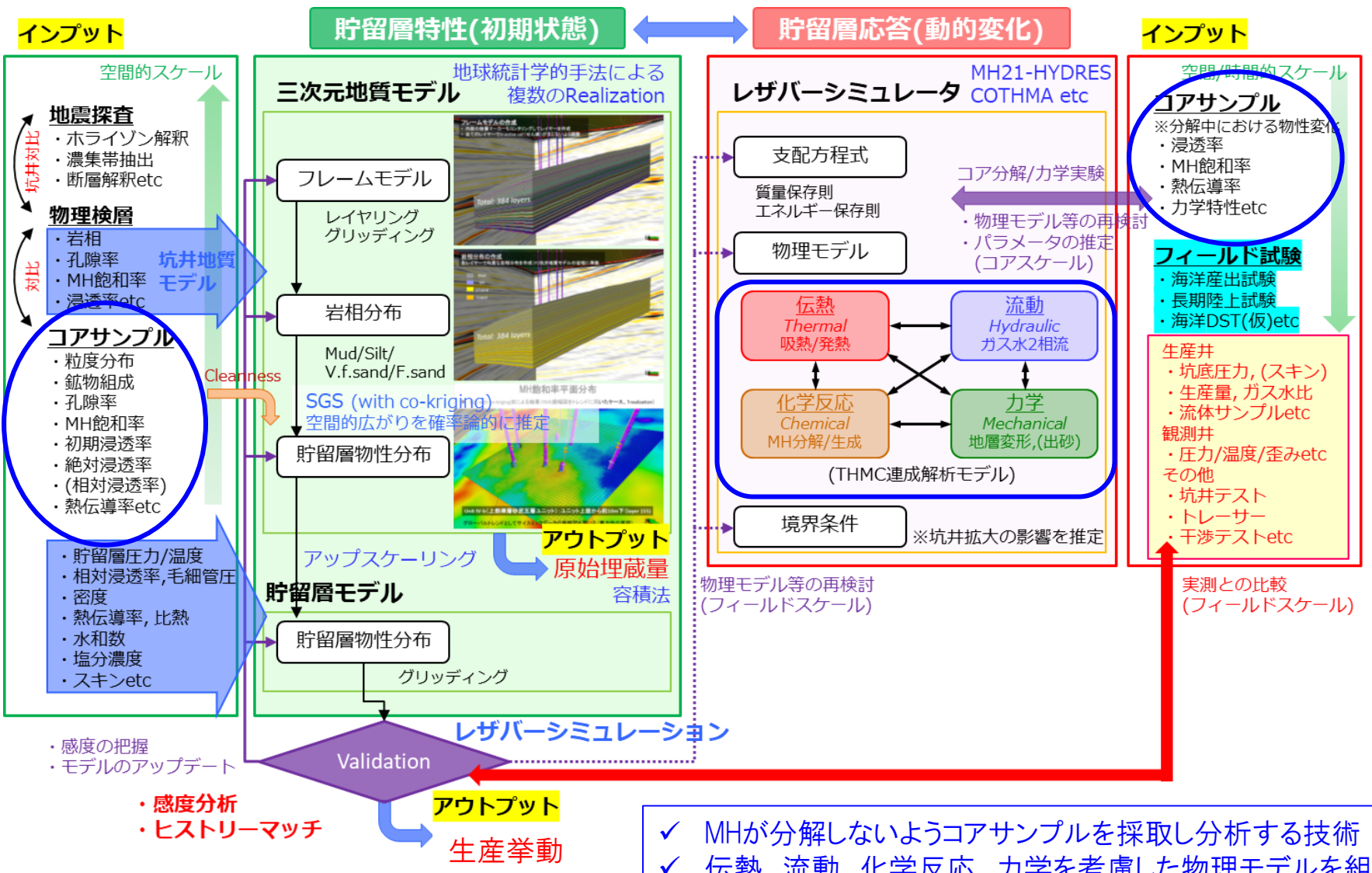


(出典: JOGMEC-TRCウィーク2018 玉置(JOE)プレゼンテーション資料)



MH層上限の振幅マップ
(出典: 玉置(JOE)作成に追記)

MH貯留層評価の特徴と難しさ (5/8)



- ✓ MHが分解しないようコアサンプルを採取し分析する技術
- ✓ 伝熱、流動、化学反応、力学を考慮した物理モデルを組み込んだシミュレータ

(出典:大槻(JOGMEC)作成の図に追記)

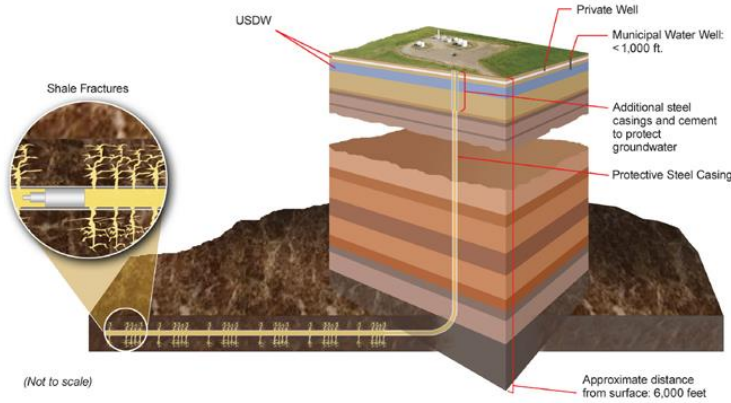
MH貯留層評価の特徴と難しさ (6/8)

シェール(ガス)開発の場合 (⇒力学的な不確実性が高い。生産手法は確立しデータは豊富)

【シェール開発の特徴】

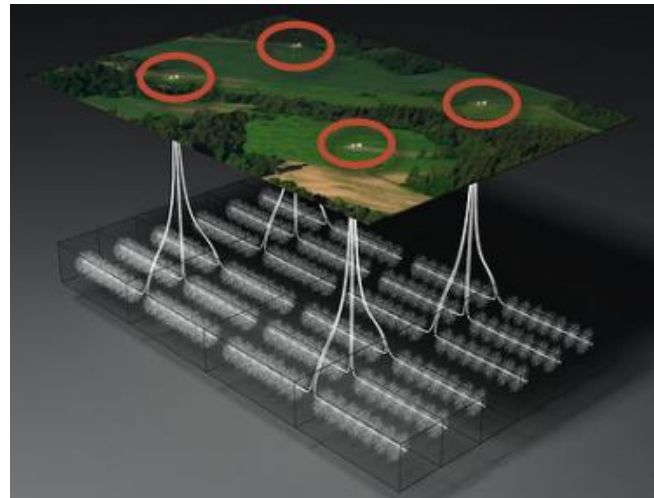
- 極めて浸透性の低い岩石(シェール)が開発対象。
⇒坑井を掘削しただけでは流体は流れず。
- 水平坑井とフラクチャリング(水圧破碎)^{※1}技術の確立、効率化による掘削コスト削減により、2000年代後半から急激に開発が活発化。

※1フラクチャリング: 岩石に液体を圧入することで人工的なき裂(フラクチャー)を形成する手法。フラクチャーが流体の流路となる。



(出典: 米国エネルギー省)

- 生産量の減退が大きく(最初の2年程で7~8割減退)、生産井を継続的に追加することで全体の生産量を確保。
- 1プロジェクトの対象エリアで数千坑の生産井を掘削することも珍しくない。←インフラが整った陸上では安価に掘削可能
- 開発計画(坑井掘削計画)はガス価や生産量の変動によってフレキシブルに変更される。



(出典:米国エネルギー省)

MH貯留層評価の特徴と難しさ (7/8)

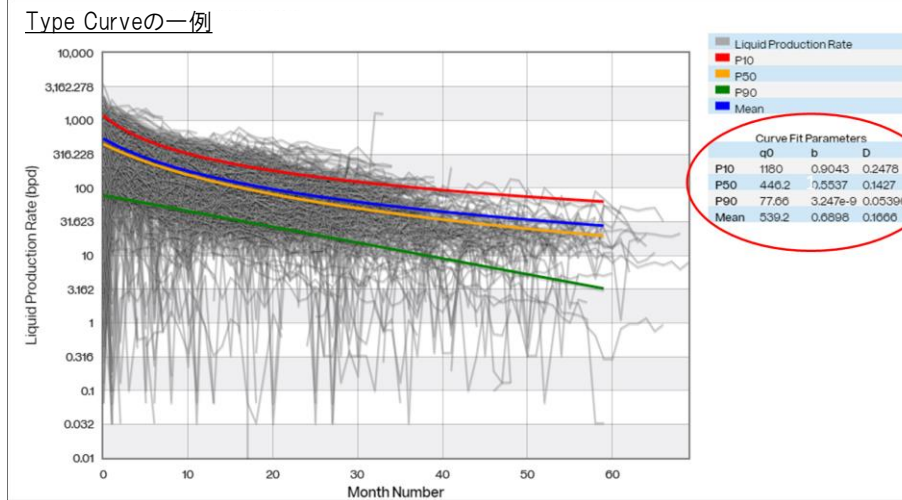
シェール(ガス)開発の場合 (cont'd)

【シェールの貯留層評価の難しさ】

- 生産に寄与するフラクチャーの範囲を正確に把握することは難しい。⇒ 力学的不確実性が高い
- 長期の開発・生産計画はほぼないに等しい。
⇒ フィールドスケールのシミュレーションやタイムリーなシミュレーションは困難

多数の坑井生産データ

坑井あたりの平均的な生産プロファイル(Type Curve)を作成
その重ね合わせで全体生産量を予測



MH貯留層評価の特徴と難しさ(8/8)

オイルサンド開発の場合(⇒長期の試験生産を通じて生産手法が確立。不均質性、伝熱の評価が鍵)

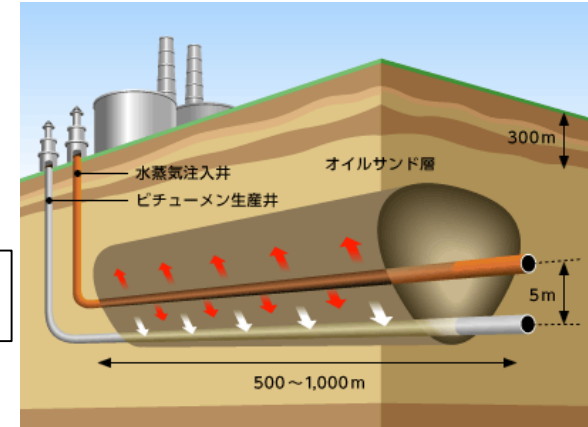
【オイルサンド開発の特徴】

- 超重質(API10度以下)かつ高粘性の油で貯留層条件では流動性を殆ど持たない。⇒坑井を掘削しただけでは自噴せず。

(※深度は比較的浅く、貯留層自体の浸透率は高い)

- SAGD法※2により、露天掘りでは困難な深度でも採取可能に。

※2SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage)法：ペア(2坑)の水平井を上下に平行に配置、上方の圧入井からスチームを圧入、油に流動性を持たせ重力の作用で下方の生産井に集まってきた流体を生産。



(出典: JAPEX)

【オイルサンドの貯留層評価の難しさ】

- スチームの広がり(「伝熱」)の予測が極めて重要 ⇒ 温度変化 大
- スチームの広がりを妨げる 低浸透層の分布(不均質性)の把握が鍵。
⇒不均質性を詳細に表現するためには、モデルは複雑かつ細密なものとなり、シミュレーションは計算時間を要する。
- シミュレータの物理モデルには、主に「伝熱(T)」と「流動(H)」を考慮しモデル化(力学(M)も考慮しない訳ではないが、相対的には影響は少ない)



実用に耐えるシミュレーションの難易度は高く、
長期のデータ蓄積に基づくType Curve的な手法が用いられることが多い



(出典: JAPEX)

研究開発の現状と課題(貯留層評価関連)

【現状】

- これまで開発してきたシミュレータ”MH21-HYDRES”を用いた生産挙動予測等を実施。
- 予測と実際の生産量には未だかい離が見られる。
 - ✓ 予測と実際の生産量はオーダー的には概ね正しいが以下の傾向の違いが見られる。⇒減圧に対する応答が予想とは異なる。
 - ＜予測＞MH分解エリアが同心円状に拡大→ガス生産量は徐々に上昇。
 - ＜実際＞ガス生産量はほぼ一定あるいは漸減の傾向。
 - ✓ 商業化のために重要な中長期的な予測の信頼性を向上させる必要あり。
- 圧力コアリング技術^{※※}や坑内圧力・温度のモニタリング技術等は過去2回実施された海洋産出試験等を通じて大きく進展。
 - ※※「圧力コアリング技術」については、次の講演で詳しくお話します。

【課題】

- ① 予測と実際のかい離の原因の特定
 - ・安定的な減圧や生産量の上昇を阻害する要因を貯留層評価の観点から特定する。
- ② 地質・貯留層モデルの構築手法の検討
 - ・コアサンプルの分析結果、物理検層及び地震探査データを統合的に使用したモデリング。
- ③ 物理モデルの妥当性の検証
 - ・シミュレータに組み込まれている物理モデル(物理現象を表す数式)が妥当かどうか検証。
- ④ ジオメカニクスの現象の理解及びモデル化
 - ・出砂現象や地層自体の変形等のメカニズムの理解、影響を把握しモデル化する。

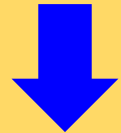
2022年度までの計画(貯留層評価関連)

【実施内容】

- これまでの試験結果の再検証
- 予測と実際のかい離原因の特定、解決策の検討
(安定生産阻害要因)
- コア分析作業 (海洋産出試験、アラスカ陸上坑井)
- コア分析技術の高度化検討
- 地質・貯留層モデル構築、手法の検討
- 物理モデルの検証
- ジオメカニクスの検討
✓ 出砂現象、地層変形等のメカニズムの理解、影響把握
- 生産増進技術(増進回収法)の検討
- シミュレータ機能強化検討
- 機械学習等の適用検討

【目標】

信頼性の高い(実際の生産データとのかい離が小さい)生産挙動予測、技術的可採量評価の実現



次フェーズ海洋産出試験への移行の可否の判断に資する

※2022年度までに実施予定のアラスカ長期陸上産出試験、日本周辺海域での試験・簡易生産試験のデータも有効活用して技術開発を進める計画

MH21-S貯留層評価チーム体制

➤ 「貯留層評価チーム」に以下の6つのサブチームを設置

サブチーム名	役割	主担当法人
コア分析	海洋産出試験、アラスカ陸上、今後実施予定の試掘時に 取得したコアの分析(静的、動的)を実施 し、地質/貯留層評価手法の開発/改善に寄与する。	AIST
地質/貯留層モデリング・シミュレーション	地質/貯留層モデルの構築およびその手法の検討 を継続しつつ、他STと連携しながら 物理モデルの検証も含めて生産予測・技術的可採量評価手法の信頼性向上 を目指した研究開発を進める。貯留層の観点から 安定生産阻害要因について検討 をする。	JOGMEC
ジオメカニクス検討	出砂、地層変形、坑径拡大等 の現象を ジオメカ的観点から検討 し、それらを モニタリングする技術 や モデリング手法 について研究開発を進める。ジオメカ的観点から 安定生産阻害要因について検討 する。	JOGMEC
シミュレータ機能強化・増進回収法検討	増進回収法、貯留層障害等の評価を可能とすることを旨 すとともに、大規模かつ実践的問題へも対応できるよう シミュレータの機能強化 を進める。	AIST
物理探査モニタリング検討	次フェーズ海洋産出試験に向けて、 タイムラプス物理探査モニタリング (ガス生産実験前後における物性変化を捉えることが目的)の 実施必要性の可否 、およびその 手法について検討 を進める。	JOGMEC
機械学習等適用検討	貯留層評価における AI技術の適用可能性を調査 し、 AI技術を適用した支援ツールの開発 を目指す。	JMH

謝辞

本資料は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいています。

以下の関係先に謝意を表します。

経済産業省 資源エネルギー庁

MH21-S研究開発コンソーシアムの業務委託先各社

地元関係者他、研究等に協力いただいた皆様