

メタンハイドレートフォーラム 2018

MH21総括成果報告：生産手法開発グループ -フェーズ2、フェーズ3の主な取り込み-

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21)

生産手法開発グループ 天満則夫 (産総研)

2019年1月23日 (水)

東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

メタンハイドレート資源開発の特徴



掘削すると
容易に自噴

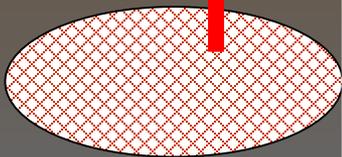
MH資源開発用の新たな
生産手法の開発が必要



掘削では自噴しない

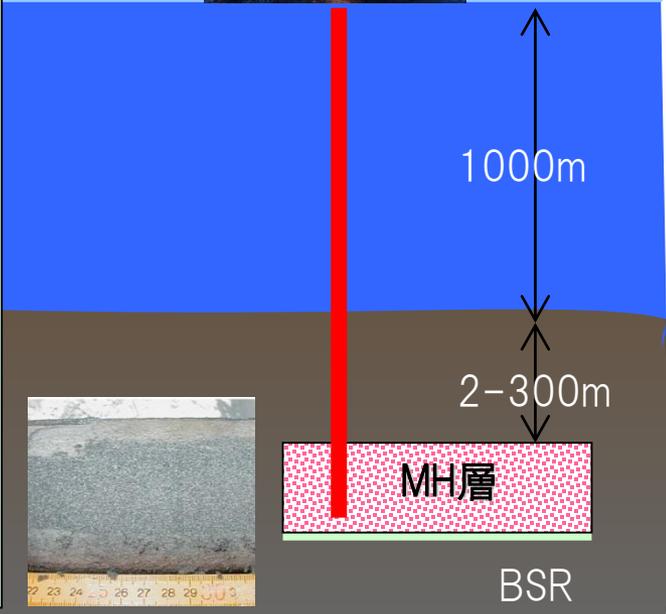


在来型
天然ガス資源



固結した砂岩
中に高圧のガスとして存在

- 主な特徴
1. 大水深であるが海底から浅いところに存在、開発事例がない。
 2. 在来型油ガス田とは異なり、堆積層は固結していない(サラサラの砂)
 3. メタンハイドレートが分解するにつれて、ガスの流れやすさ、熱の伝わり方、強度など地層の性質が大きく変わる。
 4. メタンハイドレートが分解すると地層の温度が低下し、生産量が下がる。



1000m

2-300m

MH層

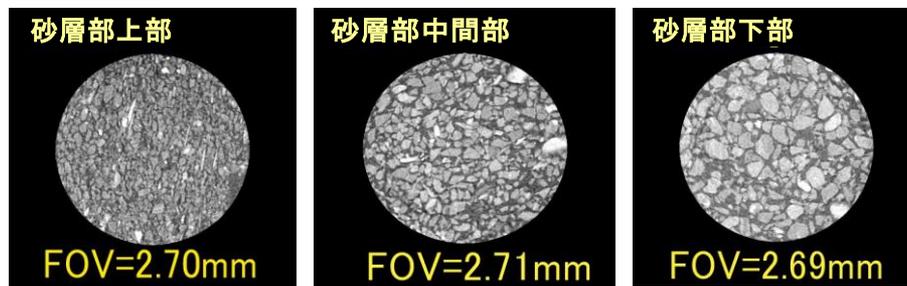
BSR



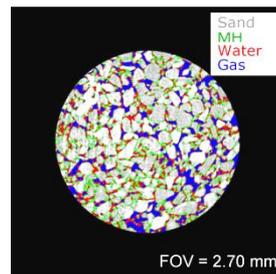
MH堆積層原位置条件における基礎物性／分解特性測定の基盤技術の確立



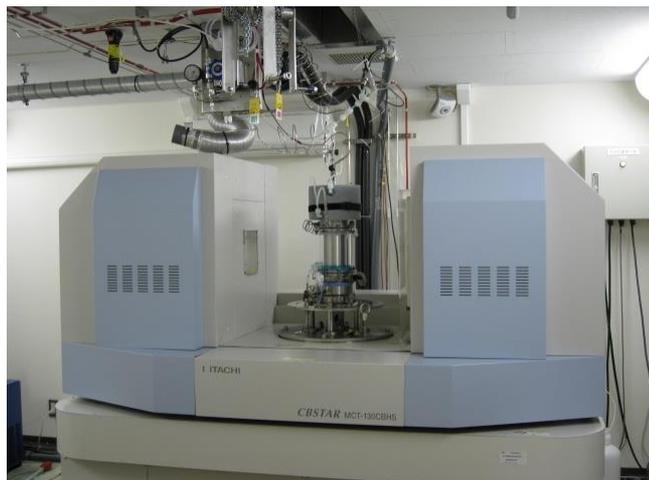
天然コア内部観測解析装置
(マイクロフォーカスX線CT)



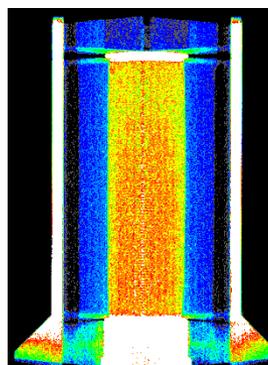
基礎試錐コアの砂層上中下部のμフォーカスX線CT像
(タービダイト成のため下ほど粗粒)



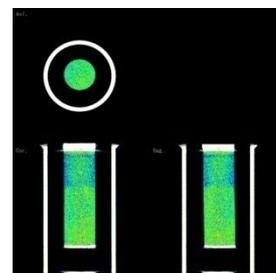
基礎試錐コアのμフォーカスX線CTによるガス、水、MH、砂の分離像



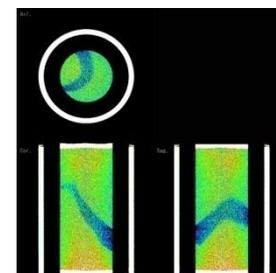
分解過程解析用可視化装置
(高速X線CT)



減圧法(第2回陸産試験)の可視化
上部減圧面から分解が進み、同時に周辺からの熱移動によっても分解が促進。



坑井加熱法(第1回陸産試験)の可視化
上面の加熱面からの伝熱によって分解が進行するためまっすぐゆっくり分解が進む



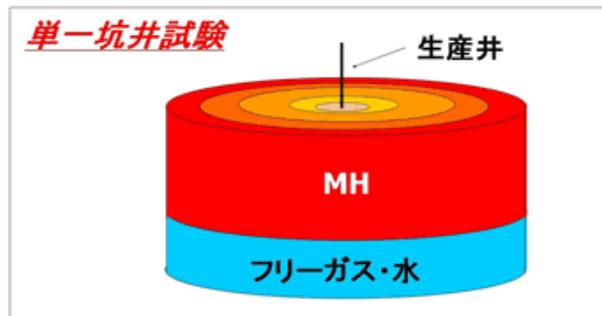
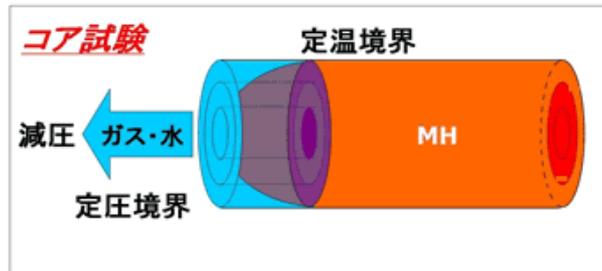
温水圧入法の可視化
下面(圧入井)から温水を圧入して上部(生産井)からガスを生産する手法であるが上部にMHが再生して浸透性を悪化させる

生産挙動予測シミュレータの開発

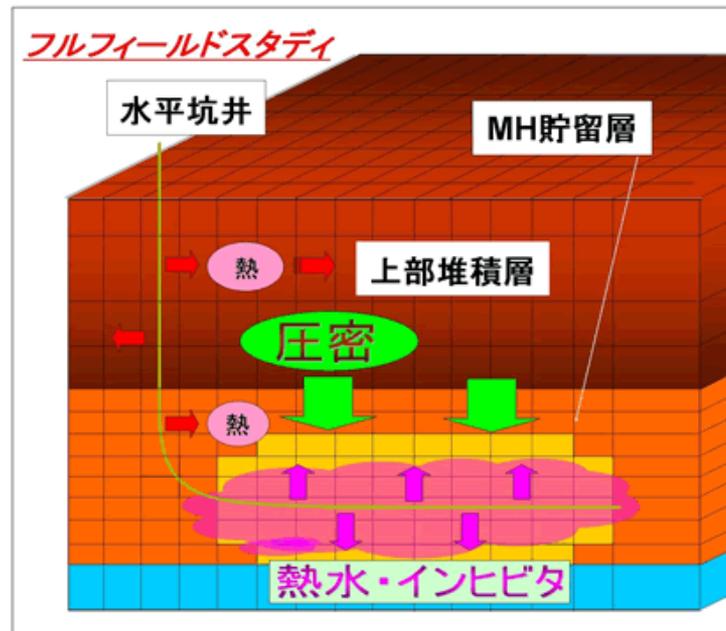
□ MH21-HYDRES (MH21 Hydrate Reservoir Simulator) の開発

- MH21研究コンソーシアムのもと、産学官共同開発
- 多孔質媒体内の多相流動、メタンハイドレートの生成・分解、氷の生成・融解を考慮して、ガス・水の生産挙動を計算

2D 円筒座標系モデル



3D 直交座標系/コーナーポイントグリッドモデル



フェーズ1での主な研究

- フェーズ1における生産手法開発グループでは、わが国周辺海域のMH資源を対象に有益な生産手法を検討し、提示することであった。その中で主に以下の取組を行った。
- MH堆積層原位置条件における基礎物性、分解特性測定の基盤技術の確立
- 天然のMH堆積物を再現する模擬MH堆積物の製造技術確立
- 特徴的なMH貯留層特性と分解特性を組み込んだ、開発生産専用の生産シミュレータの開発
- 各種分解手法による生産性の比較検討

生産手法開発グループの取組

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。



- 生産性増進化技術の開発
- 生産性・生産挙動評価技術の開発／高度化
- 地層特性評価技術の開発／高度化

生産性増進化技術の開発

【主な実施内容】

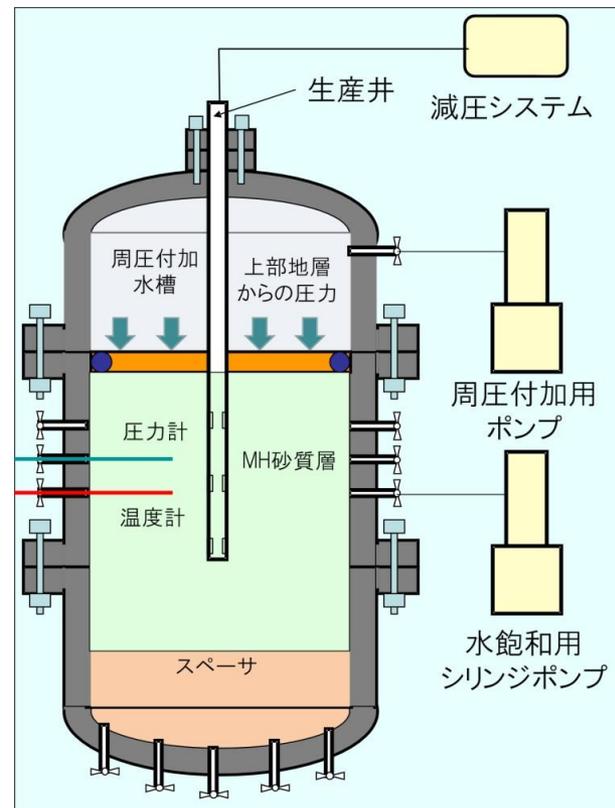
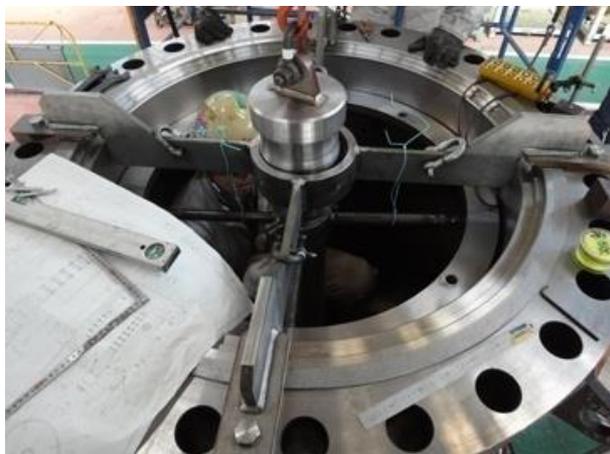
- 減圧法では、メタンハイドレート周辺の地層の顕熱等も利用した熱供給により分解が進行するため、そのバランスによっては未回収分が生じる可能性がある。そこで、地層温度を回復し二次回収するための生産増進法の実施。
- 長期にわたり安定な生産を行う上で、出砂現象、スキン形成、細粒砂蓄積、圧密による浸透性低下やメタンハイドレート再生成による流動障害などの生産障害対策・抑制技術の開発を実施。
- 大型室内産出試験装置による実証

生産性増進化技術の開発—大型室内産出試験装置

メタンハイドレート資源開発において、井戸あたりのガス生産レートの増加は、その経済性を向上させるためにきわめて重要な開発課題となっています。

本設備を使用して、メタンハイドレート層からのガス・水の流体流動挙動の評価や数値シミュレータによる実験データの検証などを通して信頼性向上などを行っています。

High-pressure Giant Unit for Methane-hydrate Analysis (HiGUMA)



主な諸元 拘束圧15MPa以上、内径1m
内高1.5m、使用温度-5~20°C

海底下約500m(海面下約1500m)の条件を実現

生産性増進化技術の開発

減圧法：高圧低温下の安定条件にあるメタンハイドレートを分解条件下にする生産方法であり、分解過程では吸熱反応がおこっている。

⇒メタンハイドレート周辺の地層の顕熱等も利用した熱供給により分解が進行するため、そのバランスによっては未回収分が生じる可能性がある。

● 熱供給

- ハイドレート分解による吸熱反応で地層温度が低下
- 地熱の流入は遅く、生産期間を延長しても生産レートが極端に低下

※加熱併用法、強減圧法、通電加熱法、などなど

● 浸透性向上

- 堆積物の水・ガスの流れやすさが悪いと、減圧が伝わらない
- 分解した水・ガスが井戸に流れない（生産障害）

※フラクチャリング、**超音波加振法**

生産性増進化技術の開発—熱供給

➤ 熱供給

① 加熱併用 (Huff&Puff)法

減圧後、地熱回復のため「少量の」
温水圧入または坑井加熱を行う

② 強減圧法

地層内に「氷」ができるまで強減圧
氷の潜熱を利用

③ 通電加熱法

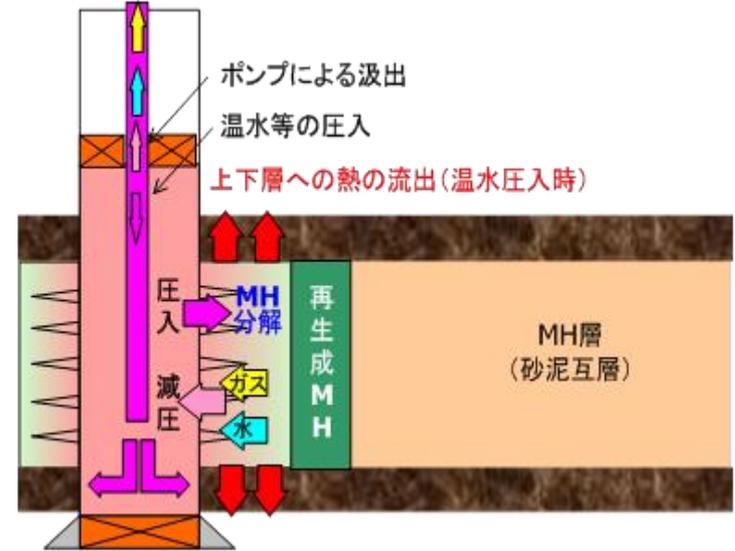
坑井間に電流を印加し地層を加熱

④ 異種ガス (CO₂) 圧入法

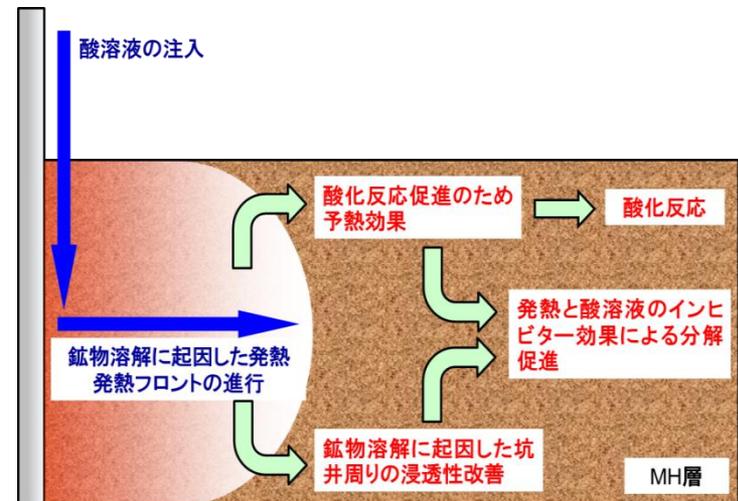
減圧後の地層にCO₂を圧入しCO₂
ハイドレート生成熱で地温を回復

⑤ ケミカルインジェクション法

酸化剤を地層に圧入し鉱物溶解や中
和熱による発熱で地温を回復



減圧・加熱併用法

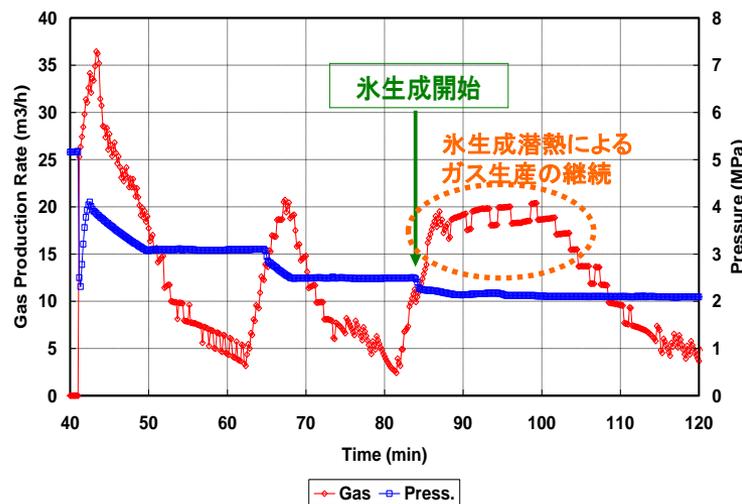


ケミカルインジェクション法

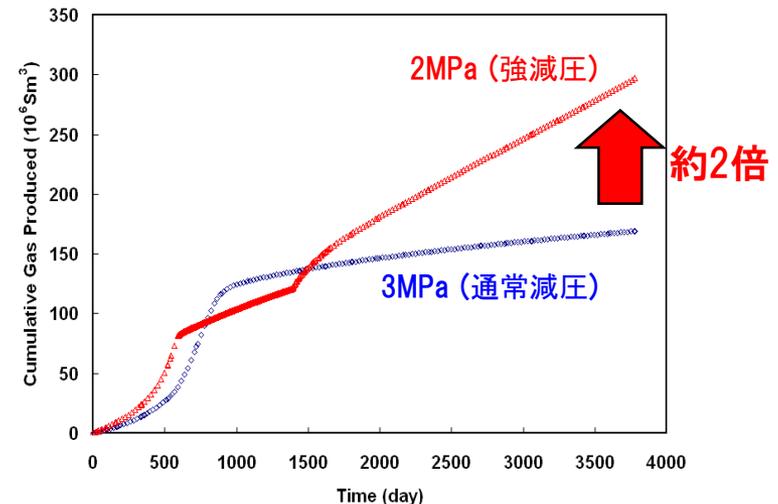
生産性増進化技術の開発 – 強減圧法の紹介

□ 強減圧法とは

- メタンハイドレートの4重点(ハイドレート相-水相-氷相-ガス相が共存する点、温度273k、圧力2.56MPa)より低い圧力まで減圧することで、貯留層内に積極的に氷を生成させ、氷の生成潜熱をハイドレート分解に利用する生産性を向上させるための手法
- 大型装置：HiGUMAを用いて「強減圧法」の効果を検証
 - ・ 減圧直後にガス生産レートが増加
 - ・ 2.1MPaまで、強減圧した場合にはガス生産は増加後、減衰せずにガス生産が継続されている。



HiGUMAによる強減圧生産増進効果の検証
(Y. Konno et. al, Energy & Fuels, 2012)



通常減圧法と強減圧法のガス生産量比
(MH21-HYDRESによるシミュレーション)

生産性増進化技術の開発—浸透性の向上

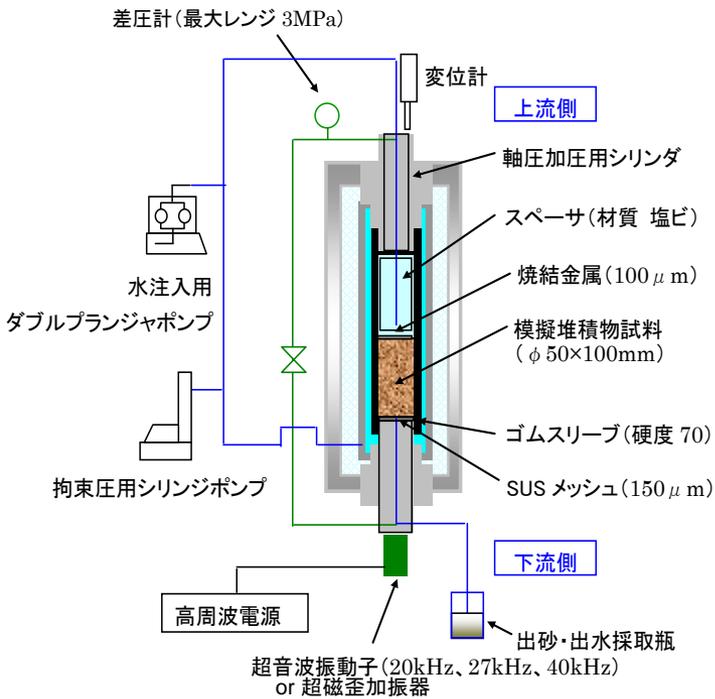
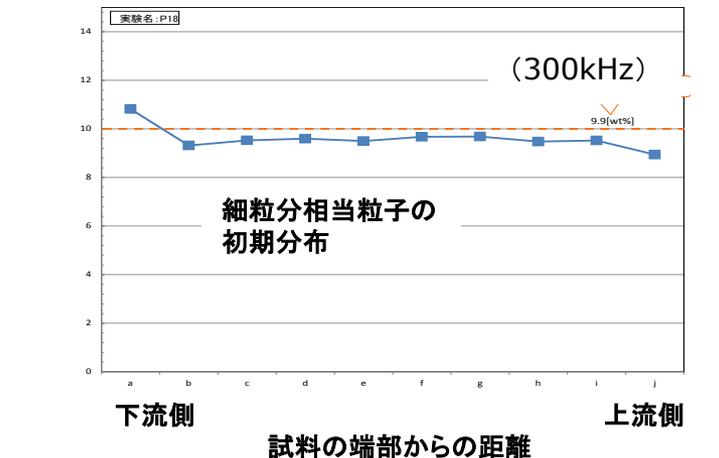
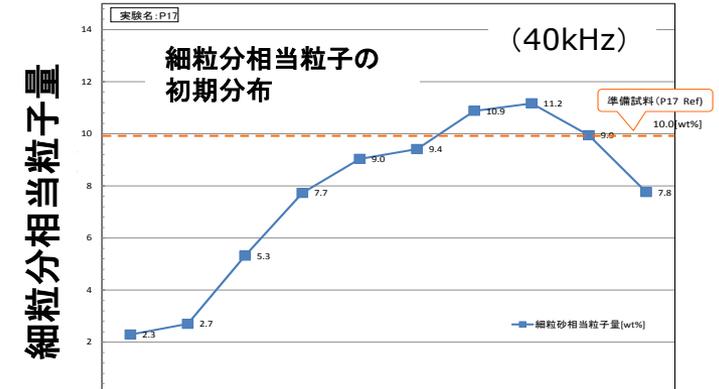
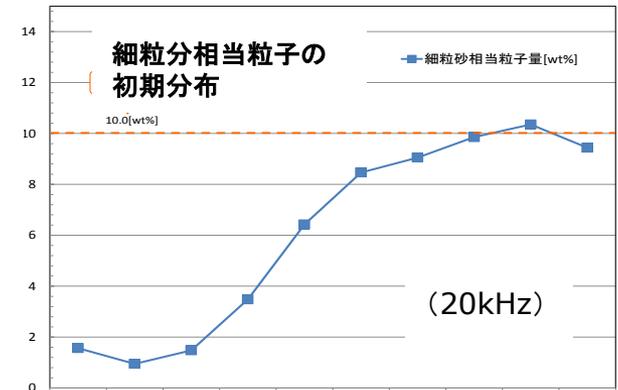
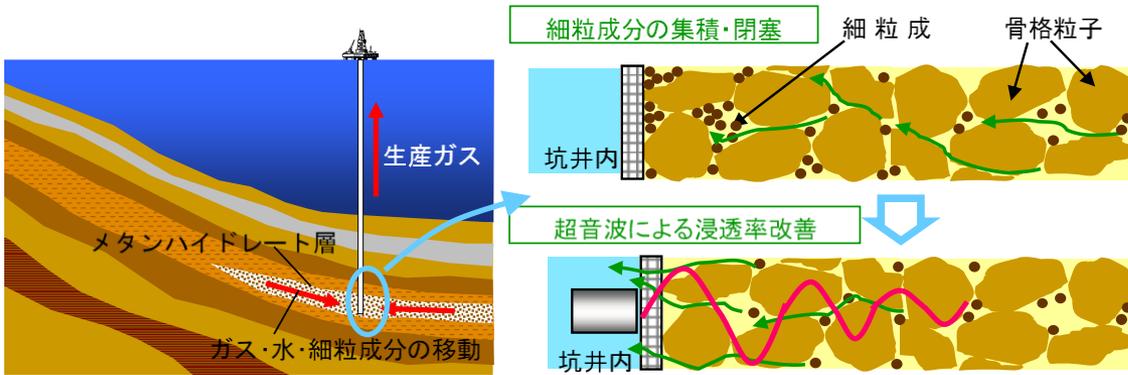


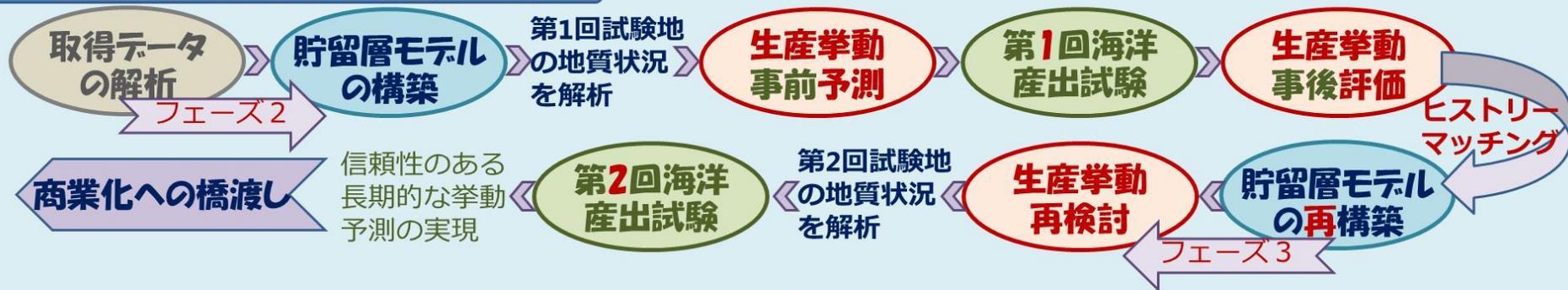
図 小型実験装置(今回実験で使用)
(試料寸法: Φ 5cm \times 10cm、1次元流れの透水実験用)

生産性・生産挙動評価技術の 開発／高度化

【主な実施内容】

- シミュレータの開発・改良や生産増進法などの解析ルーチンの機能追加
- 圧力コア解析等を適用したモデル構築技術の信頼性向上や海産試験等の生産性予測・検証等を通じた解析技術の精度向上

モデル開発と挙動評価作業の流れ



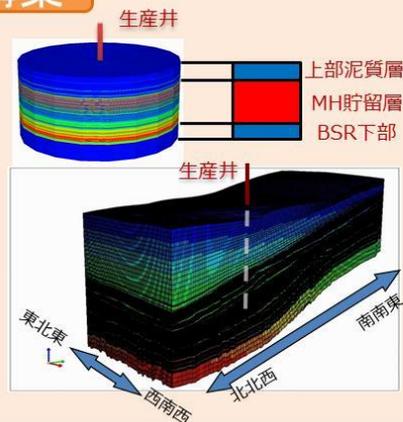
2D/3D貯留層モデルの構築

震探/検層/コアデータの解釈

坑井地質モデルの構築

MH濃集帯エリアの貯留層特性の三次元分布の推定

大小不均質性の検討と三次元貯留層モデルの構築



履歴マッチングと貯留層モデルの再構築

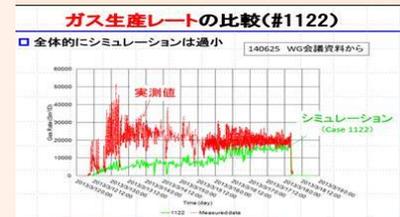
MH21-HYDRESによる履歴マッチング

生産挙動に基づく貯留層特性の検討

保圧コア解析結果等の適用による貯留層モデルの見直し

より適切な貯留層モデルの構築

第2回海洋産出試験のモデルに反映



保圧コア

生産性・生産挙動評価技術の開発／高度化—圧力コア評価技術の開発

原位置での条件を把握するためにはMHが分解しないように保圧した状態でコアを取得することが重要である。近年、この保圧状態でのコア取得が可能となり、米国地質調査所、米国ジョージア工科大学と共に、圧力コア試験に関する共同研究を実施した。これらの研究を通して、コアの物性解析を行うための圧力コアの分析装置を日本独自に開発し、内部構造を可視化したり、力学パラメータを取得できる**圧力コア解析装置群**を導入し、評価技術の高度を進めた。

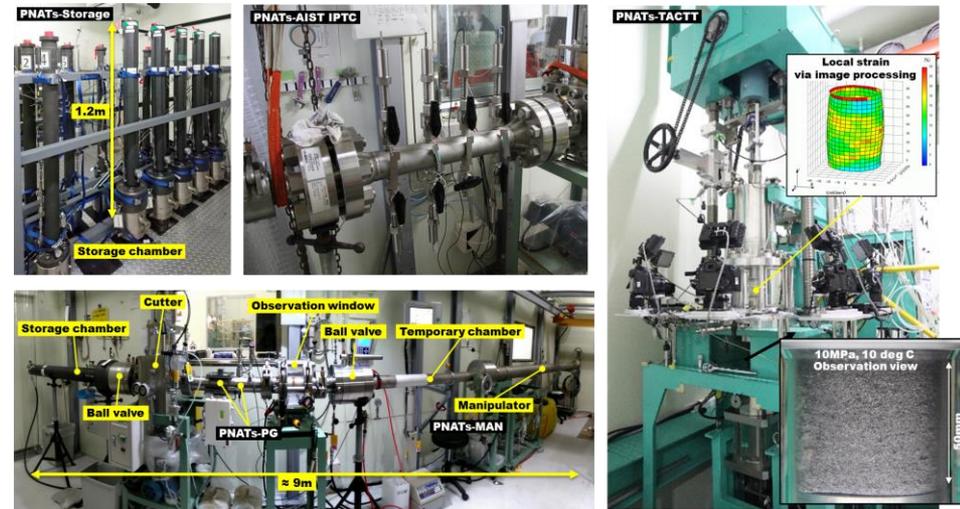
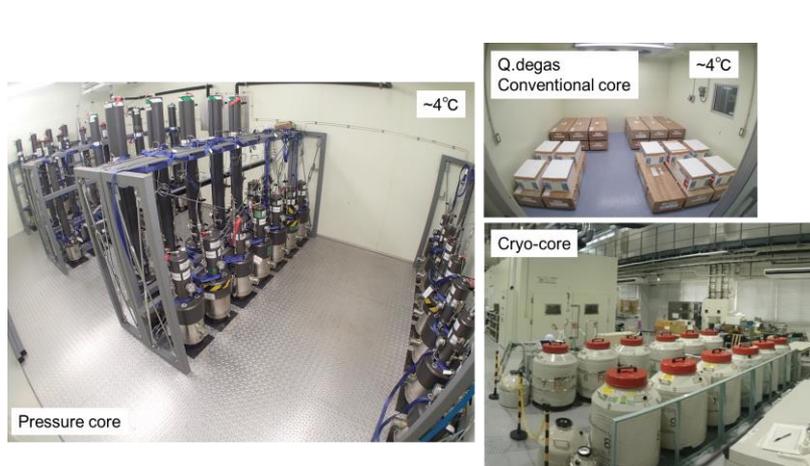


図 北海道センターにて保管されている海洋産出試験実施域にて採取された各種コア

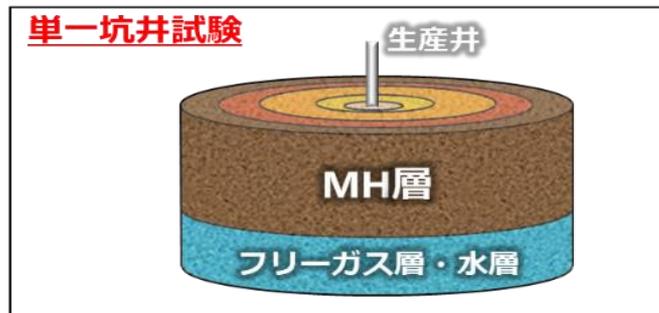
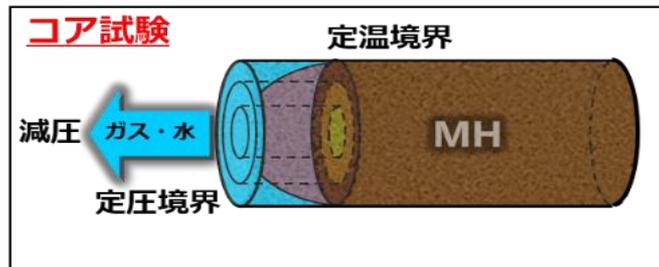
図 圧力コア解析装置群
(Pressure-core Nondestructive Analysis Tools, : PNATs)
【出典：MH21総括成果報告書】

生産挙動予測シミュレータの開発

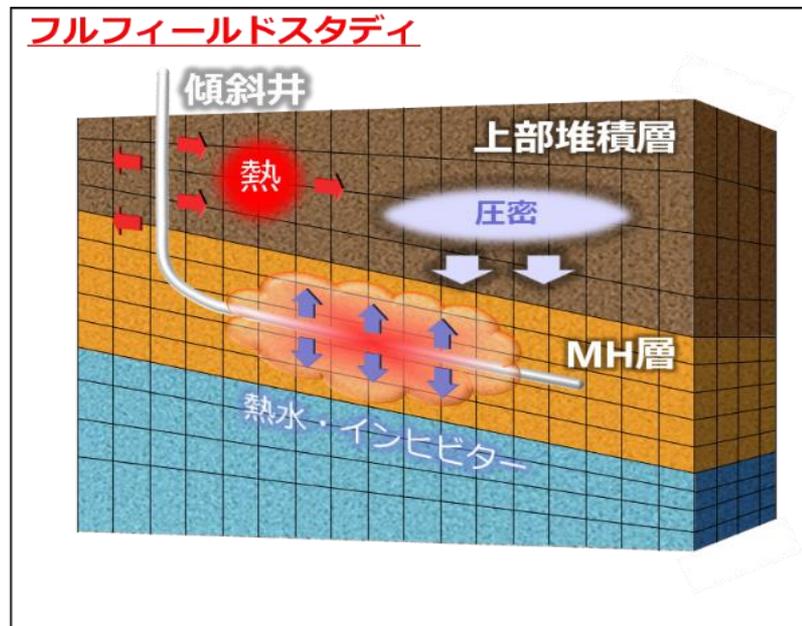
□MH21-HYDRES (MH21 Hydrate Reservoir Simulator)の開発

- MH21研究コンソーシアムのもと、産学官共同開発し、多孔質媒体内の多相流動、メタンハイドレートの生成・分解、氷の生成・融解を考慮して、ガス・水の生産挙動を計算
- より詳細な試験挙動予測・解析、新たな生産手法の開発・評価などが出来るようにフェーズ2および3でもシミュレータの改良・強化を実施
- 第1回海洋産出試験、第2回海洋産出試験の試験計画や解析などにも使用

2D 円筒座標系モデル



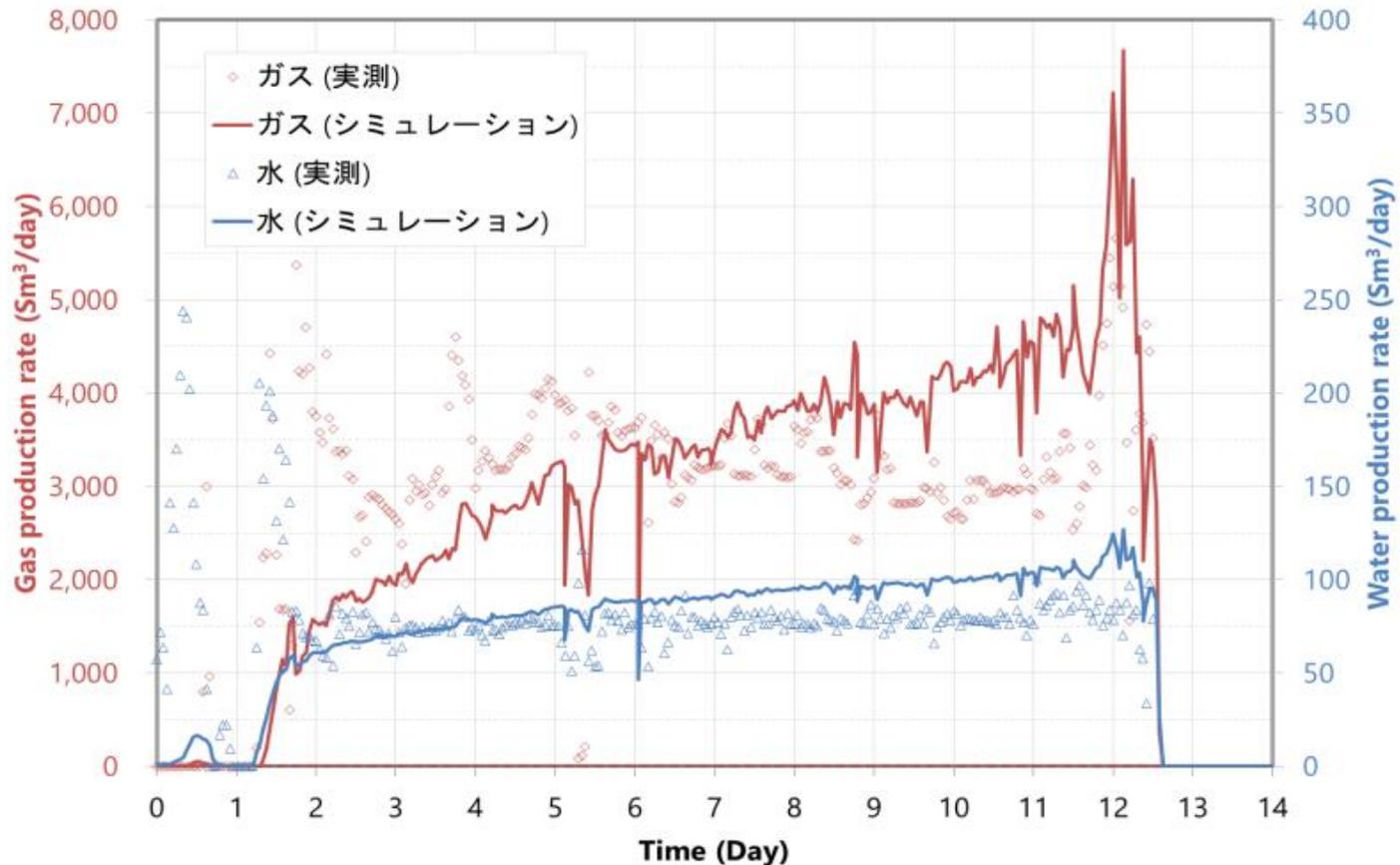
3D 直交座標系/コーナーポイントグリッドモデル



【出典：MH21総括成果報告書】

生産性・生産挙動評価技術の開発／高度化—MH21-HYDRESによる検証

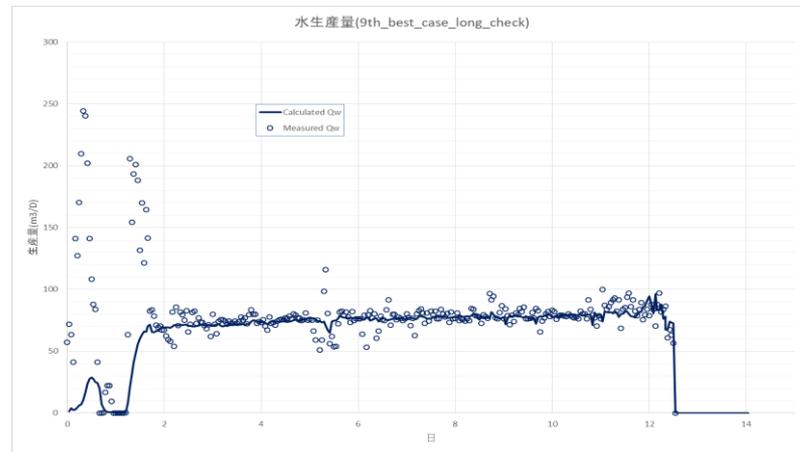
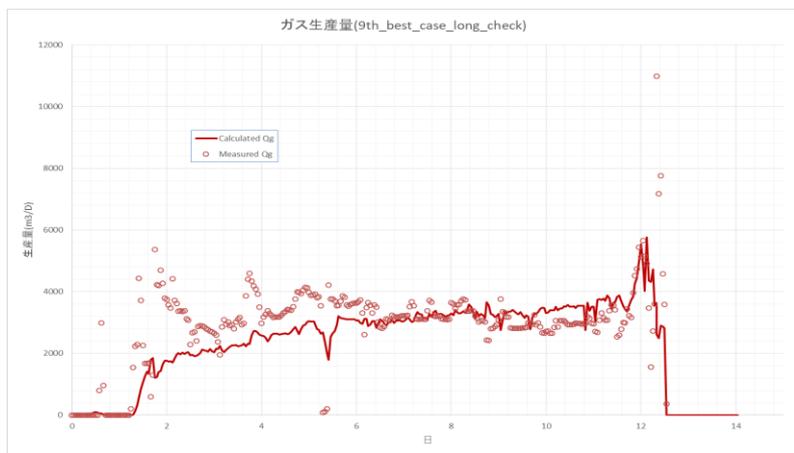
● 第2回海洋産出試験の結果より、地層・ハイドレート濃集状況の不均質性や貯留層内の流動特性などの再検討が必要となり、MH21研究コンソーシアムの各研究グループなどと連携し、生産挙動に関する検証を実施。なお、平衡曲線は第1回海産試験の解析で用いた塩分濃度1.35%を用いている。



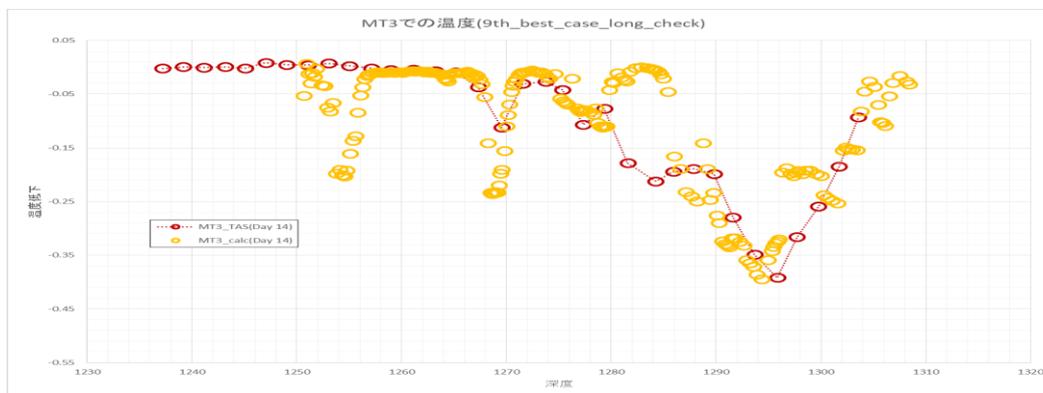
試験後に取りまとめた貯留層モデルを用いて、実測の坑底圧で計算したヒストリーマッチング前の計算結果と実測値の比較(P3井)
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/033_07_02.pdf

生産性・生産挙動評価技術の開発／高度化—MH21-HYDRESによる検証(例)

初期のガス生産量は少ないものの後半の生産量はほぼ実測と整合した。しかしながら、ガス生産量の増加傾向は是正できなかった。一方、水生産量は、Casing shoe直下の水層からの水の流入を許すことで非常に良いマッチングとなっている。



海洋産出試験(P3井)のガス／水生産量のマッチング結果



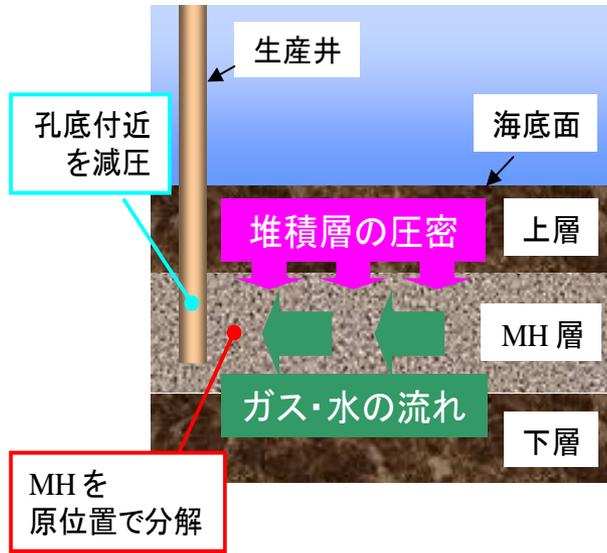
モニタリング井(MT3)の深部での14日目の温度分布のマッチング結果

地層特性評価の開発／高度化

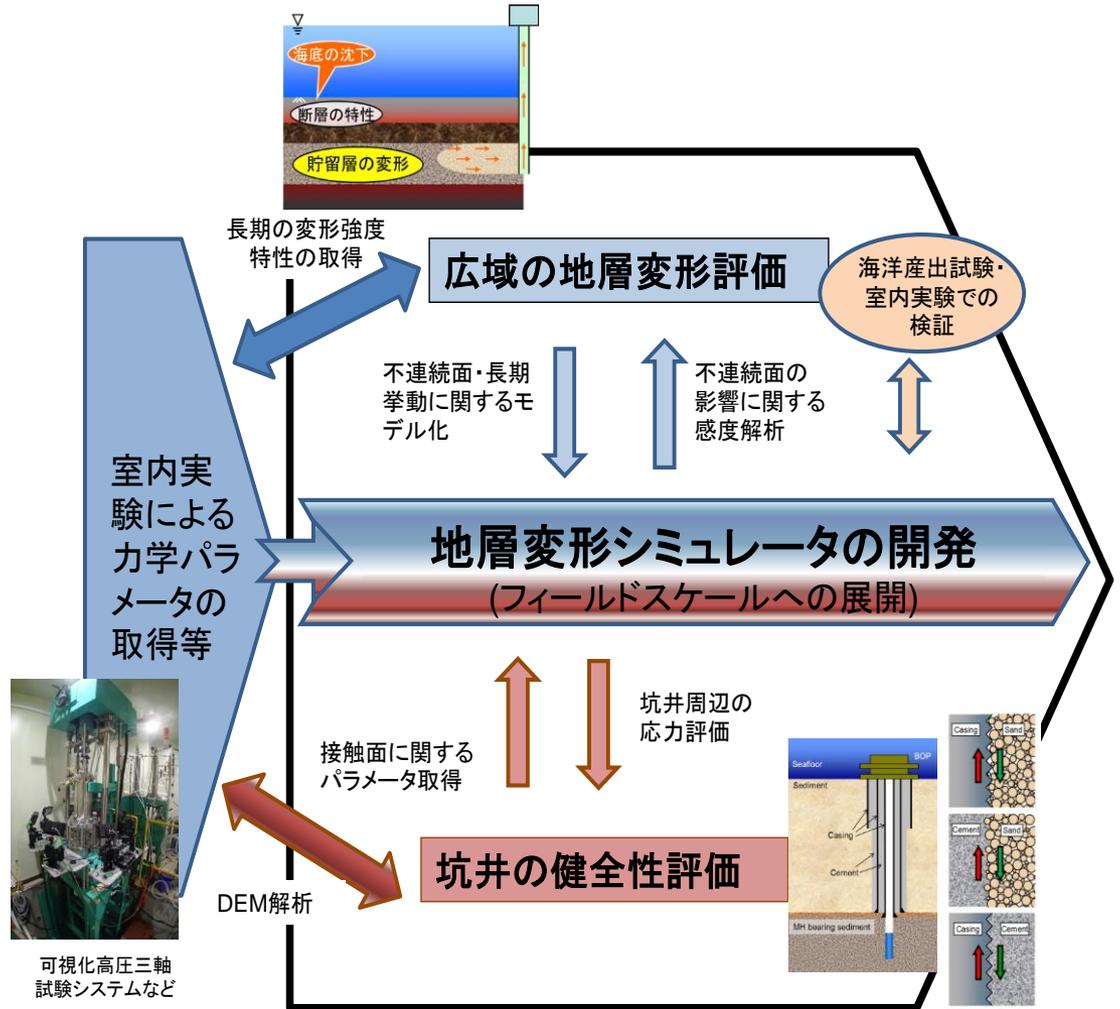
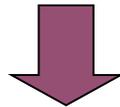
【主な実施内容】

- 減圧法適用時には、MHの分解やMH層に加わる圧力の変動などにより、MH層の圧密や変形が生じると考えられています。そこで、長期・広域の地盤挙動を取り扱えるようなシミュレータの開発や、生産時の坑井安定性や広域の地層変形等に関する評価を実施

地層特性評価技術の開発／高度化



MHの分解やMH層に加わる圧力の変動などにより、MH層の圧密や変形が生じると予想されます。

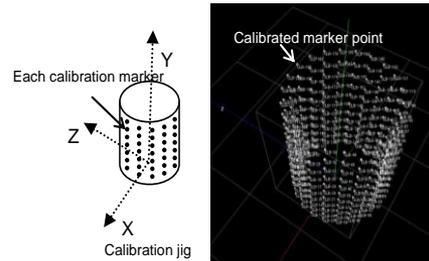


MH貯留層の基礎特性及び力学特性を評価し、長期的に安定・安全な生産を可能とするための技術開発が必要⇒地層特性評価技術

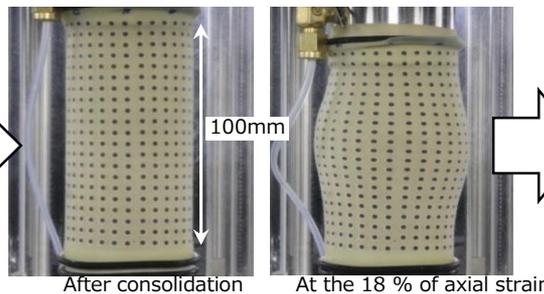
地層特性評価技術の開発／高度化－パラメータ取得

【圧力コア解析】

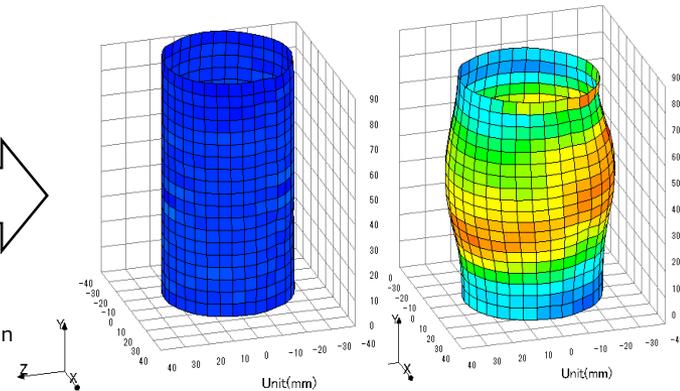
圧力コアの力学特性を高精度で計測可能なシステムを設計・開発した。可視化が可能であり、局所的な変形や体積変化を高精度で評価し地層変形シミュレータへ反映する。



シミュレーション予測に寄与する高精度パラメータの取得手法を確立

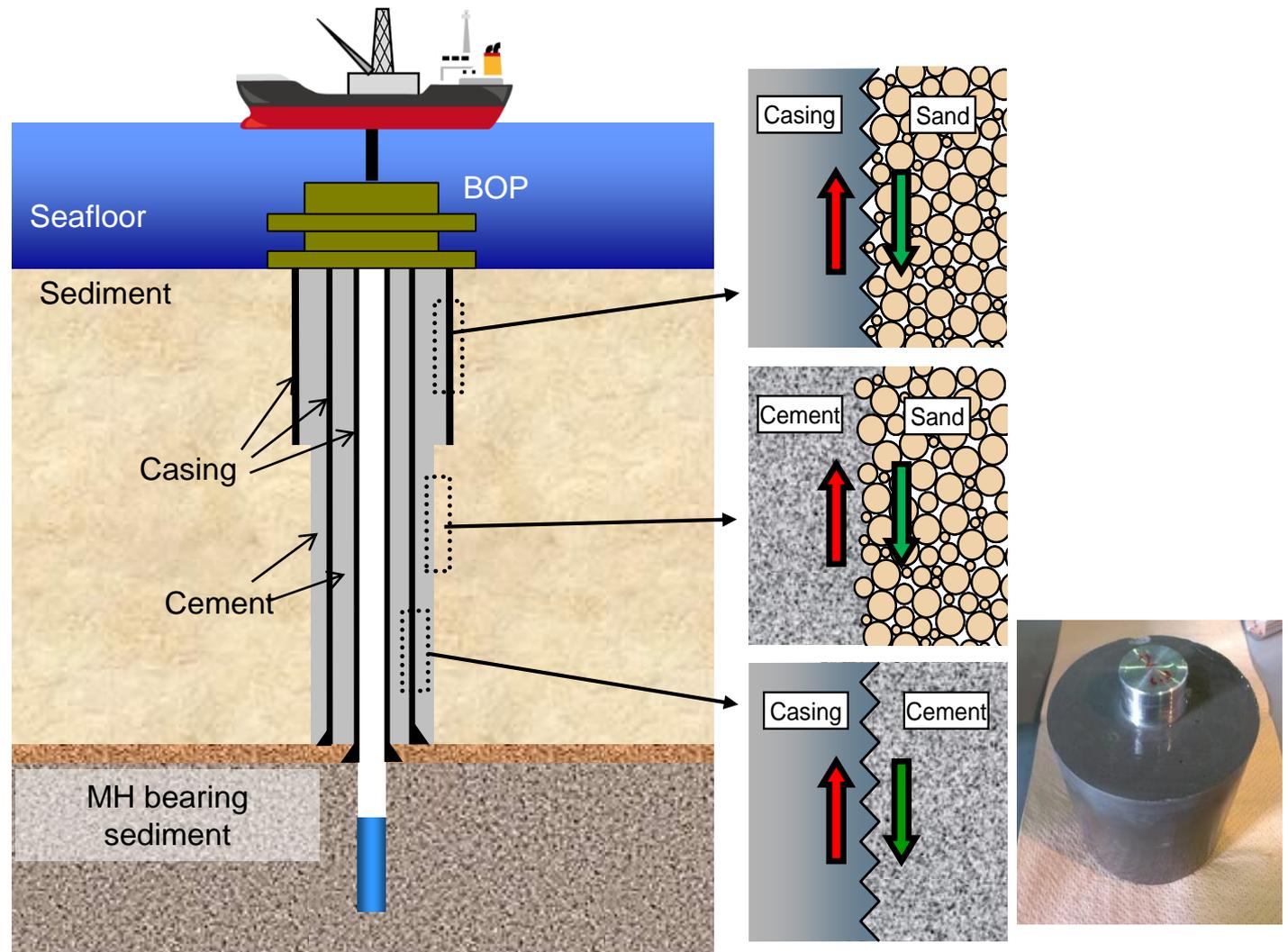


人工サンプル



コア変形可視化解析システム

地層特性評価技術の開発／高度化－坑井の健全性評価：接触面



坑井はケーシング、セメント及び地層の複合材料の組合せなので、各材料の組み合わせに関する試料を準備して室内実験を行った。

地層特性評価技術の開発／高度化－地層変形シミュレータの開発

■COTHMAの概要

メタンハイドレート開発において、地層の変形挙動を把握することは、環境面からは当然であるが、生産面においても不可欠である。このため、産総研と西日本技術開発では、COTHMAと称する有限要素法による解析手法を開発している。

Coupled thermo-hydro-mechanical analysis with dissociation and formation of methane hydrate in deformation of multiphase porous media

■機能

- ①気液固3相を連成解析。
- ②減圧、加熱およびこれらを併用した生産手法に対応。
- ③MHの分解・再生成を考慮。
- ④氷の生成・融解を考慮。

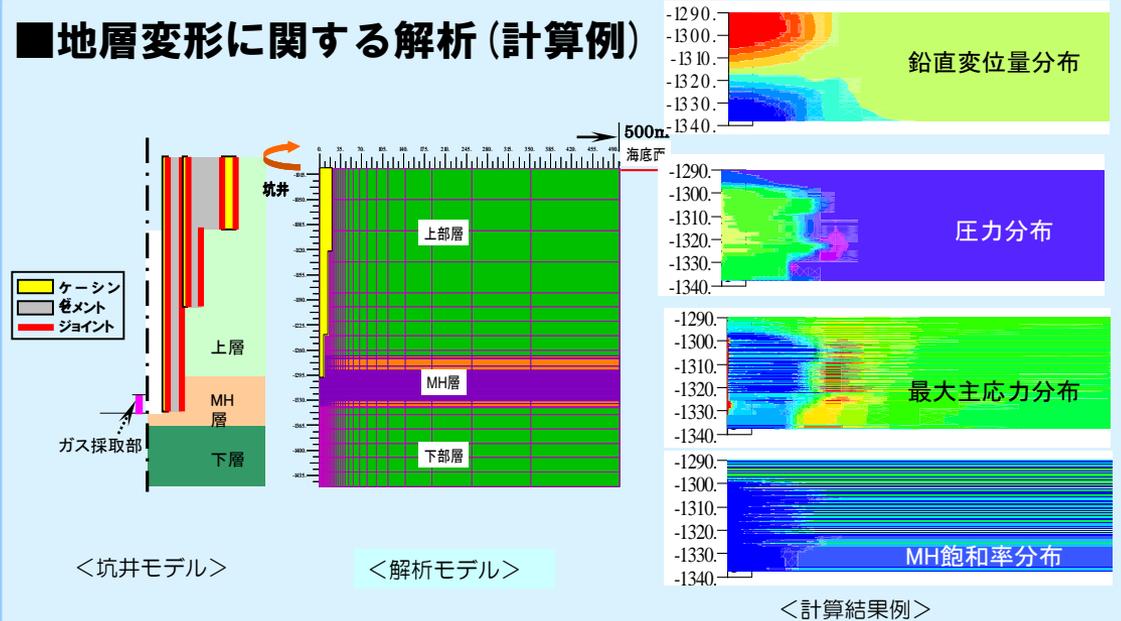


■利用可能な構成則

MH堆積材料の応力-ひずみ関係を表す以下の様々な構成則をシミュレータに導入

- Duncan-Chang非線形モデル
- 修正Duncan-Chang非線形モデル
- 二種混合体非線形モデル
- 非線形粘弾性コンプライアンス可変型モデル
- 初期異方性を考慮した修正関口・太田弾塑性モデル
- 孫・松岡弾塑性モデル

■地層変形に関する解析 (計算例)



MHの生産に伴う地層の応力分布や変形・圧密挙動を坑井周辺や広域に亘り解析することができます。 etc...

おわりに

・生産手法開発グループで進めてきた直近の研究成果は、以下のポスターにて紹介しています。

- 生産性増進技術の開発①
- 生産性増進技術の開発②と坑井内流動障害対策技術の開発
- 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
- 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・広域地層変形の評価

・また表層型MHに関しても以下のポスターにて紹介しています。

- 表層型メタンハイドレートの賦存状況解明のための調査
- 表層型メタンハイドレート回収技術開発に関わる調査研究

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 資源・燃料部 石油・天然ガス課

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) の委託業務先各社