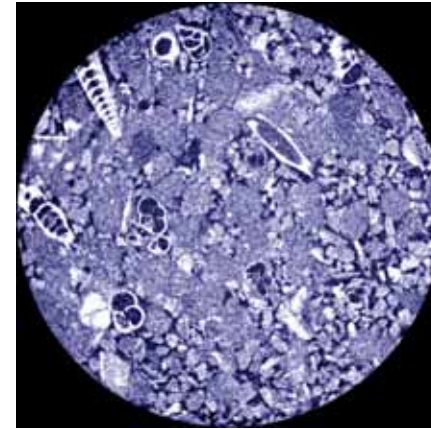


生産手法開発分野の課題と成果 「砂泥互層と減圧法への取り組み」



MH21研究コンソーシアム・生産手法開発GL

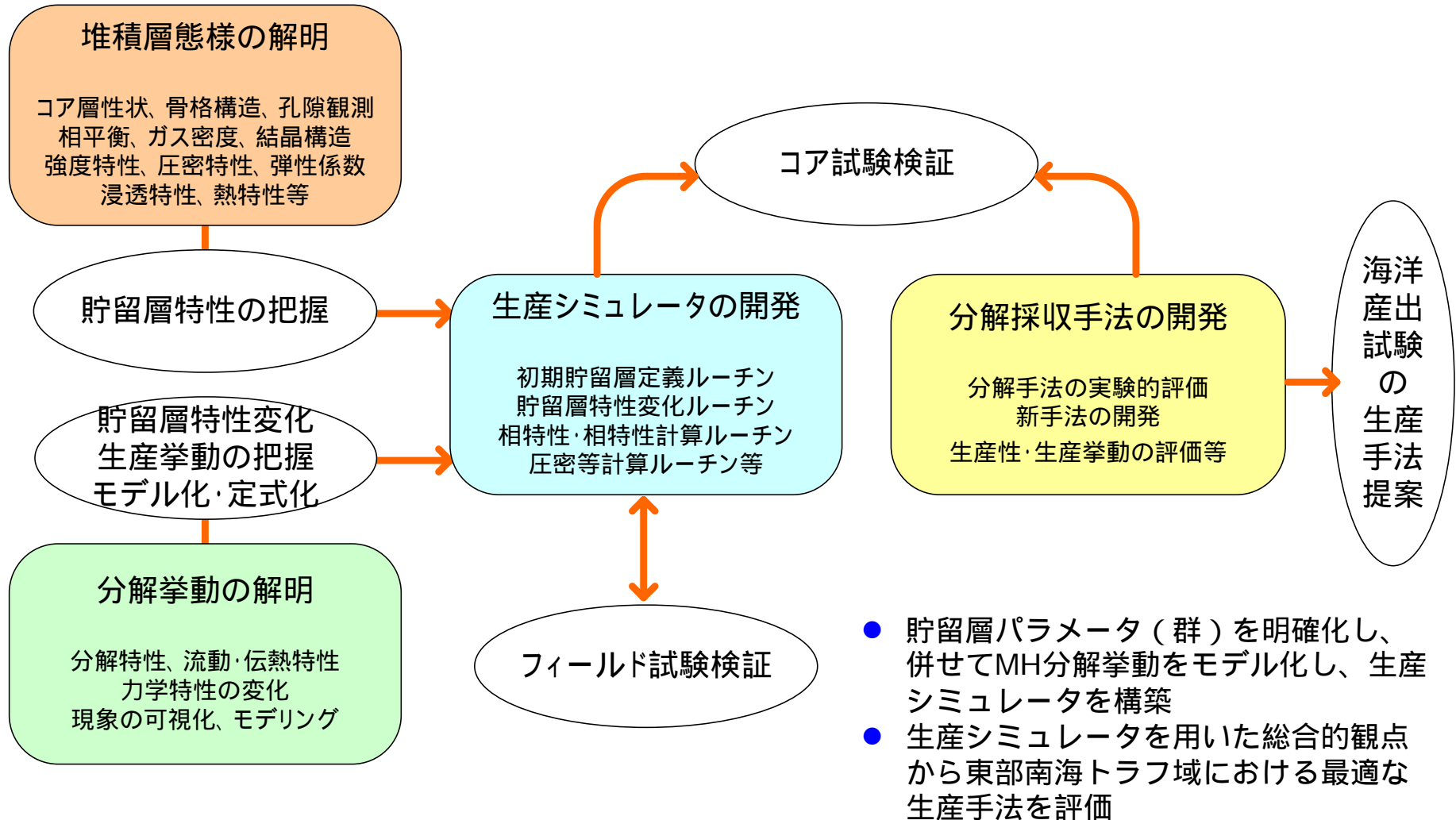
(独)産業技術総合研究所

メタンハイドレート研究ラボ

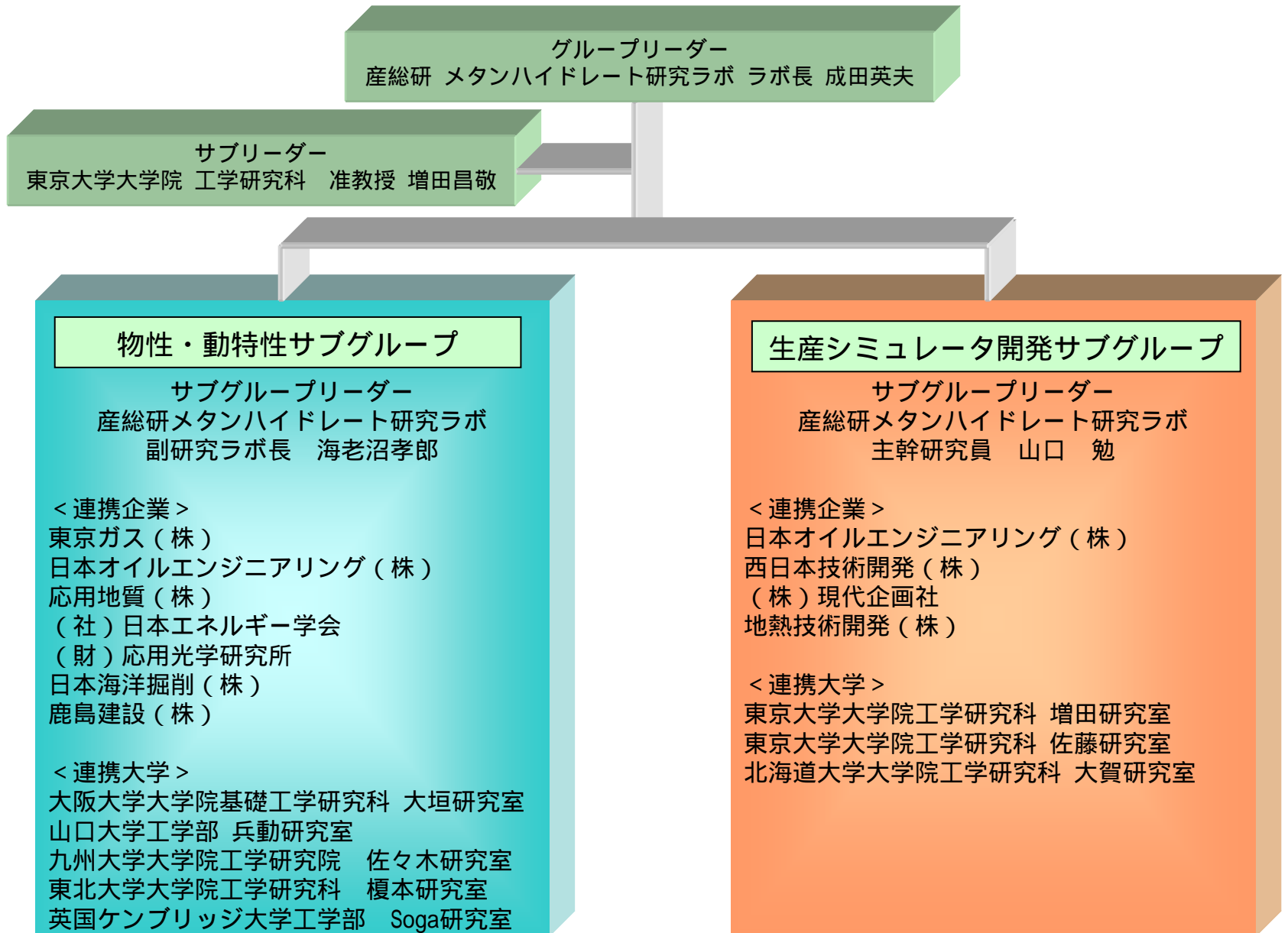
成田英夫

生産手法開発分野のミッションとアプローチ

- MH資源から安定かつ経済性を有する天然ガスの生産手法を開発
- 貯留層特性に適合する生産手法を評価し、海洋産出試験法を提示



生産手法開発分野・H18研究開発実施体制



これまでの取り組みとH18年度の課題

- MH堆積層の原位置条件（孔隙圧：10～20MPa、温度：十数、拘束圧：数MPa）における基礎物性、分解特性解析・評価技術を開発。
- 本技術を用いて、東部南海トラフ域の基礎試錐コア性状、物性、分解特性の解析・評価を実施。
- その結果、東部南海トラフ域のMH貯留層は、
砂泥互層の砂層に胚胎
貯留層温度は比較的高い
浸透率も比較的高いことが判明
- 生産手法として減圧法が生産性、エネルギー効率の点から適していると評価
- H17から砂泥互層と減圧法をKeywordとして研究に注力
- H18では、砂泥互層貯留層特性の統一的解釈、減圧生産時の定量的な現象把握及び陸上産出試験の生産性、生産挙動の事前予測等に重点化

①堆積層態様解明(砂泥互層貯留層特性の明確化)

- コア物性の統一的解釈のため、砂層の細粒砂、孔隙中MH産状、砂泥界面が特性に与える評価を実施。

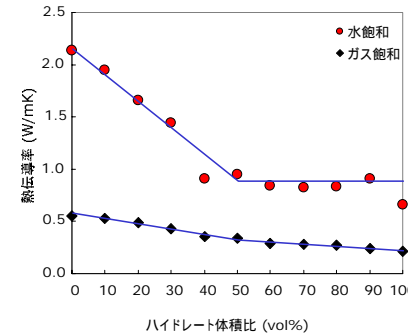
砂層の熱伝導率は分散モデルが適合することを求め、同モデルを生産シミュレータに導入。

砂泥互層天然コア境界面の熱伝導率を測定し、モデル化に向け評価中。

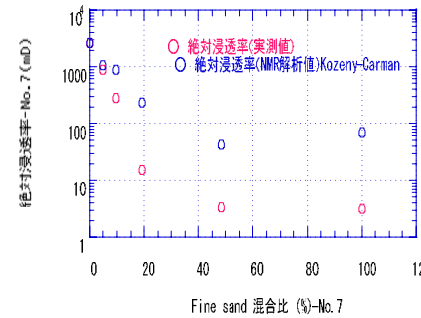
砂層の細粒砂濃度増加(50%まで)と共に浸透率は指数関数的に低下することを把握し、浸透率特性計算ルーチンの構成因子として定式化。

孔隙率、浸透率とも有効拘束圧の増加と共に低下するが、初期のコア性状にも依存することが判明。

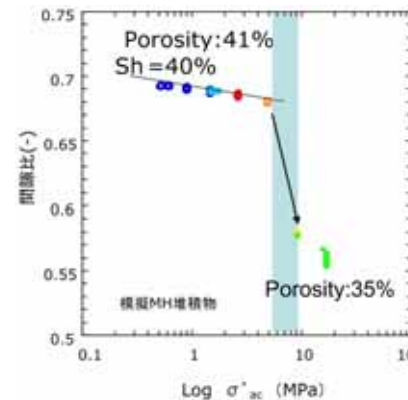
砂泥互層の力学特性は、砂泥層間の孔隙水の交換によって強度、体積歪み共に増加するため、毛管圧、浸透率の関数として定式化。



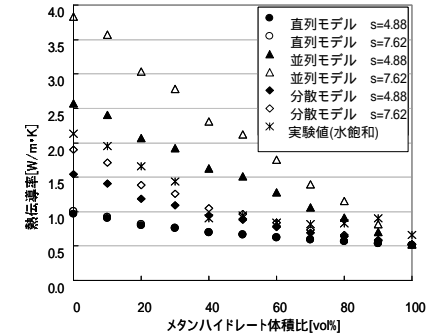
熱伝導のMH飽和率依存性



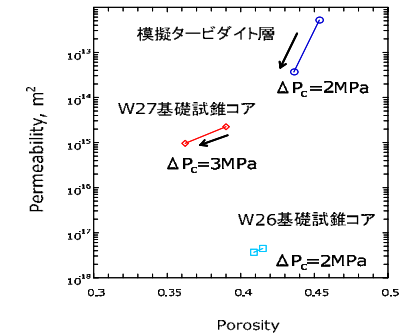
細粒砂濃度と浸透率の関係



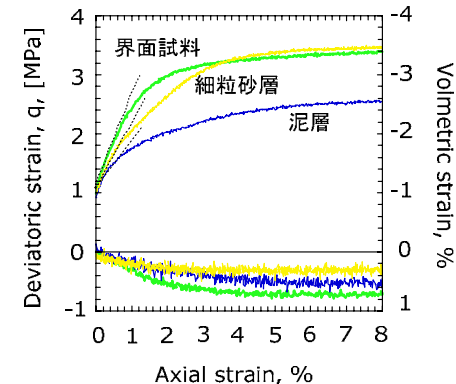
有効拘束圧/孔隙率



熱伝導モデル適合性



有効拘束圧/圧密/浸透率



砂層、泥層、界面の力学特性

②堆積層分解挙動解明(分解挙動モデルの構築)

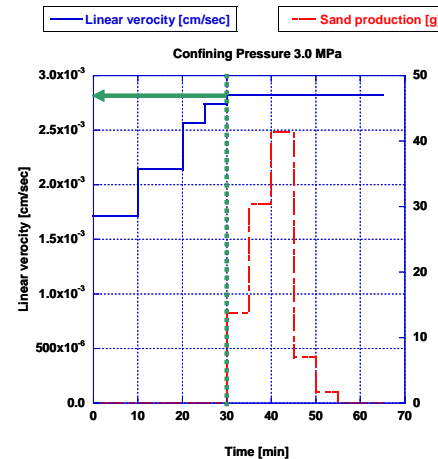
- 減圧法による分解時に生起する氷生成、出砂等の生産障害因子を実験的に評価し、モデル化、定式化を実施。

生産条件と出砂挙動の関係を実験的に求め、以下の結果から、出砂量は孔隙を流れる流体の運動量のみならず減圧度の関数となることを究明。

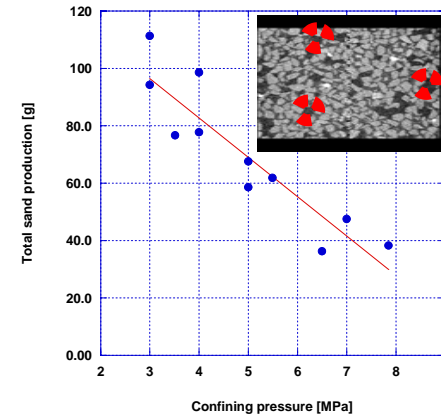
- 出砂開始には臨界線流速が存在する。
- 出砂量は、分解水流速と共に増加する。
- 減圧速度が大きいほど(生産量大なほど)出砂量は増加。
- 有効拘束圧が高いほど出砂量は減少。

出砂後のコア試料骨格構造・形状変化をマイクロ・マクロ両面から観測し、有効拘束圧が高いほど砂骨格構造が堅固となって、出砂を抑制していることが判明。

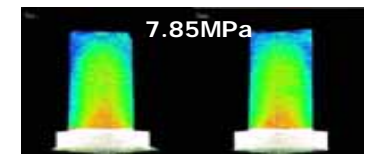
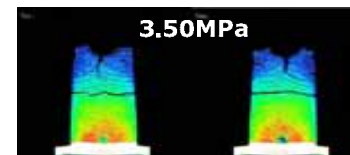
減圧による孔隙中の氷生成速度測定について、計測基盤を整備し解析中。



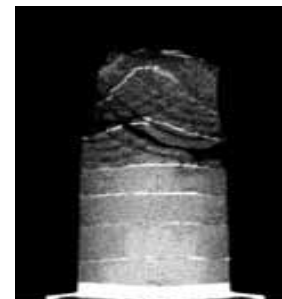
臨界線流速



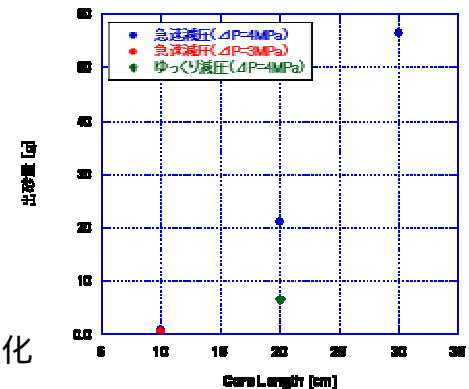
有効拘束圧と出砂量



出砂によるコア内部の構造変化
(X線CTによる断層像、図内の圧力は有効拘束圧)

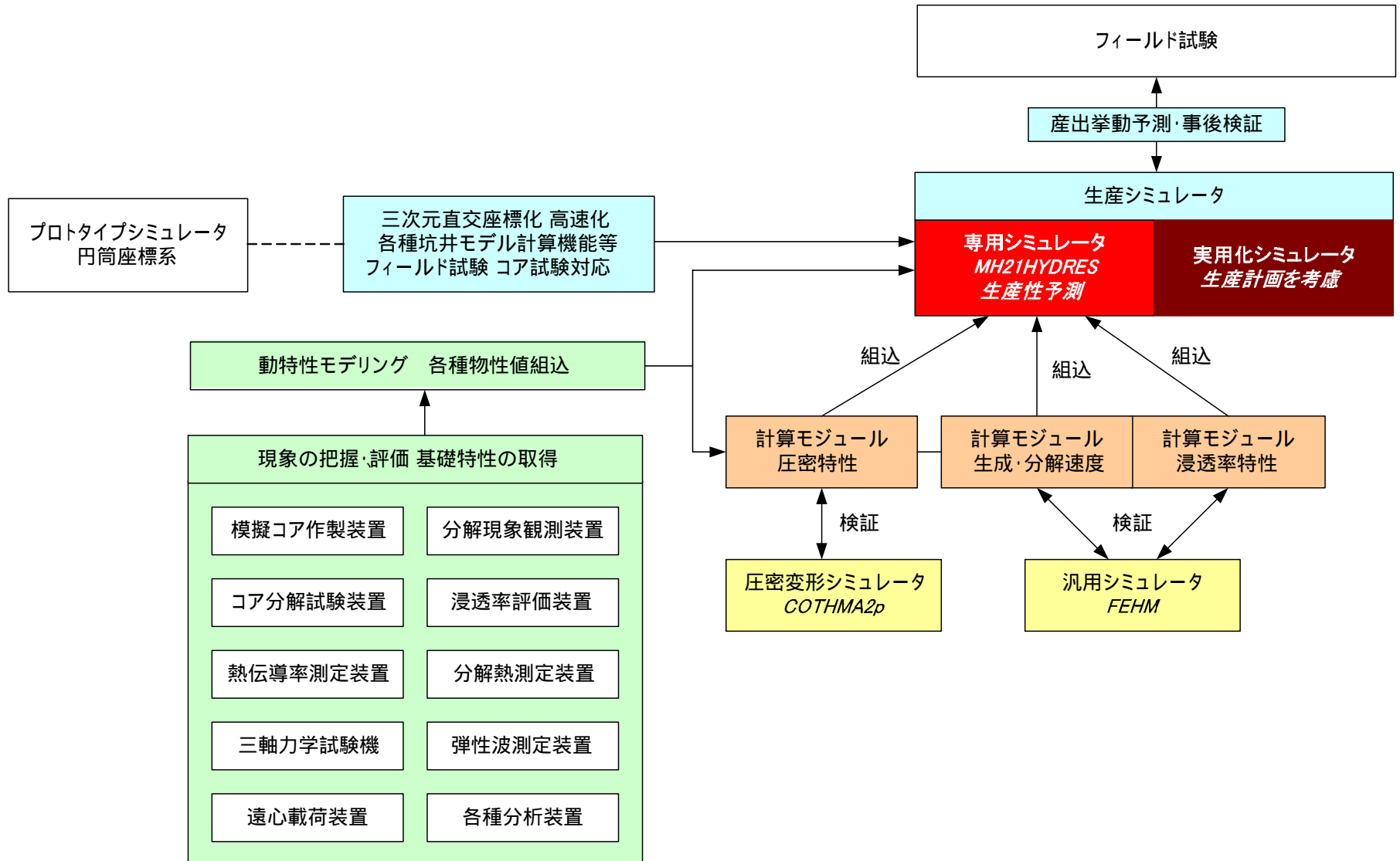


出砂による剪断面の可視化



減圧条件と出砂量

生産シミュレータ開発の道筋



③生産シミュレータの開発(減圧時の生産性・生産挙動付加)

- 継続的な機能強化、改良を行うと共に、減圧時の圧密による浸透率変化、孔隙内のMH産状を反映した計算モジュールを開発した。

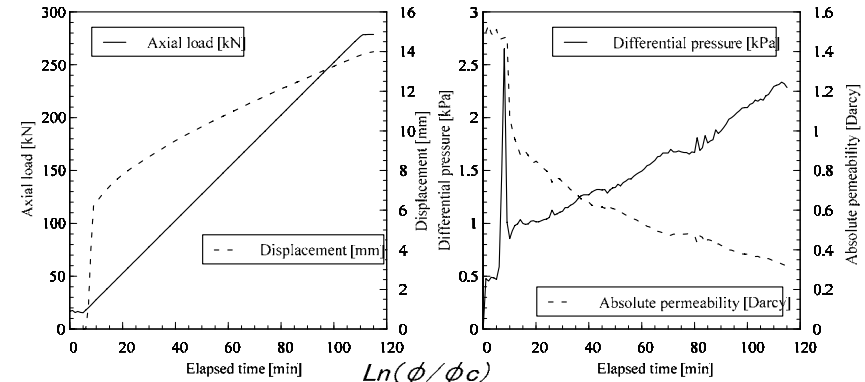
相対浸透率モデルの変更によって、これまで2倍以上の開きがあった出水量の評価精度を±10%程度まで向上した。

塩水に対する多成分ガス溶解度計算機能を強化し、計算誤差が約30%から約8%と、約20%の精度向上を果たした。

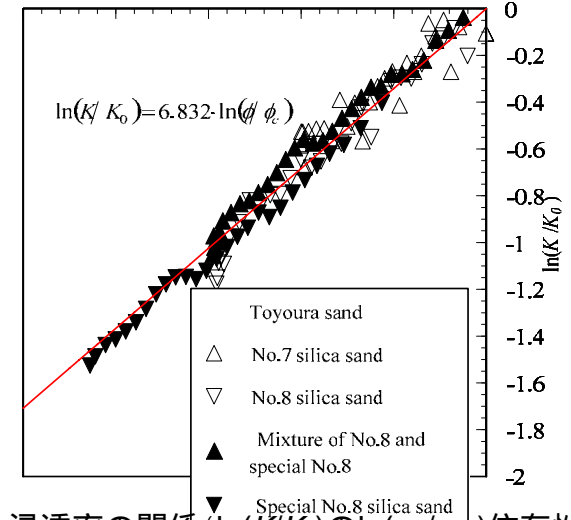
ハイブリッド計算システムを導入して計算速度を30%～500%向上させた。

圧密モジュールに時間依存性を導入し、長期生産期間における圧密現象を記述できるようにした。

圧密/浸透率、孔隙径/浸透率、孔隙内MH産状/浸透率の関係を定式化した浸透率モジュールを開発し、減圧生産時の浸透率変化を取り扱えるようにした。



-0.25 $\ln(\phi/\phi_c)$ 0.05 0
圧密と浸透率の関係



孔隙径と浸透率の関係 ($\ln(K/K_0)$ の $\ln(\phi/\phi_c)$ 依存性)

$$K = K_0 \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_c}\right)^{N_\phi} \cdot (1 - S_{h1})^{N_1} \cdot \left(\frac{1 - S_{h1} - S_{h2}}{1 - S_{h1}}\right)^{N_2}$$

MH産状、圧密を考慮した浸透率の定式化

④分解採取手法の開発(陸産試験検証、砂泥互層生産特性)

- 既提案手法、併用法のコア分解試験、新手法のフィールド適用性評価、陸産試験の生産性予測などを実施。陸産試験検証については、データ入手次第着手。

減圧/坑井加熱併用法では、減圧の効果が大きく、生産性の観点からは坑井加熱法は補完的に併用する方向性が示された。

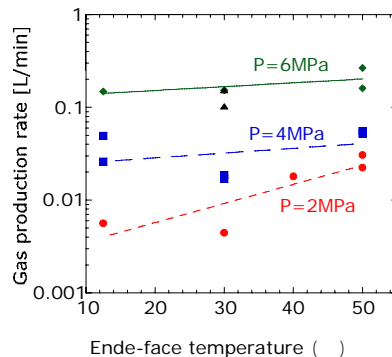
減圧/水蒸気圧入併用法は、生産性は高いが生産手法としての適用性について評価中。

窒素圧入法のフィールドスケールでの生産性シミュレーションを行い、新分解手法としての可能性を示唆した。

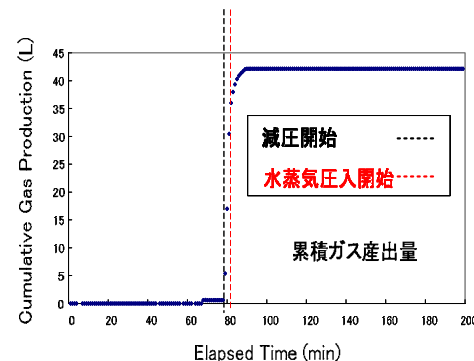
貯留層の浸透性を高めるための低濃度消泡剤を開発し、浸透率は1桁以上向上した。未固結層の水圧破碎可能性試験を実施。

基礎試験層結果を基に砂泥互層貯留層モデルを構築し、生産特性について解析中

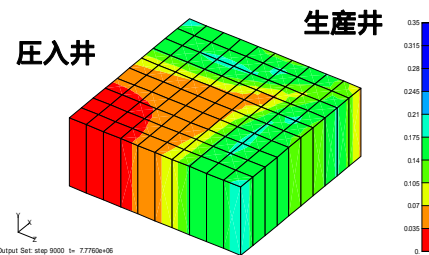
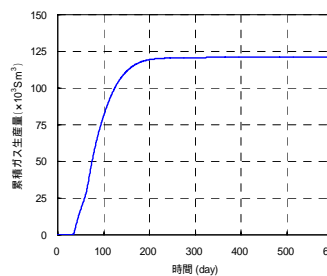
陸産試験の試験条件と生産特性の関係を予測計算し、試験計画策定に反映した。陸産試験検証は、データ待ち。



減圧・加熱併用法

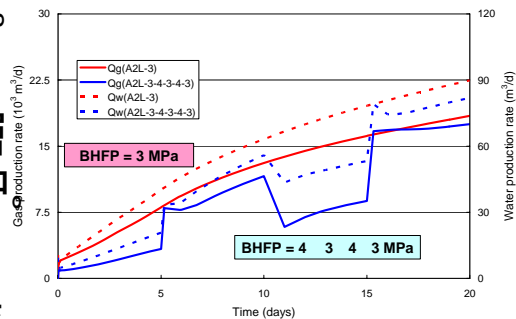


水蒸気圧入法

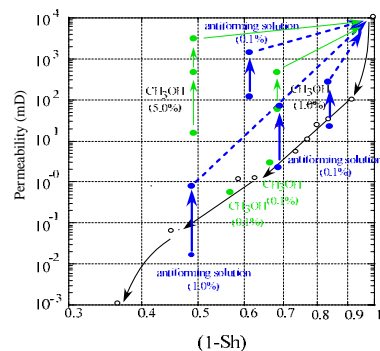


窒素圧入法の生産性解析例

(左:生産プロファイル、右:90日後のMH飽和率分布)



陸産試験事前感度分析例 (生産レートvs坑底圧)



消泡剤浸透性促進効果

フェーズ I 後半の進捗状況と今後の展開

1. 貯留層特性の明確化

- 基礎試錐コアの物性を取得後、基礎試錐コア物性の統一的解釈のため、細粒砂、MH産状が熱伝導率、浸透率等の物性に及ぼす影響について評価。いずれも浸透率に大きな影響。砂泥界面の力学特性を評価し、砂泥層を連成解析する必要性を確認。
- 今後、広域3次元貯留層特性群の構築、不連続性の記述などにより、長期生産性評価の信頼性を確保する。

2. 生産時の分解挙動モデルの構築

- 減圧法を主体に分解時に生起する氷生成、出砂等の生産障害因子を評価中。出砂の評価は堅調に推移。氷生成速度解析、細粒砂堆積の影響評価は計測基盤を開発した段階。
- 減圧法を砂泥互層に適用したときの、出砂、圧密、細粒砂移動・集積、氷生成等、生産障害に繋がる生産挙動をモデル化し、定量的にまとめる必要がある。

3. 減圧時の生産性・生産挙動を付加した生産シミュレータ開発

- MH21HYDRESのガス溶解度、相対浸透率等計算ルーチンを強化し、信頼性を向上。また、ハイブリッド計算システムを導入し、高速化を実現。MH21HYDRESに付加する圧密/浸透率、孔隙径/浸透率、孔隙内MH産状/浸透率の関係を定式化した計算モジュールを開発。
- 今後、2.で得られた現象を数値的に記述し、MH21HYDRESに導入する計画。

4. 陸産試験の検証を通じた砂泥互層に対する生産特性の評価

- 既提案手法の全コア試験をほぼ終了し、併用法と新手法を評価中。
- 今後、第1冬陸産試験の検証と解析を通じ、第2冬試験に備える必要。また、広域3次元貯留層モデルを使用して、最適な海洋産出試験法を提示する予定。