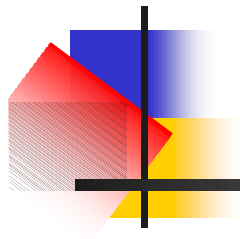


H13年度分成果報告会

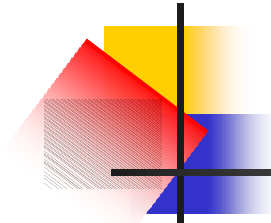
生産手法分野の研究開発

⑤生産シミュレータ開発

担当 産業技術総合研究所
西日本技術株式会社
地熱技術開発株式会社
現代企画社



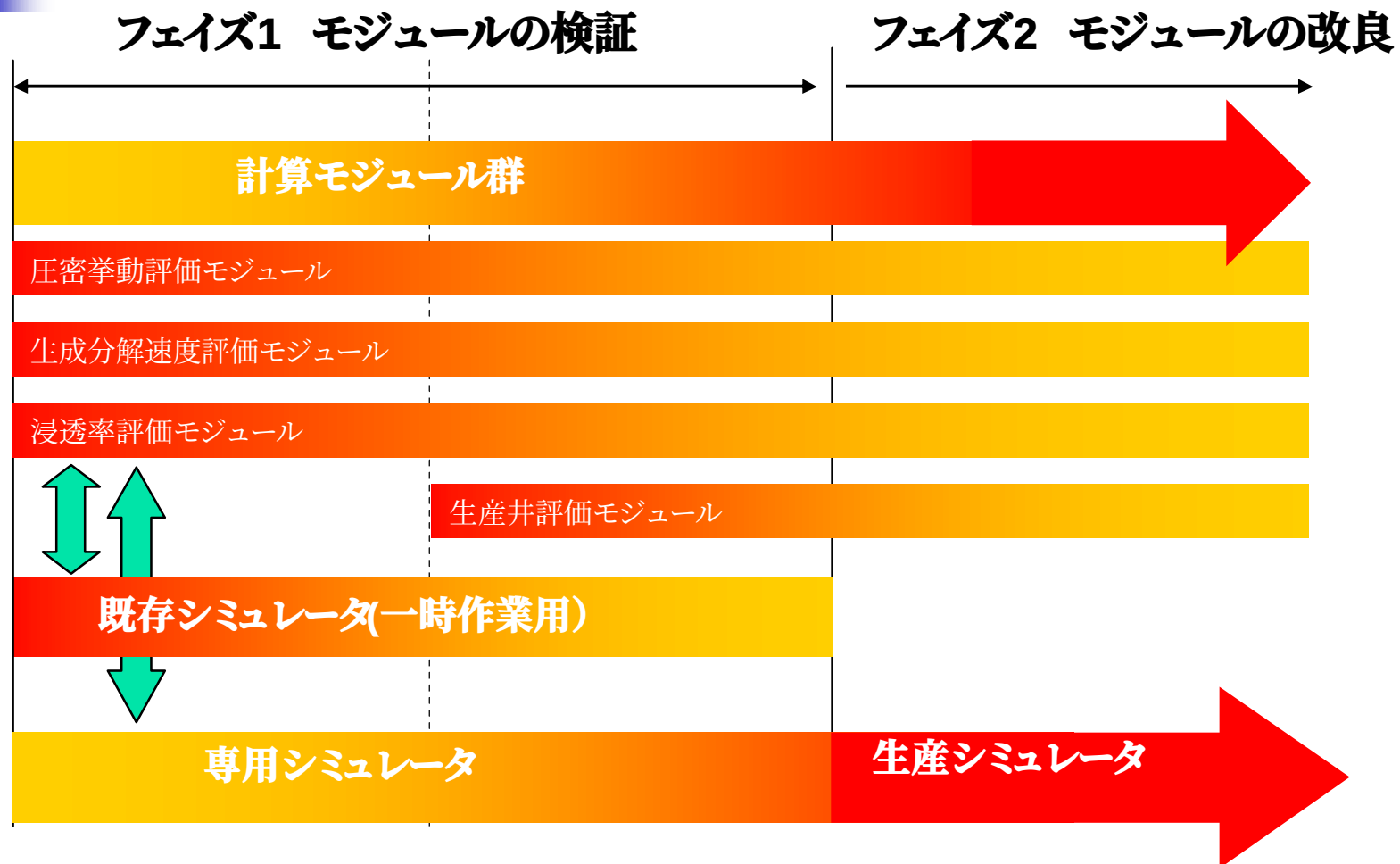
産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門
山口 勉



Phase1における 生産シミュレータ開発の基本的な方針

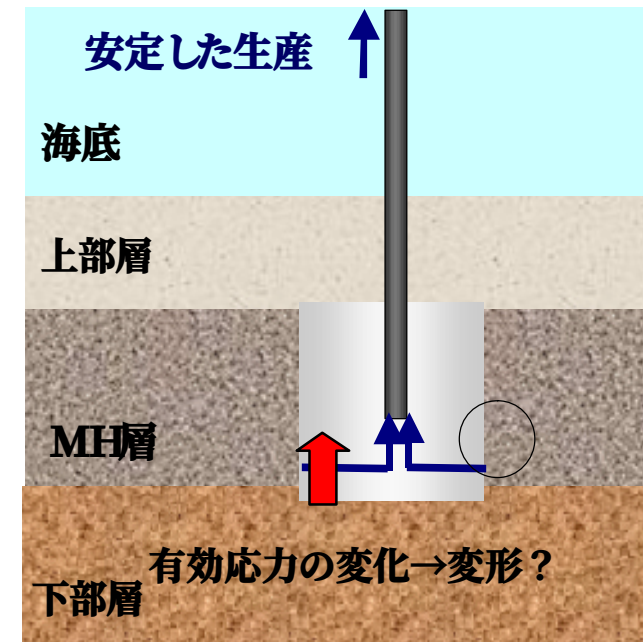
- MH開発に特有の物理的・化学的現象を抽出し、モジュール群を作成して専用シミュレータに提供
 - 圧密挙動評価モジュール
 - 生成分解速度評価モジュール
 - 浸透率評価モジュール
 - 平成13年度は、モジュール群の基本設計と、事例調査
- モジュール群は一時的に既存シミュレータに組み込んで検証
 - 平成13年度は既存シミュレータの調査
 - モジュール群と既存/専用シミュレータの調整は「統合化」が担当

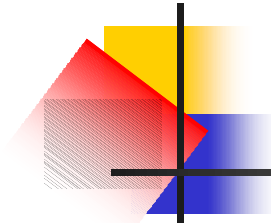
生産シミュレータ開発のアロー図



圧密挙動評価モジュールの開発

- 研究開発内容
 - MH層変形メカニズムの解明
 - 入力パラメータ取得のための室内実験
 - 圧密挙動評価モジュールの構築
- 平成13年度の研究内容
 - 軟弱地盤の圧密特性と解析事例の調査
 - 圧密挙動評価モジュールの基本設計

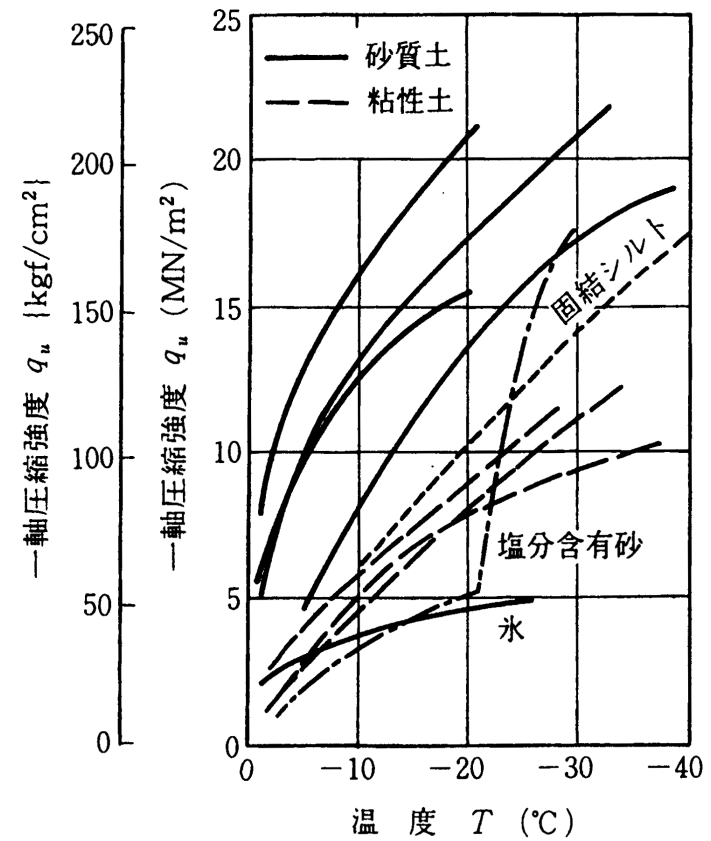
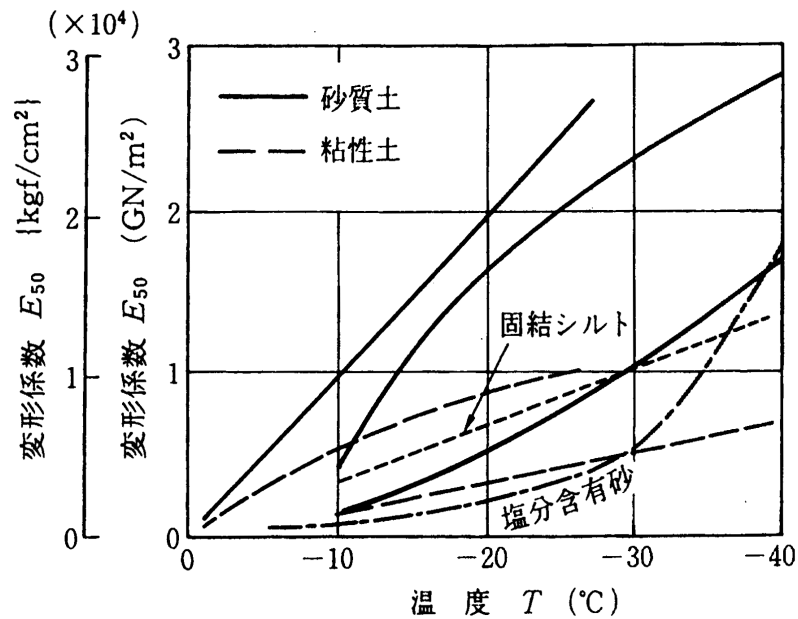




圧密挙動評価モジュールの基本設計

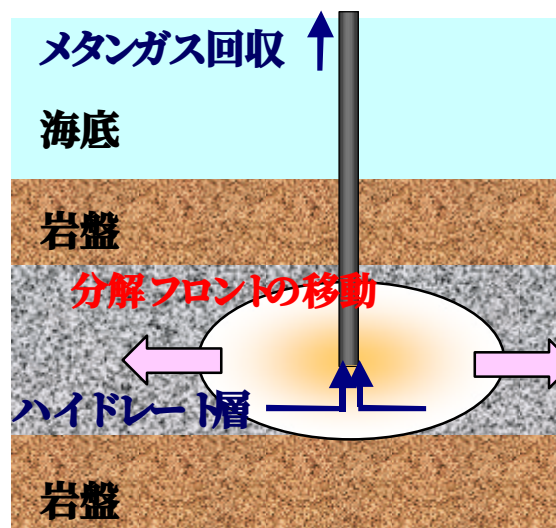
- 水溶性天然ガス田における経験
 - 影響因子は、主として間隙水圧であり、圧密挙動は有効応力により支配される。
- MH生産
 - 対象-MH層 (土粒子・MH・水・メタン)
 - 影響因子-温度、応力 (拘束圧) 状態、含水状態、間隙水圧等
 - 特に、MH層の力学的物性の温度依存性、MHの相変化が重要
- 平成13年度
 - MH生産開始前の状態としてMH層は飽和多孔質媒体とし、土粒子と水 (固液 2相) の挙動を検討
 - 連成解析には、Biotの 2相混合体理論を用いた。
 - MH層の応力-ひずみ関係を表現するモデルは、非線形モデル、弾・粘塑性モデルの 2つとした。
- 平成14年度以降の計画案
 - MH層の強度等の温度依存性を室内実験によって把握 (H14～H15)
 - 実験によって把握した温度依存性をモデルへ組み込む (H15～H16)
 - 融解したメタンガスの影響を室内実験によって把握 (H15～H16)
 - 気・液・固 3相を連成した解析モジュールの構築 (H17～H18)

凍土の変形特性・一軸圧縮強度と温度の関係



生成分解速度評価モジュールの開発

生産シミュレータ開発



生産量の**予測**
産出結果に基づく
モデルの**修正**

室内実験

分解開始条件の実測
分解速度の実測

流れがある条件下における
メタンハイドレート分解挙動
孔隙レベルでの分解速度
堆積層レベルでの分解速度

- 目標
塩・イオン・微粒子・分解促進剤等の存在と流れの条件を考慮したハイドレートの分解条件ならびに分解速度を予測する評価モジュールを開発する。
- 平成13年度
 - 生成分解速度評価モジュールの基本設計
 - メタンと水のみが存在する条件下における分解開始条件サブモジュールの作成
 - 既存実験データを用いた精度の検証
 - 分解速度に影響する流体力学条件の抽出とMH分解過程観察実験装置の製作
 - ハイドレート生成確認予備実験

生成確認予備実験結果

入力パラメータ: 周辺流体 (海水)

- 流速場
- 圧力場
- 温度場
- 微粒子
- 微量ガス成分)
- 塩 (イオン))
- 分解促進剤)



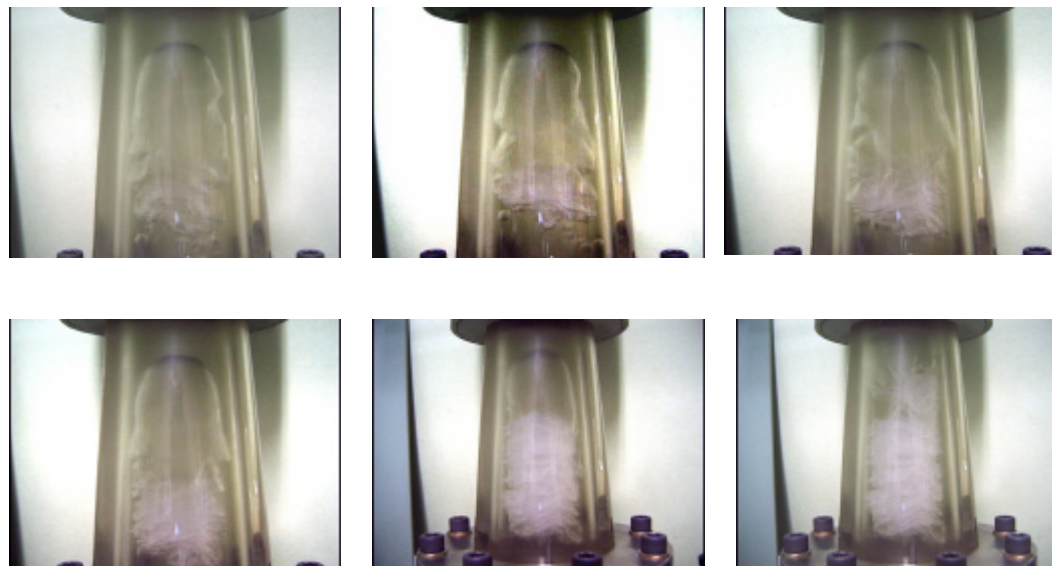
応答パラメータ: ハイドレート粒子 + 周辺流体

- 熱移動
- 物質移動
- 界面でのハイドレート(分解 生成)速度



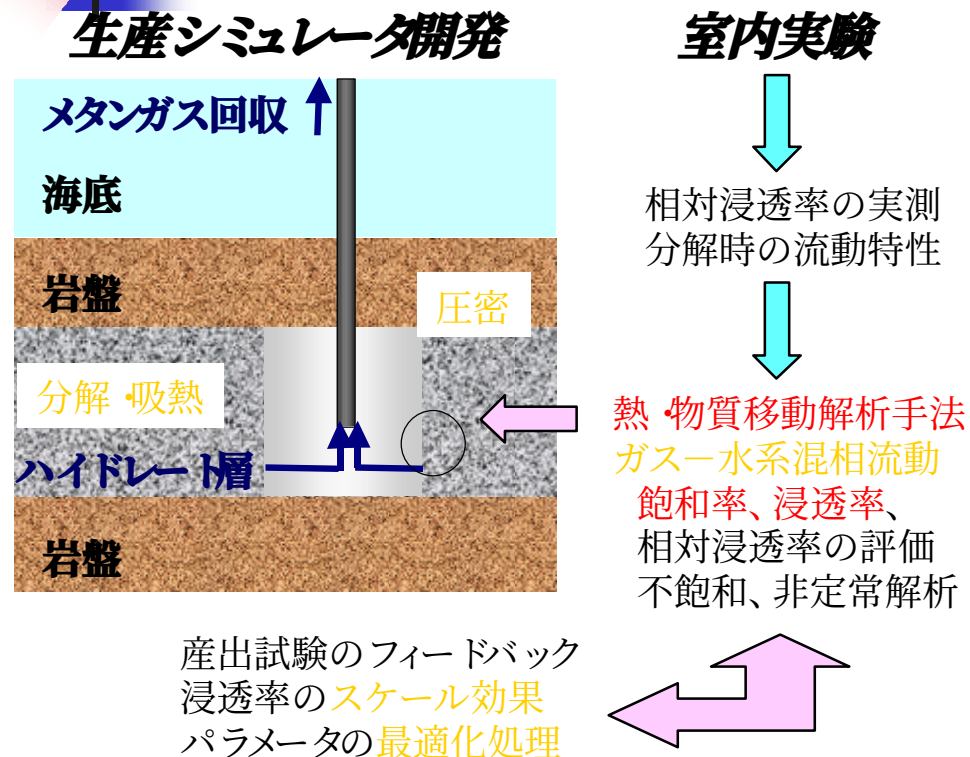
出力

- メタン(生成 放出)速度



温度: 279K, 圧力: 5MPa,
Re: 20~200

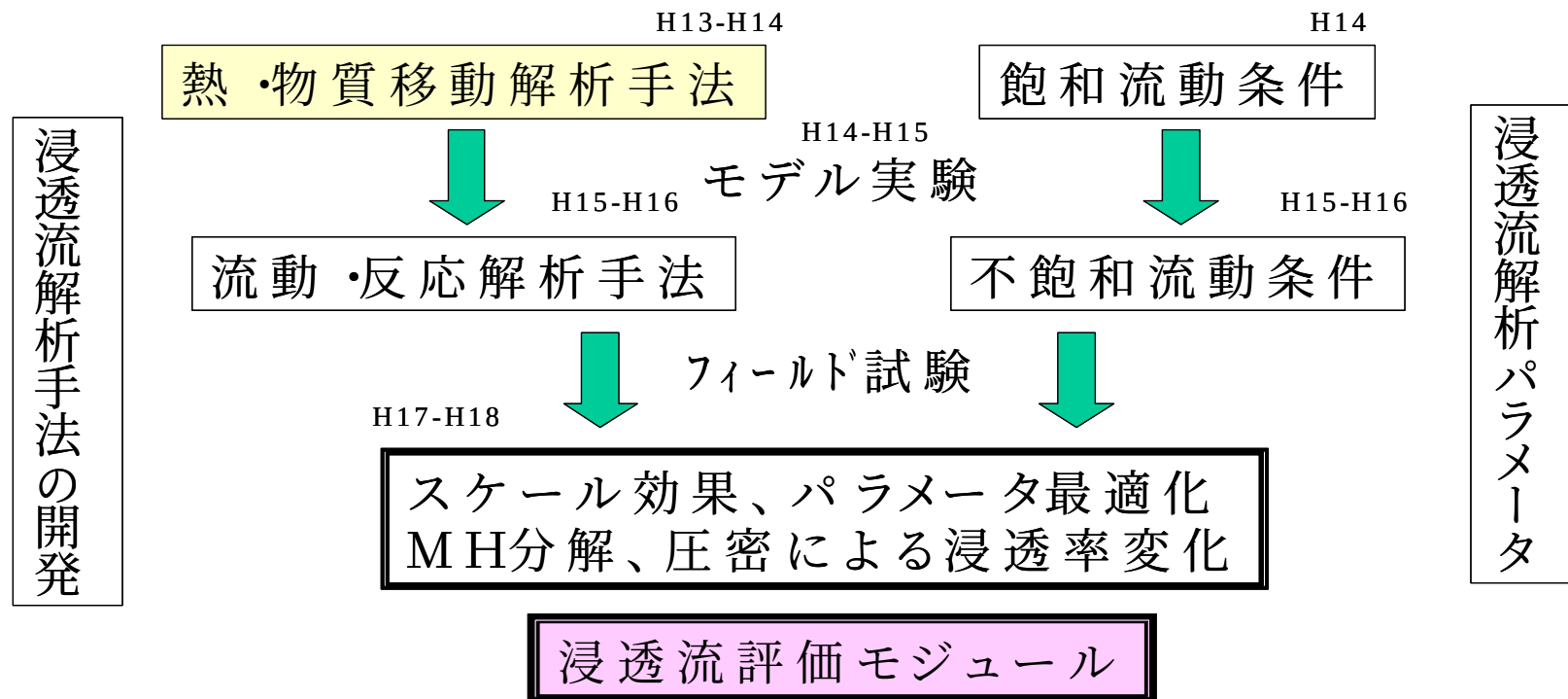
浸透率評価モジュールの開発



- 目標
堆積層内の熱・物質移動及びハイドレートの分解、堆積層の圧密による浸透率変化を予測するための数値解析手法および評価モジュールを開発する。
- 平成13年度
浸透率評価モジュール開発の準備段階として、堆積層内における熱・物質移動を考慮した浸透流解析手法、及びそれに必要なデータ類、パラメータ類を整備する。
 - 浸透率評価モジュールの基本設計
 - 多孔質体内熱・物質移動の数値解析手法
 - 物理領域メッシュデータの作成
 - 各種パラメータの検討
 - パラメータスタディー（浸透率、飽和度など）

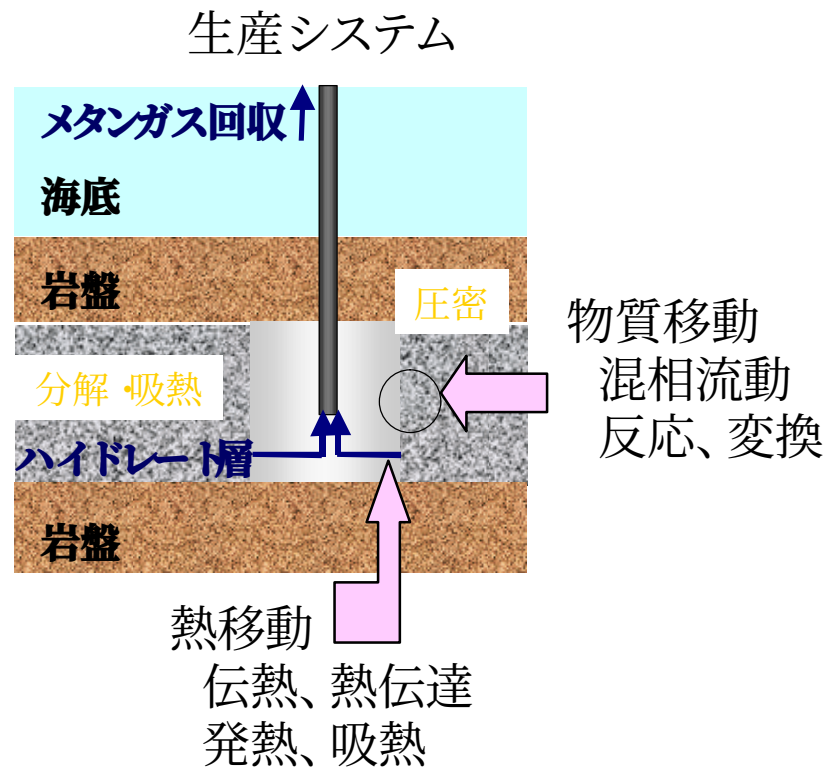
浸透率評価モジュールの基本設計

- 堆積層内の熱・物質移動及びハイドレート分解、堆積層の圧密による浸透率変化を予測するための数値解析手法および評価モジュールを開発する。



多孔質体内熱・物質移動の数値解析手法

- メタンハイドレート貯留層の解析では、混相流体の流動解析に加えて、熱収支、熱伝達などの伝熱解析が不可欠。



熱移動現象の定式化

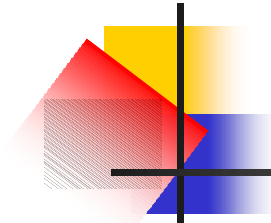
$$C_{pa} = F(T, S, p)$$
$$h_a = C_{pa} \cdot T$$



完全連成手法

物質移動現象の定式化

$$Q = K \Delta p A / L$$
$$S = F(p, S_0)$$
$$v = F(d, S)$$



各種要素の定式化

飽和度 saturation

$$S_h + S_w + S_g = 1$$

孔隙率 porosity

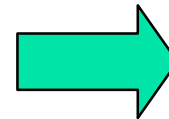
$$P_m + P_h + (1 - S_t) = 1$$

絶対浸透率 permeability

$$Q = K A \Delta p / L$$

相対浸透率

$$K_r = f(K, S, P, p_c)$$



質量バランス

質量保存

運動方程式

熱バランス

熱力学法則

発熱、吸熱

流動解析

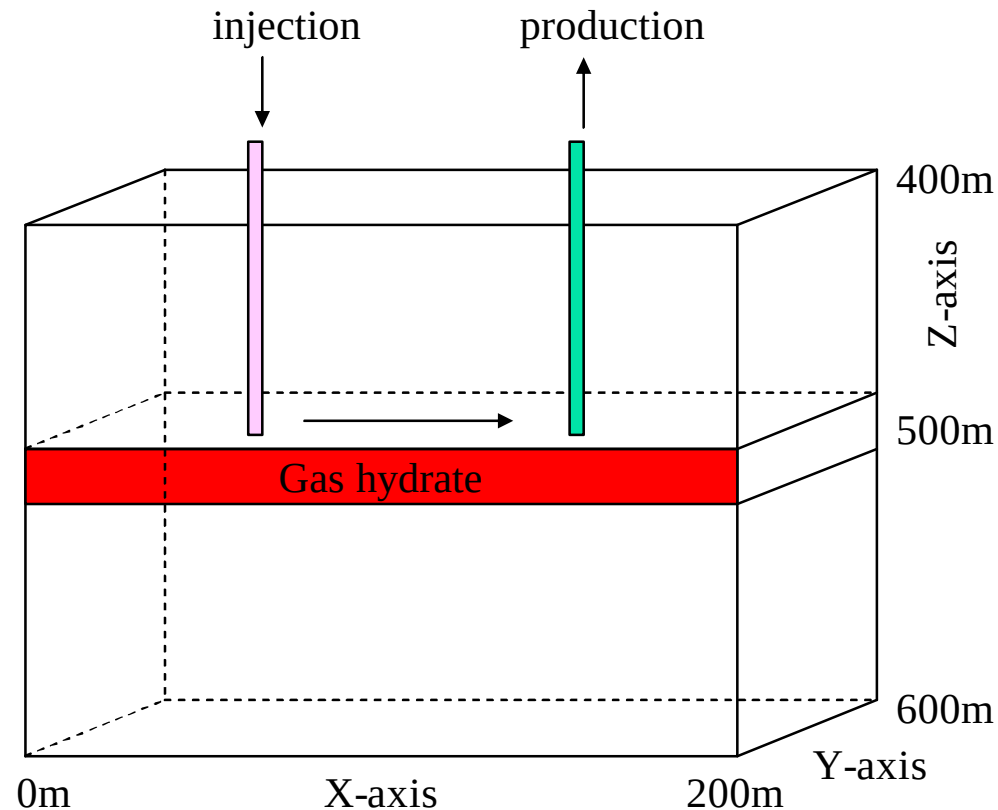
混相流体

反応解析

MH生成・分解

物理領域メッシュデータの作成

- 浸透流評価モジュールの基礎となる物理領域メッシュデータの作成、及び解析実施のためのパラメータ整備。



3次元解析メッシュデータ

<110×110×70要素>

物理的領域の作成



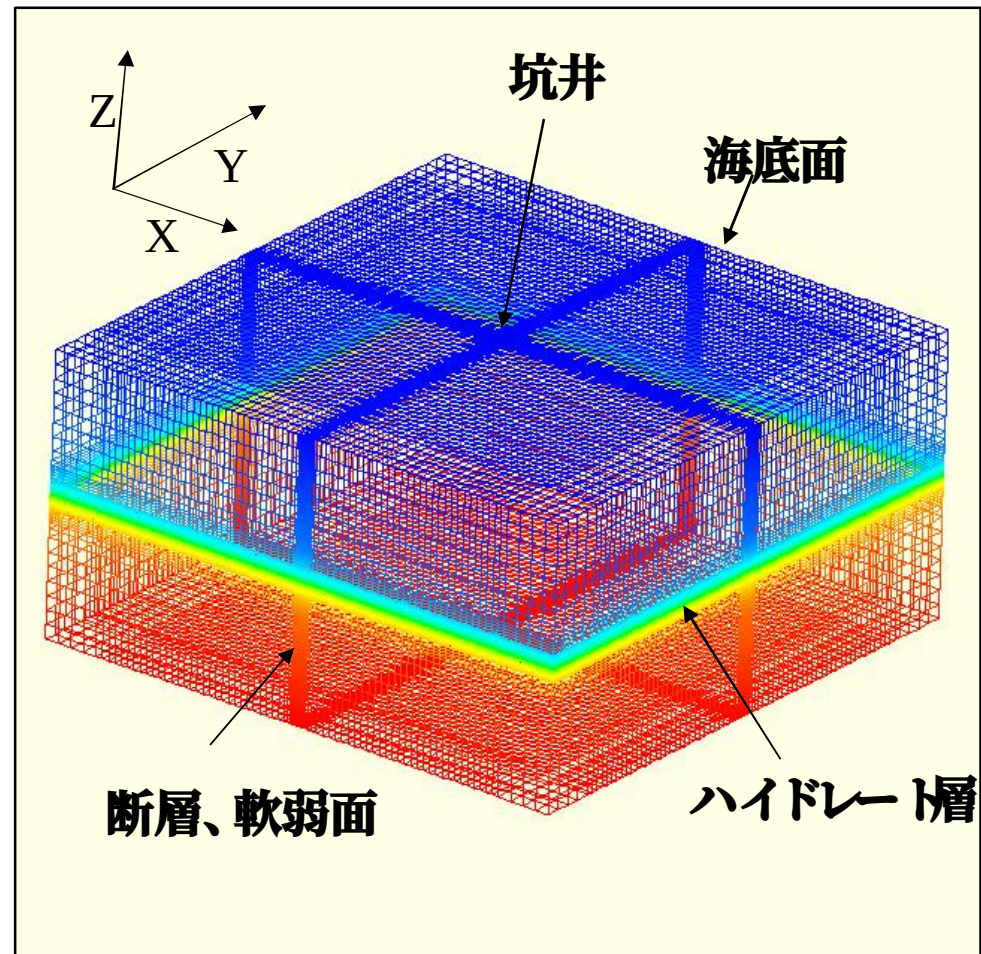
地質条件
水文条件の設定



パラメータの設定

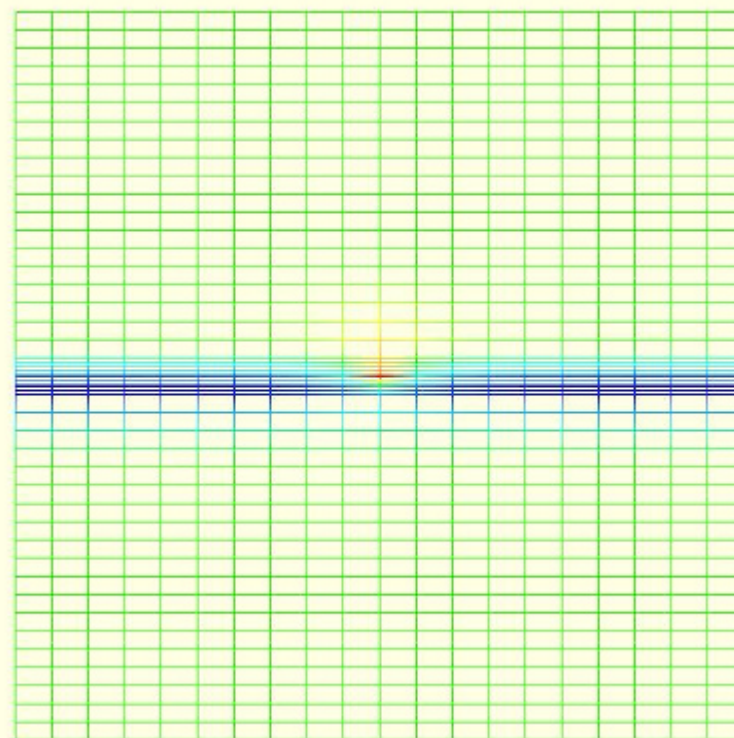


初期条件
境界条件の設定

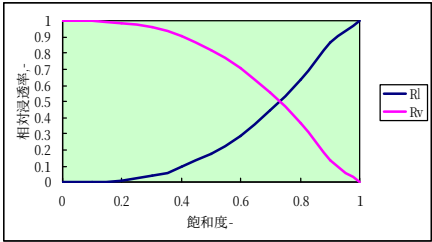
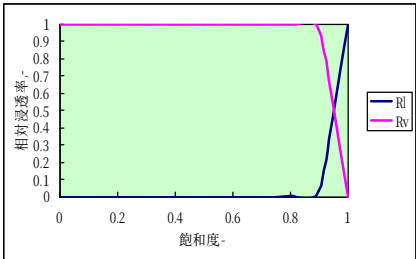


2次元解析メッシュデータ パラメータ・スタディ

- 透水性に関するパラメータとして、ハイドレート層の絶対浸透率や相対浸透率の飽和度における変化が支配的
- これらの値は現時点では把握できておらず、今後のモデル実験やフィールド実験を基に構築
- 単純なモデルを用いて、絶対浸透率や相対浸透率、飽和度等のパラメータの変化による生産性の違いを確認

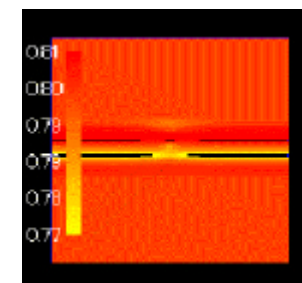
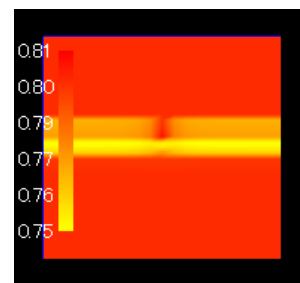
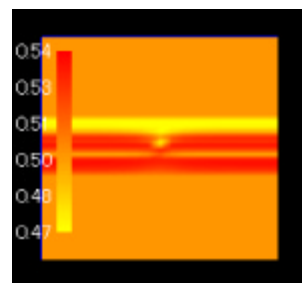
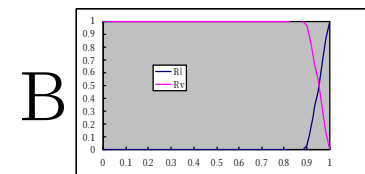
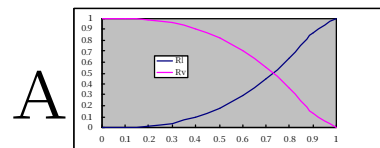


パラメータ・スタディ (浸透率、飽和度)

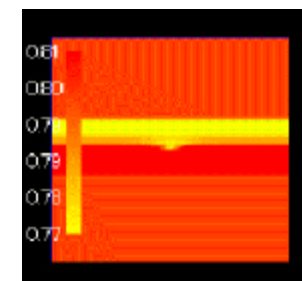
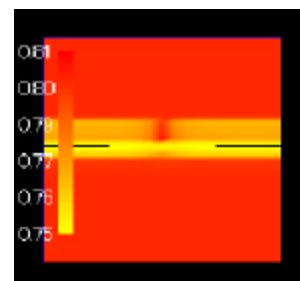
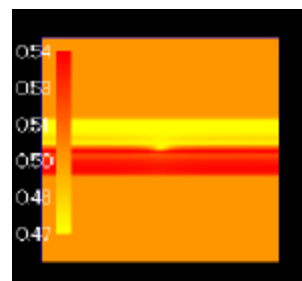
	Saturation(%)	Permeabilty of Methane Hydrate(m ²)		
		5.0 x 10 ⁻¹⁴	5.0 x 10 ⁻¹³	5.0 x 10 ⁻¹²
	50.0	case11a	case11b	
	80.0	case12a	case12b	case12c
	100.0	case13a		
	50.0	case21a	case21b	case21c
	80.0	case22a	case22b	case22c
	92.5	case23a	case23b	case23c
	100.0	case24a		

パラメータ・スタデ 結果例

飽和度の経時変化



1day



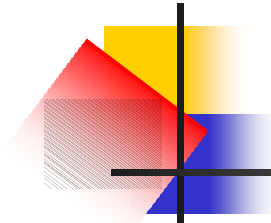
29day

飽和度 50%

飽和度 80%

既存シミュレータの調査

項目	FEHM	TOUGH2	STAR
開発者	米国ロスアラモス国立研究所の Zyvoloski博士を中心としたグループ	米国ローレンスバークレー国立研究所の Pruess博士を中心としたグループ	米国Maxwell社の Pritchett博士
用途	地下水流動解析一般（地熱、核廃棄物地層処分、地下水汚染他）。 日本国内では特に高温岩体の解析に多く利用されている。	地下水流動解析一般（地熱、核廃棄物地層処分、地下水汚染他）。 国内では特に地熱貯留層解析に多く利用されている。	地下水流動解析一般（主として地熱）。 国内では地熱貯留層解析に多く利用されている。
プログラム言語	FORTRAN90	FORTRAN77	FORTRAN77
モデルの離散化手法	有限要素法	積分有限差分法	積分有限差分法
ソースコードの提供	○ 任意のフレーム（PC、EWS、大型汎用機、スーパーコンピュータ）でコンパイルし利用可能	○ 任意のフレーム（PC、EWS、大型汎用機、スーパーコンピュータ）でコンパイルし利用可能	△ EWS、PC等でコンパイルして利用可能。民間企業のシミュレータなので、FEHMやTOUGH2に比べるとコードの利用制限が考えられる。
ソースコードの改良	○ シミュレータがソースコードで提供されているので、任意のモジュールを組み込む事が可能。米国内外の研究者を集めたワークショップが定期的開催されている。TOUGH2に比べると研究者が少ない。	○ シミュレータがソースコードで提供されているので、任意のモジュールを組み込む事が可能。米国内外の研究者を集めたワークショップが定期的開催されている。米国内外で研究者が多い。	△ FEHMやTOUGH2に比べると、ソースコードの公開度は低いとされる。改良はMaxwell社に依頼が必要。

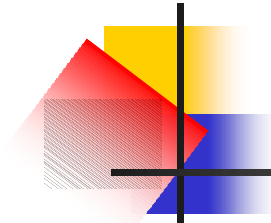


既存シミュレータの調査結果

- 既存シミュレータは、モジュール動作確認用に一時的に使用
- MHシミュレータとして確立されたものはない
- 地熱シミュレータがベースとなり得る

- 検討対象シミュレータ>信頼性が高い
 - FEHM、TOUGH2、STAR
- ソースコードが公開されている>改変しやすい
 - FEHM、TOUGH2
- メタンハイドレート計算機能>研究用として付加された実績
 - FEHM、TOUGH2

- FEHM
 - **現在の生産シミュレータ開発サブグループ内において、既に地熱での長期に渡る利用実績がある**
 - **改変に関して実績を有する**



シミュレータの統合化

- 平成13年度

- FEHMをベースとして

- メタン関連のパラメータの整理
 - メタン関連のサブルーチンの整理
 - パラメータ・スタディ

- 平成14年度

- サブルーチン改造/モジュールの組込みに伴う上記 2 項目の整理
 - FEHMを用いたパラメータ・スタディ