



JNOC-TRC

メタンハイドレート資源開発研究 資源量評価分野の研究開発 平成13年度研究成果報告会

平成14年7月2日

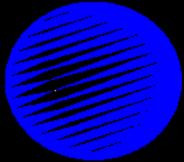
石油公団 石油開発技術センター



JNOC-TRC

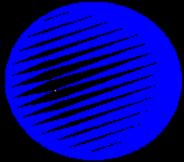
メタンガスハイドレート分解挙動 予測モデルの開発

- モデルの概要
- モデルの改良
- ケーススタディ
- 海外調査報告
- 総括
- 今後の課題・予定



モデルの概要 - モデル開発の目的

- ハイドレート層からのガスの生産を予測可能とするシミュレータの開発
 - ❖ Mallik3L-38号井で計画されている生産テストのシミュレーション
 - ❖ Mallikテスト後の結果解析のシミュレーション



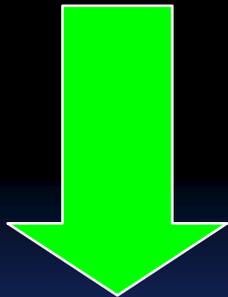
モデルの概要 - モデルの基本機能

- メタン・水の2成分系のモデル
- ガス・水相の流動はDarcyの式に従う
- 岩石粒子とハイドレートは流動しない
- ハイドレートの分解はKim-Bishnoi (分解速度論)の式に従う
- ハイドレートの分解による吸熱反応、対流や熱伝導による熱の移動を考慮



モデルの改良 - シミュレータ開発経緯

2000年3月：1次元直交プロトタイプシミュレータ(東大)



- ◇ 2次元円筒座標モデル化、◇ ソルバーの強化
- ◇ ハイドレート飽和率の陰的取り扱い、◇ 坑井境界条件 (生産井)
- ◇ 計算アルゴリズムの改善

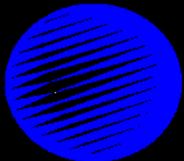
2001年3月：2次元円筒座標モデル (JNOC)



- ◇ 3次元直交座標モデル化、◇ メタノール圧入機能
- ◇ 複数坑井の取り扱い (圧入井、水平坑井を含む) ◇ 熱水循環機能

2002年3月：3次元直交座標モデル (JNOC)

➡ 専用シミュレータ (産総研)



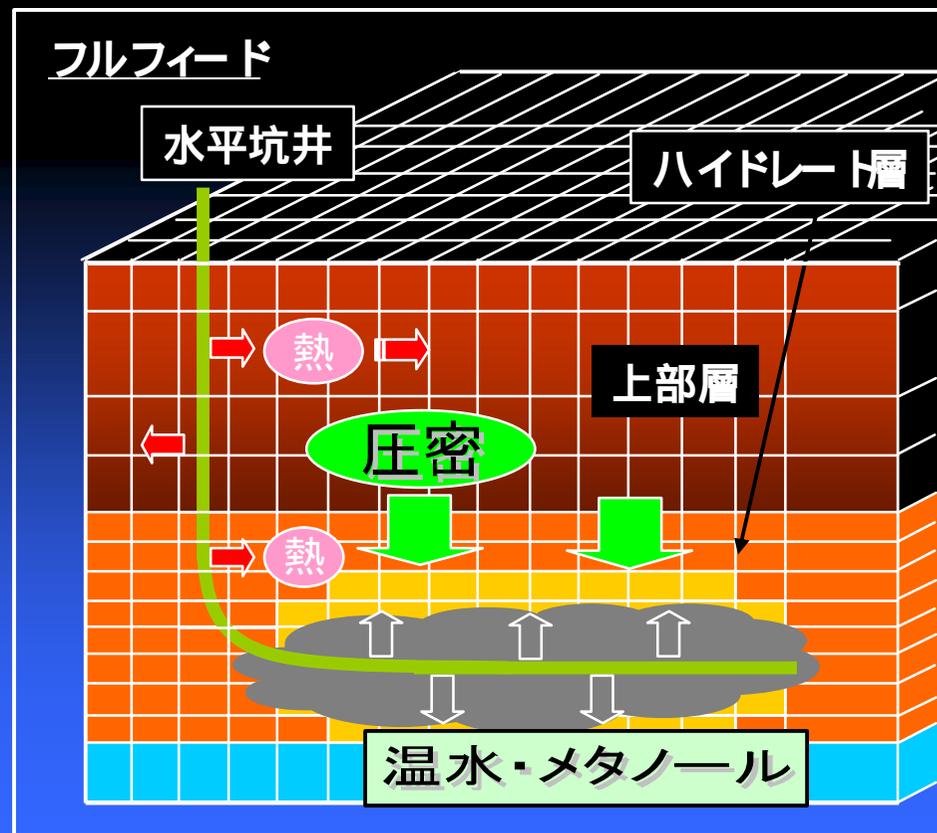
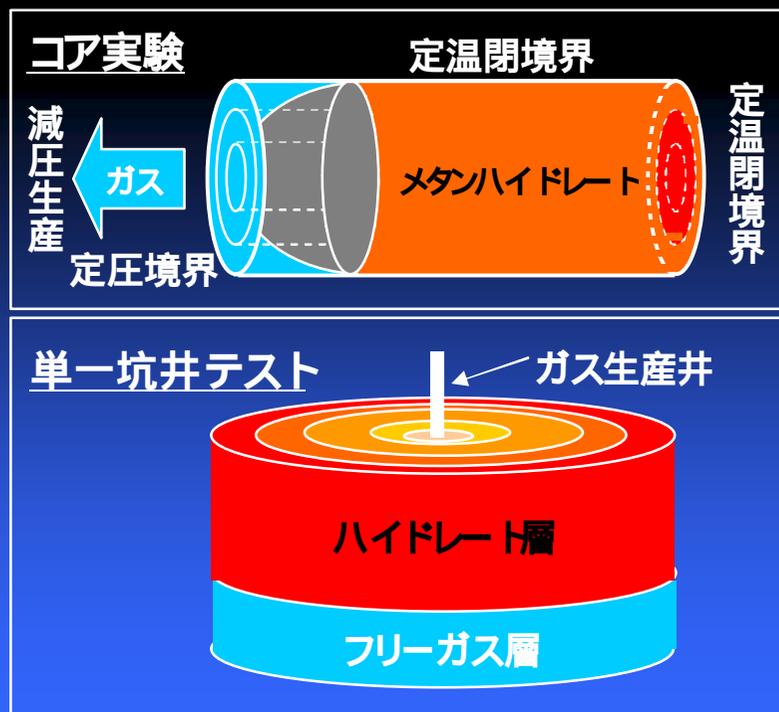
JNOC-TRC

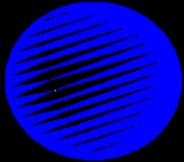
モデルの改良 - 改良概要

現行シミュレータ
(2次元円筒座標)



改良シミュレータ
(2次元円筒・3次元直交座標)





3次元直交座標系への拡張

□ 3次元グリッド用Jacobian行列の構築

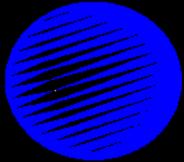
- ✦ 水・ガスの2つの質量保存式、エネルギー保存式を3次元直交グリッド用に差分化
- ✦ 差分式からJacobian行列を構築するルーチンを作成
- ✦ 作成したJacobian行列をソルバーに解かせるためのインターフェースを作成

□ 圧入井を含む複数坑井への対応

- ✦ 坑井制約条件式の追加
- ✦ ソルバーとのインターフェースの作成



検証 解析解・CMG社GEMの結果と比較



熱水循環に対応した計算機能の付加

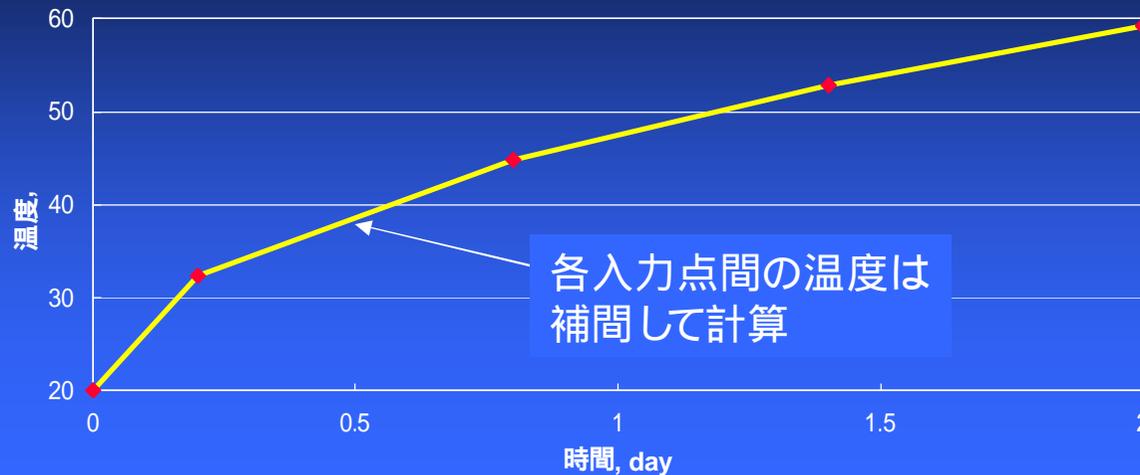
- 坑底温度を境界条件の1つとして扱うことで対応

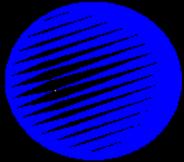
$$Q_e = 2pr_w hH_w (T_{BH} - T_{BLOCK})$$

- 時間 vs. 坑底温度のテーブルを入力

テーブル

Day	Temp
0.0	20.0
0.2	32.4
0.8	44.8
1.4	53.0
2.0	59.2
⋮	

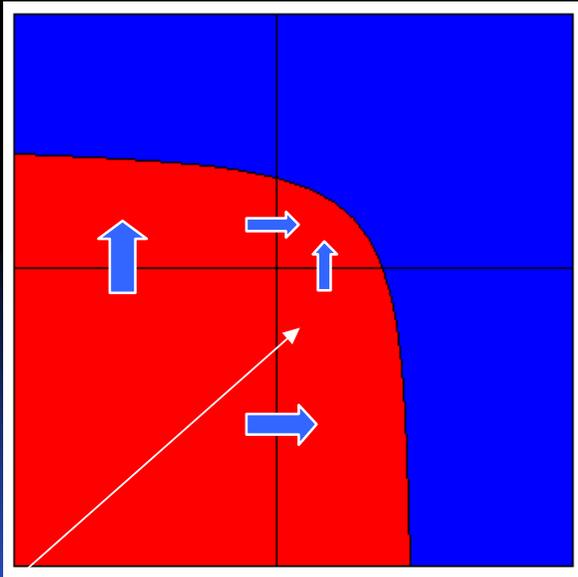




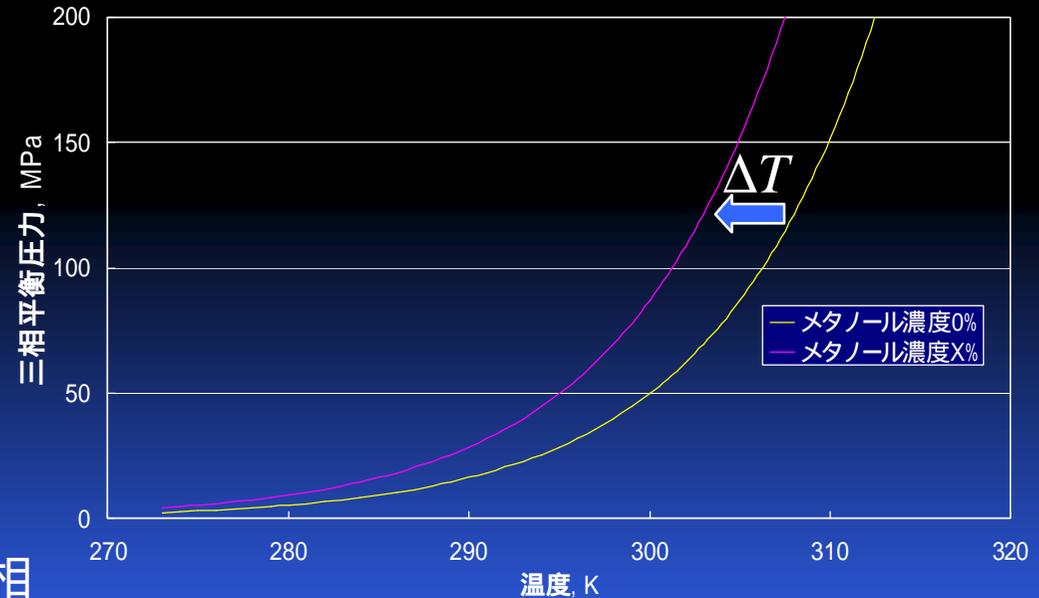
JNOC-TRC

メタノール圧入に対応した計算機能の付加

□ 水相中のメタノール濃度をトラッキングすることで対応



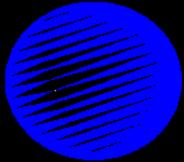
■ 水相 ■ メタノールを含む水相



各ステップ毎にメタノールを含む水相の移動を追跡し、グリッド中のメタノール濃度を計算

$$\frac{\partial(\phi S_w \rho_w C)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho_w C \bar{u}_w)$$

ハンマーシュミットの経験式による平衡曲線の移行



その他の改良

□ 外部熱流出入計算機能付加

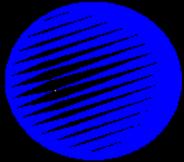
グリッドの温度低下と共に外部温度も低下させ、外部からの熱流入量を適正に評価

□ 岩石圧縮率の考慮

孔隙率を圧力の関数として表現し、モデル中に岩石圧縮率を考慮

□ 不均質岩石熱伝導率の定義

各ブロックの岩石熱伝導率を個別に定義できるように変更



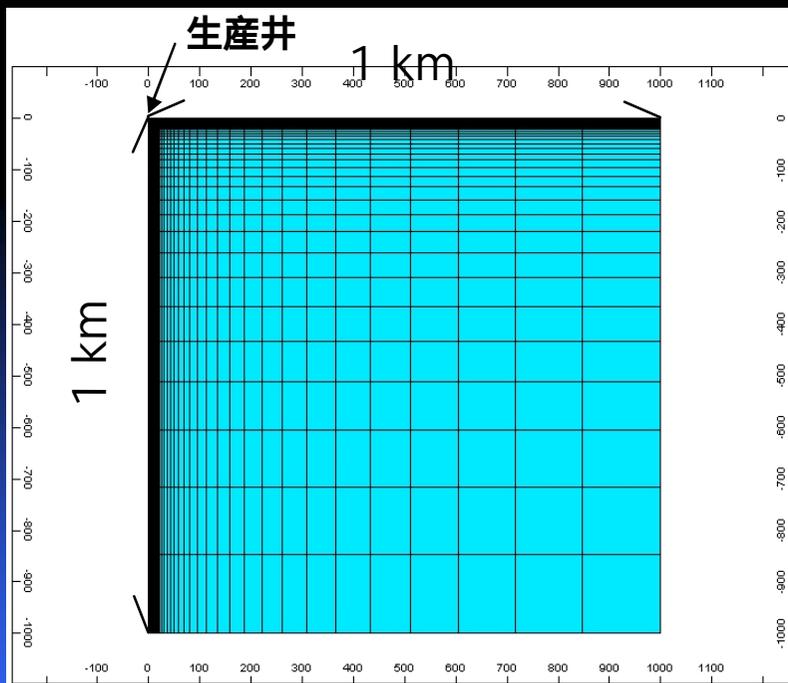
ケーススタディ

- 減圧法 - 垂直坑井
- 減圧法 - 水平坑井
- 温水循環法 - 垂直坑井
- 熱水圧入法 - 垂直坑井
- メタール圧入法 - 垂直坑井

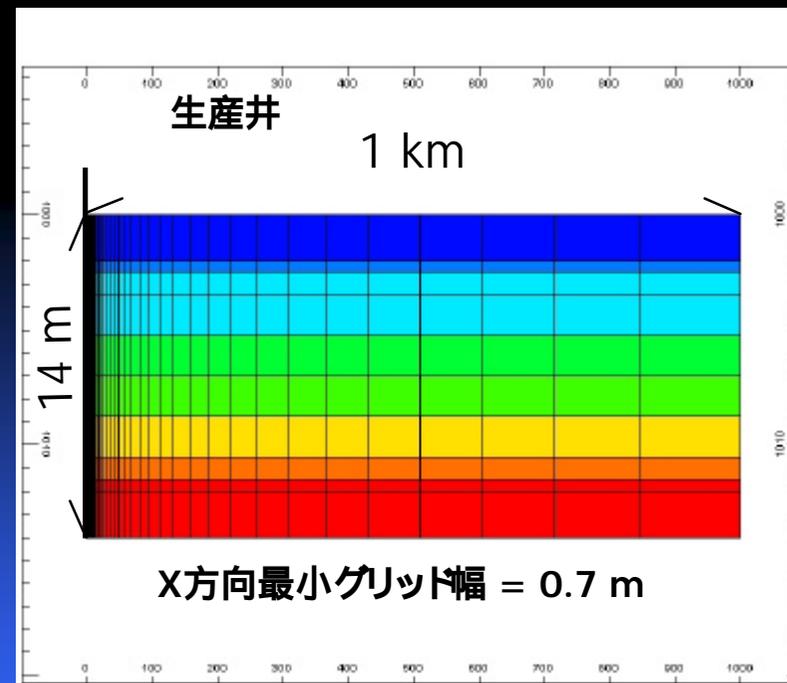


JNOC-TRC

ケーススタディ例 温水循環法



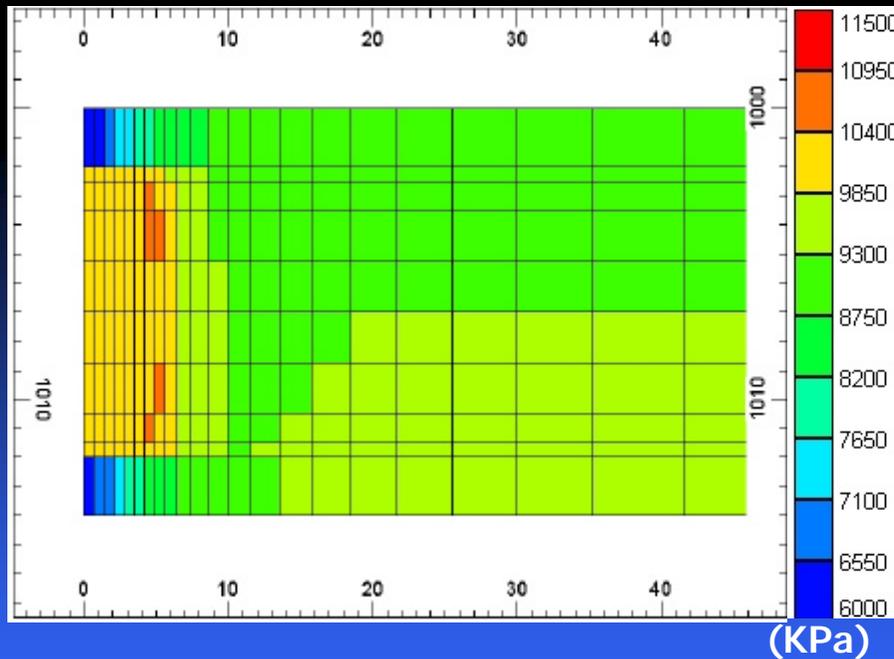
平面図



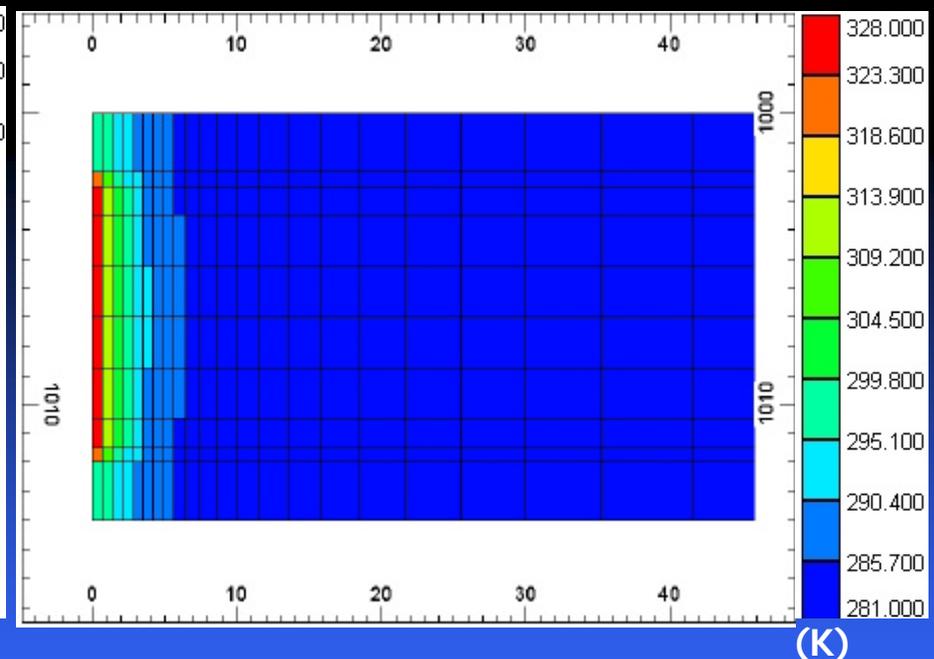
断面図



計算結果例 (圧力、温度)



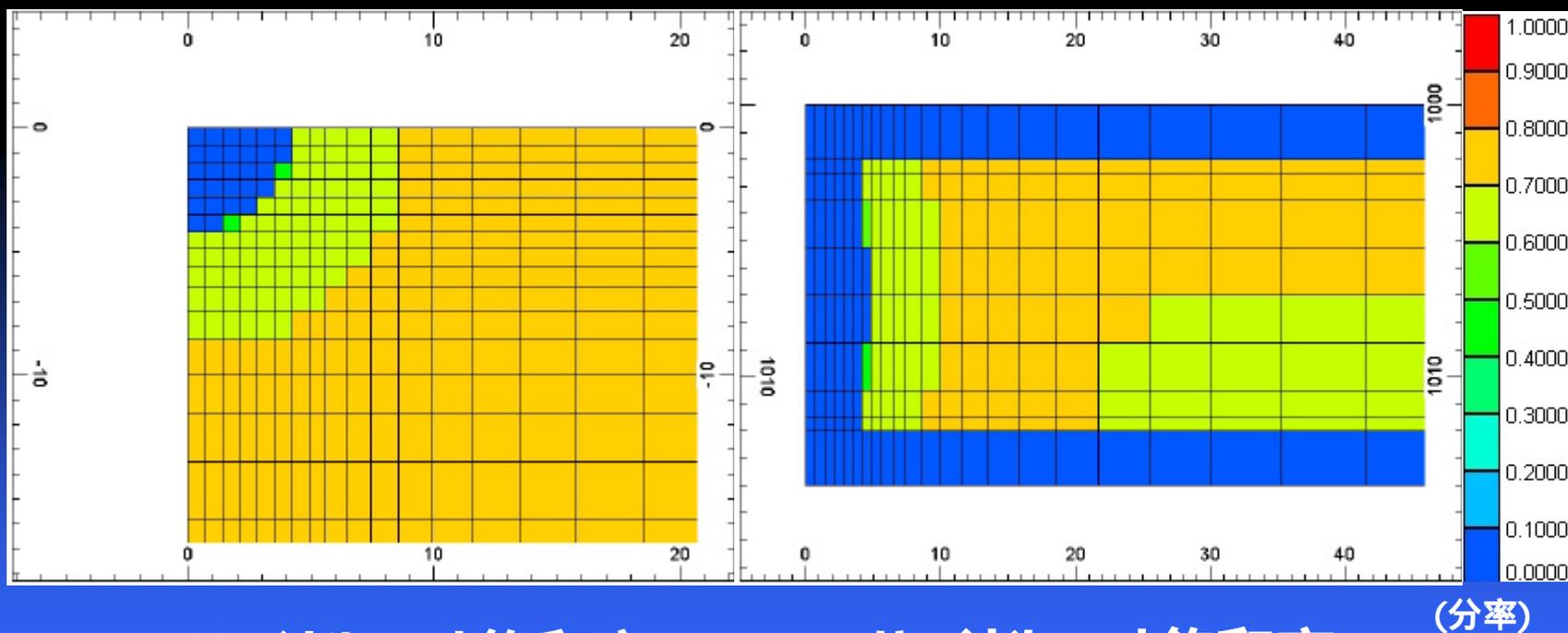
圧力 (y=1断面 190日後)



温度 (y=1断面 190日後)



計算結果例 (ハイドレート飽和率)



ハイドレート飽和率
($z=6$ 断面 190日後)

ハイドレート飽和率
($y=1$ 断面 190日後)



海外調査報告 - 海外調査の概要

目的

- 米国におけるMHシミュレータ開発の現状調査
- (MH開発・生産関連研究の現状調査)
- (日本との共同研究の可能性の調査)

日程

- 2001年9月10日 :University of Calgary, Imperial Oil
- 2002年3月18日~22日 :Lawrence Berkeley National laboratory (LBNL), Westport Technology Center, Los Alamos National laboratory (LANL), Gas Technology Institute (GTI)

海外調査報告 - シミュレータ開発の現状 (1/3)

- U. of Calgary
 - ◇ 分解速度論を提唱 (Bishnoi教授)
 - ◇ 状態方程式 (EOS) プログラムは整備
 - ◇ フローシミュレータは無し (Settari教授も含め来年度以降構築予定)
- Imperial Oil
 - ◇ Stars (CMG社) の化学反応項を利用してMHシミュレーションが実施可能であると示唆

海外調査報告 - シミュレータ開発の現状 (2/3)

■ LBNL

- ◇ TOUGH 2のMHバージョンを開発
3次元、多成分、2相流、平衡論に基づく
- ◇ 分解速度論的取り扱い、自動ヒストリーマッチング機能の
付加を検討
- ◇ 共同研究相手にはソースコードを提供

■ Westport

- ◇ 数値モデルはHouston大学Mohantie教授と共同で開発予定
- ◇ 将来的にはLamdmak社のソフトとの統合も考慮

海外調査報告 - シミュレータ開発の現状 (3/3)

■ LANL

◇ FEHMのMHバージョンを開発中

3次元、水成分、2相流、2重孔隙・浸透、CVFE、
フレキシブルグリッド

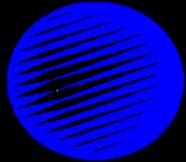
◇ MHバージョンを試作中

3成分、3相、EOS、
流動相 (フラクチャー) ・ハイドレート相 (マトリクス)

■ GTI

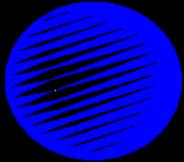
◇ シミュレータは無し

◇ 数値計算はIllinois工科大学Arastoopour教授と共同で研
究予定



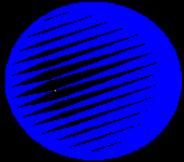
総括 (1/2)

- 昨年度までに開発したモデルを改良し、以下の計算機能を付加した。解析解・市販シミュレータの計算結果との比較を通し、これら新規機能が正しく動作することを検証した。
 - ◇ 3次元直交座標系への拡張
 - ◇ 加熱水循環・加熱水圧入に対応した計算機能の付加
 - ◇ 外部熱流入出量計算ルーチンの導入
 - ◇ メタール圧入に対応した計算機能の付加
 - ◇ その他の改良
(岩石圧縮率の導入、不均質岩石熱伝導率の定義)



総括 (2/2)

- 改良モデルを使用し、フィールドスケールのシミュレーション・ケーススタディを実施した。その結果、改良モデルがフィールドスケールのシミュレーションに十分適用可能であることが確認された。
- 2度の海外調査を実施し、米国におけるMHシミュレータ開発、MH関連研究の現状についての知見を得た。MH分解・生産フローシミュレータを開発・所有しているのはLBNL (TOUGH 2)のみである。
 - ◇ コア実験、特にCT-Scanの利用を研究項目の中心に据えている機関が多いが、コア内にハイドレートを作成した経験があるのはLBNLのみである。
 - ◇ Westport、GTIは日本との共同研究を希望している。



今後の課題・予定

- 今後は、計算速度・精度の向上、計算機能の追加（塩成分、ハイドレート再生成、坑井内挙動、等）要素モジュールの付加を実施し、更なるシミュレータ改良に勤める。
- (グラフィック)入出力機能、使用説明書、等を整備することで、現行シミュレータを商業化できる可能性はある。