

## 開発への課題

- 効率的な生産方法の確立に向かって -

平成15年度成果報告会

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム  
生産手法開発グループリーダー 成田 英夫

## 内 容

- MH堆積層から分解・採収する方法
- 分解・採収にあたっての問題意識
- 生産手法開発グループの平成15年度重点課題
- 生産手法開発グループの研究進捗状況
- 今後の取り組み方針

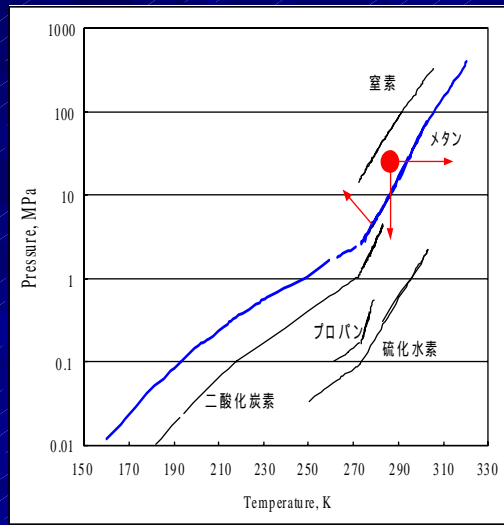
# MH堆積層から天然ガスを分解・採取する手法

## ■ 基本的な3手法

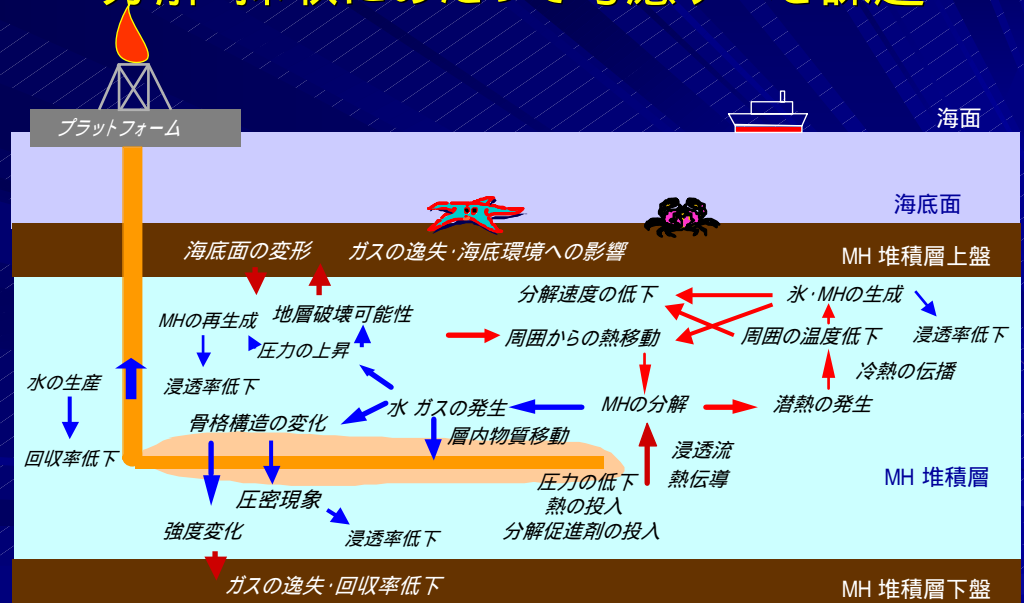
温度を上げる  
(熱刺激法)

圧力を下げる  
(減圧法)

生成・解離平衡条件  
自体を低温高压側に  
シフトさせる。  
(インヒビタ注入法)



# 分解・採取にあたって考慮すべき課題



## 考慮すべき課題 # 1

- 分解したメタンガスは圧力勾配にしたがって生産井へと流動しようとする。流れが多いほど生産性は高まることから、堆積層内のガスの流れやすさ、すなわち浸透率特性が生産性にとって重要な要素。
- 孔隙内のハイドレートは固体であり、流れに対して抵抗要素として働くため、浸透率は飽和率の関数となる。すなわち、分解に伴い浸透率自体も変化する。
- 分解のための熱、あるいは分解の潜熱を補償するための熱がよく伝わるほど、生産レートは高くなるため、MH層の熱伝導率、熱伝達率が重要な要素。

## 考慮すべき課題 # 2

- ガスの流れは通常、水を随伴するため孔隙内から水を逸損させる可能性がある。このため、孔隙内にガスが占める空間が増加する可能性があり、その空間にガスが残留すると回収率に大きく影響する懸念がある。

### 考慮すべき課題 # 3

- 浸透率が極めて低いIMH層に対して熱刺激法を適用した場合、圧力の上昇によって地層が破壊される可能性もある。破壊が空間限定的なフラクチャリングのような場合は生産性を向上させる方向に働くが、地層全体の破壊に至るようなことが想定されれば、そのような地層モデルに対して、堆積層の機械的強度を踏まえながら慎重に生産手法を選定する必要がある。破壊に至らない場合においても、圧力の上昇によるメタンハイドレートの再生成が起こり、さらに浸透率を低下させることから、生産性に影響を及ぼす。

### 考慮すべき課題 # 4

- 分解は吸熱反応であることから周辺層から熱を奪い周囲温度を低下させる。周囲温度の低下は、分解速度を低下させる。減圧度が大きければ、氷が生成する。氷がメタンハイドレートの結晶を覆うように生成したときは、分解速度は急激に低下する。一方、氷の生成は、その凝固潜熱によって堆積層に熱が供給されるため、分解を促進する方向に働く。



## 考慮すべき課題 # 5

- 分解は、MH層の骨格構造を形成していた固体のハイドレートが消失することを意味しており、孔隙内でMHが砂と砂をセメンチングしているような場合、堆積層強度が低下することが考えられる。また、ガスや水の移動による堆積層の圧密現象や圧密による浸透率低下も想定される。さらに、MH層は未固結と推定されるため、生産手法によっては水のみならず砂が随伴する可能性がある。

## H15の重点研究開発課題

- 堆積層の正確な性状解明に向けた基盤開発
  - 天然物を代表する模擬MH堆積物の作製
  - MH堆積層環境での特性値の解析・評価
- 生産シミュレータの実践的改良・機能強化
  - 現象の観測に基づいた計算機能の導入
- 最適な生産手法の選定に向けた取り組み
  - コア試験による対象堆積層の正確な情報把握
  - 陸上産出試験の事前評価
  - 既提案手法の実験的評価と新手法の開拓

## 堆積層の正確な性状解明に向けた基盤開発

### ■ 模擬MH堆積物試料作製技術の確立

→ 拘束圧の付加、融解操作、初期含水率調整等によって、孔隙率、飽和率が制御された均質な海域MH堆積物を再現(孔隙率30～40%、飽和率0～60%を任意で可変)すると共に、孔隙率の直接計測技術を確立した。

### ■ MH堆積層環境下のコア試験法の確立

→ 温度、圧力、拘束圧を制御した浸透率、熱伝導率、強度、骨格構造、ガス・水生産速度、流動・伝熱解析・評価技術を開発し、実条件での評価を可能とした。

## 生産シミュレータの実践的改良・機能強化

### ■ 専用シミュレータの開発

→ MH再生成モジュールの開発、氷生成モジュールの開発、液相における塩成分の付加、計算速度の向上、相平衡、坑井内流動の計算関数の機能を強化した。

### ■ 計算モジュールの開発

→ 圧密評価モジュールに変形係数の温度依存性を付加、分解速度評価モジュールに塩及びイオンの効果を付加、浸透率評価モジュールに相対浸透率、飽和率、孔隙率を因子として導入したほか、各計算モジュールの検証と評価を行い、実験結果の再現性を確認した。

## 最適な生産手法の選定に向けた取り組み

- コア試験による減圧法、坑井加熱法生産性の評価
  - ➔ 減圧法では、ドロウダウン圧力の増加と共にガス採取量、回収率とも直線的に増加するが分解に伴い温度が氷点まで低下。坑井加熱法では、加熱温度の増加と共に増加傾向にある。
- コア試験による堆積層の強度の評価
  - ➔ MH層の強度は、飽和率の増加と共に増加。分解後は1/4以下まで強度が低下。また、温度依存性は少ない。体積歪みの計測によって、MH層は温度が高いほど変形しにくく、MH層に特徴的であった。

## 最適な生産手法の選定に向けた取り組み

- 陸域産出試験の生産手法と生産性の事前評価
  - ➔ 資源量評価分野と連携し、陸域のMH資源を対象に、生産挙動について解析を行い、アラスカ域では200mの水平坑井にて1万m<sup>3</sup>/日のガス生産レートが期待され、カナダ域では熱刺激法が補完的に必要であることを解明した。

## 最適な生産手法の選定に向けた取り組み

### ■ 可能性の高い新手法の開発

→ 複数水平坑井熱水圧入法を開発し、特許申請中。低浸透層でも500m水平坑井長で1万m<sup>3</sup>/日程度の生産レート。熱水間欠導入でエネルギー効率向上。

→ 窒素導入法によって、75%のMH分解率を達成。(特許申請中)。

### ■ 生産性に重要な物性値の詳細解析。

→ 浸透率の飽和率依存性を解析し、孔隙内のMHの産状によって、低減指数Nは大きく変化することが判明。

→ 熱伝導混合モデルを解析。分散モデルが比較的一致。

## 今後の取り組み

- 平成15年度に実施した東海沖～熊野灘基礎調査結果を反映しつつ、以下の課題に取り組む。

生産に伴う地層破壊、坑井破壊防止への対処

経済性を有するMH層の選定と生産性の確認

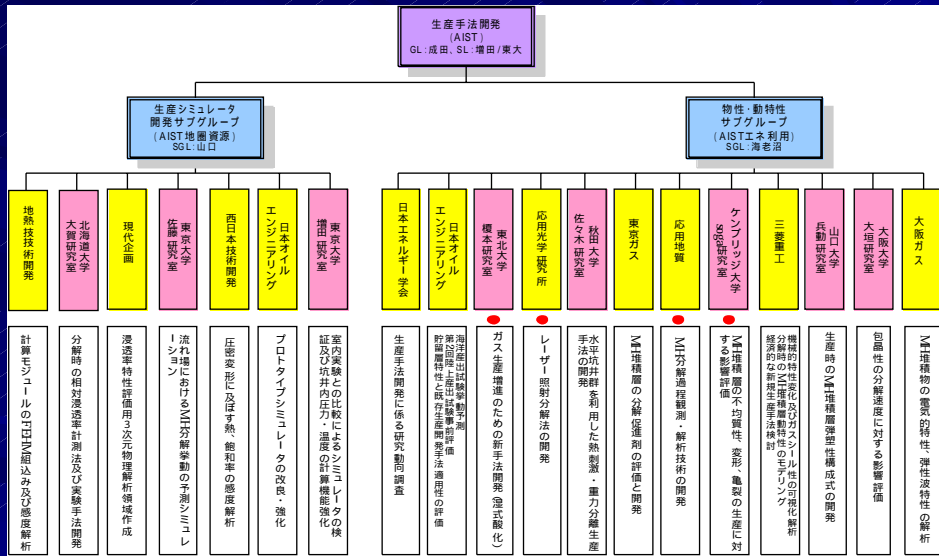
エネルギー効率の向上

生産レート及び回収率の向上



# MH21生産手法開発G H16研究開発連携体制

( :企業、 :大学、 :H16新規)



MH21 Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan

ご清聴ありがとうございました

MH21研究コンソーシアム  
生産手法開発グループ

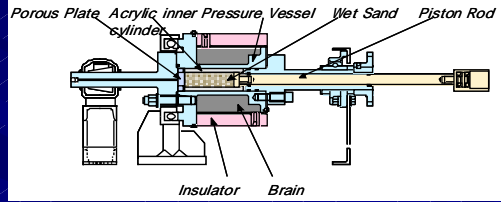
MH21 Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan

# 模擬MH堆積物の作製技術の開発



作製された模擬MH堆積物

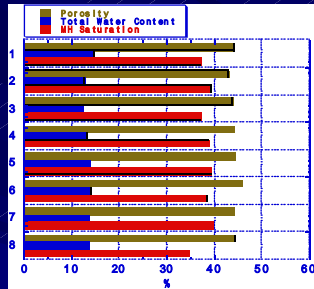
砂：マリック相当粒径分布  
 孔隙率：30vol%  
 MH飽和率：62%



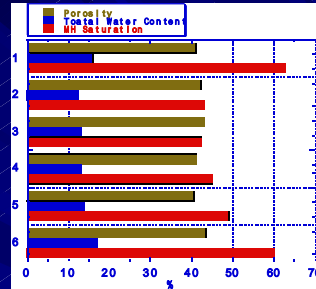
模擬MH堆積物製造装置  
 (ガス浸透法)

# 模擬MH堆積物作製技術の確立

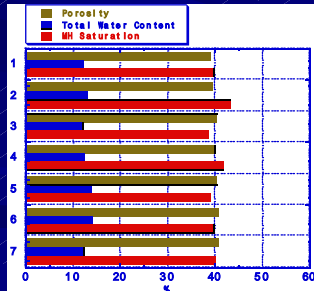
拘束圧無



原料砂：  
シルト



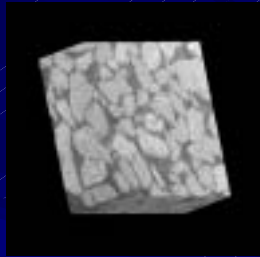
拘束圧付加



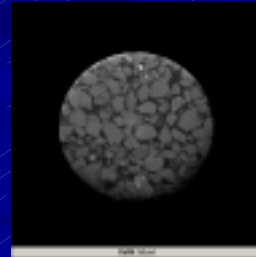
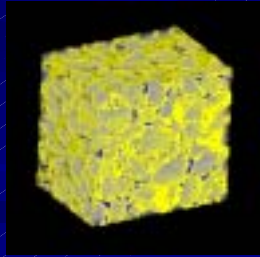
模擬MH堆積物(海域堆積砂の粒度分布に調整)

# 模擬堆積物の3次元分布可視化

灰:砂  
青:気相  
黄色:MH・氷



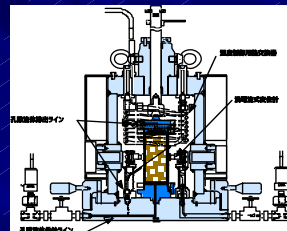
3DCT画像



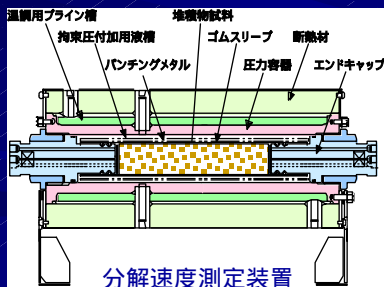
# MH堆積層環境下のコア試験法の確立



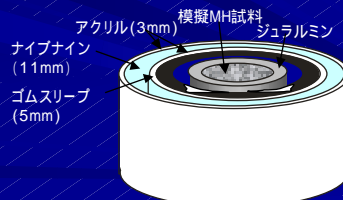
熱伝導率測定装置



強度測定三軸セル



分解速度測定装置



X線CT観測用高压セル

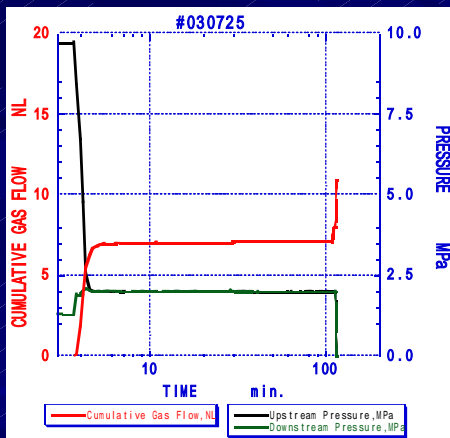


# MH堆積物コア分解速度試験装置

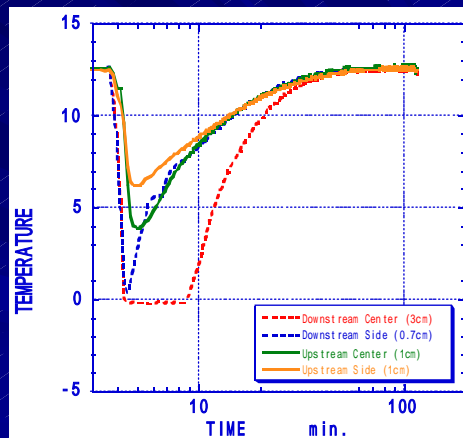


MH2-1 Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan

## コア分解試験(減圧法)



圧力及び積算ガス放出量の経時変化



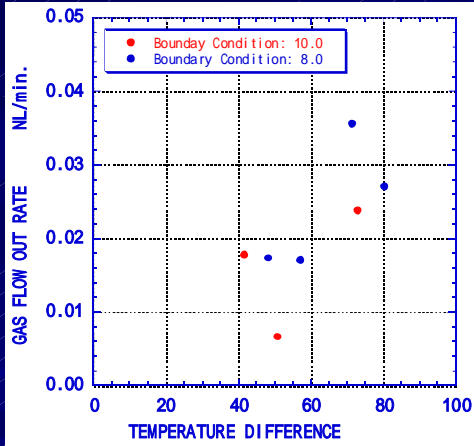
MH堆積物試料内温度の経時変化

MH2-1 Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan

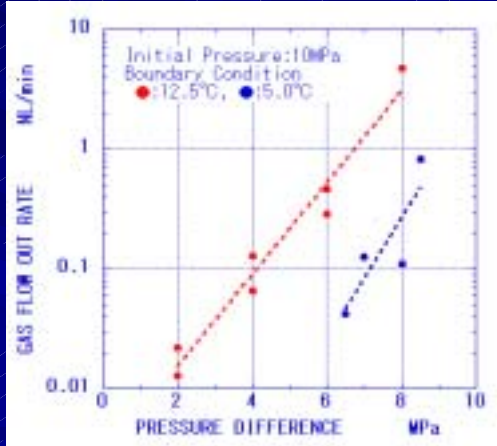


# ガス流出速度比較

減圧法と端面加熱法(坑井加熱法)



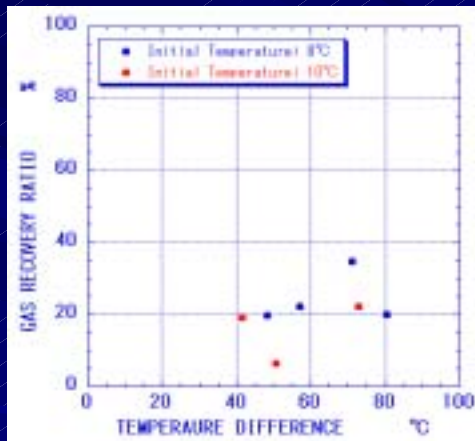
端面加熱法(坑井加熱法)



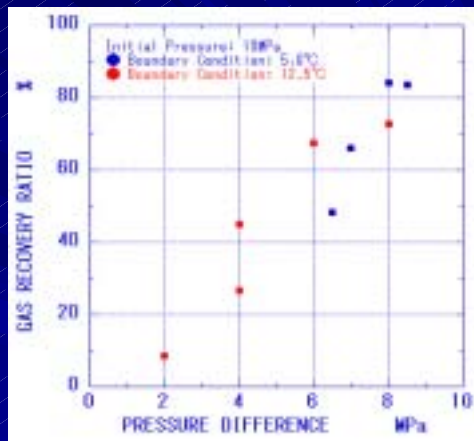
減圧法

# ガス回収率比較

減圧法と端面加熱法(坑井加熱法)



端面加熱法(坑井加熱法)

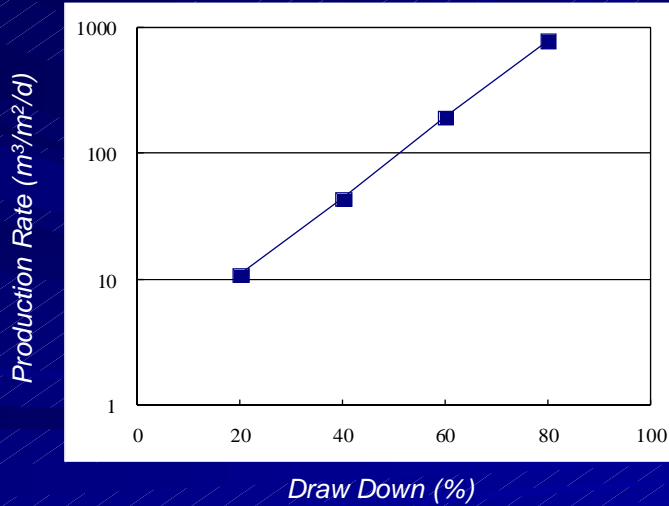


減圧法

ガス流出量(縦軸)は、模擬試料から流出した全ガス量と、一定圧に保った分解実験中に流出したガス量の比。

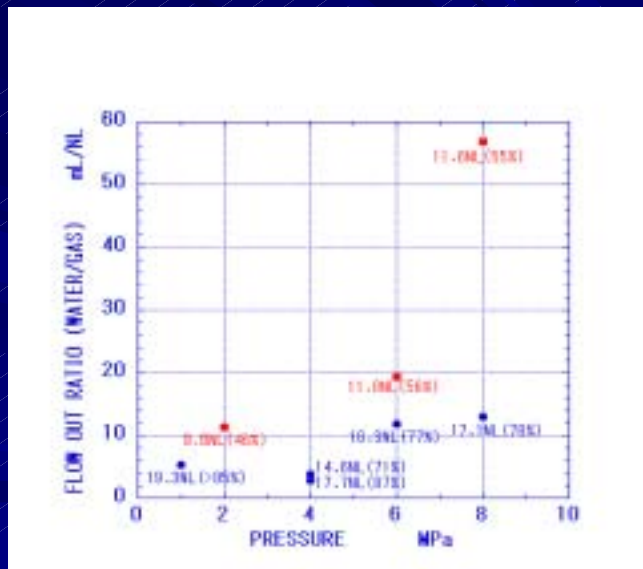
# 減圧法コア試験による生産性推算

(一方向分解を仮定、2つの過剰見積もり要因あり)



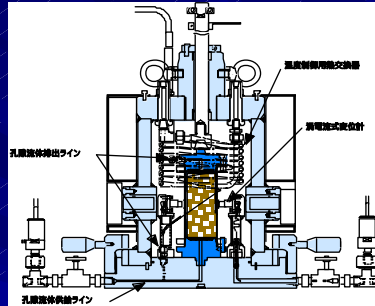
Initial Condition  
P=10MPa  
T=12.5

# 減圧法における水流出量の評価



# MH堆積物の強度試験

実堆積層環境に即した三軸圧縮強度測定法の開発



高圧低温三軸セル

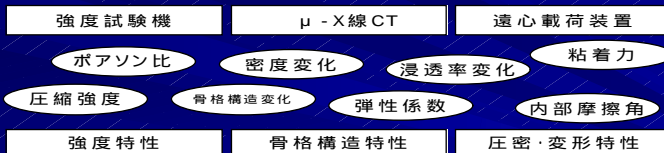
- ▶ 設計圧力25MPa, 設計温度 -30 +30。
- ▶ シリンジポンプによる水飽和操作。
- ▶ シリンジポンプの流量計測による供試体の体積変化測定。
- ▶ 孔隙へのガス充填によりMH安定化後に水圧入。

# 力学特性の研究開発

< 生産手法選定のためのアウトプット >

- ・MH分解に伴う堆積層の圧密・変形挙動予測。
- ・MH堆積層のガス・シール性の評価
- ・MH分解に伴う堆積層の破壊挙動予測。
- ・坑井及び坑井周囲の安定性評価。( 資源量評価G)
- ・上部堆積層への影響評価( 環境影響評価G)

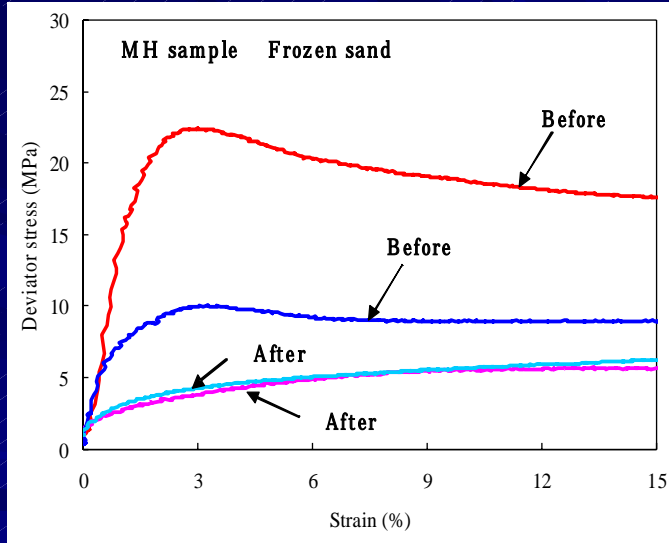
< モデリングツールの適用 >  
(経時変化の推定)  
圧密モジュール DEM 解析  
構成式(応力-歪)



< 力学挙動把握のためのタスク >

- \* MH分解速度と堆積層の密度、孔隙率等の変化速度の把握。
- \* MH分解前、分解過程及び分解後におけるパラメータ整備。
- \* MH層分解周辺域の堆積層の変形、強度特性の把握。
- \* 力学パラメータ測定技術基盤の整備
- \* モデリングツールの開発

# コア強度試験(分解の影響)

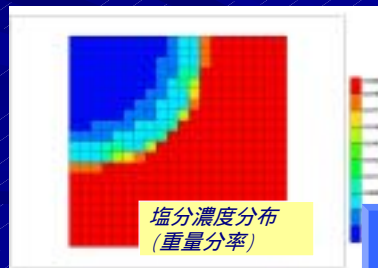
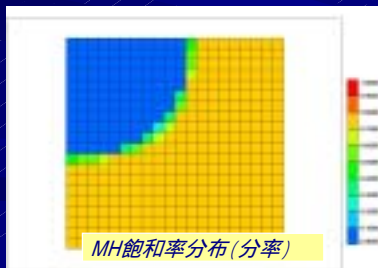
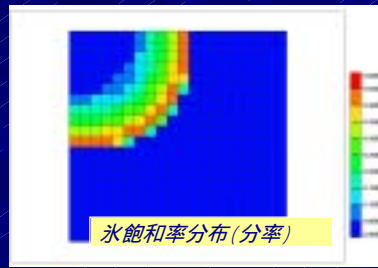
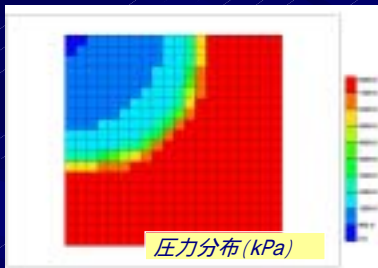


MH模擬堆積物及び凍結土の分解前後の強度



# 生産シミュレータの開発

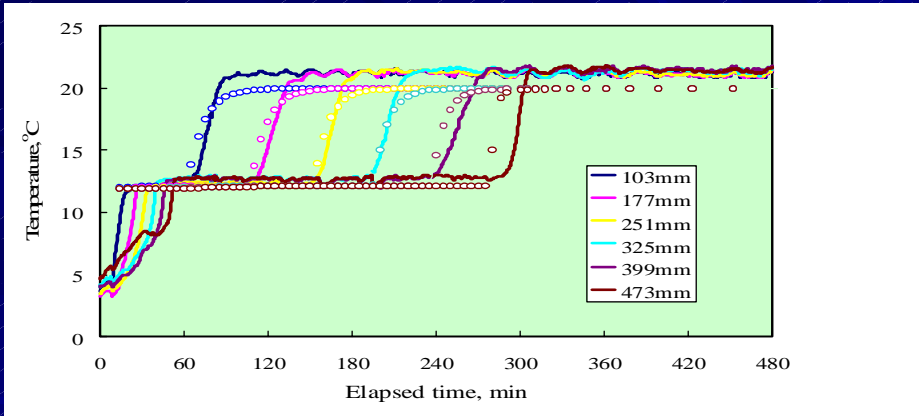
氷の生成・塩成分の追加・検証





# 室内実験に関するシミュレーション

—浸透率評価に関する室内実験の数値シミュレーション結果(1)—



室内実験スケールでのシミュレーション結果の一例。実線が実験結果であり、丸印が計算結果である。分解開始の実験結果と計算結果の時間がほぼ合っており、約12でハイドレートが分解している。この分解の終了とともに、注入側より注水されている熱水の温度(20に設定)に上昇していく挙動が示されている。



## 新手法の開発

(複数水平坑井熱水圧入法)



t=150min



t=180min

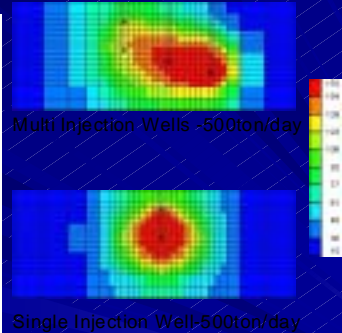
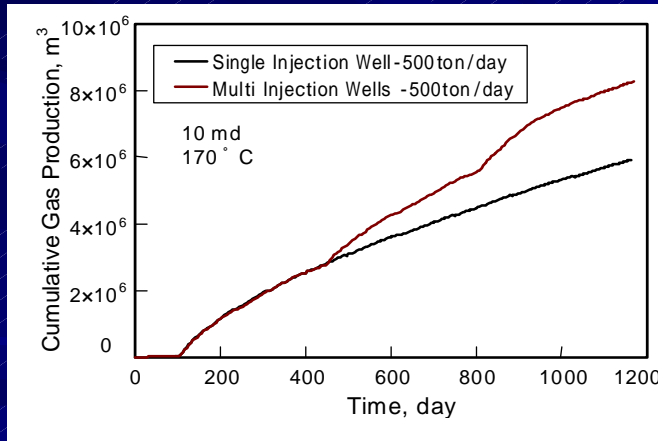


t=210min



t=240min

# 複数坑井熱水圧入システム 数値計算結果



温度分布の比較

累積ガス生産量の比較

# 異種ガス導入法試験結果の比較

	N2交換反応	20%CO2/N2交換反応
反応時間 min	380	540
平均生産量 l/min	0.77	0.092
平均注入量 l/min	3.51	2.56
MH分解率 %	75	19

\*\* 置換反応では300時間で17%の報告がある

