

# 一橋大学ガスエネルギー研究会(HGES)

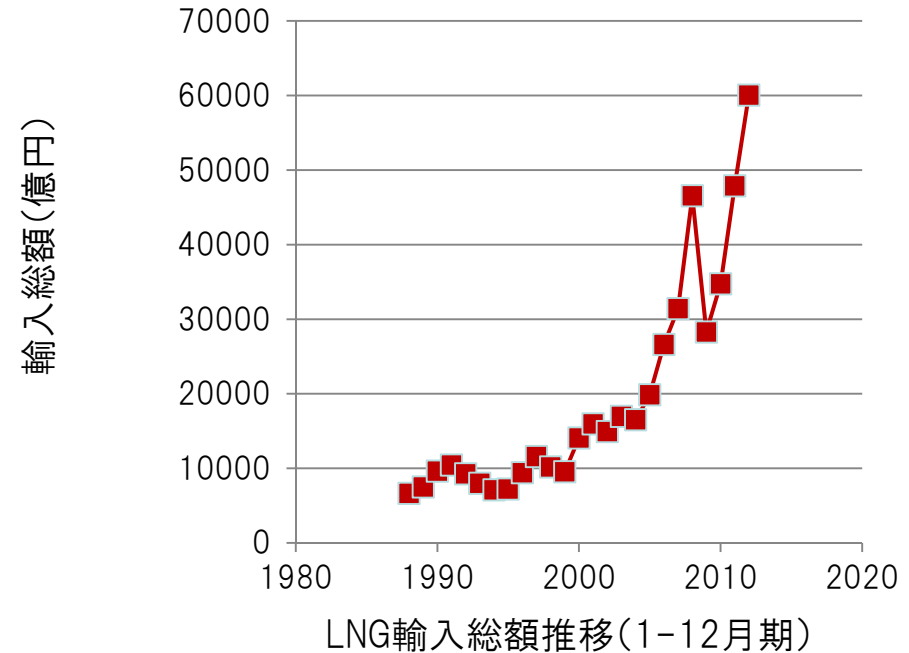
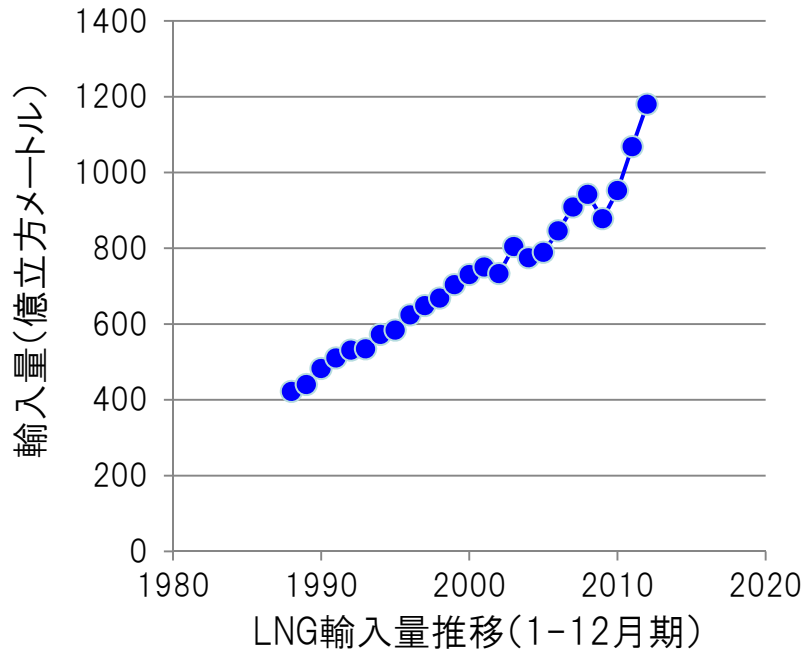
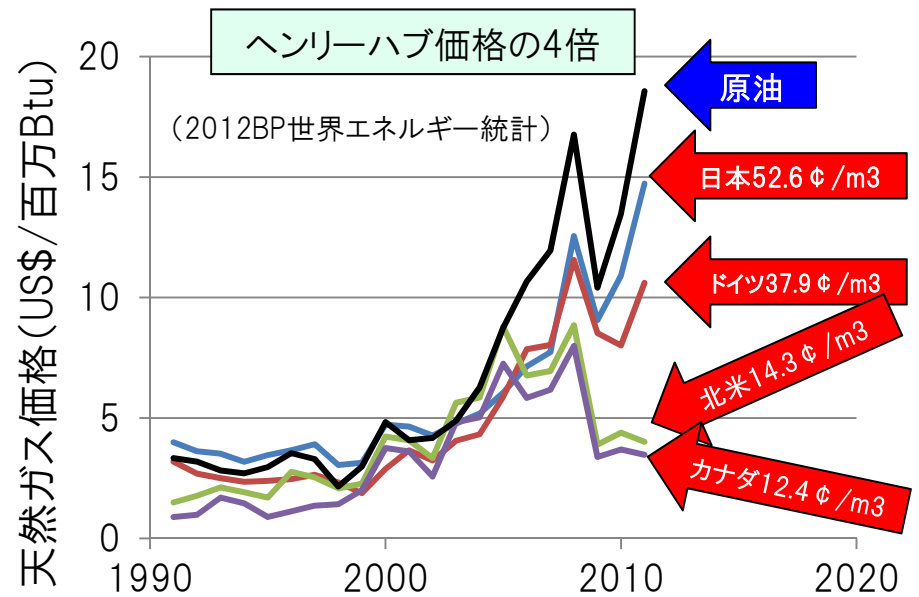
第1回洋上産出試験の結果を踏まえた  
これからのMH開発計画と商業生産に至る課題  
(技術状況、技術的・経済的ボトルネック)

(独)産業技術総合研究所  
メタンハイドレート研究センター  
成田英夫



# 天然ガス需給に係る現状

- 世界の消費は10年間で1.3倍、アジア、中東では2倍
- 3.11以降、日本の消費が加速化
- LNG輸入量、輸入総額とも過去最高
- LNG輸入価格は、北米価格の4倍以上
- 2011LNG輸入総額は5.4兆円と2011貿易収支(△1.6兆円)上の影響も大きい
- 2012は1200億m<sup>3</sup>、6兆円とさらに増加
- 天然ガスの長期安定供給と低価格化への取り組みが喫緊の課題



天然ガスは、  
硫黄分が入っていない → 燃やしても硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)が出ない  
燃焼をコントロールしやすい。→ 窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)が少ない  
→ 発電効率が高い  
水素分が多い → 発熱量あたりの炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)排出量が少ない

- 発熱量あたりのCO<sub>2</sub>排出量
- 石炭: 23650t-C/PJ(100%)
- 原油: 18660t-C/PJ(79%)
- 天然ガス: 13470t-C/PJ(57%)

高齢化社会  
電気を使う社会システム

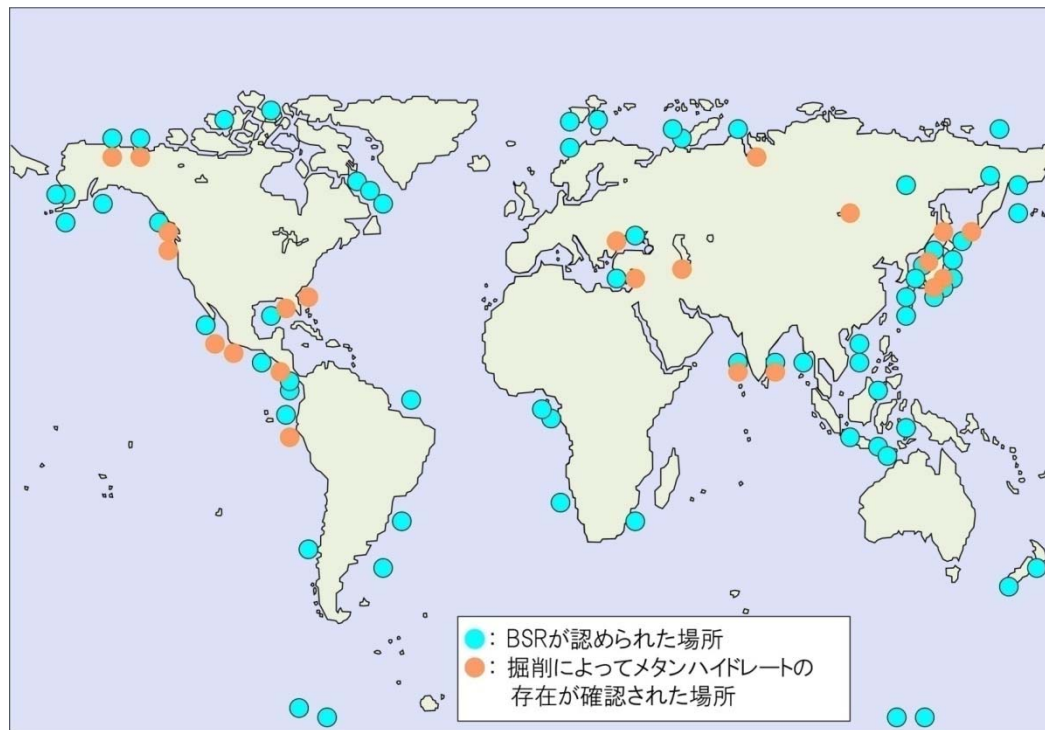
- 電力需要の増大
- 電力化率の増加

エネルギー利用  
システムの変革

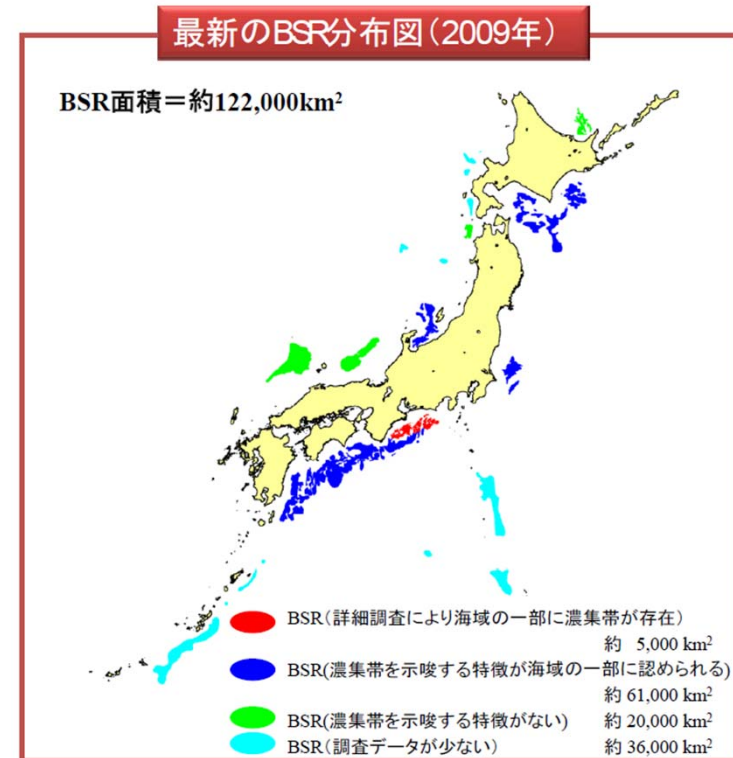
- 分散型エネルギー
- 水素化社会……
- 新しい輸送用燃料

## メタンハイドレート資源の分布

- 世界では、永久凍土地帯、大陸縁辺部の海域、深い湖底に賦存
- 日本周辺海域でも多くの濃集帯が認められている。(約12万km<sup>2</sup>)
- 静岡県沖から和歌山県沖に至る東部南海トラフには、1兆1400億m<sup>3</sup>の原始資源量があると評価されている。(わが国の天然ガス年間消費量の約11年分)



世界のメタンハイドレート分布域



日本周辺海域のメタンハイドレート分布

●わが国のEEZ内に賦存している事実が重要

- ① 長期安定供給の確保
- ② 自給率の向上
- ③ 地政学的な優位性の確保
- ④ LNG契約の低価格化
- ⑤ 貿易収支の改善
- ⑥ 技術外交、排出権取引等

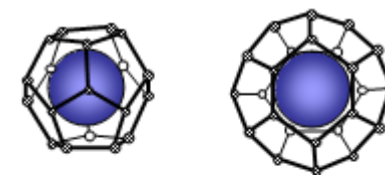
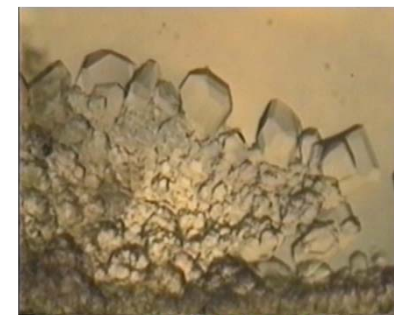


メタンハイドレート資源からの天然ガス生産への期待

副次的には、現場を持つことによって海洋技術が発展

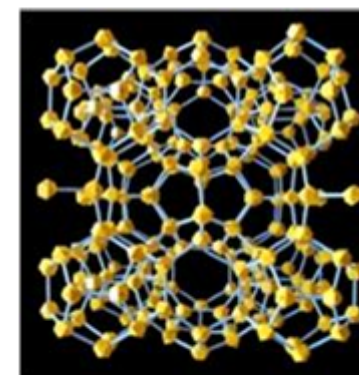
## メタンハイドレートとは

- 見た目は、氷
  - 水の分子からなる結晶
  - 水分子からできたカゴの中にメタンが入っている
- 氷とは、大きく性質が異なる
- 低温・高圧で安定
  - 0°Cでは26気圧以上、1気圧では-80°C以下
  - 自然界でも発見されている。
  - 常温・常圧では、分解してメタンを放出し、火をつけると燃える。



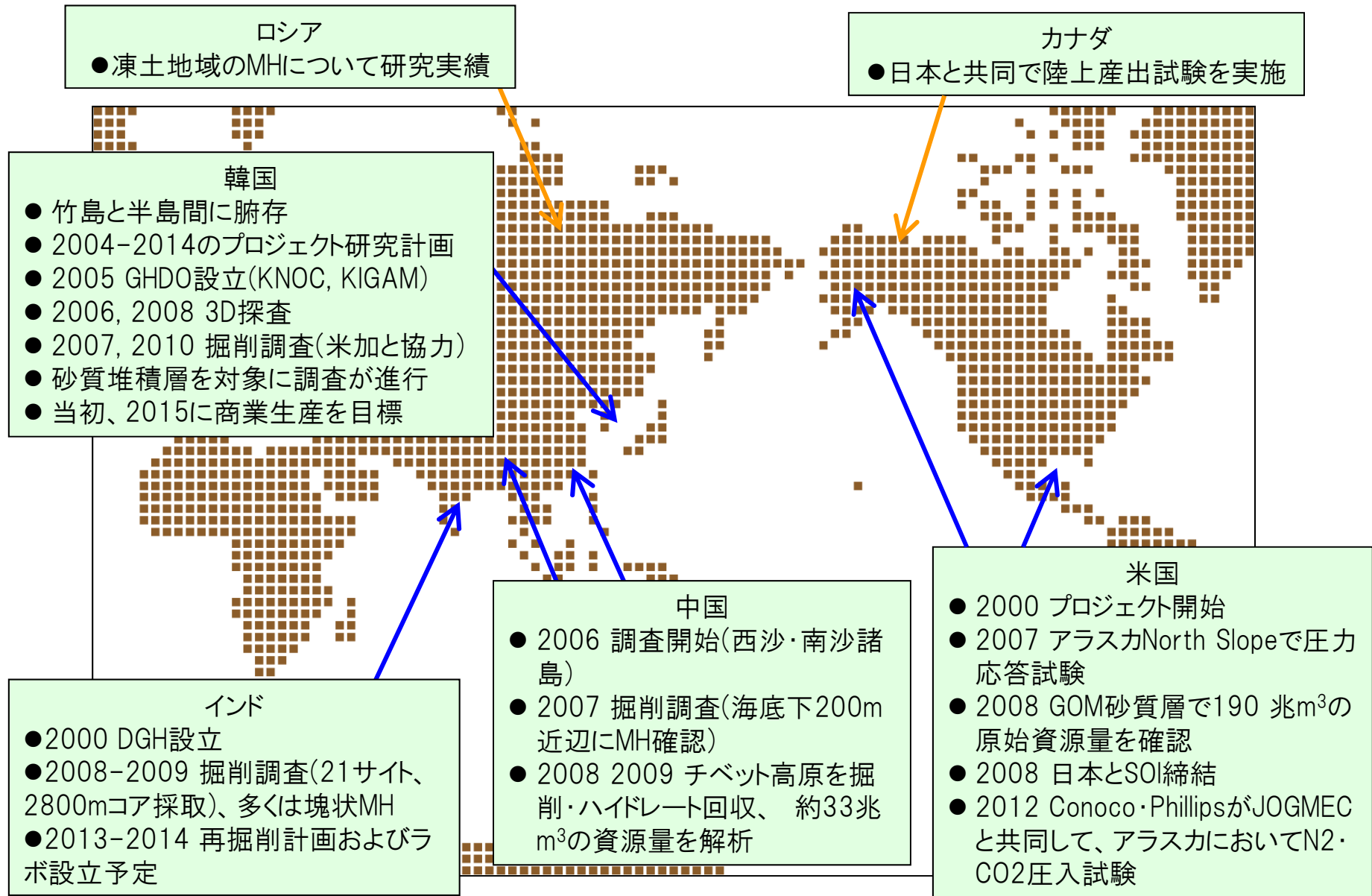
↓ 2

↓ 6



メタンハイドレート  
単位構造

# 海外の研究動向

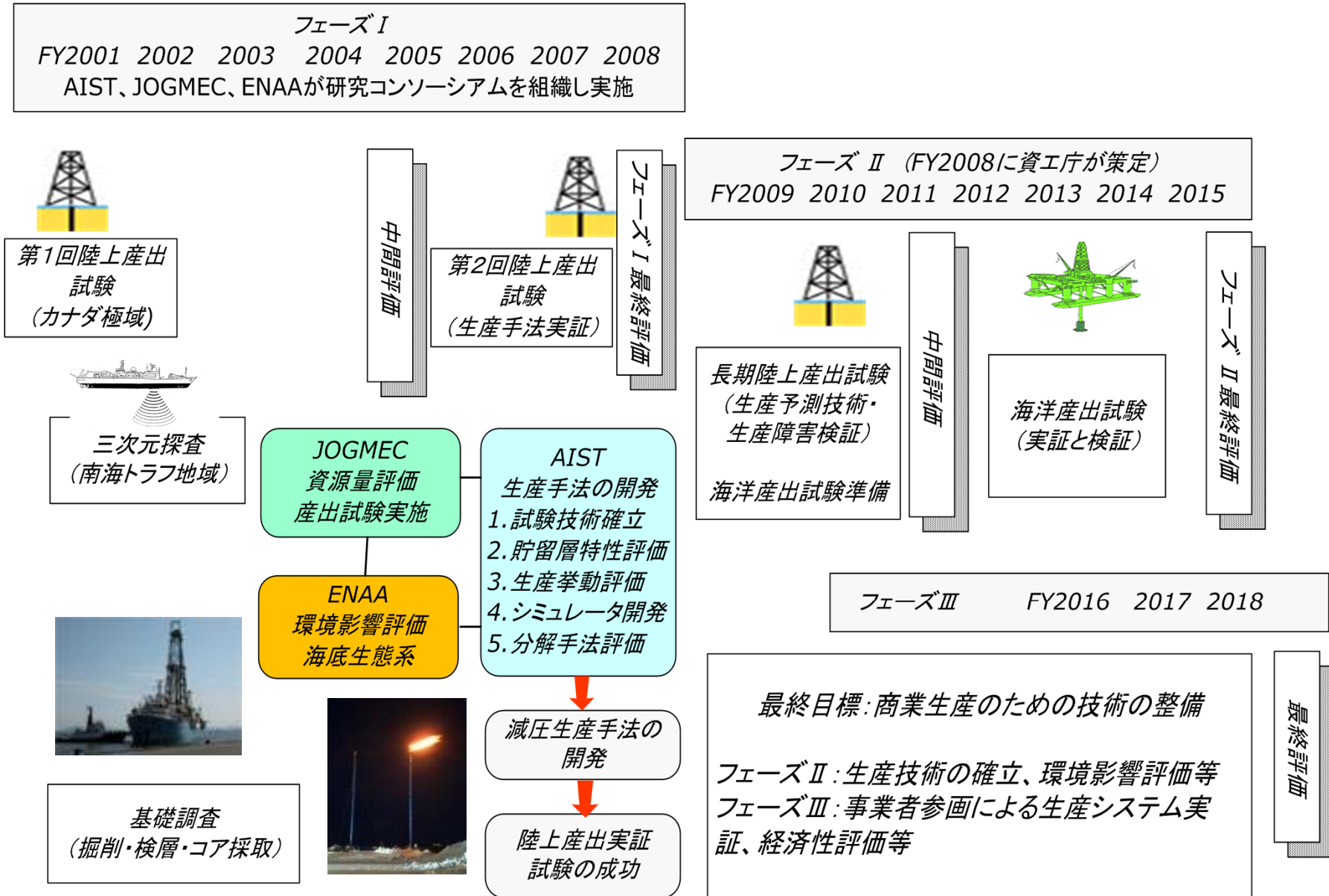


## メタンハイドレート資源開発の歴史

- 1992: 工業技術院がメタンハイドレートの基礎的研究を開始  
エネルギー総合工学研究所が調査研究を開始
- 1994 工技院ニューサンシャイン計画総合研究・官民連帯研究開始
- 1995: 通商産業省が「第8次国内石油及び可燃性天然ガス資源開発5カ年計画」を開始。石油公団が特別研究「メタンハイドレート開発技術」を実施。
- 1996: 基礎物理探査「南海トラフ」
- 1999: 基礎試錐「南海トラフ」
- 2002: 陸上産出試験実施(温水循環法)
- 2000: 「メタンハイドレート開発検討委員会」にて計画策定・答申
- 2001: 経済産業省「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を発表  
「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」を設立
- 2002: 経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業」開始
- 2004: 基礎試錐「東海沖～熊野灘」
- 2008: 陸上産出試験により減圧法を実証
- 2009: METI「メタンハイドレート開発促進事業」フェーズ2開始
- 2013: 第1回海洋産出試験により減圧法を実証

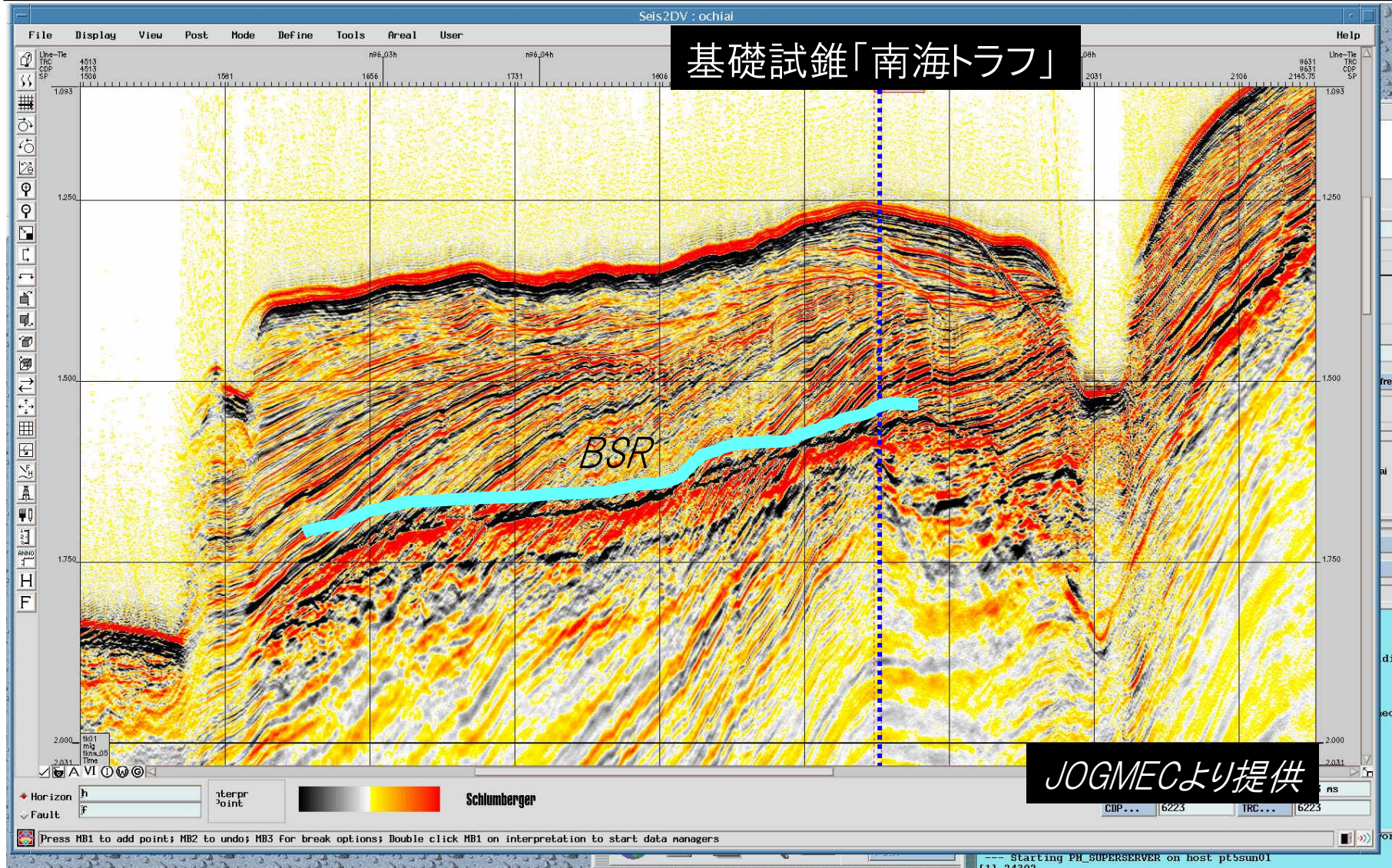


# 経済産業省「メタンハイドレート資源開発計画」

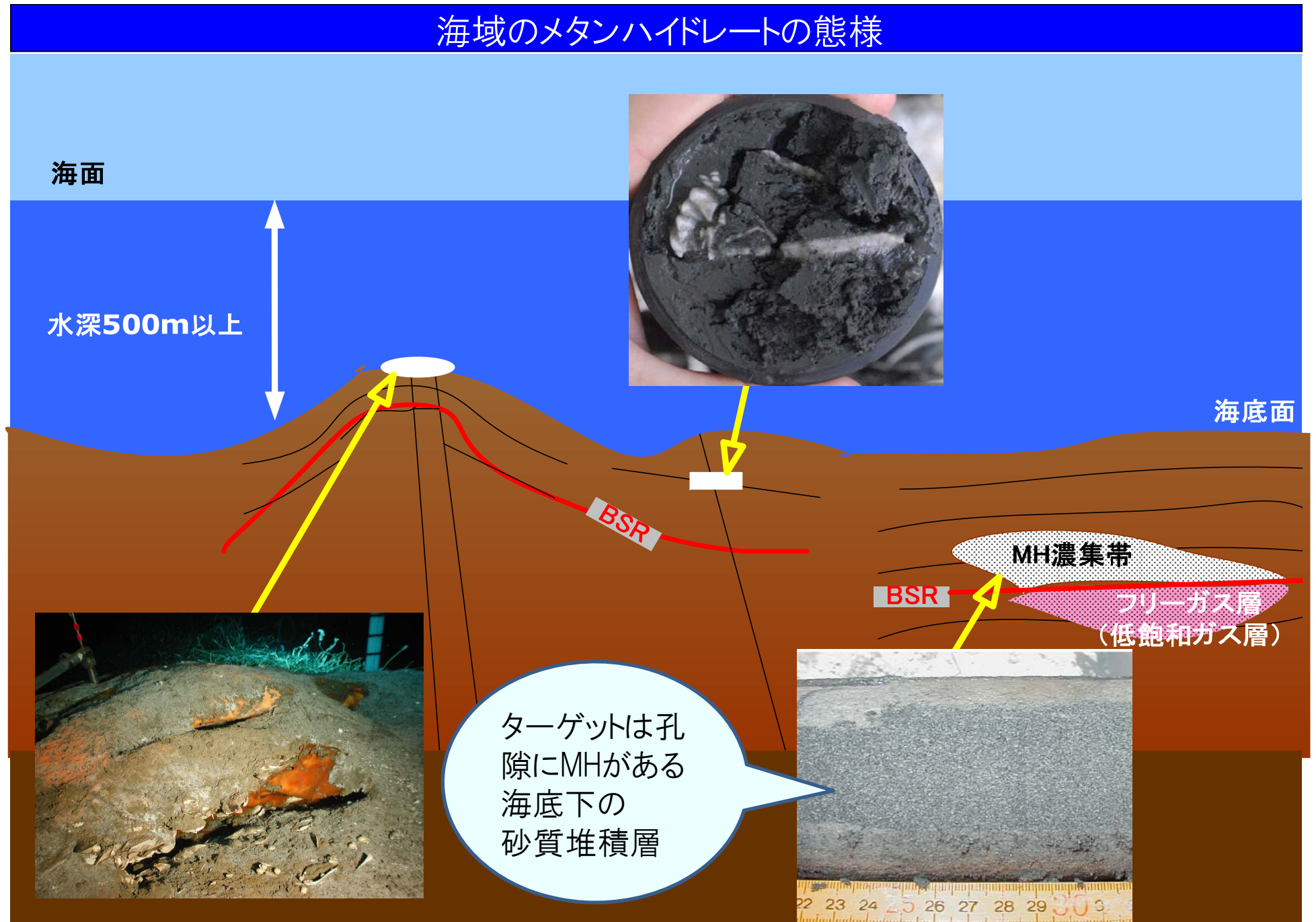


# BSR (Bottom Simulating Reflector)

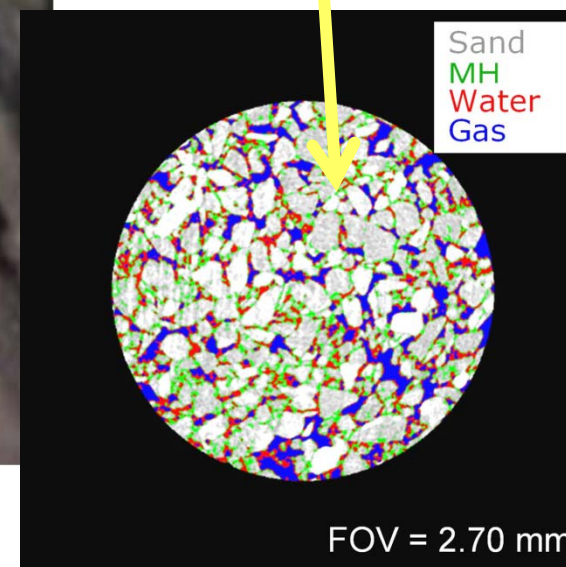
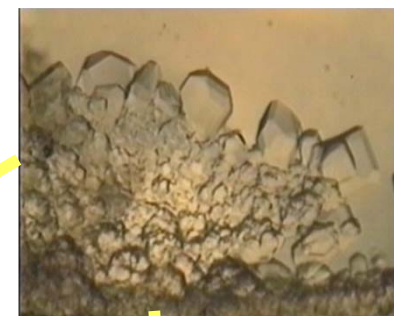
地震探査において、海底面と平行した強い反射が得られることがある。これは、MH層の最下面とその下のガス飽和した水層の境界を示している。



# 海域のメタンハイドレートの態様



# メタンハイドレート天然コア試料(東部南海トラフ)



### 1. 資源量評価の観点

- 既存技術である地震探査手法が適用可能
- 油ガス田の資源量評価手法が適用可能
- 貯留層の連続性が確保

### 2. 生産技術開発の観点

- 浸透性が期待できるため在来の油ガス田開発技術が適用可能
- 成熟した在来の貯留層解析技術、生産性評価技術が応用可能
- 既存の大水深開発技術・システムが適用可能
- 全く新たな材料開発、機器開発を待つ必要がない

### 3. 環境影響の観点

- 砂層の骨格構造が保たれているため海底地盤が沈下しにくい
- 海底下に存在し、水圏、気圏と直接接していない
- 商業化のためには、安定生産可能な枯れた技術が必要



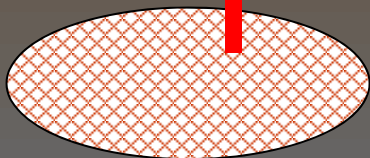
# メタンハイドレート資源開発の特徴



掘削すると  
容易に自噴

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



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



- 在来型にはない主な特徴
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。



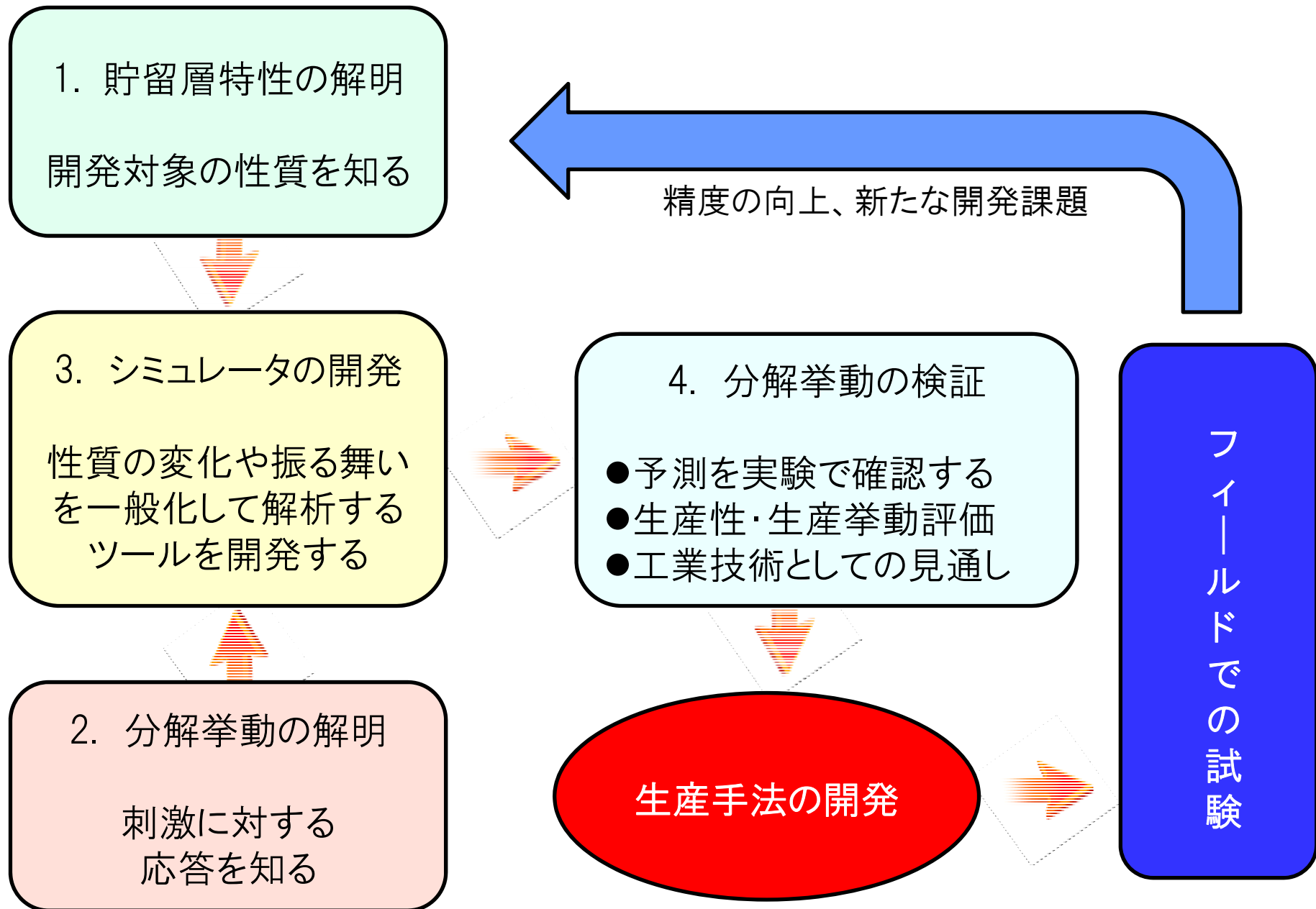
1000m

2-300m

MH層

BSR

# 生産手法の開発手順





## 生産手法開発での実施課題と現状

### 1. 貯留層特性の解明

- 開発対象の性質を知る。
- このため、MH層原位置条件下での物性・力学特性解析技術を開発

- 物性計測・解析基盤を確立
- 天然コアによる評価を実施
- 三次元貯留層モデル構築

### 2. 分解挙動の解明

- 刺激に対する応答を知る
- このため、実験的・数値解析的に流動や特性変化の数値式を開発

- 分解挙動計測基盤を確立
- 分解モデル、生産障害モデル等のサブルーチンを開発

### 3. シミュレータの開発

- 生産性・生産挙動、地盤特性等を一般化して解析するツールの開発

- MH21-HYDRESおよびCOThMAを開発
- フィールド試験により検証

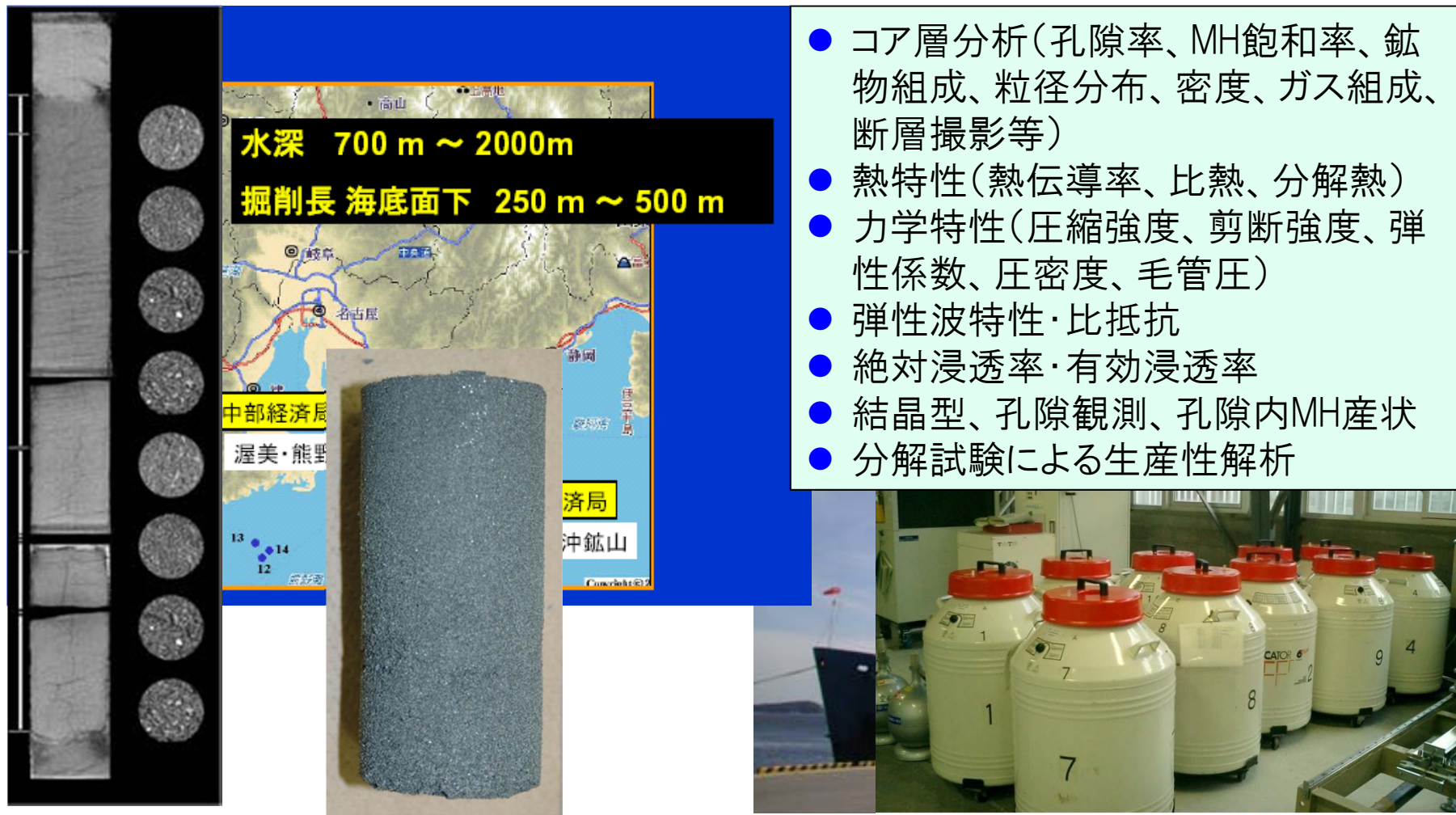
### 4. 生産手法の評価

- 生産性・生産挙動を解析的に評価
- 生産性・生産挙動を実験的に検証
- 経済性・熱収支などを評価

- 減圧法を開発
- 大型室内試験装置を開発
- 貯留層特性に適した生産手法を提示

## 基礎試錐「東海沖～熊野灘」

- 平成16年に東部南海トラフ海域の掘削航海を行い、メタンハイドレート層からの基礎試錐コア(天然コア)を取得。
- 原位置条件におけるコア試験によって、物性(貯留層特性)や分解特性を解析。



The composite image consists of several parts: on the left, a vertical strip of core samples in a black tray; in the center, a map of the study area with text overlays; on the right, a photograph of laboratory equipment.

**水深 700 m ~ 2000m**  
**掘削長 海底面下 250 m ~ 500 m**

中部経済局  
渥美・熊野  
沖鉦山

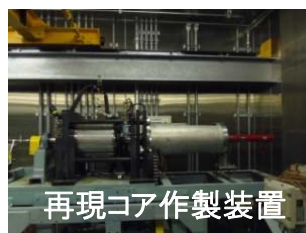
- コア層分析(孔隙率、MH飽和率、鈳物組成、粒径分布、密度、ガス組成、断層撮影等)
- 熱特性(熱伝導率、比熱、分解熱)
- 力学特性(圧縮強度、剪断強度、弾性係数、圧密度、毛管圧)
- 弾性波特性・比抵抗
- 絶対浸透率・有効浸透率
- 結晶型、孔隙観測、孔隙内MH産状
- 分解試験による生産性解析

# コア試験解析・評価用設備群(原位置条件での試験が可能)

## 基盤施設・設備



高圧防爆低温室



再現コア作製装置



防爆キャビネット



大型室内産出試験装置



高圧コア冷凍装置

## 分解・流動特性解析



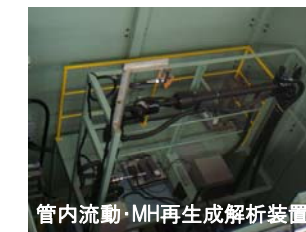
分解特性解析装置



通電加熱法開発装置



分解過程追跡装置



管内流動・MH再生成解析装置



出砂挙動解析装置

## 貯留層特性解析



孔隙内観測評価装置



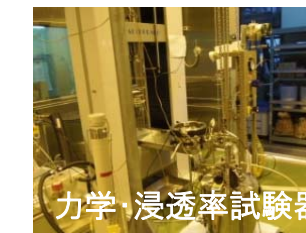
孔隙構造解析装置



熱伝導率解析装置



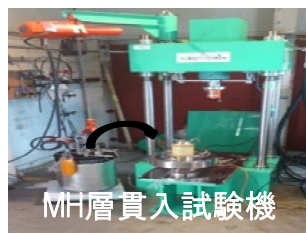
占有率解析装置



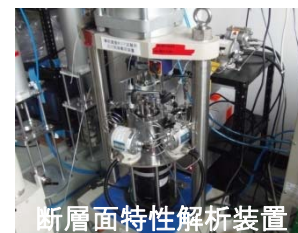
力学・浸透率試験器



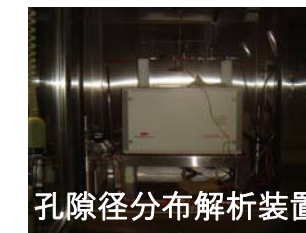
細粒砂移流蓄積評価装置



MH層貫入試験機



断層面特性解析装置



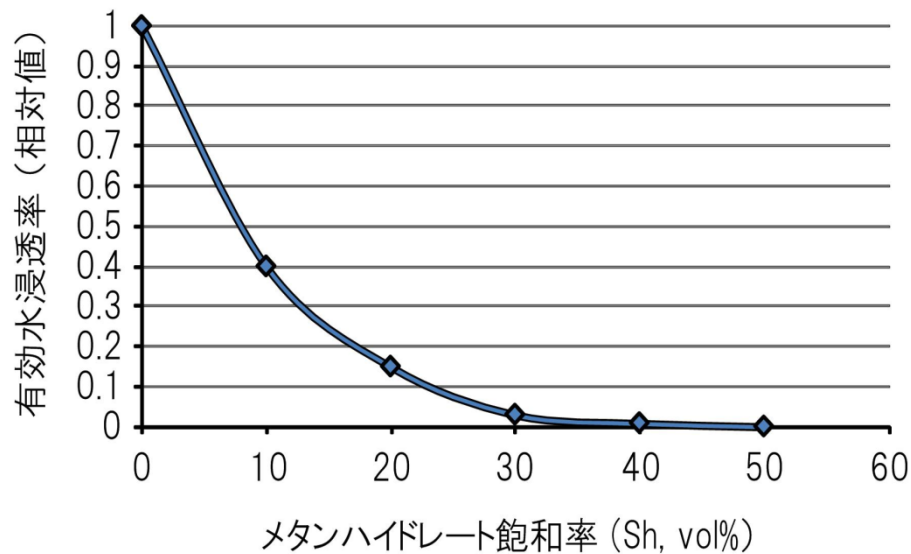
孔隙径分布解析装置



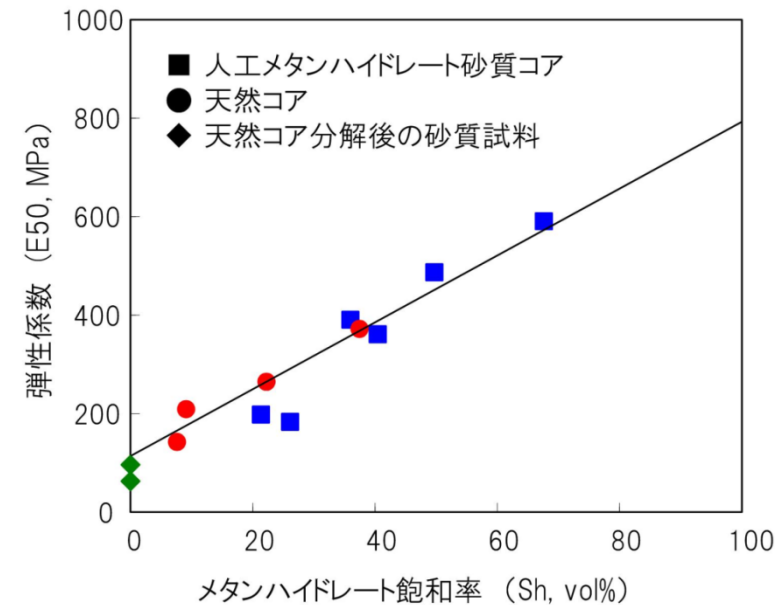
砂層浸透率測定装置

## メタンハイドレート層物性の大きな特徴の例

- メタンハイドレートがあるのとないのとでは貯留層特性(物性)が大きく異なる。
- メタンハイドレート飽和率(砂層の間隙を占めるメタンハイドレートの比率)によって浸透率(圧力の伝わり方や生産したガスの流れやすさ)は3桁以上も変わる。
- 力学特性もメタンハイドレート飽和率によって変わり、飽和率が増すほど強度は高い。逆を言えば、分解すると砂の強度に戻る。
- その他、熱伝導率などもメタンハイドレート飽和率によって大きく変わる。

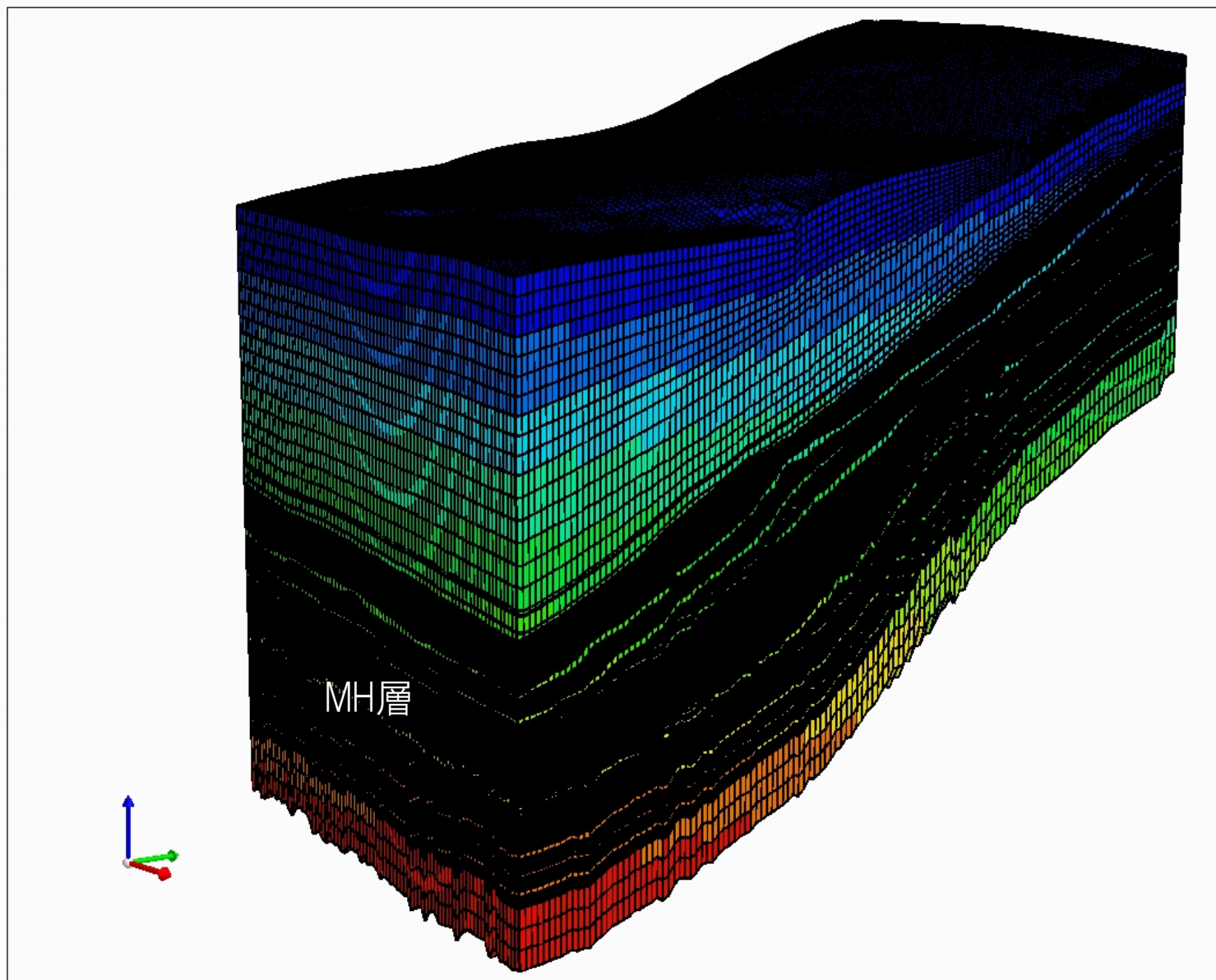


MH飽和率と有効浸透率の関係

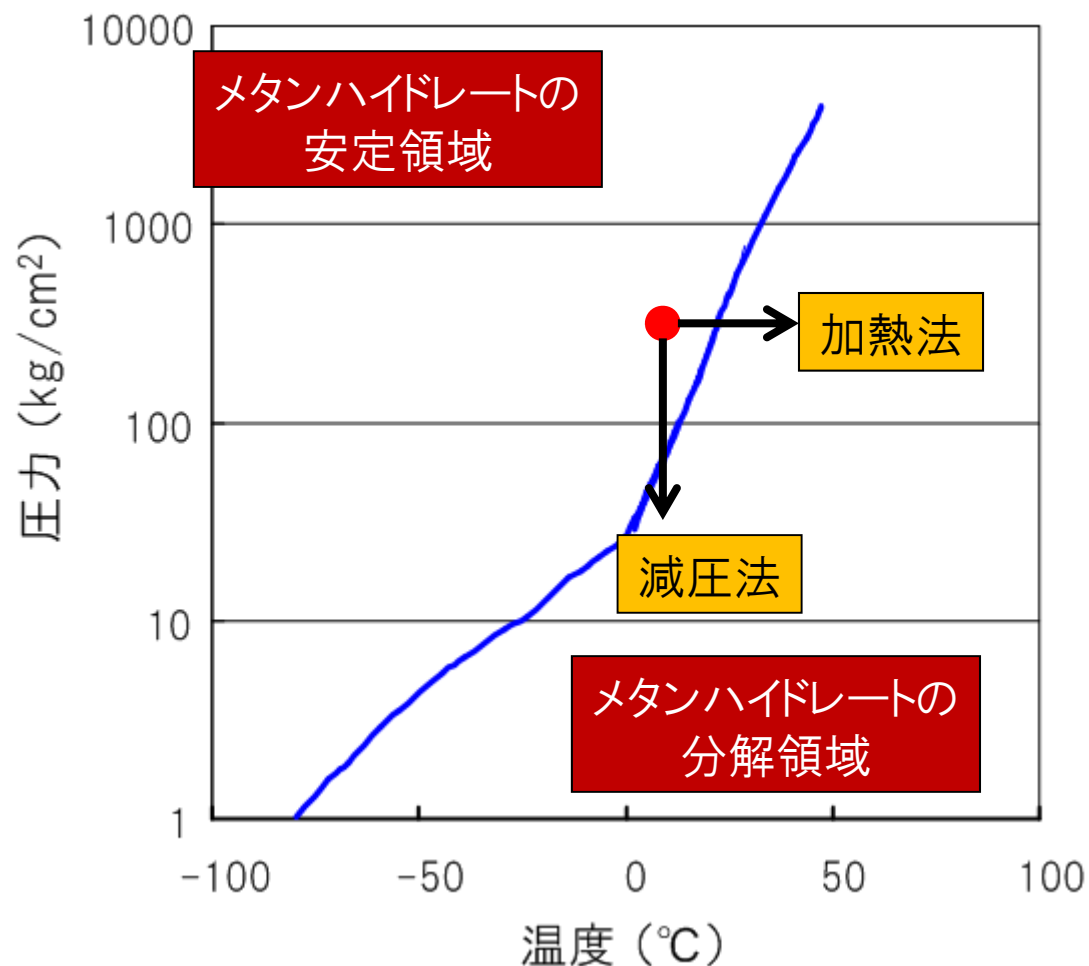


弾性率のMH飽和率依存性

# 東部南海トラフ産出試験域の3D貯留層モデル

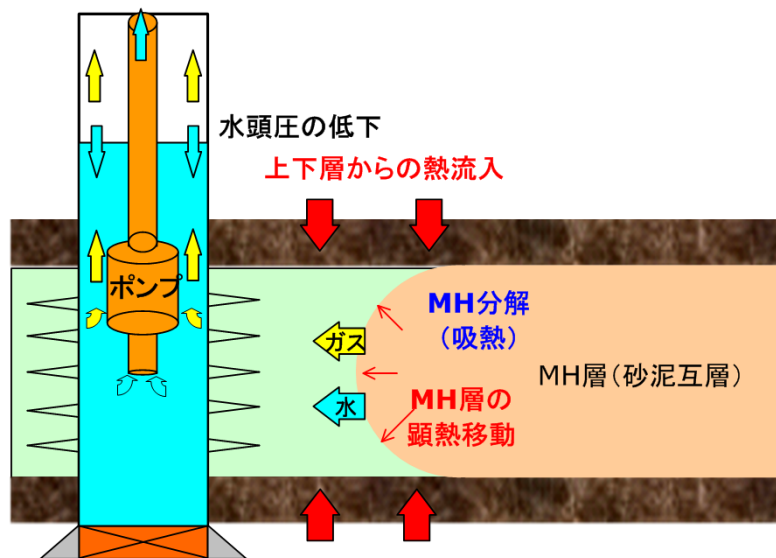


- メタンハイドレートの安定条件を分解条件に変化させる。
- 基本的な3手法
  - ① 温度を上げる
  - ② 圧力を下げる
  - ③ 生成・解離平衡条件自体を 低温高圧側にシフトさせる
  - ④ その他の新たな手法



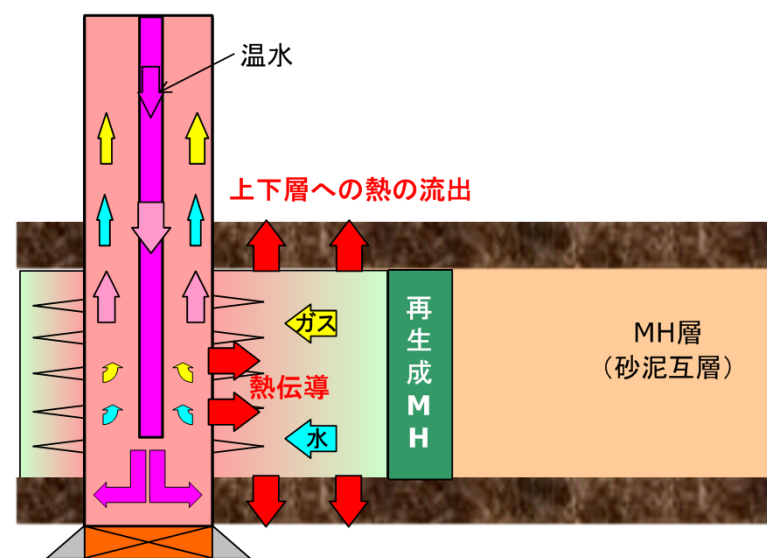
## 減圧法

- ポンプで坑内の水を汲み出す等により坑底圧を下げ、穿孔を通じMH層の圧力をMH分解領域まで低下する手法
- 分解に消費される熱量は、MH層自身の熱量と上下地層からの伝熱により賄われる。



## 温水循環法(坑井加熱法)

- 温水を坑内に循環する等により坑壁を加熱し熱伝導によりMH層を加熱し分解する手法。
- 1年間の分解領域は坑井周辺数m程度
- 温水を製造する必要がある事に加え、熱や分解したガスのMH層外への流出、MHの再生成などが起こる。

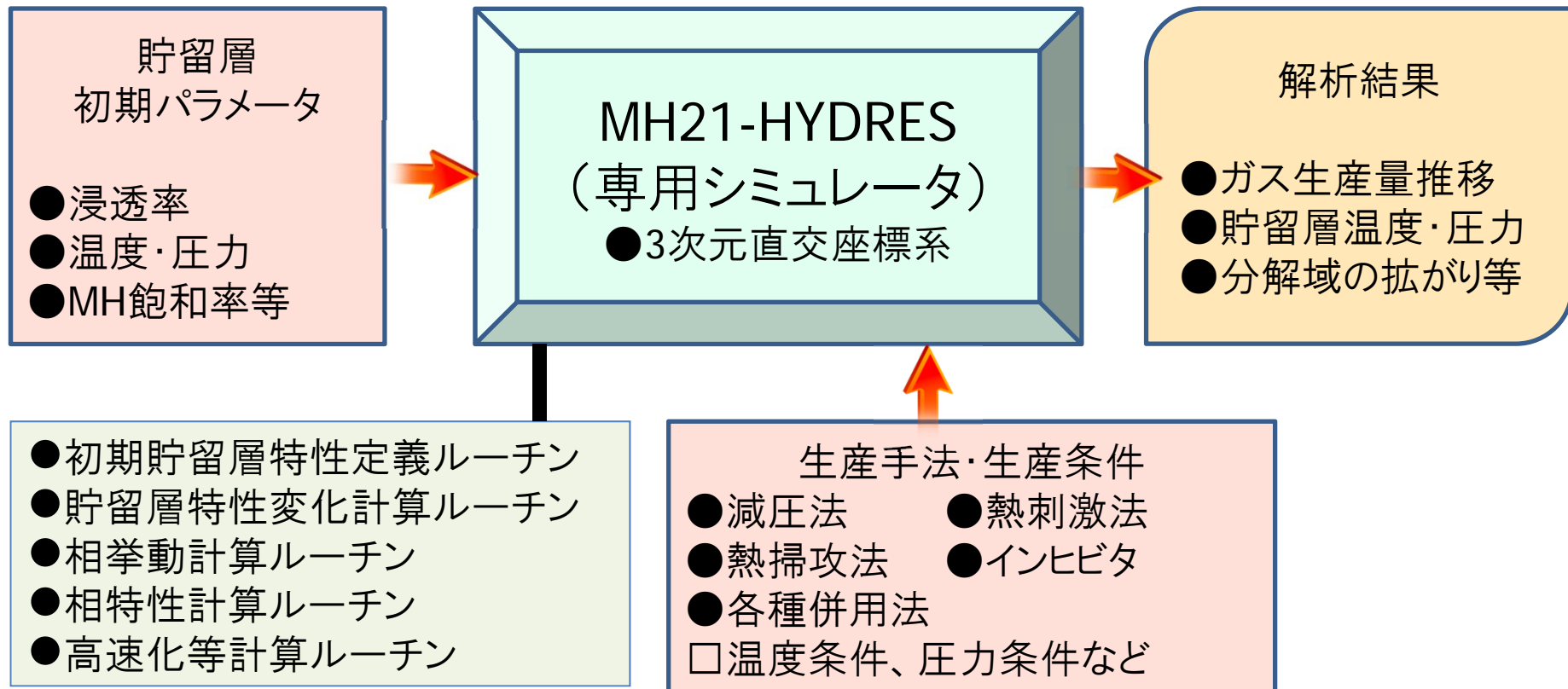






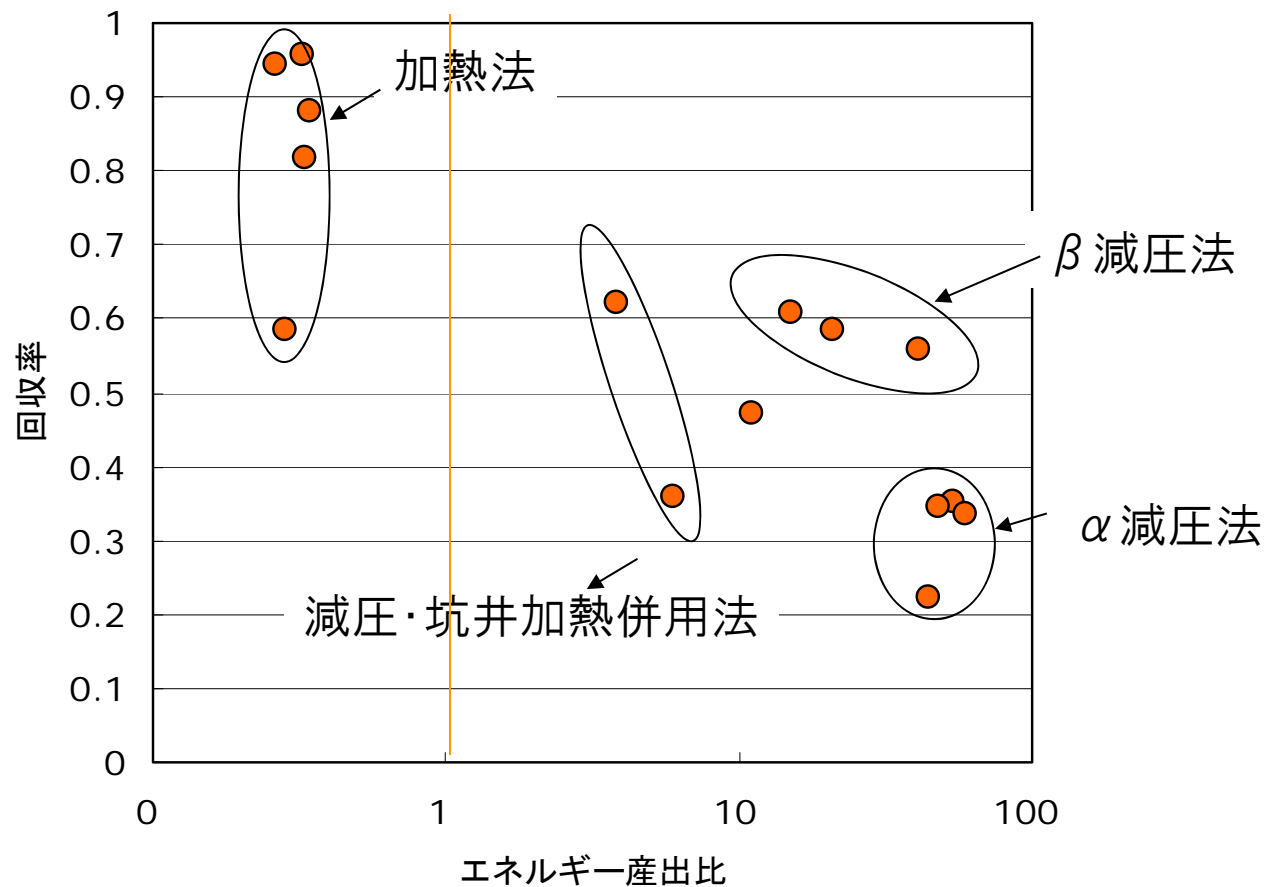
## 生産性・生産挙動の解析シミュレータ

- メタンハイドレート層からの天然ガス生産において、生産性や生産挙動を解析する専用のシミュレータ(MH21-HYDRES)を開発。
- MH21-HYDRESにメタンハイドレート層の物性と生産手法や生産条件を入力すると、ガスや水の生産量、分解域の拡がり、メタンハイドレート層内の圧力や温度変化などを出力。
- 国際比較研究においても、性能の高さが認められている。



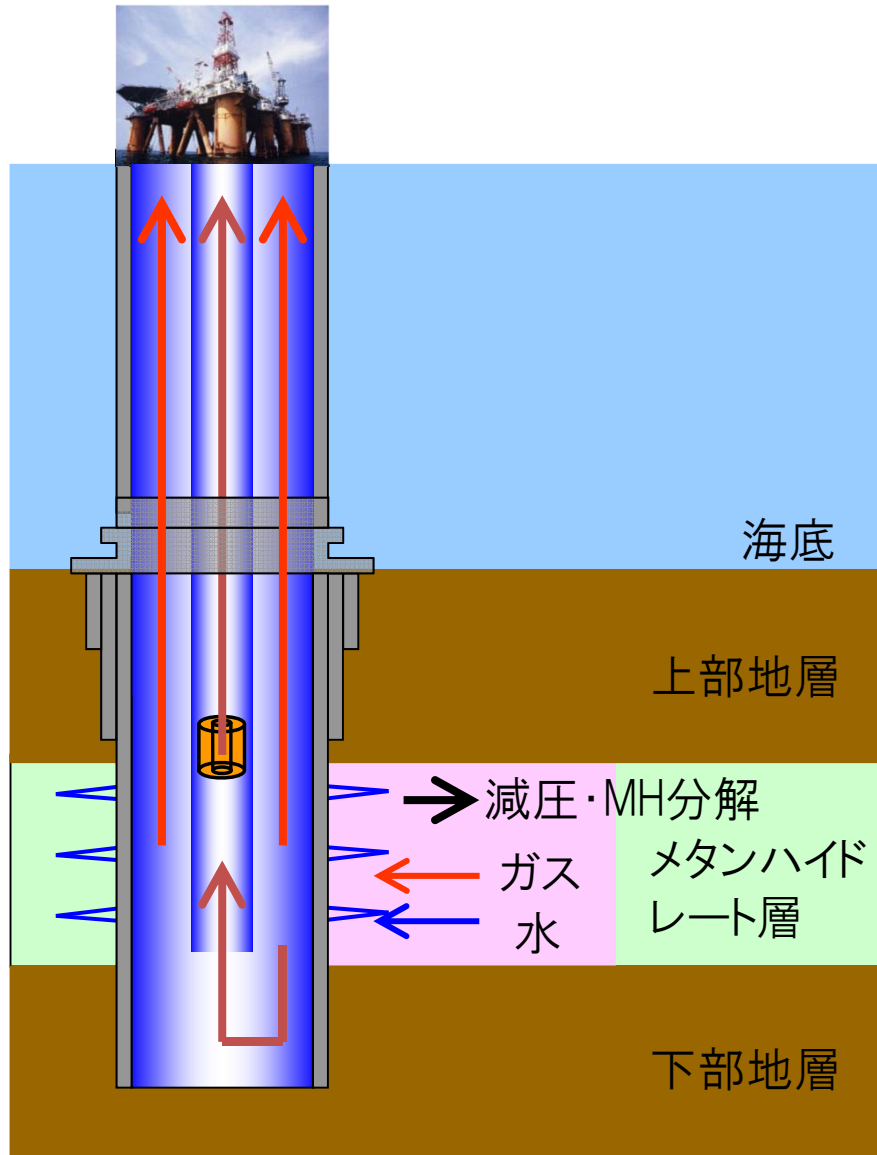
## 生産手法の評価

- 加熱法は投入したエネルギー以上のエネルギー生産が困難（温熱水製造と大量の温熱水圧入にエネルギーを要する。
- これに加え、温熱水などを海上からメタンハイドレート層まで輸送する時の放熱が大きい。
- 減圧法は、投入エネルギーの数10倍のエネルギーを生産（発電効率、ポンプ効率を勘案した投入天然ガス量と生産された天然ガス量を比較）



減圧法の回収率は地層温度に依存する

## 減圧法による生産

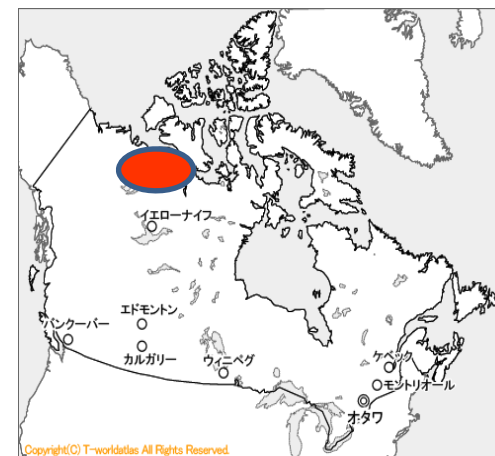


- ① 掘削船により掘削
- ② ケーシングを設置し、セメンチングで地層隔離
- ③ 坑口装置・ライザーの設置\*
- ④ 坑底壁にパーフォレーション(穿孔)打設
- ⑤ チュービング・ポンプ等坑井機器を坑内に設置\*
- ⑥ 坑底のポンプにより坑内の水をくみ出す。
- ⑦ 坑内の水頭が低下し、坑底圧が低下
- ⑧ 低下した坑底圧が穿孔部を介し地層に伝播
- ⑨ メタンハイドレートが分解し、水とガスが発生。
- ⑩ ガスは圧力の低い坑内に移動し、生産される。
- ⑪ 生成した水ガスと同時に生産される。
- ⑫ 生産水が坑内に流れ込み、坑内の水頭は上昇するため、ポンプによる水のくみ出しを継続し、坑内の圧力を低く維持。

メタンハイドレート資源賦存域代表例：水深1000mの海底のさらに下200-300m(130気圧、13℃)  
減圧生産法は、坑内の水を汲み出し地層圧を下げて地層内のメタンハイドレートを分解する方法

## 結果概要

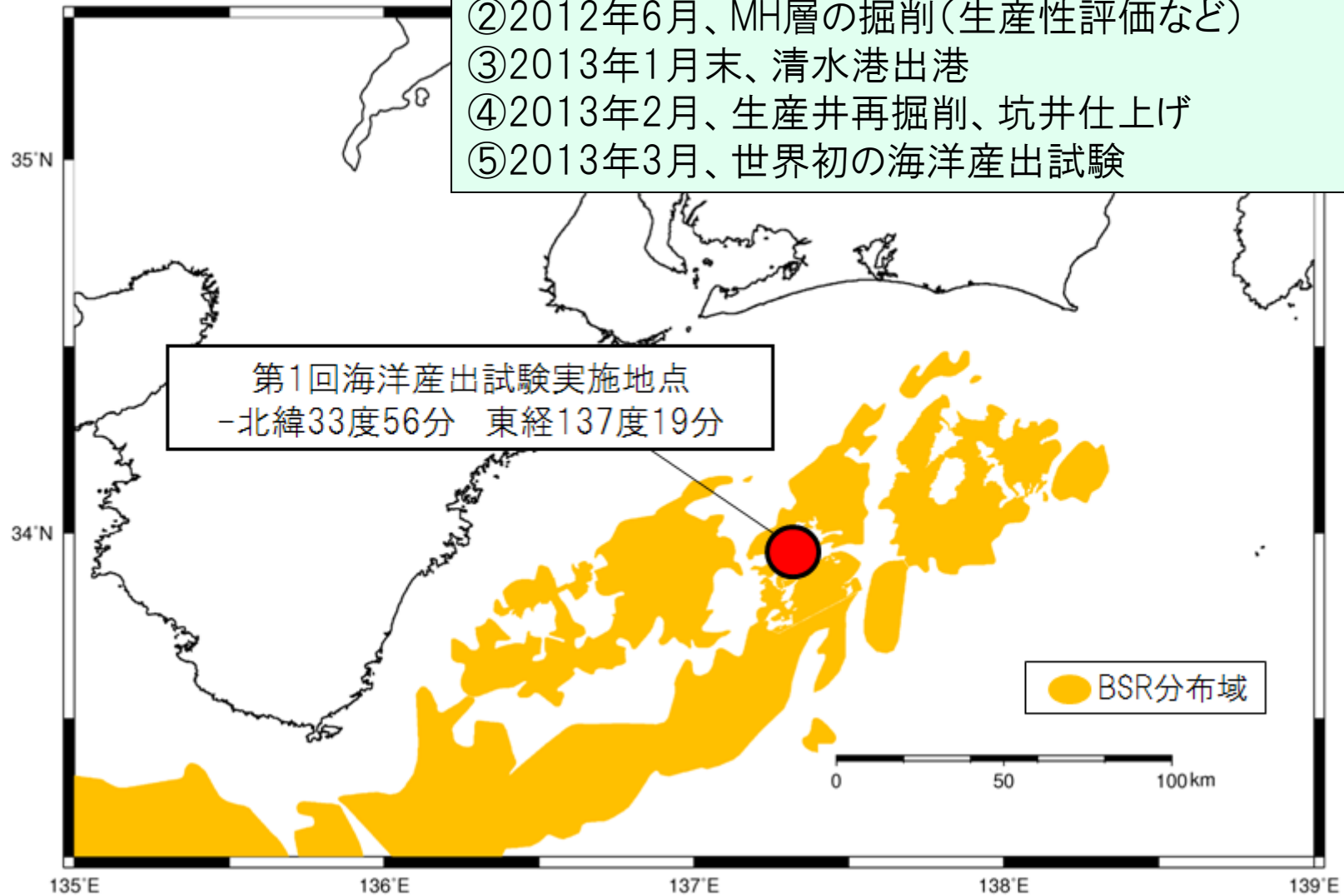
1. MH分解領域は、水平方向には坑井から約12 m。垂直方向の分解領域は穿孔区間の上下にも広がっている。
2. 試験では坑底圧力を約7MPa、5MPa、4.6MPaと順次減圧することによって、約6日間連続的にMHを分解して約13,000 m<sup>3</sup>のガスと約60 m<sup>3</sup>の水を生産。減圧法の適用可能性を示唆。
3. 試験期間を通じたエネルギー産出比は約30を記録し、減圧法の有望性を示唆。



減圧法によって、メタンハイドレート資源から天然ガスを連続的に生産できることを実証

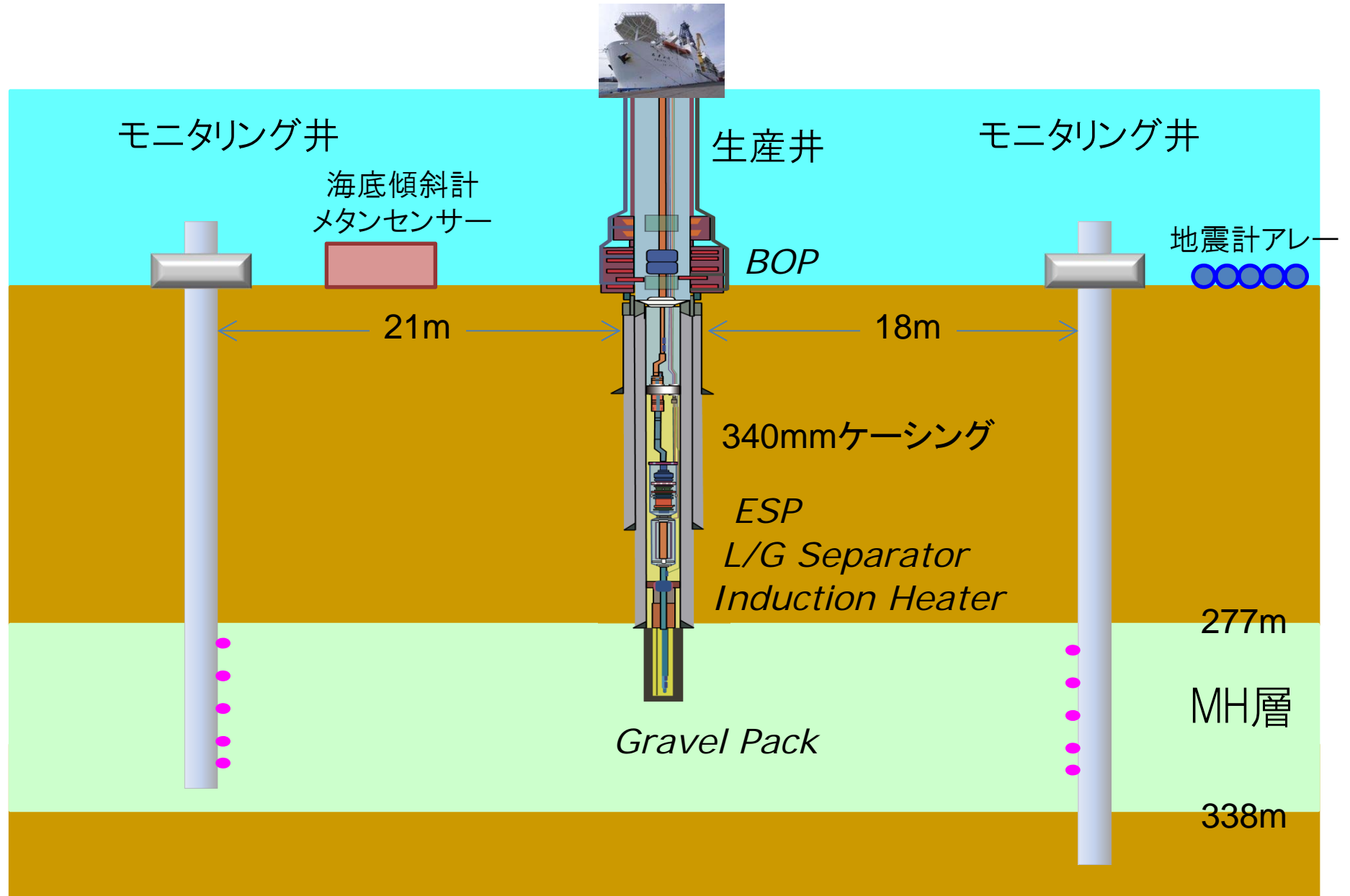
## 海洋産出試験実施地点

- ①2011年2月、MH層直上層の掘削(坑井仕上げ設計)
- ②2012年6月、MH層の掘削(生産性評価など)
- ③2013年1月末、清水港出港
- ④2013年2月、生産井再掘削、坑井仕上げ
- ⑤2013年3月、世界初の海洋産出試験



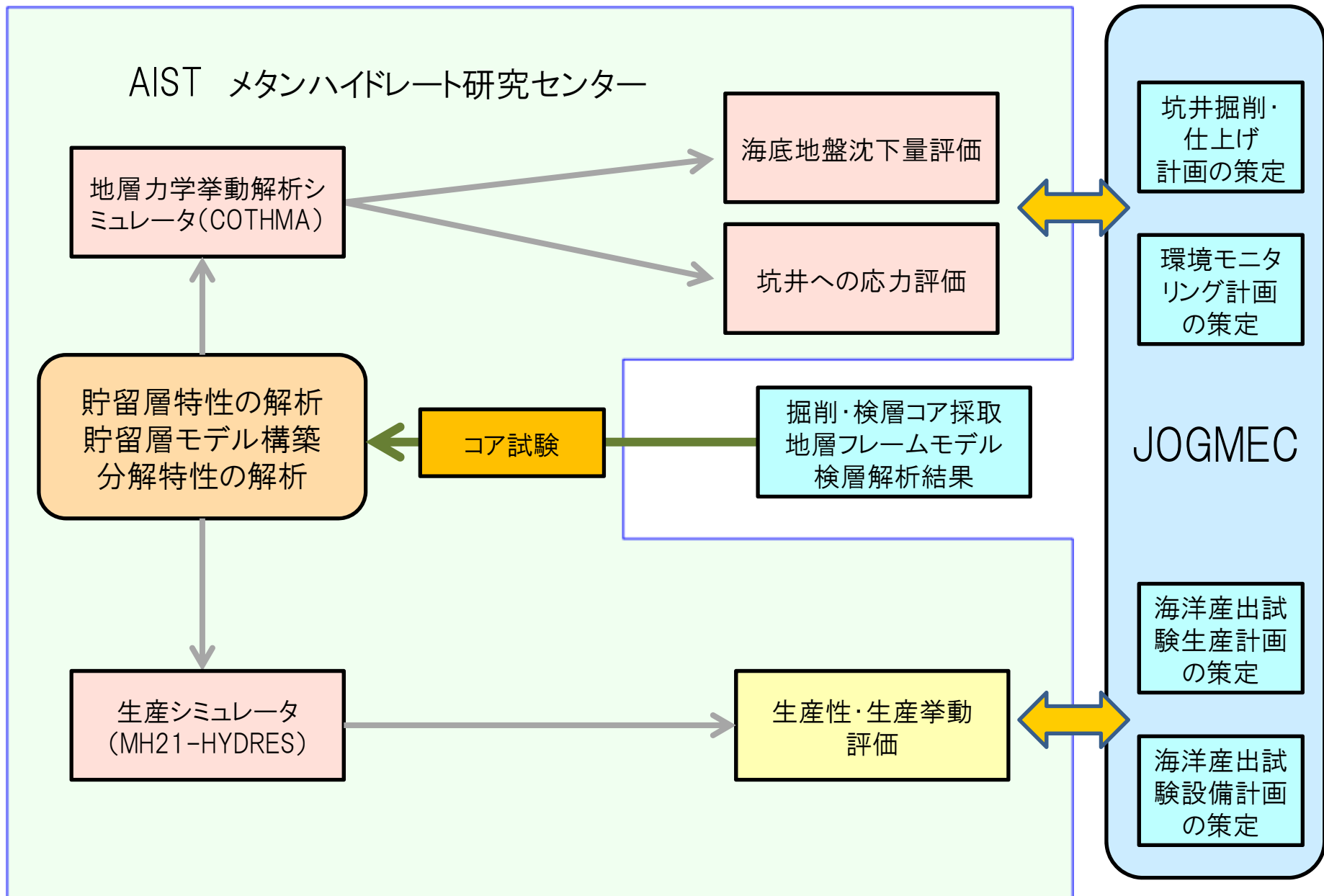
[http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/020\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/020_haifu.html)

# 生産システム概要



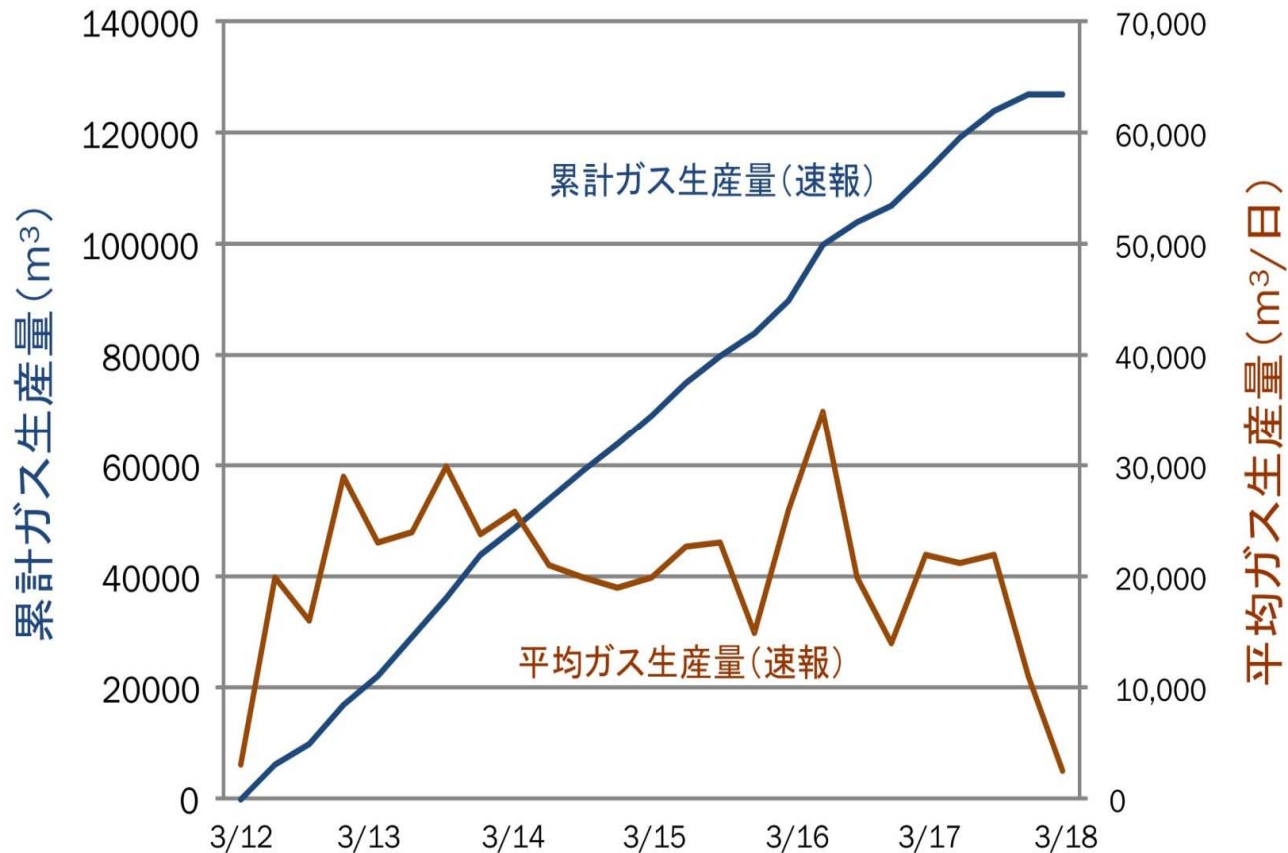
MH21研究コンソシアム・メタンハイドレートフォーラム2012配布資料を改編

# 第1回海洋産出試験に係るMH21コンソーシアム内連携



## 第1回海洋産出試験

- 2013年3月12日-3月18日の6日間にわたり海洋産出試験を実施。
- 6日間の生産ガス量は、約120,000m<sup>3</sup>、平均生産レートは20,000m<sup>3</sup>/dとなった。
- なお、カナダで実施された陸上産出試験(2008年)では、生産期間が約5.5日間、累計生産量が約13,000m<sup>3</sup>、平均生産レートは約2,400m<sup>3</sup>/dであった。



海洋産出試験におけるガス生産量(速報値、メタンハイドレート開発検討委員会資料)



## 海洋産出試験の後は？

- 生産技術としての長期的な安定性確保への技術開発と経験の蓄積

### 経済性感度分析の結果

- ガス生産レートの増加
  - 回収率の向上
  - サブシーシステム費用の低減
  - 施設建設費の低減など
- が今後の課題として掲げられている。

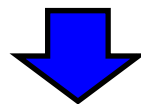
### 輸送・利用形態

- パイプライン
- 洋上発電
- メタノール・GTL等

### 天然ガス用途の拡大

- 化学産業、水素原料
- 分散型エネルギー
- 輸送用燃料等

- 在来型天然ガス田に比べ井戸あたりの生産量が少ない(非在来型資源クラス)  
→生産量を増加させる生産手法の開発、生産障害対策技術、安定生産
- 一つの井戸の生産範囲が狭い(掘削費用などが増加)  
→MH開発の特徴を活かした生産システムの開発



メタンハイドレート資源開発の短所を克服して経済性を確保するための技術整備

1. 安定生産性の確保

- MH資源開発の特徴を捉えた坑底部の開発・設計、坑井仕上げ法開発
- 技術を枯らすための取り組み（海洋産出試験、実効的室内試験）

2. 経済性の確保

- 生産レートの向上（強減圧法、貯留層直接加熱、併用法最適化等）
- MH資源開発の特徴を捉えた掘削法開発、海底設備設計最適化

3. 資源量の評価

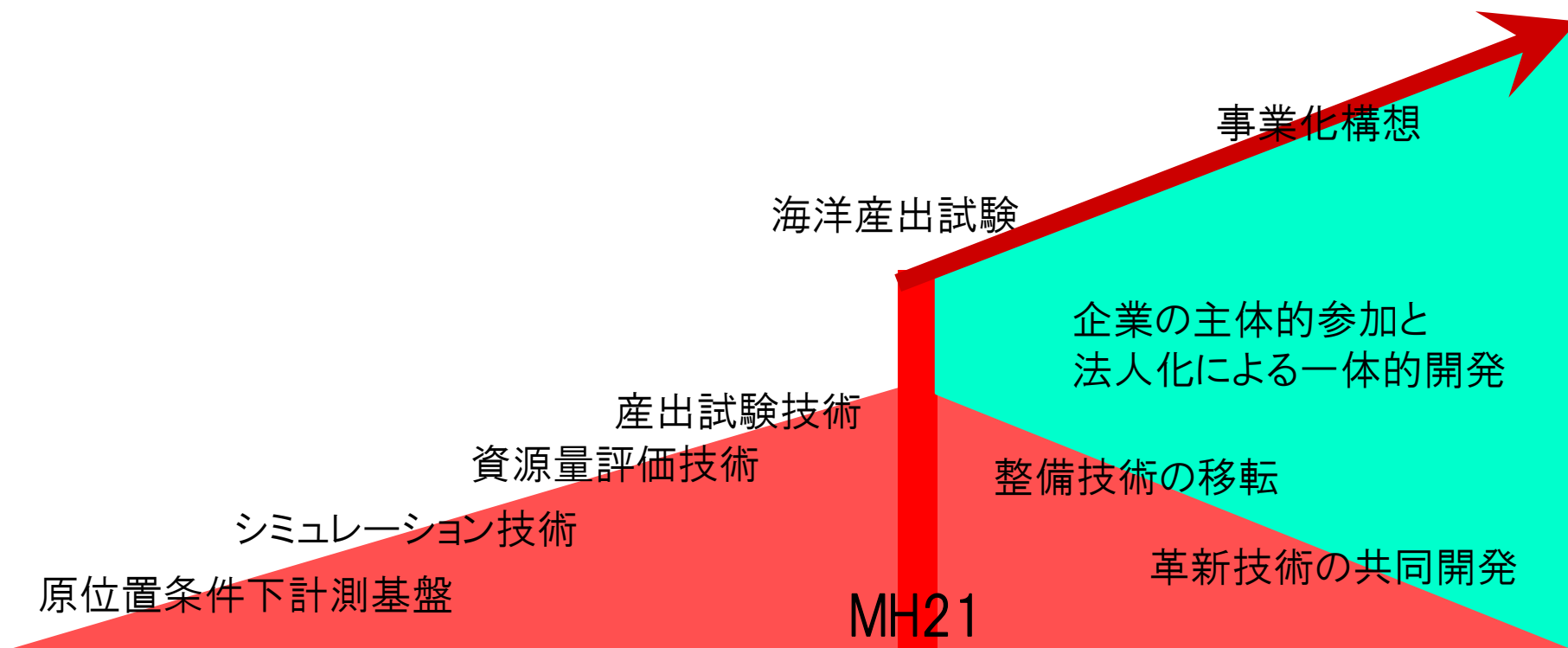
- EEZ内の海域調査の継続と迅速な解析
- 可採埋蔵量評価

4. 社会受容性の確保

- ジオハザードに関する研究開発、科学的説明
- 社会、ステークホルダーの理解の増進のための説明活動

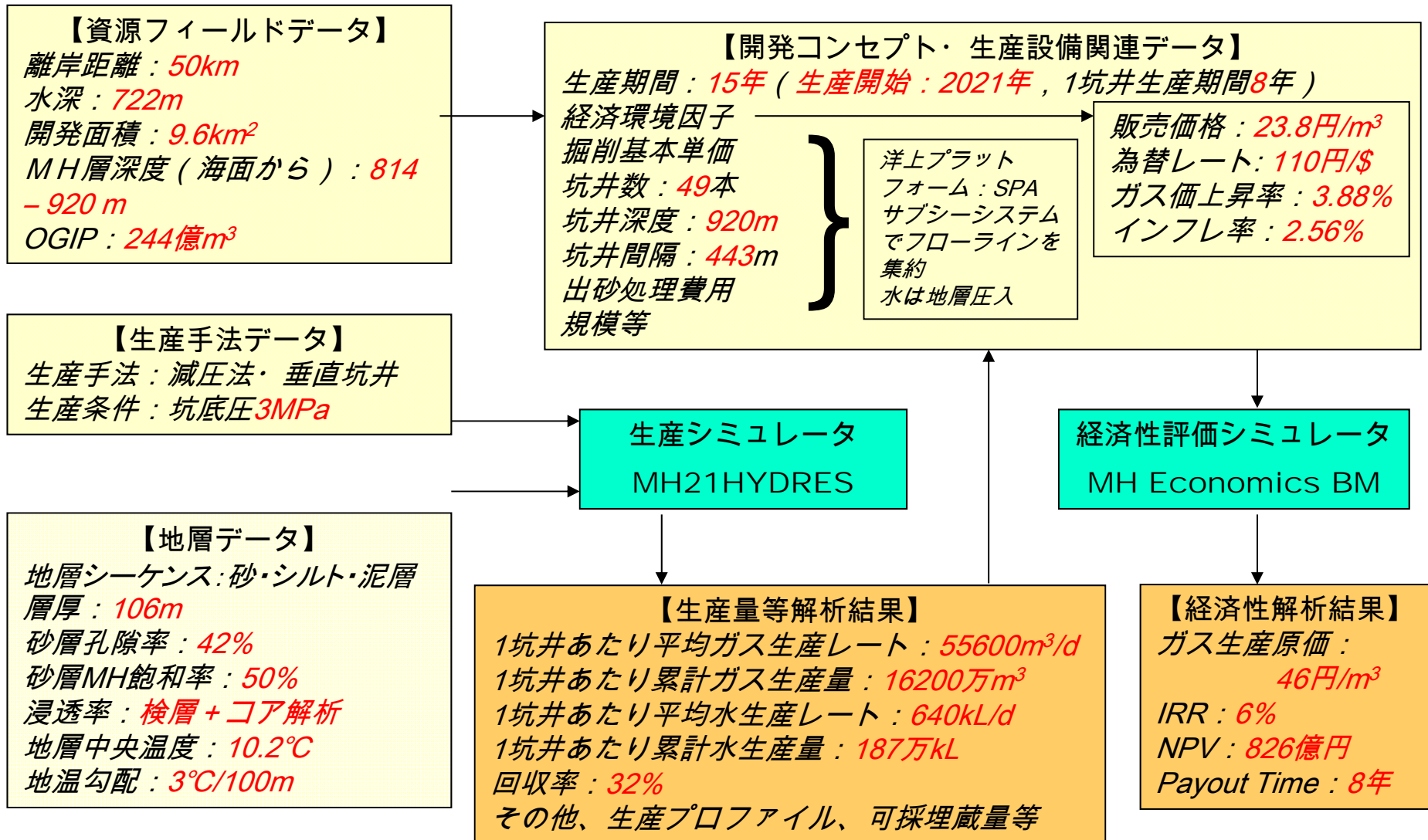
## 商業化の加速のために必要な取り組み

- MH21研究コンソーシアムが整備した技術の迅速な移転
- 整備した技術を枯れた技術とするための取り組み
- 安定性、経済性向上のための革新技术の開発
- 企業センスの導入による事業化構想と主体的参入
- 法人化による一体的開発体制



# 経済コスト試算過程と設定条件例(フェーズ1終了時の解析)

建設コスト:2004ベース価格

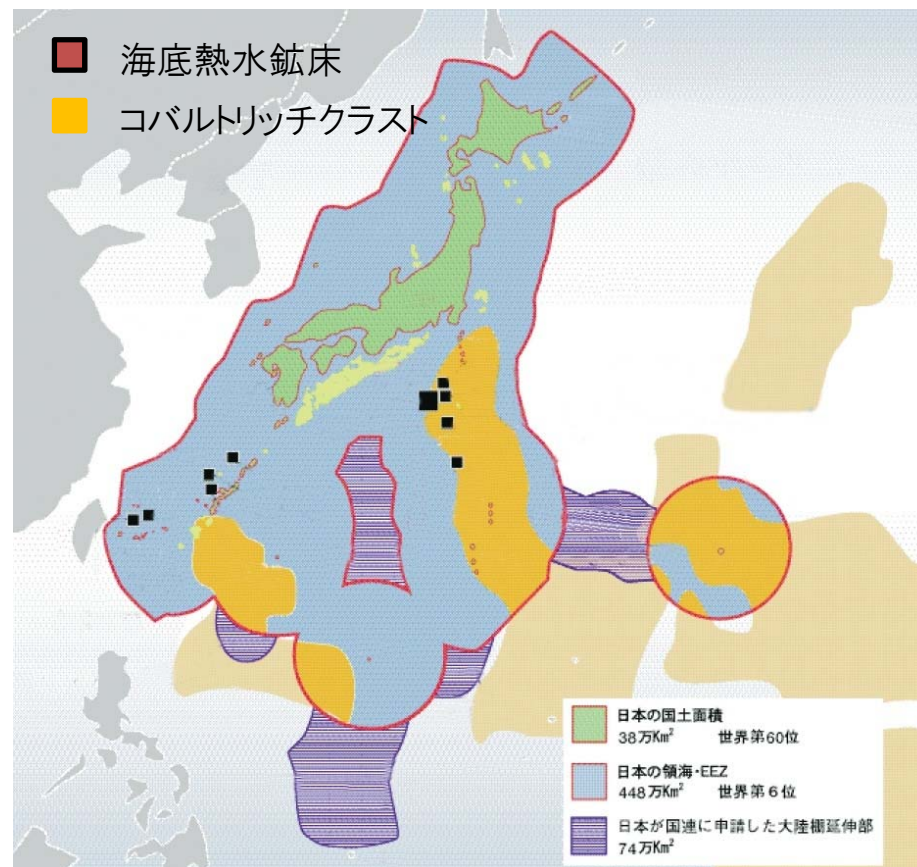


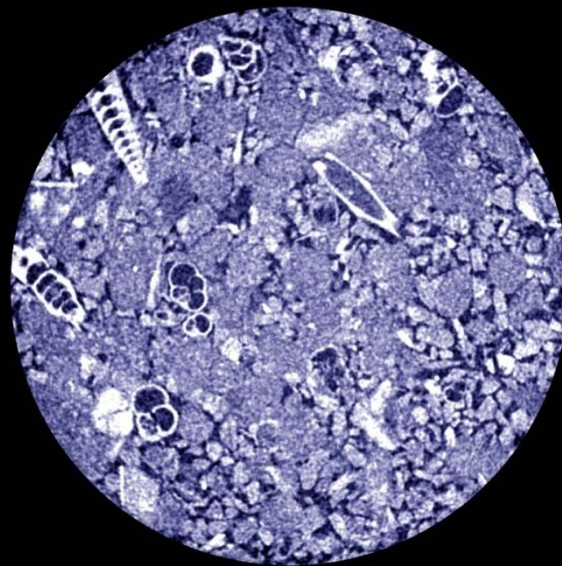
建設コスト3倍の場合:92円/m<sup>3</sup>、生産量1/4低下時:174円/m<sup>3</sup>

## 日本のまわりの海底資源分布

三井物産戦略研究所グリーン・イノベーション事業戦略室織田洋一氏の報告「注目される日本の海底資源」によると、

- ① 海底熱水鉱床の推定賦存量は200か所で7.5億トン、内回収想定量を4.5億トンとすると、地金価格で80兆円(トンあたり177万円)
- ② コバルト・リッチクラストの推定賦存量は5万km<sup>2</sup>で24億トン、内回収想定量を11億トンとすると、地金価格で100兆円(トンあたり90.9万円)
- ③ メタンハイドレートの推定賦存量は5万km<sup>2</sup>で12.6兆m<sup>3</sup>、内回収想定量を4.1兆m<sup>3</sup>とすると、LNG相当価格で120兆円(MHのトンあたり0.5万円)





H15基礎試錐コアX線CT像