

平成20年度 夏期総合科目  
D. 人間・環境一般「環境・エネルギー問題を考える」

## 第9回:メタンハイドレートからの天然ガス開発 — 技術革新と実現のタイミング —

@駒場キャンパス(2008年6月20日)

工学部システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース  
大学院工学系研究科附属 エネルギー・資源フロンティアセンター

准教授 増田 昌敬

E-mail: [masuda@geosys.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:masuda@geosys.t.u-tokyo.ac.jp)  
URL: <http://www.frcer.t.u-tokyo.ac.jp/>

1. MHとはどのようなもので、どこにどのくらい存在するのか？
2. MHの資源としての位置付け
3. MHからのガス開発の必要性
4. 研究開発の現状
5. まとめ

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

2

## メタンハイドレート(MH)とは？

### 1. MHとはどのようなもので、どこにどのくらい存在するのか？

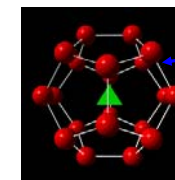
**メタンハイドレート：低温高圧の環境で安定に存在するメタンの水和物（固体結晶）**

- 見かけは氷と似ている
- 低温高圧の環境で安定に存在
- 圧力を下げる, または温度を上げるとメタンガスと水に分解

水の作るクラスター構造の中にメタン分子が取り囲まれている

1m<sup>3</sup>のMH → 約170m<sup>3</sup>のメタン  
1ヶ月の家庭ガス消費量の2~4倍

メタン分子を含む氷のようなもので火をつけると勢いよく燃える

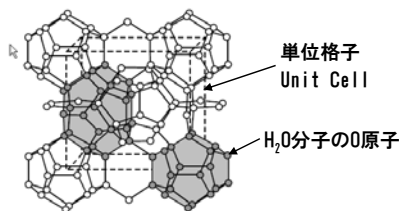
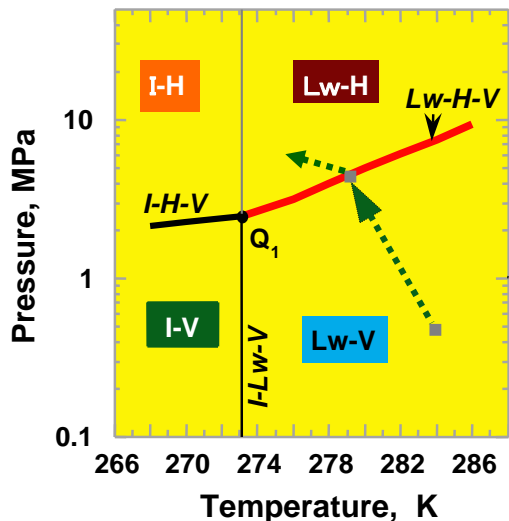


低温・高圧の条件下では、水分子の水素結合が強くなり、水分子の作るクラスター（かご）構造の中にメタン分子が捕獲されて存在する

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

4

# メタンと水混合物の相変化(水リッチの場合)

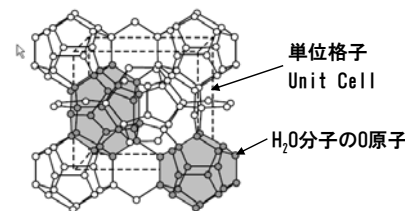


Hydrate構造 (Structure I)  
単体格子では、46個の水分子が8個の籠(空孔)を形成

空孔の型  
2個が小空孔 (5<sup>12</sup>)  
6個が大空孔 (5<sup>12</sup>6<sup>2</sup>)

水とメタンの混合物を冷やしていくと、水分子の水素結合が強くなり籠構造を形成する。高圧下で冷やすと、メタンを包接したハイドレート結晶が生成する

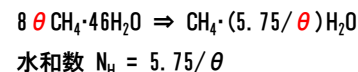
# メタンハイドレートの構造とガス含有量(1)



Hydrate構造 (Structure I)  
単体格子では、46個の水分子が8個の籠(空孔)を形成

空孔の型  
2個が小空孔 (5<sup>12</sup>)  
6個が大空孔 (5<sup>12</sup>6<sup>2</sup>)

メタン分子による空孔の占有率がθのときの化学式



- θは圧力の上昇とともに大きくなり、無限大の圧力では、θ=1(理論値)
- 自然界の圧力・温度では、θ=0.95が一般的。  
 $7.6\text{CH}_4 \cdot 46\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CH}_4 \cdot 6.053\text{H}_2\text{O}$   
水和数  $N_H = 6.053$

- 単体格子内に存在するメタン量と水量  
単体格子の嵩体積  $V_{\text{cell}} = 1.2^3 = 1.728 \text{ nm}^3$   
メタン量  $n_{\text{CH}_4} = 8\theta$  [個]  
水量  $n_{\text{H}_2\text{O}} = 46$  [個]

# メタンハイドレートの構造とガス含有量(2)

- メタンハイドレート(MH) 1 m<sup>3</sup> を分解させたときに発生するメタン量と水量  
1 m<sup>3</sup> のMHIに存在するハイドレート格子数  $N_{\text{cell}} = (1 \times 10^9)^3 / V_{\text{c}}^3 = 5.787 \times 10^{26}$  [個]  
メタン量  $N_{\text{CH}_4} = 8\theta N_{\text{cell}} / (6.022 \times 10^{23}) = 7688\theta$  [mol]  
水量  $N_{\text{H}_2\text{O}} = 46 N_{\text{cell}} / (6.022 \times 10^{23}) = 44205$  [mol]

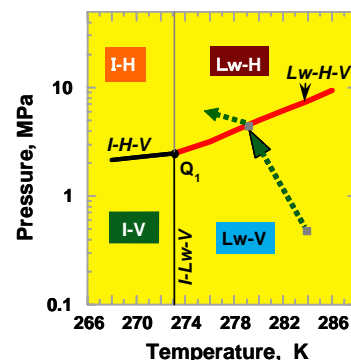
↓

ガス量  $V_{\text{CH}_4} = 0.022407 \text{ [Nm}^3/\text{mol}] \times 7688\theta \text{ [mol]} = 172.3\theta \text{ [Nm}^3]$   
水量  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ [m}^3/\text{mol}] \times 44205 \text{ [mol]} = 0.796 \text{ [kL]}$   
ガス水比  $\text{GWR} = 172.3\theta / 0.796 = 216\theta \text{ [Nm}^3 \text{ of gas/kL of water}]$

- 占有率θ=0.95のメタンハイドレート(MH) 1 m<sup>3</sup> の分解による水・ガス発生量:  
ガス量  $V_{\text{CH}_4} = 172.3 \times 0.95 = 164 \text{ Nm}^3$   
水量  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.796 \text{ kL}$   
ガス水比  $\text{GWR} = 164 / 0.796 = 206 \text{ [Nm}^3 \text{ of gas/kL of water}]$

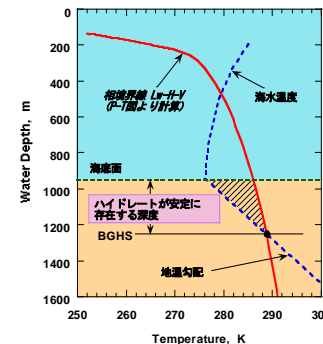
※ 天然ハイドレートの容積倍率は約164と呼ばれる

# 海底面下にメタンハイドレートは安定に存在する



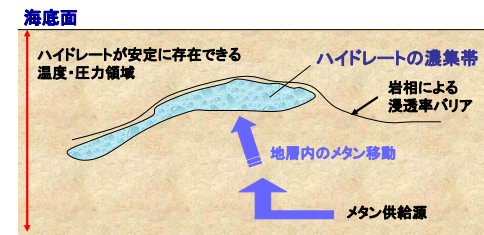
メタン・水混合物の相図(水リッチの場合)

地層の孔隙内に、**高圧低温の条件下でメタンと水が存在すれば、メタンハイドレートが必ず賦存している**



- 海底下の地層  
水深が深いほど高圧
- 海水の温度  
2~5℃と低温

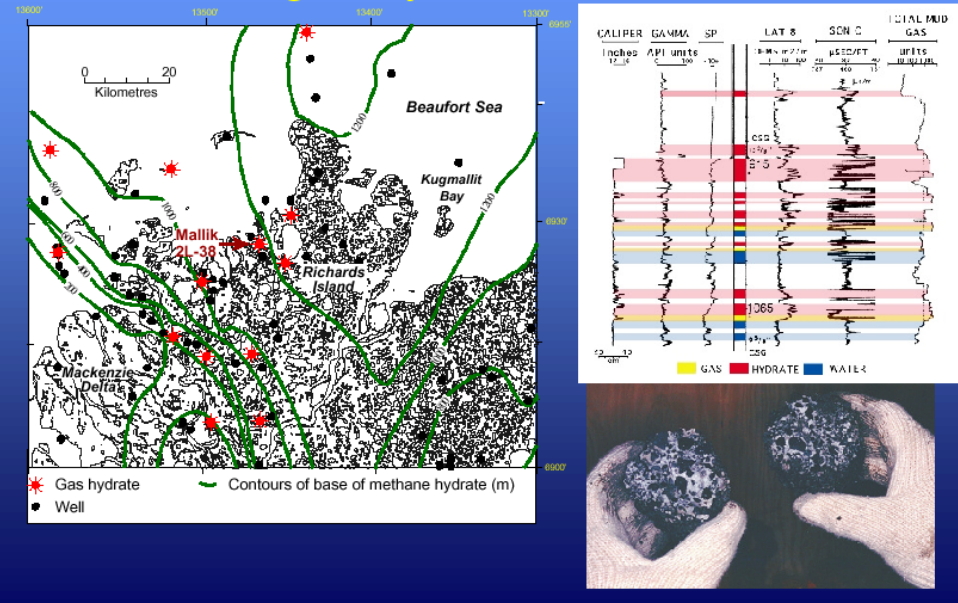
水深1000m程度では、海底下0~300mの間にハイドレートの安定存在領域がある



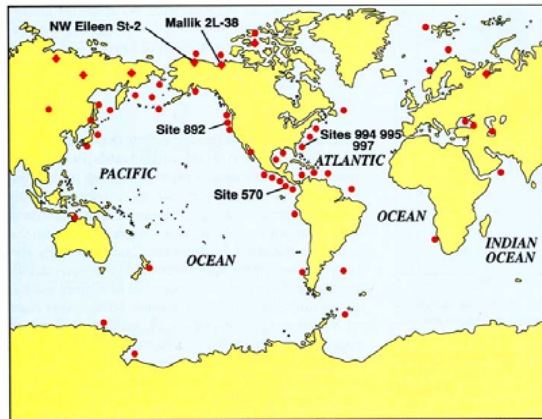
# 東海沖などから採取されたMHコア



# Mallik gas hydrate field as a world site for gas hydrate research

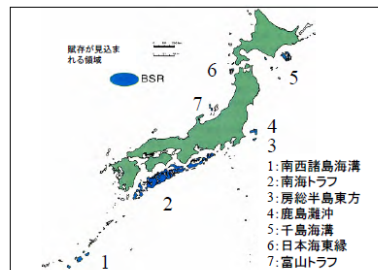


# 海洋と永久凍土地域の地下に賦存するMH



● : 海洋  
◆ : 永久凍土地域  
(Collett, 2002)

世界の海洋MHIに含まれるメタン量は1000~5000兆m<sup>3</sup> (Milkov, 2004)と推定され、在来型天然ガスの究極可採資源量(436兆m<sup>3</sup>)の2~10倍のメタンが含まれる



[出所: 石油公団他(2000) (現) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構]

日本近海のMHIには、日本の年間天然ガス消費量の100年分に相当するメタンが含まれていると推定

# 地球上のMHIに含まれるメタンガス量の推定値(単位: Sm<sup>3</sup>)

(Collett, 2002)

報告者とその文献	陸域	海洋
Trofimuk et al. (1977)	5.7 × 10 <sup>13</sup>	5-25 × 10 <sup>15</sup>
McIver (1981)	3.1 × 10 <sup>13</sup>	—
Meyer (1981)	1.4 × 10 <sup>13</sup>	3.1 × 10 <sup>15</sup>
Dobrynin et al. (1981)	3.4 × 10 <sup>16</sup>	7.6 × 10 <sup>18</sup>
Kvenvolden and Claypool (1988)	—	4 × 10 <sup>16</sup>
Kvenvolden (1988)	—	2 × 10 <sup>16</sup>
MacDonald (1990)	7.4 × 10 <sup>14</sup>	2.1 × 10 <sup>16</sup>

# 天然MHIに含まれるメタンガス量の推定式:

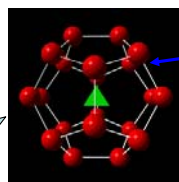
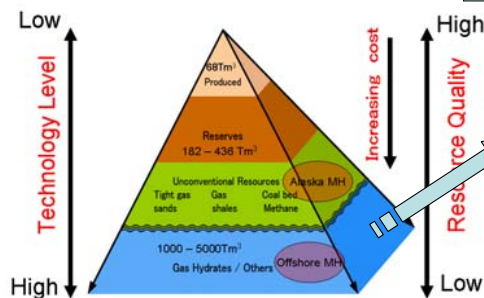
$$V = A \times Z \times \phi \times S_{H_i} \times G$$

A: MH分布地域の面積, Z: 地層の厚さ, φ: 地層の孔隙率, S<sub>H<sub>i</sub></sub>: ハイドレート飽和率  
G: 容積倍率(ハイドレート1m<sup>3</sup>を分解した場合に得られるメタンガス量)  
基準状態: 15.6°C, 1気圧でのガス量を表し、一般的にG=160~164の値

# 天然ガス資源のフロンティア:メタンハイドレート

天然ガス資源の究極資源量

メタンハイドレート:低温高圧の環境で安定に存在するメタンの水和物(固体結晶)



低温・高圧の条件下では、水分子の水素結合が強くなり、水分子の作るクラスター(かご)構造の中にメタン分子が捕獲されて存在する

世界の海域には、膨大な量(1000~5000兆m<sup>3</sup>)のメタンガスを含むメタンハイドレートが存在

・ 在来型天然ガス

- 究極可採資源量: 436兆m<sup>3</sup>
- 現在の確認埋蔵量(R): 182兆m<sup>3</sup>
- 現在の天然ガス生産量(P): 2.9兆m<sup>3</sup>
- R/P (供給可能年数) = 約63年

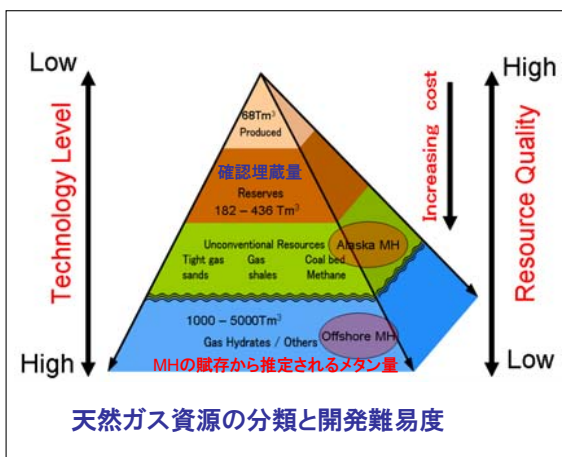
海域のメタンハイドレートから10%のメタンをエネルギーとして取り出して利用可能になれば、34~172年の天然ガスの供給が可能になる

未来の燃料資源  
メタンハイドレート



## 2. メタンハイドレートの資源としての位置付け

## 海洋メタンハイドレートの資源としての位置付け



天然ガス資源の分類と開発難易度

海洋MHIには膨大量のメタンが存在するが、

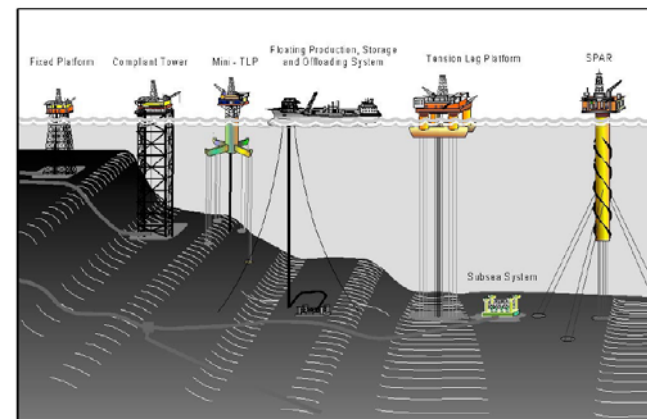
- 資源量の調査がまだ不十分
- MHからガスを回収する技術が未確立

- 究極可採資源量 = 地質学的に存在が確認または推定され、将来の回収が予測される資源量
- 確認埋蔵量 = そのうち、現在の技術で経済的に回収できる量
- 在来型天然ガス
  - 究極可採資源量 = 約436兆m<sup>3</sup>
  - 確認埋蔵量 = 約182兆m<sup>3</sup>
 @BP Statistical Review of World Energy June 2007
- 海洋MH
  - MHの賦存から推定されるメタン量 = 1000~5000兆m<sup>3</sup>
 @ Milkov, A.V (2004)

条件付き資源  
フロンティア資源

## 在来型の海洋石油・天然ガス田の開発

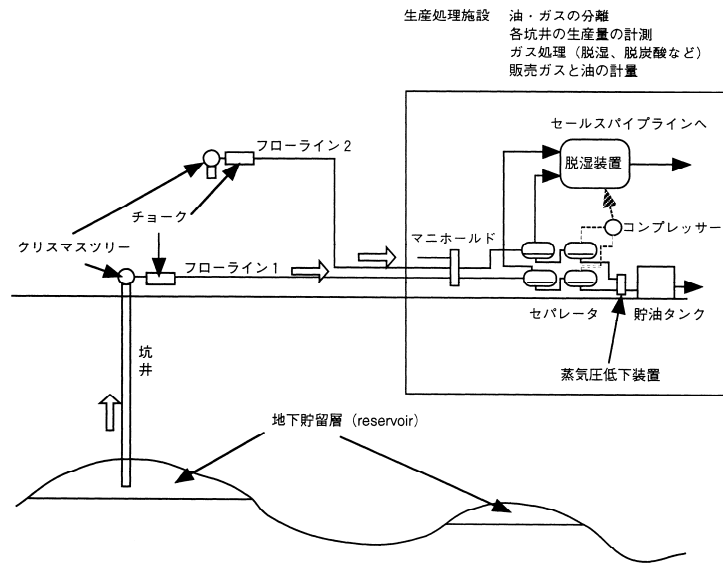
- 浅水深 → 大水深での油ガス田開発へ
- 海底生産システムを用いて水深3000m位までは開発可能な技術レベル
- 米国メキシコ湾  
ブラジル沖  
ナイジェリア沖



Deepwater development systems

Source: Deepwater Gulf of Mexico: America's Emerging Frontier; Minerals Management Service, OCS Report MMS 2000-022, April 2000.

# 石油・天然ガスは流体なので生産が容易



# 在来型油ガス層(砂岩層)のコア

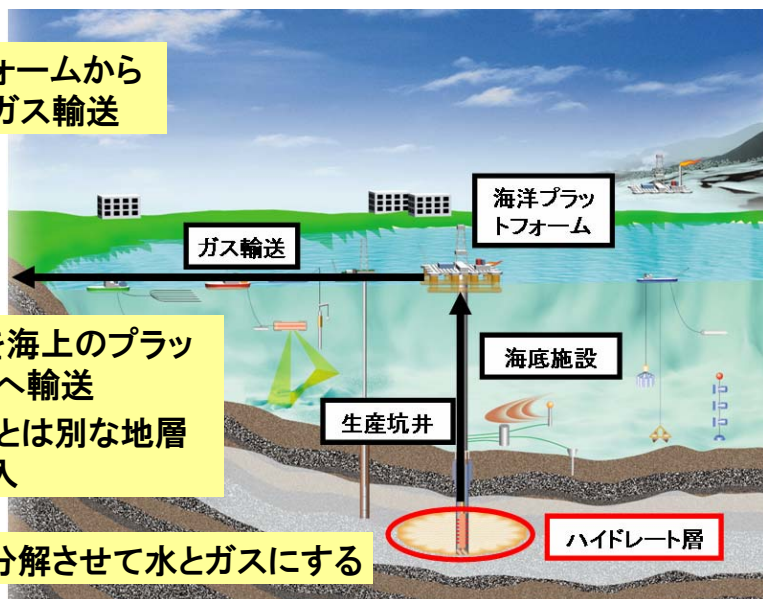


# 海洋MH開発のイメージ

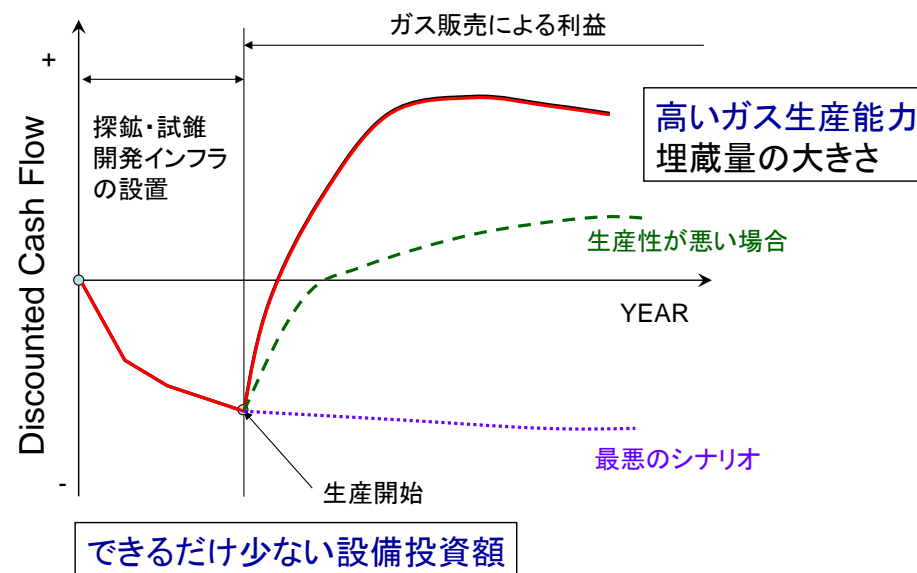
③ プラットフォームから  
陸上までガス輸送

② ガスのみを海上のプラットフォームへ輸送  
水はMH層とは別な地層  
中へ再圧入

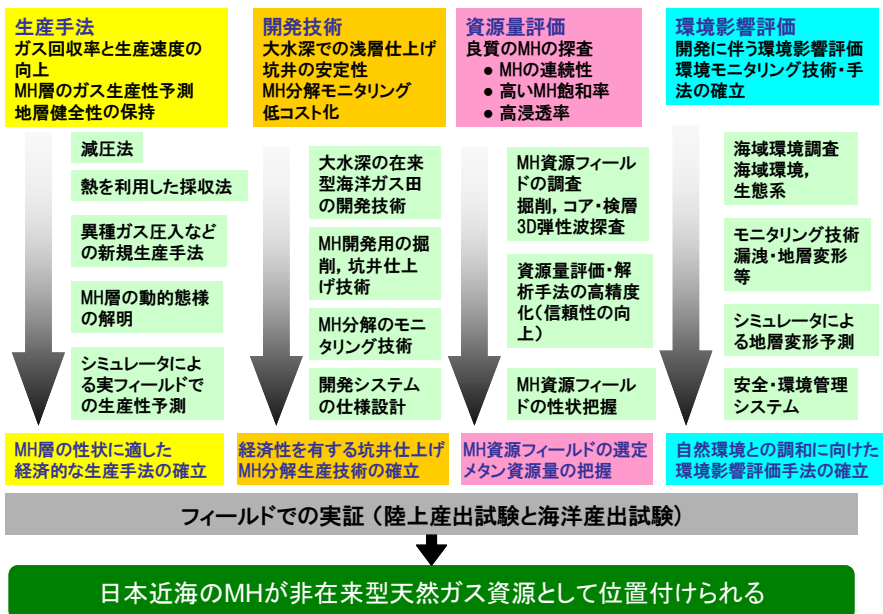
① MHを分解させて水とガスにする



# ガス開発プロジェクトの経済性



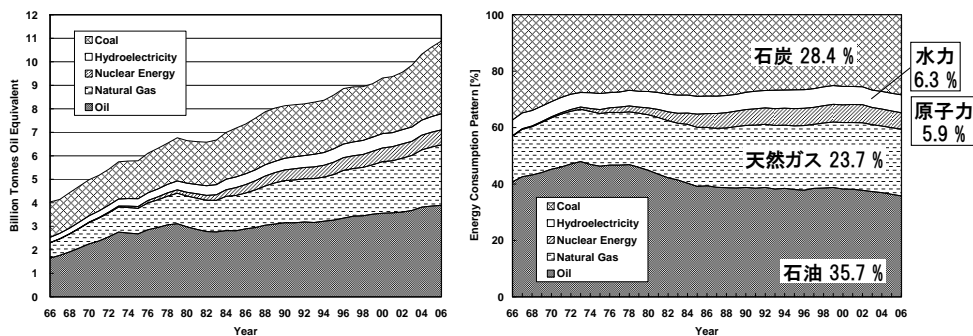
# 海洋MHの資源としての利用における研究課題



## 3. MHからのガス開発の必要性

# 世界の一次エネルギー消費量の伸び

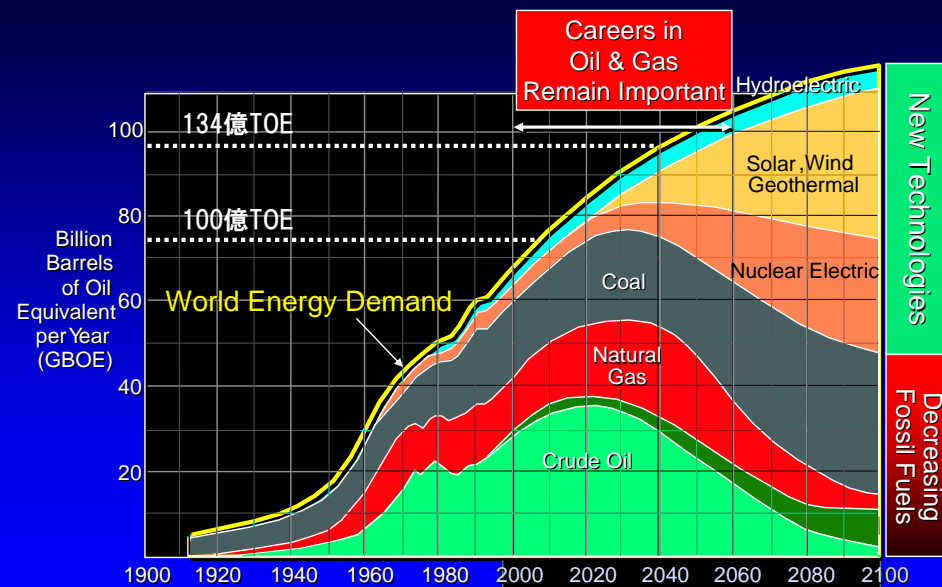
世界の一次エネルギー消費量の伸び(石油換算トン)とそのエネルギー構成



出典統計データ: BP Statistical Review of World Energy 2007 online (<http://www.bp.com/>)

- 世界の一次エネルギーの消費は年々増加を続けている(2000年以降の一次エネルギー消費量の伸び率は約2.6%/年)
- 現在は石油換算で109億トンを世界で消費している
- エネルギー構成では、石油・天然ガスは約60%のエネルギー供給を担う

# Projected World Energy Supplies



# 石油生産のピークと供給コストの上昇

- 既生産量：約1兆bbl
- 在来型石油の究極可採資源量：約3兆bbl
- 年間の生産量：約300億bbl
- 2050年までの間に在来型の石油生産はピークに達する

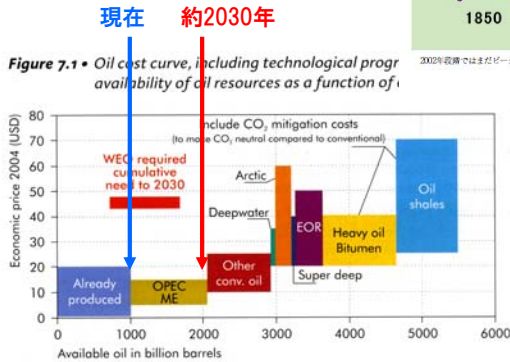
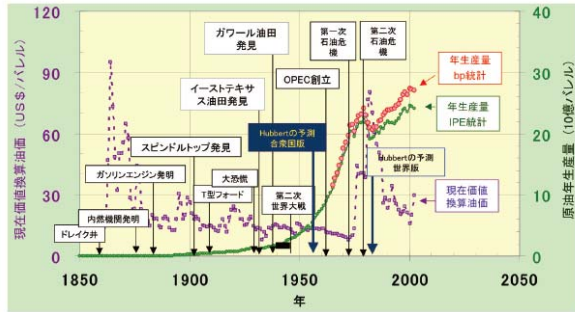


Figure 7.1 • Oil cost curve, including technological progress availability of oil resources as a function of...  
 2002年以降ではまだピークは認められない。今後の石油生産において1990年代以降の技術開発が、技術開発の成果が積極的に実用化されるかが問われる。  
 図3 世界原油生産量変動、関連事件、原油価格変動 (現在価値に換算)  
 出所：IPE2003、BP統計2004等による

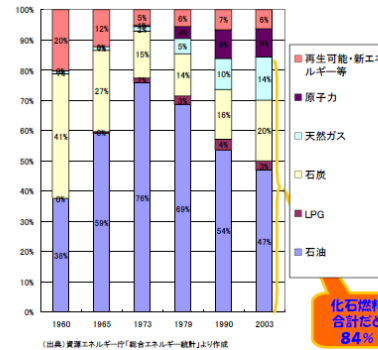
▲ 本田 (石油・天然ガスレビュー, 2005)より引用

▶ 石油の供給曲線  
 Resources to Reserves (IEA 2005)より引用

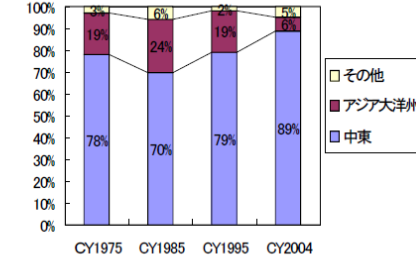
# 日本のエネルギー安定供給の確保は？

一次エネルギー供給の8割以上を海外からの化石燃料、特に石油に依存。しかも中東依存度が高い(89%)。我が国企業による石油開発比率(自主開発比率)は15%程度。  
 →エネルギー資源の安定供給確保のためには、**自主開発の拡大と供給源の多様化**を進める必要がある。

【図3-1 一次エネルギー供給シェアの推移】

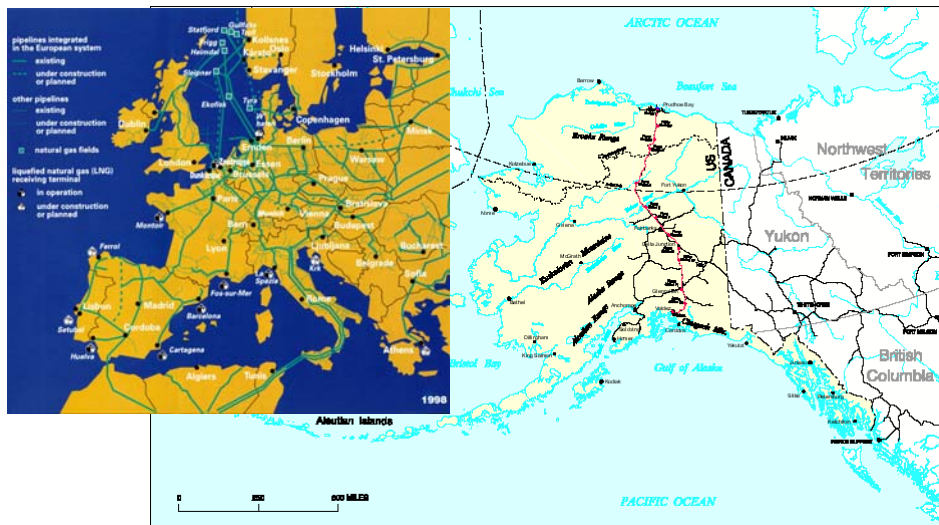


【我が国の石油の中東依存度の推移】



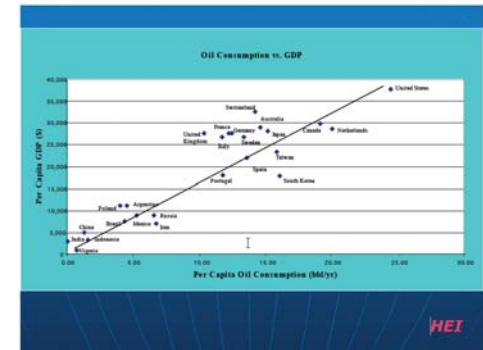
- 総合科学技術会議 評価専門調査会(第51回)資料4-2より引用  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu52/haihu-si52.html>

# 欧州のパイプライン網とアラスカパイプライン



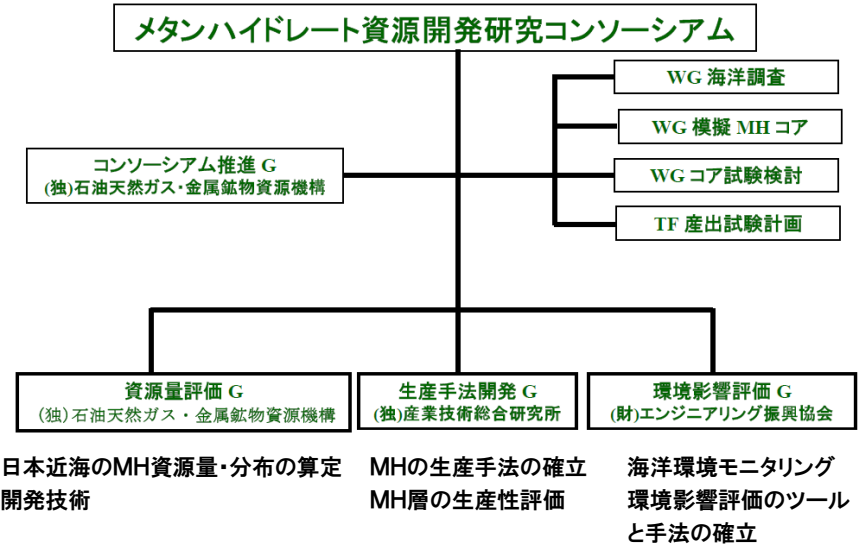
# 何故いまMH開発研究を行う必要があるのか？

- (1) BRICs諸国(ブラジル, ロシア, インド, 中国)の経済成長
  - 世界的なエネルギー需要の伸び
  - 格差是正
- (2) 石油から天然ガスへの燃料シフト
  - 地球温暖化対策
  - 石油の生産ピーク



- エネルギーセキュリティ**
- 在来型天然ガス
    - 究極可採資源量: 436兆 $m^3$
    - 現在の確認埋蔵量(R): 182兆 $m^3$
    - 現在の天然ガス消費量(P): 2.9兆 $m^3$
    - R/P = 約63年

- まだ開発されていない在来型天然ガス量は十分にあるが、日本のエネルギーセキュリティを考えると、**国産の一次エネルギー・資源が必要**
  - 日本は島国であるために、天然ガスをLNGの形態で輸入するしかない
  - EU, アジア地域, 北米での天然ガスパイプラインの普及
  - 米国・中国などでのLNG需要の増大
  - このままの状況では、天然ガスの安定供給が難しくなる



メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

## 4. 研究開発の現状

### MH資源開発研究の現状 (MH21 JAPAN)

- 世界の海洋MHに含まれるメタン量は  $1 \sim 5 \times 10^{15} \text{ m}^3$  (Milkov, 2004) と推定され、在来型天然ガスの埋蔵量 ( $0.436 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ) の2~10倍のメタンが含まれる



- 国際共同プロジェクト  
→ 2002年3月：世界初のMH層加熱によるガス生産試験に成功  
→ 2008年3月：世界初の減圧法によるMH層からのガス連続生産（6日間）に成功

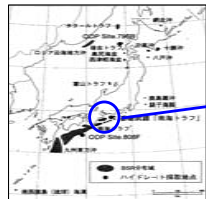
**国産のメタン供給源確保へ向けた研究**

- 海洋の物理探査によるMH資源フィールドの調査・資源量評価
- MH層の性状にあわせた生産手法の確立
- 開発に伴う環境影響評価

→ 環境に調和した海洋MHの開発

- 2016年度までの目標**
- MHの資源としての有効性を実証
  - ガス商業生産の基盤技術を整備

- 日本近海の海底下の地層中に膨大量が存在



- 東部南海トラフ海域のMHで、約1.1兆m<sup>3</sup>のメタン原始資源量が明らかにされた



→ 近未来の新しい国産エネルギー資源



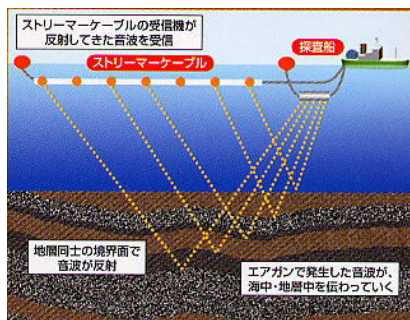
## 4. 研究開発の現状

### (1) 日本近海のMH資源量の評価

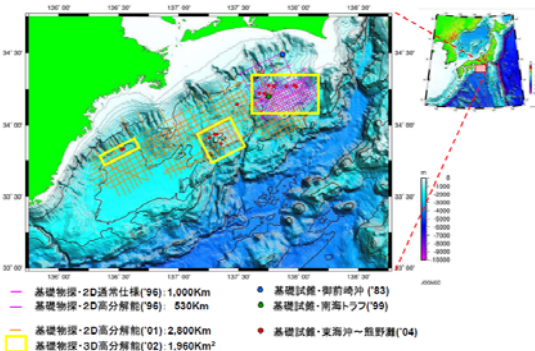


# 弾性波探査による海底下の地質構造の推定

1. エアガンとストリーマーカーケーブルを引っ張りながら、探査船が側線に沿って移動
2. 音波を発信して、地層境界で反射して戻ってくる波をストリーマーカーケーブル上の受信機で受信
3. 波の速度、振幅などの情報を解析して、地下構造を推定



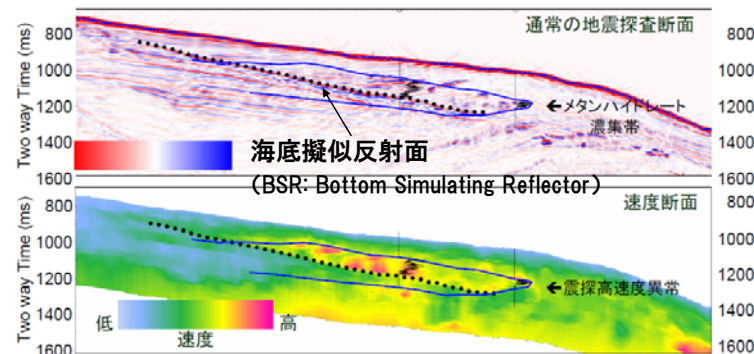
## 東部南海トラフの調査マップ



2次元広域物理探査  
3次元物理探査

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(1)

## メタンハイドレート濃集帯と地震波速度



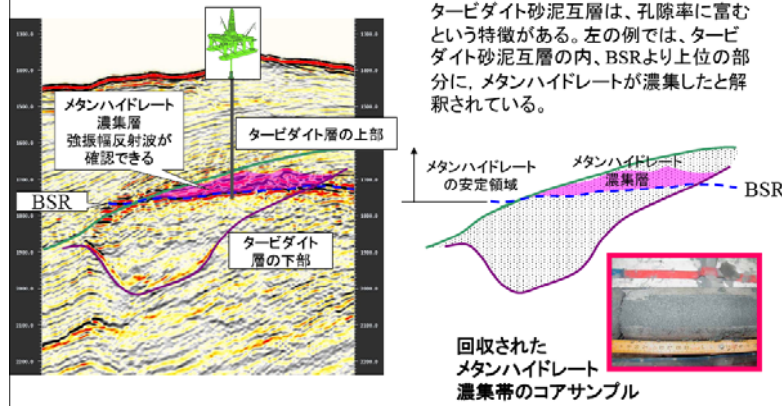
地震波速度の情報を用いて、メタンハイドレート濃集帯の確認が可能。

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(2)

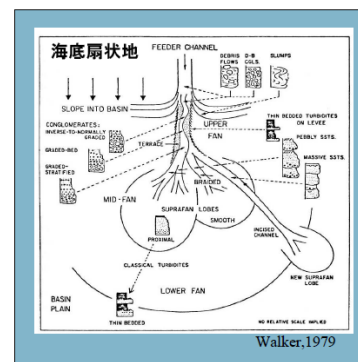
## メタンハイドレート濃集帯の確認

### メタンハイドレート濃集帯の例



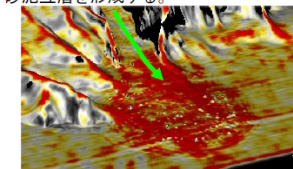
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(3)



### タービダイト層

浅い水深に堆積した粗粒堆積物が、地震・暴風・津波などによって数十年や数百年に一度の割合で、周りの流体と混合し流動化して深海へ運搬され、海底扇状地と呼ばれる地形を形成する。通常は、細粒の泥しか堆積しない沖合いにおいて、砂泥互層を形成する。



1. 深海成の泥層が堆積
  2. 泥層を削削しながら、タービダイト層が堆積
  3. 新たに深海成の泥層が堆積
- 周囲の泥層に対して、孔隙率の高いタービダイト砂泥互層が形成され、メタンハイドレートが濃集する。

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(4)

メタンハイドレート濃集帯を抽出するための四種の神器

1. BSR.....メタンハイドレートの存在を示唆
2. タービダイト砂層...メタンハイドレート濃集帯の候補
3. 強振幅反射波.....メタンハイドレート濃集帯の特性
4. 震探高速度異常...メタンハイドレート濃集帯の特性

地震探査データから、メタンハイドレート濃集帯が  
 ・どこに(場所・深度)、  
 ・どの程度(面積・厚さ)  
 分布しているかを推定することが可能となった。

平成18年度は、上記の知見と、これまで蓄積したデータを用いて、東部南海トラフのメタンハイドレート濃集帯を推定し、それを基に、同海域の原始資源量を算定した。



メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(5)

## 資源量算定手法

容積法(グロスロックボリュームモデル)による評価—確率論的手法を適用  
 $MH原始資源量 = GRV \times N/G \times \phi \times S_{MH} \times VR \times CO$

↳(※)MH濃集帯以外のMH賦存層については面積×ネット層厚を使用

パラメータ	単位	評価の元データ	
		坑井データあり	坑井データなし
GRV	総岩石容積	m³	震探強振幅反射波(上面+(下面:BSR)) 震探高速度異常 砂の分布(堆積学的解釈)
N/G	ネット/グロス比	分数	震探強振幅反射波+LWD比抵抗 震探ファシスマップ+岩相柱状図
φ	孔隙率	分数	LWDの密度検層(コア分析結果で校正) 周辺坑井の密度検層+コア分析値
S <sub>MH</sub>	MH飽和率	分数	LWDのNMR検層 密度検層(PTCSを用いた分解ガス量実測値で校正) 既存坑井における震探速度とMH飽和率の関係
VR	容積倍率	分数	172(理論値)
CO	ケージ占有率	分数	0.96(近年の天然試料の観測値)
		283億m³=1Tcf(兆立方フィート)	

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

# 東部南海トラフ海域でのMH資源量評価(6)

## 東部南海トラフの資源量評価結果

種類	算定パラメータ(合計/平均値)						MH原始資源量算定結果			
	GRV	N/G	φ	S <sub>MH</sub>	VR	CO	P90	P10	P <sub>mean</sub>	
東部南海トラフのMH濃集帯(767km²)	既確認	44.55億m³	0.38	0.43	0.52	172	0.95	402億m³	1369億m³	838億m³
	未確認	349.31億m³	0.37	0.45	0.51	172	0.95	1367億m³	9779億m³	4901億m³
合計		393.86億m³	0.37	0.44	0.51	172	0.95	1769億m³(6Tcf)	1兆1148億m³(39Tcf)	5739億m³(20Tcf)
MH濃集帯以外の東部南海トラフのMH賦存層(3920km²)	面積	3920Km²	Net層厚	0.48	0.29	172	0.95	1067億m³(4Tcf)	1兆2208億m³(43Tcf)	5676億m³(20Tcf)
		(1兆2544億m³)	(0.02)							
合計								2835億m³(10Tcf)	2兆3356億m³(83Tcf)	1兆1415億m³(40Tcf)

GRV:総岩石容積, N/G:ネット/グロス比, φ:孔隙率, S<sub>MH</sub>:MH飽和率, VR:容積倍率, CO:ケージ占有率

既確認:基礎試探「東海沖-熊野灘(04)」で確認されたMH濃集帯。

未確認:基礎物探「東海沖-熊野灘(02)」から存在が推定されるMH濃集帯。

東部南海トラフの

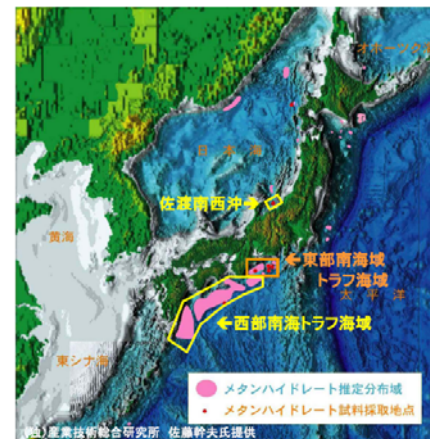
2005年の日本の年間天然ガス消費量:820億m³(BP統計) → MH濃集帯のみで7年分に相当  
 2005年の日本の年間天然ガス生産量:31億m³(資源エネルギー庁資源統計)

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

# 他の海域でのMH資源量評価へ

## 日本周辺海域におけるMH賦存状況の検討



・佐渡南西沖の評価

海底面付近でMHの存在を確認済  
 →周辺海域の地化学データの分析  
 3D震探データ解析から  
 MH濃集帯を示唆する海域を抽出

・西部南海トラフ海域の検討

BSRが広域で確認されている  
 西部南海トラフ海域を  
 既存調査(2D震探)データを  
 用いて評価  
 本海域にもMH濃集帯が分布する  
 可能性を確認

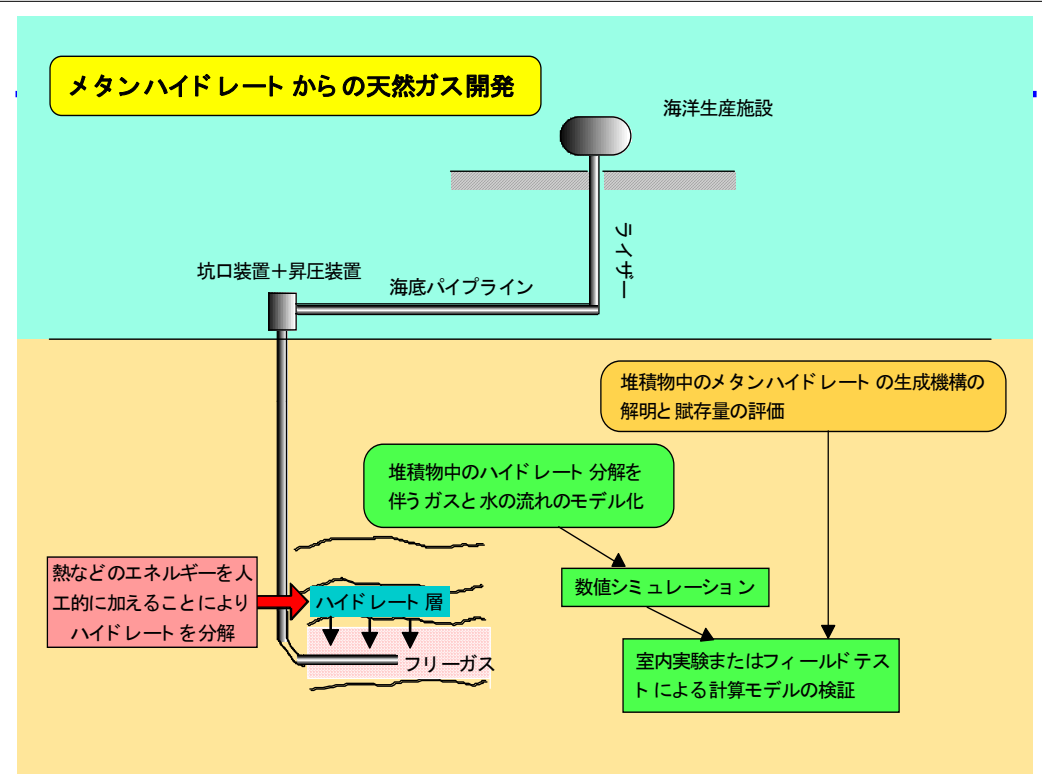
→西部海域には東部海域の8~10倍の面積にBSRが分布

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

総合科目「環境・エネルギー問題を考える」@駒場キャンパス(2008年6月20日)

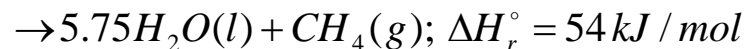
## 4. 研究開発の現状

### (2) MHからのガス生産手法の開発

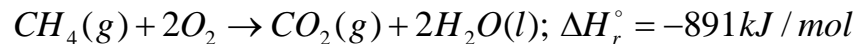


## メタンハイドレート分解採取法のエネルギー収支

- MH分解に要するエネルギー(吸熱反応)



- 回収メタンガスから得られるエネルギー(発熱反応)



- ハイドレート1mol(約1,050 cm<sup>3</sup>)を採取することにより、837 kJのエネルギーが得られる
- インフラの設置や操業に要するエネルギーを除くと、エネルギー利得率(EPR)は16.5

$$EPR = \frac{891}{54} = 16.5$$

## 提唱されているメタンハイドレート分解採取法

### 1. 減圧法

- 減圧により相平衡を崩してハイドレートを分解

### 2. 熱刺激法

- 水蒸気や熱水の圧入および地下ヒーターによる加熱によりハイドレートを分解

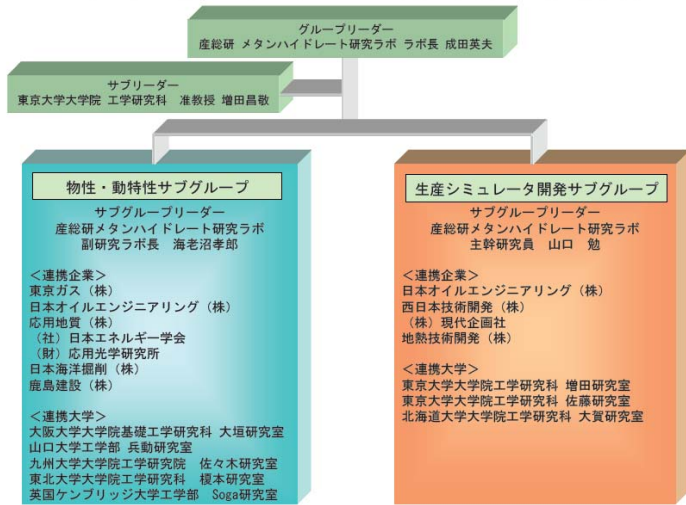
### 3. インヒビター圧入法

- 塩類、メタノール、グリコールなどの溶剤をメタノール層に注入することによりハイドレートを分解

### 4. 組み合わせ法

- 減圧法に、熱刺激、インヒビター圧入を組み合わせる方法

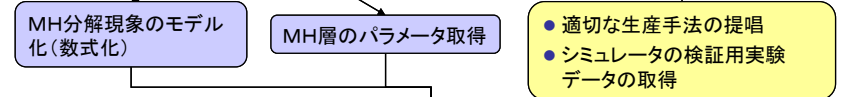
## 生産手法開発分野・H18研究開発実施体制



メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム平成18年度成果報告会資料より引用 (<http://www.mh21japan.gr.jp/>)

## MH模擬コアおよび掘削調査で採取した天然コアを用いた実験的研究

- MH層の基礎的性質と分解挙動の把握
  - 浸透率、熱伝導率、比熱などの基礎物性
  - メタンハイドレート分解に伴う浸透率変化などの動的特性
  - 地層の圧密などの機械的特性
- 生産手法の有効性検討
  - 減圧法、加熱法、熱水圧入法などのコア試験
  - ガス圧入法などの新規生産手法の実験



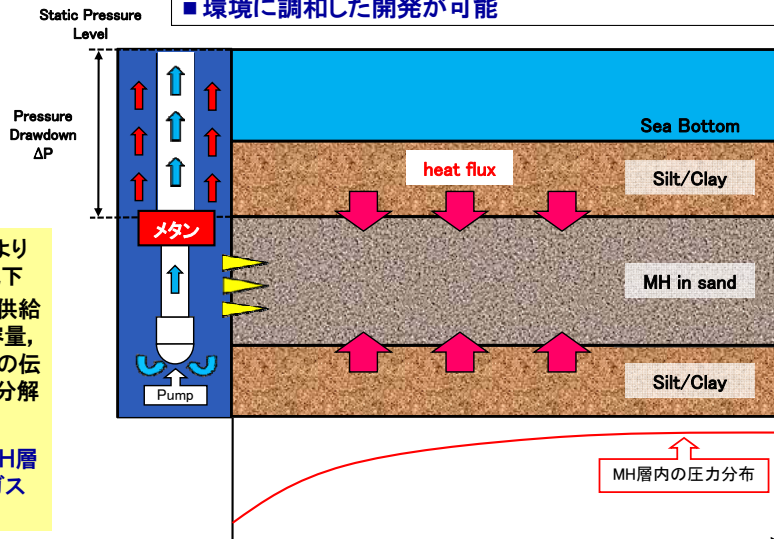
## 貯留層シミュレータ (MH21 HYDRES)の開発

陸上産出試験でのシミュレータ予測の検証(信頼度の高いシミュレータの完成)

- 海洋産出試験での生産手法の提案
- 日本近海のMH資源フィールドの経済性評価

# MH分解採取法の一つ:減圧法の概念

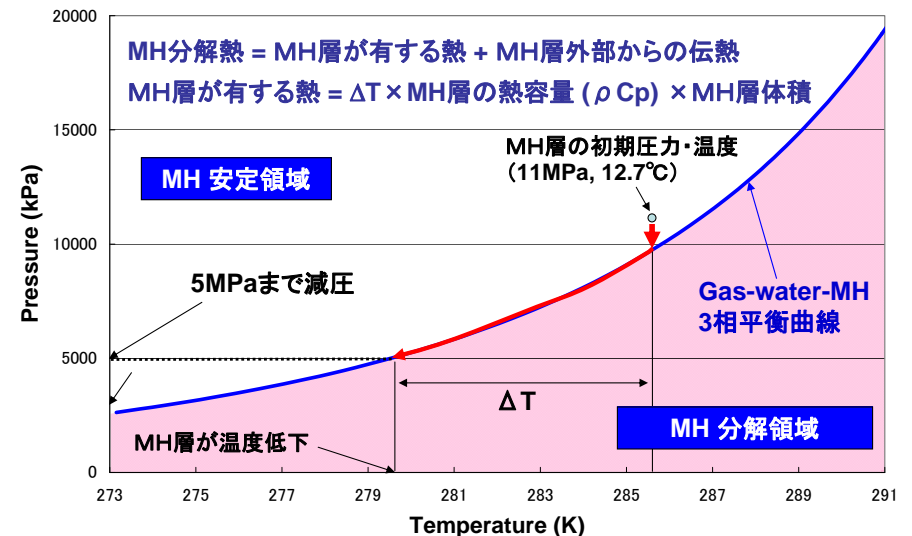
- MH層を減圧し、ハイドレートの自然分解を促す方法
- 環境に調和した開発が可能



- MHの分解により地層温度が低下
- 地層からの熱供給(MH層の熱容量、周囲環境からの伝熱)によりMH分解が継続
- 高浸透率のMH層からのメタンガス生産に有効

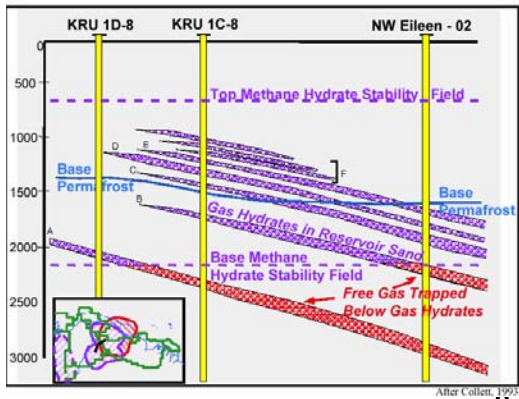
坑井からの距離

# 減圧によるMH分解の原理

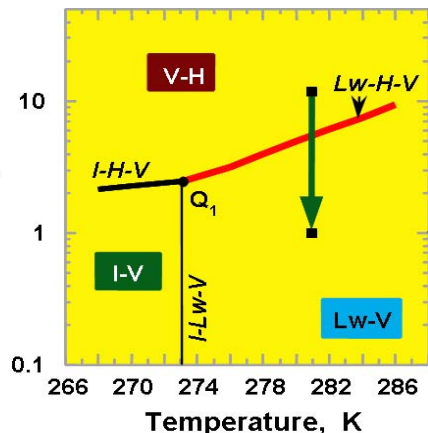


※ 本図では、概念説明のために塩分濃度の相平衡曲線に及ぼす影響は考慮していないが、

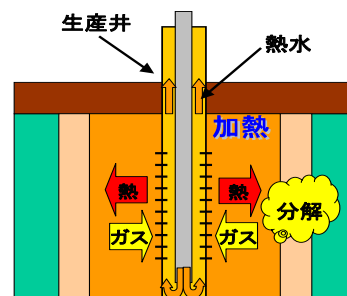
# 減圧法によるガス生産の概念



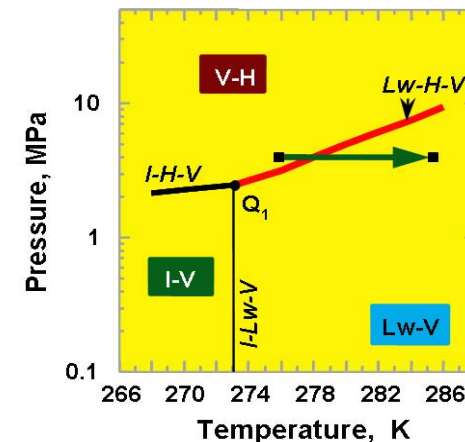
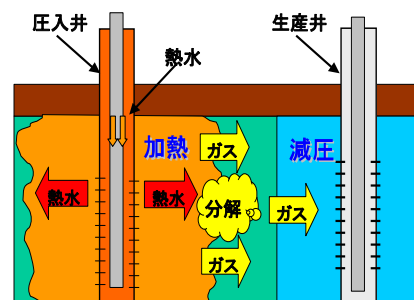
- 減圧によってハイドレートの自然分解を促す方法
- 環境に調和した開発が可能



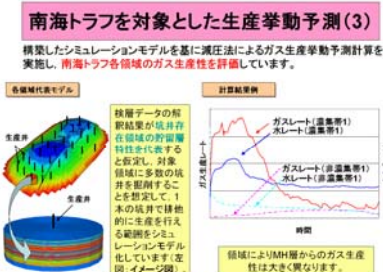
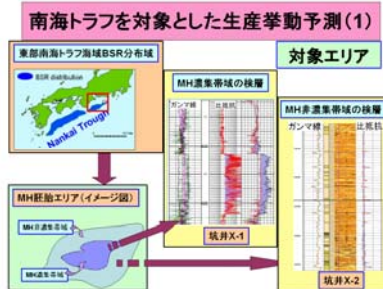
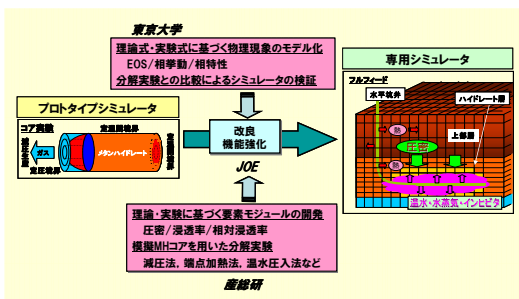
# 熱刺激法によるガス生産の概念



- 人工的に地層中へ熱を加えてハイドレートの分解を促進する方法
- ハイドレート分解速度は速く、高いガスレートでの生産が可能



# MH専用シミュレータ MH21 HYDRESの開発



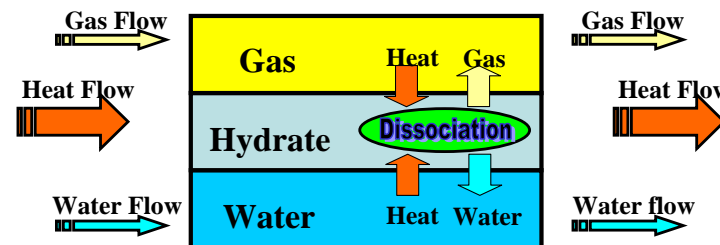
増田研究室は、MH21資源開発研究コンソーシアムに参加して、メタンハイドレート層からのメタンガスの生産挙動を予測するコンピュータプログラム(専用シミュレータ:MH21-HYDRES)を共同開発中

シミュレータを用いた計算的研究でメタンハイドレートフィールドからのガス生産挙動を予測し、その開発経済性評価、開発コンセプトの設計を行う

フィールドにおける生産性解析(栗原・増田他、メタンハイドレートフォーラム2007)より引用

# MH21-HYDRES (MH21 Hydrate Reservoir Simulator)

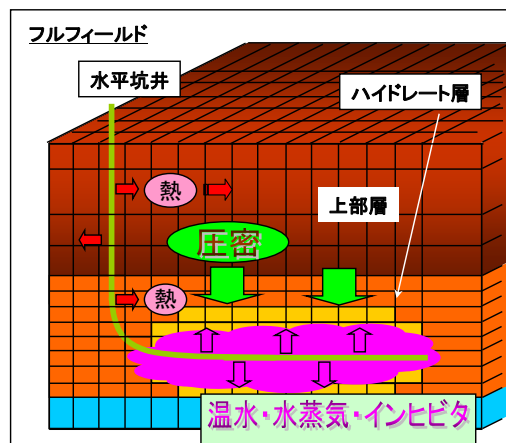
- MH層内のMH分解挙動とそれに伴うガス・水の生産挙動を予測する数値計算プログラム( C++言語)
- 4成分(メタン・水・メタノール・塩)、4相(気相・水相・ハイドレート相・氷相)の成分型シミュレータ
- 堆積物中のメタン、水、メタノール、塩成分に関する質量保存則とエネルギー保存則から成る5つの非線形連立方程式を解いて、メタンハイドレート層内の圧力、温度、ハイドレート飽和率、塩濃度、メタノール濃度の変化等を計算



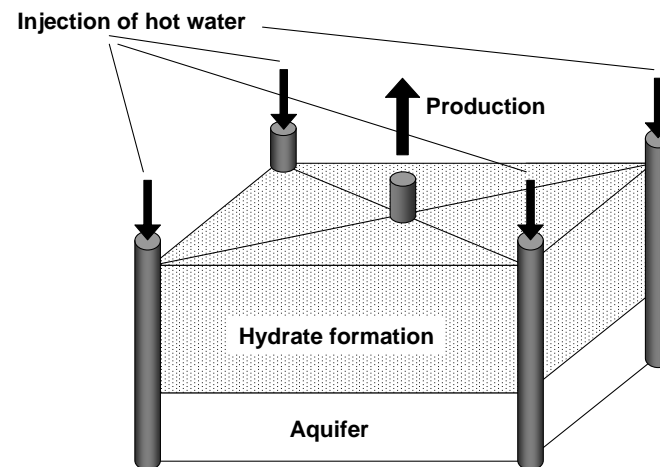
# MH層からのガス生産性の検討

## 貯留層シミュレータ (MH21-HYDRES: MH21 Hydrate Reservoir Simulator)の開発

- フィールド規模でのハイドレート分解によるガス生産挙動を評価
  - エネルギー効率と経済性の検討
  - MH賦存状況に見合った最適な生産手法を見出す
- 数値実験
  - 低コスト
  - 色々な生産手法を試すことができる
  - 適用する生産手法のスクリーニング

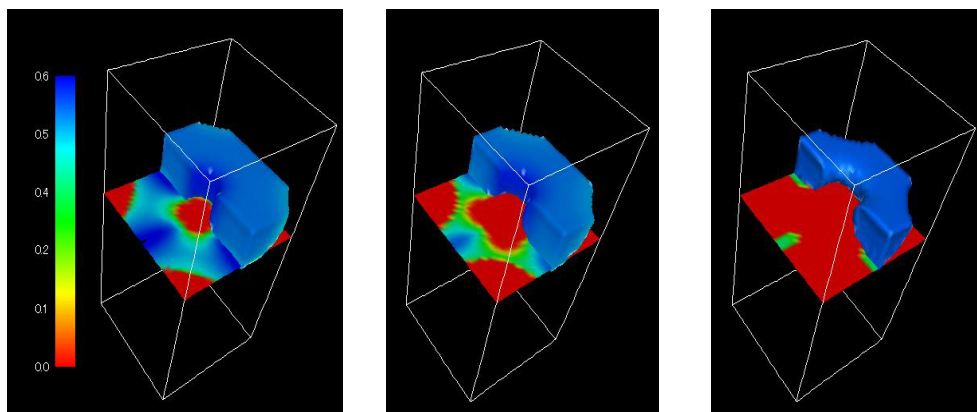


# シミュレーション例: 温水圧入法によるMH分解ガス生産予測



# 温水圧入によるハイドレート分解挙動の計算例

水温度(40°C)を中央の坑井から圧入してMHを分解する(レート:4 kL/hr)  
ICGH-4 発表論文(Masuda et al., 2002)より掲載

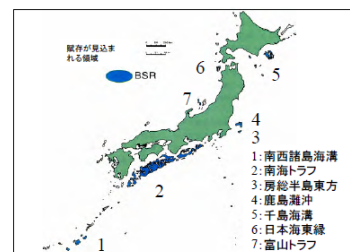


(a) After 3 days

(b) At maximum gas production rate

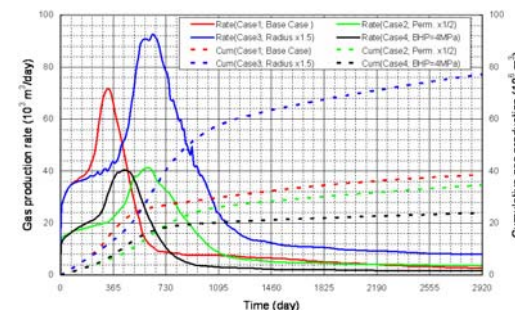
(c) At maximum energy efficiency

# MHフィールドの開発コンセプト設計

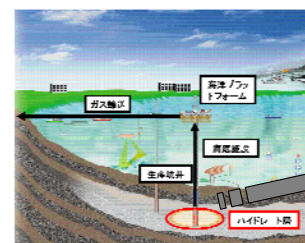


[出所: 石油公団他(2000) (現) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構]

有望なMHフィールドの選定  
フィールド特性の把握と資源量評価

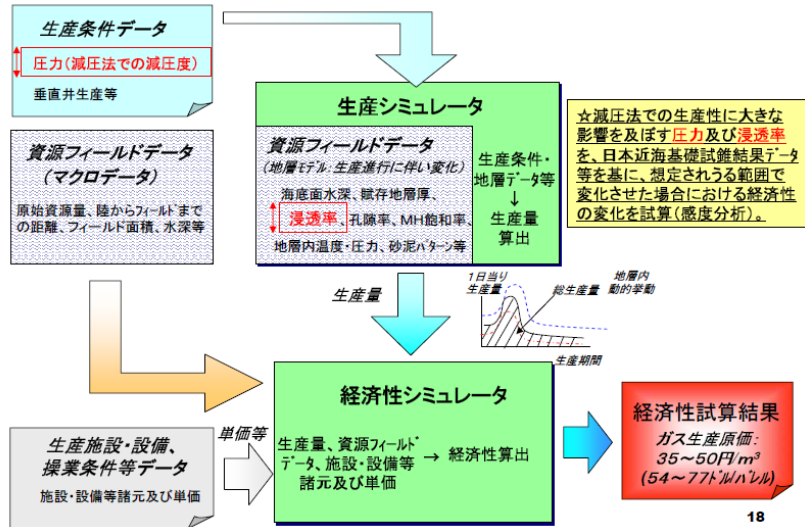


■ 減圧法のコンセプト: 海底下のMHを分解させてガスを取り出す



数値計算でガス生産挙動を予測する → エネルギー効率・経済性の評価

# MH経済性評価(ガス生産コスト試算)

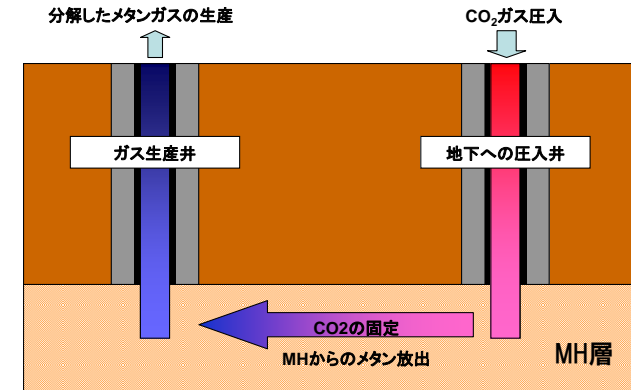


- 総合科学技術会議 評価専門調査会(第52回)資料2-4より引用  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu52/haihu-si52.html>

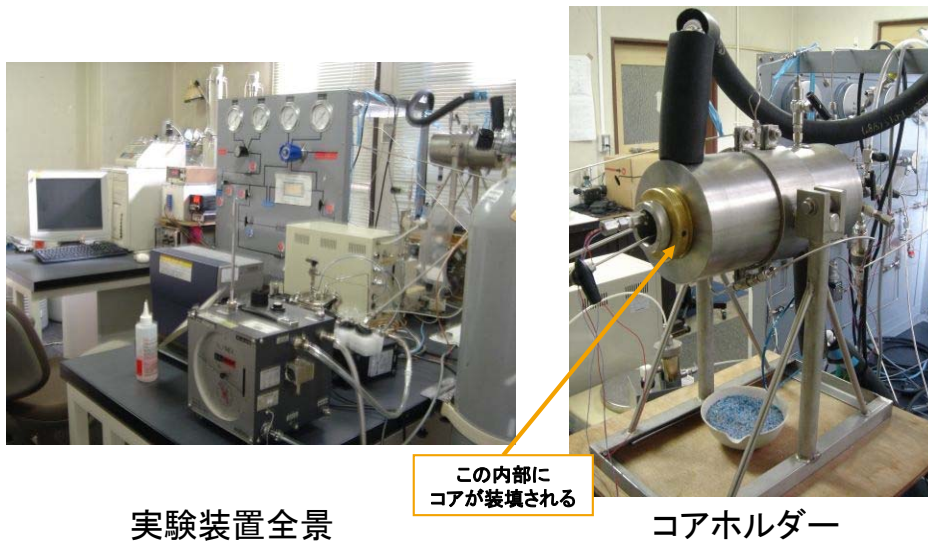
# 新しいメタン生産方法の探索

## ■ 新しいメタン生産方法(CO<sub>2</sub>ガス圧入法)の研究

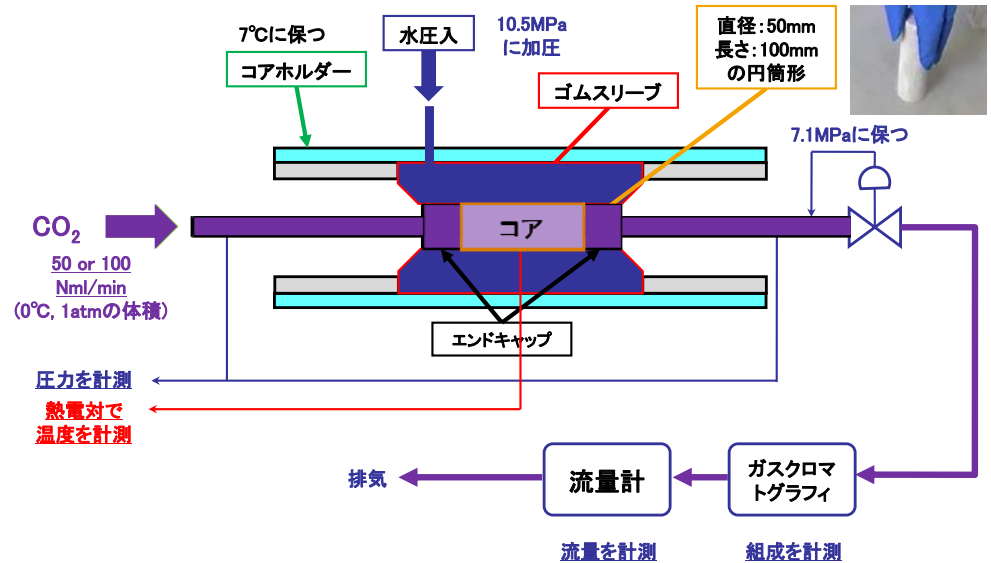
- CO<sub>2</sub>ガスをMH層へ圧入して、CO<sub>2</sub>をハイドレートとして地層内に固定しながら、MH結晶内のメタンを地上へ採取する
- 発電所から排出されるCO<sub>2</sub>ガスをMH層に固定しながらメタンを置換採取するという環境に調和したMH開発が可能




# MHコア分解実験装置



# MHコアへのCO<sub>2</sub>圧入実験



# MHの分解挙動の測定(産業技術総合研究所)




Storage of Natural Core


天然コアサンプル

模擬MHコア


- 適切な生産手法の選択・提唱
- シミュレータ検証のための実験データ取得




防爆仕様の実験棟



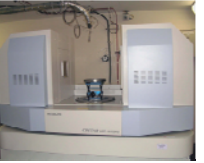
MHコア分解実験装置 (横置き, 減圧法)



MHコア分解実験装置 (縦置き, 減圧法)



MHコア分解実験装置 (加熱法)



高速X線CT装置

# MH分解実験@産業技術総合研究所

南海トラフで採取されたメタンハイドレートを含む天然コア試料

人工のメタンハイドレートコア試料を用いた分解実験



高速X線CT装置を用いたコア内ハイドレート分解挙動の計測

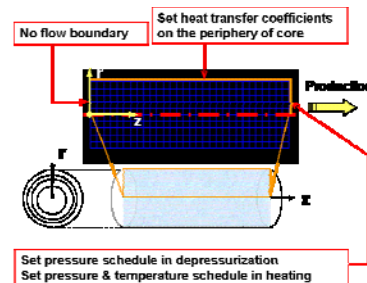
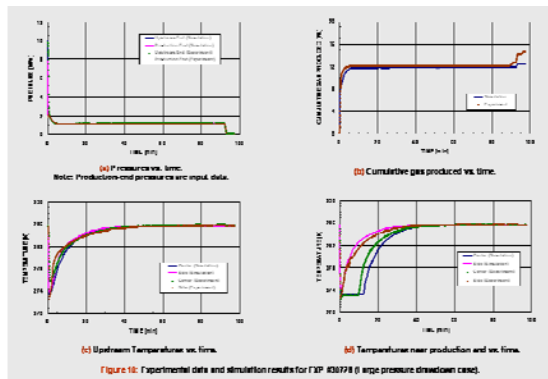
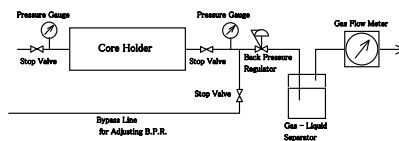


# コア実験との比較によるシミュレータ予測機能の検証

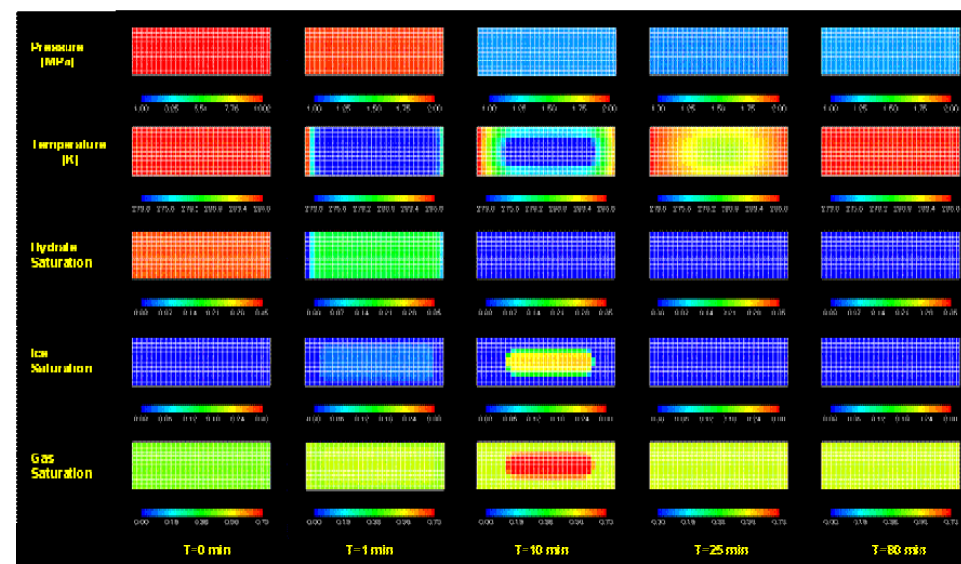
- 減圧法, 温水圧入法などの実験結果と計算結果との比較を行い, 必要に応じてモデル化や計算コードを改良することによって, シミュレータの予測精度を向上させる

## 減圧法の挙動予測に対するシミュレータ検証:

模擬MHコアを用いた減圧法実験の結果(圧力挙動, ガス累計生産量, コアの両端温度)についての実験結果とMH21-HYDRESによる計算結果の比較



# コア内の圧力, 温度, MH飽和率, 氷飽和率, ガス飽和率の変化 (減圧法実験#30728における計算結果)



MH21-HYDRESは, MH分解に伴うガス・水生産挙動と堆積層内の状況変化を予測できる

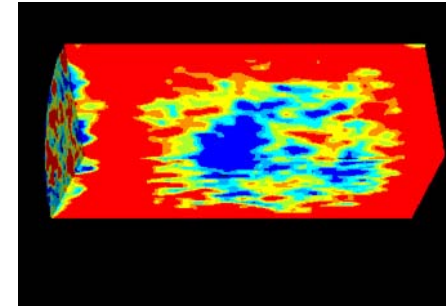


# Dissociation Experiments of Mallik 5L-38 Core, August 2002@JOGMEC

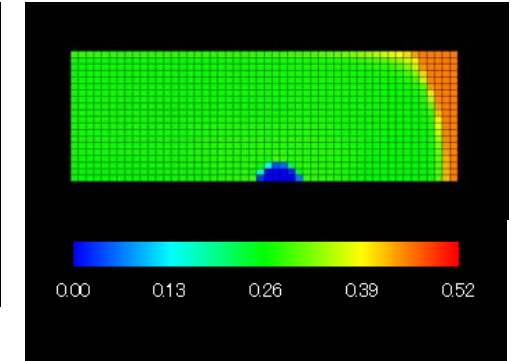


# Core MH-42: Comparison with experimental CT values

6M3-3M2  
3 MPa (355 min)



CT Image

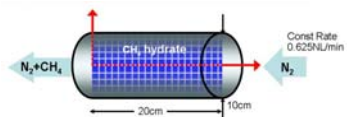


Calculated gas saturation

## 大学院・増田研究室での研究テーマ

- $N_2/CO_2$  圧入によるMHからのメタン採取
  - 地層中への $CO_2$ 固定を可能にする新しいメタン生産手法の探求
  - 室内実験による検討
  - 現象のモデル化とシミュレーション
- シミュレータ開発と数値実験
  - メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21 JAPAN)における研究
  - C++言語の計算プログラム改良: 質量保存則とエネルギー保存則, モデリング

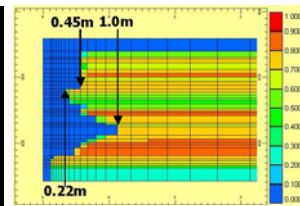
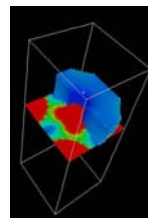
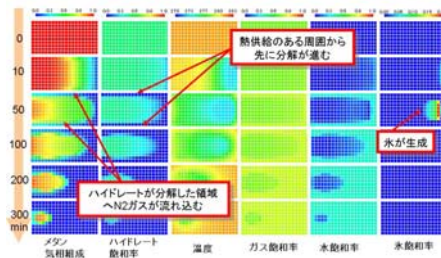
### $N_2$ 圧入によるMH分解採取のシミュレーション



### 現象のモデル化

### 実験とシミュレーションとの比較

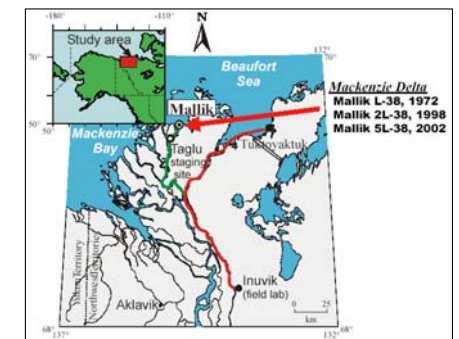
### フィールドへの適用可能性の評価



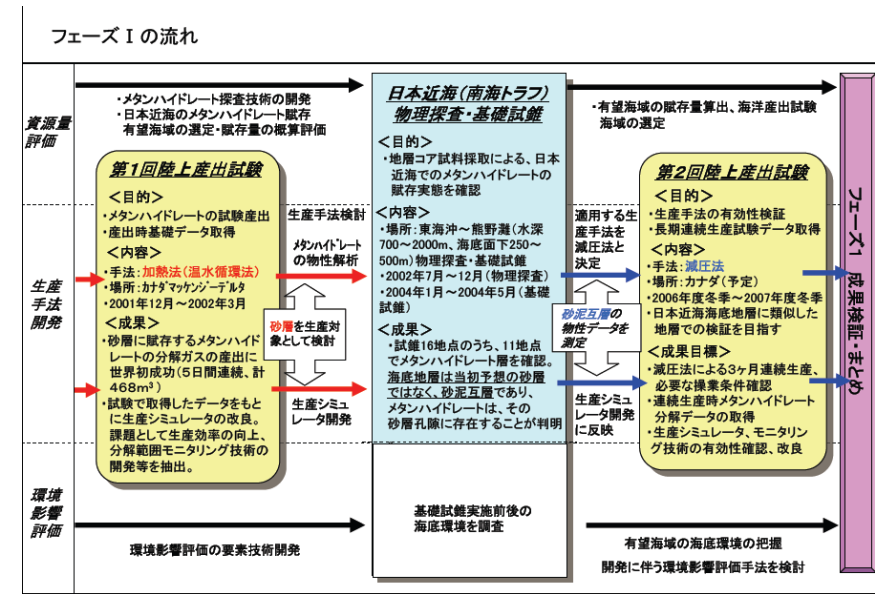
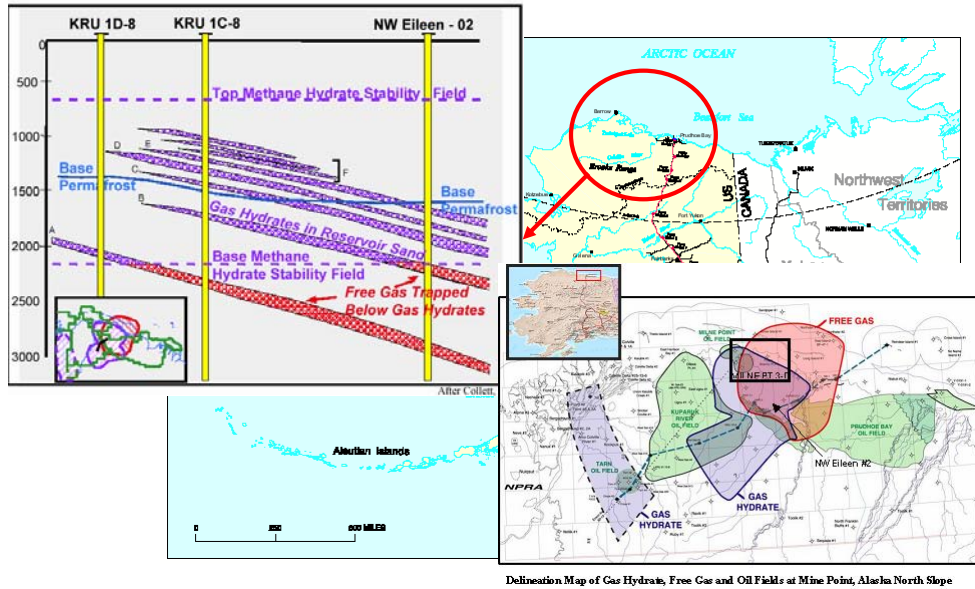
## カナダマッケンジーデルタでの第1回MHガス産出試験



Production Test: March, 2002.  
Hot water circulation method  
1 production well, 2 observation wells



Participants:  
JNOC, GSC, GFZ, USGS, USDOE,  
INDIA MOPING (GAIL/ONGC), ICDP,  
BP- Chevron-Burlington  
JAPEX as Field Coordinator



・ 総合科学技術会議 評価専門調査会(第51回)資料4-2より引用  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu51/haihu-si51.html>

5. 講義のまとめ

MH開発研究の現状

1. 研究の現状

- MH資源開発研究コンソーシアム(通称MH 21研究コンソーシアム)が、資源としてのMHの有効性を実証して2016年度までにその生産技術を整備することを目標に研究開発を推進中(フェーズ I : 2002~2008年)

3次元物理探査を用いたメタンハイドレート濃集帯の検知技術の確立

- 東海沖~熊野灘において約1.1兆m<sup>3</sup>のメタン原始資源量(国内ガス消費量の約13.5年分に相当する量)を算定

実際のMHフィールドでのガス生産

- 2008年3月のカナダにおける生産試験で、永久凍土下のMH層から減圧法により、6日間の連続ガス生産に成功

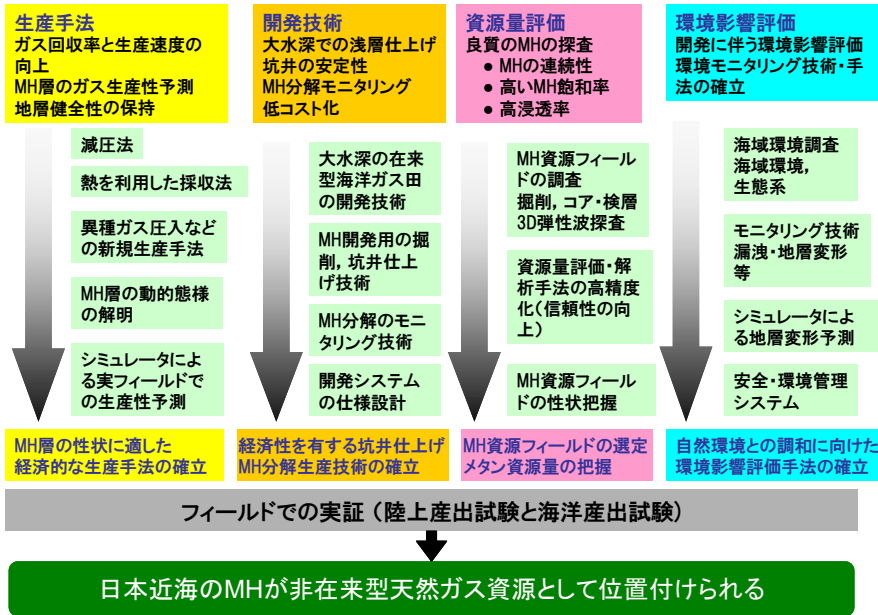
研究基盤技術の整備

- MHコアの採取・分析装置、ガス生産挙動予測のシミュレータ、環境影響評価ツール等の整備

- 米国, カナダ, インド, 中国, 韓国でも研究が活発化

→ 基礎研究から実用化へ向けた研究開発への移行段階

# 海洋MH開発の実現に向けたロードマップ



# MH開発研究の方向性

## 2. 海洋MH資源開発の展望

- 目標：日本周辺海域のメタンハイドレートからのガス商業生産
  - 実フィールドを対象とした技術開発研究(長期ガス生産試験による技術の実証)
  - 海洋産出試験による技術実証
  - 資源工学・海洋工学の複合知融合
  - 産・官・学の複合知創成により、フロンティア技術の実効性を高める研究開発へ
- 2015年度頃までには、日本周辺海域のメタンハイドレートを国産天然ガス資源として開発する基盤技術を確立すべき

