

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

平成18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」  
@駒場キャンパス(2006年6月23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  
助教授 増田 昌敬  
E-mail: [masuda@geosys.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:masuda@geosys.t.u-tokyo.ac.jp)

## 講義内容

1. MHからのガス開発の必要性
2. MHとはどのようなもので、どこに存在する？
3. MHの資源としての位置付け
4. MH開発の可能性
  - (1) 永久凍土地域でのMH開発
  - (2) 日本近海のMH開発の可能性
5. 日本のMH資源開発研究
6. 大学での研究
7. まとめ

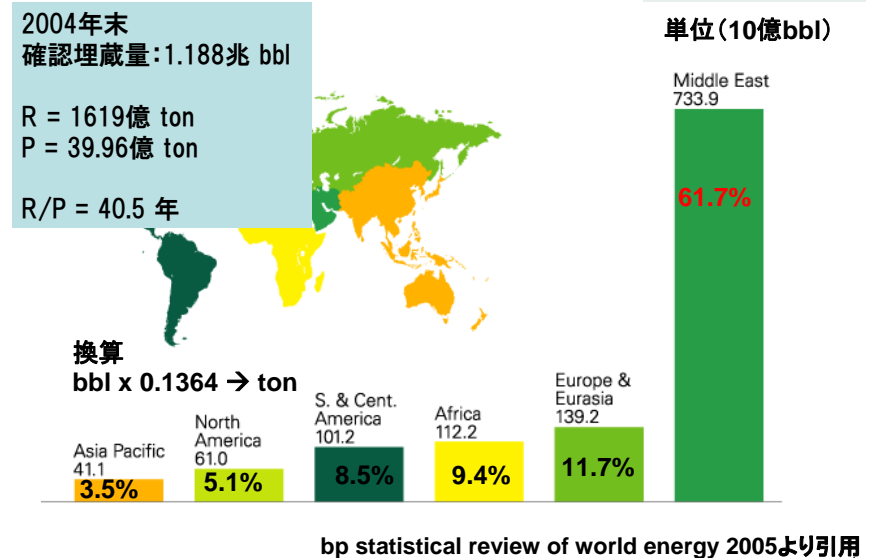
2

## 講義内容

1. MHからのガス開発の必要性
2. MHとはどのようなもので、どこに存在する？
3. MHの資源としての位置付け
4. MH開発の可能性
  - (1) 永久凍土地域でのMH開発
  - (2) 日本近海のMH開発の可能性
5. 日本のMH資源開発研究
6. 大学での研究
7. まとめ

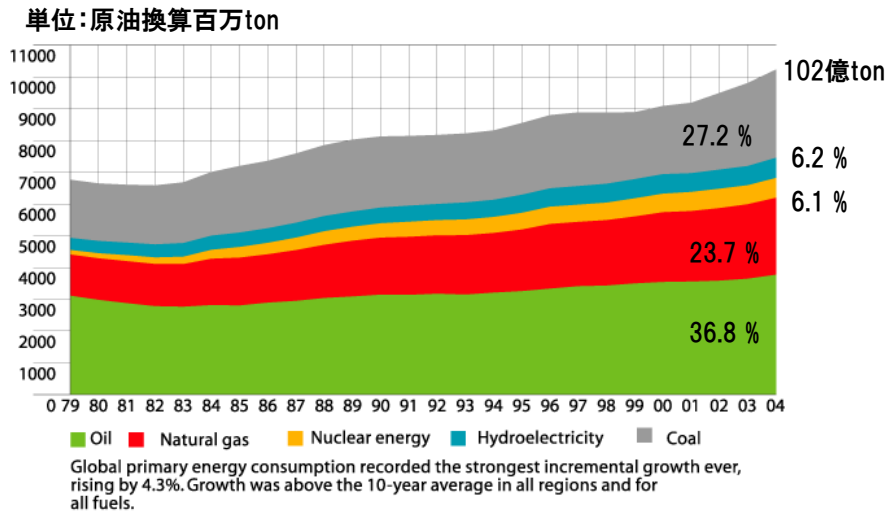
3

## 石油の確認埋蔵量(2004年末)



4

# 世界の一次エネルギー消費量の推移



bp statistical review of world energy 2005より引用

# 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

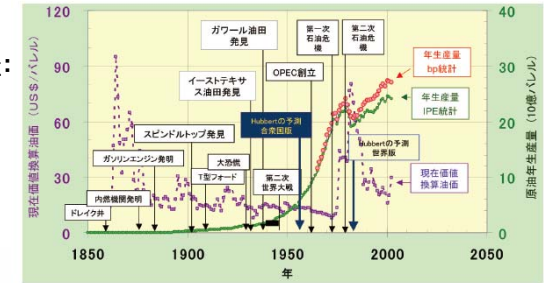
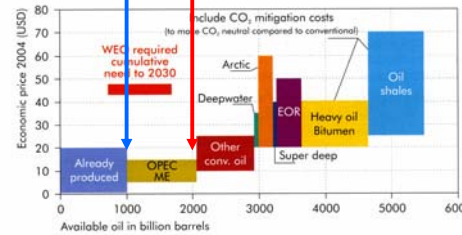


Figure 7.1 • Oil cost curve, including technological progress availability of oil resources as a function of



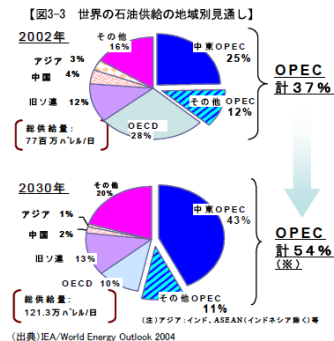
Source: IEA

▲ 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

# 世界の石油供給における中東依存度と石油生産のピーク

- 世界的に見ても石油埋蔵量は、その半分以上が中東地域に集中。
- OPECへの依存度は、今後更に世界全体で高まる見通し。
- 石油の生産量を見ると、楽観的なケースでも、生産のピークが2040年には到来するとの見通しあり。



【表3-1 石油の生産量のピークに関する見直し】

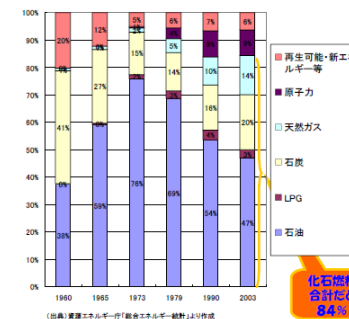
	標準的なシナリオ	悲観的なシナリオ	楽観的なシナリオ
1996年1月時点の在来型石油の残存資源可採埋蔵量 (3%/年)	2.6	1.7	3.2
在来型石油生産量のピーク	2028年~2032年	2013年~2017年	2033年~2037年
在来型石油のピーク時の世界的需要 (百万バレル/日)	121	96	142
非在来型石油の2030年の生産量 (百万バレル/日)	10	37	8

• 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>

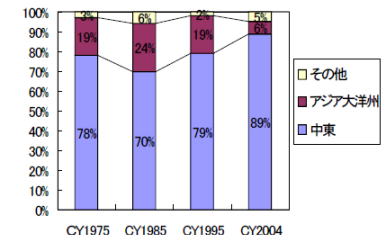
# 日本のエネルギー安定供給の確保は?

- 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>

## 天然ガス資源への期待と不安

- **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): 179兆m<sup>3</sup>
  - 現在の天然ガス消費量(P): 2.7兆m<sup>3</sup>
  - R/P = 約66年
- **量は十分にあるが...**
  - 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
  - 天然ガスパイプラインの普及によるアジア地域でのガス需要の増大
  - 米国・中国などでのLNG需要の増大
  - サハリンパイプラインの建設も、ガス需給、利害関係で難しい状況
  - このままの状況では、天然ガスの安定供給が難しくなる

9

## 米国の天然ガス需給予測(EIAレポート, 2004)

Figure 87. Natural gas production by source, 1990-2025 (trillion cubic feet)

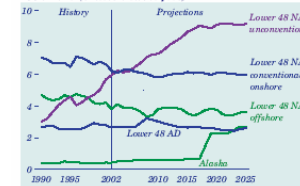
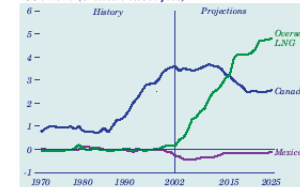
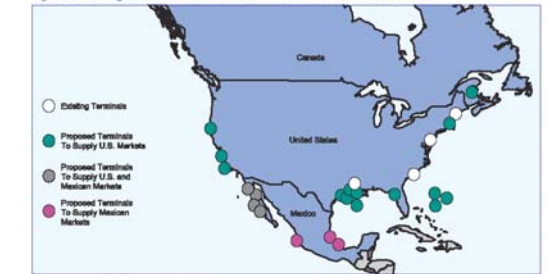


Figure 89. Net U.S. imports of natural gas, 1970-2025 (trillion cubic feet)



- アラスカからのパイプラインガス (PNG) 供給
- カナダからのPNG輸入
- サハリン、インドネシアからのLNGガス輸入促進

Figure 42. Existing U.S. LNG Terminals and New Terminals Planned in North America



Source: Energy Information Administration.

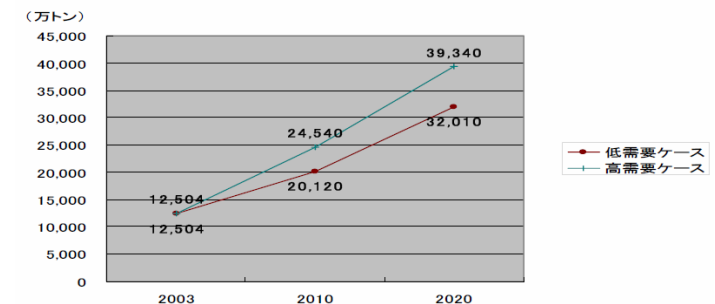
10

## 米国の天然ガス需給予測(EIAレポート, 2004)

- 国内ガス消費量が今後増大し、**2025年の年間消費量は29.1~34.2TCF (8240~9680億m<sup>3</sup>)**と予測  
※ 2004年の年間消費量: 6470億m<sup>3</sup>
- 不足分をLNG輸入、カナダとアラスカからのパイプラインガス、国内の非在来型天然ガス(タイトサンド、シェールガス、コールベットメタン)の供給で補う
  - 2025年の供給予測:  
LNGガス: 4.8 TCF(1360億m<sup>3</sup>) ← 185億m<sup>3</sup>@2004年  
カナダからのパイプラインガス: 2.6 TCF(740億m<sup>3</sup>)  
アラスカからのパイプラインガス: 2.7 TCF(760億m<sup>3</sup>)  
非在来型ガス: 9.2 TCF(2600億m<sup>3</sup>)
  - 非在来型ガスは2002年においても32%の供給割合を占めているが、2025年には43%まで増加
- アラスカ・ノーススロープからの米国内へのパイプラインガス供給が2018年に開始されることと、カナダ・マッケンジーデルタからの天然ガス供給が2009年に開始されることを期待している

11

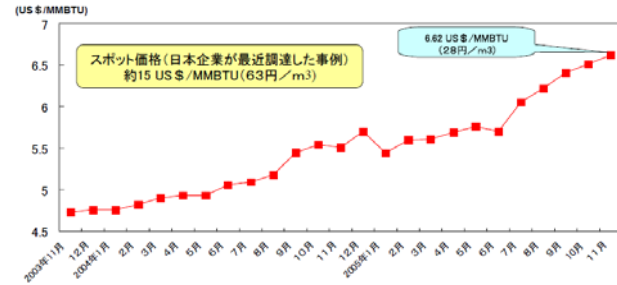
## 世界のLNG需要の見通し



- 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>
- 2004年のLNG貿易量: 約1780億m<sup>3</sup>  
(うち日本への輸入量: 約770億m<sup>3</sup>)
- **2020年には、3560~4370億m<sup>3</sup>へ増大**

12

## 天然ガス需要の増大とLNG輸入価格の上昇



※MMBTU=エムエムビーユー  
MM=100万、Btu=ブリティッシュ・サーマル・ユニットの略で1ポンドの水を1華尺上げらるるに必要な熱量のこと。  
(出典)財務省「貿易統計」 (注)日本エネルギー経済研究所

- 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>
- 2005年11月時点での我が国LNG輸入価格: 26円/m<sup>3</sup> (40 \$/bbl)
- 2005年11月時点の米国の天然ガスのヘンリーハブ価格40円/m<sup>3</sup> (62 \$/bbl)
- 原油価格60\$/バレルの場合、熱量等価換算した天然ガス価格: 39円/m<sup>3</sup> (1ドル=110円の場合)

13

## 原油と天然ガスの発熱量の換算について

- 発熱量の基準
  - 原油: 42 GJ/ton = 5.72 GJ/bbl
  - 天然ガス: 37.8 MJ/m<sup>3</sup>
- 熱量表示に用いられる単位とSI単位系への換算
  - 1 MMBtu = 10<sup>6</sup> Btu (British Thermal Unit)
  - 1 Btu = 1.055 kJ
  - 1 MMBtu = 1.055 GJ
- 原油換算量(熱量での等価量)
  - 天然ガス1000m<sup>3</sup>の発熱量 = 37.8 GJ
    - これは0.9tonの原油の発熱量に相当
    - 天然ガス1000m<sup>3</sup> = 0.9 TOE
    - TOEは原油換算ton (Tonnage Oil Equivalent)と呼ぶ
- 体積と質量表示に関する単位換算
  - 天然ガス1 Mscf = 1000 scf (standard cubic feet)
  - 天然ガス1 Mscf = 0.187 bbl
  - 原油 1 bbl = 159 l = 0.159 m<sup>3</sup>
  - 原油 1 ton = 7.33 bbl

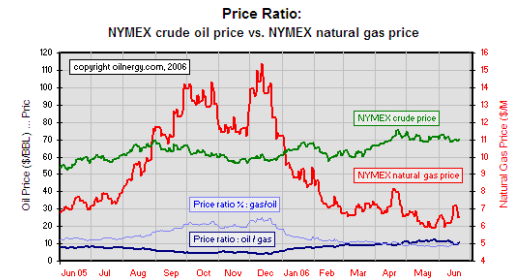
14

## LNG輸入価格の換算例

- 2005年11月の日本のLNG輸入価格 = 26円/m<sup>3</sup>
  - 26 円/m<sup>3</sup> ÷ 37.8 GJ/1000 m<sup>3</sup> = 687.83 円/GJ
  - 687.83 円/GJ x 1.055 GJ/MMBtu = 725.76 円/MMBtu
  - 725.76 円/MMBtu ÷ 110 円/\$ = **6.6 US\$/MMBtu**
- これを熱量等価な原油価格に換算すると、
  - 原油は5.72 GJ/bblであるから、  
687.83 円/GJ x 5.72 GJ/bbl = 3934 円/bbl  
3934 円/bbl ÷ 110 円/\$ = **35 \$/bbl**
- この時点では天然ガスの方が安い燃料であるが、今後の世界的な伸びで価格が上昇する見込み
- LNGは10~20年の長期契約で購入するので、いつ購入するかと為替レートによって輸入価格が大きく変動する → 日本企業の収益に直結する

15

## 最近の天然ガスと原油の取引価格の比較



グラフは <http://www.oilenergy.com/> より引用

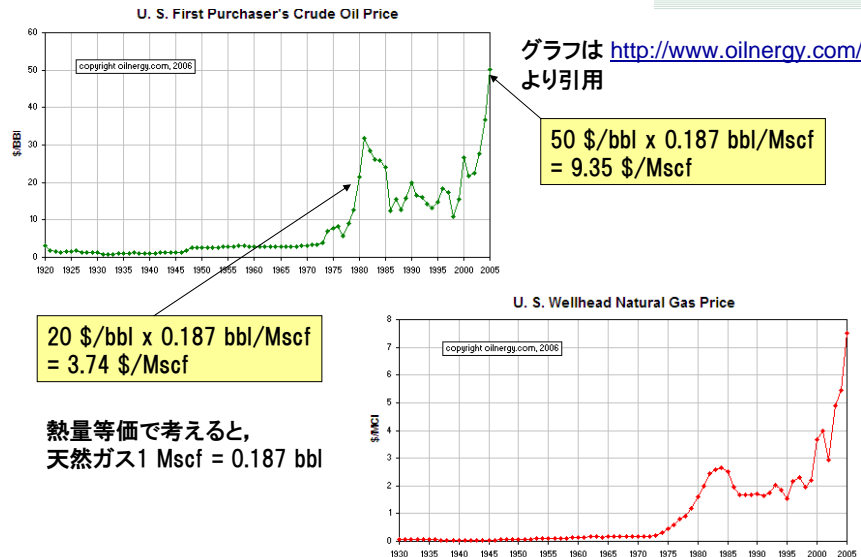
現在の価格  
 • 原油: US\$70/bbl  
 • 天然ガス: US\$6.5/MMBtu

天然ガスと原油の価格は熱量ベースで連動するが、需要によって大きく変動する

米国内での取引価格を熱量で比較すると、2006年6月の価格は天然ガスの方がかなり割安  
 • 原油: 70 \$/bbl ÷ 5.29 GJ/bbl = 13.23 \$/GJ  
 • 天然ガス: 6.5 \$/MMBtu ÷ 1.055GJ/MMBtu = 6.16 \$/GJ

しかし、2005年12月の価格は天然ガスの方が高い  
 • 原油: 60 \$/bbl ÷ 5.29 GJ/bbl = 11.34 \$/GJ  
 • 天然ガス: 14 \$/MMBtu ÷ 1.055GJ/MMBtu = 13.27 \$/GJ

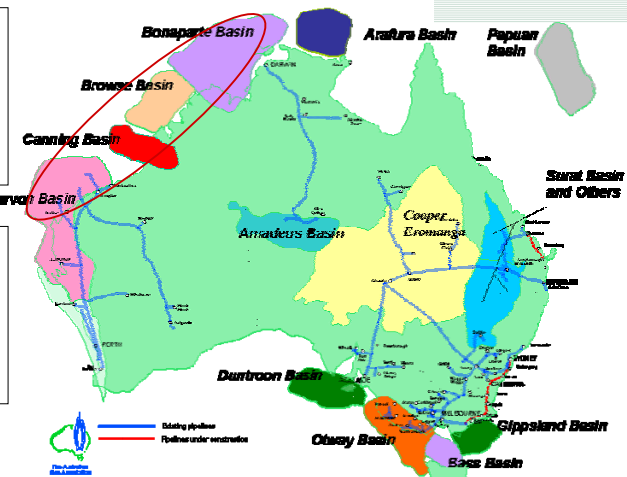
## 天然ガスと原油の井戸元価格の歴史的推移(米国)



## 豪州の石油・天然ガス開発とパイプライン網

海洋ガス田の開発にはコストがかかるのでLNG Projectの実行判断は、マーケットの存在が確保されないといけない

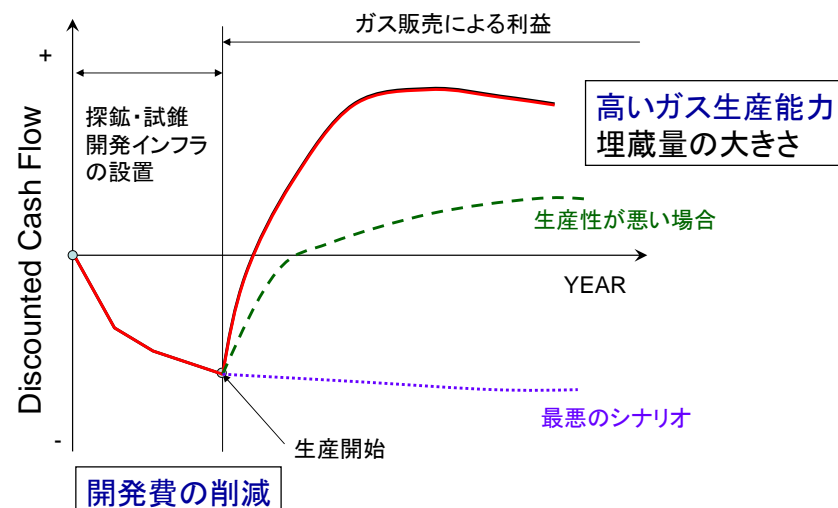
オーストラリア国内需要は少なく、石炭ガスと価格が競合するので、販売価格が安すぎてプロジェクトは成立しない



- 世界的なLNGマーケットの増大によって、開発計画が実行に移された
- 今後開発されるガスの7, 8割がLNGで日本やアジアへ輸出される

18

## 図7 ガス開発プロジェクトの経済性



19

## 講義内容

- MHからのガス開発の必要性
- MHとはどのようなもので、どこに存在する？
- MHの資源としての位置付け
- MH開発の可能性
  - 永久凍土地域でのMH開発
  - 日本近海のMH開発の可能性
- 日本のMH資源開発研究
- 大学での研究
- まとめ

20

## メタンハイドレートとは？

- 水分子がメタン分子を取り込んだ包接化合物（固体結晶）
- 見かけは氷と似ている
- 低温・高圧の条件下でできて、安定になる
- 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



21

## メタンハイドレートとは？

メタンを取り囲んだ氷のようなもので  
火をつけるといきおい良く燃え上がる

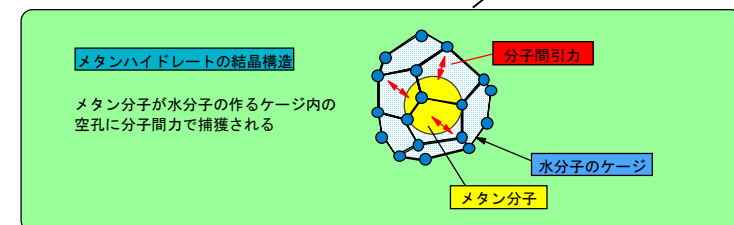
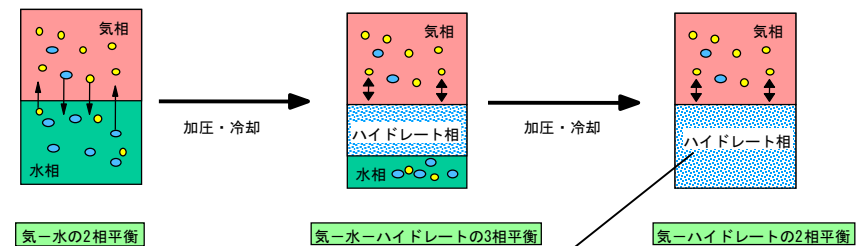
22

メタンハイドレートは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)

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

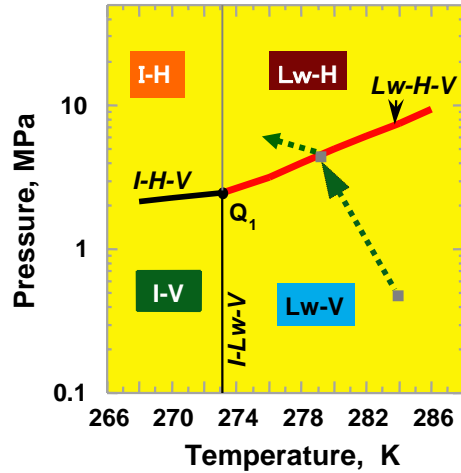
23

私たちが暮らしている通常的环境下では、水とメタンの混合物は気-水平衡状態にあるが、この混合物を冷却していくとメタンハイドレートと呼ばれる固体結晶が生成する



24

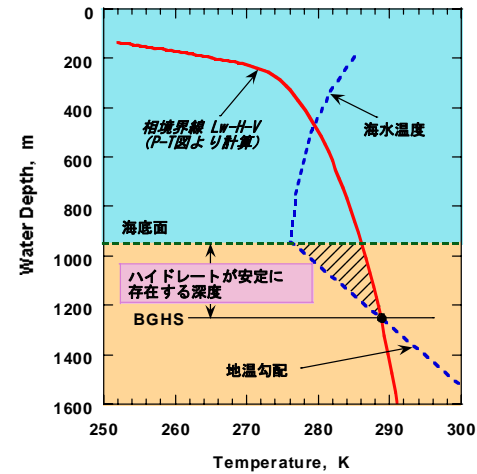
## メタンと水混合物の相変化(水リッチの場合)



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。

25

## 海域のメタンハイドレートの安定領域

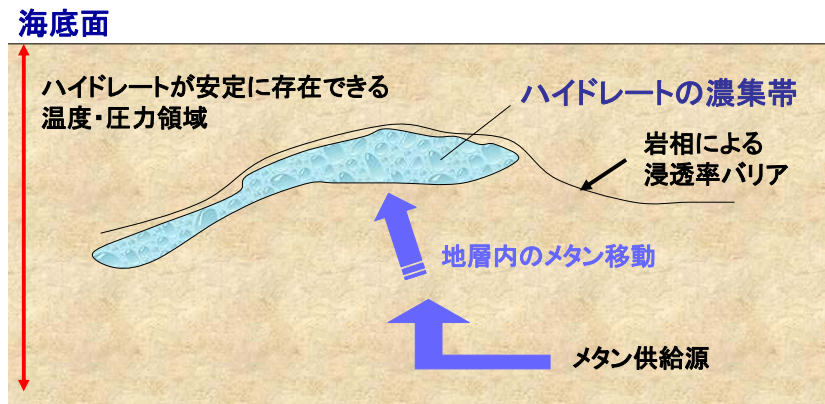


- 海底下の地層  
水深が深いほど高圧
- 海水の温度  
2~5℃と低温

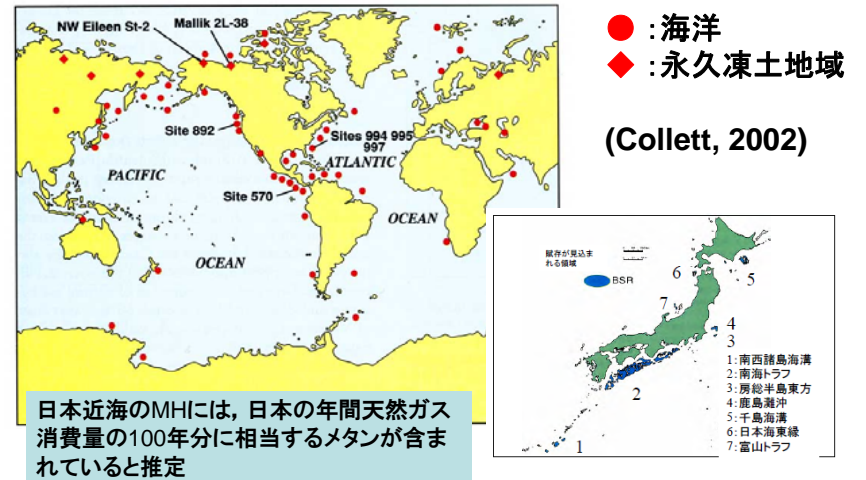
水深が1000m程度では、海底下0~300mの間にハイドレートの安定存在領域がある

26

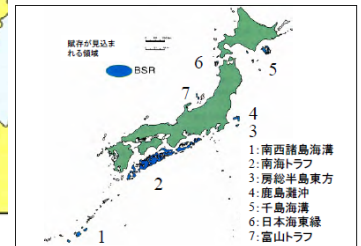
## 海底下の地層内でのメタンハイドレート生成



## 海洋と永久凍土地域の地下に賦存するMH



日本近海のMH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



【出所：石油公団他(2000) (現(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)】

28

## 地球上のMH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)	$5.7 \times 10^{13}$	$5-25 \times 10^{15}$
Mclver (1981)	$3.1 \times 10^{13}$	—
Meyer (1981)	$1.4 \times 10^{13}$	$3.1 \times 10^{15}$
Dobrynin et al. (1981)	$3.4 \times 10^{16}$	$7.6 \times 10^{18}$
Kvenvolden and Claypool (1988)	—	$4 \times 10^{16}$
Kvenvolden (1988)	—	$2 \times 10^{16}$
MacDonald (1990)	$7.4 \times 10^{14}$	$2.1 \times 10^{16}$

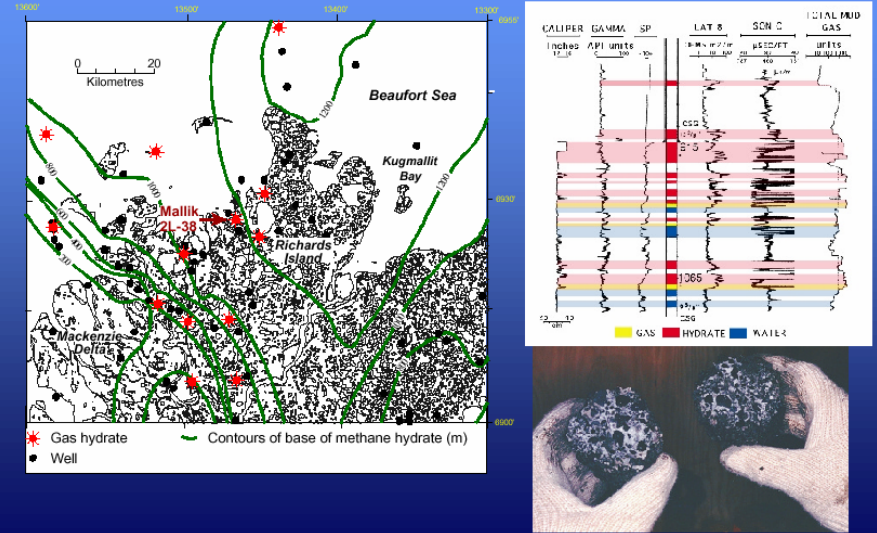
天然MHに含まれるメタンガス量の推定式:

$$V = A \times Z \times \phi \times S_H \times G$$

A: MH分布地域の面積, Z: 地層の厚さ,  $\phi$ : 地層の孔隙率,  $S_H$ : 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

29

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



## 圧力が高くて温度の低い地層中に天然のメタンハイドレートが存在

- 温度の低いアラスカやシベリアの陸域や海底下の地層中に天然のメタンハイドレートが存在
- 日本近海の海底下の地層中にも存在し, そのメタンハイドレートに含まれるメタンガス量 7.4兆m<sup>3</sup>  
 ↓  
 日本の年間天然ガス消費量の約100年分に相当



膨大な量があるが, どのようにしてメタンガスを取るのか?

31

## 在来型油ガス層(砂岩層)のコア

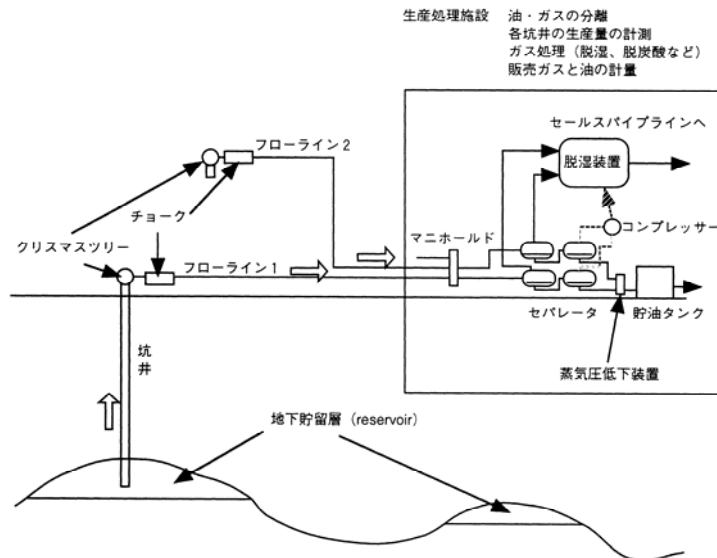


岩船沖油田

12/16/1998



## 石油・天然ガスは流体なので生産が容易



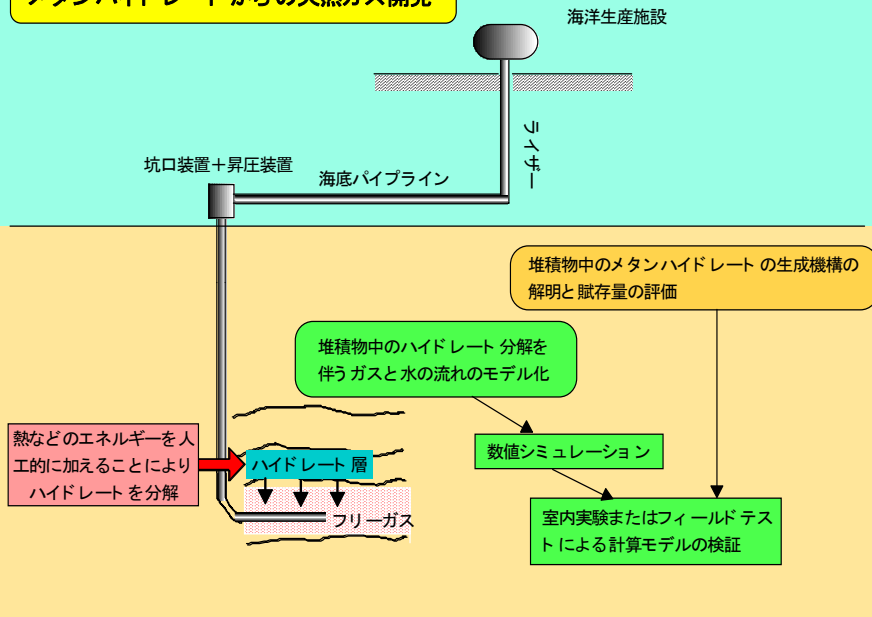
33

## 講義内容

1. MHからのガス開発の必要性
2. MHとはどのようなもので、どこに存在する？
3. **MHの資源としての位置付け**
4. MH開発の可能性
  - (1) 永久凍土地域でのMH開発
  - (2) 日本近海のMH開発の可能性
5. 日本のMH資源開発研究
6. 大学での研究
7. まとめ

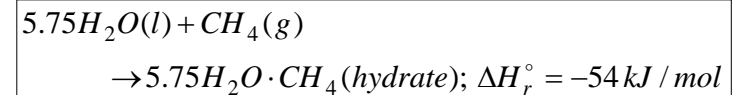
34

## メタンハイドレートからの天然ガス開発

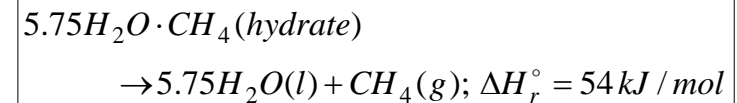


## メタンハイドレートの生成と分解

- メタンと水からMHが生成する --> **発熱反応**



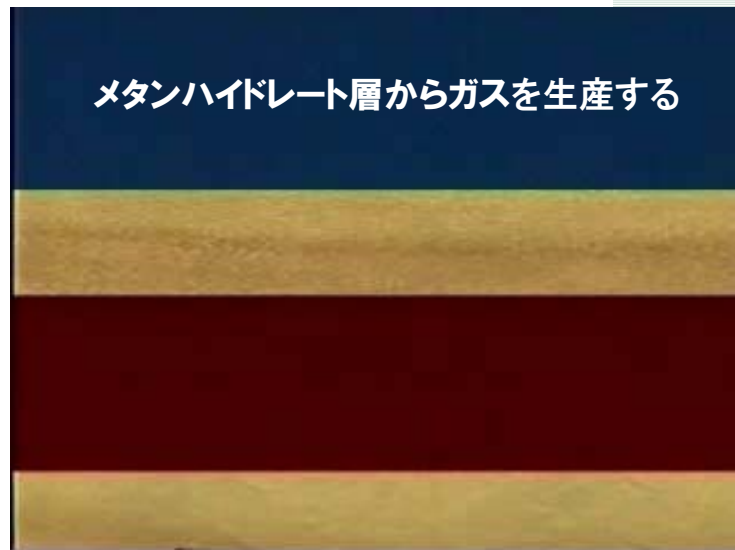
- MHが分解してメタンと水になる --> **吸熱反応**



- MHを分解させてガスとして生産するためには、分解エネルギーを供給する必要がある

36

## メタンハイドレート層からのガス生産手法



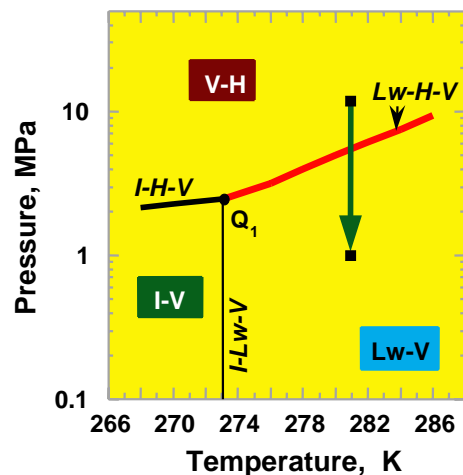
37

## 分解採取法によるMHガス生産の概念

- **減圧法**
  - 減圧により相平衡を崩してハイドレートを分解
- **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
- **インヒビター注入法**
  - 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

38

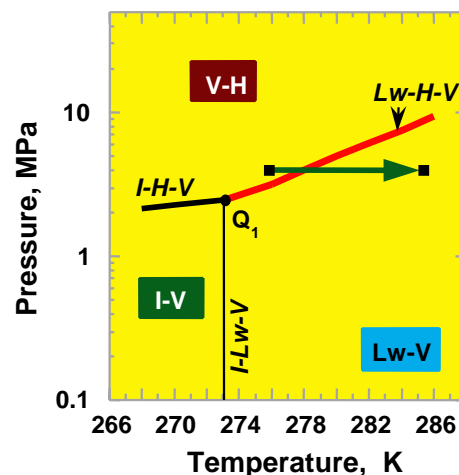
## 減圧法によるガス生産手法



- 減圧によってハイドレートの自然分解を促す方法なので、環境に調和した開発を可能にする
- ハイドレートの分解速度は遅く、単位面積辺りのガス生産レートは低い
- ハイドレート層下部に大きなフリーガス層が存在する場合は、ハイドレート分解面積を大きくとれるので非常に有望な方法
- フリーガスが存在しない場合は、経済的なガス生産レートを得るためにハイドレート分解面積を大きくする工夫が要る

39

## 熱刺激法によるガス生産手法

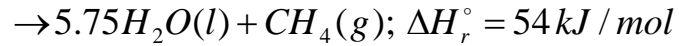


- 人工的に地層中へ熱を加えてハイドレートの分解を促進する方法なので、ハイドレート分解速度は速く、高いガスレートでの生産が可能
- 熱をロスなく地層全体に伝達する方法を見出す必要があり、ロスの大きな方法では、エネルギー効率が大きく低下
- ハイドレート分解速度が高くなったときに地層の健全性が失われなにかについての環境影響評価に関する十分な検討が必要

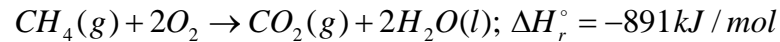
40

## 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)

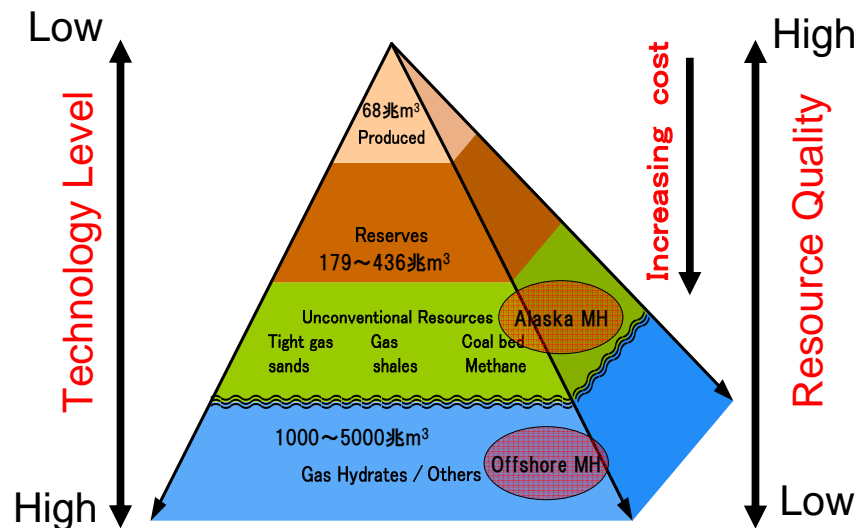
41

## 海底下に存在するMH量とその資源としての位置付け

- 海底下の地層(MH層)中に膨大なメタン量が存在する
  - 海洋MHに含まれるメタン量: 1000~5000 兆Sm<sup>3</sup> (Milkov, 2004)
  - 陸域MHに比べて、オーダーが違う
  - 在来型天然ガスの究極可採資源量(436 兆Sm<sup>3</sup>)の2~10倍のメタンガスが含まれる
- 資源としての条件は、まだ満たされていない
  - 地下のMHから安全に回収できる技術が存在する
  - 開発の経済性がある(高いガス生産性, ガスマーケットやインフラの存在)
- 海洋MHの5%が開発可能になれば、18年~93年分の天然ガスエネルギーを世界に供給できる膨大なポテンシャルを有する
  - すべてのMHが開発できる訳ではない
  - 産状はMHの生成・集積機構により異なる → 資源としての質の違いが存在
    - 海底下で生成したのか, 陸上で生成したのか?
    - 石油システム(フリーガス)が存在するのか?
    - ガス飽和率, ハイドレート飽和率がどのくらいなのか?

42

## 天然ガス資源の品位(Resource Pyramid)



43

## 講義内容

1. MHからのガス開発の必要性
2. MHとはどのようなもので、どこに存在する?
3. MHの資源としての位置付け
4. **MH開発の可能性**
  - (1) 永久凍土地域でのMH開発
  - (2) 日本近海のMH開発の可能性
5. 日本のMH資源開発研究
6. 大学での研究
7. まとめ

44

# MH開発可能性を決める要因

## 1. 地質学的要因(MH資源フィールドの性状)

- 大きな原始資源量(フィールド面積・層厚・MH飽和率)
- MHの連続性などのMHの賦存状況
- 浸透率, 孔隙率などの地層条件
- 水深, 離岸距離

– 質の良いMH層(開発の技術的難易度の低いMH)は開発しやすい

– 次の条件が揃っている場合, MH開発可能性は非常に高い

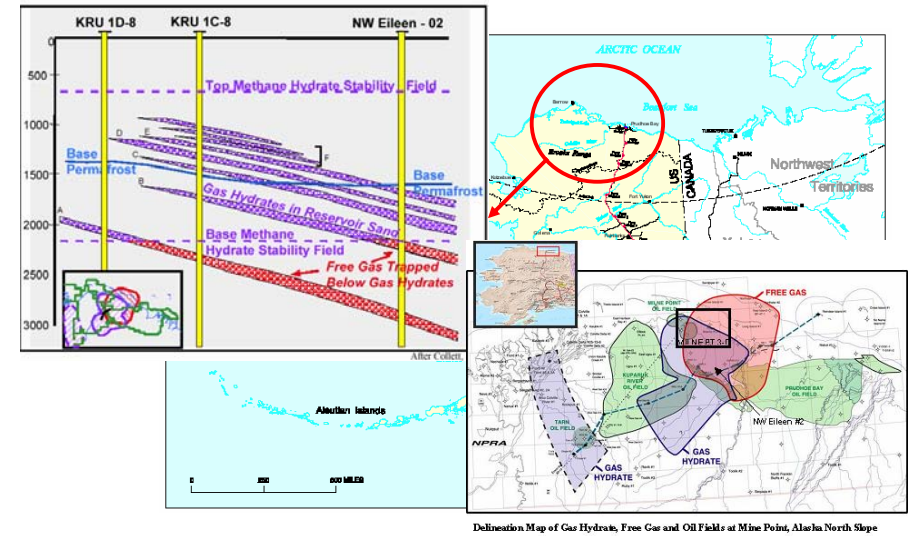
- (1) 高い飽和率でMHが地層内に連続的に賦存する
- (2) MH層直下に隣接するガス層が存在する
- (3) 地層の浸透率が高く, ガス生産性が高い

## 2. 技術的・社会的要因

- 高いガス生産レートを保障する生産手法があるか?
- シミュレーションなどによりガス生産量と回収率予測ができるか?
- MH分解採収を適用する現場技術が存在するか?
  - 坑井仕上げと坑内ツール
  - 在来型ガス田開発とは異なる生産システム
  - 水産出量と水処理
- 開発に伴う環境への影響
- 経済評価・経済環境(将来のガス需要, ガス価格, インフレ率等)

45

# (1) 永久凍土地域でのMH開発:アラスカ・ノーススロープ(ANS)



Delineation Map of Gas Hydrate, Free Gas and Oil Fields at Milne Point, Alaska North Slope

# アラスカ・ノーススロープのMH開発の可能性

## • 地下のMHから安全に回収できる技術

- 良好な石油システムが存在し, 在来型ガス(フリーガス)だけでも未開発の有望なプロスペクトが存在し, 開発インフラが整っている
- 在来型天然ガス採収技術の延長として, フリーガス層の減圧法によるガス生産手法を適用できる

## • 開発の経済性

- 在来型天然ガスの生産も考慮した経済性評価のシミュレーション結果では, ペイアウトタイムが2年, RORが89.87%という報告もされている(Howe et al., 2004)
- ANSからカナダアルバータ州を通じて米国本土へガスパイプラインを建設する計画が検討段階
- 米国本土でのガス市場, カナダおよびアラスカに存在するオイルサンドから回収される重質油改質のためのスチーム燃料ガスの市場の存在

→ 技術的難易度の低いMH資源

→ 在来型天然ガスの供給に加えて, ハイドレートガスの供給も近い将来(2010~2025)に実現する可能性は高い

47

# (1) 永久凍土地域でのMH開発

- 2006年2月2日付 Anchorage Daily News(11)記事『BP Exploration (Alaska) がMHのテスト坑井を申請:アラスカ州石油・ガス局によると, BP Exploration (Alaska)は, Milne Point fieldにおいて, 3月にMHのテストを目的とした層序試錐井の掘削を申請している。ANSにはMHが多量に賦存すると考えられている。米国DOEは資金提供しプロジェクトを支援している。』
- ANSのように, 永久凍土地域でMH層直下にガス層が存在する場合は, 減圧によるガス生産が可能と考えられ, MHからのガス開発の実現は近い

48

## (2) 日本近海のメタンハイドレート開発の可能性

- 地下のMHからメタンを回収する技術は確立していない
    - 水深700mより深い海底面下の浅部地層中に存在
    - フリーガスは存在しない
    - 2003年度の調査では、東海沖～熊野灘の海域に厚さ約50～110mのMH層が確認された
    - 経産省は海洋MHフィールドからのガス生産コストに関するシミュレーションをまとめ、MHからの天然ガス生産原価が1バレル当たり54～77ドルに相当すると報告した
    - MHフィールドの設定に不確実性が高い
    - 資源フィールドの大きさなど資源量評価を実施中
    - MH層の性状に合わせたガス生産手法を開発中
    - 高度な技術レベルが要求される技術的難易度の高いMH資源
  - 開発の経済性
    - 開発インフラが存在しない
    - 詳細な経済性検討は次のステップ
- できるだけ質の良いMHフィールドを探索し、フィールドの性状を把握  
 → 地層内でのMH産状とその分解挙動、MH分解に伴う地層の圧密などの未解明な現象を明かにして、技術レベルを上げることが海洋MHの早期開発を可能にする

49

## 講義内容

1. MHからのガス開発の必要性
2. MHとはどのようなもので、どこに存在する？
3. MHの資源としての位置付け
4. MH開発の可能性
  - (1) 永久凍土地域でのMH開発
  - (2) 日本近海のMH開発の可能性
5. 日本のMH資源開発研究
6. 大学での研究
7. まとめ

50

## MH資源開発コンソーシアム(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



- 2001年12月～2002年3月
- 国際共同プロジェクト (Malikプロジェクト)
- 世界初のMHからのガス生産試験に成功
- 2006年度に第2回目の長期のガス生産試験を予定

### 国産のメタン供給源確保へ向けた研究

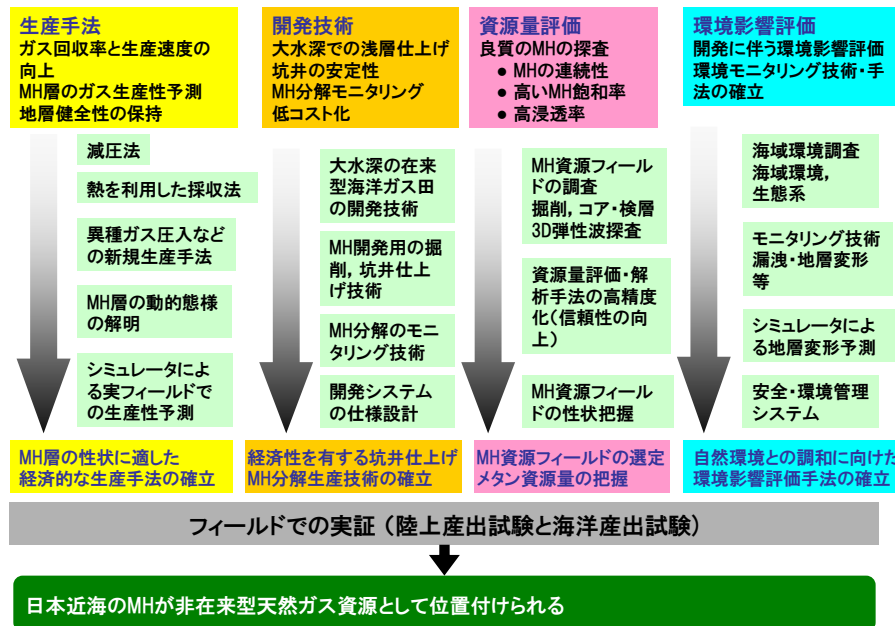
- 海洋の物理探査によるMH資源フィールドの調査・資源量評価
- MH層の性状にあわせた生産手法の確立
- 開発に伴う環境影響評価
- 環境に調和したエネルギー源の開発

地下のMHからエネルギーを取り出す  
 → 2016年度にガス業生産を目指す



51

## 海洋MH開発における研究課題と期待される技術の進歩(MH21)

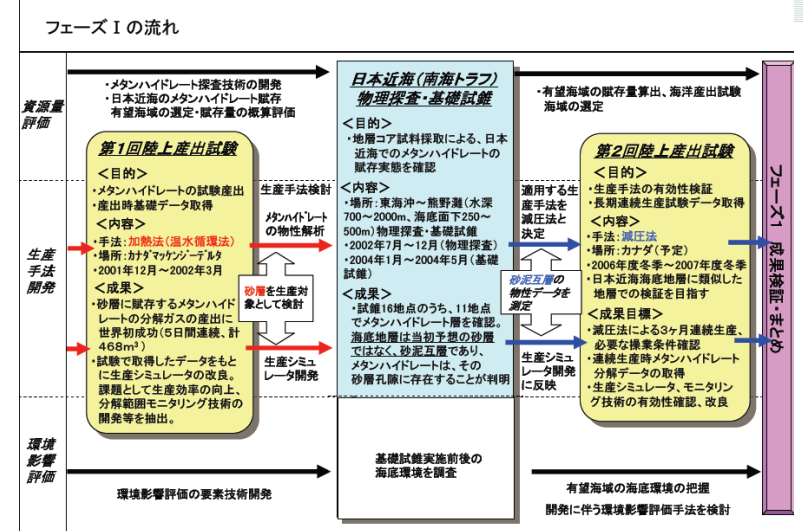


# MH開発計画の目標・スケジュール

メタンハイドレート開発計画の目標及びスケジュール 【目標:メタンハイドレートの商業的産出のための技術の整備】			
	フェーズⅠ(2001~2008年度)	フェーズⅡ(2009~2011年度)	フェーズⅢ(2012~2016年度)
資源量評価/産出試験	<b>日本周辺のメタンハイドレートの賦存量算出・産出試験候補海域の選定</b> ○目標 日本周辺の物理探査データの解析及び基礎試験を通じ、賦存有望海域のメタンハイドレート資源量を評価するとともに、海洋産出試験候補海域を選定。	<b>賦存有望海域での海洋産出試験の実施</b> ○目標 ・産出候補海域における資源量の詳細把握 ・ハイドレート集積機構等の解明	<b>商業的産出技術の整備</b> ○目標 ・経済性を考慮した長期安定生産技術の確立 ・商業生産システムの概念設計 ・環境影響評価手法の確立・実施、地層変形予測システムの完成。
生産手法開発	<b>基礎物性・分解特性の把握/産出手法の開発</b> ○目標 メタンハイドレートの短期及び長期に亘る陸上産出試験、並びにメタンハイドレートに関する基礎物性及び分解挙動の解明を通じ、生産シミュレータを開発するとともに海洋生産手法を開発。	<b>海洋生産手法の確立・生産シミュレータの完成</b> ○目標 ・海洋生産手法の有効性評価・確立 ・海洋貯留層特性に最適な手法適用基準の提示 ・生産シミュレータの完成 ・海洋メタンハイドレート生産坑井掘削・固定技術の確立 ・メタンハイドレート二次回収法、生産増進法の開発	
環境影響評価	<b>環境影響評価の要素技術開発</b> ○目標 1. 海域海底環境の状況把握。 2. 地盤変形検知・ガス漏洩検知技術の開発、地層変形予測技術の開発。 3. 安全管理・環境管理調査の実施。	<b>環境影響評価、海洋環境モニタリング技術確立</b> ○目標 ・海洋産出試験実施海域での環境影響評価 ・海洋環境モニタリング技術の実用化 ・地層変形予測システムのアップデート完成	

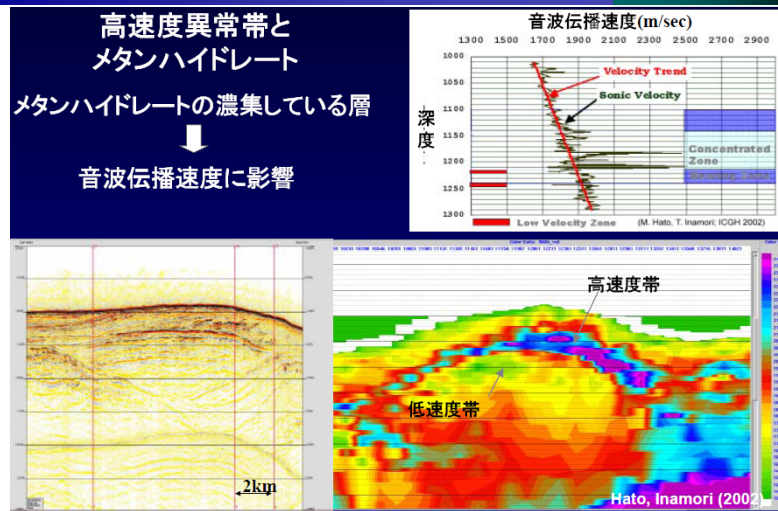
- 総合科学技術会議 評価専門調査会(第51回)資料4-2より引用  
<http://www8.cao.go.jp/gstp/tyousakai/hyouka/haihu51/haihu-si51.html>

# フェーズⅠ(2008年度まで)の研究目標と達成項目



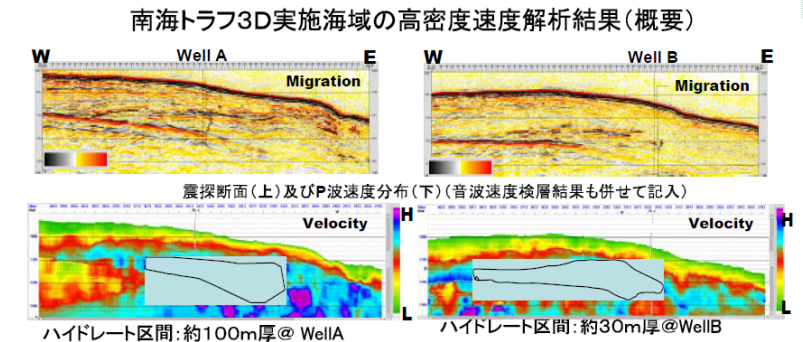
- 総合科学技術会議 評価専門調査会(第51回)資料4-2より引用  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu51/haihu-si51.html>

# MH資源量評価: BSRから速度解析・属性解析への移行



- MH資源開発研究コンソーシアム平成16年度成果報告会資料より引用  
<http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>

# 震探データの速度解析・属性解析と検層解析による資源量評価

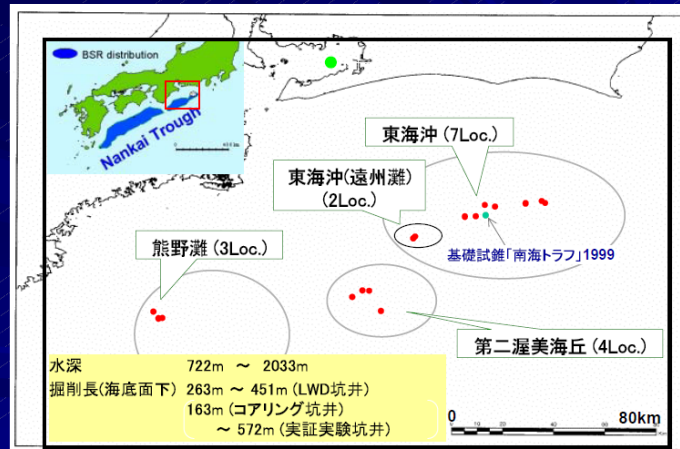


- 南海トラフの3次元地震探査記録の一部(400km<sup>2</sup>)について高密度速度解析を実施した。
- 基礎試験「東海沖~熊野灘」の結果との対比により、速度解析結果の高速度帯がハイドレートの濃集帯を示すことが明らかになりつつある。

- MH資源開発研究コンソーシアム平成16年度成果報告会資料より引用  
<http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>

# 基礎試錐:平成16年1月18日~5月18日

## 基礎試錐「東海沖~熊野灘」作業実施海域

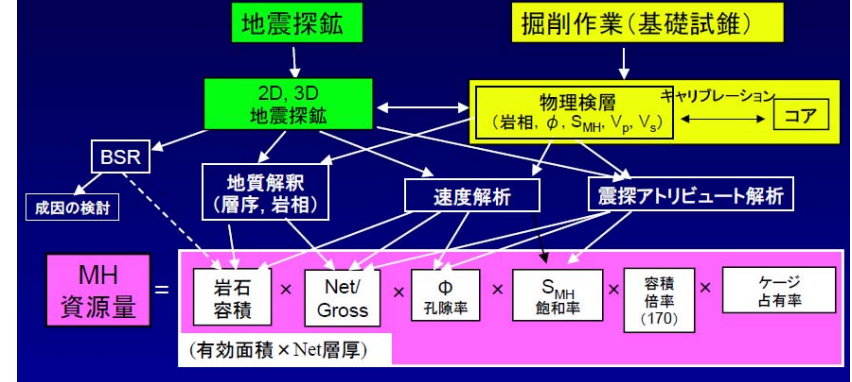


- MH資源開発研究コンソーシアム平成16年度成果報告会資料より引用  
<http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>

57

# 探査段階でのMH資源量評価

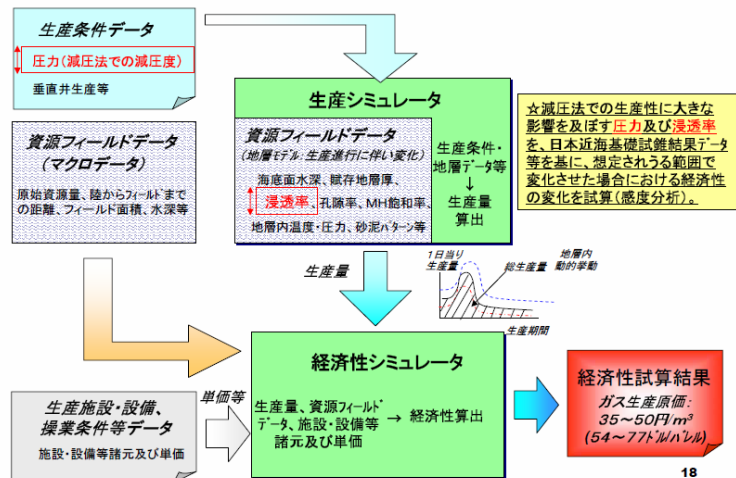
## MH資源量評価のフローチャート



- MH資源開発研究コンソーシアム平成16年度成果報告会資料より引用  
<http://www.mh21japan.gr.jp/seika.html>

58

# MH経済性評価(生産コスト試算)の流れ

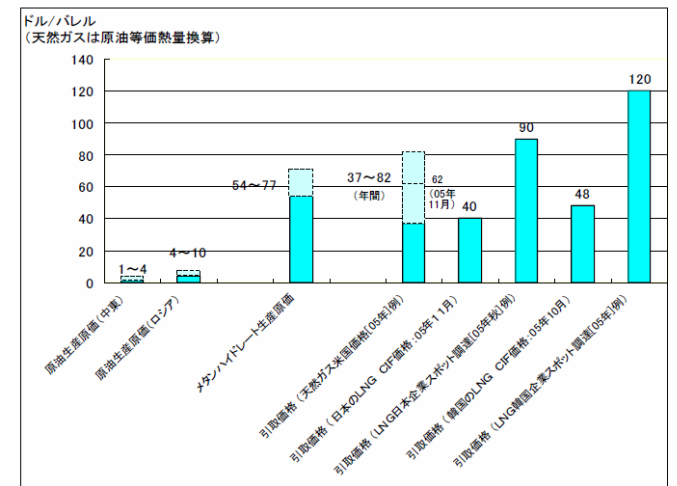


18

- 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>

59

# MH生産コストの他エネルギー資源価格との比較



資料シート-110円/8

22

- 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>

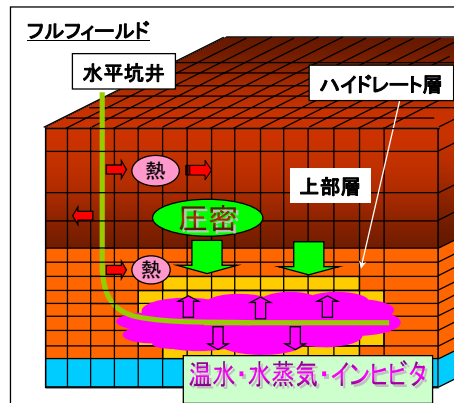
60





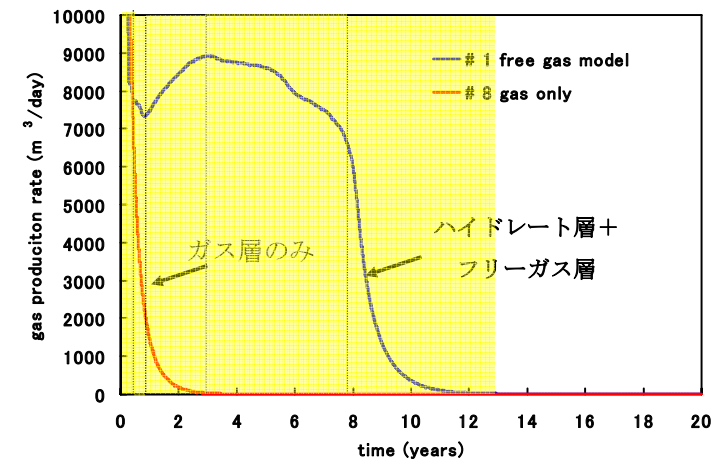
## シミュレーションによるガス生産性の検討

- 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



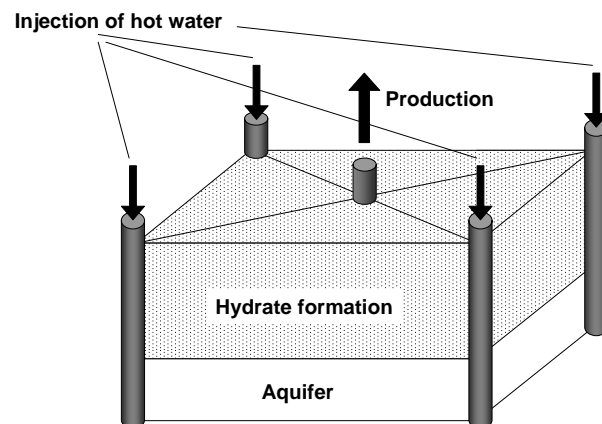
65

## 計算例: 減圧法によるMH層からのガス生産量予測



66

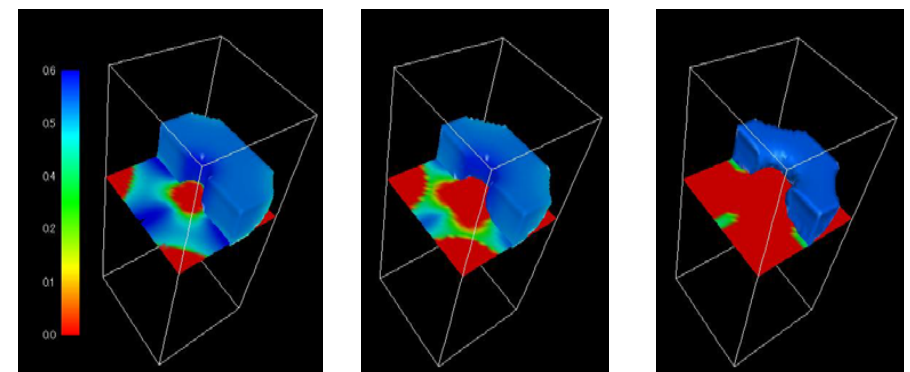
## 熱水圧入法によるガス生産性の評価



67

## 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, 2002)より掲載



(a) After 3 days

(b) At maximum gas production rate

(c) At maximum energy efficiency

68

# メタンハイドレートの分解実験@MH21

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

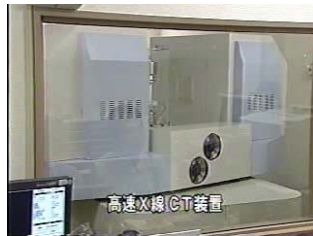


人工のメタンハイドレートコア試料を用いた分解実験

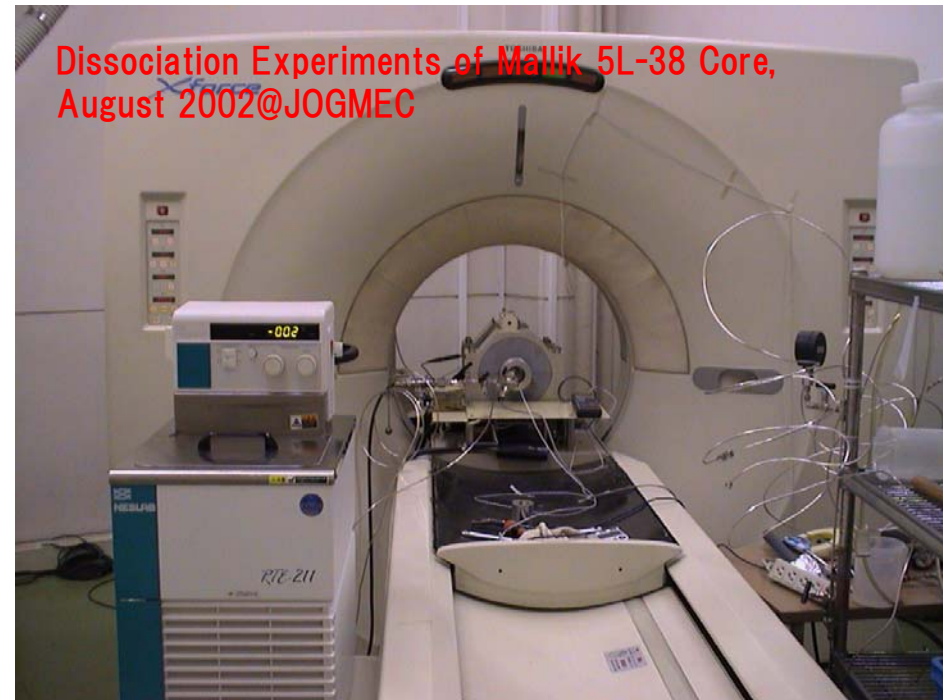


人工のメタンハイドレート コア試料

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



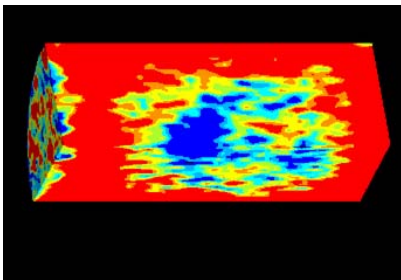
高速X線CT装置



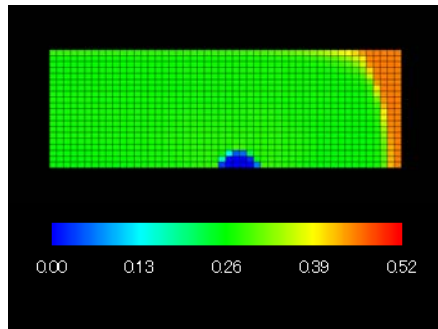
Dissociation Experiments of Mallik 5L-38 Core, August 2002@JOGMEC

# Core MH-42: Comparison with experimental CT values

6M3-3M2  
3 MPa (355 min)



CT Image

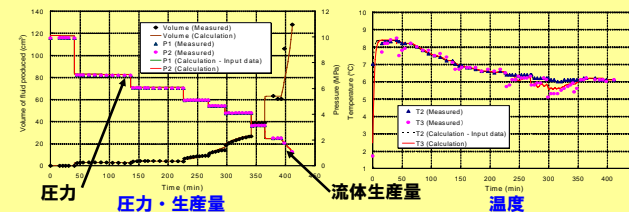


Calculated gas saturation

# コア実験の数値シミュレーション

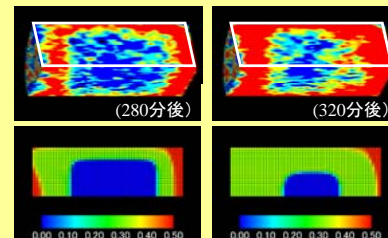
天然コアの分解実験結果とシミュレーション結果の比較検証例（減圧法）

コア実験結果と計算結果を比較することによりシミュレータの精度を検証する



シミュレータの計算値は圧力・生産量・温度共によく実験値と一致している  
→ シミュレータ精度を実証

模擬堆積物コアを用いた実験で、各種の生産方法に対する実験結果と比較している



X線CTイメージ

赤色部分がハイドレート分解領域（ハイドレートの分解により生じたガスにより、X線の減衰が観測されている領域）

ガス飽和率（計算値）

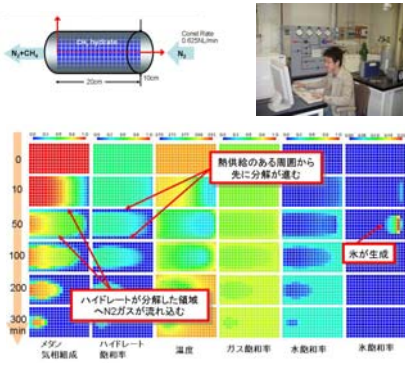
シミュレータによる計算においてもX線CTと同様の結果を得た（ハイドレートはコア外周部から分解し、中央部に多く残存している）

# MHの資源化を目指す大学での研究内容

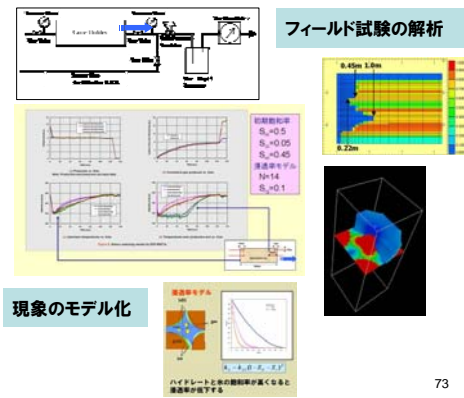
- $N_2/CO_2$  圧入によるMHからのメタン採取
  - 地層中への $CO_2$ 固定を可能にする新しいメタン生産手法の探求
  - 室内実験による検討
  - 現象のモデル化とシミュレーション

- 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と実験



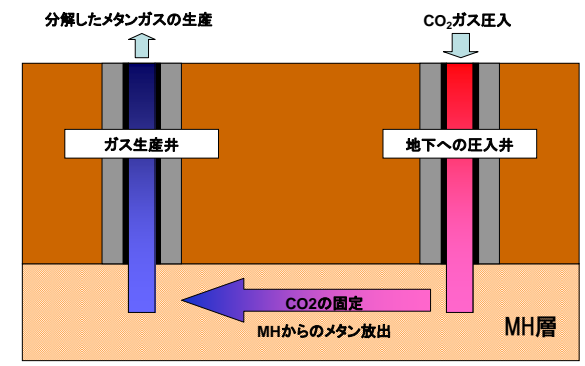
## MHコア分解実験とシミュレーションとの比較



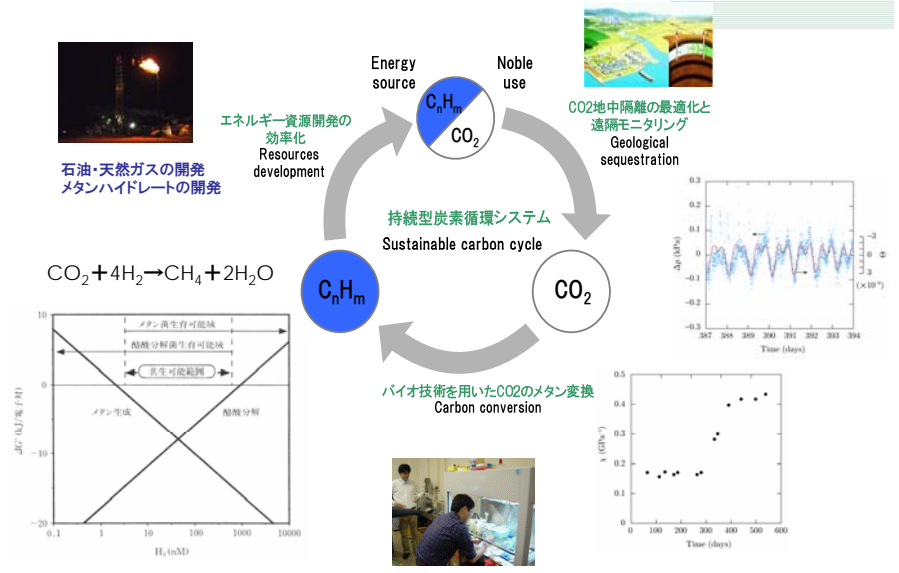
### 現象のモデル化

# メタンハイドレート層への $CO_2$ 固定とメタン採取に関する研究

- 新しいMH分解採取法:  $CO_2$  ガス圧入法
  - $CO_2$  ガスをMH層へ圧入して,  $CO_2$  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 $CO_2$  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



# 目標: 持続型炭素循環システムの構築を目指す



# まとめ

- **日本近海の海底下に存在するMHは日本の財産!**
  - 今後の石油生産ピークの到来, 世界的な天然ガス(LNG)需要の伸びを考えると, 日本のエネルギーセキュリティのためには, 早期のMH資源開発の実現が望まれる
  - 資源量評価, MHからのメタン生産手法の開発, 実際のフィールド産出試験でのガス生産性の把握が重要
  - 環境影響評価を含めて, 政策・科学・工学・民間企業との連携によりプロジェクトを推進
  - ネガティブなアプローチでなく, チャレンジング
- 詳細は, 総合科学技術会議・評価専門調査会(第51回, 第52回)の資料などを参照されたい