

メタンハイドレートフォーラム 2015

メタンハイドレート生産回収増進法の開発

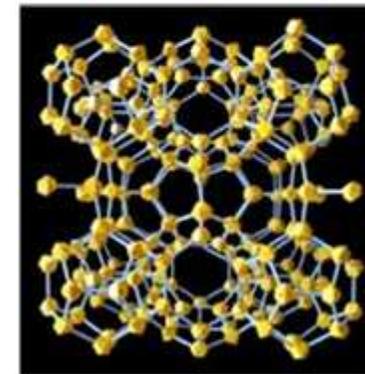
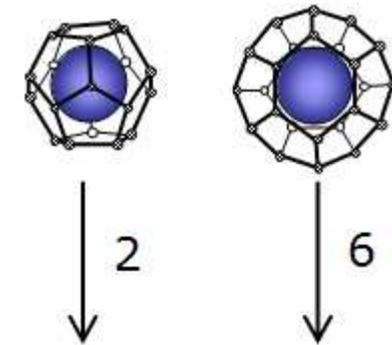
メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21)
生産手法開発グループ 長尾二郎 (産業技術総合研究所)

2015年10月1日
東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

減圧法と生産回収増進法

メタンハイドレートとは

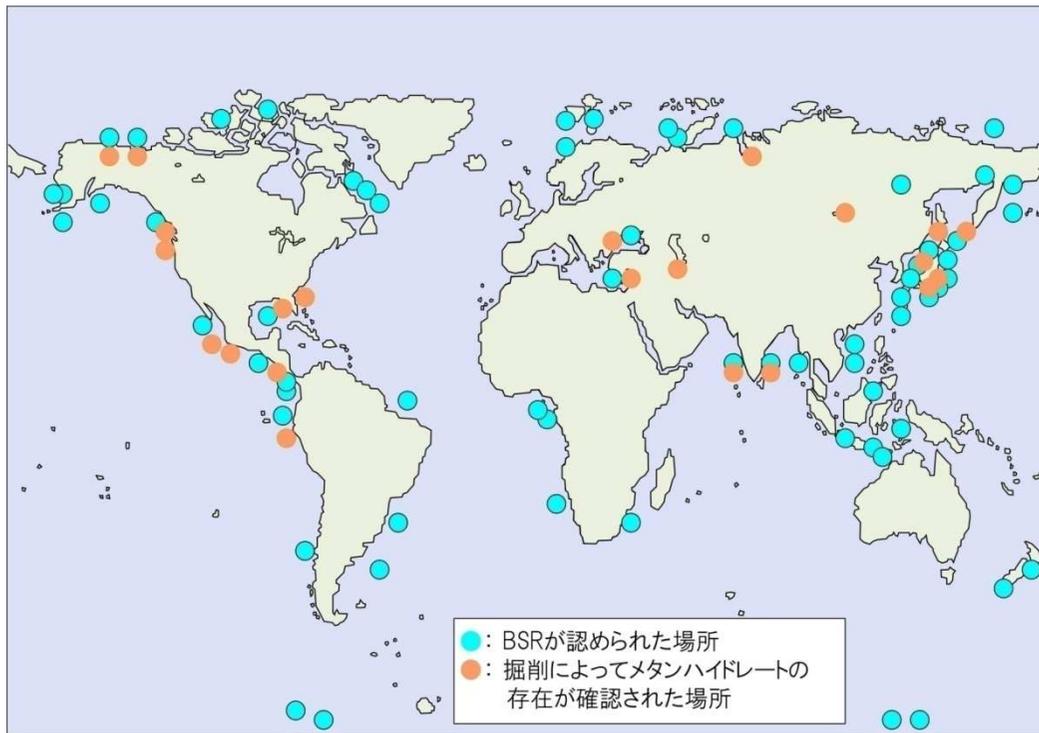
- 見た目は、氷
 - 水の分子からなる結晶
 - 水分子からできたカゴの中にメタンが入っている
- 氷とは、大きく性質が異なる
- 低温・高圧で安定
 - 0°C では26気圧以上、1気圧では -80°C 以下
 - 自然界でも発見されている。
 - 常温・常圧では、分解してメタンを放出し、火をつけると燃える。



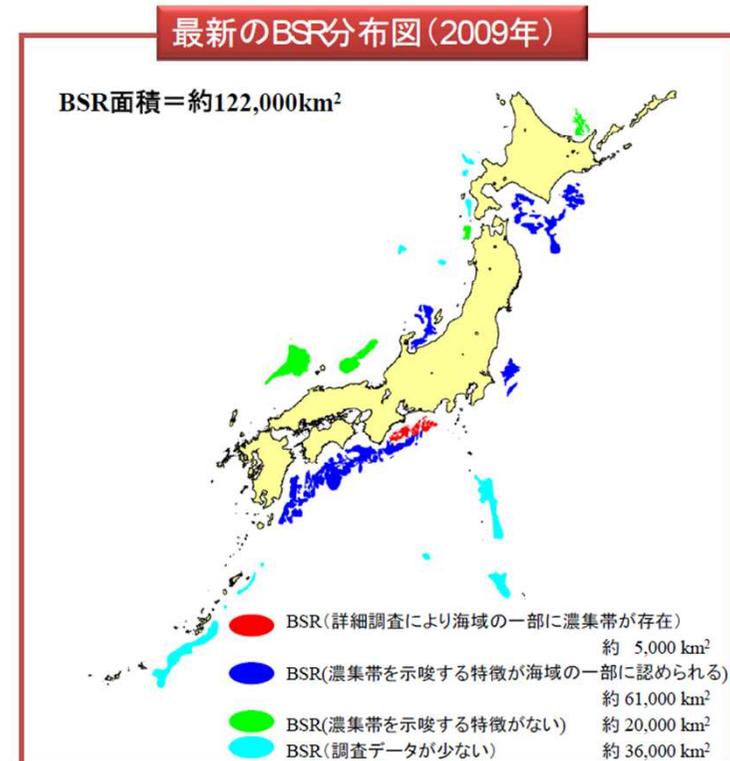
メタンハイドレート
単位構造

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km²)
- 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m³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10年分)

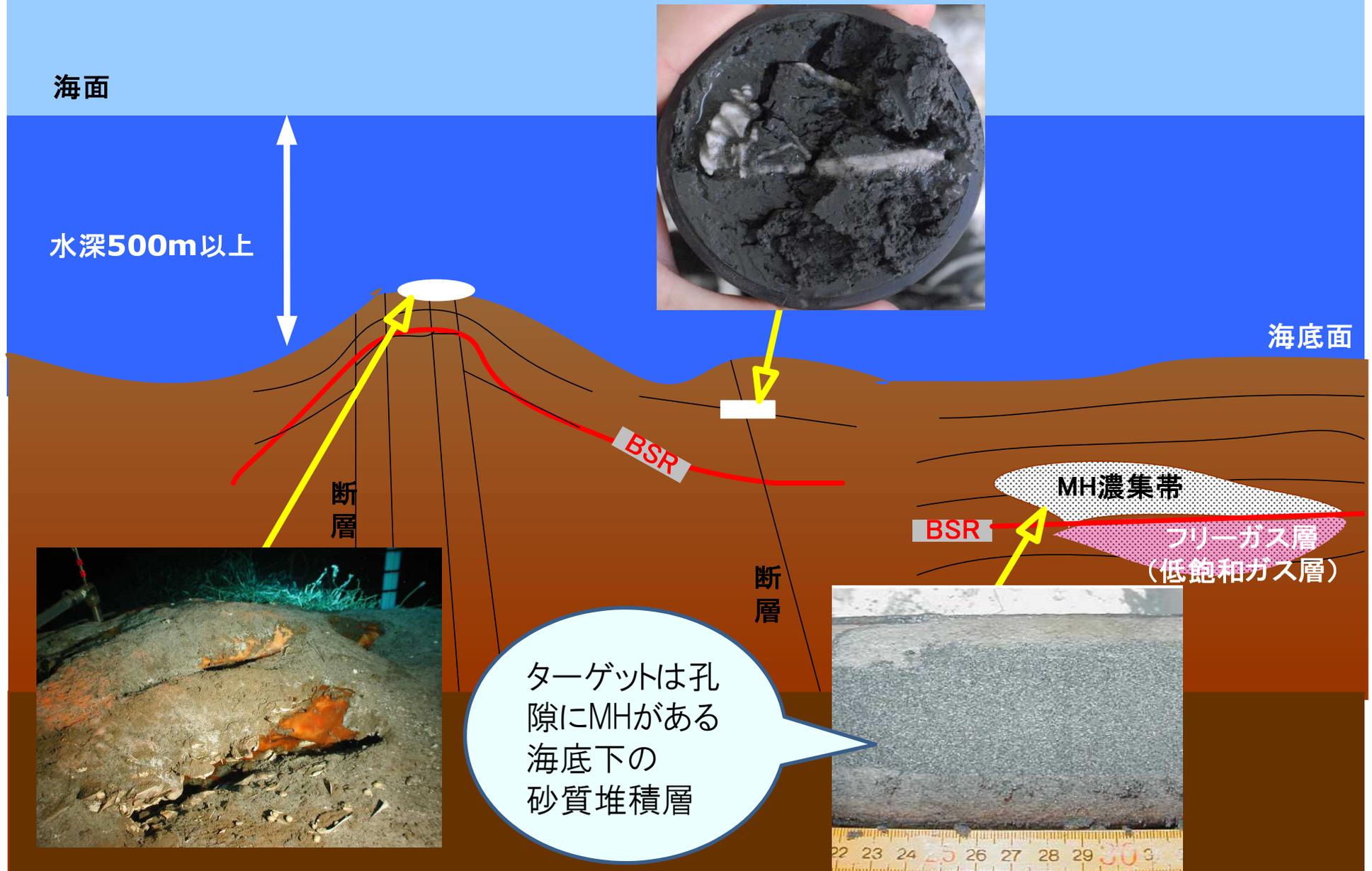


世界のメタンハイドレート分布域

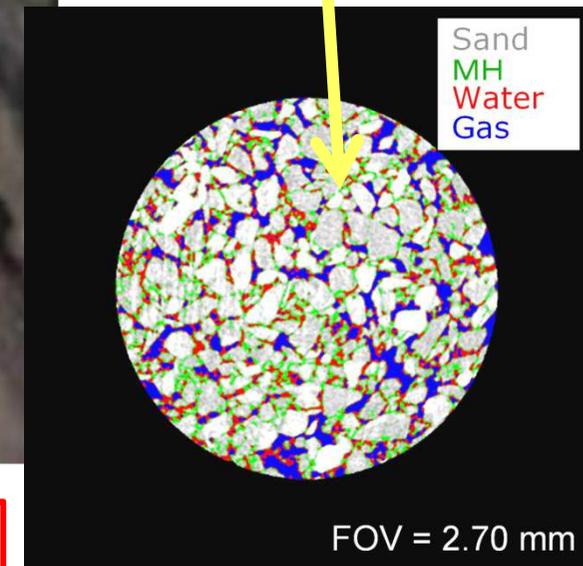
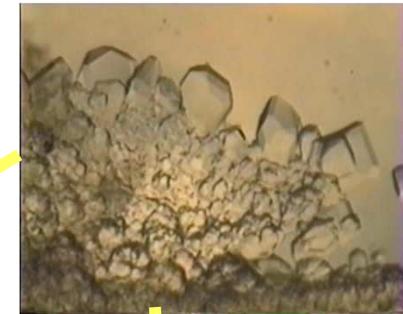


日本周辺海域のメタンハイドレート分布

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・砂質堆積層)



既存の石油・天然ガス開発技術が適用できる！⇒開発対象

メタンハイドレート資源開発の特徴

在来型
天然ガス資源



掘削すると
容易に自噴

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



他の主な特徴

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. 生産につれて、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。

固結砂岩中
高圧ガス

1000m

2-300m

MH層

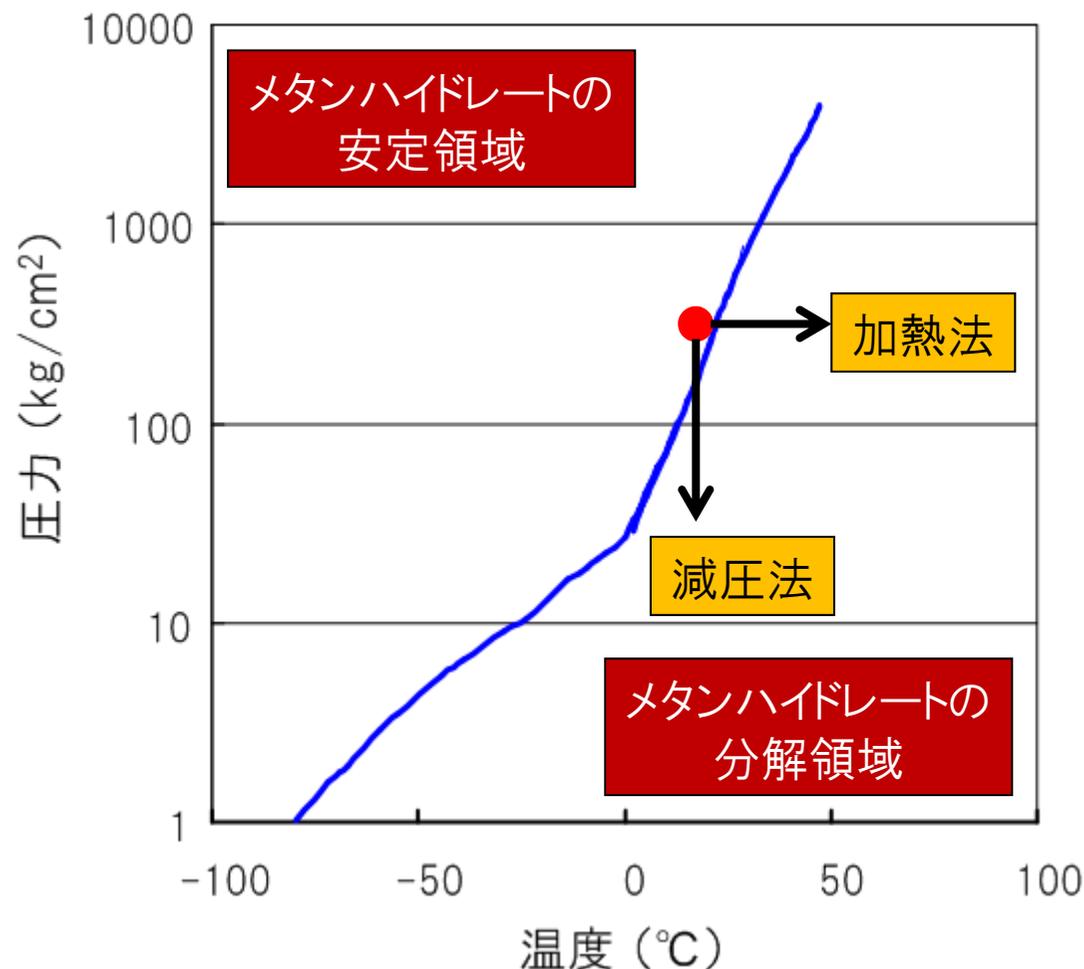
BSR

安定条件→分解条件

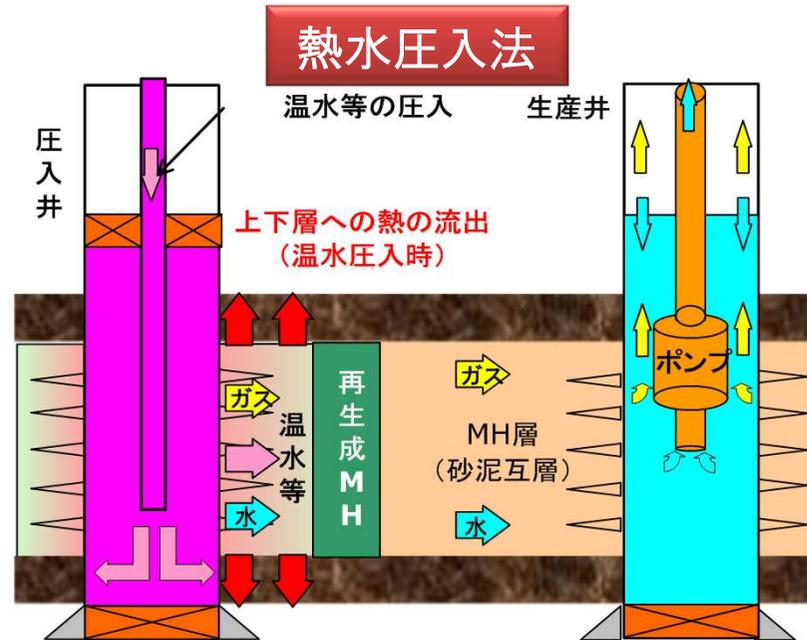
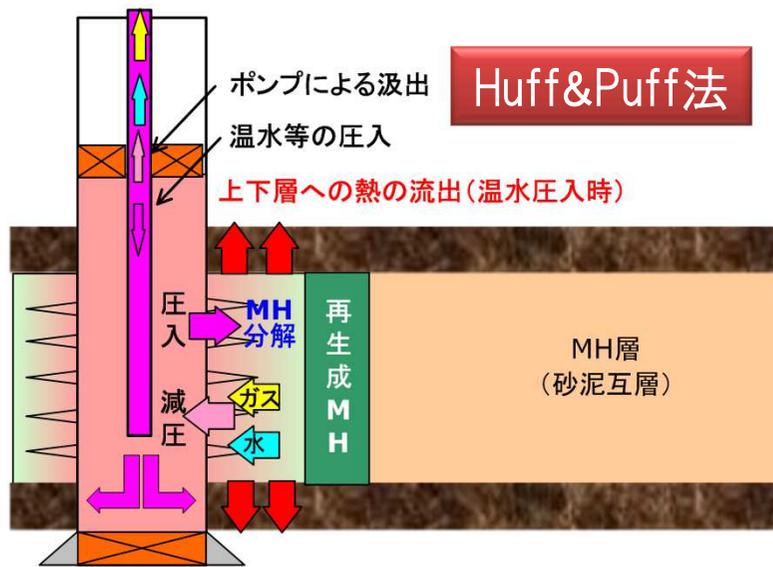
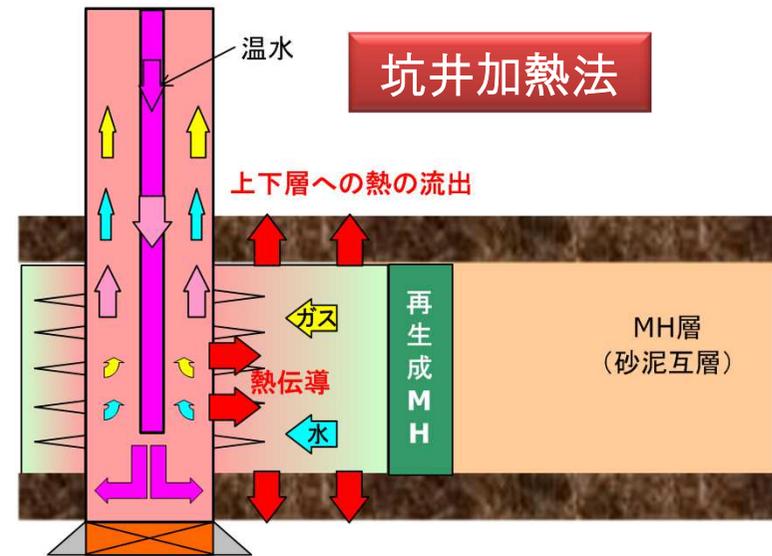
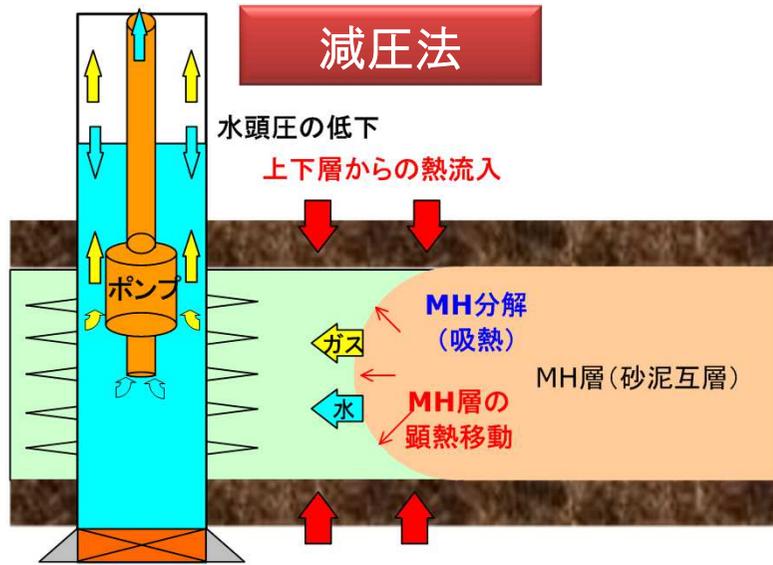
基本的な3手法

- 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 上記手法の組み合わせ

● 新たな手法

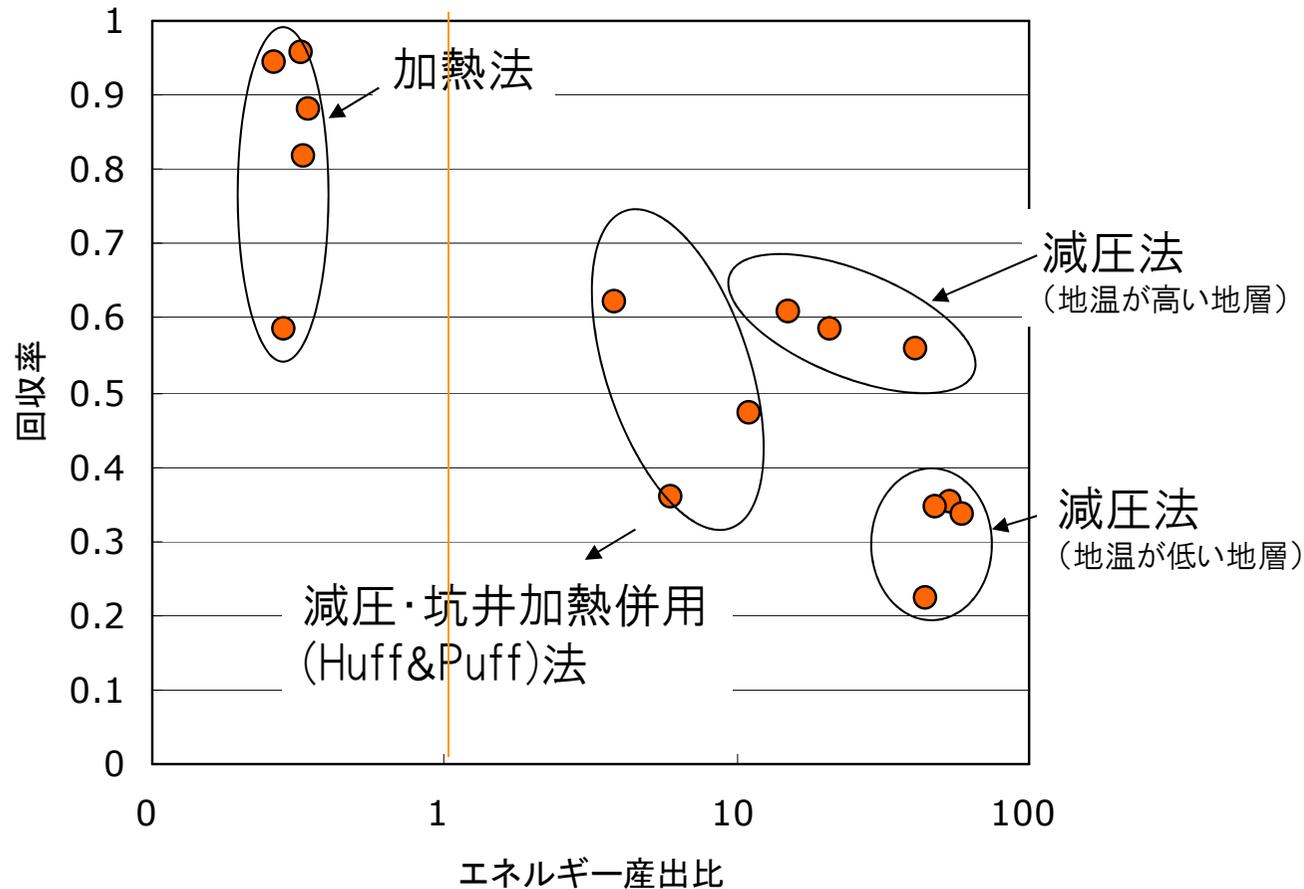


減圧法・加熱法



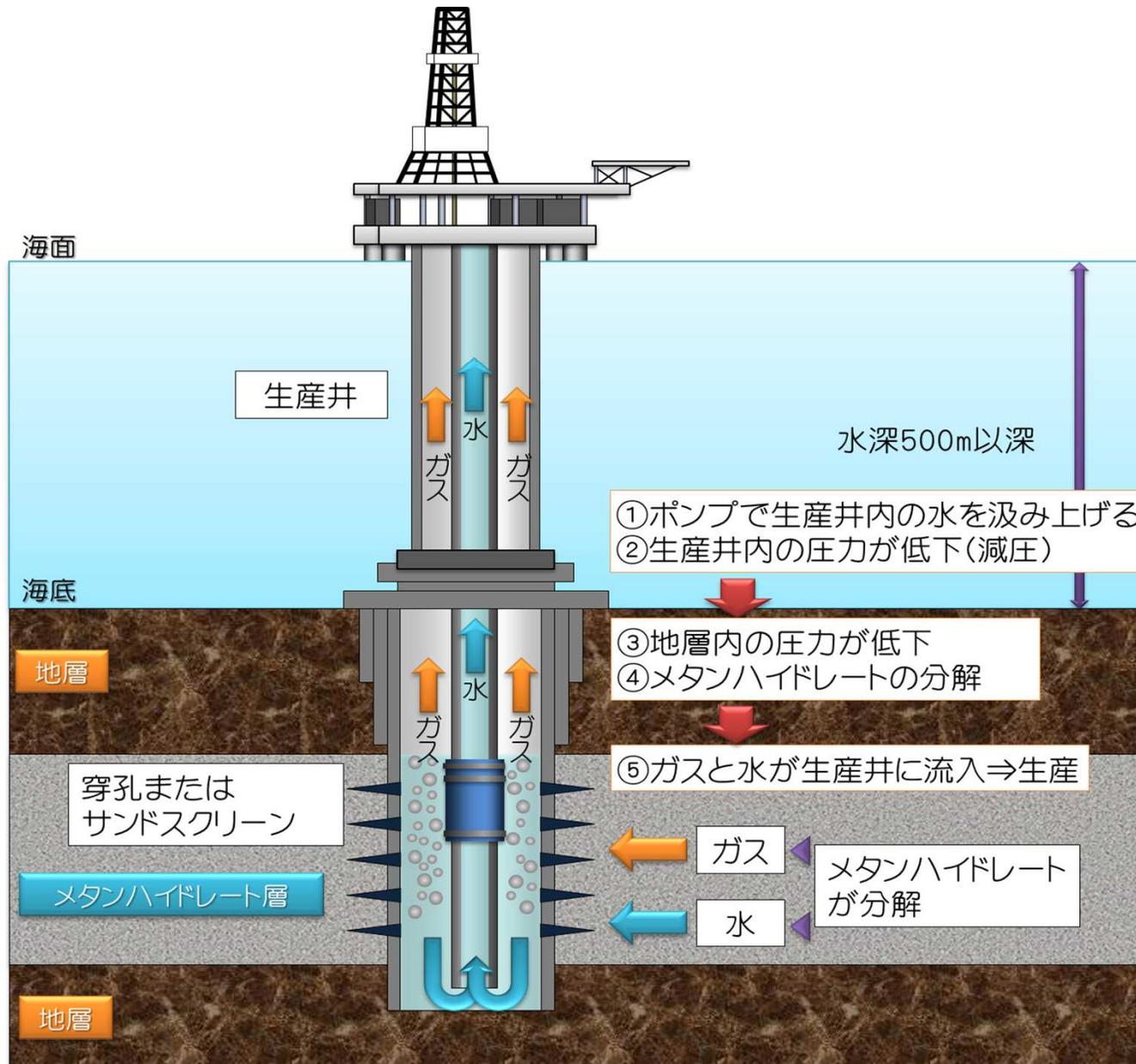
生産手法の評価

- 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

海洋産出試験での実証



➤ 平成25年に実施した海洋産出試験では、「減圧法」を用いてガス生産実験を実施。

➤ 「減圧法」ではメタンハイドレートを地層中でメタンガスと水に分解し、メタンガスを回収する。

海洋産出試験での結果概要

●「減圧」の実施

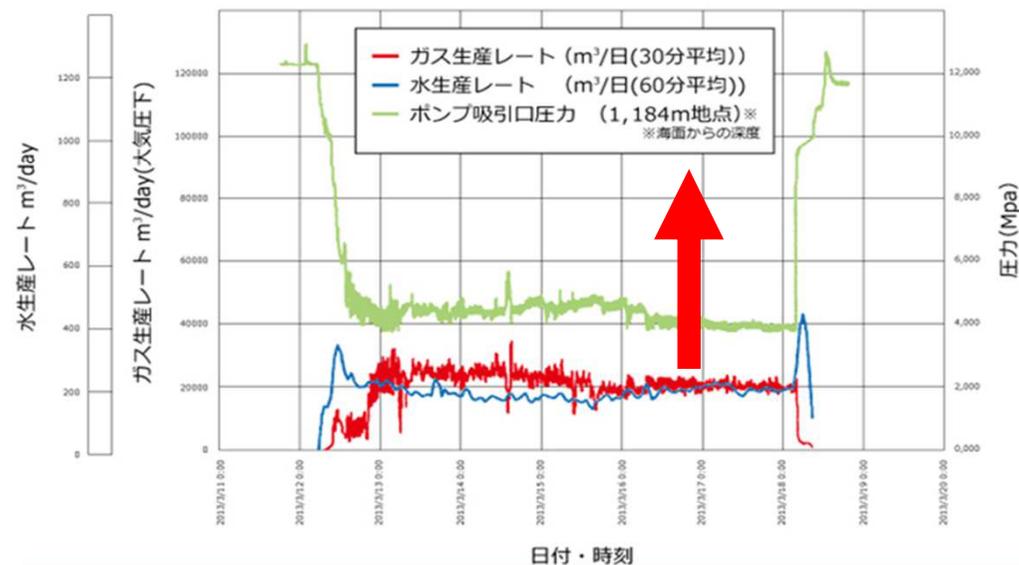
- ・3月12日早朝からガス生産実験を開始し、減圧開始前の13.5MPa(約135気圧)から4.5MPa(約45気圧)まで段階的に減圧を実施。



●ガス生産量

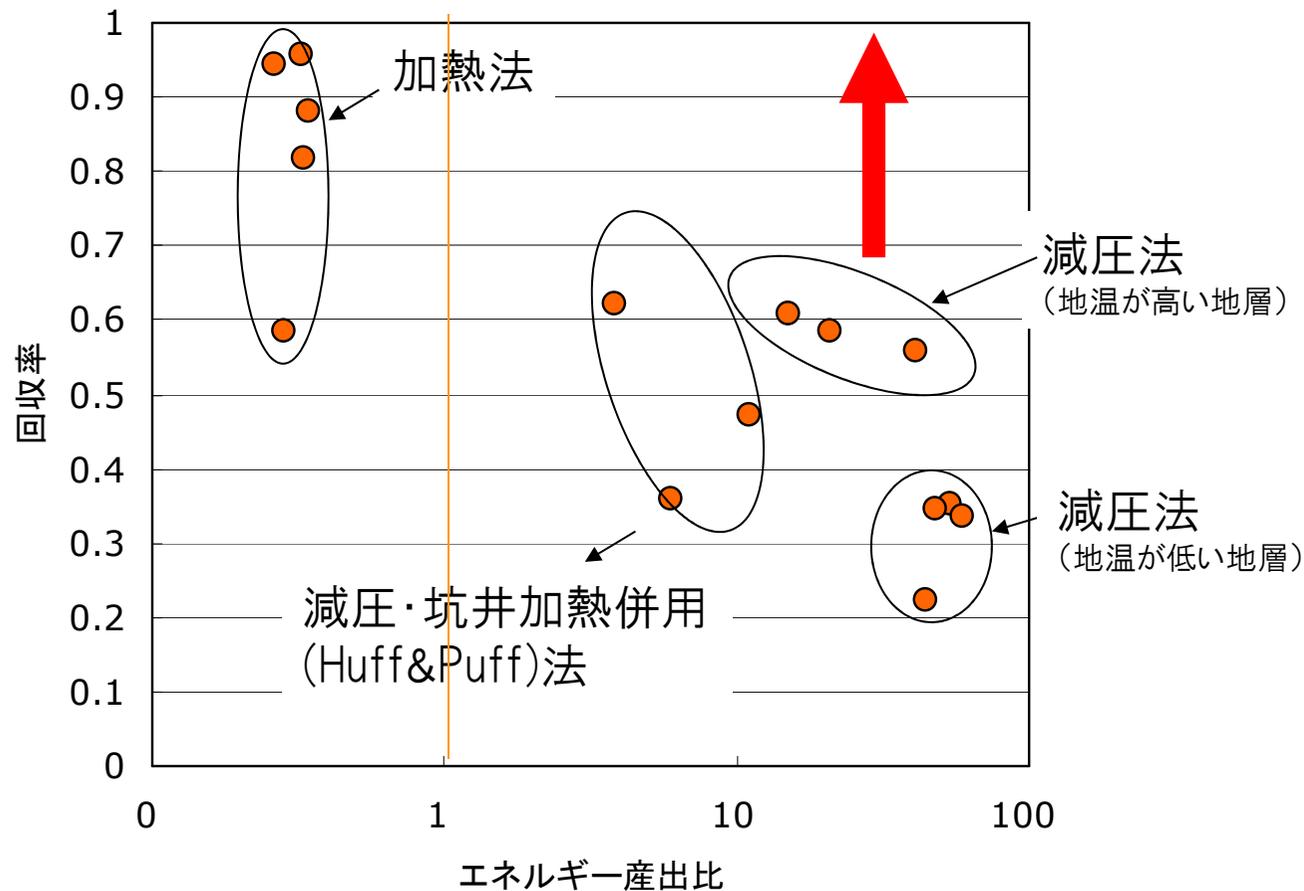
- ・生産日数:
約6日間
- ・累積ガス生産量:
約12万m³
- ・平均ガス生産量:
約2万m³

(参考)カナダで実施した減圧法による陸上実験では1日約2,400m³を生産。



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

追加するエネルギーを抑えながら、回収率、生産量の増進を図る

回収率の向上⇒**熱供給(直説法、間接法)**

- 地層顕熱のみでハイドレートを分解させた場合、回収率は40%程度
- ハイドレート分解による吸熱反応で地層温度が低下
- 地熱の流入は遅く、生産期間を延長しても生産レートが極端に低下

生産量も増進⇒**浸透性向上(直接法、間接法)**

- 堆積物の水・ガスの流れやすさが悪いと、減圧が伝わらない
- 分解した水・ガスが井戸に流れない(生産障害)

開発地域全体で最適化⇒**サイクリック法**

- 開発全地域、全期間で最大生産

生産回収増進法①: 熱供給を狙ったもの

➤ 直接法⇒直接的な熱供給

① 加熱併用 (Huff&Puff) 法

減圧後、地熱回復のため「少量の」
温水圧入または坑井加熱を行う

② 強減圧法

地層内に「氷」ができるまで強減圧し
氷の潜熱を利用

③ 通電加熱法

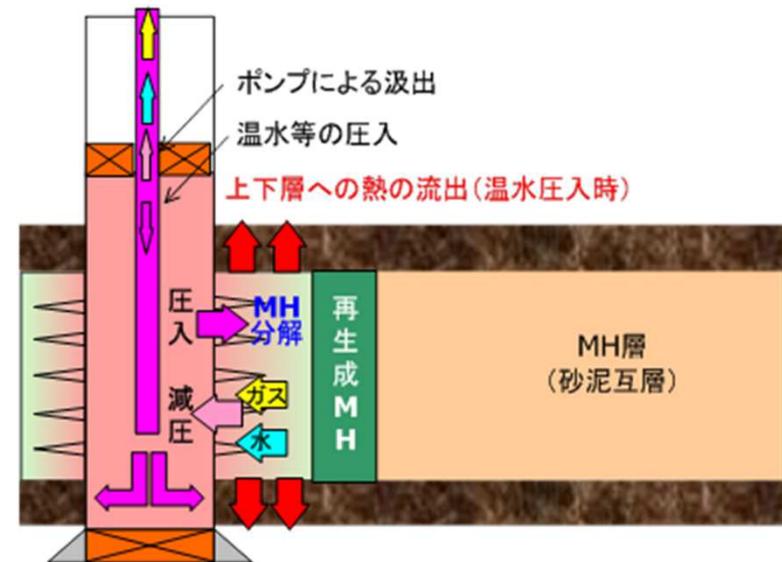
坑井間に電流を印加し地層を加熱

④ 異種ガス (CO₂) 圧入法

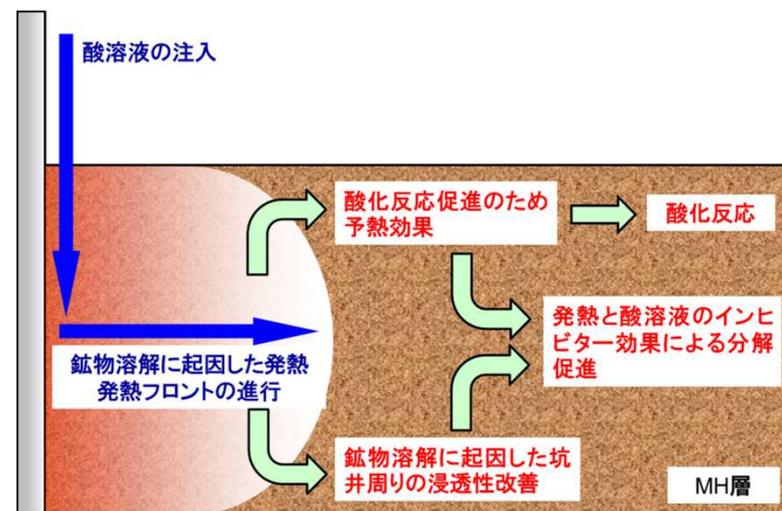
減圧後の地層にCO₂を圧入しCO₂
ハイドレート生成熱で地温を回復

⑤ ケミカルインジェクション法

酸化剤を地層に圧入し鉱物溶解や中
和熱による発熱で地温を回復



減圧・加熱併用法



ケミカルインジェクション法

➤ 間接法⇒坑井配置等による生産性向上策

① 傾斜井

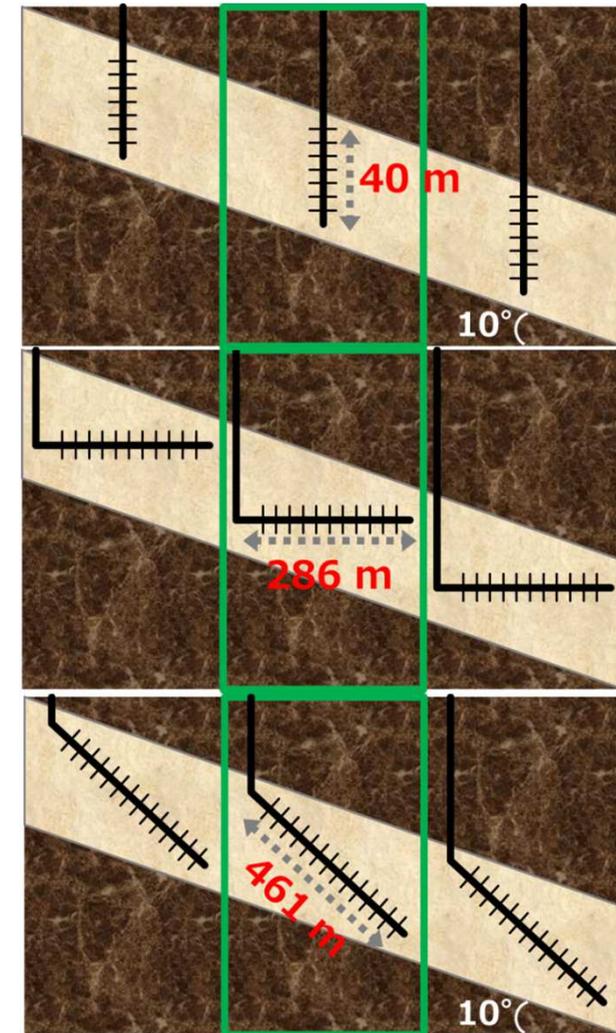
地層に対して傾斜または水平な井戸を掘削し、ハイドレート層との接地面積を増やす

② 深部温水吸引法

ハイドレート層以深の温かい地層から水をくみ上げ地層温度を回復



深部温水吸引法



水平井、傾斜井

➤ 直接法⇒直接的な浸透性改善

① 超音波照射法

坑井近傍の低浸透層を超音波で破碎し、浸透性を改善

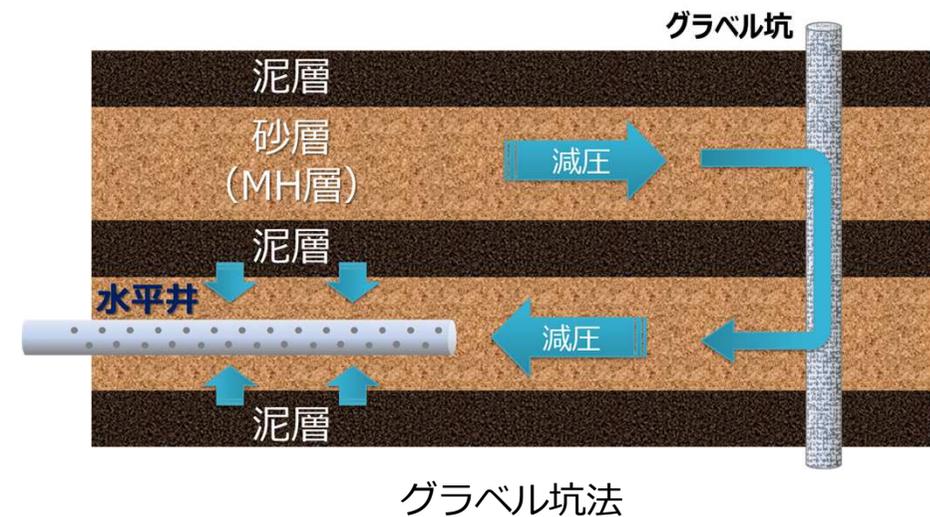
② フラクチャリング法

地層を水圧で破碎し浸透性を向上

➤ 間接法⇒坑井配置等による生産性向上策

① グラベル坑法

低浸透層に圧力伝搬の道
(グラベル坑)を追加

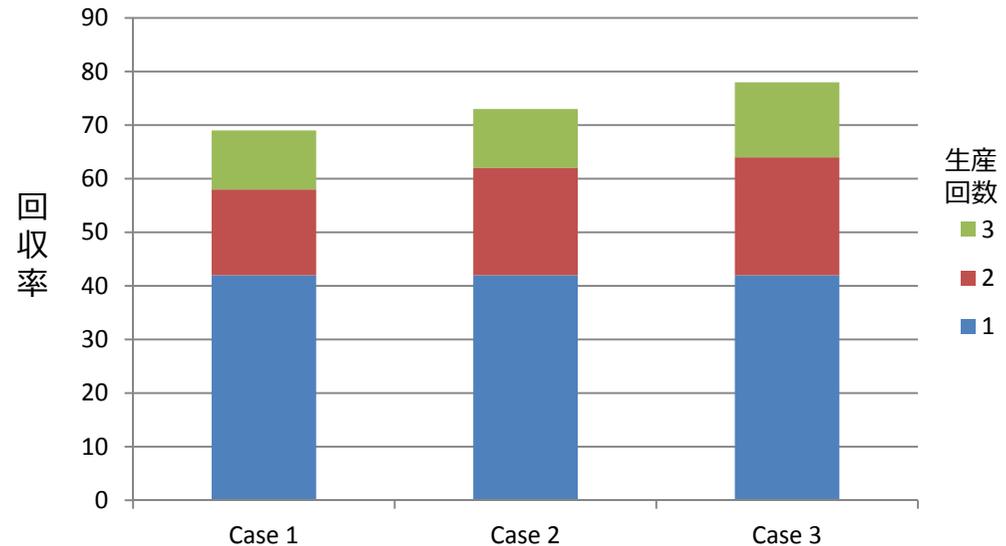
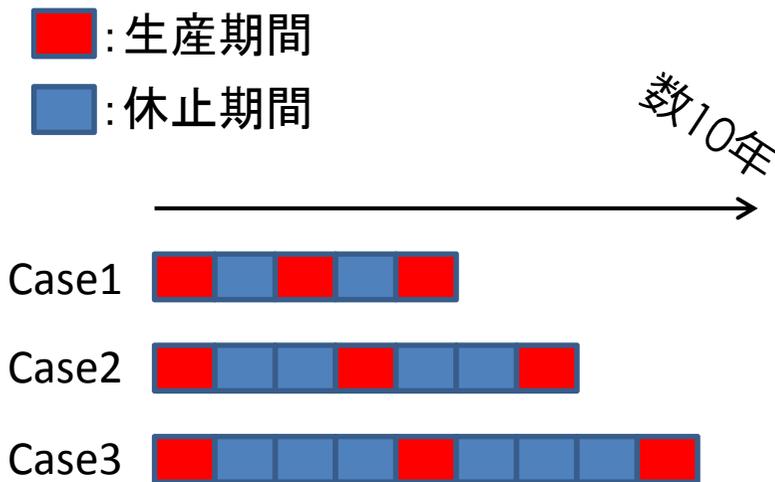


➤サイクリック法：生産休止期間を設ける→繰り返し生産法

- ・生産休止期間を設けることで地温を回復→回収率向上
- ・生産中は地層顕熱によってハイドレートを分解→高生産レートを維持

数10年サイクルで繰り返し生産することで、回収率を向上

● サイクリックパターンの例



生産回収増進法の実例

強減圧法 (DDM: Deep Depressurization Method)

□ 坑底圧を四重点(272.9 K, 2.563 MPa)以下に減圧し、氷を生成させる手法

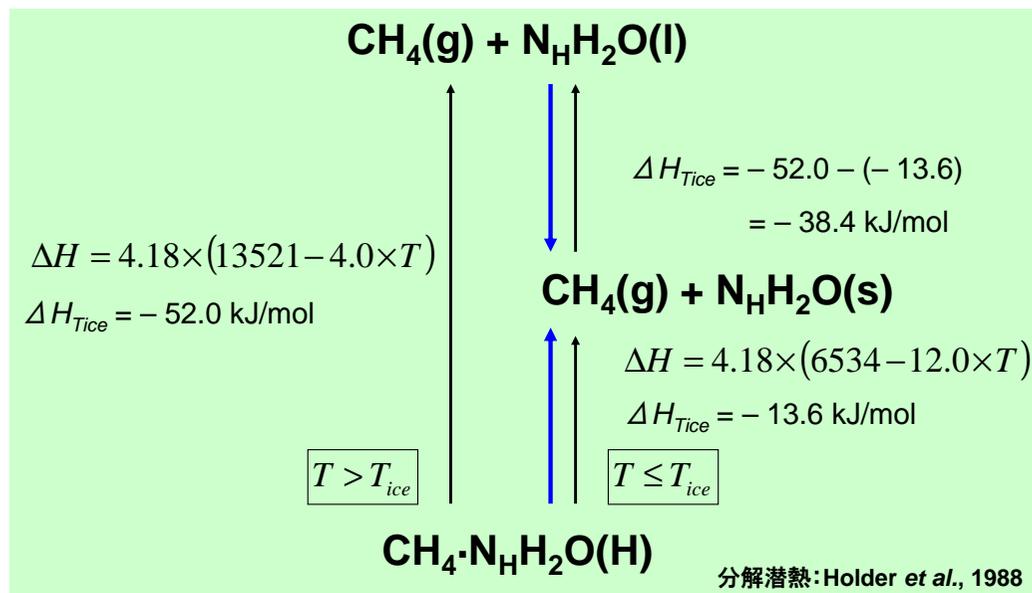
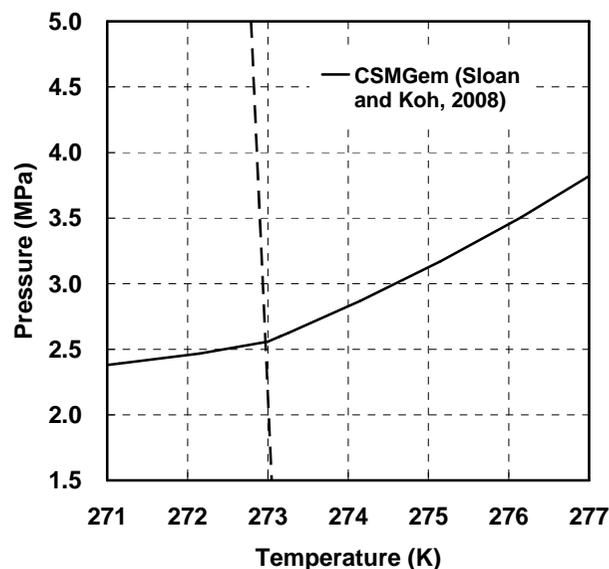
→ メリット: 熱力学的にはMH分解に有利(約1/3の分解潜熱)

(産出水の低減、地層の力学強度向上の可能性)

エネルギー投入のない*熱供給手法(*ポンプ動力のみ)

→ デメリット: 流動を阻害する恐れ

(有効応力増加による坑井負荷増、地層圧密増の可能性)



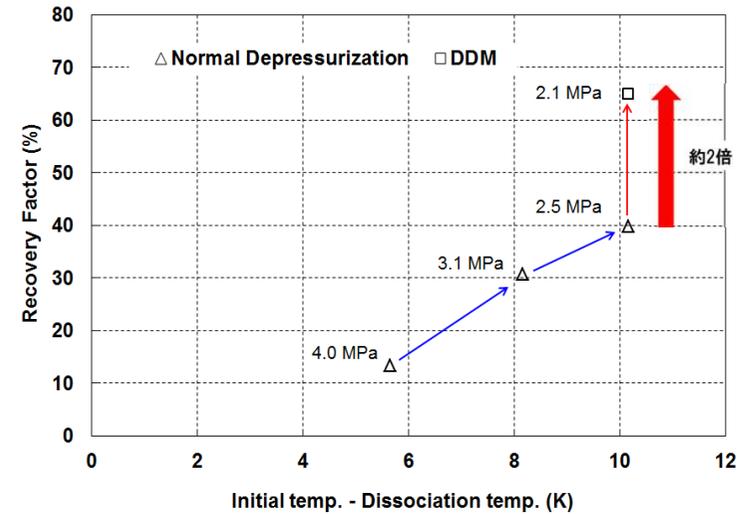
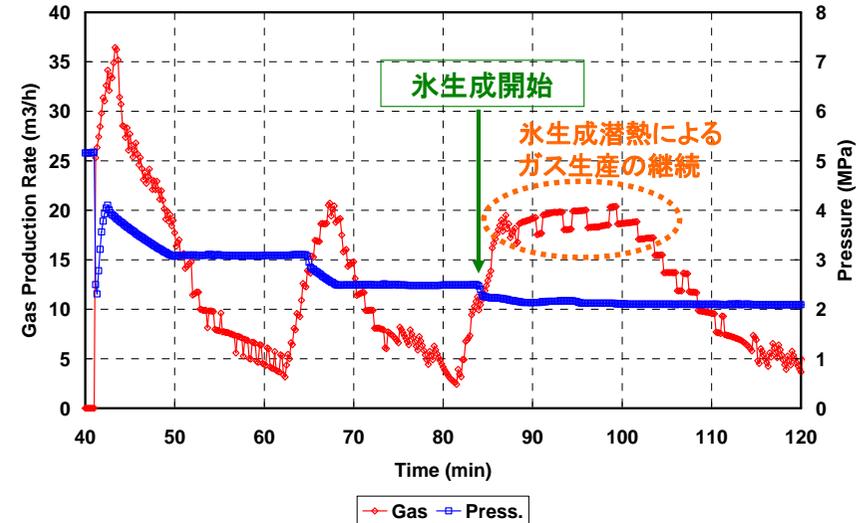
今野他、平成25年度石油技術協会春季講演会、「強減圧法によるメタンハイドレート増進回収」

大型室内試験装置による検証



HiGUMA

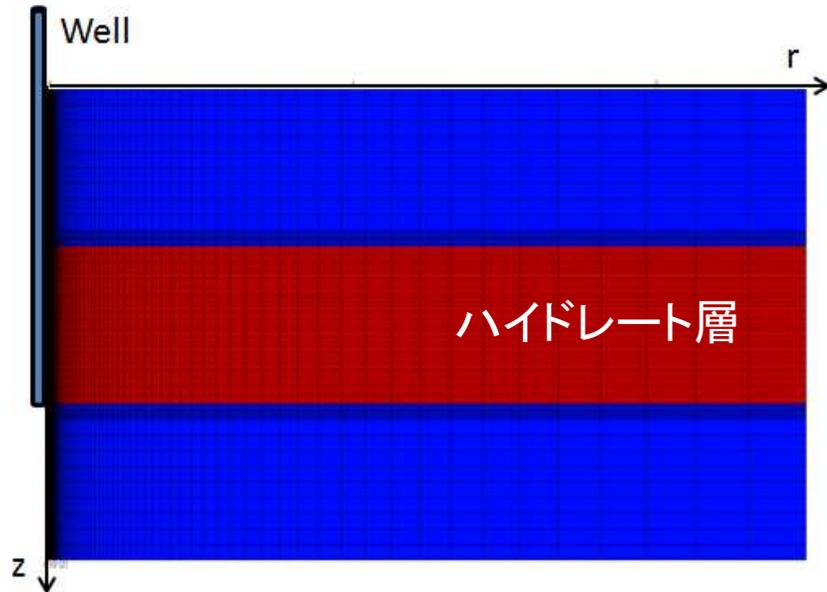
(H: 3.2m, ID: 1.0m, V: 1700L)



通常減圧(3 MPa)に比べ、回収率が約2倍に増加 (Konno et al, RSC Adv., 2014, 4, 51666)

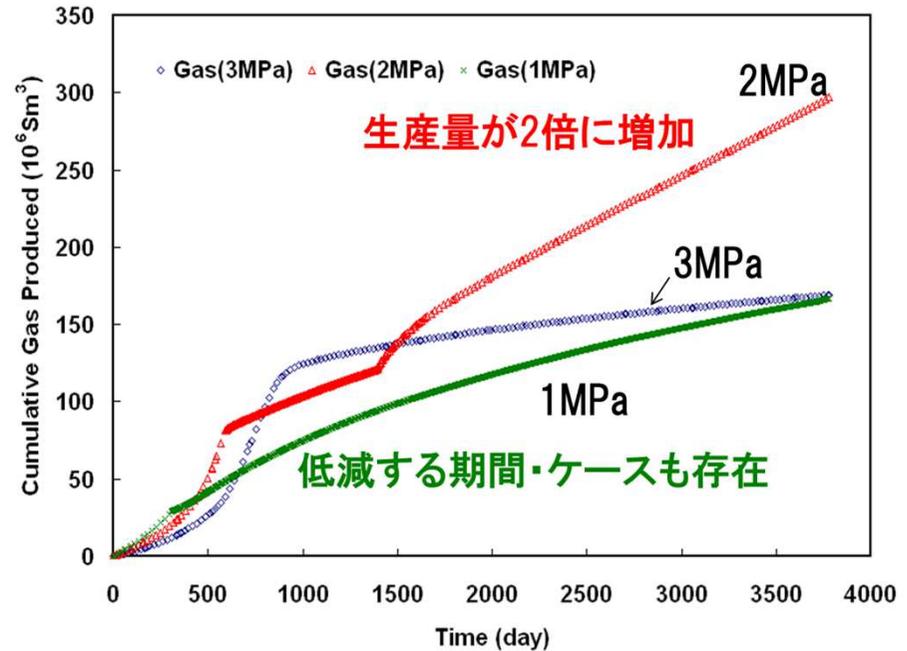
フィールドへの適用性検討

□ 生産シミュレータ(MH21-HYDRES)を用いた効果の検討



- 2次元円筒座標系
- 排ガス半径: 250 m

簡易貯留層モデルの概念図



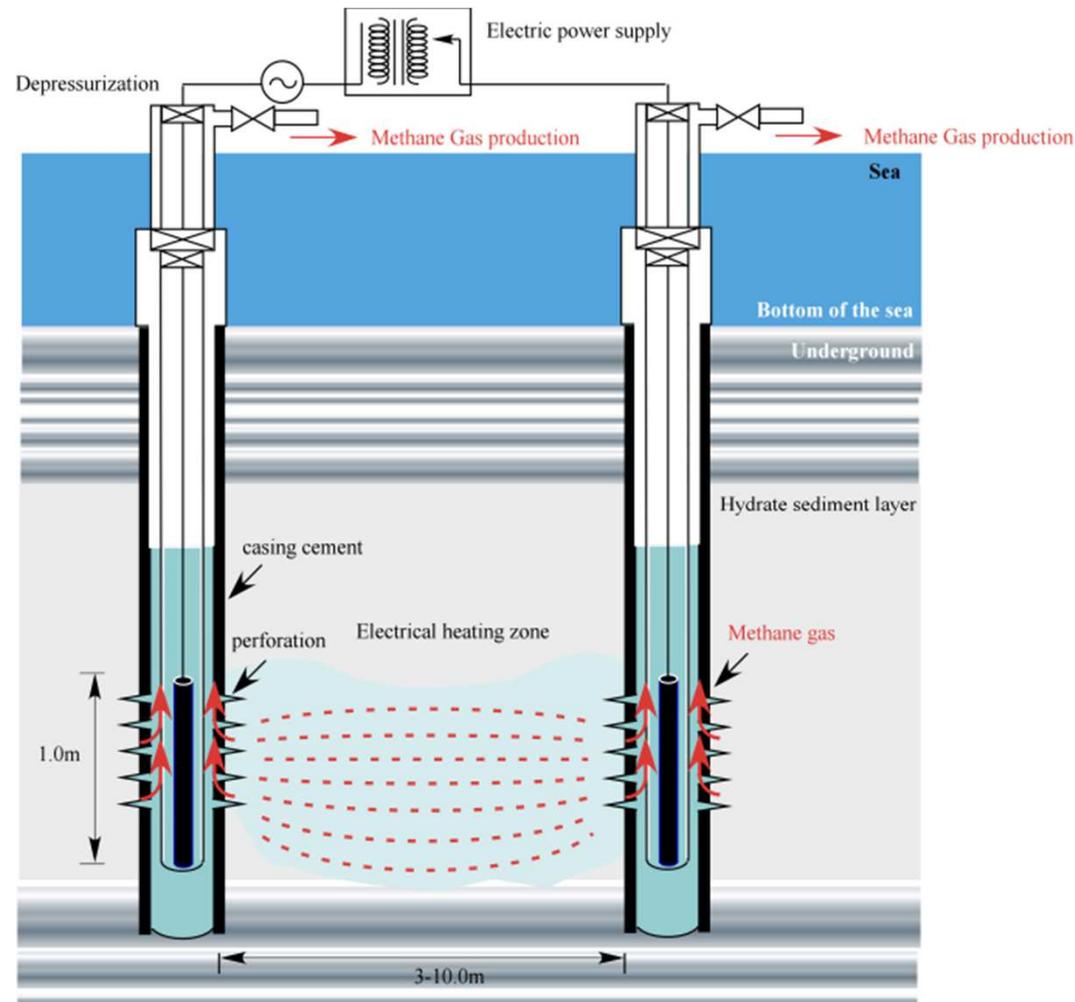
今野他、平成25年度石油技術協会春季講演会、「強減圧法によるメタンハイドレート増進回収」

□ 通常減圧に比べ、強減圧では約2倍のガス生産を確認

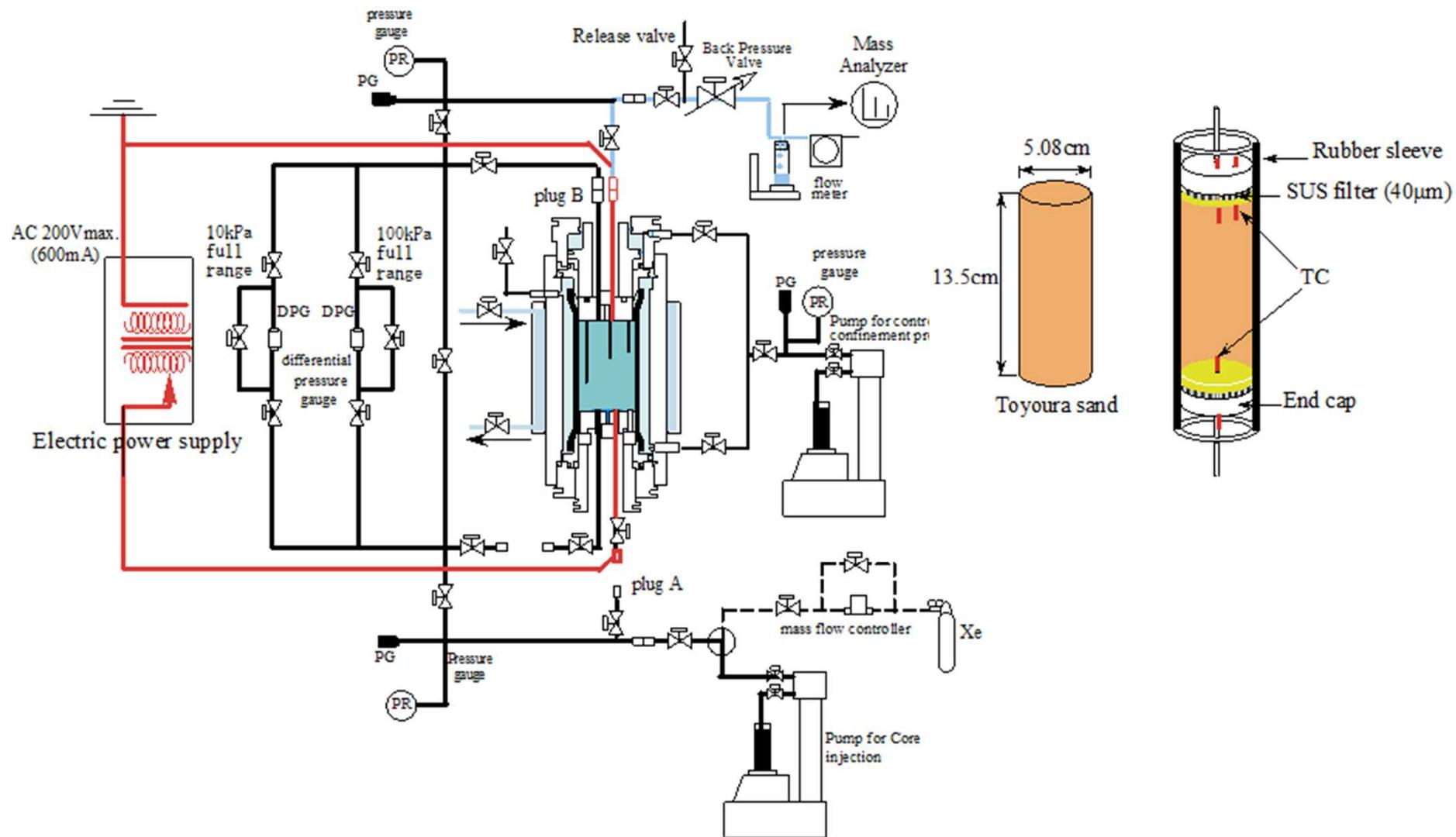
☑ 氷の生成による閉塞のため生産性が低下する場合もある

通電加熱法

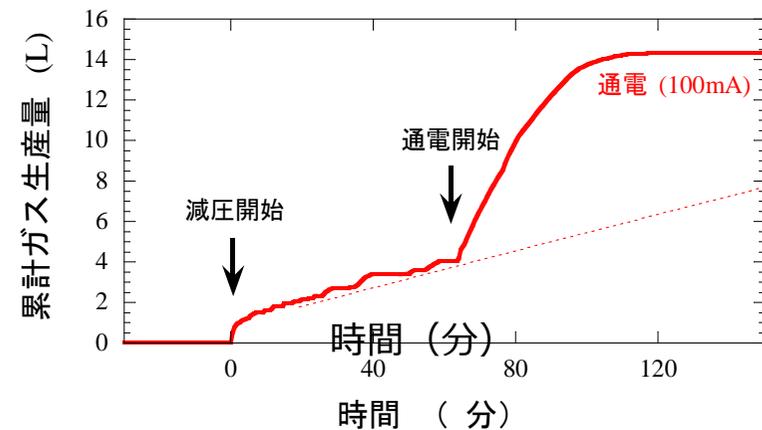
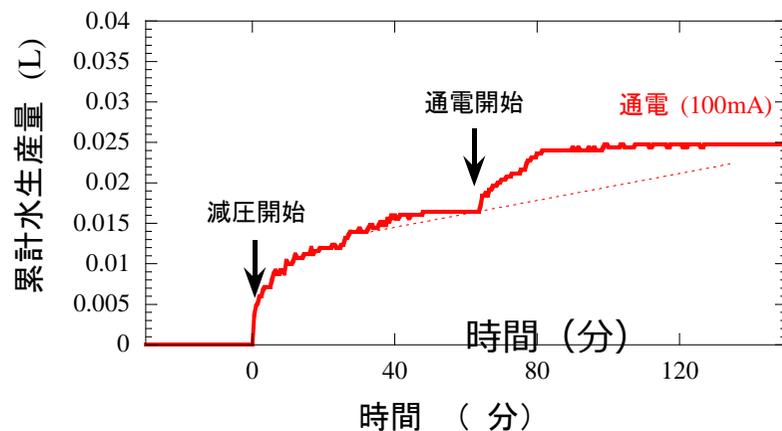
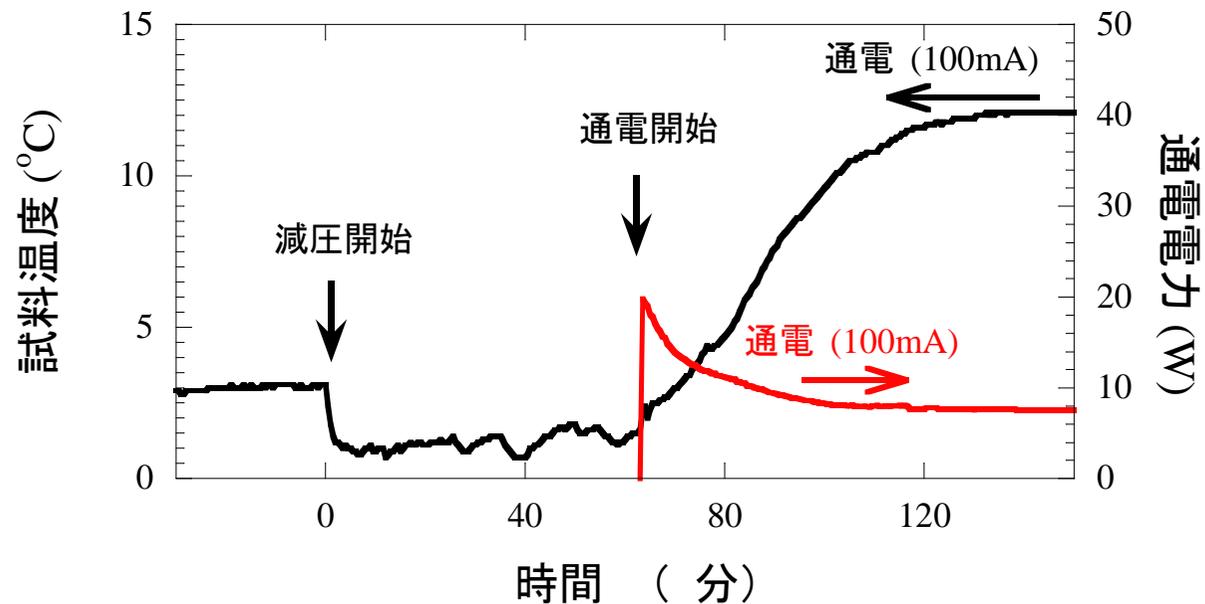
- 坑井間に電流を通電することにより、ハイドレート貯留層を加熱する手法



人工模擬ハイドレート試料への通電実験



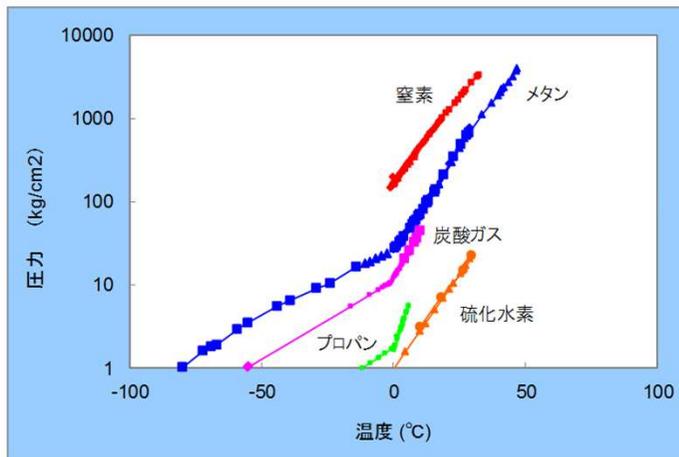
通電効果の確認



- 減圧後、電流通電による試料温度上昇と生産増進を確認
- フィールド適用時の通電機器容量、漏電対策などについて検討が必要

CO₂圧入法

- 減圧法適用後の地層内にCO₂を圧入し、CO₂ハイドレート生成時の発熱によりハイドレート貯留層を加熱する手法
(電力中央研究所 池川洋二郎氏との委託研究)

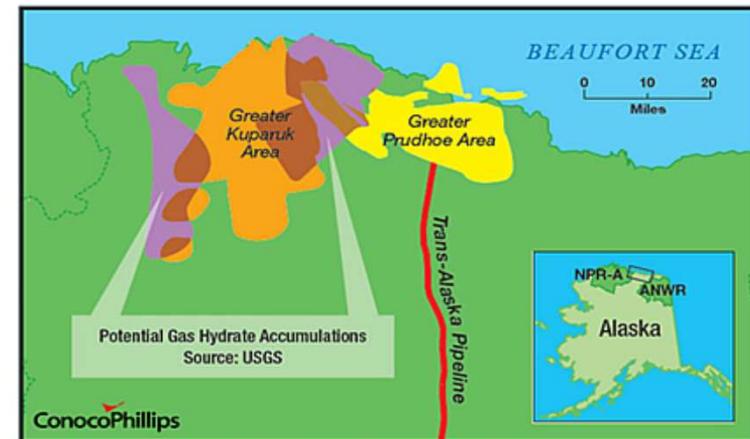


豊浦砂の孔隙40%にCO₂ハイドレートを生成すると、豊浦砂層を9℃温度上昇に相当する熱量が得られる。

	kJ/mol	CO ₂ (%) †	
CO ₂ hydrate	18.1	0	生成
CH ₄ hydrate	16.9	0	生成
H ₂	239	0	燃烧
C	542	100	燃烧
CH ₄	2434	47	燃烧

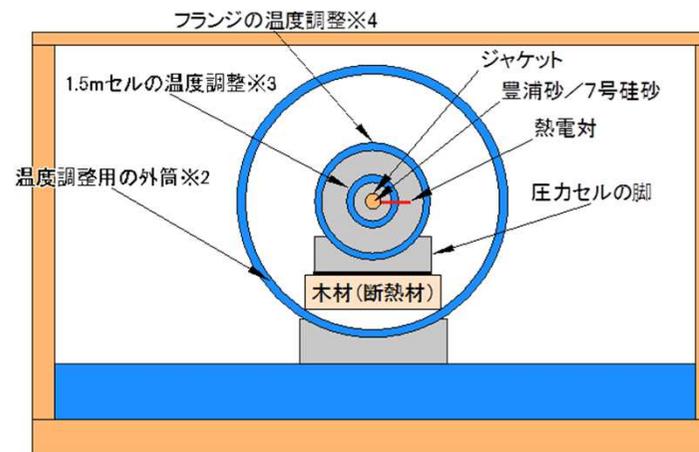
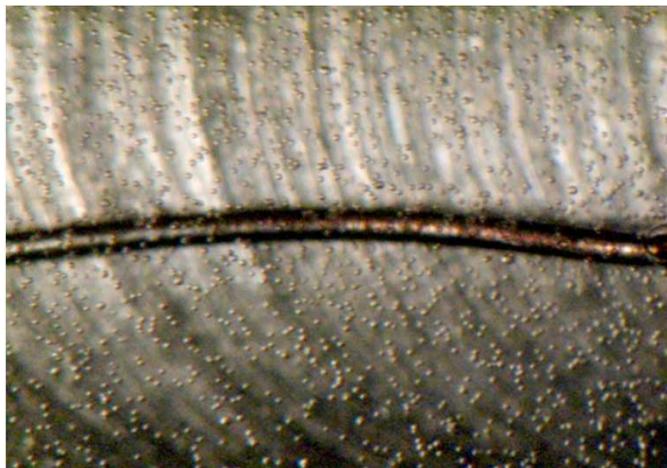
†: 等価な熱量当りのCO₂発生量

ConocoPhillips Filed Trial

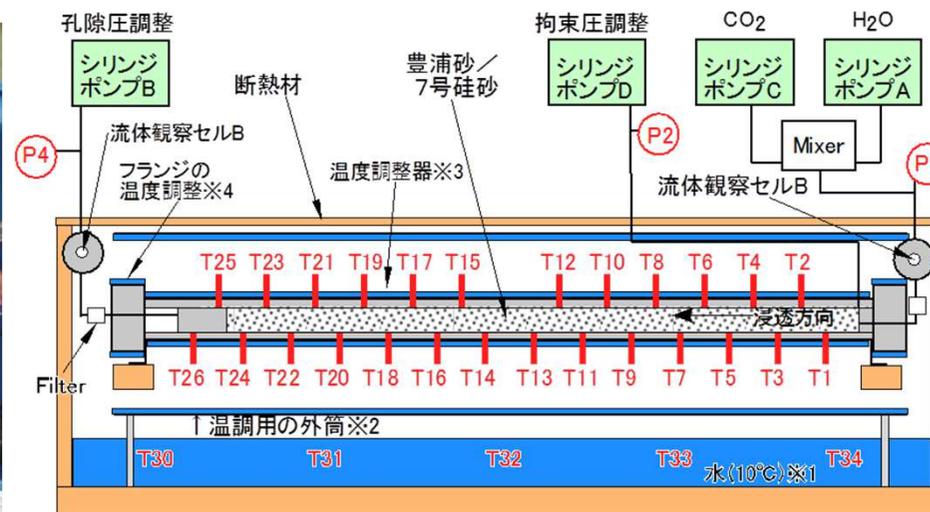
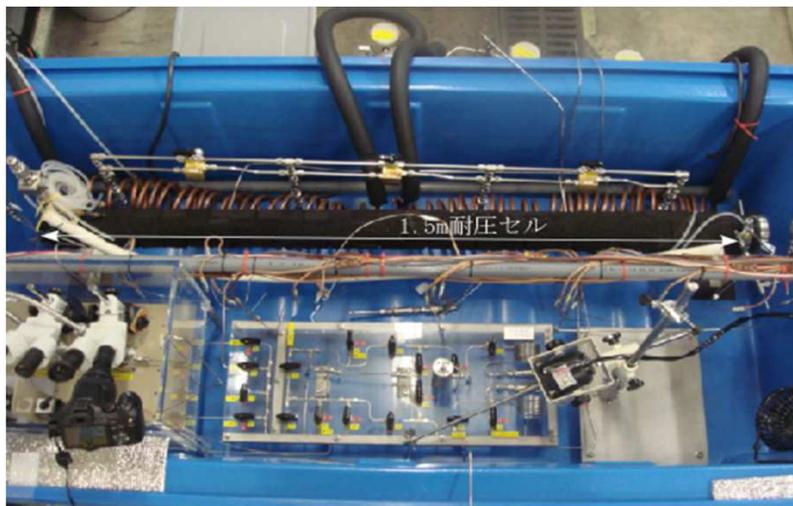


National Energy Technology Laboratory (NETL) からWEB引用

人工模擬試料へのCO₂エマルジョン圧入実験

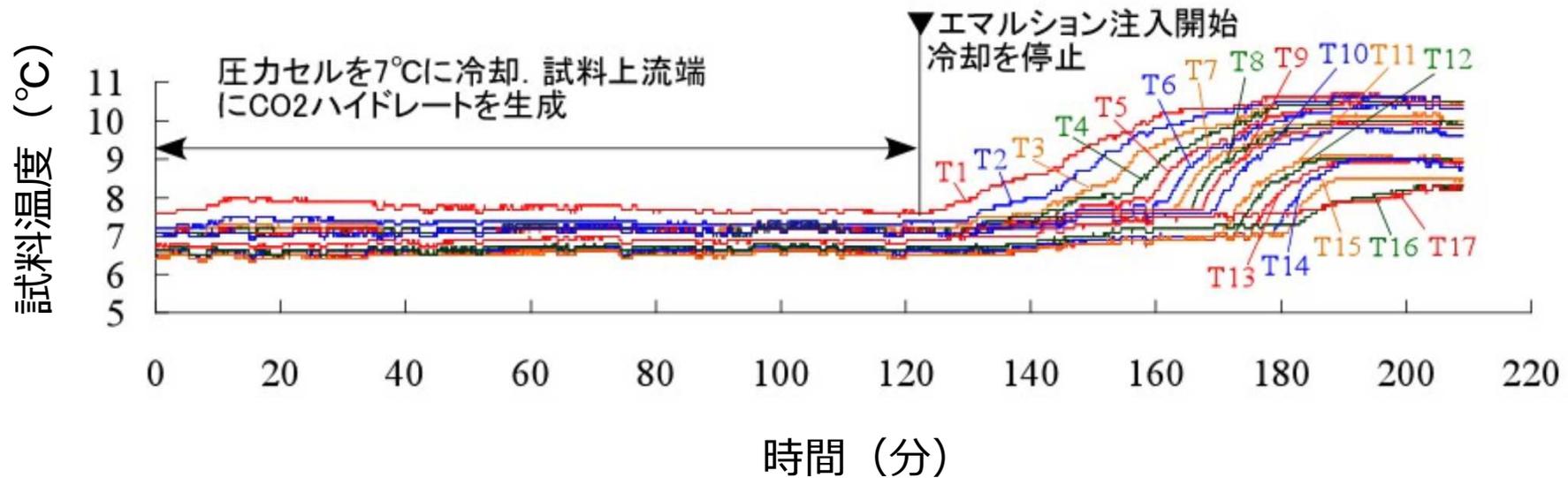


(a)1.5mの圧カセルの浸透方向の鉛直断面図



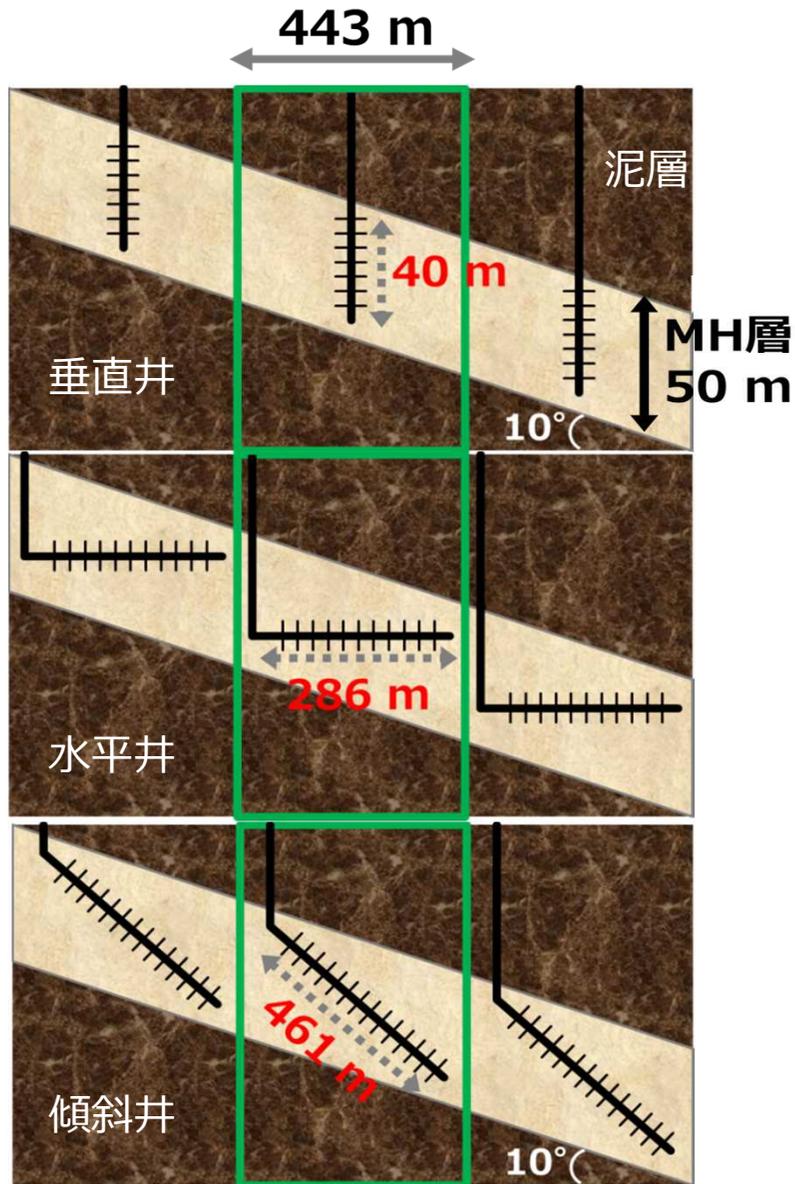
(b)圧カセルとポンプのフローと温度・圧力センターの位置

CO₂ハイドレート生成による発熱効果の確認



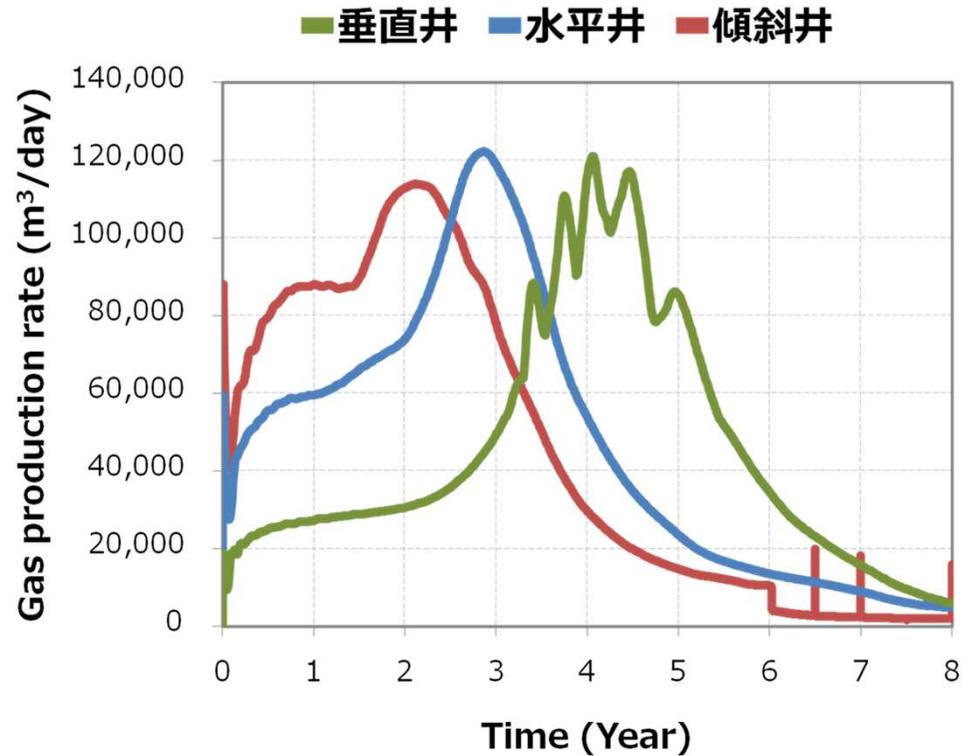
- CO₂エマルジョンにより、閉塞なしでCO₂が圧入
- CO₂ハイドレート生成による温度回復を確認
- 孔隙(40%)の20%~30%にCO₂ハイドレートが生成・発熱
- ☑ 実際の地層(細粒分含有)での閉塞条件等について再確認が必要

傾斜井



地層に対して傾斜または水平な井戸を掘削し、ハイドレート層との接地面積を垂直井に比べ増やす方法

(日本オイルエンジニアリング (株) との委託研究)

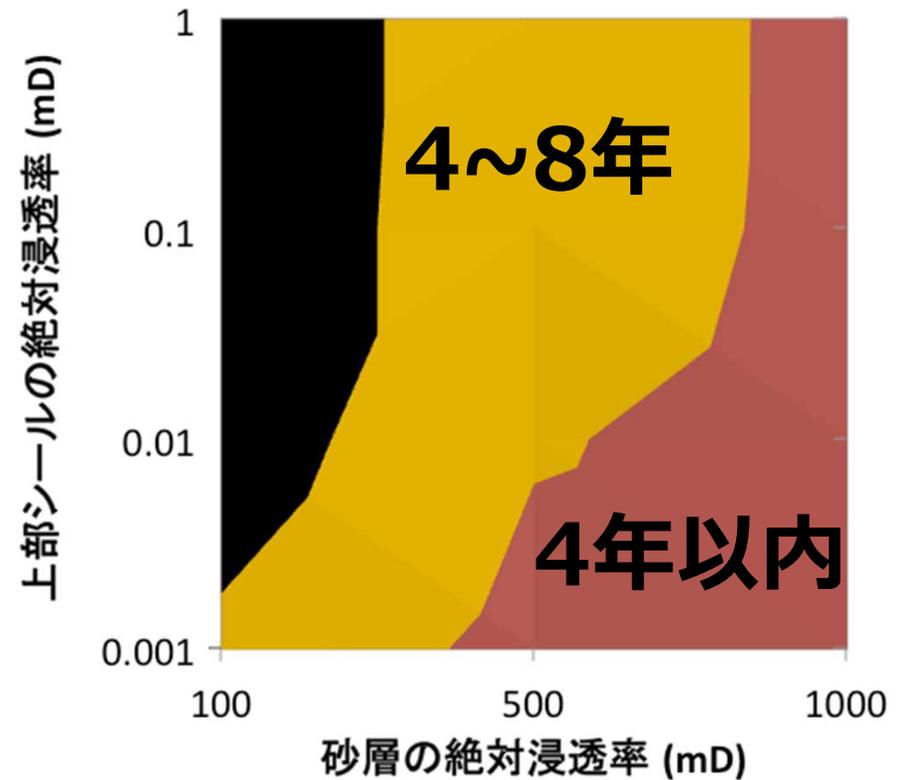
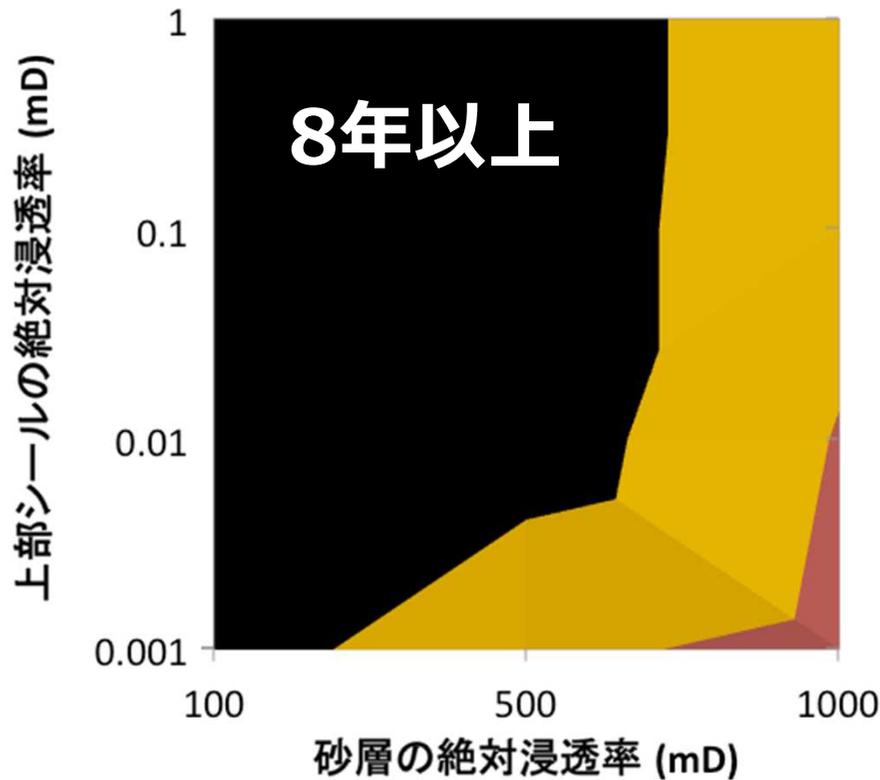


(注) 生産挙動はMH層の浸透率とMH層-泥層のシール性に大きく依存

回収率50%を超えるのにかかる年数

垂直井

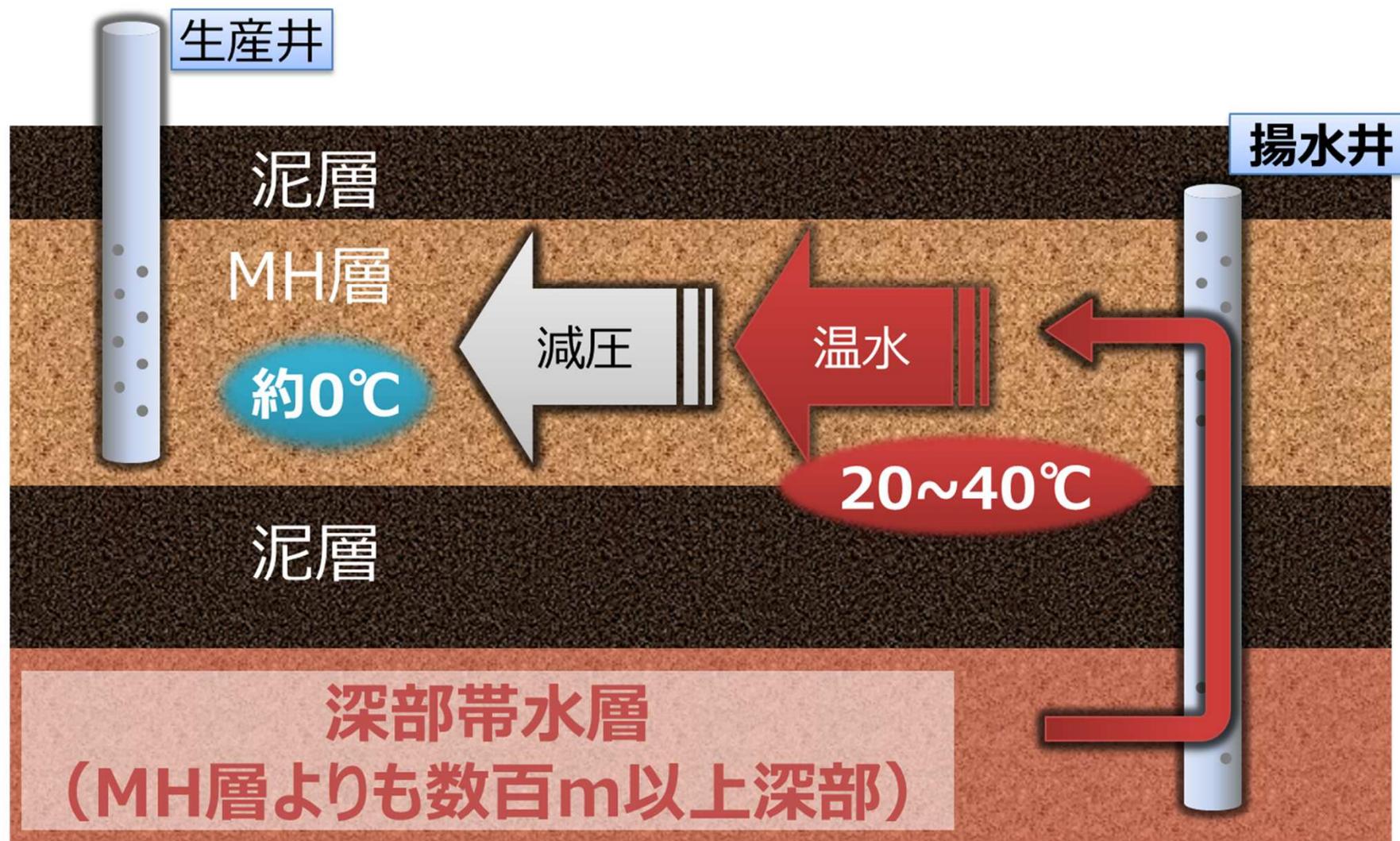
傾斜井



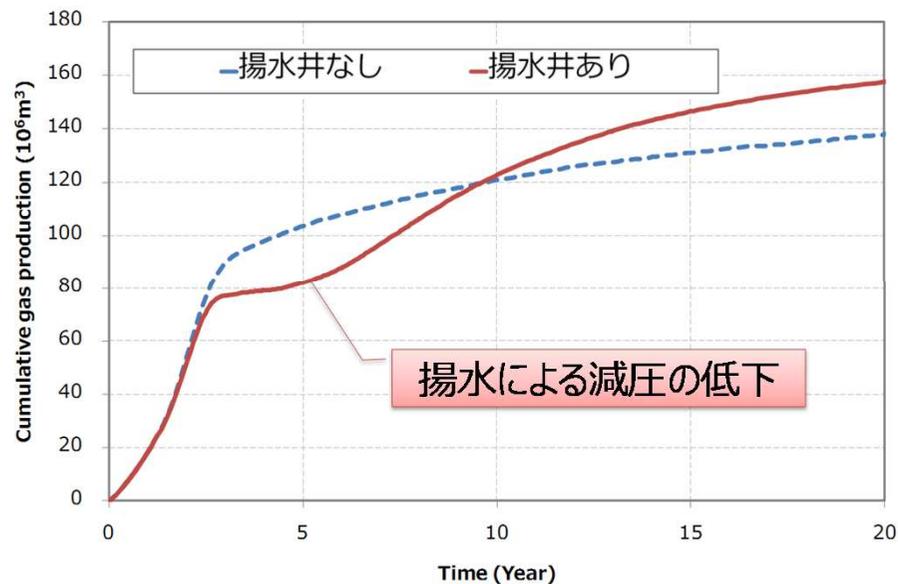
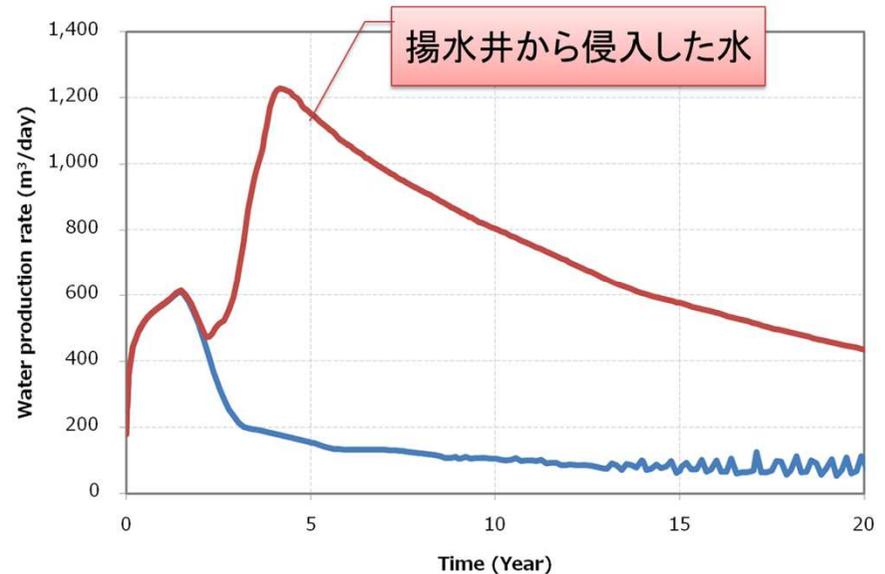
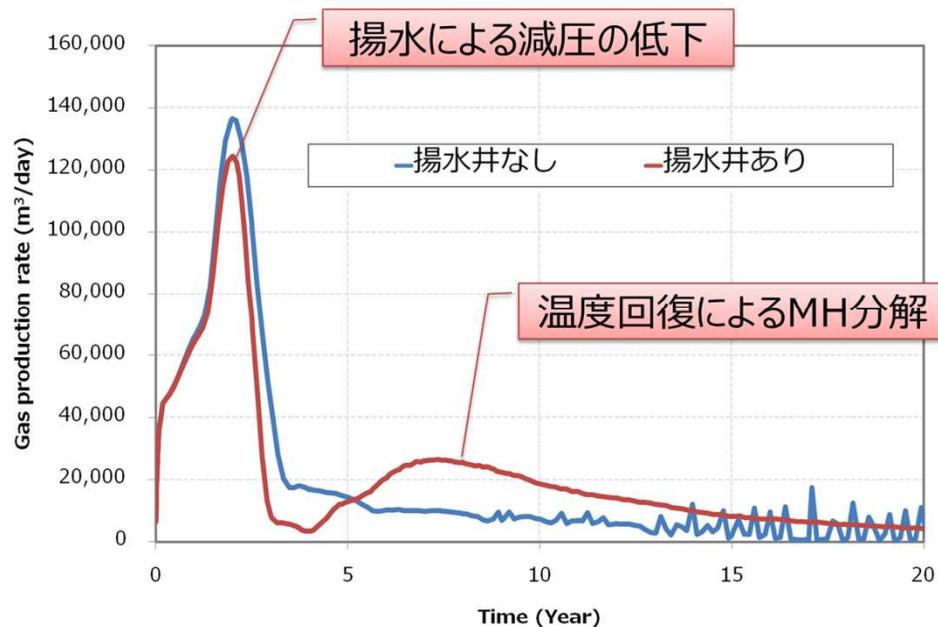
■ 8年以上, ■ 4-8年, ■ 4年以内

深部温水吸引法

- ハイドレート層以深の温かい地層から水をくみ上げ地層温度を回復
(日本オイルエンジニアリング (株) との委託研究)



深部温水吸引法



		揚水井なし	揚水井あり
回収率 (%)	10年後	75.8	75.6
	20年後	85.3	94.8

温度回復によるMH回収率の増加は確認
 水生産の増加による減圧効率の低下が問題

追加投入するエネルギーを抑えながら、回収率、生産量の増進を図る



ラボ実験およびシミュレーションによる検証から、有効性を確認

- フィールドへの適用性の検討⇒追加機器、開発機器
- 機器追加によるエネルギー収支、経済性の評価⇒実現性
- フィールド試験での検証⇒実証試験