

メタンハイドレートフォーラム 2015

メタンハイドレート商業化の道筋における フィールド産出試験

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21)

フィールド開発技術グループ

山本 晃司 (独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

大槻 敏 (独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

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

MH21では、今後数年のうちに、陸上と海洋のフィールドでそれぞれ、メタンハイドレートからのガスの産出試験を実施する計画です。本日は、

- メタンハイドレートを商業的に生産できる資源とするために何をしなければいけないのか
- その道筋において、フィールドでの産出試験がなぜ必要で、何をしなければならないのか
- これまで何をやってきたのか、これから何をしなければならないのか
- 海洋＋陸上：どんな役割分担で、何をしているのか

についてお話します。

メタンハイドレートについておさらい

- 1m^3 のメタンハイドレートの塊 (0.9トン) = 概ね 164Sm^3 のメタンガス \doteq 1 bbl (0.157m^3) の原油と同じエネルギー生産量
 - エネルギー集積度は高くない。経済価値としては、~~100~~40ドルくらい) . . . あまりコストの高い手法は現実的ではない。
- ガスにするために熱を与え続ける必要
 - 分解は吸熱反応—1kg のメタンハイドレートを分解させるのに、436.8kJのエネルギーが必要 (分解潜熱...氷を溶かすのに必要な熱の1.3倍)
 - 燃焼させれば、約7300kJの熱が発生するので、人工的なエネルギーの投入が必要なければ黒字にはなるが. . .
- 大水深の比較的浅い堆積物の中にある
 - 大水深：開発コストが大きくなる
 - 海底面下の浅い地下
 - 利点：掘削コストが若干安くなる
 - 不利な点：地層が未固結・軟弱で安定性に課題

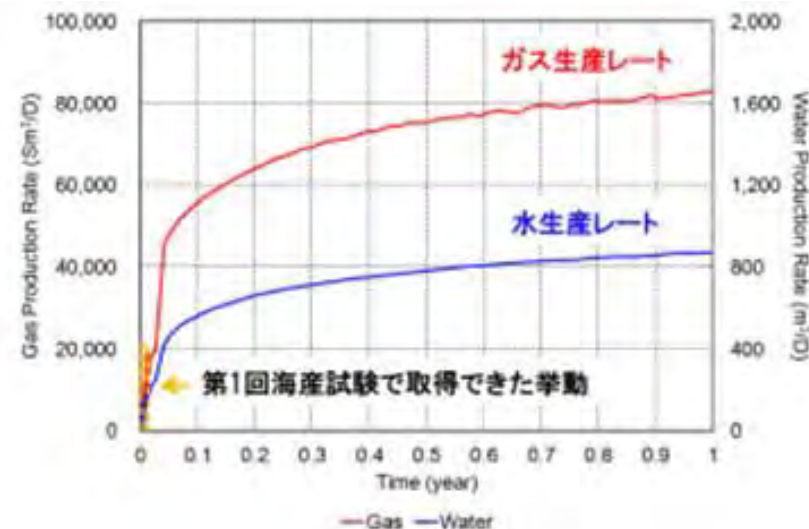
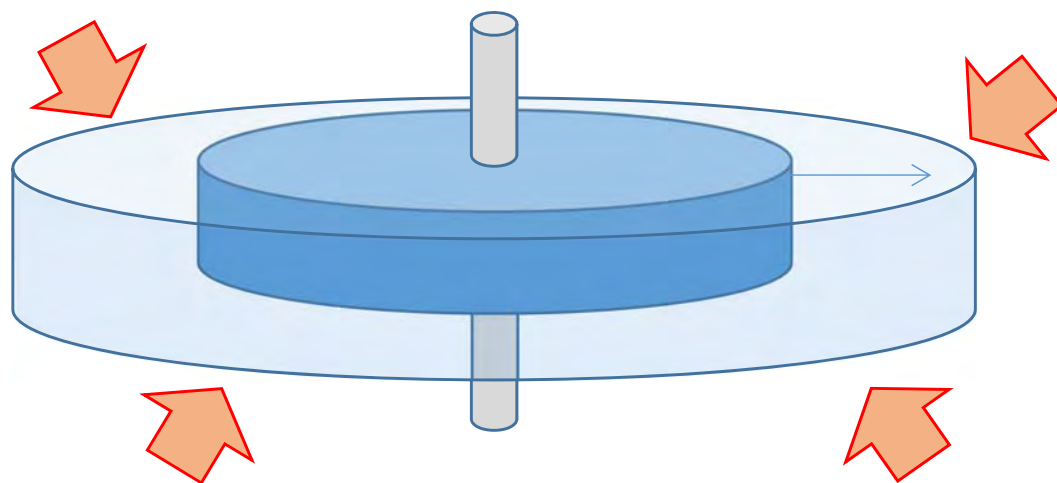
メタンハイドレートのビジネス

- エネルギー産業：上流から下流まで、基本的に民間の営利事業として成立している
 - 公共事業ではない
 - 投資に見合う収益が上げられるか？
- 天然ガス... エネルギー業界の生物（なまもの）
 - 輸送と貯蔵にコストがかかる。特に設備投資が大きい。（パイプライン、LNG製造設備、貯蔵施設）
 - 需要と供給のマッチングが重要
 - 売り先が決まってから、長期契約を結び、開発開始
 - 需要変動に合わせた供給が必要
- 需要家が必要とする価格と状態で供給できるか

- 通常の石油・天然ガス
 - 地下で圧力がかかった状態で存在している
 - 通常、井戸を掘って自噴してくる分だけ回収する
 - 圧力が下がれば残りは取り残す・・・取り残しを回収するための技術（二次回収・三次回収）もあるが、当然余分なコストがかかる
- メタンハイドレート＝固体、地下で流動しない、自噴しない
 - 井戸を掘っただけでは燃料として生産できない
 - 坑道を掘って掘り出す...大水深の海底では現実的でない
 - 環境にたくさん漏れるような方法は許容されない
 - CO₂の20倍の温室効果係数
 - 地下でガスにして、井戸を通じて地表に取り出す方法を検討している（分解採集法）

減圧法での生産

- 井戸を掘って水を汲み上げることで圧力を下げてメタハイを分解させる
 - 分解に必要な熱は、地層（メタハイ、間隙流体、固体骨格）が持つ熱と、周囲からの伝熱・移流によって供給される 人工的な熱源を使用しない
 - 必要なエネルギーの投入は、ポンプで水を汲み上げるのに必要な分だけ
- 減圧法で予想される生産挙動
 - 通常の石油・天然ガスであれば、貯留層圧力が低下して徐々に生産量は下がる。
 - メタンハイドレートの場合、減圧を維持できれば、反応面積が広がって、徐々に生産量が増えると予想されている。



第一回海洋産出試験が1年継続できれば . . .
(第28回開発実施検討会資料)

減圧法のエネルギー効率

分解熱と燃焼熱の関係

- 1kgのMH分解に必要な熱量=436.8kJ
- 1m³のメタンハイドレートの質量は約910kg、それを分解させるのに必要な熱は390MJ (+ 顕熱分)
- 燃焼熱は890.36kJ/mole~1m³のMHから生産させるガス164Sm³=7400moleからは6.58GJの熱を取り出せる。
 - どれだけ効率的に熱をメタハイに伝え、分解に使わせるか

減圧法

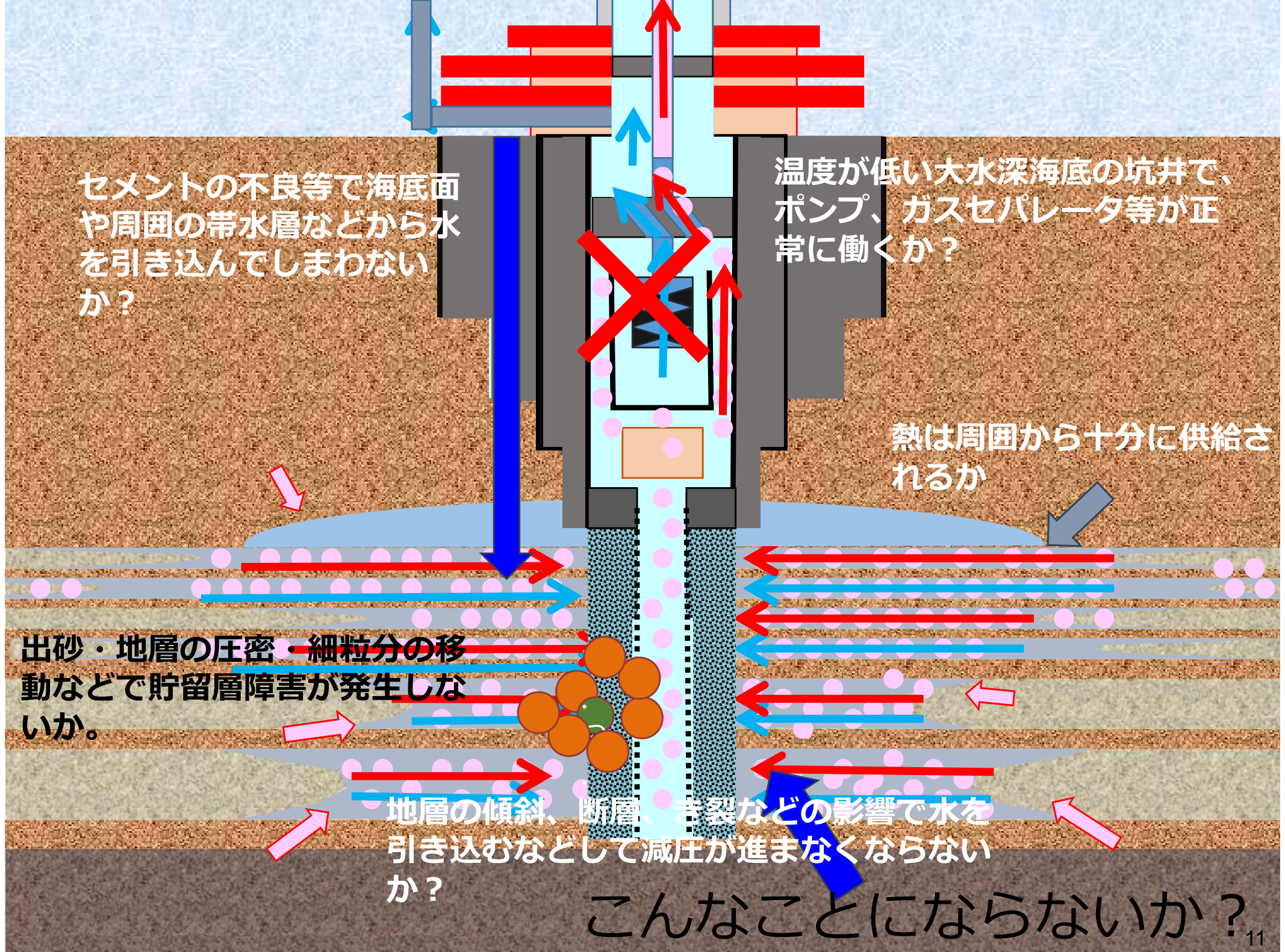
- 減圧法に必要なポンプの動力 = (単位時間あたりの水の生産量×昇圧の度合い (= 減圧度)) / ポンプの効率
- メタンハイドレートの分解で生じるガスと水の堆積の理論的な比率 = 200程度
- 地下水も一部一緒に組み上げるとしてその比率が100まで低下と仮定
- 日産10000m³のガスを生産するためには、一日100m³の水を生産する = 1.16x10⁻³m³/secのレートで水を生産する
- 10MPa減圧することでその生産が確立されたとすると、そのための仕事率は、
 $1.16 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{sec)} \times 10 \text{E}6 \text{ (N/m}^2\text{)} = 1.16 \times 10^4 \text{ (Nm/sec)} = 11.6 \text{ (kW)}$
- 一日あたりとすると、約1GJ必要
- 10000m³からのメタンガスから得られるエネルギー=401GJ
 - ポイント：どれだけ少ない水生産量で、多くのガスを取り出せるか
- 実際には、これにプラットフォーム・資機材の建造、作業に要する燃料等のエネルギーが別途必要

しかし？

- 地下で減圧された状態を維持できるのか？
 - 海底の低温・高圧環境で装置がちゃんと働くのか？
 - ハイドレートが再生成して、管を詰まらせたりしないか？
 - 地層の非均質性や不連続性（断層・き裂など）を通じて水が入り込んできてポンプで組みきれなくなかないか？
 - 井戸の周辺のセメントが壊れて海底と導通しないか？
 - 井戸の周辺で、圧密や細粒分の集積がおきてみかけ浸透率が下がって減圧が伝わらなくなかないか？
- 予想通り熱が周囲から供給されるのか？
 - 予想より早く地層の温度が下がってしまって、それ以上分解が進まなくなかないか？

しかし？

- 地層と井戸の力学的安定性は保てるのか？
 - 出砂現象がコントロールできなくなるか？
 - 地層の変形で井戸が壊れてしまわないか？
 - 地層の変形・破壊で物性が変わって、水・ガスの流れが阻害されないか？
- 環境や安全性の問題はないか？
 - ガスの漏えいなどの環境問題を起こさないか？
 - 海底面の安定性に影響を与えないか？
 - 日本周辺の気象・海象条件（台風、黒潮,etc.）のもとで安全に作業できるか？
 - 台風、地震、海底地すべり等の災害時に安全を保てるか？
- そして、本当に経済性が得られるのか？
 - 不確実性を小さくすること



セメントの不良等で海底面や周囲の帯水層などから水を引き込んでしまわないか？

温度が低い大水深海底の坑井で、ポンプ、ガスセパレータ等が正常に働くか？

熱は周囲から十分に供給されるか

出砂・地層の圧密・細粒分の移動などで貯留層障害が発生しないか。

地層の傾斜、断層、き裂などの影響で水を引き込むなどして減圧が進まなくなるか？

こんなことにならないか？

フィールドでの試験の役割

地下で起きている現象を
理解すること

(自然現象の解明)

- ・ 水理学的 (水・ガスの動き)
- ・ 熱力学的 (熱の移動とハイドレート分解)

力学的 (地層の変形・破壊)

地層の中に減圧が伝わり、熱が供給されてMHが分解することを確かめること

地下で流体と熱を制御する技術を開発すること

(技術の開発)

- ・ 海洋での安全なオペレーション
 - ・ 地下での流体と熱の制御
- 安全・安定的に海底の地層が減圧された状況を実現すること

いずれも実地検証が必要

なぜフィールドでテストするのか？

- 理論・室内実験・コンピュータシミュレーション
 - 新しいアイデア、理論の検証、定量的な評価、問題点の事前予測．．．
- しかし、実際の地下の状況はすべてモデル化できない
 - 地下の世界：手が届かない、光も当たらない、正確な情報を得にくい
 - 地震探査や物理検層：直接知りたい物性が得られるわけではない
 - コアなどのサンプル：点や線の情報、三次元的な広がりはない
 - 様々なスケールの非均質性、不連続性、異方性のある複雑な世界
 - 地層の構造、断層やき裂
 - 固体と流体（地下水・ガス）と熱が複雑にかかわりあった世界
- 実際の現場でいつも新しい発見がある
- シミュレーションできたとしても、実際の現場で検証が必要

では、フィールドで何をテストするのか？

- 陸と海の作業を組み合わせて、ステップ・バイ・ステップで
 - 各点の情報として地層の物性（水理・熱・力学物性）を知ること
 - コア試料・検層データ等の取得
 - 小規模な生産実験＝圧力を下げる、熱を加える等で地層の応答を見て、モデル計算の結果と比較する
 - 生産挙動を確かめ、やや広域の情報として、地下の熱と流体の動きを確かめること
 - 生産手法の適用（熱刺激・減圧・ガス置換など）
 - モニタリング技術の適用（温度の測定など）
 - さらに生産期間を延ばして、長期的な挙動を確かめて、経済性に関する情報を得ること
 - 長期のフローとモニタリング技術の適用
 - 生産増進法の適用など、経済性を向上させる方法の検討
- 探査→試験→実際のフィールド開発、各ステップで一桁づつかかる費用が大きくなる。

陸上と海洋：何が違うか・共通か

• 共通点

- 砂層型に限れば、産状、堆積物の物性（特に水理・熱物性）、温度・圧力環境は似通っている
- ⇔相互の知見を共有できる
- 環境保護に最大限の配慮が必要（具体的な環境リスクはそれぞれ異なる）

• 陸上

- 極地の永久凍土層の下
- インフラの整備された地域では比較的早期に実用化される可能性がある
- 地下へのアクセスは、比較的容易
 - 極地独特の難しさがある。
- できそうなこと
 - 1年以上といった長期の試験
 - 地表からの様々な操作が必要な作業（生産増進手法の実験等）
 - 様々なモニタリングの作業

• 海洋

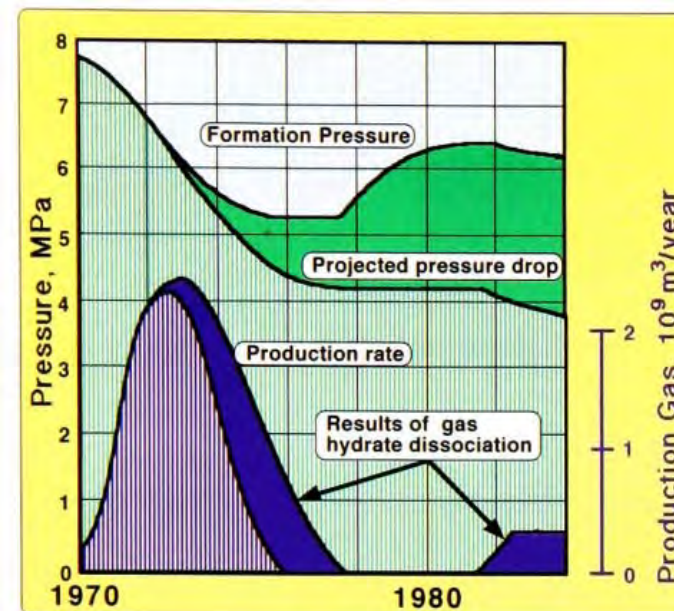
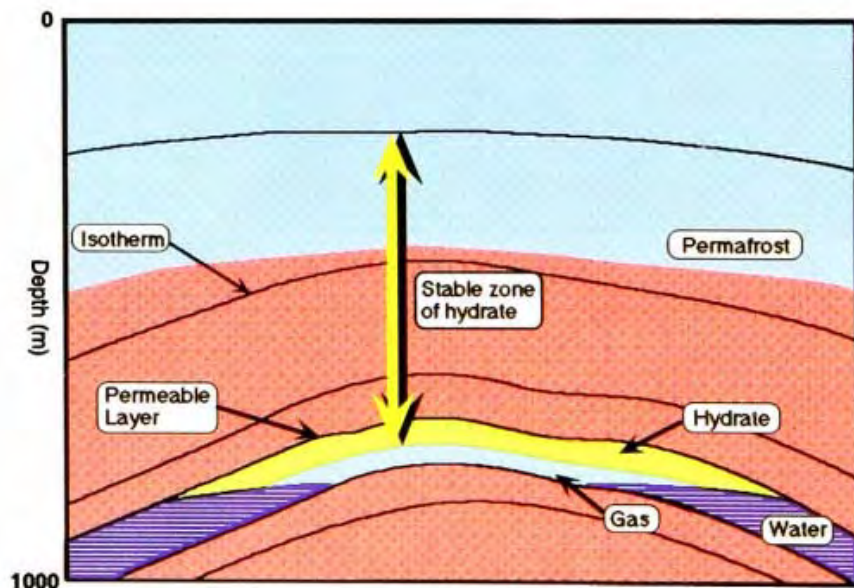
- 大水深（500mより深い海）の海底面下比較的浅いところ
- 国産資源として、研究のメインターゲット
- 作業を、洋上の船・プラットフォームから行う必要。
 - 日本近海の気象・海象条件のもとで、洋上に船を安定して固定し、安全を保つ必要。
 - 作業の複雑さやスペースの問題
- できそうなこと
 - 実際に国産資源となりうる場での検証
 - 海底の軟弱な地層での安定性の検証

これまでの歴史（1）Messoyakhaガス田

- シベリア、エニセイ川流域
- 一時期生産を中止していた。（今は需要期のみ生産している）
- 生産中の圧力低下が予想より小さい、生産を中止している間に圧力が回復する

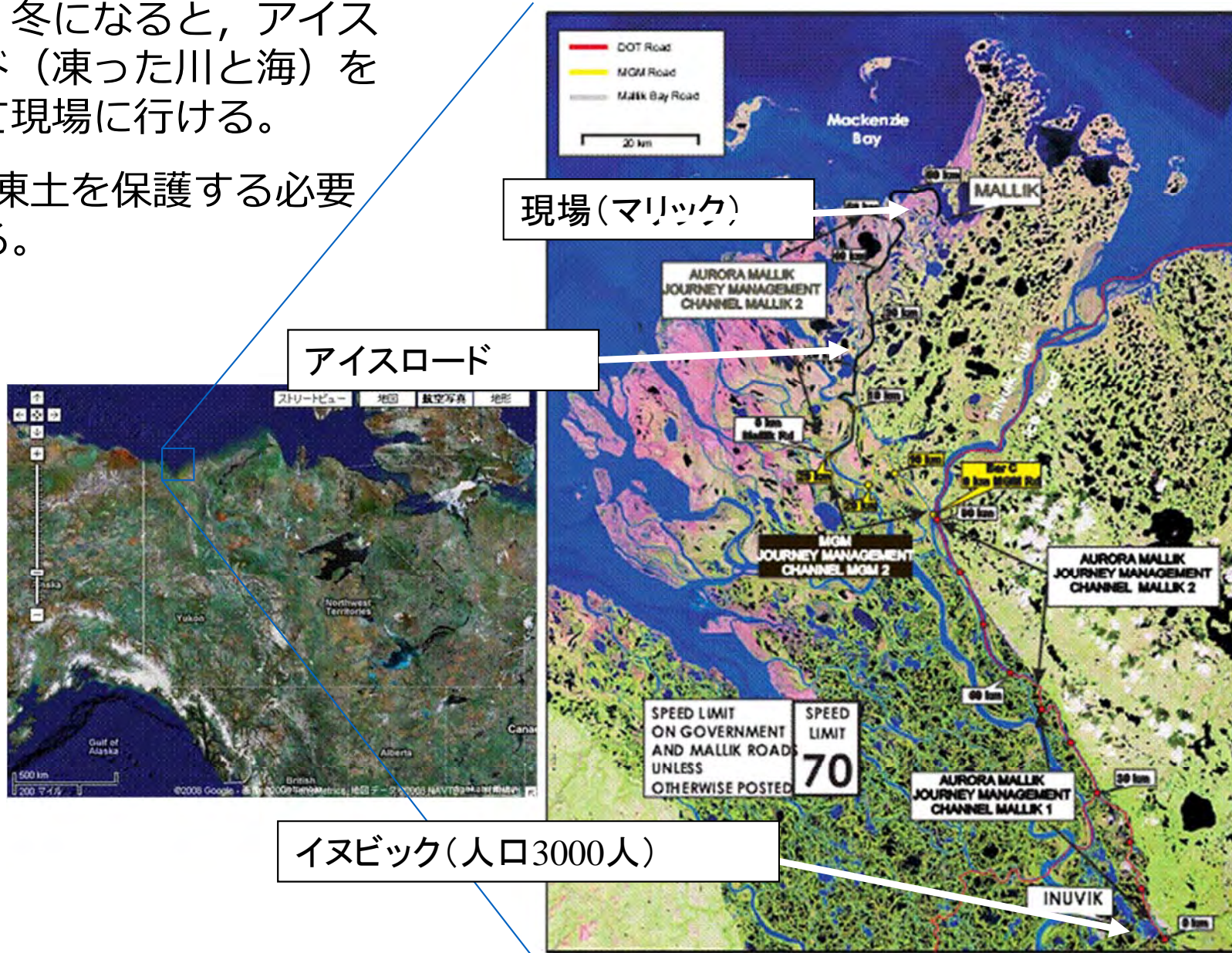
→ガス層の上にあるメタハイを分解させてガスを供給しているんだ！！（Makogon, 1984）

- 周囲の地層からのガス供給などを考えれば、メタハイを理由としなくても現象が説明できると言う批判もある。（Collet and Ginsberg, 1998）



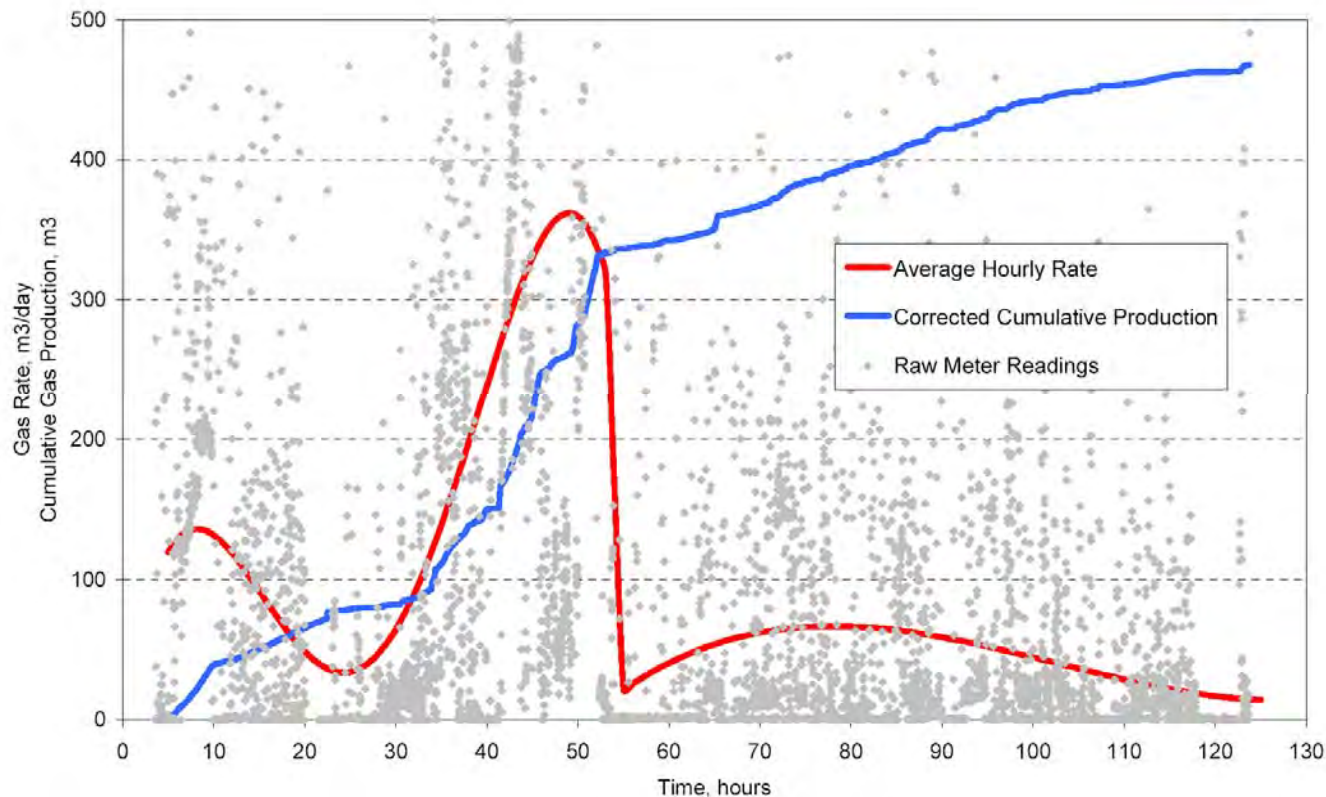
これまでの歴史(2) : Mallikフィールド (カナダ北西準州)

- 夏季は陸路では接近できない。冬になると、アイスロード（凍った川と海）を通して現場に行ける。
- 永久凍土を保護する必要がある。



世界最初の意図的なガス生産:第一回陸上産出試験 (2002)

- 2002 Mallik 5-38 : 日本・カナダ・インド・ドイツ・米国の5か国共同研究
- 温水循環法で、5.5日の間に 470Sm^3 のガスを生産した。
- 最大レートは日産 350Sm^3 であったが、急激にレートが低下した。
 - 熱が伝わらなかった
 - き裂が形成されてガスが他の地層に抜けてしまったなど



圧力検層ツールMDTによる、
小規模減圧実験も実施。有
限の（ゼロでない）浸透率
がメタハイ層内にあること
を確認した

→減圧法にGOサイン

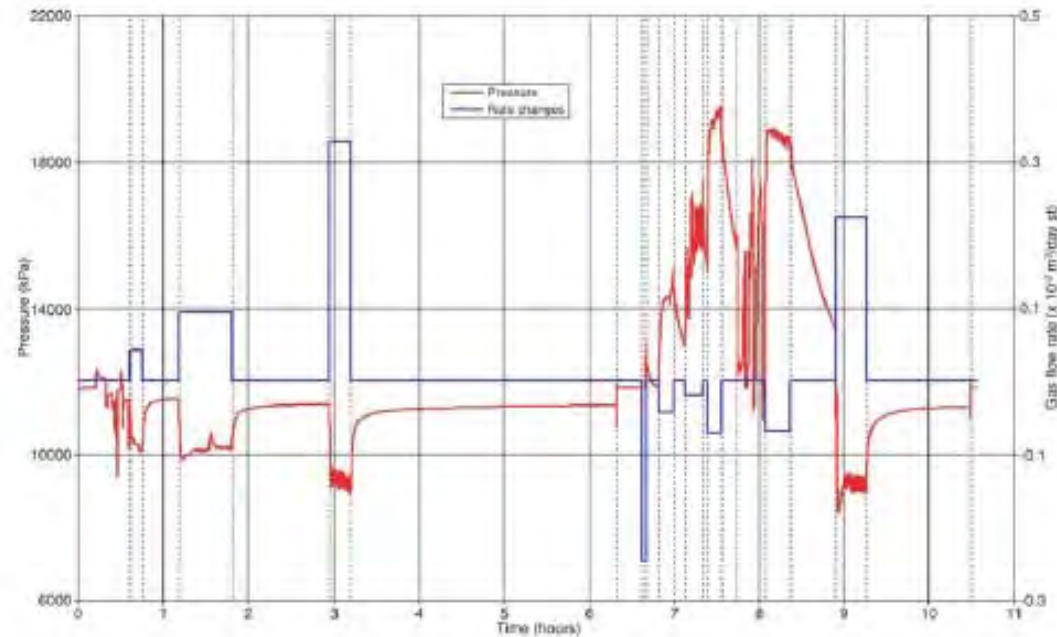


Figure 3. Downhole-pressure and average-production-rate data obtained during the MDT-2 test (gas hydrate zone at 1089.8 m KB), JAPEX/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate production research well. Abbreviation: st, standard conditions.

Hancock et al., 2005

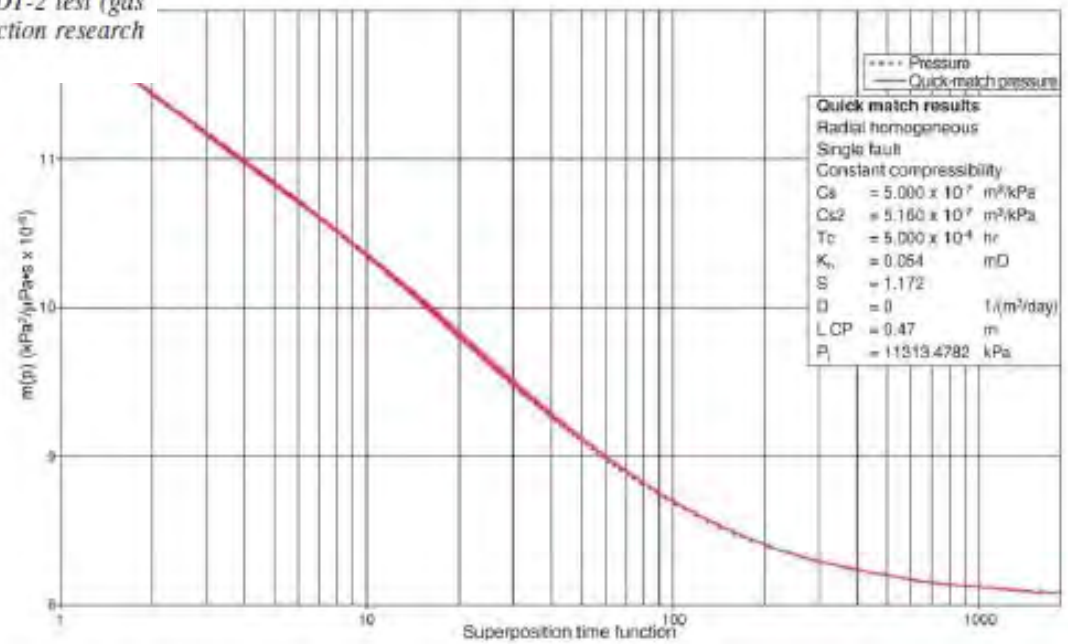
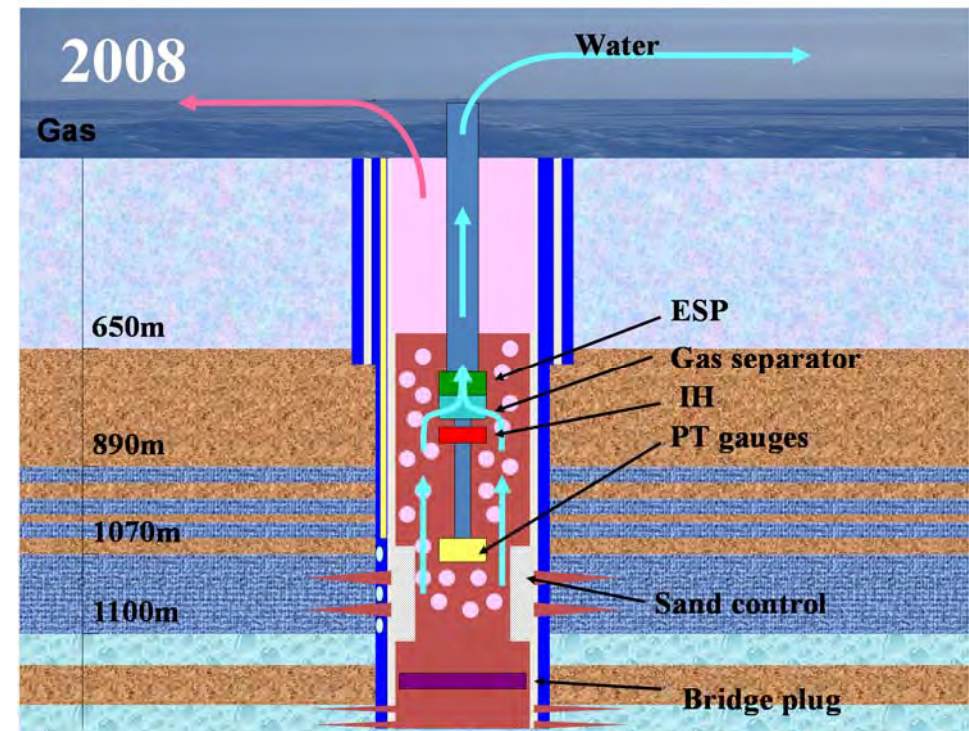
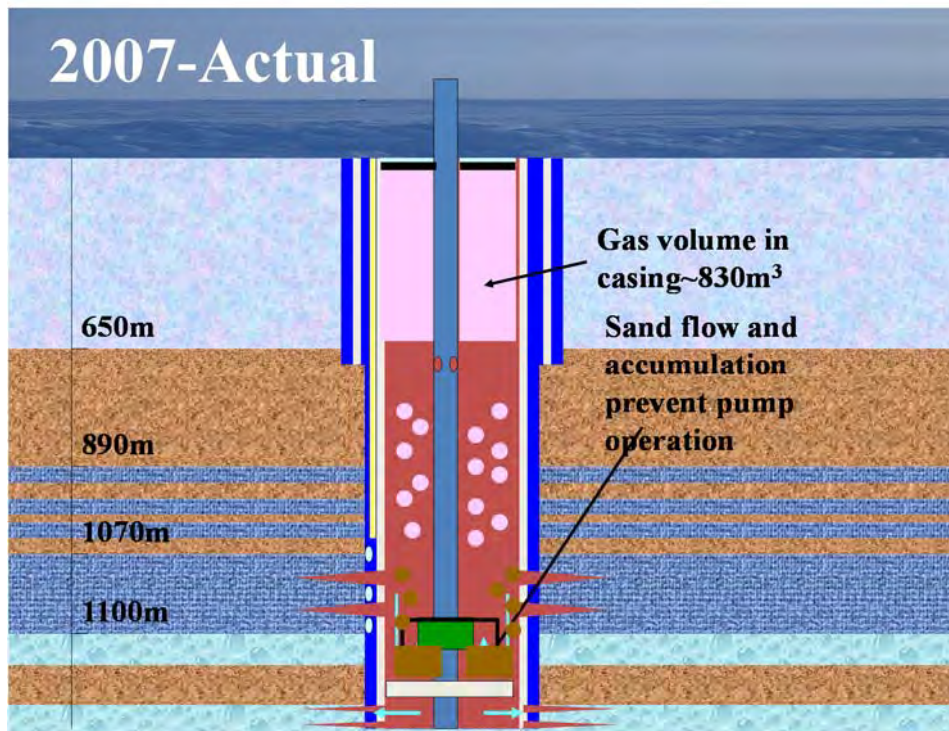


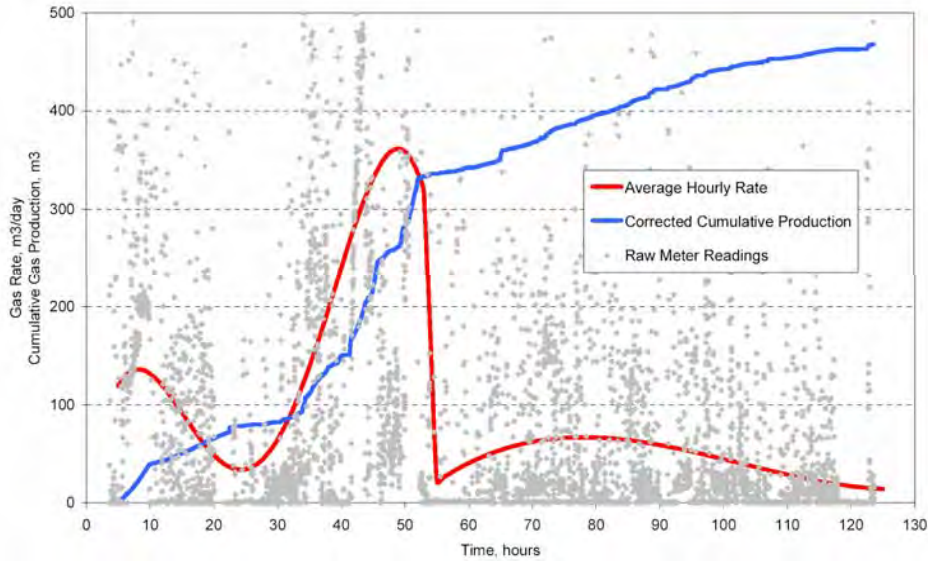
Figure 16. Semilog plots of the optimum matches between the measured and synthesized MDT pressure data for the final (post-minifrac) buildup, MDT-2 test (gas hydrate zone at 1089.8 m KB), JAPEX/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate production research well. Abbreviations: Cs , wellbore-storage coefficient (initial); $Cs2$, wellbore-storage coefficient (final); D , turbulent-skin coefficient; K_h , permeability (horizontal); LCP , distance to constant-pressure boundary (m); $m(p)$, pseudopressure; P_i , initial reservoir pressure; S , skin damage; Tc , time to end of initial wellbore-storage calculation.

減圧法で継続・安定的にガス生産:第2回陸上産出試験 (2007-2008)

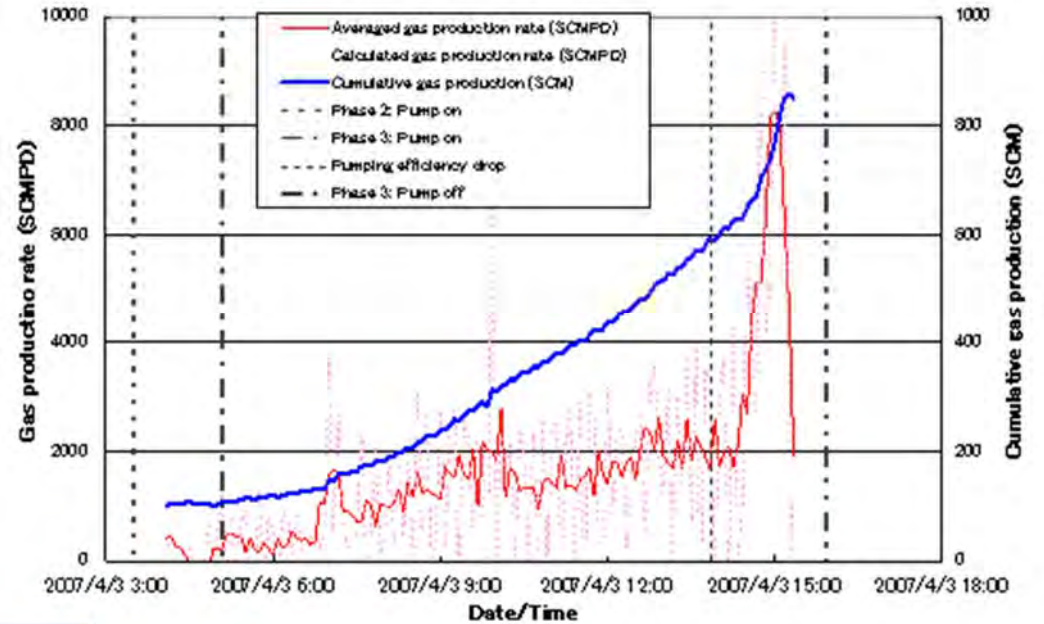
- Mallik 2-38 : 日本・カナダの共同研究
- 2007年、減圧法でガス生産に成功したものの出砂で短期 (約半日) で井戸が埋没
- 2008年、出砂対策装置を設置して、気候と予算の制約で作業を停止するまで、5.5日間の連続ガス生産に成功。(日産2000-4000Sm³)



2002-2007-2008の進歩

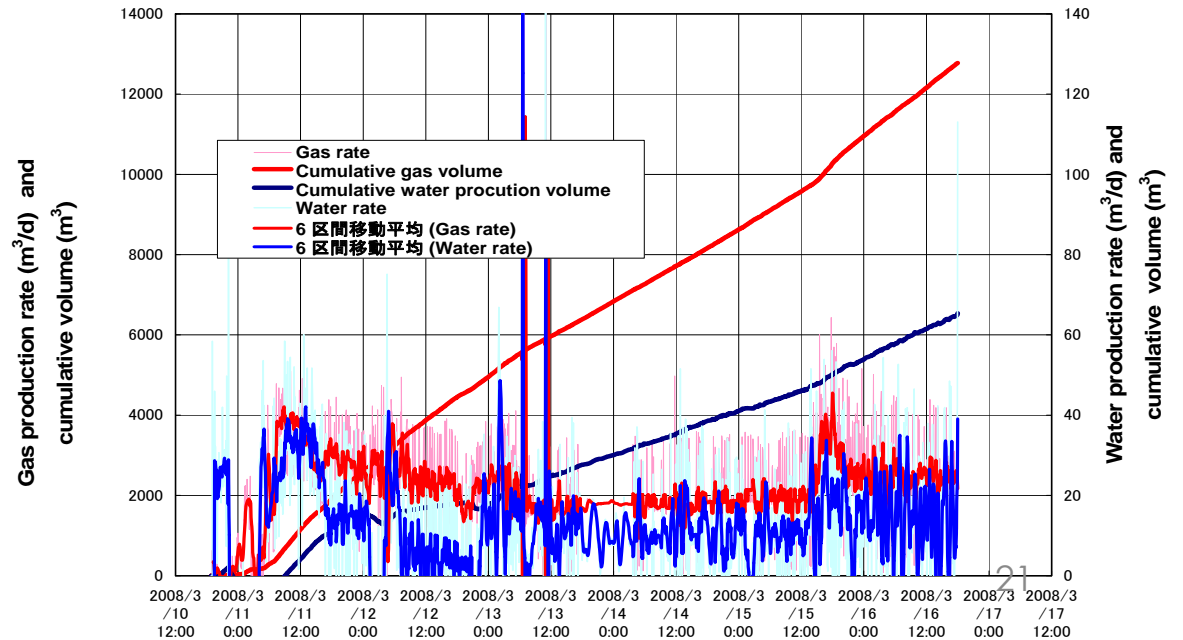


2002: 5日間-470m³



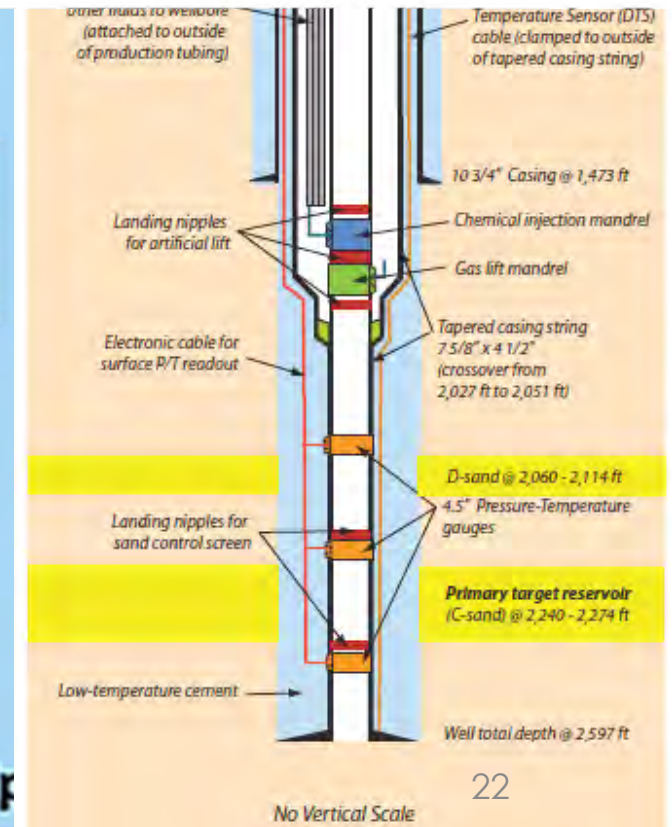
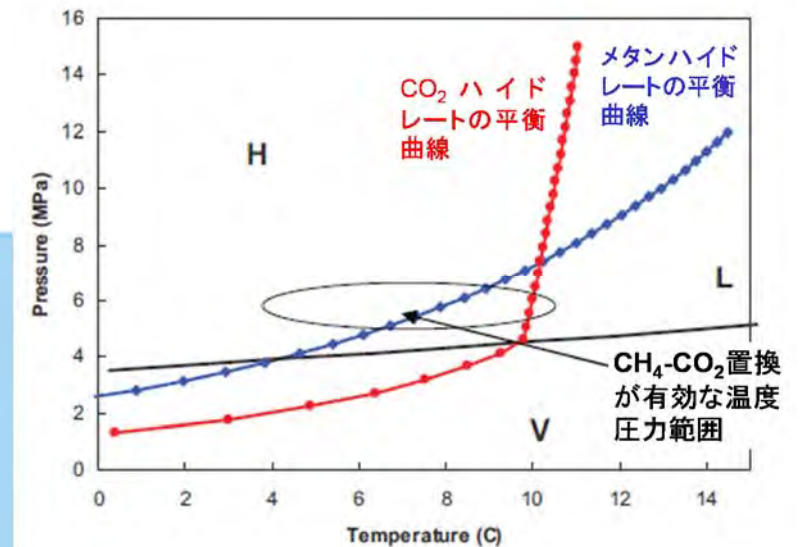
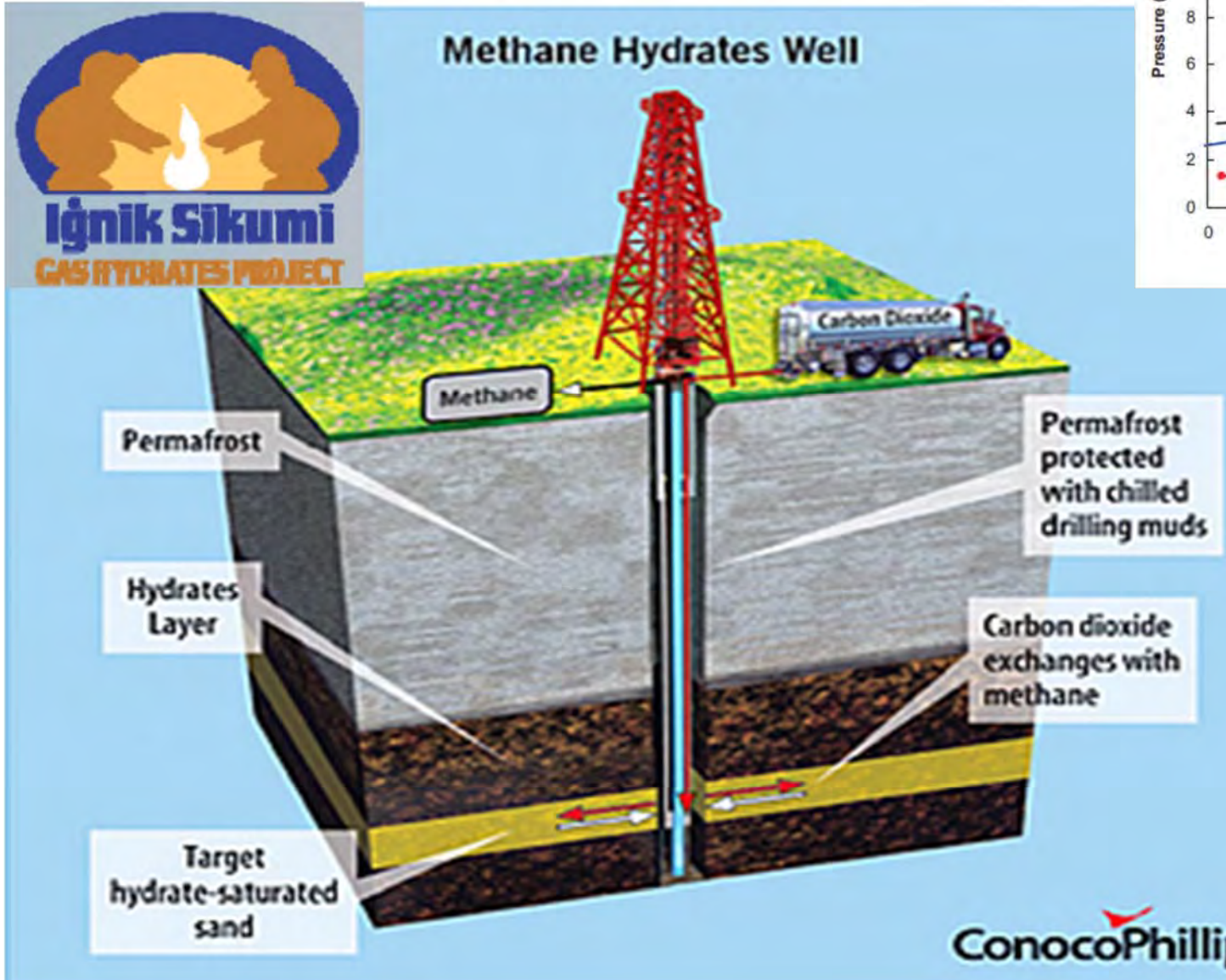
2007: 半日-830m³

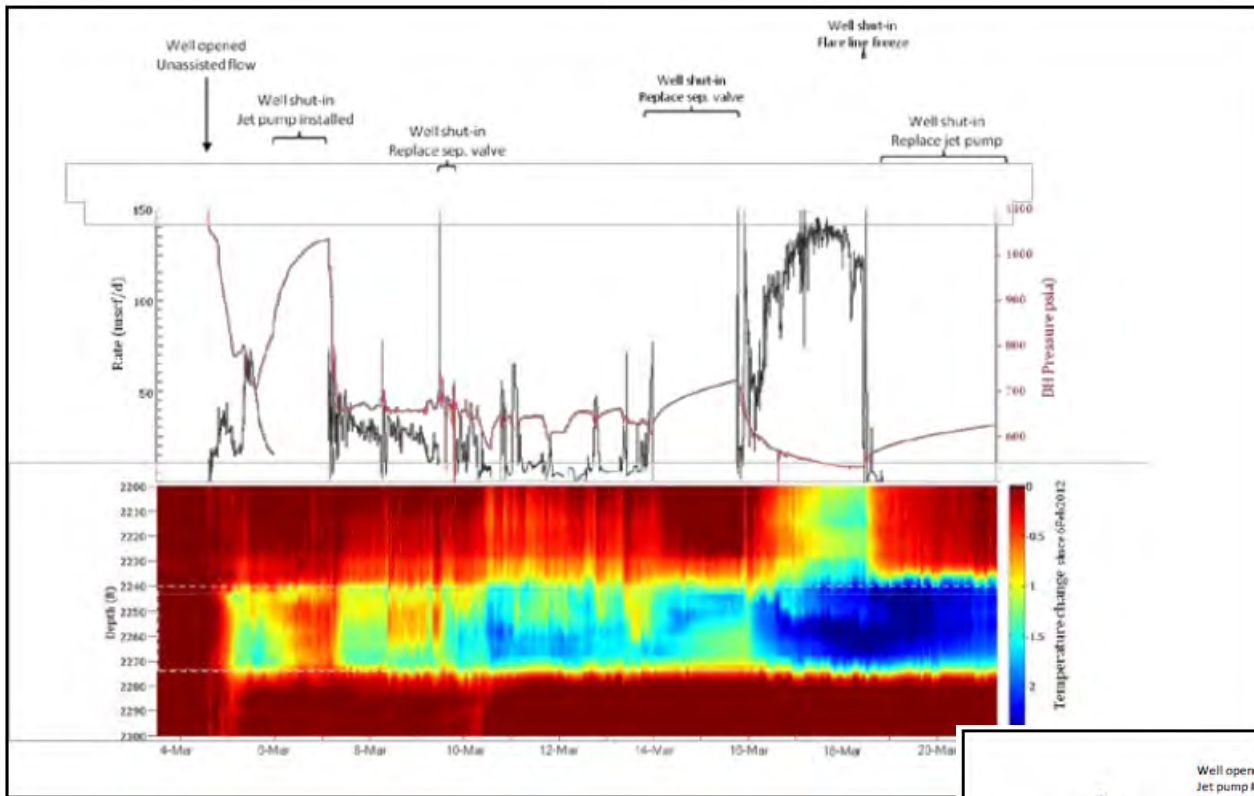
2008: 6日間連続生産に成功
(13000m³)



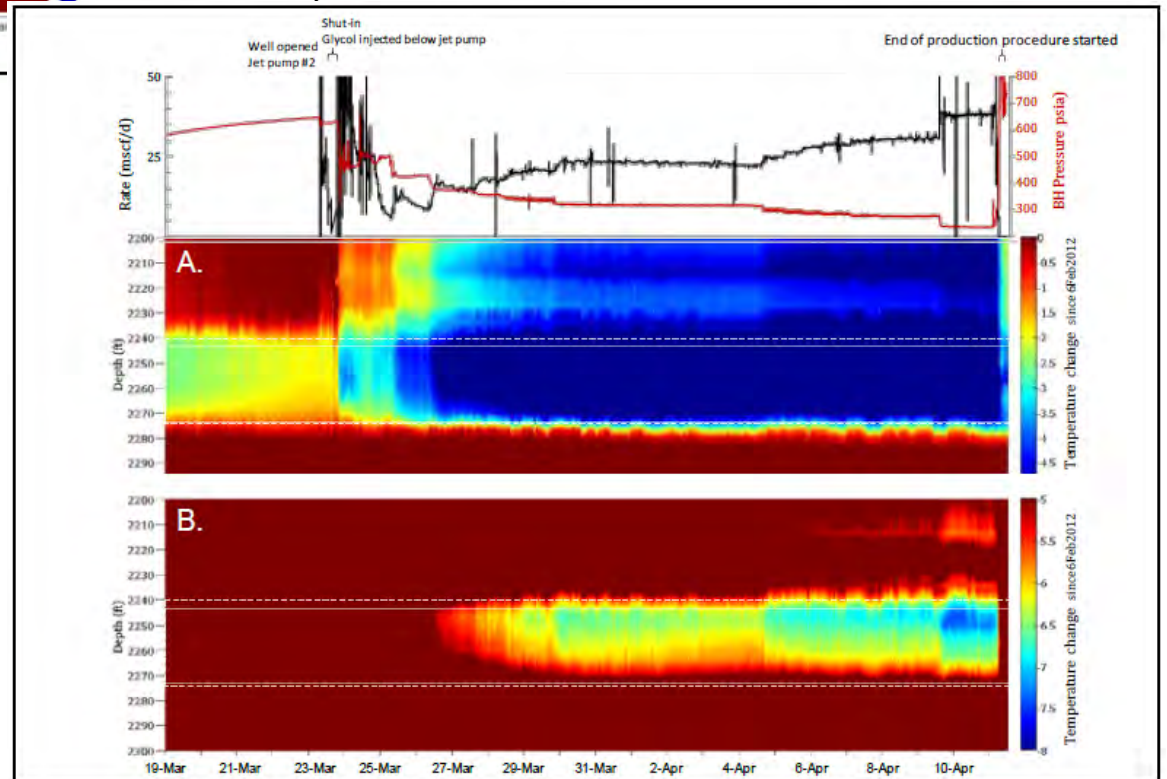
生産増進技術へのトライ！ (Ignik Sikumi CH₄-CO₂ 置換実験)

- 日米共同 (ConocoPhillips-JOGMEC-USDOE)
- アラスカ・ノーススロープ油田で実施
- メタンハイドレートのメタンをCO₂と置換して生産





- メタンハイドレート層にCO2圧入を行い、分解がおきる圧力までは圧力を下げずにガスを生産する期間と、平衡圧よりも減圧して生産する期間を設けた。
- メタンとCO2の置換を確認
- 21日間の減圧とガス生産を実現

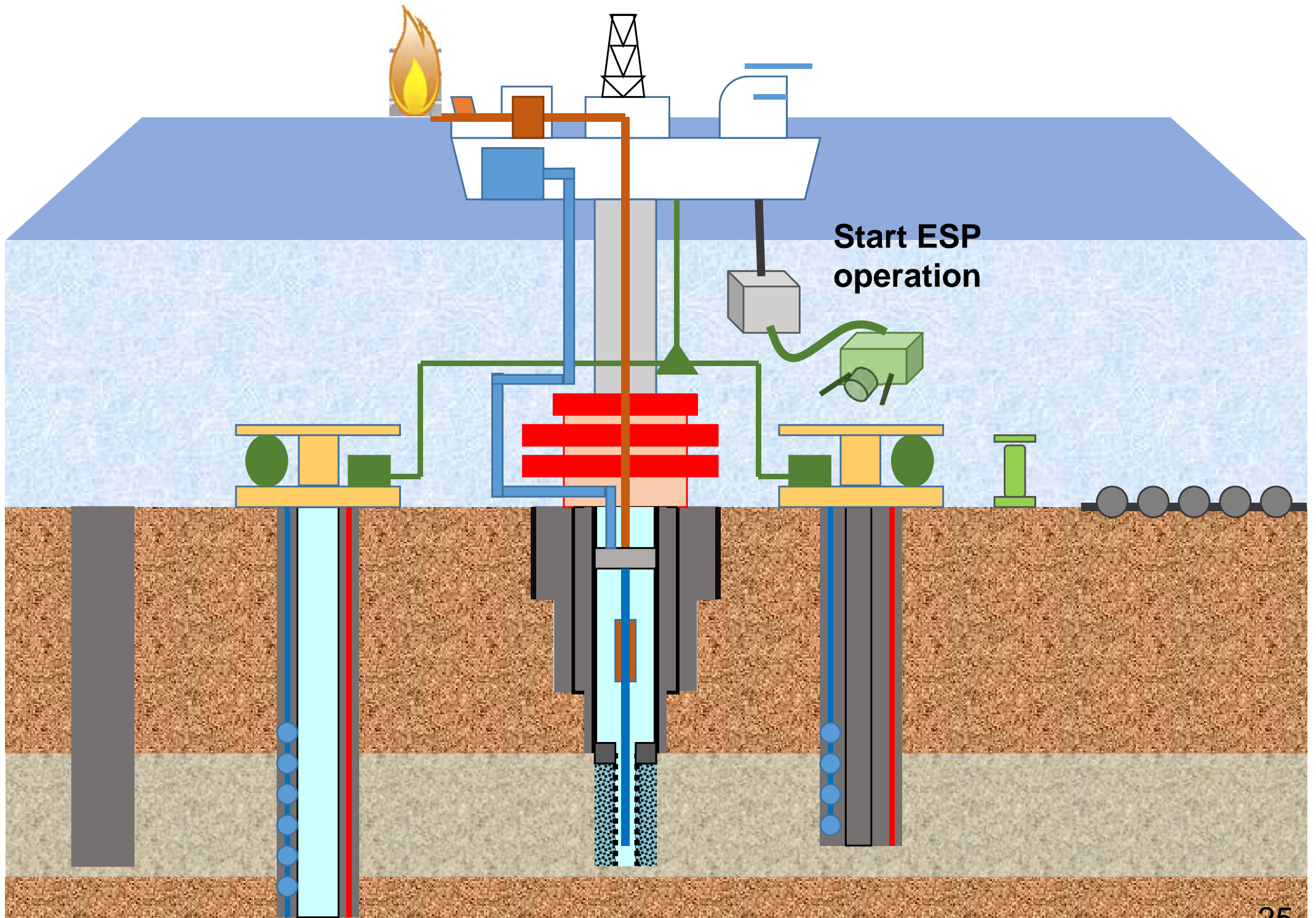


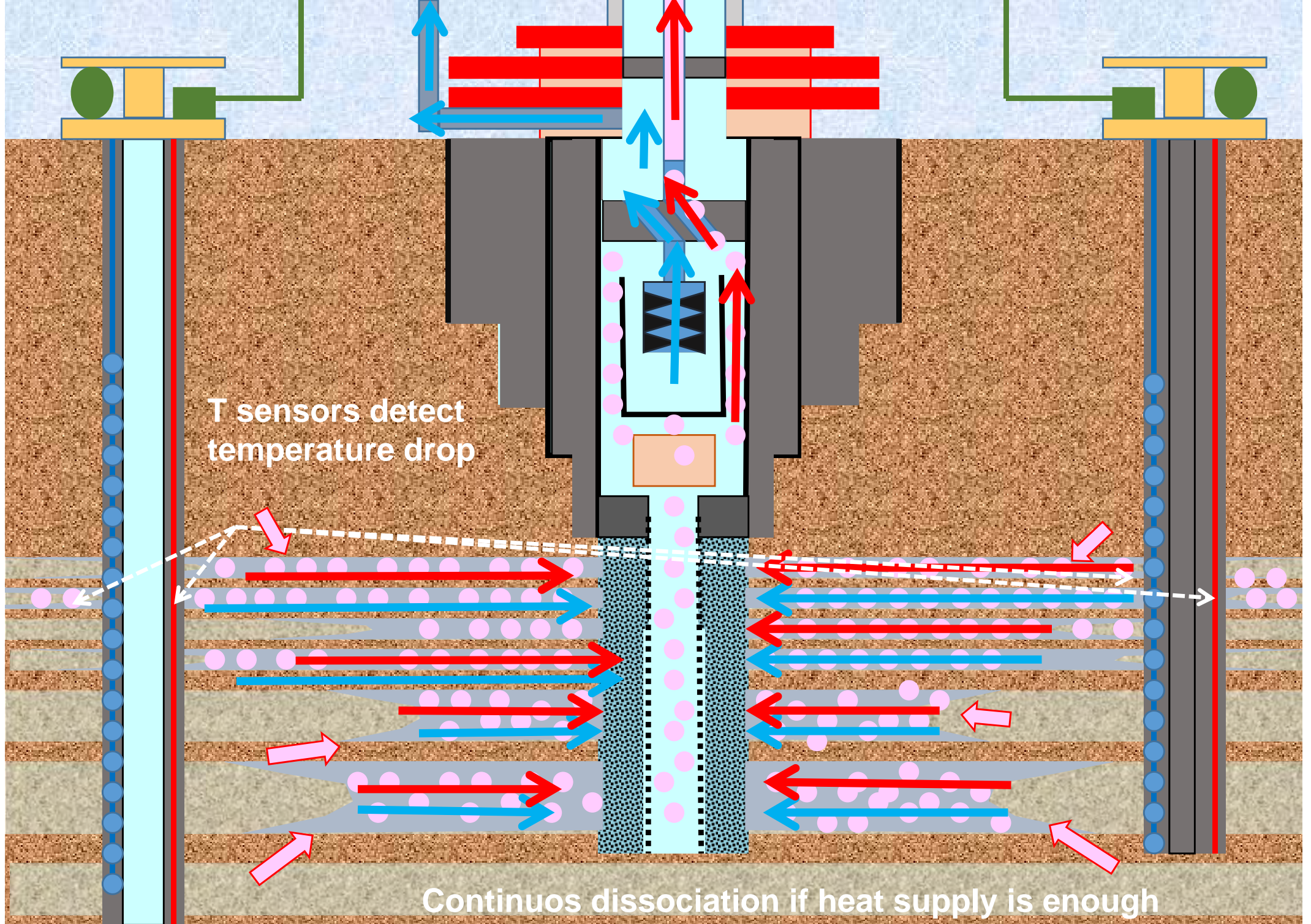
Schoderbek et al., CoP-DOE
Final report (2013)

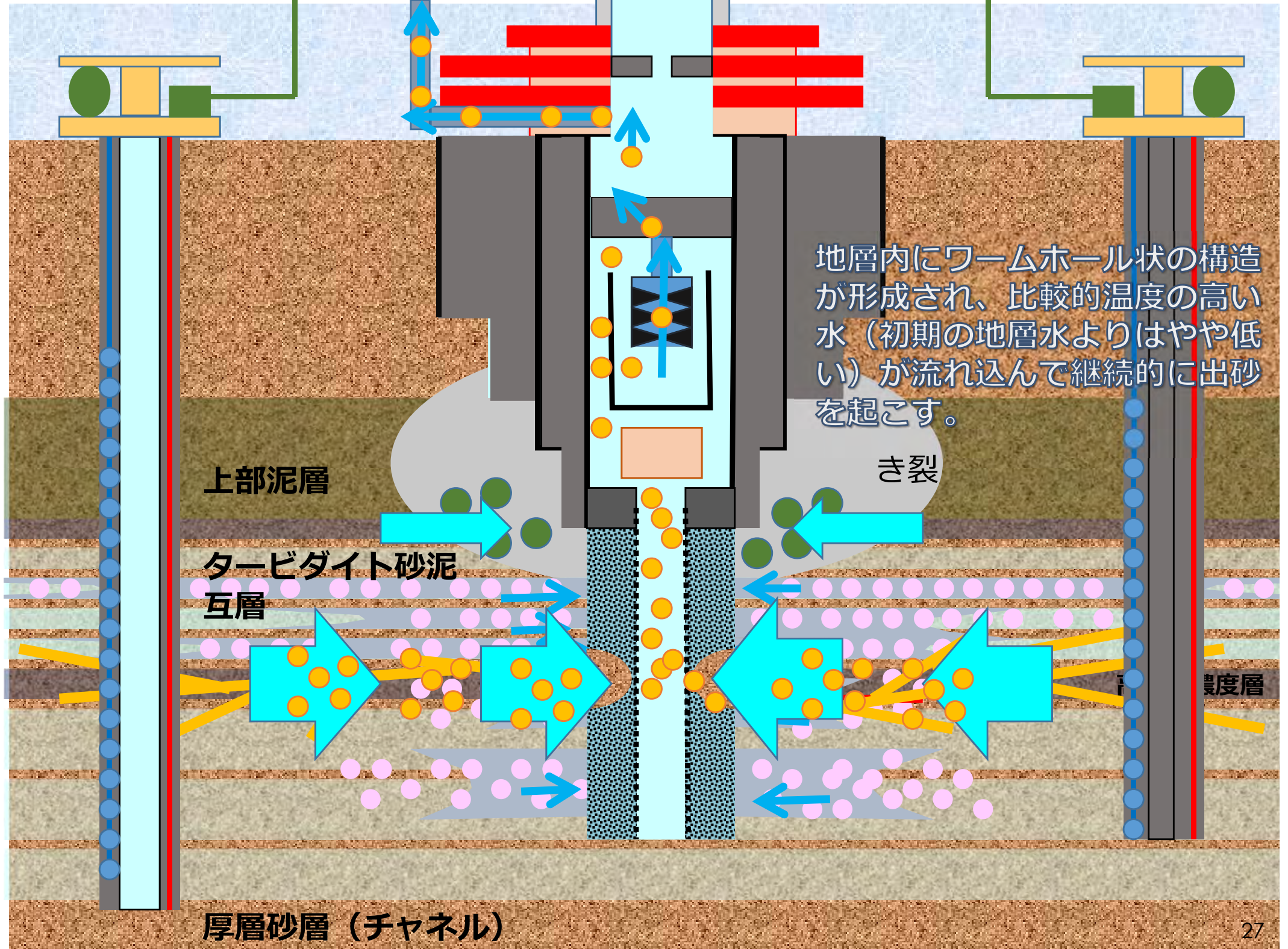
第1回海洋産出試験の実施（2013）

- 第二渥美海丘（渥美半島・志摩半島沖）
- 水深1000m、海底面下約300mにあるハイドレート濃集帯の約40m区間に減圧法を適用
- 6日間、日産約20,000Sm³、累計119000Sm³のメタンガスを生産
- 急激な出砂で試験を終了

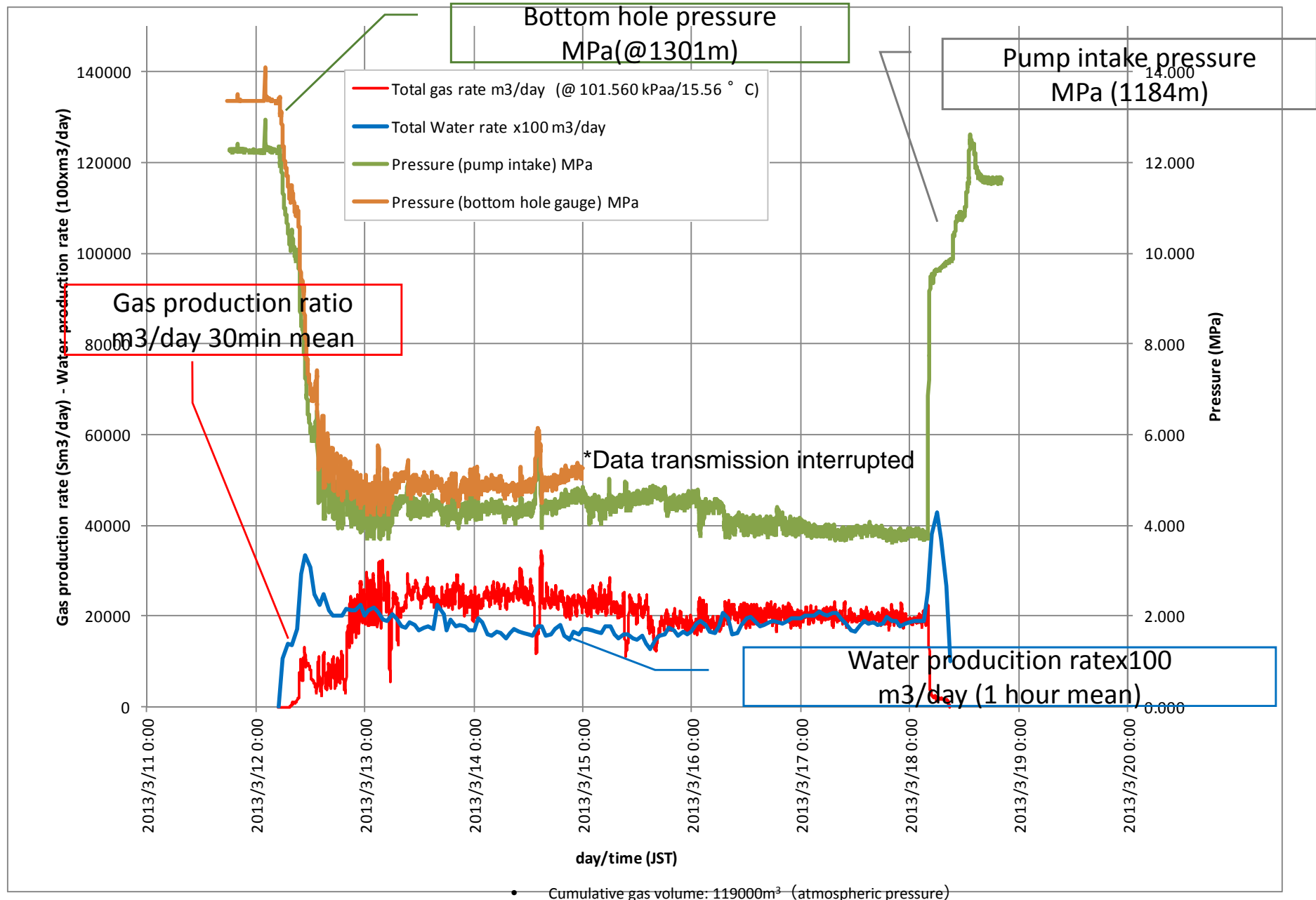








坑底の圧力履歴とガス・水生産レート



成果と疑問？

• 成果

- 試験に先立って物理検層とコアサンプルを取得した。
- 坑内のポンプで初期に13.5MPaあった坑内の圧力を4.5MPaまで下げることができた。
- 生産ガス量は日産約20000立法メートル（標準状態）でほぼ一定していた。
- 一部故障したセンサーがあったが、生産井坑内の温度・圧力、船上での水・ガス流量のデータを取得できた。
- モニタリング坑井の温度データを取得することができて、どの層から生産して、どの層で出砂がおきたかわかった。（試験中のリアルタイムデータと、長期観測データの両方）

• 課題と疑問

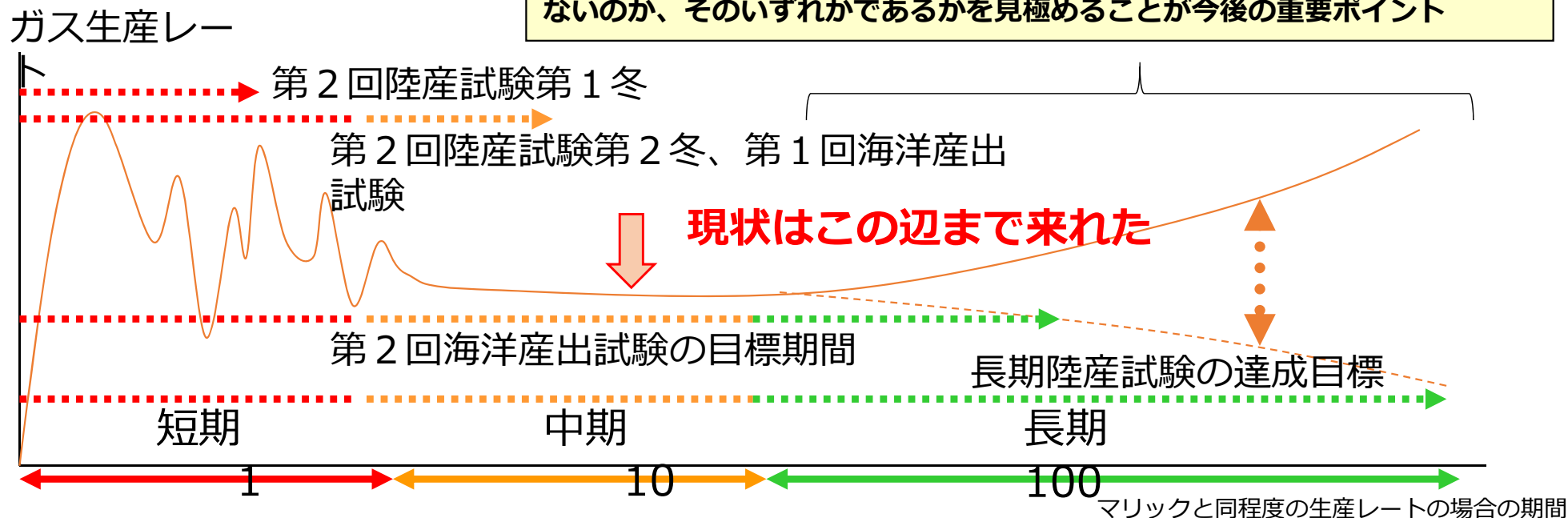
- どうしたら、生産を阻害しないで出砂を止められるか？
 - ガスと水がうまく分離できず坑底の圧力コントロールが難しかった。どうやって改善するか？
 - 短期的にはうまく働いたシステムは、長期的にも機能するのか。
 - 今後生産量はどうなっていくのか？
 - 長期に生産を継続した時に地層・坑井の安定性、環境への影響等はどうなるか
- 海底に減圧法を適用してメタハイを分解させてガスを生産できることは証明できたが、**長期・安定的に生産できる方法であることは証明には至っていない。**

第1回海洋産出試験：残された疑問点

- ガスは出た。しかし、どこから、どのように出たのか？
 - モニタリング井等のデータを詳細に分析中。
 - コアや検層のデータも見直し中。
- 出砂はどこで、どうして起こったのか。
 - なぜグラベルパックは働かなくなったのか？
 - 砂を止められればフローは継続できたのか？
 - 他にも安定的なフローを止める要因はないのか？
- 現状の認識：
 - 減圧法でガスが出せることは証明できたが、安定的に生産できる方法であることは証明には至っていない。
 - 海底の浅いところで、本当に安定的に生産できるのか？
 - 減圧法が経済的な生産手法あることを証明するには、長期の生産挙動が予想通りであることを証明する必要がある。

産出試験における試験期間・ガス生産量と達成できる課題

減圧法でのMH生産の場合、分解フロントが拡大することによる生産量の増大が見込まれている。実際にこの現象が生じるのか、あるいは熱の供給が十分でなかったり、貯留層障害が起きたり、水生産量が増大したりして生産量が増えないのか、そのいずれかであるかを見極めることが今後の重要ポイント



時期の特徴	減圧作業の不安定さや坑井周辺の局所的な現象により生産レートが変動する時期	坑内圧力が一定に保たれ、準定常的なガス・水の流れが確立する時期	分解範囲拡大による熱の供給増加による分解レート向上、あるいは生産障害による低下等、ゆっくりとした長期的変化が生じる時期
分解挙動	平均分解半径が坑井から数十cmにとどまり、地層の熱の他、坑井やセメントの影響を受けている	平均分解範囲が1mを超えて、坑井の影響は小さくなる。地層の元もとの熱と周囲からの熱供給がハイドレートの分解熱とバランスする	平均分解範囲が数m以上に達し、分解領域の広がりによる熱供給状況の変化が見え始める。一方でスキン形成、圧密などの生産障害、機器の磨耗等のトラブルが生じる
達成課題	装置が機能し、減圧によりガスが生産できることは確認できるが、その後の推移は予想できない。	減圧法における熱収支が評価できて生産挙動の将来予測に役立つが、分解範囲拡大による影響や生産障害はわからない。	長期挙動予測や機器の長期信頼性など将来の商業生産に直接用いることができる情報が得られる。

では次に何をするのか？（海編）

- なるべく長くフローを実現して、安定して生産できることを確かめ、生産挙動を知る。
- そのためには、
 - 船を安全に一か所にとどめておくこと
 - しっかりした出砂対策を施すこと
 - 海底でガスと水を確実に分離して、安定的な減圧を実現できること
 - 坑井の健全性（セメントの安定性）、地層の安定性などが保てること
 - 気象・海象条件などで作業が中断される可能性をなるべく低くし、またどうしても離脱しなければならない場合も早期に復帰できるようにすること

フロー期間の違いと、作業の仕方への影響

- 1 か月程度の作業
 - 台風期を避けて日程を選べる
 - 離脱しなければいけない可能性は無視できないが、時期によってはそれほど高くない
- 3 か月程度の作業
 - 台風期を避けて日程を選べる
 - 離脱しなければいけない可能性は徐々に高まる
- 1 年を通じた作業
 - 台風期を避けることはできない
- 天候の悪い時期
 - 真冬：季節風が強い
 - 春：南岸低気圧・日本海型低気圧の影響
 - 夏～秋：台風が来る
- 海流
 - 第二渥美海丘付近は黒潮の流軸から離れているから、通常は潮はそれほど速くないが、黒潮の反流や潮汐の影響を受けて、水深の深いところまで変動が大きい。

台風統計資料 (気象庁)

台風の平年値

平年値は、1981年～2010年の30年平均です。

地方ごとの台風接近数の平年値

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
沖縄地方					0.0	0.4	0.6	1.4	2.2	1.7	0.9	0.3	0.1	7.4
九州南部・奄美地方	奄美地方				0.0	0.1	0.3	0.8	1.0	1.1	0.6	0.0		3.8
	九州南部				0.0	0.0	0.4	0.7	0.9	1.0	0.4	0.0		3.3
九州北部地方(注1)					0.0	0.0	0.3	0.8	1.0	1.0	0.3			3.2
四国地方						0.0	0.3	0.6	1.0	0.9	0.3	0.0		3.1
中国地方(注1)						0.0	0.3	0.5	0.8	0.9	0.2	0.0		2.6
近畿地方						0.0	0.3	0.5	1.0	1.0	0.5	0.0		3.2
東海地方						0.0	0.2	0.5	1.0	1.0	0.5	0.0		3.3
北陸地方							0.2	0.4	0.9	0.8	0.2	0.0		2.5
関東甲信地方	関東地方(注2)、甲信地方					0.0	0.2	0.4	0.9	1.1	0.6	0.0		3.1
	伊豆諸島、小笠原諸島				0.1	0.4	0.3	0.8	1.2	1.3	1.1	0.3	0.1	5.4
東北地方						0.0	0.1	0.3	0.8	0.9	0.4			2.6
北海道地方							0.1	0.2	0.7	0.7	0.1			1.8

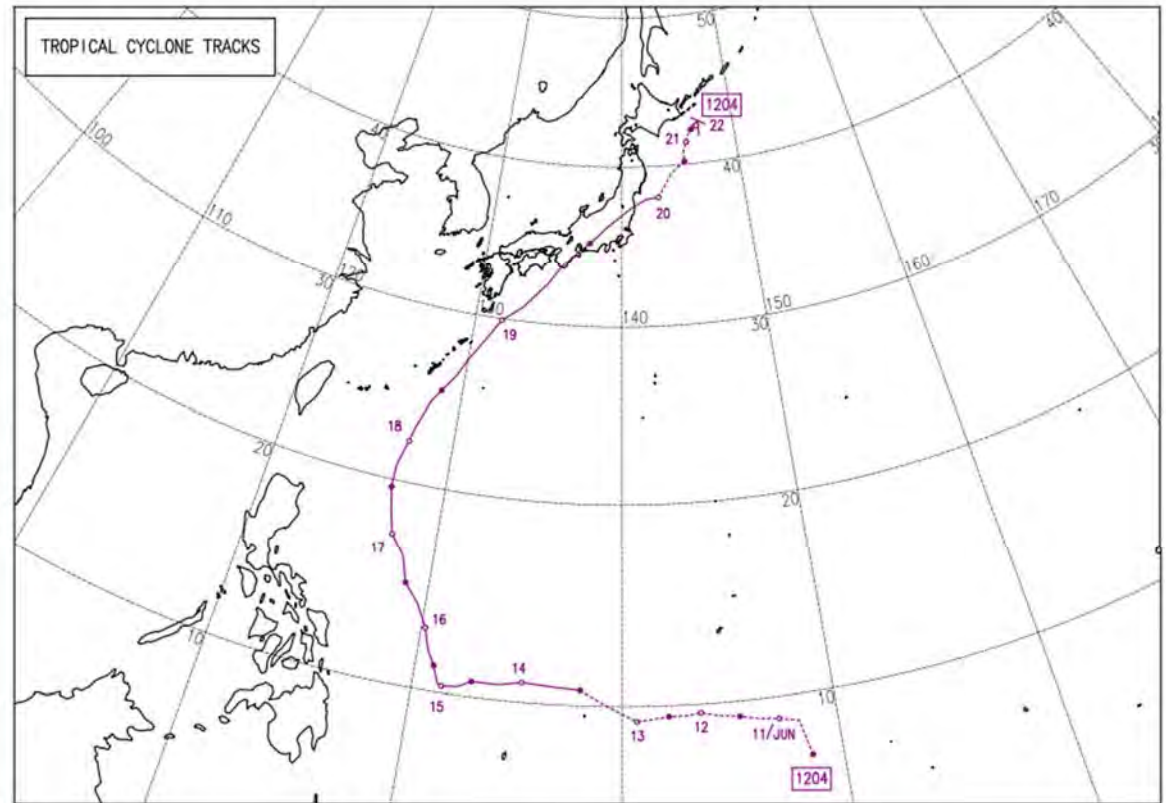
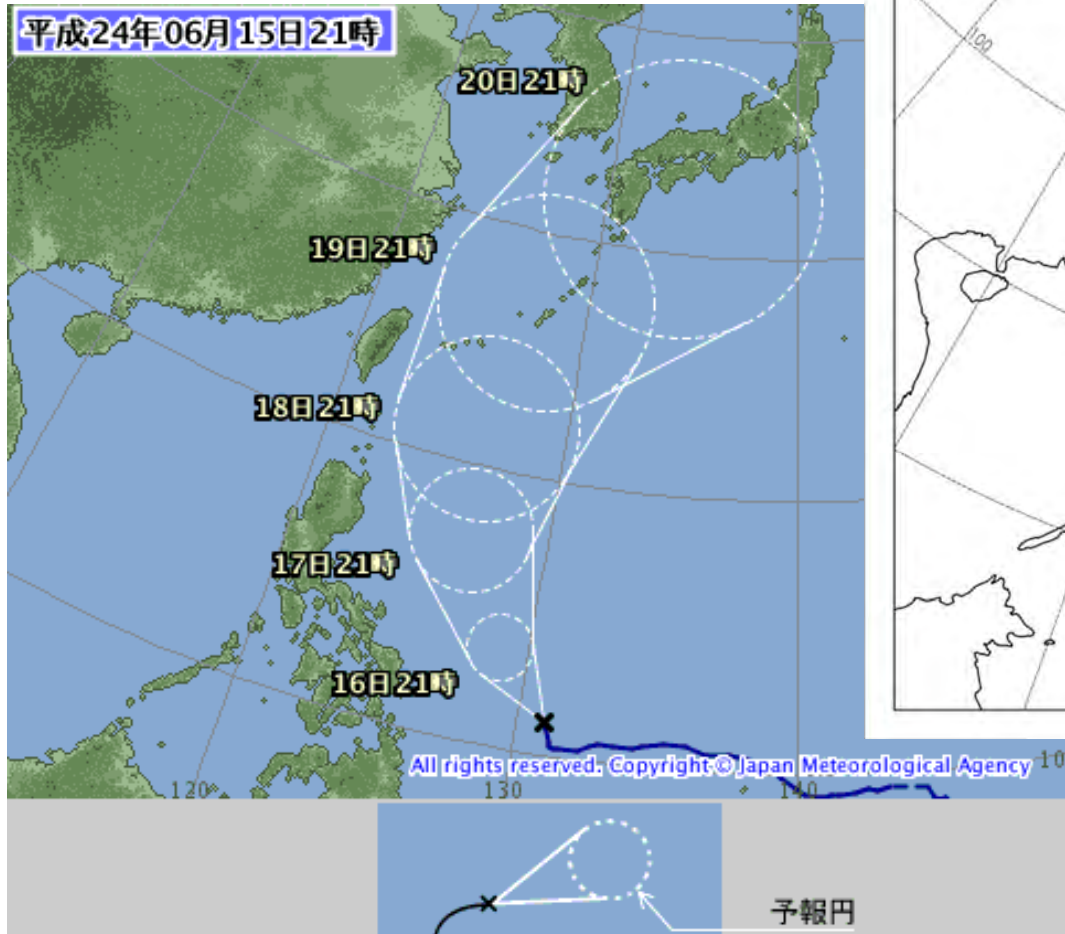
(注) 地方の区分については、気象庁が天気予報等で用いる予報用語の「[地域名](#)」をご覧ください。

(注1)「九州北部地方」は山口県を含み、「中国地方」は山口県を含みません。

(注2)「関東地方」は伊豆諸島および小笠原諸島を含みません。

2012年 台風4号（第1回海洋産出試験のコア掘り航海の直前で、ちきゅうは佐世保ドックで準備中）

．．．掘削ライザーは、設置・回収にそれぞれ数日かかる



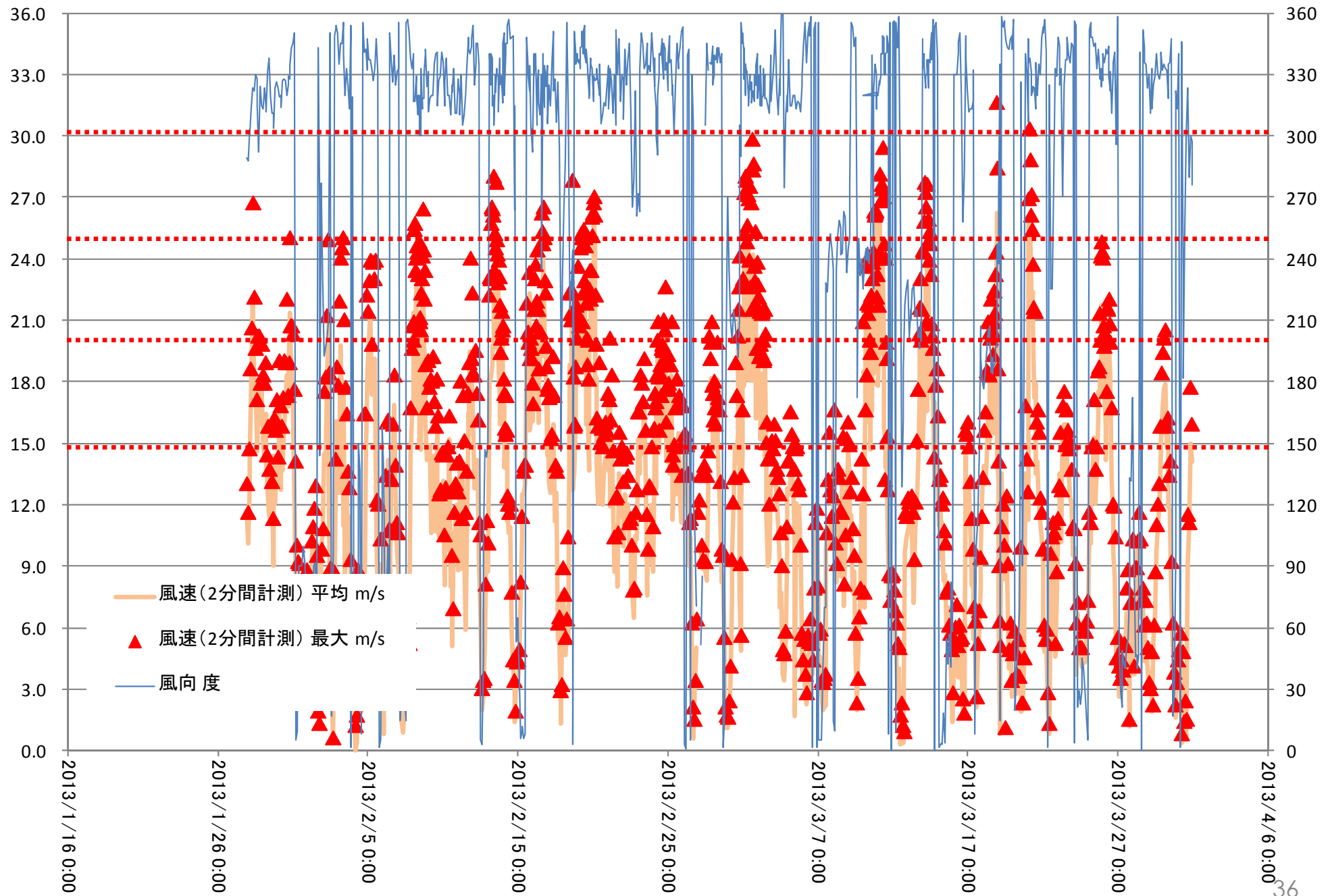
実際の進路（予報よりも1日早く19日の夜直撃となったが、進路によっては結果的に避難は必要なかったという状況もあり得た）

（気象庁台風経路図

http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2012.html)

6/15の進路予測：この時点で計画退避の決定となったであろう。（気象庁）

2013年作業中の風向・風速

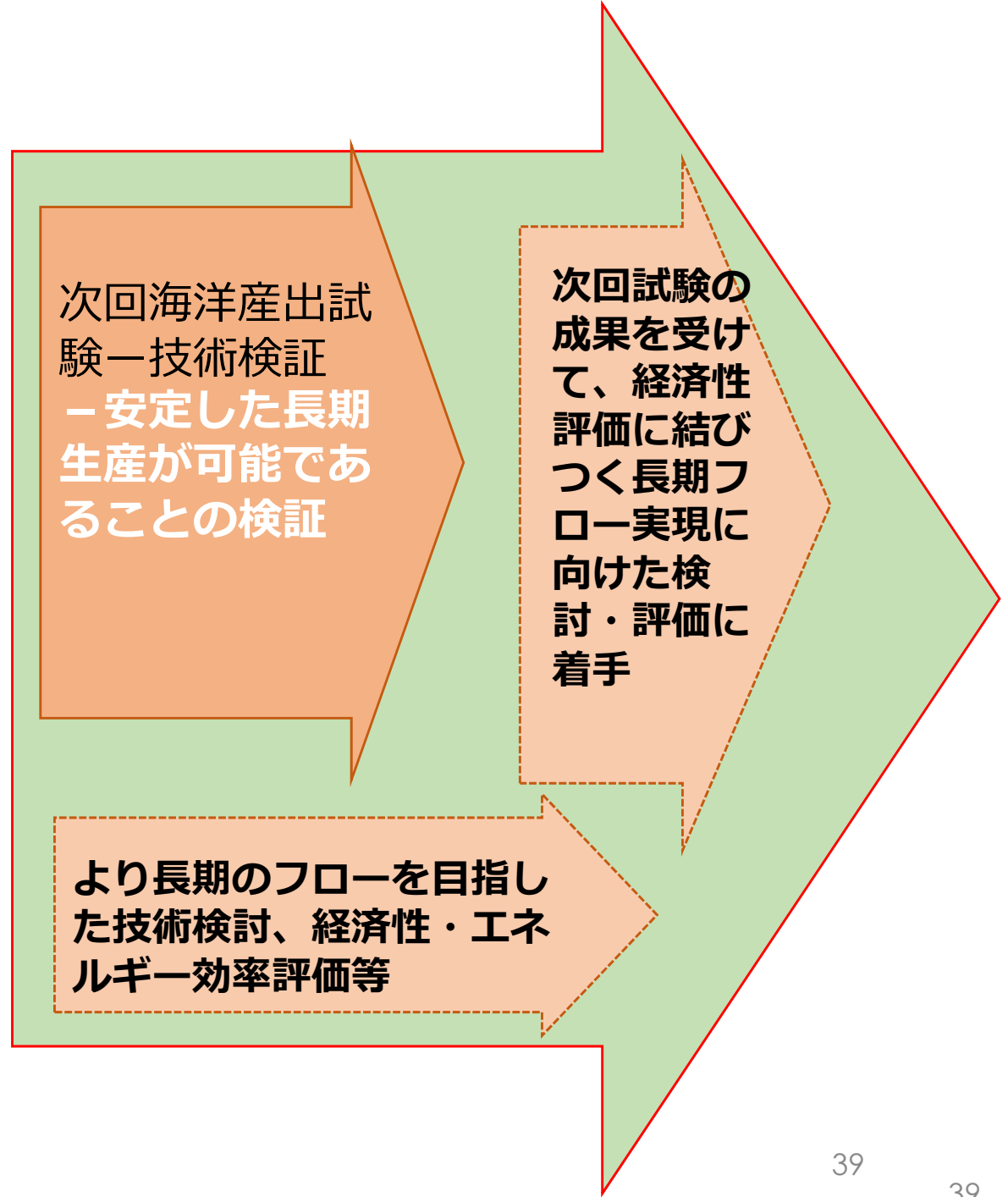
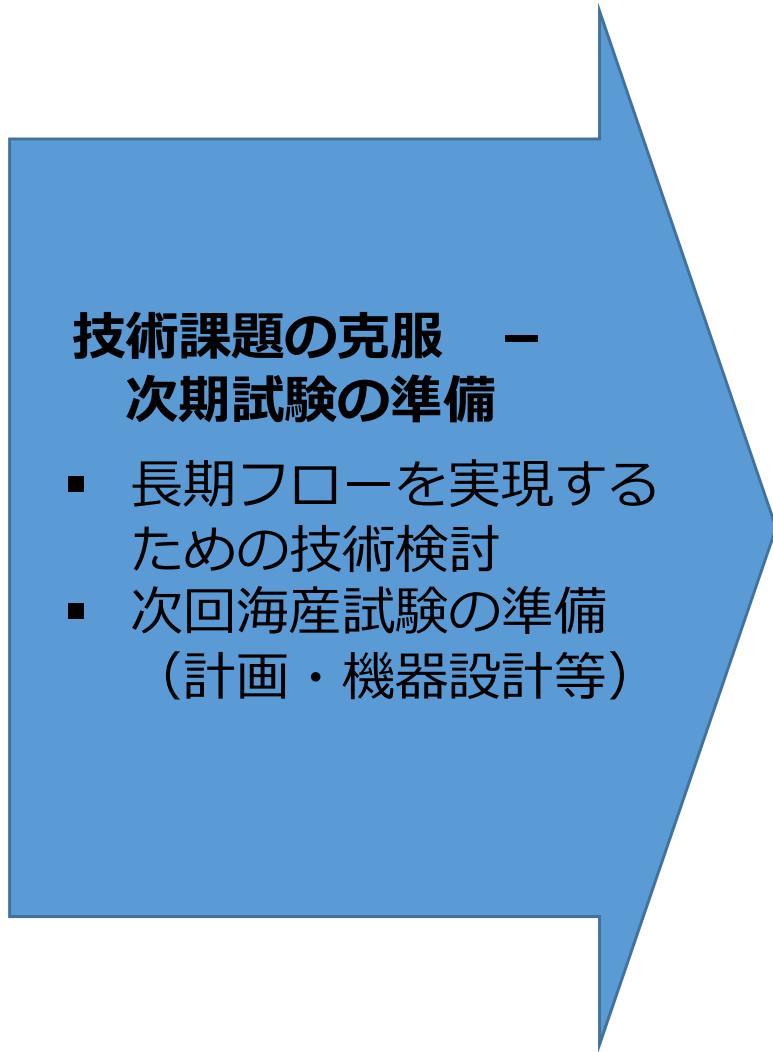


フロー期間の違いと、作業の仕方への影響

- 1 か月程度の作業
 - 台風期を避けて日程を選べる
 - 離脱しなければいけない可能性は無視できないが、時期によってはそれほど高くない
 - 第1回同様、坑内に機器を置き、DPS (Dynamic Positioning System、係留せずスラスタで一保持する仕組み) 掘削船で作業をすることが現実的、経済的
- 3 か月程度の作業
 - 台風期を避けて日程を選べる
 - 離脱しなければいけない可能性は徐々に高まる
 - 第1回同様、坑内に機器を置き、DPS掘削船で作業をすることが可能
- 1 年を通じた作業
 - 台風期を避けることはできない
 - 係留する方式を用いることがより現実的になってくる
- 数年にわたる作業 (実際のフィールド開発)
 - 台風期を含めた継続的な作業が必要
 - 恒久的なプラットフォームの建造・設置が必要
 - 海底にすべての設備を設置するオプション (海上に設備を置かない) も考えられる。
- 天候の悪い時期
 - 真冬：季節風が強い
 - 春：移動性高気圧の影響 (爆弾低気圧)
 - 夏～秋：台風が来る
- 海流
 - 第二渥美海丘付近は黒潮の流軸から離れているから、通常は潮はそれほど速くないが、黒潮の逆流や潮汐の影響を受けて、水深の深いところまで変動が大きい。

安定した長期生産が可能であることを確認して、より長期の生産につなげる

- **目的**：経済性評価に資する種々の情報の取得を目指す、より長期の産出試験（フローテスト）の実施可能性を見極めるため、第1回海洋産出試験で明らかになった技術課題に対する解決策の検証を重点的に行うことを目的とする。
- **実施内容**：第1回試験で顕在化した技術課題の解決を図るために改良された手法、技術を用いて、第1回試験と同様に掘削船を使用し減圧法の試験を実施。
 - 異なる出砂対策装置を設置した二つの生産井を計画
 - 第1回と同様に温度モニタリング等を実施して、分解範囲を評価
- **時期と期間**：2015年度中に掘削作業に着手、2016年度末頃以降にガス生産実験の作業を開始。初期擾乱期間経過後、ガス生産量がある程度安定化してくる段階まで継続的にフローさせることを目指す。
 - 掘削船を使用した作業のため、コスト、気象・海象の影響等を勘案して、1か月程度のフロー期間を想定)
- **場所と対象**：日本近海のメタンハイドレート濃集帯のうち、十分にデータが得られていて、第1回試験の課題検証を行う条件が整っており、試験に関わるリスクが小さい場所の砂層型メタンハイドレート貯留層を対象に実験する。
- **実施体制**：前回同様、MH21が主導する研究体制の下、現場作業及び機器開発の実務は JOGMECからオペレータに委託して実施。



次回試験にむけた主な改良点

• 試験システム全体

- 第1回同様のDPS船による試験を予定。緊急切り離しのリスクを低減し、また切り離された場合に早期に作業に復帰できるようにシステムを改善。
- 異なる出砂対策装置を有する複数の生産井を掘削して、各々の装置の評価を実施。生産実験は2坑井同時には行わず1坑井ずつ行い、トラブル発生時には切り替えて試験を継続。

• 坑内機器

- より内径の大きいケーシングを設置することで水・ガス分離の効率化を図る。
- 装置を単純化しトラブルのリスクを軽減。また、低温での信頼度が低いゴム製パッカーは不採用とするなど、信頼性を向上する。

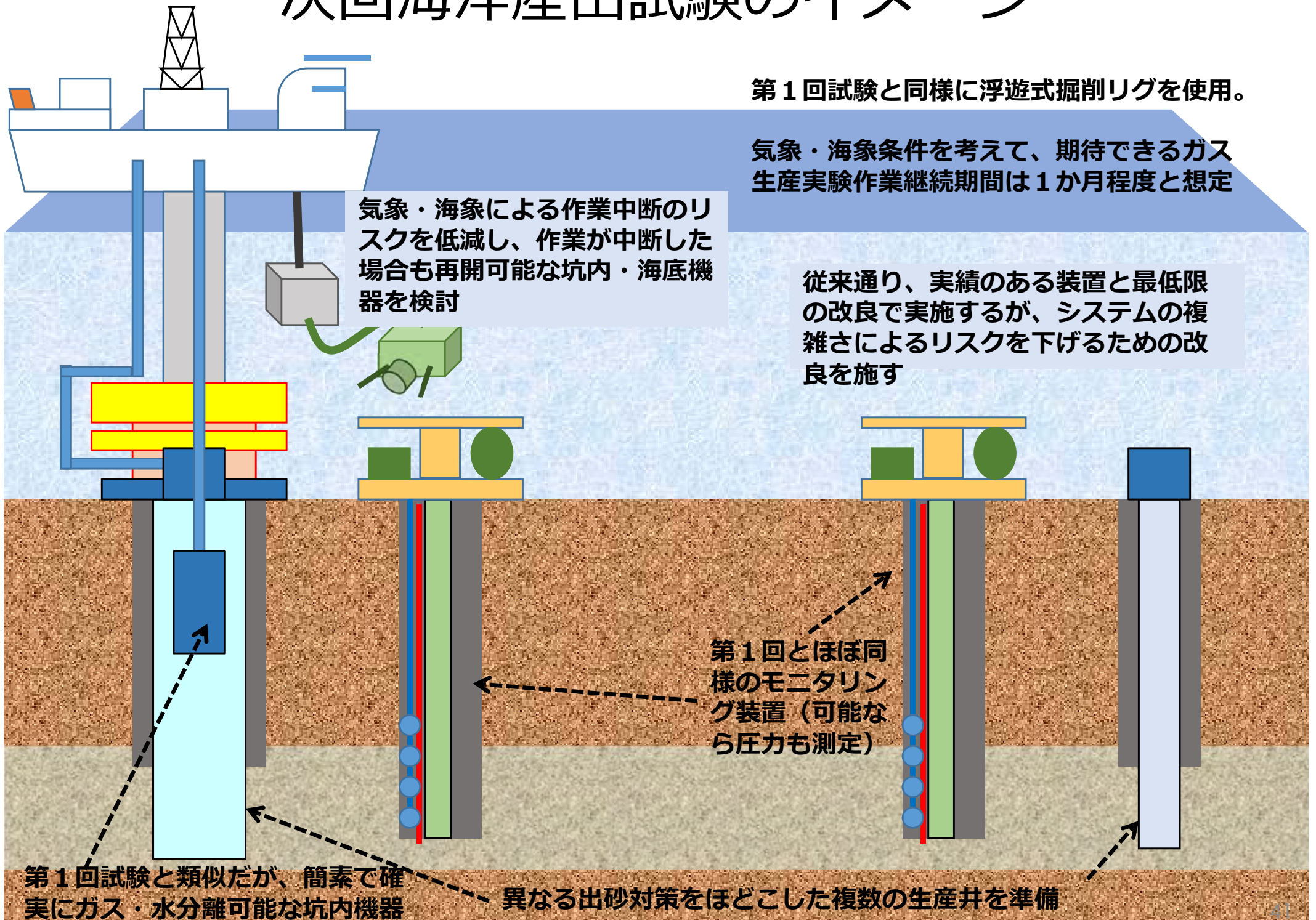
• 出砂対策

- グラベルの移動という事象に鑑みて、グラベルを用いない装置、あるいは用いても確実に充填できる装置を適用。
- エロージョン、および力学的な破壊の可能性の低減を考慮した設計。
- 事前に室内実験等で十分な検討を行う。

• モニタリング装置

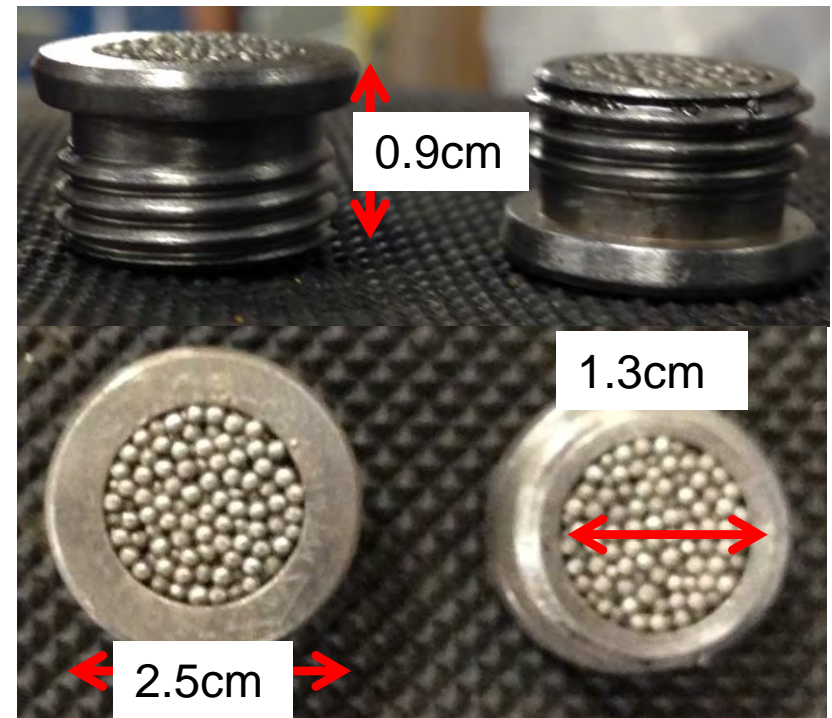
- 第1回試験と同様の温度モニタリングに加えて、圧力計測を試行。
- 環境モニタリング装置の問題点を検証して、システム構成を改良。

次回海洋産出試験のイメージ



出砂対策装置（詳細はポスター参照）

- グラベルのように流出・移動する恐れがなく、変形やエロージョンにも強い形状記憶ポリマーを使った出砂対策装置に、金属ビーズインサートを追加。
- 坑底で膨張させるタイプと、膨張させたものを設置するタイプの2タイプを使用。



形状記憶ポリマーを使用した出砂対策装置（Geoform）が低温で機能するか確認するための試験の状況

ワークオーバーライザーの使用（詳細はポスター参照）

- 設置回収に時間がかかる船の掘削ライザーではなくて、作業が素早くできる改修作業用ライザーで試験する。
- 既製品で、新規設計・製造要素が少ない。

<http://www.akersolutions.com/en/Global-menu/Products-and-Services/Subsea-technologies-and-services/Subsea-production-systems-and-technologies/Subsea-intervention-and-workover-systems/Workover-Riser/>

候補の坑内試験システム（詳細はポスター参照）

- 前回よりもケーシングを大径化して流速を落としガス・水分離効率を上げる
- 低温での機能が不安ならラバーパッカーは使わない。
- 全体的に単純な構成とする。
- 緊急離脱後の再接続に対応。
- 坑底の複数点で温度・圧力測定可能

長期陸上産出試験の目的①

- 「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」のフェーズ2実行計画では、我が国周辺海域のメタンハイドレートの生産手法の確立に資する技術的知見を得るべく、長期陸上産出試験の実施が計画されている。
- JOGMECはMH21の一員として、これまでカナダ北西準州や米国アラスカ州の永久凍土地帯における産出試験の実施を目指し、その可能性を追求し続けてきた。

(1)なぜ、「長期」の試験を実施する必要があるのか？

- 在来型の油ガス田と異なり、短期試験の結果から長期生産挙動と生産手法の妥当性を評価し、経済性を検討することが難しく、テストデータもない。
- メタンガスの生産は長期にわたって継続できるのか、そのときメタンハイドレート層はどういった挙動をとるのか、連続生産を続けることで新たな生産障害は生じないのか等々の、更なる検証が必要。

(参考)過去の陸上産出試験

- ①第1回陸上産出試験(2002年3月@カナダ・マリック/日加米独印の共同研究)
 - ・『温水循環法』でメタンガスを生産(世界初)、試験期間約5日で累計生産量は約470m³
 - ・エネルギー効率等について課題
- ②第2回陸上産出試験(2007年4月、2008年3月@カナダ・マリック/日加の共同研究)
 - ・『減圧法』でメタンガスを生産(世界初)、試験期間約5.5日間で累計生産量は約13,000m³
 - ・『減圧法』の有効性が実証



<試験の実施地点>

(2)なぜ、「陸上」で実施するのか？

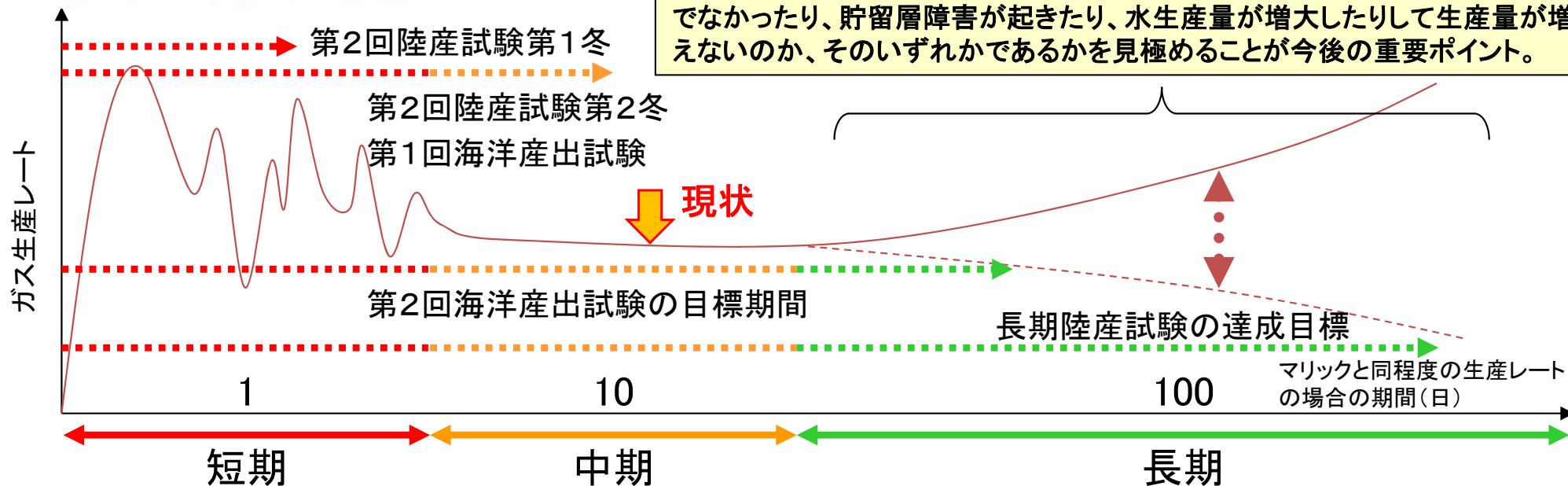
- 海洋産出試験では、コスト面の制約、気象・海象の制約を鑑みると、海洋における産出試験の期間の大幅な増加は困難。

・掘削リグによる作業は潮流が早く、台風も来る海域では長期運用が困難。備船費用も高額

長期陸上産出試験の目的②

(3) 何が分かるのか

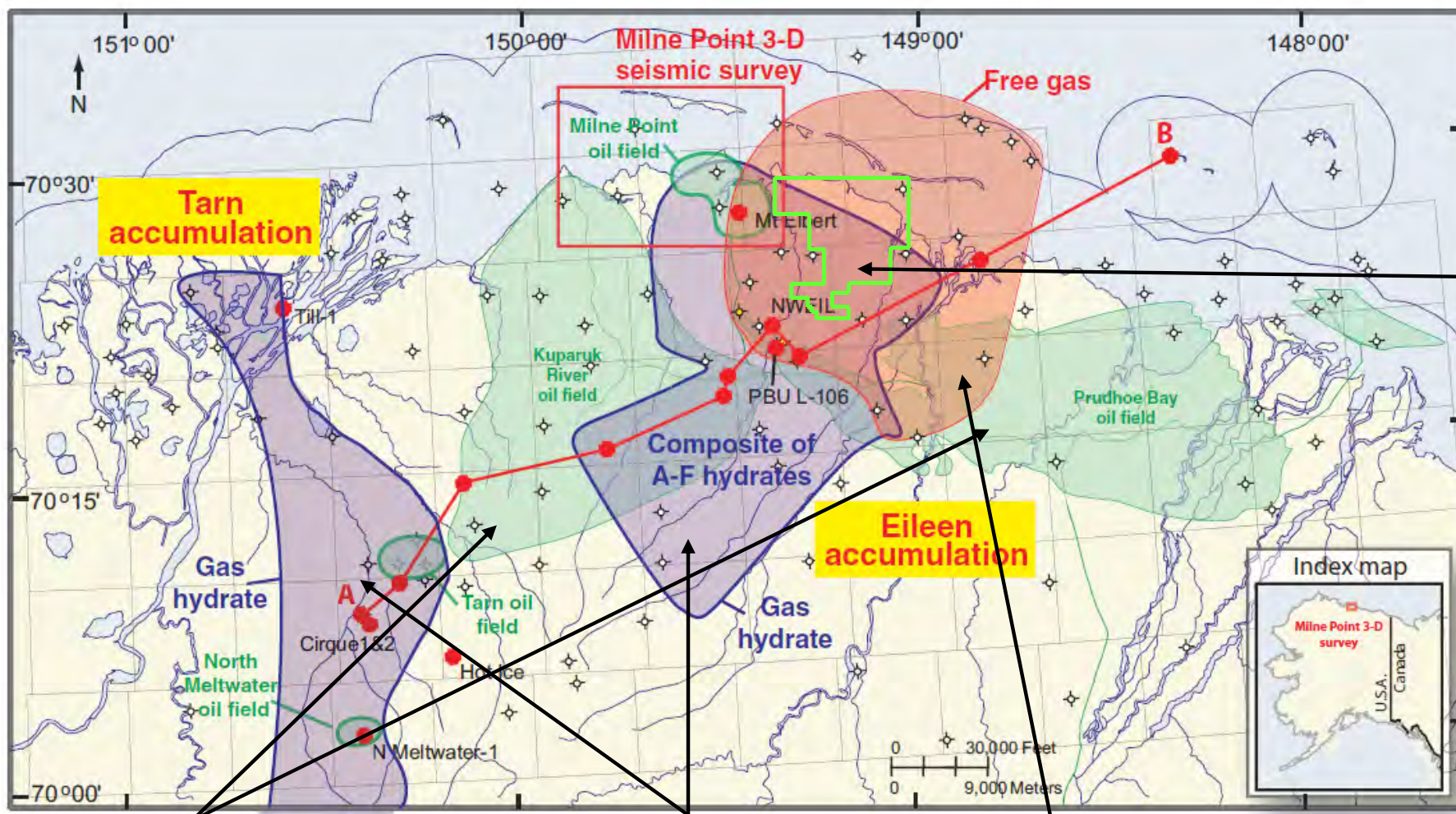
減圧法でのMH生産の場合、分解フロントが拡大することによる生産量の増大が見込まれている。実際にこの現象が生じるのか、あるいは熱の供給が十分でなかったり、貯留層障害が起きたり、水生産量が増大したりして生産量が増えないのか、そのいずれかであるかを見極めることが今後の重要ポイント。



特徴	減圧作業の不安定さや坑井周辺の局所的な現象により生産レートが変動する。	坑内圧力が一定に保たれ、準定常的なガス・水の流れが確立する。	分解範囲拡大による熱供給増加による分解レート向上、あるいは生産障害による低下等、ゆっくりとした長期的変化が生じる。
分解挙動	平均分解半径が坑井から数十cmにとどまり、地層の熱の他、坑井やセメントの影響を受けている。	平均分解範囲が1mを超えて、坑井の影響は小さくなる。地層の元もとの熱と周囲からの熱供給がハイドレートの分解熱とバランスする。	平均分解範囲が数m以上に達し、分解領域の広がりによる熱供給状況の変化が見え始める。一方でスキニング形成、圧密などの生産障害、機器の磨耗等のトラブルが生じる。
達成課題	装置が機能し、減圧によりガスが生産できることは確認できるが、その後の推移は予想できない。	減圧法における熱収支が評価できて生産挙動の将来予測に役立つが、分解範囲拡大による影響や生産障害はわからない。	長期挙動予測や機器の長期信頼性など将来の商業生産に直接利用できる情報が得られる。

米国アラスカ州における実施可能性の探求①

- 2013年4月16日、米国エネルギー省(DOE)とアラスカ州政府が、メタンハイドレート研究に関する覚書に調印。アラスカ州政府は、メタンハイドレート研究のために11鉱区のリースを留保(取り置き鉱区)。



取り置き鉱区

既存油ガス田

ハイドレートの存在が知られる地域

ハイドレートと接触するフリーガスが存在する地域

＜Prudhoe Bay-Kuparuk River油田の油田・フリーガス・ハイドレートの広がり＞

米国アラスカ州における実施可能性の探求②

- 2014年3月13日、DOEはアラスカ州における陸上産出試験に関する補助金事業の公募を発表。日本側は、これを米国と連携した陸上産出試験実施の機会と捉え、補助金事業としてではなく、DOEとの共同研究事業として進めることをJOGMECから提案。
- 2014年11月6日、JOGMECと米国エネルギー技術研究所（NETL）との間でアラスカ州でのメタンハイドレート陸上産出試験の実現に向けた協同作業実施に関する覚書（MOU）に署名。



<MOU署名式>

（左から、河野理事長、宮沢経済産業大臣、ケネディ駐日米国大使、スミス米国DOE首席次官補代理）

<MOU概要>

当事者	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC） 米国エネルギー技術研究所（NETL）
目的	アラスカ州でのメタンハイドレート陸上産出試験の実現に向けた協同作業実施

JOGMECニュースリリースより
米国エネルギー技術研究所とMOU締結
～メタンハイドレート陸上産出試験の実現に向け協調～
http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_10_000156.html

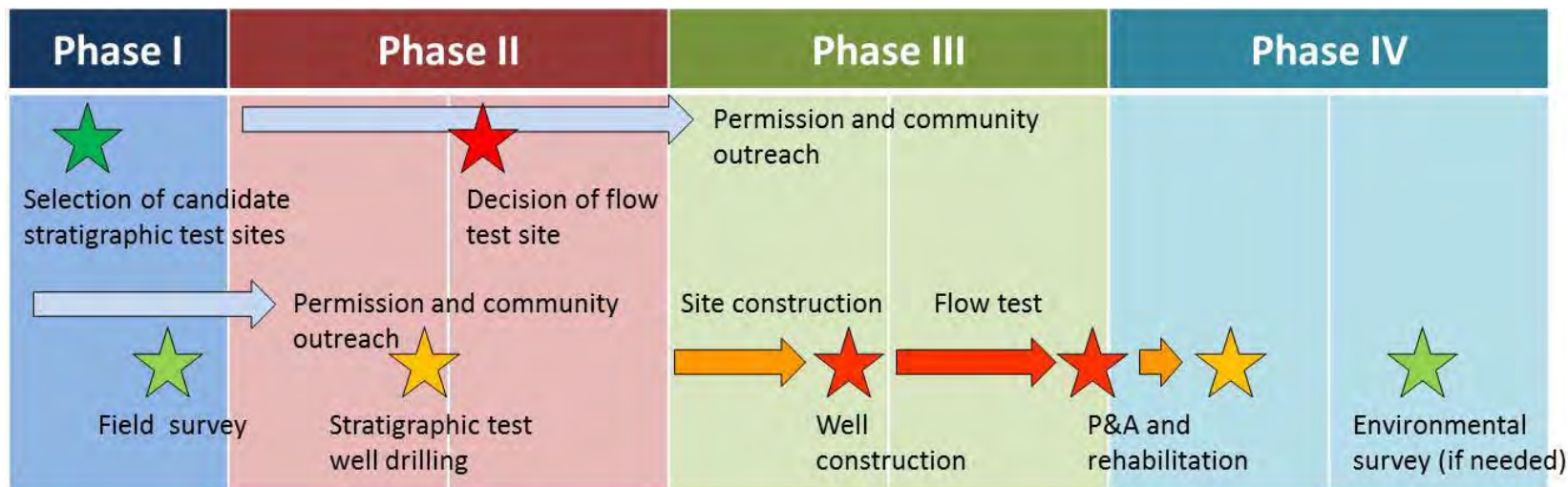
計画概要

- 本プロジェクトは、米国側と協同して以下のように段階的に進める計画。ただし、取り置き鉱区におけるメタンハイドレートの賦存状況の不確実性が高いため、当面は試験適地を決めるための試掘を行うこととして、それに向けた作業が中心。
- 現在、JOGMECは、NETLやUSGSと連携し、取り置き鉱区内のメタンハイドレートのポテンシャル評価を行い、試験候補地の絞り込み・優先順位付け作業を実施中。

フェーズ	内容
Phase I	試験候補地の優先順位付け、試掘計画立案及び費用見積もり等
Phase II	試験候補地での試掘、生産試験実施サイト決定、生産試験計画立案等
Phase III	減圧法を主体とした中長期生産試験及び貯留層応答のモニタリング等
Phase IV	試験データの解析・解釈等

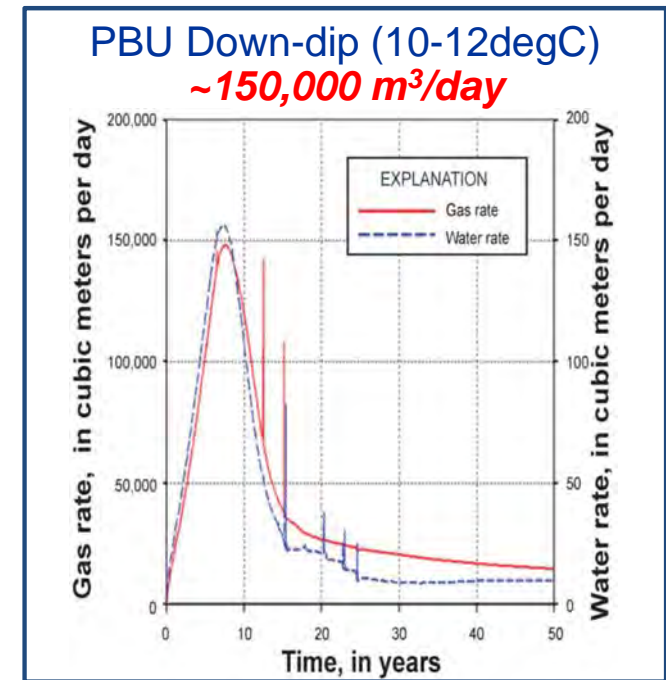
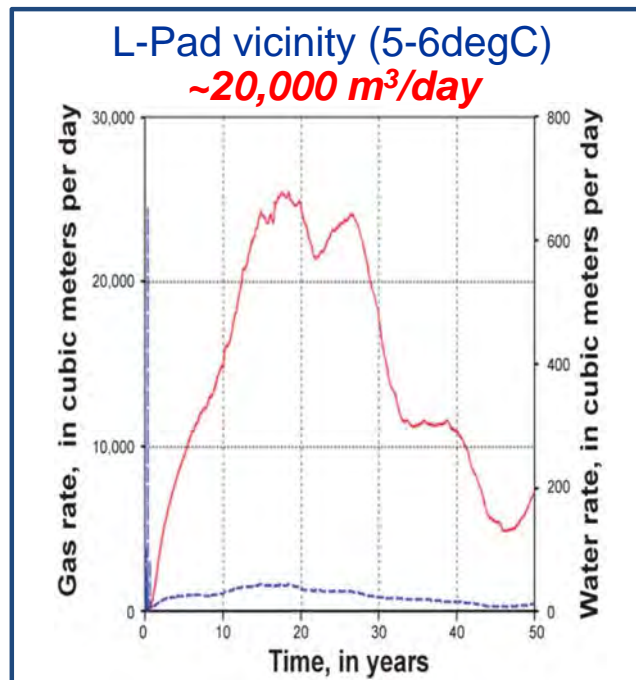
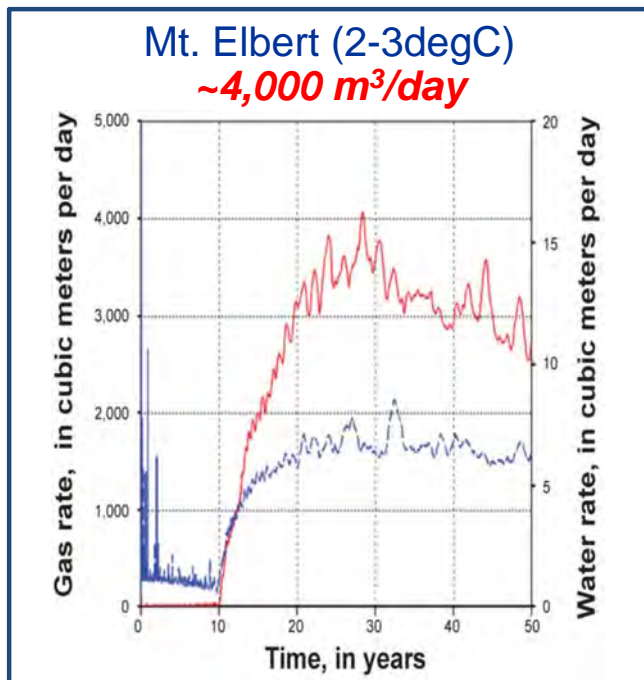
試掘実施ターゲット：
2016-17年冬季を想定

試掘の結果によっては、生産試験に進まないこともある



Phase IとII、Phase IIとIIIの間では、次のフェーズに進むか否かの判断を行う

貯留層温度と生産挙動(例)



(出典) T.S. Collett, R. Boswell, M.W. Lee, B.J. Anderson, K. Rose, and K.A. Lewis., 2012. Evaluation of Long-Term Gas-Hydrate-Production Testing Locations on the Alaska North Slope, SPE-155504-PA, SPE Reservoir Evaluation & Engineering.

試験候補地 リスク評価表(過去の評価事例)

Table: Review of relative favorableness of each location for long-term production testing.

H = high risk associated with this parameter (unfavorable); M = medium risk; L = low risk (favorable)

Parameter	MPU E-pad	MPU B-pad	PBU L-pad	PBU Kup St. 3-11-11	PBU down dip L	KRU W Sak 24	KRU 1H
Reservoir Temperature ¹	H	H	M	M	L	H	H
Ownership ²	L	L	H	H	H	M-L	M-L
Access ³	M	M	L	L	H	L	L
Geologic Risk ⁴	L	L	L	L	H	M	M
Data Availability ⁵	L	L	L	M	H	M	M
Well Risk ⁶	L-M	L-M	M	M	H	M	M
Facilities Access ⁷	L	L	L	M	H	M	L
Gas Disposal ⁸	H	H	H	H	H	H	H
Interference w/Operations ⁹	L	?	H?	L	L	L	H?
Water Disposal ¹⁰	L	L	L	M	H	M	L
Use of Gas ¹¹	L?	L?	M	M	M	L	L?
Test Options ¹²	M-H	M-H	L	L	M-H	H	H

海洋・陸上産出試験とその後

- 次回の海洋産出試験と、陸上産出試験の知見を組み合わせ、メタンハイドレートの長期的な生産挙動を予測できるようにする。
- 技術課題を一つ一つ克服するとともに、期間・生産量が増えることで生じる新たな課題を抽出して解決する。
- より長期の海洋産出試験、商業化段階で必要な技術について、調査と必要な技術開発を続けて、次の段階にスムーズに移行できるように準備する。
 - 海象・気象・海底地形・環境影響・海底地盤安定性等に関する調査・研究
 - 未固結堆積物における掘削技術、安定化技術
 - 大水深石油開発に適用されている技術と、メタンハイドレートへの適用性・改良項目の調査・検討（低温・低圧・低流量環境でのコスト低減策など）
 - 生産性・回収率増進技術の適用性検討
- 経済性・エネルギー効率の評価を行い、資源としての価値を見極める。