

メタンハイドレートフォーラム 2018

MH21総括成果報告:総論 フェーズ 2~3の成果のまとめ

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21)
サブプロジェクトリーダー 山本晃司 (JOGMEC)

2019年1月23日 (水)
東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

- メタンハイドレート資源開発の課題～フェーズ2着手時の認識（フェーズ1中にわかったことと残された課題）
 - メタンハイドレートの賦存状況に関する課題
 - 貯留層の特性と生産挙動予測に関する課題
 - 生産手法と生産技術に関する課題
 - 将来の開発システムやその経済性に関する課題
 - 環境影響に関する課題
- メタンハイドレート資源開発の課題～フェーズ3終了時の認識（何が解決されたのか、何が新たな課題として浮かび上がったのか）

フェーズ1 着手前（2001年以前）

- 主として、科学的関心の対象として見られていた時代
 - 科学調査（地震探査・掘削調査）から、海底面下にメタンハイドレートが存在し、BSR（海底擬似反射面）が存在の指標となることがわかる
 - ハイドレート自体の物性が解明されてくる
 - 石油業界では、パイプラインの閉塞要因として、また掘削時のハザードとして関心が寄せられる。
 - 膨大な量が存在している可能性が指摘され、資源としての有用性が議論され始める
- 日本においても研究が始まる
 - 1995：石油公団と民間5社による特別研究開始
 - 1996：日本周辺のメタンハイドレート資源量評価（年間天然ガス消費量より2桁程度大きい、佐藤他）
 - 1998：カナダ北西準州でハイドレート調査井Mallik 2L-38掘削、コア取得等
 - 1999～2000：基礎試錐「南海トラフ」で海底面下の砂層からコア取得

メタンハイドレートは資源として成立しない！！

メタンは二酸化炭素の20倍の温室効果を生じさせる。また、連鎖反応的な分解が生じれば、海底地滑りのような大災害を引き起こす危険な物質である。人の手で分解させるべきではない。

メタンハイドレートは、全体の量は膨大かもしれないが、広くまばらに分布している。このような、集積していない資源は経済的に生産できない。（海水に溶けている金のように）

メタンハイドレートは石油・天然ガスのように自噴しない。手間を加えて取り出さないといけない。その上、その分解は吸熱反応である。エネルギーを与えないと分解しないので、効率はさらに悪くなる。（核分裂に対する核融合のように）

フェーズ1 (FY2001-FY2008) の成果

東部南海トラフにおける二次元/三次元地震探査と、基礎試錐東海沖～熊野灘 (2004) により、**タービダイト砂層中**に高い飽和率で厚くハイドレートが存在している「**ハイドレート濃集帯**」が見出される。

カナダで実施された第1回陸上産出試験 (2002) で、ハイドレートを含んだ**砂質堆積物に有限の (ゼロではない) 浸透率**があることがわかる = 地層中に**減圧された領域**を作り出せる。そうすれば、外部から熱を加えなくても分解させられるのでは？

数値シミュレーションや室内実験での検討

第2回陸上産出試験 (2007-2008@カナダ マッケンジーデルタ)
厚さ約10mのメタンハイドレートを含む砂層に減圧を適用して、5.5日間連続で13,000m³のガス生産に成功。

日本の近海のハイドレートではどうか!?

メタンハイドレート濃集帯が形成されるには？

メタンガス

有機物

+

メタン生成メカニズム（微生物・熱分解）

移動の
経路

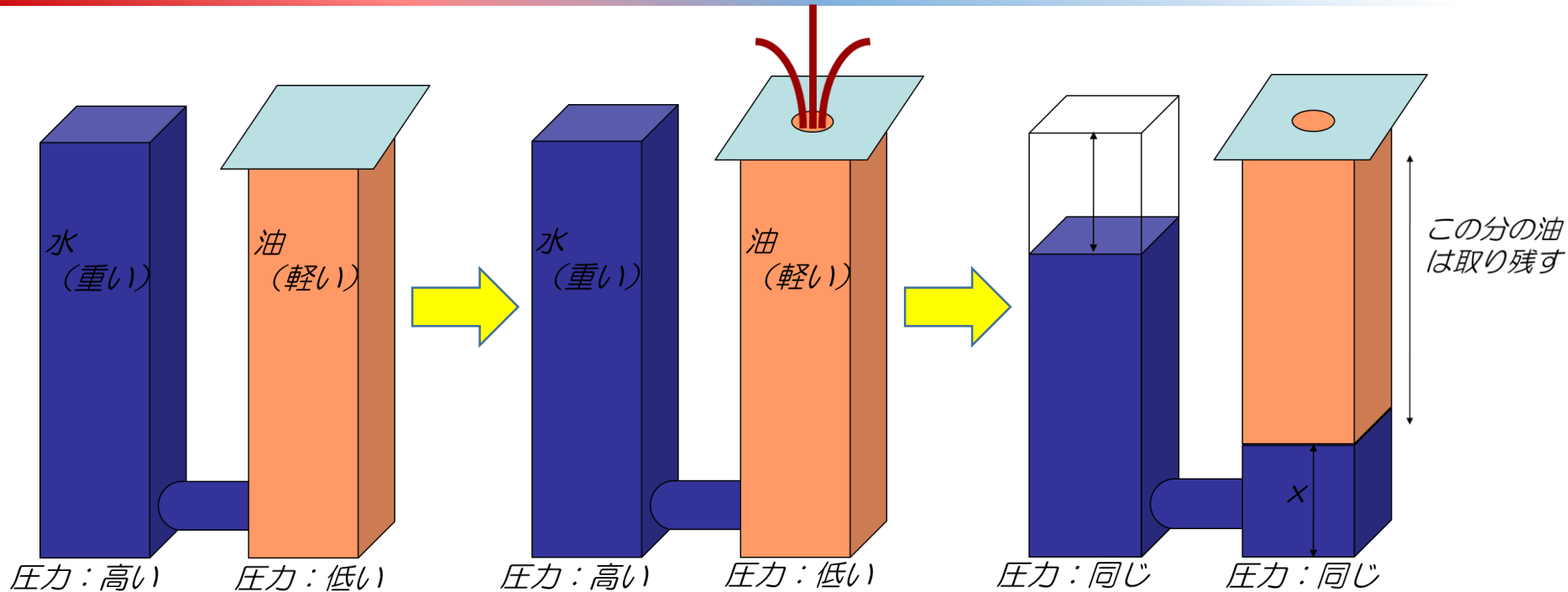
集積する場（多孔質の堆積物）

沖合い・深海への砂の輸送

温度・圧力条件

水深・深度

なぜ石油は自噴する？

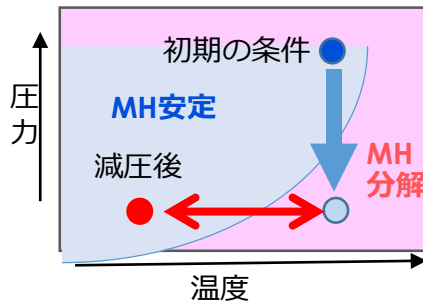


- 地下の石油は周囲の水やガスの圧力に押されて圧力がかかった状態になっている。
- **自然の力で生産できる石油 = 一次回収**
 - 圧力を保つために水を送る：二次回収、それ以上の手立て：三次回収
- 我々は、石油を燃やしたエネルギーだけでなく、地下で自然が石油を押し上げるエネルギーを利用している。
- しかし、ハイドレートは固体であり、流動しない。
 - エネルギーを投入して流れるようにする、地上に上がってくるようにする必要

エネルギーという観点で見たメタンハイドレートについておさらい

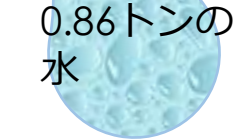
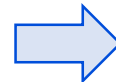
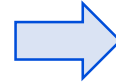
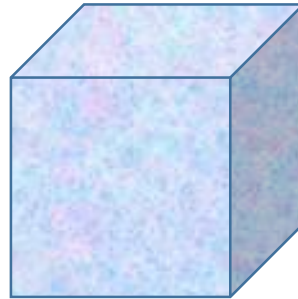
分解させるの必要な熱 = 約
437MJ

- 人工的に加熱しようとする、ハイドレート及び周辺の地層を平衡温度まで上げるための熱も必要
- 減圧法では、平衡温度を下げることで地層のもつ顕熱熱源に利用する（人工的に投入する必要なし）



この分の熱がMH分解に使える

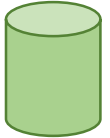
1m³ (0.9トン) のメタンハイドレートのかたまり



燃焼させると約
6,500MJのエネルギー



=原油1bblとほぼ同じ
価値 (70ドルくらい)



1,000m分くみ上げるのに8.6MJの
エネルギー

- 第二渥美海丘で3MPaまで減圧するのに必要

生産可能な熱エネルギー =

溶かすのに必要なエネルギーの **15倍** (実際には地層を温めるのにもっと熱がいる)

水を汲み上げるのに必要なエネルギーの **700倍** (実際には地下水も汲み上げてしまう)

エネルギーを得るのにエネルギーが要る (断熱条件での計算)

1m³のメタンハイドレートを含む堆積物の
の顕熱



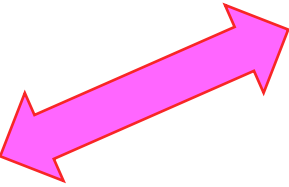
ハイドレート 28%
密度 910kg/m³
比熱 1.90kJ/(kg·K)
1°Cあたりの熱 484kJ

水 12%
密度 1000kg/m³
比熱 4.19kJ/(kg·K)
1°Cあたりの熱 503kJ

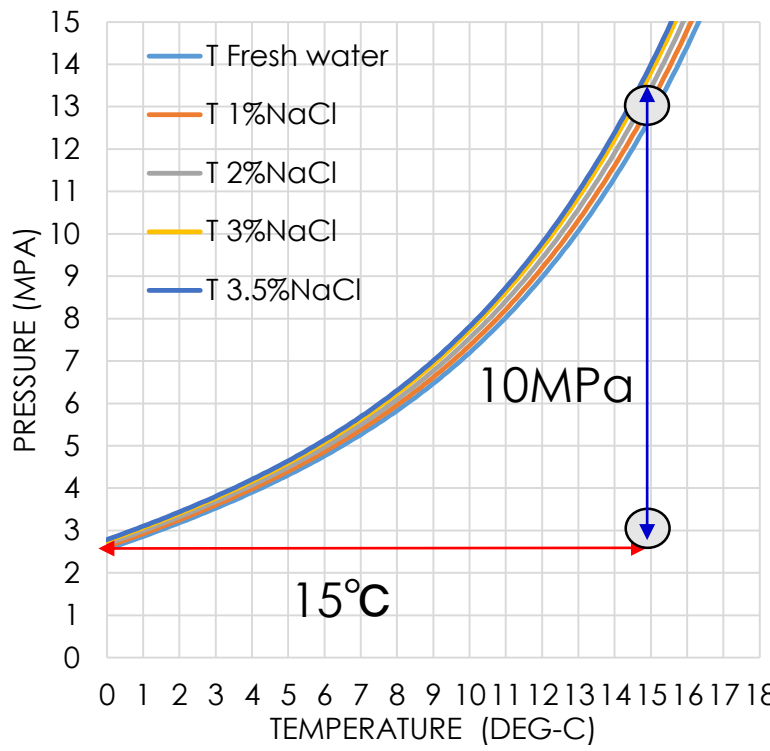
堆積物 (石英) 60%
密度 2660kg/m³
比熱 0.75kJ/(kg·K)
1°Cあたりの熱 1197kJ

堆積物の持つ熱量 = 2184kJ/K

このハイドレートを溶かすのに必要な熱 (ハイドレートのもつ潜熱) = 111,348kJ



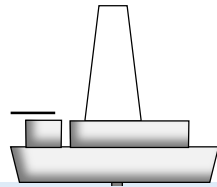
圧力を10MPa下げられれば、15°C分の熱 = 2184x14 = 30576kJ の熱が分解に使える
: 約28%のMHを分解できる



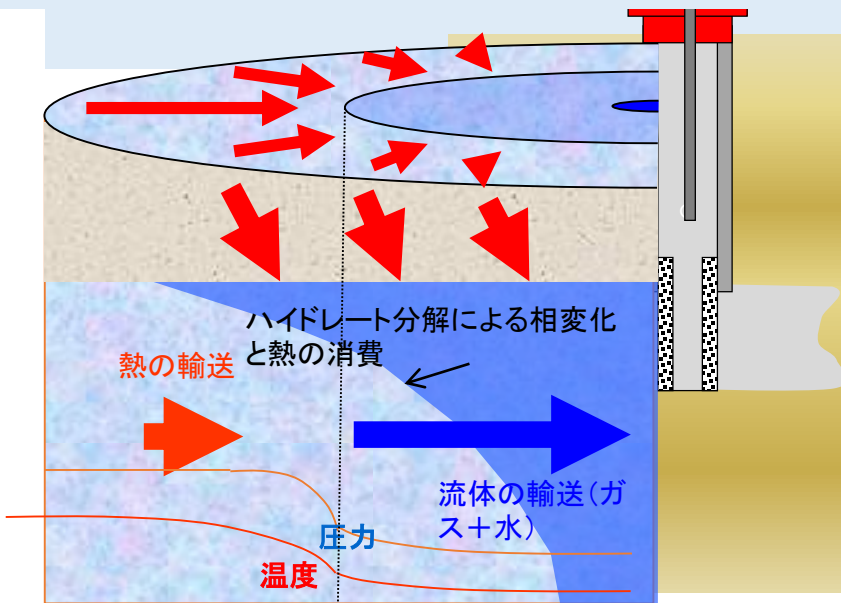
ちなみに、ガス生成による圧力上昇が起きないように静かに温水を送って地層の温度を0°C以上に保ってハイドレートを全部分解させるには、100°Cのお湯約650リットルが必要。

不用意に高温のものを送ると、地層が凍りつく、圧力上昇で地層が割れる (引っ張りの力が働く)

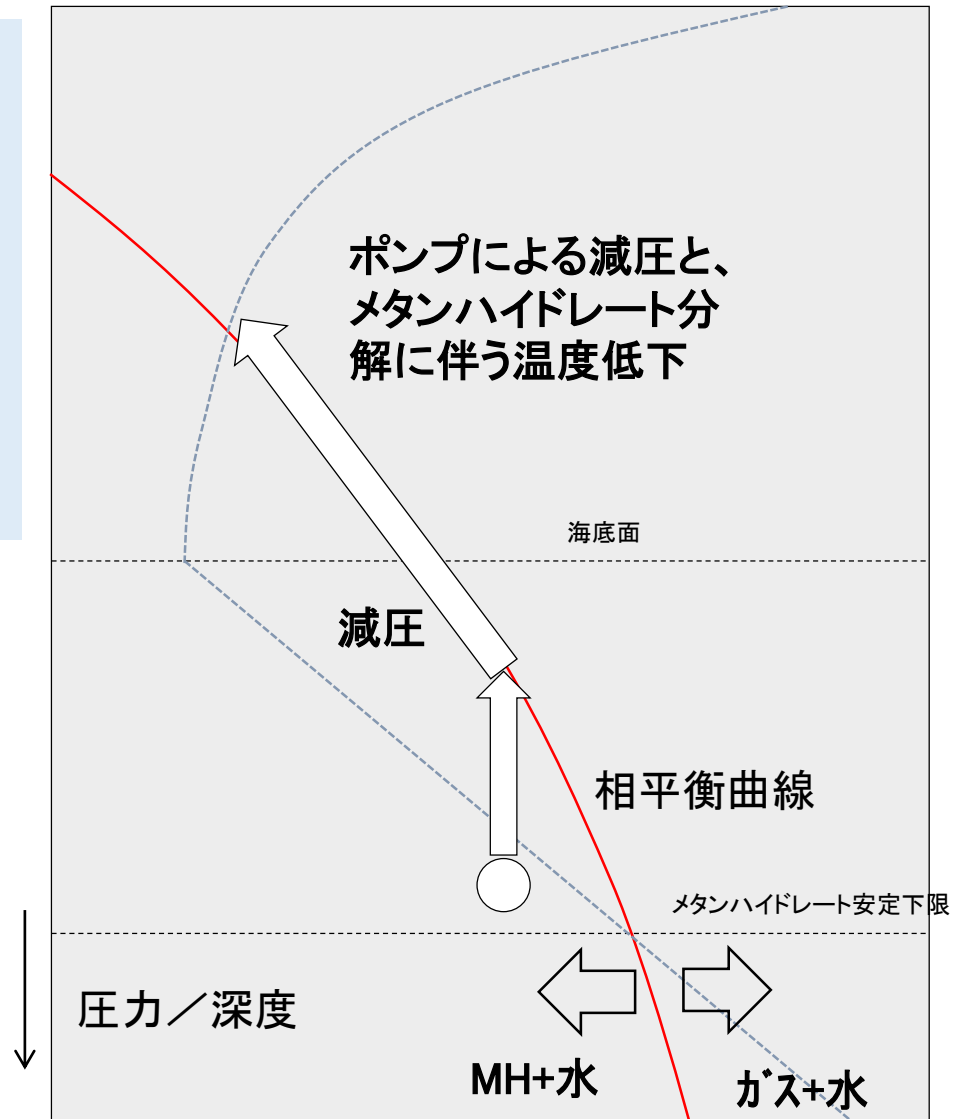
減圧法でGO!



- 人工的なエネルギーの投入なしに、高いエネルギー産出比が得られる可能性がある。
 - 分解に要する熱は、堆積物や周囲から流入する熱を利用する。 (~メタハイの一次回収)
 - 分解領域が広がれば、反応面積が増えて生産レートが向上する可能性がある。
- ただし、そのためには、①地層が初期に一定の浸透率を有しハイドレート分解により浸透率が向上する、②伝熱・移流による熱の供給が十分ある、③減圧された領域が外部と隔離される、という条件が必要。



海中・地中の温度分布



フェーズ2（FY2009-2015）及び3（FY2015-2018）の課題

- 海洋のメタンハイドレート貯留層はどのような性質を持っているか？
 - 水理・熱・力学的性質と、その三次元的な分布
- 海底の地層の中に減圧された領域を継続的・安定的に作り出すことができるか？
 - 日本近海の気象海象条件下での安全な操業
 - 坑井の設計
 - ポンプなどの機械、ハイドレート再生成による閉塞への対策
- 貯留層内、坑内で発生する現象を知り、理論やモデルが正しいか証明できるか？
 - 計測・モニタリング技術
- ハイドレート生産に伴う環境影響を評価できるか？
 - シミュレーションによる予測
 - 試験海域の生態系のデータ取得、環境影響のモニタリング
- **これらから、海洋のメタンハイドレートから経済的なガス生産が可能か、可能とするにはどうすれば良いのか見極める。**

自然の成り立ちを知り 未知の部分減らして いくための研究

- 探査活動
- メタンハイドレート自体の性質
- MHを含む堆積物の性質
 - 地質学・地球物理学
 - 力学・流体力学・熱力学
- メタンハイドレートと流動（フローアシュアランス）
- 安全性に係る条件（気象・海象・海底地盤他）
- 環境へのインパクト



実フィールドでの実証
(陸上・海洋での産出試験)

ビジネスとモノづくりのための準備 と研究開発

ビジネスとしての確立

ビジネスとして成立するための条件

- 社会的条件、需要、コスト、制度、資金
- ビジネスモデル

設計仕様

PreFEED

FEED

EPC

フィールド開発G

機器開発
現場作業

資源量評価G

地質・物理探査
データ分析

海洋産出試験
データ取得と実証

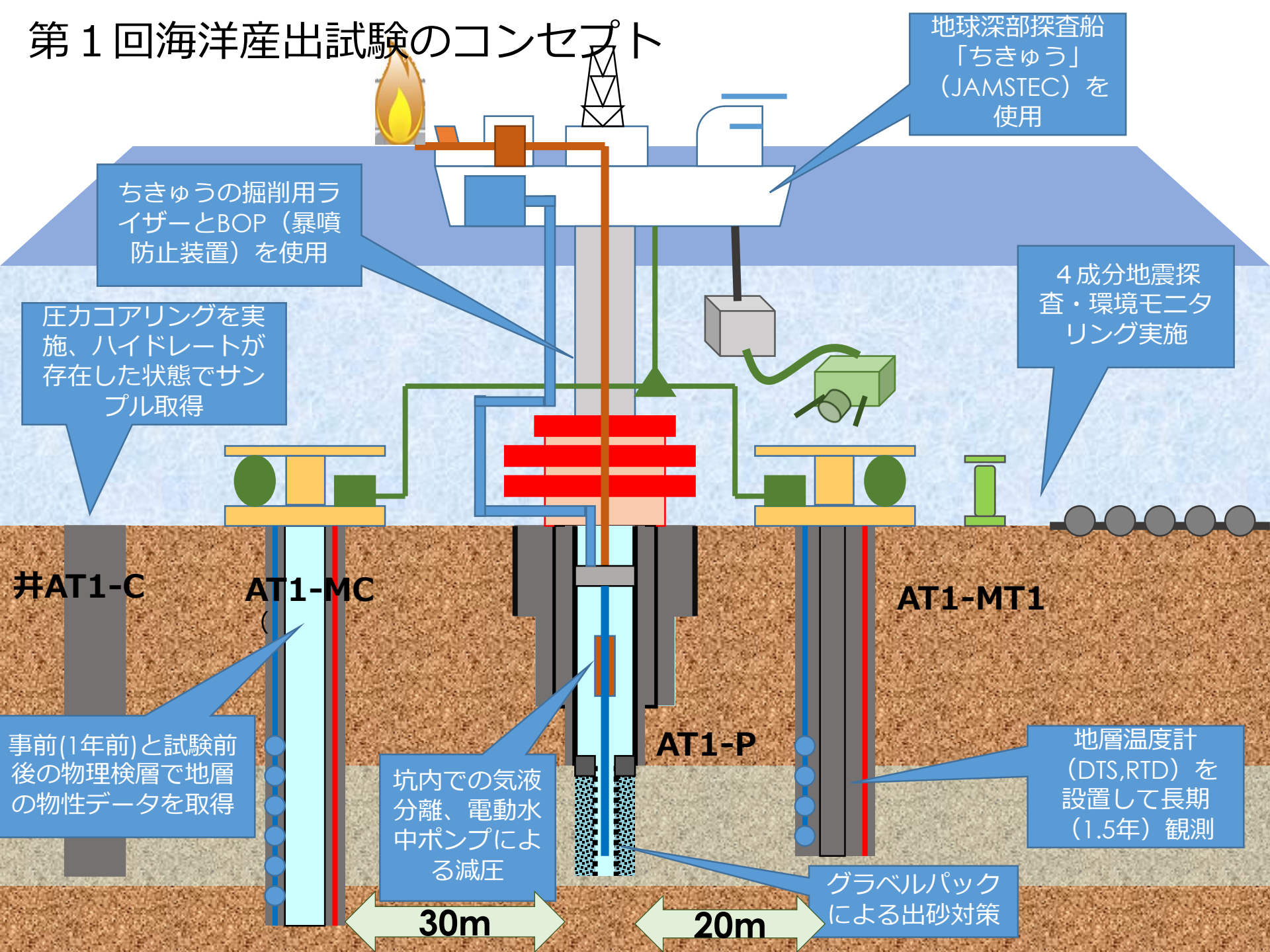
生産手法開発G

室内実験
コア試料分析
モデル開発

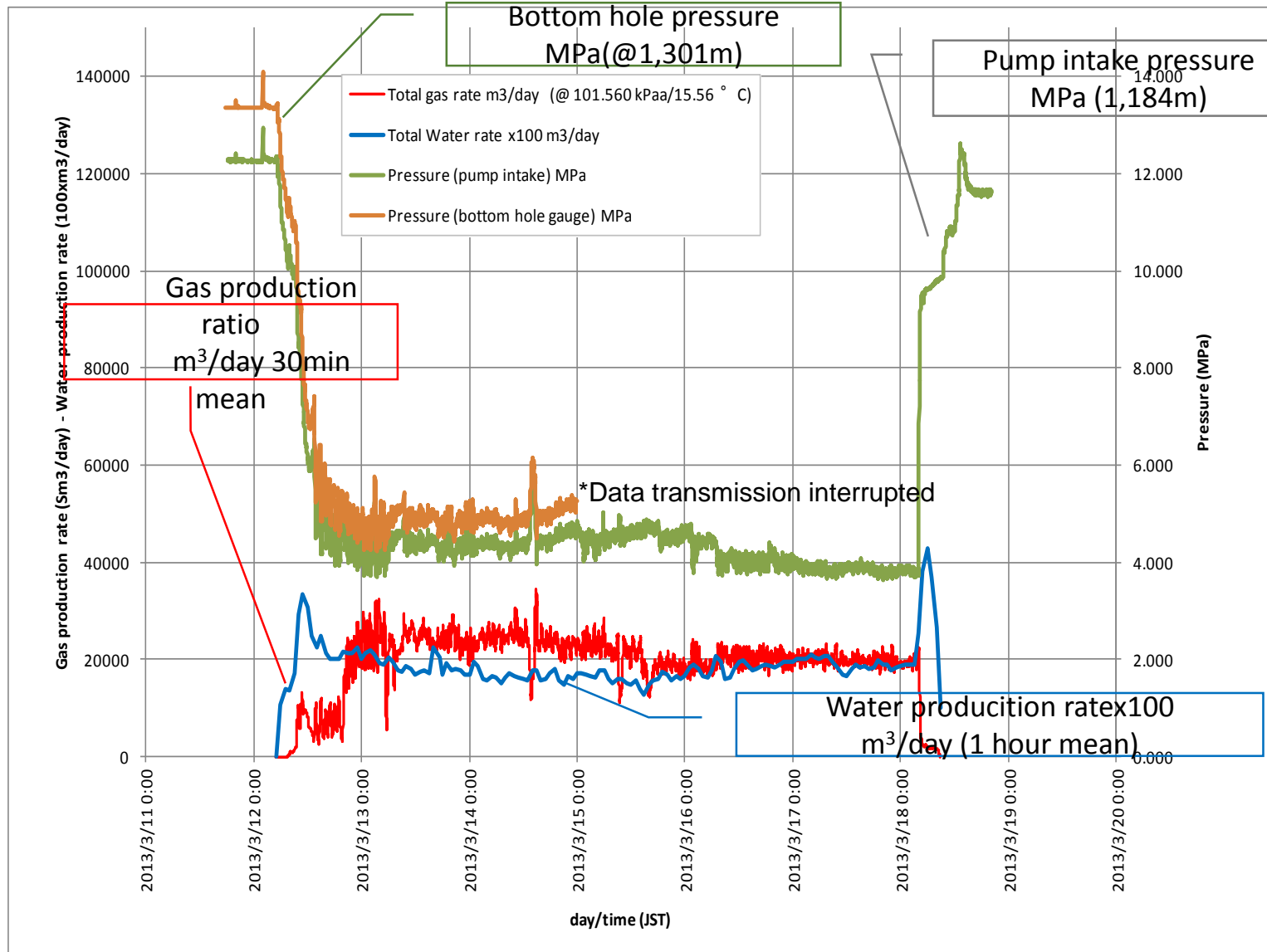
環境チーム

海域環境調査
モデリング・モニタリング

第1回海洋産出試験のコンセプト



第1回海洋産出試験：坑底の圧力履歴とガス・水生産レート

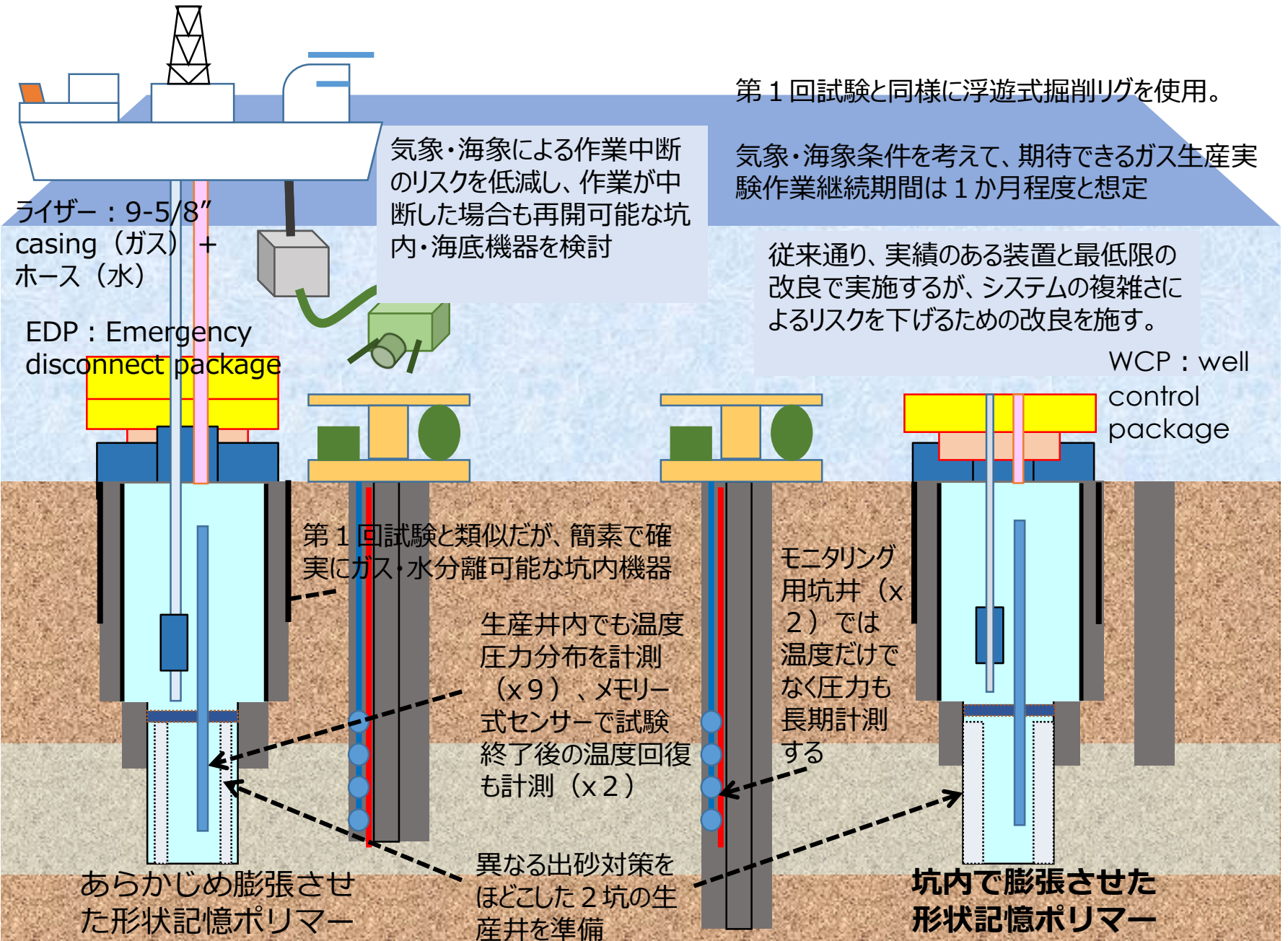


- Cumulative gas volume: 119,000m³ (atmospheric pressure)
- Cumulative water volume : 1,245m³

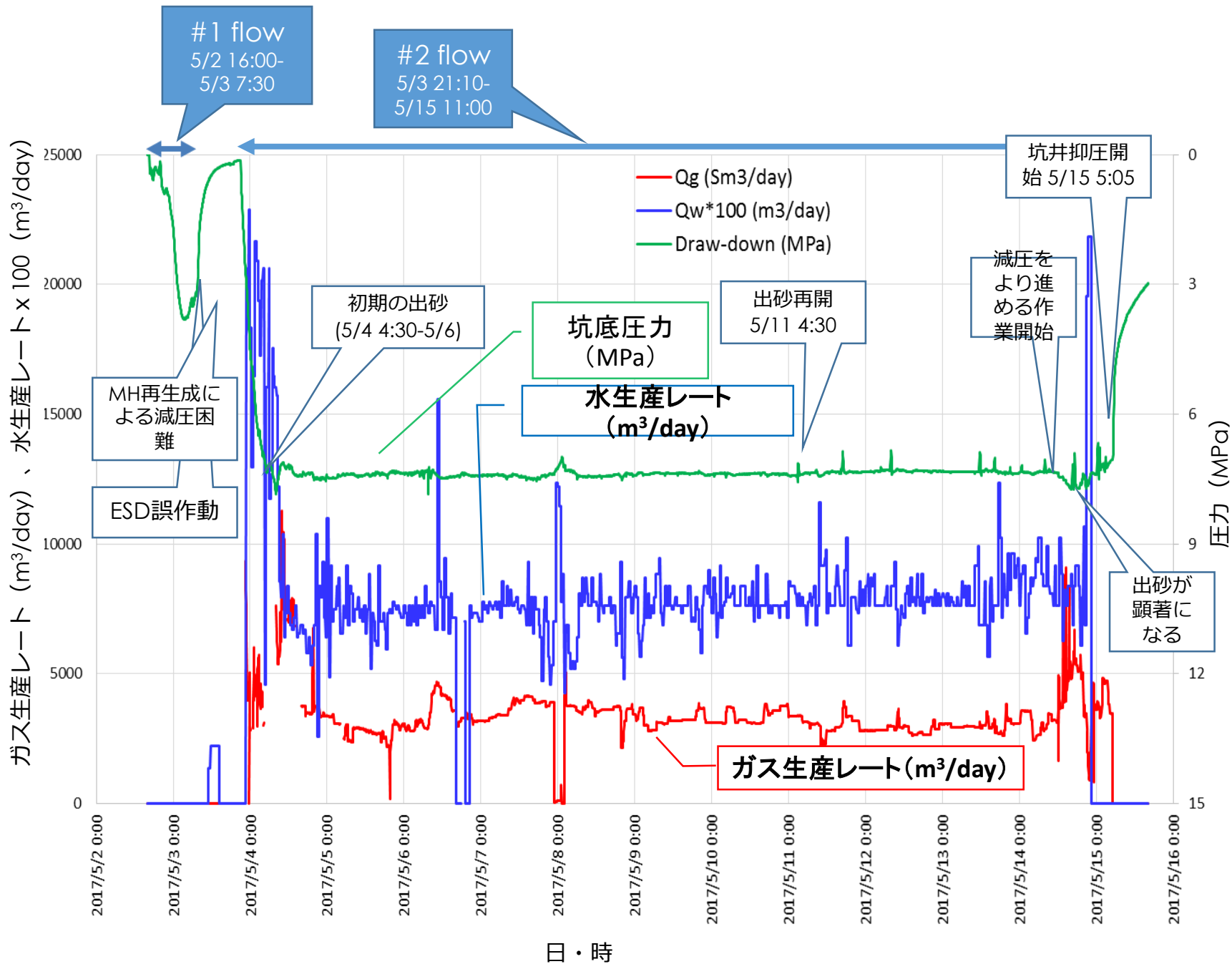
第1回海洋産出試験の成果と課題

- 海洋の坑井（水深1000m、海底面下約300m）において減圧法の適用が実現可能であり、ハイドレートを分解させてガスが生産できることを証明した。
- しかし、出砂で試験が短期で終わったことから、
 - 安定的にガスを生産できることは証明できなかった
 - 長期的なガスの生産挙動（～経済性においてもっとも重要な情報）について、十分なデータが取得できなかった。
- 課題：
 - 出砂対策装置・生産用機器の機能の改良などによって、安定的な減圧を実現すること⇔技術的な課題
 - それによって、中長期的なガスの生産挙動と、貯留層内での熱と流体の移動と、それによるハイドレート分解挙動に関する情報を得ること⇔地球科学的な課題

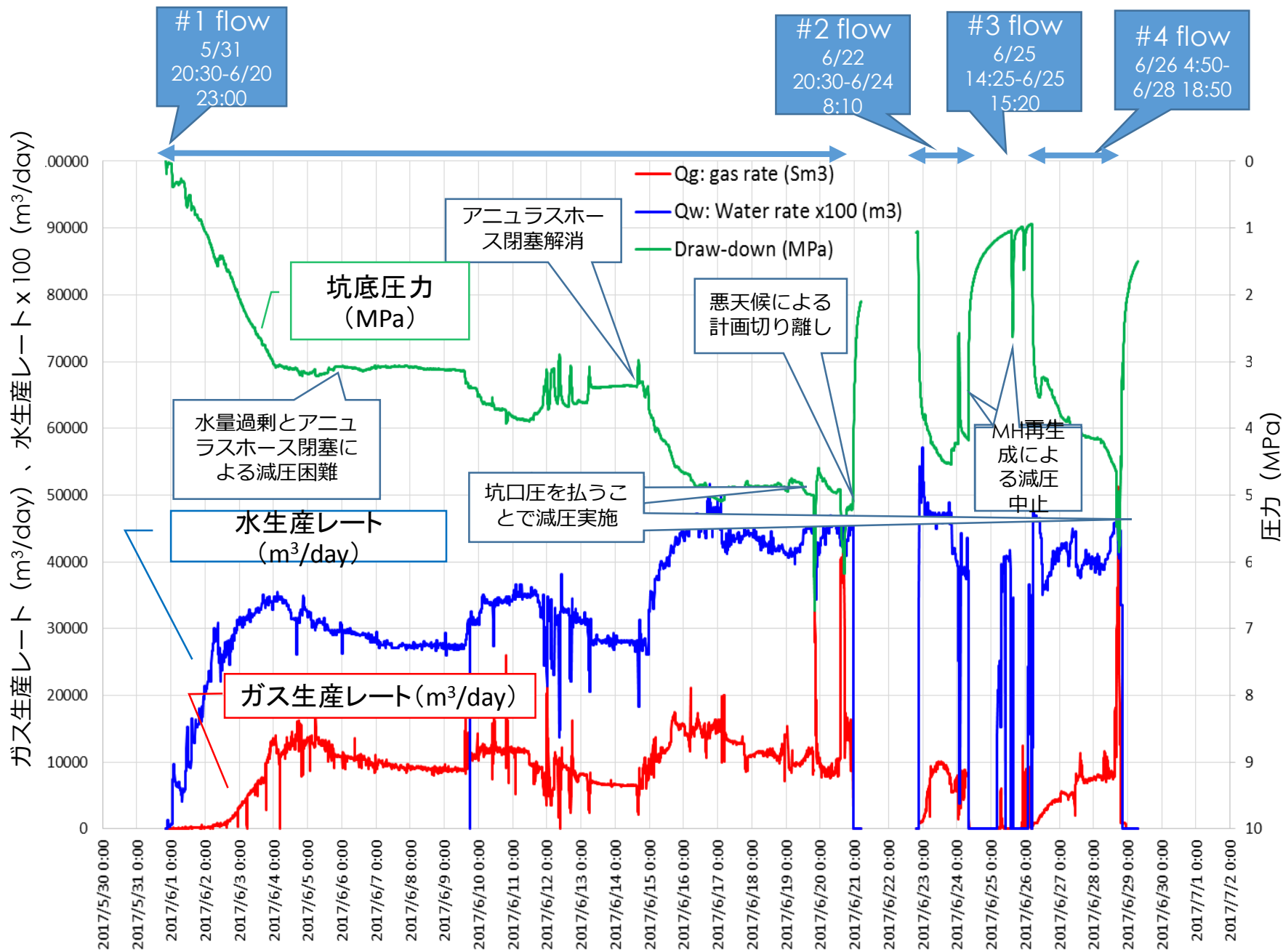
第2回海洋産出試験のコンセプト



P3井フローの概要 (2017年5/2-15)

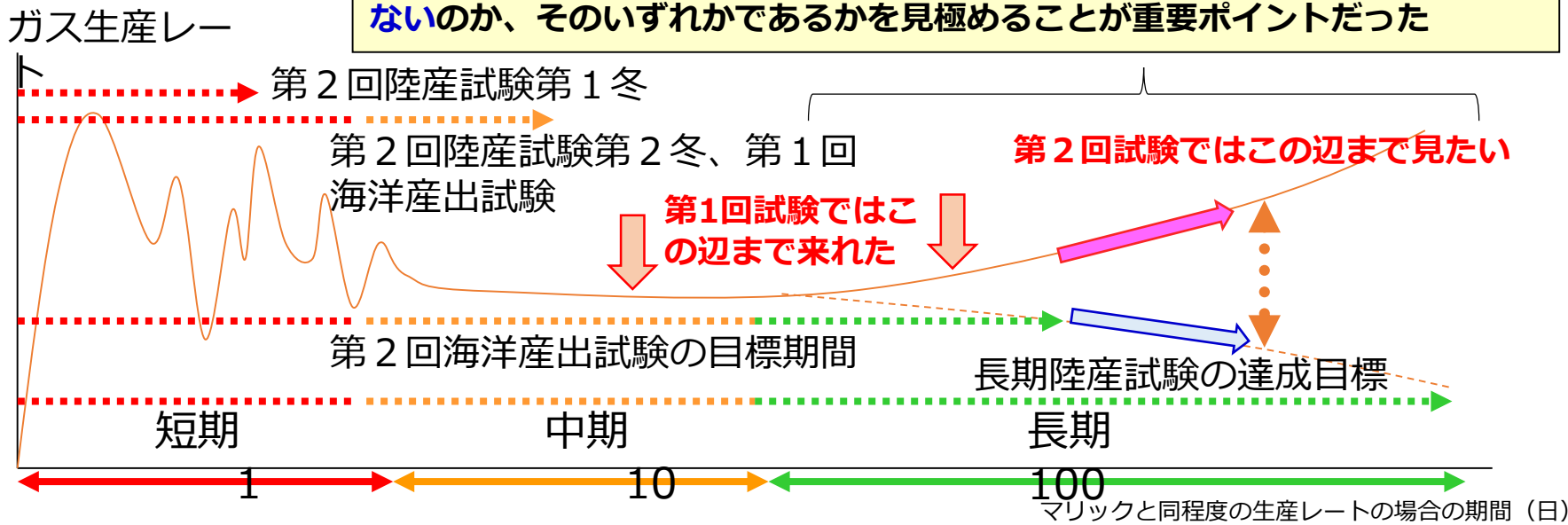


P2井フローの概要 (2017年5/31-6/28)



フィールド試験の期間と得られると期待される情報

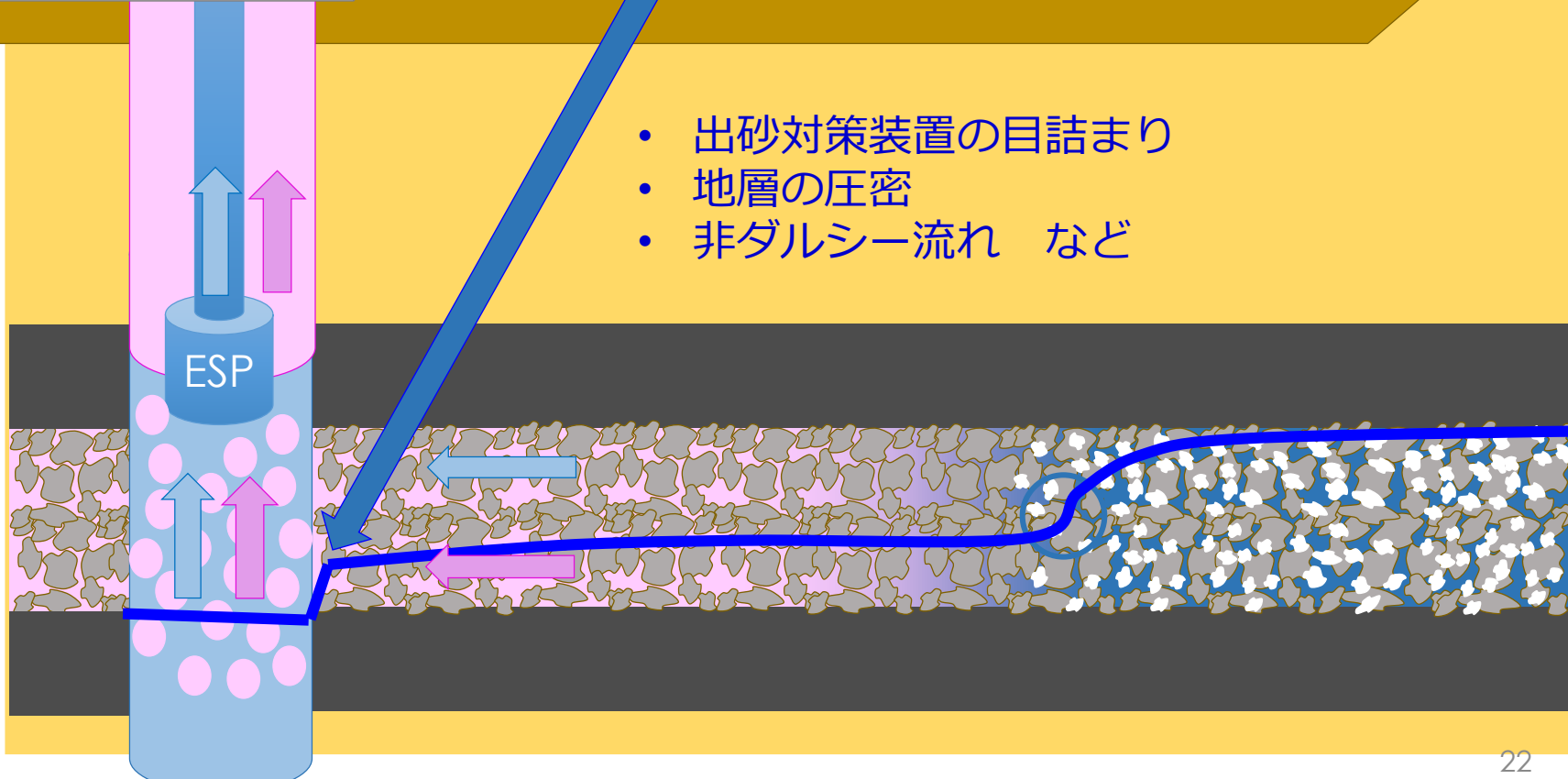
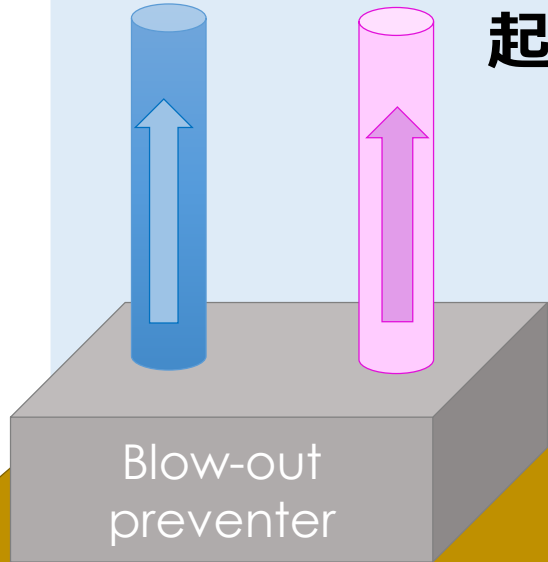
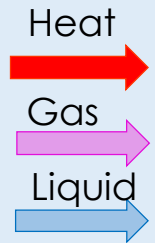
減圧法でのMH生産の場合、分解フロントが拡大することによる生産量の増大が見込まれている。実際にこの現象が生じるのか、あるいは熱の供給が十分でなかったり、貯留層障害が起きたり、水生産量が増大したりして生産量が増えないのか、そのいずれかであるかを見極めることが重要ポイントだった



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。

起こるかもしれないと思っていたこと（１）

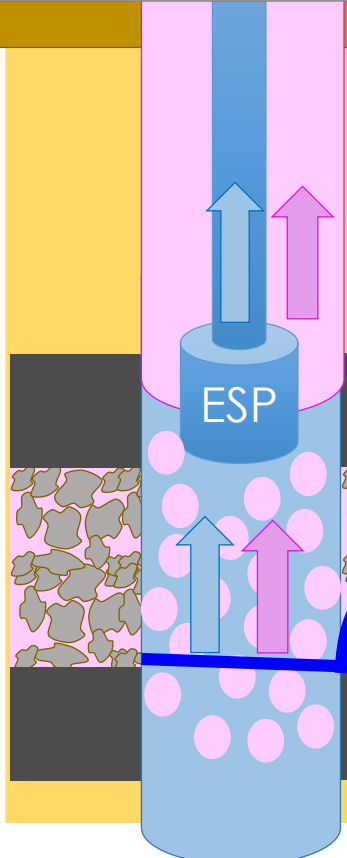
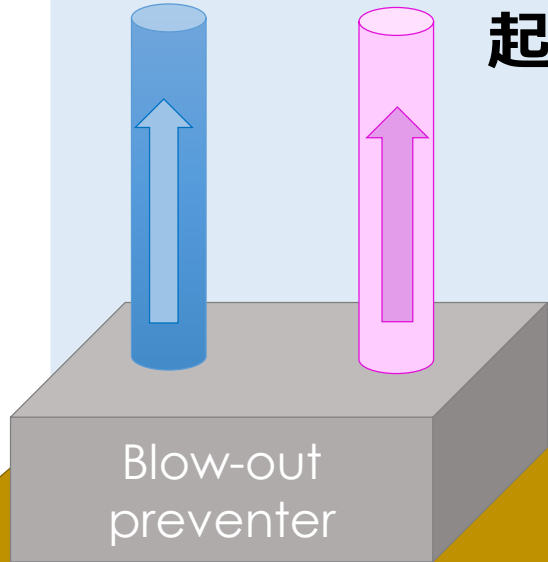
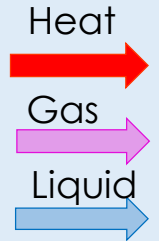
坑井周辺での圧力低下 ΔP が大きくなって、
減圧が地層の奥まで伝わらないため、ガ
スの生産レートが増えない／減る



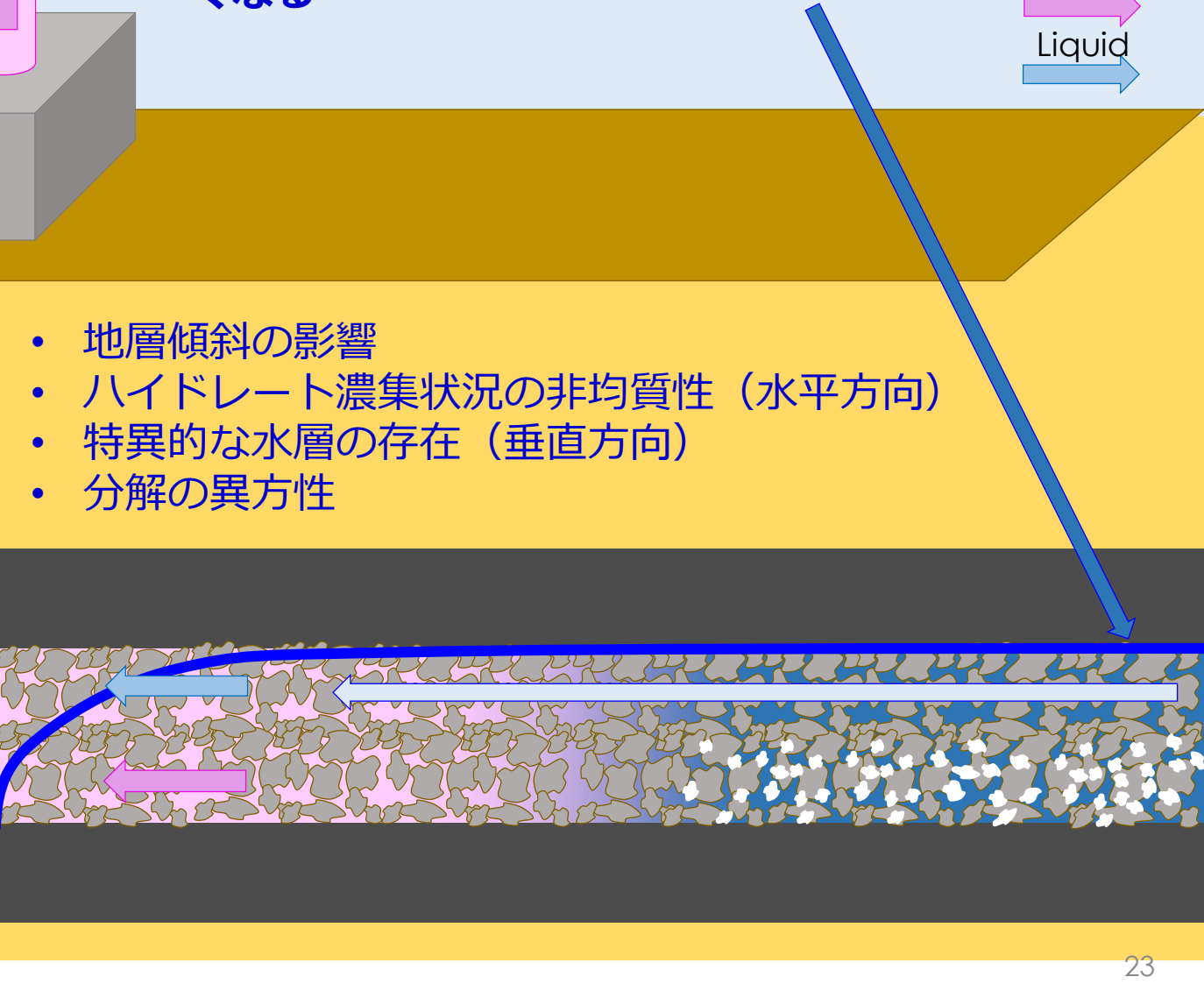
- 出砂対策装置の目詰まり
- 地層の圧密
- 非ダルシー流れ など

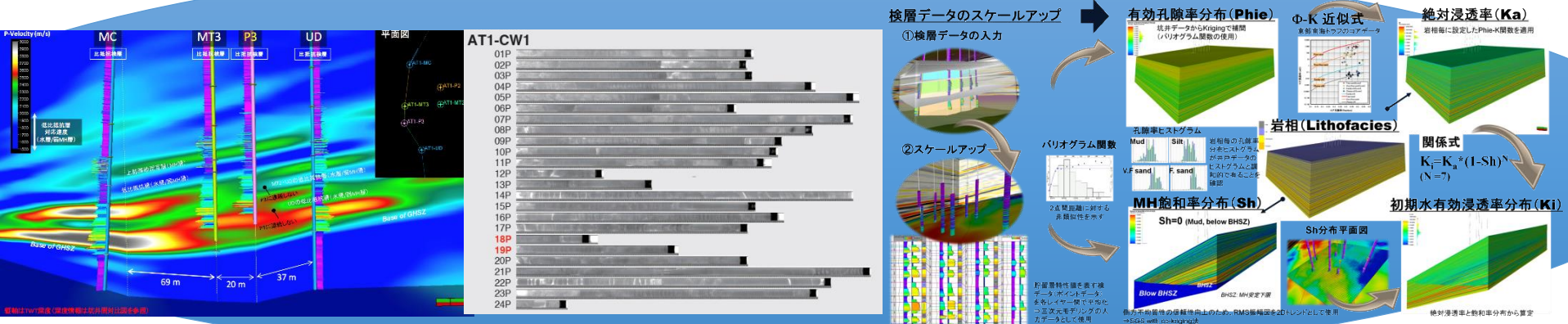
起こるかもしれないと思っていたこと（２）

地層から供給される水が多くなりすぎて、汲んでも汲んでも減圧が広がらなくなる



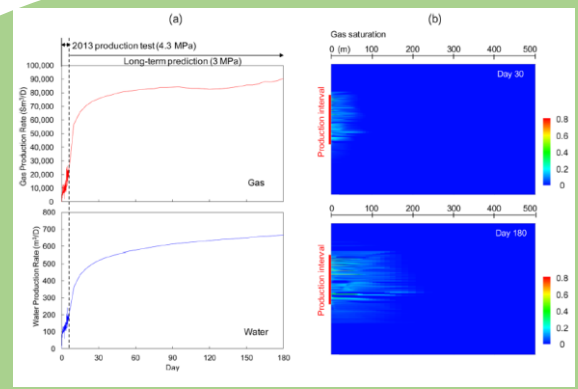
- 地層傾斜の影響
- ハイドレート濃集状況の非均質性（水平方向）
- 特異的な水層の存在（垂直方向）
- 分解の異方性



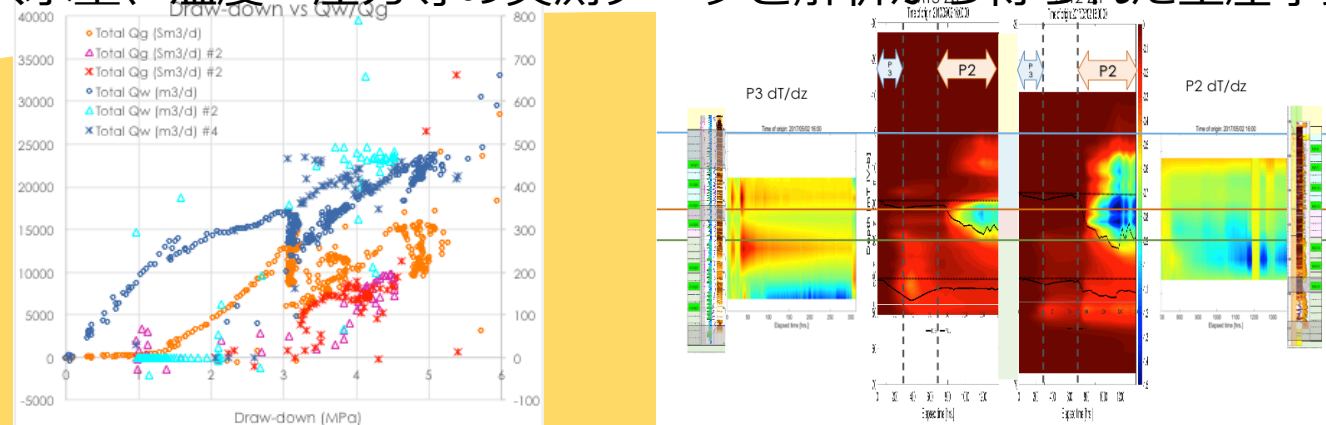


地震探査・検層・コア等から得られた貯留層のデータとモデルの構築

数値シミュレータ
とその背後の物理
モデル



生産ガス水量、温度・圧力等の実測データと解析から得られた生産挙動



演繹

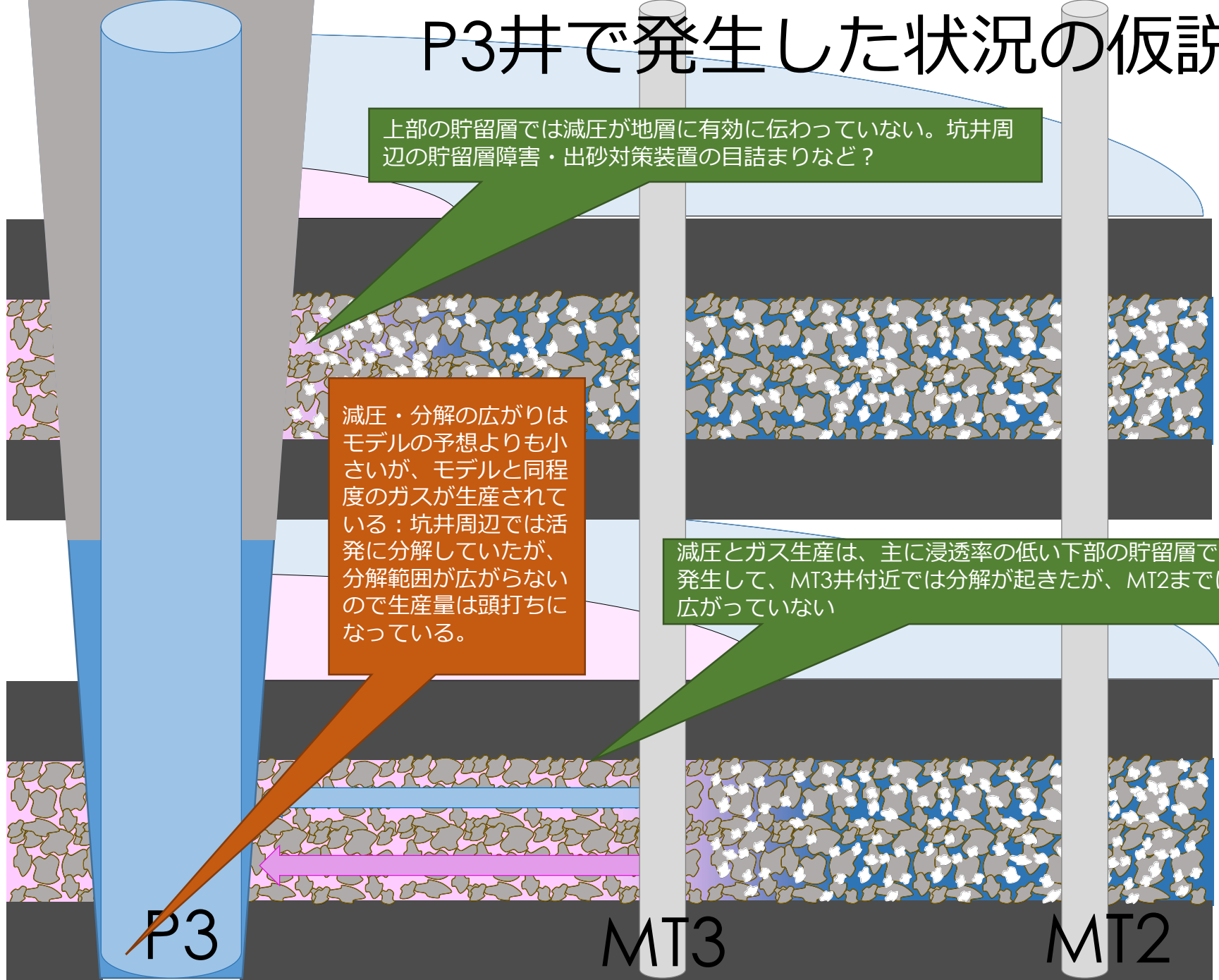
帰納

P3井で発生した状況の仮説

上部の貯留層では減圧が地層に有効に伝わっていない。坑井周辺の貯留層障害・出砂対策装置の目詰まりなど？

減圧・分解の広がり
はモデルの予想よりも小さいが、モデルと同程度のガスが生産されている：坑井周辺では活発に分解していたが、分解範囲が広がらないので生産量は頭打ちになっている。

減圧とガス生産は、主に浸透率の低い下部の貯留層で発生して、MT3井付近では分解が起きたが、MT2までは広がっていない



2 回の海洋産出試験の成果のまとめ

- 1 回目の試験で明らかになった技術課題（出砂、ガス水分離等）について、2 回目の試験では一定の解決の目処が見られたと考えている。
- しかし、単純化されたモデルでは表現されきっていなかった様々な事象・状況によって、予想された生産挙動と実際は大きく異なっていた。
- その一方、いずれの試験でもモニタリング井のデータなどから、地層中の熱・流体の移動やハイドレート分解に関する重要な情報が得られた。
- これらのデータを分析して、**生産挙動予測をより適切に行えるように分析を進める**とともに、**生産量を増やす方法、コストを下げる方法の検討**を始めなければならない。
- 今までには現実のデータが乏しかったので、理論とモデル主導で検討を進め、計画をたててきた。今回は、実際の貯留層の情報が格段に増したので、より自然界の現実に即した計画策定に移行していくことが必要である。

商業化に近づけるための挑戦～長期陸上産出試験

- 第2回海洋産出試験でも、メタンハイドレートが大きく分解したのは坑井周辺に限られる～より長期（年スケール）、分解が大きく広がったらどうなるか？
- まずは比較的安価に、柔軟に作業でき、また貯留層性状がより単純な陸上のフィールドで、理論とモデルを検証したい。
- 米国との協力の元、インフラの整ったアラスカでの試験を検討
 - アラスカ、ノーススロープのプルドーベイ油田の一地点を候補として試掘を実施した。
 - 道路が近く、通年で作業できる
- 昨年12月、試掘を実施
 - 物理検層データとコア試料を採取
 - コアは生産手法開発Gでの分析へ
 - 温度計測及び音響モニタリング用の光ファイバーケーブルを設置、地層の性状の評価に利用する。
- 現在、データの分析を行っており、試験適地の判断へ

- 将来の商業化に置いて、地層から坑井、海底設備・洋上施設、ガス輸送まで一貫した「開発システム」の絵姿を考える：基本案として提示
 - 需要サイドと結びつける「ビジネスモデル」
 - 実現に必要な技術を検討する技術マップ～研究開発計画
 - 経済性とエネルギー収支の評価
 - 環境・防災の要素
 - 制度・法規制、資金調達

- データが豊富でモデル海域として集中的に研究された東部南海トラフに加えて、我が国周辺のどこに、どれくらい資源として有望な海域があるか？
 - 東部南海トラフで取得された二次元・三次元地震探査のデータに加えて、既存の三次元地震探査のデータを分析
 - 有望濃集帯候補を抽出～「濃集帯」と呼ぶには掘削調査が必要
 - メタンの生成と移動・集積、メタンハイドレートの生成の過程をモデル化する「メタンハイドレートシステム」の考え方でデータを補完する。
 - 濃集帯の形成には、砂と有機物の供給が必要

- 2回の海洋産出試験を経ても、未だ貯留層の性状と、貯留層内の熱・流体の移動、ハイドレート分解の状況を理解できたとは言えない～信頼性のある生産挙動予測、可採埋蔵量評価とのギャップ
- 2回の海洋産出試験では経済性のある生産レート実現や安定性の確認はできていない～生産阻害要因への対策と生産性向上のギャップ
- 数週間程度の減圧とフローは実現できたが、数ヶ月、さらに年単位での生産は現在の施設・設備では難しい～長期安定生産の技術とのギャップ
- 短期の試験での環境影響評価と長期・大規模な操業の影響評価のギャップ

メタンハイドレートは資源として成立する！？

メタンハイドレート濃集帯が見出されたことで、量的には集中した領域が存在することはわかった。その性状・物性はかなり明らかになったが、まだ未知の部分（特に減圧に対する応答の部分）がある。

減圧法が機能すれば比較的高いエネルギー効率でガスが生産できる。短期（数週間）であれば海洋でも減圧法によるガス生産は実現できることを示せたが、安定性と生産性には課題がある。その課題の原因究明と対策が必要。

ハイドレートの性質から連鎖反応的な分解は生じない。短期試験の環境影響評価は行ったが、長期・大規模な生産における影響の評価にはまだギャップがある。

いずれも、経済的で社会に受け入れられる資源とする上の重要な条件。ギャップを縮める努力が必要。

謝辞

本資料は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいています。
以下の関係先に謝意を表します。

経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）の
委託業務先各社

地元関係者他、作業・研究に協力いただいた皆様