

砂層型メタンハイドレートの 第2回海洋産出試験について

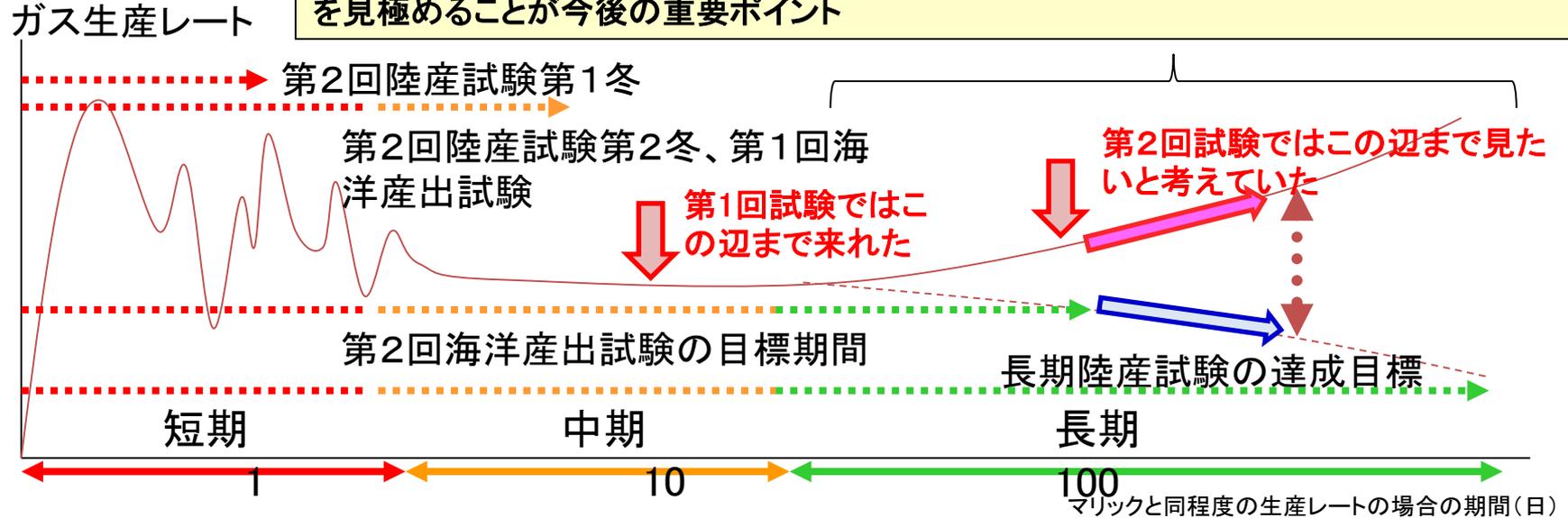
MH21フィールド開発技術グループリーダー
山本 晃司

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⇔海底での生産を実現するための技術的な課題**
 - 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、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⇔貯留層の条件・応答の知識に関する課題**

フィールド試験の期間と得られると期待される情報

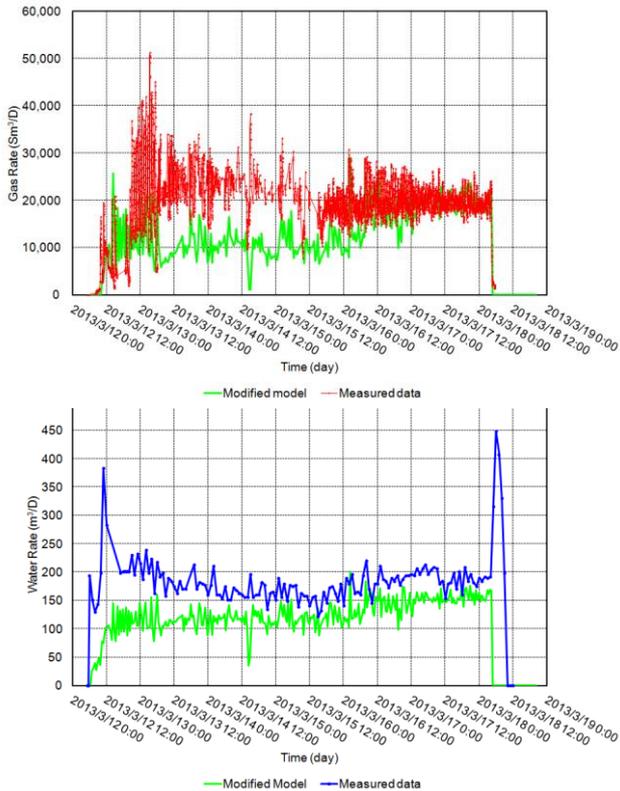
減圧法でのMH生産の場合、分解フロントが拡大することによる生産量の増大が見込まれている。実際にこの現象が生じるのか、あるいは熱の供給が十分でなかったり、貯留層障害が起きたり、水生産量が増大したりして生産量が増えないのか、そのいずれかであるかを見極めることが今後の重要ポイント



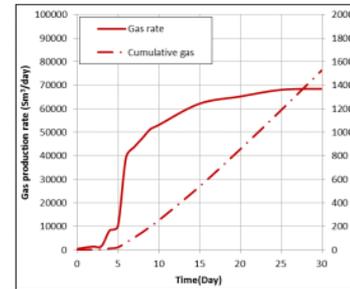
時期の特徴	減圧作業の不安定さや坑井周辺の局所的な現象により生産レートが変動する時期	坑内圧力が一定に保たれ、準定常的なガス・水の流れが確立する時期	分解範囲拡大による熱の供給増加による分解レート向上、あるいは生産障害による低下等、ゆっくりとした長期的変化が生じる時期
分解挙動	平均分解半径が坑井から数十cmにとどまり、地層の熱の他、坑井やセメントの影響を受けている	平均分解範囲が1mを超えて、坑井の影響は小さくなる。地層の元もとの熱と周囲からの熱供給がハイドレートの分解熱とバランスする	平均分解範囲が数m以上に達し、分解領域の広がりによる熱供給状況の変化が見え始める。一方でスキン形成、圧密などの生産障害、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。

数値シミュレータによるヒストリーマッチング結果の比較と 第2回試験の生産量予測(第32回開発実施検討会資料より)

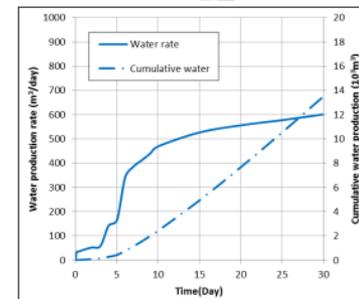
第1回試験結果の ヒストリーマッチング



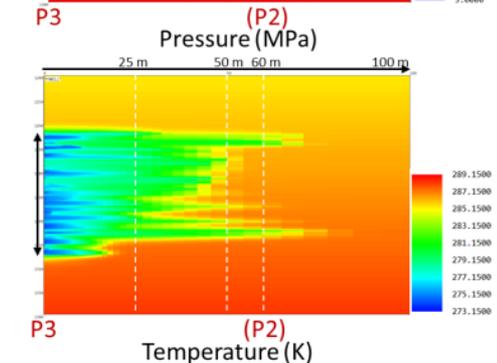
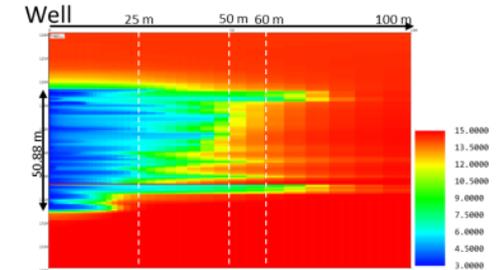
第2回試験結果の生産量予測



ガス生産量



水生産量



P3井での1ヶ月後の貯留層内の圧力(上)、温度(下)変化

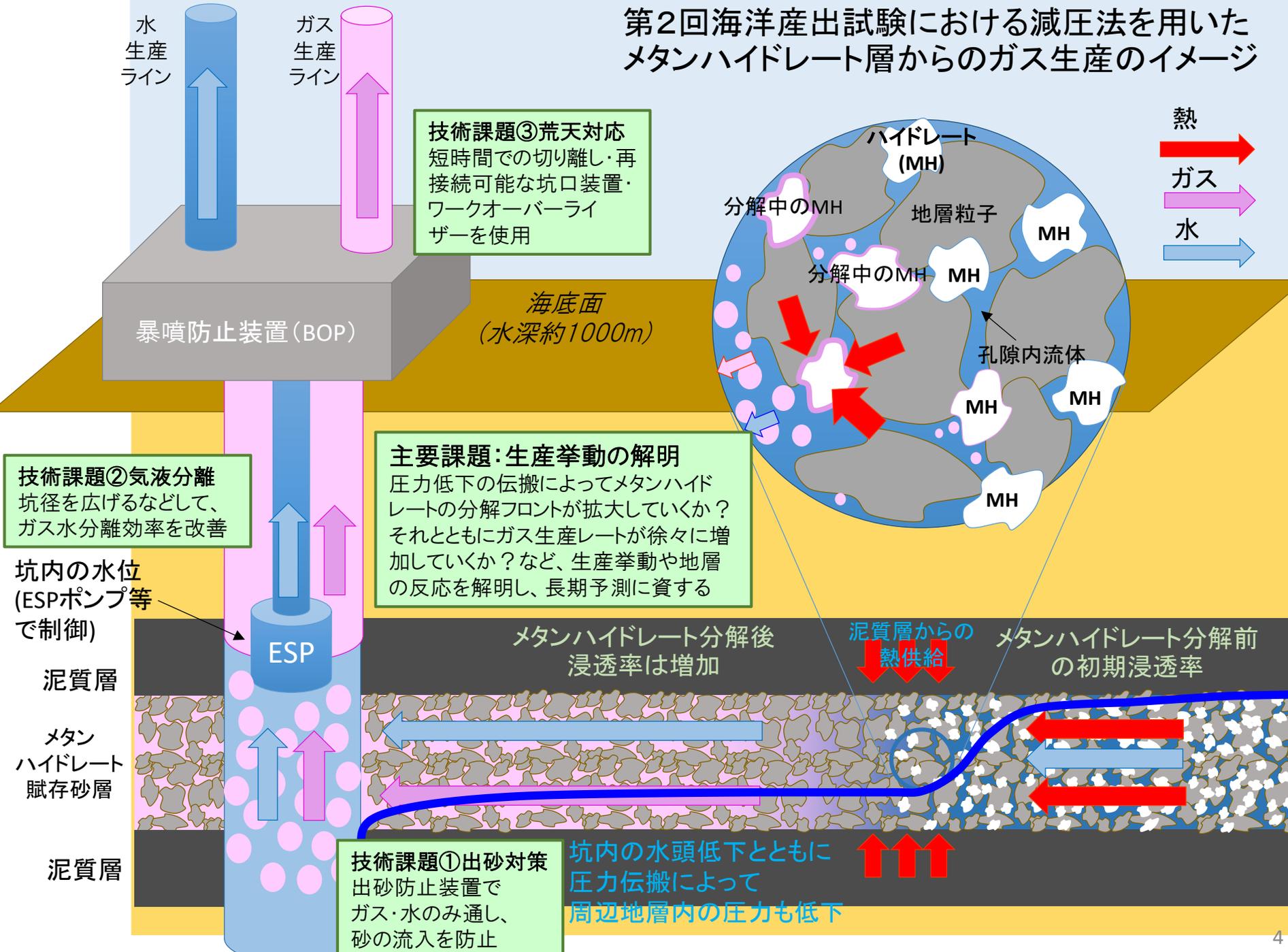
実際にこのような挙動を示すのか？

自然の中には数値シミュレータのモデルには表現されていない
いろいろな要素が存在しているが、、

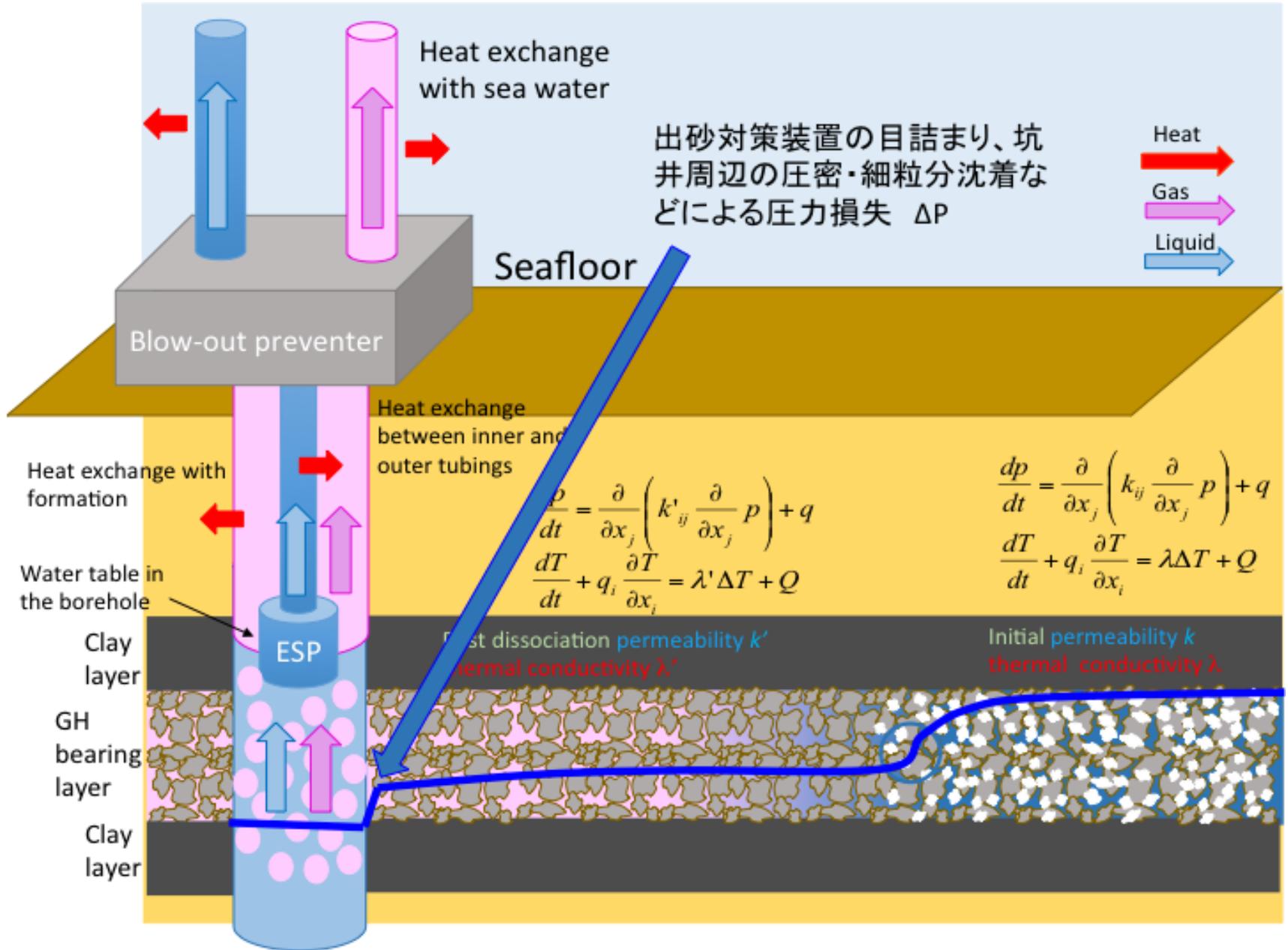
試験の結果を受けて、地層の浸透率を再評価し、コア・検層データなどから合理的と思われる範囲内で変化させて、もっとも生産挙動を適切に再現できる値を選んだ結果(青:計測された水レート、赤:計測されたガスレート、緑:シミュレーション)(第28回開発実施検討会資料)

第1回試験の結果と第2回試験の事前掘削で得られた貯留層のデータを元に、坑底圧力を7→5→3MPaと変化させたときの、ガス・水生産量の予測(第32回開発実施検討会資料)

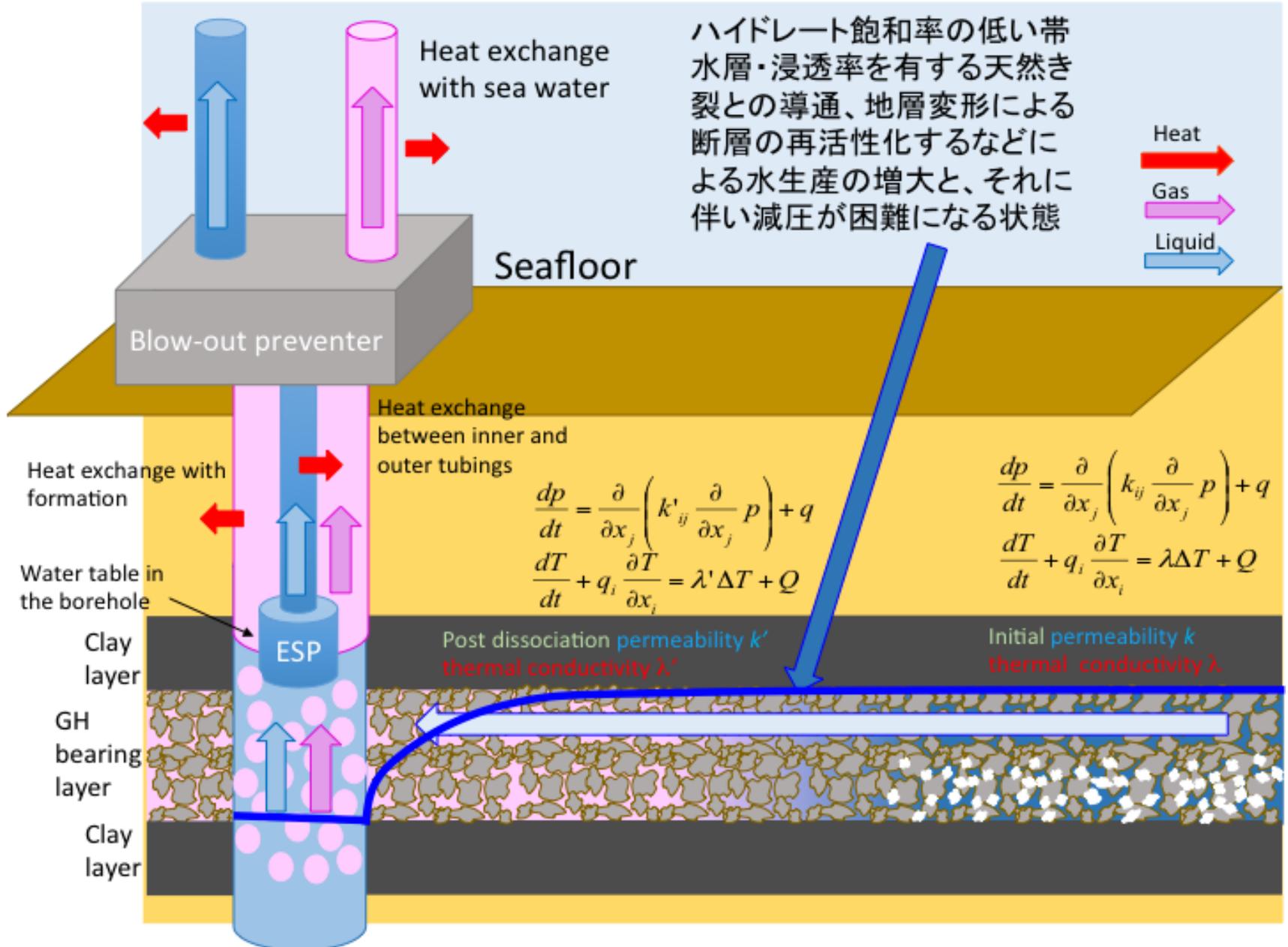
第2回海洋産出試験における減圧法を用いたメタンハイドレート層からのガス生産のイメージ



実際に起きるかもしれないと考えていた事象の例1 (第32回開発実施検討会資料より)



実際に起きるかもしれないと考えていた事象の例2 (第32回開発実施検討会資料より)



技術課題への対応1:出砂対策

第1回試験で生じた課題

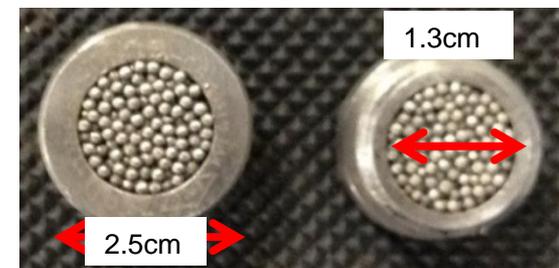
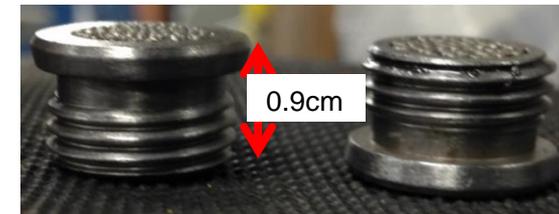
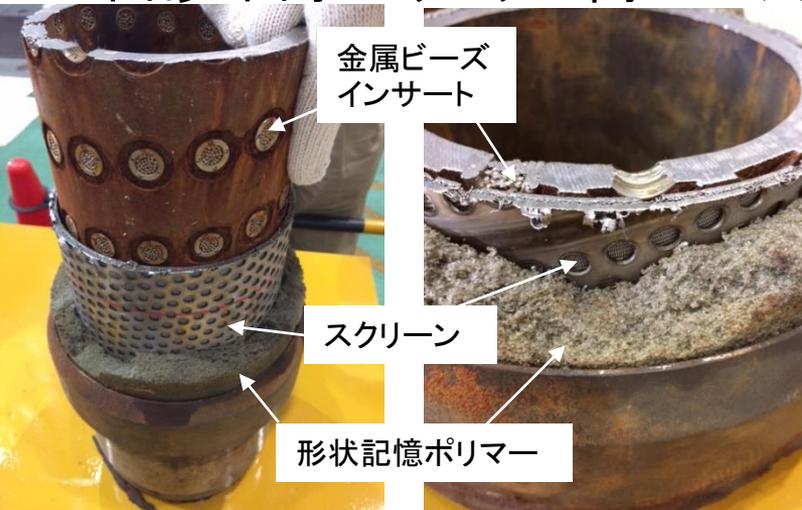
- グラベルパックは、機器が健全であれば出砂対策装置として優れていたと評価しているが、グラベルの移動・装置の力学的損傷などで途中で機能を喪失したと思われる。
- 一方、出砂対策装置の目詰まりリスクが小さいことも必要(細かい砂は流してしまう)

課題解決の方向性

- 移動しにくい固体の出砂対策装置で、かつ地層との間に隙間が小さい
- 目詰まりがしにくく、かつ磨耗されにくい
- 設置作業が単純で、リスクが小さく、所要時間が短いといった装置で多重の防御を行う。

選定された出砂対策装置

- 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GeoFORM (Baker Hughes Inc.)に、金属ビーズインサートを追加。
 - 金属ビーズインサート:0.6mm程度のステンレスボールを拡散接合にて固めたもの。仕上げ区間内に8,000個程取り付ける。
 - 過去に比較的低温の環境で使用された実績があり、8例中7例で成功、1例は設置作業中の損傷で失敗。
- 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。
- 低温用の活性化剤を検討して選定。
- 出砂・出水のリスクが高いとみられる層があれば、パッカーで隔離する。



形状記憶ポリマーを使用した3重防護の出砂対策装置を耐久性を確かめるための実験に供した様子。

技術課題への対応2: 荒天による緊急切り離しの可能性を下げる

第1回試験で生じた課題

- 前回は掘削船「ちきゅう」の掘削用ライザーと防噴防止装置(BOP)を用いて試験を行った。
 - この掘削用ライザーは、海底面下数千メートルまで掘削し、高圧のガス・油が上昇してきても安全に作業するための装置であり、低圧のメタンハイドレート坑井には過剰装備である。
 - 装置の降下・揚収に時間がかかる(設置だけで4日程度)など、坑井の切り離し・再設置や切り替えが難しくなる。(第1回試験の仕組みでは実質的に再接続は不可能)
 - 第2渥美海丘の条件では、荒天時に緊急切り離しが必要になる可能性が高く、長期の連続フローは難しいと考えられた。

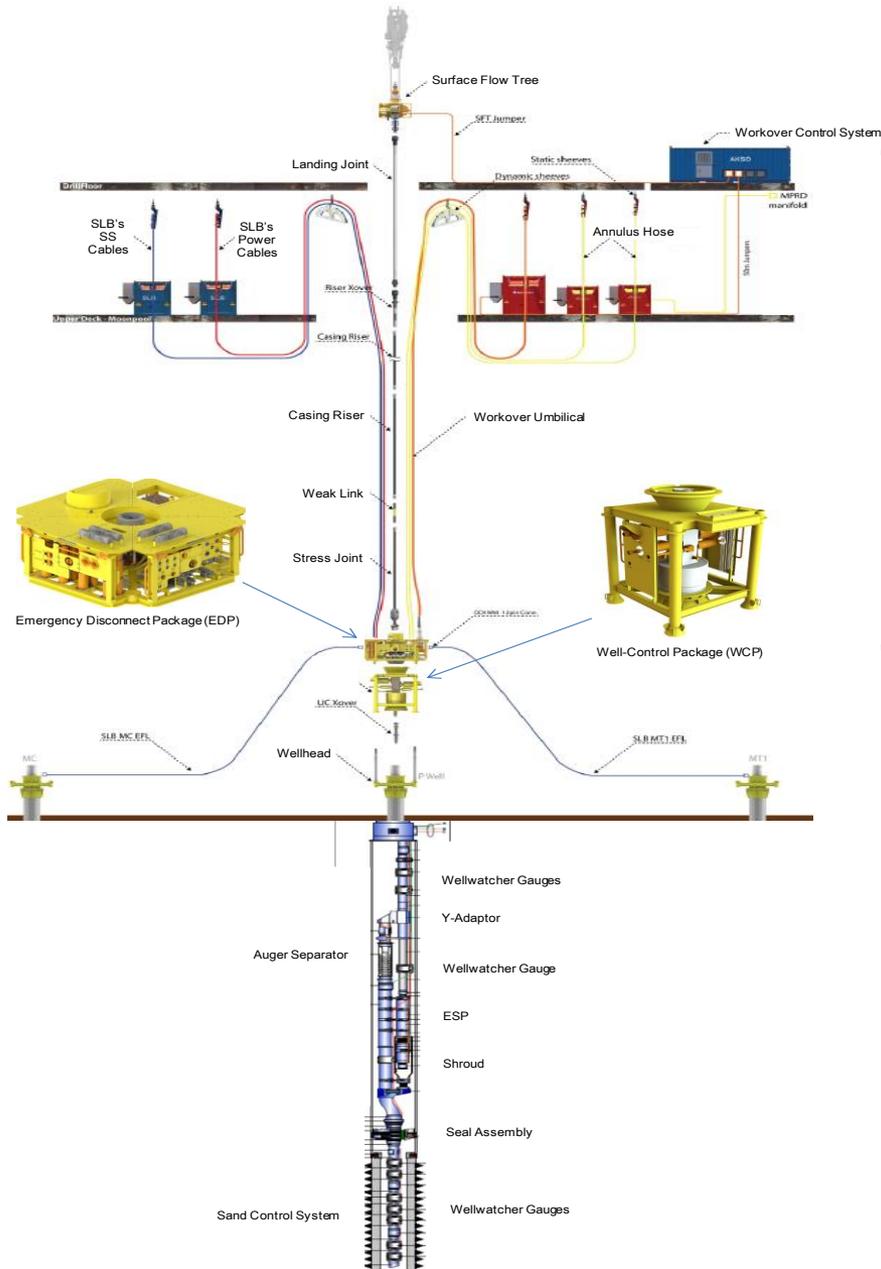
課題解決の方向性

- 荒天で船が大きく定位置からずれても切り離さなくても良いように、余裕を大きいシステムにする。
- 切り離しても再接続して試験が再開できるようにする

第2回試験での具体的対応策

- 海底油田の改修作業等で用いられているワークオーバーライザーを使用する。
 - 軽量で、降下・揚収が速やかに行える。
 - 緊急切り離しに要する時間が短いため、許容される船の偏距が大きくとれて、切り離しの可能性を低減できる。(掘削用ライザーでは14mだった船の位置のずれの限界を、ワークオーバーライザーは30mまで許容)
 - 電気系統(電源・センサー／制御信号)配線を水中コネクタで接続し、再接続できるようにする

選定された産出試験システム案



ワークオーバーライザーシステムの使用を決定

既存システムで新規開発要素が少なくリスクが低い、実績が多く安全で法にも適合する、新たに装置を製造して購入しても作業期間の短縮と離脱時の揚収・再降下の日数・費用を勘案するとより経済的と判断した。

ワークオーバーライザーシステム

- ガスの導管には9-5/8"ケーシングを使用 (降下・揚収が短時間で行える)
- 水の導管にはホースを2本設置
- 船のBOPに変わって、軽量で再接続が容易なEDP・WCPを使用

スプール+チュービングハンガー、一体型(オプション3)

改良された坑内試験システム

技術課題への対応3: 確実な減圧制御のための坑内機器

第1回試験で生じた課題

- 前回試験では、ガスと水の分離が確実に行えなかったことが、坑内圧力を制御することを難しくした。
 - 坑内に断面積が小さい個所が多くガス・水の流速が早くなって効率的に重力分離ができなかった。
 - 体積の大きなガスのスラグ(ガスの塊)が発生した。
- 坑内機器が複雑で、降下・揚収に時間がかかり、ケーブルの断線などのリスクも大きかった。
 - 一部、データの欠測が生じた。

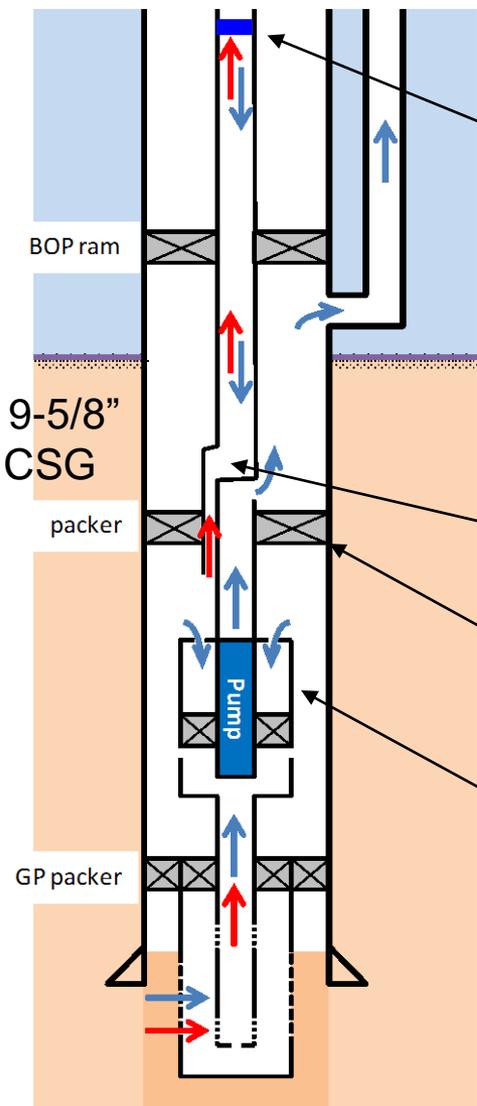
課題解決の方向性

- ガス・水分離の確実性を実現して圧力の制御を可能とする。
- 作業の容易さ(複雑さの回避)、必要なデータを確実に取得できるなどを考慮。

第2回試験での具体的対応策

- ポンプを設置する区間のケーシング径を広げ(9-5/8" → 13-3/8")、断面積を広げて流速を落として分離効率を上げる。
- 前回同様にESP(電動水中ポンプ)で減圧するが、簡素化されかつ広い断面積と長い分離区間を確保した坑内機器を設計した。
- 生産区間の温度・圧力の分布を計測可能にした。(前回は温度のみ深度分布を計測できた)

第1回試験の坑内水・ガスフロー



液面がガス導管(6-5/8" DP)内
にあったのを、坑口に背圧を
かけることで、13-3/8" CSG内、
さらにY-toolトップより下に持つ
てくることで、スラグフローを防
止し、ガス水分離を確実なものとした

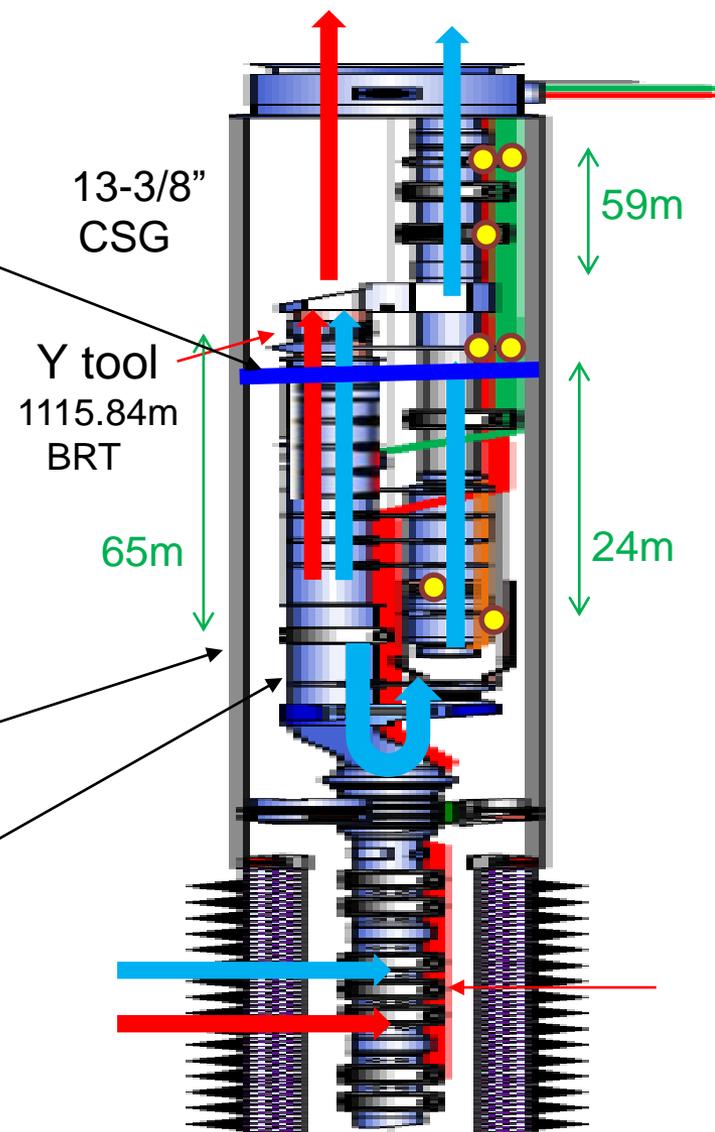
流速が速くなる狭隘部をなくす

ケーシング径を9-5/8"から
13-3/8"に拡大

ESPを7"シュラウドに収め
ていたのをデュアル
チュービングに変更

以上により、流路面積を増やして
(3倍以上)、流速を落とし、ガス
と水の重力分離を向上させた。

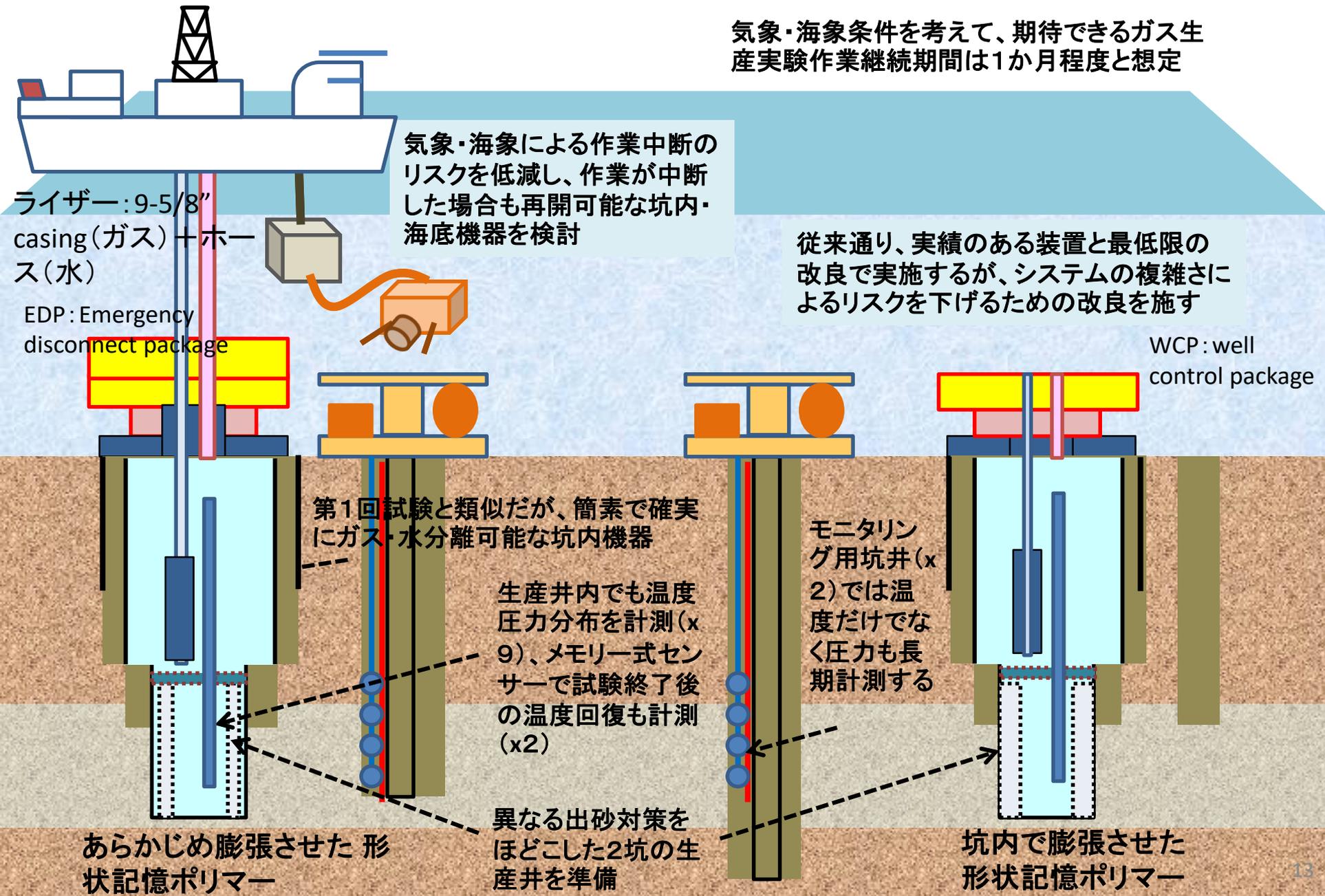
第2回試験の坑内水・ガスフロー



最終的な試験のコンセプト

第1回試験と同様に浮遊式掘削リグを使用。

気象・海象条件を考えて、期待できるガス生産実験作業継続期間は1か月程度と想定



P3にて最初に生産実験、引き続いてP2で生産実験

- 単純な作業で設置でき、活性化剤の生産水への混入もない(海洋汚染の心配のない)、あらかじめ膨張させた形状記憶ポリマーで良好な結果が得られれば、今後もこの技術を適用し続けることができる。
- ただし、細粒が形状記憶ポリマーと地層の間に流れ込むと目詰まりが起これり生産量が低下する可能性がある。
- 形状記憶ポリマーの目詰まりがより小さいとみられるP2でも生産して比較する

初期の13.5MPaから、7→5→3MPaと三段階で減圧

- 7及び5MPaで生産量が安定するまで数日保持する。
 - 坑内機器等の装置の動作確認作業
 - 急激な減圧による坑井・地層へのダメージを防ぐ
 - 3つの異なる条件のデータセットを入手することで、貯留層評価とハイドレート分解予測の精度を上げることができる。(変数に対して方程式の数を増やせる)
- 3MPaでなるべく長く生産できるようにする方針。
- 7MPaではハイドレート再生成のリスクがあるので、長期は保持しない。

出砂が発生した場合

- 出砂検知器の設置や坑内圧力の計測で、早期に出砂を検知
- スペアのないEDP, ライザー, 船上設備へのダメージを防ぐことが最優先
- 減圧度を調整して水生産量を下げて出砂が抑制できないかトライ
- コントロールできない時は、坑内の砂を排除して次の坑井に移る。

大量の水が生産された場合

- 減圧度でコントロールできなければ、次の坑井に移行。

ガスも水も生産が低下した場合

- 出砂対策装置の影響があるか確かめるために次の坑井に移行。

P3

M13

M12

P2

全体スケジュール

2016年5-6月:事前掘削

- モニタリング用坑井の掘削と物理検層データの取得(地層の状況の把握)
- 温度・圧力モニタリング装置の設置(×2坑井)
- 生産井の浅い部分(ハイドレート濃集帯より上部)の掘削(×2坑井)

2017年4-7月:ガス生産実験

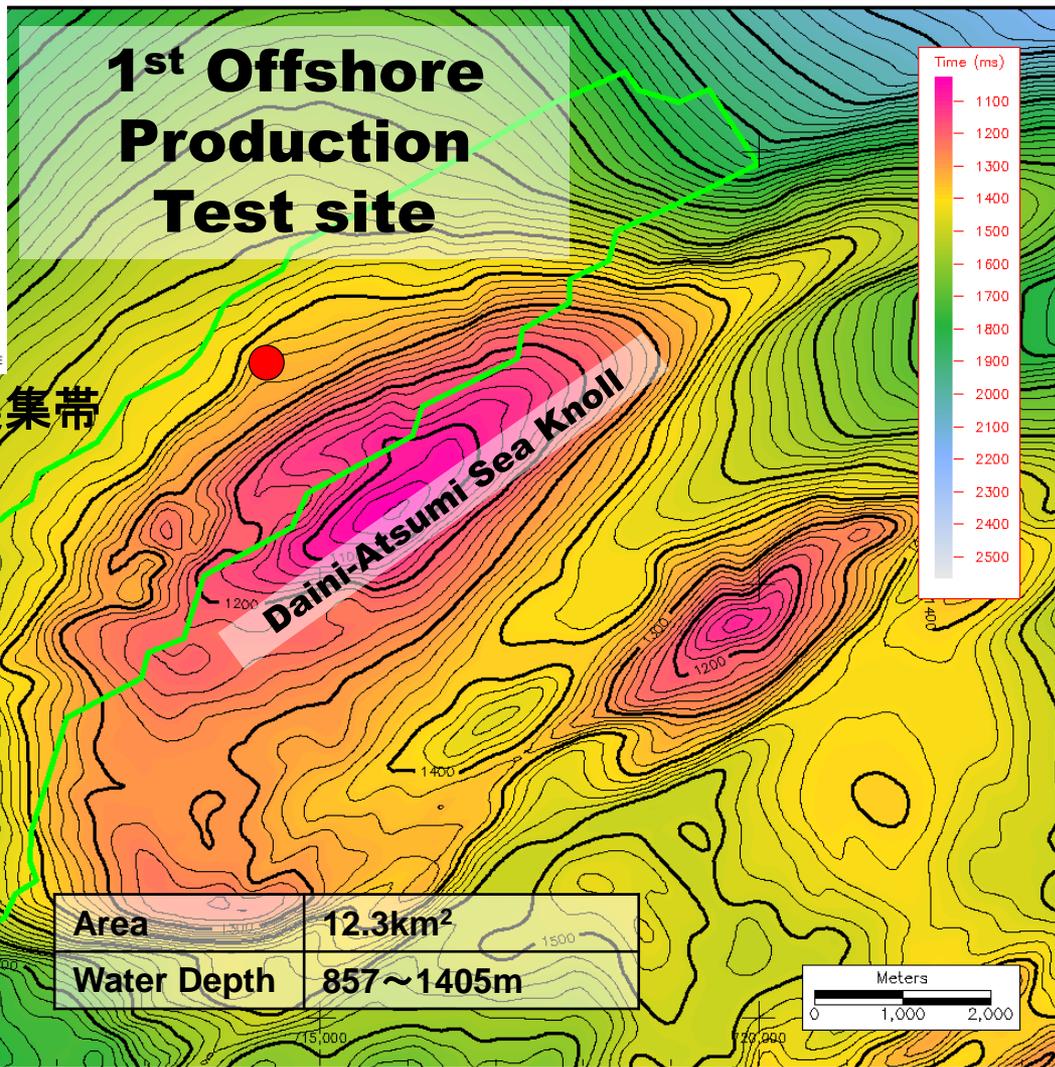
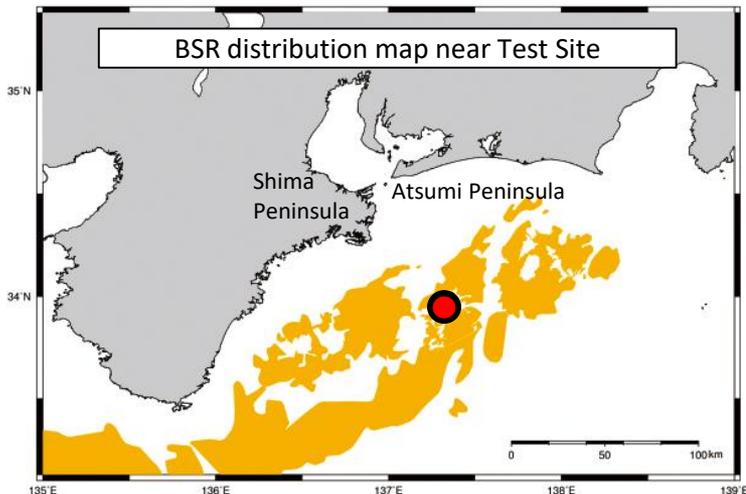
- 生産井ハイドレート濃集区間掘削(×2坑井)
- 出砂対策装置・坑内機器設置(×2坑井)
- ガス生産実験(×2坑井)

2018年前半:追加データ取得と廃坑作業

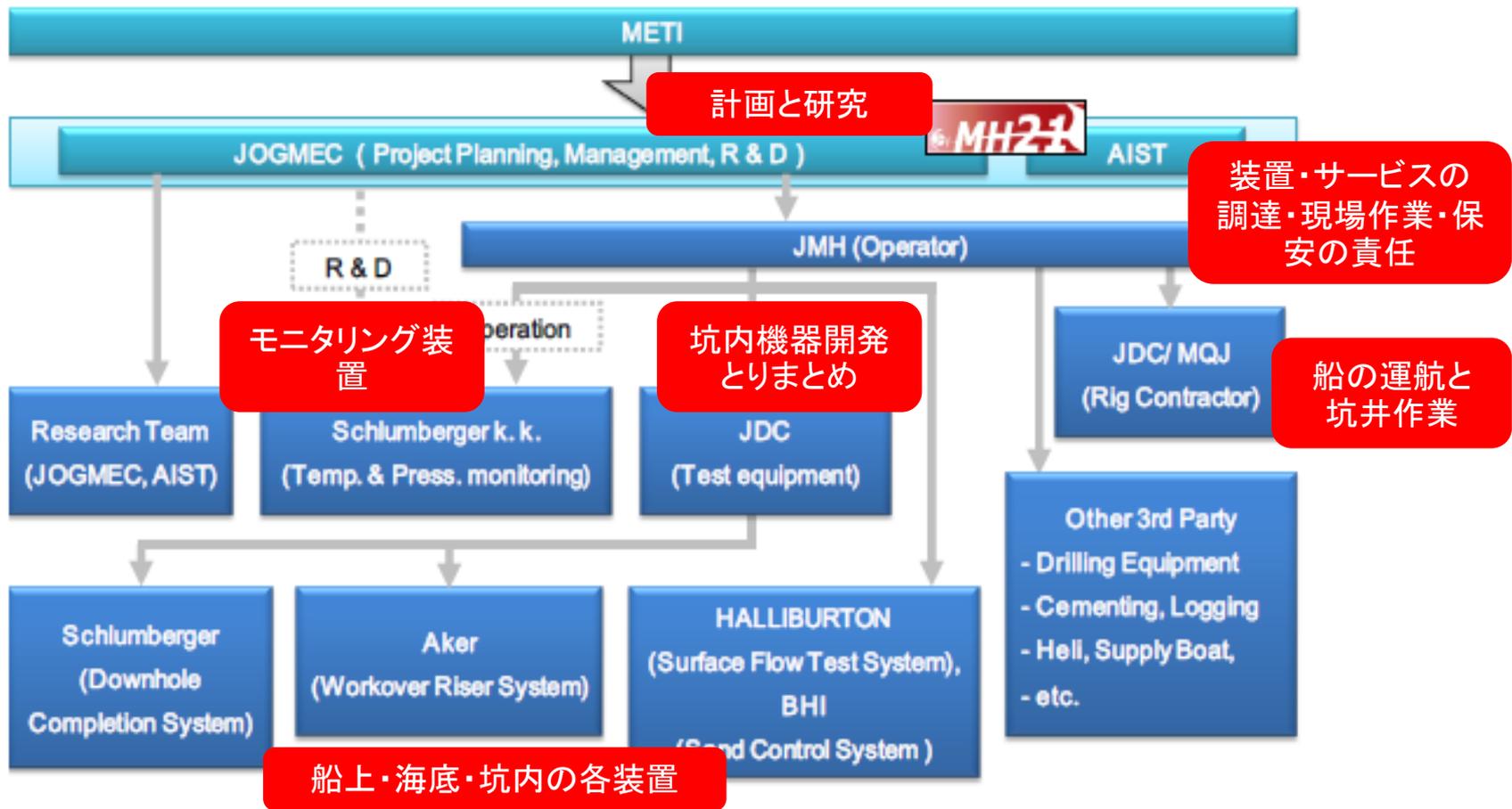
- 出砂などのトラブル原因の追究や貯留層の特性をよりよく知るための追加データ取得
- 廃坑作業と原状復帰

第二渥美海丘：渥美半島～志摩半島の沖合

■ 試験候補地点：前回に引き続きデータの豊富な第二渥美海丘で試験を行った。



船上の作業体制:本作業は、鉱業法・鉱山保安法に基づく可燃性天然ガスの試掘作業として実施した。



役割:

JOGMEC: 実施主体、MH21の一部として研究開発に責任を持つ。

JMH(日本メタンハイドレート調査): オペレータ、鉱業法上の鉱業権者。作業と鉱山保安に責任を持つ。

MQJ(日本マントルクエスト): 掘削コントラクター、船(ちきゅう)の運行と掘削作業に責任を持つ。

JDC(日本海洋掘削): 坑内機器・ライザーシステム開発のとりまとめ。

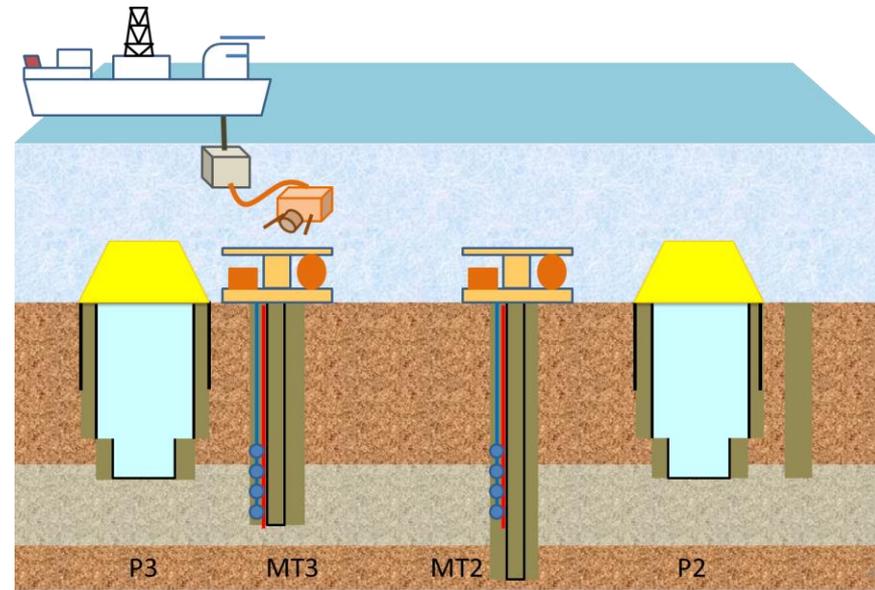
他コントラクター: 坑内機器、モニタリング装置、検層: Schlumberger、ライザーシステム: Aker solutions、出砂対策装置: Baker Hughes、船上試ガスシステム: Halliburton、他

第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

4/1 ちきゅう傭船開始

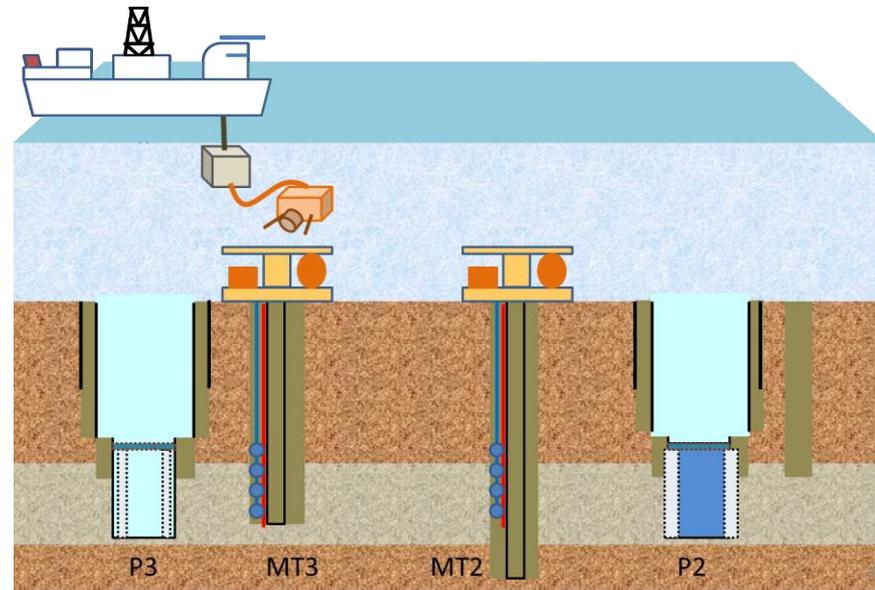
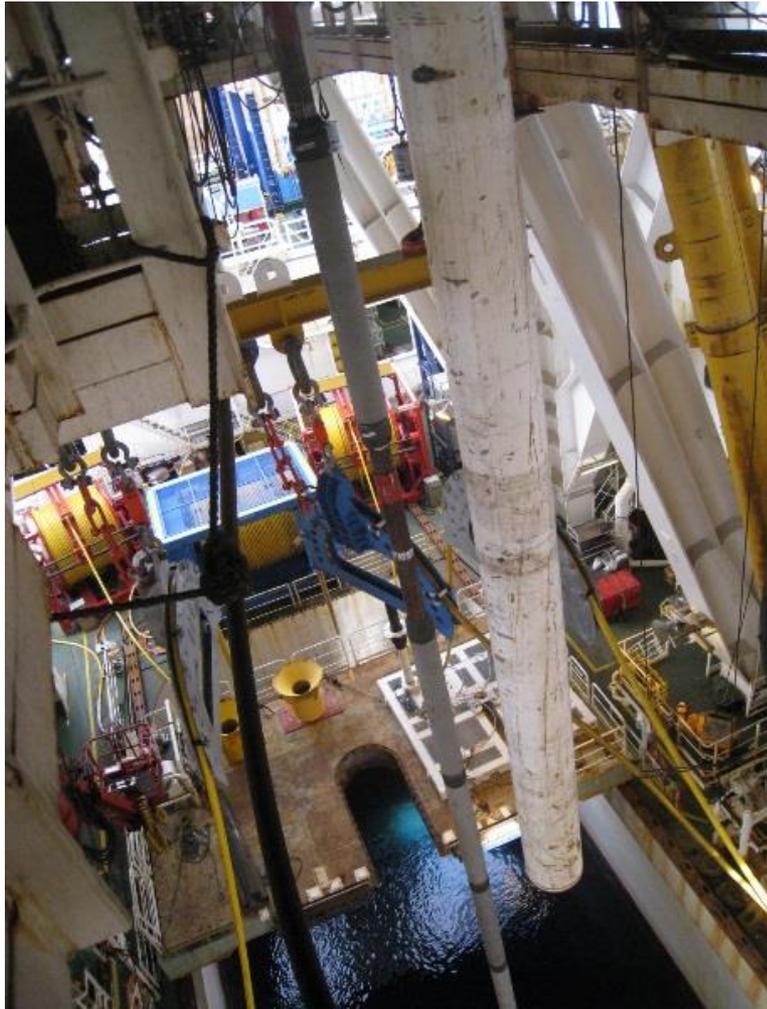
4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始

映写Only



第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
- 4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
- P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下

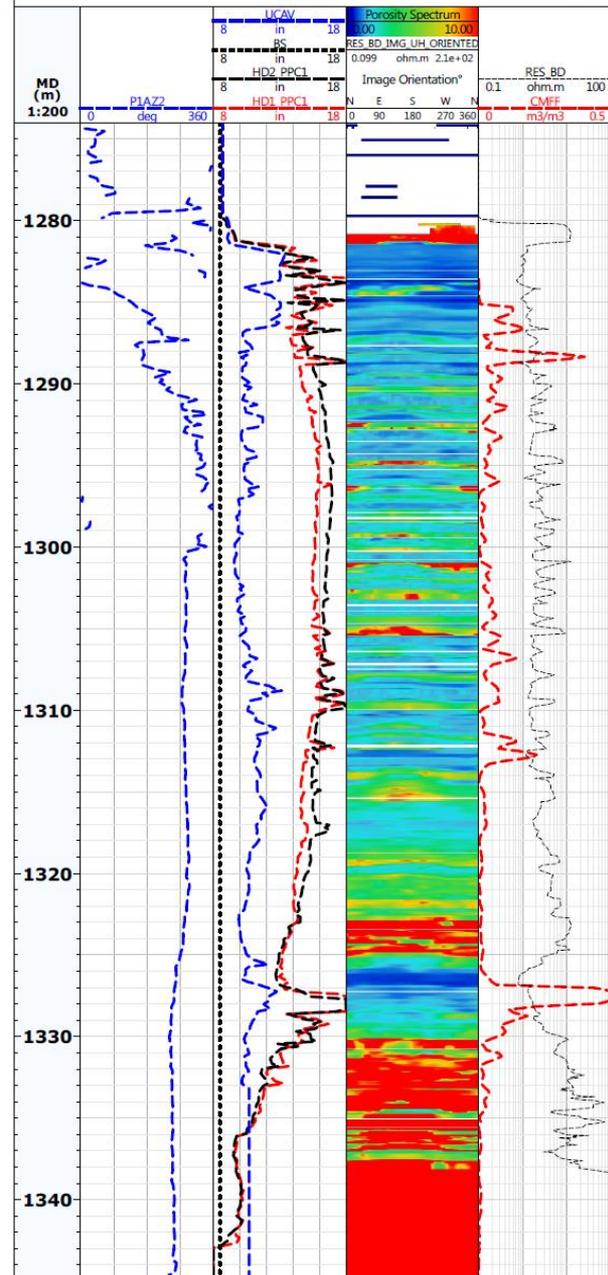


Well: AT1-P2-02

P2

Elevation:
Elevation datum:
Total depth: -999.25
Coordinate system:

X: 714330.4
Y: 3757380.4
Longitude: 137° 19'
Latitude: 33° 56' 6"

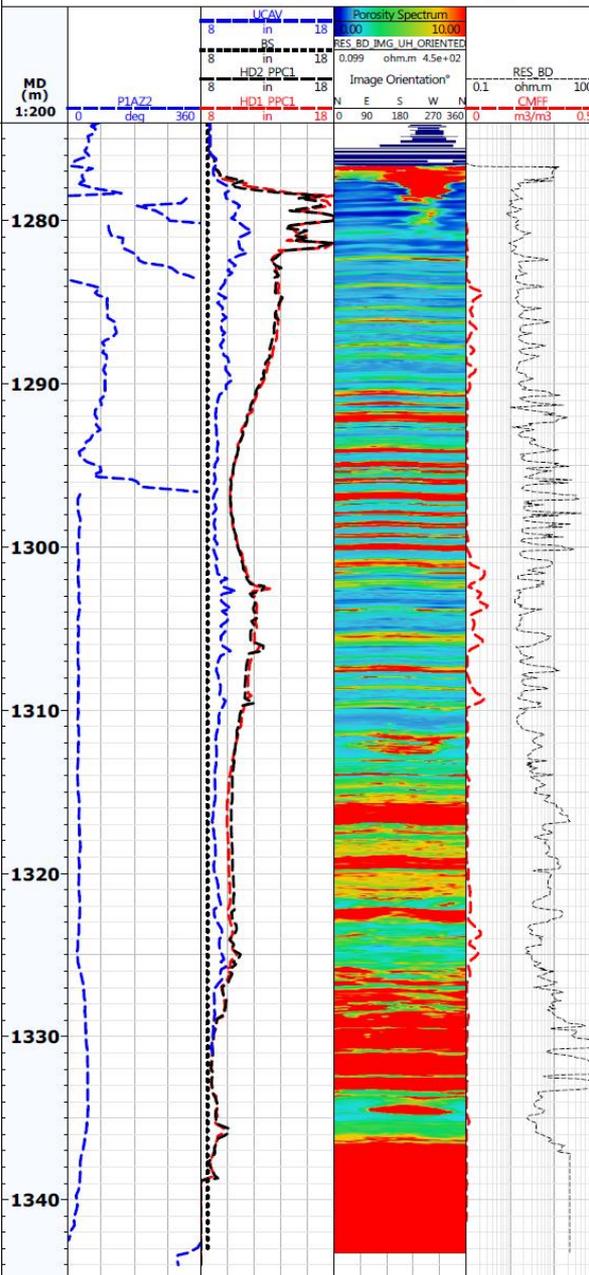


Well: AT1-P3-02

P3

Elevation:
Elevation datum:
Total depth: -999.25
Coordinate system:

X: 714288.0
Y: 3757338.0
Longitude: 137° 19'
Latitude: 33° 56' 4"



予想外の事象: 坑径 拡大が顕著だった

- これまで、メタンハイドレート層は概ねビット径の通り掘れていた。
- 今回は、P2井ではビット径の倍以上、注意して掘ったP3井でも1.5倍くらいに拡大した区間がある。
- これまで掘った井戸に比べてハイドレートが比較的少なかったこと、ゆっくり掘りすぎたことなどが原因か？
- そのため、形状記憶ポリマーは地層に密着せず隙間が空いた、パッカーは十分に機能しなかったと考えられる。

メタンハイドレートの貯留層評価と生産挙動予測

地震探査:

地質構造とハイドレート濃集帯の三次元的な広がりを十数m程度の分解能で知る



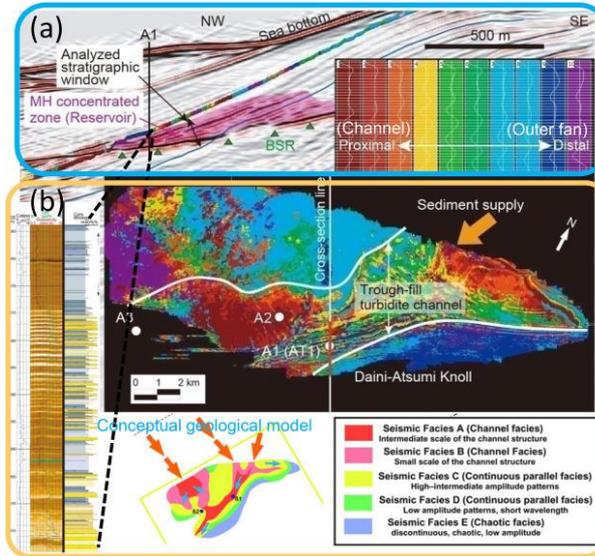
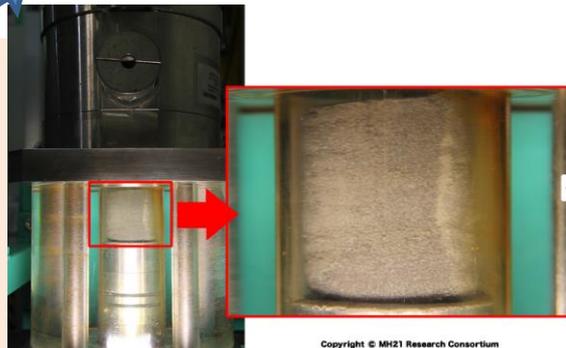
物理検層:

坑内に降下したセンサーで地層の物性値(電気抵抗・音速・自然放射線・ガンマ線のコンプトン散乱・中性子のエネルギー減衰など)の一次元的な分布を数十cmの分解能で知る



コアサンプル:

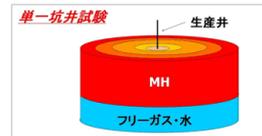
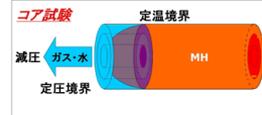
坑井から直径5cmほどの地質サンプル(コア)を掘り出し、実験室で分析して、地質と知りたい物性(ハイドレート飽和率・浸透率・熱伝導率など)を計測する



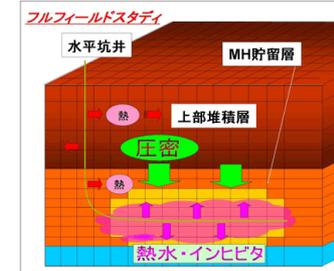
数値解析モデル:

- 地質の幾何学構造を離散化した2D/3Dモデルを作る
 - 各領域に物性値を当てはめる。
 - 減圧等の生産の条件を境界条件として与える。
 - 地層内の流体(水・ガス)と熱の流れとハイドレート分解を、偏微分方程式で記述し、離散化方程式に変えてプログラムする。
- 以上を解いて、圧力・温度、ガス・水生産量等の時間・空間分布を得る。

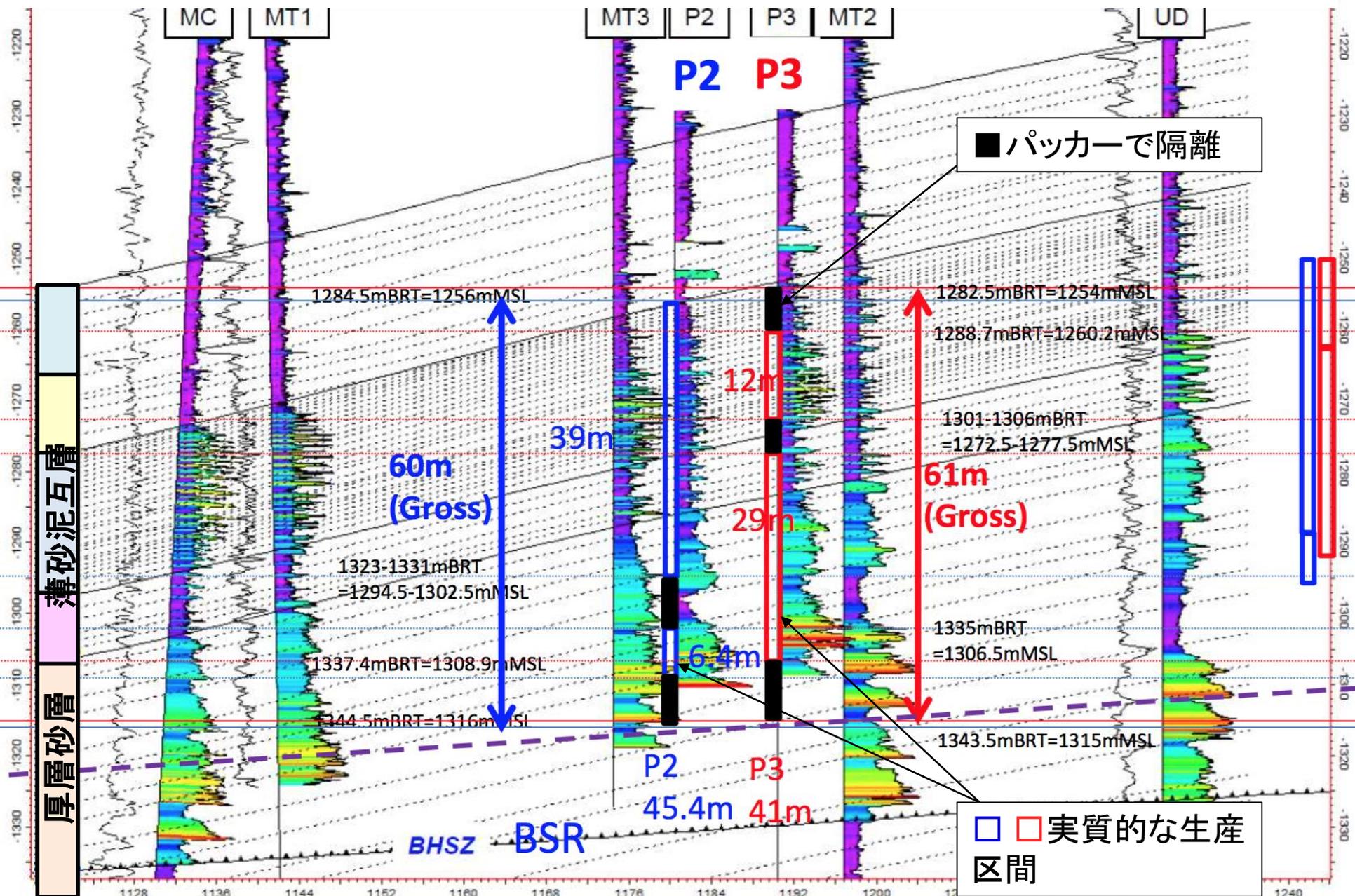
2D 円筒座標系モデル



3D 直交座標系/コーナーポイントグリッドモデル

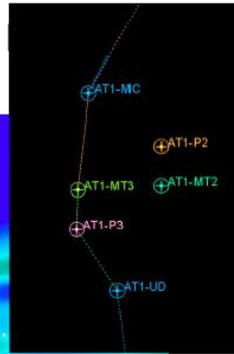
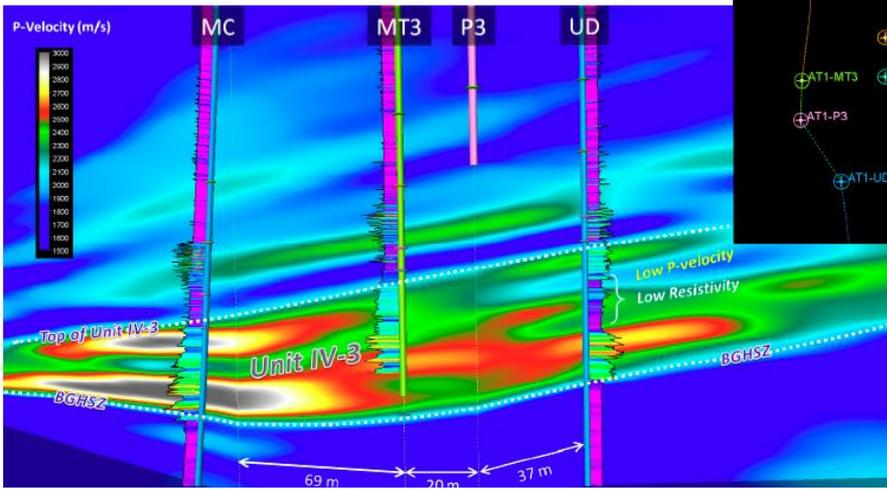


比抵抗検層ログ(ハイドレート濃集状況)と坑井の仕上げ区間

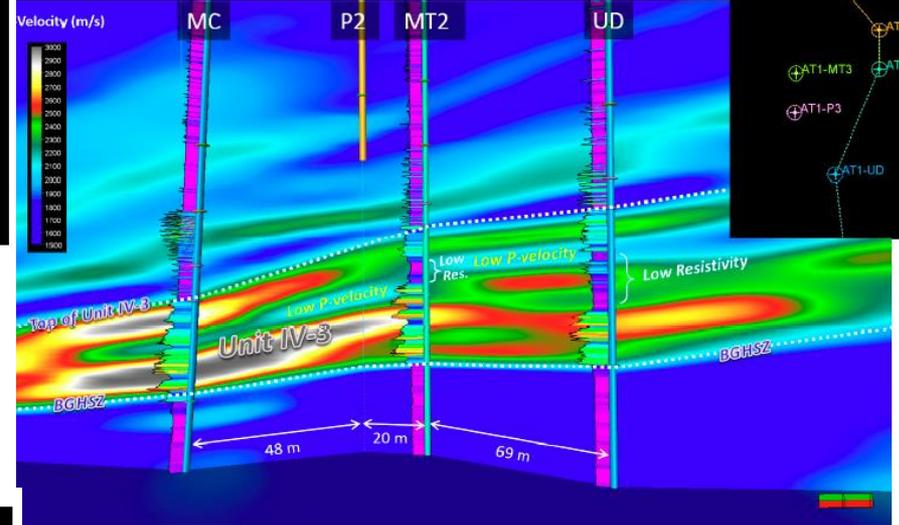


地震探査による各垂直断面内の音響インピーダンス分布と検層による比抵抗の分布の関係

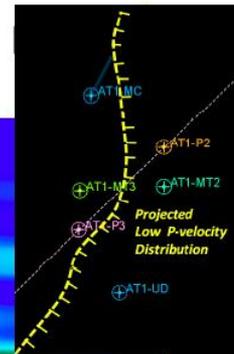
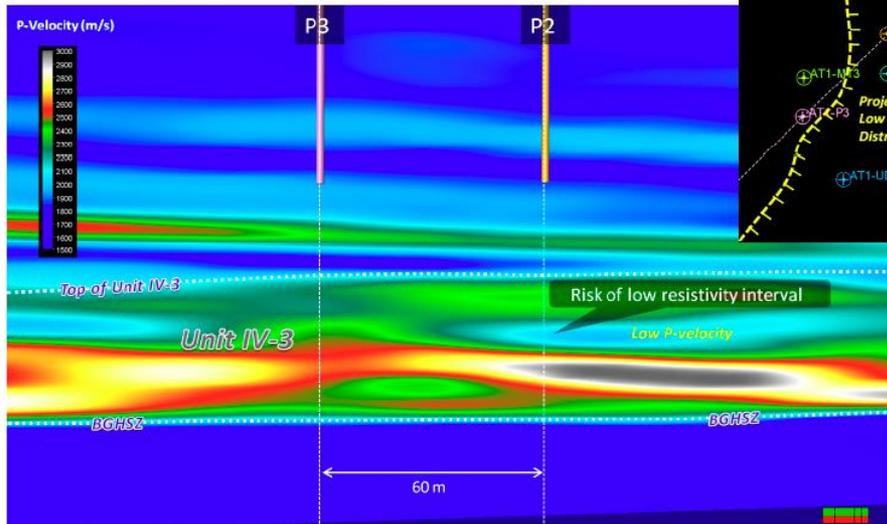
(a)



b)



(c)

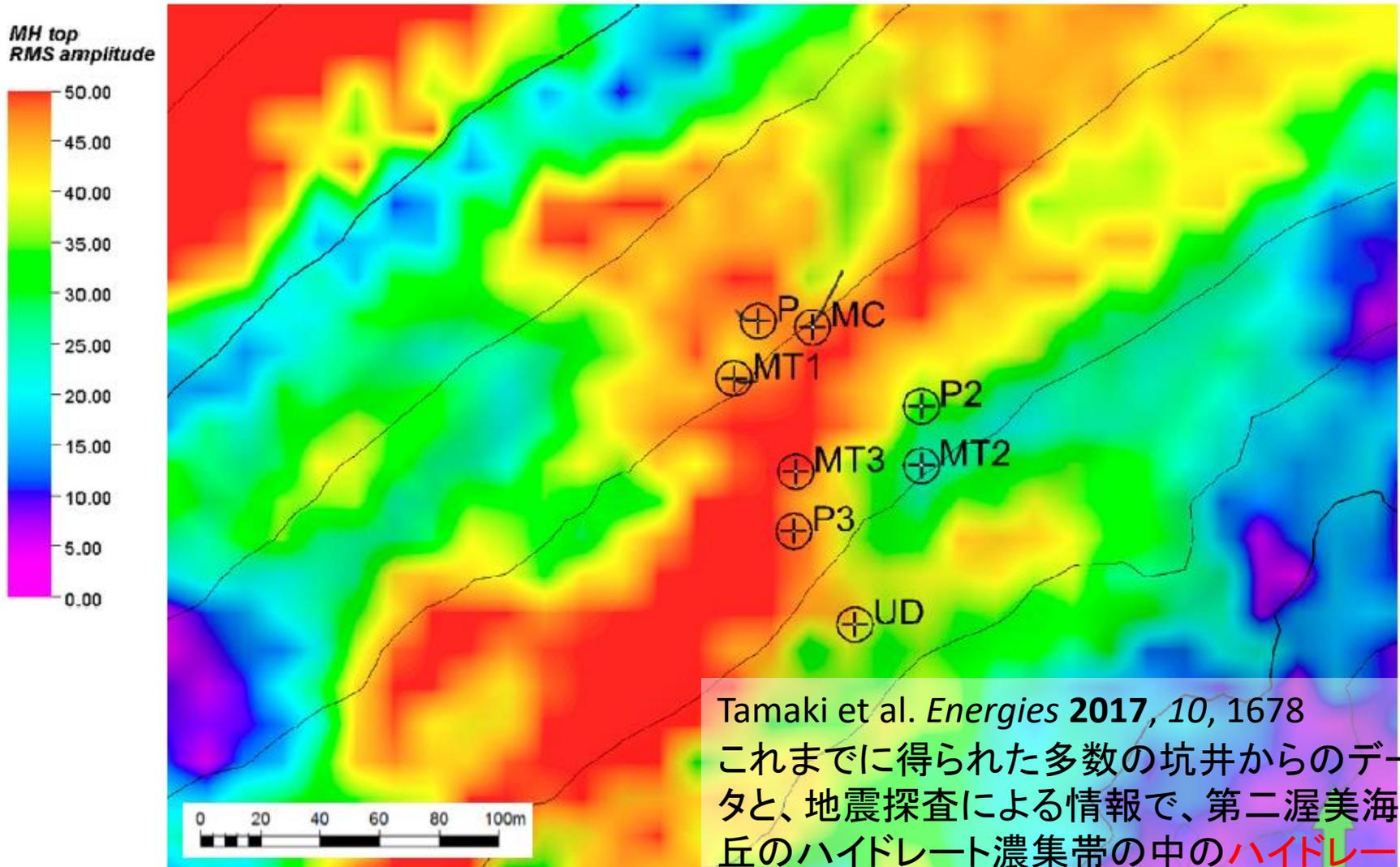


Tamaki et al. *Energies* **2017**, *10*, 1678;
doi:10.3390/en10101678

これまでに得られた多数の坑井からのデータと、地震探査による情報で、第二渥美海丘のハイドレート濃集帯の中のハイドレート濃集状況は均質ではないことがわかってきた。

MH濃集帯トップの地震波反射振幅の分布

当該位置における濃集帯内のハイドレートの積算量と関係深いと考えられている。



Tamaki et al. *Energies* 2017, 10, 1678

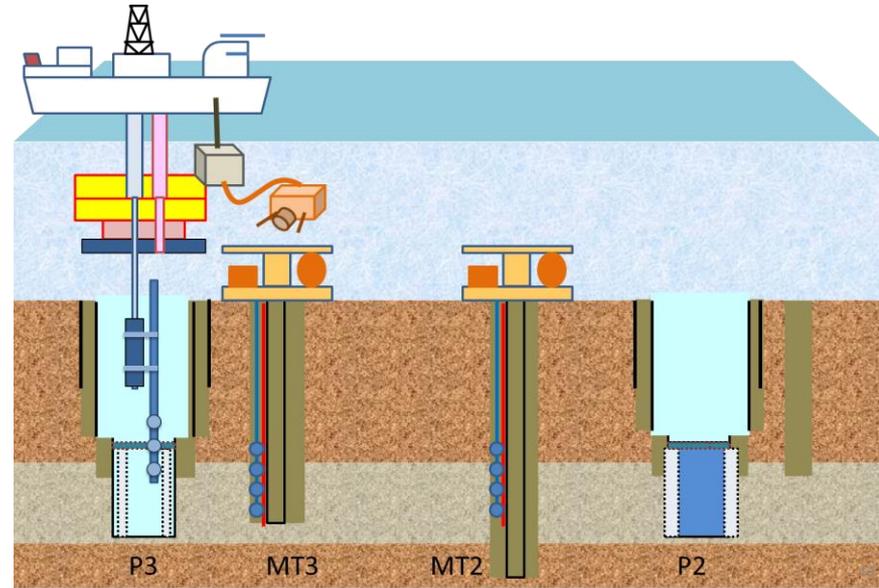
これまでに得られた多数の坑井からのデータと、地震探査による情報で、第二渥美海丘のハイドレート濃集帯の中のハイドレート濃集状況は均質ではないことがわかってきた。

ここまでで取られたデータから

- 2013年の坑井(P,MC,MT1)は良く似た地質とハイドレート飽和率であったが、今回の坑井は、堆積物(砂・シルト)の連続性はよいが、**ハイドレート飽和率のばらつきが大きい(水平方向に非均質性がある)**
- 全体的に、**上部砂泥互層のハイドレート飽和率は低め**
- 2013年の坑井でも見られた顕著に**ハイドレート飽和率が低い砂層(～帯水層)**が見られる。その位置(深さ)は坑井によって若干異なる。
- **地震探査のデータと比較してみると、ハイドレート濃集状況の非均質性が予想される。**
- **水層を隔離するためにパッカーを設置したが、坑径拡大の影響で十分には機能していない可能性がある。**
- **坑径拡大の影響で、出砂対策装置と地層に隙間ができており、砂がスラリー化して動きやすい、目詰まりを起こさせやすい状況になった可能性がある。**

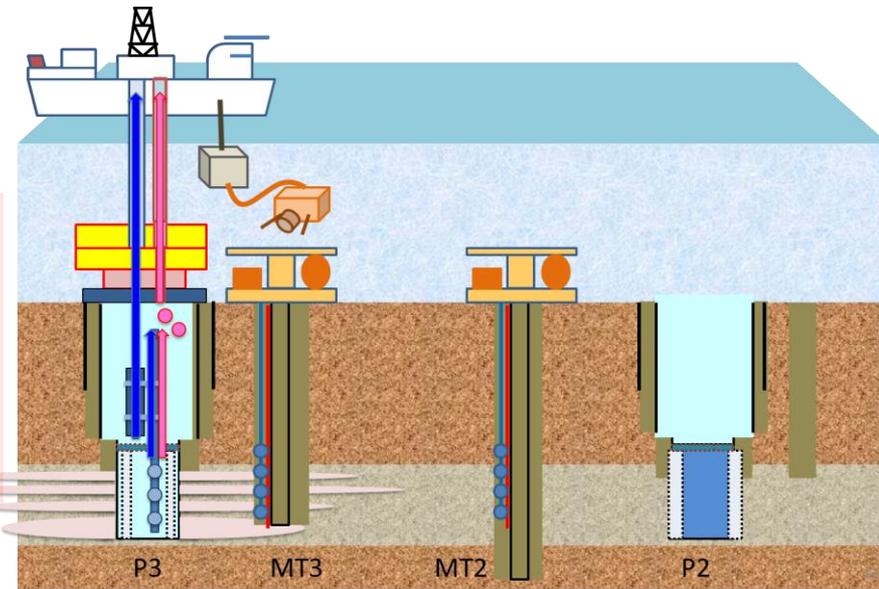
第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
- 4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
- P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下
- 次に、P3井に坑内機器・海底機器を降下

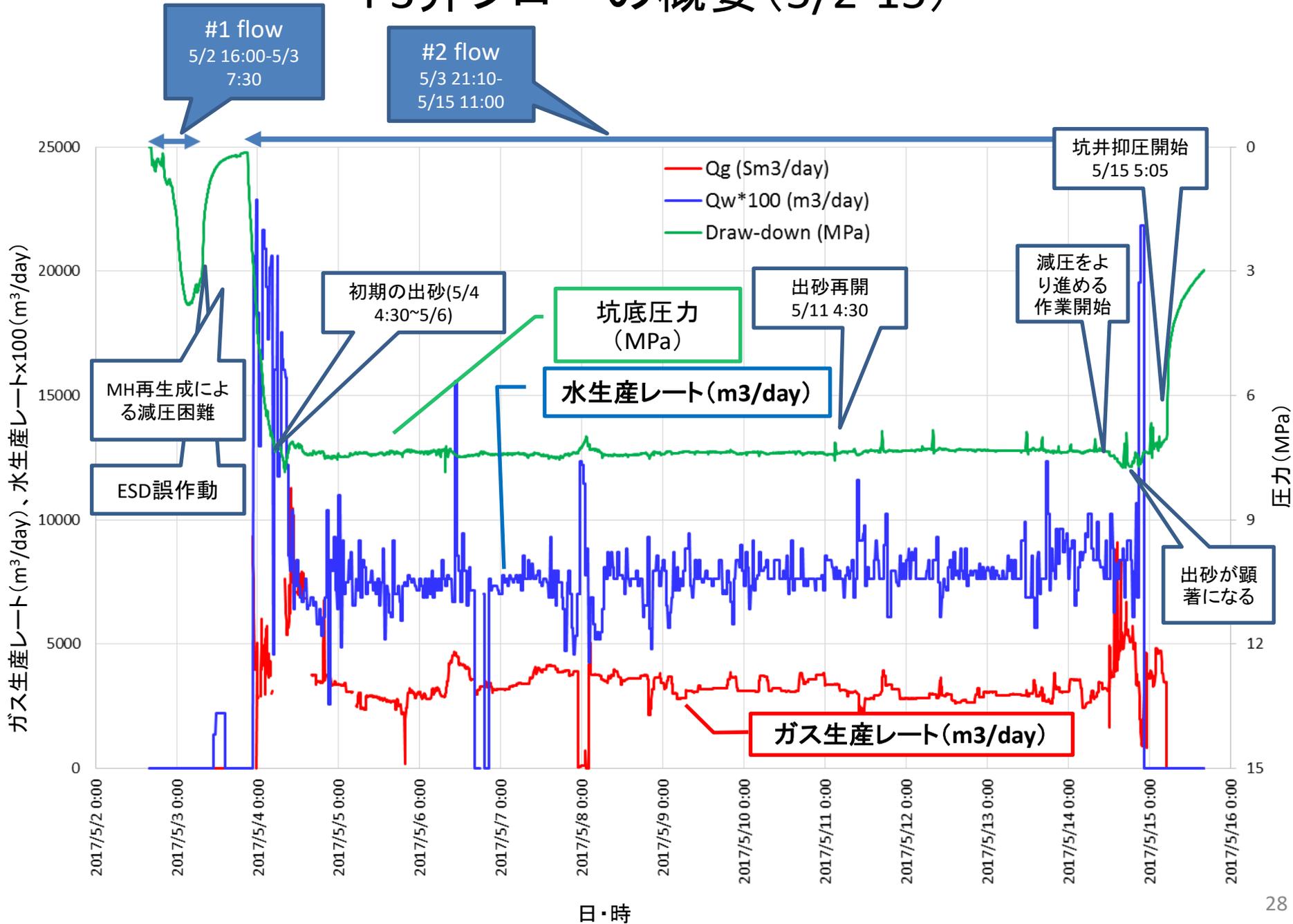


第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
- 4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
- P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下
次に、P3井に坑内機器・海底機器を降下
- 5/2 P3井で減圧開始、安全装置誤作動で一時停止
後再開。5/4頃からガス量増加**
- 5/4-5/6に少量の出砂
ガス生産レートは3千m³/日程度。
坑底圧力5.6MPa程度で維持
5/11以降は出砂が顕著になる
- 5/15 砂の対処が困難となり、P3井の減圧を停止。**
- P3井からEDPを切り離して離脱



P3井フローの概要 (5/2-15)



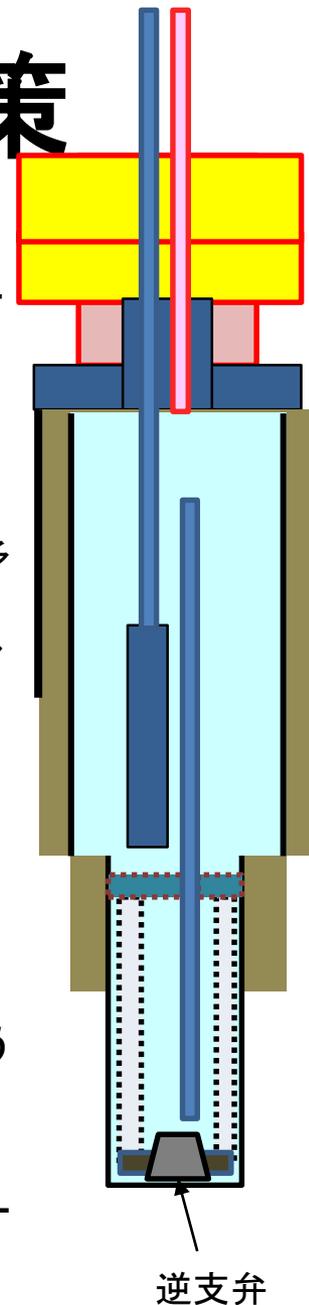
P3井の出砂とP2井での対策

出砂の原因

- 坑内の温度・圧力データから、砂は井戸の最下部付近から侵入していることがわかった。
 - 温度と密度が高いものがゆっくり坑内を上昇していくのが観察された。
- 出砂がごく初期から起こっているため、出砂対策装置が破壊されている可能性は低いと考えられる。
 - 室内実験等で、今回使用した出砂対策装置を初期から破壊するのは困難だろうと予想される。
 - 坑井最下部には逆止弁がついているが、それが機能しないとそこから砂が入り込む可能性がある。
- 一方、坑内のハイドレート生成対策で急激に減圧したことが装置の破壊を招いた可能性も残っていた。

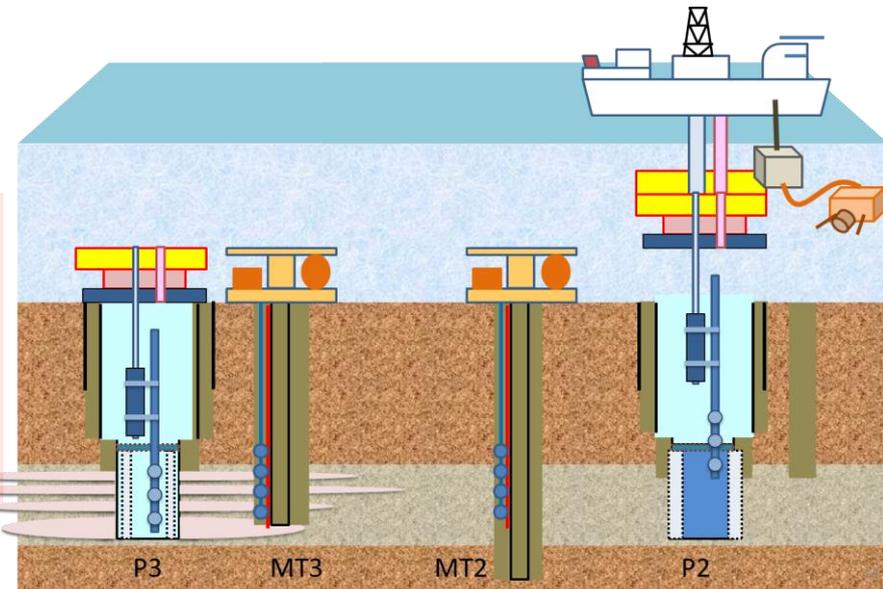
対策

- 逆止弁が機能しなくても砂が流入しないように、坑内機器最下部にプラグを設置した
- 多少出砂しても生産が継続できるように(船上の機器のダメージを防ぐように)、砂の除去装置を強化し、設備の配置等も変更した。
- なるべくゆっくり減圧することとしたが、その場合はハイドレート生成のリスクがあるので、予防のためにライザー内をインヒビター(ジエチレングリコール)で満たした。
 - 生産水に混ざるため、産業廃棄物として陸に持ち帰って処理した。



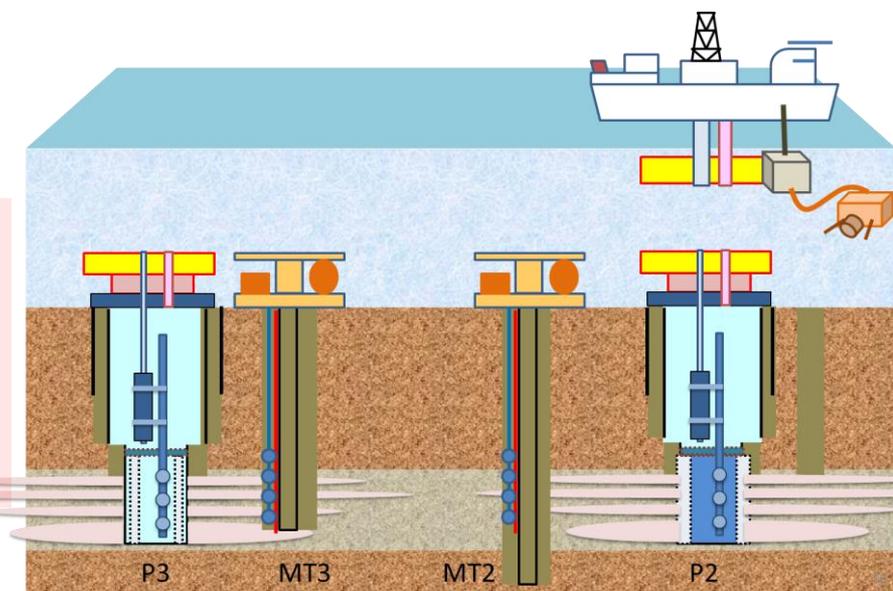
第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
- 4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
- P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下
次に、P3井に坑内機器・海底機器を降下
- 5/2 P3井で減圧開始、安全装置誤作動で一時停止
後再開。5/4頃からガス量増加**
- 5/4-5/6に少量の出砂
ガス生産レートは3千m³/日程度。
坑底圧力5.6MPa程度で維持
5/11以降は出砂が顕著になる
- 5/15 砂の対処が困難となり、P3井の減圧を停止。**
- P3井からEDPを切り離して離脱
P2井に移動。追加出砂対策後、坑内機器を降下
活性化剤の排出、船上砂処理設備の増強
- 5/31 P2井で減圧を開始。徐々にガス量増加**

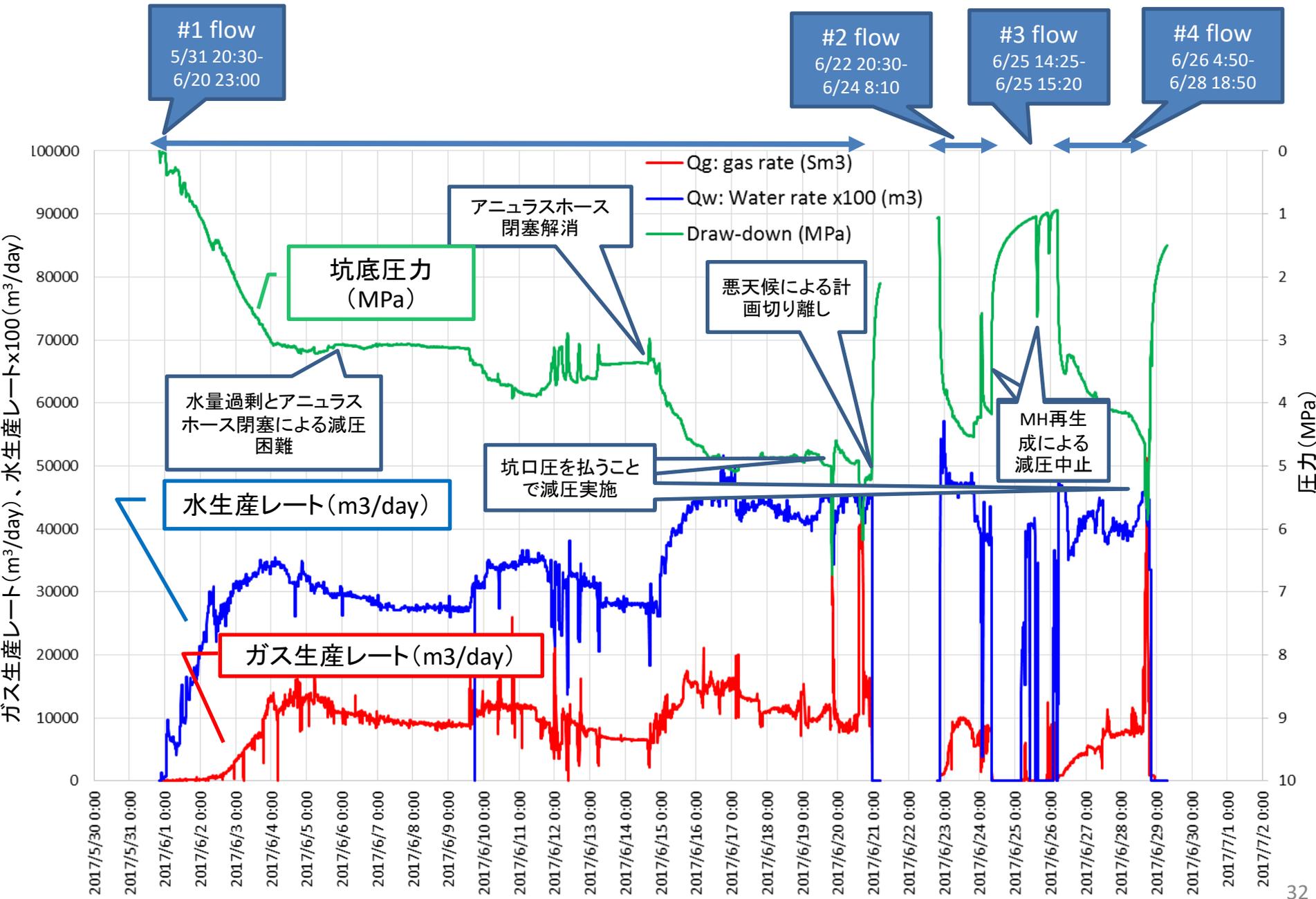


第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
..... P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下
次に、P3井に坑内機器・海底機器を降下
- 5/2 P3井で減圧開始、安全装置誤作動で一時停止後再開。5/4頃からガス量増加**
..... 5/4-5/6に少量の出砂
ガス生産レートは3千m³/日程度。
坑底圧力5.6MPa程度で維持
5/11以降は出砂が顕著になる
- 5/15 砂の対処が困難となり、P3井の減圧を停止。**
..... P3井からEDPを切り離して離脱
P2井に移動。追加出砂対策後、坑内機器を降下
活性化剤の排出、船上砂処理設備の増強
- 5/31 P2井で減圧を開始。徐々にガス量増加**
..... 出砂はなし。ガス生産レートは1万m³/日前後。
ただし、水生産レートが高く、気液分離が不調。
坑底圧力8MPa程度(水量が過大)
- 6/28 P2井の減圧を停止し、ガス生産を終了**
..... P2井から離脱。P3井に戻り坑内機器一部を回収



P2井フローの概要 (5/31-6/28)



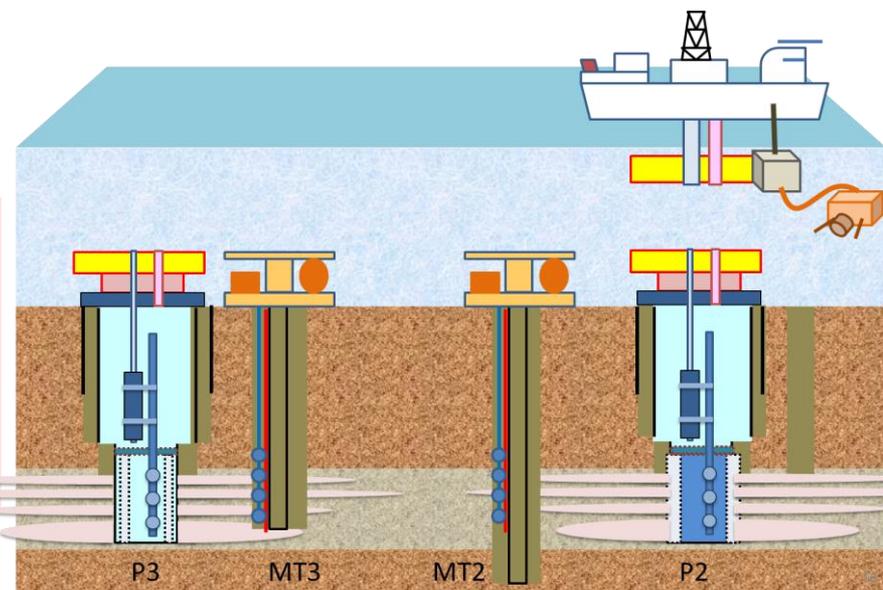
第2回海洋産出試験のガス生産実験の経緯

- 4/1 ちきゅう傭船開始
4/6 清水港出港、22時に現場到着。4/7 作業開始
..... P2井→P3井の順に掘削し、出砂対策装置を降下
次に、P3井に坑内機器・海底機器を降下
- 5/2 P3井で減圧開始、安全装置誤作動で一時停止後再開。5/4頃からガス量増加**
..... 5/4-5/6に少量の出砂
ガス生産レートは3千m³/日程度。
坑底圧力5.6MPa程度で維持
5/11以降は出砂が顕著になる
- 5/15 砂の対処が困難となり、P3井の減圧を停止。**
..... P3井からEDPを切り離して離脱
P2井に移動。追加出砂対策後、坑内機器を降下
活性化剤の排出、船上砂処理設備の増強
- 5/31 P2井で減圧を開始。徐々にガス量増加**
..... 出砂はなし。ガス生産レートは1万m³/日前後。
ただし、水生産レートが高く、気液分離が不調。
坑底圧力8MPa程度(水量が過大)
- 6/28 P2井の減圧を停止し、ガス生産を終了**
..... P2井から離脱。P3井に戻り坑内機器一部を回収
- 7/6 現場離脱 7/7 清水港入港
7/10 ちきゅう傭船終了

METI発表(暫定値)

1本目の生産坑井:12日間で合計約3.5万m³

2本目の生産坑井:24日間で合計約20万m³



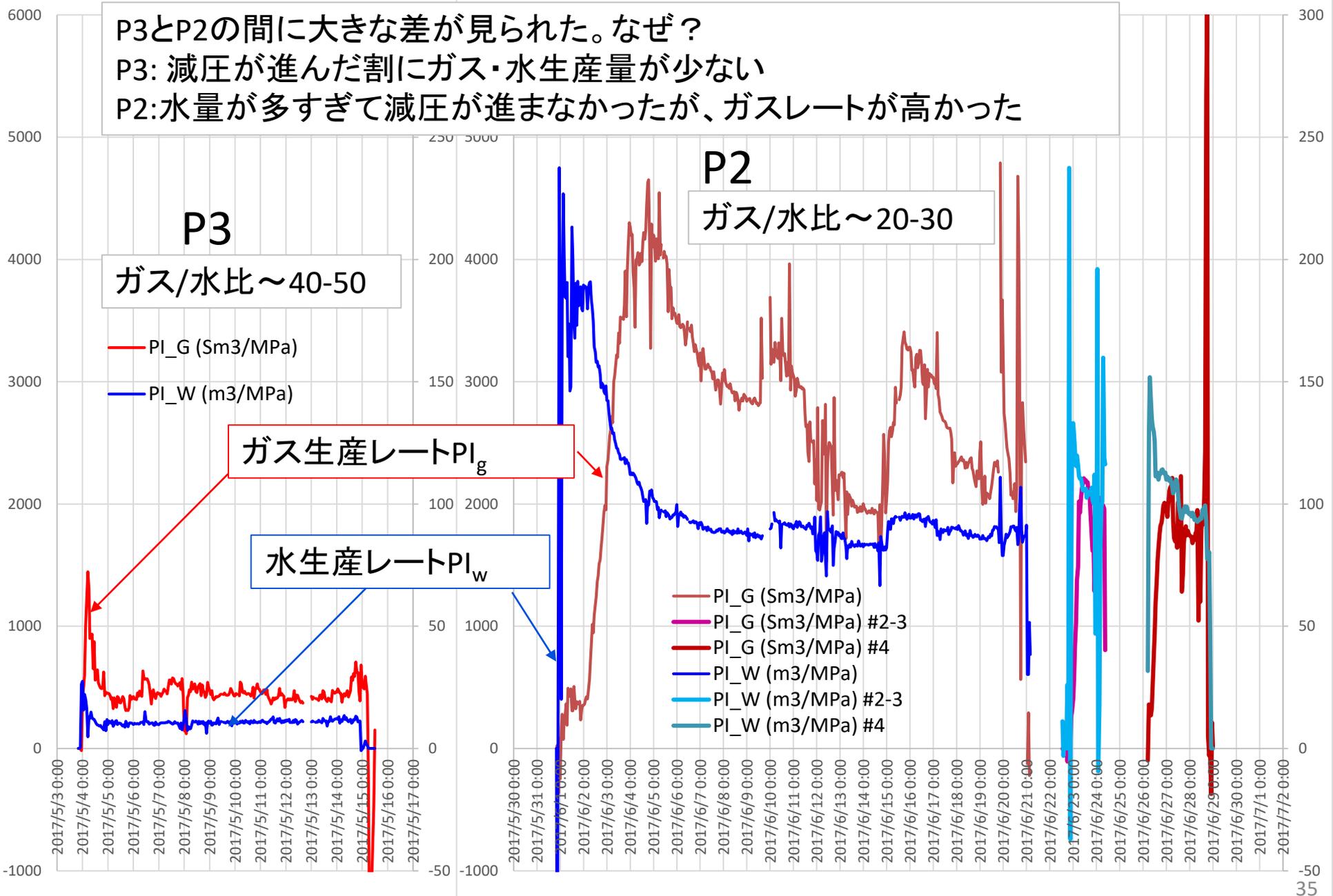
ガス生産実験結果の概要

	AT1-P3	AT1-P2
試験期間*	2017年5月2日16:00~ 2017年5月15日11:00 #1 flow 5/2 16:00-5/3 7:30 (0d15h30m) (ESD誤作動による休止) #2 flow 5/3 21:10-5/15 11:00 (11d13h50m) 合計フロー期間: 12d5h20m	2017年5月31日20:30~ 2017年6月28日18:50 #1 flow 5/31 20:30-6/20 23:00 (20d2h30m) (荒天による計画切り離し) #2 flow 6/22 20:30-6/24 8:10 (1d11h40m) (管内ハイドレート除去作業) #3 flow 6/25 14:25-6/25 15:20 (0d0h55m) (管内ハイドレート除去作業) #4 flow 6/26 4:50-6/28 18:50 (2d14h0m) 合計フロー期間: 24d4h5m
最大減圧度	7.85MPa (13.0MPa – 5.15MPa)	瞬時値6.73MPa (13.0MPa – 6.27MPa) 安定期間 約5MPa (13.0MPa – 8MPa)
累積生産量	ガス: 40,849.9Sm ³ 水: 922.5m ³	ガス: 222,587.1 Sm ³ 水: 8246.9m ³
主要イベント	出砂検出期間 #1 5/4 4:30~5/6 6:00 #2 5/11 5:00~5/15 5:00	出砂なし 計画切り離し 6/21 6:15–6/22 11:30

*試験期間は電動水中ポンプ(ESP)作動時間を基準としており、実際のガス生産期間は若干前後する。

減圧1MPaあたりのガス・水生産レートPI_g, PI_w (m³/day/MPa)

P3とP2の間に大きな差が見られた。なぜ？
 P3: 減圧が進んだ割にガス・水生産量が少ない
 P2: 水量が多すぎて減圧が進まなかったが、ガスレートが高かった



P3

ガス/水比 ~ 40-50

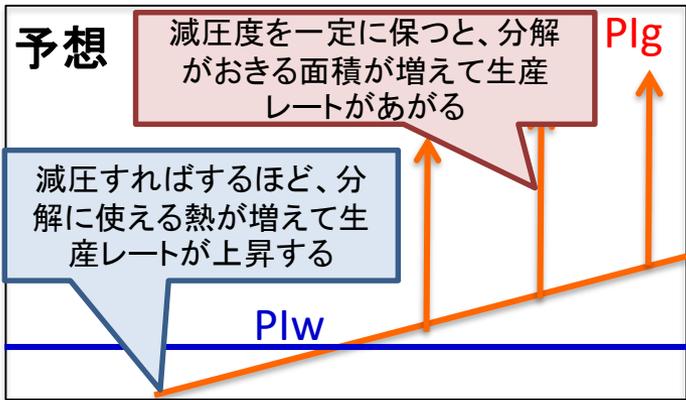
P2

ガス/水比 ~ 20-30

ガス生産レートPI_g

水生産レートPI_w

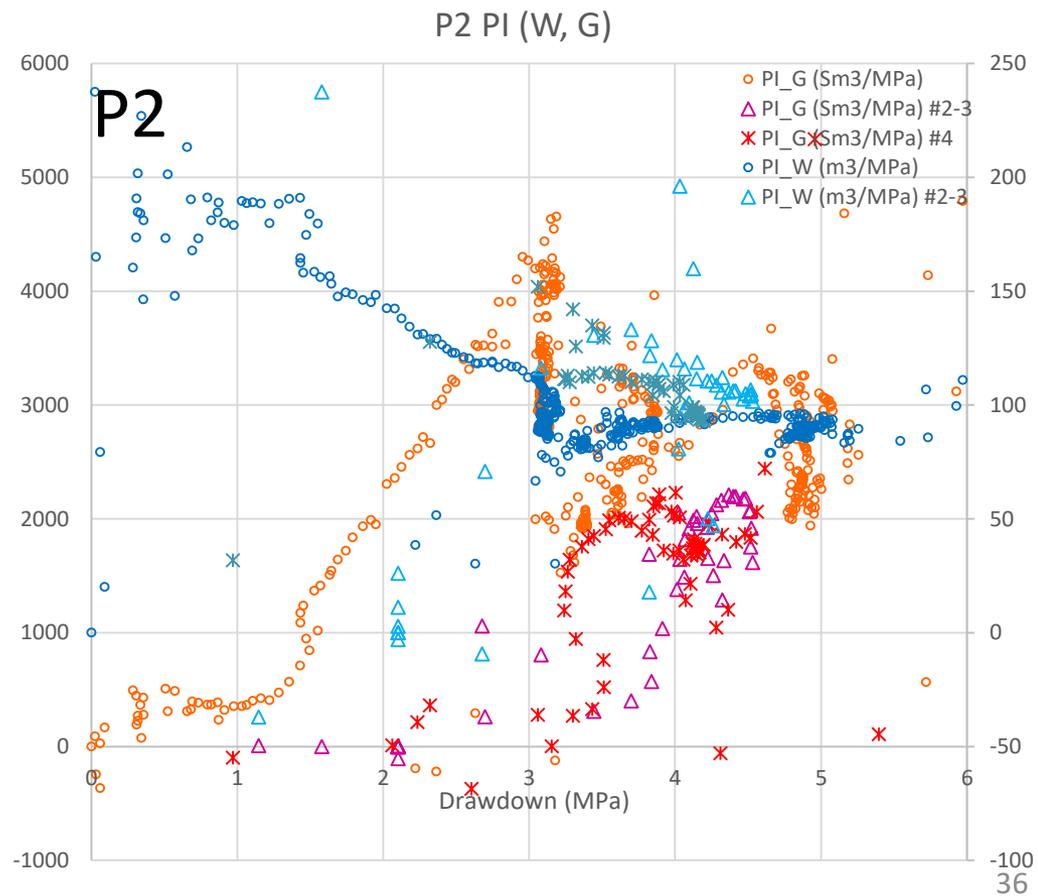
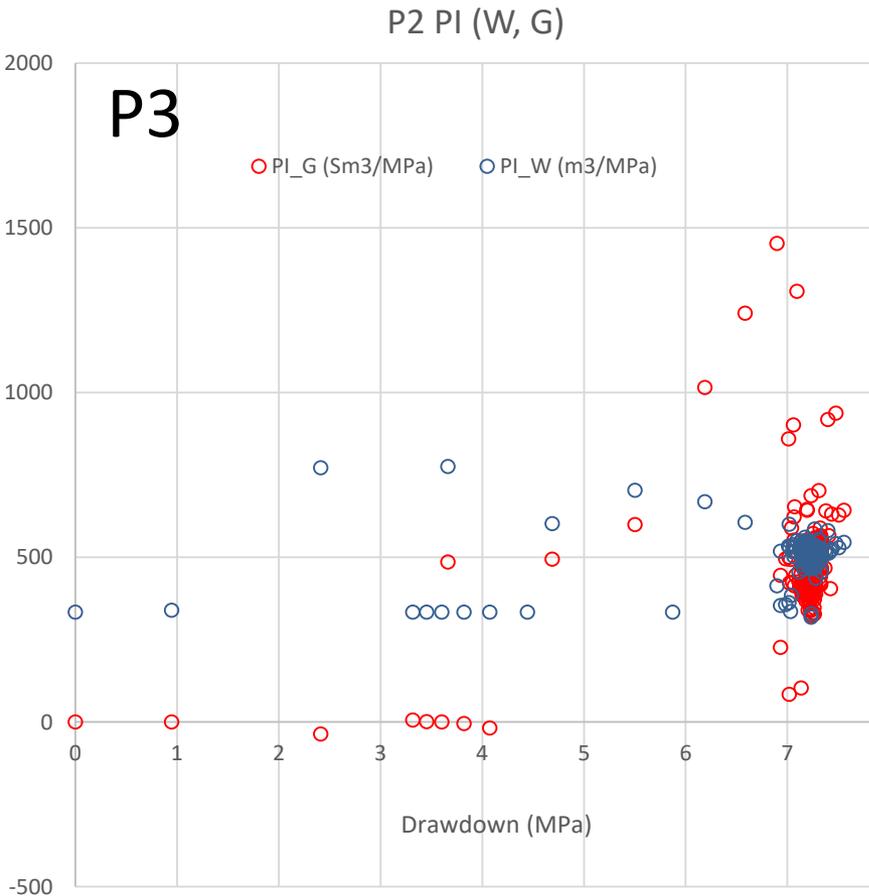
- PI_G (Sm3/MPa)
- PI_G (Sm3/MPa) #2-3
- PI_G (Sm3/MPa) #4
- PI_W (m3/MPa)
- PI_W (m3/MPa) #2-3
- PI_W (m3/MPa) #4



減圧度: ΔP

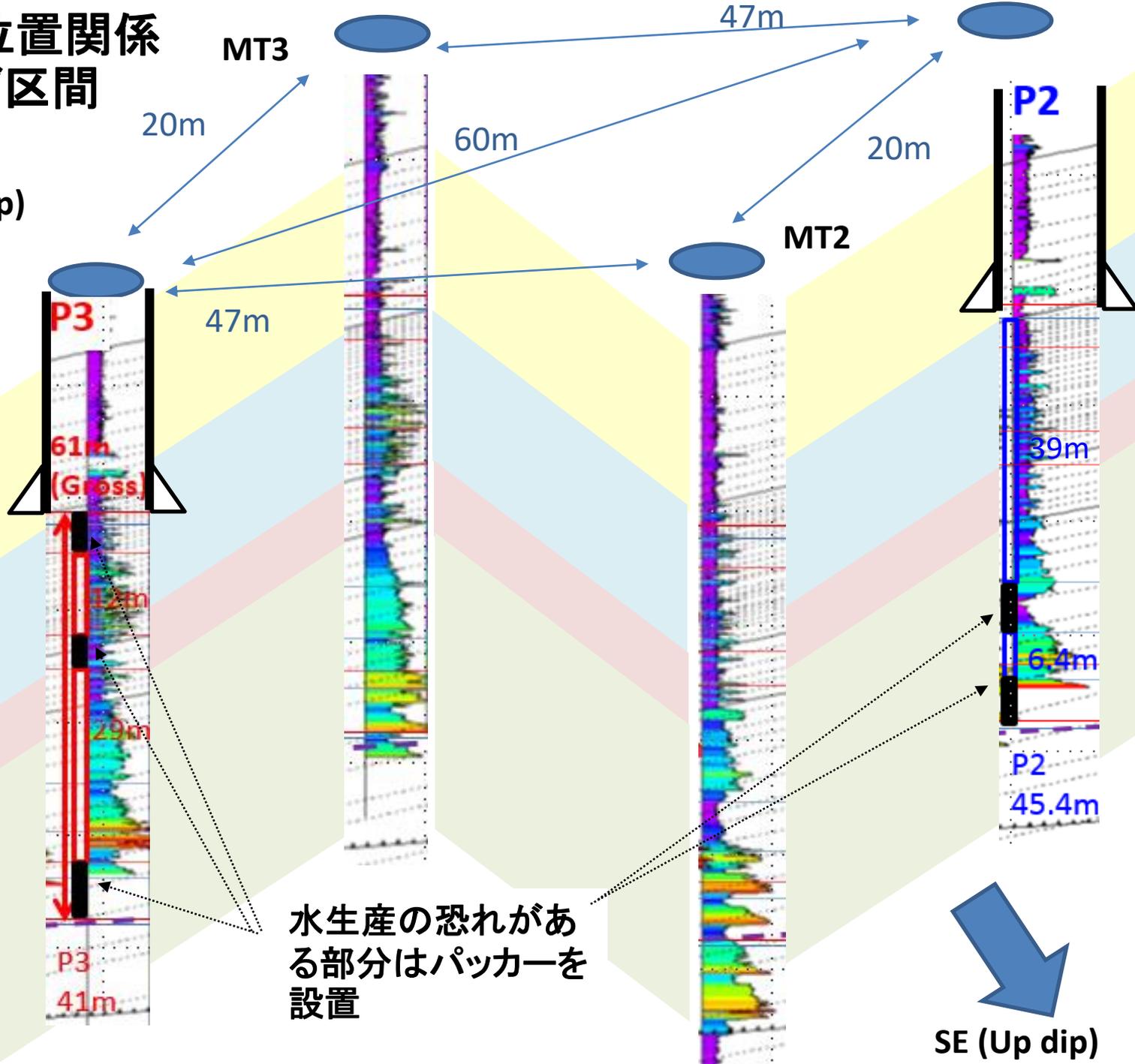
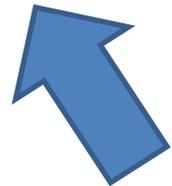
減圧度と単位減圧度あたりのガス・水生産レート (PI_g/PI_w (m³/day/MPa)) の関係

予想通り、減圧度が上がるとガスの生産量は上昇していったが、その後時間経過につれてどんどん増えていくという現象は見られなかった。



坑井の位置関係 と仕上げ区間

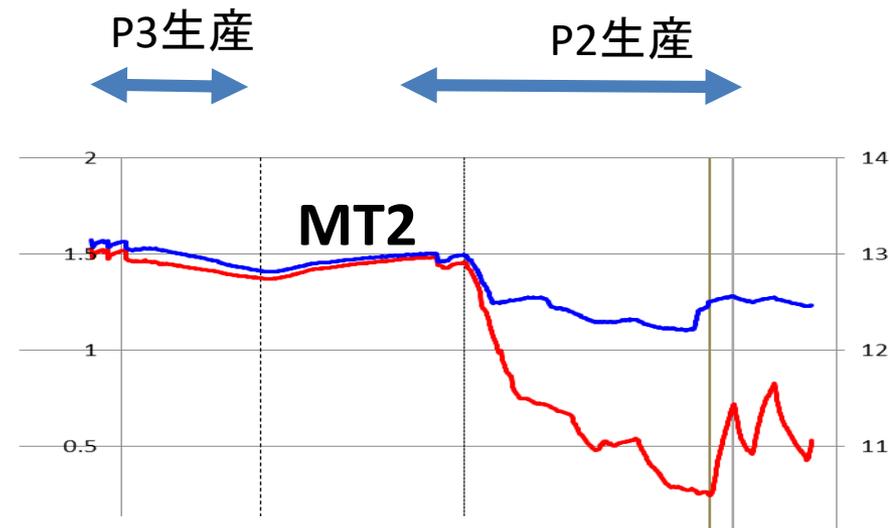
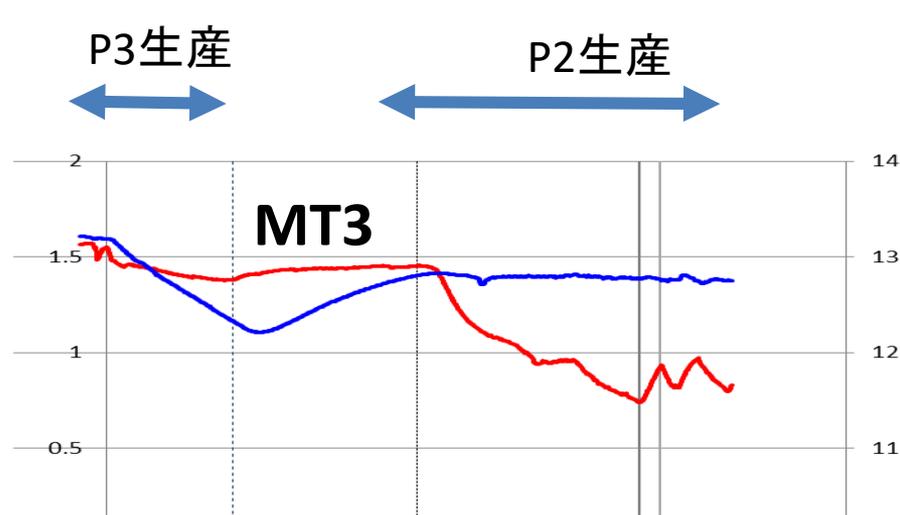
NW
(Down dip)



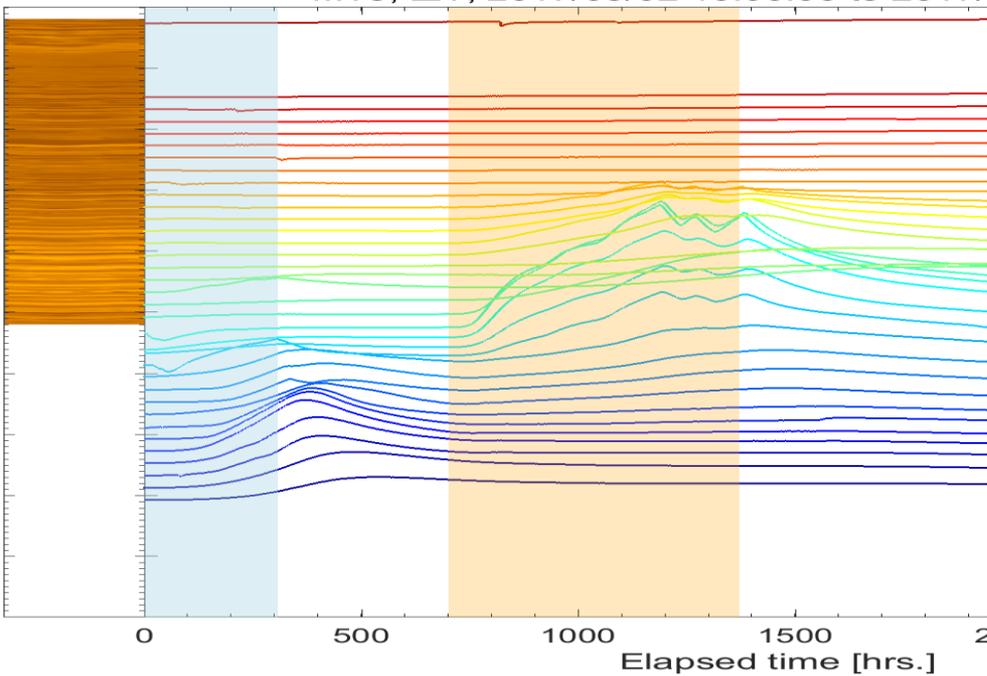
SE (Up dip)

モニタリング井 MT3・MT2の温度・圧力計測データ

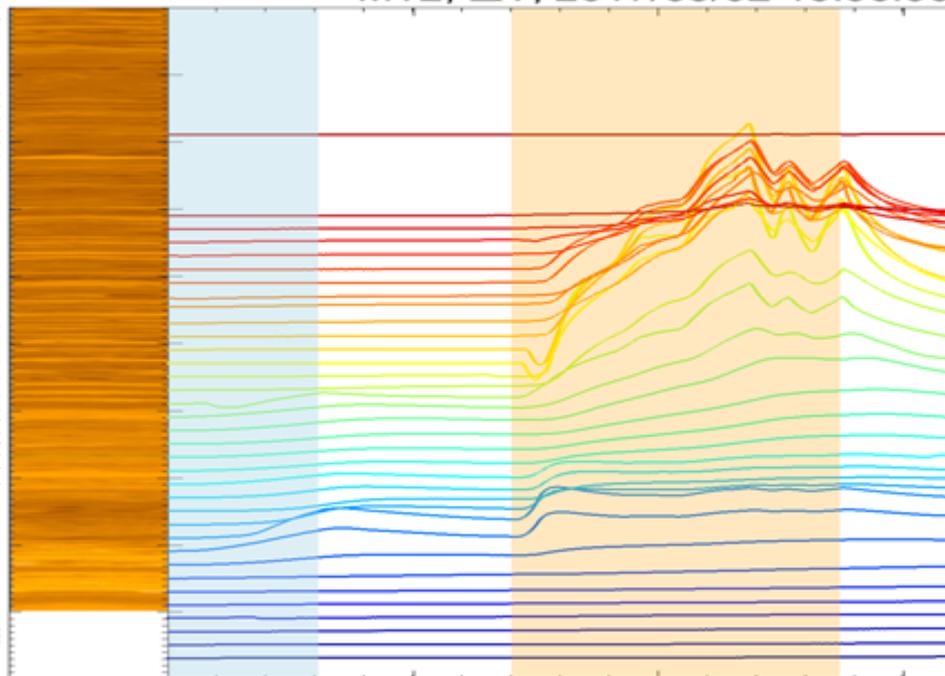
(MT2: P2近傍、MT3:P3近傍, P2⇔MT2, P3⇔MT3は20m, P2⇔MT3, P3⇔MT3は47m)



MT3, ΔT ; 2017/05/02 16:00:00 to 2017/



MT2, ΔT ; 2017/05/02 16:00:00 to 2017/



生産井とモニタリング井の温度データの比較

P3生産中は上部の温度変化は小さい
(MH分解は進んでいない)

生産井で低温のもの(ハイドレート分解水とガス)が入ってきた深度ではモニタリング井戸でも温度低下が見られる

MT3井 T

MT2井 T

Time of origin: 2017/05/02 16:00:00

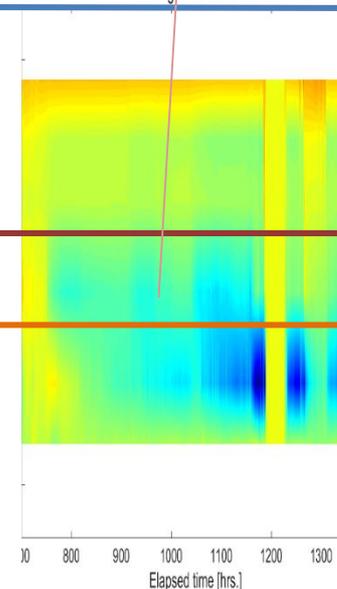
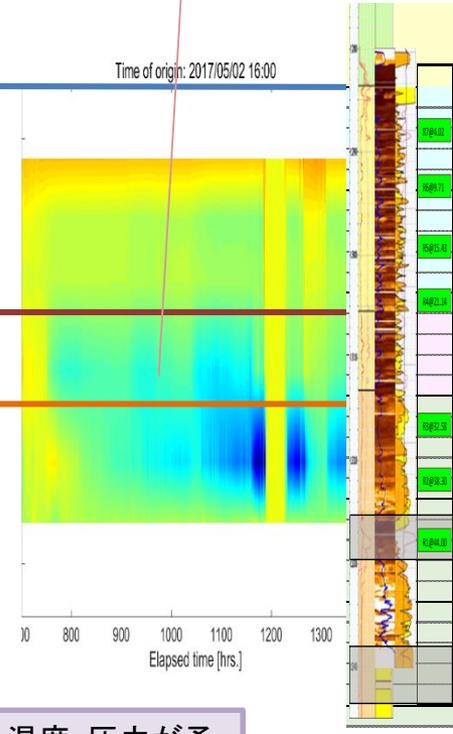
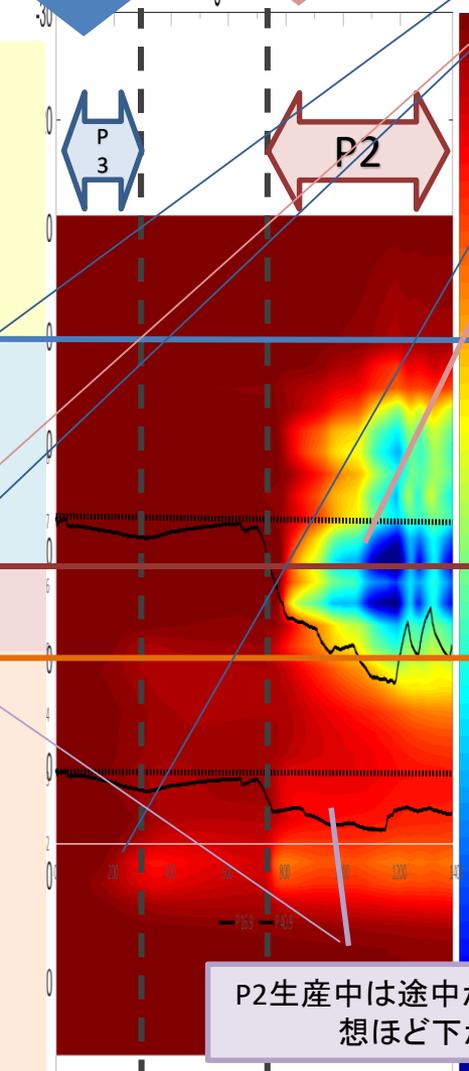
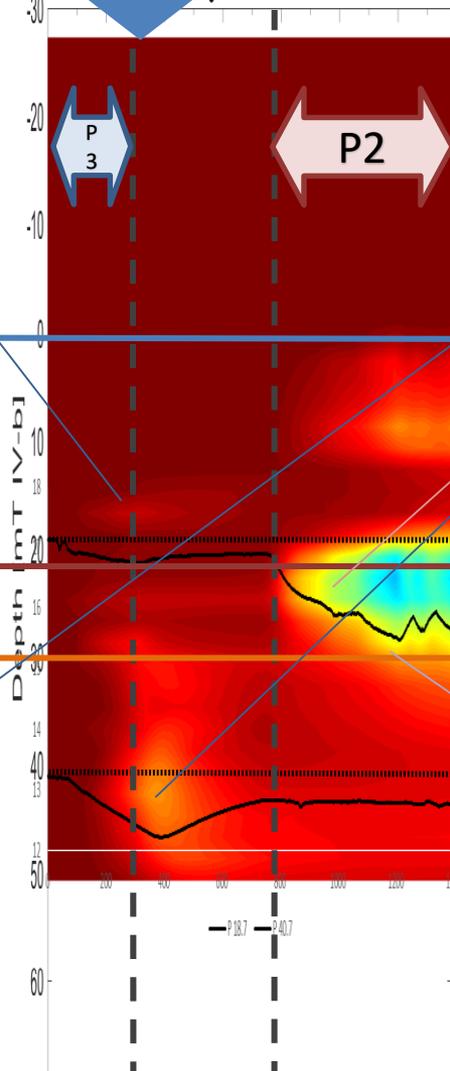
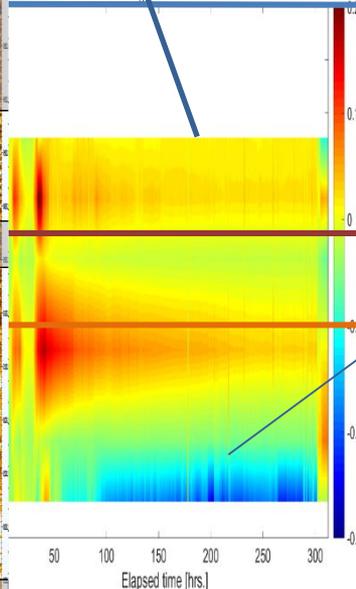
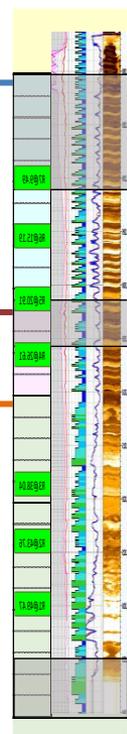
Time of origin: 2017/05/02 16:00:00

P3井 dT/dz

P2井 dT/dz

Time of origin: 2017/05/02 16:00

Time of origin: 2017/05/02 16:00



P2生産中は途中から温度・圧力が予想ほど下がらなくなる

生産データ・モニタリングデータからい えそうなこと

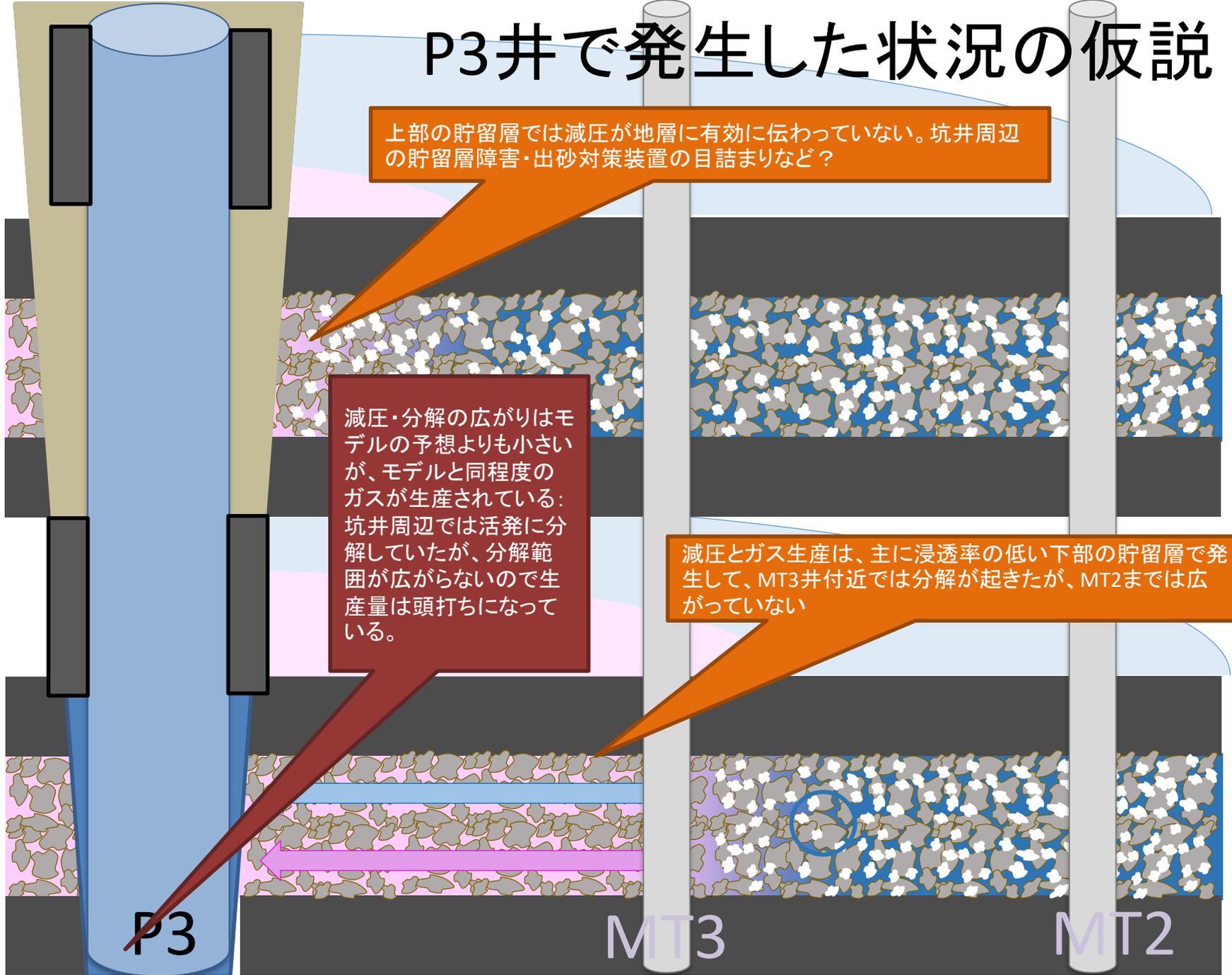
- 予想されたガス生産量が増大するという現象は見られなかった
 - P3では減圧の度合いに対してガス・水生産レートが小さい
 - ガスは主に下部の厚層砂層区間から生産されている。
 - 上部の砂泥互層の寄与は小さい
 - 近いモニタリング井まで分解がようやく届いた程度
 - P2では、水レートが高いとともに、減圧度が小さいうちからガスレートも高い
 - 上部砂泥互層区間の下部や中間層の寄与が大きい
 - 水は最上部から多く進入している
 - 遠いほうのモニタリング井まで分解が届いているが、温度・圧力は下げ止まっている？
 - **P3で予想より生産量が少なかった要因**
 - **P2で小さい減圧度で多量のガスと水が生産された原因**
 - **生産量の上昇が見られなかった原因**
- ←長期的な生産挙動を予想するには、これらについて知る必要がある。

P3井で発生した状況の仮説

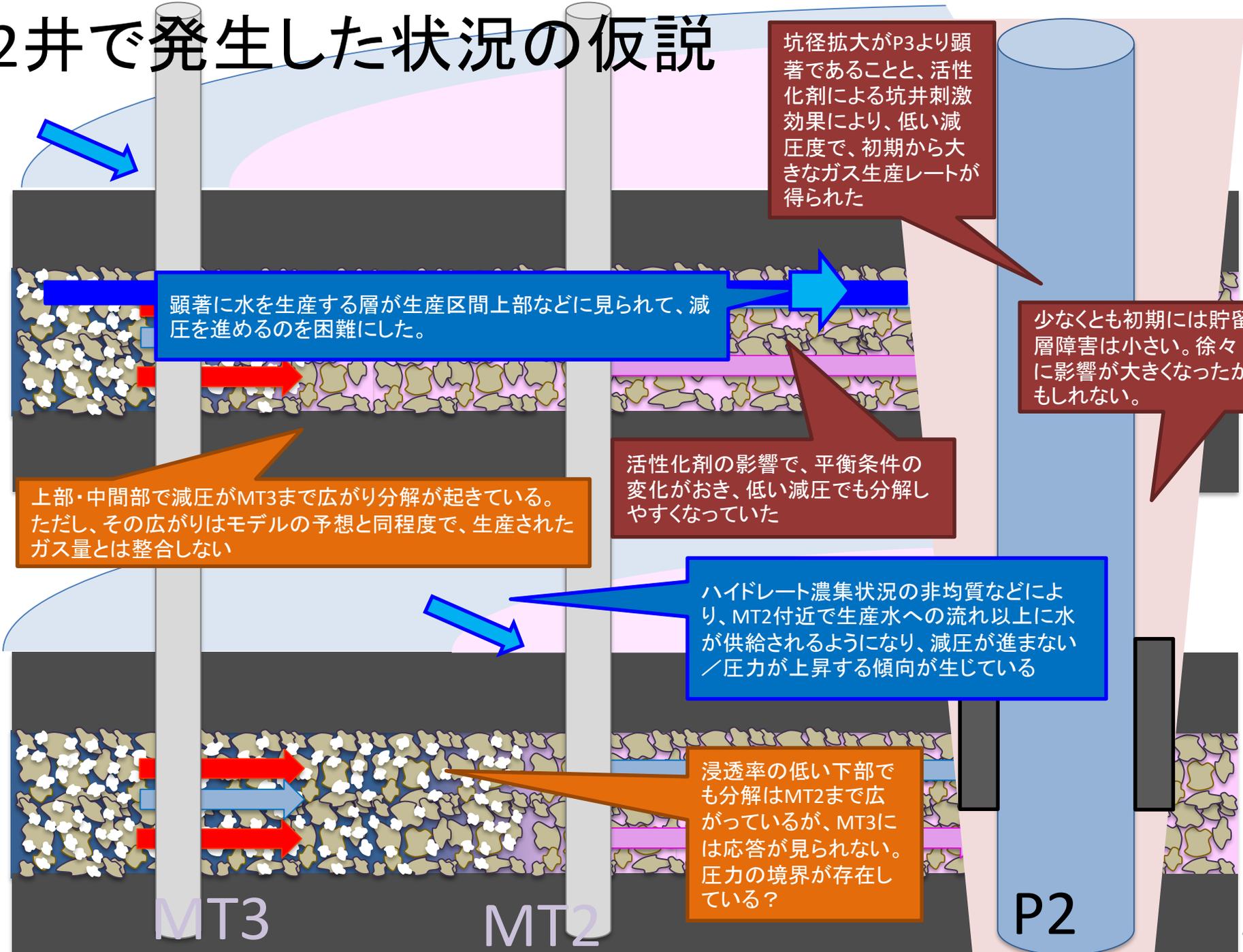
上部の貯留層では減圧が地層に有効に伝わっていない。坑井周辺の貯留層障害・出砂対策装置の目詰まりなど？

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



P2井で発生した状況の仮説



ここまでのまとめ：貯留層評価と分解挙動の課題

- 地震探査・物理検層などの情報を統合して、貯留層の非均質性に関する知見が得られるようになった。
 - 特に、**ハイドレート飽和率が低い領域＝水層の拡がり**の知見が得られ、生産挙動に大きな影響を与えられとされる。
- P3井における出砂、P2井において生産挙動が当初の予想と大きく違ったことなどから、**予定した減圧度での試験ができなかったが、数週間の継続的なフローにおいて生産井・モニタリング井で温度・圧力・流量などの多くのデータが得られて、分解挙動の知見が増した。**
- 実際の生産挙動は、当初の予想と大きく異なっていた。特に、**生産量が増加していく現象は確認できなかった。**
 - P3とP2で生産挙動が大きく異なる。
 - 試験の条件が予定と違っていたが、モニタリング井のデータなどから、今のところ今後増加していく見込みは見えてない。
 - その原因としては、地層・ハイドレート濃集状況の**非均質性**、**坑井周辺での現象**(圧力損失など)、**流動パラメータの非線形性**、**熱輸送プロセス**がモデルと異なる可能性などが考えられる。

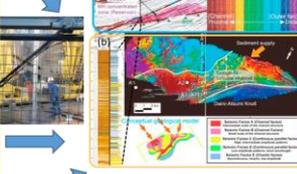
現在実施中の検討と今後の予定

- MH21研究コンソーシアムの技術者・研究者、委託先民間会社、及び外部の有識者を交え、3つのワーキンググループを組織して、データの分析・評価を実施中
 - WG1:貯留層評価と貯留層応答
 - WG2:出砂などの力学的現象
 - WG3:坑内機器・管内流動
 - さらに、外部の専門家を招いてデータレビュー会議を実施
- 検討結果は、順次公表していく予定
- 今後新たに得られる予定のデータ・情報
 - 環境モニタリング結果(海底面沈下・メタン濃度など)
 - 4成分地震探査の結果(分解モニタリング)
 - 生産井・モニタリング井の坑内温度・圧力の長期観測結果
 - 廃坑時に実施予定の圧力コアリング(地質サンプル取得)
 - 廃坑時のカメラによる坑内観察、機器回収など
- カナダでの陸上産出試験・第1回海洋産出試験などのデータも総合化して解析する。
- 今後は、モデルからのアプローチ(順問題的・演繹的)とデータからのアプローチ(逆問題的・帰納的)を統合して検討を進める。
- 現象の理解だけでなく、生産量を増やすという目的に向かった検討に着手
 - 生産量を増やすのに有益な情報は得られていないか

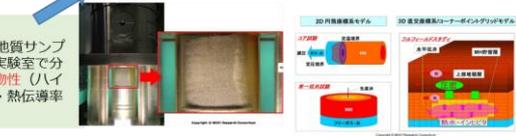
地震探査：
地質構造とハイドレート濃集帯の三次元的な広がりをも数十m程度の分解能で知る



物理検層：
坑内に降下したセンサーで地層の物性値(電気抵抗・音速・自然放射線・ガンマ線のコンプトン散乱・中性子のエネルギー減衰など)の一次元的な分布を数十cmの分解能で知る

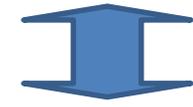


コアサンプル：
坑井から直径5cmほどの地質サンプル(コア)を掘り出し、実験室で分析して、地質と知りた物理(ハイドレート飽和率・浸透率・熱伝導率など)を計測する

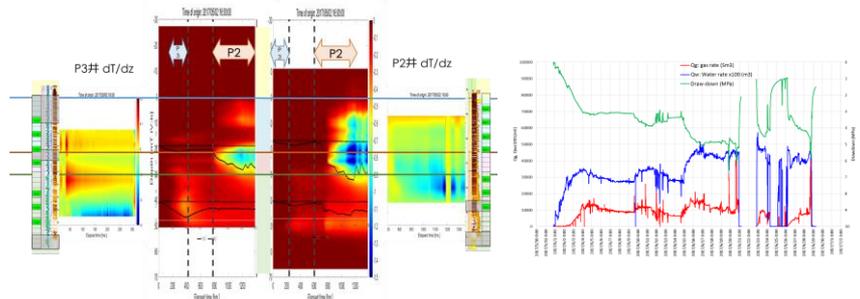


数値解析モデル：
 ・地質の幾何学構造を離散化した2D/3Dモデルを作る
 ・各領域に物性値を当てはめる。
 ・減圧等の生産の条件を境界条件として与える。
 ・地層内の流体(水・ガス)と熱の流れとハイドレート分解を、偏微分方程式で記述し、離散化方程式に変えてプログラムする。
 以上を解いて、圧力・温度・ガス・水生産量等の時間・空間分布を得る。

理論とモデルからの演繹



実際の条件と計測された流量・温度・圧力などのデータからの帰納



追加データ取得と廃坑等のスケジュール

使用船舶：地球深部掘削船「ちきゅう」

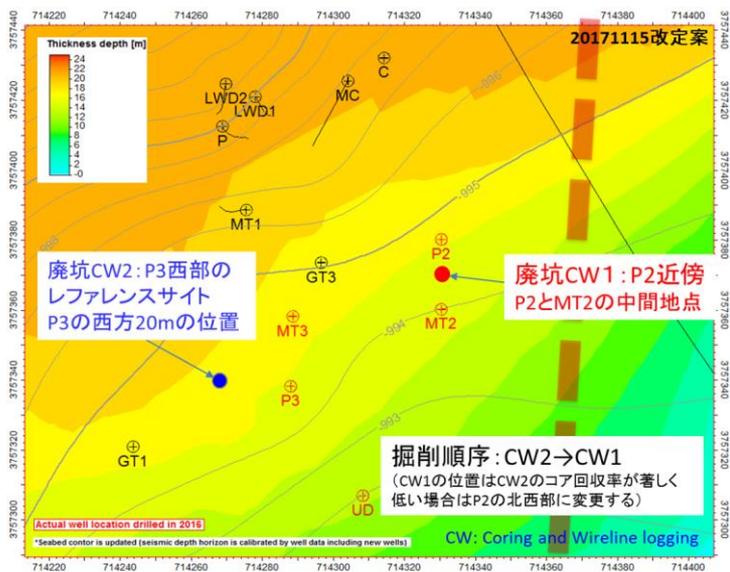
作業期間：3月26日～最長で5月22日頃まで(準備、撤収等を含む)

作業の順番	坑井	作業
(1)		準備作業(艀装・回航・作業準備)
(2)	CW1/CW2	圧力コアリング・物理検層
(3)	CW1/CW2	仮廃坑
(4)	P2	WCP・坑内機器回収 ⁴⁵
(5)	P3	WCP・坑内機器回収(採揚作業)
(6)	P3	冠浚作業(必要な場合)
(7)	P2/P3/MT2/MT3	坑口装置回収
(8)	全坑井	セメントによる封止処置(原状復帰)
(9)		回航・艀装解除

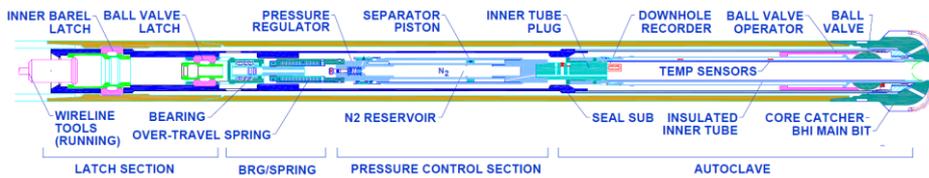
追加データ取得

廃坑等

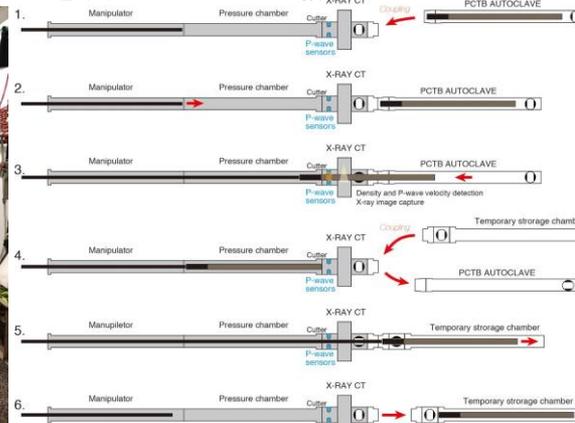
- 二つの坑井（CW1とCW2）においてハイドレートの試料が得られる圧力コアの取得及びワイヤライン検層を実施する。
 - CW2では生産の影響を受けていない状態の地層を採取し、メタンハイドレート胚胎状況における物理特性の把握する
 - CW1では、生産試験の影響を受けた地層の状況を確認する。
 - 取得したコアの一部は、船上及びラボで圧力条件下で分析する。
- 同じ坑井を用いたワイヤライン検層を実施し、検層と実際の地層を比較することでより正確な検層解釈に資する情報を取得する。



各坑井位置（CW1, CW2においてコアリング、検層を実施）



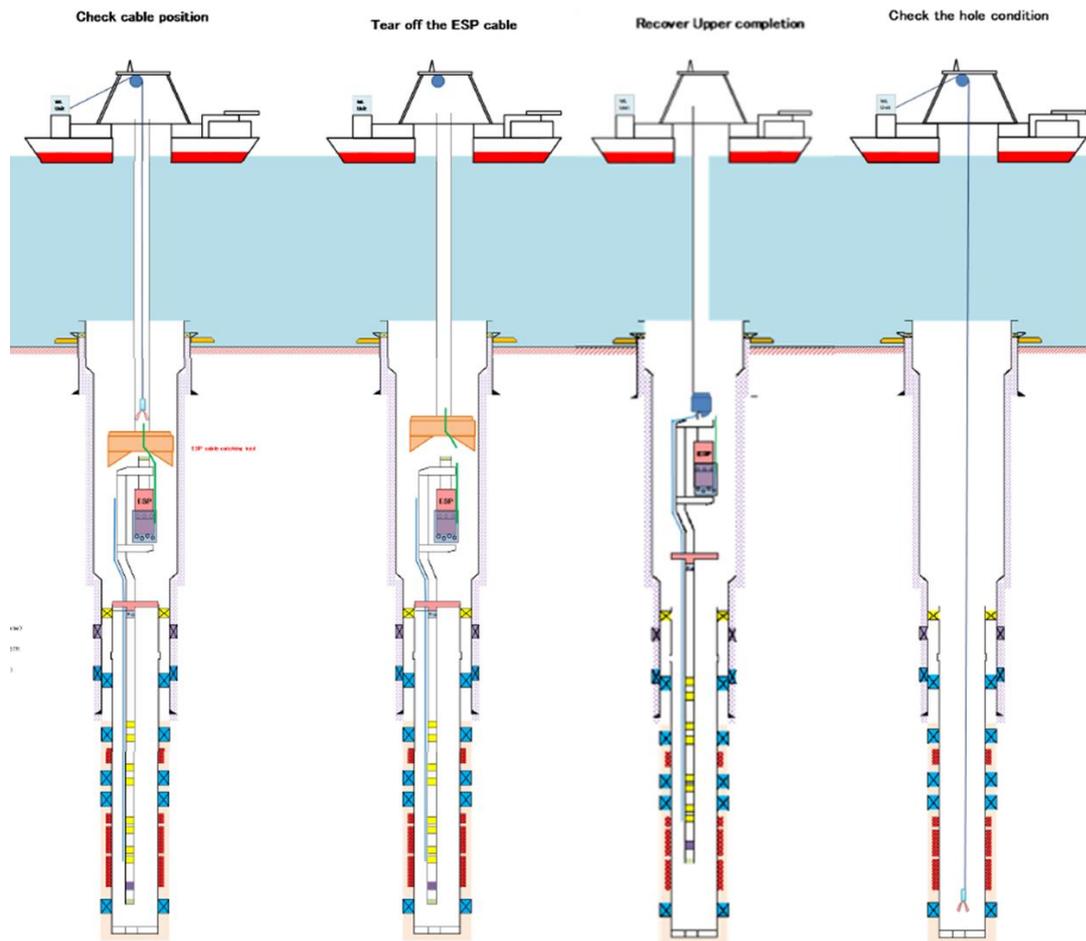
PTCSを改良したHPTCⅢの構造



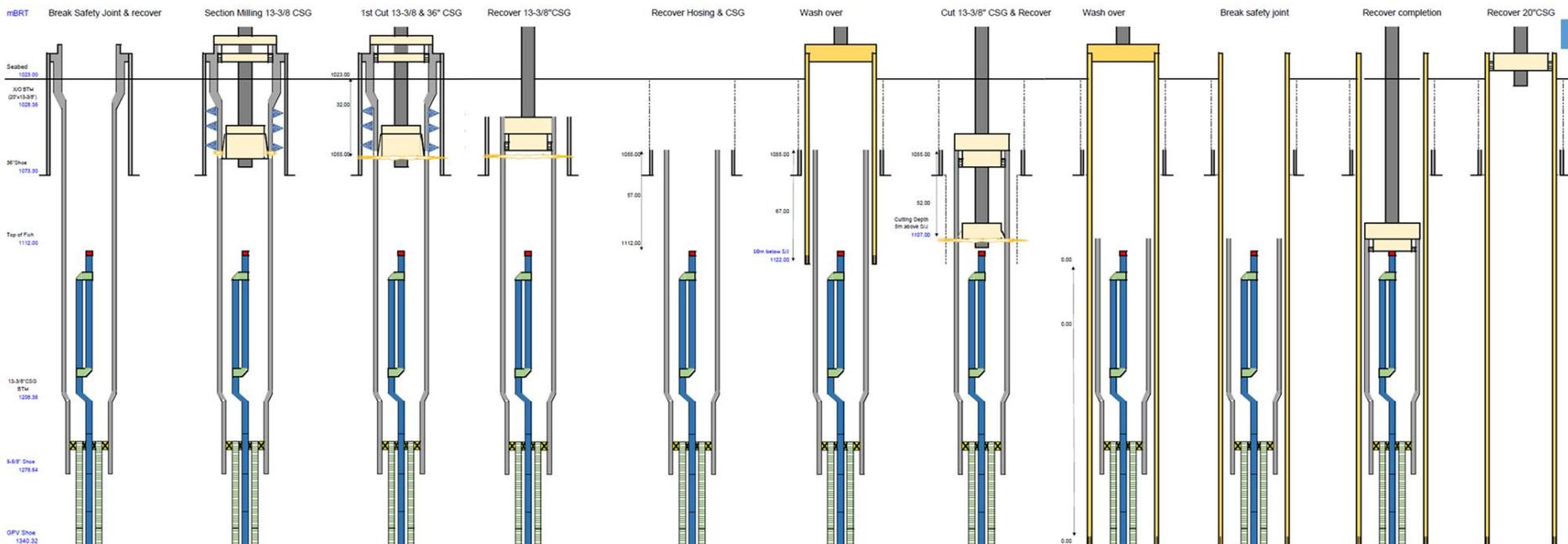
コアの分析、処理を行うPCATSの内部と作業概要

- P2井、P3井それぞれで海底にある噴出防止装置(WCP)とその下の坑内機器を回収する。
 - 坑内機器にはメモリー式温度・圧力センサーが設置されていて、試験終了後の圧力・温度回復のデータを取得できる。

- P2井においては、WCPと坑内機器を一体で回収する。
- 出砂の発生したP3井では、坑内機器が砂で埋没し、WCP下で切断しているため、WCP回収後に坑内機器の採揚作業を実施する。
- 採揚に成功した場合は、坑内にカメラを降下して、出砂原因を確認する。
- 採揚ができないか、出砂原因が確認できない場合には、坑井全体を掘り上げる冠浚に移行する。



- 坑井自体より径の大きなパイプの先にビット(刃)をつけて坑井の外側を掘り抜き、井戸全体を回収する。
 - 実際には、安全と確実性のため、切断できる場所を少しずつ切断する。
- 廃坑作業が最優先であるため、廃坑に支障をきたさないよう手順の検討を実施しているが、支障をきたす可能性が生じた場合には、作業を中止し、廃坑作業に移行する。

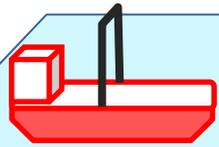


図に示しているのはトラブルがない場合の冠浚の手順。実際には、途中段階でのトラブルを想定した手順が検討されている。

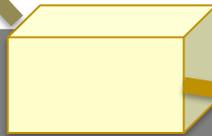
まとめ

- 出砂や予想以上の水量により、当初計画した減圧度は実現できなかったが、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多く得られた。
 - 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。
- 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。
 - 最初から浸透率の高い層の存在は増進回収法の適用に使える可能性
- そのため、まずは慎重にデータを分析すること、陸上産出試験や海洋での調査・試験などの場を利用して、できるだけ低コストで現象の理解と技術の開発を進めていくことが必要。
 - 最終的には日本近海の資源を開発できるように、探査・調査も進めていき、ハイドレートを含む海底の堆積物への理解を高めていくことも必要である。
- 今まで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、計画を立ててきた。今回の試験で、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応じた計画策定に移行していくことが必要であり、また今回得られた情報でそれが可能な状況になった。

まとめ



低コストで安全・安定的、かつ柔軟に対応できる試験システム(洋上・海底・構内)



地質・ハイドレート濃集状況の非均質や水層の広がりについての探査手法、モデル化・影響予測手法

一坑井あたりの生産量をあげる掘削・仕上げ手法

事前・事後の水層の遮蔽

坑井周辺での障害(圧力損失)の低減と対策(坑井刺激法等)

地層の特性を利用した生産手法・生産増進法

生産を阻害しない出砂対策

謝辞

- 試験の計画・準備・実施に関わったすべての皆様：
 - JMH、JDC、MQJ、SKK、MWJ、JAMSTEC、JOE、テルナイト
 - SLB、AKSO、BHI、Halliburton、OCC、朝日航洋
 - METI、JOGMEC、AIST
 - その他すべての皆様
- データの解析に関わったWG1/2/3のメンバー、有識者の皆様
- 作業に理解をいただいた各漁協、海底ケーブル関係各社、気象庁、JAMSTEC、防災科技研、愛知県・三重県・静岡県・蒲郡市・静岡市、その他地元の皆様