

砂層型メタンハイドレートフォーラム 2022

アラスカ陸上産出試験では 何をやるのか？

MH21-S研究開発コンソーシアム (MH21-S)

貯留層評価チーム (JOGMEC) 大槻 敏

2022年12月7日 (水)

発表内容

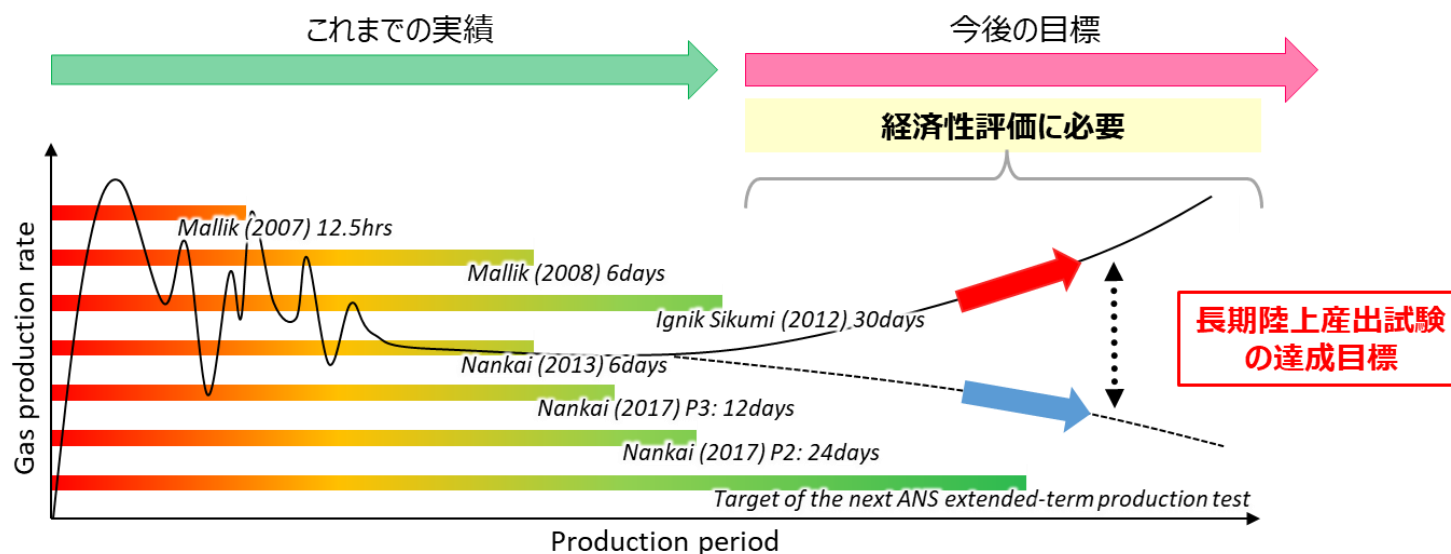
- 1. 長期陸上産出試験の位置づけ、目的・目標など**
- 2. 試験サイトと坑井計画**
 - 試験サイトと地質
 - STW概要と成果
 - GDW掘削作業概要
- 3. 長期生産試験と貯留層評価**
 - 生産試験概要（各坑井の役割）とオペレーション基本方針
 - 遠隔モニタリングシステム
 - 解析計画、事前評価の紹介

1. 位置づけ、目的・目標など

長期陸上産出試験の位置づけ

現状：

- 第2回海洋産出試験において**数週間程度の連続生産を実現**⇒MH分解範囲は坑井周辺に限られ、**長期的な傾向は未確認**。
- 将来の商業化のためには、**長期生産挙動を見極める**必要がある。



第2回陸上産出試験, 2007/2008 <減圧法>
カナダ北西準州マッケンジーデルタ



Ignik Sikumi, 2012 <CO₂置換法⇒減圧法>
米国アラスカ州ノーススロープ

(Photo courtesy: NETL)



第1回海洋産出試験, 2013 <減圧法>
第二渥美海丘



第2回海洋産出試験, 2017 <減圧法>
第二渥美海丘

長期陸上産出試験の目的と目標

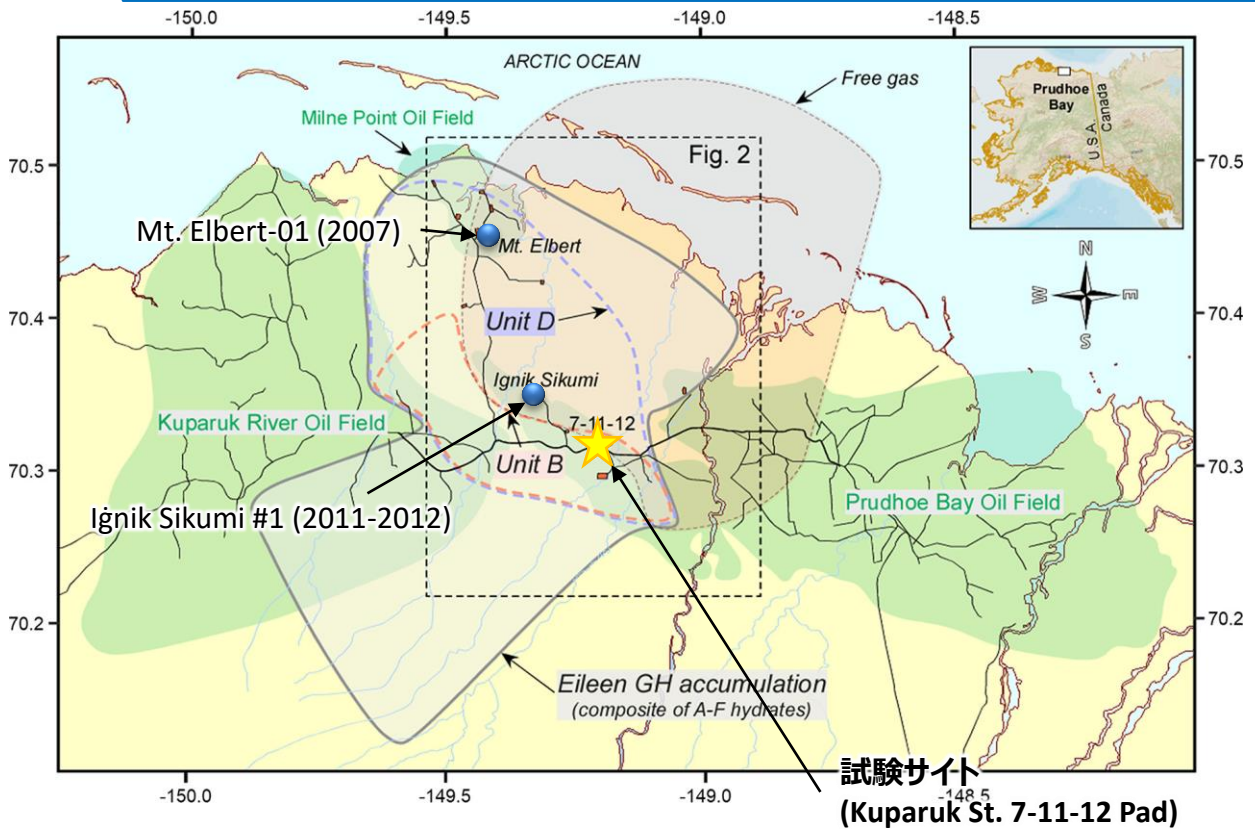
<p>目的</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① <u>長期生産挙動の把握</u> ② 生産阻害要因などの<u>技術的課題の解決策の検証</u> ③ <u>長期生産に伴う課題の抽出</u> ④ <u>メタンハイドレートを世界で初めてエネルギー源として利用</u>
<p>目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>貯留層特性に係るデータが取得され、初期状態が評価されている。</u> ・ <u>所定の坑底圧まで下げ、減圧が維持されている。</u> ・ <u>MH層特有の貯留層応答の解釈に資するデータが生産井および観測井で取得されている。</u> ・ <u>試験結果をモデル(シミュレーション)で再現することを通じて、流動のみでなく長期生産に伴うMH特有の熱の移動やジオメカニクスの(地層変形、浸透率変化等の)挙動の理解を深め、評価する。</u> ② <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>ガス生産レートが減退した場合には、試験中データから原因が推定され、対策を講じることでガス生産を継続できることが示されている。</u> ・ <u>出水対策を試みて、その効果が検証されている。</u> ④ <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>生産ガスが有効に活用されている。</u>

(出典) 第37回メタンハイドレート開発実施検討会 (資料3)

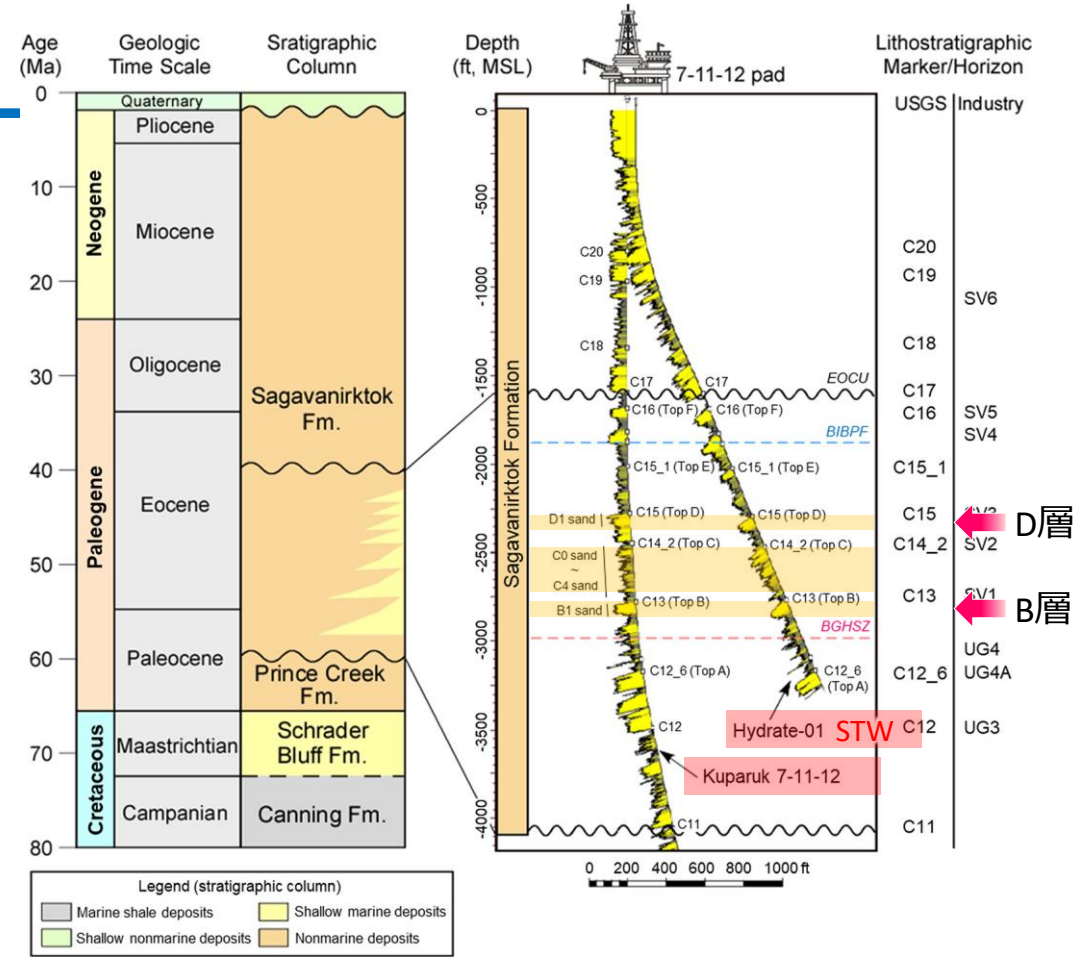
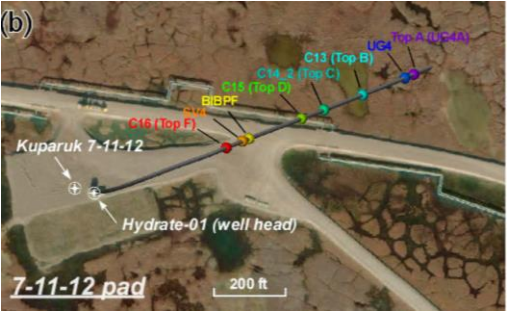
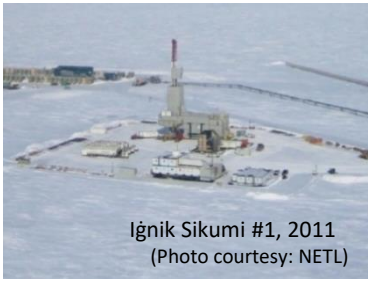
➡ **長期生産における貯留層応答に関する知見、試験で抽出された技術的課題などを次フェーズ海洋産出試験や商業化に向けた今後の活動に活かす。**

2. 試験サイトと坑井計画

試験サイト



試験サイト (Kuparuk St. 7-11-12 Pad)



(出典) Tamaki et al., 2022: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.2c00336>に加筆

- アラスカ州ノーススロープの北極海沿岸部にはメタンハイドレートが広く分布
- メタンハイドレート胚胎層は、A層からF層の6つの砂層ユニットからなり、それらは始新世のSagavanirktok層に相当（非海成層から浅海層の側方に連続性の良い砂層）

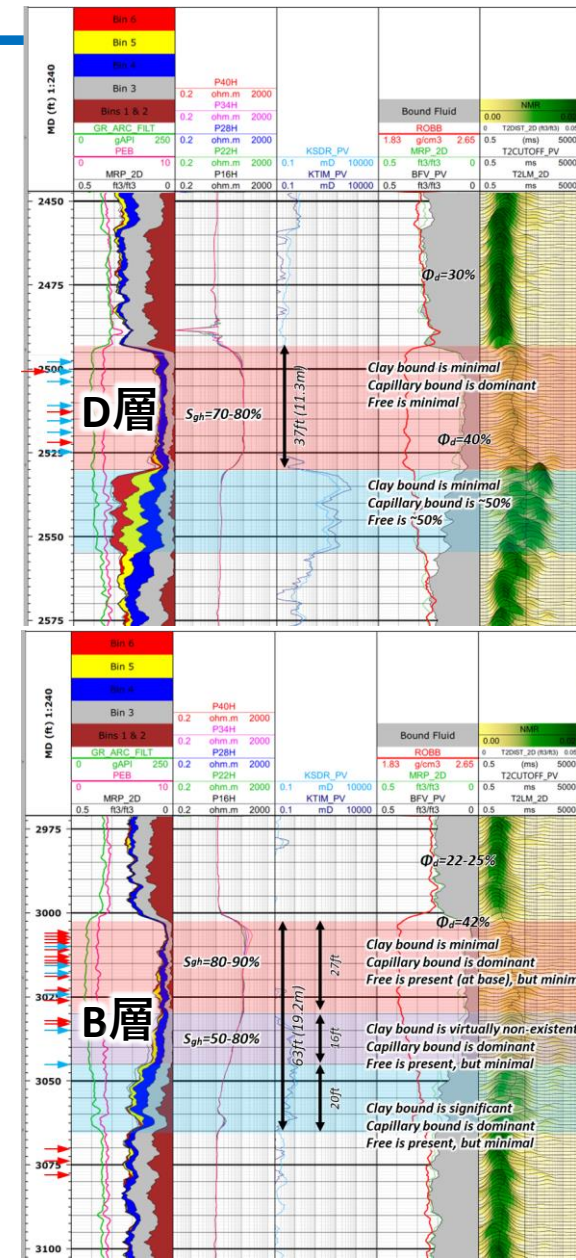
STW: 経緯と成果

経緯

- 2018年12月、層序試錐井（Hydrate-01, STW）を掘削。
- グラベルロード及びパッドが整備され、通年作業が可能であり、将来の生産試験の実施に適切と判断。 なお、同地点では、1970年代の検層（7-11-12坑井）でハイドレートの存在を確認済み（地質的リスクは比較的低い）であったが、貯留層物性データが乏しく、試験適地であることを確認する必要があった。

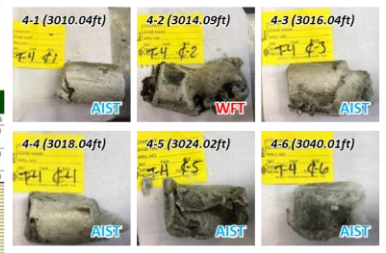
成果

- 2つの砂層（Unit D, Unit B）において、**メタンハイドレートの胚胎を確認。**
 - 掘削同時検層（LWD）による**検層データ**および圧力保持型ツール（CoreVault）による**地質サンプル（サイドウォールコア）**を取得。
 - ➔ **貯留層物性（浸透率や力学特性）の把握**
 - 長期モニタリング用の光ファイバーケーブル（**DTS:地層温度計測**および**DAS:音響データ計測**）を設置（将来の生産試験時には観測井として使用）。
 - 2019年3月、**DAS-VSP**による地質構造調査を実施。
 - ➔ **地層温度（地温勾配）の推定**
 - ➔ **地質構造（断層）の評価**
- ↓
- 地質モデリング・シミュレーションによる生産挙動予測（不確実性評価・感度分析）
 - 生産試験計画立案（坑井配置、仕上げ方法など）



取得コアサンプルの例 (Unit D)
 → AIST
 → WFT
 コアサンプル数 (Unit D)

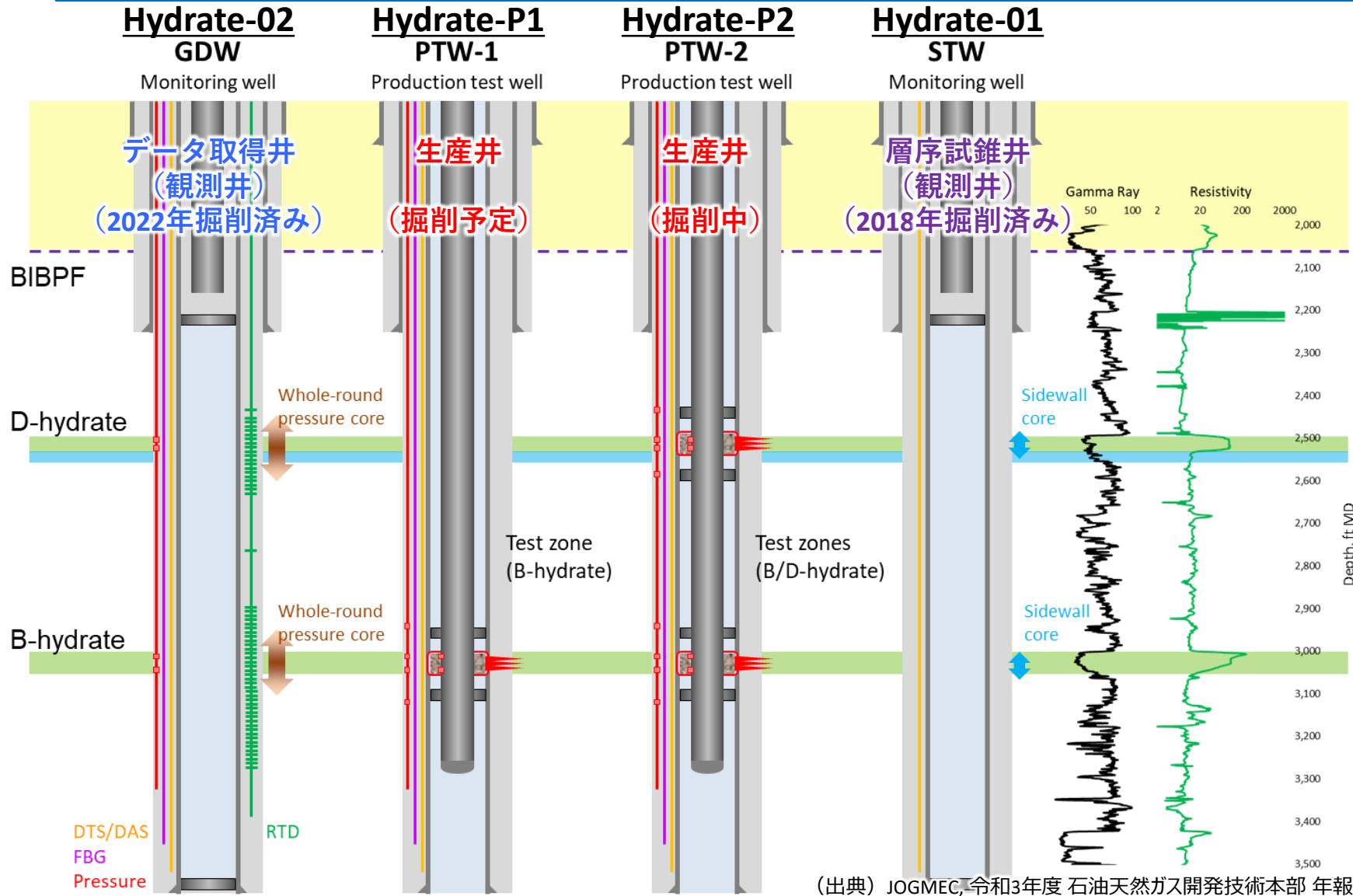
Formation	AIST cores	WFT cores	Total
Upper seal	0	0	0
Gas Hydrate	7	3	10
Lower Seal	0	0	0
	7	3	10



取得コアサンプルの例 (Unit B)
 → AIST
 → WFT
 コアサンプル数 (Unit B)

Formation	AIST cores	WFT cores	Total
Upper seal	0	0	0
Gas Hydrate	6	13	19
Lower Seal	0	5 (3)	5 (3)
	6	18 (16)	24 (22)

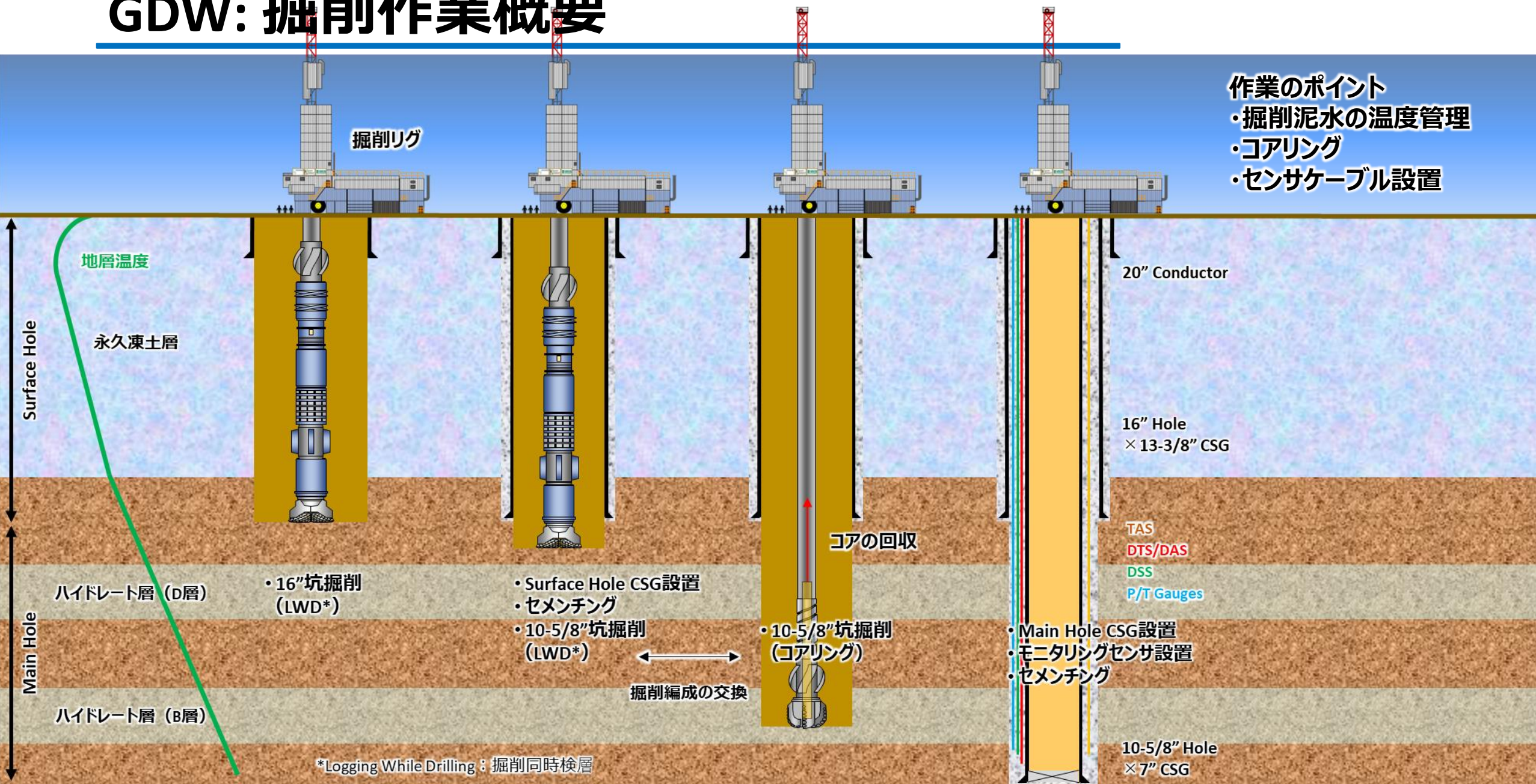
坑井計画



- 生産井・観測井によるモニタリング（温度・圧力・ひずみ等）を実施。
- ハイドレート胚胎状況、断層位置等を考慮して坑井を配置（既存のグラベルパッドから傾斜井を掘削）。

(出典) JOGMEC, 令和3年度 石油天然ガス開発技術本部 年報

GDW: 掘削作業概要



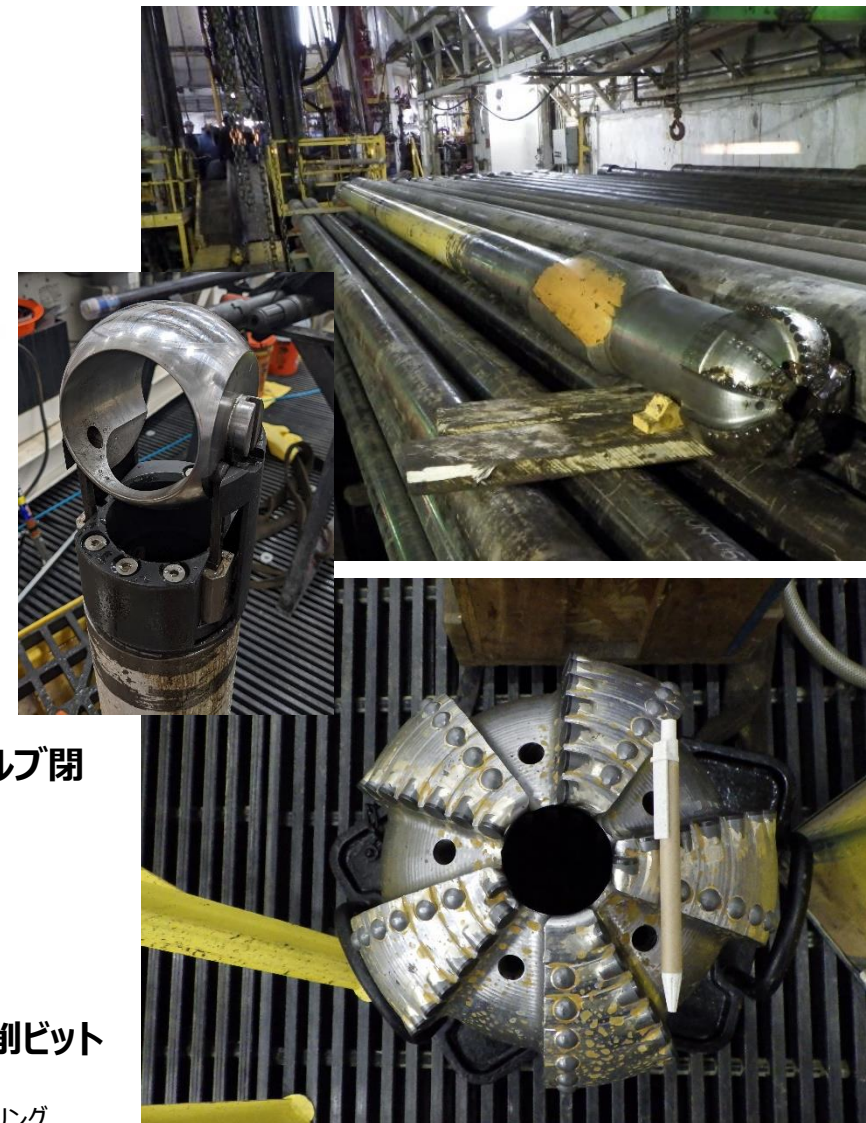
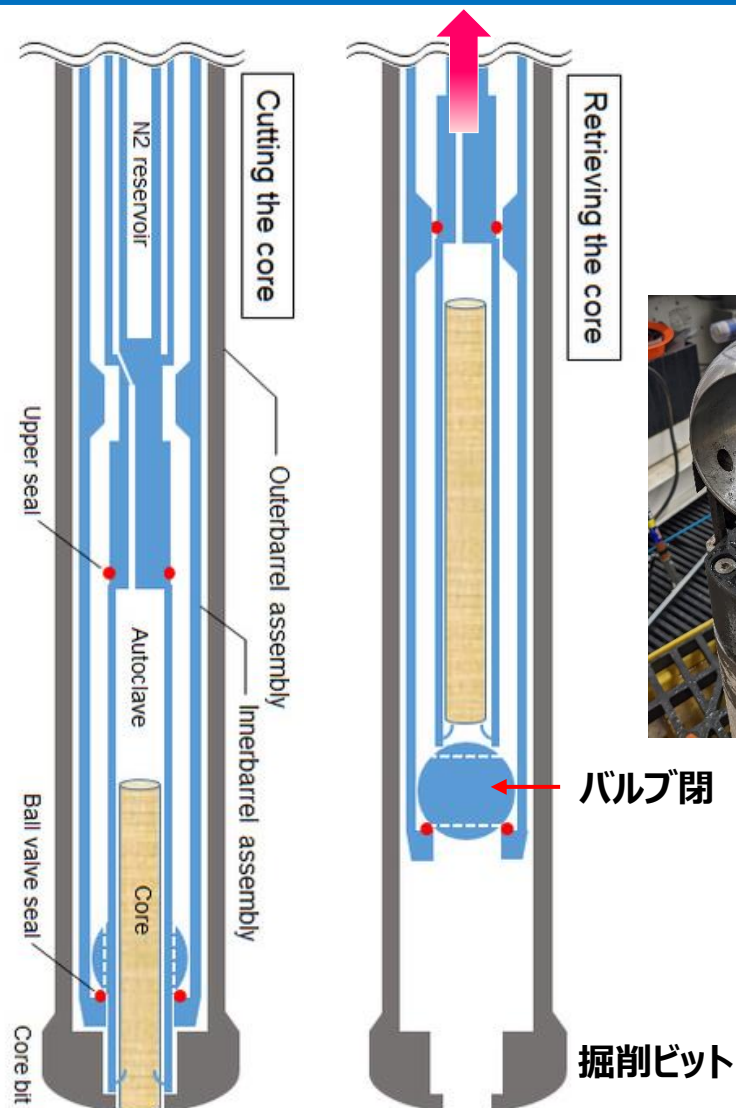
GDW: 圧力コアリング

引き上げると保圧される仕組み

天然の地層サンプルを採取して、

- 地層の状態の理解
- 水理・熱・力学・化学的特性などの把握
(MH飽和率、水和数、浸透率、熱伝導率、力学強度・剛性、密度など)
- 物理検層（間接的）とコア（直接的）の対比
(検層データの補正)
- レザバー/ジオメカシミュレーションの入力パラメータに

地層サンプルが入った圧力容器（Autoclave）を含むインナーバレルを引き上げると、ボールバルブが閉まり、窒素ガスの圧力で加圧される。



(出典) JOGMEC、石油・天然ガス資源情報、地下のメタンハイドレートをそのまま取りだす～圧力コアリング

GDW: コア分析

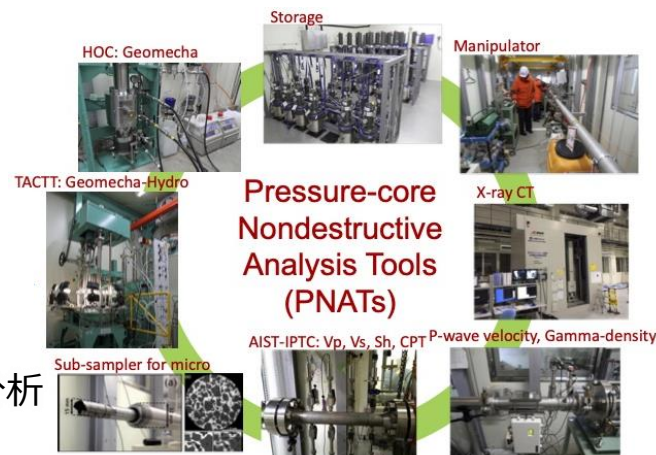
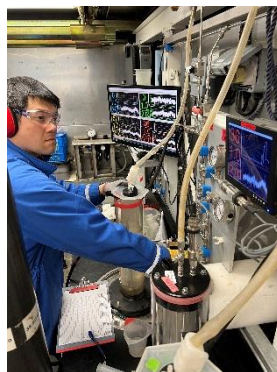


➤ 非破壊分析

圧力を保持したまま、ガンマ線による密度と弾性波（P波）速度を測定

➤ X線CTイメージ

コアの内部構造を観察し、微細な地質構造やコアの品質を確認



コアはカットされ、採取コアの一部は減圧され、ガス量測定やガス組成分析
保圧コア、冷凍コアは、日米の各ラボへ輸送し、詳細分析へ

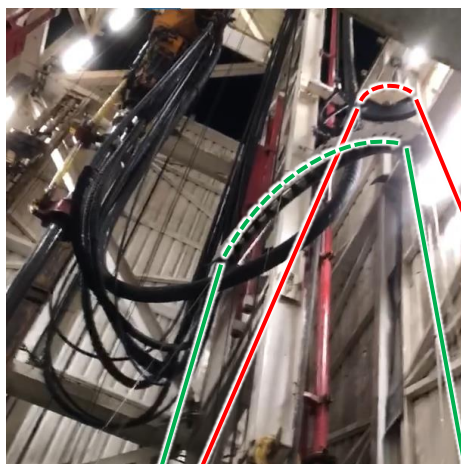
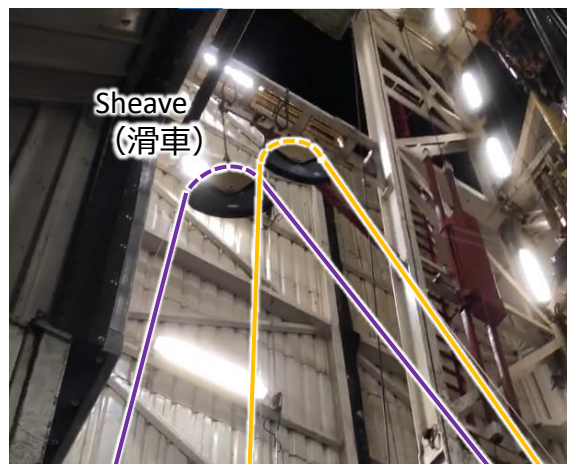


天然ハイドレートコア分析に特化した装置開発と併せてコア分析

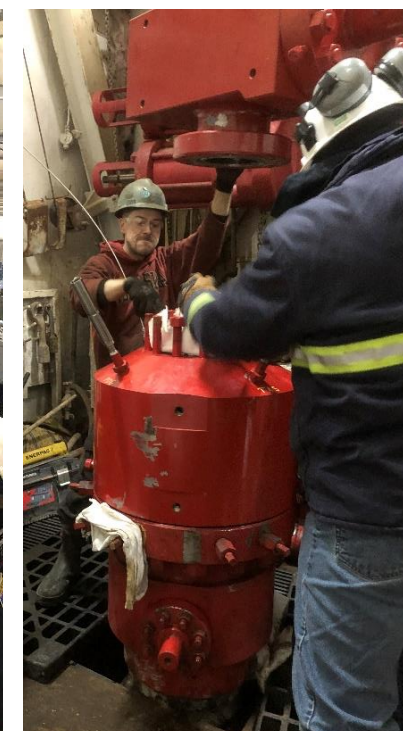
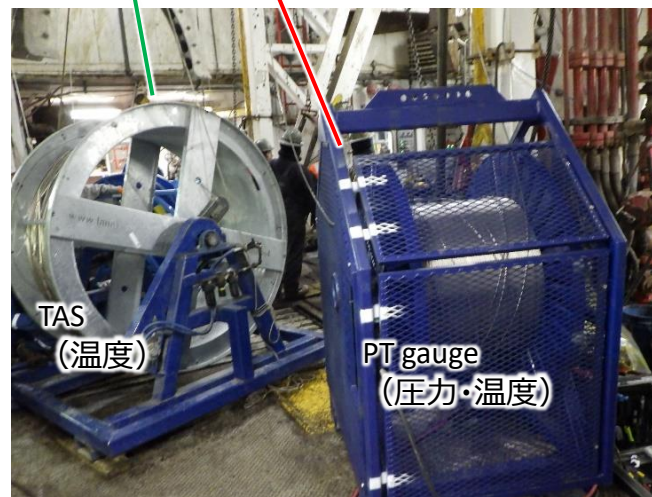
ハイドレート飽和率	→ 天然ガス量
堆積層のガス・水浸透性	→ ガスの生産性
力学強度	→ 地盤の安定性・ガスの生産性

(出典) AIST,天然メタンハイドレート堆積物解析装置群

GDW: モニタリングケーブル設置



	Data	Type	STW	GDW	PTW-1	PTW-2
DTS	Temperature	Fiber sensor	X	X	X	X
DAS	Acoustic	Fiber sensor	X	X	X	X
DSS (FBG)	Strain	Fiber sensor		X	X	X
PT gauge	Pressure/Temperature	Point sensor		X	X	X
RTD (TAS)	Temperature	Point sensor		X		



3. 長期生産試験と貯留層評価

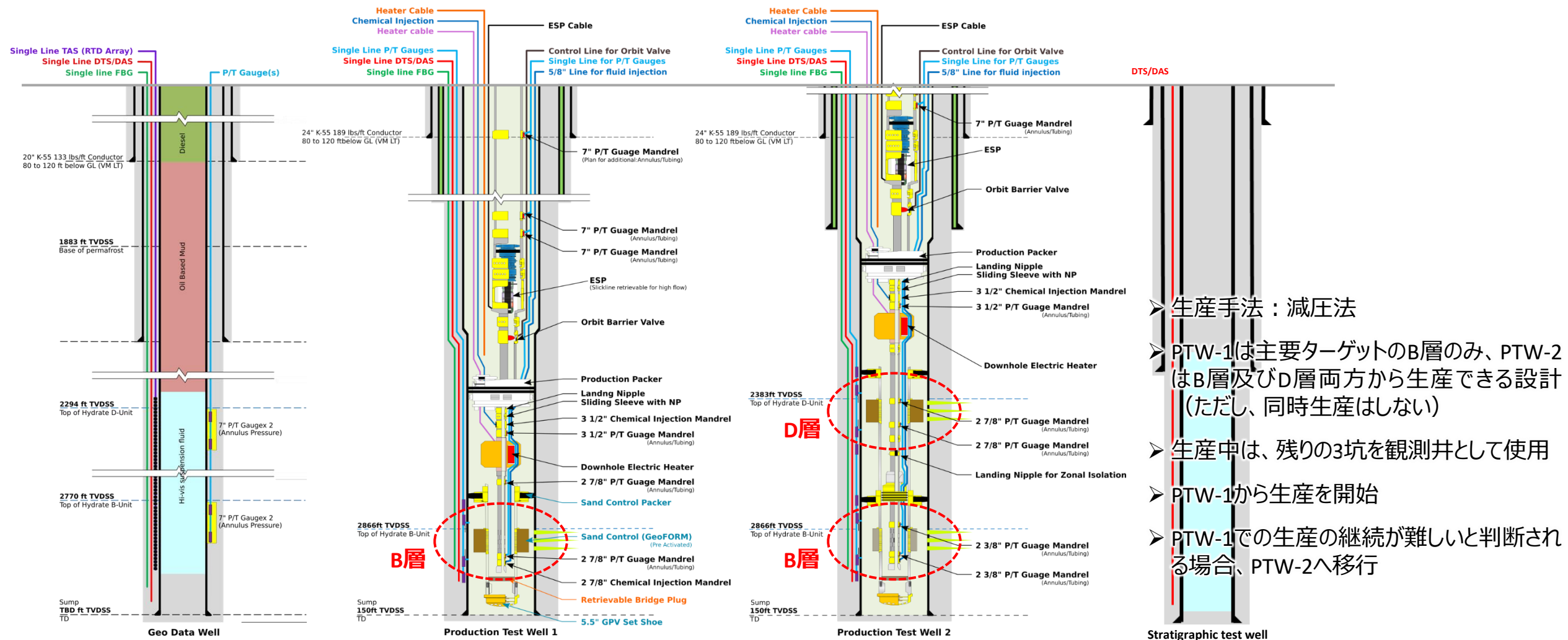
生産試験概要

Hydrate-02
GDW

Hydrate-P1
PTW-1

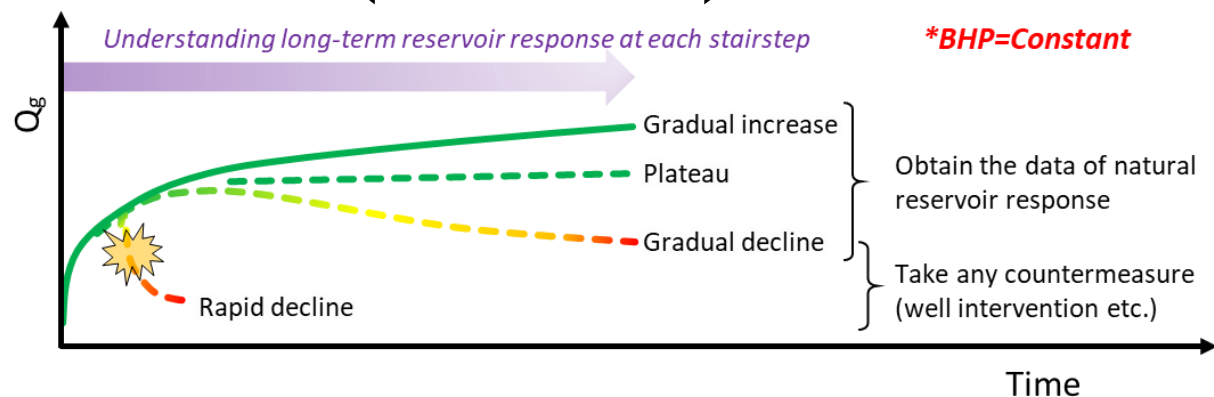
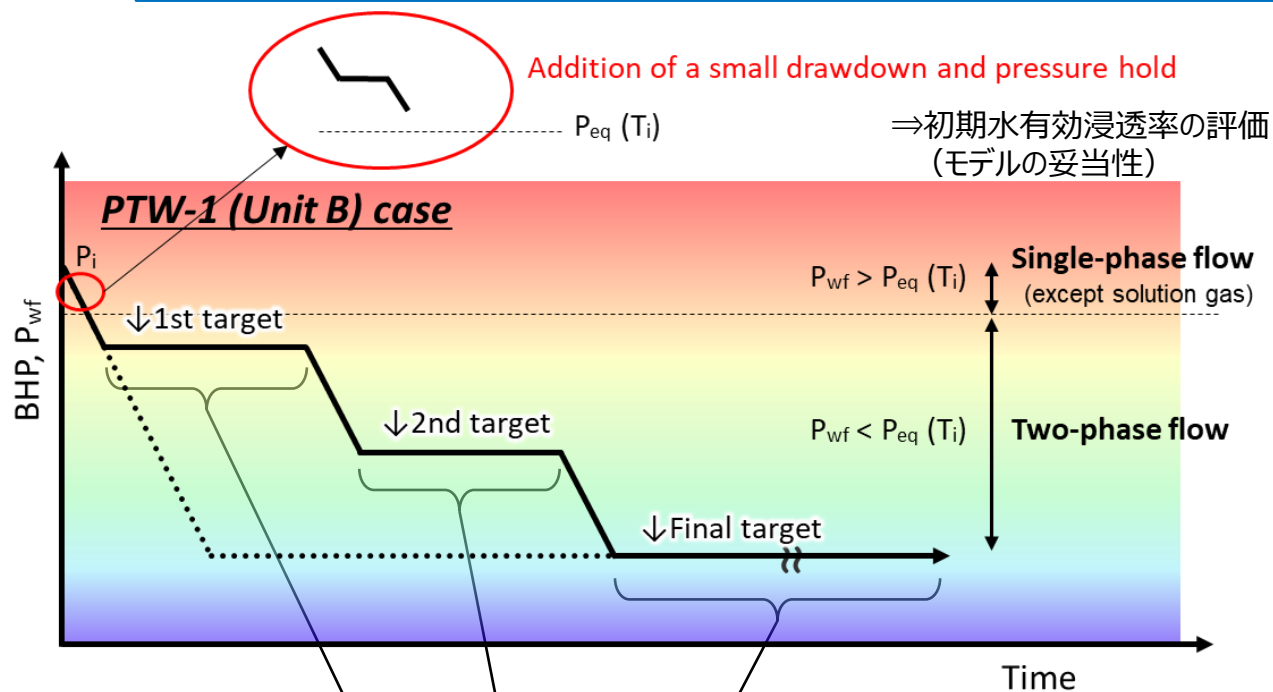
Hydrate-P2
PTW-2

Hydrate-01
STW

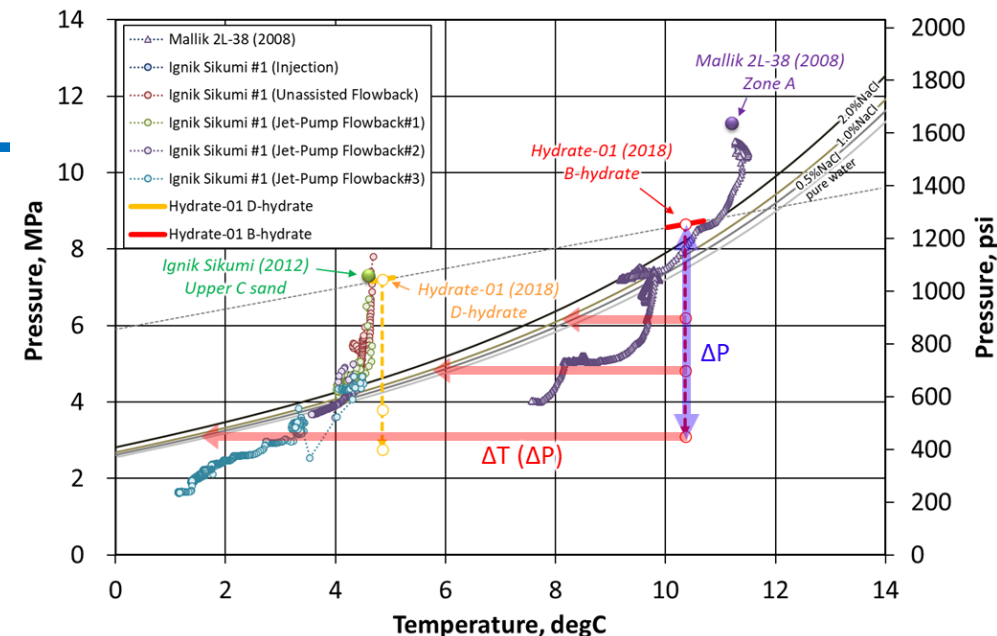


- 生産手法：減圧法
- PTW-1は主要ターゲットのB層のみ、PTW-2はB層及びD層両方から生産できる設計 (ただし、同時生産はしない)
- 生産中は、残りの3坑を観測井として使用
- PTW-1から生産を開始
- PTW-1での生産の継続が難しいと判断される場合、PTW-2へ移行

オペレーション基本方針案



(Note) PTW-1 and PTW-2 have different final target due to different installation depth of the pump.



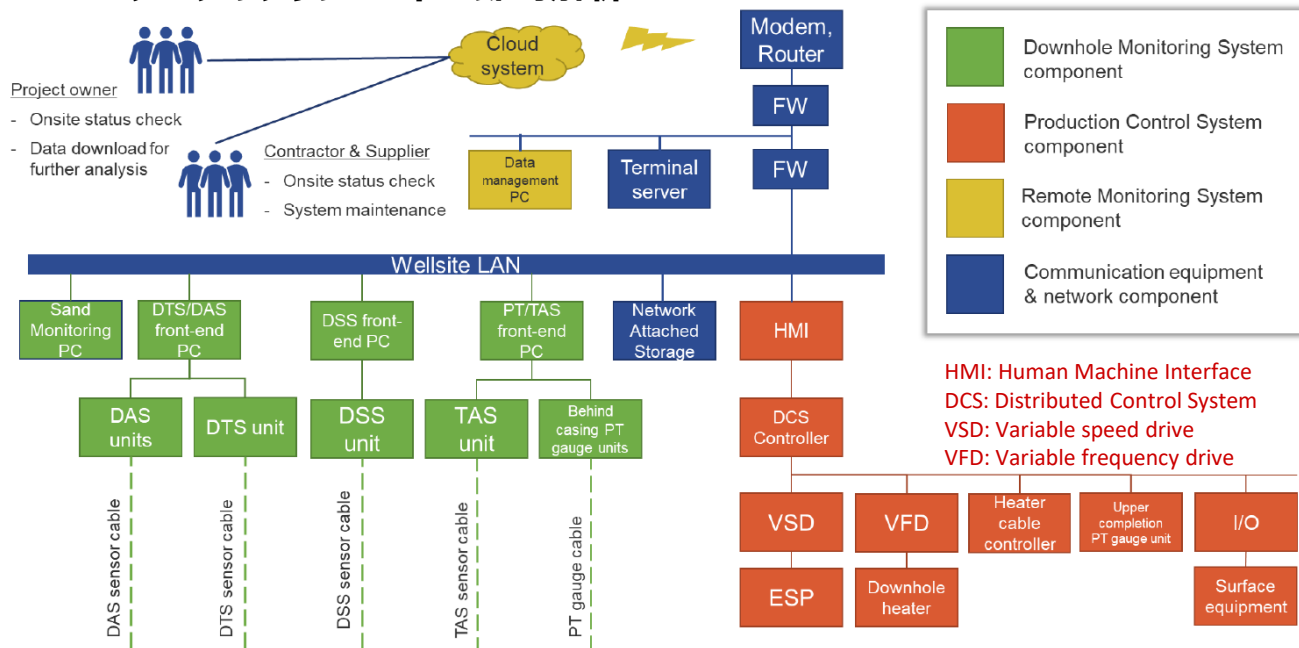
- 第一の目的は、坑底圧（BHP: Bottom Hole Pressure）を3MPaまで下げることではなく、長期的な生産データを取得すること。従って、ドロウダウンを無理に大きくして操業リスクを高めることは避ける。
- 一方、ハイドレートの分解に伴い貯留層温度は低下し、相平衡温度に近づく。ガス生産を継続するためには、ドロウダウンを大きくするしかない。（短期的には地層自体の顕熱が主な熱源で、伝熱・移流の寄与は小さい）
- ガス生産量が低下しても、直ちに坑底圧を変化させることなく、（状況を監視しつつ）十分な期間生産を継続する。
- 各種モニタリングデータから、坑内機器・地上設備等のトラブルの可能性が高いと判断される場合は、その対策を優先する。
- 対策を講じても、生産試験続行が困難だと判断される場合は、坑井（生産対象層）を切り替える。

遠隔モニタリングシステム

Project owner
JOGMEC/NETL

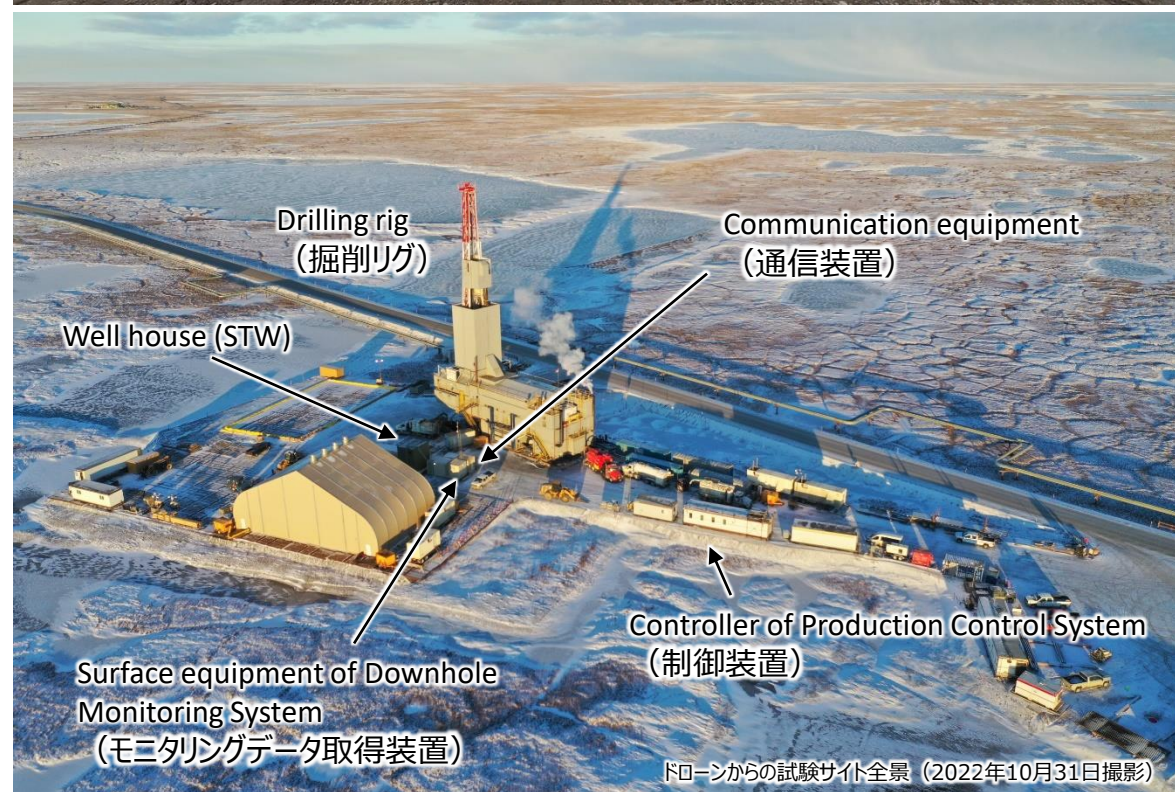
- Project ownerからは、オペレータであるAES社のオフィス（アンカレッジ）に現地代表を派遣（必要に応じて、掘削・生産試験サイトへ）

オペレーション状況の確認
データのダウンロード&即時解析

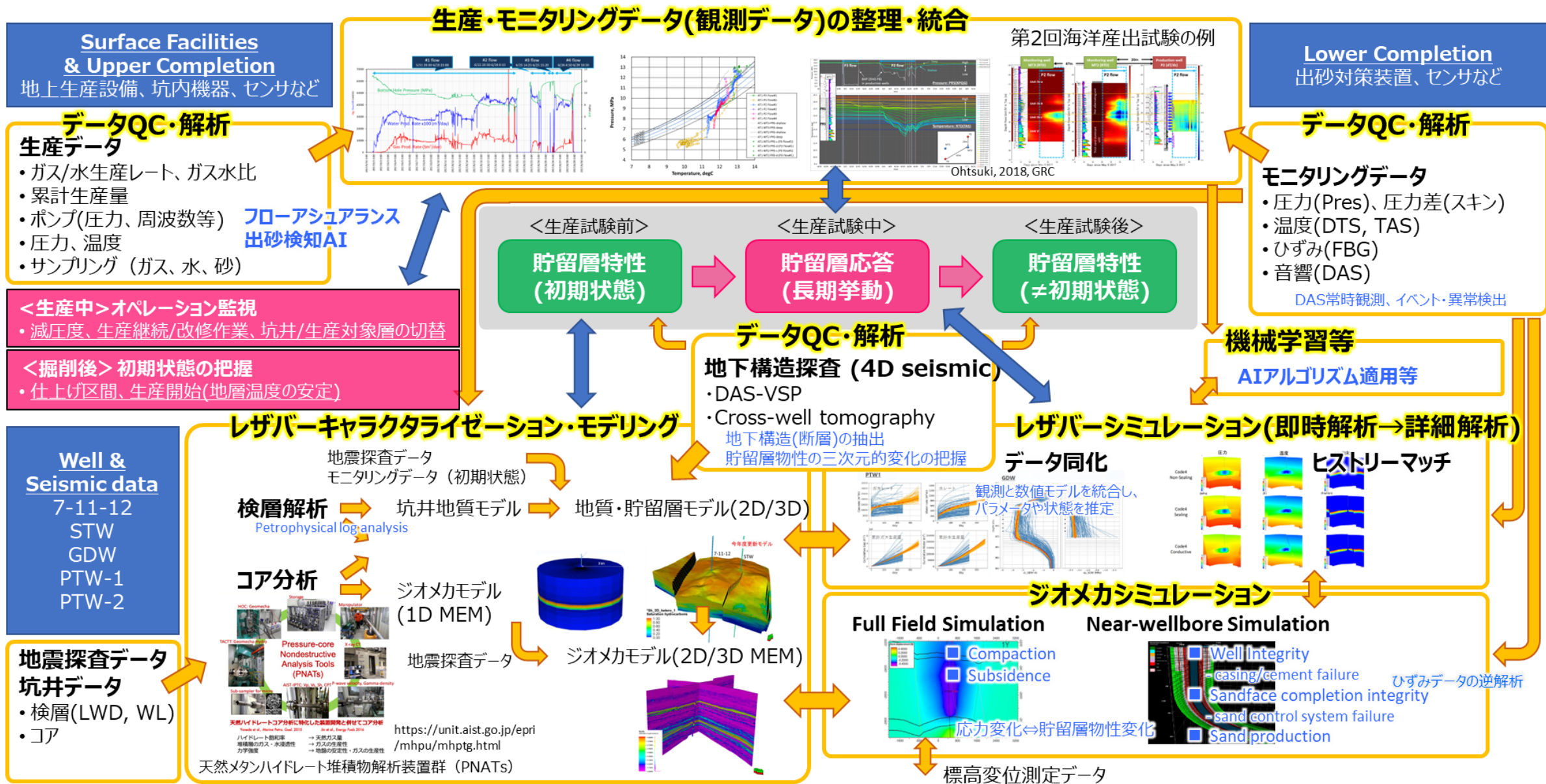


• Lower completionモニタリングデータ
(圧力、温度、音響、ひずみ等)

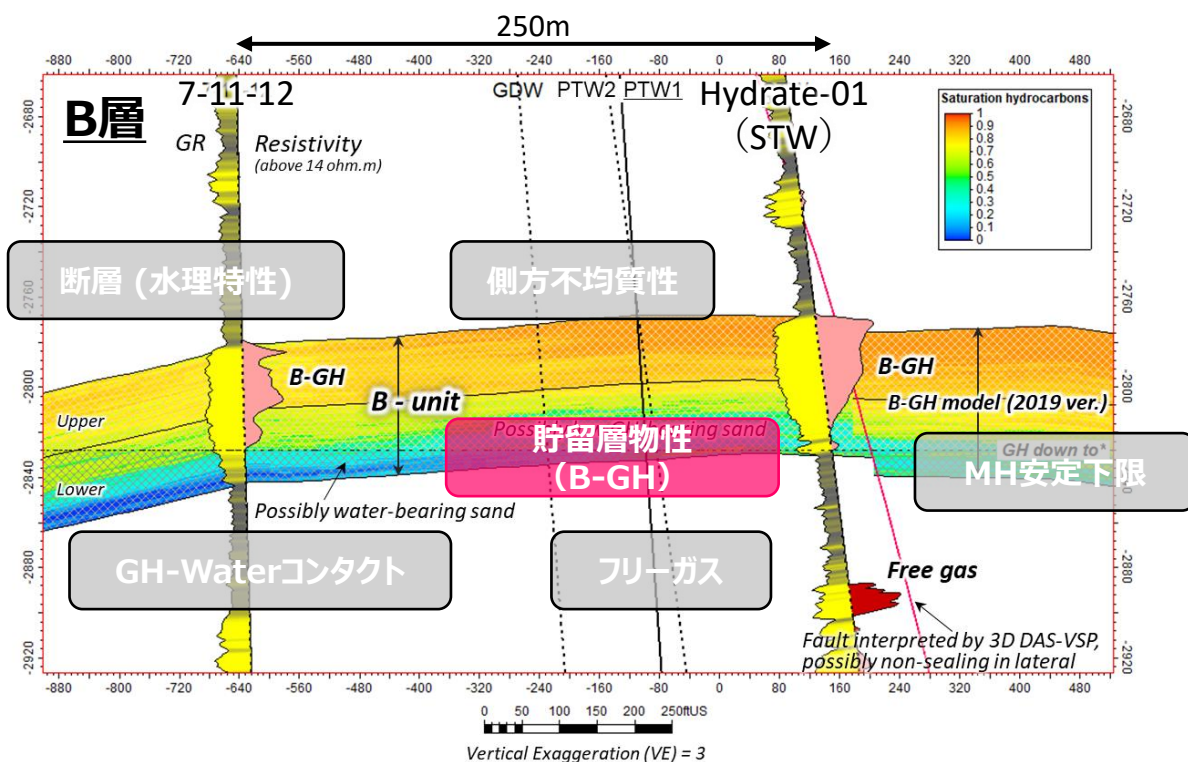
• Upper completionモニタリングデータ
(圧力、温度)
• 坑内機器データ
(ポンプ、ヒーター)
• 地上生産設備関連データ
(ガス/水生産レートなど)



取得データと解析計画の全体イメージ

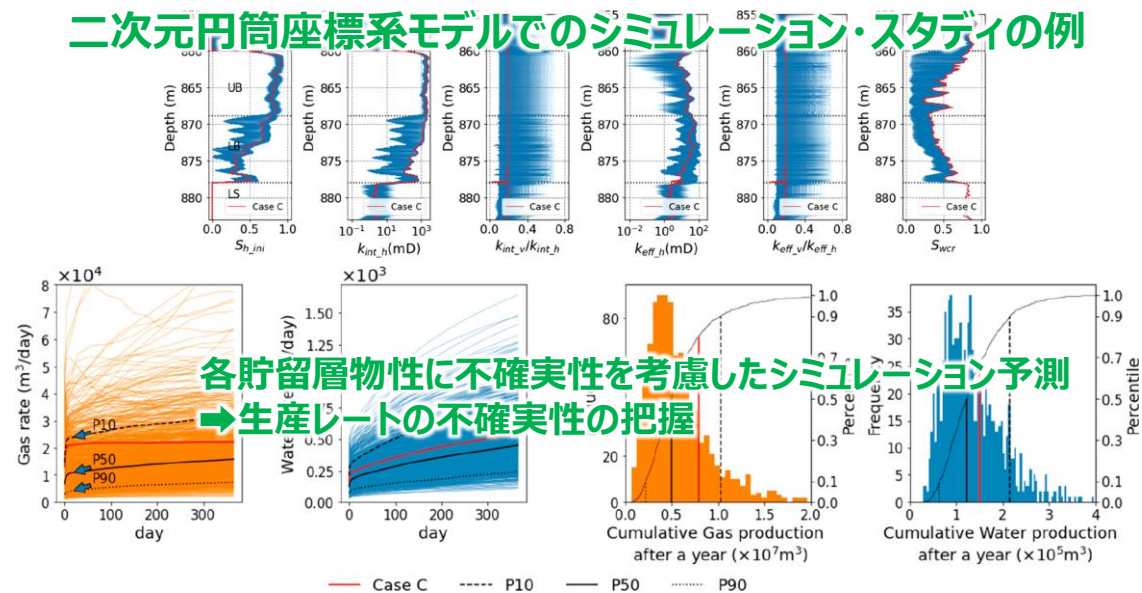


貯留層性状の不確実性と事前検討の例①

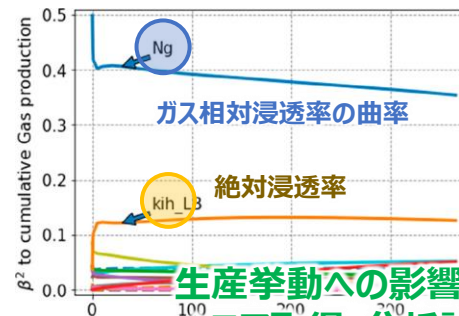


- 現時点では、地震探査データと数本のwell dataしかなく、試験サイトにおける貯留層性状に係る不確実性は依然高いと言わざるを得ない。
- STW掘削以降、貯留層性状の不確実性が生産挙動に与える影響を評価。
- STW、GDW、PTWsで取得した検層・コア・モニタリングデータを用いた貯留層評価を継続し、貯留層の初期状態を把握することが重要。

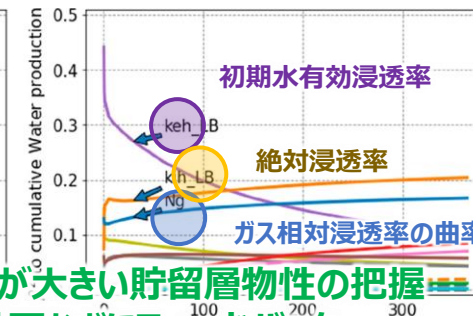
二次元円筒座標系モデルでのシミュレーション・スタディの例



累計ガス生産量



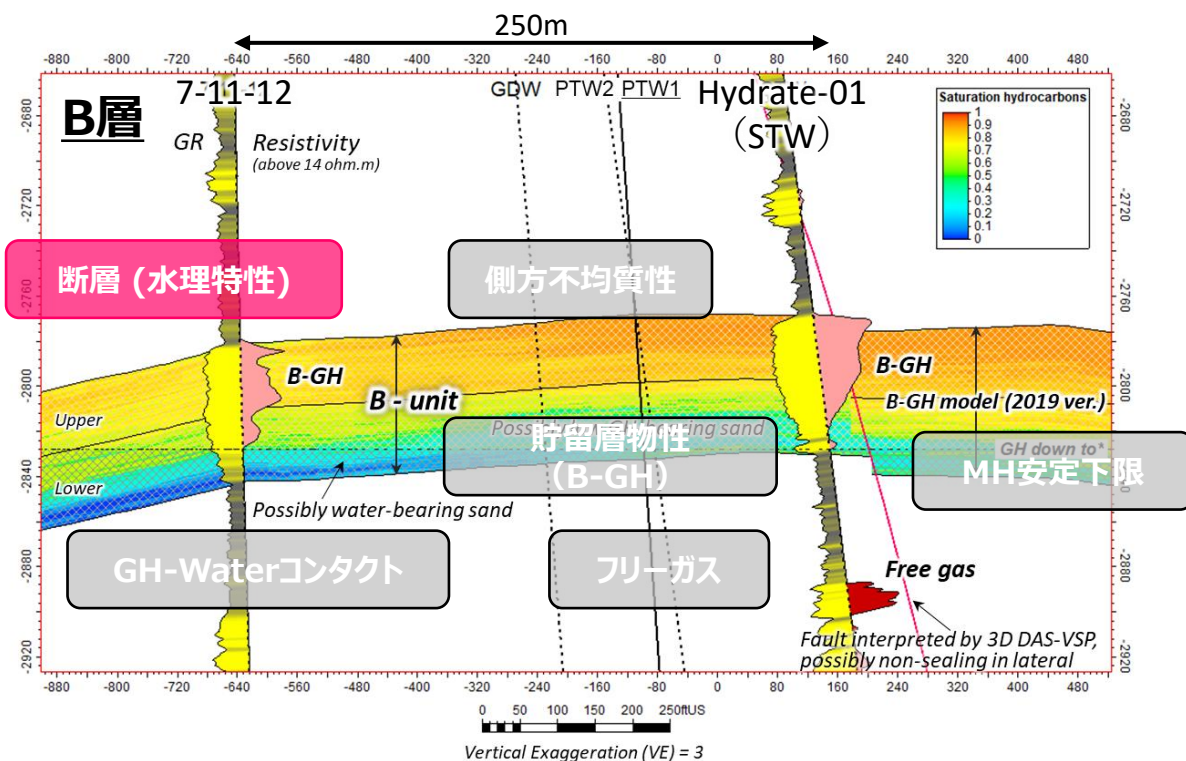
累計水生産量



累計ガス・水生産量に対する各パラメータの感度指標の経時変化

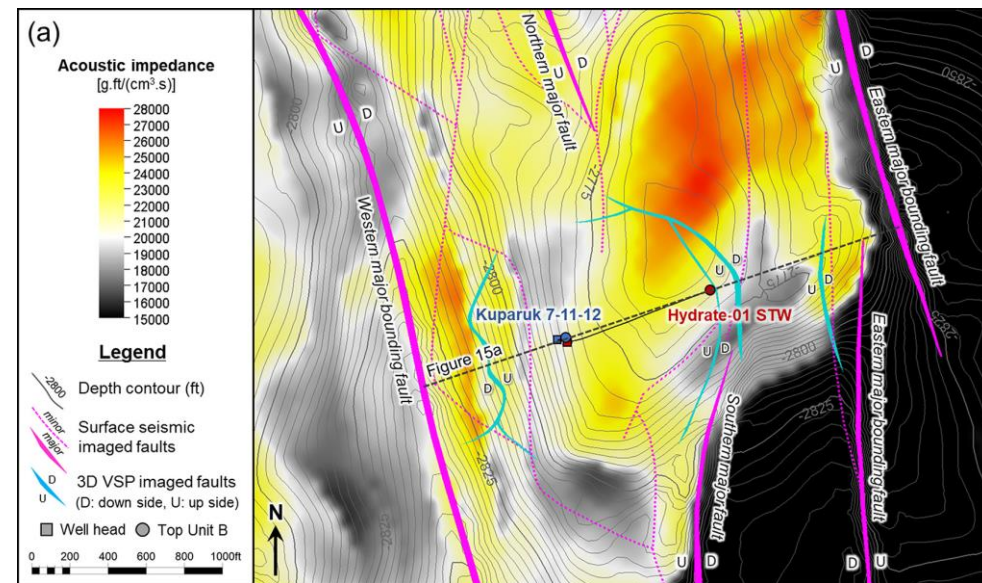
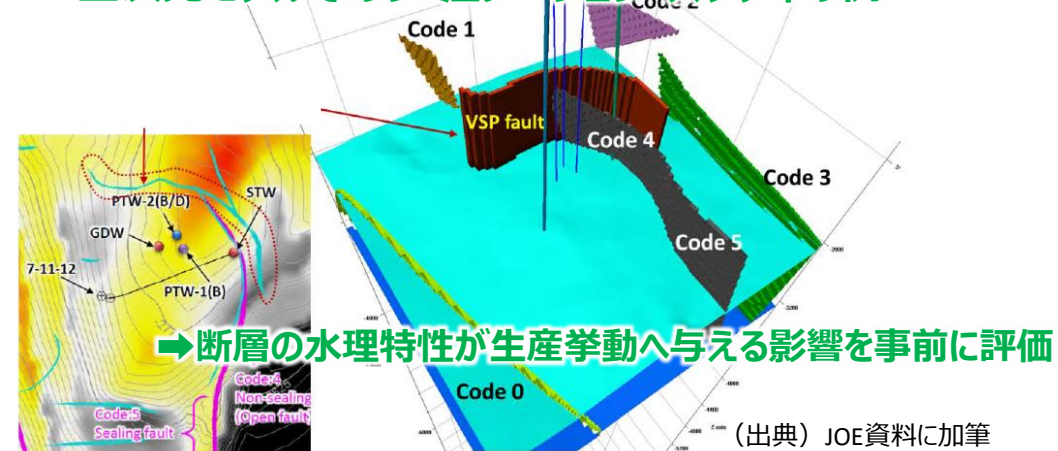
(出典) Nakajima et al., 2022: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.energyfuels.2c00335>に加筆

貯留層性状の不確実性と事前検討の例②



- 現時点では、地震探査データと数本のwell dataしかなく、試験サイトにおける貯留層性状に係る不確実性は依然高いと言わざるを得ない。
- STW掘削以降、貯留層性状の不確実性が生産挙動に与える影響を評価。
- STW、GDW、PTWsで取得した検層・コア・モニタリングデータを用いた貯留層評価を継続し、貯留層の初期状態を把握することが重要。

三次元モデルでのシミュレーション・スタディの例



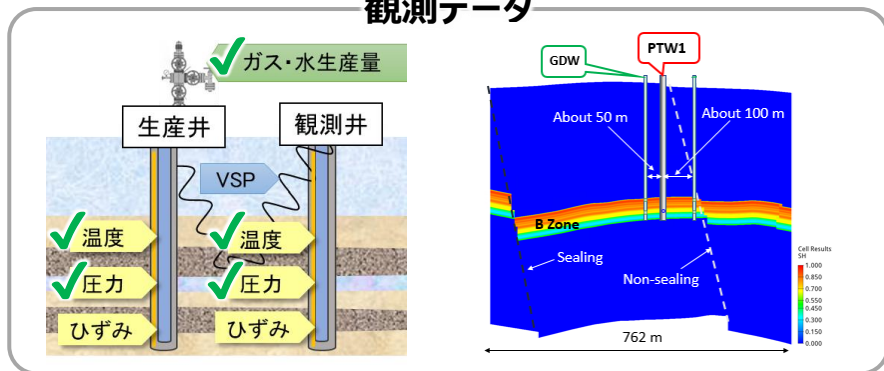
(出典) Tamaki et al., 2022: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.2c00336>

貯留層性状の不確実性と事前検討の例③

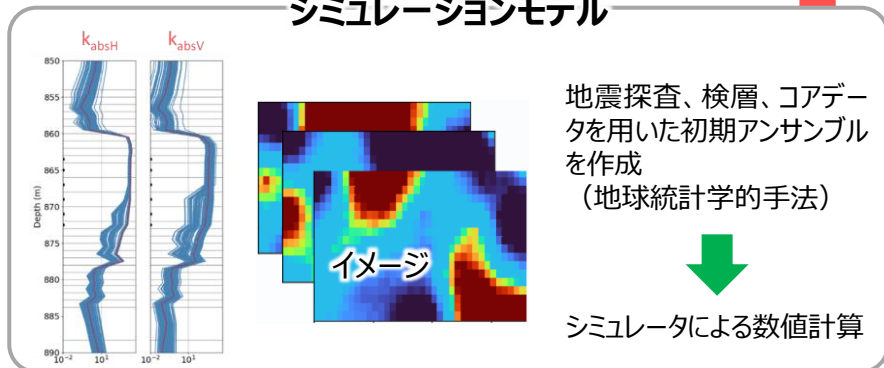
データ同化による解析（生産試験中に実施予定）

- データ同化：「観測データ」と「シミュレーションモデル」を使い、貯留層の最も確からしい状態（貯留層物性値、断層、スキン）を統計的に推定
- 最も身近なデータ同化の応用例：気象予報

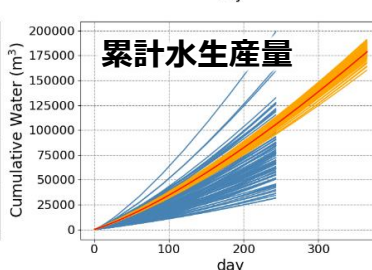
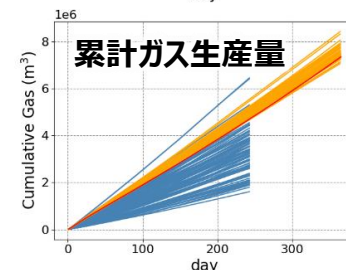
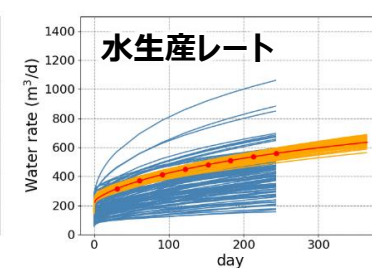
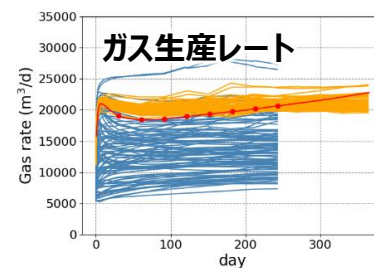
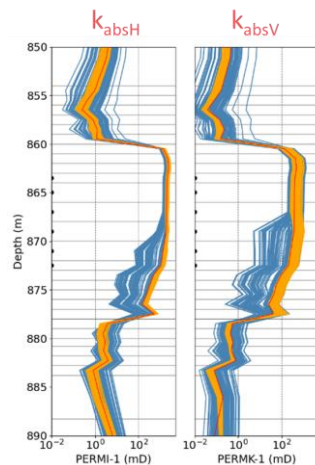
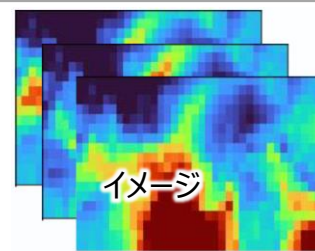
観測データ



シミュレーションモデル



データ同化



初期アンサンブル
参照モデル
データ同化後

状態ベクトル(貯留層物性値等)の更新

生産レート・累計生産量

→データ同化により各アンサンブルが観測データへ収束

→観測データを再現できる貯留層の状態を推定し、さらに将来を予測

(出典) Yamamoto et al., 2022: EnKF workshop : <https://enkf.norcesprosjekt.no/presentations/2022-hybrid-enkf-workshop/thursday-02-june>などに基づき作成

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おります。

また、アラスカ長期陸上産出試験は、米国エネルギー省（DOE）傘下のエネルギー技術研究所（NETL）との国際研究協力体制の下で実施されています。