

砂層型メタンハイドレートフォーラム 2024

**アラスカ長期陸上産出試験
- 10か月超の産出試験完了 -**

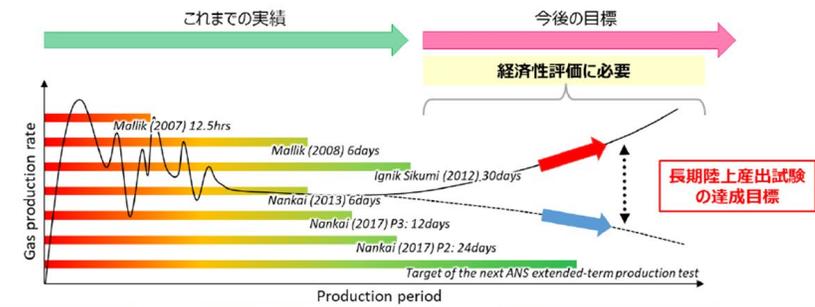
MH21-S研究開発コンソーシアム (MH21-S)
長期陸上産出試験チーム (JOGMEC) 沖中 教裕

2024年12月4日 (水)

1. アラスカ陸産の概要 (簡単な振り返り)

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

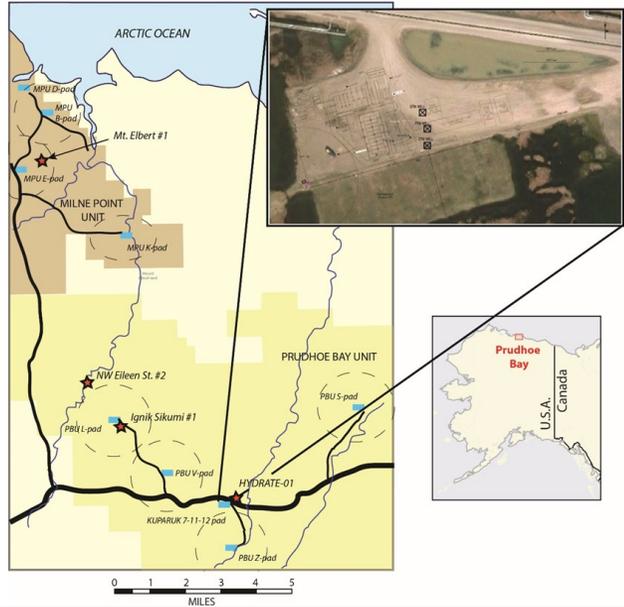


第1回海洋産出試験、2013 <減圧法> 第二瀬美海岳

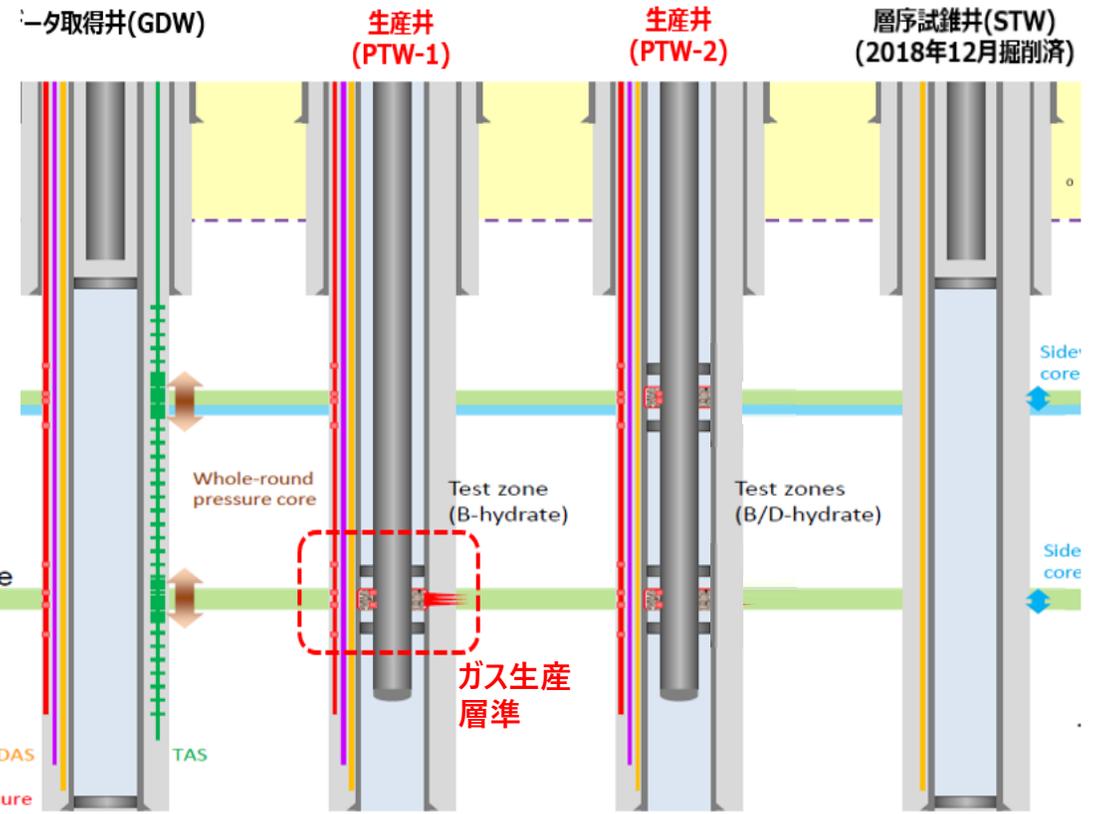


第2回海洋産出試験、2017 <減圧法> 第二瀬美海岳

試験場所



坑井計画図



B層 B-hydrate
(第1ターゲット)
地表面から約900m

ガス生産層準

- ・ **圧力コアリング**実施
- ・ 各種センサー設置
- ・ **モニタリング井**として活用
- ・ **生産井1 (最初に生産)** (B層のみから生産可)
- ・ 各種センサー設置
- ・ 掘削後、**ケーシング設置**→**パーフォレーション**・**坑内機器設置**まで実施
- ・ **生産井2** (B層/D層から生産可)
- ・ 各種センサー設置
- ・ 掘削後、**ケーシング設置**まで実施
- ・ 温度/音響センサー設置
- ・ **モニタリング井**として活用

2. プロジェクト進捗状況

前回（2024年2月27日）発表概要

- ✓ 坑井掘削作業完了（2023年2月28日）
- ✓ 地上試験設備設置作業（2023年7月末に完了）
- ✓ コミッショニング作業（2023年9月中旬に完了）
- ✓ 試験開始（2023年9月19日）

今回発表内容（前回発表以降の主な進捗）

- ✓ **10か月超の産出試験の完了（2024年7月30日）**
- ✓ 産出試験完了後のデータ取得作業（2024年10月31日に完了）
- ✓ 取得データに基づくデータ解析作業（継続中）
- ✓ **休業災害ゼロをアラスカ陸産プロジェクト開始以降継続中。**



2. プロジェクト進捗状況

(1) 10か月超の産出試験完了

I. ガス産出試験の概要

ガス産出試験期間	2023年9月19日(ESP運転開始)～2024年7月30日(Jet Pumpの運転終了) (約 10か月間 、合計：315日間)
ガス生産期間 (OBV開放～Jet Pump停止まで)	2023年10月24日～2024年7月30日 (約9か月間、合計： 280日間)
ガス生産日数 (ガス生産期間 - 非生産日数)	216 日間
非生産日数 (Non-Productive Time)	64日間

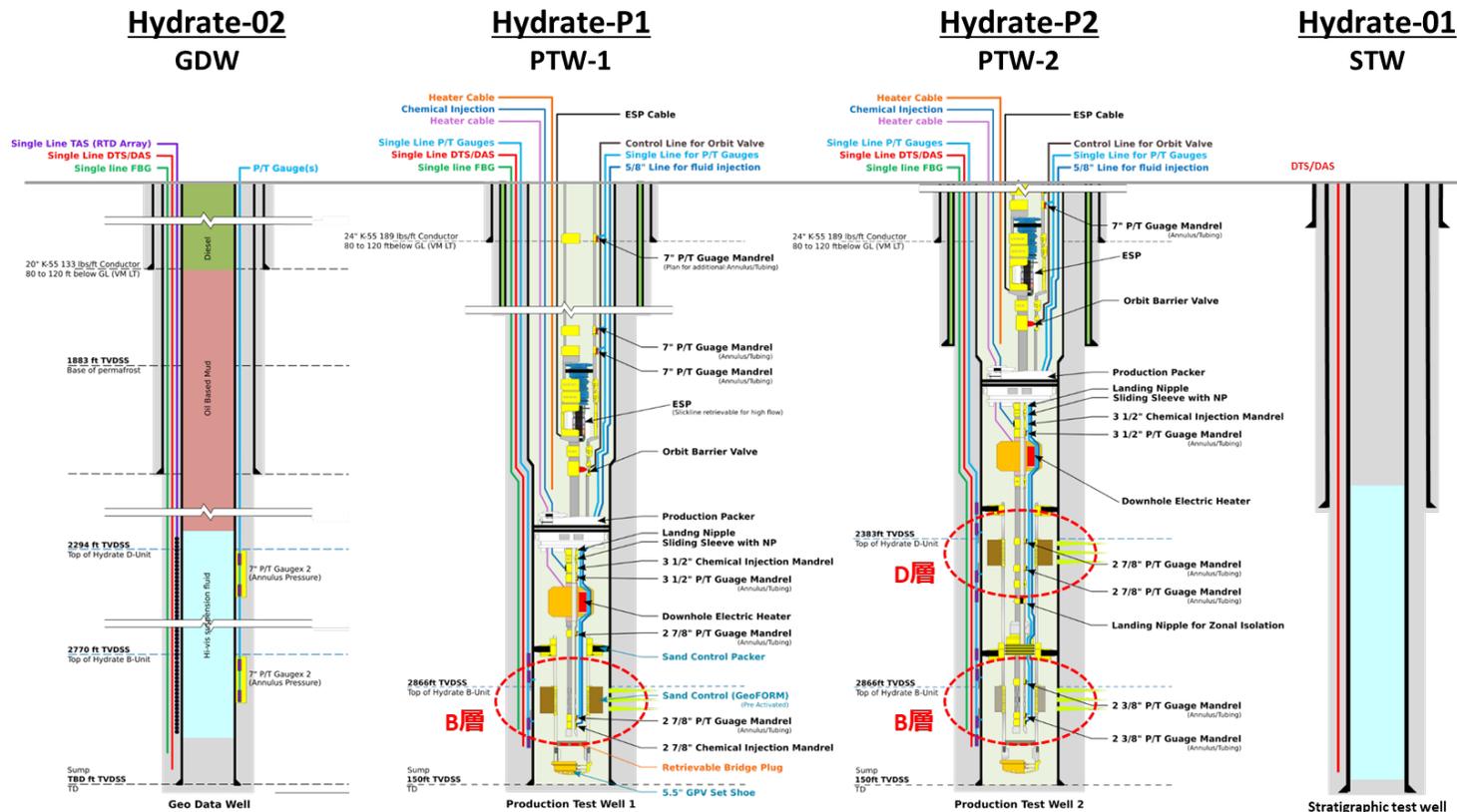
II. 成果：フェーズ4実行計画に記載ある、以下の項目を達成

- ① 長期生産挙動データ取得が十分に実施されていること
- ② 生産技術の実証が十分に実施されていること

2. プロジェクト進捗状況

(2) 産出試験完了後も含めたデータ取得作業完了

I. 温度・圧力・ひずみ各坑底データの取得

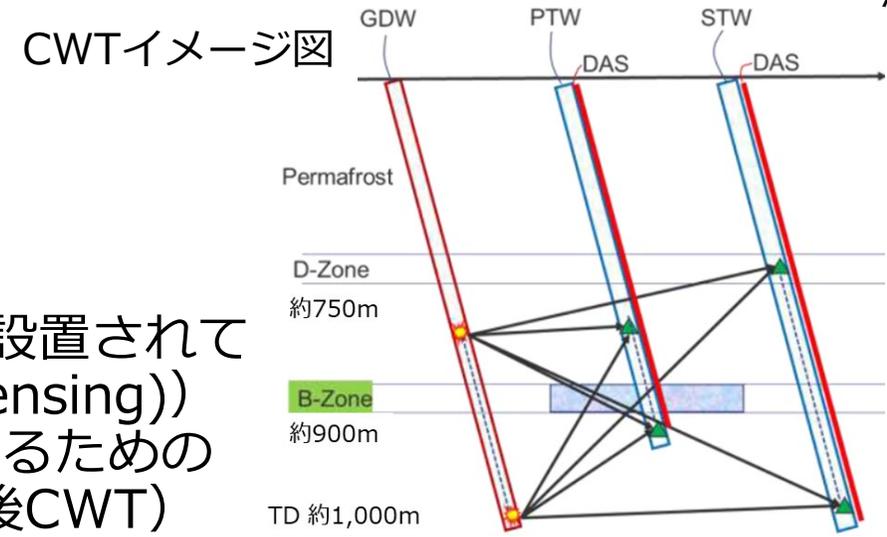


測定データ	手法 Sensors	GDW	PTW-1	PTW-2	STW
温度 Temperature	DTS (光ファイバーセンサ、連続的)	✓	✓	✓	✓
	RTD (比抵抗センサ、非連続)	✓			
音響 Acoustic	DAS (光ファイバーセンサ)	✓	✓	✓	✓
	CSG外側 (地層側圧力)	✓	✓	✓	
圧力 Pressure	CSG内側 (坑内圧力)		✓	✓	
	FBG (光ファイバセンサ)	✓	✓	✓	

II. 地上試験設備のデータ等

ガス流量、水流量、砂の量、温度、圧力等を取得。

2. プロジェクト進捗状況



(3) 産出試験完了後のデータ取得作業完了

III. 坑井間地震探査(*1)データの取得

(*1) 4本の坑井のうち1本に音響源を入れ、他の3本に設置されている音響センサー (DAS (Distributed Acoustic Sensing)) ケーブルを受振器として使用し、地下状況を把握するためのデータ取得方式。Cross Well Tomography。 (以後CWT)

- ① 産出試験前のCWTデータは、2023年6月に取得。産出試験後のデータは2024年7月30日～8月2日にかけて取得。
- ② 試験前後のデータを比較することにより、各坑井間でどの程度メタハイ分解が進んでいるか把握することを企図。

IV. 3D VSPデータ(*2)データの取得

(*2) Vertical Seismic Profile

坑井に設置したDASケーブルを受振器として取得する地震探査方式のこと。

- ① STW掘削後2019年3月に取得
- ② 2025年3月に試験後のデータ取得を計画



2. プロジェクト進捗状況

(4) 取得データに基づくデータ解析作業

- I. MH21-S 貯留層評価チーム、探査チーム等により、**データ解析作業を実施中。**
- II. 米側との取得データ等に関する情報交換・協議(*4)を継続中。
(*4) R&D Committee (RDC) meeting
- III. 今後の評価・解析作業や産出試験の結果のレビューを通じて、**1) メタンハイドレート開発に共通する現象であるのか、2) アラスカのメタンハイドレート貯留層特有の現象であるのか、を区別・整理しつつ、長期生産時における貯留層応答に係る知見を得る**ことを実施する。
これらにより、**今後の我国の海洋での研究開発に活かしていく。**

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

(1) 長期生産挙動データ取得を実施

- I. ESP運転開始(2023年9月19日)からJet Pumpの運転終了(2024年7月30日)まで、**約10か月間にわたるオペレーションを実施。ガス生産期間は、2023年10月24日～2024年7月30日の約9か月間**であった。
(電動水中ポンプ(試験前期)・ジェットポンプ(試験後期)を減圧手法として適用)
- II. **約2か月にわたる坑底圧力一定での生産データを取得。**
坑井の仕上げ方法次第では、少なくとも(減退することなく)一定の生産レートで生産できる可能性を示唆。
- III. 生産井および観測井にて、**貯留層の初期状態、生産試験中および生産試験後における貯留層応答(流動、熱、力学)の評価に資する数多くのデータ(圧力、温度、歪みなど)を長期間にわたって取得することができた。**
長期生産挙動の把握に係る取得データの**暫定的な評価・分析結果と今後の課題**は以下のとおり：
 - A) **ガス水比**：生産試験の全期間を通じて、**高いガス水比**であった。**生産ガスは、生産対象としたハイドレート層由来**である(ガス分析の暫定結果より)。(ハイドレート層以外からガスが流入しガス水比が大きくなったとは考えていない。
ガス量は地層の温度低下(地層が消費した熱量)に見合っているのか、水が生産されにくい状況があったのかなども含めて継続検討していく。
 - B) **坑井周りの圧力損失**：ケーシング内外・チュービング内外の圧力測定を可能とするよう工夫しており、それらからいろいろな位置での差圧(圧力損失)を算出。**坑内および出砂対策装置の状況が把握**できた。それらの情報も参考に**貯留層内の生産障害に関する評価**をしていく。

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

(1) 長期生産挙動データ取得を実施

- C) **ハイドレート分解エリアの拡大**：各坑井にて貯留層の圧力・温度の低下が進行していることが確認され、またハイドレートの分解に伴う貯留層の平均的な有効浸透率（貯留層内の流体の流れ易さ）の増加が示唆される。坑底圧力一定条件下で、生産レートが横ばいであったこととの関係等について今後検討していく。
- D) **熱供給**：ハイドレート層の上下シール層でも温度低下を観測しており、周囲の熱が生産にどの程度寄与するのかの評価も必要。
- E) **地層の力学特性**：減圧中のひずみデータを初めて取得することができた。生産区間で圧縮、その上下で引張を観測しており、地層の力学特性の変化が生産挙動に与える影響を評価する材料を得た。

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

(2) 生産技術の実証を実施

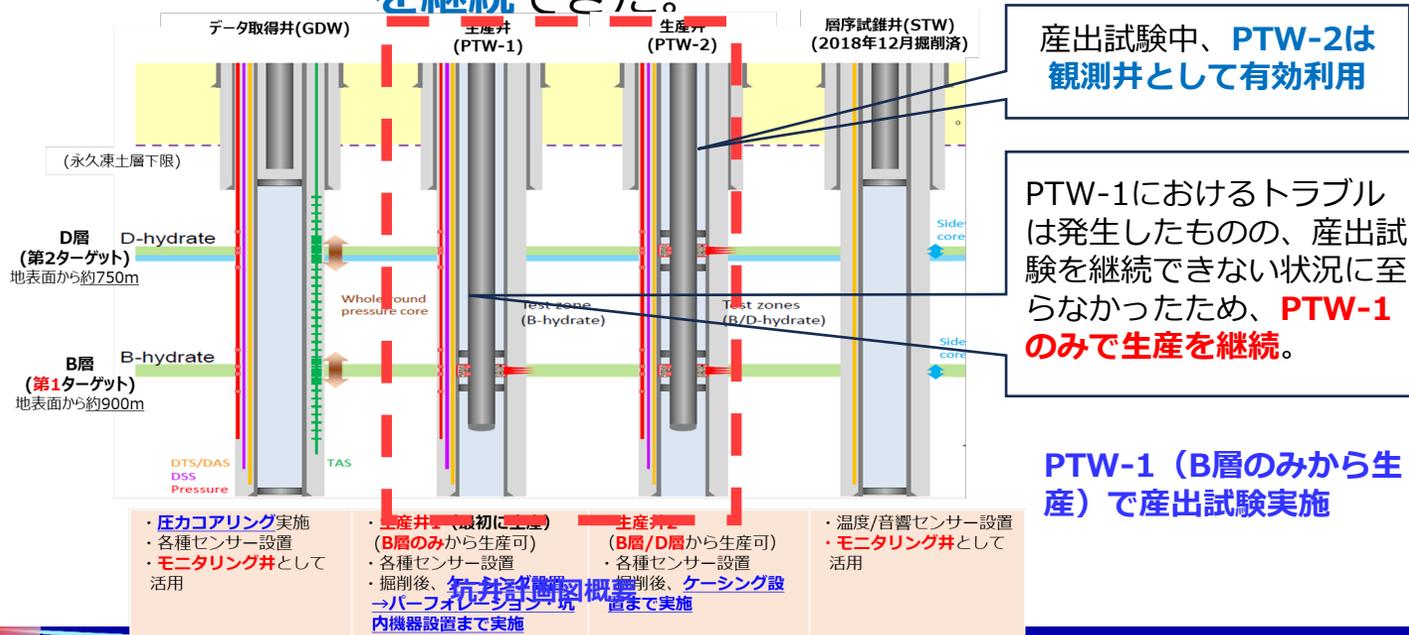
I. 長期産出試験継続のための試験スキーム(坑井設計、燃料ガスの供給)

A) 坑井におけるトラブルを想定し、**生産が困難な状況となった際に移行可能な生産井を準備**

生産障害は発生したものの産出試験を継続できない状況にならなかったため、生産井の移行はせず、**PTW-1のみで生産を継続**。PTW-2は観測井としてデータ取得を実施。

B) 当初、独立した運転が可能な設備として設計していたが、**安定的かつ継続的な運転が可能となるよう近隣パイプラインからの燃料ガスの供給を実施**

これにより、安定的な給電を可能とするとともに、バックアップの発電機と併用する事で、不測の事態においても短時間で電力を復旧する事が可能となり、**停電による作業中断を最低限に抑え試験を継続**できた。

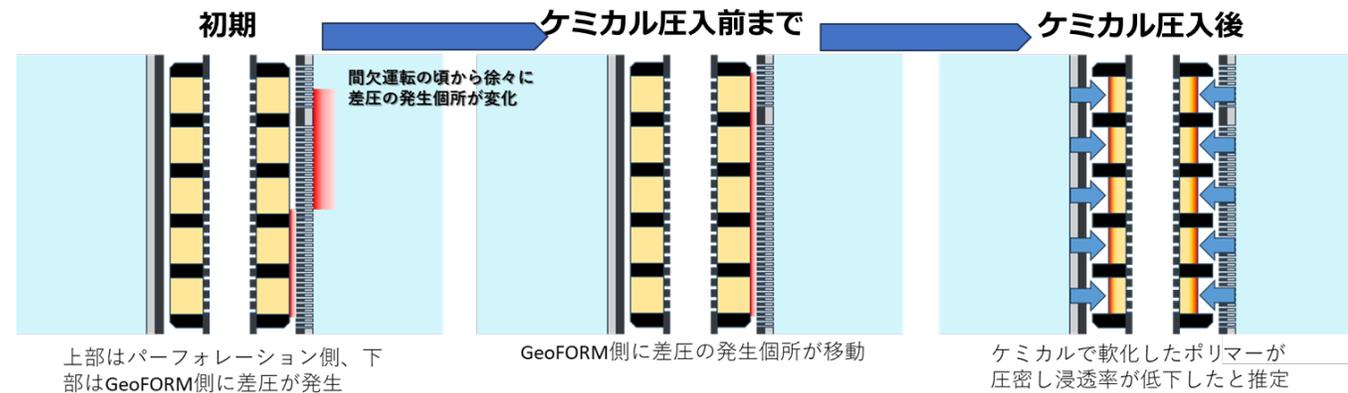
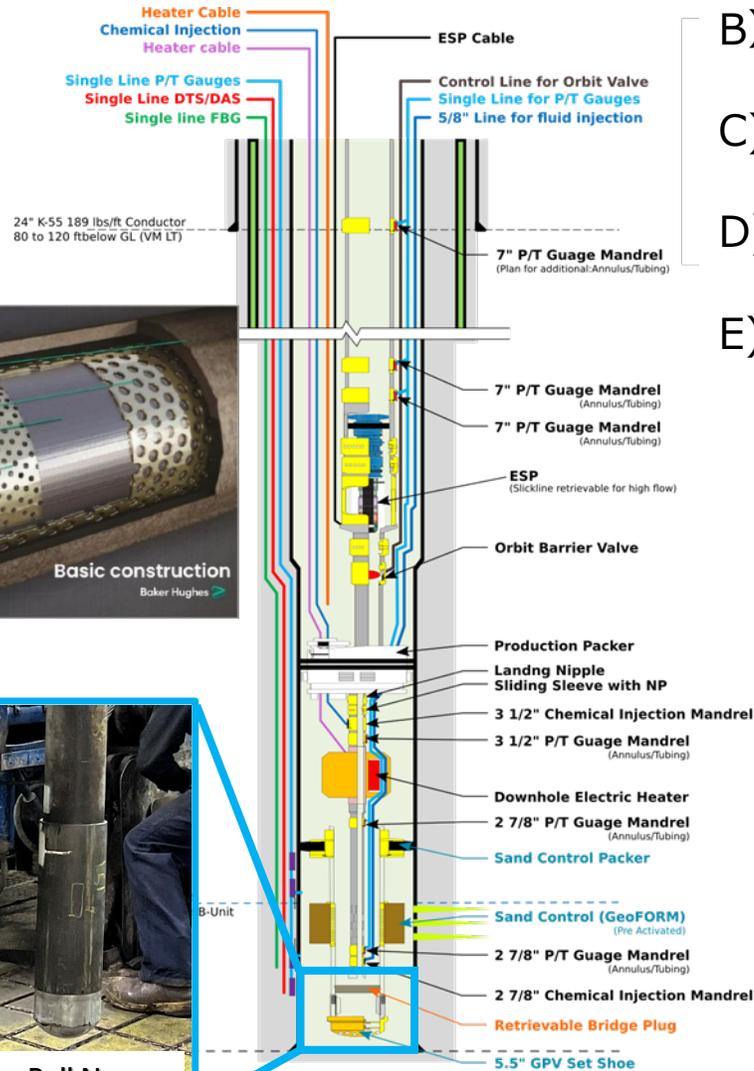


近傍を通るパイプライン(*)からの試験設備接続部分
(*) Oliktok pipeline (ConocoPhillips Alaskaとのガス販売契約)

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

II. 出砂対策

- A) 第2回海洋産出試験の結果より、GeoFORM™は出砂対策装置として機能したと考えられ、アラスカ陸産でも採用。
- B) 第2回海洋産出試験のフィードバックから、**出砂の原因となった箇所についてはバルブを除くなど事前に対応を実施。**
- C) 生産期間の大半において、**大きな砂粒子の生産は確認されておらず、出砂対策装置としては機能していた。**
- D) 一方で、**細粒分は坑内へ流入したが、これについては今後の長期生産における課題と認識。**
- E) 試験後半に極端な減圧を実施したことで、**細粒分の集積によるスキン等による生産障害が発生。**
- これに対し、**圧入によるスキン除去やケミカル圧入による出砂対策装置除去などの対策を試みたが、改善が困難**であることを確認した。
 - 将来の生産においては、これまでの**砂を止めるサンドコントロールの思想だけではなく、砂の排出を許容するサンドマネジメントの思想も考慮することが重要**であることを確認した。



試験データなどから想定される出砂対策装置で発生したトラブル

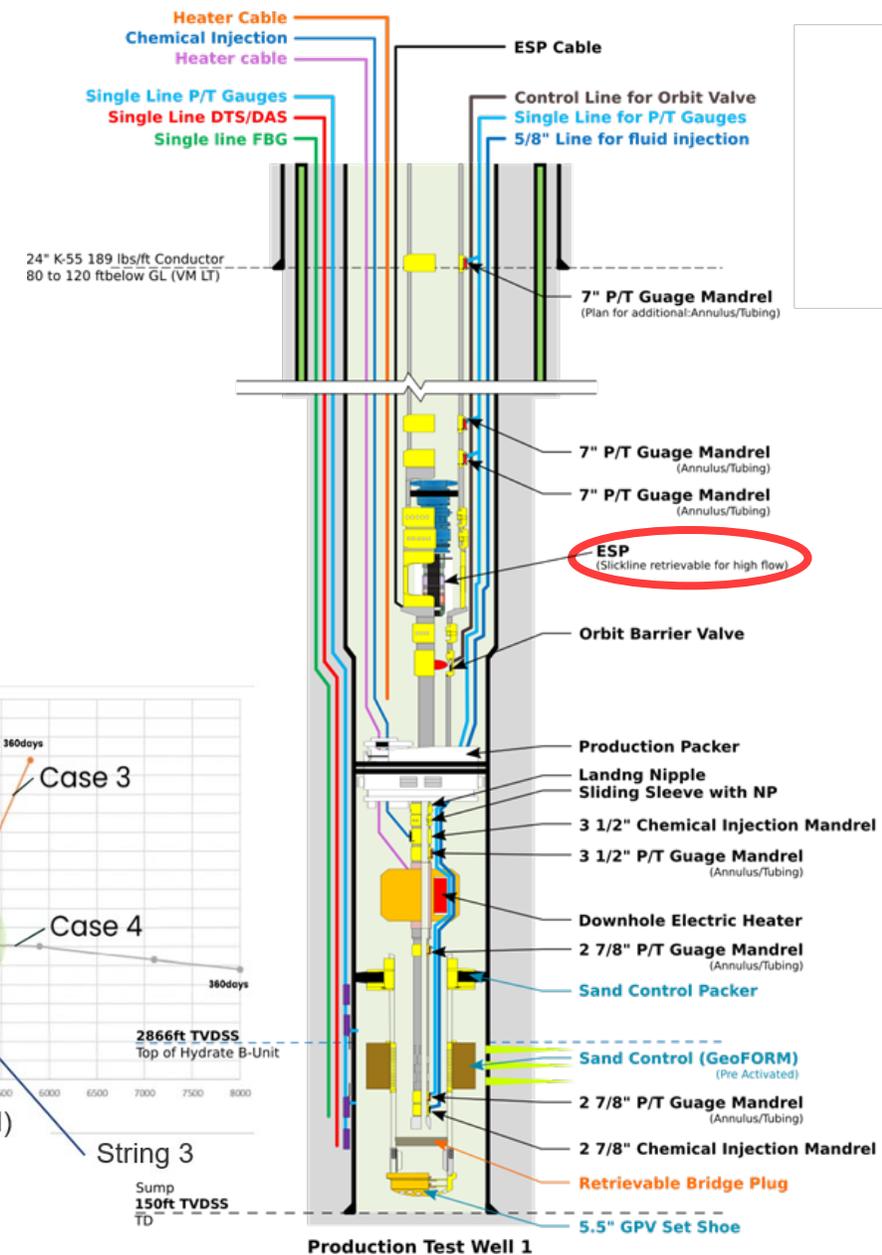
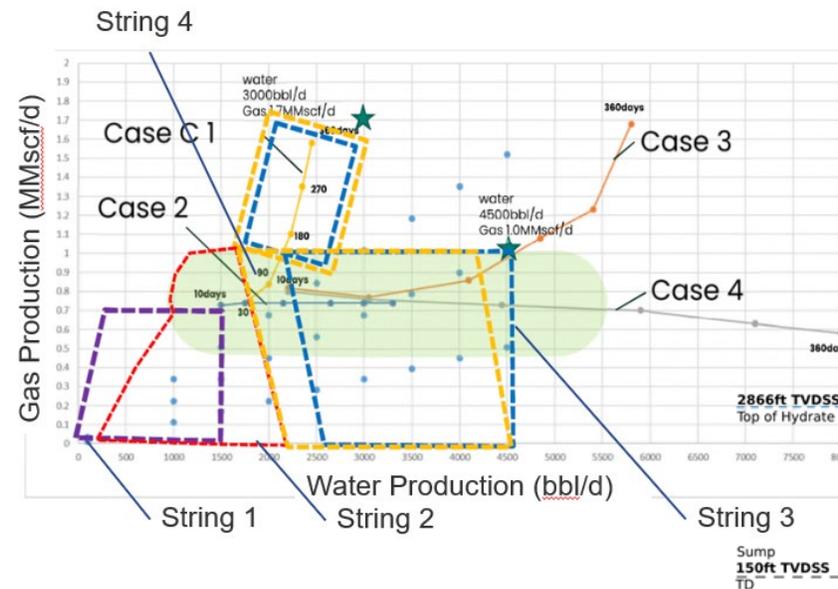
3. アラスカ陸上産出試験の成果について

III. 出水対策

- A) 生産予測に基づき、4つの異なるESPを用意し低流量から高流量までカバーし試験継続できるように坑内電動ポンプを準備。
- B) **水生産量が少なく、最小流量域を対象としたESPのみ使用。**実際にはポンプの許容範囲以下の流量であり、**補水を行いつつ生産を継続した。**
- C) 試験期間にわたり、これまでの**海洋産出試験のような出水は発生していない。**
- D) 水層の隔離

第2回海産試験ではポンプ能力を超える水の生産が生じたことから、**水層からの水引き等による生産困難となる状況**を避けるため**Cased hole仕上げ**とし水層の隔離を徹底

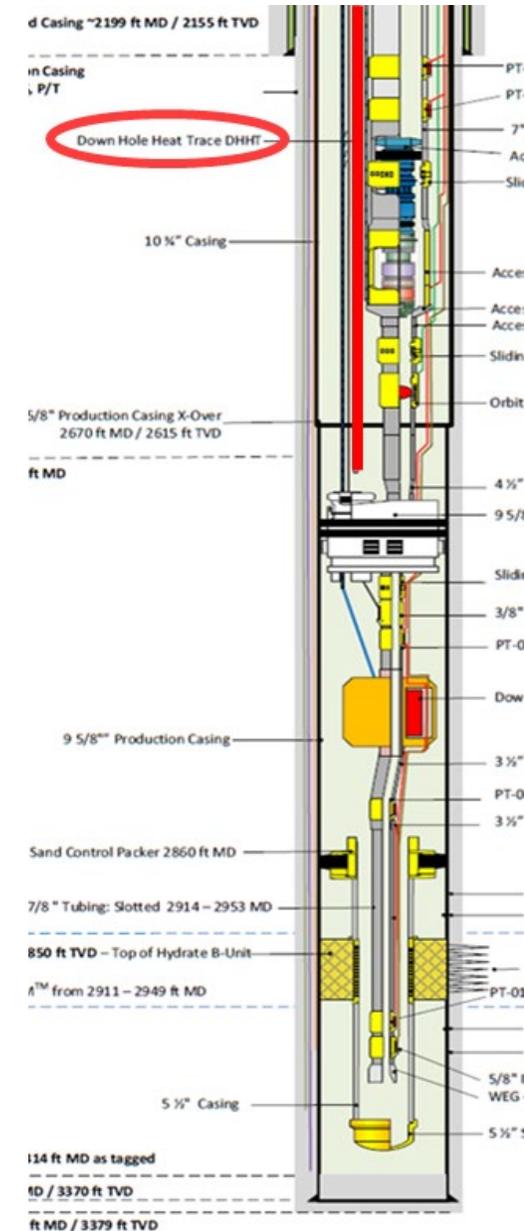
⇒ 上記の通り水生産量が少なく、水層からの水引きを避けることができたかどうかは明確にはわからないが、**ポンプの能力限界に達し生産を妨げる状況にはなっていない。**



3. アラスカ陸上産出試験の成果について

IV. 再ハイドレート化対策

- A) 事前にシミュレーションによる検討を実施し、非定常状態（スタートアップ、シャットダウン時等）の再ハイドレート化の可能性を確認
- B) 坑内には長期的に生産を継続するため、**坑内ヒーター（DHEH）、坑内ヒートトレース（DHHT）を設置。**
 - DHEHはESPの発熱、VIC（Vacuum Insulated Casing）の断熱により坑内温度が高い状態を維持していたこと、水生産量が少なかったことから使用しなかった。
 - DHHTについては、適宜使用し、坑内のハイドレート再生成の防止に寄与した
- C) 生産停止時や、ハイドレート再生成が示唆される状況においては、メタノール（MeOH）注入により**ハイドレート生成を回避、あるいは生成したハイドレートを除去する対策を実施し有効に機能した。**
- D) Jet Pump運転時は、必要に応じてDHHTを使用すること+VICの効果により、ハイドレート生成のリスクは低かったと考えられる。
- E) **DHEHは水生産量が小さかったため使用せず。**
（試運転にて機能することは確認）



3. アラスカ陸上産出試験の成果について

V. 掘削作業時およびケーブルセンサーへのダメージ回避

A) データ取得を目的としたプロジェクトであり、**センサー設置が正しく実施できるよう細心の注意を払い実施計画を策定**してきた。⇒**センサーにダメージなく設置・データ取得実施**

B) 傾斜井における**センサー設置に関する最適クランプの検討を実施**

- クランプによるセンサーケーブルの固定、セントライザー等の設置により可能な限りたわみや坑壁との接触を予防
- オリエンティッドパーフォレーション（指向性パーフォレーション：センサーの位置を把握し、その反対側にパーフォレーションを実施する手法）を採用

⇒ **センサーにダメージを与えることなく設置でき、データ取得ができています。**



センサーケーブルの設置作業

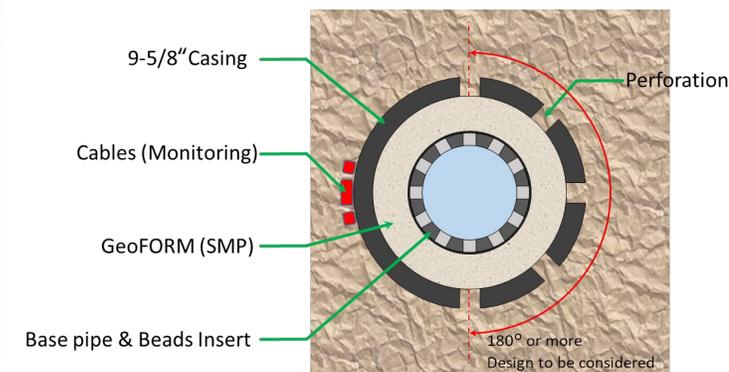


Vertilog
センサー位置を把握
するための機器
Gyroと併用する



Blast Protector
Perforation時にセンサーにダメージを与えないよう位置を把握し反対側に発破するよう工夫をした

オリエンティッドパーフォレーションのイメージ図



3. アラスカ陸上産出試験の成果について

VI. 坑口装置周りの複雑な構造による現地での設置時の不具合対策

Wellhead周りが、センサーケーブル等の取り出し等により複雑な構造となった。このことより、**現場での設置作業中の不具合によるセンサーケーブルのダメージやプロジェクトの遅れを避けるため、Fit Up Testを発送前に実施した。**

⇒ **現場で問題なく組み立てることができ、センサーや機器のダメージなく遅れも発生せず実施できている。**



Figure 16. Landing adapter



Figure 14. Landing hanger



Figure 22. 2-7/8" hanger landed



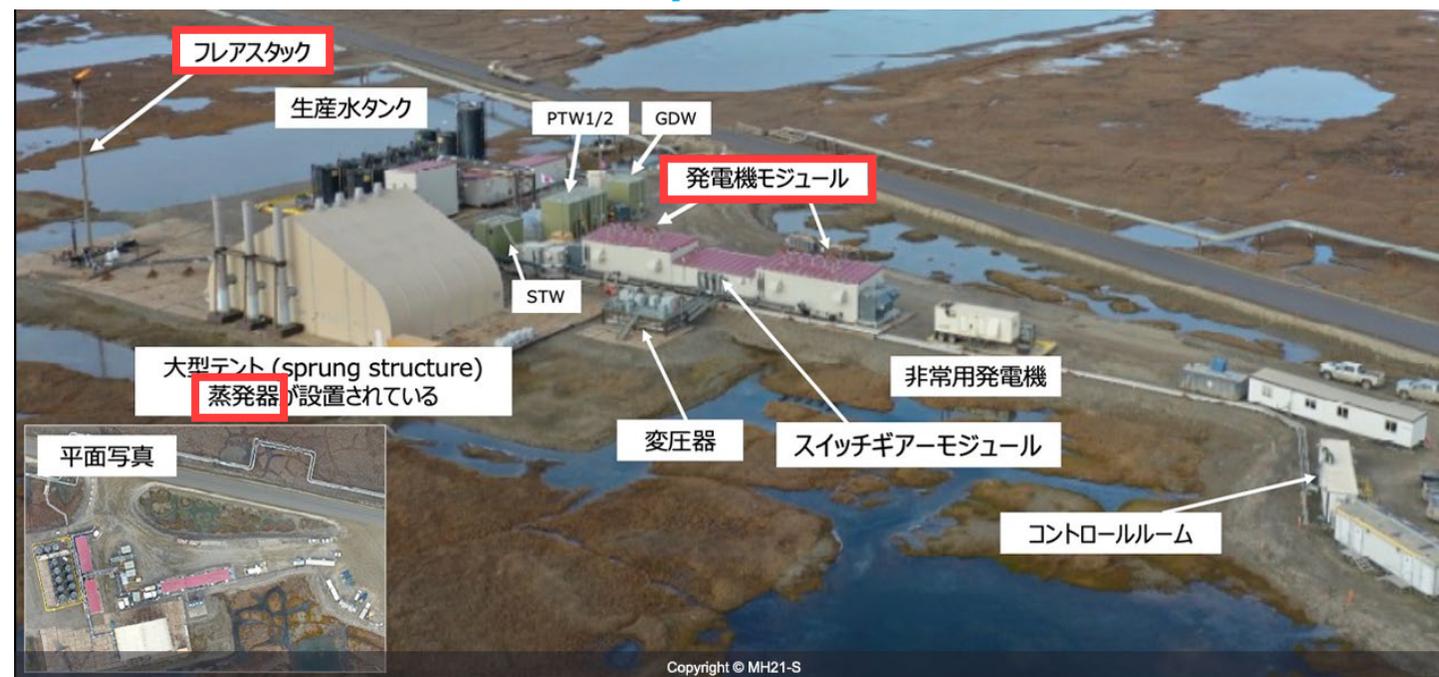
Figure 20. Damage to ESP leads after pulling adapter / hanger

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

VII. 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

- A) **メタンハイドレートから分解したメタンガスを、設備運転のための発電機等の燃料ガスとして利用**できた。
- B) 燃料ガスとして使用したガス量等は現在諸データを解析・確認中。
- C) 試験場所が含まれているPrudhoe Bay Unit (PBU) の鉱区権者からは独立した設備として試験実施を強く要請されていたことから、**生産ガスを自家消費する設備計画としていた**。つまり、PBU鉱区の既設設備への繋ぎこみなどはなし。

(代替燃料ガスについてはPBUでなく、ConocoPhillips Alaskaから供給してもらえるようアレンジできた。)



: 燃料ガスのユーザー

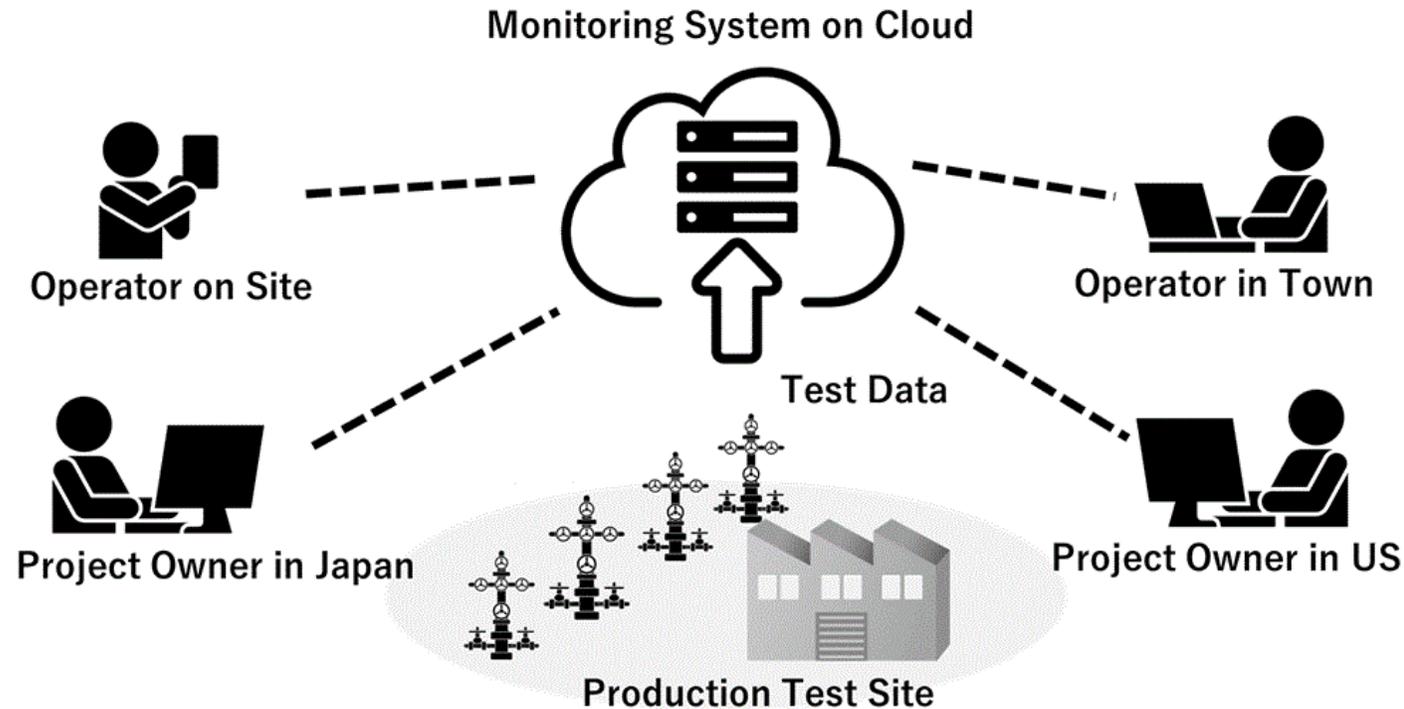
Copyright © MH21-S

3. アラスカ陸上産出試験の成果について

VIII. リモートモニタリングシステム

日米双方のプロジェクトステークホルダーのそれぞれのオフィスでデータをリアルタイムでモニターできるよう工夫した。

⇒ 産出試験状況のタイムリーな把握により対応策を検討することが可能となったこと、即時解析を可能とするなど当該研究開発プロジェクト実行に役立った。



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によって実施されています。