

メタンハイドレートフォーラム 2016

「メタンハイドレートの海洋開発システム： 在来型とどう違うか？」

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 (JOGMEC)

2016年12月6日
東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

- この発表の目的
- 資源としてのMHの特徴
- 考えられる生産シナリオと条件
- 経済性とエネルギー収支の特徴
- 環境・防災の観点から
- 技術開発の要素

発表の目的

- 資源開発 ← 自然 ↔ 人間活動（含：技術、資金、政策、etc.）
- メタンハイドレートを利用可能な“資源”とする際には、総合的な「開発システム」が必要。
- 次のような疑問について答えていくため、、、
 - どんな開発システムが考えられるか？
 - 必要な研究開発要素はどこにあるか？
 - 適切なビジネスモデルは？
 - エネルギー収支や経済性の違いはどこに生じるか？
 - 災害や環境影響への対策は？
- 本日は、考えられる「開発システム」の要素とそれを決定する条件、研究課題について考える
⇒主に、「何がわかっていないか」を説明する

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 $\equiv 1$ 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研究の現状

- その存在について
 - 19世紀末には存在が知られていた (Villard, 1888)
 - 20世紀初めのロシアでパイプラインを詰まらせる原因として認識される (Hammershmidt, 1934)
 - 1960~1970年台に、自然界 (永久凍土層の下や大水深海底・海底面下) に存在することがわかってくる。
 - 炭素循環の重要な要素と認識される
 - 大規模な海底地すべりの原因や、環境変動の要因として考えられる。
 - 大水深掘削時のハザードの一つと考えられるようになる。
 - 有用な資源の一つと考えられるようになる。
- 探査・調査の時代⇒開発のための研究の時代
 - 室内実験や数値シミュレーション
 - フィールド生産試験
 - 第1回陸上産出試験 (2002カナダ)
 - 第2回陸上産出試験 (2007/2008カナダ)
 - 第1回海洋産出試験 (2013南海トラフ)
 - しかし、探査・調査が終わったわけではない。
 - どこに、どれくらい、どのような形で存在するか。
 - その存在する場合は、どのような物性値 (力学/流体力学/熱力学的観点で)

設計の条件を定めていく、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

ビジネスとしての確立

設計仕様

PreFEED

FEED

EPC



資源として成立できる条件

- エネルギー源として合理性があること
 - 十分な量が、集中して存在すること
 - エネルギー収支が十分大きいこと
 - 生産するための技術的基盤が存在すること
 - 未来の供給量が予測でき、未知の部分が小さいこと
 - 気象・海象・地盤などの自然条件に許容されること
- 経済性 = 需要とマッチしていること
 - 他の資源と比べてマーケットで優位、ないしは対等であること
(買ってもらえる)
 - 需要家が望む形態・量・安定性／可変性・タイミングで供給できること
 - ⇒ サプライチェーンが構築可能 (ビジネスモデル)
 - 投資を回収できること
- 社会から受け入れられること (public acceptance)
 - 環境負荷、その他社会的負荷が小さいこと
 - 安全性、防災対策が確立されていること
 - 既存産業 (漁業・海運・その他水面利用) と協調できること
 - 日本経済全体への利益、地元経済へのスピンオフなど

資源としてのメタンハイドレート

- 天然ガスの一つの形態
 - 既存の天然ガスマーケットへのアクセス
 - 在来型・その他の非在来型天然ガス資源との競合・共存
- 存在する場所：大水深海底
 - 大水深資源開発技術の適用
 - 高コスト、気象・海象の影響、需要地からの距離
- 生産技術
 - 固体であり自噴しない：なんらかの手を加えて流体に変換する必要がある
 - 一坑井からの生産量が少なく、坑井の寿命も短いと見込まれる

天然ガス資源の特徴

• Pro

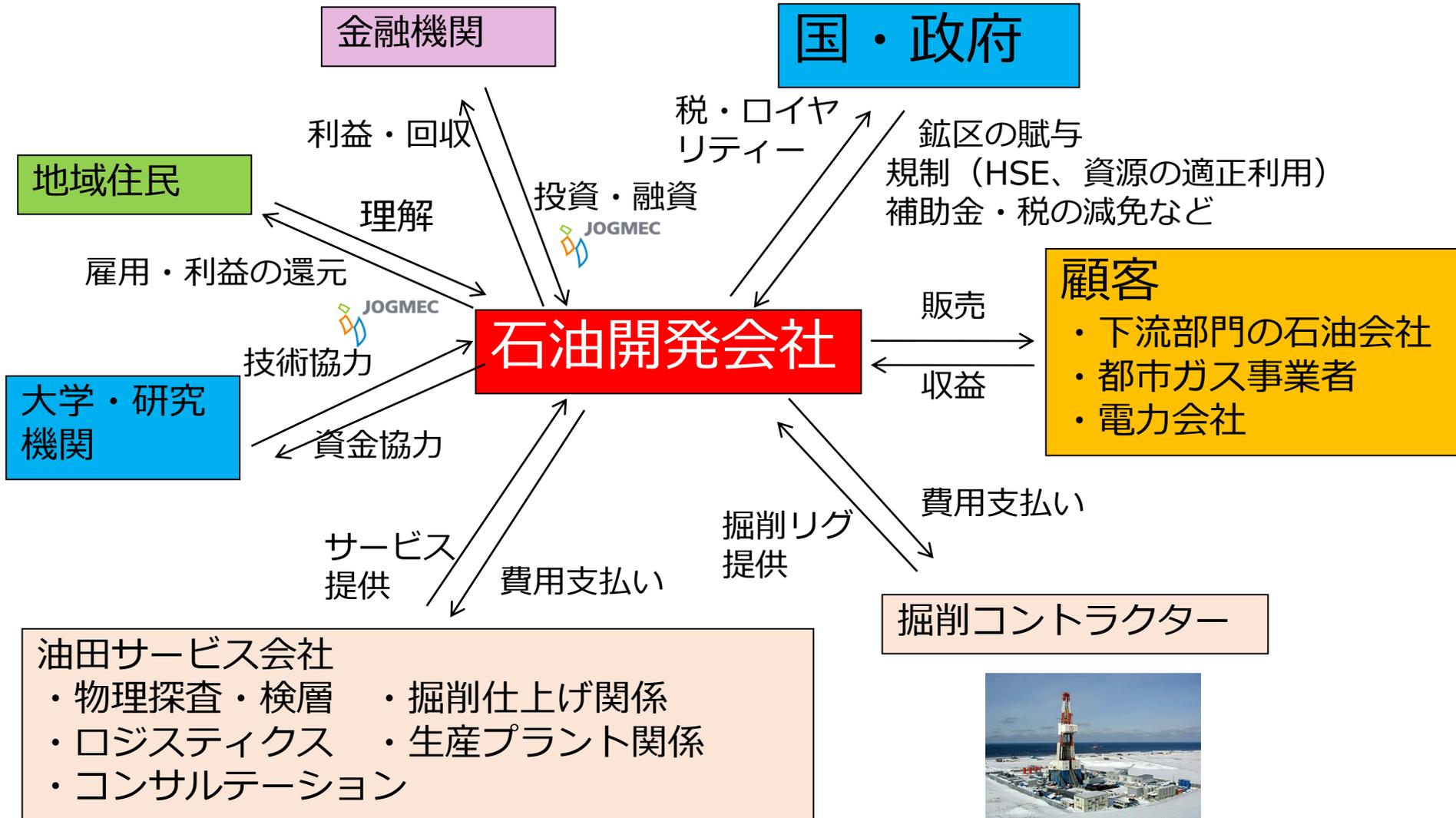
- 膨大な量存在している*
 - 可採埋蔵量54年
 - 技術的可採埋蔵量232年、内42%は非在来型資源（MHは含まず）
- 石油に比べると比較的偏在していない
 - 国内の自給率は約3%（石油は0.4%）
- 燃焼したときのCO₂排出量が少なく、SO_xなし（相対的に環境にやさしい）
- 発電、都市ガス、化学原料（、輸送用燃料）

• Con

- 常温常圧で気体であるため、輸送・貯蔵に難がある（かさばる）
 - パイプラインを建設して圧縮して送る
 - 凍らせて（LNG）、液体として船やトラックで運ぶ
- その結果、初期の設備投資が大きくなる
- 売り先が決まって（投資を回収できる目途が立って）初めて開発に着手できる

*World energy outlook 2014

誰がプレイヤーか？

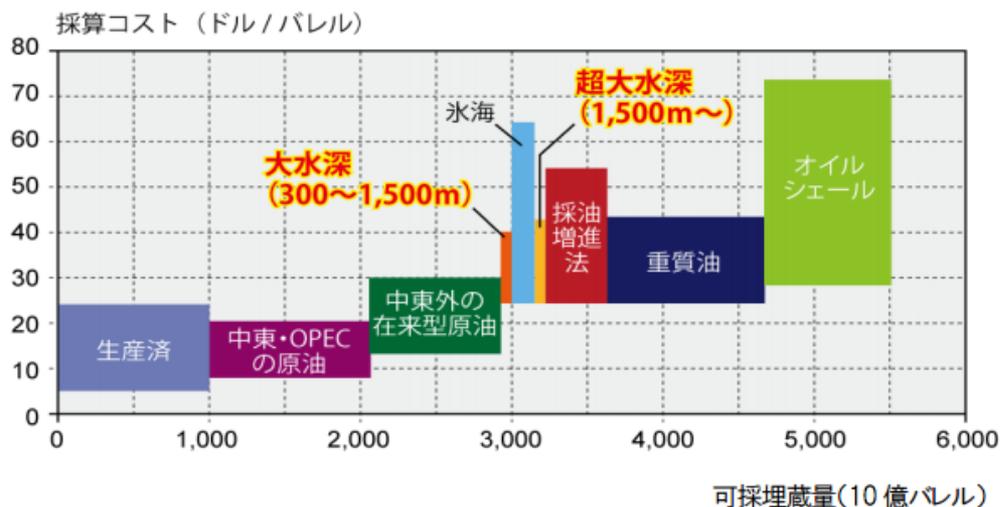


メタンハイドレートからのガス生産

- 砂層型 = ハイドレートが、浸透性（流体を通す性質）を有する連続的な場（砂質の堆積物）の中にある
 - ハイドレートを水とガスに分解させることができれば、坑井から流体として生産できる（分解採取法）
 - 石油開発の技術が応用できる。
 - 熱刺激：エネルギー収支に疑問
 - 減圧法：地層自体のもつ熱で分解させる（外部から熱を加えない） — 一次回収として有効
 - 坑井刺激法・増進回収法の研究も必要
- 非砂層型（表層型）
 - ?????

在来型の大水深油田開発

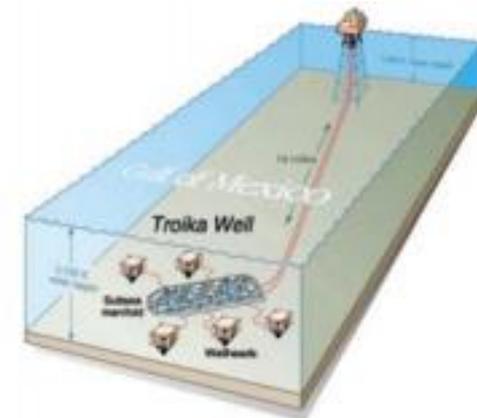
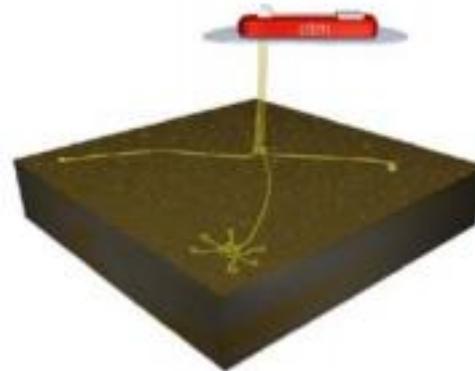
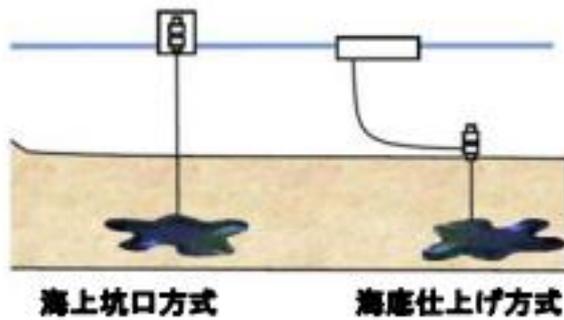
- 2003年以降のエネルギー価格の高騰→300mより深い海域
- 1983-2014に600フィールドが発見され、400フィールドが操業中
- 2020年頃には日産1000万bblが海洋油田から供給されると期待される。
- 最大水深2500m級へ（メキシコ湾FPSO）
- 発見から生産開始まで平均7年弱、生産期間平均13年弱
- 採算ライン：\$30-45/bbl
- 開発までの期間が短いシェール・オイルなどとの競合
 - 開発投資が大きい：参入できるのは大企業のみ



参考：伊原、2014(https://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/5/5275/1406_out_deepwater_trend.pdf)

大水深開発の要素：陸上・浅海との違い

- 陸上・浅海
 - 固定式のプラットフォーム
 - 坑口装置は地表・プラットフォーム上（Dry tress; 地下・海中にはパイプと坑井しかない。）
- 大水深
 - 海底に坑口装置等を設置する海底仕上げ
 - 浮遊式のプラットフォーム、または陸上施設への接続（subsea tieback）
 - ✓ 海底で使用できる機器と設置・改修などの作業
 - ✓ アクセスが難しいので高い信頼性が必要
 - ✓ 低温・高圧環境：ハイドレート生成などからの流動確保（flow assurance）
 - ✓ 初期コスト大



サブシータイバックシステム

開発システムの要素

- 海底・地中
 - 坑井（出砂対策装置等）
 - 海底生産システム（マニフォールド、減圧用ポンプ、気液セパレータ等）
- 海中
 - ライザー
- 洋上
 - プラットフォーム（形式）
- ガスの輸送
 - パイプライン、タンカー輸送（液化等）、他
- 貯留層評価・モニタリングの技術
- ロジ・サポートの体制
- 資金調達
- 法規制

開発システムを考える条件

- マーケットとかけてよいコスト
 - 天然ガス需要
 - 国のエネルギー・環境政策
- 資源の存在する場（位置・深度・条件）
- 気象・海象・海底地盤などの条件
- 適用する生産手法
 - 減圧法を一次回収法として、他に何をするか
- ガス・水の成分・生産量・圧力
 - 施設・装置の規模に関わる
 - 水の処理方法
- エネルギーの輸送法
 - 効率・コスト⇔需要
- 環境対策・防災対策

MH2 1の想定するMH商業化プロジェクトの概念

● 商業化段階の開発システムの概念

- A 商業開発可能な規模のメタンハイドレート濃集帯が存在する大水深の海域において、
- B 在来型石油・天然ガス開発と比較して比較的掘削長の短い複数の坑井を用いて同時並行して生産することで、
- C 1個の濃集帯ベースで、長期的に安全かつ経済的なガス生産を実現し、消費地へのガス供給を行う。

※ フィールド全体からのガス供給量は、日量数百万m³規模

(考え方)

在来型天然ガス開発とは異なる開発システムを適用して、経済的な開発を実現させる

- メタンハイドレート層の場合は、貯留層の特徴から1坑井当たりの生産能力は在来型天然ガスの坑井の場合より劣る
- 掘削深度が浅く、ガス処理や坑井の仕上げなどに要する費用は小さい

経済的な開発システム構築へ向けての考え方

- 坑井の生産能力
 - 通常のカス田よりも低い
 - 平均で日量数万m³程度
 - 排ガス半径が小さい
- 坑井の生産挙動の特徴（減圧法を適用したときの予測）
 - 初期の生産量は小さいが、徐々に増大し、1～数年でピークになり、その後急激に減退
- 開発コスト
 - 各坑井は浅く、生産ガスの圧力は低い
 - 既存の掘削リグ、生産設備はオーバースペックであり費用削減が見込まれる
- 操業時の課題と利点
 - 水を汲み上げるためのエネルギーが必要
 - 通常のカス田より、ガス処理に要する費用が小さい

多数の坑井を掘削、坑井群を形成

各坑井群を海底に設置したマニユ
ホールド・セパレータ・ポンプに接
続して、生産をコントロール

生産されたガスは少数の生産拠点
（洋上のプラットフォーム、海底の
昇圧ステーション等）に集約

坑井を連続的に掘削し続け、順次生
産する。

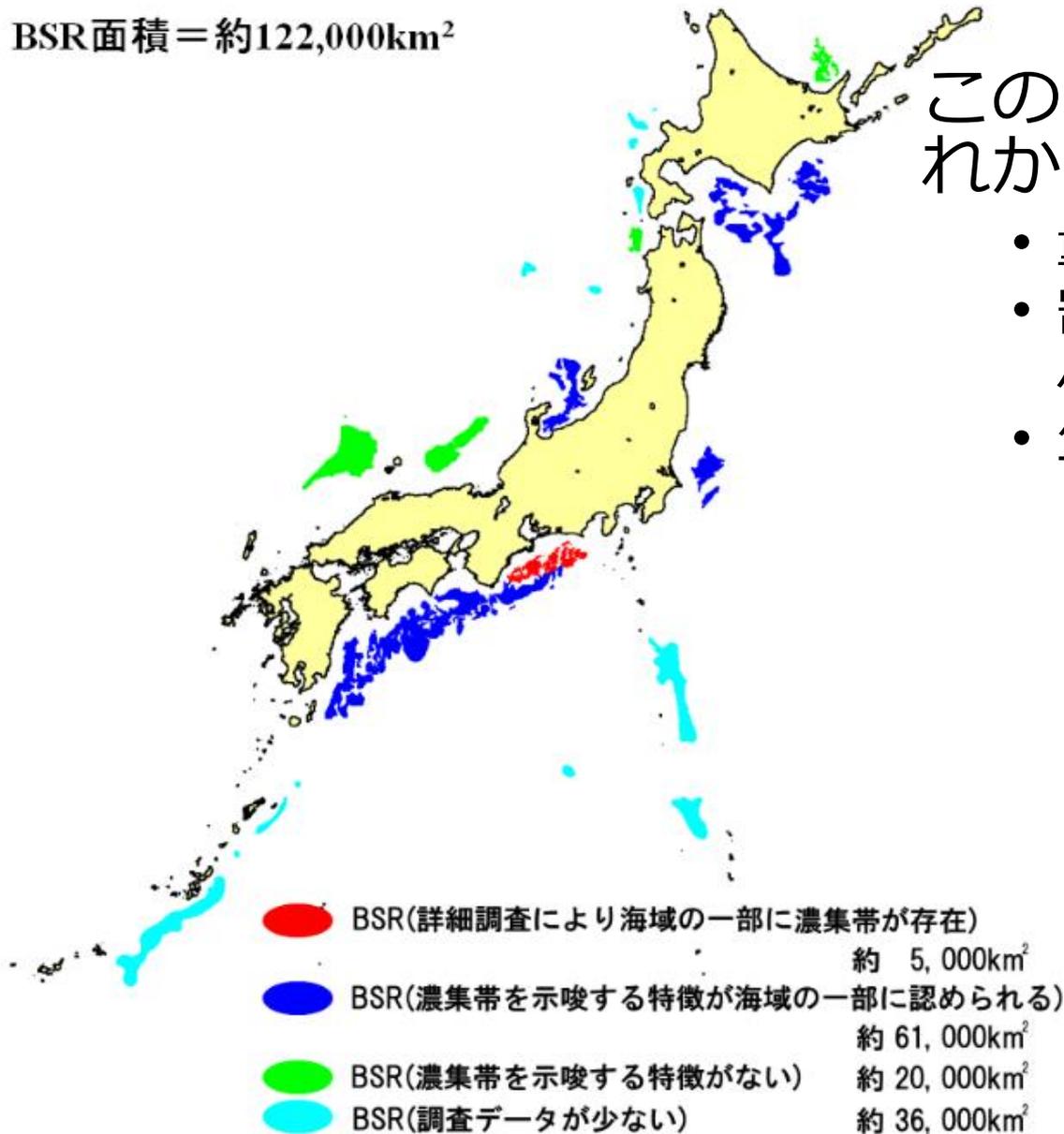
- 掘削リグの稼働率を上げる
- 生産量のピークを平滑化する

生産されたガスは、パイプラインで
陸に送るか、LNG/CNG/GTL/GTWで
輸送する

- コストだけでなく、需要サイドと
協調したビジネスモデルが必要

条件1：資源の存在する場

BSR面積＝約122,000km²



このうち「良い資源は」どれか？

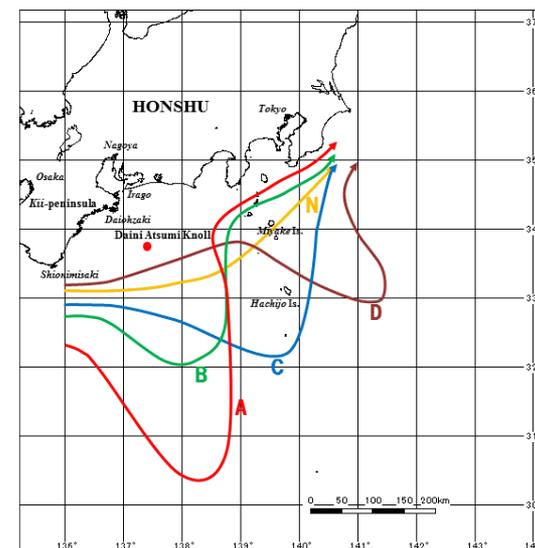
- 量がまとまっている
- 需要地に近い、または運ぶ方法がある
- 生産しやすい
 - 水深がある程度深い＝ハイドレート層が厚く存在できる＝温度が高い深部にも存在できる
 - 浸透性を有する砂質の堆積物が厚く、連続的に存在する（藤井の発表）
 - 気象・海象条件が許容でない
 - 防災・環境上のリスクが小さい
 - 地域社会に受け入れられる

資源の存在する場と開発システムへの影響

- 地理的位置（マーケットとの関係）
 - 経済的なエネルギー輸送方式に影響
 - 既存経済活動との関係
 - 環境・防災対策
- 規模、広がり
 - プラットフォーム・坑井の配置
- 生産挙動を決める要因
 - 経済性
 - 施設の規模、配置等
- 既知のハイドレート資源は、陸から150km程度の範囲に多い
 - 有機物を含む堆積物（特に砂）の流れ
- 離岸距離

条件2：気象・海象

- 台風の襲来
 - 季節性が大きいが予測は困難
 - 接近が予想される場合、最低人員は退避が必要
- 季節風
 - 特に冬場の北西風
- 潮流
 - 黒潮：1-2knot, 4knotを超える時もある
 - 潮流の流軸は変動する（黒潮蛇行など）
 - 表層の海流だけでなく、中層・低層の海流も重要
 - VIV (Vortex-induced vibration)の原因など)



黒潮の流路タイプ

- 表層混合層および温度躍層上部
(潮流・黒潮反流・黒潮分岐流)
- 中層の流況
- 底層流

ライザー
アンピリカルケーブス

潮流・黒潮反流・黒潮分岐流

中層の流況

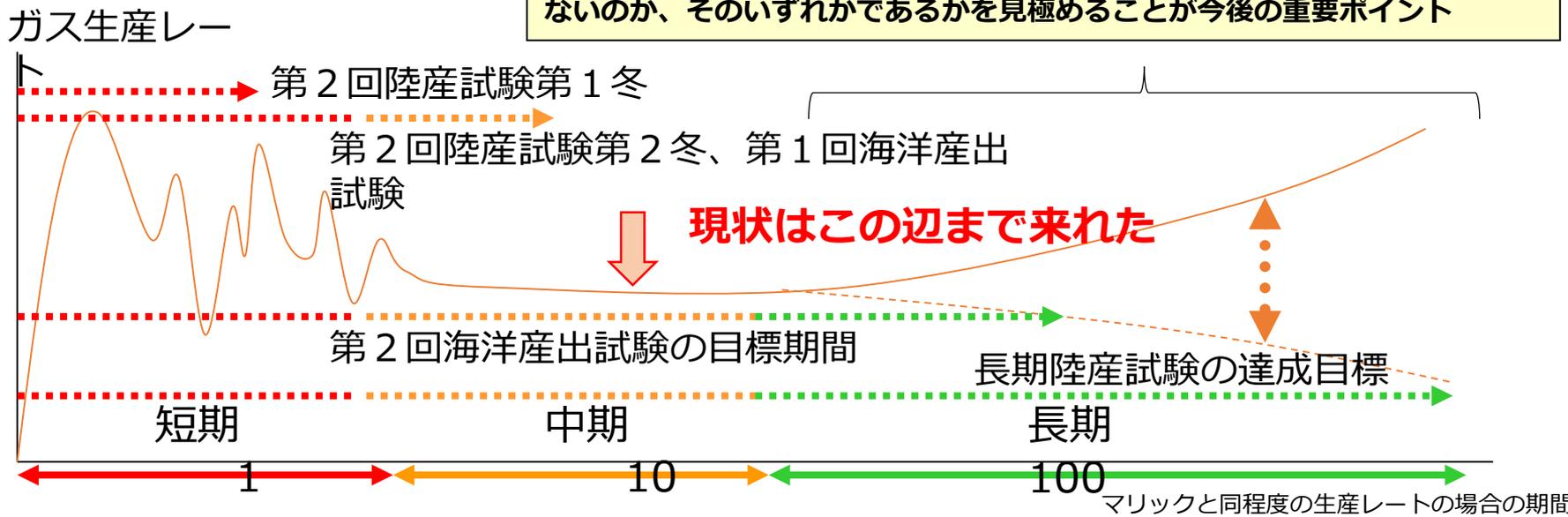
底層流

条件3：生産の手法と特性

- 生産手法：減圧法を想定
 - 通常の油ガス田と同様に坑井を掘削して生産
 - ただし、各坑井は油ガス田（通常数千メートル）に比べて浅い（数百メートル）
 - 自噴しないので、水をくみ上げるためのポンプが必要
 - 海底または坑内に設置
- 一坑井あたりの生産量：通常のガス田に比べて少ない
 - 日産：数万～多くて数十万立方メートル
 - 多数の坑井を掘削して同時に生産する
 - 坑井の寿命は短いと見込まれる（数年で減退）
- 実際どれくらいなのかが最大の未知要因
- 増進回収？（将来の課題）
 - 熱を加える方法：熱源の設置
 - 冷たい海水で熱を奪われない工夫
 - なんらかの圧入作業を伴う方法（温水掃攻、CO₂置換など）

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。 |

条件4：供給方法＝需要との関係

- 顧客は誰か、どこにいるか
 - ガス会社・電力会社（大手、独立系発電事業者(IPP)）
 - 安定性・可変性、成分などへの要求が異なる
- ガス態で輸送
 - パイプライン：離岸距離を考えるともっとも合理的
 - 沿岸に需要が存在するか
 - 減圧して生産したので、昇圧する必要がある
 - CNG
 - 需要があるか
 - 洋上に設備が必要
- 形を変えて輸送
 - LNG（Floating LNG）
 - 需要は存在する、量が少なかったり、需要と即マッチしていなくても引き取ってもらえる可能性がある
 - 洋上に設備が必要、エネルギー消費が大きい。
 - その他：
 - GTL (Gas to Liquid), GTW (Gas to Wire, 洋上発電), ハイドレート輸送...設備の問題、将来技術

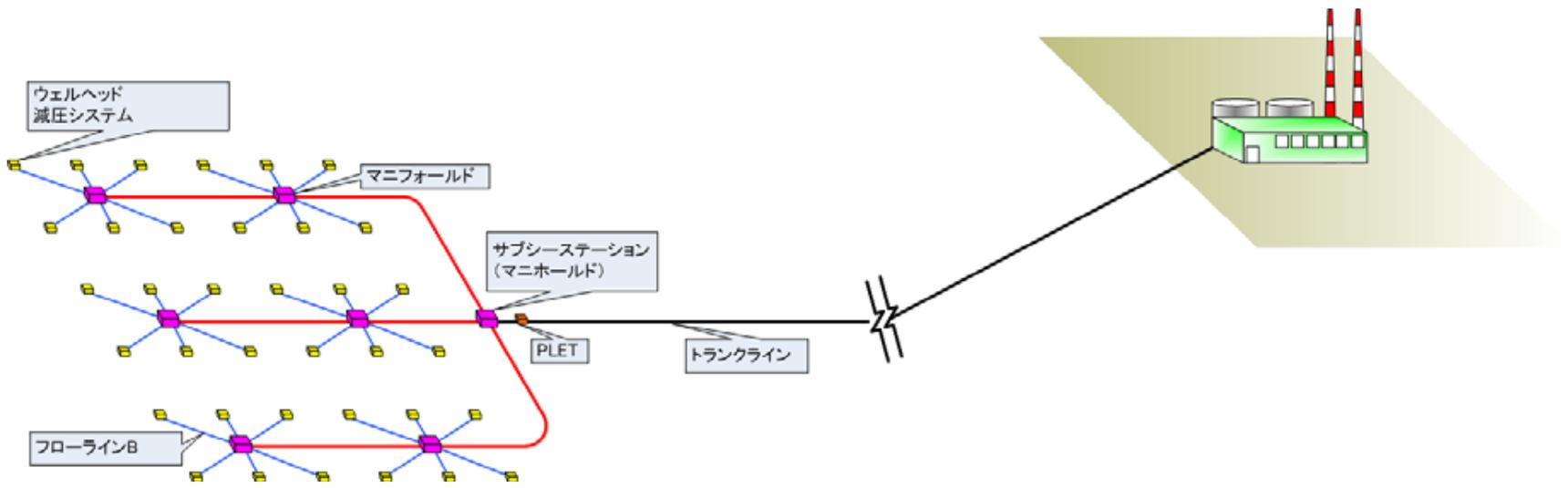
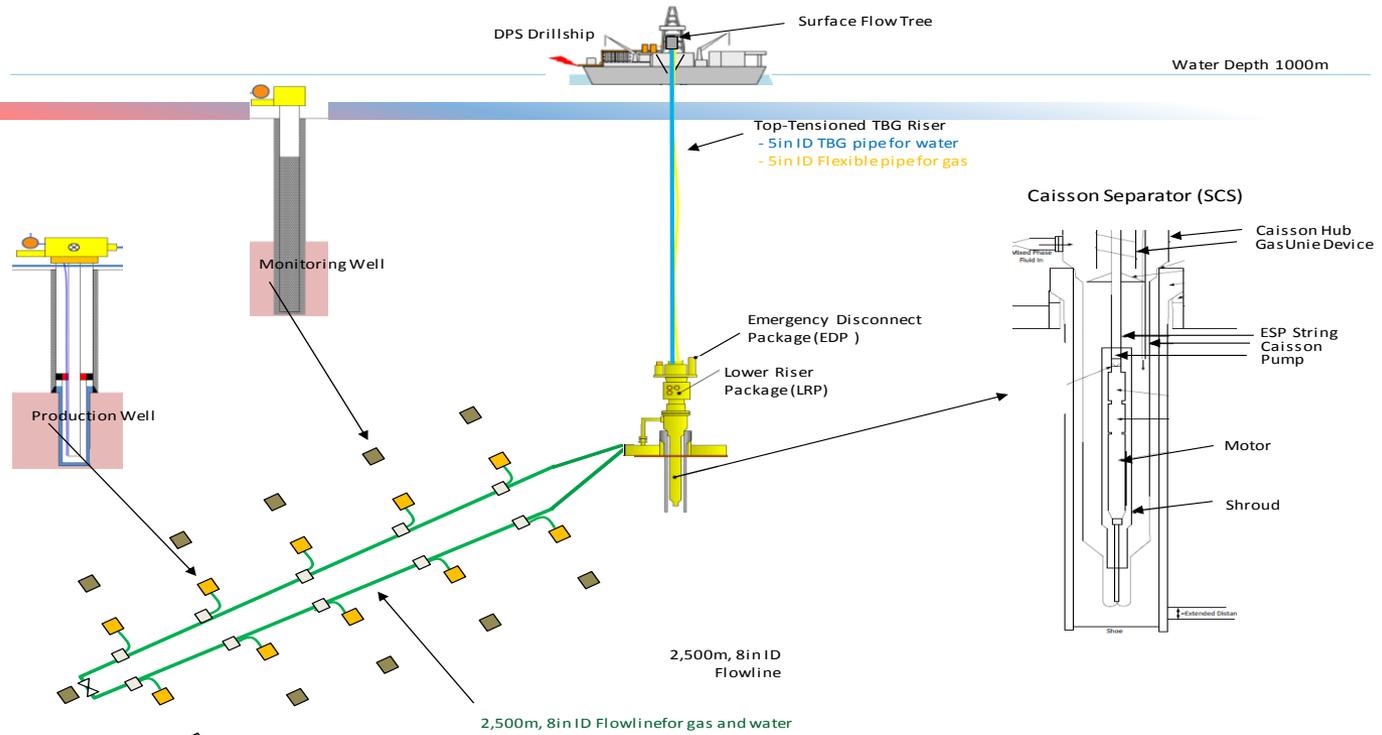
検討課題 1 : 坑井

- 安く、たくさん掘れること
 - 深度が浅い
 - 通常の大水深掘削リグはオーバースペック
 - 掘削長が短い、圧力が低い、暴噴リスクは低い
 - ただし、厳しい気象・海象のもとで安全・安定に掘削できること
 - 小型化 = 稼働率低下ではだめ
- ただし、坑井健全性（well integrity : 流体の隔離）が確実な必要
 - 減圧しても海水や地下水が井戸周辺から貯留層に入り込まないこと
 - 生産したガスが漏れ出さないこと
 - セメントの確実性や、セメントを用いない隔離法など
- 出砂対策
 - 砂を確実に止めること ⇔ 砂を止めることによる目詰まり防止の両立
 - 海底での砂の検知、分離、排出ができるか？

検討課題 2 : 施設

- 海底生産システム
 - ポンプ：形式、設置場所（各坑内に置くか、マニフォールドでまとめて減圧するか）
- 浮遊式生産施設 vs 陸へのlong tie-back
 - 浮遊式生産設備
 - 係留が課題
 - 海底地形と地盤
 - 既存のケーブルとの関係
 - ガス輸送方式との関係
 - 海底生産システムから海底パイプラインでのガス輸送
 - 北海では150kmを超える事例がある
 - Subsea compressor, 気液分離と流動確保の課題など

より長期の産出試験
のイメージ (複数坑
井、Caisson
separator+ESP,
Workover riser, DPS
船)



6-Slot + 海底気液分離 + 海底pipeline + 陸上設置compressor

検討の要素 3 : 防災・環境

- ハイドレート生産が地震や海底地すべりを誘発しないか
 - ⇒作業の場所と、地層に与える影響の大きさから考えて大規模な災害の誘発は考えにくいですが、検討は必要。
 - ⇒小規模な変動でも、施設や生産の安定性に影響は考えられる。
- 地震や海底地すべりが施設にどのような影響を与えるか
 - ⇒人員・施設の安全確保は需要課題。
 - ⇒SFにあるような連鎖反応的なハイドレート分解はあり得ない。
 - ✓ 海底の温度・圧力下でハイドレートは安定
 - ✓ 施設が破壊されれば、自動的に安定領域に戻る
 - ✓ 熱を与え続けられない、あるいは圧力が下がり続けられない限り分解は継続しない
- 施設の設計、パイプラインルート of 検討などの重要要素であり、研究を続ける必要がある。

海洋産出試験が地震に与える影響

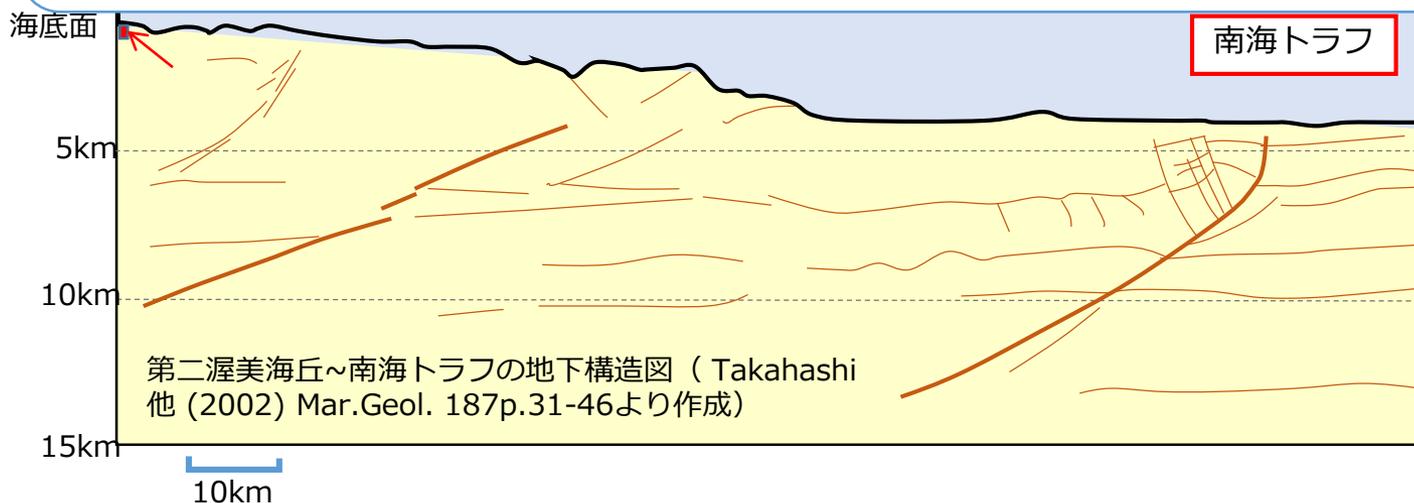
①

断層の滑りを誘発することはあるが、メタンハイドレートが賦存する地層はプレートに比べて柔らかく、大きなひずみエネルギーを蓄積しないため、地震の発生原因とはならない。

②

試験海域のプレート境界までの深さは10km以上。深度300mに存在するメタンハイドレート層での活動と大地震との関係は小さい。

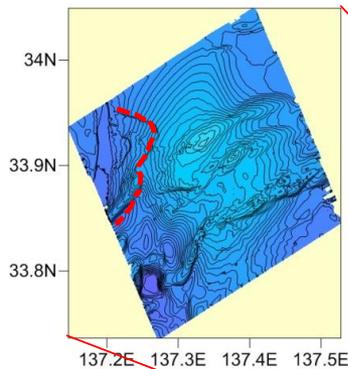
試験地点
坑井深度
~350m



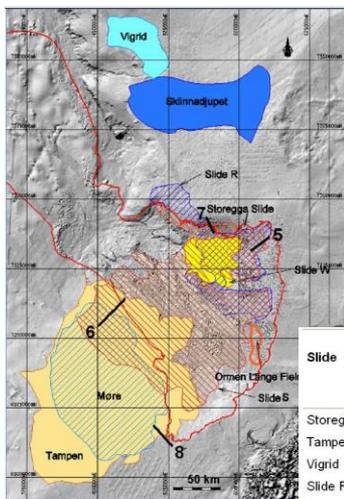
③

生産活動が断層や海底の安定性に与える影響は継続して研究する。

第二渥美海丘と北大西洋の海底地すべり跡比較



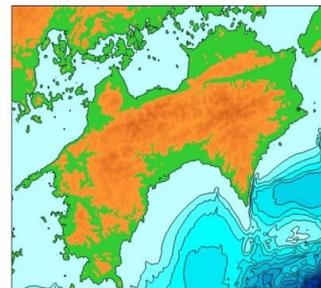
第二渥美海丘
三次元地震探査面積
約625km²



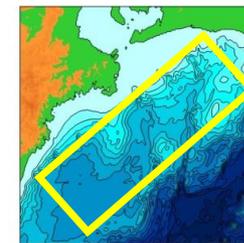
Solheim et al. (2005)

| Slide | Scar area (km ²) | Headwall length (km) | Headwall height (m) ^a | Age | Strat. | Ma |
|-------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|--------|------------|
| Storegga | 27,000 | 300 | <250 | Holocene | | 0.008 |
| Tampen | 27,000 | >200 | <220 | INO3 or slightly earlier | | ~0.15-0.13 |
| Vigrd | 2500 | 60 | <200 | Pre TNR | | >0.2 |
| Slide R | 6800 | 120 | 60-180 | Before or early R2 | | ~0.3 |
| Sklinnaadj. | 7700 | 85 | <250 | Before or early R2 | | ~0.3 |
| More | 14,000 | 160 | 50-90 | Pre TNS | | ~0.4 |
| Slide S | 23,700 | >200 | 45-120 | Before or early S2 | | ~0.5 |
| Slide W | 2400 | 55 | <110 | Pre TNW | | >1.7 |

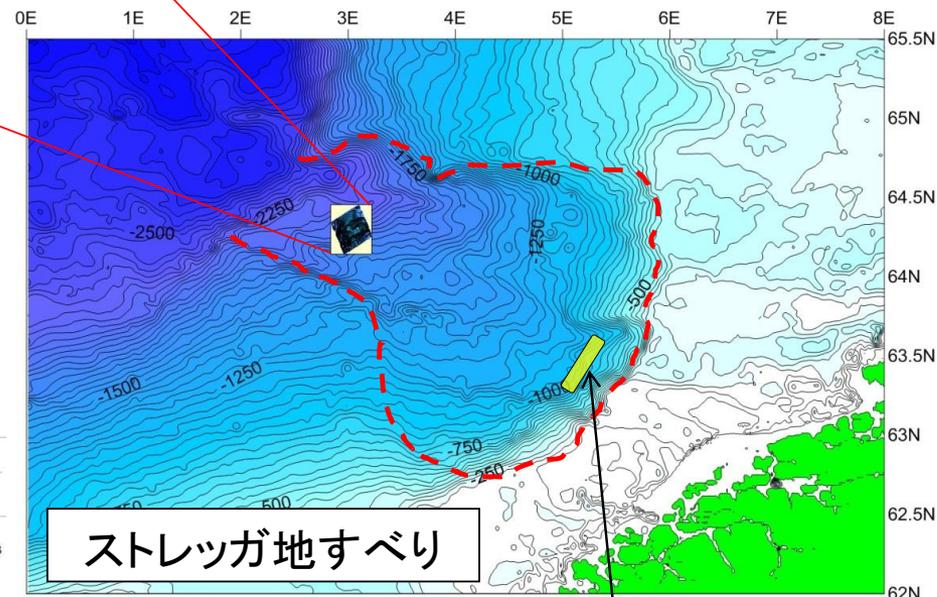
同スケール



四国面積
18,803.87km²



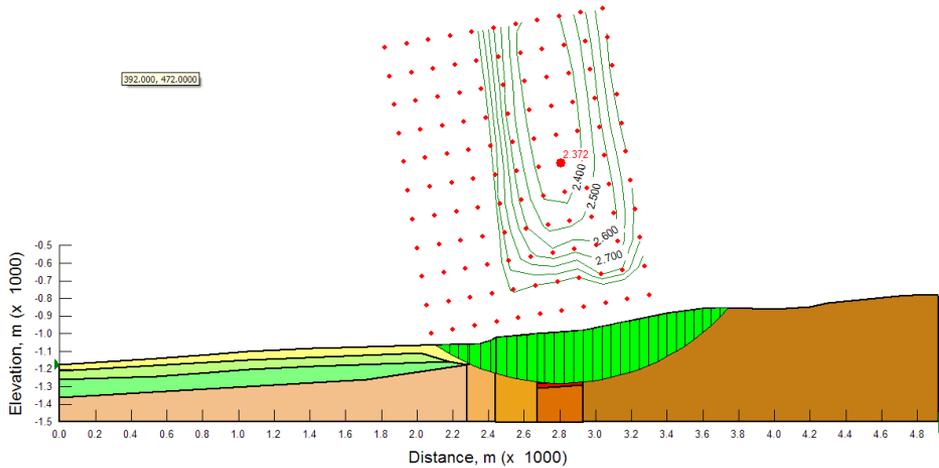
東部南海トラフ
地震探査面積
約12,000km²



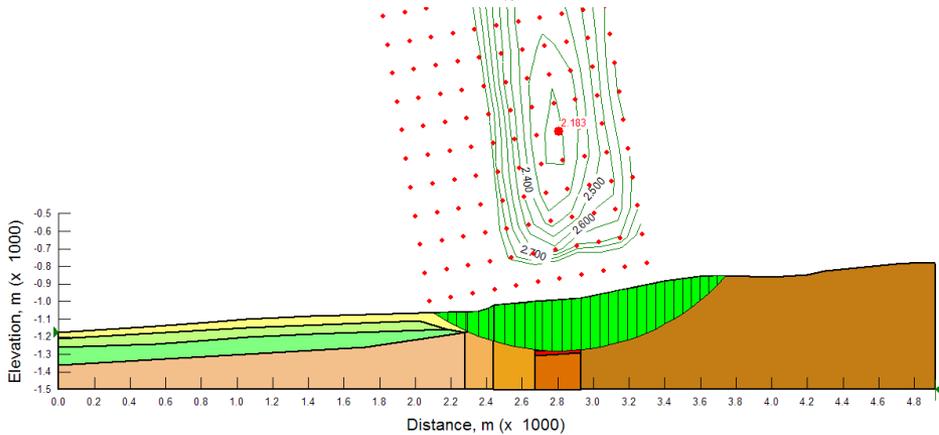
ストレッガ地すべり

Ormen Lange天然ガスフィールド

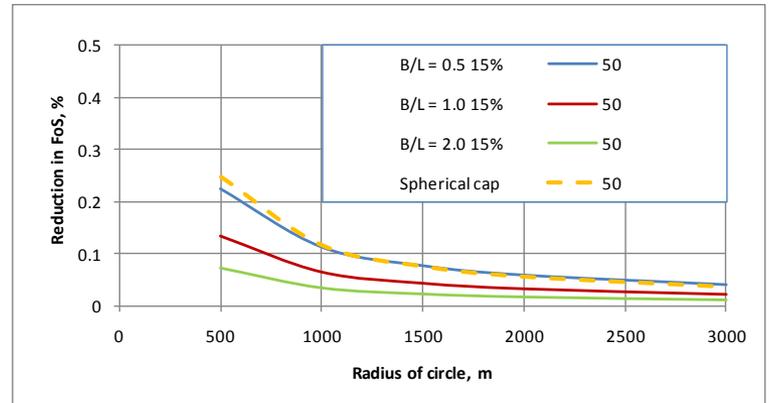
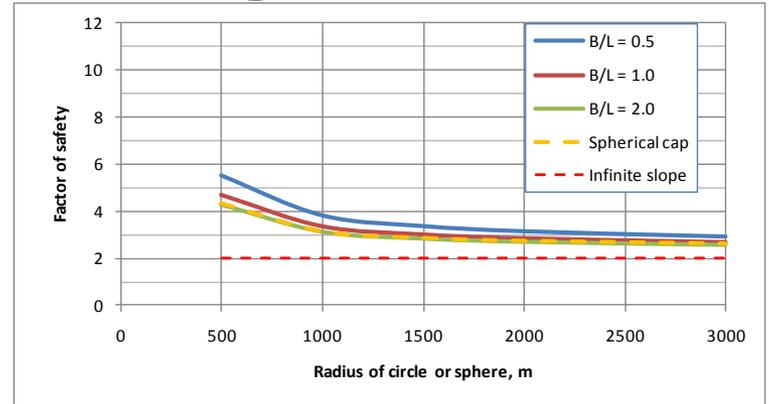
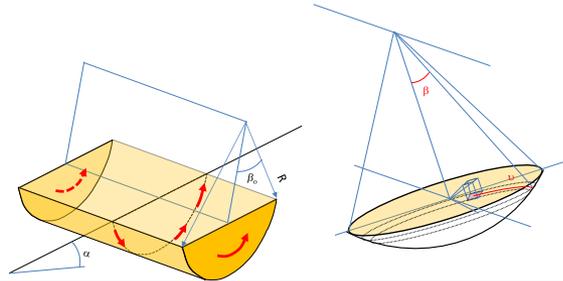
MH分解による海底の安定性の変化予測



Profile MH-A1 0%reduction



Profile MH-A1 50%reduction



円弧すべりを仮定しての、地層強度低下前と50%低下時の安全率変化(2.372→2.183)

地すべり帯規模と安全率の関係

減圧法のエネルギー効率

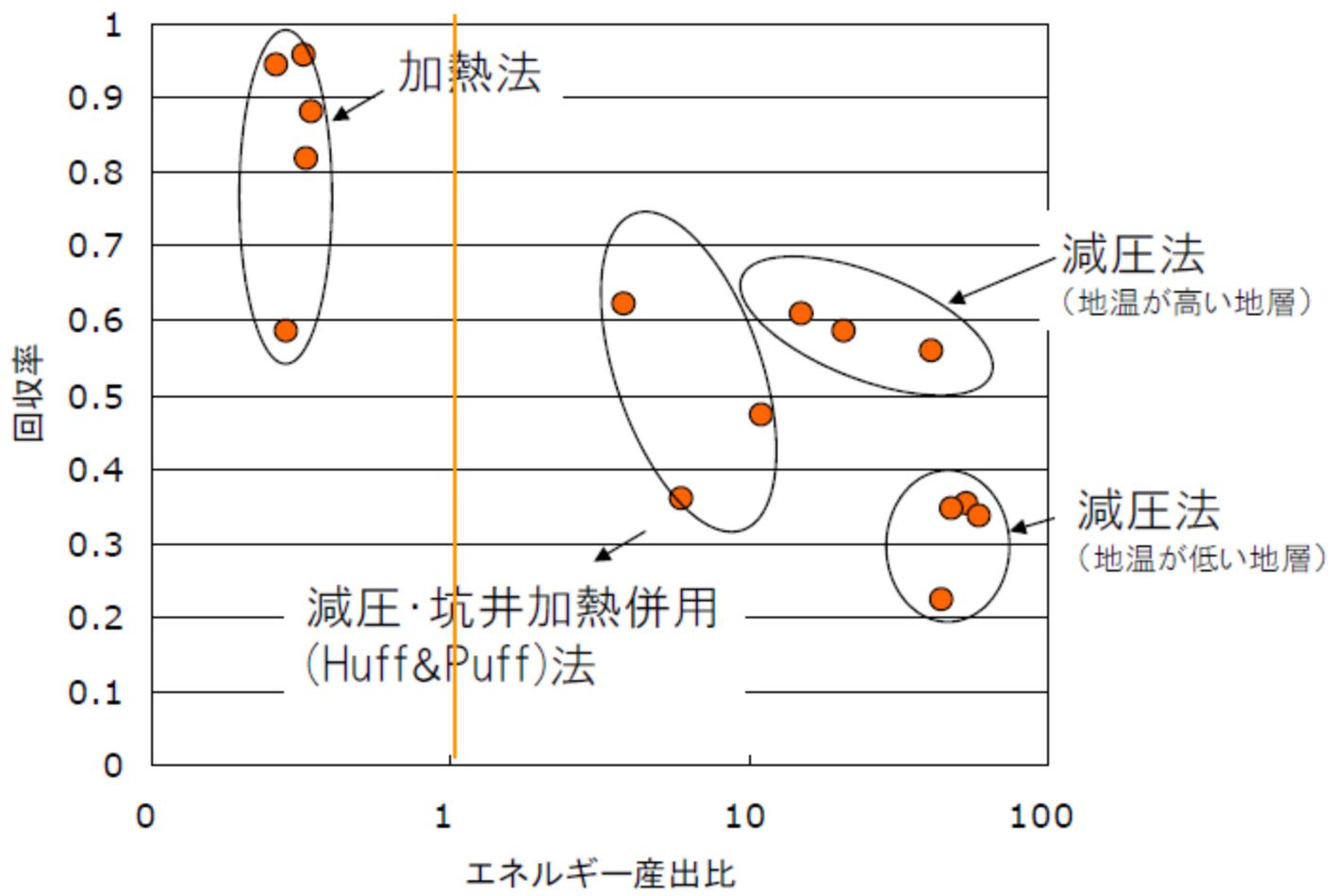
分解熱と燃焼熱の関係

- 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、
1.16x10⁻³ (m³/sec)x10E6(N/m²)=1.16x10⁴ (Nm/sec)=11.6(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**

生産手法とエネルギー収支・回収率



減圧法の回収率は地層温度に依存する

開発システムの概要 と技術開発要素

ガスの輸送手段
(パイプライン・LNG・CNG等)

洋上生産設備 (プラットフォーム、セパレータ、コンプレッサー等)、LNG/CNG設備

大水深の浅い井戸を短時間で合理的に掘削できる試掘・テスト・坑井掘削船

作業のサポート体制

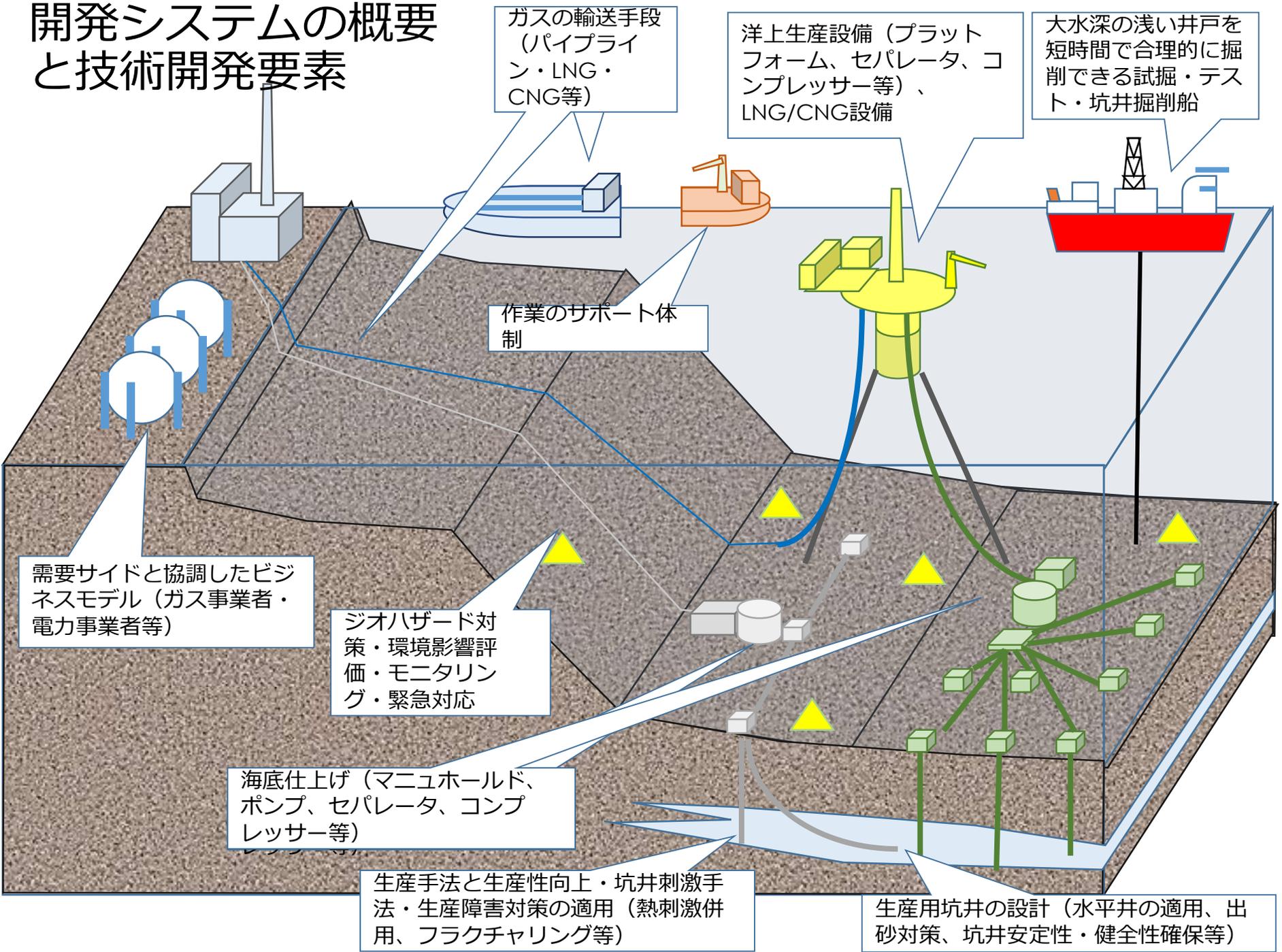
需要サイドと協調したビジネスモデル (ガス事業者・電力事業者等)

ジオハザード対策・環境影響評価・モニタリング・緊急対応

海底仕上げ (マニユールド、ポンプ、セパレータ、コンプレッサー等)

生産手法と生産性向上・坑井刺激手法・生産障害対策の適用 (熱刺激併用、フラクチャリング等)

生産用坑井の設計 (水平井の適用、出砂対策、坑井安定性・健全性確保等)



開発システムの概要 と技術開発要素

洋上生産設備（プラットフォーム、セパレータ、コンプレッサー等）と油層のための設備の検討
日本近海の気象・海象に適し、かつ経済的なシステムの検討が必要
フェーズ3中は気象・海象・海底地盤等の基礎的条件的データ収集・評価を行う。

社会に受け入れられる技術であるための検討
ジオハザード対策・環境影響評価・モニタリング手法・緊急対応などの立案が必要
フェーズ3中は考えられるリスクの抽出と評価手法の検討を進める。

掘削・開発のための作業体制構築
大水深の浅い井戸を短時間で合理的に掘削できる手法や、試掘・テスト・坑井掘削を合理的に行うための船等
フェーズ3中は掘削技術を中心に基本的な考えを整理

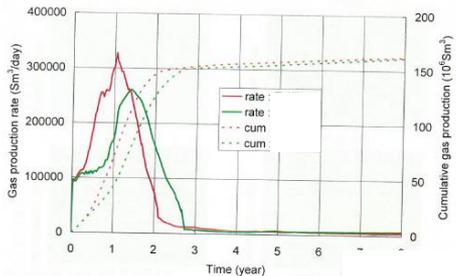
需要サイドと協調したビジネスモデルの検討
需要家（ガス事業者・電力事業者等）の期待と、それらに適したガスの輸送・提供手段の検討（パイプライン、LNG/CNG化他）が必要
フェーズ3中は需要サイドの要求事項調査と、経済性・エネルギー収支を考慮した各手法の特性評価を進める。

障害を防止し、生産性・回収率を高め、経済性を高めるための手法の開発
生産挙動の把握、出砂対策、生産手法と生産性向上・坑井刺激手法・生産障害対策の適用（熱刺激併用、フラクチャリング等）
フェーズ3中は海洋・陸上の産出試験を通じて、地下で発生する現象への理解を深める。

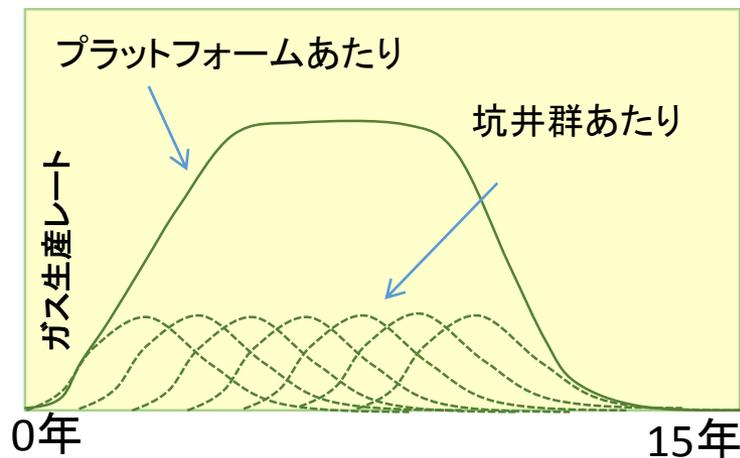
海底仕上げ（マニホールド、ポンプ、セパレータ、コンプレッサー等）
既存の大水深開発のための技術の応用であるが、ハイドレートに適した簡易化・コスト低減が課題
フェーズ3中にフローアシュアランス等の技術課題を抽出し基礎的な検討を行う。

各個別坑井の生産挙動予測結果

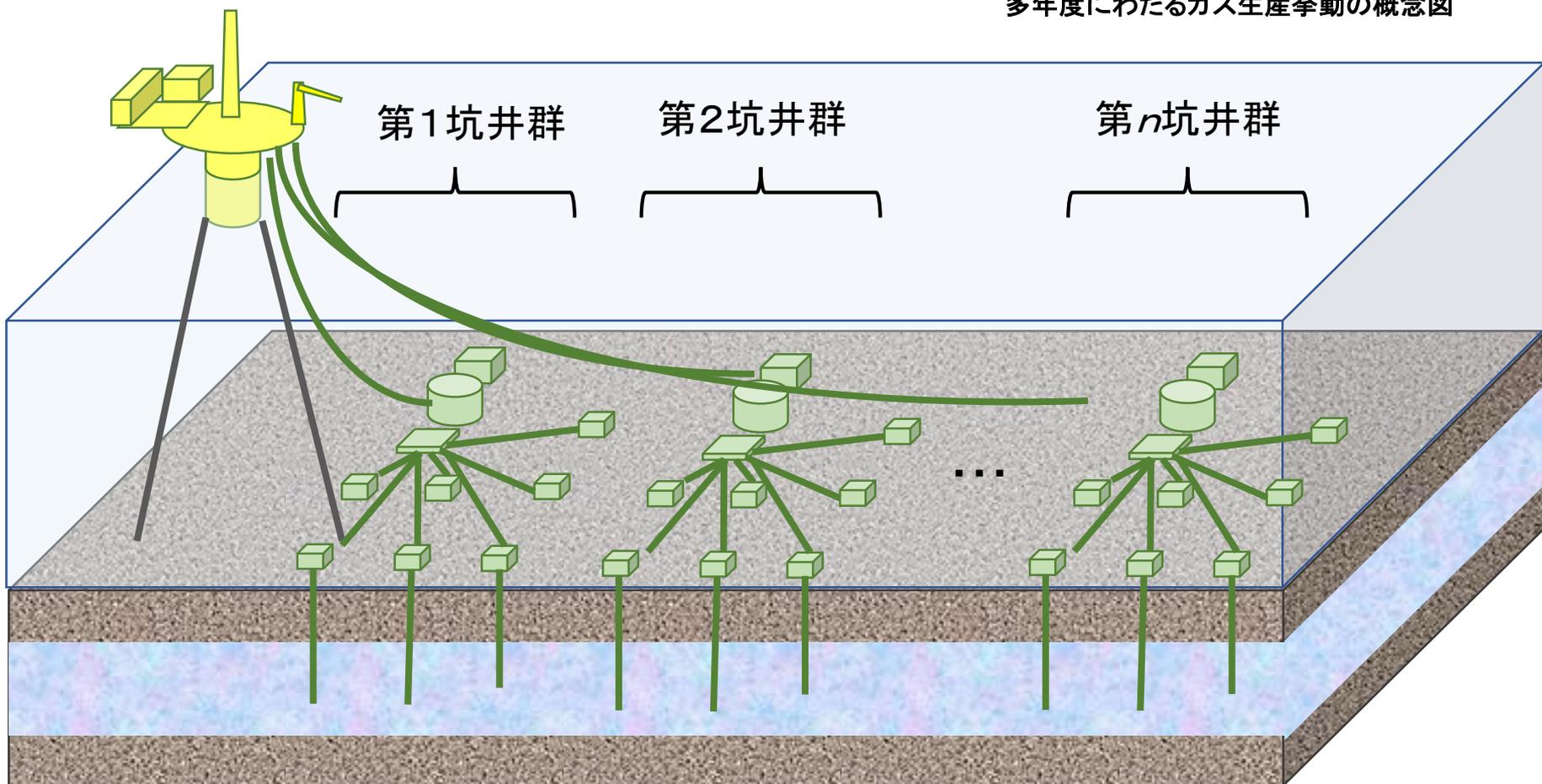
- ・ 東部南海トラフα濃集帯の貯留層条件に減圧法を適用
- ・ 排ガス半径(断熱・遮水境界)を設定した軸対称モデルで計算



各坑井の生産期間=8年
 プロジェクト期間= 15年
 坑井数= 7坑井×7坑井群= 49坑
 各坑井の平均生産レート=5.56万
 m³/day



多年度にわたるガス生産挙動の概念図



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らないか？

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・安定的に海底の坑井で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

開発システムの検討に向けて：今後研究が必要な要素

- 将来のモノづくりに向けて、条件をきちんと調べる
ことが現在の課題
 - ハイドレートの生産手法を開発して、フィールドで検証する
 - 生産挙動と、それに影響を与える要因を知る
 - 気象・海象・防災・環境への影響など、外的環境を知る
 - コスト・需要など、社会的環境を知る
- その上で、
 - 具体的な装置の設計
 - ビジネスの仕組み（誰が何をどうする、お金はどうする）の組み立て
 - 産業を支える仕組み・インフラの整備が始まる