

砂層型メタンハイドレートフォーラム 2022

# システム思考アプローチによる 商業化に向けた検討

MH21-S研究開発コンソーシアム (MH21-S)  
商業化に向けた検討チーム (JMH) 長久保定雄

2022年12月7日 (水)

# 本日の内容

---

1. 商業化に向けた検討チームの目的と実施内容
2. システム思考（システムズ・アプローチ）とは
3. システム思考の考え方とわれわれのアプローチ
4. これからの予定

# 1. 商業化に向けた検討チームの目的と実施内容

---

# 背景と目的（フェーズ4 実行計画の記載）

八) 経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

## <実施内容>

商業化に必要な要件について検討し、旧開発計画で整理した事業化シナリオ案等の改定を継続する。

① 旧開発計画で示された課題を基に商業化に必要な要件を抽出する。また、旧開発計画で整理した事業化シナリオ案を改定するための情報を収集し、開発システムを再検討し、経済性評価を実施する。

（継続的实施）

## <実施方法>

旧開発計画で示された課題を基に商業化に必要な要件を抽出する。また、要件に関する情報収集を行う。

また、多様な濃集帯条件、濃集帯周辺の自然・インフラ条件などを考慮して開発システムを検討するとともに、多様な濃集帯条件について経済性が評価できる手法もしくはツールを構築する。

更に、上記結果を基に、旧開発計画で整理した事業化シナリオ案を改定する。

# 商業化に向けた検討チームの考え方

フェーズ4

- 三次元地震探査
- 試掘
- 次フェーズ 海洋産出試験
- パイロット試験

商業化までの時間（開発研究期間）

情勢をにらみながら「あるべき姿」や「課題」を改定

### 開発実現性を評価

- 必要な要件の抽出
- 開発システム再検討
- 経済性評価

課題抽出

課題の解決

ギャップ（課題） + 商業化までの時間

今日の内容

ギャップ（課題）

現状

事業化シナリオ

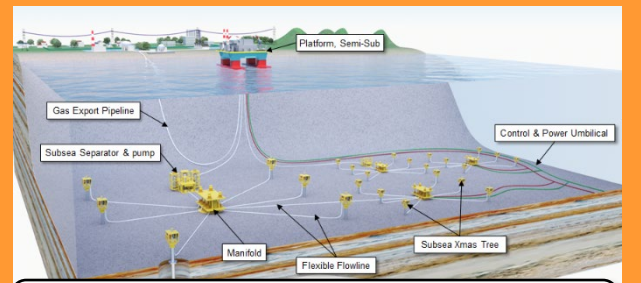
| 項目       | 現状      | 課題     | 解決策    | リスク   |
|----------|---------|--------|--------|-------|
| 1. 資源評価  | 探査データ不足 | 資源量不明  | 追加探査実施 | 評価遅延  |
| 2. 技術開発  | 従来技術    | 新技術未成熟 | 共同開発   | コスト超過 |
| 3. 経済性   | 高コスト    | 採算不明   | 効率化    | 採算悪化  |
| 4. 環境・社会 | 規制不明    | 社会受容性低 | 規制対応   | 事業遅延  |

どこまでに何を解決しておかなければならないのか？

いつまでに

## 商業生産

### あるべき姿



### 商業化の大前提

- 開発システムが構築できる
- 経済性が確保できる

加えて

### 外部環境の確保

- 外部資金を調達できる
- 販売先が確保されている
- 法規制的に問題がない
- インフラに適合できる
- 社会的受容性が確保されている

図出典: 砂層型メタンハイドレートフォーラム 2019資料に一部加筆

# 検討の困難さ ～課題と解決方法

外部環境は社会状況を踏まえており、トレードオフ関係を持つ要素もある。それらを総合して現時点でMH開発の実現性を考えていくことは、複雑で難解な方程式を解くようなものである。現時点で外部環境まで考慮してMH開発の商業化を考える難しさを、鈴木ほか（2022）の言葉を借りれば以下の通りとなる。

- ① 不確実を有した技術的な検討事項が多く、広大な探索空間から開発コンセプトの評価・検討が困難
- ② 商業化時は金融機関や地方自治体など多くのステークホルダーとの連携が必要であり、それらの意見を取り入れなければ商業化という目的からプロジェクトが乖離してしまう

出典: 鈴木健也・和田良太・今野義浩・稗方和夫・長久保定雄（2022）:メタンハイドレート開発の商業化に向けた協創的アプローチの提案, 石油技術協会令和4年度春季講演会個人講演

長久保定雄・阿部正憲（2022）:メタンハイドレート開発の商業化に向けた検討とカーボンニュートラル, 天然ガス, No.3

この複雑で難解な方程式を解くために、商業化に向けた検討チームでは、東京大学グループ（今野准教授、稗方教授、和田准教授）のご協力のもと、システム思考によるシステムズ・アプローチを導入することとした。

## 2. システム思考（システムズ・アプローチ）とは

---

# システム思考（システムズ・アプローチ）で進める

## システム思考とは？

複雑化する社会、言い換えれば、「複数の要素が密接につながり合い、協働し合う＝システム化する」社会においてモノ（製品）づくり・コト（サービスや体験）づくりに不可欠な要素である顧客の要望や自社のコア技術などを俯瞰的に捉えて見える化し、適切に検討して創発することで、DX（デジタルトランスフォーメーション）を成功に導く――。

## 印象に残る言葉（発表者抽出）

- 「カンと経験」は変化と未知に弱い
- 産業や社会の複雑さに伴う「意思決定の困難さ」
- プラスにもマイナスにもなる「機能の足し算」
- 既存技術やアイデアにこだわる危険性



出典：稗方 和夫; 高橋 裕. システム思考がモノ・コトづくりを変える



### 3. システム思考の考え方とわれわれのアプローチ

---

# システム思考の考え方とわれわれのアプローチ

| システム思考の考え方            |                            | 商業化に向けた検討チーム   |  |
|-----------------------|----------------------------|--|--|
| プロセス                  | 成果物                        | CN宣言前  | 現在とこれから  |
| ①ステークホルダー分析           | ステークホルダーバリューネットワーク図 (SVN図) | SVN図はすでに構築済。金融機関、電力・都市ガス会社にヒアリングを実施し、要求事項を整理。法規制調査を実施。 | 2050年CNによってステークホルダーの考え方が変化しているので再ヒアリング。CNに合わせた法規制調査も必要か。 |
| ②要求分析                 | ステークホルダーの機能要求と非機能要求        |  |  |
| ③要件定義とシステム・アーキテクチャの分析 | 機能と手段のモデル                  | 3つの開発システムを設定し、MH開発の機能と手段を抽出・整理。                        | CNの考え方を反映した新しい開発の機能と手段を再抽出・整理 (Bias Breaking WS結果を使って)。  |
| ④設計空間の構築 (創造)         | 設計項目と選択肢                   | 3つの開発システムに対する設計空間を構築。                                  | 新しい開発システムに対する設計空間を構築するとともに。その実現可能性について検討。                |
| ⑤解決案の検討 (シミュレーション開発)  | 設計項目の評価が可能なシミュレーション        | 様々な評価軸でMH開発の可能性を評価できる「開発意思決定支援ツール」の基盤を構築。              | ステークホルダーの新しい要求を評価モデルに加える。                                |
| ⑥シミュレーションモデルを利用した意思決定 | 選択肢に対するシステムの多軸の性能予測値       | ツールと評価モデルの検証のみ実施。                                      | 開発意思決定支援ツールをステークホルダーに試してもらい改良。                           |

# ステークホルダー分析と要求分析

| システム思考の考え方            |                            | 商業化に向けた検討チーム   |  |
|-----------------------|----------------------------|--|--|
| プロセス                  | 成果物                        | CN宣言前  | 現在とこれから  |
| ①ステークホルダー分析           | ステークホルダーバリューネットワーク図 (SVN図) | SVN図はすでに構築済。金融機関、電力・都市ガス会社にヒアリングを実施し、要求事項を整理。法規制調査を実施。 | 2050年CNによってステークホルダーの考え方が変化しているので再ヒアリング。CNに合わせた法規制調査も必要か。 |
| ②要求分析                 | ステークホルダーの機能要求と非機能要求        |  |  |
| ③要件定義とシステム・アーキテクチャの分析 | 機能と手段のモデル                  | 3つの開発システムを設定し、MH開発の機能と手段を抽出・整理。                        | CNの考え方を反映した新しい開発の機能と手段を再抽出・整理 (Bias Breaking WS結果を使って)。  |
| ④設計空間の構築 (創造)         | 設計項目と選択肢                   | 3つの開発システムに対する設計空間を構築。                                  | 新しい開発システムに対する設計空間を構築するとともに。その実現可能性について検討。                |
| ⑤解決案の検討 (シミュレーション開発)  | 設計項目の評価が可能なシミュレーション        | 様々な評価軸でMH開発の可能性を評価できる「開発意思決定支援ツール」の基盤を構築。              | ステークホルダーの新しい要求を評価モデルに加える。                                |
| ⑥シミュレーションモデルを利用した意思決定 | 選択肢に対するシステムの多軸の性能予測値       | ツールと評価モデルの検証のみ実施。                                      | 開発意思決定支援ツールをステークホルダーに試してもらい改良。                           |



# ステークホルダー再分析（例：オフテイカー）

## カーボンニュートラル宣言前

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| オフテイカー（購入先）候補               | 電力会社、ガス会社  |
| 販売物                         | 生ガス、LNG  |
| オフテイカーの購入条件<br>（ヒアリング結果による） | <ul style="list-style-type: none"> <li>● LNG CIF価格より低価格で販売</li> <li>● 長期安定供給</li> <li>● 会社の天然ガスインフラ場所まで届けてほしい（新規設備なし）</li> </ul> |



## 2050年カーボンニュートラル（CN）宣言と燃料転換



## カーボンニュートラル宣言後

|               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| オフテイカー（購入先）候補 | 電力会社、ガス会社の他にも現在調査中             |
| 販売物           | 生ガス、LNGの他に電力、水素、アンモニアは考えられないか？ |
| オフテイカーの購入条件   | オフテイカーの新しい考え方をヒアリングなどを通じて現在調査中 |

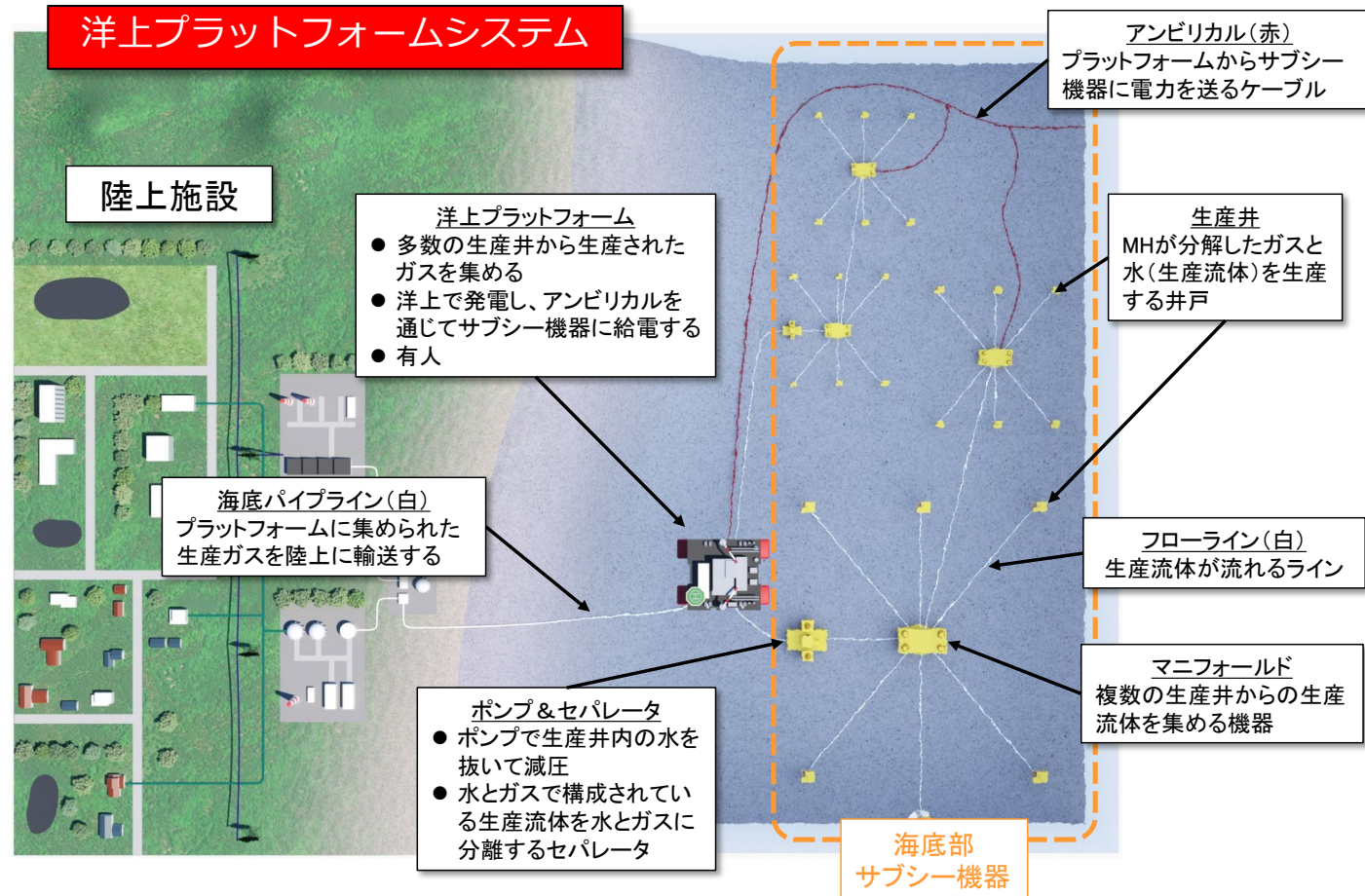
# 要件定義とシステム・アーキテクチャの分析

| システム思考の考え方            |                            | 商業化に向けた検討チーム   |  |
|-----------------------|----------------------------|--|--|
| プロセス                  | 成果物                        | CN宣言前  | 現在とこれから  |
| ①ステークホルダー分析           | ステークホルダーバリューネットワーク図 (SVN図) | SVN図はすでに構築済。金融機関、電力・都市ガス会社にヒアリングを実施し、要求事項を整理。法規制調査を実施。 | 2050年CNによってステークホルダーの考え方が変化しているので再ヒアリング。CNに合わせた法規制調査も必要か。 |
| ②要求分析                 | ステークホルダーの機能要求と非機能要求        |  |  |
| ③要件定義とシステム・アーキテクチャの分析 | 機能と手段のモデル                  | 3つの開発システムを設定し、MH開発の機能と手段を抽出・整理。Bias breaking WSを開催。    | CNの考え方を反映した新しい開発の機能と手段を再抽出・整理 (Bias Breaking WS結果を使って)。  |
| ④設計空間の構築 (創造)         | 設計項目と選択肢                   | 3つの開発システムに対する設計空間を構築。                                  | 新しい開発システムに対する設計空間を構築するとともに。その実現可能性について検討。                |
| ⑤解決案の検討 (シミュレーション開発)  | 設計項目の評価が可能なシミュレーション        | 様々な評価軸でMH開発の可能性を評価できる「開発意思決定支援ツール」の基盤を構築。              | ステークホルダーの新しい要求を評価モデルに加える。                                |
| ⑥シミュレーションモデルを利用した意思決定 | 選択肢に対するシステムの多軸の性能予測値       | ツールと評価モデルの検証のみ実施。                                      | 開発意思決定支援ツールをステークホルダーに試してもらい改良。                           |

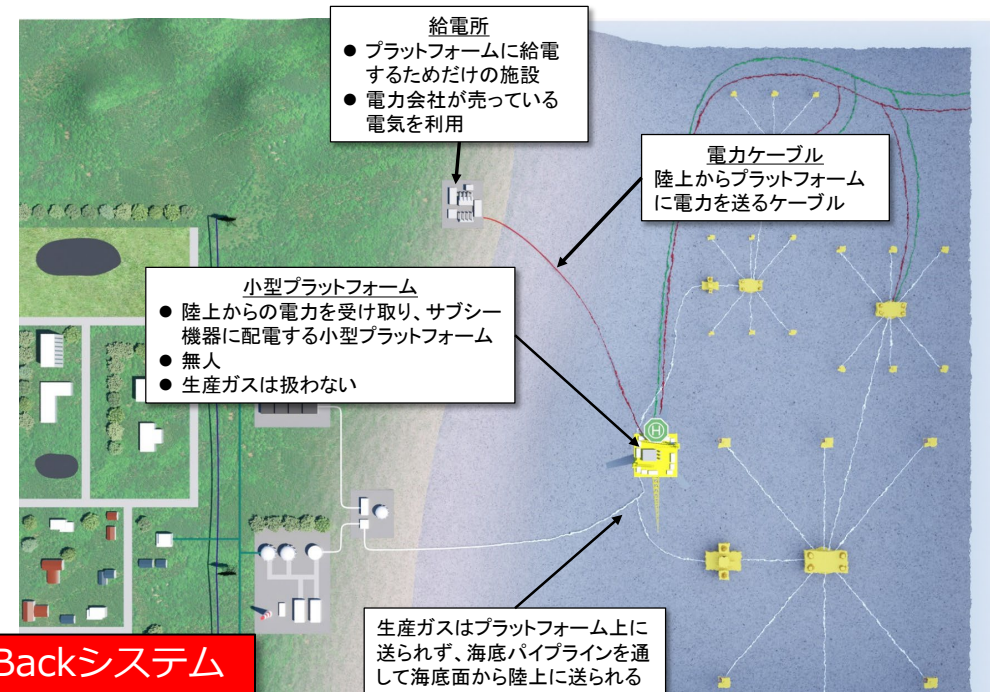
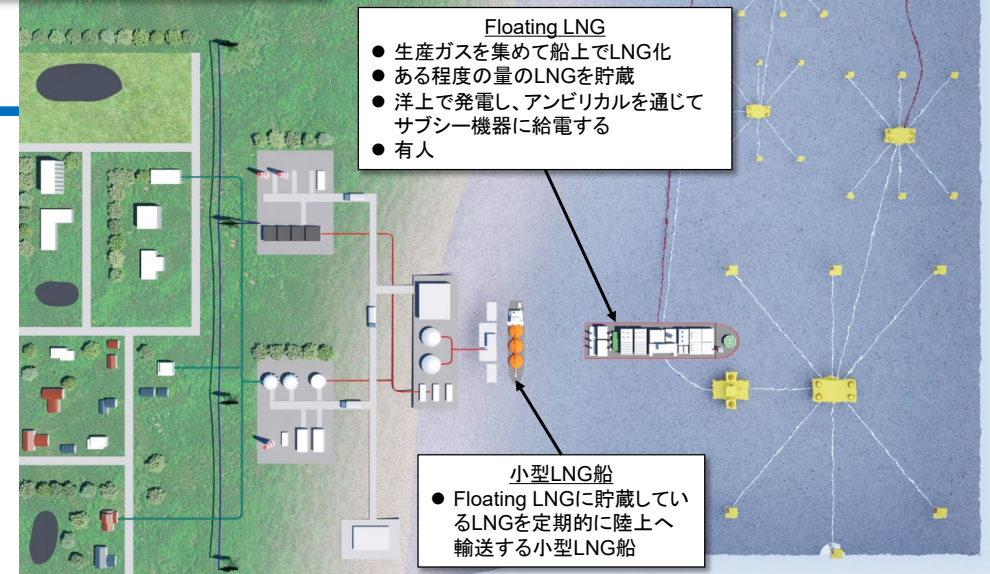


# CN宣言前に考えていた ビジネスモデルと開発システム

## 洋上プラットフォームシステム



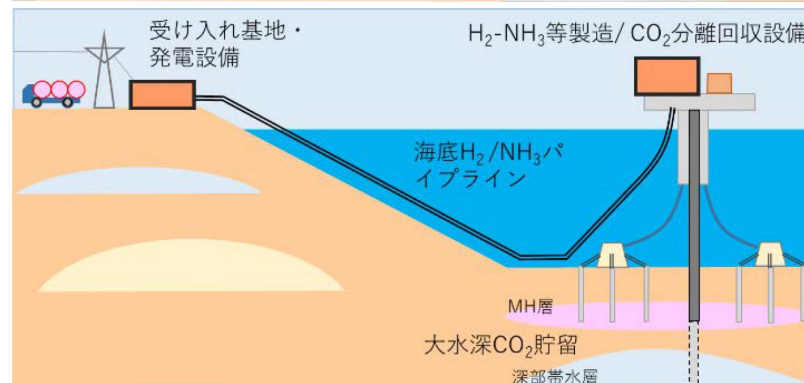
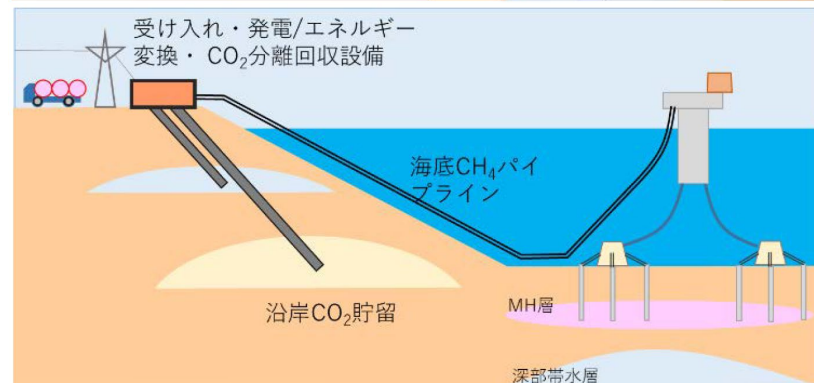
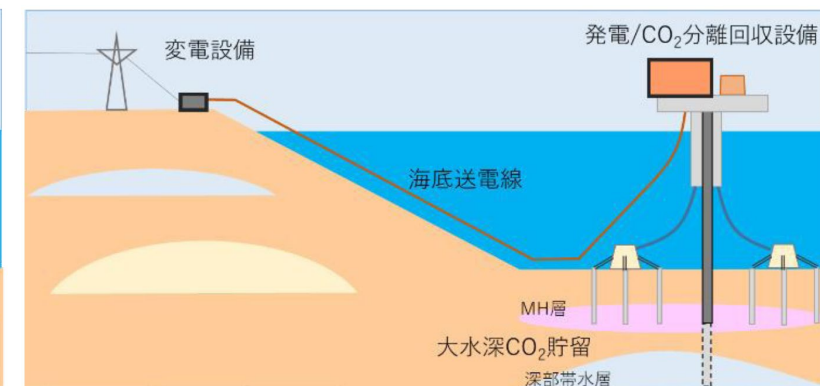
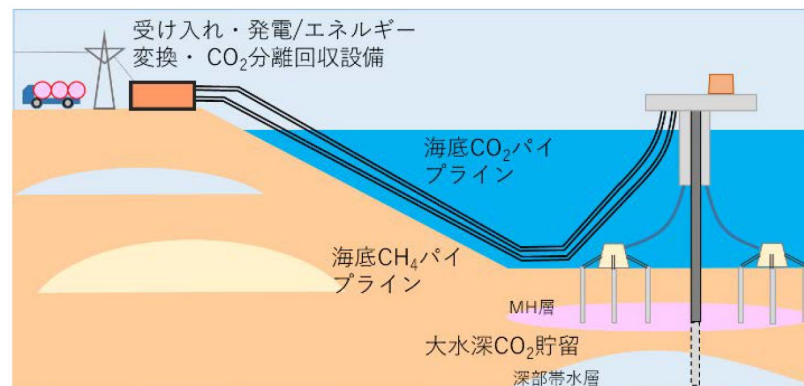
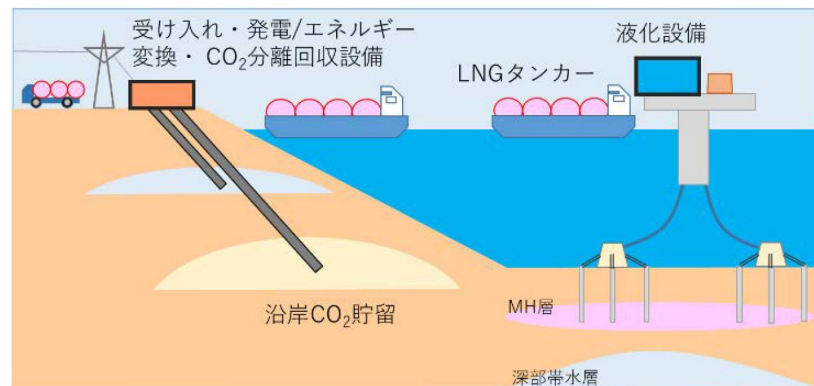
## FLNGシステム



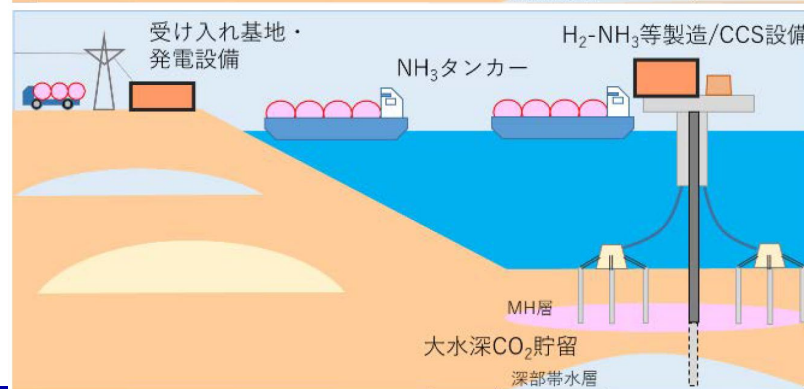
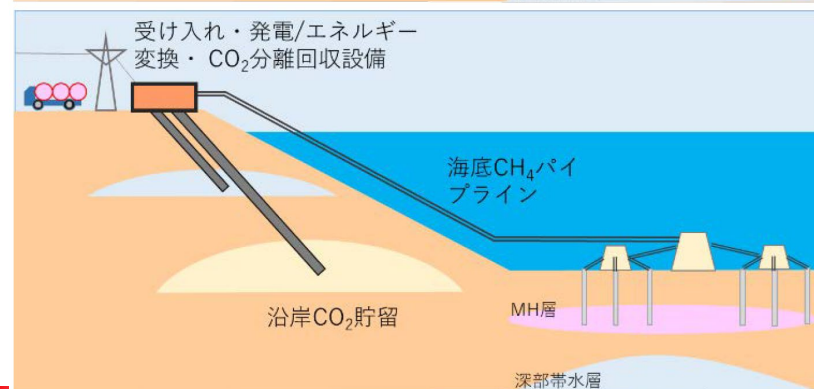
## Long Tie-Backシステム



# CN宣言後に考えたビジネスモデルと開発システム



- 課題は多くある
- 大水深洋上発電・プラント（水素・アンモニア製造）は現在、世界的に見ても存在しない
  - 日本の現法規制では陸上でのCCSは認められていない
  - MH層が存在する場所にCCSに適した貯留層が存在するとは限らない



図出典:

山本晃司, 阿部正憲, 天満則夫

「日本近海のメタンハイドレート開発におけるカーボンニュートラルの達成に向けた課題」

エネルギー・資源 42 (6), 376-381, 2021-11



# 新しいアイデアを生み出す Bias Breaking Workshop

混沌とした状況の中、ビジネスモデル、開発システムを考え直さなければならなくなった



## Bias Breaking Workshop<sup>(1)</sup>

これまでの考え方 (Bias) を壊しながら (Breaking)、みんなで考える (Workshop)

## Workshopの目的

7つの開発コンセプトの検証と新しいアイデアの創出

- 7つの開発コンセプトについて、他専門の目から見て問題はないかを検証する
- 7つの開発コンセプト以外に新しいアイデアが出てくる可能性がある



これまで考えなかった新しいアイデアが創出された

大学生を対象にしたWS



7/12 MH21-S内を対象としたWS



9/8 日本エネルギー学会  
GH研究会を対象としたWS



12/13 MH21-S外注先を対象としたWS



開発システム (ビジネスモデル) 検討  
(商業化に向けた検討チーム内)



開発実現性評価  
経済性評価



ステークホルダーにヒアリング  
受け入れ可能なビジネスモデルか？

WS協力:

東京大学 今野義浩准教授、稗方和夫教授、和田良太准教授、  
学生のみなさん

<sup>(1)</sup> Sixiong PENG, Lorena PELEGRIN, Patricia ARNAL LUNA, Hideyuki HORII and Bryan R. MOSER(2019), " Problem Exploration with Bias Breaking Ideation for Maritime Emissions Reduction", p115-p124

# 設計空間の構築（創造）

| システム思考の考え方            |                           | 商業化に向けた検討チーム   |  |
|-----------------------|---------------------------|--|--|
| プロセス                  | 成果物                       | CN宣言前  | 現在とこれから  |
| ①ステークホルダー分析           | ステークホルダーバリューネットワーク図（SVN図） | SVN図はすでに構築済。金融機関、電力・都市ガス会社にヒアリングを実施し、要求事項を整理。法規制調査を実施。 | 2050年CNによってステークホルダーの考え方が変化しているので再ヒアリング。CNに合わせた法規制調査も必要か。 |
| ②要求分析                 | ステークホルダーの機能要求と非機能要求       |  |  |
| ③要件定義とシステム・アーキテクチャの分析 | 機能と手段のモデル                 | 3つの開発システムを設定し、MH開発の機能と手段を抽出・整理。                        | CNの考え方を反映した新しい開発の機能と手段を再抽出・整理（Bias Breaking WS結果を使って）。   |
| ④設計空間の構築（創造）          | 設計項目と選択肢                  | 3つの開発システムに対する設計空間を構築。                                  | 新しい開発システムに対する設計空間を構築するとともに。その実現可能性について検討。                |
| ⑤解決案の検討（シミュレーション開発）   | 設計項目の評価が可能なシミュレーション       | 様々な評価軸でMH開発の可能性を評価できる「開発意思決定支援ツール」の基盤を構築。              | ステークホルダーの新しい要求を評価モデルに加える。                                |
| ⑥シミュレーションモデルを利用した意思決定 | 選択肢に対するシステムの多軸の性能予測値      | ツールと評価モデルの検証のみ実施。                                      | 開発意思決定支援ツールをステークホルダーに試してもらい改良。                           |

# 設計空間 (Morphological Matrix) 案

|      | 洋上生産物 | 洋上プラットフォーム         | 生産水処理   | 洋上オプション | 輸送       | 陸上施設        | CO2処理      |
|------|-------|--------------------|---------|---------|----------|-------------|------------|
| 選択肢1 | 生ガス   | なし (Long Tie-Back) | 海洋放出    | 洋上風力発電  | 海底パイプライン | 既存インフラつなぎこみ | 処理なし       |
| 選択肢2 | LNG   | 洋上ガス生産             | 地層圧入    | 温度差発電   | シャトルタンカー | 既存発電所       | 大水深CCS     |
| 選択肢3 | 電力    | 洋上LNG (FLNG)       | 陸上輸送&廃棄 |         | 電力ケーブル   | 既存発電所を改良    | 陸上・沿岸CCS   |
| 選択肢4 | 水素    | 洋上発電               | 陸上輸送&活用 |         |          | 既存キャリア受入基地  | ハイドレート生産増進 |
| 選択肢5 | アンモニア | 洋上水素製造             |         |         |          | 新規キャリア受入基地  | 農業利用       |
| 選択肢6 |       | 洋上アンモニア製造          |         |         |          | 変電設備        |            |
| 選択肢7 |       |                    |         |         |          | 新規エネルギー転換設備 |            |

# 開発システムの候補例

|      | 洋上生産物 | 洋上プラットフォーム         | 生産水処理   | 洋上オプション | 輸送       | 陸上施設        | CO2処理      |
|------|-------|--------------------|---------|---------|----------|-------------|------------|
| 選択肢1 | 生ガス   | なし (Long Tie-Back) | 海洋放出    | 洋上風力発電  | 海底パイプライン | 既存インフラつなぎこみ | 処理なし       |
| 選択肢2 | LNG   | 洋上ガス生産             | 地層圧入    | 温度差発電   | シャトルタンカー | 既存発電所       | 大水深CCS     |
| 選択肢3 | 電力    | 洋上LNG (FLNG)       | 陸上輸送&廃棄 |         | 電力ケーブル   | 既存発電所を改良    | 陸上・沿岸CCS   |
| 選択肢4 | 水素    | 洋上発電               | 陸上輸送&活用 |         |          | 既存キャリア受入基地  | ハイドレート生産増進 |
| 選択肢5 | アンモニア | 洋上水素製造             |         |         |          | 新規キャリア受入基地  | 農業利用       |
| 選択肢6 |       | 洋上アンモニア製造          |         |         |          | 変電設備        |            |
| 選択肢7 |       |                    |         |         |          | 新規エネルギー転換設備 |            |

現在、それぞれの要素技術の実現性・コスト評価を行っており、**実現性や経済性が低いと評価された要素技術に関してはマトリックスからはずす予定**

# 解決案の検討（シミュレーション開発）

| システム思考の考え方            |                           | 商業化に向けた検討チーム   |  |
|-----------------------|---------------------------|--|--|
| プロセス                  | 成果物                       | CN宣言前  | 現在とこれから  |
| ①ステークホルダー分析           | ステークホルダーバリューネットワーク図（SVN図） | SVN図はすでに構築済。金融機関、電力・都市ガス会社にヒアリングを実施し、要求事項を整理。法規制調査を実施。 | 2050年CNによってステークホルダーの考え方が変化しているので再ヒアリング。CNに合わせた法規制調査も必要か。 |
| ②要求分析                 | ステークホルダーの機能要求と非機能要求       |  |  |
| ③要件定義とシステム・アーキテクチャの分析 | 機能と手段のモデル                 | 3つの開発システムを設定し、MH開発の機能と手段を抽出・整理。                        | CNの考え方を反映した新しい開発の機能と手段を再抽出・整理（Bias Breaking WS結果を使って）。   |
| ④設計空間の構築（創造）          | 設計項目と選択肢                  | 3つの開発システムに対する設計空間を構築。                                  | 新しい開発システムに対する設計空間を構築するとともに。その実現可能性について検討。                |
| ⑤解決案の検討（シミュレーション開発）   | 設計項目の評価が可能なシミュレーション       | 様々な評価軸でMH開発の可能性を評価できる「開発意思決定支援ツール」の基盤を構築。              | ステークホルダーの新しい要求を評価モデルに加える。                                |
| ⑥シミュレーションモデルを利用した意思決定 | 選択肢に対するシステムの多軸の性能予測値      | ツールと評価モデルの検証のみ実施。                                      | 開発意思決定支援ツールをステークホルダーに試してもらい改良。                           |

# Model-Based Decision Support (MBDS)

- 海洋開発における意思決定の課題
  - 対象の複雑さ・不確実さに起因する意思決定自体の困難さ
  - 誰の意思決定か？（多様なステークホルダー、ガバナンス）

## Model-Based Decision Support (MBDS)が有用ではないか？

MBDS:対象状況を定量的に評価するモデルを活用した、意思決定プロセスの支援手法（参考: Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications: Andrzej *et al.*, 2000）

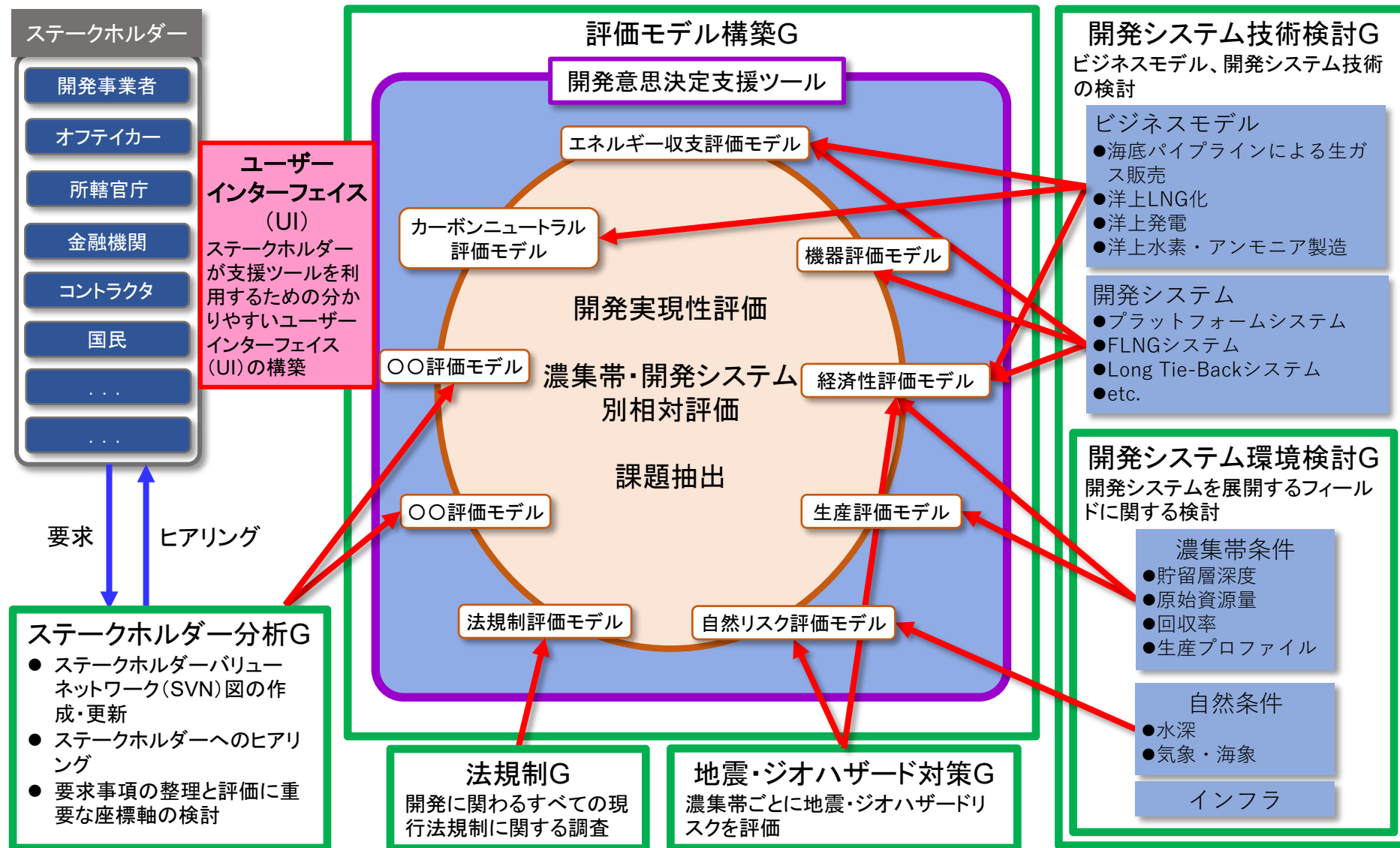
### 既往研究

|                                    | 背景  | 課題                                    | 解決案                                  |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Lawrence D. Phillips, 1991         | ● 金融機関における新しいビジネスの意思決定                      | ● モデルの透明性の欠如                          | ● ワークショップを活用したモデリング                  |
| Rebecca Smith <i>et al.</i> , 2017 | ● アメリカにおける長期的な水資源の管理<br>● モデルを活用した定量的な政策の立案 | ● プロジェクト目的とモデル意図の乖離<br>● 異分野融合させたモデル化 | ● 各分野の専門家や幅広いステークホルダーを交えたモデリング       |
| 高橋真吾, 2020                         | ● 社会システムデザイン                                | ● 状況変化に対するモデルの脆弱さ：<br>意図や静的な出力結果など    | ● 関与者の学習プロセスとしてのモデルの活用<br>● 参加型モデリング |

- 属人的なモデル化・意思決定の限界
- オープンなMBD・意思決定プロセスの重要性が既往研究でも謳われている



# 開発意思決定支援ツール構築

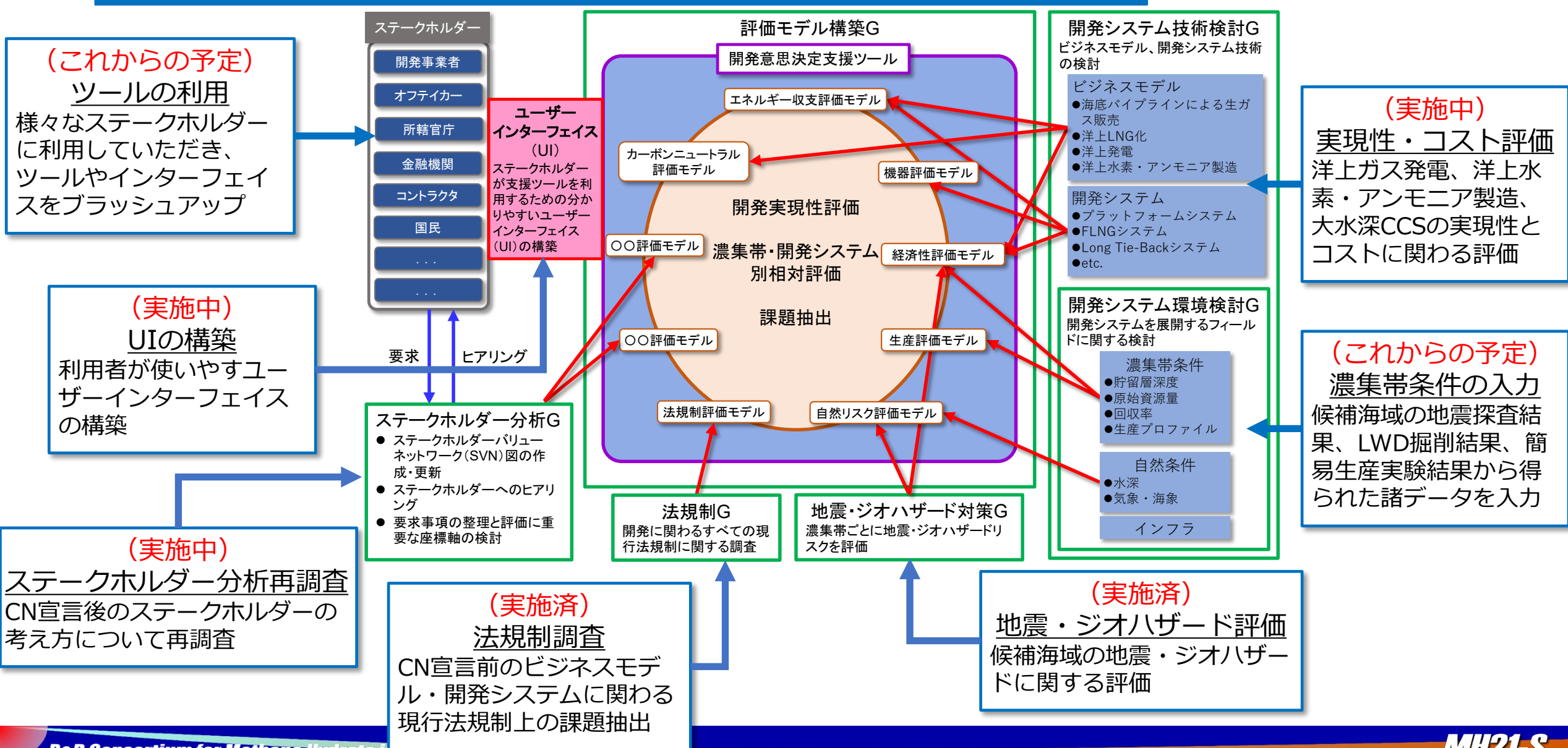


## 4. これからの方針

---



# 現状とこれからの予定



# これからの予定

## 開発意思決定支援ツールのブラッシュアップ

### ①参加型モデリングWS

- ユーザー候補による評価モデルの客観的評価
- ユーザー候補によるユーザーインターフェイスの評価

↓ブラッシュアップ

### ②シミュレーション評価WS

- ユーザー候補によるブラッシュアップ後の評価

↓更にブラッシュアップ

### 最終的な目標

ステークホルダーが利用しやすいインターフェース（UI）を持つ開発意思決定支援ツールの構築

# 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。