



---

# 天然水素開発に向けたNEDOの戦略

---

2025年10月28日

イノベーション戦略センター サステナブルエネルギーユニット  
仁木栄、加藤浩瑞、原重樹

# 目次

---

1. はじめに
2. 天然水素の研究開発・事業化の現状
3. 増進水素開発に向けたイノベーション戦略(案)
4. 今後取り組むべき研究課題(例)
5. まとめ

# 目次

## 1. はじめに

2. 天然水素の研究開発・事業化の現状

3. 増進水素開発に向けたイノベーション戦略(案)

4. 今後取り組むべき研究課題(例)

5. まとめ

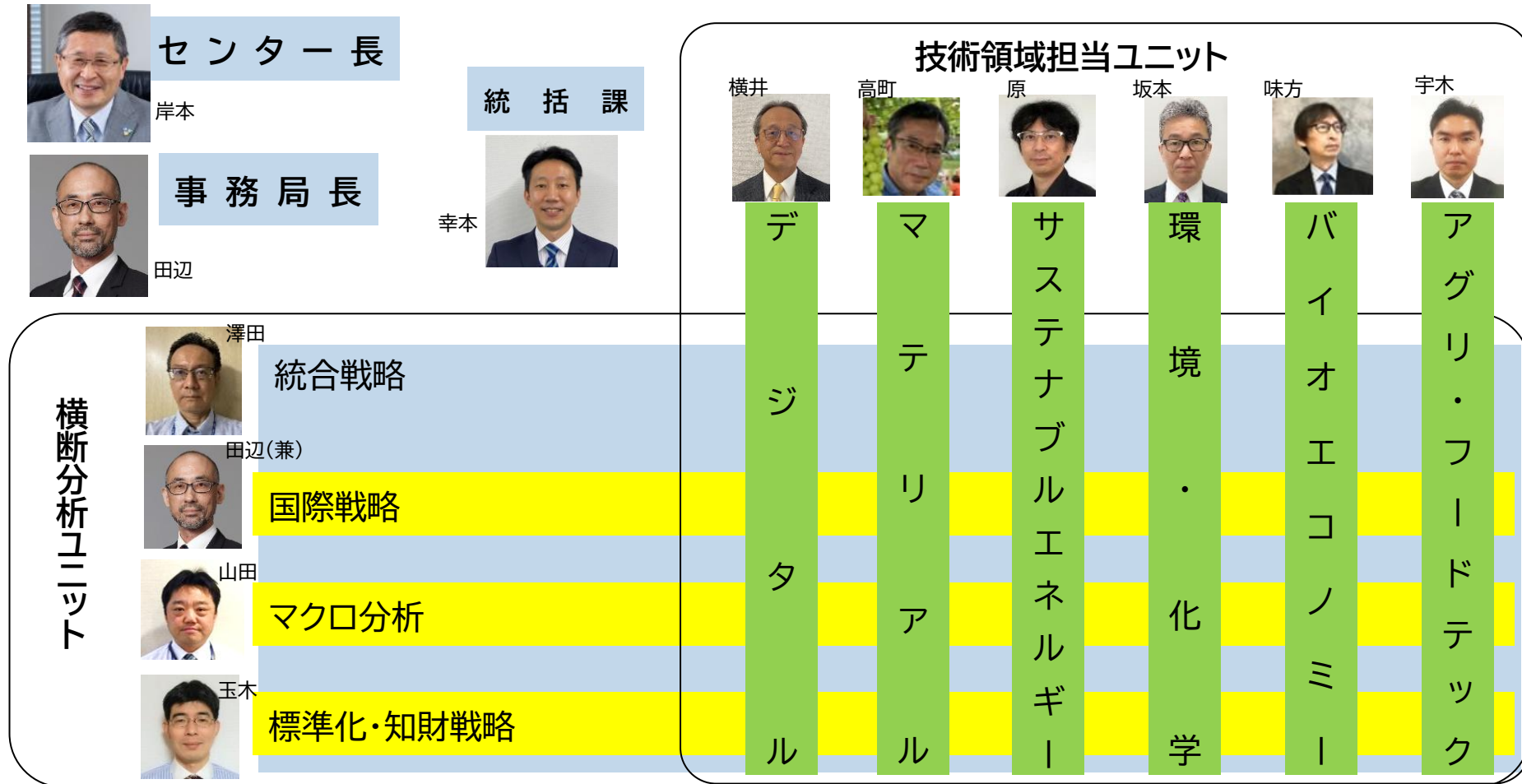
# NEDO イノベーション戦略センターの体制・人員



シンクタンクとしてNEDOプロジェクトのライフサイクル全体への貢献

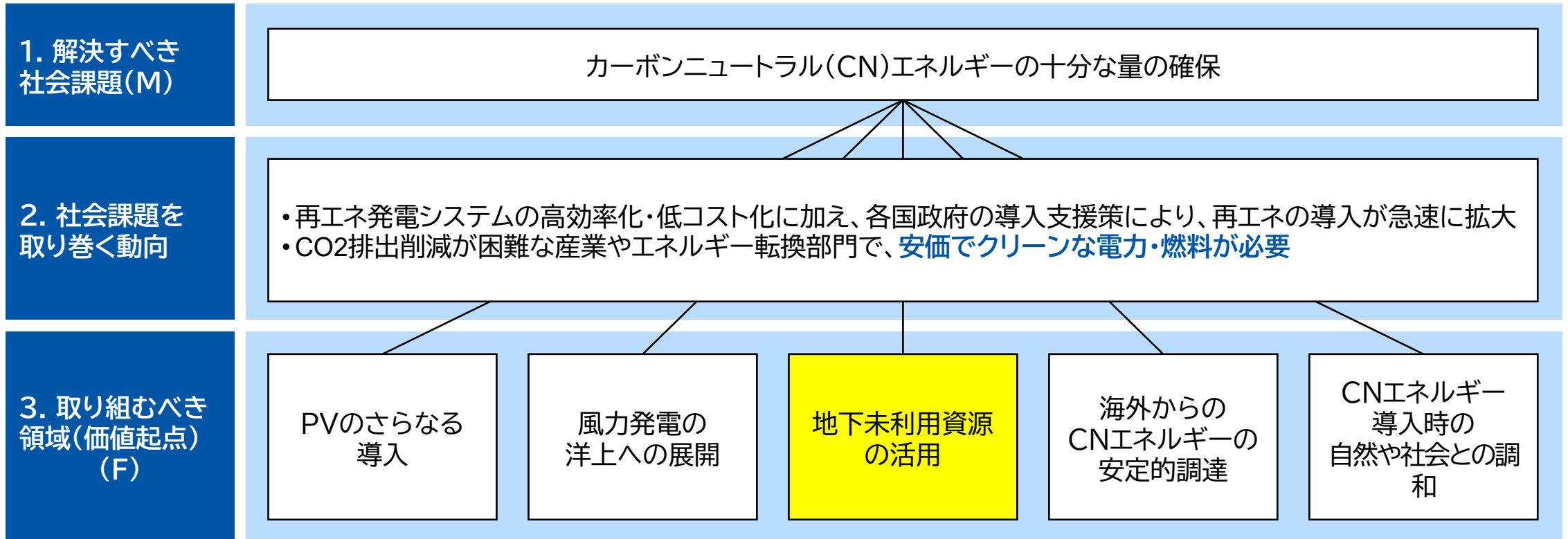
「技術ユニット」と、「横断ユニット」の連携により、重層的な調査・分析を展開。

人員 82名(2025年8月1日現在、客員フェロー・アドバイザー除く。)



# CNエネルギーを「創る」過程にフォーカスし、動向も踏まえて取り組み領域を(NEDO) 検討した結果、地下未利用資源に着目

- 目指す社会像の実現に向けて、再生可能エネルギー(再エネ)や、CCS等により化石燃料のカーボンをオフセットしたカーボンニュートラルエネルギーの十分な確保・一層の導入拡大が求められている。
- 経済規模に比して国土、平地の少ない日本において一層の導入を進めるには経済的支援のみならず、技術開発も伴った一体的な支援が必要。

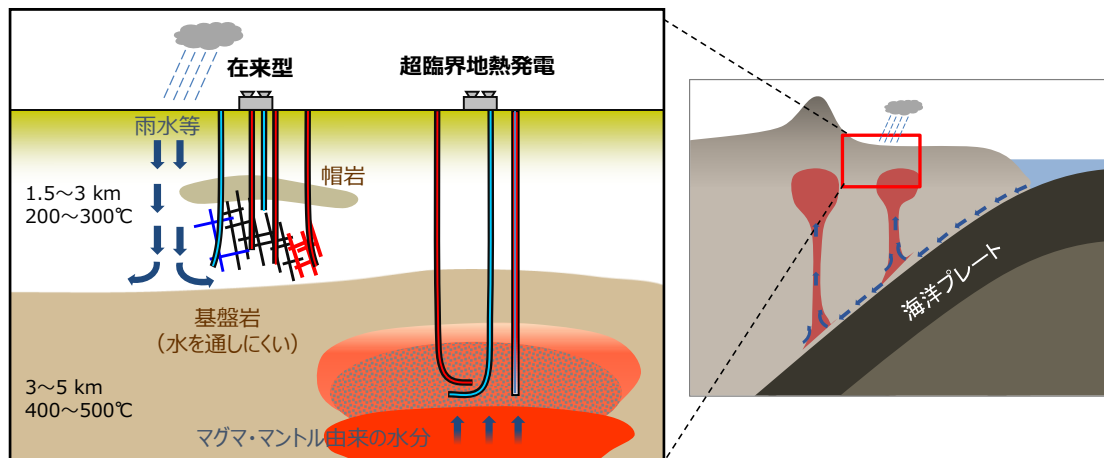


# 「地下未利用資源の活用」では、超臨界地熱発電や天然水素が「純国産エネルギー」、「安価に十分なエネルギー量」という観点で有望



## 超臨界地熱発電

- 超臨界地熱資源は**1地域あたり100MW~の規模**が見込まれる（在来型地熱発電は1地域あたり数十MW程度）
- 現状では、シミュレーションによってそのポテンシャル評価が行われているが、日本国内において実際の超臨界資源へのアプローチは実現していない。
- そこで、高温・高圧環境での**掘削技術を開発**することで、超臨界地熱資源へのアクセスを可能にするとともに、調査井を用いて**ポテンシャルを検証**する。

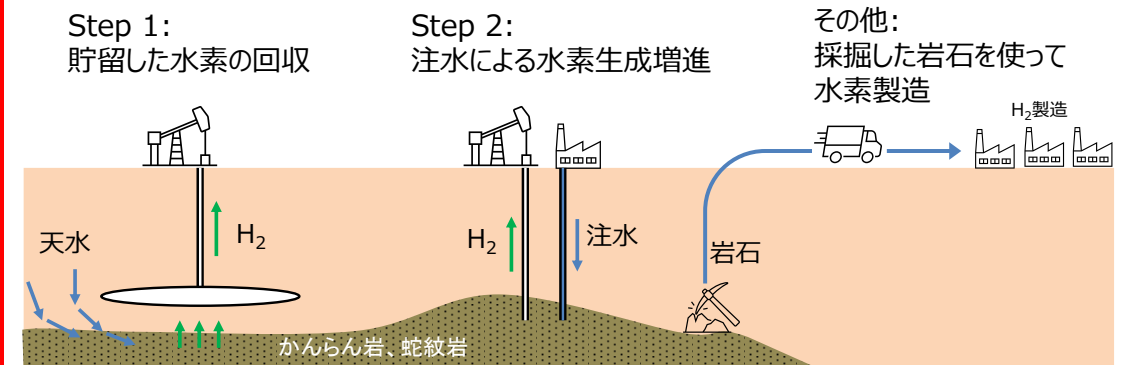


出典：NEDO TSC foresight Vol.106

## 天然水素

- 天然水素は地下でかんらん岩が水と反応して蛇紋岩となる反応に伴って生成。生成反応の増進を行うことで**安価かつ十分な量の水素を安定的に回収**できる可能性有
- そこで、**生成メカニズムの深い理解と増進技術の開発**を進めるとともに、広く**国内の資源探査**を進める。
- 同時に採掘および産出されるメタン・水素自体の漏洩が与える**環境影響**、プロセスごとの**二酸化炭素排出量**などの評価と影響軽減の方策の検討も必要

### 天然水素回収・生成増進プロセスの検討



- 安全な掘削方法
- 掘削機器、関連設備の水素脆化

- 注水位置、注水圧力などの検討
- 注水の種類（アルカリ水？）

- 経済性検討
- 水素製造設備検討
- 環境影響評価

出典：NEDO TSC作成

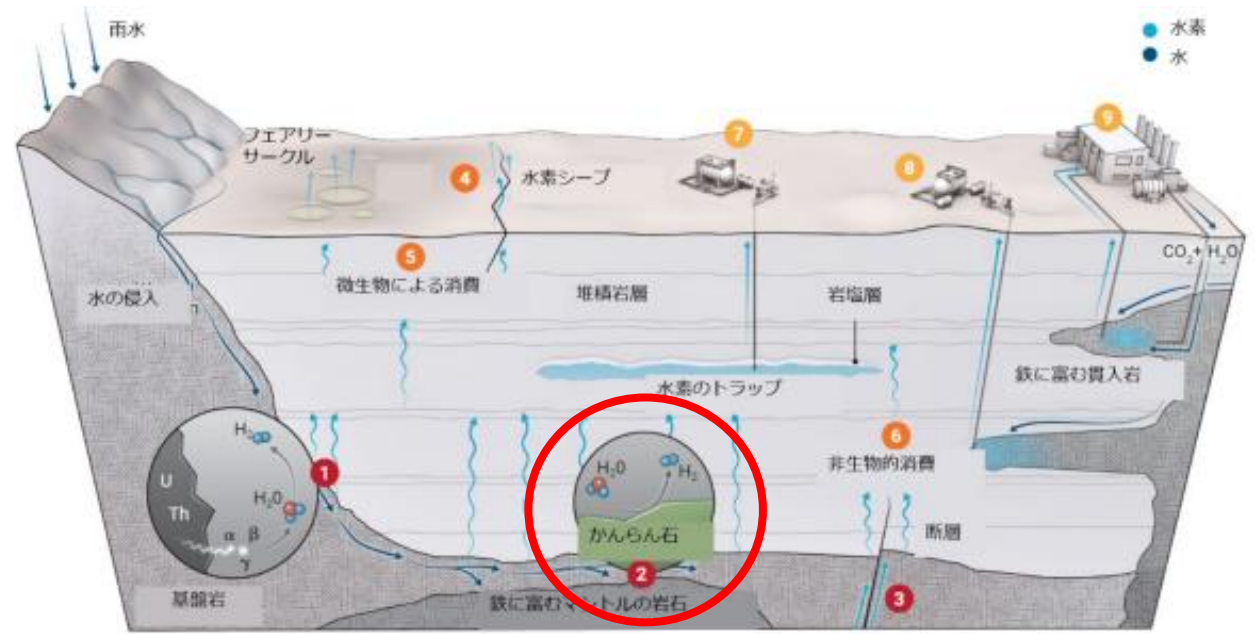
# 目次

1. はじめに
2. 天然水素の研究開発・事業化の現状
3. 増進水素開発に向けたイノベーション戦略(案)
4. 今後取り組むべき研究課題(例)
5. まとめ

# なぜ天然水素？

分析項目	詳細
コスト	天然水素は、従来のクリーン水素(輸入グリーンおよびブルー水素)に比べてコストが安い、CO2排出削減が困難な産業やエネルギー転換部門で、安価でクリーンな燃料として期待
GHG削減効果	他のクリーン水素と比較して、温室効果ガス(GHG)の排出量も低い
ポテンシャル	地中に蓄えられた水素は数十億～数千兆トンとみられており、平均予測値でも数兆トンに及ぶ、数%でも回収できれば数百年分の水素需要を満たすなどインパクト極めて大
エネルギー安全保障	クリーンで安価な国産のエネルギーとして天然水素を利用できれば、エネルギー安全保障、CN戦略上も重要。
国内外の動向	貯留水素は2018年頃から研究が加速し、商用化を見据えた実証プロジェクトが北米を中心に先行。一方で増進水素は世界的に取組が限定的で、日本の高度な技術が活用可能。

# 天然水素は、主に3つのプロセスで生成される



## 生成

### 1. 放射線分解

岩石に含まれる微量の放射性元素が放出する放射線により水が分解される。このプロセスは時間がかかるため、古い岩石ほど水素生成のポテンシャルが高い。

### 2. 蛇紋岩化

高温では水は鉄に富む岩石と反応して水素を生成する。蛇紋岩化作用と呼ばれるこの反応は比較的早くかつ再生可能な反応であり、水素生成の主要なプロセスと考えられる。

### 3. 深部由来

地球のコアやマントルからの水素の流れがプレート境界や断層に沿って上昇している可能性がある。しかし、地球深部に大規模に水素が存在するという理論は議論の余地がある。

## 損失メカニズム

### 4. シーブ

断層や裂隙を通して素早く移動する。また、岩石の中を拡散することもある。少量の漏出は、フェアリーサークルと呼ばれる浅い窪みを形成する。

### 5. 微生物

土壌や岩石の浅部では、微生物がエネルギーとして水素を消費し、しばしばメタンを生成する。

### 6. 非生物的反応

より深部では、水素は岩石やガスと反応して水、メタン、鉱物を形成する。

## 生産

### 7. トラップ

石油やガスと同様に、岩塩層やその他の不透性の岩石層の下にある多孔質岩石にトラップされている貯留層への掘削により生産可能と考えられる。

### 8. 直接生産

浅部に位置し、水素を回収するのに適した割れ目があれば、鉄に富む岩石を直接利用することも可能かもしれない。

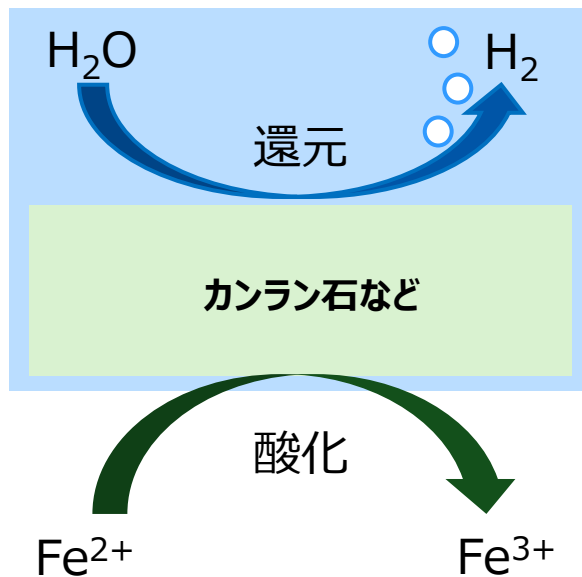
### 9. 促進

水素の生成は、鉄に富む岩石への水の注入により促進される可能性がある。あわせて二酸化炭素を添加すれば、その貯留が可能かもしれない。

# 蛇紋岩化反応

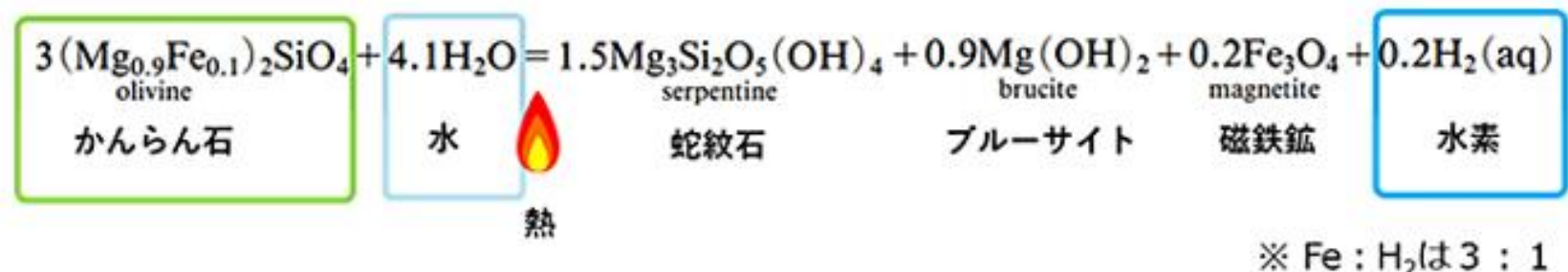
## 天然水素生成メカニズムの模式図

蛇紋岩化反応: カンラン石と水の化学反応によって水素が生成



## 蛇紋岩化反応による水素発生メカニズムの解明

水素発生メカニズムにはいくつかの形態があるが、かんらん石と水が化学反応して水素が生成されるものがメインプロセス。プロセスの進行には、岩石の性状や温度、pHなどが大きく影響する。ラボ実験などを基に、これらの条件と生成量の関係を明らかにする。



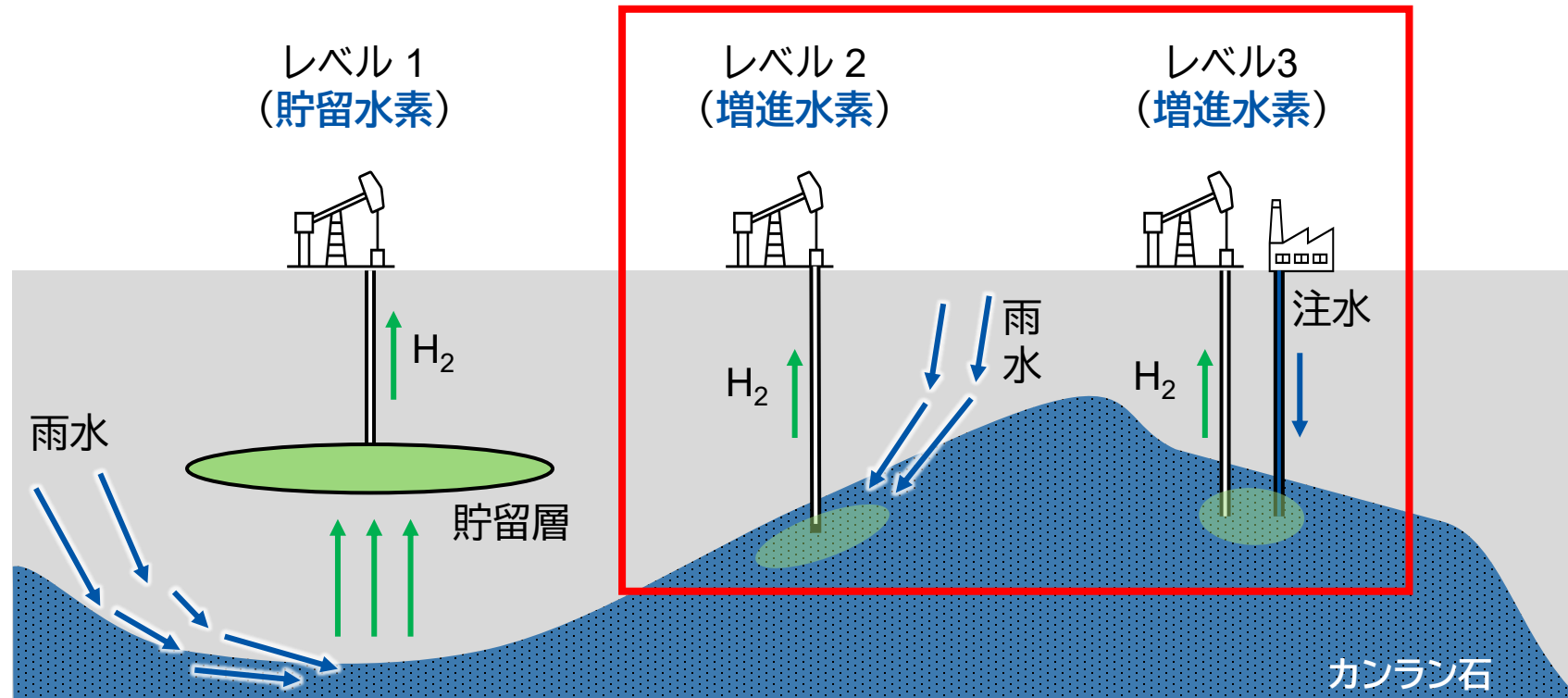
# 反応速度が速い蛇紋岩化反応を利用して水素を生成・回収。既に蓄積しているNEDO水素を回収する貯留水素と、水素生成を促進する増進水素の2種が存在

## 天然水素の種類

**貯留水素**(レベル1): **自然に貯留・蓄積**した水素を発見し回収。存在は稀であり、アクセス可能性、生産量も不十分である可能性が高い

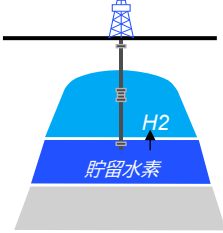
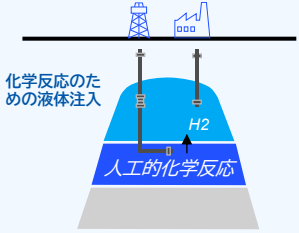
**増進水素**(レベル2・3): **人工的に水素生成反応**を促進して水素を回収。貯留と比較して工数が多いが、地理的制約が少ない

## NEDOプログラム



# 地層複雑性が高い日本では、生産地の地理的制約が小さく供給ポテンシャルが高い 増進水素との親和性が高いか



	貯留水素	増進水素
概要	<p>地下に自然に溜まったH<sub>2</sub>を回収</p> 	<p>人工的に化学反応を促進し、H<sub>2</sub>を生成・回収</p> 
コスト	地中から回収するだけであるため <b>安価な水素が採取可能</b>	貯留水素より技術・設備要件が多く、コストは貯留の約1.1~1.4倍
CNへの貢献 (GHG排出量)	生産プロセスにおいて、掘削・ポンプ運転以外に <b>化石燃料を使用しないため、GHG排出量は限定的</b>	
エネルギー安保への影響 (国内生産可否)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の水素貯留層でのみ生産可能。</li> <li><b>地理的制約が大きい</b></li> <li>回収後は再利用？</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素生成できる岩体を含む地層であれば生産可能。</li> <li><b>地理的制約が少ない</b></li> <li>理論的には継続して生成・回収可能</li> </ul>
技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>O&amp;G産業の技術が転用可能</b></li> <li><b>探査技術</b>(水素貯留槽の特定)などは未成熟</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>O&amp;G産業の技術が転用可能</b></li> <li><b>反応促進メカニズム</b>に関する研究・実証事例が少なく未成熟</li> </ul>



## 日本国内生産への意味合い

- 地層の複雑性が高い日本では、地理的制約が供給ポテンシャルを左右する可能性が存在
- **増進水素は地理的制約が小さく、継続的に水素回収できる可能性を持つため、日本との親和性が高いか**
- **貯留水素は安価であるため、生産量が十分な生産地があれば開発検討余地あり**

# 貯留水素について、商用化を見据えたプロジェクトがすでに世界で進行中。 2027~2030年頃の生産開始が見込まれる



2025年9月のデータに基づく 一部抜粋、非網羅的

■ 公開情報に基づく推定<sup>1</sup>

□ 許認可申請

■ 許可の付与

■ 探査掘削

■ 試掘

▲ 生産開始

..... 探査

- - 開発

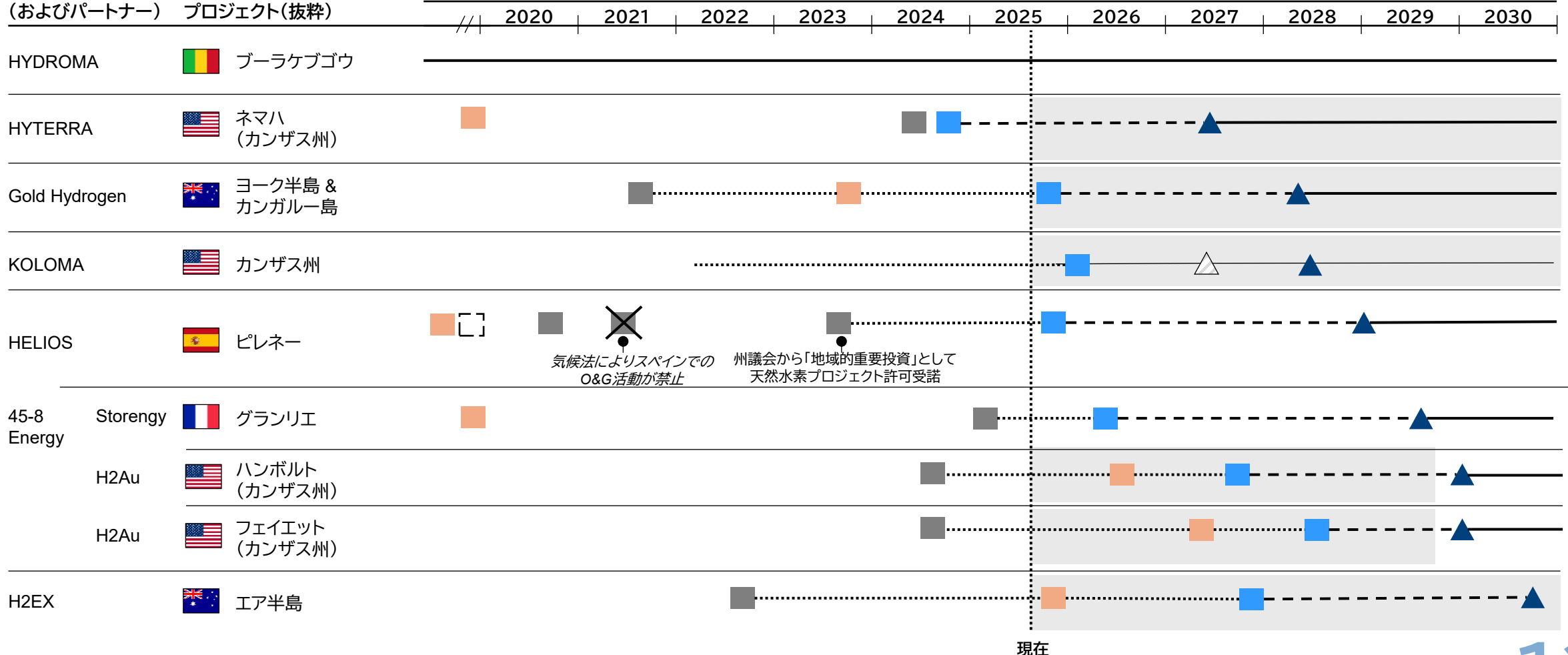
— 生産

主要なプレーヤー

(およびパートナー)

プロジェクト(抜粋)

タイムラインと予想されるマイルストーン



1. 理論的なタイムラインとプロジェクト固有の状況(例:資金問題、法的問題)に基づき推定

資料: Company reports, press search

# 増進水素についても、北米を中心にプロジェクトが進行しており、一部では実証プラント運転が開始。一方、商用化へのタイムラインは未定



一部抜粋、非網羅的

## タイムライン

主要なプレーヤー (およびパートナー)	プロジェクト (一部抜粋)	プロジェクト 開始	フィールド 実証開始	詳細
Vema Hydrogen	北アメリカ	2024 <sup>1</sup>	2025(予定)	北米で <b>実証井戸を2025年中に掘削開始予定</b>
QIMC, TerraVent	ケベック州	2025	2025(予定)	ケベック州で <b>2025年に増進水素のフィールド実証を開始予定</b> 。TerraVentは戦略的提携を結び、電磁加熱破砕による水素増進技術を提供
Eden	サマイル オフィオライト	2023	未定	2023年末にオマーンエネルギー鉱物省との協定を締結。 <b>2024年に</b> ARPA-Eから140万ドルの助成金を受け、電氣的な破砕による水素増進技術の <b>ラボスケールでの実証を進行中</b>
Cemvita, Gold H <sub>2</sub>	パーミアン盆地 (テキサス州)	2022	2022	微生物を利用した水素生成技術を開発。 <b>2022年にフィールド実証を実施・成功</b> 。同時に、 <b>事業化推進のために完全子会社Gold H<sub>2</sub> LLCを設立</b>
Addis Energy	詳細不明	2024 <sup>1</sup>	2026(予定)	地下岩石への注水によるアンモニア増進技術を開発中。全米各地で <b>2026年中のパイロットプログラム候補地の特定・試験運用開始を予定</b>

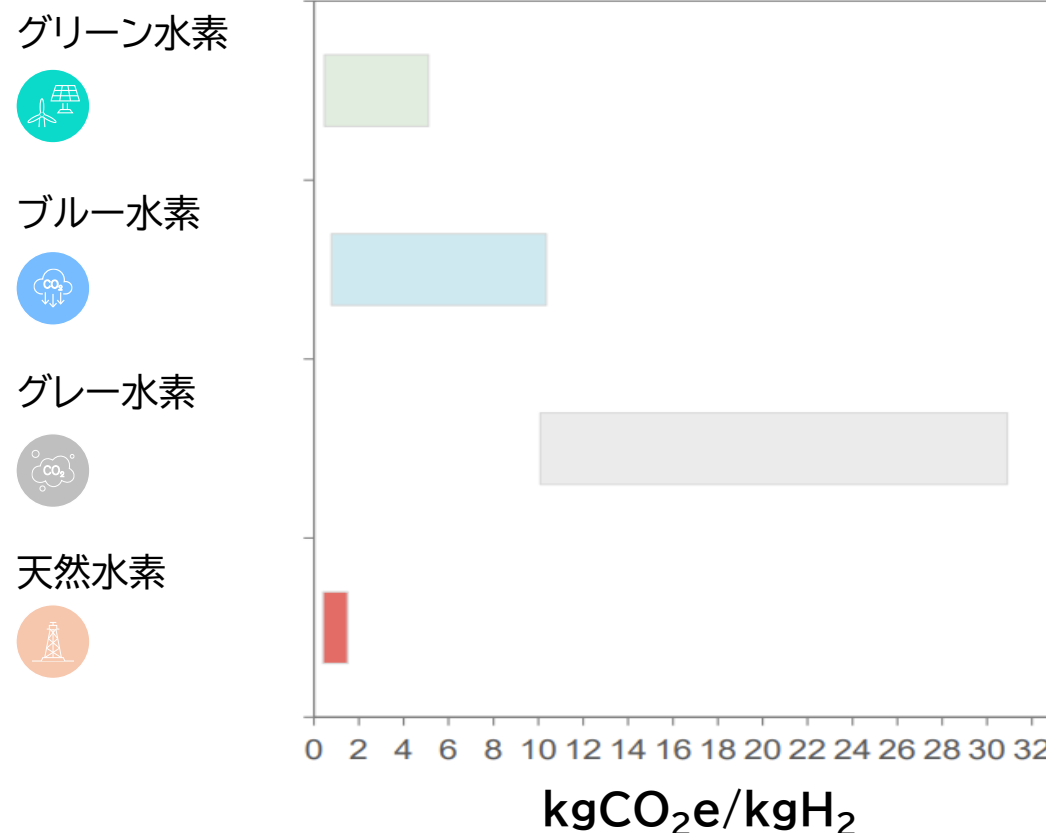
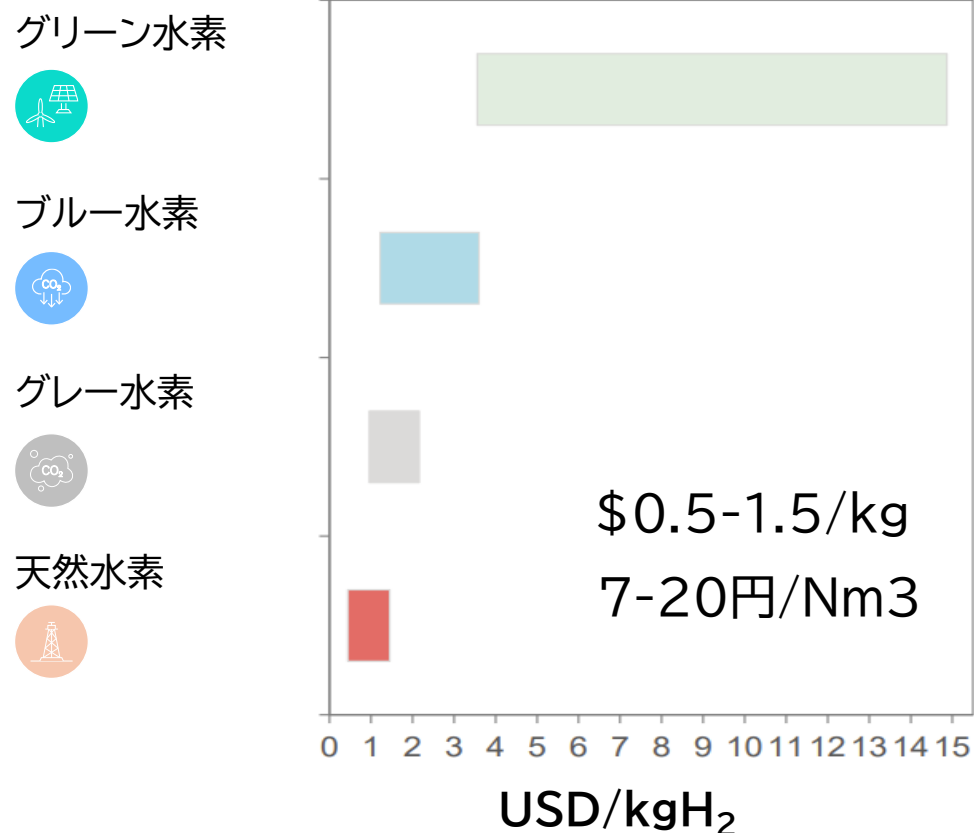
資料: Press search, LinkedIn, Capital IQ, expert interviews

1. 主要プレーヤーの創業年を記載

# ARPA-Eによる供給コスト・GHG排出量試算。 天然水素はクリーンで低コストのエネルギー資源。

## 供給コスト, USD/kgH<sub>2</sub>

## GHG排出量, kgCO<sub>2</sub>e/kgH<sub>2</sub>



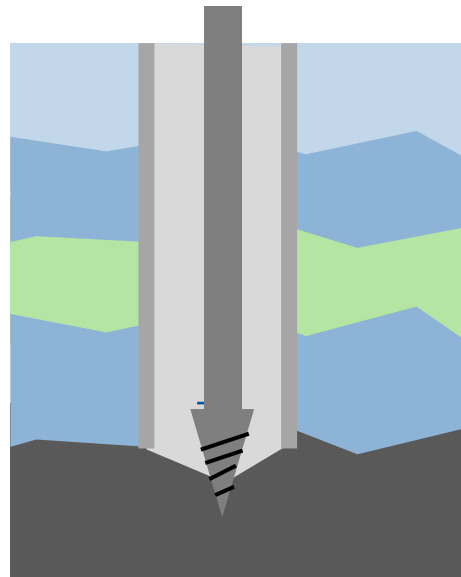
\*Geologic H<sub>2</sub> estimates are based on ARPA-E analysis, project input, and source cited below  
A. Patonia, M. Lambert, N. Lin, M. Shuster, The Oxford Institute for Energy Studies (2024)

# 目次

1. はじめに
2. 天然水素の研究開発・事業化の現状
3. 増進水素開発に向けたイノベーション戦略(案)
4. 今後取り組むべき研究課題(例)
5. まとめ

# 概念的には水素増進は簡単に見えるが、そう簡単ではない

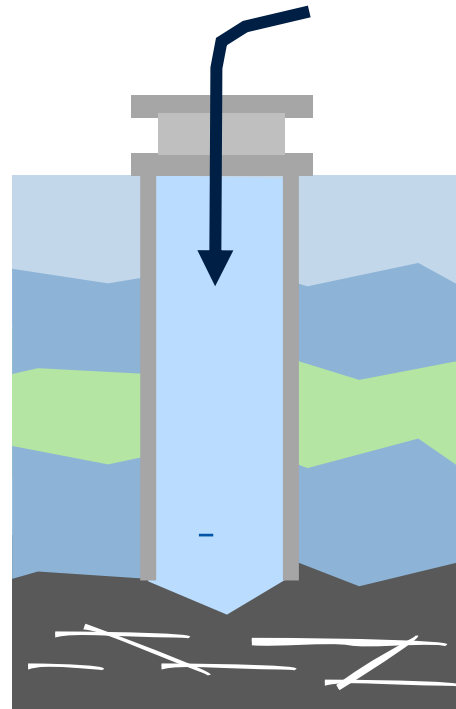
井戸を掘って



探査

掘削

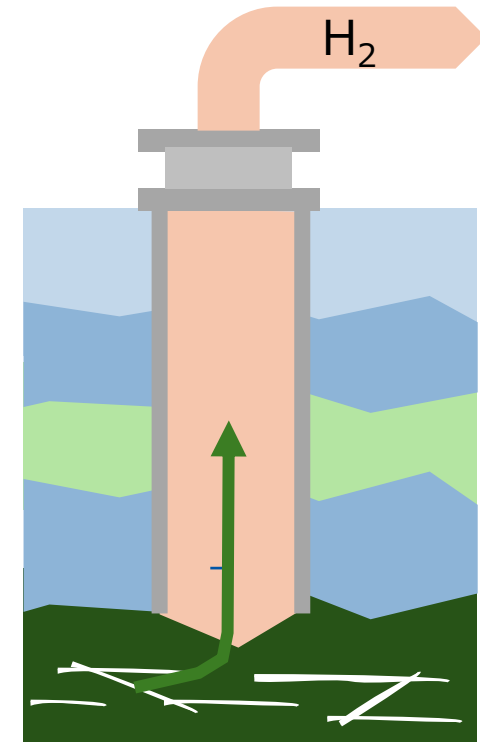
井戸に何かを入れて



破碎

増進

水素を取り出す



回収

メンテナンス・  
リスクマネジメント

増進水素の生産には、探査・掘削・破碎・増進・回収・メンテナンスの技術の開発が必要

委託機関	委託テーマ
東北大学	超塩基性岩からの天然水素回収・生成増進に関する研究開発
ENEOS Xplora	日本の天然水素ポテンシャル評価と人工増進技術の研究開発
北海道大学	天然水素生成や増進回収における要因解明に係る研究開発
産業技術総合研究所 (研究協力:石油資源開発)	水素生成可能な岩石の探索と増進を踏まえた評価に係る研究開発
九州大学 (再委託:九州電力)	九州地域の天然水素資源開発に関する研究開発

# 増進水素実用化に向けて解決すべき課題

---

**ポテンシャル:**国内に水素増進に適した場所はどこにあるのか？増進水素のポテンシャルは？

---

**探査・モデリング:**どのような探査・モニタリング技術やモデリングが必要か？

---

**反応表面積:**持続可能な水素製造にはどのくらいの反応表面積が必要か。どうやって面積を増やすのか？どのような破碎技術が必要か？

---

**水素生成:**どの鉱物が水素生成に適しているのか？どのような条件(物理的、化学的)が最適なのか？橄欖岩以外の $\text{Fe}^{2+}$ を含む鉱物も水素生成に使えるか？

---

**微生物:**どのような微生物が水素の生成を増進したり抑制したりするのか？

---

**水素回収:**既存の天然ガス、石油や地熱の技術が水素の回収に利用できるのか？それとも新しい手法が必要か？

---

**O&M・リスク管理:**長期間の運転やリスク管理の手法は？

---

**テクノエコノミカル分析:**国内での天然水素のコスト、炭素強度は？

---

**派生技術:**CO<sub>2</sub>鉱物化、希少金属回収等との複合効果？、天然アンモニア、他

---

# 日本は親和性・立ち位置を踏まえ、増進水素の市場創出に注力すべき。 バリューチェーン成立に向け、成熟度が低い上流技術の開発が鍵

特に技術革新が必要なサプライチェーン領域
  TRL 7-9: 実装
  TRL 4-6: 実証
  TRL 1-3: 研究



1. 石油・ガス産業や他の水素での既存技術が転用可能な領域は成熟しているものの、天然水素特有の技術課題にはさらなる研究が必要  
 2. 技術自体は成熟しているが、反応メカニズムに関する理解が途上段階  
 3. 化学的: pH調整, 触媒利用などによる反応促進。物理学的: 加熱・圧力変化などによる反応促進  
 資料: Hydrogen Insights

# 技術開発に加えて、生産ポテンシャルの特定、需要家を巻き込んだエコシステムの実証や、規制の整備も、増進水素市場の立ち上がりには重要



## 増進水素市場

### 立ち上げに必要な取組

### 課題

### 必要なアクション例



生産ポテンシャルの特定

- 天然水素に関する**全国的なポテンシャルマップが未整備**のため、市場の見立てが立たずプレイヤーの参入が見込めない
- 天然水素の供給ポテンシャルを特定するための**実証実験には多額のコストがかかる**ため、探査・実証が進まない

- ポテンシャルマップの整備
- 共同の実験施設を立ち上げる**ことによるR&Dへの参入障壁の緩和



バリューチェーン全体を巻き込んだエコシステムの実証

- 鉄鋼・化学・運輸・発電などの潜在需要家は存在するが、供給見通し・コストが不透明で**需要家の関与が限定的**
- 需要家の長期オフテイクがないため、**上流開発のリスク回収見通しが立たず**、開発が停滞

- 需要家と上流・中流プレイヤーとの**共同出資・オフテイク契約**を支援



規制の整備

- 天然水素は、鉱業法・地熱法など既存の資源関連法に**明確な位置づけがなく**、適用法令や許認可の判断が不透明
- 有望地域が森林法・自然公園法・温泉法などで保護され、掘削・土地利用**手続きが煩雑で時間を要する**ため、実証が進みにくい

- 法規制の中で「天然水素」を**新資源区分に定義**
- サンドボックス制度・ワンストップ許認可制度**による手続きの迅速化



社会受容の向上

- 地熱・風力などと同様の社会受容性リスク**
- 地下掘削に対する不安(地震・汚染・ガス漏れ)

- 天然水素に対する認知度の向上
- 掘削地域における事業の**安全性・意義の理解促進**

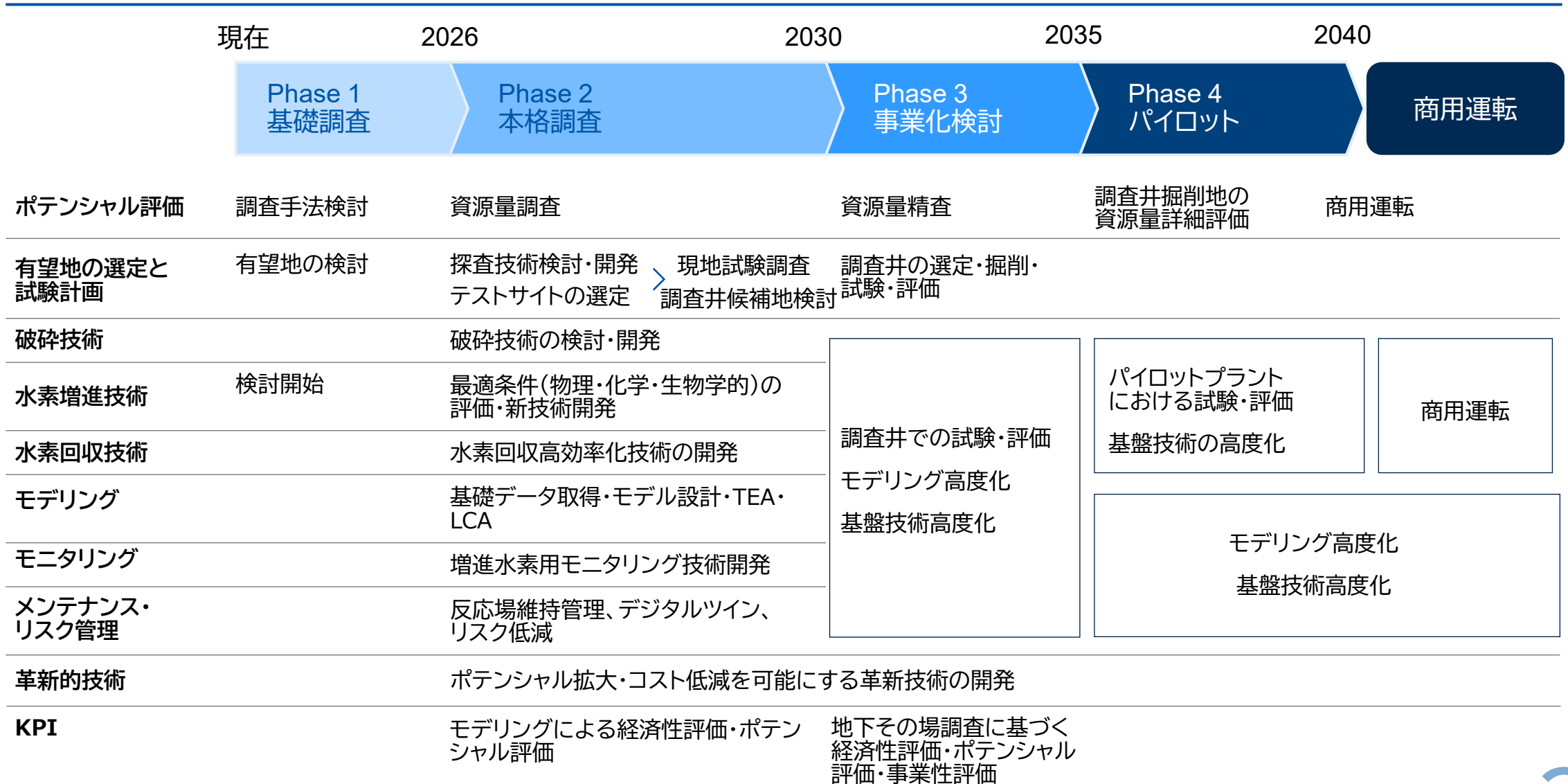
# 【イノベーション戦略:ロードマップ案】

2040年の増進水素商用運転開始を目指し、2030年頃までに技術基盤を整備、2035年頃までに一貫通貫型の実証を行い、それ以降の商用化・導入拡大を目指す

	現在	2026	2030	2035	2040	
		phase1 基礎研究	phase2 本格調査 基盤技術開発	phase3 事業化検討	phase4 パイロットプラント運転	商用運転
概要		増進水素の基礎研究開発、テストサイト選定及び試験、法整備を進行		商用化に向けた技術成熟化、調査井の掘削・試験・評価を実施	増進水素の生産・利用を定着させ、日本の水素需給を安定的にサポート	
主要取組	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>基盤技術の開発、実証</li> <li>探査手法検討、資源量調査</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>技術高度化/調査井での試験</li> <li>資源量精査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術高度化/プラント試験</li> </ul>	
	経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>探査資金・研究助成制度の設計</li> <li>需要家との共同実証準備を開始</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>需要家の投資・オフテイク契約による実証開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>民間主導で増進水素への投資が活性化・市場拡大</li> </ul>	
	制度 人材 社会受容	<ul style="list-style-type: none"> <li>天然水素の法的位置づけ確立とサンドボックス制度導入</li> <li>技術者・地球化学専門人材の育成</li> <li>天然水素の認知拡大</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>商用化に向けた規制整理(ワンストップ許認可体制など)</li> <li>事業者・技術者のエコシステム参画</li> <li>掘削地域での社会受容形成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期安定供給契約の制度化による需要家のリスク軽減・水素需要の拡大</li> <li>先行事業で培った知見を水平展開</li> </ul>	
各フェーズ終了時の期待成果		<ul style="list-style-type: none"> <li>注力技術TRL4以上</li> <li>供給コスト・GHG排出量が他水素水準以下が実験室規模で見えている</li> <li>天然水素生産候補地が見えている</li> <li>掘削・実証実験可能な法整備の完了</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>注力技術TRL7以上</li> <li>供給コスト・GHG排出量が他水素水準以下が実証規模で見えている</li> <li>事業化に向けて体制が整っている(オフテイク・事業者参入)</li> <li>商用化に向けた法整備が整う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>注力技術TRL8~9</li> <li>供給コスト・GHG排出量が他水素水準以下がプラント規模で見えている</li> </ul>	

# 【イノベーション戦略:技術ロードマップ案】

2040年までの増進水素商用運転開始を見据え、2030年頃までに増進水素関連の基盤技術を開発し、2035年頃までにそれらを一気に通貫型で実証することが鍵となる



# 目次

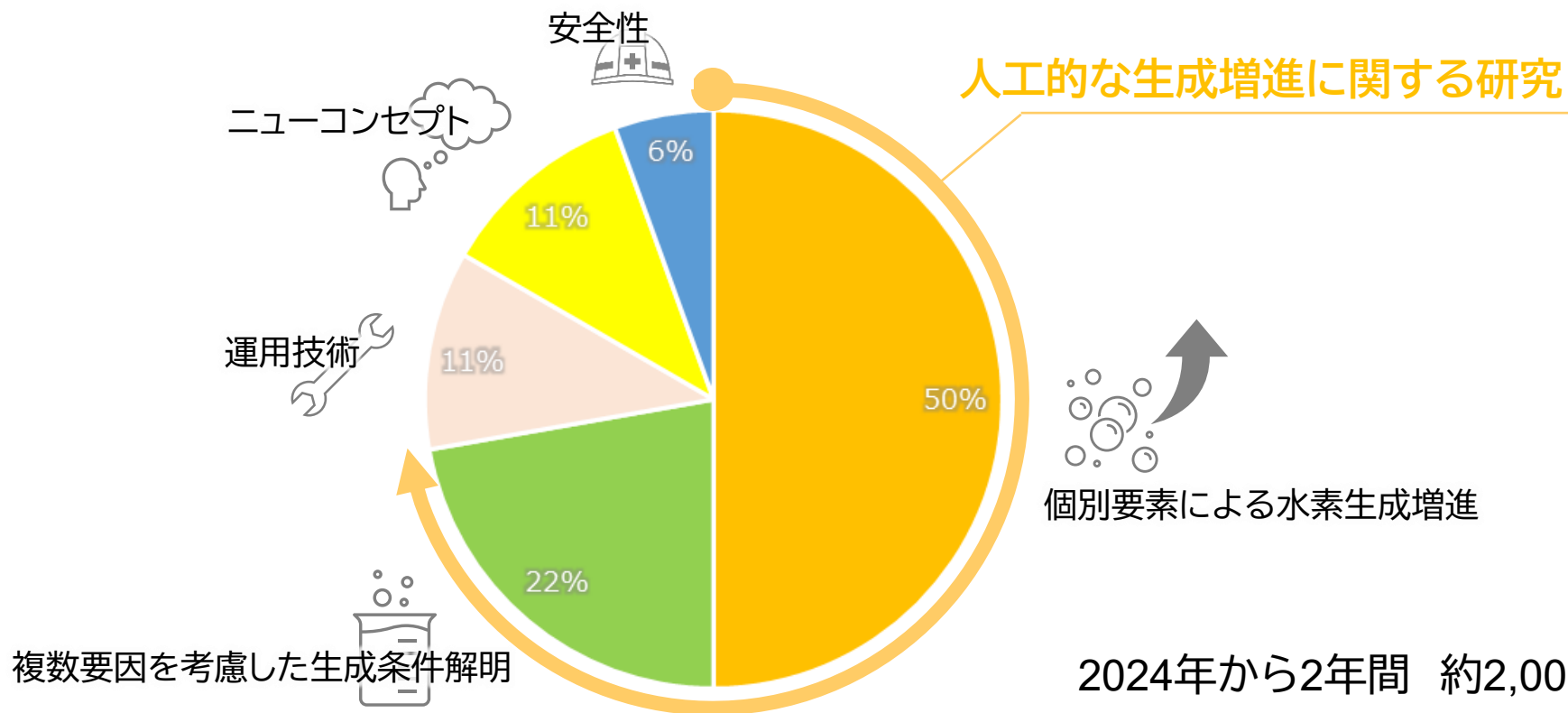
---

1. はじめに
2. 天然水素の研究開発・事業化の現状
3. 増進水素開発に向けたイノベーション戦略(案)
- 4. 今後取り組むべき研究課題(例)**
5. まとめ

# ARPA-EのPJから見る天然水素研究課題

- 「個別要素による水素生成増進」、「生成条件解明」が多く、トピックの大半(70%以上)を占めている。
- 運用、安全性に関するものは多くはないが重要課題ととらえて取り組みを開始。
- ARPA-Eの天然水素の研究開発は、「天然に貯留された水素を取り出す技術」という考えよりも「天然の地下環境を利用した水素生成技術」という考えが強いことが見て取れる。

ARPA-E「Geologic Hydrogen」のトピック分類



2024年から2年間 約2,000万ドル

# ARPA-EのGeoH<sub>2</sub>プログラムの課題(例)

## 破砕技術:

Lawrence Berkley National Laboratory	周期的水圧破砕
Eden Geopower	電氣的破砕
Pennsylvania State University	CO <sub>2</sub> ガス破砕
Colorado School of Mines	水圧破砕

## 増進技術:

Lawrence Livermore National Laboratory	化学的剌激
University of Texas at Austin	触媒効果
Koloma	微生物効果

## 回収技術:

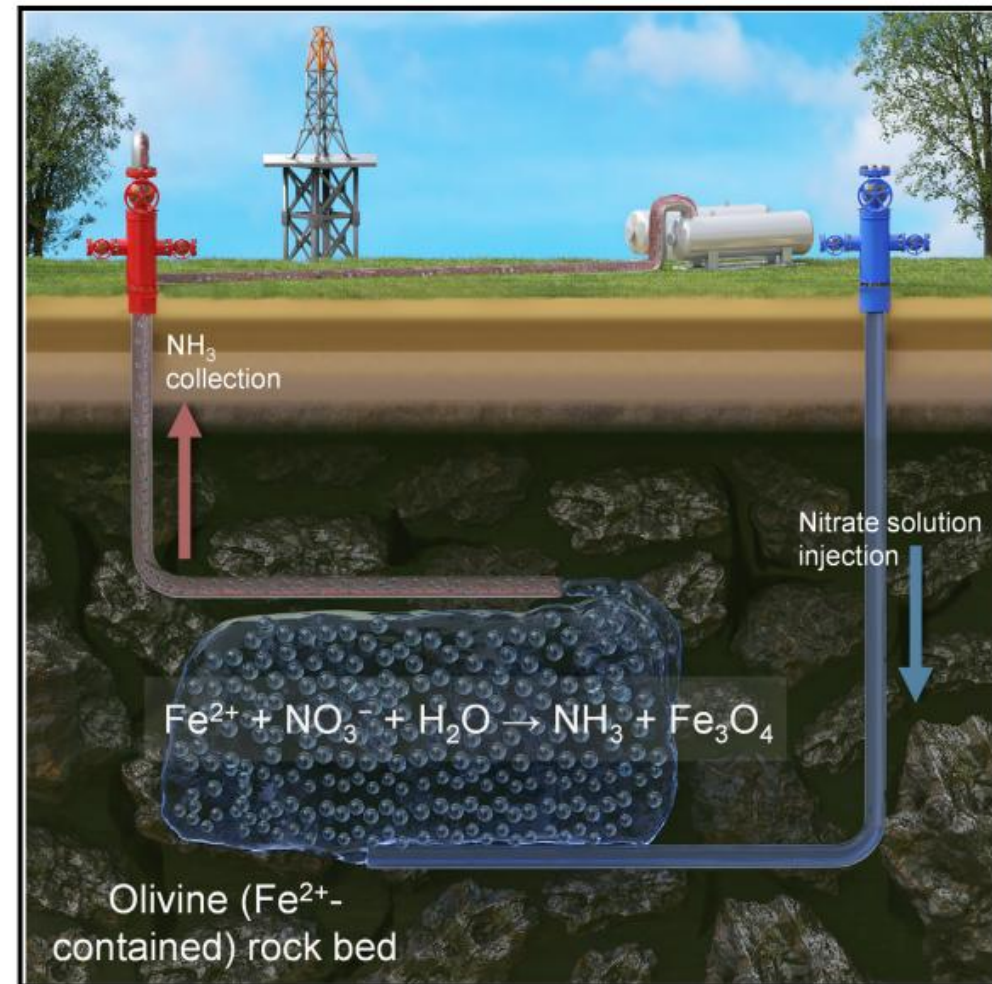
University of Texas at Austin	泡を用いた水素高効率回収(ナノテク)
-------------------------------	--------------------

その他にも、モデリング、メンテナンス、リスク管理、等

# 派生技術：天然アンモニア MIT Prof. Iwnetim Abate

硝酸塩を含む水を鉄分を豊富に含む地層に注入することでアンモニアを生産

- $\text{Cu}^{2+}$ を触媒として用いた結果、1.8 kg  $\text{NH}_3/\text{t}$ (オリビン)が $300^\circ\text{C}$ 、21時間で生成された。
- 農業廃水を利用することが可能



## 5. まとめ

---

- 地下未利用資源の活用／天然水素の生成増進・回収実現に向けた研究開発」については、5件を採択した。
- 米国に対してプロジェクトの開始は約1年遅れたものの、今回採択予定の5テーマについては、各提案者の知識や経験を生かした革新性の高い提案となっている。
- 今回アカデミアからの提案だけでなく、ENEOS Xplore社、石油資源開発、九州電力の3社がプロジェクトに参画している。ほかにも多くの企業が興味を示している。
- 今回のポートフォリオとしては、地下での水素増進ポテンシャルの評価や水素増進条件の明確化などの課題が主となっている。一方、地下での水素増進を実用化・事業化するためには、候補地の探索、掘削、増進、回収まで、様々な技術的チャレンジが必要となる。
- 本プログラムの成果を国内のアカデミア・産業界と情報共有することで、天然水素研究分野の人材や組織を強化し、「地下その場での水素生成・増進」へとステップアップを図りたい。