

## 海外動向調査

# 米国の脱炭素化政策とDOEの水素プログラム (DOEのH<sub>2</sub>@scaleイニシアティブ)

2023年2月16日（木）  
(一財)エネルギー総合工学研究所  
松本俊一

# 目 次

<b>1. 米国連邦政府の脱炭素化政策</b>	<b>4</b>
1.1 超党派インフラ法(BIL) (1)(2)	5
1.2 米国の長期戦略 (1)(2)	7
1.3 インフレ抑制法 (IRA) (1)(2)	9
1.4 ネットゼロ ゲームチェンジャーズ イニシアティブ	11
<b>2. DOE 水素プログラム (1)(2)</b>	<b>12</b>
2.1 DOEの水素プログラムの対象分野	14
2.2 DOE Hydrogen Program Plan (1)(2)	15
2.2.1 水素バリューチェーンにおける包括的なDOE戦略	17
2.2.2 プログラムの優先順位とそれに対応する主要なイニシアティブ	18
2.3 H2@Scale イニシアティブ	19
2.3.1 H2@Scale 共同研究開発協定プロジェクト	20
2.3.2 H2@Scale 共同研究開発協定プロジェクトの概要	21
2.4 Energy Earthshots イニシアティブ	22
2.4.1 Hydrogen Shot (1)(2)(3)	23
2.5 クリーン水素実証ハブ プログラム (1)(2)(3)	26
2.5.1 2030年までのテキサス州水素ハブ候補プロジェクト例	29
2.5.2 Houstonクリーン水素ハブ プログラム	30
<b>&lt;参考資料&gt;</b>	
DOE / 国家クリーン水素戦略とロードマップ (ドラフト)	31
DOE / 産業脱炭素化ロードマップ (1)(2)(3)(4)	32
DOE / オフィス別の協力関係 (一例)	36
連邦政府のクリーンエネルギー・イノベーション強化(1)(2)	37

# 米国の水素関連動向の調査の背景と概要

近年、世界的な地球温暖化対策として、化石燃料から水素等のクリーン燃料への移行など、カーボンニュートラルに向けた取り組みが加速している。

米国は、1950年代からロケット燃料用液体水素の利用など、水素及び関連技術に関する技術開発を推進しており、水素の製造、貯蔵、輸送などのサプライチェーン関連のインフラ整備が進んでいる。（主にメキシコ湾岸エリア）

現在、年間1,000万トンの水素が製造され、主に石油精製や化学・肥料等の産業用原料として利用されており、他には工業分野（金属精錬など）、液体燃料（バイオ燃料、合成燃料など）、発電、エネルギー貯蔵、輸送などにも利用されつつある。

現在のバイデン政権は「[2030年までにCO2排出量を2005年比で50～52%削減する](#)」という目標を掲げており、政府はその達成に向けて[水素エネルギーの利用拡大に関連する法令を策定](#)し、研究開発や実証事業等への多額の補助スキームを整備している。（2021年11月の超党派インフラ法、2022年8月のインフレ抑制法など）

また、2021年11月には2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにするための[長期戦略（The Long-Term Strategy of the United States, Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050）](#)を発表している。

今回の調査対象の「[H<sub>2</sub>@scale](#)」は、米国エネルギー省（DOE）が2016年に策定したイニシアチブであり、関係機関を結集して安価な水素の製造、輸送、貯蔵、利用を推進し、複数の分野で脱炭素化と収益機会を実現することを目的としている。

本調査では、[連邦政府の脱炭素化に向けた政策](#)、[DOEの水素プログラム](#)について、関連情報を収集・整理した。

なお、DOEの水素関連のプロジェクトは、エネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE）内の水素・燃料電池技術局（HFTO）が主導し、国立研究所や産業界との協力によって水素の研究、開発、実証活動に係る様々な事業を推進している。

## 1. 米国連邦政府の脱炭素化政策

米国では、バイデン大統領が優先課題として掲げた気候変動政策として策定された2つの包括的な法令及び長期戦略に基づき、関係省庁が脱炭素化の実現に向けて様々な政策を推進している。

### 1. 超党派インフラ法(BIL; Bipartisan Infrastructure Law (Infrastructure Investment and Jobs Act(IIJA), 2021年11月15日)

- ・ 2022年～2026年の間に道路・港湾からエネルギー関連まで、多岐にわたる総額5,550億ドルのインフラ投資を行う。
- ・ 内、**エネルギーインフラ・脱炭素関連に総額880億ドル**を新規投資（内、**DOE関連は620億ドル**）。
- ・ DOE予算は、実証/実装を重点とし、クリーンエネルギー実証部門（OCED, Office of Clean Energy Demonstrations）を新設して**水素ハブ**、**CCUS**、**エネルギー貯蔵**等を推進(214億ドル)

### 2. 米国の長期戦略:2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする道筋 (2021年11月18日)

(The Long-Term Strategy of the United States, Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)

### 3. インフレ抑制法 (IRA; Inflation Reduction Act, 2022年8月16日)

- ・ 歳入増7,370億ドル（法人税対象の拡大、所得税徴収是正等）を原資とし、「**エネルギー安全保障・脱炭素化**」に**3,690億ドル**、「国民健康保険延長他」に680億ドル等の合計4,370億ドルを施行。（差額の3,000億ドルは国庫赤字解消の原資）
- ・ 「エネルギー安全保障・脱炭素化」は、**10年間（2022～2031年度）で3,690億ドル**の投資（税控除、補助金等）により、2030年までに温室効果ガス排出量を2005年比で40%程度の削減となる見込み。

主な内容は以下の通り。

- ・ 風力タービンや太陽光パネル、EV等の米国内製造基金；600億ドル
- ・ 各地域での電力の脱炭素化基金や貸し付け、クリーン製品の政府買い付け；736億ドル
- ・ 気候変動対応型農業への変換；270億ドル、
- ・ 消費者の工コ冷暖房機器や太陽光設備等購入の税控除等を広範囲に含む

# 1.1 超党派インフラ法(BIL) (1)

2021年11月15日、1.2兆ドル規模の超党派インフラ法（BIL; Bipartisan Infrastructure Law）が成立。  
2022年～2026年の5年間に5,500億ドルの新規投資を行い、輸送分野及び非輸送分野のインフラを整備する。  
（5,500億ドルは、議会が承認済みの計画に加えて、新たに承認された予算額。エネルギーインフラ・脱炭素関連分野については、再エネ導入に対応する電力インフラ網の整備、気候変動由来の自然災害に対するインフラ強靱化等に含められている。）

## エネルギーインフラ・脱炭素関連分野の新規投資額は880億ドル（内、DOE関連は620億ドル）

DOEはクリーンエネルギー実証部門（OCED, Office of Clean Energy Demonstrations）を新設し、クリーン水素ハブ、クリーン水素製造、CCUS、エネルギー貯蔵等の実証/実装を重点として推進(214億ドル)

### 新規投資の内訳（5年間の合計5,500億ドル）

輸送分野インフラ整備	2,830
道路、橋梁整備プロジェクト	1,100
交通安全性確保整備	110
公共交通整備	390
旅客および貨物鉄道整備	660
EVインフラ、低排出車整備	150
空港整備	250
港湾・水路整備	170
非輸送分野インフラ整備	2,560
水道インフラ整備	550
ブロードバンド網整備	650
電力グリッド網整備	650
レジリエンス、サイバーセキュリティ	500
放棄鉱山、ガス田修復	210

### エネルギー・気候変動対策予算(億ドル)

分野	5年間の予算
電力グリッド	148
水素	95
炭素マネジメント	115
EV・電池	212
原子力	92
水力	8
クリティカルミネラル	12
その他	208
合計*	890

\*：他の予算を含む

超党派インフラ法の正式な法律名称はインフラ投資雇用法  
(Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA)



## 1.1 超党派インフラ法(BIL) (2) 水素エネルギー関連の取組

### 1. 地域のクリーン水素実証ハブの設立：80億ドル

クリーン水素の生産者、消費者、インフラネットワーク等を含む、水素製造・加工・配送・貯蔵・最終利用の実証プロジェクトを推進

- ・ 2022年に最初の拠点を選定し、最終的に4～6件を選定
- ・ 計画設計の第1フェーズで\$100万～\$400万/件、その後の第2フェーズは\$5億～\$10億/件を想定。
- ・ 第1フェーズのコストシェア比率は未定だが、第2フェーズでは50%のコストシェアを想定。

[水素ハブの選定基準]

- ・ **原料の多様性**：化石燃料、再生可能エネルギー、原子力エネルギー
- ・ **最終利用の多様性**：4分野；発電、産業、家庭・商業用の暖房、運輸
- ・ **地理的多様性**：各ハブは可能な限り異なる地域とし、天然ガス産出地域に設置

#### クリーン水素の定義

水素1kgを生産する際に排出されるCO<sub>2</sub>が2kg以下

### 2. クリーン水素製造とリサイクル：5億ドル

原料回収・廃棄過程での環境影響評価、分解・リサイクル／代替材料／設計・製造プロセス技術、環境配慮型分解・資源回収可能なプロセス開発、リサイクル社会受容戦略策定等のプロジェクト

### 3. クリーン水素電解実証：10億ドル

アルカリ水電解／PEM水電解技術、電気と熱の組み合わせによる高温電解技術、可逆性燃料電池、白金族金属使用量低減／海水等の不純物含有水の電気分解等の触媒技術、低コストの膜、電解質、不純物や海水等に耐える分離材料、要素技術のスケールアップ技術や水素製造統合技術（水素の圧縮・乾燥技術、水素貯蔵、輸送システムまたは据置型システム等）

### 4. 国家戦略とロードマップ

- ・ 水素国家戦略とロードマップを策定
- ・ 各水素製造手法による潜在的な障壁、必要な連邦政策、水素バリューチェーン全体の経済的機会、米国シェール天然ガス生産地域に存在する機会、商用原子力発電所での製造可能性を示す
- ・ 既存インフラ利用機会とその障壁を示す
- ・ クリーン水素サプライチェーンの製造、加工、配送、貯蔵、使用における連邦機関間の関係、責任、規制改善等

出典：米国における水素を始めとしたクリーンエネルギー関連最新政策動向、2022年9月9日、NEDOワシントン事務所より抜粋引用

## 1.2 米国の長期戦略 (1)

2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする道筋

The Long-Term Strategy of the United States, Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050

2050年までにGHG排出のネットゼロを達成することは可能であり、そのための幅広いステップを概説する戦略を示している。重要な要素としては、

- ・ 10年間の行動のタイミング：目標達成に向けての重要な時間枠として「現在およびこの10年間」に焦点を当てている。
- ・ 期待される健康上の利点：クリーンエネルギーによる大気汚染の削減により85,000～300,000人の早期死亡を回避できる。

### 目 次

序文	01
エグゼクティブサマリー	03
第1章 2050年までにネットゼロエミッションを達成するための米国の統合的気候戦略	10
第2章 2030年までの決定的な10年間	13
第3章 米国における2050年ネットゼロエミッションへの道筋	17
第4章 2050年までのエネルギーシステムの変革	25
第5章 2050年までの非CO2排出量の削減	35
第6章 2050年以降に向けた炭素の除去	45
第7章 2050年までの気候変動対策による利益	50
第8章 世界的な気候変動対策の進展を加速する	55
参考文献	57



2021年11月18日

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>

## 1.2 米国の長期戦略 (2)

2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする道筋

The Long-Term Strategy of the United States, Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050

長期戦略は、2050年までにネット・ゼロに到達するためには、経済のあらゆる部門にまたがる行動の必要性を示している。その達成には多くの道筋があり、全ての道筋は、2030年の目標達成から始まる。

### 長期戦略の5つの重要方針

#### 1. 電力の脱炭素化 (Decarbonize Electricity)

2035年までにクリーン電力を100%、2050年までに排出量を実質ゼロ。（エネルギーシステムを再構成）

#### 2. 最終用途の電化、他のクリーン燃料への転換 (Electrify end uses and switch to other clean fuels)

化石燃料を利用する設備を効率的に電化してクリーン電力を供給。電化が難しい航空、輸送、一部の産業プロセス等では、水素や持続可能なバイオ燃料などのクリーン燃料を活用。

#### 3. エネルギーの無駄を省く (Cut energy waste)

より効率的な機器や新旧の建物への統合等あらゆる手段を行う。（建物の断熱、工業排熱の削減、他）

#### 4. メタンなどのCO2以外の排出を削減 (Reduce methane and other non-CO2 emissions)

2030年までに世界のメタン排出量を少なくとも30%削減（クリーン水素の安価な製造・供給、他）

#### 5. CO2除去の規模を拡大 (Scale up CO2 removal)

大気中からのCO2除去の拡大（CO2回収・貯留関連のインフラ整備）

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>



## 1.3 インフレ抑制法 (IRA) (1)

2022年8月16日、総額 4,370億ドルのインフレ抑制法 (IRA, Inflation Reduction Act)が成立。  
気候変動対策・クリーンエネルギー (3,690億ドル)、国民健康保険延長他 (680億ドル) に投資する一方、税制や薬価の改正などを通じて今後 10 年間で総額 7,370億ドルの歳入を確保(差額の3,000億ドルは財政赤字補填)

IRAは、先の超党派インフラ法 (BIL) によるクリーンエネルギーの設備投資を支援するために、**クリーンエネルギー生産への税額控除等によって補完するもの**であり、大きな投資効果を発揮するものとして期待されている。

### 主な水素関係項目

#### 1. 水素製造

水素製造税額控除(PCT)で最大 3 ドル/kgまたは30%の**投資税額控除(ITC)**のインセンティブ  
CO2基準は、CO2排出量に応じて税額控除額が段階的に変化する仕組みを採用

#### 2. エネルギー設備

2024年まで燃料電池設備に30%のITCインセンティブ

#### 3. エネルギー貯蔵

2024年まで水素貯蔵を含むエネルギー貯蔵設備のITCインセンティブ

#### 4. 乗用クリーン自動車

BEV及びFCVの購入に7,500ドルのインセンティブ

メーカー毎の 20 万台上限を撤廃

新車の小売価格上限は55,000 ドル、ピックアップ、バン、SUVは 80,000 ドルに設定

車両の最終組立が北米域内であること及びその他詳細条件あり

#### 5. 商用クリーン自動車

商用FCVへの 30%の控除、上限40,000 ドル

#### 6. 先進エネルギープロジェクト

燃料電池電気自動車、水素インフラ、電解槽、その他様々な製品を製造する製造プロジェクトに資金を提供



Kg of CO2 per kg of H2	Credit Value (\$)
4 - 2.5 kg CO2	\$0.60 / kg of H2
2.5 - 1.5 kg CO2	\$0.75 / kg of H2
1.5 - 0.45 kg CO2	\$1.00 / kg of H2
0.45 - 0 kg CO2	\$3.00 / kg of H2

### 1.3 インフレ抑制法（IRA）（2）

今後10年間の気候変動対策・クリーンエネルギー関連予算（3,690億ドル）は、助成金や融資、リベートの付与などを目的としたDOEなどの連邦政府16省庁への配当と、税控除などの税優遇措置の提供などに充当

連邦省庁で最も配分が多い省庁は農務省（US Department of Agriculture : USDA）、環境保護庁（Environmental Protection Agency : EPA）、エネルギー省（Department of Energy : DOE）であり、各省の主なプログラムは以下の通り。

IRA における主要連邦省庁への予算付与の概要

省庁名	概 要	予算額
農務省 (USDA)	①バイオ燃料の製造、貯蔵、供給インフラの整備、②農業部門のメタンガス、CO2などのGHG削減、③森林再生、④農業従事者や酪農家への再エネやゼロエミッションシステムの導入等	約470億ドル
環境保護庁 (EPA)	①クリーンエネルギー技術や省エネ更新への投資を促す国家気候基金（National Climate Bank）新設、②大型トラックのゼロエミッション車への移行を目的とした助成金やリベートの付与、③石油ガス業界のメタンガス漏洩の測定と削減に対する助成金、融資、リベートの提供等	約415億ドル
エネルギー省 (DOE)	①ゼロエミッションー低炭素自動車の製造支援に対する助成金の付与、②エネルギー集約度が高い産業への炭素排出量を削減する先端技術の導入支援、③洋上風力発電源の導入に向けた電力網の整備計画作成ーモデリングー分析ー大容量送電インフラの整備、④一般家庭へのヒートポンプなどの省エネ機器の設置支援に対するリベート提供、⑤5エネルギーインフラ整備を支援する融資保証の付与等	約350億ドル

- 連邦省庁への配当に加えて、様々な税控除を付与する。再生可能エネルギーの発電量に対して一定の税控除を適用する生産税（Production Tax Credit : PTC）や再エネインフラ投資額のうち一定額を税控除する投資税控除（Investment Tax Credit : ITC）の適用期間の延長。[CO2- EOR（石油増産回収）を含めた CO2 地下貯留に対する税控除 45Q の要件緩和や適用期間の延長](#)。電気自動車（EV）の製造や購入に対する税控除の付与等
- また、原子力発電、[持続可能な航空機燃料（Sustainable Aviation Fuel : SAF）](#)、[クリーン水素](#)、[低炭素排出の輸送燃料などの製造](#)に対しても税控除制度を新設、付与

出典：米国環境エネルギー政策動向マンスリーレポート、Vol.15、2022年8月、JETRO、ニューヨーク事務所より抜粋引用

## 1.4 ネットゼロ ゲームチェンジャーズ イニシアティブ

### Net-Zero Game Changers Initiative

2022年11月4日、バイデン政権は8月に成立したインフレ抑制法（Inflation Reduction Act : IRA）予算に基づき、米国立研究所へ投資を行うとともに、科学・研究・イノベーション分野で米国のリーダーシップを強化するために15億ドルを拠出することを発表

ホワイトハウスは2030年までに温室効果ガス排出量を2005年比で50～52%削減、2050年までにネットゼロエミッションを達成するために5つの優先技術領域を掲げ、これらの技術のイノベーションを推進する「ネットゼロ ゲームチェンジャーズ」イニシアティブを立ち上げた。

国立研究所への投資を通じて、気候危機を解決するクリーンエネルギー分野での高賃金な雇用創出や熟練労働者の転換、米国の経済競争力の向上を図る。また、同イニシアティブの推進により、今後5年間でイノベーションとなりうる革新的なクリーンエネルギー技術へ投資を行うことで、ゼロエミッション目標達成に寄与するとしている。

今回ホワイトハウスが発表した主な内容は以下のとおり。

#### ●米国立研究所への投資

2022年度予算として合計15億ドルを拠出し、米国立研究所における科学的施設の建設や更新、既存インフラの近代化、遅延している研究施設の保守事業を行う。最先端電子コライダーから世界最速スーパーコンピュータに至るあらゆる装置や施設の建設、重要インフラ施設の安全性・空調システムの更新などを行うことで、国立研究所の機能や運用効率性、安全性を強化する。

#### ●「ネットゼロゲームチェンジャーズ」イニシアティブの推進

バイデン政権が掲げた2050年までのネットゼロエミッション目標の達成を加速するために、今後5年間で迅速なイノベーションをもたらす可能性が高い革新的なクリーンエネルギー技術の研究開発を焦点とする。

特に、①省エネ効果が高い建物の冷暖房空調システム、②ネットゼロ航空機、③ネットゼロ電力網と電化、④ネットゼロ・循環型経済を対象とした産業製品と燃料、⑤5大規模な核融合エネルギー、の5分野を優先技術領域として掲げられた。

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/11/04/fact-sheet-biden-harris-administration-makes-historic-investment-in-americas-national-labs-announces-net-zero-game-changers-initiative/>

## 2. DOE 水素プログラム (1)

DOEの水素プログラムは、[エネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE）](#)内の[水素・燃料電池技術室（HFTO）](#)が主導し、水素の製造、供給、インフラ、貯蔵、燃料電池、および輸送、産業、定置電力アプリケーションにわたる複数の最終用途に関する研究開発を推進する。プログラムには、技術検証、製造、分析、システム開発と統合、安全、規範と標準、教育、人材育成の活動も含まれている。

### ウェブサイトの掲示内容

#### プログラム分野

- [水素製造](#)
- [水素配送](#)
- [水素貯蔵](#)
- [燃料電池](#)
- [H2@スケール](#)
- [アプリケーション/技術の検証](#)
- [安全性](#)
- [規範と基準](#)
- [教育](#)
- [基礎研究](#)
- [システム分析](#)
- [システム統合](#)

#### 主要文書

- [DOE の国家クリーン水素戦略とロードマップの草案](#)
- [AMR プレゼンテーション データベース](#)
- [2021年年次メリットレビューおよびピア評価レポート](#)
- [プログラム計画、ロードマップ、およびビジョン ドキュメント](#)

#### 情報

- [プログラム記録](#)
- [水素技術諮問委員会](#)
- [資金調達](#)の機会

#### DOE Participating Offices (DOE参加事務所)

[Office of Energy Efficiency and Renewable Energy](#)  
[Office of Fossil Energy and Carbon Management](#)  
[Office of Nuclear Energy](#)  
[Office of Science](#)  
[Office of Electricity](#)  
[Advanced Research Projects Agency–Energy](#)  
[Office of Clean Energy Demonstrations](#)

AMR: Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting

<https://www.hydrogen.energy.gov/>



## 2. DOE 水素プログラム (2)

米国DOEの水素プログラムは、複数のDOEオフィスが取り組んでおり、水素は経済を脱炭素化するための解決策のポートフォリオの重要な要素である。

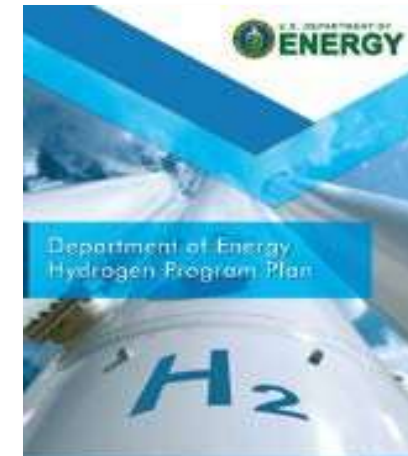
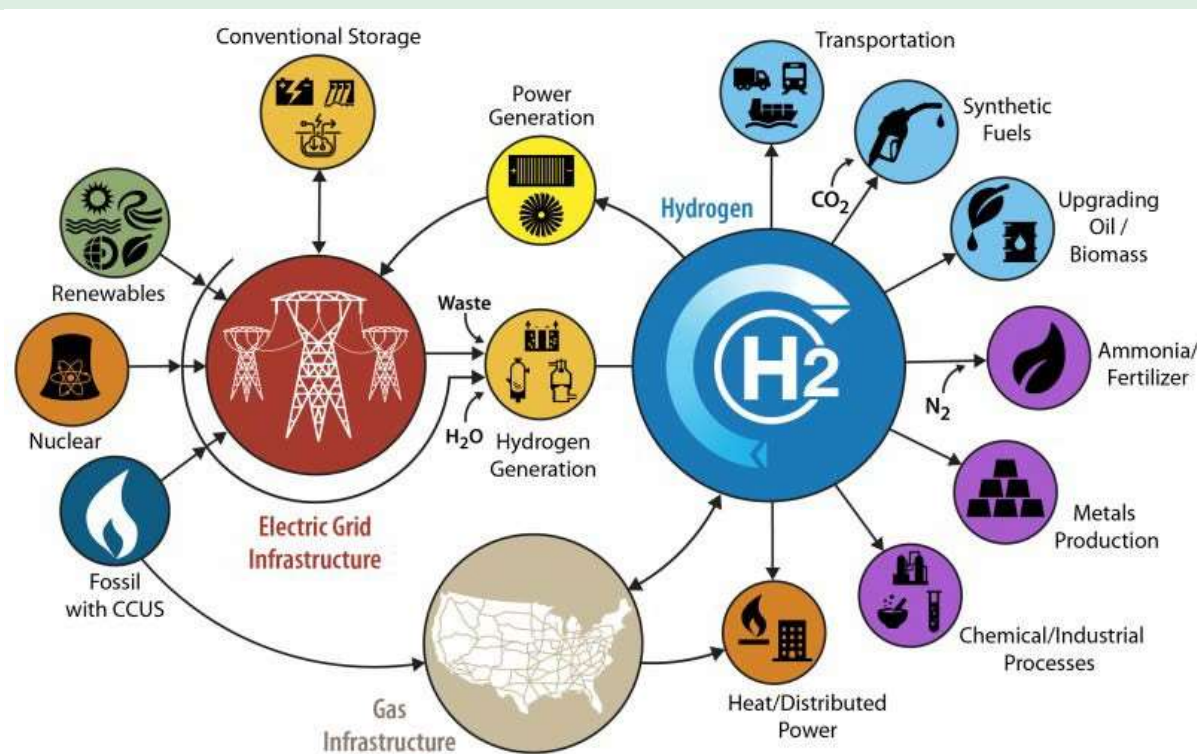
### 水素プログラム

#### DOE全体で調整

研究、開発、実証、普及(RDD&D)に重点を置き、以下のことに取り組む：

- ・ 生産から最終消費に至るH2バリューチェーン全体
- ・ すべての資源（再生可能エネルギー、原子力、化石燃料+CCS）からのH2生産

**H2@Scale**は、相互接続が進むエネルギーシステムにおいて、水素がどのようにアプリケーションやセクターのクリーンエネルギー経路を実現できるかを示すビジョンを提供するものである。



DOE Hydrogen Program Plan (2020)

[www.hydrogen.energy.gov](http://www.hydrogen.energy.gov)

[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4\\_satyapal\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4_satyapal_2022_o.pdf)より抜粋引用、和訳



## 2.1 DOEの水素プログラムの対象分野

水素・燃料電池技術室（HFTO）が主導している水素関連の研究開発プログラムの対象分野は、水素の製造、配送、貯蔵、燃料電池など多岐にわたる。

### <水素プログラムの対象分野>

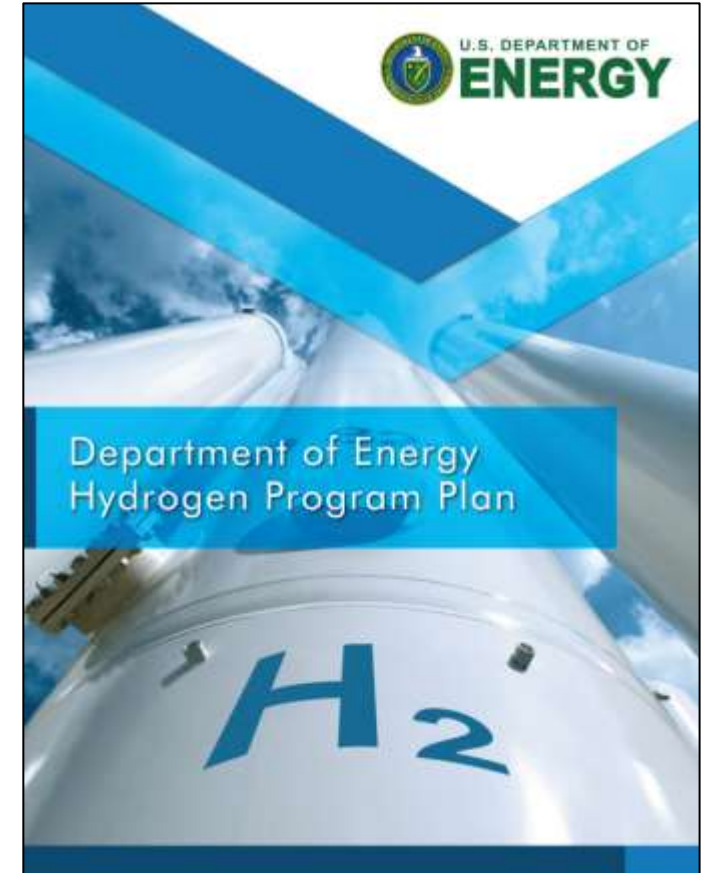
- **水素製造**：多様な国産エネルギー源から効率的かつ費用対効果の高い水素製造を促進する初期段階の研究に重点
- **水素配送**：輸送及び定置電力用のエネルギー担体としての導入と長期的な存続を可能にする水素供給技術の開発に重点
- **水素貯蔵**：水素（またはその前駆体）を車両上または配電系統内に高度に貯蔵することに重点
- **燃料電池**：水素を電気または熱に変換、固体高分子形燃料電池（PEM）による自動車への電力供給、自動車の補助動力装置、または定置用途に水素を使用することに重点
- **H2@Scale**：安価な水素の製造、輸送、貯蔵、利用を促進し、複数セクターで脱炭素化と収益機会を実現することが目的
- **アプリケーション/技術検証**：実環境における水素と燃料電池技術および統合システムの技術的・経済的性能の評価に重点
- **安全性**：水素漏れを検出するための水素センサーの開発に重点
- **法規制・規格**：国内外での水素の製造、輸送、貯蔵、および利用に関する新しいモデル規範・基準の起草作成
- **教育・研究**：水素、燃料電池システム、および関連インフラストラクチャの長期的な利点と近い将来の現実について、対象者を教育する
- **基礎研究**：革新的でハイリスク・ハイペイオフの基礎研究を長期的に支援
- **システム分析**：(1)完全な水素エネルギーシステムの個々の要素の全体への寄与、および(2)様々な要素の相互作用とシステムへの影響に関する理解を深めることにより、プログラムの意思決定を支援
- **システムインテグレーション**：十分に統合・最適化された水素・燃料電池システムを実現するためのタスク

## 2.2 DOE Hydrogen Program Plan (2020年11月12日) (1)

DOEは2020年11月12日、水素研究の開発・実証計画である「[Hydrogen Program Plan](#)」を発表した。政府はエネルギー部門をはじめ、組織横断的に水素の生産や輸送、貯蔵や利用に関する研究開発を推進する。この計画は、水素プログラムの下で、今後、数年にわたる米国の水素研究の戦略的方向性を示す柱となる。

エネルギー効率化・再生可能エネルギー局、化石エネルギー局、原子力局、電力局、科学局、および ARPA-E の参加により、DOE 水素プログラムは、経済のさまざまな部門にわたって、カーボンニュートラル水素の安価な製造、輸送、貯蔵、および使用を促進するための省内の協調作業である。

本計画は、水素体制計画やDOE水素・燃料電池プログラム計画を含む旧バージョンを更新・拡張し、DOE全体の水素関連活動の調整されたハイレベルな要約を提供する。



DOE : The U.S. Department of Energy、米国エネルギー省

<https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen-program-plan-2020.pdf>

## 2.2 Hydrogen Program Plan (2020年11月) (2)

### 水素バリューチェーンにおける包括的なDOE戦略

#### 目 次

ステークホルダーの皆様へ	ii	変換	24
まえがき - この文書について	1	燃烧	24
1 はじめに	3	燃料電池	25
水素の概要-メリットと用途	4	利用	28
進捗とニーズ	5	運輸業	28
2 DOE水素プログラム	8	化学・工業プロセス	29
プログラムの使命	8	定置用および発電用アプリケーション	30
水素の大規模利用-基本的な考え方	8	統合型ハイブリッドエネルギーシステム	30
プログラム戦略	14	横断的な課題と機会	32
3 技術フォーカスエリアとRD&Dスラスト	15	4 プログラムの実行とコラボレーション	35
水素製造	15	プログラムの実行	35
化石資源	16	ステークホルダーからの意見	35
バイオマス・廃棄物関連資源	16	プログラム資金	35
水分解技術	17	実効性を確保するための方策	35
水素の供給	18	社内外の連携・協力体制.	36
チューブトレーラー	18	内部組織	36
パイプライン	19	連邦政府と州政府の調整	41
液体水素	19	民間セクターとその他の非政府パートナーシップ	42
化学水素キャリアー	19	国際的な調整と協力	42
水素ディスペンサーと燃料補給	20	付録A：1000万トンの水素を製造するために必要な	
水素の貯蔵	21	国内のエネルギー資源	45
物理ベースのストレージ	22	付録B：略語集	47
素材別保存方法	24	付録C：連絡先・リンク集	49
		謝辞	51



## 2.2.1 水素バリューチェーンにおける包括的なDOE戦略

	NEAR-TERM	LONGER-TERM
<b>Production</b> 水素製造	Electrolysis (low-temperature, high-temperature) Advanced fossil and biomass reforming/conversion/pyrolysis Gasification of biomass, legacy coal waste, and other wastes with carbon capture, utilization, and storage	Advanced thermo/photoelectro-chemical H <sub>2</sub> O splitting Advanced biological/microbial conversion
<b>Delivery</b> 水素配送	Distribution from on-site production Tube trailers (gaseous H <sub>2</sub> ) Cryogenic trucks (liquid H <sub>2</sub> )	Widespread pipeline transmission and distribution Chemical H <sub>2</sub> carriers
<b>Storage</b> 水素貯蔵	Pressurized tanks (gaseous H <sub>2</sub> ) Cryogenic vessels (liquid H <sub>2</sub> )	Geologic H <sub>2</sub> storage (e.g., caverns, depleted oil/gas reservoirs) Cryo-compressed Chemical H <sub>2</sub> carriers Materials-based H <sub>2</sub> storage
<b>Conversion</b> 変換	Turbine combustion Fuel cells	Advanced combustion Next generation fuel cells Fuel cell/combustion hybrids Reversible fuel cells
<b>Applications</b> 利用	Fuel refining Space applications Portable power	Blending in natural gas pipelines Distributed stationary power Transportation Industrial and chemical processes Defense, security, and logistics applications Distributed CHP Utility systems Integrated energy systems

[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4\\_satyapal\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4_satyapal_2022_o.pdf)より抜粋引用

## 2.2.2 プログラムの優先順位とそれに対応する主要なイニシアティブ

### Program Priorities

### Key Initiatives to Address Priorities

### DOEの達成目標

DOE Targets  
include:

1. 低コストでクリーンな水素の製造  
1 Low-Cost Clean Hydrogen Production

H2NEW, HydroGEN, ElectroCAT,  
Hydrogen Shot Incubator Prize, H2 Demos

2. 安全で低コストの配送と貯蔵・インフラストラクチャ

2 Safe, Low-Cost Delivery and  
Storage Infrastructure

H-Mat, HyBlend, HyMARC, SHASTA,  
C-Fiber Tanks, Liquefaction, Sensors

3. 低コスト、高耐久性、高効率の燃料電池と低NO<sub>x</sub>タービン

3 Low Cost, Durable, and Efficient  
Fuel Cells & Low-NO<sub>x</sub> Turbines

M2FCT, ElectroCAT,  
Low-NO<sub>x</sub> Turbine RD&D

4. エンドユーズアプリケーションを大規模に実現

4 Enable End Use Applications at Scale

H2@Scale demos, Hydrogen Hubs,  
H2 Matchmaker

#### Clean Hydrogen

- \$1/kg production
- \$2/kg delivery
- \$9/kWh storage

#### Electrolyzers

- \$150/kW
- 73% efficiency
- 80Khr durability

#### Fuel Cells for Heavy Duty Trucks

- \$80/kW
- 25Khr durability

#### Enable EJ40 Priorities

DEI



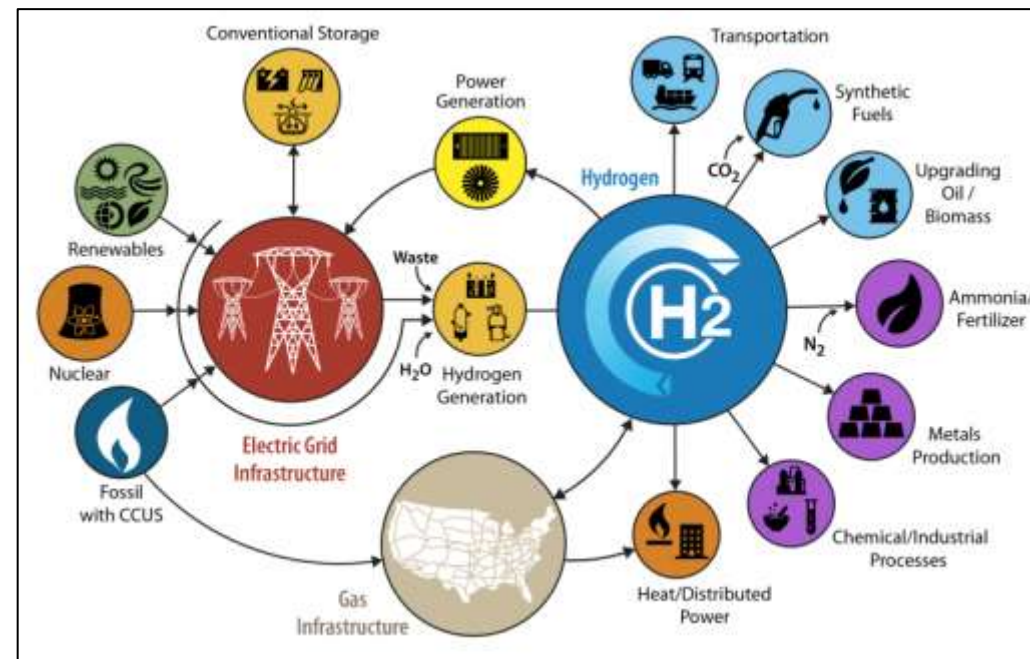
## 2.3 H2@Scale イニシアティブ

2016年に策定された「H2@Scale」イニシアティブは、DOEのエネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE）内の水素・燃料電池技術局（HFTO）が主導し、関係者を結集して安価な水素の製造、輸送、貯蔵、利用を推進し、複数のエネルギー部門における収益機会を増大させることを目的としている。（DOEの資金提供プロジェクトや、国立研究所と産業界の共同出資による活動が含まれ、適用可能な水素技術の初期段階の研究、開発、実証を加速させる。）

現在、米国では毎年1,000万トンの水素が製造されている。この水素のほとんどは天然ガスの集中改質によって製造されているが、電気分解のようなクリーンな代替技術の導入が急速に進んでいる。また、熱化学的水分解、光電気化学電池、生物学的経路など、新たなアプローチも生まれている。水素の用途は、主に石油精製とアンモニア産業である。その他、工業分野（金属精錬など）、液体燃料（バイオ燃料、合成燃料など）、熱発電、エネルギー貯蔵、輸送などにも利用されつつある。

DOEのH2@Scaleコンソーシアムは、産学連携による国立研究所の世界レベルの能力を活用した研究開発プロジェクトを促進している。初期段階の研究開発プロジェクトにおける主要な利害関係者（発電事業者や技術開発者など）とのパートナーシップは、DOEの資金をマッチングさせた協力協定を通じて促進できる。

H2@Scaleの目標を実現するための研究開発課題は、水素の製造、供給、貯蔵、インフラ、および多様な用途での使用に関するものである。DOEの役割は、分散型水素製造、供給、および貯蔵のための新しいコンセプトなど、初期段階の研究開発に重点を置く一方で、実証のための民間部門への依存は重要である。最初の実証試験により、最先端技術を既存のシステムに統合し、将来の配備のためのビジネスケースを示し、将来の研究開発計画を導くための検証を行うことができる。



H2@Scaleの概念図

DOE: Department of Energy  
EERE: Office of Energy Efficiency & Renewable Energy  
HFTO: Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office

## 2.3.1 H2@Scale 共同研究開発協定プロジェクト

2017年以降、DOEは2つのH2@Scale CRADA（共同研究開発協定）コールを発行し、その結果、産業界、学術界、非営利団体との30以上のCRADAプロジェクトが生まれた。

H2@Scale CRADA Callsは、中型車および大型車への水素燃料供給、天然ガスパイプラインへの混合、生産、グリッド統合、安全性、規範、標準に情報を提供するプロジェクトに関する研究開発を対象としている。

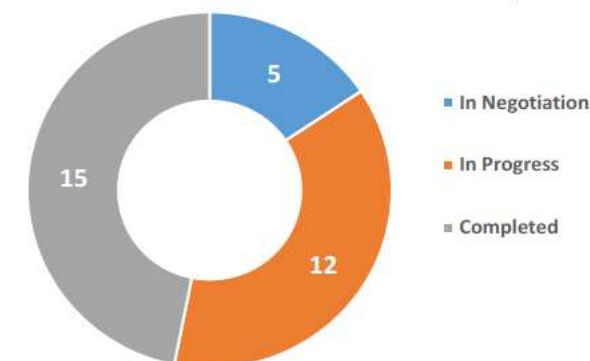
### <プロジェクトの重点分野>

- モデリングと分析
- 材料適合性の研究開発
- 水素のグリッドへの統合
- 安全性とコンポーネントの研究開発
- 水素と付加価値製品の共同開発
- 技術性能の検証

### <現在進行中のH2@Scale CRADAプロジェクト>

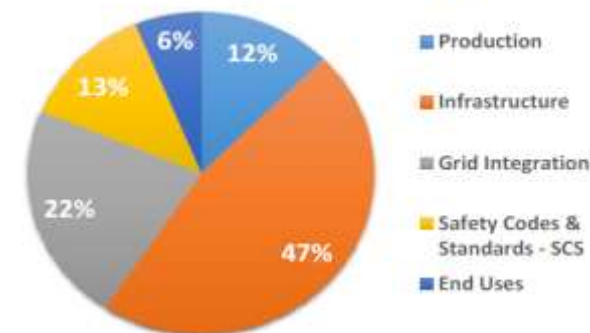
- 小型、中型、および大型の最終用途をサポートする高処理ステーションの設計と運用戦略の推進(シェル社、NREL)
- 完全に統合された電解槽とバイオリアクターのプロトタイプを開発し、南カリフォルニアガスがその技術をライセンス供与する。(SoCal Gas、NREL)
- 水素混合物における従来のパイプライン材料と新しいパイプライン材料の性能の評価(SoCal Gas、SNL)
- 大型車、定置電力、港湾での回復力のための水素燃料供給と燃料電池システムの設計(シアトル港、PNNL)

Status of H2@Scale CRADA Projects



As of December, 2020

H2@Scale CRADA Focus Areas



DOE: Department of Energy  
 CRADA: Cooperative Research and Development Agreement  
 HFTO: Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office

## 2.3.2 H2@Scale 共同研究開発協定プロジェクトの概要 (2021年2月4日)

<b>水素の製造</b>
メタン熱分解によるカーボンナノチューブとCO <sub>2</sub> フリー水素の製造技術
MWスケールPEM電解槽による再生可能エネルギーへの応用
再生可能エネルギーによる水素製造のためのスケーラブルな電解システム
高出力圧力の電解システムの検証
<b>水素インフラ</b>
HyBlend - 米国天然ガスパイプラインインフラにおける水素混合の実現可能性評価のための材料適合性研究開発、技術経済分析、ライフサイクル検討
水素充填ステーションのための定量的リスク評価ツールの開発、検証、ベンチマーク
大型リファレンスステーションの設計、試験装置の開発、容量のモデル化
水素輸送・貯蔵用双方向キャリアとしてのトルエン・メチルシクロヘキサン
ターボエクスパンダー 燃料電池電気自動車の急速充填のための代替燃料供給コンセプト
水素の電気化学的圧縮のためのMEMbrane技術
水素の電気化学的圧縮を実現する膜電極接合体の製造自動化技術
低コスト・高圧・ポリマー製水素ディスペンサーホースの水素材料適合性
チューブトレーラーコンソリデーションスキームのステーションビルダーへのメリット評価ツール開発
水素燃料電池自動車修理工場改善のためのリスク分析およびモデリング
辰野式コリオリ流量計の開発、高圧水素での試験
燃料電池自動車/水素ステーションの全体最適化モデル
大型ステーションにおける予冷の最適化とサイバー脆弱性解析
大型自動車、定置用電力、港湾における耐障害性のための水素燃料供給および燃料電池システムの設計
高スループット水素ステーションの革新
天然ガスパイプラインへの水素の混合

<b>安全性、規範、標準</b>
カリフォルニア州水素インフラ研究コンソーシアム
水素安全パネルによる水素施設の評価
水素安全パネルによる、水素燃料とエネルギープロジェクトの普及を促進するための水素安全アウトリーチ活動
350気圧の大流量水素充填方法の開発
<b>グリッドインテグレーション</b>
生産コストモデリングを用いた電力網における水素技術の評価
商用水素の大規模化、原子力水素製造の可能性に関する技術的・経済的ケーススタディ
再生可能エネルギーと電解の統合システムの最適化
溶融塩炉原子力発電所と統合された電気・熱ハイブリッド水素製造プロセス
地域別の商用水素市場評価と電解水素製造の技術・経済性評価
PWR/MCFR/TWRと組み合わせた高温水蒸気電解による水素製造とエネルギー貯蔵の評価
電解再生可能燃料製造の最適な運転方法の検討
<b>水素の最終用途</b>
水電解槽の設備コスト低減と効率化、およびバイオリアクターでの再生可能天然ガス生産の改善



## 2.4 Energy Earthshots イニシアティブ

アースショットイニシアティブは、2050年のネットゼロカーボンの目標達成及び新たなクリーンエネルギー経済の雇用創出に向けて、エネルギー経済全体で最も困難な技術的課題を解決するための取り組みである。

2021年6月7日に最初のエネルギーアースショットであるHydrogen Shotが発表された後、2022年9月21日までに6件が発表されている。これまでの実施概要を以下に示す。

（「Earthshot」は、1960年代のジョン・F・ケネディ大統領の「Moonshot」という演説にちなんだ造語。地球環境問題の解決に向かう革新的な政策や技術を意味している。

### 1. Hydrogen Shot(2021年6月7日) クリーン水素

今後10年間で水素製造コストを現行の5ドルから80%削減し、2030年に\$1/kgとする。(2025年に\$2/kg)

2025年までに電解層の設備コストを300ドル/kWまで低減する（現状比80%減）。これにより、水素\$2/kgまで到達する。

### 2. Long Duration Storage Shot(2021年7月14日)、長時間稼働の蓄電池

10時間以上の連続使用が可能なグリッドスケールのエネルギー貯蔵システム（蓄電池）について、10年以内に2020年のリチウムイオン電池貯蔵コストより90%削減する。電気化学的(蓄電池等)、機械的(フライホイール等)、熱的(蓄熱等)、化学的キャリア(水素、アンモニア等)といった種類の蓄エネ技術を対象とする。

### 3. Carbon Negative Shot(2021年11月5日)、CO2回収技術

大気中からCO2を直接回収する（DAC）コストを、今後10年間でCO2ー1トンあたり100ドル未満に低減する（回収、貯留又は利用までを含む永続的な貯蔵）。CO2除去技術の稼働時および構築時に発生する排出量も確実に計算されること、少なくとも100年間、監視、報告、および検証のコストが実証された高品質で耐久性のある貯蔵場所であること、必要なギガトン規模の除去を可能にすること。

### 4. Enhanced Geothermal Shot (2022年9月8日) 地熱発電

2035年までに強化型地熱発電システム（Enhanced Geothermal Systems : EGS）のコストを90%削減し、1MWh当たり45ドルへの削減を目指す。

### 5. Floating Offshore Wind Shot (2022年9月15日) 浮体式洋上風力発電

DOEは、内務省（Departments of Interior : DOI）、商務省（Departments of Commerce : DOC）、運輸省（Departments of Transportation : DOT）と共同で、浮体式洋上風力発電技術のコストを2035年までに70%以上削減し、1MWh当たり45ドルとする。

### 6. Industrial Heat Shot (2022年9月21日) 産業用熱源

2035年までに温室効果ガス排出量を85%以上削減したコスト競争力のある産業用熱源の開発を目指す。

産業セクタにおけるエネルギー使用量は2020年時点で、米国全体の33%、エネルギー関連のCO2排出量は全体の30%を占めるため、産業セクタの脱炭素化は重要である。製造プロセスの電化、地熱や集光型太陽光、原子力などの低排出ガス熱源の導入、低/非加熱プロセス技術の革新的な開発を目的としている。

「Energy Earth Shot」イニシアチブは、現在、高コストで実用化が困難なクリーンエネルギー技術を大幅コストダウンするための取り組み

## 2.4.1 Hydrogen Shot (1)

2021年6月7日に開始されたHydrogen Shotは、Energy Earthshotイニシアチブの最初の取組として、クリーン水素のコストを**10年**で80%削減して**1kg**あたり**1ドル**にすることを目指している。



\* Baseline 2020 cost: PEM \$1,500/kW, \$50/MWh, 90% capacity factor

[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4\\_satyapal\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4_satyapal_2022_o.pdf)より抜粋引用

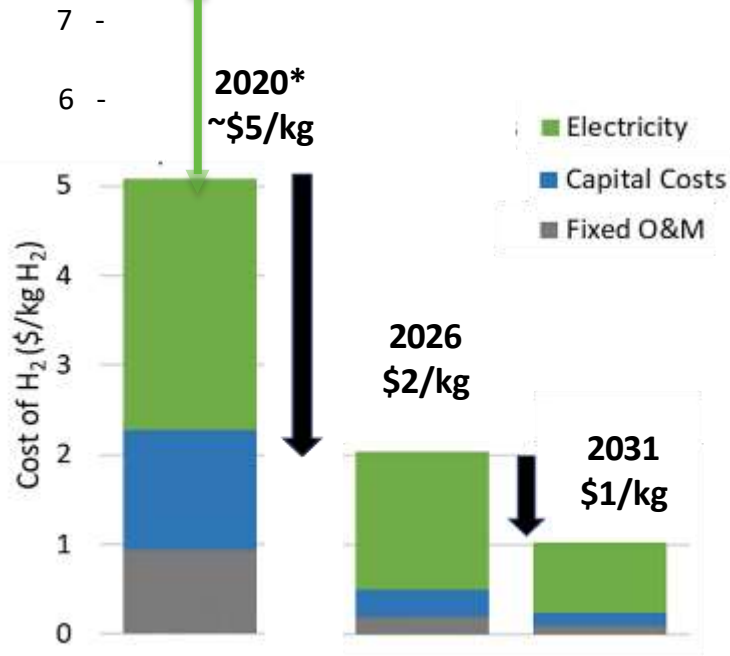


## 2.4.1 Hydrogen Shot (2)

複数のパスウェイにまたがるコスト削減の例

パスウェイ全体のコストと排出量を削減するために開発されている戦略とシナリオ

### H<sub>2</sub> from Electrolysis (電解水素)

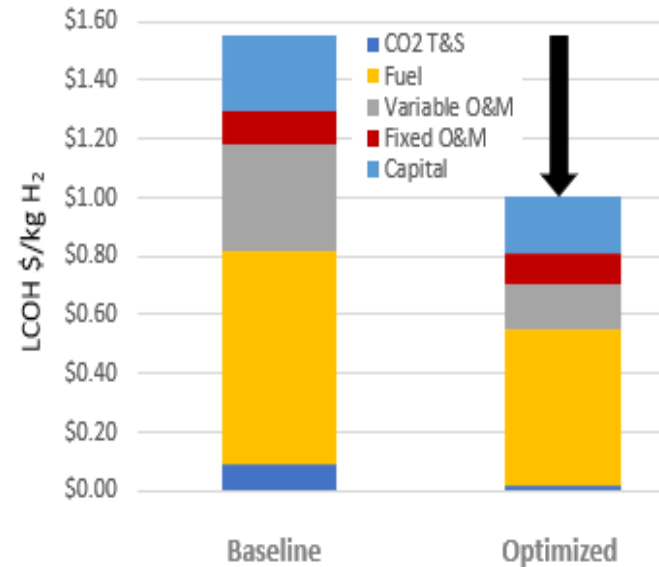


- Reduce electricity cost, improve efficiency and utilization
- Reduce capital cost >80%, operating & maintenance cost >90%

\*2020 Baseline: PEM (Polymer Electrolyte Membrane) low volume capital cost ~\$1,500/kW, electricity at \$50/MWh. Pathways to targets include capital cost <\$300/kW by 2025, <\$150/kW by 2030 (at scale). Assumes \$50/MWh in 2020, \$30/MWh in 2025, \$20/MWh in 2030

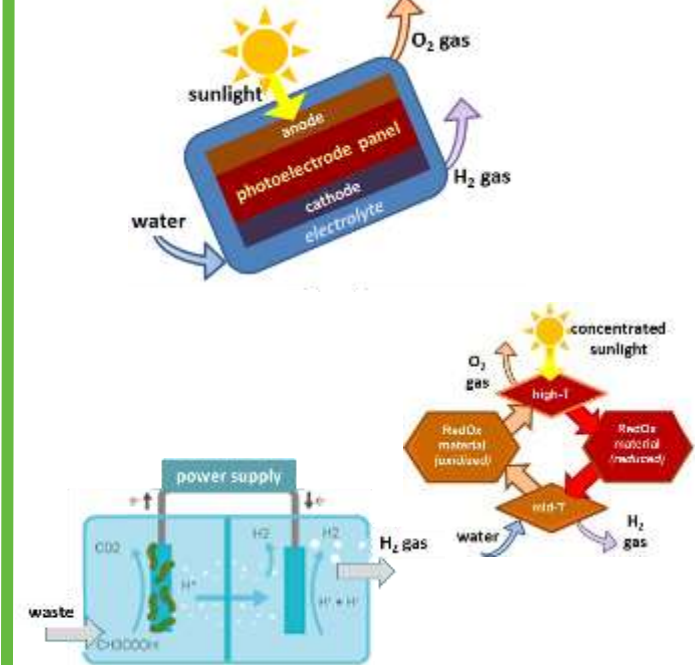
### Thermal Conversion (熱変換)

Example: Natural Gas Conversion + CCUS



- Reforming; pyrolysis; air separation; catalysts; carbon capture and storage (CCS); upstream emissions

### Advanced Pathways (革新技術開発)



- Photoelectrochemical (PEC), thermochemical, biological, etc.

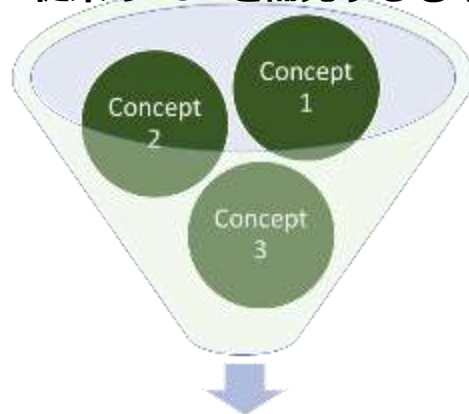
[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4\\_satyapal\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4_satyapal_2022_o.pdf)より抜粋引用

## 2.4.1 Hydrogen Shot (3)

## 水素ショット達成のためのRDD&amp;Dパイプラインにおけるイノベーションのメカニズム

## Mechanisms for Innovation across the RDD&amp;D Pipeline to achieve Hydrogen Shot

**Hydrogen Shot Incubator Prize**  
 ハイドロジェン・ショット インキュベーター賞  
 Complements conventional FOAs  
 従来のFOAを補完するもの



起業家がコンセプトの実証のために国立研究所の専門家を利用するためのバウチャーを提供する。

Hydrogen Shot Screener

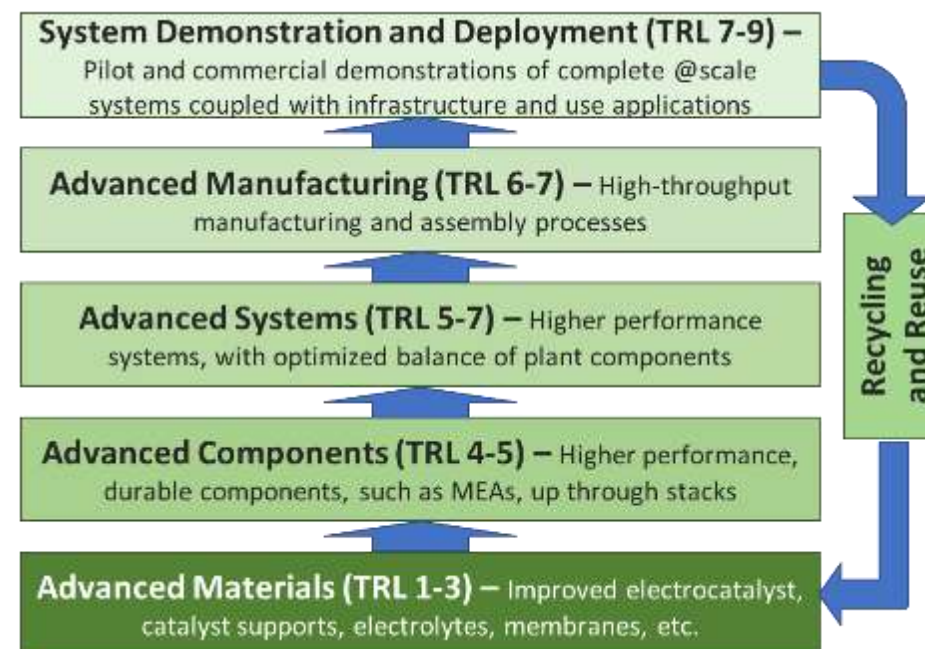
投資家への売り込み、または将来のFOAへの申請

Provide vouchers for entrepreneurs to use national lab experts for proof of concept

Pitch to investors or apply for future FOAs

**FOAs, Consortia, Demos, H2 Hubs, Loan Guarantees**

要素技術開発からシステム実証までの流れ  
 Feedback Requested on Industry Needs



AI and machine learning tools explored with AI Office  
 De-risk demos and validate integrated systems  
 Ramp up scale through demos and H2 Hubs

## 2.5 クリーン水素実証ハブ プログラム (1)

### Regional Clean Hydrogen Hubs

2022年9月22日、エネルギー省（DOE / OCED）は 全米各地において地域のクリーン水素実証ハブ（H2Hubs）の拠点整備のため、総額70億ドルの助成金プログラムを開始した。  
（本プログラムには、インフラ投資雇用法(IIJA)予算から80億ドルが割り当てられる。）

H2Hubプログラムは、クリーン水素の生産・消費拠点を全米各地へ整備することで、2050 年までにゼロエミッション への移行の目標達成の一助とするほか、クリーンエネルギー技術への投資促進、高賃金雇用の創出、エネルギーセキュリティの強化を目指している。

今回、その第1弾として、地域水素ハブの拠点整備を展開するプロジェクトの提案募集を実施した。

- ・ DOE は応募の中から、6～10件程度のハブ候補地を選定する。
- ・ 申請者は11月7日までに概念設計書（コンセプト・ペーパー）を提出、2023年4月7日までに正式申請書類を提出する。

各プロジェクト当たりの助成金付与額は5億ドルから10億ドルを想定しており、DOE助成金に加えて、申請企業なども最低50%を負担する必要があるため、事業規模は官民併せて1件当たり8億ドルから25億ドルに達する見込み。更にその後、追加予算として第2弾が支給される可能性もある。

プロジェクトでは、特定地域内にクリーン水素の生産者と消費者、両者を接続する輸送や貯蔵などのインフラ網を整備する。太陽光、風力などの再生可能エネルギー、原子力、CCS が付随した化石燃料発電所などのクリーン電力を用いてクリーン水素を製造し、貯蔵・輸送して、産業、発電、商業用／家庭用暖房などの様々なセクターで利用する。可能な限り、当該地域にあるエネルギー資源や、水素製造・貯蔵・輸送を行うために既存の施設・インフラを活用するとともに、国内の資源や部品を調達することを掲げている。

出典：<https://www.energy.gov/oced/regional-clean-hydrogen-hubs>

米国環境エネルギー政策動向マンスリーレポート、Vol.17、2022年10月、JETRO、ニューヨーク事務所より抜粋引用



## 2.5 クリーン水素実証ハブ プログラム (2)

### 地域ネットワークの構築

各地域の立地条件（資源やインフラ整備等）を活用したクリーン水素実証ハブの構築



### Examples of Stakeholder and RFI Input



[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4\\_satyapal\\_2022\\_o.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review22/plenary4_satyapal_2022_o.pdf)より抜粋引用

## 2.5 クリーン水素実証ハブ プログラム (3)

### 地域ネットワークの指定を目指したパートナーシップ検討

DOEの地域クリーン水素実証ハブ（Regional Clean Hydrogen Hub）の資金提供公募（FOA）について、関係機関からの提案要請（RFI）を実施しており、提出情報は非公開であり拘束力を発生しないが、既に複数の州政府が、今後の資金提供を期待してパートナーシップを発表しつつある。

#### <検討を進めているパートナーシップ例>

- コネチカット、ニューヨーク、ニュージャージー、マサチューセッツの4州がプロポーザルを策定するためのパートナーシップを発表
- ユタ、ニューメキシコ、コロラド、ワイオミングの4州が水素ハブ開発の覚書に署名
- ルイジアナ、アーカンソー、オクラホマの3州が協力
- ウェストバージニア州やオハイオ州のグループが水素ハブへの関心を表明
- **ヒューストン**やノースダコタなど、他の地域からも関心が寄せられている模様



## 2.5.1 2030年までのテキサス州水素ハブ候補プロジェクト例

### Texas hydrogen hub potential project examples by 2030

Illustrative

#### Emerging clusters

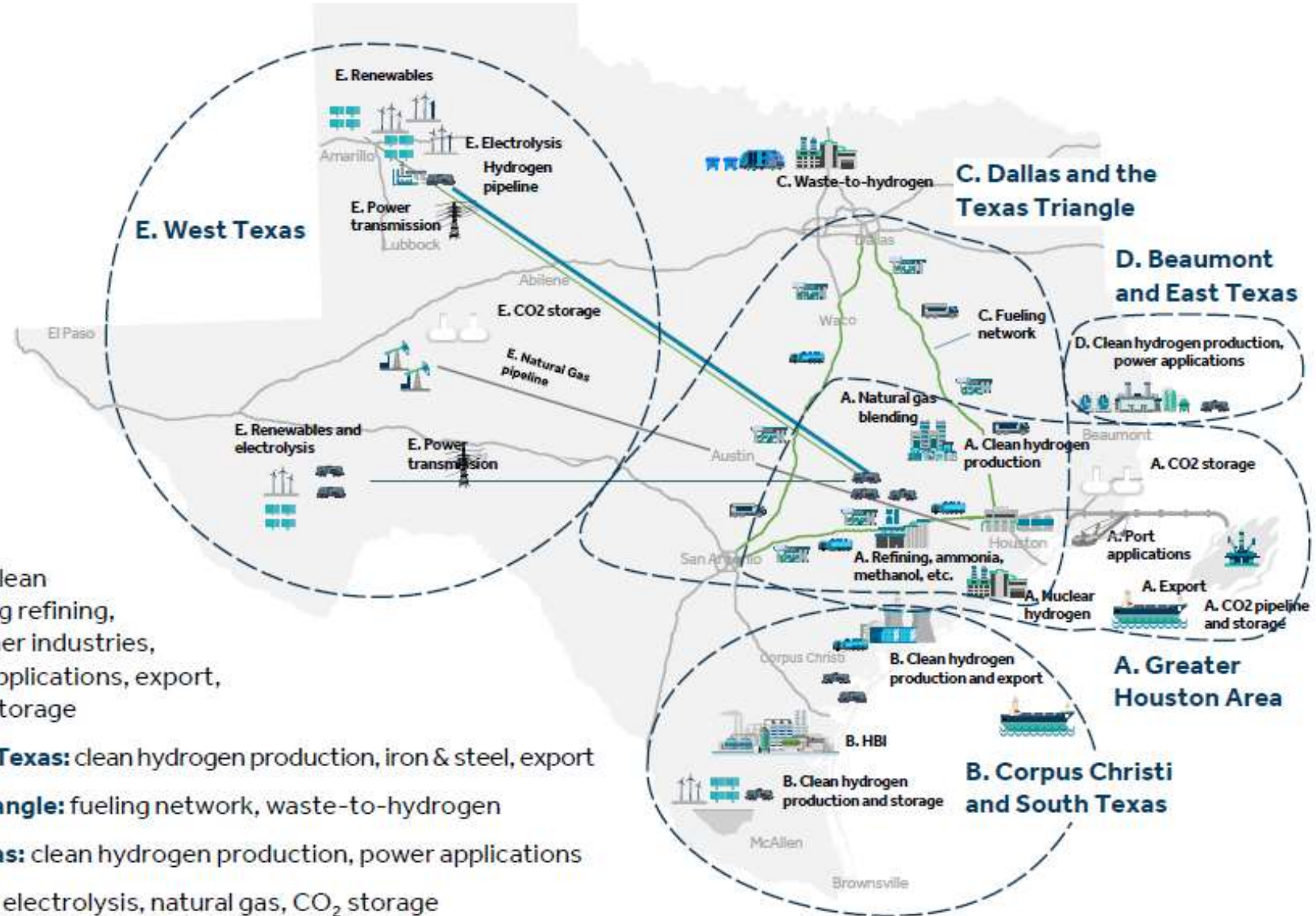
**A. Greater Houston Area:** clean hydrogen production serving refining, ammonia, methanol and other industries, natural gas blending, port applications, export, onshore and offshore CO<sub>2</sub> storage

**B. Corpus Christi and South Texas:** clean hydrogen production, iron & steel, export

**C. Dallas and the Texas Triangle:** fueling network, waste-to-hydrogen

**D. Beaumont and East Texas:** clean hydrogen production, power applications

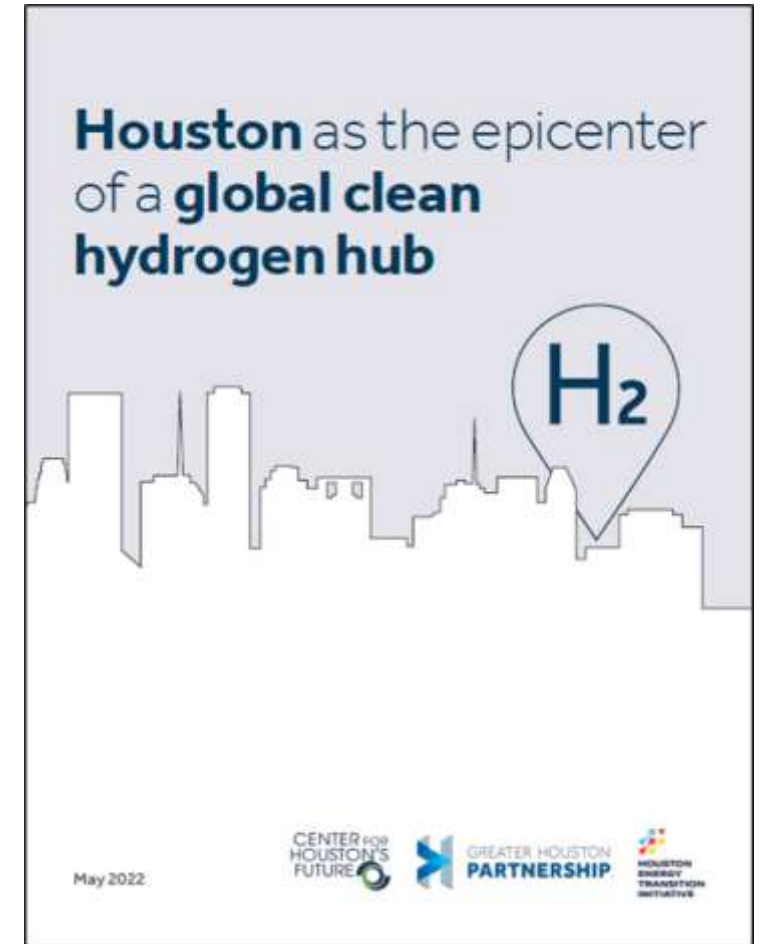
**E. West Texas:** renewables, electrolysis, natural gas, CO<sub>2</sub> storage



## 2.5.2 Houstonクリーン水素ハブ プログラム

クリーン水素地域ハブの実現可能性を検証し、規模、コスト、プロジェクトの多様性の観点から、長期的に実現可能な内容を検討。

1. 要旨	1. Executive summary	1
2. 供給	2. Supply	4
1. グローバルコストの推移	1. Global cost trajectory	4
2. テキサス州の現在の供給コストの優位性	2. Texas' current cost of supply advantages	4
3. テキサス州の供給コストの軌跡	3. Trajectory of Texas' cost of supply	7
4. テキサス州の輸出競争力	4. Texas' export competitiveness	17
3. 需要	3. Demand	19
1. 世界需要	1. Global demand	19
2. テキサス州の優先使用例	2. Texas' priority use cases	20
A. 産業用途	A. Industrial applications	20
B. モビリティ	B. Mobility	23
C. 電力・熱	C. Power and heat	25
D. 輸出の可能性	D. Export potential	26
4. ビジョンと戦略的ロードマップ	4. Vision and strategic roadmap	28
1. 基本方針	1. Guiding principles	28
2. ビジョンの要素	2. Elements of the vision	29
3. 戦略的ロードマップ	3. Strategic roadmap	29
4. 環境正義	4. Environmental justice	32
5. サンプルプロジェクト	5. Sample projects	34
6. 横断的なイネーブラー	6. Cross-cutting enablers	37
1. 政策	1. Policy	37
2. インフラ	2. Infrastructure	41
3. イノベーション・エコシステム	3. Innovation ecosystem	44
4. 公平な労働力開発	4. Equitable workforce development	45
7. 次のステップ	7. Next steps	47
8. 結論	8. Conclusion	48
付録	Appendix	49



## <参考資料>

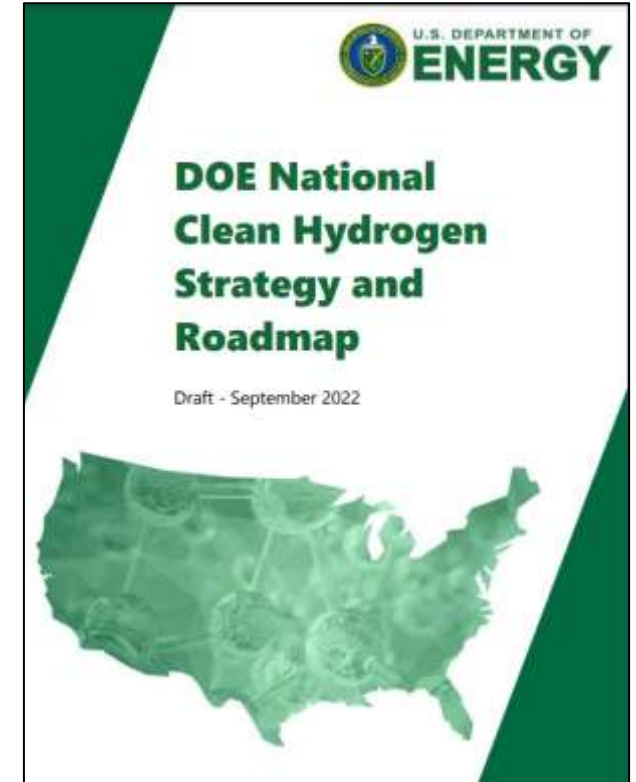
# DOE / 国家クリーン水素戦略とロードマップ (ドラフト) DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap

DOE の国家クリーン水素戦略およびロードマップのドラフトは、今日の米国における水素の生産、輸送、貯蔵、および使用のスナップショットを提供し、複数のセクターにわたる国家目標に貢献するクリーン水素の可能性を探るものである。

この文書は、2022年9月22日にパブリックコメントのために掲載され、パブリックコメント期間は 2022 年 12 月 1 日に終了した。

DOE は、ワークショップやリスニングセッションなどの追加的な機会を通じて、利害関係者のフィードバックを求めることもできる。受け取ったフィードバックは、本文書を確定し、超党派インフラ法（BIL）により義務付けられた更新を作成するために使用される。また、BILで義務付けられているように、報告書は少なくとも3年ごとに更新されるため、今後もステークホルダーの意見を聞く機会が設けられる予定である。

この戦略とロードマップは、BILとして知られるインフラ投資・雇用法（公法117-58）のセクション40314で規定された立法文言に対応するものである。





# DOE / 産業脱炭素化ロードマップ (1)

## Industrial Decarbonization Roadmap

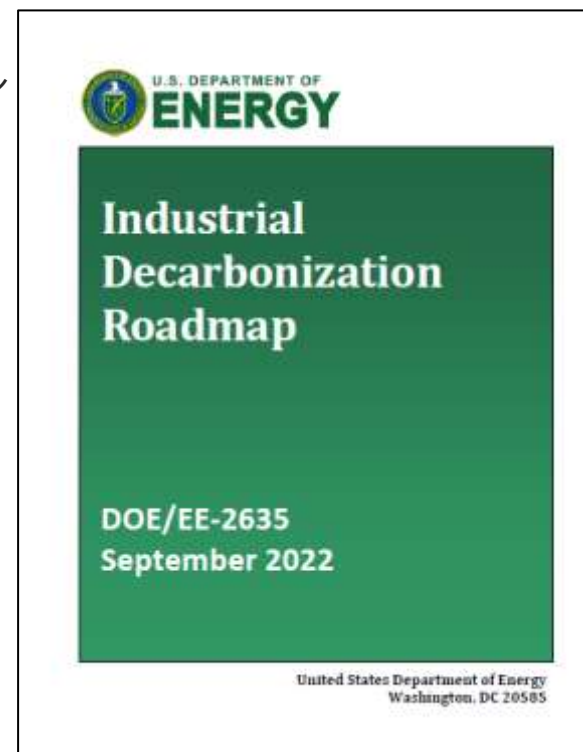
2022年9月に発表された米国エネルギー省 (DOE) の「[産業脱炭素化ロードマップ](#)」は、米国の製造業におけるイノベーションを通じて産業排出量を削減するための4つの主要な道筋を特定している

米国の産業界は、一次エネルギー由来のCO2排出量の30% (13億6千万MT-CO2 (2020年)) を占める。産業界の脱炭素化ロードマップは、全米で最もCO2排出量の多い**5つの産業** (石油精製、化学、鉄鋼、セメント、食品・飲料) に焦点を当て、産業界の脱炭素化技術で最も大きな効果を上げることができるとしている。これらの産業は、米国の産業部門におけるエネルギー関連のCO2排出量の約51%、米国経済全体のCO2総排出量の約15%を占めている。

ロードマップでは、これら5つの産業において、排出量を大幅に削減するための4つの主要な技術の柱を以下の様に特定した。

- ①**エネルギー効率**
- ②**産業電化**
- ③**低炭素燃料・原料・エネルギー源 (LCFFES)**
- ④**炭素回収・利用・貯留 (CCUS)**

これらの柱は、すべての産業サブセクターに適用可能であり、電力網のGHG排出強度の減少、技術の発展、緩和困難な排出源の対処に伴い、短期および将来の削減を実現する能力を持っている。



LCFFES: Low-Carbon Fuels, Feedstocks, and Energy Sources

CCUS: Carbon Capture, Utilization, and Storage

<https://www.energy.gov/eere/doe-industrial-decarbonization-roadmap>



DOEは、2022年9月7日に「[産業脱炭素化ロードマップ](#)」を発表。米国の製造業におけるイノベーションを通じて産業排出量を削減するための4つの主要な道筋を特定している

- 1. エネルギー効率化**：エネルギー効率化は、基礎的かつ横断的な脱炭素化戦略であり、短期的にはGHG排出量削減のための最もコスト効率の良い選択肢である。脱炭素化の取り組みとして以下が挙げられる。
  - 産業プロセスのパフォーマンスをシステムレベルで最適化する戦略的なエネルギー管理アプローチ
  - 製造プロセスの加熱、ボイラー、熱電併給（CHP）ソースからの熱のシステム管理および最適化
  - 製造プロセスにおけるエネルギー生産性を向上させるためのスマート・マニュファクチャリングと高度なデータ分析
- 2. 産業の電化**：脱炭素化には、グリッド電源とオンサイトの再生可能エネルギーによる低炭素電力の活用が不可欠である。脱炭素化には以下のような取り組みが必要である。
  - 誘導加熱、放射加熱、ヒートポンプを用いたプロセス熱の電化
  - 鉄鋼、セメント製造などの高温域プロセスの電化
  - 熱駆動プロセスから電気化学プロセスへの置き換え
- 3. 低炭素燃料、原料、エネルギー源(LCFFES)**：低炭素・無炭素の燃料や原料に置き換えることで、産業プロセスにおける燃焼に伴う排出を削減する。脱炭素化の取り組みには以下が含まれる。
  - 燃料転換可能なプロセスの開発
  - [水素燃料と原料の産業用途への統合](#)
  - バイオ燃料とバイオ原料の使用
- 4. 炭素の回収、利用、貯蔵 (CCUS)**：CCUSは、発生源から二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を回収し、そのCO<sub>2</sub>を付加価値の高い製品に利用したり、放出を避けるために長期的に貯蔵したりする多成分戦略である。脱炭素化には以下のような取り組みがあります。
  - 燃焼後のCO<sub>2</sub>化学吸収
  - 捕集効率を高め、捕集コストを低減する先進的なCO<sub>2</sub>捕集材料の開発と製造の最適化
  - 回収したCO<sub>2</sub>を新素材の製造に活用するプロセスの開発

### ● エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE: Energy Efficiency & Renewable Energy)

#### ● 先進製造室 (AMO: Advanced Manufacturing Office)

新しい製造プロセスおよび製品の開発を支援し、産業部門全体の製造業者のエネルギー効率、材料効率、生産性、競争力の向上が目的

#### ● バイオエネルギー技術室 (BETO: Bioenergy Technology Office)

代替原料（バイオマス、廃棄物、CO2など）とバイオ製造によるプロセス改善に焦点を当て、低炭素燃料とエネルギーの開発を支援

#### ● 水素・燃料電池技術室 (HFTO: Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office)

産業部門とアプリケーションにまたがる複数の脱炭素化の機会に向けて、水素と燃料電池技術の開発を進めるために活動

#### ● 太陽エネルギー技術室 (SETO: Solar Energy Technology Office)

太陽電池プロセスの開発を支援。脱炭素化については複数の製造業分野にわたる熱駆動プロセス用の太陽熱産業プロセス熱に焦点

#### ● 戦略的分析チーム (SA: Strategic Analysis team)

産業界の脱炭素化のための主要な戦略に関連する複数の技術分野にわたる横断的な分析とモデル開発を支援

### ● 先端研究プロジェクト局-エネルギー (ARPA-E: Advanced Research Projects Agency - Energy )

4つの脱炭素化の柱にまたがる低成熟度の技術やプロセスの開発を支援。最近の支援対象分野は、ゼロエミッション製鉄、セメント生産排出削減、工業プロセス加熱の脱炭素化など。

### ● 化石エネルギー・炭素管理室 (FECM: Office of Fossil Energy and Carbon Management)

CCUS のバリューチェーン/システム的全領域をサポートし、CCUS のライフサイクル評価と技術経済分析をリード

### ● 原子力局 (NE: Office of Nuclear Energy)

経済の脱炭素化と潜在的な将来のエネルギーシステムの開発 を支援するために、電気以外の原子力の新しい用途（例：小型モジュール式、フレキシブル、先進原子炉）の開発を支援

### ● 電力部門 (OE: Office of Electricity) の研究開発

DOE の他の応用部門が追求する技術を安全に統合できる、信頼性と回復力のある電力網につながる技術に重点

### ● 科学局 (SC: Office of Science)

産業を脱炭素化し、高度な製造業を変革するための発見と使用に着想を得た基礎科学（低成熟度の技術およびプロセス）の開発を支援。先進製造業を変革し、産業を脱炭素化するための優先的な研究の方向性を定義することを支援。

米国エネルギー省 (DOE) の「**産業脱炭素化ロードマップ**」は、米国の製造業におけるイノベーションを通じて産業排出量を削減するための 4 つの主要な道筋を特定している

- 初期段階の RD&D の推進：  
2050 年までに炭素排出を正味ゼロにするために必要な応用科学を推進する。
- 複数のプロセス戦略への投資：  
電化、効率化、低炭素燃料、CCUS、代替アプローチなどの並列経路を継続する。
- 実証実験による規模拡大：  
展開を加速し、リスクを回避するためのテストベッドを実証する。
- プロセス加熱に対処する：  
産業界からの排出のほとんどは、熱のための燃料燃焼によるものである。
- ソリューションの統合：  
炭素削減技術がサプライチェーンに与えるシステム上の影響に注目する。
- モデリングとシステム分析の実施：  
ライフサイクルと技術経済分析の利用を拡大する。

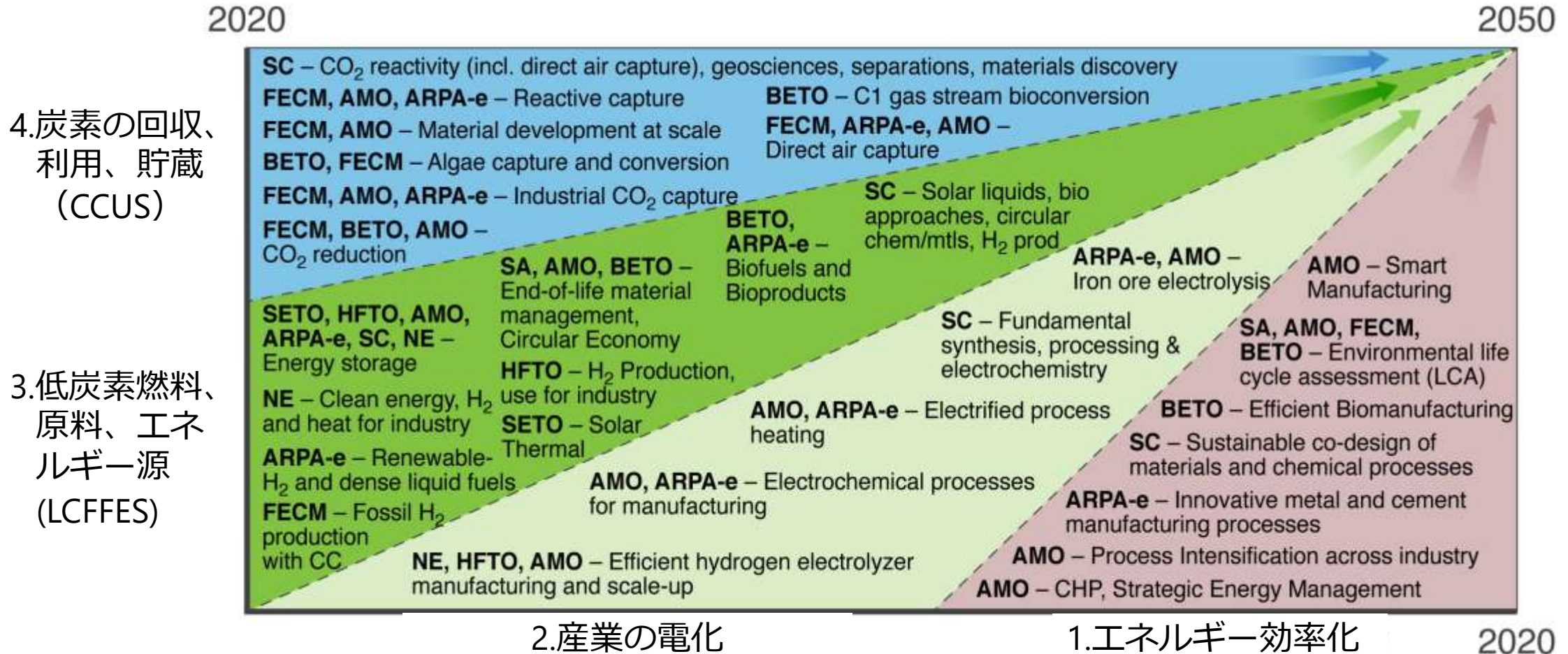




## DOE / オフィス別の協力関係（一例）

2050年ネットゼロ達成に向け、4つの脱炭素化の柱にまたがる協力関係

1.エネルギー効率化、2.産業の電化、3.低炭素燃料、原料、エネルギー源(LCFFES)、4.炭素の回収、利用、貯蔵(CCUS)



AMO: ADVANCED MANUFACTURING OFFICE; ARPA-E: ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY – ENERGY; BETO: BIOENERGY TECHNOLOGIES OFFICE; FECM: OFFICE OF FOSSIL ENERGY AND CARBON MANAGEMENT; HFTO: HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES OFFICE; NE: OFFICE OF NUCLEAR ENERGY; SA: EERE STRATEGY ANALYSIS; SC: OFFICE OF SCIENCE; SETO: SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES OFFICE.

<https://www.energy.gov/eere/doe-industrial-decarbonization-roadmap>より抜粋引用



# 連邦政府のクリーンエネルギー・イノベーション強化(1)

## Enhancing Federal Clean Energy Innovation; Proceedings of a Workshop (2021年)

本資料は、連邦政府がクリーンエネルギー・イノベーションに取り組む際の課題を検討し、成功した戦略を明らかにするため、全米科学・工学・医学アカデミーが2020年7月27日から8月7日まで開催したバーチャルワークショップシリーズ「Enhancing Federal Clean Energy Innovation」の議事録。

概要	1
1 エネルギー・イノベーションを加速するために必要なこと	6
2 加速のための戦略：ユーザーの引き込み強化	16
3 加速のための戦略：国防総省の活用と学習	25
4 エネルギー省の研究開発ポートフォリオの管理	34
5 専門家ラウンドテーブル	44
6 先進製造業と気候危機。変化と機会	53
7 グローバルに考える	65
8 次のステップへ	74



### Hydrogen Council 会員企業への調査に基づく 2050 年の市場別の水素の可能性

