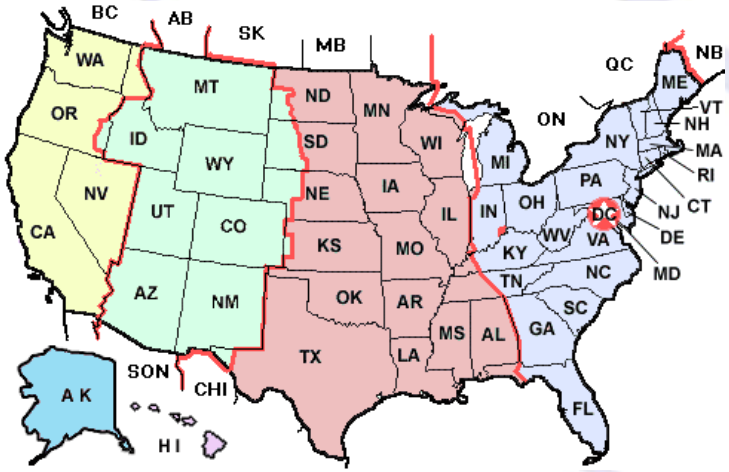
# 米国における水素・燃料電池技術開発動向




2019年6月17日

国立研究開発法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構

1. エネルギー状況

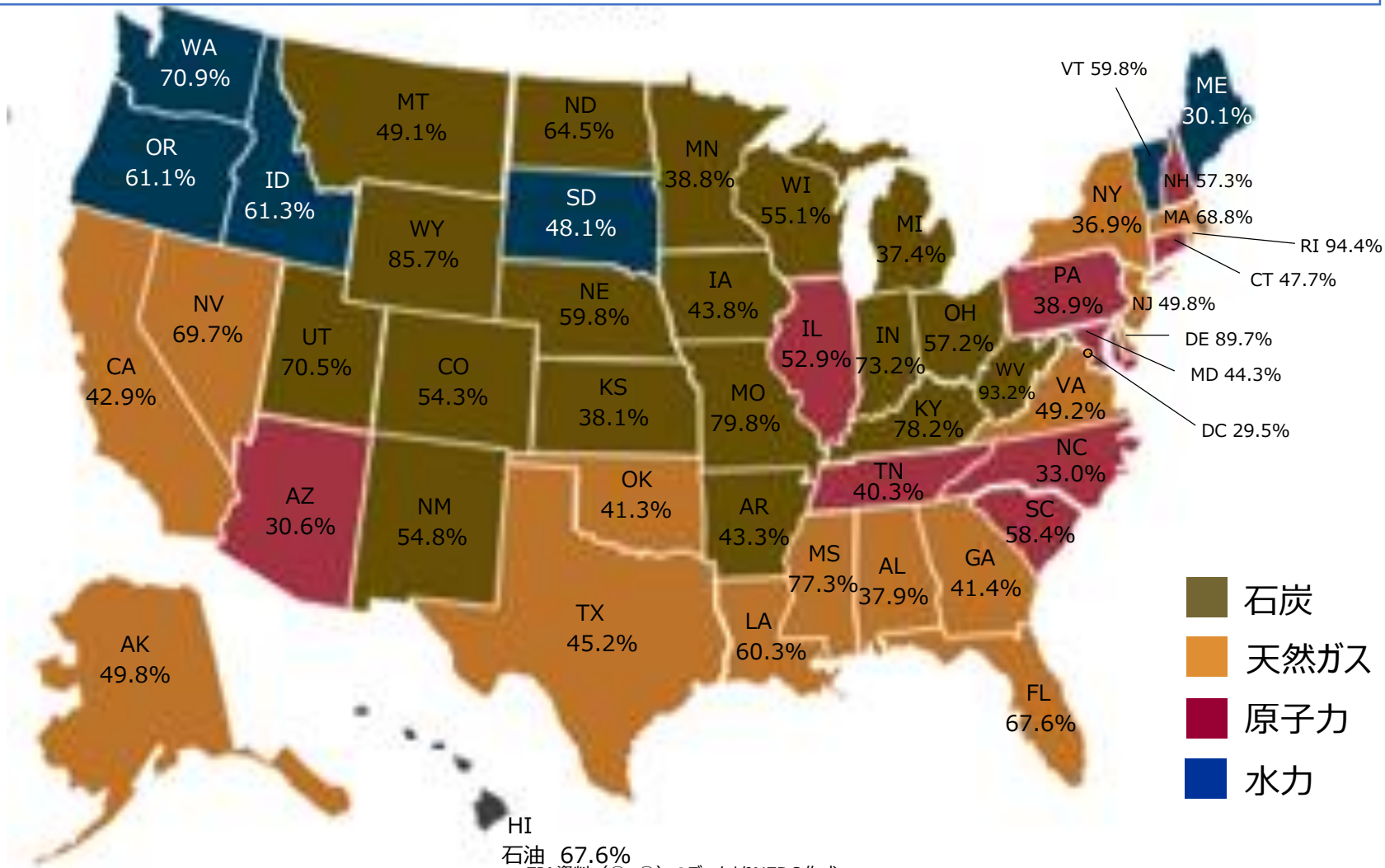
2. 各種機器の普及状況

3. 各種の政策

4. まとめ

# 各州の主要電源（17年発電実績における最大電源及び比率）

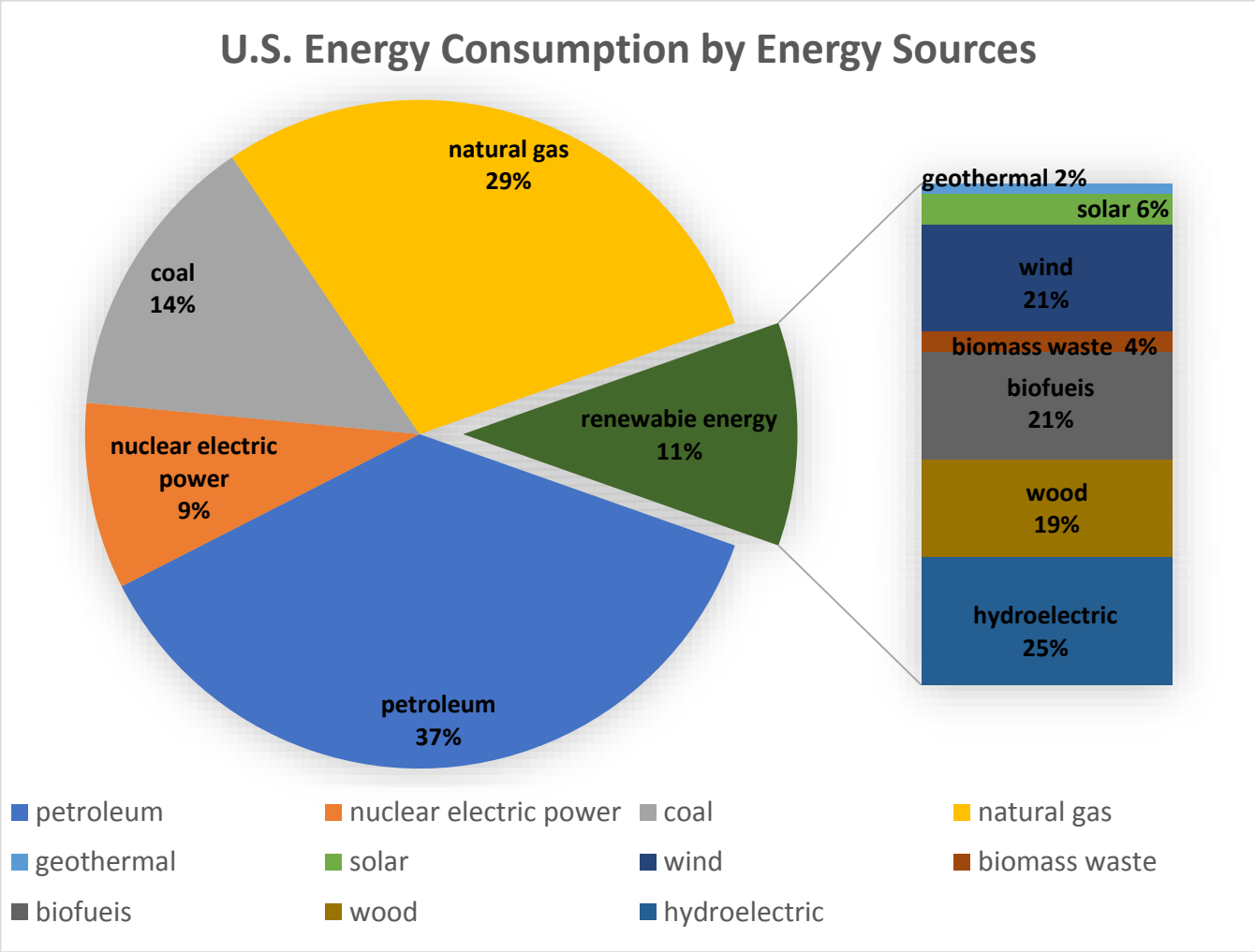
- 中央部で**石炭**、南部で**天然ガス**といった化石燃料由来が大半。
- 一部、西部で**水力**、東部で**原子力**が主要。




EIA資料（①、②）のデータよりNEDO作成
① https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37034&src=email
② https://www.eia.gov/electricity/data/state/
（ Net Generation by State by Type of Producer by Energy Source (EIA-906, EIA-920, and EIA-923)）

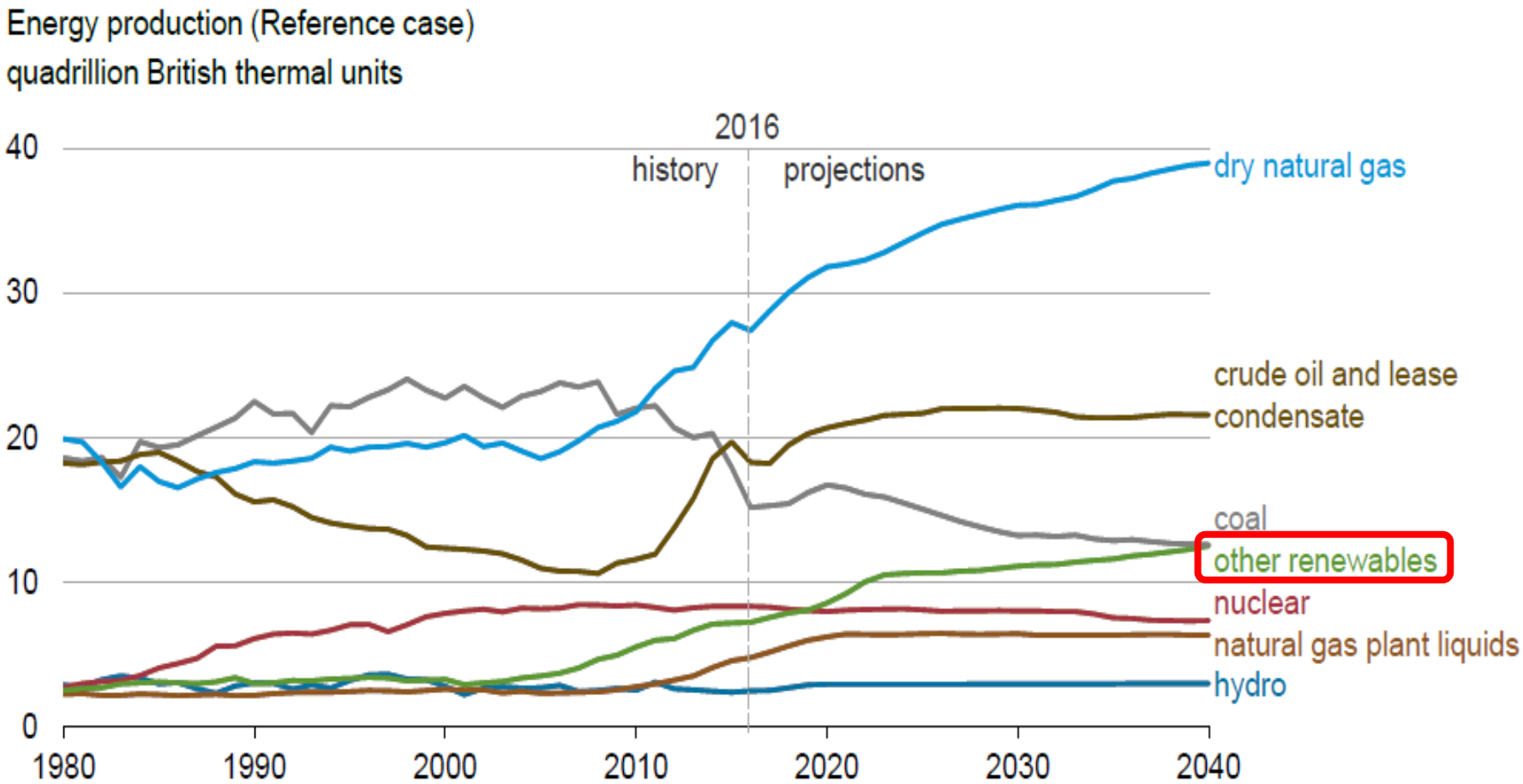
# 米国のエネルギー構成

●多様なエネルギー源で構成されている。



# エネルギー生産の動向

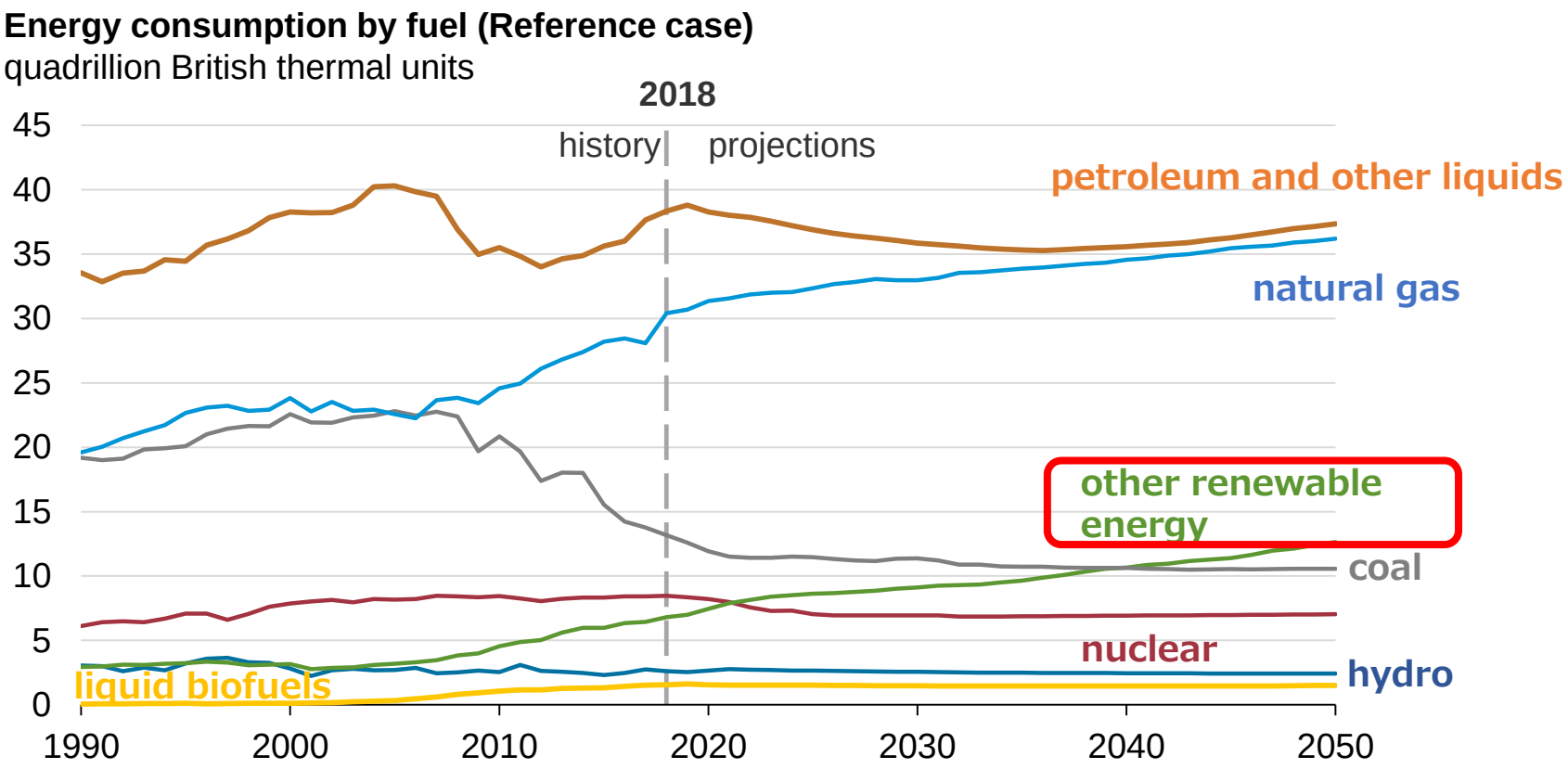
- **天然ガス**及び**再生可能エネルギー**は増加傾向。
- **原油**は、TXを中心に現状より増加（2017年9.4M b/d）。**2025年頃には横ばい予測。**
- **石炭**は減少傾向。




*Source: EIA, Annual Energy Outlook 2017*

# エネルギー消費の動向

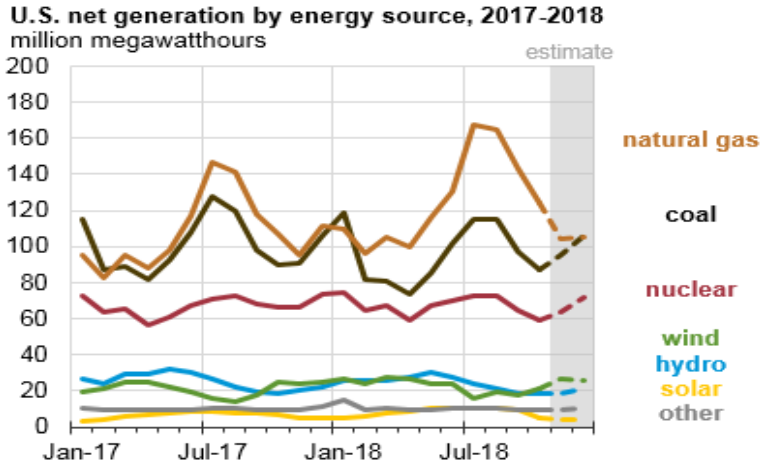
- **再生可能エネルギー**は、**拡大基調（主に風力）**。2040年頃に石炭を超える見通し。
- **天然ガス消費**は、シェール開発・コスト競争力を背景に、数量・割合ともに増加。

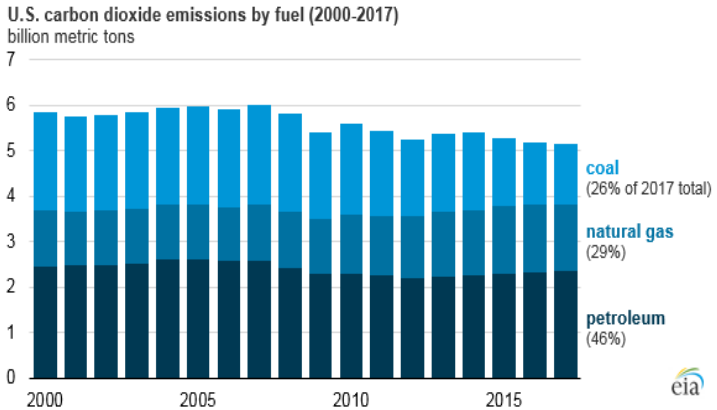



*Source: EIA Annual Energy Outlook 2019*

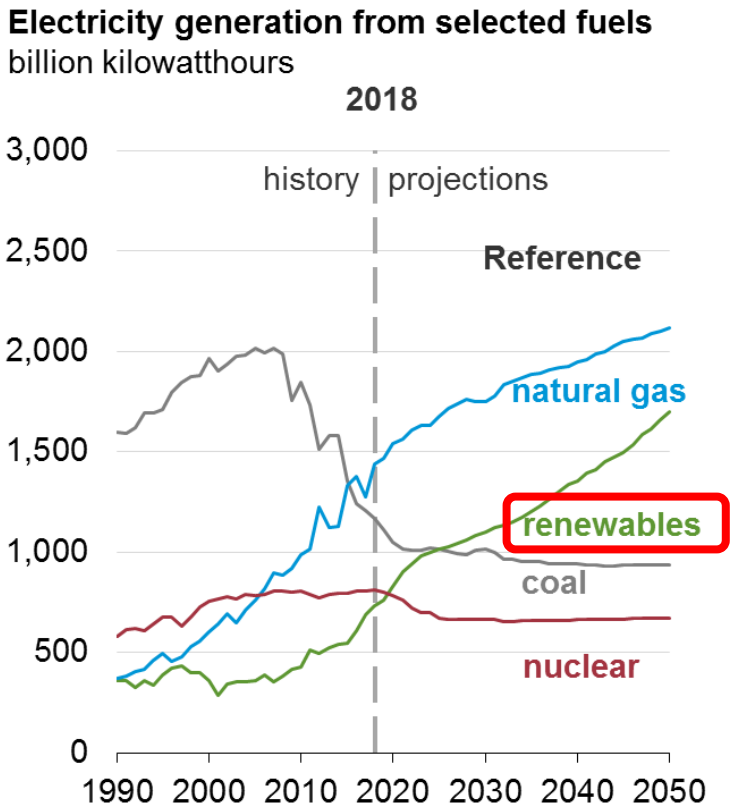
# 燃料別発電量の動向

- **天然ガス**及び**再生可能エネ**；**価格低減**及び各種施策を背景に**増加基調**。
- **石炭**；旧式発電所の閉鎖とガス火力との競争で減少傾向。**2016年から天然ガスが石炭を抜き**、その差は拡大傾向。**2035年以降に下げ止まり。**
- **エネルギー起源CO2；2017年に前年比0.9%減**（石炭減等が寄与）。



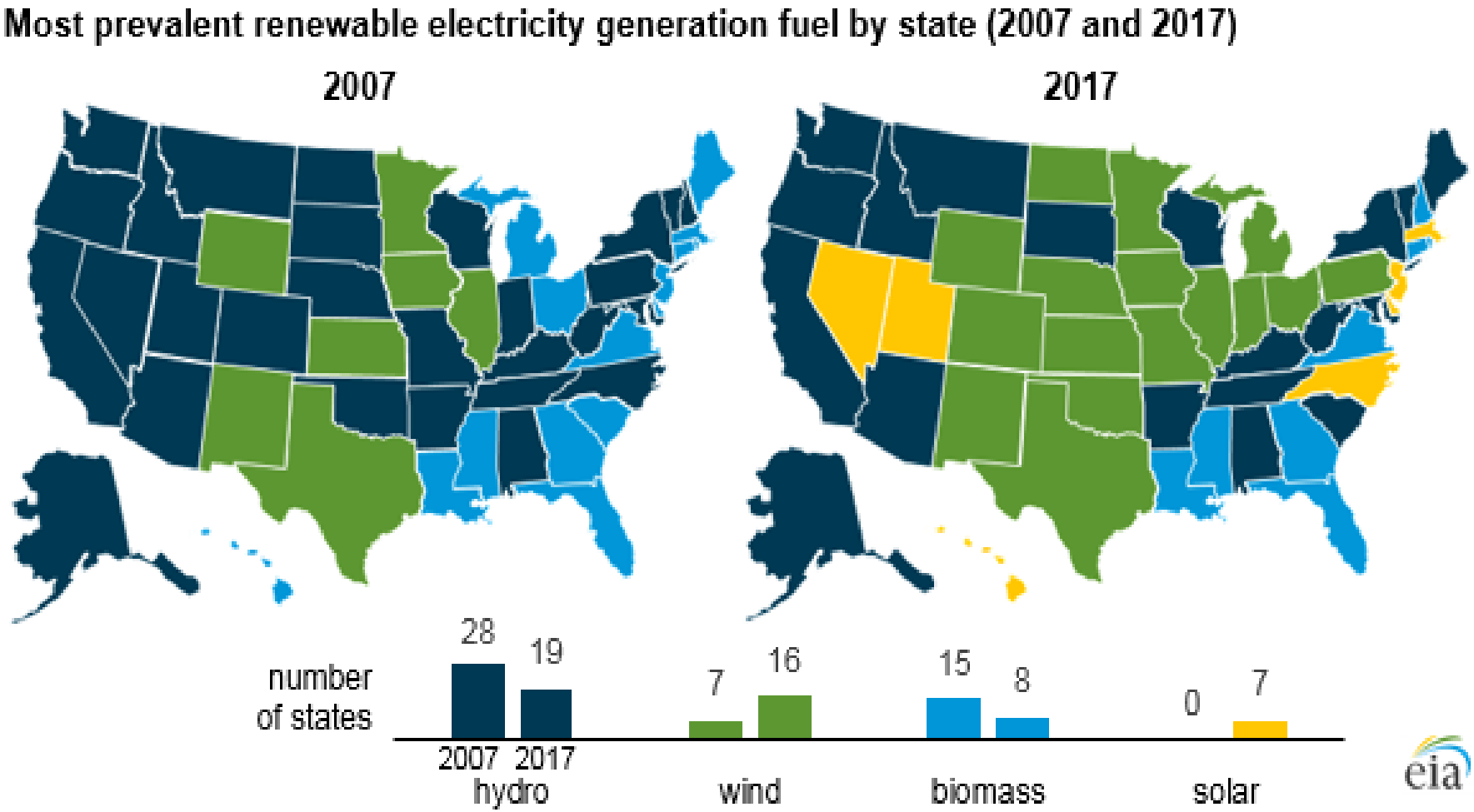

【出典： *EIA website:* https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37912】
【出典： EIA website: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36953# 】




【出典： *EIA Annual Energy Outlook 2019* 】

# 各州の再生可能エネルギー構成

- 中西部で**風力**が急拡大。
- 西部内陸及び東部では**太陽光**の重要性が顕在化。




出典：エネルギー情報庁（EIA）

1. エネルギー状況

2. 各種機器の普及状況

3. 各種の政策

4. まとめ

# 国内普及状況

●米国はフォークリフトの普及が著しい。

| 項目 | 米国 | 日（参考） | 中（参考） |
|---|---|---|---|
| Backup Power/MW | 240 | NA | NA |
| Forklifts | 25,000 | 160 | NA |
| Fuel Cell Buses | 30 | 8 | 3,428（バス＋トラック） |
| H2 Retail Stations | 40 | 108 | 23 |
| Fuel Cell Cars | 6,600 | 2,440 | NA |

※各数字の出典

■日本

フォークリフト・・・豊田自動織機ニュースリリース https://www.toyota-shokki.co.jp/news/release/2019/05/17/002413/index.html

水素ステーション・・・NeVのWebサイト http://www.cev-pc.or.jp/suiso_station/index.html

FCV・FCバス・・・自動車検査登録情報協会 https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000m21m-att/r5c6pv000000m221.pdf

■中国

第26回FCDICシンポジウム予稿集, p.112,「中国の水素・燃料電池の動向」 NEDO 北京事務所

# FCモビリティ関連の動向

●DOEはFCフォークリフトの導入台数が２万台に到達したと報告。Amazon等が大量のFCフォークリフトを導入中。

●民間企業でFC宅配車・FCトラックの導入を発表、取組みが加速。

## FCフォークリフト導入に関連する動き

- ✓ Amazonはニューヨーク州の集配センターにPlug Power社製のFCフォークリフトを導入見込み。
- ✓ Daimlerは、400台以上のPlug Power社のFCシステムを導入。

【Plug Power社のFCフォークリフト】

出典：Plug Power社 HP

## FCトラック導入の動き

- ✓ FedExはFC宅配車を導入。ＦＣはレンジエクステンダーとして航続距離は257km。
- ✓ Nikola社がアンハイザー・ブッシュから800台のFCトラックを受注。

【FedEXに導入されるFC宅配車のFCシステム】

出典：“FedEx Express Hydrogen Fuel Cell Extended-Range Battery Electric Vehicles”

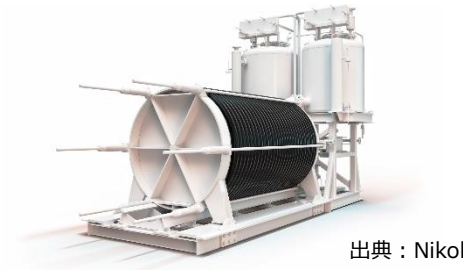
# 水素ステーション関連の動向

- 水素ステーションの建設計画が活発化、ロボットによる水素充填実証等も完了。
- 加州は2024年までに100箇所の水素ステーションを建設予定。

## 水素ステーションに関連する各企業の動向

- ✓ Nikola社は448台の水電解装置及び対応する水素STを発注した。
- ✓ 電解槽の規模は1GW、水素STは70MPa、クラス８のトラック及び自家用車に対応。
- ✓ Plug power社は人間の手を介することなく水素充填が可能な水素ステーションを開発し、その実証事業を完了。

【Nikora社が導入する水電解装置】

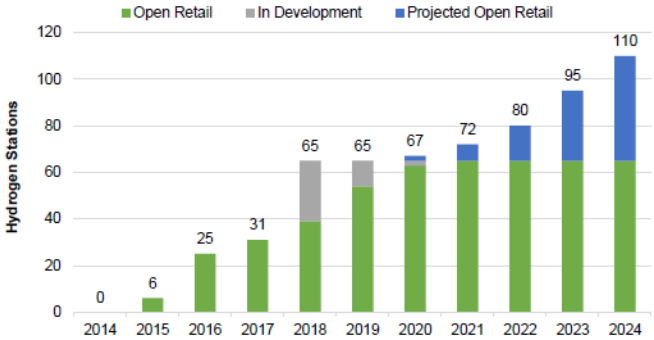


出典：Nikola社HP

## カリフォルニア州における水素ステーション建設計画

- ✓ 加州は2024年までにFCVは47,200台に増加すると予測。
- ✓ 2024年に100基の水素ステーションが目標。

【カリフォルニア州の水素ステーション開所目標】




出典：CEC "Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8: 2018 Annual Assessment of Time and Cost Needed to Attain 100 Hydrogen Refueling Stations in California"

# 北米でのCO2フリー水素関連の動向

●米国でも徐々にP2Gの実証が開始。（ITM Powerによるマサチューセッツ地域の数MW規模実証、Hydrogenicsによるカナダ・オンタリオ州マーカムの大型の水素貯蔵施設実証）

## ITM Powerによる数MW規模のP2G実証

- ✓ ITM Powerはマサチューセッツ地域における数MW規模のP2G事業の実証のための資金を獲得。
- ✓ Massachusetts Department of Energy Resources (DOER) では、2020年までに200MWhのエネルギー貯蔵量の目標を設定。

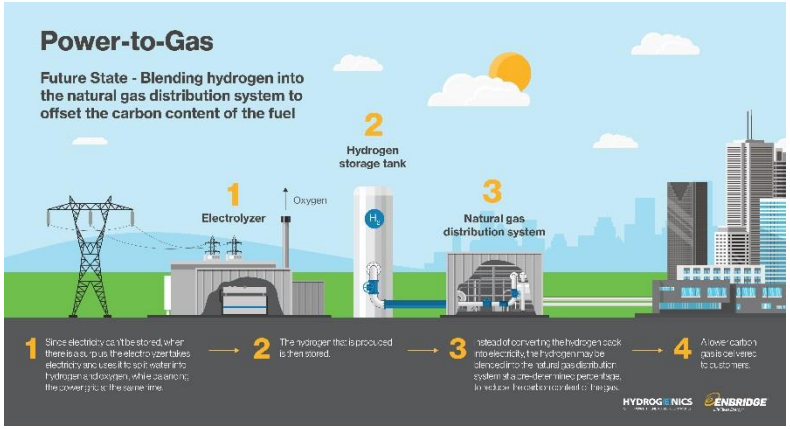
【ITM Power 社製の水電解装置】

出典：ITM社HP

## カナダでの大型水素貯蔵設備の運用開始

- ✓ カナダ・オンタリオ州において、北米初となる2.5MW級のPEM型水電解施設の運用を開始。
- ✓ 運営はガス分配事業者EnbridgeとHydrogenicsのジョイント・ベンチャー。
- ✓ 製造された水素の用途は、FCモビリティ用および天然ガス網注入を想定。

【Low-Carbon Energy Projectについて】




出典：Enbridge社HP

1. エネルギー状況

2. 各種機器の普及状況

3. 各種の政策

4. まとめ

# エネルギー政策を担う主な機関

- エネルギー政策には、エネルギー省（DOE）、連邦エネルギー規制委員会（FERC）、環境保護庁（EPA）、内務省（DOI）が関係。
- 研究開発政策は主にＤＯＥが推進。

<u>エネルギー省（DOE）</u>
各種エネルギーの技術開発、省エネ基準の作成等を実施。

<u>連邦エネルギー規制委員会（FERC）</u>
DOE内に独立規制員会を設置。この委員会をFARCと呼ぶ。政治から独立した機関として、エネルギーの安定供給と公正なエネルギー市場維持のための、規制や市場監視を実施。

<u>環境保護庁（EPA）</u>
行政各省に属していない、独立機関。環境保護のための規制全般を実施。エネルギー関連ではGreen House Gas(GHG)削減のため規制や、（運輸省（DOT）の道路交通安全局（NHTSA）と共同で）自動車燃費基準の作成等を実施。

<u>内務省（DOI）</u>
アメリカ領土の約30%に相当する連邦所有地を管理。この中で実施される資源開発の許認可、監督を実施。

# DOE FCTO (Fuel Cell Technology Office)の概要

- DOEの中ではFCTOが燃料電池関連政策を推進。

**Director**
Sunita Satyapal

**Senior Advisor**
Eric Miller

**Operations**
Priya Swamy (Detail)

**Hydrogen Fuel R&D Program Manager**
Ned Stetson

**Technology Managers (TMs)**

Katie Randolph (Production Lead)
Jesse Adams (Storage Lead)
Bahman Habibzadeh
Zeric Hulvey

**Fuel Cells R&D Program Manager**
Dimitrios Papageorgopoulos

**TMs**

Donna Ho
Greg Kleen
Dave Peterson*

Vacancy

**Infrastructure & Systems R&D Program Manager**
Fred Joseck

**TMs**

Technology Acceleration
Pete Devlin
Nancy Garland*
Jason Marcinkoski*
Michael Hahn
Brian Hunter

Safety Codes and Standards
Laura Hill

Systems Analysis
Neha Rustagi (Delivery Lead)* Shawna McQueen

*Supports multiple areas New hires in 2019

# ＦＣＴＯの２０１９年の取組

● ＦＣＴＯは、２０１９年度からインフラ研究を追加

| Early R&D Focus | Applied research, development and innovation in hydrogen and fuel cell technologies leading to: | • Energy security<br>• Energy resiliency<br>• Strong domestic economy |
|---|---|---|

## Key R&D Sub-Programs in Budget Request

| Fuel Cells | Hydrogen Fuel | Infrastructure R&D |
|---|---|---|
| • Cost, durability<br>• Components - catalysts, electrodes, etc<br>• Increase focus beyond LDVs | • Cost of production across pathways<br>• Cost and capacity of storage, including bulk/ energy storage | • Cost and reliability of infrastructure<br>• Delivery components, supply chain<br>• Safety |

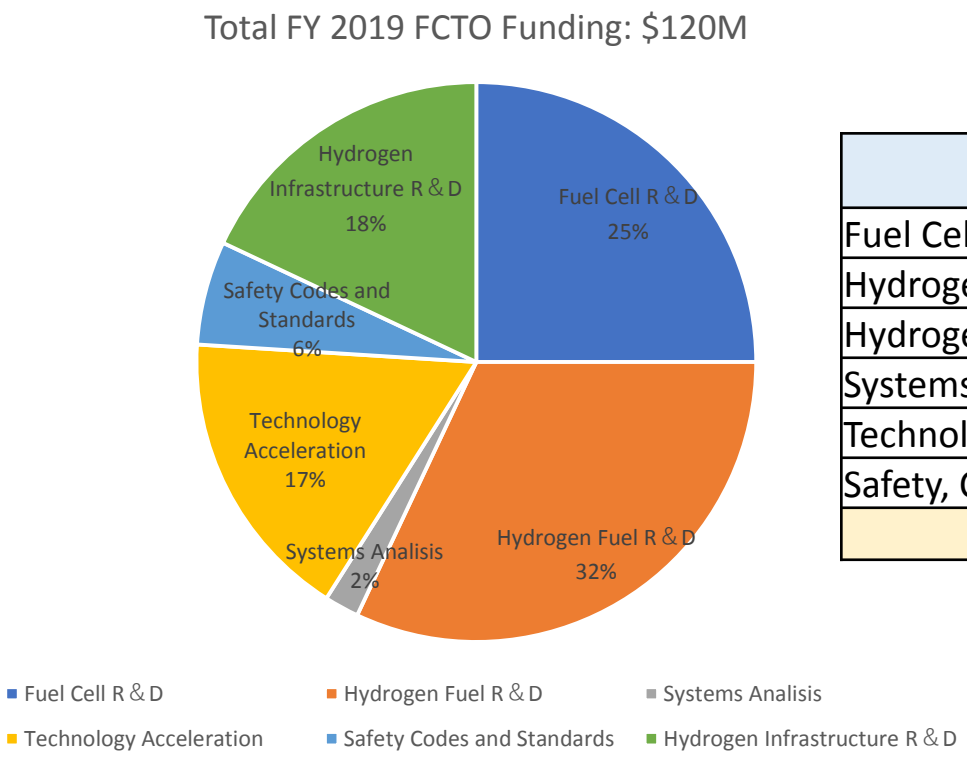
**New in FY19 Budget Request**

**Enabling**

H2@Scale
U.S. Department of Energy

# FCTOの予算構成

- FCTOの年間予算は約120 M USD。Hydrogen Fuel R&Dへの拠出割合が最大。
- FY2019からHydrogen Infrastructure R&Dも開始。

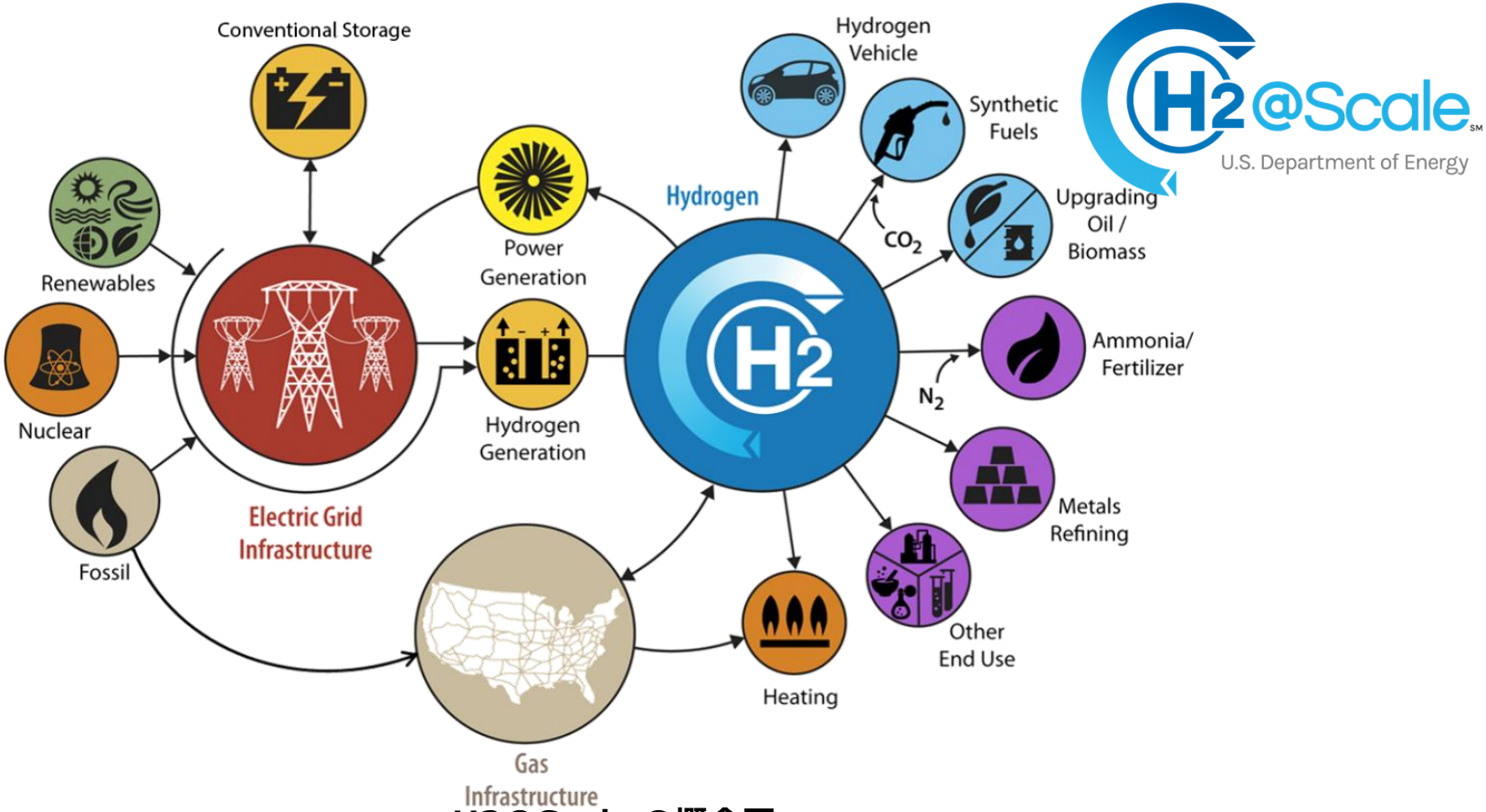



**Variety of Funding from FY2017 to FY 2019**

| Key Activity | Budgets / 1000 $ | | |
|---|---|---|---|
| | FY2017 | FY2018 | FY2019 |
| Fuel Cell R＆D | 32,000 | 32,000 | 30,000 |
| Hydrogen Fuel R＆D | 41,000 | 54,000 | 39,000 |
| Hydrogen Infrastructure R＆D | - | - | 21,000 |
| Systems Analisis | 3,000 | 3,000 | 2,000 |
| Technology Acceleration | 18,000 | 19,000 | 21,000 |
| Safety, Codes and Standards | 7,000 | 7,000 | 7,000 |
| Total | 101,000 | 115,000 | 120,000 |

# 大きな方向性（H2@SCALE）

- 水素製造、輸送、貯蔵、利用等の多岐にわたる関係者が協力し、多様なエネルギー分野に横断的に利益をもたらすためのコンセプト。ＤＯＥが中心に推進。
- この中で、国立研究所と産業界は国家プロジェクトの中で協力しつつ、水素に関する基礎研究から応用開発までを推進。
- FCVのみならず、トラック・バス、Utility、製鉄、自治体等を広く巻き込み。




**H2@Scale の概念図**

# Energy Materials Networkについて

●DOEが2016年に立ち上げたEnergy Materials Network(EMN)がクリーンエネルギーの商用化へ向けた先進材料設計、試験、製造の取組にフォーカスした７つの国権主導のイニシアティブ。

●このうち3つがFCTOの所掌。

FCTOが所掌

- ◆ HydroGEN：光電気化学、熱化学等を活用した先進的な水電解水素製造研究。
- ◆ Hydrogen Materials – Advanced Research Consortium (HyMARC)：先進的な水素貯蔵材料開発。
- ◆ Electrocatalysis Consortium (ElectroCat)：燃料電池用の白金触媒を鉄やコバルト等の豊富かつ低コストな物質で置き換える技術開発。
- ◆ Lightweight Materials Consortium (LightMat)：燃料利用効率の向上に向けた金属合金や炭素繊維等の活用による自動車軽量化技術開発。
- ◆ Durable Module Materials Consortium (DuraMat)：低コストのＰＶ実現を目指した高耐久性のＰＶモジュール技術開発。
- ◆ Caloric Materials Consortium (CaloriCool™)：冷却用途に向けた熱材料開発。
- ◆ Chemical Catalysis for Bioenergy Consortium (ChemCatBio)：バイオマス変換プロセスの触媒開発。

# 水素「製造」技術開発動向

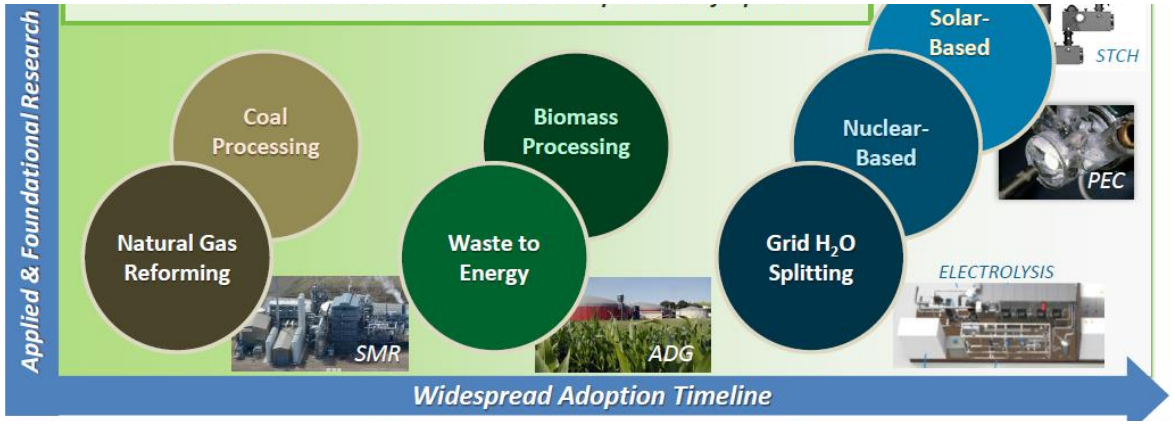
- 水電解・水分解開発が長期的な取り組みとして推進中。
- 大量製造時の最終目標は水素価格 $4/kg。これに向けてPEM、SOEC、近年ではAEMも研究中。
- その他、太陽熱化学分解（STCH）、光電気化学分解（PEC）も推進中。

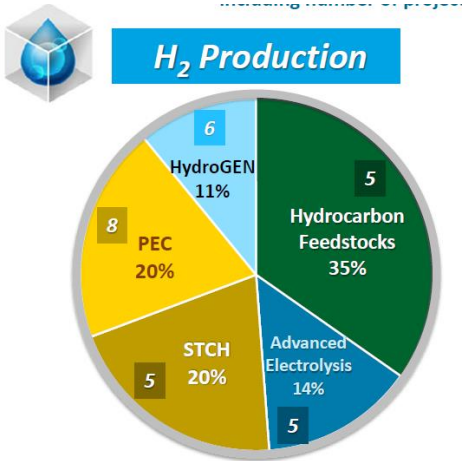
## DOE水素製造技術の研究開発指針

✓短期的には化石燃料の改質。
✓中期的にはバイオマスの利用。
✓長期的には再生可能エネルギーを利用した水電解や太陽光による水分解。

## 2017年のDOE水素製造技術のプロジェクト数

✓ 2017年の水素製造分野は、水電解・水分解の研究開発のプロジェクト数が全体の65%。長期的な取り組みに主眼が置かれている。




出典：DOE 2017 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting

# 米国における水素「輸送・貯蔵」技術開発動向

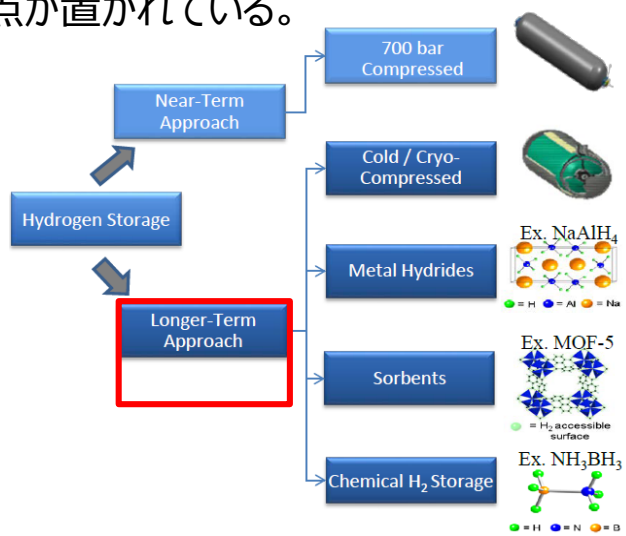
●車載用を志向し、短期的視点で高圧圧縮法（高圧水素タンクの開発等）、長期的視点で水素吸蔵材料の貯蔵技術開発中。

●NREL や LLNL などの国立研究所を中心として「HyMARC」や「HySCORE」といったコンソーシアムが形成され、各機関で連携しながら新規材料の開発に取り組んでいる。

●マグネシウム、アルミニウム、ホウ素等の軽元素を用いた金属水素化物の利用や金属有機構造物MOFを利用した水素吸蔵材料も開発中。

## DOEの開発指針

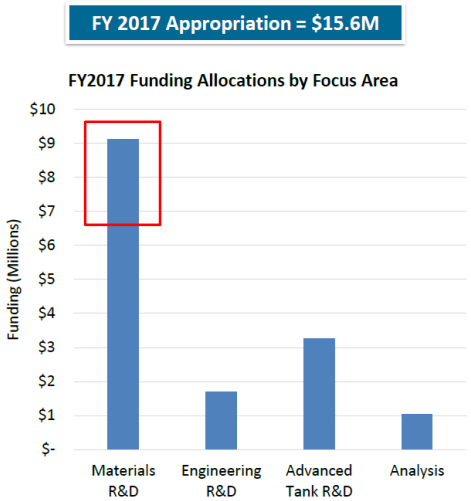
✓短期的には高圧法の研究開発、長期的な取り組みとしては、水素吸蔵材料の開発に重点が置かれている。



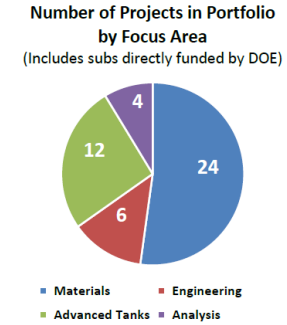

出典：DOE 2017 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting

## DOEの予算割り当てとプロジェクト数

✓2017年の水素貯蔵分野においては、吸蔵材料の開発に予算が割り当てられ、プロジェクト数も半数以上を占める。




*Emphasis is on early phase R&D for $H_2$ storage materials and lower cost physical storage*

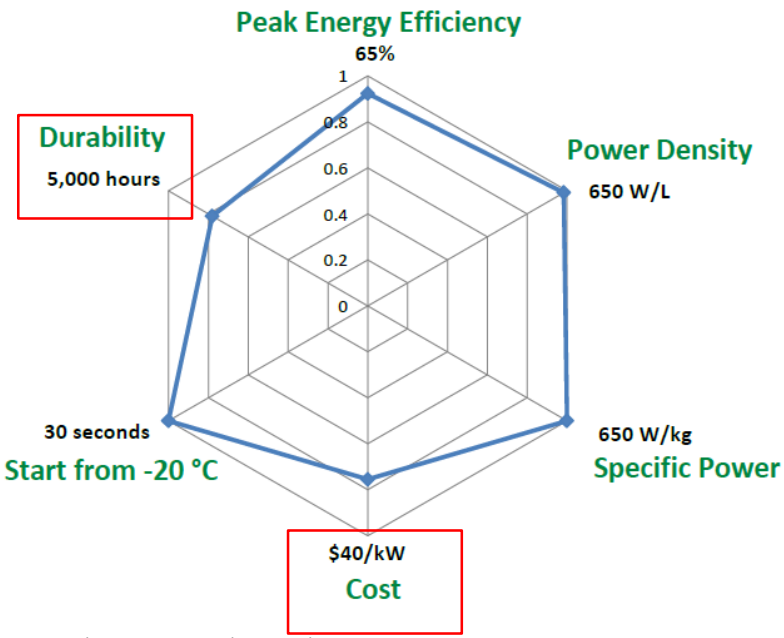


# 米国における水素「利用」技術開発動向

- 高効率・高耐久・低コストな燃料電池の開発を推進。
- 車載用燃料電池は、効率70%、耐久時間8000時間以上、製造コスト$30/kWをが最終目標。
- 固体高分子形燃料電池（PEMFC）の開発が主流だが、**アルカリ形燃料電池（AMFC）**も研究中。

## 燃料電池技術開発における DOE 2020年目標

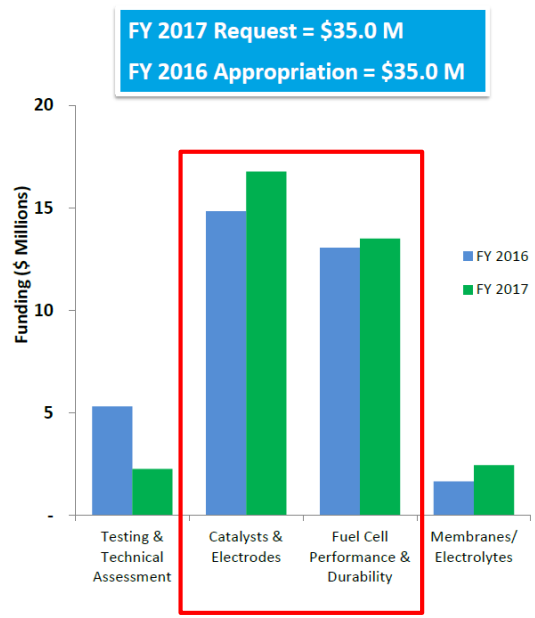
✓ 2015年時点での達成状況において、コスト低減, 耐久性の向上が重点開発項目と設定されている。




出典：DOE 2017 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting

## 2016, 2017年の DOE 燃料電池研究開発における予算編成

✓ コスト低減を達成する触媒（貴金属使用量少 or 非貴金属）の開発や、耐久性向上のための研究開発が主。



1. エネルギー状況

2. 各種機器の普及状況

3. 各種の政策

4. まとめ

# まとめ

- 主に風力を中心に、徐々に再生可能エネルギー電力が増加中。
- 2万台以上のフォークリフトが稼働中。カリフォルニア州を中心に6000台以上のFCVも普及しており、燃料電池を動力源とする長距離トラックの実証事業が進められている。
- 主にエネルギー省（DOE）が中心となって、燃料電池、水素燃料、水素インフラなど、基礎研究や要素技術開発を中心にＲ＆Ｄを推進。
- H2@Scaleは水素製造、輸送、貯蔵、利用等の多岐にわたる関係者が協力し、多様なエネルギー分野に横断的に利益をもたらすためのコンセプト。
- Energy Materials Network(EMN)がクリーンエネルギーの商用化へ向けた先進材料設計、試験、製造の取組にフォーカスした７つの国権主導のイニシアティブとして、Research Consortium (HyMARC)、lectrocatalysis Consortium (ElectroCat)等のプロジェクトが進行中。