

第1回 再エネ講座シンポジウム2020

「日本の電力改革・再エネ主力化の実現に向けて -  
パリ協定・SDGs対応で2020年代をどう生き抜くか-」

2020年12月15日

# 欧州の水素国家戦略 ～再生可能エネルギー・電力との 関係を中心に

株式会社テクノバ

エネルギー研究部 エネルギー技術調査グループ

グループマネージャー

丸田昭輝

maruta@technova.co.jp

**TECHNOVA**

# 目次

1. 欧州のエネルギー転換と水素
2. 政策：ドイツの水素戦略
3. 政策：欧州連合の水素戦略
4. 系統への水素システムの統合の可能性
5. まとめと日本への示唆



# 1. 欧州のエネルギー転換と水素



**TECHNOVA**

# EU「2050年気候変動中立経済」(2018年11月)

## A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy (2018年11月28日)

### □ 概要:

- 欧州連合は、2050年のGHG 80~95%削減のため、「気候変動中立経済」(climate-neutral economy)の実現をめざす  
(注:水素に特化した検討ではなく、エネルギーシステム一般の検討)
- 8つのシナリオを分析し、移行戦略や戦略プライオリティを提示

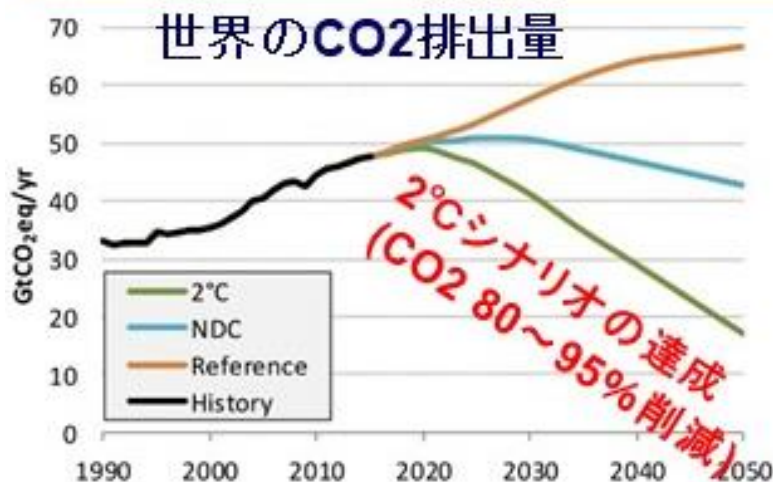
出所: European Commission「2050 long-term strategy」  
「In-depth analysis accompanying the Communication」  
<https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050>



EUは、2050年のGHG 80~95%削減のため、「気候変動中立経済」を掲げる

# EU「2050年気候変動中立経済」(2018年11月)

## 目標



## 2050年シナリオ

基本シナリオは5つのみ

コスト最適シナリオ

基本シナリオ

- ① 徹底的な省エネ
- ② 徹底的な循環経済化
- ③ 徹底的な電動化
- ④ 再エネ水素大規模活用
- ⑤ 再エネ水素由来合成燃料大規模活用

複合シナリオ

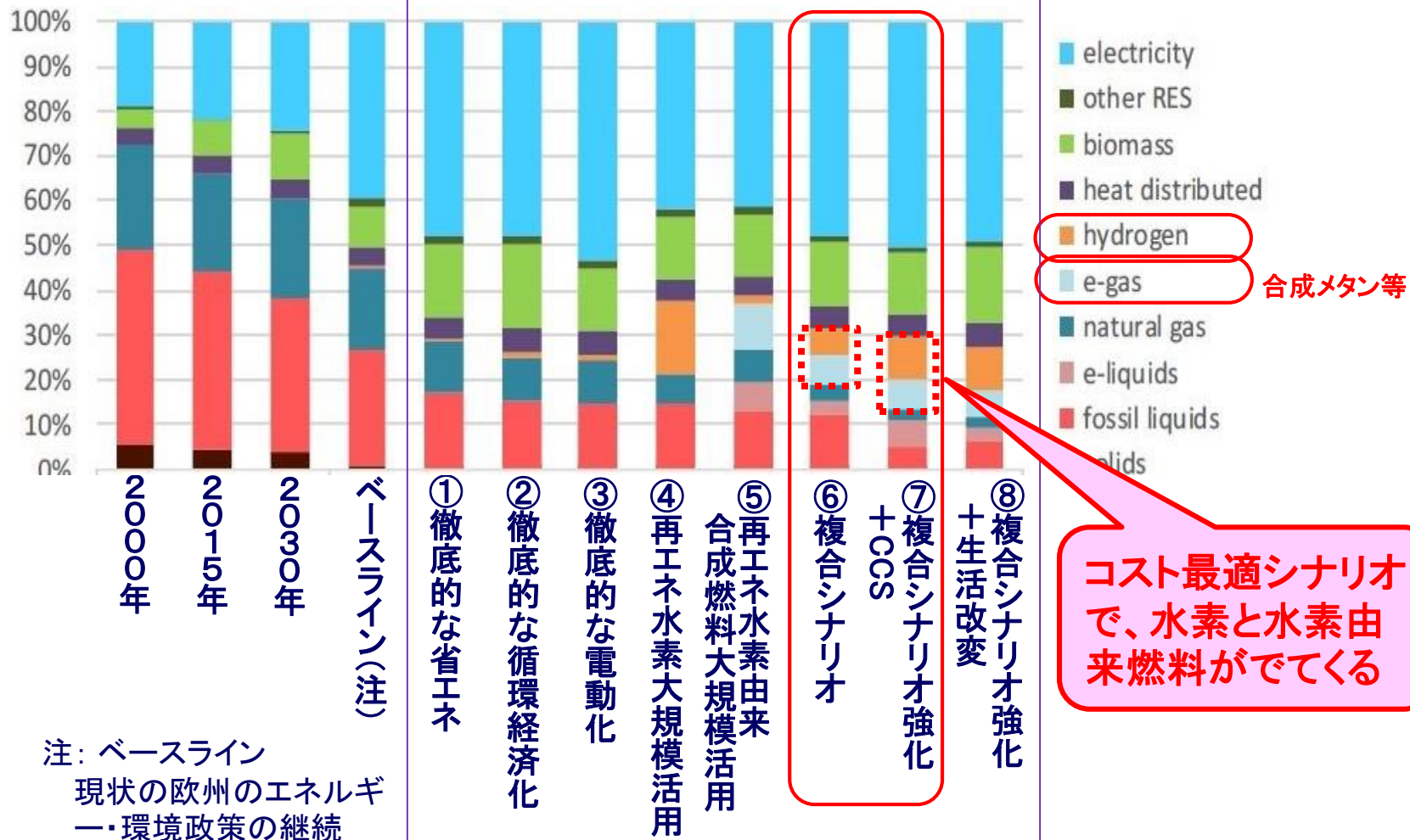
- ⑥ 複合シナリオ(①、③、④、⑤のシナリオをコスト最小で複合)
- ⑦ 複合シナリオの強化+バイオマスCCS (1.5°Cシナリオ達成)
- ⑧ 複合シナリオの強化+循環による生活スタイル改変(1.5°Cシナリオ達成)

# EU「2050年気候変動中立経済」(2018年11月)

## 結果：最終エネルギー消費

## 2050年シナリオ

欧州の2050年最終エネルギー需要：形態別

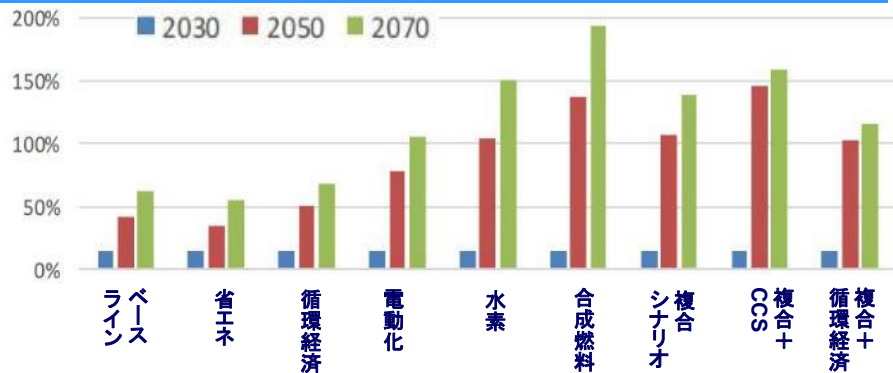


コスト最適シナリオで、水素と水素由来燃料がでてくる

最近の分析結果：2050年にCO2を80%削減するには「水素が必要」

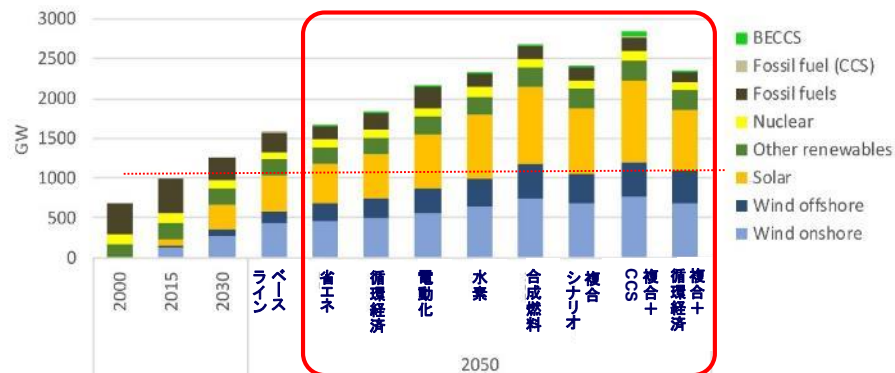
# EU「2050年気候変動中立経済」(2018年11月)

## 2030年、2050年、2070年の発電量



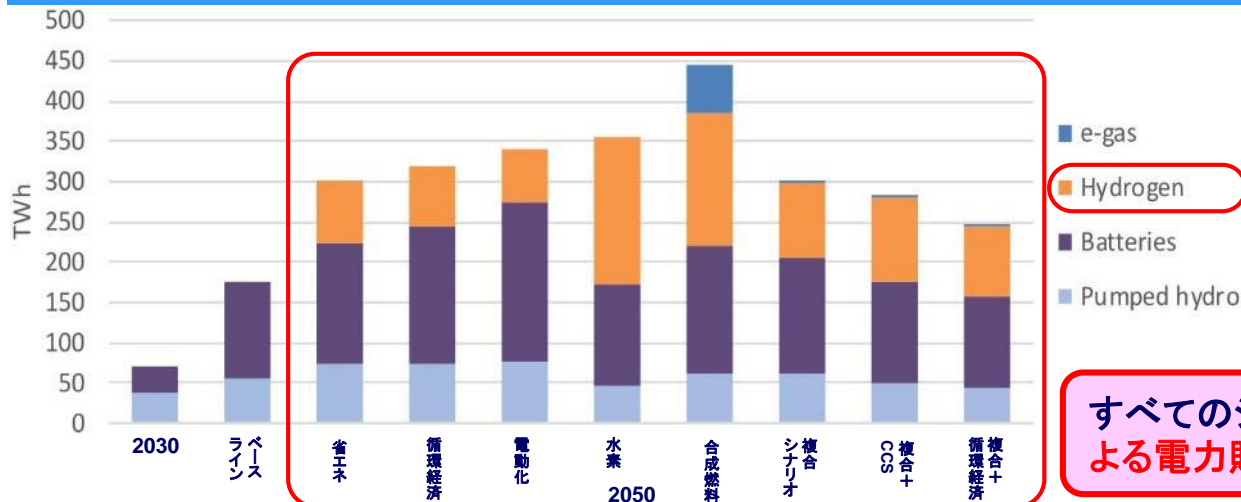
すべてのシナリオで発電量は拡大

## 2050年の発電容量



すべてのシナリオで発電容量は増加

## 2050年の電力貯蔵・転換形態



すべてのシナリオで水素による電力貯蔵・転換が必須

すべてのシナリオで発電量は増加→電力貯蔵は必須、水素が活用される



# ドイツ「統合エネルギーコンセプト2050」(2018年2月)

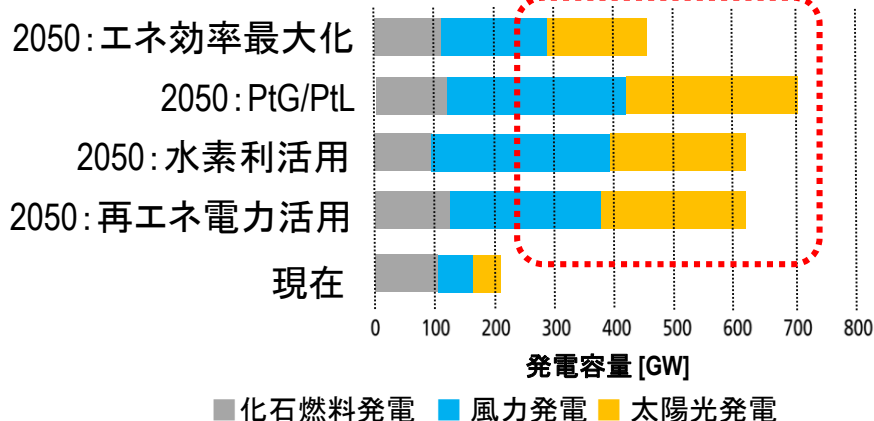
- ドイツ連邦交通デジタルインフラ省の委託で、ドイツの研究機関が**2050年のCO2 80~95%削減のための分析**を実施

## シナリオ

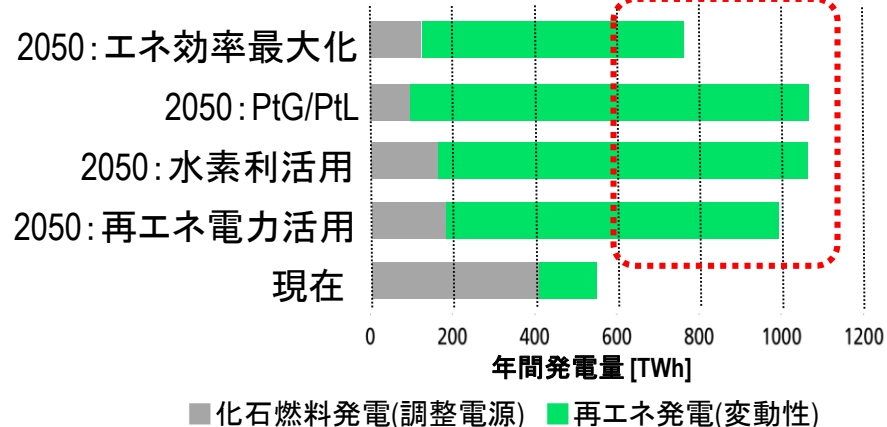
エネルギー効率の最大化(徹底的な省エネ)
再エネ由来水素をメタン変換し、運輸・熱部門で大量利用
再エネ由来水素を運輸部門で大量利用、再エネを系統に導入
電力需要は現状のままで、再エネを系統に大幅導入

出所: NOW「Official green light for the “2050 EIntegrated Energy Concept” Project」

## 現在と将来の発電容量(発電設備の容量)



## 現在と将来の電源構成の分析結果



発電容量は 現在 200GW→2050年 450-700 GWに拡大、化石燃料の発電容量は変化なし

全シナリオで2050年の総発電量は880-1050 TWhと現在の2外程度に拡大

出所: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems「The Role of Hydrogen in an Integrated Energy System」WHEC 2018

**発電容量・発電量はともに大幅拡大**

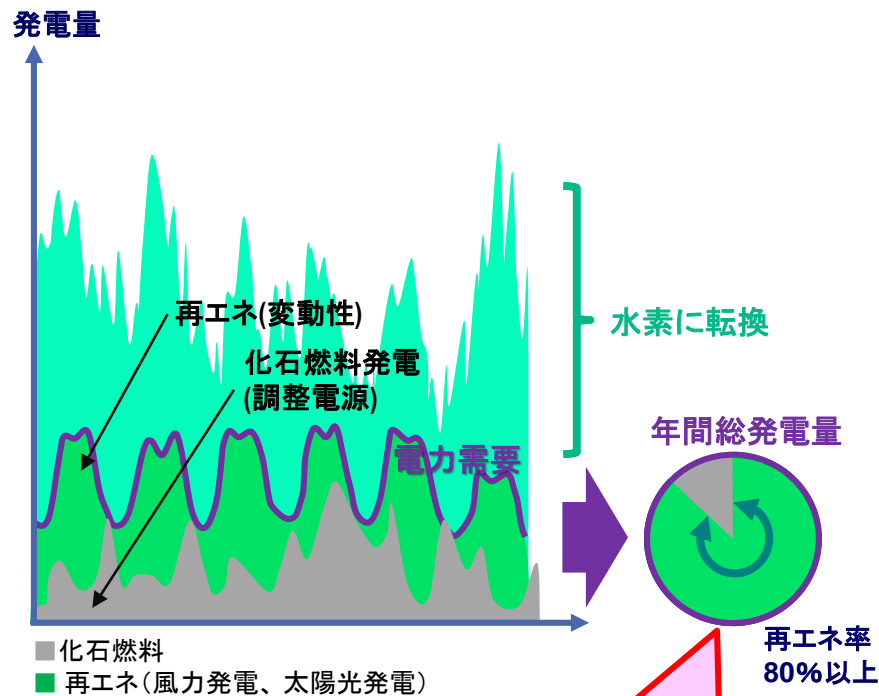
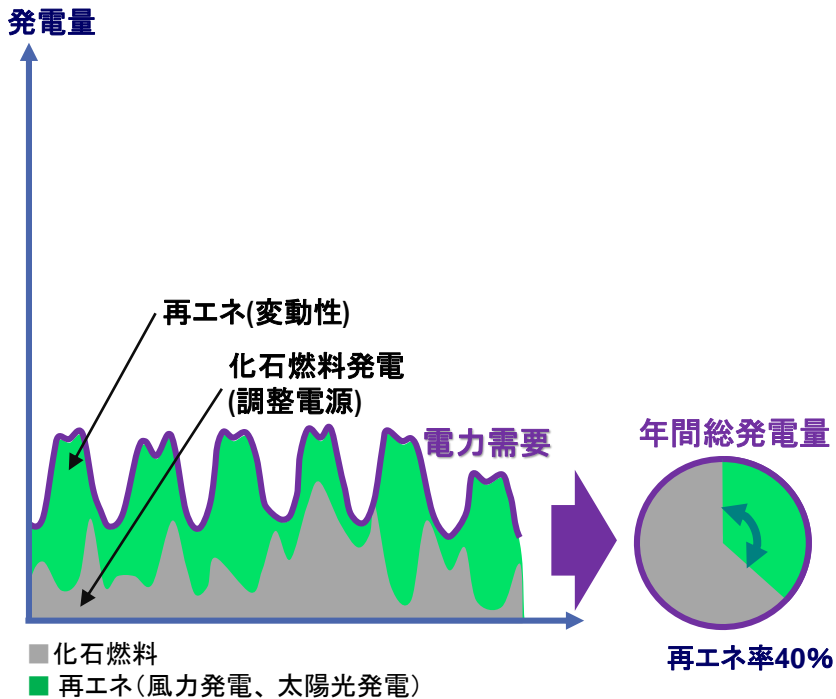


# 発電容量拡大の理由

再エネ割合を2050年に80%に増大するには、再エネ発電容量の大幅拡大が必要

現在

2050年

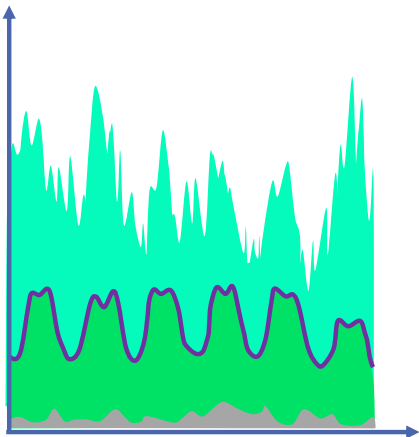


再エネ率を80%以上にするには、再エネ発電量を大幅に増加させる必要あり

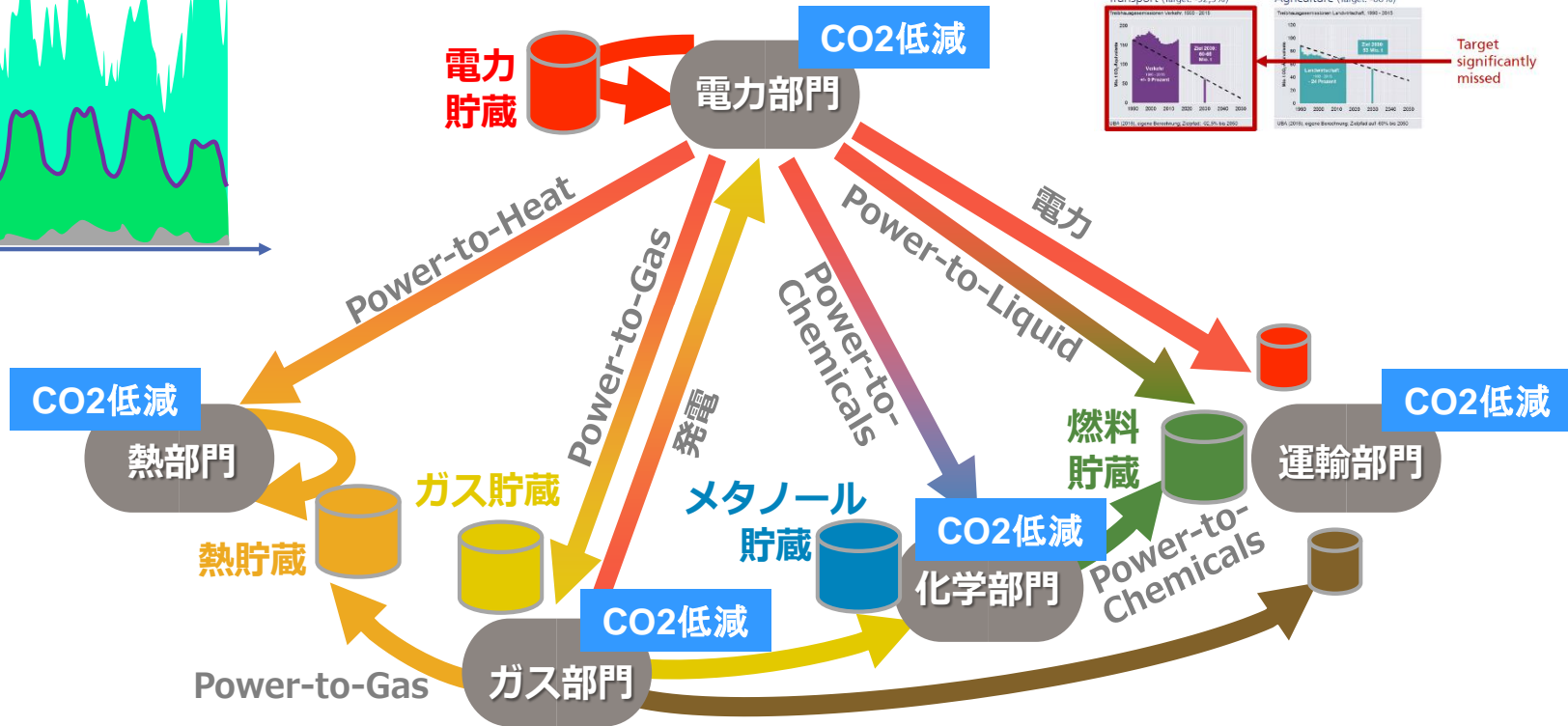
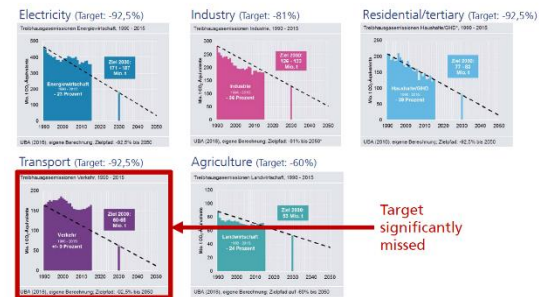
再エネ発電増加により、大量の余剰電力発生

# セクターカップリング

発電量



Sectoral development and targets



出所: ドイツノルトライン=ヴェストファーレン州のプレゼンテーションを参考に作成

余剰電力を水素を介して産業界で活用し、脱炭素化を行う(再電化はせず)

# 欧州の大手電力・ガス会社がPtGを検討

## Power-to-Gas Strategic Platform

- 独エネルギー機構(DENA)が設立したPower-to-Gasの研究連携組織
- Power-to-Gas関連組織としては最も初期(2011年)に設立

### 電力・ガス会社

- EnBW Energie Baden-Württemberg AG (電力)
- performing energy (電力)
- Uniper (電力)
- EnergieDienst AG (電力)
- ENERTRAG AG (電力)
- Westnetz GmbH (電力&ガス)
- Bayernets GmbH (ガス)
- bmp greengas GmbH (ガス)
- erdgas schwaben gmbh (ガス)
- GASAG (ガス)
- Gasunie (ガス)
- Open Grid Europe GmbH (ガスTSO)
- Zukunft ERDGAS GmbH (ガス)

### 電解装置メーカー

- Hitachi Zosen Inova
- Hydrogenics Advanced Hydrogen Solutions
- Siemens AG

### 水素利用

- Salzgitter Flachstahl AG
- Viessmann
- Volkswagen AG
- Mitsubishi Corporation/ Mitsubishi International GmbH

### 研究機関

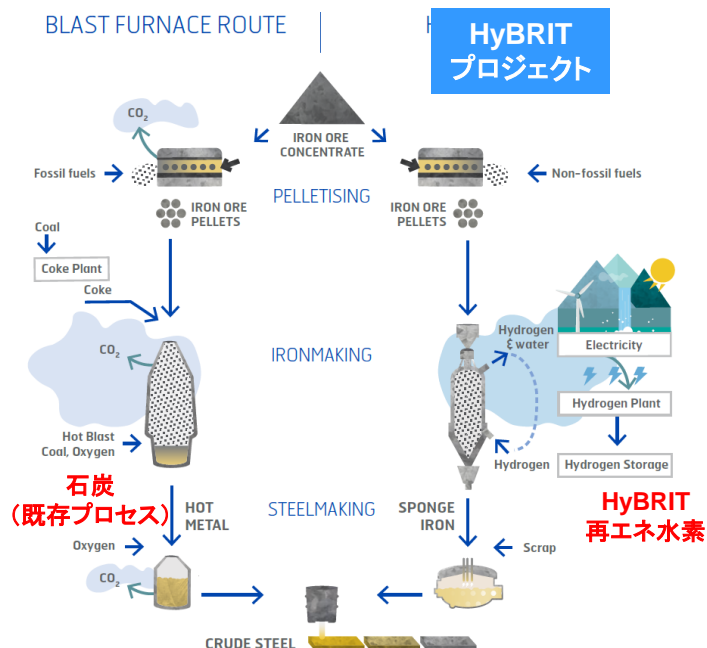
- DBI GTI Gastecnologisches Institut
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
- Fraunhofer IEE
- IAEW - Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft
- Reiner Lemoine Institut gGmbH
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)

**Power-to-Gasは、電力・ガス会社が連携して実施**

# 欧州の電力会社の水素展開

## Vattenfall (スウェーデン・独の 大手電力会社)

- 2050年までに発電でのCO2排出量をゼロにする(石炭発電のバイオマス転換や水素、アンモニア適用)
- 水素ステーションを運営
- 複数のPtGプロジェクトに参画: 製鉄への再エネ水素適用を検証するHyBRITに参画(4.5MW水電解)



## E.On (独の大手電力会社)

- 2050年までに電力をカーボンニュートラルとする
- 複数のPower-to-Gasプロジェクトに参画: ドイツファルケンハーゲンでは、2WMの水電解で風力由来の「Wind Gas」を製造し、ガス管注入
- 子会社のAvacon Netzを通じて、天然ガス網に再エネ由来水素を20%以上混入するWindhydrogen Salzgitterプロジェクトを実施(水電解2MW規模)

### Windhydrogen Salzgitterプロジェクト

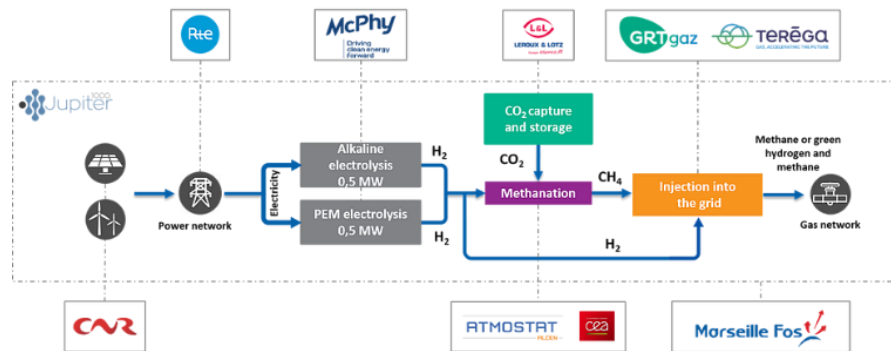


# 欧州のガス会社の水素展開

## ENGIE (仏のガス大手)

- 2050年までに供給するガスを100%再エネ由来とする(バイオガスあるいは再エネ水素を展開予定)
- 子会社でガス管運用会社のGRTgazを通じてJupiter 1000プロジェクトに参画(1MW水電解で水素やメタンを合成し、ガス導管に注入)

### Jupiter 1000 プロジェクト

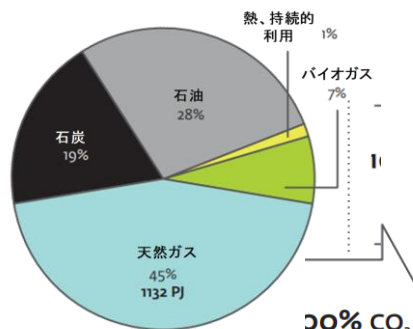


## Gasunie (蘭・独のガス輸送会社)

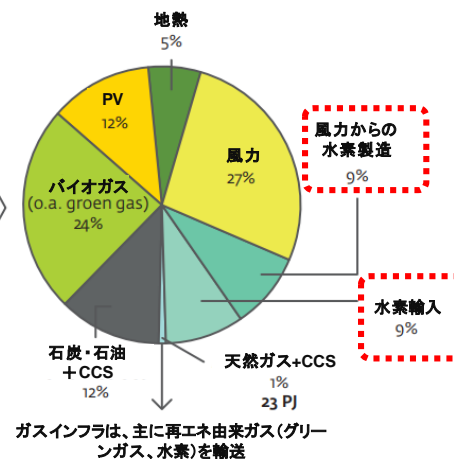
- 2050年までにガスをCO2中立にする
- Statoil、Vattenfallとともに、北オランダでの水素実証  
Magnumプロジェクトに参画し、水素の導管注入を実証予定

### Gasunieのエネルギーミックス

現在  
(2.522 PJ)



2050  
(2.049 PJ)

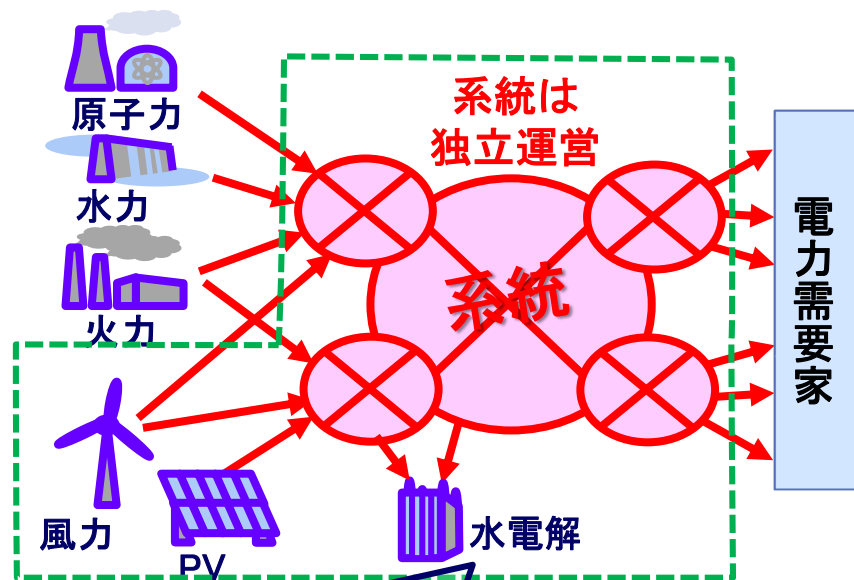


# 欧米と日本のPower-to-Gasの観念の違い

## 米・欧

### 系統型PtG (Grid-Scale PtG)

系統における過剰電力を水素変換  
⇒再エネ水素の多面的利用が可能

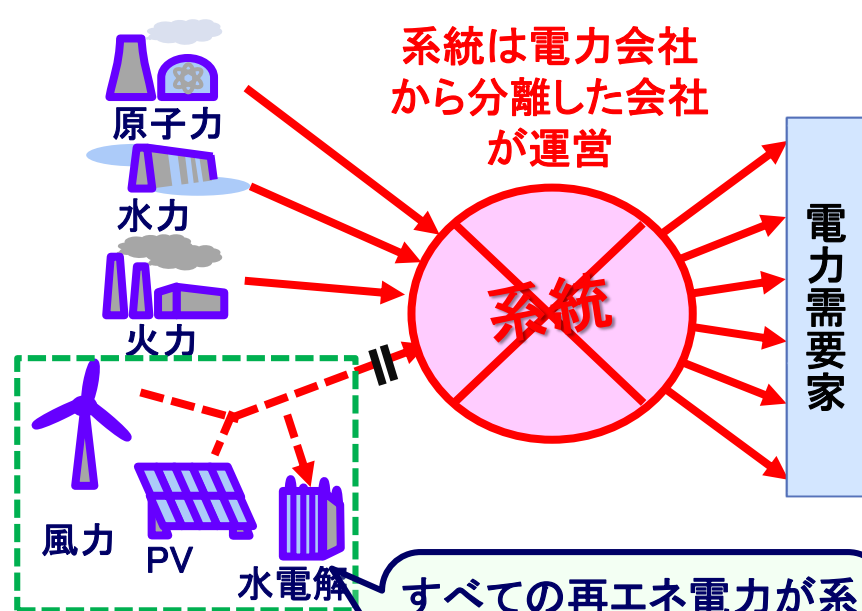


基本的にすべての再エネ電力を系統にいれるため、系統全体で需給のアンバランスが発生⇒水素変換

## 日本

### 非系統型PtG (Non Grid PtG)

系統に入らない電力の一部を水素変換  
⇒局所で「少量」の水素ができ、展開困難



すべての再エネ電力が系統にはいらないので、余剰や不安定部分をカットする必要あり⇒水素変換

日本のPtG(水電解)は、根本的にスケールメリットが出ない

## 2. 政策:ドイツの水素戦略



**TECHNOVA**

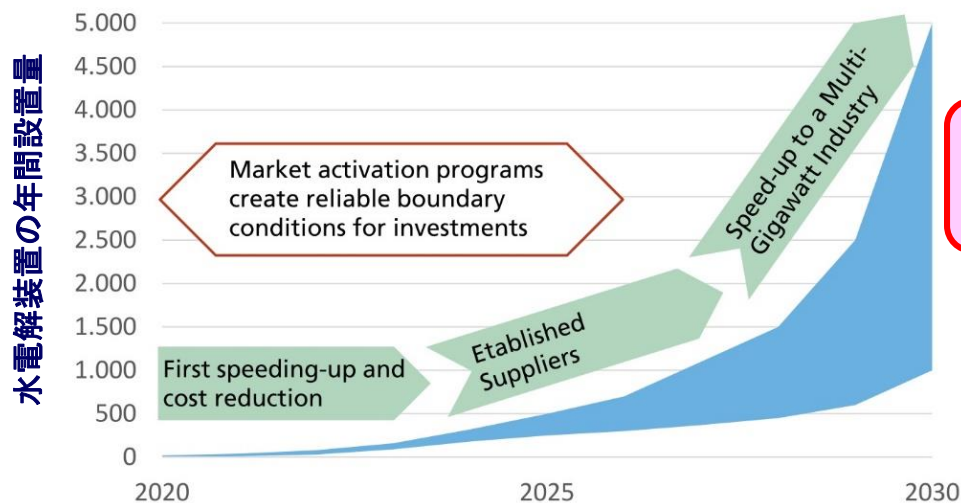


# ドイツ「水電解の産業化」(2018年10月)

## 連邦交通デジタルインフラ省「ドイツの水電解産業化: 輸送、電気、熱のための持続可能な水素の見込みと課題」(2018年10月)

### □ メッセージ

- 水電解は**2030年に10GW以上**、2050年頃に200GW程度が必要
- 当面は期待される規模の供給ができない→**GW級の産業化が必要**(規模の経済が必要、研究支援より市場化支援が重要)
- 水素製造のための電気コスト調達の**規制枠組みが必要**



2030年には  
累計10GW  
以上が必要

年間設置量 <20 MW  
累積設置量 <100 MW

年間設置量 250-500 MW  
累積設置量 1-2 GW

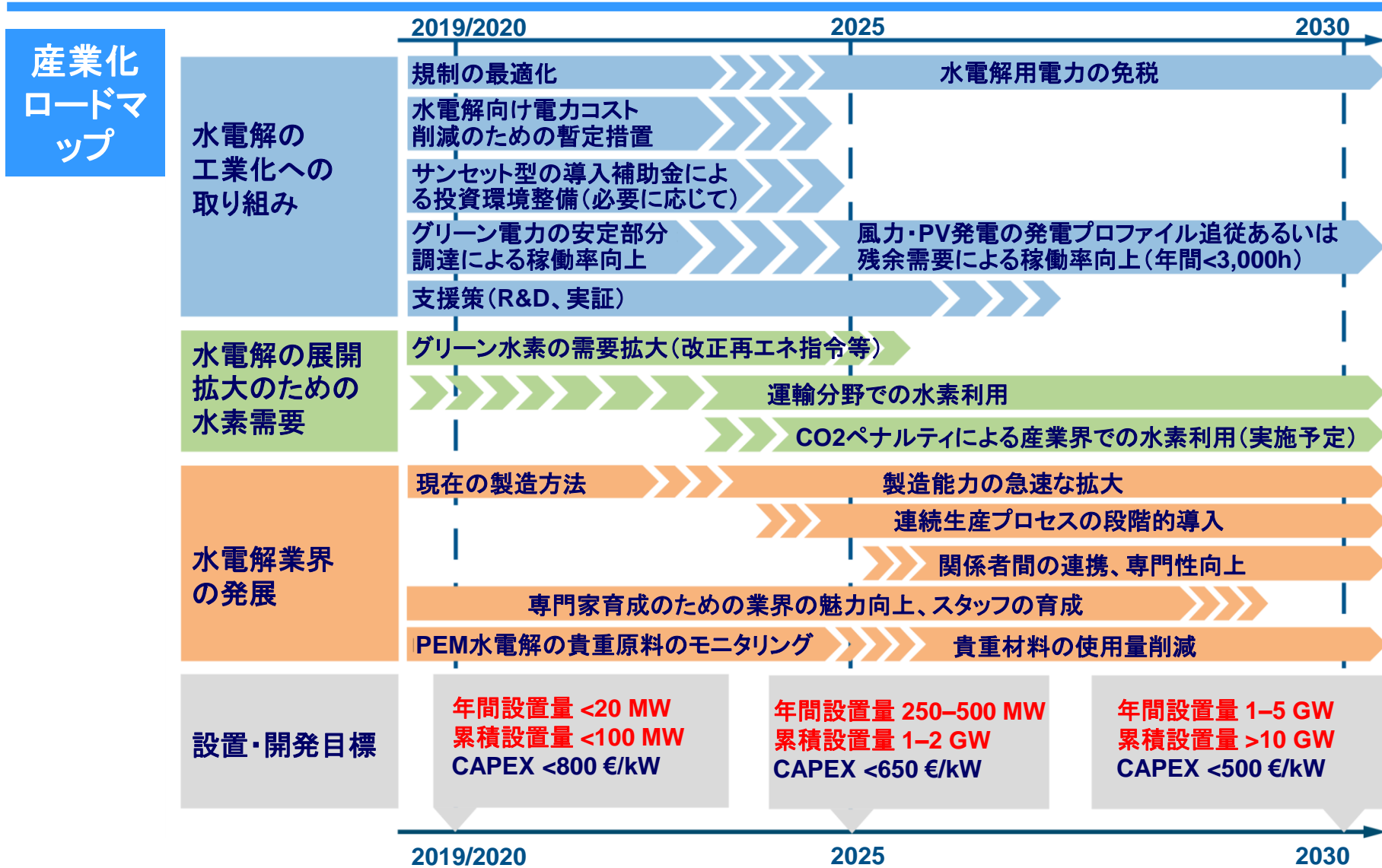
年間設置量 1-5 GW  
累積設置量 >10 GW

出所: NOW「Aktuelle Studie zeigt Wege zur Industrialisierung der Wasserelektrolyse」

<https://www.now-gmbh.de/de/aktuelles/presse/aktuelle-studie-zeigt-wege-zur-industrialisierung-der-wasserelektrolyse>

システムの再エネ比率増大にあわせて、電解設置量も増大

# ドイツ「水電解の産業化」(2018年10月)



ロードマップでは、2030年に累積で10GW以上を記載

# ドイツ「国家水素戦略」(2020年6月)

## ドイツ「国家水素戦略」

(Die Nationale Wasserstoffstrategie) (2020年6月10日)

- 2019年夏に議論開始→2020年6月に発表
  - 連邦経済エネルギー省、連邦運輸デジタルインフラ省、連邦研究・教育省、連邦経済開発協力省が共同で作成
- メッセージ
  - ドイツの**世界的リーダーシップ確保**が目的  
注:ドラフト版:**31のアクション**→最終版:**38のアクション**
  - グリーン水素(再エネ水素)を強く志向:ドラフトで採用されていた「**CO2フリー水素**」の表現は単なる「水素」や「グリーン水素」、「ブルー水素」に置き換え
  - 水素需要:
    - 2030年までに約90~110 TWh(230~280万トン)の水素が必要
    - **2030年までに5GWの水電解が必要**  
(可能であれば、2035年まで(遅くとも2040年まで)に5GWを追加)
    - 国内製造だけでは不足→**水素輸入が必要**



出所: 連邦教育・研究省(BMBF)「Nationale Wasserstoffstrategie」(英語版ダウンロードあり)  
<https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html>

ドイツが水素でリーダーシップを発揮するための戦略

# ドイツ「国家水素戦略」(2020年6月)

## □ 水素製造

- グリーン水素製造のための再エネ電力のコスト低減策を導入
- 水素製造向け電力から再エネ賦課金、税金の免除を検討

## □ 運輸分野

- グリーン水素のGHG削減率・CO2算出方法論を欧州・国際的に確立
- 合成ディーゼル(e-fuel)、バイオ製造の投資促進
- FCシステムのサプライチェーン構築を支援

## □ 産業

- 鉄鋼・化学産業での低炭素水素への切り替えを支援(ラベル表示等を検討)
- 業界毎の水素利用による脱炭素化長期戦略を策定

## □ 熱分野

- FCコージェネレーションの普及を継続・強化

## □ 水素インフラ整備

- 水素ガス専用ネットワーク実現のための長期戦略を作成

## □ 研究、教育、イノベーション

- ドイツ水素経済ロードマップを策定

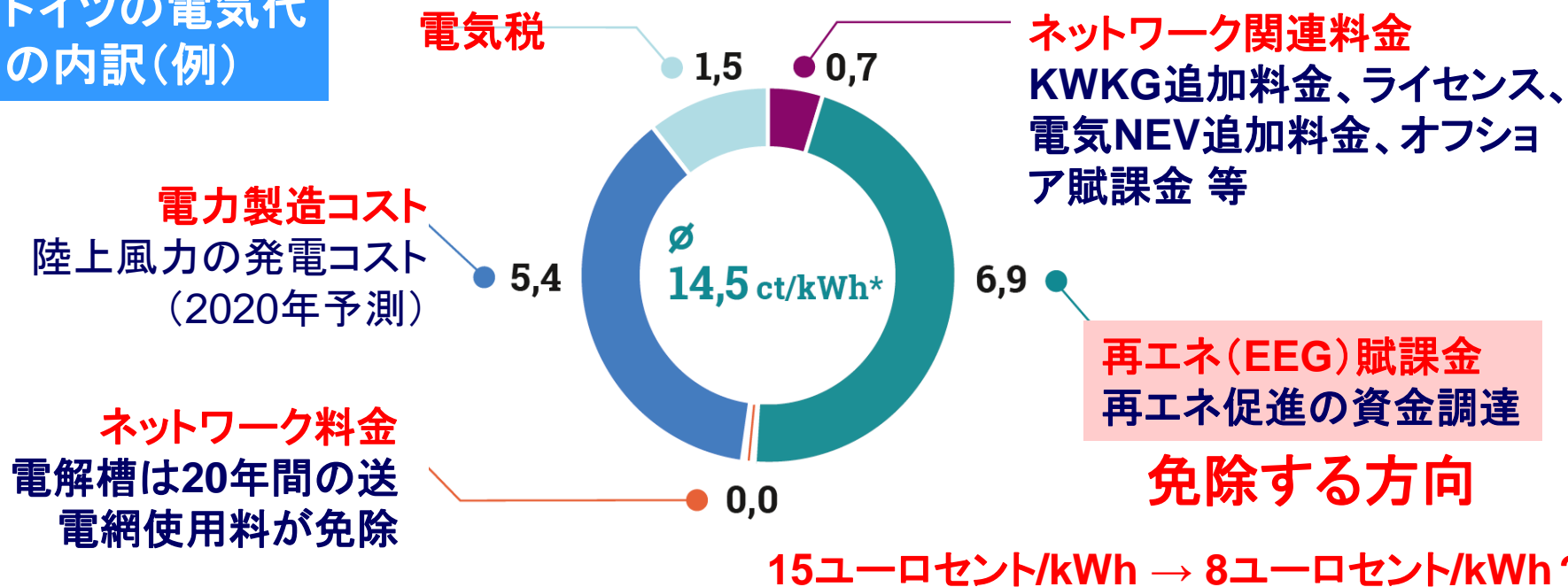
## □ 国際水素市場と国際パートナーシップ

- EUで低炭素水素の認証制度を確立し、国際的運用を強化
- ドイツ機器の輸出促進、低炭素水素の輸入と相手国のエネルギー転換支援
- 既存の水素の国際的な枠組み(IPHE、IRENA、IEA等)を強化

# ドイツの水素向け電力コストの見込み

- 水電解による水素コストは、電気代に大きく依存  
(例. 製造効率 50 kWh/kg-H<sub>2</sub> × 電気代 20円/kWh = 1,000 円/kg-H<sub>2</sub> ← さらに設備費用必要)
- **ドイツは、水電解向け電力から再エネ(EEG)賦課金を免除する方向**

## ドイツの電気代の内訳(例)



出所: dena「Power to X: Strombezug」

[https://www.powertogas.info/fileadmin/Power\\_To\\_Gas/Dokumente/Factsheets/DENA-Factsheet1\\_Power\\_to\\_X\\_Strombezug.pdf](https://www.powertogas.info/fileadmin/Power_To_Gas/Dokumente/Factsheets/DENA-Factsheet1_Power_to_X_Strombezug.pdf)

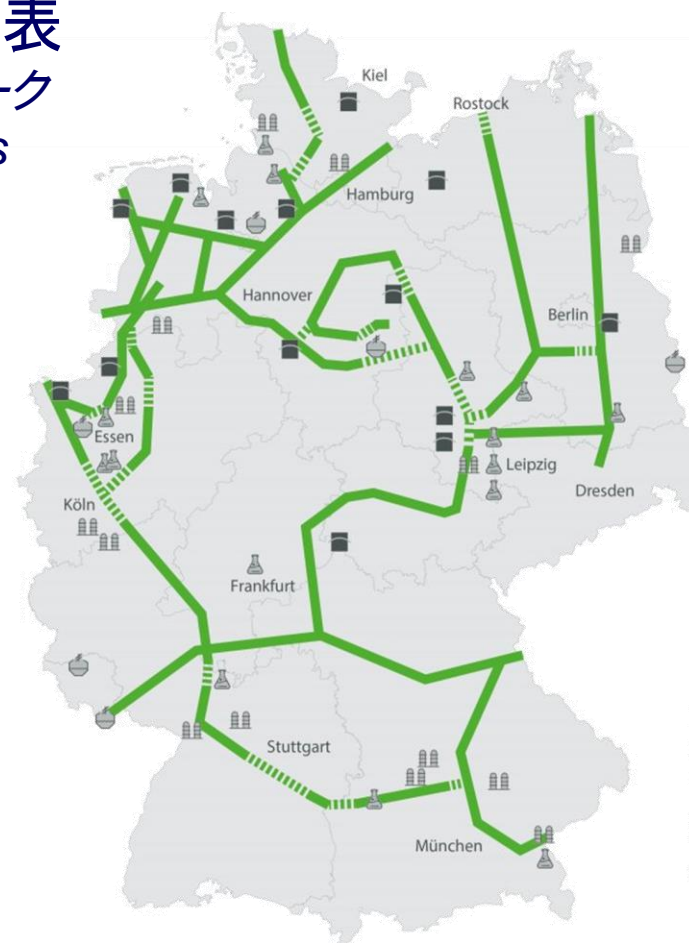
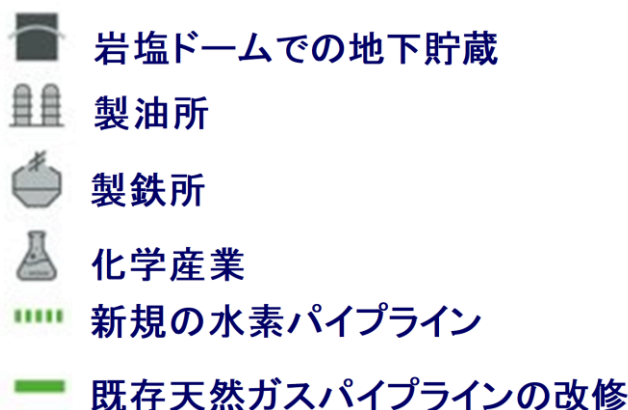
**ドイツは、水電解向けには電力コストを政策的に低減させる方向**

# ドイツガス輸送管企業協会 (FNB Gas) (2020年1月)

## □ 全長5,900kmの水素網整備計画を発表

2020年7月にFNB Gasが発表した「ガスネットワーク  
開発計画2020-2030 (Netzentwicklungsplan Gas  
2020-2030)」にも記載

- 2025年に計画開始
- 5,900kmのうち90%は、既存天然ガス網  
の改修で可能



出所: FNB Gas「Fernleitungsnetzbetreiber veröffentlichen Karte für visionäres Wasserstoffnetz (H2-Netz)」(2020年1月28日)  
<https://www.fnb-gas.de/fnb-gas/veroeffentlichungen/pressemitteilungen/fernleitungsnetzbetreiber-veroeffentlichen-karte-fuer-visionaeres-wasserstoffnetz-h2-netz/>

ドイツのガス網運用者は約6,000 kmの純水素ネットワークを構築予定

### 3. 政策：欧州連合の水素戦略



**TECHNOVA**



# 欧州連合の水素戦略の背景

- 欧州委員会  
「2050年気候変動中立経済 (A Clean Planet for All - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy)」(2018年11月)
- 欧州燃料電池水素共同実施機構 (FCH JU)  
「欧州水素ロードマップ」(2019年1月)
- Hydrogen Europe (欧州水素燃料電池協会)  
「2 × 40GW水素イニシアティブ」(2020年4月)
- ドイツ政府  
「国家水素戦略」(2020年6月)
- 欧州委員会「グリーンディール」  
(2019年12月)と「グリーンリカバリー」(2020年5月)

欧州委員会「気候中立のための水素戦略」  
(A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe) (2020年7月8日)

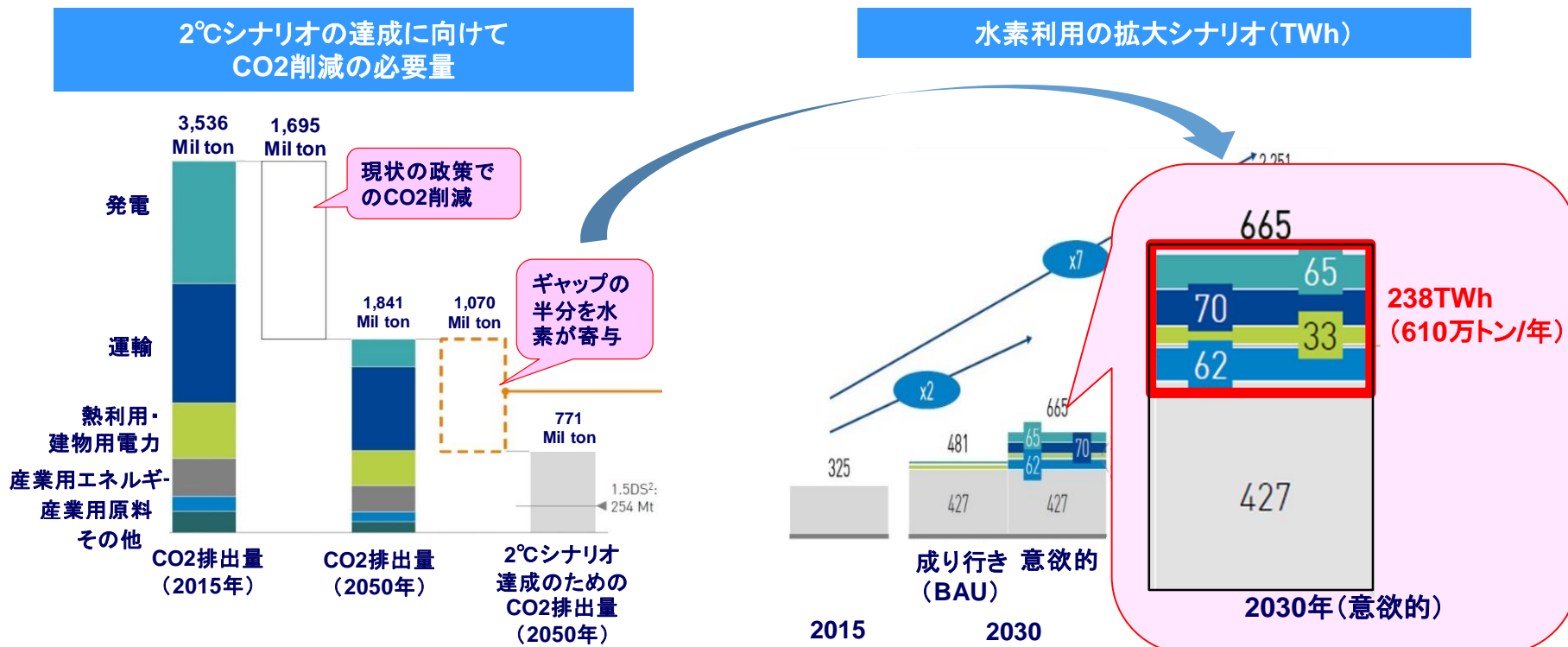
欧州連合の水素戦略は、いくつかの政策を土台にしている

# EU「欧州水素ロードマップ」(2019年1月)

## Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition (2019年1月)

### 概要:

- 欧州委員会と欧州燃料電池・水素共同実施機構(FCH JU)が作成
- IPCCの2°Cシナリオ(2050年)のための必要CO2削減に水素が大きく貢献



**2°Cシナリオ達成のために、水素を積極活用**

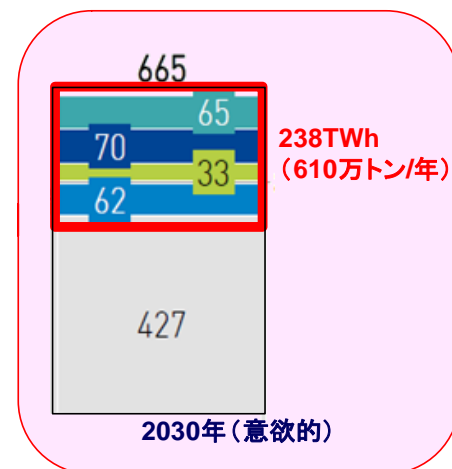
# Hydrogen Europe (European H2 and Fuel Cell Asso.) 「2x40GWグリーン水素イニシアティブ」(2020年4月)

Hydrogen Europe (European Hydrogen and Fuel Cell Association)

2x40GWグリーン水素イニシアティブ(2020年4月)

## □ 前提

- FCH JU水素ロードマップの水素需要(意欲的目標)  
2030年 665 TWh(1700万吨/年)  
うち新規 238TWh(610万吨/年)
- 欧州には優れた水電解メーカーあり  
ThyssenKrupp、NEL、Siemens、McPhy、Hydrogenics、等
- 2×40 GW設置で、欧州が水電解をリード

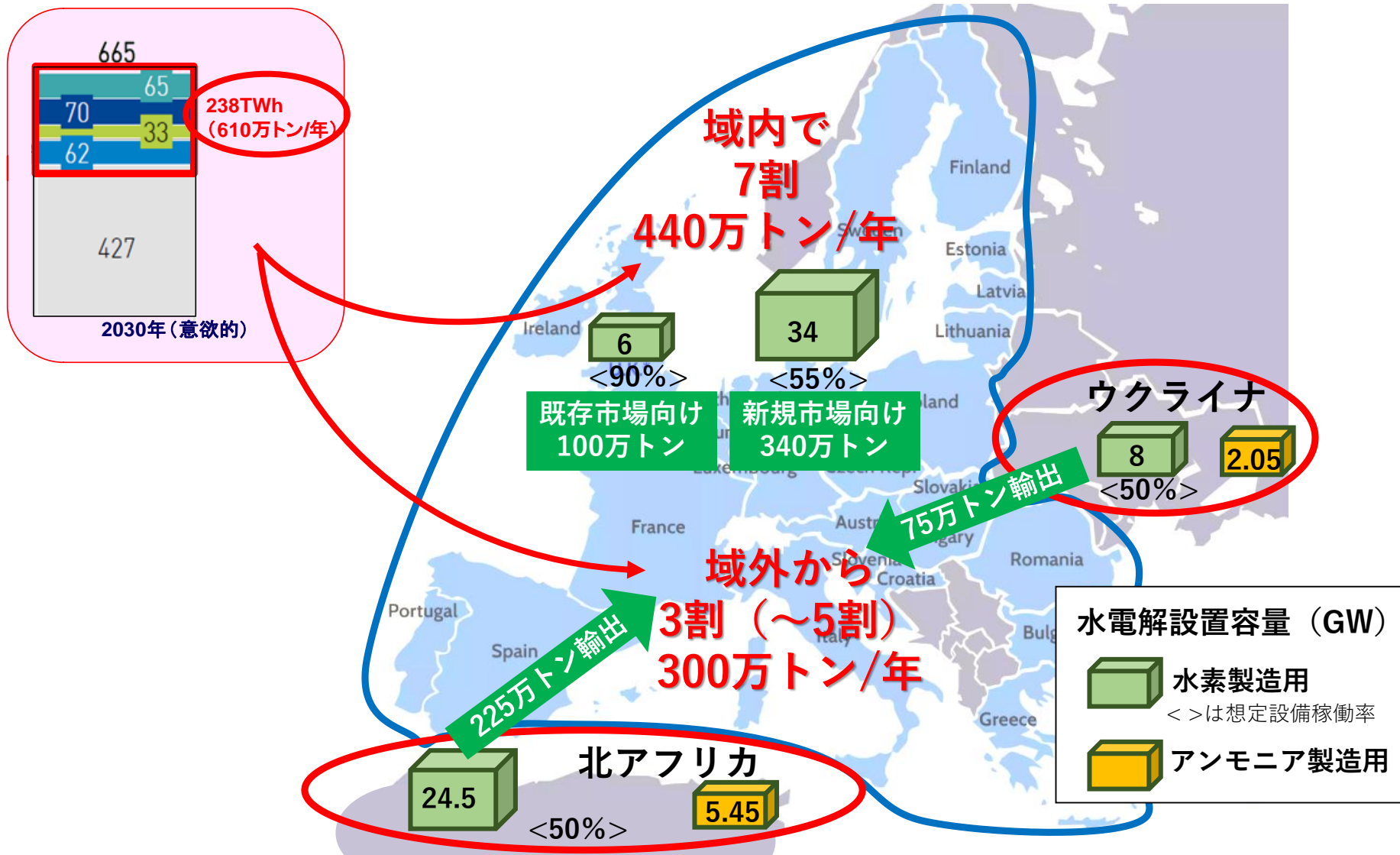


## □ 2030年目標

- 欧州内: 40 GW
  - 既存用途向け6 GW →水素換算100万吨(設備稼働率:約90%)
  - 新規市場向け34 GW →水素換算340万吨(設備稼働率:約55%)
- ウクライナ・北アフリカ: 40 GW
  - 国内向け: 7.5 GW →主目的はアンモニア
  - EU向け: 32.5 GW →水素換算300万吨(設備稼働率:約50%)

欧州水素ロードマップの2×40Gを踏襲

# Hydrogen Europe (European H2 and Fuel Cell Asso.) 「2x40GWグリーン水素イニシアティブ」(2020年4月)



**2030年の輸入量合計は300万トン**

# 欧州委員会「グリーンディール」(2019年12月～)

## 欧州グリーンディールに関する発表・戦略(赤字は水素を含む)

- ◆ 2019年12月 欧州グリーンディール(European Green Deal)発表
- ◆ 2020年1月 欧州グリーンディール投資計画(European Green Deal Investment Plan)発表
- ◆ 2020年3月 欧州気候変動法(European climate law)提案
- ◆ 2020年3月 欧州産業戦略(European Industrial Strategy)採択
- ◆ 2020年3月 欧州循環経済計画(Circular Economy Action Plan)提案
- ◆ 2020年5月 欧州農場から食卓まで戦略(Farm to fork strategy)発表
- ◆ 2020年5月 欧州生物多様性戦略(EU Biodiversity Strategy for 2030)発表
- ◆ 2020年7月 欧州水素戦略(EU strategies for energy system integration and hydrogen)発表
- ◆ 2020年9月 欧州2030年気候目標計画(2030 Climate Target Plan)発表

出所: European Commission「A European Green Deal」

[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

水素は、欧州グリーンディールの中心的な要素となっている

# 欧州委員会「気候中立のための水素戦略」(2020年7月)

## 欧州委員会「気候中立のための水素戦略」 (A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe) (2020年7月8日)

### □ メッセージ

- 2050年の**炭素中立**には**再エネ水素**が必須
- クリーン水素は、2050年のエネルギー需要の24% (6300億ユーロ)になる可能性あり
- Hydrogen Europeの「**2 × 40 GW**」と一致した水電解設置目標
  - 2024年までに計6 GW
  - **2030年までに計40GW**
- 2030年までに以下を投資
  - **水電解に240～420億ユーロ**
  - **水素製造用再エネに2200～3400億ユーロ**
  - **水素輸送に650億ユーロ**



**2030年の水電解設置量40GWを踏襲**

# 欧州委員会「気候中立のための水素戦略」(2020年7月)

	第1フェーズ (2020~2024年)	第2フェーズ (2025~2030年)	第3フェーズ (2030~2050年)
水素製造	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水電解：&gt;6GW</li> <li>• 水素：100万トン/年</li> <li>• 水電解装置製造スケールアップ (最大100MW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水電解：&gt;40GW</li> <li>• 水素1000万トン/年(輸入含む)</li> <li>• 既存水素製造設備へのCCS設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 再エネ電力の1/4を水素製造に利用</li> </ul>
	水電解：240~420億€		水素製造拡大： 1800~4700億€
	水電解向け太陽光・風力発電(80~120GW)：2200~3400億€		
既存水素製造設備へのCCS設置：110億€			
インフラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水素基幹パイプラインの計画開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存ガス網の水素転換</li> <li>• EU規模の水素輸送網の構築</li> <li>• 水素ステーション網構築</li> </ul>	—
水素サプライチェーン構築：650億€		—	
水素ステーション400箇所の設置：8.5~10億€			
水素利用	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 再エネ水素のコスト低減と新用途展開(製鉄、トラック、鉄道船舶、電力システム)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2中立な合成燃料の利用(航空、船舶ビル等)</li> </ul>
水素製鉄への改修：1.6~2億€		—	
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 市場活性化のための支援 欧州クリーン水素アライアンス (European Clean Hydrogen Alliance) 設立</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水素地域実証(水素バレー)展開</li> <li>• 水素の域外諸国の国際取引</li> </ul>



# 欧州グリーンディール公募(2020年9月):水素関連

テーマ	Develop and demonstrate a 100 MW electrolyser upscaling the link between renewables and industrial applications (再エネと産業利用を接続する規模の100 MW水電解の開発と実証)
公募	開始2020年9月22日～締切2021年1月26日
内容	<ul style="list-style-type: none"><li>• 100MWの水電解を開発し、系統安定化や再エネ水素を商用・産業利用(モビリティ、肥料、合成燃料、製油所、天然ガス網注入等)</li><li>• 達成目標:<ul style="list-style-type: none"><li>– 製造効率: 49 kWh/kg(アルカリ)、52 kWh/kg(PEM)、</li><li>– 吐出圧力: 30 bar</li><li>– 負荷変動: 1秒で25~100%</li><li>– CAPEX: 480 ユーロ/kW(アルカリ)、700 ユーロ/kW(PEM) (FCH JUの2024年目標達成)</li><li>– 水素コスト: 3 ユーロ/kg(電気コスト@40 ユーロ/MWh)</li></ul></li><li>• プロジェクト期間: 5年(最低でも2年間運用)</li><li>• EU予算: 2,500万~3,000万ユーロ</li></ul>

出所: European Commission「Develop and demonstrate a 100 MW electrolyser upscaling the link between renewables and industrial applications」

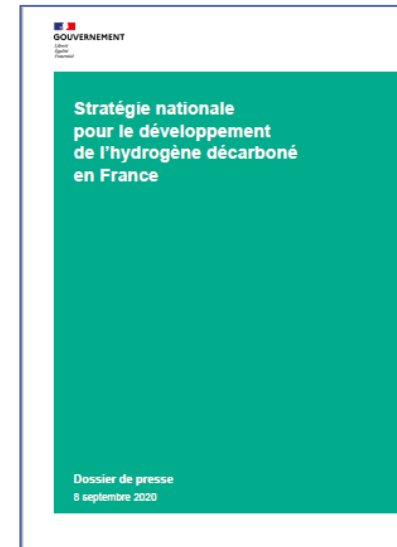
<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/lc-gd-2-2-2020>

# フランス「カーボンフリー水素開発戦略」(2020年9月)

## 経済・財務省「カーボンフリー水素開発のための国家戦略」 (la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France) (2020年9月8日)

### □ メッセージ:

- 脱炭素化に貢献するため水電解**6.5 GW**の設置
- 大型車両のクリーン化: 乗用車、貨物車両、  
大型車両(貨物車、バス、列車)に加え、船舶、  
航空機への水素適用を進め、2030年までに  
600万トン超のCO2を抑制
- フランスでの雇用創出・技術習熟(5~15万人の雇用を創出)
- **水素に2030年までに70憶ユーロ投入(2020-2023年予算 34億  
ユーロ)**



出所: Ministère de l'Economie, des Finances et de la Relance 「la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France 」( 2020年9月9日)  
<https://www.economie.gouv.fr/presentation-strategie-nationale-developpement-hydrogene-decarbhone-france>

**フランスも水素を脱炭素化に水素を活用**

## 4. 系統への水素システムの統合の可能性

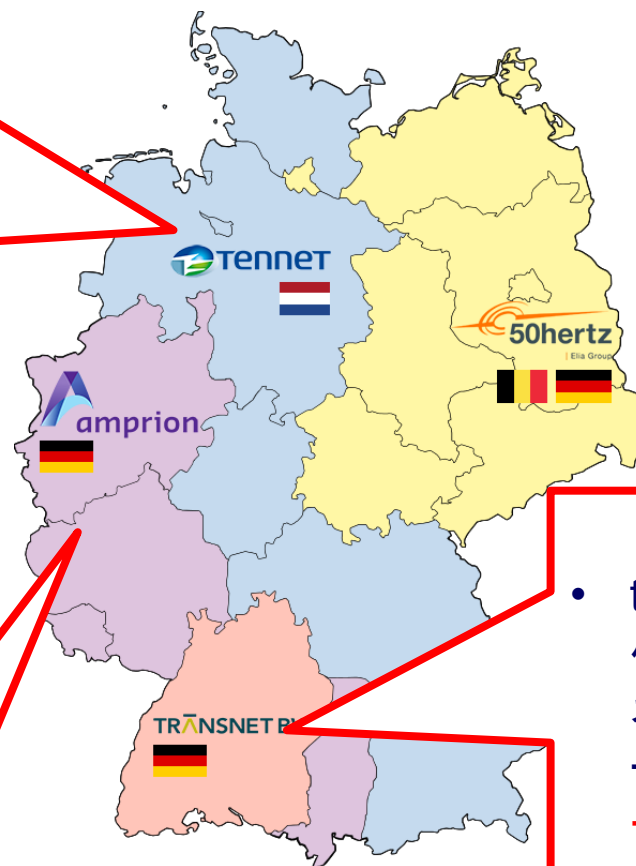


**TECHNOVA**

# ドイツのTSOとPower-to-Gas

## TenneT

- Gasunie (蘭・独 ガス網運用会社)、Tyssengas (独 ガス網運用会社)とElementEins (Element One)プロジェクトを開始
- 100MW水電解を2022年稼働予定
- 水素を天然ガス網に混入



## Amprion

- Open Grid Europe (独 ガス網運用会社)とhybridgeプロジェクトを開始。
- 100MW水電解を2023年稼働予定
- 水素を天然ガス網に混入

## TransnetBW

- terranetz BW (ガス網・通信網運用会社)、太陽エネルギー水素研究センター (ZSW) とともに、バーデン=ヴュルテンベルク州での脱炭素化のためのPtG研究を実施 (2018年)
- 水素や合成メタンのガス網注入の有効性を検討

複数のドイツTSOが水素化オプションを検討

# 例: Amprion & Open Grid Europe: hybride

- 場所: ドイツ ニーダーザクセン州リンデン郊外 (Amprionの変電所)
- コンセプト: **風力由来グリーン電力のガス転換**  
水素ガスは近隣工場やノルトライン・ウエストファーレン州に輸送
- 手段: **100MW水電解(水素製造量 2万Nm<sup>3</sup>/h)**
- 進捗: ドイツ連邦ネットワーク庁で計画審査中  
**2023年から実施**



- 参加企業:



## Amprion

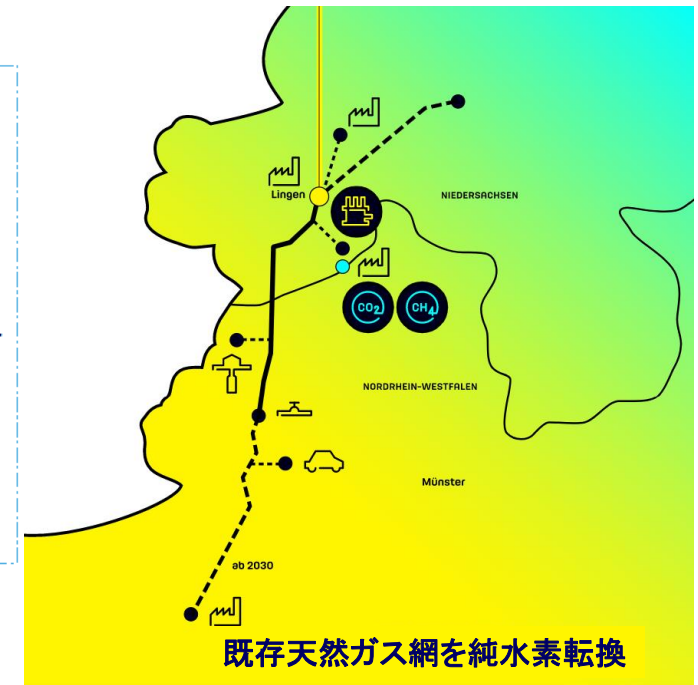
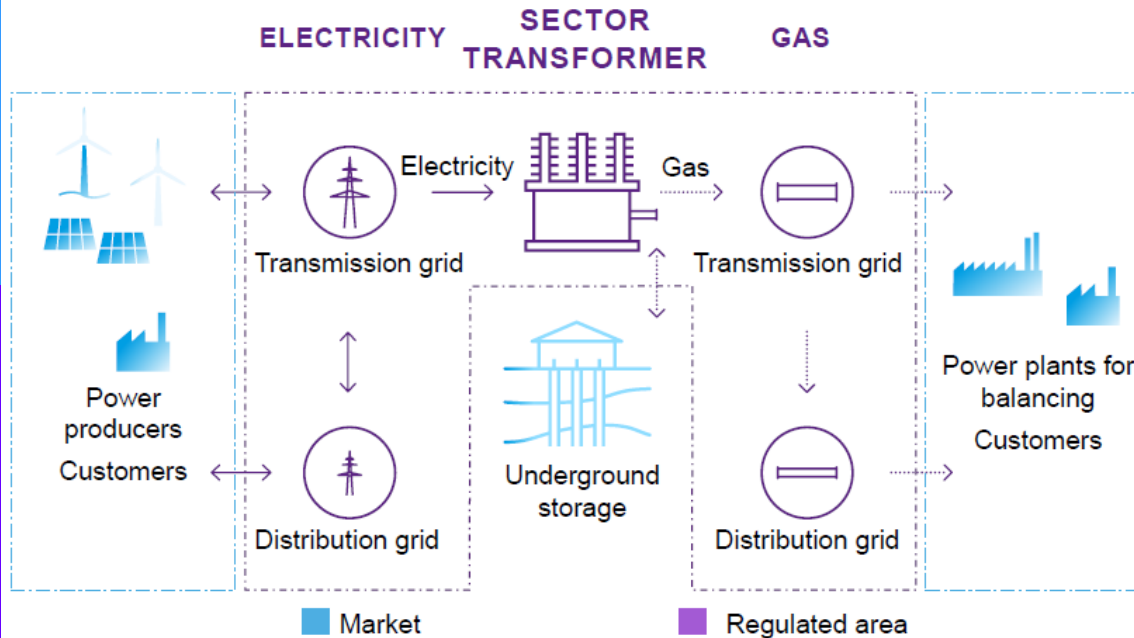
- ドイツ西部で総距離11,000kmの送電線網を運用



## Open Grid Europe

- ドイツ最大のガス網運用会社で総延長約12,000kmを運用中

# 例: Amprion & Open Grid Europe: hybride



出所: hybride「hybride - Sector Coupling - the Path to a successful Energy Transition」  
<https://www.hybride.net/Dokumente/Downloads/Brosch%C3%BCren-und-Faltbl%C3%A4tter/EN/hybride-the-path-to-a-successful-energy-transition.pdf>

— 送電線 — 既存ガス網 --新設ガス網.... 新設ガス網 (将来)

出所: hybride「PROJEKT」  
<https://www.hybride.net/Projekt/>

# 例: TenneT、Gasunie & Thyssengas: Element One

- 場所: ニーダーザクセン州オストフリースラント地方
- コンセプト: **風力由来グリーン電力のガス転換**  
水素ガスはライン・ルール地方、ブレーメン、ハンブルクに輸送
- 手段: **100MW水電解(水素製造量 2万Nm<sup>3</sup>/h)**
- 進捗: ドイツ連邦ネットワーク庁で計画審査中  
**2022年から実施**
- 参加企業:



## TenneT

- オランダとドイツで総距離約23,500kmの送電線ネットワークを運用中
- 需要家数4,200万人



## Gasunie Deutschland

- 主にドイツ、オランダで、約4,300kmのガス網を運用
- 2050年にカーボンニュートラルを目指す



## Thyssengas

- 主にドイツ北西部(ノルトライン・ウェストファリア州)で約4,200kmのガス網を運用



# 例: TenneT、Gasunie & Thyssengas : Element One



水電解



水電解

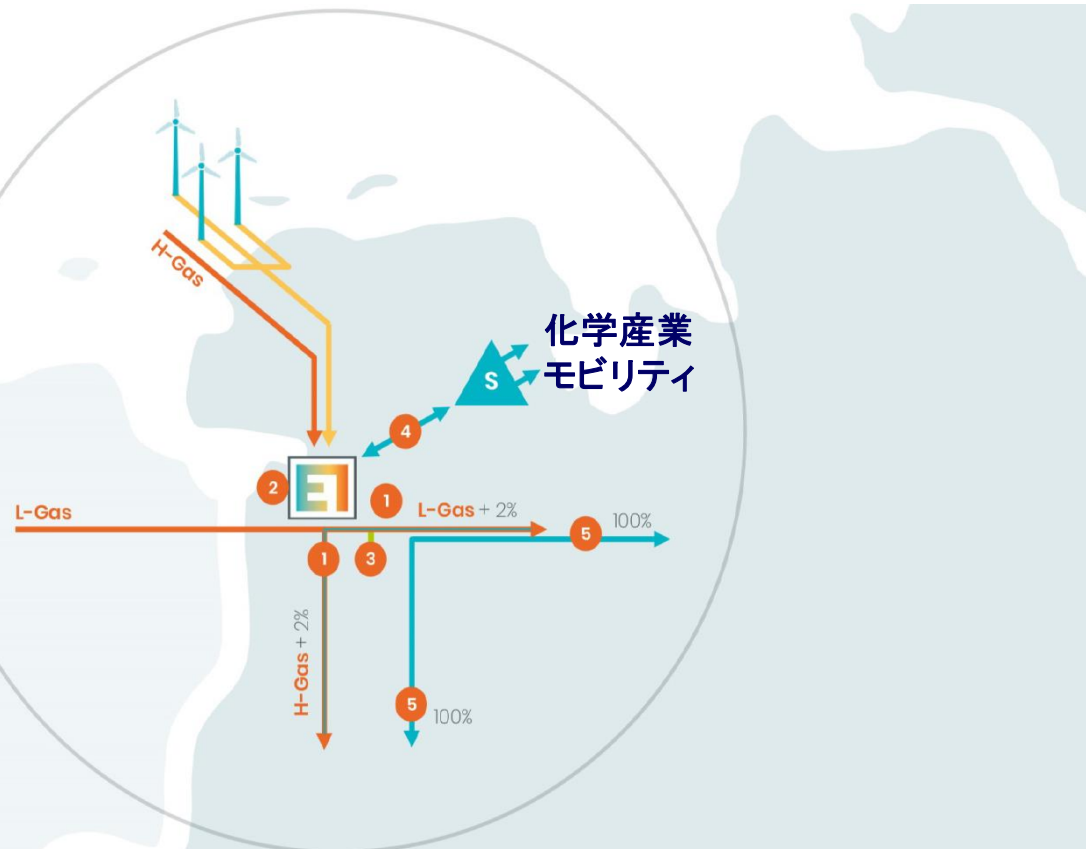
風力由来電力

水素

既存の天然ガス網

既存の天然ガス網への水素混入(2%)

合成メタン



1

既存のLガス、  
Hガス網への  
水素混入2%

2

水素需要拡大  
(水素ステーション、  
バイオガスプラント)

3

バイオガスプラ  
ント由来CO2の  
メタン化

4

地下水素貯蔵  
施設の活用  
(化学産業とモ  
ビリティ利用)

5

純水素ネット  
ワーク

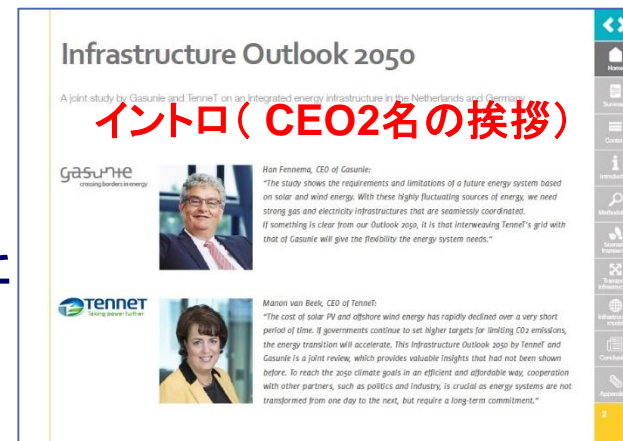
出所: ElementEins「ELEMENT EINS\_Projekt-Präsentation.pdf」

[https://www.element-eins.eu/Resources/Persistent/6436d7248ea1077ce55d1fcc958d3a0dea946373/ELEMENT%20EINS\\_Projekt-Pr%C3%A4sentation.pdf](https://www.element-eins.eu/Resources/Persistent/6436d7248ea1077ce55d1fcc958d3a0dea946373/ELEMENT%20EINS_Projekt-Pr%C3%A4sentation.pdf)

# TenneT & Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」

## TenneT& Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」 (2019年2月)

- **ドイツとオランダにおける送電線・ガス網の将来像検討**
- **仮定**
  - 2050年のCO2 95%削減を前提としたシナリオ(3パターン)
    - ・ Local: 地域レベルでの最適シナリオ
    - ・ National: 国レベルでの最適シナリオ
    - ・ International: 国際電力融通を活用したシナリオ
  - **2050年の電力網(増強を見込む)、ガス網、新設する水素網を想定**
  - シミュレーションは1時間毎に実施



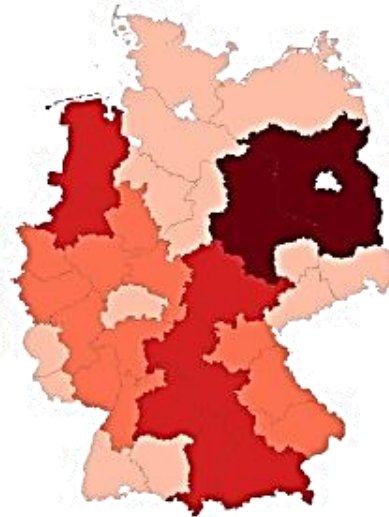
独・蘭の電力とガスTSOが将来の電力・ガスインフラの在り方を検討

# TenneT & Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」

ドイツ:2050年のエネルギー供給と需要のマッピング(3つのシナリオ)



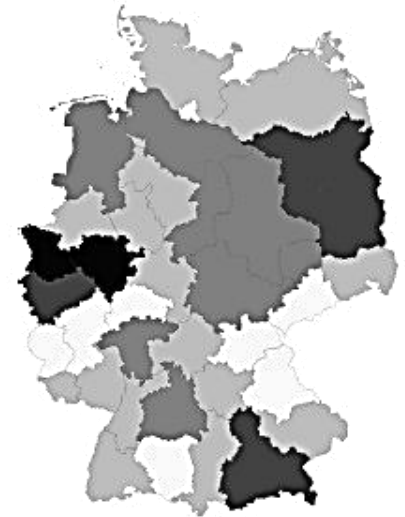
陸上風力発電



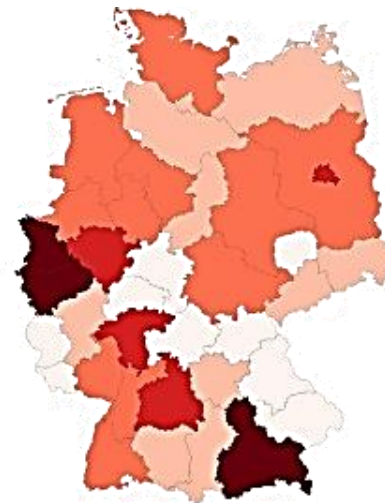
太陽光発電



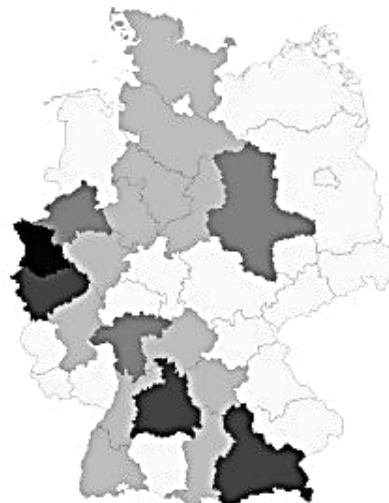
洋上風力発電



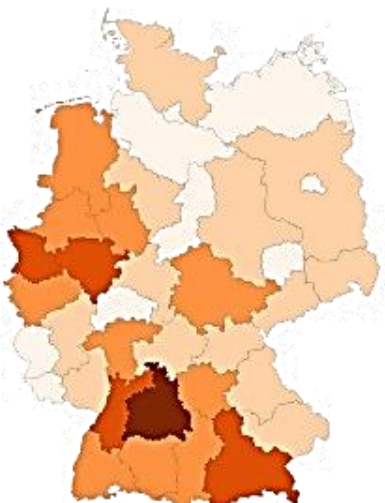
天然ガス火力発電



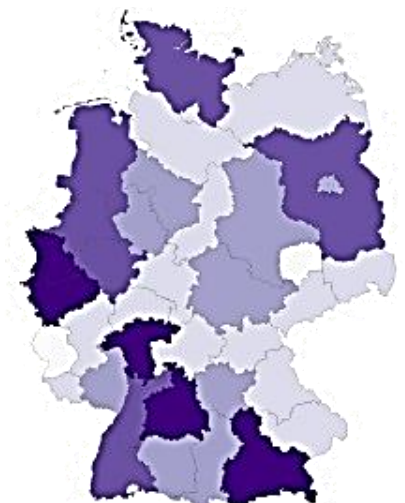
家庭のエネルギー需要



産業のエネルギー需要



建物のエネルギー需要

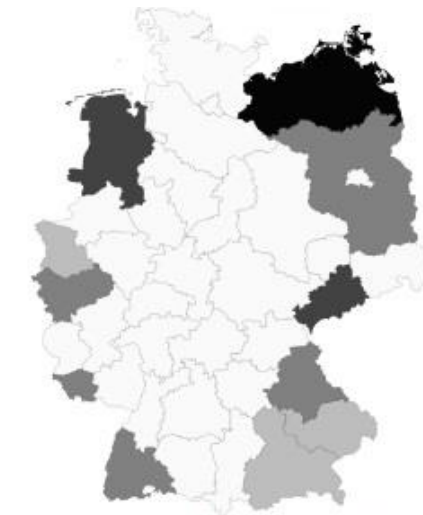
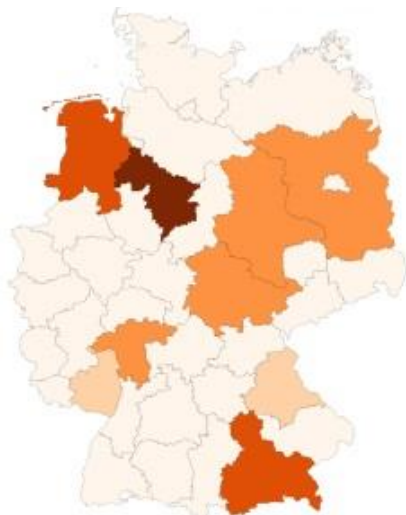
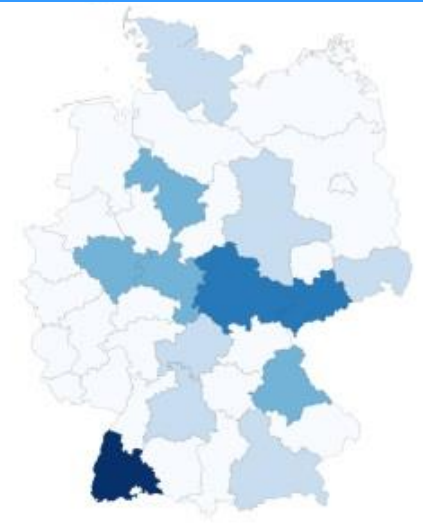


交通のエネルギー需要



# TenneT & Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」

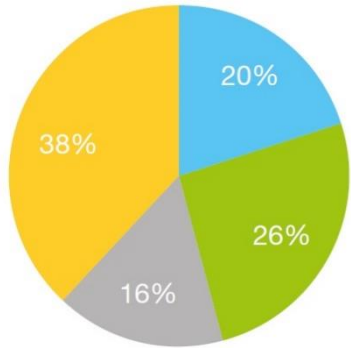
ドイツ:2050年のエネルギー転換、貯蔵、輸出入のマッピング(3つのシナリオ)



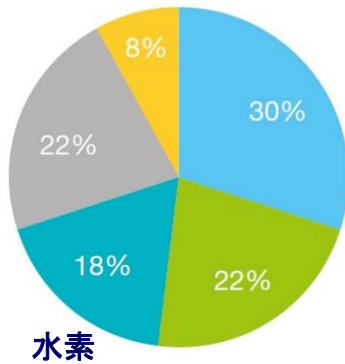
# TenneT & Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」

## ドイツ: 2017年と2050年の最終エネルギー消費

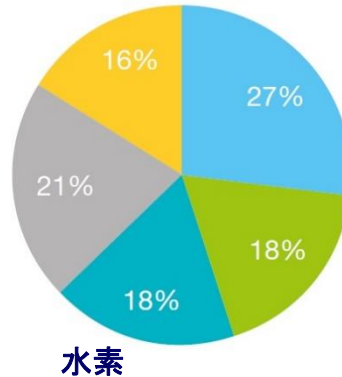
2017:  
Demand (2591 TWh)



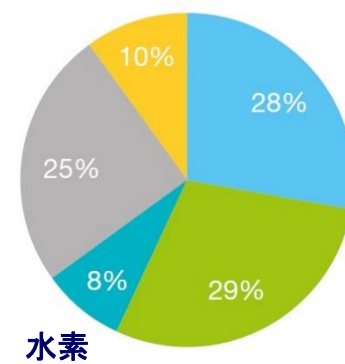
**Local:**  
Demand (1934 TWh)



**National:**  
Demand (1748 TWh)

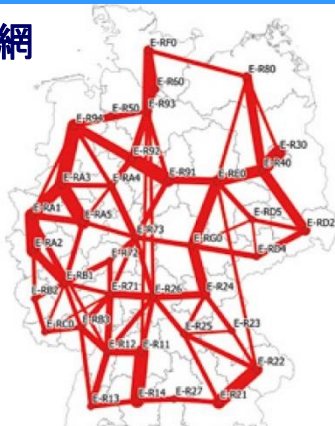


**Int'l:**  
Demand (2024 TWh)

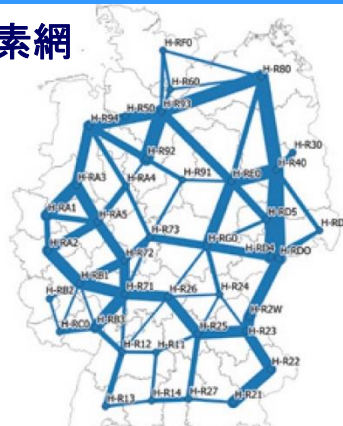


## ドイツ: 2050年のエネルギーインフラ(モデル)

電力網



水素網



天然ガス網



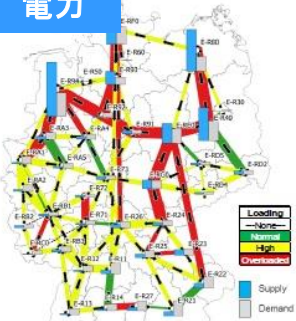
- 将来の計画増強分を含む  
(800ノードを51ノードにシンプル化)
- 送電容量は設備容量の70%

- 現在のガス網を前提に、その一部を純水素化  
(水素網は将来の水素需要を満たすように設計)

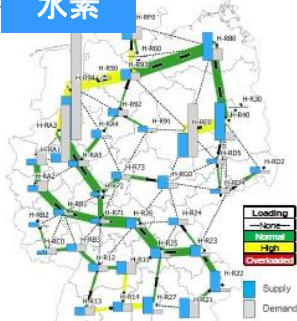
# TenneT & Gasunie「Infrastructure Outlook 2050」

Local

電力



水素

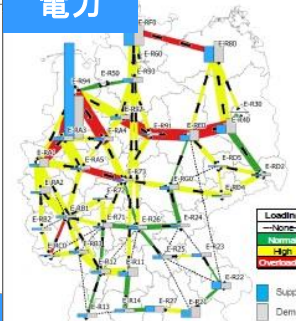


天然ガス

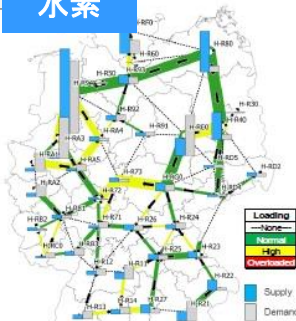


National

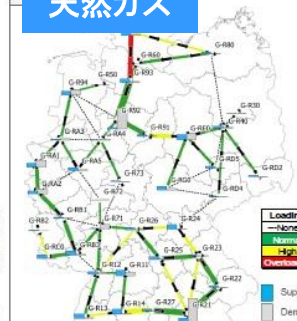
電力



水素

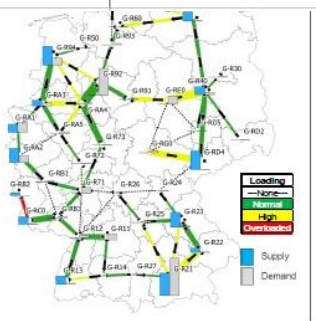
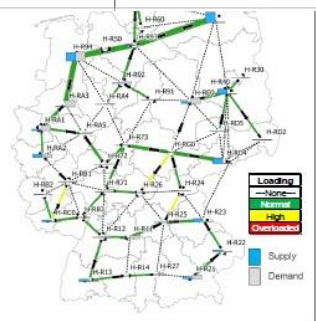
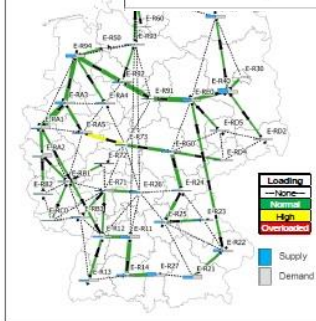


天然ガス



Int'l

電力



## 得られた知見

- 脱炭素化には電力とガスの両方のインフラが重要
- 電力貯蔵では、ガス貯蔵だけが季節的な貯蔵を提供する
- 現在計画中の系統増強に加えて、追加の増強が必要
- 水素製造設備は再エネ発電の近くに設置し、ボトルネックを解消するのがよい(TSOの連携が必要)

系統のボトルネックで水素化して混雑解消(ただし系統の増強は必須)



# 水素30年に主要燃料に

## 目標100万ト国内電力1割分

### 発電・鉄・車 脱炭素の柱

【東京12月8日】政府は8日、2030年までに国内電力の1割を水素で発電し、鉄鋼や自動車などの主要産業でも水素を広く利用する目標を掲げた。水素は燃焼時に二酸化炭素を排出しないため、脱炭素社会の実現に不可欠と見られる。政府は水素の供給を確保するため、2030年に国内産水素100万トン、海外産水素1000万トンを供給する目標を掲げた。水素は燃焼時に二酸化炭素を排出しないため、脱炭素社会の実現に不可欠と見られる。政府は水素の供給を確保するため、2030年に国内産水素100万トン、海外産水素1000万トンを供給する目標を掲げた。

水素は燃焼時に二酸化炭素を排出しないため、脱炭素社会の実現に不可欠と見られる。政府は水素の供給を確保するため、2030年に国内産水素100万トン、海外産水素1000万トンを供給する目標を掲げた。

## 5. まとめと日本への示唆

日本経済新聞 2020年12月8日

# TECHNOVA



# まとめ

## □ 欧州のエネルギー転換と水素

- 2050年の脱炭素化には「再エネ＋水素」が必須
- 電力・ガス会社が脱炭素化で水素化を検討

## □ 政策：ドイツの水素戦略

- ドイツは2030年までに5GW、2035～2040年に追加で5GWの水電解の設置を目指す

## □ 政策：欧州連合の水素戦略・フランスの水素戦略

- 民間企業が2030年に域内40GW、域外40GWの水電解の設置を提言→欧州水素戦略はこれを裏書き
- フランスは2030年までに6.5GWを目指す

## □ 系統への水素システムの統合

- 電力・ガスTSOが水素オプションを検討(電力余剰・ボトルネック発生⇒水素化)
- 脱炭素化達成のための将来インフラの検討が進む

# 日本への示唆

## □ 水素政策展開上の欧州(ドイツ)と日本の違い

- 欧州(ドイツ)は電力系統とガス系統がオーバーラップしていること(余剰をガス化して、ガス網に流せる)。また、系統全体を見ながら、ボトルネックを特定して水素化が可能
- 日本はガス網が地域限定的で、電力網のボトルネックで水素化しても水素輸送が必要

## □ 日本における水素展開

- 日本は海外産水素(例 豪州からのCO<sub>2</sub>フリー水素)の利用が前提(海外からの水素輸入は、世界的な流れ)
  - ⇒ 水素輸出入や水素利用で技術覇権・世界標準をとる
- それでも再エネ水素(水電解利用)の流れは世界的に拡大
  - ⇒ 日本でも地域性を生かした再エネ水素はありうる
  - ただし水素製造地と水素消費地の近接が重要
- 輸入水素を活用した水素発電はゼロエミ発電として重要(水素コスト次第だが、ゼロエミッション調整力は有効)

ご清聴ありがとうございました

株式会社テクノバ

エネルギー研究部 エネルギー技術調査グループ

グループマネージャー

丸田昭輝

maruta@technova.co.jp

# 参考資料



**TECHNOVA**

# ドイツのPower-to-Gas

## PtGプロジェクト

完了: 8

実施中: 26

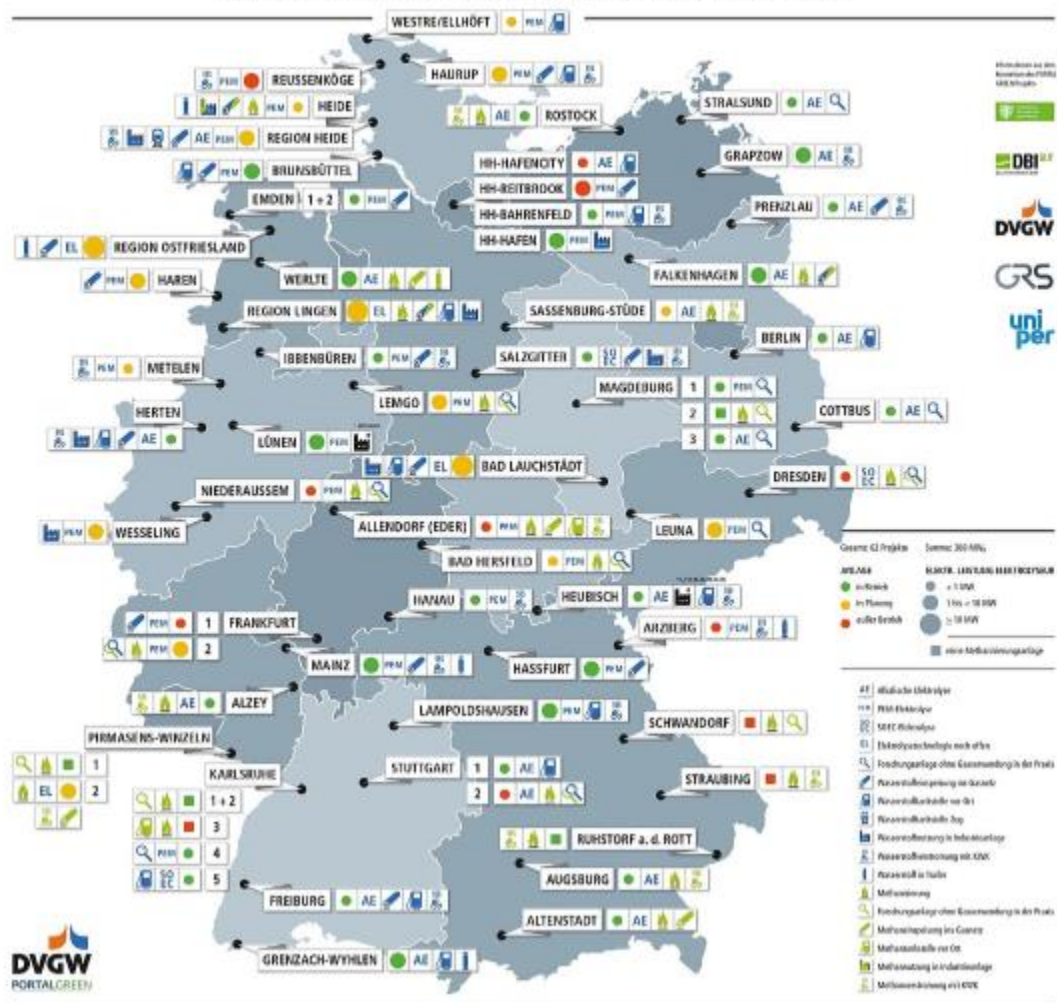
計画中: 34

(2020年10月時点)

出所: Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW)

## WO AUS WIND UND SONNE GRÜNES GAS WIRD ...

EINE ÜBERSICHT DER POWER-TO-GAS-PROJEKTE IN DEUTSCHLAND



ドイツでは、実施中・計画中の合計で60以上のPower-to-Gasを実施

# ドイツ「国家水素戦略」(2020年6月)

## ロ ドラフト版と最終版との違い

論点	違い
水素の呼称	<ul style="list-style-type: none"><li>• ドラフト版:「CO2フリー水素」</li><li>• 最終版:「水素」あるいは「グリーン水素、ブルー水素、ターコイズ水素、グレー水素」の使い分け</li></ul>
国内で消費する水素の種類	<ul style="list-style-type: none"><li>• ドラフト版:「経済性の観点からブルー水素にも役割がある」</li><li>• 最終版:「ドイツ国内はグリーン水素のみを志向するが、世界・欧州ではCO2ニュートラル水素も使用され、(結果として)ドイツでも使われる」</li></ul>

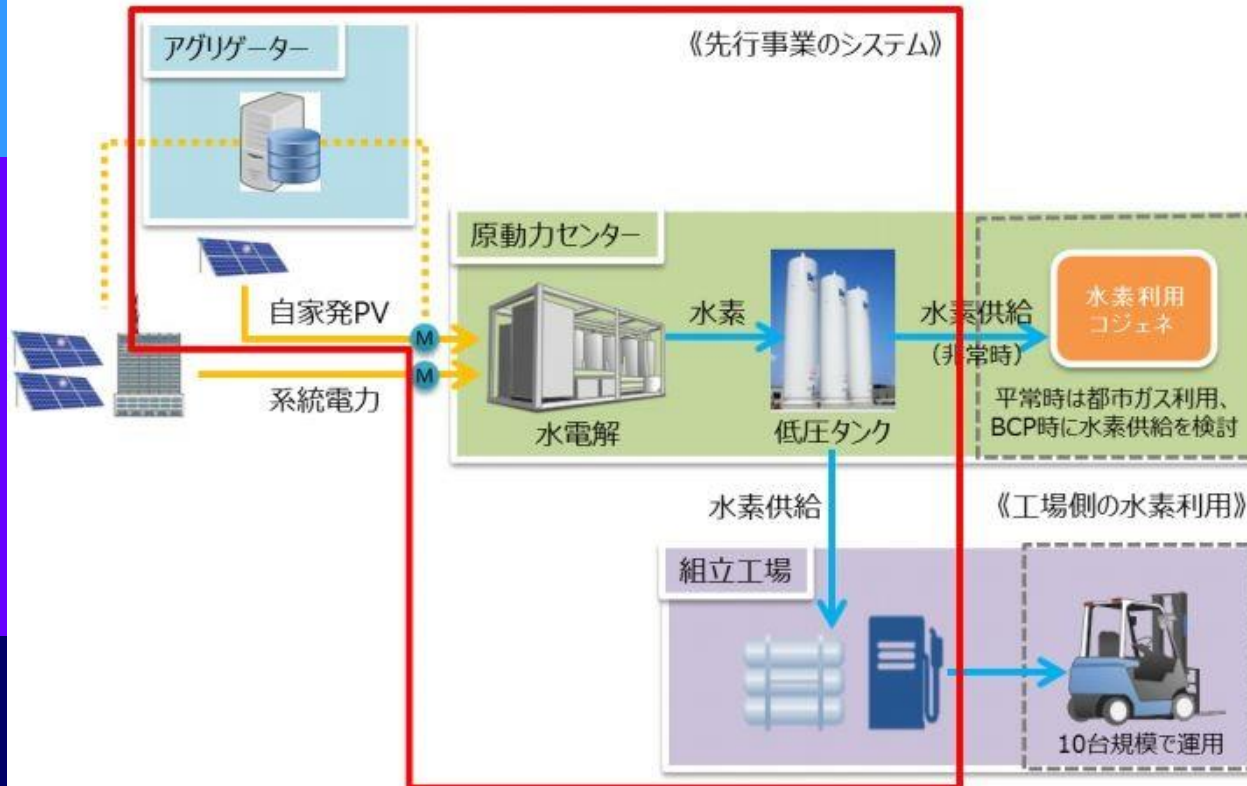
### 水素の色分け

グリーン水素:	再エネ由来電力による水電解で製造した水素
ブルー水素:	化石燃料由来+CCSでCO2フリー化
グレー水素:	化石燃料由来で、製造時にCO2を排出している水素
ターコイズ水素: (青緑水素)	メタンの熱分解で製造される水素で、炭素(固形)が副生される (注:ターコイズとはトルコ石のこと)

# (参考)水電解による需給調整の例

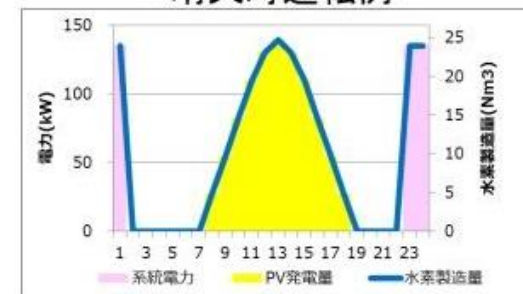
## 工場における水素利活用システムを構築

自家発PVを将来的な系統を介した再エネ余剰電力の発生に見立てて、夜間電力と合わせて利用、水素EMSでエネマネのうえ水素を製造・供給

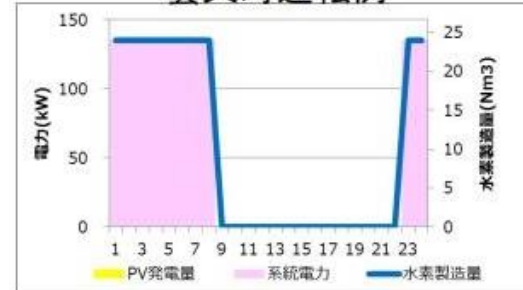


昼間は自家発PVの発電電力と連動、夜間は系統電力により水素を製造将来モデルに向けて、PV予測制御、他拠点PVとの連携による制御を実施

<晴天時運転例>



<曇天時運転例>



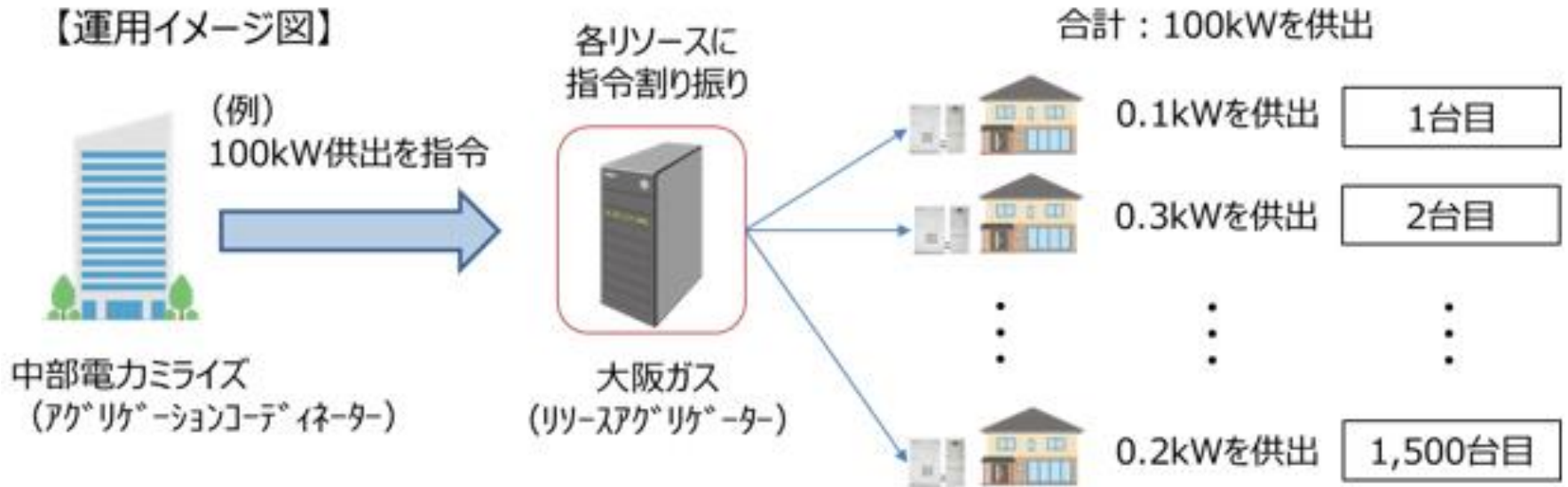
出所：豊田通商(株)、九電テクノシステムズ(株)、九電みらいエナジー(株)、西日本環境エネルギー(株)、福岡県、国立大学法人九州大学「「地産地消型グリーン水素ネットワークモデル」構築に向けた先行事業計画の策定」(地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業費補助金)  
[http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/160329/160329\\_77.pdf](http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/160329/160329_77.pdf)

水電解により系統に調整力に提供できる可能性あり



# (参考)エネファーム等を用いたVPPの例

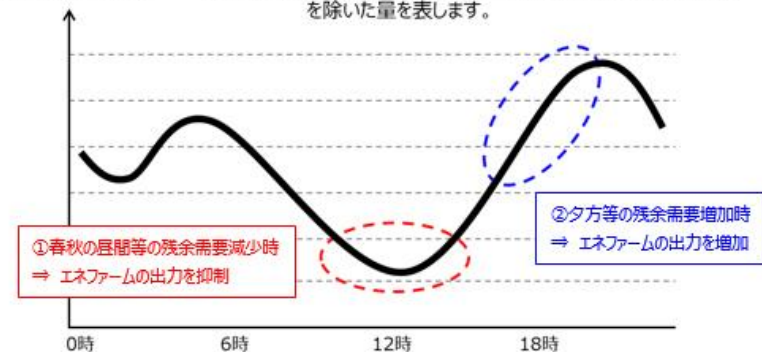
## 【運用イメージ図】



## 【運用イメージ図】

残余需要のイメージ

残余需要：系統全体の需要から太陽光発電及び風力発電出力を除いた量を表します。



事業期間	2020年6月～2021年2月(予定) ※2020年度のVPP構築実証事業のリソース募集は10月末をもって終了いたしました。
エネルギーリソース	家庭用燃料電池エネファーム type S 約1,500台
主な実証内容	多数台エネファーム遠隔制御による (1) 電力系統安定化のための調整力供出の技術検証 (2) 系統の需給状況に応じた出力制御の技術検証

出所：大阪ガス「家庭用燃料電池エネファームによるバーチャルパワープラント(VPP) 構築実証事業を開始～1,500台が“ツナガル”VPP実証～」(2020年6月5日)  
[https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2020/1287292\\_43661.html](https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2020/1287292_43661.html)

**FC等の発電装置をアグリゲートすることでVPP利用が可能**