

## 「欧州・ドイツの水素戦略と 関連インフラ整備」

2021年10月28日

担当： IAE 松本俊一  
t2-matsumoto@iae.or.jp

本資料に含まれる意見、視点は、個人的なものを含みます。  
必ずしもエネルギー総合工学研究所や他の組織の意見を代表  
するものではありません。



# 調査項目

## 1. EUの脱炭素政策と水素戦略

- 1.1 欧州グリーン・ディール政策(1)、(2)
- 1.2 欧州グリーン・ディール投資計画
- 1.3 欧州エネルギーシステム統合戦略
- 1.4 欧州の気候中立に向けた水素戦略
- 1.5 Fit for 55 パッケージ
- <水素関連インフラ整備の動向>
- 1.6 欧州のエネルギーインフラ関連規則
- 1.7 欧州のパイプライン関連法規類
- 1.8 欧州水素バックボーンの拡張

## 2. ドイツの脱炭素政策と水素戦略

- 2.1 ドイツ連邦気候保護法(1)、(2)
- 2.2 ドイツ国家水素戦略(1)、(2)
- 2.3 ドイツ水素インフラ白書(1)、(2)
- <P to Gプロジェクトの例>
- 2.4 GET H2 Nukleusプロジェクト(1)、(2)
- 2.5 Element-einsプロジェクト(1)、(2)

- <参考1> 1. 2019-2024のECの優先政策課題
- <参考2> 1.1 欧州グリーン・ディールの概要
- <参考3> 1.1 欧州グリーン・ディール関連の戦略等
- <参考4> 1.7 米国のパイプライン事業関連法規類の枠組み
- <参考5> 1.8 欧州水素バックボーンの拡張(サマリ)(1/2)、(2/2)
- <参考6> 2.2 ドイツ国家水素戦略のガバナンス
- <参考7> 2.2 ドイツ国家水素戦略での水素区分
- <参考8> 2.3 水素インフラストラクチャ白書(サマリ)
- <参考9> 2.5 Element-eins プロジェクト(100MW 電解プラント)



# 1. EUの脱炭素政策と水素戦略

## 欧州連合（EU）の優先政策課題

執行機関である欧州委員会（EC、Ursula Von Der LEYEN委員長）が策定・推進（参考1）

- 欧州グリーン・ディール (A European Green Deal)
- 経済政策 (An economy that works for people)
- 欧州デジタル化対応 (A Europe fit for the digital age)
- 欧州生活様式保全 (Protecting our European way of life)
- 国際社会でより強い欧州 (A stronger Europe in the world)
- 欧州民主主義のさらなる推進 (A new push for European democracy)

出典: POLITICAL GUIDELINES FOR THE NEXT EUROPEAN COMMISSION 2019-2024

「欧州グリーン・ディール」は、EUの脱炭素化に向けた環境政策の全体像を示すものであり、様々な分野で目標達成に向けた戦略的な取り組みが行われている

### <主な達成目標>

- 2050年までに温室効果ガス排出量が実質ゼロとなる世界初の「気候中立大陸（Climate-neutral Continent）」を目指す
- 気候変動対策の振興と共に炭素集約的活動に依存した地域を支援して公正な移行を果たす
- 持続可能な欧州に向けた投資計画を立案し、2030年までに温室効果ガス排出量を55%削減（1990年比）する

出典: [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)

EU : European Union, EC : European Commission



# 1.1 欧州グリーン・ディール政策 (1)

(The European Green Deal, 2019年12月11日)

欧州委員会 (EC) は、脱炭素化と経済成長を実現するために策定した「欧州グリーン・ディール」に基づき、戦略的な取組みを推進中

## <主な取組み>

- ・ 2019年12月：EC新体制発足（Ursula Von Der LEYEN委員長、2019年12月1日～2024年10月31日）  
2050年までの気候中立性をコミットし、「欧州グリーン・ディール」を提示
- ・ 2020年 1月：「欧州グリーン・ディール投資計画」を発表
- ・ 2020年 3月：2050年の気候中立目標を法律に明記するために「欧州気候法（European Climate Law）」を提案
- ・ 2020年 5月：復興計画（Next Generation EU）、次期中期財政枠組み(2021-2027)を提示
- ・ 2020年 7月：「欧州エネルギーシステム統合戦略」、「欧州の気候中立に向けた水素戦略」を発表
- ・ 2020年 9月：2030年までに排出量を55%削減するEU目標を提案し、欧州気候法に追加
- ・ 2021年 4月：欧州議会及び加盟国が「欧州気候法」に合意
- ・ 2021年 6月：「欧州気候法」が施行
- ・ 2021年 7月：2030年の55%削減目標達成に向け、欧州グリーン・ディールを包括的に推進するための政策パッケージ(Fit For 55)を提示、採択



# 1.1 欧州グリーン・ディール政策 (2)

(The European Green Deal, 2019年12月11日)

2050年までに気候中立（温室効果ガスの実質排出ゼロ）目標を達成しつつ経済成長を実現するための **7つの政策分野**と**50の行動計画**（参考2, 3）

## 1. クリーンエネルギー

- エネルギー効率の重視と主に再生可能資源を利用した電力部門の発展
- 安全で手頃な価格のエネルギー供給
- EUエネルギー市場の完全な統合、相互接続およびデジタル化

## 2. 持続可能な産業「欧州新産業戦略」

- 欧州産業の競争力の維持
- 2050年までの気候中立の実現：「公正な移行メカニズム」
- 「欧州デジタル化」への対応

## 3. エネルギー・資源効率的な建築及び改修

- 循環型経済に適した建物の設計
- エネルギー源ごとの価格差により、エネルギー効率の高い建物を奨励
- デジタル化の推進
- 建物の気候耐性の向上
- 建物のエネルギー性能に関する規制の厳格な実施

## 4. 持続可能でスマートなモビリティ

- デジタル化
- さまざまな輸送手段の活用
- 価格への環境負荷の反映
- 持続可能な輸送用代替燃料の供給の増加
- 汚染の削減

## 5. 生物多様性およびエコシステムの保全

生物多様性戦略、森林および海洋の保護

## 6. 農場から食卓まで（From “Farm to Fork”）

安全で栄養豊富、高品質な食品を生産しつつ、自然への影響を最小限にとどめる

## 7. 汚染ゼロ

大気、水および土壌の汚染を防止する汚染ゼロ行動計画の推進



## 1.2 欧州グリーン・ディール投資計画

(The European Green Deal Investment Plan、2020年1月)

EUの資金を動員し、気候中立、グリーン、競争力のある包摂的な経済への移行に必要な公的および民間投資を促進するためのフレームワーク

＜投資計画の3つの側面＞

- 資金調達：今後10年間で少なくとも1兆ユーロの持続可能な投資を動員
- 有効化：公的および民間投資のロックを解除してリダイレクトするインセンティブを提供
- 実践的支援：持続可能なプロジェクト（計画、設計、実行）の推進機関等を支援

「公正な移行メカニズム」(Just Transition Mechanism, 2020年1月14日)

エネルギー産業を化石燃料関連から新たなクリーン・エネルギーなどへのスムーズな転換を促す政策

3つの資金源で2021～27年に総額1,000億ユーロ以上の投資誘導を提示

- 1) 公正な移行基金(A Just Transition Fund)の設立(300～500億ユーロ)
- 2) 中期投資戦略「インベストEU」(～450億ユーロ)
- 3) 欧州投資銀行(EIB)による公的部門向け融資(250～300億ユーロ)

現在、コロナ復興対策基金により、総額目標は1,500億ユーロ以上に増額

「公正な移行プラットフォーム」(Just Transition Platform, 2020年6月29日)

「公正な移行」の実現に向けた計画策定を支援するため、化石燃料への依存の強い地域が「公正な移行メカニズム」を活用する際の情報やツールを集約、関連プロジェクトや専門家のデータベースなどを提示

「タクソノミー規則」(Taxonomy Regulation, 2020年7月12日)

持続可能な経済活動に関するEU基準として、**経済活動の目的を6類型に定義**し、目的達成に貢献する経済活動を明確化（基準を明確化して投資誘導を促す（金融戦略の変革、グリーン産業・業種の分類））

[6類型：①気候変動の緩和、②気候変動への適応、③水・海洋資源の持続可能な利用と保護、④廃棄物発生予防と再生資源の利用促進、循環型経済への移行、⑤汚染の予防と管理、⑥生物多様性および生態系の保全と回復]

出典：[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_20\\_17](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_17)





# 1.3 欧州エネルギーシステム統合戦略

(An EU Strategy for Energy System Integration, 2020年7月8日)

欧州域内の分散したエネルギー供給網を見直し、エネルギー効率性の向上を図る諸政策を集約した戦略

⇒脱炭素化の実現に向けたエネルギー分野への投資を促進し、産業強化により「新型コロナウイルス危機」からの経済復興を図る

## <3つの大項目と38の行動計画>

### 1.エネルギー効率性を重視した、より循環型のエネルギーシステム

「エネルギー効率性第一」を原則とし、ローカル資源利用による資源ロスの低減、産業廃棄物やデータセンター、食物残渣などの熱資源の利用、などエネルギー循環を推進  
(ビル・施設の熱効率を高める改築の支援「リノベーション・ウェーブ」など)

### 2.再生可能エネルギーの利用拡大

化石燃料の利用を再生可能エネルギー電力に転換「電化 (direct electrification)」することで再エネ需要を創出し、再エネ電力価格の低減化とエネルギー効率向上を図る  
(電気自動車の普及、建物への熱供給用ヒートポンプの普及、電気炉の導入など)

### 3.クリーン燃料への移行

電化が困難もしくは高コストとなる産業では、化石燃料から、よりクリーンな燃料に移行する。特に、再生可能な水素燃料をクリーン燃料とし、そのサプライチェーン関連技術をエネルギーシステム統合の核となる技術と位置づけ、実用化と普及に向けた「水素戦略」を策定する。

出典：[https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020299-powering-climate-neutral-economy-eu-strategy-energy-system\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020299-powering-climate-neutral-economy-eu-strategy-energy-system_en)



## 1.4 欧州の気候中立に向けた水素戦略

(A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe、2020年7月8日)

### 再生可能なクリーン水素のサプライチェーン関連技術の実用化と普及のための戦略

2050年までの気候中立(CO2実質排出ゼロ)を目指す「**欧州グリーン・ディール政策**」の基に、欧州域内の分散したエネルギー供給網を見直し、エネルギー効率性の向上を図る諸政策を集約した「**エネルギーシステム統合戦略**」と連携して推進

#### <主な項目>

- **クリーン水素** (再エネ電力による電解水素) 利用の推進 (短中期的には他の形態の低炭素水素も必要)
- **2050年までのロードマップ**
  - 第1フェーズ (2020～24年)** : 石油精製・化学産業等のクリーン化、一部商用車 (バス等) の需要開拓  
6GWの電解槽を設置、クリーン水素生産を最大**100万トン/年**、電解槽スケールアップ (100MW)
  - 第2フェーズ (2025～30年)** : 製鉄等の産業、トラック・鉄道等の輸送部門への拡大  
40GWの電解槽を設置、クリーン水素生産を最大**1,000万トン/年**、コスト競争力アップ
  - 第3フェーズ (2030年～50年)** : クリーン水素への完全移行、航空機、船舶、産業等での実装完了  
クリーン水素の生産技術の成熟、全てのセクターでの大規模展開
- **水素供給インフラ** : **パイプライン輸送に力点**、既存ガスパイプラインの転用計画を策定予定
- **国際協力** : ウクライナ、北アフリカでの水素生産 (2030年までに更に40 GWの電解槽導入)
- **2030年までに必要な投資額** : 電解槽関連に最大**420億ユーロ** (約5兆2千億円)、電解槽と風力・太陽光発電施設の接続および規模拡大に最大**3,400億ユーロ** (約42兆円) 等を試算  
水素関連の多様な投資事業のプラットフォームとして**欧州クリーン水素アライアンス**を設立

出典 : [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020301-hydrogen-strategy-climate-neutral-europe\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020301-hydrogen-strategy-climate-neutral-europe_en)





## 1.5 Fit for 55 パッケージ (FF55)

### 2030年の55%削減目標達成に向け、欧州グリーン・ディールを包括的に推進するための政策パッケージ

1. **EU排出量取引制度 (EU ETS)** の改正：年間排出枠の引き下げなど現行のETSの強化、新たな対象分野に海運を加え、道路輸送および建物の取引制度の設立、航空機の無償割り当てを削減
2. 排出削減の分担に関する規則 (ESR) の改正：建物、道路および国内海上輸送、農業、廃棄物処理などの産業における国ごとの排出目標を強化
3. **炭素国境調整メカニズム (CBAM)** に関する規則案：カーボンリーケージ（排出制限が緩やかな国への産業の流出）防止のため、排出量の多い特定の輸入品に対し課金するメカニズムを導入
4. 土地利用・土地利用変化および林業 (LULUCF) に関する規則の改正：大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の実質吸収量（カーボンシンク）の各国の目標の見直し。森林保全を計画的で透明性の高い方法で推進するためのEU森林戦略
5. **気候変動対策社会基金** の設立：各国でのエネルギー効率改善の支援投資ツールとしてEU予算から拠出する基金を設立
6. **再生可能エネルギー指令** の改正：2030年のEUのエネルギーミックスにおける**再生可能エネルギーの割合を、従来の32%から40%に引き上げ**
7. エネルギー**効率化**指令の改正：エネルギー利用削減の年間目標の見直し
8. **エネルギー課税**指令の改正：エネルギー製品と電力への課税をEUの環境・気候変動政策と整合させ、化石燃料に対する直接の補助金の段階的廃止に向けて取り組む
9. **代替燃料インフラ**指令の改正：各国が国内法によって施策を実施する「指令」から、直接適用される「規則」に変更し、代替燃料や充電設備などのインフラ整備に関して拘束力のある目標を導入
10. 乗用車および小型商用車（バン）のCO<sub>2</sub>排出標準に関する規則の改正：排出基準の強化
11. 持続可能な**航空燃料** (ReFuelEU Aviation) イニシアチブ：持続可能な航空燃料の生産・利用を促進
12. グリーンな欧州**海運**領域 (FuelEU Maritime) イニシアチブ：持続可能な海洋燃料の生産・利用を促進（既存指令の改正を含む）

出典：[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541)



# 1.6 欧州のエネルギーインフラ関連規則

(パイプラインによる水素供給)

## 汎欧州エネルギー・ネットワーク (TEN-E) 規則

(Trans-European Network for Energy, 2013年策定、2020年12月改定)

TEN-E規則は、欧州域内のエネルギー供給の安定化を図るため、**国境を越える送電網**や**天然ガスパイプライン**などのエネルギー関連インフラ整備プロジェクトを支援する枠組み

EU加盟国間のインフラ整備プロジェクトの中から選定された「共通利益プロジェクト (PCI: Projects of Common Interest)」に資金支援を実施 (これまでに約100のプロジェクトに総額50億ユーロを投入、主に天然ガス輸送インフラ整備)

2020年の改正: 「欧州グリーン・ディール」関連政策を踏まえ、EUの温室効果ガス排出削減に資する**再生可能エネルギーの導入拡大**や**クリーン燃料への移行**を重視した内容に修正

- **水素エネルギーへの転換計画等を優先的に支援**し (PCI指定)、再生可能エネルギー由来のクリーン水素の他にも**化石燃料由来の低炭素水素なども含め**、水素の輸送・利用インフラ整備を図る。
- 推進してきた**天然ガス輸送インフラ整備を支援対象外**とし、化石燃料からの脱却を図る。  
(天然ガスインフラを転用し、水素パイプライン整備コストを削減する。)
- 洋上再生可能エネルギーに関して、発電能力を拡大するとともに、4つの地域区分を設定 (北海、バルト海、地中海、北大西洋) し、欧州送電事業者ネットワークなどとの調整メカニズムを規定
- EUと周辺第三国にまたがるインフラ整備計画についても、脱炭素化において相互にメリットがあるプロジェクトを支援対象とする。

出典: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/revised\\_ten-e\\_regulation\\_.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/revised_ten-e_regulation_.pdf)



## 1.7 欧州のパイプライン関連法規類

(パイプラインによる水素供給)

天然ガスの内部市場に関する共通の規則と指令 (2009 73/EC、2019年5月改正)  
(Directive 2009/73/EC concerning common rules for the internal market in natural gas)

EU域内の規則として、天然ガス（民生用）を対象とし、天然ガス以外（水素ガスなど）をパイプライン輸送する際は、**天然ガスパイプラインに注入される場合のみ**を対象としている。  
⇒**EU域内をカバーする100%水素のパイプライン輸送に適用される法規制等は未整備**

水素を工業用原料として利用する場合には、天然ガス等からの生産プラントから直接、事業者（鉄鋼、化学、製油所等）に供給されている。供給インフラを整備する際には、事業者が、政府担当官庁等のもとに「天然ガスパイプラインに関する法令」や「安全規制」を遵守しながら水素の特性を考慮した設計、施工、運用、保守を実施している。

水素パイプラインに関する規格としては、EIGAが2004年に発行した安全基準「Hydrogen Transportation Pipelines - IGC Doc 121-04」などがある。(EIGA: European Industrial Gases Association 欧州産業ガス協会)

また、米国のパイプライン事業関連法規類や技術基準を適用するケースもある。(参考4)

現在、世界的な脱炭素化政策の推進に伴い、化石燃料を水素に転換するために必要となる水素サプライチェーンを構築するための取り組みが進められている。

欧州では、既存の天然ガスパイプラインを水素パイプラインに移行するための実証事業が各所で進められており、水素関連の技術基準やガイドラインなどの整備が課題となっている。

⇒**水素サプライチェーン全体をカバーする一貫した法的小および規制の枠組みの整備を目指して国際標準機関、研究機関、ガス事業者、メーカーなどが検討・開発を進めている。**

日本でも水素のエネルギー利用に適用される法律等は体系的に整備されていない。このため、用途に応じて既存のガス事業法や電気事業法、高圧ガス保安法等に係る様々な規制や技術基準等に留意する必要がある。

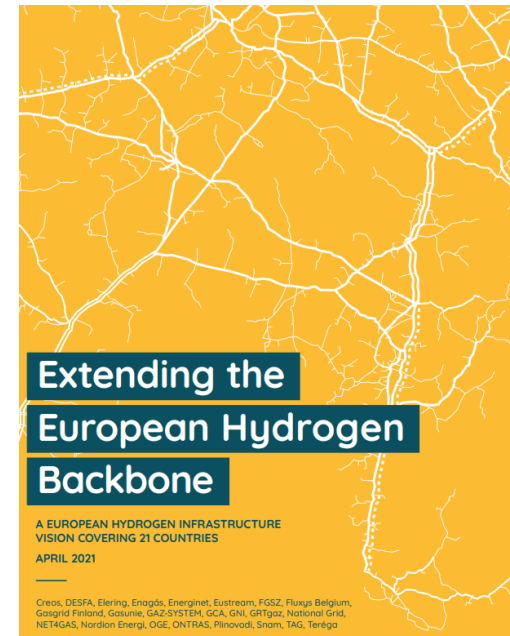


## 1.8 欧州水素バックボーンの拡張 (パイプラインによる水素供給)

2021年4月、欧州21ヶ国の23のガス送電システム事業者が、2020年公開の最初の欧州水素バックボーン(EHB: European Hydrogen Backbone)ビジョンを基に、欧州全体の水素パイプラインネットワークのビジョンを更新・拡張(参考5)

- 2030年までに11,600kmのパイプラインネットワークで構成され、2040年までにフィンランドからスペイン、ギリシャからイギリスまでの39,700kmに成長する可能性がある。
- 既設パイプラインの再利用と新設パイプラインのコスト内訳、2040年までの総投資コストの見積りを検討。  
2040年の39,700kmでは、69%を既設天然ガスパイプラインの改修、31%を新設パイプラインの延伸、とした推定総投資額の試算は430～810億ユーロ。

目次	
エグゼクティブサマリー	3
1. はじめに	5
2. 専用水素インフラの段階的構築	6
2.1. 2030年に産業クラスターを新たなインフラストラクチャーに接続	6
2.2. 2035年までのネットワーク拡大により、多くの国がカバーされる	8
2.3. 2040年までの成熟したインフラストラクチャー	11
3. 拡張されたヨーロッパの水素バックボーン of 更新コスト	14
付録A. 更新されたコスト	17
付録B. 国別の動向	19



[Creos, DESFA, Elering, Enagás, Energinet, Eustream, FGSZ, Fluxys Belgium, Gasgrid Finland, Gasunie, GAZ-SYSTEM, GCA, GNI, GRTgaz, National Grid, NET4GAS, Nordion Energi, OGE, ONTRAS, Plinovodi, Snam, TAG, Teréga]

[https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/)



## 2. ドイツの脱炭素政策と水素戦略

ドイツの脱炭素化政策は「連邦気候保護法」の温室効果ガス削減目標を達成するために「気候保護プログラム2030」、「国家水素戦略」等を策定・推進している。

### 温室効果ガス削減目標

2021年8月の**連邦気候保護法改正**により、2030年までの温室効果ガス削減目標を**65%**とするとともに気候中立(CO2実質排出ゼロ)の達成時期を**2045年**に繰り上げている。

これまでは、パリ協定やEUの気候変動政策と整合した内容（2030年までに正味の排出量を1990年比で55%削減し、2050年までに気候中立）としていた。

- 2016年11月：**気候保護計画2050** (Klimaschutzplan 2050) 閣議決定  
2050年までに気候中立を達成するための進路を示した計画であり、中間点の2030年の削減目標を最低でも55%（1990年比）とし、初めて部門ごとの削減目標と達成への具体的指針を示した。
- 2019年10月：**気候保護プログラム2030** (Klimaschutzprogramm 2030) 閣議決定  
エネルギー、運輸、産業、建築物、農業、廃棄物の6分野の削減目標の設定、分野ごとの対策を新たな気候政策パッケージとし、資金調達や減税等によって支援。
- 2019年12月：**連邦気候保護法** (Bundes-Klimaschutzgesetz) 発効  
温室効果ガス削減目標を法律で義務化
- 2020年6月：**国家水素戦略**を策定  
グリーン成長に向けた取組みを加速
- 2021年1月：**改正再生可能エネルギー法(EEG2021)**発効  
再エネ普及拡大による諸課題への対応、国家水素戦略などを踏まえ、2030年の目標達成に向けた再エネの更なる拡大に向けた計画としている。（導入目標：太陽光発電100GW、陸上風力発電71GW、バイオマス発電8.4GW、洋上風力発電20GW）
- 2021年8月：**連邦気候保護法第一次改正法**発効  
削減目標の引き上げ、他。





## 2.1 ドイツ連邦気候保護法（１）

(2019年12月18日施行、2021年8月19日第一次改正)

ドイツは 2019年に連邦気候保護法により世界で初めて温室効果ガス削減目標を法律で義務化、担当省庁が削減目標の達成に責任

連邦気候保護法の目的と目標（パリ協定やEUの気候変動政策と整合）

- 地球規模の気候変動の影響から保護するために、国の気候保護目標と欧州の目標が達成されることを保証する ⇒ 2030年までに正味の排出量を**1990年比で55%削減**
- パリ協定に基づき、気候変動の影響を可能な限り低く抑えるための長期的な目標として2050年までにカーボンニュートラルとする ⇒ **2050年までにCO2実質排出ゼロ**

2030年目標を達成するために、エネルギー産業、産業・工業、建築、交通、農業、廃棄物管理等の6つの部門別に2020年から2030年までの年間許容排出量を設定

2021年4月29日、ドイツ連邦憲法裁判所は、連邦気候保護法は2031年以降の削減策が不十分で、将来世代の自由の権利を侵害しているとの理由で一部違憲と判断  
2022年末までに、2030年後の温室効果ガス削減目標の改善を具体化する立法措置を求めた。



第一次改正法（2021年8月19日発効）

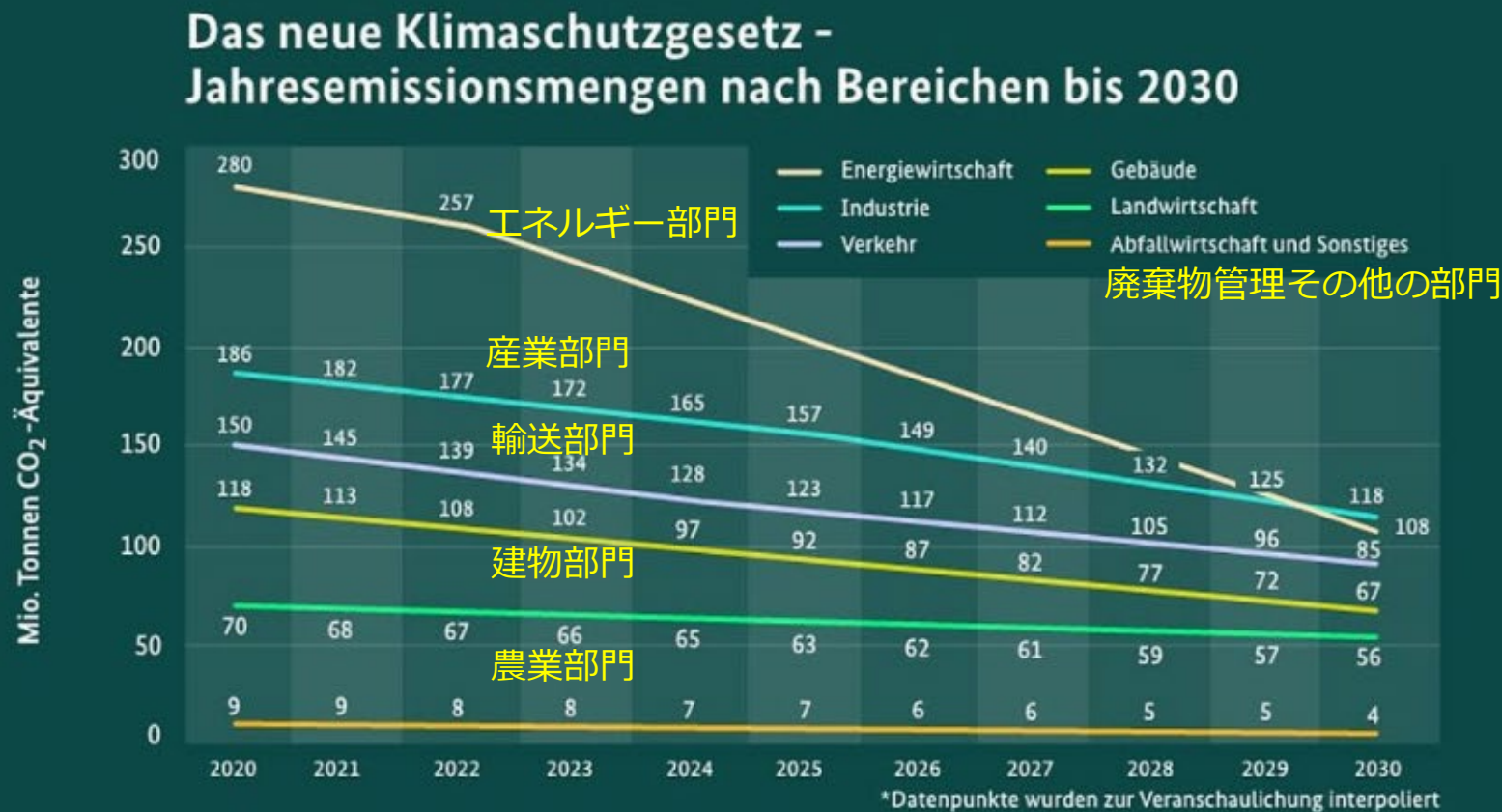
- 2030年までの排出削減目標を1990年比の**55%から65%**に、**2040年までの目標を88%**に引き上げ、気候中立の達成を**2050年から2045年**に繰り上げる
- 2050年以降はCO2吸収が排出を上回るCO2マイナス（negative emission）を目指す
- 2031年から2040年までの各年の具体的な削減目標値を設定
- 森林活性化など土地利用の改善を通じたCO2吸収効果の向上についても新たに目標値を設定





## 2.1 ドイツ連邦気候保護法（2）

改正案の2020年～2030年の部門別年間許容排出量（CO<sub>2</sub>換算/百万トン）



• Für 2031 bis 2040 legt das Klimaschutzgesetz jährliche Gesamtminierungsziele fest. • Bis 2040 müssen mindestens 88 % weniger Treibhausgasemissionen ausgestoßen werden. • Ab 2045 schreibt das Klimaschutzgesetz Treibhausgasneutralität vor, nach 2050 negative Emissionen (wir entnehmen der Atmosphäre netto Treibhausgase).



## 2.2 ドイツ国家水素戦略（1）

（German National Hydrogen Strategy 2020年6月）

生産時のCO2排出の有無によって水素を4つに区分し、グリーン水素による脱炭素化を目指す

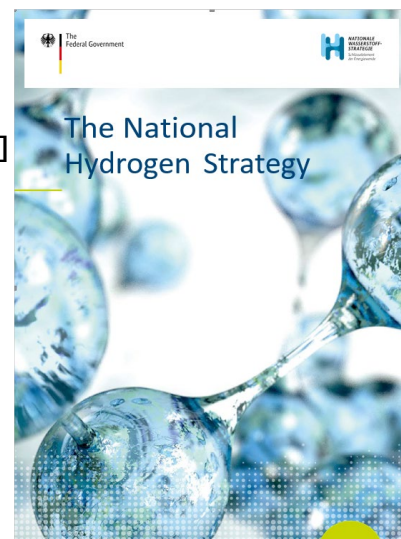
○経済大臣Peter Altmaier：「水素技術に関してドイツが世界一になることを望んでいる。」

○主な項目：38項目の行動計画（参考6，7）

- **グリーン水素の普及拡大**：移行期には**ブルー水素** / **ターコイズ水素**も利用
- **COVID-19後の景気対策パッケージ**：合計90億ユーロ＝約1兆1千億円  
ドイツ市場の開始フェーズに70億ユーロ、国際パートナーシップに20億ユーロ
- 対象分野：産業（鉄鋼、化学、製油所）、輸送（バスと電車、大型トラック、ロジスティクス、乗用車）、熱供給（長期）
- 2フェーズのスキーム：2023年までに国内市場を開発  
2023年以降はヨーロッパおよび国際的な側面に焦点
- **大半の水素は輸入**：北海とバルト海、南ヨーロッパ  
エネルギーパートナーシップと開発協力の推進

○国内市場の形成：グリーン水素製造の目標

- 2030年まで：5 GW（14 TWh（**約35万トン**）/年のグリーン水素製造）  
需要予測は 90～110 TWh（約225～275万トン）/年、現在の水素需要は 55TWh（約138万トン）/年、不足分は輸入
- 2035年まで：可能なら5 GWを追加 -遅くとも2040年までに導入



出典：German National Hydrogen Strategy in English: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>



## 2.2 ドイツ国家水素戦略（2）

### <38の行動計画>

#### ● 水素製造：対策1-4

- ・ 固定価格買取の割増金から水素を除外することを模索しつつCO2価格設定を使用し、政府による追加コストを再検討する
- ・ 電解槽の資金調達と新しい入札モデルの確認を検討する
- ・ 電解槽オペレーターと電力/ガスグリッドオペレーター間の協力戦略を検討する
- ・ 水素インフラの転用と拡張に関する規制の根拠を準備する

#### ● 輸送：対策5-13

- ・ 車両および燃料補給（2023年まで、低排出ガスのドライブトレイン用）：乗用車、大型車両、バス、および関連する燃料補給インフラストラクチャに70億ユーロ、合成燃料生産設備開発に11億ユーロ
- ・ 道路、鉄道、水路用の拡張水素ステーション
- ・ NIPおよび「ハイランド-ドイツの水素地域」（継続予定）
- ・ RED IIの実装：製油所向け2 GW電気分解（目標）、2030年までに2%グリーン灯油（検討中）

#### ● 産業：対策14-17

- ・ 鉄鋼 / 化学：日常的な使用の違いに対する投資と炭素契約をサポート

#### ● 熱：対策18-19

- ・ 高効率燃料電池暖房設備

#### ● インフラ/ 供給：対策20-22

- ・ 各種エネルギーキャリア

#### ● 研究、教育、イノベーション：対策23-29

- ・ 水素産業ロードマップ策定、グリーン水素実証事業、各種研究支援

#### ● 欧州レベルでの行動の必要性：対策30-33

#### ● 国際水素市場と外部経済パートナーシップ：対策34-38

- ・ 水素を既存のエネルギーパートナーシップに統合し、戦略的な輸出入国との新パートナーシップの確立

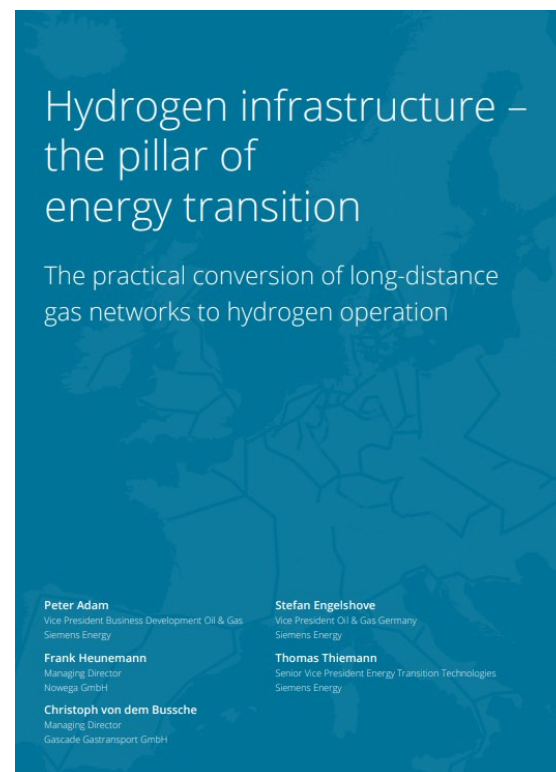
出典：German National Hydrogen Strategy in English: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>



## 2.3 ドイツ水素インフラストラクチャ白書 (エネルギー転換の柱)

「水素インフラストラクチャ-エネルギー転換の柱」は、Siemens Energy、Gascade、および Nowega が2020年に発行した白書である。これは、長距離ガスネットワークの水素への変換に注目し、ドイツの水素インフラの開発に関する重要な情報を提供している。水素輸送のための既存の天然ガス輸送ネットワークの一部の変換は、ドイツ政府の国家水素戦略の一部である。この計画の実現可能性に関する詳細な課題を3社が検討した。エネルギーの流れ、パイプライン容量、貯蔵オプションが考慮され、運用時の経済性については実施事例が考慮された。モデル事業のGETH2Nukleusも検討ケースとした。（参考8）

目次	
エグゼクティブサマリ	3
序文	4
1 水素：概要	6
未来のエネルギー源としてのグリーン水素	7
2 製造	8
3 輸送(トランスミッション)	9
1.既存のガスインフラの本質的価値	9
2.水素への移行におけるパイプライン容量	9
3.水素運転のためのパイプラインの適合性	12
4.輸送の圧縮要件	14
4 貯蔵	19
1.既存のガス貯蔵容量	19
2.ドイツのガス貯蔵施設のH2準備	19
5 稼働中の水素産業	22
1.システムの立ち上げと最初のモデルプロジェクト	23
2.ドイツおよび国際ガス市場への統合	27
6 経済性	30
1.投資および生産コスト	30
2.法的枠組み	31
7 まとめ/展望	32



出典: [200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf \(siemens-energy.com\)](https://www.siemens-energy.com/whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf)





## 2.4 GET H2 Nukleus プロジェクト（1）

（ニーダーザクセン州とノルトラインヴェストファーレン州のP to G）

GETH2Nukleusプロジェクトの目的：公的にアクセス可能な水素インフラの構築、生産規模の拡大による水素製造コストの削減

リンゲンからゲルゼンキルヒェンまでの約130kmの天然ガスネットワークを100%水素用に転換し、グリーン水素をニーダーザクセン州とノルトラインヴェストファーレン州の産業顧客に供給する。

2024年：運開予定

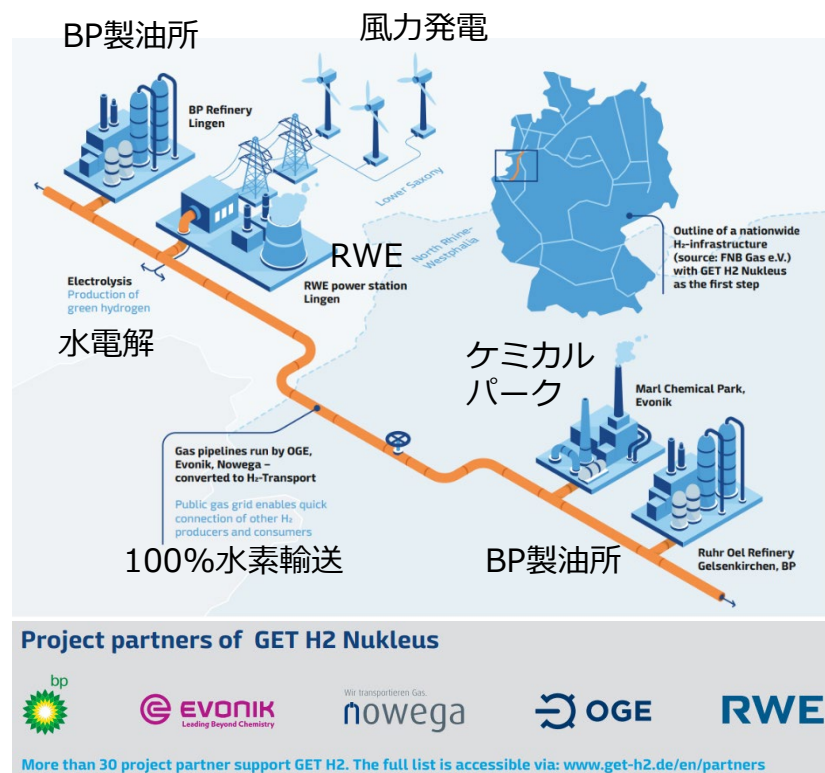
- 再生可能エネルギー（風力発電）による電力供給
- 100MW電解プラントでのグリーン水素生産
- 既存の電気およびガスインフラ（パイプライン、ガス貯蔵施設）の活用
- 製油所およびケミカルパークへの水素の供給

<将来計画>

2025年：オランダへのリンク

2026年：貯蔵施設（RWE岩塩洞窟貯蔵）との連携

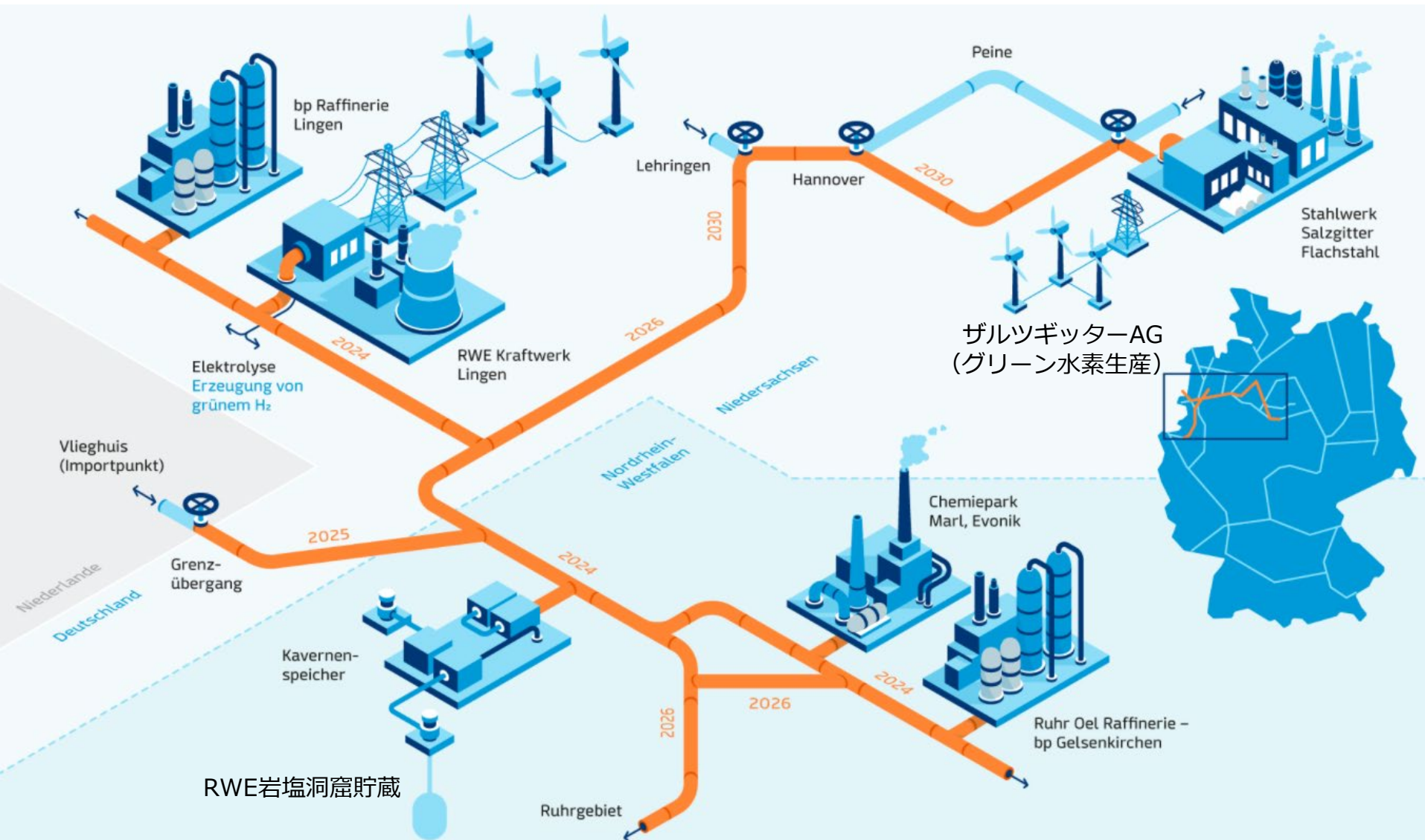
2030年：ザルツギッターAG（グリーン水素生産）との連携



<https://mstreport.gasforclimate2050.eu/showcase/infrastructure/hydrogen/geth2nukleus/>



## 2.4 GET H2 Nukleus プロジェクト (2) (2030年のイメージ)







## 2.5 Element-eins プロジェクト（１） （ニーダーザクセン州パイロットP to Gプラント、100MW電解）

### プロジェクトの工程（参考 9）

#### フェーズ1・2

グリーン電力（風力発電）から製造される水素を既存の天然ガスガスパイプラインに混合（2%）して供給する。  
必要に応じて水素を分離して、産業用、輸送用に利用する。

#### フェーズ 3

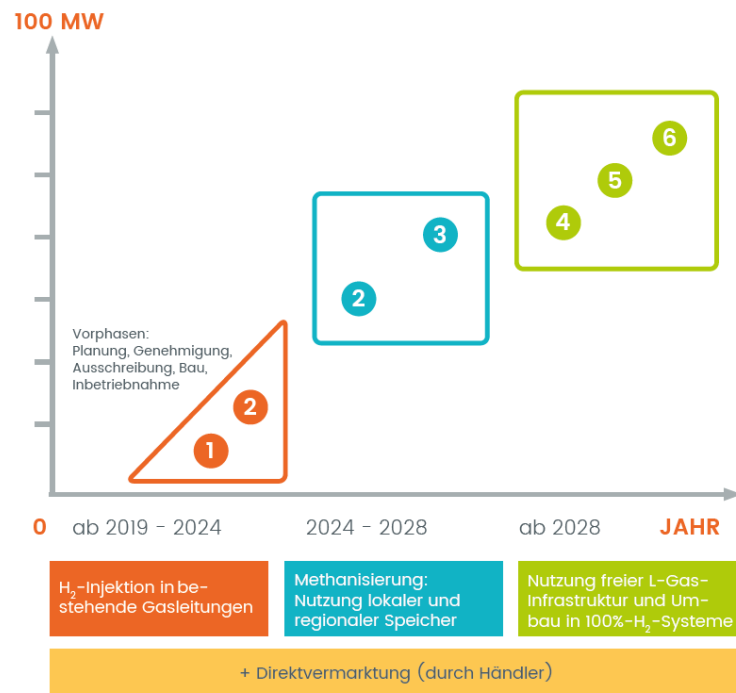
バイオガス施設からのCO<sub>2</sub>と、グリーン電力から製造される水素より化学的に合成メタンを製造する。  
合成メタンは、天然ガスパイプラインに供給され、CO<sub>2</sub>削減に寄与する。

#### フェーズ 4


近隣の岩塩洞窟貯蔵施設をシステムに統合し、グリーンエネルギーを貯蔵する。

#### フェーズ 5

オランダからのLガス供給の終了後、Lガスパイプラインを活用して、Element-einsで生成された水素（100%）をノルトライン・ヴェストファーレン州の産業顧客に直接供給する。

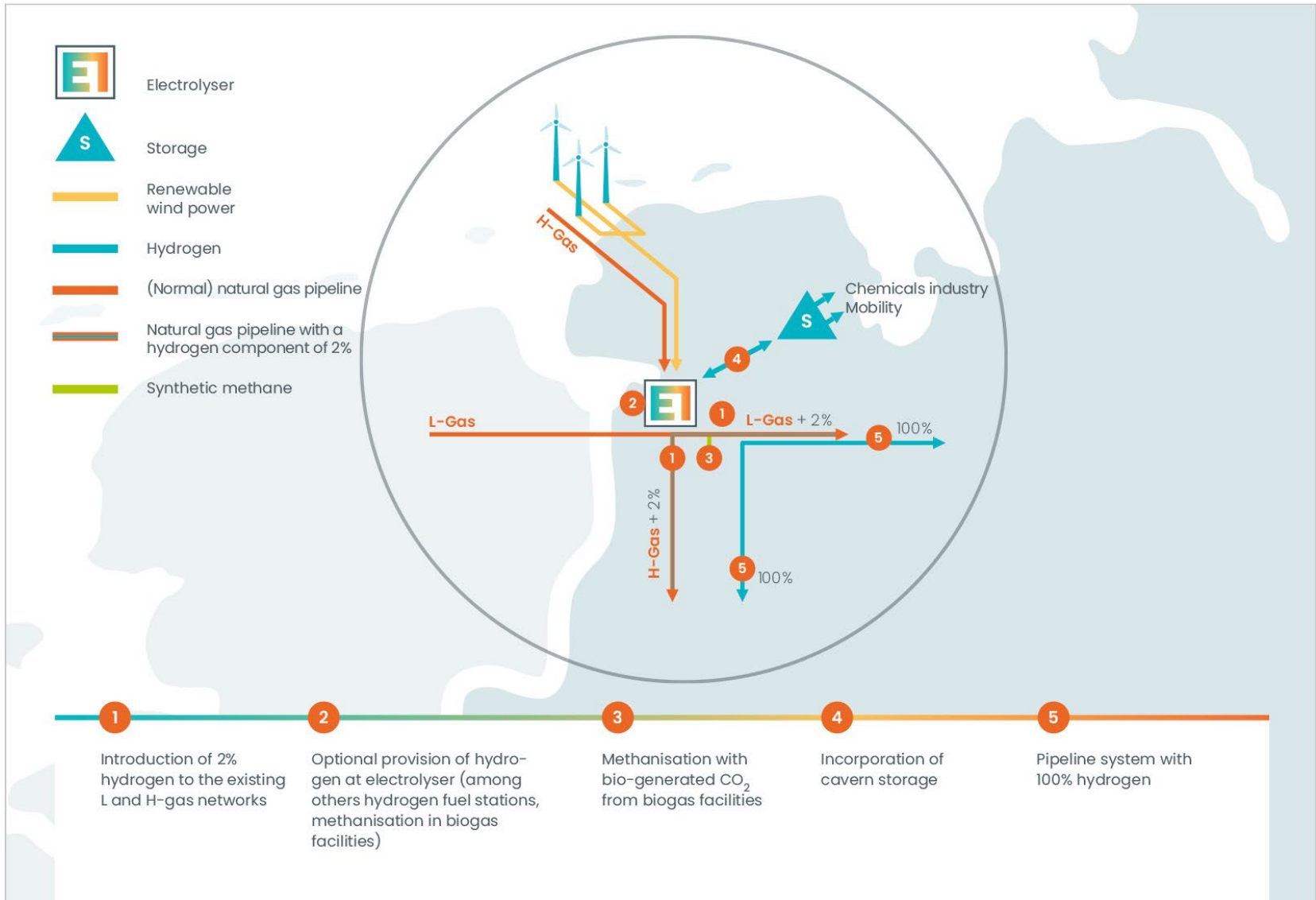


<https://thyssengas.com/en/innovation/element-eins.html>



## 2.5 Element-eins プロジェクト (2)

(ニーダーザクセン州パイロットP to Gプラント、100MW電解)



<https://thyssengas.com/en/innovation/element-eins.html>

# まとめ

欧州・ドイツの水素関連の政策や関連インフラ整備の動向を整理  
化石エネルギーから水素エネルギーへの産業構造の転換を指向

- EUでは、脱炭素化に向けた環境政策を最優先の政策課題とし、「欧州グリーン・ディール」政策を推進している  
(2050年までのカーボンニュートラルと経済成長の実現のための7分野50項目の行動計画)
- 財政面では「欧州グリーン・ディール投資計画」により、公的及び民間投資を促進するためのフレームワークを整備し、欧州資金の動員を図る
- エネルギー分野では「欧州エネルギーシステム統合戦略」、「水素戦略」等により、欧州域内の分散したエネルギー供給網を見直して効率性を向上するとともに、再生可能エネルギーによるクリーン水素サプライチェーンの構築と関連産業強化による「新型コロナウイルス危機」からの経済復興を図る
- ドイツは、EUの脱炭素化政策を強力に推進している国の一つであり、化石エネルギーや原子力から再生可能エネルギーへの転換政策を推進している
- 再生可能エネルギー由来のグリーン水素を既存の天然ガスパイプラインを活用して供給し、エネルギー分野、産業分野、運輸分野、民生分野での利用を図る
- 当面は、化石燃料由来のブルー水素も活用する方針



## <参考 1> 1. 2019-2024のECの優先政策課題

### POLITICAL GUIDELINES FOR THE NEXT EUROPEAN COMMISSION 2019-2024

## 2019-2024のECの優先政策課題

欧州連合（EU）の執行機関である欧州委員会（EC、Ursula Von Der LEYEN委員長）が策定・推進

この政治ガイドラインは、欧州加盟国を結びつける共通の考えと優先事項を示す。それらは網羅的な作業プログラムではなく、むしろ共通の作業を組み立てることを目的としている。

各章には、ECが目標を達成するために使用する予定の政策を示す。政治ガイドラインは、今後5年間およびそれをはるかに超える欧州の6つのテーマに焦点を当てている。

- ヨーロッパのグリーンディール
- 人々のために働く経済
- デジタル時代にふさわしいヨーロッパ
- ヨーロッパの生活様式を保護する
- 世界でより強いヨーロッパ
- ヨーロッパの民主主義への新たな推進

ECは、課題や機会が必然的に発生したときに適応し、内容を更新するが、このガイドラインに概説されている原則と願望を常を守る。私（LEYEN委員長）は、次の5年をヨーロッパにとってのチャンスだと考えている。つまり、世界をリードするために、国内でより多くのことを目指して努力することである。



出典: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/political-guidelines-next-commission\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/political-guidelines-next-commission_en_0.pdf)



## <参考2> 1.1 欧州グリーン・ディール関連の戦略等 (The European Green Deal)

### 欧州グリーン・ディールの7つの政策分野における戦略および投資計画 (2050年までの気候中立目標の達成と経済成長の実現に向けた行動計画)

#### 1. クリーンエネルギー

- ・ エネルギー・システム統合戦略
- ・ 欧州の気候中立に向けた水素戦略
- ・ EU 洋上再生可能エネルギー戦略

#### 2. 持続可能な産業

- ・ 新産業戦略
- ・ 循環型経済行動計画
- ・ バッテリーと廃バッテリーに関する規則案

#### 3. エネルギー・資源効率的な建物及び改修

- ・ リノベーション・ウェーブ戦略

#### 4. 持続可能でスマートなモビリティ

- ・ 持続可能なスマートモビリティ戦略

#### 5. 生物多様性及びエコシステムの保全

- ・ 生物多様性戦略

#### 6. 農場から食卓まで

- ・ 農場から食卓まで戦略

#### 7. 汚染ゼロ目標

- ・ 化学品戦略
- ・ 自動車からの汚染物質の排出基準

#### <投資関連>

- ・ 欧州グリーン・ディール投資計画
- ・ EU レベルの新たな財源
- ・ タクソノミー規則
- ・ EU グリーン・ボンド基準
- ・ 低炭素ベンチマーク規則





## <参考3> 1.1 欧州グリーン・ディールの概要 (The European Green Deal)

欧州グリーン・ディールでは、2030年までの温室効果ガス55%削減と2050年までの気候中立（温室効果ガスの排出ネットゼロ）を達成目標として50の行動計画を提唱。温暖化対策のみならず、EU社会・経済全体を構造転換していくため、産業・社会・金融・通商政策等の新たな成長戦略を提示している。

### <主な政策項目>

**産業：**エネルギー・資源の効率的利用、循環型経済に貢献する産業育成、民間部門の投資誘導、クリーンで安価・安全なエネルギー供給、他

**社会：**持続可能なスマート・モビリティへの移行、環境に優しい農業と食の安全システム、生物多様性の維持・再生、他

**法制：**欧州気候法制定、EU排出権取引システム（EU-ETS）指令の改正、炭素国境調整メカニズム（CBAM）の提案、エネルギー税指令改正、他

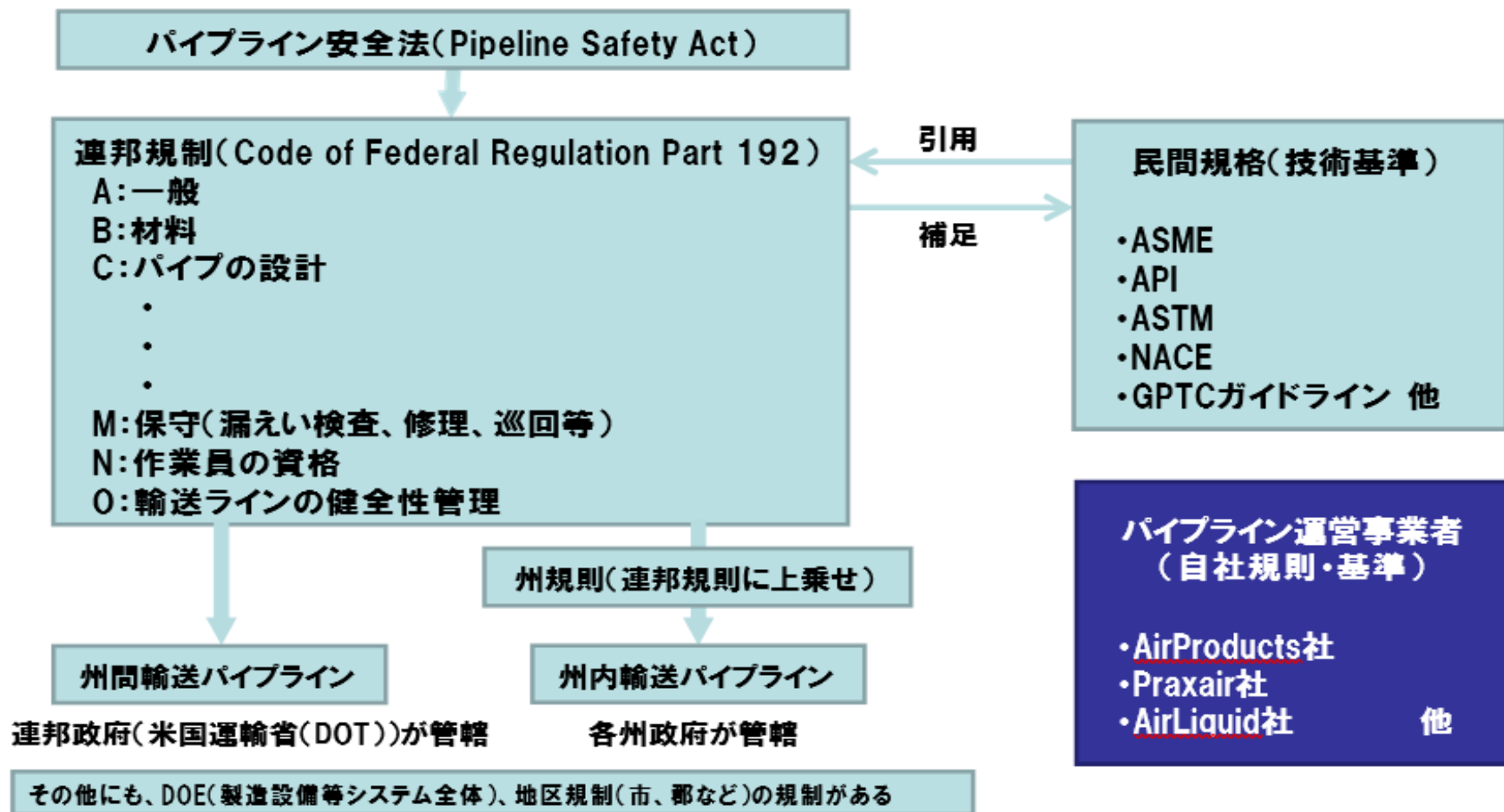
**金融：**年間2,600億ユーロ（推定）の追加投資確保に向けた、持続可能な投資計画やグリーン資金調達計画、他







## <参考4> 1.7 米国のパイプライン事業関連法規類の枠組み



[出典：平成26年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査（総合調査）報告書、JGA、平成 27 年 3 月]

<ASMEのパイプライン関連>

B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines

B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems

B31.8S Supplement to B31.8 on Managing System Integrity of Gas Pipelines



## <参考5> 1.8 欧州水素バックボーンの拡張

### エグゼクティブサマリー (1/2)

2020年にガスインフラ企業11社が、ヨーロッパ10か国にまたがる専用の水素パイプライン輸送ネットワークである欧州水素バックボーン（EHB）のビジョンを発表した。その報告は、水素ネットワークが将来のヨーロッパのエネルギーシステムで果たすことができる役割についての議論を引き起こした。水素パイプライン輸送の必要性と同様に、気候の中立性を可能にする水素の役割は広く認識されている。このレポートは、21か国の23のガスインフラ企業が関与する、更新および拡張されたEHBビジョンを示している。これは、2030、2035、および2040の更新された水素インフラストラクチャマップを、主に再利用された既存のガスインフラストラクチャに基づく専用の水素パイプライン輸送ネットワークとともに提示する。

2030年までに、EHBは最初の11,600 kmのパイプラインネットワークで構成され、新たな水素の谷を接続する可能性がある。その後、水素インフラストラクチャは、2040年までに39,700kmの長さの汎ヨーロッパネットワークに成長する可能性がある。2040年以降、更なるネットワーク開発が期待できる。さらに、マップは、EHBメンバーが活動している地域外の地域での潜在的なオフショア相互接続やパイプラインなど、出現する可能性のある追加のルートを示している。提案された拡張汎ヨーロッパ水素バックボーンは、2020年に発表された最初のヨーロッパ水素バックボーン計画にまだ含まれていない地域での再生可能でクリーンなエネルギー源の統合をさらにサポートすることができる。これらには、フィンランド、エストニア、中央および東ヨーロッパの大部分、ギリシャ、アイルランド、および英国が含まれる。

欧州の水素バックボーンは、エネルギーシステムの回復力、エネルギーの独立性の向上、および欧州全体の供給の安全性を確保しながら、エネルギーおよび産業部門の脱炭素化を加速する機会を生み出す。このようなビジョンは費用効果の高い方法で達成できるが、EU加盟国と近隣諸国との緊密な協力と、安定した、支援的で適応性のある規制の枠組みが必要である。

レポートは、水素インフラストラクチャの将来の可能性のあるトポロジを示すマップに加えて、再利用されたパイプラインと新しいパイプラインの最新の内訳、および2040年までの総投資コストの見積もりも提供する。このレポートで提案されている2040年の39,700kmの欧州水素バックボーンには、再利用された天然ガスパイプラインの69%と新しいパイプラインストレッチの31%の使用に基づいて、推定総投資額430～810億ユーロが必要である。このコストは、ヨーロッパのエネルギー移行の全体的な状況では比較的制限されたものである。

[https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/)



## <参考5> 1.8 欧州水素バックボーンの拡張 エグゼクティブサマリー (2/2)

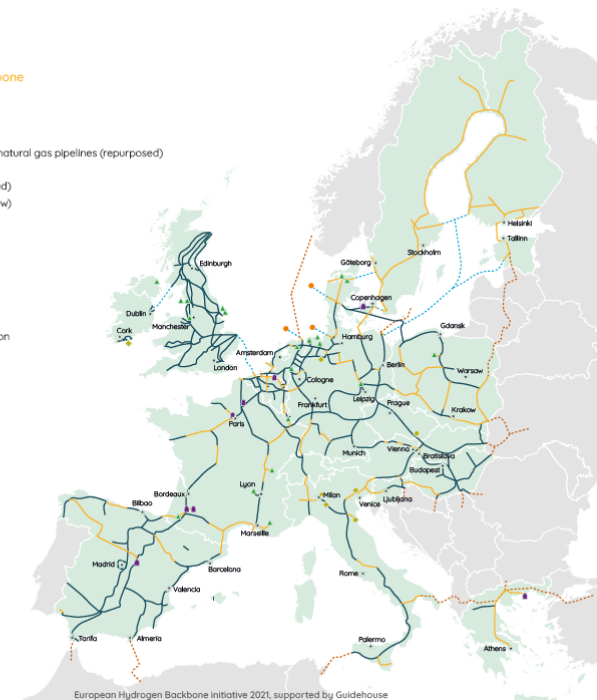
パイプライン1kmあたりの投資は、最初のヨーロッパの水素バックボーン計画で見積もられたネットワーク投資コストと比較して低くなっている。当初の計画には直径48インチのパイプラインのコスト見積もりしか含まれていなかったが、今回の更新では、今日の天然ガスインフラストラクチャと明日の水素インフラストラクチャの大部分がより小さな24インチまたは36インチのパイプラインで構成されていることを考慮している。パイプライン径が小さいほど、再利用の際に費用がかからず、全体的な投資コストが低くなる。ただし、1,000 kmを超える水素輸送の運用コストは、大口径のパイプラインと比較して小径のパイプラインの方が高く、EHB全体の平準化された輸送コストは水素1kgあたり0.11~0.21ユーロに上昇する。これは、昨年の見積もりである0.09ユーロから0.17ユーロよりもわずかに高いが、水素1kgあたり1.00~2.00ユーロの将来の推定生産コストを考慮するとEHBが水素の長距離輸送にとって魅力的で費用対効果の高いオプションであることを確認している。

2040年までに提案されたインフラストラクチャ経路は、既存の天然ガスインフラストラクチャの可用性、将来の天然ガス市場の発展、および将来の水素市場の発展に関する全国的な分析に基づいて、ヨーロッパのガスTSO 23社のビジョンを示している。それでも、最終的なインフラストラクチャソリューションは、天然ガス、水素、電気、熱などの統合エネルギーシステムの将来の需給ダイナミクスに大きく依存することに注意することが重要である。水素の需給の実際の発展とエネルギーシステムの統合の増加は、このレポートの説明と比較して代替または追加のルートにつながる可能性があり、2030、2035、および2040の提案されたルートのいくつかのタイムラインは、時間的に前または後方にシフトされる可能性がある。EHBイニシアチブは、水素バリューチェーンに沿った政策立案者、企業、イニシアチブなどの利害関係者とそのビジョンについて話し合うことを楽しみにしている。

FIGURE 1

Mature European Hydrogen Backbone can be created by 2040

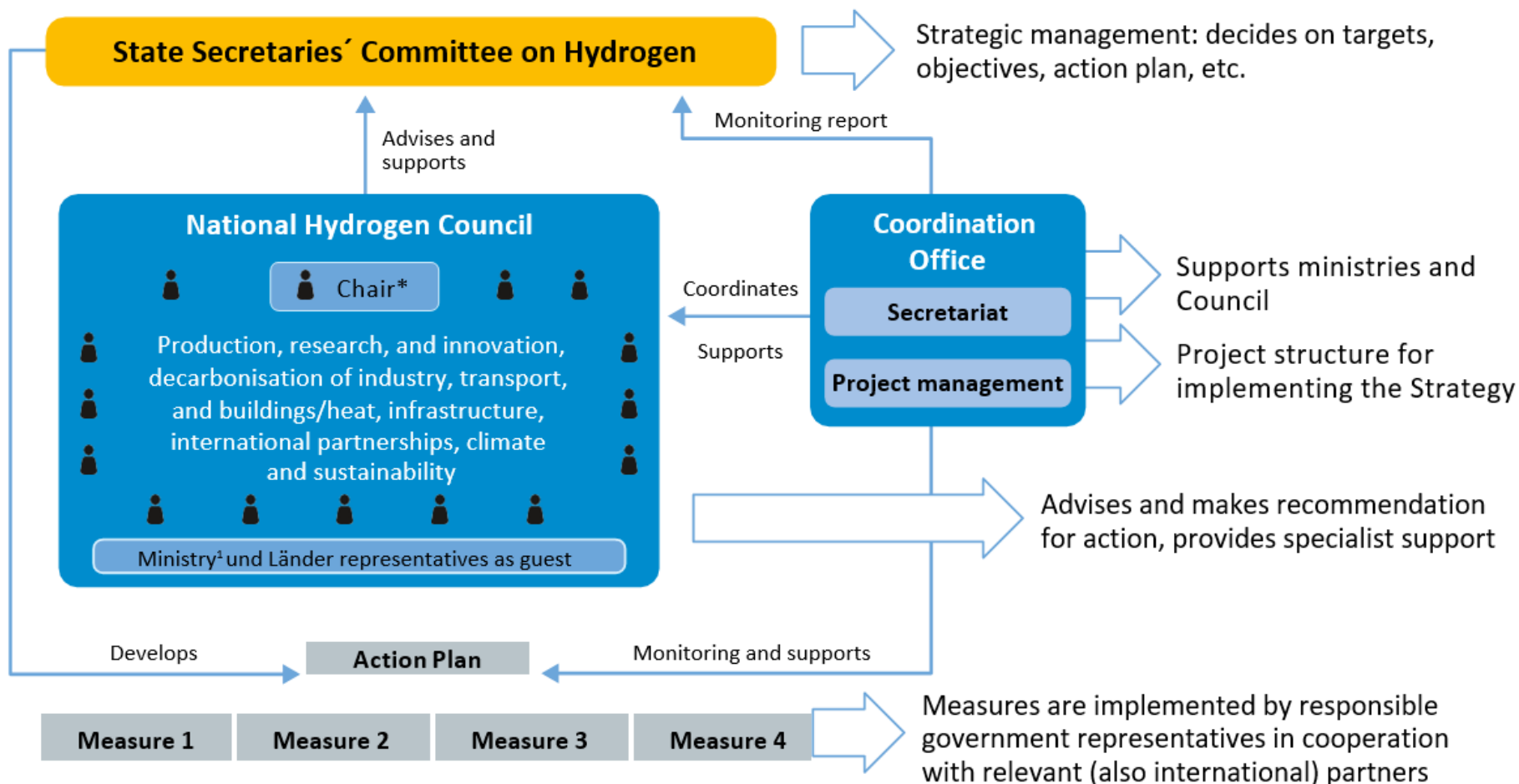
- H<sub>2</sub> pipelines by conversion of existing natural gas pipelines (repurposed)
- Newly constructed H<sub>2</sub> pipelines
- Export/Import H<sub>2</sub> pipelines (repurposed)
- Subsea H<sub>2</sub> pipelines (repurposed or new)
- Countries within scope of study
- Countries beyond scope of study
- ▲ Potential H<sub>2</sub> storage: Salt cavern
- Potential H<sub>2</sub> storage: Aquifer
- ◆ Potential H<sub>2</sub> storage: Depleted field
- Energy island for offshore H<sub>2</sub> production
- City, for orientation purposes





## <参考6> 2.2 ドイツ国家水素戦略のガバナンス

### Governance structure of the National Hydrogen Strategy



\* Elected by the members of the National Hydrogen Council

<sup>1</sup> e.g. at Director-General level

出典: German National Hydrogen Strategy in English: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>



## <参考7> 2.2 ドイツ国家水素戦略での水素区分

日本は「CO2フリー水素」：グリーン水素+ブルー水素

### **グリーン水素 Green hydrogen** :

再生可能エネルギー源（電力）を用いた水の電気分解によって生成される水素。供給電力がゼロカーボンのため、適用される電気分解技術に関係なく、生成される水素はゼロカーボンである。

### **ブルー水素 Blue hydrogen** :

炭素の回収と貯蔵（CCS）システムを使用して生成される水素のこと。水素の製造プロセスで生成されるCO2を大気に拡散しないため、カーボンニュートラルと見なす。（ドイツは海外からの輸入を想定）

### **ターコイズ水素 Turquoise hydrogen** :

メタンの熱分解によって生成される水素。同時にCO2ではなく固体炭素が生成される。プロセスがカーボンニュートラルであることの前提条件は、高温反応器の熱が再生可能エネルギー源またはカーボンニュートラルエネルギー源から生成されること、及び生成されたカーボンの永久的な固定。（ターコイズとはトルコ石のこと、緑色から青色の鉱物）

### **グレー水素 Grey hydrogen** :

化石炭化水素から生成する水素。主に天然ガスの水蒸気改質によって生成。原料によっては生成時に多量の炭素排出を伴う。

### **川下製品 Downstream products** :

水素を原料とする製品（アンモニア、メタノール、メタンなど）。製品が「グリーン水素」を使用している限り、包括的な用語として「Power-to-X（PtX）」が用いられ、気体では「Power-to-Gas（PtG）」、液体では「Power-to-Liquid（PtL）」などが用いられる。

出典：ドイツ「The National Hydrogen Strategy」より引用





## ＜参考8＞ 2.3 水素インフラストラクチャ白書 (エグゼクティブサマリ)

エネルギー部門の統合の枠組みの中で、電力網の拡大とともに水素インフラストラクチャは、CO2フリーエネルギーを産業、公共、及び民間の顧客に安定供給するための中心的な構成要素である。

- ・ 水素は再生可能エネルギー電力を用いた電気分解によって大量に生成され、CO2を含まず、貯蔵、輸送、ガスネットワーク経由で利用可能になり、国際ガス市場に統合される。
- ・ パイプライン内のエネルギー源としての純粋な水素は、天然ガスとほぼ同等の輸送エネルギー密度を持っている。したがって、気候中立エネルギーとして必要な容量を市場に提供することは可能である。
- ・ 高度に統合されたドイツとヨーロッパの天然ガス輸送ネットワークは、必要に応じて大量のエネルギーを分配するための経済的に有利な方法である。既存の天然ガスパイプラインネットワークは利用可能であり、社会的に受け入れられており、新設コストの推定10～15%の投資で、徐々に水素輸送に転換することができる。
- ・ 再生可能エネルギー電力による水素生成では電源変動の影響が大きい。具体的なモデル計算は、既存のガス貯蔵を介した顧客の需要ベースの供給を、一時的に「ブルー」水素で補うことができることを示している。グリーン水素の割合を増やすためには再生可能エネルギー発電の拡大が必要である。
- ・ **天然ガスインフラストラクチャを水素輸送に転換するための技術は、すでに大部分が利用可能である。** 高レベルの技術標準化による大規模なアプリケーションは、経済的に賢明な対応につながると予想される。
- ・ 市場に沿った**水素産業を確立するためには、エネルギー市場での気候中立な水素の競争力を確保するために、均一で適切な枠組み条件が必要**である。同時に、ネットワークの規制枠組みに対して、**公的にアクセス可能なガスネットワークを使用した水素輸送を可能にするように適合させる必要がある。**
- ・ 産業顧客との水素経済の確立のためのさまざまな地域モデルプロジェクトがすでに計画されている。これらのモデルプロジェクトの拡大は、2030年までにドイツおよびヨーロッパ全体の水素産業の基盤を形成する可能性がある。

出典: [200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf \(siemens-energy.com\)](https://www.siemens-energy.com/en/whitepapers/200915-whitepaper-h2-infrastructure-en.pdf)





## <参考9> 2.5 Element-eins プロジェクト (ニーダーザクセン州パイロットP to Gプラント、100MW電解)

### Element-einsプロジェクトの状況

コンセプトフェーズが完了し、投資措置申請が連邦ネットワーク庁(BNetzA)に提出され、技術的実現可能性調査が適切な場所として承認された。投資決定は現在、連邦ネットワーク庁による投資措置申請の承認待ち。これが完了すると詳細な計画に入り、承認プロセスに入ることができる。

Power-to-Gas技術は、技術的に成熟したプロセスであり、ドイツ全土の30以上のパイロットプラントおよび実証プラントで利用されている。しかし、ドイツの発電所での電力からガスへの最大電気出力が6MWという現在の規制の枠組みのため、電力をガスに転換するプラントの経済的な運営は困難な状況である。

Element-einsは発電所の規模が100 MWであり、風力発電による再生可能エネルギーを電気分解で水素に変換してガスネットワークに追加する、ドイツで初めての先駆的なプロジェクトと見なされている。最終段階では、最大20,000m<sup>3</sup>/hの水素を生成する計画である。

ドイツでは2030年に数GWの電力からガスへの変換システムが必要になるため、Element-einsの設備規模は妥当である。Element-einsで得られた経験は、市場に透過的に提供されるべき。

Element-einsは、電気とガスのインフラストラクチャが最高レベルで接続される初めのケースであるため、パイロットプロジェクトと見なされる。このような電力からガスへのシステムの運用において信頼できる経験値が得られるだけでなく、ガスとガスのネットワーク開発計画の共同作成の一環として、ドイツの電力とガスのネットワークの将来の同期計画に関する重要な発見が得られる。

<https://thyssengas.com/en/innovation/element-eins.html>