

ドイツ産業界の 水素受け入れ態勢

先行する水素需要国からの示唆

2023 July

日本語翻訳版刊行にあたり

気候変動対策が取り組むべき喫緊の課題となるなか、水素による脱炭素化の動きが世界各地で加速しています。

ただ、闇雲に導入すればよいというわけではありません。水素社会を実現するための前段階として、利用者となる産業界の動向やインフラの整備状況といった国ごとの受け入れ態勢を分析する必要があります。

本レポートは、水素導入の検討が先行するドイツの水素受け入れ態勢を幅広い視点で分析しています。まず地域クラスターごとの水素需要を予測。そのうえで、鉄鋼・非鉄やエレクトロニクスなど水素分子の特性を活かして自社事業への活用（還元や原料利用）を進めるほか、燃料としての水素利用を見込む「先行者」グループ、そして他の方法で脱炭素化を進める「追随者」グループに主要産業を分けました。

また、インフラについても、パイプラインで水素の供給を受けられるモデルから、水素以外の方法で脱炭素に取り組むモデルまで4つのグラデーションに分類。各モデルごとに取り組むべきポイントをまとめています。

これらの分類を重ね合わせることで、水素を積極的に利用する体制が整った企業を特定するステップも提示しました。

全てをそのまま日本に当てはめるわけにはいきませんが、水素を導入するニーズが高い産業やインフラ整備の状況分析は、今後日本において水素を本格的に普及させていくにあたっても参考になると考えています。

本レポートが水素の導入を検討する企業や行政の一助となり、ひいては重要性がより高まっている脱炭素化の流れの後押しにつながれば幸甚です。

PwCコンサルティング合同会社

Strategy& パートナー 服部 真

エネルギー産業事業部 パートナー 中谷 尚三

現在の市場ダイナミクスを踏まえ、企業の水素戦略の大胆かつ革新的な再評価が必要

グリーン水素をめぐる最新の市場動向

近年の化石燃料からの供給シフトやインフラの進歩、環境規制の枠組み構築、エネルギー価格の大規模な変動を踏まえると、水素を重要なエネルギーキャリアとして受け入れる態勢が、ドイツの産業界でどの程度整っているかをしっかり評価することが大切

ドイツ全土で**120の水素プロジェクト**が計画、建設または稼働中。
電解能力は約5GWに達する

100MWの設備容量が、現在EUで計画されている
最大の電解プロジェクト

CO₂価格はこの1年大きく上昇し(+30%)、
2023年3月には**> €100/t**という記録的水準に

ドイツの水素を支える**バックボーン**は、
2030年には**全長5,100キロ**に達する**パイプライン**など

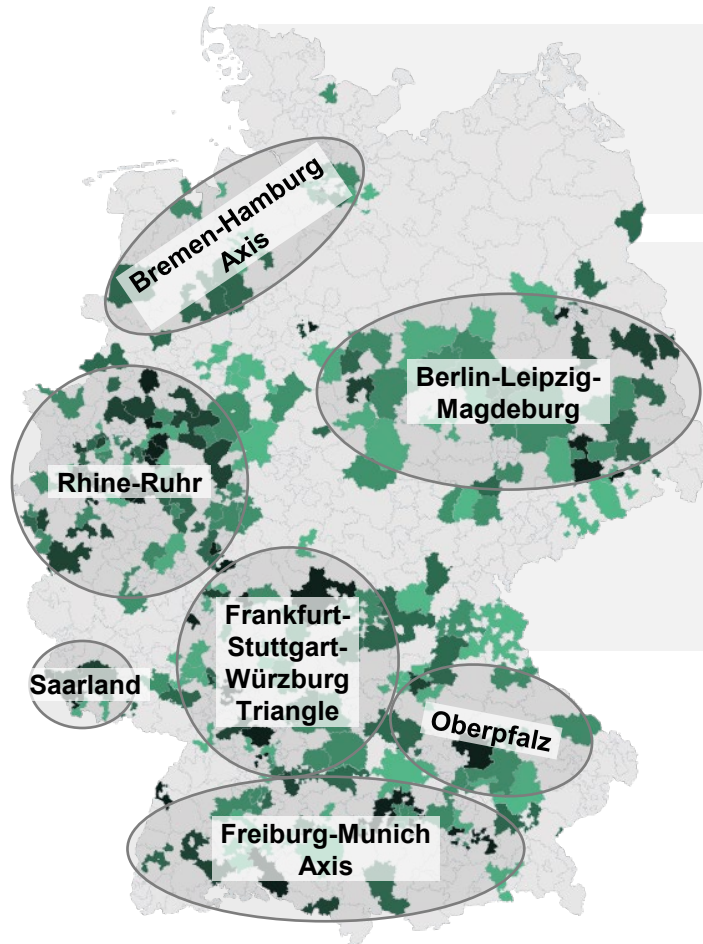
最新の予測では、**2030年までに30GWの電解能力**が
ドイツにとって現実的なシナリオ。これは**公式目標の3倍**に相当

待望の**EU委任法令**により、
水素が「**グリーン**」分類されるための**要件**が明確に。
ただし批准はなお不透明

調査回答者の**86%**が、水素が**短・中期的に**
自社事業にとって**重要な役割を果たす**と確信

潜在的なオフテイカー(購入者)には7つの地域クラスターがあり、2030年までの水素需要予測の9割近くをカバー

予測される2030年までの水素需要クラスター



- 水素需要が最大なのはRhine-Ruhr地域、次いで Freiburg-Munich地域
- 2030年までの産業界における水素需要の8割(22TWh)を6つの業界が占める
- 150社が総需要の9割をカバー

カギとなる問い:「各ハブには水素供給の選択肢が十分にあるか？」

○ 水素ハブ 0 GWh  150 GWh 水素需要ポテンシャル

計画されている水素供給量では市場の全参加者には行き渡らず、ドイツ南部で供給が不足する

2030年までのグリーンエネルギー供給選択肢の見通し

✓ 計画されている水素グリッド(2030年)は、7つの主要な需要ハブのうち6つに及ぶ

⚠ グリーン水素拡大により増加する再生可能エネルギー需要は、すでに供給予定RES¹⁾の最大2割まで達している

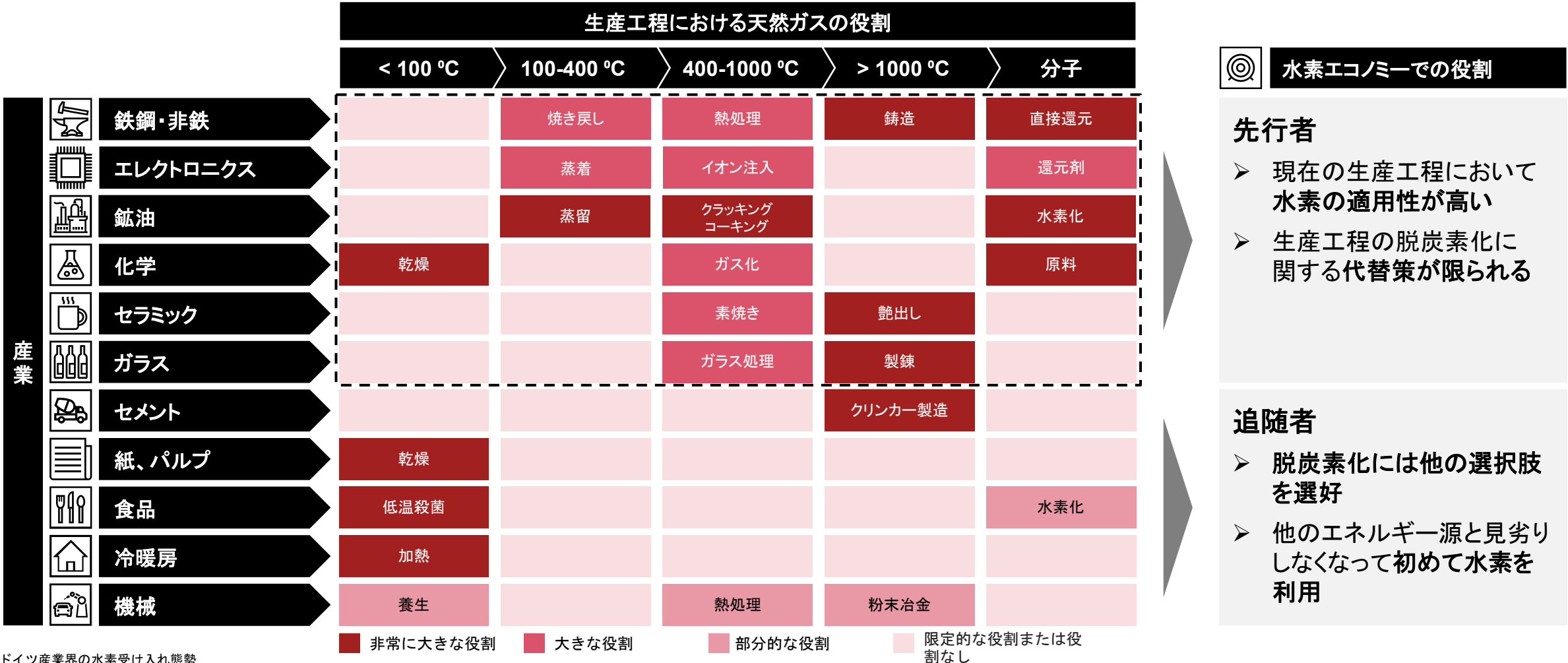
⚠ 水素供給の選択肢がドイツ南部では限られそうだが、最近発表された計画(HyPipe BavariaおよびFlowプロジェクト。図には非表示)によって、このギャップは多少埋まるかもしれない

カギとなる問い:「どの業界が水素ハブの発展を牽引するか？」

○ 水素ハブ 0 MW 100 MW 予定される再生可能エネルギー (2023年～) — FNB水素ネットワーク (2030年)


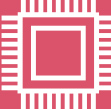






水素分子の特性を活かして自社事業への活用を進める産業が、ドイツの水素エコノミーの発展を2030年までリードする

水素関連産業と適用分野の評価



鉄鋼・非鉄、エレクトロニクス、鉱油、化学は水素分子の特性を活かして、自社事業への活用を進める(還元、原料利用)

最も有望な「先行者」に関する主なインサイト

 分子としての水素 鉄鋼・非鉄	 分子としての水素 エレクトロニクス	 分子としての水素 鉱油	 分子としての水素 化学
水素展開の可能性			
<ul style="list-style-type: none"> CO₂を出さない鉄鋼・非鉄製造における還元剤 管溶接時のガスシールド 	<ul style="list-style-type: none"> 半導体製造の初期工程における還元・洗浄剤、キャリアガス 高純度が必要。通常はトレーラーで納入 	<ul style="list-style-type: none"> 鉱油生産で水素が必要 グリーン水素へ移行するドイツ製油所で、170万トンのCO₂削減可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 水素はアンモニア、メタノール、オレフィンの原料 現在は水蒸気メタン改質を使い現場で生産
グリーン水素利用例			
<ul style="list-style-type: none"> グリーンスチールの代用品なし 2030年まで生産能力の30%に取って代わる見込み 追加コストを転嫁するチャンス 	<ul style="list-style-type: none"> 水素の代用品なし 総コストに占める割合が比較的低い(追加コストを転嫁する可能性) 	<ul style="list-style-type: none"> 水素の代用品なし グリーン水素は石油企業によるGHGクォータ¹⁾達成に貢献 	<ul style="list-style-type: none"> 水素の代替品なし 製品によってはコストを顧客に転嫁する可能性 煙道ガス精製に市場機会
今後5年間のグリーン水素利用態勢			
<ul style="list-style-type: none"> パイプライン経由で幅広く利用できるようになる前から、グリーン水素へ移行 欧州のほとんどの鉄鋼・非鉄メーカーはすでにテストに着手し、関連知識を構築している 	<ul style="list-style-type: none"> グリーン水素の電解能力構築が期待できる 必要な水素量が比較的少ない。電解槽の規模は5MW近くを見込む 	<ul style="list-style-type: none"> ほとんどの製油業者はグリーン水素でスコープ1排出量を削減/GHGクォータを達成 必要量の確保にはパイプライン供給が必要。現状の現地生産は限定的と見られる 	<ul style="list-style-type: none"> 現在は電化を重視 前提条件としてパイプライン供給や生産工程の適応を要する莫大な需要
受け入れ態勢 			

セラミックとガラスは燃料としての水素導入を主導

他の「先行者」に関する主なインサイト

 <p>セラミック</p> <p>燃料としての水素</p>	 <p>ガラス</p> <p>燃料としての水素</p>
<p>水素展開の可能性</p> <ul style="list-style-type: none">1,000℃超の高温が必要。炉の電化は不可能製品コストに占める燃料費の割合が高い	<ul style="list-style-type: none">最大1,700℃の高温が必要炉の完全電化は不可能。水素炎の調整がなお課題
<p>グリーン水素利用例</p> <ul style="list-style-type: none">グリーン・インテリア・セラミックの需要（ショールームの床タイル、サニタリーセラミックなど）一般的なセラミックはコストを転嫁しづらい	<ul style="list-style-type: none">板ガラスは価格弾力性が低く、生産コストの増加分を転嫁する余地がある板ガラスは他のセクター（建物など）の脱炭素化に貢献する、特別な役割を担う
<p>今後5年間のグリーン水素利用態勢</p> <ul style="list-style-type: none">セラミック生産者が炉で水素を使う可能性現在の技術では混合率が20%までに限られる	<ul style="list-style-type: none">業界は生産工程での水素利用の拡大をテスト中現状、燃料として使われる水素はガラスの質に影響を及ぼす
<p>受け入れ態勢</p> 	

追従者グループは他の方法での脱炭素化を優先

「追従者」に関する主なインサイト

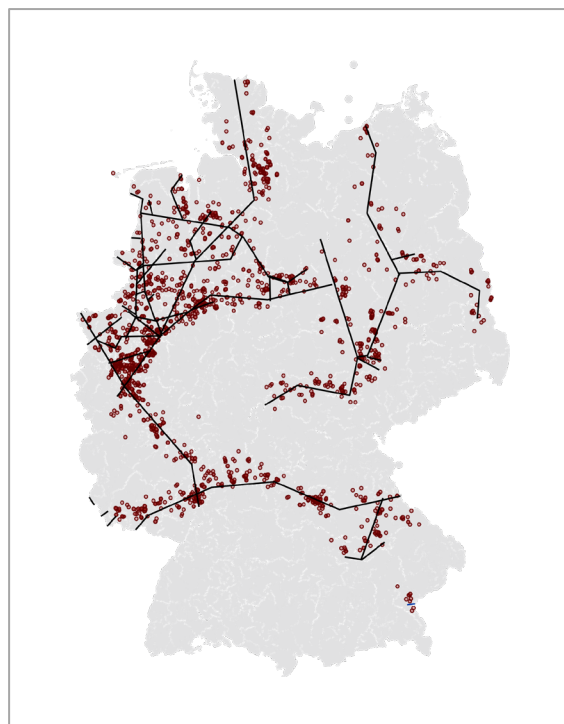
セメント	紙、パルプ	食品	冷暖房	機械
水素展開の可能性 <ul style="list-style-type: none"> CO₂排出量の半分近くが 非エネルギープロセスに由来。そこに水素を適用できる 	<ul style="list-style-type: none"> 総エネルギー需要を考えると、紙・パルプ業界はEUで3番目にエネルギー使用量が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 工程の大部分で100℃以下の熱が必要。そこには有効な代替策が存在(ヒートポンプなど) 	<ul style="list-style-type: none"> 最新の暖房技術では最大30%の水素混合が可能(公式認定は20%まで) 	<ul style="list-style-type: none"> グリーン水素を適用できる分野は、熱処理や溶接工程など
脱炭素化アジェンダ <ul style="list-style-type: none"> 排出量のほとんどが工程関連のものであるため、CCU/SがCO₂削減に効果的と考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーは主に、自身の熱電併給で得られる蒸気に使われる。熱の85~90%はヒートポンプを使って脱炭素化できる 	<ul style="list-style-type: none"> 大企業は今後5~7年以内に 最大50%の脱炭素化を進めるため、電化とプロセス最適化に頼っている 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー効率が高く、脱炭素化にヒートポンプを用いる新しい建造物が建てられている 	<ul style="list-style-type: none"> 市場プレーヤーは主に エネルギー効率の改善を通じて、脱炭素化を進めている
今後5年間のグリーン水素利用態勢 <ul style="list-style-type: none"> CCU/Sがグリーン水素より 優先されるが、一部企業はCCU/Sとグリーン水素を組み合わせる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 一部の企業がグリーン水素を生産工程に取り入れる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> グレー水素をすでに使っているニッチプレーヤーは、グリーン水素の採用を検討する可能性(マーガリン生産時の水素添加など) 	<ul style="list-style-type: none"> 長期的なネットゼロ目標を達成し、古いビルを脱炭素化するには、2030年以降、グリーン水素が有効かもしれない 	<ul style="list-style-type: none"> 必要量の水素はガスコンテナやポンプを通じて調達されることが多く、総排出量としてはごくわずかな
受け入れ態勢 				

今後10年間のドイツの水素適用に関しては、 4つのインフラモデルに分類できる

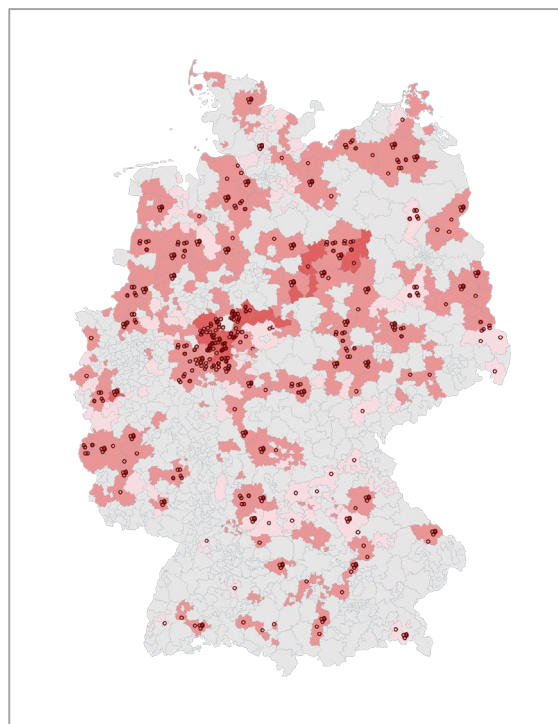
2030年までの水素基本モデル グリーンエネルギーへのアクセス有り

グリーンエネルギーへの アクセスが限定的

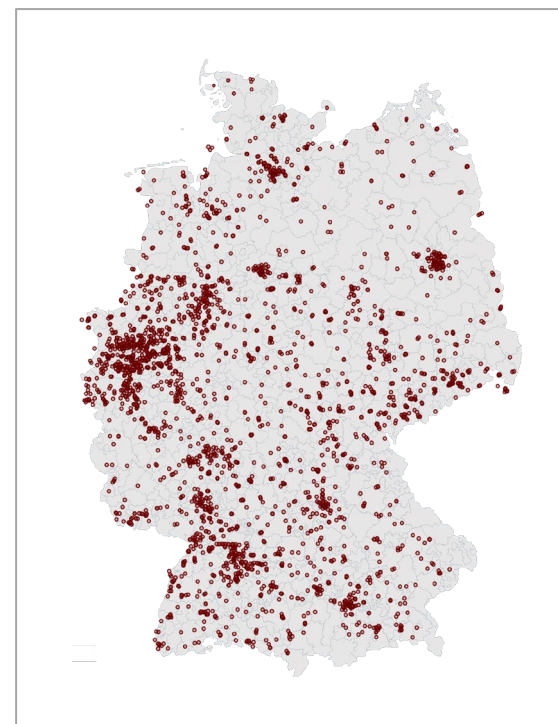
パイプラインモデル パイプラインでグリーン水素にアクセス



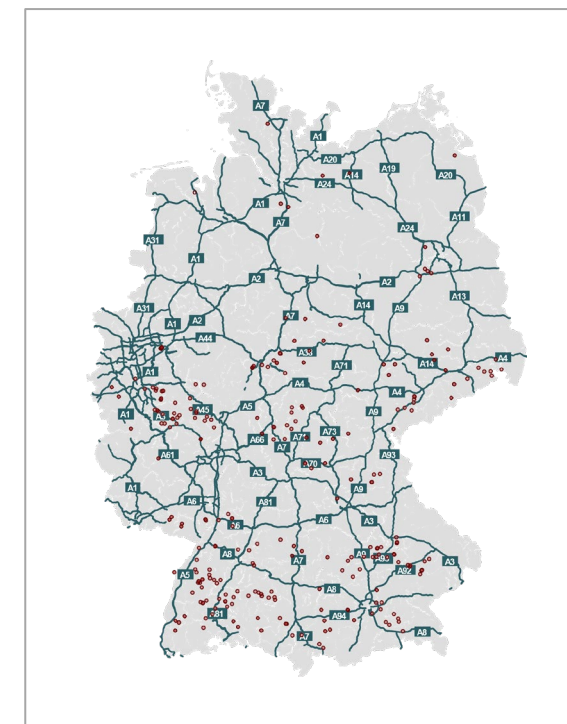
電解モデル 再生可能エネルギーで水素を製造



電化モデル 電化で脱炭素を進めつつ水素も少量利用



ラガード(追随)モデル 脱炭素では当面水素以外の選択肢を偏好



○ 企業¹⁾

— 水素ネットワーク (2030年) 0 MW

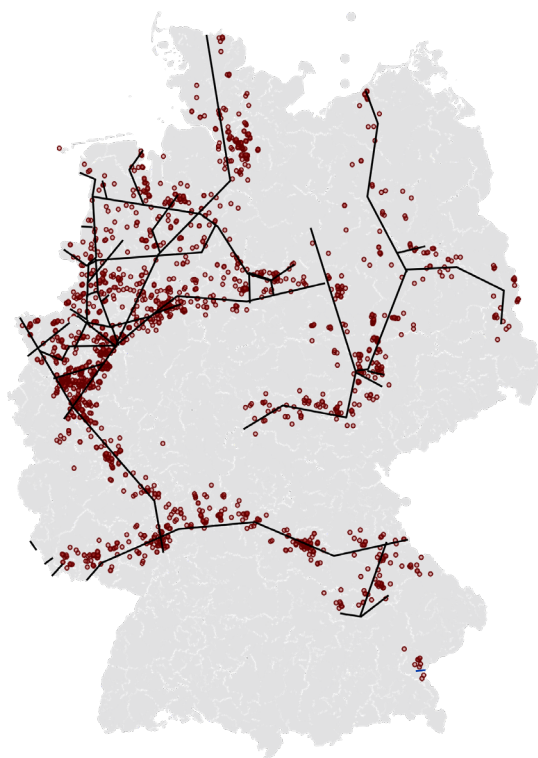
100 MW

予定される再生可能エネルギー
(2023年～)

■ 幹線道路

「パイプライン」および「電解」モデルが、2030年までのドイツにおける水素需要の増加を牽引

2030年までの水素基本モデル



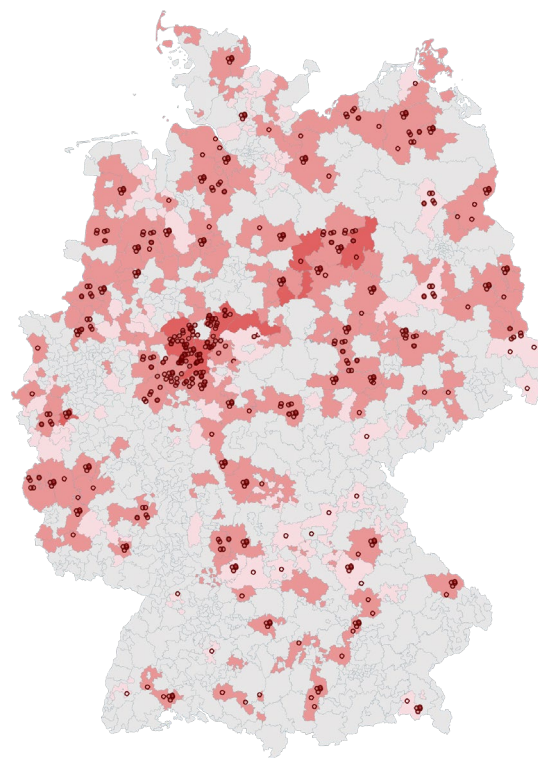
パイプラインモデル

特徴

- ・ 計画中のパイプラインに接続できる地域にある
- ・ 他の方法では十分な量の供給が難しい

対策ポイント

- ① 水素グリッド上で十分な容量を確保する
- ② パイプラインの稼働までに電解プロジェクトを通じ、水素導入のリスクや課題、運用管理・保守点検などを学習



電解モデル

特徴

- ・ 再生可能エネルギー由来の電気にアクセスできる
- ・ 5MW以上のRES設備が予定される地域

対策ポイント

- ① 水素製造設備の設置場所や地域の規制を確認、水素で製造すべき製品を選定、再エネへの近接性や電力供給能力の把握
- ② 助成金などの資金面を評価する

○ 企業¹⁾

— 水素ネットワーク（2030年）

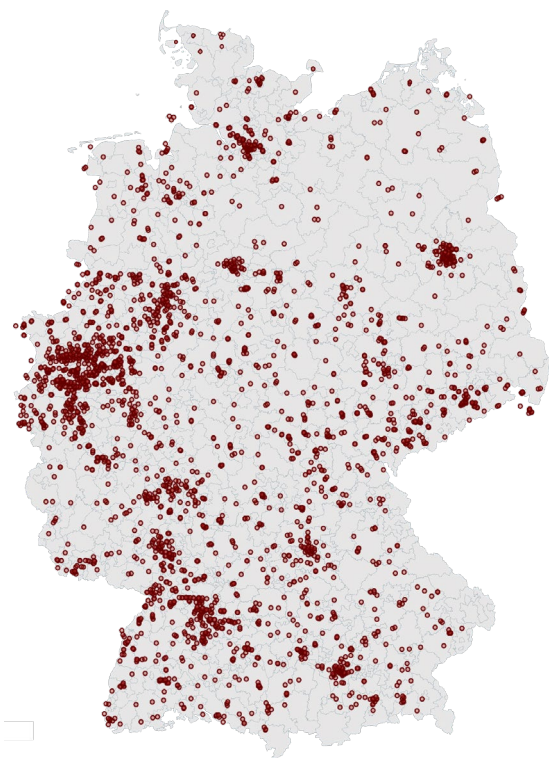
0 MW

100 MW

予定される再生可能エネルギー
（2023年～）

「電化」および「ラガード」モデルは、他の方法を優先して脱炭素化に対応

2030年までの水素基本モデル



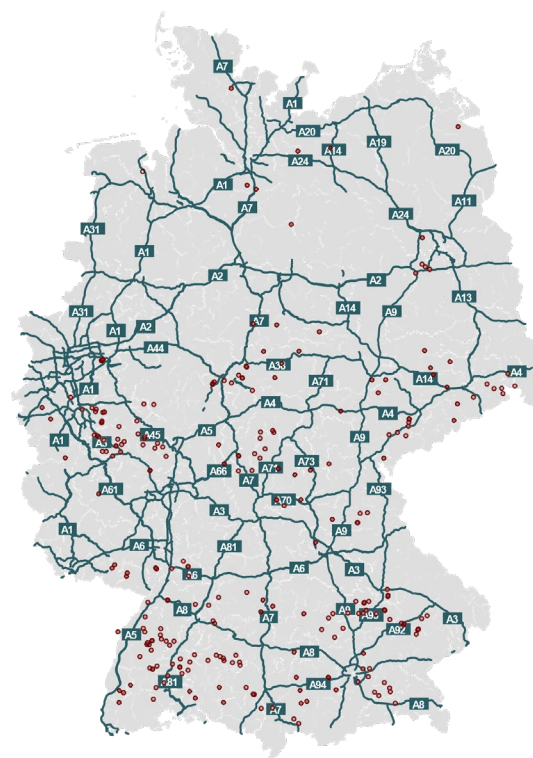
電化モデル

特徴

- 電化による脱炭素化が可能
- 比較的少量の水素をトレーラーで供給

対策ポイント

- ① 送配電網の電化推進能力を評価する
- ② 工場のエネルギー効率を最適化し、CO₂を削減する



ラガード(追随)モデル

特徴

- エネルギーインフラへのアクセスが限られる
- 幹線道路を利用して、限られた水素需要を満たすことができる

対策ポイント

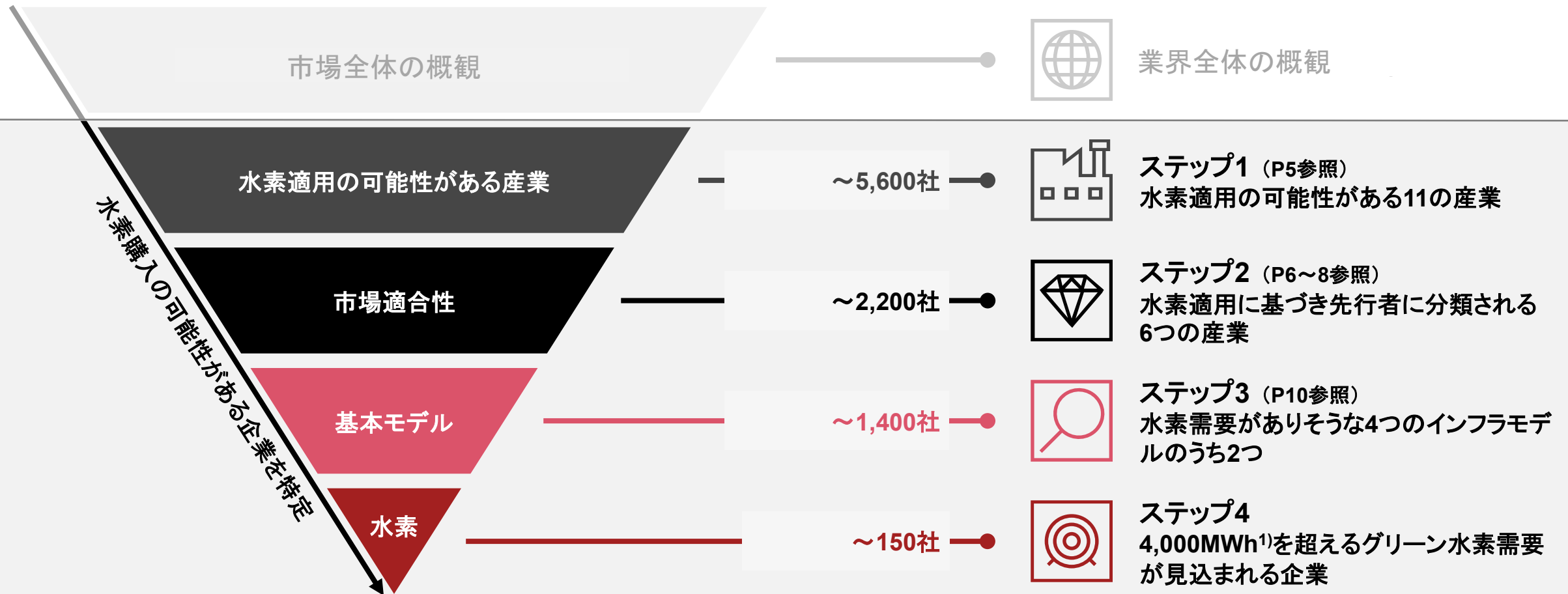
- ① 自前の再生可能エネルギー源の拡大に投資する
- ② 生産施設の移転を検討する

○ 企業¹⁾

■ 幹線道路

水素を積極利用する態勢が整った企業を特定する4段階評価 ドイツでは150社が該当

最も有望な水素オフテイカーの評価



ドイツの水素エコノミーの拡大を促すために、政治家に求められること

政治の意思決定者への提言



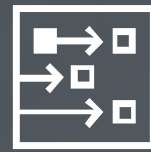
法規制の簡素化

- 市場参加者向けの明確なルールや定義を提供し（RED II委任法令第27条・28条の批准など）、市場設計を明確化する
- 過度な規制を避け、最も効果的な水素展開を現行枠組み（排出量取引制度「ETS」など）で実現する
- 水素受け入れ態勢に向けた正式基準を提供する（認定混合率20%以上など）



インフラ投資の促進

- 送配電網と水素の拡大を容易にし（許認可プロセスの効率化など）、国のエネルギー安全保障と公益とのバランスをとる
- 再生可能エネルギーの最も効率的な利用から逸脱する法律を、可能な限り回避・排除する
- セクター全体のインフラ計画を推進し、効率のロスを削減する



水素供給の活性化

- 大規模な水素輸入に向けた戦略的パートナーシップや多国間協調を確立する
- 大規模な水素輸入を多様化する。調達の実施に欧州を加え、地政学的な依存を回避する
- 新たな電解能力やRESを確保するための資金調達やその申請プロセスを簡略化する



水素利用へのインセンティブ提供

- 一貫したOPEX資金プログラムを設定し（CCfD¹⁾など）、市場参加者の中長期的な計画を確実なものにする
- グリーン水素の販売を容易にし、産業向けの利用を促進する（混合ネットワークから100%グリーン水素を引き出せるなど）
- 水素対応テクノロジーへの投資を促進する

貴社の水素ポテンシャルの実現をサポート

グリーン水素への移行に際してカギとなる自社への問い



グリーン水素を含むネットゼロ戦略があるか？

脱炭素化目標、変革のビジネスケースなど



適切な調達・ポートフォリオ戦略があるか？

必要な条件、調達パートナー、認証、自身の製品ポートフォリオ、ケイパビリティなど



強靱なインフラがあるか？

送配電網や水素パイプライン上の追加容量、自前のRESの設置計画など



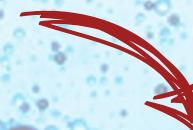
水素プロジェクトの資金調達ノウハウがあるか？

資金や助成金をどこでどのように獲得するかなど



実効性のあるロードマップがあるか？

自社オペレーション、サプライチェーンなど



PwCの水素カルキュレーター
を試されましたか？

貴社プロジェクトの経済的
実現性を手早くチェックしてみ
ませんか？

(リンク先は英語対応)

ドイツ産業界の水素受け入れ態勢

5つの主なインサイト

1 再生可能エネルギーの供給能力は、近い将来は引き続き限られる

2 水素輸入は2035年以降しか予定がなく、市場の全参加者には届かない

3 リソース（再生可能エネルギー、グリーン水素）の不足により、迅速かつ強力な対策が求められる——特にドイツ南部・南西部では水素が限定的にしか利用できない

4 グリーンなエネルギーや水素を利用できるかどうかで、事業会社がその場所で成長・投資するか、それともそこから移転するかが決まる

5 水素の拡大を促すため、政治家は規制をもっと簡素化する必要がある

Strategy&は貴社の水素ポテンシャルの実現をサポートします

執筆者の連絡先



Christian von Tschirschky

パートナー

christian.von.tschirschky
@pwc.com



Dirk Niemeier

ディレクター

dirk.niemeier
@pwc.com



Christian Brand

マネージャー

christian.brand
@pwc.com



Michael Meyer

シニアアソシエイト

michael.egmont.meyer
@pwc.com

監訳者紹介

服部 真（はっとり・まこと）

PwCコンサルティング合同会社、Strategy&のパートナー。海外参入戦略やアライアンス／M&Aなどのテーマを中心にコンサルティング経験を有する。近年は日本企業の海外進出案件を多く手がけ、アジア、南米、アフリカ市場などを対象としたプロジェクトをリードしている。対象業界は総合商社、消費財、産業財、サービス、エネルギーなど、多岐に及ぶ。

中谷 尚三（なかに・しょうぞう）

PwCコンサルティング合同会社、エネルギー産業事業部のパートナー。エネルギー／製造業の事業計画を中心に20年超の経験を有する。PwCにおけるGX: Green Transformationサービス責任者として産業横断での変革と事業開発をリードする。

赤坂 祐太（あかさか・ゆうた）

PwCコンサルティング合同会社、エネルギー産業事業部のディレクター。電力会社や商社の新規事業開発の戦略立案や政策対応支援、エネルギー会社の新規電力ビジネスの立ち上げなどに従事。政策的見地や電力市場活用の観点を踏まえたエネルギー業界における事業戦略立案を得意とする。経済産業省電力・ガス取引監視等委員会に出向経験もある。

松山 裕幸（まつやま・ひろゆき）

PwCコンサルティング合同会社、Strategy&のディレクター。10年以上に及ぶコンサルティング経験を有し、産業材メーカーを中心とした製造業や総合商社等の幅広いクライアント向けに、する。全社戦略・事業戦略立案、デジタルトランスフォーメーション、ビジネスデューデリジェンス、オペレーション改善等のプロジェクトに従事。

本報告書は、PwCメンバーファームが2023年に発行した『H2 readiness of German industry』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合には、オリジナル（英語版）に依拠してください。<https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/energy-utilities/hydrogen-economy.html>

問い合わせ先

PwCコンサルティング合同会社 ストラテジーコンサルティング（Strategy&）





[strategyand.pwc.com/jp](https://www.strategyand.pwc.com/jp)

©2023 PwC. All rights reserved. PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details. Mentions of Strategy& refer to the global team of practical strategists that is integrated within the PwC network of firms. For more about Strategy&, see www.strategyand.pwc.com. No reproduction is permitted in whole or part without written permission of PwC.

Disclaimer: This content is for general purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.