

温室効果ガス低減に向けた長期発展戦略の策定のための情報と視点の整理と方法論 シンポジウム

産業部門の脱炭素化

2019/8/21

 **株式会社三菱総合研究所**

環境・エネルギー事業本部 井上裕史

本日の発表構成

1. 産業部門脱炭素化レビューの背景
2. 海外の長期戦略における産業部門脱炭素化方策
3. 産業部門の具体的な脱炭素化方策
4. レビューから得られた示唆

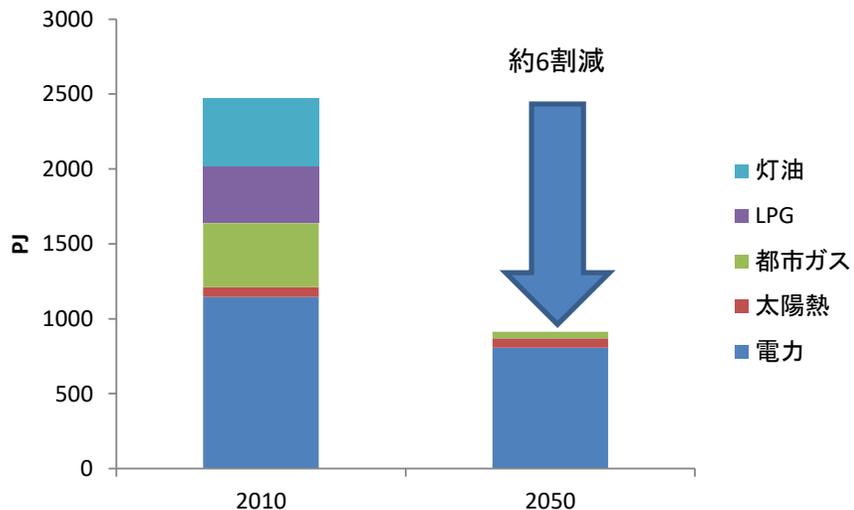
1. 産業部門脱炭素化レビューの背景

背景 ①長期戦略における脱炭素化

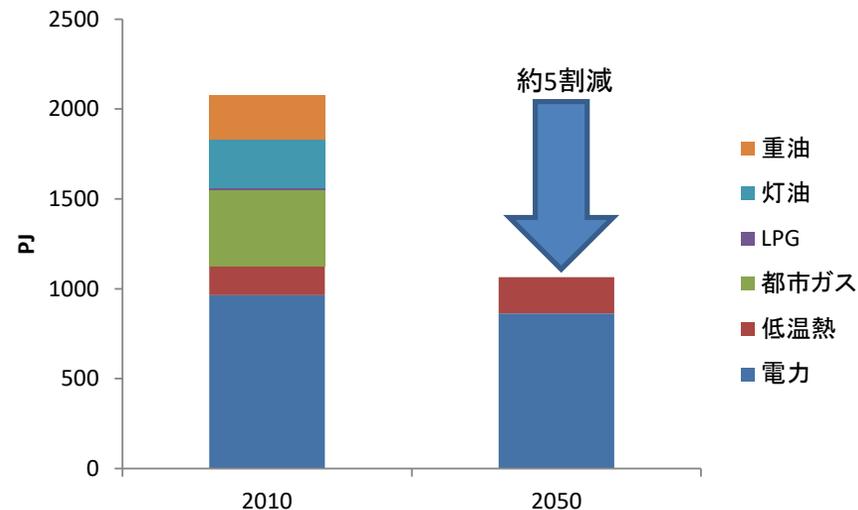
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が本年6月11日に閣議決定。
 - 最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現していくことを目指す。
 - 2050年に向けては、エネルギー種別に以下の方向で進める。
 - 再生可能エネルギーは、経済的に自立し脱炭素化した主力電源化を目指す。
 - 原子力は、安全を最優先し、再生可能エネルギーの拡大を図る中で、可能な限り原発依存度を低減する。
 - 脱炭素社会の実現に向けて、パリ協定の長期目標と整合的に、火力発電からのCO₂排出削減に取り組む。
 - 水素は、水素を日常の生活や産業活動で利活用する“水素社会”を実現する。
 - 熱の効率的利用をはじめとする省エネルギーの推進や、再生可能エネルギーの普及拡大及びエネルギーシステムの強靱化に資する分散型エネルギーシステムの構築を目指す。
- 産業部門については以下の点に言及。
 - 「高温の熱利用や還元反応などの化学反応によって発生する大量のCO₂排出の存在」が産業部門の特徴の一つ。
 - 脱炭素化ものづくり、に向けては、以下の対策の方向性が提示されている。
 - ① CO₂フリー水素の活用
 - ② CCU／カーボンリサイクル／バイオマスによる原料転換
 - ③ 抜本的な省エネルギーの実現
 - ④ フロン類の中長期的な廃絶
 - ⑤ 企業経営等における脱炭素化の促進

背景 ②産業部門の脱炭素化の難しさ ～80%削減の姿を例に～

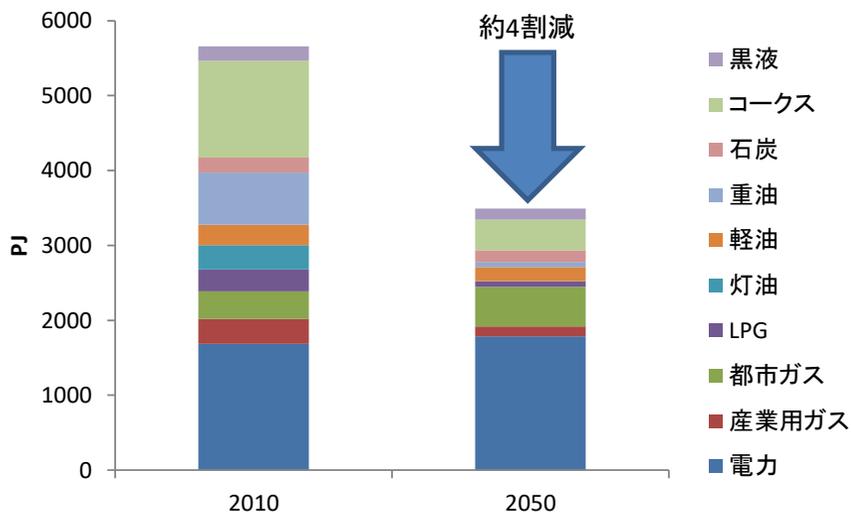
家庭部門のエネルギー消費量の見通し



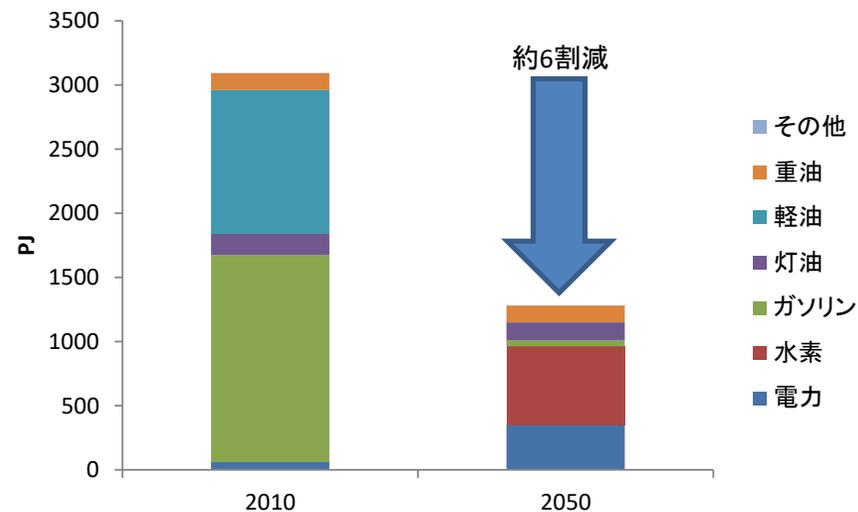
業務部門のエネルギー消費量の見通し



産業部門のエネルギー消費量の見通し



運輸部門のエネルギー消費量の見通し



3. 海外の長期戦略における産業部門脱炭素化方策

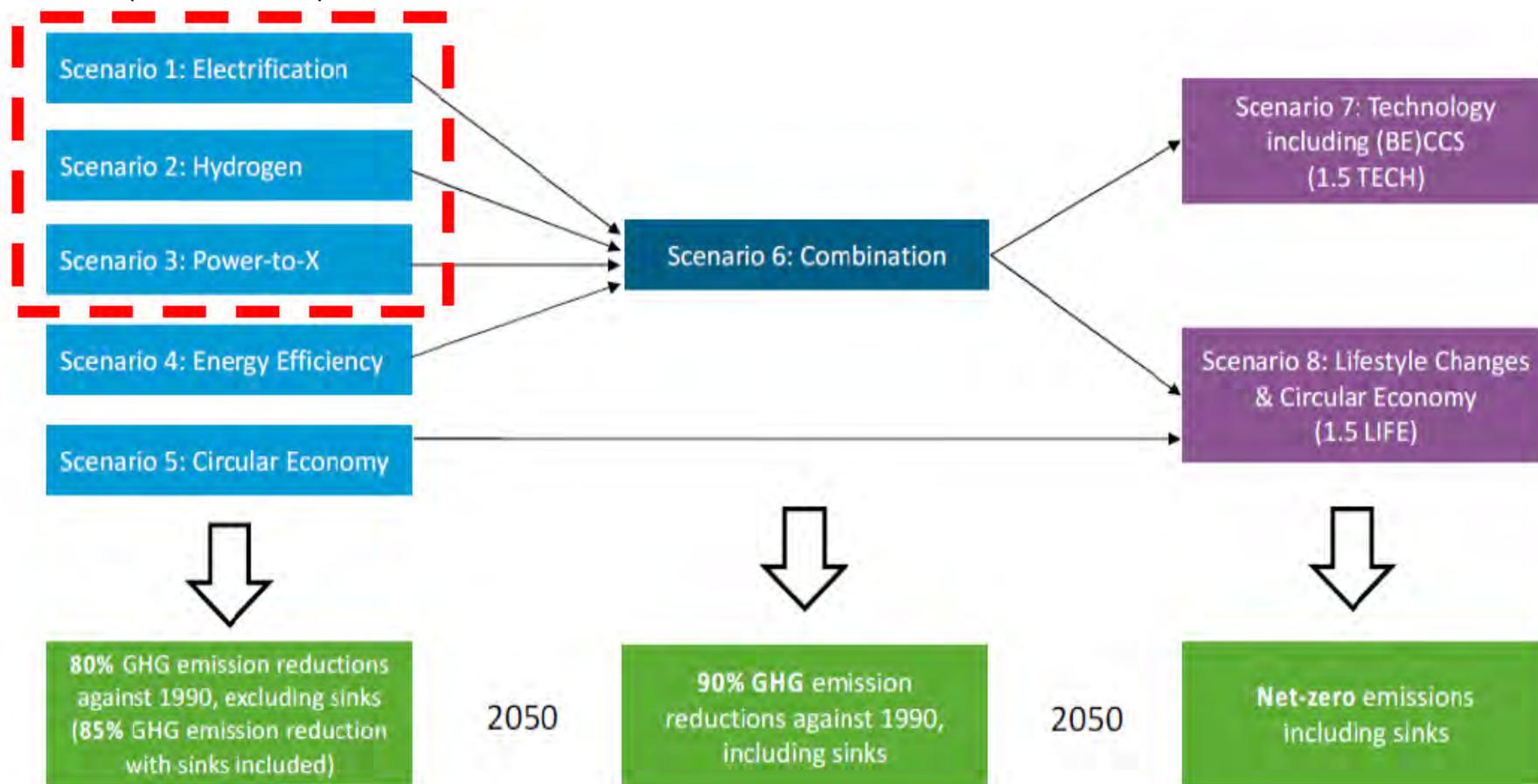
各国の長期戦略における産業部門の姿

- 産業部門の脱炭素化方策としては、電化、CO2フリー燃料、CCS/CCUSが挙げられる

| 国 | 2050年の主な絵姿 | シナリオにおける数値 |
|-----------------|---|--|
| ドイツ | <ul style="list-style-type: none"> CO2フリーな燃料への代替（電気、バイオマス、水素、CCU） 多量排出産業は新しい技術や製造方法で代替、CCUSの活用 廃棄物等の二次資源の再利用を進める政策的支援 | 部門排出量(80シナリオ)： 1990年比▲74% エネルギー消費量(同上)： 2010年比▲27% |
| フランス | <ul style="list-style-type: none"> 効率改善と低炭素エネルギーへの代替 リサイクルによる低炭素素材への転換の推進 化学工業、鉄鋼、セメント業等でのCCSの活用 | I 部門排出量： 2013年比▲75% |
| 英国 | <ul style="list-style-type: none"> 効率改善 エネルギー多消費産業でのバイオマス等への燃料転換 エネルギー多消費産業でのCCUSの開発 | 部門排出量： 58MtCO ₂ （電力経路） 59MtCO ₂ （水素経路） 48MtCO ₂ （排出除去経路） |
| カナダ | <ul style="list-style-type: none"> 電化や廃熱利用の推進、エネルギー効率の向上 多量排出産業におけるCCSやリサイクルの推進 | （5つのシナリオごとに部門内での分類が異なるため割愛） |
| 米国 | <ul style="list-style-type: none"> エネルギー効率や新たな材料や製造方法への移行 電化（鉄鋼生産で最大の削減機会）、電化が困難な分野でのバイオマス利用、化学工業等でのCCUS | 直接化石燃料利用： 2005年比▲55% ※ベンチマークシナリオ |
| 日本 長期低炭素ビジョン | <ul style="list-style-type: none"> 高効率な産業用ヒートポンプの活用や低炭素なエネルギー源の転換等 循環可能な資源の有効利用の徹底 エネルギー多消費産業においては、可能な限りの効率化とともに、CCUSが順次稼働 | |

欧州の長期戦略：分析シナリオ

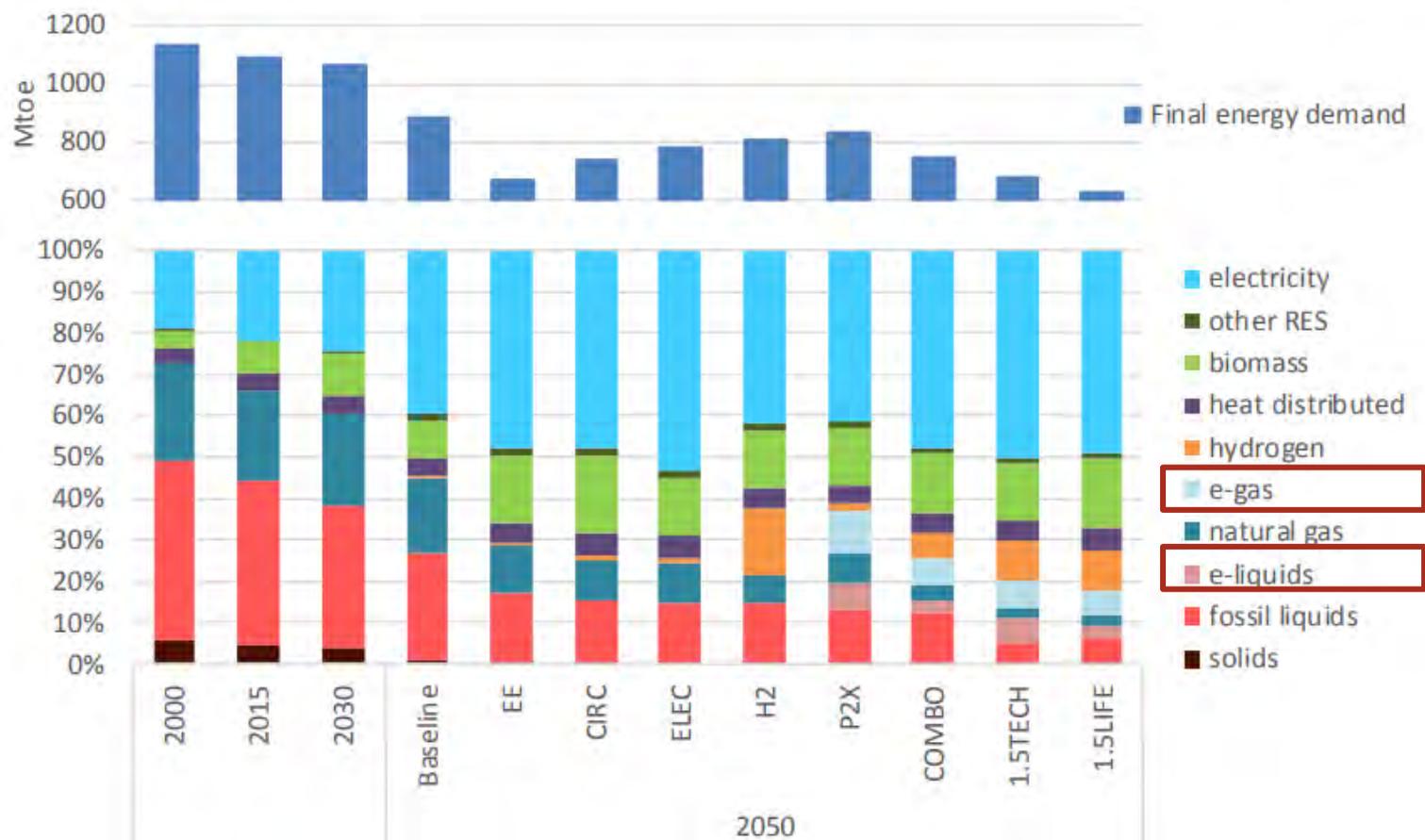
- 2018年11月には欧州委員会が「EU 2050 strategic vision」を公表し、2050年までに欧州の気候中立（GHG正味排出量をゼロにすること）を実現するための長期的戦略を提示。
- 2050年目標に到達するために8つのシナリオが想定され、「電化(Electrification)」「水素活用(Hydrogen)」「合成燃料(Power to X)」も含まれており、シナリオ別のCO2排出量削減率の試算も行われている。



出所) "A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy" EC

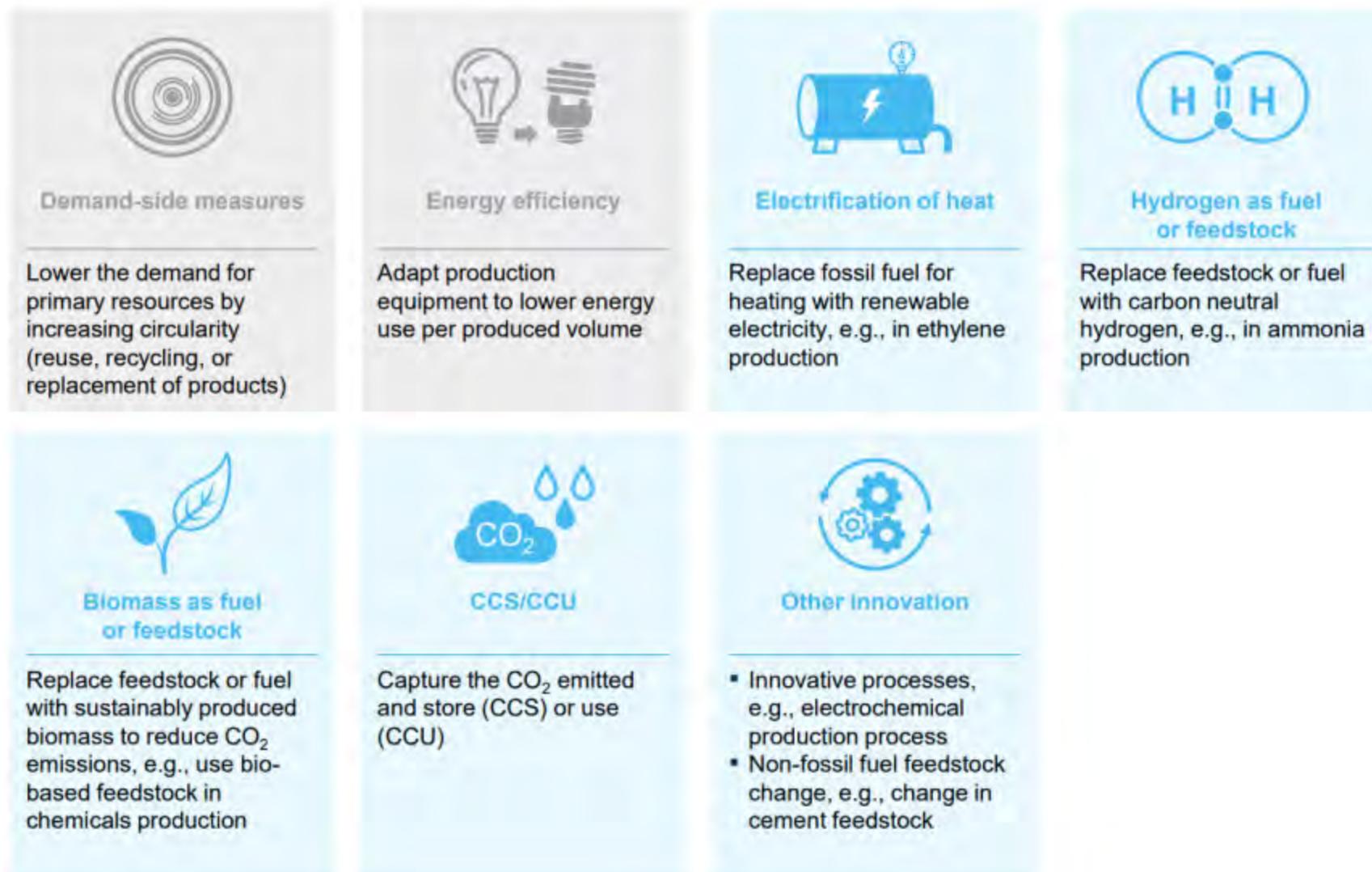
欧州の長期戦略：分析シナリオごとの最終消費構成

- シナリオ別の最終エネルギー消費の構成比をみると、電化シナリオでは最終消費における電化率は50%強。
- Power to Xシナリオではe-liquidsとe-gasで20%近くを占めている。



出所) "A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy" EC

欧州の長期戦略：産業部門脱炭素化のためのメニュー



出所) "A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy" EC

4. 産業部門の具体的な脱炭素化方策

- 4. 1 製鉄プロセスにおける脱炭素化
- 4. 2 Power to Xによる脱炭素化

製鉄プロセス：電炉鋼の比率

- 粗鋼生産に占める電炉鋼の比率（2017年）は、日本は24%に対し、米国では67%を占める。米国は世界的に見ても電炉による粗鋼の生産比率が高い。

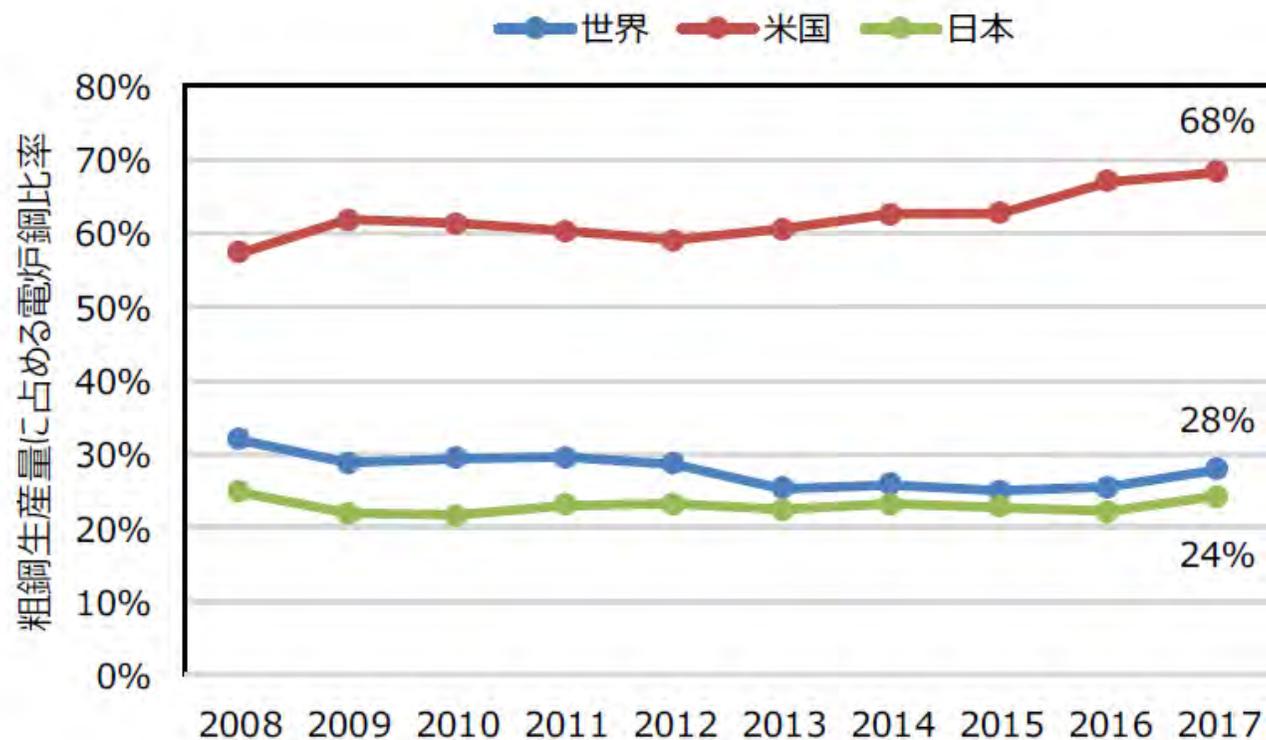


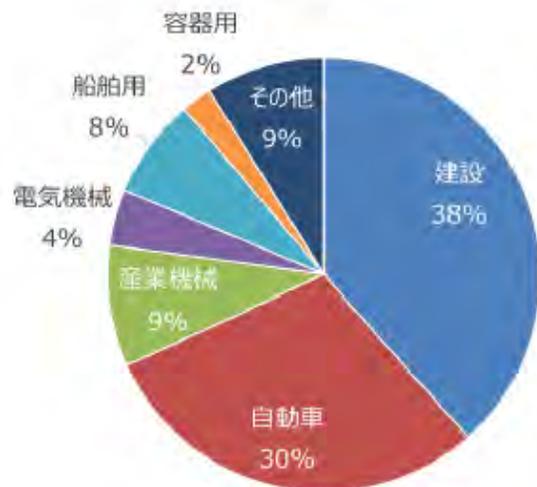
図 粗鋼生産量に占める電炉鋼の比率の推移

出所) 「STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2018」(World Steel Association) より作成。

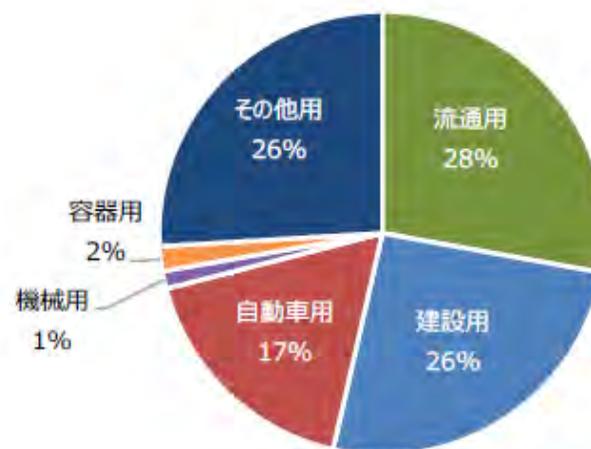
製鉄プロセス：鋼材の用途

- 用途別鉄鋼生産量によると、日本は建設用が38%、自動車用が30%。米国の場合は流通用28%、建設用26%、自動車用17%。鋼材の生産量比率では、米国よりも日本の方が建設用や自動車用の比率が高い。

日本



米国



日本における用途別鉄鋼生産量の比率（普通鋼・特殊鋼合計）（2016年度）
 出所）The 16th International Conference on Industrial Packagingでの経済産業省発表資料
 経済産業省「日本の鉄鋼産業の現状と課題」（2018年9月20日）p.8 （2019年1月17日取得）

米国における用途別鉄鋼生産量の比率（2016年）
 出所）「USGS Minerals Yearbook 2016（2018年11月）」Table 3より作成

製鉄プロセス：日米における電炉比率の差異要因

- 米国において電炉が成長できた要因として、既存文献では、以下のとおり立地、生産形態、コスト面等の優位性が挙げられている。

| 項目 | 概要 |
|-----------|--|
| 低い設備費用 | 大型設備を要せず、地域需要に応じた任意の規模の生産体制を取ることが可能。 |
| 最新の設備 | 電炉業は歴史が浅く、比較的新しい技術を採用。設備が簡素なため、償却期間が短く設備更新を頻繁に実施。 |
| 短い生産工程 | 要員が少なく、受注から納入までのリードタイムが短期。 |
| 低い労務費 | 弾力的雇用政策、低めの賃金水準・業績給等インセンティブにより、労務費を下げつつ高い生産性を実現。 |
| 製品の特化 | 製品範囲を絞り、得意な製品に絞って効率的に生産。 |
| 地域需要対応の立地 | ローカル規模で地域需要に応じることで、輸送費を極小化。 |
| 低い原料費 | 鉄スクラップは供給過剰であり、概ね廉価。地域のスクラップを極力使用し輸送費を極小化。自らスクラップ事業を営む場合も多い。 |
| 低い電力費 | 米国の電気料金は全般的に廉価かつ地域差あり。電気料金の廉価な地域を選定して立地。 |
| 立地優遇 | 従来からの工業地域ではない地域に立地。自治体やエネルギー供給会社からの優遇策を獲得する場合もあり。 |

出所)「米国普通鋼電炉業の現状と展望-成長用リンと今後の課題-」(電炉業構造改善促進協会、平成13年3月)

■ 日本における鉄鋼製品に係る流通販売の習慣

- 日本の場合、自動車用鋼板等の高級鋼の販売形態は、鉄鋼メーカーと大口需要家が、価格、数量の他に、成分や形状等の製品仕様を直接取り決め、商社を介して流通する「ひも付き」が主流であり、顧客の継続性が比較的高い。

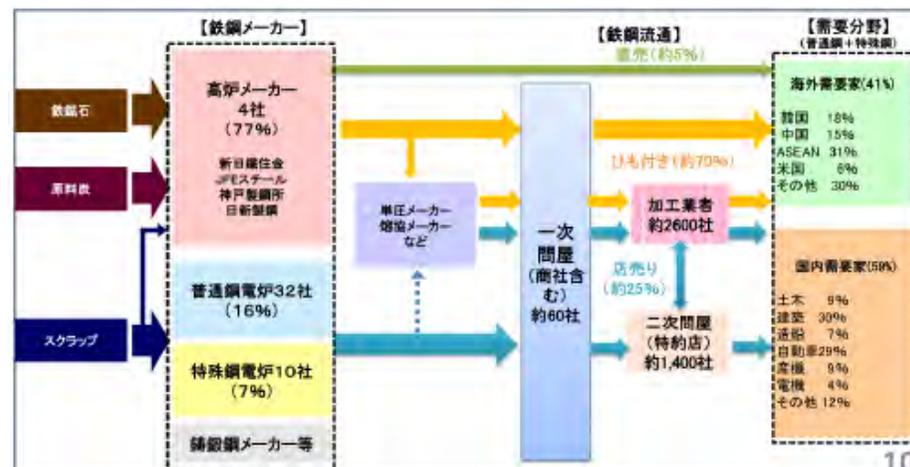
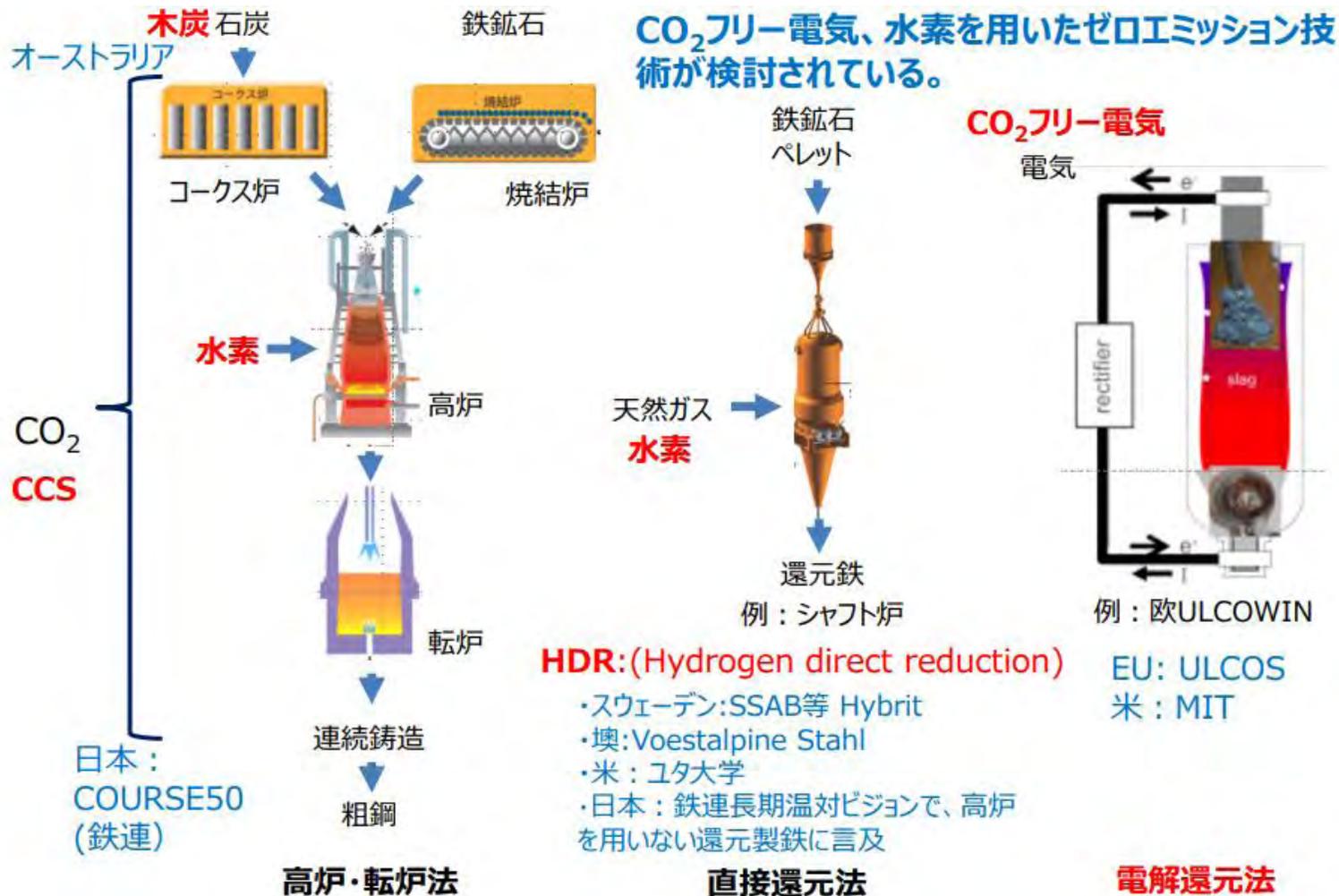


図 日本の鉄鋼業における業界構造・流通販売構造 (2013年度)

出所) 第10回日本の「稼ぐ力」創出研究会参考資料3-1「鉄鋼業の現状と課題 (高炉を中心に)」p.10 (経済産業省、平成27年4月)

製鉄プロセス：鉄鋼業における脱炭素化技術①

- 鉄鋼業においては、CO₂排出の大部分を製鉄プロセスが占める。高炉に替わる将来の脱炭素化技術の選択肢として、直接還元法、電解還元法が挙げられる。



出所) 革新的環境技術シンポジウム2018「部門別CO₂ゼロエミッションに向けて」(地球環境産業技術研究機構、2018年12月)

製鉄プロセス：鉄鋼業における脱炭素化技術②

- EU「Iron production by electrochemical reduction of its oxide for high CO2 mitigation」
 - 電解還元が成功するかどうかの決定要因は、電力と石炭に対する相対価格であり、2035年以降に電解還元が欧州における基本技術の一つとなるためには、炭素価格が150/tCO2以上、石炭価格に対する電力価格の倍率が4を下回る必要があるとされている。

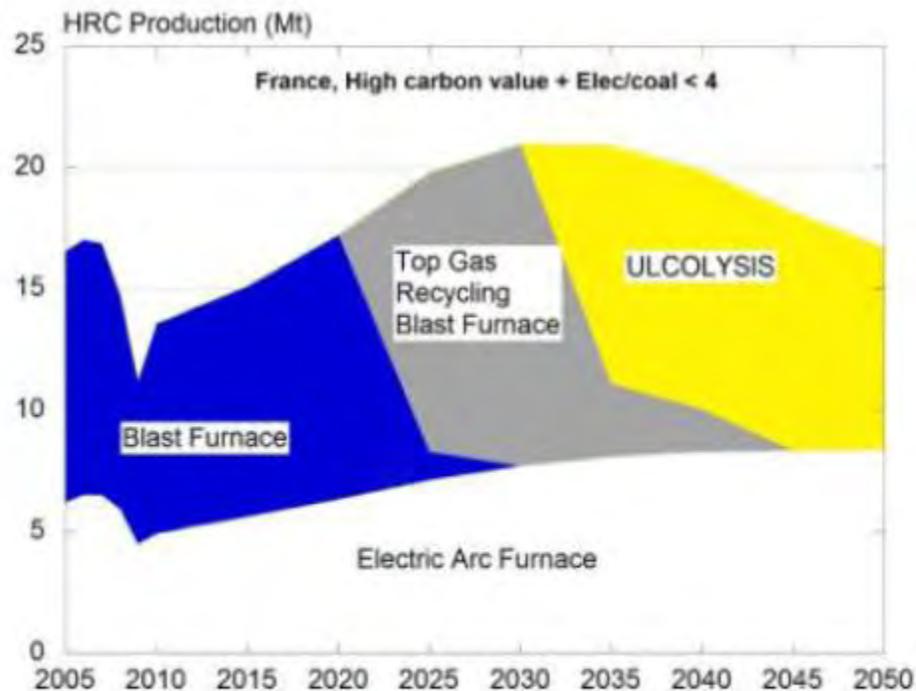
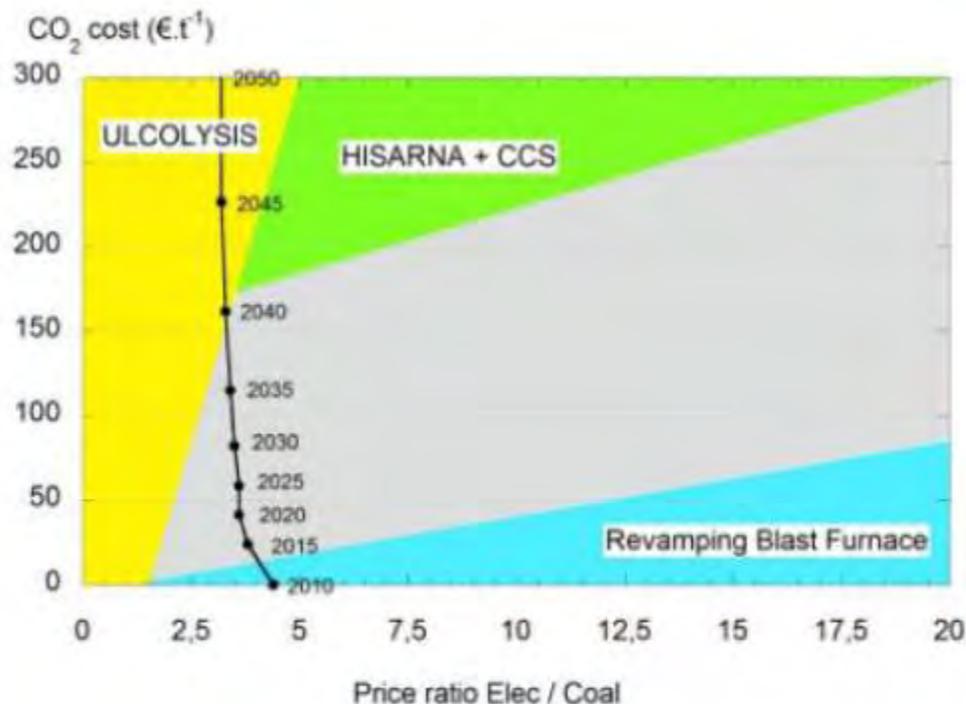


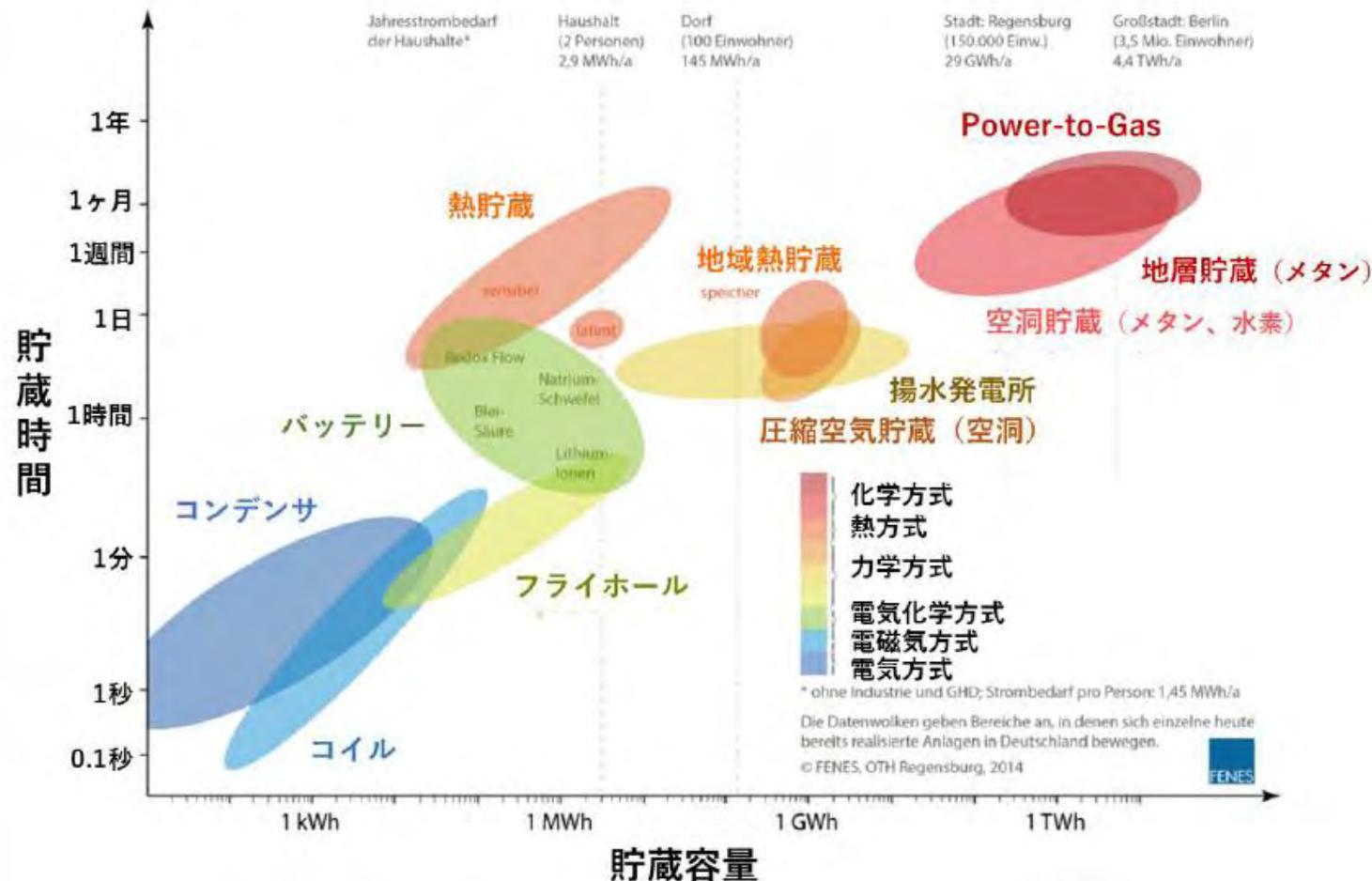
図 高炭素シナリオにおける石炭・電力価格、炭素価格と製鉄技術の関係

図 高炭素価格シナリオにおけるフランスの製鉄技術の見通し

出所：“Iron production by electrochemical reduction of its oxide for high CO2 mitigation”, EU Law and Publication 2016

Power to X : 電力貯蔵技術における位置付け

- Power to Xは、変動性再エネが拡大する中で、電力貯蔵技術の1つとして注目されている。電力をガス等に変換して貯蔵するため、他の貯蔵技術に比べ、大容量かつ長期間の貯蔵が可能である。そして、結果的に変化されたガス等はカーボンフリー燃料として産業部門の脱炭素化に貢献可能となる。



出所) Fenes, "OTH Regensburg, "Energiespeicher in Deutschland", 2014/3 より作成

Power to X : ドイツがPower to Xに取り組む意義

- エネルギー消費部門の低炭素化
 - ドイツは、2050年までにCO2排出量を1990年比80%以上削減する目標を定めている。発電部門だけでなく、熱供給部門、運輸部門でもエネルギー供給構造を転換し、排出削減に努める必要がある。
 - 特に交通（運輸）部門の熱部門で利用されている石油・天然ガスを再生可能エネルギー由来の水素やメタンに替えることで、大幅な排出削減が見込まれる。
- 再生可能エネルギーの電力システムへの統合
 - ドイツは、2050年までに総電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合を80%以上に高める目標を定めている。
 - 現在、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、供給量が需要量を上回り、需給ギャップや系統混雑が頻繁に発生している。そのため、電力システムにおいてエネルギー貯蔵設備など、余剰電力を平準化するための柔軟な手段が必要とされている。
- ただし、経済エネルギー省によると、**短期的には、貯蔵設備の需要は限られており**、系統拡張やデマンドサイドレスポンス等の利用が、電力システムの柔軟性を高める最も経済的な方法であり、長期的に見て、再生可能エネルギーの割合がかなり高くなった時に、初めて、貯蔵設備を経済的に運営することができると報告されている。
- ドイツエネルギー機構（DENA）の公表資料でも、**Power-to-Gasを利用した電力システムが有益となるのは、再生可能エネルギーの割合が70%以上になる時だと記述されている。**

Power to X : ドイツにおけるPower to X プロジェクト

- 電力から変換されるエネルギーキャリアとしては、水素の他にメタン、液体燃料がある。
- 用途としてはガス導管への供給、自動車燃料、発電用などがある

| | 水素 | メタン | 液体炭化水素化合物 |
|---------|--------|------|-----------|
| アルカリ水電解 | 9 | 2 | 0 |
| PEM 水電解 | 8 | 6 | 0 |
| その他 | SOEC:1 | 不明:5 | SOEC:1 |
| 合計件数 | 18 | 13 | 1 |

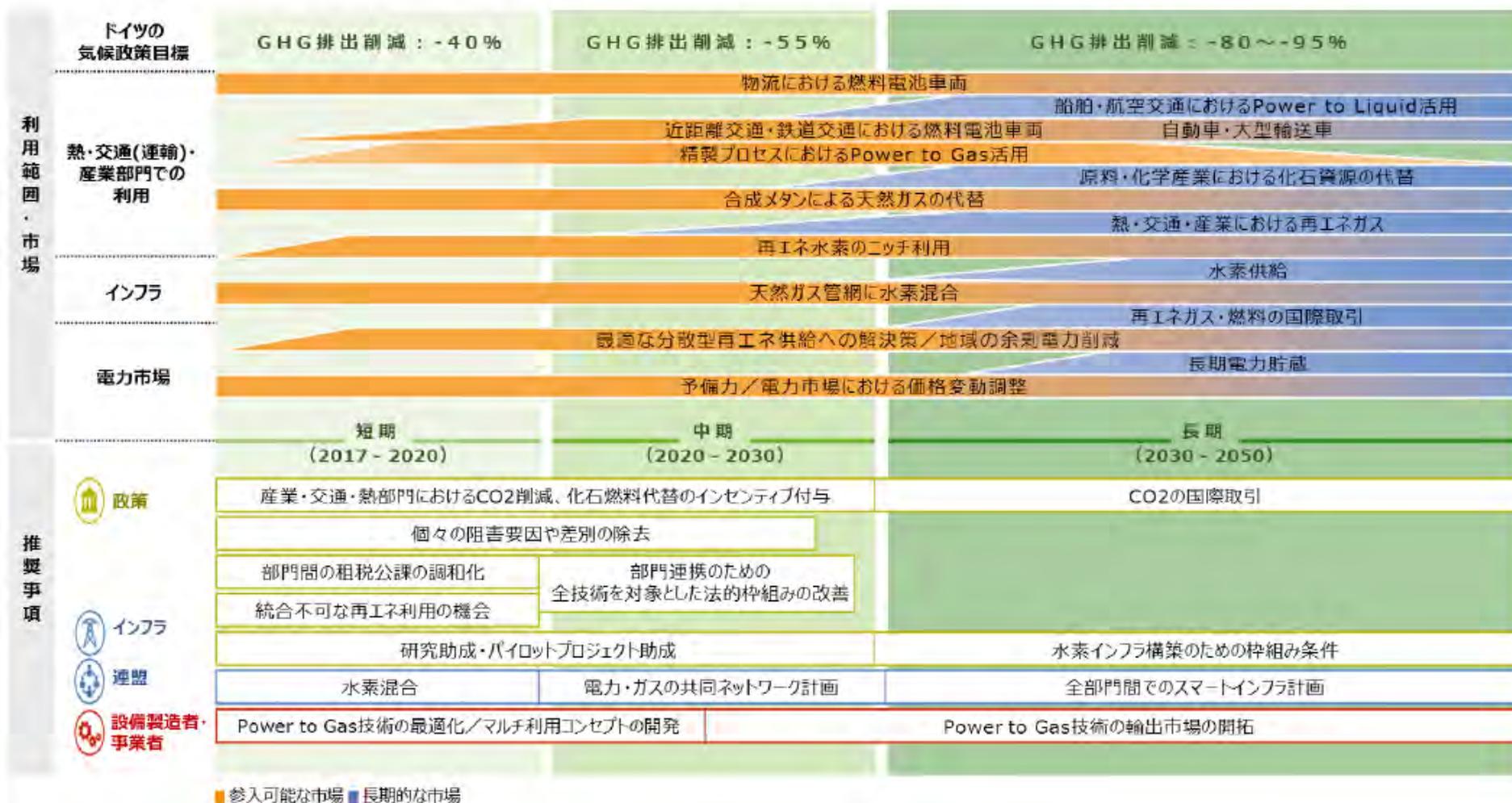
| | 水素 | メタン | 液体炭化水素 |
|--------------------|----|-----------------------------------|--------|
| 系統安定化(予備力供給等) | 5 | 1 | 0 |
| ガス管供給(暖房・温水、CHP 等) | 9 | 3 (ガス管供給は不明だが、 CHP 等で熱供給 3) | 0 |
| モビリティ用燃料 | 8 | 2 | 1 |
| 産業利用(原材料) | 2 | 0 | 1 |
| 再発電(CHP・燃料電池) | 9 | 3 | 0 |
| その他(設備の検証等) | 0 | 6 | 0 |

注) 分類の仕方により多少の前後あり。プロジェクトによっては複数の利用用途あり。

出所) dena, Strategie Plattform Power to Gas ウェブサイトより作成

Power to X : ドイツのロードマップ

- 産業部門等における化石燃料代替などは2030年以降に有望視されている。



5. レビューから得られた示唆

レビューから得られた示唆

- 産業部門脱炭素化の必要性・難易度等の認知・理解が必要
- 海外でも様々なオプションが検討されているが、今のところ救世主的な技術はない
→我が国主導での技術的な優位性確立の可能性もあるか
- 製鉄プロセスでは高炉法以外の還元技術の確立が必要、電炉比率の向上も重要
- Power to Xは産業部門対策だけでなく、再エネの電力システム統合に必要な手段
ただし、本格的な導入は再エネ電力比率の飛躍的増加が必要
- こうした技術をオプションとしてエネルギーモデルで評価していくことが必要
ただしコスト情報は不透明

ご清聴ありがとうございました
