

エネルギー需給分析から見た 脱炭素社会移行の課題

エネルギー総合工学研究所
黒沢厚志

エネルギー・資源学会 & 東京大学生産研ESI社会連携研究部門
シンポジウム 2050年のエネルギーと社会: 課題解決の方向性

本発表は、環境再生保全機構の環境研究総合推進費(2-1704)「日本における長期地球温暖化対策経路の複数モデルを用いた評価と不確実性の分析」の成果の一部を含む。

Outline

1. 低炭素から脱炭素へ
2. 世界分析事例
3. 日本分析事例
4. まとめ

低炭素から脱炭素へ

□パリ協定

- 今世紀後半に人為起源GHG排出と吸収をバランス
- CO₂だけが対象ではない

□国・地域の動き

- 2050年実質ゼロ(CO₂またはGHG)

➤日本, イギリス, カナダ, フランス, ドイツ, イタリア, EU, 韓国など

- 2060年実質ゼロ

➤中国

- アメリカはどうか？

□非国家主体 自治体, 企業

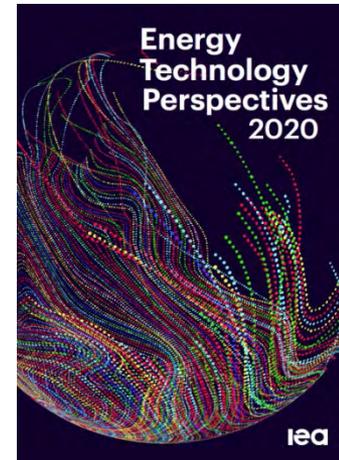
□ **エネルギー技術見通し(ETP)**は、世界エネルギー見通し(WEO)と
ならぶ国際エネルギー機関(IEA)の**フラグシップレポート**。

□ メッセージ

- **電力のみではネットゼロ排出は達成できない。**
- **最も重要な盲点は新規設備ではなく、発電や産業の既存設備。**
- **CCUS,水素, バッテリーなどがゲームチェンジ技術。**
政府はこれら技術の鍵を握っている。

□ 必要な政策

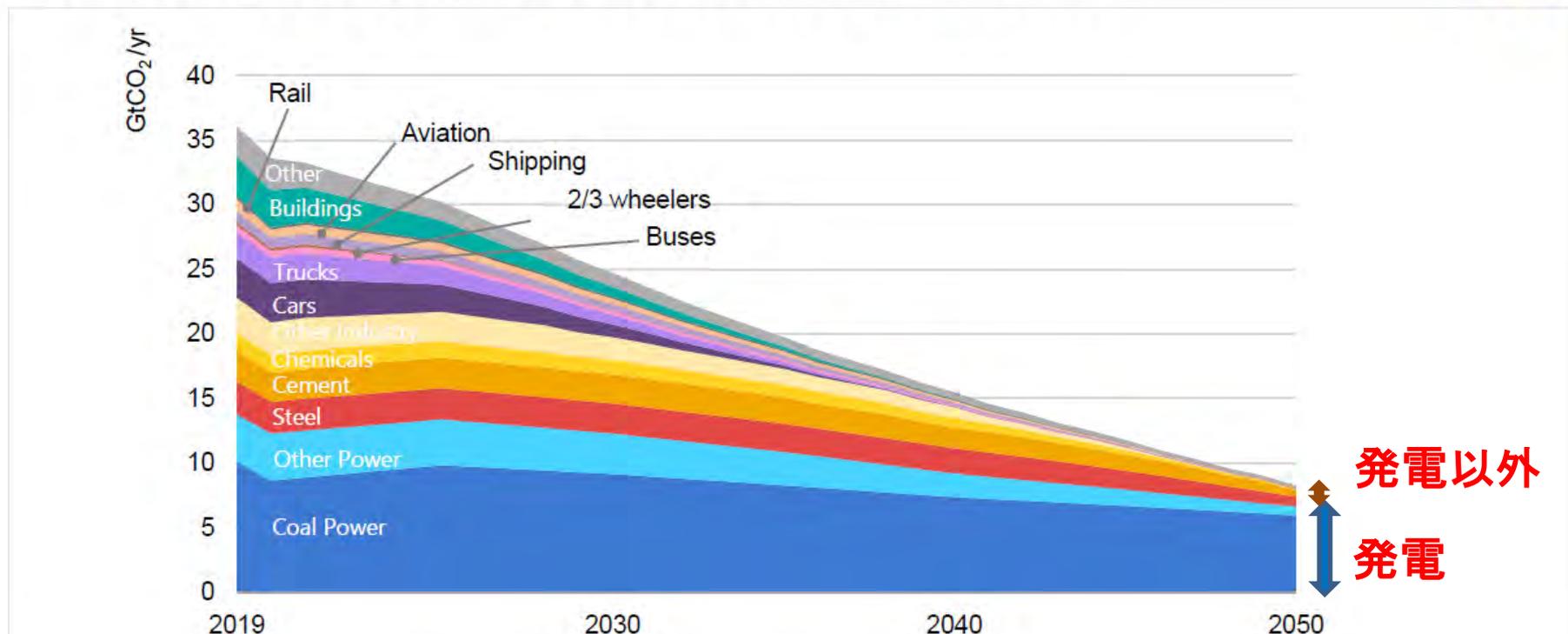
- ①既存設備の排出削減②初期技術向け市場強化
③クリーンエネのインフラ整備④RD&D加速
⑤国際協力拡大



既存インフラからのCO2排出

- 産業と発電の設備寿命は長い
- 石炭発電, 重化学産業の設備年次はまだ若いものが多い

Our existing energy infrastructure is too big to ignore



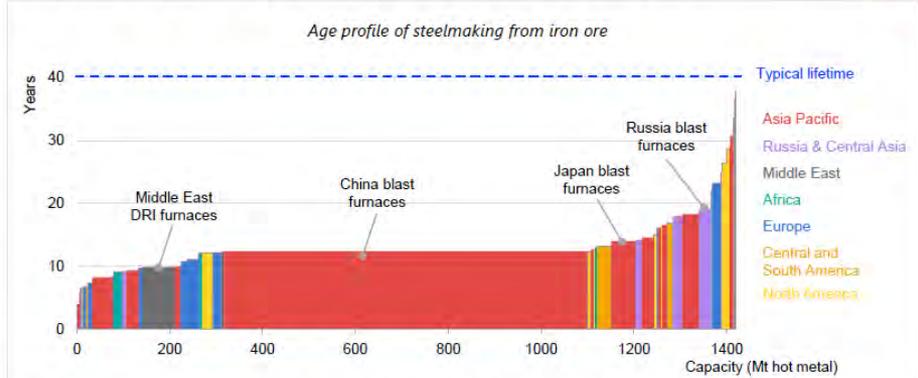
Reaching net-zero emissions requires tackling emissions from long-lived assets in power generation and heavy-industries. In emerging Asia, 80% of existing coal power capacity was built in the past 20 years.

産業既存インフラの年次(鉄, セメント, 化学)

- 世界的にみて, 鉄鋼, セメント, 化学の設備年次は想定寿命に対し若いものが多い。
- 特に中国を含む新興国アジアでは約10年以内が多い。

鉄(高炉+直接還元)

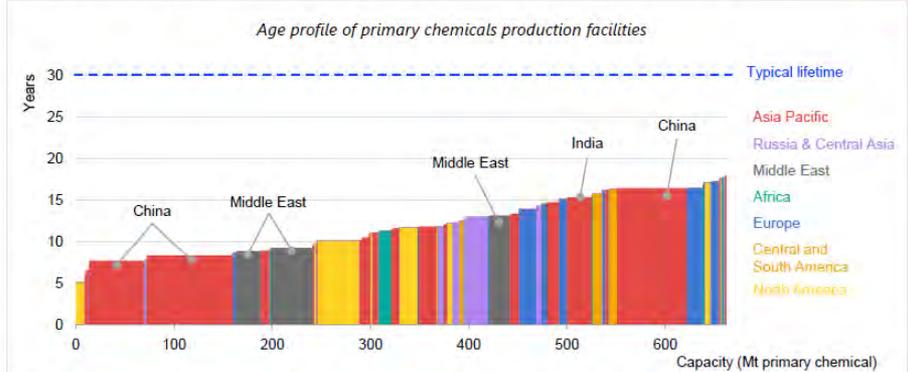
Many industry assets are still young – iron and steel production iea



China's middling-to-young production capacity accounts for upwards of 50% of the global total in key industrial sub-sectors. India and the Middle East are also key regions.

化学

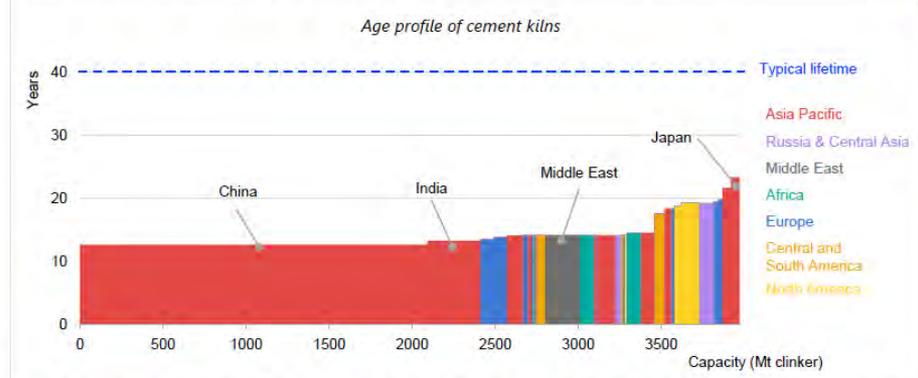
Many industry assets are still young – chemicals production iea



China's middling-to-young production capacity accounts for upwards of 50% of the global total in key industrial sub-sectors. India and the Middle East are also key regions.

セメント(クリンカー)

Many industry assets are still young – cement production iea



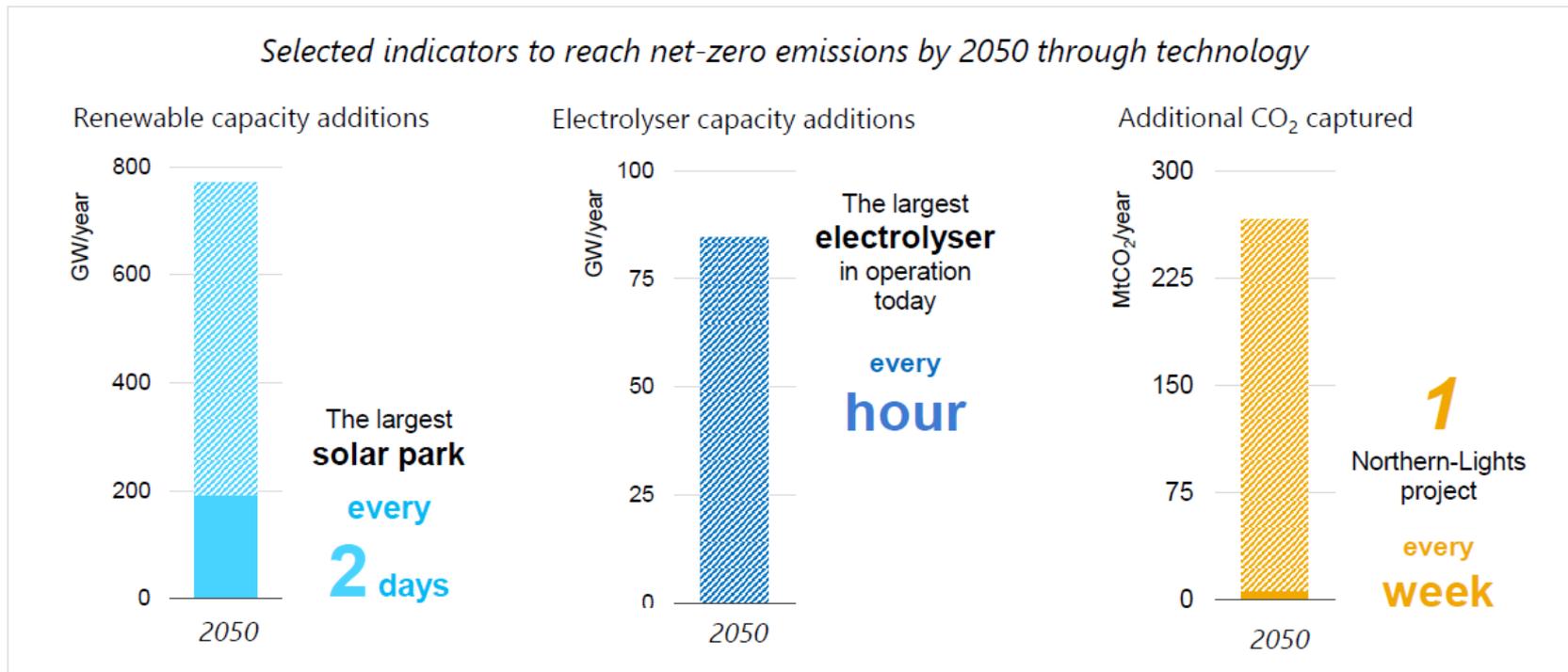
China's middling-to-young production capacity accounts for upwards of 50% of the global total in key industrial sub-sectors. India and the Middle East are also key regions.

クリーンエネルギーインフラ急拡大の必要性

□ スケールとスピードの勝負

- 再エネ発電 世界最大級のソーラープラント(2GW)を2日に1つ設置
- 電解 現在 世界最大級の電解設備(10MW, 福島)を毎時設置
- CO2回収 ノーザンライト級(完成時5MtonCO2)を毎週設置

Net zero requires a major push to build clean energy infrastructure



Reaching net-zero emissions by 2050 would require a roll out of clean energy technologies & enabling infrastructure at unprecedented scale. Significant changes to consumer behaviour can moderate – but not eliminate – the needs.

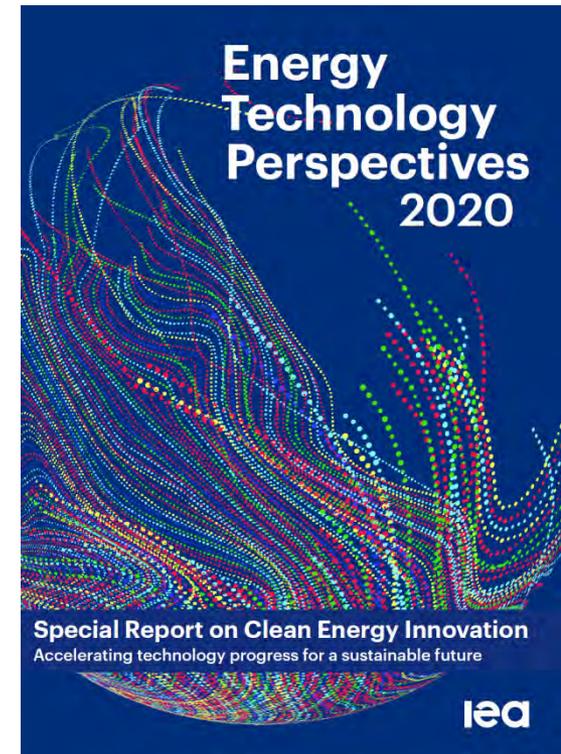
ETP 2020 Clean Energy Innovation

□ 概要

□ 構成

- 政府の役割, イノベーションの現状, 持続可能なシナリオとイノベーション, イノベーションの加速, 将来に向けて(COVID-19への言及あり)

- 技術開発と普及のタイムラグを勘案し, 初期段階の技術成熟度(TRL)のR&Dや普及を促進, 早期のゼロエミ実現を.

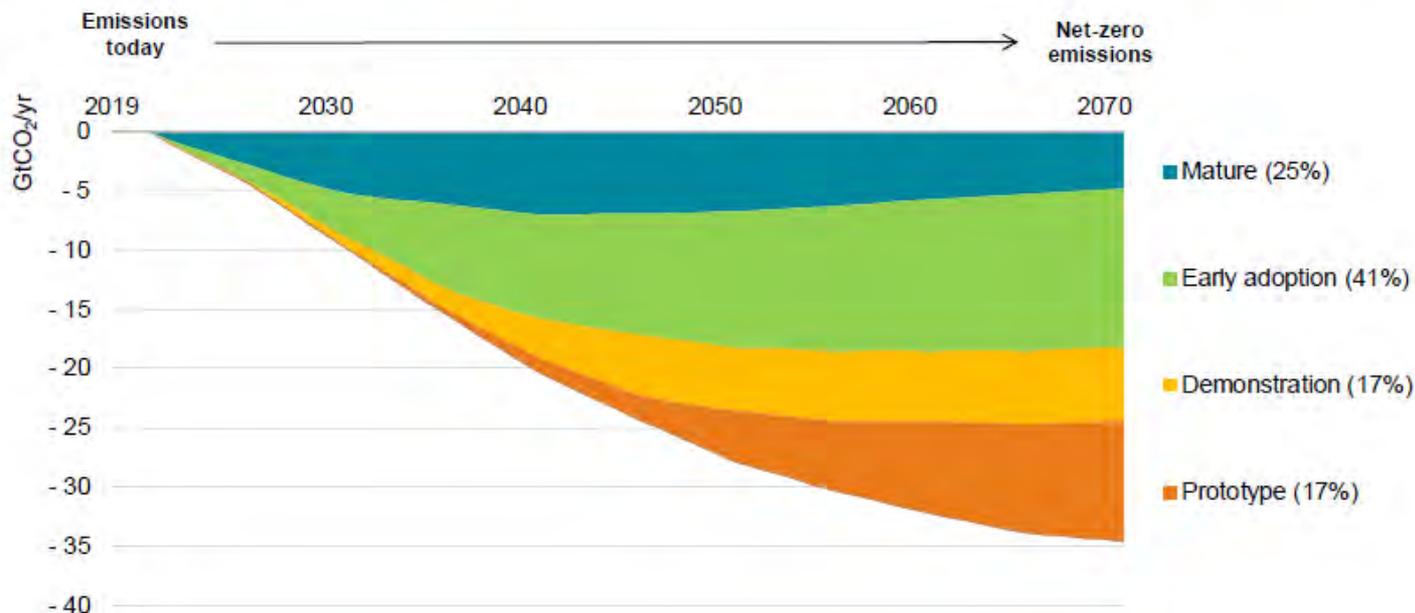


現在のTRLと将来CO2削減への貢献

□ 成熟段階以外の早期段階にある技術の普及が必要

● SDSシナリオと環境政策成り行きケースの差分

Figure 3.1 Global energy sector CO₂ emissions reductions by current technology readiness category in the Sustainable Development Scenario relative to the Stated Policies Scenario



IEA 2020. All rights reserved.

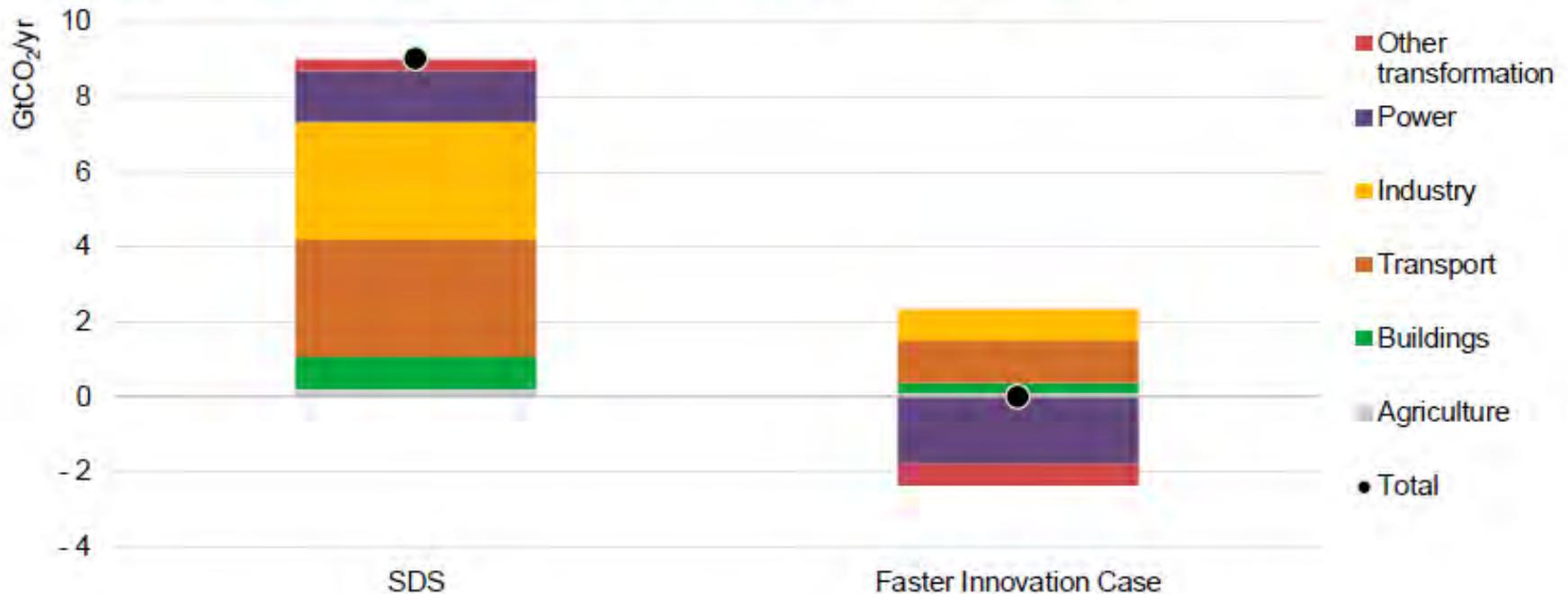
Notes: Percentages refer to cumulative emissions reductions by 2070 between the Sustainable Development Scenario and the Stated Policies Scenario enabled by technologies at a given level of maturity.

Technologies that are only at the large prototype or demonstration stage today contribute almost half of the emissions reductions in 2070 in the Sustainable Development Scenario.

イノベーション加速(Faster Innovation) による2050年ゼロエミ

- 電力, 他の転換(水素やバイオ燃料?)でネガティブ排出. 民生はほぼゼロ
- 運輸や産業でも大幅削減 >>> 産業では可能なのか???

Figure 4.1 Global energy sector CO₂ emissions in 2050 by sector

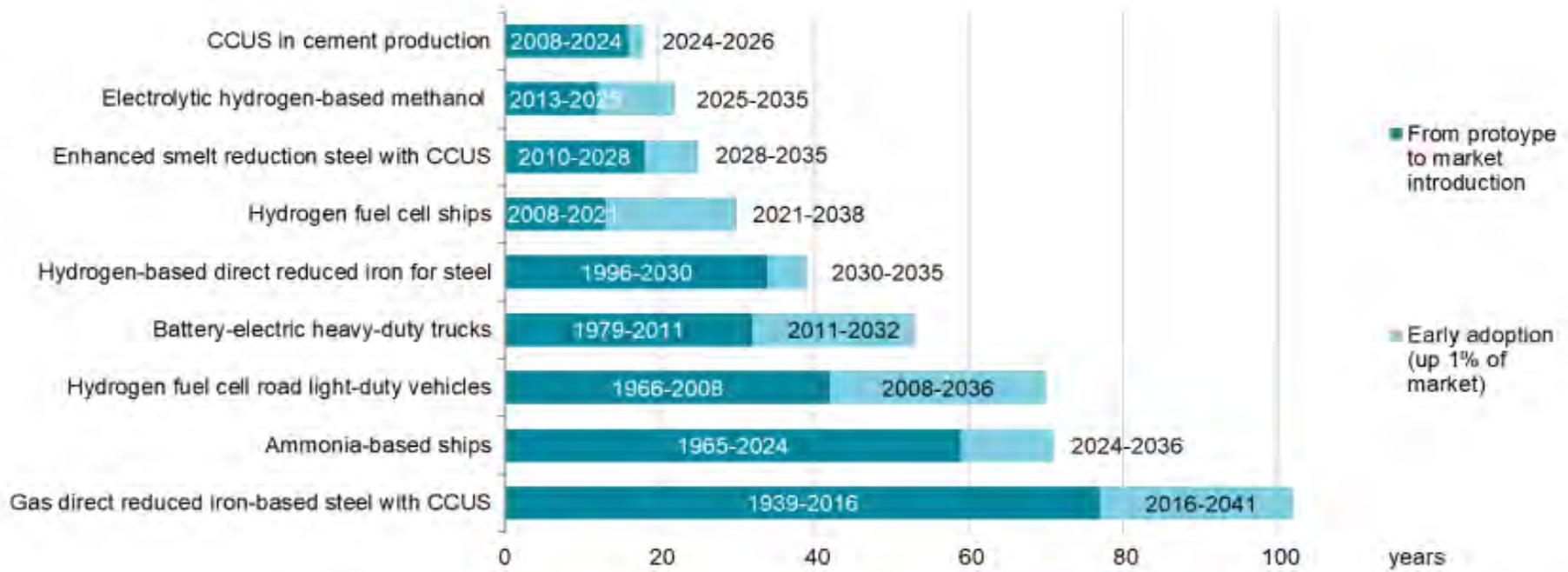


IEA 2020. All rights reserved.

技術開発とその市場導入には時間がかかる

□ 萌芽段階技術が市場で1%のシェアを得るまでに、20年から100年

Figure 3.6 Times to materiality for selected technologies in the Sustainable Development Scenario



IEA 2020. All rights reserved.

TIMESモデル 実行可能な解空間(2018年1月エネコン)

□ 再エネ, CCS, 原子力, 水素等を含めても2050年90%減は求解不能(当時)

CO2削減とシナリオ (括弧内はシナリオ名)	CCSの 有無	原子力発電の設定 停止(NONUC) 60年廃炉(LIMNUC)
制約なし-ベースライン(BASE)	あり	なりゆき(上限あり)2050年35GW
2050年-70% (70)	あり	なりゆき(上限あり)2050年35GW
(70_NOCCS)	なし	なりゆき(上限あり)2050年35GW
(70_NONUC)	あり	2020以降停止
(70_LIMNUC)	あり	2050年25GW
2050年-80% (80)	あり	なりゆき(上限あり)2050年35GW
(80_NOCCS) (実行可能解なし)	なし	なりゆき(上限あり)2050年35GW
(80_NONUC)	あり	2020以降停止
(80_LIMNUC)	あり	2050年25GW
2050年-90% (90)すべて実行可能解なし		

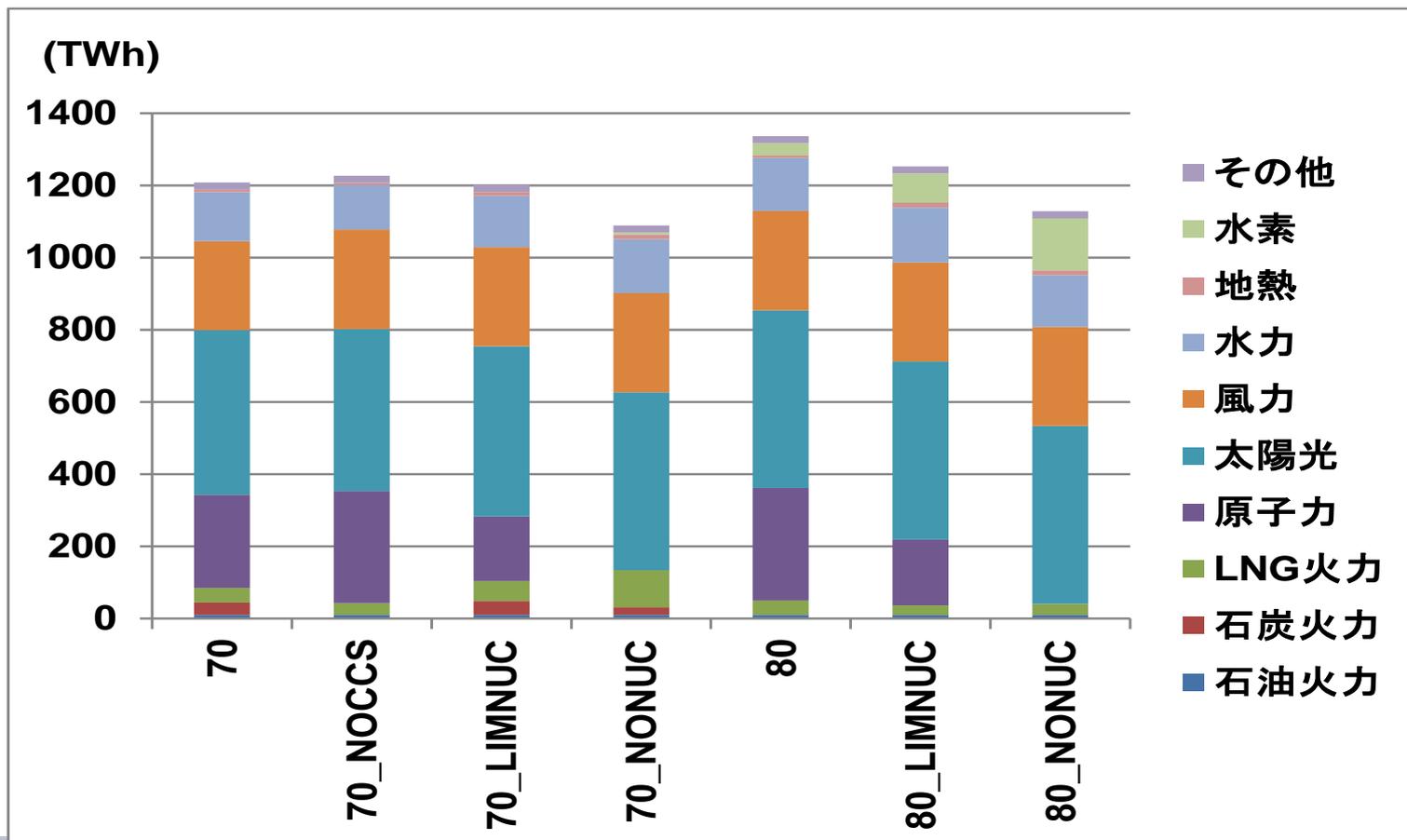
発電量

□ ゼロエミ電源シェアの増加

2050年70%減 太陽光 37~45%, 風力20~25% ゼロエミ電源87~97%

2050年80%減 太陽光 37~44%, 風力21~24% ゼロエミ電源96~97%

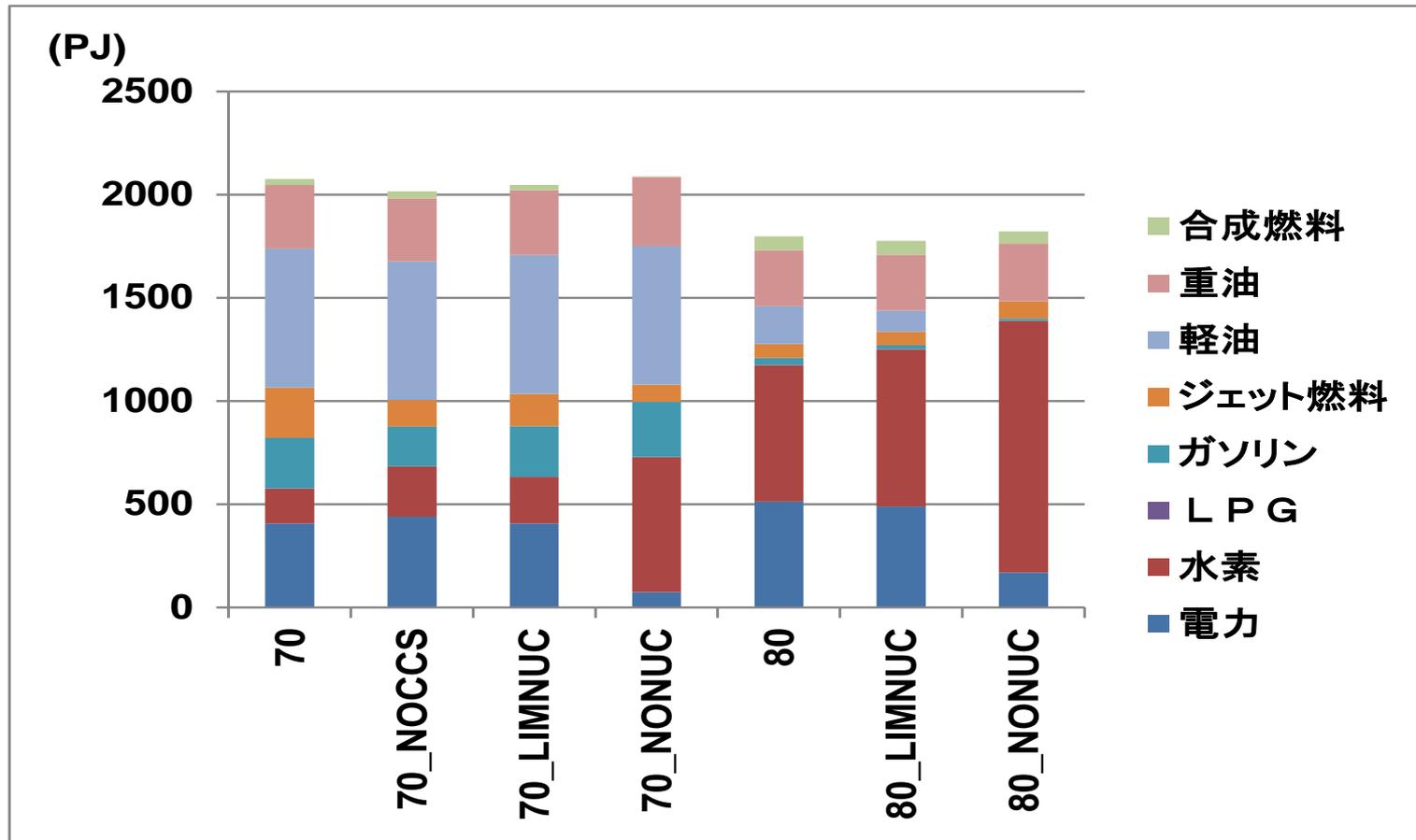
□ 大規模水素発電 2050年 80%減では3~13%導入



Copyright, 2016 IAE. All rights reserved.

運輸需要

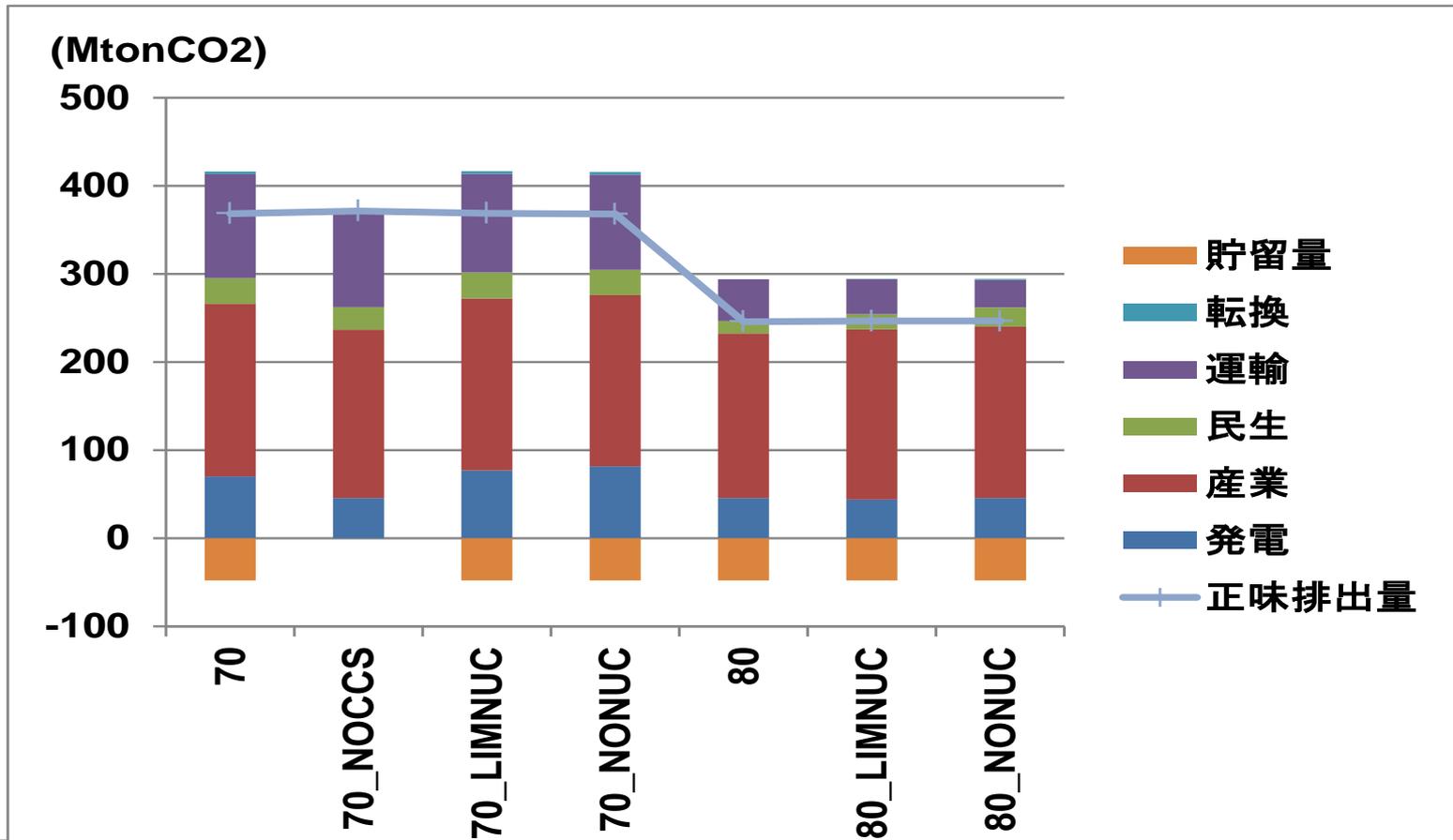
- 感度分析によるケース間の差が顕著 基本的には電気・水素シェア増
- 水素 原子力停止 発電CO2原単位が下がりにくいので、水素導入が進む。
2050年80%減+原子力なし 船舶燃料以外はほぼ水素に。
- 重油 船舶代替燃料の選択肢が少ないと仮定 一定シェアを保つが、要再検討



Copyright; 2018 IAE. All rights reserved.

CO2排出

- 2050年 産業CO2のシェアが高い 80%減では76~79%
- CO2貯留のポテンシャルは適切か(2050年で約5000万トン/yr)
- 産業CCSもセメントで導入



Copyright; 2018 IAE. All rights reserved.

産業部門CO2排出をどうやって下げるか？

□ 2050年の日本の低炭素エネルギーシステムの検討

- 産業部門(特に素材産業)のCO2対策が他の需要部門と比較して相対的に難易度が高い

- CO2利用技術

- ✓ セメント, 骨材

- ✓ 化成品

- 産業CO2の抜本的対策

セメント&コンクリート

□コンクリート材料 セメントと骨材

□CO₂量で見た場合の世界市場規模が大きい

●セメント 2016年で40億トン(製品)

CO₂換算で1000万ton~10億ton

●骨材 2016年 CO₂換算で数十億トンオーダー

□CO₂から炭酸塩とするためのエネルギーは少ない

□炭酸塩とするためのカルシウム, マグネシウムの供給

●海水

●産業廃棄物(採掘残滓)

➤廃棄物処理としてのオプション



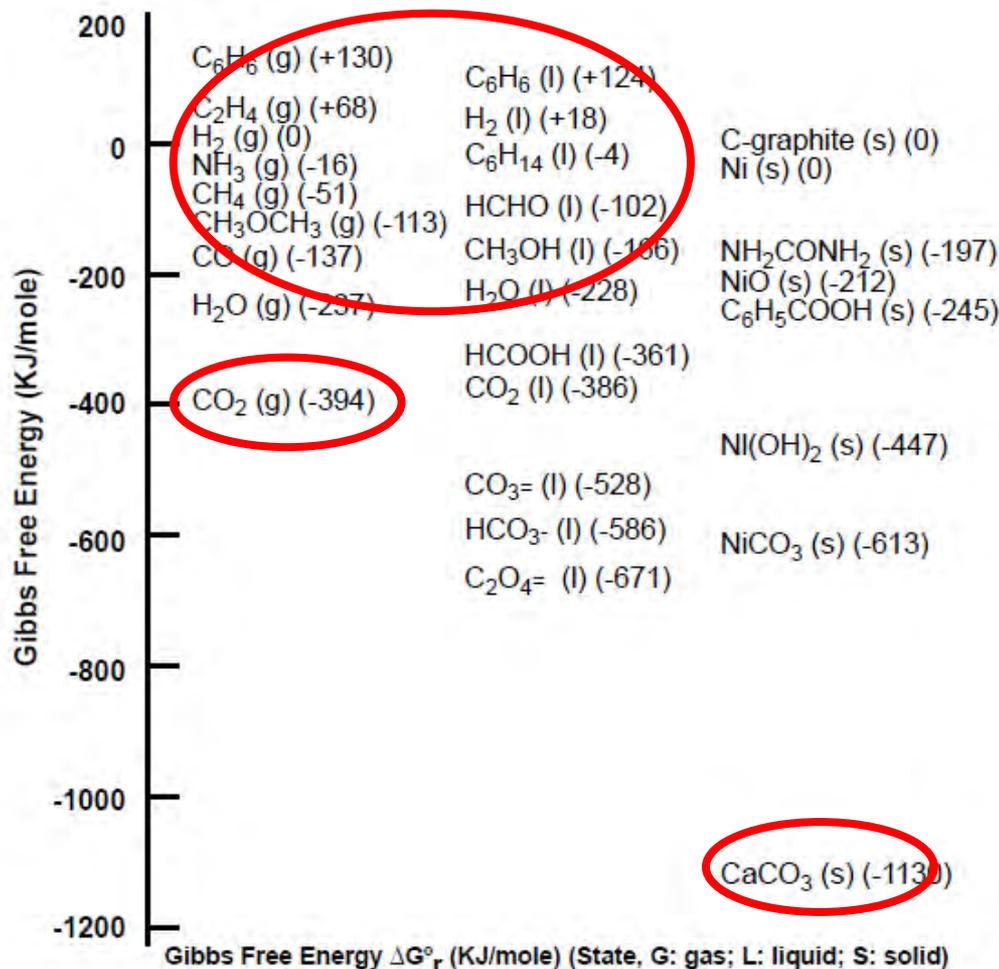
GreenOre project: Baotou, China

(source) ICEF CO₂利用ロードマップ資料にエネルギー総合工学研究所が加筆

CO2から化成品を作るにはエネルギーが必要

□ エネルギーを熱，電気などで与える

- 触媒，選択性の向上など課題は多い
- 選択性：多くの反応プロセスのエネルギーレベルが近接
 - 目的生産物以外に副生品が多くできる
- 過電圧と電極活性
 - 電気化学的方法の課題
- 一方，炭酸塩はエネルギーレベルがCO2より低い
 - 骨材などの方が所要反応エネルギーは小
- 光反応の生産性，速度はまだ低い



(source) ICEF CO2利用ロードマップ資料にエネルギー総合工学研究所が加筆

(Kondratenko et al.(2013))

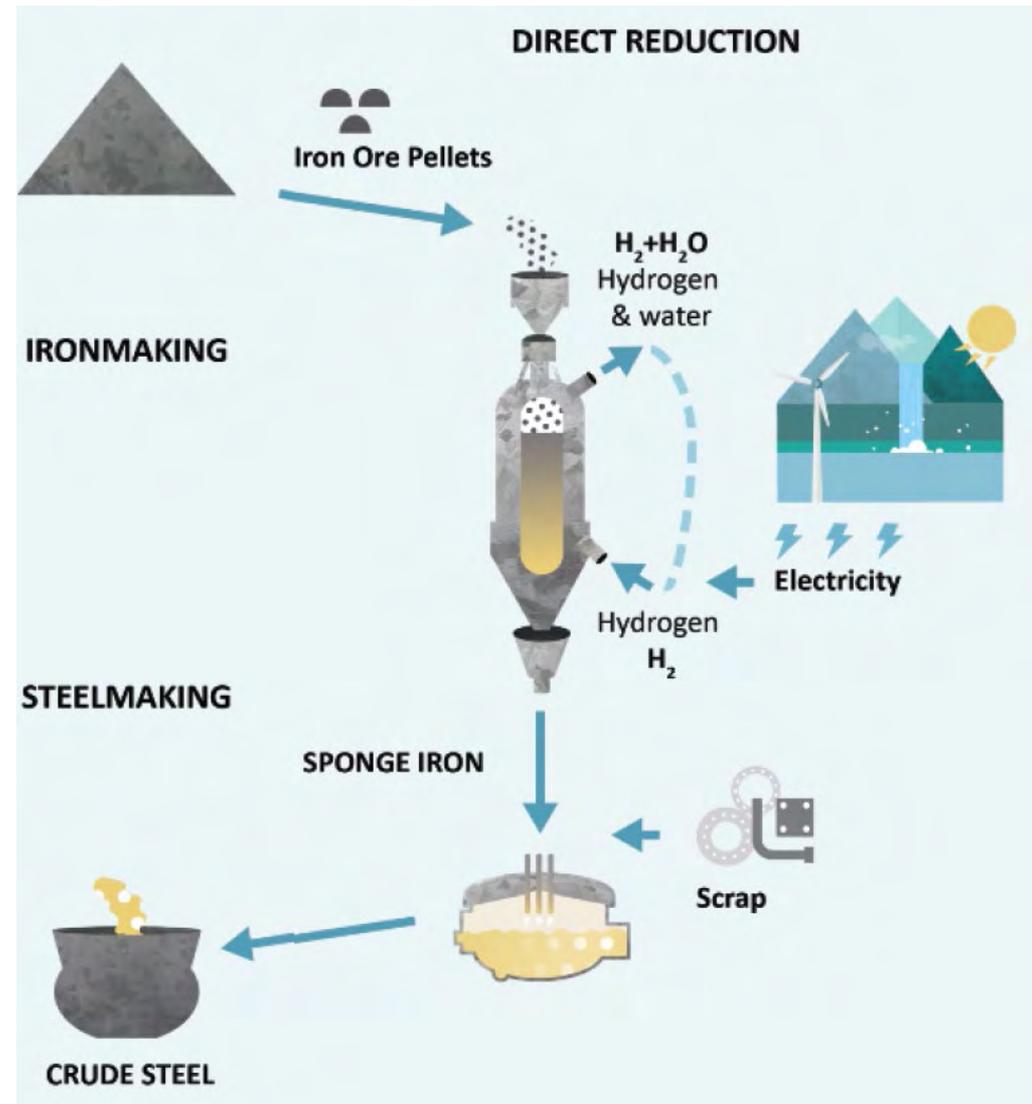
鉄 水素還元

□ 日本のCOURSE50

- 部分的に水素を混合した還元プロセスとCO₂の分離・回収
2030年頃に技術確立, 2050年までの普及を目指す

□ スウェーデン HYBRIT

- 還元鉄はスポンジ状のため, さらに電炉プロセスを経た生産プロセスが必要.



SAAB社 HYBRIT紹介Webページ

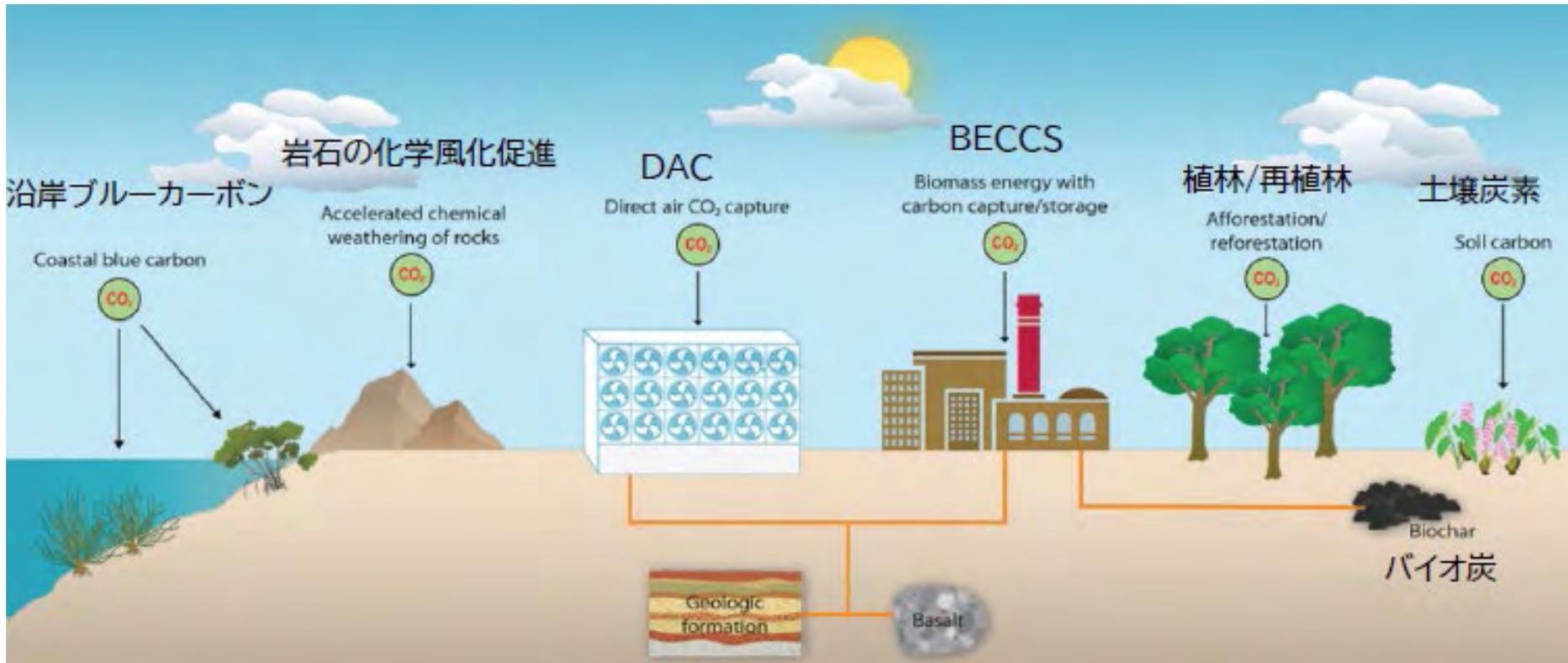
<https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrit>

産業部門のCO2削減チャレンジ

- 素材産業と還元剤としての炭素源
 - 代替プロセスは提案されているが、そのエネルギー使用量やコストは？
- 高温プロセスの熱源
 - ゼロエミッション熱源
 - プロセス自体の変更 反応メカニズム
- 製品に組み込まれたときの評価
 - CO2削減価値は製品に帰属するが、素材の価値は？
- 素材産業製品は、他の産業製品や、民生・運輸製品の原料となる
 - 素材生産時プロセス排出がゼロエミッションに近づかないと、エネルギーキャリアのゼロエミッションが実現しても、全体GHG排出はゼロにならない
- 何らかの形でのオフセット技術が必要か
 - CO2利用による炭素資源の再利用
 - ネガティブエミッション技術

削減できない排出のオフセット

□ NASEM(2019)で考慮されたネガティブエミッション技術



NASEM(2019)に加筆

エネルギー需要は下げられるか

□ サービスを低下させずにエネ需要を下げたい

□ 不確実性 社会的選択

- デジタル化によるサービス需要の質的变化

 - リバウンドか需要減か

- 産業 素材需要

 - 日本から生産シフトしても総量は変わらない？

- 運輸 行動の変容

 - 移動需要はITで代替できる？

 - 移動需要の想定 物流は増加するが、旅客移動は減少？

- 民生, 運輸 社会システム

 - 都市集中か分散か

まとめ

- 2050年脱炭素のチャレンジ
 - ライフスタイルと技術普及
- 明確な政策目標(Goal)
 - 各国が長期目標を宣言し、方向性は明確になりつつある
 - 削減スケールの認識が必要
- すべての資源を投入して取り組み、削減を加速する必要がある
 - 既存技術の普及
 - 新技術の研究開発と普及
 - 制度(規制的手段とインセンティブの両方を含む)
- 削減の困難なセクター(Hard to Abate)からの削減
 - 素材産業
 - 長距離運輸
 - 既築建築物