

# サステナブルファイナンスによる エネルギートランジション

黒沢厚志  
エネルギー総合工学研究所

日本ファイナンス学会 特別公開セッション  
「日本ファイナンス学会、環境経済・政策学会、エネルギー・資源学会  
合同シンポジウム」

2023年11月11日

# エネルギー・資源学会



<https://www.jser.gr.jp/>

## □ 概要

- 1980年 エネルギー・資源研究会設立
- 1990年 エネルギー・資源学会に改称

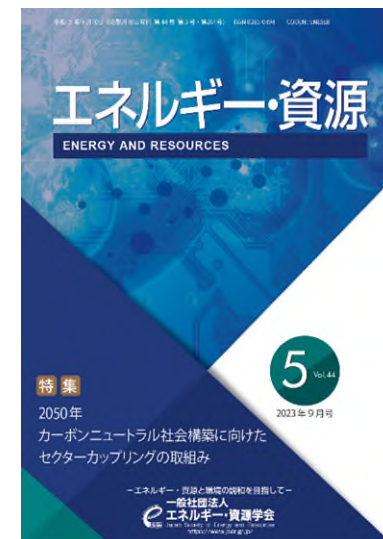
□ ミッション 産・学・官における電気, 機械, 化学, 建築, 原子力, バイオ, 経済等の広範な分野の研究者, 技術者の知見を集積し, 学術団体として, 様々に変化するエネルギー, 資源, 環境の諸課題に学術的, 業際的な取り組みを実施, 多様な分野の専門家の連携と総合力の発揮による社会的責任を果たす

## □ 近年のエネルギーを巡る状況

- 地球温暖化対策, エネルギー価格変動, 資源獲得競争などの課題が顕在化
- 東日本大震災と原子力発電所事故
- 再生可能エネルギー利用の世界的拡大
- カーボンニュートラル

## □ 主な活動

- 研究発表会, エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
- 研究プロジェクト, 研究委員会
- イベント, ワークショップ等の各種会合
- 会誌「エネルギー・資源」(年6回刊行)



# エネルギー総合工学研究所

- 1978年設立 一般財団法人
- エネルギーの技術評価を中心に活動
- Webページ <http://www.iae.or.jp>

再生可能  
エネルギー  
&  
電力システム

原子力

水素  
エネルギー

地球環境

炭素循環

# アウトライン

□ 気候リスクとエネルギーインフラ

□ カーボンニュートラルとエネルギートランジション投資

□ ファイナンスの役割

# アウトライン

□ 気候リスクとエネルギーインフラ

□ カーボンニュートラルとエネルギーtransition投資

□ ファイナンスの役割

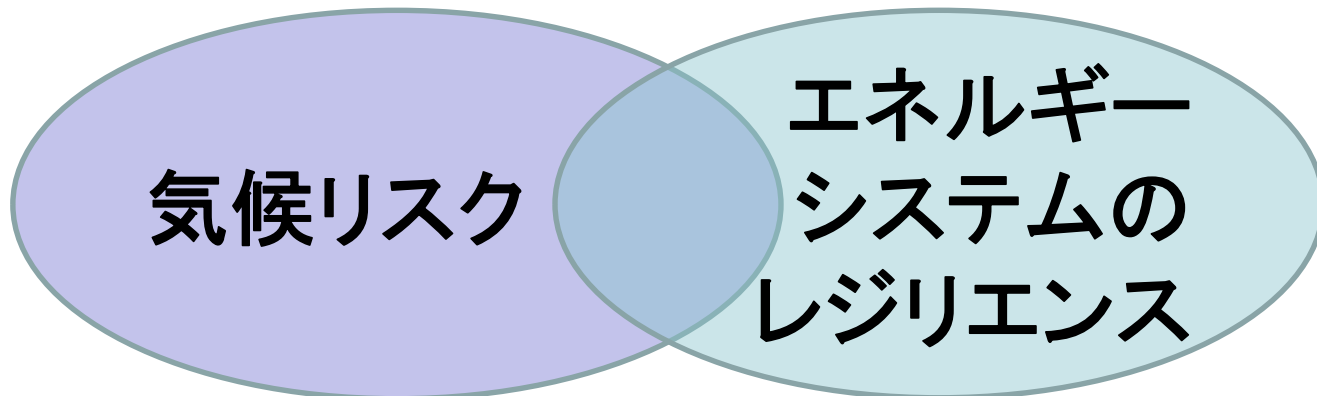
# 気候変動リスクとエネルギーシステムレジリエンス

## □ 気候変動リスク

- 物理リスク 極端気象事象や長期気候変動
- 移行リスク 低炭素経済への移行

## □ エネルギーシステムレジリエンス

- サイバーセキュリティ, 気候リスクを含め, エネルギーインフラリスクに対し, 柔軟かつ強靱に対応



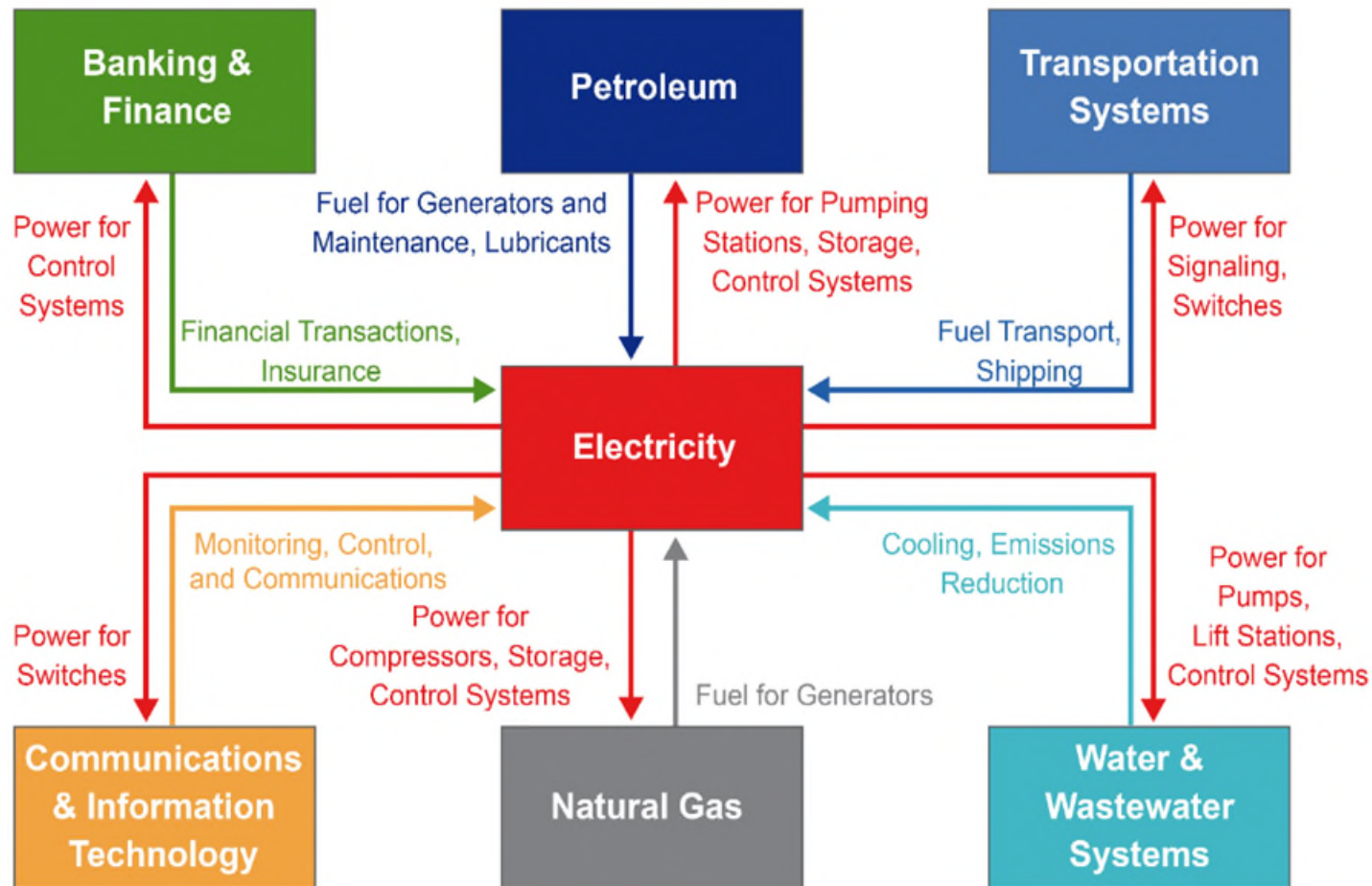
# 電力セキュリティ

## □ 2020年10月 電力セキュリティ報告書 Power Systems in Transition - Challenges and Opportunities ahead for Electricity Security

- 三大セキュリティ要因 気候, システム柔軟性, サイバー
- 気温上昇, 海面上昇と極端降水などの異常気象は, 電力セキュリティにとって重大課題
- 気候変動への電力システムレジリエンス強化は, 費用よりも大きな便益.
- 政策措置が必要として, エネルギー・気候政策における気候レジリエンスのメインストリーム化により, ビジネスの気候レジリエンス包含促進

# 重要インフラの相互依存性と電力システム

- 電力インフラ
- 他のエネルギーインフラ 石油, ガス
- エネルギー以外のインフラ 銀行&ファイナンス, 情報通信, 水, 運輸



Source:  
DOE(2017)



# NOAA 気候・エネルギー情報ポータル

- 気候・エネルギーに関するポータルサイト(エネルギーデータギャラリー)。NOAA, NASA, DOEが共同で気候・エネルギー関連データ提供
- 現在・過去・将来の気象 & 気候情報, エネインフラのレジリエンス情報提供

## Energy System Vulnerability Tools

### エネ施設マッピング リアルタイム暴風雨情報 洪水脆弱性



#### U.S. Energy Mapping System

Check the location of energy infrastructure, including resources, power plants, transportation networks, and administrative boundaries.

[Visit data source >](#)



#### Energy Infrastructure with Real-Time Storm Information

Track significant storms that could potentially impact energy infrastructure. View historical events or real-time storm tracking.

[Visit data source >](#)



#### Energy Infrastructure with Flood Vulnerability

Check where key energy infrastructure assets intersect with FEMA flood hazard zones to judge which assets may be vulnerable to rising sea levels, storm surges, or riverine flooding.

[Visit data source >](#)

Last modified: Tuesday, September 24, 2019 - 11:18

# 物理リスク低減のための投資機会

## □ 適応策としての投資

- 適応策の実施自体が追加的GHGを排出？ >> Nature Based

## □ 気象・気候情報の利用

- 時間空間的な気象・気候詳細情報と、インフラ情報の組み合わせは、気候リスク評価の新しいビジネス機会の基礎情報となりうる

## □ エネルギーインフラのレジリエンス向上

- エネルギーシステムの内部要因，および気候リスクを含む外部要因を含めた定量かつ総合的なリスク評価
- レジリエンス強化の観点からは，多様な要因を組み合わせた事前シミュレーション(ストレステスト)を通じた，システム復旧の具体的計画策定により，インフラ被害軽減を期待
- 短中長期にわたる適応策検討や，気候リスク情報開示といった幅広いニーズにも応えることができる

# アウトライン

□ 気候リスクとエネルギーインフラ

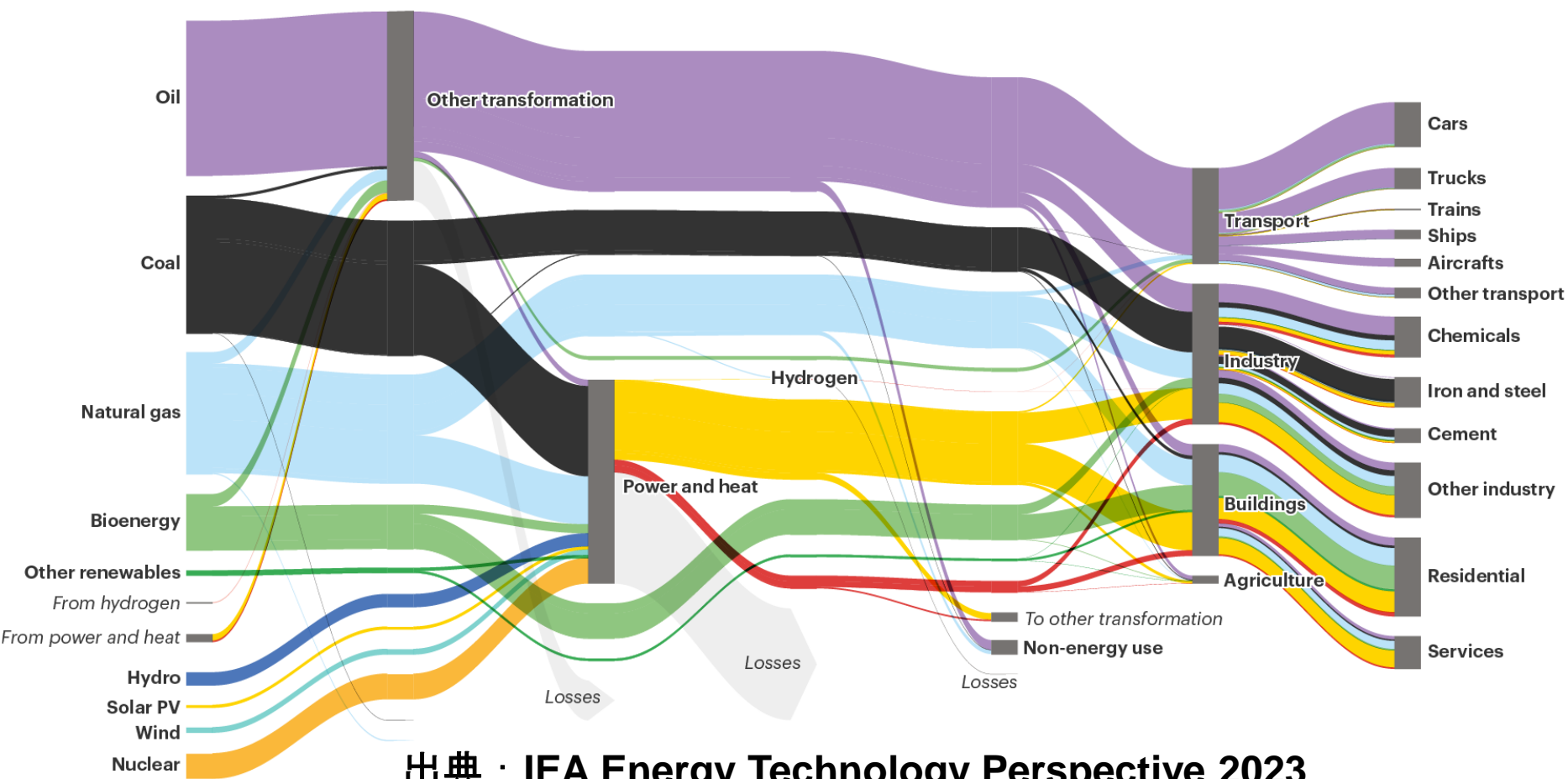
□ **カーボンニュートラルとエネルギーtransition投資**

□ ファイナンスの役割

# 世界のエネルギーフロー (2021)

□ エネ供給 化石燃料が大部分

□ 運輸のほとんどは石油

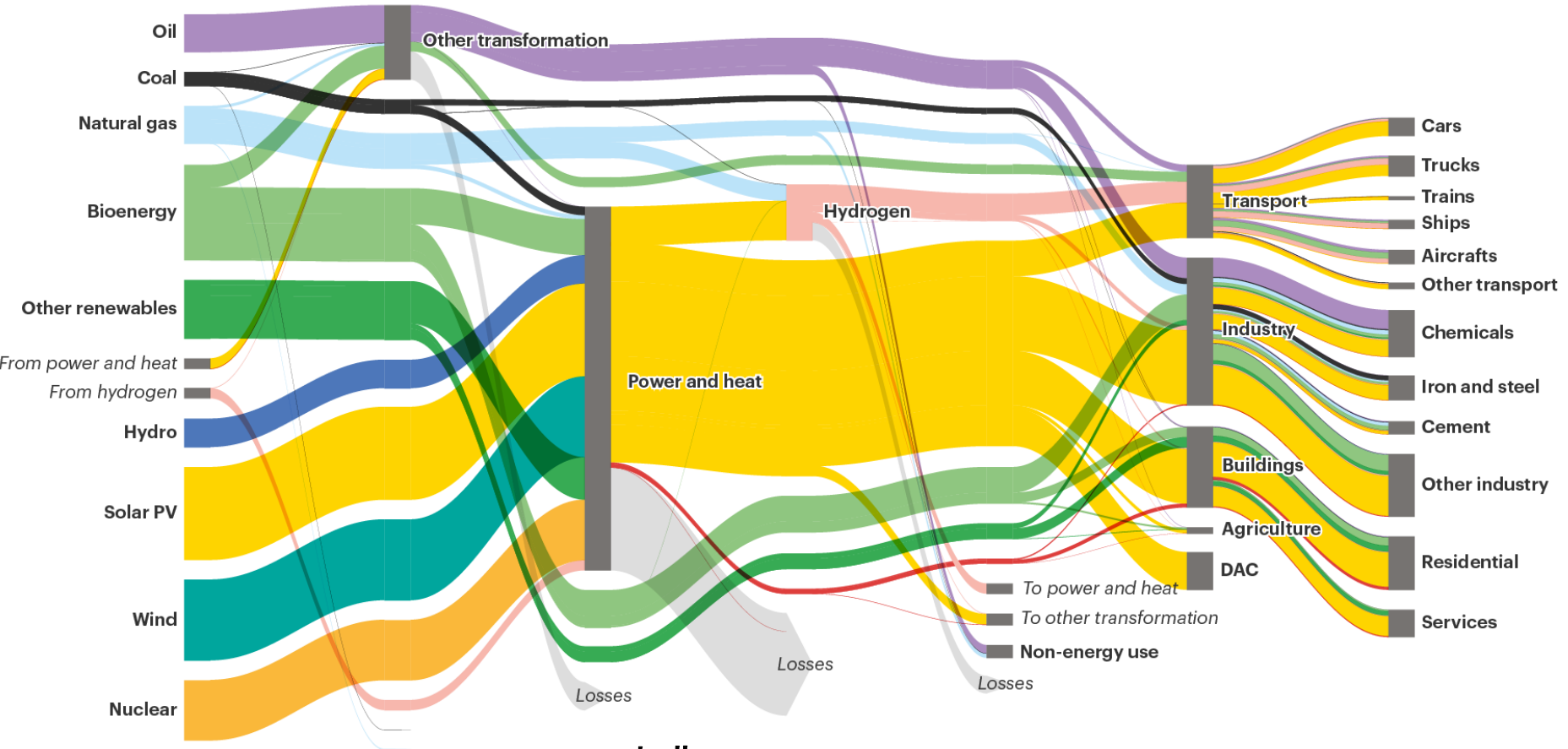


出典 : IEA Energy Technology Perspective 2023

# 世界のエネルギーフロー (2050, ネットゼロシナリオ)

## 2050 ネットゼロ排出の一事例

- エネ供給 化石燃料のシェア激減, 再エネ大幅増
- 電化が進む. 水素も目に見える形で導入.



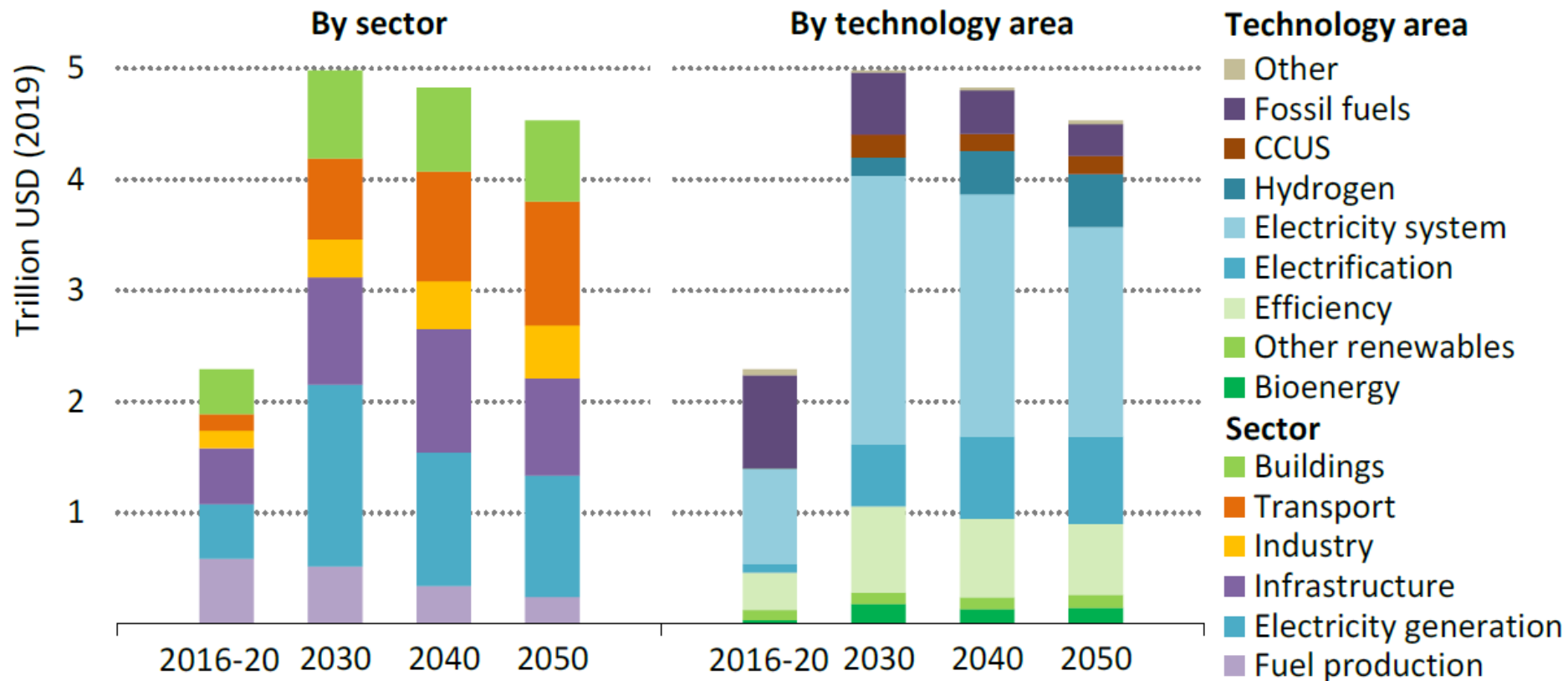
出典 : IEA Energy Technology Perspective 2023

# ネットゼロに必要な投資(世界)

□ 対GDPの投資比率が2030年に4.5%に増加(世界)

□ 電力関連投資 システム&電化の割合が高い

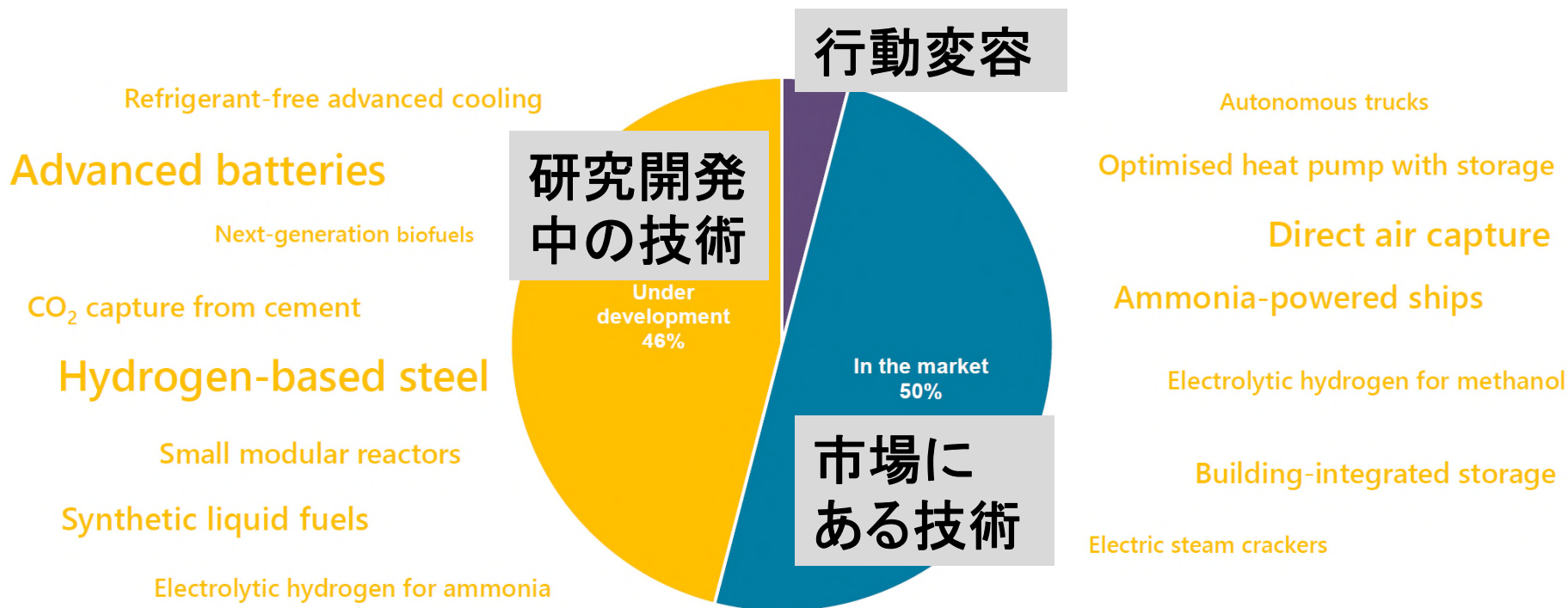
出典：IEA NetZero Roadmap 2021





# CO2ネットゼロの技術成熟度別寄与度(IEAの分析)

- 2030年 市場にある技術が8割(LEDなどの既存省エネ技術等).
- 2050年 市場にある技術が半分. 研究開発中の技術群の寄与度が半分
  - 空气中CO2回収(Direct Air Capture), 新型電池, 水素還元製鉄, ...
  - 行動変容の役割



出典：IEA(2021)

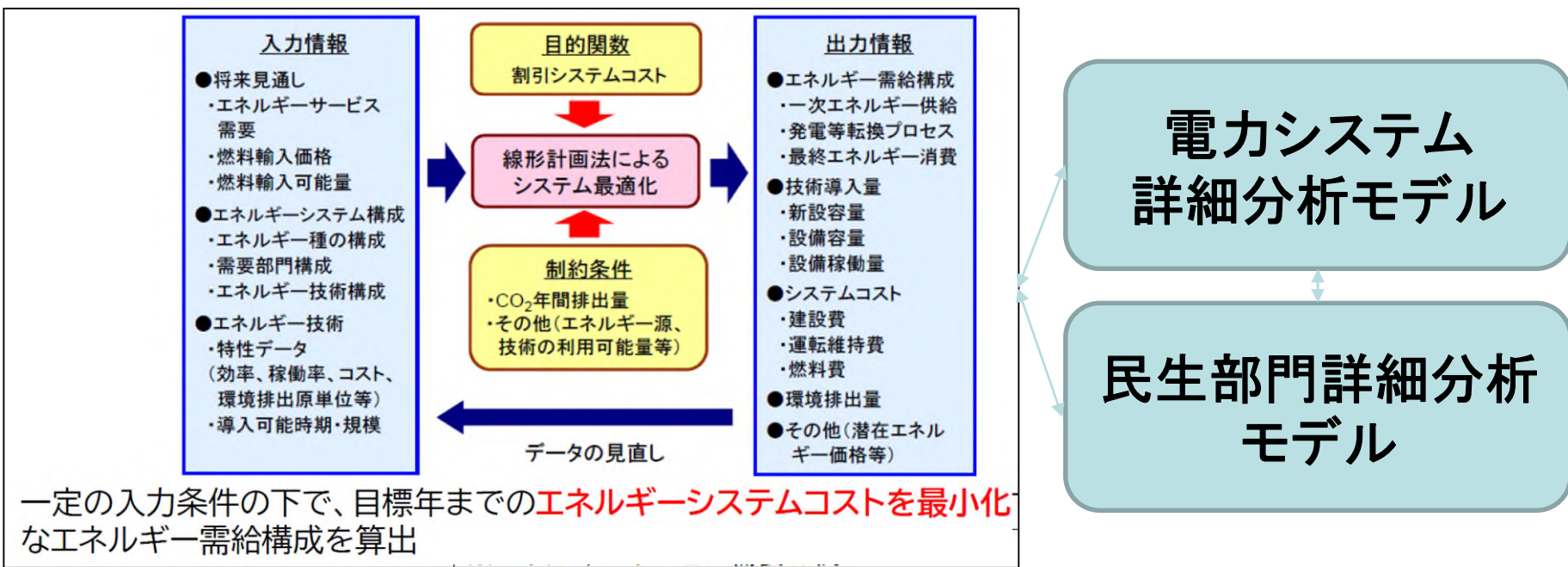
# カーボンニュートラル分析の意義

- 長期的に正味ゼロエミッションを目指す政策目標を踏まえて、システム分析により、その実現可能性、必要な技術や導入のための制度・政策を検討するためにエネルギーシステム分析モデルを用いることが増えてきている。
  
- 実現可能性にはいろいろなレベルがあることに注意。
  - 技術的実現可能性
    - 技術導入や開発が成功した場合の実現可能性
  - 経済的実現可能性
    - 上記に、経済的要因を加味した場合の実現可能性
  - 社会的実現可能性
    - さらに、社会普及の現実性を考慮した場合の実現可能性
  - 今回で紹介するモデル分析の主眼は、技術的および経済的な実現可能性の確認にあり、社会的実現可能性については、前提条件や結果の解釈を通じ、別途定性・定量的に検討する必要がある。



# 日本のカーボンニュートラル 分析枠組

- パリ協定 世界的かつエネルギー部門全体での脱炭素化が長期的に必須
- 2050年ゼロエミを前提の日本のエネルギー需給像を検討するために、システム最適化モデルTIMES-JAPANと、電源計画+広域需給調整プログラムMR (Multi-area Regulation Program), および民生部門詳細モデルとのソフトリンク分析を実施.



黒沢, 加藤, 井上, 荻本, 岩船

ソフトリンクによる2050年のエネルギー需給分析- (1)エネルギーシステムモデル - (2021)

# 2050カーボンニュートラル ケーススタディ

- 最終エネルギー需要
  - SSP2準拠(Shared Socioeconomic Pathways (SSP)の中でも中庸)
- 発電
  - 風力最大 / 100GW or 140 GW in 2050
  - PV最大 / 287GW in 2050
  - 原子力 / 60年運転を仮定
- ネガティブエミッション / バイオエネCCS(BECCS) と 空気直接回収CCS(DACCS)
- CO2回収貯留(CCS)最大 200Mt in 2050, 吸収源(外生) 40Mt in 2050
- 非電力のカーボンニュートラルエネルギーキャリア
  - バイオエネルギー, 水素, 合成燃料
    - 合成燃料 – アンモニア, カーボンニュートラル LNG (CNLNG)の両者が液体水素と同等のコストで輸入可能
- 化石燃料輸入価格 - IEA WEO SDSシナリオ
- ケースまとめ

前提条件および試算結果には不確実性がある！

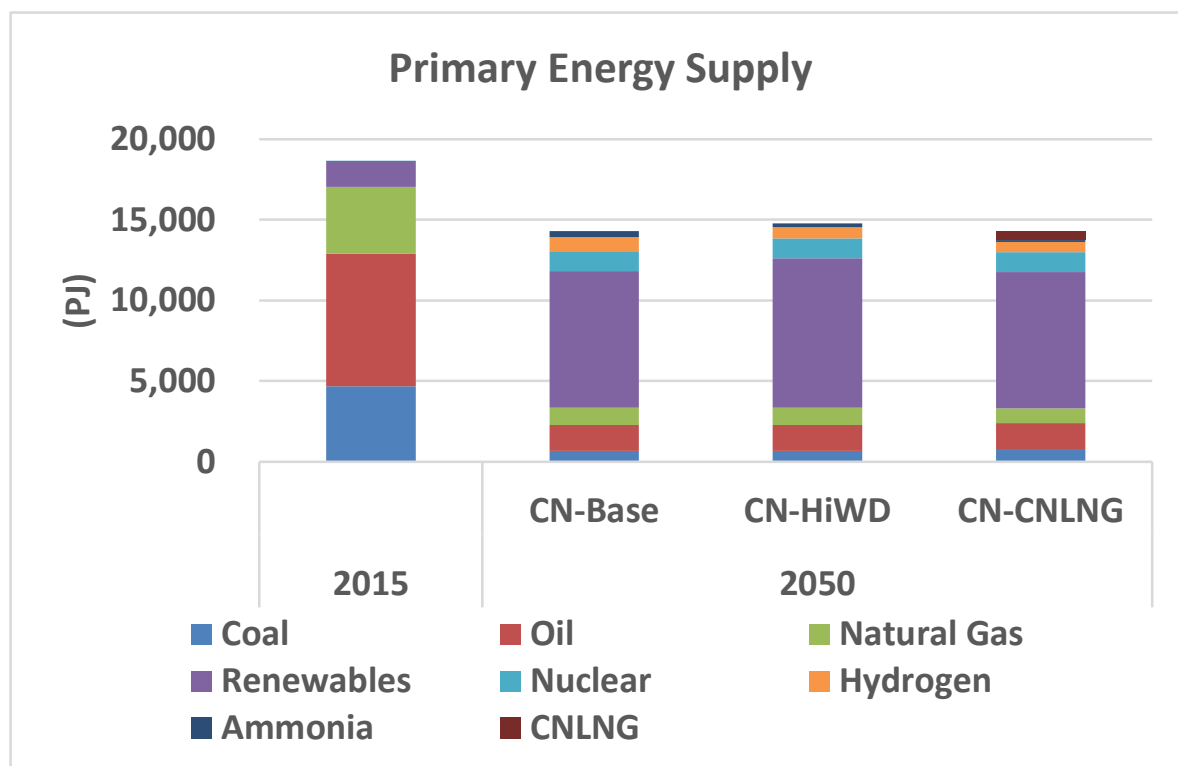
	CN- Base	CN-HiWD	CN-CNLNG
最大風力ポテンシャル	100 GW	140 GW	100 GW
カーボンニュートラルLNG	No	No	Yes

(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである.

# 一次エネルギー供給

## □ 2050

- 再エネシェアは約6割
- カーボンニュートラル燃料輸入がみられる(水素, アンモニア, CNLNG)
  - 6%(HiWD)
  - 9%(他のケース)
- CNLNGケース
  - LNG輸入に占めるCNLNGシェアが約4割, 天然ガスのCO2原単位が4割低下.

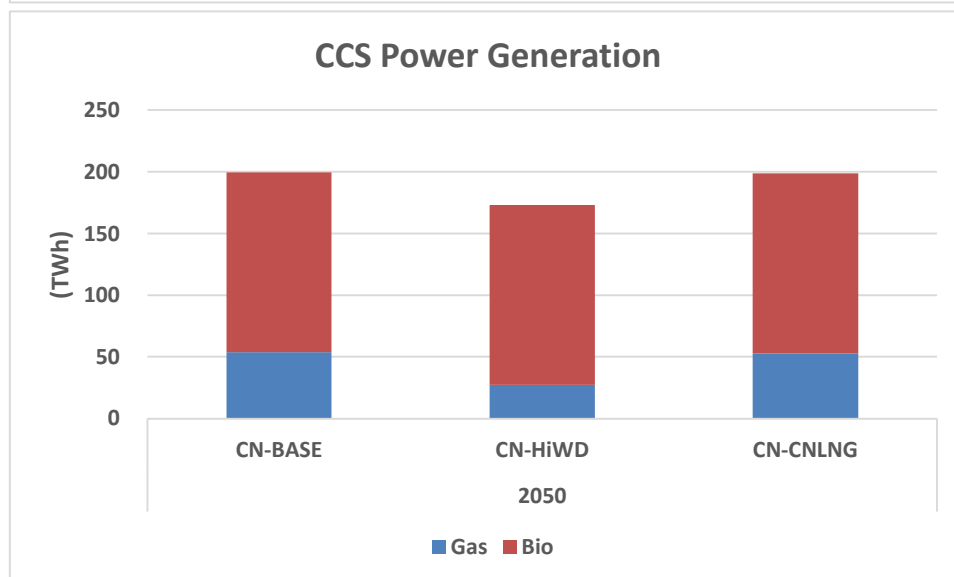
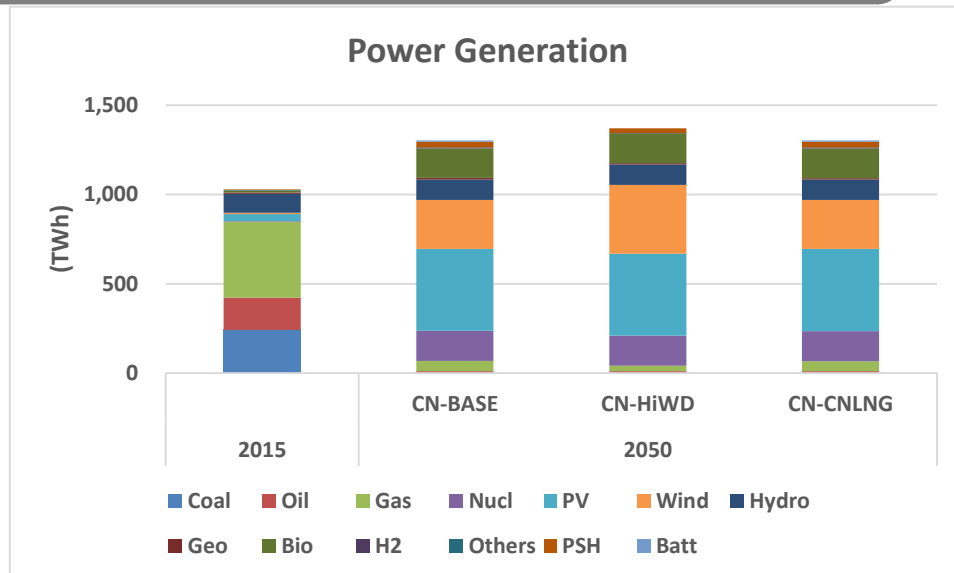


(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである.

# 発電電力量

## □ 2050

- 再生可能エネ
  - 79% ~ 83%
- 化石燃料
  - 主にガス
  - 3% ~ 5%
- 原子力
  - 12% ~ 13%
- CCS
  - ガスとバイオマス発電の約9割がCCSつき。



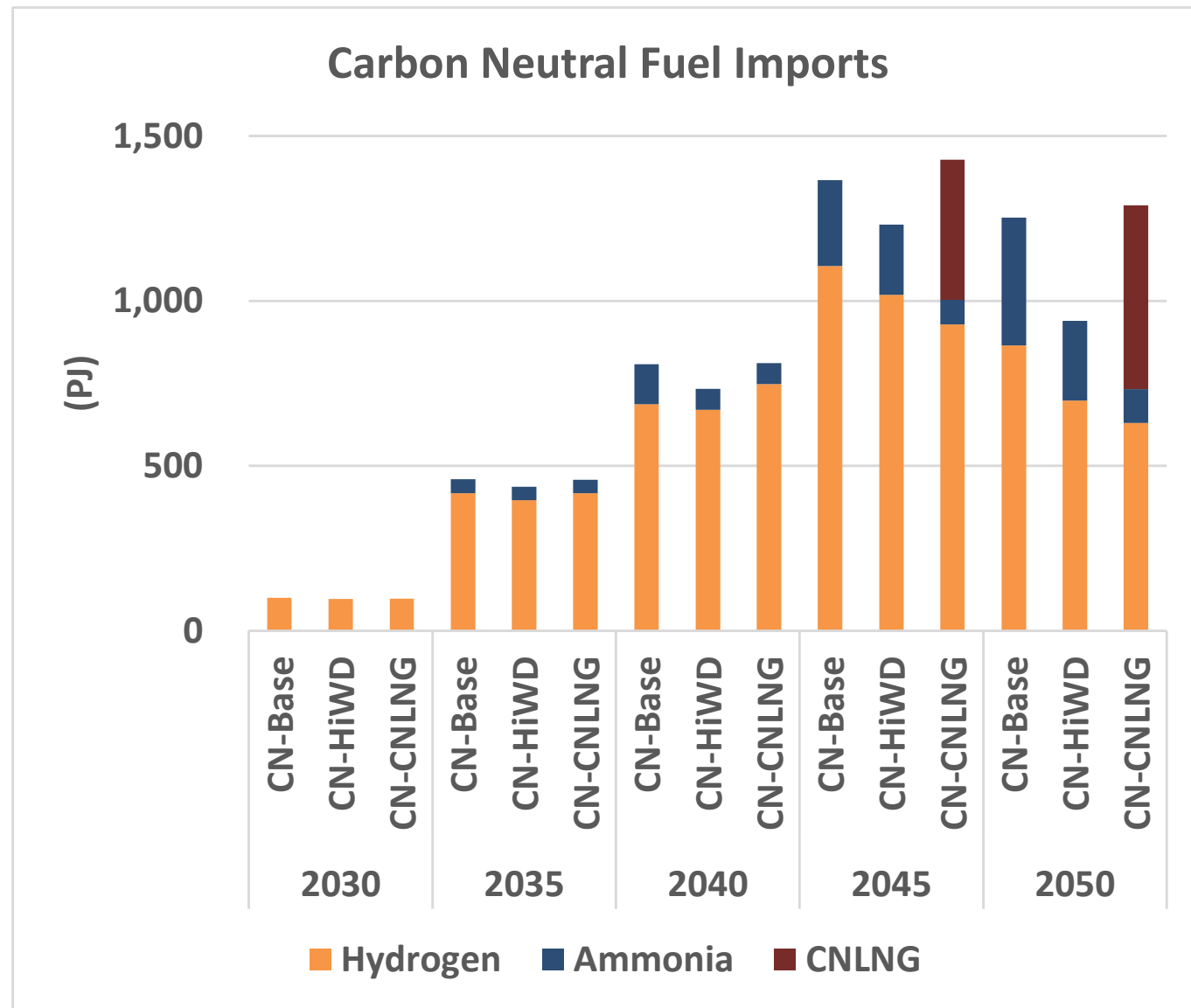
(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである。

# カーボンニュートラル燃料輸入

□ 水素 2030以降

□ アンモニア  
2035以降

□ CNLNG 2045  
以降 (CNLNG  
ケース)

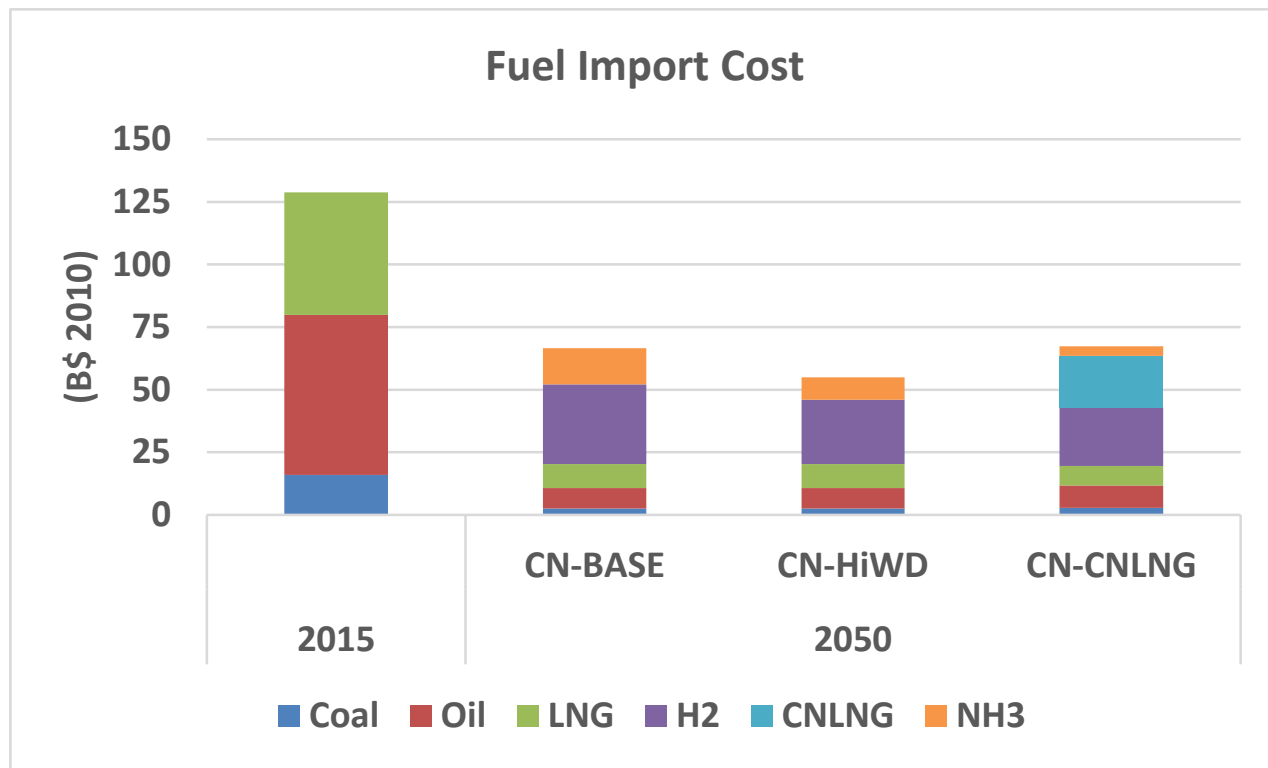


(注)試算結果には不確実性があり、前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである。

# 燃料輸入コスト

## □ 2050

- トータルコスト 2015年の約半分. 電力用&運輸用の減少が大きく影響
- コストシェアで見ると化石燃料が30~40%. カーボンニュートラル燃料が60~70%
- ネットゼロ排出目標のもとではカーボンニュートラル燃料のバリューチェーンに安定投資が必須



(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである。

# 再生可能エネルギー発電コスト

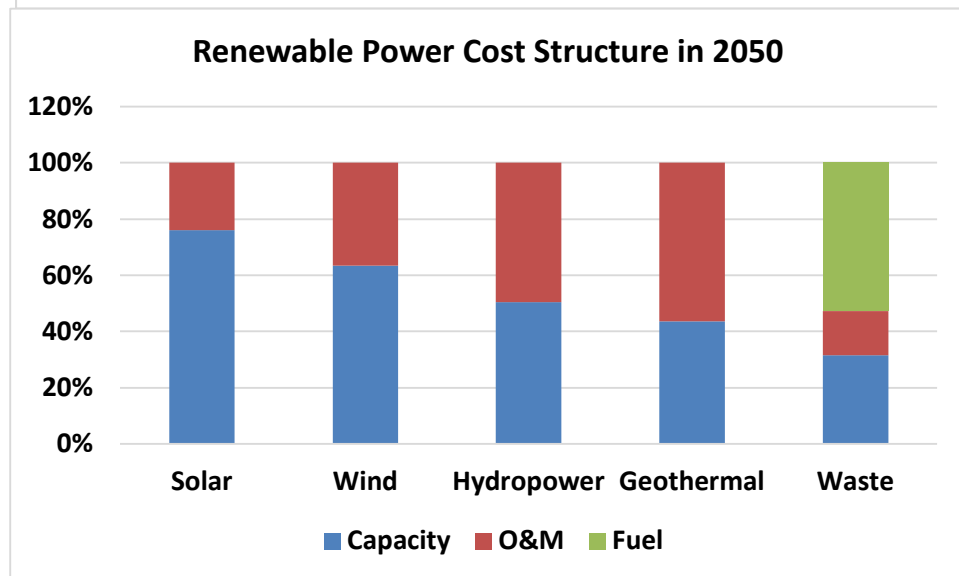
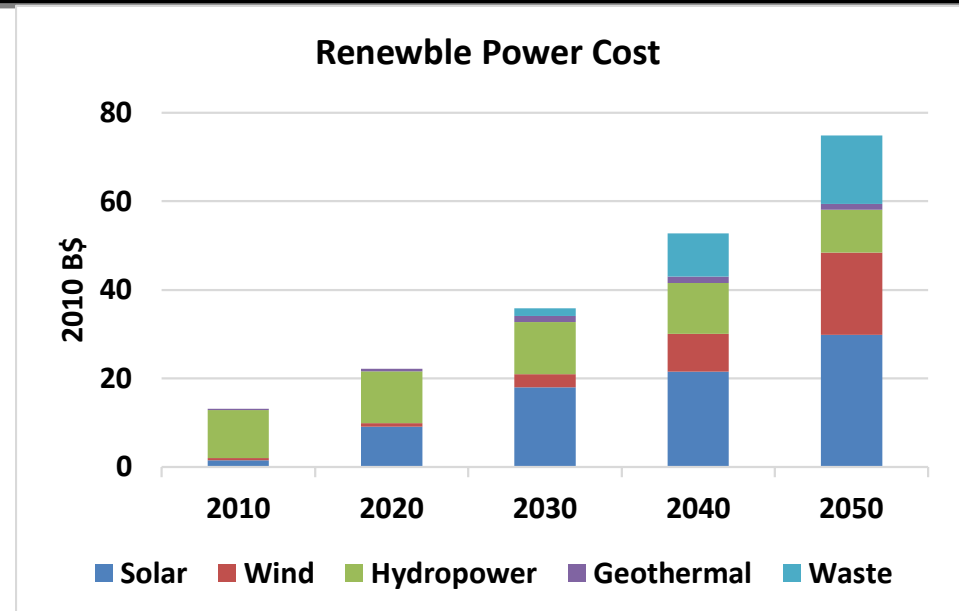
## □ CN-BASEケースの結果

□ 2010までは水力中心

□ 発電設備, 運転・メンテ (O&M), 燃料への投資機会が存在

□ 太陽光, 風力, 廃棄物発電の投資機会が大きく増加

□ 発電設備だけでなく, O&M や燃料市場にも着目すべき

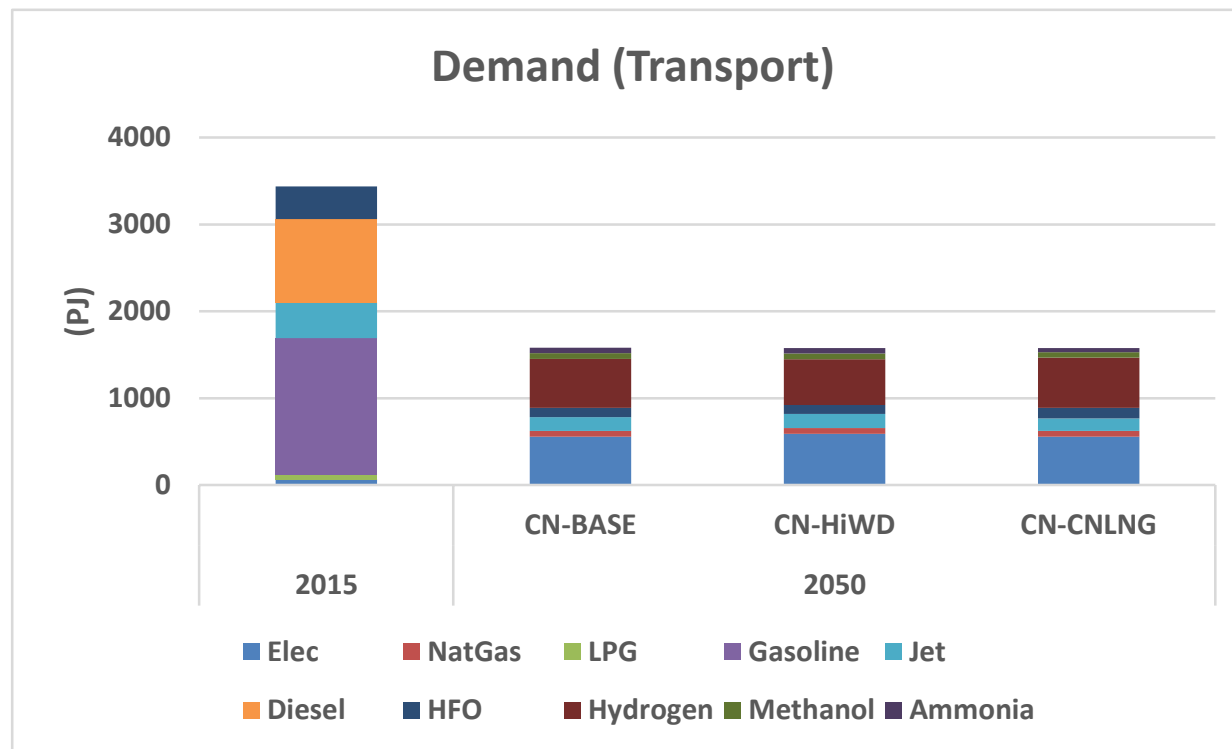


(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである.

# 運輸エネルギー需要

## □ 2050

- 乗用車 電化が進む
- トラック 大型車では水素導入の可能性
- 航空 ジェット燃料 & 水素
- 船舶 LNG, 水素, メタノール, アンモニア, 重油(HFO)



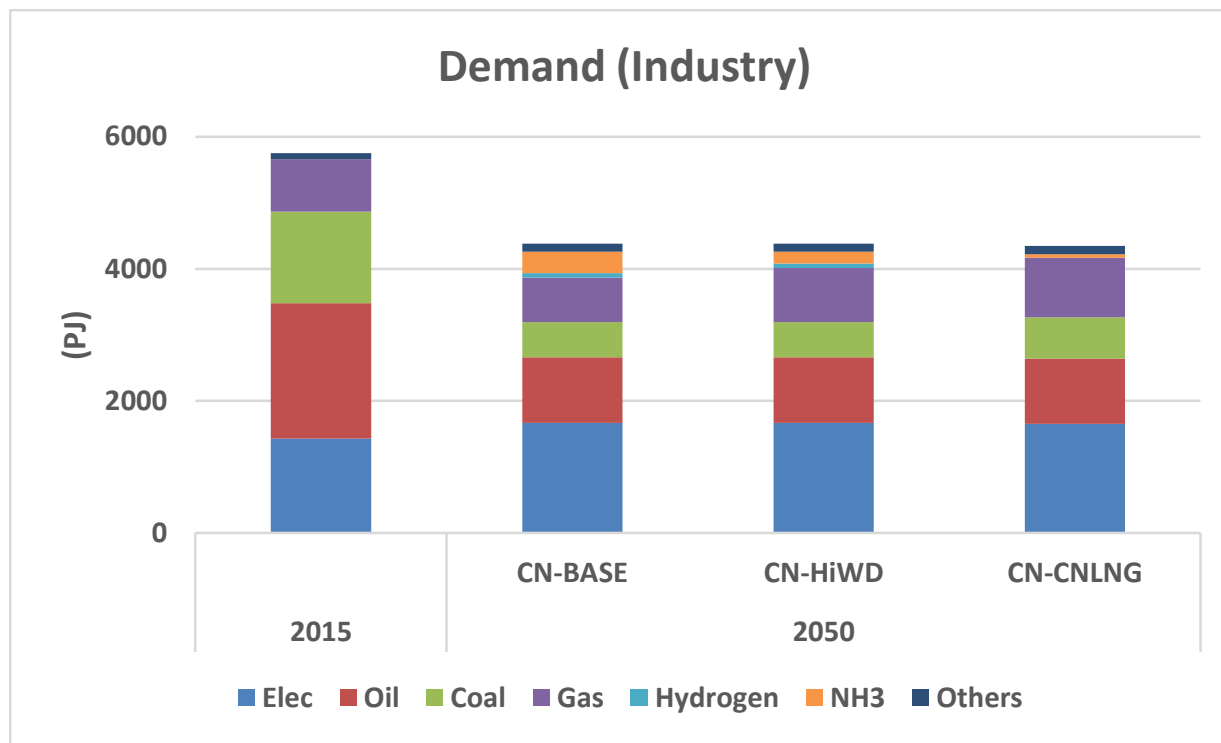
(注)試算結果には不確実性があり、前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである。



# 産業エネルギー需要

## □ 2050

- 加熱需要 高温需要ではアンモニア等が導入される可能性.  
低温需要は電化 (ヒートポンプなど)促進
- 還元剤や化学原料としての炭素源は残る
- 鉄鋼の電化(電炉)やセメントCCSなど

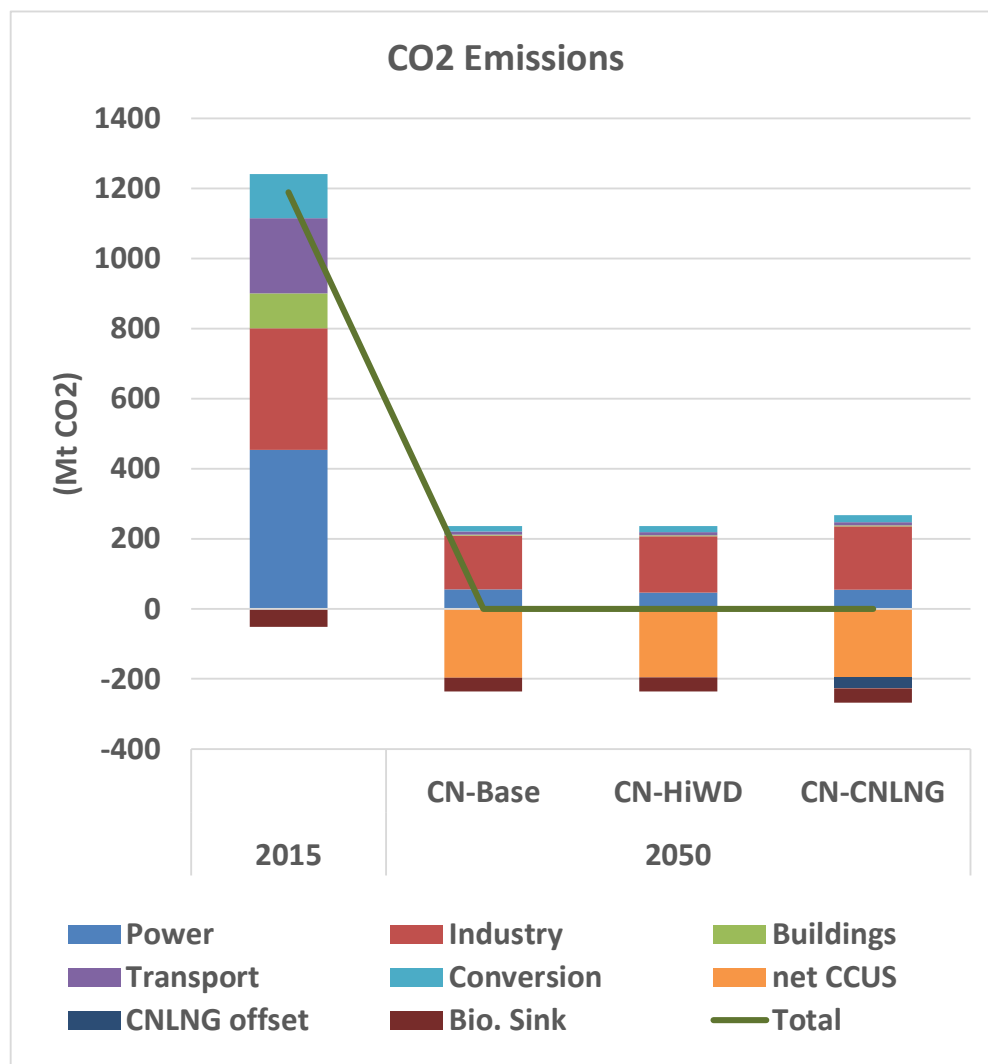


(注)試算結果には不確実性があり, 前提条件が成立した条件のもとでの可能性を示したものである.

# CO2 排出

## □ 2050

- 産業は 'hard-to-abate' セクター
- カーボンニュートラル実現のためのCCUSと吸収源の重要性



# エネルギー移行リスク低減のための投資機会

- 国内の再生可能エネルギー資源の制約のもとでは、カーボンニュートラルなエネルギーキャリアの輸入が不可欠。電気、水素に加え、カーボンニュートラル合成燃料というゼロエミッションのエネルギーキャリアを導入することで、あらゆるセクター、特に産業セクターのCO2削減に貢献できる可能性が高まる。
- 再生可能エネルギー発電の設備、O&M、燃料、さらに送配電や需要電化に投資機会がある。
- GHG排出量ネットゼロの達成に向けて、投資の観点に加え、技術普及や社会受容のための制度的観点などから総合的に検討する必要あり。

# アウトライン

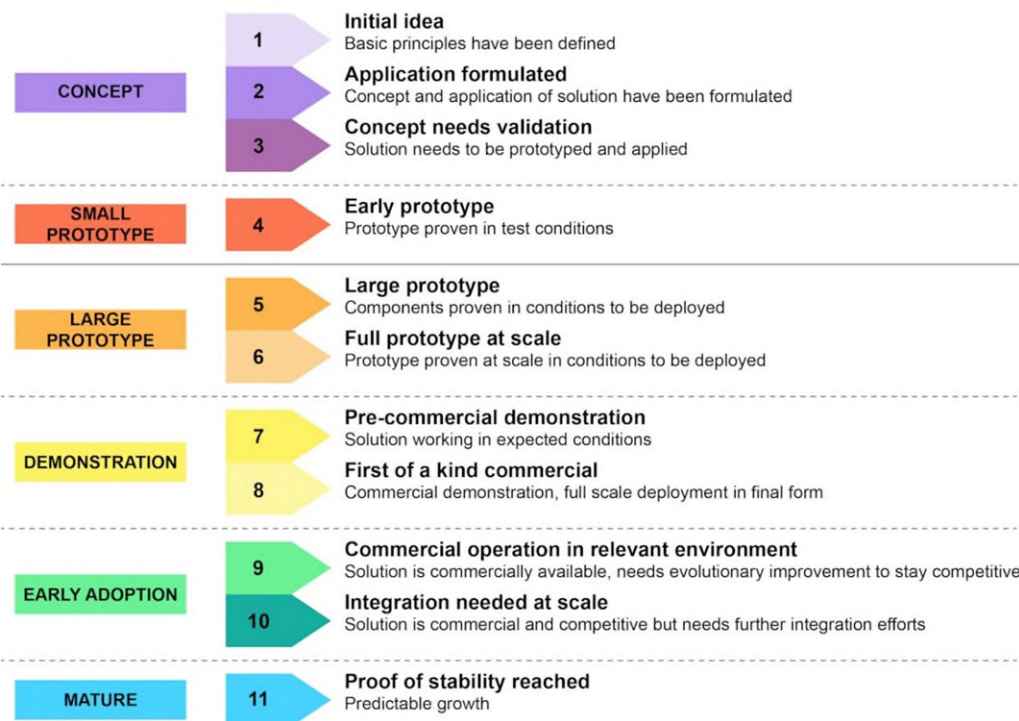
□ 気候リスクとエネルギーインフラ

□ カーボンニュートラルとエネルギートランジション投資

□ ファイナンスの役割

# 技術成熟度とR&D, 市場普及

- 技術成熟度(TRL) 世界諸機関で異なる定義. IEA ETP 2020では11段階分類
- Devils River, Death Valley, Darwinian Sea
- Tech to Market すべてのTRLフェーズに注目すべき
- 萌芽段階から市場普及に至るまでどのようにファイナンスするのか(Public & Private)



コンセプト 初期アイデア  
アプリケーションの同定  
コンセプトの確定

小規模プロトタイプ 初期プロトタイプ

大型プロトタイプ 要素技術を反映機器  
大規模プロトタイプ)

実証 商用規模に近い実証  
商用初号機

初期導入 商用運転  
大規模化

成熟化

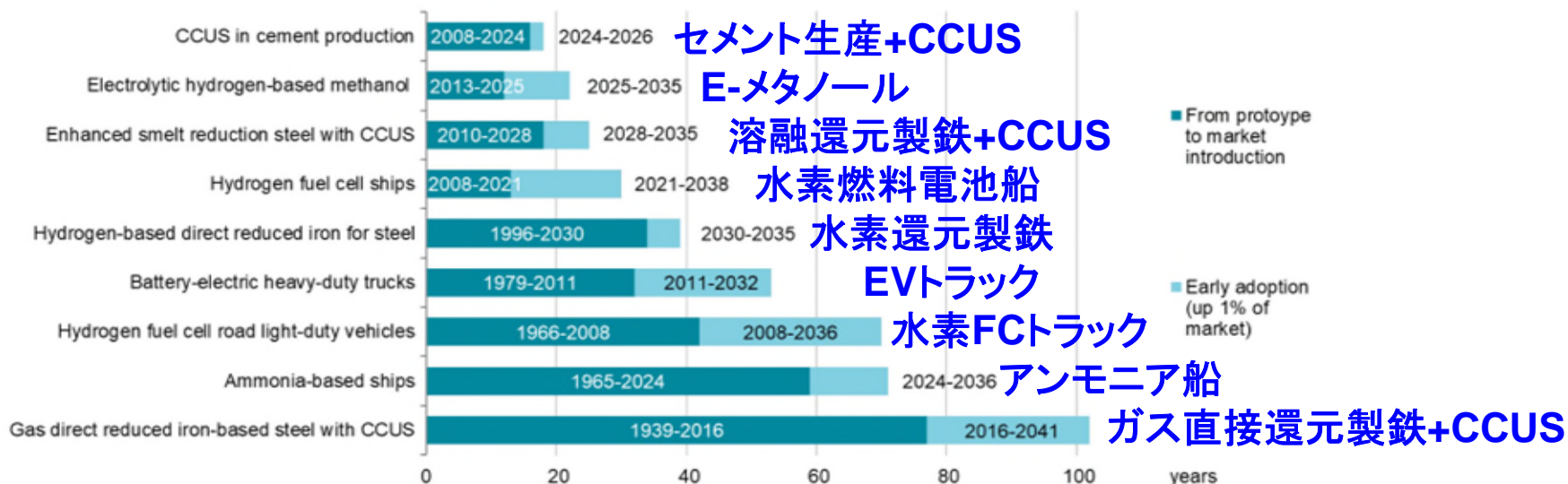
出典 : IEA Energy Technology Perspective 2020

# 技術開発とその市場導入には時間がかかる

## □ IEA SDSシナリオ

- 2050年で世界ネットゼロには至らないが、CO2大幅削減

□ 萌芽技術がプロトタイプを経て上市、さらに市場で1%のシェアを得るまでに、分析結果を見ると20年から100年かかっている



出典：IEA Clean Energy Innovation (2020)

# エネルギートランジションとサステナブルファイナンスの機会

- **エネルギーと資源の効率利用** 効用やサービスを低下させずに、エネルギーの効率的利用や、循環利用を含めた資源の利用効率を向上。
- **ゼロエミキャリアの供給と利用の拡大** ゼロエミッションエネルギーキャリア、具体的には、電気、水素や、カーボンニュートラル合成燃料の導入拡大。電力供給においては、再エネ大量導入が可能となる強靱かつ柔軟なシステムの確立。
- **長寿命な既存の大規模需要インフラからのCO2 排出削減** ゼロエミッションエネルギーキャリアの採用が困難であると考えられるセクターである、素材産業、長距離運輸、既築建築物などでの対策を強化。
- **ネガティブエミッション** 排出削減困難部門や、農業などのCO2以外の温室効果ガス排出に対するオフセット技術としてのネガティブエミッションの認識と導入。
- **幅広い技術群の開発と普及** 成熟技術を普及させ、その間に技術イノベーションを実現し、革新技術の成熟度を高め、コストを低下させた上で大量普及を達成するというシナリオを実現。
- **社会制度の整備と運用** 規制的手段、経済的手段に加え、ファイナンスを含めた制度の確実な運用が必須。

# References

- 気候リスクとエネルギーインフラのレジリエンス(2)ー海外動向, 黒沢厚志, 加藤悦史, 筒井純一, 大庭雅道, エネルギー・資源学会 第37回 エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2021年1月26日～27日
- Carbon Neutral Energy System Analysis in Japan using TIMES-JAPAN Model, A Kurosawa, E Kato, T Inoue, K Ogimoto, Y Iwafune, Y Yamaguchi , Y Shimoda, 43rd IAEE International Conference, July 31-August 4, 2022, Tokyo, Japan



# 参考書籍

□ 図解でわかるカーボンニュートラル (2021)

□ 図解でわかる再生可能エネルギーx電力システム (2023)



パリ協定目標とカーボンニュートラル(政策動向含む)

エネ供給  
再エネ, 原子力, 炭素資源

エネ転換  
電力システム, 水素, 蓄エネ

エネ需要  
運輸, 産業, 民生

ネガティブエミッション

ファイナンス

再生可能エネ技術(太陽, 風力, 水力, バイオマス, 地熱)

再エネと電力システム

エネルギー貯蔵

地産地消

Thank you for your kind attention.  
**kurosawa@iae.or.jp**

*We need to complete a complex and challenging puzzle to achieve carbon neutrality. All the pieces of the puzzle are essential, and none are unnecessary.*  
カーボンニュートラルを達成するためには、複雑で難しいパズルを完成させる必要がある。パズルのすべてのピースが必要不可欠であり、不要なものはない。



[CC BY-NC-ND](#)