

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	脱炭素社会実現に向けた課題
他言語論題 Title in other language	Issues for Realizing a Decarbonized Society
著者 / 所属 Author(s)	黒沢 厚志 (KUROSAWA Atsushi) / エネルギー総合工学研究所研究理事・国立国会図書館客員調査員
書名 Title of Book	2050年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の課題と展望 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Issues and Prospects of Decarbonization Technology to Achieve Carbon Neutrality by 2050)
シリーズ Series	調査資料 2022-4 (Research Materials 2022-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2023-02-27
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-903-4
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	—

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

脱炭素社会実現に向けた課題

エネルギー総合工学研究所
国立国会図書館
黒沢厚志

国立国会図書館 科学技術に関する調査プロジェクト2022シンポジウム
2050年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の課題と展望
2022年9月30日

IAE The Institute of Applied Energy

シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

 国立国会図書館 1
National Diet Library, Japan

スライド 1

アウトライン

- ネット・ゼロ・エミッションと長期シナリオ
- 短期と長期の研究開発
- 評価の重要性



Creative Commons / [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

IAE The Institute of Applied Energy

シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

 国立国会図書館 2
National Diet Library, Japan

スライド 2

パリ協定とネット・ゼロ・エミッション

□ UNFCCCとパリ協定

- 国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) GHGs濃度の安定化
- 2015年 COP21 パリ協定合意

□ パリ協定

- 世界全体の平均気温上昇を2°C以下に抑制(可能であれば2°Cよりさらに低いレベルに抑制)
- 今世紀後半には人為起源のGHGsの正味排出量をゼロに



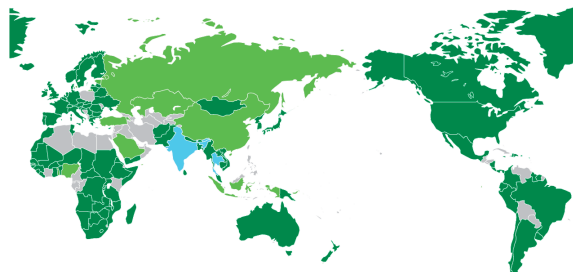
パリ協定合意の瞬間

資料元: PRESENZA International Press Agency (Creative Commons)

スライド 3

ネットゼロ排出 表明国

- 2070年までの宣言国をみた場合, 2020年時点での世界全体のエネルギーCO2排出量に占める割合は88.2%
- 非国家主体である, 自治体, 企業も独自宣言
- 地球温暖化対策推進に関する法律(温対法)改正
 - 企業, 自治体の役割に言及. 「削減」から「抑制」へ
- 宣言は簡単だが, 本当にできるのか



■ 2050年までのカーボンニュートラル表明国 (日本を含め144か国)
■ 2060年までのカーボンニュートラル表明国
■ 2070年までのカーボンニュートラル表明国

出展 資源エネルギー庁WEBページ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/003/>

スライド 4

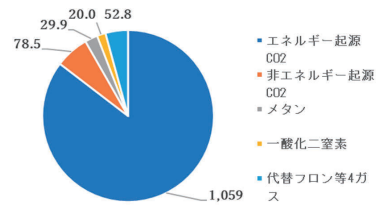
カーボンニュートラル, ネットゼロ排出, 気候中立

□カーボンニュートラル(日本政府見解)

- 2020年10月の国会演説 — 我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロ、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを宣言
- 日本政府が目指すカーボンニュートラルは、CO₂だけに限らず、メタン、一酸化二窒素、フッ化ガスを含むGHGs全体が対象。排出せざるを得ない分は、「吸収」「除去」で「ニュートラル(中立)」を実現

□日本のGHGs排出はCO₂中心

- 2018年環境省報告(単位百万トン)
エネ起+産業プロセスCO₂で約9割

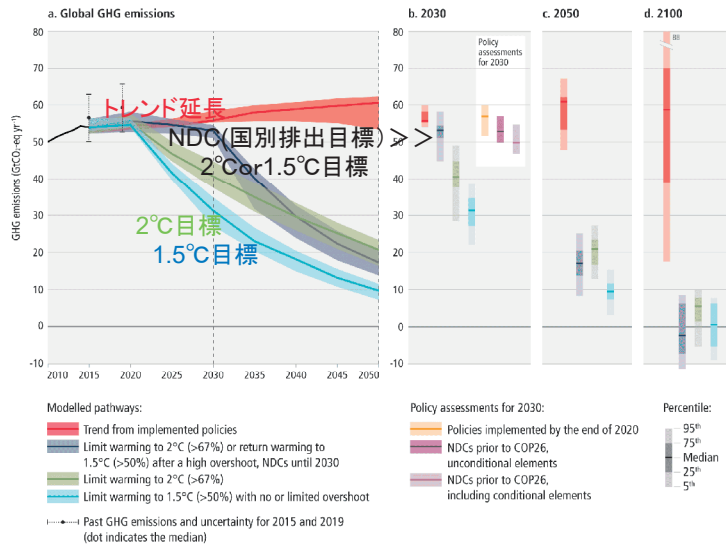


□気候中立, GHGs中立などの 方が紛れがない

スライド 5

気候政策を反映したGHG排出シナリオ

□現状政策トレンド延長, 2°C目標達成, 1.5°C目標達成



Source IPCC WG3 AR6

スライド 6

IEA net zero emission roadmap

□ COP26議長国イギリスがIEAに作成を要請

□ 3種類の排出シナリオ

- STEPS(Stated Policies Scenario)
 - NDCと整合
- APC(Announced Pledges Case)
 - ネットゼロ宣言国目標達成
- NZE(Net Zero Emissions by 2050)
 - 2050ネットゼロ

□ マクロ想定

- 人口 2050年で97億人
- GDP 2050年に2020年の2倍

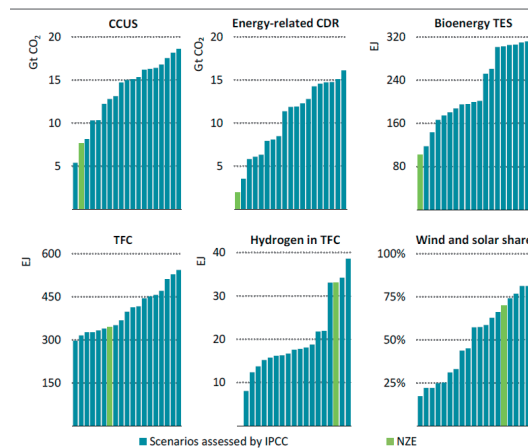


スライド 7

IPCC 1.5°Cシナリオ群とNZEとの比較(2050)

□ IEA試算は「数多くあるシナリオのひとつ」とみるべき

- CO2回収利用貯留 (CCUS) 低位
- ネガティブエミッション (CDR) 低位
- バイオエネ 低位
- エネ消費(TFC) 中低位
- 水素 高位
- 風力太陽 高位



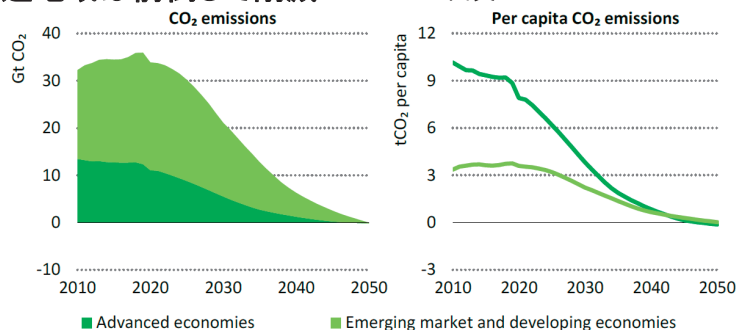
出典：IEA NetZero Roadmap 2021

スライド 8

NZE CO2排出地域内訳 CO2価格

先進地域は前倒しで削減

出典：IEA NetZero Roadmap 2021



カーボンプライシングを想定

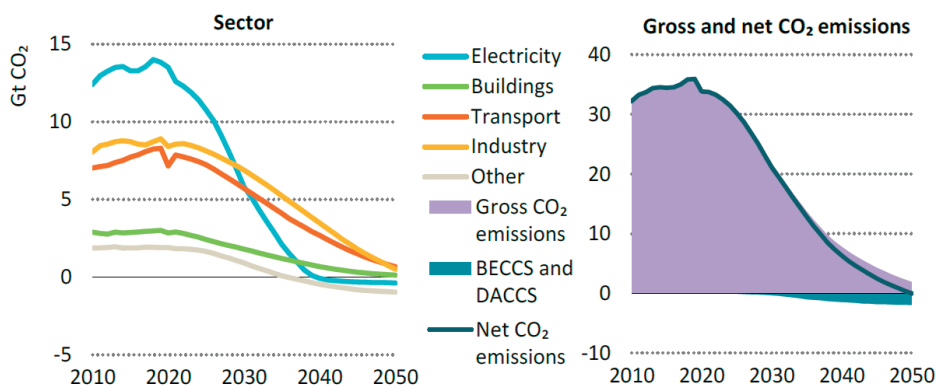
USD (2019) per tonne of CO ₂	2025	2030	2040	2050
Advanced economies	75	130	205	250
Selected emerging market and developing economies*	45	90	160	200
Other emerging market and developing economies	3	15	35	55

* Includes China, Russia, Brazil and South Africa.

スライド 9

NZE CO2排出 セクター別内訳

2050年には約19億tのバイオエネCCS(BECCS)と空気中CO2回収貯留(DACCS)が導入され、残余排出をオフセット



出典：IEA NetZero Roadmap 2021

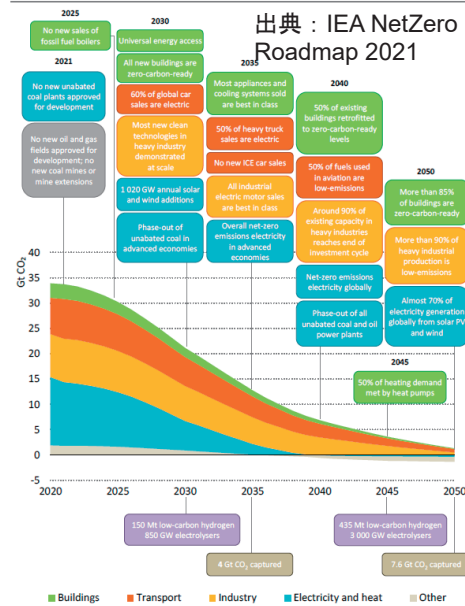
スライド 10

NZE milestones

□ NZEシナリオ

- 民生、運輸、産業、転換、その他セクター別にマイルストーン設定
- 2030年までのマイルストーン事例 (+)推進 (-)中止
 - CCSなし石炭火力(-)
 - 石油・ガス資源開発(-)
 - エネルギーアクセス(+)
 - 建築物ZEBレディ(+)
 - 新車中のEVシェア(+)
 - 産業脱炭素大規模実証(+)
 - PV風力発電(+)
 - 石炭発電フェイズアウト(先進国)(-)

Key milestones in the pathway to net zero



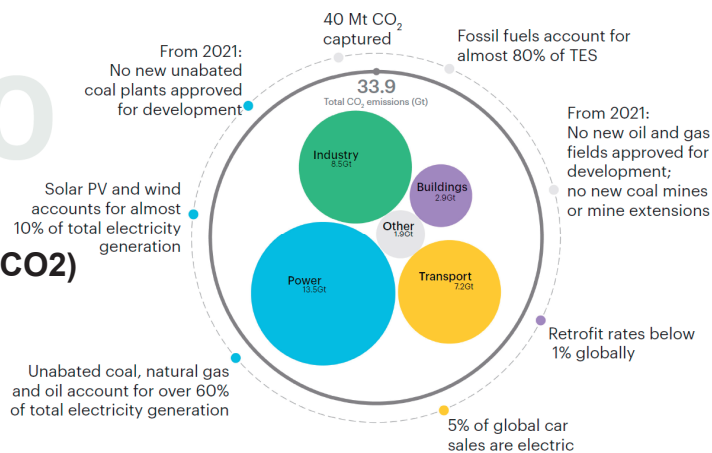
スライド 11

2020 CO2排出内訳

2020

□ 排出量(10億t CO₂)

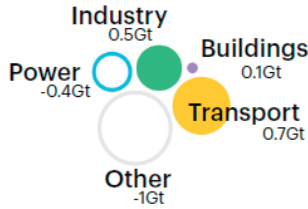
- 全体 33.9
- 発電 13.5
- 産業 8.5
- 運輸 7.2
- 民生 2.9
- その他 1.9



出典：IEA NetZero Roadmap 2021

スライド 12

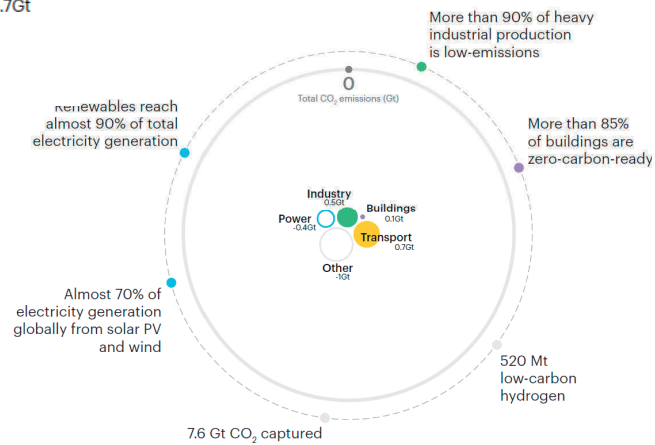
2050 NZE 排出内訳



出典：IEA NetZero Roadmap 2021

排出量(10億t CO₂)

- 全体 0
- 発電 -0.4
- 産業 0.5
- 運輸 0.7
- 民生 0.1
- その他 -1.0



LAE The Institute of Applied Energy

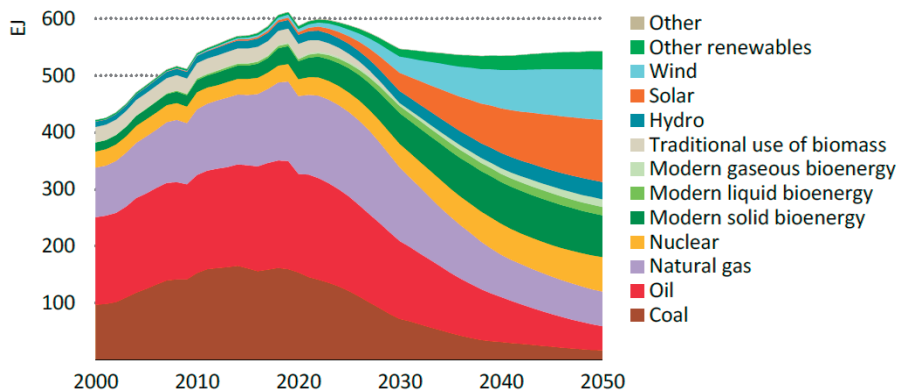
シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

国立国会図書館 13
National Diet Library, Japan

スライド 13

NZE エネルギー供給

化石燃料のシェア 2020年80%から、2050年20%に低下



IEA. All rights reserved.

出典：IEA NetZero Roadmap 2021

LAE The Institute of Applied Energy

シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

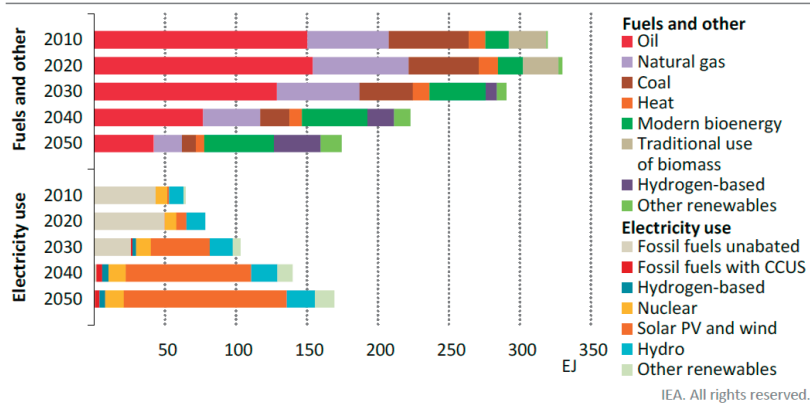
国立国会図書館 14
National Diet Library, Japan

スライド 14

NZE エネルギー需要 燃料と電気

□ トータルでは横ばいから減少

□ 燃料の電気による代替, 再エネ起源キャリアのシェア増加



出典：IEA NetZero Roadmap 2021

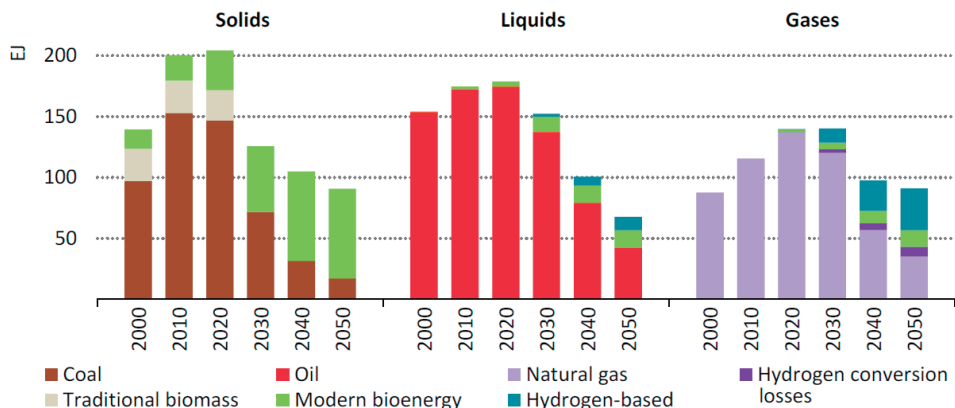
スライド 15

NZE 非電力エネ需要

□ 固体 モダンバイオ固体燃料(持続可能を条件, 廃棄物, 残渣系) 供給は可能か?

□ 液体 バイオ燃料, 合成燃料の導入

□ ガス バイオガス, 合成ガスの導入



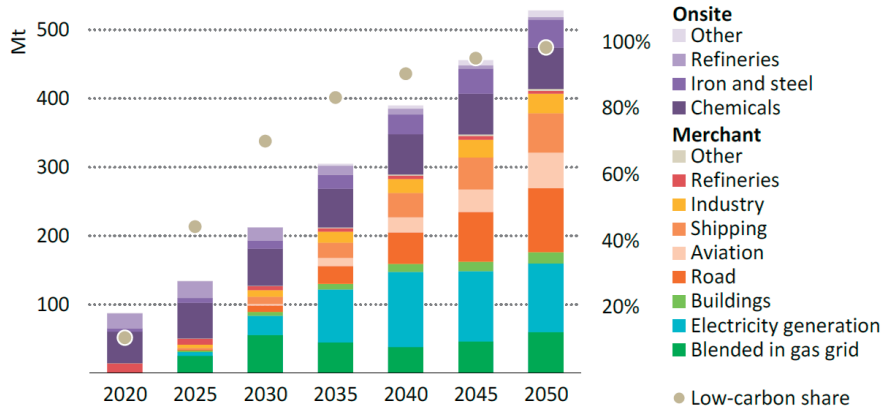
出典：IEA NetZero Roadmap 2021

スライド 16

NZE 水素

□ 電化できないエネルギー需要の脱炭素化

□ グラフには、純水素、アンモニア、水素を含む合成燃料を含む



IEA. All rights reserved.

出典：IEA NetZero Roadmap 2021

LAE The Institute of Applied Energy

シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

国立国会図書館
National Diet Library, Japan 17

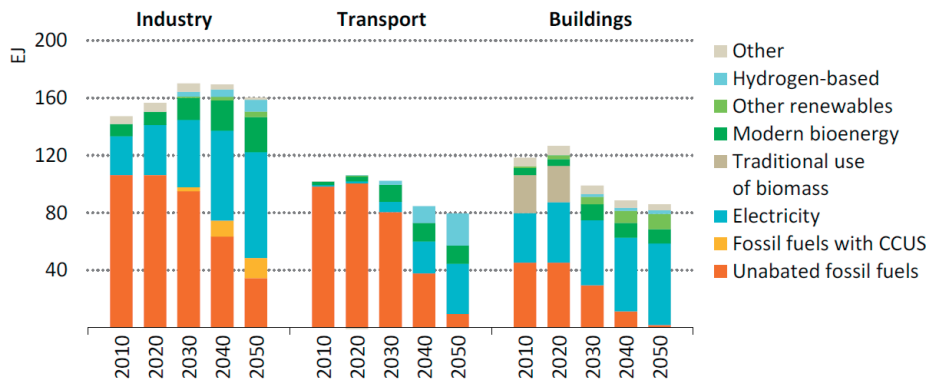
スライド 17

NZE エネルギー需要(セクター&燃料別)

□ 産業 電化はできるのか(特に素材産業)

□ 運輸 電化, 水素ベース(合成燃料含む), バイオ燃料

□ 民生 電化



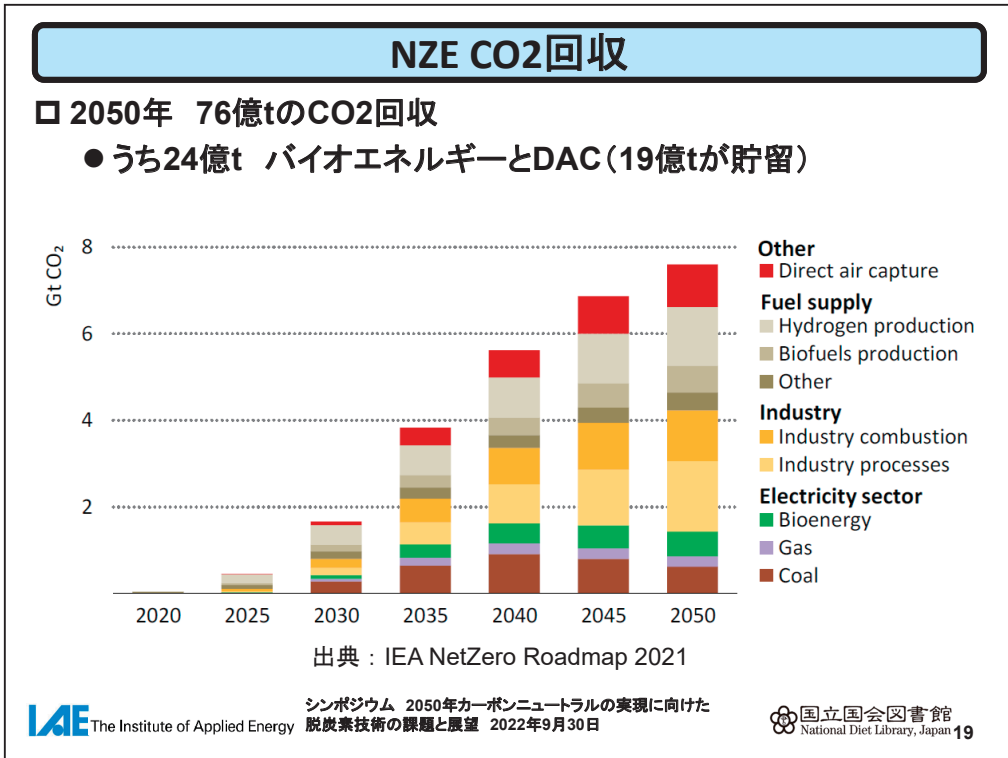
出典：IEA NetZero Roadmap 2021

LAE The Institute of Applied Energy

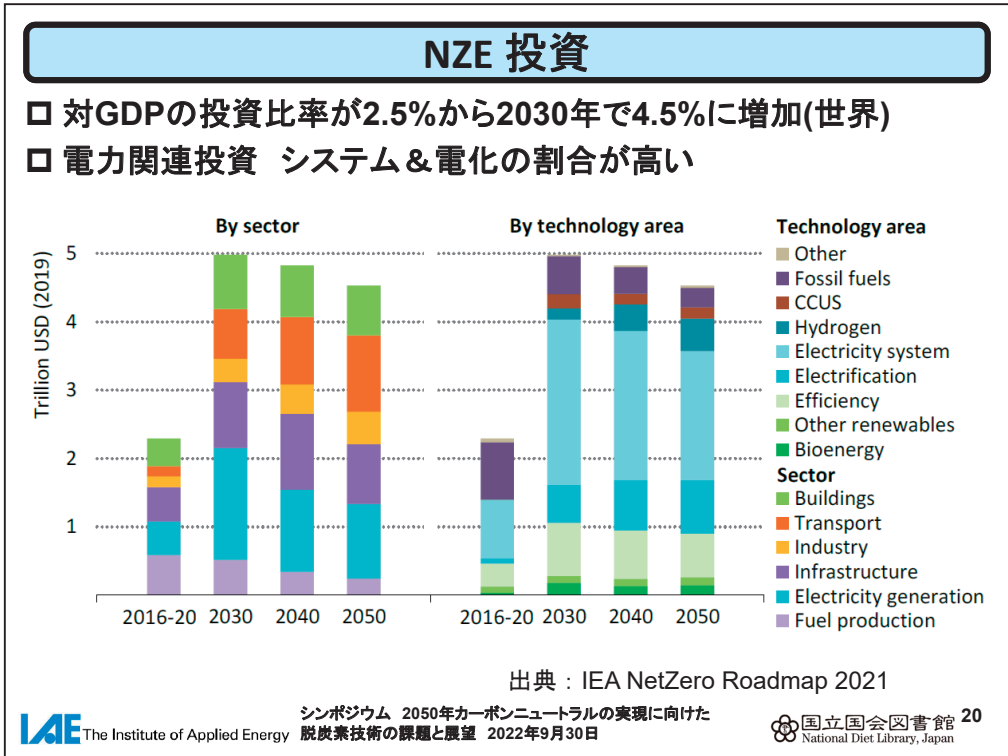
シンポジウム 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた
脱炭素技術の課題と展望 2022年9月30日

国立国会図書館
National Diet Library, Japan 18

スライド 18



スライド 19



スライド 20

アウトライン

□ ネット・ゼロ・エミッションと長期シナリオ

□ 短期と長期の研究開発

□ 評価の重要性

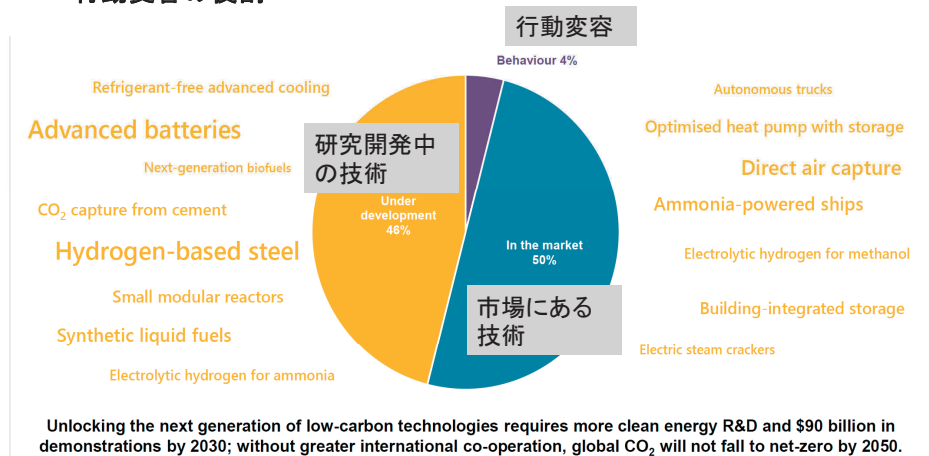


Creative Commons / CC BY-NC

スライド 21

2050年CO2ネットゼロの技術成熟度別寄与度(IEA)

- 市場にある技術が半分. 研究開発中の技術群の寄与度が約半分
 - 空気中CO2回収(Direct Air Capture), 新型電池, 水素還元製鉄. . .
 - 行動変容の役割



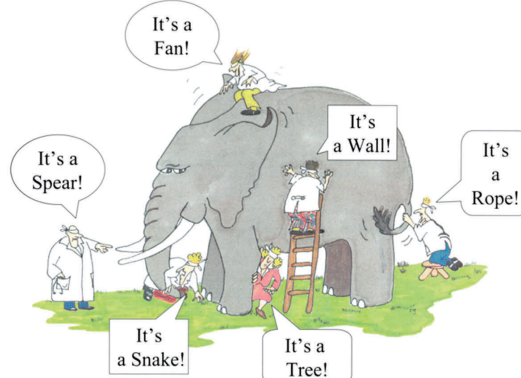
IEA 2021. All rights reserved.

Page 6

スライド 22

イノベーションへの期待

- 基礎研究者 発明, 発見 = イノベーション
- 産業界 製品の上市
- 政策担当者 政策ツールによる研究開発コミット
研究促進, イノベーションの普及
- 消費者 ライフスタイル変化, 市場シェア実感



No, it's
innovation.

スライド 23

アウトライン

□ ネット・ゼロ・エミッションと長期シナリオ

□ 短期と長期の研究開発

□ 評価の重要性



Creative Commons / [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

スライド 24

SDGs達成と気候変動対策のリンク

- SDGs 持続可能な開発目標
- 気候変動問題と直接関係する目標 SDG13「気候変動に具体的な対策を」
 - 気候関連災害や自然災害に対する強靭性(レジリエンス)及び適応の能力を強化。
 - 気候変動対策を国別の政策、戦略及び計画に盛り込む
 - 気候変動の緩和、適応、影響軽減及び早期警戒に関する教育、啓発、人的能力及び制度機能を改善
 - 開発途上国向けの資金確保とその投入
 - 後発開発途上国及び小島嶼開発途上国において、気候変動関連の効果的な計画策定と管理能力向上
- SDG7 クリーンエネ, SDG2 食料, SDG6 水, SDG14&15海と陸の豊かさ, SDG9 産業と技術革新なども関連
- SDGs間の連環(ネクサス) 例:食料 - 水 - エネルギー

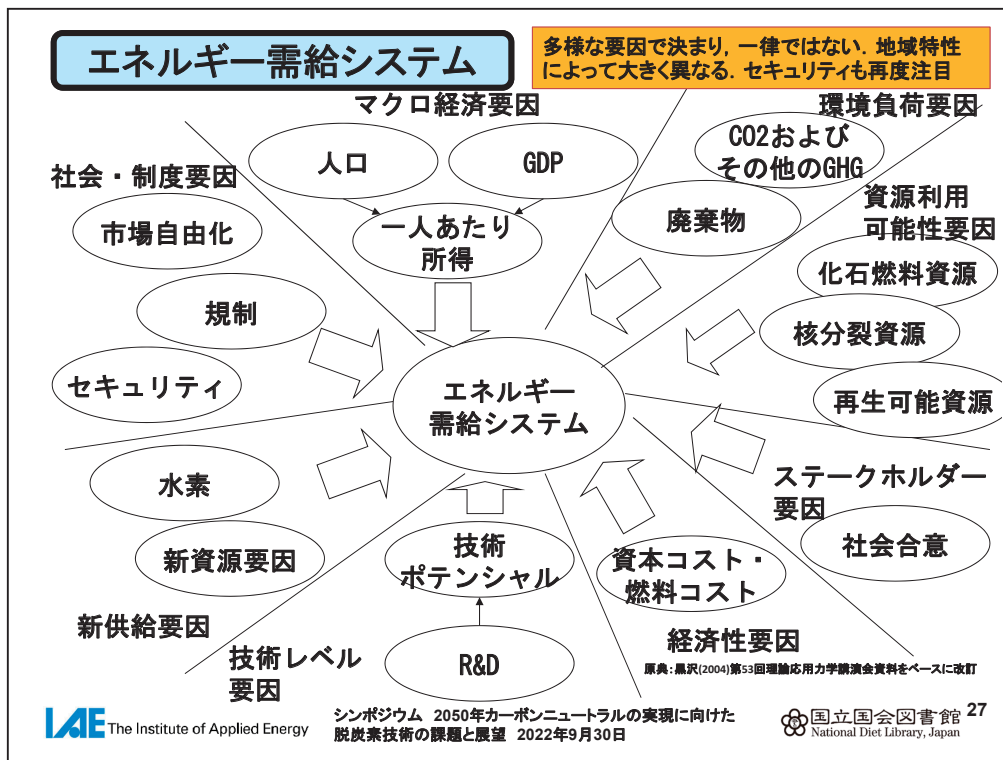


スライド 25

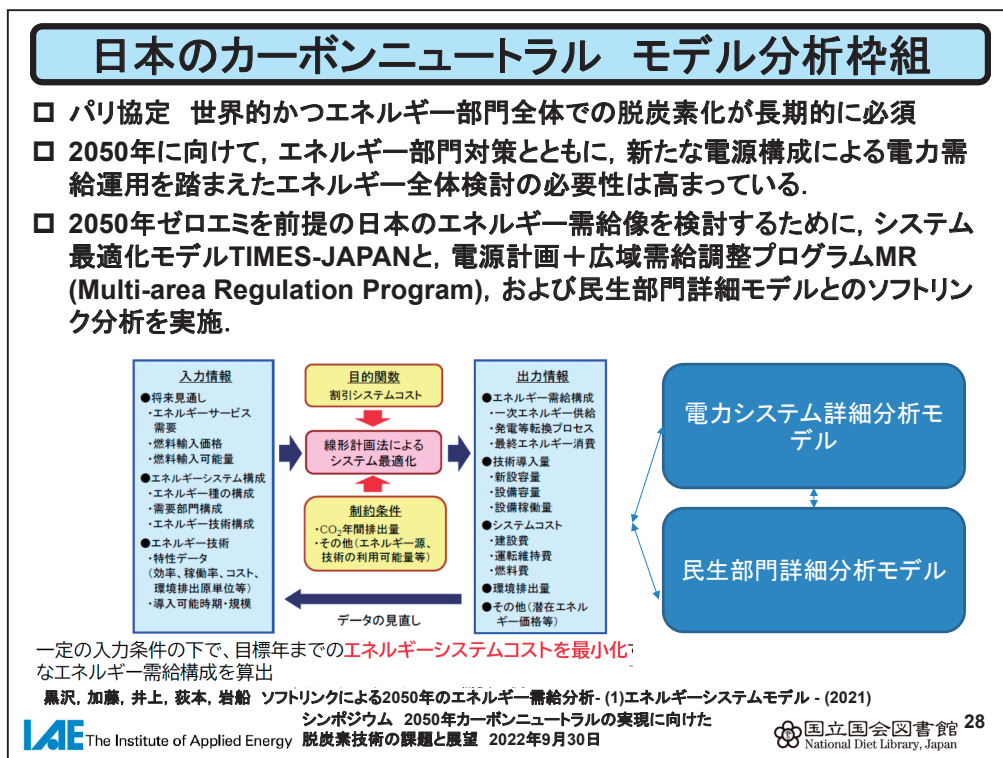
カーボンニュートラル評価の意義

- 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や、土地利用・農業に関する分析評価事例が増えている。
- バリューチェーン全体でみた場合のライフサイクル分析などもその一例。
- 分析結果だけではなく、前提条件の実現可能性に対する評価も重要。ただし、実現可能性にはいろいろなレベルがあることに注意。
 - 理論的実現可能性
 - 科学理論的にみた、実現可能性
 - 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

スライド 26



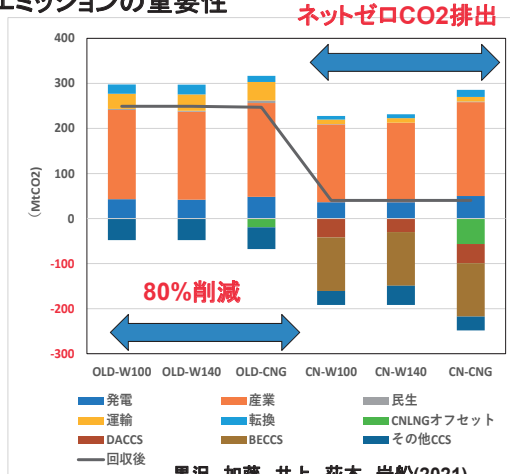
スライド 27



スライド 28

CO2排出(エネ起源,2050)

- 2050年の年間正味排出量は旧削減想定(80%減)で約250MtCO₂, 新削減想定(吸収源を含めネットゼロ)で40Mt CO₂
- CO₂貯留量は, 各ケースの上限に達している
- 2050年ゼロエミにおけるネガティブエミッションの重要性
 - BECCS 約125MtCO₂
 - DACCS 約25~42MtCO₂
- 産業シェアに見るHard to Abate
 - 旧想定 66~67%
 - 新想定 73~76%
 - 素材生産量があまり減少しない, 炭素原料としての化石資源 高温熱需要
- その他の部門
 - 発電が14~17%
 - 運輸 旧想定 11~13%
新想定 3~4%
 - 民生 電化等を反映し1%以下

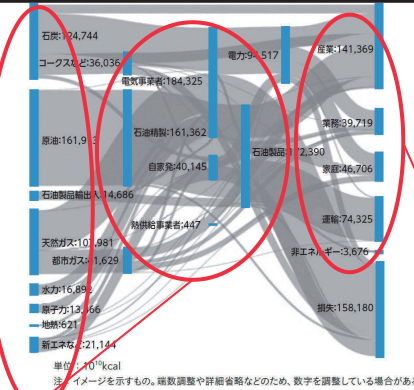


スライド 29

エネルギーシステムを変えていく

供給

- ・再エネ
- ・原子力



需要

- ・電化
- ・水素利用
- ・カーボンニュートラル合成燃料利用

転換

- ・電力システム
- ・水素
- ・CO₂利用合成燃料

ネガティブエミッション

- ・エネルギーシステムの内外で

スライド 30

カーボンニュートラルの実現に向けて 6つの条件

- **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する。
- **社会制度の整備** カーボンニュートラル実現のための社会制度枠組の整備として、規制的手段、経済的手段に加え、企業活動への資金提供者であるファイナンス側からも気候変動情報開示が求められている。

スライド 31

温暖化対策の長期的視点とR&D

- 多様な世界と多様な未来に対応する柔軟でレジリエントなエネルギーの選択が必要
 - VUCA Volatility(激しい変動), Uncertainty(不確実), Complexity(複雑), Ambiguity(曖昧)
 - 天災(異常気象、地震など)、新型コロナウイルス感染症の流行、激変する国際情勢(ウクライナ侵攻の影響とセキュリティ重視への揺り戻し等)の中で、世界全体として気候中立を目指す
 - そこに至る道は多様であり、これからも多くの外乱(ショック)が待ち受けている
 - エネルギーシステム構築においても、供給、需要、転換において多くのオプションを保持しながら進めていくことが肝要
- 不確実性をどうとらえるのか
 - 気候変動とその影響 / いつ、どのくらいの大きさで顕在化?
 - 社会の将来像 / 人口、経済活動、産業構造
 - 対策とその効果 / 対策の規模、必要資金、効果
- 限られた資源と研究開発投資
 - 全部のオプションに賭けられる無尽蔵の資源があれば、考えられる全対策を徹底的に実施するのがよい。
 - 実際の資源は有限なので、社会的な選択が必要



スライド 32

報告 (2) 脱炭素社会の実現

脱炭素社会実現に向けた課題

エネルギー総合工学研究所研究理事
国立国会図書館客員調査員
黒沢 厚志

本日は「脱炭素社会実現に向けた課題」ということで、最初にネット・ゼロ・エミッションと長期シナリオ、次に短期と長期の研究開発、評価の重要性という順番でお話をさせていただきます。

まず、パリ協定とネット・ゼロ・エミッションについて簡単に触れておきます（スライド3）。先ほど江守さんのお話にありましたように、温室効果ガスが増加していくと、気温が大きく上昇する可能性があることが分かりました。その影響をなるべく小さくするために、1990年代に国連気候変動枠組条約が締結されました。その目的は、温室効果ガス濃度の安定化にあります。また、2015年にパリ協定が締結されて世界全体の平均気温上昇を2℃未満に抑制すること、更に1.5℃未満に抑制するように努力することに合意しました。そして、排出を早期にピークアウトして今世紀後半に人為起源の温室効果ガスの排出と吸収をバランスさせること、すなわち、ネット・ゼロ・エミッションとすることを決定しました。

スライド4は、今世紀中葉のネットゼロを表明した国を色付けしたものです。2050年と宣言した国を濃い緑で、2060年は薄い緑、2070年は水色で示しております。2070年までの宣言国を見た場合、2020年時点での世界全体のエネルギー起源CO₂排出量に占める割合は88.2%に達しております。また、国だけでなく非国家主体である自治体、企業も独自に宣言を出しています。国内では、地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）⁽¹⁾が改正され、企業や自治体の役割に言及するとともに、温室効果ガスの排出に関する用語が「削減」から「抑制」に変わりました。しかし、宣言することは簡単ですが、実現に向けてはかなりのチャレンジが必要だと思えます。

カーボンニュートラルに関しては、CO₂だけに限らずメタンや一酸化二窒素、フッ化ガスを含む温室効果ガス全体が対象となります（スライド5）。排出せざるを得ない分は、吸収や除去でニュートラル、つまり中立を実現するというのが日本政府の公式見解です。なお、日本の温室効果ガスの排出量は、エネルギー起源と非エネルギー起源のCO₂で約9割を占めており、世界平均と比較すると、その比率が大きいのが特徴です。その意味で、日本のカーボンニュートラル実現にはCO₂削減が重要になります。

スライド6は、IPCCの第3作業部会の第6次報告書にある、気候政策を反映した温室効果ガスの排出シナリオの例です。トレンド延長の場合、排出量はほとんど減りませんが、2℃目標や1.5℃目標に相当するシナリオでは、今世紀中葉にかけて大きく削減する必要があることが分かります。

2021年に公開された国際エネルギー機関（IEA）のネット・ゼロ・エミッション・ロードマップ

(1) 平成10年法律第117号。

プでは、3種類の排出シナリオが仮定されています（スライド7）。国別の排出約束のNDC⁽²⁾を使って、それを延長したSTEPSというシナリオと、ネットゼロ宣言国の目標達成を仮定したAPC、世界全体での2050年ネットゼロ排出を仮定したNZEという3つです。それらについて、エネルギーの需要と供給の変化に関する包括的分析結果が示されております。ちなみに、IEAのシナリオは、多数考えられるシナリオの1つです。

IPCCは別途ネットゼロに相当する1.5°C特別報告書を出していますが、その中でNZEシナリオの2050年における各技術の位置付けを、スライド8では薄い緑色のバーで示しています。また、西尾さんからお話があるCCUS⁽³⁾やネガティブエミッションは低位に、バイオエネルギーについても比較的低位となっております。そして、その他のエネルギー消費に関しては中低位、水素や風力、太陽光については高位に位置付け、比較的楽観的に見ていることが分かります。

次に、CO₂の排出の地域内訳とCO₂価格について見てみたいと思います（スライド9）。スライド9の上の2つを見ると、濃い緑で示される先進地域は前倒して削減を進め、下の表にあるカーボンプライシング⁽⁴⁾としては、CO₂ 1t当たり数百ドルのレベルのものが必要であると指摘されております。また、どうしても排出が残る運輸と産業の排出をキャンセルアウトするため、約19億tのネガティブエミッションが必要とされております（スライド10）。ネット・ゼロ・エミッション・ロードマップでは、それぞれのセクターでどのような取組を推進すべきか、または中止すべきかを、マイルストーンを設定して示しております（スライド11）。

スライド12は2020年のCO₂排出内訳です。全体で340億tの排出があり、2050年にNZEシナリオでどうなるかを見たのがスライド13です。同じスケールで見ると、内訳セクター別の丸がほとんど見えなくらいに小さくなっていることが分かります。全体的に見ると、産業、運輸、民生では少しプラスの部分が残りますが、発電やその他の手段によりマイナスの排出があり、全体としてネットゼロが達成されることが分かります。

また、エネルギー供給の視点から見ると、NZEシナリオでは、エネルギー供給の大半を占める化石燃料のシェアは2020年の80%から、2050年では20%に低下することが分かります（スライド14）。需要面では、燃料の電気による代替、つまり電化が進行するとともに、電気や燃料の元となる再生可能資源の割合が増加しております（スライド15）。

次に、非電力のエネルギー需要を固体、液体、ガスの燃料別に分けて見ていきます。スライド16を見ると、液体燃料では、バイオ燃料や、太陽光や風力などの再エネから作られた水素を原料とする合成燃料のシェアが増大していることが特徴的です。そして、電化できないエネルギー需要の脱炭素を図るために、大規模供給や分散供給による純水素、アンモニア、合成燃料の導入が進んでおります（スライド17）。産業、運輸、民生といったセクター別に見ると、大幅な電化や水素系燃料、バイオ燃料が導入されていることが分かります（スライド18）。スライド18でオレンジのところは削減対策をしていない化石燃料で、そのシェアが大きく減少しています。

次にCO₂回収です。現在のCO₂回収は世界全体で約4000万tと言われておりますが、2050年には76億tと桁を2つ上げる必要があります（スライド19）。そのうち24億tがバイオエネルギーや空気中からのCO₂回収によるものなので、その部分はネガティブエミッションと

(2) 国が約束する貢献 (Nationally Determined Contribution: NDC)

(3) 二酸化炭素回収・有効利用・貯留 (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage: CCUS)

(4) 排出されるCO₂に価格付け (プライシング) する温暖化対策の仕組み

してカウントできます。

長期シナリオの最後は、投資の側面です。大規模な投資が必要であることは当然予想されますが、注目すべきは電力関連の投資です（スライド 20）。特に電化部分と電力系統投資が目立っております。

次に「短期と長期の研究開発」について述べたいと思います（スライド 21）。先ほどお示ししました IEA のネット・ゼロ・ロードマップでは、技術成熟度別の削減寄与度の整理が行われております。CO₂削減のポテンシャルで見ると、市場にある技術が半分、研究開発中の技術の寄与度が約半分です（スライド 22）。つまり、まだ開発できていない技術に期待せざるを得ません。図では研究開発中の技術を黄色で表しています。例えば、CO₂を大気中から回収するもの、新型電池、水素還元製鉄などが挙げられております。

イノベーションへの期待についてです（スライド 23）。イノベーションは非常に便利な言葉ですが、人によってバラバラに認識されているように感じられます。例えば、基礎研究をやっている方にとっては、発明・発見がイノベーションですし、産業界の方は自分の作った製品が市場に初めて入っていくタイミング、政策担当者は政策ツールを使って研究開発にコミットさせたり、イノベーション結果を普及させたりするところに興味がおありだと思います。我々消費者は、ライフスタイルが明らかに変わったり、市場のシェアが大きく変わったりすることを実感するタイミングでイノベーションが実現されると感じます。つまり、部分的に捉えるのではなく、イノベーション全体の流れを理解していくことが重要だと思います。

最後に、「評価の重要性」についてお話します（スライド 24）。少し本題から離れますが、持続可能な開発目標、SDGs については気候変動影響、クリーンエネルギー、食料、水、海と陸の豊かさ、産業と技術革新などが関連しております（スライド 25）。また、食料、水、エネルギーは相互に連環していることも知られております。

カーボンニュートラルの評価は様々なところで行われております（スライド 26）。長期的に正味のゼロエミッションを目指す政策目標を踏まえて、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や土地利用、農業に関する分析評価事例が大変増えております。バリューチェーン全体で見た場合のライフサイクル分析などもその一例です。ただし、分析結果や前提条件の実現可能性をどう考えるかが非常に重要ですが、その実現可能性の種類には理論的、技術的、経済的、社会的などいろいろなレベルがあります。社会的なものには規制やインセンティブなどの制度も含まれます。

エネルギー需給システムは、地域特性を含む多様な要因で決まります（スライド 27）。日本は独自のエネルギー資源の量的確保が難しいため、セキュリティ問題に対して再度注目が集まっております。江守さんから紹介がありました社会合意も当然必要となっております。矢部さんからは、研究開発事例やそのインパクトに関する紹介があると思います。

エネルギーシステムモデルによる日本のカーボンニュートラル分析事例を紹介します（スライド 28）。2050年ゼロエミッションを前提として、日本のエネルギー需給量を検討するために、システム最適化モデルと電源計画モデル、民生部門モデルを結合したソフトリンク分析評価を行っており、その結果がスライド 29 です。先ほど正味ゼロと申し上げたので森林吸収の分のオフセット（相殺分）があると仮定して、ネット・ゼロ・ケースではエネルギーからのCO₂排出が4000万t分ほど可能であるとしました。スライド 29 の右側 3 つの棒グラフのマイナス部分では、ネガティブエミッションの重要性が示されております。また、素材生産、炭素原料

利用、高温熱需要などに起因している産業排出は減らしにくいことも分かりました。その他のセクターである発電、運輸、民生では大幅な削減が達成されております。

今後のエネルギーシステムの方向性を現状のエネルギー需給フローの図から見ておきます(スライド30)。まず「供給」ですが、再エネや原子力のシェアをなるべく上げていくことです。「転換」では電力システムの強化、水素の導入、CO₂の燃料利用が考えられます。「需要」面では、電化、水素、カーボンニュートラル燃料といったものを利用していきます。これらを同時進行的に行い、更にそのコストを下げていくこと、大規模化していくことが課題になります。また、ゼロにできないCO₂排出があるので、「ネガティブエミッション」が必要になります。空気中CO₂回収のようなオプションは、このエネルギーシステムの外で考えていくことになります。

カーボンニュートラルの実現に向けて6つの条件があります(スライド31)。順に御紹介すると、エネルギーと資源の効率利用、ゼロエミッションエネルギーキャリアの供給と利用の拡大、長寿命な既存の大規模需要インフラからのCO₂排出削減、ネガティブエミッション、幅広い技術群の開発と普及、最後に社会制度の整備です。

スライド32に、温暖化対策の長期的視点と研究開発(R&D)についてまとめております。まず、多様な世界と多様な未来に対応する、柔軟でレジリエントな(強靱な)エネルギーの選択が必要となっています。また、天災、感染症、激変する国際情勢の中で、世界全体として気候中立を目指すことが必要です。これからも様々なショック要因があると思いますので、その意味でエネルギーシステムの構築においても多くのオプション、多様性を保持しながら進めていくことが肝要です。不確実性については、気候変動そのものの不確実性も当然ありますし、その顕在化、影響の顕在化するタイミングや、必要な対策の規模や効果をどう評価するかも含まれております。

また、限られた資源を研究開発投資にどう振り向けるのかという点です。全てのオプションに投資できるわけではないので、全ての対策を実施することはできません。人材及び資金などの資源は有限であるという点から社会的な選択が必要となります。

以上で発表を終わります。御清聴ありがとうございました。

(くろさわ あつし)