

2050年に向けたエネルギー技術展望

再生可能エネルギー



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

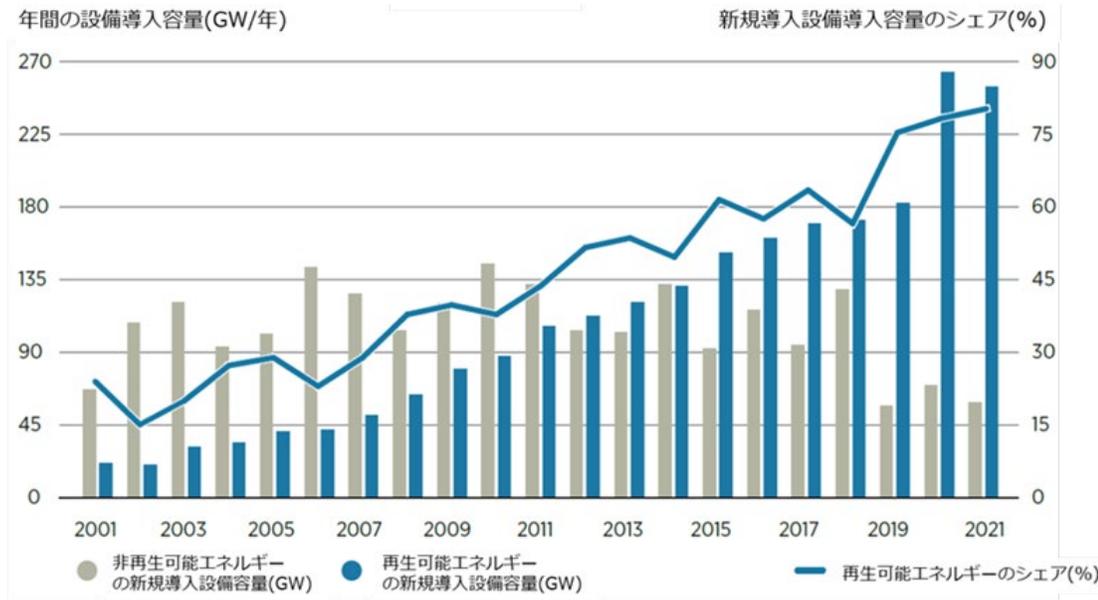
カーボンニュートラル技術センター 新エネルギーグループ

川村 太郎

再生可能エネルギー新規導入実績

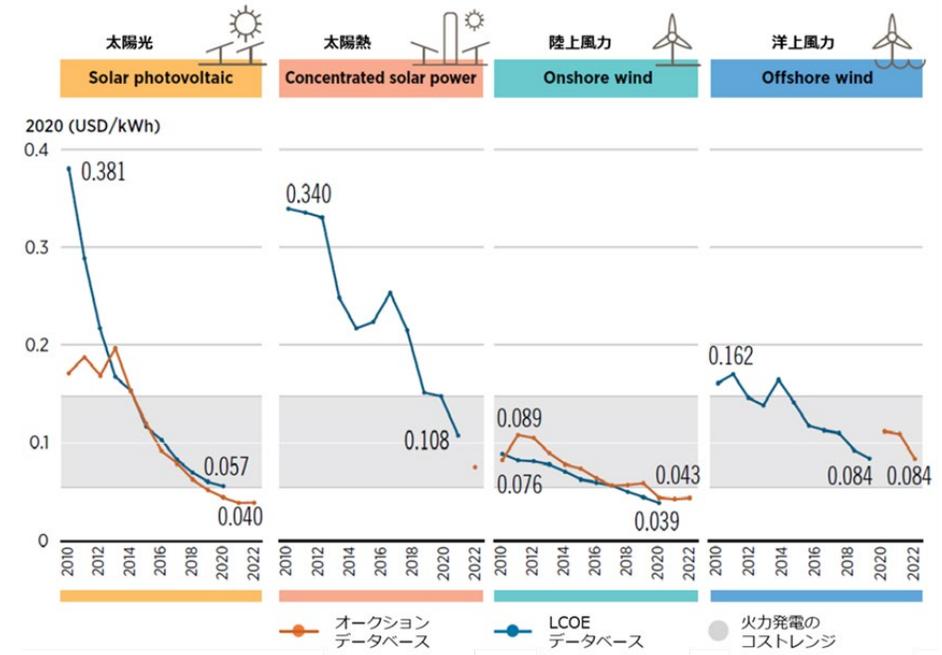
世界：2012年より再エネの新規導入設備容量が非再エネを逆転し、2021年のシェアは約80%。

日本：2021年度の累積導入量は2030年度導入目標に対して、太陽光で約67%（69.4 GW/103.5 GW）、風力で約19%（4.6 GW/23.6GW）。



再生可能エネルギーの電力コスト

2012年から2022年のコスト減少割合は、太陽光85%、陸上風力56%、洋上風力48%。2022年の太陽光と陸上風力の発電コストは約0.04USD/kWhで、火力発電を下回る（日本は諸外国に比べて高額）。再エネを主力電源とする場合は、蓄エネルギーの追加コストが課題。

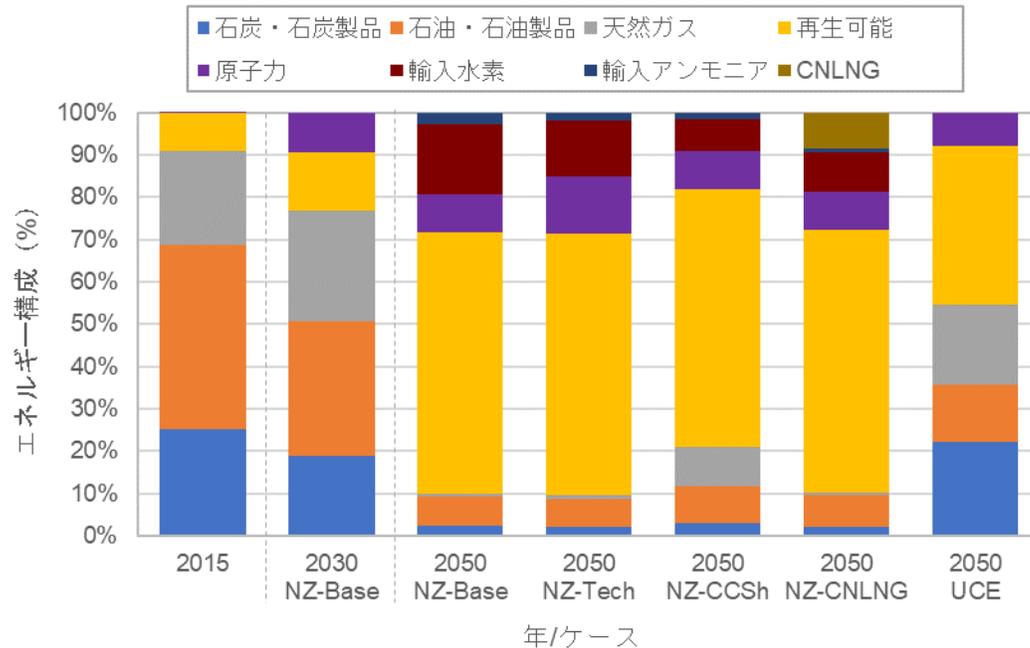


出典：IRENA, WORLD ENERGY TRANSITIONS OUTLOOK 2022 (2022)をもとに作成

シナリオ分析結果の概要

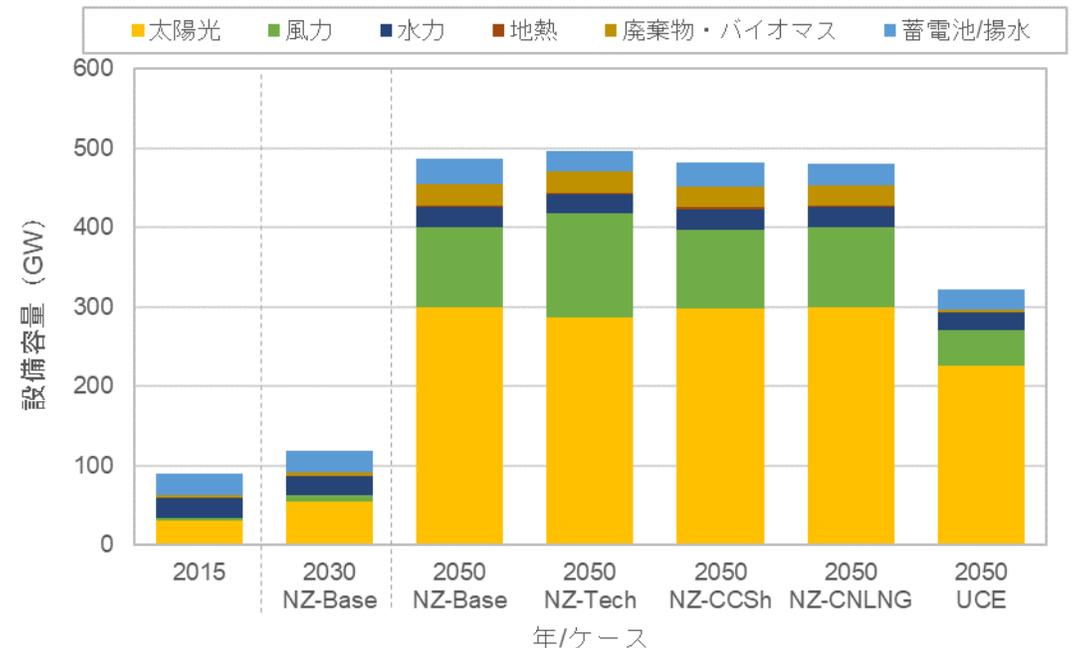
日本の一次エネルギー供給構成

NZ（ネットゼロ）の場合の2050年の総一次エネルギー供給に占める再エネのシェアは61～63%。再エネの内、太陽光が40～44%、風力が24～29%と圧倒的な割合を占めている。



日本の再エネ発電設備容量

太陽光は287.0～300 GWでほぼ設定した上限値（300 GW）まで導入。風力は、すべてのNZケースで設定上限値（100～130 GW）まで導入。

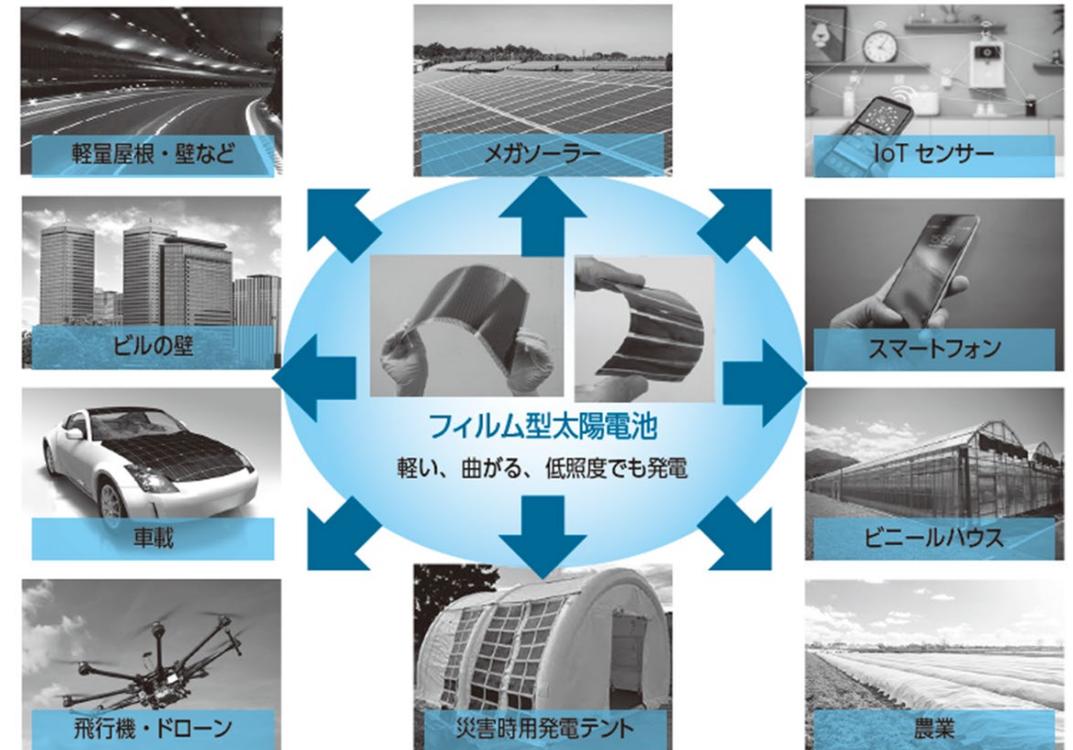


シナリオの前提条件と不確実性

- ✓シナリオ分析の発電容量上限300 GWに対し、2021年の累積導入量は64.8 GW。
- ✓現状で、太陽光発電、特にメガソーラーなどの大規模太陽光発電の設置に適した場所はすでに不足。
- ✓発電コストは2022年時点で0.092USD/kWhであり、他国の2倍程度高い。

技術展望

- ✓多接合型化合物太陽電池（目標効率40～50%）などの高効率化
- ✓ペロブスカイト太陽電池などの、住宅の壁面や農地などにも設置できる電池への技術開発が進められている。



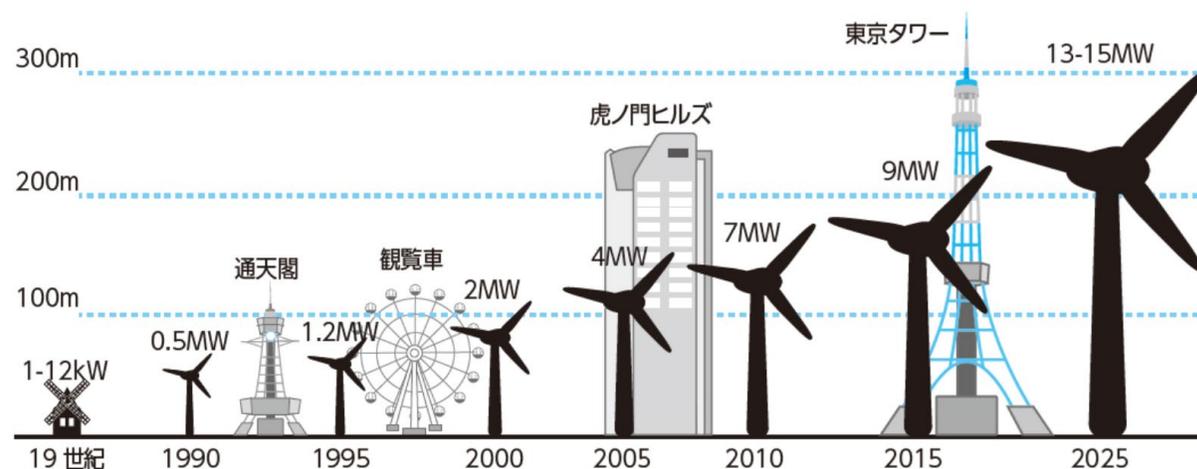
出典：（一財）エネルギー総合工学研究所，図解でわかる再生可能エネルギー×電力システム（2023）

シナリオの前提条件と不確実性

- ✓ 夜間に発電しない太陽光発電に対し、風力発電は例えば1週間以上停止するような無風期間もあり、必要な蓄電量を評価することが難しい。したがって風力発電では出力を調整するための蓄エネルギーコストを考慮していない。
- ✓ 太陽光同様に、陸上風力適地は既に不足。一方で、洋上風力発電では大量の導入可能性がある。

技術展望

- ✓ 浮体式洋上風力の開発が導入量増加の鍵。保守管理、電気設備、周辺機器、工事費を如何に下げられるか。
- ✓ 大型化による一基当たりの発電量増加。2030年には15~20 MW/基との予測。



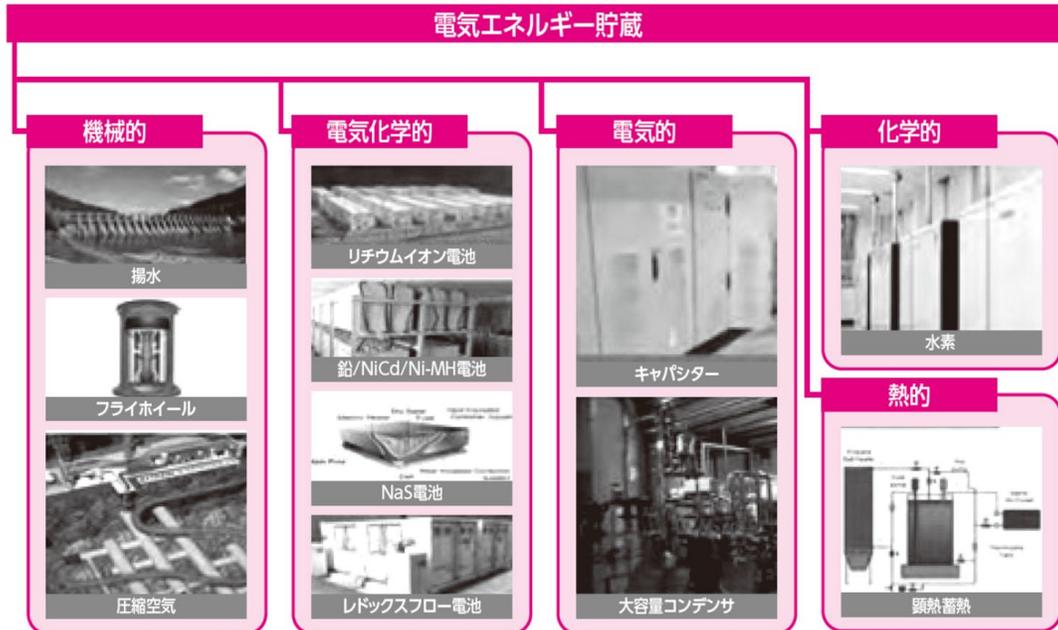
加えて、風車本体のみではない総合的な技術開発、コストダウンが重要

- ✓ 遠隔監視、点検の遠隔化、故障診断技術
- ✓ 立地に応じた運転制御最適化
- ✓ 送電線の新設や浮体設備・基礎の土木工事

出典：（一財）エネルギー総合工学研究所，図解でわかる再生可能エネルギー×電力システム（2023）

出力変動対策

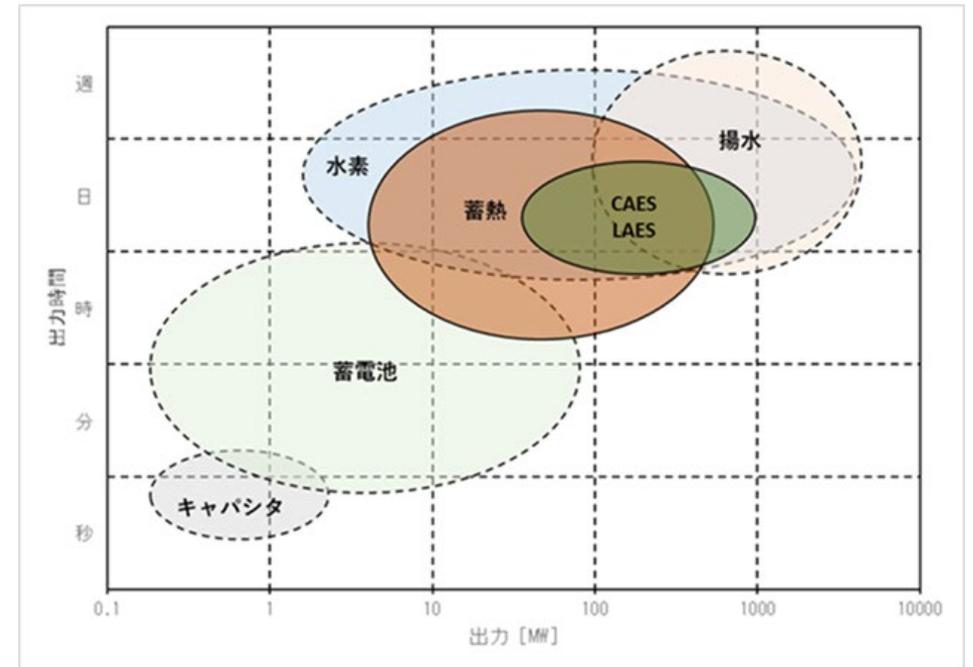
- ✓再エネ主力電源化には、送配電設備の整備、需給調整の高度化などに加えて、蓄電池、揚水、水素利用などの蓄エネルギー技術が必須。
- ✓レアメタルの確保、代替材料の開発、使用済蓄電池のリサイクル・リユースも重要性を増す。



出典：（一財）エネルギー総合工学研究所，図解でわかるカーボンニュートラル（2021）

長期エネルギー貯蔵の重要性と技術オプション

- ✓6～10時間以上の比較的長時間のエネルギー貯蔵の重要性が高まっている。
- ✓蓄熱発電や、圧縮空気エネルギー貯蔵、液化空気エネルギー貯蔵など。
- ✓これらの追加コストにより再エネ導入量が左右。



BECCS

- ✓ バイオマスをエネルギーとして利用し、そこから回収した二酸化炭素を地中などに隔離。
- ✓ シナリオ分析では、2050年のCNを達成させるためには、1,500 PJ分のバイオマス利用とBECCSによるネガティブエミッションが必要と試算。
- ✓ 現状で、国内利用されているバイオマスは、廃棄物も含めて681 PJ。
- ✓ 将来的に1,500 PJ分のバイオマスが利用可能か、利用技術や調達可能性を含めて課題が残る。

ネガティブエミッションの必要性

- ✓ 運輸部門などのCN化が難しく、二酸化炭素を排出せざるを得ない産業が存在する限り、社会全体のCN達成のためには、ネガティブエミッションは必要。
- ✓ BECCSの二酸化炭素の回収・固定はCCSと技術的に共通であり、CCSのポテンシャルやコストも課題。

- ✓ 太陽光、風力のいずれも、2050年の導入推算値は、ほぼ設定した上限となっている。言い換えると、コスト競争力は他の発電に対して十分であると予測される。
- ✓ 一方で、現状では適地不足や、蓄電池などの蓄エネルギー分の追加コストが顕在化してきている。
- ✓ これらの課題は、予測の不確実性を生む主たる要素であるとともに、2050年へ向けて、技術開発などによって解決していくべき問題である。
- ✓ さらに、各設備は中長期的には入れ替わるために、廃棄やリサイクルの問題がより大きくなる。
- ✓ 新規の設備を大量に設置するためのサプライチェーン確保や、景観・環境・農林水産業との共生といった国民理解を得るための社会受容性も重要な因子となる。

2050年に向けたエネルギー技術展望

原子力



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

原子力技術センター 原子力グループ

都築 宣嘉

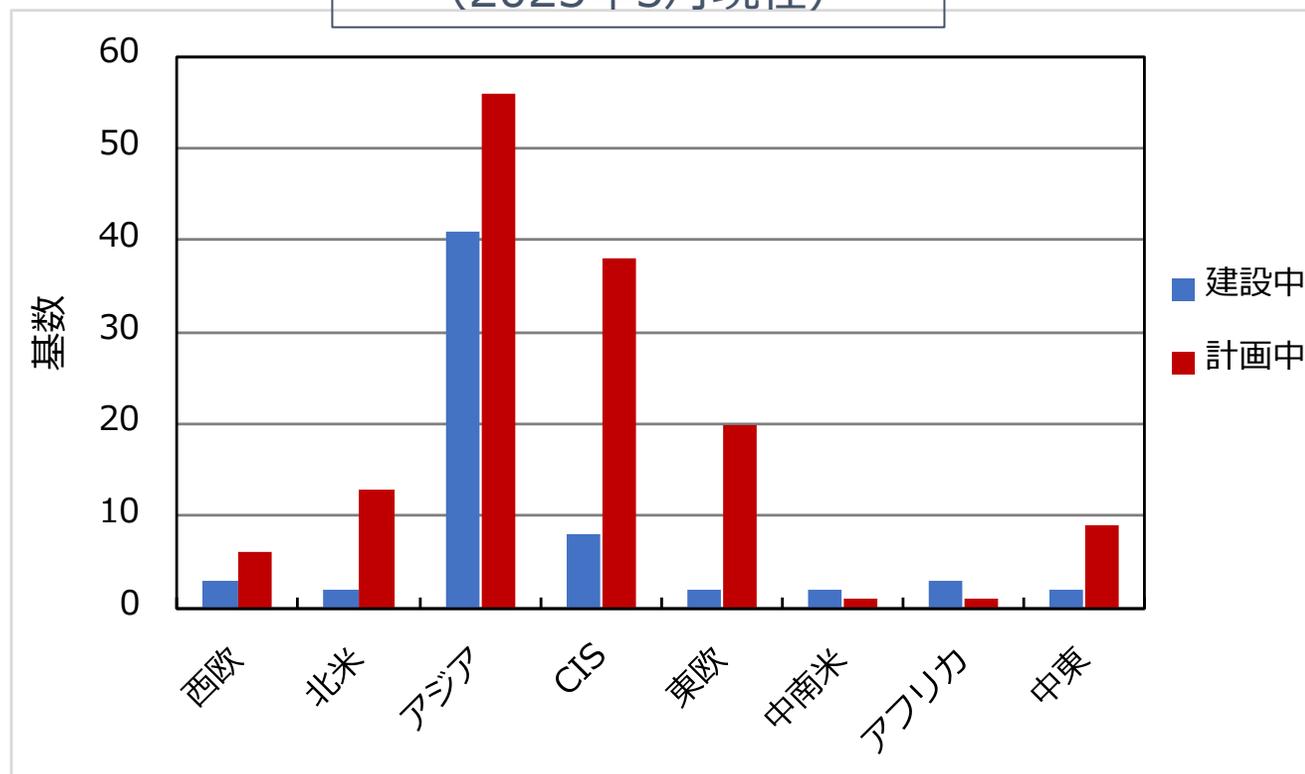
原子力の現状（1）

1950年代半ばに最初の商業用原子力発電所が運転を開始して以降、60年以上にわたり、世界各地において建設・運転が進められてきている。2023年5月の時点では、439基が運転中となっており、**世界の電力の約10%を供給**している。

世界では、建設中の炉は、中国、ロシア（CIS）を中心に50基程度あり、今後もしばらくは増加していくことが見込まれる。**特に最近、東欧で計画中の炉が増加している**ことも特徴的である。近年欧米の企業が大型軽水炉、小型モジュール炉（SMR）に関して積極的に東欧にアプローチしている。

ウクライナ問題の影響もあり、今後の動静は注目される。

建設中・計画中の原子炉
(2023年5月現在)



原子力は発電時にCO₂を排出しないため、気候変動緩和の観点からもその重要性が認識されている。

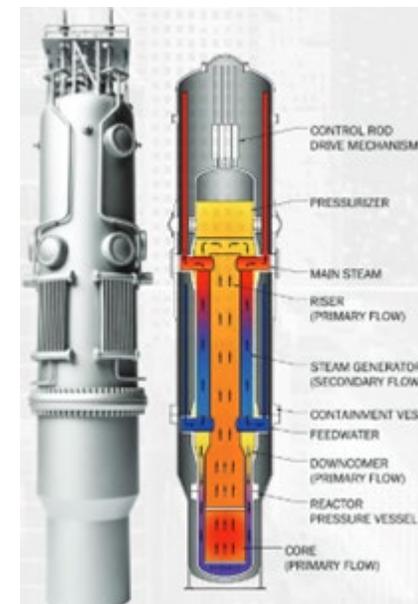
政策的な観点では、欧州連合（EU）の欧州委員会が認定する、気候変動の抑制に寄与する投資対象「EUタクソミー」に、2022年1月、天然ガス発電とともに原子力発電が認定された。アメリカにおいては、安価な天然ガス火力との競合により、原子力の市場競争力が低下する傾向にあったが、2021年のインフラ投資雇用法、2022年のインフレ抑制法など、既設炉の運転継続に向けた支援策が行われている。加えて、SMRを中心として新型炉の開発支援も積極的に行われている。

日本国内においては、2023年5月に、いわゆるGX（Green Transformation）脱炭素電源法が成立した。このGX脱炭素電源法により、原子力に関しては、安全確保を大前提とした原子力の活用／廃炉の推進が謳われ、① 原子力発電の利用に係る原則の明確化、② 高経年化した原子炉に対する規制の厳格化、③ 原子力発電の運転期間に関する規律の整備、④ 円滑かつ着実な廃炉の推進に関する決定がなされている。この③において、原子力規制委員会による安全性確認が大前提として、i) 安定供給確保、ii) GXへの貢献、iii) 自主的安全性向上や防災対策の不断の改善について経済産業大臣の認可を受けた場合に限り延長が認められることとなった。

炉型としては、現在は軽水炉が主流となっているが、将来を見据えた革新炉の検討も行われている。商用炉としては、ロシア・中国で、それぞれ高速炉が・高温ガス炉が稼働中である。近年は大型炉だけではなく、**小型モジュール炉（SMR）の開発が各国で活発に進められている**。SMRについても軽水炉をベースとしたものだけではなく、それ以外の技術（高速炉、高温ガス炉、熔融塩炉）をベースとしたものの開発も進められている。

さらに、商用炉としての実用化は2050年までには困難かも知れないが、**核融合炉**の開発研究も活発に行われている。

先述の「GXに向けた基本方針」においては、今後の建設を想定している「次世代革新炉」として革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合の5つが挙げられている。ただし、これらのうち「商用炉」とされているのは革新軽水炉のみであり、「研究を進めていく上での目標時期」とされながらも、2030年代後半の運転開始が想定されている。また、世界的に見ても、現在建設中・計画中の炉の大部分は大型軽水炉である。



NuScale社 SMR

<https://www.nuscalepower.com/-/media/nuscale/pdf/fact-sheets/smr-fact-sheet.pdf>

予備評価

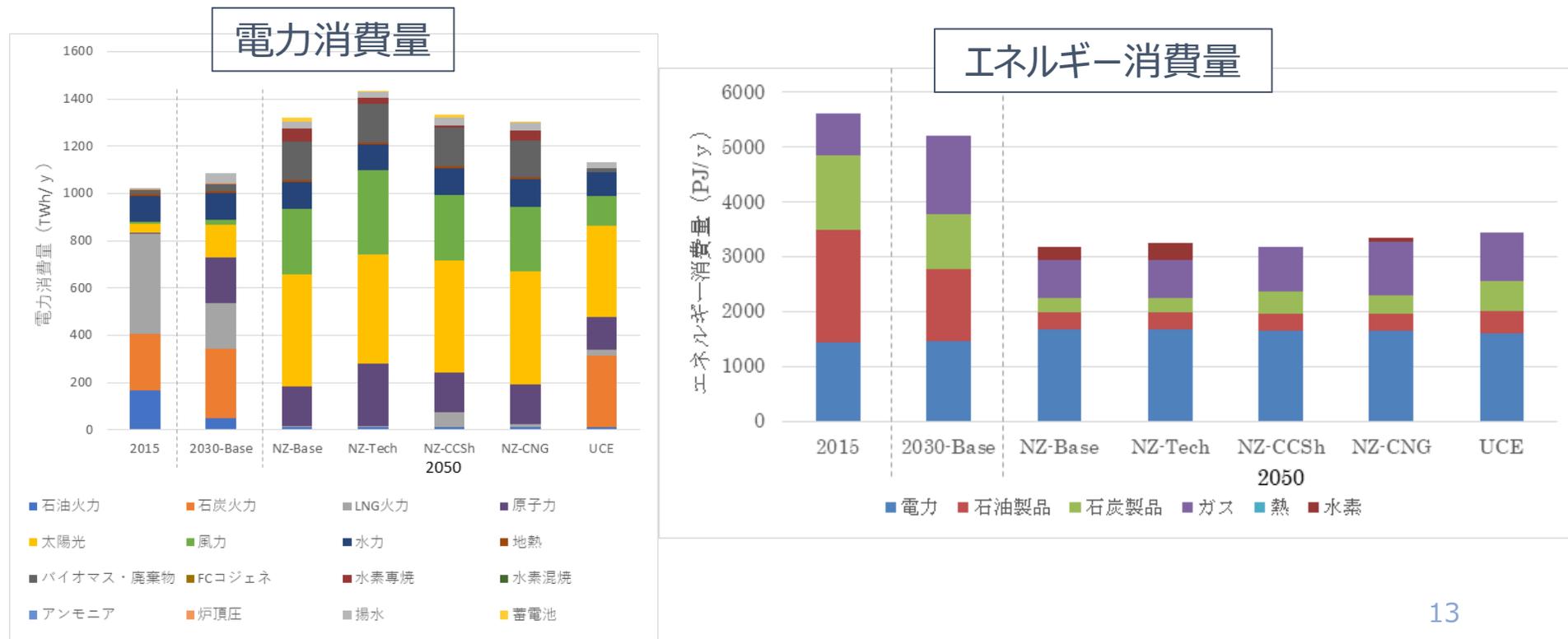
CO₂排出量に直接影響するものとして、国内CO₂貯留、海外のCO₂オフセットを用いたCNG（カーボンニュートラルLNG）の設定を変化させたシナリオに対し、エネルギー供給の原子力、再エネの各シナリオについて比較した24ケースについて、予備評価として、カーボンニュートラルを達成する解の有無を検討した。

その結果、原子力の利用なしとしたケースでは解なしとなった場合が多い。解が得られるかどうかはモデル計算における他のパラメータの想定にも依存するので、解が得られないということだけをもって原子力が重要と言い切ることはできないが、**少なくともカーボンニュートラルを実現するにあたって、原子力も重要技術の1つである**とはいえる。

エネルギーシナリオに関して（2）

本検討の結果

今回のシナリオ選定においては、原子力が高位なのはNZ-Techのみであり、これは再生可能エネルギーも高位となっている。これを基本モデルであるNZ-Baseと比較すると、NZ-TechではNZ-Baseに比べ電力消費量、エネルギー消費量が増えているなどの影響がみられる。このように原子力を含む低炭素電力の供給力が増加することにより、より多くのエネルギー・電力消費が想定できる（エネルギーシステム選択の幅が広がる）といったポジティブな影響があることが示された。



シナリオの前提条件と不確実性

本検討における原子力の**低位シナリオ**は、既存の炉（建設中のもの含む）の有効利用のみを想定するものであり、その設備容量の推移は資源エネルギー庁様の検討に準拠している。すなわち、

- ① 現在廃炉が決定していない炉は、2030年より前に再稼働される
- ② 現在建設中の3基は2030年に運転開始する
- ③ 最近の法改正にも関わらず、全ての炉の運転期間を60年とする

また、新設ありの**高位シナリオ**では、2030年以降は何らかの方法で原子力の設備容量が37.2 GWに維持される。

上記のような仮定を置いているが、低位シナリオであっても、その仮定がすべて実現されるのは容易ではないというのが実情である。

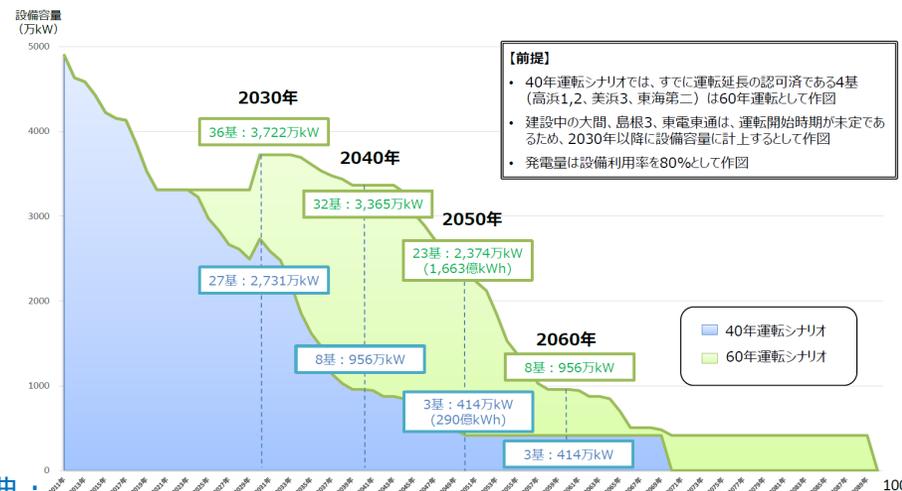
新規建設の必要性・価値

運転期間を60年とすると、2050年前後において原子力の発電量は急速に減少する。

2050年時点において、**新設を行うことなく残存する原子力発電所だけでカーボンニュートラルが実現できたとしても、その後原子力発電所が急減することでそのシナリオは維持できなくなる可能性がある。**2050年以降にも原子力による低炭素電力の供給を期待するのであれば、2050年より前に**原子力発電所の建設を進めることが必須**といえる。

国内原子力発電所の将来の設備容量の見通し

- 廃炉が決定されたものを除き、**36基の原子力発電所（建設中を含む）が60年運転すると仮定しても、自然体では、2040年代以降、設備容量は大幅に減少する見通し。**



出典：
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/035/035_004.pdf

革新炉

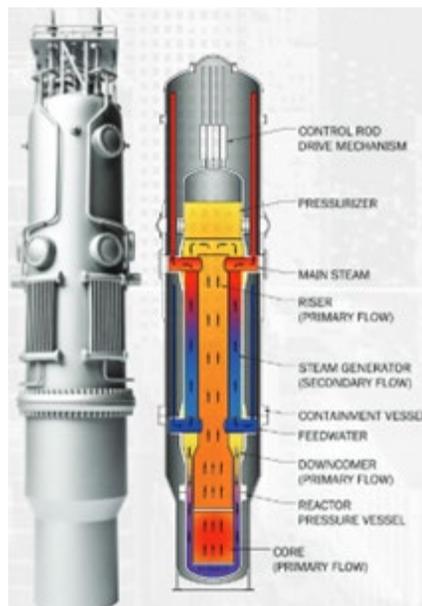
原子炉の新設のためには、原子力そのものに対する社会の理解向上を進めるとともに、安全性・経済性に優れた次世代革新炉を開発することもまた重要である。前述の通り、今後の建設を想定している「次世代革新炉」として、革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉の5つが挙げられているが、ここでは、現在注目されているSMRと核融合炉について示す。

・ 小型モジュール炉（SMR）

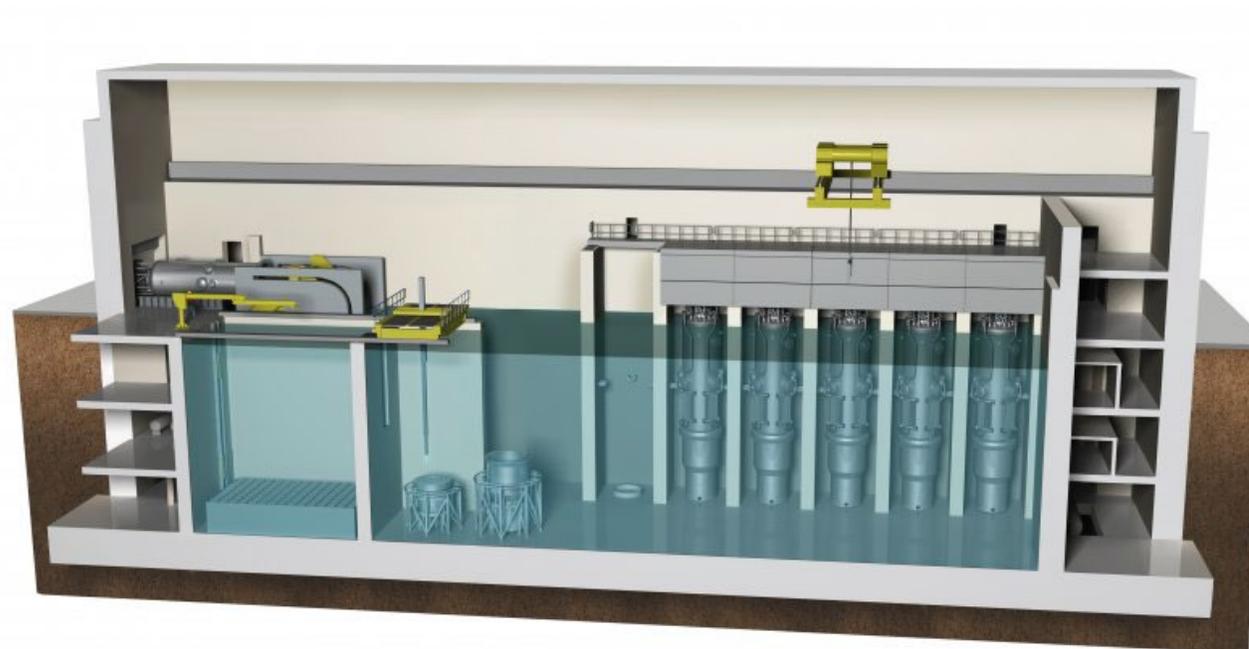
IAEAの定義によると、

- ・小型：典型的には300 MWe以下、
- ・モジュール化：系統・機器を工場で組み立てて、立地地点にユニットとして輸送可能、
- ・原子炉：核分裂反応により熱エネルギーを生成する。

多くのSMRが、安全性とともに、その経済性をPRしている。SMR固有の安全性、受動安全機器の活用などを行うことにより、安全性を損なうことなく安全設備を簡素化することによりコスト低減を実現するとしている。さらにモジュール工法のさらなる活用や量産効果により、発電コストは大型軽水炉より安くできるとしている。



NuScale社 SMR



SMR 概念図 <https://www.energy.gov/ne/advanced-small-modular-reactors-smrs>

- 核融合炉

分裂を利用する方式の炉型とは異なり、燃料に重水素または三重水素などを用いる。核分裂連鎖反応を利用せず、燃料供給と止めれば速やかに停止することから原理的に高い安全性を有し、かつ高レベル放射性廃棄物が生じないといった利点を持つ。

廃止措置

先述の通り、日本での原発の運転期間が60年に延長されても、2050年付近には多くの原子炉が運転期間の終了を迎え、廃止措置となる。廃止措置の円滑な実施は、原子力の社会受容性に影響を与える要因の一つとなりうる。また、政府のGX実現に向けた基本方針によると、**次世代革新炉の建設は「廃炉を決定した原発の敷地内」とされており**、廃止措置を円滑に実施することは次世代革新炉の建設場所の確保にも影響を与えうる。当研究所では、廃止措置の円滑な実施に向け有識者による「原子力発電所廃止措置調査検討委員会」を開催してきており、クリアランスの合理化、極低レベル放射性廃棄物の処分推進、大型機器の処理、グレーデッドアプローチなどについて提言を行ってきている。

福島第一発電所の廃炉

福島第一原子力発電所の廃炉の遂行及び完遂は、原子力の信頼回復に必須の事項である。現在は、現場及び周囲の環境整備、ロボットによる炉内状況把握などの調査及び研究が行われており、当研究所としても、さらなる調査研究、あるいはその後のデブリ取り出しの道筋を定めるための検討などに貢献していく。

原子力発電は60年以上の商用運転の実績をもつ低炭素発電である。カーボンニュートラルに向けた機運の高まりに加え、原子力への支持も世界的に高まる傾向にある。国内においても1F事故後初めて革新原子炉の建設に向けた取り組みが明記されるなど風向きは変わりつつある。

現状、2050年頃までは既存炉の再稼働及び運転延長等が順調に進めば、1割強の電力を供給することが可能であり、カーボンニュートラル実現に対して一定の役割を担うことができる見通しである。しかし、その後、既存の原子炉はその運転期間を終え、原子力の電力供給は急速に減少していくこととなる。

2050年以降のことまで考えれば、「GX実現に向けた基本方針」で示された次世代革新炉の開発・建設について、真剣に検討しなければならない時期がきている。

こういった情勢も考慮して、日本での今後の原子力の在り方に対する判断を**合理的**に行っていくべきであろう。

エネ総研としても、福島の新炉・他の原発の廃止措置に関する貢献、並びに、次世代革新炉の技術開発への貢献を含め、原子力政策の支援に積極的に関与していく所存である。

2050年に向けたエネルギー技術展望

化石エネルギーとカーボンリサイクル



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

カーボンニュートラル技術センター 炭素循環エネルギーグループ

酒井 奨

1. 化石エネルギーとカーボンリサイクルの現状

1.1 化石エネルギーの現状

1.2 カーボンリサイクルの動向

2. シナリオが示す絵姿と不確実性

2.1 シナリオが示す絵姿

2.2 シナリオ分析の不確実性

3. カーボンリサイクルの技術展望

3.1 カーボンリサイクルの意義

3.2 カーボンリサイクルを構成する技術

3.3 カーボンリサイクルの課題と展望

3. 2050年に向けたエネルギー技術展望

3.1 再生可能エネルギー

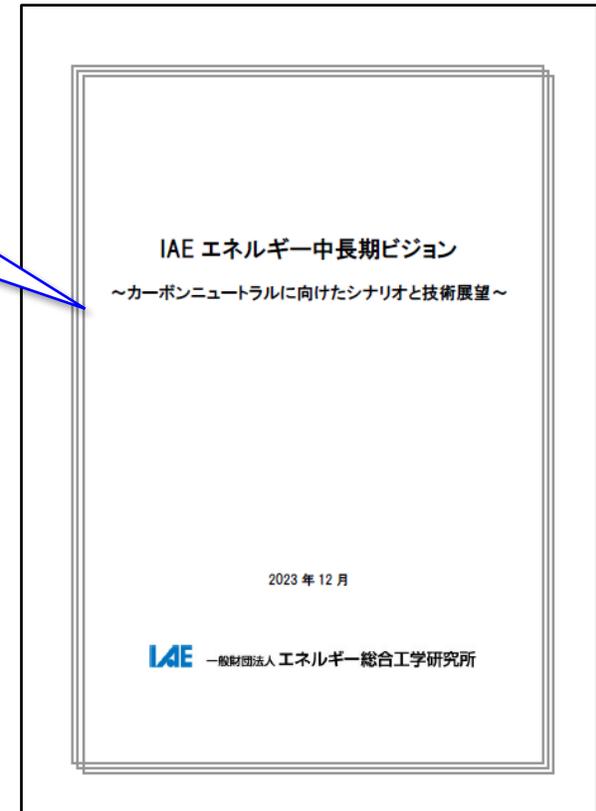
3.2 原子力

3.3 化石エネルギーとカーボンリサイクル

3.4 水素エネルギー

3.5 電力システム

3.6 産業・運輸・民生における技術展望

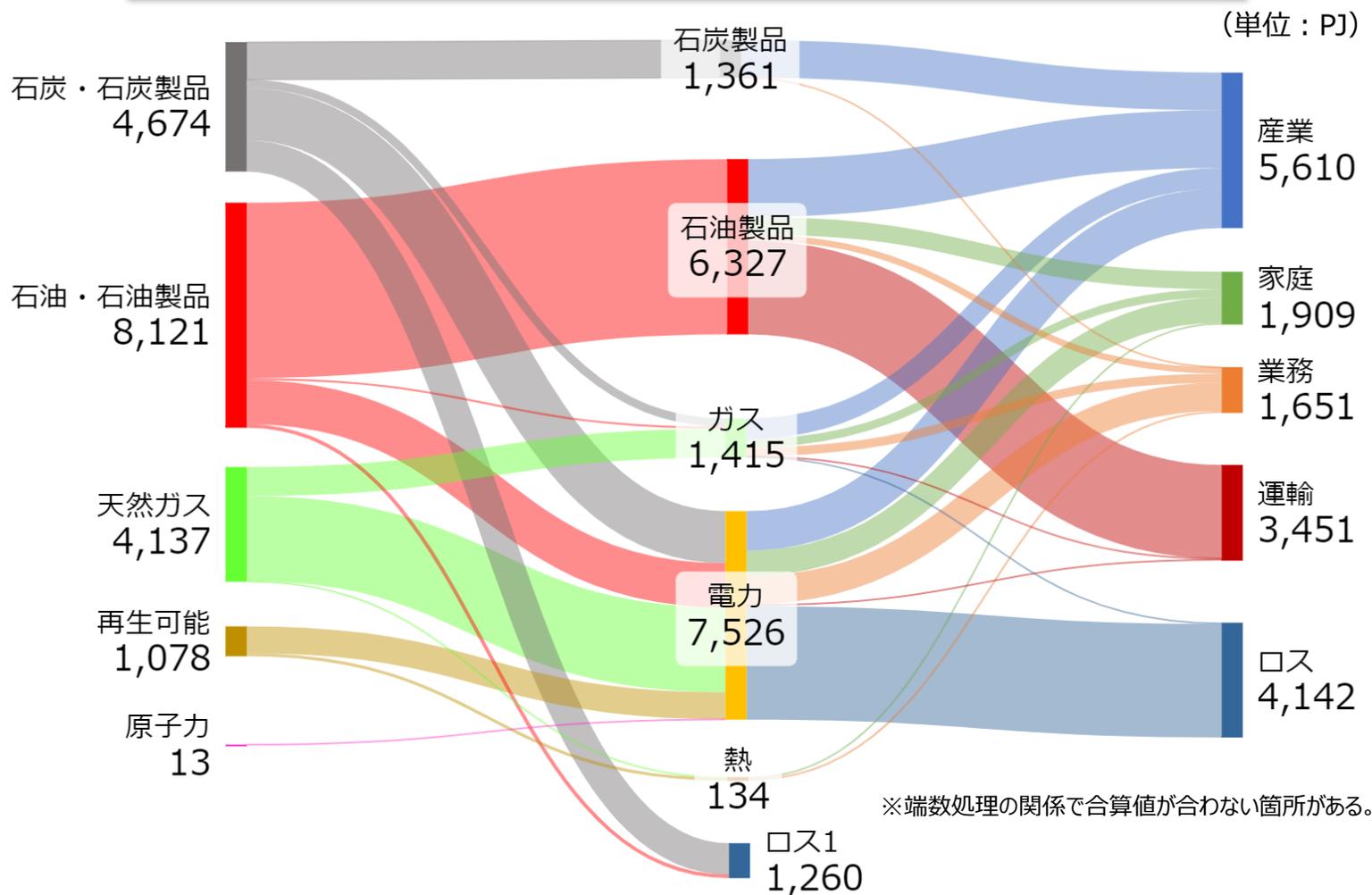


1.化石エネルギーとカーボンリサイクルの現状

1.1 化石エネルギーの現状

- ✓ 日本は資源に乏しい島国
- ✓ 平野、遠浅域が少ない
- ✓ 再エネ導入に時間と費用
- ✓ エネルギーや資源のほとんどを海外に依存
- ✓ カーボンニュートラルに向けて
 - 再エネの積極的な導入
 - 原子力の活用
 - 省エネの促進
 - 火力の低炭素化
 - 水素、アンモニアなどの導入
 - CCSの導入
- ✓ 素材産業、産業・民生の熱源、輸送用動力源など化石資源・燃料の消費低減が困難な分野の対策が課題。
- ✓ 既存の技術やインフラの有効利用したカーボンリサイクルの導入によるCO₂削減。

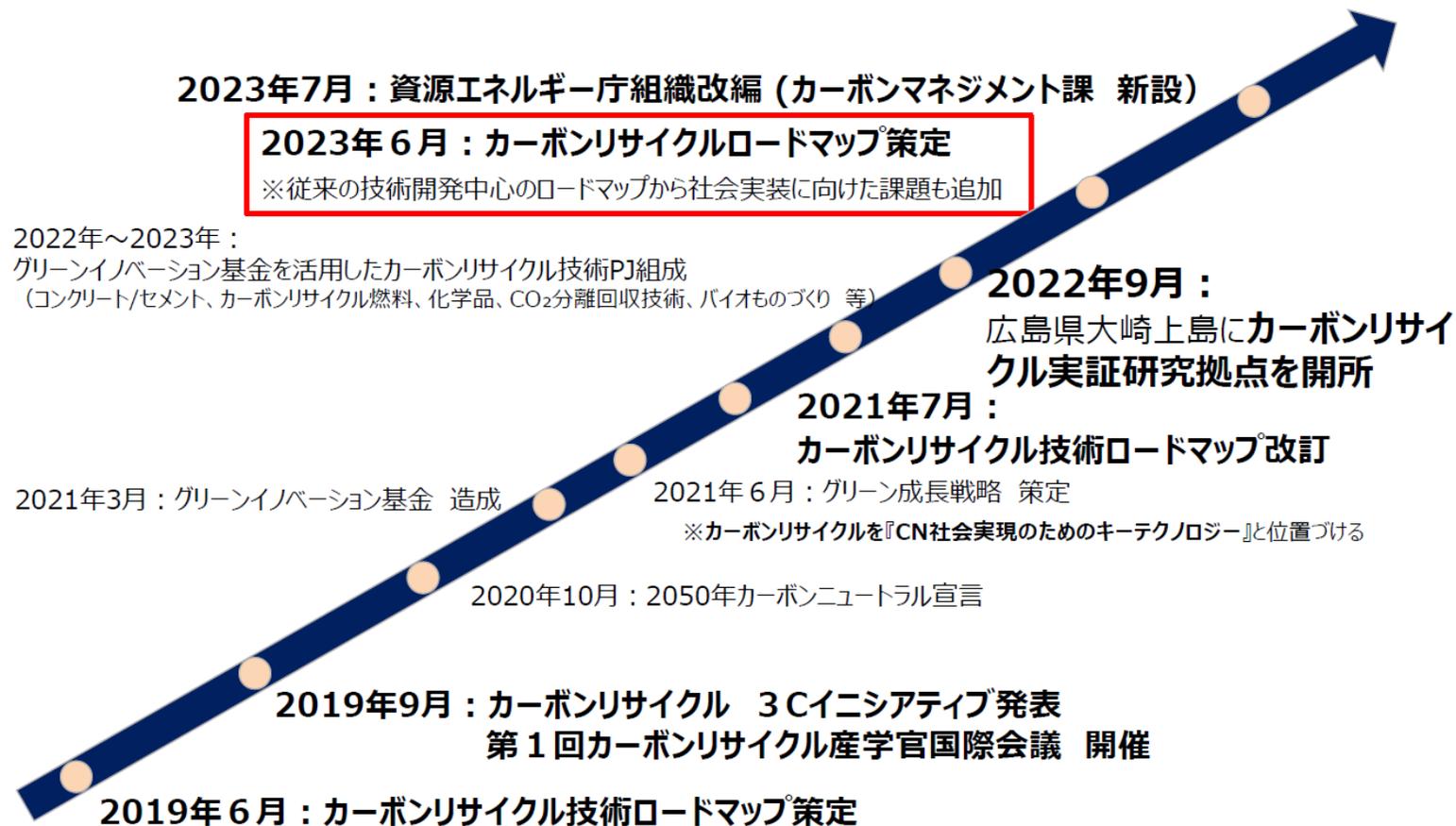
シナリオ分析の基準年（2015年）の日本のエネルギーフロー



出典：IAE エネルギー中長期ビジョン ～カーボンニュートラルに向けたシナリオと技術展望～, 2023.12.

1.2 カーボンリサイクルの動向

カーボンリサイクル政策に関するこれまでの取組



カーボンリサイクルロードマップ策定

✓ 技術開発だけでなく、社会実装を加速するための課題が記載。

- I 意義
- II 技術
- III 産業化の加速
 - ①産業間連携
 - ②国際連携
 - ③担い手の創出
- IV 今後の課題とアクション
 - 別冊1：技術ロードマップ
 - 別冊2：産業間連携の事例集

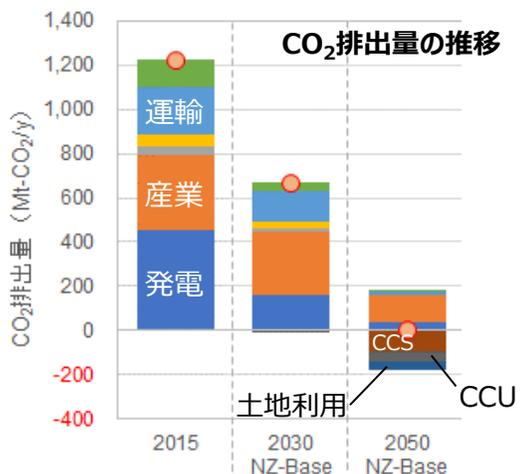
✓ カーボンニュートラル社会の実現と、産業政策・エネルギー政策を両立するための鍵となる重要なシステム。

出典：笹山氏(METI), “GXに向けたカーボンリサイクル政策について”, IAE第432回月例研究会資料, 2023.9.

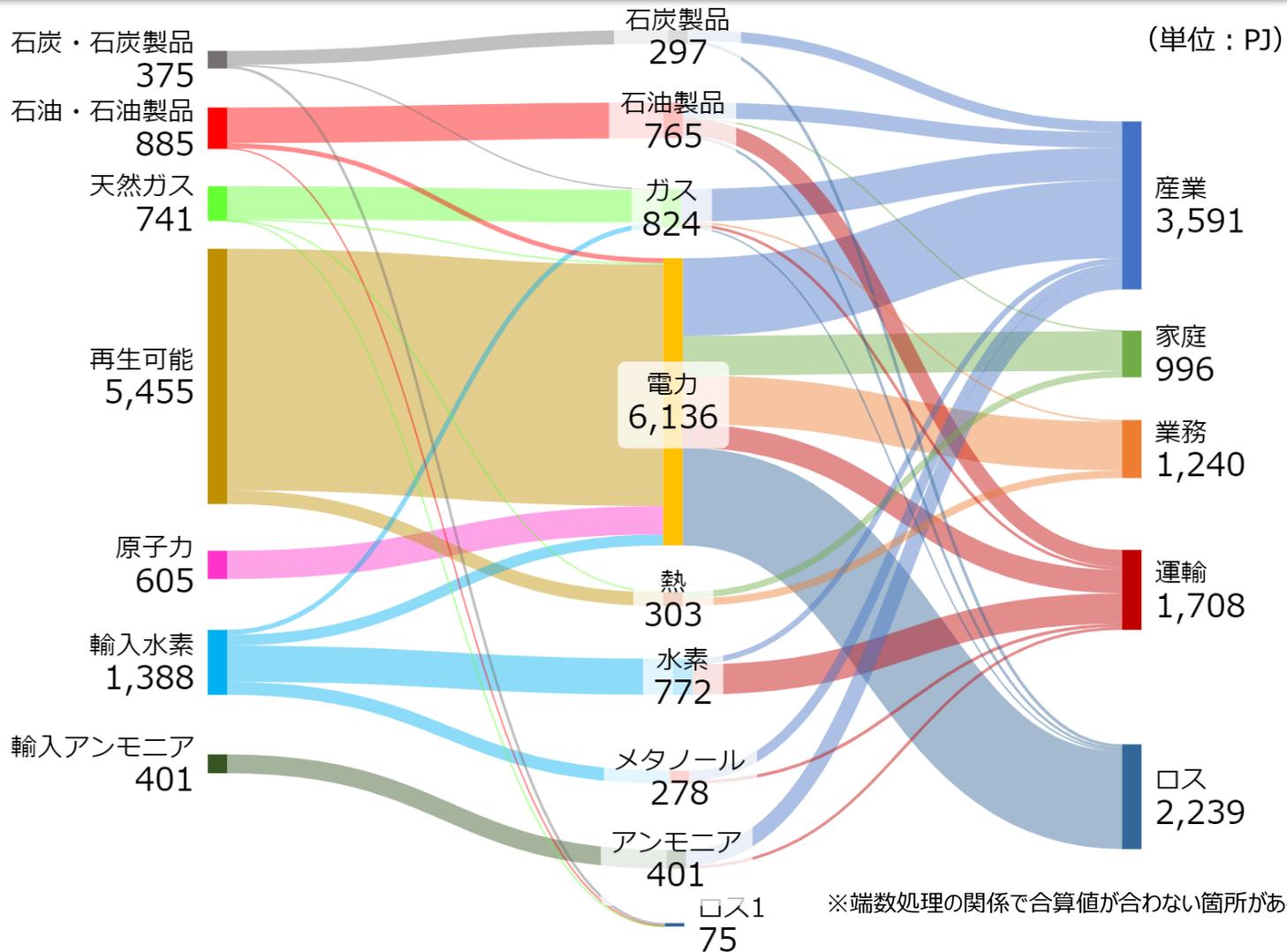
2.シナリオが示す絵姿と不確実性

2.1 シナリオが示す絵姿

- ✓ 化石エネルギーの消費量が激減
- ✓ 一次エネルギーに占める再エネが激増
- ✓ 水素の積極的導入
- ✓ 残存する化石エネルギーによるCO₂排出に対しては、CCU、CCSが前提に。
- ✓ CCUによるCO₂削減量：約4,000万トン
- ✓ CCSによるCO₂貯留量：約1億トン
- ✓ CCUによるCO₂削減については、主に産業部門から排出されるCO₂を回収して、合成燃料として利用している。
- ✓ 分散するCO₂排出はNET'sで正味ゼロに調整する。

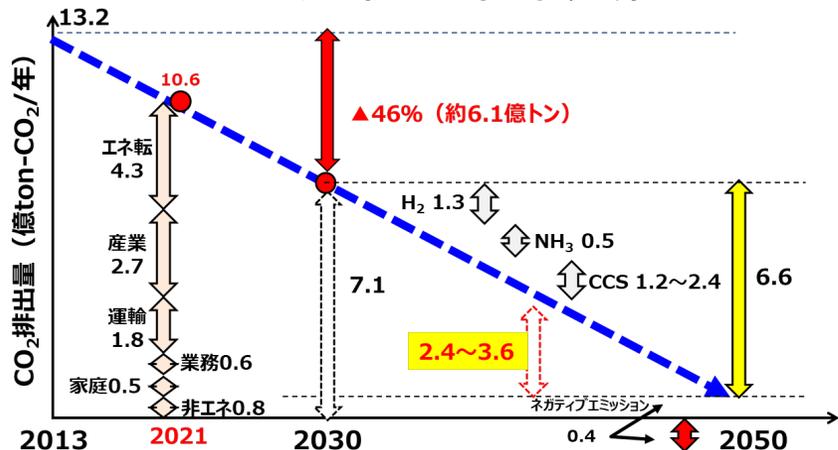


シナリオ分析NZ-Baseケースにおける2050年の日本のエネルギーフロー

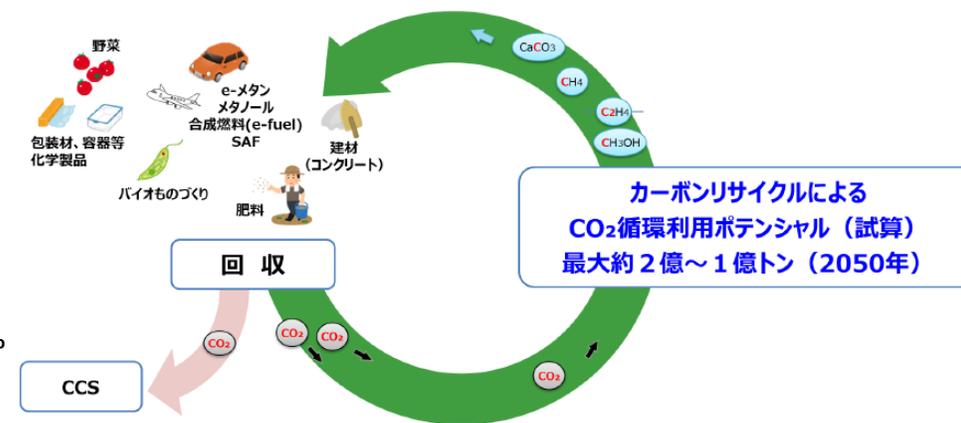
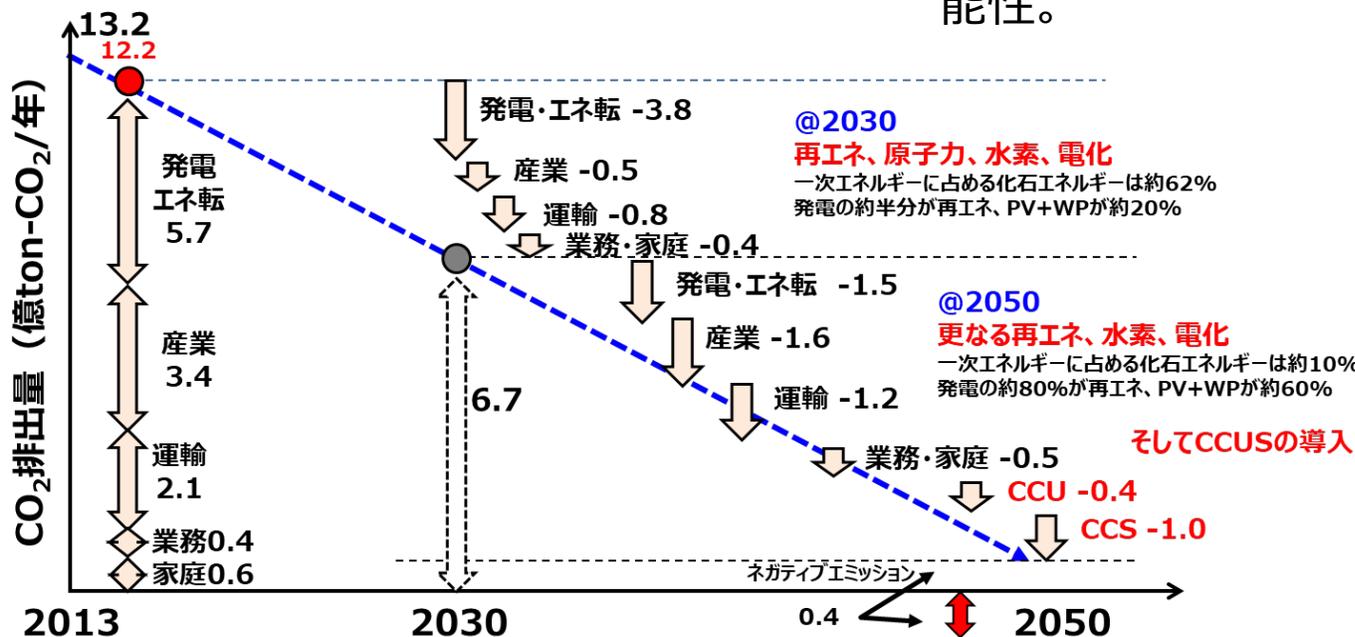


2.シナリオが示す絵姿と不確実性

2.2 シナリオ分析の不確実性



- ✓ 再エネの大量導入、水素、原子力に対する不確実性 →他章を参照。
- ✓ NET's (DACやBEC) の技術進展。
4,000万トン/年のCO₂回収・CCU利用の実現性。
- ✓ CCUは合成燃料 (e-methaneやCO₂利用のSAF*) のみ考慮。
※バイオマス由来、廃食油由来、廃棄物由来のSAFを除く。
- ✓ その他の燃料、特に船舶や航空、分散型のエネルギー源や動力源での燃料利用についての詳細分析が必要。
- ✓ 化学品、鉱物・コンクリート等によるCO₂固定への可能性が未検討。
- ✓ 本来の意味でのカーボンサイクル (CO₂の国内外での循環利用) の可能性。



出典：
 (左上図) IAE編著，“カーボンニュートラル2050ビジョン”，エネルギーフォーラム，2024.3.
 (左下図) 上記書籍に掲載している棒グラフから新たに作成
 (右図) METI，“カーボンサイクルロードマップ”，2023.6.

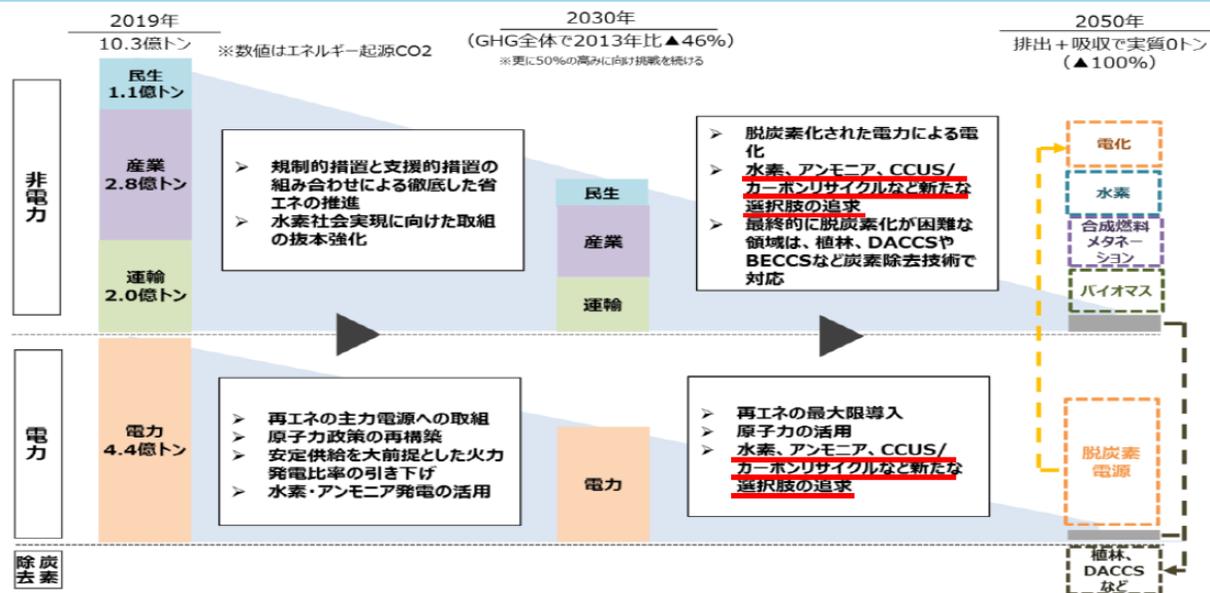
3.カーボンリサイクルの技術展望

3.1 カーボンリサイクルの意義

- ✓ CO₂を資源と捉え、新たな価値（有価物）に変換して市場に戻す。
- ✓ カーボンリサイクルだけでカーボンニュートラル社会を実現するのは困難だが、2050年に向けてCO₂の削減に大きく貢献（シナリオ分析・井上の資料p9参照）。
- ✓ 既存の設備、インフラ、技術を最大限活用することで成り立つシステムが多い。
- ✓ 火力発電、素材産業、石油精製、分散型エネルギー源・動力源で、電化や脱炭素化が困難な分野で活用すべき技術。
- ✓ カーボンニュートラル社会の実現と、産業政策・エネルギー政策を両立するための鍵。

カーボンニュートラルに向けたカーボンリサイクルの役割

- 2050年カーボンニュートラル目標の実現に向けて、**火力発電所の脱炭素化や、素材産業や石油精製産業といった電化や水素化等で脱炭素化できずCO₂の排出が避けられない分野を中心に、カーボンマネジメントとして、カーボンリサイクル・CCSを最大限活用する必要。**
- **CO₂を有価物として捉え再利用するカーボンリサイクル**は、再生可能エネルギー、原子力、水素・アンモニアとともに、**日本の脱炭素化と産業政策やエネルギー政策を両立するための「鍵」となる重要なオプションの一つ。**

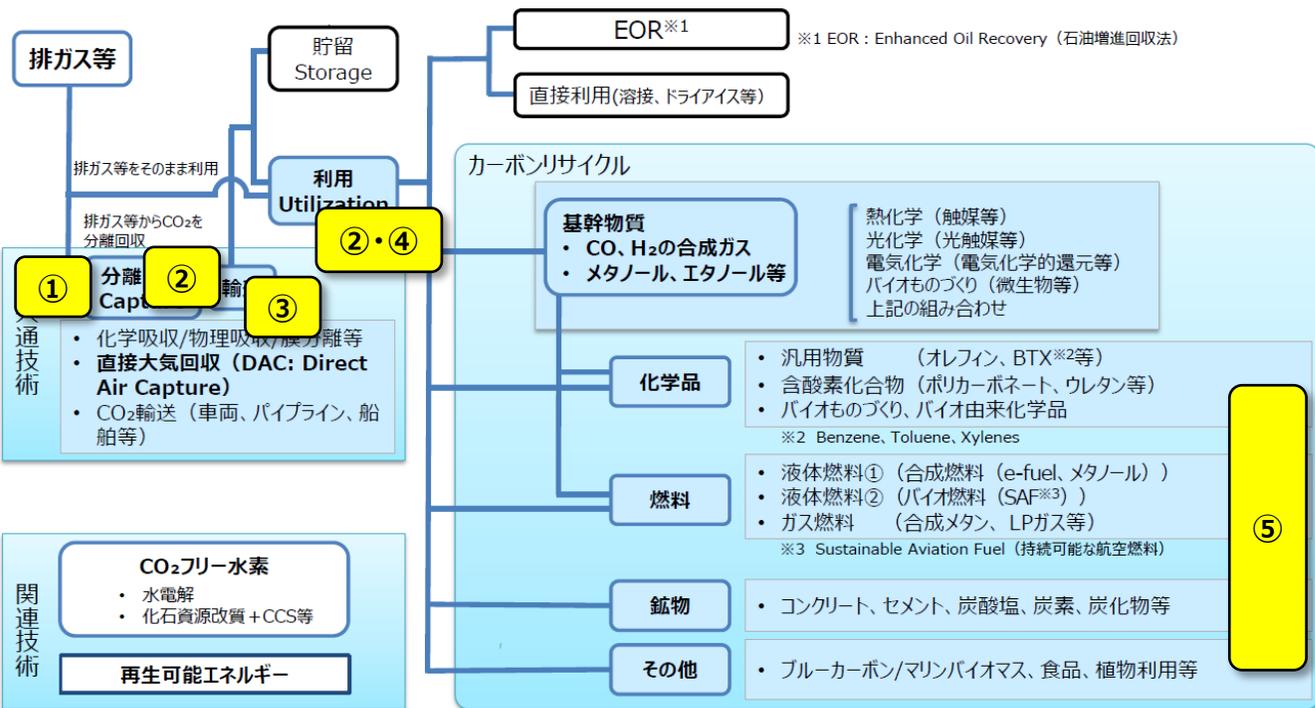


(出典)「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

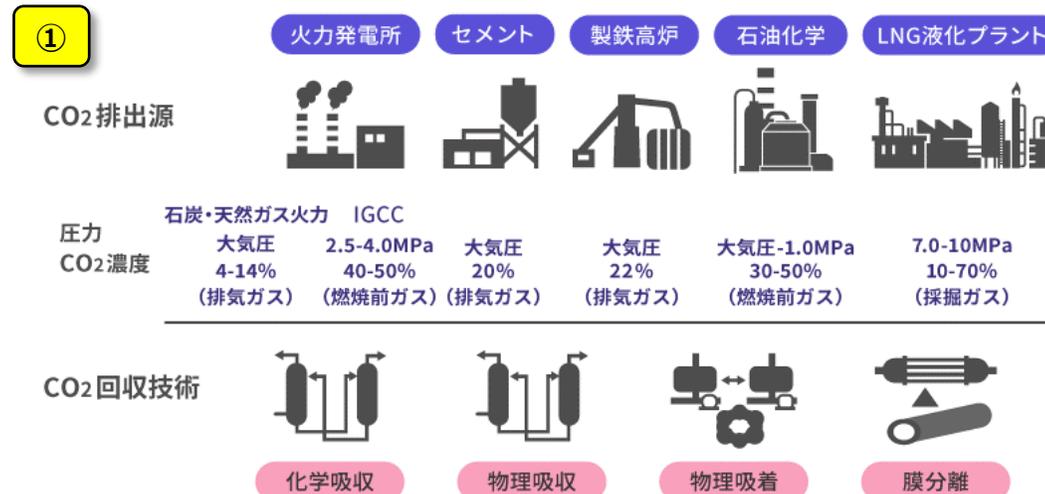
3.カーボンリサイクルの技術展望

3.2 カーボンリサイクルを構成する技術

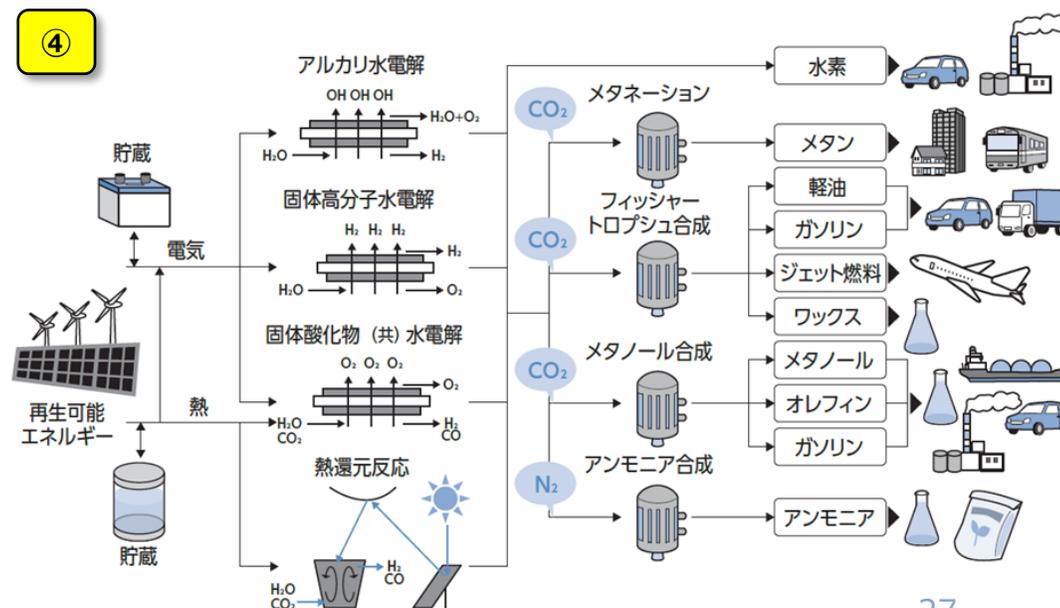
✓ ①CO₂分離回収、②液化・貯蔵、③輸送、④変換、⑤利用



出典：METI, “カーボンリサイクルロードマップ”, 2023.6.



出典：NEDO, GI基金特集記事, “CO₂分離回収技術の進化で、カーボンニュートラル実現を目指す！”, 2023.8.



出典：IAE編著, “図解でわかるカーボンニュートラル”, 技術評論社, 2021.9.

3.カーボンリサイクルの技術展望

3.3 カーボンリサイクルの課題と展望

カーボンリサイクルにおける産業間連携の類型

- **コンビナートなどの産業集積地では、既存インフラが整備**されており、カーボンリサイクルに必要な**水素供給も効率的に実施することが可能**。他方で、**CO₂は日本全国から排出**されており、**セメント・コンクリートなど、水素が不要な技術も存在**。
- 産業間連携のあり方は多様であるが、CO₂の供給量と利用者の集積度合いや既存インフラの整備状況などを踏まえると以下のような分類が可能。

大規模産業集積型

- CO₂排出者とCO₂利用者が存在
- 複数のCR用途が見込まれる
- 規模のメリットを活かした効率的なインフラ整備が可能

中小規模分散型

- 大規模なCO₂排出源がないため、CO₂を集約することが必要
- CRの用途は水素の調達状況により異なる。(内地などでは、コンクリート・セメントや食品、農業、バイオなど)

オンサイト型

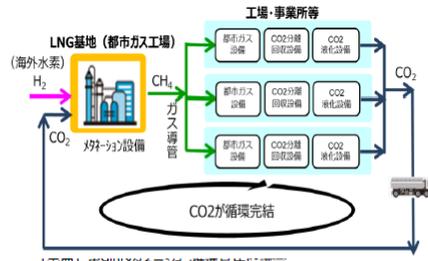
- メタネーションなどのCR技術を想定
- 実証段階から早期に実現可能であり、CR導入初期、実証期において重要な役割
- 排熱や蒸気の有効利用など、トータルのエネルギー収支の検討が必要

(五井・蘇我(千葉)コンビナートの例)



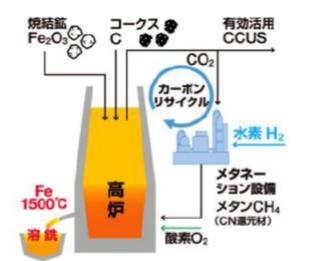
(出典) NEDO事業「千葉県五井地区産業間連携調査(横河電機)」

(中部圏での検討例)



(出典) 第7回メタネーション推進官民協議会(株式会社アイシン、株式会社デンソー、東邦ガス株式会社資料)

(カーボンリサイクル高炉の例)

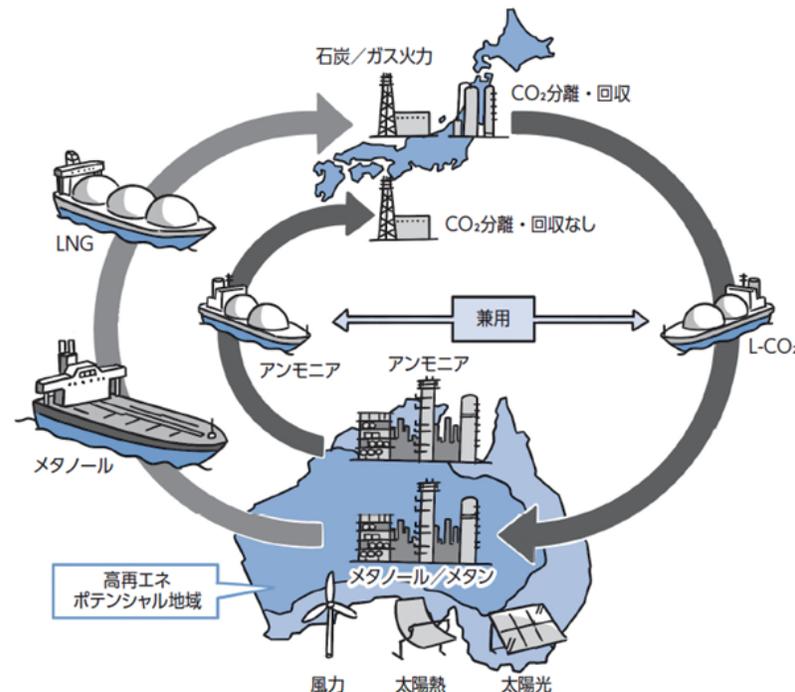


(出典) 第7回メタネーション推進官民協議会(JFEスチール(株)資料)

出典: METI, “カーボンリサイクルロードマップ”, 2023.6.

エネ総研は中立な立場から、技術やシステムの特徴を幅広い視野の下、数値化して分かりやすくご提示し、産業間連携も含めて皆様のご支援に尽力致します。

- ✓ カーボンリサイクルは単独の技術では成立しない。
- ✓ 産業間・異業種間の連携が重要(3タイプ)
- ✓ ①情報共有、②事業主体の存在、③法規制対策(独占禁止法、高圧ガス保安法など)がポイント。
- ✓ 中小規模分散型の難しさ(CO₂や水素の供給とCCU製品の用途・市場とのバランス)は解決に時間がかかる。
- ✓ 国際連携、スタートアップの育成、CCU製品の付加価値化、事業者のインセンティブの付与など、広い視野をもつ必要。



出典: IAE編著, “図解でわかるカーボンニュートラル”, 技術評論社, 2021.9. 28

2050年に向けたエネルギー技術展望

水素エネルギー



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

カーボンニュートラル技術センター 水素エネルギーグループ

水野 有智

水素エネルギーの現状と将来への期待

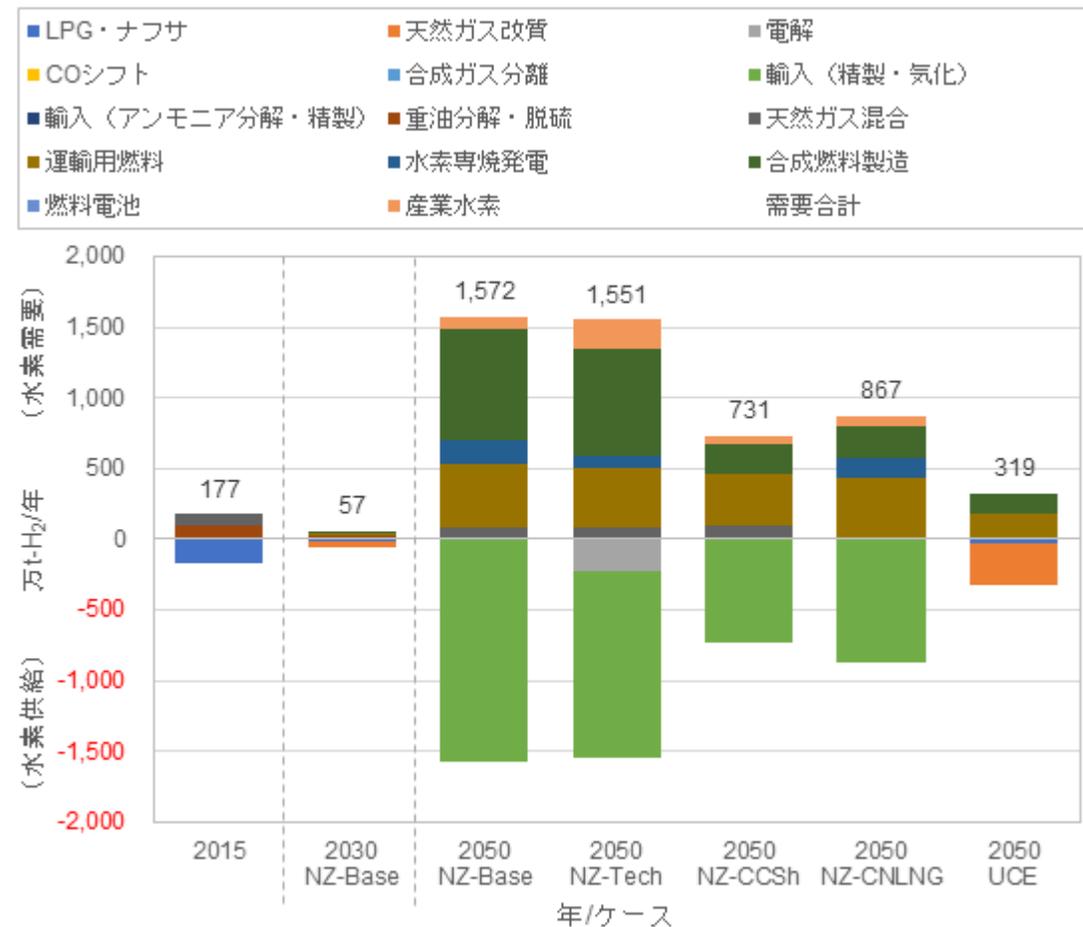
- 水素エネルギーへの期待
 - 多様な一次エネルギーから製造ができる
 - 脱炭素化困難な運輸・産業部門の脱炭素化手段となりうる
 - CO₂限界削減費用も許容可能な範囲
- 水素エネルギーの現状
 - 国内の水素利用量=約200万t/年
 - うちエネルギーとしての利用量=約600t/年 (FCV燃料として)
- 世界の動き
 - 各国で産業振興、インフラ整備の動きが活発化
 - 日本：水素基本戦略の改定（2023）、第6次エネルギー基本計画（2021）、水素社会推進法（審議中）



出典：[IRENA, Accelerating hydrogen deployment in the G7: Recommendations for the Hydrogen Action Pact, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2022,](#)

中長期ビジョンの中で示された絵姿と不確実性

- 水素需要
 - CN達成ケースでは合成燃料製造と運輸用燃料が主要な水素需要
 - 水素火力発電、産業用水素もCN達成ケースでは普及
- 水素供給
 - CN達成ケースでは輸入水素がほぼすべてを占める
 - 国内の再エネ、原子力が豊富なNZ-Techケースでは電解が一部（約15%）
- 不確実性
 - 合成燃料製造は国内CCS可能量、カーボンニュートラルLNG※の利用可否に大きく左右される
 - モデル計算の都合※※上、水素火力発電の水素需要は過少に見積もられている可能性がある



※ カーボンオフセットされた輸入LNG、実質的には海外でのCCS貯留

※※ 日本全体を1体として計算、モデルの時間解像度

- CN達成ケースの水素需要は2015年の4～9倍
 - あと約25年でこの規模の需給拡大が必要
 - 確立された技術の普及と新規技術の開発が両方必要
- 確立された技術
 - 水電解：実用工業設備としての性能向上、生産性向上、希少資源の使用量削減・循環利用
 - 化石資源からの水素製造：CO₂回収、輸送、貯留技術、CCS貯留層の開発
- 新規技術
 - 再エネからの直接水素製造（人工光合成、光触媒熱分解）
 - 水の熱分解（高温ガス炉、太陽熱）
- 課題
 - 再生可能エネルギーの供給増とコストダウン、設備のコストダウン
 - 安価で安定した一次エネルギー源の開発

- 水素エネルギーキャリア技術
 - キャリア毎に異なる特徴、技術的課題 (右表)
 - キャリア毎の課題に合わせた技術開発
 - キャリア毎に適材適所の導入
- 水素パイプライン輸送
 - 敷設コスト大だが、大量の水素を安定的に供給できる
 - 内陸部における本格的な水素利活用には必要
 - 欧米では真剣に検討

	体積水素密度 (kg/m ³)	長所	短所
気体水素 (参考)	0.0899		
圧縮水素	40 (70MPa) 23 (35MPa)	広く普及	高圧ガス
液化水素	70.8	高密度 高純度水素が得られる	-253℃まで冷却するエネルギー消費が大きい ボイルオフがあるため長期貯蔵に向かない
有機ハイドライド	47.0 (MCH-トルエン)	室温で長期貯蔵が可能 石油製品用インフラが活用可能	水素取り出しに熱 (300℃前後) が必要
アンモニア (液体)	120.0	高密度 圧縮により液化する 直接利用できる	毒性、腐食性 燃焼時の燃料由来窒素酸化物
合成メタン (液体)	108.1	高密度 LNG、都市ガス用インフラが活用可能 直接利用できる	製造時にCO ₂ が必要 利用時にCO ₂ を排出
水素吸蔵合金	高いもので100前後	穏やかに吸脱できる 高密度 高純度水素が得られる	重量が重く、移動体に不向き

- 「脱炭素化困難な領域」を脱炭素化する技術が重要
- 運輸用燃料
 - 特にトラック・バス、鉄道、船舶といったヘビーデューティ輸送
 - 液体化石燃料に対するエネルギー密度の低さが本質的課題
- 水素火力発電
 - 1か所で大量の水素を消費する、水素の本格的普及に向けた過渡期の技術
(1960~80年代のLNG導入時の南横浜火力発電所建設と、東京ガスの熱量変更)
 - 大量の水素を供給するサプライチェーン構築が課題
- 産業用水素
 - 省エネ・電化に次ぐ第三の選択肢
 - バーナー・ボイラーなどの高温熱供給と原料供給
- 合成燃料製造
 - 高いエネルギー密度、既存エンジン技術等の活用
 - 低コストな水素の安定供給が必要、CO₂の調達も必要

- 国際水素サプライチェーンの構築
 - 日本は他国からのエネルギー輸入が必須で、その1手段が水素
 - 世界各国で水素の輸出入計画が出始めている
 - 多額の投資、大量の水素・アンモニアを引き受ける需要家が必要
- 国内での水素製造
 - モデル分析によると、豊富な国内電源（再エネ、原子力）を前提とする
 - 今回のモデル分析では具体的な絵姿を描けていない（水素製造設備の分布等）
- 水素エネルギーの普及に向けた制度面の整備
 - 安全性の担保を前提として、事業者の背中を押す国内法規制
 - 国際的なルールメイキングへの関与



出典：https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/028_10_00.pdf

- 水素エネルギーは脱炭素化手段として有望な特徴を持つ
 - 脱炭素化困難な領域の脱炭素化に使える
 - 再生可能エネルギーを地域間で融通する手段
- 水素エネルギーの課題
 - 導入・普及のスピード
 - 脱炭素化手段としての限界削減費用は許容範囲にあるとされるが、コストダウンが進まなければ自発的な普及はありえない
- 日本の脱炭素化に向けて
 - 国内だけではエネルギー供給量が足りない日本にとって海外からエネルギーを輸入する手段の1つ
 - 電源が豊富であれば国内で電解製造することによりエネルギー自給率向上に貢献

2050年に向けたエネルギー技術展望

電力システム



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

2024年4月19日

カーボンニュートラル技術センター 電力システムグループ

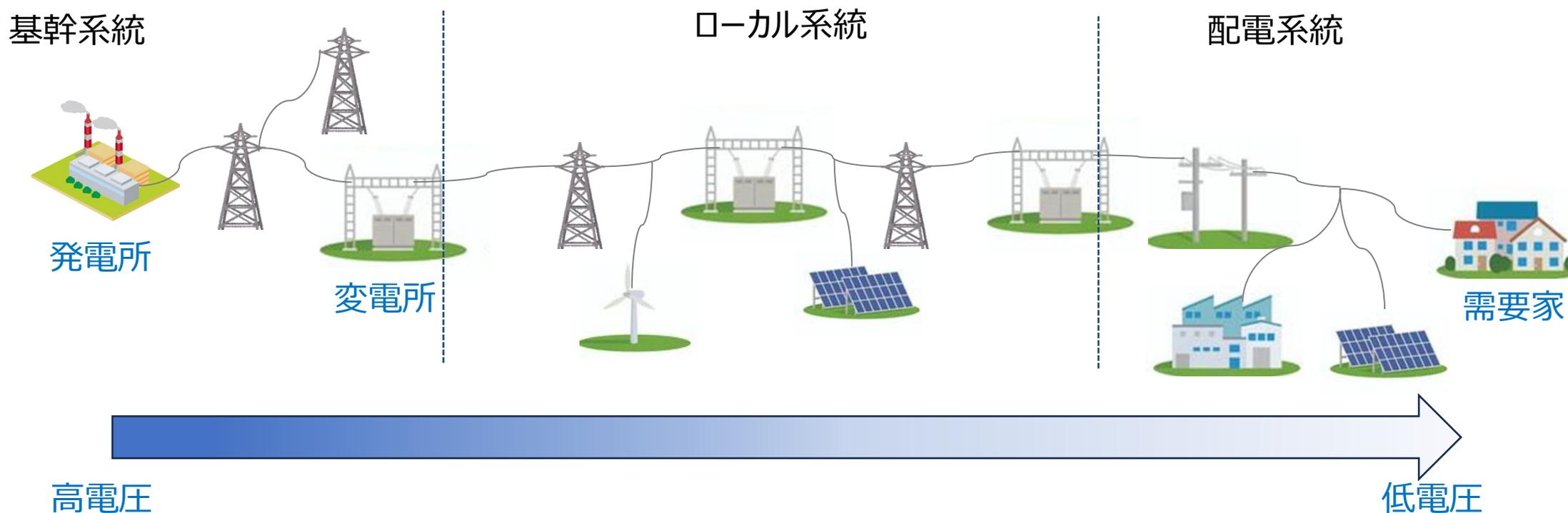
松浦 隆祥

目次

- 1.電力システムとは
- 2.各種電源の特徴
- 3.再エネと既存電源の違い
- 4.社会全体の流れ 5つのD
- 5.電力システムにおけるCNの実現について
- 6.電力システムにおける様々な課題
- 7.再エネ導入拡大における制約条件
- 8.IAEとしての提案
- 9.まとめ

電力システムとは

電力システムとは、電気を作り、送る一連の仕組みを指す。電力エネルギーの発生である発電、輸送である送電や変電、消費と供給に当たる需要と配電の全体の流れを含む。

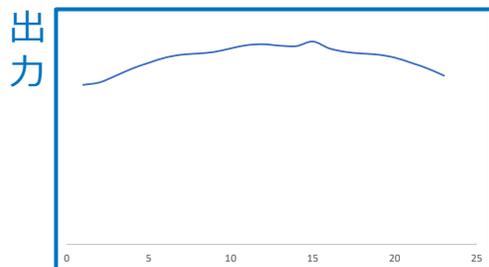


各種電源の特徴

火力電源は出力電力を調整することができ、これにより需要変動に合わせた出力を行うことができる。一方、再エネ電源は天候によって出力が変動してしまう。

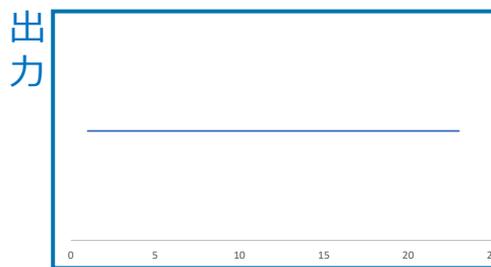
調整能力大

火力発電



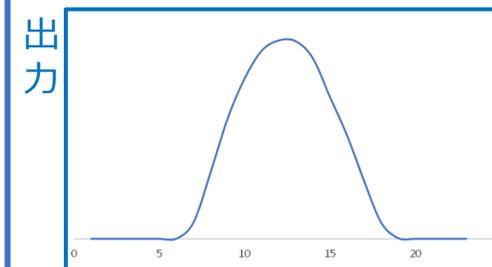
出力可変

原子力発電



出力一定

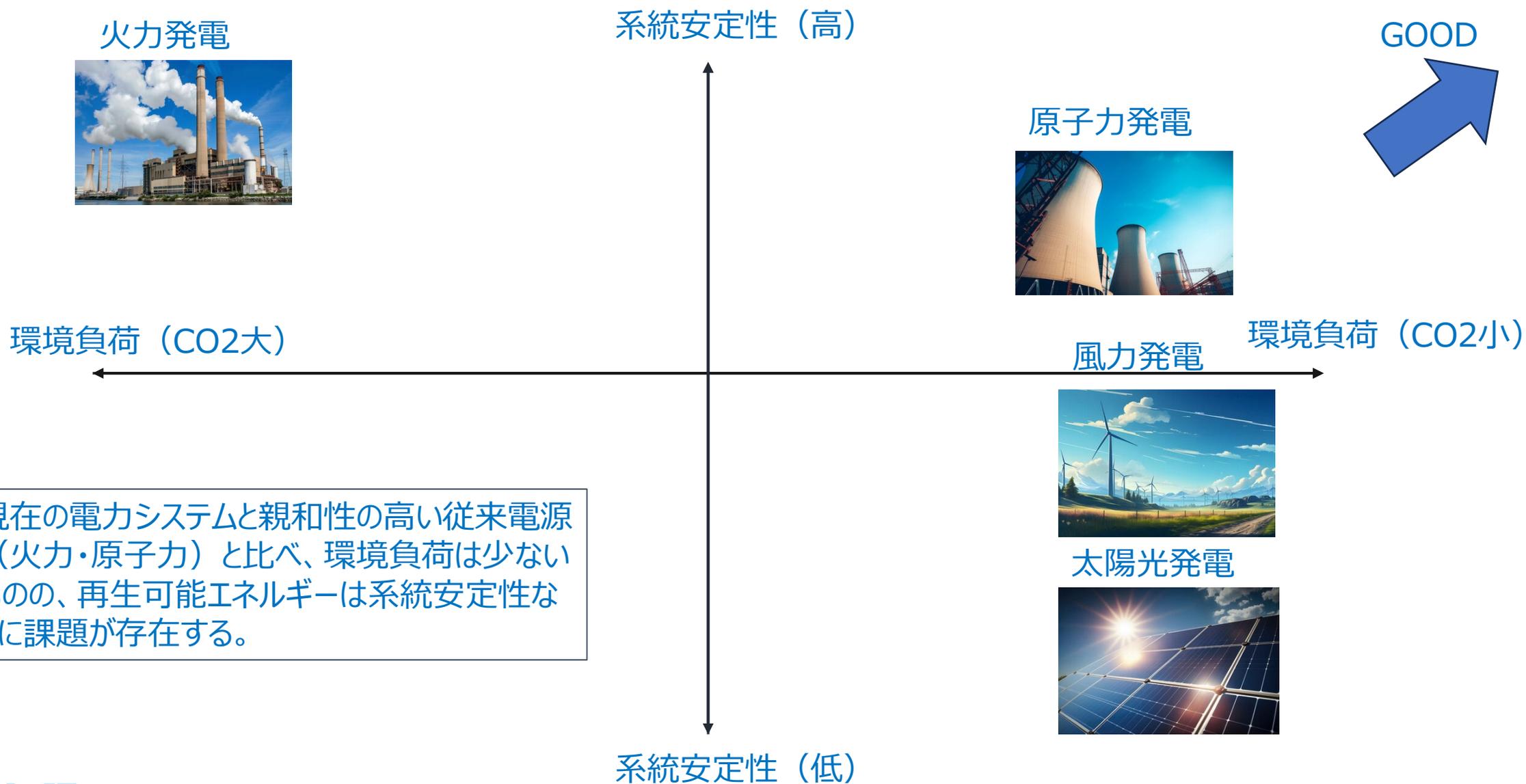
太陽光発電



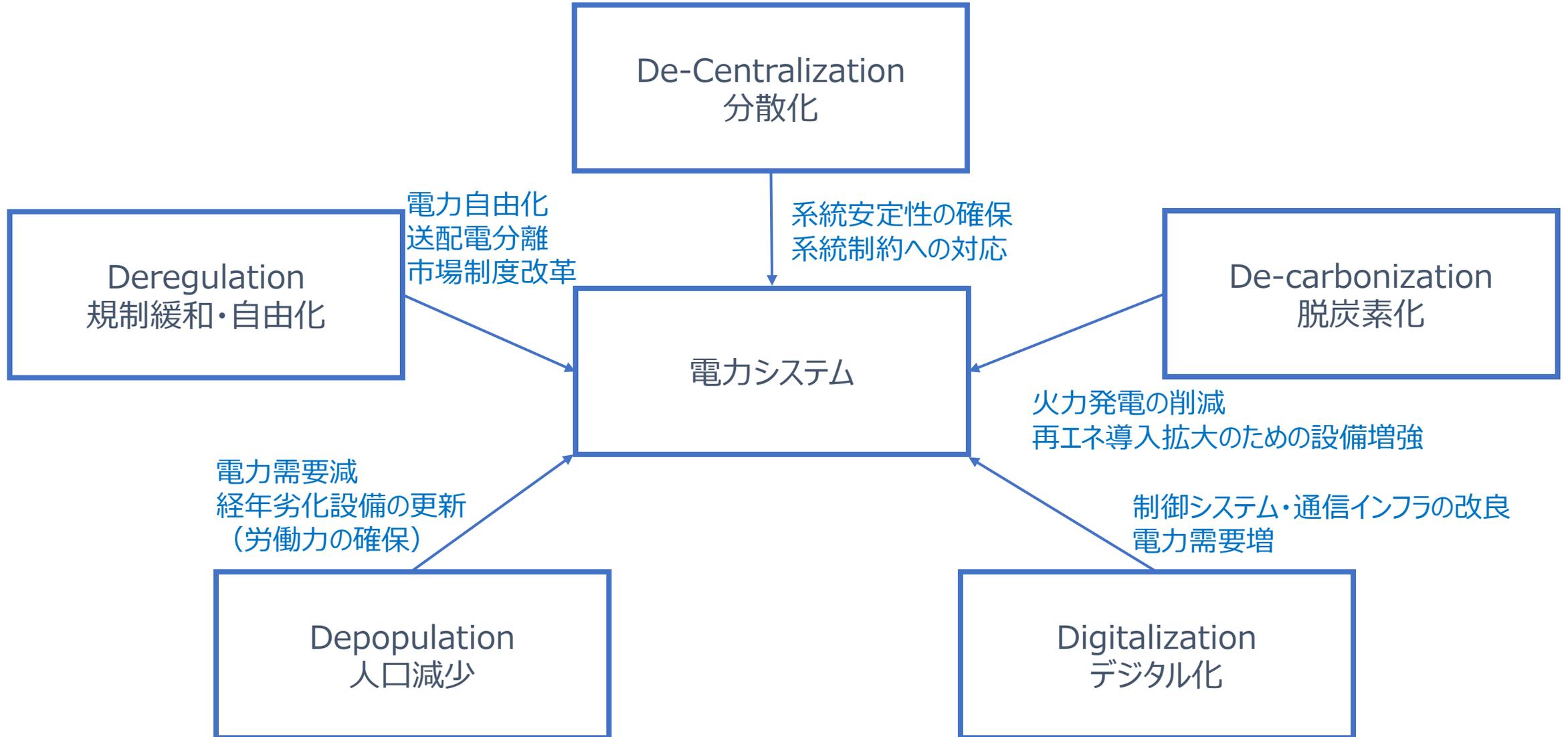
出力変動

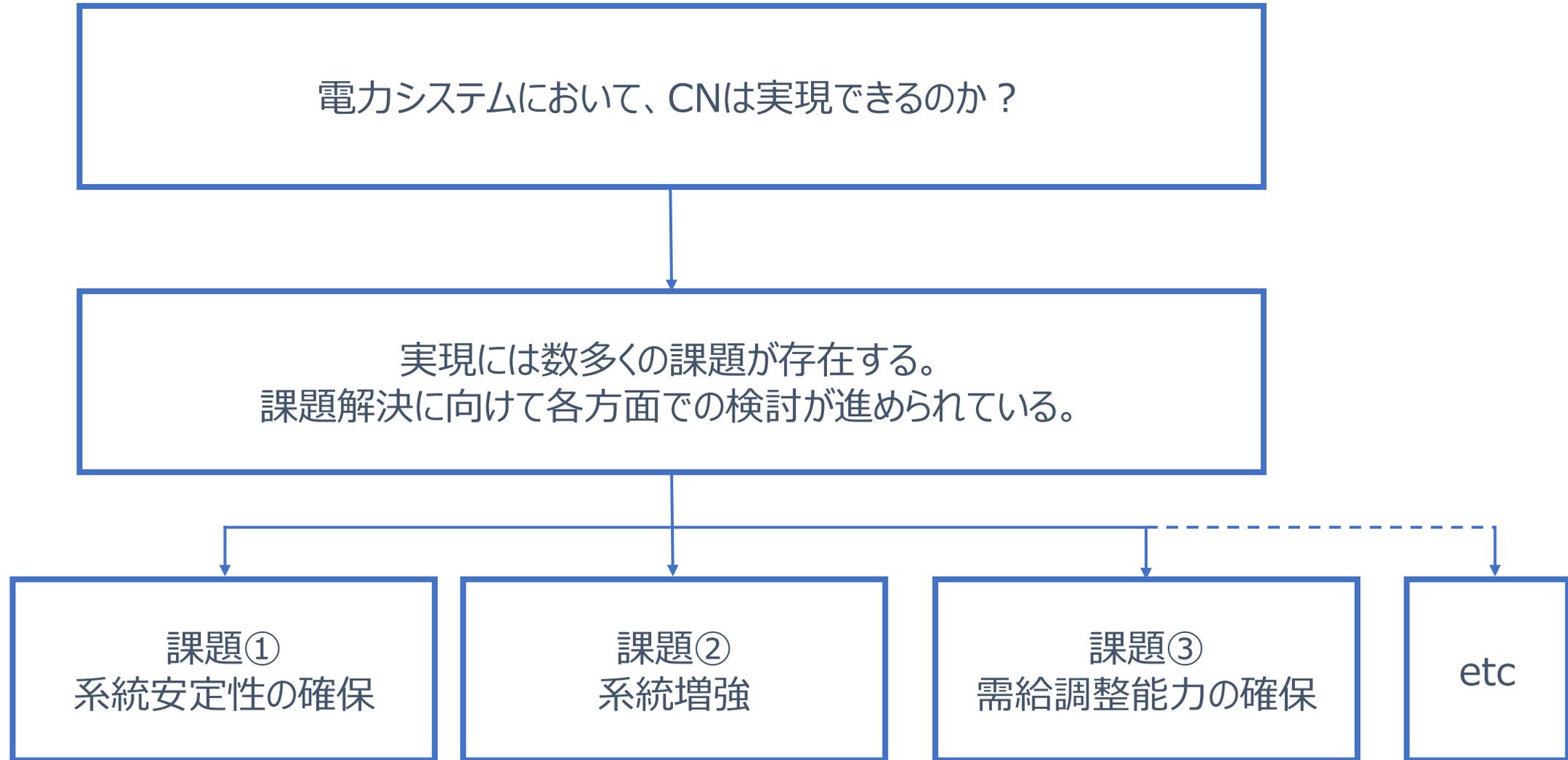
調整能力小

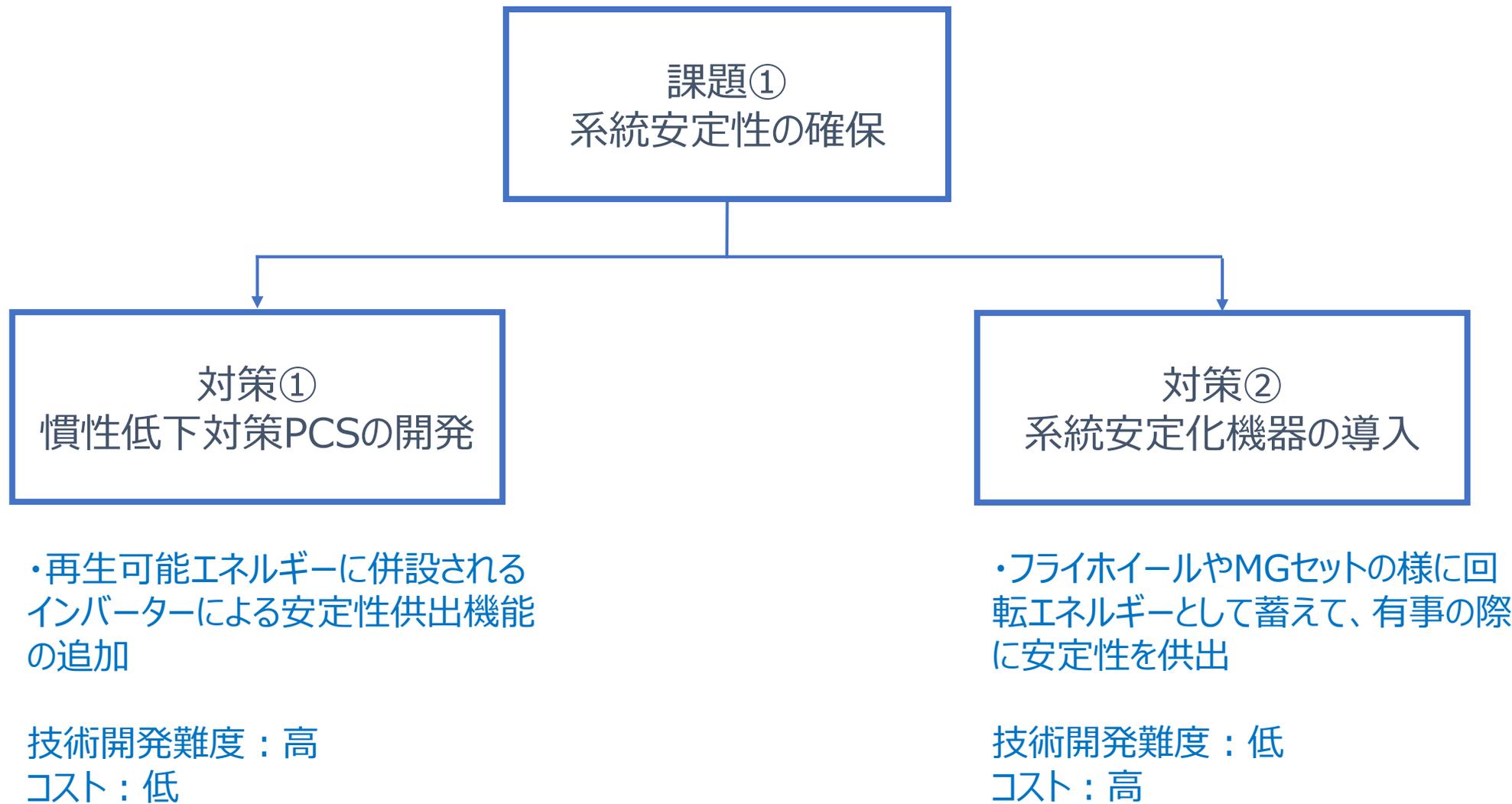
再エネと既存電源の違い

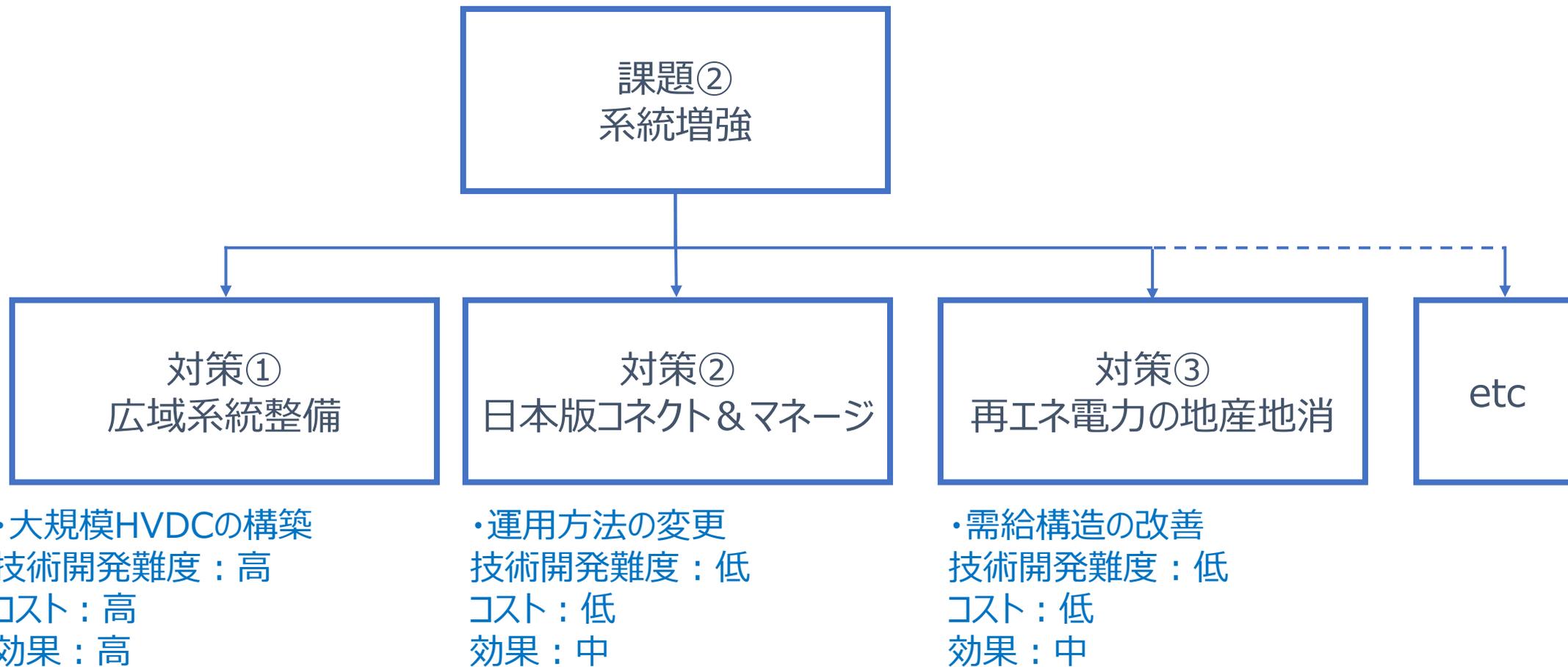


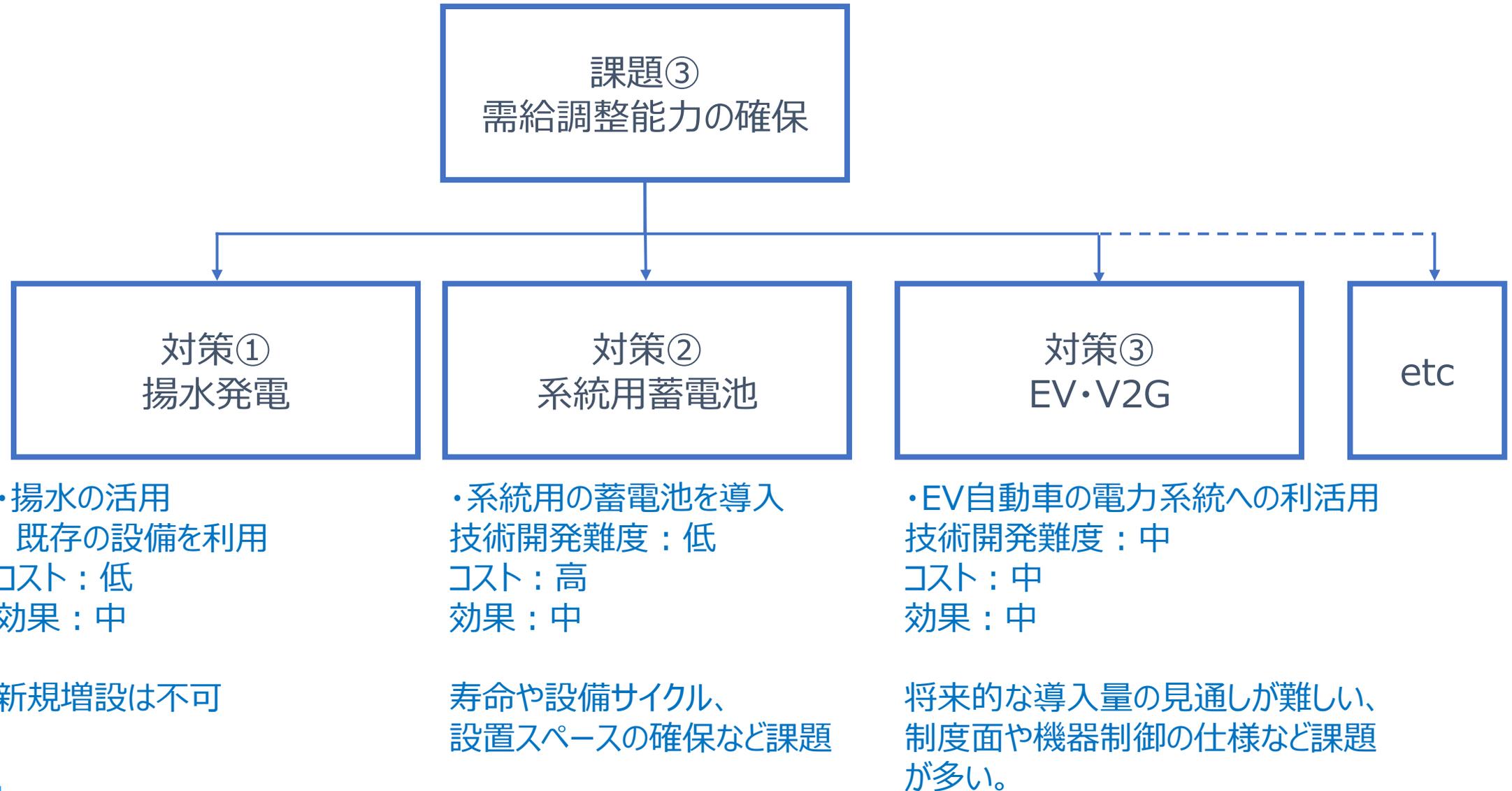
社会全体の流れ 5つのD







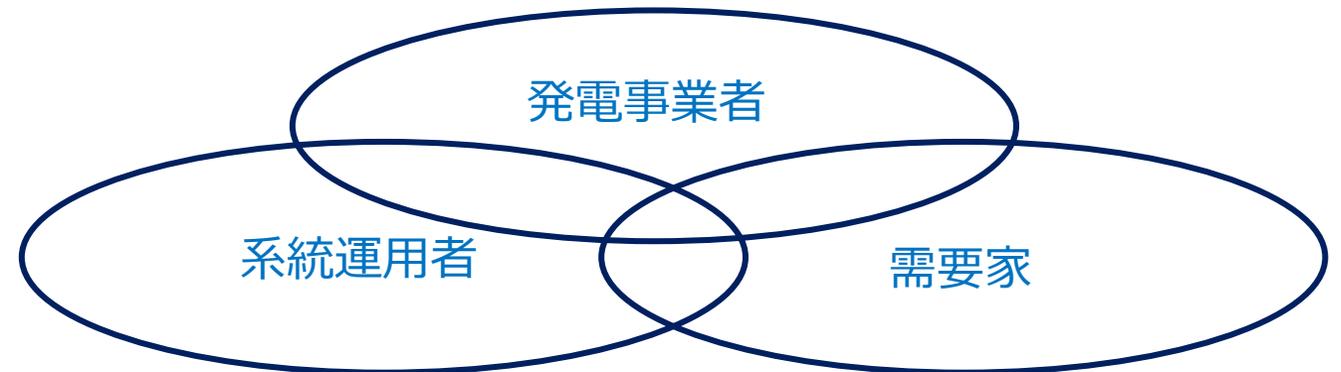




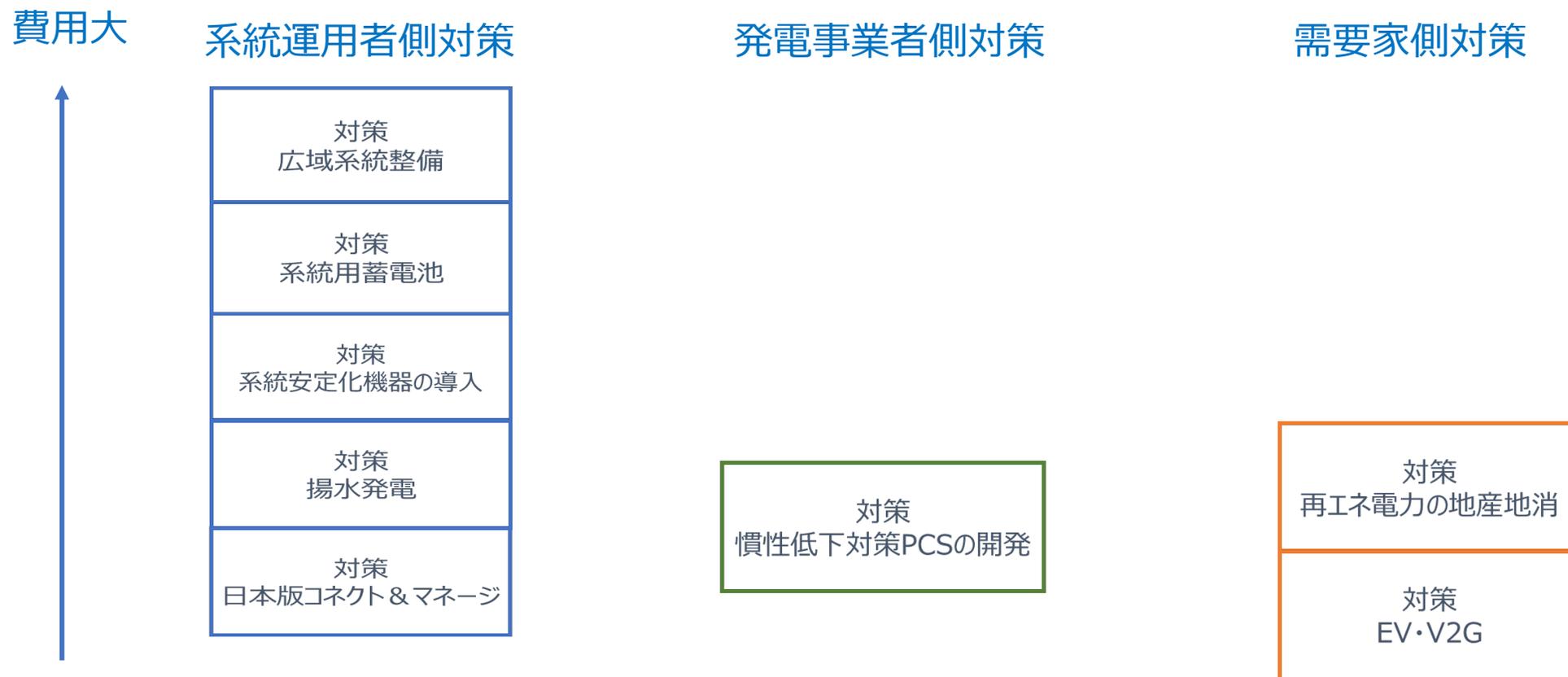
CN実現に向けて再生可能エネルギーを大量導入するには

<制約条件>

- 複数の対策技術の確立が必要。
- 社会全体の経済的な負担を無理のない範囲に収めることが重要。
→ステークホルダー間の協力が不可欠



再エネ導入拡大に向けた対策として、今後は費用対効果の高い需要家側の対策、特に分散型エネルギーリソース（DER）制御などが重要となってくる。



再エネ導入に向けた対策 費用イメージ

結論

電力システムにおけるCN達成には、コスト面・技術面両方から高い障壁が存在する。

これらを実現するためには、ステークスホルダー間の連携が重要となってくる。また、これらの議論は実運用を想定し、かつ系統安定性などの電気的な特性を踏まえた議論を押し進めることが重要である。