

2050年カーボンニュートラルへの挑戦 —電力需給の視点による課題と展望—

一般財団法人電力中央研究所
専務理事
犬丸 淳



1. はじめに

脱炭素化へ向けた世界的な動きが加速しており、わが国でも2050年にカーボンニュートラルの達成、2030年に温室効果ガスの2013年度比46%削減を目標とするなど、エネルギー政策はこれまでにない転換点を迎えている。持続可能な脱炭素社会を実現するためには、イノベーションの創出のみならず、経済・社会構造の変革、さらには市民の行動変容が必須である。また、エネルギー安定供給の確保、エネルギーコストの最適化など多くの課題が山積しており、その道筋は見えていない。本報では、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた電力供給側の課題を整理するとともに、それらを踏まえた電気事業の取り組みを紹介する。また、電力供給側と需要側との協調による脱炭素化への貢献について、具体的な事例も踏まえ今後の可能性を展望する。

2. カーボンニュートラルに関する動向と分析

2.1 カーボンニュートラルに関する動向

2015年12月に採択され翌2016年に発効した「パリ協定」では、温室効果ガス排出削減の長期目標として、気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分下方に抑える(2℃目標)とともに1.5℃に抑える努力を継続すること、そのために今世紀後半に人為的な温室効果ガス排出量を実質ゼロ(排出量と吸収量を均衡させること)とすることが盛り込まれた。また、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)1.5度特別報告書(以下SR15:2018年10月)では、温度上昇を一定のレベルに抑えるためには、累積CO₂排出量を抑える必要があることが示され、温度上昇を1.5℃および2℃に抑えるためのグローバルなCO₂のネットゼロ排出達成時

期(1.5℃:2050年頃、2℃:2070年頃)が明記された。さらにSR15では、温度上昇と累積CO₂排出量の近似的な比例関係が初めて示され、これは第6次評価報告書(AR6:2021年8月に公表)でも確認されている。

近年、欧州と途上国を中心に120か国以上が賛同するClimate Ambition Allianceを始めとして、ネットゼロ排出の達成に関する目標を宣言する国が増えている。中国は2060年ネットゼロを表明し、米国バイデン大統領は、2035年までに電力部門のゼロ排出、2050年までにネットゼロを目標とすることを表明するなど、カーボンニュートラルにむけた長期目標の設定が世界的な潮流となっている。

2.2 世界のネットゼロシナリオの態様

SR15では、世界中の研究機関によって作成された411のシナリオの分析が行われている。電力中央研究所(以下、電中研)は、このうちCO₂のネットゼロ排出を達成している205のシナリオを抽出し、ネットゼロ排出達成時におけるCO₂排出・除去とエネルギー関連指標の分析を行った¹⁾。温度上昇が1.5℃以下のものを中心に、エネルギー起源CO₂排出量の内訳が把握できる22本のシナリオ(計5機関から提出)を対象に分析した結果を図1に示す²⁾。本図は部門別CO₂排出量の合計を積み上げ排出量順に並べたものである。CO₂排出量がマイナス側もあるシナリオは、二酸化炭素除去が導入されていることを示している。なお、二酸化炭素除去(CDR: Carbon Dioxide Removals)とは、CO₂を大気中から人為的に除去することである。SR15のシナリオデータで想定されている主なCDRは、エネルギー供給(電力):CO₂回収・貯留付バイオマス発電(BECCS: Bio-Energy with Carbon dioxide Capture and Storage)、エネルギー供給(電力以外):CO₂回収・貯留付バイオ燃料製造、土地利用:植林で

ある。SR15時点では直接空気回収・貯留（DACCS：Direct Air Carbon dioxide Capture and Storage）を想定したシナリオは極めて少なかったが、本年公表されたAR6では同技術が盛り込まれているものと推察され、現在分析を進めているところである。本分析結果から、以下のことが示唆される。

①カーボンニュートラルの態様は一様ではない

- 排出と除去の組み合わせも様々である。エネルギー需要側（産業、民生、運輸部門）の残余のCO₂を、電力部門などの除去技術でバランスさせているものが多い。このため、エネルギー供給側の対策だけでなく需要側の対策も不可欠と考えられる。

②カーボンニュートラル達成時のエネルギー供給源

- 再エネ（太陽光、風力、バイオマス、水力等）、原子力、化石燃料・火力（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage付き/CCSなし）

で構成される。ただし、再エネ100%のシナリオはほとんどない（1/22本）。

③残余する排出への対応としてCO₂除去技術を想定

- 今後はBECCSだけでなく、DACCSの想定も増加すると考えられる。CO₂固定技術についてもブルーカーボンなど多様化が見込まれる。

なお、シナリオ分析の結果から、最終エネルギーとして電力が大幅に増加していることも明らかとなった。

3. 電力供給側の課題と電気事業の取り組み

3.1 第6次エネルギー基本計画の概要

本年10月22日に第6次エネルギー基本計画が閣議決定され、2050年カーボンニュートラル、2030年度に温室効果ガス2013年度比46%削減の実現に向けたエネルギー政策の道筋が示された³⁾。本基本計画にお

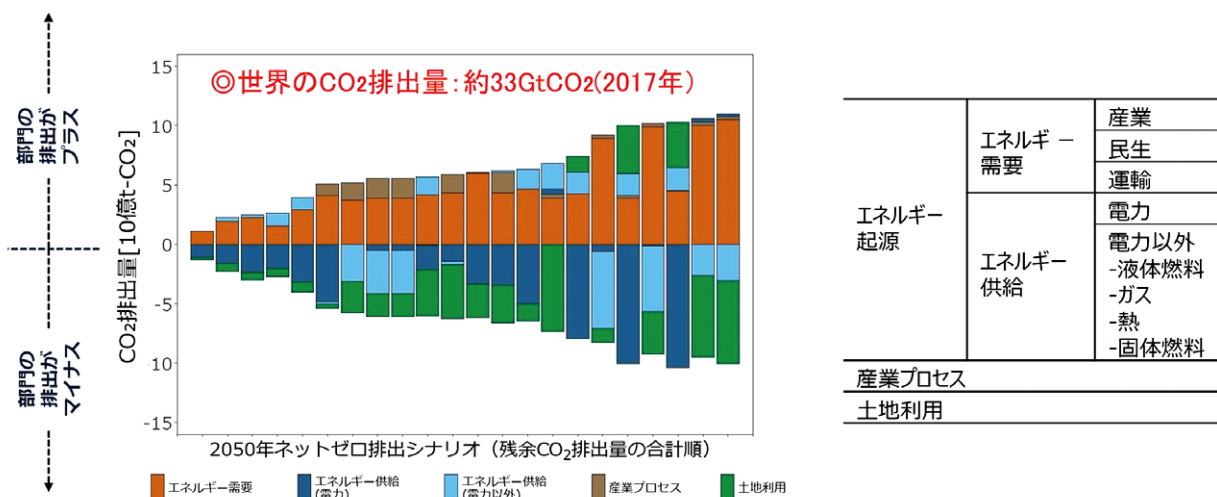


図1 2050年ネットゼロ排出達成時のCO₂排出・除去量（世界全体）

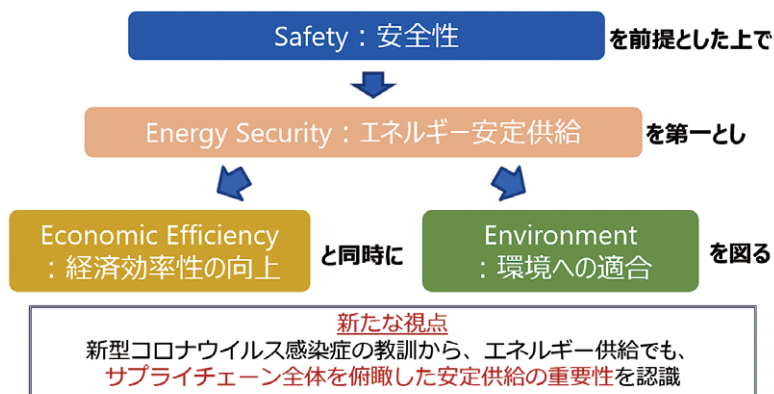


図2 第6次エネルギー基本計画の概要

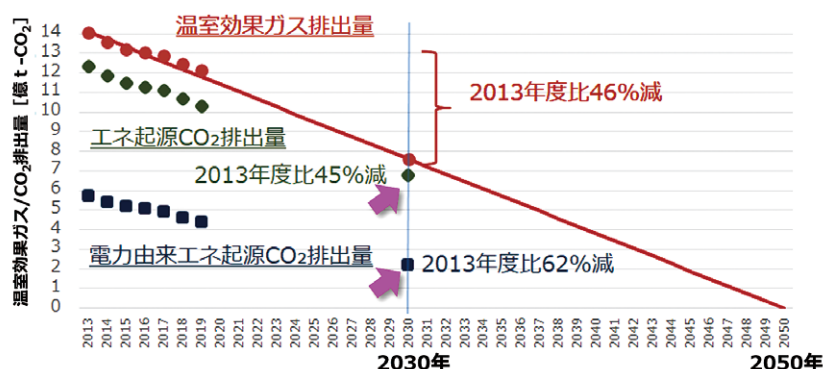


図3 2050年ネットゼロ排出に向けた2030年度温室効果ガスならびにCO₂排出量の目標

いては、図2に示すようにエネルギー政策の基本視点であるS+3Eの大原則に変化はない。また、新たな視点として新型コロナウイルス感染症の教訓から、エネルギー供給でもサプライチェーン全体を俯瞰した安定供給の重要性が認識されている。わが国の温室効果ガス排出量は、2013年度（最大排出年度）以降は減少傾向にあり、2019年度は、2013年度比14%減となっている。排出量のうち、CO₂が91%、エネルギー起源CO₂が85%を占める。エネルギー起源CO₂も2013年度の12.35億t-CO₂がピークで、2019年度は10.29億t-CO₂（2013年度比17%減）となっている。このうち、運輸部門は2.06億t-CO₂で約20%を占めている。

第6次エネルギー基本計画における2050年カーボンニュートラルに至る温室効果ガスならびにCO₂排出量の目標、見通しを図3に示す⁴⁾⁵⁾⁶⁾。2030年度のエネルギー起源CO₂排出量は、2013年度比45%減、電力由来エネルギー起源CO₂排出量は62%減となっている。また部門別に見ると、2030年度のエネルギー起源CO₂排出量は、2013年度比で産業部門が37%減、業務部門が50%減、家庭部門が66%減、運輸部門が42%減など、全体として極めてチャレンジングな目標となっている。

2030年度の削減目標に向けては、既存の技術を最大限活用すること、2050年に向けては、2030年度目標への取り組みを拡大・進化させるとともに、現時点で社会実装されていない技術を開発普及することが示されている。

3.2 カーボンニュートラル実現に向けた道筋と電気事業の取り組み

(1) カーボンニュートラル実現に向けた道筋

カーボンニュートラルの実現に向けては、下記に示すような基本公式に沿った取り組みが必要である。

[脱炭素化]

$$= [①電源の脱炭素化] \times [②電化] \times [③省エネ]$$

①電源の脱炭素化

- ・再エネ（太陽光、風力、水力、地熱など）の主力電源化を進めるとともに、あわせて電力系統の安定化が重要となる
- ・ゼロエミッション火力を実現するため、水素利用、アンモニア利用、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage：二酸化炭素回収・利用・貯留) などの開発・導入を進める
- ・原子力の最大限の活用を図る（既設炉、次世代炉）

②電化

- ・需要サイドの電化促進を進める（熱利用→電気）
なお、電化により電力需要は30～50%増加

③省エネ

- ・エネルギー需要の削減、機器の効率化を進める
省エネの推進に際しては、市民に我慢を強いる省エネにならないことが重要である

上記のいずれについても、従来の延長線上の取り組みではカーボンニュートラルの実現は困難であり、大胆な発想に基づくイノベーションの創出、経済・社会構造の変革、市民の行動変容が必須となる。また、将来オプションとして、カーボンリサイクルや2.2節で述べた炭素除去技術の開発も必要になると考えられる。

エネルギー起源CO₂排出量のうち、電力部門の占める割合は約42%であり、これをゼロとしても2050年カーボンニュートラルは達成できない。非電力部門の民生、産業、運輸を電化に加えて、水素、メタネーションなどのカーボンフリー燃料で既存の燃料を置き換えていくこと、CCSやカーボンリサイクルを導入することで可能な限り排出量を低減することが不可欠である。さらに残余のCO₂については、植林による吸収、

炭素除去の活用を図るなど、現時点で実用化されていない技術も含めて総動員することが想定されている。

(2) 電気事業の取り組み

2030年および2050年の発電電力量と電源構成を図4に示す^{3) 6) 7)}。今回のエネルギー基本計画の見直しでは、2030年の発電電力量が、10,650億kWh程度(第5次計画、2018年)から9,340億kWh程度と大きく減少している。ただし、2050年の発電電力量は1.3～1.5兆kWhとの想定もある⁷⁾。これは電化の促進等による効果が考慮されているものと考えられる。2050年の電源構成は、参考値として再エネ50～60%、原子力およびCCS付き火力30～40%、水素・アンモニア10%程度となっている⁶⁾。特に再エネについては、18%(2019年度)→36～38%程度(2030年度)→50

～60%(2050年)と大幅な増加が想定されている。

これに対して電気事業では、「S+3E」の同時達成を前提に、供給側の「電源の脱炭素化」、需要側の最大限の「電化の推進」に取り組み、持てる技術、知恵を結集し、積極的に挑戦していくと表明している。図5は、電源の脱炭素化、需要側の最大限の電化のイメージを示したものである⁸⁾。

3.3 電源の脱炭素化に向けた課題

(1) 再エネの導入ポテンシャルについて^{9) 10) 11)}

太陽光、風力など再エネの導入を加速化するためには、自然条件、社会的制約、コストの受容性など種々の課題を解決する必要がある。電中研では、洋上風力について、設置可能面積や平均風速等から求められる

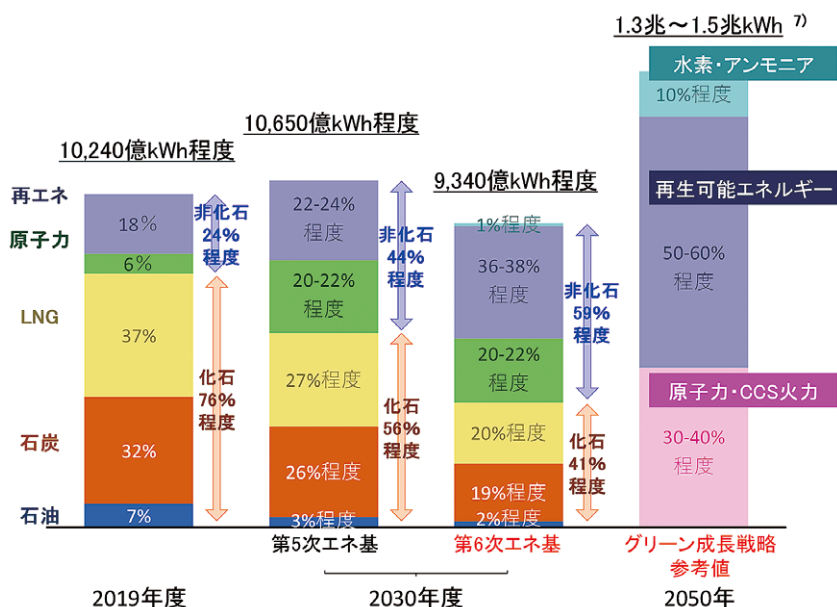


図4 2030年および2050年の発電電力量と電源構成

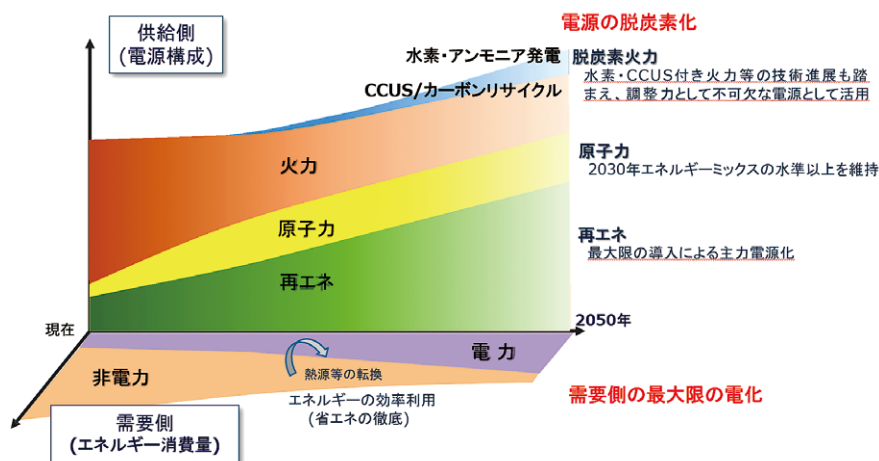


図5 電源の脱炭素化、需要側の最大限の電化のイメージ⁸⁾

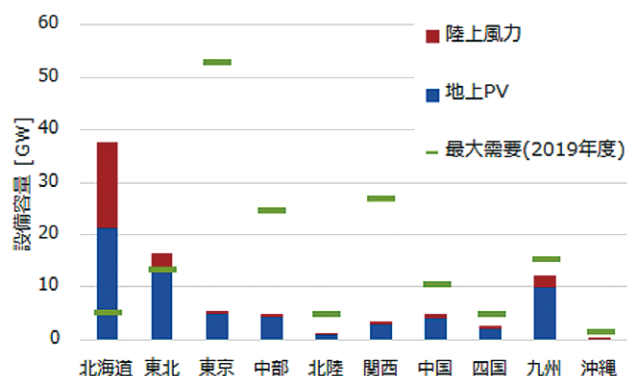


図6 一般送配電事業者エリア別地上設置PV・陸上風力導入ポテンシャル¹³⁾

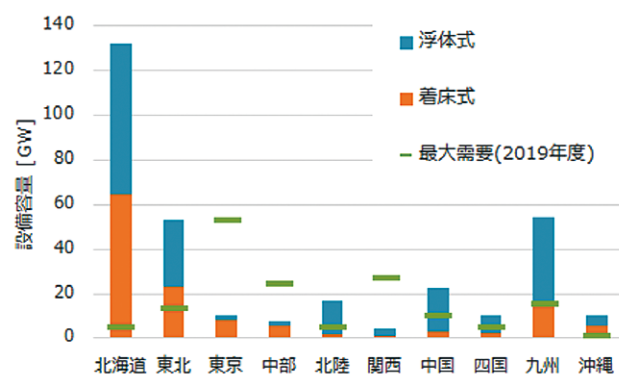


図7 一般送配電事業者エリア別洋上風力導入ポテンシャル

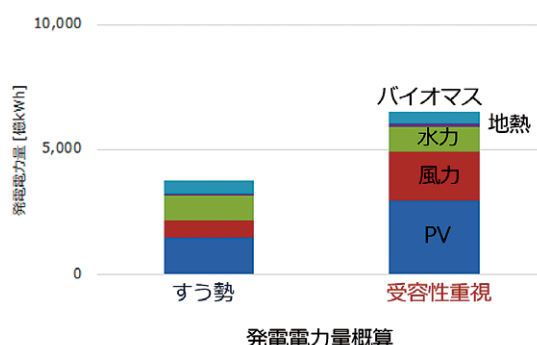
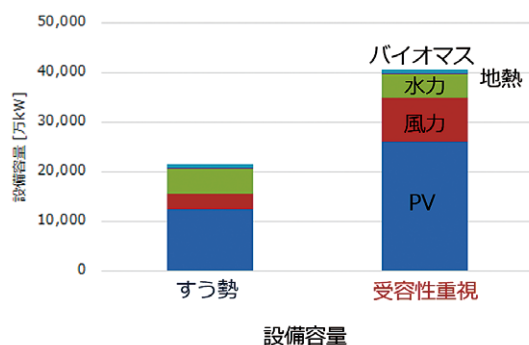


図8 2050年に向けた再エネ導入シナリオ

理論値から、自然要因、法規制等により開発不可となる地域を除外して算出することで、導入ポテンシャルの評価を行っている。なお、開発不可条件の設定については、ポテンシャル評価を行う各機関で前提が異なることが多く、結果の差異を生む一因となっている。ここでは、地理情報システム (GIS) を活用し、地上設置型PV、陸上風力、洋上風力について導入ポテンシャル評価を実施した。本評価の特徴は、再エネ導入に伴う地域住民との紛争の増加を踏まえ、土地利用に関わる法規制の影響の受けやすさの程度をランク付けした上で、影響を受けにくい地域に導入されると想定したこと、同じ土地を異なる再エネが利用し得る場合の土地利用競合を考慮したことである。その結果、環境省による洋上風力ポテンシャル評価¹²⁾が1,120GWであったのに対して、再エネ海域利用法の各要件（自然条件・航路への支障など）を踏まえ、「促進区域」の対象と想定される海域を抽出し、322GWと評価できることを明らかにした¹⁰⁾。さらに、導入ポテンシャルの地域偏在について検討を行った。図6は、一般送配電事業者エリア別の地上設置太陽光発電 (PV: Photovoltaics)・陸上風力導入ポテンシャル、図7は、一般送配電事業者エリア別の洋上風力導入ポテ

ンシャルを示したものである。地上設置型PV・陸上風力の合計容量は、北海道、東北、九州で多くっており、北海道、東北では、合計容量が最大電力需要を超過することがわかった。また、洋上風力については、着床式・浮体式ともに、北海道、東北、九州に対象海域が多く存在することがわかった。

次に、2050年に向けたPV（建物設置型、営農型も含む）、ならびに風力に関し以下に示す二つの導入シナリオの検討を行った¹¹⁾。

- ① 受容性重視シナリオ ⇒ 地域住民への影響や、農業など他の土地利用との競合をできるだけ回避しつつ最大限導入
- ② すう勢シナリオ ⇒ 比較のために固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff) 実施以降の導入傾向を外挿

ここでは、PV、風力の導入シナリオによる設備容量と標準的な設備利用率を用い発電電力量を概算した。また、水力、地熱、バイオマスについては、長期エネルギー需給見通し再エネ24%ケース¹⁴⁾から据え置きと想定した。検討結果を図8に示す¹¹⁾。2050年に向けて蓋然性の高い形で最大限導入を図る「受容性重視シ

ナリオ」による再エネ導入量は、約4億kW（400GW）、約6,500億kWhであると評価された。また、現状の導入速度が継続したとする「すう勢シナリオ」では、約2.1億kW（210GW）、約4,000億kWhと評価された。「受容性重視シナリオ」による再エネ導入量（約6,500億kWh）は、前述の2050年発電電力量想定値の5割弱に相当する。

以上の検討結果から、以下が示唆される。

- ①再生可能エネルギーの主力電源化に向けては、漁業への配慮や景観等立地地域における理解も重要である。
- ②北海道、東北、九州等を中心に、PV、風力のポテンシャルは偏在している。今回のシナリオの検討では系統制約は未考慮であり、これらの

エネルギーを需要地に安定して送るための電力系統分野に関する課題の克服が不可欠である。

(2) 再エネ導入拡大時の電力系統に関する課題

再エネ導入拡大時の電力系統の安定化に関する課題については、以下のように整理できる。

- ①再エネ導入拡大により同期発電機が減少し、同期発電機の系統セキュリティ（周波数・電圧の安定化・系統安定度の維持）への貢献が減少⇒慣性力の低下
- ②再エネ電源の増加に伴い、常時および系統事故時の系統安定化が困難化
- ③遠方の大容量風力発電の大電力を長距離送電するための長距離HVDC（高圧直流送電）や大容量蓄電設備が必要

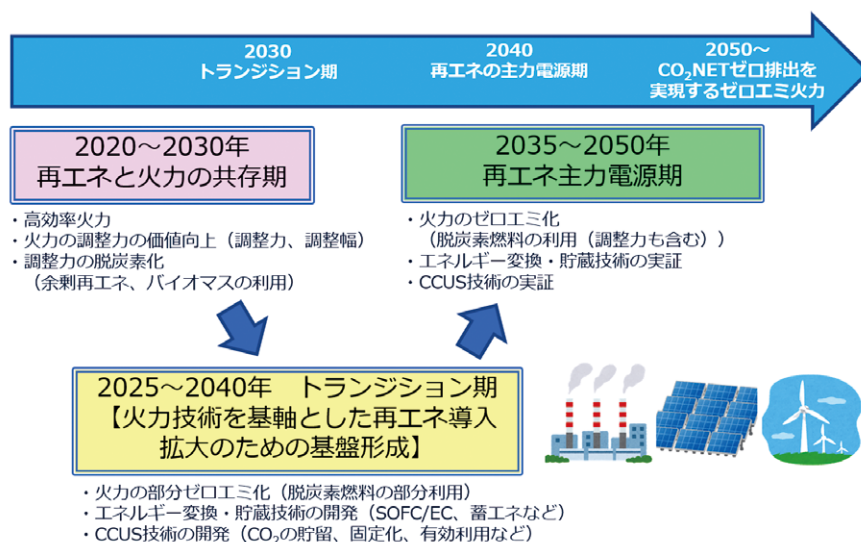


図9 ゼロエミッション火力の開発・導入の実現に向けたロードマップ

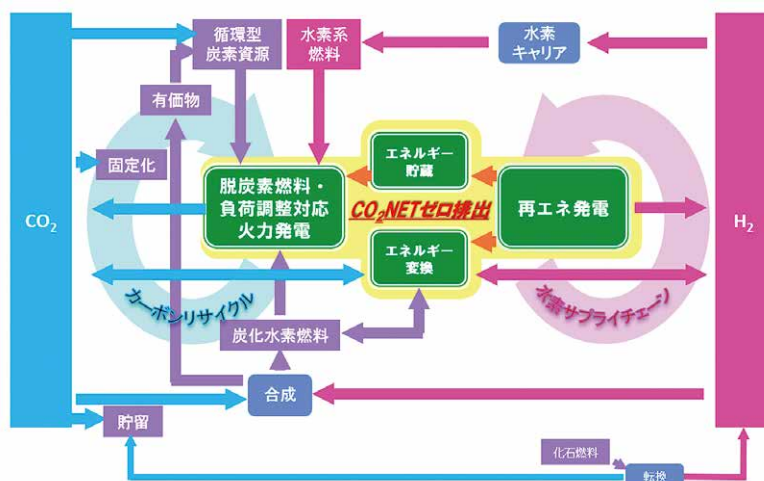


図10 ゼロエミッション火力の概念

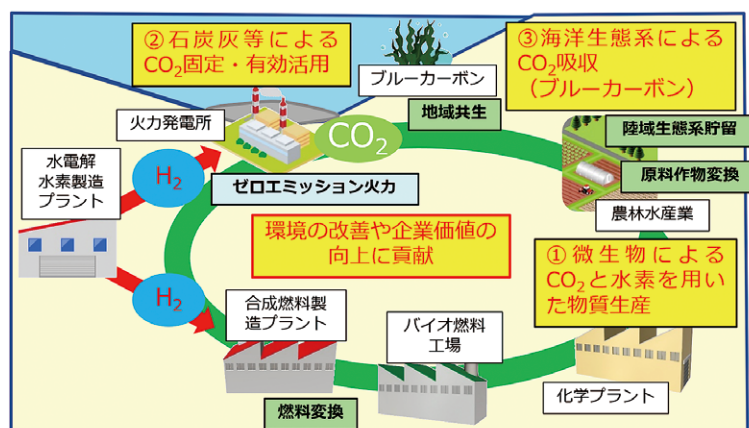


図11 カarbonリサイクル技術への取り組み

④需要地系統と基幹系統の制御協調

⑤需要地系統の地産地消の実現に向けた課題

(3) ゼロエミッション火力の開発・導入に向けて

ゼロエミッション火力の開発・導入に向けた課題は、大量のカーボンフリー水素・アンモニアを供給するためのサプライチェーンの構築、水素・アンモニアの発電・輸送・貯蔵技術の開発ならびにコスト低減、CCSについては、日本には適地が少ないことから貯留ポテンシャルの評価、コスト低減、社会的受容性などがあげられる。水素に関しては、海外からの安価な水素の利用、国内の資源を活用した水素製造基盤の確立が求められる。具体的には、コストを現在の100円/Nm³→30円/Nm³（2030年）、20円/Nm³（2050年）以下に低減すること、供給量を現在の約200万t/年→最大300万t/年（2030年）→2,000万t/年（2050年）に拡大することが必要であり、いずれもハードルは高い。

電中研が考えるゼロエミッション火力の実現に向けたロードマップを図9に示す。また、ゼロエミッション火力のコンセプトは以下に示す通りであり、これに基づく概念図を図10に示す。

①火力発電と変動型再エネ発電が協調

②エネルギー変換・貯蔵システムも含めた需給調整能力の向上

③水素サプライチェーンとカーボンリサイクルも含めたトータルシステムとしてのゼロエミ化の実現

④各要素技術の進展や再エネ主力電源化へのトランジション期を考慮した段階的な実現

(4) 原子力の最大限の活用

原子力発電所の運転期間は、商用運転開始から40年と定められており、運転期間延長申請に合格した

場合は、最長60年までの運転が認められる。再稼働可能な原子力発電所（建設中も含む）36基が全て60年運転すると仮定しても、2040年以降原子力の発電設備容量は大幅に減少し、2050年以降では電源構成比率で10%を下回る。このため、2030年の原子力20～22%、2050年の30～40%（CCS付き火力と合わせて）の目標を達成しカーボンニュートラルを実現するためには、既設炉の長期運転に加えて、新增設・リプレースが必要不可欠である。

(5) CCUSとカーボンリサイクル

CCUSは、回収したCO₂の利用（CCU）と貯留（CCS）をあわせたCO₂回収・利用・貯留技術を指し、カーボンリサイクルは、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、化学品や燃料等に再利用する取り組みを指す。カーボンリサイクルは、炭素の循環利用により化石燃料の利用を抑える将来の選択肢として位置付けられる。カーボンリサイクルの用途先は、化学品、燃料、鉱物などである¹⁵⁾。図11は、電中研におけるカーボンリサイクル技術への取り組みの概念を示したものである。カーボンリサイクルの役割は以下の通りと考えられる。

①CO₂を資源として製品や燃料等に再利用する取り組みであり、主に火力発電の脱炭素化においてカーボンニュートラルの実現に貢献

②CO₂の排出を直接的に削減する手段ばかりでなく、炭素の循環利用により化石燃料の利用を抑制

③幅広い事業分野での活用が可能であり、環境の改善や企業価値の向上等から、環境や社会に貢献する重要な技術

④重要度が年々高まるが、実験室レベルの技術も多いため、イノベーションが重要であり、今後、用途や適用先を広げ、実証事例を増やすことが必要

4. 需要サイドの視点から見た課題と展望

4.1 需要サイドの視点から見た課題

需要サイドの電化率は、部門別に産業部門31%、民生部門53%、運輸部門2%となっており、需要サイドの電化促進が大きな課題となっている。中野ら¹⁶⁾は、エネルギー消費量の多い産業部門について、電化の技術的ポテンシャルを検討した結果、有機化学での電気分解水素により原料を代替する間接電化、鉄鋼の水素還元などを考慮したケースにおいて、10業種合計で約8,500億kWh（2016年度の約4倍）のポテンシャルがあることを示した。

再エネ電源が普及拡大すると、余剰電力の発生や火力機からの調整力・慣性力不足、送電容量不足、系統安定化コスト増などの課題が発生する。図12は、九

州電力管内の需給実績¹⁷⁾を示したものであり、再エネの出力変動が電力系統運用に大きな影響を与えていることがわかる。再エネ電源の出力変動に対応するため、電力供給側だけでなく、エネルギー需要を可制御化し、エネルギーを使う地域や時間帯、使い方を最適化することが重要となる。この課題に対応する方策の一つに「セクターカップリング」がある。セクターカップリングは、需要側と供給側の部門横断のエネルギーマネジメントにより、再エネ電力を最大限活用しエネルギーシステムの脱炭素化を図る方策である。電中研は、セクターカップリングの取り組みとして、EV（電気自動車）を活用した需給協調（V2G:Vehicle to Grid）に取り組んでいる。V2Gとは、通常のEVへの充電に加えてEVに蓄電された電力を電力系統に放電することによって、電力の需給調整に活用する方策で、電力

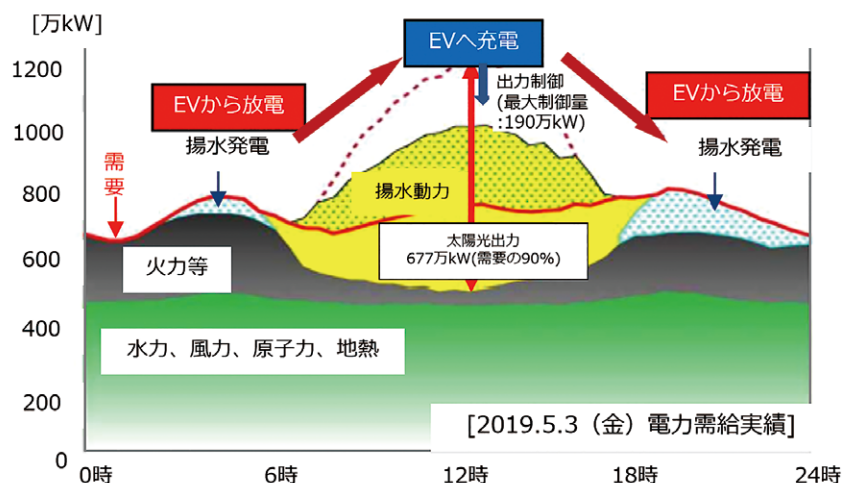


図12 九州電力管内の需給実績とV2G活用イメージ

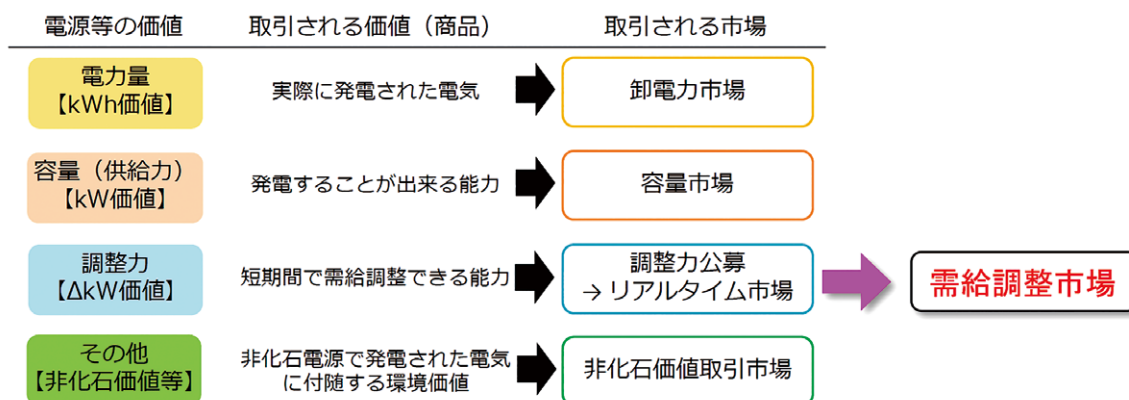


図13 電力システム改革後の電力市場の整備

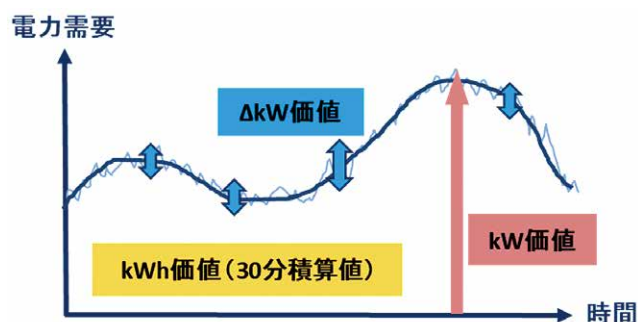


図14 電源等の価値

表1 需要家における再エネ活用の選択肢

電力調達の形態		再エネ所有者	特徴
系統電力	買電	発電会社	2030年に向けて再エネ導入が進展 ⇒ 今後エネルギー効率の改善が進み、省エネ法の観点（効率改善目標1%/年）からも有利 - CO₂フリー電力の購入も可
	自家発自家消費	自社	- 自社敷地内に再エネ発電所 - 設備管理が必要。初期投資大
	自己託送	自社	- 遠隔地に自社再エネ発電所。託送料金負担 - 設備管理や発電計画策定が必要。初期投資大
	自営線利用	自社	- 遠隔地の自社再エネ発電所から自営線利用。託送料金不要 - 設備管理が必要。初期投資大
自家消費	オンサイト型PPA*（屋根貸し）	発電会社	- 設備管理不要。初期投資小 20年近い長期契約、長期固定価格、自己保有より割高の可能性あり

*PPA（Power Purchase Agreement）：電力販売契約

系統に放電せずにEVへの充電のみを需給調整に活用する方策はV1Gという（図12参照）。資源エネルギー庁補助事業「九州V2G実証事業」に参画し、九州全域のPV出力制御量の削減効果を評価した。その結果、九州全域の将来のEV普及台数を120万台と想定すると、V1G/V2Gによる需要創出量、つまりPV出力制御量の回避可能量は、V1Gで最大37万kW、V2Gで最大130万kWであること、V2Gをビジネスとして成立させるためには、需要側（EVユーザー）、供給側（アグリゲーター、系統運用者）の視点からの費用便益性の評価が今後の課題であることを明らかにした。

4.2 需給協調によるカーボンニュートラルへの貢献

電力システム改革の進展に伴い、需要家は系統電

力を購入するだけでなく、需要家による再エネの積極的な活用が可能となってきた。図13および図14は、電力市場の整備状況を示したものである¹⁸⁾。電源等の価値（kWh価値、kW価値、ΔkW価値等）に応じて種々の市場が整備されている。表1は、需要家における再エネ活用の様々な選択肢を示したものである。系統電力は今後脱炭素化が進むことから有利な点が多いと考えられるが、遠隔地またはサイト内の再エネ発電所の活用など、様々な選択肢がある。また、今後は需要家が保有する蓄電池の積極的な活用も想定される。海外では蓄電システムによる周波数調整市場への参加事例があり¹⁹⁾²⁰⁾、今後わが国でも詳細な制度検討・環境整備が進み、需給調整市場等への参加により調整力を提供する事業が発展する可能性もあると考えられる。

5. おわりに

2050年カーボンニュートラル宣言により、社会が目指すべき脱炭素化のゴールがより高い次元へと引き上げられた。一方で、我々はこの難局をチャンスとして前向きに捉え、従来の延長線上にないイノベーションを産み出すことで、気候変動対策に貢献していくことが重要である。電力供給サイドでは、再エネ・系統安定化、原子力、火力、CO₂除去・固定に関する技術進展が不可欠であり、需要サイドでは、電化促進が重要である。また、増加が想定されるエネルギーコストの負担の在り方に関する議論や、それを踏まえた一般市民の理解も不可欠であろう。持続可能な脱炭素社会の実現に向けて、今後とも部門の枠を超えた意見交換、幅広い連携をお願いしたい。

参考文献

- 1) 坂本将吾, 堀尾健太: ネットゼロ排出達成時におけるCO₂排出・除去の態様, 電力中央研究所報告, Y20001, 2020年10月
- 2) 坂本将吾, 堀尾健太, 永井雄宇: 「2050年ネットゼロ排出シナリオ」の分析 -IPCC1.5℃特別報告書シナリオデータとJMIPからの示唆-, 経済産業省第44回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会, 2021年6月30日
- 3) 経済産業省: 第6次エネルギー基本計画, 2021
- 4) 環境省: 2019年度(令和元年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について, 2021
- 5) 経済産業省: 総合エネルギー統計 2019年度(令和元年度)エネルギー需給実績(確報)時系列表, 2021
- 6) 経済産業省: 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021年6月18日
- 7) 経済産業省: 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第43回会合), 2021年5月13日
- 8) 電気事業連合会: 2050年カーボンニュートラルの実現に向けて, 2021年5月21日
- 9) 尾羽秀晃, 永井雄宇, 朝野賢司: 土地利用を考慮した太陽光発電および陸上風力の導入ポテンシャル評価, 電力中央研究所 研究報告Y18003, 2018
- 10) 尾羽秀晃, 永井雄宇, 豊永晋輔, 朝野賢司: 再エネ海域利用法を考慮した洋上風力発電の利用対象海域に関する考察, 電力中央研究所 研究資料Y19502, 2019
- 11) 朝野賢司, 永井雄宇, 尾羽秀晃: ネットゼロ実現に向けた風力発電・太陽光発電を対象とした大量導入シナリオの検討, 経済産業省 第34回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会, 資料3-4, 2020
- 12) 環境省: 令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書, 2020
- 13) 電力広域的運営推進機関: 全国及び供給区域ごとの需要想定(2021年度), 2021
- 14) 経済産業省: 長期需給見通し関連資料, 総合資源エネルギー調査会 第10回長期エネルギー需給見通し小委員会, 資料2, 2015
- 15) 経済産業省: カーボンリサイクル技術ロードマップ改訂版(2021)より作成, 2021
- 16) 中野一慶, 浜湯純大, 永井雄宇, 西尾健一郎, 田頭直人: 将来の社会像検討のための産業部門のエネルギー利用と電化ポテンシャル調査, エネルギー・資源学会論文誌, 41-3, 108-114, 2020
- 17) 平成31年度需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業費補助金(VPP)B-2事業者成果報告, 2020年3月
- 18) 経済産業省: 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 第2回電力・ガス基本政策小委員会, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第5回電力システム改革貫徹のための政策小委員会 合同会議, 資料7, 2017年2月9日
- 19) PJM, "Regulation Update", 2018.7.10
- 20) PJM, "Demand Response Operations Markets Activity Report", 2019.2.11