

第4章 CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

4.1 CN 社会実現に向けた地域社会の役割

「地域社会」は、家庭、業務、産業といった「人々・社会の生活を支える」社会基盤であり、将来のエネルギーシステムにおいては需要と供給の両側面を持つ。図4.1に示すように、再エネが主電源化する時代に向けて地域社会は、基幹システムから安定なエネルギー供給を受けるとともに自らも一部を供給し、データを用いた「賢いエネルギー利用」で電力の需給調整に貢献する「調整力」を創出することで、基幹システムと共に「S+3E⁴⁹のエネルギー需給」を実現する主体となることが期待される。ここで「調整力」とは、利便性や機能を損なうことなく、時間シフト可能な電力需要のことを指す。また今後、発災後に停電や供給不足により基幹システムからエネルギー供給が制約される場合、地域電源やEVなど地域リソースを活用することにより防災拠点に代表される地域内の重要需要に対して需給を確保することも考えられる。

2023年に発刊した提言書第5版では、賢いエネルギー利

用により地域での価値づくりを実現し、基幹システムに調整力を供給する協調・制御プラットフォームを提案するとともに、戸建て住宅、共同住宅を含む家庭部門全体および業務部門に拡張し、地域から創出可能な調整力とその価値を評価した。その結果、CN達成時の揚水・系統用蓄電池の調整力に匹敵する33TWh/年もの調整力を創出するポテンシャルがあることを明らかとした⁵⁰。また、エネルギー供給側と需要側のWin-Winで進める地域の脱炭素の推進施策、地域における各アクターへ期待される事項、地域や個別の特性を加味して優先して進めるべき施策、について提言した。

本版では、現状の地域社会の変化を分析し、それに基づき地域の経済成長と両立する社会移行、すなわち地域における統合的トランジションのあり方、およびその移行を円滑に進める施策について述べる。

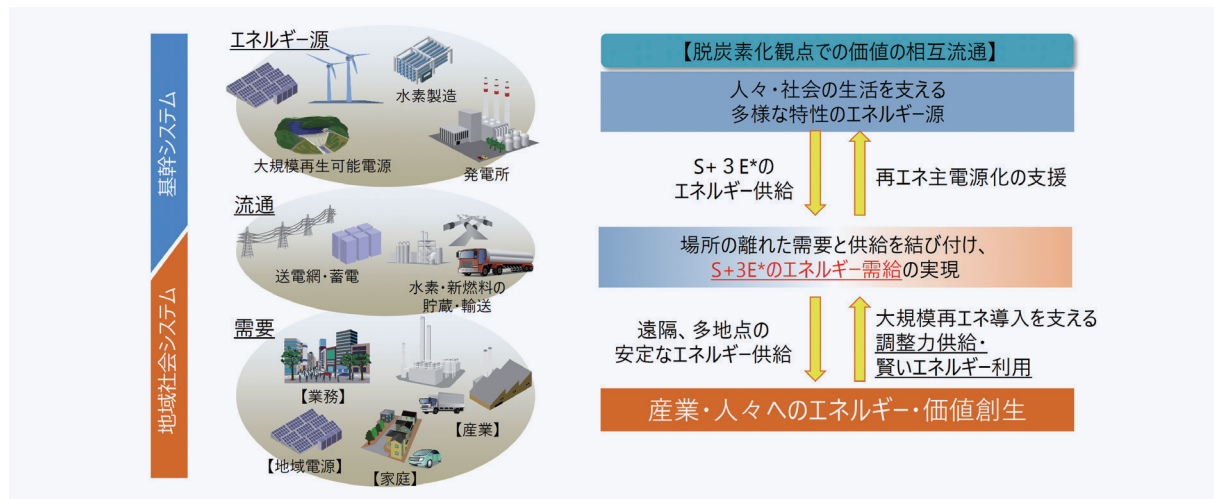


図4.1 基幹システムと地域社会の位置づけ

49 安全性 (Safety)、自給率 (Energy Security)、経済効率性 (Economy Efficiency)、環境適合 (Environment) の同時達成

50 日立東大ラボ、2023.「提言書『Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて（第5版）』」

4.2 CNに伴う社会変化の客観的分析

4.2.1 脱炭素先行地域の認定と、CO₂ 排出の現状の不整合

2030年までのCO₂排出量46%削減に向け、家庭には66%、業務その他の部門には50%削減と、より一層の対策が求められる。これを実現すべく、第2章で述べたように、地元自治体、地元企業、金融機関が中心となり、地域の脱炭素化を進める目的で環境省が「脱炭素先行地域」の助成制度を設立、運営している。本プログラムでは、2025年までに100か所の脱炭素先行地域で先行的な道筋をつけ、2030年までの実行することを目指しており、すでに73以上の提案を受け、脱炭素先行地域補助対象として選考されている⁵¹。

このような助成にも後押しされ、節電、省エネ努力、電化、機器効率向上、建屋断熱性能向上など総合的な施策により、世帯あたりのCO₂排出は調査を開始した2017年度比で2022年度において約19%低減され、エネルギー使用量も約13%低減されている(図4.3、4.4)⁵²。これに加え、人口の減少も相まって家庭部門全体としてのCO₂排出量は24.5%低下している。しかし、地球温暖化対策計画で掲げられた、2030年までの家庭部門からのCO₂排出目標「2013年度比66%削減」である1.21t-CO₂/年・世帯に対しては、十分な低減とは言えない⁵³。

さらに、家庭のエネルギー消費に移動を加えた2022年度のCO₂排出量評価においては、ガソリンによるCO₂排出量が

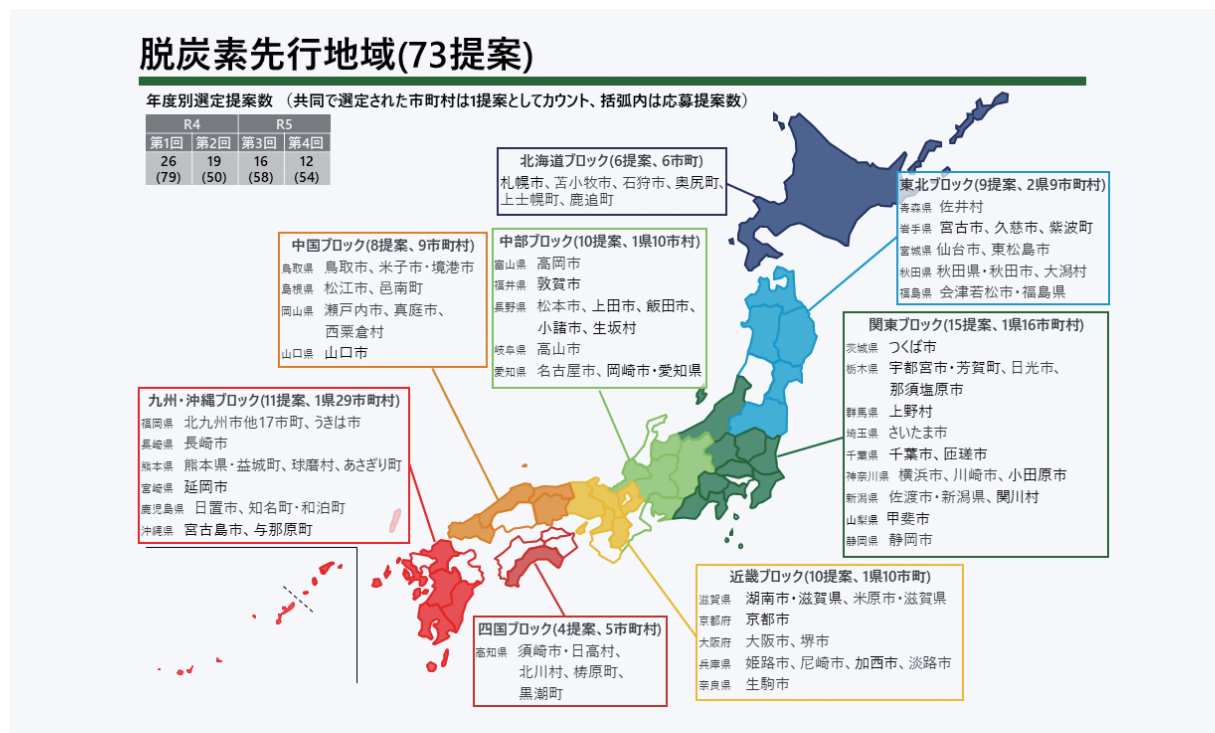


図 4.2 脱炭素先行地域の提案状況

51 環境省。2024.「脱炭素地域づくり支援サイト-脱炭素先行地域とは」, <https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/>, 2024 年 4 月 23 日アクセス。

52 環境省。2024.「令和4年度 家庭部門のCO₂排出実態統計調査 結果について(確報値)」, <https://www.env.go.jp/content/000211408.pdf>, 2024 年 4 月 23 日アクセス。

53 2021 年 10 月 22 日に閣議決定された地球温暖化対策計画における 2030 年温暖化効果ガス排出抑制目標は家庭部門で 0.70 億 t-CO₂。国立社会保障・人口問題研究所が 2020 年の国勢調査を基に将来推計した 2030 年における世帯数は 5,773 万世帯。0.70 億 t-CO₂ を 5,773 万世帯で除算し世帯あたりの CO₂ 排出抑制目標 1.21t-CO₂/年・世帯を導出した。

0.92t-CO₂/年・世帯とされており⁵⁴、運輸の電化遅れが大きな課題であることが示された。PHEVを含むEVユーザの勤務地のうち、約75%にはEV充電器が設置されていない、とのアンケート結果が存在する⁵⁵。国・自治体・企業が一体になった電化推進環境構築が望まれる。

一方で、150米ドル/円を超えてなお続く円安の進行、燃料・原料など輸入物資の価格上昇が進行しており、エネルギーコスト負担増、国民の生活を圧迫している。日本は輸入材料・製品に過度に依存することを避けた脱炭素化を進めるとともに、地域経済の活性化を実現する筋道を探ることが求められる。

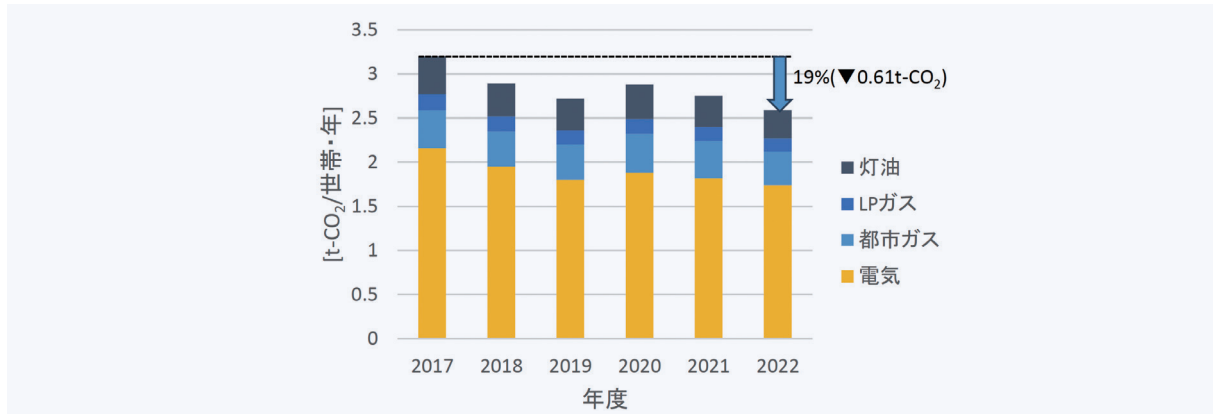


図 4.3 世帯当たりの年間エネルギー種別 CO₂ 排出量の推移

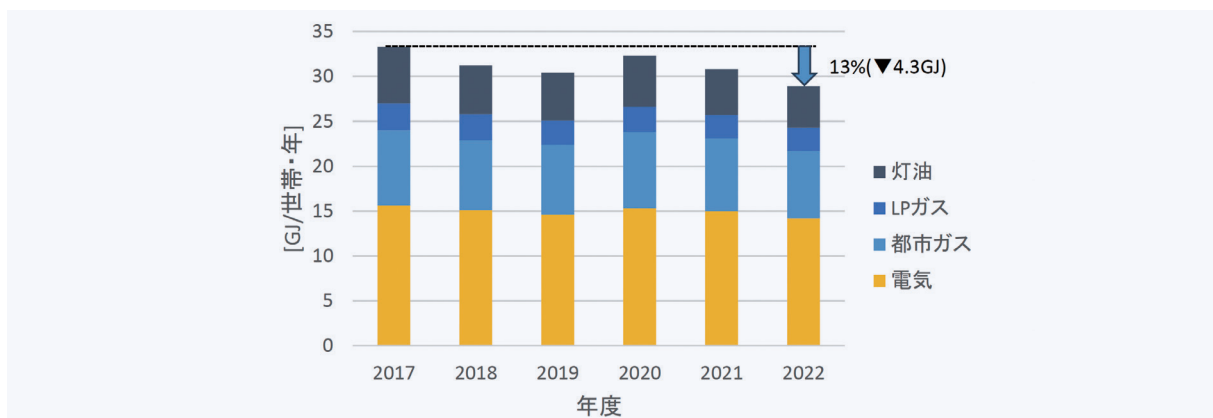


図 4.4 世帯当たりの年間エネルギー種別消費量の推移

54 国立研究開発法人 国立環境研究所, 2024,「温室効果ガスインベントリ」, <https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>, 2024 年 4 月 30 日アクセス

55 八太郎行, 2023,「EV を利用したデマンドレスポンスの市場可能性」, 電気学会誌 2023 年 9 月号 Vol. 143, No.9, pp. 572-575.

4.2.2 環境クレジットの流通量と必要量のギャップ

脱炭素と経済循環を両立し、地域の統合的トランジションを実現する手段として創出された制度の一つがJ-クレジットである。アクターが在する地域特性、業種、資金的体力には差があり、脱炭素化施策の実現容易性は異なる。J-クレジット

トは温暖効果ガスの削減・吸収につながる事業の実施により得た、脱炭素効果を自身では脱炭素施策を打ちづらいアクターに有償で提供することで、社会全体の脱炭素化推進と経済循環を実現する施策である。

政府は、2030年までに1500万t-CO₂(累積値)に相当するJ-クレジットの創出を目標に掲げ、各種支援を行うが、年間10億t-CO₂を上回る排出量に対しては乖離が大きい。また、

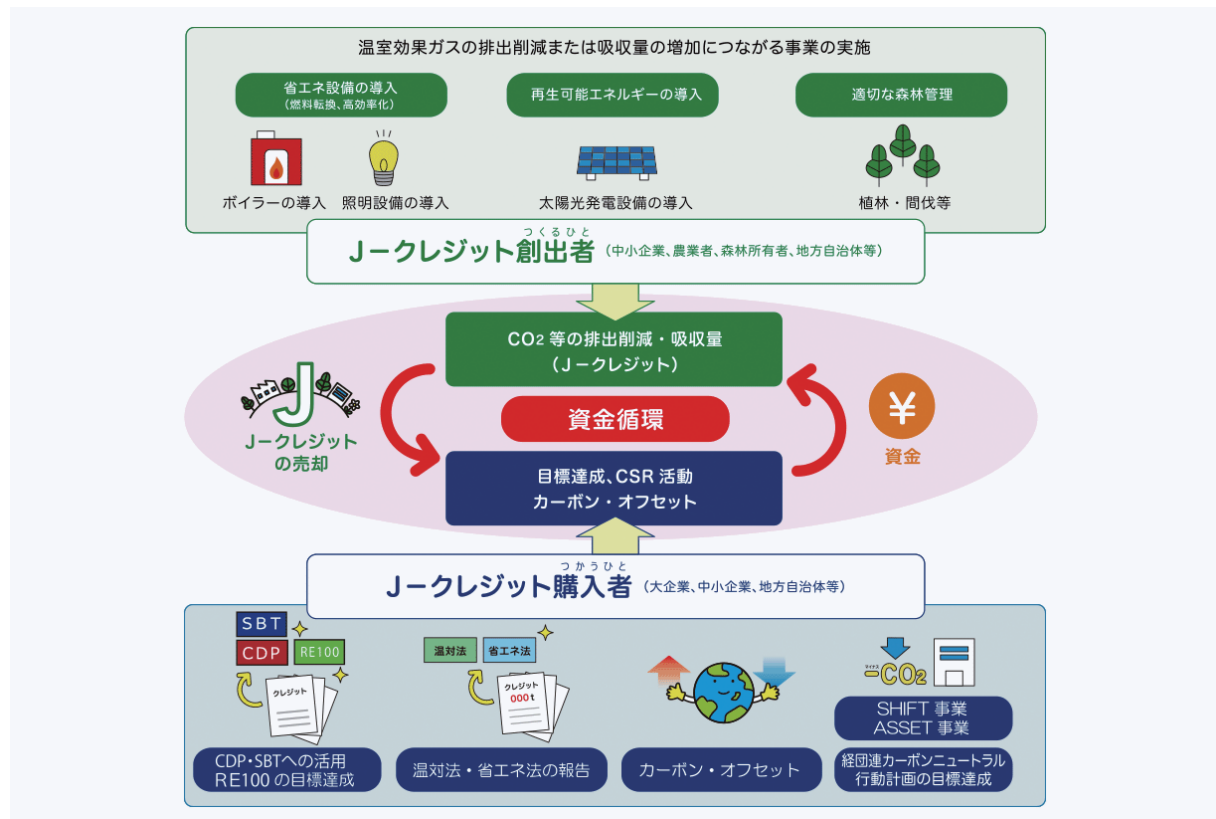


図 4.5 J-クレジット制度

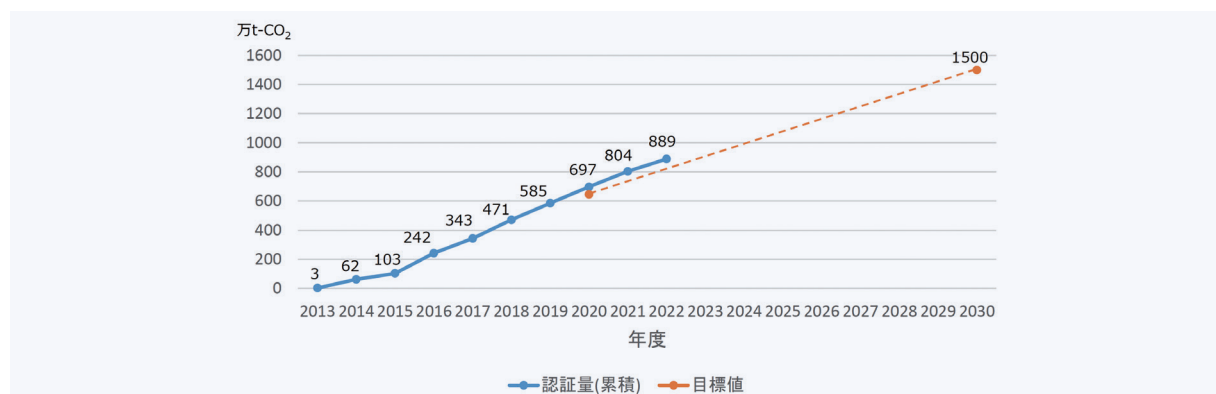


図 4.6 J-クレジット創出現状と計画値（実績：2023年3月末時点）

56 経済産業省、「J-クレジット制度について」, <https://japancredit.go.jp/about/outline/>, 2024年4月23日アクセス。

57 経済産業省、2023、「カーボンクレジット・レポートを踏まえた政策動向」2023年3月、を基に日立東大ラボにて作成

CO₂の削減が事業に大きく影響する産業・業務・運輸部門からは年間7億トンを超えるCO₂が排出されている。

運輸部門のエネルギー消費の大半はガソリンなど化石燃料である一方、産業・業務部門のエネルギー消費内訳は図4.7に示すものであり、電力の割合は31%である。日本の産業・業務部門の競争力維持のためには、図4.8に示されるような電化・省エネのさらなる推進、高温・大容量のエネルギーを

要する産業における燃料の脱炭素化、自家消費太陽光の導入促進、PPAの取引拡大、など脱炭素施策を進める必要がある。そのためにも国や自治体は省エネ・脱炭素機器の導入に適切な経済的導入支援や当該機器の計画・設計に関するエンジニアリングサービスの体系構築、成功事例の展開への事前の備えが必要である。これら施策を徹底したうえで、不足分をJ-クレジットを併用し産業界の脱炭素化を図ることが望ましい。

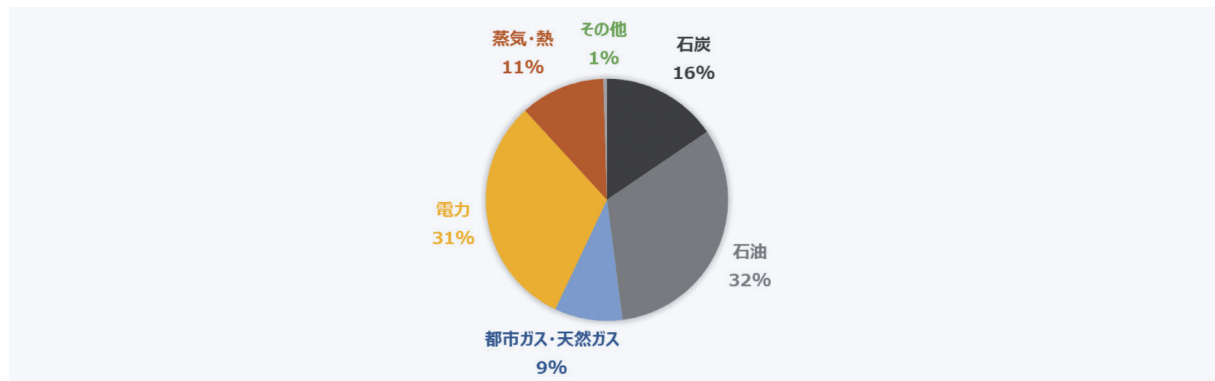


図4.7 「企業」、事業所他」部門におけるエネルギー消費内訳

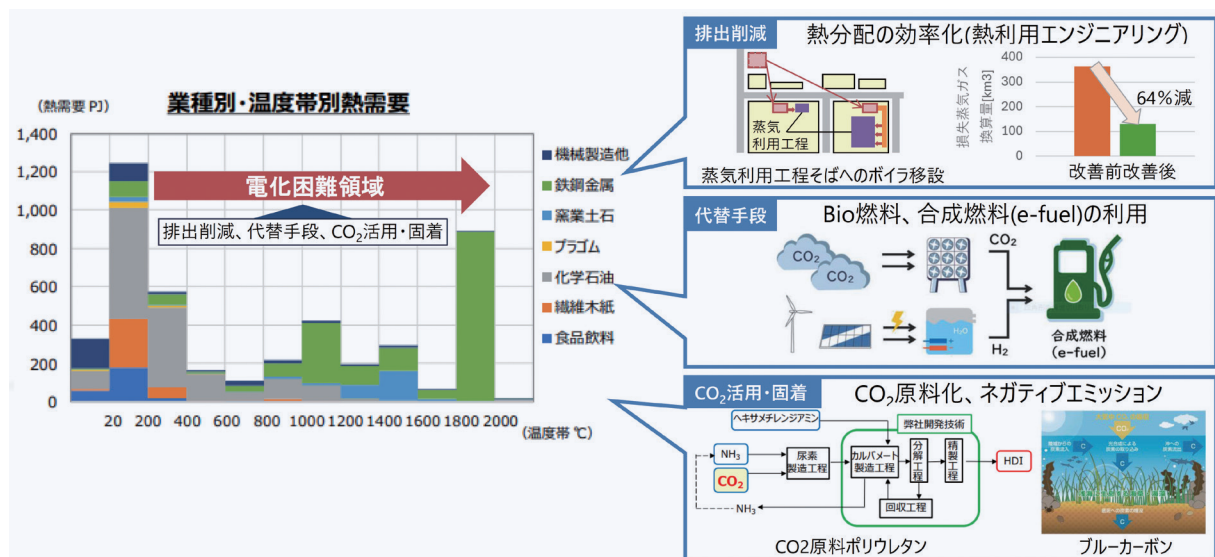


図4.8 電化困難な熱利用に対するCO₂削減・固着手段⁶⁰

58 2022年度の温暖効果ガス排出内訳は、産業部門から352百万t-CO₂、業務部門から179百万t-CO₂、運輸部門から192百万t-CO₂である。環境省、2024。「2022年度の温暖効果ガス排出・吸収量（概要）」

59 資源エネルギー庁、2024、「令和4年度（2022年度）におけるエネルギー需給実績（確報）」2024年4月、をもとに、日立東大ラボで算出

60 日立東大ラボ、2024、「産学協創フォーラム『第6回 Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて ー第1部「社会および産業変革を取り入れたエネルギーシステムのあるべき姿と成長戦略』」を基に編集。図中の記載の出典は以下。

産業別・温度帯別熱需要：NEDO、2022。「ここまで来た熱利用～脱炭素社会を切り拓く熱の3R」2022年1月27日、<https://www.nedo.go.jp/content/100943196.pdf>、2024年4月23日アクセス

熱分配の効率化：日立産機システム、「ボイラ設備の分散化による配管毛色の最短化、放熱面積の低減」、2024年4月23日アクセス、を基に日立東大ラボにて作成

Bio燃料、合成燃料(e-fuel)の利用：名古屋大学、2023。「研究成果発信サイト～環境学～記事詳細」7月14日、<https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2023/07/co2-e-fuel.html>、2024年4月23日アクセス

CO₂原料化：旭化成、2020。「カーボンリサイクルを実現する旭化成のCO₂ケミストリーのご紹介」7月7日、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/001_06_02.pdf、2024年4月23日アクセス

ネガティブエミッション：「ブルーカーボン促進のための栄養塩供給管理」プロジェクトチーム、「下水道ブルーカーボン構想」、環境システム計測学会（2023）

また、経済循環と脱炭素を両立する地域の統合的トランジションの観点から、特定のアクターで使い切れない廃熱などのエネルギーを地域内のアクターが活用する、異業種間のエネルギー活用や協業は重要かつ有効な選択肢になり得る。ここでは、どのアクターがどのようなエネルギーを必要とし、そのエネルギーを供給可能なアクターがいつ、どこに存在するか、という情報（データ）が管理・共有されることが求めら

れる。このようなデータは意識して収集し共有されなければ活用されることは無い。国・自治体が旗振り役となり、地域の各アクターがCNへの移行を自分事としてとらえることを促し、データの所有権や管理を国や自治体とともに議論する場が創生されることが重要になる。この議論を通じ、アクター自らの選択や行動を変え、ときには地域外への協力を求め、地域としての行動変容による価値創生を推進していくべきである。

4.3 地域社会のトランジションを円滑に進める施策と成長戦略の策定

4.3.1 価値を与えながらの段階的移行

4.2までに述べたように、現状とCN実現社会におけるエネルギーの利用形態の間にはギャップがあり、各アクターの認識および行動、エネルギー利用形態、市場構成、そして助成や罰則を含むルール形成、など多様な側面からの移行が求められる。また、それらを一度に達成することは困難である。

各アクターにメリットを与えつつ、アクターの移行を促し、移行への参画者の数を増やすことで価値を増加させて地域としてのメリットを創出し、それを全国大に広める、という地域社会の段階的移行が求められる。

そのためには、行動や意思決定の変更に対して障壁の低いアクターや、代替手段が既に存在する対象物から移行を開始し、その成功例を広く共有していくことが大事である。

国は、助成金の設計や運用において、助成対象の事業の持続可能性を評価しつつ、給付ハードルが極端に高くなることで助成金を活用できるアクターが限定的にならぬよう監視し、成功事例を各自治体に提供するよう活動することが望まれる。

自治体は、自らの管理地域が10年後どのような姿になりたいのか、そのためにはどのような変革を地域で起こしていかなければいけないのか、を地域住民や地元産業や業務の経営者、そして地域の金融機関運営者らと広く議論する場を設けるべきである。そこで地域に適した社会移行の段階を議論し、その各段階を実現するにあたり不足する技術・人材があれば自地域外に発信する、など開かれた段階的社会移行を推進すべきである。また、産・学・官は、自治体から発信された不足技術・人材の情報に対し、積極支援することで社会全体でのトランジション推進に寄与すべきである。

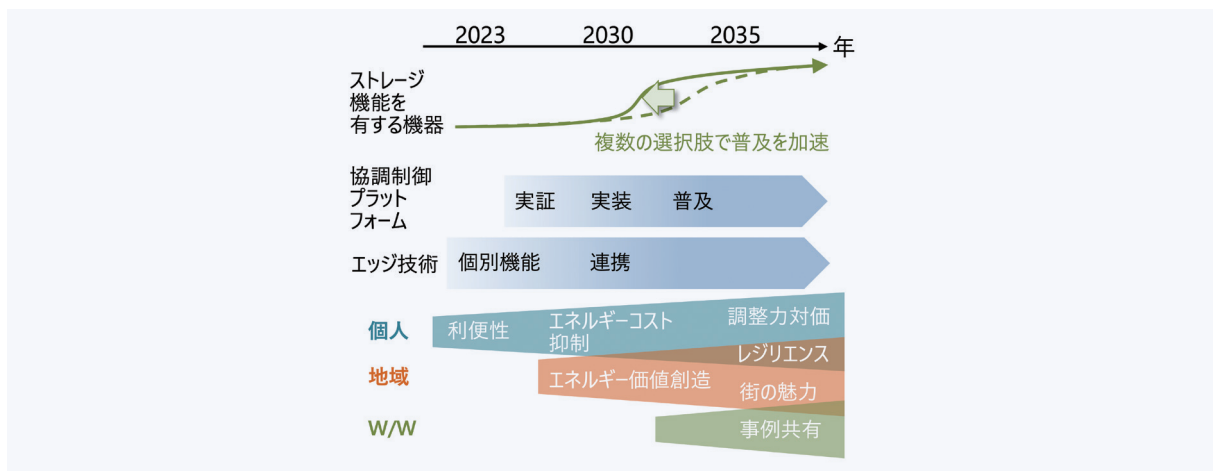


図 4.9 地域社会の段階的な移行

4.3.2 再エネ地産地活による地域 GX と 価値流通による活性化

環境クレジットの創出、地域経済の活性化手段として、地域への再エネや産業誘致が考えられる。都心への過度の人口集中や地方の過疎化を回避するためには、その誘致が地域への継続的経済価値の創出に寄与することが求められる。そのためには、地域での価値循環の姿を描いたうえでの設備誘致を進めるべきである。

その一例として考えられるものが、電力消費の工夫により地域に導入した再エネを最大限使い切り、価値の流れを地域に産む「地産地活」である。小売電力事業者が再エネ発電事業者と相対契約を結び、同時に当該地域内の需要家の需要を導入する再エネの出力に合わせて調整する（エネルギー協調）。これにより、再エネ発電事業は回収の見通しが効く投資対象となり、地域金融機関からは優良 ESG 投資案件として取り扱われ、再エネ発電事業者および地域金融機関にとっての経済的メリットが生まれる。また、発電電力の長期買取契約がある再エネ事業は政府の補助対象になるため、安価な再エネの建設も可能となる。

小売電力事業者および地域需要家は、再エネ発電を有効活用することで安価な電力を調達でき、さらに環境クレジット

トを必要としないステークホルダは、クレジットを必要とする地域のアクターに有償提供することで地域内での価値循環を構築し得る。この施策により、地域の再エネは継続的に価値を創出する手段となり、適切なメンテナンスが地域で自発的になされることが期待できる。

このような、ステークホルダ間の win-win を実現するためには、調整力の創出が可能なアセットが、需要家のどこにどれだけ存在するか、がわかることが基本となる。この基礎情報となる需要家アセット・データベースの構築を議論する場を急ぎ設けるべきである。日立東大ラボでは、協力自治体や企業を募り、当該協調制御プラットフォームによる地域の価値創生を実証を通じて社会に示す。

また、地産地活の地域経済としての定着化、および災害発生時のレジリエンス活用に向け、地産地活を促すような系統活用のルール見直しや災害時の電力品質の再定義を平行して議論すべきである。さらに、中期的視点からは地域で導入された大量の太陽光の維持・管理および更新が課題となる。上記のように継続的価値創出につながる活用をすることに加え、小規模太陽光発電設備のメンテナンス制度の開発、太陽光パネルなどリソースの再資源化に向けたリサイクル技術の育成を急ぐべきである。

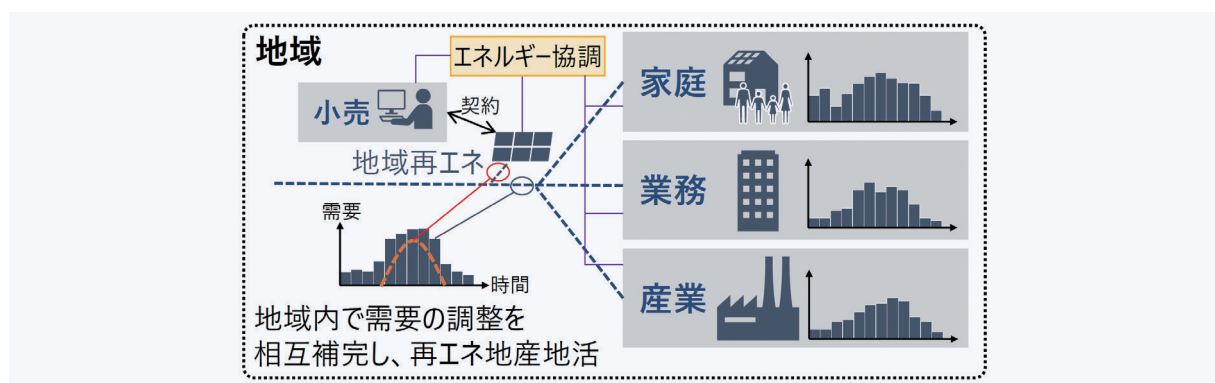


図 4.10 エネルギー協調による再エネの地産地活

4.3.3 地域経済と両立するネガティブエミッション

前述のように、産業におけるエネルギー消費の多くは現状燃料に依存した割合が多く、その中には電化困難産業による利用も多く含まれる。図4.11には3章で説明した原子力活用シナリオにおける最終エネルギー利用とCO₂バランスを示す。カーボンニュートラルが達成される2050年においても、燃料を利用するエネルギー消費が半分を占め、回収されたCO₂のうち3億トンは費用を支払って海外に輸出する「CO₂貯留」が選択される。国際的環境保全、社会コスト抑制の観点からも、この貯蔵量を低減する必要がある。

CO₂貯蔵量を削減し、同時に地域の経済と自然回復を実

現する対策としては、間伐材活用の木質バイオマス発電を工業的手法と併用する方法(対策1)が考えられる。また、島国の特徴を活かしたブルーカーボンの活用も重要な施策となる(対策2)。両対策の実施形態を図4.12に示す⁶¹。

対策1では、適切な間伐は、木々の密集を避け、光合成を促進し地域の森林の回復と林業活性化にも寄与し、地域経済とネガティブエミッションを両立することができる。

対策2は、生態系への影響を十分に配慮しながら、下水処理などで得られる栄養塩で藻場を育成することでCO₂吸収や固着化を促しCO₂貯留の必要量を低減する、さらにはそのCO₂吸収を環境クレジット化して漁場の改善と地域価値創造を同時実現するものである。

日本の環境省は、国連に世界で初めて、ブルーカーボン生

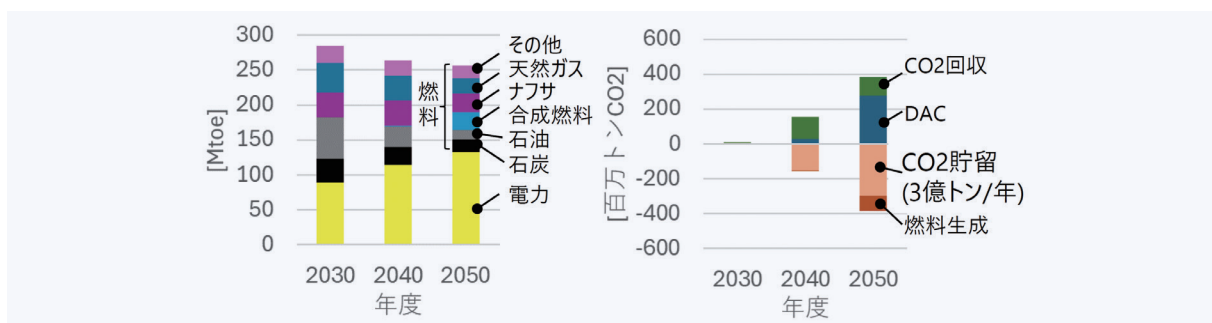


図 4.11 原子力活用シナリオにおける最終エネルギー利用とCO₂バランス

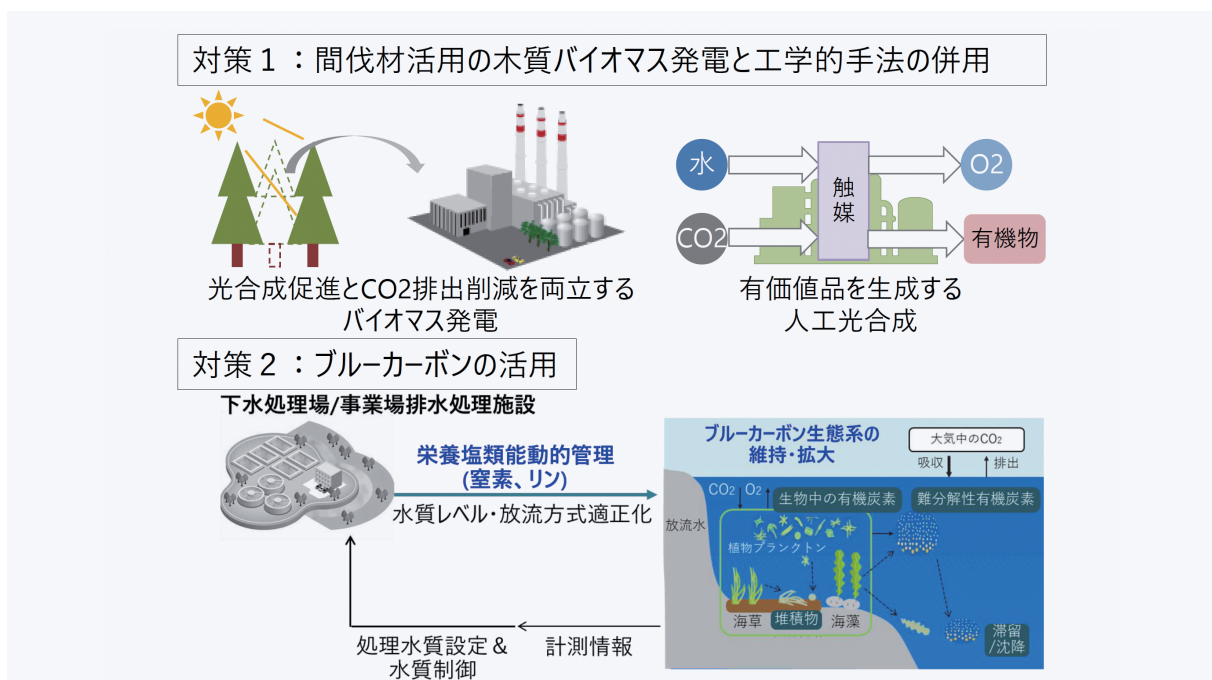


図 4.12 破壊された環境を回復しつつ、価値流通を実現するネガティブエミッションの実現

61 「ブルーカーボン促進のための栄養塩供給管理」プロジェクトチーム、「下水道ブルーカーボン構想」、環境システム計測学会(2023)

態系の一つである海草藻場および海藻藻場における吸収量を併せて算出した温暖効果ガスインベントリを国連に報告した⁶²。日立東大ラボは、このような国の特徴を活用した新しい試みを後押しし、地域の価値創生と生態系回復に寄与す

るネガティブ・エミッションを加速すべきと考え、生物多様性の研究で世界をけん引する英国インペリアル・カレッジ・ロンドンとも連携し、持続可能なブルーカーボンの実現に向けた分析を進め、提言に反映していく。

4.4 | 第4章まとめ

地域社会は、人々や社会の生活基盤であると同時に、カーボン・ニュートラルが達成された暁には、賢いエネルギー利用によりS+3Eを実現する主体となることが期待されている。

また、政府の2030年の温暖効果ガス排出削減戦略においては、削減に時間がかかる産業に先立ち、家庭・業務部門において積極的な脱炭素推進が求められる。

本章では、地域の経済循環と脱炭素を客観的振返り、および地域の統合的トランジション実現の観点から要件と施策を検討した。以下、要点をまとめる。

- 環境と経済を両立する、統合的トランジションの実現に向けた段階的移行の具体的方法としてデジタル技術を活用した再エネ地産地活、地域特性を活用した自然回復と共存するネガティブエミッション、による地域経済の活性化の例を示した。
- 地域社会の移行を進めるにあたり、国は助成金を利用できるアクターが限定されぬよう監視することと成功事例を自治体に示すことが必要である。自治体は、10年度のありたき姿と実現に向けた各段階と課題を、地域アクターと広く議論する場を設けるべきである。また、不足する技術・人財があれば自地域外に発信し、脱炭素社会への移行を加速すべきである。
- エネルギー協調に基づく地域内での再エネの最大活用、環境クレジットの地域内循環が経済と環境を両立する社会移行の一手段となり得る。それを促すべく、エネルギー協調の基礎御情報となる調整力を持つ需要家設備のアセット・データベースの構築、および系統活用のルール見直しを早期に議論するべきである。
- CO₂貯留量を低減し、自然回復と地域経済活性化を同時実現する施策として、藻場育成によるブルーカーボンの事例を示した。日立東大ラボは、国の特徴を活かした統合的脱炭素施策を支援する。併せて持続可能なブルーカーボンの実現に向けた分析を進め、提言に反映していく。

62 環境省. 2024.「報道発表資料 2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について」4月12日, https://www.env.go.jp/press/press_03046.html, 2024年4月23日アクセス

第5章 まとめ

本提言のまとめとして、提言の実現時期(短期：現在から2030年まで、中長期：2030年から2050年まで)と提言内容を以下に述べる。

「Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて」17の提言

短期

第2章

変化するグローバル・ランドスケープと統合的なトランジション

1. 急激な地政学的変化の中でも統合的なトランジションを加速させるガバナンス

今日の世界では、気候変動とともに地政学や他の地球環境にかかわる問題が複合的な危機をもたらし、持続可能な世界の構築のための努力を深刻な停滞に陥らせている。気候変動への対策は、生物多様性の喪失などの環境課題だけでなく、地域の創生、産業の転換、ジェンダーの平等などの達成と同時に進められるべきである。

したがって、日本におけるエネルギーのトランジションは、その他の領域におけるトランジションとの有機的な関係のもとに、統合的なアプローチを通じて実現すべきである。

このような統合的な転換を加速させるためには、それを支えるガバナンスそのものの変革を求めるものである。

2. グリーンな経済のためのイノベーションと構造転換の道筋の同定

日本におけるグリーン・トランスフォーメーション政策は、高度経済成長期に形成された既存の産業の漸次的発展のみならず、将来のグリーンな経済における繁栄を担う産業構造への変革に焦点を当てながら、イノベーション、労働、地域創生、資源確保、立地、国際協力を含む転換の道筋を同定しながら、優先分野への重点的な投資を行うべきである。

3. アジア太平洋地域における気候、エネルギー、環境の国際連携の推進

日本におけるエネルギー・トランジションは、日本のみで成し遂げることはできない。またアジア太平洋地域は、今後の

人口増加や経済の発展によってエネルギー需要の大幅な増大が見込まれている。日本は、アジア太平洋地域における国々と気候・エネルギー・環境にかかわる幅広い分野において新たな協力関係を構築しながら、自国と地域の持続可能なトランジションのための役割を模索すべきである。その際、日本はこれまでの友好関係や信頼にもとづきながらも、アジア太平洋地域における既存の戦略的枠組みや各国の独自のニーズと調和した取り組みを行うことが求められる。

4. 地域における統合的なトランジションのための意思決定の枠組みと人材の育成

日本における統合的なトランジションの具体的な取り組みにとって、地域社会はきわめて重要な単位となる。政府は、地方自治体が、グリーンな転換を通じて地域の長期的な繁栄を実現できるよう、意思決定や人材の育成を支援することが求められている。特に、自治体は、地域の状況に合わせて転換の道筋を具体的に立案し、多様なアクターとともに実現することを求められており、独自の自然環境や社会的コンテキストを深く理解するとともに、先進的な取り組みを実現できる人材を確保することをめざしている。政府は、政策基金の分配だけでなく、統合的なトランジションにかかわる地域の立案や遂行能力を増強する取り組みを行うことが期待される。さらに、自治体の独自の取り組みと政府の意思決定の間に生じうる齟齬を克服するために、中央政府と自治体の間でともに脱炭素化や経済のグリーン化を達成するためのより緊密な連携を行うことが必要である。

5. 科学的エビデンスと包摂的な対話にもとづく合意形成のプラットフォーム

日本における統合的なトランジションのために、幅広い知的基盤と多様なアクターの参加的な意思決定が重要となる。

特に、エネルギー分野における専門知識はもとより、各地域の状況や政策に対する科学的な分析や評価を通じて、効果的な取り組みを支えることが必要となる。

また、異なる条件やケイパビリティのもとで発展した各地域の取り組みについて、科学的な手法でこれを分析し、その実践的な知見を相互に共有することも有用である。

さらに、グリーンな転換を阻害する「ロックイン」を回避し、将来における長期的な繁栄を着実なものとするために、旧来のエネルギーシステムの関係者のみで政策立案を行うのでは

なく、これまでエネルギーの議論において周縁に置かれていた多様なアクターとともに意思決定を行うことも重要である。

科学的エビデンスと包摂的な対話にもとづく合意形成のプラットフォームを構築することで、公正で持続可能なトランジションをより着実なものとすることができる。

日立東大ラボのアクション

国際事例の分析や最新の学術的研究を通じて統合的なトランジションを支えるガバナンスのあり方を探索するとともに、多様なアクターとの対話を通じて包摂的な合意形成のための資料を提供していく。また、大学・企業の協力を通じて、専門的能力と先進的な知見をもって統合的なトランジションを推進することのできる人材の育成にも努める。

第3章

社会および産業変革を取り入れたエネルギーシステムのあるべき姿と成長戦略

6. 激変する国際情勢を踏まえたエネルギーシナリオの見直し

激変する国際情勢を踏まえ、燃油価格の高騰に加えてデータセンタ等の ICT 需要増に対してエネルギーシナリオを見直した結果、CN シナリオ実現には、2030 年までに①再エネ導入前倒し(太陽光発電 88GW と風力発電 15GW 増設) および既存の全原子力発電運転など脱炭素電源確保、②PV の導入から短期間での廃棄回避や設置環境面の課題解決、③10GW を超える水素・アンモニア発電の稼働、④コジェネ等による化石燃料発電の熱利用、⑤希頻度の無風・曇天継続、燃油不足、災害を想定したエネルギーのレジリエンスとセキュリティ確保、を進めるべきである。また、2040 年～2050 年に向けて、①太陽光・風力・原子力等の CN 電源のさらなる増加、②DAC による CO₂ 回収の実用化と普及、③回収した CO₂ からの合成燃料製造と運輸・産業部門での利用、に開発・投資しイノベーションを起こすべきである。

7. エネルギーシステムのバックキャストとフォアキャストのギャップと対策

再エネ導入量の急拡大に対する基幹システムの課題と対策には、①慣性低下による周波数低下に対し、火力・原子力の回転機運転台数確保と分散リソースの慣性制御の導入、②調整力不足による周波数変動に対し、地域リソースの活用

と系統混雑回避の対策、③系統安定性低下に対し、送電増強に加えて地域の蓄電・EV 制御高度化、④インバータ電源増にとまなう不安定化に対し、インバータ制御の高度化と統合制御、を進めるべきである。

8. 短期市場原理だけでない中長期的制度設計と施策の重要性

①短期的なメリットオーダーを目指す経済効率性と、安定供給や脱炭素化という中長期的な政策目的との切り分けの明確化、②効率性を追求してきた市場デザインについて、更なる検討を進めるべき。

9. 電力市場の再構築と環境価値市場の融合

各市場が非対称、すなわち双方に等価な規制が課されていない現状からの脱却が早期に必要である。これを実現するための電源稼働の状況可視化、市場監視を徹底し、さらに環境価値市場の融合を図り、CN に向けた好循環をめざす。

10. 地域・需要家参画による社会システムの構築

需要家の積極的な環境投資を促す持続的システムの構築。コーポレート PPA など需要家判断による CN 促進電源の確保、地球温暖化の抑制にかかる政策を需要家主権の排出権取引制度と融合させる施策を実現すべき。

日立東大ラボのアクション

日立東大ラボでは、エネルギーシナリオ評価シミュレーション技術の開発と国内外の情勢変化に応じたCNトランジションシナリオの評価、エネルギーシステムの課題解決のためのイノベーション技術の選定と開発、多様なステークホルダー間のデータ・解析モデルの共有プラットフォームの提案に取り組んでいく。

また、データに基づくCO₂見える化やカーボンニュートラルに対する需要家視点の情報提供を可能にするデジタル技術を通じて、需要家がリードするシステム構築に貢献する。

第4章

CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

11. CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

地域社会の移行を成功裏に進めるにあたり、国は助成金を利用できるアクターが限定されぬよう監視して成功事例を自治体に示すことが必要である。自治体は、10年度のありたき姿と実現に向けたステップと課題を、地域アクターと広く議論する場を設けるべきである。また、不足する技術・人財があれば自地域外に発信し、脱炭素社会への移行を加速すべきである。

上記需要協調の実現には、必要機能を有した機器普及と協調制御プラットフォーム(PF)の早期社会実装が必要である。

12. 地域社会のトランジションを円滑に進める施策

産業の脱炭素化には、事業者が主体的に電化・省エネの推進など推進する必要がある、そのためにも国や自治体には適切な経済的導入支援や当該機器の計画・設計に関するエンジニアリングサービスの体系構築、成功事例の展開への事前の備えが求められる。これら施策を徹底したうえで、不足分をJ-クレジットを併用し、産業界の脱炭素化を図ることが望ましい。

地域社会のCN化には、段階的移行を支援する手段の提供、全員参加と役割の明確化、データ連携による異業種協業が地域の移行を加速する。各アクターが自分事と捉え行動変容を起こす気づきの場を国・自治体が創生すべきである。

13. CNに伴う社会変化の客観的分析と成長戦略の策定

地域社会のCNを着実に進めるためには、各セクタのエネルギー利用状況を客観的に分析し、目標と実績が認識される必要があり、その乖離を地域アクターの利益が伴う形で埋める施策を打つべきである。その一施策としてエネルギー協調に基づく地域内での再エネの使い切りと、環境クレジットの地域内循環による経済と環境を両立する社会移行が考えられる。エネルギー協調の実現には基礎御情報となる調整力を持つ需要家設備のアセット・データベースの構築が求められる。本データベースの構築および地域での再エネ使い切りを促す系統活用のルール見直しを早期に議論すべき。

14. トランジションの選択肢と尤度を広げる自然と調和したネガティブエミッション技術の開発

地域特性を活用した自然回復と共存するネガティブエミッションは、トランジションの選択肢と尤度を広げる。CO₂貯留量を低減する施策として、日立東大ラボでは藻場育成によるブルーカーボンの事例を示した。海洋面積の広い、国土の特徴を活かした統合的脱炭素施策を支援すべき。

日立東大ラボのアクション

日立東大ラボでは、協力自治体や企業を募り、当該協調制御プラットフォームによる地域の価値創生を実証を通じて社会に示す。また、併せて持続可能なブルーカーボンの実現に向けた分析を進め、提言に反映していく。

中長期

第2章

2050 年カーボンニュートラル実現から考える社会

15. 地域独自のトランジションの道筋

日本では各地域において独自の自然環境、社会課題、生活様式、エネルギーのポテンシャルがあり、地域ごとに独自のトランジションの道筋がありうる。政府と自治体は、意思決定、人材育成を含むグリーンな変革の支援を通じて、地域の多様なアクターの主体性をエンパワーし、地域ごとに異なるトランジションの道程を示すとともに、その長期的な取り組みを着実なものとしていくことが求められる。

16. 地域の持続可能な発展のための戦略的な産業政策

脱炭素化をはじめとする持続可能なトランジションは、多くの自治体は、経験の少ない分野における政策の立案や遂行を行うことに挑戦している。政府は、各地域がグリーンな転換を通じて、持続可能な経済を実現できるよう、戦略的な産業政策を通じてこれを推進することが求められている。

日立東大ラボのアクション

地域ごとのトランジションのための固有の条件や障害の分析、国際事例の研究などを通じた政策オプションを提示する。

第3章、第4章

エネルギーシステムの技術的対策

17. カーボンニュートラルに向けたエネルギーシナリオの対策技術

2040年～2050年に向けて、①DACによるCO₂回収の実用化と普及、②回収したCO₂からの燃料製造と運輸・産業部門での利用、のイノベーションが必要である。

地域社会では、大量に設置された小規模太陽光発電の維持・管理が課題。再エネリソースのメンテナンス制度の開発を進

めるとともに、リサイクル技術の開発を加速すべきである。

日立東大ラボのアクション

技術開発に加え、継続的社会移行を進めるためのリーダー人材育成、市民のCNに対する教育推進が必要。日立東大ラボでは、エビデンスに基づく提言を続け、産学官連携での気づきの場を提供していく。

第6版提言検討体制 (2024年3月31日時点)

1. 東京大学		
津田敦	全体統括	理事・副学長
吉村忍	コーディネータ WG1	大学院工学系研究科教授
坂田一郎	WG1	総長特別参与・大学院工学系研究科教授
江崎浩	WG1	大学院情報理工学系研究科教授
小宮山涼一	WG1	大学院工学系研究科教授
横山明彦	SWG1	名誉教授
大橋弘	SWG1	副学長・大学院経済学研究科教授
藤井康正	SWG1	大学院工学系研究科教授
荻本和彦	SWG2	生産技術研究所特任教授
岩船由美子	SWG2	生産技術研究所教授
馬場旬平	SWG2	大学院新領域創成科学研究科教授
田中謙司	SWG2	大学院工学系研究科准教授
城山英明	SWG3	大学院法学政治学研究科教授・公共政策大学院教授
芳川恒志	SWG3	大学院公共政策学連携研究部特任教授
杉山昌広	SWG3	未来ビジョン研究センター准教授
山口健介	SWG3	大学院公共政策学連携研究部特任講師
Pinar Temocin	SWG3	未来ビジョン研究センター特任助教
稲垣博明	事務局	副理事・産学協創部 部長
大山勝	事務局	産学協創部 協創課 担当課長
手塚涼太	事務局	産学協創部 協創課 協創事業チーム
加藤千鶴	事務局	産学協創部 協創課 協創事業チーム

2. 日立製作所		
松岡秀行	コーディネータ	研究開発グループ 基礎研究センタ 技術顧問
楠見尚弘	WG1	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 統括本部長
馬場淳史	WG1	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ センタ長
山田竜也	WG1	エネルギー業務統括本部 経営戦略本部 担当本部長
佐藤康生	WG1	制御プラットフォーム統括本部 エネルギーソリューション本部 主管技師
渡辺雅浩	SWG1	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主管研究員
大島康宏	SWG1	エネルギー業務統括本部 経営戦略本部 部長代理
吉本尚起	SWG1,2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
黒田英佑	SWG1	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
伊藤智道	SWG	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 研究主幹
花見英樹	SWG2	インダストリアルデジタルビジネスユニット CTO
畠山智行	WG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
鈴木朋子	SWG3	研究開発グループ 技師長
飯塚秀宏	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト サブリーダー
福本恭	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト サブリーダー
稲垣幸秀	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト 主任研究員
大原伸也	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト 主任研究員
佐々木剛二	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト 主任研究員

WG1: エネルギーシステム全体、WG2: グローパライニシアチブの検討ワーキンググループを示し、SWG1: エネルギーシステムおよび制度・政策、SWG2: 社会実装、SWG3: シナリオ策定の分科会を表し、下線が各 WG リーダを示す

付録1 | エネルギー技術選択モデル(動学的コスト最小化型モデル)

第3章では2030年、2050年のCNへのトランジションに向けたエネルギーシステムの需給構造と必要な対策を定量的に示すために、東京大学 藤井・小宮山研究室で研究開発した技術選択モデルに基づくエネルギー・経済シミュレーションモデルを用いて試算した。本モデルの特徴を以下に示す。

- ・日本のエネルギー全体を分析対象に、CO₂排出制約のもとでエネルギー需給構造のコスト最適化計算が可能。

図A1.1に示すようなエネルギーシステムを想定しシステム全体の評価を行う。(一次エネルギー、転換部門、最終消費部門[産業、家庭、業務、旅客、貨物])

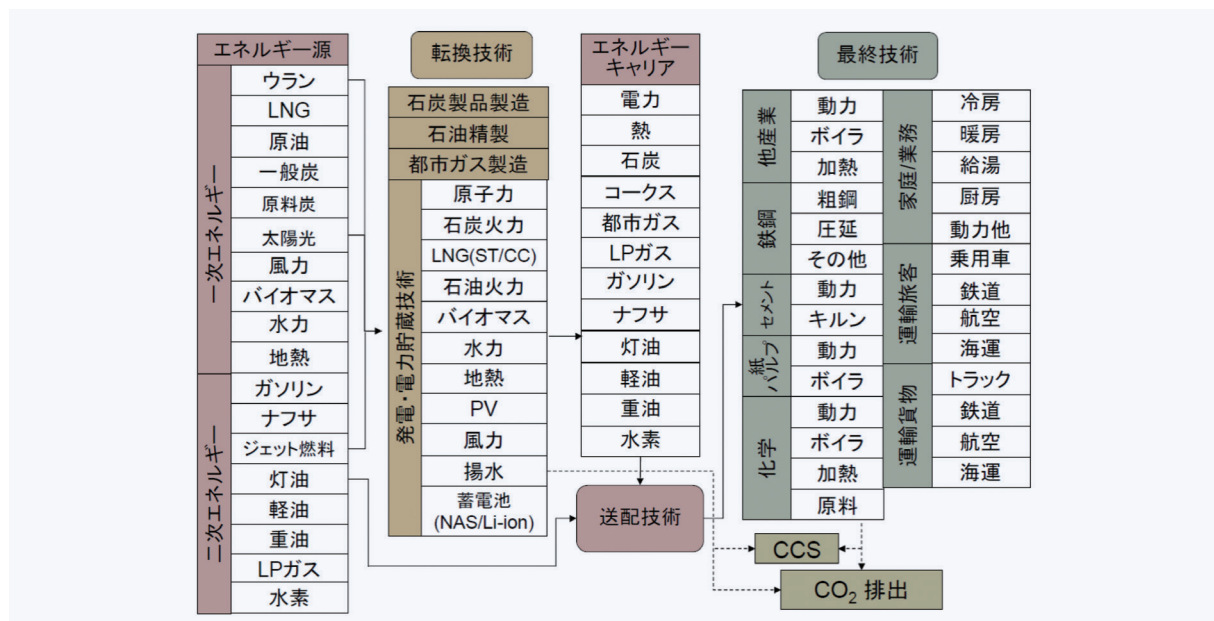
電力部門についても詳細分析。(時間解像度→1時間値、年間8、760時間で分析→再エネ出力変動を詳細に考慮)

- ・エネルギー供給サイド(一次/二次エネルギー)と需要サイド(鉄鋼、セメント、化学、民生、運輸など)について個別技術の積み上げによる分析を行い、CN実現ならびにそ

のトランジション(移行過程)のエネルギー需給構造を整合的に分析可能。

- ・革新的技術をはじめ多様な技術要素を考慮：次世代自動車(EV、FCV)、エネルギー貯蔵(Li-ion電池、NAS電池、蓄熱装置)、CCUS(大気中CO₂直接回収、メタネーション、FT合成)、エネルギーキャリア(水素、アンモニア、メタノール、合成ガス、合成石油)、発電技術(水素発電、アンモニア発電、洋上風力発電、燃料電池、蓄熱発電)、省エネ技術(ヒートポンプ)など。

第3.1節で行ったシミュレーションの主な条件(ベース条件)を図A1.2に示す。また、各エネルギーシナリオの条件を表A1.1に示す。第5版から、データセンタ等の電力需要増に対応するために再エネ(洋上風力)の導入上限を増加した条件に更新している。



図A1.1 基準エネルギーシステム

- 主要な脱炭素技術の導入（再エネ・原子力・水素・CO₂回収）が全て実現すると仮定
- 2050年CNおよびトランジション（移行過程）について、コストを最適化してシミュレーション

CO ₂ 排出量 (削減目標値)	2030年：2013年比 ▲46 %) 2050年：ネットゼロ (▲100 %)	
発電設備・技術の導入条件(2050年)		
太陽光発電(PV)：発電容量の上限を設定せず、新增設 太陽光発電協会(JPEA)の目標値は、2050年に300GW(*1)	風力発電：陸上40 GW・洋上90 GWを目標に新增設 日本風力発電協会(JWEA)が政府に提言した目標値(*2)	
原子力発電：50 GWを上限に新增設 ・既設発電所の再稼働 / 運転期間の延長(40年→60年) (廃炉が決定されたものを除く) ・建設が中断している新設3基が完工・運転開始 ・小型モジュール炉(SMR)などを新增設	水素発電：輸入量 2000万t / 輸入価格 20円/Nm3 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(*3)における目標値	
CO ₂ 回収技術の導入条件 排出削減目標を達成するためCO ₂ 回収技術を導入 CO ₂ の貯留・活用(CCS: Carbon Capture, Utilization & Storage) CO ₂ の直接空気回収(DAC: Direct Air Capture)		
*1) (一社) 太陽光発電協会 (2021 年 3 月 8 日資料) https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/026_05_00.pdf		
*2) (一社) 日本風力発電協会 (2021 年 3 月 24 日資料) https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/039/039_008.pdf		
*3) 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf		

図 A1.2 主なシミュレーション条件（ベース条件）

表 A1.1 各エネルギーシナリオの条件

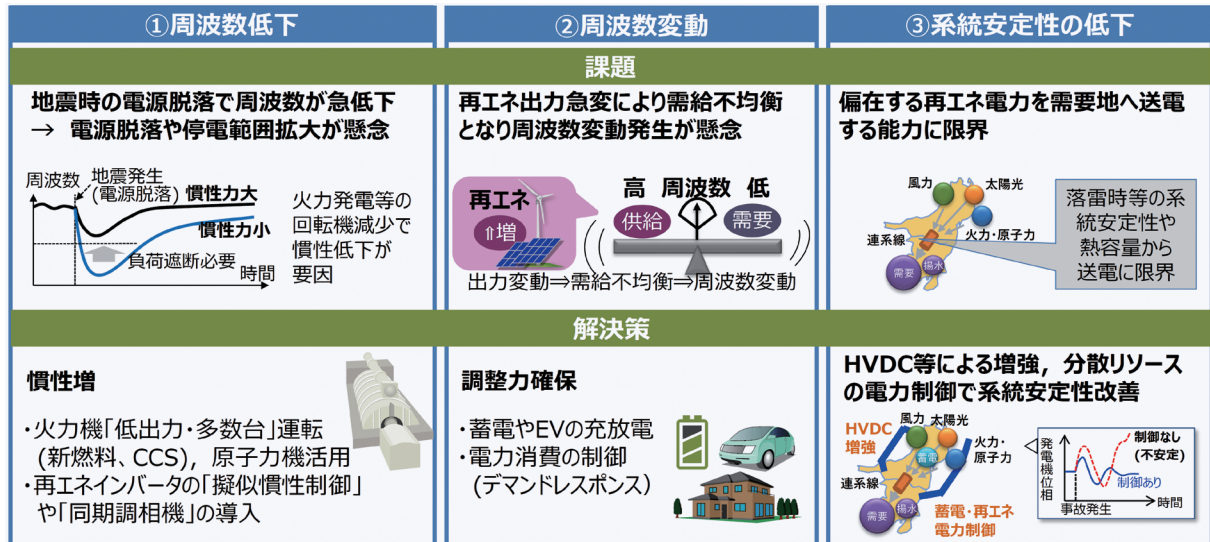
	①再エネ100%	②火力CCS制限	③原子力活用	④水素調達
原子力稼働年	停止	60	←	←
原子力設備容量上限(GW)	0	24	50(SMR)	←
火力CCS上限(ton)	2億	1億	2億	←
水素輸入上限(ton)	2,000万	←	←	上限なし
水素単価(¥/Nm ³)*1	20	←	←	←
FCV価格(現状比)	0.68	←	←	0.20
EV価格(現状比)	0.68	←	←	←
太陽光上限(GW)	なし	←	←	←
陸上風力上限(GW)	40	←	←	←
洋上風力上限(GW)	90→200	←	←	←
太陽光建設コスト(万円/kW)	15	←	←	←
陸上風力建設コスト(万円/kW)	21	←	←	←
洋上風力建設コスト(万円/kW)	51	←	←	←
CCSコスト(¥/tonCO ₂)	7450	←	←	←
DACコスト(¥/tonCO ₂)	10,340	←	←	←
LiB蓄電コスト(¥/Wh)	10	←	←	←
	PV、風力など再エネのみ	火力発電のCCS貯留量に制限あり	2040年以降にSMRを増設する	水素を海外から輸入

*1) 年間コスト : 2050 年の年間の 1 次エネルギーから最終エネルギー消費に至るエネルギーコスト (= 燃料費) と設備投資コストの合計

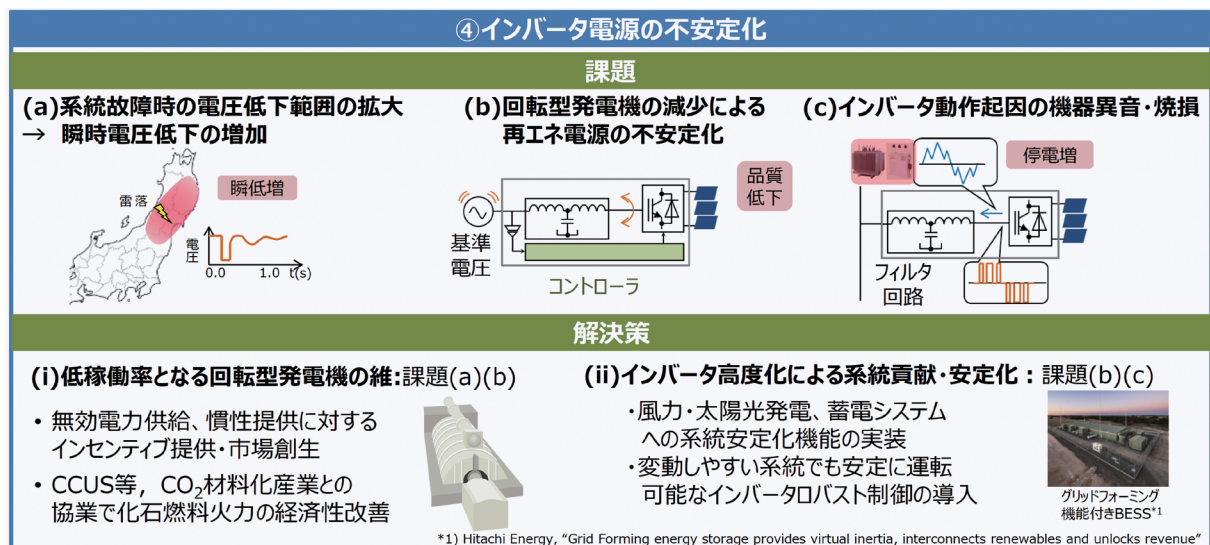
*2) 水素の輸入元の設備コストは考慮外

付録2 | エネルギーシステムの課題と解決策の例

図A2.1に再エネ急拡大にともなう基幹電力システムの課題と対策を、図A2.2に再エネ電源や蓄電システムなどインバータ電源の大量導入にともなう課題と対策を示す。



図A2.1 再エネ急拡大にともなう基幹システムの課題と対策



*1) Hitachi Energy, "Grid Forming energy storage provides virtual inertia, interconnects renewables and unlocks revenue"

図A2.2 インバータ電源の大量導入にともなう課題と対策



H-UTokyo Lab.

Hitachi and UTokyo Joint Research