

第5章 カーボンニュートラル実現への挑戦と変革に向けた社会経済的課題と構造転換

提言書第1版および第2版では、電力システムにおける基幹システムの変革を支える「パフォーマンス駆動型政策」と、地域社会の多様なシステム構築とそれらの相互補完を可能とする制度・政策について提言した。CNの実現には、電力システムにおけるパフォーマンス駆動に留まらず、需要と供給、双方の脱炭素技術導入の経済的課題を解決するため、経済的手法によって行動変容を促し解決を図る「パフォーマンス駆動型政策」の拡張が必要となる。

本章では、CN実現に向けた脱炭素化技術導入の経済的課題を抽出し、その経済的課題を解決するための制度・政策を立案するため、社会コスト最小で技術革新を促す経済的手法を提言する。さらに、エネルギーシステムにおける市場原理の定着について検討するとともに、CN実現に向けた国際的枠組みの必要性について述べる。

5.1 エネルギーシステムの将来像の具体化

前章までに議論したCN実現に向けた地域社会および基幹システムのあり方を図5-1にまとめる。地域社会の検討では、消費者に脱炭素の技術選択を促すことが課題である。基幹システムの検討ではエネルギーの地域偏在で生じる課題を示した。これらエネルギーシステムの将来における社会・経済の課題を円滑に解決し、社会全体の効率最大化とコスト最小化を図る仕組みがパフォーマンス駆動型政策である。

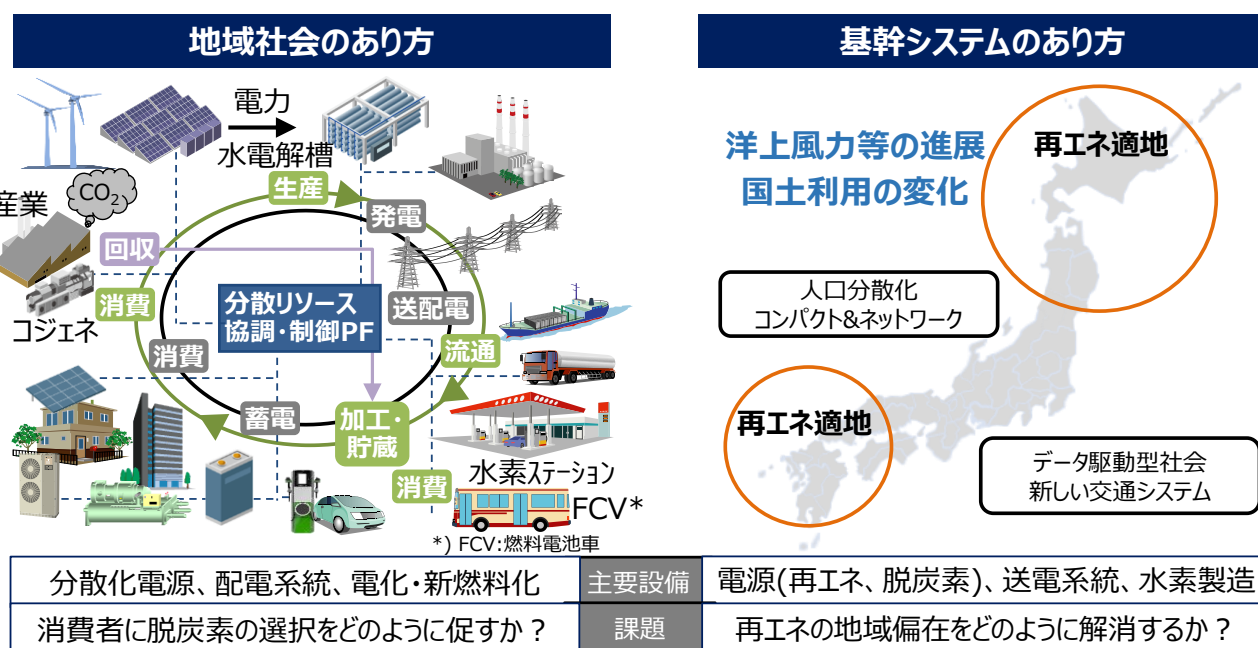


図 5-1 エネルギーシステムの将来における社会経済的課題

5.2 エネルギーシステムの課題解決を円滑に進めるパフォーマンス駆動型政策

(1) パフォーマンス駆動型政策の拡張

パフォーマンス駆動型政策とは、政策の目標達成度をシミュレータや指標などにより定量的に評価し、ステークホルダの関与のもと政策立案を実行することで、継続的な改善を図る仕組みである。定量的な評価では、イノベーションによって実現した経済的便益のみならず、安定供給や持続可能な開発目標(SDGs)などの多様な価値も踏まえ、その成果を評価する。

提言書第2版では、パフォーマンス駆動型政策の目標を、基幹システムの社会全体の「3E+S」全体最適化として、「3E+Sの目標設定」、「共通プラットフォームの確立」、「費用負担ルールの確立」を提言として述べた。CNの実現は、電力部門の脱炭素だけでは実現が不可能であり、基幹システム・地域社会を含めた全エネルギーシステムを対象とする必要がある。再エネ普及拡大と系統整備を目的に第2版で議論した「費用負担ルールの確立(公平性の重視)」から、全エネルギーシステムにおいて脱炭素化技術導入を動機付けする「技術革新を促す経済的手法(行動変容の重視)」、すなわち需要家側を含めた協調メカニズムへの参画に拡張する必要がある(図5-2)。

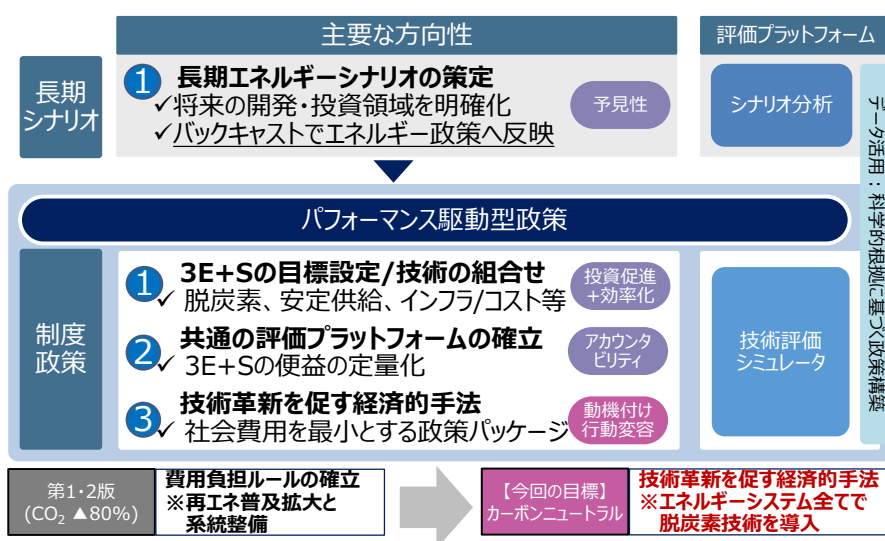


図 5-2 エネルギーシステムの将来における社会経済的課題

パフォーマンス駆動型政策を実践するためには、図5-3に示すように長期にわたるエネルギーシナリオの策定が必要である。本提言書では、長期エネルギービジョンを、第6章で後述する「社会技術シナリオ」の観点から検討し、「社会」、「公共」、「民間」で発生する重要な変化を踏まえ、パフォーマンス駆動型政策で留意すべき点を検討する。また、政策

形成プロセスを、エビデンスを重視した政策立案(EBPM³²)の枠組みで確立し、社会環境・エネルギーシステムの分析や、CN および 3E+S を実現する制度・戦略の検討を進めていく。

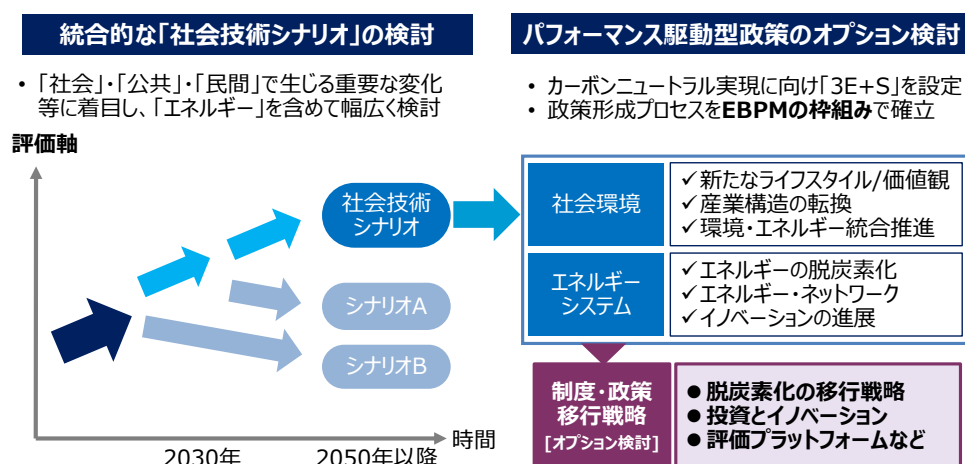


図 5-3 エネルギーシステムの将来における社会経済的課題

(2) 基幹システム・地域社会を含めたエネルギーシステム全体を最適化する技術選択の組み合わせ

CN 実現に向けた戦略・政策を検討するため、「3E+S」を最適化するエネルギーシステム全体の検討(図 5-4 参照)が必要である。エネルギーシステムのうち、発電分野では太陽光や風力発電が確立された技術として注目されているほか、カーボンフリー電源として、原子力発電所の再稼働や小型原子炉(SMR)の開発、火力発電における CO₂ 貯蔵・利用技術(CCUS)、水素・アンモニアを燃料とする発電方式などのイノベーションが期待される。需要家側では、生活機器の電化による新たなライフスタイルの他、電気自動車、水素による燃料電池自動車などがある。CN 実現に向けた戦略を立案するため、これらの技術の組み合わせを検討することが重要である。

エネルギーシステムでは、技術選択の組み合わせが多数に及ぶ。エネルギー戦略・政策の立案プロセスにおいて、技術の経済性や環境性を定量化し、政策評価のプロセスで EBPM を実践する。

³² Evidence Based Policy Making : ここでは統計やシミュレーションなどの客観的なエビデンス(証拠)を重視して、政策オプションの仮説立案や検証を行い、ステークホルダー間でオープンに議論しながら政策を策定することを示す

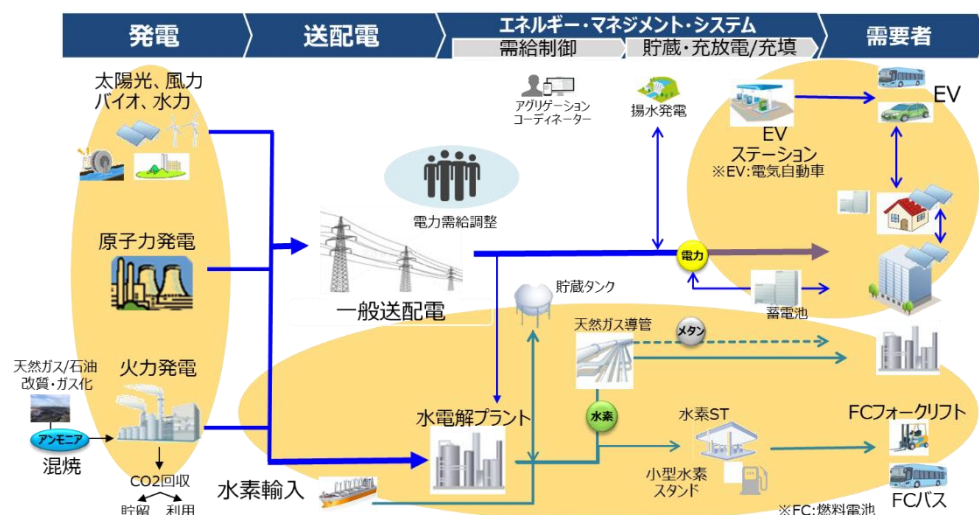


図 5-4 エネルギーシステム全体の技術の選択肢

(3) エビデンスを重視した政策立案（EBPM）の定着³³

EBPM は、政策課題を抽出し、複数の案に見える化して比較評価し、政策評価の中で政策立案サイクルを構築することで、円滑に政策形成を進めるプロセスである。図 5-5 に、EBPM の事例として北海道・東日本での再エネ導入拡大と地域偏在解消の対策案の検討を示す。図 5-5 STEP3「政策案の評価」では、政策案を定量化して議論することが重要であり、統合的に評価するプラットフォームの確立が必要となる。

基幹システムの事例：北海道・東日本での再エネ導入拡大と地域偏在解消の対策案を検討	
STEP 1 政策課題の把握	- データに基づくエビデンスから問題を理解・評価、問題の構造をモデル化 例) 現状：北海道・東日本にて、風力・太陽光などが大量に導入 - 問題：再エネ発電量が、送電システムの容量をオーバー
STEP 2 政策案の設計	- 政策の目標、代替の方法が見つかる内容、変えられない制約を把握 例) 目標：再エネ導入の地域偏在の解消 - 政策案：発電出力の抑制対策、余剰電力の活用
STEP 3 政策案の評価	- 政策案の効果・影響の価値を比較・定量化、感度分析を実施 例) 政策：送電設備の増強、水素製造、エネルギー貯蔵 - 効果：社会コストの最適化、再エネ増、CO2減、産業の創出、...
STEP 4 政策の提言	- ステークホルダーと議論 / 新たな課題を分析し、政策案を改善 例) 送電事業者：設備増強・運用の効率化、運営コストの最適化、... - 水素事業者：国内製造・海外輸入の組合せ、インフラの最適化、...

図 5-5 EBPM のステップと基幹システムの検討事例

(4) 統合評価プラットフォームの確立

政策案の評価プラットフォームでは第三者が検証可能であることが重要である。統合的な評価プラットフォームについて、第 2 版では技術選択モデルを用いて将来のエネルギーシステムを定量評価したが、供給コストを踏まえた価格モデルや

³³ 大橋 弘[編]. 2020. 『EBPM の経済学 エビデンスを重視した政策立案』 東京大学出版会.

系統シミュレータによる技術評価、さらにエネルギーシステムがマクロ経済に与える影響を評価するための経済モデルなどを、日立東大ラボでは継続して検討していく(図 5-6)。

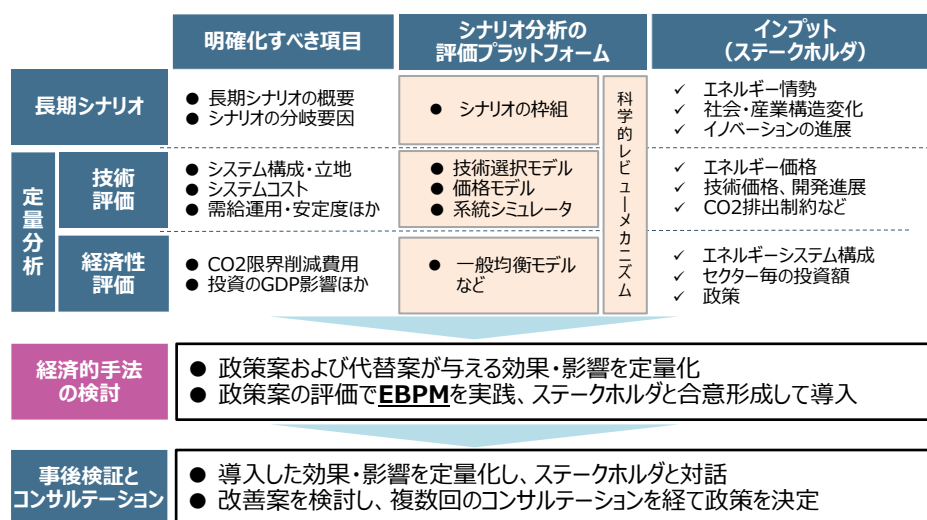


図 5-6 統合評価プラットフォームを用いた長期エネルギーシナリオ検討と制度・政策の導入プロセス

5.3 エネルギーシステムにおける市場原理と「3E+S」の定着

2000 年代に入って、国内外のエネルギー市場では数多くの変化が生じている。国内では、東日本大震災(2011 年 3 月)でエネルギー計画が大きく方向転換し、2013 年、電力システム改革の方針が決定された。国際社会においては、原油価格が 2004 年以降、上昇をはじめ、2008 年 7 月に 147 ドル/バレルを記録した。2010 年代半ばには米国のシェール革命が起き、2020 年には COVID-19 などの影響でエネルギー価格が大幅に下落した。本節では、エネルギー市場が形成される中で、「3E+S」と CN の取り組みをどのように定着させるかを検討する。

(1) 日本電力卸取引所(JEPX)の価格変動から見る電力システム改革の課題

2013 年 4 月に全体像が示された電力システム改革³⁴は、2020 年 4 月に一区切りを迎え、その中の法的分離によって、各事業部門や会社(発電・小売)は、独自に利潤の最大化に向かい始めている。2020 年 12 月から 2021 年 1 月には、JEPX 価格が最大 251.0 円/kWh まで高騰した(図 5-7)。この原因は、強い寒波による電力需要の増加、降雪による太陽光発電の伸び悩み、燃料制約などであるが、遠因として電力システム改革の結果、日本型垂直統合モデルが終焉する中、発電・小売、各々の事業者において互いの情報の連携が弱まったり難しくなったことも、燃料制約に伴う価格高騰の一要因として推測される。電力市場が形成される中で、安定供給を前提とした「3E+S」の全体最適との両立を実現する、電力システム改革がめざした市場原理を定着させる取り組みが求められる。

³⁴ 2013 年 4 月 2 日に閣議決定された「電力システム改革に関する改革方針」において、①広域系統運用の拡大、②小売及び発電の全面自由化、③法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保が示された。

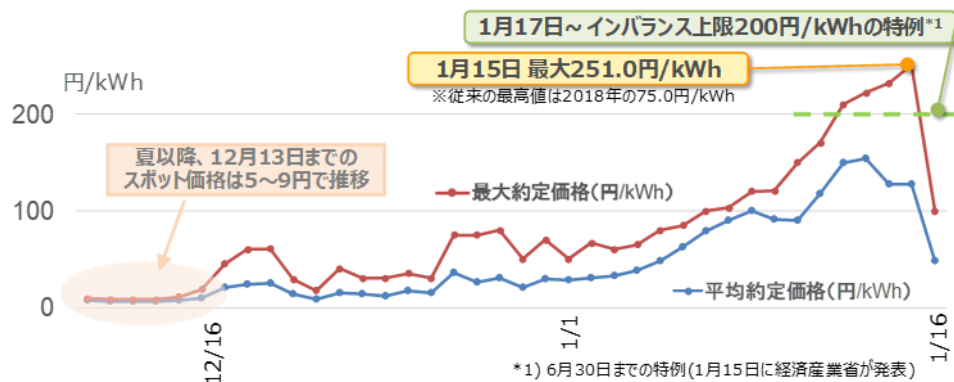


図 5-7 JEPX スポット価格（2020 年 12 月～2021 年 1 月 16 日）³⁵

(2) エネルギー市場から生み出される脱炭素イノベーション

エネルギー市場における価格と脱炭素イノベーションの間には強い相関関係があることが、OECD 調査で判明している。

図 5-8 の左グラフでは、原油価格と脱炭素イノベーションの研究開発の活性度の相関を、低炭素・省エネ関連の特許件数で評価している。一方で、図 5-8 右のコロナ禍における原油価格の推移に見られるように、世界的なパンデミックが発生すると、経済活動の停滞に伴ってエネルギー需要・価格は低下傾向を示す。将来のエネルギーシステムを形成する脱炭素イノベーションは、コロナ禍や経済活動の停滞による投資への影響は最小限にとどめるべきで、国家のイニチアチブを期待するとともに、上記の投資がエネルギー市場の活性化につながることを望ましい。

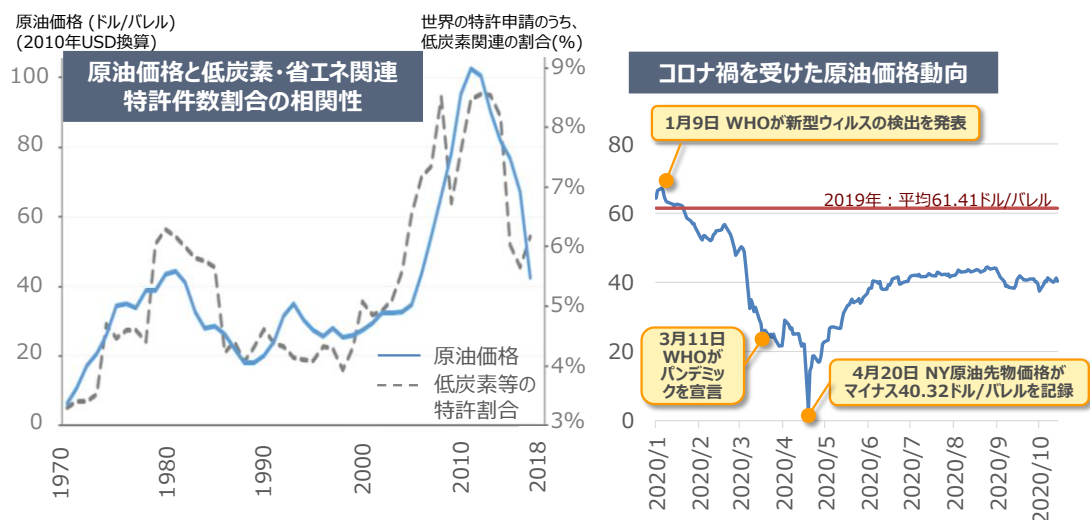


図 5-8 原油価格と技術イノベーションの相関 / コロナ禍の原油価格動向³⁶

³⁵ 日本卸電力取引所（JEPX）データより作成

³⁶ (左)OECD(COVID-19 and the low-carbon transition)、(右)World Bank(Commodity Markets)より作成

5.4 カーボンニュートラル実現に向けた国際的枠組み

現在、日本・欧州・中国において CN に向けた政策を推進している。世界の情勢が激変する中、日本が国際社会で CN 実現にどのように関わっていくかは論点の一つであり、国内外の国境調整のほか、国益を維持すべくルールメイキングへの関与も重要である。また、国際的ルールメイキングに合わせて、国内の諸制度を見直すことも重要である。

図 5-9 に示すように、世界各国で排出権取引(ETS)や炭素税(CT)などの明示的カーボンプライシング(CP³⁷)が検討・導入されてきた。日本では、暗示的 CP である、エネルギー諸税や固定価格買取(FIT)制度などに取り組み、東京都・埼玉県が連携した施策を導入してきた³⁸。しかし、表 5-1 に示す通り、日本の取り組みは CP として「見える化」はされておらず、世界の中でも CP 総額が低いと認識され、正当な評価が得られていない。CP のあり方について議論が始まっているが、CP を「見える化」して国際社会に発信していくことも、日本の政策において重要である。

日本だけでなく、世界全体の CO₂ 排出量削減に向けた取り組みが必要である。現在は、製品・サービスの上流側で CO₂ 排出量を算出しているが、消費者の行動が変わらず、世界的な脱炭素の取り組みにつながない。消費者に脱炭素の選択を促すため、製品などの CO₂ 排出量を消費者側で「見える化」する仕組みも必要と考える。

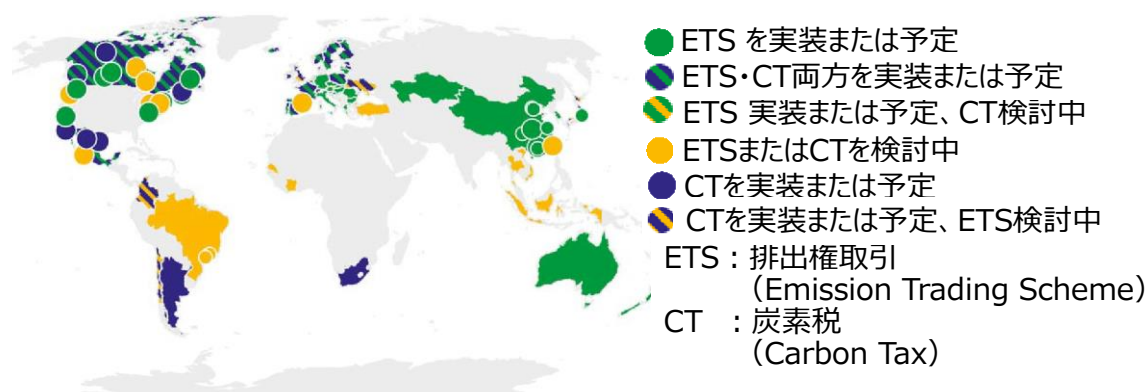


図 5-9 各国・地域でのカーボンプライシングの計画・導入状況³⁹

³⁷ カーボンプライシングは、炭素ベースのエネルギー価格を引き上げ、需要を下げることにより CO₂ 排出を削減することを目的とする制度。炭素削減の投資促進が期待される一方、生産拠点等の他国移転の懸念がある。

³⁸ 2010 年から東京都が排出権取引（キャップ＆トレード制度）を導入、2011 年から東京都と埼玉県が連携した。

³⁹ World Bank (Carbon Pricing Dashboard)

表 5-1 37 国・地域での明示的なカーボンプライシング総額の比較⁴⁰単位：(USD/t-CO₂)

ETS+CT 総額	国・地域名（排出権取引+炭素税の総額） ※ETS：排出権取引、CT：炭素税
30 以上	スウェーデン(119)、フィンランド(68)、ノルウェー(53)、フランス(49)、アイスランド(30)
20 以上	ブリティッシュ・コロンビア州/カナダ(28)、アイルランド(28)、デンマーク(26)、ポルトガル(26) アルバータ州/カナダ(21)、ニュージーランド(20)
10 以上	スイス(19)、カリフォルニア州/米国(17)、ケベック州/カナダ(17)、韓国(17) 北京市/中国(13)、オーストラリア(10)、ラトビア(10)、サカテカス州/メキシコ(10)
5 以上	マサチューセッツ州/米国(8)、バハ・カリフォルニア州/メキシコ(7)、南アフリカ(7) 東京都/日本(6)、埼玉県/日本(6) 、米国北東部諸州(RGGI)(6) 上海市/中国(6)、チリ(5)
3 以上	広東省/中国(4)、湖北省/中国(4)、福建省/中国(4)、天津市/中国(4) 重慶市/中国(4)、 日本(3) 、深圳市/中国(3)
0~3 未満	メキシコ(2)、カザフスタン(1)、ポーランド(0.07)

※エネルギー諸税や FIT 制度などの暗示的価格は除く（各国で扱いが異なり、一律の比較が困難なため）⁴¹

5.5 まとめ

- エネルギーシステムの社会経済的課題の解決に向けて、パフォーマンス駆動型政策の発展を提言した。EBPM に基づく政策立案・評価のプロセスを定着することが重要であり、長期シナリオや技術の選択肢の評価と、その技術選択が社会や環境に与える影響などを統合的に評価するプラットフォームの確立が求められている。
- エネルギーシステムにおける市場原理と「3E+S」最適化、CN 実現への取り組みの定着について提言した。JEPX 価格高騰をきっかけとして、安定供給を前提とした「3E+S」の全体最適が達成されているのかを改めて見直すことが求められる。他方、脱炭素イノベーションはエネルギー市場価格との連動性も高く、市場メカニズムを踏まえた取り組みを進めることが望まれる。
- 日本の CN 政策と国際社会との関わり方を議論した。国境調整を含む国際的なルールメイキングに国益をしっかりと反映させる取り組みを強化し、国際的ルールメイキングの動向に合わせた国内の諸制度の適正化することが重要である。加えて、消費者に脱炭素の選択を促すため、製品・サービスにおける CO₂ 排出量を消費者側で「見える化」する仕組みも必要である。

⁴⁰ Word Bank (Carbon Pricing Dashboard) 2020 年 11 月更新のデータより作成

⁴¹ 実行炭素価格(USD/t-CO₂)は、OECD Carbon Effective 2016 (2012 年 4 月時点データより作成)以降は作成されていない。提言(第 3 版)では、公的機関の最新データを用いて、明示的 CP の比較を行った。

第6章 多面的な社会の変化を描く「社会技術シナリオ」の必要性

CN という、かつてない目標の実現のための社会の根本的な変化、すなわち「移行(トランジション)」は、あらゆる分野において従来のあり方を大きく変革する努力を必要とする。このような構造転換が、着実、かつ十分な速度で行われるために、多様な主体がそれぞれの立場で乗り越えるべき挑戦を示し、目標の実現のために進むべき道筋を明らかにすることが重要である。社会の様々な領域における統合的な変革のあり方を示す「トランジション・シナリオ」は、そうした取り組みの手がかりとなる。本章では、トランジション・シナリオの要件と、ステークホルダとの議論を通じてこれまでに見出された観点について論じる。

6.1 移行（トランジション）の多面性

CN という目標は、単に電力やグリッドに係わる技術の向上や産業分野における努力だけでは達成することはできない。エネルギーシステムにおける根本的な変化は、人々の生活、社会、経済活動において旧来のあり方を大きく転換することを必要とするからである。

技術と社会にかかわる長期的な構造転換、すなわち「移行(トランジション)」に係わる一般理論としてマンチェスター大学フランク・ギールズ(Frank Geels)によるマルチ・レベル・パースペクティブ(Multi-Level Perspective, MLP)がある⁴²。これは、気候変動や生物多様性の崩壊などの危機のもとで、エネルギー、モビリティ、農業、住宅などで、既存のシステム(社会技術システム socio-technical system、またはレジーム regime)がこれまでの状態を継続することができず、別のシステムへとドラスティックに移行するプロセスを説明するための分析枠組みとして示したものである。

この枠組みでは、既存のシステムは従来の状態に関する経路依存性(path dependency)によって特徴づけられる。既存のシステムは、(1)経済的には、既得権益、既存インフラの能力やコストの低さなどによって、(2)社会的には既存の日常的認知の枠組みやユーザのライフスタイルによって、さらに(3)政治的観点では既得権益や政策ネットワークによって、「ロックイン(変化できない状態に閉塞すること)」している。

このような状況に対して、既存システムの周縁部から、新たな「ラディカル・イノベーション(ニッチ・イノベーション)」が生じる。新たな製品はミクロなニッチを形成し、はじめのうちは既存の製品などに対して能力で劣るが、時間とともに既存の製品を凌駕していく。他方、このような変化は、マクロ・レベルの「ランドスケープ」の下で生じるとされる。気候変動や人口変動のように時間をかけて変化を生み出すものもあれば、戦争、不景気、パンデミックなど、急激な変化をもたらすものもある。

MLP は、こうした複数レベルにおけるせめぎ合いの結果として、システムが移行していくプロセスを説明する(図 6-1)。

⁴² 主な論文として、以下のものを挙げる。Frank W. Geels, 2002. "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study," *Research Policy* 31, 1257-1274.

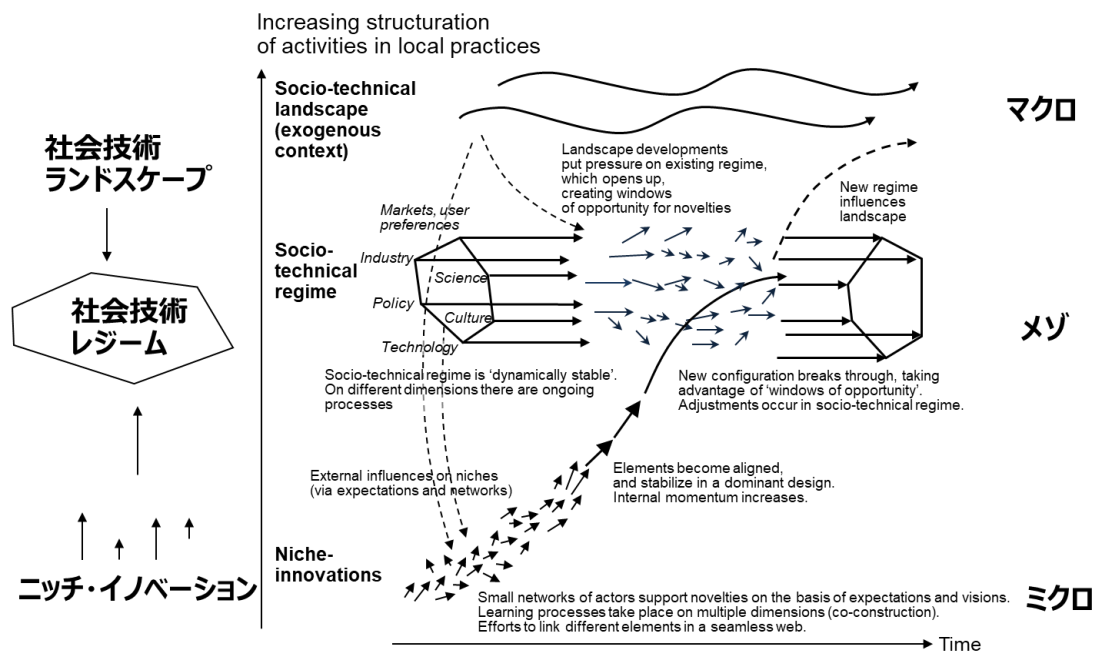


図 6-1 Multi-level Perspective にもとづくトランジションの概要⁴³

ここで重要なことは、このような捉え方において、システムは単に技術によって成立するのではなく、産業、政策、技術、文化、科学、市場やユーザの嗜好などが、互いに支え合って成立するものとして理解される点である。MLP が社会技術システム(= 社会と技術が結びついたシステム)、またはレジーム(体制、regime)と呼んでいるのは、このためである。

エネルギーシステムについて考えれば、既存のシステムから次のシステムへの移行もまた、単に技術にかかわる次元だけではなく、これに結び付いた様々な次元の複合的な構造転換として生じるものとして捉えなければならない。気候変動をめぐる国際的な行動の急速な進展のもとで、政治・経済・社会の各次元で旧来のシステムが変革を迫られている。

したがって、国際再生可能エネルギー機関(IRENA, International Renewable Energy Agency)が示すように、「電力やエネルギーシステムは、より広い社会・経済システムに埋め込まれ、またそれらすべてが地球やその気候の一部をなして」おり、「移行を方向づけ、支えるための全体論的な政策枠組みが必要」といえるだろう⁴⁴。

⁴³ Frank W. Geels. 2011. "The multi-level perspective on sustainability transition: Responses to seven criticisms." *Environmental Innovation and Societal Transition* 1, p. 28 (Adapted from Frank W. Geels, 2002. "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study," *Research Policy* 31, 1257–1274.) をもとに加筆。

⁴⁴ International Renewable Energy Agency. 2019. *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*. (https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf)

したがって、CN 社会を実現する、新たなエネルギーシステムへのラディカルな移行を実現するために、電力だけではなく幅広いエネルギーシステムを対象とし、これを可能にする技術的条件を的確に示すだけでなく、そこで生じるべき経済的・政治的・社会的な転換のあり方を、多様なファクターに光を当てながら明らかにする必要がある⁴⁵。

6.2 統合的な「社会技術シナリオ」の重要性

CN の実現という長期的目標のもとで、エネルギーシステムの大規模かつ急速な移行に資するシナリオのあり方を検討するために、日立東大ラボでは、国内外におけるエネルギーに関連する多様なシナリオの検討を行っている。その考え方の一部を付録 3 に説明を示した。

一般的に、「シナリオ」という用語は、いまだ現実のものとなっていない未来について、起こりうる複数の出来事や状況を時間的な連続性のうちに描きだしたものを指し示すが⁴⁶、現実との関係性や、望むべき状態についての考え方によって、様々な姿を取りうる。

脱炭素社会の実現という観点において最も重要なことは、現状のトレンドに基づく「フォアキャスティング」によるパスウェイ (pathways、道筋) と目標の達成に基づく「バックキャスティング」によるパスウェイの間に生じるギャップを認識して、いかに早期にこれをなくす軌道を実現することができるか、ということである。

日立東大ラボでは、持続可能な社会の実現のための構造的な転換のあり方を示す「トランジション・シナリオ」の基本的な考え方を共有しながら、日本における CN 達成のためのエネルギーシステムの転換を中心とする社会的移行のあり方を描き出すことをめざす。これは、上に論じた社会技術システムの転換について記述するものであって、「社会技術シナリオ」と呼ぶこともできる。

日立東大ラボでは、このために、主に下記のような考え方を基礎とすることとした。

(I) 2050 年からのバックキャスティング：2020 年現在の社会状況を捉えたのち、2050 年の将来像(ビジョン)を定め、そこに至るための中間的段階(2030/40 年)、そして現在の状況へとつながる時間的変化の中で、社会の変容の姿を捉える。

⁴⁵ 経済的次元では、既存のアクターと新規参入者がどのような関係を生じさせながら、変化をするか、が重要な問題となる。政治的次元では、旧来の構造を支えた意思決定のあり方が、地方自治体、NGO や新たな起業家との関係でどのように新たな形にとって代わることができるか、が課題となる。社会的次元では、新たなオプションが気候変動の意識高揚とともに、どのように世論から支持されるか、を検討する必要があるだろう。現実の状況では、各次元で独自の既存のアクター、利益関心、障害が生じ、その複雑な力学の下で既存構造の転換の姿を見出さなければならない。

⁴⁶ もともと、将来の「シナリオ」を描く手法は、中長期的な将来にかかわる不確実性に対処しながら、企業や政府など組織の戦略的将来洞察 (strategic foresight) を得る「シナリオ・プランニング」において発展した。特に、第二次大戦後のアメリカ空軍に対する諮問活動で知られる未来学者ハーマン・カーン (Herman Kahn) の影響で、1970 年代はじめにロイヤル・ダッチ・シェル社が採用したシナリオ・プランニング手法は、1973 年のオイルショックにおいて同社が危機を乗り越え競合企業に対して優位に立つ理由となったことでよく知られる。

(II) 社会・公共・民間セクタにおける変化：この長期的で複雑な社会変容を理解するために、1. 社会(social)、2. 公共(public)、3. 民間(private)の3つのセクタに同時に関心を払いながら、これらのセクタにて生じる重要な状況や変化に着目する手法をとる。このように、主に市民・NGO・大学などの活動の領域である社会セクタ、国・自治体・公的機関など活動の領域である公共セクタ、そして企業や投資家などの活動の領域である民間セクタという3つの領域それぞれにおける観点を同時に捉えることで、市民・政府・企業の役割や、気候行動、公的政策、経済活動が複雑に結び合っ生じる変化をより的確に理解することをめざす。

(III) 統合的なシナリオと移行戦略：上記の分野で生じる変化を統合的に捉えながら、長期的移行にかかわる社会技術シナリオや、近い将来への提言に資する移行戦略を検討する。

このような考え方を図示すると、図 6-2 のようになる。

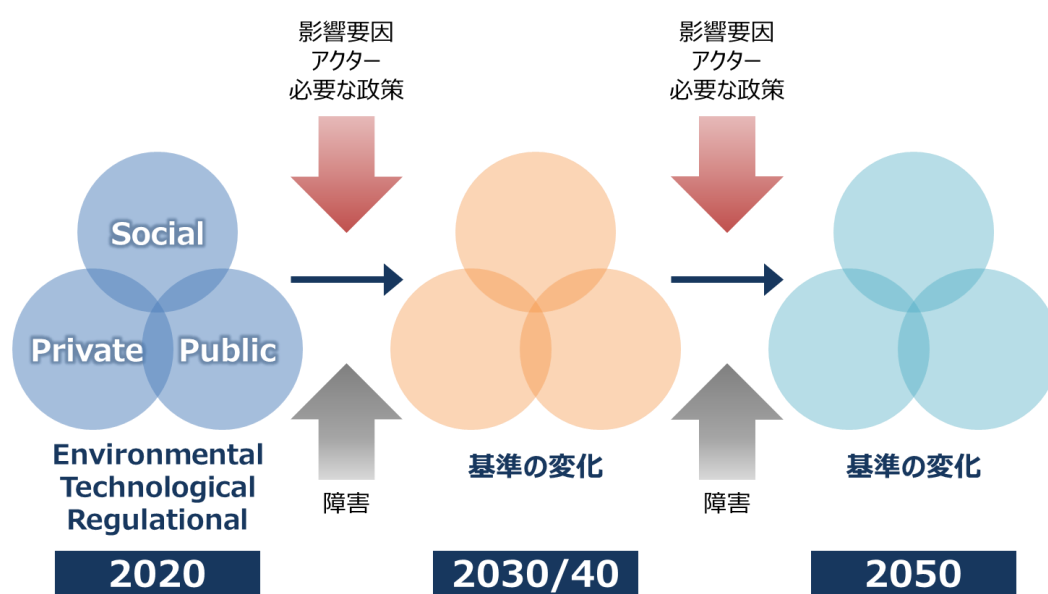


図 6-2 社会技術シナリオに関する検討の関係図

日立東大ラボでは、現代のトランジション・シナリオ研究(付録 3 参照)を参考に、特に(II)「社会・公共・民間セクタにおける変化」に関して独自の分析を行う。ここでは、トランジションプロセスにおける(a)構造、(b)アクター、そして(c)意思決定のあり方に着目する。

(a) 構造：日本の CN 実現のために、根本的な転換を要する現在の構造と、転換後の持続可能な構造がいかなる姿をしているのかについて分析を行う必要がある。既に論じたように、持続可能性への移行にとっては既存の利益をめぐる結びつきやこれを支える従来の行動パターンへの経路依存性が、保守的行動や変革停滞という障害につながる。移行の失敗をもたらす「ロックイン」を回避するために、旧来のエネルギーシステムのあり方の構造がいかなるものであり、新たにいかなる将来像をめざすべきなのかを、要素間の関係の分析をもとに適切に示す必要がある。

(b) アクター：社会の様々なアクターがどのように協業・競争し、脱炭素を達成していくかを分析する。アクターとは、民間部門の電力会社や製造業の会社、社会部門の気候行動団体や責任投資ネットワーク、公共部門の行政組織などの行為主体を示す。日本の文脈においてトランジションを考える場合、特に、2つのダイナミズムが重要性を持つ⁴⁷。一方は、ニッチで育った新規参入者が他のアクターに破壊的な影響を与えながら、社会技術システム自体を変化させていく場合である⁴⁸。他方では、既存アクターが新たな技術やビジネス・モデルを取り込んで、社会技術システム自体を変化させるという道筋も重要である⁴⁹。このように新旧アクターがともに変化しながら、新たにシステムを形作っていく動きに着目することは、CN 社会の形成にかかわる産業の変化を的確に理解する重要な手がかりとなる。

(c) 意思決定：多様な自然環境や地域経済の発展と密接な関係を持つ再エネ主電源化の挑戦は、地方における自治体や市民の意思なしに進めることはできない。一方、グローバルな気候政治や脱炭素化の進展では、日本政府や企業に対して急速な方針の転換を促している。加速する気候変動対策の中、中央と地方、市民と自治体、生産者と消費者などの間に生じる緊張や、のぞましい合意形成・連携のあり方について注意深い検討を行うことは重要である。

6.3 日立東大ラボが取り組む策定プロセス

(1) エキスパート・インタビュー

構造、アクター、意思決定のあり方に着目する上記の検討を行うため、日立東大ラボでは社会、公的、民間の3つのセクタにおいて新たな社会への移行に関する経験や知識を持つインフォーマントを選定して、エキスパート・インタビューを開始した。これらの関係者とともに議論を行いながら(付録3：図 III-4を参照)、シナリオ検討に必要な情報や重要な観点を得ることをめざしている。

2021年2月までに、企業評価にかかわる国際的なNGOの関係者や、環境政策や都市デジタルプラットフォームの研究者、再生可能エネルギーの事業者、電気自動車の生産者、石油化学事業者、ベンチャー・キャピタル、日本政府

⁴⁷ Geels, Frank W., et al. "The enactment of socio-technical transition pathways: a reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014)." *Research Policy* 45.4 (2016): 896–913; Geels, F. W., Andy McMeekin, and Benjamin Pfluger. "Socio-technical scenarios as a methodological tool to explore social and political feasibility in low-carbon transitions: Bridging computer models and the multi-level perspective in UK electricity generation (2010–2050)." *Technological Forecasting and Social Change* 151 (2020): 119258.

⁴⁸ たとえば、デジタル分野で見られたような破壊的なイノベーションが、エネルギー分野で生じる可能性がある。また、消費者の「プロシューマー」化や、環境NGOなどが新たな影響をもたらすことが想定される。

⁴⁹ たとえば、ESG投資のグローバルな潮流のもと、大手エネルギー会社が再生可能エネルギー事業を大きく進展させるケースがそれにあたる。そうした動きは、重電メーカーや自動車会社などにも影響を与えるであろう。

の高官、国際エネルギー団体における実務経験者などにインタビューを行い、社会・民間・公共という多角的な観点から、エネルギーシステムの現状と将来像に対する知見を得ている。

エキスパート・インタビューでは、社会、民間、公共という3つの分野に係わるさまざまな論点が挙げられている(図6-3)。それぞれの課題は、互いに独立しているものではなく、むしろ緊密に結びついていると捉えるべきものであることが判ってきた。例えば、気候危機に関わる世界的な脱炭素目標の推進は、日本の豊かな地形の中でどのような再エネの発電・送電の技術が適しているのか、その設置について地域社会の人々とともにどのような合意を築くことができるか、これらによってどのように地域経済が持続的に発展するしくみをつくることができるか、という問題と深く結びついている。

このように、グローバルとローカル、技術と社会、地域の発展と環境という要素は、複雑に、動的に連動していることに注意が必要である。2050年のCN社会の実現のためには、こうした複雑な状況のもとで、トランジションのための道筋を見出していくことが必要となるだろう。

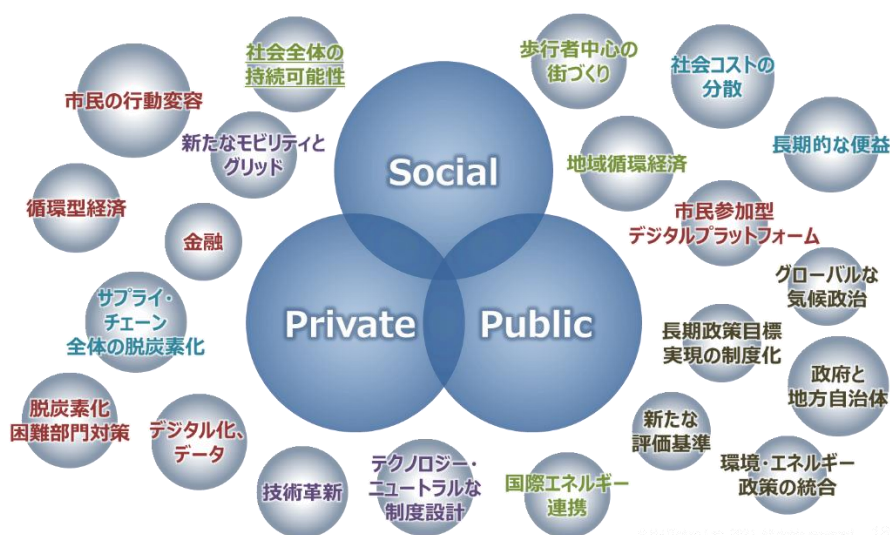


図 6-3 エキスパート・インタビューにおける主な論点

エキスパート・インタビューにおいて言及された論点をもとに、日立東大ラボでは、特に表6-1のようなテーマを2050年におけるCN社会実現に関する重要な観点として議論している。

表 6-1 エキスパート・インタビューにおける主なテーマ

セクタ	テーマ	注目すべき課題
社会	歩行者中心の都市とモビリティの役割	●アジアやアフリカにおいて人口増大と都市化が進展し、メガシティが増大する一方で、ヨーロッパの主要都市や日本国内では、都市のコンパクト化と歩行者中心の都市づくりが進む。

		●EV などの新たなモビリティは、電力グリッド(VtoG)、人工知能、スマートフォンと一体化し、災害レジリエンス、再生可能エネルギー、シェアリング経済との係わりの中でその役割を変化させる。 ●鉄道をはじめとする公共交通の質の向上は、地域のライフスタイル、都市構造やモビリティをめぐる変化と結びつきながら、新たな課題として焦点化される。
	市民の参加と 地域インフラ	●市民の主体的な参加は、再エネ導入を含む地域インフラにかかわる意思決定を大きく左右し、地域循環経済の確立のために重要なファクターとなる。 ●デジタルプラットフォームは、データにもとづく都市計画や、インフラの運営、市民の意思決定を支援する有効な手段である。
	サステナビリティと 新たな幸福観	●気候危機は、レジリエンス、生物多様性、循環型経済、ジェンダー・人種平等などのサステナビリティ課題と結びつき、市民の消費、労働、参加のあり方にかかわる重要な原理として、一層大きな影響を与える。 ●経済成長・大量消費とは異なり、地球環境の持続可能性と合致した、新たな幸福観の確立が重要となる。
民間	金融・ サプライチェーンの 脱炭素化と 産業構造の転換	●国際的な責任投資のネットワークと金融は、企業評価にますます大きな影響力を持ち、巨大企業のサプライチェーンの CN 化を強力に進める。 ●企業の脱炭素基準スコープの拡大はグローバル企業の取引先選別に重大な影響を与え、急速な産業構造の転換の契機を生む。これに対する対応の遅れ(ロックイン)は、日本の産業の国際競争力を大きく脅かす。
	再生可能エネルギー の推進	●CN に係わる目標達成のために、再エネ事業への新規参入や消費者のコスト低減を促さなければならないが、これが阻害されないよう、地政学や気象条件などによる急激な需給変動に備えて、従来の市場設計をさらに改善することが求められる。 ●EV が地域社会の電力システムとの連携を通じて、再エネを支える機能を十分に果たすためには、相互のデータ連携の標準化が必要である。 ●再エネを推進する上で、経験を持つ専門人材が国内では大きく不足している状況であり、各分野にて優秀な集団が重層的に広がるための仕組みづくりが必要である。
	エネルギーと IT の 融合による分散化	●エネルギーシステムと IT の融合は、新たなアクターや分散型サービスの参入・発展をもたらし、過去 30 年間の通信産業の動きに似た経路を歩む可能性がある。
公共	政府と自治体の 意思決定	●分散型の再エネの急速な転換は中央と地域の間に関係を生む。地域独自の環境や経済に立脚して、市民の理解と参加を通じて持続的発展を実現する仕組みづくりが必要である。

		● 地方自治体は、地域の市民と国内外の事業者の間の仲介者としての役割を果たすことで、対立を回避し、公正なプロセスを推進する役割を果たすことができる。 ● 政府は、既存のエネルギー事業者だけでなく、脱炭素化を進める新アクターが政策決定に参画できる仕組みを形成するべきである。
	環境・エネルギーの統合的推進	● CN の達成は長期目標であり、「環境」と「エネルギー」に係わる政策を統合的に実現する機構が目標実現に有効である。 ● デジタル庁のように専門的人財を流動的に登用するとともに、政府と地方自治体、業界・市民団体が一体的推進を行うことが望ましい。
	開かれた長期ロードマップ	● 短期的には、目標達成のために必要な政策とイノベーションの選択肢を明らかにしていくことが必要となる。 ● また、官・民・市民に開かれた長期ロードマップを策定するとともに、これを継続的に改訂しつつ、目標達成までの道筋を共有し続けることが重要となる。

表に示されている観点は、構造、アクター、そして意思決定に着目しながら、現在、生じている様々な状況を明らかにし、2050 年 CN へのありうべきトランジションに関する示唆を含む。MLP「社会技術システム」の分析枠組みが示すように、現在の日本における化石燃料を中心としたエネルギーシステムでは、石炭やガスを中心とする発電と集中的な送配電網インフラ、石油を燃料とする自動車による移動を前提とする都市づくり、また化学製品の大量消費・大量廃棄を前提とする産業や生活のあり方、これに対応する政府における政策形成のしくみと結びつきながら、その構造を形成してきたと捉えることができる。しかし、グローバルな気候危機の切迫性が明らかになったことによって、旧来の化石燃料中心の構造から再エネ中心の新たなシステムへのトランジションが急務となった。

エキスパート・インタビューでは、再エネを中心とする新たなシステムでは、社会、公共、民間のそれぞれの分野における多様なアクターの集合的な振る舞いの変革を促していることが明らかになった。パリ条約に基づく取り組みとして、日本のインフラ事業者、製造業、メガバンクなどのアクターは従来からの慣性も大きいため、近年まで本格的対応が遅れていた。一方、再エネに係わる新電力や地域電力などの事業者や新たな技術イノベーションやサービスを推進するスタートアップに係わるインタビューからは、彼らが旧構造の下で作られた法律、技術政策、市場設計、消費者の慣習の下で、参入障壁や国際競争などの困難がある中でも、地域との独自の関係性を構築しながら持続的な発展を模索していることが示された。

しかし、企業の情報開示に係わるインタビューからは、市民社会の気候行動の影響力が強まる中、国際的な責任投資のネットワークは、企業の炭素排出に係わる情報公開を求めるとともに、脱炭素への取り組みを基準としながら影響を強めていることが示された。実際に、新たなアクターへの投資のチャネルが広がるとともに、従来アクターによる石炭火力からの撤退、再エネ事業への投資増大、化石燃料車の廃止などの目標発表が相次いだ。また、いくつかのインタビュー

が示したように、責任投資や調達基準の変化は従来のアクターのサプライチェーン全体に及び、これに対して迅速な対応ができるかどうか、日本の産業競争力に重大な影響を与えようとしている。特に、この動きはヨーロッパや北米だけでなくアジアにおいても加速し、石油化学や自動車に係わる既存の企業は変化する市場の中で、急速に事業ポートフォリオをシフトさせることを迫られている。新型コロナウイルスの影響下における国際情勢の変化や、日本における気候行動への新たな認識は、このような動きを加速させることが予想される。

気候危機における再エネ中心のシステムへの急激な転換では、各分野における旧来の意思決定のあり方にも変化が必要であることを示している。分散型電源である再エネは、地域の地形や気象などの自然条件や、生活や経済のあり方と密接に結びついており、その急速な拡大は、しばしば地域社会におけるコンフリクトをもたらしてしまう。たとえば、再エネ事業にかかわるインタビューが指摘するように、地方都市では再エネによる発電所の建設をめぐる企業と地域住民との間に居住環境や農林水産業への影響に対する理解をめぐる緊張が生じている。地方自治体は、さまざまなアクター間の調整を行いながら、地域独自の持続可能な暮らしのあり方の実現のために主導的な役割を担っていく潜在性を持つ。また、都市データの専門家が指摘するように、市民のためのデジタルプラットフォームはこのような合意形成を支えるツールとなりうる。

また、インタビューでは、旧来のエネルギーシステムにおいて作られたエネルギー政策にかかわる意思決定のあり方が、CN 社会の実現という全方位的で長期的な移行の推進のためには不十分であるという指摘がなされた。特に、従来アクターを中心にエネルギー政策が作られる旧来のあり方に対して、市民社会の多様な団体や新たな再エネ事業者の声が反映されづらいことが示された。そこで、長期的な政策目標の達成のために、政府・地方自治体、民間企業、市民社会などに開かれたロードマップを共有しながら合意形成を行い、各分野で改訂していく仕組みが有効という見解が示された。

このように、エキスパート・インタビューでは、CN 実現のための統合的なトランジションにおける注目すべきいくつかの観点を、構造、アクター、意思決定という概念に即して明らかにしている。ここに示した課題は、日立東大ラボのトランジション・シナリオの分析の一部に過ぎないが、エネルギーシステムをめぐる長期的な社会変容のあり方を理解するために、検討を続けるべきいくつかのテーマが含まれている。

今後は、インタビューやファクト分析を通じ、2050 年の将来像を描きながら、現在の課題に係わる分析を行う。これに基づき、将来像からバックキャストする形で、トランジション・シナリオの概要を策定していく。そして、より広いステークホルダーの方々にご意見を頂きながら、内容をさらに詳細化して、次の提言に向かってシナリオ全体を策定する予定である。

(2) シナリオ策定にかかわる挑戦

2050 年の CN 社会の実現は、現在からおよそ 30 年にわたる長期の目標である。また、ここまで論じたように、目標の達成のために、政治・経済・社会の幅広い分野における根本的な構造転換を必要とする。したがって、その複雑な課題や変革のあり方にかかわるシナリオの策定は、決して容易なものではありえない。この活動では、多様な角度からの分析、

長期的な将来像を描く洞察、策定プロセスの透明性など、様々な挑戦が予想される。しかし、社会の広範な分野における多様な主体が協力しながら、この未踏の目標実現のために前進するために、様々な視点から望むべき将来像を描き出し、これに至る道程を確認するための資料としてトランジション・シナリオを生み出すことは、さらに重要性を増すであろう。特に、社会、民間、公共にまたがるさまざまな分野において求められる変化を検討するために、多様な学術領域の探求を続ける東京大学の研究者と幅広い分野に事業を有する日立製作所が、率直に知識や意見を交換しながら、多くの人々にとって参考となるべき資料を作成する作業は、大きな意義を持つと考える。日立東大ラボのトランジション・シナリオ策定の試みは、CN の実現という 21 世紀前半の日本における社会的挑戦に対し、両者が持ちうる最良の知見をもって資することをめざすものである。

6.4 まとめ

- CN 達成のためには、電力やグリッドのあり方のみならず、都市、生活、産業構造、意思決定のあり方などを含む、多元的な社会的移行のあり方を的確に示すことが不可欠である。
- 日立東大ラボでは、先行事例や方法論の検討をもとに、社会・民間・公共セクタにおける構造的転換の姿を示す「トランジション・シナリオ」の検討を開始した。
- 今後は、日立と東大の間の知見をもとに、幅広いステークホルダと対話しながらシナリオを策定していく。

第7章 エネルギーシステムを支える人財育成

7.1 新しいスキルを備えた人財の育成

Society 5.0 を支えるエネルギーシステムを構築し、同時にグローバルな社会貢献に資するインフラ産業を創生するためには、科学技術イノベーションと社会システム、経済メカニズムを一体として捉えた上で、多元的な社会的移行のあり方を描き、短期・中期・長期といったマルチタイムスケールの戦略を立案して実行していくことが必要である。エネルギーの場合、社会的な影響や現有インフラ設備の規模が非常に大きく、構造転換に時間がかかると考えられてきた。しかし、気候変動問題に後押しされた CN 宣言や COVID-19 による ICT 利用の急速な拡大を受け、早急に行動を開始し、2050 年までに構造転換を終えなければならない。この構造転換実現に向けて、エネルギーシステムの多面的な価値を論じられる人財を、産学官が連携して、業界・学問・世代の枠を超えて育成するための継続的な投資が必要不可欠である。

これに関連する学術分野は、電力、交通、情報などの工学分野に加えて、経済学・経営学・金融工学、社会学などがクロスオーバーする分野となる。大学では、具体的には、大学院において専攻や研究科を超えたエネルギーシステムに関する共同プログラム等を設置して、教育・研究活動に取り組む。そこでは、複合化していく社会の諸課題を客観的な視点から俯瞰的に捉えられる能力や、その中で解決すべき課題を発見し、見極め、問題設定し、それらを解決する力、また、異分野にまたがる横串だけでなく、短期・中期・長期での時間的な縦串を刺すことによってマルチタイムスケールの本当に大事な課題を見つけ出す力を養成する。これらの取り組みには、例えば、具体的なエネルギーシステムの課題に対して、異分野の知を統合し解決をめざすプロジェクトを推進して、その中で研究と同時に人財育成を行うことが有効であって、同時にその成果をイノベーションや新たな産業の興隆につなげることができる。また、システム構築のプロジェクトを通して、新たな分野横断知・方法論・ツールの創造・開発を推進することにもつながる。これらの取り組みでは、実効性を最大限に高めるために、大学に対して産業界も強く連携し、協力することが必須となる。

また、産業界では企業活動の中でもセクショナリズムを排した多面性を持つエネルギーシステム開発を通じた人財育成を実施するとともに、大学から上述の教育プロセスを経て産業界に入ってくるクロスオーバー人財を受け入れ、活躍させる仕組みを構築することが必要である。そのようなクロスオーバー人財の育成や資質を見極めるために、産学共同で進めるプロジェクトには特定の技術改良やサービス開発のみならず、将来を見据えた幅広いテーマを追加して、相互の議論を通じて人財育成・評価ができる機会を作ることが望ましい。

なお、このような人財育成は、これまで大学が育成をめざしている国際的な学術環境において競争力を有する人財養成との間に大きなギャップが存在するため、そうした人財を産業界において適切に評価する評価基準を同時に定めていく必要がある。評価基準としては、例えば、その人財が生み出した成果の社会的・経済的価値による評価や研究成果を価値の創出につなげるプロセスを重視し、利用知に関する積極的評価、さらに組織マネジメント能力に対する評価軸が考えられる。

上述した人財育成は産業界・国・自治体と大学が連携して主に進めることになり、さらに短期的課題については、市場メカニズムに基づき進められるものの、一方で、中長期的課題に対応する人財育成については、国家的な視点や政策の役割、特に長い時間軸を持つ大学の果たす役割も大きく、大学に対する国の支援の役割は大変重要である。

7.2 シニア人財の活用

少子高齢化が急速に進行するわが国において、社会的移行のあり方を描き、マルチタイムスケールの戦略を立案して、多元的な社会移行を実行するためには、貴重な財産であり即戦力でもあるシニア人財も積極的に活用し、地域社会システムと基幹システムの発展を加速すべきである。現在、日本では、高い信頼性のエネルギー供給を支えてきた大量のベテラン層が定年退職の時期を迎えている。日本企業においては技術継承が問題となっており、今後の技術力低下の不安材料にもなっている。一方で、一部の海外企業は日本のシニア人財を積極的に雇用して技術力を高めているという現状も見受けられる。また、シニア層にも最新のデジタル技術に精通している人財は増えてきており、ICT 社会においても貴重な戦力となる。

今後、エネルギーシステムの変革に対して、適切な人財を様々な場に幅広く供給するためには、個別企業の枠を超えた横断的なシニア人財プールを整備していくことが望ましい。あわせて、各社ごとに異なる技術基準を標準化する取り組みも今後の少子高齢化を見据えた担い手確保の観点から重要である。特に新しい方向性に挑戦する地域社会においては、産学官をつなぐイノベータとしてシニア人財を活用していくことが大切である。

第8章 提言

Society5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて、以下に提言をまとめる。

- 社会の全員参加を前提としたCNを実現する多様なエネルギー流通システムを早期構築する

(第1章)

2050年のCN達成への目標変更には電力システムを超えたエネルギーの生成・流通・使用・循環の全てにおける大規模な改革が必要であり、そこではエネルギー・情報・交通・物流といった、サービスの高度な融合と社会を構成する全員参加での改革推進が課題となる。

- CNの移行過程は日本の社会構造などの変革期を迎える時期と重なるため、脱炭素化のための技術的・商業的な選択肢を複数確保し、全員参加型の社会を前提とした移行過程のパスウェイ(道筋)を探る

(第2章)

移行にあたり、2030年までに計画すべき内容を含む産学官が一体となって移行ロードマップを作成することが重要となる。ロードマップには、既存の社会インフラの有効活用、化石燃料からの移行に伴う社会基盤・産業分野への考慮と、資源循環と価値循環の共存や生活利便性とCNの両立といった都市や住民生活を検討すべきである。

- 全員参加を可能とし、脱炭素を支援しつつ地域・基幹に価値を提供するエネルギーデータ活用体系を構築する

(第3章)

第2版発行後の社会変化を受けた地域社会の課題解決に向け、脱炭素の支援と地域・基幹への価値提供を両立する、社会の全員が参加可能なエネルギーデータ活用体系を構築して、ステークホルダに段階的にメリットを提供し、投資・効果・再投資の好循環を実現する移行プロセスを実現すべきである。

- 水素製造など需要の配置誘導まで含む社会レベルでの施策を基に、脱炭素に必要な大量の再生可能エネルギーを導入する

(第4章)

社会の脱炭素を支えるためには、非電化機器の電化による需要増をまかなうためのエネルギー源として300GW超の変動型再エネの導入が必要である。また、再エネの偏在や電力変動に対応した供給力・調整力確保のためには水素製造・活用が必要である。太陽光・風力のリソース地域依存性、系統安定度を踏まえた送電限界を考えると、系統の増強や制御手法の高度化にとどまらず、水素製造などの需要の配置誘導まで含む社会レベルでの施策で、再エネの導入に備えるべきである。

- CN達成の将来像を見据え、エビデンス重視の政策形成を定着させ、国際的枠組みを構築する

(第5章)

CN達成に必要な開発や投資領域を明確にするため、将来像とその実現に向けた変革の方向性を具体化すべきである。イノベーションの促進や資金循環の仕組みを構築し、科学的根拠を重視してエネルギー長期戦略を構築

すべきである。また、国内外の国境調整やルールメイキングへ国益を反映するよう関わっていくことが望まれ、カーボンプライシングを「見える化」して国際社会に発信していくことも重要である。

- 脱炭素社会の着実な実現に向け、各分野で達成すべき統合的な構造変革の道筋を示す「移行シナリオ」の構築と共有が必要である

(第 6 章)

CN 達成のためには、電力やグリッドのあり方のみならず、都市、生活、産業構造、意思決定などを含む多元的な構造転換のあり方を的確に示すことが不可欠である。2030 年・2050 年の社会、民間、公共セクタのあるべき姿から脱炭素社会実現に向けた移行シナリオを構築することが重要であることを示し、日立東大ラボが進めるシナリオ策定プロセスを提示する。

- 産学官が連携して横断的人財を育成する

(第 7 章)

Society5.0 を支えるエネルギーシステムを構築していくと同時に、グローバル社会への貢献に資するインフラ産業を創生するためには、科学技術イノベーション、社会システム、および経済メカニズムを一体で捉えることが重要である。産学官が連携して業界・学問・世代の枠を超える取組みを推進して、多岐多様の英知を統合できる人財を育成する機会を創出すべきである。また、日本の貴重な財産あるシニア人財の活用も重要である

以上

第3版提言検討体制（2021年1月18日時点）

1. 東京大学

藤井輝夫	全体統括	理事・副学長
吉村忍	コーディネータ	副学長、大学院工学系研究科教授
	WG0	
坂田一郎	WG0	副学長、大学院工学系研究科教授
江崎浩	WG0	大学院情報理工学系研究科教授
<u>横山明彦</u>	WG1	大学院工学系研究科教授
<u>大橋弘</u>	WG1	公共政策大学院院長・大学院経済学研究科教授
藤井康正	WG1	大学院工学系研究科教授
小宮山涼一	WG1	大学院工学系研究科准教授
<u>荻本和彦</u>	WG2	生産技術研究所特任教授
岩船由美子	WG2	生産技術研究所特任教授
馬場旬平	WG2	大学院新領域創成科学研究科准教授
田中謙司	WG2	大学院工学系研究科准教授
<u>城山英明</u>	WG3	大学院法学政治学研究科教授・公共政策大学院教授・ 未来ビジョン研究センター 副センター長
芳川恒志	WG3	大学院公共政策学連携研究部特任教授
杉山昌広	WG3	未来ビジョン研究センター准教授
山口健介	WG3	大学院公共政策学連携研究部特任講師
陳 奕均	WG3	未来ビジョン研究センター特任研究員
居 又義	WG3	未来ビジョン研究センター特任助教
菊池信治	事務局	産学協創部 部長
大久保哲也	事務局	産学協創部 協創課 課長
福井美乃	事務局	産学協創部 協創課 協創事業チーム
菅 哲郎	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 主管研究長
森田歩	WG0	研究開発グループ テクノロジーイノベーション統括本部 副統括本部長
楠見尚弘	WG0	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ センタ長
山田竜也	WG0	エネルギー業務統括本部 経営戦略本部 担当本部長
門田和也	WG0	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 部長
<u>小野田学</u>	WG1	エネルギー業務統括本部 経営戦略本部 主任
渡辺雅浩	WG1	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 主管研究員
中沢健二	WG0・1	エネルギー業務統括本部 経営戦略本部 担当部長
加藤大地	WG1	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 研究員
藍木信実	WG1	日立総合計画研究所 主任研究員
伊藤将宏	WG1	日立総合計画研究所 研究員
吉澤孔明	WG1	日立総合計画研究所 研究員
御手洗茂樹	WG1	日立総合計画研究所 研究員
吉本尚起	WG1・2	研究開発グループ システムイノベーションセンタ 主任研究員
<u>伊藤智道</u>	WG2	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 研究主幹
佐藤康生	WG0・2	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
河村勉	WG2	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
村田新治	WG2	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 研究員
<u>鈴木朋子</u>	WG3	研究開発グループ 技師長
飯塚秀宏	WG3	研究開発グループ 環境イノベーションプロジェクト サブリーダー
福本恭	WG3	研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センタ サステナブルシステムデザイン室 室長
稲垣幸秀	WG3	研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センタ サステナブルシステムデザイン室 主任研究員
佐々木剛二	WG3	研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センタ サステナブルシステムデザイン室 主任研究員

WG0: 全体ビジョン、WG1:基幹システムおよび制度・政策、WG2 : 地域社会、WG3 : 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】技術転換シナリオにおける都市像に関する考察

1. 都市集中と地方分散

第 2 版では、2050 年の 3 大都市圏に人口が集中する「都市集中」と、中核市がコアとなり地域社会が形成される「地方分散」を想定し、エネルギーシナリオを検討した。2019 年 4 月時点で 55 箇所だった中核市は、2021 年 1 月現在 60 市となり、なお 12 市が中核市候補の準備を進めている状況下⁵⁰にある。単純計算では各都道府県に 1 市以上存在することになり、文字通りの中核の機能を果たすことが期待されている。

人口流出は様々な原因により起こるが、各地方の人口が東京・名古屋・大阪の 3 大都市圏に画一的に流出せず、各地の中核市で人口流出を食い止める「ダム効果」について人口推計に基づいて考察した。図 I-1 に茨城県を事例とした人口推計結果を示す。茨城県では、水戸市が中核市、つくば市が中核市候補である。県南部のつくば市は、つくばエクスプレスの効果によって 2015 年から 2040 年では人口増の見通しである。県中央部の水戸市人口は 2040 年に 13.3%の減少が見込まれているが、県全体の平均人口減少 30.5%より低位である。水戸市より北部の市町村では、軒並み人口減少率が 50%以上となっており、これらの人口の一部は水戸市に流出し、県北部と水戸市で広域な圏域を形成していると推測される。つくば市は県外からの人口流入もあり、一概に比較はできないが、周辺市町村からの人口流入が認められ、こちらも県西部から県南部に至る圏域形成ができると推定される。

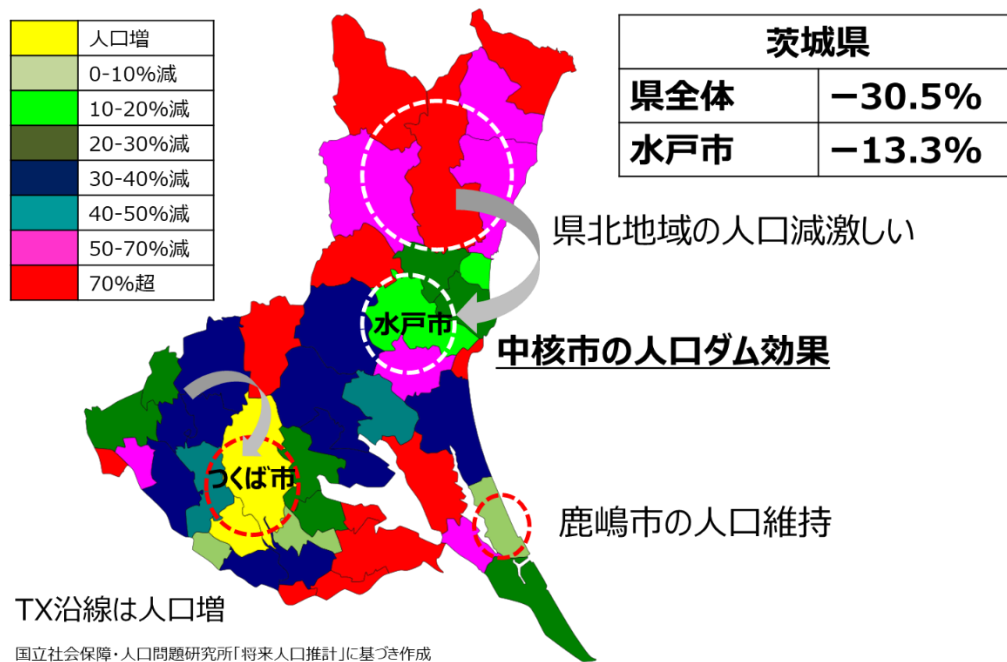


図 I-1. 茨城県を事例とした人口推計と人口流入考察（2015 年基準での 2040 年人口推計）

⁵⁰ 中核市市長会。「中核市市長会」<https://www.chuukakushi.gr.jp/>

2. 人口減少過程におけるエネルギー消費動向の考察

人口減少局面におけるエネルギー消費について、秋田県を事例に考察した。秋田県は、人口減少率が全国最大の状況下にある。図 I-2 に、秋田県における 1990 年から 2017 年までの人口とエネルギー消費の動向を、図 I-3 には部門別エネルギー消費量の動向を示す。赤枠で示した 2005 年以降は、人口とともにエネルギー消費が減少している。部門別エネルギー消費量を見ると、人口動向と相関があるのは家庭部門と運輸部門に限られ、業務、製造業、および農林水産鉱業は、横ばいの傾向を示していることがわかる。地域内の産業構造が崩れない状況では、各地方に一定のエネルギー需要を構築でき、これら産業の電力システムとの協調によって、適切なエネルギー分布が構築できると考える。

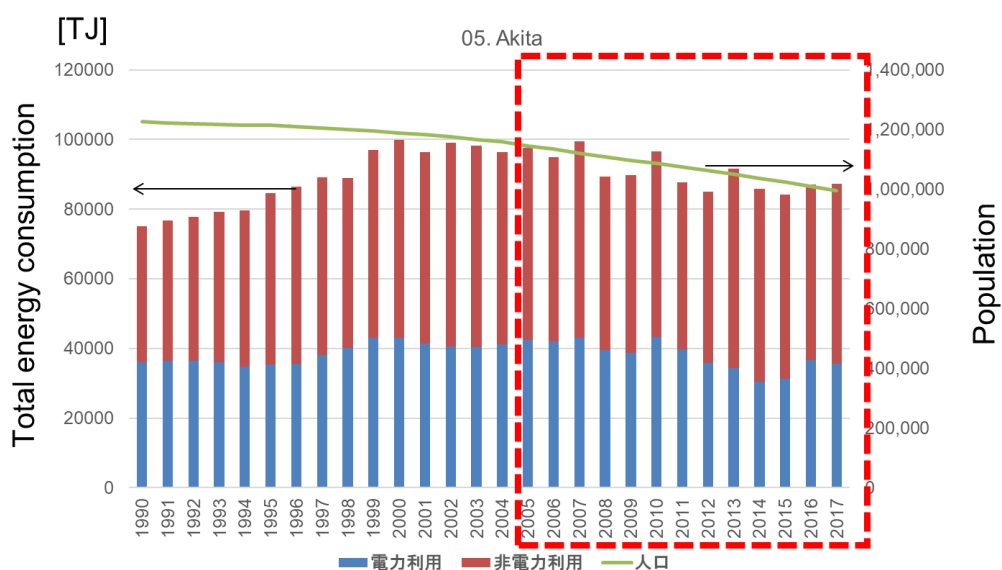


図 I-2. 秋田県の人口動向とエネルギー消費量

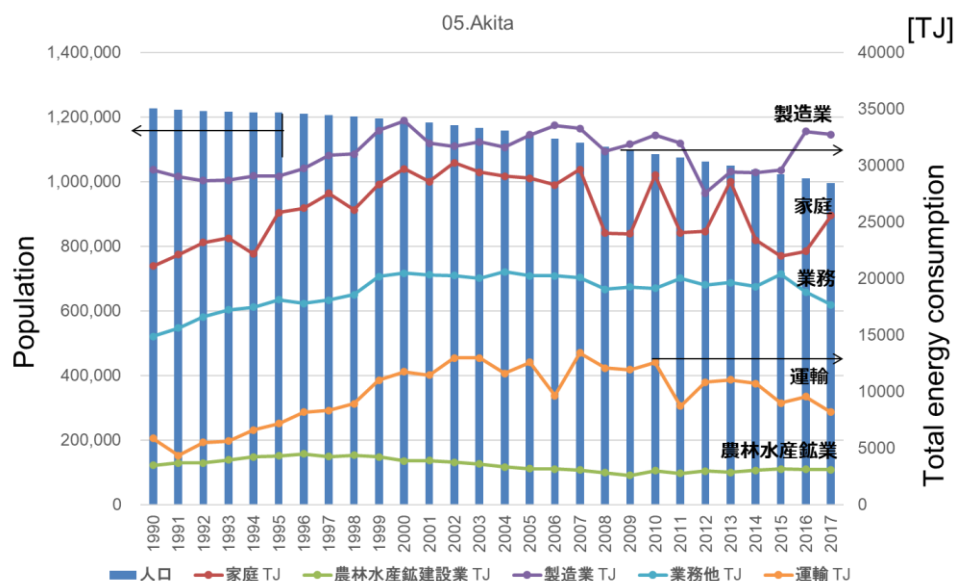


図 I-3. 秋田県の人口動向(棒グラフ)と部門別エネルギー消費量(折れ線)

【付録 2】 再エネ導入・電化に伴う配電系統対策の定量評価と都市設計への反映

3.2 節で述べたように 2030 年代までは、エネルギー需給の主要インフラは電力系統である。EV を含む電化推進によって増加する電力需要に対して、配電系統の過負荷回避が課題となる。本提言書で提案する分散リソース協調・制御 PF のユースケースの一例として、太陽光発電、EV、およびヒートポンプ(HP)が大量導入される、2050 年の配電系統の状態を定量的に評価する。太陽光発電、EV、HP、および EV 急速充電器が配電系統に及ぼす影響に関する試算と対策の例を示す。

1. 2050 年における太陽光発電、EV およびヒートポンプの配電系統に及ぼす影響

地域社会は住宅地域、商業地域、工業地域に大別でき、地域ごとに太陽光発電、EV、HP などの導入量が異なる。住宅地域、商業地域、および工業地域の負荷電力と系統構成は表 II - 1 に示すような特徴を有する。住宅地域では、住宅用太陽光発電、自家用 EV、家庭用 HP が占め、商業地域では、業務用 HP や貨物用 EV の割合が多く、昼夜の需要差が大きい。一方、工業地域では、産業用 HP、貨物用 EV の割合が高い。用地面積比や昼夜人口を参考にモデルとなる都市を選定した。次に、モデル都市の都道府県別エネルギー消費統計と、用地面積の情報から各地域の用途別(住宅用・商業用・工業用)の年間消費電力を決定し、用途別および季節ごと(夏期・冬期・中間期)の標準的な負荷パターン⁵¹によって負荷電力を作成した。負荷電力の比率に応じて用途ごとのフィード割合を決定し、最大負荷電力から配電用変電所数を決定した。図 II - 1 に、本解析に用いた系統構成を示す。ここで、フィード構成は用途別の標準的フィード構成⁵¹を用いた。各種報告書を参照し、2050 年における国内の太陽光発電を 259GW⁵²、EV を 4,400 万台⁵³、HP を 1,000GW⁵⁴と想定し、モデル都市と日本の世帯数や用地面積の比から各地域の太陽光発電、EV、HP の容量を決定した(表 II - 2)。EV 負荷電力は 1 日の自動車走行距離データ⁵⁵や電費(km/kWh ガソリン車燃費に相当)から 1 台あたりの平均消費電力を求め、各都市の台数を掛けて総消費電力を算出し、利用者の利便性への影響が少ない夜間に充電することを想定した。HP の負荷電力は、調査報告書⁵⁴を参照した。給湯用 HP の沸き上げは、夜間電力を利用している現状の状態が継続すると想定している。オフィスや工場の空調用 HP および加温用

⁵¹ 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所. 2006. 「新電力ネットワークシステム実証研究 新電力ネットワーク技術に係る総合調査 経過報告 【第一部】電力ネットワーク技術実証研究に係わる経過報告」
<https://www.iae.or.jp/wp/wp-content/uploads/2014/09/network/vol1.pdf>

⁵² 一般財団法人 電力中央研究所. 2020. 「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」
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/034/034_007.pdf

⁵³ 国立研究開発法人 国立環境研究所. 2020. 「2050 年脱炭素社会実現の姿に関する一試算」
https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/2020_2050Japan/2050_Japan_201214.pdf

⁵⁴ 一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター. 2020. 『令和 2 年度ヒートポンプ普及見通し調査 報告書』
https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryo.pdf

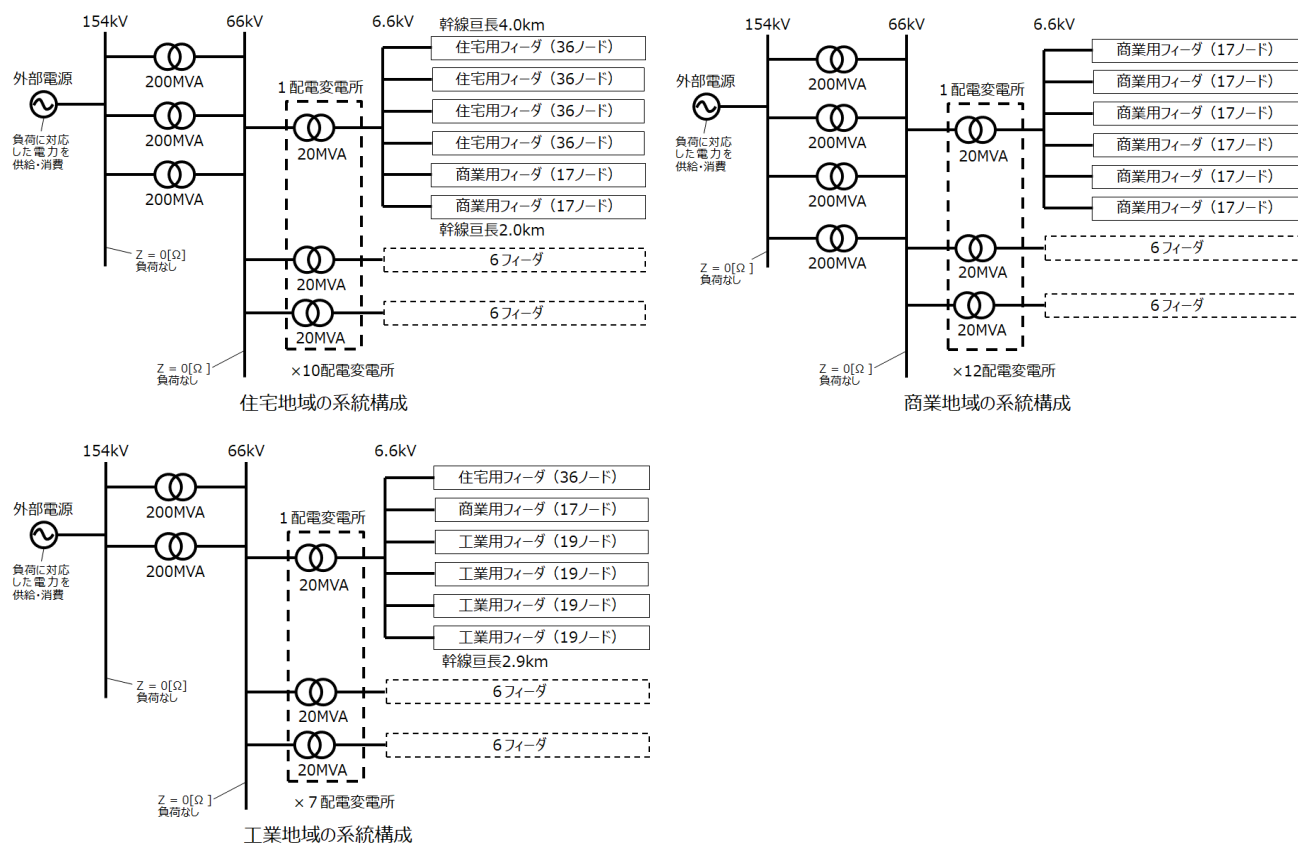
⁵⁵ 岩船由美子、池上貴志. 2018. 「2050 年の自動車部門のエネルギー消費に関する検討」 エネルギー・資源学会第 34 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

HP は昼間の業務時間に使用し、各負荷電力と太陽光発電は配電系統内において均等に分布していると仮定した。

表Ⅱ-1 地域系統モデル

種別	ねらい	地域選定条件	選定都市	負荷電力*	系統構成
住宅地域	・住宅用太陽光発電，自家用EV，家庭用HP普及による課題	・住宅用地割合大：90% ・自家用車利用多：平日35%，休日55% ・都市ガス普及率低：69%（電化促進可）	町田市	最大567MW 電力比率 住宅用：64% 商業用：34% 工業用：3%	配電変電所10 ×3バンク ×（住宅用フィーダ4 + 商業用フィーダ2）
商業地域	・業務用HP，貨物用EV普及による課題 ・昼夜間需要差による違い	・商業面積割合大：77% ・昼人口多：61万人 ・夜人口少：14万人	中央区	最大683MW 電力比率 住宅用：1% 商業用：98% 工業用：0%	配電変電所12 ×3バンク ×商業用フィーダ6
工業地域	・産業用HP，貨物用EV普及による課題	・工業用地割合大：45% ・商業用地割合小：4%	鹿嶋市	最大365MW 電力比率 住宅用：14% 商業用：15% 工業用：70%	配電変電所7 ×3バンク ×（住宅用フィーダ1 + 商業用フィーダ1 + 工業用フィーダ4）

*少数点以下第一位で四捨五入のため、合計が100%にならない場合あり。

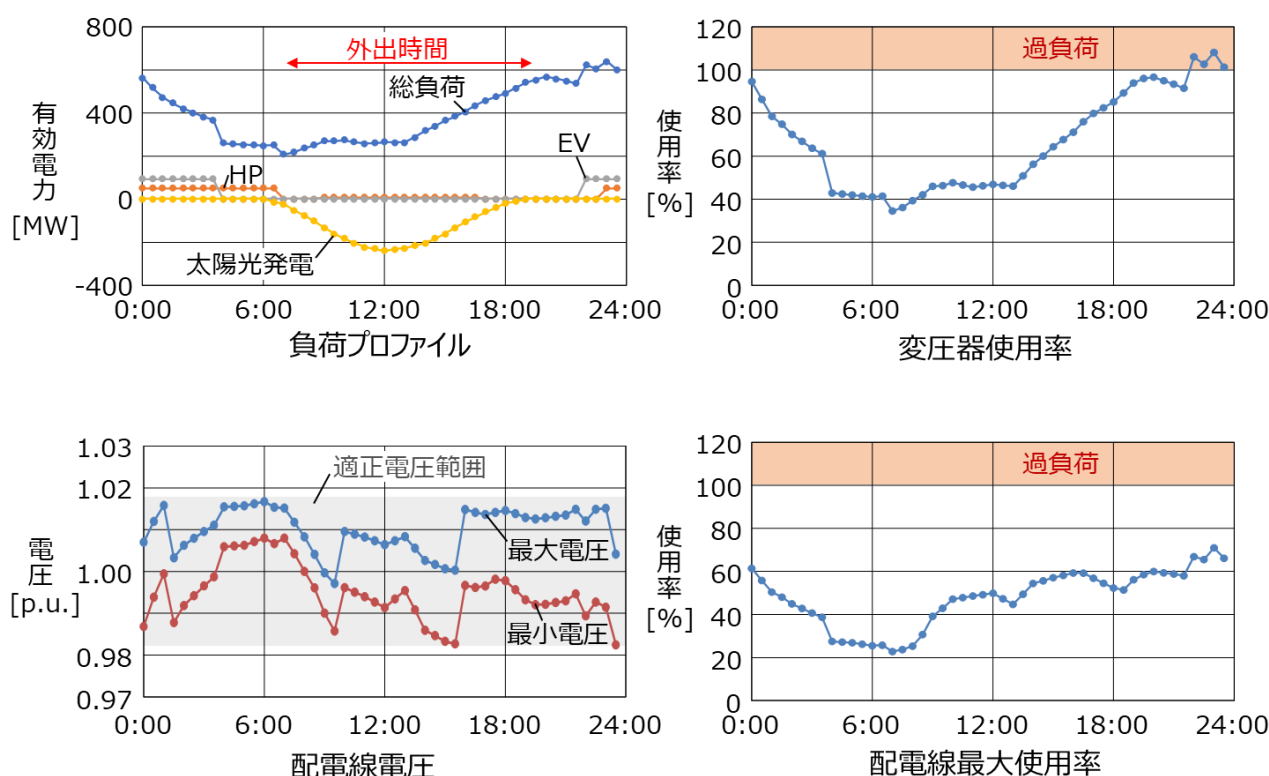


図Ⅱ-1 解析に用いた系統構成

表Ⅱ-2 各地域の太陽光発電、EV、HPの容量

	太陽光発電	EV	HP
住宅地域	279MW	14万台	3,110MW
商業地域	213MW	7.5万台	2,220MW
工業地域	99MW	2.4万台	850MW

配電系統に及ぼす影響が顕著となる住宅地域の夏期、晴天時の評価結果を図Ⅱ-2に示す。太陽光発電の大量導入により昼間の総負荷は夜間と比較して小さくなっている。配電線の電圧および最大使用率は適正範囲に収まっているが、夜間のEVの充電とHPの沸き上げにより負荷が増大し、22～24時に配電用変電所変圧器において過負荷が発生している。送変電設備の単価⁵⁶、設備容量、台数、敷設距離から、住宅地域の配電系統の設備コストを試算した結果を表Ⅱ-3に示す。負荷を制御しない場合、配電用変電所の変圧器の設備増強が必要となる。



図Ⅱ-2 住宅地域の2050年夏期の評価結果

表Ⅱ-3 住宅地域の配電系統の設備コスト試算

	既設	設備増強
変圧器	12.0億円	2.0億円
引出設備	0.3億円	0.1億円
架空線	218.1億円	0.0億円
合計	230.4億円	2.1億円

配電系統の設備増強を回避するため、分散リソース協調・制御PFで負荷電力を平準化した評価結果例を図Ⅱ-3に示す。図Ⅱ-3では、図Ⅱ-2と比較してEVの充電を夜間から早朝に変更し、HPの沸き上げを夜間から昼間に変更した。その結果、配電用変電所変圧器の過負荷を解消できることを確認した。

⁵⁶ 電力広域的運営推進機関. 2016. 「送変電設備の標準的な単価の公表について」

https://www.occto.or.jp/access/oshirase/2015/files/20160329_tanka_kouhyou.pdf

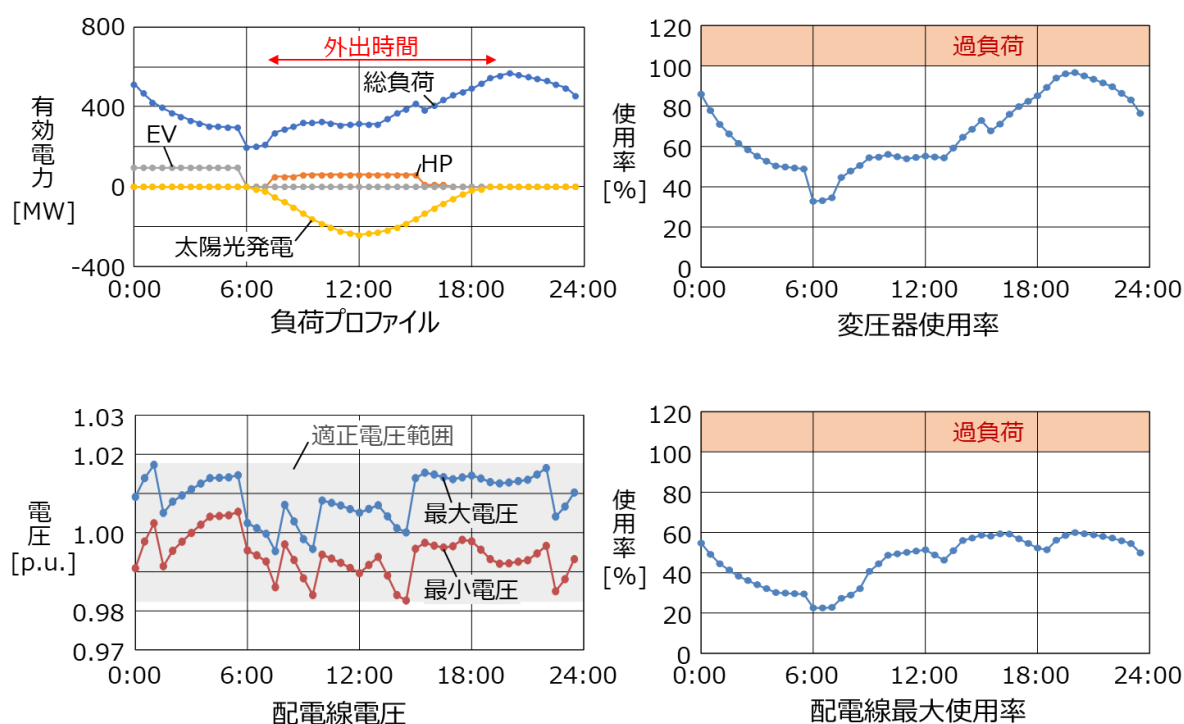


図 II-3 分散リソース協調・制御 PF を活用した場合の住宅地域の 2050 年夏期の評価結果例

太陽光発電、EV、HP の配電系統に及ぼす影響の評価結果のまとめとして、表 II-4 に各地域の配電用変電所の変圧器最大使用率の評価結果を示す。晴天時は分散リソースを制御することで配電変電所の変圧器最大使用率を下げる効果を確認できた。一方、雨天時は分散リソースの制御によって配電用変電所の変圧器最大使用率が上がるケースがあった。本評価における分散リソース協調・制御では、EV の充電を夜間から早朝に変更して、HP の沸き上げを夜間から昼間に変更したが、太陽光発電量および負荷に応じて制御する必要があることを確認した。

表 II-4 各地域の配電変電所の変圧器最大使用率の評価結果

晴天時						
季節	夏期		冬期		中間期	
分散リソース 協調・制御	なし	あり	なし	あり	なし	あり
住宅地域	107%	95%	82%	72%	70%	60%
商業地域	85%	84%	67%	66%	61%	52%
工業地域	84%	84%	54%	54%	47%	47%

雨天時						
季節	夏期		冬期		中間期	
分散リソース 協調・制御	なし	あり	なし	あり	なし	あり
住宅地域	107%	96%	82%	72%	70%	60%
商業地域	94%	100%	69%	69%	64%	67%
工業地域	93%	96%	61%	62%	55%	56%

過負荷を朱記。

2. EV 急速充電器の配電系統に及ぼす影響

2050 年には EV の急速充電器が普及することを考慮して、EV 急速充電器の配電系統に及ぼす影響を試算した(表Ⅱ-5)。ここで、変圧器の最大使用率は、夏期、冬期および中間期の最大使用率を記載した。各地域の負荷電力と系統構成は、前述の試算と同じとした。ここでは、EV 急速充電器の定格出力を 350kW と想定した。

晴天時では、急速充電器の普及率増加に伴って、配電用変電所の変圧器最大使用率が増大し、急速充電器の普及率 100%で、住宅地域で 35%、商業地域で 11%の過負荷が発生した。また、雨天時には太陽光発電が発電しないため、配電用変電所の変圧器最大使用率はさらに増大し、急速充電器普及率 100%で、住宅地域で 51%、商業地域で 22%、工業地域で 9%の過負荷が発生した。

この対策として、分散リソース協調・制御 PF により、急速充電器の充電スケジュールおよび電力負荷ピーク時の急速充電台数を制御した。表Ⅱ-5 の[]内に示すように、電力負荷ピーク時の急速充電器の利用上限を制御することにより、配電用変電所の変圧器の過負荷を解消することができた。

この結果は、急速充電器を置いても定格充電できず、充電電力が制限される時間帯が生じることを示す。制限量や制限時間の長さを踏まえた都市設計が必要である。また、このような出力制限の課題は多くの都市が共通に持つ課題となる。そのため、様々な地域モデルの評価が可能で、オープンに活用可能な評価基盤を構築すべきである。

表Ⅱ-5 EV 急速充電器の普及による配電変電所の変圧器最大使用率の変化

晴天時				
急速充電器普及率*	10%	50%	100%	
分散リソース協調・制御	なし			あり
住宅地域	107% (夜:普通充電)	107% (夜:普通充電)	135% (昼:急速充電)	95% [上限35.8%]
商業地域	86%	97%	111% (昼:急速充電)	95% [上限43.0%]
工業地域	85%	91%	99%	95% [上限73.9%]

雨天時				
急速充電器普及率*	10%	50%	100%	
分散リソース協調・制御	なし			あり
住宅地域	107% (夜:普通充電)	119% (昼:急速充電)	151% (昼:急速充電)	95% [上限11.4%]
商業地域	97%	108% (昼:急速充電)	122% (昼:急速充電)	95% [上限2.4%]
工業地域	95%	101% (昼:急速充電)	109% (昼:急速充電)	95% [上限10.4%]

過負荷を朱記。()内に主要因を記載。

【付録 3】 トランジション・シナリオの方法論

a. エネルギーにかかわる既存の「シナリオ」

1. グローバルな見通しと規範シナリオのギャップ

現在、世界の様々なエネルギー関連団体や研究機関が、ますます厳しさを増す気候状況のもとで、将来の脱炭素目標やエネルギー需要に関するシナリオを発表している。最近では、国際エネルギー機関(International Energy Agency, IEA)が、IPCC が示す地球の平均気温 1.5 度上昇に抑えるための将来のグローバル CO₂ 排出量のあり方や、エネルギー需要の状況などについて詳細な報告書を公開している⁵⁷。IEA の 2020 年レポートでは、既に発表されている将来政策を考慮に入れた「公表政策シナリオ(Stated Policy Scenario)」、パリ条約目標を達成する「持続可能な開発シナリオ(Sustainable Development Scenario)」、そして 2050 年までの CN を達成する「2050 年ネットゼロ排出ケース(Net Zero Emission by 2050 Case)」などについて、その達成に必要な将来の CO₂ 排出量の削減のあり方を可視化している(図 III-1)。しかし、「シナリオ」という同じ用語で示される分析でも、実際には、現在の状況と将来の目標との関係の中で、かなり異なる性格を持つものがあることに注意する必要がある。

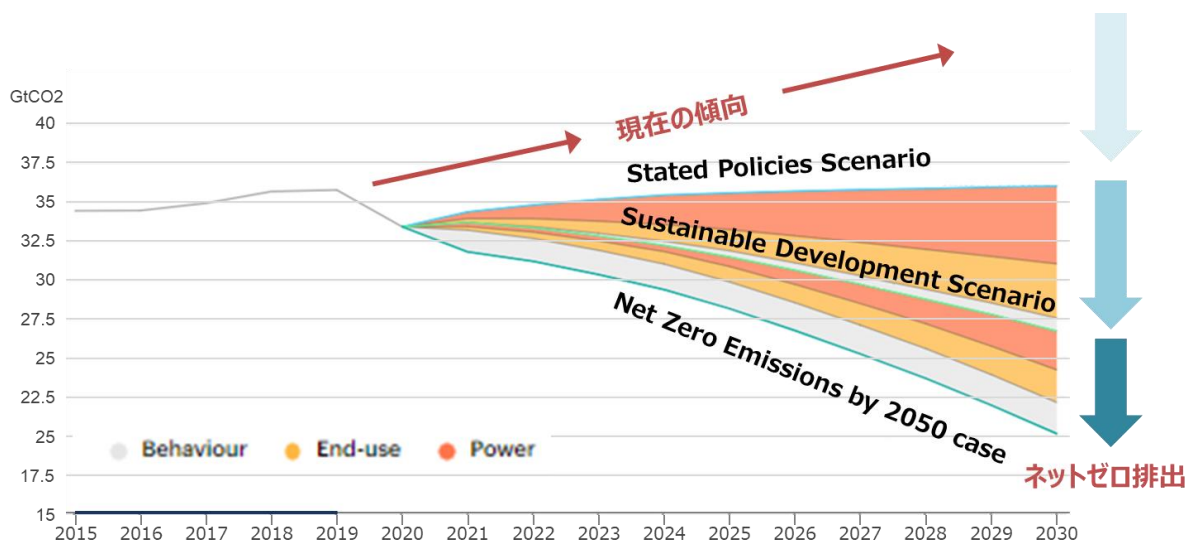


図 III-1 IEA による世界の CO₂ 排出削減シナリオ (2015-30 年)⁵⁸

国際エネルギー会議(World Energy Council, WEC)が 2019 年に発表したレポートでは、世界の主要エネルギーシナリオを比較しながら整理している(表 III-1)。WEC では、さまざまな団体や、研究機関、企業が発表するエネルギー

⁵⁷ International Energy Agency. 2020. World Energy Outlook 2020. (<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.)

⁵⁸ International Energy Agency. 2020. をもとに作成。(<https://www.iea.org/commentaries/as-we-mark-the-paris-agreement-s-5th-anniversary-we-continue-to-expand-our-work-on-energy-and-climate>)

シナリオについて、(1)可能シナリオ(Plausible scenarios)、(2)見通し(Outlooks)、(3)規範シナリオ(Normative scenarios)の3つに分類している。

(1)「可能シナリオ」：理想的であるかどうかにかかわらず、将来に関する複数のコンテキストの下で起きるかもしれない、可能なパスウェイを示すものである。これは、特に、質的なナラティブ(語り)と参照となる数値を示しつつ、技術的・経済的側面だけでなく、社会的・政治的要素にも言及することが多い⁵⁹。

(2)「見通し」：詳細なデータに基づく予測で、現在のトレンドに基づいて期待、または想定しうる将来を示すものである。この点で、いわゆる“Business-as-usual”シナリオと同義と言える。これは、技術的・経済的要素に焦点を置き、主に量的な分析を行うもので、受容性や費用便益にかかわる分析を行って、意思決定者がベースラインの予測を解釈できるようにするものである⁶⁰。

(3)「規範シナリオ」：技術的に可能で、目標の達成のために望ましい将来を示すものである。エネルギーシナリオでは、グローバルなビジョンのアジェンダとした形で、特定の目標を達成することに焦点を置く。これは、組織のアイデンティティや、価値、能力に基づいて設定され、明確な目標を起点として、その実現のためにバックキャストすることで作られる。ここでは、組織やシステムの望むべき将来と“Business as usual”の間をいかに近づけるかということが問題となる。

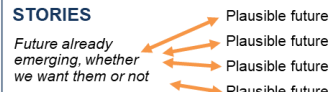
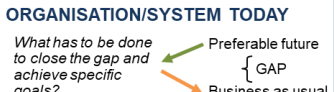
このようにして捉えると、CN を目標として掲げる日本においては、現在のトレンドのまま炭素排出が進む道筋(見通し)と、脱炭素目標の実現のために進むべき道筋(規範シナリオ)の間のギャップを適切に把握することだけでなく、この差異を十分な余裕をもってなくしていくために、どのような方策が可能かを多角的に検討することが必要となるだろう⁶¹。

⁵⁹ 時間軸に沿って分岐する様々の将来像を示すことで、指導者が不確実性に対して対処するための明確な枠組みを与えることに重きを置いている。

⁶⁰ 多くの場合、ファクトやモデルに基づくデータは、上位ケース、参照ケース、下位ケースの幅をもって示される。

⁶¹ 特に、二酸化炭素排出という点においては、大気中に排出され蓄積される総量が気候変動に大きな影響を与えるため、目標実現のための道筋に至らない排出の状態が続くと、時間が経過するごとにますます急速な排出削減の取組みが必要になる点に注意が必要である。

表 III-1 WEC によるシナリオの分類⁶²

可能シナリオ Plausible scenarios	見通し Outlooks	規範シナリオ Normative scenarios
Plausible pathways of alternative future contexts that might happen whether or not we want them	Data rich projections – the future we expect/assume on a business-as-usual projection of current trends	Technically possible and preferable future towards a target
Qualitative based, narrative-led, supported with illustrative numbers	Quantitative led	Focus on achieving a specific goal aligned to a global vision agenda
Explicit about societal and political elements in addition to techno-economic elements	Focus on techno-economical elements	Values and identity-based approach
Provide a clear and enabling pre-decision framework for leaders to engage with uncertainty	Provide a sensitivity analysis & enable cost-benefit analysis for decision makers to compliment the baseline projection with new policies	Generated by starting from a clear objective/target and back-casting to identify the pathway for making progress (i.e. road mapping)
<i>Assumptions</i> STORIES 	<i>Facts</i> A MODEL 	<i>Capabilities and values</i> ORGANISATION/SYSTEM TODAY 

2. 日本における「ネットゼロ」の社会像描出の試み

既に述べた通り、2050 年の日本における CN という目標の達成は、技術的条件だけでなく、経済、社会、政治などに係わる転換と同時に生じなくてはならない。したがって、目標をより具体的に示すために、現在から将来に至る定量的 (quantitative) な分析とともに、将来の社会像やそこに至る戦略的プロセスを定性的 (qualitative) に示すシナリオが必要である。ただし、エネルギーを含む将来システムの望むべきあり方は、定量的な分析によって議論されることが主流であり、望むべき将来がいかなる特徴をもっているのかを示す定性的な分析を行う資料は少ない。

その中で、地球環境戦略機関 (Institute for Global Environmental Strategies, IGES) が 2020 年に示した『ネット・ゼロという世界：2050 年日本（試案）』というレポートは、興味深い参考資料を示している。このレポートでは、日本における CN のための社会的な問題提起を行う目的で、2050 年の二つの将来像を示している。ここでは、広範な社会変革を伴いネットゼロ社会を実現する「トランジション・シナリオ」とさまざまな事情により社会変革がほとんど起きない「ロックインシナリオ」という二つの対照的な状態を想定し、比較を行っている (表 III-2)⁶³。

日本における CN への移行という観点で、特に関心を引くのは、このシナリオが、エネルギー需要の定量分析だけでなく、「人々の考え方と行動」、「都市と地域」、「暮らし (ライフスタイルやワークスタイル)」、「産業」、「適応 (レジリエンス向上)」

⁶² World Energy Council. Innovation Insights Brief: Global Energy Scenarios Comparison Review. (<https://www.worldenergy.org/publications/entry/innovation-insights-brief-global-energy-scenarios-comparison-review>)

⁶³ なお、IGES のレポートにおける「トランジションシナリオ」と、本章の後半で示す「トランジション・シナリオ」はほぼ同じ名称だが、別個のものである。前者は、日本が「ネット・ゼロ社会」へのトランジションを成し遂げた状況を仮構的に記述したものを指す固有名称であり、後者は持続可能性へのトランジションのプロセスそのものを描出する手法、またその手法による成果物を指す一般名称である。

などといった観点にも言及し、脱炭素化への移行のための統合的な変化のあり方について質的な記述を試みている点である⁶⁴。「試論」という題名にも示される通り、たしかにこの部分に関しての記載は、やや簡潔ではある。また、トランジション実現のための段階などや、具体的な主体の役割については詳しい記述がみられない。しかし、トランジションを多元的な社会変革と捉え、生活、都市、産業などのあり方を含む各次元におけるビジョンを示すことの重要性について明らかにした点は注目すべきである。

このような広範な社会変革に着目することは、国連の「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)が定める多元的な社会変化の同時的な推進とも共通した考え方であると言える⁶⁵。SDGs は、人類が抱える経済、社会、環境に係わる様々な挑戦を 17 のゴールと 169 のターゲットに表現したものだが、各々の目標同士は完全独立しているものではなく、互いに絡み合い、相互に結びあうものとして捉えられている。したがって、例えば、貧困、人権、生物多様性などの重要な目標は、相互の関連性に配慮しながら、同時に達成されるべきものとして示されている。そうした観点においては、エネルギーに係わる社会変革は、持続可能性を実現するための、他のさまざまな次元における変化と連動していると考えべきである。それゆえ、CN 社会への移行は、持続可能性を実現するための他の努力と矛盾するものであってはならないといえよう。

日本における CN 実現のために必要とされる社会の転換がどのようなものであるかを明らかにするために、こうした資料を参考としながら、より詳細な議論を開始することが必要となるだろう。

⁶⁴ 本提言書では、これまでに発表された国際機関の報告書等で取り上げられた長期的社会変容の要素をもとに、「過疎化・少子高齢化」「都市機能の集約化」「脱炭素化」「レジリエンス向上」「循環型社会」「デジタル化」といった日本での長期変化にかかわるファクターを取り上げ、これに基づいて将来像を描くという作業を行っている。

⁶⁵ United Nations, Department of Economic and social Affairs, “Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development.” (<https://sdgs.un.org/2030agenda>.)

表 III-2 IGES による「ロックインシナリオ」と「トランジション・シナリオ」の比較⁶⁶

分析の視点		ロックインシナリオ	トランジションシナリオ
人々の 考え方と 行動	価値観	所有価値	機能価値
	経済	経済合理性	経済合理性、環境合理性、生活の質への欲求の高まり
	レジリエンス	安全・防災意識の高まり	安全・防災意識の高まり、炭素の社会的コスト(SCC)の可視化・内部化
都市と地域	都市と地域・土地利用	スプロール化、都市・土地利用の変化なし	都市機能の集約化、インフラの選択と集中(脱炭素化とレジリエンス向上の同時進行)、遊休地の有効活用(再エネ、植林)
	交通・移動形態(モビリティ)	自動化、一部電動化	電動化、自動化、公共交通の利用促進
	自治体	ネット・ゼロ都市の拡大停止	ネット・ゼロ都市の拡大、都市と地方の連携
	エネルギー利用	一部の住宅、オフィスビルにおける ZEH や ZEB の普及	半数以上の国民が ZEH に居住、オフィスビルにおける建て替えなどの機会を利用した ZEB の促進、冷暖房に必要なエネルギーの電化、寒冷地における廃熱などを利用した地球暖房化
暮らし (ライフスタイル・ワークスタイル)	休日・自由時間	休日・自由時間が現状維持	休日・自由時間が増加、自己実現に投資
	消費	製品の所有	機能・サービスの消費、シェアリング(車、耐久材)
	購買	デジタル化(AI, IoT 等)による効率的な購買	デジタル化(AI, IoT 等)による効率的な購買、健康意識、SCC の可視化・内部化
	労働	若干のオンライン会議	在宅勤務・オンライン会議の進展
	生産と廃棄(廃棄物・資源問題)	大量生産・大量廃棄、現状の資源循環	循環型社会の形成、カスタマイズ・デマンドフロー生産(3D プリンタの導入等)
	エネルギー利用	エネルギー利用に係る問題が、供給側で対応されるエネルギーのコンシューマーとしての暮らし	デマンドレスポンス関連技術を応用し、再生可能エネルギーの変動と調和するエネルギーのプロシューマーとしての暮らし
産業	製造業等	生産方法・生産工程の効率化、低炭素技術の導入、電化	生産方法・工程の効率化、脱炭素技術の導入(既存技術の代替)、電化の促進
	エネルギー利用	化石燃料依存、技術の発展による省エネルギーが進展	再エネ中心、技術の発展及び電化による省エネルギーが進展
	農林水産業	デジタル化(AI, IoT 等)による効率的な管理	デジタル化(AI, IoT 等)による効率的な管理、農林業機械や漁船の電化・燃料電池化などの体験型農林業としてのサービス提供、新素材や発電・暖房設備への原料提供
適応 (レジリエンスの向上)	適応策	防御中心	被害最小化、転換的な適応
	緩和と適応の統合	TCFD の対応の頭打ち	緩和とシナジー、インフラの脱炭素化とレジリエンス向上の同時進行
	国際動向、商慣行・規範	防御中心	TCFD の法制化(欧州)などによる企業行動の大きな変化、SCC を内部化した行動
電力	電源構成	CCS を用いた化石燃料の利用の継続	多様な再生可能エネルギー中心
	電力システム・送電網	集中型電源・既存の電力システム	分散型電源・送電網の拡充、P2P 取引、デマンドレスポンス、VPP の実用化

⁶⁶ IGES. 2020. 『ネット・ゼロという世界：2050 年日本（試案）』, p. 24

b. トランジション・シナリオ

日立東大ラボでは、上記のような世界におけるエネルギーシナリオ分析や、日本における CN の実現にかかわる議論を参考としながら、脱炭素社会への移行の実現に資するための規範シナリオ策定の方法について検討を行っている⁶⁷。

「シナリオ」というツールを用いて不確実な将来に対する戦略的知見を得るという手法は、現代において、持続可能な社会への移行のための様々な社会変革の必要性と結びついている。日立東大ラボは、「望むべき将来」に対する探索的かつ規範的なアプローチである「トランジション・シナリオ」が、CN 実現のシナリオ形式として有望と考えている。

この分野において詳細な研究論文を執筆したサーチェ・ソндаイカー(Saartje Sondejker)によれば、トランジション・シナリオは、1987 年ブルントラント報告書や 1992 年地球サミット以降に重要課題として浮上した持続可能な社会の建設への挑戦という考え方を背景として生じた「第三世代」のシナリオ方法論に当たるものである⁶⁸。ソндаイカーによれば、それ以前のシナリオは、不確実な将来を予見し、それに適応する戦略を立てることを重視したが、そこで生まれる行動は必ずしも持続可能な将来につながるわけではなかった。一方、トランジション・シナリオは、持続可能性へ向けた構造的な社会変革を指向し、統合性、不確実性の認識、規範性、参加性に重きを置く。こうしたシナリオは、従来型のシナリオ・ビルディングの方法論を引き継ぎつつも、新たに持続可能性への移行における社会の構造的変革のあり方について詳細な分析を加えることをめざすものである。

ソндаイカーは、既存事例の詳細な分析を通じて、トランジション・シナリオの独自の策定プロセス(TRANSCE)として、表 III-3、図 III-3 のように提案している。ここに見られるように、トランジション・シナリオは望むべき将来へのシステム変化の過程を明らかにすることを指向する。ここでは、

- ・望むべき将来のシステムがどのような姿をしているか（ステップ 3）
- ・それを達成するためにどのような構造的変化が必要なのか（ステップ 4）
- ・その変化においてどのような障害（ステップ 1）やドライバー（ステップ 5）があるのか
- ・社会アクターがとるべき戦略はどのようなものか（ステップ 6）

という問いを繰り返しながら、徐々にシステム全体の移行の姿を描いていく方法がとられる。

⁶⁷ 2050 年という長期的な将来に関して、望むべき社会像や、それに至る道筋を質的に記述するという作業は、課題も多い。実際に、長期的な将来は、ミクロ・マクロの不確定要因に大きな影響を受けるものであるし、対象の分野が広範になれば必要なデータや分析が膨大となりすぎ、それを厳密に取り扱うことが困難になる。特に、一部の個人や集団が希少な情報をもとにシナリオを作成する場合に、他の大勢の人々にとってできるだけ納得のいくものとなるように、配慮を行わなければならない。したがって、このようなシナリオの策定においては、そのプロセスを透明にしながら、そこで用いられるデータや分析、潜在的なバイアスなどについて、できるだけ幅広い主体が理解し、議論に参加できるようにすべきであろう。

⁶⁸ Saartje Sondejker. 2009. *Imagining Sustainability: Methodological building blocks for transition scenarios*. Erasmus University Rotterdam. (<http://hdl.handle.net/1765/17462>)

このように、持続可能な将来社会への構造的な転換のあるべき姿を詳細に描き出し、そのために取るべき必要な戦略を明らかにすることが、トランジション・シナリオの最も重要な役割である。

表 III-3 TRANSCE にもとづくトランジション・シナリオ策定の段階とその概要⁶⁹

#	TRANSCE Steps	Actions
1	Barriers for structural change	Defines currently ongoing and future-oriented problems that can be perceived as persistent.
2	Transition challenge and scope of the system	Breaks down the dominant regime along with its barriers for structural change. Carried out within a more long-term perspective of sustainability
3	Images of a desirable future sustainable system	The output of this step includes a distinguishing set of fully-fledged narratives of a future system state
4	Necessary structural change	Connects the persistent problems of the current unsustainable system (Step 1) to the stories of the future sustainable system (Step 3).
5	Drivers for structural change	Focuses on the interaction between drivers for structural change. Entails the influences existing in the environment of the system under study
6	Anticipative strategies of groups of actors	Suggests, considers and selects potential new niches that can be employed for anticipating the drivers for structural change
7	Framing the transition	A coordinating step that ensures alignment and consistency between the previous steps altogether

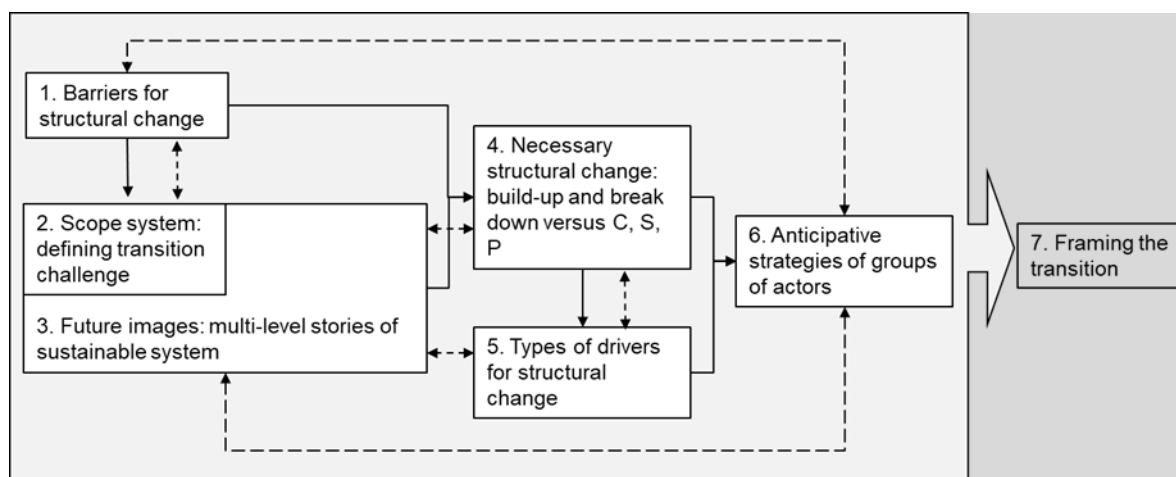


図 III-3 TRANSCE にもとづくトランジション・シナリオ策定の段階の関係⁷⁰

⁶⁹ Saartje Sondejker. 2009. *Imagining Sustainability: Methodological building blocks for transition scenarios*. Erasmus University Rotterdam. (<http://hdl.handle.net/1765/17462>)

⁷⁰ Sondejker. 2009. *Imagining Sustainability*, p. 207.