

これまでの提言書の要点(図 ii に概要を示す)

- 地域社会と基幹システムの共存を前提にエネルギーシステムの再構築を図る。

図 iii に、日立東大ラボが提案する Society 5.0 を支えるエネルギーシステムの全体像を示す。

Society 5.0 では個人の生活が主役となり、地域社会ごとに特色あるエネルギーシステムが構築される。そこではデータが重要な役割を果たし、電力だけでなく、新たな価値やサービスが供給される。基幹システムは社会全体の「3E+S」を最適化する役割を担う。地域社会と基幹システムの役割は画一的ではなくなり、共存を前提に再構築される。電源の分散化、基幹システムと多数の地域社会の連携、さらに人の行動など協調・調整すべき要素が指数関数的に増加し、これらの分散リソースを統合する新しい協調メカニズムの確立が必要である。

- 社会全体の構造変革に向けて、中長期的な視点で柔軟に意思決定する。

グローバルな経済・社会の変化や技術革新などによって中長期的な不確実性が高まる中、Society 5.0 の実現に向けて複数の長期エネルギーシナリオを想定・準備しておくことが重要である。エネルギーインフラにおける技術開発や設備導入は、短期では 5 年から 10 年、中期では 10 年から 20 年、長期では 20 年から 100 年の単位で考える必要があり、エネルギーシステムの将来像を示すことによって開発項目や投資対象を明確にすべきである。

- 地域社会を支えるエネルギーシステムに対し、様々のステークホルダーが参画して新しい価値を創造する。

地域社会で挑戦すべき新たな方向性として、エネルギーの価値が多様化していく中で、独自の価値を創造・流通・取引できる技術革新と制度整備を進めるべきである。例えば、再エネ好適地では、系統安定化のための各種施策とともに、余剰電力を活用して地場産業を育成する社会をめざす。電力・ガス・水道・ICT・交通・物流などのインフラ情報を公共的なものとして共有する仕組みを設けることで、新しいサービス事業を創生する。

- 基幹システムは「3E+S」を最適化する重要な役割のもと、地域社会をつなぐ機能を持つ。

エネルギーシステムが変革する中で、基幹システムは社会全体の「3E+S」を最適化する重要な役割を担う。また、複数の地域社会でエネルギーの需給や価値が授受され、基幹システムがこれらをつなぐ。基幹システムのあるべき姿を議論するために、社会全体のエネルギーシステムを評価するプラットフォームを構築する。産学官の協力の下、解析ツールや標準データを開発・共有する。評価結果を基に様々のステークホルダーが議論をして、基幹システムのあり方とその変革に向けた投資に対する社会的合意形成を実現する。また、基幹システムと地域社会とをデジタルでつなぐ、新しい制御技術を組み込み・実践して、それら技術と経験をグローバルに展開していく。

- 評価プラットフォームとデータ共有に関する概念設計

評価プラットフォームを活用するユーザを定義してユースケースを想定・抽出し、要求仕様・必要機能を明確化する。エネルギーシステムの評価プラットフォームでは、系統、発電、需要の情報・データ共有を前提としているが、それぞれ、重要インフラとしてのセキュリティの問題、発電事業者の競争力に関わる情報の保護、個人のプライバシー保護など、多くの制約条件が存在し、適切な範囲の下で公開・開示する必要がある。それゆえ、上記の要求仕様・必要機能を踏まえて、公開・開示の範囲を検討する。また、評価プラットフォームは、継続的な改善・更新が必要であり、中立

機関など、適切な運用者を定める必要がある。

- 地域社会と基幹システムの変革を促すために多様性を前提とした制度・政策を整備する。

エネルギーシステムの挑戦と変革に向けて、制度・政策の整備は重要な課題である。必要な開発やその投資領域を明確にし、長期計画として実行するためにエネルギーシステムの将来像を具体化していくべきである。基幹システムと地域社会の再構築を促す制度・政策を検討して、前者ではパフォーマンス駆動型政策による投資促進と効率化の両立を提案した。後者では、地域社会の特徴に合わせた戦略を実行するとともに、複数の地域社会の相互連携に基づく社会全体としての「3E+S」最適化に向けた制度、さらにはエネルギーシステムの転換に向けたイノベーションの促進や資金循環の仕組みなどを構築すべきである。上記の各種評価プラットフォームも活用しながら、科学的根拠に基づいてエネルギーの長期戦略を構築し、また、地域経済の活性化と投資の好循環を創出する。

- 産学官が連携して横断的人財を育成する。

Society5.0 を支えるエネルギーシステムを構築すると同時に、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り組みを推進し、多面的な価値を論ずることができる人財の育成が必要である。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。

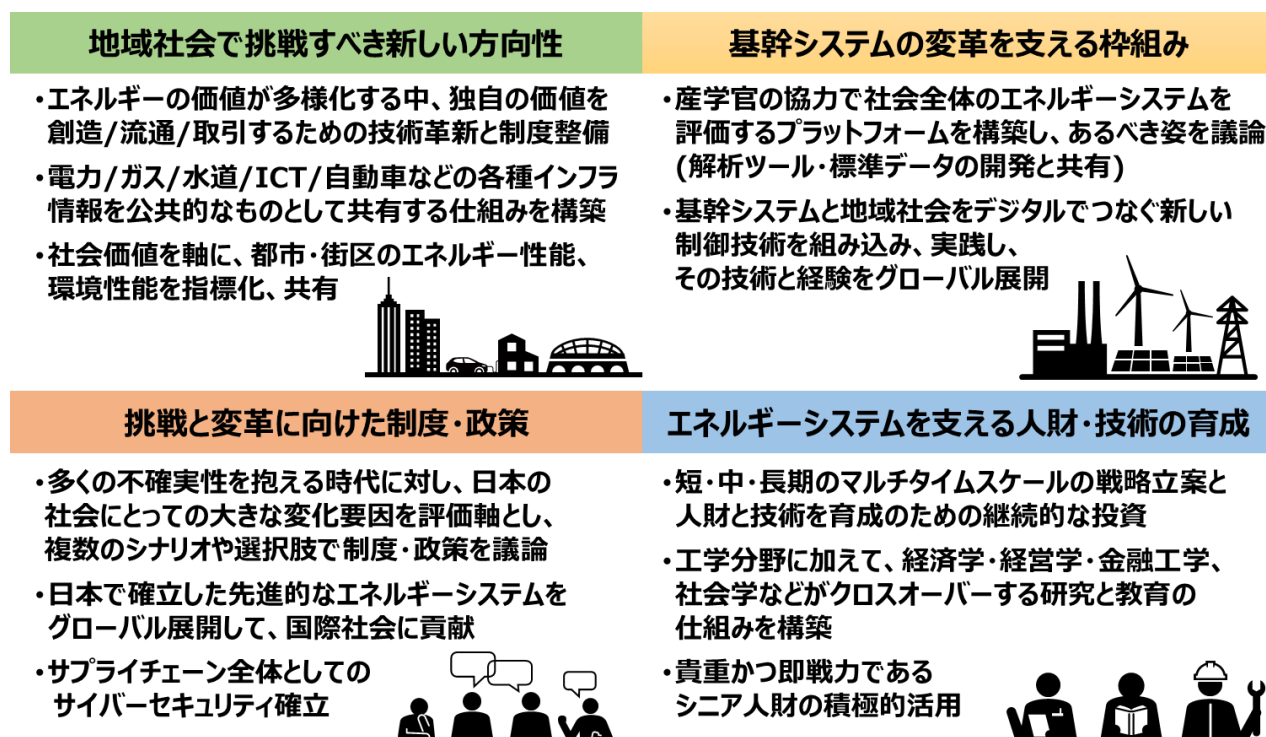


図 ii これまでの論点

- 地域社会と基幹システムは、**共存**を前提として再構築
- 急増する分散リソースを統合する**協調メカニズム**の確立

社会全体の3E+Sを向上



図 iii Society5.0 を支えるエネルギーシステム全体像

第3版の改訂主旨と要点

2019年4月に第2版を公開して以降、気候変動問題の顕在化に伴って、世界各国がCN宣言に踏み切るという大きな社会変化が生じ、日本でも2020年末にグリーン成長戦略の枠組みでCN達成に向けた政府としての方向性が示された。これまで日立東大ラボでは、パリ協定におけるCO₂排出削減目標を踏まえて、2050年のCO₂排出量を2013年度比80%減の238 Mt-CO₂とすることを目標に長期エネルギーシナリオの定量化を図ってきた。CN宣言に対応して、政府より示された方向性を参照しつつ、技術的課題の明確化と対策案の提示、さらに大規模な構造変化を伴う社会の移行戦略のあり方についての検討を進めることとした。

CN実現にあたっては、電力システムのみならず、化石エネルギーを使用する非電化セクタも含めた社会全般について検討する必要がある。さらに、2050年の社会では、人々の価値観や生活スタイルを始めとし、現在とは異なる、様々の状況変化が想定され、社会変革も見据えた包括的な考察が必要である。2050年のあるべき姿を想定し、そこからのバックカスティングに基づく移行戦略を検討する。第3版の主な内容は以下の通りである。

(1) 将来のエネルギーシステムのあるべき姿（主に第 1 章）

2020 年 2 月に欧州委員会での宣言をきっかけに、現在では 120 を超える国・地域が CN 化を宣言している。CN に向けた日本独自の課題を認識するとともに、グローバルリーダーシップ獲得のカギとなる Society5.0 を早期に実現する。

(2) 日立東大ラボ「技術転換シナリオ」と CN へ向けた指針（主に第 2 章）

第 2 版では、長期エネルギーシナリオの検討にあたり、脱炭素化(国内のみで CO₂ 排出量 80% 減を実現するケース、CO₂ クレジットなどを活用してワールドワイドに削減するケース) と、人口分散化(東京・大阪など大都市近郊に集中するケース、地域創生・地域活性化によって多くの中規模の都市が分散するケース) の 2 つの軸を取り上げ、これらで構成する 4 つのシナリオを定量評価し、その結果をもとに技術的、政策・制度的課題を議論した。CO₂ 排出量 80% 減は、電源の脱炭素化と電化・電動化の推進でおおよそ実現可能だが、CN では電化が困難な産業セクタや長距離モビリティなどを含む社会全体の構造変化とともに人の意識改革も必要で、これまでの延長線上では議論できない。前提条件が大きく変化したことを認識することが肝要で、変革の必要性について述べる。

(3) 基幹エネルギーシステムと地域社会の多様な協調メカニズム（主に第 3 章）

過去の提言書では、個人の生活を主体とする地域社会ごとに特色あるエネルギーシステムを構築することが望ましく、その実現に向けて、電力・ガス・水道・ICT・交通・物流などの社会インフラが互いに連携・協調して、新しいエネルギーの価値を流通させることが重要であることを述べた。

CN 社会では、これまで以上に多くのエネルギー消費者・事業者がエネルギーの協調メカニズムに参画して「3E+S」を実現する。地域社会では 2030 年半ばでの新車販売に占める電動車⁴100%化という政府方針にも後押しされ、EV が本格導入されていく。それゆえ、本格導入が始まる 2030 年より前に EV や非電力セクタが参画する協調メカニズムの制度・仕組みを構築する必要がある。一方、燃焼系などの電化が困難な産業では、必要とするエネルギーの大きさにも関連し、従来の化石燃料に替わる水素やアンモニアなどの新燃料の供給や、発生した CO₂ を回収する循環システムも選択肢として必要となる。水素・新燃料には、新たな流通インフラの構築も必要で、既存のエネルギーネットワークである電力システムとの協調も踏まえたインフラ整備を計画・支援する評価基盤の整備が求められる。同時に、電化の促進で電力依存度が高まるため、激甚化や頻発化する自然災害に対応したレジリエンスの確保も課題である。

(4) 包括的なエネルギー供給を担う基幹システム（主に第 4 章）

これまでの提言では、基幹システムは社会全体の「3E+S」を全体最適化する役割を担うものとして位置づけ、将来課題の定量化や投資対効果を評価するためのプラットフォームの必要性を示した。CN 社会では、水素や新燃料製造に必要なエネルギーも再エネなどのカーボンフリー電源で供給されなければならない(グリーン水素・燃料)。また、近年の ICT 化や 5G に代表される通信技術の進歩に伴い、データセンタにおける消費電力急増も危惧される。提言書第 2 版と同様、政府のグリーン成長戦略でも 2050 年の電力需要は現在の 1.3~1.5 倍に伸びると想定している。電力需要

⁴ 動力源に電気を使う自動車の総称。電気自動車、燃料電池車を含む。

増加と地域偏在する再エネ比率の拡大は、単純に基幹システムの増強で対応するのではなく、原子力発電を含む既設インフラを最大限に活用しつつ、例えば、水素・新燃料の製造拠点など、需要計画まで含めた社会レベルでの全体設計が望ましい。

(5) 挑戦と変革に向けた制度・政策の策定（主に第3章、第5章）

前報では、基幹システムと地域社会の再構築を促す制度・政策を検討し、前者ではパフォーマンス駆動型政策による投資促進と効率化の両立を提案した。後者では、社会全体としての「3E+S」最適化を進める上で、複数の地域社会の相互連携に関する仕組みを提案した。税制や支援策などのインセンティブによって地域社会の計画と実行を促進し、トップダウンによる意思決定とボトムアップによる計画・実行の最適なバランスを図る。ステークホルダーがエネルギーシステムに投資し、この投資によって地域社会内の経済循環が進んで地域創生を支える。

2021年1月、寒波到来に伴う需給ひっ迫によってJPEX 価格が急騰した。安定供給を前提としている「3E+S」の全体最適の再考、市場メカニズムの限界について議論する。また、国益維持のためには、国境調整やルールメイキングへの積極的な関与も重要で、例えば、カーボンプライシングに関する議論などが該当する。国内の諸制度、特に日本のシステムの「見える化」を進める必要がある。さらに、消費者のCNに対する意識を向上するため、製品やサービスのCO₂排出量を消費者側で「見える化」する仕組みも大切である。

(6) 新たなエネルギーシナリオの策定（主に第6章）

CN 達成には、社会全体を広く俯瞰するとともに、各種施策は実行可能でなければならない。2050年におけるCN社会の“あるべき姿”を想定し、そこにつながる複数のパスウェイを基に、バックキャストしてシナリオを構築する。社会(Social)、公共(Public)、民間(Private)の視点から2050年を俯瞰し、CN実現を前提にシナリオを構築する。本書では、シナリオ策定の概要と策定プロセスを述べる。

目 次

第1章 将来のエネルギーシステムのあるべき姿	1
1.1 環境・エネルギー問題のグローバル動向	1
1.2 Society5.0 の実現に向けたエネルギーシステムの全体像	2
1.3 日本における電力システムの変遷とカーボンニュートラル達成に向けた課題	3
第2章 2050 年カーボンニュートラルに向けたエネルギーシステムのあり方	5
2.1 カーボンニュートラル達成時のエネルギーシステムの姿	5
2.2 カーボンニュートラルに向けた部門をまたぐ包括的移行過程における着目点	1 1
2.3 まとめ	1 3
第3章 地域社会における新たな挑戦	1 4
3.1 地域社会のあるべき姿と変革	1 4
3.2 地域エネルギーにおける消費の特徴・課題とエネルギーデータ活用体系	1 8
3.3 エネルギーデータ活用体系によるエネルギーネットワークの課題解決	2 0
3.4 基幹システムとの連携	2 5
3.5 各種インフラ・機器間でのデータ共有の必要性和課題	2 6
3.6 分散リソース協調・制御プラットフォームの段階的導入	2 7
3.7 まとめ	2 8
第4章 エネルギー基幹システムを支える枠組み	2 9
4.1 カーボンニュートラル達成時に基幹システムのあるべき姿	2 9
4.2 基幹システムの評価環境	3 4
4.3 地域社会との連携	3 8
4.4 まとめ	3 9

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	4 0
5.1 エネルギーシステムの将来像の具体化	4 0
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	4 1
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	4 4
5.4 カーボンニュートラル実現に向けた国際的枠組み	4 6
5.5 まとめ	4 7
第6章 多元的な社会の変化を描く「社会技術シナリオ」の必要性	4 8
6.1 移行（トランジション）の多元性	4 8
6.2 統合的な「社会技術シナリオ」の重要性	5 0
6.3 日立東大ラボが取り組む策定プロセス	5 2
6.4 まとめ	5 7
第7章 エネルギーシステムを支える人財育成	5 8
7.1 新しいスキルを備えた人財の育成	5 8
7.2 シニア人財の活用	5 9
第8章 提言	6 0
第3版提言検討体制（2021年1月18日時点）	6 2
【付録1】技術転換シナリオにおける都市像に関する考察	I
【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	III
【付録3】トランジション・シナリオの方法論	VIII

第1章 将来のエネルギーシステムのあるべき姿

環境・エネルギーに関するグローバル動向を整理するとともに、日本が置かれている状況を明確にする。上記を踏まえ、Society5.0を支えるエネルギーシステムの全体像を示し、その実現に至る課題を抽出する。

1.1 環境・エネルギー問題のグローバル動向

気候変動問題は緊急かつ重要な課題である。国際社会において、2020年以降の温室効果ガス排出量削減などのための国際的枠組みとし、2015年にCOP21でパリ協定が採択され、2016年に発行された。この国際的合意はSDGsのゴール13「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」を具体的に推進するものであり、産業革命以降の平均気温上昇2℃未満に抑制することを目標、1.5℃未満に抑制することを努力目標と定めている。

しかし、1.5℃上昇と2℃上昇では北極の氷の融解リスクなどに有意な差があり、欧州委員会は1.5℃抑制を前提に、2020年3月、2050年までに温室効果ガス排出量をネットゼロにする政治的コミットメントを法制化する欧州気候法(European Climate Law)案を公表した。この公表をきっかけに、現在では120を超える国・地域がCNを宣言している。主要な国・地域でのCN達成に向けた取り組みを以下に示す。

欧州

[EU] 洋上風力を主力とする再エネ振興を進めつつ、国際連系線による電力流通を確立させ、多様なエネルギーミックスでEU全体でのCN達成をめざす。パリ協定に基づく国別貢献として、2030年のCO₂排出量を1990年比55%以上削減することを記す文書を国連の気候変動枠組条約事務局に送付するとともに⁵、COVID-19に起因した脱炭素化の取り組み遅延を回避する、景気刺激策の一つとしてグリーンリカバリー計画を公表した⁶。

[英国] 2019年6月に2050年ネットゼロを法廷の政策目標とする気候変動法改正法案を可決し⁷、2020年11月には、経済と環境の両立をめざす10 Point Planを発表した。クリーンエネルギー(洋上風力、水素、原子力)、電気自動車(EV)の増強、路上交通や航空・船舶の脱炭素化、住宅のグリーン化、CO₂の回収貯蔵、植樹、技術革新・投資等の10項目に対し、120億ポンド(約1兆6千億円)を投じて25万人の雇用創出・支援を図る⁸。

⁵ Europe Magazine. 2020. 「EU、2030年までの排出量55%以上削減をパリ協定の国別貢献として提出」
<https://eumag.jp/news/h121820/>

⁶ An official website of the European Union. “Recovery plan for Europe”
https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en

⁷ GOV.UK. “News story – UK becomes first major economy to pass net zero emissions law”
<https://www.gov.uk/government/news/uk-becomes-first-major-economy-to-pass-net-zero-emissions-law>

⁸ GOV.UK. 2020. 「英国政府、気候変動対策に係る新政策「10-Point Plan」を発表」
<https://www.gov.uk/government/news/pm-outlines-his-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution-for-250000-jobs.ja>

米国

バイデン政権交代までは国としての CN 推進に出遅れたものの、カリフォルニアやハワイ州のように州独自で 2045 年の CN 達成を命じる州知事命令に署名したり(2018 年 9 月)、国際競争力強化と雇用創生を目的に幅広い水素製造・利用のポテンシャルを探る H2@Scale プロジェクトを発足するなど(2016 年～)、早期に行動を開始している。バイデン政権では、2035 年までに発電の CN 化を公約に掲げ、同時に化石燃料事業からの失業者の受け皿として電気自動車事業で 100 万人規模の新規雇用を打ち出している。

中国

CN 時期を 2060 年に設定した。CO₂ 排出量は世界最大で(28.2%@2017 年)、高い石炭依存度という課題を持つ。同国西部には、年間日照時間が 2,500 時間を超え、かつ偏西風が吹く広大な土地を有する。脱炭素化では、同地域の再生資源を活用するものと推測される。世界の導入数の約半分を占める EV では、都市部へのガソリン車の乗り入れ禁止や新車購入時のナンバープレート取得優遇などの制度によって導入加速している。また、EV 自動運転を見据えて、車の位置や電池使用状況をリアルタイムで収集する試みを 2018 年に開始している。

これら諸外国に対して、日本は 2020 年 10 月の菅総理の所信表明演説において CN 化を宣言し、同年 12 月に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」で、国としての方向性を示してスタートした。CN に向けた施策を急ぎ進めなければならない⁹。CN を達成するためには、電源の脱炭素化や電化・電動化の促進だけでは不十分であり、全方位的な取り組みが必要である。CN 社会では、複数のステークホルダーが多様なリソースを効率よく共有・運用することが求められ、そのためには社会のデジタルトランスフォーメーション(DX)と、デジタル化を前提とした社会の構築、すなわち日本政府の提唱する Society5.0 の実現が必要となる。加えて、日本は、①ガスパイプラインや国際送電線による他国連携が困難であり、②山岳部の多い陸地と遠浅の海岸が少ないといった再生資源適地も少なく、③生産人口減少に伴う諸問題の顕在化(経済成長の鈍化、地方の過疎化、社会サービス維持困難など)、という独自の難しい条件下で CN 社会を実現しなければいけない。このような課題先進国の日本において、マイルストーン設定と適切な PDCA サイクルを回すことで Society5.0 を早期に実現すれば、諸外国に対するリーダーシップにもつながる。

1.2 Society5.0 の実現に向けたエネルギーシステムの全体像

Society 5.0 では、Society 4.0 までに築かれた情報社会を基盤とし、サイバー(仮想)空間とフィジカル(現実)空間を高度に融合させたシステムによって経済発展と社会課題の解決を両立し、豊かな社会の実現をめざしている¹⁰。

⁹ EU のサステナブル・ファイナンス提唱を受けて、経済産業省では、SDGs・パリ協定の実現に向けた投資の考え方を示す「クライメート・イノベーション・ファイナンス戦略 2020」を取りまとめた(2020/9)。

¹⁰ CN 達成上の課題についても同様で、エネルギーの生成・伝達・消費、それぞれにおけるステークホルダーの情報・データを収集・共有し、エネルギー源の多様化、需要のスマート化、レジリエンスなどの新たな価値が生まれる。

Society 4.0(情報社会)では、人口の増加に対応して規模拡大による効率向上が重視され、製品・サービス・プロセスなどの均一化を進めたことにより、社会の価値観が画一化された。また、富や情報の集中、災害に対する脆弱性、環境負荷の増大という問題も顕在化されてきた。Society5.0 では技術革新によってそれらの課題や問題を克服し、多様な人々が多様な価値を発揮して、強靱性や持続可能性を追求する。多くのステークホルダーが協力し、個々に分断していた情報の共有が進んで新しい価値を創出し(バリュークリエーション)、地域創生も可能となって、地域社会ごとに特色あるエネルギーシステムが構築される。

また、最近では、2019 年 9 月の台風 15 号・19 号によって大規模停電を経験し、レジリエンスの必要性和重要性が認知され、COVID-19 による世界的パンデミックとそれによる人々の生活様相の多様化など、社会情勢が激変した。CN の実現に加えて、安心・安全・レジリエンスの同時実現が、より強く求められるようになった。CN とレジリエンスを両立するためには、電力システムを超えたエネルギーの生成・流通・使用・循環の全方位的な大規模改革が必要で、そこではエネルギー・情報・交通・物流などのサービスの高度な融合が求められる。この融合では、サービスを提供する側・される側の双方が同意して参画しなければならない、社会に属する全員が参加する改革推進が求められる。ここで、全員参加の全員とは、産学官・各セクタ・自治体、企業、団体、そして一人ひとりの個人を言う。基幹システムでは、電化促進による脱炭素化の支援、電化困難なセクタの脱炭素を支える水素・新燃料の流通、電源の脱炭素化、さらに、それらを安定かつ経済的に実現するエネルギーシステム全体の構造改革が迫られる。また、COVID-19 によって人々の生活様式の多様化が加速し、社会はこの多様化を許容する「あるべき姿」に移行しなければならない。その移行実現にはエネルギーデータ活用が極めて重要な役割を果たし、エネルギーとサービスが融合して新しい価値を創造する。

1.3 日本における電力システムの変遷とカーボンニュートラル達成に向けた課題

電力システム改革の歴史を振り返ると、1990 年代以降、電力の安定供給を維持しつつ、電力の供給価格上昇を最大限抑制し、需要家の選択肢や事業者の事業機会を拡大することをめざして段階的に推進してきた。これによって、異分野の事業会社など、新たな電力供給の担い手が参入し、1995 年以降、東日本大震災まで電気料金は徐々に引き下げられてきた(震災以降は、電源構成の変化に伴って電気料金は上昇)。また、2016 年 4 月に電力小売全面自由化が始まり、一般家庭における新電力へのスイッチング率が 2018 年 12 月に 20%を超えるなど、需要家の選択の幅は拡大している。一方で、震災以降、原子力発電所の継続停止、再エネの固定買取価格(FIT)導入、不透明な電力需要の先行き、さらには電力システム改革による一層の事業のスリム化などを背景に、電力システムへの投資が抑制され、2020 年の発送電分離によって、その傾向はさらに強まることが懸念されている。

こうした状況の中、近年、激甚化が進む自然災害への備え、再エネ主電源化に向けた送電設備の設備形成・運用方法の見直しと国民負担の軽減策の必要性から、電力広域的運営推進機関(OCCTO)による広域送電マスタープランが提示され、2020 年 6 月エネルギー強靱化法が成立した。また、2020 年 12 月には 2050 年 CN 達成の一環で、

2050 年までの製造能力 2,000 万 t/年達成を含む水素ロードマップの見直しや 2030 年半ばでの自動車新車販売における電動車 100%化に向けた最終調整が報じられている。

既に述べたように、CN を達成するためには、電力分野だけでなく、全分野・全方位的に脱炭素化の取り組みを推進する必要がある。その中でも電力システムは重責を担い、従来からのエネルギー供給の基幹としての責任を継続しつつ、水素やそれを活用した新燃料など、多様なグリーンエネルギーを提供する役割も果たす。2 章では政府が示した方向性における技術的課題に触れ、3 章以降で具体的解決策を議論する。

第2章 2050年カーボンニュートラルに向けたエネルギーシステムのあり方

2050年のCNを達成するためには、1次エネルギーおよび産業構造の転換が必要である。2050年の描かれるべき社会像は温室効果ガス排出実質ゼロという目標達成の以外に、30年後の住まいや社会福祉、交通および雇用形態、行政機能といった、当たり前存在する社会がどのように変化していくべきか、またどのようになりたいのか、これらを考えた末の姿になっているべきである。特に、日本は2040年に自治体行政が財政や人口構成の観点で厳しい状況となり、高度経済成長期に整備された社会インフラや民間企業の設備インフラも半世紀近くが経過してリプレイス時期を迎え、さらに資源や自給率に乏しい状況などを踏まえた脱炭素戦略をとる必要がある。

本章では、第2版で検討した温室効果ガス排出量80%削減のシナリオ分析を再掲して振り返り、CNに向けた様々な要因を具体的に取り上げて、課題の困難さを再認識する機会を提供する。

2.1 カーボンニュートラル達成時のエネルギーシステムの姿

(1) 日立東大ラボ「技術転換シナリオ」と政府の「グリーン成長戦略」

第2版では、不確実性の高い項目として、「脱炭素化」(国内で排出量80%減を実現するケースと、CO₂クレジット活用などでワールドワイドに排出量を削減するケース)と、「人口の分散化」(東京・大阪など大都市近郊に人口や産業が集中するケースと、例えば国交省が描く60～70か所の中規模都市(高次地方都市連合)に分散するケース)の組み合わせで、4つのシナリオを策定した。この中でCO₂排出量80%減を実現する前提として、人口の地方分散を掲げた「技術転換シナリオ」について、東京大学 藤井・小宮山研究室で開発した技術選択モデル¹¹を適用し、定量評価した。CO₂排出量削減目標を達成するためには、電源の脱炭素化、電化の促進、エネルギー利用の効率化を同時に進める必要があり、電源では地域社会を中心に風力・太陽光などの変動型再エネを積極導入して、発電量の60%を占める。また、水力やバイオマス他を合わせて再エネ発電電力量は77%に達する。エネルギー利用では、EV・ヒートポンプなどの輸送や熱源の電化進展が必要で、これに伴いエネルギーネットワークの変革が必要となる。電力需要は上述の電化に伴って、2013年1,000TWhから1,500TWh(電化率45%)に拡大する。エネルギーシステムへの投資は需要拡大を前提とし、成長と投資の正のスパイラルにより経済成長と脱炭素化を両立させることを示した。

その後、2020年12月に経済産業省中心に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。図2-1に示す2018年、2030年、2050年の記載は、グリーン成長戦略に示されている情報であり、同図右側には日立東大ラボで抽出した課題を示している。これらの課題については第3章、第4章で詳細を述べる。2050年の電力需要は、「技術転換シナリオ」と同様、産業・運輸・家庭部門の電化によって現状よりも30～50%増加することが想定されている。また、再エネの発電量は、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス等によって総発電量の50～60%に

¹¹ 一定期間においてCO₂削減量や発電設備の導入量の上限を制約とする前提条件の下で、その期間内においてエネルギーシステムのコストを最小化するように発電技術などを選択するエネルギー・経済モデルの一手法

拡大させる計画である。また、原子力・火力(CO₂回収付き)を 30～40%程度維持するとともに、水素・アンモニア発電を 10%程度見込んでいる。「技術転換シナリオ」との比較を図 2-2 に示す。「技術転換シナリオ」では、CO₂ 排出削減目標 80%減は電力分野を中心に脱炭素化を図ることで達成できる見通しである。CN を達成するには、電力分野に加えて非電力分野を含めた全方位的な対策が必要であり、水素・新燃料が重要な役割を果たす。それらは電力分野、すなわち既設の火力電源の燃料としても活用可能で、水素・新燃料を各分野で有効活用するバリューチェーン構築は経済性向上にもつながる。

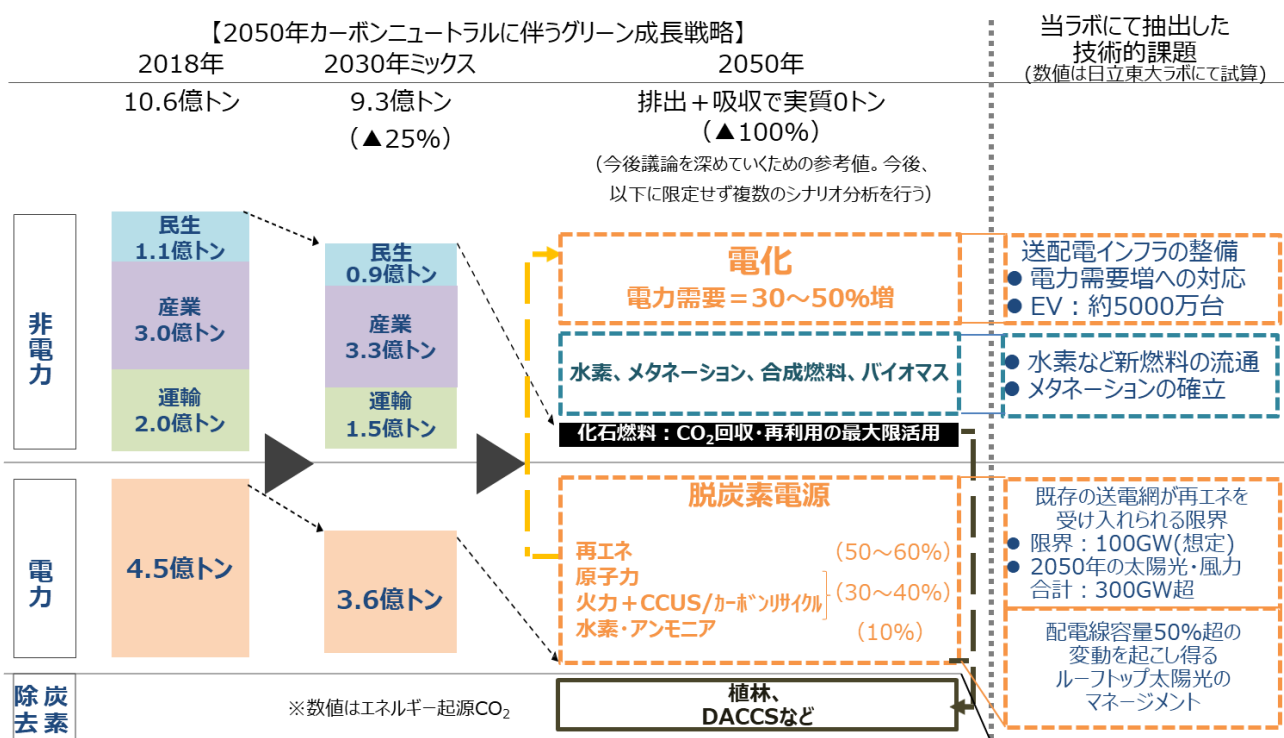


図 2-1 グリーン成長戦略で示された方向性と抽出した技術的課題

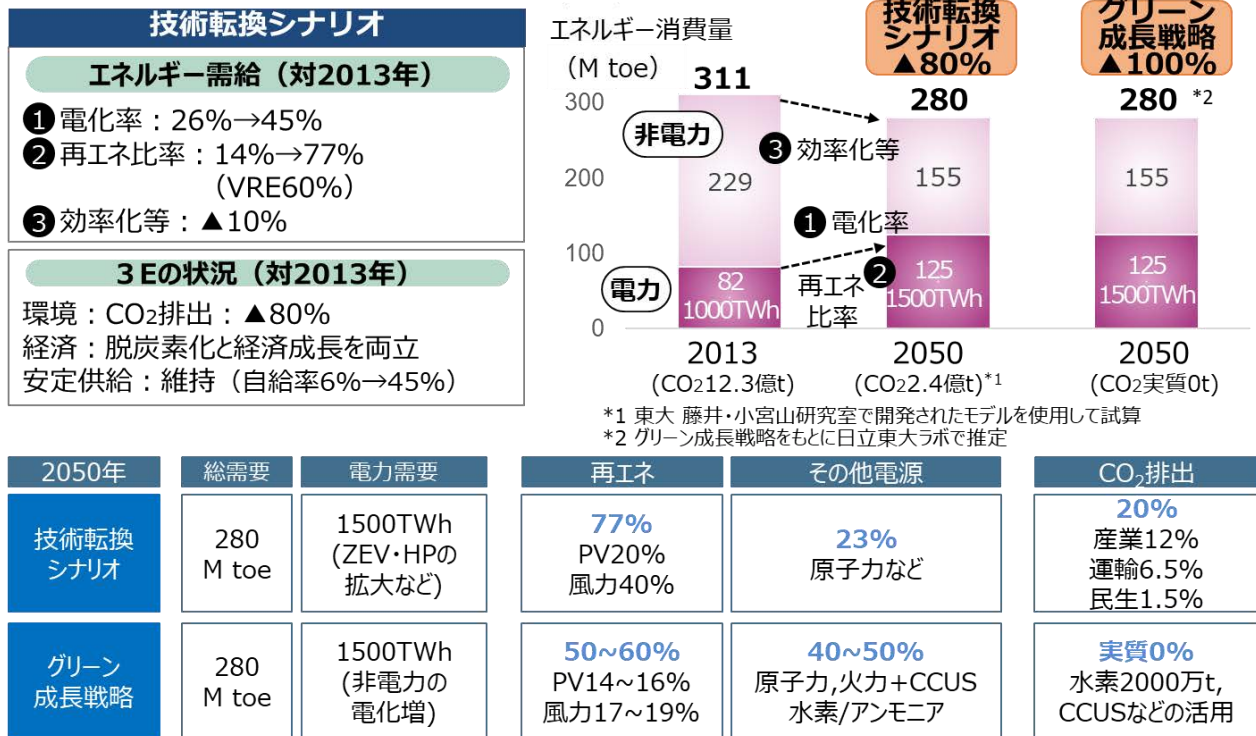


図 2-2 日立東大ラボ「技術転換シナリオ(第2版)」とグリーン成長戦略の比較

「技術転換シナリオ」で残された CO₂ 排出量は 2 億 3,800 万 t で、その内訳を図 2-3 に示す。発電部門ではほぼ脱炭素化が達成されている一方、産業部門(約 60%)、運輸部門(約 30%)、業務・家庭部門(約 10%)の対策が必要である。産業部門の総 CO₂ 排出において、素材 4 産業(鉄鋼・化学・紙パルプ・セメント)の割合は 68%であり、主にこの 4 産業における石炭主体の熱源・電源の切り替えが重要である。また、「その他ボイラー」の占める割合が大きく、中小規模の熱源や蒸気利用産業において化石燃料依存が残っている。運輸部門では、本試算では自家用車の主力にプラグインハイブリッドが選択されているため、自家用車から一定量 CO₂ が排出されている。航空機や船舶などの、いわゆる脱炭素が困難なセクタについては、e-fuel など新燃料による対応が検討されている。業務・家庭部門では冷暖房の電化が進む一方で、給湯や厨房(コンロ)といった熱源の対策が必要となる。

近年、各国で脱炭素の議論が加速され、CN を新たな目標として設定され始めた。日本でもグリーン成長戦略の中で、CN 達成に向けた具体策がロードマップとともに記載されている。2050 年エネルギー構成に関する日立東大ラボの試算結果を図 2-4 に示す。また、再エネ導入量の概算結果を図 2-5 に示す。2050 年では、非電力部門の電化や水素製造を 2030 年の 3.5 倍以上の発電量を再エネ導入増加によって実現するとともに、CCUS 付火力、アンモニア発電、原子力発電などの集中電源によって「3E+S」を確保するシナリオが示されている。

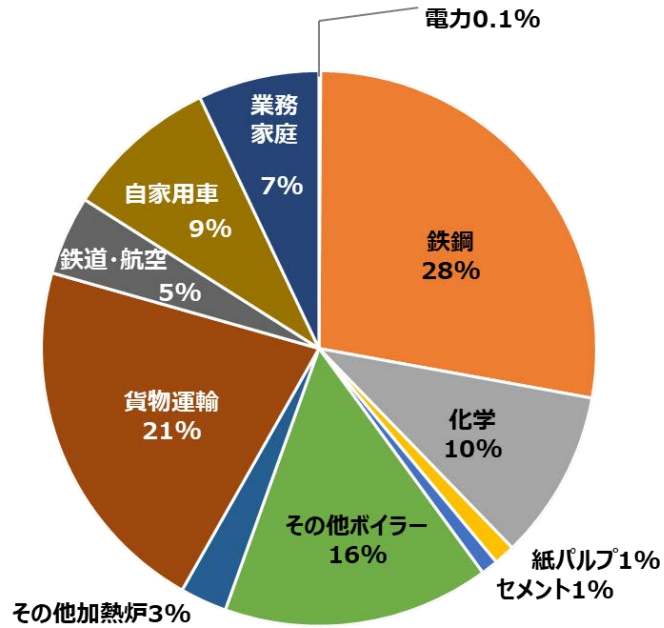
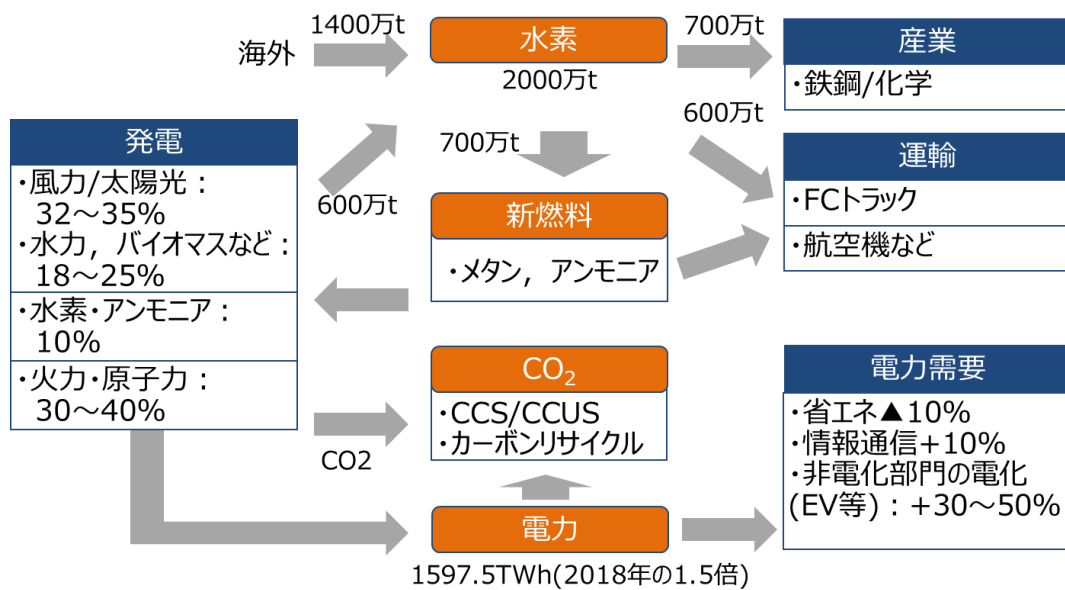
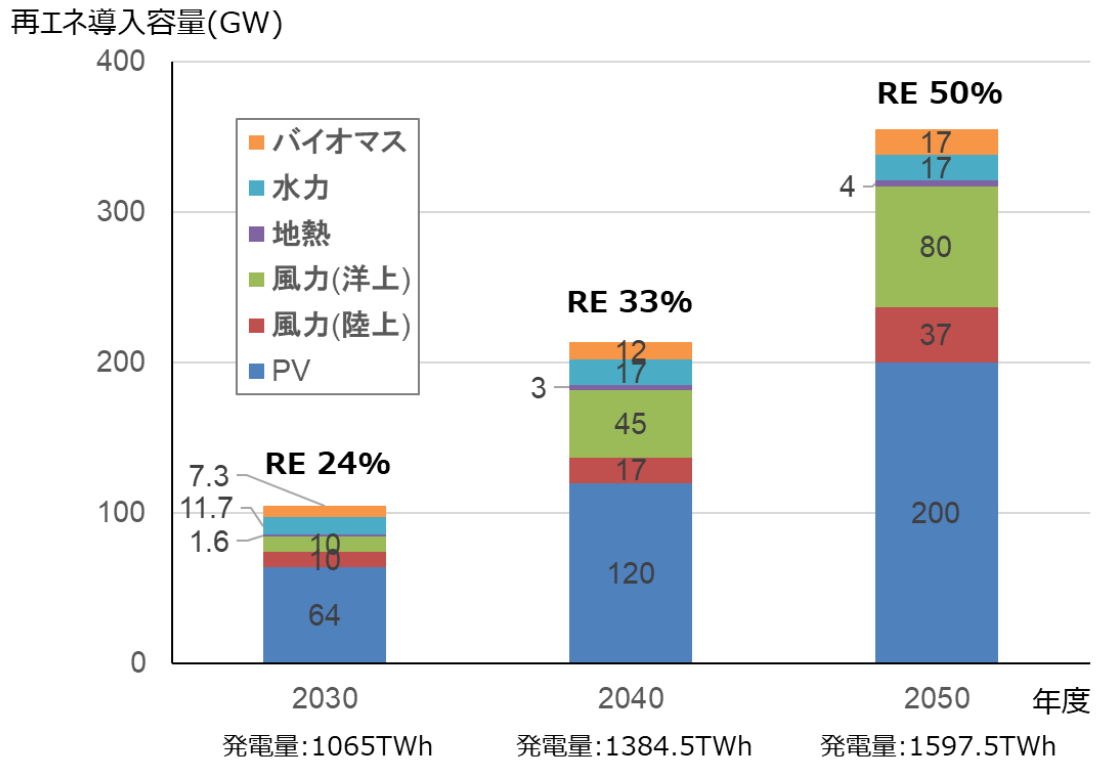


図 2-3 技術転換シナリオで残された CO₂ 排出の内訳



※数値は「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」をもとに一部日立東大ラボで推定

図 2-4 グリーン成長戦略に基づく CN 社会のエネルギー構成



※RE 24%は年間総発電電力量(Wh)に占める再エネ発電の割合を示す

図 2-5 グリーン成長戦略で想定される再エネの構成例(日立東大ラボの見積もり)

(2) カーボンニュートラル達成に必要となる社会の変化

2050 年における日本の社会は、人口 1 億 200 万人余り、14 歳以下人口 11%、生産人口(15-65 歳) 52%、高齢者人口 37%と見込まれている¹²。「技術転換シナリオ」では、人口分布は国土長期計画に基づく地方分散実現を前提としており、この状況における人口動向を推定すると次のようになる。人口 20 万人以上の中核市が地域社会のコアとなり、各都道府県から三大都市圏への画一的な人口移動を食い止める効果(ダム効果とも呼ばれる)が、一定の機能を果たす(事例を付録 1 に示す)¹³。昨今の、コロナ禍によるテレワークや在宅・出勤のバランス運用などの定着も、国土長期計画を後押しする¹⁴。このような地方分散の実現が機能すると、中核市が広域圏域の地域的・文化的拠点をなし、その周辺市町村との共存が実現され、地域社会ごとの産業や生活圏が持続可能な状況になる。人口減の状況下でのエネルギー消費を考察すると(付録 1 に詳述)、家庭部門や運輸部門の自家用車における個人のエネルギー

¹² 社会・人口問題研究所、『日本の将来人口推計』http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29suppl_reportALL.pdf

¹³ 人口のダム効果は(一社)北海道総合研究調査会、地域人口減少白書 (ISBN-13:978-4820120322)などの考察が詳しい。

¹⁴ コロナ禍の人口動向解析は国土交通省・国土の長期展望専門委員会で詳細議論されている。
(https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s104_choukitennbou01.html)

消費では人口との相関性がみられるが、産業部門や物流等の運輸部門は、地域社会の経済活動が維持されている状況では人口への依存性は小さく、一定水準を維持している。2050 年の社会では、地域社会ごとに特色あるエネルギー消費および産業構造が、再エネと高度に協調する社会に移行しているものと考えられる。

日立東大ラボでは、地域社会において面的に広がるネットワーク型のインフラ(上下水道、道路、交通(鉄道、バス)、電力)の将来像に対して、電力システムをはじめとする社会インフラを対象に、自然資本や社会関係資本の投資によって環境価値・社会価値を増大させ、さらに人々の QoL 向上に結び付けることをめざすと提言した¹⁵。持続可能なインフラを構築するためには、維持管理・更新の着実な実行とともに、データ連携に基づいたインフラからもたらされる価値創造が必要となる。逆に言えば、地域社会の様々な有益なデータを横断的に解析・分析してインフラを構築すれば、地域社会の持続可能性が高まることになる。

社会インフラの運営主体の拡がりも進展すると考えられる。現在、都市再生特別措置法の下で、都市再生推進法人に指定された団体(社団・財団法人、NPO 法人、まちづくり会社など)を主体に新しいまちづくりが推進されているが¹⁶、都市再生推進法人のような新しい担い手が地域社会のエネルギーマネジメントに参画することも考えられる。このような公民連携を柔軟に運営できるようにするため、都市計画と地域インフラを一体に運営できる法整備が進んでおり、配電ライセンス制度もその一つである。

(3) カーボンニュートラルの実現に向けた各部門の動向

先に述べたように、「技術転換シナリオ」で残された CO₂ 排出量 2 億 3800 万 t のうち、約 6 割を産業部門が占める。産業部門のうち、CO₂ 排出量の大きな素材 4 産業(鉄鋼・化学・紙パルプ・セメント)は製造プロセスに炭素源を使用したり、多くの熱エネルギーを消費するため、脱炭素移行のためには、できるだけ多くのイノベーションの選択肢を確保したいところである。化学セクタを例にとると、基幹素材の原料であるナフサは、石油精製過程で石油化学コンビナートからオンサイト供給されている。石油供給は都市間移動の基本となる自動車、船舶、航空機など運輸部門が大きく、運輸部門での燃料転換が化学セクタにも連鎖的な影響を与えることになる。

化学セクタは石油を原料として基幹素材となる 4 素材(ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンおよびポリ塩化ビニル)を製造し、さらにその原料群からポリカーボネートをはじめとする機能性樹脂や半導体製造に欠かせないレジスト材などの高機能材料に展開する裾野の広い産業である。現状の石油精製はガソリン供給を基準に計画され、ナフサは不足分を輸入している状況下であり、素材の基本原料であるエチレン製造は 2015 年から微減が続いている。運輸部門の燃料転換に伴い、①ナフサ輸入量を増加させる、②基幹 4 素材を輸入して 1 次素材として流通させてプラスチックリサイクル

¹⁵ 日立東大ラボ. 2020. 『提言 Society 5.0 時代の持続的社會インフラ運営』 <http://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2020/02/47d8e5dd1a8b24dd2123511399cf0bbc.pdf>

¹⁶ 現行の都市再生特別措置法は道路や河川敷などの占有許可など一部の運営に限定されている。(官民連携まちづくりポータルサイト、 <https://www.mlit.go.jp/toshi/seido/index.html>)

などの手段によって原料再加工、または素材再加工によって高機能化する「マテリアルリサイクル」による炭素循環、さらに、③メタンを原料に機能性材料を合成する C1 ケミストリーを進展させ、CO₂ からメタンを製造するメタネーションを基軸に原料転換を図るといった原料バリューチェーンの転換が考えられる。マテリアルリサイクルや C1 ケミストリーでは、原料として水素を必要とするため、水素の安定供給とコスト削減が成立のかぎとなる。

「マテリアルリサイクル」は、炭素源を製品として固定化し、数量管理で流通できるため、好循環が実現できれば社会の脱炭素化の有効な手段になりうる。日本は廃プラスチックの回収率が比較的高く、洗浄などの住民協力により回収品質も高い。このようなマテリアルリサイクルでは、回収メカニズムの整備が一層重要となるとともに、排出する住民の意識改革も環境負荷低減の観点から重要となる。

素材 4 産業以外の産業部門にも、様々な形態で熱源が存在し、熱源の電化、プロセス革新による熱効率の向上、メタネーションの活用などの脱炭素手段が考えられるが、多くは中小規模の熱源であり、電化による脱炭素が主力となる。一方で、産業部門の熱源転換に伴う電力需要の増大によって、積極的な電力システムへの協調も必要となり、これらの需要コントロールと製造計画の効率的な制御が不可欠である。

運輸部門では自動車の電動化(EV)や水素自動車(FCV)への転換が有力視される。EV の地域社会における協調は第 3 章で詳述する。FCV の普及障害の一つである水素ステーションの整備は、トラック、バスといった商用車を中心に石油化学コンビナートを中心に整備されている既存の水素製造設備を活用することによって、既存設備の活用と水素流通の両立を図りつつ、変動型再生エネの余剰電力活用で水素製造コストの削減を狙う。

従来の都市におけるエネルギー消費では、家庭やビルなどの冷暖房や給湯といった機器・設備の省エネルギー対策が重視されてきた。これに対して、都市のライフスタイルからの変容を図る「歩いて暮らせるまちづくり（ウォークブルシティ）」の整備がスペイン・バルセロナをはじめとして進められており、徒歩や自転車で都市中心部を回遊できるように歩行スペースや駐輪場が整備され、都市での移動の姿が変わりつつある。日本でも愛媛県松山市で路面電車のアクセシビリティと歩行のための歩道拡幅事業を組み合わせたまちづくりが推進され、歩行者数の増加に加え、周辺商店の店舗数増加や周辺地価の上昇といった経済効果への波及が実証されている。このようなウォークブルシティの整備は、自動車中心の人々の移動から、そもそもモビリティを使わない歩いて暮らすという発想の転換が、住民の利便性を伴って計画されていることが特徴であり、ここでもデータが重要な役割を果たしている。

船舶や航空機では、脱炭素化に向けて、水素とともに合成燃料 e-fuel の適用が検討されている。経済性・合理性を確保するためには、他セクターとのバリューチェーン連携やセクター間の炭素有効利用といった包括的システムが必要となる。

2.2 カーボンニュートラルに向けた部門をまたぐ包括的移行過程における着目点

既に述べたように、今後、日本が人口減少の局面にあること、多くの社会基盤インフラや大規模な産業用設備が高度経済成長期に建設されており、2030 年までにリプレースが必要となること、2040 年までに地方公共団体の縮小化や

財政縮減が見込まれ、財政の厳しさが増して適切なサービスの提供も困難になる¹⁷などの日本独自の課題を踏まえて、CN への移行を包括的にマネジメントしなければならない。これらの移行には、大綱となるビジョンを基に、包括的に運用できる複数の道筋(パスウェイ)を持つべきであり、その議論の前提は第6章で詳述する。以下では、包括的移行過程として、留意すべき点について述べる。

① 産学官一体となった長期ロードマップの作成

CN への移行は、再エネ主電源化に留まらず、石油化学工業をはじめとする産業の構造転換や、高度経済成長期にスプロール化した都市の再構築、物流・旅客・自動車をはじめとする運輸部門の燃料転換といったすべての部門の変化が連動して起こる。これらの連動的な変化では、それぞれの部門の移行期間と規模を規定した上で、他セクタへの影響を考慮した計画がなされるべきである。また、脱炭素に向けた技術イノベーションの多くが、現在、研究開発段階であり、これらの技術開発と導入・普及などの長期ロードマップは、産官学一体となり、英知を結集する必要がある。長期ロードマップの検証と見直しを可能とするために、適切な中間マイルストーンをあらかじめ設ける必要がある¹⁸。この検証においては、推進過程が定量化できるデータの開示やそれらデータに基づいた検証が求められるとともに、検証結果に基づく着実な推進と適切な投資が必要である。

② ストック型社会における国土変革と既存の社会基盤インフラの活用

日本は高度経済成長期に集中した社会基盤インフラの整備がなされたため、潤沢なインフラストックが存在する。人口減少に伴い、地域の立地適正化計画が自治体によって都市計画マスタープランとして策定されている¹⁹。立地適正化計画では向こう数十年に亘る長期の居住誘導や公共施設の立地適正化に関するマスタープランが提供されている。このような地域社会の変化や国土の長期展望が CN 施策と有機的に連動し、都市や国土政策との投資の相乗効果を誘導すべきである。また、既設の都市ガスインフラをメタネーションと組み合わせ、エネルギー輸送インフラとするなど、既存のインフラ活用についても検討が求められる。

③ 1次エネルギー変革に伴うセクタ協調型移行

既に述べたように、電化に加え石油化学産業の大規模な構造転換が想定される。化学セクタをコアとした炭素循環や、水素、蓄電池、レドックス系蓄電媒体といった複数のエネルギー貯蔵形態、鉄鋼—化学セクタ間の炭素循環など、素材確保と炭素循環を包括的に進める必要がある。同時に、各セクタの電化による電力需要の増大では電力システムとの協調が求められる。

¹⁷ 総務省・自治体戦略 2040 構想研究会で 2040 年までの広範な自治体運営の課題が検討されている。
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/jichitai2040/index.html)

¹⁸ Tokyo Forum 2020 では「2030 年までに、温室効果ガスの排出を半減し、クライメート・ポジティブを実現しないと間に合わない」との意見も出ており、この 10 年における進捗確認の重要性が示唆される。

¹⁹ 国土交通省、「都市計画—立地適正化計画制度」
https://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network.html

④ 資源循環と価値循環の共存する移行過程の創造

上記のように、高度な炭素循環を実現する技術イノベーションが実際の製品に活用されている状況をわかりやすく最終消費者に説明できるシステムがあれば、最終消費者は技術イノベーションを基に製品を選択できる。製品の脱炭素化と消費者とをつなぐシステムによって、経済消費と CN 移行の好循環を実現する。

⑤ 都市や生活利便性ととも推進される CN への移行

データに基づいた都市マネジメントの推進によって、ワークラブルシティをはじめとする都市のハード、ソフトの変遷が生活利便性を伴って推進できつつある。このようなデータに基づいたマネジメントによって、人の生活や行動がエネルギーと協調できるようになり、生活利便性ととも CN 化に向けた意識改革にもつながる。

2.3 まとめ

- 2050 年の CN 実現では、カーボンフリー電力の活用としての電化促進と、電化が困難な産業セクタを含めた社会全体の構造変化を伴い、現在からの技術開発の推進、人々の意識改革、および社会構造改革が必要である。例えば、再エネ電力による製造や輸入で確保した水素を電化困難な産業や長距離運輸で活用するのはもちろんのこと、電源の燃料としても適用するなど、様々のセクタで利用するバリューチェーンを構築することが経済的に重要である。
- 人口減少や社会基盤インフラの建設タイミングを踏まえた CN への移行過程において、①産学官一体となった移行ロードマップの作成、②既存社会基盤インフラの有効活用、③ 1 次エネルギー変革に伴うセクタ間協調、④資源循環と価値循環の共存、⑤生活利便性とカーボンニュートラルの両立などへの留意が必要である。
- 2040 年に自治体行政が財政的、人口構成的に厳しい状況を迎え、社会基盤・民間インフラの多くが半世紀を経過する状況にあり、さらに資源環境・自給率に乏しい環境下にあることなど、日本独自の厳しい環境下で CN をめざす。技術的・事業的な選択肢を複数確保し、社会目標達成のパスウェイを探るべきである。

第3章 地域社会における新たな挑戦

本章では、地域社会のあるべき姿を踏まえ、エネルギー消費の現状理解とともに CN 実現への課題を示す。また、エネルギーデータ利活用によるエネルギーの新たな価値創生の可能性を検討する。

3.1 地域社会のあるべき姿と変革

(1) 地域社会のあるべき姿

本提言書における地域社会とは、産業、交通、物流、さらに医療や教育をはじめとする住民の生活を包含する面的拡がりを持ったコミュニティを意図している。このような地域では、地域の人口や面積、地理的特性、地域形成の生業や歴史的背景などから多様な特徴を持ち、エネルギー利用の観点でも、それら地域の特徴と協調していくことが望まれる。例えば、大都市では、住宅不足による高い住居費、車の排気ガスによる大気汚染、交通渋滞、貧富の差、犯罪増加などの課題が存在し、一方、地方都市では都市部への人口流出による過疎化、生産人口の減少による自治体としての財政危機とそれに伴う社会サービスの低下が深刻である。

大都市の課題を解決する動きとして、海外中心にウォーカブルシティの取り組みが進んでいる。これは、自動車レスでも必要なものすべてにアクセスできる都市をめざすもので、パリ、バルセロナ、コペンハーゲン、ロンドン、ポートランド、香港などで知名度を上げている²⁰。日本でもウォーカブルシティの実現をめざし、200あまりの自治体が回遊しやすい道路整備や中心市街地の再開発などを進めている。ウォーカブルシティは、自動車交通量の減少による交通事故の減少や、人々が歩き回ることによるローカルビジネスの経営改善、まちの賑わいの創出、過度な自動車依存回避による道路や橋梁他のインフラの寿命延長、自動車から排出される大気汚染の解消など、様々な効果を生み出す。

地方都市では、コンパクト×ネットワークを基本とする緩やかな計画が国主導のもと進められている²¹。まちの主要機能を中心部に集め、路面電車やバスなど公共交通機関のネットワーク機能を充実させて、車の運転が難しい高齢者でも簡単に移動ができるまちづくりをめざす。また、地域特有の資源を活用する例もあり、例えば北海道下川町では、豊かな森林資源を活かしたバイオマスでまちの熱エネルギーをまかない、高齢者が集まって暮らす長屋風住居をつくるなどの動きもある。

ウォーカブルシティやコンパクトシティは、地域が平地で構成される場合に適した施策である。しかし、国土の約7割が山地や丘陵地であり、街や住宅地が広域に構築された日本では、これら施策に加えて自動車の利用を前提にしたまちづくりを選択肢として残す必要もある。地域のエネルギーシステムは、様々なまちづくりの方針に合わせて再構築することによって、住み良いまちづくりに貢献する。

²⁰ パリの「15分の街」計画、バルセロナの「Superblock Project」などがウォーカブルシティの施策として広く知られる。

²¹ 国土交通省、「重点的施策—コンパクト・プラス・ネットワーク」、
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_ccpn_000016.html

一方、激甚化する自然災害、COVID-19 の世界的パンデミック、CN 宣言という昨今の大きな変化によって、地域社会にも変化がみられる。自然災害の激甚化に伴い、地域社会のエネルギーレジリエンスに対する必要性和重要性が高まっている。COVID-19 の感染拡大防止に向けた 3 密回避の呼びかけで、公共交通機関の利用分散化や自動車利用が増加し、住宅地域内での労働を可能とする職住近接ニーズの上昇などの兆しが見えており、人の代わりにモノやサービスが移動する社会変化が既に都市部を中心に定着しつつある。

CN 関連では、脱炭素が単なる企業イメージアップから、取引継続や融資獲得の必要条件に変わりつつあるとともに、企業が地域社会の脱炭素化を支援する環境を整備することは、地域内での事業を継続するための必須条件となる。地域社会のエネルギーインフラは上述の変化を受け入れられるように再構築されなければならない。

CN は社会全体の改革を伴うため、その改革には社会を構成するステークホルダの間での合意形成が不可欠である。地域によって都市の規模・人口構造・存在する資源・めざす姿が異なり、移行のための財源の制約も異なる。そのため、地域社会における CN 実現では、「社会の移行と地域特有の課題解決を図る仕組みづくりによって、ステークホルダから合意を得られるだけの価値を提供できること」、「様々な条件の下で、複数のステークホルダが多様なリソースを効率よく共有・運用することで地域社会の移行に伴う費用抑制や期間短縮をしつつ、レジリエンスを強化すること」が求められる。これらの実現には、まちづくりの各種の施策に加え、地域の特徴を活かした脱炭素化を進める上で、エネルギーリソースの多様化とスマート化を図る必要があり、そこではエネルギーデータ活用体系の構築が必須となる(図 3-1)。



図 3-1 CN を達成する、地域社会のあるべき姿

(2)地域社会のあるべき姿に向けた変革

グリーン成長戦略で示された方向性と、地域社会の視点から見た技術的課題を図 3-2 に示す。2018 年、2030 年、2050 年の記載は、グリーン成長戦略で示された情報であり、図右側に記載される技術的課題は、開示された情報から日立東大ラボで抽出した課題である。

民生・運輸・産業部門では電化による脱炭素化が基本であり、特に、運輸部門は自動車の電動化が大きな柱である。現在、日本には約 6,600 万台の乗用車があり、コンパクトシティやカーシェアリングの進展などを考えても 2050 年には 5,000 万台程度の EV・FCV の運用が想定される。CN 社会では、太陽光発電は安価な発電手段となり、各住宅に標準搭載される太陽光の逆潮流も可能となる。この場合、配電系統では、EV などの電化による需要増加と太陽光による逆潮流でフィード内の潮流が複雑化し、電力の安定供給を維持する配電インフラの整備が課題となる。また、産業部門では、電化を促進するも、加熱炉など大きな熱量が必要なケースでは電化が難しく、メタネーションなど新燃料流通も大きな課題となる。

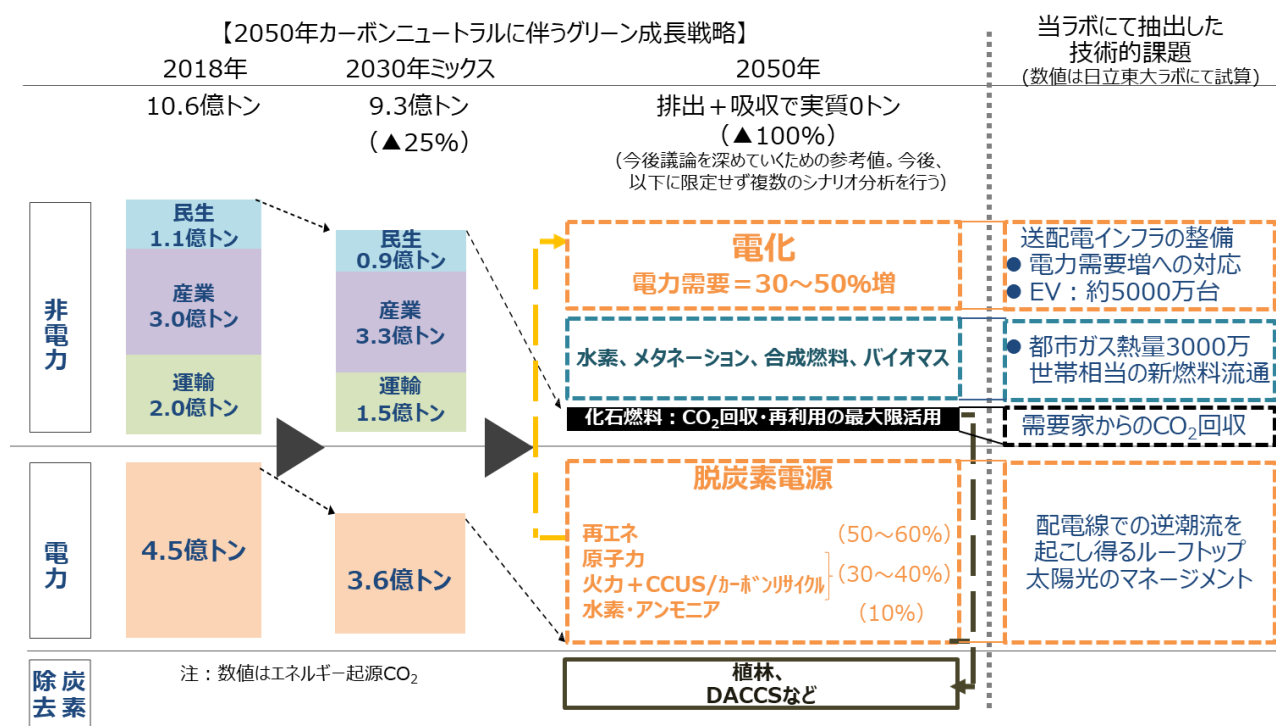


図 3-2 グリーン成長戦略で示された方向性と、地域社会の視点から見た技術的課題

上記で抽出した課題に対して、変化ドライバーを意識した地域社会における変革のあり方を図 3-3 に示す。2030 年半ばには新車販売における電動車の比率を 100%とする方向性が新聞などで報じられている。そのタイミングからバックキャストして考えると、大規模な電化や普及拡大する EV、さらに住宅に標準搭載される太陽光発電などの分散リソースに対応した電力ネットワークにおけるエネルギーデータ活用体系は、それに接続される諸技術の仕様を決定することになる

ため、可及的速やかに諸仕様を決定し、試行期間も含めて事前に構築しておくのが望ましい。また、2050 年に向けては水素・新燃料の導入・普及が期待され、ここでは太陽光発電や風力発電の変動する出力余剰を、最大限に活用する製造・流通・利用のシステムを構築しなければならない。

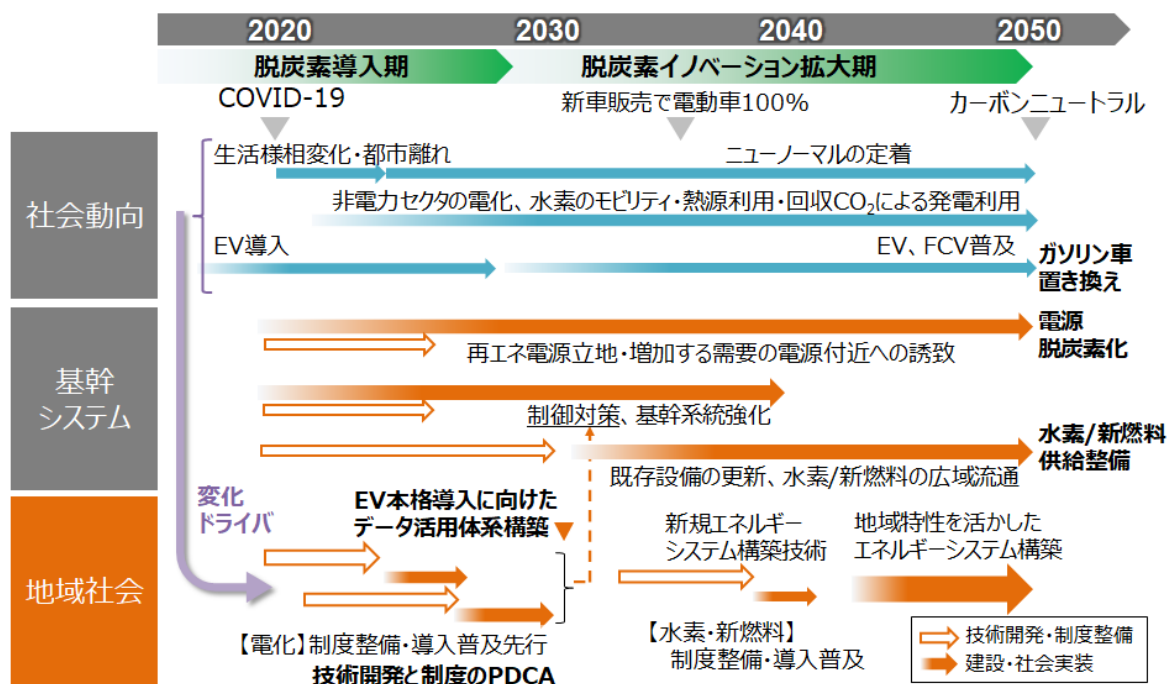


図 3-3 変化ドライバを意識した地域社会での変革のあり方

このような緊急的、かつ長期間の取り組みを要する地域社会の移行を、限られた財源および資源で推進するためには、需要家に対するエネルギーサービスを双方向化し、低価格・高信頼なエネルギー供給サービスとともに、既存のアセットを最大限に活用する需要家側からエネルギー供給側への協調サービスが必要となる(図 3-4)。エネルギーデータ活用体系の機能を支持する法制度や機器要求基準(Grid Code)の整備、および各種ステークホルダとメリットを享受しながら、予見性をもって段階的に改善される仕組みや制度を制定・運用することにより、社会全体にメリットを生みながら社会の仕組みを変える投資・効果・再投資の好循環を実現できる。

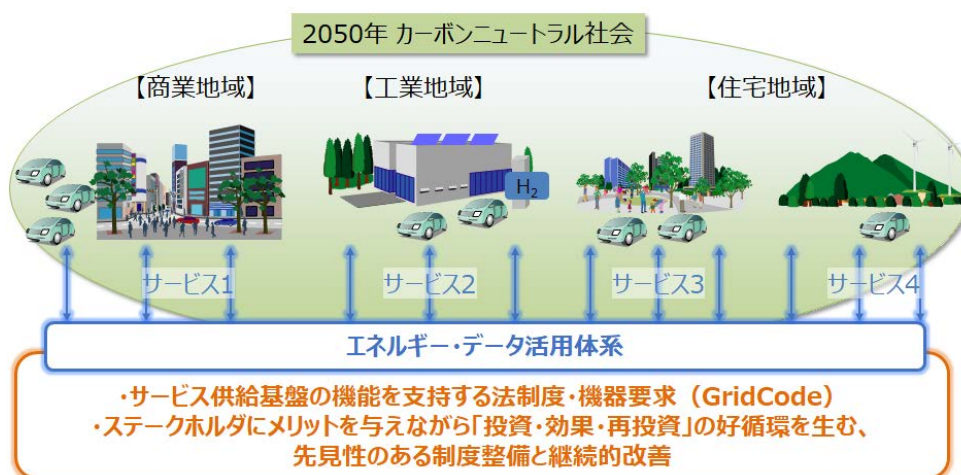


図 3-4 CN 社会を支持するエネルギーデータ活用体系

3.2 地域エネルギーにおける消費の特徴・課題とエネルギーデータ活用体系

(1) 地域におけるエネルギー消費の特徴

日本の 2019 年の消費エネルギーのうち、約 7 割は化石燃料の燃焼が占め、その多くが工場、自動車、暖房など地域社会で使用されている。その消費内訳および産業・運輸・民生部門における主要な CO₂ 排出要因を図 3-5 に示す。産業・民生では熱源利用、運輸では自動車での化石燃料の燃焼が主な排出要因である。自動車の EV 化、ボイラー内ヒータの電化は、既存技術の展開で脱炭素化を進められ、先行して着手すべきである。一方で、大量の熱を必要とする高温加熱プロセスを使用する産業では、全てを電化することは困難である。このようなエネルギー需要では、最終的に化石燃料の燃焼の結果生じた排気から CO₂ を回収・利用することも選択肢として考慮すべきである。

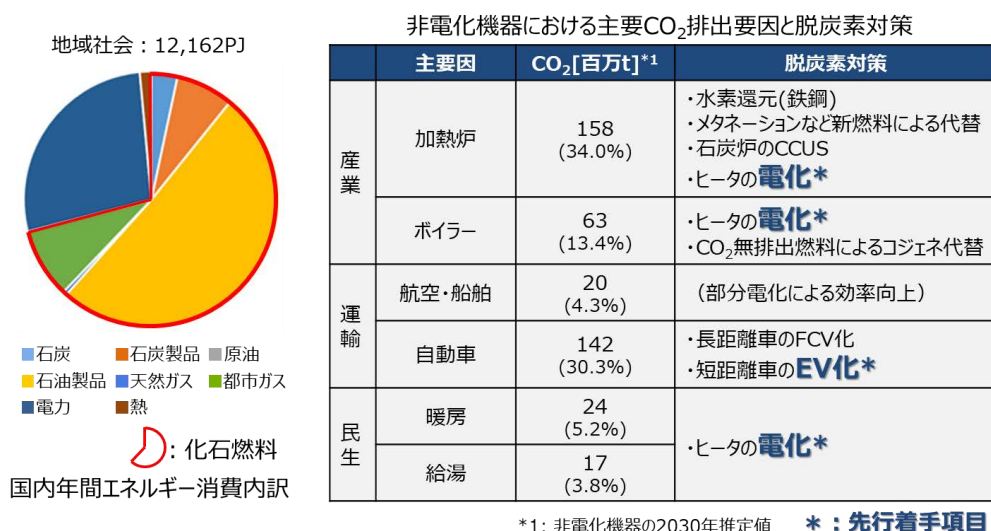
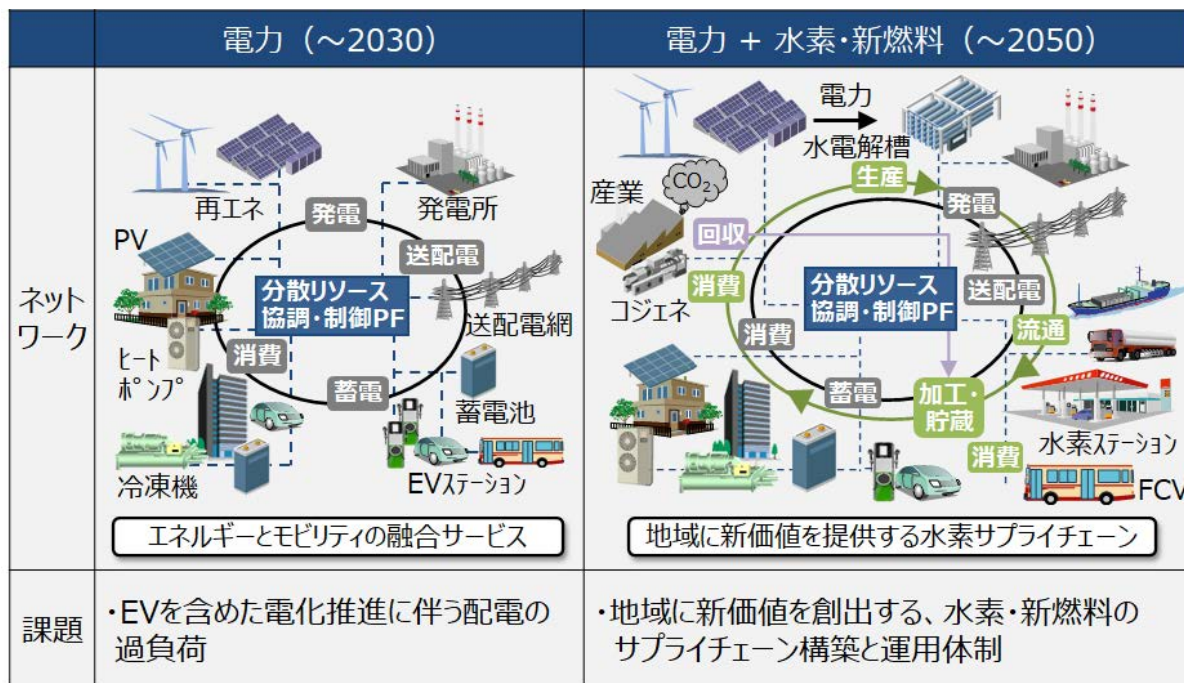


図 3-5 エネルギー消費内訳と分野別主要 CO₂ 排出要因²²

²² 円グラフは、資源エネルギー庁「集計結果又は推計結果（総合エネルギー統計）」の 2019 年度簡易表から作図 (https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline1)

(2)地域社会における脱炭素化の課題と価値循環による課題解決

脱炭素化を実現するエネルギーネットワークの姿を、図 3-6 に示す。2030 年代まではガスや石油が併用されつつも、エネルギー需給の主要インフラは電力網である。自動車の電動化進展に伴い、電力と自動車が密接な関係になって、地域社会はエネルギーとモビリティを融合したサービスを提供するようになる。また、電動化で増加する電力需要に対して、地域内に電力を送り届ける配電網の効率的利用と過負荷回避が課題となる。



PV : Photovoltaic power generation (太陽光発電)

図 3-6 CN に向けたネットワークと課題

その後、2050 年に向けては、水素や新燃料も必要エネルギーリソースとなり、拡大する再エネの余剰電力を活用した国内製造、あるいは海外からの輸入を含めてそのサプライチェーンを構築し、多様な用途で利用することにより地域社会に新しい価値を創出する。サプライチェーン構築には投資が必要であり、投資に見合う価値創造が求められる。

上記課題の解決手段として本提言書で提案するシステムが、エネルギーデータ活用体系の核となる「分散リソース協調・制御プラットフォーム(PF)」(図 3-7)である。分散リソース協調・制御 PF は、分散リソースの利活用を支えるとともに、配電網の効率的利用と基幹システムに対する調整力の供給を実現し、地域社会の平常時の電力・エネルギーの効率的かつ安定な利用と、災害時のレジリエンスを向上する。また、水素・新燃料が普及した社会では、異なるエネルギーキャリアの相互協調によって、エネルギー・モビリティというサービスを介して地域社会に新たな価値を提供し、基幹システムとこれを通して他の地域に価値を提供する。これら価値提供のために、本 PF は、個別の分散リソース、基幹エネルギー

システム、MaaS(Mobility as a Service) PFなどと連携し、日々の協調運用に加えて、収集データの分析・蓄積に基づく将来設計に寄与する。

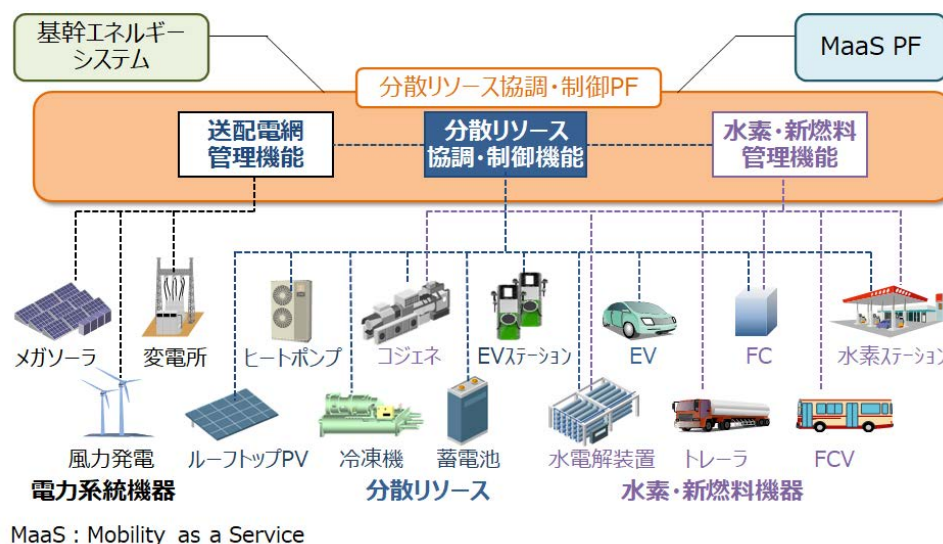


図 3-7 分散リソース協調・制御 PF 全体像

3.3 エネルギーデータ活用体系によるエネルギーネットワークの課題解決

本節では、2030 年代の電力ネットワーク、2050 年の電力 + 水素・新燃料ネットワークにおける技術課題に対し、分散リソース協調・制御 PF による価値創造で解決する事例を紹介する。

(1)2030 年代の電力ネットワークにおける課題解決

EV の普及や自動運転に代表される MaaS の進展により、2030 年代にはモビリティと電力が密接に関わる時代になる。この二つのサービスが、サービスの提供側・受ける側、双方の意識改革のもと、分散リソース協調・制御 PF を介して協調することにより、互いに価値を創造する(図 3-8)。

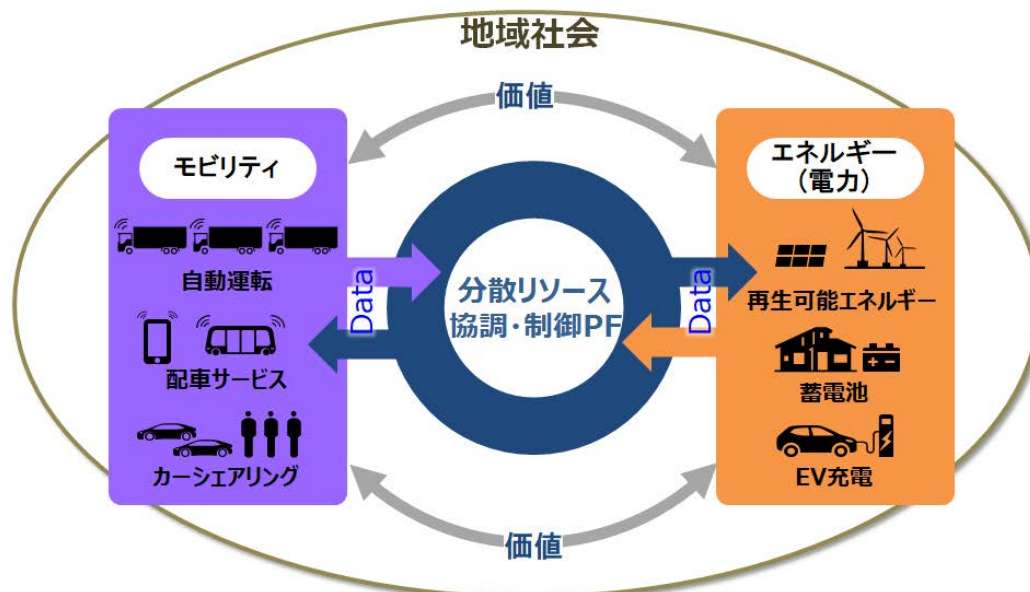


図 3-8 電力エネルギー・モビリティサービスの融合による地域社会への価値創造

EV 普及の影響について住宅地を例に考察する。7,000 世帯が配電用変電所の変圧器 1 バンクに接続される場合を想定する。EV が普及した地域社会では、世帯数とほぼ同数の EV が接続される。普通充電器で EV が消費する電力を最大 3kW 程度²³とすると、7,000 世帯が一斉に最大電力で充電した場合、消費電力は 21MW になる。実際は、家庭のアンペア制限を超えないよう EV 充電のデマンドコントロールがなされる。このデマンドコントロールにより、一日の走行による平均的電力消費量である約 3kWh を、6 時間かけて平均 0.5kW で充電した場合、7,000 世帯の一斉充電による消費電力の合計は 3.5MW になる。一般的な配電用変電所の変圧器容量は 10～20MVA であり、この消費電力の増分は変圧器定格の 15～30%に相当する。これに加えて、ヒートポンプ式湯沸かし器(HP)などの電化が進む。EV 充電や HP の消費電力が従来の電力消費に加わると、配電網の過負荷による電流容量の定格超過や電圧変動が大きな課題となる。分散リソース協調・制御 PF は、図 3-9 に示すように情報ネットワークを介して需要機器に人々の生活様相を踏まえた協調情報を配信し、電力消費の時間帯をシフトすることによって過負荷を解消する。

分散リソース協調・制御 PF による変電所の過負荷を回避する解析例を図 3-10 に示す(モデル構築、定量評価の詳細は付録 2 に記載)。HP 沸き上げの昼間シフト、EV 利用を考慮した充電時間の調整により、需要家の利便性を維持して変電所の過負荷が回避され、地域としての配電網の安定運用、さらには変電所および配電網全般の増強の解消や遅延が可能となる。

²³ 日産自動車、「日産リーフ主要装備一覧」を参照

(https://www3.nissan.co.jp/content/dam/Nissan/jp/vehicles/leaf/2010/pdf/leaf_specsheets.pdf)

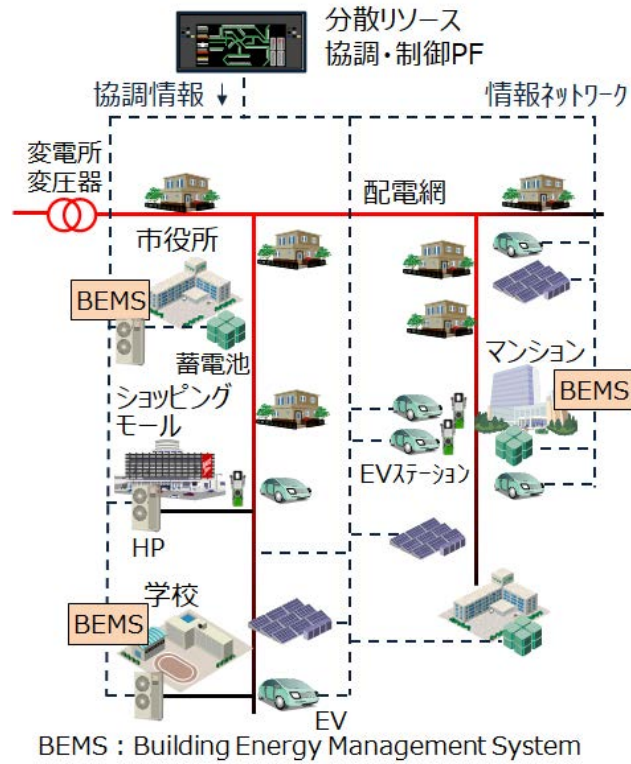


図 3-9 分散リソース協調・制御 PF による需要機器協調体系

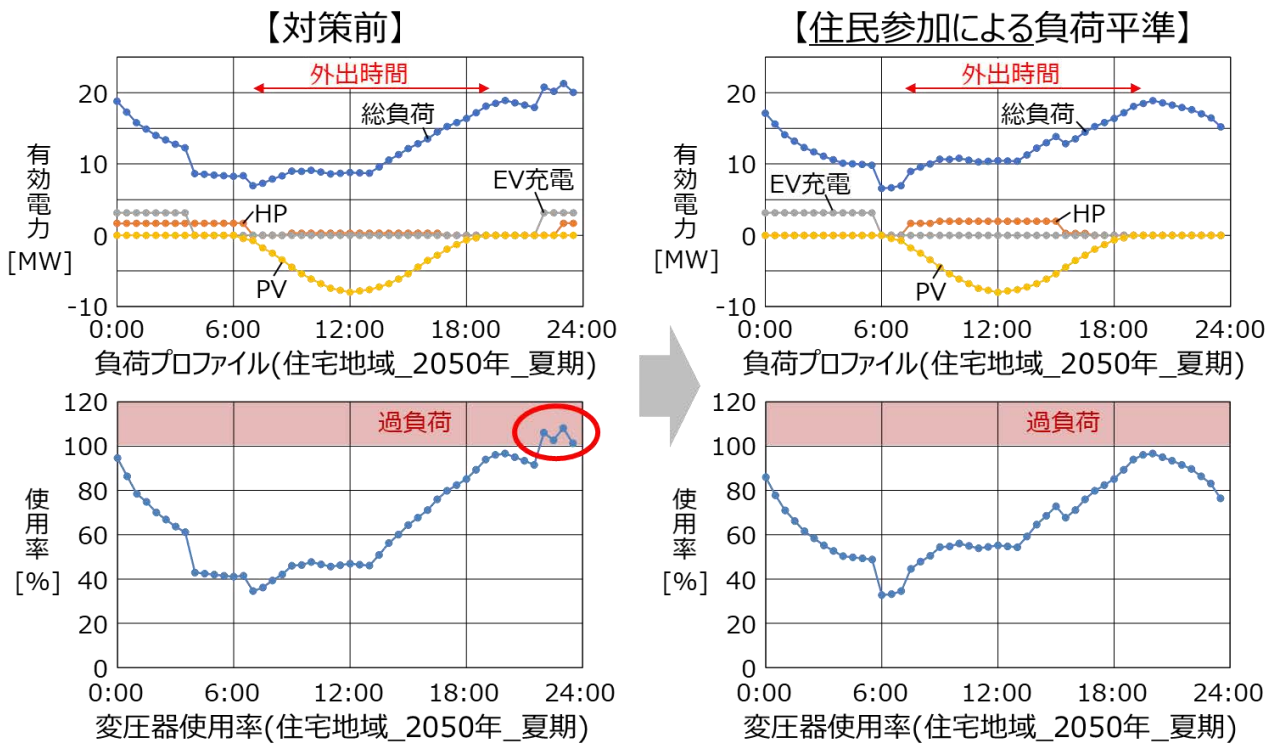


図 3-10 分散リソース協調・制御 PF による変電所過負荷回避例

電力とモビリティの協調により得られる価値は、複数想定される(図 3-11)。上記にて説明した変電所過負荷の回避による配電網の安定運用や配電設備増強の解消や遅延に加え、リアルタイムプライシングへの対応による電気料金の削減、災害発生時の自律エリア構築によるレジリエンス確保、基幹システムへの調整力供給²⁴による再エネ導入支援など、多様な価値の提供が可能となる。このように、分散リソースの協調・制御 PF は、地域社会の配電網と、地域住民、基幹システム、それぞれに価値を提供できる。

これらの利便性の維持・向上、エネルギーの安定利用、費用抑制、収入源の確保は、分散リソース協調・制御 PF によりサービスを提供する自治体や、配電ライセンス制を活用した配電事業者の経済性を確保・向上する手段になり、最終的に地域住民の価値につながる。

手段	説明	価値提供先
電化・再エネ導入による 配電増強投資の回避	分散リソース活用で過負荷を解消	配電
リアルタイムプライシングに対応した 電力料金削減	EVストレージ活用による安い時間帯での電力調達制御 (*1)	地域住民
レジリエンス確保費用の削減	分散リソース活用による災害時自律システム構築(*2)	
地域としての調整力市場参入	アグリゲーションによる調整力市場参入(*3)	基幹システム
	再エネ予測大外れ、日射・風力不足対応	

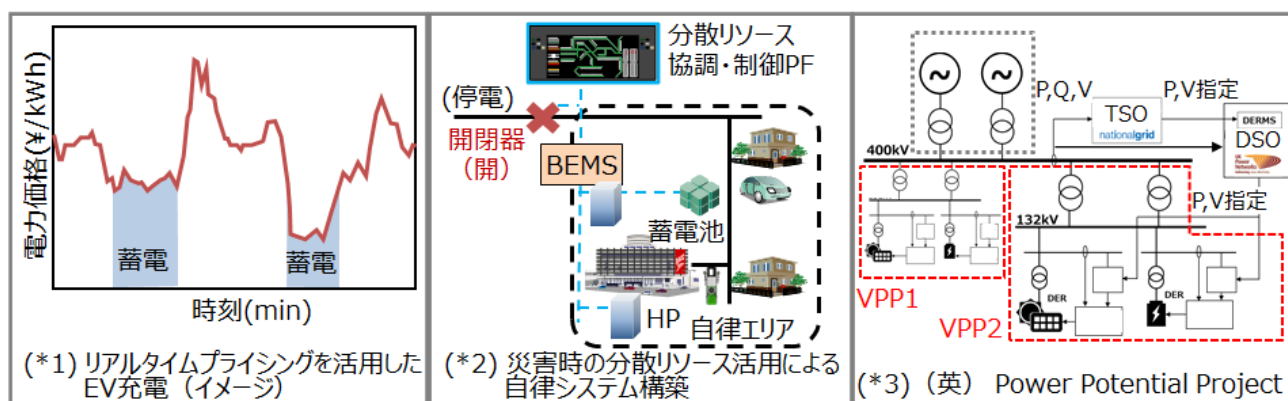


図 3-11 分散リソース協調・制御 PF による価値創造(電力-モビリティ)

(2)2050 年における電力・水素・新燃料ネットワークにおける課題解決

新たなエネルギーキャリアとなる水素・新燃料には、生産から流通・貯蔵・利用、そして利用後に CO₂ が発生する場合の回収を含めたサプライチェーンの構築が課題である。これに対し、異種エネルギーを協調させることで地域社会に新たな価値を創造する例を以下に説明する。

²⁴ イギリスにおいては、配電以下の分散リソースアグリゲーションによる調整力市場の実証“Power Potential Project”なども進んでいる。

2050 年代の水素・新燃料普及後の地域社会では、図 3-12 に示すように、データを活用した分散リソース協調・制御 PF によって、電力・モビリティ・そして水素や新燃料が新たな価値を創造する。価値創造の具体例を図 3-13 を用いて説明する。

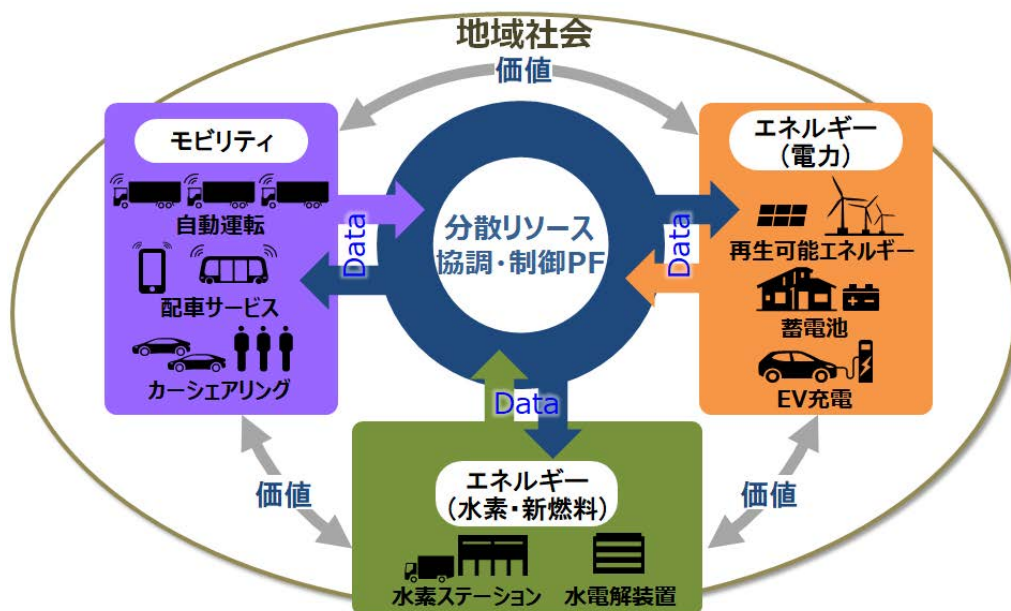


図 3-12 異種エネルギーの協調、モビリティサービスとの融合による地域社会への価値創造

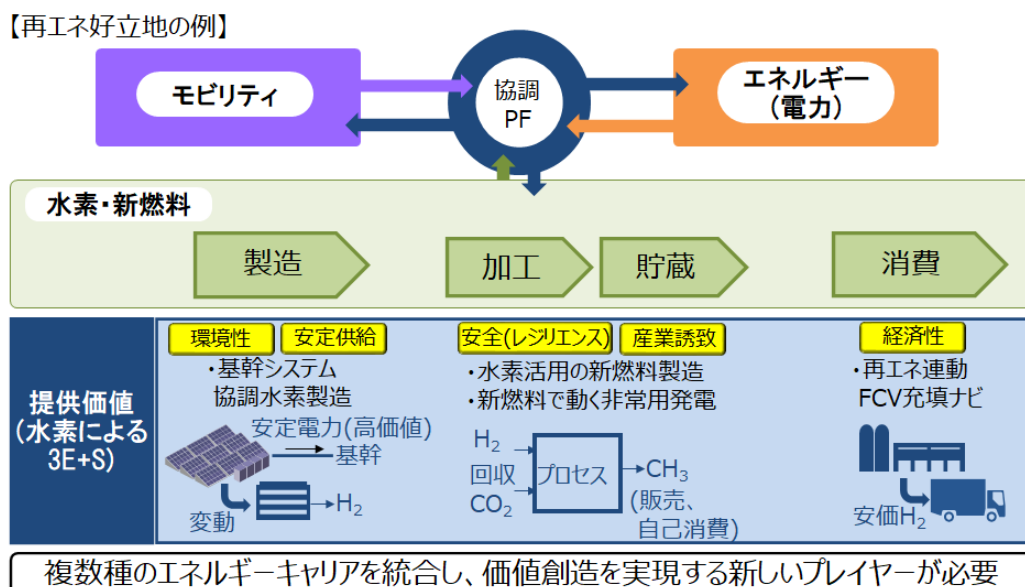


図 3-13 水素サプライチェーンのデジタルトランスフォーメーションによる価値創造例

再エネが立地する地域では、水素製造を再エネの出力変動と協調させることで、変動の少ない電力を基幹システムに連系することができ、水素・新燃料と電力の双方の事業者に環境性・経済性・安定供給の価値が産まれる。回収したCO₂と水素でメタンを製造するなど、炭素循環も構築できる。太陽光発電・風力発電などのVREをエネルギー源として生成された水素・新燃料は、いわゆるグリーン燃料の位置づけで、利用時もCO₂を排出しないという利点がある。一方、これらの燃料では、従来の化石燃料と同様、着火性が高い可燃性物質として安全上の注意が必要である。水素の場合、液化のための極低温雰囲気や圧縮のための高圧雰囲気の構築・維持が困難であり、大容量・長期貯蔵の課題²⁵が残る。メタンにおいては、製造のエネルギー損失と利用時のCO₂排出はあるが、水素に比べて貯蔵制約は小さい。今後、長期保存により適した新燃料が選択できれば、再エネの季節変動のバックアップや、災害時における非常電源のための貯蔵も可能となり、エネルギー供給のレジリエンスが向上する。

もともと地域に新燃料を利用する産業があり、さらに新燃料を利用する産業を新たに誘致ができれば、スケールメリットが期待できる。さらに、例えば、再エネの発電情報を基に水素充填を促す充填ナビサービスを構築すれば、燃料電池車に安価な水素を提供でき、経済性の価値を産むこともできる。

このように、データ利活用による異種エネルギーとモビリティの協調によって新たな価値を創造できる。しかし、こうした地域社会を実現するためには、複数のエネルギーキャリアやサービスを統合して価値創造するために、自治体とともに地域社会の新しい姿を設計・運営する新規プレイヤーが必要となる。なお、再エネ立地に適した地域は限定的であり、多くの地域では地域間の価値補完によって社会全体で「3E+S」を実現する。

3.4 基幹システムとの連携

2050年のCN社会では、エネルギーは電力・水素・新燃料の複数のキャリアで提供され、そのエネルギー源はVREを主としている。VREは日射・風速により発電出力が変動する。現在も需要と発電を協調させるために調整力供給が市場取引されているが、CN社会では、さらに調整力が重要な役割を果たし、短い時間単位から長時間、最終的には季節間など、長期間での調整力の調達・調整が必要となる。

市場を介した短時間での調整力獲得の手段として、リアルタイムプライシングが導入されている国や地域が存在し、テキサスERCOTでは5分ごとに電力単価が変わる卸市場が運用されている。地域社会の電力需要を分散リソース協調・制御PFを介して調整し、EVを含む蓄電システムをリアルタイムプライシングに連動して運用することによって、基幹システムとしてはエネルギー過剰時の需要創出、地域社会としては安価な料金での電力調達が実現できる。

上記のような短時間での調整力供給に加え、VREの系統連系点近傍に水素製造などの需要を配置することで、基幹システムの安定化、ひいては系統増設を回避できる。4章で詳細に説明するが、CN達成に向けて2050年には

²⁵ 資源エネルギー庁. 2014. 「資料2 水素の製造、輸送・貯蔵について」

https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/suiso_nenryodenchi_wg/pdf/005_02_00.pdf

年間 600 万 t の水素製造が見込まれる。その消費電力として水電解装置による水素製造を想定すれば、この新規エネルギー需要と VRE を空間的に協調させることで、脱炭素化の課題解決が図れる可能性がある。

3.5 各種インフラ・機器間でのデータ共有の必要性和課題

分散化、デジタル化、電化・電動化の流れに伴ってインフラ間の代替や融合が進む中、従来の分野別管理体系の情報技術を活用し、効率化・高付加価値に取り組む必要がある。

一方、事業ごとの情報収集の仕組みをゼロから再構築することは、長い年月と大きな投資が必要となる。そのため、既存の情報収集の仕組みを適宜活用すべきである。スマートシティでは、共通の通信インターフェースを備える事業部門ごとにデータを収集し、それをデータ連携基盤(都市 OS)で統合する体系が採用されており、分散リソース協調・制御 PF においても、その連携基盤の活用が異なる事業者をつなぐデータ活用の実現加速の一つの選択肢になると考えられる(図3-14)。これに加え、EV など個人が所有する機器も協調制御の対象となり、個人情報のセキュリティが極めて重要である。また、分散リソース協調・制御 PF は単に情報収集と加工を行うだけでなく、フィジカル領域でのエネルギー運用に直接影響を与えるため、情報漏洩に加えて物理的セキュリティの担保も課題である。これらの課題に対し、セキュア、かつトラストなデータアクセスを担保できる「信頼ある自由なデータ流通網(DFFT : Data Free Flow with Trust)」²⁶や、サイバー空間層、フィジカル空間層、およびサイバーとフィジカルを転写する中間層におけるリスク源と対応方針の整理による安全確保²⁷が、それぞれ政府主導で議論されており、エネルギー制御視点での踏み込んだ安全性担保の議論や、実プロジェクトによるデータ収集とフィードバックを並行して進める必要がある。

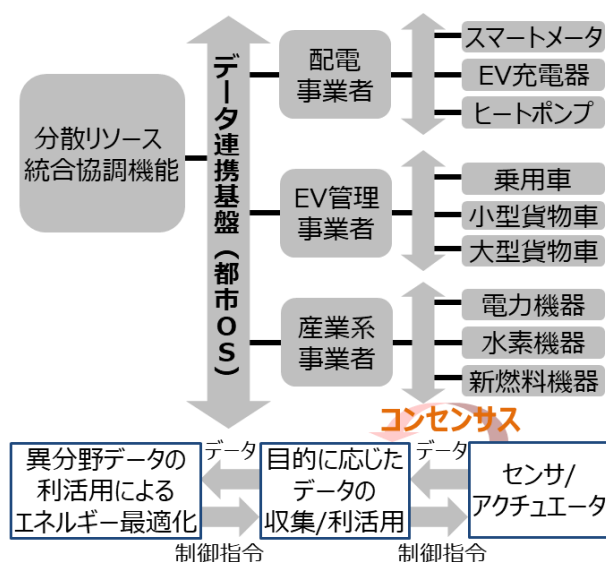


図 3-14 エネルギーデータ活用体系における多種多様な機器との情報共有構造例

²⁶ 内閣府官房情報通信技術(IT)総合戦略室。2018。「『デジタル時代の新たな IT 政策大綱(案)』」の概要」
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/dai76/siryou1-1.pdf>

²⁷ 経済産業省。2019。「サイバー・フィジカル・セキュリティ対策フレームワーク(CPSF)の概要」
<https://www.meti.go.jp/press/2019/04/20190418002/20190418002-3.pdf>

3.6 分散リソース協調・制御プラットフォームの段階的導入

分散リソース協調・制御 PF は、個人や事業者といったステークホルダの所有する機器・情報を用いるため、ステークホルダによる協調制御参画への合意形成が重要になる(コンセンサスの構築)。コンセンサスを構築し、円滑な地域社会への移行を進めるには、ステークホルダへの段階的な価値の提供と技術・制度整備が必要である。ここでは、モビリティと電力の協調を例に挙げ、段階的な価値提供について図 3-15 を用いて説明する。

電力料金情報を提供することで、個人は安い電力を得ることができる。社会は再エネの余剰電力を消費・蓄電してもらうことで再エネの導入支援を受けることができる。通信規格・セキュリティの制度と、機器の通信機能の Grid Code が整備されれば、リアルタイム料金を介して EV などの消費電力を協調させることにより、個人はより安価な電力を入手でき、社会はさらなる高比率の再エネの導入が実現できる。また、機器の可制御性を担保する制度と、機器側での通信・制御機能を定める Grid Code により、地域社会は配電系統における過負荷を回避でき、個人はサービス収入の価値が得られる。

このように、段階的に価値を提供しつつ協調を高度化する技術開発と制度整備により、社会変化の「投資・効果・再投資」の好循環を形成することができ、地域のレジリエンス確保のような、より広い範囲での価値提供も可能となる。

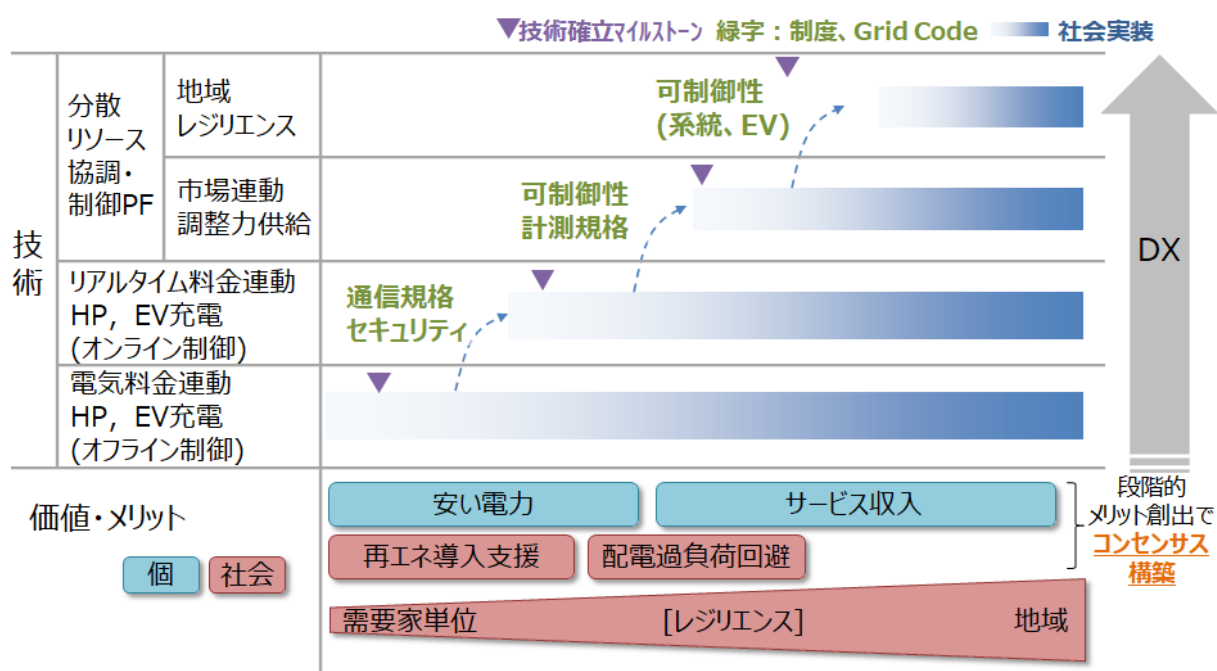


図 3-15 分散リソース協調・制御 PF の段階的社会的実装と、個人・社会に提供する価値

3.7 まとめ

第3章の内容を要約する。

- 日本政府による2050年CN宣言や、台風15号・19号に代表される災害の激甚化、COVID-19の世界的流行と人々の生活様相の変化を受け、地域社会のあるべき姿を検討した。地域社会に属する全員が参加のもと、エネルギー源の多様化とスマート化、そしてレジリエンス確保を加速するエネルギー需給構造のトランジションを実現するエネルギーデータ活用の体系構築が求められる。
- 2050年からのバックキャストや足元で起きている変化ドライバを考慮すると、2030年までにEV充電の調整価値を電力サービスとして提供するエネルギーデータ活用体系を構築するとともに、水素・新燃料の普及が期待される2050年では太陽光や風力発電の余剰電力を最大限活用し、水素・新燃料を製造・流通・利用するシステムの構築が必要となる。
- 水素・新燃料を多様な用途で利用することによって、地域社会に新たな価値を創造するサプライチェーンの構築が課題であり、例えばデータ活用基盤である分散リソース協調・制御PFによるサービス間の相互協調が有効である。
- プライバシー保護や物理的安全を含めたセキュアかつトラストなエネルギーデータ活用体系の構築が必要である。
- 社会の移行に係わる投資・効果・再投資を好循環で実現し、ステークホルダのコンセンサスを円滑に獲得するためには、段階的な技術開発と制度の整備・運用が必要である。

第4章 エネルギー基幹システムを支える枠組み

4.1 カーボンニュートラル達成時に基幹システムのあるべき姿

「グリーン成長戦略」²⁸に沿って CN を達成するためには、基幹システムにおいて下記の課題への対応が必要となる。

- ① 電力需要の増加：電化に伴い、現状の約 1.5 倍に増加
- ② 再エネ導入量の増加：洋上風力 45GW(2040 年)~80GW(2050 年)、陸上風力 17GW(2040 年)~37GW(2050 年)、太陽光発電 120GW(2040 年)~200GW(2050 年)の建設と系統連系
- ③ 調整力の確保：再エネの発電電力変動に対応するための調整力の確保
- ④ 大規模電源の活用：長期の電力供給力や系統安定化に必要な慣性力の確保
- ⑤ 水素の活用：水素製造による再エネの地域偏在と変動・余剰電力問題の解消と脱炭素燃料としての利用

日本は欧米に比べて、系統がくし形のため長距離大電力送電の安定限界が低いこと、独立系統で再エネ出力変動による需給アンバランスによる周波数変動が起きやすいこと、他国との系統連系がないために長期エネルギー確保が必要であること、などの潜在的な課題を持っている。そのため CN に向けて他国より早く高いハードルを越える必要がある。また、先行して技術開発し、実用化した技術で他国へ展開することが望ましい。

グリーン成長戦略を実現する上での課題と期待されるイノベーションを表 4-1 に整理する。電力の基幹システムだけでなく、産業・運輸の脱炭素化施策、それを可能とする水素・新燃料の製造・流通・利用技術の確立が必要である。また、電化や水素製造に対応するためには、2050 年には、2030 年の少なくとも 3.5 倍以上の再エネ導入量が必要である。これらの再エネを受け入れる電力システムの再構築は大きな課題である。

2050 年 CN を達成するために必要な技術や制度・政策イノベーションについて、バックキャストで検討したロードマップを図 4-1 に示す。技術開発や制度設計、社会実装リードタイムを考慮した電源やエネルギーインフラの建設計画、系統強化の早期着手などが必要である。

このようにエネルギーシステムの変革が想定される中、基幹システムは社会全体の「3E+S」を全体最適化する重要な役割を担う。また、複数の地域社会でエネルギーの需給や価値の授受が行われて、基幹システムがこれらをつなぐ。2030 年断面では、現在運用されている基幹システムの能力を最大限に活用しつつ、CN に対応した再エネ増・需要増に対応するための設備面・制御運用面の強化が重要と考える。同時に、再エネの気象変化に伴う短長期の出力変動や災害に対するレジリエンス強化も必要である。

²⁸ 経済産業省. 2020. 「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/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>

表 4-1 グリーン成長戦略の課題と期待されるイノベーション

分類	No	項目	主な課題	イノベーション
非電力	1	自動車・蓄電池	・EV低価格化とインフラ整備 ・蓄電性能向上	・新車販売の電動車100%@2030年代半ば ・車載用電池パック1万円/kWh以下、家庭用蓄電池システム7万円/kWh以下@2030年以前
	2	水素	・発電・運輸利用、水素還元製鉄 ・運搬、製造	・水素発電タービン、水素還元製鉄、FCトラック（1,500万台@2050年） ・供給コスト20円/Nm ³ 以下、導入量2,000万トン@2050年
	3	燃料アンモニア	・火力混焼 ・供給	・石炭火力のアンモニア混焼率向上・専焼化 ・アンモニア供給（2050年に1億トン、天然ガスを下回る価格@2030年）
電力	4	再エネ増：洋上風力	・市場の創出 ・インフラの整備	・コスト低減（8～9 円 /kWh@2030～2035年） ・風力発電適地と電力需要地を結ぶ系統整備（直流送電）
炭素除去	5	カーボンリサイクル	・排気中CO ₂ 分離回収低コスト化	・分離回収コスト(/CO ₂ t)： 低圧ガス 2 千円台・高圧ガス千円台@2030年、DAC 2 千円台@2050年

※「グリーン成長戦略」より日立東大ラボで整理。DAC: Direct Air Capture

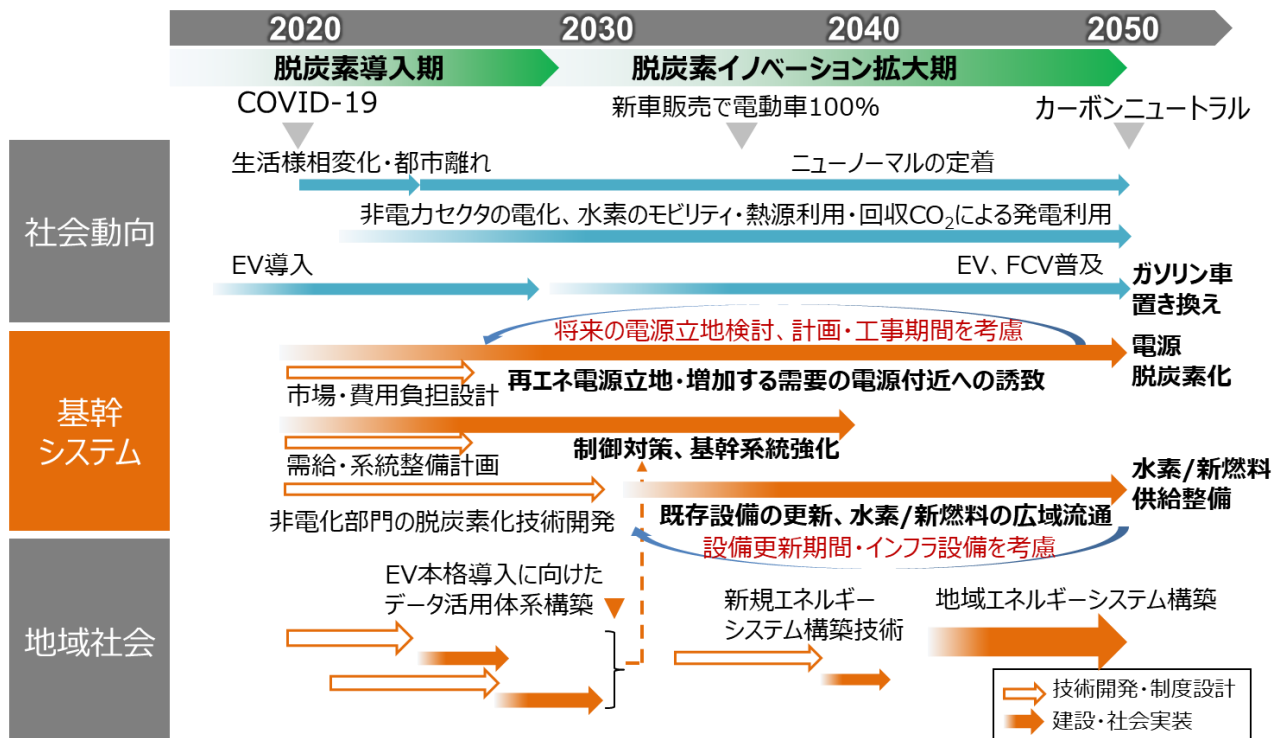


図 4-1 2050 年からのバックキャストと変化ドライバを意識した基幹システムにおける変革のあり方

再エネ主電源化に向けた基幹システムの課題として、例えば、図 4-2 に示すようなエネルギー流通面と、需要と供給のバランス面があげられる。エネルギー流通面では、風力発電の適地が北海道、東北、九州などに偏在し、風況に応じて建設を進めると大消費地へのエネルギー輸送が課題となる。需要と供給のバランスでは、例えば、太陽光発電は昼間に一斉に発電ピークが生じるため、電力貯蔵や需要の昼間へのシフトが必要となる。これらの課題に対して、送電設備や能力の強化とともに、データセンタや水素製造設備などを再エネ設置近傍に配置するような、需要誘導の施策も有効と考える。また、地域社会における需要調整や蓄電活用による調整力の活用も必要である。エネルギー流通面、および需給バランス面の課題イメージを、それぞれ図 4-3、図 4-4 に示す。図 4-3 のように、2050 年には、北海道、東北、九州において最大需要の 4 倍以上の風力・太陽光発電の導入が想定されており、再エネの地域偏在が課題となる。発電立地の地域偏在を解消していくとともに、需要立地の誘導や基幹システムの再構築が必要である。また、図 4-4 に示すように、需給バランスでは、秒オーダーから年間にわたる広い時間領域にわたって対策が必要である。風力や太陽光発電の出力変動、予測外れ、気象に起因する長期間の発電停止など、バランスを維持するだけでなく、レジリエンス面やエネルギーの安全保障(予備力など)も含めて、システム全体で検討すべきである。

また、これまで各地域の垂直統合型の電力会社が担保していた kWh 以外の価値、例えば、安定供給や環境などの価値について、発送電分離後は定量化・指標化してエネルギーシステム全体として担保する必要がある。従来電源に加えて、多様な分散エネルギーリソースを導入していく移行過程では、例えば短周期の需給調整など、リアルタイム性が高い多様な価値が段階的に求められていく。これらの価値を、取引市場を介して段階的に基幹システムの運用に統合していく枠組みが望ましい。そのためには、技術的観点とともに、制度・政策を踏まえ、エネルギーシステム全体での分析・評価に基づき制度に反映する必要がある。例えば、FIT といった助成金が含まれる再エネのエネルギー供給がその時点の小売料金より安価になった状況では、設備投資できる需要家は自立システムを構築して商用システムから離脱し、残された需要家が、増大するシステムの維持コストを負担するような不均衡が生まれることも想定される。地域のエネルギーシステムでは、投資の費用対効果をコストで評価するだけでなく、公平性や福祉も鑑みた長期事業としての持続可能性、さらに環境価値・エネルギー安全保障の観点など、多面的な評価指標を用いて、その導入技術と制度・政策を評価すべきである。

日本の基幹システムは、大きな島が南北に連なって構成される国土構成から、大規模な需要を持つエリアシステムが交流および直流連系によって串型に構成されている。この特徴も一つの要因となり、再エネ大量導入における周波数・電圧・安定性の問題が懸念される。また、従来、地域間連系線を除き、平常時に系統混雑が生じないよう設備形成し、それを前提に市場制度や料金制度などが設計されてきた。しかし、日本版コネクト&マネージ制度の導入で、平常時の系統混雑を前提としたノンファーム型接続を試行的に導入するなど、地内システムでも平常時の系統混雑を許容した設備形成が始まっている。設備形成や料金制度を見直していくため、経済合理性や事業者間の公平性の観点など総合的

な検討が必要となる。このような課題を課題先進国として国内で迅速に解決し、グローバルに技術やノウハウを展開することで国際社会に貢献していくべきである。

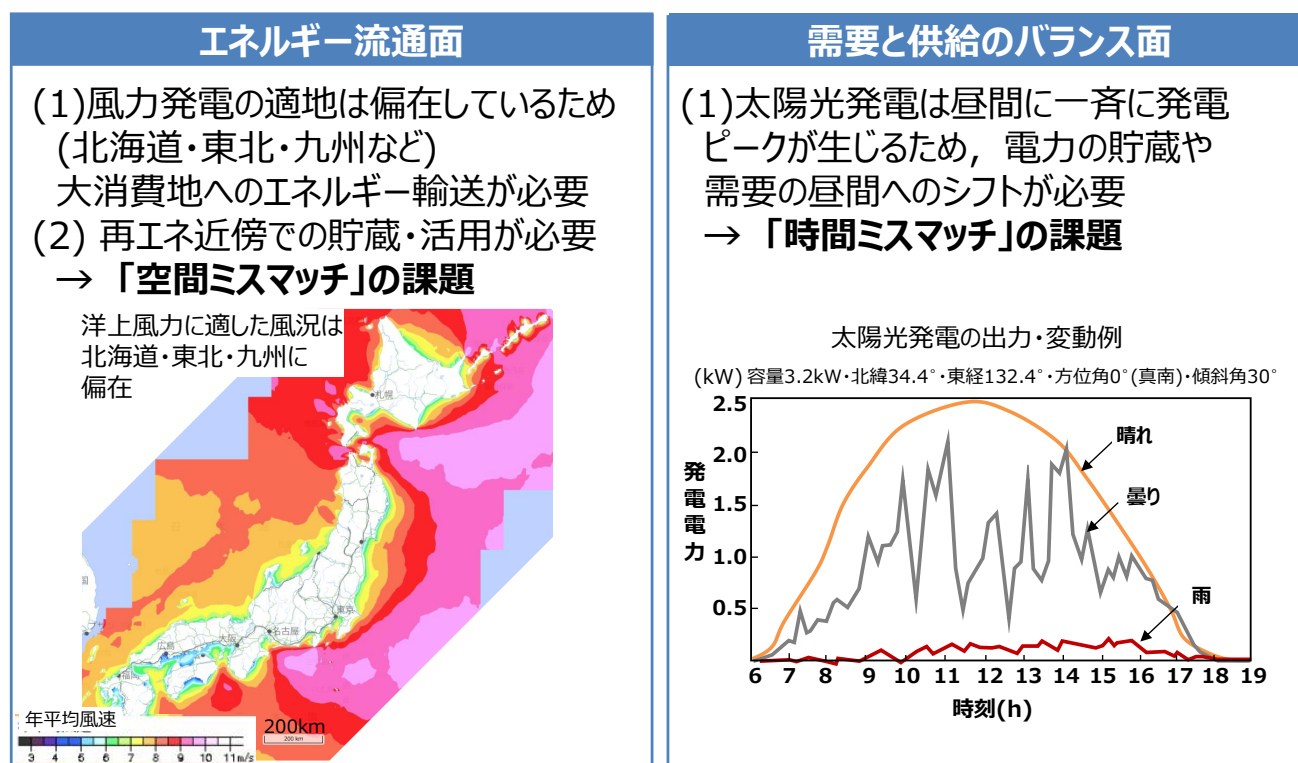


図 4-2 CN に向けた基幹電力システムの課題例²⁹

²⁹ NEDO. 「NeoWins(洋上風況マップ)」 http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html,
電気事業連合会. 2015. 「原子力・エネルギー図面集 2015」
<https://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/zumenshu/pdf/all.pdf>

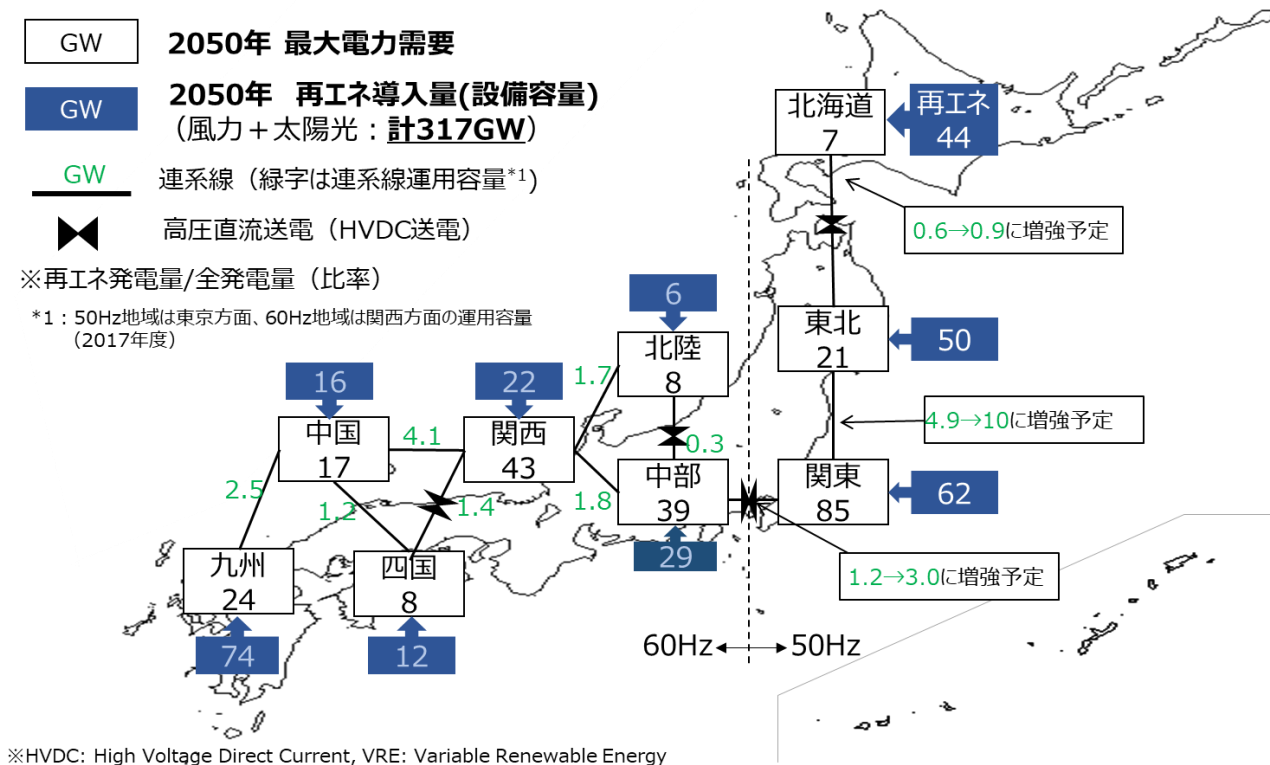


図 4-3 エネルギー流通面の課題イメージ

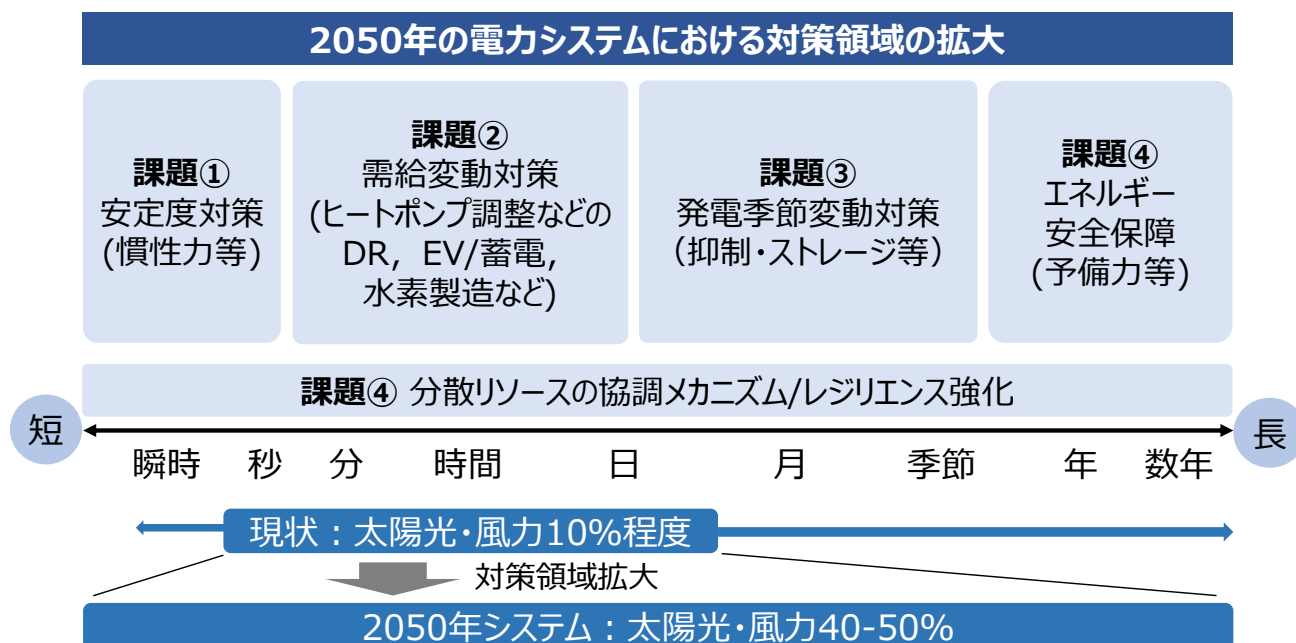


図 4-4 需要と供給のバランス面の課題イメージ

4.2 基幹システムの評価環境

(1) 評価プラットフォーム

基幹システムに期待する役割を具現化するために、社会全体のエネルギーシステムを分析・評価できる環境を整える必要がある。将来の様々な課題や設備投資の費用対効果などを定量的に把握し、様々な立場で課題解決のための対策を評価、共有することが、あるべき基幹システムの実現につながる。そのためには、産学官が協力して、解析ツールや標準データを開発・共有したプラットフォームを構築するべきである。CN 社会の実現に向けて、基幹システム・地域社会に対して、例えば、EV 連系や水素変換・貯蔵なども含む多様な将来シナリオについて、事業者や制度設計者などの様々な立場から、分析・評価できるオープンな環境を構築しなければならない。また、表 4.1 に示した各種イノベーションのコストを想定し、投資対効果を考慮した対策立案を進めることが重要である。

第 2 版では電力システム解析ツールの参考事例として、「電力需給解析シミュレータ」や「広域安定度シミュレータ」などを示した。CN の検討を進めるにあたってこれらを拡張し、図 4-5 の事例のように水素製造・流通・利用など、非電力を含むエネルギーシステムの解析を可能としていく。また、例えば東北-東京間のような地域間の電力・非電力エネルギーの融通や流通の効果も考慮する。このような評価計算ツールの例を、図 4-6 に示す(日立東大ラボ作成)。年間の電力需要や再エネ発電実績を基に、地域ごとの需給バランスと余剰電力を求め、必要となる再エネ出力制御量、水素製造設備・HVDC³⁰設備の導入量を近似的に算出する。

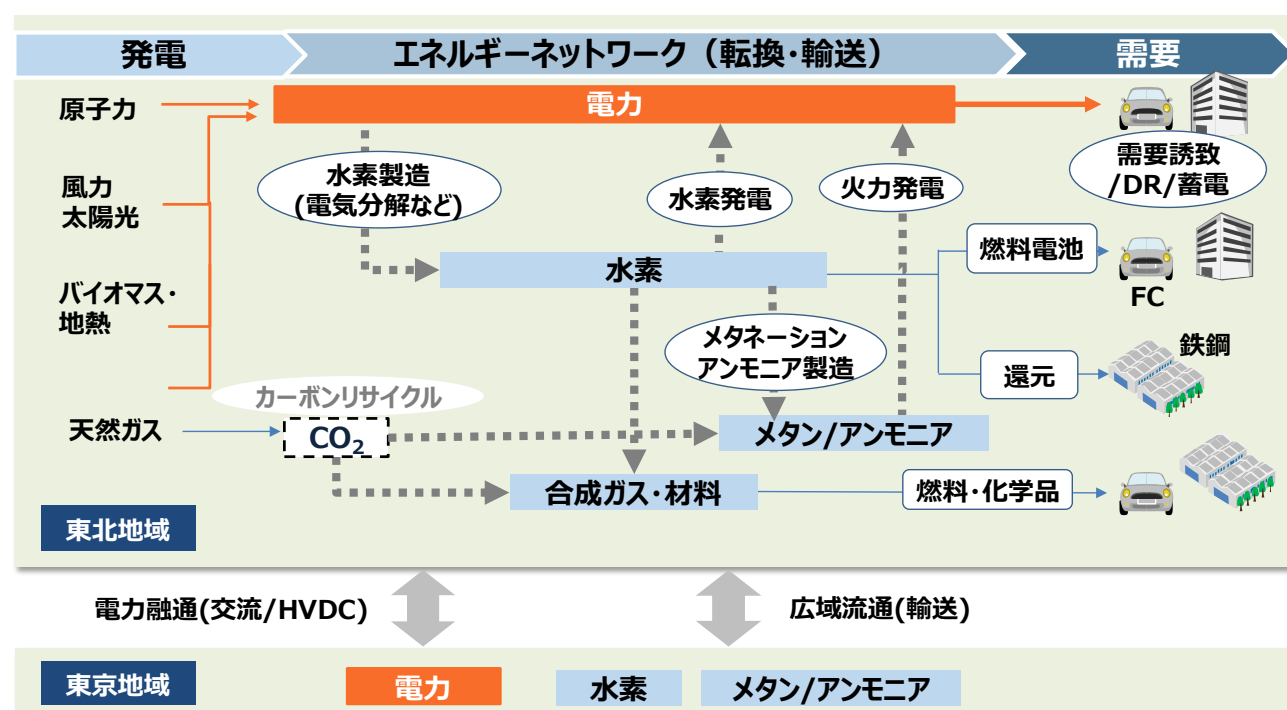


図 4-5 検討対象としたエネルギー構成全体像

³⁰ High Voltage Direct Current : 直流送電

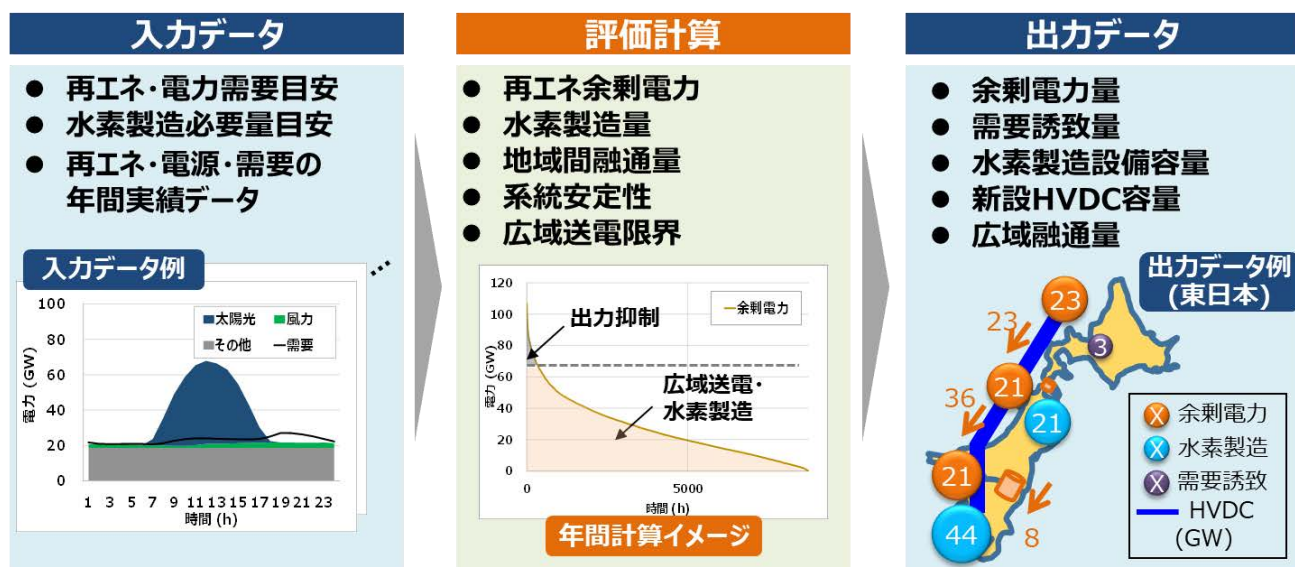


図 4-6 エネルギーシステムの評価計算の一例（日立東大ラボで作成）

(2) 評価検討事例

CN に向けた基幹システムの課題と対策案を表 4-2 に示す。2030 年～2050 年を想定し、その対策効果を前述の評価プラットフォームで試算した。検討対象は風力発電などの再エネ導入が大きいと見込まれる東日本である。北海道、東北、関東の電力需要、水素需要、再エネ導入量目安などの検討条件は図 4-7 に示す。なお、系統安定化対策や各地域間の融通電力の上限は、第 2 版に示した系統安定化シミュレータを活用して決定した。検討条件を表 4-3 に示す。各電力会社から系統構成や需要・再エネ発電実績が公表されており、それらのデータを参考に条件を設定した。

表 4-2 CN に向けた基幹システムの課題

No	想定される課題	対策	内容（機能、効果）
1	太陽光・風力など慣性の無い再エネの増大による電力系統の不安定化	・再エネ疑似慣性制御や回転型発電機の活用	・再エネ変換器制御による疑似慣性提供 ・廃止回転機の同期調相機化による慣性の供給
2	系統に供給できない再エネの余剰電力発生	・水素や新燃料の活用	・余剰電力を再エネ近隣で水素に変換，現地でFCTラック等へ供給し偏在緩和 ・水素利用による受電電力の低減
3	電力系統の広域に渡る電力融通量の限界	・直流(多端子)送電網の増設	・洋上風力等の電力を需要地までHVDCにより長距離大電力送電
4	再エネ適地と需要地の乖離	・立地誘導	・再エネ電源と需要(水素製造など)を隣接するように誘致
5	情報通信機器の急増で電力消費量増大	・情報通信機器を構成する半導体の損失低減	・SiC, GaNに続く低損失な半導体技術の開発と活用，必要な発電量の低減

時期		2030年	2040年	2050年
前提条件	電力需要	402.8TWh (2018年と同等)	1.2倍 ^{*3)} (2030年比)	1.5倍 ^{*1)} (2030年比)
	水素需要(万トン)	0 ^{*3)}	100 ^{*3)}	300 ^{*2)}
発電量におけるRE比率(%)		24	35	57
北海道・東北・東京エリアのVRE設備容量・需要の分布				
PV 風力 需要 連系線 ※容量 (GW)				

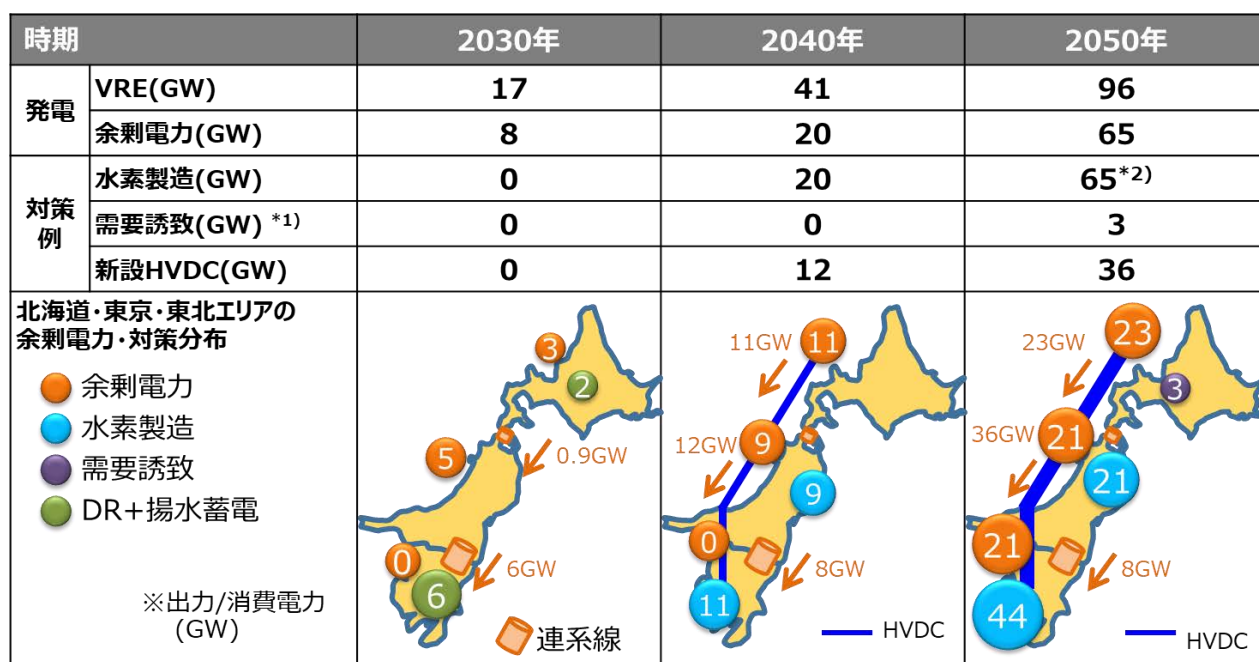
想定：*1)経済産業省「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」令和 2 年 12 月 25 日、

*2)1)に基づき東日本は日本全体の半分と仮定、*3)*1)に基づき推定

図 4-7 東日本の各地域の電力需要、再エネ導入量目安などの検討条件

表 4-3 シミュレーションにおける主な計算条件

#	項目	前提・制約条件
1	発電	・発電機定数/AVR/PSS/ガバナは電気学会・電協研モデルを適用
2	需要	・2018年公表値(8760時間)を比例倍して各年度需要を設定
3	VRE	・FRT:系統連系規程で模擬 ・再エネ発電量:2018年実績値と将来導入予測量 ^{[1][2]} から算出
4	系統	・2030年を想定し(OCCTO計画)、275kV以上を公開データよりモデル化, 66kV以下は縮約
5	揚水	・全13.2GWをVRE対策に使用
6	故障	・主要幹線での6LG-Oを想定



想定：*1)関東需要を北海道に誘致と仮定、*2)2020 年比で製造効率 1.3 倍と仮定

※再エネ余剰電力の大きい時間帯の状態を概算（再エネ発電量の 5%/年程度出力抑制実施）

図 4-8 東日本の各年度のエネルギー構成と対策試算結果

これらの条件において、年間を通じた需給バランスを満たすための水素製造、需要誘致、系統対策を求めた。結果の一例を図 4-8 に示す。試算結果から下記が考察される。

(a) 2030 年：北海道や東北の余剰電力発生を、デマンドレスポンスや揚水で対応する必要がある。現在、計画中的の交流送電網の強化やデマンドレスポンスなどの対策により、エネルギー基本計画記載の再エネ割合 24%に対応可能と考えられる。なお、別途実施した系統解析から、送配電網の電圧・同期安定化対策や過負荷解消などの対策は 2030 年断面でも必要となる。

(b) 2040 年：既設交流系統の能力を超えた量の再エネが導入され、HVDC 設備や水素製造設備が必要である。洋上風力などの再エネ発電を HVDC 設備で需要地に送るとともに、再エネ近傍での水素製造や FCV・FC トラックへの供給・貯蔵なども重要となる。

(c) 2050 年：東日本で 300 万トンの水素を再エネ電力で製造するために、2030 年の 3.5 倍以上の再エネ導入が必要となり、各地域の余剰電力が増大する。これに対し、水素製造設備近辺までの送電に必要な HVDC 設備のさらなる増強が必要である。

このように、2040 年～2050 年では、洋上風力発電から基幹システムへの HVDC 設備などの送電設備の建設が、再エネ建設と合わせて必要となる。また、再エネの近隣に水素製造装置を配置して水素を製造・貯蔵することで、基幹システムの広域電力融通量を極端に増加させることなく、再エネ増加に対応していくことが現実的である。また、太陽光

発電や陸上風力の増加や電化・電動化に伴う需要増に対応するため、地域系統の増強や系統電圧制御強化などの系統安定化対策が別途必要となる。具体的な再エネや需要配置を想定し、系統解析で必要な対策を検討していく。

4.3 地域社会との連携

将来のエネルギーシステムにおいては、需要側のリソースが持つ価値をエネルギーシステム全体で活用するため、基幹システムと地域社会をデジタルでつなぐ新しい制御技術を組み込み・実践し、さらに市場取引システムや制度設計などもあわせて整備していく必要がある。例えば、VPP やデマンドレスポンス、再エネに付帯するスマートインバータなど、新たな制御技術を開発する。現在、火力発電や揚水発電が担当している需給調整機能を地域社会の電力制御で分担することによって、既設設備のポテンシャルを有効活用しながら、社会システムの費用対効果を最大化できる。そのためには、地域社会の膨大な設備を連携する IT インフラの整備や、効果を最大化する制御スキーム、もしくはインセンティブなどのルール構築が重要である。kW 価値や ΔkW 価値など、電力系統全体で見た電力の「質」の価値を地域社会に対して、直接的(制御指令)または間接的(インセンティブなど)に要求し、地域社会の調整力を活用する相互協調が考えられる。参考事例として、NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」における離島(東京都新島村)の実証試験を説明する。このプロジェクトでは 2030 年を想定した国内の再エネ導入比率を新島村の系統で模擬し、様々な課題や解決策を検討している。例えば、再エネの出力予測と出力制御や、既設電源や蓄電池との協調によって、系統システムを構築・評価している。余剰電力対策、変動緩和、計画発電など、制御技術の最適組み合わせで運用している。また、電力システム改革において将来想定される、リソースアグリゲーションやバランシンググループも検討対象であって、複数の分散型制御システムの協調運用を実証している(図 4-9)。

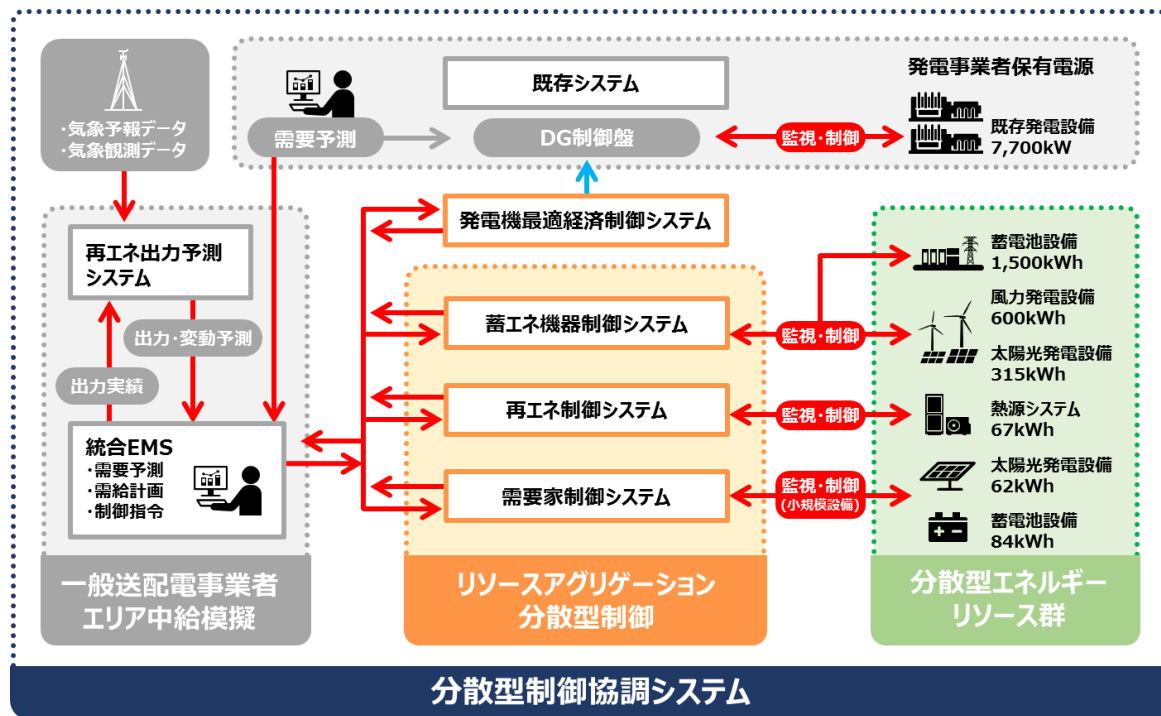


図 4-9 2030 年のエネルギーミックスを模擬した電力系統の実証³¹

4.4 まとめ

- CN に向けて電力・非電力エネルギーの偏在を解決するエネルギーネットワークの構築が必要で、電源や需要配置の計画、水素利用・流通設備の計画、鉄鋼・化学の脱炭素化技術開発を 2030 年目標に直ちに進めるべきである。
- エネルギーバリューチェーンの検討、ステークホルダ合意形成、制度政策立案には、定量的評価が可能な統合運用/評価プラットフォームの整備と、それを実現するためのデータ共有が必要である。

³¹ NEDO. 2019. 「研究評価委員会「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」(事後評価) 分科会」
https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/ZZBF_100392.html