

提 言

Society5.0 を支える電力システムの実現に向けて

(第 1 版)

2018 年 4 月 18 日

日立東大ラボ

まえがき

近年、再生可能エネルギー電源の大量導入、ICT の発展、グローバル化の進展、人々の価値観の変化などにより、知識や価値の創造プロセスが大きく変化し、経済や社会のあり方、産業の構造が急速に変化する大変革時代が到来している。現在日本政府は、そのような経済や社会の変革に対応した新たな価値を創出し、豊かな暮らしがもたらされる「超スマート社会」を未来の姿として共有し、世界に先駆け社会課題の解決を実現していく Society5.0 という方針を掲げている。

国立大学法人東京大学（以下、東京大学）では、これまで、社会が直面する複雑な地球的課題を解決するためには、単一分野の学理だけでなく、世界的な視野で多様な知を結び付け、知の協創を行うことが欠かせないと考え、課題解決に必要な多分野の部局における研究成果を結び付けるとともに、政策形成などにも貢献してきている。また、創立以来、東西文化融合の学術の拠点を発展させてきた。このような伝統を引き継ぎ、さらなる未来に向けて、世界のさまざまな人々を惹きつけ、知の探求を知の活用へとつなげる、「知の協創の世界拠点」を構想している。この拠点において、産学が組織対組織で方向性を共有して相乗効果を積極的に引き出すことによって、スケールの大きな課題に取組み、新たな社会的価値を創造する機能を強化する「産学協創」を推進しようとしているところである。

一方、株式会社日立製作所（以下、日立）は、長年培ってきたインフラ技術と高度な IT を組み合わせた社会イノベーション事業を推進している。今後は、顧客やパートナーとの協創やオープンイノベーションの推進を加速し、社会の課題に対して最適なソリューションを提供するため、デジタル技術を活用した新たな価値の創造を図っているところである。

東京大学と日立は、こうした両者の取組みを融合し、人類に豊かさをもたらす「Society5.0」の実現に向けたビジョンを創生し、イノベーションを創造するため、「産学協創」の新たなスキームのもと、2016 年 6 月 20 日、東京大学内に「日立東大ラボ」を設置した。

活動分野の一つとして、Society5.0 におけるデータ駆動型社会を支えるエネルギーシステム、特に電力システムを対象に検討を進めている。大規模電源を核とした従来の電力システムから、再生可能エネルギーの導入拡大、分散化、デジタル化、電化・電動化などを取り込んだ新しいシステムへの移行が不可避的に進んでいく状況において、国内外の情勢を踏まえつつ、Society5.0 を支える電力システムの将来に関する技術的課題や政策・制度的課題を抽出し、関係者と問題意識の共有を図っている。その成果を提言として公開する。

議論の方向性

Society5.0を支える電力システムを考えていく上で、以下の3つの大きな方向性のもとで議論を進めた。

A) Society5.0 へのビジョン立案

エネルギーシステムは、従来のようにエネルギー供給の視点に加えて、未来に向けて社会のあり方や個人の生活スタイルを変革する重要インフラとなることを前提として再構築すべきである。これまで培ってきた日本の高い信頼性・技術力・人財を活かしながら、新しい産業や雇用を創出する Society5.0 の世界をめざすとともに、確立されたビジョンと技術で国際社会に貢献する。

産業の構造転換に向けて何をすべきかを議論する際に、大きく分けて短期・中期・長期の3つの時間スケールを意識する必要がある。エネルギーの場合には、社会的な影響やレガシーが非常に大きいので、構造転換に時間がかかると思う。それを踏まえると、短期は5年から10年、中期は10年から20年、長期は20年から100年単位で考える必要がある。

不確実性が増す世界情勢の中、各種施策を戦略的に進めるためには、2030年さらには2050年を見据えた中長期ビジョンを策定し、その実現に向けて制度・政策（社会システム）を複数のシナリオで議論すべきである。また、技術的にも多様な選択肢を準備する必要がある。中長期シナリオにおいて重要となる技術開発については不確実性が高く、市場原理のみでは対応できないため、国家的かつグローバルな視点での戦略的な投資が必要である。

B) オープンな社会的意思決定の枠組み

社会全体でエネルギーシステムのあるべき姿を議論して共有するには、オープンで、かつ定量的・客観的な情報発信・共有を行うプラットフォームの育成と、それを踏まえた意思決定の枠組みが必要である。産学官の協力のもと、ステークホルダ間の情報共有を促し、エネルギーシステムに関わるデータやツールを可能な限り共有する。このようなオープンな議論のもとで、エネルギーシステム間の健全な競争を促すこともできる。

エネルギーシステムに関する社会的合意形成のため、今起こっている課題に対処するだけでなく、様々な方向性について幅広い思考で議論する仕掛けを整備すべきである。

C) 横断的人財の育成

Society5.0を支えるエネルギーシステムを構築していくとともに、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、社会システム、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、多面的な価値を論じられる人財の育成が必要である。

Society5.0への ビジョンの立案	・2030年/2050年を見据えた中長期ビジョンの実現に向けた、複数のシナリオによる議論推進と多様な技術的選択肢の準備 ・日本の高い信頼性・技術力・人財を活かす ・中長期シナリオの技術開発に対する国家的視点の継続的な投資 ・確立した技術で国際社会に貢献
オープンな社会的 意思決定の枠組み	・エネルギーシステムのあるべき姿を共有するために、オープンで、定量的・客観的な情報発信・共有を行うプラットフォームの育成とそれを踏まえた意思決定の枠組みを構築 ・オープンな議論のもとで、エネルギーシステム間の健全な競争を促進 ・社会的合意形成のためのデータや解析ツールを可能な限り共有
横断的人財の 育成	・新しいインフラ産業の創生には、科学イノベーション、社会システム、経済メカニズムを一体で捉えることが重要であり、多面的な価値を論じられる人財を育成 ・産学官が連携した業界・部門・世代の枠を超える取り組み

図 議論の方向性

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 エネルギーシステム全体像	1
1.2 中長期を見据えた段階的な取組み	3
第2章 地域社会で挑戦すべき新しい方向性	5
2.1 地域社会の改革	5
2.2 多様なエネルギー価値流通に向けた技術的な取組み	7
2.3 各種インフラ間でのデータ共有促進	9
2.4 都市・街区全体のエネルギー性能・環境性能評価	10
2.5 基幹システムとの連携	11
第3章 基幹システムの変革を支える枠組み	12
3.1 基幹システムの新たな役割	12
3.2 基幹システムの評価環境	13
3.3 地域社会が持つ制御体系のデジタル連携	15
3.4 サイバーとフィジカルが融合する評価プラットフォームへの進化	17
第4章 挑戦と変革に向けた制度・政策	18
4.1 制度・政策における複数の選択肢	18
4.2 パフォーマンス駆動型政策	19
4.3 エネルギーシステムの再構築とグローバル展開	21
4.4 サイバーセキュリティ	23
第5章 エネルギーシステムを支える人財育成	24
5.1 新しい人財の育成	24
5.2 シニア人財の活用	25
第6章 まとめ	26

Society5.0 を支える電力システムの実現に向けて

第1章 将来のエネルギーシステムのあるべき姿

1.1 エネルギーシステム全体像

はじめに、あるべき未来のエネルギーシステムの全体像を次のように捉える。

Society5.0 では個人の生活が主役となって、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。経済や社会のあり方、産業の構造が急速に変化する中、地域社会を支えるインフラとして、電力・ガス・水道のみでなく ICT・自動車・物流などが互いに連携・協調し、地域社会に適したエネルギーシステムを再構築していく。個人がエネルギーを利用する価値は、従来のようなエネルギー使用量に対する課金だけでなく、CO₂ 削減や地域資源保護などの環境性、さらには生活の利便性や快適性に係る価値などに多様化していく。このような動向に加えて、エネルギー消費のさらなる電化・電動化が進み、また、電力利用を支えるパワーエレクトロニクス技術の普及が進み、将来は大量かつ長期に貯蔵できる新たな二次エネルギー利用も始まる。これまでに比べ、デジタル化の進展とともに、エネルギー消費行為は、時間的にも量的にも柔軟になり、自由度が上がる。これらの可制御性が向上したエネルギー需要では、データが重要な役割を果たすようになり、新たな価値やサービスが融合して供給される世界へと変容する（図1）。

- ✓ 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1 Society5.0 を支えるエネルギーシステム全体像

地域社会が変容していく中で、特に、電力供給の体系は大きな改革が求められる。従来は、大規模電源を主力としながら、全国的なユニバーサルサービスとして地理的・時間的にほぼ一様で固定的な料金体系で提供されることが主流であった。今後、再生可能エネルギー（以下、再エネ）、特に太陽光発電や風力発電などの気象状況に応じて出力変動する変動性再生可能エネルギー（以下、VRE[Variable Renewable Energy]）などの分散型電源の導入比率が高まる中で、電力の供給と利用において一様な価値観を求めることは難しくなる。電力の価値は、いわゆる kWh 価値というエネルギーの「量」の価値に加えて、電力システム全体で必要とする容量（供給力）への貢献を意味する kW 価値や、短期変動への需給調整能力を表す Δ kW 価値など、電力システム全体で見た電力の「質」を支える調整力の価値も必要となる。このような地域社会の実現に向けた挑戦に関して、第 2 章では技術的な観点、第 4 章では制度・政策面から詳細を述べる。

地域社会におけるエネルギーシステム、特に電力システムの位置付けが変容する中で、基幹システムは社会全体の「3E+S」¹を維持・向上する重要な役割を担う。再エネ導入による地域的偏在や時間的変動に耐えるためにも、一つの地域社会でエネルギー需給や価値のやりとりが閉じることは難しく、基幹システムが複数の地域社会をつなぎ、システム全体を調整する役割を果たす。社会全体の便益を向上させるために、需要、供給、流通網の地理的分布と時間変動に基づいて、基幹システムも戦略的に変革していく必要がある。

この中で、地域社会のエネルギーシステムと基幹システムとの役割は画一的でなくなり、共存を前提として再構築する必要がある。現在、基幹システムが電力システム全体を制御する役割を担っているものの、将来は再エネや分散型電源によって地産地消やレジリエンス²の向上をめざす電力システムを持つ地域社会が増加し、基幹システムも地域社会からの調整力の供給を利用することで、「3E+S」が成立した世界が実現する。地域社会ごとに特色あるエネルギーシステム群を構築していく中、基幹システムとの役割分担については、それらを実現手段としての制度・政策（社会システム）も含めて再定義することが重要である。基幹システムの変革に向けた取組みに関し、第 3 章では技術的な観点、第 4 章では制度・政策の観点について述べる。

また、このような将来のエネルギーシステムにおいては、分散リソースを統合する新しい協調メカニズムに関する技術の確立が必要である。電源の分散化、基幹システムと多数の地域社会との連携、さらには人の行動との連携など、協調・調整すべき要素が増える。現在、VPP³やリソースアグリゲーション⁴など、分散リソースを活用する取組みが複数始まっているが、今後、相互に協調すべき対象が指数関数的に増加していくことは明らかである。大規模電源を対象とした従来

¹ 3E+S：エネルギーの安定供給(Energy Security)、経済効率性(Economic Efficiency)、環境への適合(Environment)、安全性(Safety)から成るエネルギー政策の基本概念

² レジリエンス：災害・事故などの非常時における回復力を指し、事業継続計画 BCP（Business Continuity Planning）に必要な価値を意味する

³ VPP：Virtual Power Plant 分散型の発電・蓄電・需要制御などのリソースを ICT でつなぎ、一つの大規模発電所のように統合制御する概念

⁴ リソースアグリゲーション：VPP と同様に、分散型のエネルギーリソースを ICT でつなぐ統合制御の仕掛け

の基幹システムとは異なり、極めて多数の不確実性をもった多様な分散リソースを統合的に制御することは大きな挑戦であり、自律分散制御と集中制御を組み合わせるなど、高度な技術開発を伴う。制度の観点では、エネルギーシステム全体のデータ共有を実現し、リアル空間とサイバー空間の融合する姿を構築して、様々なステークホルダと議論を重ねる必要がある。ステークホルダが同じ土俵の上で議論することが重要で、その環境づくりとして国の主導でデータやツールの共有を進めていくべきと考える。例えば、再エネの多くは基本的に燃料費がゼロであるが、再エネが大量導入された電力システムの品質や安定性を維持するための施策が必要となる。社会全体としてのコスト最小化が重要であると同時に、社会的合意形成を得るにはビジュアル化して共通認識できるツールの整備が必要であって、この場合、データの共有が前提となる。このような地域社会と基幹システムをつなぐための取組みに関し、第2章と第3章では技術的な観点から、第4章では制度・政策面から詳細を述べる。

また、日本は、これまで電力供給システムとして高い信頼性を維持しており、それを支える優れた技術と人財を保有している。これらの強みを活用しながら、エネルギーシステムのあるべき姿をめざしていく。人財活用については第5章で詳細を述べる。

1.2 中長期を見据えた段階的な取組み

1.1 節に述べたビジョンを実現するためには、幅広い視点の議論が欠かせない。不確実性が増す世界情勢の中で、各種施策を戦略的に進めるために、2030年さらには2050年を見据えた中長期ビジョンを策定し、その実現に向けて制度・政策を複数のシナリオで議論すべきである。また、技術的にも多様な選択肢を準備しておく必要がある。

技術の選択肢を考える上で、主力電源の一つに位置付けられる再エネの導入は重要なドライバの一つである。特に、VREが電力系統運用に与える影響は大きく、VRE導入率の増加に伴った段階的な対策を準備しなければならない。例えば、国際エネルギー機関（IEA）は、VRE発電が年間発電電力量に占める割合に応じた施策の導入ステップを提示し、電力システムの安定運用や経済性の様々の課題が段階的に発生することを述べている。さらにその対策として、需給バランスをとるための調整力について、発電・送配電・需要の全領域に求めることが必要と指摘している（図2）。従来の大規模電源に加えて、無数の分散型電源・貯蔵・需要から調整力を得るためには、それら分散リソースに関するグリッドコード⁵を戦略的に決めていく取組みなど、新たな施策も不可欠である。

エネルギー貯蔵や備蓄に関する技術進展についても、複数シナリオをもって準備する必要がある。VREを含む各種の電力供給が、低炭素排出の制約の中でエネルギー需要と整合するには、大量かつ長期のエネルギー貯蔵が段階的に必要となる。蓄電だけでなく、従来、石油が担ってきた貯蔵・備蓄と同規模の新たな二次エネルギーも必要となる。これらについては、製造や貯蔵に加えて適時の利用を想定して、実際に必要となる時点に間に合うように製造・貯蔵設備、配送インフラ、利用技術を計画・導入することが必要となる。

⁵ グリッドコード(Grid Code)：電力系統の運用規定（この場合は特に、分散リソースと電力系統の連系要件）

これら中長期シナリオにおいて重要となる技術開発では、市場原理だけで対応できるものではなく、国家的視点での継続的な投資が必要である。このための実行の枠組みに関しては、制度・政策的な観点から、第4章に詳細に述べる。

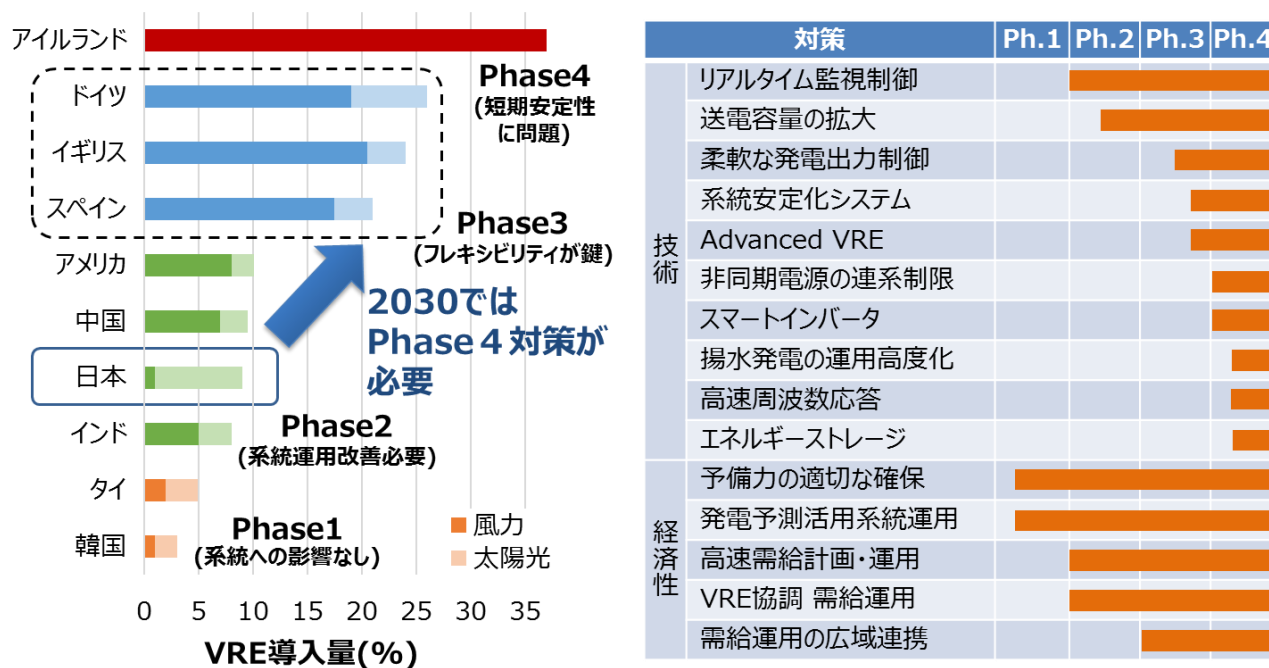


図2 VRE 導入量と系統運用施策
(国際エネルギー機関 IEA 報告書⁶より作成)

⁶ IEA “Integrating variable renewables: Implications for energy resilience”, Asia Clean Energy Forum 2017

第2章 地域社会で挑戦すべき新しい方向性

2.1 地域社会の改革

1.1 節で述べた通り、Society5.0 では、個人の生活が主役となって、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。電力・ガス・水道に加えて ICT・自動車・物流などが連携・協調して生活を支えるため、地域社会に適したエネルギーシステムを再構築する必要がある。個人が利用するエネルギーの価値は、CO₂ 削減や地域資源保護などの環境性、さらには生活の利便性や快適性に係る価値などに多様化していく。このようにエネルギー消費からサービス利用に変化する流れの中で、それぞれの地域が求める異なるサービス品質に合わせたエネルギー流通を実現していく。

また、VRE などの分散型電源の比率が高まるにつれて、電力システムにおける電力の価値は、いわゆる kWh 価値というエネルギーの「量」の価値に加えて、電力システム全体で必要とする容量（供給力）への貢献を意味する kW 価値や短期変動への需給調整能力を表すΔkW 価値などの電力システム全体で見たエネルギーの「質」を支える調整力の価値も必要となる。エネルギー利用がサービス利用に変容していく地域社会では、これらの新しい価値についても、流通および取引のためのインフラおよび制度を組み入れなくてはならない。

地域ごとに異なるエネルギー価値を構築する例としては、再エネの立地に適した地域では、系統安定化のための施策に加えて、再エネを含めた地域資源を活用して地場産業を育成することが考えられる。再エネの発電単価が低廉してグリッドパリティ⁷を迎えていく中で、積極的に kWh の限界費用ゼロに近い余剰電力を活用し、地場の新しいエネルギー利用方法によって産業を創生する社会をめざす。基幹システムから消費地への一方向の電力供給を前提とした電気事業法を含む諸々の法制度やルールを見直して、地域のエネルギー需給を能動化した双方向の流通を実現することなどがこれまでも模索されている⁸。

中核都市では、戦略的にエネルギーのレジリエンスを強化するべきである。都市間の国際競争力の向上をめざして、事業継続計画 BCP（Business Continuity Planning）を求めるグローバル企業が拠点を築くことのできる環境を整備していく。これまで、電力品質の観点では、汎用的で、画一的なサービスの提供を前提として、送電事業者の安定供給責任や小売事業者の供給力確保義務など、諸々の法制度やルールが設けられている。レジリエンスなどに関する新しいサービスを具現化していくために、これらの法制度やルールを見直して、地域社会のエネルギー事業者が必要な施策を進められるように適切に規制緩和していくことが望ましい。

⁷ グリッドパリティ：太陽光発電などの再エネの発電コストが、既存商用電力系統の電力コストと同等か安価になること

⁸ 経済産業省エネルギー調査会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 第4回

資料4（2018年3月22日）

このような改革を実現するためには、地域社会において、独自の価値を創造・流通・取引するための技術革新と制度整備を進めなくてはならない（図3）。地域社会でのエネルギー供給事業を活性化するためには、商用系統との連系や自営線の敷設、さらには、託送あるいは接続の料金などに関する法制度やルールに対して積極的な規制緩和を図るべきである。また、家庭・業務・産業および運輸部門の省エネルギー化・低炭素化を前提とする必要がある。ヒートポンプによる温・冷熱供給、電動機駆動の自動車（電気自動車 EV[Electric Vehicle]、水素を活用する燃料電池車）、産業分野での熱利用の高度化といった電化・電動化が加速し、EVの急速充電設備などを含む新たな電力ネットワークも整備される。パワーエレクトロニクスや大量かつ長期に貯蔵できる二次エネルギーの利用も進んでいく中、電力システムに分散リソースを統合的につないでいくためには、中高温領域のヒートポンプ、非接触充電や蓄電などの新たな個別技術、スマートインバータ⁹などの共通技術の革新が求められる。この取組みについては、2.2 節で述べる。また、それらの仕掛けを社会実装するための制度整備として、各種インフラ間でデータ共有を促進し、地域社会のエネルギー性能や環境性能評価の指標化、共有化を進めなくてはならない。これらの取組みに関しては、2.4 節で述べる。

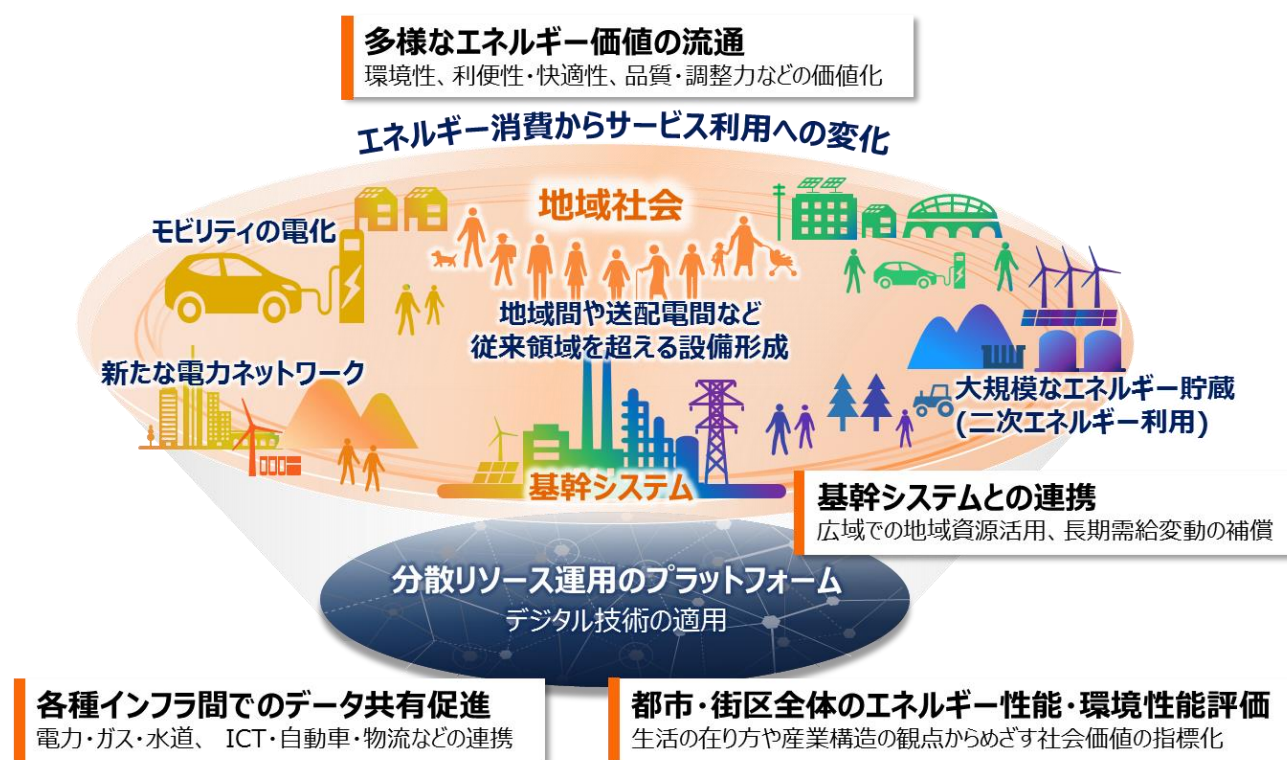


図3 地域社会におけるエネルギーシステムの変容

⁹ スマートインバータ：電力系統の状況に応じて自律的あるいは遠隔制御により多様なシステムサービスを提供するPV、蓄電、ヒートポンプなどに共通に使われる電力変換システム。Smart PCS(Power Conditioning System)など同義。

2.2 多様なエネルギー価値流通に向けた技術的な取組み

VRE の出力変動に対して、様々な時間領域における調整力の供給が必要となる。従来型の火力、水力、揚水などの大規模電源に加え、今後、需要家側に増加する VRE などの分散電源、EV 充電やヒートポンプ給湯などの需要、蓄電池などの分散貯蔵の貢献が期待される。これらの分散リソースによる調整力は、従来よりも対象数が格段に多く、VRE の出力変動と連動するダイナミックな小売料金とそれに基づく自律的な需要管理などで実現される。小売料金の情報や需要管理の制御信号は、市場取引結果に基づく電力システム全体の運用計画の中で算定・配信され、リアルタイムに反映される（図 4）。システム運用は、集中型に加え、多数の需要を管理するアグリゲータが分担する場合もある。この新たな需給管理を実現するためには、設備利用に関する技術の開発だけでなく、分散リソースを管理するデジタル技術によるインフラ、また、それを活用した電力システム運用や市場運営を含めた制度整備が必要である。

地域社会における分散リソースの管理は、様々な時間領域での需給調整や電圧調整などを通して電力システムの安定的かつ経済的な運用に貢献できるが、同時に、温熱環境や移動サービスなどの快適性を損なうものであってはならない。したがって、家庭や業務部門が求めるサービス需要を把握・分析し、多様なエネルギー消費の消費形態の可能性を評価することが必要となる。制約条件（電力の場合のグリッドコードなど）に基づいて各種技術を普及し、設備形成を見直し、新しい運用技術を確立するために、多数の需要特性分析、それらに基づく小売料金や遠隔制御への応答解析、アグリゲータ運用計画の解析・評価などについて、共通の評価プラットフォームとして整備していく必要がある。

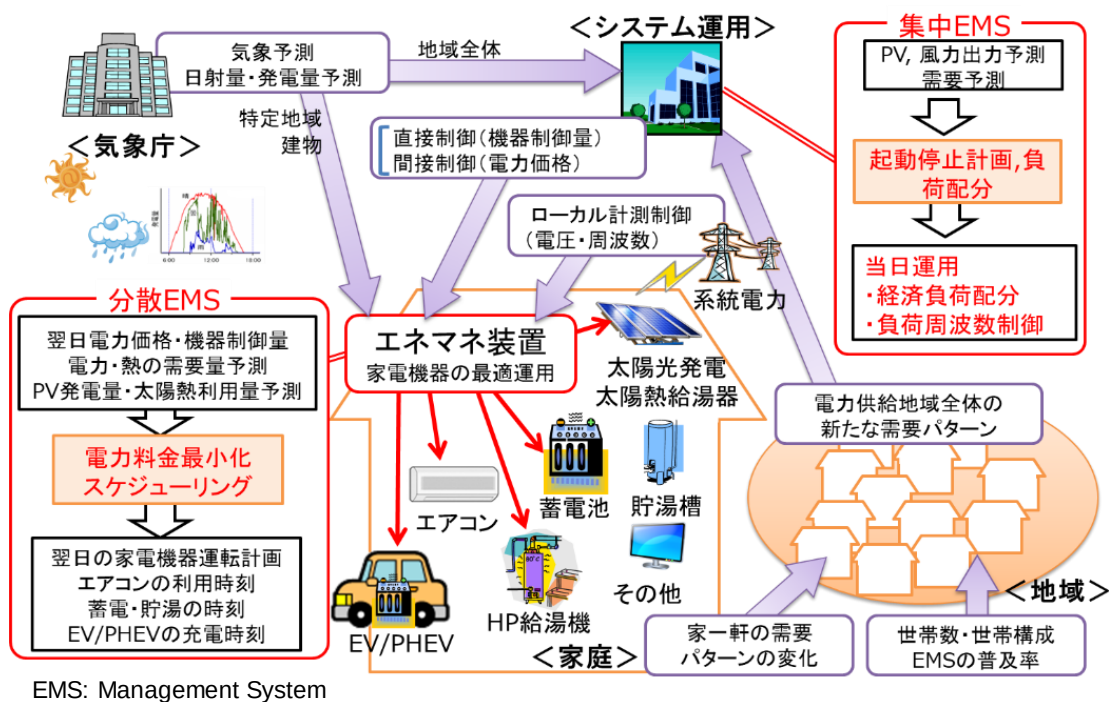


図 4 地域社会内の分散リソースに関する自律管理および遠隔制御のサービス提供への活用

（出典：東京大学 荻本研究室 電気学会論文¹⁰⁾）

¹⁰⁾ 荻本、岩船、片岡、池上、八木田、電力需給調整力向上に向けた集中・分散エネルギーマネジメントの協調モデル、IEEJ B 部門大会, I-16 (2011)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）による「ハワイにおける日米共同の世界最先端の離島型スマートグリッド実証」では、太陽光発電が引き起こすダックカーブ¹¹や風力発電の強風時の予期しない離脱などに起因する急峻な需給アンバランスに対して、様々な分散リソースを活用する技術が実証されている（図5）。地域社会に埋もれていた調整力という価値創造を確認した一方、このような社会実験が限定的で、実証の域を超えないことも事実である。

今後、さらに制御対象となりうる分散リソースが指数関数的に増えていく中で、これら分散リソースを統合する新しい協調メカニズムの技術を確立する必要がある。多様な分散リソースを活用する仕掛けに関する社会的合意形成も含め、産学官の協力で、制度を定めた上で実証規模とその件数を大幅に増やして社会実装を促進し、新しい協調メカニズムの実現を急ぐことも重要である。

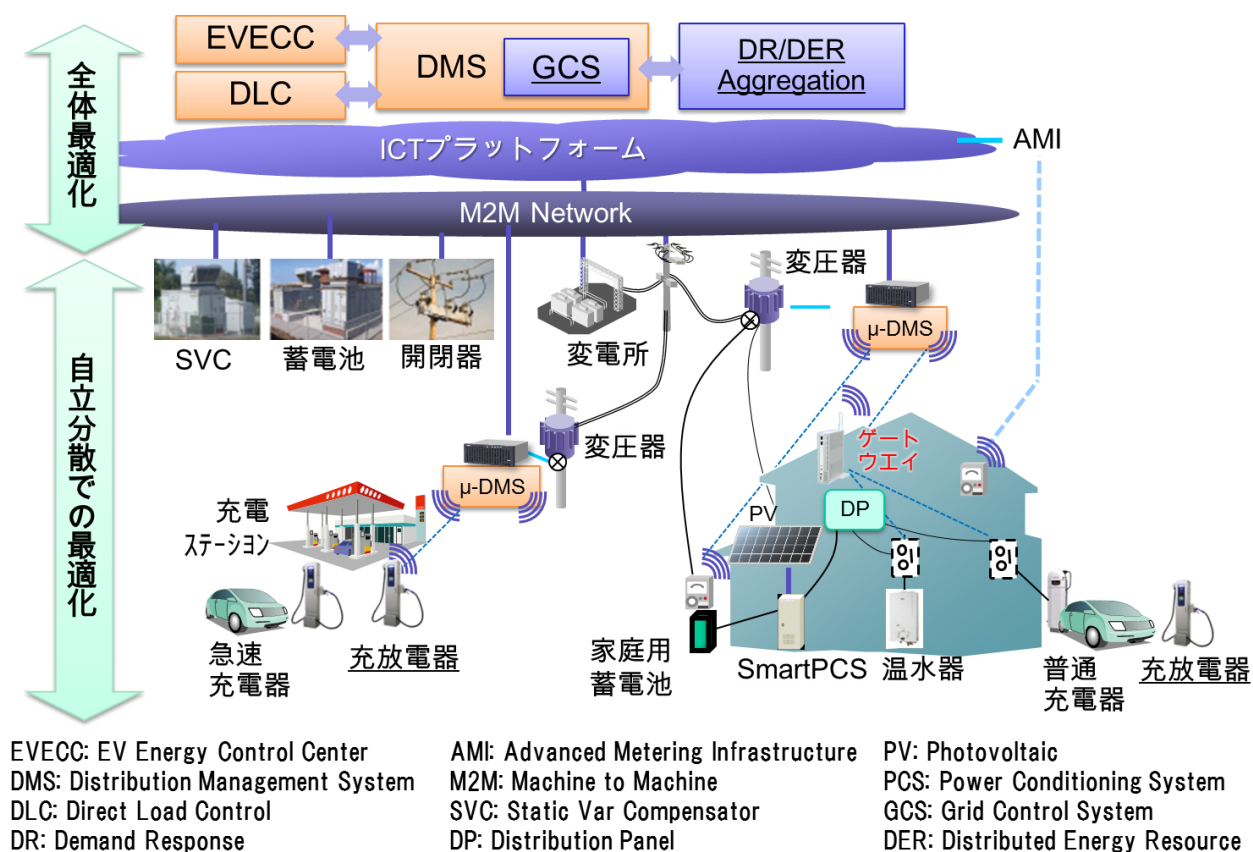


図5 マウイ島実証における分散リソースの活用例
（NEDO「ハワイにおける日米共同世界最先端の離島型スマートグリッド実証」）

¹¹ ダックカーブ：昼間の太陽光発電が見た目の需要を押し下げ、夕方に太陽光発電が止まり需要の立ち上がり
急になる現象

2.3 各種インフラ間でのデータ共有促進

電力・ガス・水道に加えて ICT・自動車・物流などを含む各種インフラの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は、新しいサービス事業の創生に有効である。インフラ種別ごとにそれぞれを異なった事業者が運用保守する従来の仕組みは、右肩上がりの成長期においては機能してきた。しかし、今後、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で、従来の縦割りの管理体系を改めるためには情報活用が取組みが必要である。情報の収集と利活用を進めていくためには、情報共有に関する規制緩和のみならず、国のイニシアチブで公共的な情報共有の仕組みを設けることで、情報の過度な独占を防止して産学分野に適正な競争が生まれ、Society5.0の実現に貢献するイノベティブな産業や雇用が創出される。

データ流通への取組みとしては、コペンハーゲン市で進めている CDE（City Data Exchange）プロジェクトがある（図6）。コペンハーゲン市は、2025年に世界初のカーボンニュートラル都市になることを目標としている。同市は現在、年間約200万トンの二酸化炭素を排出しており、2025年までに120万トンに削減する計画である。この目標達成に向け、2014年にデンマークの環境・エネルギーに関する革新技術の導入を推進する Copenhagen Cleantech Cluster（現 CLEAN）は、官民に関連したさまざまなデータを集め、ビッグデータ解析を使った環境にやさしいデジタルインフラストラクチャのビジョンを示している。

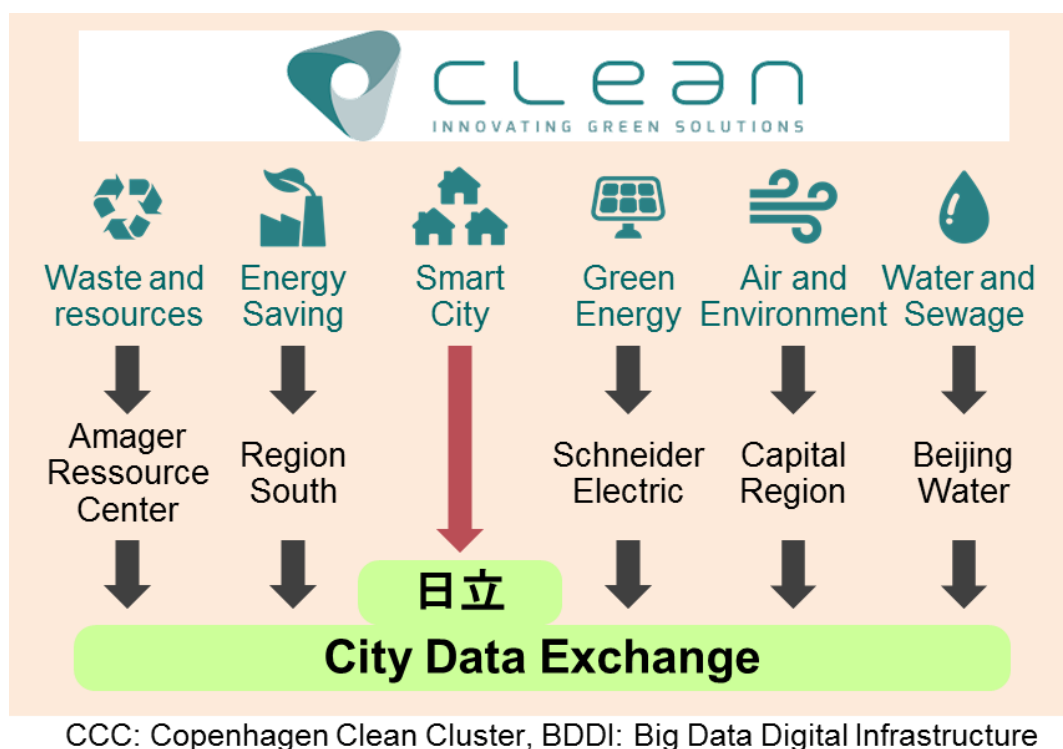


図6 CDE（City Data Exchange）プロジェクト

2.4 都市・街区全体のエネルギー性能・環境性能評価

都市や街区の再開発においては、個別の機器や建物といったスコープではなく、人々の生活のあり方や産業構造の観点から地域社会がめざす社会的価値を軸にした都市・街区のエネルギー性能・環境性能を指標化・共有し、適切なインセンティブ制度のもとで、戦略的にインフラを再構築する。インフラ再構築の指標となる建築物の環境指標としては、現在、日本がリードする CASBEE¹²、米国の LEED¹³、欧州の BREEAM¹⁴などが挙げられるが、多くは建築物単体の認証制度であり、地域としての環境指標を狙った制度は CASBEE のみである。また、CASBEE も、地域を対象にした場合には、その環境指標が不動産価値といった地域に還元される価値向上指標には至っておらず、また、普及も日本国内中心であることから、制度のより一層の充実とグローバル展開が求められている。

また、都市・街区のエネルギー性能・環境性能に関わるデータ共有を推進することで、エネルギー相互融通などの事業機会の創出も促すことができる。現状のデータ管理の仕掛けとしては、BIM（Building Information Modeling）や CIM¹⁵（Construction Information Modeling）が欧米を中心に拡大しており、建築物や水道、ガスなどの地域インフラの竣工時から保守メンテナンスまで活用している。BIM や CIM は、3D CAD データを竣工時の状況から整備し、補修記録を全てデジタル管理することから、計画的な都市政策への適用が期待できる。一方、主として静的な建築物やインフラ設備のメンテナンスが目的のため、地域社会の動的な変遷を反映しにくい。能動的な情報活用としては民間保有の BIM と行政保有の CIM を統括的に解析する必要があるため、国主導の制度整備が求められる。

これら都市・街区のエネルギー性能・環境性能について定期的な性能開示を進めていくことで、適切な地域間競争の場が生まれる。2.1 節に述べた通り、上記の指標を活用して各地域社会で独自の価値を創造・流通・取引することで、地域ごとに社会のあり方や個人の生活スタイルが変革されていく。

¹² CASBEE : Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency（建築環境総合性能評価システム）、(財)建築環境・省エネルギー機構の委員会で開発された建築物の環境性能評価システム

¹³ LEED : Leadership in Energy & Environmental Design、米国グリーンビルディング協会が開発、および運用を行っている建物と敷地利用についての環境性能評価システム

¹⁴ BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method、イギリス建築研究所建築物性能評価制度

¹⁵ CIM : Construction Information Modeling、土木分野において計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階を通して 3 次元モデルを用いて情報を共有するもの（別の用語である Common Information Model との混同に注意願う）

2.5 基幹システムとの連携

以上のような取組みによって、地域ごとに特色をもった独自のエネルギー価値が創造・流通・取引される世界をめざす一方で、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るようになる。この場合、基幹システムが、複数の地域社会をつなぐ役割を果たす。なお、地域ごとの特色を強めていくトレンドの中で、価値のギャップが拡大していくことを想定しなくてはならない。

同時に、基幹システムを維持するためには、地域社会が、その多様な分散リソースから柔軟性を提供する必要がある。これまでの電力システムでは、送電部門と配電部門が電力供給の信頼性と品質を維持する役割を果たし、その役割は固定的であった。今後、地域社会ごとに特色あるエネルギーシステムを構築していく中で、地域社会から基幹システムに提供する価値を再考するとともに、社会全体の「3E+S」を担う基幹システムとの役割分担を再設計する必要がある。地域社会と基幹システムとの連携については第3章で詳細を述べる。

3.2 基幹システムの評価環境

基幹システムに期待する役割を具現化するために、電力を中心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て、課題解決のための対策の評価は、様々な立場で実施して共有していくことが、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・共有してプラットフォームを構築するべきである。長期エネルギー需給見通しでの 2030 年の電源構成や 2050 年の CO₂ 80%削減などの政府目標達成に向けて、基幹システム・地域社会に加えて、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。

電力システムの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」などがある。NEDO の委託業務として、電力中央研究所、東京電力パワーグリッド、東京大学などが共同で研究開発を進めている電力需給解析シミュレータは、再エネの変動性・不確実性・地域依存性に起因する秒オーダーから年間・将来といった様々な時間的尺度において、電力需給に関わる課題を評価するためのツールである。火力発電の調整力、揚水発電・蓄電池などの電力貯蔵、さらには地域間連系などを組み合わせて、電力需給運用計画の高度化や調整力の信頼度基準について検討できる（図 8）。事例として、2030 年頃の東日本地域系統を想定した再エネ大量導入に基づき、電力需給の考え方や技術開発の方向性を検討している。

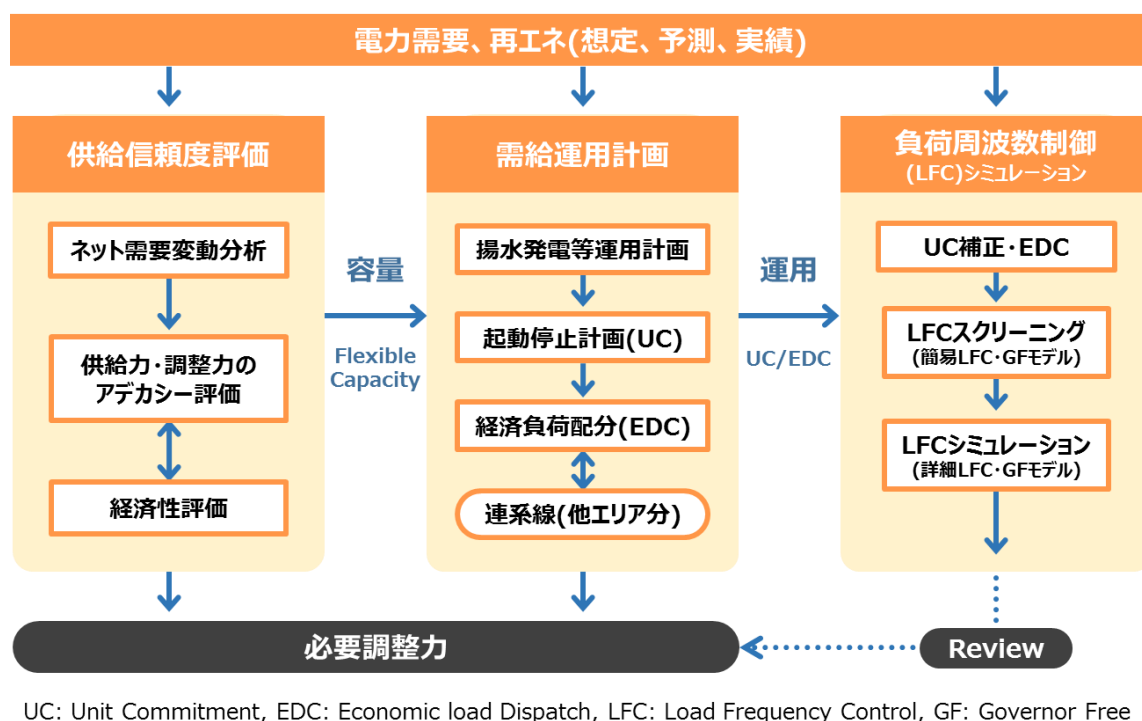


図 8 電力需給解析シミュレータ概要

一方、日立が開発を進めている広域安定度シミュレータは、再エネ導入拡大に向けた各種施策を技術・便益の観点で評価することを目的とした解析ツールである。再エネの大量導入時に、需給バランス確保に加え、系統各地の故障を想定した過渡安定性を考慮して、再エネ導入限界や出力抑制必要量の検討を可能とする。評価指標として、例えば年間の発電コストや CO₂ 排出量の増減量を算出している。事例として、東日本系統を対象とした安定性評価モデルを用いた検討を始めている（図 9）。

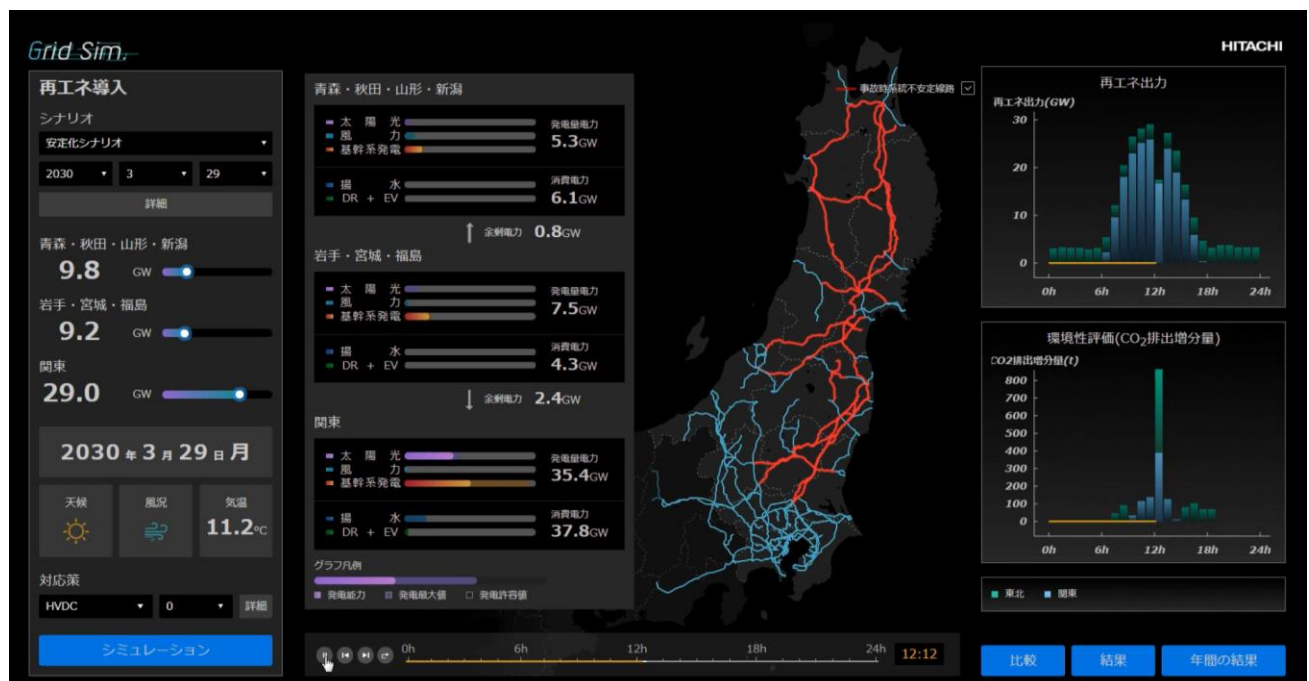
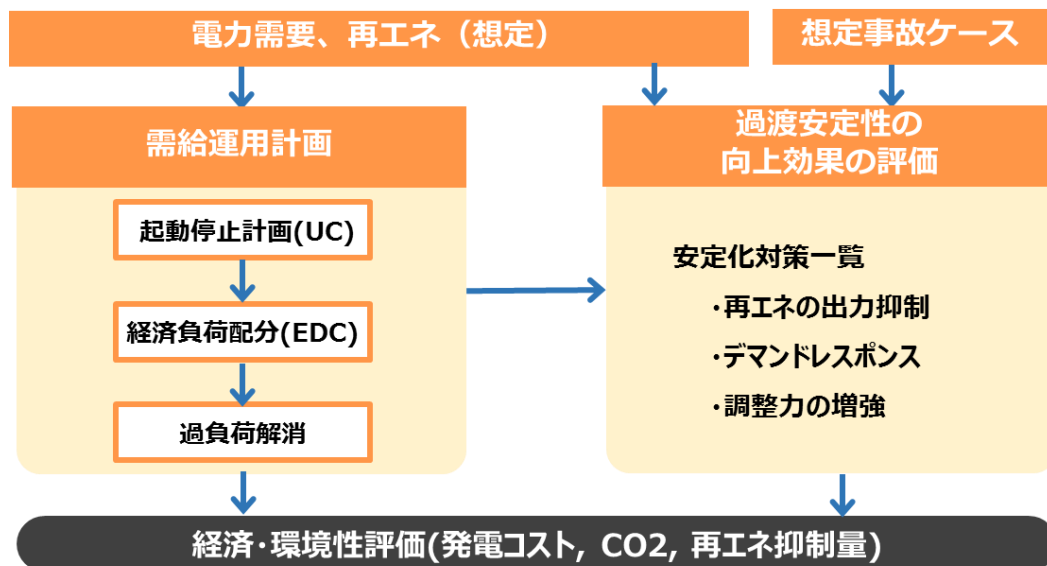


図 9 広域安定度シミュレータ

このような評価ツールを用いて、様々なステークホルダがオープンに議論できるようになるためには、データ共有が前提となる。国が主導して、データ共有の重要性を産学官の関係者で共有した上、データの開示・公開、および共有に関するルール作りを急ぐ必要がある。標準データには、現在から将来に渡って想定される発電・需要・設備構成などのシナリオが、実際に近い形で反映されなくてはならない。また、発電機固有の制御パラメータなど、知財面から公開が困難な情報はカプセル化して詳細情報を秘匿した上で解析に利用できるように工夫も必要である。例えば電気学会からは、安定性解析への利用を想定した標準系統モデル（EAST30、WEST30¹⁶など）が公開されており、必要となるデータ項目の参考となる。海外の事例として、英国 National Grid や ENTSO-E では系統構成や潮流状態などのデータを公開しており、データ共有の一形態として参考となる。

3.3 地域社会が持つ制御体系のデジタル連携

将来のエネルギーシステムでは、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・実践して、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（仮想発電所）やデマンドレスポンス、再エネのスマートインバータなどの新しい制御技術を開発していく。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、既設システムのポテンシャルを有効に利用して社会システムの費用対効果を最大化する。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。具体的には、第 2 章でも述べたように、kW 価値やΔkW 価値などの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（指令）または間接的（インセンティブなど）に伝えて、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 年頃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て、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、既存電源や蓄電池との協調運用制御によって、系統システムを構築・評価している。具体的には、余剰電力対策、変動緩和、計画発電の各制御を最適に組み合わせながら運用している。また、電力システム改革によっ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想定し、複数の分散型制御システムの協調運用についても実証している（図 10）。

¹⁶ EAST30、WEST30：電気学会が策定した標準モデル系統の名称。数字は発電機台数を指す。

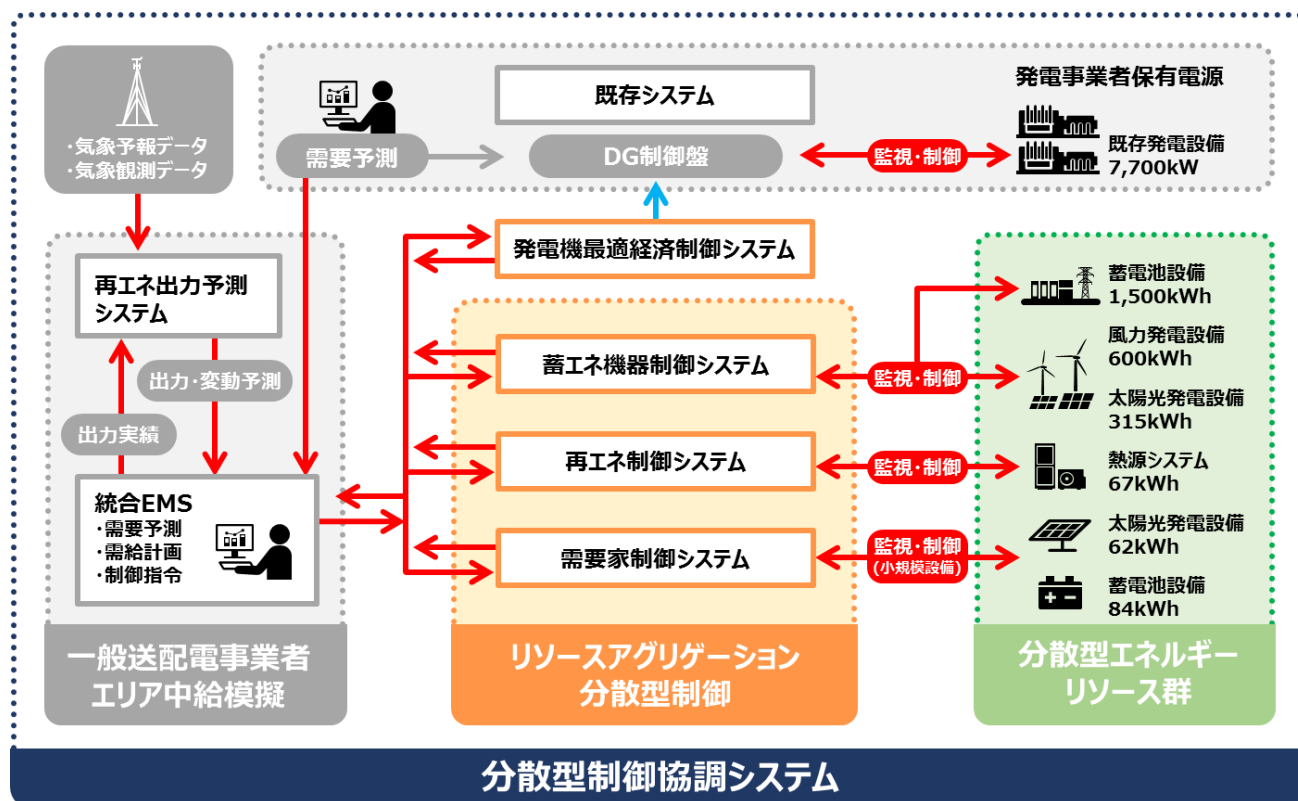


図 10 2030 年のエネルギーミックスを模擬した電力系統の実証

(東京電力 HP¹⁷(2017/4/13)をもとに作成)

¹⁷ http://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2017/1406851_8686.html

3.4 サイバーとフィジカルが融合する評価プラットフォームへの進化

今後、3.2 節や 3.3 節で述べたような基幹システムを対象とする評価プラットフォームを、さらに進化させていく必要がある。これまで、基幹システムは、広域運用によって隣接する基幹システムと連携することによって、全体最適化が進んで社会にもたらす価値を向上させている。今後、さらに配電や需要家などとの連携も深まり、モビリティシステムとの連携など、エネルギー産業以外とのクロスインダストリへと複雑化していく（図 11）。この流れの中で、個別のシミュレーションツールから、それらが連結し、さらにリアルデータを取り込んでサイバー空間上で運用まで可能とする CPS（Cyber-Physical System）として、評価環境を構築・共有していく。さらに Society5.0 の世界を支えるエネルギーシステムについて評価できる環境として進化させ、多くのステークホルダーと新たな世界を議論できる環境としていく。

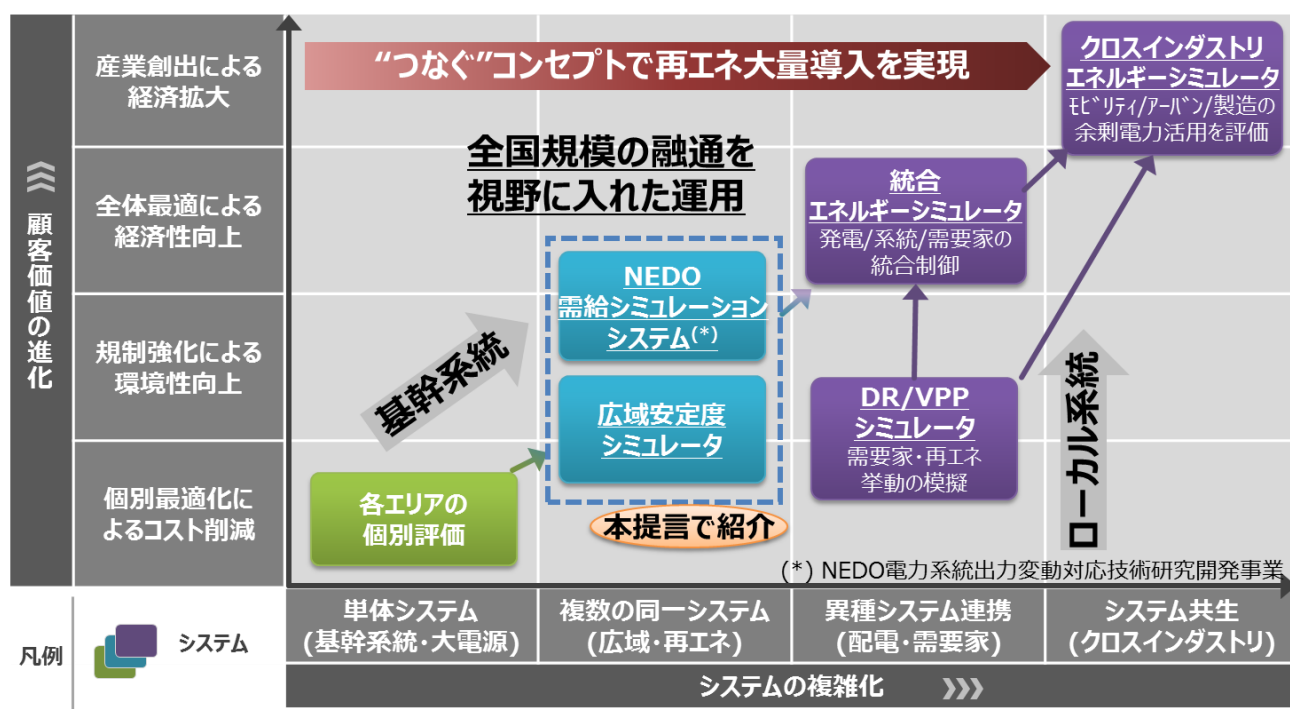


図 11 エネルギーシステム評価環境の進化

第4章 挑戦と変革に向けた制度・政策

グローバルな経済・社会の変化や技術革新などによりエネルギー分野における不確実性が高まっている。また、再エネの導入拡大や、デジタル化、分散化の進展は不可避であり、エネルギーの需給構造はサプライサイド中心の世界から、デマンドサイドまでも取り込んだ全体最適の世界へと大きな転換を迎える。こうしたエネルギーシステムの非連続な変化に対応して、我が国のエネルギー政策も挑戦と変革が求められる。

4.1 制度・政策における複数の選択肢

エネルギー資源を巡る世界情勢の変化や、グローバルレベルでの市場参加者の多様化、EV・蓄電池や水素をはじめとする様々な技術革新の可能性などによって、政治・経済・技術のあらゆる面でエネルギー分野の不確実性が高まっている。このような不確実な時代において、柔軟な意思決定を可能とするため、シナリオ分析の枠組みを、EBPM¹⁸（証拠に基づく政策立案）を踏まえて導入する。

シナリオ分析とは、単一の未来予測ではなく、複数の未来の可能性を探り、各々のシナリオでのエネルギーシステムのあり方とそこへ向かう方策をデザインするための手法である。不確実性の高い経済環境や地政学的リスクなどの変化要因を評価軸とし、それらがエネルギー分野に与える影響を複数のシナリオで分析し、それらに対する対策を準備するものである。近年、様々な国や企業で不確実性への対応策として導入が拡大している。

日本においては、日本の社会に大きな影響を与える変化要因をシナリオの評価軸に設定し、2030年、さらには2050年へと続く移行過程の道筋を複数シナリオで議論して、エネルギー分野のおかれる環境やリスク、対応策を政策形成プロセスとして確立する。

例えば、将来の中東や東アジアにおける地政学的リスクを評価軸の一つとして複数のシナリオを想定し、各シナリオにおいて再エネや原子力、化石燃料を含む最適なエネルギー需給の姿を取り上げる。また、カーボンプライシングや税制、国際金融、資源政策などの関連政策のあり方、サイバーセキュリティ対策、国際系統連系を含むエネルギーネットワークのあり方など、様々な政策オプションの可能性を対象とした政策形成プロセスをEBPMの枠組みの中で確立する。

シナリオ分析にステークホルダーが参画するコンサルテーションを含むプロセスとしてEBPMを取り入れ、各政策オプションの有効性や実行可能性、効果を定量的に評価し、2050年のCO₂ 80%削減目標達成に向けた複数の移行過程の道筋を示す。このプロセスに基づいて、グローバルな視点をもってエネルギーと環境・経済を一体とした国家戦略を策定し、中長期的なエネルギー産業の強化につなげる。また、それを最新の社会状況に合わせて定期的に更新することにより、政策の一貫性を確保する。

¹⁸ 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データ（証拠）に基づいて、政策オプションの仮説立案や検証を行い、マルチステークホルダーでオープンに議論しながら政策を策定することを指す。

先行する海外のシナリオ分析として、英国やドイツなどでは、温室効果ガス排出削減などの将来の政府目標達成に向けて、複数のシナリオを策定している。英国では経済成長と社会・政策の環境志向の強さを軸に、2℃目標¹⁹達成に向けた 2050 年の 4 つの長期シナリオが策定されている（図 12）。

各々のシナリオにおいて、電力需要や CO₂ 排出量、またその前提となる電源構成、EV や蓄電技術の普及などをその移行過程と共に示しており、ステークホルダ参画の下で、毎年改定している。これにより、目標達成の道筋や技術および社会的条件を明確化しており、電力系統の対策の検討やイノベーションの促進につなげている。

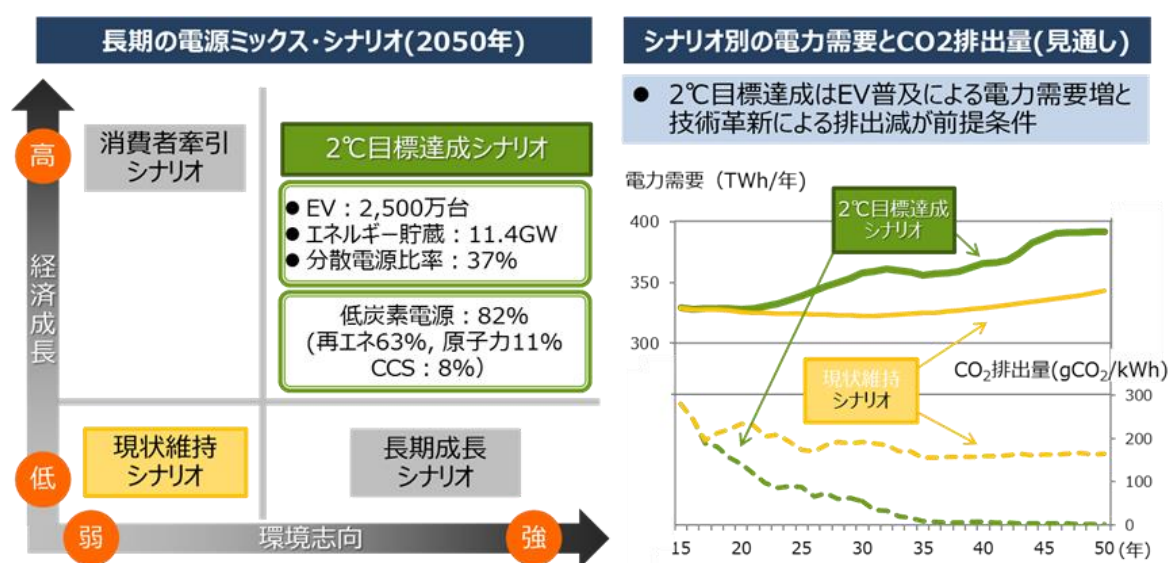


図 12 英国のエネルギーシナリオ

4.2 パフォーマンス駆動型政策

長期エネルギー需給見通しにおける 2030 年の電源構成²⁰や 2050 年の CO₂ 80%削減などの政府目標達成に向けて、再エネ導入拡大や、デジタル化、分散化が進む。第 1 章から第 3 章で述べたエネルギーシステム再構築のためには継続的な投資やイノベーションが不可欠だが、中長期のシナリオにおいては不確実性が高く、市場メカニズムが生み出す社会効率性を活かしながら、国家的かつグローバルな視点での戦略的な投資が必要である。

このような投資やイノベーションは、経済的な便益の実現のみならず、安定供給や持続可能な開発目標（SDGs²¹）など多様な目的に資するべきであり、これらの観点で具体的な目標を設定して、その成果（アウトカム）を評価する。

目標設定においては、経済性、環境性、安定供給や安全性など「3E+S」の観点から日本のエネルギー産業が実現すべき価値を定性的な観点も含めてマルチステークホルダでオープンに議論し、反映する。また、目標の達成度をオープン

¹⁹ パリ協定で合意された、地球全体の平均気温上昇を産業革命前に比べ 2℃未満に十分に抑える世界共通の長期目標

²⁰ 長期エネルギー需給見通し 2030 年目標：再生可能エネルギー比率は 22-24%

²¹ SDGs : Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標

な解析ツールや標準指標などの活用によって定量的に評価し、ステークホルダの関与のもとで PDCA を実行することで、継続的な改善をはかる。共通の方向性を示しながら、目標の実現に向けて社会を円滑に誘導していく仕組みを制度として導入する。また、エネルギーシステムへの投資においても、CO₂ 削減や供給安定性を考慮した投資の費用便益分析の手法と共に、費用負担のルール²²を確立していく。このようなアウトカムの評価によって、あるべき価値を実現する政策をここでは「パフォーマンス駆動型政策」と呼ぶ。

このパフォーマンス駆動型政策は、長期的な視点で目標を定めて定量的に評価するものであり、「3E+S」の観点で需要家や消費者の便益を実現するとともに、エネルギー企業における事業の予見性を高める手段にもなる。不確実性の高まる環境下では、例えば容量市場のような市場メカニズムによる予見性確保に加えて、成果（アウトカム）評価による PDCA を政策立案の中にしっかりと埋め込むことで、投資とイノベーションを誘発して、エネルギーシステムの再構築を促進する。

海外の先行的な取組みとして、英国は RIIO²³と呼ばれる料金政策を導入している。RIIO では図 13 に示すように、送配電事業の収入は総費用に基づく基本収入に加えて、環境性や安定性などの目標の達成度に応じた報酬が加算される。また、技術開発のための資金を料金収入に反映し、イノベーションを促進している。それに加えて、インフレなどの経済変動の不確実性を料金に反映する仕組みを持って、事業者による中長期の予見性を確保している。一方、コスト削減についてもインセンティブ²⁴を設定することで、料金上昇の抑制につなげている。RIIO における目標の設定や内容の見直しは幅広いステークホルダの関与のもとに実施されており、コミュニケーションのプラットフォームとしての機能も併せ持つ。これらにより、社会的合意形成のもとで料金の上昇を抑制しつつ、投資とイノベーションを促進し、エネルギーシステムの変革を実施している。

²² 地域偏在する再エネ導入に関する系統増強などについて、公平性・透明性のある費用負担のルールが必要

²³ Revenue=Incentive + Innovation + Output：英国の送配電事業におけるパフォーマンス駆動型政策の一種

²⁴ TOTEX メカニズム：CAPEX（資本支出）+ OPEX（運営費）= TOTEX。TOTEX に目標を定め、目標過達分の一部が事業者インセンティブとして還元される仕組み

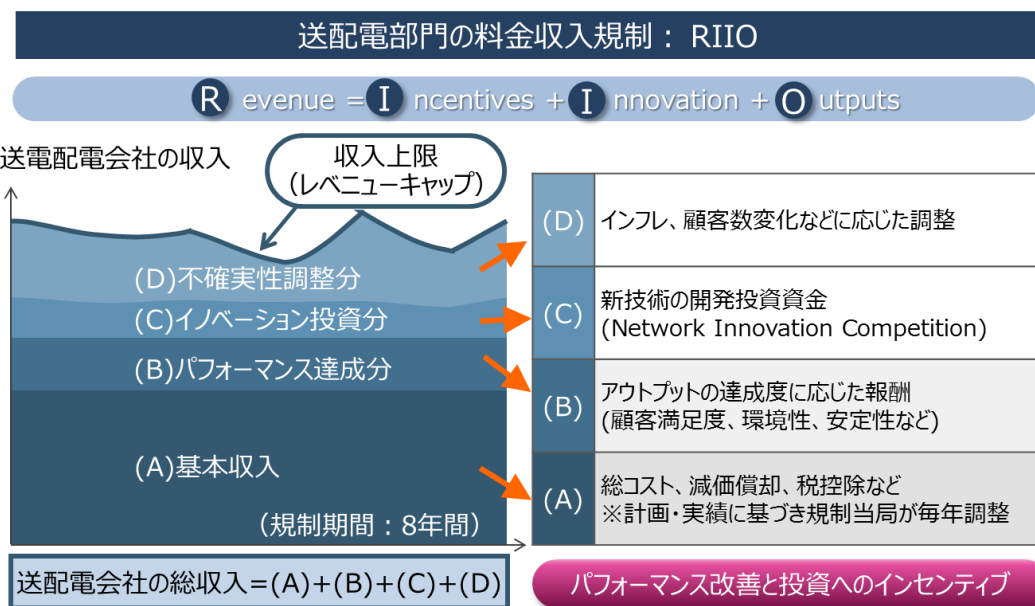


図 13 英国 RIIO のしくみ

4.3 エネルギーシステムの再構築とグローバル展開

Society5.0 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を構築することで、新たな価値やサービスが供給される。また、地域社会と基幹システムは共存を前提として再構築され、社会全体の「3E+S」の向上が図られる。加えて、日本で確立した先進的システムをグローバルに展開し、国際社会に貢献していく。そのために政府はシナリオ分析の枠組みを活用しつつ、中・長期的な視点でエネルギーシステムの将来ビジョンを提示するとともに、第 1 章で述べた将来のシステムに必要なルールについてグローバルスタンダードを見据えて構築する。

例えば、法改正なども含めて、エネルギーの新たな価値の評価や取引の仕組み²⁵を整備して、地域社会のシステムと基幹システムの双方向でのエネルギー取引を可能とする。また、送配電事業者の安定供給責任については新規事業者に対する権限・責任の委譲を可能とすることで、第 2 章で述べた地域ごとの多様な価値の創造・流通・取引を実現する。また、各種社会インフラに関する幅広いデータをオープンに共有する仕組みをつくり、そのための IT インフラを構築して、新たなサービスの創造や技術の開発をめざし、また、第 3 章で述べた解析ツールの実現につなげる。

あわせて政府調達基準・手順の見直しや電力会社のグリッドコードの整備²⁶などの標準化・デファクト化戦略について検討し、我が国の産業成長と海外展開の活性化を図る。また、国際金融の活用や CO₂ クレジットの枠組みを上述の市場ルールなど一体的に整備することで、国内で構築したエネルギーシステム²⁷をグローバルに展開して、国際社会への貢献につなげていく。

²⁵ 例えばΔkW 価値、kW 価値、電源ごとの環境価値や時間帯別の価値などに関する市場や規制の枠組みなど

²⁶ 例えば分散リソースについてのグリッドコードを設備形成前に導入し、グリッドの制御可能性を高めるなどの措置

²⁷ エネルギーネットワークの技術のみでなく、再エネやグリーンコールなどの電源、ヒートポンプなどの需要家側のリソースを含むエネルギーシステムの全体を指す

エネルギー業界は、他の産業分野も含めたオープンな協創関係を構築し、幅広いデータ連携によって新たな「バリュークリエーションネットワーク²⁸」を創出し、投資とイノベーションを推進することでグローバルな競争力を強化していく。バリュークリエーションネットワークの構築では、統一的な技術仕様の策定や実装を待つことなく、アジャイルに分野内外とのデータ連携を行う。そのために、各システムの技術仕様等を広く公開し、その透明性を確保する。さらに、バリュークリエーションネットワークの構築で培った経験を共有し、各システムにその知見を取り込みながら、迅速なシステム構築を実現させる²⁹。これらの施策により、サイバーとフィジカル両面で他の産業とクロスインダストリーの融合を実現し、新たな産業の創出やグローバル競争力強化、先進的なシステムのグローバル展開につなげる。また、海外市場で得た知見を国内のシステム向上のために還元し、継続的な改善を図る。学はエネルギーを含む社会課題の解決に向けて政府や企業と方向性を共有し、その研究成果を活用へとつなげ、新たな価値を創造する。また、分野横断的な視野を持った人財を育成する。

不確実性の高いエネルギー分野の将来技術などについては、産学官が協力して、幅広い可能性を追求すると共に、技術間競争を促進することで、将来のグローバル市場で真に必要な技術の選別と育成を図る。そのために、産学官を含むマルチステークホルダの議論や社会的意思決定の共通プラットフォームとして、各種データを共有・活用し、シナリオ分析の枠組みやパフォーマンス駆動型政策（第4章）、都市・街区の性能評価指標（第2章）、解析シミュレータ（第3章）を整備する（図14）。

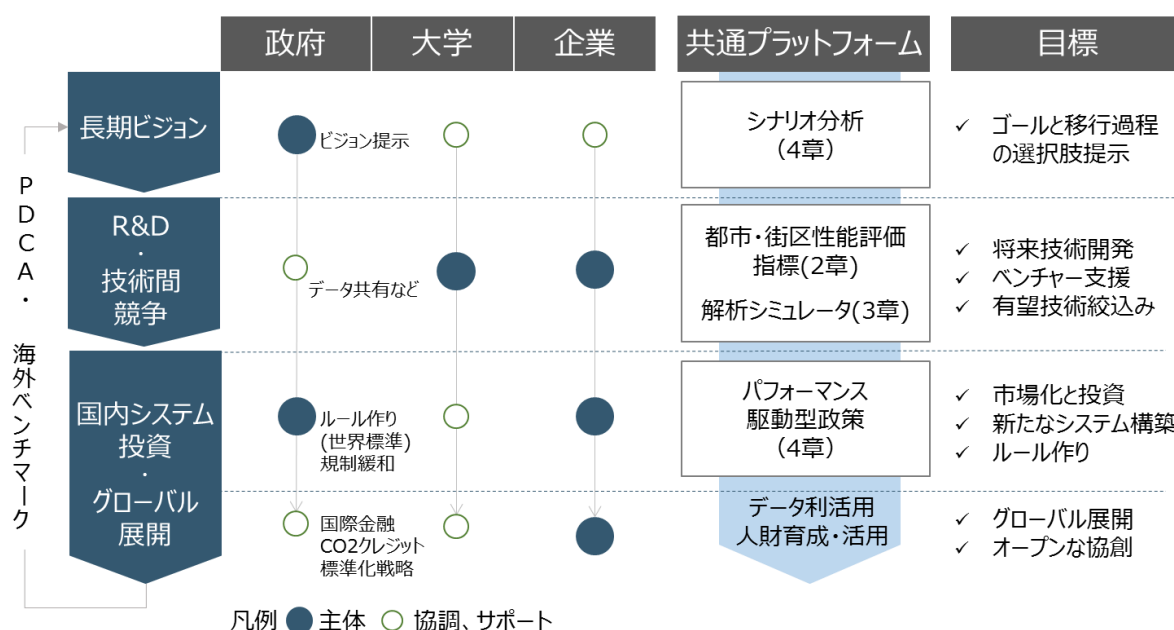


図14 産学官の協力と共通プラットフォーム

²⁸ バリュークリエーションネットワーク：エネルギー設備のサプライチェーンやエネルギー転換・輸送のバリューチェーンなどの総体

²⁹ 内閣府総合科学技術・イノベーション会議において提唱されている Society5.0 の考え方に合致した方向性

欧州や中国などの海外のエネルギー企業のグローバル展開や米国系 IT 企業の異業種のエネルギー分野への参入、ESG 投資³⁰によるリスクマネー供給の変化など、エネルギーのバリューチェーンのあり方が大きく変化している中で、日本はこうした独自の戦略を発展させることによって対応していく必要がある。

4.4 サイバーセキュリティ

Society5.0 では、旧来の業種の壁を越えたハードと IT・情報系の相互接続が前提となる。また、情報の開示・共有などデータ流通を前提としたインフラ制御が求められる。その中でインフラシステムの健全性を担保し、「3E+S」の重要な要素であるエネルギーの安全保障を強化するためには、サイバーセキュリティの確保が必須である。

エネルギーシステムなどの重要インフラでは、その維持・運営を情報システムに大きく依存しており、あらゆるものが繋がる社会ではサイバーセキュリティが安全保障に直結する。従って、インフラシステムでは安全保障の観点からも高度なセキュリティ水準の達成が求められるため、民間企業での対策のみならず、国として以下を考慮した政策を構築していくことが求められる。

高度化・拡大を続けるセキュリティの脅威に対し、エネルギーネットワークなどのエネルギーの流通システムを含むバリューチェーンネットワーク全体にわたるセキュリティ対策の強化が必要となる。システムの相互接続のためにシステム仕様をオープン化する一方で、設計段階から外部接続を含むシステム全体のセキュリティを考慮するセキュリティ・バイデザインの考え方を適用する必要がある。

任務保証³¹を実践するとともに、調達におけるセキュリティ方針の明確化やエビデンスの確認、運用におけるセキュリティ対応組織の整備など、組織ガバナンスを確立する必要がある。

米国においては、エネルギー省（DOE）は、サプライチェーン上のリスク低減をサイバーセキュリティ戦略のゴールの柱として設定し、官民連携による脆弱性の検討を優先課題としている。国防省では、軍事施設のエネルギー設備を含めて、サプライチェーン上のリスク管理を要件として追加した。政府調達基準に民間の仕様を取り込み、デファクトスタンダードをデジュール化³²することで産業を強化する狙いもある。将来的には、エネルギー産業のバリューチェーンネットワーク上のセキュリティ管理能力が事業の前提となるが、標準化戦略を含む国家的な視点での対応が必要となる。

³⁰ ESG 投資：環境（Environment）・社会（Social）・企業統治（Governance）を重視する企業に投資すること

³¹ 任務保証：業務責任者がシステム責任者と重要インフラの機能やサービスを全うする観点からリスクを分析し、経営者層に対し情報を提供し総合的な判断を受ける

³² 事実上の標準（デファクトスタンダード）などを制度上の標準（デジュールスタンダード）として取り入れること

第5章 エネルギーシステムを支える人財育成

5.1 新しい人財の育成

Society5.0 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、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、社会的な影響やレガシーが非常に大きく構造転換に時間がかかると考えられ、それを踏まえると、短期は5年から10年、中期は10年から20年、長期は20年から100年単位となる。そうした活動を持続的に担う、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、さらには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ることができる能力や、その中で解決すべき課題を発見して、見極め、問題を設定し、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だろう。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。これらの取組みにおいては、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、産業界は、そうした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適切に受け入れて、活躍させる仕組みを構築することが必要である。

なお、このような人財養成は、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が非常に大きく、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。

5.2 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、マルチタイムスケールでエネルギーシステムに関する戦略を立案して、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。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6章 まとめ

(1) エネルギーシステムの全体像

Society5.0 では、個人の生活が主役となって、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。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」を向上する重要な役割を担う。地域社会と基幹システムの役割は画一的ではなくなり、共存を前提として再構築する。電源の分散化、基幹システムと多数の地域社会との連携、さらには人の行動など協調・調整すべき要素が指数関数的に増加して、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技術の確立が必要である。データ共有を基に、リアル空間とサイバー空間の融合する姿を共有し様々なステークホルダーとの議論を重ねつつ、日本が有する技術優位性と人財ストックを活用してエネルギーシステムのあるべき姿を実現する。

- ✓ 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 15 Society5.0 を支えるエネルギーシステム全体像

（２）地域社会で挑戦すべき新しい方向性

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。例えば再生可能エネルギー立地の好適地では、系統安定化のための施策とともに、余剰電力の活用で地場産業を育成する社会をめざす。電力・ガス・水道に加え ICT・自動車・物流などを含む各種インフラの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。都市・街区の再開発の観点からは、個別の機器や建物の性能評価ではなく、地域社会での生活のあり方や産業構造の観点から地域社会がめざす社会的価値を軸にした都市・街区のエネルギー性能・環境性能を指標化・共有し、適切なインセンティブ制度の下で戦略的にインフラを再構築する。

（３）基幹システムの変革を支える枠組み

基幹システムのあるべき姿を議論するために、電力を中心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。産学官が協力して解析ツールや標準データを開発・共有する。評価結果をもとに様々なステークホルダーが議論して、基幹システムの役割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をデジタルでつなぐ新しい制御技術を組み込み・実践し、その技術と経験をグローバルに展開する。

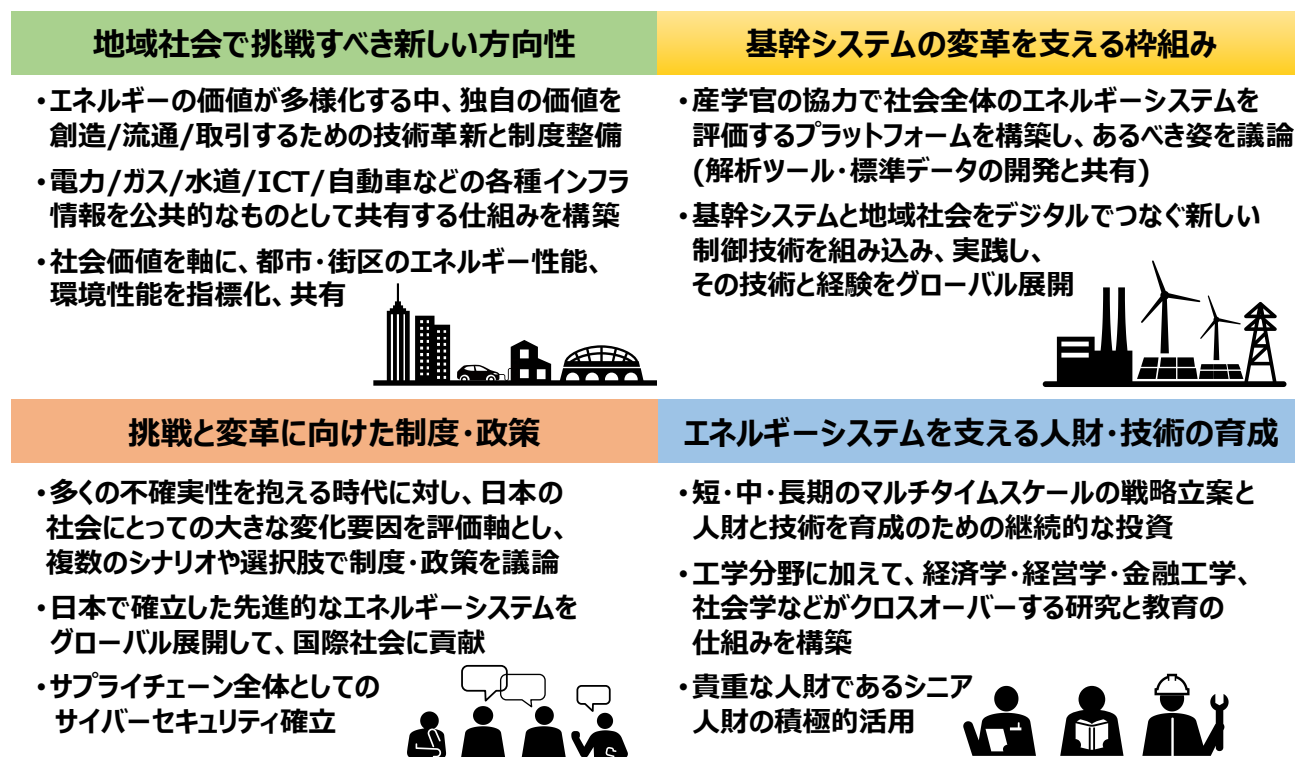


図 16 Society5.0 を支えるエネルギーシステムの実現に向けた論点

（４）挑戦と変革に向けた制度・政策

政治・経済・技術革新などの多くの不確実性を抱える時代に対し、日本の社会に大きな影響を与える変化要因を評価軸に設定し、複数のシナリオで制度・政策を議論する。イノベーションと投資は経済性、環境性、安定供給などの多角的な観点でアウトカムを評価して、PDCA を実行する。日本で確立した先進的エネルギーシステムをグローバルに展開し、国際社会に貢献していく。これらの政策・制度の議論と同時に、インフラ輸出のための投資や、サプライチェーン全体のセキュリティやガバナンスなど、実行面の検討も必須である。

（５）エネルギーシステムを支える人財・技術の育成

エネルギーシステムの発展には、短期・中期・長期といったマルチタイムスケールの戦略立案が必要であり、特に人財や技術を育成するための継続的な投資が不可欠である。科学技術、社会システム、経済メカニズムを一体に捉えた広い視点でエネルギーシステムの未来をデザインできる人財を育成するために、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、さらには社会学などがクロスオーバする研究と教育の仕組みを設ける。また、貴重な財産であるシニア人財を積極的に活用して、地域社会・基幹システムの発展を加速する。

以上

提言検討体制

1. 東京大学

小関俊彦	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	総長特任補佐、大学院工学系研究科教授
<u>横山明彦</u>	WG1	大学院新領域創成科学研究科教授
松橋隆治	WG1	大学院工学系研究科教授
<u>荻本和彦</u>	WG2	生産技術研究所特任教授
江崎浩	WG2・3	大学院情報理工学系研究科教授
田中謙司	WG2	大学院工学系研究科特任准教授
<u>大橋弘</u>	WG3	大学院経済学研究科教授
藤井康正	WG3	大学院工学系研究科教授
芳川恒志	WG3	公共政策大学院特任教授
羽賀敬	事務局	産学協創研究推進 PT
大久保哲也	事務局	産学協創研究推進 PT
小野彰子	事務局	産学協創研究推進 PT

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 エネルギーイノベーションセンタ センタ長
<u>渡辺雅浩</u>	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
山田竜也	WG1・3	電力エネルギー業務統括本部 次世代エネルギー協創推進本部 担当本部長
坪田亮	WG1	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ 企画員
<u>佐藤康生</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 部長
佐野豊	WG2	サービス&プラットフォームビジネスユニット サービス事業開発本部 部長
熊谷正俊	WG2	研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ リーダー主任研究員
<u>中沢健二</u>	WG3	電力ビジネスユニット 経営企画部 部長代理
鍛忠司	WG3	研究開発グループ システムイノベーションセンタ 部長
吉本尚起	WG3	研究開発グループ 基礎研究センタ 主任研究員
坂本尚史	WG3	日立総合計画研究所シニアストラテジスタッフ
赤坂悟	WG3	日立総合計画研究所 研究員
上村理	事務局	研究開発グループ 技術戦略室 主任技師
齋藤直	事務局	研究開発グループ 技術戦略室 主任技師

WG0: 全体ビジョン、WG1: 基幹システム、WG2: 地域社会、WG3: 制度・政策の分科会を表し、
下線が各 WG のリーダーを示す