



提言

Society 5.0を支える
エネルギーシステムの実現に向けて

(第7版)

2025年4月16日 日立東大ラボ



提言

Society 5.0を支える
エネルギーシステムの実現に向けて

(第7版)

2025年4月16日 日立東大ラボ

CONTENTS

提言サマリー	4
第 1 章 はじめに	7
第 2 章 グリーン変革の新たなフェーズにおける日本	8
2.1 はじめに	8
2.2 2024 年の世界と日本のトランジション	8
2.3 2025-30 年の日本のトランジションのために	14
◆コラム 第 7 回日立東大ラボ・産学協創フォーラムパネルディスカッション登壇者の発言より	16
2.4 第 2 章まとめ	17
第 3 章 持続可能なエネルギーシステムをめざす トランジションのあるべき姿	19
3.1 社会動向を反映したエネルギーシナリオとコスト意識に基づくトランジション	19
3.2 電力需要増大に伴う電力システムへの影響	21
3.3 電力システム改革の論点と解決に向けた取り組み	24
◆コラム 産学協創フォーラムパネルディスカッション - 脱炭素電源への投資の誘導策の議論	24
3.4 第 3 章まとめ	25
第 4 章 CN と S+3E のエネルギー需給の両立に向けた 地域の貢献	27
4.1 CN 社会実現に向けた地域社会の役割	27
4.2 地域で起こすエネルギー・トランジション	28
◆コラム DRready を取り巻く情勢	30
4.3 地域の持つポテンシャルとその活用	31
4.4 地域からの調整力創出を加速する施策	32
◆コラム 日立東大ラボ・産学協創フォーラムパネルディスカッション - 需要家機器や再エネをつなぐデジタル技術 -	33
4.5 S+3E のエネルギー需給とともに進める地域の移行	34
4.6 第 4 章まとめ	35

第5章 まとめ	37
----------------	-----------

第7版提言検討体制 (2025年3月31日時点)	41
---------------------------------	-----------

【付録】	43
付録1. 「ヨーロッパ競争力コンパス」における主な政策	43
「クリーン産業ディール」の主な項目	45
付録2. エネルギー技術選択モデル（動学的コスト最小化型モデル）	46
付録3. エネルギーシステムの課題と解決策の例	48
付録4. 設置済の家庭用ヒートポンプ給湯機の調整力化に向けた遠隔制御の実証試験	49

提言サマリー

2016年より日立東大ラボエネルギープロジェクトではエネルギーシステムのビジョンやシナリオを提言として発信している。

2024年に発刊した第6版では「変化するグローバル・ランドスケープ」、「社会および産業変革を取り入れたエネルギーシステム」および「エネルギーS+3E¹とエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献」の3つのポイントについて議論した。気候、エネルギー、環境における国際的なランドスケープの分析を通じて、エネルギーに関わるトランジションを他の施策や事象との緊密な結びつきの中で達成しなければならない「統合的なトランジション」に言及した。エネルギーシステムのあ

るべき姿として、データセンターに代表されるICT需要増に対してエネルギーシナリオを見直し、2030年にめざすエネルギーシステムのあるべき姿と現状とのギャップとその対策について論じた。さらに、2030年に地域社会から創出される需要調整ポテンシャルを具現化するためのデジタル技術を活用した需要調整の実現、経済と環境を両立する社会移行の一手段としての環境クレジットについて提言した。

本書、提言「Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて」第7版では、第6版からの変化点とそれに伴うさまざまな動向を網羅的に解析し、留意すべき課題とその対策について論じた。

第2章 グリーン変革の新たなフェーズにおける日本

気候変動、グローバル感染症、戦争、そして世界的な物価高騰は、地球規模の持続可能性を脅かす複合危機（polycrisis）をもたらしている。本章では、2025年初頭の現在、気候・エネルギー・環境にかかわる世界の状況は新たな局面に入りつつあるとの認識のもとに、そうした変化が日本におけるグリーンな変革にどのような示唆をもたらすかを論じる。まず、EU（European Union, 欧州連合）における新たな産業競争力政策パッケージの導入、トランプ政権のアメリカにおける気候エネルギー政策の急激な転換、国際的な気候対策におけるグローバルサウスの影響力、そして国連や科学者の

取り組みに言及しながら、気候・エネルギー・環境にかかわる新たな不確実性が生じていることを示す。そして、日本においては、社会的不公正の感覚やデジタル技術に配慮しながら、エネルギーの転換をそのほかの政策上の優先課題とともに達成していく統合的なトランジションをめざしていくことが重要であることを論じる。さらに、日本は、経済安全保障やAIやデジタル技術にかかわる関心を共有しながら、グローバルサウスの国々を含む主要なパートナーとの戦略的協力関係を強化し、アジア太平洋地域の持続可能な開発において独自のリーダーシップをめざすことが求められていると主張する。

第3章

持続可能なエネルギーシステムをめざすトランジションのあるべき姿

データセンターを含めたICT分野の電力需要増を考慮し、将来のエネルギー需給を見直した結果、CNシナリオ実現には、2030年までに①再エネ導入前倒し(太陽光発電88GWと風力発電15GW増設)および既存の全原子力発電運転など脱炭素電源確保、②PVの大量廃棄回避や設置環境面の課題解決、③10GWを超える水素・アンモニア発電の稼働、④コージェネ等による化石燃料発電の熱利用、⑤希頻度の無風・曇天継続、燃油不足、災害を想定したエネルギーのレジ

リエンスとセキュリティ確保、を進める必要がある。また、2040年～2050年に向けて、①太陽光・風力・原子力等のCN電源のさらなる増加、②DACによるCO₂回収の実用化と普及、③回収したCO₂からの合成燃料製造と運輸・産業部門での利用、に開発・投資しイノベーションを起こすべきである。さらに、再エネ導入量の急拡大に対する基幹システムの課題と対策については、第5版提言での検討を踏まえて考察した。

第4章

CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

2024年に発刊した提言書第6版では、賢いエネルギー利用で地域の価値づくりを実現し、基幹系統に調整力を供給する協調・制御プラットフォームを提案するとともに、デジタル技術を活用した再エネ地産地活、地域特性を活用したネガティブエミッションの事例を示した。

本版では、現状の地域社会に求められる役割を再分析し、

それに基づき地域の経済成長と両立する社会移行、すなわち地域における統合的トランジションのあり方、既存技術で実現できる調整力創出の実証例、およびエネルギー需給への貢献を加速するための提言を示す。また、S+3Eのエネルギー需給への貢献に平行して進めるべき地域経済の活性化や人財育成についても言及し、地域から起こす社会移行の重要性を示した。

「Society 5.0 を支えるエネルギーシステムの実現に向けて」 14の提言（第5章）

以上の2024年度におけるエネルギー・トランジションの変 新たに14の提言として見直した。
化点を踏まえ、第6版で策定した17の提言を踏襲しつつ、

【短期】

第2章 グリーン変革の新たなフェーズにおける日本

1. 気候・エネルギー・環境の危機を、統合的なトランジションへの機会に変え、多様なアクターとともに社会システムの転換を促す政策
2. 資金、人財、科学的レビューによって、長期的なトランジションを支える変革的ガバナンスの構築
3. AIやデジタル技術と既存のエネルギー技術の融合により、エネルギー最適化やイノベーションによるトランジションの加速
4. 多極化する状況において、気候・エネルギー・環境分野における戦略的パートナーシップを強化し、アジア太平洋地域におけるリーダーシップを発揮

第3章 持続可能なエネルギーシステムをめざすトランジションのあるべき姿

5. 将来のコスト負担を意識したエネルギーシナリオの見直し
6. エネルギーシステムのバックキャストとフォアキャストのギャップを埋めるイノベーションへの投資
7. 短期市場原理に加え、レジリエンスを意識した中長期的制度と市場のデザインの推進
8. 電力市場の再構築と環境価値市場の融合
9. 地域・需要家参画による社会システムの構築

第4章 CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

10. CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献
11. 地域社会のトランジションを円滑に進める創意工夫と施策の実行
12. CNに伴う社会変化の客観的分析と成長戦略の策定と試行
13. トランジションの選択肢と尤度を広げる自然と調和したネガティブエミッション技術への挑戦の加速

【中長期】

エネルギーシステムの技術的対策(第3章、第4章)

14. カーボンニュートラルに向けたエネルギーシナリオの対策技術

1 S+3E: 安全性 (Safety) を大前提とし、自給率 (Energy Security)、経済効率性 (Economic Efficiency)、環境適合 (Environment) を同時達成するエネルギー基本政策の前提条件 20

第1章 はじめに

2020年に日本は2050年にカーボンニュートラルを達成する宣言を実施し、現在世界では160か国以上がカーボンニュートラルをめざしている。世界的なパンデミックの状況下にあっても、REPowerEUをはじめとする欧州の強力な温室効果ガス削減施策が推進されてきた。その一方、2022年2月のロシアのウクライナ侵攻に伴う燃油価格の急騰は、エネルギーコストの増大や関連するさまざまな物品の価格高騰を招いた。急速なカーボンニュートラル施策は、例えば電気自動車の導入促進政策と充電ステーションの未整備といったイノベーションとそれを支えるインフラのミスマッチや、そもそも電気自動車の航続距離の短さに起因するユーザーニーズとのミスマッチをはじめとして、技術イノベーションと社会受容のミスマッチが顕在化している。また、ドイツをはじめとしたヨーロッパではクリーン政策を重視した結果、経済成長が鈍化する傾向が顕在化するなど、カーボンニュートラルを取り巻く加速施策に伴い、解決すべき課題も顕在化している状況にある。

また、わが国では2025年に第7次エネルギー基本計画が閣議決定され、2030年の温室効果ガス削減目標を踏まえ、2040年に向けたエネルギー安定供給と、脱炭素および産業成長との両立を図るための課題と施策についてまとめられた。その中には、複数シナリオを検討した不確実性への対応、原子力発電の最大限の活用、再生可能エネルギーの拡

大に伴う系統増強、需要家のエネルギーシステムの参画などこれまでのエネルギー基本政策からの見直しや転換も図られた。

日立東大ラボではトランジション・シナリオの検討、エネルギーシステムの課題と対策、エネルギートランジションを実現する日本の地域、に着目した検討を重ねてきた。2024年に刊行した提言書第6版までの間に第7次エネルギー基本計画に先んじて、複数シナリオを検討した不確実性への対応、原子力発電の最大限の活用、再生可能エネルギーの拡大に伴う系統増強、需要家のエネルギーシステムの参画といった内容を定量的評価を交えて提言してきた。提言書第5版において、主に2030年までの短期と、2040年から2050年を見据えた中長期に着目して、18の提言を取りまとめた。第6版では、これら18項目の提言を気候、エネルギーにかかわるグローバルなランドスケープの現状を概観した上で、ICT分野のエネルギー需要の将来像や地域社会における環境と経済の両立といった観点から見直しを図り、新たに17の提言に更新した。本第7版では、エネルギーに関わるトランジションを他の施策や事象との緊密な結びつきの中で達成しなければならない「統合的なトランジション」に着目し、気候、エネルギー、環境における国際的なランドスケープの分析および、電力システムからエネルギーシステム全般について、考察対象を拡大してきた日立東大ラボの検討結果に基づき、14の提言に至る過程を述べる。

第2章 グリーン変革の新たなフェーズにおける日本

2.1 はじめに

気候変動、グローバル感染症、戦争、そして世界的な物価高騰は、地球規模の持続可能性を脅かす複合危機（polycrisis）をもたらし、2020年代前半の世界に暗い影を落としてきた。2025年初頭の現在、気候・エネルギー・環境にかかわる世界の状況は新たな局面に入りつつある。

2015年のパリ協定や持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）の採択以後、特に2020年代前半にEUやグローバルにおけるグリーン政策の推進によって高まりを見せていた政府、企業、市民社会における努力は、EUにおける政治バランスとクリーン産業政策の変化、アメリカにおけるトランプ政権の動き、グローバルサウスの影響力の増大などによって、大きな不確実性を伴う新たなフェーズといえるような状況を迎えている。プラネタリー・バウンダリーズ研究に示されるような、地球の環境の危機的な状況は改善を見ておらず²、気候変動はかつてない水準にいたっている。

このような、現在、生じつつある世界の変化は日本のトランジションにどのような示唆をもたらすだろうか。

グローバル地政学の複雑な変動のもとで生じる気候・エネルギー・環境をめぐる条件は2025年初頭の現在においても、急速、かつ予想困難な変化を続けている。ここでは、2025年1月に開催された日立東大ラボ「第7回産学協創フォーラム」において、議論の前提となったグローバルなランドスケープの変化と、その直後に生じている状況に言及しながら、日本におけるグリーンな変革のための示唆について論じる。

本章では、（1）EUにおける新たな産業競争力政策パッケージの導入、（2）トランプ政権のアメリカにおける気候エネルギー政策の急激な転換、（3）国際的な気候対策におけるグローバルサウスの影響力、そして（4）国連や科学者の取り組みに言及しながら、国際的な気候、エネルギー、クリーン産業にかかわる秩序の新たな不確実性が生じていることを指摘する。そして、日本においては、社会的不公正の感覚やデジタル技術の持続可能性に配慮しながら、エネルギーの転換をそのほかの政策上の優先課題とともに達成していく「統合的なトランジション」が重要となることを提言する。

2.2 2024年の世界と日本のトランジション

2.2.1 ヨーロッパにおける政治変化

2024年、ヨーロッパでは気候・エネルギー・環境政策の枠組みに大きな影響を与えるような政治的变化が見られた。

特に、2024年の欧州議会選挙では、フランスとドイツにおいて極右政党が躍進し、2019年に過去最高の議席を得た欧州緑の党（European Green Party）が議席を減らした。EUにおいて重要な役割を果たすこれらの地域において、ウクライナ戦争への対策、移民問題、物価高騰の悪化を背景として気候対策の相対的な優先順位が下がり、既存の政権への

反対の動きが拡大したことが原因と分析されている³。実際に、他の国々では、欧州緑の党の議席はおおむね安定または増加し、イギリスでは野心的な気候対策を掲げる労働党政権が生まれている。

経済的停滞を背景とするヨーロッパの政治的变化は、EUにおいて、気候対策の枠組みを、エネルギー価格の高騰、アメリカや中国との比較におけるイノベーションのギャップ、産業競争力の低下に対する抜本的な対策との関係で修正する動きに結びついた。

2024年9月、EUの政策立案・執行を担う欧州委員会に

対して「現代最高の中央銀行総裁」（ポール・クルーグマン）と称される元欧州中央銀行総裁で元イタリア首相のマリオ・ドラギが提出した『ヨーロッパの競争力の未来』（通称「ドラギ・レポート」）⁴では、米中に対するEUの比較劣位を打開するための再生可能エネルギー、デジタル技術、防衛力などをはじめとする国際競争力の増強への投資が提言された⁵。

これにもとづき2025年1月、欧州委員会は、ヨーロッパの経済成長のためのロードマップである「ヨーロッパ競争力コンパス」を発表した⁶。この中では、AI、バイオ・テクノロジー、宇宙技術への投資を投資を通じた米中とのイノベーション・ギャップの改善、「クリーン産業ディール」とその一部である「廉価エネルギー行動計画」を通じて脱炭素と競争力を同時に推進する戦略、そして、資源、クリーン・エネルギー、持続可能な輸送燃料、およびクリーン・テクノロジーにかかわる安全保障と過剰な他国依存の低減などを進めることが示された。

ヨーロッパ競争力コンパスには、(1) ビジネスの平易化・迅速化、(2) クリーン産業ディールの構築、(3) より循環的でレジリエントな経済、(4) 研究とイノベーションの強化、(5)

投資の加速、(6) スキルと労働力のギャップへの対処を目的として、より統合されたEU市場を形成しながら、クリーンな産業、エネルギー、イノベーションへの投資を迅速化することが含まれている⁷。表2.1にその主な政策の一部を示し、さらに付録の表A1.1に詳細を掲げる。

欧州委員会は、これらの政策により、EUがより統合された資本市場を通じてヨーロッパ企業が4,700億ユーロの追加資金を得ることができ、単純化目標の達成を通じてEU企業に約3,750億ユーロの年間貯蓄をもたらし、2030年までにヨーロッパの循環型経済分野で50万人の新規雇用を生み出すことができると説明する。

競争力コンパスでは、EU域内におけるデジタル技術やクリーン産業の統一化、標準化、簡素化を通じて、加盟国間の障壁を減らし、規制を緩和することによって、潜在的な経済力を引き出すことなどに重きが置かれている。また、ロシアへの化石燃料依存を低減し、新たな貿易パートナーシップを構築するとしている。

表 2.1 「ヨーロッパ競争力コンパス」における主な政策

目 的	政 策
ビジネスの平易化・迅速化	● イノベーション・ギャップを埋め、脱炭素化と安全性を高めることを目的とした新しいロードマップ「競争力コンパス」の導入 ● 企業が規模を拡大できるように、主要セクターで「単一市場」を完成 ● 事務負担を軽減し、報告義務を少なくとも25%、中小企業に対しては少なくとも35%削減
新たな「クリーン産業ディール」の構築	● 欧州気候法で2040年までに90%の排出削減目標を設定することを提案 ● クリーンエネルギー・インフラと技術に投資 ● ガスだけでなく、水素や重要な原材料を含む集約需要メカニズムを活性化し、拡張
より循環的でレジリエントな経済	● 新しい「循環経済法」を通じて、二次材料の市場需要と廃棄物単一市場の創出を支援
デジタル技術の普及による生産性の向上	● 安全で高速かつ信頼性の高い接続性へのアクセスを改善するためにデジタル・インフラへの投資を奨励 ● 「欧州データ連合戦略」を通じてシームレスかつ大規模なデータ共有を確保
研究とイノベーションの強化	● 戦略的優先事項に焦点を当てるために研究費を増大 ● 「欧州研究評議会」および「欧州イノベーション評議会」を拡大
投資の加速	● 商業銀行、投資家、ベンチャー・キャピタルが急成長する企業により容易に資金提供できるようにするためのリスク吸収措置を提案
スキルと労働力のギャップへの対処	● 投資、生涯学習、スキル維持に焦点を当てた「スキル連合」を設立 ● 「欧州職業教育訓練(VET) 戦略」を通じて職業教育訓練を促進

出典：European Commission. n.d. "A New Plan for Europe's Sustainable Prosperity and Competitiveness," https://commission.europa.eu/priorities-2024-2029/competitiveness_en, accessed March 5, 2025.

また、クリーン産業ディールにおいては、クリーンエネルギーの普及、EU域内の相互接続によるエネルギー市場の形成、産業脱炭素促進法を通じたEU製品の需要拡大、クリーンな製造業の支援、重要原材料の集約メカニズム、域外と

のサプライチェーンの多様化、質の高い雇用の促進などを進めるとしている。これについて主な取り組みを、付録の表2.2に詳細を示す。

表 2.2 「クリーン産業ディール」の主な項目

項 目	詳 細
低廉なエネルギー	● クリーンエネルギーの普及を加速し、電化を促進。物理的な相互接続を伴う内部エネルギー市場の完成。エネルギーをより効率的に使用し、輸入化石燃料への依存を低減
クリーン製品の需要促進	● 「産業脱炭素促進法」を通じ、持続可能性、レジリエンス、「ヨーロッパ製」基準を公共および民間の調達に導入することで、EU製クリーン製品の需要を拡大
クリーン・トランジション・ファイナンス	● 「クリーン産業ディール」により、EU製クリーン製造の支援に1,000億ユーロ以上を動員 ● 再生可能エネルギーの普及、産業の脱炭素化、クリーン技術の製造能力の確保を加速するための新たな「クリーン産業協定国家援助フレームワーク」を採択
循環性と原材料へのアクセス	● 欧州企業が集まり、重要な原材料の需要を集約できるメカニズムを設立 ● 「EU重要原材料センター」を設立し、関心のある企業に代わって原材料を共同購入
グローバル規模での行動	● 「クリーン貿易・投資パートナーシップ」を通じて、サプライチェーンを多様化し、相互に有益な取引を築く
スキルと質の高い雇用	● 労働者への投資、スキル開発、質の高い雇用を創出する「スキル連合」を設立 ● 官僚主義の削減、単一市場の規模の活用、質の高い雇用の促進、EUと国家レベルでの政策調整を推進

出典：European Commission. 2025. "Clean Industrial Deal," https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en, accessed March 3, 2025.

欧州委員会議長のウルサラ・フォン＝デア＝ライエン議長が「われわれが掲げる価値は変わらない。しかし、変化する世界においてこれらの価値を守るために、我々は行動の仕方を変えなければいけない」⁸と述べた通り、EUは過去5年間にわたって進められてきた欧州グリーンディール政策は引き続き進める一方、これをEUの競争力の増進につなげることがよりいっそう強調されることになった。

こうした欧州委員会の戦略枠組みは、今後、欧州議会における議決やEU理事会における合意に際して、修正を迫られる可能性もあるが、EUにおける方針は、後述するようなアメリカにおける気候対策における政策転換とははっきりとした対照をなす。

2.2.2 アメリカの新たな体制

アメリカ合衆国においては、2024年11月の大統領選挙を経て、2025年1月に発足した第2次ドナルド・J・トラ

ンプ政権のもとで、気候・エネルギー・環境にかかわる急速な方針転換が生じている。

トランプ大統領は、2025年1月20日の就任と同時に「国家エネルギー緊急事態」を宣言し⁹、ジョー・バイデン政権によるインフレ抑制法 (Inflation Reduction Act, IRA) およびインフラ投資及び雇用法 (Infrastructure Investment and Job Act, IJIA) によって提供されるすべての資金の支出を停止と見直しを命じ、前政権の「グリーン・ニューディール」を終了させた¹⁰。これにより、風力発電プロジェクトのリースや許可、クリーンエネルギーや電気自動車関連インフラの整備に影響が及ぼうとしている。一方で、アメリカ国内の石油、天然ガス、石炭、水力、バイオ燃料、重要鉱物、原子力エネルギー資源の開発を妨げる規制、命令、政策などの即時見直しを命じた。また、液化天然ガス輸出の承認申請の迅速な再開を指示した (表2.3)。

さらに、トランプ大統領は、国連気候変動枠組条約に

おけるパリ協定からのアメリカの再離脱¹¹、環境保護庁 (Environmental Protection Agency, EPA) の連邦職員の大規模レイオフ¹²を推進しつつあり、今後は、上記の大統領令の記述に示唆される通り、企業の情報開示、産業や自動車のメタンや炭素排出規制の廃止や緩和などが予想されている¹³。

政権は「アメリカ・ファースト」を掲げながら、国内の製造業を振興し貿易不均衡を是正することを目的にメキシコ、カナダといった近隣の同志国、および経済的なかわりの大きい中国への関税の導入を開始した¹⁴。このことは、ガス、石油のみならず、太陽光パネル、蓄電池、電気自動車、風力タービンのサプライチェーンにも影響を及ぼし¹⁵、これまで投資が進められてきた気候変動対策にかかわるエネルギー、資源、製造業分野の緊張や不安定性をもたらすことが予想される¹⁶。

さらに、2025年3月の段階で、トランプ大統領のアメリカがウクライナ戦争におけるウクライナ支援のあり方においても、北大西洋条約機構 (NATO) のヨーロッパ加盟国と重大な対立を生じさせていることは特筆に値する。アメリカは、人権や平和にかかわる価値の共有にもとづいて、ヨーロッパとの安定した同盟関係を維持してきたが、トランプ政権は、安全保障においても西側諸国の諸価値や協力枠組みに対して大きく態度を変化させつつある。

このことは、次の項に示すように、気候・エネルギー・環境にかかわるグローバルな政治において、非西欧地域の諸大国、そしてそれらが中心となって形成する国家間ネットワークの影響力を高めることを意味する。そして、それは経済のブロック化や安全保障の問題と結びついた形で、状況を不安定化させるかもしれない。

表 2.3 ホワイトハウスの発表によるトランプ大統領の取り組み (2025年3月4日)

- 「国家エネルギー緊急事態」を宣言。
- アメリカを世界最大の天然ガスの純輸出国に。
- 「国家エネルギー支配評議会」を設立。
- バイデン政権の親中国、反アメリカのエネルギー規制をすべて撤回。
- 「グリーン・ニューディール」を終了。
- パリ協定から脱退。
- 大規模な風力発電所の連邦許可を一時停止。
- アラスカの天然資源の開発を妨げる規制を撤回。
- バイデンが禁止した6億2500万エーカーの沖合掘削を再開。
- オバマ時代の温室効果ガスに関する規則を廃止。
- バイデン政権が禁止した液化天然ガス(LNG, Liquefied Natural Gas) 輸出許可一時停止を終了し、禁止措置以後はじめてとなるLNGプロジェクトを承認。

出典：White House. 2025. "President Trump is Unleashing American Energy," March 4, <https://www.whitehouse.gov/articles/2025/03/president-trump-is-unleashing-american-energy/>, accessed March 4, 2025.

注：2025年3月4日におけるホワイト・ハウスの発表を参考に、日立東大ラボ作成。

2.2.3 グローバルサウスの影響力

気候・エネルギー・環境にかかわるグローバルな取り組みにおいて、グローバルサウスの国々の重要性はますます増大しているが、コロナ危機とウクライナ戦争以降に生じている政治経済の混乱、ブロック化、およびアメリカの急激な方針転換は、グローバルな分極化をさらに進めることが予想される。

グローバルサウスの国々は、世界人口の大多数を占めて

おり、今後もエネルギー需要と温室効果ガスの排出の増大が見込まれる。また、重要鉱物、森林、生物多様性などの自然資源の大部分がこの地域に所在している。一方、この地域にある多くの国々が、温室効果ガス排出量が少ないにもかかわらず、気候変動がもたらす海面上昇、高温、水不足、生物多様性の喪失に直面している。

このため、西側諸国や国連などが主導するグローバルなエネルギーの転換が、不平等を悪化させたり、経済的困難をもたらすことに対する反発が見られる。これらの地域は、

グローバルな気候金融や開発援助に対する変革を求めており、気候変動や政治的規範にとってきわめて重大な影響力を持ちつつある。

2024年10月にロシアのカザンで開催されたBRICSサミットは、ウクライナ戦争以後もその加盟国や協力内容を増しつつ影響力を拡大していることを改めて示した¹⁷。ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカなどからなる国際協力ネットワークであるBRICSには、2024年1月にアラブ首長国連邦(UAE)とイラン、エジプト、エチオピアが新たに加盟した¹⁸。加盟9カ国の経済規模は世界経済の26%、人口は世界の45%を占める。ロシアのウラジーミル・プーチン大統領は「多極世界」(multipolar world)の形成が進んでおり、「グローバル・サウス、グローバル・イーストの国々が示すBRICSとの関係強化」が重視されるべきだという考えを示し、BRICS声明は国際機関における途上国の代表権の拡大を訴えた。2024年10月時点で、タイなど30か国がBRICSへの加入に関心を示している。

2024年11月、ブラジルのリオデジャネイロで行われたG20では、グローバルサウスの声を重視しつつ気候対策強化を進めていくことが確認された¹⁹。ここでは、G20が、持続可能で包摂的な成長を促進する責任を共有するとし、特に発展途上国を支援し、SDGsの達成をめざすことが確認された。また、パリ協定にもとづくエネルギー転換の加速や、これを支える開発途上国への資金調達支援を強調した。この会合では、とりわけ、不平等を解消するための追加のツールとメカニズムを強化し、持続可能な開発を促進するため

の国際協力を求めるとともに、開発協力や資源の動員を通じて、低・中所得国を支援することなどを宣言した²⁰。なお、G20に、アフリカ連合(African Union)が正式にメンバーとなったことは、改めてグローバルサウスが重要度を高めていることを示すものである。

2025年1月のトランプ政権の成立によるアメリカの気候変動対策からの撤退によって、気候変動対策に積極的で、アジア、アフリカ、ラテン・アメリカと緊密な連携を行う中国の影響力が強まることが予想される²¹。中国は、太陽光、風力タービン、電気自動車などをはじめとするクリーン産業や、AIをはじめとするデジタル技術におけるキープレイヤーとなっており、グローバルな気候・エネルギー政策にとって、主導的な役割を果たしつつある。

ただし、このようなグローバルサウスの協力関係は、西側諸国の民主主義や安全保障の枠組みと深刻な対立関係にある国々の影響力の増大にもつながっている。クリーンエネルギーにかかわる原材料や産業のサプライチェーンは、経済安全保障との関係のもとで急速な再構築が進んでいる。気候・エネルギー対策にとって大きな重要性を持つ気候変動にかかわる南北の不公正は、安全保障や貿易のブロック化と結びつき、ヨーロッパおよびアメリカ中心の枠組みを揺るがしつつある。

日本は、安全保障上の脅威となりうる国々と隣接しながら、これらの多極的なネットワークと協調し、クリーンかつ安定したエネルギーのサプライチェーンを形成し、独自の役割を果たすことが期待されている。



図 2.1 リオデジャネイロで開かれた G20 サミット

出典：G20. 2024. "Cimeira do G20," November 19, <https://www.g20.rio/media-pt/cimeira-do-g20>, accessed March 11, 2025.

2.2.4 気候変動、科学者団体、国際機関

このようなグローバルな政治経済の多極化の中で、各国が経済成長や安全保障の確保のために急速に政策方針を修正しつつある現在においても、世界の炭素排出削減は、科学にもとづくネット・ゼロへの経路からはほど遠く、その破壊的影響がすでに現実のものとなっていることは改めて指摘しなければならない。

世界気象機関(WMO, World Meteorological Organization)によれば、2024年は世界の観測史上最も温暖な年であることが確認された。2024年は地球の平均気温が1850-1900の平均から1.5°C以上上回る初めての年となる見込みであることが示された。特に2024年は地上・海面の表面温度、そして海水温が例外的に高い一年であった²²。

また、国連児童基金(UNICEF, United Nations International Children's Emergency Fund)が2024年に発表した報告書『世界の子どもの状況2024年』では、2050年の子どもたちは、2000年と比べて「極端な気候の危険にさらされる可能性が劇的に増加する」と予測し、たとえば、極端な熱波にさらされる子どもの数は約8倍になるとの予測を示した²³。

2024年11月のCOP29において、ローマクラブのサンドリン・ディクソン＝デクレヴ氏、ポツダム気候影響研究所のヨハン・ロックストローム教授、国連前事務総長の潘基文氏などが、国連気候変動枠組み条約事務局長に対して、COPプロセスの改革を求める署名入りの公開書簡を提出した。この書簡では、気候変動枠組みが科学的に厳密で経済的に健全な道筋を示してきた一方で、地球規模の温室効果ガスの増加が続き、2023年にも膨大な気候費用が発生していることを指摘し、

COPの根本的な改革が必要であると主張している。具体的には、科学的な排出目標のための各国のコミットメントを確実に実現するために、COPを解決策重視のマルチステークホルダーのプラットフォームとし、大規模で閉鎖的な交渉ではなく、各テーマにわかれたより小規模の会合を繰り返しながら、野心の継続と「実行」重視のものとするのが提案されている²⁴。

2024年12月には、国際エネルギー機関(International Energy Agency, IEA)がフランスで「エネルギーとAIについてのグローバル会議」を開催し、関連する国々の大臣や政府高官、そしてテック企業の幹部が急速に普及するAIのエネルギー需要の持続可能性や、AIを通じたエネルギーシステムの最適化やエネルギーイノベーションの加速について議論した。IEAは、AIがエネルギー資源や技術の発見を加速し、エネルギーの生産、消費、分配を改善することに利用できる一方、AIが必要とするデータセンターが電力グリッドに大きな課題をもたらす地域があることを指摘し²⁵、今後もデジタル化とエネルギーの関係がもたらす機会とリスクに対処する意向を示した²⁶。

さらに、2024年9月に開かれた国連「未来サミット」では、「未来のための協定」が採択され、気候変動の1.5度上昇目標を確認するとともに、改めて多国間協調の重要性を示した。これに含まれた「グローバル・デジタル・コンパクト」は、デジタル技術とAIのグローバルなガバナンスのための包括的な方針を示し、さらに「未来世代に関する宣言」では、将来世代の必要や利益を守るための現在世代の行動の責任などについて合意した²⁷。

気候対策やデジタル技術にかかわる緊急性のもとで、グローバル・ガバナンスの枠組みや、しくみそのものが大きな変化を迫られる状況が生じている。

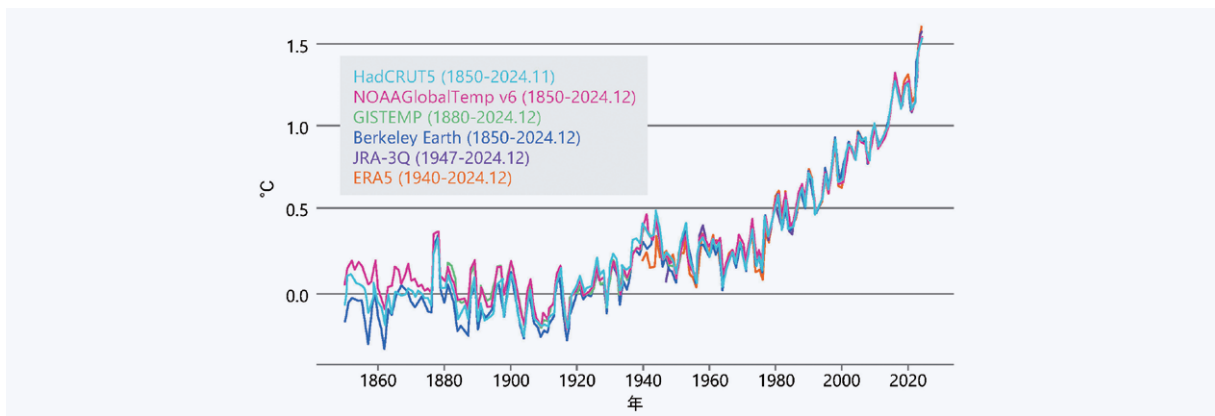


図 2.2 地球の平均気温：1850-2024 年（1850-1900 年の平均からの差異）

出典：World Meteorological Organization (WMO). 2025. "WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55° C above pre-industrial level," January 10, <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>, accessed March 10, 2025.

2.3 | 2025-30年の日本のトランジションのために

2.3.1 統合的トランジションと変革的ガバナンス

ここまで述べてきたように、新しい政治状況のもとでは、EUが気候対策を規制から競争力の増進の問題として捉え直し、新たな産業政策パッケージの導入をめざす一方、トランプ政権におけるアメリカにおいては国際的な気候対策からの撤退とともにクリーンエネルギーなどへの投資からアメリカ中心の化石エネルギーへの急激な転換がみられる。このような中、国際的な気候対策において中国をはじめとするグローバルサウスの影響力が高まり、安全保障の問題と結びつきながら、旧来の欧米中心の国際的な秩序を変化させようとしている。

こうした状況において、少なくとも2つの課題を見出すことができる。まず第一に、社会的な不正や経済的停滞の感覚が、気候・エネルギー・環境にかかわる取り組みへの反動を生み出す、もしくはこれと合流しつつあることである。フランスやドイツにおいては、ウクライナ戦争以後の経済の混乱が移民問題と結びつき、積極的なグリーン政策を推進してきた勢力を弱める結果となった。アメリカ合衆国においては、長引く物価の高騰や地域経済の停滞によって、政権交代が生じ、再生可能エネルギーの推進や気候対策から撤退する動きを生んでいる。グローバルサウスの国々による「公正なトランジション」を要求する声は、気候変動枠組の重要なテーマとなっている。

気候・エネルギー・環境の問題は、人々の生活において不可欠な重要性を持つ一方、日本においては、旧来の政治的枠組みの中で周縁化されたり、もしくは人々の生活と切り離され、優先順位の低いものと捉えられる可能性がある。たとえば、国民の喫緊の課題である防災や地域の活性化にかかわる取り組みと脱炭素やエネルギーにかかわる取り組みは、異なる課題として扱われる傾向があった。しかし、これらの取り組みには、相互に深い結びつきを持ち、政策上の相乗

効果(synergies)がある領域があり、脱炭素化やエネルギー転換というエネルギーや産業の脱炭素化にかかわる取り組みを他の優先的政策課題と結びつけながら解決する、統合的な変革の道筋を見出していくことが重要となる。

第二に、AIをはじめとするデジタル技術のイノベーションにかかわる課題が、気候・エネルギー・環境と交差しようとしている。AIをはじめとするデジタル技術はエネルギー・システムの最適化やイノベーションの推進を通じてエネルギー転換の加速に有用である一方、大規模なデータセンターの拡大によって、地域のエネルギーや水管理への影響をもたらす可能性がある。

日本においては、気候・エネルギー・環境にかかわる取り組みは、AIやデジタル技術にかかわる取り組みと切り離される傾向があった。AIやデジタル技術によって生じる電力需要や水の消費の増大をはじめとする持続可能性への影響を回避しながら、AIやデジタル技術の最大限の活用を通じたエネルギーの最適化やエネルギー分野のイノベーションの促進がエネルギー・トランジションの加速を助ける可能性がある。このことは、各分野において、AIやデジタル技術によって改善や効率化をはかることができる領域を同定し、その方針を定めるとともに、安全性、公正性、透明性などの原理にもとづいて、標準のデータ形式やプロトコルの形成をはかる必要があることを示している。

このように、エネルギーの課題を、多元的な政策課題との相乗効果を通じて解決しながら、政策的な優先度が高い変革を同時的に達成していく「統合的なトランジション」が必要であり、多様なステークホルダーとともに、包摂性、公正性、透明性などを原理として社会のシステム的な変化そのものを促すしくみである「変革的なガバナンス」(transformative governance)²⁸を構築していくことが重要となる。

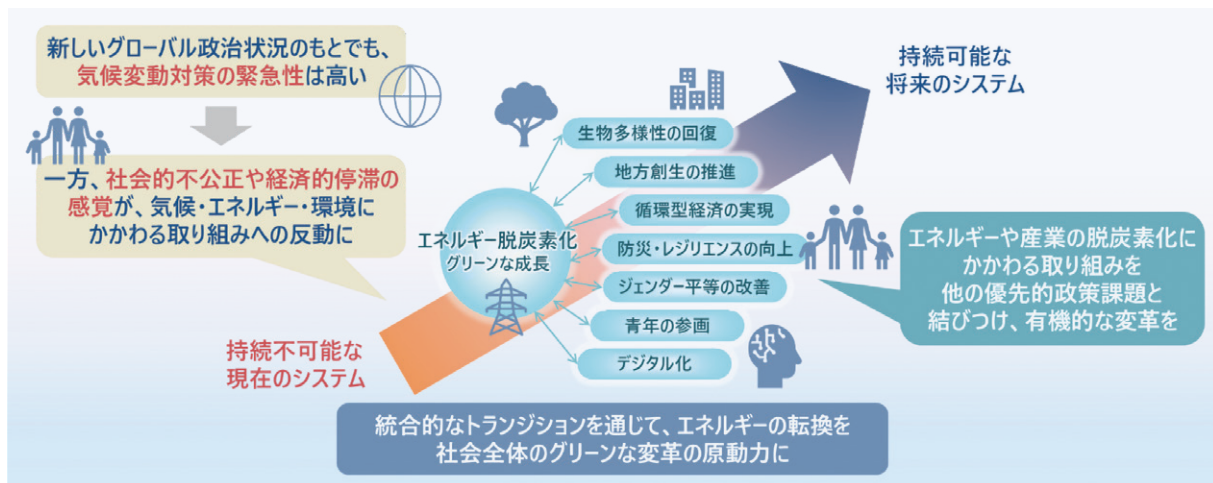


図 2.3 統合的なトランジション

2.3.2 日本における統合的なトランジションのための4つの提言

ここでは本章において記述したグリーン変革の新たな条件にもとづき、これまでの日立東大ラボの研究や提言に基づきながら、日本における脱炭素・GX政策に関して、下記の4つの提言を行いたい。

1. 気候・エネルギー・環境の危機を、統合的なトランジションへの機会に変え、多様なアクターとともに社会システムの転換を促す政策を。

気候・エネルギー・環境における現在の危機を、日本におけるグリーンな変革へとつなげるために、エネルギー基本計画、GX政策、NDC（国別約束、Nationally Determined Contribution）と、その他の政策的優先事項を包括的に結びつけながら、「統合的なトランジション」を達成することが求められる。日本社会における政府・地方自治体、企業、大学、市民組織など、多様なアクター相互の結びつきを認識し、旧来の構造へのロックインを回避しながら、社会システムの転換を促す政策づくりをめざすことが必要である。

2. 長期的なトランジションを支えるために、資金、人財、能力構築、科学的レビューにもとづき変革的なガバナンスの構築を。意思決定における包摂性、公正性、透明性を通じて、社会変革を気候エネルギーにおけるトランジションの基盤に。

気候・エネルギー・環境における長期的なトランジションを支えるために、政府は、資金、人財、能力構築²⁹、そして科学的レビューを重視しながら、産業や地方自治体をはじめと

するアクターの変化を支えることが重要である。特に社会的な不公正の感覚を引き起こすことがないよう、意思決定における包摂性、公正性、透明性を重視するとともに、生活者が影響を受けるエネルギー価格の高騰や雇用の変化に対応する補助金やグリーンな雇用への構造転換を成し遂げていくことが重要になる。このような社会のシステム的な変革を促すようなガバナンス（変革的なガバナンス）を、長期的なトランジションの基盤とすることが必要となる。

3. AIやデジタル技術と既存のエネルギー技術の融合により、エネルギー最適化やイノベーションによるトランジションの加速を。また、データセンターをはじめとするAIやデジタル技術のエネルギー・環境負荷について科学的な予測にもとづきこれを低減する戦略を。

AIやデジタル技術、気候・エネルギー・環境にかかわるエネルギーの最適化、イノベーションの推進などを通じてトランジションの加速に寄与することができる。日本においては、互換性や相互動作性を支えるソフトウェアや規格、そしてエネルギー・データ共有メカニズムの整備をスピードをもって進めることが必要である。また、データセンターをはじめとするAIやデジタル技術の気候・エネルギー・環境への影響についても、科学的な分析をもとに解決を図ることが重要である。

4. 多極化する状況において、気候・エネルギー・環境分野における戦略的パートナーシップを強化し、アジア太平洋地域におけるリーダーシップを。

現在のグローバルな地政学上の変化は、気候・エネルギー・環境をめぐる条件に大きな不確実性をもたらしている。特に、

ウクライナ戦争以降の世界的な経済混乱は、EUにおいては競争力のための政策につながった一方、アメリカにおいては、少なくとも連邦レベルにおいて、国際的な気候対策そのものから撤退する動きが生じている。このような中、グローバルサウスの国々の影響力が増大し、多国間協調やサプライチェーンのネットワークに大きな影響を与えている。

日本は、このようなグリーン変革における新たなフェーズにおいて、これまでに構築した関係にもとづき、経済安全保障やAIなどのデジタル技術における関心を共有しつつ、気候・エネルギー・環境の変革の推進のための戦略的なパートナーシップを新たに強化していくことが必要である。特に、これらの領域で中心的な役割を担いつつあるグローバルサウスの

国々とコミットメント、資金、人材、経験や技術を共有しながら、アジア太平洋地域における持続可能な開発において、独自のリーダーシップをめざすことが求められている。

日本におけるグリーン変革を統合的なトランジションを通じて成し遂げるという取り組みは、国民一人ひとりの理解を欠いたまま進めることはきわめて難しい。政府は、気候変動、エネルギー、環境にかかわる課題と多様な地域の課題を結びつけながら、有機的かつ変革的な努力を通じて解決していくビジョンを掲げつつ、自治体、企業、大学、市民組織との包摂的な対話や相互的な支援を通じてこれを推進していくことが不可欠となるだろう。

COLUMN

第7回日立東大ラボ・産学協創フォーラムパネルディスカッション登壇者の発言より

(2025年1月、いずれも発言要旨)



「SDGs (Sustainable Development Goals) 達成の目標年である2030年が5年後に迫る中、世界中で予測不能な課題が顕在化しています。これに対し、デジタル技術によるイノベーションを実現し、SDGs達成をめざすべきであるという声が高まっていますが、データ主導の意思決定に求められるツールや技術は効率性向上への貢献が期待される一方、大量のエネルギーを必要とします。SDGsの達成に向けては、ガバナンスとメカニズムをもう一度見直し、今以上にデジタルソリューションを取り入れていかなければなりません。」

—— チリツィ・マルワラ 国際連合大学学長・国際連合事務次長



「脱炭素に対する反発は国家間の対立だけでなく、気候変動対策を牽引してきた西側諸国の社会からの反発に起因しているように思います。例えば、自動車や暖房など人々の生活に密接に関わるレベルにまで脱炭素政策が下りてきた結果、それに伴うコストが認識されやすくなり、反発につながっているのではないのでしょうか。あるいはこうした反発は、反移民、反エリートといった社会に元から存在する分断の反映であるとも考えられます。(中略) 統合的なトランジションという概念は、社会全体の理解や団結を調節していくうえでも重要であると考えています。」

—— 上野 貴弘 電力中央研究所 上席研究員



「2024年末、GXに関わる長期的な投資の予見性を高めることを目的として、2040年頃に想定される経済社会のビジョンを示す『GX2040ビジョン(案)』が公表されました。ここでは、GXの産業構造として、新しい成長産業がGX分野で生まれ、既存の製造業がDX・GXを組み合わせることで競争力を獲得していくことが掲げられています。こうした中で経済成長のカギを握るのが脱炭素エネルギーですが、脱炭素電源には地域偏在があります。しかしながら、需要地までの送電線やネットワークの整備のために大規模な投資をしている時間的・金銭的余裕はありませんので、脱炭素電源の豊富な地域に企業の投資を呼び込み、そうした企業や脱炭素電源を整備する自治体にインセンティブを出すなど、産業集積を促進する具体的な政策を進めていきたいと考えています。」

—— 畠山 陽二郎 経済産業省 資源エネルギー庁 次長

2.4 第2章まとめ

本章では、EUにおける新たな産業競争力政策パッケージの導入、トランプ政権のアメリカにおける気候エネルギー政策の急激な転換、国際的な気候対策におけるグローバルサウスの影響力、そして国連や科学者の取り組みに言及しながら、気候・エネルギー・環境にかかわる新たな不確実性が生じていることを示した。

日本においては、社会的不公正の感覚やデジタル技術に配慮しながら、エネルギーの転換をそのほかの政策上の優先課題とともに達成していく統合的なトランジションをめざし

ていくことが重要である。そのためには、社会の多様なステイクホルダーとともにシステム的な変化を形成する変革的なガバナンスが必要である。

さらに、日本は、経済安全保障やAIやデジタル技術にかかわる関心を共有しながら、グローバルサウスの国々を含む主要なパートナーと気候・エネルギー・環境の変革のための戦略的協力関係を強化し、アジア太平洋地域の持続可能な開発において独自のリーダーシップをめざしていくことが求められている。

- 気候・エネルギー・環境の危機を統合的なトランジションへの機会に変え、多様なアクターとともに社会システムの転換を促す政策が必要となる。
- 長期的なトランジションを支えるために、資金、人材、能力構築、科学的レビューを組み合わせながら、変革的なガバナンスの構築を行うことが求められる。そして、意思決定における包摂性、公正性、透明性を確保しながら、社会変革を気候・エネルギーにおけるトランジションの基盤としていくことが重要である。
- AIやデジタル技術を既存のエネルギー技術と融合させながら、エネルギー最適化やイノベーションによってトランジションを加速させることが必要である。また、データセンターをはじめとするAIやデジタル技術のエネルギー・環境負荷について科学的な予測にもとづきこれを低減する戦略が求められる。
- 多極化する地政学的状況において、気候・エネルギー・環境分野における戦略的パートナーシップを強化し、アジア太平洋地域におけるリーダーシップをめざしていくことが重要である。

- 2 Stockholm Resilience Centre, 2024, "Planetary Boundaries," <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>, accessed March 9, 2025.
- 3 Corbeau, Anne-Sophie. 2024. "A New European Parliament Could Mean Less Ambition for European Energy and Climate Policies," blog, Center on Global Energy Policy, Colombia University, <https://www.energypolicy.columbia.edu/a-new-european-parliament-could-mean-less-ambition-for-european-energy-and-climate-policies/>, accessed February 28, 2025.
- 4 European Commission. 2024. The Future of European Competitiveness, 97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en, accessed February 28, 2025.
- 5 マリオ・ドラギのレポートはEUの経済成長と生産性の停滞は、EU存続の危機をもたらしていると訴え、米中とのギャップを埋めるため、デジタル、脱炭素、防衛能力分野で域内GDP約5%の投資拡大が必要と提言。エネルギーに関しては、EU統一市場、送電網増強、新プロジェクト認可の加速などを訴えている。
- 6 European Commission. 2025. "Strengthening European Competitiveness," https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness_en, accessed February 28, 2025.
- 7 European Commission. n.d. "A New Plan for Europe's Sustainable Prosperity and Competitiveness," https://commission.europa.eu/priorities-2024-2029/competitiveness_en, accessed March 5, 2025.
- 8 North, Madeleine. 2025. "What is the EU's Competitiveness Compass and what is it designed to achieve?" February 4, 2025, World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2025/01/what-is-eu-competitiveness-compass/#:~:text=The%20Competitiveness%20Compass%2C%20based%20on,%3A%20innovation%2C%20decarbonization%20and%20security>, accessed March 3, 2025.
- 9 White House. 2025. "Declaring a National Energy Emergency," Executive Order, January 20, Declaring a National Energy Emergency – The White House, accessed March 4, 2025.
- 10 White House. 2025. "Unleashing American Energy," Executive Order, January 20, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/unleashing-american-energy/>, accessed March 4, 2025.

- 11 White House. 2025. "Putting America First in International Environmental Agreements," Executive Order, January 20, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/putting-america-first-in-international-environmental-agreements/>, accessed on March 4, 2025.
- 12 Volcovici, Valerie, "White House clarifies Trump statement on 65% EPA staff cuts," Reuters, <https://www.reuters.com/world/us/white-house-walks-back-trump-statement-65-epa-staff-cuts-2025-02-27/>, accessed February 28, 2025.
- 13 Grandoni, Dino, Evan Halper and Maxine Joselow, "12 big changes Trump could make to climate and environment policy," Washington Post, Nov 19, 2024, <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2024/11/19/trump-environmental-policy-changes-climate/>, accessed February 28, 2025.
- 14 2025年2月1日の大統領令によれば、「国家的危機」が緩和されるまで、アメリカは、カナダおよびメキシコからの輸入品に対して25%の追加関税を、また、中国からの輸入品に対して10%の追加関税を実施する。カナダからのエネルギー資源には、より低い10%の関税を適用する。White House. 2025. "Fact Sheet: President Donald J. Trump Imposes Tariffs on Imports from Canada, Mexico and China," February 1. <https://www.whitehouse.gov/fact-sheets/2025/02/fact-sheet-president-donald-j-trump-imposes-tariffs-on-imports-from-canada-mexico-and-china/>, accessed March 4, 2025.
- 15 Gelles, Davis. "How Trump's Trade War Could Affect Climate Change," The New York Times, February 4, 2025, <https://www.nytimes.com/2025/02/04/climate/trump-trade-climate-change.html>, accessed March 3, 2025.
- 16 C.f. Johnston, Robert, et al. 2025. "Q&A The Energy, Trade and Geopolitical Implications of the Trum Tariffs," Blog, Center on Global Energy Policy, Columbia University, <https://www.energypolicy.columbia.edu/the-energy-trade-and-geopolitical-implications-of-the-trump-tariffs/>, accessed March 5, 2025.
- 17 Meyer, Henry. 2024. "Putin Says BRICS Summit Shows a 'Multipolar World' Emerging," October 23, Bloomberg, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-10-23/putin-says-brics-summit-shows-a-multipolar-world-is-emerging>, accessed March 10, 2025.
- 18 2025年1月には、インドネシアとサウジアラビアがBRICSに加盟した。Presidência da República do Brasil. 2025. "Brazil announces Indonesia as full member of BRICS," January 9, <https://www.gov.br/planalto/en/latest-news/2025/01/brazil-announces-indonesia-as-full-member-of-brics#:~:text=Brazil%20announced%20on%20Monday%2C%20January,which%20began%20on%20January%201,> accessed March 10, 2025.
- 19 Feingold, Spencer. 2024. "BRICS: Here's what to know about the international bloc," World Economic Forum (WEF), <https://www.weforum.org/stories/2024/11/brics-summit-geopolitics-bloc-international/>, accessed March 5, 2025.
- 20 G20. 2024. "G20 Rio de Janeiro Leaders' Declaration," November 18. <https://g20.utoronto.ca/2024/241118-declaration.html>, accessed March 10, 2025.
- 21 Colman, Zack, and Sara Schonhardt. "The global climate race is all but over — and China is winning," Politico, November 22, 2024, <https://www.politico.com/news/2024/11/22/global-climate-china-us-00191049>, accessed February 28, 2025.
- 22 World Meteorological Organization (WMO). 2025. "WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55° C above pre-industrial level," January 10, <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>, accessed March 10, 2025.
- 23 United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF). 2024. "The State of the World's Children 2024," <https://www.unicef.org/reports/state-of-worlds-children/2024>, accessed March 5, 2025.
- 24 The Club of Rome. 2024. "Open Letter on COP reform to All States that are Parties to the Convention," <https://www.clubofrome.org/cop-reform-2024/>, accessed February 20, 2025.
- 25 データセンターは現在、世界の電力使用量のわずか1%を占めるにとどまるが、需要は今後も増加すると予想される。アイルランドではデータセンターがすでに電力需要の20%を占めるほか、アメリカ・バージニア州ではその割合が25%を超えているという。International Energy Agency (IEA). 2025. "AT major IEA conference, decision-makers from tech, energy and government underscore AI's implications for energy security and transition," December 5, <https://www.iea.org/news/at-major-iea-conference-decision-makers-from-tech-energy-and-government-underscore-ais-implications-for-energy-security-and-transitions>, accessed March 10, 2025.
- 26 International Energy Agency (IEA). 2025. "AT major IEA conference, decision-makers from tech, energy and government underscore AI's implications for energy security and transition," December 5, <https://www.iea.org/news/at-major-iea-conference-decision-makers-from-tech-energy-and-government-underscore-ais-implications-for-energy-security-and-transitions>, accessed March 10, 2025.
- 27 United Nations. 2024. "Pact for the Future: What it delivers," <https://digitallibrary.un.org/record/4063334?v=pdf>, accessed March 4, 2025.
- 28 C.f. Chaffin, Brian C. et al. 2016. "Transformative Environmental Governance," Annual Review of Environment and Resources, 41; Hölscher, K., et al. 2018. "Steering transformations under climate change: capacities for transformative climate governance and the case of Rotterdam, the Netherlands" Regional Environmental Change 19, 791–805 (2019).
- 29 能力構築 (capacity-building) は、「組織やコミュニティが急速に変化する世界で生き残り、適応し、繁栄するために必要なスキル、本能、能力、プロセス、およびリソースを開発し強化するプロセス」と定義される。United Nations Academic Impact. n.d. "Capacity-Building," <https://www.un.org/en/academic-impact/capacity-building>, accessed March 11, 2025.

第3章 持続可能なエネルギーシステムをめざすトランジションのあるべき姿

本章では、提言書第6版の刊行後の国際情勢の変化やデジタル技術による産業の成長シナリオをふまえ、カーボンニュー

トラル(以下、CN) 実現に向けたエネルギーシナリオの見直し、新たな課題抽出と対策について示す。

3.1 社会動向を反映したエネルギーシナリオとコスト意識に基づくトランジション

本節では、産業の成長に期待されるAI・データセンターのエネルギー供給ニーズの増加に対し、2050年のCNへの移行との両立は可能か、またエネルギーバランスと同時に考えるべき課題と対策はなにか、について示す。

近年、AI×データの産業分野への活用が急速に拡大しており、業務支援、製品開発支援、作業効率化、イメージ画像などの創作活動で活用されている。生成AIが様々な分野を変革していくことが期待される一方で、図3.1(a)に示すように、

その膨大なデータの学習(トレーニング)に必要なコストもgoogle、Metaなどを中心に年々上昇しており、必要とされる電力量も増大していくことが示唆される。国内においては、データセンターや半導体工場等による需要増を考慮すると、図3.1(b)に示すように、2030年以降国内の電力需要が増加するとの試算結果が複数の研究機関によって報告されており³⁰、特に2040年以降の需要予測は下記機関が幅をもって設定しており、不確実性が高いといえる。

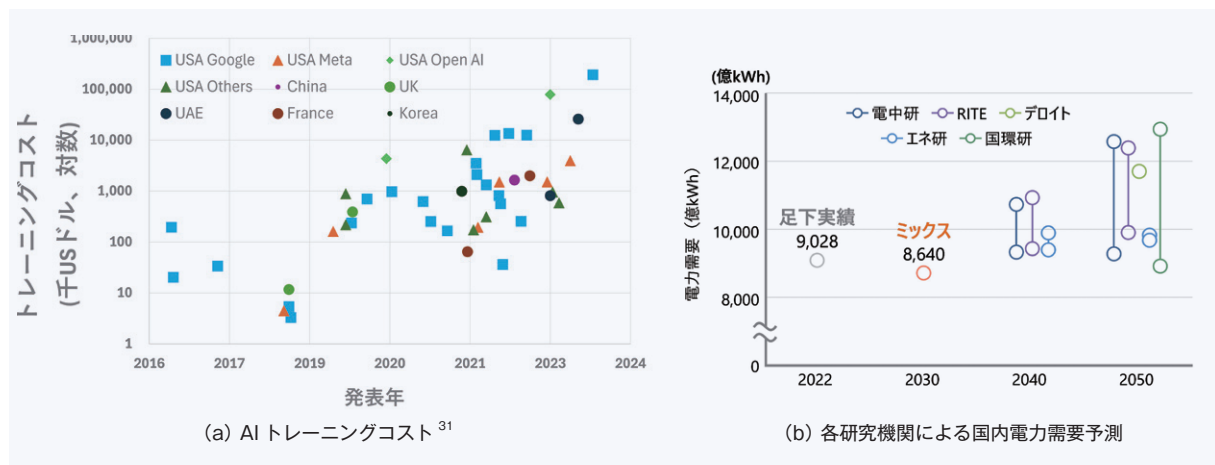


図 3.1 AI×データの産業分野への活用見通し例

2040年のエネルギー動向への対応の方向性としては、2024年12月に第7次エネルギー基本計画の案が公表された。安全性の確保を前提に、エネルギー安定供給を第一として、経済効率性と環境適合性の向上に向けて最大限取組を進めていくことが重要とされている。そのうえで、電力需要の増加が

見込まれる中、脱炭素電源を確保できるかが我が国の産業競争力に直結し、特定の電源や燃料源に過度に依存しないようバランスのとれた電源構成を志向するとともに、再エネや原子力などエネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用していくことが盛り込まれている(図3.2)。

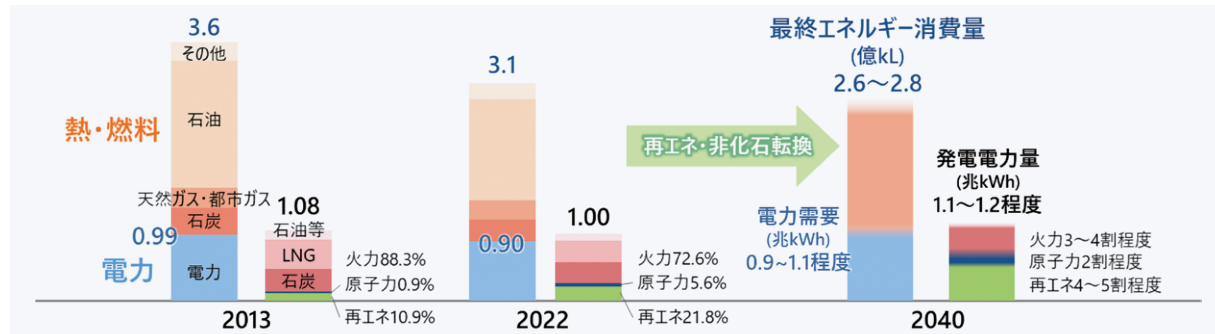


図3.2 AI×データの産業分野への活用見通し例³²

日立東大ラボにおいても、これまでに2050年CNに至るエネルギーシナリオをシミュレーションで計算してきた。第7次エネルギー基本計画で示された、原子力活用もふまえた電源構成シナリオも想定し、定量的な評価を進めてきた。図3.3左に異なる条件で求めた4つのシナリオ（再エネ100%、火力CCS制限、原子力活用、水素調達）について、2050年の電力需要を縦軸に、太陽光・風力などのVREの発電量に占める割合を横軸に示す。データセンター需要増を考慮すると、各シナリオともに電力需要が大きく伸びることが予想される。データセンター需要増の影響は、電力需要増にくわえて、総エネルギーコストの上昇を招くことがわかる。データセンター

のICT活用による社会便益が、エネルギー使用とコスト増に対して見合うのかを評価しつつ活用していくことも重要となると思われる。

また、CNに至る各年度のエネルギー総コストの推移を図3.3右に示す。エネルギー総コストは1次エネルギー、エネルギー転換、各部門の設備コストの合計であり、さまざまな技術イノベーション、例えば、需要側のデマンドレスポンスや分散リソースの需給調整への活用などを織り込んだとしても、2050年には少なくとも2020年に比べて130%～160%に増加すると予想される。

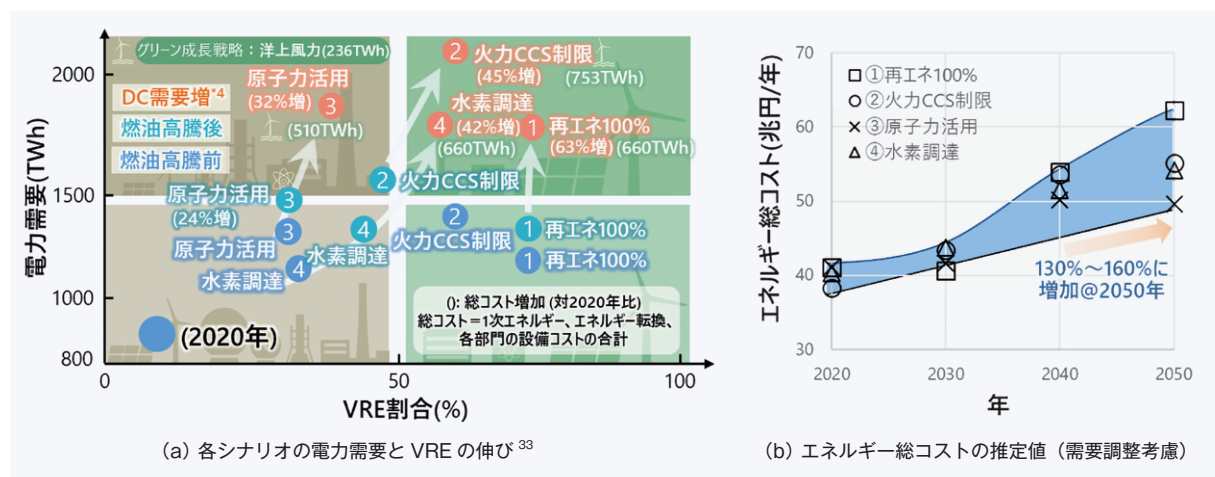


図3.3 需要増にともなうエネルギー総コスト推定

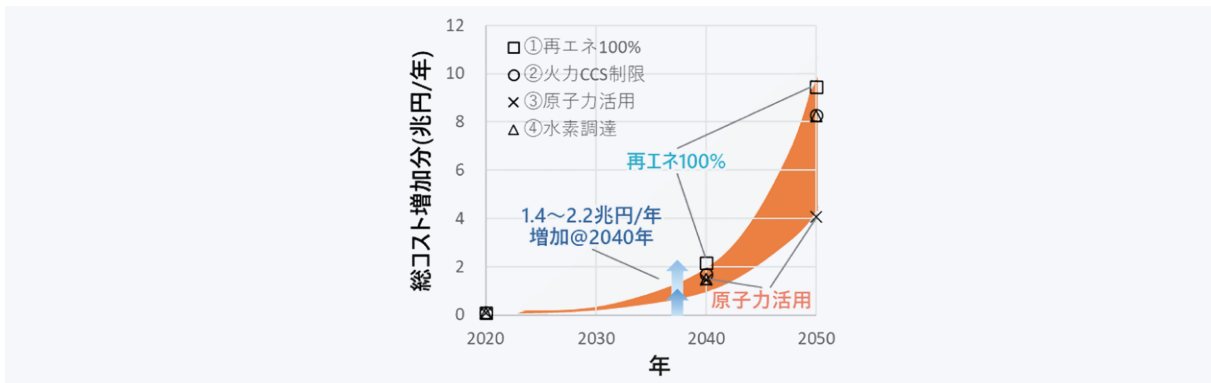


図3.4 技術イノベーション（需要調整普及）によるエネルギー総コストの抑制

前述した技術イノベーションが実装されず、需要調整がなされない場合のエネルギー総コストの増加について検討した例を図3.4に示す。この場合、2040年で原子力活用シナリオの年間1.4兆円から再エネ100%シナリオの年間2.2兆円のコスト増が見込まれる。2050年では、これらが、年間4~10兆円の更なるコスト増が想定され、各シナリオによってコスト増の幅は大きくばらつく結果となる。このように、さまざまな技術イノベーションを起こし、それを実装していくことが、エネルギー総コストの面でも非常に重要となる。

このような技術イノベーションを、適切なタイミングで社

会実装していくためには、先行的な初期投資も必用となる。CNにつながるが事業的にもリスクをとまなう投資については、サステナブルファイナンスやトランジションファイナンスなどの活用、支援の仕組みも有効と考えられる。電力システムは再エネの導入・運用から、それらを活用する多数の需要家までのサプライチェーンをつなぐことによって、再エネと需要の需給バランスの調整や蓄電にとどまらないさまざまな電力需給の融通といった多くのステークホルダーを束ねた対策によってリスクヘッジしつつ、効果的なファイナンス支援の提供も含めて、CN移行が継続的になされる仕組みの構築も重要となる。

3.2 電力需要増大に伴う電力システムへの影響

2040年を想定したデータセンター等のICT関連の電力需要増大に伴い、電力供給状況は現在と大きく異なることを示した(図3.3)。本節では東大・小宮山研究室が開発した全国の基幹システムモデルに基づく、電力システムの混雑状況をシミュ

レーションし、課題を抽出した。図3.5に示す基幹送電線モデルを作成し、2040年に想定される洋上風力80GWを想定される地域である秋田沖、北海道日本海沖を中心に配置し、基幹システムの混雑状況をシミュレーションした。

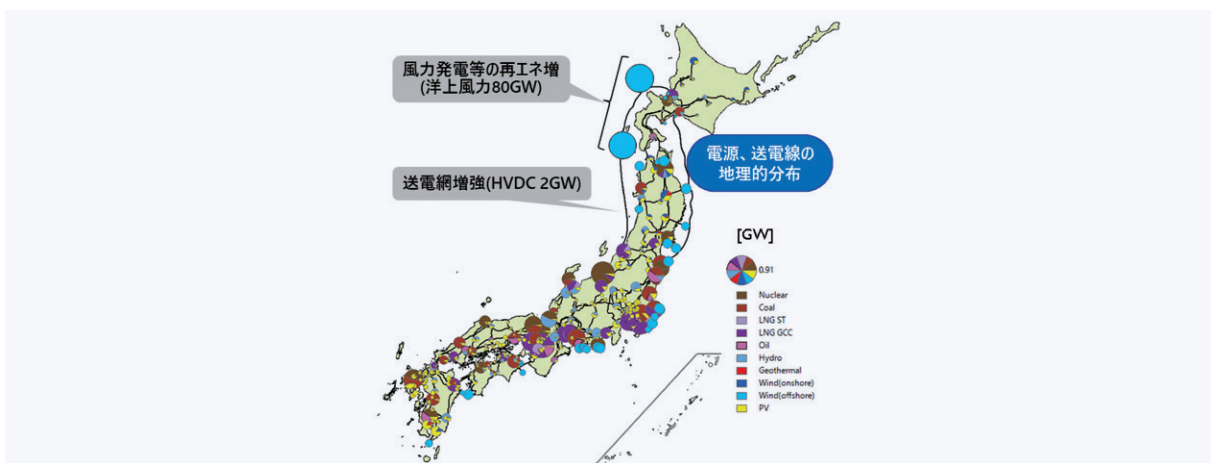


図3.5 全国の基幹システムを考慮した電力混雑シミュレーションの系統線、電源の分布

図3.6に洋上風力80GWを配置した際の5月の状況における電力需給バランス状況を示す。図中上段黄色で示している太陽光発電が日中発電するとともに、図中上段2段目の洋上風力発電が最大50GWほど発電している状況が分かる。風力、太陽光発電をエネルギー需要と調整するため、大量の蓄電池が必要となり、0.5h供給の短期対応蓄電池が50GW、NaS電池のような長期供給蓄電池が100GW必要であり、それらの導入総コストは35兆円規模となり、日本国内の電力システム市場規模約18兆円の2倍程度の投資が別途必要となる。また、夜間を中心としたLNG火力発電

電による供給が多い時間帯で50GW台に達する。風力、太陽光発電が大量導入されても、引き続き火力発電が供給維持のために重要な位置を占める。

図3.7に年間の電力需給運用とそれに対応する火力、洋上風力の各発電機の稼働状況、および揚水、蓄電池の各稼働状況を示す。洋上風力発電は夏場の出力低下が起こり、その間火力発電による炊き増しが生じている。また、春先を中心に風力発電の出力抑制も10GW台の規模で起こっており、蓄電池によるピークシフトを想定してもなお、発電余剰となる時期が存在する。

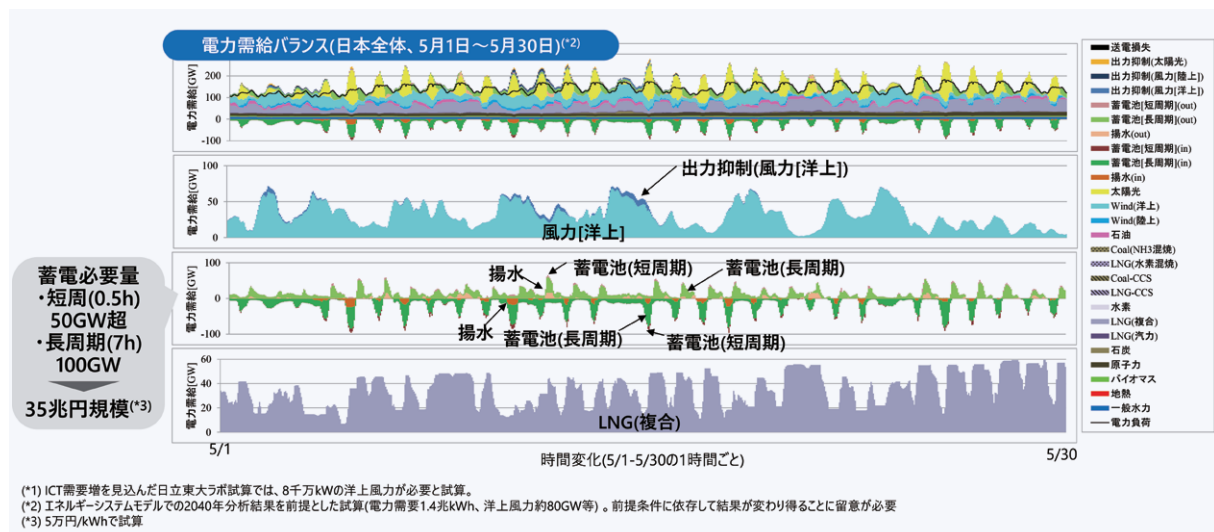


図3.6 2040年の洋上風力発電を考慮した5月の電力需給状況

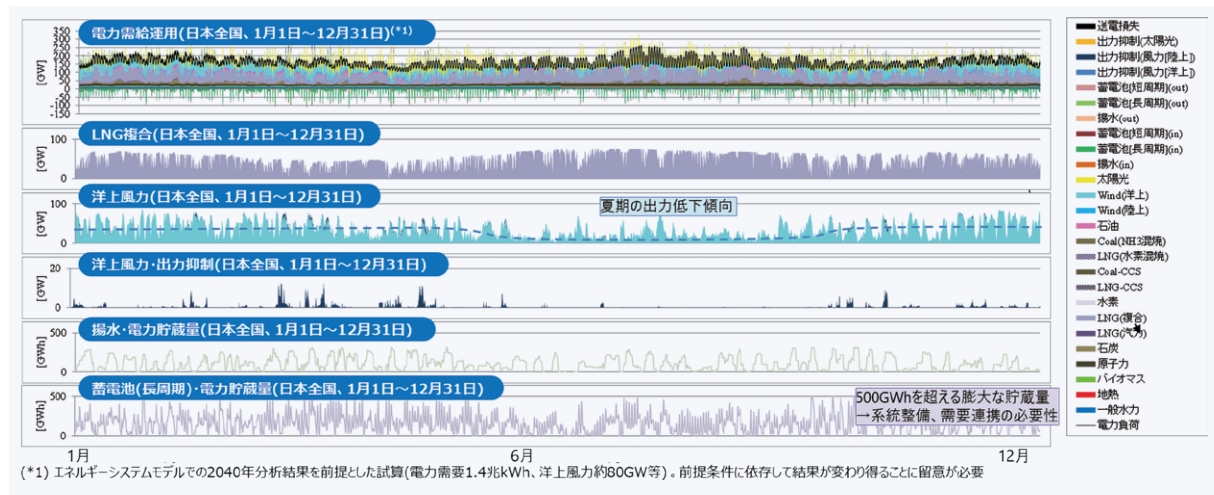


図3.7 2040年の洋上風力発電を考慮した年間電力需給状況

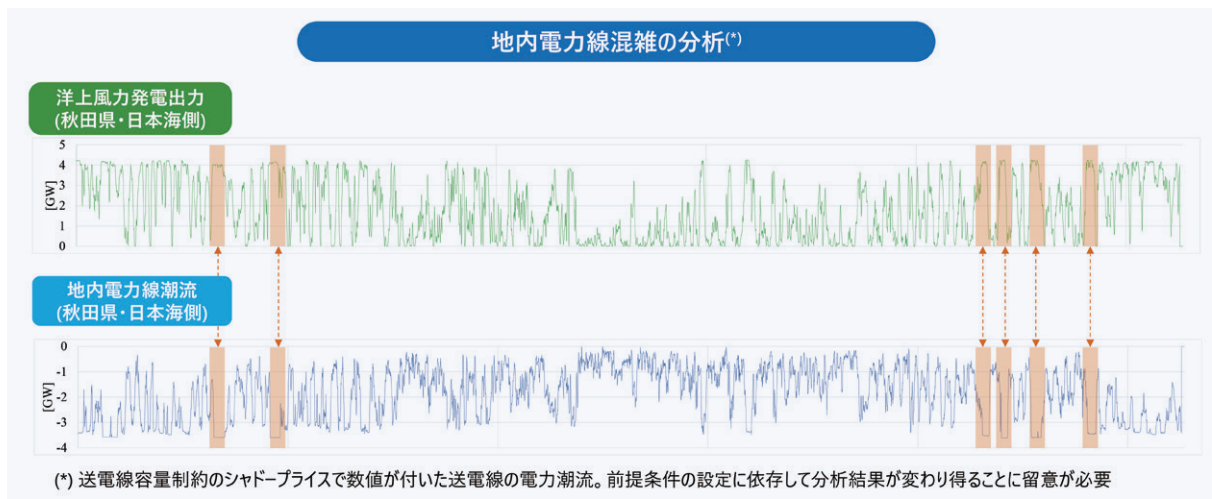


図 3.8 地内系統の潮流解析

続いて、洋上風力が大量導入される秋田県の地内系統の潮流について考察する。秋田県の地内系統において、シャドープライス(送電線容量制約の限界費用)がプラスの値、すなわち経済合理性をもって系統運用されている地内系統の潮流状況を図 3.8 に示す。ノンファーム型接続を前提とした洋上風力の大量導入では、ほぼ風力発電のみで地内系統の送電線容量を占有する可能性があることを示している。このため、再エネ大量導入においては、系統増強計画、蓄電池等の調整力創出、および送電線運用の状況を踏まえ、電力コストを最小にする経済合理性を考慮した導入計画が重要となる。

以上、洋上風力の導入拡大を考慮した系統混雑、潮流解析について、電源の稼働状況、系統混雑状況および混雑回避策を考察した結果、以下の課題解決が必要となる。

① 系統増強計画、蓄電池等の調整力創出、および送電線運用の状況を踏まえた施策

再エネ拡大については、導入拡大を前提としたプッシュ型施策が系統マスタープランで記載されているが、系統増強のリードタイムを踏まえた対策が必要となる。また、送電線運用状況については、北海道・本州間の高圧直流送電線(HVDC)をはじめ、シャドープライスがプラスと評価されている系統線を中心に再エネ拡大に合わせた導入拡大が必要である。変動再エネの調整力創出については、蓄電池の過度な依存に

頼らない、安価な蓄熱プロセス等も活用した多様なイノベーションを活用するとともに、第4章に述べるヒートポンプ給湯器をはじめとした需要家機器の積極参画によって、電力システムの増強に必要な総コストを抑制し、国民負担の軽減に努めるコスト意識をもった施策を重視すべきである。

② 電力需給バランスを考慮した総合施策

再エネの供給地では地内系統がほぼ送電容量限界に達する見込みであり、再エネ導入のスピード、系統増強、蓄電池等の調整力を経済合理性が成立する計画を立案して推進する必要がある。系統増強は完遂までのリードタイムが長いため、大口需要を再エネ供給地に隣接させるなどの改革も必要となる。半導体製造工場やデータセンターといった需要が再エネ供給地近接への設置の可能性があるが、情報産業の繁栄にも左右されるため、計画段階の予見性が問われる。

③ 当面の化石燃料の安定確保と中長期的な炭素吸収・固定化

再エネ主電源化が実現した段階でもS+3Eの観点から、火力発電が引き続き利用される状況になる。LNGをはじめとする化石燃料の安定確保とCNに向けた炭素吸収・固定化の技術推進が必要である。

3.3 電力システム改革の論点と解決に向けた取り組み

わが国は2030年に2013年度比で46%の温室効果ガスを削減する野心的な温室効果ガス削減目標を掲げており、この実現に合わせて経済構造の強化が必要となってくる。温室効果ガスの削減において、再生可能エネルギーの果たす役割は大きく、この供給、需要を支える電力システムの役割は重要である。2020年の電力システム改革において、電力小売事業の完全自由化がなされ、急速な再エネの拡大と、カーボンニュートラルに対する取り組みの高まりは想定を上回るスピードで進んできた。電力卸取引市場の流動性を高める政策を推し進めた結果、短期的な視点での電力事業の運営が強まっており、巨額の投資を長期にわたって回収しながら設備形成をしてきた電力事業のビジネスモデルの前提が難しくなっている。また、2024年に本格始動した電力需給調整市場は、募集量に対する応札不足が続いており、市場による電力需給

調整には改善が求められる。

CNとGXの推進を支える上での電力システム改革については、自由化のメリットである事業者の創意工夫によって支えられるのと同時に、持続可能かつ経済合理性のあるシステム構築が不可欠となってくる。事業者の創意工夫を促す競争原理と支援施策は、カーボンニュートラルの技術イノベーションなどにも影響を受けるため、システムとして実証的な試みも相当程度取り入れながら、柔軟性のある運用をさらに進めていくことになる。また、電源投資については、需要家の再エネ調達意欲も取り入れながら、PPAなどの施策を活用していくことが考えられる。これらの施策を下支えする原子力発電や石炭発電といった燃料および発電インフラに関するエネルギー政策の大枠を国が責任をもってコミットする必要がある。

COLUMN

産学協創フォーラムパネルディスカッション-脱炭素電源への投資の誘導策の議論

本ディスカッションでは、東京大学 小宮山涼一先生のモデレータのもと、資源エネルギー庁 電力基盤整備課長の筑紫正弘様、シカゴ大学の伊藤公一朗教授、東京大学の大橋弘副学長、東京大学の岩船由美子教授、そして日立製作所営業統括本部の山田竜也担当本部長をパネリストとして招き、『「エネルギー・トランジション」ーデジタル活用で創る発展的カーボンニュートラル社会-』について議論いただいた。



今後、脱炭素電源への投資を誘導する事業環境の整備が課題になると考えられますが、新たな制度設計や既存制度の拡充に際しては、どのような課題があるのでしょうか。

—— 小宮山涼一 東京大学大学院工学系研究科教授



主として二つの課題があると考えています。一つは、長いリードタイムの中で環境変化を予測し、反映させることが難しいという課題。設備の導入から発電所の運営まで、長期にわたって必要となる投資とコストをどう管理していくのかを考えなければなりません。もう一つは、従来の電力事業がPPA (Power Purchase Agreement: 電力購買契約) によって支えられてきた面があるということです。多様な需要家、それを支える小売事業者がPPAを結びやすい環境を整備していく必要があります。

—— 筑紫正弘 資源エネルギー庁 電力基盤整備課長

COLUMN



長期にわたる設備の維持・形成においては、設備の社会的意義が変わってしまうようなことが起きた際にどう対応するのかも重要です。原子力や石炭はその典型だと思うのですが、災害や温暖化の議論の風向きを契機として突然、民間の責任を問われる可能性があることも見越したうえで事業を推進していけるかという、難しい面もあると思います。国と民間との共同事業という枠の中で、一定のスタンスを長期的に保持してもらわないとそもそも投資が進まない。そういったことを前提に、採算性の議論をする必要があるのではないのでしょうか。

—— 大橋弘 東京大学副学長



チリが成功を収めた背景には、政府主導のPPAの存在もあります。政府が一定の再生可能エネルギーを買い取ることで、ロングタームのコミットメントになっているわけです。また、チリで普及している再生可能エネルギー発電はほぼすべてが、バイヤーとサプライヤー間の長期契約に基づいて行われており、これがもう一つの成功事例になっていると考えています。したがって、日本もよりPPAを活用していくべきであるという点については同意です。

—— 伊藤公一朗 シカゴ大学ハリス公共政策大学院教授

3.4 | 第3章まとめ

本章では、2023年以降の国際情勢の変化やデジタル技術による産業の成長シナリオをふまえ、CN実現に向けたエネルギーシナリオの見直し、新たな課題抽出と対策について述べた。産業の成長に期待されるAI・データセンターのエネ

ルギー供給ニーズの増加に対し、2050年のCNへの移行との両立、またエネルギー需給バランスと同時に考えるべき課題と対策について、系統混雑解析などを交えて考察した。

- 生成AIをはじめとしたデジタル分野が産業界に様々な変革をもたらす可能性を示す中、電力需要の増大も予想されている。2025年2月に策定された第7次エネルギー基本計画において、2040年におけるエネルギー消費の総量は、現状より3割程度減少する一方、電力に着目するとその消費は2割程度増大する見通しである。日立東大ラボではこの電力需要増大を見通した複数のエネルギーシナリオを考察した。エネルギー需要の増大に加え、エネルギーインフラの増強等に伴う総コストの増大が現状の130%から180%となり、コスト意識を持ったトランジションの推進を一層強化すべきである。
- カーボンニュートラルに伴い、技術イノベーションが実装されなかった場合、各エネルギーシナリオにおいて、2050年には4~10兆円の追加コストを負担することになり、技術イノベーションの実装を再エネ拡大の状況に応じて適切に進めるべきである。
- デジタル分野の実装に伴う電力需要増大を想定した系統混雑解析を実施した結果、短周期蓄電池を50GW、長周期蓄電池を100GW実装することになり、その必要コストが35兆円程度となることを示した。蓄電リソースについては、蓄電池のみにとどまらず、需要家のさまざまな機器による需給協調、ヒートポンプ給湯器をはじめとする電気を温水等の熱で貯留する電熱変換利用などコスト削減のイノベーションの多様性を確保すべきである。

- 電源をはじめとする投資について、現在の長期脱炭素オークションやPPAといった相対取引の自由度を高め、需要家も電源投資に積極的に参画できる制度形成を進めるべきである。
- 電力システムにおける責任所在を国が明確化し、長期にわたる政策意思を示すべきである。

30 経済産業省 / 資源エネルギー庁. 2024. "電力需要について." 2024 年 6 月 . https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/056/056_005.pdf

31 Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. 2024. "Artificial Intelligence Index Report 2024." <https://aiindex.stanford.edu/report/>

32 経済産業省 / 資源エネルギー庁. 2024. "2040 年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)." 令和 6 年 12 月 . https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_03.pdf

33 RITE (Research Institute of Innovative Technology for the Earth). 2021. "RITE の 2050 年カーボンニュートラルのシナリオ分析への IGES の指摘事項に対する解説." 2021 年 6 月 . <https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/202106commentaryoniges.pdf>

第4章 CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

本章では、生活基盤である地域社会の役割を主にエネルギー需給の観点で説明し(4.1節)、その実現を可能とする社会移行の要件を述べる(4.2節)。また、地域の社会移行によるS+3Eのエネルギー需給への貢献ポテンシャル評価と実証、それを社会実装するために必要な施策について言及する(4.3

節)。合わせて、CNに向かう地域の役割として人財の育成にも触れる(4.4節)。ここでは、複雑な社会問題を多面的に捉え、他者との共感のもと課題を克服する人財育成に対する教育現場や地方自治に向けた期待を述べる。

4.1 CN 社会実現に向けた地域社会の役割

再エネ主電源化を含むCN社会実現に向けて、地域社会は図4.1に示すように、基幹システムから安定な電力や熱エネルギーの供給を受けるとともに自らも一部を供給し、データを用いた「賢いエネルギー利用」で電力の需給調整に貢献する「調整力」を創出することで、基幹システムと共に「S+3Eのエネルギー需給」を実現する主体となることが期待される。ここで言う調整力とは、利便性や機能を損なうことなく時間シフト可能な電力需要などを示す。

日本の経済成長と同時にCNを達成するためには、エネルギー供給側だけではなく、需要側の努力により限られた資源を経済的に活用することが重要であり、地域社会から創出する「調整力」がその主要貢献の一つとなる。また、今後、発災後に停電や供給不足により基幹システムからエネルギー供

給が制約される場合、地域電源やEVなど地域リソースを活用することにより防災拠点に代表される地域内の重要需要に対して需給を確保することも考えられる。

2024年に発刊した提言書第6版では、賢いエネルギー利用により地域での価値づくりを実現し、基幹系統に調整力を供給する協調・制御プラットフォームを提案するとともに、デジタル技術を活用した再エネ地産地活、地域特性を活用した自然回復と共存するネガティブエミッション、による地域経済の活性化の事例を示した。経済と環境を両立する社会移行の一手段として、環境クレジットを活用し、エネルギー協調に基づく地域内での再エネの使い切り、および地域内循環がその手段になり得ること、またCO₂貯留量を低減する施策として、藻場育成によるブルーカーボンの事例を示した。

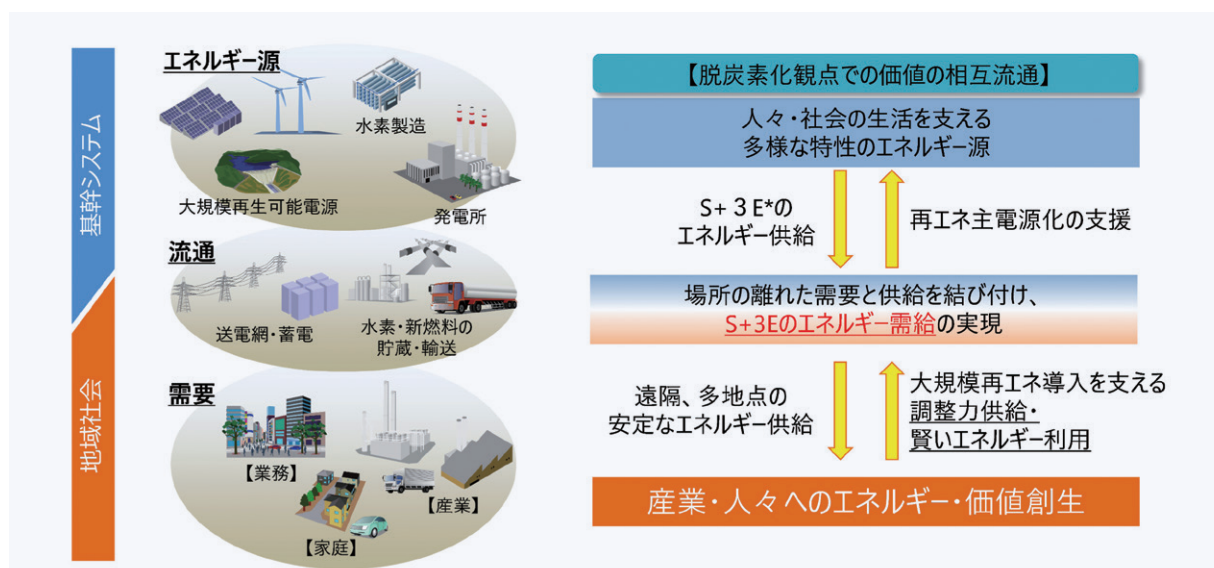


図4.1 基幹システムと地域社会の位置づけ

本版では、現状の地域社会に求められる役割を再分析し、それに基づき地域の経済成長と両立する社会移行、すなわち地域における統合的トランジションのあり方、既存技術で実現できる調整力創出の実証例、およびエネルギー需給へ

の貢献を加速するための提言を示す。また、S+3Eのエネルギー需給への貢献に平行して進めるべき地域経済の活性化や人材育成についても言及し、地域から起こす社会移行の重要性を再確認する。

4.2 地域で起こすエネルギートランジション

2025年2月に閣議決定した第7次エネルギー基本計画では、徹底した省エネの重要性は変わらないとし、産業および地域での継続的改良・電化推進・地域との共生を図りながらの再エネの最大限の導入と調整力の確保、を推進する計画が示された。日立東大ラボでは2021年より地域での賢いエネルギー利用、およびそれを実現する協調・制御プラットフォームの社会実装を提言してきており、特に電力利用については地域から創生可能な調整力ポテンシャルを定量化し発信してきた。地域から生み出す調整力の重要性については、資源エネルギー庁主催の発電コスト検証ワーキンググループなどでも給湯機やEV充電の時間シフトを例にその有用性が示され、共通認

識化してきている³⁴。

協調・制御プラットフォームは基幹エネルギーシステムと需要家機器、特にエネルギーストレージを内蔵する機器と連携し、電力卸売市場であるJEPX(Japan Electric Power eXchange)のスポット価格と機器利用情報をもとに利便性を損なわない範囲で調整力を創出する運用計画を発信し、電力供給側へは過剰な系統用蓄電池導入の回避、需要側には電力コストの削減、という双方のメリットを創出するシステムである。このようにして創出された調整力により、経済合理的な再エネ導入と活用を実現する。

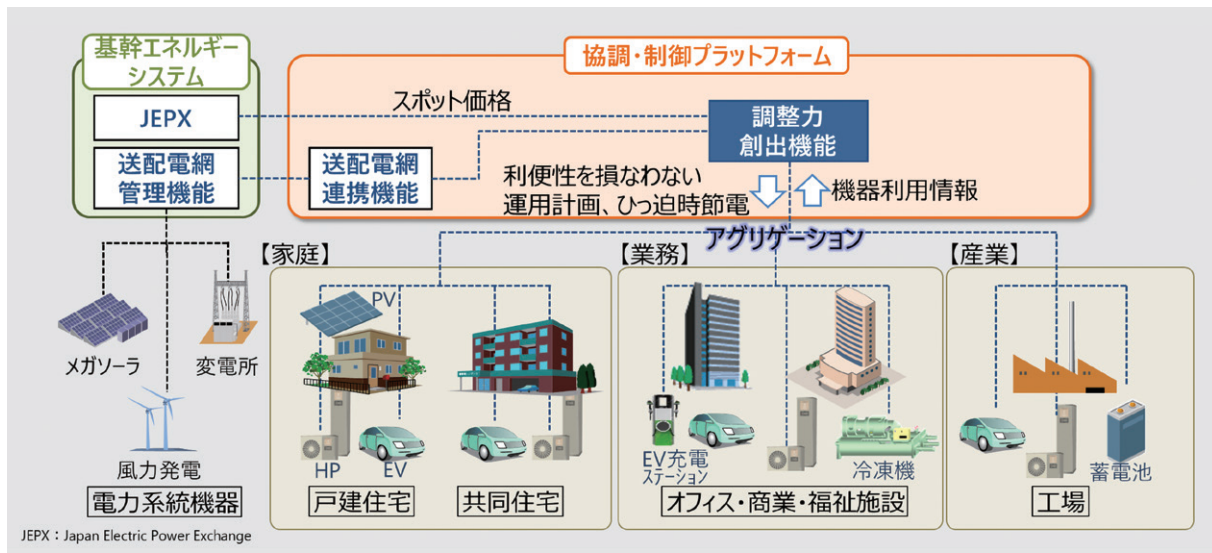


図 4.2 基幹システムと需要家機器をデジタルでつなぐ協調・制御プラットフォーム

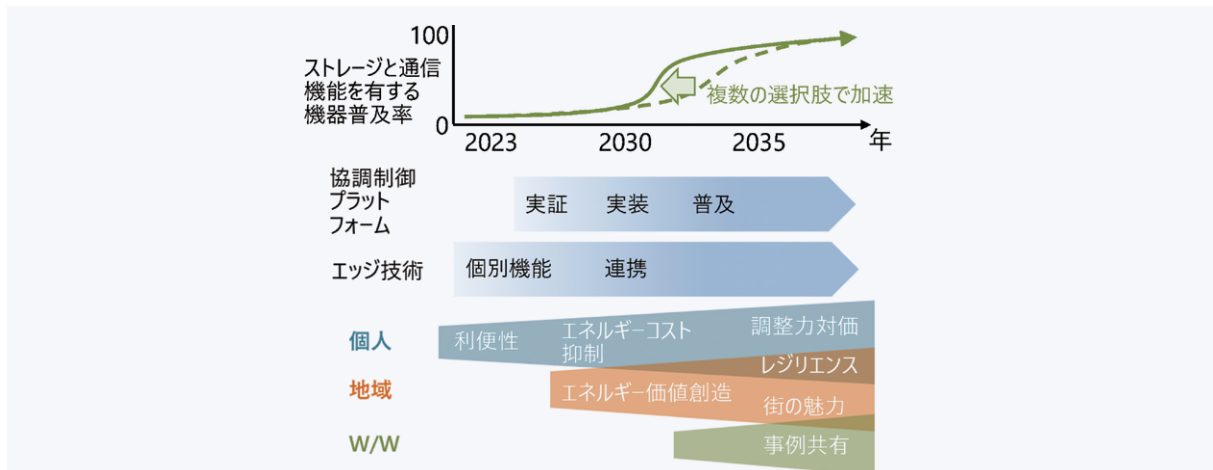


図 4.3 地域社会で進める段階的社会移行

上記の賢いエネルギー利用は、ヒートポンプ給湯機の沸き上げ時間のシフトなど、既存技術で実現可能なものが多いが、エネルギーの提供者・需要家には一定の変化を伴い、その変化が社会移行の障壁となる。そのため、地域社会で起こす社会の変化は、地域のステークホルダーがメリットを実感しながら移行のステップを段階的に進めることが重要となる。また、現在の生活からの連続性や安全性を担保しながら、段階的社会移行を複数の手段で進めていくことが望ましい。

地域社会の移行イメージを図4.3に示す。需要家である個人が利便性やエネルギーコストの抑制、調整力市場への参加による受領価値を増大しつつ、地域としてはエネルギーの効率的活用による価値創造を進め、地域の魅力向上やレジリエンスの強化につながる。

このような既存技術の活用による賢いエネルギー利用が、可視化・可制御化されたヒートポンプ給湯機などエネルギーストレージ機能を有する機器の流通や導入を加速し、それらが地域のエネルギー利用をコーディネートするプラットフォームにより統括・運用支援されることにより、ステークホルダーの社会移行を円滑化する。

デジタル技術は、機器やエネルギー利用の可視化・可制

御化を実現し、図4.2に示した社会への移行を支えるキー技術である。可視化・可制御化により、需要家のエネルギーの利用タイミングを把握ことで、煩雑さを回避しつつ需要家の利便性を損なわない範囲での調整力創出が可能となる。日本はヒートポンプ給湯機など、世界に誇るエネルギーストレージの技術を所有し、導入してきた。それらをデジタルの力により賢く使うことで経済合理的に調整力を創出し、導入した再エネの有効活用が可能となる。

2020年当時の菅総理によるカーボンニュートラル宣言以降、日本政府はグリーン成長戦略の立案、GX移行債の発行など、様々な施策を打っている。また、2024年より需要家機器の調整力を活用すべく、経済産業省の主導によりDRready勉強会が開催され、ヒートポンプ給湯機、家庭用蓄電池、を対象としたDRready要件が議論されている。また、家庭用蓄電池の次には双方向EV充電器がその議論対象となる予定である。しかし、製品サイクルとCO₂削減目標を照らし合わせると、電力価格情報・機器運用状態・制御指令を含む機器との通信インターフェース標準化やセキュリティガイドラインなどのルール策定を加速させる必要があり、それを支援する多様なアイデアの施行・実証が強く求められる。

COLUMN

DRreadyを取り巻く情勢

DRreadyとは、家庭など需要家側の機器に通信ネットワークを介した遠隔操作によるデマンドレスポンス(Demand Response; DR) に対応させる機能を具備した状態を意味する。需要家側機器がDRreadyになることにより、電力を使いたいときに使いたいだけ使う、という状況を脱し、需要家による電力システムの脱炭素化・効率化・安定化へ寄与することが期待されている。

本文に記載のとおり、日本では2024年からDRreadyの議論が開始されたが、米国ではワシントン州、オレゴン州、

カリフォルニア州においてヒートポンプ給湯機のDRready化が州法ですでに義務化されている。英国においてもEV充電器に続きヒートポンプ給湯機への義務化が検討されている³⁵。日本国内の2022年度末までのヒートポンプ累計出荷台数は877万台にのぼる³⁶。2030年、2035年の温暖化効果ガス排出抑制マイルストーンと機器更新期間を踏まえ、貴重な調整力の供給源としての有効活用を早急に実現していく必要がある。

DR ready制度化状況	
	ワシントン州、オレゴン州では機器省エネ基準として、カリフォルニア州では建築物省エネ基準として、HP給湯機の義務化済。
	義務化済のEV充電器の規格をもとにHP給湯機への同企画適用検討中
	電気製品のDR機能の規格を作成済、本規格の準拠義務化を検討中
	HP給湯機対象の勉強会開始

図 4.4 DRready 制度化状況の比較

4.3 地域の持つポテンシャルとその活用

JEPXにおける各エリアでの卸売価格に目を移すと、下限値である0.01円/kWhでの取引値となる状況が生じている。また、その状況の発生回数は年により変化はあるものの、取引値が0.01円/kWhとなる状況が200時間を超える地域が拡大している(図4.5)。下限値0.01円/kWhで取引されると、再エネ出力抑制が未実施の地域でも、市場として再エネ電力が有効に活用されずに余っている状況である。この状況で再エネ導入を進めても過大な系統用蓄電池の増設や稼働率が低い系統増強、再エネの出力抑制などを引き起こし、社会コストが益々上昇する虞がある。このような状況を避けるため、需要家が電力を買い取る小売価格にスポット価格を適切に反映し、需要家の行動変容を誘起する再エネ余剰を反映した小売料金の普及拡大を早急に推進していく

必要がある。

日立東大ラボでは、前述のように地域社会から生み出される調整力のポテンシャルに早くから着目している。JEPXのスポット価格は再エネ出力の余剰が反映される指標であることから、スポット価格に応じて住宅・集合住宅・福祉施設のヒートポンプ給湯機、EVを経済運用した場合の全国規模での社会便益を試算し、493億円/年の社会コスト削減が期待できるとの結論を得ている(図4.6)。ここで、本試算は2030年のヒートポンプ給湯機およびEVの導入率、そしてスポット価格想定値を解析条件としたものである。また、さらに再エネ出力を有効活用したことによりスポット価格の下限値が0.01円/kWhから1.00円/kWhに持ち上げられたものとして試算した。詳細は提言書第5版の付録を参照されたい³⁷。

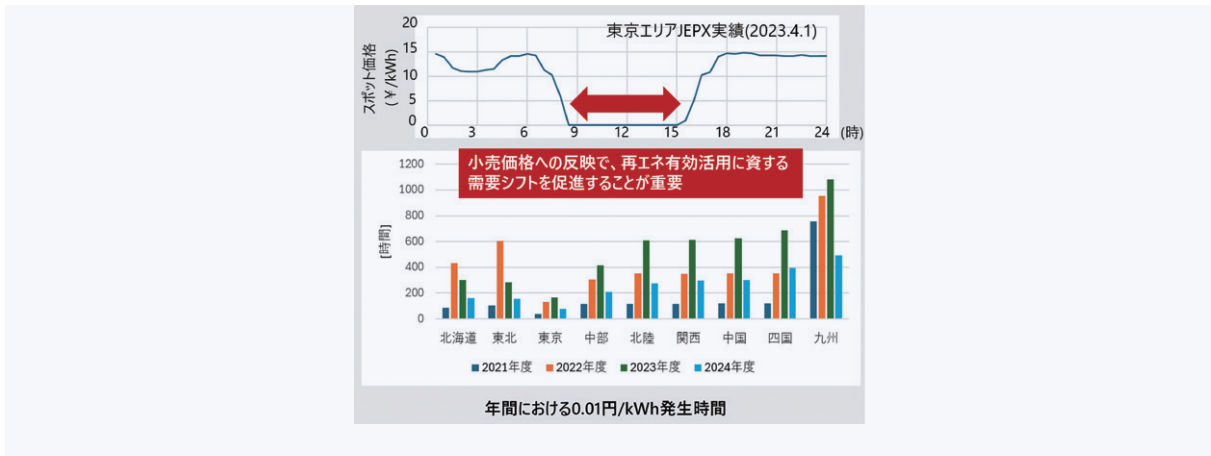


図 4.5 スポット価格の実績と、その累積データ*

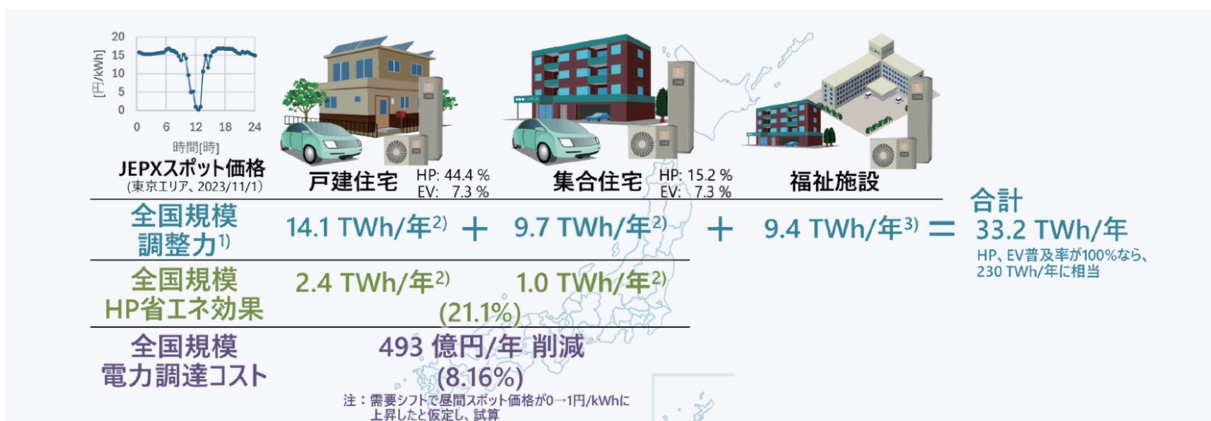
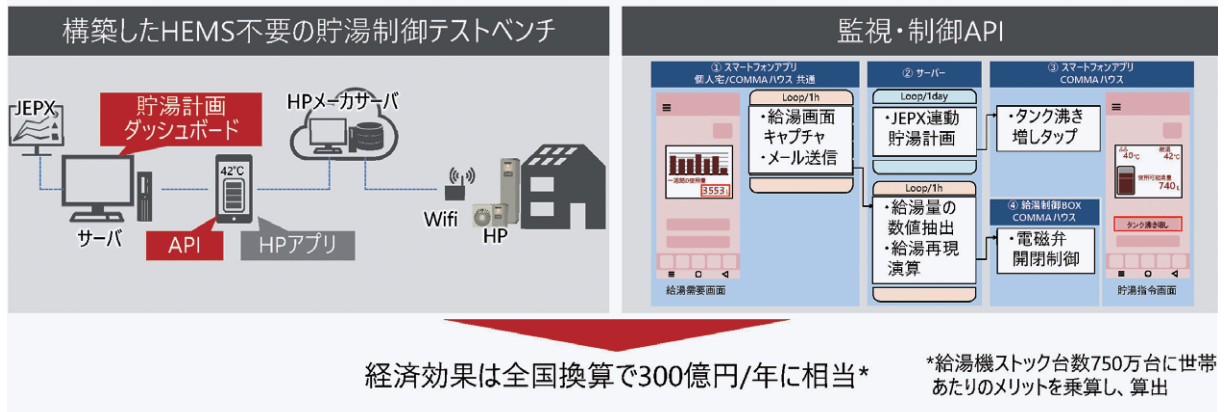


図 4.6 地域社会から生み出す日本全体での調整力（提言書第5版より再掲）

* JEPX 実績データをもとに日立東大ラボで集計。2024 年度データは 2025 年 2 月 26 日までの実績値

図 4.7 JEPX スポット価格連動ヒートポンプ給湯機制御テストベンチ³⁸

また、2024年3月からは上記試算に加え、実家庭での給湯を模擬したテストベンチを構築し、JEPX 東京エリアのスポット価格に連動した貯湯遠隔制御の実証を開始した。本テストベンチでは、現在市場で流通しているヒートポンプ給湯機を用いた。遠隔制御はヒートポンプ給湯機メーカーが標準に提供する携帯アプリを活用した個別の家庭用エネルギーマネジメントシステム (HEMS) 不要の貯湯制御システムで構築し、

すでに5か月以上の連続運転実績と11か月の運用を積み重ねている。(2025年2月末)

本実証の結果を現在のヒートポンプストック台数と全国の世帯数をもとに全国換算すると、家庭用ヒートポンプ給湯機の貯湯制御により、年間300億円の調達コスト削減効果が期待できるとの結論を得た。本実証設備および換算条件については付録にて詳細を記す。

4.4 地域からの調整力創出を加速する施策

前節で説明した実証により、個別家庭用HEMSを必要としない、ヒートポンプ給湯機のJEPX連動の遠隔貯湯制御が既存製品と技術で可能であることを示した。しかし、賢いエネルギー利用による調整力創出を社会に根付かせ、その普及を加速するためには、技術の確立に加え、賢いエネルギー利用の動機付けに十分なメリットを需要家が受け取れることが重要である。需要家のメリットを、①電気料金の安い時間帯に需要をシフトする経済DR、②需給調整力市場などで調整力の取引により対価を得る調整力市場取引、の2ケースで想定し、それぞれのケースにおける加速施策を以下に整理する。

ケース①：経済DR

経済DRを加速するには、次の2点が重要である。以下詳細を記す。

- i) 調整力を創出するエネルギー利用を実行することにより、行動主体のメリットが生じること

- ii) 調整力を創出するエネルギー利用を実行するための技術が提供されていること

調整力を創出するエネルギー利用により、行動主体である需要家にメリットが生じるためには、調整力を持つ需要家へ小売からスポット価格が反映された料金プランの提供が必要となる。すでに、市場連動プランやDRポイント還元プランなど経済合理性と利便性を両立したエネルギー利用を促す施策が新電力を中心に小売電気事業者から提供され始めている。しかし、個人情報の入力不要な年間料金試算ツールの提供などにより人々の躊躇を回避し、その利用を拡大する施策が進められるべきである。

また、需要家には時間シフトによる安価な電力供給に加え、社会コストの上昇抑制に寄与するエネルギー利用に対し、正当な対価が提供される仕組みの議論が期待される。

調整力を創出するエネルギー利用を実行するための技術形態は、個別設定をできるだけ回避し、価格情報をもとに需要家の利便性を損なうことなくエネルギー利用を調整できることが重要である。小売電力ごとで情報提供が異なる、などのスマート化阻害要素の抽出と対策を、小売・メーカの業界団体が議論し対策を講じることが望ましい。また、そのような議論の場の設立を政府が支援することが期待される。合わせて、EVなど本来外部通信が可能な機器のデータプライバシー性の改善、電力に加えた熱需要の時系列データの計測・蓄積による需要家熱需要モデルの構築、貯湯タンクや蓄熱槽などの熱貯蔵要素と併設されるヒートポンプの普及を促進する助成制度の構築やファイナンスメニューの拡充、をより一層進めるべきである。

ケース②：調整力取引

市場取引される調整力が需要家から提供されるためには、以下2点が重要となる。

- i) 調整力の予見性・確実性が外部から確認できること
- ii) 調整力の源となる機器の所在がわかること

調整力の市場取引では、経済DRに比べて確実性が重要となる。DRready勉強会でも予見性・確実性の判断材料となる機器状態量の計測および通信インターフェース(IF)が議論された。機器種別や運用履歴などから予見性・確実性を評価できる情報伝達機能を機器側で送信できるIFを備えると

ともに、それら機器開発に対するメーカへのインセンティブ付与、機器が上記要求されたIFを備えることを公的に示す機器認証スキームの構築、を平行して進める必要がある。

DRreadyのヒートポンプ給湯機が販売される時期は2029年が想定されている³⁹。ゆえに、それら機器の普及は、2030年に間に合わない。現在の機器で可能な価値創造の試行を積極的に推進し、DRready対応機器の普及に先立ちエネルギー利用の市場価値化サービスを成熟させることが効率的エネルギー利用とDRready対応機器の能力を最大限に引き出す重要施策となる。

再エネ導入の促進には、需給バランスに加え、ローカル系統・配電変電所の混雑を回避しなければならない。欧州では、稼働率の低い系統アセット導入を避けるべく、地域の調整力が市場を介して活用されるローカルフレキシビリティマーケット(Local Flexibility Market, LFM)の試行および実装が進んでいる。日本でもLFMを構築して地域の調整力を活用し、系統アセットの稼働率を向上することは可能であるが、そのためには調整力を提供し得る機器の位置情報が必要である。その位置情報を含めたデータベース化の構築と公開方法を早急に関連ステークホルダーで議論すべきである。また、当該地域で創出可能な調整力を活用し、再エネを地産地消するケースも考えられる。この場合、出力抑制の免除など、環境と地域経済の成長を両立する仕組みを支援する仕組みを構築すべきである。

COLUMN

日立東大ラボ・産学協創フォーラムパネルディスカッション - 需要家機器や再エネをつなぐデジタル技術 -

本議論の中では、第3章記載のコラムに記載のように、脱炭素電源への投資を誘導する事業環境の整備に向けた、新たな制度設計や既存制度の拡充について議論された。これに加え、東京大学生産技術研究所の岩船由美子教授より、需要家機器や再エネをつなぐデジタル技術についての発表および議論をいただいた。



ステークホルダーに十分な動機が与えられなければ物事は動かず、スポット料金連動の電力プランが浸透拡大することと、機器メーカも小売電気事業者と歩調を合わせて賢い電力利用により需要家がインセンティブを享受できる機能を開発する必要だと思います。現状ではスポット料金の価格差は燃料値差程度しか期待できないため、託送料金も再エネの出力に連動して変わるなど値差を拡大するような世界になれば小売電気事業者にとっても需要家にとってもメリットの出る社会移行ができるのでは、と考えます。

—— 東京大学生産技術研究所 岩船由美子 教授

4.5 S+3Eのエネルギー需給とともに進める地域の移行

地域社会は人々の生活の基盤であるがゆえ、地場産業の活性化、それによる人口の維持は地域にとって重要事項である。地域の特徴を活かし、中期的ビジョンのもと地域経済の成長とCN達成を両立することが地域には求められ、その達成を他地域に頼りきりにならず、一人称でけん引する人財を育てることも当該地域の持続的発展のために求められる。

本節では、地場産業の活性化とCN達成を両立する好事例としてブルーカーボンの活用を紹介し、またブルーカーボンに関連した若手の発明を起点とし、人財育成の重要性と今後求められる教育について述べる。

ブルーカーボンによる地場産業の活性化

地域の特徴は、都市部へのアクセスなどの地理的特徴やエネルギー資源の保有に限らない。CNへの移行は、山林・海洋など環境資源を活用した脱炭素への貢献と環境改善による地域経済活性化の可能性ももたらしている。

日本は森林の老朽化に伴い、年々森林によるCO₂吸収量が減少しており、2022年の吸収量は約5,020万トンで2021年度比で6.4%減少している。一方で日本は周囲を海で囲まれた島国である。この特徴を活かし、日本の環境省は藻場など海洋植物によるCO₂吸収量を算定し、2024年に世界で初めてブルーカーボンによる吸収量を合わせた吸収量を報告した⁴⁰。

ブルーカーボンの取り組みは現在全国で40事例以上に

広がりを見せている（図4.8）。本取組は、CO₂の吸収と漁場の回復、ひいては地元の海洋漁業の活性化を同時に実現する取り組みであり、地域の特徴を活用した好事例と考えられる。

この他にも間伐材や家畜・食品廃棄物を活用したバイオマス発電、それによるエネルギーの地産地消の事例が存在する⁴¹。地域の周辺生態系や廃棄物をエネルギーと関連付けた地域の産業活性化とCNへの貢献の両立を実現する活動のアイデアを積極的に発掘し、その実現を財政的・制度的にサポートすることが重要である。

地域における人財の育成と教育

漁業や林業、畜産業を取り巻く物質を資源として考え、分析・活用することにより、地域産業の活性化とCN達成への貢献が可能である事例を示した。このような事例をより多く生み出していくことが望まれる。しかし、このような事例は、社会の動きをとらえ、一人称で自分の属する地域の課題を把握し、またそれを可能とする知識を持つ人財が地域の中にいなければ、アイデアの発案すらも難しくなる。

このことから、教育の場では社会課題を広く取り上げ、自らが置かれる環境を理解する基礎知識が提供されることが必要である。特にデジタル技術を活用するためのデータリテラシーの育成に取り組むことが重要となる。4.2節で述べたように、地域の社会移行を円滑に進めるにはデジタ

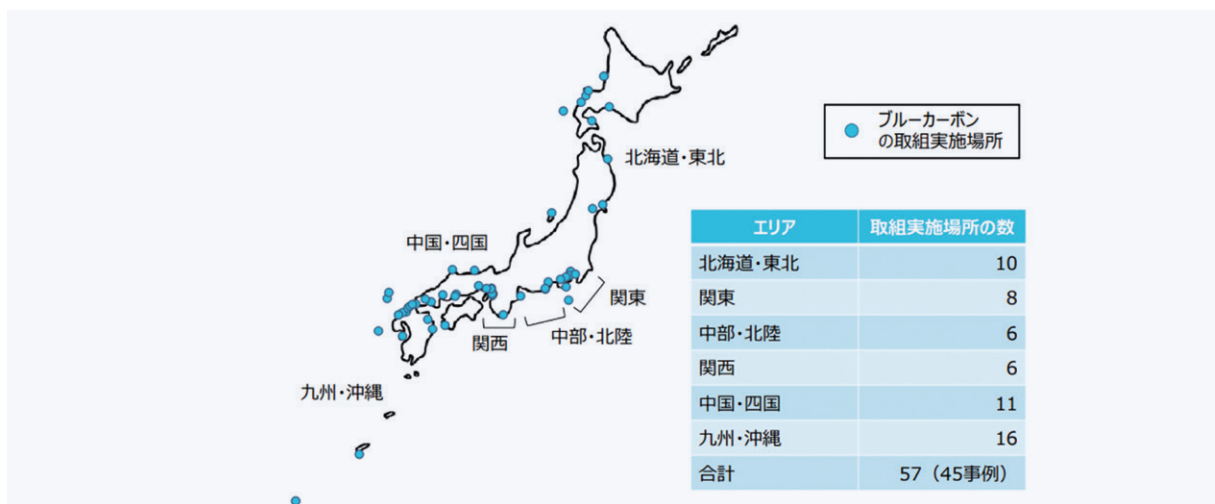


図 4.8 我が国におけるブルーカーボンの取り組み⁴²

ル技術がキー技術となる。そのデジタル技術を活用するにも、データ活用によるメリットを分析・理解し、実用化する力があって、初めてデジタル技術が社会で適用される。AI技術もその理解の助けになると考えるが、中期的ビジョンのもと課題意識を持ち、自ら得べき問題を設定できることが重要である。このような人財の育成を通じ、課題を広く伝え、複雑な社会問題を多面的にとらえ、他者と共感のもと手を取り合い、次の一手を考え、実行に移すことのできる人財を増やしていくべきである。

また、小さなイノベーションの芽を大きく育て、自分た

ちの行動が世の中に影響を与えられることを実感させる“野心”を持つことも教育の重要な役割である。

2025年1月に開催された台湾国際科学フェアにおいて、長野県の高校生らが発明した二酸化炭素を吸収する小さなボール“ミドリ・バイオ・リアクター”を発表し、生化学部門で1位に輝いた。これは、ミドリムシなどの緑藻類が入った液体に塩化カルシウム溶液を落とすことで固化し、持ち運びが可能な光合成物質を作る発明である(図4.9)。このような若い人の発想を積極支援し、挑戦の機会を与えることが教育機関および地域の人財育成における重要な責務である。

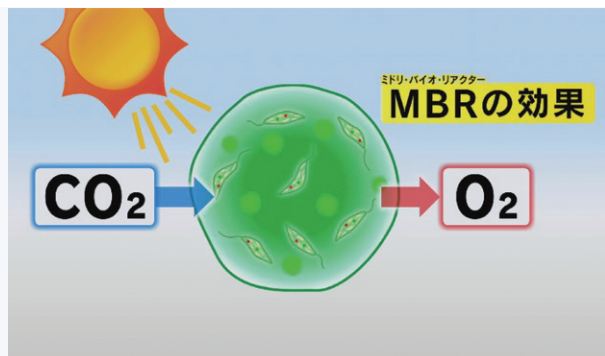


図 4.9 持ち運び可能なネガティブエミッション技術“ミドリ・バイオ・リアクター”⁴³

4.6 | 第4章まとめ

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

また、政府の2030年の温暖効果ガス排出削減戦略においては、削減に時間がかかる産業に先立ち、家庭・業務部

門において積極的な脱炭素推進が求められる。

本章では、地域社会の持つポテンシャルを実証をもとに再評価するとともに、および地域の統合的トランジション実現の観点から要件と施策を検討した。以下、要点をまとめる。

- S+3Eのエネルギー需給に貢献する地域社会の移行要件を示した。メリットを順次実現しながらの段階的移行、現在の生活からの連続性・安全性・経済性の担保、が必要であり、ここでは需要家の機器やエネルギー利用の可視化・可制御化を実現するデジタル技術がその移行を支えるキー技術となる。
- JEPXでの取引実績から市場観点での日本の再エネ活用の現状について述べ、地域社会による貢献と現状制度で創生可能な社会価値を実証に基づき算出した。DR ready 勉強会など需要で起こす社会移行への施策が為されているが、その成果が市場に流通するのを待たずに現存機器を有効活用する試行の積極推進、時間帯別電力料金プランの普及拡大、需要家によるエネルギー協調への貢献が正当に報われるルール改定、調整力供給能力のある機器のデータベース構築、を早急に推進すべきである。

- 地域の特徴を活かし、中期的ビジョンのもと地域経済の成長とカーボンニュートラルの達成を両立することが地域には求められ、それをけん引する人財の育成が必要である。教育の場では、社会課題を広く取り上げることで自らが扱われる環境を理解する基礎知識およびデータリテラシーの育成に取り組むとともに、小さなイノベーションの芽を大きく育て、自分たちの行動が世の中に影響を与えられることを実感させることが重要である。
- 日立東大ラボではS+3Eのエネルギー需給に資する実証を推進するとともに、将来ビジョンのもとで情報と知識に基づき、次の一手を考え、発信する。具体には、業界団体との交流を進め、需要側の貢献施策を議論する動きを拡大していく。また、オープンフォーラムや提言書の発刊に加え、世代や国籍を超えた交流機会を創り、人財育成にも寄与していく。

-
- 34 資源エネルギー庁. 2024 年. 「総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ (第 5 回会合) 資料1 システム統合の一部を考慮した電源別コストの試算」 2025 年 3 月 6 日アクセス . https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2024/data/05_04.pdf
- 35 MRI. 2024 年. 「諸外国におけるヒートポンプ給湯機のデマンド・リスパンスに関する規制状況」 2025 年 3 月 7 日アクセス . https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/dr_ready/pdf/001_05_00.pdf
- 36 一般社団法人 日本冷凍空調工業会. 2023 年. 「第 41 回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 資料 5 日本冷凍空調工業会 2050 年 CN に対する取り組み」 2025 年 3 月 7 日アクセス . https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/041_05_00.pdf
- 37 日立東大ラボ. 2023 年. 「提言 Society 5.0 を支えるエネルギーシステムの実現に向けて (第 5 版)」 2025 年 3 月 6 日アクセス . https://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2023/07/proposal_ver5_jp_202307.pdf
- 38 10 万世帯あたりのヒートポンプ給湯機の実態は、スマートジャパン, “第 3 回「DRready 勉強会」ヒートポンプ給湯機による「上げ DR」機器の DRready 要件を策定へ” より日立東大ラボにて作成
- 39 一般社団法人 日本冷凍空調工業会. 2025. 「DRready 勉強会 (第 4 回) 資料」 2025 年 3 月 12 日アクセス . https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/dr_ready/pdf/004_03_00.pdf
- 40 環境省. 2024. 「2022 年度のわが国の温室効果ガス排出・吸収量について」 2025 年 3 月 12 日アクセス . https://www.env.go.jp/press/press_03046.html
- 41 農林水産省. 2021. 「バイオマス発電で実現! エネルギーの地産地消でまちを元気に!」 2025 年 3 月 6 日アクセス . https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2112/spe1_02.html
- 42 ブルーカーボン関係省庁連絡会議. 2023 年. 「我が国におけるブルーカーボン取組事例集」 2025 年 3 月 6 日アクセス . https://www.env.go.jp/earth/ondanka/blue-carbon-jp/pdf/materials/01_jp_1.pdf
- 43 長野放送. 2025 年. 「理系女子高校生が快挙 生徒 3 人の研究が世界大会 1 位に 二酸化炭素吸収する緑藻類入れた小さなボール開発 生徒「すごさを世界に広めたい」」 2025 年 3 月 12 日アクセス . <https://www.nbs-tv.co.jp/news/articles/?cid=21979>

第5章 まとめ

本提言のまとめとして、Society5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて、エネルギーに関わるトランジションを他の施策や事象との緊密な結びつきの中で達成しなければ

ならない「統合的なトランジション」に着目した提言を実現時期(短期：現在から2030年まで、中長期：2030年から2050年まで)と提言内容について以下に述べる。

「Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて」14の提言

短期

第2章

グリーン変革の新たなフェーズにおける日本

1. 気候・エネルギー・環境の危機を、統合的なトランジションへの機会に変え、多様なアクターとともに社会システムの転換を促す政策

気候・エネルギー・環境における現在の危機を、日本におけるグリーンな変革へとつなげるために、エネルギー基本計画、GX政策、NDC(国別約束、Nationally Determined Contribution)と、その他の政策的優先事項を包括的に結びつけながら、「統合的なトランジション」を達成することが求められる。

日本社会における政府・地方自治体、企業、大学、市民組織など、多様なアクター相互の結びつきを認識し、旧来の構造へのロックインを回避しながら、社会システムの転換を促す政策づくりをめざすことが必要である。

2. 資金、人財、科学的レビューによって、長期的なトランジションを支える変革的ガバナンスの構築

気候・エネルギー・環境における長期的なトランジションを支えるために、政府は、資金、人財、能力構築、そして科学的レビューを重視ながら、産業や地方自治体をはじめとするアクターの変化を支えることが重要である。

特に社会的な不公正の感覚を引き起こすことがないよう、意思決定における包摂性、公正性、透明性を重視するとともに、生活者が影響を受けるエネルギー価格の高騰や雇用の変化に対応する補助金やグリーンな雇用への構造転換を成し遂げていくことが重要になる。

このような社会のシステム的な変革を促すようなガバナンス(変革的ガバナンス)を、長期的なトランジションの基盤とすることが必要となる。

3. AIやデジタル技術と既存のエネルギー技術の融合により、エネルギー最適化やイノベーションによるトランジションの加速

AIやデジタル技術、気候・エネルギー・環境にかかわるエネルギーの最適化、イノベーションの推進などを通じてトランジションの加速に寄与することができる。日本においては、互換性や相互動作性を支えるソフトウェアや規格、そしてエネルギー・データ共有メカニズムの整備をスピードをもって進める必要がある。また、データセンターをはじめとするAIやデジタル技術の気候・エネルギー・環境への影響についても科学的な分析をもとに、解決を図ることが重要である。

4. 多極化する状況において、気候・エネルギー・環境分野における戦略的パートナーシップを強化し、アジア太平洋地域におけるリーダーシップを発揮

現在のグローバルな地政学上の変化は、気候・エネルギー・環境をめぐる条件に大きな不確実性をもたらしている。特に、ウクライナ戦争以降の世界的な経済混乱は、EUにおいては競争力のための政策につながった一方、アメリカにおいては国際的な気候対策そのものから撤退する動きが生じている。このような中、グローバルサウスの国々の影響力が増大し、多国間協調やサプライチェーンのネットワークに大きな影響を与えている。

日本は、このようなグリーン変革における新たなフェーズにおいて、これまでに構築した関係にもとづき、経済安全保障やAIなどのデジタル技術における関心を共有しつつ、気候・エネルギー・環境の変革の推進のための戦略的なパートナーシップを新たに強化していくことが必要である。

特に、これらの領域で中心的な役割を担いつつあるグローバルサウスの国々とコミットメント、資金、人財、経験や技術を共有しながら、アジア太平洋地域における持続可能な開発において、独自のリーダーシップをめざすことが求められている。

日立東大ラボのアクション

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

第3章

持続可能なエネルギーシステムをめざすトランジションのあるべき姿

5. 将来のコスト負担を意識したエネルギーシナリオの見直し

生成AIをはじめとしたデジタル分野が産業界をはじめとして様々な変革をもたらす可能性を示す中、電力需要の増大も予想されている。2025年2月に策定された第7次エネルギー基本計画において、2040年におけるエネルギー消費は、現状より3割程度減少する一方、電力消費は2割程度増大する見通しである。日立東大ラボではこの電力需要増大や再エネ需要の地域・時間偏在を見通した複数のエネルギーシナリオを考察した。エネルギー需要の増大に加え、エネルギーインフラの増強等に伴う総コストの増大が現状の130%から180%となり、コスト意識を持ったトランジションの推進を一層強化すべきである。

6. エネルギーシステムのバックキャストとフォアキャストのギャップを埋めるイノベーションへの投資

カーボンニュートラルに伴い、バックキャストとフォアキャストのギャップが大きくなっていくと同時に、その対策にはコスト意識を持った対応が必要である。技術イノベーションが実装されなかった場合、各エネルギーシナリオにおいて、2050年には4~10兆円の追加コストを負担することになり、技術イノベーションの実装を再エネ拡大の状況に応じて適切に進めるべきである。

7. 短期市場原理に加え、レジリエンスを意識した中長期的制度と市場のデザインの推進

電力自由化で顕著になっている短期的なメリットオーダーをめざす経済効率性重視を見直し、レジリエンス(安定供給)

や脱炭素化という中長期的な政策目的との切り分けの明確化し、効率性を追求してきた市場デザインについて、更なる検討を進めるべきである。

8. 電力市場の再構築と環境価値市場の融合

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

9. 地域・需要家参画による社会システムの構築

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

日立東大ラボのアクション

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

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

第4章

CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

10. CNとS+3Eのエネルギー需給の両立に向けた地域の貢献

地域社会は賢いエネルギー利用、すなわち調整力の創出によりS+3Eを実現する主体となることが期待される。本地域社会の移行を成功裏に進めるにあたり、需要家の機器やエネルギー利用の可視化・可制御化を実現するデジタル技術および統合するがその移行を支えるキー技術となる。このデジタル技術を搭載した機器普及と協調制御プラットフォーム(PF)の早期社会実装を進めるべきである。

11. 地域社会のトランジションを円滑に進める創意工夫と施策の実行

産業の脱炭素化には、事業者が主体的に電化・省エネの推進など推進する必要がある、そのためにもステークホルダーが享受するメリットを順次実現しながら社会移行を進めるべきである。

地域社会のCN化には、現在の生活からの連続性・安全性・経済性の担保が必要であり、ここでは段階的移行を支援する手段の提供、現存機器を有効活用する試行の積極推進、ステークホルダーへのメリットを確実なものとする時間帯別電力料金プランの普及拡大、を早急に推進することが求められる。

12. CNに伴う社会変化の客観的分析と成長戦略の策定と試行

地域社会のCNを着実に進めるためには、各セクタのエネルギー利用状況を客観的に分析することが重要である。本版ではJEPXでの取引実績から市場観点での再エネ活用

の現状について分析結果を述べ、地域社会による貢献と現行制度で創生可能な社会価値を実証に基づき算出した。需要家によるエネルギー協調への貢献が正当に報われるルール改定、調整力供給能力のある機器のデータベース構築が、地域の社会移行の加速と成長を両立する統合的トランジションの実現に有効な手立てとなる。

13. トランジションの選択肢と尤度を広げる自然と調和したネガティブエミッション技術への挑戦の加速

地域特性を活用した自然回復と共存するネガティブエミッションは、トランジションの選択肢と尤度を広げる。そこでは中期的ビジョンのもと地域経済の成長とカーボンニュートラルの達成をけん引する人財の育成が重要となる。本版では地域特徴の活用例としてCO₂吸収と漁場環境の回復を両立する複数の自治体で推進されるブルーカーボンの事例、若い世代によるネガティブエミッションの発明例を示した。人々の生活基盤としての地域社会における役割として教育は極めて重要であり、教育の場では、社会課題を広く取り上げることで自らがおかれる環境を理解する基礎知識およびデータリテラシーの育成に取り組むとともに、小さなイノベーションの芽を大きく育て、自分たちの行動が世の中に影響を与えられることを実感させることが重要である。

日立東大ラボのアクション

日立東大ラボでは、S+3Eのエネルギー需給に資する実証を推進するとともに、将来ビジョンのもとで情報と知識に基づき、次の一手を考え、発信する。具体には、業界団体との交流を進め、需要側の貢献施策を議論する動きを拡大していく。

中長期

第3章、第4章

エネルギーシステムの技術的対策

14. カーボンニュートラルに向けたエネルギーシナリオの対策技術

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

地域社会では、再エネ導入の促進には、需給バランスに加え、ローカル系統・配電変電所の混雑を回避しなければならない。再エネの地産地消など当該地域で創出可能な調整力を活用・促進する仕組みを構築すべきである。

カーボンニュートラルに向けたイノベーションにおいては、技術開発はもちろん、継続的な社会意図を進めるためのリー

ダや市民のカーボンニュートラルに対するリテラシー向上、社会課題を統合的に解決する総合知の育成をリードする人材育成を促進すべきである。

日立東大ラボのアクション

技術開発に加え、継続的社会移行を進めるためのリーダー人材育成、市民のカーボンニュートラルに対する教育推進が必要。日立東大ラボでは、エビデンスに基づく提言を続け、産学官連携での気づきの場を提供していく。また、オープンフォーラムや提言書の発刊とは別に設ける幅広い世代との交流機会を通じ、人材育成にも寄与していく。

第7版提言検討体制 (2025年3月31日時点)

1. 東京大学		
津田敦	全体統括	理事・副学長
吉村忍	コーディネータ WG1	大学院新領域創成科学研究科特任教授
坂田一郎	WG1	総長特別参与・大学院工学系研究科教授
割澤伸一	WG1	総長特任補佐・大学院新領域創成科学研究科教授
江崎浩	WG1	大学院情報理工学系研究科教授
藤井秀樹	WG1	大学院工学系研究科准教授
小宮山涼一	SWG1、WG2	大学院工学系研究科教授
大橋弘	SWG1	副学長・大学院経済学研究科教授
横山明彦	SWG1	名誉教授
藤井康正	SWG1	大学院工学系研究科教授
深澤武志	SWG1	大学院公共政策学連携研究部特任助教
荻本和彦	SWG2、WG2	生産技術研究所特任教授
岩船由美子	SWG2	生産技術研究所教授
馬場旬平	SWG2	大学院新領域創成科学研究科教授
田中謙司	SWG2	大学院工学系研究科教授
城山英明	SWG3、WG2	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教授
芳川恒志	SWG3	大学院公共政策学連携研究部特任教授
杉山昌広	SWG3	未来ビジョン研究センター教授
山口健介	SWG3	大学院公共政策学連携研究部特任講師
Pinar Temocin	SWG3	未来ビジョン研究センター特任助教
眞鍋浩二	事務局	産学協創部 部長
大山勝	事務局	産学協創部 協創推進担当課長
青山みのり	事務局	産学協創部 協創課 協創推進チーム
加藤千鶴	事務局	産学協創部 協創課 協創推進チーム

2. 日立製作所		
吉本尚起	コーディネータ WG1、WG2 SWG1、2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主管研究員
楠見尚弘	WG1、WG2	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 統括本部長
馬場淳史	WG1、WG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ センタ長
山田竜也	WG1、SWG1	エネルギー営業統括本部 営業企画・国際本部 担当本部長
佐藤康生	WG1	制御プラットフォーム統括本部 エネルギーソリューション本部 主管技師
渡辺雅浩	SWG1、WG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主管研究員
黒田英佑	SWG1	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
片桐幸徳	SWG1	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 主任研究員
伊藤智道	SWG2、WG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ 研究主幹
畠山智行	SWG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ主任研究員
白川雄三	SWG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ研究員
Tamayo Efrain	SWG2、WG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ研究員
渡邊敬司	SWG2	研究開発グループ 脱炭素エネルギーイノベーションセンタ主任研究員
鈴木朋子	SWG3 WG1、WG2	研究開発グループ 技師長
飯塚秀宏	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト
福本恭	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト サブリーダー
稲垣幸秀	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト
大原伸也	SWG3	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト 主任研究員
佐々木剛二	SWG3、WG2	研究開発グループ サステナビリティ研究統括本部 プラネタリーバウンダリープロジェクト サブリーダー

WG1: エネルギーシステム全体（第1章、第5章担当）、

WG2: グローバルイニシアチブの検討ワーキンググループ（第1章、第5章担当）を示し、

SWG1: エネルギーシステムおよび制度・政策（第3章、第5章担当）、

SWG2: 社会実装（第4章、第5章担当）、

SWG3: シナリオ策定（第2章、第5章担当）の分科会を表し、下線が各 WG リーダを示す

表 A1.1 「ヨーロッパ競争力コンパス」における主な政策

目 的	政 策
ビジネスの平易化・迅速化	● イノベーション・ギャップを埋め、脱炭素化と安全性を高めることを目的とした新しいロードマップ「競争力コンパス」を導入する。 ● 企業が規模を拡大できるように、主要セクターで「単一市場」を完成させる。 ● 行政負担を軽減し、報告義務を少なくとも25%、中小企業(SME) に対しては35%削減する。
新たな「クリーン産業ディール」の構築	● 産業を競争力のあるものにし、質の高い雇用を創出するためのクリーン産業ディールを発表する。 ● 欧州気候法で2040年までに90%の排出削減目標を設定することを提案する。 ● 関連する計画、入札、許認可を迅速化するための「産業脱炭素化促進法」を制定し、移行を支援。 ● 「エネルギー連合」を完成させ、家庭や企業のエネルギー・コストを削減する。 ● クリーンエネルギー・インフラと技術に投資する ● ガスだけでなく、水素や重要な原材料を含む集約需要メカニズムを活性化し、拡張する。 ● クリーン貿易および投資パートナーシップの開発により、原材料、クリーンエネルギー、クリーン技術の供給を確保する。 ● 国際的な気候に関する交渉の場でリーダーシップを維持する。 ● ユーロッパ「単一デジタルブック」での鉄道旅行を奨励する。
より循環的でレジリエントな経済	● 新しい「循環経済法」を通じて、二次材料の市場需要と廃棄物の単一市場創出を支援する。 ● 「永久化学物質」またはPFASに関する明確さを提供する新しい化学産業パッケージを提案する。 ● サプライチェーンを多様化し、最先端の治療へのアクセスを促進し、医療および製薬セクターをよりレジリエントにすることで、「欧州健康連合」を完成させる。 ● 重要な医薬品および成分への依存を減らすための「重要医薬品法」を提案する。 ● 特にメンタルヘルス、心血管疾患、癌、変性疾患の治療および自閉症の研究に関する予防医療の取り組みを強化する。 ● 「病院および医療提供者のサイバー・セキュリティに関する欧州行動計画」を提案することで、医療システムの安全性を確保する。
デジタル技術の普及による生産性の向上	● 安全で高速かつ信頼性の高い接続性へのアクセスを改善するためにデジタルインフラへの投資を奨励する。 ● EUデジタル法の施行を引き続き強化する。 ● eコマース・プラットフォームの課題に取り組む。 ● スーパーコンピューティング、半導体、IoT、ゲノミクス、量子コンピューティング、宇宙技術への投資を強化する。 ● AIスタートアップおよび産業向けに「AI工場」イニシアチブを通じてスーパー・コンピューティング能力へのアクセスを確保する。 ● 新しい産業用途のAIを促進し、「AI適用戦略」により公共サービスを改善する。 ● 新たな「欧州AI研究評議会」を通じてすべてのリソースを集集する。 ● 「欧州データ連合戦略」を通じてシームレスかつ大規模なデータ共有を確保する。
研究とイノベーションの強化	● 戦略的優先事項に焦点を当てるために研究費を増やす。 ● 「欧州研究評議会」および「欧州イノベーション評議会」を拡大する。 ● 「欧州バイオテック法」を通じて、バイオ・テクノロジーを研究室から迅速に市場化させることを容易にする。 ● 「欧州生命科学戦略」を通じてグリーンおよびデジタル移行を支援し、高価値技術を開発する。 ● 「大学アライアンス」を強化し、研究部門、高等教育、ビジネス間の協力を強化する。

目 的	政 策
投資の加速	● 商業銀行、投資家、ベンチャー・キャピタルが急成長する企業をより容易に資金提供できるようにするためのリスク吸収措置を提案する。 ● イノベーションに資金提供するために利用可能な欧州資本の量を制限する障壁に対処するために規則を見直す。 ● 「欧州貯蓄投資連合」の設立により、民間貯蓄を活用してイノベーションおよびクリーンおよびデジタル移行に投資する。 ● 特定の戦略的セクターに対して欧州製品に優先権を与えることができるように公共調達規則を改訂する。 ● 「欧州競争力基金」を設立し、共通利益の重要プロジェクトを支援することで、戦略的技術を開発し、ヨーロッパで製造する。
スキルと労働力のギャップへの対処	● 投資、生涯学習、スキル維持に焦点を当てた「スキル連合」を設立する。 ● 基本的なスキルを向上させるために取り組む。 ● パフォーマンスの低下、科学、技術、工学、数学(STEM)に関連する資格のある教師の不足に対処し、STEM教育およびキャリアにより多くの女子を引き入れるための「STEM教育戦略計画」を提案する。 ● 「欧州職業教育訓練(VET) 戦略」を通じて職業教育訓練を促進。 ● EU予算におけるスキル関連の資金を強化し、重点を再調整する。 ● 「スキル・ポータビリティ・イニシアチブ」を提案し、国を超えたスキルの認定を確保し、「欧州学位」に向けて取り組みを継続する。

出典: European Commission. n.d. "A New Plan for Europe's Sustainable Prosperity and Competitiveness," https://commission.europa.eu/priorities-2024-2029/competitiveness_en, accessed March 5, 2025.

表 A1.2 「クリーン産業ディール」の主な項目

項 目	詳 細
低廉なエネルギー	● クリーンエネルギーの普及を加速し、電化を促進する。 ● 物理的な相互接続を伴う内部エネルギー市場を完成させる。 ● エネルギーをより効率的に使用し、輸入化石燃料への依存を減らす。
クリーン製品の 需要促進	● 「産業脱炭素促進法」を通じ、持続可能性、レジリエンス、「ヨーロッパ製」基準を公共および民間の調達に導入することで、EU製クリーン製品の需要を拡大する。
クリーン・トランジ ション・ファイナンス	● 「クリーン産業ディール」により、EU製クリーン製造の支援に1000億ユーロ以上を動員する。 ● 再生可能エネルギーの普及、産業の脱炭素化、クリーン技術の製造能力の確保を加速するための新たな「クリーン産業協定国家援助フレームワーク」を採択する。 ● 「イノベーション基金」を強化し、「産業脱炭素化銀行」を提案し、1000億ユーロの資金調達を目指す。 ● 研究・イノベーション・プログラム「Horizon Europe」の公募において上記分野の研究・イノベーションを促進する。 ● 「InvestEU規則」を改正し、「InvestEU」が投資を支援するために提供できる金融保証額を引き上げる。
循環性と原材料への アクセス	● ヨーロッパ企業が集まり、重要な原材料の需要を集約できるメカニズムを設立する。 ● 「EU重要原材料センター」を設立し、利害関係のある企業に代わって原材料を共同購入する。 ● 2026年に「循環経済法」を採択し、循環移行を加速し、希少な材料が効率的に使用および再利用されることを推進し、世界的な依存を減らし、高品質の雇用を創出する。2030年までに材料の24%を循環させる。
グローバル規模での 行動	● 「クリーン貿易・投資パートナーシップ」を通じて、サプライチェーンを多様化し、相互に有益な取引を築く。 ● EU産業が世界的な競争や地政学的な不確実性に直面しても経済的安全保障と回復力を維持できるよう、貿易防衛措置およびその他の手段を整備する。 ● 炭素集約型製品の生産中に排出された炭素に公正な価格を設定するためのEUのツールである「炭素国境調整メカニズム(CBAM)」を簡素化および強化する。
スキルと 質の高い雇用	● 労働者への投資、スキル開発、質の高い雇用を創出する「スキル連合」を設立する。 ● 「エラスムス+」により最大9000万ユーロの資金を提供し、熟練した適応力のある労働力を育成と、主要セクターのスキル不足に対処する教育および訓練プログラムを強化する。 ● 官僚主義の削減、単一市場の規模の活用、質の高い雇用の促進、EUと国家レベルでの政策調整を推進する。

出典: European Commission. 2025. "Clean Industrial Deal," https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en, accessed March 3, 2025.

付録2 | エネルギー技術選択モデル(動学的コスト最小化型モデル)

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

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

図A2.1に示すようなエネルギーシステムを想定しシステム全体の評価を行う。

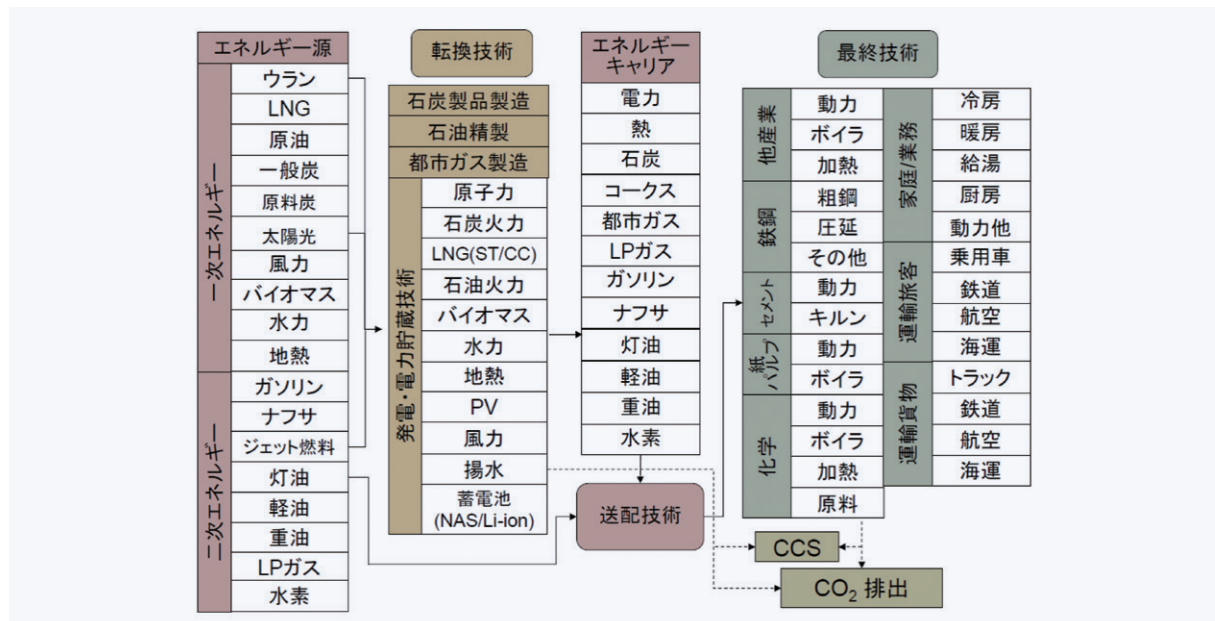
(一次エネルギー、転換部門、最終消費部門[産業、家庭、業務、旅客、貨物])

電力部門についても詳細分析。

(時間解像度→1時間値、年間8,760時間で分析→再エ

ネ出力変動を詳細に考慮)

- ・エネルギー供給サイド(一次/二次エネルギー)と需要サイド(鉄鋼、セメント、化学、民生、運輸など)について個別技術の積み上げによる分析を行い、CN実現ならびにそのトランジション(移行過程)のエネルギー需給構造を整合的に分析可能。
- ・革新的技術をはじめ多様な技術要素を考慮：次世代自動車(EV、FCV)、エネルギー貯蔵(Li-ion電池、NAS電池、蓄熱装置)、CCUS(大気中CO₂直接回収、メタネーション、FT合成)、エネルギーキャリア(水素、アンモニア、メタノール、合成ガス、合成石油)、発電技術(水素発電、アンモニア発電、洋上風力発電、燃料電池、蓄熱発電)、省エネ技術(ヒートポンプ)など。



図A2.1 基準エネルギーシステム

第3.1節で行ったシミュレーションの主な条件(ベース条件)を図A2.2に示す。また、各エネルギーシナリオの条件を表A2.1に示す。第5版から、データセンター等の電力需要増に

対応するために再エネ(洋上風力)の導入上限を増加した条件に更新している。

● 主要な脱炭素技術の導入(再エネ・原子力・水素・CO ₂ 回収)が全て実現すると仮定 ● 2050年CNおよびトランジション(移行過程)について、コストを最適化してシミュレーション	
CO₂排出量 (削減目標値)	2030年 : 2013年比 ▲46 % 2050年 : ネットゼロ (▲100 %)
発電設備・技術の導入条件(2050年)	
太陽光発電(PV) : 発電容量の上限を設定せず、新增設 太陽光発電協会(JPEA)の目標値は、2050年に300GW(*1)	風力発電 : 陸上40 GW・洋上90 GWを目標に新增設 日本風力発電協会(JWEA)が政府に提言した目標値(*2)
原子力発電 : 50 GWを上限に新增設 ・既設発電所の再稼働 / 運転期間の延長(40年→60年) (廃炉が決定されたものを除く) ・建設が中断している新設3基が完工・運転開始 ・小型モジュール炉(SMR)などを新增設	水素発電 : 輸入量 2000万t / 輸入価格 20円/Nm3 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(*3)における目標値
CO₂回収技術 の導入条件 排出削減目標を達成するためCO ₂ 回収技術を導入 CO ₂ の貯留・活用(CCS: Carbon Capture, Utilization & Storage) CO ₂ の直接空気回収(DAC: Direct Air Capture)	
*1) (一社)太陽光発電協会(2021年3月8日資料)	https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/026_05_00.pdf
*2) (一社)日本風力発電協会(2021年3月24日資料)	https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/039/039_008.pdf
*3) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略	https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf

図 A2.2 主なシミュレーション条件(ベース条件)

表 A2.1 各エネルギーシナリオの条件

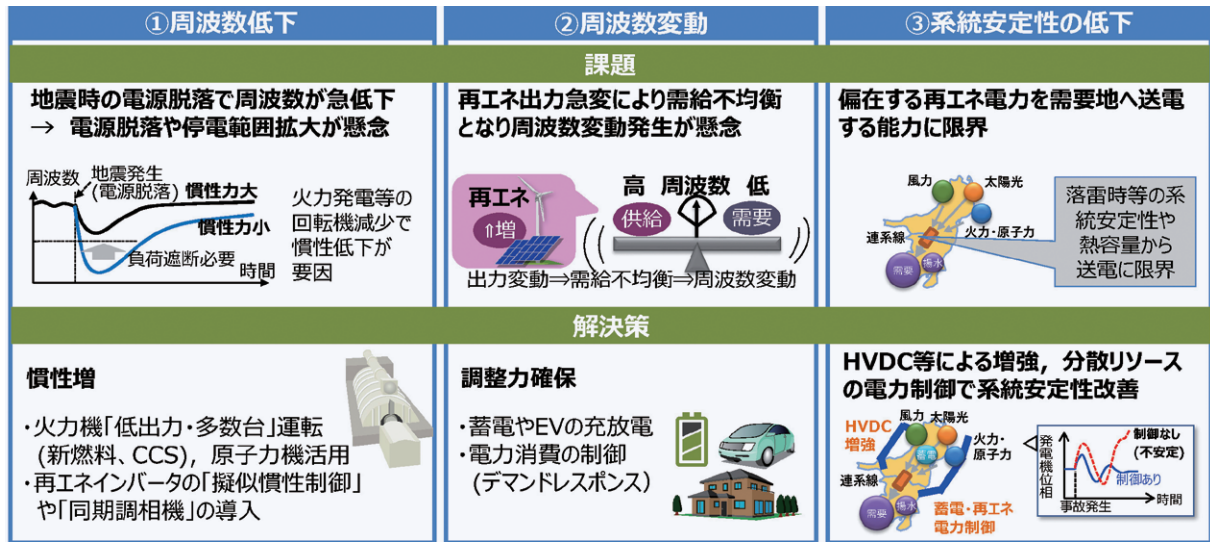
	①再エネ100%	②火力CCS制限	③原子力活用	④水素調達
原子力稼働年	停止	60	←	←
原子力設備容量上限(GW)	0	24	50(SMR)	←
火力CCS上限(ton)	2億	1億	2億	←
水素輸入上限(ton)	2,000万	←	←	上限なし
水素単価(¥/Nm ³)*1	20	←	←	←
FCV価格(現状比)	0.68	←	←	0.20
EV価格(現状比)	0.68	←	←	←
太陽光上限(GW)	なし	←	←	←
陸上風力上限(GW)	40	←	←	←
洋上風力上限(GW)	90→200	←	←	←
太陽光建設コスト(万円/kW)	15	←	←	←
陸上風力建設コスト(万円/kW)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

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

*2) 水素の輸入元の設備コストは考慮外

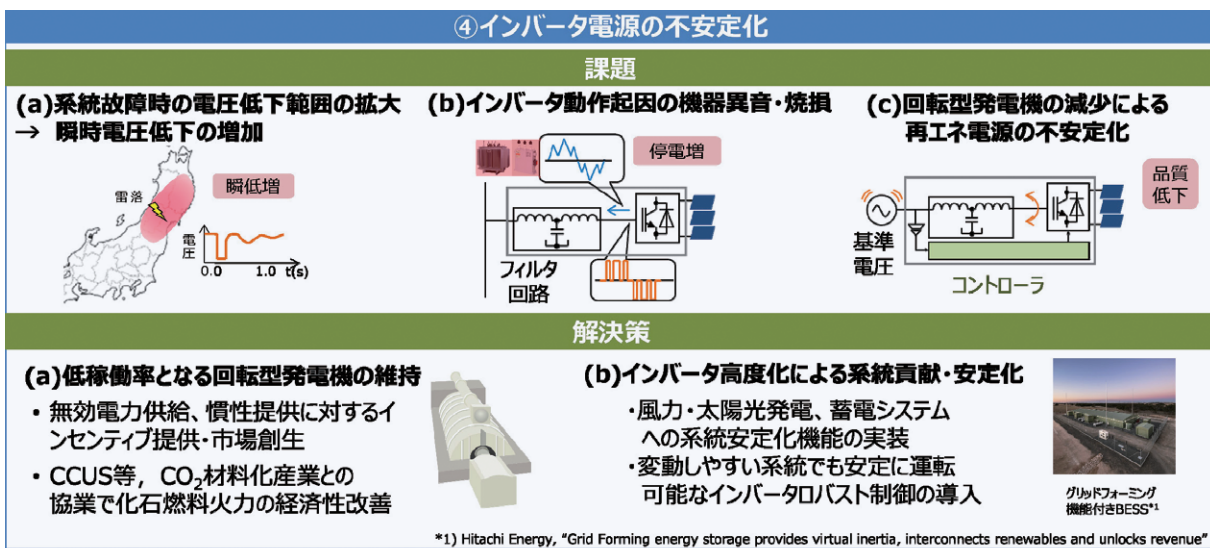
付録3 | エネルギーシステムの課題と解決策の例

図 A3.1 に再エネ急拡大にともなう基幹電力システムの課題と対策を、図 A3.2 に再エネ電源や蓄電システムなどインバータ電源の大量導入にともなう課題と対策を示す。



CCS: Carbon dioxide Capture and Storage, EV: Electric Vehicle, HVDC: High Voltage Direct Current (直流送電)

図 A3.1 再エネ急拡大にともなう基幹システムの課題と対策



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

図 A3.2 インバータ電源の大量導入にともなう課題と対策

付録 4

設置済の家庭用ヒートポンプ給湯機の調整力化に向けた遠隔制御の実証試験

DR要件を満たすヒートポンプ(HP)給湯機の市場導入は2029年度以降とされている¹⁾。家庭用HP給湯機の平均使用年数が12年²⁾であることを考慮すると、DR要件を満たすHP給湯機が十分に普及するのは2040年頃ということになる。2040年度に太陽光発電の割合を23~29%程度まで増加させる見通しである³⁾ことを考慮すると、すぐにでも設置済のHP給湯機を調整力として活用すべきである。このような背景から日立東大ラボは、設置済の家庭用HP給湯機の調整力化に向けた遠隔制御の実証試験を推進した。本付録では、実証環境の概要および一部の実証結果を報告する。

図A4.1にHP給湯機の遠隔制御方式の例として、(1)遠隔制御スイッチ活用、(2)HEMS活用、(3)メーカーサーバー活用、(4)スマートフォンアプリ活用の4つの方式を示す。これらを比較評価した結果、追加装置不要で遠隔制御の実証環境を構築可能な(4)の方式を採用することとした⁴⁾。

HP給湯機を遠隔制御するにあたっては実際の給湯需要を考慮するとともに家庭の生活の質を落とさないことが重要であり、具体的には湯切れを防止する必要がある。実証にあってもその点を考慮し、東京大学 駒場キャンパスの実証試験住宅「COMMAハウス」を活用した。図A4.2に実証システムの全体像を示す。実証協力者宅に設置されているものと同等のHP給湯機(370L)をCOMMAハウスに設置するとともに、給湯模擬装置を用いてCOMMAハウスで協力者宅の給湯需要を模擬した。このようにして給湯需要を揃えたうえで、個人宅では普段通り深夜から早朝にかけて貯湯運転する一方で、COMMAハウスでは東京エリアのスポット市場価格に連動して経済的に貯湯運転できるように遠隔制御した。以上の一連の動作を自動化し、協力者宅の生活に迷惑をかけることなく長期間の実証を可能にした。

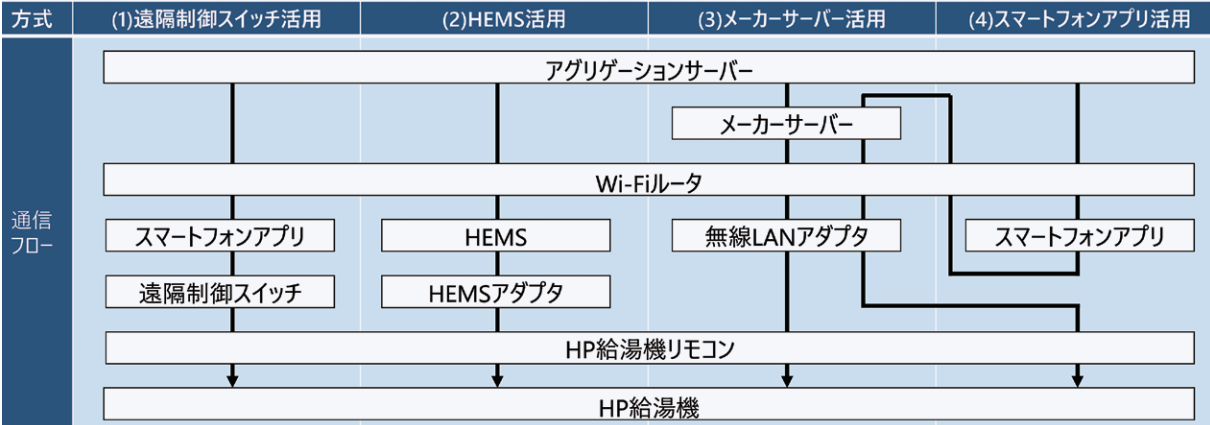
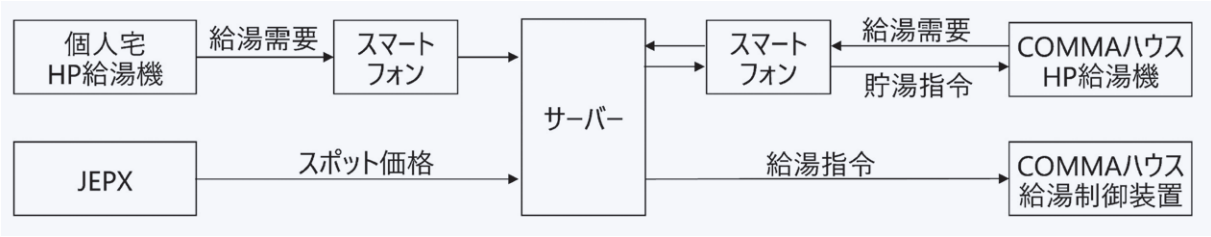


図 A4.1 HP 給湯機の遠隔制御方式の比較



(a) ブロック図



(b) HP 給湯機の設置 (2024年 3月)



(c) 給湯制御装置



(d) 状態監視用ダッシュボード

図 A4.2 遠隔制御実証システム

実証中に直面した遠隔制御上の課題について説明する。図A4.1に示したように、通信フローにおいてスマートフォン、メーカーサーバー、Wi-Fiルーターを介することから、いずれかが機能しない場合には遠隔制御できない。実証中、スマートフォンアプリのアップデートやメーカーサーバーのメンテナンス等の事情により遠隔制御に失敗したケースがあった。また、これまでの実証中にWi-Fiルーターの不具合はなかったが、故障等によって通信不可となる場合に備えて、HP給湯機がスタンバイ状態で貯湯できるようにしておく必要がある。

次にHP給湯機の貯湯時間を任意の時間にシフトすることによる経済効果について説明する。本実証では、貯湯に要する時間を4時間と設定し、翌日のスポット市場価格の4時間の移動合計が最小となる時間帯を探索し、貯湯を指令する。図A4.3に、実証を開始した2024年4月から12月までのスポット市場価格の4時間移動合計の推移を示す。比較例として示す深夜貯湯ケースは2時から6時までの移動合計であり、日々最適化ケースは毎日の4時間移動合計の最小値である。同図

から、スポット市場価格が0.01円/kWhになる頻度が多い中間期には深夜貯湯ケースと日々最適化ケースの差が顕著な一方、夏期は深夜にスポット市場価格が安くなる場合が大半であることからその差が小さくなっている。

深夜貯湯ケースと日々最適化ケースの差額の累積がHP給湯機の貯湯に要する電力調達コストの低減効果となる。図A4.3は貯湯時間を4時間と仮定した場合の結果だが、例えば平均で7月は2.23時間、11月は4.70時間といったように、実際には季節によって貯湯時間が異なることが本実証で明らかとなった。これを考慮すると、2024年4月から12月までの電力調達コストの低減額は約3,000円と計算される。1年間で約4,000円/世帯と仮定すると、HP給湯機のストック台数が750万台⁵⁾であることから、全国規模で年間約300億円のコスト低減効果が見込まれる。

引き続き実証を進め、遠隔制御の課題抽出と経済合理性を評価する。



図 A4.3 スポット市場価格の4時間移動合計の推移 (2024年4月～12月)

1) 経済産業省 DRready 勉強会 (2025年1月28日資料) https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/dr_ready/pdf/004_03_00.pdf

2) (一社)ヒートポンプ・蓄熱センター「令和4年度電化普及見通し調査」(2022年9月資料)
https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/R4TyousoHoukoku/R4DenkaFukyuMitoshi.pdf

3) 経済産業省 エネルギー基本計画について (2025年2月18日資料) https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/

4) 畠山、他4名「地域エネルギー協定の段階的社会的実装に向けた家庭用ヒートポンプ給湯機の遠隔制御実証環境の構築」第41回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2025年1月)

5) 経済産業省 DRready 勉強会 (2024年7月23日資料) https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/dr_ready/pdf/002_04_00.pdf



H-UTokyo Lab.

Hitachi and UTokyo Joint Research