

〈特集〉

脱炭素化社会に貢献する環境・エネルギー技術
—— カーボンニュートラルに向けて ——伊藤 智道¹⁾, 吉本 尚起²⁾¹⁾ 株式会社日立製作所 研究開発本部
(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: tomomichi.ito.wd@hitachi.com)²⁾ 株式会社日立製作所 研究開発本部
(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: naoki.yoshimoto.rr@hitachi.com)

概要

日本を含む世界各国が期限付きのカーボンニュートラル（以降、CN）の実現を宣言している。CNは特定のアクターの努力のみでは達成できず、全方位的な社会的施策を必要とする。この施策は、機器の効率向上や電気自動車、新燃料等の製造技術開発にとどまらず、エネルギーの使い方、都市のあり方、資源の循環、そして人々の協調のあり方の変革にまでおよび、データ利活用がこれら施策推進を大きく支援する。本稿ではCN実現に向けたエネルギーシステム・産業・地域で起こす改革と、それを支援する技術開発について述べる。

キーワード：カーボンニュートラル、電化、再エネ、EV、データ利活用

原稿受付 2022.5.11

EICA: 27(1) 2-6

1. 世界の動向と日本の方針

1.1 カーボンニュートラルに向けた各国の政策

地球温暖化を1.5℃上昇に抑制すべく、世界中の国や地域がカーボンニュートラル（以降、CN）の実現を期限付きで宣言しており、その数は154を超える¹⁾。

Fig. 1にCN宣言国のマップを示す。国により達成目標時期は異なるが、多くの国が2050年でのCN達成を目指している。

CNは実質的CO₂排出をゼロにするもので、パリ協定で定めたCO₂排出量80%削減とは全く次元の異なる社会的移行を必要とする。社会を構成する全ての個人や企業、団体といったアクターがその課題を認識し、技術開発を含む全方位的な施策推進に協力しなければ、その実現は不可能である。

欧州、アメリカ、中国におけるCN実現に向けた方針と投資計画、および再生可能エネルギー（以降、再



Fig. 1 Countries and areas declared carbon neutrality

Table 1 Comparisons of policies in major countries¹⁻¹¹⁾

	欧州	アメリカ	中国
目標、投資額	・ CN@2050 ・ €1T 投資	・ CN@2050 ・ \$2T 投資	・ CN@2060
再エネ	300 GW 洋上風力 (2050)	30 GW 洋上風力 (2030)	1500 GW 風力、太陽光 (2030)
電力系統	ENTSO-E 系統改革	電源脱炭素化 (2035)	100 GW 系統用 蓄電導入 (2030)
モビリティ	EV/FCV 3000 万台 (2030)	全土に EV 充電 ステーション整備	全新車販売 NEV/HV 化 (2035)

エネ）・電力系統・モビリティの移行目標を **Table 1** に整理する。

欧州およびアメリカは2050年、中国は2060年までのCN実現を目標とし、多額の投資で技術改革を進めながら再エネの主電源化を進める方針である。また、モビリティ分野では内燃機関の自動車からEVやFCVに移行する計画が打ち出され、その加速が財政的に支援されている。

CNへの産業構造転換に伴い、化石燃料バリューチェーンを構築する産業では、事業規模の縮小もしくは撤退を迫られる。欧州やアメリカでは、これら産業からの解雇者を新たに創出するグリーン雇用を受け皿とし、社会の持続的繁栄を維持しつつCNへの社会移行を進める計画である。

1.2 カーボンニュートラルに向けた日本の方針

日本においても、2020年に2050年までのCN化への宣言がなされ、それを実現する日本の方針がグリーン成長戦略の中で開示された¹²⁾。本戦略では14の注力領域を定め、これら技術開発を加速すべく、イノベーション創出に挑戦する企業への10年間という長期的支援を行う2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が設立された。本資金を呼び水とし、民間企業の研究開発・設備投資を誘発し、技術開発と経済成長を両立させる方針である。

14の注力領域は、再エネを含むエネルギー関連産業に加え、物流やカーボンリサイクルなどの輸送・製造関連産業、そして建屋の省エネなどを含む家庭・オフィス関連産業に区分される。

エネルギー関連分野では再エネに加え、水素・アンモニア産業や原子力産業が取り上げられている。導入拡大で水素を化石燃料に十分な競争力を有する水準まで引き上げるべく、2030年で300万t/年、2050年で2000万t/年の活用利用および単価の目標が示されている。

しかし、日本は国土の約7割が再エネに適しない丘陵地であり、風力発電に適した風況の良い地域は洋上に集中している。そのため、2000万t/年もの国内グリーン水素製造は困難と考えられ、国際協調による解決をいかに進めるかが大きな課題となる。

水素調達以外にも、日本が直面する挑戦は複数存在する。次章以降で、各セクターで起こすべき変革を述べる。

2. エネルギー・産業セクターで起こす変革

CNの実現は、エネルギー供給および消費双方で変革を要する。本章では、その課題と解決技術について述べる。

2.1 電力システムに求められる変革

CO₂排出量の削減には、熱源の電化を第一に進める必要がある。グリーン成長戦略で示されるCNへの方向性をFig. 2に示す。電力システムにおいては、電源の脱炭素化に加え、非電力部門における電化を支える電力需要増への対処が必要となる。

太陽光発電や風力発電といった気候によって出力が変動する電源設備（VRE: Variable Renewable Energy sources）は設備稼働率が低く、太陽光で14%、風力で20~30%程度である。そのため、電力供給側のみでの施策で再エネ主電源化と電化による需要増を受け入れるには、系統増強や電力貯蔵設備への巨額の投資が必要となる。文献13では、2050年において日本国内に総量870GWhもの蓄電池の導入が必要との試

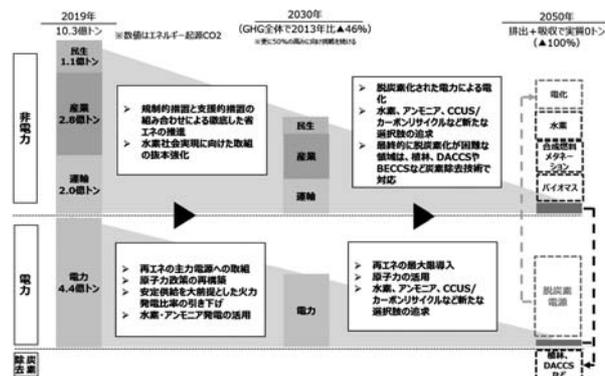


Fig. 2 Strategy to realize carbon neutrality¹²⁾

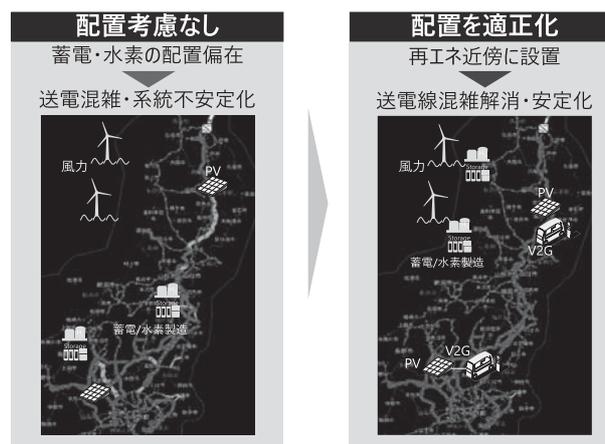


Fig. 3 Simulation results of grid overloading and the countermeasures with consumers' cooperation in 2050

算結果が開示されており、このコスト抑制が課題となる。

CNと日本の経済成長を両立する有効な手段に、再エネ拠点への需要の誘致や電力需給状況を反映した電力需要創出など、需要をより積極的に組み込んだ需給バランス構築への改革が考えられる¹⁴⁾ (Fig. 3)。

これに加え、現在NEDOプロジェクトで推進している日本版コネクト & マネージの展開を合わせて進め、既存アセットの最大活用を推進していくことが重要となる。

2.2 産業セクターに求められる変革

民生、産業セクターで消費されるエネルギーの内訳をFig. 4に示す。全消費エネルギーの74%が熱需要であり、その半分は製造業で消費される¹⁵⁾。CN実現に向けては、徹底した省エネルギーに加えてエネルギー源そのものの脱炭素化が不可欠であり、民生、産業セクターにおいても加熱プロセスの電化の促進は重要な施策の一つである。しかし、特に産業においては高温の熱を要求するプロセスがあり、電化以外の代替手段の確保が課題となる。

水素やメタンなどが代替燃料として期待されるが、燃料自体の安価な製造技術に加え、これら新燃料を需

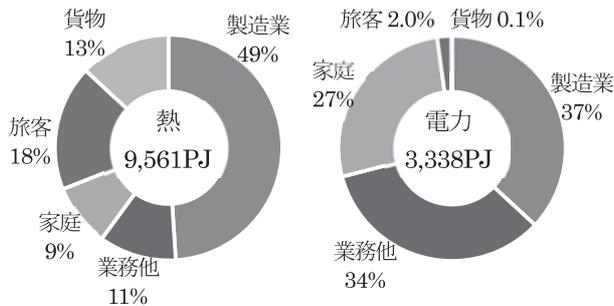


Fig. 4 Configuration of energy use in Japan (2019)

要家に届ける輸送手段の確立が必要である。また、既存のガス網で供給可能なメタンは、例え再エネ電力を活用したメタネーションで生成したものであっても、燃焼時に排出されるCO₂の回収が必要となる。大気中のCO₂を回収するDAC (Direct Air Capture) 技術の開発が進められているが、低濃度のCO₂を回収するために大量のエネルギーを必要とする。ゆえに、発生元での効率的CO₂回収技術、カーボンリサイクルへの循環を安価に実現する技術、そしてデジタルによる管理運用技術の開発が求められる。

3. 地域で起こす変革

CNの実現は、地域においても多面的な施策を要する。また、2.1で述べた需要を積極的に取り込んだ需給バランスに貢献するためにも、地域における新しいエネルギーシステムの構築が必要で、そのために市民・企業・国/自治体の協調に向けた意思決定にも変革が求められる。本章ではエネルギー視点での都市設計、デジタルデータを活用した賢いエネルギー活用技術について述べる。

3.1 エネルギー視点での都市開発

CN実現に向け、地域における省エネや電力の需給バランスへの貢献(調整力の創出)ニーズ浮上など、エネルギー関連の社会動向は急速に変化している。CNと、豊かで活気ある地域の両立には、過剰な投資を抑制しつつも、情勢に合わせて大小さまざまな変革を進める必要がある。

その変革の姿の一つにウォークブルシティがある。2021年11月時点において、国内319都市が“WEDO”(Walkable(歩きたくなる, Eyelevel(まちに開かれた1階), Diversity(多様な人の多様な用途, 使い方), Open(開かれた空間が心地よい))の考えに共鳴し、ウォークブルシティ化への具体的取組を推進し、都市における移動エネルギー削減と地域活性化に取り組んでいる。一方で、道路渋滞や、期待値に届かない人流の活性化、景観の変化などの不安が変革の障壁となり、この解決が大きな課題となる。

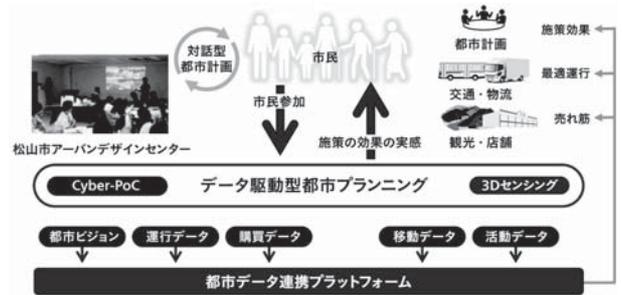


Fig. 5 Data driven city design planning

これら課題は、変革の結果として地域住民に生じるメリットとデメリットを、地域の地形・人口・年齢分布を反映した人流検出技術、人流・景観シミュレータなどのデジタル技術を活用し、施策を定量評価または可視化することで解決もしくは緩和することができる。愛媛県松山市では、上述のデジタル技術を活用した「データ駆動型都市プランニング」の実証を進めている¹⁶⁾。この取り組みは、ウォークブルシティ化と地域活性化に向けた街づくりの合意形成を進める好事例と言える (Fig. 5)。

3.2 賢いエネルギー消費による基幹システムとの協調

2章で述べたように、CN実現に向けて大量の再エネが導入されると、天候により電力の需給バランスが変化するため、多くの調整力が必要となる。しかし、調整力を調達するため、電力系統用の蓄電池などを設置すると巨額のコストがかかる。そこで、地域内の需要家の分散リソースから調整力を集約し、再エネ導入にかかる社会コストを抑制する仕組み「協調・制御プラットフォーム」が提案されている¹⁵⁾。

この協調・制御プラットフォーム(以下、PF)とは、地域社会に分散する各種のリソースを、エネルギーデータとともに統合して管理・制御し、需要側の平常時・災害時のエネルギー利用、基幹システムの安定運用などで価値を創出するPFである (Fig. 6)。本PFは段階的な社会実装が望まれ、第一段階では再エネの発電電力やその予測値に応じてダイナミックに変動する電力小売料金と需要を協調させ、基幹系統への調整力の供給と需要側の調達コストの抑制を両立する。第二段階では、地域の調整力市場への参入、第三段階

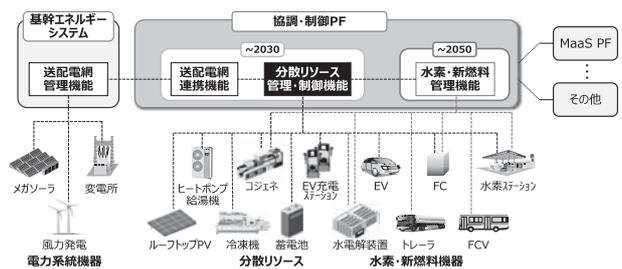


Fig. 6 Collaborative control platform

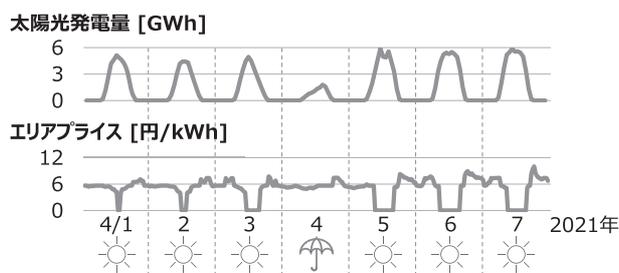


Fig. 7 Relationship between output power from PVs and energy spot market price in Kyushu area

では災害時における地域レジリエンス向上への貢献を目指す¹⁷⁾。

2030年代には自動車を中心とした電化が本格的に進行し、2030年代半ばの国内EV台数は1600万台規模に達すると見込まれ^{18,19)}、その調整力ポテンシャルは640GWhに相当する(40kWh/台想定)。このような分散リソースの急増と並行して本PFが段階的に社会実装されることが重要となる。

Fig. 7に、2021年の九州地方における太阳光発電量とJEPXの電力スポット価格の関係を示す。すでに九州地方では天候の良い昼間に供給過多によるスポット価格ゼロ円期間が生じており、電力料金が安いときに使い、高いときに控えることで地域からの調整力が供給でき、系統用蓄電池費用を抑制できることが確認できる。

スポット価格に応じた電力の使い方により、需要側とエネルギー供給側の双方にメリット創出が可能であるが、価格連動での機器操作は容易ではない。スポット価格に連動してヒートポンプによる貯湯やEVの充電タイミングを協調・制御PFが自動的に制御することでその課題は解決できる。需要家側機器の制御インターフェース標準化、需要家機器情報の管理・共有方法の議論を進め、本PFの社会実装を進めることが望まれる¹⁵⁾。

4. 新たに見出された持続可能な社会の構築

3章まで、CN達成上の課題および対策技術について述べた。本章では2050年を一通過点とする持続可能な社会構築に求められる課題と技術について述べる。

4.1 再エネ廃棄物とリサイクル技術

CNの実現には再エネ主電源化による電源の脱炭素化が必要である。しかし、太阳光発電設備、風力発電設備はともに有寿命品である。太阳光パネルの寿命を25年とした場合、2030年には約3万トン、2040年には約80万トンのパネル排出が見込まれる²⁰⁾。また、風力についても洋上風力90GW導入、20年寿命を想定した場合、2050年以降において風車ブレード5.6万

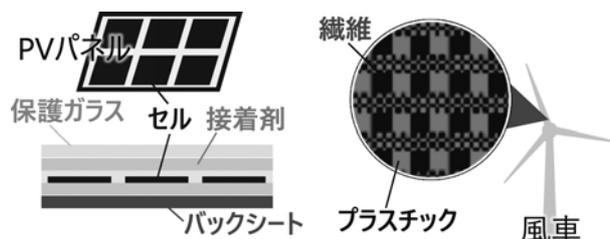


Fig. 8 Configuration of PV panel and WT's blade

トン、本体・基礎49万トンが毎年廃棄されることになる(文献21の10MW機重量値をもとに試算)。

ポストCNを見据えた持続可能な社会構築のためには、廃棄物の適正回収は当然とし、産業・業務・家庭・輸送での省エネによる再エネ導入量の適正化を図ると同時に、複数の層構造を有する太阳光パネルや、強化繊維とプラスチックが網目状に交差する風車ブレードを再資源化する高度なリサイクル技術の開発が求められる²²⁾。

4.2 エネルギー安全保障を見据えたリサイクル技術

世界各国がCN実現に向け、一斉に移行を開始した。これにより、自動車の電化に必須の蓄電池や二酸化炭素排出原単位の低い天然ガスのニーズが急上昇した。

これに加え、昨今のウクライナ情勢を受け、天然ガスの取引金額が欧州を中心に更なる高騰を見せ、資源獲得の多角化の重要性が再認識された。

蓄電池においても、素材となるリチウムやコバルト、ニッケルは生産国が限られ²³⁾、資源調達の多角化が求められる。このことから、蓄電池のリユース、低コスト・低CO₂排出リサイクル技術は、環境保全とエネルギー安全保障の双方の観点から極めて重要な開発項目となる。



Fig. 9 Batteries' reuse and recycle system

5. まとめ

CNは、社会を構成する全てのアクターの課題認識と、全方位的な施策による社会移行を要することを説明した。また、その課題の大きさから、社会を構成するアクター間に新たな協調関係を構築することが求め

られる。例えば、産業界の移行は水素・新燃料の供給インフラや排出CO₂の回収インフラの整備が求められる、そこでは異なるセクターのアクターが合意形成することが求められる。

一方で、社会移行に必要なイノベーションは資本主義に則った競争により生まれる。そのため、世界情勢から将来課題をあらかじめ想定し、新たに構築する協調と適切な競争を共存させることが豊かなCN社会を構築するために必要であり、特に鉱物・再エネ資源の少ない日本においてはデジタル技術を駆使した賢い社会移行を選択していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：エネルギーを巡る社会動向と原子力の技術開発,
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_03_00.pdf (2022)
- 2) ビジネス+IT：「欧州グリーンディール」とは？1兆ユーロの投資を見込むカーボンニュートラル戦略,
<https://www.sbbt.jp/article/cont1/70761> (2021)
- 3) Argus：EU raises offshore wind target to 300GW by 2050,
<https://www.argusmedia.com/en/news/2161496-eu-raises-offshore-wind-target-to-300gw-by-2050?backToResults=true> (2020)
- 4) eceee：EU to target 30 million electric cars by 2030,
<https://www.eceee.org/all-news/news/eu-to-target-30-million-electric-cars-by-2030/#:text=EU%20to%20target%2030%20million%20electric%20cars%20by,fuel-based%20transport%20according%20to%20a%20draft%20EU%20document> (2020)
- 5) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルを巡る国内外の動き,
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_wg/pdf/002_03_00.pdf (2020)
- 6) JETRO：米ホワイトハウス、2030年までに30GWの洋上風力発電量を目指すと発表,
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2021/03/9838cbff3f85998b.html> (2021)
- 7) JETRO：米エネルギー省、太陽光発電導入のシナリオ発表、2035年までに4割供給へ,
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2021/09/b29ebe786520a078.html> (2021)
- 8) GIZMODO：米国、50億ドルを投じて全土にEV充電ステーションを整備,
<https://www.gizmodo.jp/2022/02/u-s-is-pumping-5-billion-into-ev-charging-station.html> (2022)
- 9) Climate Home News：China's energy agency floats increase in 2030 renewables target,
<https://www.climatechangenews.com/2021/02/11/chinas-energy-agency-floats-increase-2030-renewables-target/> (2021)
- 10) pv magazine：State Grid of China unveils plans for 100GW battery fleet,
<https://www.pv-magazine.com/2022/02/25/state-grid-of-china-unveils-plans-for-100gw-battery-fleet/> (2022)
- 11) 朝日新聞：中国、ガソリン車を2035年に全廃へ すべて環境車に,
<https://www.asahi.com/articles/ASNBW75L8NBWULFA034.html> (2020)
- 12) 内閣官房、経済産業省、ほか：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 (2021)
- 13) RITE：2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告）,
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf (2021)
- 14) 小野田：カーボンニュートラル社会におけるエネルギー基幹システムの技術イノベーション,
<http://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2021/12/2c6b88bdcb2120331b72c0b23ca26c91.pdf> (2021)
- 15) 荻本：エネルギーデジタル化で実現する持続可能な地域社会,
<http://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2021/12/103b7a439a8f346cfd9652f955678b1.pdf> (2021)
- 16) 日立製作所：日立評論—デジタル基盤で支える「People Centric City」, Vol. 101, No. 03, pp. 66-71 (2019)
- 17) 日立東大ラボ：Society 5.0を支えるエネルギーシステムの実現に向けて（第3版）,
<http://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2021/03/c5ddff233c8d1e825bb53999344dccc62.pdf> (2021)
- 18) 現代文化研究所：全市区町村のうち半分弱で、2030年に乗用車保有台数が20%以上減少～2025年、30年、35年の乗用車保有台数を市区町村別に予測～,
<https://www.gendai.co.jp/report/post-1623/> (2020)
- 19) AIMプロジェクトチーム、2050年脱炭素社会実現の姿に関する一試算,
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/034/034_004.pdf (2020)
- 20) 環境省、太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書（概要版）,
<https://www.env.go.jp/recycle/recycling/renewable/h2810/h28-01.pdf> (2022年4月28日アクセス)
- 21) 国土交通省、風車大型化・発電所大規模化に対応した基地港湾の適切な規模について,
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001464702.pdf> (2021)
- 22) 伊藤：持続可能な社会に求められる循環型社会,
<http://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2021/12/590d54f0fe6483f88b72dae15cb23c7e.pdf> (2021)
- 23) 経済産業省：EV普及のカギをにぎるレアメタル,
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ev_metal.html (2018)