

2. クリーンエネルギーの拡大

脱炭素に向けた歩みを速めていくには、発電量の変動しやすい再生可能エネルギー（再エネ）を無駄なく使うことが重要になる。発電の適地と消費地を結ぶ送電網や蓄電池、自給自足型の小型送配電網「マイクログリッド」といった再エネを最大限活用するためのインフラ構築が進むだろう。原子力はエネルギー安全保障の観点からも注目が高まっており、安全性を高める取り組みを進めながら、世界的に活用の動きが広がっていくと考えられる。

（1）太陽光と風力が世界の主力電源に

◆再エネ導入量は2050年にかけて4倍超に

脱炭素の要請が強まる中、発電時に二酸化炭素（CO₂）を出さない電源として太陽光や風力といった再エネの導入が急速に進んでいく。世界の再エネの発電容量は2023年時点で約4,141ギガワット（GW）導入されており、うち太陽光が1,552GW、風力が1,007GWだった。2023年単年の増加量は506GWと前年から約50%増え、うち4分の3を中国などにおける太陽光発電の増設分が占めた⁵。2050年には、世界の再エネはSTEPSでも19,120GW（うち太陽光12,639GW、風力3,874GW）にまで拡大する見通しだ。

国際エネルギー機関（IEA）によると世界の再エネ容量は2028年までに7,300GWに達すると予測される。米国・欧州連合（EU）・インド・ブラジルでは、2023～2028年における太陽光発電と陸上風力発電の導入量が約1,075GWと、それ以前の5年間と比べて2倍以上に増える見込みだ。

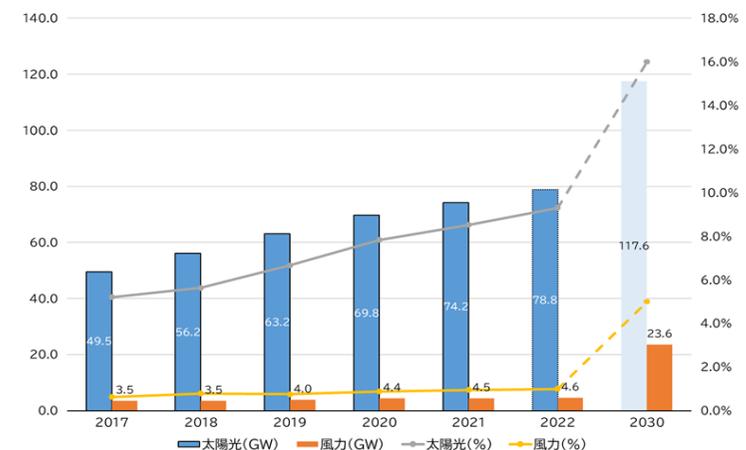
もっともこのペースでは2030年までに現在の2.5倍の増加にとどまり、国連気候変動枠組条約第28締約国会議（COP28）で採択された「2030年までに再エネの発電容量を世界全体で3倍にする」という目標には達しないとみられる。このため送電網インフラへの投資や新興国および開発途上国に対

する資金支援が必要になると考えられる。

◆日本は送電網の整備が急務

日本は国民負担の抑制と地域との共生を図りながら、〈図表4-8〉のとおりに2030年度の電源構成に占める再エネ比率36～38%を達成するため、特に太陽光発電・風力発電へ注力している。2022年時点の太陽光の発電容量は78.8GWと5年間で59%伸び、風力は4.6GWと同31%伸びた。また、地域間での再エネの需要と供給の差を解消するため、全国規模で電力系統整備を進める方針である。具体的には、地域間を結ぶ送電線について今後10年間程度で、過去10年間とくらべて8倍以上の規模で整備を加速としている。

図表 4-8 日本の太陽光・風力発電の設備容量と2030年目標



（出典）Energy Institute, “Statistical Review of World Energy”, Jun,2023 .および IEA, “Monthly Electricity Statistics”, Mar,2023 .より当社作成

⁵ IEA, “Renewables 2023”, Jan.,2024)

◆再エネ設備の自給率も重要に

再エネ拡大によって電力自体の国内生産量は増えるが、現状では太陽電池や蓄電池、風力タービンといった関連機器を生産するための材料は一部の産出国に頼らざるを得ない。特に世界の太陽電池で用いられる結晶シリコンは中国が8割以上のシェアを占めている。この依存度を減らし、安定供給を確保することも重要な課題である。

この課題を技術革新によって解決する試みの1つが「ペロブスカイト太陽電池」だ。現在太陽光パネルのサプライチェーンは中国に大きく依存しているが、同電池の主要材料であるヨウ素は日本が世界シェアの30%を占めるため安定供給が見込める。従来の太陽電池に比べて薄く柔軟、軽量であるため多様な場所に設置できるのが特徴で、主にフィルム型とガラス型の2種類の開発が進んでいる。

フィルム型は建物の壁面や屋根、小型IoT（モノのインターネット）デバイスに使えるが、耐久性や大型化に課題がある。積水化学工業は東京都の港湾施設で国内最大規模のフィルム型電池検証プロジェクトを実施しており、電力は蓄電池に充電、港湾施設のデッキに掲げられているサインの点灯に活用する⁶。京都大学発スタートアップのエネコートテクノロジーズは三井不動産レジデンシャルと組み、住宅の照明や家具などにフィルム型電池を設置して夜間電力を確保する研究を進めている⁷。ガラス型は窓ガラスを代替でき、住宅やビルにおける発電拡大が期待される。パナソニックホールディングスはガラス型の実証を神奈川県藤沢市のスマートシティで実施しており⁸、住宅のバルコニーに設置して発電と景観の両立を目指す。

日本はペロブスカイト太陽光電池の研究開発で世界に先行してきたが、足元では陰りも見える。年間の特許出願件数は2019年まで5年連続世界一であったが、2020年以降は中国勢が日本を上回っている⁹。

◆日本の風力は「浮体式」が切り札

風力発電のうち、海上で風車を回して発電する洋上風力発電は、陸上に比べて安定した風が得られ、景観・騒音面の影響が小さいといったメリットがあり、今後大量導入の可能性を秘めている。米国エネルギー省（DOE）によると、洋上風力発電の導入量は、2022年時点の59GWから2028年までに182GWを超える可能性がある¹⁰。

洋上風力発電には海底に固定した基礎に風力発電機を取り付けて発電する着床式と、洋上に風車を浮かべて発電する浮体式の2種類の設置方法がある。水深が50mを超える海域では、浮体式が着床式に比べて経済的に有利とされている。浮体式について、DOEの報告書では今後の浮体式風力発電の導入見通しについて複数機関の予測を比較して示しており、2030年までに約10GW、2050年までに300GWに達するなど様々に推定されている。

特に日本は近海で水深が急に深くなることから、深い海域にも設置可能な浮体式への期待が高まっている¹¹。日本の洋上風力発電の導入見通しは、浮体式も含め2040年までに30~45GWの案件形成を目標に掲げており¹²、2050年に向けて浮体式洋上風力発電が普及すれば、日本の再エネ比率の大幅な拡大が見込まれる。

⁶ 積水化学工業「東京都との港湾施設における国内最大規模のフィルム型ペロブスカイト太陽電池の検証について」（2024年5月24日）

⁷ エネコートテクノロジーズ「住宅用ペロブスカイト太陽電池の共同研究を開始」（2023年10月17日）

⁸ パナソニックホールディングス「世界初、ガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池 Fujisawa サステイナブル・スマートタウン内で長期実証実験を開始」（2023年8月31日）

⁹ 日本経済新聞「曲がる太陽電池、中国猛追 特許出願はパナソニック首位」（2023年11月28日）

¹⁰ U.S. Department Of Energy, “Offshore Wind Market Report: 2023 Edition”, Aug.,2023.

¹¹ NEDOによると、日本における浮体式を設置可能な海域は着床式の約5倍ある。

¹² 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（2021年6月13日）

(2) 原子力発電の再拡大

原子力発電はエネルギー安全保障と脱炭素化という二重の目的から再び世界の関心を集めている。脱炭素に向けた国際的な取り組みが進む中でロシアによるウクライナ侵攻をきっかけにエネルギー危機が起こり、エネルギー自給率向上と脱炭素を両立する電源としての価値が再評価されている。

◆世界の設備容量は2050年に5割増

IEAのSTEPSシナリオによると原子力発電の設備容量は2050年に2022年の約1.5倍の620GWに達し¹³、増加分の大半は中国とその他開発途上国が占めている。原子力発電を容認している国では運転期間の延長や新規建設が増加し、世界全体の原子力発電の設備容量は拡大する見通しである。例えば中国では2023年12月に世界初の高温ガス炉(高い発電効率と炉心熔融を起こさない固有の安全性を持つ原子炉)原子力発電所が商業運転を開始したほか¹⁴、英国は2024年にウェールズ地方において大型の原子力発電所を新設する計画を発表した¹⁵。

IEAのAPSシナリオでは2050年の原子力発電の設備容量は770GW、NZEシナリオでは900GWを超えると予測されている。いずれのシナリオにおいても大型炉が主流になると見られているが、産業での熱供給や水素製造など多様な用途が見込めるSMR(小型モジュール炉)の開発が進展することによって、長期的には原子力発電利用の可能性を広げると指摘している。

国際原子力機関(IAEA)も2050年の原子力発電の見通しを発表している¹⁶。<図表4-9>のとおり、「現在の市場、技術、資源の動向が継続し、原子力発電に影響する明確な法律、政策、規制の追加的な変更がほとんどない」

場合を想定した低位予測による2050年時点の設備容量は458GW、「低位予測よりも野心的であるが妥当性があり、技術的に実現可能で、気候変動に関する各国の政策を考慮」した場合の高位予測では890GWに拡大すると予測している。

図表 4-9 世界における原子力発電の設備容量の見通し



(出典) International Atomic Energy Agency, “Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050”, Oct.2023.

◆日本もじわり見直しが進む

日本では2023年に成立した「GX脱炭素電源法」に基づいて原子力発電所の運転期間延長が認められるようになるなど、原子力政策が新たな段階に入っている。2021年に策定した「第6次エネルギー基本計画」では、可能な限

計画発表」(2024年6月3日)

¹⁶ International Atomic Energy Agency, “Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050”, Oct.,2023

¹³ IEA, “World Energy Outlook 2023”, Nov.,2023

¹⁴ 日本貿易振興機構(JETRO)「世界初の第4世代原子力発電所、山東省で商業運転開始」(2023年12月27日)

¹⁵ 日本貿易振興機構(JETRO)「英政府、ウェールズ北西部で大型原子力発電所の新設

り原子力発電への依存度を低減するとして、2030年の電源構成目標を20～22%としているが、足元ではエネルギー安全保障上の課題や、デジタル経済の拡大に伴う電力需要の増加といった新たな課題が顕在化している。2024年度中に行われるエネルギー基本計画の見直しにあたっては、既存施設の再稼働だけでなく、＜図表 4-10＞のとおり「GX 推進戦略」で示されている次世代革新炉開発の具体化に向けた議論も進められることが予想される。

図表 4-10 次世代革新炉の主な利点と運転開始時期

主な種類	主な利点	運転開始
小型軽水炉	・自然循環で確実な冷却 ・工期短縮・初期投資抑制	実証炉: 2040年前半
革新軽水炉	・安全性・信頼性向上、運転性・操作性の向上 ・規制プロセスを含め高い予見性	商用炉: 2030年半ば
高速炉	・高温/低温を活用した熱利用 ・優れた安全性、経済性向上かつ全性向上	実証炉: 2040年半ば
高温ガス炉	・高い固有の安全性 ・高温の熱を利用し多目的の利用が可能 (水素製造等)	実証炉: 2030年半ば
核融合炉	・核融合反応による固有安全性 ・高レベル放射性廃棄物がない	原型炉: 2050年以降

(出典) 資源エネルギー庁資料より当社作成

◆安全性確保や廃棄物、課題も多く

原子力発電の技術開発においては、既設の軽水炉を基にした安全性の高い「革新軽水炉」の開発が進められている。例えば三菱重工業の「SRZ-1200」は、安全性を大幅に向上させた次世代の軽水炉として注目されている。また高レベル放射性廃棄物の容量を減らせる高速炉や、水素製造と発電の両立が期待される高温ガス炉の実証炉の開発も進んでいる。これらのプロジェクト

には、2023年度から3年間でそれぞれ460億円、431億円が投資される予定である。

ただ実際に国内で原子力発電を再び推進していくには、高い安全性の維持や廃棄物処理、建設コストの削減など多くの課題が存在する。廃棄物処理については原子力発電所で使用された燃料（使用済燃料）を再処理して再使用する「燃料サイクル」の実現がカギになる。使用済燃料の再処理施設は建設が進められているものの、原子力規制委員会による審査への対応などが進まず完成時期が見通せていない。使用済燃料はいったん各原子力発電所の燃料プールに保管するが、2023年時点で全国のプールの容量の8割が埋まっている。このため電力会社は発電所の敷地外に一時的に使用済み燃料を保管する「中間貯蔵施設」の建設を進めている。

一方、フランスでは北西部ラ・アーグにおける再処理施設について、政府が2040年以降も使用済燃料の処理と燃料サイクルに関する政策を推進する方針を示し、大規模投資を決定している¹⁷。これによって年間1,000tの使用済燃料の再処理・リサイクルが可能となる。同工場へは日本の発電所で発生した燃料の処理も依頼しているが、日本が本格的に燃料サイクルを回していくには国内で設備を確保することが重要になる。

日本が目指す「2050年カーボンニュートラル」達成に向けて原子力発電は一定の役割を担うことが必要と考えられる。特に資源に乏しい日本においては、次世代革新炉技術の開発と導入が、エネルギーミックスの多様化にも貢献できるだろう。2050年に向け、GX（グリーントランスフォーメーション）やDX（デジタルトランスフォーメーション）の潮流による電力需要の増加に対応するためには、安全性の向上を進めながら、同時に立地地域の住民や広く国民の理解を得ていく取り組みも重要になるだろう。

¹⁷ Revue générale nucléaire, “Le Conseil de politique nucléaire annonce des investissements importants à Orano La Hague”, Feb.28, 2024

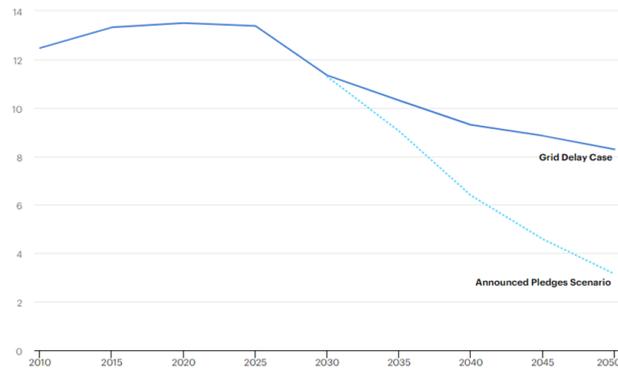
(3) 再エネ利用の効率化・最大化

クリーンエネルギーへの移行、特に再エネの導入拡大においては、導入の適地とエネルギー消費地をつなぐ送電網の整備や蓄電池の導入が極めて重要である。情報通信技術（ICT）を活用して需要と供給のバランスを最適に調整するスマートグリッド技術は再エネの変動を吸収し、電力供給を安定させる役割を果たす。EU では再エネへの移行を加速させるために、スマートグリッドの導入を促進する行動計画が2023年11月に発表されている。

◆再エネの拡大には送電網整備が欠かせず

IEA は2050年ネットゼロを達成するという世界の気候目標を達成するためには送配電網を2030年まで毎年約200万キロメートル拡張する必要があると指摘する¹⁸。2040年までには累計8,000万キロメートルの送電網を増設または改修する必要があるという¹⁹。再エネによる発電設備への投資は、過

図表 4-1 1 世界の電力部門のCO₂排出量の見通し
(送電網遅延ケースとAPSシナリオ)



(出典) IEA, “Electricity Grids and Secure Energy Transitions”, Oct., 2023.

去5年間で約2,000億ドル増加し2022年には7,500億ドルに達したが、世界の送電網への投資は年間約3,000億ドルで横ばいとなっている。

送電網への投資の遅れはクリーンエネルギーへの転換の遅れに繋がる可能性がある。送電網の整備が遅れると再エネの導入と化石燃料の使用抑制が進まないと考えられ、IEAによると、<図表4-1 1>のとおり、APSシナリオ（発表誓約）に比べてCO₂排出量の削減が遅れると予想される。送電網の整備が遅れた場合、2050年までに電力部門から排出されるCO₂の量（累計）はAPSシナリオに比べて58Gt多くなる計算だ。

◆蓄電池が再エネの主力電源化に貢献する

蓄電池は電力の供給と需要のバランスを取るために活用でき、車の電動化や再エネの主力電源化に不可欠とされる。IEAが2024年4月に公表した報告書によると、電力分野における蓄電池（定置用）の新規導入数は2023年に41.5GWと前年の2倍以上になった²⁰。バッテリー用途の大半を占める電気自動車（EV）向けの導入（車載用）は、2023年に前年比40%増加し、EVの台数ベースでは約1,400万台だった。

同報告書では太陽光発電と蓄電池は現在、インドにおける新規の石炭火力発電と同等のコスト競争力があり、今後数年で中国の新規石炭火力発電や米国の新規天然ガス火力発電と並ぶ競争力を持つと指摘している。STEPSシナリオでは、<図表4-1 2>のとおり、蓄電池と太陽光発電を組み合わせたプロジェクトの世界平均LCOEは2030年までに40%減少すると予測されている。これによって、太陽光発電と組み合わせた蓄電池は最も競争力のある新電力源のひとつとなるという。ただし、導入コストのさらなる低減や長寿命化、大規模な蓄電池の場合は広大な適地が必要となるなど、課題も多い。蓄電池市場は車載用・定置用ともに拡大する見通しで、2050年では車載

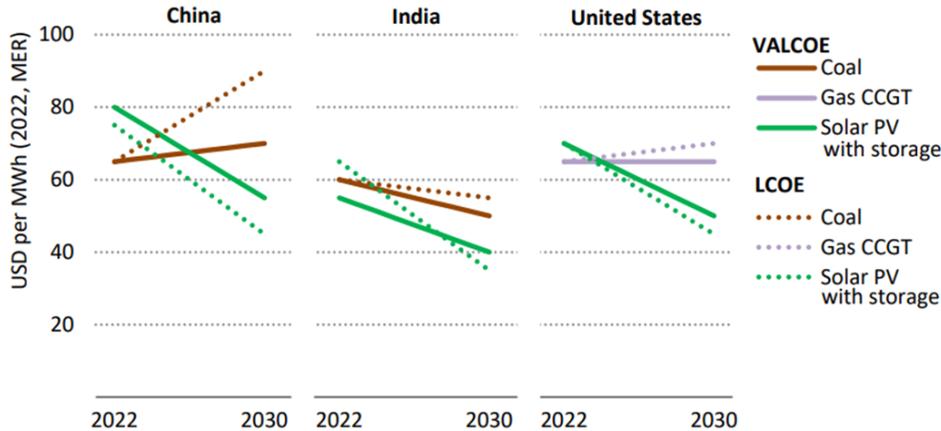
¹⁸ IEA, “Net Zero Roadmap”, Sep., 2023.

¹⁹ IEA, “Electricity Grids and Secure Energy Transitions”, Oct., 2023.

²⁰ IEA, “Batteries and Secure Energy Transitions”, Apr., 2024.

用が 53 兆円、定置用が 47 兆円規模の市場に成長する見込みである²¹。

図表 4-12 2022~2030 年 STEPS シナリオにおける中国、インド、米国における太陽光発電と蓄電池、石炭、天然ガスの LCOE と VALCOE)



(出典) IEA, “Batteries and Secure Energy Transitions”, Apr. 2024.

(注) LCOE (Levelised Cost of Electricity) : 電源別発電単価のこと。建設費、資金調達、燃料費、炭素価格などすべてのコスト要素を1つの指標にまとめたもの。
VALCOE (Value-adjusted LCOE) : 価値調整済み電源別発電単価のこと。電源のエネルギー価値、容量価値、柔軟性価値を LCOE に組み込んだもの。

◆地域の電力供給をマイクログリッドで強靱化

マイクログリッドは地域単位で独立した電力供給システムを構築する技術である。このシステムは小規模ながらも発電、蓄電、そして消費を一元的に管理し、再エネを効率的に活用しつつ電力を安定して供給することを目指している。自然災害による大規模な停電時でも、地域内で電力を供給し続けることが可能である。太陽光発電や風力発電、蓄電池、水素など多様なエネルギー

源によって、特に人口減少やインフラの保守人員が減少する地方においては、マイクログリッドが一つの解決策になり得るだろう。

茨城県つくば市はマイクログリッドを活用して 2030 年までに中心市街地エリアの脱炭素化を目指している²²。既存の都市インフラである地域冷暖房共同溝を活用した自営線マイクログリッドを構築し、民間及び公共施設に太陽光発電や蓄電池を導入するとともに、市内の医薬品工場にて発生する魚油等を燃料とするバイオマス発電を導入する計画だ。このように再エネの利用拡大とともに、マイクログリッドはエネルギー供給の柔軟性を高め、地域社会の持続可能性を支える重要な役割を果たすことが期待される。

日本電機工業会がまとめた報告書²³によれば、2050 年の「分散型グリッド」の絵姿として、カーボンニュートラルを目指す地域の中小都市(4~5 万世帯)の在り方が示されている。分散型グリッドは、域内で分散型エネルギー源(再エネ電源、蓄電池、次世代自動車、ヒートポンプなど)を統合管理することで、電力の混雑緩和・平準化を実現し、災害時には防災拠点や避難所向けの電力を確保することを可能とする。こうした分散型エネルギーによる地産地消によって、各家庭においては電力供給・電気料金の安定化や停電リスクの減少が実現することが期待される。

²¹ 蓄電池産業戦略検討官民協議会「蓄電池産業戦略」(2022 年 8 月)

²² 茨城県つくば市のホームページ「脱炭素先行地域づくり事業」

²³ 日本電機工業会「社会課題を解決する 2050 年分散型グリッドの絵姿」(2023 年 3 月)