

■海外情報

★国際エネルギー機関 2023年エネルギー技術展望 概要



Energy Technology Perspectives 2023		Table of contents
Table of contents		
Executive summary	20	
Introduction	26	
Purpose of this report.....	26	
Clean energy and technology supply chains.....	27	
Scope and analytical approach.....	29	
Report structure.....	34	
References.....	35	
Chapter 1. Energy supply chains in transition	36	
Highlights.....	36	
The clean energy transition.....	37	
Implications of net zero for supply chains.....	51	
References.....	76	
Chapter 2. Mapping out clean energy supply chains	82	
Highlights.....	82	
Assessing vulnerabilities in supply chains.....	83	
Geographic diversity and energy security.....	86	
Resilience of supply chains.....	119	
Supply chain sustainability.....	132	
References.....	139	
Chapter 3. Mining and material production	146	
Highlights.....	146	
Material needs for net zero emissions.....	147	
Mineral extraction.....	160	
Materials production.....	173	
References.....	203	
Chapter 4. Technology manufacturing and installation	210	
Highlights.....	210	
Overview.....	211	
Mass manufacturing of clean technologies and components.....	216	
Installation of large-scale, site-tailored technologies.....	252	
References.....	271	
Chapter 5. Enabling infrastructure	280	
Highlights.....	280	
The role of enabling infrastructure.....	281	

出典：[Energy Technology Perspectives 2023 - Analysis - IEA](#)

訳者注) 重要と思われる部分はアンダーラインを施した。

◆◆本報告書のポイント◆◆

- 本報告書は、クリーンエネルギー技術のための安全で強靱かつ持続可能なサプライチェーンを構築するための重要事項を政策立案者に提示
- クリーンエネルギーのサプライチェーンにおいて、製造技術とそれに依存する原料の両方で、潜在的に危険なレベルの“集中”が存在している。⇒現在、中国はほとんどのクリーンエネルギーの製造技術と貿易を支配
- ⇒各国は供給側の多様性を高める必要がある。
- ※原料鉱物だけでなく、その精製、加工も中国に大きく依存する。この“集中”が問題。
- 中国だけで2030年の太陽光発電モジュールの世界市場全体、電解槽の世界市場の3分の1、電気自動車のバッテリーの世界市場の90%を供給できる。
- ⇒(中国頼みだが)太陽光発電、電池、電解槽は供給比較的OK。しかし、風力発電部品、ヒートポンプ、燃料電池では大きく不足。
- ※自動車に関係する部分では“燃料電池”の供給に課題があると考えられる。

○サプライチェーンのどの部分（得意部分）を国内特化し、どの部分（不得手部分）で戦略的パートナーシップを構築するか、あるいは第三国に直接投資するかを慎重に検討することが、各国の産業戦略における重要な検討事項

○新しいインフラは、すべての国で新しいエネルギー経済のバックボーンを形成。インフラ構築には時間がかかる（その原因の一つは許認可の遅れであることを指摘）。

○大型燃料電池トラックの（各メーカーから発表されている計画を合計すると）供給は、IEA がロードマップで設定している NZE（ネット・ゼロエミッション）の目標に対し、2030 年時点で約 50%（半分が不足）。ただし、燃料電池自動車（FCV）生産のリードタイムは、（鉱物採掘や、インフラ構築より）1～2 年と短く、挽回可能と指摘。

⇒FCV の拡大計画そのものが少なくリスクという表現がされており、サプライチェーンにボトルネックがあるというより、生産計画が少ないことがリスクということだと思われる。～EV と比較して FCV はまだ投資対象として成熟していないという現状を反映。

○日本は、FCV の開発では先行しているように思われたが、実際にメーカー発表している拡大計画（まだ少ないが）は、決して先行していない。その中で、大型燃料電池トラックの拡大計画は、韓国 (Hyundai) がリードしている印象。資料中でも韓国に関する言及が多い。

◆◆報告書の構成◆◆

第 1 章では、世界のクリーンエネルギー転換の現状を概観し、NZE シナリオのネット・ゼロエミッションの道筋を実現するためにクリーンエネルギーと技術のサプライチェーンに求められる変化の程度と、起こりうるリスクについて概説。

第 2 章では、主なクリーンエネルギーと技術のサプライチェーンが現在どのように機能しているか、またクリーンエネルギー移行が進むにつれてどのような脆弱性があるかについて、地政学的集中と安全、市場ショックに対する強靱性、環境性能との関連性に着目して詳細に評価

第 3 章では、ネット・ゼロエミッションへの移行に必要な世界の鉱物と原料のニーズを定量化し、現在の拡張計画がその軌道にどの程度適合しているかを分析する。また、主要地域における投資を促進する政策や市場要因、サプライチェーンのこの段階における主な企業戦略についても検討

第 4 章では、大量生産型および大規模サイト向けクリーンエネルギー技術の供給見通しについて、現在および今後予定されている建設活動に基づく製造・設置能力の拡大に焦点を当て、評価。また、第 3 章と同様に、第 4 章では、主要地域における投資を促進する政策や市場要因、サプライチェーンのこのステップにおける主な企業戦略についても検討

第 5 章では、電力、水素、CO₂ の輸送、送電、流通、貯蔵に焦点を当て、ネット・ゼロエミッションに必要なクリーンエネルギーのサプライチェーンをコスト効率よく維持するために、エネルギーと CO₂ のインフラをどのように、どの程度のペースで変革していく必要があるかを分析

第6章では、政策立案者が安全で強靱性のある持続可能なサプライチェーンの開発と拡大をどのように支援できるのか、自由に使えるツールとその最適な使用方法について、世界各地の最近の経験を踏まえて解説

◆◆全体概要◆◆

エネルギーの世界は、新しい産業時代の初期段階、つまりクリーンエネルギー技術製造の時代に突入している。2000年代初頭（太陽光発電や風力発電など）および2010年代（EVやバッテリーなど）には黎明期にあった産業が、今日では広大な製造業として急成長している。これらおよびその他の重要なクリーンエネルギー産業の規模と意義は、今後さらに急速に拡大することが予想されている。世界各国は、ネットゼロの推進、エネルギー安全保障の強化、新たなグローバルエネルギー経済での競争という重複する目的のもと、クリーンエネルギー技術製造の拡大に向けた取り組みを強化している。現在の世界的なエネルギー危機は、世界のクリーンエネルギー移行にとって極めて重要な瞬間であり、今後数年間、さまざまな産業に投資の波が押し寄せてくることが予想される。このような状況において、クリーンエネルギーのための安全で、強靱で、持続可能なサプライチェーンの開発は不可欠である。

すべての国は、新エネルギー経済からどのように利益を得ることができるかを特定し、自国の強みと弱みに応じて産業戦略を定義する必要がある。この2023年版のエネルギー技術展望（ETP-2023）は、採掘、リチウム・銅・ニッケル・鉄鋼・セメント・アルミニウム・プラスチックなどの材料の生産、主要技術の製造・設置の分野を網羅し、世界のクリーンエネルギーサプライチェーンの現状を包括的に紹介している。本報告書は、各国がエネルギー、気候、産業の目標を追求する中で、これらの分野が今後数十年の間どのように発展していくかを描いている。また、クリーンエネルギー技術のための安全で強靱かつ持続可能なサプライチェーンを構築するためのチャンスとニーズを評価し、政策立案者への考察を示している。

新エネルギー経済はチャンスとリスクをもたらす。

クリーンエネルギーへの移行は、新しい産業や拡大しつつある産業において、成長と雇用に対し大きなチャンスを提供する。世界各国がエネルギーと気候に関する公約を完全に実施した場合、2030年までに年間約6,500億ドル（現在の3倍以上）の大量生産に相当するクリーンエネルギー技術のグローバルな市場が存在することになる。クリーンエネルギー関連の製造業の雇用は、現在の600万人から2030年には1,400万人近くに倍増し、その半分以上が電気自動車、太陽光発電、風力発電、ヒートポンプに関連するものになると考えられる。2030年以降もクリーンエネルギーへの移行が進めば、産業と雇用のさらなる急成長が期待される。

しかし、クリーンエネルギーのサプライチェーンには、製造技術とそれに依存する原料の両方において、潜在的に危険なレベルの“集中”が存在している。現在、中国はほとんどのクリーンエネルギーの製造技術と貿易を支配している。クリーンエネルギーのサプライチェーンに対する中国の投資は、主要な技術のコストを世界的に引き下げるのに役立っており、クリーンエネルギーの移行にさまざまな利益をもたらしている。同時に、グローバルサプライチェーンにおける地理的な“集中”は、政府が対処すべき

潜在的な課題も生み出している。風力、バッテリー、電解槽、ソーラーパネル、ヒートポンプなどの大量生産技術では、3大生産国が各技術の製造能力の少なくとも70%を占めており、そのすべてで中国が支配的である。重要な鉱物資源の採掘の地理的分布は、資源保有量と密接に関連しており、その多くは非常に“集中”している。例えば、コンゴ民主共和国だけで世界のコバルトの70%を生産し、わずか3カ国で世界のリチウム生産の90%以上を占めている。サプライチェーンのどのポイントにおいても“集中”は、個々の国の政策選択、自然災害、技術的失敗、企業的意思決定などの事故に対して、サプライチェーン全体が脆弱になる。

世界は、ひっ迫したサプライチェーンのリスク、つまり、近年のクリーンエネルギー技術の価格が上昇し、各国のクリーンエネルギー移行がより困難でコストのかかるものになっていることをすでに目の当たりにしている。コバルト、リチウム、ニッケルの価格上昇は、史上初のバッテリー価格上昇をもたらし、2022年には世界全体で10%近くも跳ね上がった。また、中国以外の風力タービンのコストも、長年低下していたものの上昇しており、鋼材や銅などの投入資材の価格は、2020年前半と2022年の同時期の間で約2倍に上昇した。同様の傾向は、太陽光発電のサプライチェーンにも見られる。

政府はクリーンエネルギー技術製造の未来を形作るために競争している。

各国は、クリーンエネルギーのサプライチェーンの弾力性と多様性を高めると同時に、**巨大な経済的機会を獲得するために競争している**。主要な経済国は、気候政策、エネルギー安全保障政策、産業政策を組み合わせる行動している。米国のインフレ抑制法はこのことを明確に示しているが、EUのFit for 55パッケージやREPowerEU計画、日本の「Green Transformation」プログラム、太陽光発電や電池の製造を奨励するインドの生産連動インセンティブ制度、中国の最新の5カ年計画の目標達成やさらにはそれを上回る取り組みなどがある。

クリーンエネルギー産業戦略を正しく行う国には、大きな利益がある。プロジェクト開発者や投資家は、さまざまな市場で競争力を発揮できるような政策に目を向けており、支援的な政策に反応するであろう。太陽光発電の場合、世界で発表された製造プロジェクトのうち、建設中または間もなく建設が始まるものは25%に過ぎず、EV用バッテリーでは約35%、電解槽では10%未満である。中国が最も多く、太陽光発電では全体の25%、電池では45%がすでにこのような先進的な段階にある。欧米では、発表された電池や電解槽の工場のうち、建設中のものは20%未満である。製造設備を稼働させるまでのリードタイムが平均1~3年程度と比較的短いため、投資しやすい環境が整っている国では、プロジェクトが急速に拡大する可能性がある。ある国で発表された製造プロジェクトが、政策や市場動向の変化に応じて、別の場所で実際に開発される可能性もある。

クリーンエネルギーのサプライチェーンを多様化し、強化するために、より大きな努力が必要である。現在発表されている2030年までの製造能力拡大計画のうち、太陽光発電用部品（セルとモジュールが約85%、ウエハーが約90%）、陸上風力発電用部品（ブレードが約85%、筐体とタワーが約90%）、EVバッテリー部品（陽極材が98%、陰極材が93%）は、ほとんど中国が占めている。水素電解槽は例外で、発表されている2030年の製造能力の約4分の1は中国とEUそれぞれに、さらに10%は米国にある。

クリーンエネルギーのサプライチェーンは、国際貿易の恩恵を受ける。

国際貿易は、迅速かつ安価なクリーンエネルギーへの移行に不可欠だが、各国は供給側の多様性を高める必要がある。太陽光発電では、現在、多くの部品が取引されており、特にウェハーとモジュールが多い。世界需要に占める国際貿易の割合は、太陽光発電モジュールで 60%近くを占め、中国で生産された太陽光発電モジュールの約半分は、主に欧州とアジア太平洋地域に輸出されている。EV も同様に、部品貿易の大半はアジアから欧州に流れ、EV 用電池の約 25%を中国から輸入している。風力発電の部品は重くてかさばるが、タワー、ブレード、筐体の国際貿易は極めて一般的になっている。風力発電の部品製造では、中国が世界の生産能力の 60%を占め、輸出の半分を占めており、そのほとんどが他のアジア諸国やヨーロッパに輸出されている。風力発電の最大市場の一つである米国では、ブレードとハブの国内生産比率は 25%以下である。ヒートポンプについては、世界の製造業に占める国際貿易の割合は 10%以下であり、そのほとんどが中国からヨーロッパへの輸出である。

2030 年に向けて発表された製造のプロジェクトは、多くのクリーンエネルギー技術にとって非常に大きなものである。仮に、発表されている製造能力拡大プロジェクトがすべて実現し、すべての国が発表された気候変動に関する公約を実施した場合、中国だけで 2030 年の太陽光発電モジュールの世界市場全体、電解槽の世界市場の 3 分の 1、電気自動車のバッテリーの世界市場の 90%を供給できるようになる。EU で発表されたプロジェクトは、電解槽と EV 用電池は EU の国内需要をすべて賄えるが、太陽光発電と風力は、引き続き技術的に優位な地域からの輸入に大きく依存することになる。米国でも、インフレ抑制法の施行により、さらなる設備増強の可能性が高いが、状況はほぼ同様である。現在、世界で発表されているプロジェクトは、ある技術（太陽光発電、電池、電解槽）では需要を上回り、他の技術（風力発電部品、ヒートポンプ、燃料電池）では大きく不足する。このことにより、需要の不確実性を下げ、投資決定を支援するために、政府による明確で信頼できる導入目標の設定が重要であることが浮き彫りになっている。

重要な鉱物には独自の課題がある。

クリーンエネルギー技術のサプライチェーンにおいて、重要鉱物の採掘は、資源保有性に依存する唯一のステップである。新規鉱山の採掘には、開発プロジェクト開始から最初の生産まで 10 年以上の長いリードタイムがかかるため、重要鉱物の供給がクリーン技術製造の主なボトルネックとなるリスクが高まる。さらに、今日の生産は地政学的に集中しているため、供給の安定性にリスクがあり、国際的な協力と戦略的パートナーシップは極めて重要である。新しい採掘能力を開発する企業は、サプライチェーンのさらに下流のクリーンエネルギー技術が、やがてうまくスケールアップされることを確信する必要があるため、将来の普及に関する明確な政策シグナルが、この分野への投資リスクを軽減するために特に重要である。

重要な鉱物の加工・精製を目的としたプロジェクトの多くは、中国に設置されることが発表されている。これらの中流工程は、エネルギー集約型になる傾向がある。中国は、2030 年までの銅の追加生産能力の 80%を占め、電池に使われる主要金属の精製能力の発表の大部分を占めている（コバルトは 95%、リチウムとニッケルは約 60%）。現在、世界中で計画されている鉱物処理能力の拡大は、クリーンエネル

ギー技術の急速な展開に必要とされる量にははるかに及ばない。太陽光発電のサプライチェーンに使用されるポリシリコンは、2030年までに生産能力の余剰が予想される唯一の分野である。

重要な鉱物の供給におけるリスクを軽減するためには、国際的な生産者と消費者の関係を多様化した新しいネットワークが必要である。これらは、鉱物資源だけでなく、その生産と加工に関する環境、社会、ガバナンスの基準にも基づいている。このような新しいパートナーシップは、特に発展途上国の資源豊富な生産者に、一次生産を超える機会を提供する方法でバランスをとる必要がある。しかし、鉱物の安全保障を支える包括的な政策には、特にリサイクルプログラムや技術革新への支援など、需要側への配慮が必要である。

各国のクリーンエネルギー産業戦略には、その国の強みと弱みを反映させる必要がある。

ほとんどの国にとって、関連するクリーンエネルギー技術のサプライチェーンのすべての部分で効果のある競争を繰り広げることは現実的ではない。そうする必要はない。特定の競争力は、低コストの再生可能エネルギーへのアクセス性や鉱物資源の存在など、固有の地理的優位性から生じることが多く、エネルギーや素材製品の生産コストを下げることにつながる。しかし、それらは、国内市場の大きさ、高い技能を持つ労働力、既存産業との相乗効果や波及効果など、他の属性から生まれることもある。こうした競争優位性の総合的評価・育成は、国際ルールに従って設計され、戦略的パートナーシップによって補完され、各国政府の産業戦略の中心的な柱となるべきである。

エネルギーコストは、今後も各国のエネルギー多消費型産業部門の競争力を左右する大きな差別化要因になると思われる。今日の産業競争力は、エネルギーコスト、特に天然ガスと電力に密接に関連しており、地域によって大きく異なる。このことは、クリーンエネルギー移行期においても変わりはない。例えば、再生可能な電力から得られる水素の製造コストは、中国や米国では、日本や西ヨーロッパ（5～7ドル/kg）よりもはるかに低く、アンモニアや鉄鋼などの派生商品の製造コストにも同様の差が生じる可能性がある。各国が気候変動に関する公約を達成し、再生可能エネルギーのコストが下がり続け、電気分解槽のコストが急速に低下するにつれて、地域間のコスト差は多少縮小すると思われるが、競争力の差は残るであろう。サプライチェーンのどの部分を国内特化し、どの部分で戦略的パートナーシップを構築するか、あるいは第三国に直接投資するかを慎重に検討することが、各国の産業戦略における重要な検討事項である。

新しいインフラは、すべての国で新しいエネルギー経済のバックボーンを形成する。電気、水素、CO2などの輸送、送電、流通、貯蔵などの分野がこれにあたる。クリーンエネルギーのインフラ構築には10年以上かかることもあり、一般的には大規模な土木プロジェクトが含まれ、地域の計画や環境規制を遵守する必要がある。建設はほとんどの場合、平均2～4年かかる比較的効率的なプロセスであるが、計画や許認可は遅れの原因となり、ボトルネックとなることがある。このプロセスは、管轄やインフラの種類によって2～7年かかる。インフラプロジェクトのリードタイムは、通常、それに接続する発電所や産業施設よりもはるかに長い。

新しいエネルギー経済のストーリーはまだ書かれていないーサプライチェーンがその中心である。

クリーンエネルギー技術製造のための産業戦略には、気候やエネルギー安全保障の要請と経済的チャンスとを密接に調整する、政府全体のアプローチが必要である。これは、国内の競争優位性を特定し育成すること、サプライチェーンの包括的なリスク評価を行うこと、大規模なインフラプロジェクトを含む許認可期間の短縮、サプライチェーンの主要要素に対する投資と融資の準備、将来のニーズを見据えた労働力のスキル開発、初期段階の技術におけるイノベーションの加速を意味する。どの国も出発点異なり、強みも異なるため、どの国も独自の具体的な戦略を立てる必要がある。そして、どの国も単独で進めることはできない。各国が国内能力を高め、新しいグローバルエネルギー経済における地位を強化するとしても、明日の産業のための強靱な基盤を構築する努力の一環として、国際協力から大きな利益が得られる。

中国では、2022年に政府が初の国家レベルの水素開発計画を立ち上げ、2025年までに5万台の燃料電池自動車を稼働させることを目標に掲げている。第14次5カ年計画では、水素は6つの重点分野の一つであった。歴史的に、中国はトラックやバスを含む大型 FCEV の開発・普及を優先しており、両者の普及におけるリーダーとなっている。多くのメーカーが、燃料電池バス製造の経験、あるいは親会社や姉妹会社の経験を活かして、大型トラックへの展開を進めてきた。FCEV の早期普及における中国の成功は、中国以外の燃料電池プロバイダーとのパートナーシップや合弁事業によるものであると、ある程度は言える。Ballard、Hyundai、トヨタなどの燃料電池メーカーは現在も中国市場に参入しているが、国内企業の役割も大きくなってきている。

「国際エネルギー機関 2023年エネルギー技術の展望」の第1章（移行期のエネルギーサプライチェーン）、第2章（クリーンエネルギーサプライチェーンのマッピング）、第3章（採掘および原材料製造）、第4章（技術の製造および設置（燃料電池トラック））の主要部分の抜粋翻訳は、（一財）環境優良車普及機構のホームページをご覧ください。

<https://www.levo.or.jp/lib/report/index.html>