PGIM

MEGATRENDS

次世代エネルギー

世界の最新情勢を踏まえた投資機会

2024ﻝ5月

当レポートは金融機関、年金基金
ﻋﻢ ﺒﻲ ﺍ ﺔ ٩
トの方々を対象としたものです。すべ
ﺔ ﻋﻰ ﺇ n ﺐ
ﺍ ﺍ ﻦ -6

PGIMについて

PGIMは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インク（PFI）の投資運用部門です。PGIMの1,450人を超える運用プロフェッショナルが、世界の主要な19ヵ国の41事業拠点において、個人投資家および機関投資家のお客様にサービスを提供しています。

PGIMは、1.34兆米ドルの運用資産を有する世界有数の資産運用会社として、堅実な運用プロセスや規律あるリスク・マネジメントを重視しています*。PGIMは、マルチ・アセット・マネージャーとして、精緻な投資アプローチにより主要な資産クラスにわたる多様な運用サービスの提供に努めています。これにより債券、株式、不動産、プライベート・クレジット、その他オルタナティブを含むパブリックおよびプライベートの資産クラスにおいて、グローバルな経験と規模を持つ世界有数の資産運用会社として多様な投資戦略およびソリューションを提供しています。

詳しくは、https://www.pgim.com/pgim-japan/ をご覧ください。

すべてのデータは2024年3月31日現在。

* PGIMは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インク（PFI）の投資運用部門です。PFIは、2023年6月発表のPensions & InvestmentsのTop Money Managersで、運用資産額で第11位（調査対象434社中）です。このランキングは、2022年12月31日時点のPFIの機関投資家顧客運用資産額を表しています。このランキングへの参加は任意であり、米国の機関投資家向け非課税AUMを保有する運用会社が対象となります。各運用会社は、アンケート形式にてデータを自己申告します。P&Iは、過去に参加実績のある運用会社、および調査への参加を希望する新規の運用会社に調査票を送付します。このランキングへの参加に対して、報酬は提供されていません。

はじめに

エネルギーを求めて、国家は興亡を繰り返し、政府は権力を握っては失脚し、新たな企業が誕生しては消えてきた[1]。現在、我々はエネルギーシステムの重要な転換点に立っている。

世界は何十年もの間、エネルギーにおける以下の同時に実現するのが難しい３つの優先事項の中で苦しんできた。(1) 安全で回復力があり、信頼性の高いエネルギー供給の確保、(2) 家庭用および商業用の安価な価格のエネルギーへの普遍的なアクセス、 (3) 環境破壊を軽減、または回避することが可能なエネルギーシステム。

しかし、いくつもの危機に直面する世界では、これらの競合する優先事項のバランスを取ることの複雑性が劇的に増加している。新型コロナウイルスのパンデミックとその余波、ウクライナと中東における国際紛争、中国をサプライチェーンから切り離すことを求める圧力、さらに頻繁に起こる異常気象や自然災害など、様々な危機は続いている。

この前例のない不確実なエネルギー情勢を乗り切ることは、長期投資にとって次の４つの理由から重要である。

1. **エネルギーは人間のあらゆる活動に不可欠である。**それは世界経済の１割を占めるだけでなく、残りの9割の活動にも必須であるといえる。また、エネルギー価格は、インフレ、個人消費、経済成長、対外収支などの主要なマクロ経済指標にも影響を与える。エネルギー価格の高騰に対する政府の対応は、国の財政にも影響を及ぼしかねない。さらに、エネルギー価格の急変は、貿易、商品市場、金融政策を通じて市場の混乱を引き起こし、投資に重大な不確実性をもたらし得る[2]。
2. **エネルギー安全保障は、国家安全保障であるといえる。**必要なエネルギーを安定して入手できるシステムを確立し維持することは、多くの複雑に絡み合う地政学的な課題の中心にある。このような地政学的リスクは、ソブリンリスクを理解し、流動性の低い投資に対する潜在的な資本規制を評価し、ポートフォリオ全体の国別リスク要因をモニターするために重要である。
3. **エネルギー転換、つまり電化と低炭素エネルギーを組み合わせたシステムへの移行は、数多くの魅力的な投資機会を生み出す。**その一方で、エネルギー転換は、ポートフォリオにおいて依然として高い比率を占めている可能性のある、衰退しつつあるエネルギーセクターの陳腐化リスクにもつながり得る。そして同時に、地理的に離れすぎていたり、非経済的であったり、政治的に実現不可能だったりする、過大評価されたイノベーションに対する警戒も必要である。
4. **ESG 目標や脱炭素化への配慮を掲げる投資家にとって、世界のエネルギー需給で避けられない問題は、低炭素経済への移行が継続的かつ必要であるにもかかわらず、化石燃料が今後数十年間にわたり主要なエネルギー供給源であり続けることである。**そのような世界にはきめ細かい配慮が必要であるため、投資対象を「茶色の」悪役と「緑の」英雄に分けるような単純な投資戦略は、環境目標を達成するためにも受益者の目的を達成するためにも、最も効果的なアプローチとはいえない。

転換点を迎えている世界のエネルギーシステムにおける、新たな投資機会およびその隠れたリスクについて理解するために、我々は、PGIMの債券、株式、不動産、プライベート・オルタナティブの運用プロフェッショナルに加えて、社外の著名な政策立案者、学者、研究者、起業家、プライベートエクイティ、ベンチャーキャピタルの投資家など、30名の専門家の知見を活用した。

第1章では、エネルギーシステムの再構築を牽引する主な要因について概説する。第2章では、次世代エネルギーシステムの重要な成長ドライバーである電化や、長期間にわたるエネルギー転換の中で生じるトレードオフについてまとめている。第3章では、これらの基礎的な仮説と概念を踏まえ、エネルギーシステム全体で最も魅力的な投資テーマを紹介するとともに、過大評価されている機会を回避するための事例も取り上げている。最後に、第4章では、投資責任者が進化するエネルギーシステムの影響をポートフォリオ全体にわたって評価する際のアイディアを紹介する。

目次

次世代エネルギーの展望

3ページ

01

完璧なエネルギー源は存在しない：エネルギー源におけるトレードオフ

13ページ

02

投資への影響

19ページ

03

ポートフォリオへの影響

29ページ

04

第1章
次世代エネルギーの展望

“次世代エネルギーの展望が明らかになるまでには数十年を要するが、現在、重大な転換点を迎えていると考える。”

01

第1章

次世代エネルギーの展望

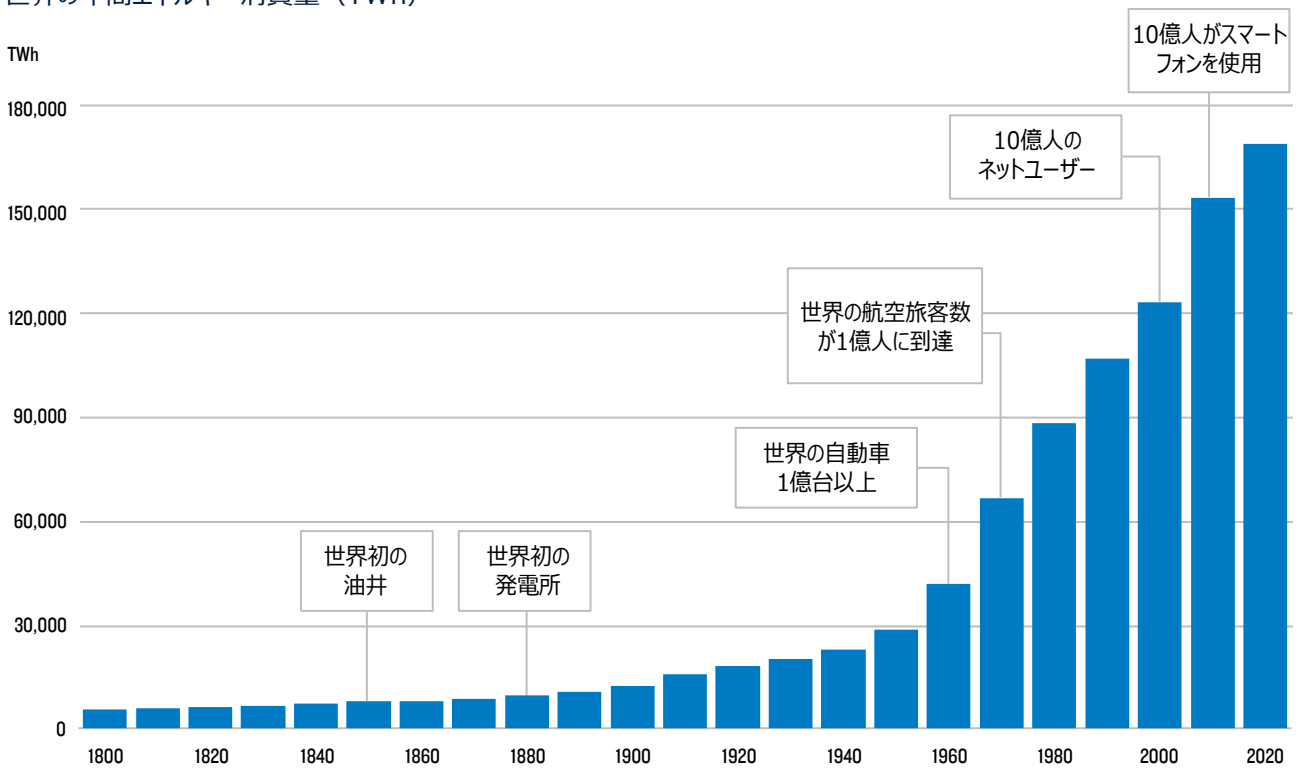
1800年における世界のエネルギー生産は、その大部分を木材、農産物廃棄物、木炭などのバイオマスに依存しており、その年間生産量は、現在の12日分のエネルギー需要しか満たすことができないと推察される。20世紀に入り、第二次産業革命が幕開けすると、人口の増加、経済成長、蒸気機関車、自動車や航空機からコンピュータに至るまで、エネルギーを大量に消費する新技術が出現し、エネルギー需要は増加し始めた（図1）。こうした人類の飽くなきエネルギー需要を満たすべく、石炭の次に石油とガス、そして最近では再生可能エネルギーに至るまで新たなエネルギー源が次々と追加され、エネルギーシステムはますます複雑化している。重要なのは、このようなエネルギーシステムの進化によって、従来のエネルギー源が新たなエネルギー源に完全に置き換えられたのではなく、新たなエネルギー源によって補完されてきたということである。

エネルギー供給に関して言うと、多くの場合にエネルギー源は、（1）石炭、石油、天然ガスなどの二酸化炭素を排出する化石燃料、（2）二酸化炭素を排出することなく発電することができる、太陽光、風力、水力発電などの再生可能エネルギーや原子力発電などの2つのグループに分類される。なお、電力自体はエネルギー源ではなく、エネルギー源を使って生み出されたエネルギーの伝達手段であるということに留意する必要がある（図2A）。全ての一次エネルギーは、上述した2つのグループによって構成されている。

エネルギー消費に関しては、多くの場合には産業、輸送、住宅、商業の4つのグループに分類される（図2B）。

図1：エネルギー消費は20世紀後半に急増

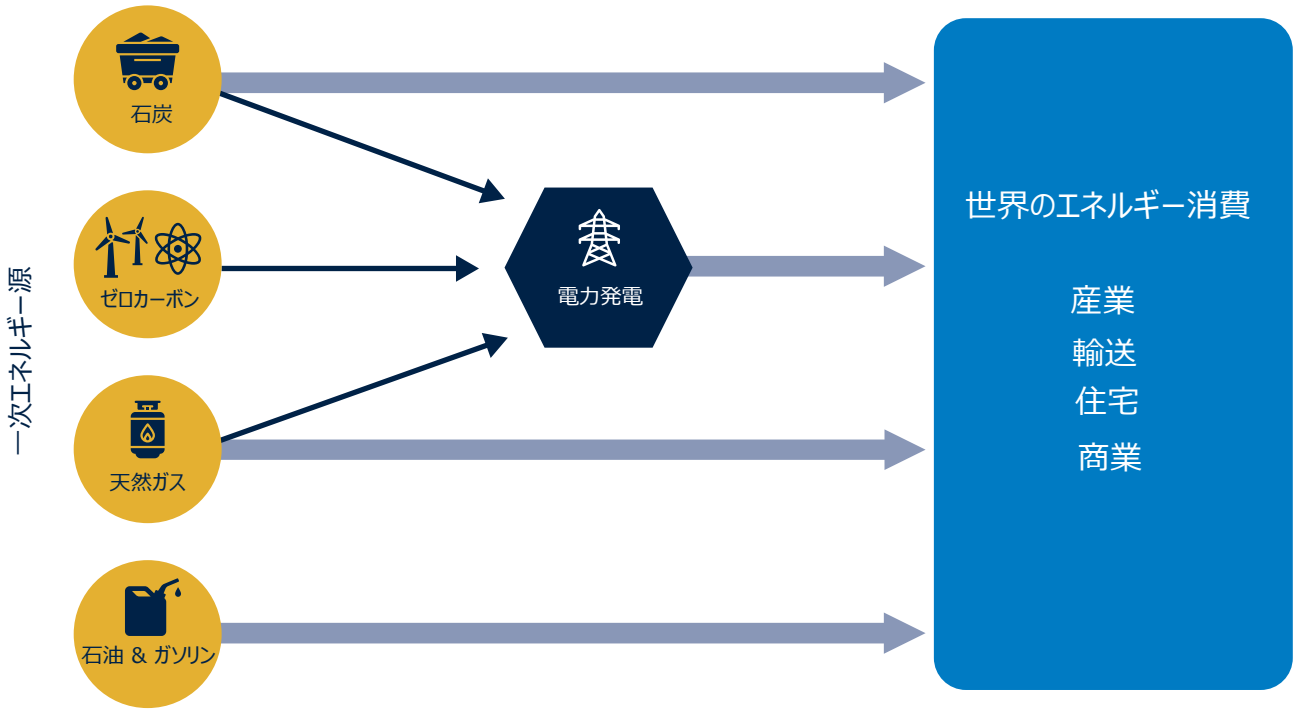
世界の年間エネルギー消費量（TWh）



出所：PGIMテーマ・リサーチ、国際電気通信連合、米国運輸統計局、国際航空運送協会、Dargay他、2024年3月現在。

現在のエネルギーシステム

図2A：エネルギーシステムの概要図



注記：石油のごく一部は発電に使用されており、一部の再生可能エネルギーはセクター内で直接使用されている。
出所：PGIMテーマ・リサーチ

図2B：セクター別の一次エネルギー使用量
一次エネルギーの使用量、1,000兆英国熱量単位、2022年

	産業	輸送	住宅	商業	合計	割合
石油	65	110	11	5	190	30%
天然ガス	89	5	38	20	153	24%
石炭	110	2	32	22	166	26%
再生可能エネルギー	60	2	23	16	101	16%
原子力	13	1	8	6	28	4%
合計	336	120	113	69	638	
割合	53%	19%	18%	11%		

注記：数値は四捨五入。セクター別の一次エネルギー使用量には、発電のために使用される一次エネルギーが含まれますが、発電効率の違いについては考慮されておらず、図5に示されている消費エネルギーとは異なります。発電量の詳細な内訳については、別添資料A7を参照ください。
出所：米国エネルギー情報局、2024年4月現在。

足元で、世界のエネルギーシステムは重要な転換点を迎えており、可能な限り化石燃料から再生可能エネルギーへの移行を促しながら、電化を促進していくことが求められている。こうした次世代エネルギー構想が実現するには数十年を要すると思われる中、今後は以下の3つのテーマが重要になる。

> エネルギー安全保障を巡る問題が、エネルギー転換のペースを左右する重要な要素となるだろう。

1. 地政学的緊張が高まる中、エネルギー安全保障は国家安全保障の重要な要素に

エネルギーは、何世紀にもわたって地政学的緊張および紛争の根本的原因となっており、安全で信頼性の高いエネルギー供給の確保は非常に重要である。安定したエネルギー供給は、経済発展にとって重要であるだけでなく、ほとんどの国は国家安全保障の重要な側面であると考えている。

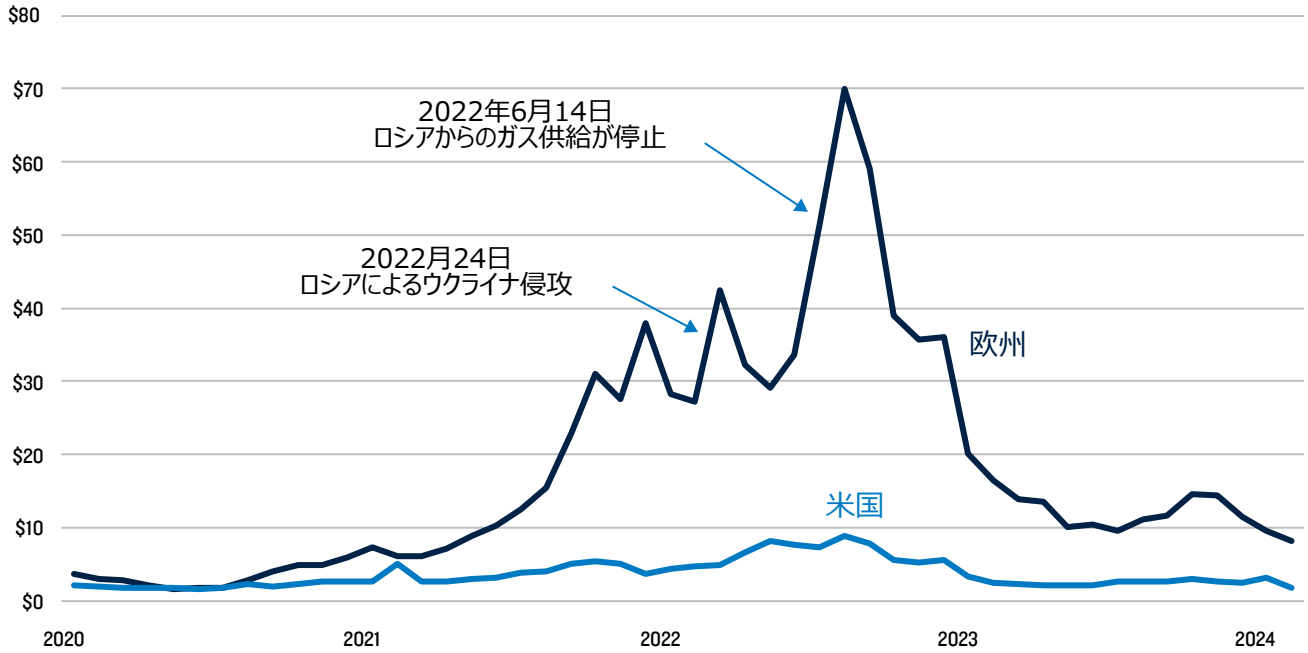
こうした理由により、日本、中国、ドイツ、米国、インドなどは、石油や天然ガスの戦略的備蓄を保持している[3]。

実際、エネルギーの供給不足やエネルギー配給が不足する見通しに直面すると、ゼロカーボンの取り組みが進んでいる国でさえ、長期的な脱炭素化目標よりも足元のエネルギー需要を満たす必要性を優先する。例えば、ロシアのウクライナ侵攻によって天然ガスの供給が脅かされたドイツでは、より信頼性の高いエネルギーを確保するために、石炭火力発電のような二酸化炭素排出量の多いエネルギー源に回帰した[4]。

エネルギー安全保障について考察する際には、各国がそれぞれ固有の状況に直面していることに留意することが重要である。例えば、石油や天然ガス（あるいは石炭）の埋蔵量が豊富な国は、常にエネルギー源を確保でき、国内のエネルギー源を国家エネルギー戦略の柱としているのが一般的である。そして、エネルギー安全保障を巡る問題が優先されることにより、それが化石燃料からのエネルギー転換の進展に影響を与えるだろう。このような背景から、中国、米国、インド、中東などの化石燃料の埋蔵量が比較的豊富な国では、再生可能エネルギーへの移行に長い時間を要する可能性が高いと考えられる（別添資料A1を参照）[5]。

図3：天然ガスの輸入国は、より大きな価格変動リスクに直面している

100万英国熱量単位当たりの天然ガス価格



注記：天然ガス供給の停止は、ロシアとドイツを結ぶ海底パイプラインであるノルド・ストリーム1経由の天然ガスの供給停止を指す。
出所：世界銀行、2024年4 月現在。

一方、石油や天然ガスの埋蔵量に恵まれていない国には2つの選択肢がある。1つ目の選択肢は、化石燃料の輸入に頼ることである。化石燃料を貯蔵・輸送するための広範なインフラ・ネットワーク（パイプライン、輸送ターミナル、貯蔵施設など）が何十年もかけて構築されているため、輸入に頼ることは現実的な選択肢となっている。一方、化石燃料の輸入依存度が高い国ほど、より大きな地政学的リスクや価格変動リスクに晒されることになる。こうしたリスクは、2021年夏にロシアから欧州への天然ガス供給を巡る不確実性が高まった際に表面化した。2022年2月にロシアがウクライナに侵攻する半年前に、欧州では天然ガス価格が高騰し、ドイツ、イタリア、その他の国は混乱に陥った（図3）。

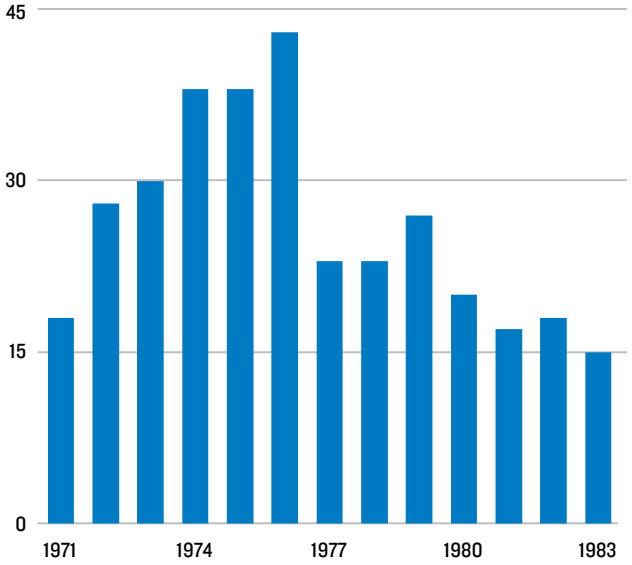
十分な石油や天然ガスの埋蔵量に恵まれていない国の 2 つ目の選択肢は、国内での代替エネルギー源の確保に努めることであり、これが原子力発電に対する投資の重要な推進力となった。1970年代のオイルショックおよび石油の供給制限を受け、エネルギー自給率を高めるために、フランス、スウェーデン、韓国では、原子力発電施設の建設に向けた政府主導の取り組みが始まった（図4）[6]。現在、これら多くの国では引き続き原子力発電が大規模なエネルギーを供給している（別添資料A2を参照）。

> 石油や天然ガスの埋蔵量に恵まれていない国は、化石燃料を輸入するか、代替エネルギー源を探すかの選択肢を持つ。

再生可能エネルギーによる発電は、化石燃料の輸入に依存することによってもたらされる脆弱性を排除できる一方、重要な部品のサプライチェーンを巡る新たな安全保障上の問題を引き起す。例えば、中国はリチウム電池のサプライチェーンにおいて支配的な地位を占めており、グローバルな製造工程の3分の2以上を中国企業が占めている[7]。さらに、グローバルなソーラーパネル製造の80%が中国企業によって占められており、他国の競合他社に対して技術、効率、およびコスト面で大きな優位性を確立している[8]。

図4：原子力発電は1970年代のオイルショック後にピークに達した

1971年から1983年にかけて建設が開始された原子炉の数



注記：1984～2022年の間に、10件以上の原子炉の建設が開始された年はわずか5回にとどまる。
出所：世界原子力協会、2024年3月現在。

こうした再生可能エネルギーに関するサプライチェーンの脆弱性に対処するために、各国は重要な金属や部品について多様な供給元を確保すべく、さまざまな対策を講じている。例えば、世界のリチウム鉱石の約半分を供給しているオーストラリアでは、リチウム電池用鉱石の加工および輸出能力を拡大している[9]。また、インドや米国など他の国々は、輸入依存度を低下させるために、補助金や関税によって国内のソーラーパネルのサプライチェーン拡充や生産能力拡大を支援している[10、11]。

2. エネルギー転換が進む中でも、化石燃料への依存は今後数十年にわたって続く見込み

過去数十年にわたり、世界経済は化石燃料を主要なエネルギー源として発展してきた。現時点において、化石燃料は世界のエネルギーの80%を供給しており、今後も数十年にわたって世界のエネルギー供給の重要な構成要素であり続ける可能性がある（図5）。

多くの経済的・政治的要因を背景に、引き続き化石燃料は重要なエネルギー源であり続けると考えられるが、エネルギー転換がどのくらいのスピードで進むかを考察するに当たっ

て、以下の3つの要素が過小評価される傾向にある。第1に、化石燃料を使わずに再生可能エネルギーだけをエネルギー源とするのが難しいと思われる産業が数多く存在する。第2に、化石燃料の精巧なグローバル・インフラ・ネットワークは、再生可能エネルギーよりも大きな優位性を有しているケースが存在する。第3に、許認可を巡る問題とNIMBY症候群（その必要性は認めながらも、自分への影響を拒否する姿勢）によって、重要な再生可能エネルギー関連設備に向けられる資本が不足している。

化石燃料は、工業および運輸セクターにおいて直接的なエネルギー源として使用される

現在の資本財の在庫は化石燃料に大きく依存している。例えば、最もエネルギー消費量の大きい2つのセクターである運輸および工業が、全エネルギー使用量の 72%を占めている。注目すべきは、こうしたエネルギー消費の大部分は化石燃料の直接的な使用によって占められていることである。

運輸セクター

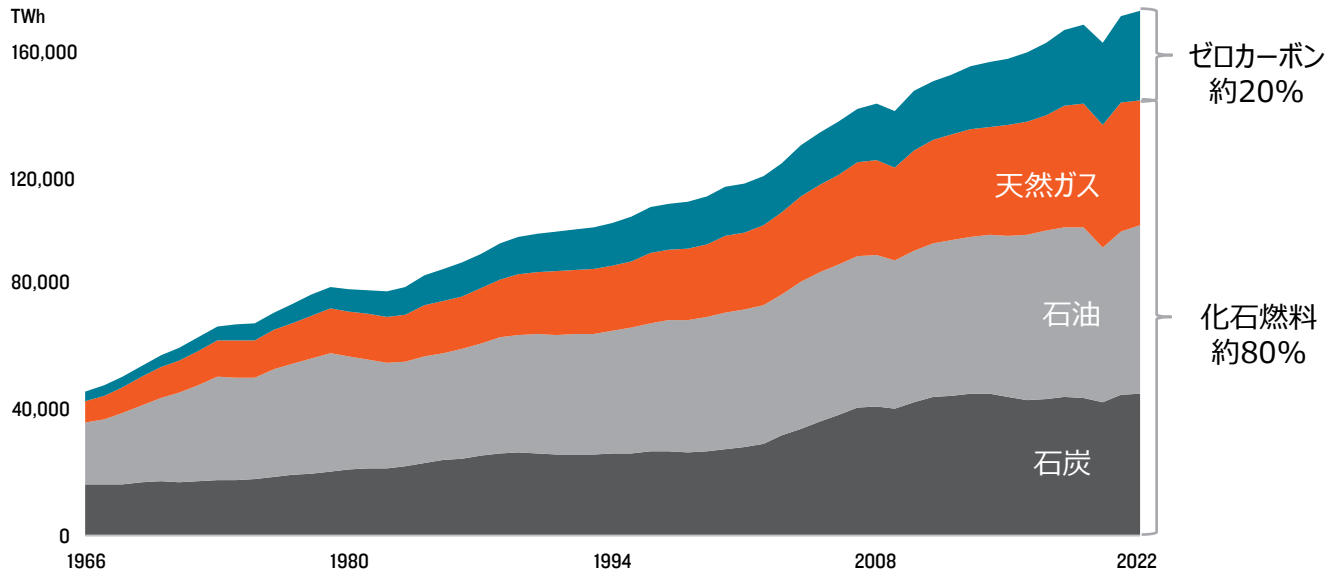
運輸セクターでは、ガソリン、ディーゼル、その他の石油系燃料が、世界中の自動車、トラック、飛行機、船舶、バイクの燃料タンクに直接注入されている。実際、化石燃料は世界の輸送に使われるエネルギーの98%を供給している。

> 現在、資本財の在庫は化石燃料に大きく依存している。例えば、最もエネルギー消費量の大きい2つのセクターである運輸および工業が、全エネルギー使用量の 72%を占めている。

電気自動車（EV）など、既に電化が進んでいる運輸セクターでさえも、そのスピードは速いとは言えない。現在、13億台のガソリン車等（ICE）が走行している。EVの普及に関する楽観的な予測であっても、2050年まで10億台を大きく上回るガソリン車等が存続すると見られ、これは、 EVの約2

図5：化石燃料が今日の世界の主要なエネルギー源となっている

一次エネルギー源別の消費量（TWh）



注記：ゼロカーボンは、太陽光、風力、バイオ燃料、水力、原子力による発電を含む。
出所：米国エネルギー情報局、世界エネルギー見通し 2023、2024年3月現在。

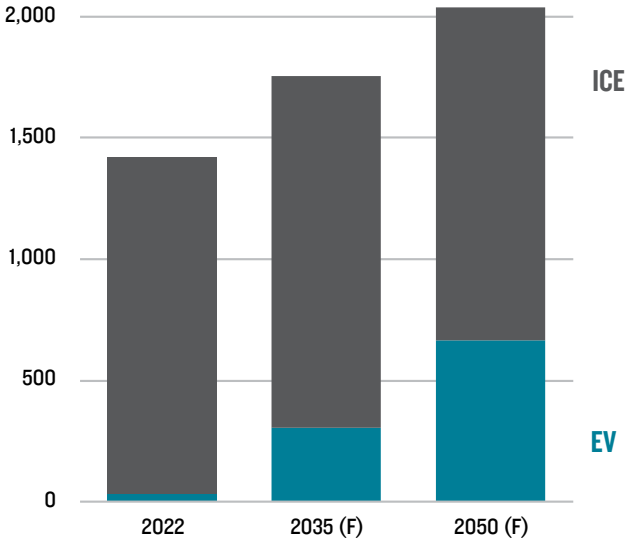
倍に相当する（図7）[12]。さらに、トヨタ、フォード、フォルクスワーゲンなどの大手自動車メーカーはEVに対する長期的な需要見通しを下方修正しており、こうした予測はますます非現実的になっている可能性がある[13, 14, 15]。

実際、化石燃料には、運輸セクターにおける代替エネルギーへの転換が進まない要因となる特性を有している。その典型的な例は、エネルギー密度の高さであり、これは交通や輸送にとって非常に重要である。同じ1kg当たりのエネルギー量で比較すると、天然ガス、石炭、ガソリン、さらには木材のエネルギー量は、リチウムイオン電池に蓄えられた電気のエネルギー量を大きく上回る（図7）。大型バッテリーを搭載させる場合にはそれ自体の重量が足枷となることから、運輸セクターにおけるエネルギー密度の低いエネルギー源の使用は制約を受ける。例えば、現在のバッテリーに関するテクノロジーに照らし合わせると、バイク、自動車、バスの動力としては十分だと考えられる一方で、旅客機、貨物船、トラック、貨物列車などによる長距離輸送には十分ではない。

工業セクター

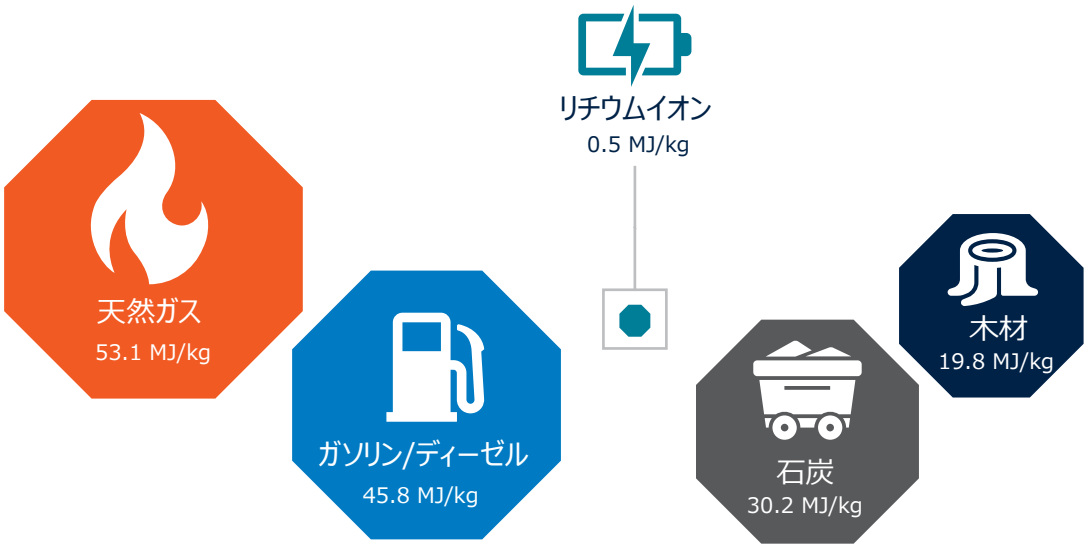
工業セクターにおいても、化石燃料がエネルギー源として広く

図6：世界でのEVの普及は遅々として進まない
電気およびガソリン等を動力とする自動車の台数（百万台）



注記：Fは予想。
出所：米国エネルギー情報局、世界エネルギー見通し 2023。

図7：現在のバッテリーは、エネルギー密度において、化石燃料に太刀打ちできない
1kg当たりのエネルギー密度（メガジュール）



出所：ブルッキングス研究所による “Why are fossil fuels so hard to quit?”（2024年3月）より転載。

使用されて使用されており、代替エネルギーの選択肢が存在していないケースが多い。製鉄の工程では、冶金用石炭が使用されているが、これも、化石燃料が有する特性を代替することの難しさを示す好例である。製鉄用コークス（原料炭）の燃焼は、鉄鉱石を溶かすのに必要な高熱を生み出すだけでなく、コークスから放出される炭素が酸素と結合することにより、鉄鉱石から非常に効率的に純鉄を作ることができる[16]。こうした鉄鉱石を製錬するための化学反応は、新たに鉄鋼を製造する上で不可欠である。電気アーク炉（電炉）は、多くの場合にはコストが高くなるとは言え、リサイクル工程においては代替手段となり得るが、新たに鉄鋼を製造する工程では使われていない。

> 電化を支える送電網の容量不足が、グローバルなエネルギー転換における大きな制約になりつつある。

世界の化石燃料の輸送・貯蔵インフラのようなネットワークを短期間で再現することは難しい

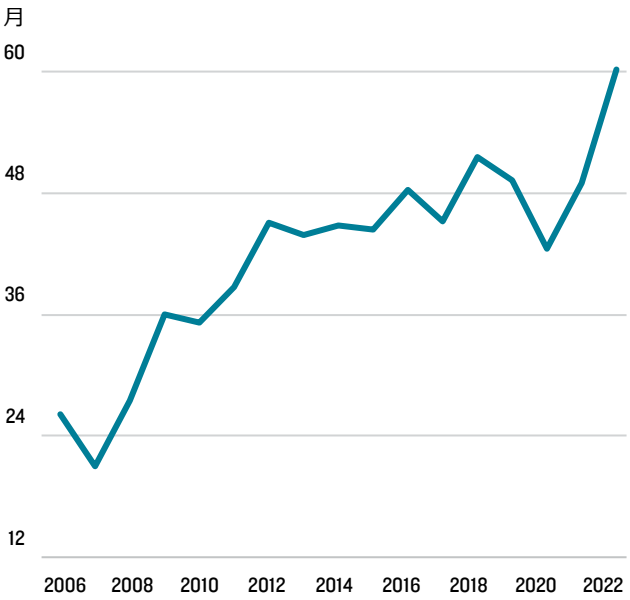
化石燃料を巡っては、長い時間をかけて構築された精緻な輸送・貯蔵インフラが現在も効率的に機能しており、これがもう1つの優位性となっている。世界中には50万を超えるガソリン・スタンドが存在しており、たとえ産油国でなくとも、世界のあらゆる場所でガソリンを入手できる。ガソリン・スタンドの世界的な普及は、原油の掘削と精製、その後のガソリンの輸送と貯蔵など広範なネットワークが存在していることを証明するものである。対照的に、電力は石油やガソリンよりも貯蔵と輸送が難しい。長期的に電力を貯蔵するには、現存の設備の規模、効率性、流動性は不十分であり、再生可能エネルギーによる電力を貯蔵、送配電するための広範なインフラ・ネットワークの実現は遠い将来の話である[17]。

規制および政策面における課題により、再生可能エネルギー関連設備に向けられる資本が不足

再生可能エネルギーへの転換に向けて必要とされる追加的なインフラに係る費用は莫大であり、絶えず数百兆米ドル規模の資金が必要であると見込まれる。2023年には、世界の再生可能エネルギーインフラに対して1.8兆米ドルが投資されたが、2050年までにグローバルな二酸化炭素排出量ネットゼロの目標を達成するには、今後25年で年間投資額を2023年から倍増させる必要がある[18]。

例えば、電化を支える送電網の容量不足は、グローバルなエネルギー転換における重大な制約になりつつある[19]。米国では、新規発電プロジェクトが送電網に接続されるまでの待機時間が長期化しており、足元では2007年の2倍となる平均約5年の待機時間が発生している（図8）。これは米国だけで見られる現象ではない。アジア、欧州、米州の全域において、数百億米ドル規模の再生可能エネルギー関連プロ

図8：送電網への接続に長い待機時間が発生している
米国における、送電網への接続申請から実際の運用までの平均時間



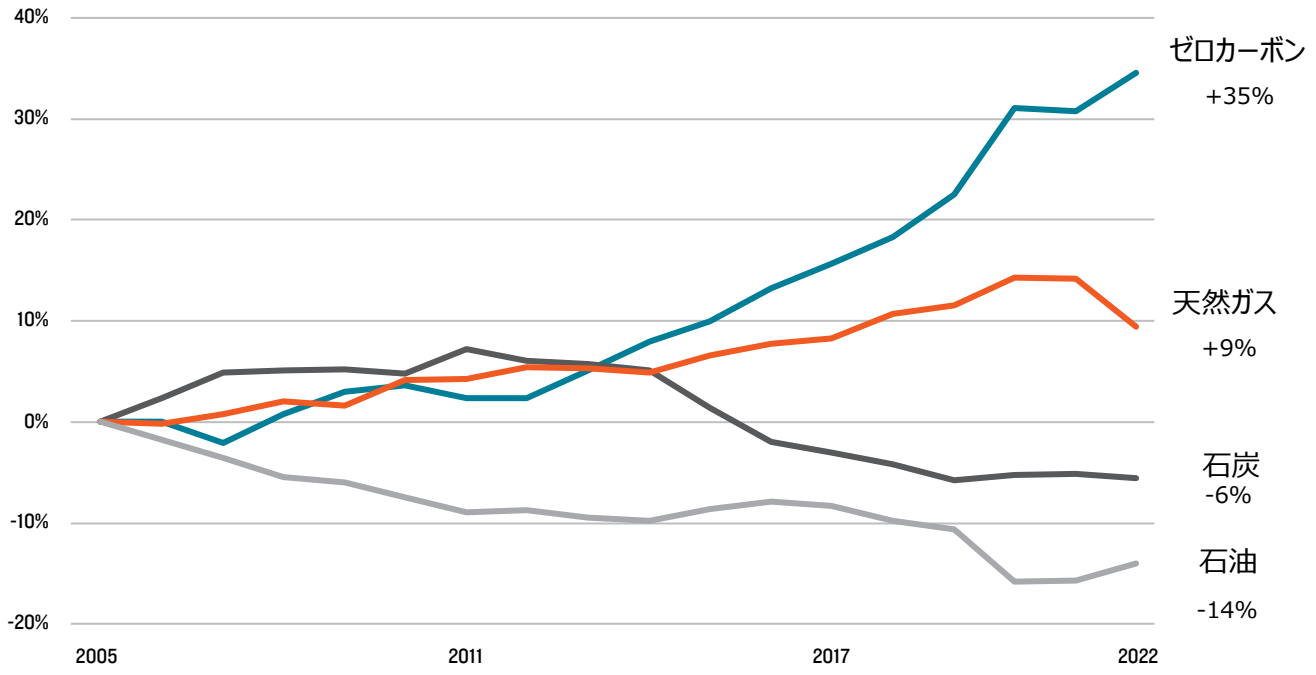
出所：ローレンス・バークレー国立研究所、2024年3月現在。

ジェクトが、既存の送電網の容量不足のために、キャンセルされたり、遅延したりしている[20, 21, 22]。実際、発電に最も適した風力発電所や太陽光発電所は、一般的に人口が集中する地域から離れた遠隔地にあるため、再生可能エネルギーによる発電にとって送電網は非常に重要となる。欧米では、送電線の整備に関する計画から許可までに6年以上を要するケースがあり、多くの場合には送電線の整備に必要な時間の2倍を要している[23]。多くの国では、送電線の許認可は細分化された非効率なプロセスで行われることが多い。そのため、近隣に風力タービンや高圧送電線が設置されることを歓迎する声は稀であることから、各地域社会において反対運動が起こることになる。こうしたNIMBY主義によって、再生可能エネルギーによる発電プロジェクトの実行可能性を巡る不確実性が高まるだけでなく、この領域に対する民間部門の投資が抑制される傾向にある。

3. 電化を中心とした大きなエネルギー転換が進行中である

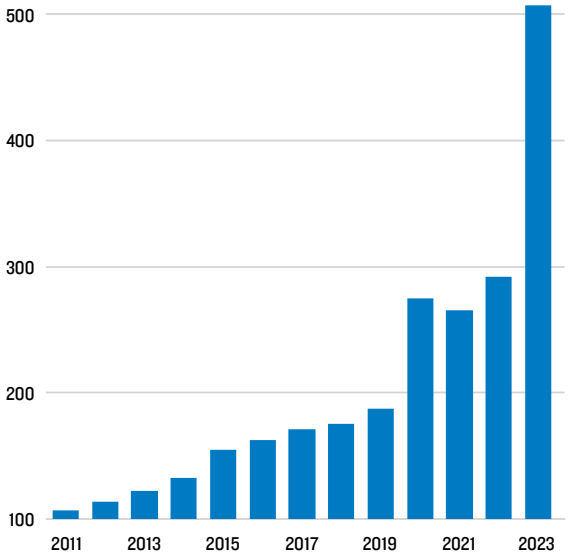
化石燃料には大きな優位性があるにもかかわらず、世界のエネルギーシステムは重大な転換点を迎えている。18世紀における木材から石炭へのエネルギー転換、20世紀初頭における石炭から石油へのエネルギー転換など、これまでのエネルギー転換の多くは、1世紀以上の時間をかけてゆっくりと展開してきた[24]。現在、気候変動に対する懸念、政府による補助金や規制、技術革新、再生可能エネルギーによる発電コストの低下などを背景に、化石燃料からより二酸化炭素排出量の少ないエネルギーへの大きな転換が過去20 年にわたって進行している（図9）。

図9：過去20年にわたりエネルギー転換が進行している
世界のエネルギー消費に占める一次エネルギー別の割合の推移



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023、2024年3月現在。

図10：再生可能エネルギーによる発電が急増
世界中で新たに供給された再生可能エネルギーによる発電量（GW）



出所：国際エネルギー機関、国際再生可能エネルギー機関、2024年3月現在。

2つの理由により、こうした脱炭素化への移行において電化が重要な要素となる。第1に、自動車やバイクなどのように化石燃料を直接使用するものが削減される。第2に、電気は、特に太陽光、風力、水力、原子力による発電などからも明らかなように、大量の二酸化炭素を排出することなく安価で手に入れることができるエネルギーである[25]。中国、米国、インド、欧州、ブラジルといった主要なエネルギー市場では、新たに発電能力を拡充させる際には再生可能エネルギーが最も優先順位の高い選択肢となりつつある。2023年に、世界は再生可能エネルギーによる発電容量を50%増加させたが、今後5年間は少なくともこれと同じペースでの成長が続くと予想されている。このペースが続けば、世界は2030年までに再生可能エネルギーによる発電容量を3倍に増やすことができる（図10）[26]。

それぞれのエネルギー源の間でのトレードオフは見落とされがちであるが、これはエネルギー転換に特徴的な重要な要素である。第2章では、これに焦点を当てて考察する。

第2章
完璧なエネルギー源は存在しない：エネルギー源におけるトレードオフ

“今日の電力消費量は、全エネルギー消費量の20%となっている。積極的なシナリオ通り電化が進むとすると、その割合は2050年までに 50%に達する可能性がある。”

02

第2章

完璧なエネルギー源は存在しない：エネルギー源におけるトレードオフ

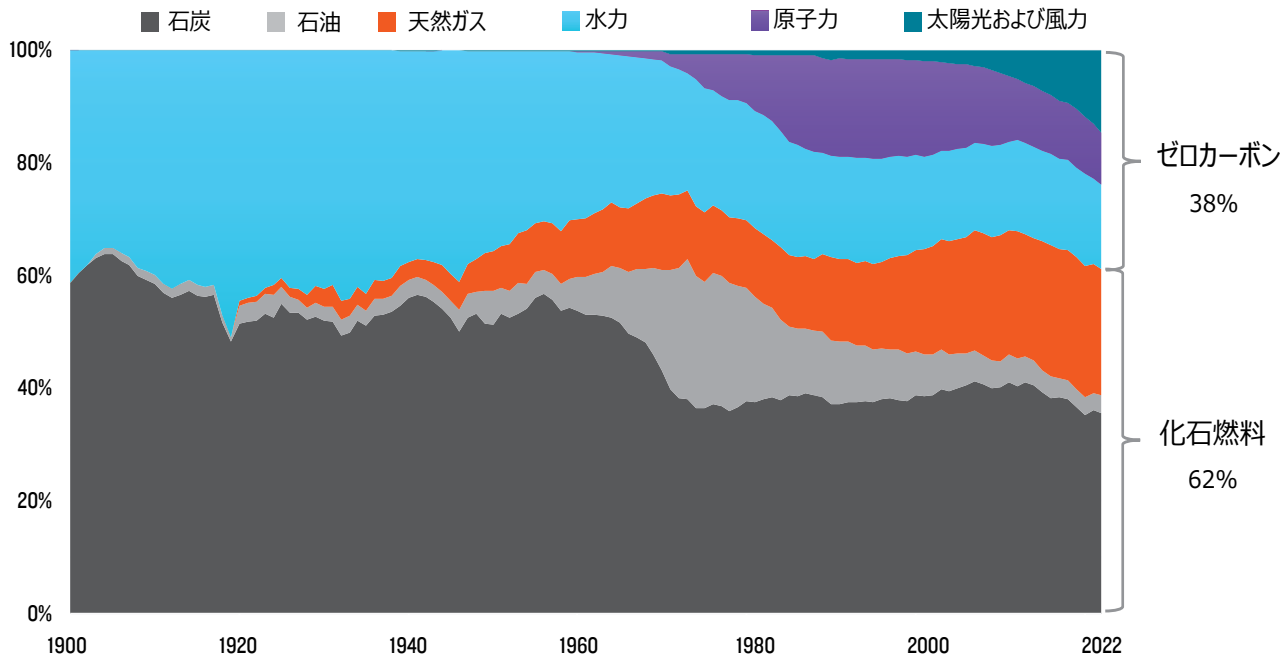
現在、電力消費量は、全エネルギー消費量の20%となっている。積極的なシナリオ通り電化が進むとすると、その割合は2050年までに 50%に達する可能性がある[27]。携帯電話やクラウド・コンピューティングからAIや暗号資産のマイニングに至るまで、デジタル技術の導入によって、世界の電力需要の大幅な伸びは加速の一途を辿ると考えられる。本章では、さまざまなエネルギー源の間でのトレードオフについて検証し、低炭素社会の実現に重要な役割を果たす電化に関し、そのベースとなる政策と社会的選択肢について整理する。

世界中の政府や民間企業が再生可能エネルギーによる発電に対して巨額の投資を行っていることを考えると、全電力の60%以上が依然として化石燃料から発電されていることは驚くべきことである（図11）。

当然ながら、こうした合計値からは国によって状況が大きく異なることは見えないものの、例えば、インドは全電力の約75%を化石燃料から発電している一方、ノルウェーは全電力の5%未満が化石燃料によるものである（図12）[28]。こうした中、中国はエネルギー転換の両極的な側面において非常に際立っている。つまり、中国は化石燃料の最大消費国の1つである（年間の石炭消費量は米国全土に電力を供給するのに十分な量に相当する）だけでなく、再生可能エネルギーへの移行を牽引している国でもあり、2023年に中国で追加された太陽光と風力による発電容量はその他の国の合計を上回った（別添資料A3-6を参照）。

図11：発電は依然として化石燃料に依存している

世界の発電に占める各エネルギー源の割合



出所： PGIMテーマ・リサーチ、Ember and Pinto他、2024年3月現在。

変化を促進：エネルギーシステムにおけるAIの役割が拡大

AIに関して、報道で目にしない日は無いほど注目が集まっているが、大規模言語モデルを強化するための計算能力に対する需要が飛躍的に増加している事は、見落とされがちである。これがデータセンターに大きな影響を及ぼしているため、この点がエネルギー転換の議論において最も見過ごされている側面の1つと言えるかもしれない。

現在、データセンターは世界の電力の約2%を消費しており、フランスの一国の電力消費量を上回っている[29, 30]。さらに、データセンターの電力消費量は2026年までに2倍以上に増加すると予想されており、これは日本の電力消費量に匹敵する[31]。また、大規模言語モデルの学習に必要なエネルギー需要と、クラウド・コンピューティングおよびビットコインのマイニングに必要なエネルギー需要を合わせると、データセンターは 2030年までに世界の電力供給の20%以上を消費する可能性があるとの試算もある[32、33]。

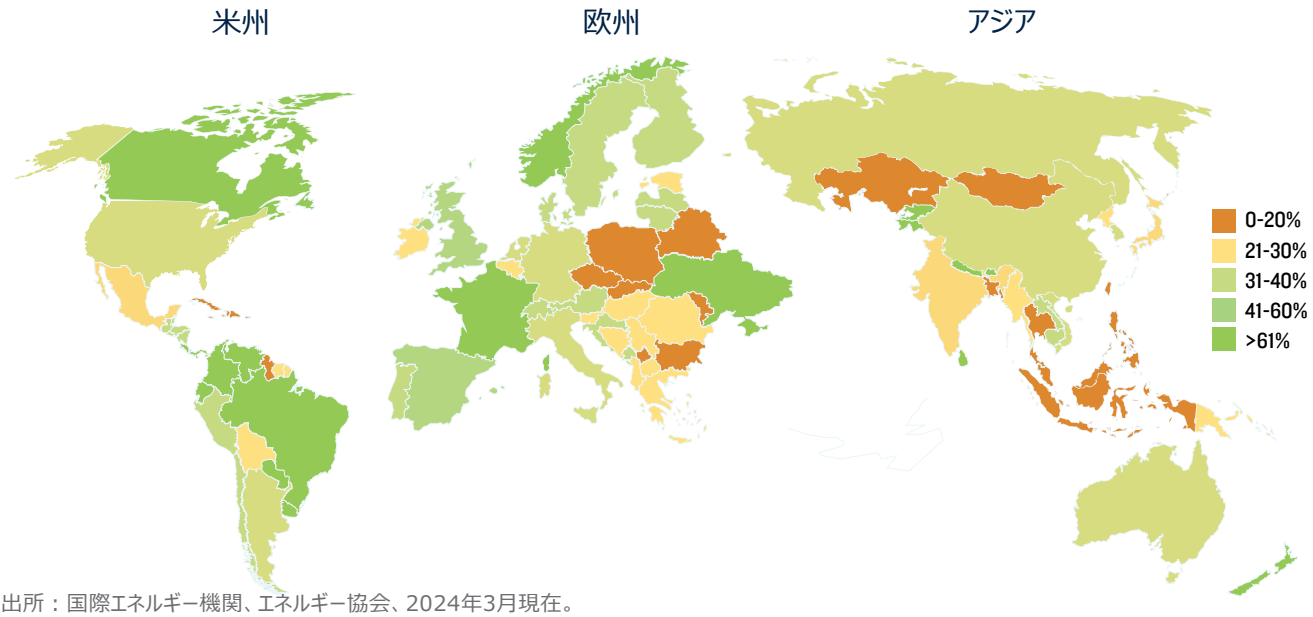
特に、データセンターは、電力供給の伸びが停滞している先進国で新たな電力需要の牽引役となっている[34]。例えば、アイルランドでは、データセンターからの電力需要は2026年までに倍増し、全電力需要の約3分の1を占めると予想されている。また、今後5年間にわたり米国の電力需要の伸び率がほぼ倍になると予想されている主な理由が、このようなデータセンターからの電力需要の急増であると思われる[35]。

データセンターのサーバーへの電力供給と冷却のために必要なエネルギーがデータセンターにおける最大の運営コストとなっており、これが既に新たな施設の建設および拡張の足枷となっている[36]。データセンター事業者にとって、これは、計算能力の向上と深層学習（ディープラーニング）に対する需要の増加に対応するために、どのようにビジネスモデルを拡張させていくかということだけでなく、新しい施設をどこに建設するか、十分な電力をどのように安価に調達するかについても検討する必要があることを意味する。

データセンター事業者は、さまざまな方法でこうした課題に対応している。一部の事業者は、ゼロカーボン電力の供給業者と積極的に提携し、データセンター施設に専用の電源を組み込んでいる。数年前から水素電力がその解決策の1つとなっており、水素をエネルギー源とした電力のみによって稼働する世界初のオフグリッド型データセンターが最近米国で操業を開始した[37、38]。また、世界的な大手データセンター事業者は、再生可能エネルギーの発電事業者との提携や合弁事業に乗り出している[39]。例えばAmazonは、ペンシルベニア州にあるキャンパス型のハイパースケール・データセンターを買収したが、このデータセンターは原子炉に隣接している[40]。他のデータセンター事業者も、小型モジュール式原子炉からの電力供給について検討している[41]。

図12：発電におけるゼロカーボン電力の役割は国によって大きく異なる

総発電量に占める原子力、再生可能エネルギー、水力発電の割合



出所：国際エネルギー機関、エネルギー協会、2024年3月現在。

完璧なエネルギー源は存在しない：それぞれのエネルギー源におけるトレードオフ

最適なエネルギーシステムとは、エネルギー源や主要部品を安定的に確保できるだけでなく、最も必要な時に、環境に悪影響を与えることなく、安価に電力を供給できるものでなくてはならない。見過ごされがちではあるが、次の3つの点すべてにおいて優れているエネルギー源は存在しない。つまり、化石燃料とゼロカーボンのエネルギー源にはそれぞれ強み弱みが存在する。

1. ディスパッチ能力

電力のディスパッチ能力とは、必要な時に発電できる能力、つまり、需要の変動に応じてどの程度容易に発電量を調整できるかを表す専門用語である。一般的に電力は、一日において最も需要が少ない時間における電力需要を満たす「ベースロード電源」を中心に管理されている。電力需要がベースロード電源からの供給を上回る時間帯では、増加した電力需要を満たすために必要に応じて補完的な電源を使用し、夜間に需要が減少するとこうした電源からの電力供給を停止させることができる[42、43]。通常、ベースロード電源には原子力発電や石炭火力発電などの、限界費用は低い一方で出力調整能力の低い発電施設が用いられる。一方、補完的な電源には、天然ガスタービンや水力発電など、発電時の限界費用は高い一方で発電や送電の調整力が高い、つまり日々の需要変動に応じて発電量を容易に調整できる発電施設が用いられる[44]。

これと対照的に、特に太陽光発電と風力発電を中心に、多くの再生可能エネルギーによる発電の電力供給は安定していない。つまり、発電量の調整は容易でなく、1日の発電量に大きなばらつきがある。総発電量に占める再生可能エネルギーによる発電が増えるほど、日中の最小発電量と最大発電量の振れ幅が大きくなる。これにより、送電事業者は日中の需供不均衡を積極的に管理する必要があることから、新たなインフラの必要性と課題が生じている[45]。

現在の電力網と送電インフラは、こうした日々の需要変動に対応するために、発電や送電の調整力の高い電源に大きく依存している。そのため、ベースロード電源および補完的な電源が使用している化石燃料を、より電力供給が不安定な再生可能エネルギーに置き換えるだけでは、電力の最終的な供給において大きな課題が発生する可能性がある。

電力供給が安定していない電源も含め、様々な電源を駆使して送電網を管理することは可能だが、それを実現するためには、再生可能エネルギーによる発電を補完的なインフラと組み合わせる必要がある。例えば、日々の電力需要の変動に対応するために、実用規模の大容量蓄電システムを活用できる可能性がある。十分な蓄電能力を確保できない場合には、水力や天然ガスのような容易に発電や送電を調整できる電源、あるいは複数の送電網の間で電力供給量のバランスを取るための長距離にわたる送電線が必要となる。

2. 安価な価格

世界で20億人以上の人々（世界人口の3分の1弱）が、クリーンで安価な価格のエネルギーを使うことができず、依然として焚火や、薪/木炭/その他のバイオマス燃料を燃やす簡素なコンロを使って調理している[46]。そして、エネルギー価格や電力価格の上昇は、国を問わずに政治的な反発の引き金となる。2022年のエネルギー価格の高騰により、パキスタンやエクアドルなどの新興国から英国やフランスなどの先進国に至るまで、世界中で生活費危機（コスト・オブ・リビング・クライシス）と政治的抗議活動が引き起こされた[47、48]。このような背景から、各国政府や政治家が、エネルギー価格を抑える事について妥協しない傾向が高まっている。

> 太陽光と風力は、最もコスト効率の高いエネルギー源のひとつである。

過去10年にわたり、政府による風力発電と太陽光発電に対する支援策が民間資本を惹きつけ、その結果技術が進歩し、その流れが加速してきた。こうした中、現在では太陽光と風力は、最もコスト効率の高いエネルギー源のひとつとなっている。実際、いくつかの調査研究によると、米国で既存の火力発電所を稼働させ続けるよりも、まったく新しい太陽光パネルや風力タービンを設置し、これらを米国の送電網に接続する方が低コストであることが示されている[49]。

現在、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電プロジェクトの均等化発電コスト（LCOE：発電設備の導入コストを生涯発電量で割ることで算出される）は比較的低水準にあり、さらには発電時に限界費用が発生しないという特徴を有している（図13）。

3. 二酸化炭素排出量

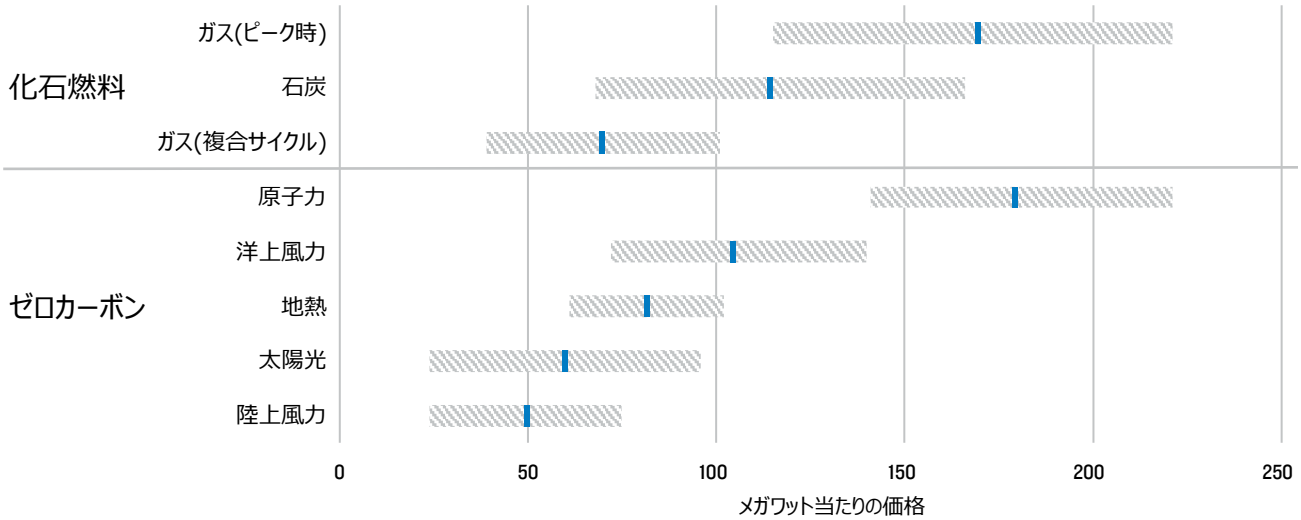
2023年は、陸上気温と海水温ともに観測史上最も温度の高い年となり、地球温暖化が継続的に進んでいることを示す最新の事例となった[50, 51]。大気中の二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガス（GHG）が、気温上昇の主要因となっている[52]。こうした持続的な地球温暖化によって海氷が溶け、海面上昇が引き起こされ、干ばつ、洪水、より激しい嵐や山火事などの異常気象がより頻繁に発生するようになっている[53]。

全世界の温室効果ガス排出量のうち、エネルギー（生産および消費）関連の排出量が約75%を占めており、そのほとんどが化石燃料の燃焼によるものである[54]。対照的に、再生可能エネルギーは、いったん製造・設置されると、これ以降は温室効果ガスを排出することなく発電することができる。

化石燃料よりも再生可能エネルギーに重点を置いた低炭素型エネルギーシステムが、世界の温室効果ガス排出量を削減するためには不可欠である。

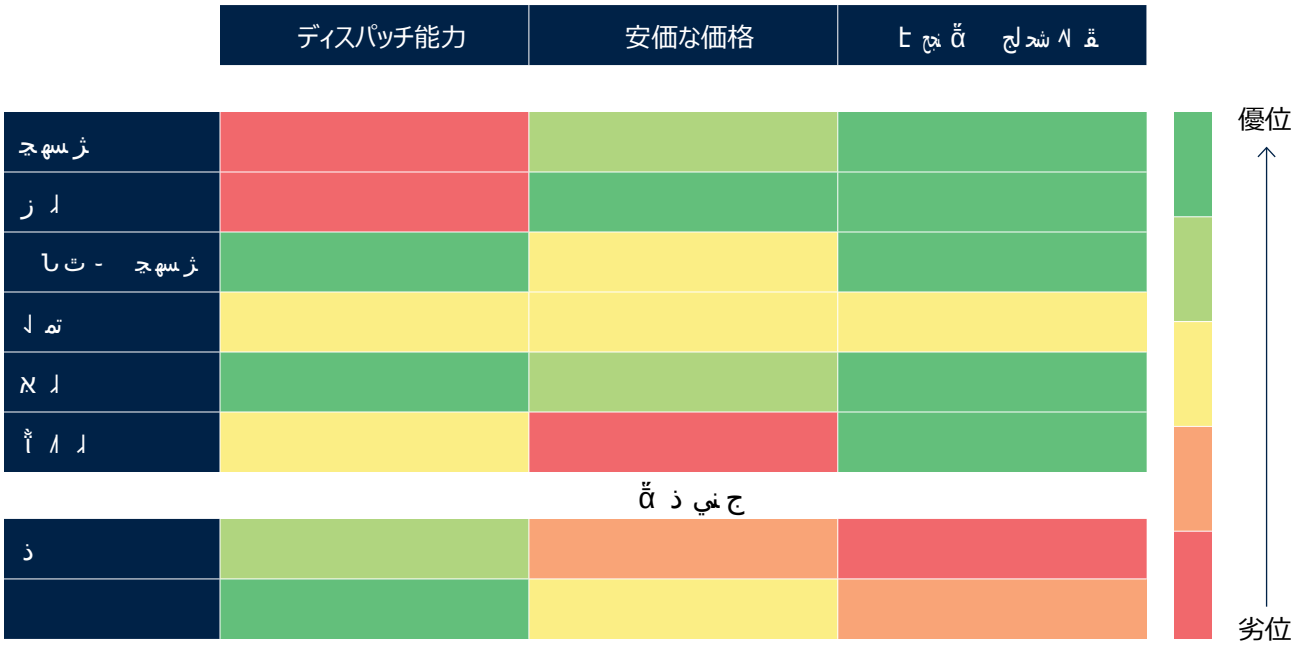
図13：再生可能エネルギーは、費用対効果の高い発電方法となっている

補助金なしの平準化発電コスト、メガワット当たりの価格（2023年）



注記：均等化発電コスト（LCOE）には、安定した電力供給が難しいエネルギー源の発電量を平準化するための蓄電に係る追加費用については考慮されていないなどの制約がある。一方、蓄電にかかる費用や、これら再生可能エネルギーによる発電を発電・送電が調整できる天然ガス発電によって補う必要性がある場合の費用など、発電量を安定化させるための費用を加味したとしても、多くの場合には、再生可能エネルギーによる発電は、特に原子力発電や石炭火力発電と比較して、コスト効率が高い。
出所：PGIMテーマ・リサーチ、ラザード、国際エネルギー機関、2024年3月現在。

図14：すべてのエネルギー源には強みと弱みがあり、トレードオフが存在している



注記：「安価な価格」は均等化発電コスト（LCOE）、「二酸化炭素排出量」は英国熱量単位（BTU）当たりの排出量によって測定。
出所：PGIMテーマ・リサーチ、ラザード、国際エネルギー機関、米国エネルギー情報局、2024年3月現在。

脱炭素化の目標を達成するためにどの程度の時間を要するかに関係なく、二酸化炭素排出量の削減は、今後数十年の長期にわたって引き続き次世代エネルギー構想を特徴づけるものとなるだろう。

世界最大の二酸化炭素排出国を含む140以上の国々が、二酸化炭素排出量の削減を目標とした公約を掲げている[55]。世界中の多くの国、企業、投資家が二酸化炭素排出量の削減に焦点を当てる中、すべてのエネルギー・セクターへの投資家にとって二酸化炭素排出量の削減は重大かつ重要な要素となっている。

エネルギー転換が進むにつれ、エネルギー源としての化石燃料は徐々に再生可能エネルギーに取って代わられるだろう。しかし、エネルギー転換に対する単一のアプローチが、すべての国におけるすべての段階で機能するわけではないと認識することが重要である。

将来のエネルギーシステムが最良の結果を得るためには、さまざまな異なるエネルギー源が必要になる（図14）。化石燃料の発電・送電の調整力が再生可能エネルギーの電力供給における断続性を非常にうまく補完することを考えると、近い将来のエネルギーシステムには引き続き両者が組み込まれる可能性が高い。さらに、選別された再生可能エネルギーおよび化石燃料によってエネルギー源を多様化することで、耐久性や安全性といった切望されていた要素がもたらされる。さらに重要なのは、長期にわたるエネルギー転換が進行している間でも、天然ガスなどの低炭素化石燃料が重要な役割を果たすことにより、エネルギー安全保障と安価なエネルギー価格を実現できることである。

電化をめぐるトレードオフは非常に現実的な問題であり、各国政府と地域社会がどのような選択を行うかが、エネルギー転換のペースを決定する上で非常に重要となる。進化を続けるエネルギー情勢にうまく対処しようとする長期的な投資家は、さまざまな投資機会と課題に直面することになるが、これらについて第3章で取り上げる。

第3章
投資への影響

“増大する世界のエネルギー需要を満たす特効薬は存在せず、複数のエネルギー源が必要だと理解することが重要である。”

03

第3章
投資への影響

エネルギー転換は、その過程で多数のトレードオフや課題を伴う、長期間にわたりゆっくり進んでいく複雑なプロセスである。そのペースと広がり方は国によって異なるが、エネルギー転換は世界のエネルギーシステムの重要な推進力であることに変わりはなく、世界中で様々な投資機会をもたらしている。ただし、増大する世界のエネルギー需要を満たす特効薬は存在せず、複数のエネルギー源が必要だと理解することが重要だ。また、投資家が最良の投資機会を見つけるためには、エネルギー転換の様々な段階について理解することが重要だろう。我々は、これらの段階について、以下の3つの包括的テーマに含まれると考えている。

1. 再生可能エネルギーを軌道に乗せるためには、他のエネルギー源や補完的なインフラによる支援が必要である

再生可能エネルギーによる発電は大きく成長し、世界中の様々な市場で規模を拡大している。しかしながら、蓄電や送電といった再生可能エネルギーインフラの分野は拡大が追い付いていない。再生可能エネルギーインフラにおける不均衡は、電力価格がマイナスになるケースの発生頻度、発電抑制により失われる電力、新しいプロジェクトを送電網に接続するまでの長い待機時間に反映されている。

> 再生可能エネルギーによる電力こそが、エネルギー転換の中核である。

これらの現実は、蓄電や送電といった補完的なインフラに遅れがあり、再生可能エネルギーのように断続的なエネルギー源を主軸とするエネルギーシステムを扱うために進化する必要があることを示している。投資家にとって、発電以外の再生可能エネルギーインフラを拡大・新設する必要性が広がっていることは明らかである。さらに、投資家は、再生可能エネルギーのサプライチェーンの主要な構成要素と、再生可能電力の成長が最も急速に進んでいる新興市場における膨大な投資機会を考慮する必要がある。

成熟した再生可能エネルギー市場における太陽光や風力のデット投資事例

エネルギー転換は、より多くの再生可能エネルギーによる電力を必要とする。政府の政策や民間資本はエネルギー・サプライチェーンのこうした状況を受け入れており、世界の再生可能エネルギーによる発電量は2012年から2023年にかけて4倍に増加した[56]。

しかし、投資家にとっては、市場が成熟するにつれて、発電事業を取り巻く環境は厳しくなっている。再生可能エネルギー発電の成長を促す政府の補助金と急速な技術革新により、発電事業者間の競争が激化し、電力価格が下落し、利益が減少していることが背景である。

これに加えて、サプライチェーンのボトルネック、設備や人件費の高騰、許認可の遅れ、金利の上昇などのすべてが、わずか数年前と比較しても、新規プロジェクトに対する課題を増大させている[57]。実際、洋上風力発電を推し進める米国の取り組みは、発電の収益性があまりにも急速に変化したため、プロジェクト開発者の関心が低下したり、条件の再交渉に直面したりしている[58, 59]。欧州のプロジェクトも同様の問題に直面しており、大幅な遅延やプロジェクトの中止が発生している[60]。

ダイナミックに変化している欧米の再生可能エネルギー発電事業に対する投資に関して、投資家はいかに検討すべきだろうか。第一に、エクイティと比べてデットに、より良い投資機会を見出せる可能性がある。

この分野において、デットによるファイナンスはエクイティよりも少ない傾向にある。特に、シニア債には魅力的な投資機会があると考えられる。また、世界的に金利が上昇していることから、メザニン債や仕組債への投資機会も考え得るだろう。特に、オフテイク契約が成立しているプロジェクトや、許認可が出にくい分野のプロジェクト、既に送電網接続が完了しているプロジェクト、最終顧客に近い場所に位置しているプロジェクトにおいて投資機会を見つけられる可能性が高いだろう。加えて、個々のプロジェクトではなく、親会社や持株会社によってデットを提供することで、個別のプロジェクト・リスクをある程度分散し、より弾力的なキャッシュフローを実現することが可能になる。

> 断続的なエネルギー源を主軸とするエネルギーシステムを扱うために、蓄電技術と送電技術は進化する必要がある。

第二に、風力発電や太陽光発電ではなく、水力発電や地熱発電のプロジェクトへの投資機会を検討する必要があると考える。後者のエネルギー源は出力制御が可能で、限界費用もゼロであり、風力や太陽光が発電していない時にはより高い売電価格を享受できる。新規プロジェクトを検討できる地域が少なく、新規建設が難しいことを考えると、風力発電や太陽光発電のプロジェクトよりも競争や陳腐化のリスクが低く、よって水力発電や地熱発電関連のデットも非常に魅力的であるとみられる。具体的には、北欧やイタリアといった欧州における水力発電プロジェクトの資本増強が挙げられる。また、チリ、ペルー、ブラジルをはじめとして中南米ではレガシーインフラの再構築も進んでいる。地熱発電プロジェクトは、米国西部とアイスランドの一部でいくつか進行中だが、どちらかというとニッチな市場と言える。

エマージング市場においては、インドの再生可能エネルギーの発電事業における投資機会が検討に値すると考える。

エネルギー需要と再生可能エネルギー供給の両方が急増しているインドは、魅力的な投資機会を提供している。すでに世界第4位の電力消費国であり、第3位の再生可能エネルギー発電国でもある。現在、再生可能エネルギーはインドの発電量の20%を占め、そのシェアは急速に拡大している。2022年には、化石燃料による発電量の増加よりも再生可能エネルギーによる発電量の増加の方が多いという転換点を迎えた。

驚異的な成長を遂げる現在の状況において、大規模プロジェクトの実行経験があり、政府や規制当局との関係が確立している企業は、投資妙味が高まる可能性がある。

Greenko社やReNew Energy Global社のような企業は、太陽光発電や風力発電の主要プレーヤーである。既存の発電から得られるキャッシュフローは、発電能力を拡大するための資本集約的で野心的な取り組みを支えるのにも役立つ。

エマージング市場における投資には、魅力的な投資機会とともに、特有のリスクも存在する。再生可能エネルギーにおいてもこれは例外ではない。中南米、アジア、アフリカの多くの発展途上国における顕著なリスクは電力の盗難であり、国によっては盗難率が20%～30%にも達するケースがあり、その被害額は全世界で年間1,000億米ドルに達すると推定されている[61, 62]。

再生可能エネルギーにおけるサプライチェーンの主要構成要素：風力タービンと鉱物資源

未整備なインフラや非常に不安定な電力価格などの影響を避けて風力セクターに投資するもう一つの方法は、風力タービンメーカーへの投資を検討することである。風力タービンメーカーは、個々のプロジェクトとは異なるリスク・リターンを提供しており、魅力的な投資先となり得る。Vestas社、Nordes社、Siemens Gamesa社などは、陸上・洋上風力タービンの欧州・北米市場におけるマーケットリーダーである。

金属や鉱物もまた、将来のエネルギーシステムにとって重要な要素である。リチウムやコバルトのような重要な鉱物は、その希少性や加工が地理的に集中していることから注目されているが、その需要は現在の電力貯蔵技術やEVの販売に大きく関係している。対照的に、銅はその並外れた導電性、弾力性、可鍛性から、発電から送電、さらには EV のような機器に至るまで、電化のあらゆる局面で欠かせないものである。銅はそのユニークな特性ゆえに、コバルトのようにエネルギーシステムから完全に取り除くことは難しい。

実のところ、電化のあらゆる場面で銅が必要とされているにもかかわらず、市場からは見過ごされがちである。電化が進むにつれ、銅の世界需要は 2050 年までに 2 倍以上に増えると言われている（図15）[63]。

銅の供給に関しては、通常、人里離れた場所に存在し、採掘には多大な資本と時間を必要とする[64]。さらに、環境問題への懸念から、新規鉱山の承認や許認可も難しくなっている。そうした事情から、新たな生産能力の構築には長い時間を要し、数十億米ドルの費用がかかる可能性がある。たとえば、2019 年から 2022 年の間に新しく生産を開始した銅鉱山は操業までに平均 20 年以上を必要とした[65]。実のところ、採掘される銅鉱石の平均的な品質は最大25%悪化しており、一部の銅生産業者は現在の生産レベルを維持するだけでも、さらに多くの費用を投下しなければならなくなるだろう[66, 67]。

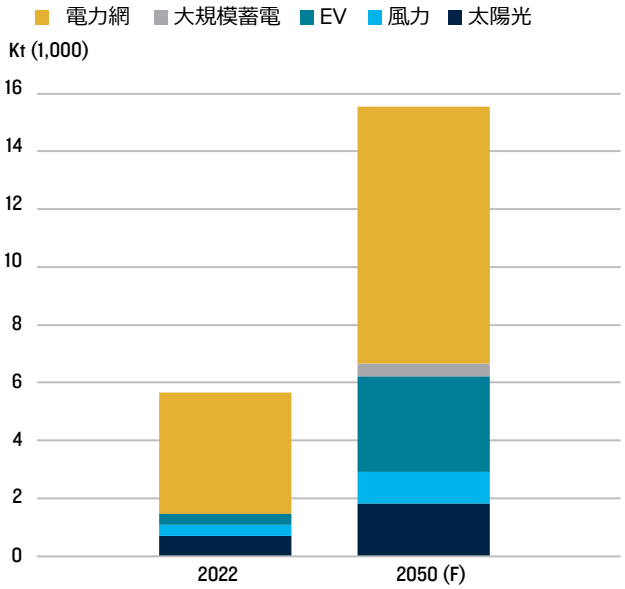
> 環境問題への懸念から、新規銅鉱山の許認可はますます困難になっている。その結果、新しい生産能力の建設には何十年という時間と、何十億米ドルものコストがかかる可能性がある。

投資家にとってはこうした事情は非常に魅力的な長期の需給ダイナミクスにつながる[68]。Ivanhoe Mines社とEro Copper社という銅鉱山専業の会社に関しては、堅実な成長見通しが描ける投資機会が生まれる可能性がある。両社は現在、銅を効率的に生産しているだけではなく、需要増加に対応して迅速に生産を拡大する能力も有している。加えて、デットの投資家にとって、Southern Copper社とFreeport-McMoRan社は、規模の経済に加えて、現在の事業からの着実なキャッシュフローと強固なバランスシートを有する大規模な企業である。

送電網の拡大と近代化

より大規模でよりスマートな送電網（グリッド）に対する普遍的なニーズは、主要な送電網設備や建設サービスの事業者にとって、マクロ的に強い追い風となっている。国際エネルギー機関（IEA）の試算によると、再生可能エネルギーでおおよそ電力を賄うためには、2040年までに5,000万マイルに近い送電線を増設・交換する必要があるという[69]。米国のEaton社やフランスのSchneider Electric社といった企業は、インバーター、トランジスタ、変電所など送電線網の主要設備を提供している。今後のエネルギー転換において、これらの企業が果たす中心的役割は、現在の金融市場では十分に評価されていない可能性がある。

図15：銅は電化に不可欠
エネルギー転換の目標達成には、膨大な量の銅が必要



注記：IEAによる発表誓約シナリオに基づく見通し。Fは予想。
出所：国際エネルギー機関、2024年3月現在。

インドでは送電ケーブルメーカーはある程度保護された市場で事業が展開されており、送電網の拡大という切実な需要について考慮すると、魅力的な投資機会をもたらす可能性がある。PolycabおよびApar Industriesの2社は、この成長市場におけるリーディング・プレイヤーである。

送電網と送電線のエンジニアリング事業と建設事業は、投資家が新興市場でチャンスを見出すことができるもう一つの分野である。南米で送電線のエンジニアリングと建設を行っているISA社やCeleo Redes社といった企業は、投資家向けにインフレと為替レートに連動する補償のついた分割償還債券の形で、送電関連の資産クラスに対する優先担保付債務へのエクスポージャーを提供している。さらに、これらの企業は各地域の大手事業者であり、規制当局やその他の政府当局と長年にわたる関係を築いている。これらの企業は、各政府関係者と関係を構築し、許認可の課題を乗り切り、大規模なインフラ・プロジェクトを実行する上で有利な立場にある。

大規模・長期利用可能な蓄電池

投資家は、エネルギー転換の重要な要素の一つとして、産業レベルの大規模蓄電池を考慮するべきであろう。エネルギー転換目標の達成には、世界全体で2030年までに1,000GWh近い系統用蓄電地やその他の方法による蓄電が必要となるが、これは現在の市場規模の約35倍に相当する（図16）[70]。大規模蓄電池の提供では、韓国のSamsung SDI社や LG社、中国のBYD社、日本のパナソニックなどが名を連ねている。

> 投資家は、エネルギー転換の重要な要素の一つとして、産業レベルの大規模蓄電池を考慮するべきだろう。

長期間利用可能な蓄電池は、再生可能エネルギー源における長期的な断続性や季節変動を解決するための重要な要素である。これらの仕組みは、自動車や携帯電話に数時間の電力を供給するために使用されるリチウムベースの蓄電池とは大きく異なる[71]。数日、数週間、あるいは数ヵ月にわたって蓄電する能力を提供し、ピーク時の余剰電力を吸収したり、季節的な需供変動に対応するために必要な電力を供給したりすることで、エネルギーシステムに大きな柔軟性を提供する[72]。十分な容量があり費用対効果が高く、長期間にわたって利用可能な蓄電池は、地域や地方の電力網の回復力を向上させるだけでなく、エネルギー需要を満たすため、あるいは断続性のある再生可能エネルギー発電を円滑にするため、石炭や天然ガスなどの化石燃料の必要性を低減させる[73]。

最も広く普及し、成熟している技術は揚水発電であり、推計によると現在の大規模蓄電の90%以上を占めているとされている[74]。特に、送電時の利便性が高い電力源であることが魅力だが、特定の地理的要件があり、拡大の余地はあまりないかもしれない。さらに、こうしたプロジェクトでは、町や村全体が移転してしまうことが多いため、許認可の取得が困難であり、新規の建設は非常に限られている。同分野における現在のリーダーは、欧州の電力会社であるIberdrola社である。同社は最近、ポルトガル北部に40GWhの揚水発電所を建設し、稼働を開始した。この施設は余剰電力を貯蔵し、後から送電できるようにしている。これにより、スペインとポルトガルにある揚水発電所の容量は現在100GWhを超え、さらに170GWhが建設中または計画中である[75, 76]。

図16：増大する大規模蓄電設備需要
現在の蓄電容量と必要な蓄電容量

注記：必要な蓄電容量は、ネット・ゼロ排出シナリオによるもの。Fは予想。
出所：国際エネルギー機関、2024年3月現在。

総合（垂直統合型）電力企業

発電から送電までの事業を一貫して行う総合電力企業も、投資家にとって魅力的な分野である。具体的に言えば、大きな市場においてインフラを構築・維持してきた長い実績を持つ有力企業が非常に魅力的であると考えられる。このような電力会社は、厳しい規制に直面することが多い一方で、地域内での競争が限定的であり、利益を確保するためにコスト上昇分を最終消費者に転嫁する価格調整力を有する場合もある。

欧州においてIberdrola社は多国籍の電力会社であり、深い専門知識と規模の経済を有する世界有数の風力発電事業者である。Iberdrola社は全世界で約3,000万顧客にサービスを提供しており、特に英国、欧州大陸、アメリカ大陸で大規模に事業を展開している。北米では、NextEra Energy社が米国最大の再生可能エネルギー発電事業者で、米国49州とカナダで電力を供給している。同社は風力、太陽光、原子力、天然ガスなど多様なエネルギー源から電力を供給している。

デット投資家は、持株会社の債券だけに注目している場合、投資機会を逃している可能性がある。IberdrolaやNextEraのような大手発電事業者の場合、プロジェクトレベルでの投資機会も有り得る。これらの電力会社は、プライベート・クレジット市場を通じて、電力プロジェクトのポートフォリオから資金調達することも多く、この種のデットは、投資家に電力関連ポートフォリオへの投資機会を提供することができる。

水力発電大手のEnergo-Pro社は、東欧における電力販売会社であり、トルコとスペインにも進出している。同社は規制によって定められた収益率のもとで送電事業を運営しており、利益を維持するためにコストを価格に転嫁することが可能である。水力発電所の買収と運営に関する専門知識を活かして、水力発電設備の製造やコンサルティング・サービスも提供している

規模が大きい上に成長を続けている市場は、投資家に素晴らしい投資環境をもたらし得る。CenterPoint Energy社は、テキサス州で支配的なシェアを有する電力・天然ガス配給会社である。テキサス州は人口が増加しており、それに伴いエネルギー需要も増加する傾向にある。さらに、テキサス州は非常に大規模な風力発電と太陽光発電のハブであり、Centerpoint社の送電網は、増大する電力供給を必要な場所に供給するための重要な役割を果たしている。

2. 陳腐化リスクを回避しつつ、低炭素化石燃料に注力する

エネルギー転換には、未だ未確定で不明確な点が多い一方で、数十年の期間を要することや、化石燃料が完全に置き換わる可能性が著しく低いことは、確かである。言い換えれば、化石燃料と、その利用を支える巨大な世界的インフラ・ネットワークは、21世紀の大半の期間で世界のエネルギー需要を満たすのに貢献するだろう。投資家にとって、この複合的なエネルギーセグメントは、非常に安定的で持続的なキャッシュフローを生み出し、低炭素社会への橋渡し役に投資する機会をもたらす。

天然ガスは、より炭素量の多い化石燃料を駆逐しつつある

天然ガスは、特に電力生産において、炭素排出量の多い石炭を代替することで、低炭素社会を実現する重要な要素となっている。再生可能エネルギーによる発電、貯蔵、送電のインフラが整備されるまでの間、天然ガスは「移行期」の燃料源として重要な役割を果たすことが期待される。実際に、液化天然ガス（LNG）の世界需要は、中国と南アジアで石炭からガスへの移行が拡大するにつれて、2040年までに50%以上増加すると予想されている[77]。

2006～2023年にかけて世界的に天然ガス生産量が急増したが、これは主に米国のシェール革命によってもたらされた。 水圧破砕法と水平掘削技術によって、米国内の膨大な埋蔵量を持つ天然ガスを新たに採掘することが可能になり、この技術革新はLNGブームを引き起こした[78]。米国のLNG生産はほぼ倍増し、米国は現在世界最大のLNG輸出国である（図17）。さらに、ロシアのウクライナ侵攻は、欧州やその他の地域でのLNGインフラ・ブームを加速させた。LNGをより効率的に輸送できるようになったことで、市場はよりグローバル化し、供給者は世界的なショックに迅速に対応できるようになり、ショックが起こった時の回復力が高まることとなった[79]。

> 低炭素化石燃料は、安定的かつ長期的なキャッシュフローへの投資機会を提供する。

生産から加工、液化、輸送に至るまでの、天然ガスのサプライチェーン全体に携わる企業は、魅力的な投資機会を提供し得るだろう。EQT社やAntero社のような米国の小規模ガス生産会社は、同業他社と比較して効率的な事業運営を行っており、成長余地があると考えられる。

世界の天然ガスに投資する別の方法として、パイプラインが考えられる。多くの場合、企業は天然ガスの長期購入契約を結んでいる。パイプラインからの料金徴収事業は、天然ガス分野の投資において他と異なるリスク・リターンを提供し得る。すなわち、短期的な価格変動が起きにくく、需要が急増している分野へのエクスポージャーである。米国では、Enbridge社、Williams社、Kinder-Morgan社のような、デット投資家にとって魅力的大手パイプライン会社が存在する。

中南米においては、Esentia Energy Systems社あるいはGNL Quintero社のような天然ガス企業が、天然ガスの輸送や貯蔵、LNGの再ガス化において特徴的な投資機会を提供している。Tierra Mojada社やValia Energia社のようなメキシコの民間発電会社は、パイプライン下流の天然ガスを燃料とするベースロード電源への投資機会を提供している。

さらに、天然ガス生産者は、採掘時の二酸化炭素排出量を削減する必要に迫られており、Baker Hughes社やSLB社のような掘削サービスプロバイダーへの依存度が高まっている。2023年末のCOP28では、50社の主要な石油・ガス会社が、2030年までにメタンを大幅に抑制するという誓約に署名している。そのため、これらの会社のパイプラインの漏れの検出や、メタンのフレアリングを排除するサービスは、今後も需要がある[80]。

追加的なコモディティ・リスクを負うことなく、活況を呈するLNG輸出市場に参加したいと考える投資家にとって、注目すべき企業の一例は、Cheniere Energy社で、同社は差別化された事業を持つ。彼らは、天然ガスをLNGに加工するためのインフラや輸送用のターミナルを提供している。そのサービスに対する莫大な需要により、Cheniere Energy社はすでにマーケットリーダーであり、その規模と業務効率を考えると、規模の経済を実現している。また施設を増やし、サービスを追加することで、事業を拡大する余地もある。また、カタールもLNGの主要な輸出国の一つであり、Gulf International Services社はこの地域の大手掘削請負業者として、大手国有石油会社などと緊密な関係を築いている。

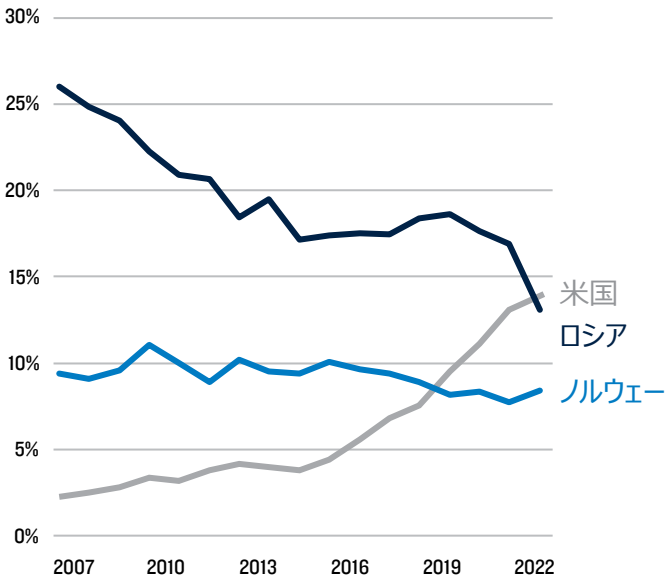
> 天然ガスのサプライチェーン全体で事業を行う企業は、短期的な価格変動による影響を軽減しつつも、旺盛な需要に対応することができる。

中堅生産企業におけるデット投資機会

一部の銀行は、石油・ガス産業に対する融資を全面的に停止しているが、大規模な生産企業、特に社債が発行できるような企業は、依然として融資による資金調達が可能である[81, 82]。しかし、銀行融資の後退は、パブリック・クレジット市場を利用できない小規模なエネルギー生産企業にとって、より深刻であると思われる。北米の中堅エネルギー企業は資本が不足しがちで、ダイレクト・レンダーにとって有利な価格や条件を引き出しやすいため、魅力的な投資機会を提供する可能性がある。

石油・ガスの探査と生産の初期段階では、多くの場合、株式などの自己資本で資金調達を行う。しかし、この探査作業が完了し、掘削に最適なエリアが検証されると、エネルギー企業は、よりリスクの低い資本集約的な次の段階に進むため、デットによる調達に目を向けることが多い[83]。このような開発の中間段階では、信頼できるキャッシュフローと具体的な担保を提供できることが多く、信用力を高めることが可能となる。レバレッジが低く、資本構造が単純で、既知の埋蔵量に基づいた融資など、保守的に引き受けられた債務は、魅力的な投資機会となり得る。さらに、メザニン債や仕組債には、実績のあるキャッシュフローに基づく魅力的なクーポンに加え、ロイヤリティやワラントといった形でアップサイド機会が付加されている場合があり、投資家にとって信頼性の高いインフレ対策にもなる。

図17：シェール革命が米国を世界の天然ガス大国に変えた
天然ガス輸出主要国のシェア



出所：石油輸出国機構、2024年3月現在。

次世代エネルギーシステムにおいて石油メジャーに役割はあるか

化石燃料が将来のエネルギーシステムの構成要素であり続けることはほぼ確実であるが、その比率は石炭や石油よりも、おそらく天然ガスのほうが多いだろう。新しいエネルギーシステムは、今日の石油メジャーを勝者と敗者に分けることを確実にしている。一部の世界的な石油メジャーは、化石燃料の存在意義が残り続けることを当てにして、過去の燃料、つまり石油を供給し続けることだけに投資を集中するだろう。こうした企業は、再生可能エネルギーの効率性の向上やインフラ整備によって時代遅れになるリスクを抱えている。最終的には、取り残された採算の取れない化石燃料の量がどの程度かによってどうなるか運命が決まるだろう。

しかし、新たなエネルギー情勢の中で勝者として台頭してくる石油メジャーも存在するだろう。彼らは先を見据えて、エネルギー転換に身を乗り出し、主要なエネルギー源が何であろうと、エネルギープロバイダーであり続ける方法を追求するだろう。今日のエネルギー・メジャーが将来のエネルギーシステムにおいて勝者であり続けるために、具体的には2つの方法がある。

> 化石燃料が将来のエネルギーシステムの構成要素であり続けることはほぼ確実であるが、そのシェアは小さくなっていくだろう。

1. 次世代エネルギーシステムのニーズに合わせてエネルギー生産を変革

エネルギー生産を将来のエネルギー源にシフトするほどの行動力を持つ石油メジャーは、今後も頭角を現し続けるだろう。石油メジャーの中には、現在のビジネスモデルに、既に電力事業を組み込んでいる企業もある。例えば、世界的な石油メジャーであるBP社とShell社は、英国と欧州で、広大なガソリンスタンド網をEV充電設備に転換している[84]。また、「分子と電子」、つまり石油やガス、そして電力を含む事業展開を通じて、世界のエネルギー事情に対する深い洞察力を活用している企業もある[85]。天然ガスとLNGは、再生可能エネルギー源を補完する燃料として、将来的に必要とされるトランジションエネルギーの一例である。TotalEnergies社とShell社は、LNGの生産と輸送の2大企業である[86]。これらの企業は、ガスとLNGが全体の収益と利益に占める割合が高いため、有利な立場にある[87, 88]。しかし、Shell社や BP社のような欧州の石油メジャーは、Exxon-Mobil社のような米国の同業他社よりも割安で取引されているため、市場はこのアプローチを評価していないかもしれない[89, 90]。

2. 技術面でのノウハウを活用し、グリーンイノベーションを実現する

グリーンテクノロジーのイノベーションの多くは、石油・ガスメジャーの研究所から生まれており、エネルギー技術関連のスタートアップよりも優れていることを示唆する証拠もある。石油・ガス大手は、研究に多額の資金を投入できる強固なキャッシュフローを有しているだけでなく、採掘、精製、その他の石油化学プロセスに関して有する知見を活用することができると考えられる。さらに、これらの企業は大規模で複雑なプロジェクトを実行してきた実績がある。例えば、精緻な精製事業を行う石油メジャーは、バイオ燃料や持続可能な航空燃料を推進し、実現化するために、これらのスキルを活用することができる。

グリーン技術特許の質と量を通じて、グリーンイノベーションの状況を分析した最近の研究がある。この研究では、石油・ガス大手がグリーン技術に関する革新性において業界をリードしていることが明らかになり、特に従来のエネルギー企業の方がグリーン技術における特許の量と質の両方に優れていることが明らかになった[91]。また、エネルギー企業からの特許は、スタートアップの買収を通じたものではなく、社内の研究から生まれたものが圧倒的に多く、二酸化炭素排出量を削減し、収益を生み出すような製品の実現化につながることが多いことも示している。Shell社, BP社, Exxon-Mobil社は、バイオ燃料、炭素回収、水素製造などの分野におけるグリーン技術特許のリーダー的存在である[92]。

3. 実体の理解に努める： 再生可能エネルギーとグリーン技術におけるイノベーションを観察する

水素のように発展途上のイノベーションの中には、メディアから大きな注目を集めるものもあり、そのような企業は、エネルギー業界の大企業に挑戦する気骨のある新興企業として評価されることもある。しかし、こうした発展段階の技術に携わる新興企業のうち、グローバルなエネルギー企業を駆逐できるほど、単独で事業を十分に軌道に乗せ、規模を拡大できる企業はほとんどないだろう。実際、世界的なエネルギー企業は、おそらく革新的技術の最大の供給者であり、顧客であろう。この分野の新興企業の多くは、運用、精製、運輸セクターの専門知識を活用するために、大手エネルギー企業と提携する道を選ぶこともあるかもしれない。

投資家にとって、これらの初期段階のイノベーションが提供するリスク・リターンは、魅力的とは言えないかもしれない。これらのイノベーションの成熟段階はさまざまで、実用段階というより実験室の段階に近いものもあるが、共通していることは2つある。第一に、それぞれが、完全に成熟し実用化されれば、エネルギー情勢を大きく変える可能性を秘めているということだ。第二に、現実の世界で大規模に適用されるまでには、いずれもかなりの難題に直面していることだ。

クリーンな代替エネルギー源としての水素燃料電池

水素は有望な代替エネルギー源として注目されており、世界全体で見た時に、比較的原料が豊富であること、ガソリンやディーゼルの2.5倍のエネルギー密度を持つこと、炭素を排出しないで燃焼するためクリーンであることなど、魅力的な特性を持っている[93]。

しかし、水素が広く使われるようになるまでには、輸送と貯蔵において多くの課題がある。水素燃料電池を広く普及させるための主な課題の一つは、水素の生産、輸送、貯蔵に必要な特殊なインフラとそれにかかる莫大なコストである。水素は通常は気体であるため、現在のパイプライン・インフラとの互換性に難がある。水素を、輸送または貯蔵が容易な液体状態に変換するためには多くの場合、極端な高圧（5,000-10,000 psi）か低温（-250℃）のいずれかを必要とする[94]。さらに、水素を変換するすべての段階（例えば、ガスから液体へ、その後ガスに戻るなど）でエネルギーを必要とし、水素を輸送し消費するためのコストが増加していく。複数のスタートアップが、水素の製造、貯蔵、輸送にまつわる課題の解決に取り組んでいるが、効率的で実行可能な解決策を提供するには程遠いのが現状だ。

> 調査によると、石油メジャーは革新性において業界をリードしており、バイオ燃料、炭素回収、水素製造などの分野におけるグリーン技術特許のリーダー的存在である。

原子力エネルギー：核分裂から核融合へ

核融合は、太陽や星が輝く仕組みと同一であり、無限のカーボンフリーエネルギーをもたらすものである[95]。近年、政府の資金提供を受けた研究機関が核融合点火の再現に成功したものの、商業発電を実用化し、実際の発電が始まる見通しが立つまで、まだ数十年かかるだろう[96, 97]。核融合の課題は、摂氏1億度を超える極端な温度と圧力を必要とすることで、これを実験室の外で安全かつ効率的に作り出すことは、現時点では不可能と思われることである。

核融合技術というムーンショットがメディアの注目を集める一方で、その他の原子力技術は何十年もの間、主要なエネルギー源の一翼を担ってきた。現在、原子力は重要な役割を果たしており、30ヵ国以上で核分裂ベースの発電所が稼働しており、フランスとスロバキアの総電力の60%以上が核分裂によるものである。そして多くの発電所は30年以上にわたって稼働している[98]。

今日、エネルギー安全補償と脱炭素エネルギー源に注目が集まっているが、核分裂による原子力発電は将来のエネルギーシステムの重要な役割を担い得る存在として再び注目を集めている。原子力は各地域に拠点を持ち、ゼロカーボンのベースロード電源であるという魅力的な特徴を備えている。これらの特徴により、石油精製やデータセンターのように膨大な電力を必要とする産業にとっても有益である。

核分裂を利用した原子力エネルギーの開発は、1970年代以降において許認可とコストという2つの主な課題により遅々として進んでいない。許認可の課題がクリアされた場合でも、推定される発電コストは他のエネルギー源と比べて競争力が無いことも多い。原子力プロジェクトでは、長年にわたる遅延や大幅なコスト超過がよく見られる。例えば、英国、フランス、フィンランドにおける最近の原子力発電所建設プロジェクトはそれぞれ 10 年以上遅延しており、実際のコストは当初の見積もりの 2 倍を超えている[99, 100, 101]。

核分裂技術における最新のイノベーションは、小型原子炉に関するものだ。小型モジュール原子炉（SMR）として知られるこの新しい設計には、自動停止装置などの高度な安全機能を備わっており、工場で大量生産し、部品として輸送し現地で組み立てることが出来るため、低コスト化が期待される[102]。これは、いくつかの産業プロセスの脱炭素化をもたらす。SMRは、必要なインフラの多くがすでに整っている、廃止予定の石炭火力発電所の跡地に設置されることが検討されている[103]。既にSMRは数百隻の潜水艦や船舶に電力を供給しており、陸上での設計も一部の国の規制当局によって承認されていることから、ある意味、この技術はすでに実証済みであるとも言える[104, 105, 106]。ただし、現在陸上型SMR を稼働させているのは中国だけだ[107, 108]。多くの新しいSMRプロジェクトが発表される一方、サプライチェーンの課題や、コスト超過や遅延によりプロジェクトが経済的でなくなるため、プロジェクトが完了するケースは殆どない[109, 110]。

電力網用蓄電におけるイノベーション

バッテリーなどの蓄電メカニズムは、経済的な配電や送電システムのバランスの改善など、断続的な電源への依存が高まる電力産業が直面する多くの課題に対処するために利用される。さらに、システムの弾力性や緊急時の備えにもなる。

リチウムベースの電池が主流であり、採用が拡大しているのは、生産、効率、規模の経済の進歩により、そのコストが2013年から2023年にかけて80%以上低下しているからである[111]。こうした価格の急落にもかかわらず、産業規模のリチウム蓄電システムは、いくつかの課題に直面している。

最も重要なことは、リチウム電池は規模拡大が容易ではなく、環境的に持続可能とは限らないことである。その結果、リチウムを超える代替化学物質が台頭しつつある。例えば、ナトリウムはリチウムよりも豊富で、入手しやすく、化学的性質も似ている[112]。放電時間の長さ、効率、密度に関する技術の向上を考えると、ナトリウム電池は送電網で使用される大きな可能性を秘めている[113, 114]。

しかし、ナトリウム電池技術は短期的にいくつかの課題を有している。ナトリウムイオン電池のエネルギー密度は、現在のところリチウム電池を下回る[115]。化学成分は安価で入手しやすいが、ナトリウム電池産業は規模の経済に達しておらず、生産効率の向上も見られない。理論的には、完全にスケールアップしたナトリウム電池産業は、やがてコスト競争力を持ち、リチウムと同様の性能を持つ電池を生産できるようになるはずである[116]。

二酸化炭素回収・貯留

二酸化炭素回収・貯留（CCS）もまた、変革の可能性を秘めた技術であるが、目先の課題も多い。CCSの技術は、石炭火力発電やエタノール製造などの産業から排出される二酸化炭素を回収し、大気中に放出しないように貯留する技術である。CCSが注目されるのは、脱炭素化が難しい産業に対する需要を現在から未来にわたって満たしつつも、二酸化炭素量を削減できるという点にある。実際、CCS は多くのゼロカーボン・シナリオで重要な役割を担っている[117]。そして、CCSの課題は単純明快である。第一に、場所の問題がある。炭素が排出される場所は、炭素を簡単かつ確実に隔離できる場所の近くにはないことが多い。回収した二酸化炭素を隔離場所まで運ぶことは、論理的に困難でコストがかかる。現在、アメリカでは、中西部のエタノール生産企業全域にパイプラインのインフラを構築する取り組みが進んでいる[118, 119]。Summit Carbon Solutions社のような企業は、エタノール工場から他州の隔離・貯留場所まで二酸化炭素を輸送する「カーボン・ハイウェイ」の建設に携わっているが、安全面や環境面での懸念から、農家や土地所有者からの反対に直面している[120]。

> 今日、エネルギー安全補償と脱炭素エネルギー源に注目が集まっており、核分裂による原子力発電は将来のエネルギーシステムにおいて重要な役割を担うものとして再び注目を集めている。

CCSの第二の課題は、事業の収益化の方法だ。米国では、政府の法律でダイレクト・ペイという支援策が用意されているが、プログラムの将来が不透明なため、事業に必要な長期的なインフラ整備が滞っている。活性炭市場がある国では、貯留に一定の価値がある。しかし、二酸化炭素の回収とろ過、輸送、ガスの隔離といった事業が商業的に実行可能であるためには、そのコストが支援策よりも安価でなければならない。

第3章では、個々の証券や資産クラスについて、投資家にとっての隠れたリスクと投資機会を検討した。しかし、世界のエネルギーシステムが進化するダイナミックな状況は、ポートフォリオ全体に影響を与える可能性も有している。第4章では、こうした影響に目を向け、投資責任者のためのポートフォリオ全体の行動計画を提案する。

第4章
ポートフォリオへの影響

“政府の行動とESG目標は、それぞれ投資家にとって重要な検討事項を提起するものであり、これらが様々な投資判断に影響を与える可能性がある。”

04

第4章

ポートフォリオへの影響

政府の行動とESG目標には、しばしば投資の観点からのトレードオフが存在し、これらは様々な投資判断に影響を与え得る。本章では、世界の広範なエネルギーシステムにおける力学の変化がポートフォリオ全体にもたらす影響に焦点を当て、投資責任者が考慮すべき投資行動のアイデアを提案する。

1.世界的な脱炭素化、投資目標、投資期間について明確な立場を確立し、エネルギー投資に反映

気候変動、脱炭素化、エネルギー投資は深く絡み合い、互いに大きく関連し合っている。そのため、特に気候変動に重点を置いた関係者との関りを持つ投資責任者は、時として相反する要求や期待に直面する可能性がある。例えば、取締役会や市場規制当局からの脱炭素化に配慮したポートフォリオ構築への要請、年金受給者へのインフレに連動した年金支払い、および将来的な受益者に持続力のあるクリーン・エネルギー・システムを提供することなどが挙げられる。エネルギー部門に対する投資について明確かつ首尾一貫したアプローチを確立したいと考えている投資責任者にとって、様々な目的からの要求を同時に満たすのは困難であろう。こうした中、一見シンプルに見える下記の質問に対する明確な回答は、エネルギー投資について検討している投資責任者にとって有益な情報となり得る。

- 投資するエネルギー源が環境に与える影響については一切考慮せず、純粋にリターンを最大化したいと考えているか？
- 気候関連リスクへの配分を長期的には徐々に削減したいと考えているか？
- 世界経済の脱炭素化において、より積極的かつ有益な役割を果たしたいと考えているか？
- あるいは、異なる時間軸の中で、上記3つのすべてを実現したいと考えているか？

> 気候変動、脱炭素化、エネルギー投資は深く絡み合い、互いに大きく関連し合っている。

エネルギー投資を行う際の最も効果的なツール、指標、アプローチは、どの目標を優先するかによって異なる可能性がある。エネルギー投資を取り巻く複雑な状況を考慮すると、投資責任者は、エネルギーセクターへの投資に関して、どの目標を優先させるかを明確にした上で投資哲学について関係者と合意し、投資判断を行う際の指針となる明確な時間軸を設定することが不可欠である。

気候変動と脱炭素化に関する目標の明確化

投資目的と、それがポートフォリオ全体に及ぼす複数の影響を明確に理解することは不可欠である。例えば、リスク・リターンの最適化を重視している投資家は、複雑な状況に直面する。電化と再生可能エネルギーへのシフトは、化石燃料に関連する生産者、機器メーカー、公益事業者などに移行リスクをもたらす。また、地上、地下問わず、座礁資産（環境が大きく変化することで価値が大きく毀損する資産）が発生する可能性もある。一方、電化は、その他のセクターにチャンスをもたらす可能性があり、これにはエネルギーを大量に消費する業種さえもが含まれる。その背景として、再生可能エネルギーによって供給される電力が増加するにつれ、電力価格の変動がより激しくなることが挙げられる。

こうした大きな価格変動によって、エネルギーを大量に消費する業種には、再生可能エネルギーが低コストの電力を発電できる時間帯に合わせて自社の電力需要を調整する裁定取引の機会がもたらされる可能性がある。

経済が脱炭素化する中で、次世代エネルギー構想を受け入れることは、長期的には健全な企業戦略であると言えるかもしれないが、短期的には受け入れ難いコストが発生する可能性がある。例えば、石油製造会社など移行リスクを最小限に抑えたいと考えている企業は、化石燃料からの事業転換を進める中で、利益率の維持に苦慮する可能性がある。脱炭素化を考慮したポートフォリオ構築を義務付けられることのない長期的な投資家にとって重要な問題は、今日の経済において非常に大量の二酸化酸素を排出している業種（製鉄など）において、将来的な低炭素経済への移行に対する準備が整っている企業や資産を、いかに特定するかということである。

> 例えば、将来を見据えた炭素削減の要請が、経済発展やエネルギー貧困への対応など、より短期的な目標と必ずしも一致するとは限らない。

一方、脱炭素化を考慮したポートフォリオの構築やエネルギー転換の実現を優先する投資家は、異なる課題に直面する。2050年までに世界のエネルギー消費量は50%以上増加すると予想されているが、持続可能性を重視する投資家は、世界的なエネルギー需要が持続的に増加する中、どのように脱炭素化するかという課題に直面する。化石燃料に関連する投資を減らすことも、気候変動に対する最新テクノロジーへの投資も、完全な解決策にはならない。将来の脱炭素化が進んだ世界的なエネルギー供給は、再生可能エネルギーの補完的なインフラ、水素エネルギーや二酸化炭素回収などの環境に関する重要なテクノロジー開発、石油や天然ガスを含む残された化石燃料も含む複数を組み合わせたエネルギー効率の向上などに対する大規模な投資に依存している。投資家は、最適な投資機会を見定めるために、これら領域のどこに資金を振り向けるか理解する必要があるだろう。

投資期間

投資家の優先順位に関係なく、エネルギー投資のリスク・リターン特性は投資期間に大きく依存する。長期的なリスクに焦点を当てつつ、多くのアクティブ運用の投資戦略が、短期的なレラティブ・バリューの変化や投資タイミングを考慮して運用されていることを認識することが重要である。実際、脱炭素化に関する制約を受けていないアクティブ運用のマネージャーの場合、たとえ多くの石油製造会社の長期的な見通しが明るいとは考えていなかったとしても、2021年の石油およびガス価格の上昇を予測し、短期的な価格変動を狙って石油製造会社に投資した可能性がある。

エネルギー転換には、異なる時間軸において様々なトレードオフが存在している。こうした中、特にエネルギー転換は数十年にわたって進展するものであり、これがエネルギーセクターに及ぼす影響もその間に変化していくことを踏まえると、投資家にとって投資期間を明確にすることが重要となる。例えば、石油や天然ガスのパイプラインによってもたらされる短期的には確実なキャッシュフローと、それらの現在の二酸化炭素排出量は、支払い義務のみが残っている年金基金に対してと、将来の年金支払いのピークに向けて積み立てが主になっている年金基金に対してとでは、異なる魅力を提供する。また、投資期間の違いは、現在のポートフォリオの二酸化炭素排出量を最小限に抑えるか、あるいは将来的に二酸化炭素排出量の削減が可能な、もしくは二酸化炭素排出量の削減を最大化させるような投資に注力するかという選択にも影響を及ぼす可能性がある。

2. 脱炭素化への配慮が義務付けられている投資家は、複数のアプローチを検討する必要がある

現在のエネルギーシステムは、脱炭素化への配慮が義務付けられている投資家に多くの複雑さと課題を突きつけている。例えば、将来を見据えた炭素削減の義務と、短期的な経済発展やエネルギー貧困解消に向けた短期的な目標は必ずしも一致するとは限らない。実際、脱炭素化に向けて複数の施策が進行しているが、それぞれが異なるトレードオフの関係にある。いくつかの施策は、実際のデータに依存しており、現在および過去のスコープ1（自社が直接排出する）およびスコープ2（自社が間接排出する）の温室効果ガスの排出量に焦点を当てている。また、より先を見据えた、将来的に回避できる可能性のある排出量の推定値に重点を置く施策もある。

ポートフォリオの現在の二酸化炭素排出量を最小化するアプローチも存在する

多くのネットゼロおよびパリ協定の目標達成に向けたアプローチ方法は、ポートフォリオの現時点における加重平均炭素強度（WACI）、つまり資産配分による収益あたりの炭素排出量に関する指標を最小限に抑えることを目指している。こうしたアプローチの利点は、投資家が現時点において大量の二酸化炭素を排出していない業種を支援することで、炭素排出量を増やさないための重要な役割を果たしていると言えることだ。

一般的に、これは二酸化炭素を大量に排出している業種の企業を投資対象から除外することを意味し、規模が大きいポートフォリオでこのアプローチを採用する際には課題が生じる。例えば、公益事業などのWACIの高いセクターから、テクノロジー企業などのWACIの低いセクターへの資産配分の変更は、十分な管理がされていない限り、トラッキング・エラーの上昇が生じる可能性がある。投資家は、全ての業種の中で最も「改善している」企業を見出す、より積極的なポートフォリオ全体でのアプローチを検討するべきである。このようなアプローチを取ることで、ポートフォリオ全体で炭素排出量を大幅に削減（実体経済でも炭素排出量が大きく削減）できると同時に、トラッキング・エラーの最小化を目指すことができる。

> 一部の既製の温度目標モデルでは、その評価において楽観バイアスが働く可能性がある。

WACIに基づくアプローチの別の限界として、これは特定企業のスコープ1およびスコープ2の二酸化炭素排出量に焦点を当てた過去のデータを指標として用いており、将来の炭素排出量の見通しを示していない可能性があることが挙げられる。その結果、ポートフォリオへの組み入れを検討している企業が現在および将来の炭素排出量を削減するために行っている前向きな取り組みを投資家が見落とす可能性がある。さらに、WACIに基づくアプローチ方法によって、ポートフォリオの炭素排出量をその時だけ改善する可能性があるものの、毎年のように継続的に改善するのは困難である可能性が高い。こうした限界に対処するために、賢明な投資家は、各企業の将来を見据えた計画について考慮し、炭素排出量のモメンタムを評価する必要がある。つまり、各企業の最近の二酸化炭素排出量の推移を検証した上で、将来を見据えた排出量削減計画を評価する必要がある。さらに、投資家は、常にトラッキング・エラーを最小限に抑えながら、ポートフォリオで保有する各銘柄について、現時点でも継続的に二酸化炭素排出量を削減し続けているか、将来に向けて二酸化炭素排出量をさらに削減するような方法を模索しているかを、積極的にモニターし定期的に再評価する必要がある。

脱炭素化に向けたより将来を見据えたアプローチ

現時点においてポートフォリオの炭素排出量を最小限に抑えることは、将来の脱炭素経済の加速という最終目標にとってはむしろ逆効果になりかねないという認識を持つ投資家が増えてきている。こうした投資家は、将来的に炭素排出量を削減する可能性が高い技術に注目することで、長期的な視点を重視しようとしている。このアプローチを採用する投資家は、将来の炭素排出量のネット削減量の最大化が目的であり、炭素削減や高炭素のものからの置き換えを進められる可能性が最も高い企業を探している。このアプローチには、たとえば過去数年間の企業の WACI の動向の評価や、高炭素活動を置き換えるための投資の質と量の両方の調査を通じて、企業の脱炭素化の取り組みの信頼性と進捗状況を評価するアクティブ戦略と詳細な分析が必要となる。このような評価においては、高品質で新しいデータは利用できないことが多いため、こうした投資戦略を実行する際には、定性評価と定量評価を組み合わせている運用会社もある。

将来を見据えたアプローチを求める投資家にとっては、温度目標を加味したモデルも興味深いものだろう。このアプローチは、企業の将来の炭素排出量と、その業種に対して科学的なモデルによって計算されたベンチマークとの比較に焦点を当てている。例えば、気温上昇を2 度とした時の、将来にわたって許容される地球全体の炭素排出量の上限値から計算する。

この世界全体の許容排出量合計を業種ごとに配分し、さらに業種内の企業ごとに細分化することで、個々の企業の大まかなベンチマークを作成する。次に、企業における炭素排出量の見通しをベンチマークと比較し、「許容排出量」を超えているか下回っているかを判断する。これは投資家が、炭素排出量の削減において同業他社よりも優れた実績を上げている企業を特定するためのもう1つの方法である。このアプローチには、炭素集約型産業を敬遠することなく、最も速いペースで積極的に炭素排出を削減している企業をサポートすることで、より本質的な排出削減を特定できるという利点がある。

> 国や地方自治体が定めたカーボンニュートラルに向けた誓約は、エネルギー生産者や流通業者の投資決定に影響を与える可能性がある。

当然のこととして、投資家はこうしたアプローチ手法および一般的に使用されるモデルの欠点について認識しておく必要がある。例えば、既製の温度目標モデルでは、企業の開示内容や計画が実際の成果や結果と一致しているかどうかが保証されないため、評価に楽観的なバイアスが生じる可能性がある。これらの温度目標モデルの中には、モデルに含まれる全企業のほぼ半数が長期目標の達成に向けて進んでいると見ているケースもある。投資家は、各企業の開示内容や計画を独自に検証し、各企業がさらなる説明責任を果たすよう促すべきだろう。これにより中間目標の設定や、脱炭素化のコミットメントへの信頼性を計測するための追加的な指標の組み込みの実現を促すかもしれない。排出量目標に対する実際の進捗状況を把握するためのルールを組み込むことは、温度目標モデルの結果を検証する重要な方法である。投資責任者は資産運用会社がこの種の積極的な検証を行っていることを確認する必要もあるだろう。

3. 政府の「アメとムチ」の現状と動向を注意深く監視する

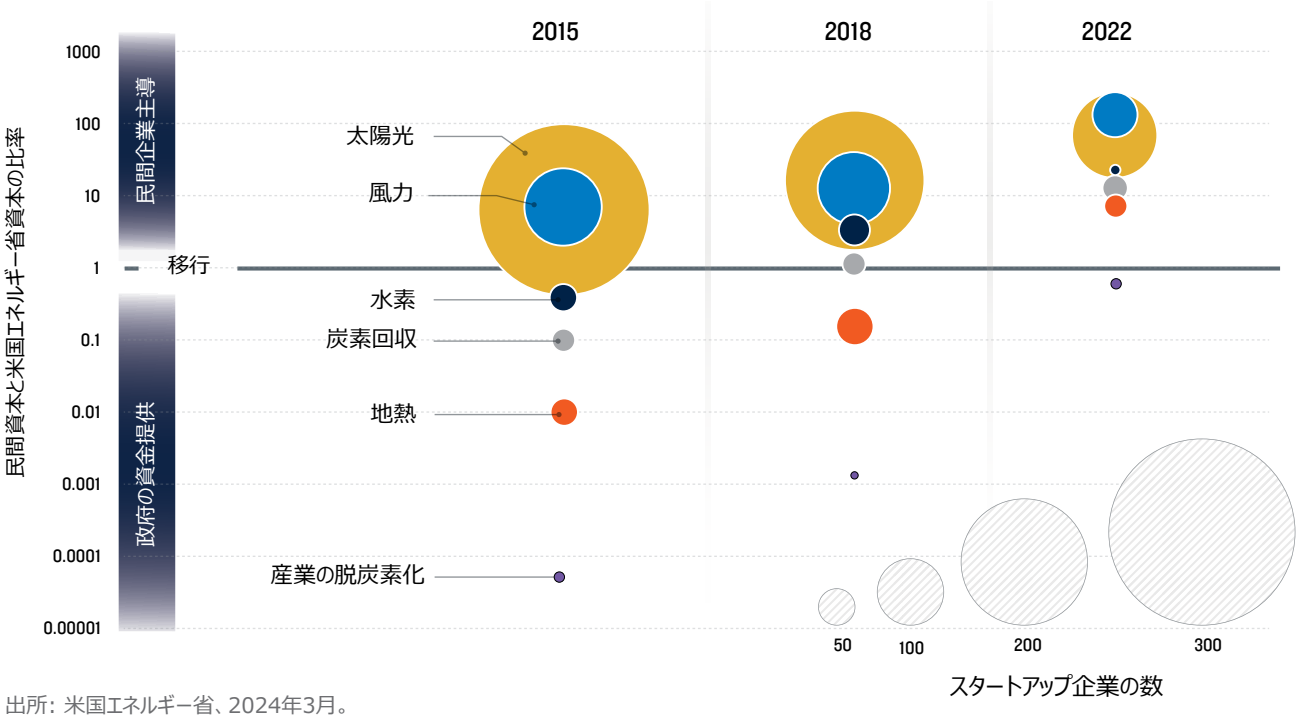
国家安全保障上の重要性から、政府は変化を続けるエネルギー環境において重要な役割を担っている。政府とエネルギーは密接に関わっており、投資家は現状の政策環境を把握するだけでなく、政策の方向性に影響を与える地政学的動向や経済情勢にも注視する必要がある。実際、政府の関与はほぼすべての国や地域にわたって見られ、ほとんどのエネルギー投資におけるリスクとリターンに影響している。

例えば、政府は原子力などの代替エネルギー源に関する初期段階の基礎研究に資金を提供することが多く、これがブレークスルーをもたらし実用化につながることがある[121]。実用化に近い段階でも、政府の補助金や輸入制限などを通じて、太陽光パネル製造といった重要なエネルギー部品の国内サプライチェーンを支援し、重点産業を推進することも可能である[122, 123]。これらの補助金や関税は重要なエネルギー産業を促進し、初期の投資家を惹きつけることができるが、そのような状況は長く続かないことが多く、企業が補助金や関税に依存してしまう可能性もある。支援政策の今後の動向が不透明な状態が長引くと、長期的には投資家にとって不利益をもたらしかねない。

次世代技術への民間資本の誘致

様々な段階にある技術革新に対して、政府とともに投資することを魅力的に考える投資家もいることだろう。例えば、インドのようなエマージング市場では、ブレンデッド・ファイナンス（官民の資金を組み合わせて投資規模を拡大する仕組み）や官民パートナーシップが主流であり、これにより再生可能エネルギープロジェクトのリスクを軽減し、民間資本を呼び込むことができる[124]。こうした動きは、個人投資家にとってのリスク・リターンが釣り合っておらず、魅力に欠ける分野で顕著な傾向がある。

図18: 革新的なエネルギー技術に政府が関与することで民間投資を誘致できる



出所: 米国エネルギー省、2024年3月。

先進国市場では、革新的技術の初期段階での資金提供に政府が参画することで、民間資本を呼び込むことができよう。革新的なクリーンテクノロジーへの投資についての米国エネルギー省の調査研究によると、初期段階にある炭素回収技術と水素生産技術に対する政府による資金提供が、その後数年間の民間資本の流入増加につながったことが示唆されている（図18）。

政府の政策が民間資本を呼び込むことができるもう一つの重要な段階は、技術が確立され、効率を上げるために生産規模を拡大する必要が生じた後だ。例えば、現在、アジアと米州では、水素生産に関するインフラを構築するための政府主導の取り組みが進行している。オーストラリア政府は国家水素戦略を進めており、これには水素プロジェクトへの直接的な資金提供や、プロジェクトの迅速な構築と規模拡大を支援する収益支援プログラムが含まれる[125]。その中には非常に野心的な計画も含まれている。例えば、BP社が率いるエネルギー企業連合は、グリーン水素生産の支援を目的として、最大1,700基の風力タービンと1,000万枚の太陽光パネルを建設し、オーストラリアの現在の送電網需要の3分の1に相当する、26GWのエネルギーを生産する計画を立てている[126]。

テキサス州は、現在でも世界最大級の再生可能エネルギー生産地域だが、南テキサスにグリーン水素の生産、貯蔵、輸送の統合ハブとなる水素都市プロジェクトを立ち上げた。連邦政府からの追加支援により、同州のグリーン水素プロジェクトは、世界の大手企業から関心を集めている[127, 128]。

次世代のエネルギー源として水素が注目されているのは、先進国に限ったものではない。例えばチリは、国内の鉱業と重工業での水素利用促進を目的として、野心的な国家グリーン水素戦略を立ち上げた。さらに、世界銀行が支援する戦略では、チリがグリーンアンモニア製品とグリーン水素の主要輸出国になることも目標に掲げている[129, 130]。

政府の政策はエネルギー投資に対して固有のリスクをもたらす

政府の「アメとムチ」政策の状況が変わると、大規模インフラプロジェクトの収益性が変化し、長期的な需要と供給の見積もりに関する不確実性が増す可能性がある。

投資家にとって、こうした類の不確実性の高まりに留意することは重要である。長期債務やインフラの所有者にとっては特に重要である。具体的には、投資家が見落としがちな政策上のポイントがいくつかある。

第一に、国や地方自治体が行うカーボンニュートラルの誓約は、エネルギーの生産会社や販売業者への投資決定に影響を与える可能性がある。一例として、Duke Energy社はノースカロライナ州における大手エネルギー供給・販売会社である。同社は州議会が定めた炭素削減誓約に基づいて行動し、遵守する法的義務を有する[131]。これは、新たなエネルギー源や追加の電力生産に関する意思決定に影響を与えている[132]。

第二に、再生可能エネルギーの関連資産の寿命は、現在の政策で定められているよりも長くなる可能性がある。つまり、インフラ資産の寿命次第で、政府の政策は大きく変わる可能性がある。これらの変化により、プロジェクトの経済性が変化し、関連するデッドや株式の価値が大きく変動する可能性がある。

第三に、新しい発電所や送電線の許認可取得が困難になることは、エネルギー生産や販売に関するビジネスにおける参入障壁になる可能性がある。しかし、許認可の制度改革が広まるにつれて、参入障壁は縮小し、新技術を導入した新しいインフラによって、従来のプロジェクトが時代遅れになり、経済的な競争力を失う可能性がある。許認可と供給に関するこのような変化は、過去のインフラに関するデットと株式の評価を根本的に変える可能性もある。

最悪の場合、見当違いの政府生産インセンティブや税額控除によって、需要と供給のピーク時にマイナス価格になるなどの価格の歪みを悪化させる可能性がある[133]。あるいはメキシコのような新興市場では、政府が再生可能エネルギー発電に対する民間資本による投資を妨害し、国有エネルギー企業の利益を保護することもある[134]。投資家は、各市場における政府の政策の役割を検討し、それが投資にとって追い風となるか、あるいは逆風となるかどうかを見極める必要があろう。

最後に、多くのエネルギーを消費する企業にとっては、政策環境の変化により、ビジネスモデルにコスト変動要因が増える可能性がある。エネルギー政策のわずかな変化からさえも生じるエネルギー価格の変動は、商品コストの新たな変動要因になり得る。

結論

エネルギー市場は重大な転換点にあり、長い時間をかけて、化石燃料に依存しながらも、再生可能エネルギー源への転換が進んでいる。この転換は、再生可能エネルギーインフラからLNGプロジェクトまで、多くの投資機会を提供する一方で、低炭素化の未来への道のりが不透明な中、投資家は座礁資産に注意する必要もあり、多くのリスクを伴う。

エネルギー転換は様々な場所で様々なペースで展開されるだろうが、明らかであることは、すでに進行中であること、そして全ての投資家にとって大きな影響があることである。PGIMでは、将来のエネルギーシステムがポートフォリオやステークホルダーに与える様々な影響を、すべての投資家が考慮することが重要であると考えている（図19）。

図19：投資への影響

再生可能エネルギーを軌道に乗せ、同分野における不均衡なインフラを整備する	
1. 風力発電および太陽光発電のみに限定されない、再生可能エネルギー発電事業に関するデットの投資機会	• 欧米では、デットによるファイナンスはエクイティよりも少ない傾向にある。こうした中、特にオフテイク契約が成立しているプロジェクトや、送電網接続が完了しているプロジェクトなどの成熟したプロジェクトのシニア債には、魅力的な投資機会があると考えられる。 • 投資家は、欧米の風力発電や太陽光発電だけではなく、水力発電や地熱発電のプロジェクトへの投資が可能であり、こうした機会についても検討する必要がある。
2. インドの再生可能エネルギーの発電事業は、魅力的な投資機会を提供し得る。	• インドでは電力需要が飛躍的に拡大しており、これが再生可能エネルギーの発電事業者にとってマクロ面での大きな追い風となっている。 • プロジェクトの実行経験があり、既存の発電事業からのキャッシュフローが確立されている企業は、特に魅力的な投資機会を提供する可能性がある。
3. 風力タービンは、異なるリスク・リターン特性を提供する	• 風力タービンは、個別の発電プロジェクト固有のリスクや不安定な電力価格などの影響を抑制しながら、再生可能エネルギーに投資する方法を提供する。 • 欧州および北米におけるマーケットリーダーは特に魅力的な機会を提供し得る。
4. 送電網の近代化と拡大に伴う投資機会	• インバーターや変電所などの送電線網の主要設備を提供しているメーカーは、急速に成長する市場セグメントにおける投資機会を提供している。 • 南米では、送電事業者が、価格転嫁能力と魅力的な債務構造を備えた送電関連の資産クラスにおける投資機会を提供している。
5. 長期利用可能な蓄電池の必要性	• 実用レベルの大規模蓄電池は、再生可能エネルギーの断続性の問題を緩和することができ、エネルギー転換の重要な要素となる。 • 揚水発電は、その規模、技術的な成熟度、ディスパッチ能力を踏まえると魅力的である。新規プロジェクトは非常に限定的だが、投資家は発電能力を拡大させる余地のあるグローバル企業への投資を注目すべきである。
6. 総合（垂直統合型）電力企業	• インフラを構築・維持してきた長い実績と、コスト上昇分を最終消費者に転嫁する価格調整力を考慮すると、発電から送電までを一貫して行う各国の総合電力企業は、魅力的な投資機会を提供し得る。 • 一部の総合電力企業は、プライベート・クレジット市場を通じて、様々な発電資産の資金を調達しており、デット投資家は成熟したプロジェクトにおいて投資機会を見出すことができる。

化石燃料で現在の電力需要を満たしながら、二酸化炭素排出量を削減する

1. 天然ガスは、より炭素排出量の多い化石燃料を駆逐しつつある。	• 天然ガスは、一般炭からの移行により、エネルギー転換において重要な役割を果たすことができる。 • 世界的に電力需要が急増する中、米国では小規模ガス生産会社と大規模なLNG生産会社に成長の可能性がある。 • 各国のパイプライン会社のデットは、投資家に異なるリスク・リターン特性を提供する。
2. 中堅生産企業におけるデット投資機会	• 一部の銀行が融資を停止する中、中堅のエネルギー生産企業の負債を通じた資金調達は不足しがちであり、これによってプライベート市場における投資機会が生じている。 • 投資家は、確かなキャッシュフローと具体的な担保を提供できる、調査段階を通過したプロジェクトを見出す必要がある。
3. 既存の石油メジャーの将来的な役割	• 化石燃料の存在意義は残り続けると思われるが、投資家は石油メジャーへの投資による陳腐化リスクを定期的に考慮する必要がある。 • 低炭素の再生可能エネルギーに身を乗り出す石油メジャーは、より陳腐化リスクが低い可能性がある一方で、これら企業の市場におけるバリュエーションは高まっていない。 • また、既存のグローバルな石油関連企業も、グリーンテクノロジーやクリーンエネルギーに関する研究を牽引している。こうした企業は、バイオ燃料、炭素回収などの分野におけるグリーン技術特許のリーダー的存在である。一部の企業は、次世代エネルギー構想において勝者となるであろう。

ポートフォリオ全体に及ぼす影響

1. 脱炭素化、投資目標、投資期間について明確な立場を確立する	• 投資責任者にとって、主要な関係者との間で脱炭素化に向けた目標について明確化し、投資期間をエネルギー転換と整合させることが不可欠である。 • いくつかのシンプルな質問に対する明確な回答によって、立場が明確になる可能性がある。
2. 投資家は、脱炭素化に向けた複数のアプローチを検討する必要がある	• 現在のポートフォリオの二酸化炭素排出量を最小限に抑えるアプローチは、現時点において大量の二酸化炭素を排出していない業種を支援するという利点があるが、将来の排出量についても評価する必要がある。 • より長期的な視点に立つ投資家は、将来的に二酸化炭素の排出を回避できる可能性の高い技術だけでなく、自社の二酸化炭素排出量を削減できる可能性のある企業を検討すべきである。
3. 政府の現在の政策および今後の動向について注視する	• 全ての国において、政策変更は投資環境に影響及ぼすことから、投資家は政策の状況の変化に留意する必要がある。 • 政府の政策は、基礎的な調査段階から大規模プロジェクトに至るまで、あらゆる段階におけるエネルギー投資のリスク・リターン特性に影響を与える可能性がある。

別添資料

A1：世界最大の化石燃料の生産国と消費国

世界の化石燃料の生産および消費の上位5ヵ国及びその割合（2022年）

石油：上位5ヵ国

生産		
	国	割合
1	米国	18.9%
2	サウジアラビア	12.9%
3	ロシア	11.9%
4	カナダ	5.9%
5	イラク	4.8%

消費		
	国	割合
1	米国	19.7%
2	中国	14.7%
3	インド	5.3%
4	サウジアラビア	4.0%
5	ロシア	3.7%

ガス：上位5ヵ国

生産		
	国	割合
1	米国	29.8%
2	ロシア	15.3%
3	イラン	6.4%
4	中国	5.5%
5	カナダ	4.6%

消費		
	国	割合
1	米国	22.4%
2	ロシア	10.4%
3	イラン	9.5%
4	中国	5.8%
5	カナダ	3.1%

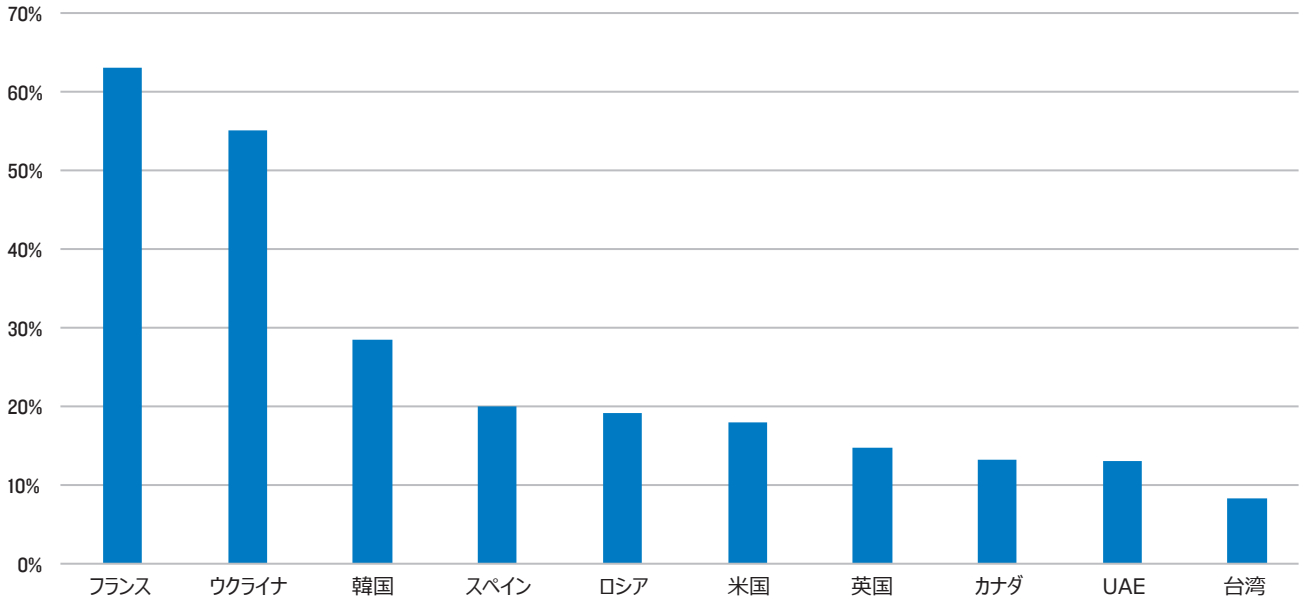
石炭：上位5ヵ国

生産		
	国	割合
1	中国	52.8%
2	インド	8.6%
3	インドネシア	8.0%
4	米国	6.9%
5	オーストラリア	6.6%

消費		
	国	割合
1	中国	54.8%
2	インド	12.4%
3	インドネシア	6.1%
4	米国	3.0%
5	オーストラリア	2.7%

A2：総電力に占める原子力発電の割合

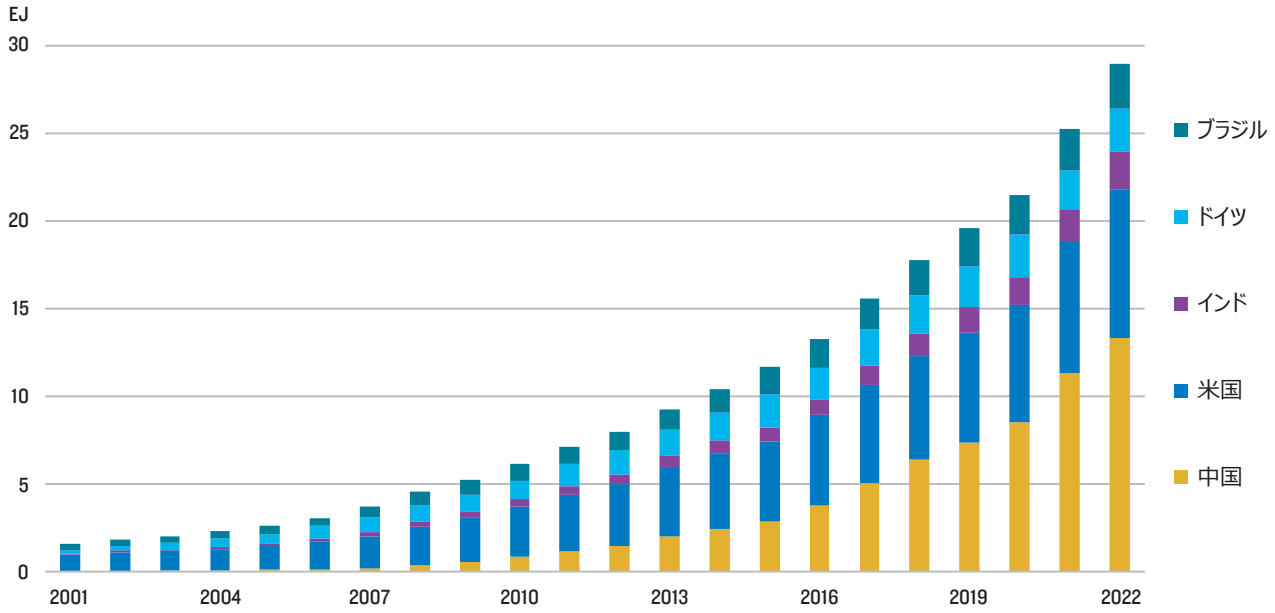
原子力発電の割合が高い上位10ヵ国（2022年）



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023。

A3：世界の再生可能エネルギーの消費量

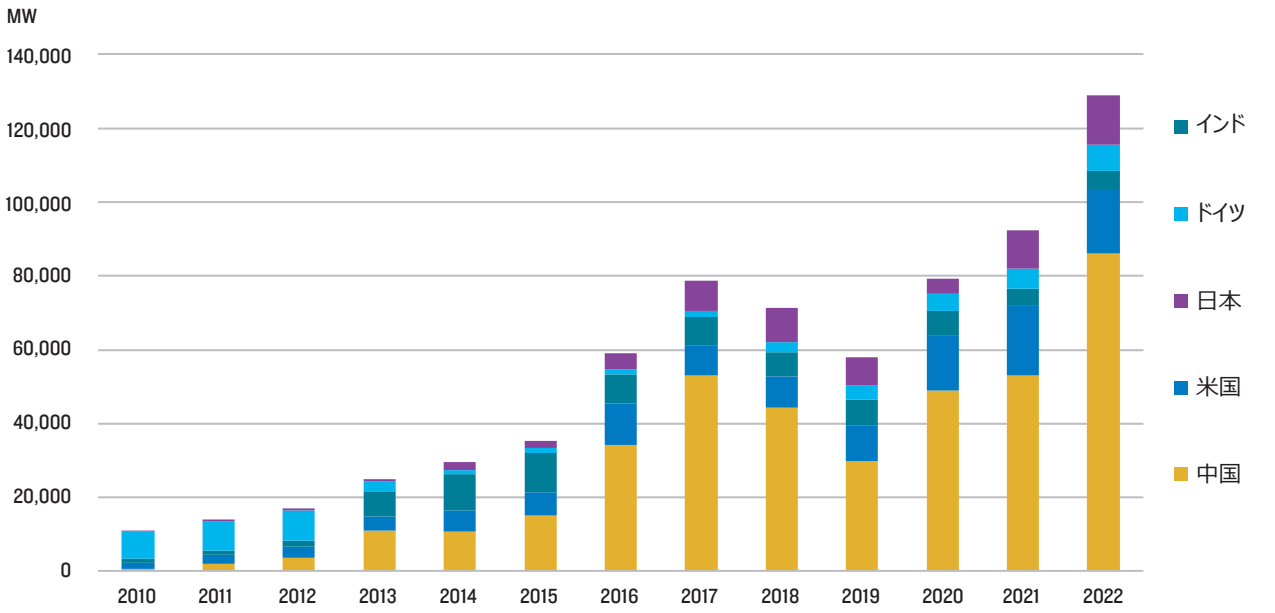
再生可能エネルギー消費の上位5ヵ国（2022年、エクサジュール）



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023。

A4：太陽光発電の年間追加発電量

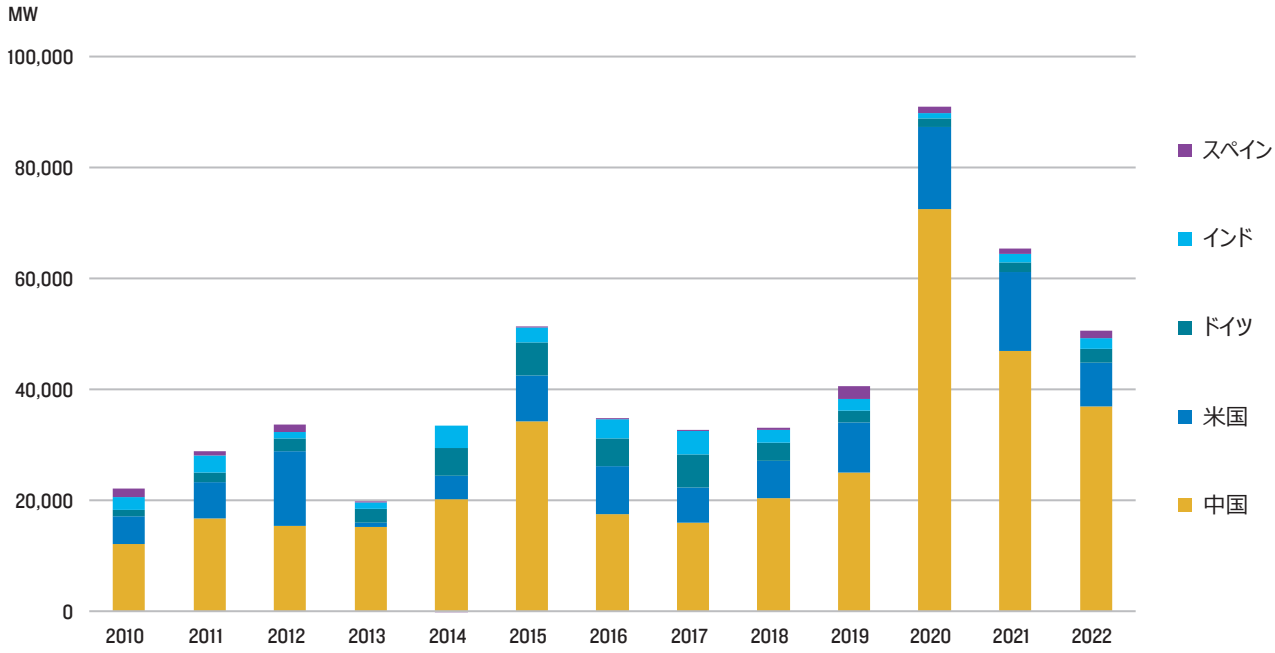
1年間で新たに追加された太陽光による発電量が大きかった上位5ヵ国（2022年、メガワット）



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023。

A5：風力発電の年間追加発電量

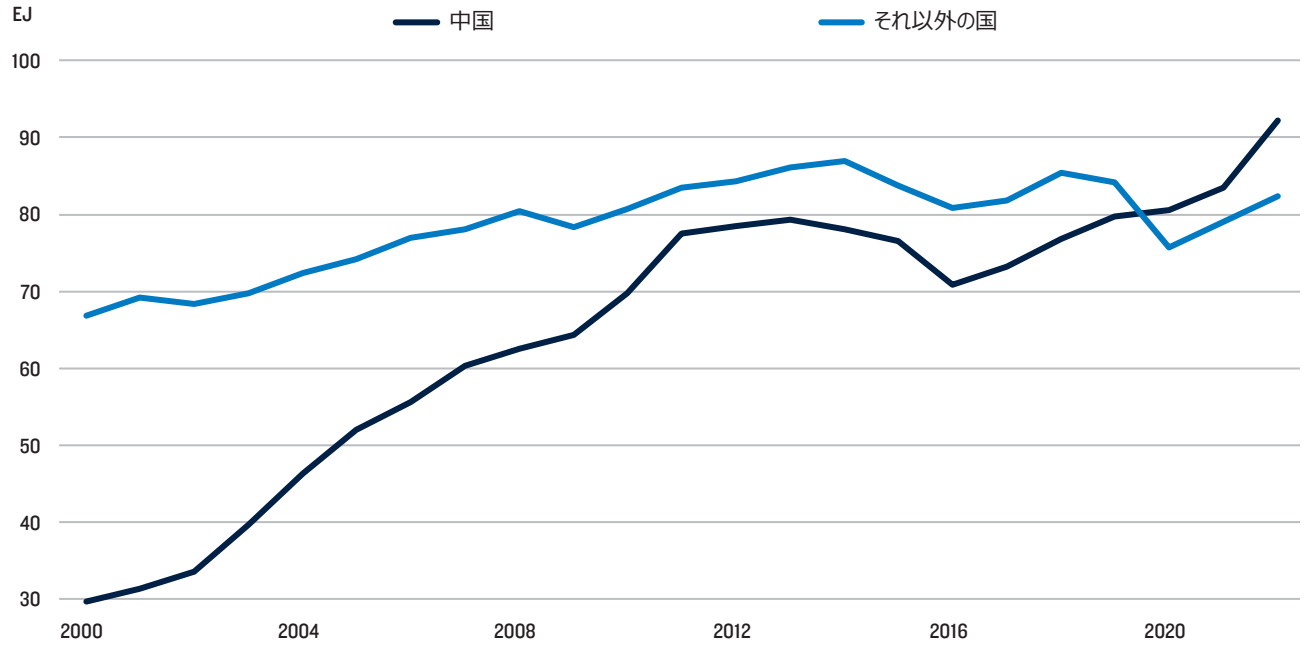
1年間で新たに追加された風力による発電量が大きかった上位5ヵ国（2022年、メガワット）



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023。

A6：年間の石炭生産量

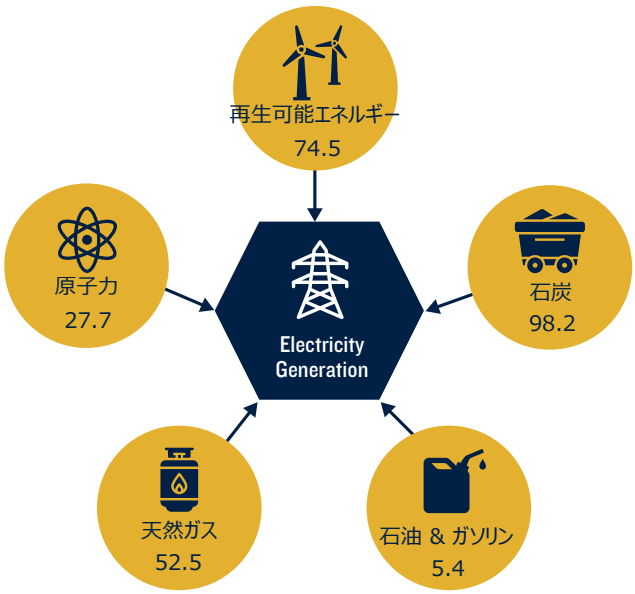
石炭の5大生産者（中国）と、それ以外の国の総生産量（エクサジュール）



出所：エネルギー協会によるStatistical Review 2023。

A7: 電力発電のエネルギー源

電力発電に使用される主なエネルギー源（英国熱量単位、1,000兆、2022年）



本稿の執筆協力者

本稿を執筆するに当たり、多大なる支援をいただいた方々

Dr. Vanessa Chan, Chief Commercialization Officer, US Department of Energy

Ryan Dalton, Partner, Warburg Pincus

Eric Danzinger, Managing Director, Energy Transition, Riverband Energy Group

Samantha Gross, Director, Energy Security and Climate Initiative, Brookings Institution

Stephen Hendrickson, Director, Office of Technology Transitions, US Department of Energy

Jeff Luse, Partner, Warburg Pincus

Tony Morriss, Senior Manager, Thematic Strategy, Australian Super

Bruce Sassi, President and CEO, Nuclear Energy Insurance Ltd

Katheryn Scott, Engineer, Office of Technology Transitions, U.S. Department of Energy

Travis Skelly, Partner, PruVen

Dr. Scott Tinker, Director, Bureau of Economic Geology, Jackson School of Geosciences, University of Texas

PGIMグループの執筆・情報提供者

Dr. Raimondo Amabile, PGIM Real Estate

Alyssa Braun, PGIM Fixed Income

Matt Baker, PGIM Private Capital

Neil Brown, Jennison Associates

Wendy Carlson, PGIM Private Capital

Armelle DeVienne, PGIM Fixed Income

Omari Douglas-Hall, PGIM Fixed Income

Bobby Edemeka, Jennison Associates

Jim Footh, PGIM Real Estate

Elizabeth Gunning, PGIM Fixed Income

Callie Hamilton, PGIM Private Capital

Dr. Peter Hayes, PGIM Real Estate

Deb Hemsey, PGIM Private Capital

Matthew Huen, PGIM Real Estate

Eugenia Jackson, PGIM

Darren Ku, PGIM Fixed Income

David Klausner, PGIM Fixed Income

Albert Kwok, Jennison Associates

James Malone, PGIM Fixed Income

Sara Moreno, Jennison Associates

Mark Negus, PGIM Real Estate

Michael Pettit, PGIM Fixed Income

John Ploeg, PGIM Fixed Income

Tom Porcelli, PGIM Fixed Income

Jay Saunders, Jennison Associates

Dr. Gavin Smith, PQS

Naqash Tahir, PGIM Real Estate

Brian Thomas, PGIM Private Capital

Dr. Noah Weisberger, IAS

David Winans, PGIM Fixed Income

主筆

Shehriyar Antia, PGIM Thematic Research

Dr. Taimur Hyat, PGIM

Jakob Wilhelmus, PGIM Thematic Research

出典

1 Rhodes, Richard, “Energy: A Human History,” May 29, 2018. https://www.simonandschuster.com/books/Energy/Richard-Rhodes/9781501105364

2 Guénette, Justin-Damien and Jeetendra, Khadan, “The energy shock could sap global growth for years,” June 22, 2022. https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/energy-shock-could-sap-global-growth-years

3 Chow, Emily and Yuka, Obayashi, “Wary of 2022 crisis, Asian buyers to build strategic gas reserves,” Reuters, July 20, 2023. https://www.reuters.com/business/energy/wary-2022-crisis-asian-buyers-build-strategic-gas-reserves-2023-07-20/

4 Eckert, Vera and Sims, Tom, “energy crisis fuels coal comeback in Germany,” December 16, 2022. https://www.reuters.com/markets/commodities/energy-crisis-fuels-coal-comeback-germany-2022-12-16/

5 Jacob, Charmaine, “Coal free by 2070? India’s push toward renewables won’t stop coal reliance for the next two decades,” November 2, 2023. https://www.cnbc.com/2023/11/03/india-push-toward-renewables-will-not-stop-coal-reliance-for-20-years.html

6 Palfreman, Jon, “Why the French Like Nuclear Energy,” Accessed March 27, 2024. https://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/reaction/readings/french.html

7 Katwala, Amit, “The World Can’t Wean Itself Off Chinese Lithium,” June 20, 2022. https://www.wired.com/story/china-lithium-mining-production/

8 Wood Mackenzie, “China to hold over 80% of global solar manufacturing capacity from 2023-26,” November 7, 2023. https://www.woodmac.com/press-releases/china-dominance-on-global-solar-supply-chain/

9 Frost, Natasha, “Australia Tries to Break Its Dependence on China for Lithium Mining,” NY Times, May 23, 2023. https://www.nytimes.com/2023/05/23/business/australia-lithium-refining.html

10 Katwala, Amit, “The World Can’t Wean Itself Off Chinese Lithium,” June 20, 2022. https://www.wired.com/story/china-lithium-mining-production/

11 Singh, Rajesh, “India to Resume Curbs on SOlar Imports to Boost Local Producers,” Bloomberg, March 30, 2024. https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-03-30/india-brings-back-curbs-on-solar-panel-imports-to-boost-locals

12 Lu, Marcus, “Ranked: Electric Vehicle Sales by Model in 2024,” December 1, 2023. https://www.visualcapitalist.com/electric-vehicle-sales-by-model-2023/

13 Alvarez, Simon, “Volkswagen cites “strong customer reluctance” amid low EV sales,” July 4, 2023. https://www.teslarati.com/volkswagen-strong-customer-reluctance-low-ev-sales

14 Trudell, Craig, “GM, Ford and Tesla Contribute to Setback in EV Sales Growth,” December 15, 2023. https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2023-12-15/electric-vehicle-sales-outlook-2024-less-bright-due-to-gm-ford-tesla

15 Takahashi, Nicholas, “Toyota Chairman Predicts Battery Electric Cars Will Only Reach 30% Share,” January 23, 2024. https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-01-23/toyota-chairman-predicts-battery-electric-cars-will-only-reach-30-share

16 Crownhart, Casey, “How green steel made with electricity could clean up a dirty industry,” June 28, 2022. https://www.technologyreview.com/2022/06/28/1055027/green-steel-electricity-boston-metal/

17 US Department of Energy, “The Pathway To: Long Duration Energy Storage Commercial Liftoff,” Accessed March 27, 2024. https://liftoff.energy.gov/long-duration-energy-storage/

18 Truby, Johannes Dr. et al, “Financing the green energy transition,” Accessed March 27, 2024. https://www.deloitte.com/global/en/issues/climate/financing-the-green-energy-transition.html

19 Abnett, Kate, “Europe’s grids become green power growth bottleneck, industry warns,” November 16, 2023. https://www.reuters.com/business/energy/europes-grids-become-green-power-growth-bottleneck-industry-warns-2023-11-16/

20 Park, Han-Shin, “Korea rejects BlackRock’s $7.5 bn wind farm project,” January 30, 2024. https://www.kedglobal.com/energy/newsView/ked202401300014

21 Plumer, Brad, “The US Has Billions for Wind and Solar Projects. Good Luck Plugging Them In,” New York Times, Feb. 23, 2023. https://www.nytimes.com/2023/02/23/climate/renewable-energy-us-electrical-grid.html

22 Stallard, Esme and Rowlatt, Justin, “Renewable Energy Projects Worth Billions Stuck on Hold,” BBC, May 10, 2023. https://www.bbc.com/news/science-environment-65500339

23 “Average Lead Times to Build New Electricity Grid Assets in Europe and the United States, 2010-21,” IEA, Jan. 12, 2023. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-lead-times-to-build-new-electricity-grid-assets-in-europe-and-the-united-states-2010-2021

24 Despite a Growing Global Consensus, Obstacles to Reducing Net Carbon Emissions to Zero Are Stark,” IMF, accessed March 27, 2024. https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2022/12/bumps-in-the-energy-transition-yergin

25 “Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050,” IRENA, 2019 edition, accessed March 27, 2024. https://www.irena.org/apps/DigitalArticles/-/media/652AE07BBAAC407ABD1D45F6BBA8494B.ashx

26 “Massive Expansion of Renewable Power Opens Door to Achieving Global Tripling Goal Set at COP28,” IEA, Jan. 11, 2024. https://www.iea.org/news/massive-expansion-of-renewable-power-opens-door-to-achieving-global-tripling-goal-set-at-cop28

27 “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector,” US Department of Energy, accessed March 27, 2024. https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-12/IEA%2C%20Net%20Zero%20by%202050.pdf

28 International Trade Administration, “Renewable Energy,” January 12, 2024. https://www.trade.gov/country-commercial-guides/india-renewable-energy

29 “Electricity 2024 – Analysis and Forecast to 2026,” IEA. https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf

30 “Electricity Consumption Worldwide in 2022, by Leading Country,” Statista, Feb. 19, 2024. https://www.statista.com/statistics/267081/electricity-consumption-in-selected-countries-worldwide//

31 “Electricity 2024 – Analysis and Forecast to 2026,” IEA. https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf

32 Foy, Kylie, “AI models are devouring energy. Tools to reduce consumption are here, if data centers will adopt,” MIT Lincoln Laboratory, September 22, 2023. https://www.ll.mit.edu/news/ai-models-are-devouring-energy-tools-reduce-consumption-are-here-if-data-centers-will-adopt.

33 Jones, Nicola, “How to stop data centres from gobbling up the world’s electricity,” Nature, September 12, 2018. https://www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y

34 St. John, Jeff, “Suddenly, US Electricity Demand Is Spiking. Can the Grid Keep Up?” Canary Media, Dec. 20, 2023. https://www.canarymedia.com/articles/transmission/suddenly-us-electricity-demand-is-spiking-can-the-grid-keep-up

35 Wilson, John D. and Zimmerman, Zack, “The Era of Flat Power Demand Is Over,” Grid Strategies, December 2023. https://gridstrategiesllc.com/wp-content/uploads/2023/12/National-Load-Growth-Report-2023.pdf

36 Loten, Angus, “Rising Data Center Costs Linked to AI Demands,” July 13, 2023. https://www.wsj.com/articles/rising-data-center-costs-linked-to-ai-demands-fc6adc0e

37 “Equinix to Install Largest Deployment of Fuel Cells for the Colocation Data Center Industry,” Bloom Energy, August 16, 2017. https://www.bloomenergy.com/news/equinix-to-install-largest-deployment-of-fuel-cells-for-the-colocation-data-center-industry/

38 “ECL Introduces World’s First Fully-Green, Hydrogen-Powered, Off-Grid Data Center-as-a-Service with 99.9999 Percent Uptime at Significantly Lower Cost Than Traditional Colocation Data Centers,” Business Wire, Jan. 24, 2023. https://www.businesswire.com/news/home/20230124005492/en/ECL-Introduces-World%E2%80%99s-First-Fully-Green-Hydrogen-Powered-Off-Grid-Data-Center-as-a-Service-with-99.9999-Percent-Uptime-at-Significantly-Lower-Cost-Than-Traditional-Colocation-Data-Centers

39 “Singapore Data Center to Expand Capacity with Bloom Energy Fuel Cells,” Bloom Energy. September 6, 2023. https://newsroom.bloomenergy.com/blog/singapore-data-center-to-expand-capacity-with-bloom-energy-fuel-cells

40 Swinhoe, Dan, “AWS Acquires Talen’s Nuclear Data Center Campus in Pennsylvania,” Data Centre Dynamics, March 4, 2024. https://www.datacenterdynamics.com/en/news/aws-acquires-talens-nuclear-data-center-campus-in-pennsylvania/

41 Proctor, Darrell, “Hydrogen Production, SMRs Touted for Virginia Data Center Hub,” August 20, 2023. https://www.powermag.com/hydrogen-production-smrs-touted-for-virginia-data-center-hub

42 “Glossary of Terms Used in NERC Reliability Standards,” NERC, updated Dec. 1, 2023. https://www.nerc.com/pa/Stand/Glossary%20of%20Terms/Glossary_of_Terms.pdf

43 Milligan, Michael et al, “Marginal Cost Pricing in a World without Perfect Competition: Implications for Electricity Markets with High Shares of Low Marginal Cost Resources,” Technical Report, December 2017. https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/69076.pdf

44 “Maintaining Reliability in the Modern Power System,” US Department of Energy, December 2016. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Maintaining%20Reliability%20in%20the%20Modern%20Power%20System.pdf

45 Borenstien, Severin & Kellogg, Ryan, “Challenges of a Clean Energy Transition and Implications for Energy Infrastructure Policy,” December 2021. https://www.economicstrategygroup.org/wp-content/uploads/2021/11/7-Borenstein-Kellogg.pdf

46 “Our Work Areas Energy Access,” UN Development Programme. https://www.undp.org/energy/our-work-areas/energy-access

47 Ebrahim, Zofeen T., “Pakistan in uproar as protests over soaring energy prices turn violent,” September 2, 2023. https://www.theguardian.com/global-development/2023/sep/05/pakistan-uproar-violent-protests-soaring-fuel-electricity-prices

48 Savage, Susannah, “Protests over food and fuel surged in 2022 — the biggest were in Europe,” January 17, 2023. https://www.politico.eu/article/energy-crisis-food-and-fuel-protests-surged-in-2022-the-biggest-were-in-europe/

49 Wanna, Carly, “Replacing US Coal Plants With Solar and Wind Is Cheaper Than Running Them,” January 30, 2023. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-01-30/new-us-solar-and-wind-cost-less-than-keeping-coal-power-running

50 Witze, Alexandra, “Earth boiled in 2023 — will it happen again in 2024?,” January 12, 2024. https://www.nature.com/articles/d41586-024-00074-z

51 “2023 was the World’s Warmest Year on Record, by Far,” NOAA, Jan. 12, 2024. https://www.noaa.gov/news/2023-was-worlds-warmest-year-on-record-by-far warmest year on record, by far,” January 12, 2024. https://www.noaa.gov/news/2023-was-worlds-warmest-year-on-record-by-far

52 “The Causes of Climate Change,” NASA, accessed March 27, 2024. https://climate.nasa.gov/causes/

53 PGIM Megatrends, “Weathering Climate Change: Opportunities and risks in an altered landscape,” Accessed March 27, 2024. https://www.pgim.com/pgim-japan/insights/pgim-mega-trend-weathering-climate-change

54 “Weathering Climate Change: Opportunities and Risks in an Altered Landscape,” PGIM Megatrends, accessed March 27, 2024. https://www.pgim.com/pgim-japan/insights/pgim-mega-trend-weathering-climate-change

55 United Nations, “For a liveable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action,” Accessed March 27, 2024. Net Zero Coalition | United Nations

56 “Statistical Review of World Energy,” Energy Institute. https://www.energyinst.org/statistical-review

57 Jopson, Barney, “the Problem with Europe’s Ageing Wind Farms,” Financial Times, Feb. 22, 2024. https://www.ft.com/content/7f742d23-673b-47d3-9ce9-64fa5d322abee

58 Parker, Halle, “Few bid after U.S. opens first-ever offshore wind leases in the Gulf of Mexico off Louisiana, Texas coasts,” August 29, 2023. https://www.wwno.org/coastal-desk/2023-08-29/u-s-opens-first-ever-offshore-wind-leases-in-the-gulf-of-mexico-off-louisiana-texas-coasts

59 Wasser, Miriam, “Offshore wind in the U.S. hit headwinds in 2023. Here’s what you need to know,” December 27. 2023. https://www.npr.org/2023/12/27/1221639019/offshore-wind-in-the-u-s-hit-headwinds-in-2023-heres-what-you-need-to-know

60 Novik, Mari, “Wind Industry in Crisis as Problems Mount,” Wall Street Journal, updated Aug. 7, 2023. https://www.wsj.com/articles/wind-industry-hits-rough-seas-as-problems-mount-5490403a

61 Yakubu, Osman, “Electricity theft: Analysis of the underlying contributory factors in Ghana” https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518306232

62 Iyer, Sairaj, “Technology vs the $16 billion hole,” February 14, 2023. https://www.sify.com/technology/technology-vs-the-16-billion-hole/

63 “Mineral requirements for clean energy transitions,” IEA, Accessed March 15, 2024. https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions

64 Fernyhough, James, “Rio Tinto Digs Deep as Prized $7 Billion Copper Mine Finally Delivers,” Bloomberg, March 12, 2023. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-13/rio-tinto-digs-deep-as-7-billion-copper-mine-finally-delivers

65 Li, Ying, “Copper Miners Enjoy High Profits, but Development Capital Expenditure Lag,” S&P Global, April 26, 2023. https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/copper-miners-enjoy-high-profits-but-development-capital-expenditure-lag

66 Skidmore, Zachary, “Fragmentation of the copper supply chain,” May 20, 2022. https://www.mining-technology.com/features/copper-supply-chain-fragmentation/?cf-view

67 Fernyhough, James, “Copper Mine Flashes Warning of ‘Huge Crisis’ for World Supply,” May 2, 2023. https://www.bloomberg.com/news/features/2023-05-02/copper-faces-troubled-future-as-renewable-energy-causes-demand-to-surge

68 Woods, Bob, “Copper is critical to energy transition. The world is falling way behind on producing enough,” September 27, 2023. https://www.cnbc.com/2023/09/27/copper-is-critical-to-climate-the-world-is-way-behind-on-production.html

69 “IEA Warns of Insufficient Transmission Lines Worldwide to Connect Renewables to the Grid,” IER, Oct. 20, 2023. https://www.instituteforenergyresearch.org/international-issues/iea-warns-of-insufficient-transmission-lines-worldwide-to-connect-renewables-to-the-grid/

70 “Global Installed Grid-Scale Battery Storage Capacity in the Net Zero Scenario, 2015-2030,” IEA, July 10, 2023. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-installed-grid-scale-battery-storage-capacity-in-the-net-zero-scenario-2015-2030

71 “The Pathway To: Long Duration Energy Storage Commercial Liftoff,” US Department of Energy, accessed March 27, 2024. https://liftoff.energy.gov/long-duration-energy-storage/

72 “Net-Zero Power: Long-Duration Energy Storage for a Renewable Grid,” McKinsey Sustainability https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-power-long-duration-energy-storage-for-a-renewable-grid

73 “The Pathway To: Long Duration Energy Storage Commercial Liftoff,” US Department of Energy, accessed March 27, 2024. https://liftoff.energy.gov/long-duration-energy-storage/

74 McWilliams, Mike, “6.08 – Pumped Storage Hydropower,” Volume 6, 2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128197271000790

75 “Pumped-Storage Hydropower Plants: Do You Know What Pumped-Storage Hydropower Stations Are Used For?” Iberdrola, accessed March 27, 2024. https://www.iberdrola.com/sustainability/pumped-storage-hydropower

76 Jopson, Barney, “Can ‘Water Batteries’ Solve the Battery Storage Conundrum?” Financial Times, Jan. 9, 2024. https://www.ft.com/content/5f0c2623-dfd4-4542-8d94-8bf1dfefcec7

77 “LNG Outlook 2024,” Shell, March 2024. https://www.shell.com/what-we-do/oil-and-natural-gas/liquefied-natural-gas-lng/lng-outlook-2024/_jcr_content/root/main/section_125126292/promo_copy_copy_copy/links/item0.stream/1709628426006/3a2c1744d8d21d83a1d4bd4e6102dff7c08045f7/master-lng-outlook-2024-march-final.pdf

78 “Energy Policies of IEA Countries,” IEA, United States 2019 Review, accessed March 27, 2024. https://iea.blob.core.windows.net/assets/7c65c270-ba15-466a-b50d-1c5cd19e359c/United_States_2019_Review.pdf

79 “After Peak in Mature Markets, Global Gas Demand Is Set for Slower Growth in Coming Years,” IEA, Oct. 10, 2023. https://www.iea.org/news/after-peak-in-mature-markets-global-gas-demand-is-set-for-slower-growth-in-coming-years

80 Gupte, Eklavya et al., “COP28: Fifty oil and gas companies sign net-zero, methane pledges,” S&P Global, Dec. 2, 2023. https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/120223-cop28-fifty-oil-and-gas-companies-sign-net-zero-methane-pledges

81 “BNP Paribas: Will No Longer Finance Development of New Oil and Gas Fields,” Reuters, May 11, 2023. https://www.reuters.com/business/sustainable-business/bnp-paribas-will-no-longer-provide-financing-development-new-oil-gas-fields-2023-05-11/

82 Johnston, Ian, “Oil and Gas Firms Face Virtually No Extra Borrowing Costs, S&P Finds,” Financial Times, Nov. 17, 2023 https://www.ft.com/content/830e3ae6-0c3c-4da9-87e7-4ff72aa3e249

83 Halbout, Jérôme, “Financing of Energy Investment,” Palgrave Handbook of International Energy Economics, May 28, 2022. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-86884-0_17

84 Bindman, Polly, “How oil majors penetrated the EV charging market,” Energy Monitor, November 8, 2023. https://www.energymonitor.ai/tech/networks-grids/how-oil-majors-penetrated-the-ev-charging-market/

85 Bousso, Ron, “Energy giants’ LNG trading results reveal diverging regional bets,” Reuters, November 6, 2023. https://www.reuters.com/business/energy/energy-giants-lng-trading-results-reveal-diverging-regional-bets-2023-11-03/

86 Soudani, Amine, “TotalEnergies, the Leading Exporter of U.S. LNG,” Accessed March 27, 2024. https://corporate.totalenergies.us/totalenergies-largest-exporter-us-lng

87 Bousso, Ron, “Shell’s LNG Trading Makes $2.4B in Final 2023 Quarter, Sources Say,” Reuters, Feb. 23, 2024. https://www.reuters.com/business/energy/shells-lng-trading-makes-24-bln-final-2023-quarter-sources-say-2024-02-23/

88 Ibid.

89 Swint, Brian, “BP and Shell Are Worth Less Than Exxon and Chevron. Here’s Why,” Barron’s, Feb. 23, 2024. https://www.barrons.com/articles/bp-shell-valuations-8545e2b2

90 Swint, Brian, “BP and Shell vs. Exxon and Chevron: The Mystery of Big Oil’s P/E Gap,” Barron’s, Jan. 6, 2023. https://www.barrons.com/articles/bp-and-shell-vs-exxon-and-chevron-the-mystery-of-big-oils-p-e-gap-51673052237

91 Cohen, Lauren et al, “The ES-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting”, February, 2024. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w27990/w27990.pdf

92 Hulbert, Mark, “ESG Investing: Surprising Companies at the Forefront of Green Innovation,” Investor’s Business Daily, Oct. 27, 2023. https://www.investors.com/news/esg-investing-surprising-companies-at-forefront-of-green-tech-innovation/

93 Molloy, Patrick, “Run on Less with Hydrogen Fuel Cells,” ACT News, Sept. 25, 2019. https://www.act-news.com/news/fcevs-run-on-less/

94 “Hydrogen Benefits and Considerations,” US Department of Energy, accessed March 27, 2024. https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_benefits.html

95 Barbarino, Matteo, “What Is Nuclear Fusion?” IAEA, Aug. 3, 2023. https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion

96 “Press Conference: Secretary Granholm & DOE leaders Announced Fusion Breakthrough by DOE National Lab,” US Department of Energy, Dec. 13, 2022. https://www.youtube.com/watch?v=K2ktAL4rGuY

97 Ball, Philip, “What Is the Future of Fusion Energy?” Scientific American, June 1, 2023. https://www.scientificamerican.com/article/what-is-the-future-of-fusion-energy/

98 Novak, Stanislav and Podest, Milan, “Nuclear Power Plant Ageing and Life Extension: Safety Aspects,” IAEA, April 1987. https://www.iaea.org/sites/default/files/29402043133.pdf

99 “EDF Eyes Flamanville EPR Nuclear Reactor Fuel Loading in March,” Reuters, Dec. 21, 2023. https://www.reuters.com/business/energy/edf-eyes-flamanville-epr-nuclear-reactor-fuel-loading-march-2023-12-21/

100 “Finland’s New Nuclear Reactor: What Does It Mean for Climate Goals and Energy Security?” Euronews Green with AP, April 17, 2023. https://www.euronews.com/green/2023/04/17/finlands-new-nuclear-reactor-what-does-it-mean-for-climate-goals-and-energy-security

101 Crellin, Forrest et al., “EDF’s UK Hinkley Point Nuclear Plant Start Date Delayed Again, Costs Mount,” Reuters, Jan. 25, 2024. https://www.reuters.com/business/energy/edfs-nuclear-project-britain-pushed-back-2029-may-cost-up-34-bln-2024-01-23 /

102 Cho, Adrian, “Deal to build pint-size nuclear reactors canceled,” November 10, 2023. https://www.science.org/content/article/deal-build-pint-size-nuclear-reactors-canceled

103 Siegler, Kirk, “Why a Town on the Front Line of America’s Energy Transition Isn’t Letting Go of Coal,” NPR, March 28, 2024. https://www.npr.org/2024/03/28/1240708556/why-a-town-on-the-front-line-of-americas-energy-transition-isnt-letting-go-of-co

104 Dewan, Angela et al, “New-wave reactor technology could kick-start a nuclear renaissance — and the US is banking on it,” February 1, 2024. https://www.cnn.com/2024/02/01/climate/nuclear-small-modular-reactors-us-russia-china-climate-solution-intl/index.html

105 “NRC Certifies First US Small Modular Reactor Design,” Office of Nuclear Energy, Jan. 20, 2023. https://www.energy.gov/ne/articles/nrc-certifies-first-us-small-modular-reactor-design

106 World Nuclear News, “Preparatory work stepped up for Russia’s first land-based SMR,” February 9, 2024. https://world-nuclear-news.org/Articles/Preparatory-work-stepped-up-for-Russia-s-first-lan.

107 Ibid.

108 Peng, Dannie, “Small Modular Nuclear Reactors: How China and the US Are Poles Apart in Energy Ambitions,” South China Morning Post, Dec. 9, 2023. https://www.scmp.com/news/china/science/article/3244234/small-modular-nuclear-reactors-how-china-and-us-are-poles-apart-energy-ambitions

109 “Global Nuclear SMR Project Pipeline Expands to 22 GW, Increasing More Than 65% Since 2021,” Wood Mackenzie, March 7, 2024. https://www.woodmac.com/press-releases/2024-press-releases/global-nuclear-smr-project-pipeline-expands-to-22-gw-increasing-more-than-65-since-2021/

110 Bright, Zach, “NuScale cancels first-of-a-kind nuclear project as costs surge,” November 9, 2023. https://www.eenews.net/articles/nuscale-cancels-first-of-a-kind-nuclear-project-as-costs-surge/

111 BloombergNEF, “Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of $139/kWh,” November 26, 2023. https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/

112 Spano, Christina, “Sodium batteries offer an alternative to tricky lithium,” October, 26, 2023. https://www.economist.com/leaders/2023/10/26/sodium-batteries-offer-an-alternative-to-tricky-lithium

113 Breakthrough Energy, “Advancing the Landscape of Clean Energy Innovation,” February, 2019. https://breakthroughenergy.org/wp-content/uploads/2022/10/Report_AdvancingtheLandscapeofCleanEnergyInnovation_2019.pdf

114 Crownhart, Casey, “How sodium could change the game for batteries,” May 11, 2023. https://www.technologyreview.com/2023/05/11/1072865/how-sodium-could-change-the-game-for-batteries/

115 Ibid.

116 Spano, Christina, “Sodium batteries offer an alternative to tricky lithium,” October, 26, 2023. https://www.economist.com/leaders/2023/10/26/sodium-batteries-offer-an-alternative-to-tricky-lithium

117 McKinsey & Company, “Scaling the CCUS industry to achieve net-zero emissions,” October 28, 2022. https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/scaling-the-ccus-industry-to-achieve-net-zero-emissions

118 Douglas, Leah, “POET’s US Midwest ethanol plants to join Summit Carbon pipeline project,” January 29, 2024. https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/poets-us-midwest-ethanol-plants-join-summit-carbon-pipeline-project-2024-01-29/

119 Dunker, Chris, “Carbon pipeline says it has secured easements for half of Nebraska route,” December 6, 2022. https://journalstar.com/news/state-and-regional/govt-and-politics/carbon-pipeline-says-it-has-secured-easements-for-half-of-nebraska-route/article_4daa603f-38fd-5d71-9461-ad0b5314a871.html

120 Douglas, Leah, “US carbon capture pipeline setbacks reflect challenges in climate fight,” September 28, 2023. https://www.reuters.com/sustainability/us-carbon-capture-pipeline-setbacks-reflect-challenges-climate-fight-2023-09-28/

121 “The History of Nuclear Energy,” US Department of Energy, accessed March 27, 2024. https://www.energy.gov/ne/articles/history-nuclear-energy

122 Dvorak, Phred, “America Wanted a Homegrown Solar Industry. China Is Building a Lot of It,” Wall Street Journal, Feb. 6, 2024. https://www.wsj.com/business/america-wanted-a-homegrown-solar-industry-china-is-building-a-lot-of-it-a782f959

123 Robinson, Quillan, “The True Cost of Chinese Solar Panels,” Time, Jan. 18, 2024. https://time.com/6564184/chinese-solar-panels-cost

124 Ivory, Robin, “How Is Blended Finance Deployed in South Asia?” Convergence, March 14, 2024. https://www.convergence.finance/news-and-events/news/7dygNJASNYPPfN9AHRhvLc/view

125 “Hydrogen Energy,” Australian Renewable Energy Agency, accessed March 27, 2024. https://arena.gov.au/renewable-energy/hydrogen/

126 Bearak, Max, “Inside the Global Race to Turn Water into Fuel,” New York Times, March 11, 2023. https://www.nytimes.com/2023/03/11/climate/green-hydrogen-energy.html

127 “Australia’s Fortescue FFI Sees Texas Potential Among 5 Key Projects,” Reuters, Feb. 14, 2023. https://www.reuters.com/business/sustainable-business/australias-fortescue-ffi-sees-texas-potential-among-5-key-projects-2023-02-15/

128 “Linde to Invest $1.8B to Supply Clean Hydrogen to OCI’s World-Scale Blue Ammonia Project in the US Gulf Coast,” Linde, Feb. 6, 2023. https://www.linde.com/news-media/press-releases/2023/linde-to-invest-1-8-billion-to-supply-clean-hydrogen-to-oci-s-world-scale-blue-ammonia-project-in-the-u-s-gulf-coast

129 “National Green Hydrogen Strategy: Chile, a Clean Energy Provider for a Carbon Neutral Planet,” Ministry of Energy, Government of Chile, November 2020. https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf

130 “Chile to Accelerate Its Green Hydrogen Industry with World Back Support,” The World Bank, June 29, 2023. https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/29/chile-to-accelerate-its-green-hydrogen-industry-with-world-bank-support

131 Gavin, Cassie, “Response to Duke Energy’s Proposed Combined Carbon Plan and Integrated Resources Plan (CPIRP),” NC Sustainable Energy Association, Dec. 5, 2023. https://energync.org/response-to-dukes-proposed-combined-cprip-blog/

132 “Duke Energy Files Updated Carbon Plan to Serve the Growing Energy Needs of a Thriving North Carolina,” Duke Energy, Aug. 17, 2023. https://news.duke-energy.com/releases/duke-energy-files-updated-carbon-plan-to-serve-the-growing-energy-needs-of-a-thriving-north-carolina

133 Seel, Joachim et al., “Plentiful electricity turns wholesale prices negative,” Lawrence Berkeley National Laboratory, November 2021. https://emp.lbl.gov/publications/plentiful-electricity-turns-wholesale

134 Graham, Dave, “Mexico’s Sheinbaum Spurs Hope of More Private Investment in Energy After Lopez Obrador,” Reuters, Dec. 21, 2023. https://www.reuters.com/world/americas/mexicos-sheinbaum-spurs-hope-more-private-investment-energy-after-lopez-obrador-2023-12-21/

留意事項 1

当レポートは、プロの投資家を対象として作成されたものです。すべての投資にはリスクが伴い、当初元本を下回る可能性があります。

本稿は、プルデンシャル・フィナンシャル・インク(PFI)の主要な資産運用事業で米国証券取引委員会への登録投資顧問会社であるPGIMインク、およびその関連会社の名のもとに提供されるものです。登録投資顧問会社としての登録は、一定水準のスキルまたはトレーニングを意味するものではありません。

英国では、PGIMインクの間接子会社であるPGIMリミテッドがプロの投資家に対して情報提供を行います。PGIMリミテッドの登記上の所在地は以下の通りです：Grand Buildings, 1-3 Stand, Trafalgar Square, London WC2N 5HR。PGIMリミテッドは、英国の金融行動監督庁(FCA)の認可および規制を受けています。(企業参照番号：193418)欧州経済領域（EEA）では、PGIMネーデルラント B.V. によって情報が提供されます。PGIMネーデルラント B.V.の登記上の所在地は以下の通りです：Gustav Mahlerlaan 1212, 1081 LA Amsterdam, The Netherlands。PGIMネーデルラント B.V.は、オランダ金融市場庁(Autoritiet Financiële Markten - AFM)によりオランダで認可（登録番号：15003620）を受けており、欧州パスポートに基づいてサービスを提供しています。特定のEEA諸国では、それが認められる場合には、英国のEU離脱後の一時的な許可取決めに基づき、PGIMリミテッドが利用できる規定、免除またはライセンスに従って情報が提供されます。これらの資料は、PGIMリミテッドまたはPGIMネーデルラント B.V.によって、FCAの規則が定めるプロの投資家、および/または第2次金融商品市場指令2014/65/EU（MiFID II)で定義されているプロの投資家に対して情報提供されるものです。イタリアでは、CONSOB（Commissione Nazionale per le Società e la Borsa）によりイタリアでの認可を受けたPGIMリミテッドによって情報が提供されます。日本では、日本の金融庁に投資顧問会社として登録しているPGIMジャパン株式会社（以下「PGIMジャパン」）およびPGIMリアルエステート・ジャパン株式会社（以下「PGIMリアルエステート・ジャパン」）によって情報が提供されます。PGIMジャパンは、金融庁によって認可された金融商品取引業者として日本国内で様々な投資運用サービスを提供しています。 PGIMリアルエステート・ジャパンは、関東財務局に登録された日本の不動産資産運用会社です。香港では、香港の証券・先物取引監察委員会の規制対象企業であるPGIM（香港）リミテッドの担当者が証券先物条例の第一項第一条で定義されている適格機関投資家に対して情報の提供をしています。シンガポールでは、シンガポール金融管理局（MAS）より認可を受け、CMSライセンスのもとで資産運用を行うPGIM（シンガポール）Pte.Ltd.および適用を受けたフィナンシャル・アドバイザーが情報を提供しています。これらの資料は、2021年SFAの304条に従って「機関投資家」向けに一般的な情報として、また、SFA第289章305条に従って「適格投資家」その他の関連する投資家に対し、PGIMシンガポールにより提供されます。韓国では、韓国の適格機関投資家に対して、国境を越えて投資一任管理サービスを直接提供する免許を有するPGIMインクが情報を提供しています。

本資料は、情報提供または教育のみを目的としています。ここに含まれている情報は投資アドバイスとして提供するものではなく、資産の管理または資産に対する投資を推奨するものでもありません。これらの情報を提供するに当たってPGIMはお客様に対して、受託者としての役割を果たしているのではありません。

本資料は、経済状況、資産クラス、有価証券、発行体または金融商品に関する資料作成者の見解、意見および提言について示したものです。本資料を当初の配布先以外の方（当初の配布先の投資アドバイザーを含む）に配布することは認められておりません。またPGIMの事前の同意なく、本資料の一部または全部を複製することや記載内容を開示することを禁止いたします。本資料に記載されている情報は、現時点でPGIMが信頼できると判断した情報源から入手したものですが、その情報の正確性、完全性、および情報が変更されないことを保証するものではありません。本資料に記載した情報は、現時点（または本資料に記載したそれ以前の日付）における最新の情報ですが、予告なく変更されることがあります。PGIMは情報の一部または全部を更新する義務を負うものではありません。また、情報の完全性または正確性について明示黙示を問わず何ら保証または表明するものでなく、誤謬についての責任を負うものでもありません。本資料は特定の証券、その他の金融商品、または資産運用サービスの勧誘を目的としたものではなく、投資に関する判断材料として用いるべきではありません。どのようなリスク管理技術も、いかなる市場環境においてもリスクを最小化または解消できることを保証することはできません。過去のパフォーマンスは将来の運用成績を保証するものではなく、また信頼できる指標でもありません。投資は損失となることがあります。本資料に記載されている情報や本資料から導出した情報を利用したことにより（直接的、間接的、または派生的に）被り得るいかなる損失ついても、一切責任を負いません。PGIMおよびその関係会社は、それぞれの自己勘定を含め、本資料で示した推奨や見解と矛盾する投資判断を下す可能性があります。本資料に記載されている予測や見通しは、本資料作成時点のものであり、事前の予告なく変更されることがあります。実際のデータは様々であり、本資料に反映されない場合もあります。予測や見通しには大きな不確実性が伴い、よって、どのような予測や見通しであっても、単に多くの可能性の 1 つの代表的な例に過ぎません。予測や見通しは特定の前提条件に基づくものであり、経済や市場環境の変化に応じて大きく変化する可能性があります。PGIMは、いかなる予測または見通しに対しても、それを更新または変更する義務を負っていません。

利益相反：PGIMおよびその関連会社が、本資料で言及した有価証券の発行体との間で、投資顧問契約や他の取引関係を結ぶ可能性があります。時にはPGIMおよびその関連会社や役職員が、本資料で言及した有価証券や金融商品をロングもしくはショートするポジションを保有する可能性、およびそれらの有価証券や金融商品を売買する可能性があります。PGIMの関連会社が、本資料に記載する推奨とは無関係の異なる調査資料を作成して発行することがあります。営業、マーケティング、トレーディングの担当者など、本資料作成者以外のPGIMの従業員が、本資料に表示する見解とは異なる市場に関するコメントもしくは意見を、口頭もしくは書面でPGIMのお客様もしくは見込み客に提示する可能性があります。

© 2024 PFI and its related entities. PGIM、それぞれのロゴ、およびロック・シンボルは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インクおよびその関係会社のサービスマークであり、多数の国・地域で登録されています。

留意事項 2

本資料は、米国SECの登録投資顧問会社であるPGIMインクが作成した”FUELING THE FUTURE”をPGIMジャパンが監訳編集したものです。原文レポート（英語版）と本資料の間に差異がある場合には、原文の内容が優先します。

本資料は、PGIMグループの資産運用ビジネスに関する情報提供を目的としたものであり、特定の金融商品の勧誘又は販売を目的としたものではありません。また、本資料に記載された内容等については今後変更されることもあります。

記載されている市場動向等は現時点での見解であり、これらは今後変更することもあります。また、その結果の確実性を表明するものではなく、将来の市場環境の変動等を保証するものでもありません。

本資料に記載されている市場関連データ及び情報等は信頼できると判断した各種情報源から入手したものですが、その情報の正確性、確実性について当社が保証するものではありません。

本資料で取り上げられた資産クラス、個別セクター等はあくまで例示を目的としたものであり、推奨ならびにこれらに係る将来性を明示・暗示的に示唆するものではありません。

本資料に掲載された各インデックスに関する知的財産権及びその他の一切の権利は、各インデックスの開発、算出、公表を行う各社に帰属します。

本資料で言及されている個別銘柄は例示のみを目的とするものであり、特定の個別銘柄への投資を推奨するものではありません。

過去の運用実績は必ずしも将来の運用成果等を保証するものではありません。

本資料は法務、会計、税務上のアドバイスあるいは投資推奨等を行うために作成されたものではありません。

PGIMジャパン株式会社による事前承諾なしに、本資料の一部または全部を複製することは堅くお断り致します。

“Prudential”、“PGIM”、それぞれのロゴおよびロック・シンボルは、プルデンシャル・ファイナンシャル・インクおよびその関連会社のサービスマークであり、多数の国・地域で登録されています。

PGIMジャパン株式会社は、世界最大級の金融サービス機関プルデンシャル・ファイナンシャルの一員であり、英国プルーデンシャル社とはなんら関係がありません。

PGIMジャパン株式会社
金融商品取引業者関東財務局長（金商）第392号
加入協会：一般社団法人投資信託協会、一般社団法人日本投資顧問業協会、一般社団法人第二種金融商品取引業協会

PGIMJP108618

PGIM メガトレンドのご案内

変化を続ける世界情勢が、今後の投資行動にどのような影響を与えるかを考察しています。

労働市場における変革

新型コロナウイルスが労働市場に及ぼす影響に加え、高齢化などの人口動態の変化、労働需給の構造的なミスマッチ、生成AIの台頭などの新たなテクノロジーの進歩、グローバル化の減速などにより、労働市場では大きな変革が起こりつつある。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

食料問題について考える

世界の食料システムは、様々な課題を抱えている。食料システムが世界のGDPに占める割合は10%に過ぎないが、投資家はこの課題を注視する必要があるのではないか。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

プライベート市場における新たな潮流

プライベート市場は、何世紀にもわたって、農業従事者、起業家、企業経営者、不動産開発業者など、様々な人々に資本市場へのアクセスを提供してきた。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

暗号資産への投資

暗号資産の時価総額は1兆米ドルを大きく上回り、無視できない規模にまで成長している。暗号資産はそのエコシステムにおいて、機関投資家に多様化された魅力的なリターンを提供し得るものであり、足元では機関投資家が大きなポジションを構築するのに十分な規模と流動性を有している。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

テクノロジーが変えるサービス業のかたち

20世紀に世界経済の主役であった農業と製造業は、今やサービス業にその座を明け渡した。サービス業は、先進国市場で労働人口の4分の3が従事し、世界のGDPの3分の２を生み出している。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

気候変動の波を掻い潜る

気候変動はもはや仮想のリスクなどではない。それは既に世界経済を転換させ、市場を再構築し、投資環境を変容させつつある。本レポートでは、気候変動に関する投資課題を取り上げ、低炭素経済への移行に伴う、ポートフォリオに潜む脆弱性と潜在的な投資機会を考察する。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

パンデミック後の世界

新型コロナウイルスを背景に、企業は消費者行動や企業のビジネスモデルの永続的な変化への適応を余儀なくされている。こうした中、コロナ禍による経済封鎖が解除された後の世界に十分に備えるために、今後の大きな構造変化に焦点を当てた検証が必要である。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

未来を拓くビジネスモデル

様々な破壊的エネルギーが契機となって、機関投資家の投資分析やポートフォリオ配分を根本的に変化させるような3つの新たなビジネスモデルが出現している。本レポートでは、このような変革的なビジネスモデルが投資に与える影響について検証する。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

テクノロジーフロンティア

我々は、これまでにない技術革新の時代に生きている。技術革新がもたらす破壊的創造は、資産クラスや地域にまたがり、投資機会を根本的に変えるものとなるだろう。

詳しくは当社ウェブページをご覧ください

この他にも、PGIMメガトレンドシリーズ（英語版のみ）が刊行されています。過去の刊行物に関しては、当社営業担当までお問い合わせください。

THE PURSUIT OF OUTPERFORMANCE™