



未来のエネルギー システムを創造する

分子と電子の行く末



strategy&

Part of the PwC network

Strategy&は、他にはないポジションから、クライアントにとって最適な将来を実現するための支援を行う、グローバルな戦略コンサルティングチームです。そのポジションは他社にはない差別化の上に成り立っており、支援内容はクライアントのニーズに応じたテイラーメイドなものです。PwCの一員として、私たちは日々、成長の中核である、勝つための仕組みを提供しています。圧倒的な先見力と、具体性の高いノウハウ、テクノロジー、そしてグローバルな規模を融合させ、クライアントが、これまで以上に変革力に富み、即座に実行に移せる戦略を策定できるよう支援しています。

グローバルなプロフェッショナル・サービスにおいて唯一の大規模な戦略コンサルティング部門であるStrategy&は、クライアントが目指すべき方向を示し、最適な方法を選択し、実現させる方法を提示すべく、戦略策定のケイパビリティをPwCの最前線のチームに提供しています。

その結果は、可能性を最大化するために強力なだけでなく、効果的に実現できるような実践的アプローチであり、信頼性の高い戦略プロセスです。今日の変革が明日の成果を再定義するような戦略です。ビジョンを現実のものへと作り上げる戦略です。“It’s strategy, made real.” 戦略が現実のものになるのです。

日本語翻訳版刊行にあたり

世界的に脱炭素に向けた動きが本格化しています。その中心となっているのは、化石資源から再生可能資源へのエネルギー転換です。この転換は、エネルギー源が水力、風力、木材などの再生可能資源から化石資源に大きくシフトした産業革命以来の大きな変革をもたらします。

気候変動の影響を抑え、地球環境と共生する新たな社会・経済を築くには、この変革を成功させなければなりません。そのためには、世界中の政府、企業、市民が方向性を共有し、一体となって変革を進めていく必要があります。

各国政府は、脱炭素目標を掲げ、その実現に向けた政策を進めつつあります。化石資源から再生可能資源へのエネルギー転換は、一時的なエネルギーの高騰や雇用の転換などを引き起こす可能性があります。政府は市民の理解を得て、新たなエネルギーシステムを構築しなければなりません。

企業は、投資家からの資金も得ながら、脱炭素の時代においても経済的な豊かさをもたらすべく、石油・ガス、電力、化学などの業界の枠組みを超えた事業ポートフォリオの変革、イノベーションや新たなビジネスモデルの構築を実現しなければなりません。

こうした大きな変革に向けては、政府、企業、市民の道しるべとなるような情報が必要です。本レポートは、化石資源から再生可能資源へのエネルギー転換がもたらす、エネルギーミックス、電子・分子のエネルギーフロー、政府と業界の役割および関係の変化などを描き出しています。

本レポートが、エネルギー転換を成功させ、脱炭素社会を築く一助となれば幸いです。

PwC Japanグループ
サステナビリティ・センター・オブ・エクセレンス
エグゼクティブ・リード
坂野 俊哉

PwC Japan グループ
エネルギー事業部リーダー
片山 紀生



今起きている

変革

化石燃料から再生可能資源に大きくシフトする形で、エネルギー転換が本格的に進められている。イノベーション、資金、規制に促され、ビジネスモデルが急速に進化し、価値創出のための新たな方程式を作り出している。企業や投資家が脱炭素化を戦略の中心に据える中、社会や消費者からの圧力が高まっていることから、新たな形で連携していかざるを得ない状況が生まれている。2015年のパリ協定、そして、2020年に中国と米国のバイデン新政権が出したネットゼロの実現に向けた表明によって、各国政府は脱炭素化を応援するチアリーダーから、エネルギー転換を指揮する指導者へと変貌した。韓国から米国、欧州に至る国々で導入されている、パンデミックからの回復を促すための大規模な景気刺激策は、より回復力が高く、持続可能な経済とエネルギーシステムの構築を目指している。

政策、投資、技術進歩の影響によって、産業革命以降、エネルギー部門では見られなかった一連の変革の動きが起こった。今後10年のうちに、新たなエネルギーシステムが現れ始めよう。石油・ガス、電力・公共事業、化学産業など、かつては明確に線引きされていた産業がまとまり、統合型エネルギーシステムを形成していく。再生可能な分子と電子により生み出された新たな方向性の出現に促される形で、新たな産業クラスターが誕生することになるだろう。投資家は巨額の資金を投入していくと思われる。国際再生可能エネルギー機関（IREA）の予想によると、全世界の送配電網を強化するために2050年までに13兆

米ドル必要となる。PwCの見積りでは、欧州だけを考えた場合、今後30年間で電力網を転換するための最低コストは2兆米ドルになる。欧州では、2030年までに、新興の水素輸出市場向けインフラのみに5,000億米ドル以上が費やされると考えられる¹。

結局のところ、電子と分子の創出方法、システムにおける移動方法、貯蔵方法、最終用途は急速に変化していく。新たな経路を作り出す過程で、電子と分子は新しい未来を創造し、一連の反応を引き出していく。これらは、電力、ガス、水素、熱、蒸気、CO₂の流れを促す統合ネットワークや、新たなビジネスクラスターの創出、革新的な新しい戦略の策定、官民両部門からの多くの反応につながるだろう。国と市場はこれらの産業において関連し合うことが常となっており、これらの産業の多くは国の深い関与で規制されている、もしくは特徴づけられる。しかし、国と市場の両当事者はこの不確かな将来を迎える中で、どのように手を取り合って協力していくか学ばなければならない。市場参加者は純粋なマーケットベースのアプローチによる効果を根本的に見直し、今後数十年にわたり市場を導き、まとめていく、より「見える手」の存在を受け入れる必要がある。

¹ IRENA, *Global Renewables Outlook 2020*, Apr 2020, www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020.

加速する

エネルギートランジション

世界はさらに多くのエネルギーを必要としている。国際エネルギー機関（IEA）は、私たちの世界に電力を供給する分子および電子に対する世界の総需要は2040年までに23%増加すると予想している²。短期的に見ると、化石燃料が今後も引き続き、輸送用燃料となる分子と、電熱を供給する電子の大部分を占めるだろう。IEA発行の「2020年世界のエネルギー展望」で予想されているように、さらに多くの先進国が石炭・石油由来のエネルギー源のストックを急激に減らしているさなかにもありながらも、発展途上国は今後10年で化石燃料由来のエネルギー源への依存度を高めていく（図表1を参照）。石炭はこの10年の間に構造的衰退期を迎えると予想されているが、天然ガスは米国のシェールガス生産や拡大する液化天然ガス輸出市場に後押しされる形で、世界のエネルギーサプライチェーンにおいて引き続き重要な役割を果たすだろう。

さらに長期的な視点で見た場合、エネルギートランジションの方向性は明確である。時間の経過に伴い、カーボンフリーのエネルギー源（主に電子だが、グリーン分子の割合が増している）が生産に占める割合は増えていくだろう。転換点は5年以内にやっ

てくる。すでに民間企業の21%、各国政府の61%が意欲的な脱炭素化目標もしくはネットゼロ目標を掲げている³。190カ国を超える国々が、積極的な排出削減が盛り込まれた2015年のパリ協定の目標達成に取り組んでいる。これらの公約は、補助金、奨励金、投資、カーボンプライシング制度で支えられている。

企業や金融機関は低炭素経済の目標を自社内に取り入れているため、炭素集約型産業への投資を控え、再生可能エネルギーや新たなエネルギーの方向性に向けた投資を行っている。2020年、投資家がサステナブルな投資ファンドに投資した金額は2019年における総額の2倍以上に及ぶ3,500億米ドル⁴に達し、過去最高となった。資金の大部分は、再生可能エネルギー生産、エネルギー貯蔵、グリーン水素やその他の低炭素／脱炭素イノベーションのコスト削減に貢献するイノベーション、R&D、技術のスケールに向けた取り組みに投資されている。こうした取り組みはコストを削減し、結果として政策努力を支えることになる。また、より多くの企業や投資家の行動につながるきっかけとなるような、さらに意欲的な目標や基準の設定を促す可能性もある。

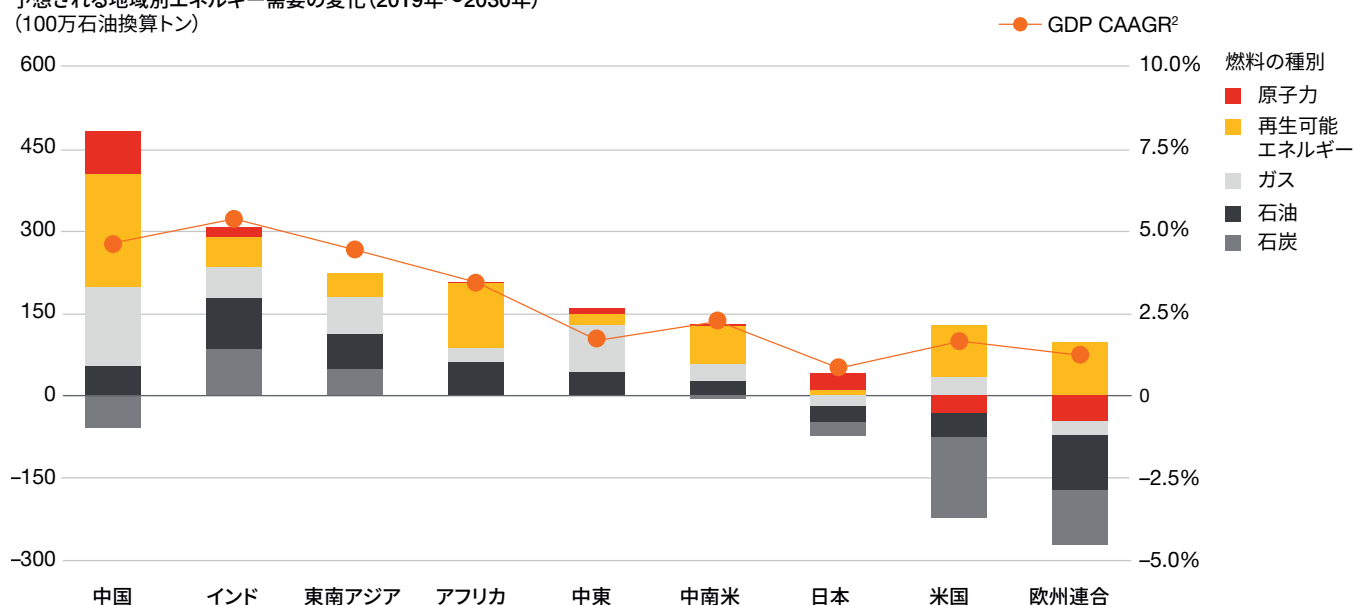
2 IEA, World Energy Outlook 2020, October 2020, www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020; relative difference between most recent datapoint (2019) and 2040.

3 Oxford Net Zero and the Energy & Climate Intelligence Unit, Taking Stock: A global assessment of net zero targets, Mar 2021, <https://eci.net/analysis/reports/2021/taking-stock-assessment-net-zero-targets>.

4 Morningstar, Global Sustainable Fund Flows: Q4 2020 in Review, Jan 2021, www.morningstar.com/lp/global-esg-flows.

図表1：地理的な変化

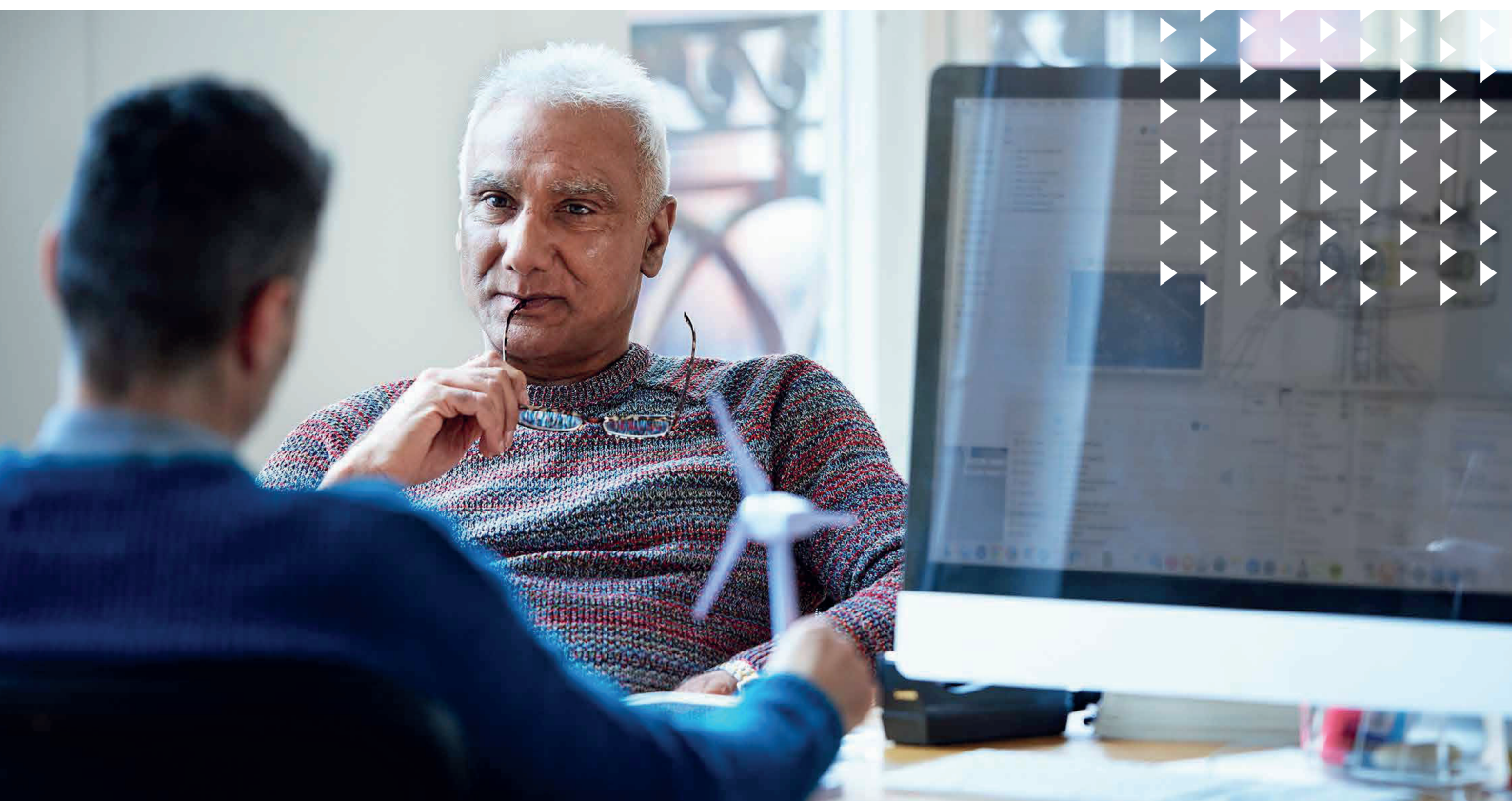
予想される地域別エネルギー需要の変化(2019年～2030年)¹
(100万石油換算トン)



¹ 現在の公表済み政策イニシアチブに基づく。

² GDPの年平均成長率。

出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook 2020（2020年世界のエネルギー展望）」、「Changes in primary energy demand by fuel and region in the Stated Policies Scenario, 2019–2030（公表済政策シナリオにおける燃料・地域別の一次エネルギー需要の変化、2019～2030年）」



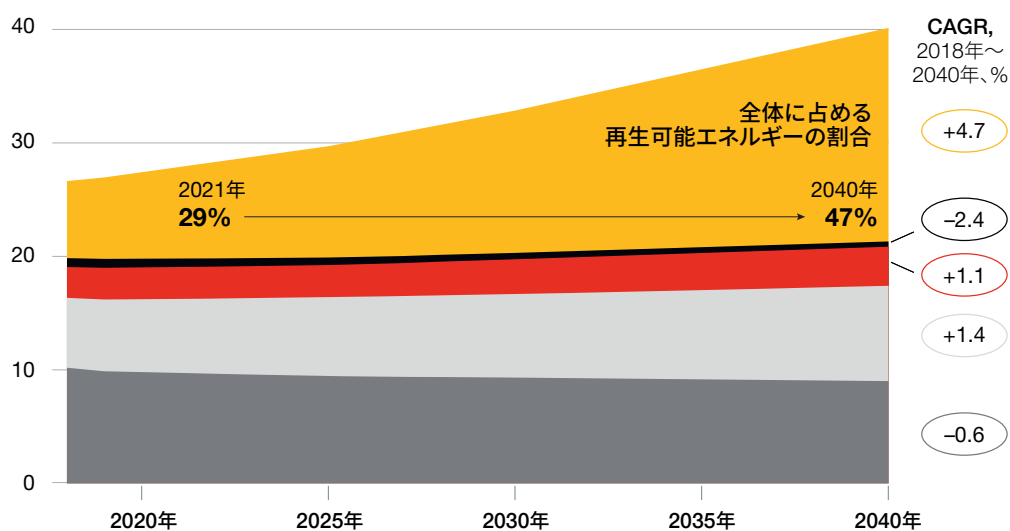
2030年以降の10年間を見てみると、世界の電力市場において石炭の占める割合が低下し、天然ガスがやや増加する中、再生可能エネルギーの割合が高まっていく。IEAによると、風力発電および太陽光発電の堅調な成長に後押しされる形で、2040年までに電力市場における再生可能エネルギーの占める割合は約47%（現在は29%）になると考えられる。そして当然のことながら、今世界が目指しているのは、こうした流れをさらに推し進めていくことにある（図表2および図表3を参照）。



図表2：変化するエネルギーミックス

エネルギー源別の世界の発電量予測（2018年～2040年）、ペタワット時

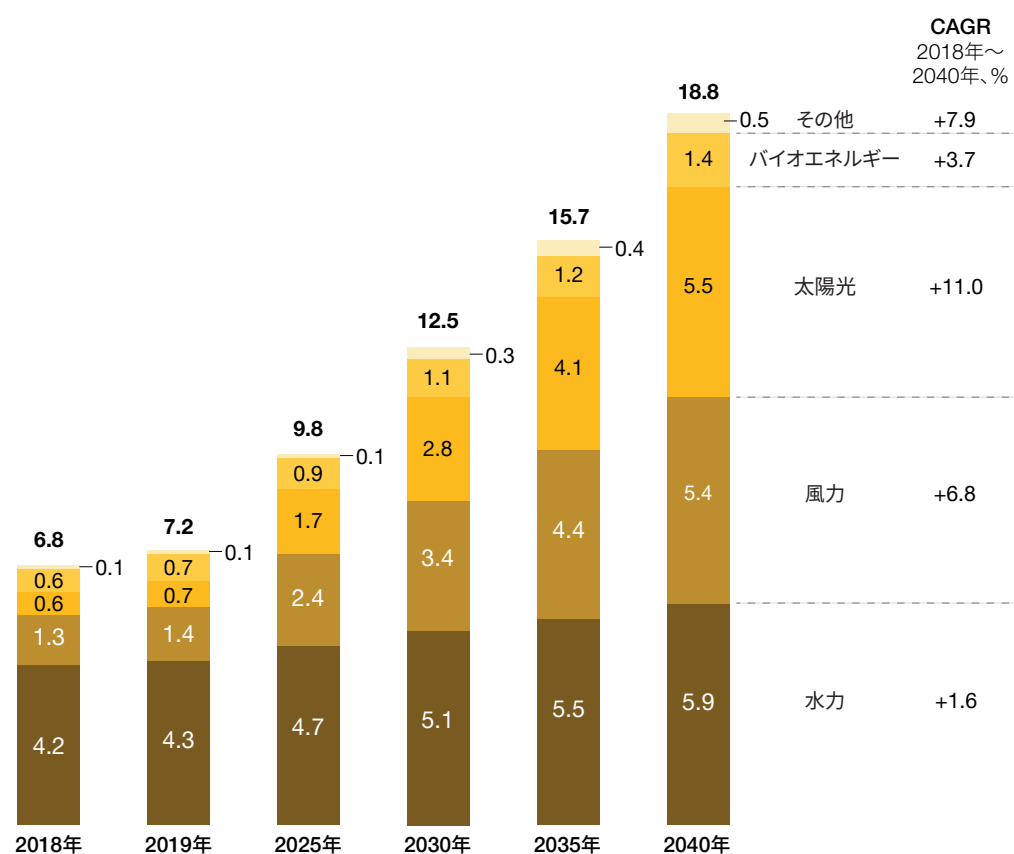
■ 再生可能エネルギー ■ 石油 ■ 原子力 ■ ガス ■ 石炭



出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook 2020（2020年世界のエネルギー展望）」、国際再生可能エネルギー機関（IRENA）「Renewable Capacity Statistics（再生可能エネルギー容量統計）」、MSCI国分類

図表3：カーボンフリーの拡大

エネルギー源別の世界の再生可能エネルギー発電量予測（2018年～2040年）、ペタワット時



出所：国際エネルギー機関（IEA）「World Energy Outlook 2020（2020年世界のエネルギー展望）」、国際再生可能エネルギー機関（IRENA）「Renewable Capacity Statistics（再生可能エネルギー容量統計）」、MSCI国分類



新たなエネルギーシステム：

より低炭素で

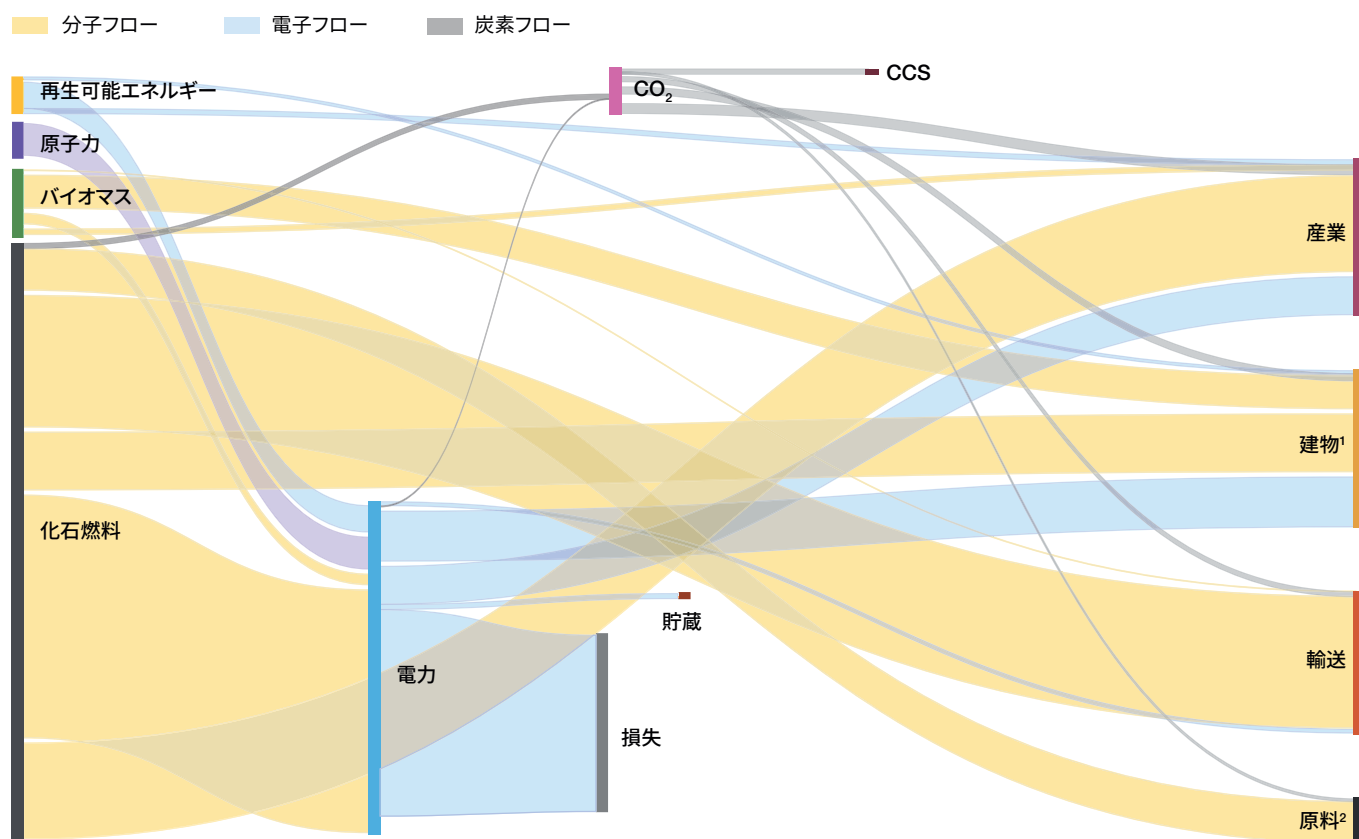
より複雑に

化石燃料分子に偏っている現在のエネルギーシステムから、再生可能エネルギー電子およびカーボンフリー分子をベースとするエネルギーシステムへの転換は、非常に大きな意味合いを持つ。この転換は、エネルギー分子および電子の創出時点から消費／使用時点までの経路、つまり、現在の経路がどうなっているのか、そして今後それがどうなっていくのかを見てみると一番分かりやすい。図表4は、現在、世界のエネルギー消費が依然として化石燃料のエネルギー源に大きく依存しており、明確に線引きされた部門に從來どおりセグメント化されていることを示している。これまで行われてきた再生可能エネルギーへの全ての投資をよそに、今なお、石油、石炭、天然ガスは発電に使用されるエネルギー全体の80%を占めており、3つの中心的な用途分野（産業、輸送、建物）全てに精製品を提供している。

図表4は電力のバリューチェーンを通る電子と、石油・ガス・化学製品のバリューチェーンを通る分子の比較的単純で直線的な流れを示している。現在は、化石燃料が建物や産業に電力を供給する電子、および、建物に熱を供給し、工場に電力を供給し、大半の輸送手段に燃料を供給する分子のほとんどを生み出している。カーボンフリーのエネルギー源（再生可能エネルギーおよび原子力）は、建物および輸送部門に電力を供給する電子のごく一部に過ぎない。また、石油・ガス部門、電力・公共事業部門、化学部門の間で明確な線引きがされている。唯一明らかに重なっている部分は石油化学分野における石油・ガス部門と化学部門である。



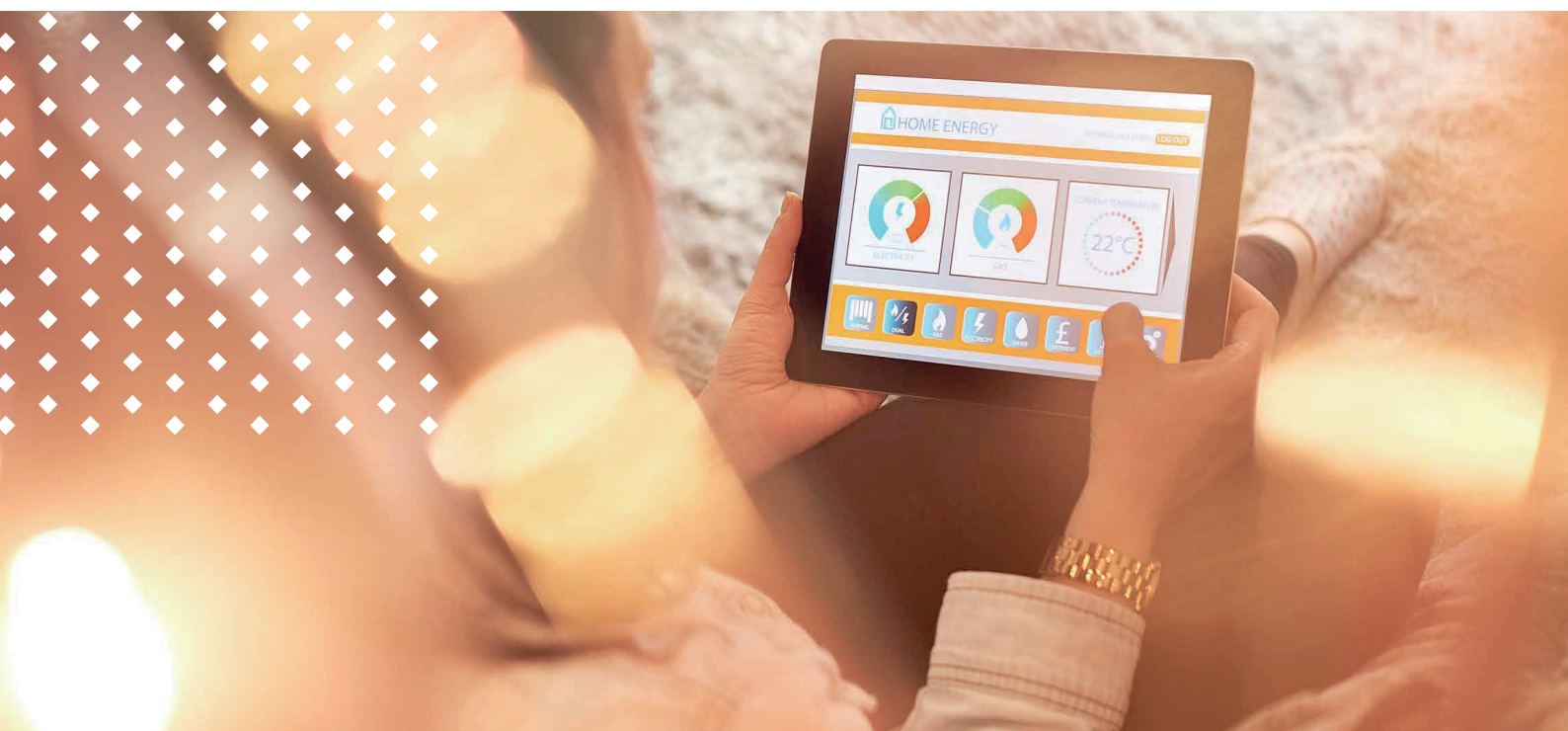
図表4:エネルギー源および対象別に見た現在のエネルギーフロー(2018年)(説明図)



¹ 住宅、商業・公共ビルを含む。

² 農業、林業、漁業、非特定を含む。

出所：各種情報に基づいて図示、Strategy&の分析



がらりと変わる未来の展望

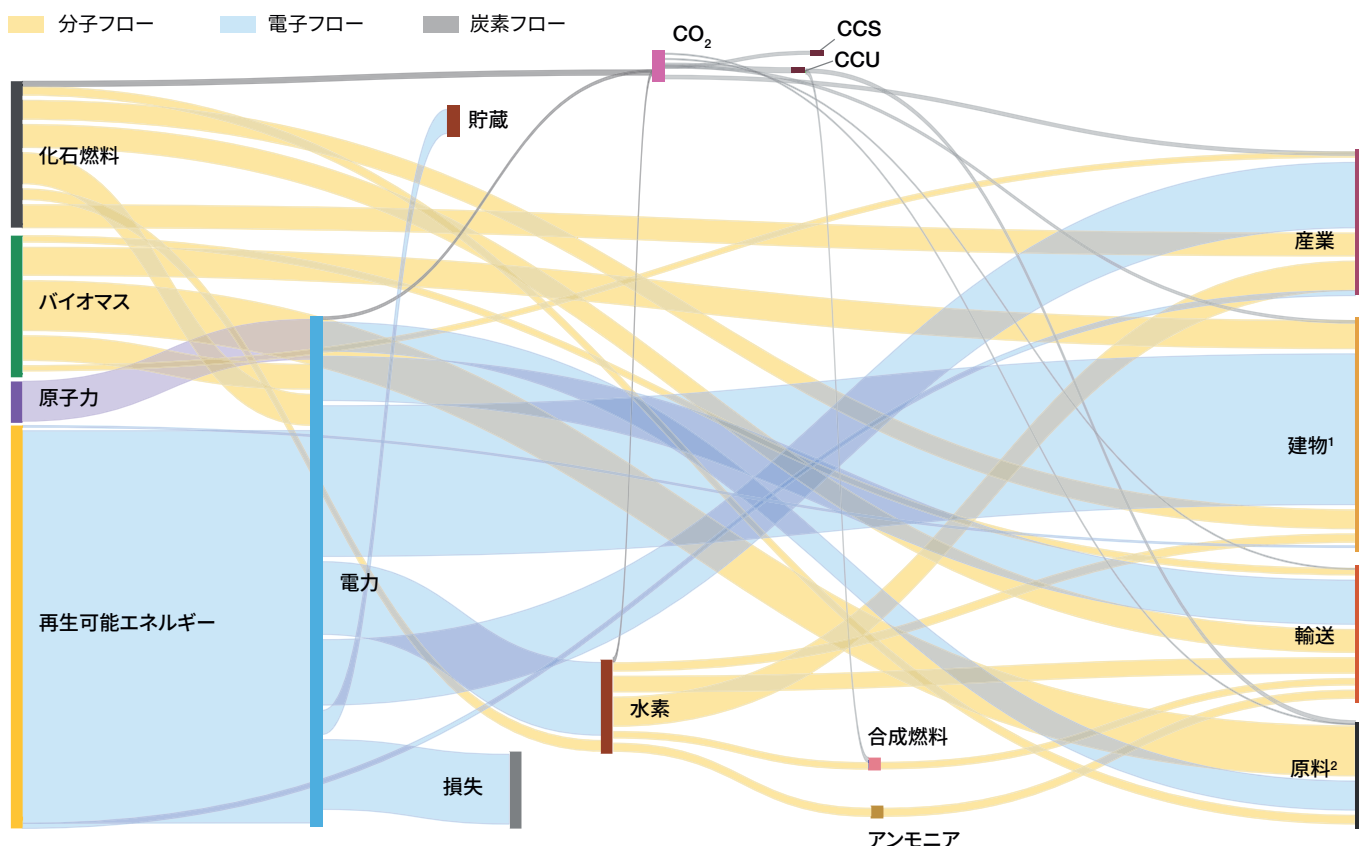
再生可能エネルギーのマーケットシェアが増加し、化石燃料が減少するにつれ、電子と分子の出所、およびその経路は新たなルートを描き始める（図表5を参照）。2050年までに再生可能エネルギーがエネルギーの90%以上を占めるようになり、化石燃料は10%未満になる。再生可能エネルギー源が経済を支える主な原料となる一方で、化石燃料は脱炭素化が難しい部門で必要とされるだろう。一部の化石燃料は製油所に向けられ、輸送用燃料や、化学業界や食品業界における非エネルギー用途の炭素を生産するために使用される。再生可能な天然ガスなど、分子の供給源としてバイオマスと廃棄物が化石燃料を上回り、建物の暖房や輸送・産業部門への電力供給に使用されるだろう。さらに、CO₂の回収とリサイクルも炭素分子の新たなフローを生み出していく。

しかし、再生可能エネルギーにより生成された電子がこのシステムにおいて支配的となる。これらの電子は電力のシェアの大半を占め、それ自体で発電機となる大容量蓄電池を充電したり、

工場に電力を供給したり、建物に冷暖房用の電力を供給したり、また、電動化のトレンドが輸送部門に到来すると、車両の主な燃料として浮上してくる。図表5が示すように、電子が分子（すなわち、電車や船舶などの重量輸送手段用の燃料、または電源としての役割を果たせるグリーン水素）の生成を促すという新たな経路や、システム全体にわたってさらに循環的な動きも見られるようになる。

高度に再生可能なエネルギーシステムへ最終的に転換していくためには、電子と分子の貯蔵技術の飛躍的な進歩、ベースロード発電における脱炭素化技術（原子力、地熱、水素など）の役割の見直し、最終利用者がエネルギー消費や使用を管理できるような高い柔軟性が必要となるだろう。

図表5: エネルギー源および対象別に見た将来のエネルギーフロー (2050年) (説明図)



¹ 住宅、商業・公共ビルを含む。

² 農業、林業、漁業、非特定を含む。

出所：各種情報に基づいて図示、Strategy&の分析

将来のシステムは現在のシステムよりはるかに地球環境に優しく、かつ、複雑なものになるだろう。

今後は、生成から活用に至るまで、今以上に多くの経路や相互作用が発生し、転換のステップが増えていくだろう。さまざまな意味において、分子と電子は、主に電化の到来とグリーン水素の出現により、最終消費者に届くまでにそれぞれの役割が関連し合うようになる。風力や太陽光といった間欠性の電力源のプレゼンスが増すと、ピーク需要と発電量の調整や、負荷が高い時間帯における信頼性の確保という課題が生じる。と同時に、電力の貯蔵、電力の有効利用の管理、新たな電力供給源の創出に向けた取り組みに拍車がかかることになる。

産業部門では、産業プロセスとサプライチェーンの脱炭素化に向けた圧力が増したことに伴い、さらに状況が複雑化している。例えば、グリーン電力への需要が急増したり、電子を貯蔵したりする必要性やグリーン分子を輸送する必要性などが生じている。電化と化石燃料由来の炭素除去の流れが加速するにつれ、石油・ガス部門、電力・公益事業部門、化学部門の間にある従来からの境界線が曖昧になってくる。再生可能エネルギーによる分散電源を需要の中心地と結び付け、また、エネルギーの新たな方向性（水素など）や一体化した電子と分子のフローに影響する新たなバリューチェーンが現れるだろう。この他にも、炭素の回収、リサイクル、貯留に基づいた新たなバリューチェーンが現れてくる。

また、炭素分子を調達する新たな手段の採用は産業界にとっての別の課題となるだろう。こうした課題の解決はエネルギー変換と貯蔵の重要性をさらに高めており、また、炭素分子が持つ従来の役割を、最終製品のための投入エネルギーまたは原料から、化石燃料または再生可能エネルギーから収集でき、利用、回収、再利用できる産出物へと変化させるだろう。炭素に的を絞った企業やプロジェクト（カーボンエンジニアリングなど）がすでに生まれている。

全ての需要を完全に電化できる可能性は低いいため、カーボンニュートラルなエネルギー源から生じたメタンと水素が産業需要向けの化石燃料フリー炭素分子の源として、また、バックアップ電力用に貯蔵する電力源として重要な役割を果たすことになるだろう。

図表6が示すように、私たちは、CO₂を排出している部門の脱炭素化を推進する上で道を切り開ける可能性を秘めたさまざまなエネルギーの方向性が現れているのをすでに目のあたりにしている。

図表6: 分子と電子の新たな方向性

	■ 電力依存		
部門	 熱・電力	 輸送	 原料／化学薬品
現在の方向性	石油・ガス	化石燃料 EV用バッテリー	天然ガス グレー水素
最終的な方向性	冷暖房 ヒートポンプ グリーン水素 バイオガス 電力 揚水式水力 再生可能エネルギー源 - 電動ヒートポンプと地域システムが冷暖房を脱炭素化する。 - 水素とバイオガスが化石燃料に取って代わり、高温熱が必要な産業に供給を行う。 - 発電は再生可能エネルギーとカーボンフリーのエネルギー貯蔵（例：揚水発電）に依存する。	合成ガス・合成燃料 水素 EV用バッテリー - 化石燃料が電力ベースのエネルギーとその副産物（水素、バッテリーなど）に変化する。 - 合成燃料と合成ガスは重量長距離輸送用カーボンフリー燃料の重要なエネルギー源となる。	バイオメタン グリーン水素 炭素回収 - 化学品原料は主にバイオメタンとグリーン水素に依存する。 - 複合分子のリサイクルなどの炭素回収ソリューションとして化学薬品が優先される。

未来のエネルギーシステムにおいて電子と分子が生み出す新たな経路は世界のエネルギーフローの新しい風景を作り出すだろう。現在、生産と消費を結び付ける高度で強力な貿易ネットワークは主に、石油・ガスパイプラインと、石油・ガスタンカー用のインフラが整備された輸送ルートで構成されている。再生可能な電子と分子の開発が新たな貿易ルートを生み出しており、これには巨額の新規投資が必要となる。中東やアイスランドなど、廉価な再生可能電力が豊富な地域から欧州に、あるいはオーストラリアから日本にグリーン水素を輸出するという議論が行われている。再生可能電力の生産能力が非常に高い地域と需要の中心地をつなぐ送電網を建設するというプロジェクトが複数提案されている。例えば、オーストラリアとシンガポールを結ぶAustralia-ASEAN Power Linkプロジェクト、地熱および水力発電による電力を海底ケーブルでアイスランドからイングランドに運ぶIceLinkプロジェクト、中国の意欲的なGlobal Energy Interconnectionイニシアチブなどが挙げられる。

予想されているフローはすぐに変化する可能性があるため、市場参加者は新たなエネルギーシステムの均衡や、システムがもたらす高いリスクと変動性をコントロールするのに苦戦するだろう。また、世界における石油と石炭への依存度が低下すれば、エネルギーを取り巻く新たな地政学的力学が働く可能性が高い。世界各国でエネルギー自給と戦略的自律性に対する政治的圧力が高まっていくと考えられ、輸入に依存する国や地域は依存度の低下を強く望むだろう。仮に現在の世界のエネルギー市場でバルカニゼーション（国や地域が互いに対立するように断片化する現象）が起これば、複雑性と変動性がさらに増すことになる。



戦略的

含意

エネルギー・トランジションの正確な完了時期は定かではない。しかし、方向性は明確で、この方向に突き進むという非常に大きな力が働いている。変化のスピードや高い複雑性から、あらゆる参加者（国営石油会社（NOC）、国際石油会社（IOC）、公益事業会社、化学メーカー、サービス会社、投資家、電力網運営事業者の他、省庁、規制機関などの政府機関）による戦略的な対応が求められる。一部の参加者、特に大手石油会社にとって、このトランジションは存在に関わる問題となる。また、これまでエネルギーバリューチェーンにおける主要プレイヤーではなかった新たな企業集団（バッテリーメーカー、自動車メーカー、グリーン水素輸送業者など）も同様に適応していかなければならないと気づくだろう。というのも、これらの企業の投入エネルギーやサプライチェーン、場合によっては、最終製品が今後20年の間に大きく変化していくからだ。バリューチェーンの脱炭素化を進めつつ、新たなエネルギー環境を受け入れ、破壊を支えることで新たな価値を創出する企業は戦略上、競争上の持続的な優位性を生み出していくだろう。

融合

分子と電子が描く新たな経路は何よりもまず、さらなる融合、そして、エネルギー部門間に従来存在していた障壁の崩壊をもたらす。こうしたことが企業をより統合的な事業経営（つまり、電子と分子を組み合わせたビジネスや、バリューチェーンのより広範囲な部分にわたって役割を果たす企業）へと向かわせるだろう（図表7を参照）。統合型プレイヤーにならない企業は、差別化された独自の能力を基軸にして魅力的なニッチ分野を探索していかなければならない。

公益事業会社は電子の所有者として新たに台頭するだけにとどまらず、データサービスやデータアナリティクス、家庭用太陽光発電／充電設備の融資・設置、B2Bのビハインド・ザ・メーター（蓄電設備）によるエネルギー管理といった新たな事業活動を探っていく必要がある。化学メーカーは循環的な方法による電子と分子の収集、生成、捕獲、リサイクルに重点を置きながら、循環型経済活動の推進者として自己改革を行わなければならない。

このような動きの中には、すでに進められているものもある。IOCは電力部門に多額の投資を行ってきた。トタルは欧州の再生可能エネルギー発電事業会社の大手であるエレンに投資を行った。シェルはスマートエネルギー蓄電池メーカーのゾンネンと、オーストラリアの企業向け電力小売事業者であるERMパワーを買収した。オーストリアに本社を置く石油・ガス会社OMVは石油化学メーカーであるボレアリスの過半数株式を取得し、両社は循環性とリサイクルを拡大する取り組みで提携している。公益事業会社はすでに分子と電子の貯蔵市場に積極的に参入している。化学メーカーは水素を重要な製造原料、エネルギー源、活用のビジネスチャンスとして見出した。送電系統運用者（TSO）でさえも視野を広げている。オランダとドイツの電力TSOであるテネットは、小口のエネルギー利用者にグリッド調整の取り組みへの参加を促すEquigyプラットフォームを開発した。

図表7: 融合の時代

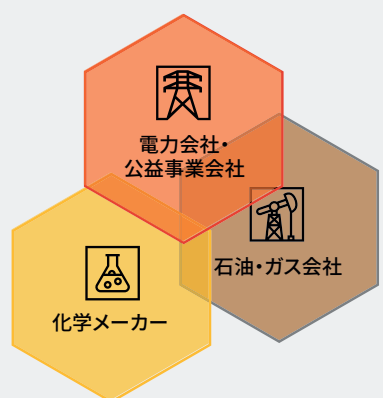
従来型モデル



従来型モデルは分子と電子の役割の分離を暗に意味しており、以下のように役割分担されている。

- 石油・ガス会社が分子を提供する。
- 電力会社および公益事業会社が分子を変換して電力を生産する。
- 化学メーカーが分子と電子の両方を使用して新たな分子を生成する。

融合型モデル



融合型モデルは分子と電子の役割を結び付ける方向へ企業を向かわせている。

- 石油・ガス会社は電力および新たな分子の提供者 (H₂ など) となり、ビジネスモデルを公益事業プロバイダー (発電事業者など) に拡大する。
- 化学メーカーは電力を貯蔵し、再生可能な炭素原子を利用して分子を生成する。
- 電力会社および公益事業会社は貯蔵に頼る形で安定した電力供給を確保し (バッテリー、H₂、アンモニアなど)、グリーン電子の供給者になる。

出所：Strategy&による分析

バリューチェーンパートナーとしての顧客

効果が現れている一つの戦略的な原動力は、顧客の役割、そして、従来のような物品・サービスの受け取り手としてではなくバリューチェーンパートナーとしての顧客とどのように関わるかということに関係している。例えば、事業会社やその他の大口利用者はすでに公共事業会社と提携して、デマンドレスポンスサービスを導入している。これらの企業や利用者はピーク需要の時間帯に使用量を減らし、その見返りに払戻しを受ける契約を結ぶことができる。再生可能エネルギーと貯蔵が普及していく

のに伴い、このような需要調整サービスがますます一般的になっていくだろう。また、上述のEquigyの事例のように、顧客自身が電子の提供者に変わることもあり得る。

どのプレイヤーも自らの活動とバリュープロポジションをどのように位置づけているかということについて、広範囲に及ぶ決定を下さなければならない。図表8は、エネルギーバリューチェーンの各プレイヤーが直面する戦略上の問題点を簡単にまとめたものである。

図表8: エネルギーステークホルダーの戦略的課題

	典型的な検討事項	戦略上の選択肢	戦略上の問題点
国際石油会社	石油・ガスのポートフォリオの特性 中核となる差別化能力 ステークホルダーおよび規制環境 商業的利益	大手総合エネルギー会社	融合型モデルにシフトすべきか、それとも石油・ガス事業に注力すべきか。
		脱炭素化した石油・ガスの専門企業	積極的に方向転換すべきか、それとも新たなエネルギーに段階的に進化すべきか。 新たなエネルギーの拡大を追求するための手段として有機的な投資、買収のどちらを選択すべきか。
国営石油会社	国の政策と野望 エネルギーエコシステムにおける権限と役割 プロジェクト管理能力 およびその他の能力の広さ	国の新たなエネルギー推進者	国の新たなエネルギー推進者としての役割を引き受けるか、それとも石油・ガス事業に注力すべきか。
		石油・ガス資源の管理者	ネットゼロという意欲的な目標を目指すべきか、それともより低い排出削減目標を目指すべきか。 新たな低炭素製品（水素など）を開発すべきか。
化学メーカー	現在のポートフォリオと製品ミックス 原料に関する既存の選択肢 およびコスト 地理的場所 R&D、競争的差別化	循環型化学産業のリーダー	サステナブルな原料を積極的に採用すべきか、それとも石油・ガスを継続すべきか。
		従来型石油化学メーカー	自家発電の新たなエネルギーや水素エネルギーに投資すべきか。 循環型の化学製品やサービスを生み出し、拡大すべきか。
電力会社・公益事業会社	現在の発電ポートフォリオ 市場／規制構造 中核となる差別化能力 企業文化、アジリティ、顧客重視	総合エネルギー事業者	従来型発電と低炭素発電をうまく両立させるべきか。
		発電・送電	エネルギー取引とサービス提供に事業を拡大すべきか。 水素やその他の貯蔵技術を開発すべきか。
投資家	市場見通し、期待収益 新興の成長セクター 投資家のサステナビリティへの期待	エネルギートランジションの実現者	引き続き従来型エネルギーに注力すべきか、それとも低炭素エネルギーのみを追求すべきか。
		金銭的リターン追求者	エネルギーソリューションに投資する際、成熟したソリューション、新興のソリューションのどちらを選択すべきか。 成長セグメントと利益率が高いセグメントのバランスをどうすべきか。
政府・規制機関	国の政策と野望 民間部門の能力 市場／規制構造 経済力、投資能力 消費者／社会からの期待	エネルギートランジションの主導者	インフラにおける公共投資と民間投資のバランスはどうあるべきか。 政策や規制を改定または進化させるべきか。
		自由市場の実現者	国の助成金でトランジションを促進すべきか、それとも消費者の自由な選択に任せるべきか。



国による指揮が ますます必要に

この先向かうべき方向性と戦略の主な構成要素は明確になりつつあるものの、克服しなければならない実務上のハードルが数多くある。コストを下げなければならないし、また、十分なインフラ投資を行う必要もある。規制変更は往々にして技術や事業のモデルチェンジを遅らせるものだが、新たなリスクは、規制・運用基準および手順を絶えず更新することで対処しなければならない。また、こうした取り組みを進める上で、分子および電子の経路と役割の見直しが必要になるのと同様に、市場と国の関係性も見直す必要がある。

大まかに言うと、変化と不確実性に適応するためには2つのアプローチがある。自由市場型アプローチでは、企業がトランジションを主導し、市場の力が最終状態を決定する。国は政策や規制、課税、補助金によって、独立した形で企業を誘導する。ひとたび競争の場が明確になれば、資金が流入してくる。このトランジションのスケールはかなりの広範囲に及び、かつ、複雑であるため、分裂や最終状態の発見（そこに至るまでに関連した数々の失敗を伴いながら）が望ましい新たなエネルギーシステムにつながる可能性もある。

国が指揮を執る領域では、政府がトランジションを主導し、最終状態を定める役割を担う。また、政府が大規模プロジェクトを開始し、民間資本がそれについていく。しかし、政府には大胆な展望や戦略を追求する手段があるかもしれないが、財務的、政治的な制約が立ちはだかり、必ずしも必要な能力があるとは限らない。

エネルギートランスフォーメーションの課題に取り組むためには、市場と戦略的インフラが発展する過程の少なくとも初期段階で国による強力な指揮が必要となる。しかし、政府、民間部門のいずれも単独ではネットゼロや新たなエネルギー環境への転換に対応できない。転換は全くもって非常に複雑かつ不確かであり、きちんと成果を出すことが極めて重要である。求められるのは共同での対応、すなわち、国と市場がこれまでにない形で連携することである（私たちはこれを国と市場の「タンゴ」と呼ぶ）。当社は全世界で採用される可能性があるモデルとして、政策牽引、戦略的インフラ投資、共同投資という3つのモデルを想定している（図表9を参照）。このうち、国の関与する度合いが最も小さいのは政策牽引モデルで、最も大きいのは共同投資モデルである。

図表9: 国の潜在的役割

	政策牽引	戦略的インフラ投資	共同投資
仕組み	- 国が政治的手段と規制を利用しながら主導する。 - 市場が多額の投資を行い、全てのリスクを負う。	- 国が主導し、厳選したインフラに投資を行う。 - 国が主要インフラへの平等なアクセスを保証する。 - 市場は厳選した投資のみを行い、特定のリスクを国と共有する。	- 国と市場が共にプロジェクトに共同投資を行う。 - 国が投資の調整を行い、市場と協力する。 - 市場が国とリスクを共有する。
信じるべき事柄	国 - 強力な機関、優れた能力、規制制度と税制の活用方法に関する深い見識を備えている。 - 変化するダイナミクスに素早く適応できる。 市場参加者 - 十分な資金力がある。 - 競争に関係なく、リスクを共有するために進んで協力する。 エネルギー転換 - 予想より早く実現する。	国 - すでにエネルギー転換に必要な重要インフラの大部分を所有している。 - エネルギー転換の成功を保証するために進んで歳入の一部を手放し、政治資金をリスクにさらす。 市場参加者 - 公的機関と連携するモデルで事業運営できる。 - 進んで共同投資を行い、リスクを共有する。 エネルギー転換 - 予想より早く実現する。 - 公共インフラベースの強力な転換につながる。	国 - 成功裏に共同投資を行うための必要な能力を開発できる。 - 歳入の一部をエネルギー転換の成功に費やすことをいとわない。 市場参加者 - 公的機関と連携するモデルで事業運営できる。 - 進んで国と協力して投資を行う。 エネルギー転換 - 予想より早く実現する。 - 短期間で多くのことが習得され、市場参加者間で新たな協力形態が生まれることとなり、コストが急速に下がる。
想定される地域	米国、EU	オーストラリア、ブラジル、メキシコ	サウジアラビア、アラブ首長国連邦
課題	このエネルギー転換は極めて規模が大きく、複雑で、かつ、多大なリスクを伴うため、政府がただ傍観して、市場が結末を「発見」というシナリオはあり得ない。	重要インフラを政府が所有することによって、顧客のリスクが軽減され、投資が促される。リスク負担は市場に残る。	投資家の信頼を構築し、必要とされる市場参加者の資金を呼び込むためには十分なリスク共有が必要である。また、国による長期にわたる強力なコミットメントも求められる。

出所：Strategy&による分析

政策牽引

政府がエネルギーシステムのビジョンを定め、政策手段を用いて、補助金、税額控除、規制、気候変動税により市場参加者が協力するよう導き、インセンティブを与える。これには、政策立案能力と独立した規制を備えている強力な機関、長期にわたる政治的コミットメント、望ましい最終状態に関する政府レベルでの豊富なノウハウが求められる。このモデルにおいて、政府は商業資本の所有者になることや共同投資にイデオロギー的もしくは財政的な観点において躊躇する。これは全てのモデルにとって転換過程における最大の課題だ。というのも、市場が適切な時期に適切な資産を投じて投資することが重視されているため

である。そのため、さまざまな失敗を経て、市場が「発見」することが重要な要素となる。望ましい結末に到達するという保証はどこにもない。このことは、市場情報の共有や、転換の不確実性をどうコントロールしていくかということに関して足並みを揃える必要があることを暗に意味している。このモデルはOECD諸国のエネルギー市場の基盤となっている。



戦略的インフラ投資

政府がビジョンや政策の策定にとどまらず、エネルギーネットワークなどの重要インフラや、場合によっては、一部の出力調整可能な発電に対して主導権を発揮する。このモデルは国により大きな影響力と支配権を与えて、民間の市場参加者による投資や行動を促し、これらの参加者の戦略的意図を方向づける。国有（または半官半民）のインフラとなれば、リターンへのプレッシャーが軽くなることから、民間の市場参加者は水素などの新たなインフラに初期段階で投資し、より大きなリスクを取ることができる。すでに多くの国々が重要なエネルギーインフラに政府が関与する形式を取っており、所有権による直接的関与、政府が委託または提携している機関投資家による間接的関与、あるいは緊急の際に立法権を通じた間接的関与などの形式がある。このモデルでは、国がより積極的なインフラ所有者となり、戦略的アジェンダを定める必要がある。水素ネットワークのような新たなインフラへ長期的な投資を行うメリットは国際的な企業による新規投資を引き寄せる「強み」を生み出す上で役立つ可能性がある。

共同投資

政府が重要なステークホルダーおよびその事業活動に直接出資する、もしくは、（よりリスクと不確実性が高いかもしれない）必要な投資の共同投資者としての役割を果たす。国は資金拠出や価格設定の引き受けを行う。さらに重要なこととして、このモデルによって信用性と信頼が生み出され、さらなる投資を呼び込めるという点が挙げられる。リスクを低減することによって、国がその他の参加者による投資の波を促す。これにより、政府は望ましい結末をさらに導き、決定づけ、指揮することができる。

この世界では国と市場の役割が曖昧になり、（経済学者マリアナ・マツツカートの言葉を借りれば）国が「企業家」や「価値の共同創造者」となる。あるいは、われわれの言葉で表現するとしたら、国と市場がタンゴする状態となる。つまり、企業家としての国が主導権を握り、市場はそれに追従し、予測して補っていないかなければならないが、必要に応じて主導権を握ることをいとわない。

このアプローチは欧州や米国、日本で見られた数十年間にわたるOECD重視のトレンド（ますます中立的になりつつある政府が政策と規制に重点を置き、経済的な駆け引きの境界線を設ける流れ）に逆行するもので、政府が天然ガス市場の開発に際して採用してきたアプローチと類似している。この新しいタンゴは、うまくやり遂げれば、最大の社会的価値を生み出すだろうというのが私たちの考えである。しかし、それが実現するのは、あくまでも、国が長期的にコミットメントし、市場と調和しながら取り組みを行った上で、中には利益を生まない投資もあるということについて納得している場合に限られる。市場参加者については、より「見える手」の支配やより政治色の強い意思決定、そして、情報および潜在的価値プールの共有に向けてバリューチェーン全体で取り組む必要性を受け入れることが求められる。



この先の

道のり

テクノロジー、戦略、環境、経済といったさまざまな側面において、エネルギー転換を成功させることは極めて重要だ。必要な投資の範囲が明確かつ具体的になり始めており、同時にメリットも明らかになりつつある。目指す先の輪郭が現れ始めたとはいえ、電子および分子が新たな経路と新たな役割を見出しているさなか、依然としてさまざまな課題や疑問が残されている。

実際のところ、誰ひとりとして単独でこの旅を成功に導くことができないのは明らかだ。全ての地域、さまざまな産業において、バリューチェーンおよびエコシステム全体にわたり新たな提携を構築し、これまでにない形で協力する方法を開発していくことが非常に重要となる。当然のことながら、さまざまなステークホルダーが自分たちにとって最も理に適った戦略を追求するだろう。しかし、この先の道のりを考える際、全てのステークホルダーが切迫感を持つべきだと強調することが大切だ。

政策と規制の策定を任された者は国と市場の将来的な役割について明確にし、適切な体制を整備するために迅速に行動すべきである。規制と政策の策定・公表のみならず、変革に向けた目標や要求事項の設定においても時間が不可欠な要素となる。明確なルールを速やかに定めれば、民間部門にロードマップが示される。

投資家は既存の投資について、電子と分子が生み出す新たな経路が投資にどのような影響を与えるかという視点でリスクプロファイルを再評価しなければならない。投資家は今、ますます脱炭素化が進む地球の未来に向け、（政策がきちんと整備されていない分野や市場部門であっても）別の投資テーマを開拓し始める必要がある。

民間部門の企業も同様の切迫感を持って行動しなければならない。いずれの市場参加者も、世界経済が直面している多くの実際の重要な課題を念頭に置きながら、企業の目標と戦略を再評価する必要がある。また、企業は転換期に産業を悩ますことが多い落とし穴を避けるための労力を惜しんではならない。否定、すなわち、転換にはハードルが多すぎると仮定したり、今後も炭化水素が現在の役割を維持すると仮定したりすることは発展性のある戦略とは言えない。また、企業は、この転換を成す要素の多くが10年、15年先の遠い未来のことだとか、計画を練る時間は十分あるなど考えることに慰めを見出すべきではない。

エネルギー転換はすでに本格化している。私たちのシステムが、世界が定めた気候変動に関する野心的な目標を達成しようとするのであれば、すぐに取り組み始めなければならない。



PwCグローバル

ネットワーク

Jeroen van Hoof

Global Leader, Energy, Utilities and Resources
PwC Netherlands
+31 887921328
jeroen.van.hoof@pwc.com

Niloufar Molavi

Global and US Oil and Gas Leader
PwC US
+1 713 356 6002
niloufar.molavi@pwc.com

Gavin Sanderson

Global Energy, Utilities and Resources Advisory Leader
PwC UK
+44 7740157147
gavin.sanderson@pwc.com

Reid Morrison

Global and US Oil and Gas Advisory Leader
PwC US
+1 713 826 8555
reid.morrison@pwc.com

Olesya Hatop

Global Energy, Utilities and Resources Clients and
Markets Industry Executive
PwC Germany
+49 2119814602
olesya.hatop@pwc.com

Authors

Paul Nillesen

Global Power and Utilities Advisory Leader
Partner, PwC Netherlands
+31 887927237
paul.nillesen@pwc.com

Raed Kombargi

Partner, PwC Strategy & Middle East
+971 56 6878200
raed.kombargi@pwc.com

Mark Coughlin

Former Partner, PwC Australia

Asia Pacific

Australia

Guy Chandler

+61 7 32575796

guy.chandler@pwc.com

China

Chong Heng Hon

+86 1065332244

chong.heng.hon@cn.pwc.com

India

Sambitosh Mohapatra

+91 1243306008

sambitosh.mohapatra@pwc.com

Indonesia

Sacha Winzenried

+62 215212901

sacha.winzenried@id.pwc.com

Japan

Norio Katayama

+81 9054081882

norio.katayama@pwc.com

South Korea

Wonseok Yoo

+82 27094718

won-seok.yoo@pwc.com

Europe

Austria

Michael Sponring

+43 1501882935

michael.sponring@pwc.com

Belgium

Marc Daelman

+32 27107159

marc.daelman@pwc.com

Denmark

Claus Dalager

+45 89325772

claus.dalager@pwc.com

Finland

Kimmo Vilske

+358 407320850

kimmo.vilske@pwc.com

France

Pascale Jean

+33 156571159

pascale.jean@pwc.com

Germany

Folker Trepte

+49 8957905530

folker.trepte@pwc.com

Greece

Evangelos Markopoulos

+30 6942431298

vangelis.markopoulos@pwc.com

Hungary

Ádám Osztovits

+36 14619585

adam.osztovits@pwc.com

Ireland

Kim McClenaghan

+353 79206912

kim.a.mcclenaghan@pwc.com

Israel

Eitan Glazer

+972 37954664

eitan.glazer@il.pwc.com

Italy

Alessandro Grandinetti

+39 3482505073

alessandro.grandinetti@pwc.com

Netherlands

Chris Winkelman

+31 887923670
chris.winkelman@pwc.com

Norway

Ole Martinsen

+47 95261162
ole.martinsen@pwc.com

Poland

Dorota Debinska-Pokorska

+48 502184883
dorota.debinska-pokorska@pwc.com

Portugal

João Ramos

+351 213599296
joao.ramos@pt.pwc.com

Russia

Tatiana Sirotinskaya

+7 4959676318
tatiana.sirotinskaya@ru.pwc.com

Spain

Carlos Fernandez Landa

+34 639136076
carlos.fernandez.landa@pwc.com

Sweden

Eva Carlsvi

+46 102126745
eva.carlsvi@pwc.com

Switzerland

Manuel Berger

+41 587922395
manuel.berger@pwc.ch

Turkey

Murat Colakoglu

+90 2123266434
murat.colakoglu@pwc.com

United Kingdom

Drew Stevenson

+44 7710002801
drew.stevenson@pwc.com

Middle East and Africa

Middle East

Neil O'Keeffe

+971 566763097
neil.okeeffe@pwc.com

The Americas

Argentina/Latin America

Ezequiel Mirazon

+54 48506000
ezequiel.mirazon@ar.pwc.com

Brazil

Ronaldo Valino

+55 2132326139
ronaldo.valino@pwc.com

Canada

Neil Manji

+1 4166878130
neil.manji@pwc.com

Mexico

Eduardo Reyes Bravo

+52 5552638962
eduardo.reyes.bravo@pwc.com

United States

Michael A. Herman

+1-312 298 4462
michael.a.herman@pwc.com

Robert Baldwin

+1 214 458 8376
robert.baldwin@pwc.com

寄稿者に

ついて



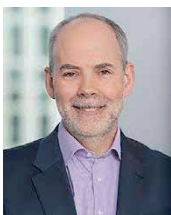
Paul Nillesen

Dr. Paul Nillesen is PwC's global power and utilities advisory leader. He helps clients understand the changing market they operate in, adapt for the future and realise value. He has more than two decades of strategy consulting experience with clients around the world. Based in Amsterdam, he is a partner with PwC Netherlands.



Raed Kombargi

Dr. Raed Kombargi is a partner with Strategy& Middle East where he is the energy, chemicals and utilities practice leader. He focuses on strategy development, portfolio optimization, operational excellence and capability development across a wide spectrum of energy-related topics and with a variety of clients worldwide.



Mark Coughlin

Mark Coughlin has more than 35 years of experience as an executive and strategic advisor to utility and infrastructure businesses in Australia and internationally. From 2015 to 2020, he led the energy, utilities and resources practice for PwC Australia. Additionally, he was a member of the PwC global leadership team for power and utilities for five years and was PwC's global power and utilities advisory leader when he left the firm in 2020.

日本のお問い合わせ先

PwC Japanグループ

www.pwc.com/jp/ja/contact.html



服部 真

PwCコンサルティング合同会社
ストラテジーコンサルティング (Strategy&)
パートナー

片山 紀生

PwC Japanグループ
エネルギー事業部 リーダー
PwCコンサルティング合同会社
パートナー

坂野 俊哉

PwC Japanグループ
サステナビリティ・センター・オブ・エクセレンス
エグゼクティブ・リード

磯貝 友紀

PwC Japanグループ
サステナビリティ・センター・オブ・エクセレンス
テクニカル・リード



pwc

www.pwc.com/jp

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwCあらた有限責任監査法人、PwC京都監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む）の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびアシュアランス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約9,400人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。PwCiは、社会における信頼を構築し、重要な課題を解決することをPurpose（存在意義）としています。私たちは、世界156カ国に及ぶグローバルネットワークに295,000人以上のスタッフを擁し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は www.pwc.com をご覧ください。

本報告書は、PwCメンバーファームが2021年6月に発行した『Inventing tomorrow's energy system: The road ahead for molecules and electrons』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

電子版はこちらからダウンロードできます。 www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership.html

オリジナル（英語版）はこちらからダウンロードできます。 www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/assets/road-ahead/eur-tomorrows-energy-system.pdf

日本語版発刊年月：2021年10月 管理番号：I202107-11

©2021 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.