

Sustainability Practice

# ネットゼロ実現への道筋を立てるために一秩序ある脱炭素社会移行を実現するための9つの要件

ネットゼロ(温室効果ガス排出量実質ゼロ)達成に向けて取り組むことを表明する国は増える一方、達成に向けた道筋ははまだ見えていない。この状況を脱するには、相互依存関係にある9つの要件を果敢に満たしていく必要がある。

本稿は、メカラ・クリシュナン(Mekala Krishnan)、トマス・ノークレール(Tomas Nauc ler)、ダニエル・パシヨ(Daniel Pachod)、ディコン・ピナー(Dickon Pinner)、ハミッド・サマンダリ(Hamid Samandari)、スヴェン・スミット(Sven Smit)、フマユン・タイ(Humayun Tai)、山田唯人の共著によるものである。



2021年10月末に開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会合(COP26)の中で、各国のリーダーの間で様々な議論された通り、今目前に迫りつつある気候変動の危機への対応の必要性が広く認識されつつある<sup>1</sup>。既に、世界のGDPの8割以上、そして世界の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の約7割を占める74カ国がネットゼロ達成に向けて取り組むことを表明している<sup>2</sup>。また、3,000社以上の企業が国連主導の「Race to Zero」キャンペーンの一環でネットゼロ達成を目標に掲げている<sup>3</sup>。さらに、資本市場では、排出リスクが株価に反映される傾向が強まっており、脱炭素化への移行に向けた技術に特化したベンチャーへの投資が活況である。そのため、多くの企業が技術、規制や消費者の行動のみでなく、投資家の選好の変化によって競争環境が根本から変わりつつあること、そしてグローバルのみでなくローカルレベルで連携を強化し、行動を起こす必要性を認識し始めている。

しかし、だからといってネットゼロ達成が視野に入ってきたわけではない。「これは終わりではない。終わりの始まりですらない。だがおそらく、始まりの終わりなのだ」というウィンストン・チャーチルの名言はこの状況にも当てはまる。ネットゼロを実現するためには、世界各国が温室効果ガス(GHG)の最大限の削減を進めると同時に、実現不可能な削減量については自然界に存在する、あるいは人工的な炭素貯留機能を確保、再生、開発して相殺する必要がある。しかし、排出量は今も増え続けており、削減は一向に進んでおらず、このままではネットゼロの達成は難しい。国際エネルギー機関が2021年10月上旬に発行した「世界エネルギー見通し(World Energy Outlook)」では、よりクリーンなエネルギー源への移行は加速しているも

の、1.5°C目標やエネルギーに関する持続可能な開発目標(SDGs)を達成するために必要な排出削減量との差は依然として大きいとしている<sup>4</sup>。

公共、民間、非営利セクターの主要組織は、短期的な目標を含め、より広範囲に及ぶ追加的なコミットメントについての検討を進めているが、「目指すべきもの」、つまり30年以内、あるいはそれよりも早くネットゼロを実現することのみならず、これを「実現する最善の手段」を検討することも急務である。ただし、コミットメントを実行に移すことは容易ではない。その理由として次の5つの要素が挙げられる。

1つ目の要素としては、2050年までにネットゼロを達成するためには設備投資や耐久財を含む物的資産への投資の大幅な増加が見込まれることが挙げられ、その額は現在の年間推定約5.7兆~9.2兆ドルから約60%増加すると推計されている<sup>5</sup>。ほとんどの投資についてはリターンが期待できるものの、大規模な資金調達が必要となる。だが、このような規模の資金調達は、100年あるいは200年に渡って発展してきたエネルギーシステムや土地利用のシステムを今後30年で転換させなければならないという状況と相まって難しい。

2つ目は、脱炭素化社会へ移行するためには、世界各国が足並みを揃えて行動を起こす必要があり、厳しい選択が求められるということである。移行に伴う負荷は一様ではなく、実行主体によっては重くのしかかるため、一致団結して取り組む必要がある。気候変動の影響や気候変動対策の短期的な影響は逆進性が高く、最貧困層のコミュニティや人々が最も大きな打撃を受ける<sup>6</sup>。よって、公正な精神に基づく努力なしには、最

<sup>1</sup> 2021年8月に公表された国連気候変動に関する政府間パネルによる第6次評価報告書では、温室効果ガスの継続的な排出は、地球システムに重大な影響をもたらす、転換点(ティッピングポイント)を超えてしまうことでシステムが変遷し、突然、大災害が発生する可能性が高まるとしている。Climate change 2021: The physical science basis, Intergovernmental Panel on Climate Change(2021年8月)、ipcc.ch。"Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts(気候変動リスクとその対応策 物理的リスクと社会経済的影響)"、McKinsey Global Institute(2020年1月16日)、McKinsey.comも参照のこと。

<sup>2</sup> ネットゼロ目標を達成した、目標を法制化した、または法制化案を国会に提出している国が含まれる。なお、ここで言及した74カ国には、すべてのEU加盟国が含まれる(EU全体としてのネットゼロ目標達成に向けて取り組んでいる加盟国と、ドイツのように、これに加えて独自の目標を設定している加盟国の両方を含む)。「Net Zero Tracker」、Energy & Climate Intelligence Unit(2021年10月25日時点)、eciu.netを参照。2019年のGDPデータは、世界銀行の世界開発指標(databank.worldbank.org)、2018年の排出量データは、EDGAR(Emissions Database for Global Atmospheric Research)のEDGAR v6.0(2021年5月、edgar.jrc.ec.europa.eu)から引用。Crippa, M. et al., Fossil CO<sub>2</sub> emissions of all world countries—2020 Report, European Commission(2020年)、edgar.jrc.ec.europa.eu参照。

<sup>3</sup> "Race to Zero campaign"、気候変動枠組条約(UNFCCC)、unfccc.int

<sup>4</sup> "World Energy Outlook 2021"、国際エネルギー機関(IEA)、2021年10月、iea.org。

<sup>5</sup> この推計には、様々な形態のエネルギー供給(電力システム、水素、バイオ燃料など)、エネルギー需要(自動車、鉄鋼やセメントの代替生産方法など)、土地利用(GHG削減効果の高い農法など)に関わる物的資産の支出が含まれている。また、自家用車などの耐久消費財といった、国民経済計算で一般的に「投資」とみなされるものも含まれる。

<sup>6</sup> 詳細については、「Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts(気候変動リスクとその対応策 物理的リスクと社会経済的影響)"、McKinsey Global Institute(2020年1月16日)、McKinsey.com、およびMekala Krishnan and Jonathan Woetzel, "Climate change hits the poor hardest. Here's how to protect them"、World Economic Forum、(2020年10月14日)、weforum.orgを参照のこと。

も深刻な影響を受ける実行主体は移行に向けて主体的な役割を果たすことができず、またその意欲も持てない。実際、欧州委員会で気候変動政策を統括するフランス・ティメルマンズ氏は、「公正な移行でなければ、真の意味での脱炭素社会への移行は実現しない」と述べている。

3つ目としては、増大・深刻化し続ける物理的リスクを回避するために実行主体は早期の排出削減が迫られるが、現在の指針と異なる時間軸や割引率が求められることが挙げられる<sup>7</sup>。ここでの課題は、将来的にネットゼロの実現を目指しつつ、今日の前にある成長機会を捉える上では、認識されているトレードオフと現実的なトレードオフの2種類が存在するという点にある。実際、移行を実現するための取り組みは、人類社会の未来への「投資」としてではなく、現在発生している「コスト」として認識される傾向が見られる。

4つ目は、これらの要件を満たすためには、長年に渡って築き上げられ、多くの便益をもたらしてきたビジネス慣行やライフスタイルを変えなければならないことが挙げられる。しかし、これらのパターンを変え、過去の惰性を克服したからといって、その恩恵を早期に受けられるわけではないため、現実的には難しいと言わざるを得ない。

これらの4つの要素について総合的に考えると、「啓発された自己利益」の概念だけではネットゼロを実現できないことは明らかである。

5つ目の要素としては、エネルギーはすべての経済活動において中心的な役割を果たしており、その市場の混乱は深刻な影響をもたらすことから、「秩序ある移行」が必要となることが挙げられる。ここでは、排出量が多い資産の縮小・廃止と排出量が少ない資産の開発・拡張を慎重に進め、冗長性を確保し、レジリエンスを高める施策を講じることが求められる。「秩序ある移行」は本質的に、そして政治的、経済的、社会的要因から決して容易ではない(コラム「秩序ある

移行とは」参照)。なぜなら、これはエネルギーや土地利用など、我々の生活や健康に最も深く関わるシステムの変革を伴うからである。これらのシステムについてはごくわずかな変化であっても、生産者や消費者が負うコストが増大する。その結果、エネルギーへのアクセスが困難になるなど、人々の日常生活に多大な影響が生じることで計画に遅れが出たり、世間から反感を買う恐れがある。

ネットゼロを達成するためには、GHGの排出量を可能な限り減らして排出量と吸収量の均衡を図る一方で、貯蔵量を増やして大気中に残るGHGを除去するための道筋をつける必要がある。しかし、その道筋を描くことは容易ではない。資本や労働に関わる問題も絡むため、すべての地域において経時的にネットゼロ経済における資本と労働の需要を供給と一致させなければならない。また、経済発展や包括的な成長を目指しながら、これらの問題に取り組んでいく必要があるが、前述の理由やいくつかの技術的な課題から実行することが難しい。まず、排出量を完全には把握できていないことが挙げられる。今までは、人為的な排出量に焦点が当てられてきたが、生物のフィードバックループに起因する自然由来の排出量も無視できなくなっている。次に、排出削減に要する期間は、日々変化し続ける様々な要因に時に非線形的に依存することがある。例えば、特定の経済セクターや地域の排出量は、既に導入されている既存の技術あるいはこれから開発・導入される技術によって変わってくる。さらには排出削減の解は一意に定まらないことが挙げられる。理論的には、脱炭素化とオフセットの取り組みを様々なパターンで組み合わせることで実現可能だが、セクター間や地域間の連携がより重要となる。最後に、GHG削減を取り巻く諸条件によって、解決策の選択肢の幅が狭まるという問題が挙げられる。例えば、ある国において化石燃料発電資産をどれだけ早く縮小・廃止できるかは、使用年数や使用頻度によって変わる。また、太陽光発電の発電量は、各地の日照量によって変わる。

<sup>7</sup> Mark Carney, "Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability – speech by Mark Carney," Bank of England(2015年9月29日)、bankofengland.co.ukも参照のこと。

## 秩序ある移行とは

秩序ある移行とは何か。何が可能かを判断するための指標とは何か。しばしば、ネットゼロへの移行については、「秩序ある」移行と「無秩序な」移行の二項対立型で議論されるが、秩序性の有無は相対的なものである。突然かつ急激な取り組みは、経済や社会を揺るがし、成長を妨げ、国民の恨みや政治的反発の恐れがあるが、逆に取り組みが遅れたり不十分だと、気候変動の暴走によって、何十億もの人々の生命

と生活が脅かされ、大規模な人口移動が起こり、政治的な争いや対立が悪化し、世界経済が急激に縮小する恐れがある。この2つの極端な取り組みの間には、急速に高炭素な経済活動を縮小させながら、低炭素な経済活動を活発化させていくための慎重かつ断固とした一連の取り組みがあり、これらを実現するためには、移行に伴う変化がもたらす社会的・経済的な影響を予測し、対処することが求められる。秩序のレベル

は、気候変動の暴走までに残された時間と、移行の要件の充足度によって決まる<sup>1</sup>。

<sup>1</sup> 実行主体は、将来の計画を立てるにあたり、「秩序ある」移行と「無秩序な」移行の両方の様々なシナリオの検討を始めている。例えば、サステナブルファイナンスの推進を目指す中央銀行や金融当局で構成される「気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク(NGFS)」は、リスク分析や戦略策定のための6種類のシナリオを公表している。ここでは、温暖化レベル、取り組み期間や国家間の連携の度合いといった幅広い要素を考慮しており、結果的に「秩序ある移行」と「無秩序な移行」の両方が含まれている。詳細については、Christopher Bertram et al., NGFS Climate Scenario Database: Technical documentation v2.2, Network for Greening the Financial System(NGFS)(2021年6月), ngfs.net

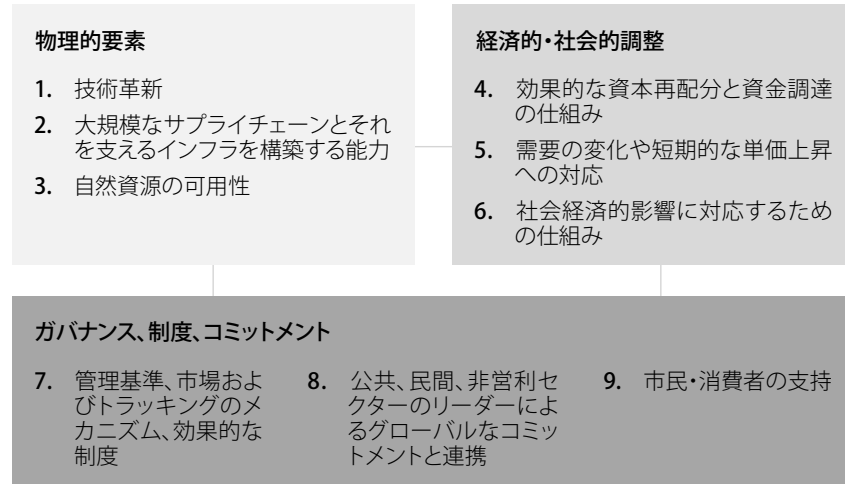
このように多くの要因が複雑に絡み合っているため、現段階では、基本的要件とこれらの相互依存関係の理解を深めることが重要となる。よって、ここでは、9つの要件を含む包括的なフレームワークについて解説したい(図表1)。これらの要件は、特定のセクターに固有のものではなく、公共、民間、非営利セクターのあらゆる実行主体がそれぞれの役割を果たさなければ満たすことはできない。これらは、ネットゼロへの移行を実現するために、一致団結とまではいなくても、協調して取り組まねばならない基本的課題である。これら9つの要件は、3つのカテゴリーに分類できる。

- 物理的要素:(1)技術革新、(2)大規模なサプライチェーンを構築し、インフラをサポートする能力、(3)必要となる自然資源の可用性
- 経済的・社会的調整:(4)効果的な資本再配分と資金調達の仕組み、(5)需要の変化や短期的な単価上昇への対応、(6)社会経済的影響に対応するための仕組み

- ガバナンス、制度、コミットメント:(7)管理基準、市場およびトラッキングのメカニズム、効果的な制度、(8)公共、民間、非営利セクターのリーダーによるグローバルなコミットメントと連携、(9)市民・消費者の支持

図表1

## ネットゼロ実現への道筋を立て、秩序ある移行を実現するための9つの要件



以降では、各要件について、一致団結の精神に基づいて「実現する手段」を模索するうえで考慮すべき事項を示している。これと併せて、これまで検討されてきた、あるいは今後検討の余地がある施策も示しているが、ここでは主に個人、国、民間組織から公共機関に至るまで世界全体として対処しなければならない重要な課題に着目している。世界がネットゼロに向けてより秩序ある移行を進めていくためには、課題を深掘りし、的確な解決策を策定する必要がある。マッキンゼーは、事実とあらゆる選択肢を分析することでこの取り組みに貢献したいと考えている。

まず、これら9つの要件を検証した結果たどり着いた、5つの結論を示す。

第1の結論は、今までは主に「物理的要素」に焦点が置かれていたが、今後は、「経済的・社会的調整」と「ガバナンス、制度、コミットメント」にも視野を広げる必要があるということである。現段階では、脱炭素社会への移行が社会や経済に与える影響を把握し、これに備えることが特に重要となる。企業や国が既存の製品やサービスの需要や価格への影響に対応しきれなかった場合、あるいは、コミュニティがネットゼロ

経済への移行から取り残されてしまった場合などに備えて何らかの措置を講じない限り、移行に伴うコストや影響に耐えられなくなるという、極めて重大なリスクが存在する。また、排出量が少ない資産に十分な資金配分がなされない、あるいは排出量が多い資産の縮小・廃止が求められるスピードで進まないがために移行自体が遅れるリスクも存在する。

第2の結論は、9つの要件すべてを満たすことは極めて難しいということである。また、1.5°C目標達成に向けて、これらの要件を充足することはさらに困難である。ネットゼロを実現するためには、従来の概念や働き方に固執せず、一致団結して新しい働き方を生み出していく必要がある。世界各国が人々の命や生活を守るために革新・介入を実行できる能力を有していることは、新型コロナウイルス感染症の世界的大流行(パンデミック)下において見られた建設的な行動を通じて証明されている。よって、ネットゼロへの移行についても同様に、このような行動を数年、数十年かけて、広く展開していく必要がある。

第3の結論は、当面は適応策とレジリエンス対策が極めて重要となるということである。気候科学の知見に

よると、地球物理システムの慣性により、どの排出経路を辿ったとしても、今後数十年は温暖化の進行は避けられない<sup>8</sup>。よって、既に生じている、あるいは脱炭素化対策を講じたとしても避けられない気候変動による差し迫った深刻な影響を軽減するために、世界全体で適応策を拡充し、加速的に推進しなければならない。

第4の結論は、各国は短期的な影響と長期的な便益を適度にバランスさせるための原則を明確に定める必要があるということである。具体的には、移行に伴う資本コストと運営コストを最小限に抑え、エネルギーシステムに関するリスクを積極的に管理し、所得、人口動態、国やセクターの違いによる不平等を是正し、経済の更なる成長と持続的な発展を通じて移行を実現するための資金を調達し、全ての人々の繁栄に寄与し、エネルギーへの確実なアクセス提供を目指すことを意味する。

第5の結論は、ネットゼロを実現するための確実な方法は存在しないということである。世界や経済の仕組みを変えるためには相当な努力が必要で、全ての実行主体がそれぞれの役割を果たすことが求められる。具体的な施策は時と共に変わる可能性はあるが、どの実行主体も直ちに取りかからなければならない。実際、一部のセクターでは、脱炭素に向けた取り組みが加速しており、特にネットゼロに移行するための資金調達において中心的な役割を担う金融機関は、それぞれネットゼロ目標を定め、気候変動ファイナンスに係るコミットメントを表明している。さらにいえば、企業のリーダーたちは、ネットゼロへの移行について理解を深め、コミットすることが求められる。これには以下が含まれる。

- 気候科学やネットゼロへの移行に関する基礎知識の習得
- 個人や業界としての目標の表明
- 気候変動リスク評価能力の構築や脱炭素化促進計画といった具体的な行動の計画およびアセスメント

- 行動計画に沿った排出量の抑制・削減
- 自然資源の保全・再生による脱炭素化への貢献
- 回避不可能な物理的リスクに対応するための適応策とレジリエンス対策の展開
- 排出量の多いビジネスを縮小し排出量の少ないビジネスを拡大するなど資金の再配分によるビジネスの再構築と成長
- 投資家、顧客、取引先、同業者、規制当局といった関係先との連携を通じて影響力を拡大

## 物理的要素

### 1. 技術革新

気候変動の現状ならびに進行速度は、人類による驚異的な技術革新の結果、つまり、経済学用語でいう「外部性」によるものである。人類は比較的安定した気候の下、過去1.2万年に渡って文明を発展させ、かつてない水準の繁栄を遂げてきた。ただし、この繁栄を生み出した生産・消費行為は、大量のCO<sub>2</sub>等の排出を伴うもので、これを継続したまま、更なる繁栄を達成することはできない<sup>9</sup>。このように、現在の危機的状況は技術革新によってもたらされたといえるが、ここから脱却する手段を生み出すのも技術革新だともいえる。世界規模で排出量を削減し、ネットゼロ達成を目指すためには、電力、運輸、産業、建築物、農林業、土地利用システムなどに関わるあらゆる技術の革新が不可欠である。その中でも特に農業セクターは、イノベーションを加速させ、CO<sub>2</sub>だけでなくメタンなどのGHGの削減に努めなければならない。より広義には、炭素排出量を低く抑える、あるいはゼロにする技術を開発、テスト、改良し、効率化と低コスト化を図り、商業的な大規模導入を実現することが重要となる。また、新技術の導入は慎重な配慮の元に計画的に行い、新技術相互並びに既存のインフラとの連携を確保する必要がある(水素パイプラインネットワークと既存のガスパイプラインネットワークの安全な統合、再生可能エネルギーの間欠性の補完など)。

<sup>8</sup> H. Damon Matthews et al., "Focus on cumulative emissions, global carbon budgets, and the implications for climate mitigation targets", Environmental Research Letters(2018年1月), Volume 13, Number 1, iopscience.iop.org.

<sup>9</sup> Climate change 2021:The physical science basis, Intergovernmental Panel on Climate Change(2021年8月), ipcc.ch

2050年までのネットゼロ移行に関する技術的な観点からの実現可能性については様々な見解がある。マッキンゼーのこれまでの調査によると、世界全体の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて1.5℃に抑えるための技術的な見通しは立っているものの、絶え間ないイノベーションが必要である。例えば、欧州における脱炭素化に向けた取り組みについて調査した結果、現在の排出量の85%以上は、実証済みの技術を活用することで削減可能で、そのうち28%は成熟技術で、32%は導入直後の技術で対応できる(図表2参照)。ただし、これらの技術の導入に向けた道筋は明確ではなく、以

降に示す一連の要件を満たす必要がある点を考慮することが重要となる。今まで時代のニーズに合わせて文明が発展してきたように、イノベーションを通じて、残された技術的課題を解決できる可能性がある。

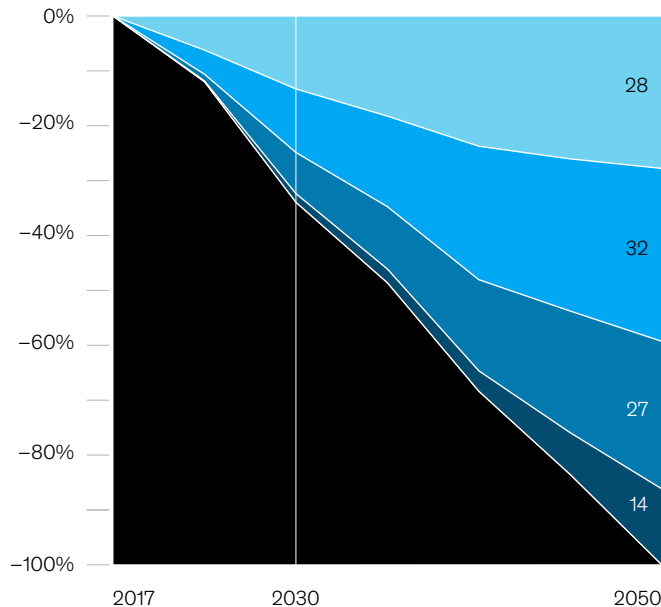
ただし、残された課題は少なくない。必要となる技術を開発・改良し、低コストなソリューションとして世界に広めていくためには多大な労力を要し、日々変化する資源、労働、資金面の制約に対応しなければならない。また、鉄道、電気、インターネット分野の変革的投資ブームの時と同様に、その最中でつまずいたり、

図表2

欧州では、現在の排出量の85%以上は、実証済みの技術を活用することで削減できると推計しているが、これらの技術の導入経路は不透明である

EUにおける温室効果ガス削減率; 二酸化炭素換算での相対的な排出削減率(1990年比)

排出削減量に占める割合



注記:四捨五入のため合計は100にならない

資料: "How the European Union could achieve net-Zero emissions at net-zero cost," (2020年12月3日), McKinsey.com

後になって労力や資金の配分の誤りに気づくこともあることを認識しておく必要がある。しかし、気候変動による社会経済的影響の特性やその深刻さを考えると、無策のままではあまりにもリスクが大きい。よって、今すぐにも実現可能な技術を導入すると共に、有望技術の開発を進める必要がある。さらに気候変動緩和技術の開発と同時に、世界の平均気温の上昇を1.5℃、あるいは2℃に抑制する目標達成時期までにその開発が間に合わなかった場合に生じる物理的リスクに対応するための技術の開発も進めなければならない。アメリカ科学振興協会(American Association for the Advancement of Science: AAAS)の元会長で、エネルギーや気候問題の専門家であるジョン・ホルドレン氏はこう述べている。「私たちには緩和、適応、苦難の3つの選択肢がある。これらの要素がどのように組み合わせるのが重要となるが、緩和策が進めば適応策の必要性を抑えることができ、苦難を軽減することができる。」<sup>10</sup>

#### 実行主体に対する主な問い

- 「カーボンバジェット(炭素予算)」の範囲内に留め、コストを抑え、必要な性能基準(送配電網の安定性の確保など)を満たしつつ、排出量を削減していくためには、どのような技術を組み合わせるべきか。また、地域によって、この組み合わせはどう変わるのか。さらに、時間軸によってどう変わっていくのか。
- ネットゼロ達成に必要な技術の市場化とコスト効率化はどの程度進んでいるのか。解消すべき最大のギャップとは、拡張性や効果の観点から、どのようにこれらの技術の優先順位付けを行うべきか。
- 開発初期段階の有望な技術(10倍の性能を実現する技術など)の成熟化、技術開発の最終段階でイノベーションを持続させ、現時点では異常に高コストな技術を実用化するためには、どのような政策、資金調達の仕組み、需要シグナル、市場メカニズムなどが必要となるのか。
- 技術の不確実性にどう対処するべきか。公共・民間セクターはどのような役割を担うべきか。

#### 取りうる打ち手

- インセンティブと適切な需要シグナルを提供することで、既存の低炭素あるいはゼロカーボン技術の導入を促進(シェアが少ない地域における省エネ技術や再生可能エネルギーの導入促進など)
- 水素活用、CCUS(二酸化炭素回収・有効利用・貯留)や電力貯蔵などの主要技術の不確実性を排除し、研究開発投資の足並みを揃えるため、業界全体の技術開発ロードマップを作成
- 包括的視点と目的意識を持って研究開発に投資することで、新技術のイノベーションを促進(そのためには、2025年、2030年といったマイルストーンだけではなく、ネットゼロの達成に必要なあらゆる技術を検討する必要がある、ポートフォリオを構成する全ての技術の開発を並行して進め、コンセプト立案から、プロトタイプ作成、商用化に至るまで、イノベーションを総合的に推進することが求められる)
- 産業の枠を超えたビジネスエコシステムを形成してバリューチェーン全体で連携を促進することで、現場業務のイノベーションを幅広く推進

#### 2. 大規模なサプライチェーンとそれを支えるインフラを構築する能力

短期間でGHGの排出量を抑制あるいは削減するためには、低排出またはゼロ排出技術を開発するだけでなく、普及拡大を図らなければならない。そして、必要となる技術を実現・普及させるためには、生産・流通体制の強化とグローバルサプライチェーンの構築が不可欠になる。例えば、平均気温の上昇を1.5℃に抑えるためには、世界の1週間当たりの太陽光パネルの設置枚数を現在の8倍に、風力発電用タービンの設置数は5倍に増やさなければならない。このような大きな変化に対応できるサプライチェーンを構築するためには、膨大な資金と適切な能力だけでなく、広範な連携が求められる。サプライチェーンの各工程の連携が適切に行われないと、供給途絶や価格急騰といったボトルネックとなる問題が発生するが、これは効果的な計画を策定することで回避可能である。

<sup>10</sup> James Kanter and Andrew C. Revkin, "World scientists near consensus on warming," *New York Times* (2007年1月30日), nytimes.com



また、排出量の少ないシステムに対応するためにインフラを拡充あるいは新設する必要がある。マッキンゼーの推計によると、欧州の場合、乗用車の排出削減目標を達成するためには、電気自動車の充電ステーションを2030年までに20倍増設しなければならない。そのためには、必要となる能力の強化、インセンティブ制度や各種支援策の整備に前例のないスピードと規模で取り組まなければならない。しかし、今回の新型コロナウイルス感染症のパンデミックを契機としたmRNAワクチンの開発スピードの速さから分かるように、前例がないからできないということはない。パンデミック時における対応と同様に、バリューチェーンにおける主な取り組みは適切な需要シグナルに対応したものとなり、生産者にインセンティブを与え、資金の動員を後押しする。

よって、実行可能な範囲で低排出またはゼロ排出技術の普及拡大を加速させることが重要となる。そうすることで、時間の経過と共にパフォーマンスを高め、コストを削減することができる。

#### 実行主体に対する主な問い

- 既存の設備では、サプライチェーンやインフラのどの部分でボトルネックが発生する可能性があるのか。設備の新設あるいは既存設備の拡張は容易にできるのか。
- 導入する技術の組み合わせなど、ネットゼロ達成に向けた経路によって、各業界・各国が受ける影響はどのように変わるのか。
- 供給途絶や価格急騰といったボトルネックとなる問題が発生することでどのような影響が予想されるのか。その影響はどのくらい深刻で、どのセクターや地域が最も大きなリスクに晒されるのか。想定されるボトルネックを緩和するために、どのような対策や備えとしてどのようなことができるのか。
- 新技術の導入を通じて生産能力を十分なスピードで高めていくためには、どのようなインセンティブ、需要シグナル、能力構築や手法が有効なのか。

- 新たなサプライチェーンを構築する場合、取引の流れ、輸入依存度や国の競争力にどのような影響が出るのか。

#### 取りうる打ち手

- 必要な規模で技術を開発するためにバリューチェーンの横断的な予測やロードマップを作成し、業界プレイヤーの共通目標を定め、実行主体間の相互の連携・協力を促進
- サプライチェーンとエコシステムの枠を超えた連携を促進して生産規模を拡大(例: 新技術のサプライヤーを資金提供者や需要家と引き合わせる)
- 排出削減が困難なセクターについては、排出量の少ない新しい素材や製品に対する需要を喚起することで、本格的な投資に対するインセンティブを与え、2030年までにコストを低減(自動車メーカーの場合はグリーンSteel、小売業者の場合は排出量が少ない物流システム)
- テスト・アンド・ラーンのアプローチを取り入れ、適切なインセンティブを付与するために必要となる様々な需要シグナルや財政措置を組み合わせる幅広く検討し、サプライチェーンやインフラ構築に関わる確実性を向上

#### 3. 自然資源の可用性

技術の導入、そして大抵の場合、大規模となるサプライチェーンやサポートインフラの構築・維持は十分な自然資源を確保できてこそ可能となる。その中でも次の3つの資源が特に重要となる。

1つ目は「原料」である。これには銅やニッケルのように、現在、大量に消費されているものから、リチウム、コバルト、レアアースのように比較的希少性の高いものまで含まれる。マッキンゼーの分析によると、ネットゼロに移行するためには一部の希少な原料の消費量を大幅に増やす必要があるが、資源の制約により、増産が阻まれることで一時的に供給が途絶し、価格が上昇する恐れがある。

2つ目は「土地」で、再生可能エネルギーの導入拡大に向けて欠かせない資源である。再生可能エネルギーは化石燃料に比べてエネルギー密度が低く、広い土地が必要となる。例えば、約1GW規模のガス火力発電所を太陽光発電に置き換える場合、必要となる土地面積は約350エーカーから約40,000エーカーに増える<sup>11</sup>。再生可能エネルギー発電で必要となる土地面積は、化石燃料を活用した火力発電のバリューチェーン全体(化石燃料の抽出、輸送、貯蔵を含む)の土地利用面積の5~10倍になる。また、CO<sub>2</sub>の貯蔵・吸収源としても森林、泥炭地、マングローブなどの土地は欠かせない資源である。ただし、森林については、管理不足による森林火災などで環境の破壊が進むと、かえって排出量が増加する恐れがある。よって、既述の技術的な対策を取り入れつつ、自然資源の保護・再生への取り組みを進めていく必要がある。また、高品質なCO<sub>2</sub>の自然吸収源は一部の地域に集中しており、しばしば食糧生産や住宅開発といったその他の土地利用と競合するため、適切な土地資源管理のためには慎重なプランニングが不可欠となる。

3つ目は「水」である。水素技術を経済成長の原動力とするためには、大量の水が必要となる。また、水は鉱物資源を抽出するためにも不可欠である。ネットゼロへの移行に向けて水への依存度は増すばかりであるが、新たな目的での需要増大や気候変動に伴う一部の地域における降水量減少に伴い供給不足に陥る恐れがある。

#### 実行主体に対する主な問い

- ネットゼロ移行に向けて必要となる自然資源はどれか。それらの資源の需要はどの程度増えるのか。これは、ネットゼロ実現に向けた経路(技術の組み合わせの違いなど)、脱炭素化シナリオ、地域や時間軸によってどう変わるのか。
- 特定の技術の普及拡大を阻む「ハード」な資源的制約は何か。また、一時的な供給途絶や価格急騰につながる可能性がある「ソフト」な制約は何か。これらは地域や時間軸によってどう変わるのか。
- 技術革新を通じて、特定の原料を代替あるいは使用量を低減することは可能か。
- 重要な鉱物資源の採掘に伴う労働者の安全上の問題や環境への影響にはどのような対応をするのが最適か。
- 地域内外で土地や水の利用をどのように調整すれば、ネットゼロへの移行をスムーズに進めつつ、人口集中の緩和や食糧の生産といったその他のニーズに対応できるのか。
- 国としてグローバルレベルでどのようなインセンティブ、需要シグナルや幅広い措置があれば、様々なニーズに合わせて自然資源をバランス良く配分できるのか。
- 新たな技術によって、生産拠点や商品流通について、どのような影響が想定されるのか。例えば、鉄鉱石を石炭の揚地に輸送するのではなく、グリーン水素の製造設備や製鋼所を鉄鉱石採掘場近隣に設置してグリーンスチールを生産したほうが良いのか。
- ネットゼロ移行の実現に向けてグローバルな貿易エコシステムをどのように再編・構築すれば、太陽光、風力、土地などの自然資源が潤沢な国や地域とそれらの資源を必要としている国や地域の双方にとって有益な取引ができるのか。

#### 取りうる打ち手

- 自然資源の需要について、技術ごとにグローバルかつ粒度の細かい見通しを作成し、ボトルネックが発生する可能性のある領域を特定し、時間軸やネットゼロ実現に向けた経路による違いを明示
- 鉱物資源、水素資源やCCS(二酸化炭素回収貯留)ポテンシャルなど、主要な自然資源が豊富な地域と不足している地域に関するグローバルかつ粒度の細かい見通しを作成
- 主要鉱物資源の生産能力増強に向けた計画をまとめ、国や企業間の連携体制を整備し、確実性の高い地域で生産能力を増強。地域内外の連携の可能性を模索し、資源の可用性とニーズとのバランスを確保

<sup>11</sup> 太陽光発電の設備利用率は約20%で、1MW当たり約10エーカーの土地を必要とし、ガス火力発電の設備利用率は約80%で1MW当たり約0.35エーカーの土地が必要になると想定。詳細については、*The footprint of energy: Land use of U.S. electricity production*, Strata (2017年6月)、docs.wind-watch.org、参照

- 今後直面しうる資源制約を考慮して技術開発を進めることで、調達に困難あるいは高価な原料を代替あるいは使用量を低減
- 計画策定、認可取得、資金調達、生産体制拡充までに要する時間を考慮し、資源の安定供給を確保するための各種インセンティブや財政措置を組み合わせて幅広く検討
- 再生可能エネルギーのための土地利用に対する社会からの支持を獲得(ただし、社会に受け入れられる前に技術の発展が先行する可能性がある)
- 労働者の安全性や環境への影響を含め、自然資源の利用によるエンドツーエンドの影響を測定するファクトベースや管理システムを構築し、様々な成果を管理し、トレードオフをモデル化して検証

## 経済的・社会的調整

### 4. 効果的な資本再配分と資金調達の仕組み

ネットゼロに向けて秩序ある移行を実現するためには資本配分を大きく変えなければならない。気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク(NGFS)の「温暖化を1.5℃に抑え、2050年までのネットゼロ実現を目指す」シナリオに基づいたマッキンゼーの将来推計によると、エネルギーや土地利用システムといった物的資産への支出は現在から大幅に増加する見込みで、現時点では、2050年までのエネルギーや土地利用システムに係る物的資産への年間総投資額は9兆2000億ドルになるとしている。つまり、現在の水準に比べて年間投資額が3.5兆ドル増加することになり、今後はその全てを排出量が少ない資産に割り当てていく必要がある。この投資額の増分は、世界中の全企業の総収益の約50%、家計支出の7%、総税収の25%に相当し、2005年から2020年までの公的債務残高の平均年間増加額を約20%上回っている。人口やGDPが増加しており、ネットゼロへの移行に向けた勢いが増していることを考えると、資本支出(割合)が少なくなる可能性があるが、それでも大きな額であることには変わ

りない。現在の政策の継続および主要な低排出技術のコスト低減見通しに基づいているNGFSの「現行政策」シナリオを基準とした場合、ネットゼロ達成のための年間投資額は9,000億ドルの増加にとどまることになる。

効果的に資本の再配分を行うためには、座礁資産(気候変動に係る規制の強化などによって早期に廃止されたり、活用されなくなった資産、設備、機器)をどう扱うかが重要となり、資産の実際の使用年数によって受ける影響の度合いは変わってくる。例えば、一般的に石炭火力発電所の耐用年数は40~60年だが、使用年数は国によって異なり、米国は39年だが、インドはわずか13年となっている。また、現在、約30GW規模の石炭火力発電所(世界全体の発電設備容量の約15%相当)の建設が進行中あるいは承認されている<sup>12</sup>。

一方、ここ2年間でコロナ禍がもたらした社会経済的影響を緩和する目的で公的支出が拡大したことを踏まえると、危機として明確に認識されれば巨額の資金を動かすことができると考えられる<sup>13</sup>。さらに、ネットゼロ達成に向けて秩序ある経済調整が進むことで、無秩序な移行によって生じる物理的リスクや追加コストを回避できる。欧州中央銀行が最近公表した報告書では「移行に伴い生じる短期的なコストは、何も対策を講じなかった場合の中長期的なコストに比べればごくわずかである」とされている<sup>14</sup>。

長期的かつ総合的に考えれば、ネットゼロへの移行に向けて先行投資を行い、燃料消費量の抑制、資源・エネルギー利用の高効率化、保守費用の削減を実現することで、世界全体の経済的コストを抑えることができる。そして、ほとんどの場合、投資対効果が高く、リターンが期待できる。ただし、短期的には、大規模な資金調達、投資の数多くの課題に対応する必要がある。前述のような巨額の資金が必要であり、不確実性を伴う技術への投資、リスクとリターンのトレードオフの検討、先進国と途上国双方への資金拠出確保など様々な課題に対応する必要がある。マッキンゼーの分析によると、低所得国は対GDP比での負担割合が

<sup>12</sup> Global Coal Plant Tracker, Global Energy Monitor(2021年7月)、globalenergymonitor.org

<sup>13</sup> 各国政府は、法人や個人を守るために大規模な財政支援を提供している。2020年3月以降、各国が実施した財政支援の総額は年間13.8兆ドルで、そのうち7.8兆ドルは増分支出と逸失利益、6兆ドルが増資、融資、保証が占めていると推計される。

The territorial impact of COVID-19: Managing the crisis and recovery across levels of government, OECD Policy Responses to Coronavirus(COVID-19), Organisation for Economic Co-operation and Development(2021年5月10日)、oecd.org 参照

<sup>14</sup> Spyros Alogoskoufis et al., ECB economy-wide climate stress test, European Central Bank, ECB Occasional Paper Series No 281(2021年9月)、ecb.europa.eu

高く、アフリカやインドの場合、欧州や北米の1.5～2.5倍になる。その大きな要因としては、急激な経済成長とネットゼロへの移行に向けて発電施設を拡充しなければならないことが挙げられる。また、セクターや地域によっては資金の調達・分散が容易ではない場合もある。

#### 実行主体に対する主な問い

- セクターや地域にとっての資本に関わる最も大きなニーズは何か。ネットゼロへの移行に向けて導入される技術の組み合わせによって資本ニーズはどのように変わるのか。
  - 投資ニーズが高い領域のうち、既に資本が投じられているところはどこか。最も大きなギャップはどこにあるのか。
  - リスク・リターン・プロファイル、投資回収期間、設備投資の様々な特性を踏まえると、どのような種類の資本の組み合わせが必要となるのか(公開株、公債、非公開株、プロジェクトファイナンス、公的保証など)。民間資金と公的資金(ソブリン・ウェルス・ファンドや国際開発金融機関)は、それぞれどのような役割を果たすべきか。
  - どのような金融イノベーションや仕組み(新たな金融商品、炭素市場、ブレンデッド・ファイナンスなど)によって最も大きなニーズと機会を有するセクターや地域に資本流入を促進し、炭素集約度の高い企業が既存のブラウン事業をグリーン事業へ移行させる後押しができるのか。コンプライアンス市場の整備をさらに進めることによって資本配分を促進できるとされる領域はどこか。
  - カーボンクレジット市場は炭素を除去・抑制・削減する資産などへの資本配分の促進にどのように貢献できるのか。また、どうすれば市場の規模を拡大し、信頼性や厚みを確保することができるのか。
  - 各セクターや地域の潜在的な座礁資産にはどのくらいの価値があるのか。リスク管理を積極的に行うためにはどうすれば良いのか。
- どのような資金調達の仕組みがあれば、炭素集約度の高い資産への投資の引き揚げに留まらず、資産の除却や脱炭素化を進めるインセンティブを付与できるのか。
  - 資金計画や資金の再配分を進めるためには、どのような新たな指標や分析が必要となるのか(炭素利益率、ポートフォリオの温暖化ポテンシャル、ストレステストなど)。

#### 取りうる打ち手

- 資源再配分に関する意思決定に役立てられるよう、排出量やシナリオに基づく物理的リスクや移行リスクの透明性を高め、評価結果を明示
- 新たな金融商品や仕組みを開発・普及させ、企業によるレガシー資産の整理と排出量の少ない資産の拡充を促進。例えば、科学的根拠に基づいたネットゼロ実現への経路に沿って排出量の多いレガシー資産を廃止・縮小することを促す特別目的媒体(SPV)や、石炭火力発電設備をライフサイクルコストが低い再生可能エネルギー設備に転換することを前提に長期調達契約を交わす資金調達の仕組みや、排出削減量や自然に基づく解決策(NBS)などに基づいた新たな金融商品が挙げられる。
- 短期的には、企業の脱炭素経営という喫緊の課題に対応すべく、新たなカーボンクレジット市場を整備・拡大し、長期的にはコンプライアンス市場を整備。カーボンクレジット市場では、森林伐採回避などの排出削減量と植林やCO<sub>2</sub>を直接回収するDAC(Direct Air Capture)といった排出吸収量をクレジットとして売買
- 国家および国際レベルで公的資金を体系的かつ慎重に活用し、プラスの効果が期待できるものの市場での資金調達が困難な主要インフラに投資(電気自動車の充電ステーション、水素ステーション、炭素隔離など)

- 公的保証やその他のリスクヘッジにより、気候変動に対処するための民間資金のリスクを低減し、資金不足が拡大しているセクターや地域への資金の流入を促進(開発金融機関や国際開発金融機関の機能のファースト・ロスの引き受けや為替リスクヘッジへの再集中化など)
- 多国間基金あるいは政府系ファンドを新設または再編し、GHG排出量の多い資産の縮小・廃止を進め、座礁資産によるバリュー・アット・リスク(最大損失額)を最小化

### 5. 需要の変化や短期的な単価上昇への対応

ネットゼロへの移行過程において、政策や技術、消費者や投資家の選好が変われば、低炭素型の商品やサービスに対する需要が増加すると思われる。なかでも、大きな変化が見込まれているのがエネルギーミックスで、化石燃料の需要が減少し、排出量の少ない電力、水素、バイオ燃料の需要が増加する見込みである。このようなクリーンエネルギーへの移行は、化石燃料を使用する製品にも影響を及ぼし、排出量の少ない自動車、暖房器具や調理機器への移行が進む。同様に、エンドユーザーが代替品を利用あるいは消費量を減らすことによって、製造過程での排出量の多い製品の需要が減少する可能性がある。一方、CCSを活用し、排出量を抑制する業界は成長の恩恵を受けることができる。また、新技術の導入を支える川上の製造業や、クライメート・トランジション・ファイナンス、環境アセスメント、リスクマネジメントサービスといった様々な支援分野において事業機会が生まれる。よって、企業や国は、需要の変化に対応しながら、競争力を保ち、機会を確実に捉えていく必要がある。

さらに、セクターによっては短期的に製造コストが増加する可能性があるため、企業はこれにも対応しなければならない。コスト増の一つの要因としては、生産能力の増強に伴う高額な先行投資が挙げられ、設備投資の増加につながる(発電能力の増強とこれに伴う送配電インフラの整備のための投資など)。例えば、CCUSの導入や鉄鋼・セメント業界における高コストなゼロカーボン原料の採用など、ゼロカーボン技術への移行が進むことで運用コストが大幅に増加する可

能性もあるが、これらのコストは学習曲線の上昇と共に低下する。この現象は既に陸上風力発電や太陽光発電で見られ、洋上風力発電や電池については現在進行中である<sup>15</sup>。長期的には、技術革新を通じて、他の業界でもコスト削減が進む可能性がある。

しかし、マッキンゼーの分析の結果、排出削減が困難なセクターの中には、脱炭素化のために巨額の追加コストが発生するところもあることが明らかになった。例えば、グリーンスチールの生産コストは、従来の生産コストを40%以上上回っており、2050年の時点でも20~30%上回る見込みである(図表3参照)。よって、これらのセクターに対しては、特に短期的に移行を促すためのインセンティブを整備するなど様々な介入策を講じる必要がある。脱炭素化の取り組みを促進するための方策としては、最終消費者を含むバリューチェーン上のステークホルダーへの移行コストの配分、グリーン調達段階的拡大、商品設計見直しによるコスト削減、エネルギー効率・資本効率の向上による生産性の更なる向上、助成金の支給・廃止、新たな基準や排出枠の割当てといった規制の導入が挙げられる。このような調整は決して容易ではない。特に、鉄鋼のように国際的に取引される商品の場合、生産者は野心的な気候変動対策が求められていない地域の生産者との競争に直面したり、環境に優しい代替策を使用する際に発生する「グリーンプレミアム」の支払意欲が低い、あるいは支払能力のない顧客と取引を行う可能性もある。

### 実行主体に対する主な問い

- 製品によって、どのような需要の変化が見込まれるのか。これらはセクターや地域、そして時間軸によってどう変わるのか。ネットゼロへの移行過程において、セクターや地域によってコストはどのように増減するのか。導入される技術の組み合わせによってこれらはどう変わるのか。
- 需要やコストの変化は、企業や国の競争力にどのような影響を与えるのか。貿易の流れにはどのような影響が出るのか。
- 企業や国がこのような変化に対応するために新た

<sup>15</sup> Alun Gu and Yi Zhou, "Learning curve analysis of wind power and photovoltaics technology in US: Cost reduction and the importance of research, development and demonstration," *Sustainability* (2019年4月), Volume 11, Number 8, pp. 2310, mdpi.comを参照

に必要となる能力とは何か。どうすれば需要やコストが変化するスピードや規模の不確実性に対処できるのか。

- どうすれば企業や国、官民を含む多様な実行主体が連携して、ネットゼロ達成に向けた経路から外れることなく、需要やコストの変化に対応していけるのか。対立が生じる要因としてはどのようなものが考えられるのか。どうすればこれらを解消できるのか。

#### 取りうる打ち手

- リスクと機会を細かい粒度で継続的に評価する能力を構築。業界、バリューチェーン、地域ごとに粒度の細かいシナリオを作成し、需要とコストの変化に関する理解を醸成
- 既存の能力をマッピングし、これらを最大限活用して新たな成長機会を捕捉する手段を定義。さらに、新たに必要となる能力とそれを構築する手段を特定
- ネットゼロ経済への移行に伴い生じるニーズを総合的に評価して、新たな機会領域を特定
- 脱炭素行動により生じるコスト増加を相殺する仕組みを幅広く検討し、様々な状況や制約を想定し、最善の方策を検討(基準や規制、取引可能な炭素クレジットの認証、国内および国際的な助成制度、炭素集約度の高い産業への依存度の高い国の移行を支援するグローバルな多目的ファンドなど)
- バリューチェーン全体で増分コストを分担して負担する機会を特定し、コストの増加に耐えられ、より迅速に秩序ある移行を推進する産業構造と経済システムを構築(グリーンプレミアムの徴収など)
- 各国の政策と基準を統一し、国際的な連携を確保することで動機づけを行い、世界貿易の混乱を排除(炭素に関する自由貿易協定の締結など)
- 既存の炭素集約型産業に対する助成制度の継続要否を検討

#### 6. 社会経済的影響に対応するための仕組み

ネットゼロへの移行は、国や地域、労働力や家計に多様かつ不均衡な影響をもたらす。炭素排出量の多い製品の需要が落ち込み、低排出型の製品の需要が増加すれば、企業や業界、さらに地域の労働力の再配分が進む。このような影響は地域的な偏りが見られ、コミュニティによっては極めて深刻になる。例えば、炭素集約度の高い産業への雇用の依存度が高いコミュニティの場合、自分たちの既存の強みや能力を理解し、これらを活かして優位性を確立し、経済活動の多様化を進める必要がある。国によっては、これまでの貿易の流れや歳入に影響が出る場合もある。

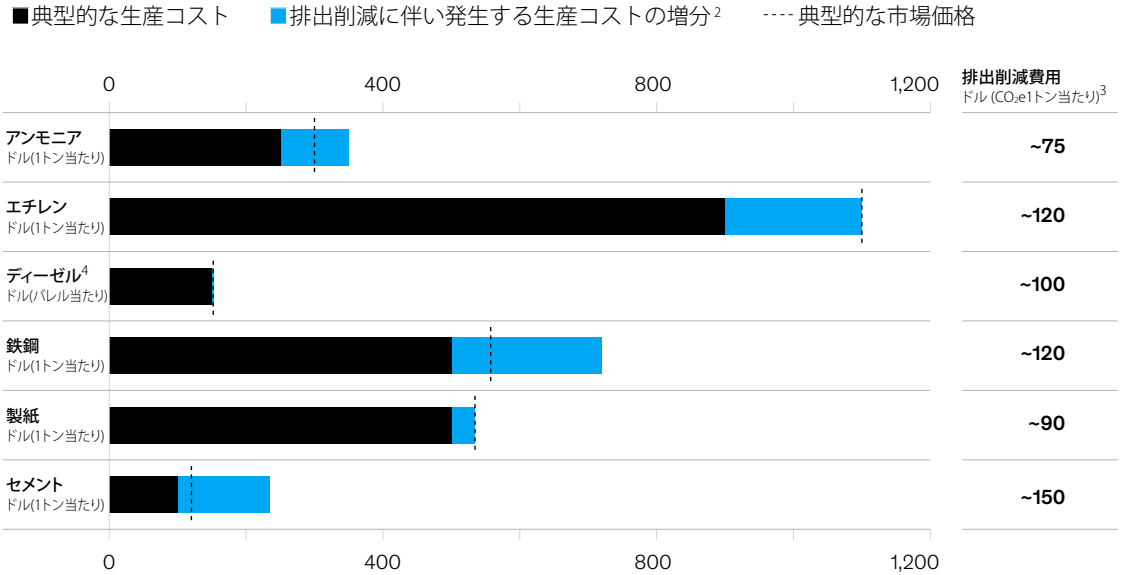
平等性と環境正義を推進するための綿密なプランニングとコミットメントなしには逆進性が強まり、新しい雇用システムへの移行やスキル構築が困難な最もリスクの高いコミュニティに負担が集中する。電気自動車や既存建物の改修のように、消費者にとって初期投資の負担が大きいものもあり、長期的にはランニングコストが下がるという恩恵を享受できるとはいえ、低所得者層にとっては初期費用が大きな負担となる。また、ネットゼロへの移行に向けて発電設備や関連インフラの整備のために膨大な設備投資が必要になるため、短期的にエネルギー価格が上昇する可能性がある。ここでもやはり低所得者層や安価なエネルギーの供給を目指している途上国が大きなしわ寄せを受ける。

気候災害には逆進性があり、最も脆弱な層が深刻な影響を受ける。よって、ネットゼロに向けた秩序ある移行を促進するためには、このような負の影響を埋め合わせる適切な仕組みが必要となる。こうした仕組みは、ネットゼロへの移行に向けて国内外で意識統一を図るうえでも重要となる。そして、このような仕組みを整備するのは政府の役割だが、個人、金融仲介機関、実体経済を支える企業が果たす役割は決して少なくない。

図表3

ネットゼロへの移行に際し、様々なセクターで短期的に単価が上昇する可能性があるため、これを吸収する必要がある

各セクターの生産コストと2030年の排出削減費用の増分<sup>1</sup>



<sup>1</sup>2030年の排出削減費用に基づいて算出  
<sup>2</sup>特定の商品の生産を主要事業とする企業のEBITDAに基づいて算出  
<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>eは、地球温暖化係数の100年間の累積値に基づいて算出 (IPCC AR4)  
<sup>4</sup>ディーゼルの排出削減費用の増分は少ないがゼロではない (CO<sub>2</sub>e1トン当たり約2ドル)

資料: "How the European Union could achieve net-Zero emissions at net-zero cost," (2020年12月3日), McKinsey.com

実行主体に対する主な問い

- 各セクター、サブセクター、国や地域の雇用の喪失、創出、代替といった観点から、各種移行シナリオでは、経済活動にどのような影響が想定されるのか。
- これらのシナリオにおいて、各国・各地域の全世界帯が負担するコストの総額はどのくらいか。より細かい区分では負担はどう変わってくるのか(市区町村レベル、社会的弱者など)。また、移行に向けて導入される技術の組み合わせによって負担はどう変わってくるのか。
- 政府は、どうすれば正の影響を最大化しつつ(新たな成長分野への転職支援など)、負の影響を最小化できるのか(労働者への支援プログラムや消費者への補助金給付など)。

- 負の影響を軽減し、新たなビジネスの機会を拡大するために、民間セクターや産業エコシステムは何かができるのか。

取りうる打ち手

- 移行シナリオごとに、需要が高まるあるいは下がるスキルを特定し、セクターや地域ごとに雇用喪失ポテンシャル、雇用創出ポテンシャルと現状とのギャップを把握
- 最も失業リスクの高い労働者を対象とした再教育プログラムを整備すると共に、公共、民間、第3セクターの能力を結集して包括的なソリューションを設計し、提供(再教育支援や雇用・就業機会の確保に向けた連形成成など)

- 再教育を望む労働者の潜在的な障壁を特定し、対応(手頃な費用で研修プログラムを受けられるのか、再教育センターは行きやすい場所にあるのか、子供が学校に行っていない時間帯に研修がある場合は保育サービスを利用できるのかなど)
- 影響を受ける労働者向けに国内および国際的な社会支援制度や補償制度を整備(失業保険、現金給付、職業安定プログラムといった経済支援策を含む)
- 影響を受けるコミュニティ向けに雇用等の各種調整支援プログラムや経済活動の多様化支援制度を整備(太陽光や風力といった自然資源を活用した新たな産業の育成あるいは目的限定型ローンによる新たな経済活動の創出など)

## ガバナンス、制度、コミットメント

### 7. 管理基準、市場およびトラッキングのメカニズム、効果的な制度

ネットゼロへの移行過程において、各国政府や企業による取り組みは多岐に渡る実行主体にとって支えとなるものの、すべてのニーズに対応できるわけではない。ネットゼロ移行に求められるスピード、規模やその性質上、多くの既存企業については組織改革が不可欠となる。また、ベストプラクティスを共有し、資本を幅広く分散させ、実行主体間の不均衡な影響に対処し、協働を推進するために新たな組織を立ち上げる必要がある。これらの組織には、標準化団体、官民連携を含むグローバルな協働プラットフォーム、大規模組織の地方支部や市民社会団体などが含まれる。組織に対する新たなニーズが生まれることは確実だが、技術革新と同様に、移行が進み、変化への適応力が高まることで、ネットゼロにコミットしようと組織的な適応を進めたり、組織を新設する機運が高まると思われる。いずれも強靱な社会にとって不可欠である。

また、物理的リスクと移行リスク、排出量(直接排出量と投資先の排出量の両方を含む)の開示を求めるための基準や規制を策定する必要がある。基準を定めることで、価格設定や投資判断、消費者の選択、規制制度や世界の貿易体制において排出量が適切に考慮されるようになる。投資家、規制当局や経営者が、GAAP(一般に公正妥当と認められた会計原則)などの共通の透明性の高い会計基準に準拠した指標に基づいて情報開示を行っているように、ネットゼロ経済においては透明性の高い基準に準拠した共通の指標に基づいて、排出量の情報開示が求められる可能性が高い。また、カーボンクレジットの定義や炭素市場の管理に関する原則といったクライメート・トランジション・ファイナンスに関連する基準も重要となる<sup>16</sup>。そして、取り組みを確実に推進するためにも、これらの基準に加え、進捗状況をトラッキングするための適切な仕組みを整備する必要もある。さらに、あらゆるバリューチェーンや国のスコープ1、スコープ2、スコープ3の排出量のトラッキングを実現し、トレーサビリティを向上させることも重要となる<sup>17</sup>。さらに、ガバナンスも大きく変化することになるため、炭素の外部性を十分に考慮し、価格に反映する必要がある。

### 実行主体に対する主な問い

- ネットゼロへの移行に向けて、各国政府や民間セクターのプレーヤーがその他の機関による支援を必要としている領域はどこか。分野や国を横断した機関や非政府・準政府組織はどのような役割を果たせるのか。
- 開発金融機関や国際開発金融機関といった既存の機関は、移行に向けて新たに必要となる要件を満たすことができるか。どのような領域で新たな機関が必要になるのか。これは時間軸によってどう変わるのか。
- 地方自治体、国や国際機関はそれぞれ何に取り組みすべきか。どの領域で思惑のずれや対立が生じているのか。

<sup>16</sup> Taskforce on scaling voluntary carbon markets: Final report, Institute of International Finance(2021年1月)、iif.com

<sup>17</sup> 定義がある程度異なる場合もあるが、本稿においては、「スコープ1」の排出量とは、組織が管理・所有する資産からの直接的なGHG排出量、「スコープ2」の排出量は、他社から供給された電気、蒸気、熱、冷却源の使用に伴う間接的なGHG排出量、「スコープ3」の排出量は、報告主体である組織は管理・所有していないものの、バリューチェーン上で関連性のある資産からのGHG排出量を指す。つまり、「スコープ3」の排出量は、報告主体である組織のバリューチェーン上全体の排出量のうち、スコープ1・2以外の排出量が該当する。“Greenhouse gases at EPA,” United States Environmental Protection Agency(2021年8月6日更新)、epa.gov



- どうすれば地方自治体、国、国際機関や分野横断的な機関は上手く連携できるのか。連携体制を築くうえで、どうすれば説明責任を確保し、共通の価値観を醸成できるのか。どの領域で行き違いや重複が発生しているのか。どうすればこのような障壁を低減・解消できるのか。
- どうすれば組織の能力を構築し、経時的に高めていけるのか。
- どの領域の基準策定に最も注力すべきか。

### 取りうる打ち手

- 現在の制約事項を考慮すると大胆すぎるように思われる対策であっても、すぐに検討の対象から除外せず、幅広い視点から選択肢を検討(多国間基金による排出量の多い資産の買収や、低排出技術への投資など)。加えて、ネットゼロへの移行に向けて、2030年、2040年、2050年の時点でどのような失敗が起こりうるのかという視点で様々なアイデアを検証し、これらの失敗を防げるような大胆な対策であるかを検討
- 新たに必要となる能力や資源を含め、全ての実行主体が成功するために構築すべき組織を特定
- 各産業の連携体制を構築して目標達成に共同でコミットし、新たな技術への投資、能力の構築、ベストプラクティスの共有を推進
- PCAF(金融向け炭素会計パートナーシップ)やSBTi(科学的根拠に基づく二酸化炭素排出量削減目標イニシアチブ)の取り組みを活かすなどして共通の炭素会計原則や官民両方の組織の排出量のトレーサビリティを確保するための企業の情報開示に関する基準を強化あるいは必要に応じて標準化団体や認証機関を設置
- 工業用地やパイプラインにセンサーを設置して漏洩排出量を測定し、衛星画像データを使って世界の炭素やメタンの排出量を算定するなど、デジタルトラッキング技術を活用してGHG発生源の排出量を高い精度で測定。さらにデジタル技術を活用して、スコープ1、スコープ2、スコープ3の排出量を総合的に測定し、トラッキング
- 炭素価格や貿易協定といったかたちで排出量を既存および新規市場の規制対象に組み込む

- ガバナンス体制を整備し、カーボנקレジットの品質と完全性を確保することで、カーボנקレジット市場を機能させ、規模を拡大

### 8. 公共、民間、非営利セクターのリーダーによるグローバルなコミットメントと連携

今まで挙げた7つの要件は、経営者や政策担当者、規制当局による低炭素経済に向けた移行への対応のみでなく、事業体(取締役会やCEOによる意思決定を含む)、投資家、株主、立法者、規制当局による意思決定にも影響を及ぼし、移行要件の充足に大きく貢献する。秩序ある移行を実現するには、公共セクターのリーダーには、明確で信頼できる有効な政策を策定することへの強いコミットメントと能力が求められる。そして、民間セクターのリーダーには、資本配分や製品ポートフォリオを見直し、ビジネスエコシステム全体の連携を強化して、組織全体の利益を追求することが求められる。さらに重要なこととしては、公共、民間のリーダーが協働して物理的要素を満たすと共に、秩序ある移行を実現するために必要となる社会的および経済的な調整を進めていく必要がある。

### 実行主体に対する主な問い

- どうすればネットゼロへの移行に対する各セクターのリーダーの確信を醸成し、維持できるのか。
- 現在、リーダーの動機づけとなっている要因とは何か。その要因は、どのような点でネットゼロへの移行を進めるための取り組みに合致しているのか、あるいは反しているのか。どのような動機付け要因があれば、各セクターのリーダーは短期志向に偏ることなく長期志向で気候変動対策に関する判断を下せるようになるのか。
- リーダーが他の8つの要件のいずれかに反して行動するきっかけとなる要因は何か。他の8つの要件は、リーダーの行動あるいはリーダーがとるべき行動にどのような変化をもたらすのか。
- リーダーたちはどのように互いを支え合えるのか。
- どうすればリーダーたちは移行に向けたビジネスケースを作成できるのか。また、どうすれば重要なステークホルダーを巻き込むことができるのか(CEO、従業員、取引先、投資家、顧客など)。ステークホルダーからどのような反発を受けることが想定されるのか。また、どうすればステークホルダーの懸念に先回りして対応できるのか。

- 今すぐ実行可能な「悔いをもたらすことのない」有意義な方策とは何か。大胆な策をとることで起こりうる最大の問題とは。反発や反発の原因となっている制約を緩和するためには何を行う必要があるのか。
- 企業はカーボンオフセット(自社のバリューチェーン外での排出量の相殺)とカーボンインセット(自社のバリューチェーン内での排出量の相殺)についてどのように考えるべきか。

### 取りうる打ち手

- 物理的リスクの透明性を向上。ネットゼロへの移行と協働に向けて、取締役会、経営幹部から一般社員に至るまで全ステークホルダーの意識、確信と機運を醸成。移行が停止または停滞した場合に備えて、リーダーたちは影響を十分に理解し、結果を共有
- 特にCEOや取締役会レベルにおいて、気候変動に配慮した意思決定プロセスを整備
- 組織が活動しているシステム全体のダイナミックな変化を取り入れるために、戦略、資本配分、サプライチェーンに関する意思決定を再考
- 最も重要となる規制介入と最も効果的な政策を検討(助成金、インセンティブ、セーフティネットなど)
- ネットゼロへの移行に向けてコミュニティ、投資家、顧客、取引先や従業員を巻き込み、彼らの制約を理解し、先回りして対応

### 9. 市民・消費者の支持

秩序ある移行を実現するためには市民の支持が不可欠である。長い目で見ると、秩序ある移行によって、増大し続ける物理的リスクが軽減され、新しい技術やインフラによってコストが低下し、様々な社会問題が取り除かれることで、市民には多大な便益がもたらされる(安価なエネルギーを供給することで海水淡水化コストを低減し、水不足問題を解消するなど)。しかし短期的には、問題の深刻さを認識し、負の影響を受ける人々を対象とした補償制度への支持を獲得し、市

民参加を促進しなければ市民から支持を得ることは難しい。また、ネットゼロへの移行に向けた要件について市民が理解を深めることで、官民セクターのリーダーが行動を起こすきっかけとなる。

地球温暖化を1.5℃に抑えるためには、電気自動車への乗り換え、住宅の改修・改造、肉の消費量削減、移動量の削減などのかたちで消費行動を変えなければならない。多くの場合、透明性が高まることで消費者の選好が変化し、低炭素型製品が普及拡大し、スケールメリットや技術の学習曲線に沿ってコストが低下することで好循環が生まれることが期待される。

いずれにせよ、市民による支持あるいは反発は、ネットゼロへの移行に向けて重要な要素だといえる。

### 実行主体に対する主な問い

- 市民参加が最も求められる領域はどこか。どのような見直しを行うことで最も大きな反発に対処できるのか。どうすれば消費者や市民の要求を機会に転換できるのか。
- 特定のコミュニティ、セクター、社会や国では、ネットゼロへの移行に向けてどのような道筋が示されており、どのような動きが見られるのか。コミュニティのニーズや懸念を吸い上げ、対処するためにはどうすればいいのか。どうすれば支持を拡大し、長期思考を促すことができるのか。
- 消費者の選好や行動の変化が最も求められるセクターはどこか。これらの変化を促すうえで最適なインセンティブとはどのようなものか。

### 取りうる打ち手

- 増大する物理的リスクに対処するためのコレクティブインパクト(多様なプレーヤー間の連携)やネットゼロへの移行の必要性を訴えていくことで意識、意志、団結心、確信を醸成。標準ケースと最も起こり得る結果を明確化(気候変動の暴走と爆発的に増大する影響の可能性を含む)
- 気候変動や低・脱炭素社会への移行について討議するための対面・バーチャルの新たなフォーラムやプラットフォームを構築

- コミュニティを巻き込み、風力タービン近隣のコミュニティなどの「ホットスポット」に積極的に対応
- 製品ラベルに排出量に関する情報を載せるなどして、消費者に対する透明性の確保に努めることで十分な情報に基づいた意思決定を支援
- 特に最も大きな影響をもたらす行動変容に焦点を当てる形で、消費者に自らの選択が与える影響について啓発
- ネットゼロ達成に向けた経路を計画するにあたり、社会的支援(ソーシャルサポート)を考慮

### リーダーが検討すべき課題

今まで挙げてきた9つの要件は互いに影響し合う(コラム「相互依存の世界」参照)。よって、これらの要件を満たすためには、大企業、地域の運送業者、地方自治体からそれを支える市民に至る、あらゆるセクターと実行主体が連携して行動することが不可欠となる。

課題が明確になることで、官民セクターのリーダーたちはネットゼロへの移行に本腰を入れて取り組むようになる。移行が失敗する、あるいは移行時期が遅れることによるリスクは非常に大きい、もたらされる機会も大きい。リーダーたちが取る行動は、移行の進展やその時々ニーズによって変化するが、満たすべき次の7つの要素は変わらない。

- **ネットゼロへの移行への理解とコミットメント:** リーダーたちが、気候科学と経済についての基礎知識を高めることで、ネットゼロ要件への対応やセクターやコミュニティに与える影響の検討がしやすくなり、移行にコミットできるようになる。例えば、CEOは、自社のCSO(最高サステナビリティ責任者)やその他のリーダーと協力して、サステナビリティに関わる様々な課題の解決に主体的に取り組めるようになる。継続的に学び、適応し、経営幹部や取締役会を巻き込み続けるためには課題を明確に設定することが何より重要となる。よって、リーダーたちには組織に向けて変革に取り組むべき理由とスキル向上が重要となる理由を明確に示すことが求められる。そして、ネットゼロへの移行に向けて、50年先までを見据えて最適な人材を配置し、進めていく必要がある。
- **行動の計画およびアセスメント:** スコープ1、スコープ2、スコープ3の排出量を継続的に測定する能力を高め、サプライチェーン全体の排出量をトラッキングする仕組みを整備する必要がある。また、ネットゼロ移行に求められるスピードや規模、そして競争環境の変化が加速度的に変化していることを考慮すると、新たな形態のデータや分析ツールの活用など、リスクや機会を細かい粒度で評価するための能力を構築することが必須となる。ベースとなる物理的、コスト的、政策的な前提条件は常に変化しており、移行に伴うリスクと機会をよりの確に特定するためには、シナリオベースの分析を通じて定期的に評価を行う必要がある。そして、実行の可能性を最大限に高めるためには、規制、投資家の選好、消費者の行動、競争環境の変化を捉え、長期的な視点に立って見通しを立てていかなければならない。よって、これに関わるリーダーには、情報の不完全性を受け入れ、将来予測に基づいて迅速に意思決定を下し、イノベーションに着目した反復的なテスト・アンド・ラーンのアプローチを取り入れることが求められる。しかし、グローバルレベルでネットゼロ達成への道筋を立てることで方向性は明確になる。起こり得る変化を想定することでリーダーたちは、来るべき事態に備えて自分自身そして組織として必要となる対策を取り、移行を実現するために自分の役割を定義できる。そして、評価の結果に基づいて、ネットゼロ経済に適応し、脱炭素化を進め、成長を遂げていくための方策の優先順位付けを行い、具体的なネットゼロ戦略を策定することができる。
- **排出量の抑制・削減:** 戦略に沿って脱炭素化施策を実行する必要がある。これらの施策には、スコープ1、スコープ2、スコープ3の排出量や低排出技術の導入、高排出資産の廃止や転用、サプライチェーンの排出量管理に向けた取引先との連携などが含まれる。これにより、リーダーたちは、排出量を最大限削減するだけでなく、GHGの回収・貯留、ネガティブエミッション技術やカーボンオフセットによって、排出削減が難しい残余排出量を除去する機会を模索できる。

- 一 **自然資源の保全・再生:** 森林、泥炭地やマングローブのような自然資源の保全・再生もGHGの排出量削減に向けた重要な対策となる。伐採した木材の焼却など、森林破壊はCO<sub>2</sub>の直接排出量の増大につながり、炭素隔離能力が著しく低下し、森林がCO<sub>2</sub>の吸収源から排出源に転じる場合がある。失われた自然資源の再生によっても炭素隔離ポテンシャルを拡大し、排出量を管理することができる。自然資源を活用した排出削減対策では、手つかずの生態系を保護し、多様な固有種の再生に取り組むなど、生物多様性の保全にも考慮しなくてはならない。こうすることで、食料安全保障や健康、広範な生態系サービスの改善など数多くの副次的効果ももたらされる。
- 一 **適応策とレジリエンス対策の展開:** 脱炭素化を推進する際、既に進行している、あるいはロックインされている気候変動の影響に対応する適応策も講じる必要がある。適応策は、ロックインされている物理的リスクに対応するだけでなく、将来起こり得る新たな問題に備えるうえで重要となる。検討可能な対応策には、人々の保護、有形資産の強化、サプライチェーンの多様化、供給予備力の確保、高リスク地域への影響の抑制、保険の利用などが挙げられる。
- 一 **ビジネスの再構築と成長:** ネットゼロへの移行に伴う需要とコストの変化、そして社会経済的な影響を考慮すると、リーダーたちは負の影響を管理しつつ、積極的に成長機会を追求する対策を検討しなければならない。公共セクターのリーダーは、脆弱な層への影響を抑えると同時に、影響を受けるコミュニティの経済活動の多様化や労働力の需給調整の支援においても重要な役割を担う。民間セクターのリーダーは、排出量の多いビジネスを縮小し排出量の少ないビジネスを拡大するための方策を検討しなければならない。そして、どの企業においてもエネルギー効率化などを通じてコスト構造やサプライチェーンの変革が不可欠となる。どちらのセクターの実行主体にとっても、これらの戦略を実行するためには、新たな成長分野で活用できる既存の能力を特定し、新興セクターに資本や資源を再配分し、研究開発に投資し、必要に応じて将来の労働者の確保・育成対策を講じていく必要がある。
- 一 **連携を通じて影響力を拡大:** リーダーたちは、バリューチェーン、コミュニティや各国のあらゆる実行主体(消費者、サプライヤー、コミュニティ、労働者、投資家、規制当局)と連携・協働する必要がある。例えば、経営陣は投資家や顧客に働きかけ、組織の行動とその根拠を理解してもらわなければならない。公共セクターのリーダーたちも影響を受けるコミュニティに働きかけ、対話を行う必要がある。よって、リーダーたちは学び、アイデアをやり取りし、ベストプラクティスを取り込み、周りとの経験を共有し合う機会を模索すべきである。一つの手段としては、同業他社、投資家や研究機関と共にイノベーションエコシステムを構築または参画し、新技術の開発・導入を支援することが挙げられる。ただし、実行主体によってインセンティブも目標も異なると想定することは自然なことであり、また合理的である。

---

ネットゼロ実現への道筋を立てるうえで、あらかじめ決まった解は存在しない。これまで述べてきたように、数多くの重要な問いに答え、何百もの解を検討し、組み合わせる必要がある。つまり、ネットゼロ実現への道筋について理解を深め、制約を特定・排除しながら、ひたすら課題解決のプロセスを繰り返していくことになる。このプロセスが挑戦と失敗の連続になることは想像に難くない。しかし、本稿で示した9つの要件を迅速かつ確実に満たすことで排出量を早期に削減できる。中でも、「個人そして集団としての官民セクターのリーダーたちの確信の醸成」と「市民・消費者の支持」は極めて重要となる。我々人類は今、史上最大の存続の危機に直面しているかもしれないが、その道のりは今まで来た道と変わらず、課題を深く探り、一致団結し、ただちに確固たる対応策を講じることが求められる。

## 相互依存の世界

ネットゼロ達成に向けた道筋を立てるための9つの要件は相互依存関係にあり、互いに影響し合う。投資は技術開発に、技術開発は運用コストに、運用コストは市民・消費者からの支持に、市民・消費者からの支持は公共政策に、公共政策は投資に影響を与える。よって、これらの要件は体系的に捉える必要がある。また、相互依存関係があるがゆえに、排出削減対策についても体系的に検討する必要がある。例えば、鉱業では気候変動がもたらす影響への関心が高まっている。その背景としては、アルミニウムや銅はネットゼロへの移行に必要な有形資産の建設・拡張に不可欠な素材でありながら、採掘・加工時のGHG排出量が多いことがある。もう一つの例としては、水力発電が挙げられる。水力発電は再生可能エネルギーの一つとされているが、ダム建設には膨大な量のコンクリートが必要であり、このような人造湖はCO<sub>2</sub>やメタンガスの排出源となる<sup>1</sup>。よって、GHGの排出を全体として削減する過程では、ある分野では排出量が増える可能性もあるため、システム全体の最適化が必須となる。

別の例としては、ネットゼロの世界を実現するうえで欠かせないエネルギー資源である水素が挙げられる。ネットゼロへの移行に向けて水素の活用や普及を促進していくためには、生産能力と全セクターにおける

需要の拡大を早期に実現する必要がある。水素に関わる数多くの予測では、水素の生産能力の拡大と共に、電解槽への支出が大きく減少するとしている。例えば、マッキンゼーの1.5°Cシナリオでは、電解槽による水素生産量は2030年までに1億トン増加し(2020年時点の生産量は100万トン以下)、電解槽への支出は60%減少するとの見通しを立てている<sup>2</sup>。グリーン水素技術のコストを競合技術と同等の水準にするためには、このような大幅なコスト削減が必要となる。ただし、コスト削減を実現するための設備投資が必要となる可能性があるため、多くの投資計画は政府の支援に頼るところが大きい。多くの先行企業は、説得力のあるビジネスケースが不在のプロジェクトに投資するにあたって大きなインセンティブを求めらるだろう。

さらに、グリーン水素の生産には膨大な電力が必要となるため、水素の増産と同時に再生可能エネルギー発電設備容量の拡大が必要となる。水素の利用を排出削減に向けた電化に代わる手段ではなく追加手段とするためには、電化計画を実現するための野心的目標に再生可能エネルギーに関わる目標を追加しなければならない。一方、水素の供給は、産業、運輸、建築物分野の需要が伸びるという前提を拠り所としている。水素を生産・利用する技術が導入

され、普及するにつれて、製鉄における水素活用、燃料電池トラックの生産、建築物への水素ボイラーの設置が進み、需要がさらに高まることを見込まれる。そして、水素の利活用が進めば、より多くの場面でローカルの水素エコシステムの魅力が増し(工業における水素へのエネルギー転換、市営バスの水素化、暖房への水素活用など)、需要拡大に確信を持つことで生産者は供給能力を増強させ、供給能力や供給量が増えることでコストが下がり、さらに需要が増すという、需要と供給の好循環が生まれる。

<sup>1</sup> K. Caldeira and N. P. Myhrvold, "Greenhouse gases, climate change and the transition from coal to low-carbon electricity," *Environmental Research Letters* (2012年2月), Volume 7, Number 1, [iopscience.iop.org](http://iopscience.iop.org)

<sup>2</sup> Kimberly Henderson and Christer Tryggstad, "Climate math: What it takes to limit warming to 1.5°C" (2021年1月29日), [McKinsey.com](http://McKinsey.com).

メカラ・クリシュナン(Mekala Krishnan)はマッキンゼーボストンオフィスのパートナー、トマス・ノークレール(Tomas Nauc er)はストックホルムオフィスのシニアパートナー、ダニエル・パシヨ(Daniel Pacthod)、ハミッド・サマンダリ(Hamid Samandari)、フマユン・タイ(Humayun Tai)はニューヨークオフィスのシニアパートナー、ディコン・ピナー(Dickon Pinner)はサンフランシスコオフィスのシニアパートナー、スヴェン・スミット(Sven Smit)はアムステルダムオフィスのシニアパートナー、山田 唯人は東京オフィスのパートナー。

本稿の執筆にあたっては、Marcelo Azevedo、Ryan Barrett、Melanie Bru、Daniel Cramer、Sudeep Doshi、Hauke Engel、Annabel Farr、Will Glazener、Duko Hopman、Danielle Imperato、Matt Rogers、Kevin Russell、Robin Smale、Bram Smeets、Daan Walter、Dr.Spencer Glendon、Keii Konishi、Probable Futures チームの各位より多大なる協力を得た。執筆者一同よりここに感謝の意を表す。

Designed by McKinsey Global Publishing  
Copyright   2021 McKinsey & Company. All rights reserved.