

# トレンド3：脱炭素を実現する循環型社会

## 全産業の持続可能性の鍵を握るエネルギーと鉱物資源

### 持続可能性の担保に必要となるエネルギーと鉱物資源

「トレンド1：デジタル経済圏の台頭」(P.6-)で記述したデジタル空間とは異なり、現実空間には資源的な制約がある。2050年にかけてデジタル空間内で完結する経済圏のシェアが拡大するとはいえ、現実空間での経済圏がなくなるわけではない。資源・エネルギーの持続可能性はどのように捉えればよいか。

その理解の助けとなるのが、どの産業からのインプットが多いのかという視点となろう。図表I-4-1は、国際産業連関表をもとに、産業ごとに上流および下流のサプライチェーンの長短を表した図となる。右下に位置づく産業は、自身の産業よりも下流のサプライチェーンが長い一方、自身の産業へのインプットはあまり多くない産業である。

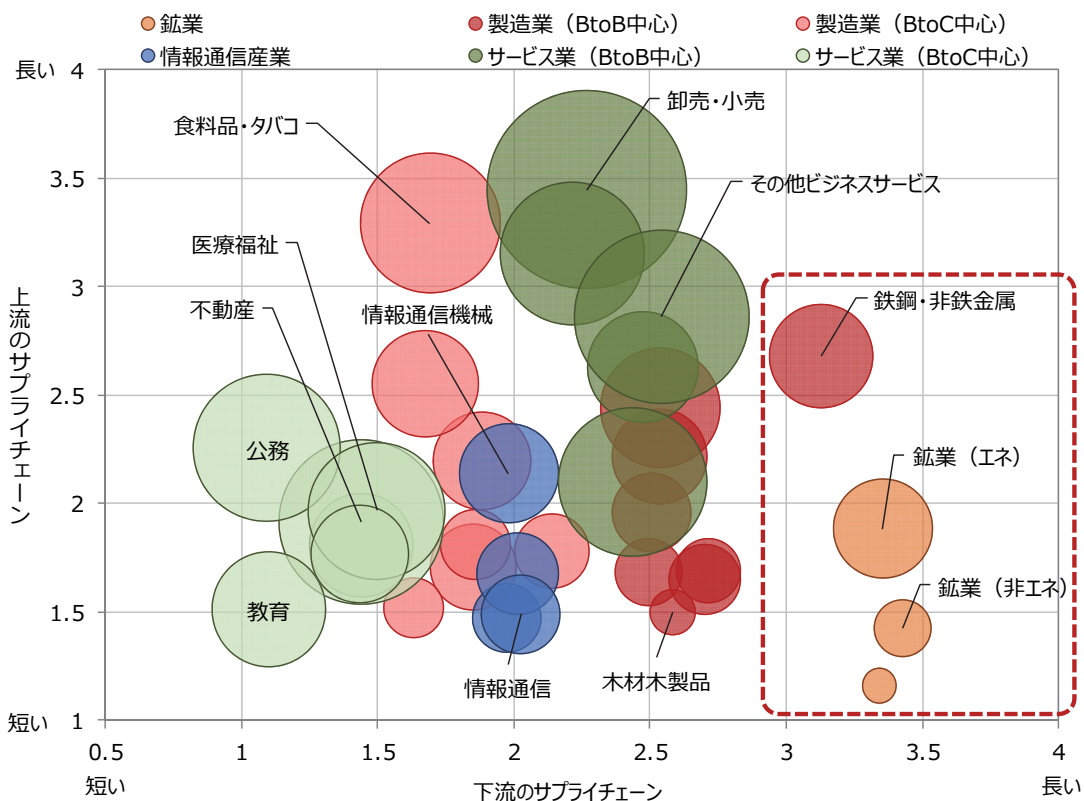
持続可能性という観点に着目すると、多くの産業のインプットとして用いられる産業が立ち行かなくなる場合、現実空間を中心とする経済圏に与えるインパクトが大きいと想定される。

現在の産業構造をもととすれば、鉱業（エネルギーおよび非エネルギー）と鉄鋼・非鉄金属産業がここに位置づけられているため、特にエネルギー産業および鉱物資源産業の持続可能性を高めることは産業全体の持続可能性にとって重要といえよう。

図表 I-4-1

### 鉱業および鉄鋼・非鉄金属は他産業と比べてさまざまな産業のインプットとなっている

国際産業連関表における産業ごとの前方および後方連関の強さ



注1：バブルの大きさ：世界全体での各産業の生産額。

注2：上流は2015年の国際産業連関表で計算した後方連関を、下流は前方連関をそれぞれ計算。

注3：鉱業（エネ）は石炭、原油、天然ガス等、鉱業（非エネ）はその他の金属、採石業、窯業用原材料等の採掘・生産を行う産業を指す

出所：OECD「Inter-Country Input-Output Table」より三菱総合研究所作成

## 新技術とビジネス変革を通じて循環型社会を実現

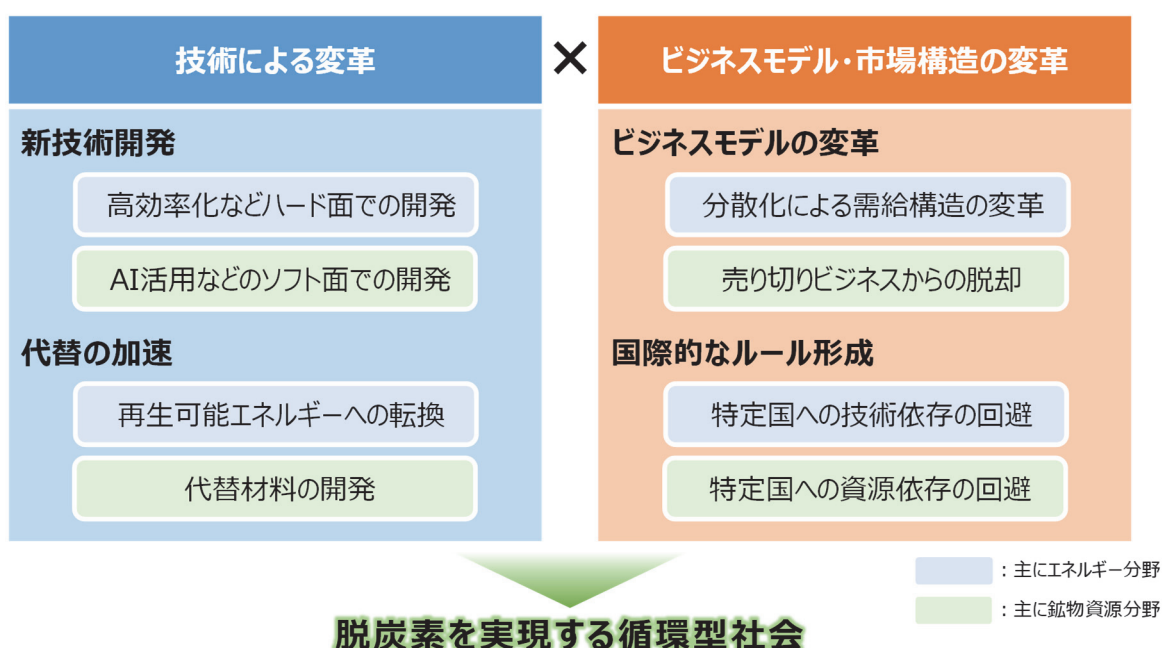
前述のように、特にエネルギーと鉱物資源が社会全体の持続可能性を担保するためには重要となるが、日本のようなエネルギー・鉱物資源が乏しい国において、資源を有効活用する「循環型社会」を構築していくためには、何をすべきであろうか。後述するように、エネルギーについては「量」から「質」への転換、鉱物資源については「採掘」から「リサイクル」「代替」への舵を切る必要があるが、両者に共通する事象として「技術による変革」と「ビジネスモデル・市場構造の変革」が重要となる。

「技術による変革」については、まず再生可能エネルギーの利用を加速・拡大させるためのエネルギー需要側設備に関する電化技術の開発、廃棄物の中から有用資源を識別し回収・リサイクルするための AI 技術の開発などの「新技術開発」が挙げられる。これに加えて気候変動対策としての化石燃料から再生可能エネルギーへの転換、希少鉱物資源を用いない材料の開発など「代替の加速」がある。

「ビジネスモデル・市場構造の変革」については、再生可能エネルギー普及による供給源の分散化やシェアリングエコノミーの進展など、売り切り型のビジネスモデルからの脱却、ビジネスモデルや市場構造の変化への対応が挙げられる。加えて、国際的なルール形成を通じて特定国への技術・資源依存度を回避することも持続可能性を高めるためには重要となる。

図表 I-4-2

新技術とビジネス変革を通じて循環型社会を実現



出所：三菱総合研究所

## エネルギーにおける持続可能性は「量」から「質」へ

エネルギーの持続可能性に関する課題としては、化石燃料の枯渇のような「量」の問題と、脱炭素化をはじめとした「質」の問題とが存在するが、シェールガスなどの非在来型の資源が台頭してきたことにより、「量」の課題は相対的に小さくなってきた。一方で、気候変動対策として世界全体で脱炭素化を進める重要性は高まっている。太陽光や風力といった再生可能エネルギーを軸とした需給構造の構築が求められており、エネルギーの「質」をいかに改善させて

いくつかが今後の論点となろう。

再生可能エネルギーの普及にあたっては、化石燃料からの転換を進める上での課題と、転換が大幅に進むことによって生じる課題が存在する。前者は、化石燃料の燃焼によって生み出す高温熱を、再生可能エネルギーに転換していく上での技術的な課題などが挙げられる。後者は再生可能エネルギーの普及によって複雑化するエネルギー需給システムの最適運用に関する課題や、再生可能エネルギーを活用するための技術や設備・部品などに関して新たに生じる地政学的なリスクの存在などが挙げられよう。

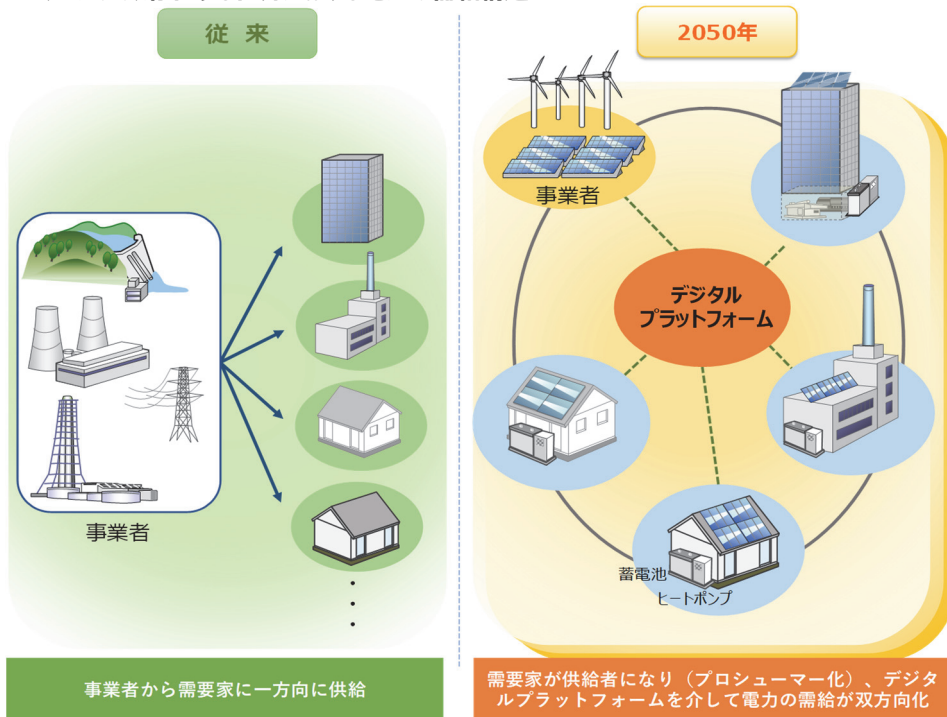
### 個別分散のエネルギー供給システムを支えるプラットフォーム

近年、技術革新やそれに伴うコスト低減により、わが国を含め世界規模で再生可能エネルギーの導入が飛躍的に増加している。再生可能エネルギーの普及は、これまでのエネルギーの需給構造を複雑化させる。エネルギー供給システム側では、従来の大型集中システムから再生可能エネルギーの賦存場所・量にあわせた個別分散システムへとインフラの転換が進んでいる。需要家側でも、住宅の太陽光発電のように、エネルギーの消費者が生産者にもなるプロシューマーと呼ばれる主体が増加している。

今後、再生可能エネルギーの導入がさらに拡大することが見込まれる中で、独自ルールや標準化されていない技術が乱立すれば、全体として効率的なエネルギー供給システムを維持できなくなる可能性も存在する。そのため、分散したシステム間でのエネルギー利用の最適化、需要家をはじめとする多様な主体間でのエネルギー取引の最適化を実現するためのプラットフォームの存在が不可欠である。

図表 I-4-3

#### プロシューマーが多数存在する世界における電力の需給構造



出所：三菱総合研究所

### ハード面でも重要度が増す技術革新

新興国における経済成長や人口増加に伴い、世界的なエネルギー需要は今後大きく増加していくことが予想される。新興国で拡大する需要に対応するエネルギーに対しても脱炭素化を進

めるためには、エネルギーを使う設備や機器といったハードの電化を進めていくことが必要である。例えば、ガソリン車から電気自動車への転換、灯油ストーブからエアコンへの転換などのように、末端でエネルギーを使用する際に化石燃料ではなく直接電力を使う比率を増やせば、再生可能エネルギーの利用比率も向上しよう。

ただし、電化が可能な範囲には、現時点で技術的な限界があることが課題だ。一般的に電力を使った設備で100°Cを超えるような高温の熱を作ることは困難（非常に効率が悪い）とされる。そのため鉄鋼などの産業では、電化による化石燃料の代替が技術的に難しい領域が存在する。一方で、こうした産業は新興国が今後成長を遂げていく過程で重要な産業ともいえる。そのため、新興国も含め世界全体でエネルギーの「質」を大幅に転換させるためには、例えば再生エネ由来の水素やCCUS（CO<sub>2</sub>回収・利用・貯留技術）の活用などハード面でもさらなる技術的なブレークスルーが必要である。

### 高まる国際的な規範作りやルール形成の重要性

化石燃料はその埋蔵量が特定の国・地域に偏在しており、現在の国際的なエネルギー市場では、特定国・地域への依存度が高いことによる地政学的なリスクが存在している。しかし2050年にかけて化石燃料から再生可能エネルギーへの転換が進んだ場合、このようなエネルギーの賦存量による地政学リスクは低下していくものと想定される。

一方で、再生可能エネルギーがエネルギー供給の主力となった場合にも、例えば太陽光パネルの製造メーカーの偏在などのように、機器製造・部品供給などの面での新たな地政学リスクが生じる可能性がある。こうした地政学リスクを軽減させるためには、既存の枠組みに加えて新たな規範や公正・透明な市場ルールが構築される必要が出てこよう。

さらには、気候変動をはじめとする既存の社会課題も、2050年にかけてさらに深刻化することが予想される。地政学リスクの対応のみならず、優れた環境技術を普及させ世界規模での脱炭素化を進めるためのビジネス環境を整備するなど、国際的に解決すべき課題に対する対処という点においても、国際的な規範作りやルール形成の重要性が高まるといえよう。

## 鉱物資源は「採掘」から「リサイクル」「代替」へ

### テクノロジーが生み出す新たな鉱物需要

電気自動車や蓄電池といった新たなテクノロジーの台頭が及ぼす影響はエネルギー市場だけにとどまらない。リチウムイオン電池の正極材にはリチウムのほか、コバルト、ニッケル、マンガンなどが使用されるが、需要の急激な拡大に伴い一部の鉱種では供給不足が懸念されている。また、今後、デジタル技術の浸透が加速することで、IT産業に必要なレアメタルの需要増加も考えられる。

鉱物資源の賦存量は地理的条件に大きく左右されるため、一部のレアメタル資源では産出国が偏在している状況にある。経済的な発展が遅れている国、政治体制が安定しない国に産出量が大きく偏っているケースも少なくない。需要拡大に伴う価格高騰や地政学リスクの高まりを防ぐためには、鉱物需要の高い国々は天然資源の輸入のみに頼る構図からの転換が必要となる。

具体的な打ち手としては、デジタル技術の活用や売り切り型ビジネスモデルからの転換によるリサイクル率の向上、そして代替材料の開発が重要になるであろう。日本のように鉱物資源に限られる国であっても、低コストにリサイクルできる仕組みを構築することが持続可能な発展を目指す上で不可欠な要素となる。

### デジタル技術の活用

電化製品解体や資源回収といった領域でもデジタル技術の果たす役割はさらに大きくなっていく。多くの廃棄物から有用資源を含む物体を選別する際にはAIによる画像認識技術が期待



されている。将来的には多種多様かつ製品出荷時とは変形しているような物体であっても正しく認識可能な技術が求められるであろう。効率的な分別・分解といった作業にはロボット技術の活用が欠かせず、有用資源の回収率向上を図っていくことが求められる。

なお、効率的なリサイクルのためには「この製品にはどのような素材がどの程度使われているのか」といった情報が不可欠となるが、動脈産業（製品の製造・流通・販売）と静脈産業（不要物の回収・再資源化）の間の情報共有はまだまだ十分ではない。都市部では多くの鉱物資源が製品として存在していることから「都市鉱山」と表されることがあるが、こうした都市鉱山の活用のためには前述のような情報共有の土台として、製品資源データベースの構築が必須となる。動脈産業と静脈産業の間の情報共有が発展することによって、最終的にはこれら2つの産業が融合することが1つの理想的な姿といえる。

### 売り切り型ビジネスモデルからの転換

モノの所有から共有の潮流が本格化している。例えば自動車はこれまで「一家に一台」の生活必需品としての位置づけもあったが、現在では都市生活者を中心に会員制のカーシェアリング事業が拡大しているほか、世界的にはUberやLyftに代表されるようなライドシェア事業も一般化しつつある。

こうした売り切り型ビジネスからの転換は資源循環の面でも影響を与える。例えばコピー機のようなリース型で提供される製品では現状でもリユース・リサイクル率が高く、使用状況のトラッキングが行いやすい、使用された製品の一部を分解・洗浄・修理することで再度新品同様の水準の製品に仕上げやすい、といった特徴がある。売り切り型ビジネスモデルからの転換は、企業にとって新たな付加価値を生み出すだけでなく、リサイクル率の向上という点でも有益となる。

### 代替材料の開発

「デジタル技術の活用」「売り切り型ビジネスモデルの転換」はリサイクル率向上に寄与する打ち手であるが、特定資源への依存度を下げる直接的な手段としては、希少度の高い資源を用いずに同等の機能を実現する代替材料の開発が挙げられる。無論、代替材料の開発は一朝一夕にできるものではないが、過去には希少資源であるジスプロシウムの代替材料として、ジスプロシウムを使わない高保磁力ネオジム磁石を開発し、需要の高まるハイブリッド車のモーターに適用するなどの成功事例もある。リチウムイオン電池に用いられる、リチウム、コバルト、ニッケル、マンガンなどもレアメタルに属するが、将来的にはこれらの金属についても含有量を下げていく、もしくは、空気二次電池やフッ化物電池などの次世代蓄電池を実用化することも広義の「代替」といえよう。いずれも地道な研究開発が必要であるが、持続可能な社会の実現にあたって重要となる。