

【寄稿】

カーボンニュートラルに向けた世界の動きと日本の対応 ～サーキュラー・エコノミー構築で「資源大国・日本」へ～

平沼 光

(公財) 東京財団政策研究所
研究員



1. はじめに

2016年のパリ協定の発効を大きな転機として、世界は気候変動対策のため再生可能エネルギー（再エネ）の大幅導入と脱化石燃料を進めるエネルギー転換へと舵を切ってきた。そして今、世界は二酸化炭素（CO₂）の排出を実質ゼロとする「カーボンニュートラル」に向かって動き出している。こうした動きは、日本の資源エネルギー動向や持続可能な社会の構築にどのような影響を及ぼすであろうか。

本稿では、世界で進むカーボンニュートラルの動きと日本の対応について考察する。具体的には、各国のカーボンニュートラルの表明と政策、また、その実現のために必須となる再エネ導入増大の鍵となる洋上風力発電、発電部門におけるエネルギーシステムについて、さらには、再エネへのエネルギー転換が引き起こす鉱物資源リスクに対処するために欧州が推進するサーキュラー・エコノミー（CE）構築への動きと日本の今後の課題と期待について述べる。

2. カーボンニュートラルの動き

(1) 相次ぐカーボンニュートラル目標の表明

カーボンニュートラルとは、企業の事業活動や国民の日常生活などから排出されるCO₂をはじめとする温室効果ガス（GHG）の排出を可能な限り削減するとともに、排出されたGHGは森林吸収などにより全量を相殺することを意味する⁽¹⁾。

イギリスでは、2019年6月、「気候変動法」の改正の際、これまでGHG排出量削減目標（2050年までに1999年比80%以上の削減）を改め、2050年までにカーボンニュートラルを達成することが世界に先駆けて法制化されている。また同月、フランスにおいても、それまでのGHG排出量目標（2050年までに1999年比75%以上削減）を改め、2050年までにカーボンニュートラルを達成することに上方修正した法案が国民議会で可決されている。

欧州委員会（EC）は、2018年11月、2050年までにカーボンニュートラルを実現する方向を示した「万人のためのクリーンな地球」というコミュニケーションペーパーを発表した。そして、2020年3月、欧州連合（EU）が2050年までにカーボンニュートラルとなる「気候中立」の達成を目指す長期戦略を国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に提出している。

こうしたカーボンニュートラルを目指す動きは各国に広がり、世界123カ国・1地域（2020年12月時点）が2050年までのカーボンニュートラル達成を表明している。これらの国・地域におけるCO₂排出量の割合は、世界全体の23.2%（2017年実績）となっている。トランプ政権下では気候変動問題に対して消極的であった米国であるが、先ごろ誕生したバイデン政権は2050年のカーボンニュートラルを目指すことを公約としていることから、カーボンニュートラル表明国に米国も加えると、世界全体のCO₂排出量に占める割合は37.7%となる。また、中国の習近平国家主席は2020年

9月22日、国連総会の一般討論演説において、2060年までにカーボンニュートラルにする目標を表明している。このように、二大排出国である米中がカーボンニュートラルを目指す方向にあり、世界はカーボンニュートラルに向けて大きく動き出している⁽²⁾。

(2) カーボンニュートラル実現のための具体策

カーボンニュートラルの実現に向けた具体的な施策として、EUでは「欧州グリーン・ディール」に取り組んでいる。

欧州グリーン・ディールとは、2019年12月11日にウルズラ・フォン・デア・ライエン欧州委員長が発表した政策である。これは、2050年にGHG排出が実質ゼロとなる「気候中立」を達成することを目標にしたEUの環境政策である。また、欧州グリーン・ディールは、①クリーンエネルギーの供給、②サーキュラー・エコノミー（CE）の構築、③資源エネルギー効率に優れた建設の促進、④生態系や生物多様性の保全、⑤環境に優しい食品システム、⑥持続可能でスマートな移動手段へのシフトなど、広い範囲の分野を対象とした欧州の包括的な経済成長戦略でもあり、エネルギーでは再エネを重要分野として活用することを基本方針としている⁽³⁾。EUでは今後10年間で1兆ユーロ（約120兆円）を欧州グリーン・ディール政策に投資していく計画である。

欧州グリーン・ディールでは、再エネの活用を進めるエネルギー転換が経済成長と気候変動問題への対処を両立させるものとされている。国際再生可能エネルギー機関（IRENA）が2020年4月に公表した報告書『国際再生可能エネルギー見通し』（以下、報告書）⁽⁴⁾によると、2050年までに気温上昇を2℃より十分低く抑えるために必要なエネルギー転換にかかるコストは19兆ドルとなるが、それにより得られる利益は50～142兆ドルとされ、経済成長と気候変動問題への対処を両立するものとされている。さらに同報告書は、再エ

ネ分野への投資の増加で世界の再エネ分野の雇用が拡大し、2050年までに雇用者数が現在の4倍に相当する4,200万人に増加するとし、コロナ禍後の経済復興と気候変動問題への対処を両立させるには、エネルギー転換を進める「グローバル・グリーン・ニューディール」を国際協力のもとに推進することが効果的であると指摘している。

こうしたグリーン・ディールを進める動きは世界各国に広がっている。ドイツでは、エネルギーシステム、次世代自動車、水素関連の技術開発を含め約500億ユーロ（約6兆円）を投資する計画がある。フランスでは、水素、バイオ、航空などにおけるグリーン技術開発や建築物のエネルギー効率化などを含めた環境対策に、2年間で約300億ユーロ（約3.6兆円）を投資する方向にある。

欧州以外でも昨年7月、韓国が、コロナ禍からの復興戦略「韓国版ニューディール」構想を発表した。韓国はこれを「グリーン・ニューディール政策」と称し、2050年までのカーボンニュートラルの実現を目指し、再エネの普及拡大などを推進するため今後5年間で約73.4兆ウォン（約7兆円）の投資を計画している⁽⁵⁾。米国も、バイデン大統領の公約では今後4年間で、再エネおよび電気自動車（EV）の普及拡大、クリーンエネルギー技術開発などの脱炭素分野に約2兆ドル（約200兆円）の投資を予定しており、世界はグリーン・ディール投資のラッシュを迎える様相にある。

もちろん、こうした各国の投資計画が100%実行されるとは限らないが、各国政府が公式にグリーン・ディールの政策方針を明確な数値と期日をもって示すことが、再エネをはじめとする脱炭素ビジネスを促進させることは間違いないだろう。

(3) 動き出した日本

世界がエネルギー転換を柱としたグリーン・ディールを推進し、カーボンニュートラルを目指す中、2018年7月に公表された、日本の

エネルギー政策の基本方針となる「第5次エネルギー基本計画」で、再エネの主力電源化に取り組むことが明記された。そして、2020年10月26日、第203回臨時国会において、菅総理より「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことが宣言され、日本においてもカーボンニュートラルを目指す方針が打ち出された。

菅総理の宣言では、次世代型太陽電池、カーボンリサイクルをはじめとした革新的なイノベーションが鍵であるとされ、①実用化を見据えた研究開発を加速度的に促進すること、②規制改革などの政策を総動員し、グリーン投資の更なる普及を進めること、③脱炭素社会の実現に向けて、国と地方で検討を行う新たな場を創設すること、④環境関連分野のデジタル化により、効率的、効果的にグリーン化を進めていくこと、⑤世界のグリーン産業をけん引し、経済と環境の好循環を作り出していくことが述べられた。

宣言の中で、カーボンニュートラルに欠かせない再エネについては、最大限導入することが改めて方針として表明されたが、現状の再エネ導入目標は、経産省が2015年7月に公表した「長期エネルギー需給見通し」に記された2030年の電源構成における割合で22～24%のままとされている。

カーボンニュートラルを目指す欧州諸国の2030年の再エネ導入目標は、ドイツ65%、スペイン74%、フランス40%など高い目標が掲げられている⁽⁶⁾。これに対して、日本の導入目標は明らかに見劣りし、再エネ主力電源化という政策方針と実態となる政策目標が乖離している。

こうした状況を解消しカーボンニュートラルを推進するため、政府は、2020年12月25日、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（以下、グリーン成長戦略）を公表した。「2050年には発電量の約50～60%を太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーで賄うこと」が、「議論

を深めて行くに当たっての1つの参考値」として示された。グリーン成長戦略におけるその他の電源構成として、原子力と二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS）・カーボンリサイクル付きの火力を合わせて30～40%、水素・アンモニア発電で10%が示されており、再エネを最大導入した電源構成をどのように構築していくかが今後の課題となっている。

3. カーボンニュートラルに不可欠な再エネ導入の鍵～洋上風力発電～

（1）日本の可能性と課題

再エネ最大導入の鍵となるのが、日本の再エネの中でも高いポテンシャルを持つ洋上風力発電の活用である。日本の洋上風力発電のポテンシャル（潜在的な発電電力量）は、水深10～50mの海底に基礎を築いて風車を設置する着床式で約128GW、水深100～300mの海域に風車を浮かべる浮体式で約424GWとされている⁽⁷⁾。

こうした洋上風力発電の活用に向け、2020年12月、政府の「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」は、洋上風力発電の導入を2030年までに10GW、2040年までに30～45GWまで拡大する「洋上風力産業ビジョン（第1次）」をまとめた。原子力発電の設備容量を1基1GWとすれば、2040年の導入目標は原発30～45基分に相当する。同ビジョンでは、着床式の発電コストを、2030～2035年までに、8～9円/kWhにすることも盛り込まれている⁽⁸⁾。

洋上風力発電の中でも特に注目すべきは、約424GWという高いポテンシャルを持つ浮体式である。現在まで世界の洋上風力発電は、水深の浅い海に既存技術で比較的容易に設置できる着床式を中心に普及が進んできた。一方、世界の洋上風力資源のポテンシャルは、その80%以上が着床式が建てられない水深60メートル以上の沖合にあるとされている⁽⁹⁾。従って、日本のみならず世界的な洋上風力発

電の普及拡大には浮体式が必須と考えられ、世界でその開発と実装が進められている。

また、洋上風力発電所の建設における最大の課題はコストであり、多方面でコストダウンを目指した技術開発・事業開発が継続されている。

(2) 世界で進む浮体式洋上風力発電の開発

①ハイウインド・スコットランド

浮体式洋上風力発電の開発と実用でいち早くプレゼンスを発揮したのが北欧最大手の石油・ガス企業エクイノール社(旧スタトイル社)である。同社は、2009年からノルウェー・カルモイ沖10kmの海域で「ハイウインド・プロジェクト」と呼ばれる世界初の2.3MW級スパー型浮体式洋上風力発電の実証研究を開始し、2011年には発電累計10GW、稼働率約50%という成果をあげた。

この実証研究の成果をもとに、2017年10月18日、再エネ事業やスマートシティ事業を手掛けるアラブ首長国連邦(UAE)・アブダビのマスダール社と事業提携し、スコットランドの沖合25kmの地点に浮体式5基を設置した発電所「ハイウインド・スコットランド」から世界初となる電力供給を開始し、浮体式洋上風力発電の社会実装に成功している。

「ハイウインド・スコットランド」の浮体式は、風車の浮力をうまく利用してあたかも釣りて使う浮きのように風車を海上に立たせる「スパー型」と呼ばれる方式である。「ハイウインド・スコットランド」の最大出力は30MW(6MW×5基)で、イギリスの約2万世帯への電力供給を可能とし、2017年11月から2018年1月までの3カ月間における「ハイウインド・スコットランド」の設備稼働率は約65%という好成績を記録している。

また、浮体式の課題と考えられてきたハリケーンなどへの耐久性についても、2017年10月のハリケーン「オフィーリア」(最大風速125km/時)、2017年12月のハリケーン「キャロライン」(最大風速160km/時)という2つ

の大型ハリケーンに耐えた実績を上げている。

さらに、エクイノール社とマスダール社は、浮体式の電力コストについて、2030年までに価格競争力のある0.04～0.06ユーロ/kWh(約5.2～7.8円/kWh)に引き下げることを目指しており、コスト面でも今後の展開が期待されている。

②ウインドフロート・アトランティック

浮体式洋上風力発電の社会実装の動きは「ハイウインド・スコットランド」だけではない。欧州の大手エネルギー企業EDP社、米国の洋上風力発電開発会社プリンシプル・パワー社などが協力してポルトガル沖で取り組んでいた浮体式洋上風力発電プロジェクト「ウインドフロート・アトランティック」(8.4MW×3基=25.2MW)が、2020年7月27日に実用運転を開始しているなど、世界では浮体式実装の動きが活発化している⁽¹⁰⁾。

③日本の取り組みと課題

日本においても長崎県五島市で2MWの浮体式の社会実装が2016年から始まっている。今後、日本国内でどのくらい浮体式が導入できるかが再エネ導入最大化のポイントとなるが、特に、風力発電メーカーなど風力発電事業における国内事業者の撤退が相次いでいることから、現状日本で計画されている洋上風力発電の多くは海外事業者に頼らざるを得ない状況である。このため、洋上風力発電の国内事業体制の再構築が喫緊の課題と言える。

4. 再エネ最大導入のためのエネルギーシステムの構築～

(1) 電力システムのスマート化～IoE～

気象条件によって出力が変動する再エネを大量導入するには、変動を平準化して電力系統に統合するエネルギーシステムの構築も重要となる。

洋上風力発電などの大規模な再エネ電力は、

発電地域のみならず広域で消費できるよう、発電地から需要地への送電を可能とするマスタープランの構築と全国規模での系統の一体運用を可能にする整備が必要である。また、再エネが系統に接続しやすくするよう、系統の空き容量を効率的に利用できるコネクタアンドマネージなどのルール整備も必要である。同時に、再エネをコントロールして系統に統合するため、新たなエネルギーシステムとしてAI（人工知能）、IoT（モノのインターネット）、ビッグデータを活用したインターネット・オブ・エナジー（IoE）という「系統のスマート化」も進める必要がある。

IoEは、ビッグデータとして蓄積した気象予測データと電力需給データをAIで解析することで最適なエネルギー需給指令を導き出し、その指令をIoTで結ばれた各発電所や需要側の施設や機器に指示を出し、コントロールすることで電力需給の安定化を図るものである。

欧州は、いち早くIoEの構築に取り組んでおり、2011年には、フランス、ベルギー、ドイツ、イタリア、スペイン、スイスなど欧州11カ国から、大手電力会社、ICT関連会社、大学・研究機関など35の企業、団体が参加して、インターネット・オブ・エナジー（IoE）を開発するフィンジニ（FINSENY：Future Internet for Smart EnergyY）というコンソーシアムが組織されている。

FINSENYは、IoEの開発とその国際標準化を含めた社会実装を目指し、スマートグリッド（次世代送電網）における発電予測制御・最適化のためのICT開発とその標準化を目的に実証実験を行う組織である。参加メンバーには、ドイツ電力大手E.ON社、フランス電力大手EDF社、スイスに本社を置く電力関連大手ABB社、世界的な通信機器メーカーであるスウェーデン・エリクソン社、情報通信・電力関連のグローバル企業シーメンス社など、国境を越えたそうそうたるメンバーが参加し、IoEの技術開発と社会実装に取り組んでいる。

FINSENYの特徴は、技術開発だけでなく技

術標準化も進められている点である。新たなエネルギー技術が生み出され、それが広がりグローバルな市場を形成していく過程においては、各国が個別な技術を採用しては、それが国を越えた普及・流通の障壁となりかねない。そのため、技術の国際標準化が必要となってくる。世界貿易機関（WTO）の「貿易の技術的障害に関する協定」（TBT協定）では、WTO加盟国は強制／任意規格を必要とする場合、関連する国際規格が存在する場合はその国際規格を自国の規格の基礎としなければならないとしており、原則として国際標準化機構（ISO）や国際電気標準会議（IEC）など国際的な標準化機関が作成する国際規格を自国の国家標準の基礎とすることが義務付けられている。そのため、パリ協定の発効を背景に、国際普及が本格的に始まろうとしている再エネをはじめとする様々なクリーンエネルギーの技術について、他国に先駆けいち早く自国に有利な形で国際標準化を構築し、自国の技術と製品を国際普及させようと各国が動いている。

IoEはエネルギー転換を推進する核となる技術である。FINSENYは、パリ協定採択前の2011年という早い時期から活動を始めている。欧州各国には、他に先駆けて、IoEの開発を連携して推し進めることで、気候変動時代におけるエネルギー分野での優位性を勝ち取ろうとする姿勢が伺える。日本もこのことについて早急な対応が必要である。

（2）電力部門と運輸部門のセクターカップリング～V2G～

再エネの普及にはIoEで電力の需給をコントロールする必要があるが、IoEを構築する重要なデバイスとなるのが蓄電池である。気象条件が良く、太陽光や風力が需要を上回る発電を行うと、電力系統へ流れる電力が供給過多となり、需給バランスが崩れることで大規模停電となる恐れが大きい。逆に、気象条件が悪く、太陽光や風力の発電が落ち込むと電力の供給不足で需給バランスが崩れる事態

になってしまう。

こうした事態を防ぐため、再エネ電力が余剰となった際には蓄電し、逆に、電力が足りなくなった際には放電して電力不足を補う蓄電池が必要になる。しかし、需給コントロールのためだけに、定置式の大型蓄電池を系統内に設置するのはコストがかかる。そこで実用化が進められているのが、高性能な蓄電池を搭載した電気自動車（EV）をEV充電器を介して電力系統に接続することで、再エネの余剰電力をEVの蓄電池に充電し、必要な時はEVから放電して活用するシステム、すなわち、V2G（Vehicle to Grid）である。2018年末現在、世界の自動車保有台数は約14億台⁽¹¹⁾であるが、その全てが常時走行しているわけではない。1台の車の走行状況を見ると、1日のうち約9割（20時間強）は停車状態にある。EVであれば、停車中は充電器に接続されている車両も多いことから、市中に停車中のEVの蓄電池を電力系統用にシェアして活用するV2Gを導入することは、再エネ電力が流れる系統の安定化にとって有効な選択肢となる。このように、電力部門のCO₂排出削減策として再エネを導入するにあたり、蓄電池を搭載したEVをはじめとする電動化車両が重要な役割を担うようになる。

他方、世界の部門別CO₂排出で電力に次ぐ約20%を占めるのが運輸部門であるため⁽¹²⁾、カーボンニュートラルを目指す国々では、運輸部門からのCO₂排出削減のためEVやプラグインハイブリッド車（PHV）、燃料電池車（FCV）などの電動化車両の普及が進められている。すなわち、運輸部門の自動車という移動手段と電力部門のエネルギーシステムである電力系統が部門を超えて融合するセクターカップリングを進めることがカーボンニュートラルを目指す上で重要となっている。

再エネの普及途上にあり、EVの普及も思うように進んでいない日本では、V2Gはまだ先の話と考えられがちだが、すでに2016年8月、日産自動車㈱とイタリアの電力大手エネル社、

そして米国で電力事業を展開するベンチャー企業・ヌービーコーポレーションの協力により、デンマークで世界初となるV2Gの商業運転が開始されている。さらに、2018年3月6日には、スイスのジュネーブで開催されたジュネーブモータショーにおいて日産自動車㈱は、自社の先進技術戦略である「ニッサン・インテリジェント・モビリティ」の取り組みの一環として、ドイツ電力大手E.ONとV2Gで戦略的パートナーシップを結ぶことを発表している。日産ヨーロッパのポール・ウィルコックス会長は、E.ON社との戦略的パートナーシップ提携にあたり、「EVを所有する顧客に無料で電気を提供するという究極の目標を掲げて、エネルギーサービスビジネスにおける自動車メーカーとしてのパートナーになることを目指す」という趣旨のコメントをしている⁽¹³⁾。再エネの余剰電力は、文字通り「余った電気」であり、その価格は実質タダである。そもそも、再エネは限界費用がゼロでもある。自動車メーカーの狙いは、V2GによりEVがエネルギーシステムの一部となることで、実質タダの余剰電力をEVのエネルギーとして活用しようとするところにある。

EVについては、製造時のCO₂排出量がガソリン車と比べて多いことから脱炭素への貢献を疑問視する声もあるが、EVを普及させV2Gを行うことで再エネの導入が進み、それにより脱炭素効果を得られるという利点があることをあわせて評価すべきであろう。すなわち、これからの車については、移動手段としての評価基準だけでなく、エネルギーシステムの一部としての評価基準も設けることが必要である。

（3）電力部門と燃料部門のセクターカップリング～P2G～

再エネ導入が進めば進むほど、その余剰電力を蓄電・放電するためのV2Gの役割が重要になってくる。その余剰電力を活用するもう1つの方法として、余剰電力で水を電気分

解して水素 (H_2) に転換する P2G (Power to Gas) がある。

蓄電池に溜めた電気は時間とともに消耗していくが、水素に転換することで貯蔵が可能になり、水素ガスや液体水素といった形で運ぶこともできるほか、トヨタ自動車㈱の“MIRAI”など水素を燃料として走行するFCVへ供給することもできる。

さらに、水素は、天然ガスと同様な資源として活用できるというメリットがある。天然ガスの主成分は炭素原子に水素原子が結合したメタン (CH_4) であり、天然ガスの成分である水素は、混入割合を調整すれば天然ガスパイプラインに通すことが可能である。

既にドイツのE.ON社は、ドイツ東部のファルケンハーゲンに、風力からの電力を活用して水素を製造し、天然ガスパイプラインに注入するパイロットプラント「ウインドガスファルケンハーゲン」を建設し、2013年8月に運転を始めている。また、同じくドイツ電力大手RWE社は、2015年8月、ドイツのノルトライン・ヴェストファーレン (NWR) 州イッペンビューレンに、再エネ発電の需給コントロールを目的に、再エネの余剰電力により生成した水素ガスを天然ガスパイプラインに混入して利用するP2Gプラントを建設し、商業化に向けた本格的な開発を始めることを公表している。

欧州の電力大手が他に先駆けてP2Gに取り組む中、欧州委員会 (EC) は2020年7月8日、「欧州の気候中立に向けた水素戦略」を発表し、気候中立 (カーボンニュートラル) に向けて再エネ由来の水素をはじめとするクリーン水素の活用を推進する方針を示している。

P2Gは、再エネによる電力から水素という燃料を生み出すもので、電力部門と燃料部門が部門を超えて融合したセクターカップリングとなる。再エネを最大導入しカーボンニュートラルを推進するには、V2GとともにP2Gというセクターカップリングを日本においても社会実装していく必要がある。

(4) 火力とP2Gとのセクターカップリング

カーボンニュートラルを目指すには火力の脱炭素化を進める必要があるが、ここでもセクターカップリングが重要になる。日本政府のグリーン成長戦略では、火力についてCCUS・カーボンリサイクルと組み合わせることが前提とされている。

ドイツでは既に、二酸化炭素回収・利用 (CCU) では、自動車メーカー・アウディ社が2013年からドイツ・ザクセン州南部のヴェルルテにある自社のP2Gプラントで、風力の電力で水を電気分解して水素を製造し、さらにその水素を、回収したCO₂と反応させ天然ガスの主成分であるメタンガス (CH_4) を製造している。こうした水素とCO₂によるメタンガスの製造は「メタネーション」と呼ばれており、アウディ社は自社プラントで作った人工メタンガスをアウディ・イー・ガス (Audi e-gas) と呼び、自社のガス自動車「g-トロン」への供給を行うなどの実用化を果たしている。

日本においてもアウディ社のように、再エネ電力で製造した水素と火力発電所から回収したCO₂でメタネーションを行い、燃料となるメタンガスを製造するなど、再エネ部門と火力部門のセクターカップリングによるCCUの社会実装を進める必要がある。CO₂を回収して地下に貯留するCCSについては、北海道苫小牧でCO₂を地下に圧入する実証実験が行われたが、日本におけるCCS適地がどのくらいあるのかさらなる検討が必要である。また、地下への貯留は無限にできるものではないことから、CCUと合わせた火力の脱炭素化がポイントとなるであろう。

(5) リプレースが見通せない日本の原子力

政府のグリーン成長戦略において火力とあわせて電源構成比率30～40%とされた原子力は、リプレース (建て替え) が今後どのくらい進むかが注目される。2021年2月18日現在、日本の原子力は、運転中 (発電中) 4基、停止中29基の計33基となっている。仮に全

基の運転期間を60年に延長しても2060年には5基にまで減少し、2069年には0基となることから、リプレース無しには、原子力を重要な選択肢とするのは難しい⁽¹⁴⁾。原子力の安全性という視点からもリプレースは重要となるが、現状リプレースの見通しは不透明である。また、放射性廃棄物処理の問題についても未だ解決には至っていない。原子力利用にあたってはこうした課題に答えを出すことが欠かせないであろう。

5. エネルギー転換が引き起こす鉱物資源リスク

(1) 鉱物資源リスク

カーボンニュートラルに向けて再エネの普及を進めるエネルギー転換は、CO₂排出というリスクに対応する一方で、鉱物資源の需要を増大させ、需給を不安定化させる「鉱物資源リスク」を引き起こすと危惧されている。

パリ協定発効当時に公表された国際エネルギー機関(IEA)の『世界エネルギー見通し2016』では、パリ協定の目標を達成する450シナリオの場合、2015年の風力導入量383.58GWに対し、2040年にはその約6倍の2,312GWに拡大する見通しとなっている。2015～2040年における年間の増加量は、単純計算で約80GW/年となる。

他方、風力発電タービンの製造にはレアアース元素であるジスプロシウムが必要になるが、その使用量を高位の25kg/MWとすると⁽¹⁵⁾、IEAの450シナリオでは年間約2,000tのジスプロシウムが必要になる。2017年のジスプロシウムの世界生産量が約1,500tであった⁽¹⁶⁾ことを考えると、風力発電設備の需要だけでジスプロシウムの年間生産量を上回ることになり、供給の不安定化が発生すると考えられる。

ジスプロシウムの例はあくまで単純計算によるものだが、エネルギー転換により、ジスプロシウムの他にもEV蓄電池の電極材に必要なコバルトなど様々な鉱物において鉱物資

源リスクが懸念されている。このため、カーボンニュートラルを目指すにあたっては、鉱物資源リスクという問題にも向き合っていかなければならない。

(2) 欧州の対処方針：サーキュラー・エコノミー(CE)構築

こうした鉱物資源リスクに対して欧州グリーン・ディールでは、サーキュラー・エコノミー(CE)の構築により対処する方針が示されている。CEは、欧州グリーン・ディールの中で重要課題として提唱されている持続可能な社会を構築するための資源循環政策である。現在の経済モデルは、地中に埋まっている天然資源を掘り出し、それをもとに製品を生産・消費し、不要になったら捨てる、①採鉱→②生産→③消費→④廃棄という、資源を直線的に消費し続けることで経済を成り立たせている線型経済とされている。

一方、CEは、廃棄物を捨てるのではなく、きちんと管理・再生して再び資源として利用する、①採鉱→②生産→③消費→④廃棄物管理→⑤廃棄物からの資源再生→再び生産へ、という循環サークルを形成し、資源の価値を循環サークルの中で可能な限り持続させるという資源循環型の経済である。

一見すると単なる環境政策に見えるが、EUでは、CEによる資源循環は、EUの技術革新と雇用創出に大きな利益をもたらすものとされている。すなわち、2030年までに18万人以上の直接雇用を創出し、EUの国内総生産(GDP)を7%増加させ、EUの国際競争力を向上させることを見込んだ経済戦略としても位置付けられている。

2015年12月にはCEを構築するための行動計画となる政策文書『サーキュラーエコノミーパッケージ』(CEP: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy)が発表されている。図1のように、①採鉱→②生産→③消費→④廃棄物管理→⑤廃棄物からの資源再生→再び生産へ、という一連の循環サー

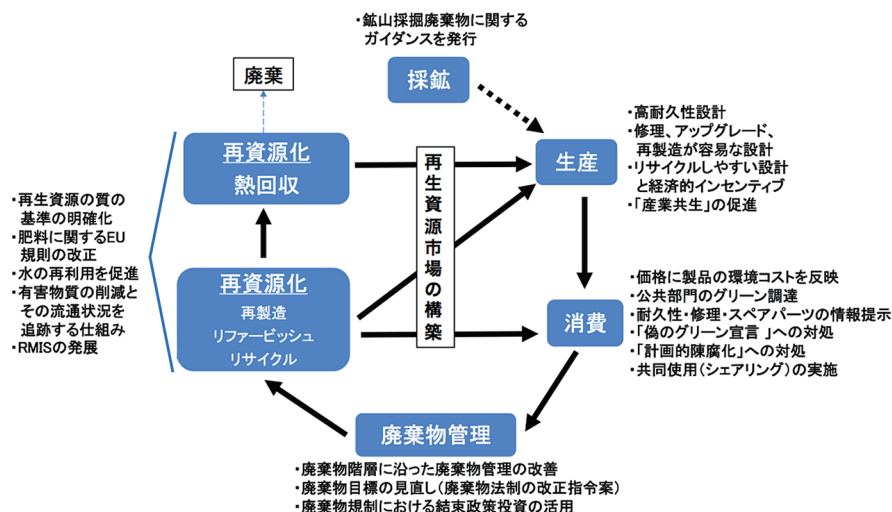


図1 欧州の資源循環体系（CEP）の概観

クル全般における取り組みのポイントが示されている。こうしたCEPに則り資源を再生し、その再生資源で作られた製品を流通させる新たな再生資源市場を構築することにより、世界の経済モデルをCEへと転換させ、欧州から世界中へクリーンな製品やサービスを輸出することを狙った欧州の経済戦略と考えられる。

CEでは、環境に負荷をかけて採掘される天然資源よりも廃棄物から再生した資源のほうが優先されることになる。それは、これまでの資源の常識を覆し、廃棄物が天然資源よりも価値を持つという「資源の大転換」を意味する。例えば、CEの文脈で鉱物資源のレアアースを考えてみよう。レアアースは風力発電機のモーターなどに使用され、省エネ・高効率機器には欠かせない資源である一方、その埋蔵、生産とも中国が圧倒的多数という偏在性が高く、需給不安定化のリスクを常に抱える鉱物資源である。これまで世界は中国依存というリスクの中、何とかレアアースを安定確保しようと苦心してきたわけだが、CEでは、中国が掘り出す天然資源よりも、どこかの国で廃棄物から資源再生されるレアアースのほうが価値を持つことになる可能性がある。

既にECは、2018年に報告書『サーキュラー・エコノミーにおける重要な原材料に関するレ

ポート2018年』を公表した。カーボンニュートラルを目指す上で普及が必要な、ソーラーパネル、風力タービン、EV、LED照明などの製造に欠かせない鉱物を含め、CEにおいて特に再生資源化すべき27種類の鉱物を指定しており、今後環境に負荷をかけて掘り出される天然資源は、石炭のように投資撤退される可能性もある。すなわち、廃棄物から資源を再生し、利用できる国が資源国になり、資源エネルギーの地勢図が大きく塗り変わることも考えられる。

（3）始まっているCEの国際競争

EUが取り組んでいるCEは、日本とはあまり関係ないと思われるかも知れないが、2018年にはフランス主導でISOの中にCEの国際標準化を進める技術委員会が設置されており、2021年1月現在、参加国70カ国、オブザーバー国11カ国に及んでいる。前述した通り、WTOのTBT協定では、WTO加盟国は原則としてISOなど国際的な標準化機関が作成する国際規格を自国の国家標準の基礎とすることが義務付けられている。すなわち、欧州主導のCEが国際標準化されると、日本も再生資源の製造方法や品質などについて欧州のルールに従わなければならない、国際競争力の面で影響を受ける可能性がある。

既に欧州では、フランスを本拠とするヴェオリア社やスエズ社など、大規模なリサイクルを手掛ける「メガリサイクラー」と呼べる大企業により、廃棄物回収から再資源化、そして再生資源販売を含めたビジネスモデルが確立されており、スケールメリットを活かした大規模なビジネス展開がなされている。

また、中国も資源循環系の企業買収を進め資源循環ビジネスに進出してきている。2016年9月には、上海を拠点とする廃棄物管理企業のCNTY社が、スペインの廃棄物管理大手Urbaser社を約20億ポンド（約3,000億円）の巨額で買収した。そして、2018年7月、北京で開催された「第20回中国・EU首脳会議」において、包括的な戦略的パートナーシップを推し進める中で、CEの分野での対話・協力を進めることが合意されている。まさに、欧州のCE構築の動きに対し、中国は欧州企業の買収という形で勢力を拡大するとともに、EUとの協力関係の合意も取り付けるというしたたかな戦略に打って出ている。

6. 日本の循環型社会構築と欧州のCE

（1）日本の循環型社会構築～循環基本法～

欧州がCEの構築とその国際標準化を目指す中、日本における循環型社会の構築は、環境基本法のもとで2000年に制定された「循環型社会形成推進基本法」（以下、循環基本法）とその実施法によって推進されている。

循環基本法では、循環型社会構築について、なにを優先的に取り組むべきかという優先順位と、誰がその責任を負うかという2つの基本的な考え方が示されている。施策の優先順位は、①廃棄物の発生抑制、②再利用（リユース：循環資源をそのまま繰り返し使うこと）、③再生利用（マテリアルリサイクル：循環資源を原材料として利用すること）、④熱回収（サーマルリサイクル）、⑤適正処分、としている。責任の負担については、これまで市町村が負ってきた廃棄物の処理に関わる責任の

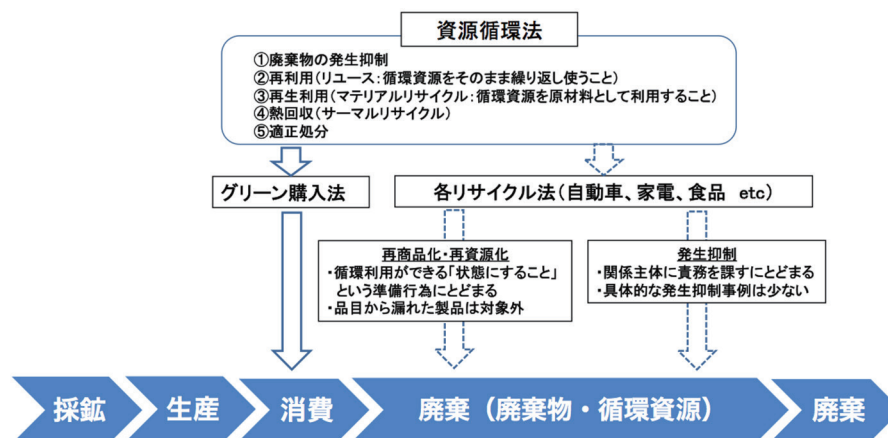
全部、または一部を製品の生産者が負う「拡大生産者責任」があげられている。

こうした循環基本法の趣旨を具体化するための実施法として、「自動車リサイクル法」、「建築資材リサイクル法」、「食品リサイクル法」、「小型家電リサイクル法」、「家電リサイクル法」、「容器包装リサイクル法」という個別のリサイクル法が施行されている。また、国・地方公共団体や独立行政法人などが物品や役務の調達にあたり循環資源の再利用・再生利用により得られた製品や原材料を率先して選択することを目的とした「グリーン購入法」も施行されている。

（2）日本の課題と欧州CEとの違い

一見すると日本の循環基本法は、欧州のCEと似通った資源循環を促すものに見える。しかし、循環基本法の趣旨を具体化するために施行された個別のリサイクル法における再商品化、再資源化とは、循環利用できる「状態にすること」という準備行為にとどまっており、循環基本法の趣旨である、再利用（リユース：循環資源をそのまま繰り返し使うこと）、再生利用（マテリアルリサイクル：循環資源を原材料として利用すること）とは乖離しているという課題がある。また、個別リサイクル法による再商品化、再資源化は、品目別に実施されることから、品目から漏れた製品は対象とされないという課題もある。さらに、循環基本法で取り組むべき施策の最上位にある廃棄物の発生抑制では、現行法では関係主体に対する責務を課すにとどまっており、具体的な政策により発生抑制を行う事例は少ない状況にある⁽¹⁷⁾。

また、日本の施策は、欧州のCEのように経済モデルを根本的に変革する趣旨のものではなく、図2で示すように①資源の採取→②製造→③消費→④廃棄、という従来の線型経済をもとにしたもので、日本の資源循環体系はとて欧州のCEに対応できるものとはなっていない。



以上のように、循環型社会の構築における日本と欧州の施策は、趣旨、内容、実効性にわたりその体系は大きく異なっている。将来的に懸念される鉱物資源リスクに対しても、日本は、従来型の備蓄を主とする施策と個別リサイクル法の範疇で対処する。これに対し、欧州ではよりマクロな視点から、「再生資源市場の創出で資源制約と経済成長をデカップリングさせる CE」という新たな循環型経済の構築による対処を目指している。ここに大きな違いがある。

（１）海外依存の呪縛から逃れるチャンス

くとも、地下から掘り出された天然資源の純度を高めて作られた製品が、膨大な量の廃棄物として国内に蓄積されている。これは、都市の中に存在する鉱山という意味の「都市鉱山」と呼ばれており、日本の中にも十分な資源ポテンシャルがある。例えば、金は6,800tが都市鉱山として日本国内に蓄積されており、世界の埋蔵量42,000tの16%に匹敵するとされている。これは各国の地下埋蔵量との比較(2009年)では、1位アフリカ(6,000t)、二位オーストラリア(5,000t)、同ロシア、3位米国(3,000t)、同インドネシアを抑えてなんと世界一の資源量となる⁽¹⁹⁾。

こうした「都市鉱山」は、その資源量があっても資源再生できる技術がなければ活用することはできないが、日本はハイブリッド車の蓄電池からニッケル、コバルト、レアアースなどを回収し、再び蓄電池製造の原料として活用する技術をすでに確立しているなど、資源再生における高い技術力を持っている⁽²⁰⁾。エネルギー転換とCEの構築という流れは、国内にあるこうした資源を最大限活用することで、日本が資源を生み出す資源大国へと進化する大きなチャンスであるといえるであろう。

8. おわりに～より高い再エネ導入目標とCE構築の視点を～

日本のエネルギー政策の大方針となるエネルギー基本計画は少なくとも3年毎に策定されことから、次の「第6次エネルギー基本計画」は2021年度頃に作成される予定であり、これから議論が活発化していく段階にある。特に、2050年までのカーボンニュートラル達成のためには大胆な再エネの普及が必要であり、「第6次エネルギー基本計画」は、いかにして先進諸外国に勝る再エネの導入目標を掲げられるかがポイントとなるであろう。

また、「第6次エネルギー基本計画」にCEの視点を盛り込むことも必要である。これまでは、CEのような資源循環という視点はエネ

ルギー基本計画に十分に反映されてこなかった。しかし、カーボンニュートラルを目指すための施策として各国で取り組まれているグリーン・ディールでは、エネルギー政策と資源循環政策は一体化した政策として自国の国際競争力を高める戦略となっていることから、日本も「第6次エネルギー基本計画」の中に日本の国際競争力を発揮できるCE構築の視点を盛り込むべきである。

次期エネルギー基本計画はこうした考えのもとで遅れを取り戻し、日本こそが世界のエネルギー転換とCEをリードする内容とするべきである⁽²¹⁾。

参考文献

- (1) 環境省、「カーボン・オフセット / カーボン・ニュートラルとは?」, (http://offset.env.go.jp/about_cof_cn.html)
- (2) 経済産業省、「2050年カーボンニュートラルを巡る国内外の動き」, 第2回中央環境審議会地球環境部会 中長期の気候変動対策検討小委員会 産業構造審議会産業技術環境分科会, 地球環境小委員会地球温暖化対策検討ワーキンググループ合同会合, 資料3, 2020年12月16日
- (3) 欧州連合日本政府代表部, 「EU情勢概要」, 2020年10月
- (4) 国際再生可能エネルギー機関 (IRENA), “Global Renewables Outlook” (国際再生可能エネルギー見通し), 2020年4月
- (5) 「韓国版ニューディール」構想を公表, 日本貿易振興機構 (JETRO) ビジネス短信 (<https://www.jetro.go.jp/biznews/2020/07/13ab4b4a83978545.html>), 2020年7月17日
- (6) 自然エネルギー財団「欧州各国・米国諸州の2030年自然エネルギー電力導入目標」, (<https://www.renewable-ei.org/activities/statisticstrends/20210115.php>), 2021年1月15日
- (7) 日本風力発電協会, 「洋上風力の主力電源化を目指して」, 経済産業省, 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会, 第1回会合 資料4-1, 2020年7月17日
- (8) 経済産業省, 「洋上風力産業ビジョン (第1次)」, 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会, 令和2年12月15日
- (9) Equinor, “World class performance by world's first floating wind farm” (<https://www.equinor.com/en/news/15feb2018-world-class-performance.html>)
- (10) Principle power, “The first floating wind farm in continental Europe is now fully operational” (<https://www.principlepowerinc.com/en/news-press/press-archive/2020/07/27/the-first-floating-wind-farm-in-continental-europe-is-now-fully-operational>), 27 July 2020
- (11) (一社) 日本自動車工業会, 「世界各国の四輪車保有台数 (2018年末現在)」, (http://www.jama.or.jp/world/world/world_2t1.html)

- (12) International Energy Agency (IEA), “CO2 emissions from fuel combustion 2016,”
- (13) 欧州日産, “The acceleration of electrification: Nissan powers ahead with innovative electric ecosystem in Europe (<https://europe.nissannews.com/en-GB/search?query=V2G&selectedTabId=releases>), 2018 年 3 月
- (14) 橘川武郎『エネルギー・シフトー再生可能エネルギー主力電源化への道』白桃書房, 2020 年 9 月 16 日
- (15) World Bank Group, “The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future” June 2017
- (16) Adamas Intelligence, “Spotlight on Dysprosium,” April 2018 (<https://www.adamasintel.com/report/download-spotlight-on-dysprosium-revving-up-for-rising-demand/>)
- (17) 黒川哲志, 奥田進一編, 『環境法のフロンティア』成文堂, 2015 年 4 月 1 日
- (18) 経済産業省, 「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」, 調達価格等算定委員会 第 61 回 資料 1, 2020 年 9 月
- (19) 米国地質調査所 (USGS), “Mineral Commodity Summaries 2009”
- (20) (一社)産業環境管理協会資源・リサイクル促進センター「リサイクル先進事業」, レアメタルリサイクルホームページ (<http://www.cjc.or.jp/raremetal/advanced-business-model>)
- (21) 平沼光, 「資源エネルギー覇権競争の大転換が始まった」, 『中央公論』2021 年 3 月号, 中央公論新社