

論 文

混迷する国際情勢と国際エネルギー市場展望*

山下 ゆかり**

＜要旨＞

パリ協定以降、気候変動対策を最優先課題として取り組んできた国々は、ロシアによるウクライナ侵攻で石油危機以来のエネルギー安全保障の課題に直面し、その重要性を再認識することとなった。気候変動対策のために導入が進められてきた再生可能エネルギーだけではガス供給不足による電力不足を十分に代替供給できない中、ウクライナ危機だけでなく複合的な理由から、日本を含む各国でエネルギー・環境政策の見直しが迫られている。例えば、欧州における原子力や LNG の役割の見直しや、自由化市場における電力需給ひっ迫の課題である。

2050 年のカーボンニュートラル実現に向けては、電力部門以外でのエネルギー利用への対応が重要であり、水素・アンモニアが有望視されているほか、二酸化炭素隔離などの新技術の重要性が増している。そして新たな安全保障上の脅威として、移行期の利用が続く化石燃料資源の寡占を招く危険性やクリティカルミネラルの偏在性への対応の重要性について指摘する。

JEL Classification Codes : Q34, Q47, Q58

Keywords : エネルギー安全保障、電力需給ひっ迫、クリティカルミネラル

* 本稿のうち、「第 6.4 節 クリティカルミネラル問題」の記述は、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) の委託調査「令和 4 年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査」の成果の一部を同機構の許可を得て日本エネルギー経済研究所の「IEEJ Outlook 2023」に掲載した分析からの抜粋です。ここに記して感謝致します。なお、本稿における誤りは全て筆者に帰するものです。

** 山下 ゆかり：一般財団法人日本エネルギー経済研究所 常務理事。

Geopolitical Confusion and Prospects of Global Energy Market

By Yukari YAMASHITA

Abstract

The world has been tackling with climate change challenges as one of its priorities ever since the Paris Agreement. The Russian invasion of Ukraine served as a reminder of the importance of energy security. While increasing renewable energy cannot fully replace the loss of natural gas nor the shortage of power supply, adjusting energy and environment policies and measures is becoming an urgent requirement. For example, it is important to revisit the role of nuclear and LNG in Europe and review the issue of power supply shortages in liberalized markets around the world. In order to reach the carbon neutral target by 2050, addressing non-power sector is indispensable. Hydrogen and ammonia are considered promising for this purpose. Moreover, new technologies including carbon capture and storage technologies will carry more importance. Two potential new security threats are mentioned, first, possible oligopoly of fossil fuel resources which are still required in a transitional period and second, critical minerals which are unevenly distributed.

To reach carbon neutrality by 2050, addressing non-power sectors is indispensable. For this purpose, hydrogen and ammonia are both considered promising. Moreover, new technologies including carbon capture and storage technologies will carry more importance. Two potential new security threats are mentioned, first, possible oligopoly of fossil fuel resources which are still required in a transitional period and, second, critical minerals which are unevenly distributed around the world.

JEL Classification Codes: Q34, Q47, Q58

Keywords: Energy Security, Power Supply Shortage, Critical Mineral

1. はじめに

パリ協定以降、各国は気候変動問題への対応を最優先課題と位置付け、2050年のカーボンニュートラル目標達成に向けて対応を行ってきた。TCFD¹や ESG 投資²など、脱炭素化を最重視する考え方から、石油やガスなどの化石燃料への上流投資は脱炭素化に反する動きとして充分に行われず、欧州ではウクライナ侵攻以前からガスの供給不足が生じていた。

日本も 2020 年 10 月に当時の菅首相がカーボンニュートラルを宣言して以来、エネルギー基本計画や地球温暖化対策を更新し、クリーンエネルギー戦略などの技術戦略も相次いで導入して脱炭素化への動きを加速させてきた。

2022 年 2 月のロシアによるウクライナ侵攻は世界に大きな衝撃を与えた。パイプラインで供給される天然ガスをはじめロシアのエネルギーへの依存度の高い欧州は経済制裁によるロシア依存度の低減と他の供給国からの確保に追われている。欧州でのエネルギー不足は世界のエネルギー市場に大きな影響を及ぼし、日本においても資源やエネルギーを特定国に依存することのリスクとエネルギー安全保障を確保することの重要性を改めて深く認識することとなった。

本稿では、足元の世界のエネルギー情勢とエネルギー・環境政策への影響及び各国のエネルギー政策の変化、そして 2050 年に向けた課題について紹介する。

2. 2020-2021 年のエネルギー・環境を取り巻く状況

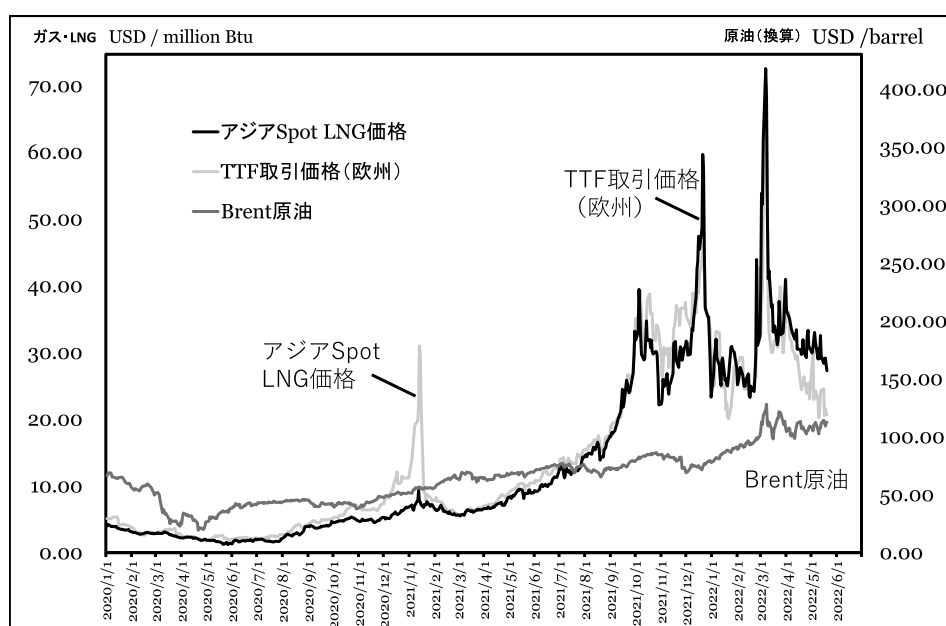
2021 年は新型コロナからの経済回復に伴ってエネルギー需要が急拡大した。加えて、世界各地で厳冬や猛暑などの天候不順による電力需要の急増に供給が間に合わない事態から、バックアップ電源としてガス火力が必要とされる場面が度々生じていた。1 月の日本や韓国、2 月のテキサス、9 月や 11 月のスペインや英国の例である。ガス需要の急増は価格高騰を招いたが、背景には化石資源への構造的な投資不足も要因として挙げられる。図表 1 にあるように、1 月の北東アジアや 9、11 月の欧州ではスポット市場でガス価格が高騰し、原油等価で原油価格を上回る事態が続いていた。カーボンニュートラル目標に向けた移行期の天然ガスの重要性はかねてから指摘されていた。世界各地で変動再エネの導入が増えていることから、機動的に再エネ電力の変動を補い、天候不順などによる需要の急増への対応が可能で二酸化炭素排出量が相対的に少ないガス火力の運用が増えているのである。

¹ TCFD とは「気候関連財務情報開示タスクフォース (Task Force on Climate-related Financial Disclosures)」のこと。G20 の要請を受けて金融安定理事会 (FSB) が民間主導のタスクフォースとして設置した。企業などに対して気候変動関連の情報開示及び金融機関の対応をどのように行うかを検討する国際的な組織である。

² ESG 投資とは、「環境 (Environment)」「社会 (Social)」「企業統治 (Governance)」の頭文字を取ったもので、それら 3 つの要素を考慮した投資方法を「ESG 投資」という。一般的な投資では経営成績や財務状態を示す「財務諸表」をもとに企業を評価するが、ESG 投資では「財務諸表」に加えて、環境・社会・企業統治などの「非財務情報」に配慮している企業を重視・選別して投資を行う。

このように2021年に度々価格が高騰した天然ガスであるが、2021年12月には、欧州のTTF³で天然ガス価格が高騰を始め、年初来約8倍となる60ドル/MMBtuを記録した。需要期の冬を前に値上がりした背景には、ロシア侵攻以前から欧州がガス不足に陥っており、天然ガスの上流投資が足りていなかったことがある。さらに、2022年2月になるとロシアがウクライナに侵略し、欧州がロシア産ガスからの脱却を目指したことで短期的に需給バランスが大きく崩れた結果、2022年3月には、天然ガス価格は欧州のみならずアジアのLNG市場でも史上最高値を付けた（欧州TTFで72ドル/MMBtu、アジアJKM⁴で85ドル/MMBtu）。

図表1 原油価格と天然ガス/LNGスポット価格



出所：各種資料よりエネ研作成

2021年からのこのような価格高騰は天然ガスだけでなく、原油や石炭でも生じていた。米国の原油指標価格であるWTIが2020年4月20日12時にはマイナス38ドル/バレルを記録したことは記憶に新しい。新型コロナの感染拡大に伴う需要縮小の中で、2020年3月にOPECプラスの減産交渉が決裂したことがきっかけであった。ところが2021年には原油価格の上昇が進んだ。新型コロナからの回復に伴う需要増に加え、2021年後半にはガス価格の高騰でガスに比べて割安になった原油を発電用燃料として使う動きが欧州やアジアで広がったことによる。2022年2月にロシアがウクライナに侵略し、ロシア産原油の禁輸が議論されると、原油価格は100ドル/バレルを超え、3月にはWTIに加え、欧州の指標価格で

³ 欧州の天然ガス価格の指標となるオランダ「TTF」の先物市場。この他、英国の天然ガス先物「NBP」市場がある。

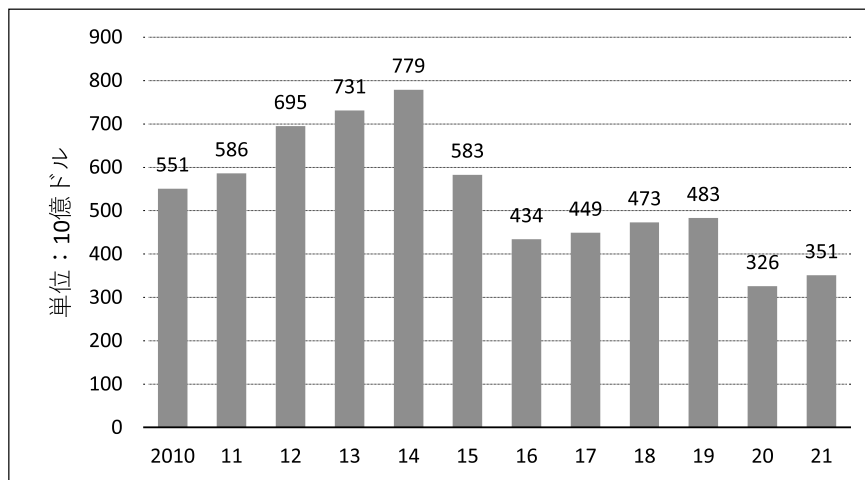
⁴ 北東アジア向けのLNGスポット価格指標。

あるブレントが取引時間中に 130 ドル/バレルを超えた。アジアの指標価格であるドバイも同様に高い水準で推移している。

2021 年には石炭価格も世界各地で上昇した。これは、2021 年の天候不順で欧州の風力発電（欧州の電源構成の 13%）の設備利用率が低下し、ガス火力とともに石炭火力の需要が高まったこと、豪州の石炭の積出し機材の不具合等が背景にあげられる。その後、2022 年に入って以降は、ロシアによるウクライナ侵略をきっかけにエネルギー安全保障が憂慮される状況となっていることを背景に、一度落ち込んだ石炭価格が再び急騰している。石炭輸入国はロシアからの石炭輸入の代替策を模索しているが、インドネシアや豪州等、石炭の主要輸出国では、輸出拡大は困難な状況である。インドネシアでは、国内の石炭需給がひっ迫し、政府は国内向けの石炭供給を確保するために、2022 年 1 月 1 日から石炭の海外輸出を一時制限した。また豪州では、新型コロナのオミクロン株の感染拡大による炭鉱の人員不足から、更に 3 月には豪州東部を襲った記録的な豪雨により、炭鉱や輸出インフラの操業に支障が生じるなどしている。そうした中で、一般炭価格は 3 月上旬に一時 400 米ドル/t 超まで高騰した

このような化石燃料価格の高騰の背景で共通するのは、新型コロナによる世界的な経済活動の縮小から 2021 年は回復によるエネルギー需要が拡大していたこと、それに加えて、化石資源開発投資の減少・停滞による上流投資不足が挙げられる。（図表 2）。

図表 2 上流開発投資額と上流開発企業の投資額の推移



出所：資源エネルギー庁、「エネルギー白書 2022 年版」

さらにカーボンニュートラルの達成を優先課題とする中で、世界的に電力の供給構造に変化が生じている点が指摘される。前述のように、太陽光や風力といった出力調整のできない自然変動電源への依存度が高まる一方で、電力自由化の下で出力調整が可能な石炭火力等が減少しており、天候不順などによる需要の急増に対応できない事態が生じている。電力自由化の下では「市場」で取引されない、または利用される頻度（発電機会）の少な

い発電設備は休廃止せざるを得ない。再生可能エネルギー発電の導入拡大と共に、火力発電は稼働率の低下や集積性の悪化により、先進諸国の多くの国・地域で休廃止が行われた。そのため電力システム全体としての供給余力が低下し、猛暑や厳冬に伴う電力需要の急増に発電設備が追いつかず需給ひっ迫に至る状況や、熱波や寒波に伴う発電設備の出力減や計画外停止の増加で需給ひっ迫に至る状況が散見されるようになった。

欧州では、太陽光や風力等の自然変動電源の割合が拡大しており、調整電源として主に天然ガス火力が活用されているが、前年の寒さから 2021 年の天然ガス貯蔵量が例年と比べて 2 割程度低かったことからその影響が大きくなった。電力の安定的な供給には石炭火力や原子力の調整電源としての活用も有効であるが、欧州の場合は天然ガス火力のみに依存している点がネックとなり、世界的な天然ガス不足が欧州のエネルギー安全保障を脅かす事態となった。

天然ガス価格の高騰を受けて、EU ではウクライナ侵攻よりも前の 2021 年秋から冬にかけて次々と新たな動きがみられた。ドイツでは石炭火力の焚き増しが行われた他、欧州委員会では天然ガス価格の高騰を重く見て、検討中の EU タクソノミー⁵での天然ガス及び原子力の扱いが調整された。フランスではマクロン大統領が原子力の新設を含む新たな政策の検討を開始、2022 年 2 月 10 日に 6 基の原子力の新設（とさらに様子を見て 8 基の追加）を検討することを発表した。

3. 国際情勢とエネルギーを取り巻く状況の変化

2022 年 2 月のロシアによるウクライナ侵攻は既に起きていた天然ガス市場の混乱に拍車をかけた。ロシアからのパイプラインガス供給への依存が大きい欧州各国では、暖房用の燃料としても天然ガスを利用していることから、一般市民の生活をも脅かす重大な事態となり、電力とガスの供給不安の解消が喫緊の課題となった。

3.1 各国のロシア依存度

背景にあるのが、欧州のロシアへの依存度の高さである。2020 年のデータでは石炭（46%）、天然ガス（37%）、石油（26%）の何れもロシアが最大の輸入相手国である⁶。G7 各国を比較した図表 3 にあるようにドイツやイタリアは特にロシアへの依存度が高い。

欧州は 2022 年 3 月に EC REPowerEU で新たなエネルギー安全保障対策を発表した。主な対策は効率化による需要の削減と LNG の追加供給および風力・太陽光発電の導入加速化である。あくまでも想定による需給バランスであり、悪天候による需要の急増などへの対応として、ロシアのウクライナ侵攻以来 2 度目の冬を迎える今冬は暖房の設定温度の引

⁵ 欧州連合（EU）が定めた環境に配慮した経済活動かを認定する基準。タクソノミーは「分類」を表す英語で、パリ協定と SDGs（持続可能な開発目標）を達成するため、環境的に持続可能な投資を促す狙いがある。

⁶ 各シェアの出所は、原油、石炭（固体化石燃料）は Eurostat; 天然ガスは Cedigaz。

き下げなど、市民に行動変革を求めるいわゆる我慢の省エネも要請している。

図表3 G7 各国の一次エネルギー自給率とロシアへの依存度

国名	一次エネルギー自給率 (2020 年)	ロシアへの依存度 (輸入量におけるロシアの割合) (2020 年) ※日本の数値は財務省貿易統計 2021 年速報値		
		石油	天然ガス	石油
日本	11% (石油:0% ガス:3% 石炭:0%)	4% (シェア 5 位)	9% (シェア 5 位)	11% (シェア 3 位)
米国	106% (石油:103% ガス:110% 石炭:115%)	1%	0%	0%
カナダ	179% (石油:276% ガス:13% 石炭:232%)	0%	0%	0%
英国	75% (石油:101% ガス:53% 石炭:20%)	11% (シェア 3 位)	5% (シェア 4 位)	36% (シェア 1 位)
フランス	55% (石油:1% ガス:0% 石炭:5%)	0%	27% (シェア 2 位)	29% (シェア 2 位)
ドイツ	35% (石油:3% ガス:5% 石炭:54%)	34% (シェア 1 位)	43% (シェア 1 位)	48% (シェア 1 位)
イタリア	25% (石油:13% ガス:6% 石炭:0%)	11% (シェア 4 位)	31% (シェア 1 位)	56% (シェア 1 位)

出所：資源エネルギー庁資料、「クリーンエネルギー戦略 中間整理」(2022 年 5 月 13 日、第 8 回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 グリーントランスフォーメーション推進小委員会／総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 2050 年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合、資料 1) に加筆

欧州よりは少ないが日本もロシアから化石燃料を輸入している。自給率が極めて低い日本にとってロシアからの輸入はエネルギー供給国の多様化の一環である。欧州に比べると少ないが、それでもロシアからの天然ガスは 9%を占めており、国内資源に恵まれない日本にとっては重要な供給多様化策の 1 つとなっている。ロシア極東の石油・天然ガス開発事業「サハリン 1、2」への資本参加も多様化戦略の一つである。ロシアへの経済制裁を強化する中、G7 とオーストラリアの合意が得られたロシア産原油へのプライスキップも開始されたが、天然ガス主体のサハリン 2 は除外、サハリン 1 については 2023 年いっぱいの猶予を容認するなど、G7 内で一定の理解が得られているものの、再保険の引き受けの制限など、輸送船舶運航への不安が出始めている。

3.2 電力需給のひっ迫

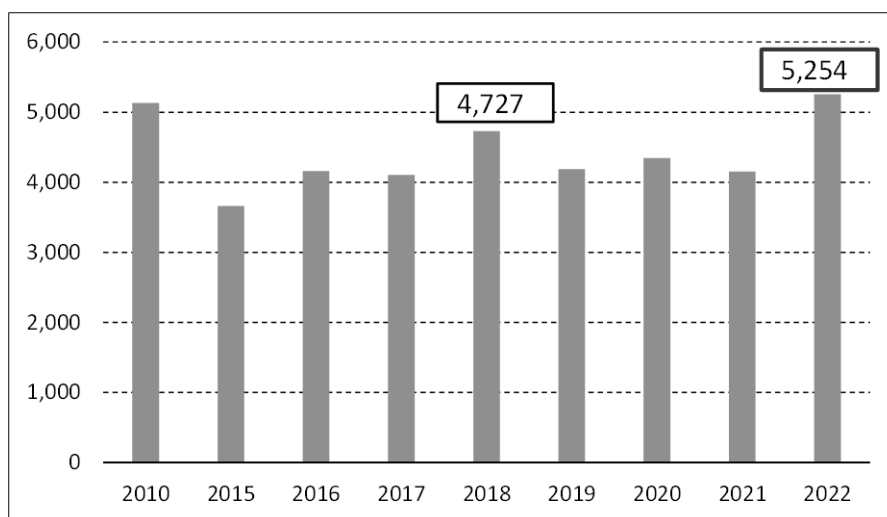
日本においても、2021 年 1 月に急な天候不順による需要の急増に電力供給が追い付かない事象が生じていたが、更に 2022 年には 2 回の電力需給ひっ迫が生じた。3 月 21 日には東京・東北エリアに 2012 年の制定以降初めて電力需給ひっ迫警報が発令された。背景に 2 つの要因があった。第 1 に春先に季節外れの寒波が訪れたことで、暖房需要の増加が見込まれたこと。2021 年 3 月 22 日の東京は、最高気温が 10 度を下回る真冬並みの寒さとなり、都内では降雪も観測された。気温が 1℃下がって増える発電量は、大型の発電所 1 基分に相当すると言われている。第 2 に 3 月 16 日に福島県沖で発生した最大震度 6 強の地震の影響である。当時その影響によって東京・東北エリアの火力発電所 14 基が運転を停止

し、周波数低下リレーが自動動作したことで、一時的に約210万戸で停電が発生した。その後も設備トラブルのため東京電力管内で計画外停止あるいは出力低下が続き、3月22日時点でも6基が運転を再開できず、電力の供給能力が一時的に下がっていた。このような事象は従来も発生していたが、2つ同時に発生したことで、警報の発令に至る事態となった。

一時は東京電力管内で需要が供給を上回る状態にもなったが、停電は回避され、東北電力管内では翌22日、東京電力管内では23日に警報は解除された。ただし、節電できたのは目標値の70%ほどだったこともあり、課題を残す結果となった。

その後政府や電気事業者は対応策の検討を続けていたが、6月下旬には猛暑の影響で再び需給のひっ迫が懸念された。関東地方では6月27日に例年になく早い梅雨明けが宣言され、東日本が猛暑となった。このため、東京エリアのピーク需要が例年同時期の最大値を大きく上回る記録を続けた（図表4）。例年は梅雨であるこの時期には夏の高需要期に向けた設備点検を行っており、過去にない需要に対して十分な供給力が確保できない恐れがあった。

図表4 最大電力需要の推移（東京電力管内）



出所：資源エネルギー庁、「2022年度の電力需給対策について」（2022年7月20日）

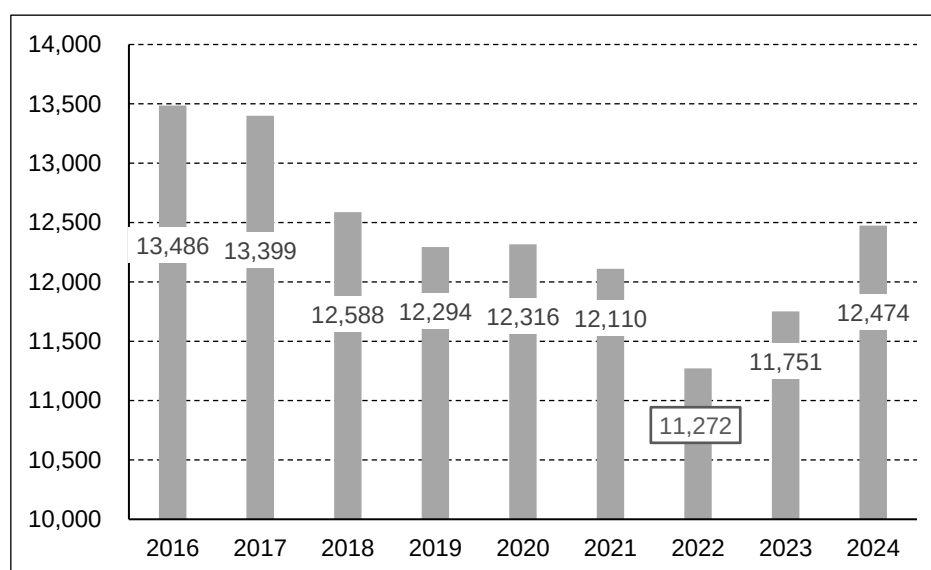
そのため、供給面では東京電力PGが設備の計画点検を延期するなどして供給力を確保した他、他エリアからの電力調達体制を広域機関が整備した。需要面では3月時に事前の広報が不十分だった反省から、政府や東京電力PGが需給ひっ迫に関する準備情報を広く共有し、節電要請を行った。この結果、該当する期間の予備率を3-4%まで確保することができて供給が不足する事態を回避することができた。

上述の2つの事象に共通するのは、季節外れの需要の増大と背後で起きていた火力発電設備の休廃止である。定期点検を行うことの多い中間期に記録的な寒波や猛暑による需要の増大が起きたことで、設備容量(kW)のひっ迫が生じた。また、カーボンニュートラル目標の達成に向けて、再エネ電力の増大と原子力発電の再稼働が進められる中、2016年の

電力小売り自由化以降、経済性を失った老朽火力発電の休廃止が進み（図表 5）、急な需要増大等への調整力が失われつつあった。

2022 年度は夏よりも先に冬の電力需給バランスが懸念されていた。3 月及び 6 月の需給ひっ迫を受けて、政府は供給面、需要面及び構造的な視点からの対策を検討し、9 月までに冬の供給予備率が最低線である 3 %を超えるところまで供給力を確保した。3 月の福島沖地震で休止していた火力発電所の復旧に加え、追加供給力公募などで休止していた火力発電の供給力を確保した。従来事前に把握されていなかった発電所の休廃止の事前届け出制度も導入したが、主に緊急時に活用されていた石油火力発電設備の廃止が継続する見込みである。当面は新設計画もあるが、供給力全体は減少傾向。今後も稼働率低下や卸電力取引市場の価格低迷・採算悪化からさらに加速する懸念がある。そのため、長期脱炭素電源オークションの検討や、大規模災害等を念頭に置いた供給力対策としての予備電源（追加対策に応じることができる休止電源の確保）に関する検討が進行中である。この他、中長期的に電力会社間の電力融通を増やすことを可能にする地域間連携線の増強や電力供給の不足への対応を含む突然のガス不足への対応策として、余裕のある企業から不足する企業に短期的にガスを融通したり、政府を含め情報を関係者で共有するシステム整備等が検討されている。

図表 5 火力発電所の供給力推移



出所：資源エネルギー庁、「電力需給対策について」（2022 年 6 月 30 日）

4. エネルギー・環境政策への影響

世界的なガス不足はこの機会に一举に再生可能エネルギーにシフトするチャンスだと主張もあるが、欧州ではガス不足による電力不足の問題から短期的に石炭の利用が増え

る状況も生じている。また、脱原子力を宣言していたベルギーやドイツで、一時的に原子力の利用オプションを維持する動きもあり、利用エネルギーの多様性の確保や、各国それぞれのポートフォリオを考えることの重要性が改めて認識されている。

4.1 移行期における化石燃料の役割

ここで改めて重要性が認識されるのは、カーボンニュートラルを目指す過程での化石燃料の役割の見直しと上流開発の確保である。パリ協定以降、グラスゴーで開催された COP26 までは脱炭素化が最優先であるという認識が欧州を中心に強く、金融機関など投資家から民間企業へのプレッシャーも高まっていた。グラスゴーでは、クリーンなエネルギーへの移行に向けて化石燃料への新たな公的直接支援の終了を謳う英国のイニシアティブへの 39 カ国の賛同が発表された。再生可能エネルギーのポテンシャルが欧州に比べて少なく原子力の再稼働が遅れていることで、石炭を含む化石燃料利用からの脱却が見通せない日本や域内で安価な石炭が豊富に入手可能なことで比較的若い石炭火力の多い ASEAN 地域においては、移行期の化石燃料の確保と CCS 技術実用化の重要性は強く認識されている。しかし、欧州等では移行期のエネルギー利用へのファイナンス確保への問題意識はなかなか共有されない状況であった。移行期の化石燃料の役割と脱炭素化技術開発の加速化の重要性は 2023 年に G7 議長国となる日本が欧州や世界に訴えたい論点の一つである。

4.2 2050 年カーボンニュートラル達成に向けた原子力の再評価

原子力利用については、英国が 2008 年以降一貫して新設方針を掲げているが、2021 年後半から他の欧州諸国においてもその有用性が再認識されつつある。前述の通り、2021 年夏以降、変動性の再生可能エネルギーである風力発電の不足から欧州で電力不足が生じ、調整力としてガス火力の焚き増しが行われたことでガスや電力価格の高騰が起きた。当時検討がされていた EU タクソノミーでの原子力と天然ガスの扱いにも影響があった。従来は環境配慮がないとして評価されない見込みであった天然ガスと原子力は厳しい条件付きながらも一転してタクソノミーで位置付けられることになった。

フランスでは経済性評価の結果から再生可能電力 100%のシナリオは非現実的だとして、原子力発電所 6 基の新設を決め、2022 年 2 月にマクロン大統領が発表した。今後の状況を見てさらに 8 基の新設を検討する計画もある。東欧ポーランドやバルト 3 国のエストニアでは、気候変動対策だけでなく自国エネルギーによる電力の安定供給を念頭に原子力の新設を決定している。また、ベルギーでは脱原発の時期を 10 年後倒しにした他、ドイツでは残存する 3 基の原子力発電の廃止を予定の 2022 年末から 2023 年春まで延期し、冬季の非常時の対応のために待機させるなど方針変更がされた。

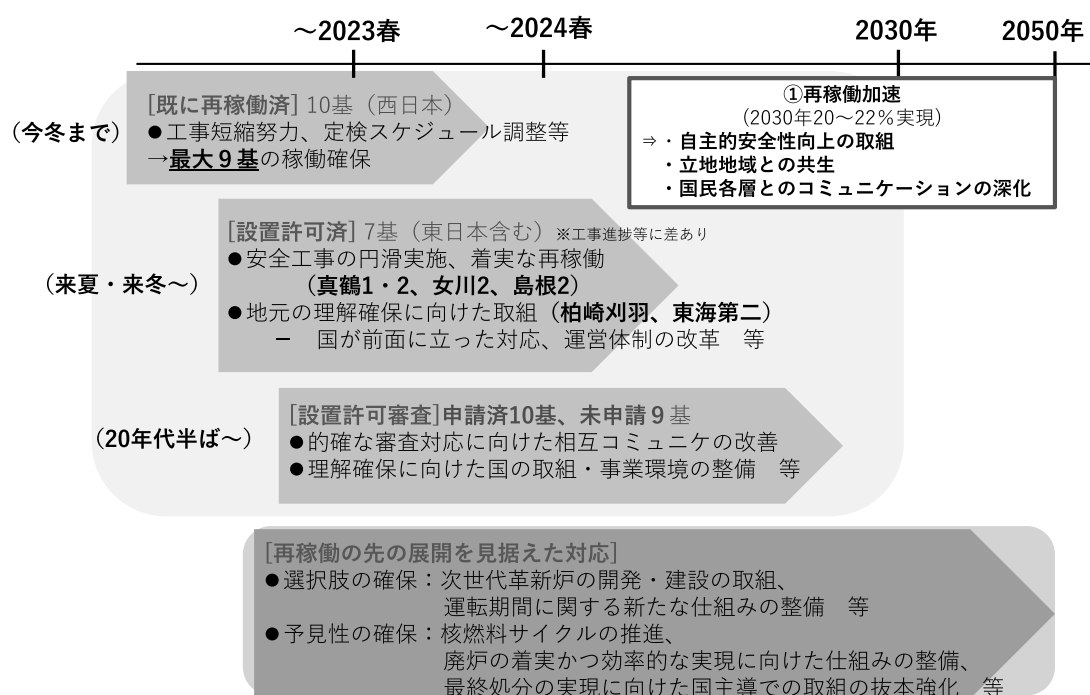
日本では 2021 年に策定された第 6 期エネルギー基本計画で、原子力を再生可能電力と並ぶ主力電源として位置付け、前回同様 2030 年の発電電力量の 20-22%程度を期待する一方で、可能な限り原発依存度を低減すると記載されるなど、原子力政策に曖昧さを残す状

態が続いてきた。しかしながら、世界的なガス供給の不足と価格の高騰を背景にした欧州での原子力の再評価もあり、2022年9月以降日本においても原子力について新しい動きが見られた。

8月24日のGX実行会議において、岸田総理大臣はGX（グリーントランスフォーメーション）を進める上で不可欠な脱炭素エネルギーとして、原子力を再生可能エネルギーと並ぶ将来にわたる選択肢とし、強化するためのあらゆる方策について年内に具体的な結論を出すように指示した。検討内容は、安全審査を通過した既設原子炉の再稼働の加速化、安全性の確保を大前提にした運転期間の延長など既設炉の最大限の活用、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設などである。

岸田総理の指示で日本の原子力政策が推進へと転換が始まったことは国内だけでなく世界の注目を集めた。総合エネルギー資源調査会原子力小委員会では、中間論点整理と自主的安全性確保や安全性マネジメント改革など安全性に関する議論を出発点として、3か月半の期間に6回議論を行った。運転期間の延長については、2022年7月に規制委員会が見解を明らかにした。それによれば、現在原則40年プラス20年の最長60年とされている発電用原子炉施設の利用期間の延長をどの程度認めるかは、「原子力の利用の在り方に関する政策判断にほかならず、原子力規制委員会が意見を述べるべき事柄ではない」とされ、利用側である資源エネルギー庁が事務局を務める原子力小委員会において運転期間の延長について検討することとされた。

図表6 原子力政策の今後の進め方



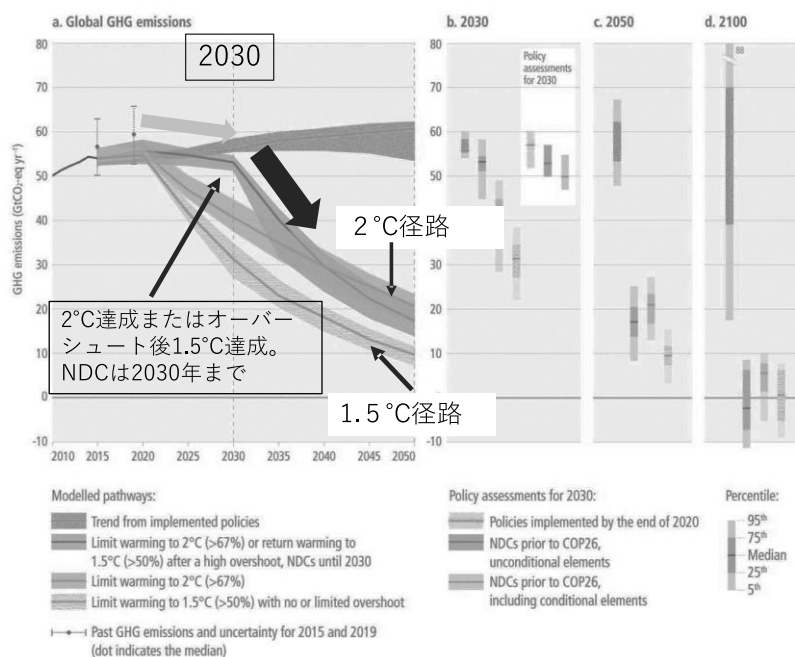
出所：GX 実行会議、「GX 実現に向けた基本方針（案）参考資料」（2022年12月23日）

2022 年 12 月初旬までの同小委員会で検討された内容は、原子力の開発・利用に当たっての「基本原則」と今後の原子力政策の方向性と実現に向けた「行動指針」としてまとめられた。行動指針では、既設原子炉の運転期間の延長について、20 年を基礎とした上で、事業者が予見しがたい事由による停止期間を考慮する案で取りまとめた。その際、延長を認める要件を安定供給や選択肢の確保、脱炭素化による GX への貢献及び事業者の自主的な安全向上に向けた体制整備としている。また、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設については、まずは廃止決定炉の（同じ敷地内での）建て替えを対象とするとした。この他、再処理・廃炉・最終処分プロセス加速化、サプライチェーンの維持・強化、国際的な共通課題の解決への貢献が含まれる。原子力政策の行動指針と進め方の基本方針は、この後総合資源エネルギー調査会基本政策分科会を経て GX 実行会議にて決定された。

5. 2050 年に向けた展望

IPCC の第 6 次報告書によると、UNFCCC に参加する各国が COP26 に提出した 2030 年までの NDC（国が決定する貢献）の積み上げによる地球温暖化ガス（GHG）排出削減計画は、2℃目標や 1.5℃目標達成に向けた排出経路から大きく外れている。仮に全ての国が NDC を達成したとしても、2030 年以降により多くの排出削減努力が必要であると報告書では指摘している（図表 7）。

図表 7 世界の GHG 排出

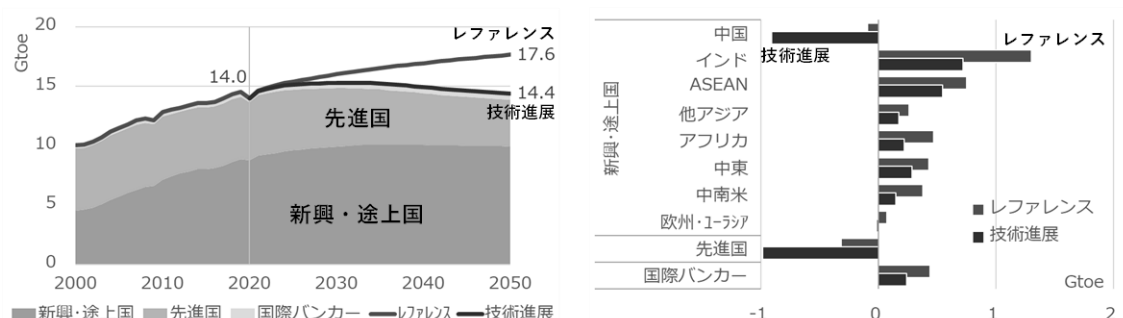


出所：IPCC、AR6 WG3 Figure SPM 4

5.1 2050 年までのエネルギー見通し

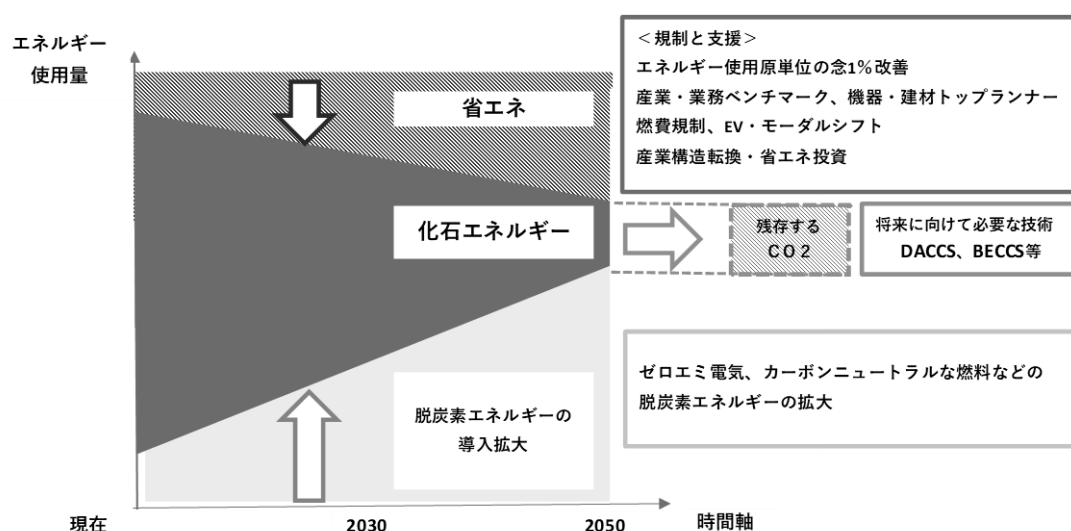
図表 8 は 2050 年までの一次エネルギー需要見通しを先進国と新興・途上国別に示したものである。最大限のエネルギー・環境技術の導入と政策支援がされる技術進展シナリオでは、2000 年以降先進国のエネルギー需要が減少する一方で新興・途上国のエネルギー需要が増加を続ける見通しから、今後の気候変動対策では新興・途上国における対応が重要である。特に、図表 8 右側の図から、今後エネルギー需要が伸びるインドやアセアンでの対策効果は大きいと見込まれる。

図表 8 一次エネルギー需要の見通し（左図）と増減量（右図、2020－50 年）



出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2023（2022 年 10 月）

図表 9 カーボンニュートラル達成に向けた取組のイメージ



出所：資源エネルギー庁、「今後の原子力政策について」（2022 年 2 月 24 日原子力小委員会資料 3）

脱炭素化が重視されるようになり、日本を含む多くの国がまず目指したのは電化の促進と発電部門のクリーン化である。図表 9 にあるように、カーボンニュートラルを目指す世界ではまず必要なエネルギーをできるだけ抑える省エネルギー(エネルギー利用の効率化)

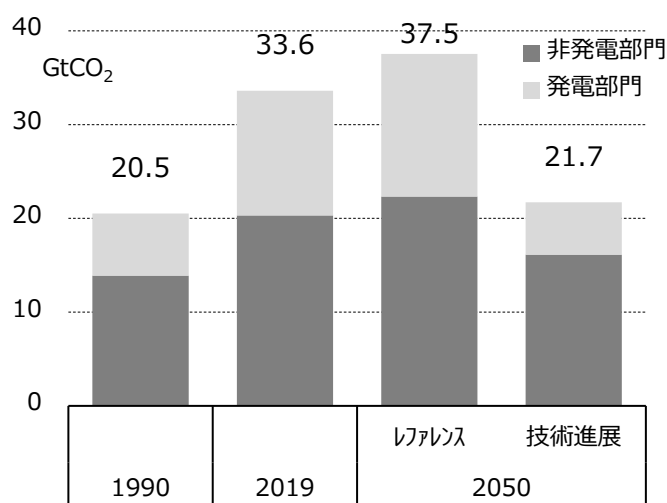
を供給側と需要側の双方でした上で、エネルギー利用を可能な限り電化して、発電を再生可能エネルギーや原子力、水素等で脱炭素化し、どうしても残ってしまう化石燃料利用からの CO₂ 排出量を将来的な技術開発を踏まえて CCS や CCUS で処理、あるいは直接大気中から直接除去するといった段階的な対応が考えられている。

5.2 非発電部門の脱炭素化の重要性

日本においても第4次及び第5次エネルギー基本計画の中心は電源構成（エネルギー MIX）の検討であった。特に震災直後の2014年に策定された第4次基本計画では再生可能エネルギーと原子力の電源構成に占める割合を何%にするかが検討の中心であった。福島事故を受けて可能な限り脱原子力を進めるという方針を掲げつつ、次の第5次基本計画までに発電電力量に占める原子力の割合は20～22%、再生可能エネルギーは22～24%と幅を持って設定され、第6次エネルギー基本計画でも原子力については同じシェアを維持する一方、再生可能電力のシェアを36-38%に高めた。

しかし、エネルギー消費全体の中で発電部門が占める割合は日本では約5割であり、発電部門以外の非電力部門からの CO₂ 排出量は55%を占める（2019年）。図表10は世界全体の足元と2050年の CO₂ 排出量を電力部門と非電力部門別に示すが、足元の2019年だけでなく、最大限の環境対策及び革新技术の導入を見込む2050年の「技術進展シナリオ」においても、非電力部門からの CO₂ 排出量は電力部門を上回る量が見込まれる。

図表10 エネルギー起源 CO₂ 排出量



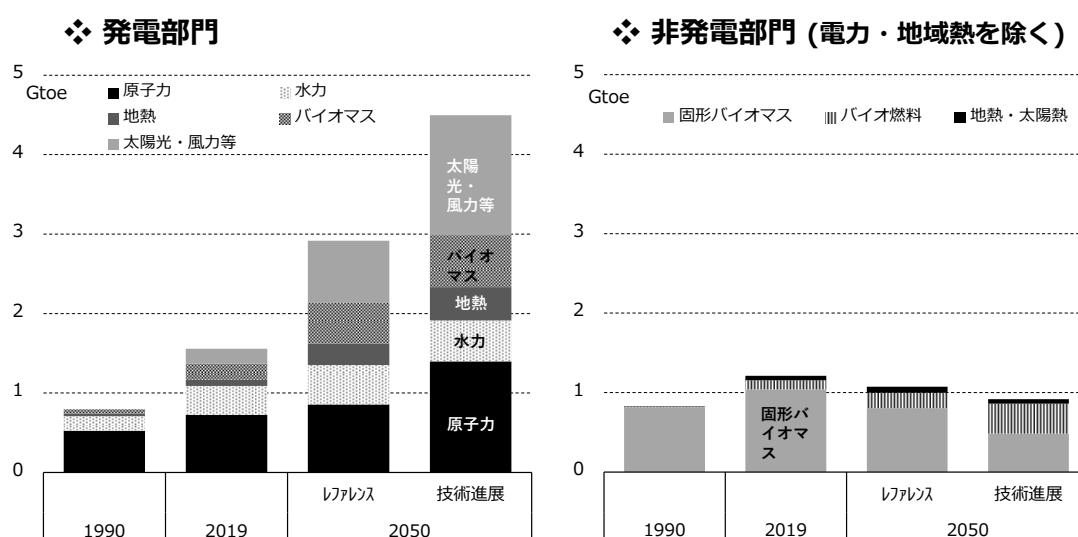
出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2022（2021年10月）

その理由は図表11にあるように、発電部門に比べて非電力部門におけるクリーン電力の選択肢が極めて限定的である点が挙げられる。左の図は、発電部門での原子力・再エネといった非化石エネルギーの導入量を示しているが、レファレンスシナリオでも現在の2

倍、環境対策が進む技術進展では3倍の導入を見込んでいる。

一方、右の図は非発電部門での非化石エネルギーの導入量を示しており、その導入量はわずかである。大半を占める固形バイオマスは、途上国の貧しい地域で使われる薪などで、今後、所得増加につれて電力やLPGなどにとって代わられるため、減少していくとみられる。また、自動車・飛行機などでバイオ燃料の利用が進むが、規模的には大きなものとは言えない。非発電部門においてもヒートポンプや電気自動車の普及など電力化はそれなりに進むが、高温の熱を使う産業部門などでは電力化に限界もある。燃料の直接燃焼が向いている用途もあり、電力化以外での脱炭素化が課題となる。とにかく、太陽光や風力発電といった再エネ電源が注目されがちであるが、大量のCO₂削減を進めるには、実は非発電部門での脱炭素化が大きなカギを握っていると言える。

図表 11 発電部門と非発電部門における非化石エネルギーの導入



出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2022（2021年10月）

5.3 カーボンリサイクルと水素・アンモニア技術

非発電部門では熱需要を中心に、どうしても燃料の直接燃焼が必要となる分野がある。現状では、その燃料は石油・ガス・石炭といった化石燃料が使われているため、化石燃料利用の脱炭素化がカーボンニュートラルを目指す上で重要となる。その点に着目した概念に、Reduce（削減）、Reuse（再利用）、Recycle（リサイクル）、Remove（除去）から成る4R技術がある。

Reduce（削減）では、主に水素/アンモニアの利用による化石燃料消費の減少を、Reuse（再利用）では、CO₂を利用した藻類系バイオ燃料の生産等を、Recycle（リサイクル）では、CO₂を使ったコンクリートや合成メタン・燃料の生産等を、そして、Remove（除去）では、炭素回収・貯留技術、すなわちCCSや大気からの直接回収等を想定している。

4R 技術のメインは、クリーン水素/アンモニアの利用となる。使用時に CO₂ を排出しないだけでなく、製造時でも、CCS を利用するブルー水素か、再エネを利用して水を電気分解するグリーン水素に限定する。2030 年位から徐々に導入され、2050 年には約 6 億トンの需要、熱量換算で現在の天然ガス需要の半分程度の導入を想定している。部門別には、発電部門での利用が多くなっているが、産業部門や運輸部門での利用も考えられる。

また、水素を直接使いにくい分野では、水素を合成メタンや合成燃料に転換する手法も考えられる。クリーン水素と CO₂ を合成して、天然ガスと同等の合成メタン、あるいはガソリンや軽油などと同等の合成燃料を製造する技術である。これらは、既存のガス機器、エンジン自動車などがそのまま使えるだけでなく、ガス導管やガソリンステーションといった既存インフラも利用できるのが特徴である。電力化が難しい、あるいは燃料の直接燃焼が必要な用途などでの利用が期待される。

2021 年にサウジアラビアが議長国を務めた G20 ではこの 4R 技術を取り上げた。また、世界で初めて水素をサウジアラビアから日本にアンモニア燃料として運び、石炭火力発電所で混焼する実証を成功させた。

水素は直接的に電力分野の脱炭素化に貢献するだけでなく、余剰電力を水素に変換し、貯蔵・利用することで、再エネ等のゼロエミッション電源のポテンシャルの最大限の活用を可能にするため注目されている。加えて、電化による脱炭素化が困難な産業部門（原料利用、熱需要）等の脱炭素化にも貢献する。また、化石燃料をクリーンな形で有効活用することも可能とする。そのため、水素の利用は国内においても既存の産業分野や燃料電池自動車（FCV）による需要に加えて、ガス火力での混焼、水素還元製鉄、メタノール等基礎化学品の合成といった産業プロセスの原料等様々な用途での利用が期待されている。

水素を長距離運ぶ方法（キャリア）として、液化水素、メチルシクロヘキサン（MCH）⁷、アンモニア、メタネーション⁸などが検討されている。その選定は、水素社会の在り方を決める重要な論点であるが、それぞれ異なる課題を抱えており、長期的にどれが総じて優位になるか現時点で見極めることは難しい。加えて、化学的な特性や既存インフラ等の活用可否により、用途等のすみわけも長期的に行われると考えられる。

そもそも水素キャリアとして検討が始まったアンモニアであるが、需要先で水素に戻すことなく、直接利用（燃焼）することが可能で、肥料用として既に広く活用されていることから、社会実装に向けた取り組みが進んでいる。電力分野においては、水素は非常に燃えやすくガス火力での混焼が想定されるが、アンモニアは燃焼速度が比較的遅く、石炭火力での混焼が想定される。また、非電力分野ではアンモニアはそのエネルギー密度の高さ

⁷ メチルシクロヘキサン（MCH）はトルエンに水素を付加させて作る液体であり、水素ガスと比べると体積当たり 500 倍以上の水素を含んでいるため、効率よく水素を運ぶことができる。また、MCH は石油に似た性状の液体のため、既存の石油インフラを活用することもできる。

⁸ 水素と回収した CO₂ から合成（メタネーション）される合成メタンは再エネ・水素利用の一形態。合成メタンは、LNG・天然ガスの既存のサプライチェーンをそのまま利用可能という利点がある。具体的には、供給側では既存の LNG・都市ガスインフラを活用することで切れ目なく柔軟に供給でき、需要側でも都市ガス用の既存設備を最大限利用して脱炭素化を図ることが可能。

から、国際輸送など、長距離を移動する船舶分野などが利用先として想定されている。

アンモニアの石炭火力への混焼は、石炭利用が多く、石炭火力発電所が比較的若い東南アジア等での利用に期待がある。CO₂ 排出量をガス火力並みに抑えることが可能なアンモニア燃料の石炭火力への 20%混焼は既に日本で安定燃焼と NOx 排出量の抑制に成功、2022 年度から実機実証を開始している。今後 2030 年までの実用化、さらには専焼化に向けた技術開発に既に着手しており、海外展開も視野に入れている。但し、現状利用されるアンモニアの需要は大半が肥料用途であり、多くは地産地消で国際市場は限定的である。そのため、将来の利用拡大に対応した、燃料アンモニアの新たなサプライチェーンの構築が不可欠とされる。大規模かつ高効率なアンモニア製造技術やアンモニア利用船舶の技術開発によって、アンモニアの供給を拡大し、コストを低減することで、初期のブルーアンモニア（CCS 付水素からの製造）から再生可能電力によるグリーンアンモニアへと移行する構想で様々な取組がなされている。中東からのアンモニア輸送実証の他、アジアにおけるアンモニア利用に向けた市場展開も行われている。

水素は、燃料電池自動車や定置用燃料電池などの関連製品が既に商用化されているほか、石油精製時など脱硫工程等で既に利用されている。水素発電は 2020 年代半ばまでに実証開始が予定されているが、今後は 2030 年までの大規模な水素発電技術の確立と国内での再エネ由来水素の製造基盤の確立を目指している。海外からの大規模供給についても 2025 年度以降に実証を開始予定。鉄鋼業における水素還元製鉄を含む産業や熱利用など非電力部門での活用は 2050 年時点以降の課題である。

欧州ではグリーン水素の開発によって再エネと両輪でカーボンニュートラルを目指す戦略を掲げている。日本では再エネ資源が欧州程恵まれないため、コストが高い難点があるが、海外の水電解市場の獲得を目指して複数タイプ（アルカリ型、PEM 型）の水電解装置の大型化やモジュール化等によるコスト削減努力を続けている。また、水素の国際輸送においても液化水素で実証を実施中。

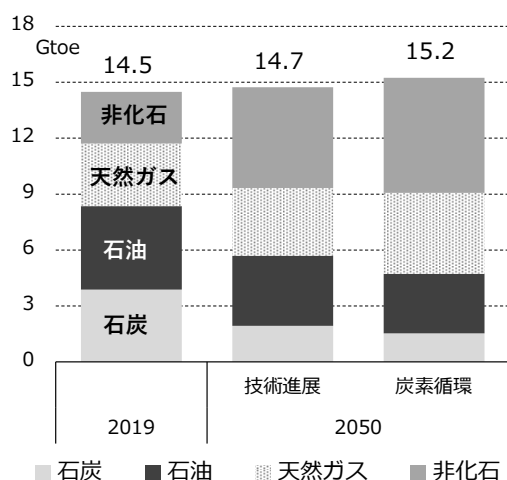
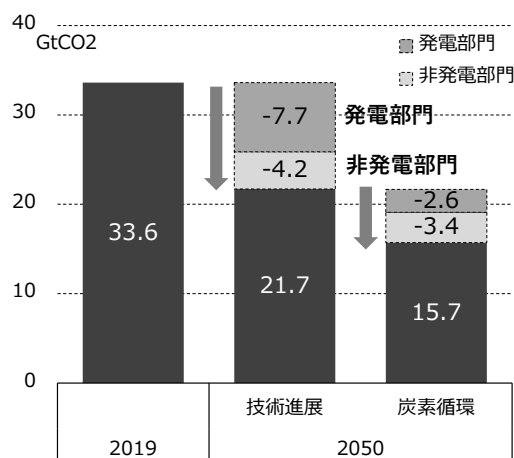
日本エネルギー経済研究所のアウトルックでも 4R 技術の導入を想定した炭素循環シナリオを検討した⁹。図表 12 左の図は一次エネルギー需要。技術進展シナリオと炭素循環シナリオを比べると、エネルギー需要はほとんど変わらない。また、化石燃料消費量もほとんど変わらない。ただ、内訳を見ると、水素製造用の天然ガス需要が増加し、水素や合成燃料などに代替される石油・石炭は減少する。

一方、化石燃料消費は変わらないが、CO₂ 排出量は大きく減少する。技術進展シナリオでは、発電部門での排出削減がメインであったが、炭素循環シナリオでは、非発電部門に重心がシフトしていく。4R 技術は、発電部門での排出削減にも寄与するが、やはり、既存インフラが利用できる分野、電力化が難しい分野などで、CO₂ フリー燃料の直接燃焼ができるというのが重要なポイントとなる。

⁹ IEEJ Outlook 2022 (2021 年 10 月)

図表 12 クリーン水素の活用による CO₂ 排出削減

❖ 一次エネルギー需要

❖ エネルギー起源CO₂排出量

出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2022（2021年10月）

CO₂の大幅削減には、既存のクリーン技術に加えて、水素やCCUSなど新しい脱炭素技術の活用が必須である。また、アンモニア燃料や水素といった新しいエネルギーのコスト削減には市場の創設と国際的なサプライチェーンの構築が技術開発と共に重要となる。

また、先進国だけでなく、新興・途上国を含めた全ての国・地域で排出を削減していかなければならない。そのためにも、脱炭素化技術の共有が必要であろう。アンモニア燃料の石炭火力への混焼は一例だ。各国間で技術イノベーションの最新動向を共有するだけでなく、各技術に関する国際基準やルール形成も必要となる。また、途上国のエネルギートランジションに対する金融支援、技術支援、あるいは人材育成なども重要な分野である。こうした国際協力のもとで、脱炭素化技術の進展・共有を進めることが、世界全体でのCN達成には欠かせないと言える。

6. グリーン経済の構築に向けた課題

ロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー安全保障の重要性が加わる中、気候変動への対応の必要性は変わりがない。最後にグリーン経済の構築に向けた足元の状況と新たに修験した課題をいくつか紹介して本稿をまとめる。

6.1 日本のグリーン経済移行政策の加速化

日本では2020年10月の当時の菅総理による2050年カーボンニュートラルの表明以降、様々な政策や計画を策定してきた。2050年を目標年度とするグリーン成長戦略や、長期戦略、2030年をターゲットとする第6次エネルギー基本計画や地球温暖化対策計画、パリ協

定に基づく長期成長戦略さらには2022年5月に策定されたクリーンエネルギー戦略など、様々なタイムラインのものがある。何れも、今後の技術開発や国際情勢の推移、国内状況の変化などに応じて、適時見直すことが想定されている。

2022年7月に発足したGX実行会議¹⁰ではロシアによるウクライナ侵略・電力需給ひっ迫を受けた安定供給の危機への対応として、長期的な日本のエネルギー安定供給の再構築に必要となる方策を検討し、それを前提として脱炭素に向けた経済・社会、産業構造変革への今後10年間のロードマップ策定を目指している。

前述の通り、GX実行会議は既に原子力政策についても議論を行い、8月24日の会合での岸田総理の指示に基づいて、既存原子力の再稼働の加速化や新增設等を含む原子力政策の検討が加速された。12月の会合では、GX経済移行債の創設、規制・支援一体型投資促進策、GXリーグ（自主的な排出量取引等）の活用、新たな金融手法の活用について具体策が議論・公表された。さらにはアジア・ゼロエミッション共同体構想など国際展開戦略についても検討されている。停滞感のあった日本のエネルギー・環境政策であったが、日本がG7議長国となる2023年以降、官民の連携やアジア地域との協力をしつつ加速することが期待されている。

6.2 アジアにおける脱炭素化と天然ガスの役割

欧州が再生可能エネルギーへのシフトを念頭に環境政策をリードする中、アジアで認識されている課題は必ずしも共有されておらず、国際的なルールメイキングなどで日本を含むアジア各国の国際競争力が脅かされる懸念がある。日本はアジア地域との協力・連携の重要性を強く認識しており、自由で開かれたインド・太平洋構想や日米豪印によるQUADなどの枠組みも活用して共にエネルギーtransitionを成し遂げる道を探っている。

アジアでもカーボンニュートラル（CN）宣言を行う国が増えているが、実現手段は不明確である¹¹。図表13に示したように、アジア諸国のエネルギー需給構造は化石燃料の割合が高く炭素集約度が高いため、CNの実現に向けては、今後30-40年という限られた時間のなかで大胆な需給構造改革を行う必要がある。

加えて、途上国にはエネルギーアクセスや貧困など固有の課題も存在する。今後もエネルギー需要が増え続けるのは必至であり、大量のエネルギーを安定供給する必要。貧困層を多く抱える国もあり、また産業育成の観点からも低廉なエネルギー供給が不可欠である。

このように、アジアは今世紀半ばのカーボンニュートラル達成という高い目標掲げる一方、現実のエネルギー転換ではエネルギー安全保障（エネルギーの安定供給を妥当なコストで実現する）に由来するさまざまな困難を抱えている。こうした課題を抱えるアジア

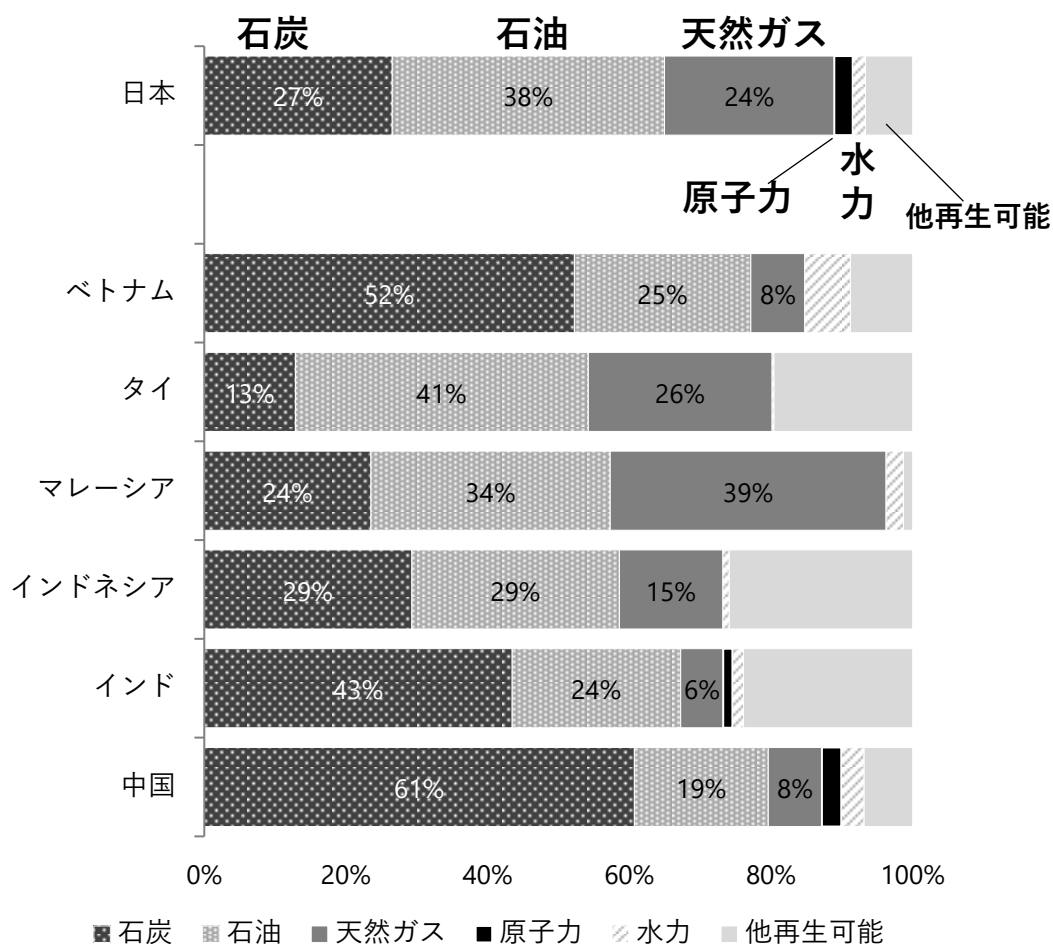
¹⁰ GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議では産業革命以来の化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、経済社会システム全体の変革、すなわち、GXの実行を目指して必要な施策を検討する。同会議は岸田文雄内閣総理大臣を議長とし、閣僚および有識者から構成される。

¹¹ 例えば、中国2060年、印2070年、インドネシア2060年、ベトナム2050年など。

が採り得る現実的なエネルギー転換の道筋の鍵は、天然ガスの特長を活かした2段階の脱炭素プロセスにある。

天然ガスの第一の特徴は、大量のエネルギーを安定して供給することが可能であり、またアジアにおいてはエネルギーミックスの多様化による安全保障の強化を図ることができることにある。アジアの中では、天然ガスを多用する国はまれである（図表13）。輸出できるほど大量の天然ガス資源を有する国に限られており、かつ地理的環境がパイプラインという安価な輸送手段を選択しにくくしているためである。

図表13 アジア主要国の一次エネルギー構成



出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2023（2022年10月）

逆に、地域の大国である中国やインド、インドネシアは石炭を豊富に持ち、古くから石炭をよく利用してきた。エネルギー安全保障の観点からは引き続き石炭を利用することが合理的な選択であるが、気候変動問題がそれを許さない。石炭投資に対する資金供給がますます絞られてゆくことは明白であり、石炭に代わるエネルギーをみつけないければならな

い。ここで登場するのが天然ガスである。天然ガスは石炭と同様、再生可能エネルギーとは異なり、エネルギー密度が高く大量に輸送、供給することができる。そのため、エネルギー需要の増加が必至の新興・途上国や、需要規模の大きい工業国での利用に適している。

第二の特徴は、アジアの多くの国で主力となっている石炭を天然ガスへ転換することによって、無視できない量の CO₂ 排出を削減できるため、供給量を維持しつつエネルギーシステムの低炭素化を実現できることである。

天然ガスが持つこれら 2 つの特長、すなわち高いエネルギー密度と低炭素性を活かすことにより、アジアにとって現実的な脱炭素の道筋を描くことができる。再生可能エネルギーは脱炭素という点で理想的だが、エネルギー密度が小さく、短期間のうちに大量のエネルギー供給の追加を迫られている国では力不足と言わざるを得ない。また、導入する国やエネルギーの種類によっては依然として高価であることから、市場で選択されにくかったり、経済的負担能力に劣る国では手を出しにくかったりする。

そこで、途中段階として石炭や石油から天然ガスへの転換というステップを組み込み、脱炭素を 2 段階で行う。第 1 段階の石炭や石油から天然ガスへの転換では、短・中期に求められる供給量とコストの問題への現実解を提示する。その後の第 2 段階では、再生可能エネルギーはもちろん、天然ガスの脱炭素利用（水素、二酸化炭素回収・有効利用・貯留 [CCUS]）を含む各種対策を追加することで、脱炭素化を実現する。

この方法のもう 1 つの重要なメリットは、水素や CCUS といった現在世界が開発にしのぎを削る技術の実現によって天然ガス投資の座礁資産化を回避でき、したがって現在の投資を正当化できることにある。

このように天然ガスはアジアのエネルギー転換で重要な役割を担い得るが、昨今みられる天然ガス、特に LNG 需給のタイト化と価格高騰は、このシナリオに影を落としている。脱ロシアを目指すヨーロッパを中心とした西側諸国は、ロシア以外の天然ガス・LNG 調達先を求めて奔走している。ヨーロッパがロシアに頼る天然ガス量は膨大であり、これを即座に代替可能な天然ガス輸出国は世界のどこにもない。そのためおのずと世界の天然ガス需給はタイト化せざるを得ず、その結果、価格も従来にない高値で推移している。現下の価格水準は、アジア新興・途上国はもとより先進国にとっても持続可能とは言いがたいものであり、天然ガスの利用を躊躇（ちゅうちょ）させることとなっている。

加えて課題となるのが、天然ガス投資に対するファイナンス姿勢の変化である。国際金融や先進国金融による石炭ダイベストメントは、もはや不可逆な流れとなっている。最近の天然ガス需給のひっ迫を受けた緊急対策の必要性からやや一服感はあるものの、天然ガス投資に対する慎重な姿勢が散見される。気候変動対策を金科玉条とする規範的なアプローチの下で天然ガスダイベストメントが決定的なものとなれば、アジアのエネルギー転換とエネルギー安全保障はより高コストなものとなり、その結果、アジアの経済力を相対的に弱めることになりかねない。

これを解消するには、ロシア以外での天然ガスや LNG の生産・輸送への投資を増やす

しかない。幸いなことに、世界には十分な量の天然ガスの埋蔵が確認されており、開発に向けて準備を進めてきたプロジェクトがある。こうした投資が現実のものとなれば、天然ガス・LNG 市場の安定化のみならず、アジアのエネルギー転換・安全保障コストの抑制や、地域経済への悪影響を回避することへの貢献が期待できる。

そのためアジア諸国は、長期戦略における天然ガスのトランジションエネルギーとしての役割を明確にすることや、必要な天然ガス関連投資を進めるためのリスクマネーの供給、将来天然ガス資産を脱炭素利用するための技術（CCS、CCUS、水素、アンモニア）の開発や社会実装の支援を行うことが求められる。

既に述べたように、世界全体でのカーボンニュートラルを実現するためには成長を続けるアジア地域の脱炭素が鍵となる。日本はこのようなアジアにおける天然ガス利用のニーズがあることを広く世界に伝え、上流投資不足も背景とした供給不足から生じたガス価格高騰の解消に向けた対応の必要性を訴え続けることが必要である。また、天然ガスの脱炭素化に加え、カーボンニュートラルに向けてどの国でも排出削減が難しい部門への対応として必要となる CCS や CCUS 技術及び水素・アンモニア技術の開発やサプライチェーンの確立に向けたアピールも重要である。

アジア地域の脱炭素の加速化においては、地域の特性を考慮してエネルギー・トランジションの道筋を推進することが重要である。日本が提唱する「アジア・ゼロエミッション共同体構想（Asia Zero Emissions Community, AZEC）」は、アジア地域の实情に即した脱炭素化と経済成長という共通理念を掲げ、アジア地域全体の脱炭素化を目指す枠組みである。アジア地域において、安定的で質の高い電力供給を確保するためには、再エネ・エネルギー・マネジメント技術に加え、水素・アンモニア、バイオマス、CCUS（分離・貯留した CO₂ の有効利用）を含むゼロエミ火力等、あらゆる技術を活用する日本のアプローチが不可欠である。このアプローチは、同地域に適用するうえでの親和性が高い。加えて、地理的に近接するアジア地域内で水素・アンモニアなどのサプライチェーンの形成を共同で図ることも効果的である。

6.3 化石燃料の寡占化

カーボンニュートラルに向かう世界ではさらにいくつかの安全保障上の懸念が浮上している。一つは化石エネルギー資源の寡占化、一つはエネルギー利用技術から派生するクリティカルミネラル（重要鉱物）の偏在性である。

化石エネルギーの寡占化については、日本エネルギー経済研究所 IEEJ Outlook2022 年版で分析を行った。きっかけは IEA が 2021 年 5 月 17 日に発表した「Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector」（以下、IEA 報告書）において、2050 年時点で世界でネットゼロを実現する「ネットゼロシナリオ」では、既に投資の意思決定を行った案件以外の新規の油ガス田開発や新規の炭鉱開発やその繰り延べも行われ、と言及したことにある。IEA 報告書は、2021 年 11 月に開催される国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会

議（COP26）の議長国である英国政府を支援するために作成したものである。IEA 報告書の目的は、世界が 2050 年にネットゼロを実現するには、具体的にどのような道筋をたどるのかということの詳細を示すことにあり、エネルギー供給と需要の各分野における 2050 年に向けてのロードマップが描かれている。分析のアプローチとしてバックキャスト的な手法を用いており、IEA が従来作成してきた長期見通しである「World Energy Outlook」で用いられる計量分析型の予測モデルとは異なったアプローチである点に注意する必要がある。バックキャスト手法では 2050 年でのネットゼロ達成を究極的な到達目標と設定し、次に現状からその到達点に至るには、コスト最小化等の制約条件のもとで何がいつまでにどの程度できている必要があるのかというものを示した「べき論」に基づいた分析を行っている。あくまで IEA がバックキャスト的な手法に基づいて作成したシナリオであり、IEA が今後の上流投資が不要であるとか、原油価格は大きく下落するとの「見通し」を示したわけではないことに注意が必要である。

現実には国際原油市場のプレイヤーは状況を見極め、しかるべき投資を行おうとする。ただ、石油メジャーなど欧米の国際石油会社は近年、環境非政府組織（NGO）だけでなく、機関投資家¹²や場合によっては司法機関からも¹³、従来以上に気候変動対策を強化するような要請を受けており、これまでのように比較的自由度をもって上流部門に投資することができにくくなっている。特に欧州系の石油メジャーには、自社の販売製品分も含め 2050 年の GHG 排出のネットゼロ目標を掲げている企業もあり、CO₂を排出する石油や天然ガスの生産能力に対する新規投資に対しては、必然的に投資家などから厳しい目を向けられる傾向にある。

これに対し、産油国や新興国の国営石油会社は、そうした脱炭素化圧力を受けにくい立ち位置にある。国営石油会社の株主は本国の政府であり、政府がそうした強力な気候変動対策を求めないのであれば、基本的には国営石油会社は従来どおり上流部門への投資を継続することが可能である。これは産油ガス国の国営石油会社の場合のみならず、中国やインドといった新興国の国営石油会社についても同様のことが指摘できる。もともと、世界の石油・天然ガス供給においては、国営石油会社の影響力が強いとされてきた（図表 14）。

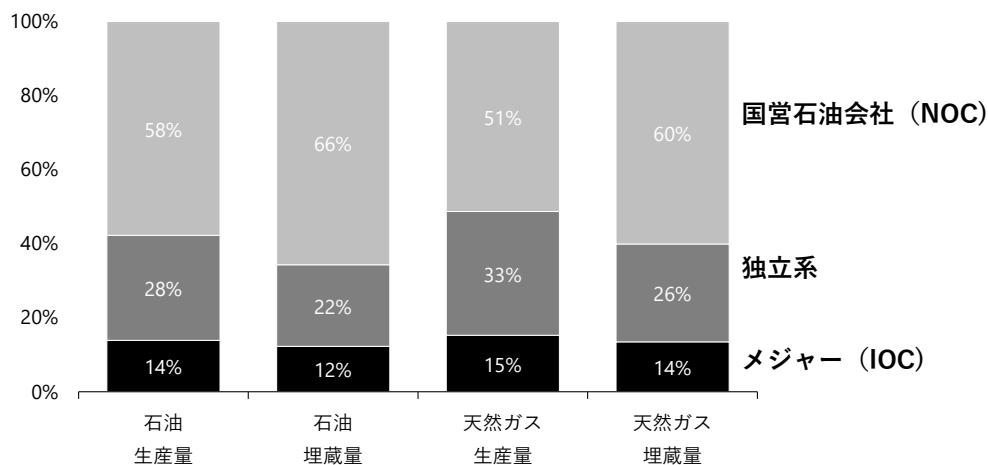
先進国の国際石油会社による上流投資の鈍化は、資源供給の偏在性をさらに悪化させることにつながる。石油では主要な石油輸出国機構（OPEC）産油国、天然ガスではカタルなどの供給が今後も堅調に増加することで、少なくとも今後カーボンニュートラルの世界

¹² 2021 年 5 月、エクソンモービルの株主総会では、「物言う株主」として知られる投資会社「エンジン・ナンバーワン（Engine No. 1）」が推薦した候補 2 人が取締役を選任された。また、気候変動問題をめぐって同社が行ってきたロビー活動について、報告書の提出を求める議案も承認された。同時期シェブロン株主総会では、温室効果ガス排出量のさらなる削減を求める議案が承認された。石油製品の使用や廃棄から間接的に生じる排出量「スコープ 3」の削減を要求する内容で、過半数の株主が支持した。

¹³ オランダ・ハーグの地方裁判所は 2021 年 5 月 26 日、欧州石油最大手の英蘭ロイヤル・ダッチ・シェルに対し、二酸化炭素（CO₂）の純排出量を 2030 年までに 19 年比で 45%削減するよう命じる判決を出した。シェルは 2021 年 2 月、温暖化ガス排出量を 50 年までに実質ゼロとする長期目標を発表していたが、裁判所は近年の取り組み強化を認めつつも、長期目標について「具体性が乏しく拘束力も無い」と指摘した。訴訟は複数の環境保護団体が提起していた。

に向かう移行期においては、これらの資源国の市場支配力がさらに高まる。

図表 14 世界の石油・天然ガス供給における企業種別シェア[2018 年]



出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook 2022（2021 年 10 月）

6.4 クリティカルミネラル問題

クリティカルミネラル（重要鉱物）不足の懸念は以前から言及されている。化石燃料の利用が大きく減少すると、中東やロシアなどに化石燃料資源が偏在していることに起因する地政学的安全保障の課題が緩和することが期待される。他方、カーボンニュートラルの実現に向けては、再生可能エネルギーや電気自動車、水素等の低炭素技術の大量普及が必要である。そして、これらの技術に不可欠とされるレアメタルにおいても、急速な需要増加が見込まれる。こうした鉱物資源も偏在性が認められるため、新たなエネルギー安全保障の課題が浮かび上がってくる。ここでは気候変動対策の進展によるカーボンニュートラル技術の導入増加でクリティカルミネラル不足が生じる可能性について将来推計に基づいて紹介する。

将来のクリティカルミネラル需要量を、日本エネルギー経済研究所の Outlook¹⁴におけるカーボンニュートラル技術の導入量に、当該技術の単位導入量に対して必要な鉱物資源の量（原単位）を乗じることで推計した。火力発電や従来自動車（ICV）などは低炭素技術ではないが、カーボンニュートラル技術と代替関係にある。将来のクリティカルミネラル需要を、カーボンニュートラル技術の増加による鉱物需要の増加と従来技術の減少による鉱物需要の減少の相殺を含め、総合的に把握。供給については、鉱山からの採掘による供給にリサイクル量を加味して推計を行った¹⁵。

シミュレーションでは多くのクリティカルミネラルでは、埋蔵量とリサイクル量が累積需要量を上回り、長期的に見ても十分な供給が見込まれる結果となった。しかし、リチウ

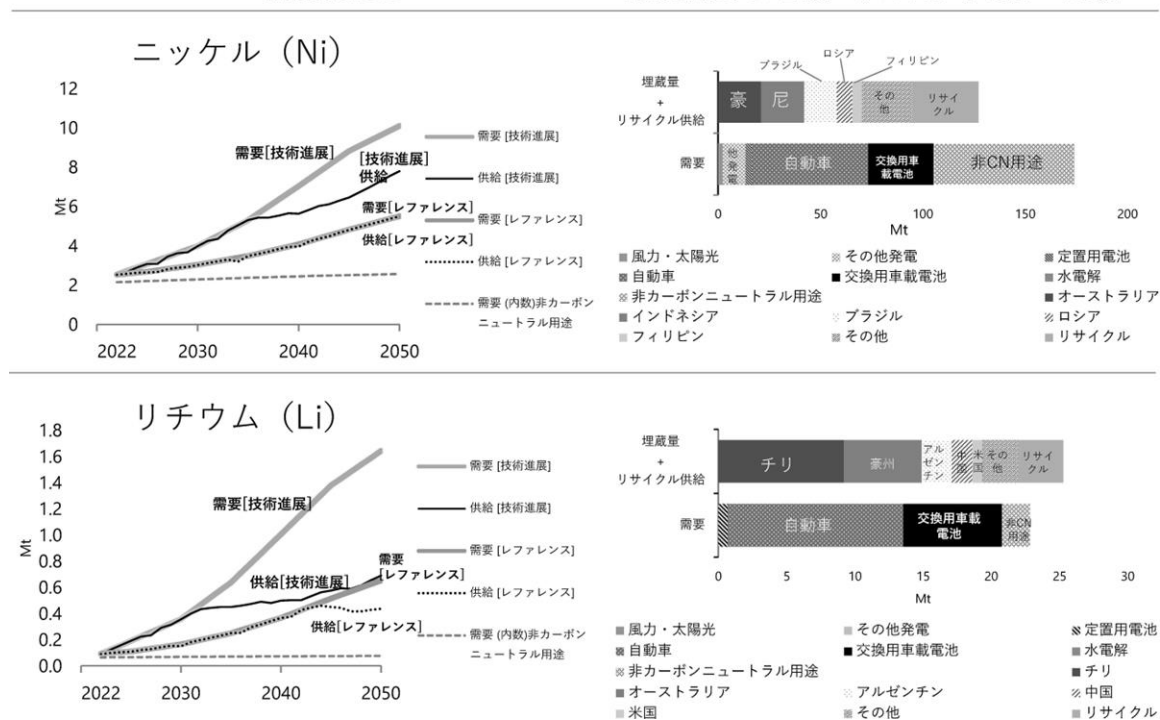
¹⁴ IEEJ Outlook 2023 (2022 年 10 月)

¹⁵ 本分析では、以下のクリティカルミネラル 10 種を扱った：銅、リチウム、ニッケル、コバルト、グラファイト、シリコン、ジスプロシウム、ネオジム、パナジウム、パラジウム、ロジウム。

ム、コバルト、ネオジムおよびジスプロシウムは2030年代半ばまでには需要¹⁶が供給を上回る。また、ニッケル、グラファイト、プラチナ、バナジウムに関しても、将来的に需要が供給を上回る可能性が示されている（図表15にニッケルとリチウムの例）。短期的には既存鉱山での増産が、中長期的には新規鉱山開発やリサイクル率の向上に資する技術開発の促進が求められる¹⁷。

自動車の電動化が大きく進展する技術進展シナリオではリチウムイオン電池の正極材としてニッケル需要の急拡大が見込まれるが、主な供給国はインドネシア、フィリピンなど限定的である。同様に、自動車の電動化の進展に伴いコバルトの需要の急拡大が見込まれるが、コンゴ民主共和国が世界の生産シェアの約70%を占める。

図表15 ニッケルとリチウムの需給見通し
需給見通し 累積需要と埋蔵量(+リサイクル供給)の比較



出所：日本エネルギー経済研究所、IEEJ Outlook2023（2022年10月）

グラファイトの供給はトルコ、中国、ブラジルの寡占であり、プラチナ、パラジウム、ロジウムについては供給に占める南アフリカやロシアのシェアが高い。レアアースである

¹⁶ 需要量は Outlook の2つの基本シナリオ（レファレンスと技術進展）について推計した。「レファレンスシナリオ」は過去のさう勢および現在までのエネルギー・環境に係る政策・技術等に従った将来の見通し、「技術進展シナリオ」はエネルギー・環境政策等が強力に実施され、それが最大限奏功することを想定している。

¹⁷ ただし、需要量の原単位やレアアースの生産規制など変動する可能性については考慮せずに現状のままのシミュレーションになっている点は注意すべきである。これらの仮定が変化すれば、需給バランスも大きく変化する。

ネオジム、ジスプロシウムの生産は中国に集中している。バナジウムの供給は中国、オーストラリア、ロシア、南アフリカの寡占であり、そのうち中国のシェアは50%超である。このようにクリティカルミネラルの供給は数か国による寡占状態にあり、資源供給国における資源開発プロジェクトへの規制や、税制を含めた輸出規制の導入は、資源需要国に対する供給制約につながるおそれがある。そのため、資源供給国の政策動向に十分に注意を払う必要がある

クリティカルミネラルの他国への依存を軽減できる技術として、今後はリサイクル技術の開発と実用化を最大限進めてゆく必要がある。エネルギー・経済安全保障の観点より、これまでは権益取得や長期売買契約により資源の確保と安定供給が担保されてきたが、リサイクルはこれらの従来型アプローチに頼らない取り組みという意味でも重要である。

リサイクルと同時に、シフト（不使用・使用量削減）技術の開発も重要である。リチウムイオン電池のリチウム代替を目指したナトリウムイオン電池の開発、リチウムイオン電池に必要なコバルトの使用量の削減（レス:less）や不使用（フリー:free）に向けた取り組みも進められている。このような例が示すように、使用原単位を左右する重要な要素技術の開発動向に注意を払う必要もある。

クリティカルミネラルの分散化も検討課題である。自然変動型再生可能エネルギーの導入拡大に伴いエネルギー貯蔵技術の必要性も高まるが、たとえば、バナジウムレドックスフロー電池や水素燃料電池の活用によってリチウムへの依存度を軽減できる可能性もある。

このように、クリティカルミネラルの安定供給には、資源外交の強化、新規鉱山の探鉱・開発、リサイクルの促進、シフト技術開発、分散化など、多面的な対応が求められる。しかしながら、資源供給国の政策やリサイクル・省資源・代替技術開発の見通しには、いずれも不確実性が伴う。また、本分析は環境技術の普及についてより現実的で相対的に保守的な想定を持つ技術進展シナリオを前提としたものであり、もし世界全体で2050年頃のカーボンニュートラルを目指す場合には、さらにクリティカルミネラルの安定供給への懸念が高まるものと思われる。したがって、エネルギー・経済安全保障の観点からは、特定のカーボンニュートラル技術への過度な依存の回避を目指したバランスの取れた技術選択の検討も求められる。

7. おわりに

気候変動問題は世界大で長期に取り組むべき重要な課題である。国連の気候変動枠組み条約の締約国会議において長年議論を重ね、2016年のパリ協定発効前から欧州を先頭に加速度的に取組が進んだ。その過程で主力電源として導入が進んだ再生可能エネルギーの扱いや、脱炭素化をめぐる企業や産業へのプレッシャーなど、大きな社会変革は人々の行動にも影響を及ぼす大きなうねりとなりつつある。

その中で起きたコロナ禍とウクライナ侵攻で各国は新たな課題に直面している。コロナ

禍は既に3年近くとなり、各国経済は打撃を受け、人々の暮らし方は大きく変化した。ロシアのウクライナ侵攻の行方はまだ混沌としている上に、米中やロシアを筆頭に世界の分断も顕在化している。気候変動への対応の必要性に変わりがない中、エネルギー資源や技術など、持てる国と持たざる国の格差も明らかになりつつあり、各国が協調し、技術革新を加速してすすめるべき取組の可能性に疑問が生じている。足元の天然ガスの争奪戦はコロナ禍でのワクチン確保と同様に自国優先の風潮を彷彿とさせる。

先進国を中心に進められてきた電力市場の自由化、気候変動対策のために急激な転換が行われてきた再生可能電力の利用増大や電化が進む中、極端な天候等に起因した予測を超えた電力需要の増大、これらのバランス確保の難しさは、ウクライナ侵攻以前から認識されていた。また、コロナ禍で様々な物資のサプライチェーン分断の問題も生じていた。加えて、今般のウクライナ侵略を受け、食料を含む資源やエネルギーを特定国に依存するリスクが顕在化し、日本でも電力を含むエネルギーの安定供給を確保・堅持する重要性を改めて深く認識することとなった。

他方、エネルギーや気候変動問題への対応に切迫感が増す中、日本のエネルギー・環境政策には東日本大震災以降の停滞感があった。これまでスピード感に欠けていた日本の脱炭素化への取組の加速化に向け、政府は原子力発電再稼働の加速化等原子力政策の転換や官民投資や脱炭素のインセンティブともなるカーボンプライシングの導入等、グリーントランスフォーメーション（GX）に向けて矢継ぎ早に政策を発表した。

コロナ禍を境に大きく変わってしまった世界で日本企業が生き残るためにはどのような産業構造、社会経済構造を目指すべきなのか、どの技術を開発・維持すべきなのか等、将来に向けた企業の生き残りをかけた技術覇権競争が既に始まっている。史上初の世界エネルギー危機とも称されるエネルギー供給不安と気候変動への対処をしつつ、日本の競争力を向上することが必要である。長期的な視点を持った戦略と具体的な行動が求められている。

参考文献

- GX 実行会議（2022）「GX 実現に向けた基本方針（案）参考資料」（12月）。
- 資源エネルギー庁（2022）「エネルギー白書 2022 年版」。
- 資源エネルギー庁資料（2022）「クリーンエネルギー戦略 中間整理」（第8回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 グリーントランスフォーメーション推進小委員会／総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 2050 年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合、資料 1、5月）。
- 資源エネルギー庁（2022）「今後の原子力政策について」（原子力小委員会、資料 3、2月）。
- 資源エネルギー庁（2022）「電力需給対策について」（6月）。
- 資源エネルギー庁（2022）「2022 年度の電力需給対策について」（7月）。

- 資源エネルギー庁 (2022) 「資源エネルギー庁 (2022) 「電力需給対策について」 (8 月).
- 資源エネルギー庁資源・燃料部 (2022) 「化石燃料を巡る国際情勢等を踏まえた新たな石油・天然ガス政策の方向性について」 (4 月).
- 日本エネルギー経済研究所 (2021) 「IEEJ Outlook 2022」 (10 月).
- 日本エネルギー経済研究所 (2022) 「IEEJ Outlook 2023」 (10 月).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2022) Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, the Working Group III contribution.