

## 自然エネルギーで脱原発はできるか？（Ⅷ）

### ～ドイツの脱原発とその戦略とは！～

技術士（衛生工学・建設・環境）、第一種放射線取扱主任者  
環境計画センター 会長代行 **鍵谷 司**

#### 1. はじめに

前回の『環境施設』第172号（2023年6月発行）では、「自然エネルギーで脱原発はできるか？（Ⅶ）～欧州における国際広域送電網とドイツの脱原発！～」と題して、ドイツが2023年4月に原発稼働をすべて停止し、脱原発に踏み切ったことを取り上げた。なぜ、原発ゼロを実現できるのか？日本ではなぜできないのか？について、国同士で電力を融通し合う広域送電網の整備・運用制度に注目して紹介した。

欧州は早くから国際広域送電網に着手し、北欧はもとより東欧や北アフリカにまで連系し、安定な電力送電網を構築し、あわせて自然エネルギーの導入拡大を図ってきた。世界の共通認識である温暖化ガス排出削減を実行するためには、火力発電の縮小は必須であるにもかかわらず、ドイツは二酸化炭素を排出しない原発の停止に舵を切った。日本における脱原発の可能性を考察するにあたり、欧州の電力消費量や電源構成等を整理し、ついで国家間の広域送電網の特徴を比較した。欧州はネット状に複合して他国からの電力需給が容易である。ドイツの脱原発は、国際広域送電網による電力の安定的な需給システムに支えられていることを述べた。

また、欧州は、地中海から北海に至る広大な範囲で自然エネ発電を行うことにより、予備電源を必要としない合理的な電力供給システムを構築してきた。さらに、自然エネが拡大するにしたがって国をまたいだ電力の取引、つまり電力の貿易が拡大し、電力取引所が各国に設立され、導入が拡大している。今後は、再エネを従来の電源と競争

しながら安価な電力供給を目指した取り組みが期待されている。

ところで、2023年4月にドイツがすべての原発を停止した翌日にフィンランドは40年ぶりに欧州最大の新規原発を稼働し、原発回帰を実現した。ドイツは火力発電を増やさないで自然エネを主電源として安定供給できるのであろうか？一方、フィンランドの新規原発は、電源を喪失しても1週間は安全で、メルトダウンしない欧州型加圧水型原発とあった。このように脱原発と原発回帰の流れの中で、当然ロシアのウクライナ侵攻に伴う原発の位置づけが見直されているのであり、各国が原発の是非を模索中である。

今回は、ドイツが、ロシアが天然ガス供給を停止し、今後石炭火力発電を停止することを目標としている中で、脱原発に必要な電力を確保できるのであろうか？あまりにも衝撃的な施策なので、電力事情と施策の考え方について調べた。

#### 2. 欧州における原子力を取り巻く動向

世界中で運転中の原発は、2023年1月現在で33カ国で、431基である。欧州における2020年末時点のEU域内（英国を除く）加盟国27カ国中13カ国が原発を設置し、106基の原子炉で域内の発電量の25%を供給した。一方、再生可能エネルギー（以下、再エネ）は37.5%を、火力発電は38%を占めた。再エネ発電量の割合は1/3以上であるが、気象条件により大きな影響を受ける不安定電源であり、原発や火力発電の安定電源とは電気の質に大きな違いがある。

以下に、福島原発事故およびロシアによるウク

ライナ侵攻後のエネルギー危機に陥った後の原発の取り組みに注目した。

## 2. 1 福島原発事故後の欧州の原発の取り組み

### 【原発の事故リスクの考え方の違いについて】

2011年3月の福島原発事故により、多くの住民が長年にわたって避難する過酷事故が実際に起こった。しかも3基の原子炉がメルトダウンし、放射能汚染が厳しく、解体や廃炉までには数十年を要すると言われている。世界では、この事故を受け、あらためて複数の国・地域が脱原発の方針を選択した。とくに陸続きの欧州では影響が一国ではすむはずもなく、多くの国で原発の廃止と稼働の選択を巡り、国を二分する議論が続いた。

一方で、国際的な共通認識である温暖化防止対策としての二酸化炭素削減に有効であることから従来どおり原発を利用する国も多い。なお、2019年に欧州委員会は2030年の温室効果ガス削減目標を1990年比で少なくとも40%から55%削減を目標とした。また、再エネの拡大に伴って固定価格買取制度に基づく消費者の負担増となっていたが、軽減措置としてこの制度を2023年7月に実質廃止した。

このような状況の中で、2022年2月にロシアがウクライナに侵攻し戦争状態になっている。ロシ

アは、エネルギー・資源に富んだ国であり、とくに、欧州には、パイプラインを敷設して天然ガスを直接供給してきた。西欧諸国がウクライナを強力に支援する状況で、苦境に陥ったロシアは、天然ガスなどの資源も戦略物資として供給を制限した。このため、欧州をはじめ世界では、エネルギーの供給減に伴う高騰により社会、経済が混乱している状況が続いている。

エネルギーの安定確保と国際的な共通認識である二酸化炭素排出削減を実現するためには、火力発電を制限し、再エネや原発に依存せざるを得ない。再エネは、気象条件により大きく変動する不安定電源であることを考慮すると、二酸化炭素を排出しない原発の稼働は、選択せざるを得ないとする意見が強まっている。

### 【福島原発事故後の世界の原発の取り組み】

世界各国の原発に対する取り組みを図1に示した。このうち、欧州の原発の利用を大きく区分すると次のとおりである<sup>1)</sup>。

#### ①現在、原発を利用している

- 将来も利用する…フランス、英国、スウェーデン、フィンランド、チェコ、ハンガリー、オランダ、ブルガリア
- 将来的に利用しない…ドイツ、ベルギー、ス

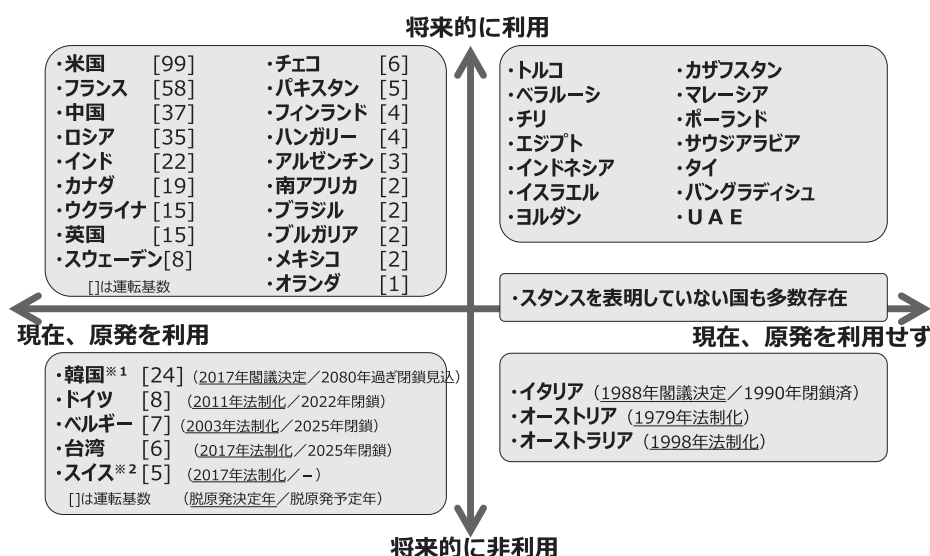


図1 世界各国の原発の取り組み政策 (2017)<sup>1)</sup>  
(2022.2; ロシアのウクライナ侵攻前。数字は原子炉基数)

イス

## ②現在、原発を利用していない

- 将来も利用する…トルコ、ベラルーシ、ポーランド
- 将来的に利用しない…イタリア、オーストリア

ところが、2022年2月のロシアによるウクライナ侵攻により戦争状態が続いている。とくに、欧州はロシアから天然ガスをパイプラインで供給する体制を進めてきたので、供給を止められてエネルギー不足に陥り、経済、社会に甚大な影響を及ぼしている。実際、天然ガス等の化石燃料の供給減に伴って価格の高騰を招いており、原発を利用しないとする国々においても、稼働中の原発の延命化あるいは新規建設など、原発依存に回帰する傾向がみられる。

それぞれの国のエネルギー事情により対応は分かれるが、地球温暖化防止対策としての二酸化炭素削減の実現と相反する選択であり、原発を廃止して火力発電でカバーすると二酸化炭素の増加、原発を推進すると過酷事故発生リスクが大きくなる。これらの問題点を有しない自然エネルギーで賄うことが選択枝としてクローズアップされるが、「必要な時に必要な電力を供給できない」不安定な電源であり、自然エネルギーは必ずしも切り札にはならないのが現状である。

## 2. 2 2022年2月（ロシアのウクライナ侵攻）後の取り組み

エネルギー資源大国のロシアがウクライナに侵攻し、西側諸国と対立する中で、ロシアの天然ガスや石炭等の化石エネルギーが戦略物資として取引が制限され、世界のエネルギー源の安定供給を脅かし、価格高騰を招いている。戦争状態は1年半を過ぎても未だに終わる見通しが立たず、果てしなく相互破壊や人的消耗が続いている。エネルギー源は、経済社会を支える基礎物質であり、不足あるいは価格高騰は深刻な社会不安を招く。

一方で、世界の共通認識である地球温暖化防止の切り札である二酸化炭素削減の実施が地球環境を保全するうえで時間的な余裕が無い状況にある。

二酸化炭素排出量の多い火力発電を制限するためには、排出量の多い石炭から少ない天然ガスに変える施策を長年にわたって続けてきた。が、天然ガスの大供給源であるロシアが供給を止めているのである。

一方、原発は、ウクライナのチェルノブイリ原発事故や福島原発事故による過酷事故時の被害は、桁違いに深刻なものであることを突き付けた。放射能の影響や避難解除あるいは原子炉の廃炉などに膨大な費用と長期間を必要とし、安全性を確保することに大きな疑問を呈した。これらの状況変化が、従来の原発利用の取り組みを見直さざるを得ない状況を生み出した。

原発の利用あるいは廃止の取り組みは、それぞれの国ごとのエネルギー事情、民意などにより施策が決まるのであり、一概に決まるものではない。このような不安定な社会状況の中で、2023年4月にドイツはすべての原発を停止し、脱原発の戦略を選択した。が、翌日にフィンランドは40年ぶりに新規原発を稼働したのである。なお、欧州は、30カ国以上の国々が広域送電網で結ばれており、電力の貿易（売買）も自由に行われている。とくに、フランスは原発大国であり、電力の半分以上を原発で供給し、欧州の安定電力供給に一役担っている。脱原発のドイツと原発推進のフランスの原発利用の考え方が、図2が端的でわかりやすいので、掲載する。

### 【欧州各国の取り組み】

以下にエネルギー供給の不安定な国際状況の中



図2 欧州における原発利用の事情<sup>2)</sup>

で、原発を全廃したドイツと、メルトダウンが起らない新型原発を導入したフィンランドの電力事情やそれぞれの国の原発評価理由等を探ってみた。

○フランス；原子力は「安全で透明性の高いエネルギー」と位置づけ、化石燃料への依存度を下げるためには原発が不可欠だとの立場である。電力の70%を原子力に依存し、一時、原発依存を50%に下げると掲げたが、2050年までに14基建設すると表明した。温室効果ガス削減とエネルギー自立のために、①既存炉について、安全性が維持される限り運転の継続、②2050年までに原子炉6基を新規建設し、さらに8基追加を検討、③小型モジュール炉（SMR）開発を進め、2030年までに原子炉を建設。以上の施策を通じて2050年までに原子力発電容量を2,500万kW増強すると発表した。

○イギリスやオランダ、スウェーデン、それに中東欧諸国でも新規建設の動きがある。

○イタリアとスイスは福島原発事故を受けて国民投票で脱原発を決め、オーストリアは1970年代に国民投票で原発反対派が勝利して以来、原発を認めていない。

このように欧州における原発に対する見解、施策は国によって大きく異なるが、福島原発事故のあと各国は原発の新規建設に慎重であったが、再び原発建設の動きが活発化する傾向にある。その選択肢の判断基準は、「原発のリスクとコスト」および「二酸化炭素削減目標の達成」の相反する目標を満たすことであり、ここに第3の方法として再エネの活用が電力の安定供給と二酸化炭素削減に大きな役割を果たしうる。が、気象に大きく影響を受けるので、必ずしも「切り札」と評価することは難しい。

## 2. 3 ドイツの脱原発戦略；電力の安定供給はできるのか？

ドイツは、福島原発事故を教訓に原子力発電を廃止し、ロシアからの天然ガス供給を強烈に推進してきた。2023年4月には、ついに最後の3基の原発を停止し、脱原発に踏み切った。しかも、2022

年2月にロシアのウクライナ侵攻により天然ガスの供給が停止される事態の中で経済・社会に計りしれない影響が懸念されている最中である。

なお、27カ国で構成されるEUは、域内での天然ガス消費量の約40%をロシア産に依存していたが、今年中に1/3に縮小し、2030年よりかなり手前の段階でロシアへの依存を脱却すると宣言している。

### （1）ドイツにおける脱原子力の経緯

ドイツの反核運動の歴史は古く、1970年代から反体制運動と並行して活発である。とくに、1986年のチェルノブイリ原発事故後は、環境保護運動も加わって原発を対象にした反対運動が激化した。1998年に、二大政党の一つである中道左派「社会民主党」と、初の連邦政権入りを果たした環境政党「緑の党」による連立政権が発足し、脱原子力政策が開始された。以来、「脱原子力」と「再生可能エネルギー（再エネ）拡大」がドイツにおけるエネルギー政策の基本方針となった。

2002年の原子力法改正で脱原子力が法制化され、原子炉の新規建設禁止に加え、既存炉については、各炉の生涯発電電力量（閉鎖までに発電できる電力量）の上限を定め、この枠を使い切った炉から閉鎖し、段階的に原子力から撤退する方式が採用された。2010年までに2基の原子炉が閉鎖され、残り3基で対応してきた。

基本的には、再エネの普及に重点を置いた施策が講じられてきた。再エネは、急拡大したものの、普及拡大に伴う問題が表面化した。つまり、固定価格買取制度（FIT）に伴う再エネ賦課金の増大であり、また、再エネの拡大に対応する送電網の不足に伴う系統運用コスト増大などである。このため、電気料金が上昇し、2000年のFIT開始から10年で家庭向け電気料金が約1.7倍となり、その後も上昇を続けている。また再エネは、気象条件に大きく影響を受けるので、そのバックアップを国内で安定調達できる安価な石炭火力が支えてきた。このため、温室効果ガス（GHG）削減ペースが鈍化し、二酸化炭素排出削減に寄与できない構

図になっている。

(2) 2022年の総発電量と電源構成<sup>3)</sup>

ドイツの2022年度の総発電量は、約5,500億kWhであり、日本の約半分強である。その電源構成は、図3および表1に示したように、火力発電が約5割で、石炭火力が3割を占める。再エネが約45%であり、原子力が6%を占めた。2023年度は、原発が完全停止したので、この6%分の電力を再エネあるいは火力で賄わなければならない。しかし、電気料金の高騰により電力消費量が大幅に減少し、また、石炭火力の再稼働や米国からのLNG輸入、気象条件が良好で風力や太陽光発電が好調で維持されたため、むしろ電力に余裕が生じ、輸出でき

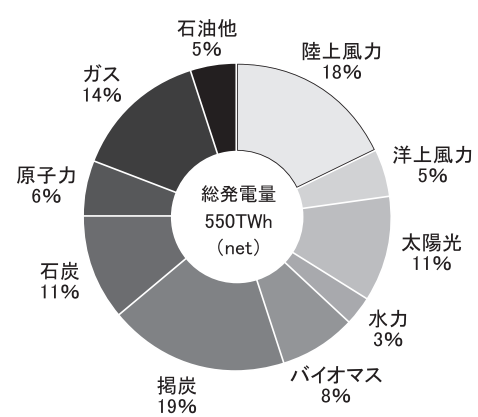


図3 ドイツの2022年の発電構成<sup>3)</sup>

表1 2022年の各電源の発電量割合

| 電源の種類   | 発電量割合 (%) |
|---------|-----------|
| 火力発電    | 49        |
| ①ガス     | 14        |
| ②石炭     | 11        |
| ③褐炭     | 19        |
| ④石油等    | 5         |
| 原子力     | 6         |
| 再生エネルギー | 45        |
| ①太陽光    | 11        |
| ②風力     | 23        |
| ③水力     | 3         |
| ④バイオマス  | 8         |

たと言われている。なお、広域送電網が整備されているので、余剰電力は輸出し、必要分を購入できる体制にある。

ところで、ドイツは2010年に温室効果ガスの削減目標を定めているが、排出量が多く、環境への影響も大きい石炭発電の廃止が不可避となった。このため、2020年に削減目標は1990年比40%であったが、55%に引き上げた。目標を達成するためには、どうしても石炭火力の縮小や廃止が必要であり、脱石炭法により石炭火力発電を遅くとも2038年までに終了することとし、そのための道筋、ステップ、補償等を定めている。

(3) 原発ゼロの戦略とは！

ドイツ政府は原子力エネルギーを「安全面のリスクと、維持管理から廃炉までの莫大なコストにより、将来の世代に負担を強いる」との考え方から原発ゼロを選択しているが、その経緯を調べると政治的な背景が強く影響してきた。

今後、原子力発電と石炭火力発電が廃止するが、これに代わる電源としては2030年再エネを80%に上げることをめざしている。省エネや蓄電を推進して必要電力を節約したとすれば、数値的には、原子力（6%）および現状の石炭火力（30%）を廃止したとしても再エネで発電量を確保できることになり、変動時には広域送電網を通じて買電すれば、必要電力量は安定して確保できそうである。

しかしながら、再エネ、とくに自然エネの太陽光（11%）と風力（23%）は合わせて3割を占めるが、必ずしも必要な時に発電量を得ることができない不安定な電源である。また、発電所の位置を図4に示したように、風力発電は北部地方が主体であり、大消費地は南部に位置している。しかも、数百kmも離れており、現在でも北南送電網の容量が十分でない状況であることから、新たに3,800kmの送電網の整備が進められている。従来、安定な主電源を消費地を考慮して設置してきたが、主電源となる風力は、北部に位置するため、大消費地の南部へ新たに送電網を整備する必要がある。とくに、これまで原発や火力発電を南部に設置し

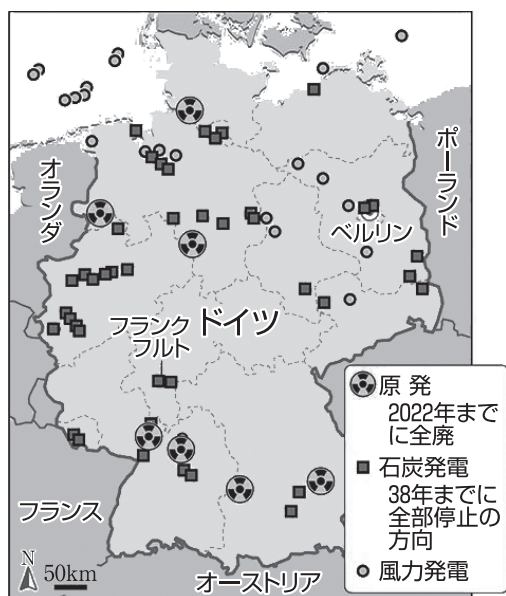


図4 ドイツの電源の配置と方針

て対応してきたが、これらを廃止する計画なのである。

ところで、今後、再エネの立地に優位な北部にエネルギー源の主力を移行し、再エネ80%をめざしている。ロシアのウクライナ侵攻による欧州のエネルギー危機を受け、従来のエネルギー分布図

に変化が起きている。2035年以降は国内の発電をほぼ再生可能エネルギーで賄うという高い目標を設定したが、自然エネへの大幅な依存は、電気料金の高騰を招き、大問題になっている(図5)。その結果、産業競争力の低下を招きかねず、脱原発が経済成長の足かせになる可能性が高い。つまり、再エネの普及にあたっては、コスト低下が大きな課題である。

#### 【ドイツの脱炭素目標とエネルギー関連事項】

①温室効果ガス排出量を2030年に1990年の65%減、2040年に88%減を目標。

- 再エネを主電源として拡大するが、固定価格買取制度により消費者の電気負担額が高騰するので、この制度を廃止する。また、石炭火力発電所を段階的に廃止するなどの措置を講じる。

②2023年4月に稼働していた原発3基をすべて稼働停止し、脱原発を実行した。

- 二酸化炭素を排出せずに発電できるが、過酷事故時のリスク回避、廃炉や高レベル放射性

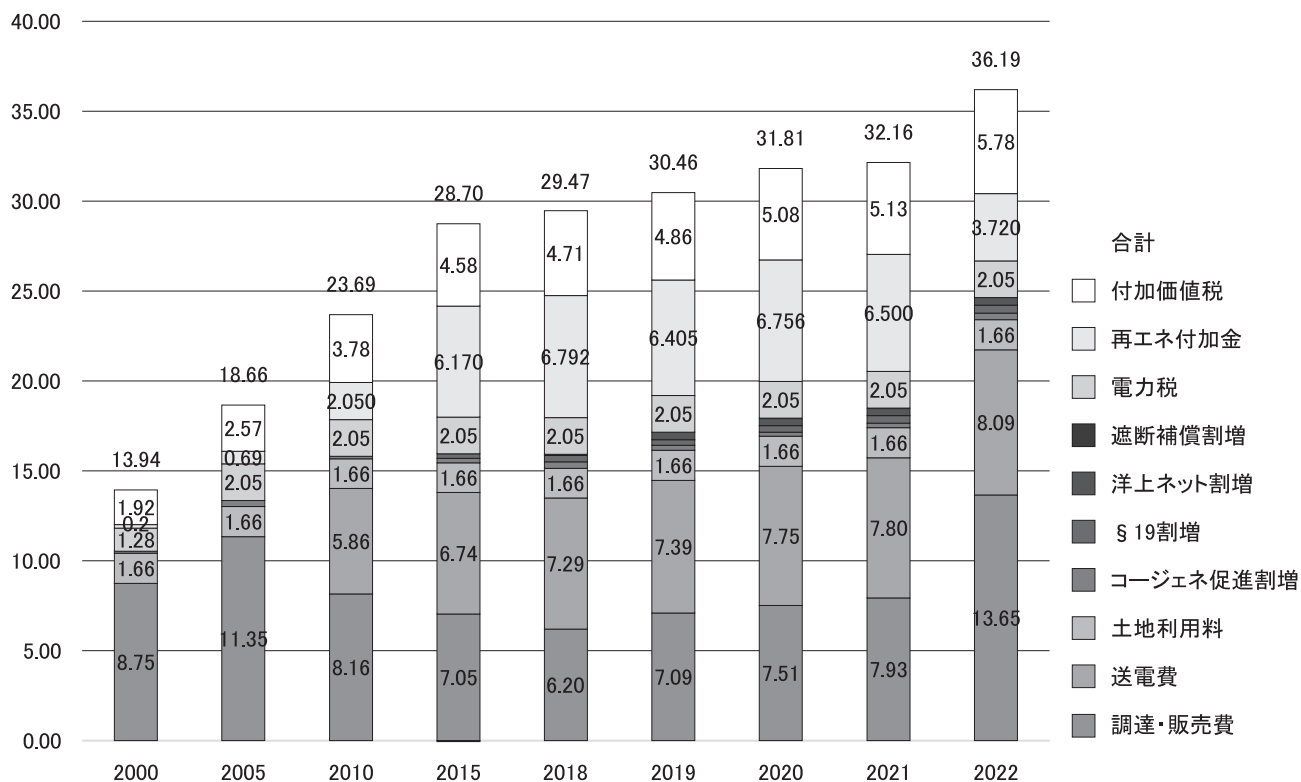


図5 家庭用電力の料金推移<sup>4)</sup>

表2 ドイツの脱炭素に向けた分野別目標と法的根拠<sup>4)</sup>

| 分野         | 法的根拠                   | 目標年   | 目標内容                    |
|------------|------------------------|-------|-------------------------|
| 気候保護関連     |                        |       |                         |
| 温室効果ガス排出削減 | 連邦気候保護法（KSG）第3条        | 2030年 | 温室効果ガス排出 65%減（1990年比）   |
|            |                        | 2040年 | 温室効果ガス排出 88%減（1990年比）   |
|            |                        | 2045年 | 気候中立達成                  |
|            |                        | 2050年 | 温室効果ガスのネガティブ排出          |
| エネルギー関連    |                        |       |                         |
| 原発         | 原子力法（AtG）第7条           | 2022年 | 全ての原発運転廃止               |
| 石炭         | 石炭発電廃止法（KVBG）第2条       | 2038年 | 全ての石炭発電廃止               |
| 自然エネルギー    | 再生可能エネルギー法（EEG2021）第1条 | 2030年 | 自然エネルギー発電で総電力消費の65%     |
|            |                        | 2050年 | 気候中立な発電で国内電力発電・消費の全てを賄う |

廃棄物の処分など将来のコスト負担を回避。

- ③ 二酸化炭素排出量の多い石炭火力発電所を順次閉鎖し、2038年までにすべての石炭火力発電の廃止を目標。

- ・自然エネルギー発電で消費電力を賄っても、不安定電源で発電量は大きく変動する。このため、石炭火力発電所を低出力で稼働あるいはいつでも稼働できるようなメンテナンスおよび運転員の確保などが必要。

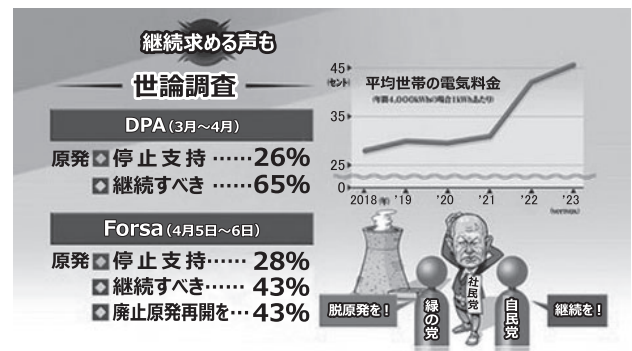
- ③ 2030年に再エネを総電力消費量の65%に、2050年には80%を賄う目標。

- ・再エネの主力電源の風力は、北部に集中し、電力大消費地は南部に多いので、送電網の新設が必要である。

- ④ 広域送電網による電力輸入で賄うことができる。
- ・気象条件により風力発電等に余剰電力を生じるが、輸出できる。

### 【脱原発に関する国民の意見】

ロシアのウクライナ侵攻によりドイツへの天然ガスの供給が停止され、エネルギー危機に見舞われている。電力不足が現実の問題になり、原発の全廃については国民の間でも意見が割れている。ドイツの通信社等が行った世論調査では、「原発廃止を支持する」が26%にとどまり、運転継続は半分以上の65%であった。また、別の調査でも原発

図6 ドイツの原発停止に関するアンケート調査結果<sup>2)</sup>

継続は43%、廃止された原発の再開は25%に上り、原発稼働の容認は68%であった。ドイツは1970年代から反核運動が盛んで原発に批判的な意見が根強かったが、エネルギーの供給不安、あらたに電気代がこの2年間で60%以上も高くなった。家計を圧迫するとともに、企業にも重い負担となり、脱原発への慎重論が高まっている。

### おわりに

ロシアのウクライナ侵攻により天然ガスの供給が停止される中、2023年4月に原発をすべて停止し、脱原発を敢行した。また、二酸化炭素排出量の多い石炭火力発電を段階的に縮小する目標を掲げている。必要な電力を確保するため再エネの拡大を推進してきたが、今後、風力発電を主として2050年には必要電力の8割を再エネで賄うとして

いる。

しかしながら、再エネの拡大は、電力価格の高騰を招いており、従来よりも高く買い取る固定価格買取制度を廃止するとともに、国家間の広域送電網による電力の輸入等を活用して脱ロシアをめざしている。2022年は、電力の高騰に伴って、電力消費量が低下し、また、気象条件が良好だったため、余剰電力が生じて、電力を輸出できたとの結果であった。なお、主電源となる風力発電は北部に集中しており、大消費地帯は南部に位置する。北南の距離は数百kmであり、現在でも送電能力が不足しており、送電網の整備が進められている。

ところで、主力の風力発電は、気象条件に大きく影響を受け、発電量がゼロもありうる。不足分をすべて輸入で賄うことは難しいので、いつでも安定して電力を供給できる火力発電所が不可欠である。発電所は、すぐに立ち上げて稼働すること

ができないので、電力不足に備えて低出力稼働が必要とされている。また、稼働しなくてもメンテナンスが必要であり、運転要員を確保し、短時間で稼働できるような体制を維持しなければならない。

ドイツは、石炭と褐炭の産地であり、自国で確保できるので、火力発電は安定電源であるが、石炭火力も廃止をめざしているのである。

はたして、脱原発、脱石炭火力は実現できるのだろうか!! 環境先進国であるドイツの取り組みに注目したい。

一方、北欧のフィンランドは、40年ぶりに新規原子炉を稼働した。しかも、メルトダウンしない新型の原子炉とあった。過酷事故が起こっても周辺の住民は避難する必要がない、運転員が不在でも1週間は安全を保たれるとあるが、どのようなメカニズムなのであろうか? 次回に紹介したい。

#### 〈引用・参考文献〉

- 1) 世界の原発利用の歴史と今；資源エネルギー庁（2017）
- 2) 時論公論「ドイツ 原発なきエネルギー戦略は」；NHK解説委員室 二村伸専門解説委員（2023.4.18）
- 3) 世界のエネルギー事情〔13〕 再生可能エネルギー45%のドイツ、それでも火力発電設備は減らせない！  
AgoraEnergiewende「ドイツのエネルギー大転換：2022年の状況」より；欧米における電力エネルギーおよび環境に係る調査研究会主査 舟橋信之；会誌「火力原子力発電」2023年4月号；一般社団法人 火力原子力発電技術協会
- 4) ドイツの脱炭素戦略 自然エネルギー拡大と脱石炭・脱原発にむけた政策と法整備；公益財団法人 自然エネルギー財団（2021.12）
- 5) エネルギー・原子力に関する国内外の動向；資源エネルギー庁（令和4年8月9日）