

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！～

技術士（衛生工学・建設・環境）
環境計画センター 会長代行 鍵谷 司

はじめに

前回（『環境施設』第169号）では、「自然エネルギー発電の主電源化に向けて」と題して、我が国における自然エネルギー発電の現状と将来計画、ついで自然エネルギー（以下、自然エネ）の普及の条件を紹介した。とくに、自然エネは、発電量が極端に変動するので、安定電源とするためにバックアップが必要である。その対応策の一つとして各電力会社同士が地域広域連系線で接続し、全国に「くし形状」に整備されている。しかし、送受電は、隣の電力会社同士を経由するので、遠方まで送受電することは複雑で困難、さらに、中部エリアと東京エリアでは周波数が異なるので、周波数変換が必要であることを紹介した。

平成27年4月に広域的運営推進機関が発足し、全国的な電力の需給状況を把握し、広域で送受電できる仕組みが整備された。大きく変動する自然エネ発電の普及および電力の安定供給に大きな役割を果たしている。さらに、自然エネ発電ポテンシャルの高い北海道・東北エリアと、大消費地である東京を海底送電線で結ぶ構想などを紹介した。

ところで、日本の自然エネ発電についてしばしばEUの現状と比較され、あたかも日本が自然エネによる発電利用が遅れているような議論、主張が目立つ。とくにドイツは、福島原発事故を教訓に原発を廃止し、ロシアからの天然ガス供給を強力に推進してきた。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ロシアからの天然ガスの供給が激減する事態に陥り、経済・社会活動に計りしれない影響が懸念

されている真っ只中である。

今回は、ドイツの脱原発を可能にした欧州の自然エネ普及の礎となった国際広域送電網と日本の地域間送電網とを比較して紹介する。

1. 日本の地域間送電網と欧州の国際広域送電網の現状

2023年4月にドイツが最後の3基の原発を停止し、脱原発を実施したことが大きなニュースとなった。一方で、フィンランドが40年ぶりに欧州で最大の新規原発を稼働させた。しかも、メルトダウンを起こさないEU方式加圧水型原子炉とあった。2022年2月のロシアのウクライナ侵攻によりエネルギー源が戦略物質として供給が不安定になる中で、ロシアから直接パイプラインで天然ガスを輸入しているドイツが脱原発を実施したことは驚きである。どのような戦略があるのだろうか？

自然エネ発電は、太陽光や風力などをエネルギー源として利用し、安価で自国で永遠に確保できるなど多くのメリットを有するが、発電量が大きく変動することが致命的なデメリットである。自然エネ発電の拡大・普及には、バックアップである予備電源や電力会社同士の電力融通システムの確立が必要不可欠である。

前回の『環境施設』第169号（2022.9）では、我が国の地域間送電網の現状と計画について紹介した。EUでは、かなり以前から国際的な広域送電網の整備を着々とすすみ、電力の安定供給システムが確立されている。「再生可能エネルギー（以下、再エネ）の普及」や「脱原発」には、国際的に電力を融通し合う広域送電網の重要性を共有し

ていた。脱炭素を実現するために火力発電に依存できないことも広域送電網の重要性が背景にある。

休載が続いたので、日本の地域間送電網による電力安定供給システムを再掲するとともに、EUの国際広域送電網の違いに焦点を当てて調べてみた。

1. 1 日本の地域間連系線整備と運用

発電事業では、二酸化炭素（以下、CO₂）排出量の約1/3を占めるため、排出抑制が大きな課題である。排出量の多い火力依存から脱却し、自然エネや原子力に依存する理由である。しかしながら、原子力発電は、事故時の影響が甚大であり、福島原発事故の経験から低減化の方向にある。切り札としてCO₂を排出しない自然エネ発電が強力に推進されているが、発電量の変動が大きく、普及が進むにしたがってブラックアウトのリスクが大きくなる。このため、相互に電力を融通し合う地域間送電網の拡大整備が自然エネ拡大の「切り

札」なのである。火力発電は、CO₂排出量が多いので、予備電源としての評価は低く、増設は難しい。

（1）従来の地域間連系線の特徴¹⁾²⁾

図1に地域間連系送電線の設置状況および増設計画を示した。地域間送電線は、電力会社の管轄する地域ごとにエリア間を1点連系とし、ほぼ日本列島の地形に沿って2,000km以上の長距離を「くし状」に繋がっている。9電力会社が隣接する電力会社との間で電力を融通する送電線を整備してきた結果である。従来、主電源は火力であるので、火力発電の調整あるいは増設により電力需要の変動をカバーしてきた。しかし、風力や太陽光発電等により末端の発電量が増えると、火力発電所の出力を落とす、あるいは発電が低下した場合に通常出力に戻す必要がある。火力発電所では出力調整が瞬時にできないので、自然エネ発電が普及す

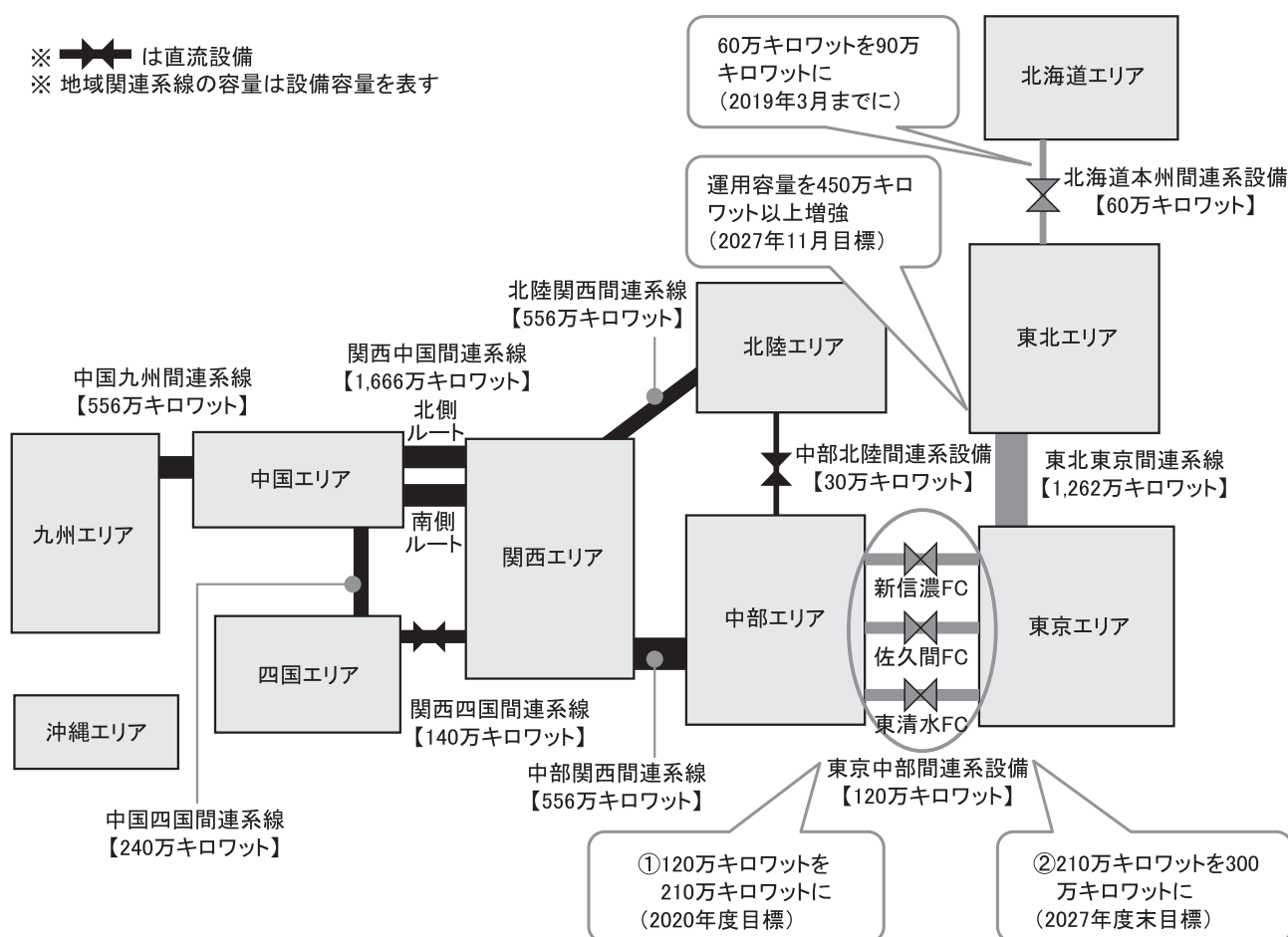


図1 地域間連系線の現状と増強計画²⁾

るにしたがって調整が難しくなる。

我が国の地域間送電線の特徴および問題点は次のとおりである。

- ①西地区（関西・中国・四国・九州・北陸・中部）と東地区（東京・東北・北海道）エリアでは、新潟・静岡ラインを境にして周波数が異なるので、周波数変換しなければ送電できない。西側は60Hzで、東側は50Hzである。
- ②関西エリアと中部エリアの電力需給は、周囲エリアの3～4系統から電力の融通ができるが、最も電力需要の大きな東京エリアは2系統である。とくに、西側ラインは、給電能力が十分にあったとしても周波数変換が必要であり、その変換能力が小さいので、ここがネックになる。実質、北海道・東北ラインに限られるのでかなり脆弱である。

（2）広域送電容量の増強と計画

わが国の発電設備能力は約1.7億kW程度であり、このうち東京電力が約6,400万kWで約3割以上を占める。最大の電力消費エリアである首都圏に対する連系線は北海道・東北系統線と西側系統線の2系統がある。しかし、中部以西（60Hz）と連系するためには周波数変換が必要である。現在の西日本からの連系線容量はわずか120万kWであり、240万kWへの増設が急がれている。周波数変換を増設するためには長期間の工期と膨大な経費が必要であり、短期間で増強することは難しい。つまり、周波数変換能力を現状の2倍に増強しても240万kWに過ぎない。安定供給には現状の東北東京間系統線1本（1,262万kW）に依存せざるを得ないのであり、さらに450万kW以上の増強が急がれている。

一方、風力発電が普及している北海道から東北・首都圏への連系線（60万kW）が90万kWに増設され、さらに30万kWの増設が計画されている。とくに、隣接する東北エリアからの送電能力が東京エリアの安定給電の鍵を握っている。これらのエリアでは、大規模な洋上風力発電計画が推進されており、既存連系線を増強しても対応は難しく、

新たな海底ケーブル方式による系統線の新設が検討されている。

（3）広域連系送電網の運営推進機関の設置³⁾

これまで原則として地域ごとの電力会社同士で行われていた電力需給の運用を、地域を越えてより効率的に運営する目的で、平成27年4月1日、「電力広域的運営推進機関」が発足した。

すべての電気事業者は、広域機関システムを通じて、発電や需給に関する年間・月間・週間・翌日・当日の計画を広域機関へ提出し、広域機関はこれらの計画を受け付け、全国やエリアおよび事業者の需給バランス状況を把握する。また、全国10の供給エリア単位で管理されている電力の需給状況や送電網の運用状況を、全国規模で一元的に把握する。状況を把握するため、各供給エリアの「中央給電指令所」と連携し、リアルタイムで、24時間・365日監視を行っている。

電力の需給状況を監視する中で、どこかのエリアで需要に対して供給が不足することが見込まれた場合には、ほかのエリアの電気事業者に対して、発電量を増やす（焚き増し）などして、不足しているエリアに融通するよう指示し、安定的な電力需給を管理する制度がある。これにより速やかに電力の需給が全国的に調整できるので、変動の大きい自然エネルギーの普及・拡大が容易になると期待できる。

政府は今後10年間で原発10基の容量にあたる約1,000万kW分の広域送電網を整備し、太陽光や風力など再エネによる電気を地域間で効率良く融通する体制を整えるとしている。

1. 2 欧州（西欧と北欧）における国際広域連系線と運用

地球温暖化対策の一環として再エネの普及に対する認識は高く、「再エネに投資をしない企業は市場から排除され、再エネを語らない政治家は選挙で勝てない」とまで言われている。また、陸続きの欧州では、2021年3月に起こった福島第一原発事故による放射能汚染が転機となり、脱原発が大

きな流れとなっていた。ところが、2022年2月にロシアがウクライナに侵攻し、戦争状態に陥り、エネルギー資源国であるロシアからの天然ガスの供給激減に見舞われ、エネルギー危機を招いている。

このような状況の中で、ロシアの天然ガスに大きく依存してきたドイツが、稼働していた最後の原発3基を停止し、「脱原発」に舵を切った。CO₂低減をめざしつつ脱原発に移行することは、いくら再エネを増やしても電力の安定供給リスクは懸念されるが、それには、欧州30ヵ国以上が参加する国際広域送電網による電力需給システムが確立されている背景がある。

(1) 欧州各国の発電に関する基礎データ⁴⁾

欧州（西欧と北欧）における自然エネ利用は、日本のモデルとなり、自然エネ発電の普及率のみが比較対象として取り上げられることが多い。本来、自然エネ利用の普及は、それぞれの国ごとの電力使用量、発電量や電源構成、気象条件などにより選択されるのであり、単純に再エネ普及率を比較することは合理的ではないし、稚拙である。

とくに、欧州は、国際広域送電網が広範囲で整備されているので、電力の売買や購入は容易であり、予備電源の必要性は低い。

【EUにおける電源構成の基礎データ】

以下に、国力ともいえる基本的なデータをまとめて表1に示す。なお、備考には、主たる電源を付記した。

- ①総人口；2022年の人口統計に基づく。基本的に人口が多いほどエネルギー消費が多くなる。1人あたりの電気使用量は、寒冷地の北欧が多く、温暖な西欧は少ないなど、地勢や気象の影響も大きい。
- ②総発電量・再エネ割合；各国の立地条件や気象条件により電源構成は異なる。とくに、北欧は風が安定して強いことや水力も豊富である。一方、南欧は、日差しが強く、太陽光利用に有利であり、自然エネ活用に使われていると言える。
- ③気象条件；欧州では、熱帯低気圧が発生しないので、強力な台風やハリケーンは発生しないが、異常気象による豪雨、渇水や豪雨は起こる。

表1 EU主要国等の人口と総発電量・電源構成（2022年）⁴⁾

国 名	総人口 (万人)	総発電量 (10億kWh)	電源構成 (%)					
			火力	備考 (主)	原子力	その他	再エネ	備考 (主)
○ドイツ	8,379	552	47	炭	6	1	45	風>バイオ
○フランス	6,565	452	11	ガス	62	1	26	水>風、バイオ
○イギリス	6,779	318	42	ガス	14	1	42	風
○イタリア	5,898	278	62	ガス	0	1	37	水>光、風
○スペイン	4,760	284	36	ガス	20	0	43	風>光
○オランダ	1,759	118	56	ガス	4	0	40	風>光
◇ベルギー	1,162	89	32	ガス	39	28*	1.5	水
○スウェーデン	1,052	173	0	なし	29	1	70	水>風
△スイス	874		9		29		62	水
○デンマーク	587	33	14	炭	0	2	84	風
◇ノルウェー	545	157	1		0	7	91	水
△オーストリア	892	703	20	ガス・炭	0		80	水
○ポルトガル	1,039	49	36	ガス	0	1	60	風>水
○アイルランド	513	33	58	ガス・炭	0	1	42	風
欧州27ヵ国	44,732	2,600	37	ガス・炭	24		39	水>風>光
○日本	12,560	1,001	69	炭・ガス	5	4	22	光

※人口統計および総発電量は2022年データ。電源構成は、○：2022年、△：2021年、◇：2020年。

※備考欄略記…炭：石炭、風：風力、光：太陽光、水：水力、バイオ：バイオマス。

※ベルギーの「その他」(*)は、バイオ燃料、廃棄物などの再エネ由来の電力で水を電気分解して水素を生成し、CO₂を排出しない水素利用を促進している。

人口が多いとエネルギー消費量も増加し、欧州を構成する国々は、人口が数百万人から8千万人強の10倍以上の差異がある。当然、エネルギー消費量も同じように大きな差がある。人口が少なく、電力需要が少ない国では、自然エネで多くを賄い、不足分を国際広域送電網あるいは隣接する国々からの購入により安定して電力を確保できる。

しかしながら、日本は、人口が1億2,000万人を超えており、電力需要もおおよそ1兆kWhである。欧州では主要国でも人口6,000～8,000万人であり、電力消費量も発電量も日本の半分以下である。このような電力大消費国の電力を自然エネで賄うこと自体が大きなりスクを伴う。しかも、太陽光や風力のエネルギー源は偏在するので利用し難く、台風や地震など自然災害も多い。さらに国内の送電網は整備が進んでいるとはいえ、隣接エリア同士が連結されているだけで、遠方への送受電は複雑である。また、島国で台風も多く、安定した自然エネを確保することは非常に困難であり、バックアップの必要性が高い。予備電源としては、火力発電が容易であるが、CO₂削減の観点から減らす方向にあり、新規建設・稼動は難しい。

【EUと日本の比較；2022年】

- 欧州連合（EU）加盟国は27ヵ国；ロシアのウクライナ侵攻後、増加傾向（イギリスとスイスは、国際広域送電網に参加しているが、EUには加盟していない）
- 人口：4億4,732万人／日本（1億2,560万人）の3.6倍
- 総面積：429万km²／日本（37.8万km²）の11.5倍
- 総発電量：2兆6,000億kWh／日本（約1兆kWh）の2.6倍
- GDP：1,971兆円／日本（423兆円）の4.6倍

【欧州における発電量と電源構成について】

EUの総発電量は約2.6兆KWhで、日本の2.6倍に相当する。総面積が10倍以上の広さであり、自然エネを広範囲で利用できる。しかも、熱帯から離れているので台風などもほとんどないと言われている。

なお、2022年データを掲載したが、再エネの構成および主要国以外のデータを検索できなかったものは、2021年以前のデータを記載した。とくに、2022年2月にロシアによるウクライナ侵攻により欧州への天然ガスが激減したことから、エネルギー供給構成が大きく変動した。引用時には確認いただきたい。

- EU全体での再エネ発電量の割合は、2022年にはEU27ヵ国で38.6%に達し、化石燃料による発電割合39.5%とほぼ拮抗している。
- 再エネの割合は、ドイツ（45%）、スペイン（43%）、イギリス（42%）において40%を超えており、欧州全体の平均を上回っている。
- また、変動自然エネ（VRE；風力、太陽光）の割合はEU全体でも22%と、日本（約11%）の2倍に達している。スペインでは33%に達し、ドイツでも30%を超えている。
- フランスは、原発の比率が60%を超え、自然エネの割合は25%に留まる。原発については国ごとに対応が異なり、オランダ、イタリア、ノルウェー、デンマークは停止しており、ドイツやオランダは数%であり、ベルギーとスイスは30%を超える。
- 欧州の火力発電は、最大60%に達し、燃料はおもにロシアから供給される天然ガスである。なお、ドイツは産炭地であり、国内炭が豊富なので石炭も多い。
- 電源構成が極端に偏っているデンマークは、年間発電量に占める自然エネの割合が約84%に達しており、風力だけで55%に達する。
- オーストリアでは、水力発電の割合が56%あり、風力11%やバイオマス6%と合わせて自然エネの割合が76%に達している。
- ベルギーは、その他電源が28%であり、再エネ由来の電力で水を電気分解して水素を製造し、CO₂を発生しない水素社会へと進んでいる。

（2）欧州の国際広域送電網の整備と運用

【欧州と日本の広域連系線の比較】

図2に日本と欧州の連系送電線の概略モデルを

示す。日本の場合は、細長い地形に沿って9電力会社がそれぞれを結合したので「くし形」に、他方、欧州は、大陸に幅広く広範囲に国々が分布しているので、「メッシュ状」に連系線が繋がっている。それぞれの国ごとに特徴はあるが、連系線が複数から成る後者が有利である。つまり「くし状」では、隣接地では支障はないが、遠方にまで送受電する場合は、いわば単線を隣同士の送電線を繋いで送るので、容量の小さな送電線がネックになる。しかも、中部エリアと東京エリアでは周波数が違うので周波数変換能力に依存し、最大の消費地である東京エリアへの給電は制限される。

一方、「メッシュ状」では、例えば、フランス、ドイツ、イタリアのように隣接する国同士が複数の連系線で連結されているので、大量の電力の需給が容易である。

【欧州の国際広域連系線の概要】^{4)～7)}

図2の欧州の国際連系は、日本との比較するための簡略図であり、実際は30数カ国が結ばれており、2022年3月にはウクライナやモルドバとも繋がっている。図3に示した国際広域連系線に示したように、EU（欧州連合；27カ国）を中心に周辺国と密接に国際連系されている。

○連系線系統としては、大陸欧州同期系統が欧州中心部を囲むように連系されており、これに北

欧系統、バルト系統、イギリス系統、北アフリカ系統、トルコ系統が接続されている。なお、大陸欧州同期系統は、交流50Hzであり、他の系統は直流で結ばれている。

○イギリスは、EUの主要国であったが、2020年1月31日に離脱し、独自の政策を実施している。また、スイスはEUには加盟していない。が、国際広域送電網に加わっている。イギリスは島国であり、海底ケーブルにより隣接する北欧の国々と二国間の連系線を整備している。

○欧州以外の国々とも連系線が接続されており、スペインから接続される北アフリカ系統は、北アフリカのモロッコなどと連結している。

○ギリシャからトルコ系統に接続されており、西アジアとも連結している。

欧州を中心に数十年の年月をかけて粛々と整備してきた国際広域連系線は、しだいに普及・拡大しており、アフリカや西アジア、およびウクライナやモルドバの東欧へと拡大している。

なお、図3は2013年に作成されており、その後の進展が反映されていない。とくにロシアによるウクライナ侵攻がエネルギー危機を招いており、かつ安全保障上の観点からもEUやNATOへの加盟国が増えており、拡大傾向にある。

従来の電力供給システムは、火力発電を建設すれば必要な所にどこでも設置することにより対応

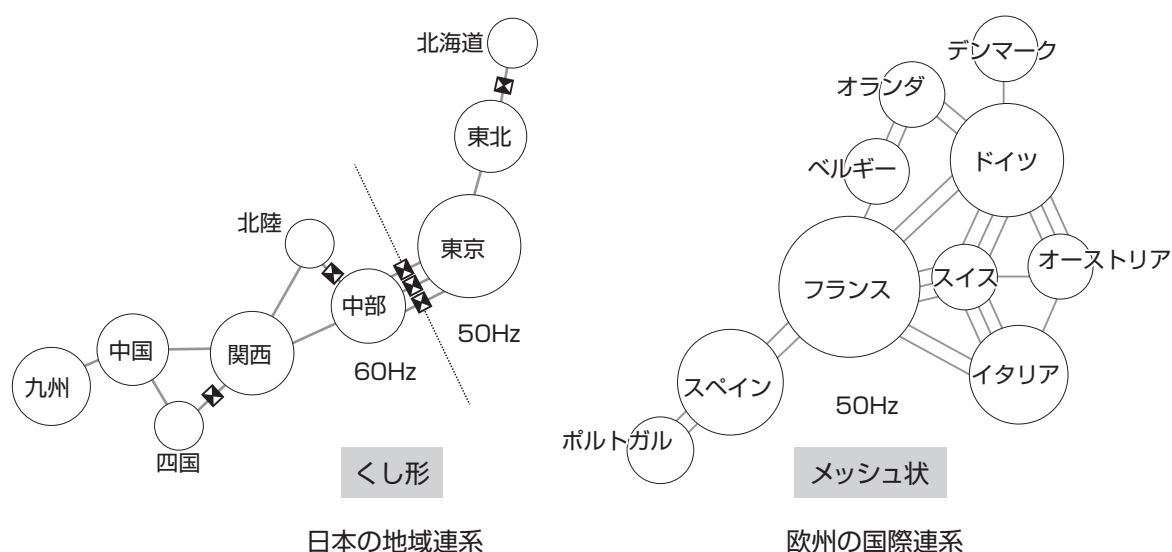
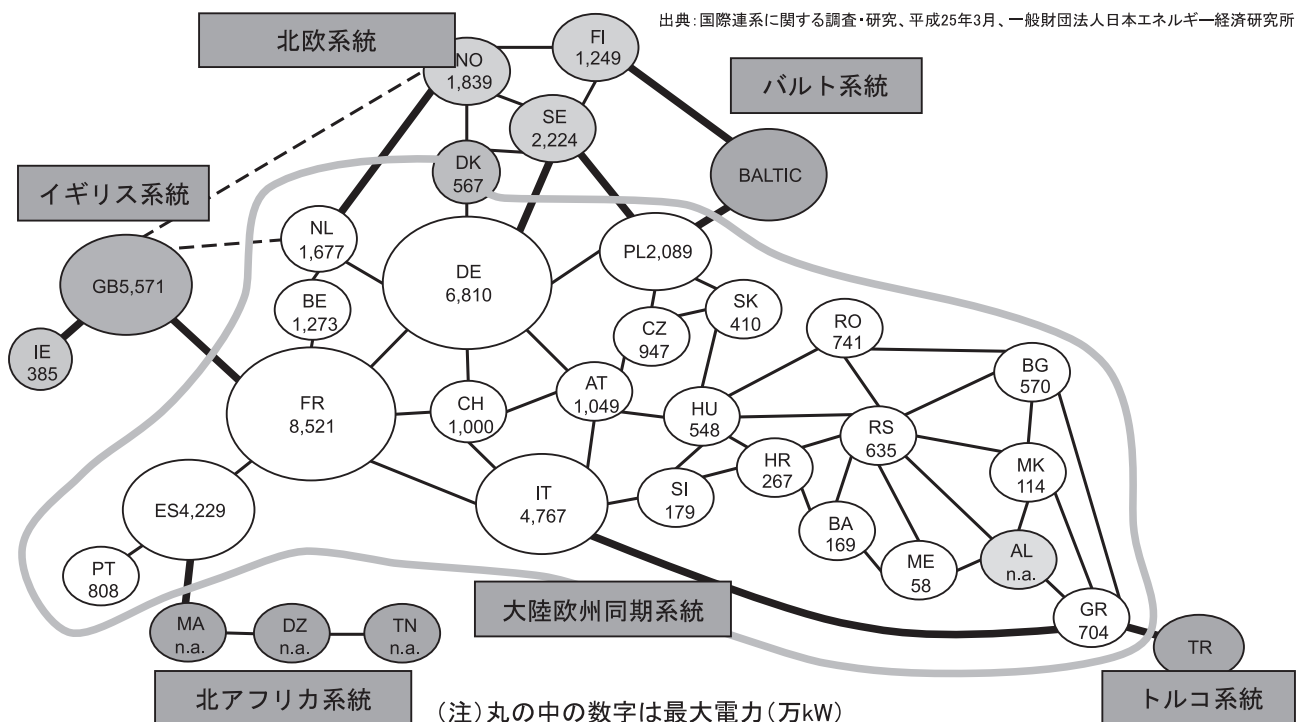


図2 日本と欧州の広域連系線のモデル図



記号	国名	記号	国名	記号	国名	記号	国名	記号	国名
DE	ドイツ	NL	オランダ	RO	ルーマニア	SE	スウェーデン	IE	アイルランド
FR	フランス	SI	スロベニア	PL	ポーランド	BG	ブルガリア	TR	トルコ
IT	イタリア	AT	オーストリア	HU	ハンガリー	AL	アルバニア	MA	モロッコ
ES	スペイン	DK	デンマーク	RS	セルビア	GR	ギリシャ	DZ	アルジェリア
PT	ポルトガル	CZ	チェコ	BA	ボスニア*	MK	マケドニア*	TN	チュニジア
CH	スイス	HR	クロアチア	NO	ノルウェー	ME	モンテネグロ	BALTIC：エストニア、ラトビア、リトアニア	
BE	ベルギー	SK	スロバキア	FI	フィンランド	GB	イギリス		

※記号は国名コード。国名表は筆者（鍵谷）追記（*印の国名は一部省略）。

図3 欧州における国際広域送電網

してきたが、国際的にCO₂低減が喫緊の最重要課題になり、火力、とくに排出量の多い石炭火力を抑制することが総意となっている。当然、CO₂をほとんど排出しない原子力が普及してきたが、2011年3月に日本で起こった福島原発事故により放射能汚染が深刻な危機感、とくに陸続きの欧州大陸では被害が計り知れないことを懸念し、多くの国で脱原発が政策上の重要な選択枝となった。

火力発電の抑制、停止の要請およびリスクの大きな原子力発電からの脱却による安定的な電力供給が難しくなった。このような状況の中で、自然エネの普及拡大は解決のための「切り札」となっていた。しかしながら、自然エネの最大の問題点は、発電量が大きく変動することであり、これを補完するためには、火力でも原子力でもない、国

際広域連系線による電力の安定確保であり、いわば予備電源の役割を果たすことになる。

なお、2022年2月のロシアのウクライナ侵攻に端を発し、ロシアからの天然ガスの供給が激減したことに伴い、エネルギー危機に陥っている。欧州の安全保障上の観点からも各国がある程度の発電能力を確保することの重要性が認識され、原発稼働や全廃について再検討が行われている。

このようにロシアによるウクライナ侵攻は、欧州のみならず世界にエネルギー危機を引き起こし、エネルギー価格の高騰を招いている。しかしながら、エネルギー価格の高騰は、これまで研究開発および実用が経済的に困難であった水素エネルギーの実用化など新たなエネルギー開発を促すことになるのではないかと期待している。

【欧州の系統運用；自然エネ拡大から卸電力取引へ】^{5) 6) 7)}

欧州は、エネルギーの安定供給と温室効果ガスの削減を推進するために、早期に再エネの導入促進に取り組んできた。大きな流れは次のとおりである。

①第1段階：競争構造の確立

- ・1996年の第一次EU電力指令により、電力自由化開始
- ・2003年の第二次EU電力指令により、発送電分離を推進

②第2段階：EU全体の送電協調体制

- ・2009年の第三次電力指令により、電力市場の統合進展、再エネ急増に対応した国際間電力融通拡大を目的として、広域運用のための各送電会社間の協調機関設立

③第3段階：調整機関の発達

- ・2011年、広域運用に関わる規制機関を組成し、広域の需給調整が混雑する際の送電会社間の連携調整支援機能が本格稼働

このように再エネの導入の拡大を図ってきたが、具体的には次のような経緯をたどった。

2001年には2010年の再エネの割合を12%に目標設定し、再エネの「優先給電」を定め、達成した。さらに2009年には、2020年までに20%に目標を設定し、優先給電と自然エネの出力抑制を避ける措置が規定された。また、2018年改正では、2030年の再エネの割合を27%以上とするとともに、再エネの「優先給電」条項が削除された。つまり、これまでの再エネの導入拡大を視野に入れていたが、今後、電力市場において他電源と同様の取り扱いをしても発電コストが安いので、導入は拡大するとしている。

実際、2021年の最終エネルギー消費に占める再エネの割合は約22%であった。2030年の温室効果ガス削減の目標「1990年比で55%削減」の実現と連動して、再エネ指令では、2030年再エネ比率の目標を40%に、さらにロシアのウクライナ侵攻後には45%に引き上げることが検討されている。

ところで、自然エネルギーをより効率的に活用

するための系統運用のあり方は、つぎのように実施されている。大きく分類すると、広域運用、系統接続、需給運用がある。

①広域運用；各電力会社（系統運用者）の供給区域を越えて、調整力や供給力を活用する運用である。これにより個々の供給区域を越えて需給運用が効率化される。とくに、連系線運用容量の大部分が前日スポット電力市場と連動して運用されるので、自然エネルギーを含めて市場を通した大幅な広域運用が可能となる。電力取引市場の流動性を表す指標（スポット市場取引量／電力消費量）は、欧州で48.8%に達している。なお、日本は約1.4%に留まっている。

②系統接続；発電事業が新たに発電設備を導入し売電を始めるために、電力系統に接続することを指す。地域内系統の空容量不足（系統混雑）が生じている区間でも、自然エネの新規接続が可能である。例えばドイツでは、地域内系統の空き容量不足（系統混雑）が生じている区間では、すでに系統を利用している周辺火力発電所の出力を低減させる（再給電）前提で、系統増強を待たずに新規の自然エネの発電設備を接続している。日本では、「先着優先」の系統利用の規定により電力の取引は停滞気味である。

③需給運用；電力会社（系統運用者）は電力の安定供給を実現するため、需要と供給との均衡を保つよう供給力を調整する需給運用が義務つけられている。各電力会社や系統運用者は、利用可能な発電を組み合わせ、最も経済的となるよう需給運用を行う。なお、2013年に再エネ利用促進令により自然エネの優先給電を規定していたが、卸売電力市場取引が活発化したことから「優先給電」が廃止された。

以上のように欧州の広域送電網は、電力の安定供給および温室効果ガス削減を目指した再エネの導入を拡大する方針から「優先給電」が実行されてきたが、再エネの導入目標が達成されることで、より高い目標を定めて推進されてきた。地域間送電網や国際広域送電網の拡大しつつ、「卸電力取引所」が増加して取引が活発化し、「再エネの優先給

電」が廃止され、他電源と同様の扱いのもとで、再エネの利用比率が拡大している。

【電力の自由貿易；卸電力取引所】

卸電力取引においては、変動する自然エネ発電を事前にできる限り正確に予測することが重要になる。イタリアの事例では、中央給電センターにおいて次のような精度で予測しているとの報告がある（現在では、AIやILotを活用してより精度の高く予測されていると推測）。

- 風力発電所と通信回線で結合して全国の系統を安定化できる。欧州諸国との連系線による電力の融通を調整する。
- 発電量の予測システム；48時間先までの発電量を1時間単位で予測できる（15分ごとに更新、精度は1時間後1%以内）。
- 出力1万kW以上の風力発電所と通信回線で結合し、出力値の更新頻度は12秒である。
- 風力発電の予測に基づき、水力、火力発電等との調整力の計算、系統バランスを保つ能力と権限がある。

いわば、広域送電網の活用は、各国間において「電力の貿易」を活発化させており、北欧を中心に余った自然エネ発電量を消費地に送電するなど、欧州およびその周辺国が一体となって効率的に自然エネを運用している。つまり、各国はほとんど予備電源を準備しなくても安定して電力を確保できるのである。ドイツの脱原発は、この国際広域送電網と卸電力取引制度に支えられていると言える。

おわりに

欧州は早期から国際広域電力網を整備し、北欧はもとより東欧や北アフリカにまで連系し、安定な電力供給網を整備し、あわせて自然エネルギーの導入拡大を図ってきた。温暖化ガス排出削減が世界の共通の認識のもと火力発電の縮小は必須であるにもかかわらず、ドイツは脱原発に舵を切った。日本と欧州の広域送電網を比較した様に、欧州はネット状に複合して他国からの需給が容易である。ドイツの脱原発は、欧州の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。

また、欧州は、このような広大な範囲に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が、自然エネが拡大するにしたがって電力の国をまたいだ取引、つまり電力の貿易が拡大し、卸電力取引所が各国に設立され、再エネを優先しなくても導入拡大する方向で発展している。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。

ドイツの脱原発に舵を切った一方、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に安定して依存できるのであろうか？

また、フィンランドの新規原発は、電源が喪失しても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。今回は、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の伴う原発の位置づけが見直されているので紹介したい。

〈引用・参考文献〉

- 1 鍵谷司；自然エネルギーで脱原発はできるか（Ⅵ）～主力電源化に向けて①；広域連系送電網が切り札か！～；環境施設、169号、pp. 50-58（2022.9）
- 2）2022年の自然エネルギー電力の割合（暦年・速報）；特定非営利活動法人環境エネルギー政策研究所（Isep）
- 3）統計・国際エネルギー；自然エネルギー財団
- 4）自然エネルギー拡大に向けた系統運用－日本と欧州の比較から－；自然エネルギー財団（2016.3）
- 5）欧州の電力システム；中国電力(株)エネルギー総合研究所 エネルギー地域経済レポート、No.468（2013年7月）
- 6）分山達也；自然エネルギーの導入拡大に向けた系統運用日本と欧州の比較から；自然エネルギー財団
- 7）欧米における送電線利用ルールおよびその運用実態に関する調査（平成30年度－海外調査）最終報告書；電力広域的運営推進機関（2019年3月）