

特集

インフラの維持と未来

原子力の現状と将来

元 日立製作所 電力・電機開発研究所所長、機械研究所所長

元 日立メディコ 代表執行役社長

技術経営士 三木 一克



1. 世界の原発利用状況

2011年3月11日に発生した福島第一原発事故を受けて、原発を利用していたドイツ、韓国、ベルギー、台湾、スイス等が脱原発の方針を表明したが、その後、ドイツを除き各国は方針を撤回した。現在原発を利用せず将来も非利用だったイタリアもエネルギー政策を再検討する方向にある。温暖化対策やエネルギー安全保障のために、引き続き原発を利用する国、将来導入を計画する国が増えている。

表 1 に世界の原発の利用状況を示す。2025年1月1日現在、世界で436基の原発が運転中で、最も多いのは米国の94基、原発による発電比率が高いのはフランス62.8%、ウクライナ55.0%である。一方、建設・計画中は170基で、この内、中国・ロシア・インドが99基で世界の原子力をリードしており、自国での建設に加えて原発輸出にも取り組んでいる。

表1 世界の原子力発電の開発状況

2025年1月1日現在

	運転中出力 (万kW)	基数				原子力発電 比率(%) (2022)
		運転中	建設中	計画中	合計	
米国	10,257	94			94	18.0
フランス	6,404	56	1	2	59	62.8
中国	5,935	57	31	27	115	4.7
日本	3,308	33	3	8	44	5.5
ロシア	2,850	33	8	12	53	19.4
韓国	2,622	26	2	2	30	28.9
ウクライナ	1,384	15	2	2	19	55.0
カナダ	1,355	17		1	18	13.4
インド	818	24	9	12	45	2.5
スペイン	740	7			7	20.2
スウェーデン	725	6			6	29.0
英国	653	9	2	2	13	14.8
全世界	41,699	436	75	95	606	9.2

(注) 日本の運転中の基数には審査中を含む。

引用： 日本原子力産業協会
世界の原子力発電開発の動向2025年版

2. 米国エネルギー省報告書「Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear」最新版 (2024.9)

本報告書の主旨は、クリーンエネルギーの商業化成功への道筋を提示し、新型炉導入の認識を官民で共有することと、より迅速かつ協調的な行動を促進することにある。主な内容は次の3点。

- (1) 米国で30数年ぶりに、ボーグル3号機が2023年、4号機が2024年に営業運転を開始し、電力会社は原子炉閉鎖の状況から一変、原子力の積極活用に舵を切り、①原子炉の80年運転、②出力増強、③閉鎖炉の再稼働等を進めている。
さらに人口知能（AI）やデータセンターによる電力需要の増加に伴い、新規原子力への投資を支援する新たな顧客層（グーグル、アマゾン、マイクロソフト等）も出現した。
この結果、原子力発電設備容量は、2024年1億kW から2050年までに3億kWに増大する可能性がある。
- (2) 原子力は、脱炭素化において下記のさまざまな価値を提供できる。
①カーボンフリー電力、②再エネを補完する確実な電力提供、③少ない土地利用、④分散型電源よりも少ない送電要件、⑤高サラーな雇用提供、⑥ネットゼロへの公平な移行支援、⑦熱利用等の様々な用途
- (3) 2022年に制定されたインフレ削減法（IRA）に基づく原子力発電向けの税優遇措置（30～50%の投資税額控除、コストの最大80%への融資等）が適用される見通し。

マイクロソフトは、2024年9月、AI向けデータセンターにカーボンフリー電力を使用するため、TMI 原発1号機（2019年運転終了、2027年運転再開予定）から20年の長期供給契約を締結した。なお、TMI 原発2号機は1979年9月に発生した炉心溶融事故で廃炉となっている。

3. ドイツのエネルギー政策：脱原子力・脱石炭

欧州におけるドイツとポーランドは、全く反対方向のエネルギー政策を推進しており、新たなエネルギー政策を策定中の日本にとって学ぶべき点が多い。

ドイツは、福島原発事故以降、電源構成における原子力の割合が2010年の22.2%から2023年には1.4%に減少、再エネが16.6%から52.0%（風力26.5%、太陽光11.9%）に増加し主力電源となった。

ドイツでは、2000年に制定された再生可能エネルギー法（EEG）が2022年に改正され2023年5月に施行された（EEG2023）。主な内容は次の3点。

- (1) 社会で何を優先するかを比較考慮する際は、再エネ発電設備と関連設備に優先権を与える。
（再エネ発電設備の建設工事差し止め行政訴訟を起こしても、裁判官は訴えを却下できる。）
- (2) 電力消費に占める再エネの割合を2030年までに80%以上とする。
- (3) 2035年にはCO2ニュートラル（実質的に100%再エネ）を達成する。

2023年4月には最後の原子炉3基の運転が停止され脱原発を達成した。この結果、発電電力量は2022年の491.8TWhから436.8TWhと原子力減少分以上となり、隣国からの電力輸入が増大し電力輸入国となった。

一方、再エネは年間を通じて出力が大きく変動をするため、バックアップ用に火力設備容量を維持しているが、ベース電源として常時利用しないため、稼働率は褐炭火力で53.4%、天然ガス火力で14.5%（2024年実績）と非常に低く、電力会社の経営にとって大きな負担となっている。

2025年5月に発足したメルツ新政権は、脱原発政策の転換と新技術への投資を模索中である。

4. ポーランドのエネルギー政策：PEP2040

2022年2月のロシアによるウクライナ侵攻を受けて、低炭素排出エネルギーへの転換を目指した3つの柱(公正な移行、ゼロエミッション、大気汚染の改善)に第4の「エネルギーの主権」が追加された。その重要指標は下記の3点。

- ① 2030年までに石炭の発電量シェアを56%以下に
- ② 2030年までに最終エネルギー消費に占める再エネのシェアを23%以上に
- ③ 2033年までに原子力発電所初号機の運転開始

上記③に関して、2022年11月、政府は初の大型原子力発電所3基として、ウェスチングハウスのAP1000の採用を決定した。

一方、エネルギー集約型産業中心のポーランドでは、電力・熱エネルギーの需要を満たし、設置面積や時間を要さず、建設コストの安価なSMR導入の要望が強い。このため、2021年に、石油精製企業 PKN Orlenと化学素材メーカーSynthosによる合併会社OSGEが設立された。2023年12月、国内6地点にGE製小型炉SMRであるBWRX-300を24基建設する原則決定(DIP)が気候環境省から受給された。2026年に初号機の建設を開始し、2030年代初めに稼働する計画。

5. 日本の電源構成の推移と主力電源の変化

図1に示すように、日本では、2010年度の電源構成が原子力25%、再エネ9%で、2030年度目標を原子力53%、再エネ21%と設定し、2030年までに14基以上の原発新設を計画していたが、福島原発事故以降、原子力が急減、再エネ・天然ガス火力が急増した。2021年10月の閣議決定で、2030年度目標は原子力20~22%、再エネ36~38%に変更され、主力電源は原子力から再エネに変化した。

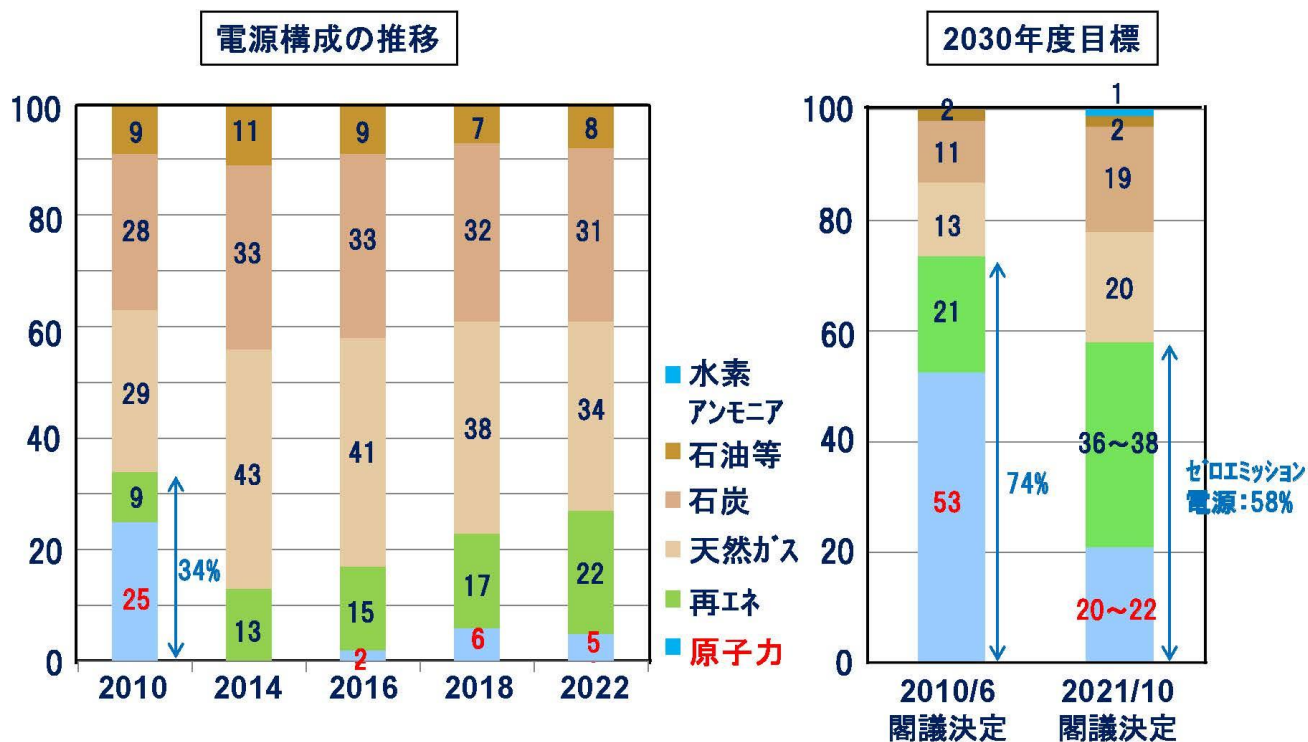


図1 電源構成の推移と2030年度目標の変化

一方、原子力発電の長期停止により、火力発電による発電電力量が大幅に増加し、2011年度～2016年度の6年間で、約15.5兆円の追加燃料費が発生した。2016年度の約1.3兆円の追加燃料費は、4人家族では年約4万円を追加的に資源国へ支払っていることになる(関西電力HP：日本のエネルギー事情)。

図2に国内電気料金とエネルギー自給率の推移を示す。国内電気料金は2010年度比で、2022年度は家庭向けが59%、産業向けが92%上昇した。また、エネルギー自給率は、2010年度20.2%から2022年度は13.3%にまで減少し、OECD加盟38カ国中37位となった。輸入に頼る化石燃料の価格変動の影響を抑制するには、原子力、再エネ、水力の割合を増やし、エネルギー自給率の増大を図る必要がある。

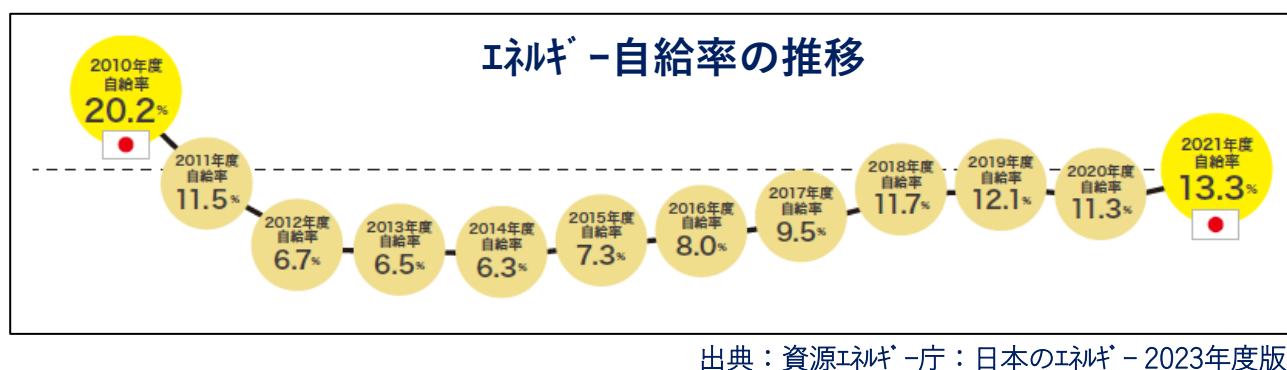
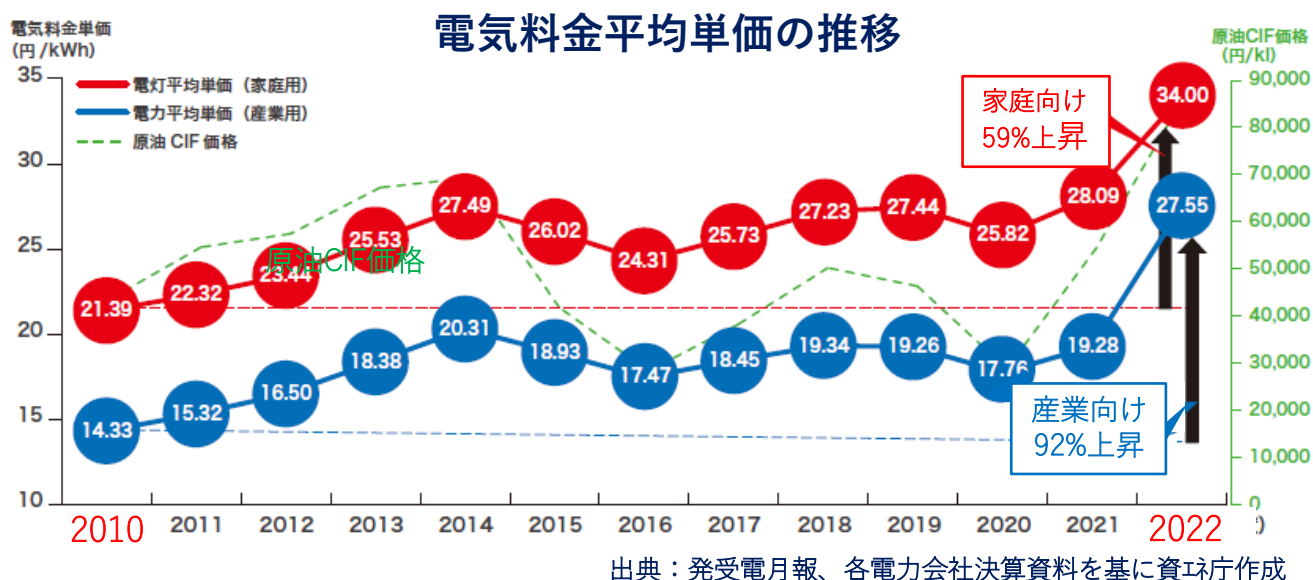


図2 国内電気料金と一次エネルギー自給率の推移

6. 原子力発電所の再稼働状況

2025年3月時点での原発の再稼働状況を表2に示す。加圧水型軽水炉PWRは、関西電力、四国電力、九州電力で全基が再稼働し、北海道電力の3基は2027年に再稼働が想定されている。一方、沸騰水型軽水炉BWRは東北電力と中国電力で各1基のみ再稼働し、許認可済3基、審査中6基が再稼働に至っていない。稼働中の14基の電気出力1326万kWに対して、許可済・審査中の12基が再稼働されれば、1326万kWが追加され現状の2倍になる。

表2 原子力発電所の再稼働状況

PWR					
電力会社	サイト	出力	再稼働	許可済	審査中
北海道	泊1	58	2027.5~6 再稼働想定		○
	泊2	58			○
	泊3	91			○
原電	敦賀2	116			不合格
関西	美浜3	83	○		
	大飯3	118	○		
	大飯4	118	○		
	高浜1	83	○		
	高浜2	83	○		
	高浜3	87	○		
	高浜4	87	○		
四国	伊方3	89	○		
九州	玄海3	118	○		
	玄海4	118	○		
	川内1	89	○		
	川内2	89	○		
合計			12基	0基	3基

BWR						(2025年3月)					
電力会社	サイト	出力	再稼働	許可済	審査中						
東北	東通1	110	2024年 12月		○						
	女川2	83									
東電	柏崎6	136		○							
	柏崎7	136		○							
中部	浜岡3	110			○						
	浜岡4	114			○						
北陸	志賀2	121			○						
中国	島根2	82	2025年 1月								
	島根3	137			○						
電発	大間1	138			○						
原電	東海第2	110		○							
合計			2基	3基	6基						

・再稼働:14基(1326万kW)

・許可済: 3基(383万kW)

・審査中: 9基(943万kW)

10基の再稼働で 1326万kWが追加
(2023年度総発電設備容量の4.1%)

九州電力・関西電力:全原発稼働
⇒ 大手電力10社中、最低価格の電気料金

・再稼働:14基(1326万kW)
・許可済: 3基(383万kW)
・審査中: 9基(943万kW)
↓
12基の再稼働で 1326万kWが追加
(2023年度総発電設備容量の4.1%)

国内大手電力10社の電源構成と電気料金の比較を図3に示す。電力会社によって電源構成は大きく異なる。原子力が20%前後の九州電力、関西電力、四国電力では、他の電力会社に比べて相対的に電気料金は低い。電力消費の大きい東京圏と関西圏の電気料金を比較すると、東京圏では月当たり1269円高い。

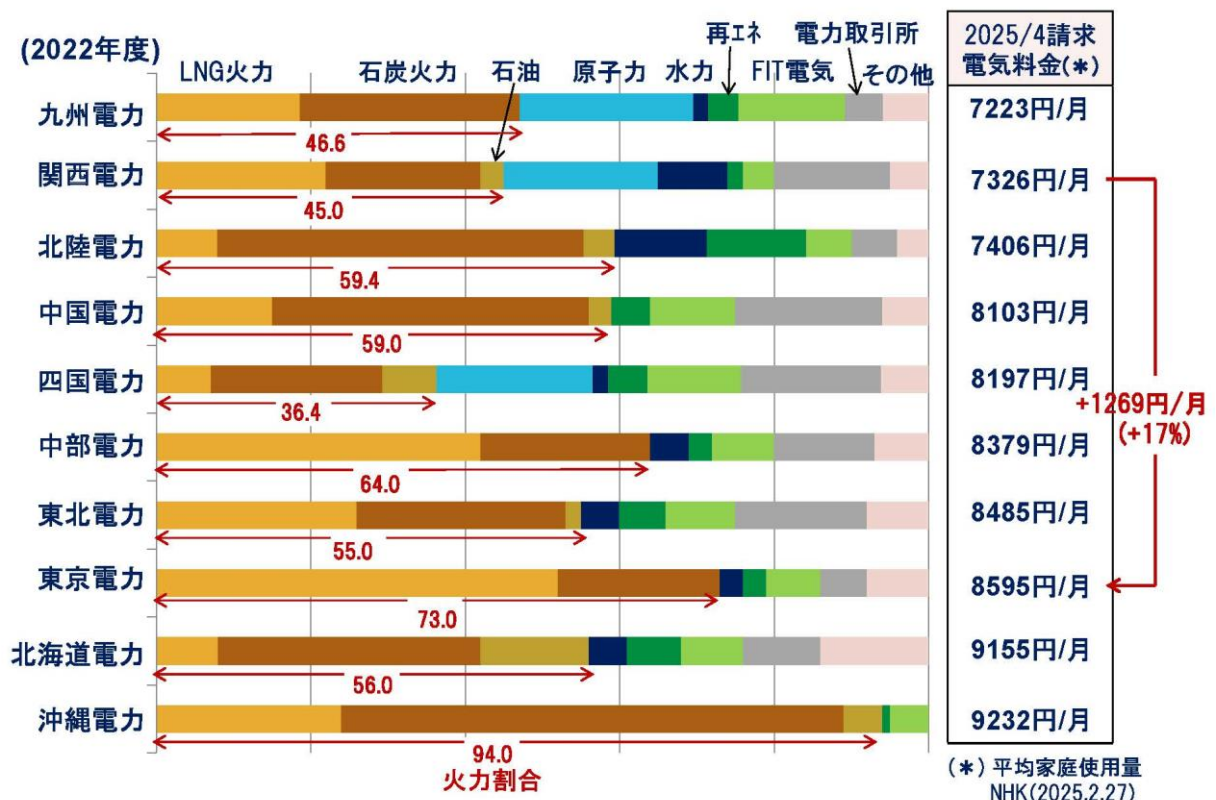


図3 大手電力10社の電源構成と電気料金比較

7. 次世代革新炉の開発

2024年7月、政府は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・建設の推進を内容とするGX推進戦略を閣議決定した。主な内容は次の2点。

- (1) 原子力の安全性向上を目指し、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
- (2) 地域の理解確保を大前提に、廃炉を決定した原発の敷地内での次世代革新炉への建て替え

革新軽水炉として、現行炉のメカニズムと出力規模をベースに、下記の特徴を実現しより安全性を高めた炉の開発を目指している。

- ① 技術熟度が高く、規制プロセスを含め高い予見性がある
- ② 受動安全システムや外部事象対策(半地下化)により更なる安全性向上
- ③ シビアアクシデント対策（コアキャッチャー、ガス捕集等）による発電所外の影響低減

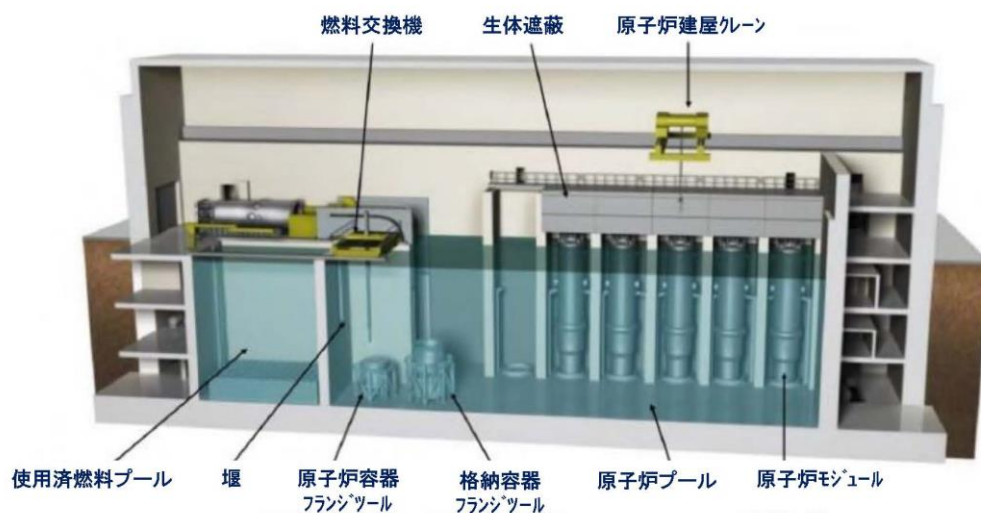
三菱重工では、革新PWRとしてSRZ-1200を開発中で、①地震・津波その他自然災害への耐性強化、②炉心冷却・放射性物質閉じ込め機能強化、③DXによる運転支援の強化による信頼性向上等、新たな安全メカニズムを組み込んだ基本設計を完了しており、早期の実用化が期待される。

8. SMRの開発：VOYGR(NuScale)

先進国中心に、自然循環により冷却ポンプや外部電源なしで炉心冷却可能な小型炉SMR(Small Modular Reactor)の開発が進展している。以下では、最も早く実用化が期待される3種類のSMRについて紹介する。

NuScale社は、米国エネルギー省の資金提供を受け、オレゴン州立大学とアイダホ国立研究所で実施された研究開発成果をもとに2007年に設立された。1基5万kWのNuScale Power Module (NPM)に対し、2020年にSMRとして初めて標準設計承認(SDA)、2023年に設計認証(Design Certification)を取得した。しかし、経済性の観点から出力を7.7万kWに上げ、改めてSDAを2023年1月に申請、2025年5月に承認を取得した。

NPMは最大12基を設置でき、蒸気発生器と圧力容器の一体化により、小型かつシンプルな設計で安全性を向上。蒸気自然循環により、冷却ポンプ、外部電源なしで炉心を冷却できる。NPM12基構成の例を図4に示す。



引用: [https:// www.nuscalepower.com/products/nuscale-power-module](https://www.nuscalepower.com/products/nuscale-power-module)

図4 NuScale / VOYGR

日本から多額の投資がなされている。2021年に日揮が4000万ドル、IHIが2000万ドル、2022年に国際協力銀行(JBIC)が1億1000万ドルを出資。2023年には中部電力が出資契約を締結した。

カーボンフリー電力プロジェクト(CFPP)として、NPM 6基備えたVOYGR(46.2万kW)をアイダホ国立研究所に建設し、2029年に米国初のSMRとして運転を開始する計画であった。しかし、インフレや鋼材価格上昇により建設費が75%増加し、初号機の発電コストが53%増加するため、ユタ州公営共同電力事業者(UAMPS)から計画継続の同意を得られず計画は中止となった。

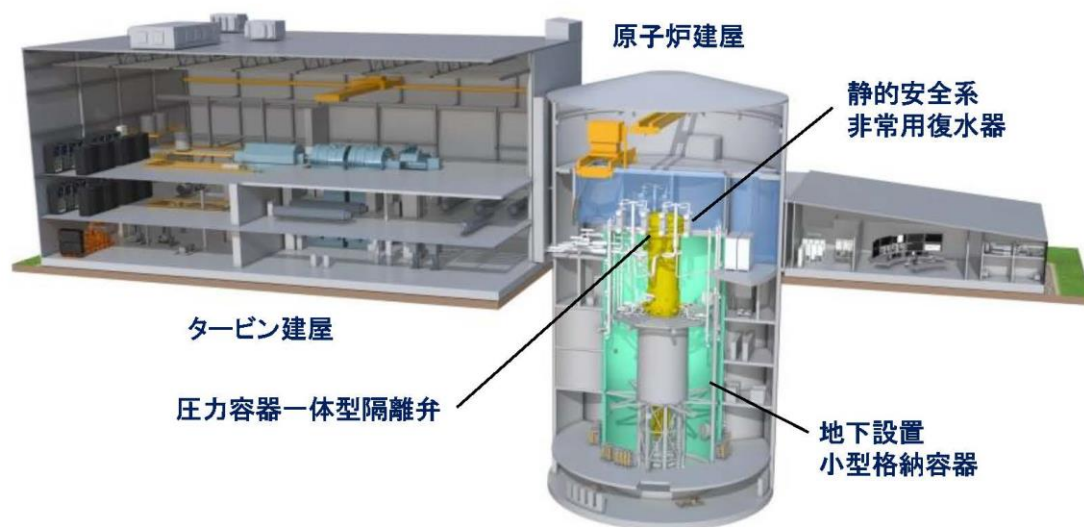
国内外の実用化案件として、スタンダードパワー社データセンター向け(2029年運開予定)、ルーマニアDoicestiプロジェクト(2030年運開予定)等が計画されている。

9. SMRの開発 : BWRX-300(GE日立)

BWRX-300は、米国GE Hitachi社と日立GE社が共同開発中の電気出力30万kWのBWR型SMRである。2014年に最終安全評価書(FSER)と最終設計承認(FDA)を受領したGE社設計のESBWR(高経済性・単純化BWR)をベースとしている。図5にシステム構成を示す。主な特徴は次の通り。

- ① 圧力容器と隔離弁の一体化により、配管破断による冷却材喪失事故を排除
- ② 自然循環の崩壊熱除去システムにより、電源・運転員操作なしで7日間冷却可能
- ③ 出力制御機能により、負荷変動への対応が可能
- ④ 工場完成型の一体据付により、建設費・工期を大幅に短縮
- ⑤ 日立GE社の実温・実圧試験設備を活用し要素技術は実証済

カナダ電力のOPGが最大4基をオンタリオ州に建設し1号機は2029年運開の予定。同じくSaskpowerが最大4基をサスカチュワン州に建設し2034年に運開の予定。またポーランドでは、国内6地点24基の計画で初号機の建設を2026年に開始し、2030年代初めに稼働する予定。



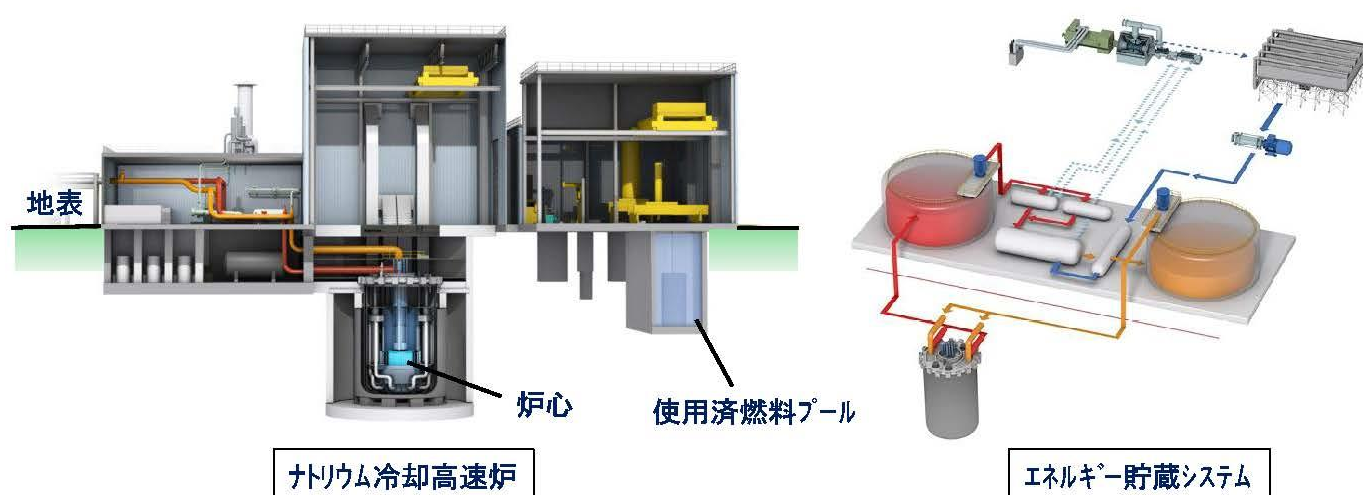
引用：令和7年第4回原子力委員会/日立GE(2025/1/28)

図5 GE・日立 / BWRX-300

10. SMRの開発 : Natrium™(GE日立/Terra Power)

Terra Power 社は、マイクロソフト創業者Bill Gatesが2006年に創設した次世代型原子炉の研究開発企業。Bill Gatesは、「原子力は気候変動対策において理想的なエネルギー。事故のリスクはイノベーションにより解決できる。Natrium™は、エネルギー産業のゲームチェンジャーになる」と述べている。

Natrium™は、SMR高速炉PRISMと熔融塩エネルギー貯蔵システムを組み合わせた原子炉システム(図6)である。前者をGE日立、後者をTerra Power社が開発。電気出力は34.5万kWで高熱伝導のナトリウム冷却により全電源喪失時にも自然循環で除熱が可能。また、エネルギー貯蔵システムにより、最大5.5時間、50万kWの電力供給が可能で、再エネによる出力変動にも対応できる。



引用: <https://www.terrapower.com>

図6 Natrium™ 原子炉エネルギーシステム

高速炉 PRISMは、TRU(Trans-Uranic、長半減期低発熱放射性を有する超ウラン元素)の燃焼消費により核燃料サイクルを完成させることに重点を置いたTRU消滅燃焼炉心が標準で、炉心・中間熱交換器・1次主循環ポンプ等を収納したタンク型炉心である。1994年に「PRISM概念設計は安全基準に照らして適合」とのNRC評価を得ている。日本原子力開発機構(JAEA)・三菱重工業・三菱FBRシステムズに対して、常陽・もんじゅのノウハウ、JAEA大型ナトリウム試験設備、機器設計・製造技術に関する協力を締結した。

電力会社Pacifi Corpと共同で2024年6月、ワイオミング州に34.5万kW1基の建設に着手した。2030年に運転を開始する計画で、2035年までに5基の可能性を探るとの方針が発表された(2022)。

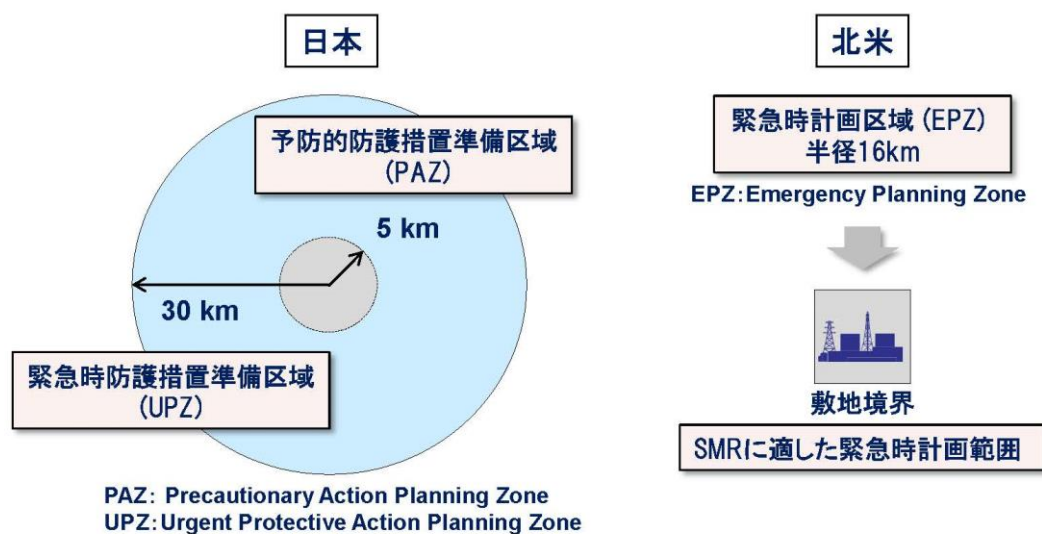
11. SMRの社会的受容性向上 (EPZ縮小)

米国TVA(テネシー峡谷開発公社)、エネルギー省DOE及び国際原子力機関IAEAは、SMR特有の特性

- ①炉内の核燃料が少なく、事故時放射性物質放出量が少ない
- ②先進的小型炉の安全特性(例：電源喪失時7日間の炉心冷却維持)

を考慮して、図7右に示すように、従来の半径16kmの緊急時計画区域EPZ(Emergency Planning Zone)をSMRに適した緊急時計画区域として敷地境界への縮小を検討している。これが実現できれば、実質的に事故時の緊急退避が不要となり、SMRの社会的受容性が向上すると期待される。

日本においても、プラント安全性の実証、国際的なアプローチと海外での実績をもとに、現在の緊急時防護措置準備区域(UPZ、半径30km)から敷地境界レベルへの縮小化が実現できれば、遠方の大規模発電所から需要地への長距離送電が不要となり、需要地に近接した分散電源からの近距離送電が可能となり、社会・産業の形態が大きく変化することになる。



引用：令和7年第4回原子力委員会/日立GE(2025/1/28)

図7 SMRの社会的受容性向上 (EPZ縮小)

12. エネルギー戦略の新たな構築

福島原発事故を受けて、世界では原発を利用していた複数の国・地域が脱原発の方針を表明したが、その後、ドイツを除き方針が撤回された。30数年間、原発新設がなかった米国では、新たに2基が営業運転を開始した。AIやデータセンターによる電力需要の増加に伴い、今後、原子力が急増すると予測される。

日本では、福島原発事故以降、原子力が急減、再エネ・天然ガス火力が急増し、電気料金は家庭向け、産業向けともに大幅に上昇した。政府はGX推進戦略で、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の推進を発表、三菱重工のSRZ-1200の新設が期待される。

一方、先進国中心に、自然循環により冷却ポンプや外部電源なしで炉心冷却可能な小型炉SMRの開発が進展している。GE-日立共同開発のBWRX-300は、カナダの2州で各4基が計画され、2029年には初号機が運転開始の予定。ポーランドでも、都市近郊 6地点に24基の建設が計画されている。高速炉PRISMとエネルギー貯蔵システムを組み合わせたNatrium™は、TRU消滅燃焼と再エネによる出力変動への対応を可能とし、2024年に米国で建設が着工され2030年に運転開始の予定。海外で新型原子炉の実用化が迫っている。

クリーンで安価な電力の安定的な供給が、製造業を含めた産業と国家の競争力を左右する。革新的な技術開発によって、21世紀に相応しい持続可能なエネルギー利用を実現することが最優先課題である。