

企画セッション | 部会・連絡会セッション：新型炉部会

■ 2022年9月8日(木) 13:00 ~ 14:30 | 会場 E1棟3F 31番教室

[2F_PL] 社会動向を踏まえた新型炉開発の価値

座長：堺 公明 (東海大)

[2F_PL01] エネルギー安全保障・廃棄物問題解決等へ貢献できる新型炉開発の価値と課題

*高木 直行¹ (1. 東京都市大)

[2F_PL02] 再生可能エネルギーと共存できる新型炉によるカーボンニュートラルへの貢献

*大野 修司¹ (1. JAEA)

[2F_PL03] 新型炉開発の海外動向・国際連携

*瀬下 拓也¹ (1. 日本エヌ・ユー・エス)

新型炉部会セッション

社会動向を踏まえた新型炉開発の価値

Value of Advanced Reactor Development Based on Social Trends

(1) エネルギー安全保障・廃棄物問題解決等へ貢献できる新型炉開発の価値と課題

(1) Values and issues in developing advanced reactors that can contribute to the solution of energy security and radioactive waste issues

*高木 直行¹

¹ 東京都市大学

1. エネルギーを取り巻く状況

世界がクリーンエネルギートランジションの潮流にある中、国際エネルギー機関（IEA）は、あらゆる国が国民の生活や社会経済活動を維持していくために必要十分量のエネルギーを合理的な価格で継続的・安定的に確保するエネルギー安全保障を地球環境保全と両立していく上で、低炭素電源の多様性確保や鉱物資源のサプライチェーンのレジリエンス強化等の原則を提示している。同時に、これらを推進する上では、各国の事情に応じた多様なアプローチがあり、それを相互に認め協力し合うことを勧告している。また 2022 年 2 月に勃発したロシアによるウクライナ侵攻は、世界規模でエネルギー安定供給への不安や物価高をもたらし、資源調達やエネルギーシステムの在り方について、全体的見直しを迫る状況となっている¹⁾。

そうした中、日本政府は温室効果ガスの排出量削減について、2021 年 4 月の米国主催気候サミットにおいて、2050 年に排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」方針と整合的でありかつ野心的な目標として、2030 年度に温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指すこと、さらに 50%の高みに向け挑戦を続けることを表明している。この高い目標の実現に向けては、温室効果ガス排出の 8 割以上を占めるエネルギー分野の取り組みが重要であり、中でも電力部門においては、水素・アンモニアを使った発電や、分離・回収・貯留した CO₂ を化学原料の生産や藻を育成しバイオ燃料として利用する CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)などの可能性を追求するとともに、再生可能エネルギー（再エネ）や原子力などの実用段階にある脱炭素技術を活用し、着実に脱炭素化を図っていく方針が示されている²⁾。2022 年 6 月下旬には、東京電力管内での電力需給ひっ迫が懸念されたことを受け、岸田総理大臣は冬期に同様な事態が生じる事を避けるため、萩生田経済産業大臣に対し、最大 9 基の原発の稼働を進め日本全体の電力消費量のおよそ 1 割に相当する電力を確保することを指示した。ウクライナ侵攻もあり、エネルギー危機への不安はより現実味を帯びている。

このような背景を受けて、経済産業省資源エネルギー庁は 2022 年 4 月、原子力発電の新たな社会的価値を再定義し、我が国の炉型開発に係る道筋を示すため、総合エネルギー調査会電力・ガス事業分科会 原子力小委員会の下に「革新炉ワーキンググループ」（以下、革新炉 WG）を設置した。2050 年カーボンニュートラル実現に向けては、原子力を含めたあらゆる選択肢を追求することが重要であることに加え、欧米では、既設炉への財政支援等のみならず、革新炉についても大規模予算支援の下にイノベーションが加速していることがその背景にある。この革新炉 WG は 7、8 回の開催を通じて、海外の動向も踏まえながら、原子力イノベーションによる再エネとの共存、水素社会への貢献といった新たな社会デザインを提示するとともに、革新炉を含めた原子力全体のサプライチェーンの維持・強化につなげていくためのロードマップをまとめ、2022 年秋頃にこれを原子力小委員会へ提示することを目的としている。

本稿では、1)近未来の温室効果ガス排出削減の具体的目標に対し、原子力が実効的に貢献するための短中期的計画の在り方、2)我が国のエネルギー安全保障を確保する上での革新炉を含む原子力開発の方向性、3)放射性廃棄物の環境負荷に対する革新炉のポテンシャルについて論じたい。

*Naoyuki Takaki¹

¹Tokyo City University

2. 原子力の短中期の計画の在り方

2022 年 2 月に開催された第 24 回原子力小委員会資料によれば、エネルギー起源の CO₂ を 2030 年時点で 45%削減するための電源構成は、化石火力を 41%に抑え、非化石を 59%とする必要がある。非化石の電源は、再エネが 36~38%、原子力が 20~22%(の組み合わせにより合計 59%)であり、野心的な省エネを想定した 2030 年時点の日本の一次エネルギー供給量(9,340 億 kWh)をこの構成比で供給する計画である。この場合、原子力発電の稼働率を 80%とすると、2030 年時点で必要な原子力発電容量は約 27~30GWe と見積もられる。

図 1 に国内原子力発電所の設備容量推移予想を示す。2012 年の原子炉等規制法改正により、発電用原子炉の運転期間が明示され、使用前検査に合格した日から起算して 40 年運転、1 回に限り 20 年を超えない期間延長できるとされている。運転期間が 40 年のままの場合、2030 年時点での原子力容量は 27GWe であり、CO₂ 45%削減目標達成は辛うじて可能そうだが、それは直ぐさま寿命を迎えた炉の退役により達成不可能となる。2050 年の正味ゼロ目標については、例え全基を 60 年運転としても 2030 年時点での容量維持が出来ず、削減目標の達成が見通せない。

それでは革新炉、新型炉を導入することで削減達成は可能だろうか。図 1 の 40 年運転ケース、60 年運転ケースで若干の違いはあるものの、設備容量の減少速度はおおよそ 1GWe/年であり、これは即ち、2030 年時点の容量を維持するだけでも約 1GWe/年の新規原子炉建設が必要であることを意味する。しかもそれは、40 年運転ケースの場合、2030 年以降早々には開

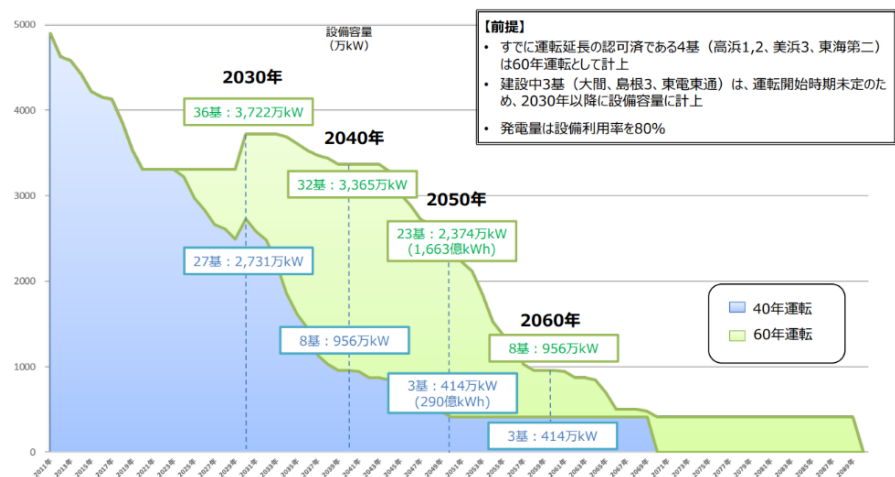


図1 国内原子力発電所の将来の設備容量の見通し¹⁾

始されねばならない。2050 年の正味ゼロ目標達成に至っては、2030 年以降の電力需要伸びや再エネシェアの増加度合いに依存するものの、1GWe/年を上回るペースでの新設炉導入が必要となる。

革新炉 WG で議論の対象とする炉型は、WG のその名称から、SMR や高温ガス炉が想起されることが多い様だが、2030 年運開、1GWe/年以上のペースでの増設を 20 年以上継続、という必要要件を考えると、それらの炉型が適合しにくいことが容易に推察される。例えば米の NuScale 炉 (NuScale Power Module™: NPM) の発電容量は、2018 年にモジュールあたり 50MWe から 60MWe へ、2020 年末にはさらに 77MWe へと増強され、12 モジュールを連結した NuScale 発電所としての設備容量は 924MWe とされているが、仮にこの炉で日本の 2030 年時点の原子力設備容量を 2050 年まで維持するとしたら 260 モジュールもの導入が必要となる。小型かつ自然循環炉は炉心高さ H/直径 D の比が大きめ(≒1.3)であり、定性的に中性子漏洩が大きいことに加え、燃料には HALEU (high-assay low-enriched uranium) でなく濃縮度 5%以下の LEU が想定されているため、取出平均燃焼度は初期型の軽水炉と同等レベルと予想され、天然ウラン消費(次章参照)や使用済み燃料の発生量は大型軽水炉より大きくなる。さらに新型炉の場合、新たな規制基準や体制の整備にも時間を要するであろう。米国が国内向けや輸出目的でこれらを開発する意義と、日本のニーズには隔たりがある。

従って、2030 年に 46%減、2050 年に正味ゼロとする目標に対しては、出力の小さい新型炉よりも、技術が確立し実績豊富、かつ新規規制基準に対応し震災以前に比べ飛躍的に安全性を改善した大型軽水炉の導入が現実的とみるのが自然であろう。もちろん、その大型軽水炉であっても、新規建設が途絶えて久しい日本において上記のスピードで建設導入するには、綻び始めた原子力サプライチェーンの維持・補強が喫緊の課題だ。需要が生まれさえすれば、チェーンの復帰は思いのほか容易、とみるのは楽観的過ぎかも知れないが、日本では 1970 年に始まった軽水炉導入以降、約 40 年で 50GWe の設備を建設した実績がある。東京電力福島第一原子力発電所事故で染みついた軽水炉への不信は、新たに積み上げる実績で払拭するしかない。

3. エネルギー安全保障に貢献する新型炉

1972年にローマクラブが発表した報告書「成長の限界」は、資源、エネルギー、地球汚染、食料生産、人口の総合的相関を示し、地球環境問題対策の重要性を世界へ啓発する役割を果たした。その後、1992年のリオ宣言、1997年京都議定書、2015年パリ協定等を経て、今や気候変動への取り組みの重要性と必要性は各国の共通認識となり、経済活動の方向性をも左右している。この様に地球温暖化への対策が声高に叫ばれる一方で、S+3Eの一つのEであるEnergy Securityへの意識はやや薄れ優先度が低下した、ということはないだろうか。そもそもエネルギー安全保障とは地政学的に捉えられる各国固有の政策を要する問題であり、世界各国が足並み揃えて実施する環境対策とは質が異なるが、こと資源小国日本にとって、その重要性はいささかも変わっていないはずである。ウクライナ侵攻を目の当たりにした全世界は改めてこれを再認識している。

世界人口推移について、国連の最新の報告書は、2022年11月に80億人、2058年には100億人に到達、2080年代には約104億人でピークとなり、2100年までその水準が維持されるとしている。この人口増加と生活の質向上は相乗効果で世界エネルギー消費量を増大させるため、今後高効率化と省エネを極めても消費量の抑制は容易ではない。加えてこのエネルギーの大半を非化石源で供給することが現代の要請である。

IEAが昨年示した「2050年ネットゼロシナリオ」で想定する1次エネルギー供給量は、2020年以降2050年までほぼ同水準の550~600EJ/年とされ、2050年時点で化石シェアを20%まで下げ、残りを再エネと原子力で賄うことでネットゼロを達成可能としている³⁾。この時点での原子力の設備容量は、現在の2倍に近い800GWeにもなっており、これはIAEA「2021年版予測」の高位ケースと同等である。IAEAの低位ケースでも現在レベルの原子力設備容量を2050年まで維持する必要がある。いずれにしても、原子炉を動かすためのウラン資源の消費は継続するということである。

ではここで基本に立ち返り、ウラン資源量の観点から、こうした規模の原子力発電の持続可能期間に目を向けてみる。図2に概算結果を示す。経済的に採掘可能(<100 US\$/lbU₃O₈)なウランの既知資源量は807万tonとされており、このウラン量は、4.5%濃縮度の燃料を用い燃焼度42GWd/tを達成する1GWe大型軽水炉、400基（現在規模、IAEAの低位ケース）を約100年間維持する量に相当する。400GWe分全てがSMRと仮定した場合、燃焼度がやや低いこと、濃縮度の高いHALEUを用いること、熱効率がやや低いことから持続できる期間はほぼ半減する。高温ガス炉(HTR)では、高い燃焼度や熱効率が得られるものの、濃縮度の高い燃料(14%程度)を用いることから、持続期間はやはり短くなる。設備容量800GWe(IEA ネットゼロ、IAEA 高位ケース)を想定すると、それぞれの期間は半減し、これを究極資源量(1529万ton)で考えるとおよそ倍の年数(図2とほぼ同じ)に延長される。

そもそもワンスルーを前提とした軽水炉のウラン資源利用率(濃縮工程廃品ウラン濃縮度0.25%を想定)は、図3の通り0.5~0.6%程度である。なお、天然ウランで稼働するCANDU炉の燃焼度は軽水炉の1/5程度と低いながら濃縮不要故に資源利用率は1%弱と軽水炉に勝る。一方、近年注目される小型軽水炉や高温ガス炉は、経済性へ直結する燃焼度向上を優先し、資源利用率は0.3%程度に留まる。ここで現在の我が国のウラン購入契約量は、長期契約、短期契約及び製品購入、開発輸入分全てを含め約35万tonであり、大型軽水炉ワンスルーを継続する場合、2070年頃にはこの量を上回る可能性があり、これを回避するには2045年頃からの高速増殖炉導入が必要との予測例がある⁴⁾。大型軽水炉以外の革新炉導入は、天然ウランの消費速度を早め、高速炉導入時期に影響することに留意する必要がある。

増殖比が1を越える高速炉の資源利用率は、炉心部とブランケット部の平均燃焼度、再処理毎の回収ロス、そしてMAリサイクルの有無に依存し60%~99%となる。すなわち、ワンスルー大型軽水炉と閉サイクル

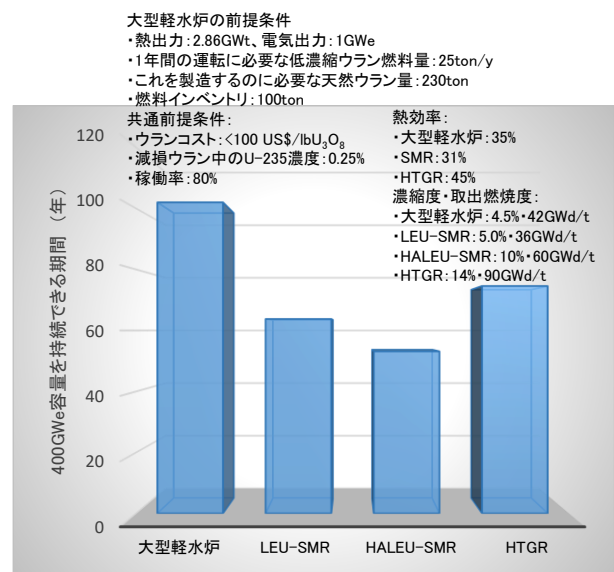


図2 既知ウラン量で400GWe分の発電設備容量を維持できる年数比較

型高速増殖炉の資源利用率には 120～200 倍 (=60/0.5～99/0.5)の違いがあり、熱効率の違いも考慮するとその差はさらに大きくなる。

世界が目指す脱炭素に向かいつつ、天然ウラン累積消費を適量レベルで安定化させ、ウラン価格の高騰を回避するには、着実な高速炉サイクルへの移行が必要である。

4. 放射性廃棄物問題に貢献する新型炉

原子炉の運転に伴い発生する使用済み燃料は、再処理により U と Pu を回収した後、高レベル廃液をガラス固化して深地層処分することが我が国の基本方針だが、分離核変換技術の適用により、放射性廃棄物の有害度継続期間の短縮、発生するガラス固化体数の低減、処分場面積の削減等ができる可能性がある。この技術開発の歴史は長く、日本での研究開発計画としては、1987 年の原子力開発利用長期計画を受け翌 1988 年に開始された群分離・消滅処理技術研究開発長期計画（通称オメガ計画）がある。また日本原子力学会では 1991 年から消滅処理研究専門委員会が設置され、長らくバックエンド問題を緩和する技術やその在り方が研究されてきた。

放射性廃棄物の何をどうすることが最終処分の負担軽減になるか。これは単純な様で複雑な問題である。その考察には、放射能、放射性毒性、存続時間、発熱量、廃棄物体積、処分施設の安全性能等の技術的指標に加えて、放射能を有する廃棄物でありかつ超長期にわたる問題故の、社会的受容性や世代間倫理といった社会的視点も必要であり、現在でも核変換やバックエンドの専門家間で多様な考え方がある。例えば、① MA リサイクルにより放射性毒性がウランレベル以下となる期間を短縮しても、地層処分場の安全評価結果には何ら変わりがない、②MA の主成分である Np-237 の毒性はそもそも低く、さらなる低減は不要である、③Cs, Sr, Am 等の発熱性核種を回収しガラス固化体の発熱量を低減することで廃棄体の処分ピッチを短縮でき処分場面積を縮小できる、④ガラス固化体に封じ込む事が出来ずかつ岩盤へ吸着されず地中移行し易い長寿命核種 I-129、C-14、Cl36 等が重要な核変換対象核種である、④移行性の I-129 ですら、安全評価によるリスク（線量当量）は $10 \mu \text{ Sv/年}$ 以下であり、さらに低減しても処分安全の向上にはつながらない、⑤自然を相手とする超長期の問題故、予測シナリオや安全評価には限界があり、廃棄物のポテンシャルリスクの極力低減やその存続期間短縮の絶え無き追求は原子力業界の責務である、などが挙げられる。

いずれにせよ明確なのは、長寿命核種を核変換で短寿命化・安定化するには中性子を消費するため、臨界炉でこれを実施するには十分な中性子が必要なことである。図 4 にみる通り、Pu 燃料高速炉は核分裂あたりの発生中性子数が多いため、臨界維持に 1 個、消費された核分裂性核種を U-238 から補うために 1 個、その他漏れや構造材や冷却材への吸収を考慮してもなお余剰（0.2 個）の中性子が存在し、これを長寿命核種の核変換に利用できる。一方熱中性子炉では臨界維持と燃料の部分的維持しかできず、MA や LLFP を消滅するために十分な中性子をもたない。また重元素の内あらゆる親核種は、熱中性子に対する捕獲と核分裂の断面積比 σ_p/σ_f が大きいいため、熱炉では核分裂で消滅するより中性子を捕獲しより重い核種へと高次化する傾向が強い。もちろん、消費する燃料（核分裂性核種）量に制限が無いとすれば、熱炉でも MA や LLFP の核変換は可能だが、これは天然ウラン消費を早め、前章の資源論につながる事となる。

なお、将来の原子力が軽水炉やガス炉等の熱中性子炉と高速炉の複数炉型で構成されることを仮定すると、燃料や消滅対象廃棄物を相互にやり取りする協働系として、燃料維持と廃棄物燃焼を両立できる可能性がある。高速炉の持つ燃料増殖性能は、十分な発電設備容量に到達した時点でやがて不要となり、熱炉向けの燃料生産や、熱炉で発生した廃棄物の核変換に振り向けることができる。軽水炉、ガス炉、高速炉を資源や廃棄物の視点で相互に関連づけた導入シナリオの検討が必要である。

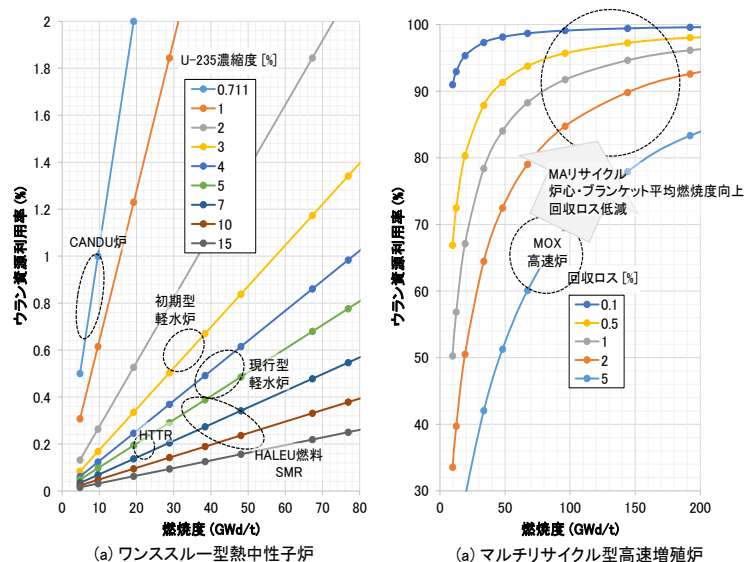


図3 熱中性子炉と高速増殖炉のウラン資源利用率の比

5. おわりに

我が国の炭酸ガス排出量を 2030 年に 46% 減、2050 年に正味ゼロとする政府目標の達成には、再エネの最大限の導入を図っても、原子力発電の活用は不可欠である。しかもそれには規模とスピードが必要なため、出力が小さく、開発途上にあり、許認可体制も整っていない革新炉の寄与は限定的とならざるを得ない。主役となる大型軽水炉には、既設炉の再稼働と寿命延長、そして革新軽水炉の導入が期待され、そのためには大きな初期投資に対する政府支援、建設期間短縮によるファイナンスリスクの回避、綻び始めているサプライチェーン維持強化のための迅速なプロジェクト開始が求められる。

資源消費型の熱中性子炉＋ワンススルー体系では、2050 年の炭酸ガス削減目標に必要な発電容量を維持することは、日本が確保・消費可能なウラン資源量制約の観点から、21 世紀中盤以降困難となる。長期的な低炭素社会の維持に核分裂炉の貢献が期待される限り、資源利用率を飛躍的に改善する高速炉＋リサイクル体系への移行（部分導入）が必須であり、特に、濃縮度の高い燃料を用いる SMR や高温ガス炉が一定のシェアを持つようになると、高速炉導入時期を早める必要すら生じる可能性がある。加えて、放射性廃棄物の有害度低減や毒性存続期間の短縮等、核変換の実施が必須の社会要請となった場合、それを実施するための中性子収支の観点から、さらに高速炉＋リサイクル体系の重要性は増してくると思われる。

革新炉 WG では、安全性向上を前提としつつ付加する原子力の新たな価値として、変動性の再エネと共存するための「負荷追従性」、エネルギーの長期安定供給に寄与する「資源有効利用」、冷却材の高出口温度を活用した「水素製造」、放射性廃棄物の「減容・短寿命化」等について良く議論されたが、最後にもう一つの新たな価値について述べ本稿を閉じたい。それは原子炉による医用 RI の製造である。重粒子や BNCT によるがん治療は放射線を外部から照射するため、健全細胞への一定の放射線照射は不可避だが、近年発展しつつある標的 α 線療法では Ra-223 や Ac-225 等の短寿命 α 核種を注射で内用し、腫瘍内部からの照射となるため効果的である。原子炉や加速器設備に出向く必要もなく患者の負担は少ない。そもそも原子炉は、原理的にビーム束高、照射体積大、除熱能力大そしてエネルギー収支に優れる特徴があり、核分裂連鎖反応を司る中性子は、全てが有効活用されている訳ではなく、一定量は構造材への吸収や炉外への漏洩で消費されている。こうした中性子を有用な放射性同位体(RI)の生成に積極的に活用することを、これからの革新炉の設計段階から想定しておけば、発電の傍らで RI 製造を行うことは技術的に可能である。エネルギー分野に比べ医用 RI 分野の経済効果は日本では小さいものの、米国では 20 年以上も前から肩を並べる規模にある。IAEA は未だ核医学の恩恵に供せず癌により 1 千万人規模の犠牲を払う途上国へ核診断・治療を普及させるための”Rays of Hope”プロジェクトを 2022 年から開始している。供給が需要を生むはずだ。真の意味の「革新」を考えたい。

参考文献

1. 中島 学「ウクライナ情勢とエネルギー・トランジションについて」JOGMEC 石油・天然ガス資源情報 (2022 年 7 月)
2. 「今後の原子力政策について」第 24 回原子力小委員会資料 (2022 年 2 月)
3. 「IEA (国際エネルギー機関) による 2050 年ネットゼロに向けたロードマップの解説」公益財団法人地球環境戦略研究機関 (IGES) 気候変動ウェビナーシリーズ(2021 年 7 月)
4. 森 行秀、小野 清、大滝 明、高速炉戦略ロードマップ検討会報告 (2)長期的視点からの検討：高速炉開発の意義、2018 年日本原子力学会秋の大会新型炉部会セッション -2H_PL02-

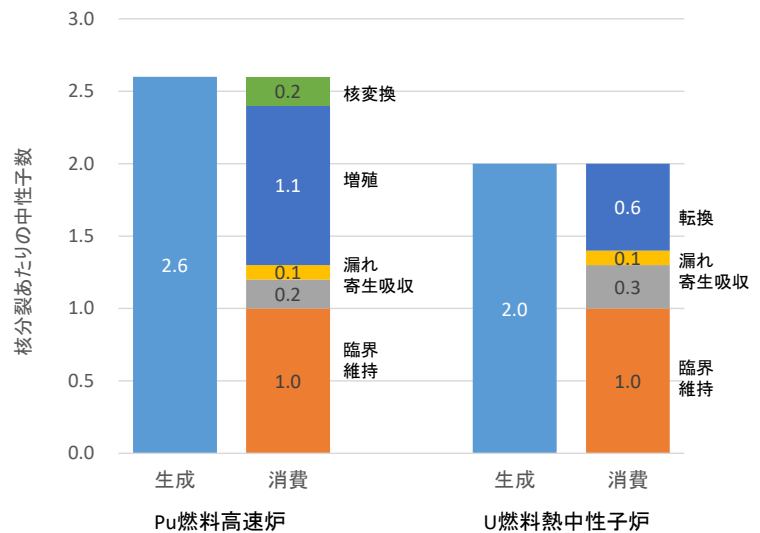


図4 高速炉と熱中性子炉における中性子の収支

新型炉部会セッション

社会動向を踏まえた新型炉開発の価値

Value of Advanced Reactor Development Based on Social Trends

(2) 再生可能エネルギーと共存できる新型炉によるカーボンニュートラルへの貢献

(2) Contribution to carbon neutrality by advanced reactors that can coexist with renewable energy

*大野 修司¹, 山野 秀将¹¹ 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

2020 年 10 月、総理大臣所信表明演説にて、日本政府は「2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」方針を宣言し、「省エネルギーを徹底し、再生可能エネルギー（再エネ）を最大限導入するとともに、安全最優先で原子力政策を進めることで、安定的なエネルギー供給を確立」すると表明した。そして、2021 年 4 月、地球温暖化対策推進本部の会議にて、2030 年に向けた温室効果ガスの削減目標について、「2013 年度から 46%削減することを目指し、さらに、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」と表明した。これは、2013 年度から 26%削減するとした 2015 年パリ協定後に国連に提出した目標を大幅に引き上げることになり、我が国が世界の脱炭素化をリードしていきたいという狙いがある。

この表明を受けて、2021 年 10 月、第 6 次エネルギー基本計画において、2030 年度の電源構成は再エネを 36～38%程度、原子力を 20～22%程度を見込んでおり、残りを天然ガスや石炭といった火力とする計画である。火力発電については、太陽光発電や風力発電のもつ再エネの変動性を補う調整力として活用しつつ、2050 年カーボンニュートラルに向けて火力発電の比率をできる限り引き下げる方針である。原子力については、「水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉を始め、安全性等に優れた炉の追求など、将来に向けた原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発や人材育成を進める」と記述され、具体的には、「革新的な原子炉開発を進める米国や欧州の取組も踏まえつつ、国は長期的な開発ビジョンを掲げ、民間は創意工夫や知恵を活かしながら、多様な技術間競争と国内外の市場による選択を行うなど、戦略的柔軟性を確保して進める」としている。

国外に目を転じれば、欧州委員会は、2022 年 7 月、原子力と天然ガスによる発電を一定の条件のもとで脱炭素に役立つ持続可能なエネルギーとして「EU タクソノミー」と呼ばれる新たな基準に含めることを承認し、脱炭素に向けて投資を促すことを狙っている。また、欧米諸国では、再エネと共存できる新型炉概念を創出するなど新型炉開発が活発になってきている。

我が国においても、2050 年カーボンニュートラルに向けて持続可能な脱炭素社会を実現するためには、電力部門において再エネと原子力発電のゼロ・エミッション技術を最大限活用していくことが急務であり、加えて、産業・民生・運輸といった非電力部門において省エネルギー化や電化を進め、エネルギーシステムのイノベーションを図っていく必要がある。本講演では、変動性再エネの導入拡大に伴う調整力の重要性を述べたのち、再エネと共存できる新型炉システムについて国内外の開発動向を紹介する。

2. 調整力の重要性

太陽光や風力など変動性再エネは発電量が季節や天候に左右され、需要と供給のバランスが崩れると、大規模な停電などが発生するおそれがある。最近でも供給力不足により電力予備率が 3%を切りそうになるという厳しい状況がよく報道されている。また、電力消費地から遠い北海道や九州が再エネの適地であり、導入拡大が進んでいるが、電力供給の不安定を避けるため九州では出力制御が行われている。そこで、地域間の電力需給バランスを解消するため、地域間連系線を増強する計画があるが、それだけでは解決できない。再

*Shuji Ohno¹ and Hidemasa Yamano¹¹Japan Atomic Energy Agency

エネを大量導入し主力電源化していくためには、不安定な発電量をカバーすることのできる別の電源、つまり適切な「調整力」の確保が不可欠である。

図1は、2017年4月30日の九州地方の電力の需要と供給を示したものである[1]。太陽光発電によって、昼間には最大で需要全体の約7割を賄うことができているが、電力の需要は、真夏の昼～夕方や真冬の朝夕の時間帯にピークを迎えるため、揚水動力や火力発電によつて的確に対応している。しかし、今後、再エネが大量に導入されると、こうした時間帯に電力不足に陥るおそれがある。一方、暖房や冷房の需要が少ない春や秋、それも工場が休みになっていることの多い休日などは、電力需要は年間のピーク時の半分程度になる。しかも春の昼間というのは、天候に恵まれれば、太陽光発電が年間でもっとも発電する時期である。日本の卸電力市場（JEPX）の取引量は、小売全面自由化当初（2016年4月）では総需要の約2%であったのに対し、2021年には40%を超えるほどの水準になっており、太陽光発電が最も発電する時期の昼間には0.01円/kWhになることが頻繁になっている。

このような昼間の時間帯に売電せず、電気を貯めておき、夕方のような必要な時に放電することができる蓄電池は最も期待される調整力である。ただし、蓄電池は、最近下落傾向にあるもののコスト面に課題がある。今後、大容量蓄電池の開発が期待されるが、デジタル化や電気自動車の普及拡大によって需要が高まっており、蓄電池だけで調整力を期待するのは限界がある。また、蓄電池にはレアメタルを使用しており、そのほとんどを輸入している我が国はその安定調達にリスクがあることも留意が必要である。これらを踏まえて、再エネ主力電源化に向けて、蓄電池以外の調整力を確保していくことが肝要である。

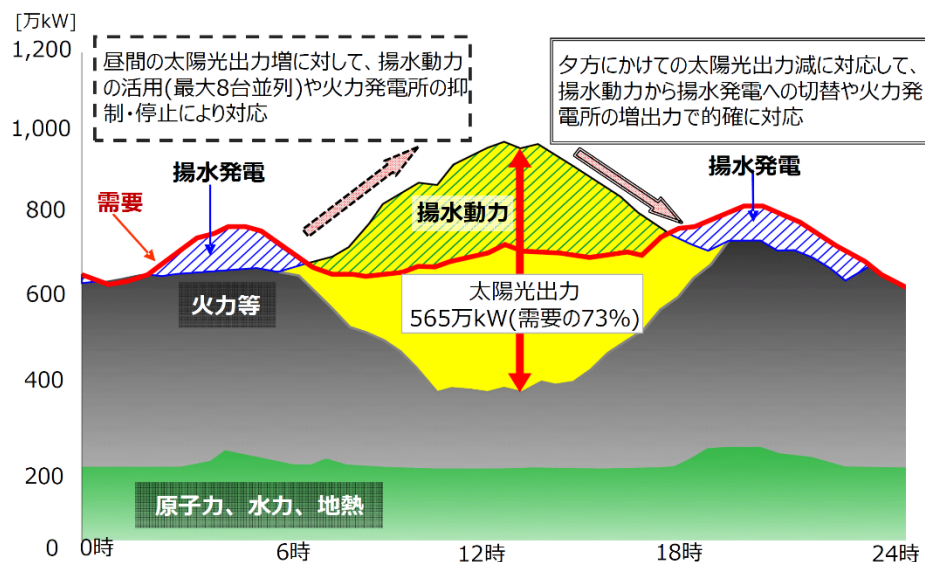


図1 2017年4月30日の九州の電力需給実績

(出所：資源エネルギー庁 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/qa_syuturyokuseigyo.html)

将来、変動性再エネ割合が40%を想定すると、不足電力が1日に最大35～90GWh規模で発生することが試算されている[2]。すなわち、90GWh規模の蓄電容量を確保する必要がある。リチウムイオン電池を用いた大容量蓄電池システムは、国内では0.7GWhの設備導入が計画されている。蓄電池の今後の導入拡大を期待するにしても、大容量蓄電池及び一般水力の揚水化拡大だけでは不足電力を補うことはできない。様々な技術によって調整力を確保することが重要である。

3. 再エネと共存できる新型炉システム

3-1. 負荷追従能力

原子力発電は火力発電に比べて発電コストにおける燃料費の比率が小さい。そのため、我が国では、原子力発電はベースロード電源として火力発電のように負荷追従運転をしてこなかった。しかし、技術的には日

間や週間の長期的な電力需給の補完や1次や2次調整力の提供による電力系統の安定性確保を目的とした負荷追従性能を有する。実際に、電源構成に占める原子力発電の割合の高い仏国、電源構成に対して出力変動する再生可能エネルギーの割合が高い独国ではすでに原子力発電が日常的に負荷追従運転を実施している。負荷追従における技術的課題は国外では解決済みであり、国内導入も問題ないとみられる。また、欧米では負荷追従運転が事業者から設計要求されており、新型炉システムも設計対応によって将来には負荷追従運転性能を有する必要がある。

3-2. 熱供給範囲

原子力プラントは一般に発電向けであるが、世界的には、70基もの原子炉が様々な熱利用分野（コジェネレーション）において利用されている[3]。熱利用範囲は、5～240 MWth/基で、原子炉の熱利用割合は全体量に比べて僅か(<1%)であって、その利用は地域暖房、蒸気供給及び海水淡水化に限定されている。

軽水炉及び第4世代原子炉の供給温度域は以下のとおりである。

- ✓ 軽水炉 (BWR, PWR, SMR), 280-300℃
- ✓ ナトリウム冷却高速炉 (SFR), 500-550℃
- ✓ 鉛冷却高速炉 (LFR), 480-570℃
- ✓ 超臨界圧軽水冷却炉 (SCWR), 510-625℃
- ✓ 熔融塩炉 (MSR), 700-800℃
- ✓ ガス冷却高速炉 (GFR) 約 850℃
- ✓ 高温ガス炉 (HTGR), 750-950℃

軽水炉に比べて、上記の第4世代原子炉で代表される新型炉は供給温度域が高く、熱エネルギーの利用価値が高い。

3-3. 調整力として期待される原子炉システムに関する議論

マサチューセッツ工科大学と東工大を始めとする日米共同研究の2017年報告書[4]では、熱貯蔵設備の建設コストが蓄電設備の建設コストよりもはるかに安価であるとの試算結果に基づき、原子炉と熱貯蔵装置を接続させ、原子炉の定格出力運転を維持したまま、再エネの出力変動に伴う要求に応じて電力提供を可能とする以下のシステムが提案された。

- ✓ 蒸気発電サイクルを用いた原子力発電プラントと熱貯蔵設備（スチームアキュムレータ、顕熱蓄熱型、氷蓄熱型、充填層型、高温岩体型）から構成されるシステム
- ✓ 耐火煉瓦抵抗加熱式エネルギー貯蔵設備について、安価な余剰電力を用いて耐火煉瓦を高温に熱し、必要に応じて高温の耐火煉瓦に空気を吹き込むことで貯蔵熱を回収し、発電に利用するシステム
- ✓ 炉心の蓄熱容量を活用した高温ガス炉ガスタービン発電システム
- ✓ 高温炉とプレートンサイクル発電設備、耐火煉瓦抵抗加熱式エネルギー貯蔵設備から構成されるシステム

2018年10月、IAEAでは、Technical Meeting on Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems for Decarbonized Energy Production and Cogenerationを開催し、各国における原子力-再エネ共存システムについて紹介され、開発資金や戦略、計画管理、技術的な課題が議論された[5]。これを契機に、世界中で原子力-再エネ共存システムの検討が進むことが期待される。

我が国では、日本機械学会動力エネルギーシステム部門「原子力・再生可能エネルギー調和型エネルギーシステム研究会」（2019年4月～2021年3月）が、「2050年温室効果ガス排出実質ゼロを達成するための意見書(2021年3月9日)」を公表し、蓄エネルギー技術の確立と調整力に富んだクリーンな安定電源の確立を提言している。ゼロ・エミッション安定電源である原子力発電のより積極的な活用も重要であると述べ、原子力・再生可能エネルギー調和型エネルギーシステムの有用性を主張している[3]。

4. 国内外の新型炉開発動向

4-1. 蓄熱設備を有する新型炉

米国では、テラパワー社と GE 日立ニュークリア・エナジー社が電気出力 345MWe の小型モジュラー型ナトリウム冷却高速炉 PRISM と蒸気タービン発電設備、熔融塩蓄熱設備を接続し、原子炉出力一定のまま、再エネの出力変動に伴う要求に応じて変動した電力を提供するシステムを共同で開発している[6]。

我が国では、JAEA が中心となってナトリウム冷却高速炉を開発してきた。最近では、熔融塩蓄熱を組み合わせ、蒸気発生器におけるナトリウム-水反応の可能性を排除するとともに、浮体免震設備により耐震性を向上させ、安全性と経済性を有した小型炉概念を検討している[7]。蓄熱設備により原子炉出力 100%のまま電気出力を変動可能にし、夕方に売電量を増やすことで収益性を向上できる。熔融塩蓄熱設備は海外の太陽熱発電で実用化済みであり、ナトリウムと熔融塩の熱交換設備のみが機器開発の課題である。

蓄熱型高温ガス炉は、東芝エネルギーシステムズ（株）と富士電機（株）が開発を進めている[8]。JAEA の試験研究炉 HTTR の実績を踏まえて、技術開発課題を極力少なくして、実用化済みの蒸気タービンを採用して早期実用化を目指したものである。

蓄熱型熔融塩炉は、カナダ Terrestrial Energy 社がフッ化物熔融塩を液体燃料として使用し、二次系熔融塩ループを用いて、蓄熱技術により発電量の調整や多様な熱利用が可能である[9]。英国 Moltex Energy 社も蓄熱型熔融塩炉の開発を進めている[10]。

4-2. 水素製造設備を有する新型炉

第 6 次エネルギー基本計画では、水素を新たな資源として位置付け、社会実装を加速することとしている。発電部門ではガス火力へ水素混焼や水素専焼を推進し、運輸部門では燃料電池自動車の普及と水素ステーションの整備を推進する方針である。産業部門や民生部門でも活用範囲を広げ、水素利用を拡大させる方針である。諸外国でも、2020 年頃に水素の国家戦略が策定されるなどして世界中で取り組みが本格化している[11]。

原子炉を用いた水素製造技術には、以下に示す様々な手法があり、電気に加えて水素も併給できる[12]。

- ✓ 原子炉で発電した電気を用いた低温電気分解法
- ✓ 原子炉で発電した電気と供給した 750-850℃の熱を用いた高温水蒸気電解法
- ✓ 原子炉で供給した 850-950℃の熱を用いた化石燃料やバイオマスの化学改質
- ✓ 原子炉で発電した電気と供給した 850-950℃の熱を用いた熱化学水分解法やハイブリッド水分解法

例として、米国では、NuScale 社が、小型モジュラー型軽水炉と蒸気タービン発電設備、高温水蒸気電解法による水素製造施設等の熱利用施設を接続し、電力系統や熱利用施設の要求に応じて、原子炉出力や蒸気タービン発電設備への供給蒸気量を調整することで電力系統における再生可能エネルギーの出力変動を補完可能なシステムを開発している[13]。

我が国では、JAEA が中心となって高温ガス炉を開発してきた。HTTR により安全性実証試験を実施するとともに、連続水素製造試験装置によって実用機器の信頼性と性能の確証を行っている（2019 年には最大 30L/h で 150 時間の連続水素製造に成功）。HTTR と接続させて水素製造技術を実証するため、2022 年から三菱重工業（株）と共に実証試験を進めている。

中国では、100L/h の製造規模を目指したパイロットプロジェクトに成功しており、600MW 級高温ガス炉での水素製造技術の確立を視野に入れている[14]。

高速炉でも水素製造は可能であり[15]、原子力による水素製造が期待されている[16]。

5. おわりに

「グリーン成長戦略」では、「2050 年の電力需要は、産業・運輸・業務・家庭部門の電化によって、一定程度の増加を要する」と認識されており、「2050 年にカーボンニュートラルを実現する上では、電化の進展により約 3～4 割電力需要が増加することが見込まれる」とも記述され、変動性再エネ大量導入に対応する調整力はますます重要になると想定される。さらに、「電化で対応できない熱需要には、水素などの脱炭素燃料」

を活用することも想定されている。負荷追従能力を有する原子力は柔軟性に富んでおり、2050 年カーボンニュートラルに向けて必要不可欠な技術である。

日本政府はグリーントランスフォーメーション（GX）を推進し、温室効果ガスを発生させないグリーンエネルギーに転換することで、産業構造や社会経済を変革し、成長に繋げようとしている。再エネと共存できる新型炉はカーボンニュートラルに貢献できる技術であり、政府によって技術開発が後押しされ、早期実用化と社会実装が進むことを期待する。

参考文献

- [1] https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/qa_syuturyokuseigyo.html
- [2] <https://www.jsme.or.jp/pes/Research/A-TS08-12/Y2021-2.pdf>
- [3] <https://www.jsme.or.jp/pes/Research/A-TS08-12/210906.pdf>
- [4] <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2017/12/MIT-Japan-Study-Future-of-Nuclear-Power-in-a-Low-Carbon-World-The-Need-for-Dispatchable-Energy.pdf>
- [5] <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1885web.pdf>
- [6] <https://www.terrapower.com/our-work/natriumpower/>
- [7] <https://www.jaea.go.jp/04/sefard/faq/files/material0601.pdf>
- [8] <http://www.aesj.or.jp/division/ard/documents/AESJ-2021A-ARD-2.pdf>
- [9] <https://www.terrestrialenergy.com/technology/molten-salt-reactor/>
- [10] <https://www.moltexenergy.com/enables-renewables/>
- [11] https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/001_06_00.pdf
- [12] Yan, X., R. Hino, (2011), Nuclear Hydrogen Production Handbook, ISBN 978-143981083-5, CRC Press, USA
- [13] <https://www.nuscalepower.com/environment/clean-hydrogen-production>
- [14] https://energyiceberg.com/ten-chinese-green-hydrogen-companies/#CNNC_Nuclear_Giants_Power-to-Gas
- [15] https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-01-07-01.html
- [16] https://www.jstage.jst.go.jp/article/hess/28/2/28_29/_pdf/-char/en

新型炉部会セッション

社会動向を踏まえた新型炉開発の価値

Value of advanced reactor development based on social trends

(3) 新型炉開発の海外動向・国際連携

(3) Foreign country trends and international cooperation on advanced reactor development

*瀬下 拓也¹¹ 日本エヌ・ユー・エス株式会社

1. はじめに

カーボンニュートラル実現などの外部環境変化により、原子力エネルギーが果たす役割は変化していく。従来の軽水炉で果たせない役割は新型炉が担っていく必要があり、各国で新型炉開発の動きが活発である。経済産業省資源エネルギー庁は、2022年4月、原子力発電の新たな社会的価値を再定義し、我が国の炉型開発に係る道筋を示すため、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会の下に「革新炉ワーキンググループ」を設置した¹。その第1回会合では、カーボンニュートラル実現に向けた社会全体の変革に対し、革新炉による貢献の可能性について、以下の観点で整理された。

- 安全性向上
- 電力部門の脱炭素化
- 産業部門の脱炭素化
- 電力ネットワーク
- レジリエンス
- 安定供給、経済安全保障
- 廃棄物問題
- 非エネ分野

特に、安定供給、経済安全保障については、エネルギー・サプライチェーンの地政学リスクが近年注目されている。新型炉開発は、技術自給率の維持・改善による地政学リスクの低減に貢献でき、また、国際連携プロジェクトにも貢献できると期待される。

本講演では、海外主要国における新型炉開発の動向や国際連携について紹介し、今後の展望を述べることにしたい。

2. 海外主要国における新型炉開発の動向

海外主要国における主な開発・建設プロジェクトを表1に示す。セッション当日は、これらを含め最新の動向を紹介するが、2-1～2-6では主要なポイントを示す。

下記のように、小型炉やマイクロ炉の開発が多く進められているが、これにより様々な市場、様々な顧客に対応できることが期待される。最近の検討では、以下の適用先が言及されている²⁾。

短期

- 既設サイトでの増設、リプレース（大型炉、小型炉）
- 石炭、ガス、石油火力発電所のリプレース（小型炉）
- 軍事基地、軍事用可搬電源（マイクロ炉及び小型炉）
- データセンター（全て）
- 遠隔地での利用（マイクロ炉及び小型炉）
- 直接契約（マイクロ炉及び小型炉）

中期

- 送電網に接続されていない産業用サイト（マイクロ炉及び小型炉）

- 産業熱利用、コジェネ（全て）
- 軍事以外の可搬電源（マイクロ炉及び小型炉）

発電以外

- 産業熱利用
- 地域暖房
- 淡水化
- 水素製造
- 合成燃料製造

表 1 各国における主要な開発・建設プロジェクト

国名	主なプロジェクト	スケジュール	開発者	名称	炉型
米国	CFPP	2029 年運転開始	NuScale Power	VOYGR	iPWR
	ARDP①	2027 年運転開始	X-Energy	Xe-100	高温ガス炉
			TerraPower	Natrium	ナトリウム冷却高速炉
			Kairos Power	ヘルメス試験炉	熔融塩炉
	ARDP②	2030～2032 年頃に 実証	Westinghouse	eVinci	ヒートパイプ型超小型 炉
			BWXT Advanced Technologies	BANR	高温ガス炉
			Holtec Government Services	SMR-160	PWR
			Southern Company Services	MCRE	熔融塩炉
	ARDP③	2030 年代半ばの 実用化	Advanced Reactor Concepts	ARC-100	ナトリウム冷却高速炉
			General Atomics	FMR	ヘリウム冷却式高速炉
			MIT	MIGHTR	高温ガス炉
	プロジェクト Pele	2024 年試験開始	X-Energy	Xe-Mobile	高温ガス炉
			BWXT Advanced Technologies	BANR	高温ガス炉
カナダ	CNL	2026 年までに建設	USNC	MMR	高温ガス炉
	OPG	2028 年までに建設	GEH	BWRX-300	BWR
	SaskPower	2032 年までに 1 基 建設	GEH	BWRX-300（4 基）	BWR
	NB Power	2030 年頃建設	Moltex Energy	SSR-W	熔融塩炉
			Advanced Reactor Concepts	ARC-100	ナトリウム冷却高速炉
英国	LCN	2029 年までに建設	Rolls-Royce	UK-SMR	PWR
	AMR RD&D	2030 年代初頭まで に建設	未定	未定	高温ガス炉
仏国	NUWARD 開発	2030 年までに開発 完了	EDF 他	NUWARD	PWR
中国	ACP100 建設	2021 年に建設開始	CNNC	ACP100	PWR
	ACPR50S 建設	2016 年に建設開始	CGN	ACRP50S	PWR
	CFR600 建設	2017 年に建設開始	CNNC	CFR600	ナトリウム冷却高速炉
	HTR-PM 建設	2021 年に臨界達成	清華大学	HTR-PM	高温ガス炉
ロシア	RITM200M 建設	2023 年までに建設	Afrikantov OKBM	RITM200M	PWR
	RITM200N 建設	2024 年までに建設	Afrikantov OKBM	RITM200N	PWR
	BREST-300 建設	2026 年運転開始	NIKIET	BREST-300	鉛冷却高速炉

2-1. 米国

- NuScale は 2026 年までに初号機プロジェクトの建設・運転認可を取得し、2029 年に運転開始予定である。DOE は開発支援を目的とした補助金を交付している。NuScale 炉（VOYGR）は、複数の方法を用

いて（モジュールを個別に起動・停止、制御棒調整、タービンバイパス制御）、様々な時間単位での負荷追従運転が可能であるほか、水素製造も検討されている。

- TerraPower の高速炉 Natrium は、高速炉の高温と蓄熱性能に優れる熔融塩タンクを組み合わせ、負荷追従が可能である。熔融塩タンクによる蓄熱システムは、出力変動する再エネの補完として既に実用化されている。
- 2018 年に制定された「原子力エネルギー技術革新対応法（NEICA）」に基づき、米国エネルギー省（DOE）はアイダホ国立研究所（INL）内に国立原子炉イノベーションセンター（NRIC）を設置した。これは、2015 年から実施されている、民間イノベーション支援（GAIN）の成功を背景とした取組みであり、様々な炉型の試験や実証を行う場として機能している。DOE はまた、2021 年から革新的原子炉実証プログラム（ARDP）を開始している。技術熟度、実用化時期に応じて軽重をつけ、3 種類のプランで多様な炉型の実証・開発を支援している。
- 本年 6 月、原子力エネルギー協会（NEI）会長の Maria Korsnick 氏は、今後 25 年で SMR 300 基を建設し、原子力設備を倍にする（電源比率 20→40%）、米国外への輸出収益は 1.9 兆ドルを見込む、とのビジョンを示した³⁾。
- 現状は既設炉での取組みになるが、DOE は 2020 年より原子力水素の技術開発を支援している。低温電気分解による水素製造の実証（Energy Harbor 社・INL）、高温水蒸気電解の実証（Xcel Energy 社・INL）等が進められている。

2-2. カナダ

- カナダ原子力研究所（CNL）は 2018 年、CNL が管理する Chalk River 研究所に SMR を立地する立地評価プロセスを開始した。これに 4 社が応じているが、Global First Power Limited Partnership（Ontario Power Generation（OPG）及び Ultrasafe Nuclear Corporation（USNC）のカナダ子会社である USNC-Power が出資）による MMR（5MWe の高温ガス炉）建設計画が最も進んでいる。
- OPG 及び SaskPower は、各々 BWRX-300 の建設プロジェクトを進めている。前者は、2028 年の運転開始を目指している。
- カナダ天然資源省（NRCan）の原子力部門は、原子力開発の政策を立案している。2020 年 12 月には、SMR ロードマップの実現に向けた進捗状況と継続的な取組みを概説した「カナダ SMR アクションプラン」を発表した。この政策は、カナダ原子力公社（AECL）によって推進されるが、研究開発は CNL が担っており、AECL はプロジェクトファシリテーターに徹している。

2-3. 英国

- Rolls-Royce SMR 社は UK-SMR を開発しており、英国産低コスト SMR の開発を支援する低コスト原子力（LCN）プログラムによる開発助成金を受け、設計の詳細化を進めている。
- 英国政府は 2021 年 7 月、先進的モジュール式原子炉（AMR）の研究開発及び実証（RD&D）を開始し、対象として高温ガス炉を選択した。第一段階として、実証の規模、種類、コスト及び実施方法の可能性を検証する 6 プロジェクトに資金提供を行う。
- 英国政府は、本年 4 月に「エネルギー安全保障戦略」を公表し、2050 年までに原子力による発電割合を現状の 15%から 25%に拡大し、24GW の導入を目指すとした。新しい政府機関として「Great British Nuclear」を立ち上げ、新設プロジェクトの投資準備や建設期間中の支援を行う。

2-4. 仏国

- EDF 社、TechnicAtome 社、Naval Group 社及び原子力・代替エネルギー庁（CEA）のコンソーシアムは、NUWARD という SMR を開発している。政府はこの開発に 5 億ユーロの支援を行うとしており、2030 年から実証プラントの建設を開始する予定である。
- 本年 2 月、マクロン大統領は演説の中で、2050 年までに 6 基の EPR2 を建設し、さらに 8 基の EPR2 建

設に向けた検討を開始する意向を表明した。国営企業が EPR、EPR2 の建設で産業基盤を維持しつつ、将来に向けた革新炉開発も推進している。

2-5. 中国

- 中国核工業集団（CNNC）は、仏国の PWR 技術をベースに開発した ACP1000 の小型版である ACP100 の開発を 2010 年頃から行っている。
- CNNC は、2018 年から原子力発電の余剰電力を使用して水素製造を行う Power to Gas（P2G）を検討しており、高温ガス炉は原子力 P2G のオプションの一つである。CNNC は精華大学・宝鋼集団と協力し、鉄鋼業での利用に向けた高温ガス炉ベースのグリーン水素プロジェクトに着手している。

2-6. ロシア

- 砕氷船で既に使用されている KLT-40S や RITM-200 等小型 PWR の改良版として、VBER-300 や RITM-200M が開発されている。RITM-200M はチュクチ自治管区で 2023 年までに建設する計画であり、その陸上版である RITM-200N はサハ共和国内で 2024 年までに建設する予定である。
- ロシアは高速炉の商用展開により核燃料サイクルを閉じることを目指しており、実証炉 BN-600 や BN-800 が既に建設されている。鉛高速炉の原型炉 BREST- 300 は現在建設中で 2026 年に運転予定である。

3. 国際連携

従来、我が国原子力産業の中核部品・部材のサプライヤは、国内での豊富な実績を活かし、海外プロジェクトにも多数参画してきた。新型炉に関しては、現状、主に以下の国際連携がある。

- SMR：NuScale、BWRX-300 等に関する日米協力
- 高速炉：安全性・経済性を向上する研究開発の日仏協力、Natrium 炉に関する日米協力
- 高温ガス炉：AMR RD&D 等に関する日英協力

ただし、上記は海外プロジェクトへの参画が主であり、国内の新型炉プロジェクトは具体化していない。国内におけるエンジニアリング・機器製造能力を維持するためにも、海外プロジェクトへの効果的な参加が提言されている（革新サプライヤチャレンジ）^り。これは、新型炉向けの機器や部素材の設計・開発・実用化に挑戦する国内サプライヤでチームを組成し、海外の実機プロジェクトへの参画を官民で支援する仕組みを設けるものである。

また、新型炉の円滑な導入に向け、国際レベルでの標準化及び規制条件の調整が重要である。主な国際機関や多国間の検討を以下に示す。

- 第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）：高速炉の安全性に関わる研究及び安全要件の検討は日本がリードしている。
- IAEA の SMR Regulators' Forum 及び Nuclear Harmonization and Standardization Initiative（NHSI）
- OECD/NEA の Working Group on the Safety of Advanced Reactors（WGSAR）
- WNA の CORDEL（Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing）ワーキンググループ
- EU の ELSMOR（towards European Licensing of Small MOdular Reactors）プロジェクト
- NRC（米国）とカナダ（CNSC）の新型炉審査協力
- EU の 3 か国による NUWARD の共同審査

新型炉の多くは、従来の軽水炉に比べて単純、小型のため、より安全と期待されている。また、モジュール炉は数をこなして製造コストを下げて行くビジネスモデルであり、導入国毎に設計が変わる運用では負担が増加する。そのため、各国における審査の効率化や共通化は、新型炉の導入を促進していく上で重要な課題である。

4. おわりに

米国、英国、仏国、フィンランド等の西側諸国で進められた大型軽水炉建設プロジェクトは、スケジュール超過、コスト超過が相次ぎ、競争力を身に着けたロシア、中国の台頭を許した。昨今における新型炉開発の高まりは、西側諸国にとって、外部環境の変化に応じて原子炉のあり方を再定義し、新商品を開発し、国際的なリーダーシップを取り戻す試みと言える。日本企業にとっても多くの可能性があり、国際社会から期待されているところも多い。一方、新型炉の実用化においてはサプライチェーン、規制、使用済燃料・廃棄物などが障壁になりうると認識されている。これらは一国で解決できるものではなく、国際連携が以前に増して重要となっている。

参考文献

- 1) https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/index.html
- 2) Breakthrough Institute, "Advancing Nuclear Energy," (2022)
<https://thebreakthrough.org/articles/advancing-nuclear-energy-report>
- 3) NEI, "Maria Korsnick's Remarks at the State of the Industry," (2022)
<https://www.nei.org/news/2022/maria-korsnicks-state-of-the-nuclear-industry>

*Takuya Seshimo¹

¹Japan NUS, Co., Ltd.