

生成 AI は SMR の夢を見るか？

世界的な原子力技術のリバイバルとデジタルトランスフォーメーション

樫本喜一*

1 はじめに

本稿は、筆者が研究代表を務める科学研究費助成事業・基盤研究（C）「日本の未実現核燃料サイクル施設立地計画と地域抵抗運動成功例についての実証研究」の資料調査により、現時点で判明した関連事項をまとめて、考察を加えたものである。

本誌掲載の論考中でたびたび言及しているように、近年、一部業界などから大型軽水炉以外の発電用原子炉（一部の軍事利用以外の多目的炉含む）が再脚光を浴びつつある。旺盛な電力需要をもつ AI 用データセンター運用などにかかわる米国情報産業大手（グーグル、アマゾン、アップル、マイクロソフトなど以下、ビッグテック）が、小型モジュール炉（以下、SMR）開発をおこなうベンチャー企業に投資する、といった報道が盛んになっている。そうした状況を受けて、日本政府も AI 用データセンターの電力需要増加を理由の一つとして¹、福島原子力発電所事故以降の抑制的だった核エネルギー商業利用（以下、原子力）方針を転換しつつある。しかし、これも拙稿中でたびたび指摘しているように、現在注目されている大型軽水炉以外の発電炉は、過去に現行軽水炉路線との競争に勝てず主流となれなかった炉型か、もしくはその派生型である。政府が公表している原子力政策の方針転換中でも、現行軽水炉の再稼働、寿命延長、およびこの軽水炉技術を継承して発展させる路線と併記する形で、他の炉型の開発についても言及されている。拙稿「軽水炉の一世紀」（樫本、2022）において、現行大型軽水炉路線の発展が技術的な袋小路に迷い込んでいる可能性を指摘したが、本稿では、その際に課題として残していた大型軽水炉路線以外の炉型の問題点に

* 大阪公立大学現代システム科学客員研究員

電子メール：kasikazu43d2(a)yahoo.co.jp

¹ 政府の形容は「将来的な DX の進展による電力需要増大の可能性」

ついて、改めて検討を加える。さらにそこから敷衍して、昨今の日本の原子力政策の方針転換の背景にある AI 用データセンターの電力需要という話題についても問題点を指摘する。加えて、本稿の末尾では、日本の原子力政策方針転換の背景にあって、近い将来深刻な状態に陥る気配が濃厚な米国の原子力を取り巻く社会状況についても分析を試みる。これは、2025 年初頭現在の米国内の政治的混乱からして、杞憂では済まない可能性があり、日本にとっても憂慮すべき現実である。

2 各国の原子力事情

福島原子力発電所事故以降、特に旧西側諸国で低調だった原子力発電事業だが、現在その状況が変化しているように見える。ウクライナ戦争勃発以降、温暖化ガス排出削減に比較的有利だったエネルギー源である天然ガスのロシアからの供給が滞った。このことで、ガス火力発電を代替可能であり、かつ発電時には温暖化ガス排出がない大規模電源として原子力発電が再注目された影響は無視できない。ただ、エネルギー安全保障の観点からは、原子力発電への回帰には大きな疑問がある。後ほど詳述するが、現時点で核燃料製造の核心部分であるウラン濃縮業務の大きな部分をロシアと中国が担っており、ある程度自前で賄える EU 諸国も生産能力には限界があるため、たとえ各国で原子力発電事業が再起動できたとしても、エネルギー安全保障上は天然ガスと同様の問題を抱えることになるからである。

原子力発電の事業環境が変化する兆しを示している別の理由は、AI 用データセンターの電力需要の大幅増加が見込まれるため、自然エネルギーの活用だけでは賄いきれないと考えた情報産業大手が、こぞって原子力発電ベンチャーに投資し始めたことによる。特に米ビッグテックの動向が、日本を含めた各国の政策に影響を与えている。ここで主に注目されているのが、冒頭でも述べたように SMR と呼称される各種の小型発電用原子炉である。

大枠では以上の説明がなされるが、原子力発電に再注目している各国、各企業の事情や思惑を個別にみると、各々でかなり様相が違っており、様々な選択肢が混在した状態である。今後の議論を進める上で、それらをもう少し整理する必

要がある。だが煩雑になりすぎても議論に差し障りがあるため、以下で概略的に三つの方向性で各国、各企業の方針をまとめてみた。

まず現行型軽水炉の再稼働や高経年化した軽水炉の稼働期間延長である。安全性問題、廃炉問題および使用済核燃料の最終処分問題といった本来軽視すべきでない要素をすべて度外視し、当面の経済性や実行可能性のみを勘案すると、これがもっとも現実的な選択肢といえ、日本政府の新たな原子力政策の基本方針の中にも盛り込まれている。なお政府方針は本項で順に説明する三つの方向性全てに言及しており、政策の重点がどこにあるかは明確ではない。また後述するように、第3世代+の軽水炉²新設などの方向性を選択した場合、巨額の投資負担が生じる。したがって日本の各電力会社の本音の部分では、経営上の重大なリスクが付随する他の選択肢と違い、この政府方針の中では、現行型軽水炉の再稼働や高経年化した軽水炉の稼働期間延長だけで十分と考えていてもおかしくはない。現実的な選択肢という点においては、米国、フランスをはじめとして現時点で大規模な原子力発電の設備容量が存在する国およびその国の企業にとっても同様である。実際、ビッグテックの一角であるマイクロソフト社は、2019年に運用を停止したスリーマイル島原子力発電所の1号機（1979年に事故を起こした原子炉とは別のもの）を再稼働して得た電力を買い取る長期の契約を交わしている³。フランスは後述する第3世代+の大型軽水炉やSMRを大々的に新設する方針を決めたが、加えて既存原子力発電所を50年超で稼働延長させる検討を始めているとの報道もあり、すべての方向性で原子力発電事業の延命を企図していると考えられる⁴。

なお、ここで説明した現行型軽水炉の再稼働および高経年化軽水炉の稼働期間延長の方針やそれへの投資判断だが、減価償却が済んで、かつ稼働期間延長可能な高経年化軽水炉を一定数確保できる国が現時点で取りうる、限定的な手段であることには十分な留意が必要である。また、安全性装備に追加投資したとしても、基本設計が古い軽水炉には第3世代+と同等の安全性は付加できず、交換が難しい基幹部品の耐久性についても新設時からの劣化は免れない。これらの

² 第3世代+の（大型）軽水炉の定義については拙稿「軽水炉の一世紀」（樫本、2022）で説明しているが、概略を述べると、現行型軽水炉を大型化し受動的安全性を付加した発電炉である。

³ 日本でもソフトバンクがAI用データセンター適地を既存原子力発電所周辺で探しているという情報がある。

⁴ 方針転換した日本もこれと同様だがフランスははるかに意欲的である。

点を勘案すると、関係者には自明であろうが、原子力発電事業の延命措置としては時限的な弥縫策に過ぎないといえよう。また、理由は次の項目の後半で詳しく述べるが、軽水炉用核燃料供給にも課題を抱えており、現実に取りうる選択肢としても一定の限界があるといわざるを得ない。

ついで第3世代+の大型軽水炉の新設である。報道資料などでは用語の混乱がみられ、次世代型原子炉と形容される中にこれらの軽水炉が入っている場合もあるが（次世代革新軽水炉等と形容）、本来の次世代である第4世代の軽水炉とは基本スペックが全く違う点には注意が必要である。ちなみに軽水炉を含めた第4世代の原子炉（特に大型大出力の炉型）は、一部の炉型以外、実現にはまだまだ時間を要するため、電力需要に対する現今の予測に即応する技術としては選択肢に入らない。政府資料の中でも一部言及されているが、国の電力供給施策としては現実性に乏しい（発電用核融合炉なども同様）。

おそらく旧西側諸国の中では、フランスが最も熱心に第3世代+の軽水炉新設を推し進めている。2024年末に同国内初となる、第3世代+軽水炉の欧州加圧型軽水炉（EPR）のフラマンビル3号機が送電を開始した⁵。また報道などによると、EPRの改設計版であるEPR2を6機、2050年までに稼働させる方針とあり、さらに加えて同EPR2を8機、追加で新設する検討もおこなわれているとのことである⁶。米国では第3世代+の加圧水型軽水炉AP1000が2機稼働中である（ボーグル3・4号機）。一方、米国内で建設されていた2機のAP1000（VCサマー2・3号機）は中止となり、現在、他に建設中のものはない。なお、中国にはAP1000と同系統の第3世代+の軽水炉が複数稼働中であり、韓国の第3世代+の軽水炉も同じ系統に属する。また、ウクライナなどにAP1000を導入する計画がある（VCサマー発電所の設備・機器を流用）。現トランプ政権の原子力関連の政策変更はまだ不明な部分があるが、これまでのところ米国は他国へAP1000を輸出する計画はあっても、フランスのように国内で同機を積極的に展開する考えはないとみえる（なおフランスはEPRの輸出にも力を入れている）。後述するように大型軽水炉用核燃料に必要な低濃縮ウラン製造プラントが米国内で現在ほとんど稼働しておらず、一方、連邦予算を投じて建設を促進している

⁵ フィンランドで1機、中国で2機のEPRが稼働中。

⁶ 日本経済新聞 2022年2月11日付「フランス、50年までに原子炉6基建設」
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGR10FOE0Q2A210C2000000/>

のは専ら SMR 用の核燃料となる高純度低濃縮ウラン (HALEU)⁷ 製造施設である。こうした点から、米国内において、大々的に第3世代+の軽水炉を活用する政策方針は、今のところ念頭にないと判断できる。

第3世代+の軽水炉を選択肢とする方針には、コスト増大の問題が直撃している。原子力利用拡大を目指す関係者が思い描くような高予測シナリオどおりに建設が進むかどうか疑念が生じている。事実、ボーグル3・4号機の建設 (VCサマー2・3号機建設中止も同様) に関連して、米国原子力部門の名門企業ウェスティングハウスが一度破綻に至った。当時、親会社だった日本の総合重電大手の東芝も破綻し、日本も大きな影響を被っている。こうした現実から考えて、想定されていなかったコスト増の問題はかなり深刻である。というのも、AP1000の事例では、それまでの軽水炉に比較して安全性を高めた上で、部品数や必要資材量を大幅に減らしてコストを下げたと謳われていたはずのプラントにもかかわらず、実際には名門大企業が破綻するような巨額のコストオーバーランが発生してしまったからである。以前、拙稿「軽水炉の一世紀」(樫本、2022)で説明したように、現行軽水炉の発展形である第3世代+の軽水炉は、大型化・長寿命化・高稼働率を極端に推し進めた結果、一種の技術的な進化の袋小路に嵌まり込んでしまった。特に大型化と、それに伴う高度な安全性の保証により、どれも建設コストの増大 (巨額になる初期投資) に悩み、抜き差しならない状況となっている。これは AP1000 だけの問題ではなく、先に述べた EPR も同様である。同様に例示すると、フランス国内初となる EPR、フラマンビル3号機の建設コストは想定の上の2倍以上となり、日本円で2兆円を超えてしまった⁸。新炉型の導入初期の建設ではありがちなことだが、それにしても巨額すぎる。現在の一般的な電気出力100万kw級軽水炉の建設コストは4000億円程度だったといわれているので、第3世代+の軽水炉の建設コスト激増は明らかである。そもそも EPR2 という改設計版が登場したいきさつからして、コストがかかりすぎた EPR の廉価版として提案されたものなのである。高額になりすぎた理由の一つである EPR の高度な安全性を一部犠牲にしてコストを下げている。ライナー付き二層の原子炉格納容器をライナー付き一層のものにダウングレードしたのだが、それにともない高稼働率を担保する運転時の一部機器の保安作業もできなくな

⁷ ウラン 235 の濃縮度がやや高く 5~20%程度となる低濃縮ウランのこと。

⁸ 現在の日本円換算で約 8000 億円⇒約 2 兆円超となった。

ったとある。電気出力は変わっていないようだが、運転停止時に実施する保安作業に時間がかかるとしたら、EPRで謳われていた高稼働率の維持は困難と考えられる。ともかくフランスが第3世代+の軽水炉の新設で主力とするEPR2は、現時点ではペーパープランであって実機は存在しない。

1機あたり1兆円をはるかに超える巨額な発電プラントは、国などからの手厚い公的支援がないと建設が難しい。さらにいうと、そこまでしても第3世代+の軽水炉は原子力発電に肯定的な組織の試算ですら最新鋭ガス火力とコストが同等程度であり、安価な自然エネルギーよりコスト高となる⁹。これまで世界各国の原子力発電技術がたどった歴史を顧みれば、フランスの野心的な試みは、辛うじて部分的に実現できる程度で、結局は想定どおりに進まないと考えるのが妥当である。原子力政策を旧態に回帰させた日本も、独自の第3世代+の軽水炉（三菱重工の革新軽水炉SRZ1200）を新設する方針だが、現時点でこれも実機は存在せず、建設に取り掛かったとしても、おそらくEPRやAP1000と同じ轍を踏む可能性が高い¹⁰。

その他、第3世代+の軽水炉を導入している国についてだが、まず中国は第3世代+の軽水炉（欧州や米国の同型炉が原型）を導入し技術を取得するとともに、第3世代の大型軽水炉も新設している。この結果、東アジアが世界で最も原子力発電所建設が活発な地域である。これらは近年の中国の経済発展に伴って増大した電力需要を賄うためのものであり、原子力以外の電源開発も活発である。むしろ、全電源の伸び率を比較すると、太陽光など自然エネルギーの電源の方が高率で伸びている¹¹。欧米や日本でも過去に原子力発電を含めた設備容量が激増した時期があった。中国もその経験を踏襲しているといえる。だが、ここへきて中国の経済発展の鈍化もあり、この先、今までどおりに進むかは不透明となった。早晚、過去に米国や欧州、日本が陥った事態と同様の、原子力産業の過剰設備問題に陥る可能性が高い¹²。そしてロシアの第3世代+の軽水炉（ロシア型

⁹ IEA、2020、*Projected Costs of Generating Electricity 2020*, p.48

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>

¹⁰ 国内原子力産業を延命させるため、というのがこの選択肢の第一目的なら、それは辛うじて達成されるかもしれないが、そのために日本社会が支払わねばならない負担は大きすぎる。

¹¹ 自然エネルギー財団 2024年9月27日付コラム記事

<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20240927.php>

¹² 過去、欧米は原子力発電プラント輸出に舵を切った、日本も失敗したが同様に輸出を計画した。

加圧水型軽水炉、VVER シリーズ) である。ロシアは自国内だけではなくこれらをもって盛んに輸出市場に進出している。彼らの原子力産業政策の背景の意図は明白である。そもそも現今の国際環境から判断して、ロシアのウクライナ進攻を批判する国々にとって、性能云々以前にロシア製原子炉を国家のエネルギー政策上の選択肢にできるかという問題がある。しかし、実はこのロシア問題の根本は深刻であって、発電用軽水炉単体でなく、軽水炉の発電システム全体を俯瞰するとそれが顕在化する。発電用軽水炉のチョークポイントとなる核燃料用濃縮ウラン供給問題が、かなり深刻な状況となっているのだ。2020 年段階で世界全体のウラン濃縮役務能力の約半分をロシア企業 (トペル・フュエル) が占めており、欧州系 (ウレンコ、オラノ) が約 4 割で後は中国 (中国核工業) となる¹³。日本を含め他の国々の占めるウラン濃縮役務能力は、誤差の範囲内に収まる程度でしかなく、それらの国が大型軽水炉用核燃料需要増に即応するのは困難である¹⁴。すなわち日本を含む自前でウラン濃縮役務の能力をもたずに第 3 世代+の軽水炉を選択肢とした国々は、今後それらを導入するにあたって、ロシアの影響を甘受するか、新たにウラン濃縮役務能力に大規模追加投資するかの選択を迫られることが必定となる。こうした点からも、この第 3 世代+の軽水炉を選択肢とした場合、前途は多難といわざるを得ないのである。

本節冒頭で示した三つの選択肢のうち、残る一つが、本稿の主題の一つ SMR の新設である。関係者の発表などからすると、これを政策的に推し進めようと計画している国々は、世界各地でかなりの数にのぼる。ただ、国、および企業 (製造側、利用者側双方) によって SMR に対する期待には濃淡があり、そもそも導入する SMR の炉型も違うので、一くくりには説明し難い。次節である程度分類したうえで説明を加えるが、ここでは SMR の導入を考えている国・企業を一覧してみたい。

まず日本だが、経産省 (資源エネルギー庁) のエネルギー基本計画改定時の参考資料をみると、第 3 世代+の大型軽水炉と併記する形式で、軽水炉系統 SMR をはじめとして複数の炉型について総花的に触れており (発電用核融合炉まで

¹³ 小林、2023 別記図表①参照

<https://www.spf.org/japan-us-alliance-study/article/document-detail005.html>

¹⁴ 米国は廃棄核兵器や研究炉の使用済核燃料の高濃縮ウランを希釈して核燃料を加工しているといわれるが持続性に難を抱える。

列記)、政策的な重点がどの炉型にあるのかは不明瞭な部分がある¹⁵。米国では、アマゾン、グーグルなどビッグテックが AI 用データセンターの電力需要に対応すべく、各々が別の炉型の SMR に投資している。元マイクロソフト社のビルゲイツ（敬称略、以下同）も、以前から個人的に SMR に投資している（マイクロソフト社自体は前述のように現行型軽水炉の再稼働に投資）。また米国連邦政府も SMR 用核燃料となる HALEU 製造施設建設に資金提供しており、国の政策的に SMR を支援していると考えられる。欧州ではフランス、イギリスなど原子力発電事業を継続してきた国々で、第 3 世代+の大型軽水炉と SMR を併用する新たな原子力利用政策を展開しようとしている。すでに原子力発電から撤退していたイタリアは、政策を転換して原子力発電に復帰するにあたって、SMR を主力として利用する方針を示している¹⁶。その他、東欧各国では SMR 各炉型を自国の需要に合わせて導入する意向をもつ。また、東アジアにおいて、中国は、SMR のカテゴリーに含まれる高温ガス炉と軽水炉を建設中とある。韓国も SMR を国内に 1 機建設するとともに、SMR 関連の製造産業部門に国家予算を投じるとある。なお、2020 年にロシアは砕氷船の船用原子炉をもとに開発した SMR を搭載する海上浮体式原子力発電所を世界に先駆けて実用化しており、輸出市場にも積極的に進出しているが、その普及には前述した国際環境的な問題を抱えている。

以上、概略をみても明らかなように、SMR は現今の世界的な原子力技術リバイバルの風潮の中で、各国から注目を浴びている新機軸といえる。ただ、これら一連の情勢は、あくまで原子力部門に利害関係がある視点から見たものだ、という事実には気をつけねばならない。原子力問題の歴史を振り返れば、過去、幾度となく機会を捉えて原子力関連部門に政策的なテコ入れが試みられた経験はあり、その都度、一般の目を惹く目新しいトピックが原子力関連セクターから提示された。今回は、それが SMR と、AI 用データセンターの電力需要増加予測であり、さらにそれらを組み合わせたもの（米国ビッグテックの一部が SMR に投資しているだけで、この二つが結びつく必然性はない）ということになるろう。しかし原子力問題の歴史を振り返れば分かることだが、過去に行われた政策的なテ

¹⁵ 資源エネルギー庁、2024 年 10 月 22 日付資料「次世代革新炉の現状と今後について」

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/008_01_00.pdf

¹⁶ 毎日新聞、2023 年 11 月 30 日付「「廃炉先進国」イタリアが原発回帰」

<https://mainichi.jp/articles/20231128/k00/00m/020/005000c>

コ入れが当初の思惑どおり進行した事例はない。直近では 2000 年代初頭に大々的に喧伝された「原子カルネッサンス」がそうした世界的な試みといえるが、2011 年に発生した福島原子力発電所事故の影響もあって、非常に不明瞭、竜頭蛇尾というしかない結末に終わってしまった。日本の場合、この風潮に乗って事業を拡大しようとした東芝などは、破綻の憂き目に遭うきっかけとなっている¹⁷。今回の原子力技術のリバイバル、特に新たな目玉となっている SMR、およびそれと関連して「語られる」AI 用データセンターの電力需要増加云々というトピックも、いったいどういう内実で、どういう課題が含まれているのか、ここは一度立ち止まって冷静に検討してみる必要がある。

3 SMR の炉型各種とその課題

これまで SMR をひとまとめに語ってきたが、Small Module Reactor すなわち小型モジュール原子炉とは、現在の大型軽水炉に比較して出力が「小型」で、規格品「モジュール」で構成された新型の「原子炉」というだけの区分で、実際の炉型は様々である。軽水炉系統、高温ガス炉系統、高速炉系統、あるいは熔融塩炉系統といった種類があり、それぞれ別の炉型であって各々に固有の特性がある。日本の場合、発表資料によって SMR の定義に異同があり、経産省（資源エネルギー庁）のエネルギー基本計画改定の参考資料では、次世代革新炉の枠に高温ガス炉や高速炉や小型軽水炉が含まれ、その小型軽水炉単独を SMR として分類している¹⁸。一方、他の資料をみると、諸外国が導入を検討している SMR の中には軽水炉系統以外の各炉型が含まれているなど、混乱がみられる。各国、各機関でも「小型」の定義に違いがあり、同一炉型の SMR によってもかなり出力にばらつきがある。社団法人海外電力調査会の定義では電気出力 30 万 kw までの小型革新炉を SMR とし、安全性など他の要件は第 3 世代+と同等以上となる¹⁹。本稿でも SMR の定義はこれを用いる。定義の曖昧さはひとまず措いて、ま

¹⁷ この時期、日本でも「原子力立国計画」なる原子力政策のテコ入れがあり、東芝はその時流に乗って破綻の原因であるウェスティングハウスを高額で買収した。

¹⁸ 前記、資源エネルギー庁資料

¹⁹ 海外電力調査会 2022 年 3 月 28 日付資料「世界の革新炉 開発動向」

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_04_00.pdf

た炉型自体の特性による個別の課題については後述するが、ここでSMRという小型原子炉全般に共通した特徴についていうと、現行の主力大型軽水炉（電気出力100万kw級）と比較して安全性が高いことが謳われている。異常事象発生時に過酷事故へ移行し、環境に破局的な影響を及ぼす可能性が低いとされる。しかしある意味、これは当然であって、大型軽水炉に比べて一基あたりに内包する核物質量が大幅に少なければ、万一の際に漏れ出す量も少なくて済むということである。また熱出力と炉心の体積の大きさは比例するので、大型（＝高出力）になればなるほど非常時の冷却能力保持が困難になる。それゆえ第3世代+の大型軽水炉であればコアキャッチャーや冗長性のある複数冷却系統といったコストのかかる安全設備を付加する必要があるが、SMR規模であれば冷却に余裕が生じるので²⁰、第3世代+以上の革新炉としての安全性を確保しても、それらが省略可能となるのである。

この小型炉固有の安全性と裏腹の関係で、核分裂連鎖反応を生じさせる中性子の利用効率が大型炉と比べると悪いため²¹、反射材を工夫する必要や核燃料の濃縮度を上げる必要がある。前述したように米国が連邦予算をSMR用の高純度低濃縮ウラン燃料製造へ投じているのはそのためである。核燃料の利用効率も落ちるので核物質を無駄にする割合も高く、（高速炉を除くと）電気出力あたりに排出する使用済核燃料の量も大きくなる。加えて、炉心体積（核燃料量＝出力）に対し、それ以外の原子炉主要構成部品の割合が、炉型にかかわらず大型軽水炉と比較して大きくなるため、もともと原子力発電の総コストに占める設備費の割合が高いことと合わせ、全体的にコスト高となる傾向がある点は否めない。結局、開発者側の楽観的な見積もりでも、大型軽水炉の発電量当たり建設単価とさほど変わらないため、利用者となるはずの電力会社からSMR開発に積極的な関与がないという指摘がある²²。後ほど説明するが、にもかかわらず一部の開発者（大手原子力関連機器製造企業）側がSMRに注力している理由は、第3世代+の大型軽水炉を扱っているだけでは、将来的に彼らの事業継続が困難になる可能性があるためである。

ともあれ、こうした小型炉の宿命である一基あたりがコスト高となる要因を、

²⁰ 軽水炉系統のSMRの場合、自然対流で崩壊熱を除去できるとされる。

²¹ 炉心部の核燃料の体積に対する表面積が大きいのでリーク率が高くなる。

²² 前記、海外電力調査会資料

大量生産により帳消しにしようとするのが **SMR** の基本的考え方となる。だが主要機器の共通化による量産効果でコストを低減させるのは特に目新しい話ではない。1970 年代、当時の西ドイツが、米国の独占していた発電用原子炉の国際市場に打って出た際、西ドイツ製加圧水型軽水炉を拡販する時の売り文句の一つが、これと同様の主要機器の共通化だった。しかし自動車やパソコンなど大量生産の耐久消費財と違って、それぞれの国、地域の電力需要に合わせて製品を細かくカスタマイズする必要があり、そもそも自動車やパソコンなどの市場と違って販路や需要が限られていて、期待した量産効果が出なかった。結局、一基あたりをより大型、大出力化して「規模」で経済効率を上げざるを得なかった。それが、これまでの発電用原子炉という「商品」の歴史である。現在提案されている小型原子炉にどれだけ需要があり、どのくらい量産できるかは不明だが、一家に一台といったレベルのパソコンや自動車のレベルには決して届くことはない。

あともう一点、この原子炉ビジネスの歴史に付け加える注釈があるが、それは現在米グーグル社の投資している炉型の **SMR** 以外は、すべて過去に現行軽水炉との競争に敗れて主流となれなかった炉型だということである。政府系の最近の資料でも **SMR** の課題として経済性の向上が繰り返し指摘されているのは、こうした過去からの明白な経緯が存在するからに他ならない。それでは以下、**SMR** の各炉型がもつ課題を一覧してみたい。

SMR でも開発が先行しているのは、やはり軽水炉系統である。ニュースケール社の **VOYGR**（超小型の加圧水型軽水炉）は、米国で最も早く米国原子力規制委員会（以下、**NRC**）から設計認証を得た **SMR** である。ただし、2023 年末に最も進んでいた計画が資金難のため打ち切られた²³。このタイプをはじめ軽水炉系統の **SMR** のカタログデータを眺め較べてみると、実験炉レベルの出力しかない超小型炉（前述の **VOYGR**、電気出力 5 万 kw、複数を組み合わせて出力を上げる）から最初期の実用炉に近い小型炉（**GE** 日立的 **BWRX-300**、単体で電気出力 30 万 kw）まであり、ある意味、先祖返りしている軽水炉ともいえる。だが何度も繰り返しているように、軽水炉の歴史では小型量産化によるコスト低減は困難であり、結局大型化する以外になかったことが分かっている。超小型の **VOYGR** も、当初予定していた電気出力 5 万 kw を 7.7 万 kw にあげてコスト低

²³ 東京新聞、2023 年 11 月 18 日付「「夢の小型原子炉」開発が頓挫」
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/290726>

減を図ったといわれているのだが、これなど SMR の本質、存在意義にかかわる話である。一方、原子力関連機器製造企業大手の一部が手掛けているような SMR は、原子力ベンチャーが手掛ける SMR とはその出自が違う。大手の関与があるような SMR は、AI 用データセンターの電力需要増加に対応云々の話が出るよりかなり前から計画が進行していた。これは本来、大型軽水炉では電力需要や電力供給網に対して過剰となるこれまで原子力発電所をもった経験がない国や地域などに向けて、原子力関連機器の販路拡大を目指して開発が進められていたものである²⁴。すなわち第 3 世代+の軽水炉販売のビジネスモデルだけでは生き残れないメーカーにとって、SMR の販路拡大は一種の延命策だった²⁵。現今の情報部門の電力需要大幅増加という情勢に合わせて、関係者は軽水炉系 SMR の必要性を喧伝しているが、それは深慮の結果というよりも、機会主義的に主張を取り換えているだけである。しかし、これはあくまで第 3 世代+の軽水炉を補完するものであって、主要メーカーの軽水炉系 SMR はそれだけで成立するビジネスではない。SMR（軽水炉系に限らず）は、基本的な性質として、初期投資額が低減できるものの逆に発電量当たりの費用が大きくなってしまふからである²⁶。実際、最近の研究でも、現行軽水炉（電気出力約 100 万 kw）と軽水炉系 SMR（例では電気出力約 8 万 kw、1 サイトにこれを複数設置して出力を調整する）を比較すると、出力あたりでみて約 2 倍の体積となる使用済核燃料を排出することが示されている²⁷。この点からして、SMR の効率の悪さは一目瞭然であろう。SMR を導入可能な国、地域は限定される。イタリアなどは SMR だけで原子力発電に復帰しようとしているが、先進工業国の大きな電力需要を賄う経済的ポテンシャルは、軽水炉系統の SMR には本来的に備わっていないのである。

日本国内開発のものは公式資料において革新炉の一種として類別され、必ずしも SMR と分類されていない場合もあるが、高温ガス炉は国外で導入が検討されている SMR の一炉型に含まれる。以前の論考で指摘したように、大型化するのが不利な性質があるため、高温ガス炉は SMR に活路を見出したという、そも

²⁴ OECD/NEA、「原子力 エネルギー・アウトック 2008」pp.371-2

²⁵ 「軽水炉の一世紀」（樫本、2022）で説明しているが、大出力、長寿命、高稼働率の第 3 世代+の軽水炉が普及する場合、現行軽水炉の代替需要が中心となるため、必然的に原子炉マーケットの縮減が生じ、原子力関連機器製造企業にとってはその先の事業継続が困難となる。

²⁶ OECD/NEA、「原子力 エネルギー・アウトック 2008」pp.371-2

²⁷ Lindsay M. Krall, et al. 2022, Fig. 1. 別記図表②参照（図では熱出力比で統一）

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2111833119>

その経緯がある²⁸。不利となる理由は、炉心の単位容積あたりの熱出力が軽水炉など他の炉型に比較して桁違いに低いので（当時のガス炉の場合、kw/l で2桁低い）²⁹、現行軽水炉に匹敵する熱出力をガス炉に与えようとする、原子炉構造物が巨大化して建造コストを圧迫するからである。その結果、ガス炉は軽水炉のコスト低減の決め手であった大型化路線を諦めざるを得なかった。他方、冷却材ガスの高温を利用する発電兼用の多目的炉としての用途が元々考えられており、1970年代初頭、製鉄や重化学プラントなどの熱源に大規模利用するアイデアが注目された。だが大型化路線放棄と同時期にこれも沙汰済みとなった。現在、考慮されているのは、温暖化対策用途の代替燃料である水素製造プラントの熱源としての利用法などである。原子力スタートアップ企業の X エナジー社が開発を進めている SMR は、Xe-100 という高温ガス炉（HALEU を使ったペブルベット炉で電気出力 8 万 kw）であるが、これら 4 基をクラスター化して熱電供給を目指しているとされる。この Xe-100 が、米ビックテックの一角、アマゾン社が出資している SMR である³⁰。中国は小型モジュラー化した高温ガス炉を利用する原子力発電プラント（ペブルベット炉を複数組み合わせる電気出力が大きな発電タービン一機を稼働）を開発中とあるが、これも多目的炉である³¹。なお、日本が開発経験のある高温ガス炉（高温工学試験研究炉 HTTR）は、現在、高温ガス炉の主流となっているペブルベット炉ではない。これら開発中の高温ガス炉共通の課題として、発電用途と熱源用途（水素製造）の双方のコストが、ともに他の原子力以外の手法と比較して競争力をもつ必要があり、普及するための条件は厳しい。米国の Xe-100 はまだ実機が稼働しておらず、コスト検証はこれからである。中国で開発中のガス炉は実用炉がコスト検証する段階に入っている。この中国だが、国内の高温ガス炉だけでなく、他の SMR や次世代大型炉などで、ロシアとともに旧西側諸国より開発が先行しているとされる。しかし一方で、中国（及びロシア）の原子力政策には不明確な点があり「国家的ニーズ主導で、経済性は今後」だという指摘もある³²。次の高速炉の項目でも指摘するが、軍事利用面の核政策など国家方針と密接にかかわる中国、ロシア両国の原子

²⁸ 以下、高温ガス炉一般に関しては「幻の動力革命」（樫本、2020）参照

²⁹ 竹村、1983、p.41

³⁰ 原子力産業新聞、2024年10月18日付「Amazon SMR プロジェクトを支援」
<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/25276.html>

³¹ 中国の HTR-PM600 は第 4 世代の原子炉のカテゴリーに含まれる。

³² 前記、海外電力調査会資料

力技術は、当面、日本を含む旧西側諸国のエネルギー政策と同列には扱い難い。ともあれ、どの国のものであれ、現段階の高温ガス炉を大規模に即応可能な電力供給手段として捉えるのは現実的ではない。

高温ガス炉同様、高速炉も日本の資料では革新炉として扱われており、SMRとは別枠とされているが、海外ではSMRの一炉型として開発が進むものがある。日本の場合、高速炉に言及があるのは保有する原子力技術の維持が目的と思われる、これまで手掛けていた高速増殖炉（FBR）の系譜に連なる。ただし常陽やもんじゅまでの国産FBRのループ型と違って、フランスのスーパーフェニックスなどと同じタンク型に転換したため、今までの技術資産を活用できる範囲は限定される³³。また、これまで責任体制が不明確だったオールジャパンの開発をやめて、三菱重工単独の開発に移行した。これは国産大型ロケット開発と同様の経緯である。なお、今般の政府資料中にある高速炉への言及では、プルトニウム増殖は前面に出ていない（六ヶ所再処理工場との接続には言及）。長寿命核種の消滅処理に重点があり、結果、使用済核燃料の減量に益するとされる³⁴。日本の場合、高速炉は未だペーパープランの段階だが、諸外国のSMRの中には高速炉を炉型に選定して開発が進んでいるものがある。ビルゲイツのテラパワー社が手がけるSMRのナトリウム（名称）は高速炉（電気出力34万kw）だが、電力負荷の変化に追従する特殊なギミックが付加されており、最大5時間、50万kwまで電気出力を上げられるとのことである³⁵。この高速炉は主に発電用途と思われるが、かなり特異な原子炉システムである。これまでの原子力技術開発の歴史を振り返れば、こうした複雑なシステムは当初の想定どおり開発が進まない例が多く、コストも予想外に膨らむ可能性が高い。そもそも高速炉固有の問題として、冷却材にナトリウムを使用する困難さがある。以前の論考中で高速増殖炉について説明した際と全く同様であり、これまでナトリウムを冷却材として利用した発電用原子炉は、ことごとくこの反応性の高い物質に絡むトラブルに見舞われている³⁶。現在開発中の高速炉系統SMRが、その困難さから逃れられる保証

³³ 炉心、1次系ナトリウムポンプ、中間熱交換器を1つのタンクに収納したものがタンク型、それぞれを独立させて配管で接続するのがループ型である、以前は耐震性の観点から日本はループ型を採用していた。

³⁴ 前記、資源エネルギー庁資料

³⁵ 原子力産業新聞、2024年6月13日付「米テラパワー 「Natrium」 起工式を挙げる」
<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/23469.html>

³⁶ 以下、高速増殖炉一般に関しては「幻の動力革命」（樫本、2020）参照

はない。

先ほども参照した最近の研究によれば³⁷、高速炉系統の **SMR** は、発熱量当たりの使用済核燃料 (=高レベル放射性廃棄物) 生成量は大型軽水炉と比較しても、体積比で同等かやや低い程度 (**SMR** としてはかなり良いが) で収まり、軽水炉系統の **SMR** と比較した場合は半分以下に抑えられるとされる。その反面、他の放射性廃棄物の発生量が極端に増えることが判明しており、特に冷却材のナトリウムなどが放射化するなどした結果、放射性廃棄物全体量を比較すると、体積でみて大型軽水炉と比較して約 30 倍、軽水炉系統 **SMR** と比較しても 15 倍もの大きさになってしまう。特別に厄介な長寿命核種をある程度減らせるとしても、それ以外の放射性廃棄物がこれほど増えると本末転倒である。日本で専ら長寿命核種の消滅処理用途のために高速炉開発を進めているのだとしたら、仮にナトリウムの反応性の問題を克服したとしても、大規模な実用化は困難といえる。

高速炉に関しては、もう一点、別枠の大きな問題がある。高温ガス炉の項目で少し触れたように、現在、中国とロシアは高速炉の開発でも旧西側先進国に先行しているが、その背景には軍事利用目的が存在している。温暖化対策やエネルギー問題の文脈で彼らの高速炉開発を捉えると全体を見誤ることになる。高速増殖炉 (構造的には高速炉とほぼ同じ) は兵器級のプルトニウム生産に適した炉型であり、核拡散問題と切り離せない。特に近年の中国は、経済発展と歩調を合わせるように核戦力整備でも米露を猛追しており、その一角に高速炉開発が存在する³⁸。ロシアもウクライナ戦争勃発後に、核の脅威を煽って西欧からの介入をけん制しているが、こうした威嚇の源泉に彼らの核・原子力産業が存在するのである。むしろ温暖化対策などの文脈に隠れて進行する、核保有国の垂直拡散への注意がおろそかになることを警戒せねばなるまい。

ここまで **SMR** の炉型ごとの特徴について説明しているが、この先に触れる炉型は、日本政府関係の資料中、特に国内の原子力政策にかかわる参考資料の中にはでてこない。というのも日本では開発の経験がほとんどない炉型であり、手持ちの原子力技術資産 (一部乗り換えているが) ではないからである。あらかじめこの事実を述べて、さらに説明を続ける。

世界的にみてもかなり少数の事例しかないが、開発が進む **SMR** に熔融塩炉系

³⁷ 前記、Lindsay M. Krall, et al. 2022、Fig. 1. 別記図表②参照 (図では熱出力比で統一)

³⁸ 前記、小林、2023

統の炉型が含まれる。この原子炉は実用発電炉ではあまり例のない均質炉である³⁹。燃料と冷却材が一体化していることが均質炉の特徴であり、熔融塩炉は核燃料物質が冷却材となる熔融塩と一体である。他の炉型に対するメリットは使用する核燃料によって変わってくるが、共通した特徴は、軽水炉や高速炉などでは過酷事故に直結する炉心熔融が原理的に発生しないという安全性である（もともと溶けているので）。最悪の事態でも自然空気冷却で除熱できるとされる。反面、熔融塩の扱いがナトリウムほどではないにしろ厄介であり、冷却材が身近で利用しやすい軽水炉が普及する中で、原子炉技術的には片隅へ追いやられた経緯がある。現在、熔融塩炉系統の **SMR** に取り組んでいるのはカナダのテレストリアル・エナジー社であり、燃料に軽水炉と同じ低濃縮ウランを用いる一体型熔融塩炉（**IMSR**、電気出力 19 万 kw）を開発中である。しかし、熔融塩炉はその性質上、発熱量あたりに生成される使用済核燃料の量が、他の炉型と比較してどうしても多くなる。体積比で大型軽水炉の約 5 倍、軽水炉系統の **SMR** に比べても 2 倍以上である。その他、放射化する原子炉構造物も増加するため、放射性廃棄物の絶対量そのものが大きな負担となる⁴⁰。軽水炉の使用済核燃料と同レベルの厄介さはないとされるが、想定されている熔融塩炉系統の **SMR** 利用時のメリットを台無しにしかねない。カナダの **IMSR** についても、この点について検証されていないもようである。

最後に、グーグル社が投資している **SMR** は、日本の資料では熔融塩炉系統に含まれているが、この炉型は普通の熔融塩炉とは基本的に違う特殊な設計である。ケイロス・パワー社の開発する **SMR** ヘルメス（熱出力 4 万 kw）は、高温ガス炉のペブルベッド燃料である 3 重被覆層・燃料粒子（**TRISO**）を炉心とし、冷却材としてフッ化塩を用いる新しい型の原子炉（フッ化物塩冷却高温炉（**FHR**））である。なおグーグル社の投資しているのは、このヘルメスの発展型で電気出力 14 万 kw となる予定の **SMR** である。おそらく冷却材の高温を利用した高効率発電が主な狙いと思われる⁴¹。しかし経験のないシステムなので、この先、実用段階に入った場合の信頼性には疑問が残る。このような形態の技術開発ではありがちなが、システムを実運用した場合、ペブルベッド炉と熔融塩炉双方の欠点が

³⁹ 小型の実験炉や研究炉では存在し、日本最初の原子炉 **JRR-1** は水性均質炉である。

⁴⁰ 前記、Lindsay M. Krall, et al. 2022、Fig. 1。別記図表②参照（図では熱出力比で統一）

⁴¹ 原子力産業新聞、2024 年 10 月 17 日付「Google と米ケイロス・パワー社が先進炉導入で提携」<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/25260.html>

足を引っ張ることになりかねない。

ここまで、SMR と総称される、世界的に注目されている小型革新モジュール炉の特質と課題を列挙してみた。軽水炉系統の SMR について述べた箇所でイタリアを例にとって少し説明したが、これは SMR 全般にもいえることで、送電網に接続して大規模に運用すると SMR は全体の効率の悪さが目立ってきてしまう。したがって、SMR 自体はある意味ニッチな技術であり、特別の条件や特殊な需要に対応する補助的な原子力発電と考えた方が良い。例えば自然エネルギーの利用しにくい極地などで使用する電源である。また、これら炉型ごとについて概観し、検討を加えてみたところ、どれも実現性は確実に保証されていない状態だと判明した。旧態に復帰した日本の原子力政策で、今回特別に取り上げられた炉型（軽水炉系統 SMR、高速炉、高温ガス炉）の場合も、これまでの説明から旧来の原子力関連資産の看板を一部付け替えただけで、ほとんど代わり映えない内容だったと理解できる。むしろ、各国の取り組みの後塵を拝している状況にある。では、積極的な方針に転換した日本の原子力政策の中の、もう一つの目新しいトピックである AI 用データセンターの電力需要増加についてはどうか⁴²。次節でこの項目の背景にある米ビッグテックの動向や、そこに含まれる種々の問題も踏まえながら検討を加えてみる。

4 AI 利用拡大予測が原子力に与える影響

現今の日本の原子力関連の方針、すなわち経済産業省などが中心となって改訂した原子力政策であるが、その問題の核心は、過去と同様、牽強付会ともいえる理由をつけて原子力を選択する正当性を謳っている点にある。原油枯渇問題、エネルギー自給問題への対応など、これまで原子力関連施策の正当性（様々な電力供給手段から原子力発電を選択する理由）を謳った根拠は薄弱なものだった。実際のところは、国内原子力関連資産および産業の維持、保護育成が主な目的であり、口実として声高に謳われた正当性に確たる論拠はなかった。日本の原子力発電が過去の問題の解決に果たした役割は、あったとしても副次的なものにと

⁴² 日本の原子力政策の中では、政府のデジタルトランスフォーメーション（DX）推進に関連して「将来的な DX の進展による電力需要増大の可能性」という形容の中に含まれる。

どまり、むしろ事故などで各地に生じた経済的負担も考慮に入れば、社会全体としての効用が存在したかどうか疑問だったといわざるを得ない。今回、原子力発電の必要性に関して、「将来的な DX の進展による電力需要増大」⁴³に対応するためという理由が新たに付け加わっているが、過去の事例と違って、この理由に将来の検証に耐えられる論理的堅牢さが備わっているのか。そもそも、もう一つ原子力技術リバイバルの理由としてあげられていた、ウクライナ戦争以降の国際情勢に対応するエネルギー安全保障という論理は、本稿の前半で指摘したように破綻している。前節において、経産省（資源エネルギー庁）のエネルギー基本計画改定の参考資料中に、軽水炉系の SMR と革新炉の高速炉や高温ガス炉が同列で併記されており、さらに同資料内では第 3 世代+の大型軽水炉と発電用核融合炉にまで言及されていて総花的で政策重点がどこか判明しないと指摘した。この理由も、例示した原子力技術がすべて国内に存在する資産であることから（逆に国内でほとんど経験がない熔融塩炉系列の SMR には言及がない）、その維持、保護が主要な目的であることを示唆していると考えれば合点がいく。たとえ業界からの要望を反映しているとしても、AI 用データセンターの電力需要云々の話は、政府の政策転換を促した大きな理由というより、口実の一つに過ぎないであろう。

日本の原子力政策を回顧すると、その折々で世界的に流布されている原子力利用の肯定的な言辞に大きく影響を受けていることが確認できる。特に米国の原子力産業の動向や、欧州の原子力主要国の動きには敏感である。一方、それらの国々から発せられた原子力に否定的な言辞に対する反応は非常に鈍い。この非対称性はともかくとして、現今の AI 用データセンターの電力需要増という話題も、世界的にみた場合は確かにそういった予測があり、その数値だけをみれば、日本の政策転換に根拠を与えるようにも思える。各種発表によると、最新の AI 用データセンターは、それが稼働する近隣の地方都市の電力供給を不安定化させる規模の電力を消費するとある⁴⁴。この電力需要に対応可能で（需要変動が大きいいためそれに追従できる設備容量が必要）、二酸化炭素を出さず、安定的かつ即応可能な既存技術の電源。これら様々な要求を満たすという点で、原子力発電

⁴³ この文言に AI 用データセンターと半導体工場の電力需要増大が示されている。

⁴⁴ IEA、2024 年 10 月 18 日付レポート

<https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector>

がその選択肢にあげられているのである。しかしこうした一連の話題も、昨今の AI 関連のブームに促されて生じたものといえる。その全てではないにしても、中には予想だけが先走ってしまっていて、検討がおろそかになっている箇所が多数あると考えるのが妥当である。これが過去に存在した様々な分野の科学ブームから得られる教訓であって⁴⁵、ここはいったん立ち止まり、複数の段階に腑分けして冷静に検討してみる必要がある。

最初に検討すべきは、AI 用データセンターの電力需要増という世界的な話題の中で、日本の立ち位置は、いまどのあたりにあるかの確認である。議論をひっくり返すような話であるが、世界の大規模データセンターの地域別シェア（データ容量別）から日本の現状をみると、実際のところ問題にならない程度というほかにない。世界の先頭を走り、ビッグテックが電力確保に躍起になる米国のデータセンター数が約 5,400 に対し、日本はわずか 200 余りしかなく、対米割合では 5%にも満たない。その米国が世界全体で 50%以上の割合を占め、欧州と中国がそれに続き、これらの国、地域で合わせて 80%を超えている⁴⁶。ここからみても、現時点で日本は AI 用データセンターの電力需要云々を議論する以前の段階にあるのは明らかである。まだ存在しない電力需要を心配する前に、解決を要する課題が山積している⁴⁷。だが、この問題にまつわる懸念は他にも多数あり、日本の現状を超えた部分についても考察を要するため、政府の主張する「将来的な DX の進展による電力需要増大」が仮にうまく発生したとして、検討を次の段階に進めよう。

AI 用データセンターの電力需要急増の予測というが、実際、同施設はどれほどの電力を要するのか。先ほど触れたレポートでは、今後予想される大規模データセンターの消費電力は 10 万 kw 程度になると予想している。既に実機が稼働する第 3 世代+の大型軽水炉に投資せず、米ビッグテックが SMR 開発ベンチャーに投資する理由は、この規模感の違いにある。もちろん、一つの発電所が日本円で数兆円規模（先の EPR）となる投資は彼らにとっても負担が大きすぎる点と、第 3 世代+の大型軽水炉では完成までに時間がかかりすぎる点の二つは投

⁴⁵ 五島、2014

⁴⁶ 総務省、『令和 6 年版 情報通信白書（データ集）』 別記図表③参照
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/datashu.html#f00277>

⁴⁷ 先に触れた IEA のレポートによると、データセンターは集中立地する傾向があり、立地地域の電力供給網に与える影響は大きいので、それを緩和する計画的配慮は必要である。

資を避ける大きな理由になるはずだが、それ以前の話として、AI 用データセンターの電力需要のあり方が 100 万 kw 超の巨大発電設備と適合しないからでもある⁴⁸。旧態に回帰した日本の原子力政策の文言にあるとおり、仮に日本国内で政府のいう DX が進展した場合でも、第 3 世代+の大型軽水炉はデータセンターの電力需要増に対して過剰な設備となる。したがって、これを理由として革新大型軽水炉国内新設を正当化するのは無理があるといえよう。一方、このデータセンターの電力需要増加予測に対し、米ビッグテックが SMR に期待をかけ資金を投じている現状に問題はないのか。この点についても検討を加えなければならない。日本もこの問題と無関係ではいられない。実際、国内で SMR に対する期待感が報道される背景には、ビッグテックによる巨額の資金提供も少なからぬ影響を与えているからである。

AI 用データセンターの電力需要というニッチな需要を満たすために、SMR 開発ベンチャーに投資する。果たしてこの判断に必然性はあるのか。大規模データセンターの電力確保を原子力発電で賄うことを目指すだけなら、マイクロソフト社のように現行軽水炉に追加投資し、再稼働して寿命延長させるだけでも十二分に事足りる（スリーマイル島 1 号機の電気出力は 80 万 kw）。むしろ、すでに稼働実績のある原子炉を整備して再稼働させる方が、規制をクリアするにもハードルが低い。なぜ、前節で縷々説明したような運用開始に不確実性がある SMR に、アマゾン社やグーグル社が敢えて出資しているのか。その理由の一つとして、彼らの今までの成功体験が、彼ら自身の判断に影響を与えている可能性がある。もちろん彼らの資金力で投資可能な原子力発電手段として SMR を選択した、という理由もあるはずだが、現行型軽水炉の再稼働への投資額と同レベルなので、わざわざ SMR を選択した理由はやはり彼らの判断であろう。特に両社が投資している炉型の SMR は、かなり冒険的な技術である。なお、マイクロソフト社のように現行型軽水炉の運用に直接資金を入れている訳ではないものの、アマゾン社は現行型軽水炉に隣接するデータセンターを買収しているとのことなので、SMR 一本やりとはいえないが、それはいったん横におくとして、アマゾン社やグーグル社の経験のどういう部分が SMR を選ばせているかである。両社ともプラットフォーム系企業であるが、彼らがいままで開発に携わっていた製品サービスでは、不具合が存在してもリリース後に修正パッチを当てるよ

⁴⁸ この点では、10 万 kw 台の電力需要増加に対応した増設が可能な SMR の特徴が適合する。

うなやり方が当然だった。よりスピード重視で、彼らの組織は運営されていた。むしろ他社に先駆けることで、勝者総取りの競争を勝ち抜いて彼らは生き残ってきたともいえる。こうした経験を SMR の実用化シーケンスに外挿して捉えていると考えれば、彼らの選択が理解できる⁴⁹。無論、実際に SMR 開発に携わっている原子力ベンチャーは別にあつて、彼らは投資しているだけであるが、開発者側も大金主の意向を無碍にはできない。

確かに複雑なシステムをもつ大型軽水炉より、簡素で小型の SMR を選択するほうが、審査などに要する時間が短縮可能と考えるのも無理な話ではない。彼らも、そこに勝機を見出して SMR を選択する決断を下した可能性はある。実際、公的にも米国連邦議会で SMR 開発促進に向けた法制定の動きなどはある⁵⁰。しかし楽観的過ぎる期待は禁物である。原子力規制機関の場合、可能な限り事故やトラブルの発生を未然に防止するという考え方で今までやってきているため、複数のリテイクは必ず生じる。特に米国原子力規制委員会（以下、NRC）は多数のスタッフを抱えており、独自の調査能力も有するとされる。不具合は見逃さないだろう⁵¹。しかも SMR は、炉型がまちまちで新しい概念も取り入れている。それらも理由に加わって、米国内における SMR の審査基準策定が手間取る気配がある。運用開始まで予想以上に時間がかかる可能性は無視できず、その場合、想定していた諸々の条件が大きく変化するが、原子力技術開発にはこうした不確かさがつきものである。ビッグテックがいままで経験していた経営のスピード感は、原子力関連産業には当てはまらない。大型軽水炉のような建設期間の遅延という問題を回避してコストの低減に繋がられる⁵²、そう考えてビッグテックが SMR に肩入れしていたのだとすると、彼らの思惑は大きく裏切られることになろう。結果、SMR 開発投資から早々に撤退する判断を下す可能性もあるが、彼らがもしそうしなかった場合はどうなるだろうか。

AI用データセンターの電力需要増加予測と原子力発電というトピックについて、ここまで複数の段階に腑分けして様々な角度から検討を加えてきた。検討を加えるにあたって、なるべく根拠を示し、状況証拠による推測は最小限に抑えて

⁴⁹ 米ビッグテックの中でもハードウェア寄りのマイクロソフト社が、手堅くスリーマイル島1号機再稼働に直接投資するのと対照的である。

⁵⁰ 前記、海外電力調査会資料

⁵¹ NRC に対しても色々問題は指摘できるが、1979年のスリーマイル島原子力発電所事故以降、今のところ米国内原子力発電所で大事故は生じさせていない。

⁵² EPR や AP1000 のコストオーバーランも建設期間の予想以上の遅延が効いている。

きたつもりである。しかしここからは、敢えて不確かな近い将来についての検討に進む。当然、状況証拠をもとに推測せざるを得ない。特に 2025 年 3 月現在の米国の政治状況は全く不安定であるため、予断を許さない部分がある。以下、かなり悲観的な方向に傾いた推測となっているが、筆者としては、むしろそれが杞憂で済めば幸運だと考えている。この点は寛恕願いたい。

報道によると、米国連邦政府機関からの人材流出が続いている。特に様々な政府規制部門に対する風当たりが強いようである。いずれかの時点で安定を回復するかもしれないが、万一米国政権の混乱がこの先も続けば、影響が及んで NRC の能力が低下することも十分に考えられる。新機軸を取り込んだ複数炉型という厄介さを抱えた、現在進行中の SMR の審査を、NRC が十全に実施できなくなる危険性は念頭に置く必要がある。これまで日本の規制機関の参照元、基準点となっていた米 NRC の権威が揺らぐのは、日本の原子力施設の安全性確保にとっても大きな問題となろう。

それ以上に気がかりなのは、米ビッグテックのトップの動向である。右派テックといわれる現政権に食い込んでいる一部テック企業トップ（過激な言動で物議をかもしイーロン・マスクらをはじめ複数名）の考え方は、各種の評論が指摘するように、合議的で慎重な意思決定システムを軽視する極端な発展志向、技術志向をもつ⁵³。右派テックとビッグテックは同一ではないが、現時点でビッグテックのトップは軒並み現トランプ政権にすり寄っていると報道されている（アマゾン社のジェフ・ベゾスしかり、グーグル社のスンダー・ピチャイしかりである）。彼らにとって自企業の利益確保が最優先であり、AI 部門でも勝者総取りを狙ってしのぎを削っている。様々な政府による規制は障害であり、この点は右派テックと同じ穴の貉といえる。実際にグーグルは、組織内にあった現在の生成 AI の問題点や危険性を指摘する声を軽視して（後述）、すでにサービスに利用している。こうした動向が巡り巡って原子力規制の分野にも及ぶ危険性が存在する。彼らが資金力にもものを言わせて、政権内で影響力を行使すれば、NRC の審査体制が危殆に陥りかねない。こうした懸念が筆者の取り越し苦労で済めばよいが、今の米国政治の混乱をみるに、全く安心できる状態ではない。ビッグテックの AI 用データセンターの電力需要に対する SMR の利用という話題は、

⁵³ 木澤（2024）などによれば、彼らの出自であるスタートアップ企業の CEO のような独裁的で素早い意思決定が良しとされる。

こうした範囲まで影響が及ぶ可能性が広がっているのである。

最後に、AI（生成 AI）利用の問題についても若干の検討を加える。この AI 利用拡大に伴って、今までにない大規模データセンターの電力需要が発生すると考えられるようになった。ゆえに、この問題が原子力をめぐる昨今の議論の根幹をなす要因の一つといっても過言ではない。しかし現段階の AI には、先ほど少し触れたようにビックテックの内部からも、問題点や危険性を指摘する声が上がっているのである。元はグーグル社に所属し、倫理的 AI グループを共同で率いていたティムニット・ゲブルへ取材した記事の伝える内容が、かなり深刻な事例だと思われるので、少し紙幅を割いて紹介する。なお彼女は、大規模言語モデル（生成 AI に含まれる）の危険性に関する報告作成に携わった後、その報告内容を自社内部のものと認めないグーグル社と対立し解雇された。ゲブルの報告の要点は以下の内容である。

大規模言語モデルのトレーニング用データに問題のある性向が含まれることが示された。その結果、大規模言語モデルには、ジェンダー、人種、民族、身体障碍の面で弱者の立場に対し、ステレオタイプな蔑視的関連性がエンコードされてしまっている。トレーニング用データの中では、白人至上主義、男性主義、年齢差別等々の視点が大きな部分を占めているのだが、問題はそうした視点が一般社会集団の間に実際に普及している割合を超過して、データセット中に混入してしまっているだけにはとどまらない。さらに加えて、それらのデータセットでモデルがトレーニングされる場合、バイアスや有害さがより強化されてしまっているのだ⁵⁴。

大規模言語モデルは、ウィキペディアやツイッター（現 X）、そしてラディット（アメリカの匿名掲示板）のようなサイトを含むデータ材料をそのまま使って訓練されているため、なおかつこのモデルの仕組み上（出力データを自己反芻する）、社会的偏見を強化するバイアスがかかる機械的な思考に陥る可能性があったのである。ちなみに、この記事中には「ウィキペディアの編集には成人女性および未成年女性を合わせて 15%以下しか参加しておらず、ラディットに書き込

⁵⁴ Lorena O'Neil、2023

<https://www.rollingstone.com/culture/culture-features/women-warnings-ai-danger-risk-before-chatgpt-1234804367/>

んでいるのは男性が 67%だった」との指摘がある。

我々は現時点でこうした生成 AI システムが組み込まれたサービスを、日々そうとは自覚せず利用している。無意識で利便性の高いサービスを使っている半面、これも無自覚に何らかの影響を受けているかもしれない。そしてそのために、今も多くの電力が消費されているのである。本稿で検討した内容、AI 用データセンターの電力需要増加予測と原子力発電リバイバル政策とは、それらを組み合わせて、この状況をさらに加速させようとしていることに他ならない。特定分野では極めて優秀な機能を発揮する差別主義者に、せっせと SMR で電力を供給してやる、それが現在企図されているデジタルトランスフォーメーションなるものの行き着く先である。利便性は向上するが偏見にまみれたデジタル化社会、そんなものが未来だというなら、実現するのは願い下げである。

5 おわりに

本稿では、旧態に復帰した日本の原子力政策の中でも観察される、世界的な原子力技術のリバイバル風潮について検討を加えた。特に、原子力積極利用に転換した日本の新しい政策の中で強調された 2 点、新機軸となる SMR、すなわち複数炉型の革新小型炉の問題と、この先、電力需要を大きく押し上げると考えられている AI 用データセンターの増設の問題である。本稿における検討の結果、以下の各点が明らかとなった。

まず今回の政策転換も、過去と同様、世界的な動向を後追いし、その内容を表面的に模倣しているだけであった。残念ながら、日本の特性や環境に適合するよう考え抜かれた原子力政策ではなかったといえる。世界の原子力界で過去の原子力技術が SMR のコンセプトを纏ってリバイバルしている動きに対し、日本もそれに合わせて、今回の政策転換において小型革新炉という名目で追従している。しかし、政策の背後に透ける本音は、これまでと変わらず日本の原子力産業や技術を維持することのみに主眼が置かれていた。政策で強調された項目は、世界的なリバイバル原子力技術の動きに寄せているものの、内容は全て以前失敗した計画の焼き直しである。しかし、もはやこうしたやり方は限界に来ている。世界の動向を後追いしつつ、牽強付会ともいえる論理を展開して、手持ちの原子

力産業や技術をすべて維持するような、総花的な原子力政策は持続不能である。GE 日立が開発する軽水炉系統の SMR 以外、要素技術提供を別として日本の小型革新炉で世界の各炉型 SMR と対等の開発段階にあるものは存在しない。また本稿中で言及したように米国、フランス、中国、ロシア、韓国は自国内ですでに第 3 世代+の大型軽水炉を稼働させている一方、日本では、三菱の革新軽水炉 SRZ1200 がまだ机上の段階にある。2000 年代に世界市場に打って出ていった頃と比較すると、日本の原子力産業の地位は明らかに地盤沈下している。工夫もなく今まで同様の政策を繰り返しても、各分野で格差は拡大するだけである。今後、撤退を視野に入れた抜本的な路線変更が再び必要だと考えられる。

もう一つの問題、AI 用データセンターの電力需要に関しても、日本国内の政策中で展開される論理は、AI 分野における日本の現状を理解していない誇大宣伝の類であった。一方、日本国外に目を移せば、米国で AI 用データセンターの電力需要増加という話題の背後で様々な問題が進行していることが判明した。特に SMR の安全審査にも影響が及ぶ政治的混乱の問題は深刻である。情報産業と原子力産業という正反対、水と油のような両者が、AI 用データセンターの電力需要を接点として交わってしまった。現時点の米ビッグテックがもつ政治的影響力は原子力産業のそれを上回っており、これまで積み重ねてきた公的規制機関による審査という原子力産業に備わった安全弁を無効化しかねない。しかし核分裂連鎖反応という物理現象は、情報分野で培ってきた開発の経験で口出しできるような生易しいものではなく、最終的に破局事故という「物理で殴られる」羽目になる可能性は少なからずある。このような悲観的な予想が現実にならないことを祈るが、2025 年 3 月現在の状況は、酷く頼りないものとなってしまった。

末尾となるが、今後の課題として、本稿では第 3 部の高速炉について述べた項目で、温暖化対策やエネルギー安全保障の陰に隠れて進む中ロの核の垂直拡散の問題を、ごく簡単に触れるだけにとどめてしまった。詳しく検討するのは持ち越しとなるが、今後とも常にこの問題に留意し、観察を続けていく必要を感じている。改めてこの点を指摘して、本稿を締めくくりたい。

文献一覧（各資料のリンクは 2025 年 3 月 15 日確認）

IEA (2020). “Projected Costs of Generating Electricity 2020.”

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>

Krall, M. Lindsay, Macfarlane, M. Allison, & Ewing, C. Rodney (2022). “Nuclear waste from small modular reactors.” *The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*: 119 (23) e2111833119

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2111833119>

O’Neil, Lorena (2023). “These Women Tried to Warn Us About AI.” *Rollingstone*

<https://www.rollingstone.com/culture/culture-features/women-warnings-ai-danger-risk-before-chatgpt-1234804367/>

Spencer, Thomas & Singh, Siddharth (2024). “What the data centre and AI boom could mean for the energy sector.” *Commentary* 18 October 2024 IEA

<https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector>

樫本喜一（2022）「軽水炉の一世紀—軽水炉システムからみた日本の原子力政策史」『現代生命哲学研究』第 11 号、97-122

樫本喜一（2020）「幻の動力革命—原子炉多目的利用と核燃料サイクルの歴史」『現代生命哲学研究』第 9 号、1-26

木澤佐登志（2024）『終わるまではすべてが永遠』青土社

経済協力開発機構/原子力機関（OECD/NEA）（2008）『原子力 エネルギー・アウトLOOK 2008』pdf 版、※現在、日本語版はリンク切れ

小林祐喜（2023）「中ロの原子力協力を警戒感：中国の核軍拡が加速する恐れ」
笹川平和財団 HP 掲載論考

<https://www.spf.org/japan-us-alliance-study/article/document-detail005.html>

五島綾子（2014）『〈科学ブーム〉の構造』みすず書房

資源エネルギー庁（2024）『次世代革新炉の現状と今後について』

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/008_01_00.pdf

社団法人海外電力調査会（2022）『世界の革新炉 開発動向』

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/025_04_00.pdf

総務省（2024）『令和6年版 情報通信白書（データ集）』

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/datashu.html#f00277>

竹村数男（1983）『原子力船工学』成山堂書店

ロマン・ジスラー（2024）自然エネルギー財団 HP、シリーズ「エネルギー基本計画の論点」（第9回）

<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20240927.php>

IEA（ウェブサイト）レポート記事※該当アドレスは脚注に記載

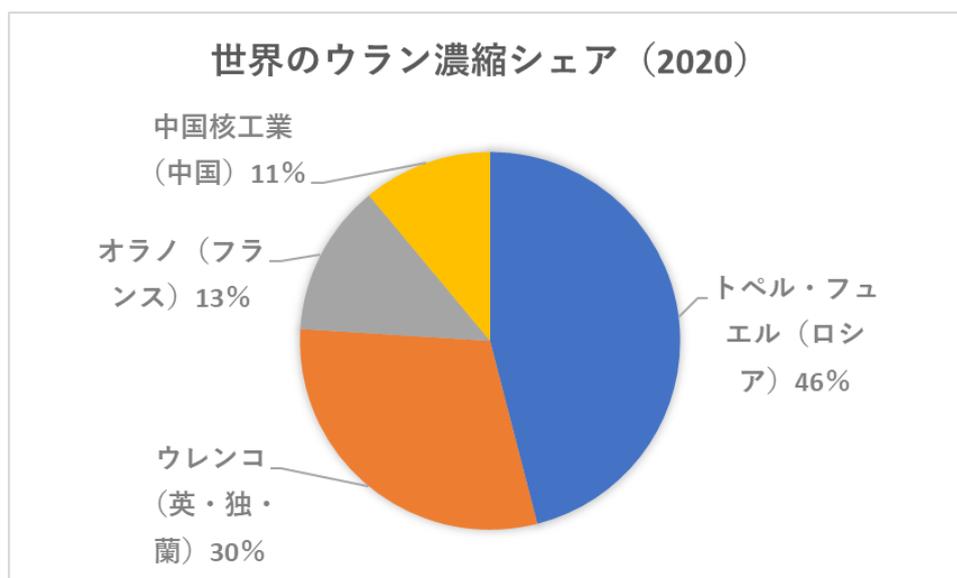
原子力産業新聞（デジタル版）※各記事アドレスは脚注に記載

東京新聞（デジタル版）※各記事アドレスは脚注に記載

日本経済新聞（デジタル版）※各記事アドレスは脚注に記載

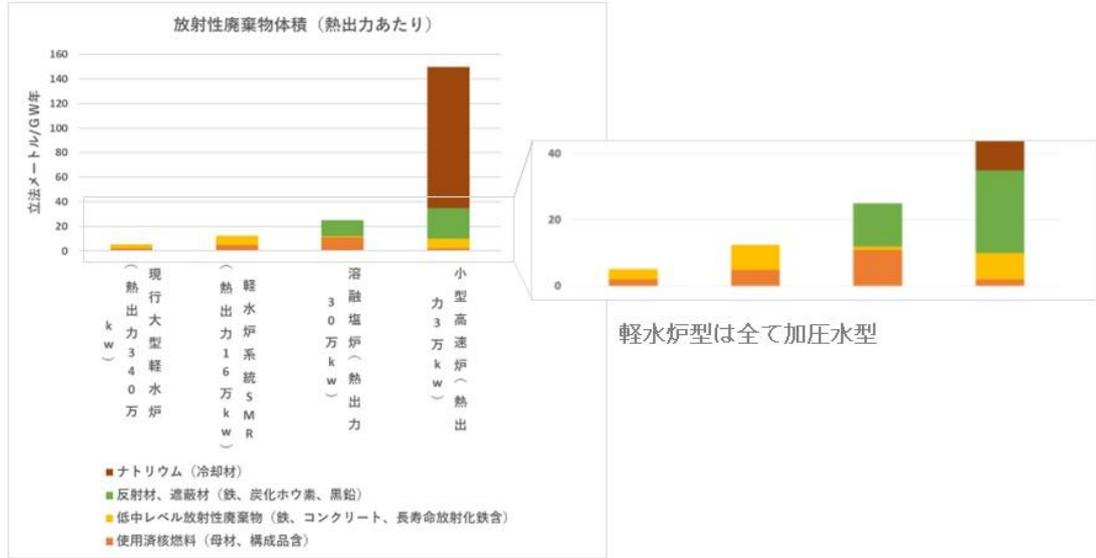
毎日新聞（デジタル版）※各記事アドレスは脚注に記載

別記図表① 小林祐喜（2023）「中ロの原子力協力に警戒感」より筆者作成



別記図表② Lindsay M. Krall, at al. “Nuclear waste from small modular reactors.”

より筆者作成



別記図表③ 『令和6年版 情報通信白書 (データ集)』より転載

