

米国における小型モジュール炉の導入計画（4つの事例）

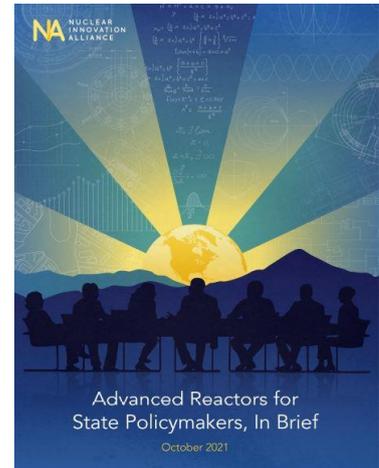
—原子カイノベーションアライアンス資料から—

2021年11月16日

(一社)日本原子力産業協会
情報・コミュニケーション部

現在、世界的に小型モジュール炉（SMR、マイクロ原子炉も含む）の開発が話題になっています。米国でもニュースケール・パワー社のSMRが原子力規制委員会（NRC）の標準設計承認（SDA）を受けたことやテネシー峡谷開発公社（TVA）がクリンチリバーサイトについて、SMR建設の事前サイト許可（ESP）をNRCから取得したこと、そのほかオクロ社が自身の開発したマイクロ原子炉「オーロラ」の建設・運転一括認可（COL）をNRCに申請したことなど、色々なニュースが飛び込んできます。

こうした動きの中で、米国の民間シンクタンク「原子カイノベーションアライアンス（Nuclear Innovation Alliance, NIA）」が2021年10月4日、主に地元（特に州）や利害関係者（潜在的投資者）向けに、SMR開発への理解を深め、関心を引き起こすための概要説明書（ブリーフ）を
発表しました（英文名は“[Advanced Reactors for State Policymakers, In Brief](#)”）。



@NIA

同ブリーフ（A4版16頁の冊子）は、SMRを先進型原子炉と表現し、州や連邦政策と先進型原子炉の関係、ケーススタディとして先進型原子炉導入計画の4つの事例、先進型原子炉の安全性、経済性、廃棄物、柔軟性と給電可能性、開発のタイミングなどの話題性のあるテーマについて、説明しています。

4つの導入計画の事例は、次のとおりです。

- ・ワイオミング州の地域社会に先進型原子炉で電力供給
- ・ユタ州公営電力共同事業体（UAMPS）の計画
- ・ワシントン州における最初のイニシアチブ（エナジー・ノースウエスト社の計画）
- ・プエルトリコの原子力発電計画

これらは、あくまでも米国における開発状況の一端ですが、SMRと地元（自治体、州、電力会社など）との関係（気候変動対策や電力供給だけでなく、雇用や地元経済・生活、受容状況等）についても簡潔に触れられており、米国でのSMR導入状況について理解を深めるのに役立つと思われますので、紹介されている4つの導入計画のほぼ全文（仮訳、一部加筆しています）を以下に紹介します。

原子カイノベーションアライアンス（NIA）は、気候変動を緩和する目的で世界的な解決策として先進型の原子力発電を可能にするために取り組む非営利のシンクタンクです。政策分析、研究、教育を通じて、次の原子力時代への触媒作用の役割を果たしており、慈善助成金と気候に関心を持つ個人や組織からの寄付が主な資金源となっています。

1. ワイオミング州の地域社会に先進型原子炉で電力供給

米国では原子力発電は2020年、主に石炭火力の退役により、初めて石炭よりも多くの電力を発電した。石炭火力発電の減少は、温室効果ガスの排出を削減する一方で、エネルギー転換期に地域経済を大きく損なう可能性があり、地域社会を置き去りにするリスクがある。今後15年間で合計550万kWの4つの石炭火力プラントが廃止される予定のワイオミング州のような州では、地域社会は現在、経済的苦境に直面している。先進型原子力エネルギーは、退役した石炭火力発電所の跡地を原子力に再利用することで、地元の雇用を維持し、地域の経済成長を促進するなど、この問題を解決するのに役立てることができる。



「ナトリウム発電・エネルギー貯蔵システム」の完成予想図©テラパワー社

2021年6月、ワイオミング州はまさにこれを行うプロジェクトを提案することで、原子力イノベーションの国家リーダーとして浮上した。

テラパワー社（マイクロソフト創業者のビル・ゲイツ氏が設立した原子力技術革新企業）、ワイオミング州のマーク・ゴードン知事、電力会社のパシフィックコープ社（投資家のウォーレン・バフェット氏が所有）は、ワイオミング州内の退役する石炭火力サイトで、熔融塩エネルギー貯蔵システムを備えたナトリウム冷却高速炉であるナトリウム（Natrium）プロジェクトを実証すると発表した。この高速炉実証プラントは34.5万kW出力で、エネルギー貯蔵システムとの組み合わせにより最大出力は50万kWまで可能になる。

このプロジェクトは、官民パートナーシップによる連邦政府の資金援助を受けており、先進型原子力エネルギーを実証する初めての機会である。また、既存の石炭プラントインフラを原子力システムで再利用することがどの程度実現可能であるかを分析する機会としても役立つ。分析の結果、新しい原子力プラントに必要な機能の多くは、石炭プラントのシステムと一致する可能性があることが示されている。これには、電力生産用の化石発電タービン、近くの家庭に電力を分配するための送電線、さらには発電所を運営するのに必要な役割と仕事が含まれる。

ワイオミング州がテラパワー社の実証プロジェクトのホスト州となる意気込みは、先進型原子力エネルギーに対する地域社会の関心も反映している。受け入れ候補の地域社会は、プロジェクトを歓迎している。原子力発電所は、以前の石炭プラントの労働者を維持し、新しい雇用をもたらし、地域経済を刺激することによって、プラスの影響を与えるだろう。

プロジェクトが建設される可能性のある地域のグレンロックのブルース・ルーメル市長は、「ただ石炭火力を閉鎖して休眠・廃墟状態にさせるのではなく、経済を維持するために何かをしようとしているのを見て嬉しい」と語った。コミュニティ・カレッジ（地域住民のための教育機会提供の場として設立された高等教育機関）も継続される。カーター・キングとロックスプリングスのティム・カウモ市長は、地元のコミュニティ・カレッジは、地元の人々のために先進型原子力発電への移行を容易にするために、石炭労働者を再訓練できると述べた。

気候変動を緩和するためにはカーボンフリーの未来への移行が必要であるが、地域社会を犠牲にして実施すべきではない。ワイオミング州のNatrium プロジェクトは、エネルギーイノベーションが移行中にも地域社会をサポートできることを示している。

2. ユタ州公営電力共同事業体 (UAMPS) の計画

ユタ州公営電力共同事業体 (UAMPS) は、ニュースケール・パワー社が設計した小型モジュール炉を使用して、無炭素電力プロジェクト (CFPP) の建設を計画している。このプロジェクトは、2020 年代末までの完成を予定しており、今後の先進型原子炉配備の先駆けとして機能し、先進型原子力エネルギーを通じた大幅な脱炭素化に対する経済的実行可能性と公衆の要求に関する重要な洞察を与えてくれる。

UAMPS は、米国西部の地域社会が所有する電力システムの公共電力コンソーシアムである。UAMPS メンバーの電力会社は、ユタ州、カリフォルニア州、アイダホ州、ネバダ州、ニューメキシコ州、ワイオミング州にある。これらの電力会社の多くは、高経年化した石炭火力に大きく依存しており、将来のエネルギーのニーズを満たすためにクリーンエネルギーを開発または購入するオプションを検討している。

UAMPS は 2015 年、高経年化した化石燃料発電所を段階的に廃止し、原子力発電にリプレースすることにより、電力ポートフォリオの二酸化炭素排出量を削減するイニシアチブである CFPP を導入した。CFPP は、アイダホ州アイダホフォールズ近くのアイダホ国立研究所 (INL) のサイトに小型モジュール炉 (SMR) を建設するというもので、ニュースケール社の SMR 設計が選定された。



ニュースケール・パワー社のSMR発電所完成予想図
©ニュースケール・パワー社

これは、7.7 万 kW の軽水炉型のモジュール

で、4 パック、6 パック、8 パック、または 12 パックのモジュール構成が考えられる。ニュースケール社は、オレゴン州ポートランドに本社があり、2007 年設立の原子力ベンチャー企業で、フルア社（大手の設計・調達・建設 (EPC) 企業）が主要株主である。

2015 年に CFPP が導入された直後、米国エネルギー省 (DOE) は、UAMPS との一括許認可申請の準備のために、ニュースケール社に 1,660 万ドルのコスト分担資金を供与（資金援助）した。DOE は 2016 年、サイト使用許可を発給し、UAMPS が INL 内で好適地を特定して選択することを許可した。最終サイトは、慎重な調査や環境レビュー、コスト分析の後、2019 年に選択された。DOE は 2020 年 10 月、CFPP の建設資金として UAMPS に 13 億 5,500 万ドルの複数年コスト分担補助金を承認した。

CFPP は地域社会の協力を支援するように構成されており、UAMPS 参加メンバーは予算の修正やコストの更新があるときはいつでも、プロジェクトに残留あるいは退会のいずれかに投票することができる。2015 年以来これらの投票の数回後、プロジェクトには、この原子炉コンセプトの初号機の立地・建設のコストを分散し、リスクを軽減するのに十分な会員が引き続き存在している。これは、

多くの公共電力事業者が、先進型原子力エネルギーを発電ミックスに組み込むことの経済的・環境的価値を認識していることを示している。

CFPP は 2020 年代には、地域に大きな経済的利益をもたらすと予想される。このプロジェクトは建設期間中、アイダホフォールズ地域に推定 1,600 人の雇用を創出する。発電所はまた、間接的かつ誘発的な経済効果を通じて、その推定されるライフタイム期間にわたって地域に追加の 667 人の雇用をもたらすだろう。この地域の労働所得は 4,800 万ドル近く増加し、地域の経済生産高は 8,100 万ドル増加し、地方税収入と州税収入は 300 万ドル近く増加すると推定される。CFPP の経済的ポテンシャルは、アイダホ州の州政策立案者からの圧倒的な支持につながっている。アイダホ州議会は 2018 年、州内の先進型原子炉の配備に対する税制上の優遇措置を提供する法案を可決し、このプロジェクトやその他の先進型原子炉プロジェクトに対する州のコミットメントをさらに示している。

3. ワシントン州における最初のイニシアチブ（エナジー・ノースウエスト社の計画）

温室効果ガスの排出削減に対するワシントン州の公約は、ジェイ・インスリー知事が 2019 年にクリーンエネルギー変革法に署名した際に固まった。この法律は、小売顧客にサービスを提供するすべての電気事業者に適用され、再生可能エネルギーまたは CO₂ を排出しない電源を使用して 2045 年までに 100% クリーンな電力供給に到達するための具体的なマイルストーンを設定している。従って、このルールのもとで、電気事業者には次の 2 つの重要な問題が突き付けられた。

- ① 太平洋北西部で大幅な脱炭素化を達成するための最適な電力ポートフォリオは何か？
- ② 先進型原子力エネルギーのような様々な排出ゼロの発電技術の利用可能性は、大幅な脱炭素化の達成コストにどのような影響を与えるのか？

コンサルタント企業「エネルギー+環境エコノミクス (E3)」が実施した 2020 年の調査の結果、電力事業者は、確固とした発電設備が利用可能ならば、電力分野において管理可能なコストで非常に大幅な排出削減を達成できることが結論付けられた。調査では、ニュースケール・パワー社と国立再生可能エネルギー研究所のデータを用いて、先進原子炉技術の使用は、競争力のある排出ゼロのエネルギー・ポートフォリオの達成に役立つことが分かった。

北西部の公益事業者に原価で電力を供給しているエナジー・ノースウエスト社は、将来のエネルギーのニーズを満たすために、先進型原子炉プロジェクトを開発するための選択肢を模索し始めた。エナジー・ノースウエスト社は、これまでの原子力発電の経験（コロンビア原子力発電所を 1984 年以来運転中）に照らして、次世代原子力発電に着手する絶好の立場にある。

2020 年後半、米国エネルギー省 (DOE) は、先進型原子炉実証計画 (ARDP) の下で X-エナジー社とテラパワー社に支援金を提供した。ARDP は、7 年以内に 2 つの先進型炉を建設・運転することを計画しており、DOE は、X-エナジー社とテラパワー社に対して、それらの先進型炉設計を実証するために 7 年間で合計 32 億ドルを投資する。

テラパワー社の Sodium 技術（熔融塩エネルギー貯蔵システムを備えたナトリウム冷却高速炉）は、原子力の負荷追従能力を実証する。X-エナジー社の小型ペブルベッド式高温ガス冷却炉 (Xe-100) は、Triso（3 重被覆層・燃料粒子）燃料技術などを実証する。Xe-100 は電気出力 8 万 kW で、電気出力とプロセス熱の生産量を柔軟に変更することが可能である。ARDP 契約に基づき、エナジー・ノ

ースウエスト社は両方のプロジェクトの電力パートナーとして機能し、両方の設計の許認可支援も行う。エナジー・ノースウエスト社は、テラパワー・GE 日立チームにも運転経験を提供する。

2021年4月、X-エナジー社、グラント郡公益事業地区(グラント PUD、公営電気事業者)、エネルギー・ノースウエスト社は、ワシントン州のコロンビア原子力発電所サイトへの4基のXe-100原子炉設置計画に関して評価、開発、建設し、グラント PUD とエナジー・ノースウエスト社のポートフォリオに 32 万 kW の排出ゼロの発電所を追加するパートナーシップを発表した。この発表は、米国で建設される最初の近代的な商業先進型炉設計の一例を示し、ダン・ニューハウス下院議員(共和党、ワシントン州)によって「ゲームチェンジャー」と呼ばれている。この三者のエネルギーパートナーシップは、先進型炉技術の開発において ARDP のようなコスト分担の官民パートナーシップ・プログラムの成功を示している。

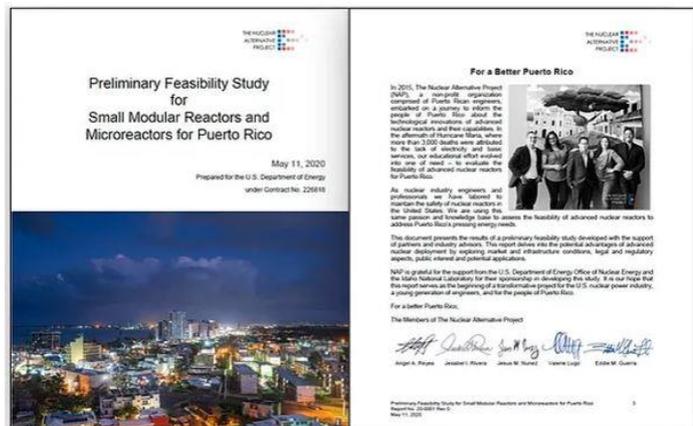


3社による覚書の調印©エナジー・ノースウエスト社

4. プエルトリコの原子力発電計画

2017年9月、ハリケーン・イルマとハリケーン・マリアは2週間以内の間にプエルトリコ島を襲い、島全体で100%の停電を含む広範囲にわたる壊滅的な被害をもたらした。2つのハリケーンのため、住民の飲料水は無くなり、何千人もの人々が死亡し、過去100年以上で最悪の災害となった。この災害により、プエルトリコの一部の住民は、何ヶ月も、あるいは何年も、清潔な飲料水や電力にアクセスできず、ハリケーンの影響は現在も続いている。その大きさと位置関係から、プエルトリコは、より暖かい海水温と高水位の海面のためにハリケーンが強さと影響が大きくなると予想され、特に気候変動の影響を今後も受け続けやすい。

エネルギー輸入への大幅依存と高経年化したプエルトリコの電力網の脆弱性を認識して、ハリケーンの後、プエルトリコに原子力エネルギーを導入するために、プエルトリコ人の専門家グループが協力して「原子力代替プロジェクト(NAP)」を設立した。NAPは2020年5月、パシフィックノースウエスト国立研究所(PNNL)やピルズベリー法律事務所などの原子力エネルギー分野の指導的組織と協力して、



©NAP

「プエルトリコにおける小型モジュール炉とマイクロ原子炉の予備的実現可能性調査」を実施した。

調査の結果、先進型原子力技術を追求すべき多くの社会的・経済的動機が見い出された。プエルトリコで発電される電力の約98%は化石燃料の輸入(主に石油)によるもので、島の電力運用の信頼

性は低く、停電率は米国の12倍である。化石燃料輸入への大幅依存と低い電力供給の信頼性の両方により、特に世界の石油価格が急騰した場合、プエルトリコ経済は極度のストレス下に陥る。自然災害の余波により、プエルトリコの住民は極端な気象条件下でも回復力のある強靱な電源を求めている。

調査によると、プエルトリコの電力供給の運営機関であるプエルトリコ電力庁(PREPA)は、PREPAの総電力ポートフォリオの74%にあたる合計360万kWが今後10年間で廃止すると予想している。先進型原子炉は、信頼性の高い電力網を確保するため、新しい設備容量を迅速に設置することによって、PREPAの高経年化した発電所の必要な退役を相殺することができる。この調査ではまた、マイクロ原子炉またはSMRからの電力は、輸入ディーゼルや天然ガス火力と比較してコスト的に競争力のある可能性があることが判明した。それゆえ、プエルトリコは、原子力を採用することによって経済的に利益を得て、エネルギー安全保障を得ることができる。

プエルトリコに原子力エネルギーを導入することは、島の住民に利益をもたらすだけでなく、軍事基地を含め米国の他の州や米領(テリトリー)のモデルとしても役立つ可能性がある。米国にはプエルトリコ以外にも、バージン諸島、北マリアナ諸島、グアム、サモアの4つの米領があり、いずれも石油製品を消費して比較的高いコストで電力を生産している。これらの遠隔地のコミュニティは、先進型原子力技術に投資することで、化石燃料による汚染と温室効果ガスの排出量を削減しながら、高い石油製品への依存を軽減することができる。

米空軍は2021年10月、アラスカ州内のイールソン基地にマイクロ原子炉を設置し、2027年までに稼働させると発表した。商業的に所有・運転され、NRCの許認可を受ける予定である。米国防総省(DOD)は、これとは別のプロジェクト(Project Pele)として、米軍基地向けにマイクロ原子炉の検討を続けている。マイクロ原子炉は、軍の活動の維持にとって不可欠なレジリエンスと信頼性を確保する重要な技術として注目されている。2021年3月には、可搬型マイクロ原子炉の設計開発の候補企業として、BWXTアドバンスド・テクノロジーズ社とX-エナジー社の2社に絞られた。来年初めの最終設計審査などを経て、マイクロ原子炉のプロトタイプを建設する企業が選ばれる予定である。

以上