【第5回】CNIC連続ウェブ講座2021
新型炉問題

コメント：

ケイト・ストロネル（原子力資料情報室スタッフ)

認定特定非営利活動法人
原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center

小型モジュール炉（SMR）：海外の専門家の分析

NuScale小型モジュール炉の安全性

憂慮する科学者同盟（UCS）原子力安全代表
エドウィン・ライマン

世界中の原子力推進派は、出力が従来の原子炉の約3分の1以下、場合によってはそれよりもはるかに小さい小型モジュール炉（SMR）- が原子力の安全問題を解決できるという考えを強く進めている。小型原子炉は、従来の大型原子炉よりも安全性が高く、事故が起きても冷却して溶融を防ぐことがより容易であると主張している。また、仮にSMRがメルトダウンしたとしても、炉心の放射性物質の量が少ないため、環境への影響は大型炉よりもはるかに小さいとしている。SMRは、2011年3月の福島第一原発事故で強まった「原子炉は危険だ」という多くの一般市民の認識を変えたいと考えている。

技術的な面では、こうした主張には一定の評価できる点がある。福島第一原発は、モーター駆動の高圧ポンプのような能動的な手段で冷却水を供給するシステムが機能を果たせなくなると、従来の大型発電所が悲惨な結果になることを鮮明に示した。それに対し、理屈のうえでは、自然対流などの受動的なメカニズムだけで、事故時に原子炉を十分に冷却できるように設計することは可能である。理論的には、冷却ポンプに全電源喪失するような事故が起きても、福島第一原発のメルトダウンを止めるために作業員が消防ホースなどを使って必死に水を注入しなくてもよいことになる。ウエスチングハウス社のAP1000のような大型の原子炉も受動的な安全システムを設計することができるが、発熱量の少ない小型の原子炉では、受動的なシステムが機能する可能性がはるかに高いと言える。

しかし、受動的なシステムの有効性には限界がある。米国原子力規制委員会（NRC）が2006年に行ったAP1000のレビューでは、「受動的ステムは従来の能動的システムに比べて概念的にシンプルであるかもしれないが、受動的安全システムの機能に大切な“力のバランス”を崩すような、システムの相互作用の影響を受けやすい可能性がある」と述べている。言い換えれば、受動的システムは、その設計基準から外れた状況が発生した場合、単純に機能しない可能性がある。これはまさに福島第一原発で起きたことである。

NuScale社は、原子力の安全性における「パラダイムシフト」を達成したという考えに基づいて広報活動を行っているSMRの代表的な例である。同社のウェブサイトでは、事故が発生した場合、NuScale社の原子炉は「運転員が何もしなくても、安全に停止し、無期限に自己冷却する」と謳っている。しかし、ここ2、3年の間に原子炉設計の根本的な欠陥が公表され、この謳い文句は極めて誤解を招きやすいものであることが明らかになっている。

NuScaleのモジュールは、高浜原発などと基本的に同じだが、小型の加圧水型原子炉（PWR）である。

各モジュールは、同社が「格納容器」と呼ぶものの中に収められた１つの原子炉容器から成っているが、従来のPWRとは異なり、格納容器は原子炉容器よりもわずかに大きいだけである。また、大型PWRとは異なり、蒸気発生器は螺旋状になっており、原子炉容器の中に収納されている。最大12個のモジュールをプールのような構造物の水中に設置し、使用済み燃料プールを併設する。各モジュールは2年ごとに、他のモジュールが稼働しているときに、同じプール内にある燃料補給所に移動して燃料を補給

小型モジュール式原子炉が気候危機対策にならない理由

M・V・ラマナ、ブリティシュコロンビア大学（カナダ）教授
アージュン・マキジャニ、エネルギーと環境研究所（米国）代表

小型モジュール炉（SMR）は、発電量が30万キロワット以下になるように設計されており、100～160万キロワットの範囲である一般的な原子炉より数倍少ない発電量になる。標準化された個々の炉は小さくても、1つの発電所に複数の炉を設置する計画が一般的である。

原子力業界と米国エネルギー省(DOE)は、気候変動の最も深刻な影響を回避するために、SMRの開発を推進している。だがSMRは実用的で現実的な技術なのだろうか。

答えを出すには、時間とコストという2つの要素を考慮する必要がある。これらの要素からSMRを2つの大きなカテゴリーに分けることができる。

1. 一般的な技術と設計原理に基づいた軽水炉で、理論的には複雑さや困難さを伴わずに認証を取得できる。
2. 粒子状の燃料が砂のように炉心を移動するものや、溶融物が炉心を流れるもの、減速材に黒鉛を使うもの、冷却材にヘリウムや液体ナトリウム、溶融塩を使うもの、さまざまな種類の燃料を使用するものなど。

いずれにしても、SMRの見通しは悪いと言わざるを得ない。その理由は次の通りだ。

経済性とスケール

一般の原子炉が大きいのは、規模の経済性によるものである。SMRの3倍の出力を出す原子炉には、3倍の鋼材や3倍の労働者は必要ない。1950年代から1960年代に米国で建設された多くの小型原子炉が早期に停止したのは、小型化による経済的ペナルティが理由の1つであった。

SMRの推進者は、モジュール化と工場生産によって、小型原子炉の経済性の低さを補うことができると主張している。原子炉の部品を大量に生産し、組み立てラインで製造すれば、コストを削減できる。さらに、1キロワットあたりの製造コストが同等になれば、小型原子炉1基あたりのコストが大幅に下がり、買い手が必要とする全体の資本コストが減ることになると主張している。しかし、このような大量生産への道のりは険しい。製造業者が生産効率の向上と低コスト化をどれだけ早く習得できるかという楽観的な仮定を置いたとしても、SMRの1キロワットあたりの価格を大型原子炉と同等にするためには、大型原子炉に比べて高価格のSMRを何千台も製造しなければならない。

歴史的に見ても、1キロワットあたりの資本コストはまったく下がらないかもしれない。原子力発電所の数が最も多いアメリカとフランスでは、原子炉全体での学習効果 はマイナスであり、新しい原子炉は全体的に初期の原子炉よりも高くなっている。また、SMRはサイズが小さいため、1基あたりのコストは低くなるが、通常は1つのサイトに複数の原子炉を設置するため、購入者にとってはプロジェクトの総コストが再び上昇することになる。

大量生産の側面

大量生産された原子炉にエラーが発生して安全性に問題が生じた場合、ボーイング社のジェット旅客機「737 Max」や「787 Dreamliner」のように、すべての原子炉を回収しなければならない可能性がある。しかし、放射能を帯びた原子炉をどうやって回収するのか。同一工場製で同一設計の原子炉に頼る電力システムの電力供給はどうなるのか。

このような疑問は、原子力産業やエネルギー政策立案者によって取り上げられたことはなく、むしろ提起されたことすらない。しかし、スマートフォンからジェット機に至るまで、大量生産の現場では、リコールは予測可能で一貫したことだ。

この問題は単に理論的なものではない。PWR（加圧水型炉）は、米原子力規制委員会から条件付き認証をうけたNuScale社のSMR含め、軽水炉SMRで一般的に採用されている設計だが、PWRの経済的

初出はEnvironmental Working Group (EWG)に掲載された“Why Small Modular Nuclear Reactors Won't Help Counter the Climate Crisis”（https://www.ewg.org/news-insights/news/why-small-modular-nuclear-reactors-wont-help-counter-climate-crisis）。
許可を得て翻訳した。

「原子力資料情報室通信」
No. 565 (2021/7/1)
MVラマナ＆アージュン・マキジャニ
No. 566 (2021/8/1)
エドウィン・ライマン

認定特定非営利活動法人
原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center

SMR：推進派の主張

- Green

温暖化対策

- Cheap

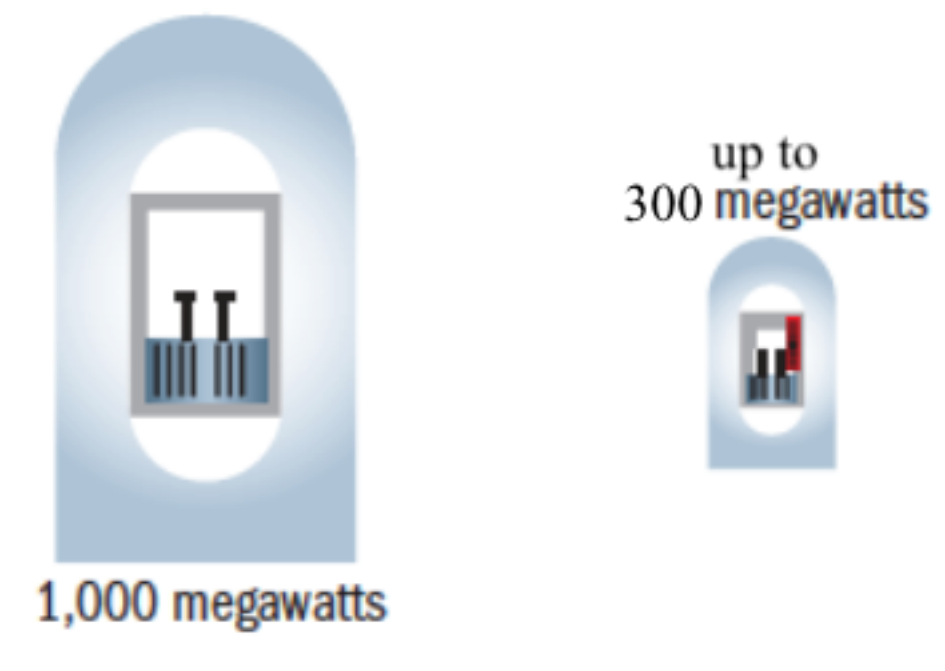
モジュール化、工場で大量生産

- Safe

小さいからコントロールしやすい

新たな安全装置

従来原子炉　　vs　　小型炉



認定特定非営利活動法人
原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center

SMRが温暖化対策にならない理由

MV Ramana (ブリティシュコロンビア大学（カナダ）教授)
Arjun Makhijani (ネルギーと環境研究所（米国）代表)

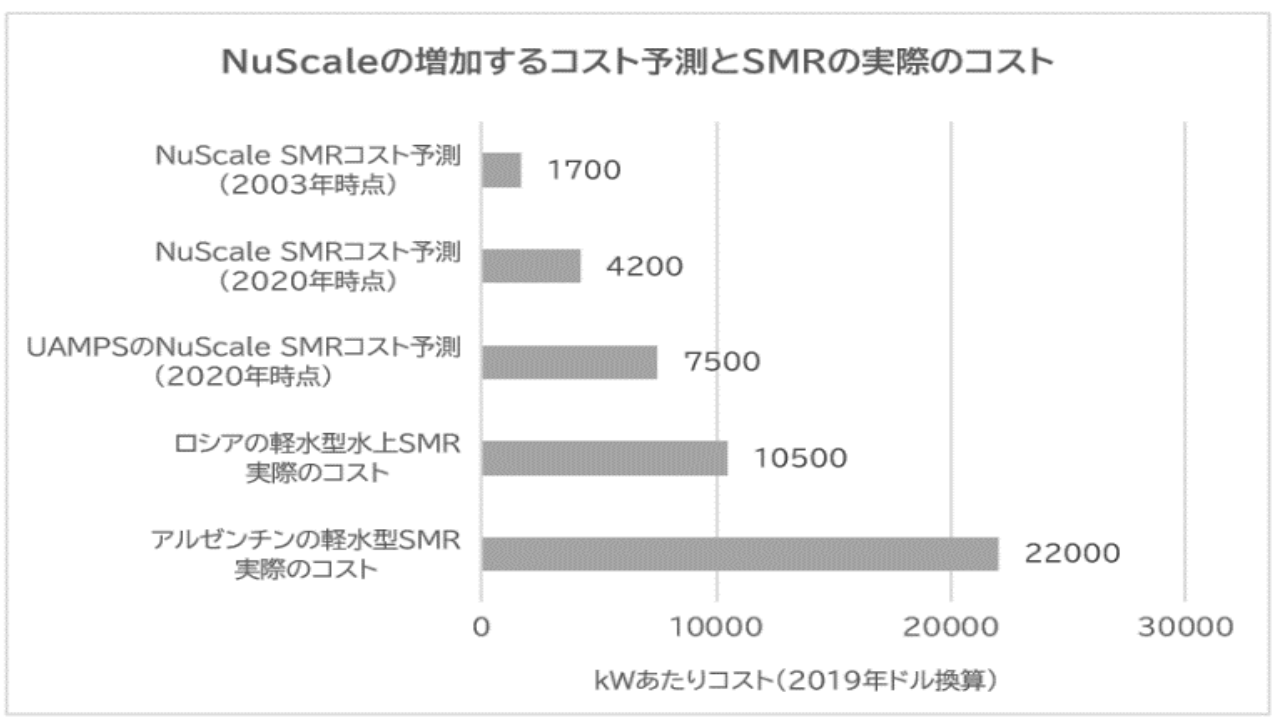
間に合わない

- 米エネルギー省は前世紀からSMRの開発を進めている。

  2001年には10年以内にSMRは商用展開できる見込みだったのに…

- IPCCなどは今から10年間で化石燃料エネルギーからシフトしないと気候変動は取り返しつかないところまで行ってしまう

コスト



NuScale小型モジュール炉の安全性

Edwin Lyman憂慮する科学者同盟（UCS）

- 安全上の問題

受動的な緊急炉心冷却システム（ECCS）、ホウ素希釈

などなど（「原子力資料情報室通信」の記事参照）

- NRCの対応：無視か事業者に負担を強いる

- NuScale：SMRは「現行の原子炉よりもはるかに安全な設計であるため、同じ規則に従う必要はない」と主張

認定特定非営利活動法人
原子力資料情報室
Citizens' Nuclear Information Center