

諸外国における新型炉開発に係る動向

原子カグループ 研究員 木村 謙仁

” 柴田 智文

はじめに

原子力発電は近年、様々な要因から厳しい事業状況に置かれているが、その一方で気候変動対策に向けた取組みの気運は世界的に高まっており、多くの国々が原子力をそのためのオプションとして位置付けている。同時に原子力分野では、時代の要請に応じて生き残っていくための戦略として、新技術の導入に向けた議論が活発化してきている。日本では2018年に閣議決定された第5次エネルギー基本計画のなかで、原子力利用については「安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発を進める」とされた。他方で、アメリカ、カナダ、イギリスといった諸外国では既に、将来を見据えた先進型原子炉（Advanced Reactors、以下「新型炉」と表記）の開発競争が進んでいる。そこで、本稿ではこれら諸外国での新型炉開発に向けた動向を簡単に紹介したうえで、その導入を左右するポイントを整理、分析する。

1. 新型炉とは

一般的に原子炉は、建設された年代や使用された技術に応じて図 1.1 のように世代別に区分される。これらのうち第三世代+炉以降、特に第四世代炉が新型炉とされる。現在世界で主流とされる軽水炉（冷却材として水を用いる炉）は第二世代炉であり、第三世代炉および第三世代+炉は基本的に改良型の軽水炉である。これに対して、第四世代炉は軽水炉という概念を超えた（冷却材に溶解したナトリウムやヘリウムガス、あるいは超臨界圧状態の水を用いる、など）革新的な機構を持つ原子炉である。現在はいずれも開発中であるが、将来的には従来型炉以上の安全性や経済性を有するようになると期待されている。また、炉型によっては熱供給や水素製造など発電以外の用途にも活用可能なものや、負荷追従性に優れ、太陽光や風力といった変動電源の増加に対応可能なものも存在する。

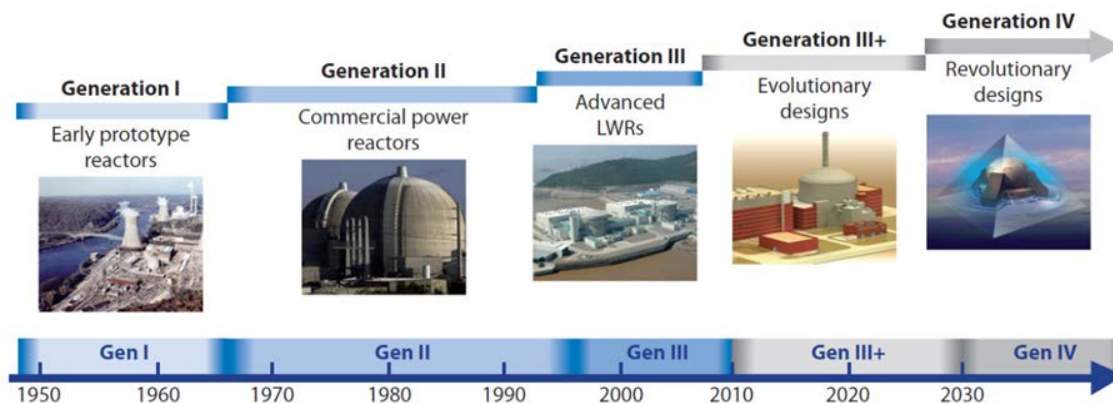


図 1.1 原子炉の世代とタイムスケール

出典: GIF (2014), p.7.

これらとは別の概念として、近年では小型モジュール炉（Small Modular Reactor, SMR）も新型炉として注目を集めている。SMR の特徴は、1 基あたり 50 MW 程度のリアクターモジュール（パワーモジュール）で、これは予め工場生産される。リアクターモジュールは小型であるためトラック、鉄道、船舶などで発電所の建設サイトに運搬可能であり、サイトでは基本的にこれらを必要基データえ付けるのみとなる。そのため、建設サイトでの工程は大幅に簡略化でき、コスト増の原因となる工期の長期化を避けることができる。加えて、将来的に市場が拡大すれば、工場での大量生産効果によるコストダウンにもつながる。こうしたコストダウン効果が、1 基あたりの設備容量縮小による効率性低下を上回るかどうか注目される。また、設備容量（MW）あたりのコストが従来型炉より高かったとしても、初期費用の総額が小さいことにより投資決定に至るまでの障壁が下がることも考えられる。そして、SMR は受動的安全系の採用や地下設置による耐震・対衝撃性といった設計上の工夫によって、安全性も高いとされている。なお、開発中の SMR には従来の軽水炉を採用するものもあれば、高温ガス炉や熔融塩炉など、第四世代炉の技術を採用するものも存在する。

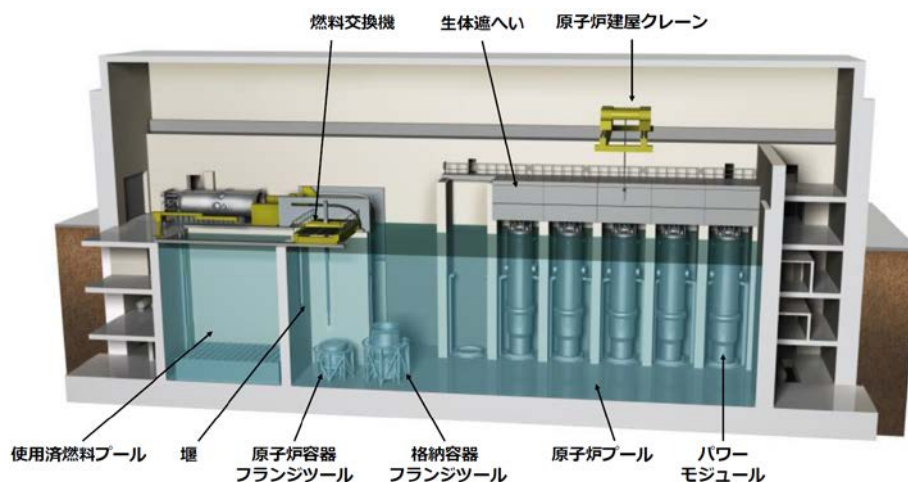


図 1.2 SMR 概念図

出典: Reyes and Hopkins (2018), p.13.

2. 新型炉導入に係る検討

前章で扱った新型炉の商用化に向けた研究開発が特に盛んな国として、本稿ではアメリカ、カナダ、イギリスの三カ国を取り上げ、これらの国々における新型炉の研究開発や商用化に関する動向を調査・分析する。具体的には、①まず新型炉の参入可能性をみるために電力市場の状況を評価し、②どのような支援策が新型炉開発の動機付けとして機能しているのかを概観した後、③その技術が事業として導入されることが可能となるような環境を整備するためのアプローチを整理する。(③については一部、国際機関での議論も取り上げる。)

2.1. 自由市場で苦戦する既設炉

前述の三ヵ国では電力市場の自由化が進んでおり、新型炉の導入可否はその市場環境によって大きく左右される。現時点では新型炉の商用実機が導入されていないものの、後述するように既設炉が自由市場において苦戦を強いられている現状をみると、新たに大きな建設コストを支払ったうえで参入しなければならない新型炉は、(現行の市場設計がそのまま将来にわたって維持された場合、) それ以上に競争力の面で不利となり、導入のインセンティブが発生しない恐れが強い。

特にアメリカで顕著な傾向として、安価な再生可能エネルギーや天然ガスに押され、自由化市場での既設炉の競争力が大きく弱体化している。例えば、ペンシルバニア州やニュージャージー州などからなる北東部の PJM エリアでは図 2.1 の通り、いずれの既設炉も収益性を悪化させていることが分かる。2014 年には復調が見られたが、これは同年にアメリカで発生した極渦 (polar vortex) によりガス価格が上昇し、原子力の競争力が相対的に強まったため¹と説明されており、むしろ原子力の収益性がガス価格の変動に大きな影響を受けることを示す事例だといえよう。そして、2019 年以降も複数の既設炉でマイナス収支が予測されている。実際、発電事業者はこれらの発電所の運転継続は経済的に困難と考えており、デービス・ベッセおよびペリー原子力発電所は政策的な支援がない限り、それぞれ 2020 年および 2021 年までに閉鎖されることが予告されている²ほか、2 号機の事故後も運転を続けてきたスリーマイルアイランド 1 号機は、2019 年 9 月末までに閉鎖されることが決定した³。これらはいずれも、原子力規制委員会 (Nuclear Regulatory Commission, NRC) に認められた運転期間を満了する前の閉鎖である。

PJM エリアでは容量市場⁴が導入されており、既設炉を保有する事業者にとっても収益源となっているものの、容量価格は図 2.2 の通り年によって大きく異なる。また、新規電源が固定費を回収できる水準である Net CONE (Net Cost of New Entry) を下回る水準が続いていることが指摘されている⁵。このような見通しの下では、たとえ経済性に優れると期待される新型炉であっても、40 年 (あるいはそれ以上) にわたる運転期間中、容量市場が安定的な収益源となり得るのかは不透明であり、新設の投資判断を下すことは難しいものと考えられる。

¹ Monitoring Analytics, 2018 State of the Market Report for PJM, vol.2, 2019, p.348.

資料中で明示はされていないものの、極渦によって大寒波が発生し、暖房用途などでガス需要が急増し、ガス価格が急増したものと考えられる。

² NRC, Preliminary Notification, PNO-III-18-002, April 4, 2018.

³ Exelon, Press Release, May 7, 2019.

⁴ 販売した電気の量 (kWh) ではなく、必要ときに発電できる能力 (kW) に価値を認め、対価を与える仕組み。

⁵ 服部徹「容量市場の価格決定要因に関する考察—わが国の制度設計と海外の経験からの示唆—」『電力経済研究』No.66, 2019, p.53-68.

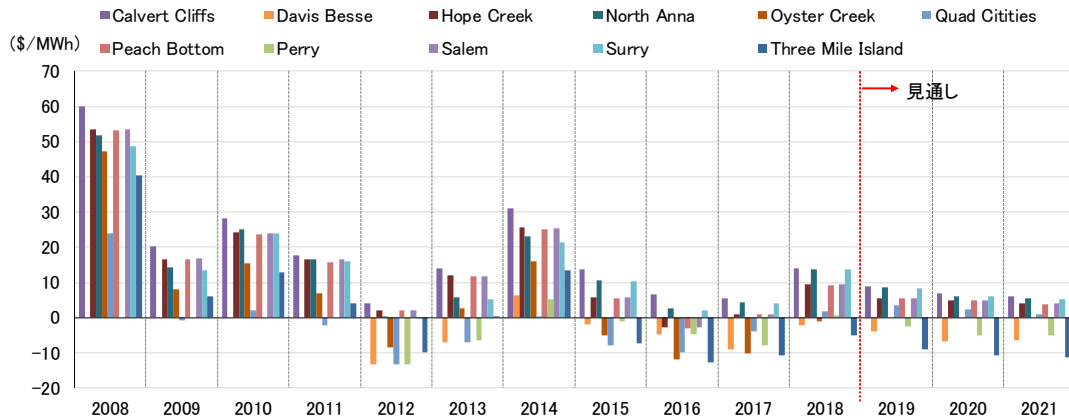


図 2.1 PJM エリアにおける原子力発電所別収益の推移

注 1: 公開情報に基づいて、出典元の報告書が推計した値。

注 2: デービス・ベッセおよびペリー原子力発電所については、2008-2011 年のデータが存在しない。

出典: Monitoring Analytics (2019), p.351,352 より作成

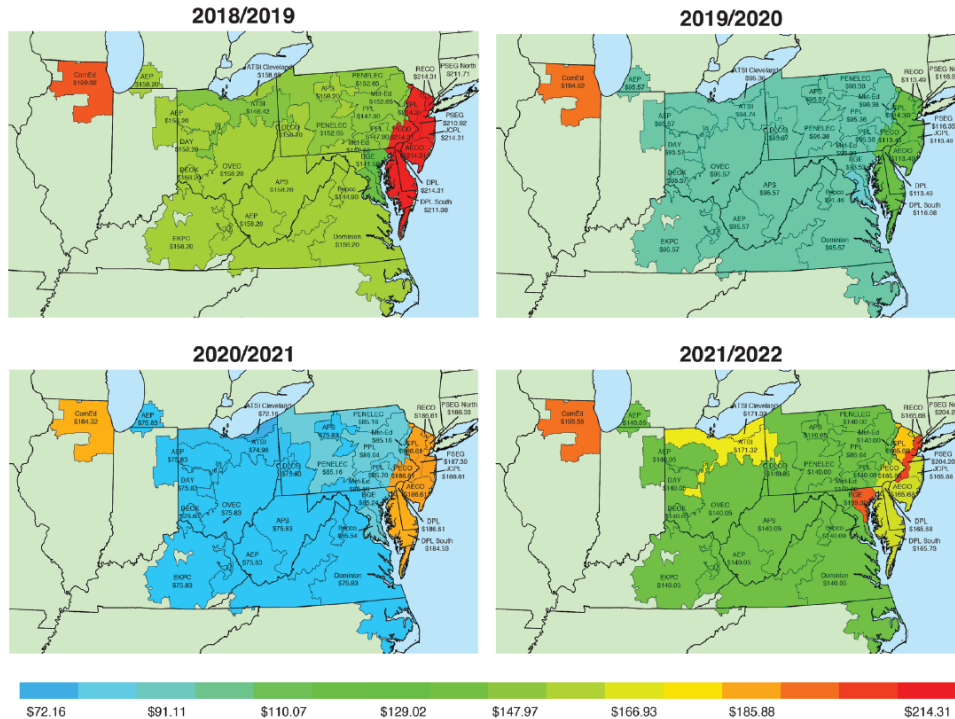


図 2.2 PJM エリアの容量価格の推移

注: PJM では 3 年先の供給容量に対する入札が行われており、例えば図中の「2021/2022」は 2018 年に実施された入札の結果を示している。

出典: Monitoring Analytics (2019), p.291.

上記はアメリカの状況であるが、イギリスでも既設炉にとって厳しい状況であることに変わりはない。イギリスの大規模電気事業者が発行している財務報告書（Consolidated Segmental Statement, CSS）から、原子力発電事業を計上している 2 社の当該事業の収益率

(EBIT⁶ベース)を算出すると図 2.3 の通りとなり、いずれも悪化していることが分かる。なお、2017 年には 5 社が再生可能エネルギー発電事業を計上しているが、その収益率は 37-54%であり、いずれも既設炉の発電事業を大きく上回っている。

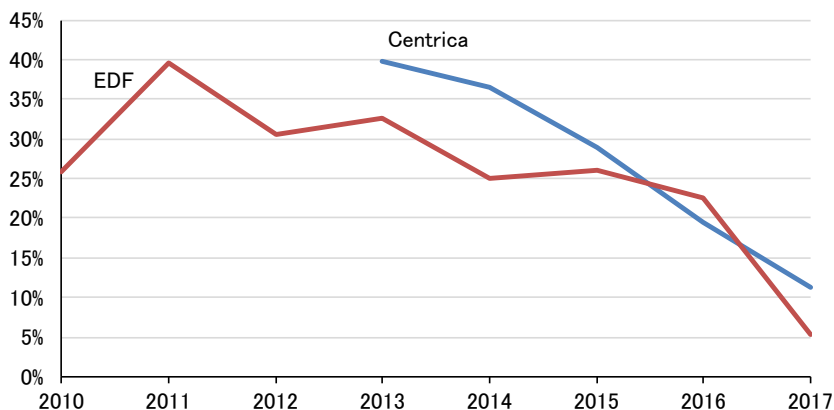


図 2.3 イギリスの大規模供給事業者による原子力発電事業収益率(EBIT ベース)
出典:CSS(各社、各年)より作成

これらの事例を踏まえれば、電力市場の自由化が進んだ地域では、単純な市場原理のみで新型炉の導入が進むとは考えにくい。なお、カナダにおいても大部分の州で自由化が進んでおり、卸電力市場の収益性が危ぶまれるところであるが、例えばオンタリオ州においては、これをカバーする制度が実施されている。これについては後述する。

2.2. 技術開発支援策

アメリカでは連邦政府によって、積極的な新型炉開発支援が行われている。それらのなかでも特に中心的とされるのは、エネルギー省 (Department of Energy, DOE) が 2015 年より実施している、「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ (Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear, GAIN)」プログラムである。GAIN プログラムでは、採択された民間事業者の研究開発プロジェクトに対して、その発展段階に応じた比率の共同出資を行っているほか、国立研究機関の設備や用地を提供していることも大きな特徴である。また、原子力規制委員会 (Nuclear Regulatory Commission, NRC) も、効率的かつ予見可能性のある審査のため、民間事業者との議論に積極的に参加している。

アメリカにおける新型炉建設プロジェクトのなかでも、近年特に注目を集めているのがニュースケール社による SMR 開発計画であろう。本プロジェクトは 1 基 60MW のリアクターモジュール 12 基からなる発電設備の建設を目的としたもので、アイダホ国立研究所 (INL) がニュースケールに対して提供した所内の敷地を活用する。12 基のモジュールのうち、1 基は 2026 年までに運転を開始する目標である。現在開発段階にある本プロジェク

⁶ 支払金利前税引前利益 (Earnings before Interest and Taxes, EBIT) は支払利息や税金を差し引く前の営業利益。

トは DOE による出資を受けているほか、完成後はアイダホ州に隣接するユタ州の地域電力協会（Utah Associated Municipal Power Systems, UAMPS）が所有となってユタ州内に送電する予定であるほか、DOE も INL 内部への供給用に電力を購入する契約を結んでおり⁷、将来の採算性についても見通しを立てている。

さらにアメリカでは、議会でも新型炉開発を促進するための立法活動が進められている点が特徴的である。表 2.1 は近年成立、あるいは提出された法律や法案をまとめたものである。内容上の共通点としては、DOE が民間事業者を支援することのほか、NRC にも新たな技術に適応した審査体制を構築することを求め、同時にそのための予算なども認めていることが指摘できる。なお、こうした立法活動は超党派の議員グループによって進められており⁸、現政権下に限った動きとはならないものと考えられる。

表 2.1 アメリカにおける原子力技術開発関連法(案)概要

名称	状態	主な内容
原子力イノベーション能力法 Nuclear Energy Innovation Capabilities Act	2018年9月 成立	<ul style="list-style-type: none"> ・DOEによる実証炉建設サイト提供 ・NRCへのライセンス申請にかかる費用を補助 ・民間事業者向け研究開発用高速放射線源を2025年までに建設
原子力イノベーション改新法 Nuclear Energy Innovation and Modernization Act	2019年1月 成立	<ul style="list-style-type: none"> ・NRCの新型炉に対する規制ガイドラインの予見性向上 ・国内研究施設の使用ライセンス発行権限の拡大 ・新たなNRCの活動に必要な予算の充当
原子力リーダーシップ法(案) Nuclear Energy Leadership Act	2019年3月 法案提出(上院)	<ul style="list-style-type: none"> ・新型炉実証プロジェクトを、2025年までに2件以上、2035年までにさらに2-5件実施することをDOEに義務付け

出典：米国議会ウェブサイトなどより作成

カナダでも、国立原子力研究所（CNL）が敷地内で2026年までにSMR実証炉を建設する方針を示している⁹。これを実現するため、CNLは2018年に建設・運用プロジェクトの公募を行い、3件の提案に対して審査プロセスを進めていることが明らかにされている¹⁰。前述のニュースケール社が軽水炉を用いたSMR開発を進めているのに対し、このCNLプロジェクトに名乗りを上げたテレストリアル・エナジー社とは統合型溶融塩炉（IMSR）を、スターコア・ニュークリア社とグローバル・ファースト・パワー社は高温ガス炉（HTGR）を採用する計画となっている¹¹。

また、カナダでは安全規制機関も柔軟な審査体制をとっており、新技術の導入が促進されやすい土壌が整っている。特に重要なのが、カナダ原子力安全委員会（CNSC）が新型

⁷ INL ウェブサイト (<https://inl.gov/article/frequently-asked-questions/>)

⁸ 米国議会ウェブサイト

(<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/97/cosponsors>,
<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/512/cosponsors>,
<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/senate-bill/903/cosponsors>)

⁹ CNL, 2016-2026 10-Year Integrated Plan Summary, CRL-502000-PLA-001, Revision 0, 2017, p.6.

¹⁰ CNL より、当初は4件の提案を受け付けたことが発表された（CNL, Press Release, June 12, 2018.）が、その後の動向は上記の3件以外に確認されていない。

¹¹ CNL ウェブサイト (<http://www.cnl.ca/en/home/facilities-and-expertise/smr/progressupdate.aspx>)

炉開発に取り組む事業者向けに提供している、事前ベンダー設計審査 (Pre-Licensing Vendor Design Review) と呼ばれるサービスである。これは、原子炉の設計を対象として、実際に原子炉を建設する際の安全審査に先立って、予備的に審査するものであり、開発事業者 (ベンダー) と CNSC の間での双方向的なやり取りを通じて、対象炉の潜在的課題やその解決策の明確化を目的とする¹²。これにより、ライセンス取得に向けた課題がライセンス審査の前に分かり、ベンダーにとっての予見性が向上するほか、CNSC 側が当該ベンダーの新型炉についての理解を深められるため、後の安全審査がより効率的に行える。

これに加えて、CNSC の安全規則では要求事項 (requirements) が設備仕様を固定するのではなく、満たすべき性能水準を定める形となっており、事業者は独自の対策でこれを満たせることを説明できれば良いとされている¹³ため、新技術の導入を目指す事業者は使用する機材や技術について、様々な選択肢を検討することができる。この規制の柔軟性もまた、カナダにおいて新型炉開発を行う魅力になっているといえるだろう。

イギリスではビジネス・エネルギー・産業戦略省 (Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS) が、第四世代炉の技術を採用した先進的モジュール炉 (Advanced Modular Reactor, AMR) の開発プロジェクトを主導している。このプロジェクトはコンペティション形式であり、炉の設計を対象としたフィージビリティ・スタディを行うフェイズ 1 と、実際に建設を進める炉型を選定するフェイズ 2 からなり、2018 年 9 月に 8 の事業者と炉型がフェイズ 1 の対象として選定されたことが発表された¹⁴。

また、イギリスでも規制面の対応が進められている。将来的な SMR および AMR の審査に規制側が対応できるよう、イギリス政府から原子力規制局 (Office for Nuclear Regulation, ONR) および環境庁に対して 700 万ポンドが拠出された。また、イギリスでは新型炉の導入にあたって、実際の建設計画の前に包括的設計審査 (Generic Design Assessment, GDA) と呼ばれる審査が実施されているが、ONR と環境庁はこの GDA の柔軟性向上に向けた検討を進めている¹⁵。

以上のように、各国で新型炉の導入に向けた支援策が積極的に検討、あるいは実施されている。これは各国政府が将来における新型炉の役割を重視し、現在のうちから将来に向けて予備的な取り組みを進めていることの表れだといえる。三カ国に共通する点として、開

¹² CNSC ウェブサイト

(<http://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/>)

¹³ CNSC, *Canadian National Report for the Convention on Nuclear Safety, Seventh Report*, 2016, p.30.

CNSC の安全規則では要求事項 (requirements) を満たすための指針 (guidance) も記載されているが、事業者は指針に定められたものとは別の方法を採用し、その方法が要求事項を満たすものであると説明することを選択できる。

(<http://nuclearsafety.gc.ca/eng/acts-and-regulations/regulatory-framework/index.cfm>)

¹⁴ BEIS, *Advanced Modular Reactor Feasibility and Development Project: Abstracts from the Applicant Organisations' Proposals*, 2018.

2019 年 6 月現在、フェイズ 2 に進んだ事業者の存在は確認できない。

¹⁵ BEIS ウェブサイト

(<https://www.gov.uk/government/publications/advanced-nuclear-technologies/advanced-nuclear-technologies>)

発の主体は民間事業者であり、政府は事業者が積極的に新型炉開発に乗り出すことができる環境作りに重点を置いていることが指摘できる。また、三カ国のいずれにおいても、規制機関が新型炉の審査に対応するための動きを進めていることは非常に示唆的である。民間事業者にとっては、現在開発しようとしている新型炉の将来的な事業性が死活問題であり、安全規制が十分な予見性や柔軟性をもって行われると期待できない限りは、原子力技術開発への投資判断を下せない。規制体制の改革もまた、必要な「環境作り」の一つといえるだろう。

2.3. 事業環境の整備

技術開発を進めるのみでは新型炉の導入には至らない。商用炉の建設プロジェクトが実現されるためには、現行炉の場合と同様に、十分な資金を調達する必要がある。原子力発電所の新設プロジェクトへの投資に伴うリスクについては既に議論が進んでおり、主なものあげると表 2.2 のように整理できる。

表 2.2 原子力事業に係るリスクの整理

リスク種別	内容
建設・サプライチェーンリスク	<ul style="list-style-type: none"> 現場作業や機材供給の遅れ 予想を上回る作業・設備コスト
規制リスク	<ul style="list-style-type: none"> 建設・運転許認可の発行遅延や失効
政治リスク	<ul style="list-style-type: none"> 原子力政策の方針変更 強制的な建設中止・早期閉鎖
自然災害・不可抗力リスク	<ul style="list-style-type: none"> 自然災害やテロによる損害
運転リスク	<ul style="list-style-type: none"> 機器の故障などによる想定外の修理やメンテナンス メンテナンスや燃料供給の遅延
市場リスク	<ul style="list-style-type: none"> 想定を下回る給電指令 電力の低価格化、収益性の不確実化
廃棄物・廃炉リスク	<ul style="list-style-type: none"> 処分場確保の遅延 想定外の廃炉コスト増加

出典：OECD/NEA (2009), p.21-38 などより作成

近年では建設コストの増加、長期間新設が行われなかったことによるプロジェクト進行ノウハウの消失、他電源・燃料との競争激化、予期せぬ運転停止、といった要因により、多くの国々で軽水炉新設に係るリスクが一層深刻化している、すなわち資金調達環境が悪化しているといえる。実際、アメリカにおける V.C.サマー2, 3号機や、イギリスにおけるウィルファ・ニューウィッドといった建設プロジェクトが、主に資金調達上の問題から実施が困難な状況に陥っている^{16,17}。商用実機が存在しない新型炉の場合、技術的な不確実性によって上記のようなリスクはさらに大きくなるものと考えられるため、政策的に環境

¹⁶ WNN, August 1, 2017.

¹⁷ 2019年1月17日付日立製作所プレスリリース

を整備することが、現行炉を新設する場合以上に重要となる。ここでは、そういった「環境整備」を検討するうえで示唆的な事例や進行中の議論についてまとめる。

イギリスでは、洋上風力発電事業などに用いられている差額決済方式（Contract for Difference, CfD）による固定価格買取制度が、第三世代+炉（軽水炉）であるヒンクリーポイント C 建設プロジェクトにも適用されることとなっている。CfD は予め決められた基準価格（strike price）と市場における電力価格の差額を発電事業者に支払い、一定の収益を保証するものであるが、売電した電力量（kWh）に応じた補助金を得るという性質上、発電設備が完成して売電を開始するまでは制度の恩恵を受けることができない。そのため、近年のプロジェクトで最大の懸念の一つとなっている、建設の遅延によるコスト増といったリスクに対する手当てとしては不十分である。そのような不確実性を補うためには、基準価格を高く設定して釣り合いを持たせることになるが、基準価格が高くなると最終的に電力消費者の負担が増加するという問題が発生する。実際、ヒンクリーポイント C プロジェクトに適用された CfD では基準価格が 92.5 ポンド/MWh（条件によって 89.5 ポンド/MWh）に設定されたが、イギリスの会計検査院はこの契約について、消費者負担とそれによって得られる価値の関係が十分に考慮されていないと評価している¹⁸。こうした批判を受けて、イギリス政府は現在、後続プロジェクトに対して適用するスキームの検討を進めている¹⁹。そのなかには規制資産ベース（Regulated Asset Base, RAB）モデルと呼ばれる、原子力事業には適用実績のない新たなスキームも含まれている。

RAB モデルはこれまでに水道事業や空港建設などに適用されてきたスキームで、設備に対する投資コストに見合った適切なリターンを規制機関²⁰が評価し、使用料を通じてそれを消費者から回収することを認める仕組みである。この仕組みでは、事業者は設備の建設段階から投資を回収できることとされているため、CfD と比較すると、発電を開始するまでは受益不可能であるという事業者にとっての不確実性を低減できる。また、その不確実性が CfD の基準価格（strike price）を押し上げる要因の一つであったことを考えると、不確実性が低減される RAB モデルでは政策的に保証すべき収益ラインを低く設定でき、最終的な消費者負担も軽くできると期待される²¹。

これからの新設と事業化を考えなければならない新型炉にとって、カナダのオンタリオ州で実施されている、包括的調整制度（Global Adjustment, GA）も大変重要な事例といえるだろう。GA は将来にわたって電力を安定供給するために必要となる、新規設備の建設費用や既存設備の維持費用を、電気料金に上乗せして徴収する制度である。具体的には、想定される必要経費と、州の電力卸売市場価格（Hourly Ontario Energy Price, HOEP）から計算される発電事業の収益予測を比較し、その差額分（必要経費の不足分）が GA として

¹⁸ Comptroller and Auditor General, *Hinkley Point C*, Session 2017-2018, HC 40, National Audit Office, 2017, p.8.

¹⁹ BEIS, *Market Framework for Financing Small Nuclear*, 2018, p.28.

²⁰ ここでいう規制機関は安全規制機関ではなく、経済規制機関である。イギリスの場合、ガス・電力市場規制庁（Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem）がそれにあたる。

²¹ Helm, Dieter, "The Nuclear RAB Model," *Energy Futures Network Paper 27*, 2018.

消費者から徴収されることになる。そのようにして徴収された GA は原子力発電や水力発電などの維持・更新費、ガス火力発電の運転費、そして再生可能エネルギー発電を対象とした固定価格買取制度 (Feed-in Tariff, FIT) の運営原資など、様々な用途に充てられている。オンタリオ州では 2008 年以降、限界費用ベースで価格が決定する卸電力価格はほぼ一貫して低下しているが、同州では GA の単価を大幅に増加させることによって、そうした必要な費用を確保している (図 2.4)。換言すれば、GA のように市場原理から離れた仕組みがあることによって、新設の可能性を担保しているともいえる。

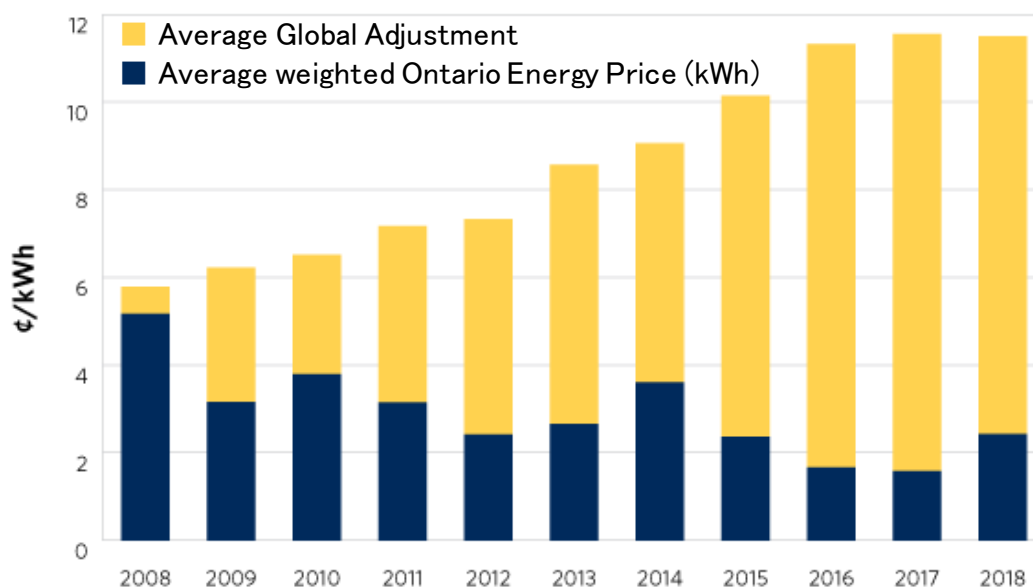


図 2.4 卸電力価格と包括的調整(GA)単価

注: “Average weighted Ontario Energy Price”が卸電力価格に相当。
出典: IESO ウェブサイト²²

新型炉の投資リスクを考えるうえでは、原子力の持つ価値が認められ、それがコスト評価に反映される環境を作っておくことも重要であり、将来の新型炉建設を左右するポイントとなる。その点を検討するための材料となる政策もまた、既に現行炉を対象として実施、あるいは議論されている。例えば、カナダで公開された SMR 導入に向けたロードマップ²³では天然ガスと比較したコスト競争力について、(SMR 側の技術革新の程度にもよるが)炭素税の有無によって大きく左右され得ると述べている。他方で、アメリカのイリノイ州やニューヨーク州などで実施されているゼロエミッションクレジット (ZEC) 制度は、原

²² <http://www.ieso.ca/power-data/price-overview/global-adjustment>

²³ Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee, *A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors*, 2018.

このロードマップは、カナダ天然資源省 (Natural Resources Canada, NRCan) を中心とした多数のステークホルダーによる議論の成果として、2018 年に公表された。このなかでは SMR の用途とそれによって得られるメリットや、コストの見通しなどが示されているほか、*A Call to Action* というタイトルの通り、各ステークホルダーに求められる今後のアクションについても提言がまとめられている。

子力の低炭素価値に対価を与える政策である。この制度では、原子力発電事業者は発電量に応じたクレジットを獲得し、売電収入に加えてクレジットの販売でも収入を得られるようになる。現在は経営上の危機に晒されている既設炉の早期閉鎖を防止するためのものと位置付けられている点や、CfD と同様に発電を開始するまでは受益不可能である点などに注意が必要であるが、新型炉を含めた今後の新設炉のための「環境作り」の一つのアプローチとして、ZEC のような制度には検討の余地があるだろう。

検討の対象とすべきは、低炭素価値のみではない。電力システム内での太陽光や風力といった変動性の再生可能電源の割合が増加するにしたがって、系統への接続やその運用にかかる、システムレベルでのコストが増化するが、経済協力開発機構の原子力機関（OECD Nuclear Energy Agency, OECD/NEA）の評価によると図 2.5 の通り、この点では原子力に優位性があり、その優位性は変動電源の比率が増加するにつれて大きくなる。従来行われてきた発電コスト評価は単純な均等化発電原価（Levelized Cost of Electricity, LCOE）に基づくものであったが、今後は再生可能エネルギーの大量導入時代を見据えて、そういったシステムレベルのコストを含めた評価を検討すべきであろう。新型炉のなかでも、負荷追従性に優れた炉型であれば、この価値をさらに高められる可能性がある。

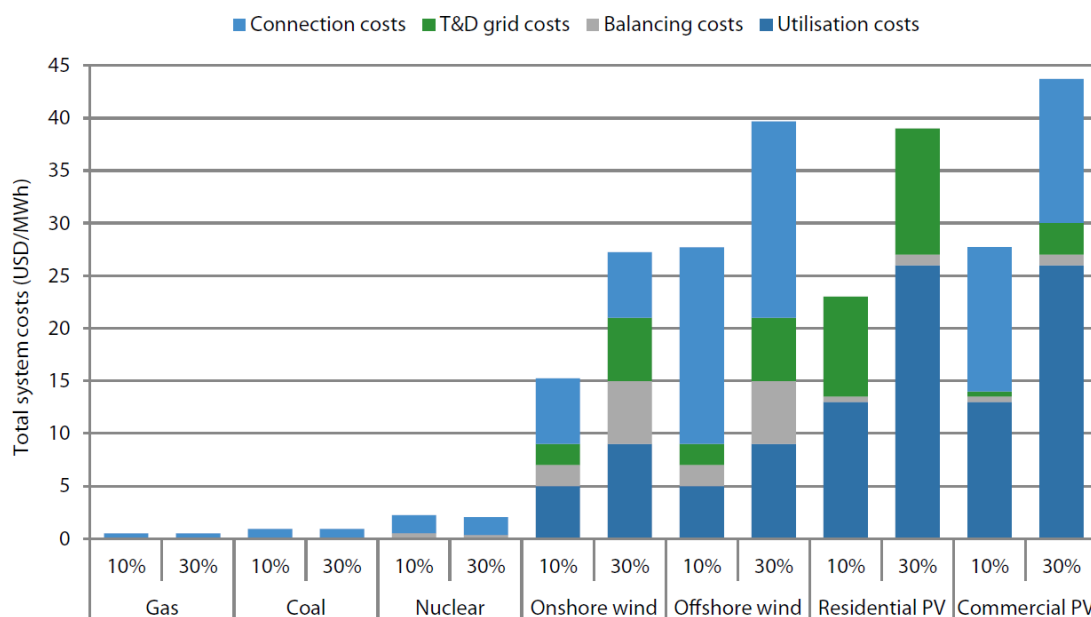


図 2.5 グリッドレベル・システムコストの電源別比較
 注: 図中横軸の数値(10%, 30%)は、総発電量に占める変動電源(太陽光、風力)の割合。
 出典: OECD/NEA (2018), p.18.

以上より、今後の新型炉建設プロジェクトを成立させるためには、事業者のリスクを抑えられるような支援制度を検討する一方で、これまで十分に評価されてこなかった原子力の価値が認められる環境を整えていくことも必要であり、いずれにしても政府の役割が非常に重要であるといえる。特に、新型炉は将来的にコスト面で現行炉よりも優位になると

見込まれている²⁴が、これは量産効果や学習効果によるコストダウンが前提であり、実現するには相応の件数のプロジェクトが実現しなければならない。初号炉は必然的に不確実性というリスクが高くなるが、政策的にそのリスクを抑え、投資を呼び込むことができれば、量産効果やノウハウの蓄積によってリスクやコストが低下し、さらなる投資を呼ぶことが期待できる。これは、太陽光や風力発電といった再生可能エネルギーの導入促進プロセスと構造的には同様であるといえよう。当初は高価だとされていたこれらの電源は、固定価格買取制度 (Feed-in Tariff, FIT) などの支援策によって投資が活性化され、コストダウンが急速に進んだ。特にその先駆者といえるヨーロッパでは、FIT は既に入札制やプレミアム上乘せ制度 (Feed-in Premium, FIP) といった、市場原理や競争原理に基づく制度へと移行しており、近年では補助金を不要とするプロジェクトも出てきている²⁵。FIT 導入国ではないものの、アメリカでは再生可能エネルギーで用いられた導入支援策の SMR への適用可能性についての調査が既に行われており、風力発電にも適用された生産税控除 (Production Tax Credit, PTC) などの支援策を実施することにより、SMR のコストを LCOE ベースで 22%削減できるとの結果が出ている²⁶。

3. まとめ

本稿ではアメリカ、カナダ、イギリスを対象に、新型炉の開発に係る動向や、導入の成否を左右するポイントを整理した。前述の通り、自由化市場において、単純な経済的競争力のみを頼りに新型炉の導入を進めることは難しい。しかし、この三カ国はいずれも原子力エネルギーの恩恵を将来においても十分に受けられるよう、新型炉開発に向けた支援策を積極的に打ち出している。今後はその商用化に向けて、量産効果による新型炉のコストダウンや、事業者のリスクを低減できる支援制度、そして原子力の価値が認められる環境整備、といった点が課題になってくるだろう。これらのほか、原子力発電の副生物としての熱や水素といった電力以外のエネルギー供給に対する価値の付与や、実際に社会に導入する際の立地地域との関係性など、検討すべき事項は多いものの、三カ国とも大胆かつ具体的な施策を着実に進めており、世界の新型炉開発を先行しているといえる。

日本でも新型炉開発を促進するための政策についての議論は始まっており、“Nuclear Energy X Innovation Promotion (NEXIP)”と呼ばれる構想が提示されている²⁷。新型炉の導入が 2030 年や 2050 年といった将来を射程とした計画であっても、研究開発には長い時間がかかる。そのため、日本でも本気で新型炉を将来のオプションとみなすのであれば、この議論は早急に具体化を進め、日本国内における制度設計や規制対応といった検討に結び付

²⁴ Energy Innovation Reform Project (EIRP), *What Will Advanced Nuclear Power Plants Cost?: A Standardized Cost Analysis of Advanced Nuclear Technologies in Commercial Development*, 2017, p.2.

²⁵ Huebler, Dominik, Radov, Daniel and Wieshammer, Lorenz, “Method or Madness: Insights from Germany’s Record-Breaking Offshore Wind Auction and Its Implications for Future Auctions,” NERA Economic Consulting, 2017, p.1-3.

²⁶ Scully Capital and Kutak Rock, *Examination of Federal Financial Assistance in the Renewable Energy Market: Implications and Opportunities for Commercial Deployment of Small Modular Reactors*, 2018, p.54.

²⁷ 資源エネルギー庁「原子力イノベーション政策の追求」第 18 回原子力小委員会, 2018.

けていくべきであろう。

参考文献

1. 論文・報告書等

- Canadian Nuclear Laboratories (CNL), *2016-2026 10-Year Integrated Plan Summary*, CRL-502000-PLA-001, Revision 0, 2017.
- Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), *Canadian National Report for the Convention on Nuclear Safety*, Seventh Report, 2016.
- Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee, *A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors*, 2018.
- Comptroller and Auditor General, *Hinkley Point C*, Session 2017-2018, HC 40, National Audit Office, 2017.
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS), *Advanced Modular Reactor Feasibility and Development Project: Abstracts from the Applicant Organisations' Proposals*, 2018.
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS), *Market Framework for Financing Small Nuclear*, 2018.
- Energy Innovation Reform Project (EIRP), *What Will Advanced Nuclear Power Plants Cost?: A Standardized Cost Analysis of Advanced Nuclear Technologies in Commercial Development*, 2017, p.2.
- The Generation IV International Forum (GIF), *Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems*, OECD/NEA, 2014.
- Helm, Dieter, "The Nuclear RAB Model," Energy Futures Network Paper 27, 2018.
- Huebler, Dominik, Radov, Daniel and Wieshammer, Lorenz, "Method or Madness: Insights from Germany's Record-Breaking Offshore Wind Auction and Its Implications for Future Auctions," NERA Economic Consulting, 2017.
- Monitoring Analytics, *2018 State of the Market Report for PJM*, vol.2, 2019.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), *The Financing of Nuclear Power Plants*, NEA No.6360, 2009.
- Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), *The Full Cost of Electricity Provision*, NEA No.7298, 2018.
- Scully Capital and Kutak Rock, *Examination of Federal Financial Assistance in the Renewable Energy Market: Implications and Opportunities for Commercial Deployment of Small Modular Reactors*, 2018.
- 服部徹「容量市場の価格決定要因に関する考察—わが国の制度設計と海外の経験からの示唆—」『電力経済研究』No.66, 2019, p.53-68.

2. その他資料

- Nuclear Regulatory Commission (NRC), Preliminary Notification, PNO-III-18-002, April 4, 2018.
- Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem), *Energy Companies' Consolidated Segmental Statements (CSS)*, 2010-2017.
- Reyes, José N, Jr. and Hopkins, John, "A Promising Innovation in Nuclear Energy," 第7回エネ

ルギー情勢懇談会, 2018.

資源エネルギー庁「原子力イノベーション政策の追求」第 18 回原子力小委員会, 2018.

3. 報道・プレスリリース等

Canadian Nuclear Laboratories (CNL), Press Release, June 12, 2018.

Exelon, Press Release, May 7, 2019.

WNN, August 1, 2017.

2019 年 1 月 17 日付日立製作所プレスリリース

4. ウェブサイト

アイダホ国立研究所 (INL) ウェブサイト (<https://inl.gov>)

オンタリオ独立電力システム運用機関 (IESO) ウェブサイト (<http://www.ieso.ca>)

カナダ原子力研究所 (CNL) ウェブサイト (<http://www.cnl.ca/en/>)

カナダ原子力安全委員会 (CNSC) ウェブサイト (<http://nuclearsafety.gc.ca>)

ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) ウェブサイト

(<https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-business-energy-and-industrial-strategy>)

米国議会ウェブサイト (<https://www.congress.gov/>)

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp