

英国の脱炭素化政策と原子力研究開発の最近の動向について

藤井 貞夫 (原子力技術センター
参事)



1. はじめに

英国の原子力政策は、特に 2011 年の東日本大震災以降毎年のように大きく変わっている。これが英国の原子力政策を分かりにくくしている面がある。しかし、この 10 年間、英国政府の原子力を積極的に推進していくという姿勢とその役割の重要性に対する認識は、政権が代わっても一貫して変わっていない。

本稿は、英国政府の積極的な支援の下にある原子力研究開発、特に小型モジュール炉 (SMR) を中心とした研究開発の動向について、これまでの英国の原子力研究開発の変遷も含め、原子力関連ニュースを中心に調査した結果をまとめたものである。

2. 脱炭素化を目指す英国のエネルギー政策

英国は気候変動を国の経済と安全保障の脅威と捉えており、表 1 に示す通り、英国のエ

ネルギー政策のこれまでの流れは気候変動対策そのものである。英国は世界に先駆けて「気候変動法 2008」を制定し、2050 年までに温室効果ガス (GHG) を 80% 削減するという野心的な目標を定めた。さらに、気候変動委員会を設置するとともに炭素割当量などを設定し、英国の気候変動への取り組み状況のチェックや削減する仕組みを構築した。

2011 年 12 月、エネルギー・気候変動省 (DECC) は英国のエネルギー政策の枠組みにおいて脱炭素化をいかに達成するかを示した「炭素計画」を公表した。2050 年までに排出量を 80% 削減するためには、エネルギーの使用と生成方法に大幅な変更を加え、電力セクターは再生可能エネルギー (再エネ)、原子力および炭素回収貯留の利用によって脱炭素化する必要があるとし、特に原子力が最もコスト競争力があるとした。

2013 年 3 月、ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) は「原子力産業戦略」(Nuclear Industrial Strategy - The UK's Nuclear

表 1 英国の最近の主な脱炭素化政策と原子力政策

期日	脱炭素化政策	原子力政策
2008.11	気候変動法 2008 (Climate Change Act 2008)	
2011.12	炭素計画 (The Carbon Plan: Delivering our low carbon future)	
2013.03		原子力産業政策 (Nuclear Industrial Strategy- The UK's Nuclear Future)
2017.10	クリーン成長戦略 (Clean Growth Strategy)	
2017.11	産業戦略 (Industrial Strategy Building a Britain fit for the future)	原子力セクターディール (Industrial Strategy Nuclear Sector Deal)
2018.06		
2019.06	気候変動法 2019 (Climate Change Act 2019)	
2020.10		原子力ロードマップ (Forty by '50 : The Nuclear Roadmap)
2020.11	グリーン産業革命のための 10 項目計画 (The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)	
2020.12	エネルギー白書 (The Energy White Paper Powering our Net Zero Future)	
2021.02	水素ロードマップ (Hydrogen Roadmap)	
2021.11	COP26 (Glasgow)	

Future)) を公表したが、これは将来、原子力が英国のエネルギーミックス（電源構成）において重要な役割を果たし、英国を主要な原子力発電国に引き上げることを狙ったものであった。原子力産業戦略は、新設、廃棄物管理と廃止措置、核燃料サイクルサービスおよび運転保守を含む原子力産業全体を網羅していた。これに基づいて、SMRの実現性検討や原子力イノベーションプログラムなどが打ち出された。

2016年7月、メイ政権が発足すると同時に、それまで科学技術イノベーションを担ってきたBISとDECCが統合してビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）が新たに設置され、英国における科学技術イノベーションを所掌することになった。2017年10月、GHGの排出を削減しながら英国経済を成長させる「クリーン成長戦略」（Clean Growth Strategy）がBEISより発表された。クリーン成長戦略においては、イノベーションこそが英国産業の低炭素化を可能とし経済成長のキーであると強調された。政府は、イノベーション全体で9億ポンドの公的資金を投資することを目指し、これには、スマートシステム用の2億6,500万ポンド、原子力研究イノベーション（将来の核燃料、新しい原子力製造技術、リサイクルと再処理、先進原子炉設計など）を支援するために4億6,000万ポンドおよび再エネのコスト削減に1億7,700万ポンドが含まれていた。

2017年11月、BEISは英国全体の生産性と収益力を高めることを目的とした新しい「産業戦略」（Industrial Strategy Building a Britain fit for the future）を公表した。同戦略

で、英国経済の生産性を高めつつ、英国全体で未利用の潜在能力を最大限に活用するために5つの基盤（アイデア、人々、インフラストラクチャ、ビジネス環境、場所）を将来の産業の最前線に置き、英国が地球規模の変化を利用して、確実に人々の生活と国の生産性を向上させるために、4つのGrand Challenge（国家的プロジェクト）を設定した。これら4つの国家的プロジェクトは、英国の未来を変える世界的なトレンドに焦点を当てており、表2に示すように、国家的プロジェクト毎に意欲的なミッションが策定された。この中で「クリーン成長」が原子力に大きく係っていた。

2019年6月には、2050年までのGHGの削減目標を8割減からネットゼロに強化する気候変動法の改訂（CCA 2019）が行われた。

2020年11月、ジョンソン政権はネットゼロを実現する「グリーン産業革命のための10項目計画」（The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution）を公表した。これにより、野心的な政策と120億ポンドの投資によって、400億ポンド以上の民間投資の促進を狙った。

計画には、2030年までに洋上風力発電容量を4倍の40GWにし、水素の研究開発へ最大5億ポンドを投資する。5億ポンドには「水をエネルギーに変える」という約束や電気自動車への28億ポンド以上の投資、炭素の回収と貯留における世界を主導する新しい産業の確立のためのイングランド北部、ウェールズおよびスコットランドのクラスターへの10億ポンドの政府投資「エネルギーイノベーションファンド」も含まれる。この「エネルギーイノベーショ

表2 4つのGrand Challengeとミッション

国家的プロジェクト	ミッション
人工知能とデータ経済	データ、人工知能およびイノベーションを利用して、2030年までに慢性疾患の予防、早期診断および治療を変革する。
高齢化社会	人々が2035年までに少なくとも5年間の健康で独立した生活を享受できるようにすると同時に、最も裕福な人々と最も貧しい人々の経験のギャップを狭める。
クリーン成長	2030年までに新しい建物のエネルギー使用量を少なくとも半分にする。 2040年までに世界初のネットゼロカーボン産業クラスターおよび2030年までに少なくとも1つの低炭素クラスターを構築する。
移動手段の未来	英国をゼロエミッション車の設計と製造の最前線に置き、すべての新車とバンは2040年までに実質的にゼロエミッションとする。

ンファンド」は、世界初の液体空気電池などの新しい低炭素技術の商業化に役立ち、ロンドン市が国債、カーボンオフセット市場および開示要件を介したグリーンファイナンスのグローバルセンターとなるとのことである。

10 項目計画の中の項目 3「新規の先進原子力提供」(Delivering New and Advanced Nuclear Power)は、大型から SMR/ 先進モジュール炉 (AMR) まで、新規の原子力発電を開発するという政府の約束である。10 項目計画に原子力発電を含めることは、原子力イノベーション研究諮問委員会 (NIRAB) が BEIS の最近の報告書で行った助言を反映している。NIRAB は同報告書で、企業の低炭素電力のうち、再エネ電力でない部分の少なくとも半分を提供するために原子力を利用することが賢明であると述べた。

2020 年 12 月、BEIS は「エネルギー白書」(The Energy White Paper Powering our Net Zero Future)を公表し、2050 年までの GHG 排出量の実質ゼロ化に向けたエネルギー関連の取り組みに関する長期戦略を示した。今後 10 年間で最大 22 万人の雇用を支援し、価格を適正に保ちながら、エネルギーシステムをクリーン化するという野心的な計画である。白書は、10 項目計画に基づき策定されたもので、政府が今後 10 年間に、新たなグリーン雇用を支援しつつ、産業、輸送、建物からの排出量を 2 億 3,000

万トン削減 (ガソリン車 750 万台分の排出分に相当) するための具体的な取り組みを提示している。白書では電化の進捗により、2050 年までに電力需要が倍増すると見られることから、電力部門では洋上風力とともに原子力を重視する姿勢が鮮明に打ち出されている。

2021 年 2 月、英国原子力産業協会 (NIA) は「水素ロードマップ」(Hydrogen Roadmap)を公表した。気候変動委員会は、2050 年までに現在の 4 倍のクリーン電力と 225TWh の低炭素水素を生産して脱炭素化を完了する必要があるとしており、その中で原子力発電はグリーン水素の将来における重要な役割を担っているとしている。

2021 年 4 月、英国グラスゴーで 11 月に開催される COP26 を控えて、政府は GHG 排出削減目標を引き上げ、2035 年までに 1990 年比で 78% 削減することを目指すこととした。

3. 英国の原子力政策

2013 年英国の原子力産業戦略が打ち出されて以降の主な原子力政策と資金提供プログラムの流れを表 3 に示す。

(1) 原子力産業戦略と SMR の研究開発

2011 年 11 月、貴族院科学技術特別調査委員会は英国の原子力研究開発能力に関する調査

表 3 主な原子力政策と資金提供プログラム

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
原子力産業政策 (2013.03)	SMR FS	Techno-Economic Assessment	SMR Competition		Nuclear Sector Deal			
					Advanced Modular Reactor Feasibility and Development (Phase 1-2)			
					Nuclear Innovation Program (Phase 1-3, AMM ^{※1})			
								ANF ^{※2}
				原子力産業政策 (2017.7.10) 産業政策 (2017.11)				10 項目計画 (2020.11)
					Industrial Strategy Challenge Fund			

※1) AMM : Advanced Materials Manufacturing

※2) ANF : Advanced Nuclear Fund

報告書を発表した。この報告書の中で、原子力の新しい戦略とその戦略を支える原子力研究開発ロードマップを策定するとともに、これらを策定するために政府を支援する独立の委員会を設立することを勧告した。これを受けて、2012年3月、原子力研究開発特別諮問委員会が発足した。この委員会はBISとDECCが発行した4つの文書("Long-Term Nuclear Energy Strategy," "Nuclear R&D Landscape Review," "Nuclear R&D Roadmap," "Nuclear Industrial Vision Statement")の策定に大きく関与した。

上記の文書等を踏まえ、2013年3月、原子力産業戦略が発表された。原子力産業戦略は、2016～2017年にかけて発表された政府の原子力イノベーションプログラムや先進炉に対する財政支援の基となった戦略と考えられる。原子力産業戦略は、政府と産業界との協議により策定され、そこで"The Home Market," "Building a Future : Innovation and R&D," "Forging a Stronger International Presence," "Investing in the Right Skills"の4項目についてのマイルストーンとキーアクションが示された。

上記4項目のうち、研究開発に関連する"Building a Future : Innovation and R&D"のアクション項目の中には、独立的な立場で原子力研究開発の検討を行い政府に助言するためのNIRABの設立、将来の原子力システムのための研究開発の公的資金レベルの検討、すなわち、2050年までの原子力発電計画(16～75GW)に必要でグローバル市場にも貢献する可能性がある将来の原子炉設計およびその核燃料サイクル、SMRの研究開発に向けた実現可能性などが挙げられていた。

また、原子力問題と戦略的研究プロジェクトについて政府に助言する上でより中心的な役割を担うことができるよう、国立原子力研究所(NNL)の使命と役割を変更した。

本戦略は、政府がSMRへの関心を明示する端緒となるものであった。以下、SMRに関連する具体的な施策を示す。

① SMR 実現性検討 (SMR Feasibility Study)

2013年12月、英国政府はSMRに関連するワークショップを開催し、これを受けてSMR実現可能性の検討を開始した。2014年の初めに、政府は英国でのSMRの展開に関する技術的、経済的および商業的事例を評価するための実現可能性調査を国立原子力研究所に委託し、2014年12月に調査結果が発表された。そこでは、一部のSMRが10年以内に実現できる可能性があり、英国がベンダーや英国産業と協力して実施する可能性があることを指摘した。ただし、この調査では、特定のSMR設計のさらなる詳細な技術的分析が必要であるとも結論付けている。2015年3月、政府は根拠に基づくSMRに貢献し政策決定と将来のコンペ段階の設計に情報を提供するために、独立したSMRの技術経済評価(TEA: Techno-Economic Assessment)委託事業を開始した。TEAは、政府がSMRを導入するための政策決定を行うための知見を得ることを目的として、7つのプロジェクトで構成され、図1に示す流れで、2016年6月までにそれぞれ報告書が提出された。

② SMR コンペ (SMR Competition)

2016年3月、DECCは英国にとって最も価値のあるSMRを特定するためのSMRコンペ(SMR Competition)のフェーズ1ガイダンスを発表した。その中で、政府は、気候変動法に定められているとおり、2050年までに少なくとも80%の排出削減という目標を達成すると同時に金銭的価値を保証するために作業コストを可能な限り低く抑えるべきであるとした。これは、2015年11月の政府発表である「SMRを含む原子力研究開発に5年間で少なくとも2億5,000万ポンドを投資する」とことに関連している。

フェーズ1の目的は、英国でのSMRの開発、商品化、資金調達における技術開発者、公益事業者、潜在的な投資家、資金提供者の間の市場の関心を判断することである。フェーズ

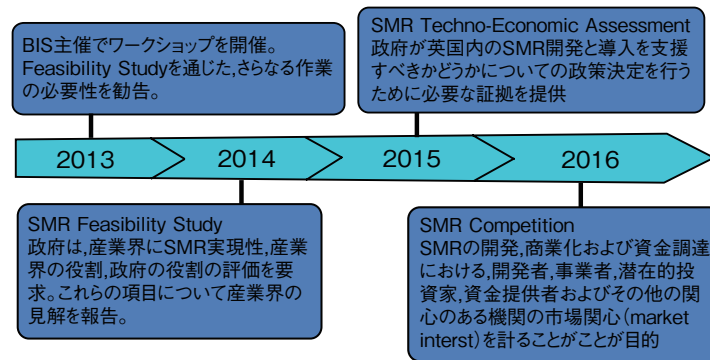


図1 SMRの実現可能性に向けた検討作業

1では、SMR設計が「製造と組立て用に設計され」「総プラントコストの最低40%に相当するモジュール機器またはシステムは工場内生産を達成できる必要がある」など、一連の基準が公開された。

フェーズ1は「SMR供給ロードマップ」(SMR Delivery Roadmap)が公開される2016年後半までに完了する予定であったが、大幅に遅れ33の「有資格参加者」のリストが公開される2017年12月までかかった。実は、33の有資格参加者は、これらの基準を満たす33の技術を代表してはならず、参加者の約半数は、設計を提供するコンソーシアムのパートナーの1人にすぎないか、またはSMR設計の開発に必要な技能を持っていると見なされた者であった。「SMR供給ロードマップ」が公開された時点で、設計を持っている者の中で、原子炉の概念以上のものを有しているのはほんの一握りであるように見えた。2017年に発表された450MWのロールスロイス設計は、規模の要件を超過しているにもかかわらず、NNLによる実現可能性調査で示された4つの選択肢のすべてで適格と見なされた。このため、2017年5月に公開された貴族院特別調査委員会の調査結果は、SMRプログラムのフェーズ1完了の遅れについて非常に批判的であった。SMRは、軽水炉(LWR-加圧水型炉PWRと沸騰水型炉BWR-)と非LWR技術の2つのグループに分類され、PWRとBWRは2019年時点で稼働している商用原子炉の大部分を占めているが、非LWR技術は商

業的に展開されていない新しい設計である。これを反映して、貴族院特別調査委員会は、非LWR設計について「2030年までの展開は困難であり、展開前にさらに大幅な研究開発が必要になる」と述べた。

英国政府は2017年12月にSMRコンペを事実上中止した。しかし、このコンペは設計されている様々な先進原子力技術のエネルギーシステムにおける潜在的役割を強調する上で、すなわち、様々な原子炉型式が競争できるエネルギー市場を強調する上で非常に貴重なものであったとしている。

(2) 原子力セクターディール (NSD: Nuclear Sector Deal)

NSDは、英国の産業戦略の構成要素として2018年6月に発表された。これは、英国が世界有数の原子力国の1つになることを助けてきた政府と産業界の間の歴史的なパートナーシップに基づいている。

NSDは、グリーン経済成長を推進し、原子力発電を英国のネットゼロエネルギーの未来の不可欠な要素にするために協力するという政府と産業界との公約であった。NSDの当初の焦点は、2030年までに原子力セクターのビジョンを実現し、大きな社会経済的利益を生み出し、より大きな長期雇用機会、よりクリーンなエネルギーおよびすべての人々への原子力の安全な供給を保証することであったが、NSDははるかに長期的な進展と活動の基盤となる可能性がある。この基盤は、以下に示す

NSD の 4 つの主要な 2030 年目標に基づいて構築されている。

- 2030 年までに新しい建設プロジェクトのコストを 30% 削減
- 2030 年までに現在の見積りと比較して廃止措置のコストを 20% 節約
- 2030 年までに原子力分野の女性の割合を 40%
- 2030 年までに最大 20 億ポンドの国内および国際契約を獲得

原子力セクター全体の先進製造と建設技術の向上やサプライチェーンの構築を支援するため最大 6,200 万ポンドが提供されることになった。

(3) 原子力ロードマップ (Forty by '50: The Nuclear Roadmap)

2020 年 6 月、NIA は 2050 年までに英国のクリーン電力の最大 40% を供給し、地域暖房とともに水素やその他のクリーン燃料の生産を通じて「より幅広い脱炭素化を推進」し、最終的には 30 万人もの雇用と 330 億ポンドの年間経済価値をもたらす「2050 年までに 40%：原子力ロードマップ」(Forty by '50: The Nuclear Roadmap)」を発表した。NIA によると、原子力は英国のクリーン電力の 40% を供給するが、化石燃料の代替と電気自動車と暖房部門の需要により、需要は現在の 4 倍になると予想されている。これを実現するため、以下の 6 つのステップを示している。

- 原子力産業は、新設炉プロジェクトのコストを引き続き削減し (2030 年までに 30%)、「納入の卓越性を確立」しなければならない。
- 政府は「新設の原子力発電への明確で長期的な公約をはっきりと述べる」べきである。
- 新しい設備容量への投資を刺激し、資本コストを削減するために、原子力の新設のための「適切な資金調達モデル」についても進展しなければならない。
- 小型原子炉に対して、国家政策声明および立地と許認可の提案を含む「促進的」プログラムが策定されるべきである。
- 原子力セクターディールの 2030 年の目標 (政府の産

業戦略の一部) は維持されるべきである。これには、新設と廃止措置のコスト削減目標、40% の女性労働力および英国サプライチェーンの国内と国際契約の 20 億ポンドが含まれる。

- 産業界と政府は、地域暖房や農業、貯蔵技術などの熱利用とともに、医療用アイソトープ、水素、輸送用合成燃料の生産を含む、従来の電力生産以外の分野横断的な協力で焦点を当てた枠組みと公約に合意すべきである。

4. 原子力への資金提供プログラム

(1) AMR の実現可能性と開発 (AMR F&D) プロジェクト

前述のように、2017 年 12 月、BEIS は SMR コンベを事実上中止した。2 億 5,000 万ポンドのコンベは、非 LWR 設計を目的に、3 年間で総投資額 4,400 万ポンドのより幅広い種類の原子炉を組み込むように設計された新しい 2 段階の「AMR の実現可能性と開発」(Advanced Modular Reactor (AMR) Feasibility and Development (F&D)) プロジェクトに置き換えた。このプロジェクトの狙いは、先進原子炉の技術的実現可能性と商業的実行可能性を理解し、英国政府の開発資金がそれらを商業的展開に近づけることができる有望な設計を特定することであった。モジュールのオフサイト製造を最大限に活用し、低コスト低炭素電力、電力供給の柔軟性の向上、熱や電気の供給などの機能性の向上および追加の収益を生み出すまたは経済成長を支援する代替用途を提供する技術に関心を集中させた。

2 段階の R&D プログラムである AMR プロジェクトのフェーズ 1 では、AMR 設計に関する実現可能性に取り組むための最大 400 万ポンドの資金提供と 8 組織 (それぞれ最大 30 万ポンド) の選定、フェーズ 2 では最大 4,000 万ポンドの資金提供と開発作業に取り組むフェーズ 1 の企業から 3 社のプロジェクト (それぞれ約 1,000 万ポンド) を選定した。

(2) 原子力イノベーションプログラム (NIP)

2015 年の包括的支出計画 (Spending Review 2015) において、政府は野心的な原子力研究開発プログラムへの投資を公約した。この資金提供は、英国のエネルギーイノベーション支出を 2 倍にするという政府の幅広い公約の一環であり、2021 年までの 5 年間に原子力研究イノベーションに 4 億 6,000 万ポンドを投資することとした。NIP は英国に短期および長期の市場機会を活用する技能と能力を身に付けることを目的とした優先的な研究イノベーションプログラムであった。この公約の 1 つとして、BEIS が NIP に 1 億 8,000 万ポンドを資金提供することによってサプライチェーン全体で機能を開発し、新設原子炉群、SMR 開発および AMR R&D をより適切に支援できるようにすることを狙った。5 年間の NIP のプログラムは 2016 年に開始され、6 つの分野で 16 カ国にまたがる 54 の組織が関与している。

① フェーズ 1

2016 年から 2018 年までに 5 つの主要分野にわたる民間原子力セクターのイノベーションを支援し、また NIRAB の勧告事項に基づいて 2016 年 11 月に 2,000 万ポンドを超える資金を提供するフェーズ 1 が開始された。この資金提供には以下が含まれていた。

- より高いレベルの効率を提供できる先進核燃料に関する英国の最先端の作業を維持するための 600 万ポンド
- 次世代の原子炉設計の開発、安全性および効率を支える研究に 500 万ポンドの資金提供。これには、ウェールズ政府と協力した詳細調査作業が含まれる
- 将来の原子炉のための原子力材料、先進製造技術およびモジュール式組立てにおける英国の能力を開発するための 600 万ポンドの資金提供。このプロセスは小企業研究イニシアチブ (Small Business Research Initiative) を通じて Innovate UK が主導している。
- 将来の環境上および財政上の負担を軽減する可能性のある核燃料リサイクルプロセスの研究に 200 万ポンドの資金提供
- 2050 年まで、原子力部門における将来の意思決定の

ための政府の知識基盤を強化する一連のツールキットと基盤となるデータの開発を継続するための 200 万ポンドの資金提供

② フェーズ 2

フェーズ 2 は 2017 年 12 月に発表され、以下に示す最新の安全とセキュリティの方法論と先進燃料研究に取り組むために最大 800 万ポンドを提供した。

- 原子炉の設計と安全工学の作業のための 370 万ポンドの資金提供。この作業の狙いは、安全とセキュリティの事例を開発および評価するためのより優れたツールを構築し、原子力の安全とセキュリティのパフォーマンスの評価を改善し、設計プロセス全体で原子力の安全、核セキュリティおよび保障措置の要件をどのように提供できるかについての理解を深めることである
- 先進核燃料の研究のための 430 万ポンドの資金提供。この作業は、事故耐性燃料を開発するための世界をリードする研究所を展開し、先進核燃料が運転中にどのように振る舞うかについての改良されたコンピューターモデリングとシミュレーションを開発することを狙いとしている。この作業は、第 IV 世代技術などの先進原子炉の展開を支援する。

③ フェーズ 3

NIP の 1 つであるデジタル原子炉設計 (Digital Reactor Design) プログラムは、英国の将来のエネルギー需要を満たす上で重要な役割を果たす可能性のある第 IV 世代原子炉と SMR の開発の最前線に英国産業を置くための幅広い取り組みの一環であった。

プログラムは 2 組に分けられ、それぞれ 2 段階で進められる。熱水力モデリングと仮想エンジニアリングを含む原子炉のデジタル設計機能に関する 2 年間の研究を対象としていた。

(a) ロット 1 – 熱水力モデル開発

様々な冷却材媒体を使用して、将来の原子炉設計の設計と開発または評価を支援するために、原子炉の熱水力を正確にモデル化するソリューションを開発する。

Frazer-Nash 社は NSD の一環として、250 万ポンドの核熱水力研究開発プロジェクトを主導している。2017 年から 2019 年にか

けて実施されたプロジェクトの第一段階では、2つの仕様が提供された。1つは新しい熱水力試験施設用で、もう1つは新しい熱水力モデル開発用である。モデル開発に関する最初の革新的な研究も実施された。この研究は産業用途の可能性があり、第二段階で進められている。

2019年3月から2021年3月まで実施された第二段階では、熱水力現象に関する6つの技術ボリュームが作成され、産業界および規制当局向けの良好事例が含まれていた。さらに、4つのケーススタディで、先進原子力技術アプリケーションへの技術ボリュームの使用を示す。原子炉開発者は、各ケーススタディに関連付けられ、産業界で役立つことを確認する。

(b) ロット2-原子力仮想エンジニアリング機能と検証イノベーション

初期段階の作業に基づいて、原子力の設計および開発プログラムのコストを改良し削減するために、ハイテク産業からの仮想エンジニアリングおよび関連技術を組み込んだ原子力仮想エンジニアリング機能を提供するソリューションを特定し開発する。セクター間の最適事例を含む「ビッグデータ」を革新的に管理するための先進的な測定機能とアプローチを開発し、この作業を支援する。

Wood社は、約330万ポンドのデジタル原子炉設計を主導している。第一段階は、ライフサイクル全体を対象とするコンピューターシミュレーションの設計および管理プラットフォームを開発することにより概念を実証した。2019年5月に発表された第二段階の焦点は、ソフトウェアフレームワークにデジタルツールを実装し、実際のプロジェクトアプリケーションを利用して効率の向上を実証し、サプライチェーンの協業を可能にし、最終的に業界全体に文化的変化をもたらすことである。

④先進製造技術と材料（AMM）プログラム

SMRおよびAMRの検討から得られる重要な教訓の1つは、特注の現場ベースの土木工学ではなく、製造施設の建設技術を使用するという共通の目的である。この供給アプローチの変更が成功すれば、建設時間が短縮され、生産性と品質が向上し、最終的にはプログラムのリスクが低下する。これは投資を呼び込むために不可欠なものである。なお、AMMプログラムのうち、2019年に開始して2021年3月末までに完了する資金提供プログラムを「先進製造と建設技術」（AMC）と呼んでいる。

小型原子炉の工場製造とオフサイト組立の利用は、最先端の技術とプロセスを利用して費用効果の高い方法で原子力部品を製造する、生産性が高く有能なサプライチェーンに依存する。

NIPの構成要素内で、またNSDの一環として、AMCイニシアチブに最大2,000万ポンドを投資している。これは、原子力セクターからの1,200万ポンドのマッチファンディングが見込まれている。このイニシアチブは、新しい技術が従来の原子力の新設、先進原子力技術または原子炉廃止措置の中でコスト削減を実現できることを実証することを狙いとし、新しい先進製造と建設技術の可能性やデジタルエンジニアリングなどを証明することを目的としている。重要な点は、実際のプロジェクトに資金を提供することにより、イニシアチブはサプライチェーン内に商業的能力を構築し、将来の民間原子力セクター、特に先進原子力セクターを支援する態勢を整えることを期待している。

(a) 第一段階

第一段階は500万ポンド資金提供プログラムで2017年4月から実施され2019年8月に終了した。このプログラムは先進製造と材料の技術を開発するための初期資金で第二段階に対する基本機能を提供することを目的とした。

(b) 第二段階

第二段階は実証と商業化に向けて、第一段階で確立されたものを含む製造技術または技術準備レベルの向上に焦点を当てた2,600万ポンドの投資プログラムである。先進製造技術または建設技術を使用して、第一段階の資金提供を受けたプログラムからの教訓と技術を取り入れ開発する1つ以上の技術実証機を製作する。

第二段階は2Aと2Bに分割されている。2Aは2019年4月に終了し、4つのプロジェクトに最大1,600万ポンドの資金を提供した。2Bは2021年3月末に終了した。2Bは1,000万ポンドの助成金であり、短期、中期および/または長期に展開可能な原子力発電所の製造と建設に使用される技術の製造レベルまたは技術準備レベルの向上に焦点を当てている。2Bはアウトプット主導で行われ、技術実証機または先進製造および/または建設技術を利用する多数の実証機が製作される。これらの技術は、原子力発電所の建設、保守、廃止措置および将来の技術に適用できる。

(3) 先進原子力ファンド

(ANF: Advance Nuclear Fund)

10項目計画の項目3「新規の先進原子力提供」(Delivering New and Advanced Nuclear Power)は、大型から小型先進モジュール炉まで、新規の原子力発電を開発するという政府の公約である。政府は、「次世代の小型先進原子炉」へ5億2,500万ポンドを投資としている。

英国は60年以上前に世界初の本格的な民間原子力発電所の本拠地であり、この業界は現在、英国で約6万人を雇用している。大型発電所であろうと小型および先進モジュール炉などの次世代技術であろうと、新規の原子力は低炭素電力を産み出し英国全体で雇用と成長を産み出す。政府は費用対効果の高い大型の新規原子力プロジェクトを推進し支援する

ために開発資金を提供する。これに加えて、次世代の原子力技術へのさらなる投資も検討している。金銭的価値(value-for-money)と将来の支出協議(spending rounds)を条件として、政府はANFで最大3億8,500万ポンドを投資する。これにより、SMRに最大2億1,500万ポンドの投資が可能となり、工場で製作して現地で組み立てることができる国内の小型発電所技術設計を開発できるとしている。それは最大3億ポンドの民間部門のマッチファンディングへの扉を開くものである。

また、AMRの研究開発プログラムに最大1億7,000万ポンドを投資する。AMRは800℃以上で運転することが可能であり、炭素の回収・利用と貯留(CCUS)、水素および洋上風力への投資を補完する高品位熱は水素および合成燃料の効率的な生産に扉を開く可能性がある。遅くとも2030年代初頭までに実証炉を建設して、この技術の可能性を証明し、英国を国際的な競合他社に対して最先端に置くことを狙いとしている。

SMRへの2億1,500万ポンドの投資は、UKRI(UK Research and Innovation)の産業戦略チャレンジファンドの低コスト原子力プログラムを通じて提供される。

これらの技術の市場投入を支援するために、規制の枠組みの策定と英国のサプライチェーンの支援にさらに4,000万ポンドを投資するとしている。

(4) 産業戦略チャレンジファンド

(ISCF: Industrial Strategy Challenge Fund)

2017年4月、BEISはビジネス主導の産業戦略チャレンジファンド(ISCF)を開始した。これは、ネットゼロ、健康と福祉から技術の進歩に至るまでの課題に資金を提供するための新しいアプローチであり、より良い世界を創造することを目指すものであった。2018年4月、ファンドの管理を担当するUKRIがBEISによって設立された。

このファンドは、量子技術やロボット工学

から SMR に至るまでの興味を惹かれる課題に約 26 億ポンドの公的資金と民間部門からの 30 億ポンドのマッチング資金を今日の大きな社会的および産業的課題に取り組むために研究者と企業を結集するプロジェクトに投資するものである。資金提供しているプロジェクトは、イノベーションを推進し、雇用を創出し、英国を科学とイノベーションの世界的な目的地として確立することにより、国全体に経済的影響を与えることとなる。

ISCF は、主要な研究者と企業を結集して主要な産業的および社会的課題に取り組むことを狙いとしている。「産業戦略」には 4 つの Grand Challenge（人工知能とデータ経済、高齢化社会、クリーン成長、移動手段の未来）があり、ISCF のすべてのチャレンジがそれぞれに対応している。

ISCF の各チャレンジは、産業界、研究者、国、地方と地方政府およびその他多くの者と協力して定義され、毎年、ISCF チャレンジの新しい波が発表されている。支援されている活動の重要な要素は、企業や業界との関わりと協力の必要性である。

チャレンジの最初の波は 2017 年、2 番目の波は 2018 年、3 番目の波は 2019 年に開始された。各チャレンジには、2,000 万ポンドから 2 億 4,600 万ポンドの範囲の専用ファンドがある。ファンドの多くは、産業界とのマッチングファンドである。

テーマの 1 つであるクリーン成長には産業の脱炭素化、低コスト原子力、より賢明な製造、エネルギー革命による繁栄、賢明で持続可能なプラスチック包装、建設の変革および基盤産業の変革の 7 つのチャレンジが取り上げられている。低コスト原子力チャレンジは、迅速に建設できネットゼロ経済への移行を支援できる SMR を通じて低コストの原子力を提供するための新しいアプローチを開発することである。

2019 年 7 月、UKRI は ISCF の一環としてロールスロイス社が主導する SMR コンソーシ

アムに 1,800 万ポンドのマッチングファンドを投入することを公表した。ロールスロイス社は英国で唯一の大規模な SMR の開発候補であり、英国への潜水艦用原子炉の独占供給における長い歴史があるため、英国の SMR 開発資金の受領者となる可能性が高いと広く認識されている。ロールスロイス社は、4 年間予備設計に取り組んできた原子力、土木建設および製造業の企業から同額の資金が提供されるとし、合計 3,600 万ポンドの投資によりコンソーシアムは設計をさらに発展させることができる。これが成功すれば、公的資金と民間資金の合計は 5 億ポンドに達する可能性があり、2030 年までに SMR を英国に展開できる。また、英国の企業に重要な輸出機会を提供し、エンジニアリングと製造で最大 4 万人の雇用を創出する可能性がある。これらは、再エネからの増大する貢献を補完し、将来的に信頼性の高い電力供給を確保するのに役立つとしている。

2021 年 2 月、ロールスロイス社は実現可能性段階を終了し、2024 年頃に一般設計評価 (GDA: Generic Design Assessment) を完了し、2030 年頃に最初の SMR の電力供給を開始することを目指していることを発表した。ロールスロイス社は設計開発に多額の自己資金を投資する場合に英国政府が満たすべき特別な一連の条件を設定した。これらには、政府が設計開発費の半分以上を支払うこと、設計のための英国市場への独占的アクセスおよび 7 GW（16 基の原子炉）の保証された英国市場が含まれる。ロールスロイス社の設計が選択されていない場合は、どの設計を選択しても、英国のパートナー企業であることを要求している。

5. 原子力規制の動向

原子力規制庁 (ONR) と環境庁 (EA) は、指針とプロセスを見直して、目的に適合し、小型原子力プロジェクトにアクセスできるよ

うにするとともに、先進原子力技術（ANT: Advanced Nuclear Technologies）を評価する能力と力量を育成するための重要な作業プログラムを実施している。

2017年10月、「クリーン成長戦略」の一環として、BEISはANTの開発を支援し規制する原子力規制当局の能力と力量をさらに発展させるために、最大700万ポンド（ONRに500万ポンド、EAに200万ポンド）を投資することを発表した。

ONRとEAは、継続的な改善への取り組みの一環として、GDAプロセスを見直してきた。英国では、GDAは立地許可の前に実行される主要な規制プロセスである。彼らは改善の機会を特定するために大規模な原子力プロジェクトに対する最近のGDAからの教訓を検討するとともに、SMR/AMRビジネスモデルに適した柔軟性を導入するためにSMR/AMRの潜在的な要件を検討し、規制プロセスの最新化と強化を図ってきたが、ONRの審査はまた過去のGDAの頑健性との整合性も維持している。彼らは、GDA自体を最新化することに加えて、SMR/AMRがGDAへの参加を要請できる明確なプロセスを推進することを約束した。

AMR F&Dプロジェクトと並行して、英国の規制制度とANTに対する規制能力を引き続き強化するためにONRへのさらなる投資が含まれていた。これには、産業界および国際協力への関与の大幅な増加が含まれている。また、AMRを評価し、国内のAMRサプライチェーンの開発を促進する英国の規制環境を育成するための規制当局の能力と力量も構築している。

規制当局は現在、AMR F&Dのフェーズ1で提供された豊富な裏付け資料を評価しており、残りの知識のギャップや関連する規制上の課題の特定など、これからの重要な教訓を期待している。原子力規制当局は、強力な知識管理アプローチを確立し海外の規制当局と協力して経験、知識および良好事例を共有し

ている。AMR F&Dのフェーズ2では、能力と力量をさらに伸ばすために技術開発者との緊密な連携を継続することを期待している。

2021年5月、ONRはEAとともにAMRに対するGDAプロセスを開始した。ロールスロイス社が主導するSMRコンソーシアムは、2021年の後半にSMR設計をONRが最初に評価することを目指しており、2030年代初頭までに初号機を完成させることを望んでいるとした。また、Penultimate Power社も日本原子力研究開発機構（JAEA）と共同で開発している第IV世代高温ガス炉（EH HGTR）をGDAプロセスの初号機とすることを目指していることを発表した。

6. おわりに

本稿は、英国の原子力研究開発の経緯を紐解くとともに、原子力補助政策について分かりやすく整理して説明した。

英国政府の補助政策は2011年以降毎年のように大きく変わり、政府の大規模な資金提供プログラムが発表されても数年後には中止となり次のプログラムが打ち出されることになるが、これは英国独特の複数年度予算計画（Spending Review）に原因があると考えられる。これが英国の原子力政策を分かりにくくしている面があるが、いずれにしても、この10年間、英国政府が一貫して原子力を積極的に推進していることが分かった。

米国、カナダにおいてもSMRの商業化に向けた取り組みが進展しており、またSMRの規制プロセスも進行しており、世界のどの国が最初にSMRを商業展開し、世界標準となって世界市場を独占するか今後も大いに注目される状況である。