

新型炉部会セッション

社会動向を踏まえた新型炉開発の価値

Value of advanced reactor development based on social trends

(3) 新型炉開発の海外動向・国際連携

(3) Foreign country trends and international cooperation on advanced reactor development

*瀬下 拓也¹¹ 日本エヌ・ユー・エス株式会社

1. はじめに

カーボンニュートラル実現などの外部環境変化により、原子力エネルギーが果たす役割は変化していく。従来の軽水炉で果たせない役割は新型炉が担っていく必要があり、各国で新型炉開発の動きが活発である。経済産業省資源エネルギー庁は、2022年4月、原子力発電の新たな社会的価値を再定義し、我が国の炉型開発に係る道筋を示すため、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会の下に「革新炉ワーキンググループ」を設置した¹。その第1回会合では、カーボンニュートラル実現に向けた社会全体の变革に対し、革新炉による貢献の可能性について、以下の観点で整理された。

- 安全性向上
- 電力部門の脱炭素化
- 産業部門の脱炭素化
- 電力ネットワーク
- レジリエンス
- 安定供給、経済安全保障
- 廃棄物問題
- 非エネ分野

特に、安定供給、経済安全保障については、エネルギー・サプライチェーンの地政学リスクが近年注目されている。新型炉開発は、技術自給率の維持・改善による地政学リスクの低減に貢献でき、また、国際連携プロジェクトにも貢献できると期待される。

本講演では、海外主要国における新型炉開発の動向や国際連携について紹介し、今後の展望を述べることにしたい。

2. 海外主要国における新型炉開発の動向

海外主要国における主な開発・建設プロジェクトを表1に示す。セッション当日は、これらを含め最新の動向を紹介するが、2-1~2-6では主要なポイントを示す。

下記のように、小型炉やマイクロ炉の開発が多く進められているが、これにより様々な市場、様々な顧客に対応できることが期待される。最近の検討では、以下の適用先が言及されている²⁾。

短期

- 既設サイトでの増設、リプレース（大型炉、小型炉）
- 石炭、ガス、石油火力発電所のリプレース（小型炉）
- 軍事基地、軍事用可搬電源（マイクロ炉及び小型炉）
- データセンター（全て）
- 遠隔地での利用（マイクロ炉及び小型炉）
- 直接契約（マイクロ炉及び小型炉）

中期

- 送電網に接続されていない産業用サイト（マイクロ炉及び小型炉）

- 産業熱利用、コジェネ（全て）
- 軍事以外の可搬電源（マイクロ炉及び小型炉）

発電以外

- 産業熱利用
- 地域暖房
- 淡水化
- 水素製造
- 合成燃料製造

表1 各国における主要な開発・建設プロジェクト

国名	主なプロジェクト	スケジュール	開発者	名称	炉型
米国	CFPP	2029年運転開始	NuScale Power	VOYGR	iPWR
	ARDP①	2027年運転開始	X-Energy	Xe-100	高温ガス炉
			TerraPower	Natrium	ナトリウム冷却高速炉
	ARDP②	2030～2032年頃に実証	Kairos Power	ヘルメス試験炉	熔融塩炉
			Westinghouse	eVinci	ヒートパイプ型超小型炉
			BWXT Advanced Technologies	BANR	高温ガス炉
			Holtec Government Services	SMR-160	PWR
			Southern Company Services	MCRE	熔融塩炉
	ARDP③	2030年代半ばの実用化	Advanced Reactor Concepts	ARC-100	ナトリウム冷却高速炉
			General Atomics	FMR	ヘリウム冷却式高速炉
MIT			MIGHTR	高温ガス炉	
プロジェクト Pele	2024年試験開始	X-Energy	Xe-Mobile	高温ガス炉	
		BWXT Advanced Technologies	BANR	高温ガス炉	
カナダ	CNL	2026年までに建設	USNC	MMR	高温ガス炉
	OPG	2028年までに建設	GEH	BWRX-300	BWR
	SaskPower	2032年までに1基建設	GEH	BWRX-300（4基）	BWR
	NB Power	2030年頃建設	Moltex Energy	SSR-W	熔融塩炉
Advanced Reactor Concepts			ARC-100	ナトリウム冷却高速炉	
英国	LCN	2029年までに建設	Rolls-Royce	UK-SMR	PWR
	AMR RD&D	2030年代初頭までに建設	未定	未定	高温ガス炉
仏国	NUWARD 開発	2030年までに開発完了	EDF 他	NUWARD	PWR
中国	ACP100 建設	2021年に建設開始	CNNC	ACP100	PWR
	ACPR50S 建設	2016年に建設開始	CGN	ACRP50S	PWR
	CFR600 建設	2017年に建設開始	CNNC	CFR600	ナトリウム冷却高速炉
	HTR-PM 建設	2021年に臨界達成	清華大学	HTR-PM	高温ガス炉
ロシア	RITM200M 建設	2023年までに建設	Afrikantov OKBM	RITM200M	PWR
	RITM200N 建設	2024年までに建設	Afrikantov OKBM	RITM200N	PWR
	BREST-300 建設	2026年運転開始	NIKIET	BREST-300	鉛冷却高速炉

2-1. 米国

- NuScale は 2026 年までに初号機プロジェクトの建設・運転認可を取得し、2029 年に運転開始予定である。DOE は開発支援を目的とした補助金を交付している。NuScale 炉（VOYGR）は、複数の方法を用

いて（モジュールを個別に起動・停止、制御棒調整、タービンバイパス制御）、様々な時間単位での負荷追従運転が可能であるほか、水素製造も検討されている。

- TerraPower の高速炉 Natrium は、高速炉の高温と蓄熱性能に優れる熔融塩タンクを組み合わせ、負荷追従が可能である。熔融塩タンクによる蓄熱システムは、出力変動する再エネの補完として既に実用化されている。
- 2018年に制定された「原子力エネルギー技術革新対応法（NEICA）」に基づき、米国エネルギー省（DOE）はアイダホ国立研究所（INL）内に国立原子炉イノベーションセンター（NRIC）を設置した。これは、2015年から実施されている、民間イノベーション支援（GAIN）の成功を背景とした取組みであり、様々な炉型の試験や実証を行う場として機能している。DOE はまた、2021年から革新的原子炉実証プログラム（ARDP）を開始している。技術熟度、実用化時期に応じて軽重をつけ、3種類のプランで多様な炉型の実証・開発を支援している。
- 本年6月、原子力エネルギー協会（NEI）会長の Maria Korsnick 氏は、今後25年で SMR 300基を建設し、原子力設備を倍にする（電源比率 20→40%）、米国外への輸出収益は1.9兆ドルを見込む、とのビジョンを示した³⁾。
- 現状は既設炉での取組みになるが、DOE は2020年より原子力水素の技術開発を支援している。低温電気分解による水素製造の実証（Energy Harbor 社・INL）、高温水蒸気電解の実証（Xcel Energy 社・INL）等が進められている。

2-2. カナダ

- カナダ原子力研究所（CNL）は2018年、CNLが管理する Chalk River 研究所に SMR を立地する立地評価プロセスを開始した。これに4社が応じているが、Global First Power Limited Partnership（Ontario Power Generation（OPG）及び Ultrasafe Nuclear Corporation（USNC）のカナダ子会社である USNC-Power が出資）による MMR（5MWe の高温ガス炉）建設計画が最も進んでいる。
- OPG 及び SaskPower は、各々 BWRX-300 の建設プロジェクトを進めている。前者は、2028年の運転開始を目指している。
- カナダ天然資源省（NRCan）の原子力部門は、原子力開発の政策を立案している。2020年12月には、SMR ロードマップの実現に向けた進捗状況と継続的な取組みを概説した「カナダ SMR アクションプラン」を発表した。この政策は、カナダ原子力公社（AECL）によって推進されるが、研究開発は CNL が担っており、AECL はプロジェクトファシリテーターに徹している。

2-3. 英国

- Rolls-Royce SMR 社は UK-SMR を開発しており、英国産低コスト SMR の開発を支援する低コスト原子力（LCN）プログラムによる開発助成金を受け、設計の詳細化を進めている。
- 英国政府は2021年7月、先進的モジュール式原子炉（AMR）の研究開発及び実証（RD&D）を開始し、対象として高温ガス炉を選択した。第一段階として、実証の規模、種類、コスト及び実施方法の可能性を検証する6プロジェクトに資金提供を行う。
- 英国政府は、本年4月に「エネルギー安全保障戦略」を公表し、2050年までに原子力による発電割合を現状の15%から25%に拡大し、24GWの導入を目指すとした。新しい政府機関として「Great British Nuclear」を立ち上げ、新設プロジェクトの投資準備や建設期間中の支援を行う。

2-4. 仏国

- EDF 社、TechnicAtome 社、Naval Group 社及び原子力・代替エネルギー庁（CEA）のコンソーシアムは、NUWARD という SMR を開発している。政府はこの開発に5億ユーロの支援を行うとしており、2030年から実証プラントの建設を開始する予定である。
- 本年2月、マクロン大統領は演説の中で、2050年までに6基の EPR2 を建設し、さらに8基の EPR2 建

設に向けた検討を開始する意向を表明した。国営企業が EPR、EPR2 の建設で産業基盤を維持しつつ、将来に向けた革新炉開発も推進している。

2-5. 中国

- 中国核工業集団（CNNC）は、仏国の PWR 技術をベースに開発した ACP1000 の小型版である ACP100 の開発を 2010 年頃から行っている。
- CNNC は、2018 年から原子力発電の余剰電力を使用して水素製造を行う Power to Gas（P2G）を検討しており、高温ガス炉は原子力 P2G のオプションの一つである。CNNC は精華大学・宝鋼集団と協力し、鉄鋼業での利用に向けた高温ガス炉ベースのグリーン水素プロジェクトに着手している。

2-6. ロシア

- 砕氷船で既に使用されている KLT-40S や RITM-200 等小型 PWR の改良版として、VBER-300 や RITM-200M が開発されている。RITM-200M はチュクチ自治管区で 2023 年までに建設する計画であり、その陸上版である RITM-200N はサハ共和国国内で 2024 年までに建設する予定である。
- ロシアは高速炉の商用展開により核燃料サイクルを閉じることを目指しており、実証炉 BN-600 や BN-800 が既に建設されている。鉛高速炉の原型炉 BREST-300 は現在建設中で 2026 年に運転予定である。

3. 国際連携

従来、我が国原子力産業の中核部品・部材のサプライヤは、国内での豊富な実績を活かし、海外プロジェクトにも多数参画してきた。新型炉に関しては、現状、主に以下の国際連携がある。

- SMR：NuScale、BWRX-300 等に関する日米協力
- 高速炉：安全性・経済性を向上する研究開発の日仏協力、Natrium 炉に関する日米協力
- 高温ガス炉：AMR RD&D 等に関する日英協力

ただし、上記は海外プロジェクトへの参画が主であり、国内の新型炉プロジェクトは具体化していない。国内におけるエンジニアリング・機器製造能力を維持するためにも、海外プロジェクトへの効果的な参加が提言されている（革新サプライヤチャレンジ）¹。これは、新型炉向けの機器や部素材の設計・開発・実用化に挑戦する国内サプライヤでチームを組成し、海外の実機プロジェクトへの参画を官民で支援する仕組みを設けるものである。

また、新型炉の円滑な導入に向け、国際レベルでの標準化及び規制条件の調整が重要である。主な国際機関や多国間の検討を以下に示す。

- 第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）：高速炉の安全性に関わる研究及び安全要件の検討は日本がリードしている。
- IAEA の SMR Regulators' Forum 及び Nuclear Harmonization and Standardization Initiative（NHSI）
- OECD/NEA の Working Group on the Safety of Advanced Reactors（WGSAR）
- WNA の CORDEL（Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing）ワーキンググループ
- EU の ELSMOR（towards European Licensing of Small MOdular Reactors）プロジェクト
- NRC（米国）とカナダ（CNSC）の新型炉審査協力
- EU の 3 か国による NUWARD の共同審査

新型炉の多くは、従来の軽水炉に比べて単純、小型のため、より安全と期待されている。また、モジュール炉は数をこなして製造コストを下げて行くビジネスモデルであり、導入国毎に設計が変わる運用では負担が増加する。そのため、各国における審査の効率化や共通化は、新型炉の導入を促進していく上で重要な課題である。

4. おわりに

米国、英国、仏国、フィンランド等の西側諸国で進められた大型軽水炉建設プロジェクトは、スケジュール超過、コスト超過が相次ぎ、競争力を身に着けたロシア、中国の台頭を許した。昨今における新型炉開発の高まりは、西側諸国にとって、外部環境の変化に応じて原子炉のあり方を再定義し、新商品を開発し、国際的なリーダーシップを取り戻す試みと言える。日本企業にとっても多くの可能性があり、国際社会から期待されているところも多い。一方、新型炉の実用化においてはサプライチェーン、規制、使用済燃料・廃棄物などが障壁になりうると認識されている。これらは一国で解決できるものではなく、国際連携が以前に増して重要となっている。

参考文献

- 1) https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/index.html
- 2) Breakthrough Institute, "Advancing Nuclear Energy," (2022)
<https://thebreakthrough.org/articles/advancing-nuclear-energy-report>
- 3) NEI, "Maria Korsnick's Remarks at the State of the Industry," (2022)
<https://www.nei.org/news/2022/maria-korsnicks-state-of-the-nuclear-industry>

*Takuya Seshimo¹

¹Japan NUS, Co., Ltd.