

## 第 43 期（2021 年度）第 4 回講演会 開催報告

1. 日 時：2022 年 3 月 18 日(金) 13 時 00 分～14 時 30 分
2. 場 所：Zoom によるオンライン開催、63 名の参加（2022 年春の年会、C 会場）
3. 講演者および演題：  
「原子力イノベーションを巡る海外動向と JAEA の国際戦略」
  - (1) 原子力イノベーションを巡る海外の研究開発動向  
柴田 大受氏（日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門 戦略・計画室 次長）
  - (2) 原子力イノベーションを巡る JAEA の国際戦略  
舟木 健太郎氏（日本原子力研究開発機構 理事）

#### 4. 講演概要：

##### 【要旨】

2050 年頃のカーボンニュートラル達成が国際社会の目標として共有される中で、エネルギーシステムの脱炭素化に向けた原子力の役割、とりわけイノベーションを通じた革新炉（ここでは、非軽水炉型の新型炉や小型モジュール炉（SMR）全般を指す）の導入の重要性、それを実現するためのモデルとして、民間企業によるイノベーションを国の研究機関が支援する官民パートナーシップの重要性に対する認識が高まっている。また、原子力イノベーションを巡っては、世界的に見れば、近年では特に SMR の開発が活発に進められており、わが国においても、原子力について、社会からの信頼獲得と安全確保を大前提として必要な規模を持続的に活用していくとともに、2030 年までに、民間の創意工夫や知恵を活かしながら、国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進、小型モジュール炉技術の国際連携による実証、高温ガス炉における水素製造に係る要素技術の確立等を進めているとしている。そうした背景の下、原子力イノベーションを巡る国内外の動きとして、海外の研究開発動向について、柴田氏よりご講演いただき、続けて、JAEA の国際戦略について、舟木氏よりご講演いただいた。

##### (1) 原子力イノベーションを巡る海外の研究開発動向

- 原子力イノベーションの一つとしての SMR 開発という切り口で、各国における取組を紹介したい。SMR 開発は各国で現在精力的に進められており、その一つ一つを説明することはできないが、主要な取組を説明し、その中で重要な観点を抽出するようにしたい。
- 米国：米国の SMR 開発動向には、まず DOE による開発支援がある。これは新型炉実証プログラム（ARDP）と原子力の技術革新を加速するゲートウェイ（GAIN）に代表される。ARDP には 3 つのプログラムがあり、うち「7 年以内の新型炉実証」には 2 件（高

速炉：Natrium、高温ガス炉：Xe-100）選定されている。GAIN はバウチャープログラムにより、INL など国立研究所が有する設備利用権を提供する。DOE 開発支援と並行して、NRC による SMR 関連活動として、「NuScale Power Module (NPM)」について、2020 年 9 月に標準設計承認 (SDA) を発給した。また NRC は、テネシー峡谷開発公社 (TVA) に対し、SMR を設置するための早期立地許可の発給を承認した。ARDP に採択された高速炉 Natrium に関しては、2022 年 1 月、米国 TerraPower 社と日本原子力研究開発機構、MHI、MFBR の四者はナトリウム冷却高速炉技術に関する覚書を締結し、高速炉開発協力を発展させ、高速炉開発に関する技術力の維持・向上を図る取り組みを進めていくこととした。

- 英国：政府が中心となった開発が進められており、2020 年 11 月に政府から「グリーン産業革命のための 10 要点計画」が発表された。その中の一つとして次世代原子力の実現が掲げられ、最終ターゲットは 2030 年代初頭の SMR 初号機導入、AMR 実証炉設置である。英国では軽水炉型の小型炉を SMR、それ以外の型式の小型炉を AMR と呼んでいる。2018 年には AMR 設計成立性評価フィージビリティスタディ (FS) が開始され、2020 年のフェーズ 2 において 3 社 (U-battery 社：高温ガス炉、Westinghouse UK：鉛冷却高速炉、Tokamak Energy：小型核融合炉) に絞り込まれた。2021 年 7 月には AMR 研究開発・実証プログラムとして高温ガス炉に焦点を当てたプログラムが走り出した。これらと並行して、原子力機構は英国国立原子力研究所 (NNL) (開発) と英国原子力規制局 (ONR) (規制) と協力し、それぞれ取決めを締結することで、英国の高温ガス炉の実用化を開発と規制の両輪で支援する二国間の協力体制を強化している。また、AMR 研究開発・実証プログラムへの NNL の貢献として、高温ガス炉実証計画に対して、産業界、学会等からの関心表明 (EOI) を募集するなど、いわゆるハブとしての役割を担っている。また英国では、ロールスロイス社が筆頭となる企業連合が進める SMR 開発も進められている。本企业連合にも NNL は加入している。
- カナダ：カナダでは政府の元で SMR 開発に関する取り組みが進められている。2018 年には SMR ロードマップが、2020 年には SMR 行動計画が発表された。また、カナダ原子力研究所 (CNL) による SMR 導入計画では、チョークリバーサイトへの SMR 導入計画として、当初目標として 2026 年までに実証プラントの建設を目指している。2018 年には SMR 導入プロジェクトの提案を募集。CNL は、提案 6 社の評価中である。また CNL は施設共用のプログラム「カナダ原子力研究イニシアチブ (CNRI)」を設立。2019 年 11 月、CNL は CNRI の第一候補となる企業 4 社 (米国 USNC 社：高温ガス炉、ほか熔融塩炉等 3 社) を選定した。規制に関しては、カナダ原子力安全委員会 (CNSC) による SMR 審査がなされている。このうち CNSC の事前ライセンス審査では、ベンダーに対する原子炉設計の事前審査 (VDR：Pre-licensing Vendor Design Review) を行っている。審査は 3 段階からなり、現在 12 社 (高温ガス炉 4 社、軽水炉 3 社など) が申請、6 社評価中、1 社終了。また、2019 年 3 月、GFP 社が OPG 社及び USNC 社と共

にサイト準備許可 (LTPS) を CNSC に申請、2021 年 5 月から技術審査に移行した。州政府の SMR 導入動向として、オンタリオ州、サスカチュワン州の選定では、昨年 12 月に GEH 社の BWRX-300 を選定し、最大 5 基設置するプロジェクトになっている。もう一つのニューブランズウィック州における 2 社の選定では炉型がいずれも高速炉であり、設置場所はポイント・ルブロー原子力発電所が予定されている。

- ポーランド：ポーランドでは 2040 年までのエネルギー政策 PEP2040 が出され、この中で、大型軽水炉を 2033 年までに導入、その後 2043 年まで計 6 基建設、合計 6~9GWe の発電量をまかなう計画。高温ガス炉開発計画と軽水炉開発計画は用途が異なるため、開発導入は並行して実施される。高温ガス炉開発では、ポーランド国立原子力研究センター (NCBJ) と原子力機構との間で研究開発協力の実施取決めを 2019 年に締結し、協力を進めている。民間企業の SMR 導入の動向として、BWRX-300 (GE 日立ニュークリア・エネルギー社)、NuScale Power Module : NPM (ニュースケール・パワー社)、MMR (USNC 社) が検討されている。
- フランス：フランスでは 2019 年に PWR 型 SMR である NUWARD を発表、2022 年 2 月に 2030 年までにプロトタイプを建設できるよう 5 億ユーロ (約 650 億円) の予算を付けてプログラムを進めていく考えを表明した。CEA は炉心設計等を担当する。
- ロシア、中国：ロシアでは浮揚式原子力発電所、鉛冷却高速炉、陸上設置式 SMR などが完成・建設開始している状況である。中国ではツインプラントの高温ガス炉の実証炉 HTR-PM が 2021 年 12 月に送電網に接続した。
- IAEA における取組：TWG-SMR (SMR 技術ワーキンググループ) は 2018 年に設置され、SMR について、IAEA の活動に対しての助言、参加国間での情報・知見の共有、IAEA 出版物作成等を行っている。また、IAEA の SMR 安全基準に関する活動としては、原子力安全・セキュリティ局で、安全評価指針、安全設計指針の SMR への適用性評価が行われている。また、原子力エネルギー局では「モジュラー型高温ガス炉の安全設計」に関する研究協力計画 (CRP) が行なわれていた。これらの活動に、原子力機構から積極的に参加している。
- まとめ：原子力イノベーションの一つとしての SMR 開発という切り口で、SMR 開発機運の高まり、海外における SMR 開発、国際機関 (IAEA) における取組について現状を概観した。その中で、各国の国立研究所が果たしている役割、原子力機構の取組を説明した。SMR 導入に向けて重要な観点として、海外の例を見ても資金を裏付ける政策が重要と言える。また事業者やベンダー、例えば仏国での EDF エネルギーなどの SMR 導入を強力に推進する事業者の存在も重要である。それらに加え、国立研究所の果たす役割、立地の確保、規制の整備、国際協力も重要な観点であると言える。

## (2) 原子力イノベーションを巡る JAEA の国際戦略

- JAEA では、2017 年 3 月に策定した「国際戦略」において、国際協力の意義を「狭義の国際協力」「国際貢献」「国際展開」等と位置づけ、国際協力を推進してきた。重点協力国等は先進国、新興国及び国際機関と規定した。国別の戦略としては、欧州、ロシア・CIS、北米、アジア・太平洋の 4 つのブロックでのそれぞれの活動が挙げられる。
- 政府の政策としては、エネルギー基本計画及びグリーン成長戦略があり、国際協力を通じて民間活力を活かした軽水炉 SMR や先進炉等の開発・実証を推進することが明確にされている。COP26 を踏まえた気候変動への危機意識の高まりがあり、経済安全保障の観点からも、原子力の役割を再認識することについての議論が前進しつつある。
- 2022 年度からの JAEA 第 4 期中長期計画では、重点分野として 7 つの分野を掲げ、3 つの 카테고リーに分けている。分野 1 がカーボンニュートラルへの貢献であり、軽水炉、高温ガス炉、高速炉の研究開発が位置付けられている。分野 2 がイノベーションの創出であり、基礎基盤研究・先端研究・中性子利用・計算科学研究の推進が位置付けられている。分野 3 がプラットフォーム機能の充実であり、産学との連携強化・人材育成や核不拡散・核セキュリティ強化等及び国際連携の推進が位置付けられている。分野 4～6 がバックエンド、分野 7 が規制庁に対する TSO（技術支援機関）としての支援、原子力防災に対する支援である。
- 現在、新たな JAEA「国際戦略」の検討を開始したところであり、基本方針を定め、次期中長期計画を踏まえて分野別の国際連携方針を検討していくとともに、各国別及び国際機関別の国際連携方針を戦略的に考えていく。

### 主要国における国研の役割

- 米国は DOE 原子力局が戦略ビジョン 2021 を掲げ、目標の一つ、既設炉の継続的運転として、計算機シミュレーションや事故耐性燃料開発を進めている。また、非電力分野では既設炉を活用した水素製造が進められている。統合エネルギーシステムに関する研究もなされている。60 年超運転あるいは 80 年という検討も米国で進められる中、基盤データの充実も期待されている。軽水炉では DOE 軽水炉サステナビリティ・プログラムが 2008 年から実施されており、国研が民間では実施困難なハイリスク・ハイリターン技術の開発、専門性の高い研究開発を担当している。
- 英国では国立原子力研究所 NNL（前身は BNFL）が先進核燃料サイクルプログラムを主導している。戦略として新型炉も見据えた燃料サイクルを進めていく方針が提示され、高温ガス炉での水素製造も検討されている。昨年「NNL Strategic Plan 2021」を公表している。
- フランスでは CEA が国研の役割を果たしている。CEA はフランス原子力・代替エネルギー庁であるため、政策的な意思決定をする機能と研究開発機能の両方を持ち合わせている。近年では組織再編を行い、原子力のみでなくエネルギーを統合的に考えるトレンドにあるのが一つの特徴である。ナトリウム冷却高速炉 ASTRID の小型版開発の検討

が進められている。ロシアとの原子力協力、使用済 MOX 燃料のリサイクルの検討も注目される。IRSN は放射線防護・原子力安全研究所であり、技術支援機関 (TSO) として規制当局 (ASN) を支援するとともに、研究サポートも行っている。また、研究炉 CABRI を利用した反応度事故の研究も行っている。

#### 原子力イノベーションに関わる海外国研の取り組み

- 米国において、事故耐性燃料 (ATF) については、DOE 事故耐性燃料 (ATF) プログラムとして、INL の TREAT 施設等で各 ATF 概念の安全運転が可能な限界点を検証している。
- フランスでは SMR の安全性に関し、IRSN が SMR 安全性に関する情報メモを 2021 年 10 月に公表。一部の事業者が既存の安全基準要件を緩和すべきではないかと意見しているが、一方 IRSN は、受動安全システムに関する設計はしっかりと実証すべきであり、試験検証 (二相流の自然循環の安全解析など) を時間をかけて行うことが必要と主張している。
- 米国 ORNL では「Transformational Challenge Reactor (TCR) プログラム」において、積層造形、3D プリンティング等を活用し、いかにコストを削減するかという研究が行われている。また DOE の NEET (Nuclear Energy Enabling Technology) プログラムでも、3D プリンティングや溶接技術検討等が行われ、SMR 用の燃料集合体下部の維持装置が作成されるなどしている。
- 米国 Tri-Lab Initiative では、INL、NREL (国立再生可能エネルギー研究所)、NETL (国立エネルギー技術研究所) の協働により熱利用水素を活用したハイブリッド統合システムの実現に向けた取り組みがなされている。
- カナダでも米国同様に、CNL がハイブリッド・エネルギーシステム最適化モデルを開発する研究プロジェクトを推進している。
- フランスにおいても、特に CEA は原子力分野だけではなくエネルギー部門に再生エネルギー分野も統合されているため、統一したチームを立ち上げて、統合エネルギーシステムについて検討が行われている。
- COP26 のフォローアップとして、5 か国 (日本、英国、米国、カナダ、フランス) が集まり、国研がどのような役割を果たしていくのか、統合エネルギーシステムや原子力の非発電利用等に関する協議を行う会合のキックオフミーティングが 1 月末に開催された。今後、専門的な議論を進めていく予定である。
- フランスでは CEA が廃止措置の合理化として、遠隔ロボットや VR 技術等の協力を産業界と行っている。CEA は廃止措置に関しては、事業者であると同時に研究者でもある。
- フランス CEA は DX&AI の活用にも取り組んでおり、List (統合技術研究所) を中核として、産業界とパートナーシップを結び、研究開発プロジェクトが進められている。
- DX&AI の活用については、国際機関である OECD/NEA や IAEA においても議論が進

められており、原子炉の新規建設におけるコスト削減のための DX 活用や、原子力技術の応用を一層進歩させる可能性がある AI の活用について議論し、国際的・分野横断的なフォーラムを提供している。

- 医療用 RI 製造では、各国での活動が加速化されており、カナダ・米国・英国の国研が役割を果たしている。
- 宇宙用原子炉推進システムについては、米国 DOE が NASA と協力しつつ、宇宙探査を支援するための核分裂地表電力システムと核熱推進システムの技術を開発中である。

#### 国際戦略の検討にあたっての視点と論点

- JAEA としては、期待されているニーズ、政策的な要請及び事業者・研究機関からのニーズを踏まえ、重点化すべき今後の取り組みを特定しながら第 4 期中長期計画を進めていく。国研としての役割（強み）として、試験設備などハードに加え、解析コード、評価手法・方法論などソフトも役立てていただけるよう目指していく。また、海外機関との連携、国際機関への参加を通じて、情報発信を行っていく。国際連携へのニーズの高まりは、国際的に共通課題が増え、研究インフラ、知見、人材の維持に国際連携を活用していく視点を各国からも強く打ち出されていることによる。
- 具体的な論点として、今後、研究開発成果の最大化に向けて、いかに国際連携を活用するか、国研&TSO としての強みを最大限活かし、いかに優先付けしていくか。原子力安全の確保、核不拡散・核セキュリティの確保において、海外から学ぶとともに、我が国の経験をいかしつつ、いかに国際貢献を進めるか。政府・事業者等とともに国際連携の具体化をいかに進めるか。研究拠点、組織・人材の国際化をいかに進めるか。経済安全保障上の要請、東アジア地域における原子力安全にいかに対応するか。以上について、具体化を進めていきたい。

#### 5. 質疑応答

Q) 米英とそれぞれ高速炉、高温ガス炉の推進に協力する上で、実際のプラント建設となると国産化を重視すると考えられるため、日本がどこまでコアな部分まで入れるかは不安。日本で近い将来、革新炉的なものの国内建設計画およびそのアプローチがあれば教えて欲しい。

A) 現行エネルギー基本計画において新增設の計画は立てないこととなっている。その上で、カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略において、海外協力プロジェクトを進め、国内ではそのための、あるいは先を見据えた研究開発や人材育成を進めていくことが打ち出されており、これは海外協力プロジェクトの先に将来のエネルギー・ミックスの選択肢の一つとして国内プロジェクトを見据えているという含意があると解釈している。その中で、機構としては、NEXIP 事業で民間企業が進める FS に協力している。

Q)原子力小委員会でも安全性向上や SMR が話題となっているが、現在の国内で、機構、ベンダー、電力が連携するための議論する場はあるのか？どこが主導するのか？ 以前は、軽水炉についてはエネルギー総合研究所で議論がされており、わかりやすかった。

A)NEXIP 事業では、例えば軽水炉 ATF 開発に複数のベンダーが参加、また、海外、国内を視野に入れた SMR の設計検討・要素技術の実証が進められているなど、20 を超えるプロジェクトがある。機構はこれらを支援する立場で、個々に議論をして解析支援、研究施設提供、意見交換などを実施している（企業秘密情報に配慮した個別対応であるため、外からは見えにくいかもしれない）。国全体での議論の場としては原子力小委員会があり、また NEXIP のプログラム推進については予算事業運営の枠組みがある。

Q)ニュースケールは ARDP の対象となっていないが、完全に民間資金なのか？ ARDP について、社会や地元自治体を受容するかわからない技術に対してベンチャーがいくつもできるというのは凄いなと思っているのだが、国の支援は何%か？

A)ニュースケールの SMR には ARDP とは別枠で資金が提供されている。ARDP の資金に関しては、3 つのプロジェクトで国と企業の分担割合は違うが、実証プロジェクトでは 50 : 50 程度、他のプロジェクトでは企業の負担割合は少ない。

Q)研究開発体制は国によって異なるが、全体を俯瞰した時に日本の特徴（強み、改善すべき点）は？

A)機構として実施すべき研究開発は、どこまでニーズに応えるべきかをステークホルダーを含めて個別に議論した上で、優先度をつけて進めていく必要がある。これは予算の多くが特別会計を原資としており、増税が困難な状況下では一定の予算枠の中で原子力研究開発に予算を配分する必要があるためである。米国のように議会で大きな方針が出されて重点的に予算が配分されて優先度の高いプロジェクトが立ち上がるという仕組みはないため、原子力研究開発に予算配分が重点化される仕組みが何かできると望ましいと個人的に思っている。

以上