

# 世界のSMR開発状況

令和3年3月26日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
高速炉・新型炉研究開発部門

## 1. 世界的なSMR導入の動き

- i. エネルギーの多様化、気候変動対策、電源の分散化、大型炉建設の大幅な遅延等の新しい社会の課題とニーズに応える技術としてSMRの開発及び商業化プロジェクトが展開されている
- ii. SMRは、電気出力300MWe程度以下の原子炉であり、その多くは以下の特徴を指向
  - 小出力化に伴う固有安全性の向上や受動安全性の採用による安全性向上
  - 工場生産した設備・機器をモジュールとしてサイトへ輸送、組立、設置することにより、工期を大幅に短縮
  - 1つのサイトに単一あるいは複数モジュールのプラントとして構成できる柔軟性
- iii. 導入の目的として、上記の特徴を活かし各国の事情に応じた適用が以下の様に期待される
  - 基幹電源として電力を安定供給
  - 変動型再生可能エネルギーシステムとの共存
  - EPZ（緊急時計画区域）の縮小による都市近接立地
  - 多目的熱利用、水素製造
  - 遠隔地／小規模電力グリッドへの電力の供給

## 2. 米国、カナダ、英国は政府の強力な支援の下で民間が開発、国内外での商業化プロジェクトを推進

- i. 米国産業界はSMRの米国内での展開及び欧州等への輸出を目指した活動を積極的に実施
  - NuScale社は、独自開発したSMR「NuScale Power Module（PWR型）」をINLに建設予定、NRCはこの設計認証申請を受理し審査中
  - テネシー峡谷開発公社（TVA）はテネシー州オークリッジ近郊のクリンチリバー・サイトに複数のSMRの設置を計画し、NRCは2019年12月に早期立地許可の発給を承認
  - X-energy社は、電気出力75MWeの高温ガス炉Xe-100を開発中
  - Oklo社は、電気出力1.5MWeの超小型高速炉Auroraを開発中
- ii. 米国DOEは、SMRの開発・導入を支援するため、SMR研究開発や先進原子炉実証計画等に2020年度は\$ 330M\*の予算を計上し、先進的原子力開発の世界のリーダー復活を目指している
- iii. 更に、DOEは高速中性子の照射試験炉として多目的試験炉VTR（ナトリウム冷却高速炉）を2026年稼働を目指して設計を開始した

## 2. 米国、カナダ、英国は政府の強力な支援の下で民間が開発、国内外での商業化プロジェクトを推進

- iv. カナダ原子力研究所（CNL）は、SMRの実証の為にチョークリバー・サイト内にSMR実証炉の建設を予定し、ベンダー、研究者、ユーザー等にSMRへの関心表明を求め、国内外から80件の関心表明（2017年6月）。現在は、6社の提案に対し、4つのフェーズのSMRの評価プロセスを実行中
- v. 更に、民間のSMR開発を支援する目的でCNLは、カナダ国内におけるSMRの研究開発と建設を促進するための「カナダ原子力研究イニシアチブ（CNRI）」を2019年7月に設立し、世界中のSMRベンダーに対し、CNLの専門的知見や世界レベルの研究設備を提供する新しいプログラムを実施。最初の支援プロジェクトとして米国USNCのSMR（高温ガス炉）を2020年2月に選定
- vi. 英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）は2017年12月、次世代新型原子炉プログラム開発で英国が世界のリーダー的地位を獲得するため、原子力産業界に対する包括的な支援方策としてSMRを含むAMRの研究開発や実行可能性調査、有望設計の開発促進等を行うプロジェクト「AMR実行可能性・開発プロジェクト」に3年間で最大5,600万ポンド（約85.4億円）を拠出と発表
- vii. 英国でSMR開発の企業連合を率いるロールス・ロイス社は2019年11月、UKRIから英国政府の「産業戦略チャレンジ基金」のうち1,800万ポンド（約25.2億円）を受領した

## 3. 露国、中国は政府が強力に開発及び商業化プロジェクトを推進

- i. 露国は国営原子力総合企業ロスアトム社の下で新型炉の開発として、大型SFR（BNシリーズ）の商業化を目指す一方で、軽水炉型及び鉛冷却高速炉等のSMRの開発を推進
- ii. 電気出力35MWeの小型軽水炉「KLT-40S」2基で構成される世界で唯一の浮揚式原子力発電所「アカデミック・ロモノソフ」号を開発、建設し、2019年12月に極東地域北東部のチュクチ自治区管内、ペベクの隔絶された送電網に送電を開始（世界で初めてのSMR技術に基づく発電所）
- iii. 中国は、国家能源局（NEA）の指導の下、様々な機関が高速炉、高温ガス炉、超臨界圧水冷却炉、SMR等、幅広い炉型の開発を推進
  - ・ 清華大学核能及新能源技術研究院（INET）が中心となり、高温ガス炉実用炉を開発
  - ・ 実証炉HTR-PM（熱出力250 MWt×2基、電気出力210MWe）を山東省威海市石島湾に建設中。2020年に臨界及び電力グリッドに接続、2021年に全出力運転達成の予定
  - ・ 中国核工業集团公司（CNNC）が電気出力100MWeのPWR型多目的SMR「玲龍一号」の実証炉建設プロジェクトに着手（2019年7月）

## 4. その他の国々

- i. 仏国、韓国、アルゼンチンは自国技術を開発し海外展開も視野
- ii. その他の国々は、上記開発国の成果を国内に導入する方向で調査、研究を実施し、検討している炉型としては、軽水炉、高温ガス炉、SFR、MSR等（次表を参照）

# 表-1 各国及び国際機関におけるSMR導入に関する動向（1/2）

| 国名     | 組織              | 計画名等                  | 計画の狙い                                      | 選択炉型等                                                                                     | 進捗状況                            |
|--------|-----------------|-----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 米国     | NuScale Power、等 | INLサイトにおけるSMR建設・運転計画  | ・国際展開を視野に入れたSMR技術の確立<br>・地域への熱 and/or 電力供給 | NuScale Power Module: NPM (PWR)                                                           | NRCによる標準設計承認 (SDA) 発行 (2020年9月) |
|        | GEH             | BWRX-300計画            | 〃                                          | BWR                                                                                       | NRCによる先行安全審査中                   |
|        | Oklo            | Aurora計画              | 〃                                          | 高速炉                                                                                       | 建設・運転一括認可申請                     |
|        | TerraPower      | NATRIUM計画             | 〃                                          | 高速炉                                                                                       | <u>ARDP実証計画採択</u>               |
|        | X-energy        | Xe-100計画              | 〃                                          | 高温ガス炉                                                                                     | <u>ARDP実証計画採択</u>               |
|        | USNC            | MMR計画                 | 〃                                          | 高温ガス炉                                                                                     | 予備設計                            |
|        | DOE             | VTR計画                 | 多目的試験                                      | 高速中性子炉                                                                                    | 概念設計                            |
|        | TVA             | SMR建設計画               | 地域への熱 and/or 電力供給                          | 未定                                                                                        | 早期立地許可の承認                       |
| カナダ    | CNL             | CNLサイトでのSMR実証炉建設・運転計画 | ・国際展開を視野に入れたSMR技術の確立<br>・地域への熱 and/or 電力供給 | 高温ガス炉 (GFP社、OPG社、USNC)                                                                    | 第3段階評価中                         |
|        |                 |                       |                                            | 統合型熔融塩炉 (Terrestrial Energy社)                                                             | 第1段階評価完了                        |
|        |                 |                       |                                            | 高温ガス炉 (StarCore Nuclear社)                                                                 | 第1段階評価完了                        |
|        |                 |                       |                                            | 高温ガス炉 (U-Batteryカナダ社)                                                                     | 第1段階評価完了                        |
|        |                 |                       |                                            | 他2炉 (非公開)                                                                                 | 第1段階評価中                         |
| 英国     | BEIS            | AMR実行可能性・開発計画         | 〃                                          | 核融合炉 (Tokamak Energy社)<br>高温ガス炉 (U-Battery Developments社)<br>鉛冷却高速炉 (Westinghouse EC UK社) | フェーズ2                           |
|        | Rolls-Royce     | PWR型SMR開発計画           | 〃                                          | UK-SMR (PWR)                                                                              | 設計中                             |
| ロシア    | ロスアトム           | 浮揚式原子力発電所             | 〃                                          | KLT-40S (PWR)                                                                             | 完成 (送電を開始)                      |
|        | TVEL            | BREST-300建設計画         | 〃                                          | BREST-300 (鉛冷却高速炉)                                                                        | 建設準備中                           |
| 中国     | 清華大学INET、等      | 実証炉建設計画               | 〃                                          | HTR-PM (高温ガス炉)                                                                            | 建設中<br>(2021年臨界予定)              |
|        |                 | 商用炉建設計画               | 〃                                          | HTR-PM600 (高温ガス炉)                                                                         | 概念設計終了                          |
|        | CNNC            | 実証炉建設計画               | 〃                                          | 玲龍一号 (PWR)                                                                                | 建設準備中                           |
| アルゼンチン | CNEA            | CAREM建設計画             | 〃                                          | CAREM (PWR)                                                                               | 建設中 (2022年完成予定)                 |
| フランス   | CEA、EDF、等       | NUWARD計画              | 〃                                          | NUWARD (PWR)                                                                              | 概念設計終了                          |
| 韓国     | MSIT            | SMART計画               | 〃                                          | SMART (PWR)                                                                               | 設計認可終了                          |

# 表-1 各国及び国際機関におけるSMR導入に関する動向（2/2）

| 国名        | 組織          | 計画名等           | 計画の狙い                                      | 選択炉型等                                            | 進捗状況                                                   |
|-----------|-------------|----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ポーランド     | 気候・環境省      | 高温ガス炉導入計画      | ・国際展開を視野に入れたSMR技術の確立<br>・地域への熱 and/or 電力供給 | 高温ガス炉                                            | JAEAが協力し、FSを実施中                                        |
| フィンランド    | VTT         | SMR導入計画        | 地域への熱供給                                    | 炉型不明                                             | 概念設計の開始                                                |
| チェコ       | ČEZ         | SMR導入計画        | 地域への熱・電力供給                                 | NPM(PWR)<br>BWRX-300(BWR)                        | NuScale社及びGEH社と了解覚書を締結                                 |
| ルーマニア     | SNN         | SMR導入計画        | 〃                                          | NPM(PWR)                                         | NuScale社と了解覚書を締結                                       |
| トルコ       | EUAS ICC    | SMR導入計画        | 〃                                          | Rolls-Royce SMR(PWR)                             | Rolls-Royce社と了解覚書を締結                                   |
| ウクライナ     | エネルゴアトム社、等  | SMR導入計画        | 〃                                          | SMR-160(PWR)<br>NPM(PWR)                         | Holtec International社及びNuScale社と了解覚書を締結                |
| エストニア     | フェルミ・エネルギー社 | SMR導入計画        | 〃                                          | SSR-W(溶融塩炉)、IMSR(溶融塩炉)<br>BWRX-300(BWR)、NPM(PWR) | Moltex Energy社、GEH社及びRolls-Royce社と協力覚書を締結              |
| インドネシア    | BATAN       | 原子力発電所導入計画     | 〃                                          | 高温ガス炉、等                                          | 試験・実証炉の詳細設計                                            |
| サウジアラビア   | K. A. CARE  | SMR導入計画        | 〃                                          | SMART(PWR)<br>HTR-PM600(高温ガス炉)                   | 韓国政府及び中国核工業建設集团公司と了解覚書等を締結                             |
| ヨルダン      | JAEC        | SMR導入計画        | 〃                                          | Rolls-Royce SMR(PWR)、NPM(PWR)<br>Xe-100(高温ガス炉)   | Rolls-Royce社、X-energy社及びNuScale社と了解覚書を締結               |
| —         | IAEA        | —              | SMRの設計及び安全規準の標準化、等                         | 各種SMR                                            | SMRに関する各種会合が開催され、設計、熱利用、再生可能エネルギーとの共存、安全性、規制等について活発に議論 |
| 米国<br>カナダ | NRC<br>CNSC | SMR用<br>安全規準整備 | SMRの国内建設に向け、<br>共同で安全規準を整備                 | IMSR(Terrestrial Energy社、溶融塩炉)                   | NRC及びCNSCは、協力覚書を締結                                     |

## 1. 規制、安全基準類の整備

- i. 米国NRCとCNSCは、SMRや新型炉の技術審査を共同実施し、双方の専門的知見を共有する等、原子力安全規制の実効性を高めることを目的とする協力覚書を2019年8月に締結
- ii. IAEAは、SMRに関するワークショップ、技術検討会、コンサルタント会合等を2012年から数多く開催して、SMRに関する開発状況、技術ロードマップ、等を報告書として取りまとめている
- iii. SMRは世界的に導入が図られようとしているが実績がまだ少ないため、IAEAでは大型軽水炉用に策定された既存のIAEA安全基準類についてSMRへの適用性を検討中
- iv. また、安全設計要件を確立するための炉型に依らない技術中立的な安全アプローチ及びSMR安全要件作成の方法論に関する技術報告書の作成を促進

### IAEAでのSMRの安全アプローチ、安全要件策定に関する取り組み

#### **SMR Regulators' Forum**

9か国の規制関係者及び3機関（オブザーバー）が参加、EPZ（緊急時計画区域）の考え方等の許認可上の論点、課題を共有・議論。

#### **Requirements**

規制上の安全要件の整理

#### **Design**

設計に関連した安全基準IAEA SSR-2/1 (Rev.1)のSMR技術への適用性のレビューを通じて設計者の観点からの課題を整理

#### **Assessment**

SMRの安全評価/安全解析に関する議論（決定論的/確率論的安全評価、深層防護/安全裕度/安全障壁、安全重要度分類、既存の安全評価例等）

#### **Crosscutting**

グレーデッドアプローチ、受動安全特性、複数機立地へのPRA、リスク情報を活用した意思決定、安全目標に関する階層構造のような、分野横断的な論点について報告書を作成

## 2. 経済性の確立（1）（2）

- i. SMR単機当たりの建設費[円]は従来型の大型炉よりも小だが、一般的にはスケールデメリットにより単位出力当たりの建設費[円/kWe]は大型炉に比して上昇すると考えられるが、以下のような対策によって、発電コストを大型炉並みに抑えようとしている
    - ・ パッシブ系の採用により、安全設備等を大幅に簡素化して設計工程や物量を簡素化
    - ・ 工場生産方式で原子炉を複数、同一設計で製造し、品質管理を含めて効率的な生産により、コストを低減
    - ・ 工場で原子炉本体、プラント機器の大部分を製造してサイトの建設工程を減らし、建設期間を大幅に短縮
    - ・ メンテナンス作業の削減：安全設備等機器の削減により、メンテナンス作業も削減
    - ・ パッシブ化、設備削減により運転員の負担を軽減し、一つの制御室で複数ユニットの制御を可能にして運転管理を合理化（規制制度に依存）
  - ii. 開発段階を終了して大型炉や競合電源（米国の評価ではコンバインドサイクル発電）に匹敵する経済性を実証した例はなく、ビジネスモデルとしての不確かさがあるが、以下の投資リスクの低減が期待される
    - ・ 1ユニット当たりの投資額の縮小：複数ユニットを設置する場合も、小規模な投資を段階的に積んでいくことで、投資リスクを減らすことができる
    - ・ 投資回収期間の短縮：1ユニット当たりの建設期間が短縮され、投資してから電力供給による収入を得るまでの期間が短縮される
    - ・ サプライチェーンの簡素化：大型炉と異なり、機器供給体制を簡素化することにより、下請け構造が簡素化され、製造・建設における遅延等のリスクが低減される
  - iii. ただし、一方では大量生産のメリットを活かすためには、最適化された製造設備の整備のための大規模な初期投資が必要との指摘もある
- IAEAでは、CRP「Economic Appraisal of Small Modular Reactor（SMRの経済性評価）」を立ち上げ、SMRの特性を含めた経済性評価のアプローチを共同で開発し、SMRの量産や工場生産等の効果に対する適用研究も含めて、今後3年間の予定で研究開発を実施（日本からも参加）

# 【世界各国の詳細情報】

## ● DOEによるSMR開発支援 (1)

- 米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）は、小型モジュール炉（SMR）を始めとする革新的原子力技術の早期導入に向けて、特に許認可プロセスの確立に向け産業界及び原子力規制委員会（NRC）と連携した取り組みを実施。

## □ 新型炉実証プログラム（ARDP: Advanced Reactor Demonstration Program） (2)

DOEは2020年5月、2億3,000万ドル規模のARDPを開始。新型炉として、軽水炉、非軽水炉を問わないが、固有安全性、廃棄物低減、燃料高利用率、高信頼性、核拡散抵抗性、高熱効率及び非電力利用を有するものと定義。ARDPは、官民による費用分担を前提。

① 7年以内の新型炉実証（2件総額1億6,000万ドル）、② 将来の新型炉実証に向けたリスク削減（2～5件総額3,000万ドル）

③ 新型炉概念（2件以上総額2,000万ドル）

① 2020年10月、TerraPower社（Na冷却高速炉Natrium）及びX-energy社（ペブルベッド型高温ガス炉Xe-100）

② 2020年12月、Kairos Power社（フッ化物塩冷却高温炉の試験炉Hermes縮小規模試験炉）、Westinghouse Electric Company社（ヒートパイプ冷却炉eVinci超小型炉）、BWXT Advanced Technologies社（BWXT新型原子炉BANR）、Holtec Government Services社（PWR型のHoltec SMR-160）及びSouthern Company Services社（溶融塩化物冷却高速炉の実験炉MCRE）

③ 2020年12月、Advanced Reactor Concept社（本質的に安全なNa冷却炉）、General Atomics社（高速モジュール炉）及びMIT（モジュール統合型高温ガス炉）

## □ 原子力の技術革新を加速するゲートウェイ（GAIN: Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear）

DOEは2015年11月、革新的な原子力技術の市場投入を加速するGAINプログラムを立上げ、原子力産業界が新たな先進設計を商業化していく際に必要となる技術的、財政的及び規制上の支援を開始。バウチャープログラムにより、民間企業にDOE傘下国立研究所の設備利用権を提供。

## □ MEITNER計画及びGEMINA計画 (3)

エネルギー高等研究計画局（ARPA-E）は、2017年よりMEITNER（モデリング改良型技術革新による原子力技術の先駆的再活性化）計画で、大幅なコスト低減、安全でセキュリティ性に優れた運転、建設期間の劇的な短縮等を実現するための革新的原子力技術開発、2019年よりGEMINA（インテリジェント原子力資産により管理された発電）計画で、次世代原子炉における運転管理・保守点検コストを10分の1まで削減する技術開発に関する先進炉ベンダーのプロジェクトを選定し、支援。

## ● NRCによるSMR関連活動 (1) (4)

- NRCは、DOEの支援を受け、アイダホ国立研究所（INL）内で炉の建設を予定しているNuScale社が独自開発したSMR「NuScale Power Module（NPM）」（電気出力50 MWe）について設計認証申請を受理し審査、2020年9月に「標準設計承認（SDA）」を発給。<sup>(5)</sup>
- テネシー峡谷開発公社（TVA）に対し、同社がテネシー州オークリッジ近郊で管理しているクリンチリバー・サイトに複数のSMRを設置するための早期立地許可の発給を承認（2019年12月）。

(1) 田中隆則：「原子力革新技術への挑戦－SMRへの期待－」、季報エネルギー総合工学Vol. 41, No. 2, pp. 20-29, 2018. (2) DOE ARDPホームページ：https://www.energy.gov/ne/nuclear-reactor-technologies/advanced-reactor-demonstration-program

(3) ARPA-Eホームページ：https://arpa-e.energy.gov/ (4) NRC：「NRC to Issue Early Site Permit to Tennessee Valley Authority for Clinch River Site」, Dec. 2019.

(5) JAIF：「米NRC、ニュースクール社製SMRに「標準設計承認」発給」、原子力産業新聞、2020年9月。https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/4782.html

## ● 産業界の最近の動向

### □ NuScale社のSMR (1)

- NuScale社は、電気出力60MWeのPWR型SMRであるNPMを開発中。
- 同社は2026年にも、INL敷地内で最初のNPMプラントの運転開始を目指す。
- NPMの設計は、NRCによる全 6 段階ある設計認証審査を受審中であつたが、最終の第6段階が2020年8月に完了。NRCは、標準設計承認 (SDA) を発行 (2020年9月)。

### □ X-energy社のSMR (2) (3) (4)

- X-energy社は、電気出力75MWeの高温ガス炉Xe-100を開発中。
- 2025年の建設開始を目指す。
- DOEの支援を受け、開発・設計、燃料製造工場の設計・許認可準備、建設費・保守費削減方法の検討を実施中。
- 燃料製造に関しては、工場建設に必要な機器供給で日本の原子燃料工業(株)と協力協定を締結 (2019年5月)。
- ARDP新型炉実証プロジェクトに採用 (2020年10月)。

### □ TerraPower社のSMR (4)

- TerraPower社はGEH社と協同で、ナトリウム冷却高速炉技術に基づいた電気出力345 MWeのNatrium炉と溶融塩を用いた蓄熱を組み合わせたシステムを開発中。
- 本システムは、蓄熱により電気出力を調整し、太陽光や風力等、出力が変動しやすい再生可能エネルギー源を補うことが可能。
- 2020年代後半の実用化を目指す。
- ARDP新型炉実証プロジェクトに採用 (2020年10月)

(1) JAIF:「米NRC、ニュースケール社製SMRに「標準設計承認」発給」, 2020年9月.

(2) DOE:「U.S. Department of Energy Awards \$3.5 Million to New Gas Reactor Design」, December 2019.

(3) JAIF:「米X-エナジー社が開発中の小型HTR用燃料製造に原燃工が協力」, 2019年5月.

(4) JAIF:「米エネ省、先進的原子炉実証プログラムの支援対象企業2社を発表」, 2020年10月.

(5) JAIF:「米オクロ社、先進的SMRで初の建設 運転一括認可 (COL) を規制委に申請」, 2020年3月.

## ● CNLサイト（チョークリバー・サイト）へのSMR導入計画（1）

- カナダ原子力研究所（CNL）は、チョークリバー・サイト内に建設予定のSMR実証炉に関し、ベンダー、研究者、ユーザー等にSMRへの関心表明を求め、国内外から80件の関心表明（2017年6月）。（2）
- CNLは、3～300 MWeのSMR技術研究を優先項目と選定し、2026年までに実証プラントを建設を目指す。
- CNLは、チョークリバー・サイトに**SMRの実証炉を建設し、運転するプロジェクト**の提案を募集（2018年4月）。（3）
- CNLによるSMR導入プロジェクトにおけるSMRの評価プロセスは、以下のように定められている。（3）
  - **フェーズ1：「許認可申請前設計審査段階」**  
SMR設計を提案した企業が予備的基準の適合状況に関する評価を受ける。
  - **フェーズ2：「適正評価段階」**  
プロジェクト経費と資金調達に関する財務要件審査を受ける。
  - **フェーズ3：「土地の手配とその他の契約に関する交渉段階」**  
CNLの親会社としてサイトを所有するカナダ原子力公社（AECL）が、開発企業とサイト譲渡契約を交わすと共に、建設プロジェクトのリスク管理やその他の契約に関する交渉を行う。
  - **フェーズ4：「プロジェクト実施段階」**  
SMR実証炉の許認可と建設、試験、起動、運転及び廃止措置の実行。
- 提案6社の評価プロセス進捗状況（4）  
GFP社・OPG社・UNSC（MMR：高温ガス炉、フェーズ3評価中）、Terrestrial Energy社（IMSR：一体型溶融塩炉、フェーズ1完了）、StarCore Nuclear社（StarCore：高温ガス炉、フェーズ1完了）、U-Batteryカナダ社（U-Battery：高温ガス炉、フェーズ1完了）、その他2社（社名非公開、フェーズ1評価中）

(1) 田中隆則：「原子力革新技術への挑戦－SMRへの期待－」、季報エネルギー総合工学Vol. 41, No. 2, pp. 20-29, 2018.

(2) CNL：「PERSPECTIVES ON CANADA'S SMR OPPORTUNITY, Summary Report: Requests for Expressions of Interest - CNL's Small Reactor Strategy」, Oct. 2017.

(3) CNL：「CNL announces invitation to site Canada's first small modular reactor」, Apr. 2018.

(4) CNL：「Update on CNL's SMR invitation process」, Jul. 2019.

## ● カナダ原子力研究イニシアチブ（Canadian Nuclear Research Initiative : CNRI）<sup>(1)</sup>

- CNLは、カナダ国内におけるSMRの研究開発と建設を促進するため、「カナダ原子力研究イニシアチブ（CNRI）」を設立（2019年7月）
- CNRIは、世界中のSMRベンダーに対し、CNLの専門的知見や世界レベルの研究設備を提供する新しいプログラム。対象分野として、市場分析や燃料開発、原子炉物理、モデリング等を指定しており、これらに関するプロジェクトの提案企業を毎年募集
- 参加企業は、CNLが提供する資源を最大限に活用すると共に、技術的知見を共有。開発中のSMR技術の商業化に向けた支援をCNLから受けることができる。企業側は、出資金あるいは現物出資の形で応分負担。
- CNLは、CNRIの候補となる以下の企業4社を選定（2019年11月）。<sup>(2)</sup>
  - 英国 Moltex Energy カナダ支社（溶融塩炉）
  - 米国 KairosPower社（TRISO燃料を用いたフッ化物塩冷却炉）
  - 米国 USNC（高温ガス炉）
  - カナダ Terrestrial Energy社（溶融塩炉）
- CNLは、研究開発費の分担等について、これら4社との交渉を開始。
- CNLは、2020年2月にUSNCと、2020年4月にMoltex Energy社と、2020年9月にKairosPower社及びTerrestrial Energy社と燃料研究等で協力協定を締結<sup>(3, 4, 5, 6)</sup>

(1) CNL : 「CNL's Canadian Nuclear Research Initiative」, <https://www.cnl.ca/en/home/commercial/cnl-s-canadian-nuclear-research-initiative-.aspx>

(2) CNL : 「CNL to fund collaborations with SMR vendors to accelerate clean energy deployment」, <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/news-releases/2019-news-releases/20191118.aspx>

(3) CNL : 「CNL & USNC partner on SMR fuel research」, <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/news-releases/2020/cnl-usnc-partner-on-smr-fuel-research.aspx>

(4) CNL : 「CNL & Moltex Energy partner on SMR fuel research」, <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/news-releases/2020/cnl-moltex-energy-partner-on-smr-fuel-research.aspx>

(5) CNL : 「CNL partners with Kairos Power on SMR research」, <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/news-releases/2020/cnl-partners-with-kairos-power-on-smr-research.aspxpx>

(6) CNL : 「CNL & Terrestrial Energy partner on SMR fuel research」, <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/news-releases/2020/cnl-terrestrial-energy-partner-on-smr-fuel-research.aspx>

## ● CNSCの事前ライセンス審査（1）

- カナダ原子力安全委員会（CNSC）は、ベンダーに対する原子炉設計の事前審査（Pre-Licensing Vendor Design Review）を行っている。審査は、以下の3段階。
  - フェーズ1：設計が規制基準全般に亘り適合しているかを評価（12～18ヶ月）
  - フェーズ2：許認可上障害となり得る点を同定する詳細な評価（約24ヶ月）
  - フェーズ3：フォローアップ
- CNSCは、ベンダーからの申請により順次評価を開始。現在12社が申請し、7社が評価開始。
- 申請12社の内訳は、高温ガス炉4社、軽水炉3社、熔融塩炉2社、ナトリウム冷却高速炉1社、重金属冷却高速炉1社、ヒートパイプ炉1社。

## ● GFP社、SMRの「サイト準備許可」を申請（2）

- GFP社は、OPG社（オンタリオ州政府が所有する公企業。オンタリオ州の電力の50%を供給）及びUSNC社と共に、CNLチョークリバー・サイトに実証炉を建設するためのサイト準備許可をCNSCに申請（2019年3月）。
- 上記申請に対し、CNSCは環境アセスメントを開始（2019年7月）。（3）

## ● 米国NRCとCNSCとの技術審査協力（4）

- 米国NRCとCNSCは、SMRや新型炉の技術審査を共同実施し、双方の専門的知見を共有する等、原子力安全規制の実効性を高めることを目的とする協力覚書を締結（2019年8月）。

(1) CNSC : 「Pre-Licensing Vendor Design Review」, <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm>

(2) GFP : 「Global First Power submits a License to Prepare Site (LTPS) Application to the CNSC」, <https://www.globalfirstpower.com/post/global-first-power-submits-a-licence-to-prepare-site-ltps-application-to-the-cnsc>, March 2019.

(3) CNSC : 「Micro Modular Reactor Project」, July 2019.

(4) CNSC : 「Sharing our expertise with the U.S. Nuclear Regulatory Commission: Signing of a memorandum of cooperation to strengthen regulation of nuclear safety」, Aug. 2019.

## ● カナダ3州がSMR開発で協力覚書（1）

- カナダのオンタリオ州、ニューブランズウィック州及びサスカチュワン州は2019年12月1日、出力の拡大・縮小が可能で革新的技術を用いた、多目的SMRをカナダ国内で開発・建設するため、3州が協力覚書を締結したと発表。

## ● サスカチュワン州、州内でSMR建設に向け原子力事務局設置へ（2）

- カナダ中西部に位置するサスカチュワン州政府は2020年6月24日、同州の原子力政策・プログラムの調整を図るため、環境省の気候変動・対応局内に原子力事務局を設置すると発表。

## ● アルバータ州が3州のSMR開発の協力覚書に参加（3）

- カナダのアルバータ州は2020年8月7日、ニューブランズウィック州、オンタリオ州及びサスカチュワン州が2019年12月に署名したSMR開発協力覚書に同州も参加し、SMRの開発と展開を支援するために協力すると発表。

(1) JAIF：「カナダの3州の首相がSMR開発で協力覚書」、原子力産業新聞、2019年12月。 <https://www.jaif.or.jp/191203-a>

(2) JAIF：「加サスカチュワン州政府、州内でのSMR建設に向け原子力事務局設置へ」、原子力産業新聞、2020年6月。 <https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/3664.html>

(3) 電事連：「アルバータ州、SMR開発を模索」、海外電力関連トピック情報、2020年8月。 [https://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai\\_topics/1260122\\_4115.html](https://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai_topics/1260122_4115.html)

## ● 先進モジュール炉（Advanced Modular Reactor : AMR）実行可能性・開発プロジェクト

- ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）は2017年12月、次世代新型原子炉プログラム開発で英国が世界のリーダー的地位を獲得するため、原子力産業界に対する包括的な支援方策を公表。SMRを含むAMRの研究開発や実行可能性調査、有望設計の開発促進等を行うプロジェクト「AMR実行可能性・開発プロジェクト」<sup>(1)</sup>に3年間で最大5,600万ポンド（約85.4億円）を拠出。
- 英国政府は、本プロジェクトを通じ、AMRの商業化における英国関与の可能性を探り、新興原子力技術が長期エネルギー目標や経済政策目標にどのように適合するかを判断。
- 本プロジェクトにおけるAMRは、幅広い革新的な原子炉として定義され、一次冷却材に加圧水または沸騰水を使用する従来型の原子炉とは異なり、低コストの発電、家庭用・産業用の熱供給、水素製造、負荷追従運転等を目指す。

□ **フェーズ1**：AMR設計の実行可能性調査を実施。以下8社を選定、総額400万ポンド（約6.1億円）の資金を提供。

- Advanced Reactor Concepts LLC（ナトリウム冷却高速炉）
- DBD Limited（高温ガス炉）
- Blykalla Reactor Stockholm AB（LeadCold）（鉛冷却炉）
- Moltex Energy Limited（熔融塩炉）
- Tokamak Energy Ltd.（核融合炉）
- U-battery Developments Ltd.（高温ガス炉）
- Ultra Safe Nuclear Corporation（高温ガス炉）
- Westinghouse Electric Company UK Limited（鉛冷却高速炉）

□ **フェーズ2**：2020年7月、以下の3社が上記8社から選定され、AMR開発のために、総額4,000万ポンド（約61.1億円）の資金提供。

- Tokamak Energy Ltd.（核融合炉）
- U-battery Developments Ltd.（高温ガス炉）
- Ultra Safe Nuclear Corporation（高温ガス炉）
- Westinghouse Electric Company UK Limited（鉛冷却高速炉）（鉛冷却高速炉）

- 英国規制当局には、設計の許認可審査のための審査体制構築に700万ポンド（約10.7億円）、フェーズ2支援のために500万ポンド（約7.6億円）の資金提供。

(1) BEIS : 「Advanced Modular Reactor (AMR) Feasibility and Development Project」, September 2018.  
<https://www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project>

## ● 英国の戦略的研究機関「UKRI」によるSMR開発企業への助成（1）

- 戦略的政策研究機関「UK Research and Innovation（UKRI）」は2018年4月、革新的技術開発企業に研究開発費等の助成を行う英国政府機関「イノベートUK」、科学政策を調整する政府外公共機関である「英国研究会議（RCUK）」及び大学の研究活動や知識交換活動への助成を担当する「リサーチ・イングランド（RE）」を統合して設立。UKRIの投資金は、BEISの科学予算を通じて提供。
- 英国でSMR開発の企業連合を率いるロールス・ロイス社は2019年11月、UKRIから英国政府の「産業戦略チャレンジ基金」のうち1,800万ポンド（約25.2億円）を受領したと発表。  
これは、国内初のSMRを4年にわたって予備設計している同企業連合への、初回の共同投資金となるものである。今回の投資金は、規制当局が実施する包括的設計審査（新規原子力発電所建設に伴う事前設計認可）の準備にあてられる他、革新的技術の開発推進と実現に向けた最終意思決定に活用される。
- ロールス・ロイス社は、2029年までに同社製SMR（PWR型）初号機の完成と運転開始を目指している。

## ● 「グリーン産業革命のための10要点計画」及び「エネルギー白書」（2）（3）

- 2020年11月の「グリーン産業革命のための10要点計画」及び同年12月の「エネルギー白書」でSMR及びAMR導入の支援策を政府が発表。
  - ✓ 最大385Mポンド（539億円）の先進原子力基金の創設、2030年代初頭のSMR・AMR導入（国内SMR設計に最大215Mポンド、AMR研究開発費に最大170Mポンド）。
  - ✓ 40Mポンド（56億円）の規制枠組み及びサプライチェーンへの投資。

(1) Rolls-Royce : 「UK Government and industry champion new compact nuclear power station」, Sep. 2019.  
<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2019/05-11-19-uk-gov-and-industry-champion-new-compact-nuclear-power-station.aspx>  
(2) UK Government : 「The ten point plan for a green industrial revolution」, Nov. 2020.  
<https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>  
(3) UK Government : 「Energy white paper: Powering our net zero future」, Dec.. 2020.  
<https://www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future>

## ➤ ロシア (1)

- ❑ ロシアでは、国営原子力総合企業ロスアトム社が政府組織の機能も有した体制の下、SMRを含む新型炉の開発を推進。
  - ・ ロスアトム社は、世界で唯一の浮揚式原子力発電所である「アカデミック・ロモノソフ」号を開発、建設。
  - ・ 同船には、電気出力35MWeの小型軽水炉「KLT-40S」2基で構成される海上浮揚式原子力ユニットを搭載。
  - ・ 2019年3月に出力100%到達、2019年12月に極東地域北東部のチュクチ自治区管内、ペベクの隔絶された送電網に送電を開始（**世界で初めてのSMR技術に基づく発電所**）。

## ➤ 中国 (2)

- ❑ 中国は、国家能源局（NEA）の指導の下、様々な機関が高速炉、高温ガス炉、超臨界圧水冷却炉、SMR等、幅広い炉型の開発を推進。
  - ・ 清華大学核能及新能源技術研究院（INET）が中心となり、高温ガス炉実用炉を開発。
  - ・ 実証炉HTR-PM（熱出力250 MWt×2基、電気出力210MWe）を山東省威海市石島湾に建設中。2020年に臨界及び電力グリッドに接続、2021年に全出力運転達成の予定。
  - ・ 中国核工業集团公司（CNNC）が電気出力100MWeのPWR型多目的SMR「玲龍一号」の実証炉建設プロジェクトに着手（2019年7月）。

## ➤ 韓国 (3)

- ・ 韓国は、科学技術情報通信部（MSIT）主導で、PWR型SMRであるシステム一体型・先進モジュール炉（SMART）を輸出プラントとすべく開発を進め、サウジアラビアやヨルダン等とSMART導入に関する協力協定を締結。

## ➤ アルゼンチン (4)

- ・ アルゼンチンは、研究炉の開発・建設経験を活かし、発電または海水淡水化等に用いる電気出力32MWeのPWR型SMR（CAREM）を建設中。建設完了は、2022年を予定。

(1) ROSATOM : 「ROSATOM's first of a kind floating power unit connects to isolated electricity grid in Pevek, Russia's Far East」, Dec. 2019.

(2) CNNC : 「CNNC starts small nuclear reactor project」, July 2019.

(3) MSIT : 「ROK-Saudi Arabia Technology Cooperation Begins for Commercialization and Sophistication of SMART」, Sept. 2019.

(4) Buenos Aires Times : 「Techint suspends on work on nuclear reactor due to 'late payment」, Nov. 2019.

➤ IAEAは、SMRに関するワークショップ、技術検討会、コンサルタント会合等を2012年から数多く開催。

## □ SMRに関する検討を行うための技術作業グループ (TWG-SMR)

- これまで、軽水炉（軽水及び重水）の技術に関する検討を行う技術作業グループ（TWG-LWR）が革新炉やSMRも含めた検討を行ってきたが、SMRに関する検討を行うための技術作業グループ（TWG-SMR）を新たに設置（2018年）。
- 革新的な安全性能を有する先進的なSMRが、2020年代に世界市場に出回り始めるとIAEAは予測しており、SMR技術を開発中あるいは開発検討中の加盟国に対して適切な支援プログラムを提供するための、IAEAへの提案事項をまとめるのが主な目的。

## □ SMRに関する協力研究計画（CRP）

- SMRのEPZ（緊急時避難区域）（2018年～2021年）、SMRの経済性評価手法と適用（2020年～2024年）等のCRPを設置。

## ➤ SMR安全基準に関する方針と活動の全体概要

- SMRは世界的に導入が図られようとしているが実績がまだ少ないため、IAEAでは大型軽水炉用に策定された既存のIAEA安全基準類についてSMRへの適用性を検討中。また、安全基準の支援文書であるTECDOC（技術報告書）や安全報告書の作成を促進。