

原子カインノベーションを巡る海外動向とJAEAの国際戦略

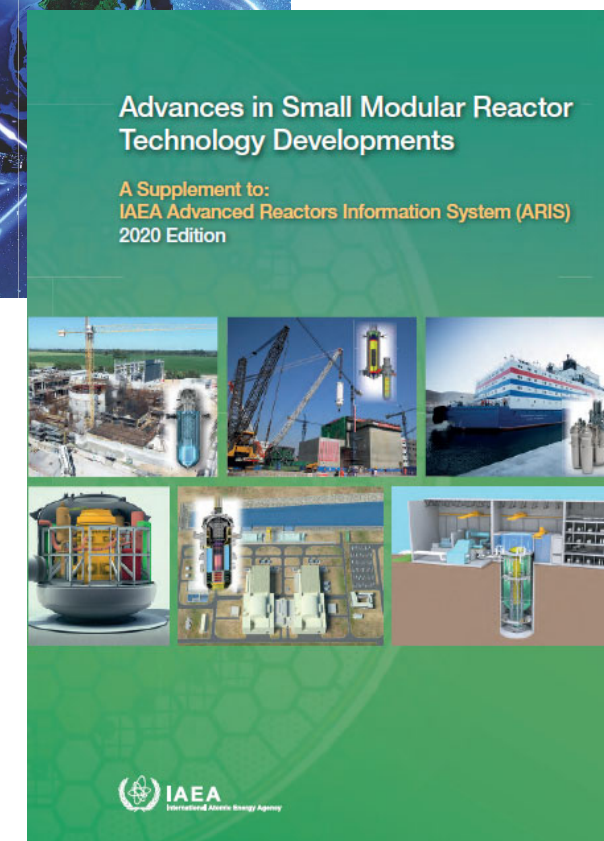
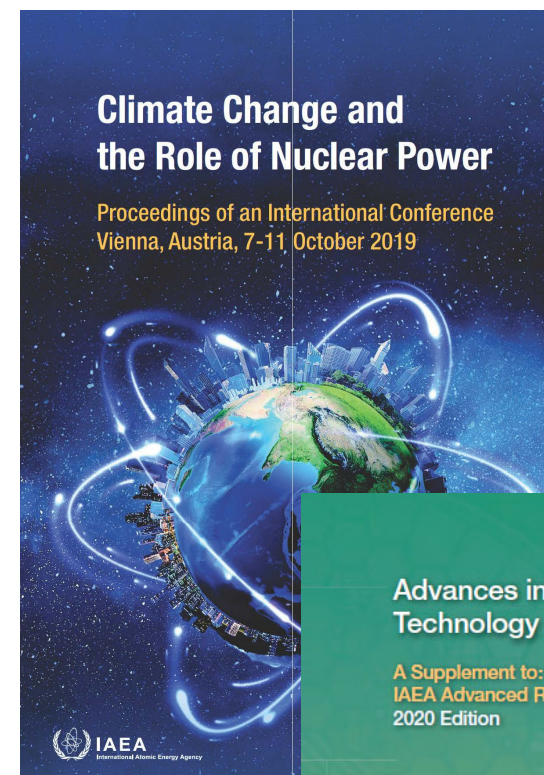
(1) 原子カインノベーションを巡る海外の研究開発動向

令和4年3月18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 戦略・計画室

柴田 大受

- SMR開発機運の高まり
 - 分散電源、柔軟性を持ち多様なエネルギー供給を担う
 - 小出力で事故時の除熱が容易、受動安全性を強化
 - 工場生産範囲の拡大で高品質、現地工事期間短縮
 - 熱利用など多目的利用と発電との組合せで高い柔軟性
 - 軽水炉だけでなく、様々な冷却材を用いた炉が検討
- 海外における開発
 - 米の新型炉実証プログラム (ARDP)
 - 英国、カナダのSMR開発 国家プロジェクト
 - ポーランドの高温ガス炉計画
 - 軽水炉SMR開発の進展
 - 中国の新型炉開発：高温ガス炉 (HTR-PM)
- 国際機関 (IAEA、OECD/NEA等) における取組
- SMRの規制動向 (安全基準類の整備)
 - IAEA SMR Regulators' Forum、安全局における活動
 - US-NRCとカナダCNSCがSMR・新型炉の審査等にかかる協力覚書



米 国

● DOEによるSMR開発支援 (1)

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

DOEは2020年5月、ARDPを開始。新型炉として、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。官民による費用分担。

- ① 7年以内の新型炉実証 (2件、初期投資額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、初期投資額3,000万ドル)
- ③ 新型炉概念 (2件以上、初期投資額2,000万ドル)

□ 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プログラムを開始。パウチャープログラムにより、民間企業にDOE傘下の国立研究所 (INL等) の設備利用権を提供。

● NRCによるSMR関連活動 (1、3、4)

- NRCは、DOEの支援を受け、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。
- 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：「原子力革新技术への挑戦－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) NRC：「NRC to Issue Early Site Permit to Tennessee Valley Authority for Clinch River Site」, Dec. 2019.

(4) JAIF：「米NRC、ニュースケール社製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>

米国ARDPの採択炉 (炉型別)

炉型	採択炉	出力	ARDPの各プロジェクト			企業	備考
			実証	リスク低減	概念		
FR	Natrium	345 MWe	実証炉			TerraPower	SFR (蓄熱システム導入)
	Inherently Safe Advanced SMR	ARC-100 (100 MWe) 概念を基に検討			概念設計	Advanced Reactor Concepts	SFR (免震システムの適用) Advanced Reactor Concepts社は、ARC-100 (100MWe) を開発中。
	FMR	50 MWe			燃料、安全、 運転性の検討	General Atomics	Heガス冷却高速炉と推定される。
HTGR	Xe-100	80 MWe x 4	実証炉			X-energy	高温ガス炉 (TRISO/ペブル型)
	Horizontal Compact HTGR	記述なし			概念検討	MIT	高温ガス炉
Micro reactor	BANR	50 MWt		燃料開発、他		BWXT Advanced Technologies	高温ガス炉 UN燃料核/TRISO燃料/SiCマトリックス
	eVinci	15 MWt		機器開発、他		Westinghouse Electric Company	ヒートパイプ冷却炉 TRISO燃料
MSR	MCRE	1 MWt 以下		実験炉		Southern Company Services	TerraPower社の塩化物溶融塩 高速炉 (MCFR) 開発の一環
	Hermes	記述なし		試験炉		Kairos Power	固体燃料(TRISO/ペブル型) フッ化物溶融塩冷却炉 KP-FHR : 140MWe の縮小型 オークリッジのDOE/ETTPサイトへの建設 を想定
LWR	Holtec SMR-160	160 MWe		設計、許認可 活動、他		Holtec Government Services	PWR Oyster Creekサイトでの建設を想定

2022年1月26日「ナトリウム冷却高速炉技術に関する覚書き」を締結

□ テラパワー社は、「Natrium」の運転開始のため、「常陽」、「もんじゅ」、JSFR設計等を通して得られた高速炉に係る原子力機構（JAEA）のノウハウや試験施設、日本企業の機器設計・製造技術に注目。

□ JAEA、MHI、MFBR、テラパワー社の四者で、相互の技術の情報交換を行った上で、燃料交換機や破損燃料検出系を含むナトリウム冷却炉に特有な技術など高速炉の開発協力について協議を進めることに合意。



□ 日米間の高速炉開発協力を発展
□ 高速炉開発に関する技術力の維持・向上



令和4年1月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

三菱重工株式会社

三菱FBRシステムズ株式会社

カーボンニュートラル実現に貢献する
ナトリウム冷却高速炉技術に関する日米協力の推進について
(米国テラパワー社との協力)

温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラル実現に向けた動きが世界的に加速しており、多くの国で脱炭素エネルギーとしての原子力の重要性が指摘されています。我が国も海外の次世代革新炉開発と連携して多様な原子力技術のイノベーションを加速していくこととしています。その一環として、米国エネルギー省のサポートの下、先進的原子炉設計の実証プログラム（ARDP）としてナトリウム冷却高速炉を含む第4世代炉の実証炉開発を開始し世界をリードしようとしている米国と、高速炉開発協力を進めようとしています。その第一段階として、今般、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）と三菱重工株式会社（以下「MHI」という。）、三菱FBRシステムズ株式会社（以下「MFBR」という。）は、ARDPの中でナトリウム冷却高速炉「Natrium」を開発している米国テラパワー社と協議を進め「ナトリウム冷却高速炉技術に関する覚書き」を令和4年1月26日に締結しました。この覚書きによって、JAEAのもと、国内産業界との連携も可能となります。

今後はテラパワー社との協力を通じ、日米間の高速炉開発協力を発展させていくとともに、高速炉開発に関する技術力の維持・向上につなげていきたいと考えております。

英国

- 要点1 : 洋上風力の推進
(2030までに40GW)
- 要点2 : **水素による低炭素化の推進**
(2030までに5GW。2023水素地区、
2025水素村→水素町。£ 240M)
- 要点3 : **次世代原子力の実現**
- 要点4 : ゼロエミ自動車へのシフト
を加速
- 要点5 : 公共交通機関 (2030までに
ガソリン車、ディーゼル車の廃止)
- 要点6 : 航空・輸送 (ゼロエミ化)
- 要点7 : 公共施設
- 要点8 : CCSへの投資
- 要点9 : 自然環境の保護
- 要点10 : イノベーションと金融

概要 : 800℃以上の熱による**水素製造**
と**合成燃料生産**。水素及び洋上
風力の補完。

(注 : 高温ガス炉と明確には記載されていないが、
高温ガス炉と推察)

予算 : **£ 385M (先進原子力基金の創設)**
(539億円、内SMR設計に£ 215M、AMR研究開発費に£ 170M)

£ 40M (56億円、規制枠組み、サプライチェーン) (1 £ = 140円で換算)

2020年12月14日発表のエネルギー白書でも同様の記載

政策による影響 :

再エネ等とともに、電力における脱炭素化 (発電)

英国全土における雇用創出

AMRによる工業、輸送等における脱炭素化 (熱利用)

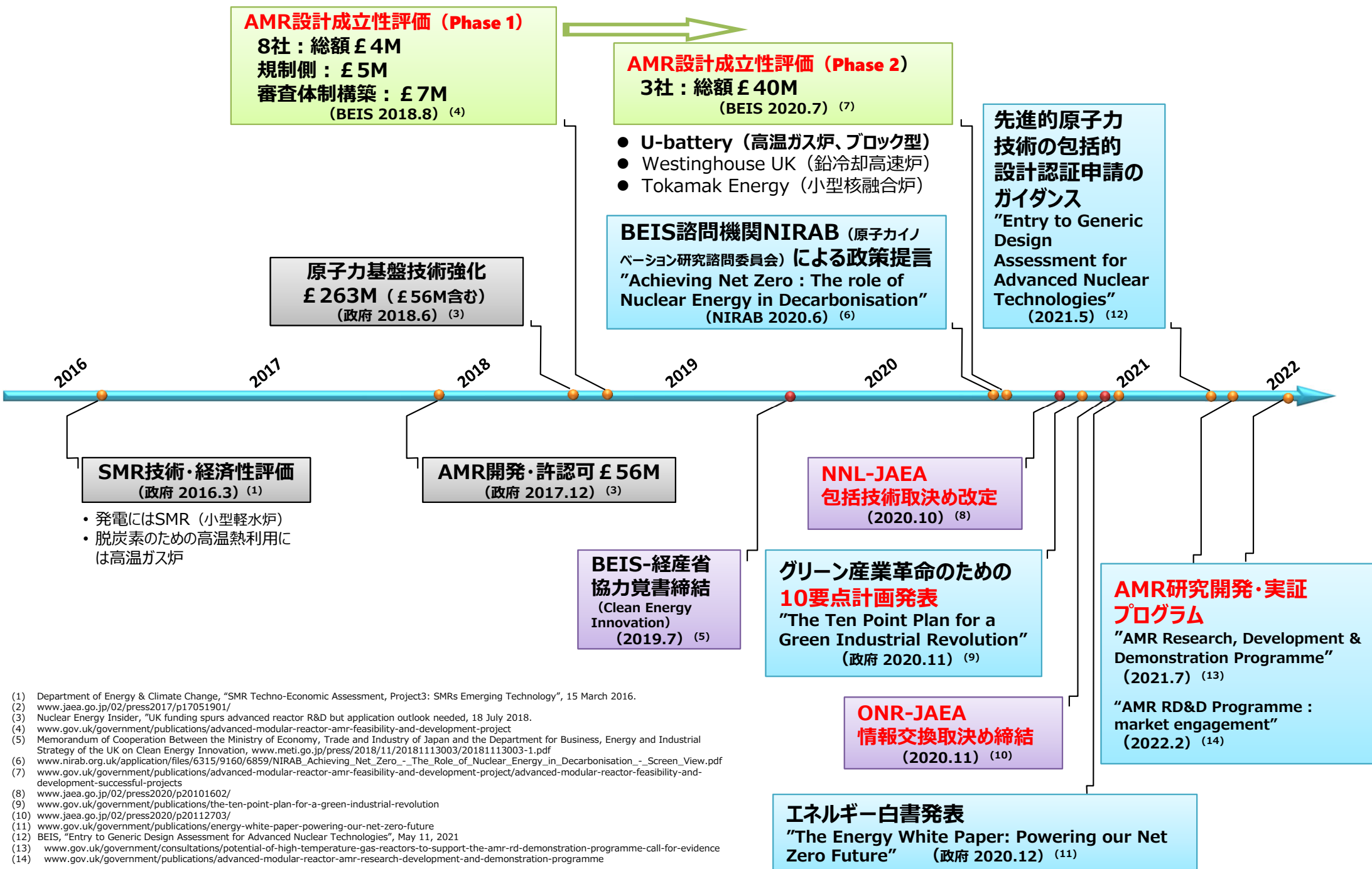
スケジュール :

2020	エネルギー白書刊行
2021	英国SMR設計開発フェーズ2の開始
2020年代半ば	ヒンクレーポイントCのグリッド接続
2030年代初頭	SMR初号機導入、AMR実証炉設置

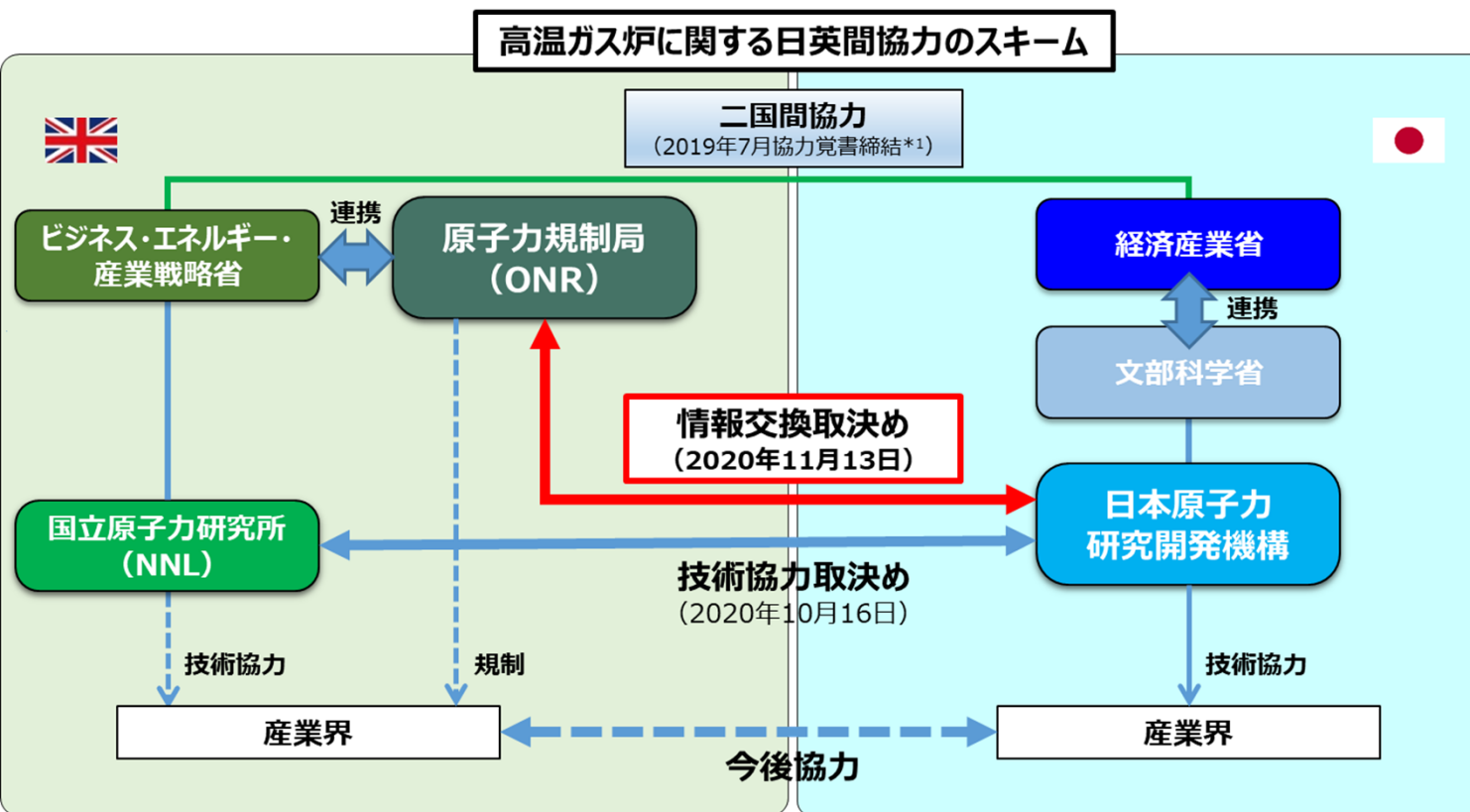
※大型軽水炉に関しては、ヒンクレーポイントCの建設において約10,000人の雇用をピークに創出、等の記述がある。



英国の高温ガス炉開発動向



(1) Department of Energy & Climate Change, “SMR Techno-Economic Assessment, Project3: SMRs Emerging Technology”, 15 March 2016.
 (2) www.jaea.go.jp/02/press2017/p17051901/
 (3) Nuclear Energy Insider, “UK funding spurs advanced reactor R&D but application outlook needed”, 18 July 2018.
 (4) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project
 (5) Memorandum of Cooperation Between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy of the UK on Clean Energy Innovation, www.meti.go.jp/press/2018/11/20181113003/20181113003-1.pdf
 (6) www.nirab.org.uk/application/files/6315/9160/6859/NIRAB_Achieving_Net_Zero_-_The_Role_of_Nuclear_Energy_in_Decarbonisation_-_Screen_View.pdf
 (7) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project/advanced-modular-reactor-feasibility-and-development-successful-projects
 (8) www.jaea.go.jp/02/press2020/p20101602/
 (9) www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution
 (10) www.jaea.go.jp/02/press2020/p20112703/
 (11) www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future
 (12) BEIS, “Entry to Generic Design Assessment for Advanced Nuclear Technologies”, May 11, 2021
 (13) www.gov.uk/government/consultations/potential-of-high-temperature-gas-reactors-to-support-the-amr-rd-demonstration-programme-call-for-evidence
 (14) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-research-development-and-demonstration-programme



* 1 : 日本国経済産業省と英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省との間のグリーンエネルギーイノベーションに関する協力覚書

令和2年11月27日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

**高温ガス炉の実用化に向けて英国との協力体制をさらに強化
～英国原子力規制局と高温ガス炉の安全性に関する情報交換のための
取決めに締結～**

【発表のポイント】

- 英国では、新型モジュール炉（AMR）の炉型の一つとして、高温ガス炉の実用化を推進している。
- 原子力機構は、英国原子力規制局（ONR）と高温ガス炉の安全性に関する情報交換のための取決めに本日締結した。
- 本年10月には高温ガス炉の技術開発側である英国国立原子力研究所（NNL）と協力を開始した。高温ガス炉の実用化には技術開発とともに規制の整備が不可欠であり、規制側であるONRとも協力枠組みを新たに構築でき、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さらに強化した。
- 本協力は、我が国の高温ガス炉技術の国際標準化につながるものであり、ひいては国際的に喫緊の対応が求められている気候変動の緩和へ貢献するものと位置付けられる。

- 英国では、AMRとして**高温ガス炉の実用化**を推進
- 技術開発側である**英国国立原子力研究所(NNL)**と協力を開始(2020年10月)
- **英国原子力規制局(ONR)**と高温ガス炉の安全性に関する情報交換の取決めに締結(2020年11月)
- 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**

（1）概要

- 英国BEISは2022年2月16日、「**AMR研究開発・実証（RD&D）プログラム、市場との対話（market engagement）**」⁽¹⁾を公表し、**2030年代初頭までに高温ガス炉（HTGR）の実証炉を建設するため、原子力産業界と事前の情報交換を行うと発表（2022年3月4日まで意見を募集）**。**原子力機構からも意見を提出**。
- 建設計画の「**フェーズA**」として、**BEISは今年の春にも正式な入札招請（ITT）を開始**するとしており、それに先駆けて関係情報を収集するのが主な目的。
- 同プログラムの詳細と建設計画の指標となる概略的なスケジュールを提示した上で、資機材と燃料のサプライチェーン、機器製造や建設工事の関係企業、高温熱のエンドユーザーなど、HTGR開発に関心を持つ潜在的なサプライヤーから要望や意見を聞き、実際の調達活動に備える方針。

（2）スケジュールの詳細

- **フェーズA（2022年春～）**：最大250万ポンド（約3億9,000万円）をかけて、6～9か月間にわたり**基本設計（FEED）関係の予備調査**5件を実施する。入札招聘も実施してBEISはHTGR実証炉の概念をまとめる他、研究開発上の課題や技術課題を特定して、その実行可能性を探る。また、2030年代初頭の完成を念頭に置いた開発ロードマップも作成する。
- **フェーズB（2023年初頭～）**：政府の承認取得を条件に、BEISは**詳細設計の基礎となるFEED調査**を実施する。ここでは、「フェーズA」で選定された複数の提案者がHTGRの概念設計を詳細に評価し、投資総額やライフサイクル・コストを正確に見積もる予定。BEISは「フェーズA」で選定されなかった提案者も含めて、提案者の最終的な絞り込みを行うとしている。
- **フェーズC（2025年半ば～）**：「フェーズB」で選定された提案者が建設サイトに最適の**詳細設計作業**を実施する。サイト許可や建設許可なども取得する方針で、これらの許認可活動が順調に進めば、**計画通りにHTGR実証炉の起動と運転**が実現する。

(1) BEIS, 「Advanced Modular Reactor (AMR) Research, Development and Demonstration Programme: market engagement」, February 2022.
<https://www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-research-development-and-demonstration-programme>

THE HUB



NNL LAUNCH EOI FOR PARTNERS TO WORK ON UK HTGR DEMONSTRATION

The UK's National Nuclear Laboratory is seeking expressions of interest from organisations from all sectors of the supply chain such as, but not limited to: engineering design, manufacture, operations, fuel production, academia and HTGR heat end users.

NEWS / 23RD FEBRUARY 2022

HTGRデモンストレーション計画に対して、産業界、
学会等からの関心表明（EOI）を募集

主要諸元と現状	
炉型	3ループPWR
冷却材	軽水
出力	1276 MWt
	470 MWe
燃料	UO ₂
燃料濃縮度	4.95% 最大
運転サイクル	18～24ヶ月
炉寿命	60年
発電単価	£ 40～60/MWh
現状	GDA申請

● 概要と技術的特徴

- 企業連合：Rolls-Royce、Assystem、Atkins、BAM Nuttall、Jacobs、Laing O'Rourke、NNL、Nuclear AMRC、TWI
- UK SMRは、PWR技術に基づいた小型軽水炉であり、2030年代初頭までに初号機の完成と運転開始を目指している。
- 徹底的なモジュール化設計により、建設コストの不確かさを大幅に低減する。
- 規制リスクを最小化した魅力的なプラント設計を実現するため、実証済み技術の最適化・高度化に注力して開発を行う。
- ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）は2021年11月9日、SMR開発に対するマッチングファンドとして、2億1,000万ポンド（約320億円）を提供すると発表。

カナダ

連邦政府



資金拠出 (7,600万ドル/年、10年間) (1, 2)

原子力科学技術ワークプラン (Federal Nuclear Science and Technology (FNST) Work Plan)

カナダ原子力公社 (AECL)、天然資源庁 (NRCAN : Natural Resources Canada) 等で策定 (2015年9月) (3)



研究資金
(能力と専門性の維持)



研究成果
(連邦政府の活動を支援)

① SMRロードマップ⁽⁴⁾

- NRCANを中心とするSMRロードマップステアリングコミッティが、ロードマップを公表 (2018年11月)



② SMR行動計画⁽⁷⁾

- NRCANは、SMRロードマップに基づくSMR行動計画を公表 (2020年12月)。SMRベンダー11社が参加 (高温ガス炉関係ではU-Battery Canada社、Ultra Safe Nuclear社及びX-energy社が参加)。
- 本計画において、SMR導入に関する新たな支援策は示されていない。

③ カナダ原子力研究所 (CNL) による SMR導入計画

(Canadian Nuclear Laboratories : CNL)

- エネルギー分野等におけるアクションを示した10年間の長期戦略策定⁽⁵⁾ (2017年4月)
 - ✓ ロードマップ作成
 - ✓ SMRに関する規制当局との連携計画、等
- SMR実証炉に関する関心表明要求 (2017年6月)
- SMR導入プロジェクト提案募集 (2018年4月)
- カナダ原子力研究イニシアチブ設立 (2019年7月)

④ カナダ原子力安全委員会 (CNSC) によるSMR 審査

(Canadian Nuclear Safety Commission : CNSC)

- SMRに限らずベンダーに対する原子炉設計の事前審査 (Pre-Licensing Vendor Design Review) を提供開始⁽⁶⁾ (2012年5月)
- 許認可のためのガイド作成中

(4) Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee : 「A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors」, Ottawa, Ontario, Canada, 2018

(5) <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/stories/2017/20170425.aspx>

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

(7) <https://smractionplan.ca/>

(1) <https://www.aecl.ca/science-technology/federal-science-and-technology-work-plan/>

(2) https://www.cns-snc.ca/media/pdf_doc/position_papers/421_RNNR_Rpt05_GR-e.pdf

(3) <https://www.aecl.ca/science-technology/federal-science-and-technology-work-plan/>

● CNLサイト（チョークリバー）へのSMR導入計画 (1)

- カナダ原子力研究所（Canadian Nuclear Laboratories: CNL）はFNSTを含むエネルギー分野等におけるアクションを示した10年間の長期戦略を策定（2017年4月） (2)
- **CNLはチョークリバーサイト内に建設予定のSMR実証炉（FOAK）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た。国内外から80件の関心表明**（2017年6月） (3)
- 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 (4)
- **CNLは、チョークリバーサイトにSMR実証炉プロジェクトの提案を募集**（2018年4月） (5)
- 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 (5)
 - **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
- CNLは、提案6社（**3社が高温ガス炉**、1社が溶融塩炉のベンダー、2社は社名等非公開）の評価中 (6)

(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) <https://www.cnl.ca/en/home/news-and-publications/stories/2017/20170425.aspx>

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

(4) CNL：「CNL announces strong interest in siting an SMR demonstration unit」, Jun. 2018.

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

(6) 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) (1)**
 - 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、出資金あるいはインカインドの形で応分負担**
 - CNLは、CNRIの第一段候補となる以下の企業4社を選定 (2019年11月15日) (2)
 - **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社 (高温ガス炉)**
 - **カナダ Terrestrial Energy社 (溶融塩炉)**
 - 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 (3, 4, 5, 6)

(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 (Canadian Nuclear Safety Commission : 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 : VDR) 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、6社評価中、1社終了。
- 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と共に、CNLチョークリバー・サイト実証炉 (FOAK) のサイト準備許可 (Licence To Prepare Site Initial Application : LTPS) をCNSCに申請 (2019年3月)**
- **CNSCは2021年5月6日、上記LTPS申請が技術審査に移行したと発表。 (3)**

※ CNSCのVDRは正式な許認可手続きとは異なるサービスとして行っている審査であり、LTPSは正式な許認可手続きに基づく審査であることに注意。

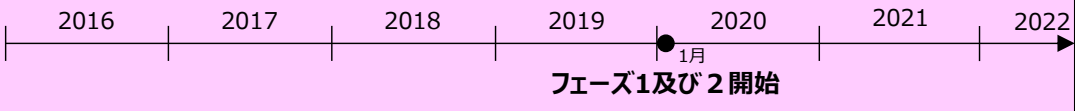
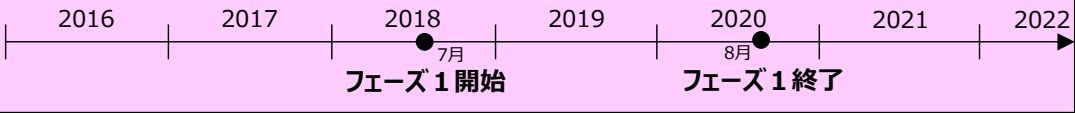
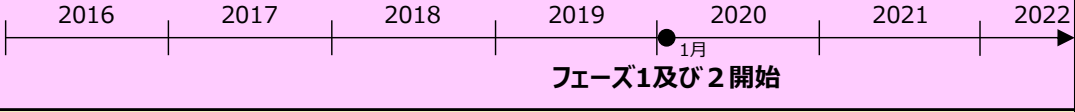
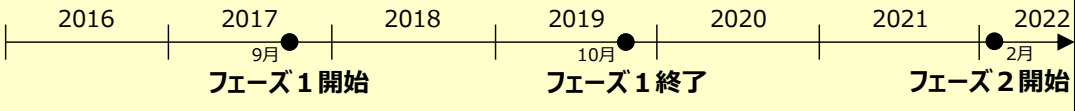
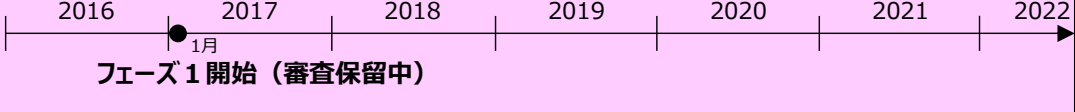
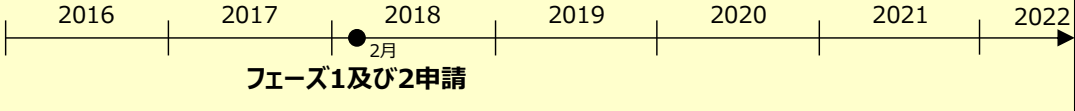
(1) CNSC : <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm>

(2) GFP : <https://www.globalfirstpower.com/post/global-first-power-submits-a-licence-to-prepare-site-ltps-application-to-the-cnsc>, March 2019.

(3) CNSC : <https://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/research-reactors/nuclear-facilities/chalk-river/global-first-micro-modular-reactor-project.cfm>18

炉型	企業名	状況 (1)(2)(3)					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
高温ガス炉	GFP社 (加国) USNC (米国)、OPG社 (加国) と協力	CNL評価	2017年6月	2019年2月			
		CNSC審査 (VDR)	2016年12月	2019年2月	2021年6月		
		CNSC審査 (LTPS)			2019年3月	2021年5月	
	StarCore Nuclear (加国)	CNL評価	2017年6月	2019年2月			
		CNSC審査 (VDR)	2016年10月				
	U-Battery Canada (加国/英国)	CNL評価	2017年6月	2019年7月			
CNSC審査 (VDR)							
X-energy (米国)	CNSC審査 (VDR)				2020年7月		
溶融塩炉	Terrestrial Energy (加国)	CNL評価	2017年6月	2019年2月			
		CNSC審査 (VDR)	2016年4月	2018年11月	2018年12月		
	Moltex Energy (英国)	CNSC審査 (VDR)		2017年12月		2021年5月	

※ CNSC審査 (VDR) : 正式な許認可手続きとは異なるサービスとして行っている審査、CNSC審査 (LTPS) : 正式な許認可手続きに基づく審査

炉型	企業名	状況(1)(2)
軽水炉	NuScale Power (米国)	CNSC審査 (VDR) 
	SMR (A Holtec Int. Company) (米国)	CNSC審査 (VDR) 
	GE Hitachi Nuclear Energy (米国)	CNSC審査 (VDR) 
ナトリウム冷却高速炉	Advanced Reactor Concepts (米国) (ARC Nuclear Canada (加国))	CNSC審査 (VDR) 
重金属冷却高速炉	LeadCold (スウェーデン/加国)	CNSC審査 (VDR) 
ヒートパイプ炉	Westinghouse Electric Company (米国)	CNSC審査 (VDR) 

※ CNSC審査 (VDR) : 正式な許認可手続きとは異なるサービスとして行っている審査

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

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

(3) CNSC : 「Global First Power Micro Modular Reactor Project」, <https://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/research-reactors/nuclear-facilities/chalk-river/global-first-micro-modular-reactor-project.cfm>

カナダ州政府のSMR導入動向

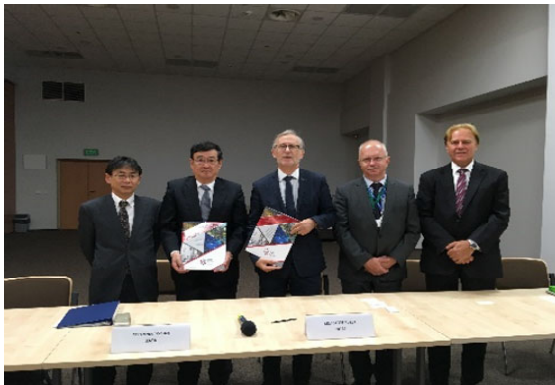
州 (主導組織)	① オンタリオ州、サスカチュワン州 (OPG社、BP社、スク・パワー社)			② ニューブランズウィック州 (NBパワー社)		③ オンタリオ州 (CNL)
ベンダー	Terrestrial Energy社	GEH社	X-energy社	ARC Clean Energy社	Moltex Energy社	Global First Power社
炉型	溶融塩炉	BWR	“ダブル”型 高温ガス炉	高速炉	溶融塩炉 (高速炉)	ブロック型 高温ガス炉
炉名	IMSR	BWRX-300	Xe-100	ARC-100	SSR-W	MMR
冷却材	フッ化物燃料塩	軽水	ヘリウムガス	液体ナトリウム	溶融塩	ヘリウムガス
出力	440 MWt 195 MWe	870 MWt 290 MWe	200 MWt 82.5 MWe	286 MWt 100 MWe	750 MWt 300 MWe	15 MWt 5-10 MWe
炉心入口 出口温度	620℃ 700℃	270℃ 287℃	260℃ 750℃	355℃ 510℃	525℃ 590℃	300℃ 630℃
設置場所	ダーリントン原子力発電所、等			ポイント・ルプロー原子力発電所		チョーク・リバー
設置時期	2028年（オンタリオ州）、2032年（サスカチュワン州）			2030年	2030年代初頭	2026年
備考	2021年12月、GEH社製BWRX-300を選定、 最大5基設置			2社2炉型を建設・設置		MMRを含む6社の 炉型を評価中

ポーランド

- 2018年11月23日：2040年までのエネルギー政策PEP2040（案）を公表
 - ✓ 2040年までに石炭火力への依存割合を80%（現在）から30%まで減少
 - ✓ **2033年に最初の原子力発電所**を導入し、その後2043年まで2年毎に5基（計6基）を建設、合計6～9 GWeの発電量をまかなう計画。
 - ✓ **高温ガス炉は産業利用として導入**
- 2020年10月、PEP2040の原子力発電所導入計画に合わせた改訂版原子力計画を内閣が承認。
- 2021年2月、PEP2040を内閣が承認
- **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**

ポーランド国立原子力研究センター
(NCBJ) とJAEAとの間で「**高温ガス炉技術分野における研究開発協力**のための実施取決め」を2019年9月20日に署名

- 高温ガス炉の高度化に関するシミュレーションのための材料及び被覆粒子燃料に関わる研究開発
- 原子炉への化学プラント接続のための安全解析
- 設計研究による高温ガス炉の高度化に関するシミュレーション
- 高温ガス炉の人材育成



NCBJが計画する高温ガス炉実験炉の導入に向けて協力

<https://www.jaea.go.jp/02/press2019/p19092002/>

2021年5月6日、茂木外務大臣とズビグニェフ・ラウ・ポーランド共和国外務大臣は、「2021年から2025年までの日本国政府とポーランド共和国政府との間の**戦略的パートナーシップの実施のための行動計画**」に署名

経産省及び文科省並びにポーランド気候・環境省、開発・労働・技術省及び教育・科学省の支援の下、**JAEAとNCBJとの間における高温ガス冷却炉分野の研究開発に向けた協力を奨励**することが明記。



https://www.mofa.go.jp/mofaj/erp/c_see/pl/page4_005323.html

ポーランド国内民間企業が、自社が保有する石炭火力発電によるCO₂排出量の削減を目的として、SMRの導入の検討を開始している。

➤ BWRX-300（GE日立ニュークリア・エナジー社）

- GE日立ニュークリア・エナジー社と2019年より協力関係にあるシントス社（ポーランドの大手化学素材メーカー）は、PKNオーレン社（ポーランド国有石油会社）とBWRX-300導入に関する協力協定を締結（2021年6月）。
- シントス社とZE PAK社（ポーランドの民間電力会社）が、ZE PAK社の石炭火力発電所にBWRX-300を4～6基建設するための投資に合意（2021年8月）。
- PKNオーレン社とSGE社（シントス社のグループ企業）は、超小型炉やSMRの建設と商業化を進めるため、合併事業体の設立に向けた投資契約を締結（2021年12月）。

➤ NuScale Power Module : NPM（ニュースケール・パワー社）

- ニュースケール・パワー社とKGHM社（ポーランド国営の銅採掘会社）が協力協定を締結（2021年9月）。
- ニュースケール・パワー社とKGHM社は、NPMを複数設置する発電所VOYGRを建設するための契約を締結（2022年2月）。

➤ MMR（ウルトラ・セーフ・ニュークリア社）

- 米国ウルトラ・セーフ・ニュークリア社（USNC）とSGE社 が協力協定を締結（2020年11月）。

フランス

- PWR型SMRであるNUWARD発表同日（2019年9月17日）、CEAとEDF社は、SMR開発で協力することを念頭に、米ウェスチングハウス（WH）社と枠組協定を締結⇒ 既存の石炭火力発電所の2030年代以降の置き換え需要を想定
- マクロン大統領は、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（2022年2月）。

NUWARDの主要諸元と現状	
炉型	PWR
冷却材	軽水
熱出力／電気出力	2×540 MWt／2×170 MWe
燃料	UO ₂
運転サイクル	24ヶ月
炉寿命	60年
現状	概念設計



- 炉心設計
- 熱流動コード・試験



- エンジニアリング
- 安全の実証
- 運転・保守



- Steam Conversion System
- モジュールコンセプト
- Steel Containment



- SMR設計
- 新技術開発

ロシア、中国

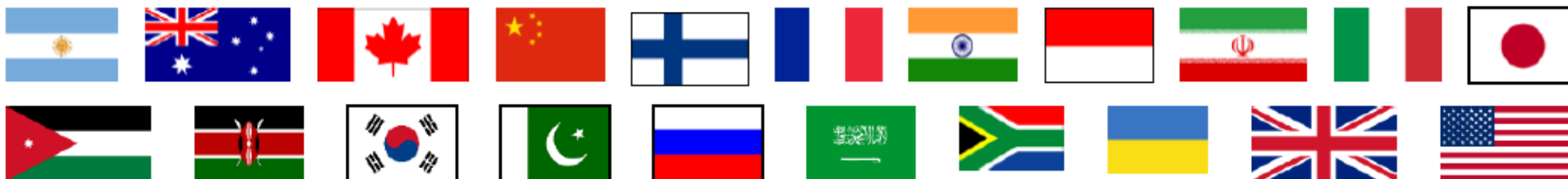
ロシア、中国のSMR開発動向

国	組織	計画名等	選択炉型及び出力(MWe)		現状及び計画
露	ROSATOM社	浮揚式原子力発電所	PWR: KLT-40S	35 × 2	完成(2019年12月から送電を開始)
		鉛冷却高速実証炉建設計画	鉛冷却高速炉: BREST-OD-300	300	建設開始(2021年6月)
		陸上設置式SMR	PWR: RITM-200N	55	建設許可(2021年8月)
中	CNNC	HTR-PM(実証炉)計画	高温ガス炉(ペブル型): HTR-PM	210	2モジュールで蒸気タービン1基 臨界(1号炉: 2021年9月、2号炉2021年11月) 送電網へ接続(1号炉: 2021年12月)
		HTR-PM600(商用炉)計画	高温ガス炉(ペブル型): HTR-PM600	650	6モジュールで蒸気タービン1基 基本設計終了
		PWR型SMR実証炉計画	PWR: 玲龍一号	125	建設開始(2021年7月)

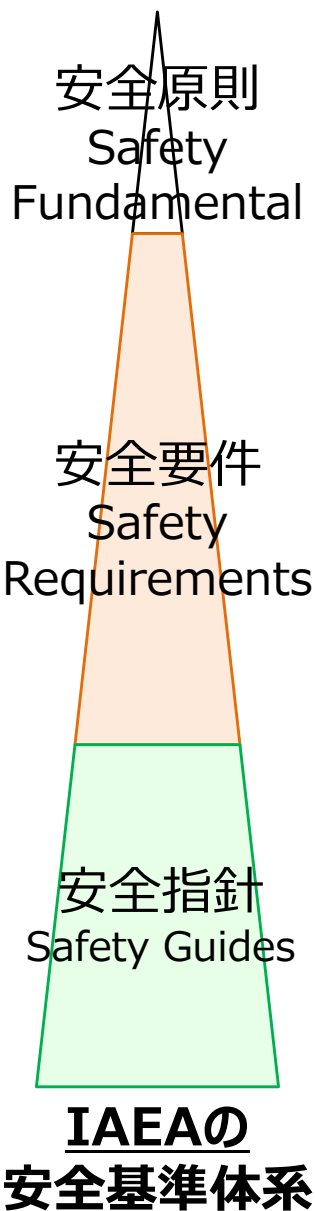
IAEAにおける取組

原子力エネルギー局 TWG-SMR (SMR技術ワーキンググループ)

- 2018年に設置。現在21か国（日本（JAEA）を含む）、オブザーバー2機関（EC、OECD/NEA）が参加



- 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。
- これまでの3年間では、3課題についてサブグループで検討を実施
 - SG1: Generic Users Requirements and Criteria,
 - SG2 : Research, Technology Development and Innovation: Codes and Standards
 - SG3: Industrialization, design engineering, testing, manufacturing, supply chain, and construction technology



原子力安全・セキュリティー局

- IAEAが専門家を招集しコンサルタント会合を開催
- 技術報告書 (TECDOC又はSafety Report) を作成

SMR安全要件の開発手法

(2019.9~2020.2)

- 目的：テクノロジー・ニュートラルなSMR安全要件開発の方法論の検討
- 日本原子力学会での安全要件作成の知見を提示

安全設計要件のSMR適用性評価

(2017.2~2019.5)

- 目的：高温ガスSMRと軽水SMRへのSSR-2/1 (Rev.1) の適用性評価
- 日本原子力学会で作成した安全要件案を提案
- 技術報告書 (IAEA-TECDOC-1936) が2020年12月刊行



原子力エネルギー局

- IAEAが設立した協力研究計画 (CRP) へ各機関が参加申請
- 技術報告書 (TECDOC) を作成

研究協力計画 (CRP)

モジュラー型高温ガス炉の安全設計

(2014.12~2018.12)



- 目的：高温ガス炉の優れた安全上の特長を考慮した安全要件の国際標準案の検討
- 8か国から高温ガス炉専門家が参加
- 日本原子力学会で作成した安全要件案を提案
- 国際標準案を技術報告書として取り纏め

安全評価指針のSMR適用性評価

(2020.7~)

安全設計指針のSMR適用性評価

(2019.11~)

原子力イノベーションの一つとしてのSMR開発

- SMR開発機運の高まり：安全性、工場生産性、柔軟性
- 海外におけるSMR開発（米、英、加、波、仏、露、中）
- 国際機関（IAEA）における取組

国立研究所（INL, NNL, CNL, NCBJ, CEA）の関わり
原子力機構の取組み



考察

SMR導入に向けて重要な観点

政策（資金含む）、事業者、ベンダー、国立研究所、立地、
規制、国際協力

ご静聴いただき、ありがとうございました