



カナダのSMR開発状況

2021年3月24日現在

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行動計画 (7)

- NRCanは、SMRロードマップ (4)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。

② 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)

③ 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

(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/>

(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カナダSMRロードマップの概要 (1/2)

- NRCanを中心とするステアリングコミッティは、5つのワーキンググループの報告書に基づき、SMRロードマップを作成。第4世代炉・小型炉会議で公表（2018年11月、オタワ）⁽¹⁾。
- SMRロードマップは、SMRの特徴、これまでの活動、ワーキンググループ報告、国際状況、潜在的利益、チーム構成及び提言等で構成
- ワーキンググループの主な報告内容
 - **技術WG (Technology-WG)⁽²⁾** :
 - 1つ又は2つ以上の新たに設計した実証炉を既に許認可済みのサイトに建設
 - 長期間に亘る商用SMRの燃料供給を確保するため、米国等、志を同じくする国と協働すること。使用済み燃料及びウラン濃縮に係る政府の方針を示す、等
 - **規制準備WG (Regulatory Readiness-WG)⁽³⁾** :
 - リスク情報基準に基づき、段階的にSMRへの原子力賠償の制限を適用するため、規則を改訂する、等
 - **先住民及び民衆雇用WG (Indigenous & Public Engagement-WG)⁽⁴⁾** :
 - SMRを含むエネルギーオプションに対する先住民を含む民衆の考え、態度及び理解度を定性的及び定量的に評価する、等
 - **廃棄物管理WG (Waste Management-WG)⁽⁵⁾** :
 - SMRの使用済み燃料の長期間の取扱等、技術的要件をカナダの核燃料廃棄物の責任を担うNWMO (Nuclear Waste Management Organization) と情報交換を行う、等
 - **経済と財政WG (Economic & Finance-WG)⁽⁶⁾** :
 - 政府は産業界と連携し、R&D活動をサポート、新たなマーケット開拓及び実証炉 (FOAK) 建設を行う
 - 政府はSMRの資本費の削減にコミットする、等

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

(2) <https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/12/Technology-WG.pdf>

(3) <https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/12/Regulatory-Readiness-WG.pdf>

(4) <https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/12/Engagement-WG.pdf>

(5) <https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/12/Waste-WG.pdf>

(6) <https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/12/Economics-Finance-WG.pdf>

①カナダSMRロードマップの概要 (2/2)

- SMRロードマップ⁽¹⁾ は、4つの柱に基づいた行動を提言
 - **第1の柱「実証と展開」**：連邦政府とSMRに関心のある州政府に、1つ以上のSMR実証計画で産業界との費用分担に応じることを要請。連邦政府及び州政府は、SMRをカナダで最初に商業展開させるため、民間投資家とリスクを共有する必要がある
 - **第2の柱「政策、法整備及び規制」**：カナダの影響評価プロセス下での規制や核廃棄物管理に関する優先行動を特定
 - **第3の柱「能力、雇用及び国民の信頼」**：SMR導入に際し、政府や事業者は、先住民の関与を優先
 - **第4の柱「国際協力と市場」**：SMRに対する強力かつ効果的な国際協力の枠組みに焦点
- SMRは、“より小さく、より単純で、より安価な” 原子力エネルギーを求める市場への回答であると結論。成功すれば、気候変動とクリーンエネルギー政策だけでなく、エネルギー安全保障等の必要性によっても推進され、SMRの大規模な世界市場が拓ける

①カナダSMR行動計画の概要 (1/2)

- 2020年12月18日、カナダのSeamus O'Regan天然資源大臣は、2018年11月に発表されたカナダSMRロードマップで特定された53の推奨事項に対応するカナダSMR行動計画を発表⁽¹⁾。
- 本計画は、「チーム・カナダ」と呼ぶ、カナダ全土から主要な参加者（連邦政府、州・準州、先住民族、市町村、電力会社、市民社会・教育団体、学術・研究機関、原子力関係団体、SMRベンダーを含む産業界）を集めた汎カナダ的な取り組みの成果である。（参加組織の合計は109）。
- 参加者はそれぞれ、カナダに対してSMRの機会を掴むために取っている具体的な行動を本計画に寄稿し、進捗状況と今後の計画を概説（109の参加組織それぞれが、カナダSMRロードマップで特定された53の推奨事項の内、対応している行動の進捗状況と今後の計画を概説）。
- 参加SMRベンダー11社は、次の通り：
 - ARC Nuclear Canada社（ナトリウム冷却高速炉：ARC-100）
 - SNC-Lavalin社（CANDU SMR：CSMR）
 - GE Hitachi Nuclear Energy社（BWR：BWRX-300）
 - Holtec International社（PWR：SMR-160）
 - Moltex Energy Canada社（溶融塩炉：SSR-W）
 - NuScale Power社（PWR：NuScale Power Module）
 - Terrestrial Energy社（溶融塩炉：IMSR）
 - U-Battery Canada社（高温ガス炉：U-Battery）
 - Ultra Safe Nuclear社（高温ガス炉：MMR）
 - Westinghouse Electric Canada社（ヒートパイプ炉：eVinci超小型炉）
 - X-energy社（高温ガス炉：Xe-100）

①カナダSMR行動計画の概要 (2/2)

- 参加者は、確実に行動し、カナダのリーダーシップの機会を掴むため、次のことを行う。
 1. カナダにおける様々なSMR技術の開発と展開を支援し、2020年代後半までに最初のユニットを稼働させるために、参加者の管轄区域と権限の範囲内で共に行動する。
 2. 「チーム・カナダ」として団結し、国際的なパートナーと協力して輸出機会を獲得し、国際基準に影響を与え、カナダの将来への投資を確保する。
 3. カナダの低炭素化の未来を加速するために、SMRを他のクリーンエネルギー源、貯蔵技術及び用途と統合する機会を模索する。
 4. 核廃棄物を最小限に抑え、核燃料を再利用する機会を追求し、放射性廃棄物の安全で長期的な管理のためのカナダの既存の慣行を補完する。
 5. 女性、マイノリティ社会、若者の参加を拡大し、先住民、農村、遠隔地、北部地域との有意義で長期的な経済的連携の機会を模索することにより、原子力産業における多様性と代表性を強化する。
 6. SMRの配備と輸出において、学術、研究、工学及び製造におけるカナダの広範な能力を活用する。
 7. 参加者の活動を支援する。

※カナダへのSMR導入に関する新たな具体的支援策は、本計画内では発表されていない。

②CNLにおけるSMR導入計画（1/2）

● 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
- **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 (熔融塩炉)
 - 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 (熔融塩炉)
- 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 (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) 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、オンタリオパワージェネレーション (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社とともに、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)**

(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.

● 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

CNL及びCNSCによる審査状況 (1/2)

炉型	企業名	状況 (1)(2)
高温ガス炉	UltraSafe Nuclear Corp. (米国) GFP社 (加国) と協力	CNL審査 2017年6月 フェーズ1開始 2018年2月 フェーズ3開始
		CNSC審査 2016年12月 フェーズ1開始 2019年2月 フェーズ1終了
	StarCore Nuclear (加国)	CNL審査 2017年6月 フェーズ1開始 2019年2月 フェーズ1終了
		CNSC審査 2016年10月 フェーズ1及び2申請
	U-Battery Canada (加国/英国)	CNL審査 2017年6月 フェーズ1開始 2019年7月 フェーズ1終了
		CNSC審査 2019年末開始予定 (審査開始保留中)
X-energy (米国)	CNSC審査 2020年7月 フェーズ1及び2開始	
溶融塩炉	Terrestrial Energy (加国)	CNL審査 2017年6月 フェーズ1開始 2019年2月 フェーズ1終了
		CNSC審査 2016年4月 フェーズ1開始 2018年12月 フェーズ2開始
	Moltex Energy (英国)	CNSC審査 2017年12月 フェーズ1開始
	Copenhagen Atomics (米国)	CNL及びCNSCの審査に未申請
	Flibe Energy (米国)	CNL及びCNSCの審査に未申請

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

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

CNL及びCNSCによる審査状況 (2/2)

炉型	企業名	状況(1)(2)
軽水炉	NuScale Power (米国)	CNSC審査
	SMR (A Holtec Int. Company) (米国)	CNSC審査
	GE Hitachi Nuclear Energy (米国)	CNSC審査
	Hydromine Nuclear Energy (ルクセンブルク)	CNL及びCNSCの審査に未申請
ナトリウム冷却高速炉	Advanced Reactor Concepts (米国) (ARC Nuclear Canada (加国))	CNSC審査
	GE Hitachi Nuclear Energy (米国)	CNL及びCNSCの審査に未申請
	東芝 (日本)	CNL及びCNSCの審査に未申請
重金属冷却高速炉	LeadCold (スウェーデン/加国)	CNSC審査
	Westinghouse (加国)	CNL及びCNSCの審査に未申請
	Hydromine Nuclear Energy (ルクセンブルク)	CNL及びCNSCの審査に未申請
塩化物溶融塩炉	TerraPower (米国)	CNL及びCNSCの審査に未申請
ガス冷却高速炉	General Atomics (米国)	CNL及びCNSCの審査に未申請
ヒートパイプ炉	Westinghouse Electric Company (加国)	CNSC審査

※未公開の2社がCNL審査中⁽³⁾

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

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

(3) Mark Lesinski : 「Development and Deployment of Advanced Nuclear Power Technologies to Increase the Use of Low-Carbon Energy」, International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power, Vienna, Oct. 2019.