講演5　高温ガス炉プラント研究会　活動報告

「高温ガス炉に関する国内外動向調査」

令和3年1月18日

プラント研究会　テクニカルアドバイザー
伊与久達夫

高温ガス炉開発は国際協力の下で推進【第5次エネルギー基本計画】

そこで、国際競争を見据えて、海外の高温ガス炉開発の動向を調査

- 今年度は、特に、米国及びカナダの動向に焦点を当てて調査

本 講 演 の 目 次

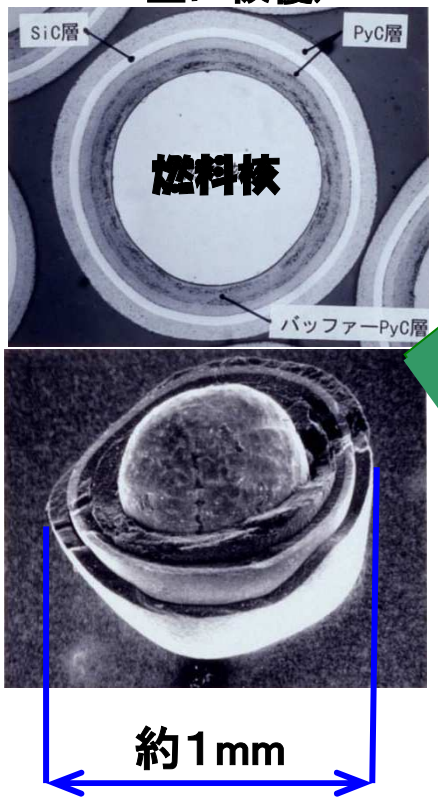
1. 高温ガス炉の炉型について
2. 世界における高温ガス炉の開発状況
3. 政策的側面からの情報調査・調査結果
4. 技術的側面からの情報調査・調査結果
5. **米国及びカナダの動向**
   - **5.1 米国の動向**
   - **5.2 カナダの動向**
   - **5.3 国際機関の活動（米国とカナダに焦点）**
   - **5.4 調査結果の整理・分析**
6. おわりに

1. 高温ガス炉の炉型について

「ブロック型炉心」と「ペブルベッド型炉心」の違い

被覆燃料粒子

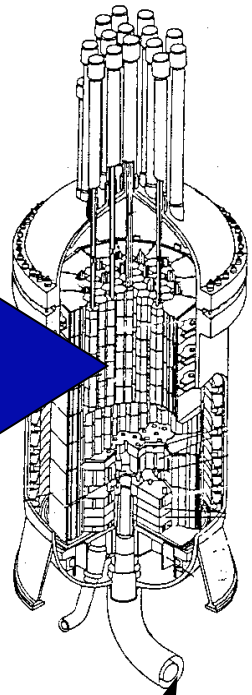
（燃料核をセラミックスで多重に被覆）



燃料コンパクト

黒鉛ブロック

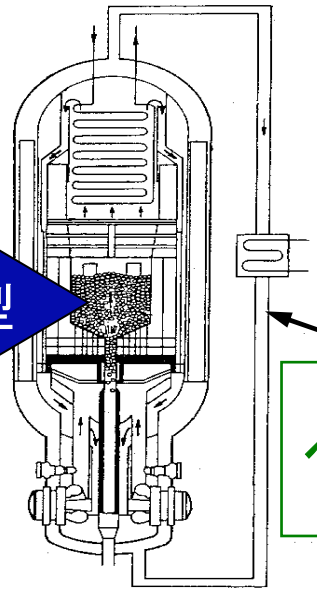
ブロック型



減速材、炉心構造物に黒鉛材料を使用

球状燃料(直径60mm)

ペブルベッド型



冷却材にヘリウムガスを使用

2. 世界における高温ガス炉の開発状況

英国
U-Battery
（10MWt）

ポーランド
研究炉・熱利用炉計画
(10MWt・～165MWt)

EU
GEMINI+計画

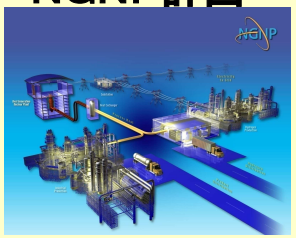
カナダ
【SMR計画】
MMR
U-Battery
Xe-100
StarCore

中国
HTR-10(研究炉)
HTR－PM計画
250MWtx2基

日本：JAEA
HTTR（研究炉）
GTHTR300C計画
（600MWt）

米国
Xe-100
MMR

NGNP計画



国際実証炉計画
(PRIME)

カザフスタン
KHTR計画
（50MWt）

インドネシア
試験炉（10MWt）
実証炉計画

韓国
NHDD計画
（600MWt）

ブロック型炉心	日本（HTTR等）、英国（U-Battery)、米国(MMR, PRIME) ・・・
ペブルベッド型炉心	中国（HTR-10、HTR-PM）、米国(Xe-100）、インドネシア(RDE)

3.　政策的側面からの情報調査・調査結果

調査方針：国内外を対象とし、政府、研究機関、民間等の公開情報を調査する

国内	➢ 2020年　6月：HTTRが新規制基準適合性に係る原子炉設置変更許可取得 ➢ 2020年10月：JAEAと英国国立原子力研究所NNLとの間で研究開発協力を開始 ➢ 2020年11月：「HTTR新規制基準対応の想定スケジュール」で2021年7月に運転再開 ➢ 2020年11月：JAEAと英国原子力規制局ONRとの間で情報交換のための取決め締結
国外	➢ ポーランド(原子力全般) ・2020年　9月：気候大臣が2040年までに6基の原発建設計画を発表(400億米ドル投資) ・2020年10月：ポーランド内閣、原子力開発プログラムの最新版を承認 ・2020年10月：米国が政府間協力に署名(本協定は30年間と長期) ➢ 英国(U-Battery等) ・2020年　7月：政府、先進的原子炉技術開発に4000万ﾎﾟﾝﾄﾞ投資 ・2020年10月：カナダCNSCと英国ONRが、先進炉等の規制のための協定に署名 ・2020年10月：BEIS委員会調査に対しUrenco社はU-Batteryの支援を政府に要求 ・2020年11月：ジョンソン首相が原子炉の新設を確約。AMRの研究開発も含む。 ➢ 中国(HTR-PM) ・2020年　3月：2基目の機器類(蒸気発生器等)の接続が完了 ・2020年10月：一号機のコールド試験完了し、二号機のコールド試験開始 ➢ 米国(Xe-100)【MMR：カナダの動向報告で】 ・2020年　4月：BWXT社はTriso燃料製造を再開 ・2020年　5月：Xe-100用燃料をMIT研究炉(MITR:6MWt,軽水冷却)で照射試験する計画 ・2020年　6月：X-ｴﾅｼﾞｰ社と原子燃料工業(株)が協力してHTGR燃料を供給 ・2020年　8月：Xe-100がカナダCNSCの事前審査(VDR)を開始 ・2020年　9月：X-ｴﾅｼﾞｰ社はプロジェクト管理等の協定契約をカナダHatch社と締結

4. 技術的側面からの情報調査・調査結果 （1/2）

論 文 等 の 発 表 内 容 の 分 類

項目	内 容
国名	発表者の国/原子炉が設置される国
炉型	・ブロック型（B型）、ペブル型（P型）、判別不明（BP型） ・対象炉：具体名(HTTR，GTHTR300，HTR－PM等),一般炉（HTGR，VHTR等）
分野＊	分野1：燃料（燃料性能、製造・輸送、FP挙動、被ばく、高レベル廃棄物等） 分野2：黒鉛（材料特性、黒鉛構造物、炉心耐震、脱ガス、ダスト等） 分野3：金属（材料特性、高温機器（中間熱交換器、ガス循環機）等） 分野4：核（核特性、核計算、核ﾃﾞｰﾀﾗｲﾌﾞﾗﾘｰ等） 分野5：熱流動・安全(通常時や異常時の炉心ﾌﾟﾗﾝﾄ挙動、防災、核ｾｷｭﾘﾃｨ等） 分野6：その他原子炉関連（炉全体、計測・制御、照射試験、運転保守実績等） 分野7：熱利用系（ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電、水素製造、熱供給配管等）
特記	課題、研究内容のポイント、シリーズ発表、論文等の特徴となる項目 （プルトニウム燃焼炉、確率論的リスク評価（PRA）等）

＊)分野は、高温ガス炉の特徴を考慮して分類

4.　（2/2）

会議名	国名等	炉型	分　野	特　記
ASME 2020 Power Conference【8月リモート】（8件）	中国：4 日本：3 UAE：1	B型：4 P型：4	分野2(黒鉛)：1 分野3(金属)：1 分野4(核)：1 分野5(熱安全)：2 分野6(その他)：2 分野7(熱利用)：1	・殆どが**中国と日本**の発表 ・日本：RELAP5/MOD3での熱過渡解析、燃料設計限界のためのガイド ・黒鉛は脱ガス方法 ・金属は腐食試験 ・熱利用は海水淡水化
原子力学会春の年会【予稿集】（13件）	JAEA：3 大学：5 METI：2 MEXT：1 メーカ等：2	―	分野4(核)：3 分野6(その他)：9 分野7(熱利用)：1	・企画セッション：**革新炉の安全、原子力イノベーション** ・トリチウム生産：シリーズ発表 ・核：HTTR関連の計算3件
原子力学会秋の大会【9月リモート】（15件）	JAEA：6 大学：5 METI：2 メーカ等：2	―	分野4(核)：5 分野6(その他)：9 分野7(熱利用)：1	・企画セッション：**革新炉の安全、原子力イノベーション** ・**HTTRの適合性審査内容のシリーズ発表(4件)** ・核：KUCA臨界装置実験やHTTRを対象とした計算 ・**三菱のマイクロ炉概念提示**

5. 米国及びカナダの動向

5.1　米国のHTGRに関する動向　　5.1.1　推進側（1/2）

項　目	内　容（一部、規制側の情報を含む）
開発・規制体制	エネルギー省DOE、環境保護庁EPA、原子力規制委員会NRC
原子力政策 (10年程前)	(1) 2010年4月「原子力開発ロードマップ」を議会に報告。先進炉開発の促進を謳う 【SMR(水炉)や非軽水炉(HTGR等)は高度なプラント設計で技術的に優れている】
トランプ政権の エネルギー政策 原子力政策	(1) トランプ政権の位置付け： (1-1)2017.3.28：「エネルギー自立及び経済成長の促進についての大統領令」に署名 (1-2)2017.6.29：「**米国のエネルギー自立と米国のエネルギー支配**」の方針を演説 (2) トランプ政権における原子力関連法 (2-1)「基本エネルギーとしての原子力利用法案」及び「先進的核燃料利用法」 **(2-2)「原子力イノベーション能力法 NEICA」2018.9.28大統領署名。この法律は、DOEに対し、先進炉概念を試験・実証するために民間との連携を優先するよう指示** **(2-3)「原子力技術革新・規制最新化法 NEIMA」2019.1.14大統領署名。この法律は、NRCに対して、2年以内に新型炉の許認可プロセスを策定し、2027年までに許認可枠組を完成させることを義務付けている**
米国核燃料作業 部会報告書	「米国の原子力エネルギーの競争優位性の回復に向けて　–米国の国家安全保障戦略-」を2020年4月に公表。この中で、「次世代原子力技術における米国のリーダシップを強化するために、米国の技術イノベーションと先進原子力研究開発実証(R&D)投資を活用」と謳う。
最新の 原子力政策	**「原子力リーダシップ法NELA」2020年7月に米上院が可決。本法は先進炉の実証やHALEU燃料の供給等を促進するもので、「原子力イノベーション能力法 」と「原子力技術革新・規制最新化法 」に続く、新型炉開発の総仕上的な重要な法案** *WNN) https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-Senate-passes-Nuclear-Energy-Leadership-Act*

5.1.1　推進側（2/2）

項　目	内　容
研究開発機関 DOE研究支援	(1) 原子力研究開発：DOE管轄下の国立研究所、及び大学、民間企業を中心に実施 (2) DOE研究支援プロジェクト： **「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ：GAIN」**、 「小型モジュール炉許認可技術支援プログラム(水炉対象)」、 「軽水炉持続プログラム」、「原子力エネルギー大学プログラム：NEUP」、 **「次世代原子力プロジェクト：NGNP（高温ガス炉）」**、 「原子力水素イニシアティブ」、「原子力2010プログラム」等
研究開発を 支援する公募	(1) DOE原子力エネルギー局NE (1-1) 2015年11月にGAINイニチアチブを設立。2016年1月に、その一環として先進型原子炉設計の開発に関する投資計画を発表。**X-ｴﾅｼﾞｰ社は4000万ﾄﾞﾙ(5年)獲得** (1-2) 資金提供公募「先進原子力技術開発に関する米国産業のビジネスチャンス」の下で、13のプロジェクトに6000万ﾄﾞﾙ提供を2018.4.27に発表。**X-ｴﾅｼﾞｰ社の燃料製造事業**等 (2) DOEエネルギー高等研究計画局ARPA-E (2-1)「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MEITNER」
DOE予算等 実証炉計画＊1	(1) 2020.5.14「予算2.3億ﾄﾞﾙで先進的原子炉設計の実証プログラム(ARDP)」開始 ①ルート1：「先進炉設計の実証」(今後5～7年以内に2つの炉の設計実現を目指す） ②ルート2：「将来的な実証に向けたリスク削減」(達成時期を①より約5年延長) ②ルート3：「先進的原子炉概念2020」(2030年代半ばの商業化を目指す) (2-1) 2020.10.14：ルート1「DOEは、ARDPに**X-ｴﾅｼﾞｰ社**とTerraPowerを選定」 **X-ｴﾅｼﾞｰ社**は7年以内に稼働できる実証プラント建設のために、8000万米ドルを獲得 (2-2) 2020.12.17：ルート2で5チーム選定(WH社のeVinci等、あすろHTGRは無し) (2-3) 2020.12.23：ルート3で3チーム選定(MITの横置き式コンパクト高温ガス炉等)

＊1) (1) *https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-DOE-launches-advanced-reactor-demonstration-pro*
(2) *https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-DOE-selects-advanced-reactor-designs-for-demons*

5.1.2　規制側（1/3）

項　目	内　容
規制体制の経緯	(1) 1946年：原子力委員会設置 (2) 1975年1月19日：原子力規制委員会NRC設置。【推進部門と規制部門の分離】 ・構成：委員長と委員で、計5名構成。大統領任命で5年の任期 ・組織：業務担当部門、これを支援する管理部門、諮問委員会、監察総監室など
組織改善活動	**NRCも組織としての改善を図っている。例えば、「Project Aim 2020」(2016年3月発表）** **(1) 方針：NRCは発足40年を迎え、さらに効率的かつ安全性向上のための新たな取組みとして、「適切なサイズ」、「合理化」、「適時性」及び「一貫性」の4つの視点で変化を求める。** **(2) 背景(原子力を取巻く状況)：米国内の原子力発電は拡大路線でないが、NRCの業務はSMR、サイバーセキュリティ、60年超運転、福島事故の反映、廃炉、医療用アイソトープ等、分野が多彩で、NRCの役割の重要性が増している。** **(3) 行動：** **・適切なサイズ：適切な技術を有する人材の確保・育成** **・合理化：プロセスの贅肉を削ぎ落とし、賢明なリソースの活用** **・適時性：外部条件の変化に対し、機敏で柔軟性のある姿勢で即座に対応** **・一貫性：国家のニーズを反映し、統一した目的意識を共有して活動**
二国間協力	NRCは合理的・効率的に原子力規制を実施するため、多くの国と協力関係を築いている。 高温ガス炉に関連するものの一例として、 2019年8月：カナダとのSMR等の技術的レビューで協力する覚書(MoC)に署名 【現状：CNSCでMMRを審査中、NRCはXe-100の申請前審査を実施中】
国際機関活動	高温ガス炉を含めた非軽水型(non-LWR)先進炉に対して効果的・効率的に審査が行えるよう、OECD/NEAやIAEAのSMR等に関する活動に積極的。 その中で、規制上の観点で重要なのが、IAEAの「**SMR規制者フォーラム**」

5.1.2 規制側（2/3） ＆ （3/3）

項 目	内 容
規制関連法	高温ガス炉に関連する代表的な関連法 (1)「2005年エネルギー政策法：EPA-2005」 ⇒ NGNP (2) 最新の法律：**「原子力技術革新・規制最新化法 NEIMA」2019.1.14大統領署名。** **この法律は、NRCに対して、2年以内に新型炉の許認可プロセスを策定し、2027年までに許認可枠組を完成させることを義務付けている**
非軽水炉への規制能力向上＊1	(1) 2016年12月：「非軽水炉技術を効果的・効率的に審査するためのビジョンと戦略」の策定 (2) 2017年7月：上記アクションプランを策定【短期(5年)、中期(5～10年）と長期(10年超)】 (3) 2020年1月：「先進炉プログラムの現状」(上記アクションプランの進捗状況等)を公表
規制文書の改善＊1	(1-1) 2013年 7月： DOEとNRCは先進炉規制枠組検討の共同イニシアチブを設立 (1-2) 2014年12月： DOEがフェーズ1「先進（非軽水）原子炉の主設計基準を開発するためのガイダンス」発行 (1-3) 2018年 4月： NRCがフェーズ2「フェーズ1 の報告書をレビューし、規制ガイド[Guidance for developing principal design criteria for non-LWRs]」発行 (2) 2020年6月：非軽水炉を対象としたリスク情報等に関する規制ガイドをNRCが発行 「***Guidance for a Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Methodology to Inform the Licensing Basis and Content of Applications for Licenses, Certifications, and Approvals for Non-Light Water Reactors***」

＊1) *https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/advanced.html*

NRCにおける高温ガス炉に関する審査履歴（略）

5.2 カナダのHTGRに関する動向　5.2.1 推進側（1/2）

カナダ原子力研究所（CNL）：2017年4月公表の「今後10年間の長期戦略」で、管理地（オンタリオ州チョークリバー）にSMR実証炉を2026年までに建設する目標を明示
高温ガス炉(4社：MMR, StarCore, U-Battery, Xe-100)等、計19社が関心を表明

SMR ロードマップ	**2018年11月に公開された「SMRロードマップ＊1」はカナダ国内に以下の大きな潜在的SMR市場があるとし、ディーゼル発電等と競合できることを目指す** **(1) 遠隔地や鉱山の79か所(＞1MWe)** **(2) 重質油採取箇所の96か所(平均出力：210MWe)** **(3) 重工業への高温蒸気供給箇所(25～50MWe)の85か所** **(4) 既設石炭火力29基のリプレース(平均出力：343MWe)**
開発支支援 イニシアチブ CNRI	2019年11月：CNLはSMR開発支援イニシアチブの候補企業4社を選定＊2 CNRIは、カナダ政府・産業界がSMR開発ロードマップ＊1に基づきCNLの知見や設備を産業界が活用し、カナダをSMR研究のハブとすること目指すもので、共同資金負担（Co-funding）の形で、CNLが各社の開発を支援 (1) Moltex Canada社：CANDUの使用済燃料をピン型溶融塩炉の燃料に転換 (2) Kairos Power社：高温のフッ化塩で冷却（KP-FHR） **(3) Ultra Safe Nuclear Corporation(USNC)：高温ガス炉（MMR）** (4) Terrestrial Energy社：一体型溶融塩炉(IMSR)

*1) https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap_EN_nov6_Web-1.pdf
*2) https://www.jaif.or.jp/191120-a

カナダ国内(州政府)のSMR開発支援

(1) 2019年12月：カナダ3州の首相がSMR開発で協力覚書（MoU)に署名
オンタリオ州、ニューブランズウィック州及びサスカチェワン州の首相は、出力の拡大・縮小が可能で革新的技術を用いた、多目的のSMRを国内で開発・建設を目指す協力覚書に署名。
(2) 2020年8月：カナダのアルバータ州がSMR計画の推進に協力【上記MoUに参加】

5.2.1　推進側（2/2）

MMR開発に関連する動向

合弁事業体の設立	2020年6月 ： MMR関連会社の3社で合弁事業体(JV)を設立 カナダのエネルギー関係プロジェクト開発企業であるグローバル・ファースト・パワー（GFP）社と、パートナー企業の米ウルトラ・セーフ・ニュークリア社（USNC）及びカナダの発電事業者オンタリオ・パワー・ジェネレーション（OPG）社との間で合弁事業体を設立 JAIF) https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/3413.html
韓国との協力	2020年7月 ： 米USNC社のSMR開発に韓国原研と現代エンジニアリングが協力 韓国原子力研究所（KAERI）は、米国USNCが進めているMMRの開発に協力するため、現代エンジニアリング社を加えた3者で相互協力協定を締結 JAIF) https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/4130.html
英Howden社との契約	2020年8月 ： 英Howden社と、MMRのヘリウム循環機設計の契約 英Howden社は長年に亘って、PWRやAGR等の原子力製品を製造してきた実績がある WNN) https://www.world-nuclear-news.org/Articles/SMR-developer-and-engineering-firm-to-collaborate
燃料開発	2020年2月：USNC子会社とCNLが、MMR用の燃料製造研究等の協力協定締結 【CNRI：CNL側から約1億2000万相当の現物出資。2021年春完了予定】 2020年9月：USNCはソルトレークシティにFCM燃料開発の研究施設を設立すると発表 【FCM燃料：TRISO粒子を炭化ケイ素マトリックスで包み込む】 WNN) https://www.world-nuclear-news.org/Articles/USNC-opens-SMR-fuel-development-laboratory
ポーランドへの進出	2020年11月：USNC社が化学素材メーカーとMMR建設に向けて実行可能性評価の協定 【ポーランドの化学素材メーカ：シントス・グリーン・エナジー(SGE)社】 JAIF) https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/5255.html
カナダSMR計画	2020年11月：USNCは、CNLとの間でプロジェクトホスト契約に署名(SMR計画で初) GEW) https://www.globalenergyworld.com/news/traditional-energy/2020/11/21/canada-usnc-one-step-closer-constructing-worlds-first-micro-modular-reactor-with-signing-project-host-agreement

5.2.2 規制側（1/3）

項　目	内　容
規制体制の経緯	(1) 1946年：原子力管理局(AECB)を設置 (2) 2000年：原子力安全管理法に基づいてカナダ原子力安全委員会(CNSC)を設置 ・構成：委員長(2020年8月段階：Ms. Rumina Velshi）、他4名 ・組織：委員会は、800人を超える科学、技術、専門スタッフによりサポート
許認可手続き	**◆ 許認可手続きは新原子力安全管理法(NSCA)に基づく** **◆ 許認可手続きはサイト認可、建設認可、運転認可、廃止措置認可と事業廃止認可の5段階。いずれの許認可も、環境アセスメント法で設置が定められているパネルによる審査、ならびに公衆からの意見聴取手続き(意見公募と公開ヒアリング)を経て発給されることを規定** **◆ 正式な許認可手続きとは異なるサービスとして、ベンダーに対して原子炉設計の事前審査(VDR: Pre Licensing Vendor Design Review。3つのフェーズ) を実施。** **・フェーズ1：原子炉の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：許認可上障害となる可能性のある項目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**
二国間協力	CNSCは合理的・効率的に原子力規制を実施するため、多くの国と協力関係を築いている。 高温ガス炉に関連するものの一例として、 2019年8月：米国NRCとのSMR等の技術的レビューで協力する覚書(MoC)に署名 【現状：CNSCでMMRを審査中、NRCはXe-100の申請前審査を実施中】
国際機関活動	高温ガス炉を含めた非軽水型(non-LWR)先進炉に対して効果的・効率的に審査が行えるよう、OECD/NEAやIAEAのSMR等に関する活動に積極的。 その中で、規制上の観点で重要なのが、IAEAの「**SMR規制者フォーラム**」
SMR規制の国際協調	2020年2月11日：CNSCの委員長が、Advanced Reactors Summit VIIで、規制当局は国際的にSMRの審査要件を調和させる可能性を探るべきと主張

主な文献：*CNSCのSMRサイト)*
https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/research-reactors/other-reactor-facilities/small-modular-reactors.cfm

5.2.2　規制側（2/3）

SMRを対象とした規則・ガイド等

項　目	内　容
課題整理	2016年5月：**SMRの規制上の課題**を議論し、それをまとめたレポートを公開 【Discussion Paper DIS-16-04】*1 *1) http://nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/Discussion-Papers/16-04/Discussion-paper-DIS-16-04-eng.pdf
規制文書 （申請ガイド）	2017年9月～2019年8月：**SMR実証炉計画を念頭に、各種申請ガイド等を整備** ・REGDOC-1.1.1　新型原子炉施設のサイト評価・サイト準備（2018年7月公開） ・REGDOC-1.1.2　原子力プラント建設用の申請ガイド（2019年8月公開） ・REGDOC-1.1.3　原子力プラント運転用の申請ガイド（2017年9月公開） ・REGDOC-1.1.5　SMR申請用の情報*2（2019年8月公開） 【SMRには水炉、高温ガス炉、溶融塩炉等あり、種々の炉型に対しリスクに応じて規制(Graded Approachの適用等)することや、VDRの役割などを説明】 *2) https://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/REGDOC-1-1-5-Supplemental-Information-for-Small-Modular-Reactor-Proponents-eng.pdf
先進炉規制への戦略	2019年12月：先進炉技術を規制する戦略についての文書*3を公表 本文書は、高度な原子炉概念（SMRを含む）への関心が高まる中、CNSCはこれら原子炉に対する規制上の課題に対処する戦略を示す。この戦略は、規制枠組みの柔軟性、リスクに応じた規制、及び規制能力の強化との3つの柱に基づいて規制の課題に対応 *3) https://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/advanced-reactors-readiness-strategy-e.pdf

5.2.2　規制側（3/3）

MMRに対する、事前審査(VDR)フェーズ1の結果*1

項　目	内　容
VDRの目的	VDRは、カナダの規制要件等に対応するため、ベンダーに早期のフィードバックを提供することを目的。これにより、設計プロセスにおける潜在的な規制上の問題や技術的な問題、特に、設計又は安全評価に大幅な変更をもたらす可能性のある問題を早期に特定して解決可能
審査の経緯	2016年5月：CNSCとUSNCは、MMRのVDR・フェーズ1 実施に関するサービス契約に署名 2019年2月：フェーズ1の審査結果を公表
審査結果の要点	(1) USNCは、VDR・フェーズ1の範囲について、検討中の19の重点分野に関連するCNSC規制要件の意図を理解し、正しく解釈している (2) USNCは、CNSCの規制要件と新しい原子炉への要件を適合させる意図を示している。場合によっては、設計の固有の特性のために、USNCは、CNSC規制要件を満たすための代替アプローチを提案している。USNCは、これらのアプローチを適切に正当化する意図があることを実証しようとした。代替アプローチは、同等またはそれ以上のレベルの安全性をもたらすことが期待される (3) USNCは、このレビューの一部として提起された調査結果に対処するために、設計及び安全設計・評価活動のための堅牢な品質保証プロセスを確立する必要性がある（追加作業の必要性）

*1) https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/executive-summary-ultra-safe-nuclear-corporation.cfm

5.3　国際機関の活動（米国とカナダに焦点）（1/2）

SMRの課題は、規制側の観点で"**安全規制**"、推進側の観点で"**経済性及び新たなサプライチェーンの構築**"。高温ガス炉特有なサプライチェーンは、被覆粒子燃料、黒鉛、高温機器等が対象。
本調査では、高温ガス炉に特化した活動(TWG-GCR等)は対象外

OECD/NEA	**SMRの技術的実現可能性・経済性に関する報告書【2011年6月公開】** https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2011/current-status-small-reactors.pdf
	規制の国際的調和(国際協力の重要性、規制の迅速性(気候変動は待ったなし))【2020年12月WS開催】
IFNEC （旧GNEP）	**SMRオンライン・ウェブセミナーシリーズ【2020年6月で、5回開催】** **第3回目のセミナーで高温ガス炉関連も含む** Webinar #3 – SMR Licensing: Sharing Experiences on Regulatory Collaboration 講演者：IAEA、CNSC（カナダ：米NRCや英ONRと協力等）、Bapeten（インドネシア） https://www.ifnec.org/ifnec/jcms/g_13206/ifnec-smr-webinar-series-june-2020
IAEA	**SMRの環境評価の考慮事項【IAEA-TECDOC-1915 2020年6月公開】** https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1915_web.pdf
	2020年3月にSMRの経済性評価を行う協力研究計画(CRP)を立上げ https://www.iaea.org/newscenter/news/new-crp-economic-appraisal-of-small-modular-reactor-smr-projects-methodologies-and-applications-i12007
	TWG-SMRの活動：　TWG-SMRは、SMR等の技術開発、設計、開発、及び開発に関連するすべての分野をサポートするために設立した専門家グループ。 **・第1回会合：2018年4月23-26日。参加国は14カ国（日本は不参加）** **・第2回会合：2019年7月8-11日。参加国・国際機関は20（日本は参加）** https://nucleus.iaea.org/sites/htgr-kb/twg-smr/SitePages/Home.aspx
	SMRの安全性とライセンス(2020年8月17日付のニュース) https://www.iaea.org/newscenter/news/technology-neutral-safety-and-licensing-of-smrs
	SMR規制者フォーラム：2014年度に設立（現在活動中。詳細は次頁） https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum

5.3 （2/2）

IAEA SMR規制者フォーラム*1

項 目	内 容
背 景	規制当局がSMRの規制に関連する問題を議論するための国際フォーラムを設立するという考えは、米国とカナダの間の二国間協議を受けて、2012年半ばに最初に提起。2013年7月/8月にウィーンで開催されたSMRのライセンスと安全問題に関するINPRO対話フォーラムでは、多くのIAEA加盟国から、特に、SMRの安全性とライセンスにおける規制問題に対処する規制当局のフォーラムを形成することの利点を評価・議論
メンバー国	カナダ(CNSC)、米国(NRC)、英国、フランス、フィンランド、ロシア、中国、韓国、サウジ
フォーラム活動	フォーラムは、SMRに関連する規制審査で、大いに議論される可能性のある安全問題を特定し、その解決に向けて、合理的な規則などを定めることを促進。3つのフェーズで活動 (1) フェーズ1(2015年～2017年)：パイロットプロジェクトでの議論 (2) フェーズ2(2018年～2020年)：新しい作業部会での議論 (3) フェーズ3(2021年～2023年)：TBD
フェーズ1	軽水炉と非軽水炉の両方の設計について、**SMRに適用すべきGraded Approach (GA)、深層防護及びEPZの3つの課題を、作業部会を設けて検討**。以下のレポートを発行 (1) SMR規制当局フォーラムパイロットプロジェクトレポート (2) SMR規制当局フォーラムパイロットプロジェクトレポート(付録なし) (3) 付録 II：GAに関する作業部会からの報告 (4) 付録III：深層防護に関する作業部会からの報告 (5) 付録IV：EPZに関する作業部会からの報告
フェーズ2	フェーズ2は、フェーズ1で行われた作業に続き、規制上の問題、設計及び安全評価・解析、及び製造・試験・供用運転について検討

*1) https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum

5.4　調査結果の整理・分析　（1/3）

米国における高温ガス炉開発・推進側のトピックス

項　目	内　　容
エネルギー政策 原子力政策	(1) トランプ大統領：米国のエネルギー自立のみならず、米国のエネルギー支配を目指す 【近年の原子力界では、中国やロシアの台頭が激しい】 (2) 2020年4月 ： 米国核燃料作業部会報告書「米国の原子力エネルギーの競争優位性回復に向けて － 米国の国家安全保障戦略 －」
先進炉等 の法律	(1) 2018年3月 ：「原子力イノベーション能力法NEICA」 大統領署名 (2) 2019年1月 ：「原子力技術革新・規制最適化法NEIMA」 大統領署名 (3) 2020年7月 ：「原子力リーダシップ法案NELA」 上院可決 (1)～(3)は先進炉・革新炉の技術開発を支援する重要な法律
開発支援 （公募等）	DOEの開発方針は、2010年4月に議会に報告した「原子力開発ロードマップ」に従う (1)「原子力の技術革新を加速するゲートウェイGAIN」 ⇒　2016年 1月 ： 先進型原子炉設計の開発に関する投資計画を発表し、そこで、**X-エナジー社は4000万ﾄﾞﾙ(5年)を獲得** (2)「先進的原子炉設計の実証プログラム(ARDP)」 ⇒　2020年10月 ： DOEは**X-ｴﾅｼﾞｰ社**を選定。**X-ｴﾅｼﾞｰ社**は7年以内に稼働できる実証プラント建設のために、8000万米ドルを獲得

5.4 （2/3）

カナダにおける高温ガス炉開発・推進側のトピックス

項　目	内　　容
SMR計画	(1) 2017年 4月 ： CNLは「今後10年間の長期戦略」で、SMR実証炉を2026年までに建設【19社が関心を表明。このうち、4社が高温ガス炉】 (2) 2018年11月 ：「SMRロードマップ」が公開
開発支援 (CNRI)	(1) 2019年11月 ：「カナダの原子力研究イニチアチブCNRI」の候補企業選定(第1回) ⇒ 4社を選定。そのうち1社がMMR【2020.2：USNC子会社へ支援】
地域の支援 【カナダ：連邦政府と**州政府**は対等】	(1) 2019年12月 ： 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、SMR開発・建設に向けて、3州で協力覚書を締結 (2) 2020年 8月 ： アルバータ州が追従
MMR関連	(1) 2020年 6月 ： GFP社は、USNC及びOPG社で合弁事業体(JV)を設立すると発表 (2) 2020年 8月 ： USNCは、MMR開発で韓国原研と現代ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞと協力協定を締結 (3) 2020年 8月 ： USNCは、契約により英Howden社がヘリウム循環機を設計すると発表 (4) 2020年 9月 ： USNCは、ソルトレークシティに燃料開発研究施設を設置すると発表 (5) 2020年11月 ： USNCは、ポーランドの化学素材メーカーとMMR建設に向けて実行可能性評価を実施する協定を締結 (6) 2020年11月 ： UNSCは、CNLとの間でプロジェクトホスト契約に署名(SMR計画で初)

5.4 （3/3） 米国・カナダの規制動向

西暦	米 国	IAEA, OECD/NEA	カ ナ ダ
	1946：AEC、 1975：NRC	1958年から現在まで高温ガス炉に関する審査経験を有する	1946：AECB
	1986：先進炉政策声明		2000：CNSC
	2005：EPA-2005 ⇒ NGNP		
	2008：NGNP許認可戦略(N-D)*	2009：NEAのTAREF*会合 ⇒ HTTR-LOFC project	
	NRCとCNSCは相互に先進炉・革新炉等の規制に関して意見交換・協議		
2013	7月：先進炉規制枠組検討・(N-D) *	INPRO対話フォーラム SMR規制者フォーラム設立へ	
2014	12月：先進炉・・フェーズ1(DOE)		
2015		IAEA主催 SMR規制者フォーラム 2015～2017：フェーズ1	
2016	3月：Project Aim 2020(組織改善) 12月：非軽水炉戦略（n-LWR)		4月からVDR*を開始 5月：SMR規制上の課題抽出
2017	7月：n-LWR短期・中期のAP*を公表		2017年9月～2019年8月 SMR用各種申請ガイド等公表
2018	4月：先進炉・・フェーズ2(NRC)	2018～2020：フェーズ2	
2019	1月：NEIMA法*		12月：先進炉規制戦略
	2019年8月：NRCとCNSCがSMR等の技術レビューで協力覚書を締結(先ずは、溶融塩炉)		
2020	1月：n-LWRのAP*の現状報告等 **6月：NRCのn-LWRの規制ガイド**	12月：NEA規制の国際的調和 (**規制の迅速性**)	2月：CNSC委員長がSMRの規制要件の調和を訴える
	2027：許認可枠組完成(NEIMA法*)	2021～2023：フェーズ3	

＊）N-D:NRCとDOE共同実施、AP:アクションプラン、NEIMA:原子力技術革新・規制最適化法、VDR：事前審査
TAREF：Task Group on Advanced Reactor Experimental Facilities(**先進炉の実験施設を選定し共同研究を提案**)

6. おわりに

高温ガス炉開発は国際協力の下で推進【第5次エネルギー基本計画】

そこで、国際競争を見据えて、海外の高温ガス炉開発の動向を調査

- 今年度は、米国及びカナダの動向を、国際機関との関係も含めて調査
- ここ数年は、中国の推進側と規制側の動向を調査してきた(報告済み)

【HTR-PM情報：2020年10月に1基目のコールド試験完了、2021年に臨界・出力上昇予定】

海外の現状：

- 中国 ： 政策的・政治的には強引だが、高温ガス炉技術の面で不透明
- 米国 ： 推進側と規制側ともSMRやnon-LWRの先進炉に積極的。Xe-100はDOEから資金獲得で、燃料製造技術開発やNRCの申請前審査が進展
- カナダ ： 推進側と規制側ともSMR計画に積極的。MMRが先陣を切る

近い将来(推測)：

- ✓ 中国： HTR-PMが性能を発揮すれば(200MWe/750℃)、海外への売込みを加速
  【一帯一路戦略から、積極的にポーランド等への高温ガス炉の売込みが予想】
- ✓ 米国及びカナダ： 規制側の審査が進捗し、MMRやXe-100の建設が具体化すれば、競争激化(例：カナダはSMR研究でハブを目指す)の可能性

コロナ禍で海外での活動が大変な時期ではあるが、日本は最優先でポーランドとの国際協力を強固にして高温ガス炉開発を推進、及び国内の「原子力イノベーションの追求」に期待。併せて、中国、SMR等の開発でリードしているカナダや米国の動向に注視