

講演 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報告」

2022年1月17日

高温ガス炉プラント研究会 テクニカルアドバイザー

伊与久達夫

## 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月22日に閣議決定）

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確立等を進めるとともに、（核融合開発）

- 海外の高温ガス炉開発の動向調査は、ここ数年、主に中国、米国及びカナダの推進側と規制側の両側面から調査。今年は、特に米国の燃料開発に焦点

### 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. 中国、カナダ及び米国の動向

5.1 中国：HTR-PM    5.2 カナダ：SMR計画    **5.3 米国：燃料開発**

6. おわりに

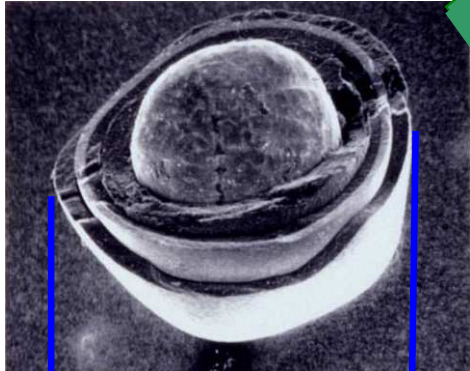
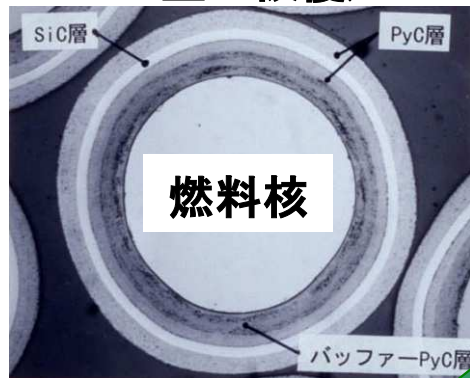
付録

# 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)



約1mm

### 燃料コンパクト



### 黒鉛ブロック



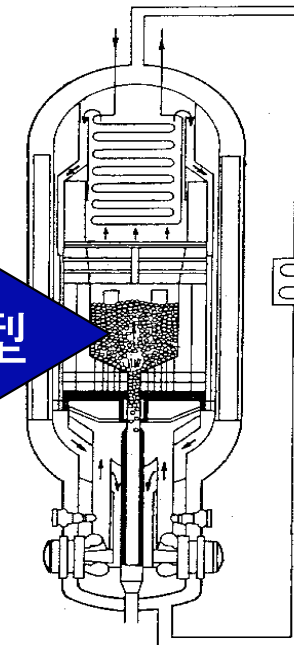
ブロック型

減速材、炉心構造物  
に黒鉛材料を使用

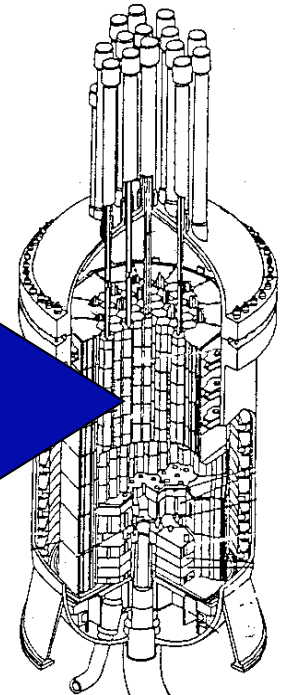
ペブルベッド型



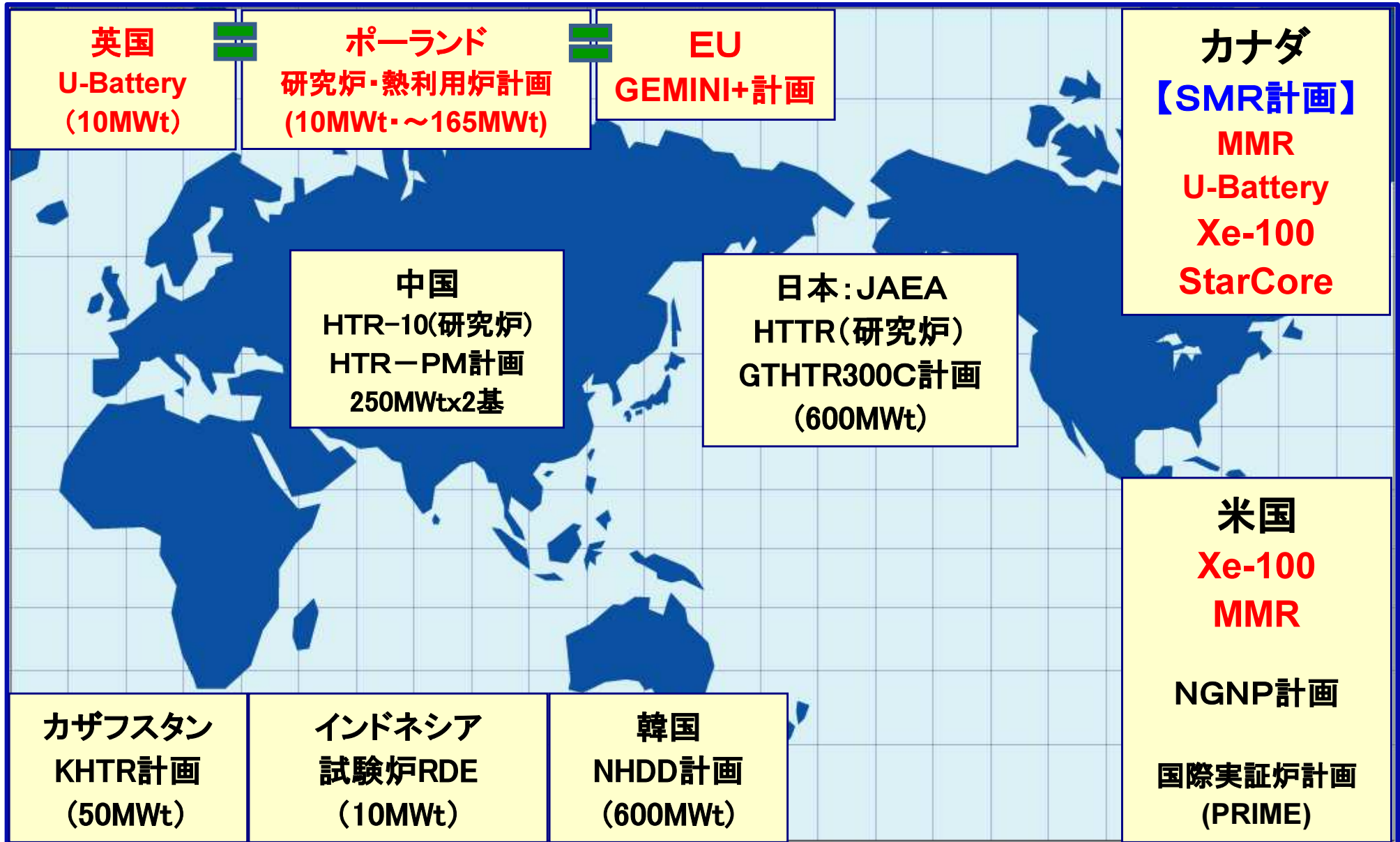
球状燃料(直径60mm)



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



ブロック型炉心	日本(HTR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(1/2)

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	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 2021年 6月: グリーン成長戦略での高温ガス炉開発の工程表をMETIが公表</li><li>➤ 2021年 7月: HTTRが7月30日に運転を再開、及びMEXTとMETIの大臣談話【9月19日にフルパワー到達、9月22日に定期事業者検査が終了】</li><li>➤ 2021年 8月: 原子力学会誌「特集 SMR等革新炉の安全と安全規制について」</li><li>➤ 2021年 9月: 2022年度概算要求で、高温ガス炉利用や福島の水産復興で新規計上</li></ul>
国外	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ ポーランド(原子力全般)<ul style="list-style-type: none"><li>・2021年 5月: 文部科学省とNCBJ、HTGR設計作業の次のラウンドへの協定に署名</li><li>・2021年 6月: Synthos(化学製品)とPKN Orlen(石油)、SMRで協力することに合意</li><li>・2021年 7月: 米国貿易開発庁、ポーランドの原子力導入計画を支援</li><li>・2021年 9月: Synthos(化学製品)、ZE PAK社(エネルギー)と合併でSMR建設に投資</li></ul></li><li>➤ 英国(U-Battery等)<ul style="list-style-type: none"><li>・2021年 5月: BEIS、包括的設計認証審査GDAの対象をAMRにも広げると表明</li><li>・2021年 5月: Penultimate Power、JAEAと協力してHTGRのライセンス取得を目指す</li><li>・2021年 7月: BEIS、AMR実証計画では2030年代初頭までに1億7,000万ポンドの予算で、HTGRの実証炉を同計画の初号機として完成させる案を公表</li><li>・2021年 8月: 英政府、2030年までに5GWの低炭素水素生産には原子力は重要と言及</li><li>・2021年 9月: U-Batteryとキャベンディッシュ原子力、AMRのモックアップを発表</li></ul></li><li>➤ 中国(HTR-PM)<ul style="list-style-type: none"><li>・2021年 1月: HTR-PM、高温高压(約250°C・7MPa)状態での機能試験を開始</li><li>・2021年 8月: HTR-PM、非核熱蒸気を用いた蒸気タービンの試験完了、燃料装荷開始</li><li>・2021年 9月: HTR-PM・1基目、9月12日午前9時35分に初臨界を達成</li><li>・2021年11月: HTR-PM・2基目、11月11日に大気圧で初臨界を達成</li><li>・2021年12月: HTR-PMをグリッドに接続</li></ul></li></ul>
	主な出典: WNN ( <a href="https://www.world-nuclear-news.org/">https://www.world-nuclear-news.org/</a> )、JAIF ( <a href="https://www.jaif.or.jp/journal/news/">https://www.jaif.or.jp/journal/news/</a> )



### 3. (2/2)

#### 米国 及び カナダ

- カナダ(MMR、Xe-100)
  - 2021年 4月:カナダ原子力研究所、MMR用燃料ペレット(FCM燃料)の製造に成功
  - 2021年 4月:カナダ3州の要請を受け、SMR開発の実現可能性に関する研究を完了
  - 2021年 5月:MMRがCNSCのライセンスプロセスの技術的レビュー段階に移行
  - 2021年 5月:X-energyとKinectrics、Xe-100の設計と展開のための協力協定に署名
  - 2021年 6月:カナダの研究所、原子力水素のFS(実現可能性調査)を開始
- カナダと米国
  - 2021年 5月:X-energy、カナダの子会社の社長にKatherine Moshonas Coleを任命
  - 2021年 8月:米国NRCとカナダCNSCの規制当局、最初のライセンス協力を完了
  - 2021年 9月:カナダのカメコ、XエネルギーのXe-100展開のサポートに参加
- 米国(Xe-100、HALEU燃料)
  - 2021年 5月:セントラス、原子力燃料販売で力強い成長
  - 2021年 5月:DOE・ARPA-E局、先進炉から発生する廃棄物量を削減するための基金設立
  - 2021年 6月:世界原子力協会、SMR等の規制の迅速化や世界的調和を提言
  - 2021年 6月:NRC、セントラスのHALEU燃料生産を可能にするライセンス改正を承認
  - 2021年 6月:NRG所有の高中性子束炉(HFR)で、MMR用FCM燃料を照射する計画
  - 2021年 6月:イリノイ大学、NRCに対しキャンパス内にMMRを建設する意向を通知
  - 2021年 8月:X-energy、Xe-100の制御棒系の開発に、Curtiss-Wrightを選定
  - 2021年 8月:X-energy、燃料部門を拡張してTRISO-Xと呼ばれる100%子会社を設立
  - 2021年 8月:サンディア研究所、事故計算コードMELCORを先進炉(HTGR含む)用に開発
  - 2021年 9月:韓国DOOSAN、X-energyとエンジニアリングサービス契約を締結
  - 2021年 9月:アメリカ原子力学会、議会にHALEUの国内供給確保の必要性を訴える
  - 2021年 9月:米国防総省、移動式マイクロリアクターに関する環境影響声明の草案公表
  - 2021年11月:X-energy、Centrus社の支援を受けてTRISO燃料製造工場の予備設計を完了
  - 2021年11月:米国で原子力への支援も盛り込んだインフラ投資雇用法が成立
  - 2021年11月:オーロラ(超小型高速炉)開発のOkloとCentrusがHALEUサプライでチームを組む

主な出典: WNN (<https://www.world-nuclear-news.org/>)、JAIF (<https://www.jaif.or.jp/journal/news/>)

## 4. 技術的側面からの情報調査・調査結果 (1/2)

調査方針: 国内外会議を対象とし、高温ガス炉の特徴を考慮して調査・整理(付録1参照)

HTR2021 6月2-4日@インドネシア・リモート	国名等	炉 型	分 野	特 記
	<b>合計81件</b>  <b>中国:25</b> <b>インドネシア:24</b> <b>米国:12</b> <b>南アフリカ:5</b> <b>ポーランド:4</b> <b>日本:3</b> <b>英国:2</b>  発表が1件の 国・国際機関 【EC、フランス、 ドイツ、チェコ、 ロシア、カナダ】	RDE:8  HTR-10:4  HTR-PM:3  HTTR:3  PBMR:2	<b>分野1(燃料):19</b>  分野2(黒鉛):1  分野3(金属):9  <b>分野4(核):16</b>  分野5(熱安全):11  分野6(その他):18  分野7(熱利用):7	<ul style="list-style-type: none"> <li>・12か国・1国際機関が発表。 中国とインドネシアで半数以上</li> <li>・キーノート発表で、JAEA、BATAN、INET、BEIS(英)、NCBJ、USNC、X-energyの機関から発表</li> <li>・燃料・核分野からの発表が多い。 燃料は製造技術等、核計算は解析能力や精度向上関連</li> <li>・中国はHTR-PM,HTR-10関連は計7件で、それ以外は幅広い分野からの発表</li> <li>・インドネシアはRDE関連が8件、燃料製造や核解析等が多い</li> <li>・米国はAGR燃料開発関連が5件</li> <li>・ポーランド絡みはGEMINI+3件と、燃料製造時の品質保証</li> <li>・日本からはHTTR関連</li> </ul>

## 4. (2/2)

会議名	国名等	炉型	分野	特記
<b>ICONE28</b> <b>【8月リモート】</b> <b>(23件)</b>	中国: 16 日本: 5 米国: 2	<b>HTR-10:1</b> <b>MIGHT-R:1</b>	分野1(燃料): 6 分野2(黒鉛): 1 分野3(金属): 4 分野4(核): 1 分野5(熱流動): 3 分野6(その他): 6 分野7(熱利用): 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・殆どの発表は中国。米国はペブルの燃焼計算と横置きHTGRの伝熱計算を発表</li> <li>・燃料分野: 日本からは高度化研究が、中国からは基盤技術の発表</li> <li>・金属分野: 耐熱合金の腐食実験等</li> </ul>
<b>原子力学会</b> <b>春の年会</b> <b>【3月リモート】</b> <b>(14件)</b>	JAEA: 8 大学: 5 メーカー: 1	—	分野1(燃料): 2 分野4(核): 3 分野6(その他): 6 分野7(熱利用): 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・企画セッション: 新型炉部会の安全基準に関する諸外国の動向</li> <li>・燃料: 高燃焼燃料の破損率評価</li> <li>・核分野: HTTR関連の解析3件</li> <li>・熱利用系: HTTRを用いた利用技術と制御方法</li> </ul>
<b>原子力学会</b> <b>秋の大会</b> <b>【9月リモート】</b> <b>(13件)</b>	JAEA: 3 大学: 4 メーカー: 6	—	分野1(燃料): 1 分野4(核): 1 分野5(熱流動): 2 分野6(その他): 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>・企画セッション: GiFの活動状況、燃料の照射試験の状況、熱流動設計の特徴と課題、東芝の蓄熱型モジュールHTGRと三菱のコジェネHTGR</li> <li>・三菱「炉心溶融しないHTGRコジェネプラント開発」シリーズ発表4件</li> </ul>



## 5. 中国、カナダ及び米国の動向

### 5.1 中国:HTR-PM

- ◆ 2008年4月～2009年9月 ・設計審査(PSAR)
- ◆ 2012年12月 ・コンクリート打設開始
- ◆ 2015年 6月 ・原子炉建家完成
- ◆ 2016年 3月 ・原子炉容器(RPV)据付(1基分)
- ◆ 2016年 9月 ・RPV据付(1基分)
- ◆ 2017年 6月 ・セラミック炉内構造物据付
- ◆ 2017年 7月 ・燃料の大量製造開始(30万個/年)
- ◆ 2017年12月 ・RPVの上鏡据付(1基分)
- ◆ 2018年 3月 ・試験運転が許可される
- ◆ 2018年 9月 ・SGの空気での圧力検査を実施し合格
- ◆ 2019年 7月 ・2基目にSGを設置
- ◆ 2020年 3月 ・2基目の機器類の接続完了
- ◆ 2020年 10月 ・1基目の低温試験終了、2基目開始
- ◆ 2021年 1月 ・高温・高圧(約250℃・7MPa)試験開始
- ◆ 2021年 8月 ・蒸気タービンの試験完了、燃料装荷(1号機)
- ◆ 2021年 9月 ・1基目:初臨界達成(9月12日午前9:35)
- ◆ 2021年11月 ・2基目:初臨界達成(11月11日)
- ◆ 2021年12月 ・グリッドに接続

主な出典: WNN (<https://www.world-nuclear-news.org/>)、JAIF (<https://www.jaif.or.jp/journal/news/>)

## 5.2 カナダ:SMR計画

<p><b>SMR ロードマップ*1</b> (2018年11月公開)</p>	<p>国内に大きな潜在的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</p> <p>(1) 遠隔地や鉱山の79か所(&gt;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基のリプレイス(平均出力:343MWe)</p>
<p><b>開発支援 イニシアチブ CNRI</b></p>	<p>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を目指すもので、共同資金負担でCNLが開発を支援。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</p> <p>(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)  <b>(3) Ultra Safe Nuclear Corporation(USNC): 高温ガス炉(MMR)</b>  (4) Terrestrial Energy社: 一体型溶融塩炉(IMSR)</p>
<p><b>CNRIの成果</b></p>	<p>2021年4月、CNLでMMR用燃料ペレット(FCM燃料)の製造に成功*3</p>
<p>*1) <a href="https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap_EN_nov6_Web-1.pdf">https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap_EN_nov6_Web-1.pdf</a>  *2) <a href="https://www.jaif.or.jp/191120-a">https://www.jaif.or.jp/191120-a</a>  *3) <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/TRISO-fuel-made-in-Canada-for-first-time">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/TRISO-fuel-made-in-Canada-for-first-time</a></p>	

### カナダ国内(州政府)のSMR開発支援

- (1) 2019年12月:カナダ3州(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)の首相がSMR開発で協力覚書(MoU)に署名。後にアルバータ州が署名に加わる
- (2) 2021年 4月:カナダ3州の要請を受け、SMR開発の実現可能性に関する研究を完了。この結果、SMR開発が国内のエネルギーニーズを支援し、温室効果ガスの排出を抑制し、カナダをこの新興技術の世界的リーダーとして位置付けると結論

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Canadian-provinces-complete-SMR-study>

## 5.3 米国：燃料開発 (1) 調査目的

高温ガス炉開発で、燃料開発が最も重要；

- ① HALEU(濃縮度5～20%)燃料の商業規模での製造能力
- ② 被覆粒子燃料と燃料コンパクト(又は燃料球)の商業規模での製造能力

### ①HALEU燃料開発の背景

POWER magazine : 「New Boosts for Commercial Production of HALEU Advanced Nuclear Reactor Fuel」(Nov. 7, 2019, Sonal Patel)で、米国に於けるHALEU燃料、被覆粒子燃料等の開発が加速している状況を紹介

- ✓ 先進炉用燃料にHALEU燃料が必要(今後、需要が急増することが想定)
- ✓ HALEU燃料製造能力を確立することは、米国のリーダーシップにとって重要【NEI】
- ✓ ロシアにはHALEU燃料を生産する能力があり、この製造能力を確保することは米国のエネルギー安全保障にとって非常に重要【DOE副長官のダン・ブルイエット】

<https://www.powermag.com/new-boosts-for-commercial-production-of-haleu-advanced-nuclear-reactor-fuel/>

最近の①及び②に関する情報を調査・整理することで、米国における高温ガス炉の開発状況を把握することを目的

## 5.3 (2)政策的側面調査(2018～2021年度)

西暦	BWXT	X-energy	HALEU燃料製造
2018		<b>3月</b> :Centrusと燃料製造工場建設に向けた支援サービス契約を締結	
		<b>8月</b> :TRISO燃料製造施設への公開会合 <b>11月</b> :Centrus社の支援を受けてTRISO燃料製造工場の予備設計を開始	
2019		<b>3月</b> :DOEが燃料製造工場建設に融資保証の適用申請を提出するよう要請 <b>5月</b> :NFIがXe-100用燃料製造に協力	
	<b>10月</b> :TRISO燃料製造設備(カテゴリー1の許可取得済)を稼働 <b>12月</b> :燃料製造が順調に進展(10月ニュースの継続)	<b>11月</b> :燃料製造に向けGNFとチーム契約調印	<b>10月</b> :HALEU燃料の商業利用実施に向けた法案が下院通過 <b>11月</b> :Centrus社がHALEU燃料製造実証でDOEと3年契約を締結
2020	<b>3月</b> :超小型炉(TCR)用TRISO燃料の製造契約をBWXTが獲得 <b>4月</b> :TRISO燃料の製造再開後、順調に進展(計画より先行)	<b>5月</b> :X-energy製造のTRISO燃料の性能確認でMITが協力 <b>6月</b> :X-energyとNFIが協力してHTGR用燃料を供給	
	<b>7月</b> :燃料製造ラインの拡張・更新費をINLから獲得 <b>11月</b> :TRISO燃料製造ライン再稼働プロジェクトを完了し燃料を生産 <b>11月</b> :3Dプリンターによる耐熱金属(燃料も)製造技術を開発		<b>7月</b> :「NELA」米上院可決。先進炉の実証やHALEU燃料の供給促進
2021		<b>11月</b> :Centrus社の支援を受けてTRISO燃料製造工場の予備設計を完了	<b>1月</b> :「戦略ビジョン」(DOE)HALEU製造を2022年までに実証 <b>6月</b> :CentrusがHALEU製造許可取得 <b>12月</b> :HALEUサプライチェーン構築(DOE)

主な出典: WNN (<https://www.world-nuclear-news.org/>)、JAIF (<https://www.jaif.or.jp/journal/news/>)

## 5.3 (3)NGNPプロジェクトでの燃料開発

- DOE は、「2005 年エネルギー政策法(EPA-2005)」並びにそこに明記の官民連携の原則に基づき、「次世代原子力プラント(NGNP)」の開発・実証プログラムを推進
- 途中、需要動向や技術的成熟度等の判断から、その主目的を「水素製造 & 発電」から「熱利用 & 発電」に、また冷却材出口温度条件も「950℃以上」から「当面750～800℃程度」に変更
- 「フェーズ 1(2005～2010 年; プラント概念設計、技術絞込み)」はほぼ終了
- プログラム完遂までの費用、官民連携見通し等を考慮して、当初予定の「フェーズ 2(2011～2021年; プラント詳細設計、建設、実証)」には入らず、内容を縮小し、**被覆粒子燃料**や高品質黒鉛材の製造や照射特性評価研究をアイダホ国立研究所(INL)等が実施することとした

[https://www.iaea.or.jp/htgr/pdf/05\\_newsletter/05\\_1/05\\_1\\_rahp\\_No20\\_202103\\_ja.pdf](https://www.iaea.or.jp/htgr/pdf/05_newsletter/05_1/05_1_rahp_No20_202103_ja.pdf)

- **改良型ガス原子炉(AGR)燃料開発プログラムによりTRISO燃料製造技術を開発**
- **AGR燃料開発プログラム**は高性能被覆粒子燃料を設計、製造及び試験することを目的とし、本プログラムは燃料製造、INLの試験炉(ATR)を用いた照射、照射後試験(PIE)等を実施
- 試験用の**燃料製造プロセスは、INL、オークリッジ国立研究所(ORNL)及びBWXTの共同活動**で、米国でパイロット規模のTRISO燃料製造能力を再確立することを目標
- **原子炉の予想される運転及び事故条件下での燃料の性能を決定するために、照射、安全性試験、PIE等を実施。**試料はその研究目的に応じて7バッチ(AGR-1～AGR-7)から成る

*HTR2018-054 Status Report on HTR Research, Development, and Deployment in the USA, Hans Gougar, INL, USA*

- HTR2018、HTR2021及びICAPP2019の国際会議で、AGR燃料開発の状況や成果を発表



## 5.3 (4) 調査結果の整理 (1/2)

特別な核物質: カテゴリー I は戦略的に高、カテゴリー II は戦略的に中、カテゴリー III は戦略的に低。  
カテゴリー毎に許可が必要。HALEU燃料を使用したTRISO燃料製造はカテゴリー II の許可が必要

	BWXT	X-energy	USNC
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TCR(ORNL): 2020年3月契約</li> <li>- 米国防総省: 2021年3月選定 (Project Pele: モバイル炉)</li> <li>- NASA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Xe-100</li> <li>- 米国防総省: 2021年3月選定 (Project Pele: モバイル炉)</li> <li>- NASA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MMR</li> <li>- CANDU</li> <li>- 溶融塩炉</li> </ul>
TRISO 燃料 製造	- バージニア州リンチバーグ* 1	- テネシー州オークリッジ* 1	- カナダ・チョークリバー & 米国・ソルトレイクシティ
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NGNPで被覆粒子燃料と燃料コンパクトの製造経験</li> <li>- 燃料製造設備の更新・拡張 (INLから資金獲得)</li> <li>- 3Dプリンタでの燃料材料製造技術 (ORNLと共同研究)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TRISO-X燃料製造施設の設計等 (Centrus, GNF, 日本NFI)</li> <li>- 実験室規模での被覆粒子燃料と燃料球の製造経験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FCM燃料: TRISO粒子をSiCマトリックスで包み込む</li> <li>- カナダで初めてMMR用燃料を製造 (CNL: 2021年4月)</li> </ul>
主な 協力 (燃料)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INL&amp;ORNL (燃料製造)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrus (燃料製造設備設計等)</li> <li>- GNF (燃料製造設備設計等)</li> <li>- NFI (HTTR用燃料製造設備移転)</li> <li>- MIT (製造した燃料の照射)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CNL (CNRI: SMR支援の一環)</li> <li>- NRG (HFRでFCM燃料の照射)</li> </ul>

\* 1) BWXTの燃料製造設備はカテゴリー I の許可取得済、カテゴリー II の許可取得は容易。

X-energyはライセンス取得に向けて活動中

注) 主な出典: WNN (<https://www.world-nuclear-news.org/>)、JAIF (<https://www.jaif.or.jp/journal/news/>)

## 5.3 (4) (2/2)

<p>① HALEU燃料 の製造能力</p>	<p>➤ 2019年11月のDOEとCentrusの3年契約で、2022年までにHALEU燃料の商業規模の製造能力を実証 <a href="https://www.jaif.or.jp/191107-a">https://www.jaif.or.jp/191107-a</a></p>
<p>② 被覆粒子燃料 燃料コンパクト (燃料球) の製造能力</p>	<p>➤ X-energyは、Centrus、GNF及び日本のNFIと協力関係を築く。 Xe-100用燃料製造設備の予備設計が完了 <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Preliminary-design-of-TRISO-X-fuel-plant-completed">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Preliminary-design-of-TRISO-X-fuel-plant-completed</a></p> <p>➤ BWXTは、AGR燃料開発プログラムでは被覆粒子燃料と燃料コンパクトを製造した実績を有し、休止後、その設備を更新して被覆粒子燃料製造を開始*<sup>1</sup>。ORNLの超小型炉TCR用燃料製造*<sup>2</sup>や、今後の米国防総省*<sup>3</sup>やNASAが計画しているマイクロ炉用等の燃料製造に備える</p> <p>*1) <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-completes-TRISO-fuel-line-restart">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-completes-TRISO-fuel-line-restart</a> *2) <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-to-produce-TRISO-fuel-for-3D-printed-reactor">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-to-produce-TRISO-fuel-for-3D-printed-reactor</a> *3) <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-and-X-Energy-selected-to-develop-Project-Pele">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-and-X-Energy-selected-to-develop-Project-Pele</a></p> <p>➤ USNCは、MMR用燃料製造に向けてCNLとも協力し、カナダで初めて被覆粒子燃料と燃料コンパクト(FCM燃料)の製造に成功 <a href="https://www.world-nuclear-news.org/Articles/TRISO-fuel-made-in-Canada-for-first-time">https://www.world-nuclear-news.org/Articles/TRISO-fuel-made-in-Canada-for-first-time</a></p>

## 6. おわりに

### ◆ 海外のHTGR開発

- 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(難あり)。  
**初臨界を達成したHTR-PMは、今後、出力上昇させ電力網に給電**
- 米国：推進側と規制側ともSMRやnon-LWRの先進炉に積極的。各社の燃料製造技術開発、及びDOEから資金獲得したXe-100計画が進展
- 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
- 英国：AMR実証計画でHTGRを有望視(BEISは2030年代初頭までに1億7,000万ポンドの予算で、HTGRの実証炉を初号機として完成させる案を公表)

<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/9328.html>

### ◆ 世界的潮流：温暖化対策、SDGsを目指す ⇒ 原子力の貢献（付録2参照）

- 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「原子カイノベーションの追求」、「カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」に期待
- 我が国の高温ガス炉開発は、世界的潮流である国連の持続可能な開発目標(SDGs)の達成に貢献できることも国内外にアピールして、積極的な国際展開を期待

# 付録1 技術的側面からの情報整理の仕方

## 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロック型(B型)、ペブル型(P型)、判別不明(BP型)</li> <li>・対象炉: 具体名(HTTR, GTHTR300, HTR-PM等), 一般炉(HTGR, VHTR等)</li> </ul>
分野*	<p>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)</p> <p>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)</p> <p>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)</p> <p>分野4: 核(核特性、核計算、核データライブラリー等)</p> <p>分野5: 熱流動・安全(通常時や異常時の炉心プラント挙動、防災、核セキュリティ等)</p> <p>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)</p> <p>分野7: 熱利用系(ガスタービン発電、水素製造、熱供給配管等)</p>
特記	<p>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)</p>

\*)分野は、高温ガス炉の特徴を考慮して分類

## 付録2 SDGsへの原子力の貢献

「持続可能な開発目標(SDGs)達成への原子力の貢献」—世界の原子力産業界団体が報告書を公表

JAIF : [https://www.jaif.or.jp/sdgs\\_20211029](https://www.jaif.or.jp/sdgs_20211029)

WNN : <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Report-highlights-nuclear-s-contribution-to-SDGs>

SDGs(開発目標)	開発目標達成への原子力の貢献
1. 貧困をなくそう	原子力発電は貧困を減らし経済成長を促すのに役立つ
2. 飢餓をゼロに	原子力技術は害虫を減少させより良い品質の作物を開発する
3. すべての人に健康と福祉を	核医学は毎年数千万人の人々を助けている
4. 質の高い教育をみんなに	原子力関連企業は従業員の教育・訓練に投資している
5. ジェンダー平等を実現しよう	原子力産業界はすべてのレベルにおいて女性の登用改善に取り組んでいる
<b>6. 安全な水とトイレを世界中に</b>	<b>原子力による淡水化は温室効果ガスの排出なしにきれいな水を提供する</b>
7. エネルギーをみんなに。そしてクリーンに	原子力発電はクリーンで信頼性の高い手頃な価格のエネルギーを大量に供給する
8. 働きがいも経済成長も	原子力産業は高給で高度に熟練した雇用と地域社会を支える投資を提供する
<b>9. 産業と技術革新の基盤を作ろう</b>	<b>原子力は持続可能な産業化に必要な電気と熱を供給することができる。【高温の原子炉はプロセス熱のために用いられている化石燃料の代替手段、水素製造の新たな手段】</b>
10. 人や国の不平等をなくそう	原子力は不安定な電力価格の影響を過度に受ける低所得世帯を保護する
11. 住み続けられるまちづくりを	原子力は都市と人間の居住地を包括的、安全、強靱、持続可能なものにする
12. つくる責任、つかう責任	原子炉は世界のエネルギー需要を満たすために必要な電力を責任を持って生産する
<b>13. 気候変動に具体的な対策を</b>	<b>原子力は気候変動との闘いに多大な貢献を果たす</b>
14. 海の豊かさを守ろう	原子力により海洋酸性化をもたらし二酸化炭素排出を回避できる
15. 陸の豊かさを守ろう	原子力発電所は小さな面積の土地から大量の電力を供給している
16. 平和と公正をすべての人に	核不拡散条約は原子力技術の平和的利用に関する協力を促進する
17. パートナリーシップで目標を達成しよう	原子力関係組織は持続可能な開発目標の達成を支援するためステークホルダーと協力する