

日本原子力学会2023年春の年会  
新型炉部会 企画セッション

カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の  
実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ

黒崎 健

京都大学・複合原子力科学研究所・教授

2023年3月14日  
東京大学駒場キャンパス

# 0. 目次

1. 次世代革新炉開発の状況
2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化
3. 原子力をめぐる動向
4. おわりに

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.1. 革新炉開発の背景 #1

- 原子力をめぐる国際動向
  - 中国・ロシア
    - ✓ 着実な原子力開発（革新炉含む）
    - ✓ 再エネと原子力の両方を開発
  - 日本を含む西側諸国
    - ✓ 原子力カルネッサンス以降停滞
    - ✓ 原子力技術リーダーシップ再興を目指す（米・英）
    - ✓ 1F事故の影響、空白の10年（日）

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.1. 革新炉開発の背景 #2

- 原子力開発停滞がまねく危機
  - 技術力低下
  - 人材の枯渇
  - サプライチェーン弱体化

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #1

表 米国における革新炉の展開計画（グリッド規模原子炉）

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #2

表 米国における革新炉の展開計画（マイクロ炉・小型試験研究炉）

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #3

- VOYGR (7.7万 kWe x 12)
  - NuScale Power
  - PWRタイプ
  - SGと圧力容器が一体
  - 2020年9月標準設計認可取得
  - モジュールとして連結が可能
  - 日揮・IHI
  - アイダホ州 (2029年)

図 大型PWRとの比較 (サイズ感)

出典：第2回革新炉WG、資料6「NuScale社のSMR開発について」、2022年5月19日

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #4

- Natrium™ (50万 kWe)
  - TerraPower
  - Na冷却高速炉
  - 溶融塩タンク
  - ワイオミング州 (2028年)

図 Natrium™の統合エネルギーシステム (IES)

出典：第2回革新炉WG、資料4「TerraPower社の高速炉開発について」、2022年5月19日



# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #5

- BWRX-300 (30万 kWe)
  - GE Hitachi
  - BWRタイプ
  - 革新的安全システム
  - カナダ・オンタリオ州 (2028年)

図 BWRX-300の完成イメージと概略図

出典：第2回革新炉WG、資料3「エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値」、2022年5月19日

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.2. 米国における革新炉開発状況 #6

- Xe-100 (8万 kWe)
  - Xエネルギー
  - 高温ガス炉
  - TRISO燃料
  - モジュールとして連結が可能 (4連結で32 万kWe)
  - ワシントン州・コロンビアNPP (2028年?)

図 Xe-100とTRISO燃料のイメージ

出典：<https://x-energy.com/reactors/xe-100>

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.3. 英国における革新炉開発状況 #1

- UK-SMR (44万 kWe)
  - ロールス・ロイス (UK SMRコンソーシアム)
  - 軽水炉
  - 2022年3月7日、規制評価プロセス開始
  - 2050年までに英国内に最大16基の導入を目指す

☒ UK-SMRのイメージ

出典：<https://www.rolls-royce-smr.com/>

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.3. 英国における革新炉開発状況 #2

- U-Battery (0.4万 kWe)
  - Urenco (U-Batteryコンソーシアム)
  - 高温ガス炉のマイクロ炉
  - TRISO燃料
  - 英国とカナダでの初号機建設を目指す (2020年代後半)

図 U-BatteryとTRISO燃料のイメージ

出典：<https://www.u-battery.com/>

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.4. 中国における革新炉開発状況

- 高速炉
  - 実験炉：運転中（ロシア技術輸入）
  - 実証炉：建設中、2023年運転開始予定
  - 商用炉：2030年代導入予定
- 高温ガス炉
  - 研究炉：2000年運転開始
  - 実証炉：2021年9月初臨界
- SMR
  - 国産PWR型SMR実証炉：ACP100（12.5万 kWe）玲龍1号、2021年着工、2026年運転開始予定

図 「玲龍一号」の実証炉建設工事©CNNC  
出典：原子力産業新聞（14 Jul 2021）

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.5. ロシアにおける革新炉開発状況

- 高速炉
  - 旧ソ連時代からの豊富な運転経験
  - 原型炉（BN-600、60万 kWe）：1980年運転開始
  - 実証炉（BN-800、88.5万 kWe）：2015年運転開始
  - 商用炉（BN-1200、122万 kWe）：2035年頃導入予定
- SMR
  - 浮体式洋上SMR（アカデミック・ロモノソフ、KLT-40S、5.2万 kWe）：  
2020年5月運転開始@極東のペヴェク
  - 商用陸上SMR@極東サハリン：2021年建設許可発給、2028年までの完工を目指す

図 BN-1200の原子炉構造  
出典：PNE77, 247-265 (2014).

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.6. フランスにおける革新炉開発状況 #1

- 大型の革新軽水炉
  - 2050年までに6基のEPR2を建設
  - さらに8基のEPR2建設に向けた検討を開始
  - 再エネと原子力の両方を開発
  - 再エネ：原発 = 50：50で2050年CN未達リスク軽減

図 台山原子力発電所のEPR（2基）  
出典：Wikipedia

出典：第2回革新炉WG、資料3「エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値」、2022年5月19日

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.7. 我が国の革新炉開発状況（JAEA） #1

- 高温ガス炉開発
  - HTTR（3万 kWt）、2021.7.30運転再開
  - 開発フェーズ（～2030年）
  - 実証フェーズ（～2040年）
- 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造

図 HTTRの原子炉冷却設備・炉心燃料

出典：第1回革新炉WG、資料7「国内の新型炉技術開発の現状と社会ニーズへの対応」、2022年4月20日



# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.7. 我が国の革新炉開発状況（JAEA） #2

- 高速炉開発
  - 高速実験炉「常陽」（14万 kWt、Mark-III）、休止中
  - 高速増殖原型炉もんじゅ（28万 kWe）、2016年12月廃止措置決定
- 高速炉戦略ロードマップ（2018年12月）
  - 競争を促し、様々なアイデアを試すステップ
  - 絞り込み、支援を重点化するステップ
  - 今後の開発課題及び工程について検討するステップ
- 高速炉開発に関する我が国の強み
  - 「もんじゅ」を経て実証レベルまで到達したこと（中・露は実用化レベルに到達）

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.7. 我が国の革新炉開発状況（三菱重工） #1

図 三菱革新炉のラインナップ

出典：第1回革新炉WG、資料8「三菱革新炉開発の取組み」、2022年4月20日

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.7. 我が国の革新炉開発状況（日立）

図 発電への継続的貢献と新たな価値の創造

出典：第1回革新炉WG、資料9「日立の新型炉開発の取り組みについて」、2022年4月20日

# 1. 次世代革新炉開発の状況

## 1.7. 我が国の革新炉開発状況（東芝）

図 大容量電源の安定供給とカーボンニュートラルに貢献する柔軟性の高いプラント

出典：第1回革新炉WG、資料10「東芝エネルギーシステムズの革新炉への取組み」、2022年4月20日

## 0. 目次

1. 次世代革新炉開発の状況
2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化
3. 原子力をめぐる動向
4. おわりに

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.1. ポートフォリオ

表 炉型ごとのポートフォリオ

#### 炉型

- 革新軽水炉
- 小型軽水炉
- 高速炉
- 高温ガス炉
- 核融合炉

#### 評価軸

- 技術成熟度・時間軸
- 規制対応
- サプライチェーン
- 市場性
- 非エネ分野への貢献

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.2. 技術ロードマップ #1

※事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

図 導入に向けた技術ロードマップ  
(革新軽水炉)

出典：第33回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」、2022年11月8日

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.2. 技術ロードマップ #2

※事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

#### 図 導入に向けた技術ロードマップ (小型軽水炉)

出典：第33回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」、2022年11月8日



## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.2. 技術ロードマップ #3

※事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

#### 図 導入に向けた技術ロードマップ (高速炉)

出典：第33回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」、2022年11月8日

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.2. 技術ロードマップ #4

※事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

図 導入に向けた技術ロードマップ  
(高温ガス炉)

出典：第33回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」、2022年11月8日

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.2. 技術ロードマップ #5

※事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

(実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。)

#### 図 導入に向けた技術ロードマップ (核融合炉)

出典：第33回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」、2022年11月8日

## 2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化

### 2.3. サプライチェーン・人材の維持・強化

2023年3月6日

原子力サプライチェーンシンポジウム

西村大臣挨拶

「SCの隅々まで経産省でサポートしていく。」

原子力サプライチェーンプラットフォーム発足

日本の原子力サプライチェーンの現状

- 原子力産業400社
- 従業員3万人（漸減）
- 売上2兆円（横ばい）
- 技術者1万人（漸減）

## 0. 目次

1. 次世代革新炉開発の状況
2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化
3. 原子力をめぐる動向
4. おわりに

## 3. 原子力をめぐる動向

### 中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #1

- 革新炉ワーキンググループ
  - 2022年7月29日、第4回革新炉WG
    - 中間とりまとめ（骨子案）の提示
- GX実行会議
  - 2022年8月24日、GX実行会議（第2回）
    - 日本のエネルギーの安定供給の再構築を提示

#### GX実行会議（第2回）での岸田首相発言

「次世代革新炉の開発・**建設**など、今後の政治判断を必要とする項目が示されました。年末に具体的な結論を出せるよう、与党や専門家の意見を踏まえ検討を加速して下さい。」

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #2

- 革新炉ワーキンググループ
  - 2022年10月24日、第5回革新炉WG
    - 中間とりまとめからの検討の深掘り その1
  - 2022年11月2日、第6回革新炉WG
    - 中間とりまとめからの検討の深掘り その2

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #3

- 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ
  - 2022年7月29日、第17回高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ
    - 高速炉の実用化に向けた開発目標（案）の提示
  - 2022年9月13日、第18回 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ
    - 「戦略ロードマップ」改訂の方向性（案）の提示
  - 2022年9月26日、第19回 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ
    - 戦略ロードマップ改訂案の提示
- 高速炉開発会議
  - 2022年12月22日、第6回高速炉開発会議 持ち回り開催
    - 戦略ロードマップ改訂案の了承



## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #4

- 文部科学省次世代革新炉の開発に必要な研究開発基盤の整備に関する検討会
  - 2022年10月17日（第1回）、2022年10月21日（第2回）、2022年11月8日（第3回）
  - 2022年11月22日（第4回）、2022年12月9日（第5回）
    - 今後必要となる研究開発や基盤インフラの整備に関する今後の課題についての議論と論点整理
  - 2022年1月23日（第6回）

※ 三つの観点：① 原子炉システム、② 燃料製造、③ バックエンド対策

※ 原子力機構が大学の知の集約拠点として果たすべき役割

※ 今後10年以内に着手すべき事項

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #5

- 原子力小委 #1
  - 2022年8月9日、第29回原子力小委
    - 中間とりまとめ（骨子案）を報告
  - 2022年11月8日、第33回原子力小委
    - 革新炉WGでの議論（検討の深掘り含む）を報告
  - 2022年11月28日、第34回原子力小委
    - 新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に関するアクションプラン（案）を提示

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #6

- 原子力小委 #2

- 2022年12月8日、第35回原子力小委

- 今後の原子力政策の方向性と実現に向けた行動指針（案）を提示

※ 安全性の確保を大前提に、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設を推進。

※ 地域の理解の確保を大前提に、まずは廃止決定炉の次世代革新炉への建て替えを対象。

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #7

- GX実行会議
  - 2022年12月22日、GX実行会議（第5回）
    - GX実現に向けた基本方針（案）を提示

図 次世代革新炉の開発・建設  
今後の道行き

出典：GX実行会議（第5回）、資料2「GX実現に向けた基本方針（案）」、2022年12月22日

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #8

- GX実行会議

- ▶ 2022年12月22日、GX実行会議（第5回）

- GX実現に向けた基本方針（案）を提示

※ 将来にわたって持続的に原子力を活用するため、安全性の確保を大前提に、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む。

※ 運転期間は40年、延長を認める期間は20年との制限を設けた上で、一定の停止期間に限り、追加的な延長を認めることとする。

※ 六ヶ所再処理工場の竣工目標実現などの核燃料サイクル推進、廃炉の着実かつ効率的な実現に向けた知見の共有や資金確保等の仕組みの整備を進めるとともに、最終処分の実現に向けた国主導での国民理解の促進や自治体等への主体的な働きかけを抜本強化する。

## 3. 原子力をめぐる動向

中間とりまとめ（骨子案）から2022年末までの展開（2023年1月23日時点） #9

## 0. 目次

1. 次世代革新炉開発の状況
2. 次世代革新炉開発・建設の方向性の明確化
3. 原子力をめぐる動向
4. おわりに

## 4. おわりに

### 新しい原子力、原子力新時代の幕開け

- 原子力の魅力・必要性と課題
  - 福島第一原子力発電所（1F）の事故と空白の12年
  - 原子力開発停滞がまねく危機（技術力低下、人材の枯渇、サプライチェーン弱体化）
  - 次世代革新炉の開発・建設をめぐる国際動向（米、英、仏、中・露・・・）
- 
- 次世代革新炉の開発・建設、運転期間の追加的な延長
  - 核燃料サイクルの完遂、最終処分、1Fの廃止措置
- 
- 新しい原子力、新たな価値創造、原子力イノベーション、若い人に魅力的な原子力



ご清聴ありがとうございました。

ご連絡は、下記まで↓

[kurosaki.ken.6n@kyoto-u.ac.jp](mailto:kurosaki.ken.6n@kyoto-u.ac.jp)