

令和6年度シンビオ社会研究会第5回講演会(2025年2月7日)

カーボンニュートラルのための原子力開発 —現状・課題・将来—

(一財)エネルギー総合工学研究所・理事長
(東京大学名誉教授)

寺 井 隆 幸

t-terai@iae.or.jp
teraitaka@aol.com

寺井隆幸(自己紹介)

1954. 5 兵庫県神戸市生まれ(兵庫県・私立六甲学院高等学校出身)
 1978. 3 東京大学工学部原子力工学科卒業
 1980. 3 東京大学大学院工学系研究科修士課程(原子力工学専攻)修了
 1983. 3 東京大学大学院工学系研究科博士課程(原子力工学専攻)修了
 1983. 4 日本学術振興会奨励研究員に採用
 1984. 11 東京大学工学部助手(原子力工学研究施設@東海村)に採用
 1986. 11~1987. 2 アメリカ・ローレンスリバモア国立研究所に客員研究員として滞在
 1987. 12 工学部助教授(原子力工学科)に昇任
 1992. 5 ~1993. 2 ドイツ・カールスルーエ原子力研究所に客員研究員として滞在
 1994. 4 大学院重点化により工学系研究科システム量子工学専攻に所属変更
 1996. 4 工学部総合試験所へ配置換え
 1999. 4 大学院工学系研究科教授(システム量子工学専攻)に昇任
 2000. 4 工学部システム創成学科(環境・エネルギーシステムコース)に併任
 2003. 7 大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設(東海村)に配置換え
 2005. 4 大学院工学系研究科原子力国際専攻に配置換え
 2007.11 大学院工学系研究科総合研究機構に配置換え
 2020. 3 東京大学定年退職
 2020. 6 東京大学名誉教授
 2020. 8 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所理事長に就任



Face Book (個人、友達限定): <https://www.facebook.com/takayuki.terai.5>

(ご希望があれば、メッセージ等で本講義へ参加した旨を明記いただき、リクエストをお願いします)

Instagram(個人): <https://www.instagram.com/takayuki.terai.5/>

Twitter(個人): <https://twitter.com/TakayukiTerai>

Face Book(国内・海外/こんなところに行きました): <https://www.facebook.com/terai.ip/>

Face Book(東大時代の研究室): <https://www.facebook.com/terailab>

主な専門分野: 粒子線照射やプラズマによる材料の物性制御と新機能創出、原子力・核融合炉工学、環境・エネルギーシステムの要素技術 (原著論文約470報、総説35報、著書20冊)

趣味: 旅行(特に海外。今は、中南米・アフリカ・中東・中央アジア・南アジアなどへ行ってみたい)、読書(地理・歴史・社会・文化・自然科学)、博物館めぐり、適度なスポーツ、写真術(昔はDPEもやりました。今はもっぱらデジタルカメラ)

(一般財団法人)エネルギー総合工学研究所

- ・役員：理事長・副理事長(専務理事)・常務理事・理事8名・監事2名、評議員：12名、職員：約60名
- ・エネルギー技術の体系的基盤の確立・向上を図り、国民経済の健全な発展に寄与することを目的に、1978年4月1日に「財団法人エネルギー総合工学研究所」として設立。<https://www.iae.or.jp/>

■ 当研究所の主な調査研究テーマ及び専門性等

- 役割 ①調査研究、FS(システム設計・評価(経済性及び技術性)、実用化シナリオ策定)、実証試験 ②PJのとりまとめ・全体調整、③分野別研究会の主宰(プラットフォームとしてシーズ探索、PJ提案)
- 政府機関、独立行政法人、民間企業、海外研究機関等からの受託事業/会費収入による自主研究
- 実施にあたり、大学、事業会社、研究機関等とコンソーシアムを構築

地球環境

- <調査研究テーマ>
- ・エネルギー需給構成、CO2削減効果などのシステム分析
 - ・エネルギー需要に関する調査研究
 - ・ネガティブエミッションに関する調査研究
 - ・国際規格の策定支援(CCS分野)
 - ・国際エネルギー機関研究開発プライオリティ設定専門家会合(IEA EGRD)への参画
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・エネ総研モデル(GRAPE、TIMES-Japan)による地球環境およびエネルギーシステムの長期・統合評価分析
 - ・IEA、米国DOE傘下研究機関、スタンフォード大学

新エネルギー・電力システム

- <調査研究テーマ>
- ・再エネ大量導入に対する課題解決策の検討/調査
 - ・電力システム改革、デジタル化に関する検討/調査
 - ・地域エネルギー供給のビジネスモデル策定
 - ・蓄エネルギー技術の開発/実証/調査(蓄熱、CAES)
 - ・高性能熱機関・空調システムの開発支援
 - ・APNet(次世代電力ネットワーク)研究会(東大・横山名誉教授)
 - ・太陽熱・蓄熱技術研究会(新潟大・児玉教授)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・熱システム解析・評価
 - ・電力システムの計画・運用・保全技術、海外の電力システムの調査分析
 - ・DLR(ドイツ航空宇宙センター)

原子力

- <調査研究テーマ>
- ・1F事故解析への貢献(OECD/NEA、日米協力)
 - ・次世代炉・革新炉(含SMR)に関する調査研究・開発支援
 - ・IAEA安全基準対応支援、諸外国安全制度調査
 - ・廃止措置に向けた基盤整備(学会規格・標準の提案)
 - ・人材育成支援
 - ・廃止措置調査検討委員会(東大・岡本教授)
 - ・廃止措置へのDX適用に係る勉強会
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・熱流動解析(SAMPSONコード、数値シミュレーション)
 - ・安全規制制度(IAEA等)・放射能インベントリ評価
 - ・IAEA、NEA、MIT、米国DOE傘下研究機関

<S+3Eを支えるエネルギー技術>

- ・Safety:安全性
- ・Energy Security:エネルギー安全保障
- ・Economic Efficiency:経済性
- ・Environment:環境適合性

水素

- <調査研究テーマ>
- ・エネルギーキャリアとしての水素(水素需要量の分析、各種エネキャリアの経済性・環境性分析)
 - ・蓄エネルギー手段としての水素(再エネ有効利用のための水素利活用、PtG)
 - ・水素を支える個別技術分野(水電解技術、水素発電・燃焼タービン、水素液化技術)
 - ・ゼロエミ水素ビジョン研究会(RITE 山地理事長)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・シナリオ分析と策定・製造から利用までのシステムコスト評価
 - ・SINTEF(ノルウェー産業科学技術研究所)
 - ・IMDEA(マドリッド高等研究所)

炭素循環

- <調査研究テーマ>
- ・CO2分離・回収・貯蔵、CO2輸送、CO2有効利用の各技術に関する調査・分析(含、DAC、CNPの調査・検討)
 - ・海外再エネ由来のCO2フリー燃料を核としたカーボンリサイクル等を含むエネルギーシステムの検討/調査/評価
 - ・低炭素社会に資する革新的技術のポテンシャル調査/分析
 - ・次世代火力発電技術ロードマップや省エネ戦略等の施策支援
 - ・廃棄物活用、石油化学コンビナート脱炭素化検討
 - ・ACC(人為的カーボンサイクル)技術研究会(早大・中垣教授)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・数値解析・プロセス設計・C1化学
 - ・CSIRO(オーストラリア連邦科学産業研究機構)

(注) 調査研究テーマのうち、個別名称はこれまでの受託・自主事業実績

(2022.7 策定)

最近、エネルギー関係の本を出版しています



- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかるカーボンリサイクル」(技術評論社、2020)
- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかるカーボンニュートラル」(技術評論社、2021)
- エネルギー総合工学研究所編著「見えてわかる！エネルギー革命」(誠文堂新光社、2022)
- CN2燃料の普及を考える会編著「図解でわかるカーボンニュートラル燃料」(技術評論社、2022) 所員が一部分担執筆
- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかる再生可能エネルギー×電力システム」(技術評論社、2023)
- エネルギー総合工学研究所編著「カーボンニュートラル2050ビジョン」(エネルギーフォーラム社、2024)

毎年、シンポジウムを開催し、毎月、月例研究会を開催しています。いずれも現在は参加費無料。ここ2年間はオンライン形式。

詳細は研究所のホームページをご参照ください。 <https://www.iae.or.jp/>

多くの特典(季刊誌「エネルギー総合工学」の無料配布・シンポジウム・月例研究会・賛助会員会議へのご招待等)がある賛助会員を募集中(現在 106 法人)。

目次

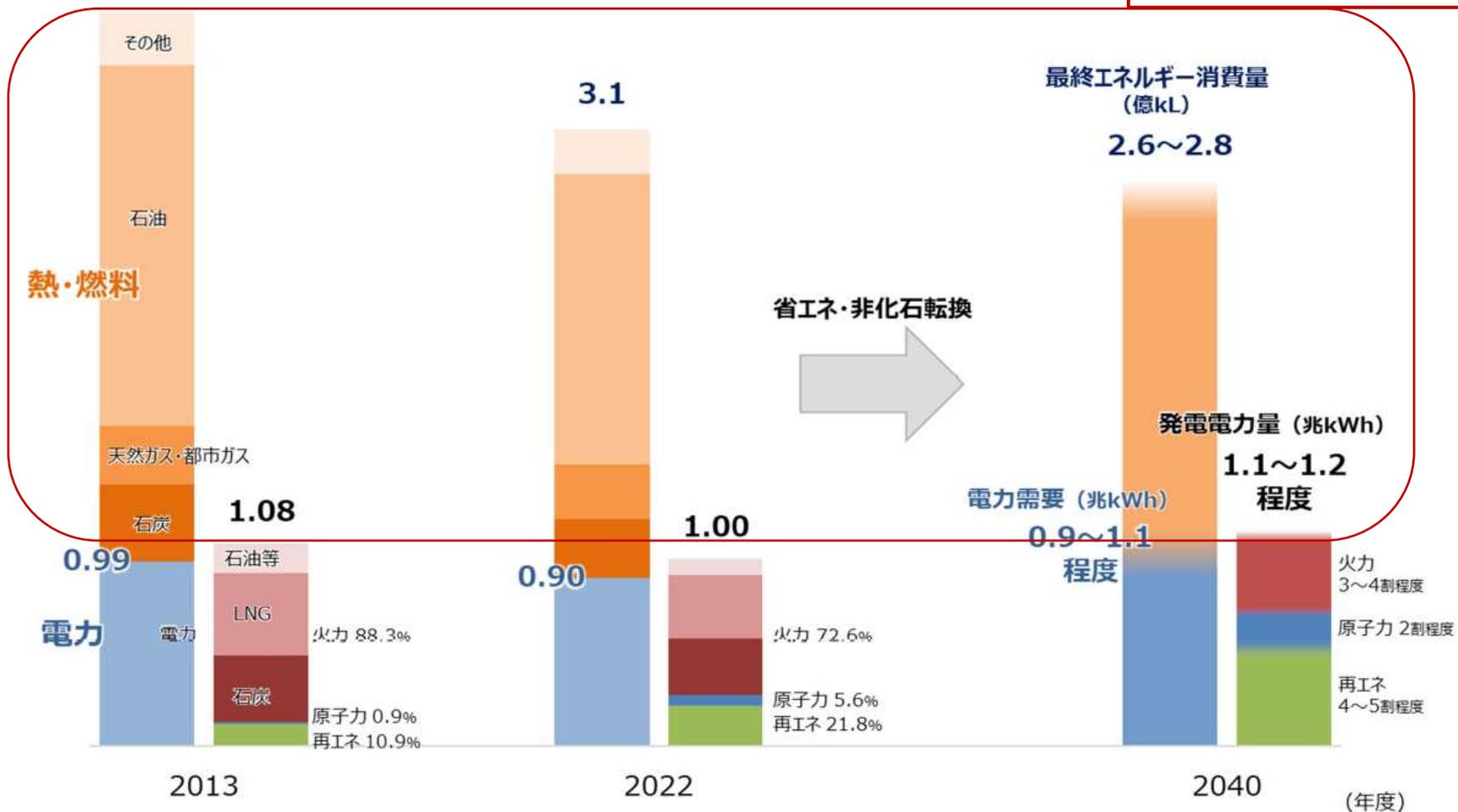
1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

第7次エネルギー基本計画案における主なポイント(原子力)

- 原子力は、優れた安定供給性、技術自給率を有し、他電源と遜色ないコスト水準で変動も少なく、また、一定出力で安定的に発電可能等の特長を有する。こうした特性はデータセンターや半導体工場等の新たな需要ニーズにも合致することも踏まえ、国民からの信頼確保に努め、安全性の確保を大前提に、必要な規模を持続的に活用していく。
- 立地地域との共生に向けた政策や国民各層とのコミュニケーションの深化・充実、核燃料サイクル・廃炉・最終処分といったバックエンドプロセスの加速化を進める。
- 再稼働については、安全性の確保を大前提に、産業界の連携、国が前面に立った理解活動、原子力防災対策等、再稼働の加速に向け官民を挙げて取り組む。
- 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・設置については、地域の産業や雇用の維持・発展に寄与し、地域の理解が得られるものに限って、廃炉を決定した原子力発電所を有する事業者の原子力発電所のサイト内での次世代革新炉への建て替えを対象として、六ヶ所再処理工場の竣工等のバックエンド問題の進展も踏まえつつ具体化を進めていく。その他の開発などは、各地域における再稼働状況や理解確保等の進展等、今後の状況を踏まえて検討していく。
- 次世代革新炉(革新軽水炉・小型軽水炉・高速炉・高温ガス炉・核融合)の研究開発等を進めるとともに、サプライチェーン・人材の維持・強化に取り組む。

エネルギー需給の見通し

実はこの部分が重要



(注) 左のグラフは最終エネルギー消費量、右のグラフは発電電力量であり、送配電損失量と所内電力量を差し引いたものが電力需要。

目次

1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

原子力の特長

1) CO₂放出量が極めて小さい脱炭素電源

ライフサイクルCO₂排出量が化石燃料に比べて、1/50～1/25
水力・地熱に次いで少なく、住宅用太陽光の半分

2) エネルギー自立性・長期の価格安定性

燃料のエネルギー出力密度が大きい

(100万kW・年間に必要な濃縮ウラン 20トンは

石炭 2,220,000トン、石油 1,550,000トン、天然ガス 850,000トンと等価)

国内の在庫日数が長い(約3年)

燃料交換後1年以上発電が可能(国際市場価格変動の影響を受けにくい)

IAEは原子力を一次エネルギー自給率に含めている

3) 燃料の安定調達

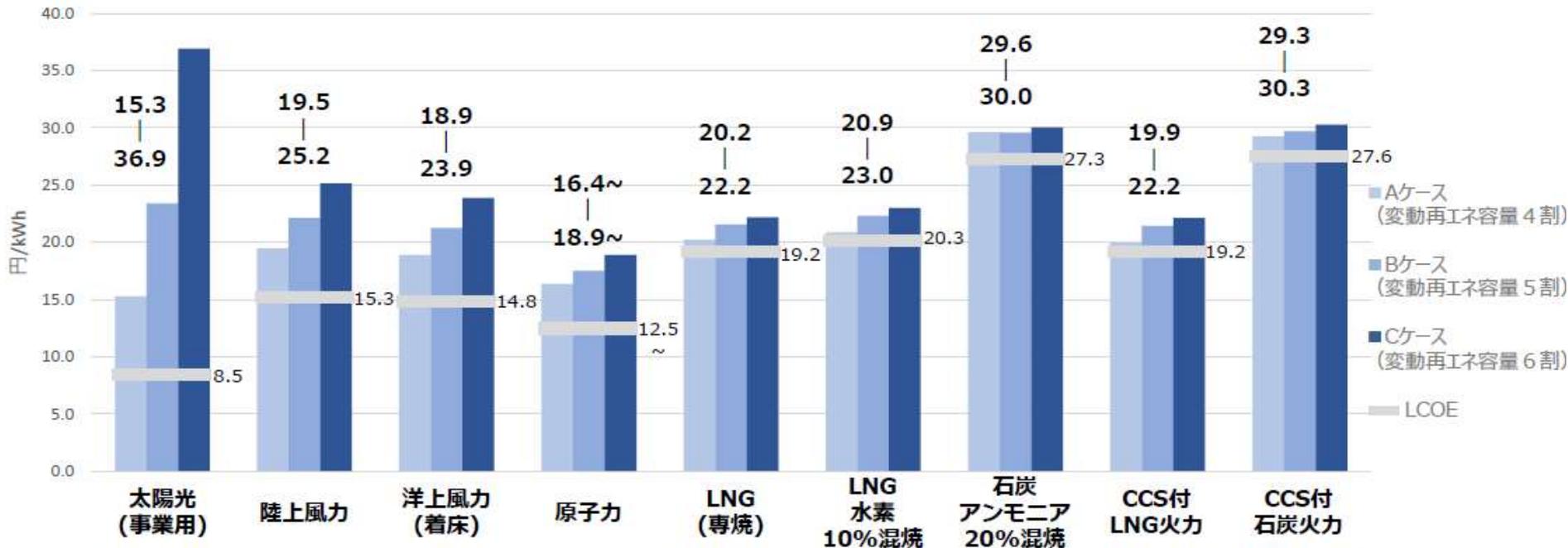
天然ウランは、地域的偏在性が少なく、比較的政情が安定した地域から輸入

4) 高い技術自給率

国産化率90%で、国内企業に技術が集積

日本の状況に応じたプラント建設のために高い技術自給率の維持が必要

【統合コストの一部を考慮した発電コスト】2040年の試算の結果概要(暫定)



※2040年の電源システムについて、一定程度、地域間連系線が増強され、系統用蓄電池が実装されているケースを想定しており、これらによる統合コストの引き下げ効果は、上記結果に加味されている。加えて、デマンドレスポンスを一定程度考慮した場合、統合コストの一部を考慮した発電コストが上記より低い水準になる。

※地域間連系線の増強費用や蓄電池の整備費用は、「ある特定の電源を追加した際」に電力システム全体に追加で生じるコストではないため、計算には含まれない。

※水素、アンモニアは熱量ベース。

1. 太陽光や風力といった安定した供給が難しい電源の比率が増えていくと、電力システム全体を安定させるために電力システム全体で生じるコストも増加する。電源別の発電コストを比較する際、従来から計算してきた①に加え、一定の仮定を置いて、②も算定した。
 ①新たな発電設備を建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算したもの (=「LCOE」)
 ②ある電源を追加した場合、**電力システム全体に追加で生じるコスト** (例：他電源や蓄電池で調整するコスト) を考慮したコスト
 (■統合コストの一部を考慮した発電コスト)
2. 統合コストの一部を考慮した発電コストは、**既存の発電設備が稼働する中で、ある特定の電源を追加した際に電力システムに追加で生じるコスト**を計算している。具体的には、LNG火力など他の電源による調整、揚水や系統用蓄電池による蓄電・放電ロス、再エネの出力制御等に関するコストを加味する。
3. 将来のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、ある特定の電源を追加した際に電力システムで代替されると想定される電源の設定 (今回は、費用が一番高い石炭火力とした) などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる**。今回は、3ケースについて算定。更なる技術革新などが起こる可能性も留意する必要あり。

幅広い産業における原子力利用の拡大

- データセンター等の電力需要増を見込んだ海外IT企業による原子力活用や、炭素集約度の高い産業における積極的な原子力活用に向けた動きが報じられている。

IT産業における原子力活用の動き

米：Microsoft社

- 2023年6月、米コンステレーション・エナジー社（原子力発電事業者）と、データセンター向けに原子力由来の電力を供給する契約を締結。

米：OpenAI社

- 2023年7月、ChatGPTを開発したOpenAI社のアルトマンCEOは、米オクロ社（2015年から同氏が会長を務める革新炉開発ベンチャー）がニューヨーク証券取引所への上場を行う方針を発表。

- 上場で得られた資金は、液体金属を用いたマイクロ高速炉「Aurora」の開発に充てられ、データセンターや産業施設等を将来顧客として見込んでいる。また、同社は、NETFLIX社、Apple社、Google社等との提携を発表している。



オクロ社が開発するマイクロ高速炉「Aurora」

スウェーデン：Bahnhof（バーンホフ）社

- Bahnhof社は、ストックホルムにあるデータセンターにSMRを設置する考えを表明。
- スウェーデンメディアのSVT Nyheterは、スウェーデンのデータセンターは現在、年間3TWhの電力を消費しているが、2、3年内にはこの需要が倍増すると推計している。

製造業における原子力活用の動き

加：Cenovus Energy社（石油・天然ガス総合企業）

- 多量の温室効果ガスを排出するオイルサンド回収事業へのSMRの適用可能性について複数年にわたる調査を実施。アルバータ州政府は2023年9月、同事業に対し700万加ドル（約7億7,000万円）を助成すると発表した。



セノバス社の幹部およびアルバータ州政府の関係者 ©Government of Alberta

米：Nucor社（鉄鋼メーカー）

- 2023年5月、米NuScale社製のSMR「VOYGER」をベースロード電源として、製鋼所にクリーンな電力を供給する計画を進めるため、同社との協力深化に向けた覚書を締結。

米：Dow社（化学メーカー）

- 熱電供給可能な米X-energy社製SMR「Xe-100」4基を備えた発電所の建築を目指すDow社は、2023年5月、テキサス州シードリフト市を建設予定地に選定。



「Xe-100」発電所の完成予想図

©Dor

目次

1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

原子力発電所の現状

2025.1.29時点

再稼働
14基

稼働中 12基、停止中 2基 (送電再開日)

設置変更許可
3基

(許可日)

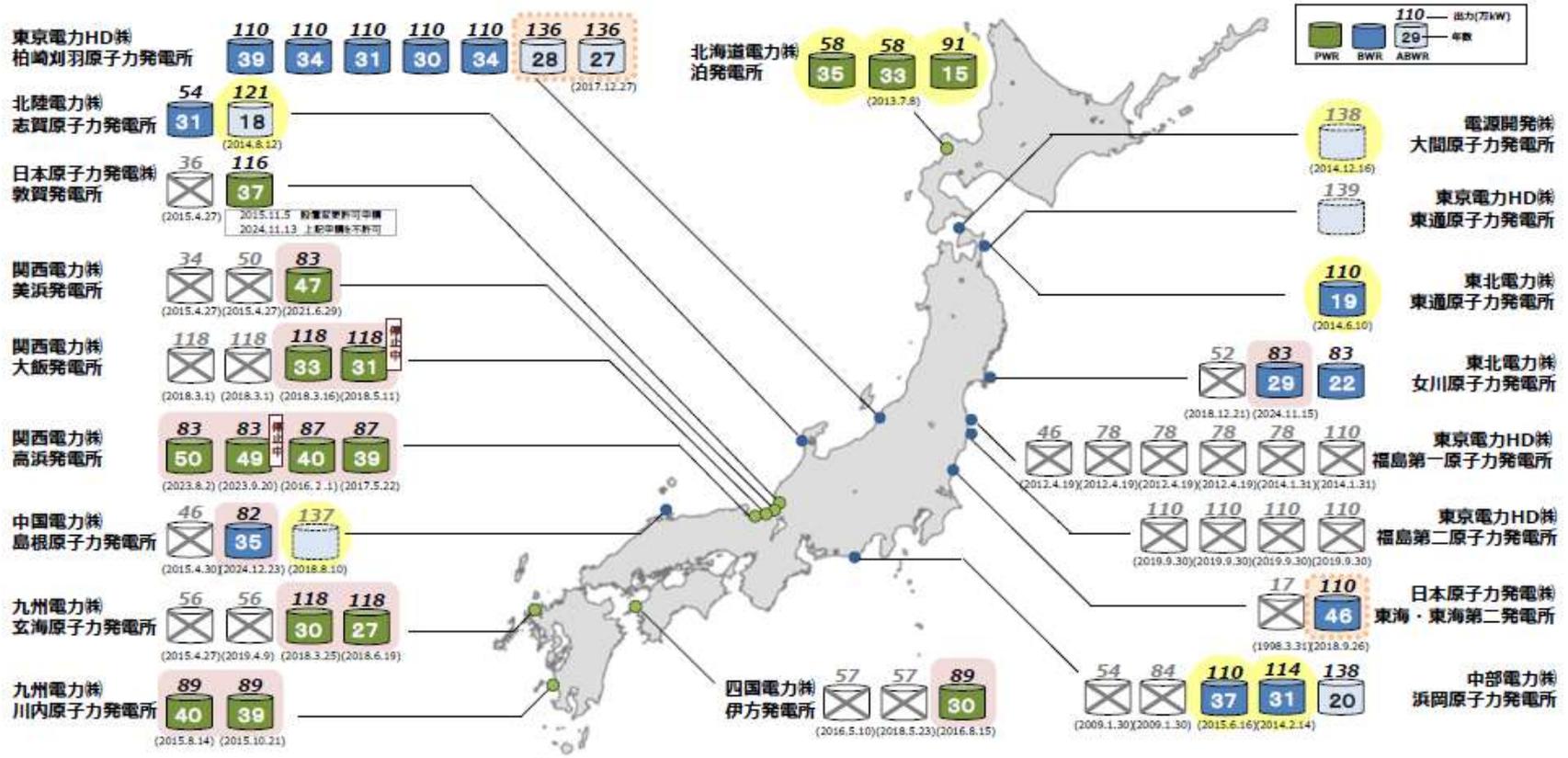
新規制基準
審査中
9基

(申請日)

未申請
10基

廃炉
24基

(電気事業法に基づく廃止日)



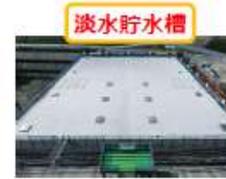
東京電力福島第一原子力発電所事故を教訓とした安全対策

新規制基準に従い、安全対策・多重の備えを実施。

(1F事故での教訓)

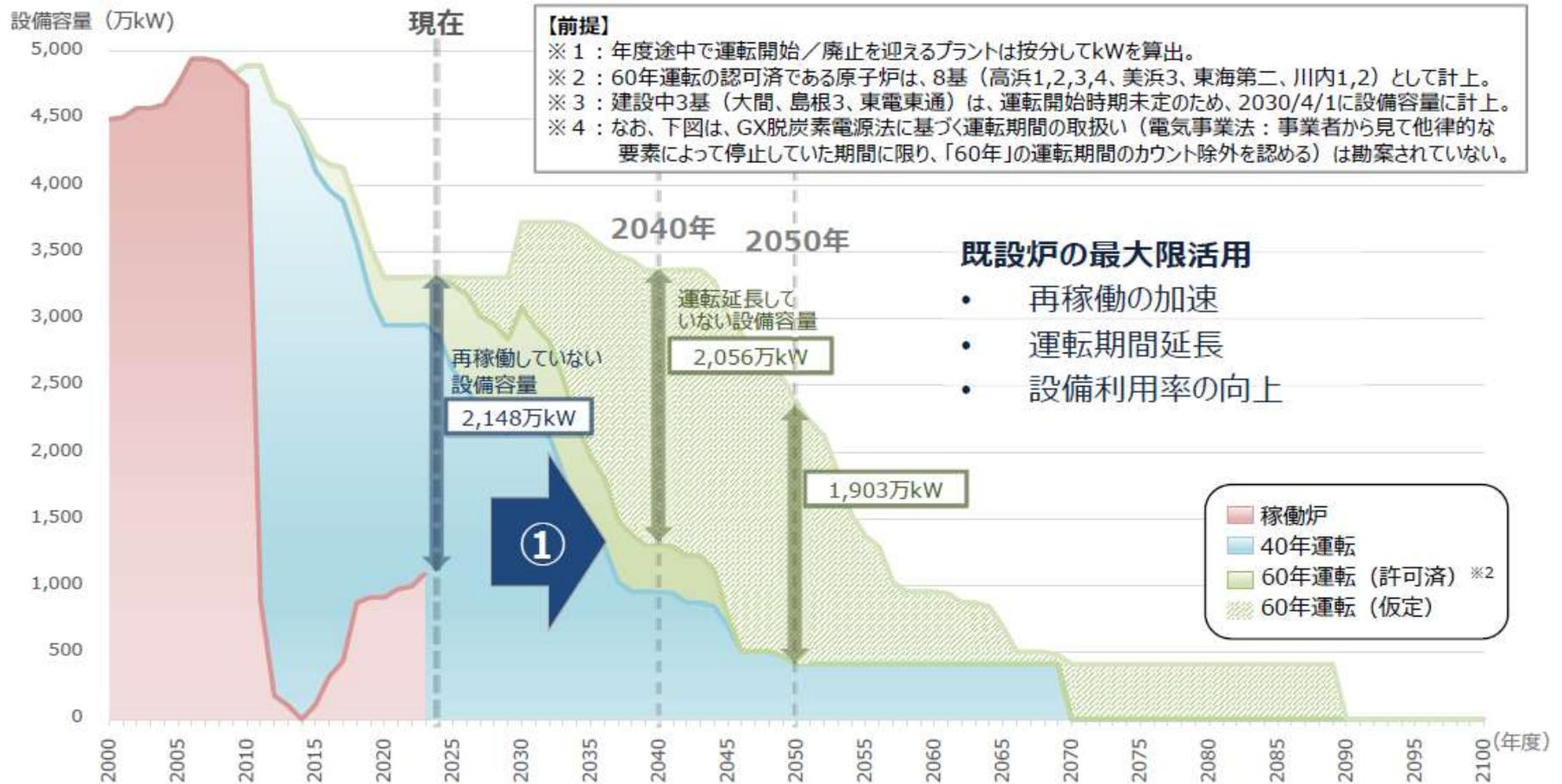


- **地震の想定を引き上げ**
引き上げ幅 最大420ガル
(例) 女川 580ガル→1000ガル
※東日本大震災時は567.5ガル
- **津波の想定を引き上げ**
太平洋側：10m程度の引き上げ
その他地域：2～4m程度の引き上げ
(例) 女川13.6m→23.1m
海拔29mの防潮堤設置
※東日本大震災での津波は13m
- **非常用電源を強化**
(例) 女川原子力発電所
電源車 0台→11台
ガスタービン発電機 0台→2台
蓄電池 8時間分→24時間分
- **注水冷却機能の多様化**
(例) 女川原子力発電所
淡水貯水槽の設置
高圧代替注水設備の設置
大容量送水車の配備 等
- 発生した**水素を除去する装置**を導入
- 放射性物質の大気中への放出を抑制する装置 (**フィルタベント設備**) を導入



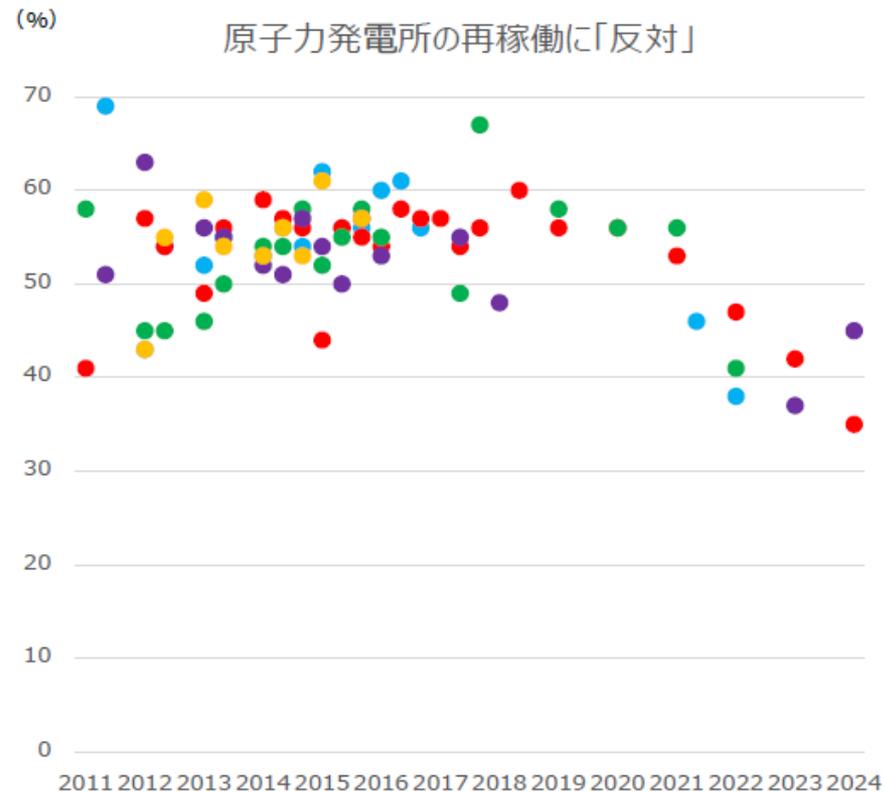
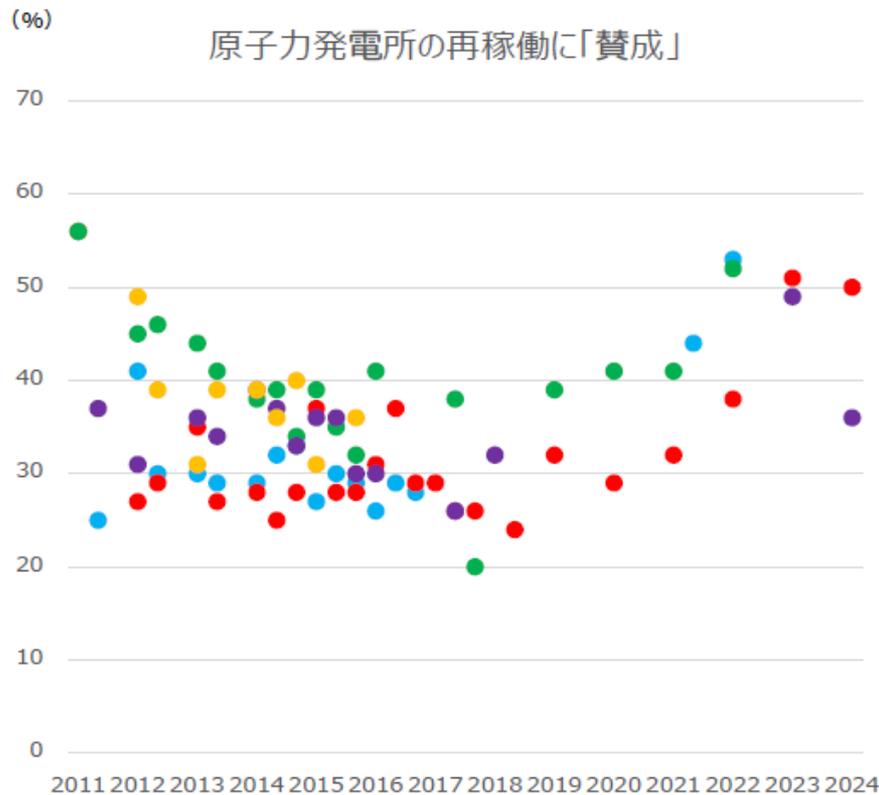
既設炉の最大限活用

- 「GX推進戦略」(昨年7月閣議決定): いかなる事情より安全性を優先し、「原子力規制委員会による審査・検査に合格し、かつ、地元の理解を得た原子力の再稼働を進める」、「原子力規制委員会による厳格な審査・検査が行われることを前提に、一定の停止期間に限り、追加的な延長を認める」



原子力発電所の再稼働に関する世論の状況

- 近年、肯定意見が増加し、否定意見が減少している傾向。



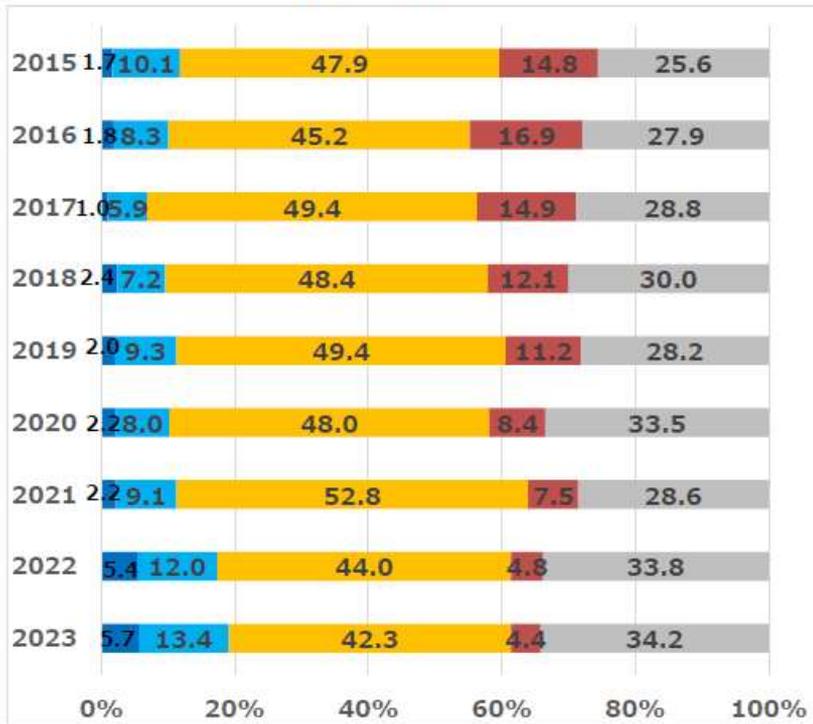
● 日経新聞 ● 朝日新聞 ● 読売新聞 ● 毎日新聞 ● 産経新聞

(原子力文化振興財団)

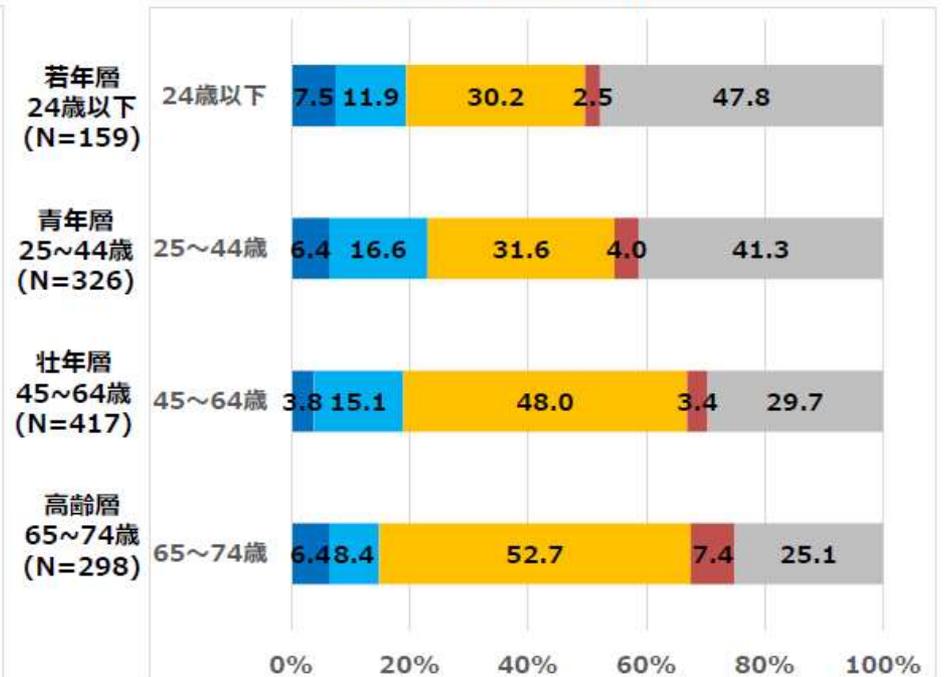
原子力に関する世論調査の経年変化と年代別傾向

- 近年、「即時廃止」は減少し、「増加」や「維持」が増えている。
- 若年層ほど「増加」や「維持」が多く、高齢層ほど「徐々に廃止」や「即時廃止」が多い。
- 今後日本は、原子力発電をどのように利用していけばよいと思いますか。

経年変化



年代別 (2023年度調査)



※日本原子力文化財団「2023年度 原子力に関する世論調査」をもとに作成

- 原子力発電を増やしていくべきだ (増加)
- 東日本大震災以前の原子力発電の状況を維持していくべきだ (維持)
- 原子力発電をしばらく利用するが、徐々に廃止していくべきだ (徐々に廃止)
- 原子力発電は即時、廃止すべきだ (即時廃止)
- その他、わからない、あてはまるものはない

(原子力文化振興財団)

原子力文化財団の世論調査について
 ・対象者は全国の15~79歳男女個人
 ・1,200人・住宅地図データベースから世帯を抽出し個人を割当
 ・200地点を地域・市郡規模別の各層に比例配分
 ・オムニバス調査・訪問留置調査
 ・2006年度から継続的に調査。2023年の調査で17回目

目次

1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

福島第一原子力発電所の廃炉

「廃炉」の主な作業項目と作業ステップ

使用済燃料プールからの燃料取り出しは、2014年12月22日に4号機が完了し、2021年2月28日に3号機が完了しました。2号機燃料デブリの試験的取り出しは、2024年9月10日より着手し、中長期ロードマップにおけるマイルストーンのうち「初号機の燃料デブリ取り出しの開始」を達成しました。

引き続き、1、2号機の燃料取り出し、1、3号機燃料デブリ(注1)取り出しの開始に向け順次作業を進めています。

(注1)事故により溶け落ちた燃料

<中長期ロードマップにおけるマイルストーン>

1～4号機	燃料取り出し完了	2031年内
1号機	燃料取り出し開始	2027年度～2028年度
2号機	燃料取り出し開始	2024年度～2025年度



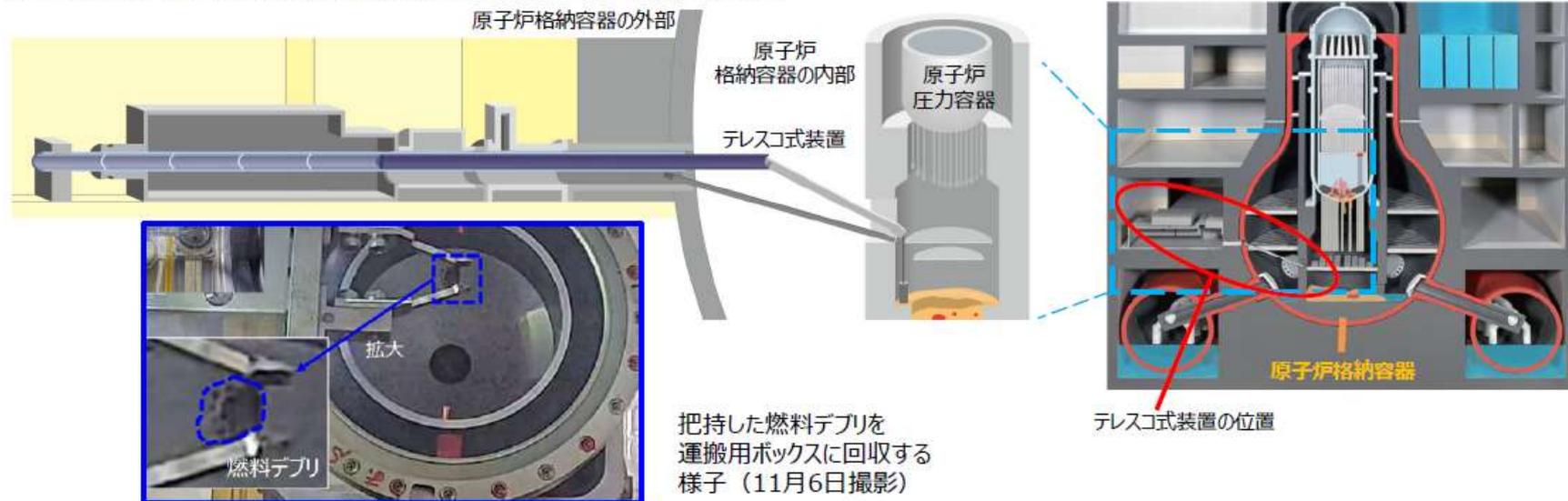
福島第一原子力発電所の廃炉

- ①汚染水・処理水対策（汚染水発生量を対策開始前の1/7に。ALPS処理水の海洋放出開始）
- ②プール内燃料の取り出し（1-2号機：瓦礫撤去や構台設置を実施中。3-4号機：取り出し完了）
- ③燃料デブリの取り出し（2024年11月7日に第1回試験的取り出し作業終了）

大きさ：約 9mm × 約 7mm 重量：約 0.693g



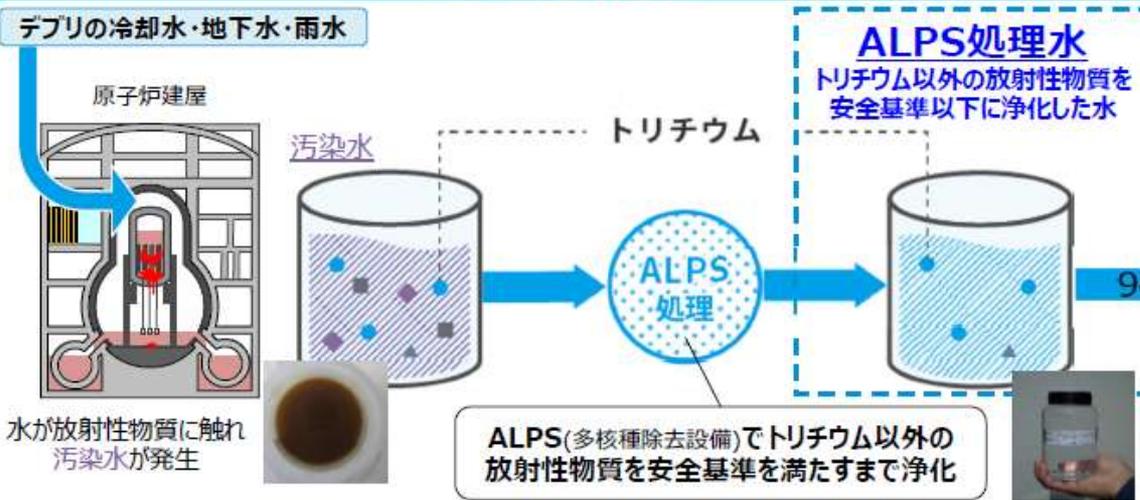
テレスコ式装置による試験的取り出しイメージ（拡大図）



ALPS処理水の海洋放出

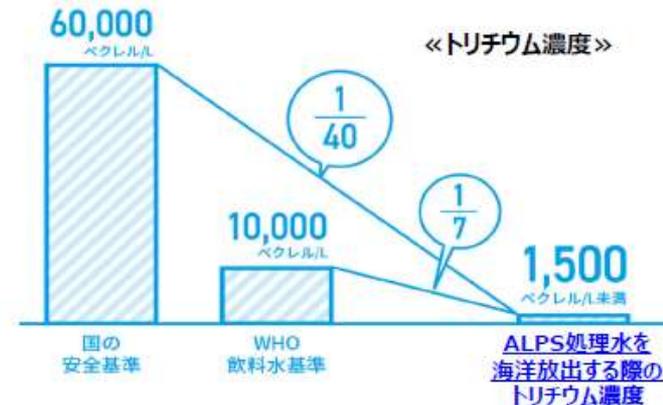
- 2023年8月24日、福島復興に向けて避けて通れない課題である「ALPS処理水」の海洋放出を開始した。環境や人体への影響は考えられない。

ALPS処理水とは？



海洋放出されるALPS処理水のトリチウム濃度は？

安全基準を大幅に下回るまで海水で薄めた上で、海洋放出



なぜALPS処理水を処分する必要があるのか？

ALPS処理水の処分は、廃炉と復興に向けて必要な作業

- 発生したALPS処理水は、福島第一原子力発電所の敷地内で巨大なタンクに入れて保管 (図1)
- しかし、タンク数は1,000を超過し、敷地を圧迫 (図2)
- 福島第一原子力発電所の廃炉には、新しい施設を建設する場所が必要
- そのため、ALPS処理水を処分し、タンクを減らすことが不可欠



避難指示区域の指定・見直しの経緯

「避難指示区域：2013年8月」



「2023年11月」



「2024年4月」



「2013年8月」
避難指示区域の見直しを完了（上図）

↓ 2014年4月以降、避難指示解除を進め、

「2020年3月」
「帰還困難区域」以外の全域で
避難指示を解除

「2017年5月」
「帰還困難区域」のうち、5年を目途に避難指示を解除し、
住民の帰還を目指す「特定復興再生拠点区域」を創設

↓ 2020年3月以降、避難指示解除を進め、

「2023年11月」
「特定復興再生拠点区域」の全域で
避難指示を解除（上図）

「2023年6月」
福島特措法改正で「特定帰還居住区域」制度を創設
「2024年4月」
大熊町・双葉町・浪江町・富岡町の4町における
「特定帰還居住区域復興再生計画」を認定

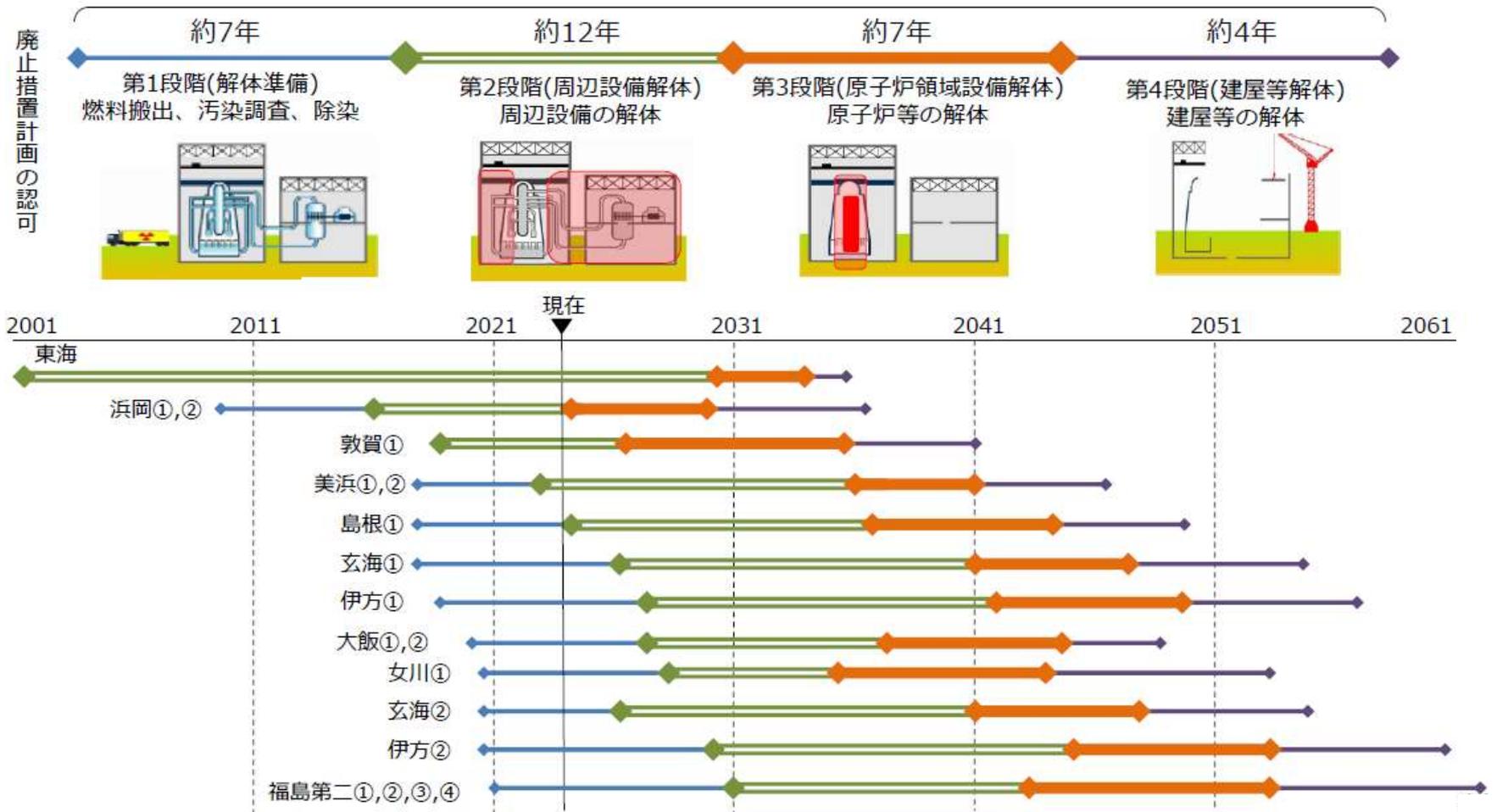
↘ 今後、除染・インフラ整備等を実施し、
避難指示の解除を進めていく

目次

1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

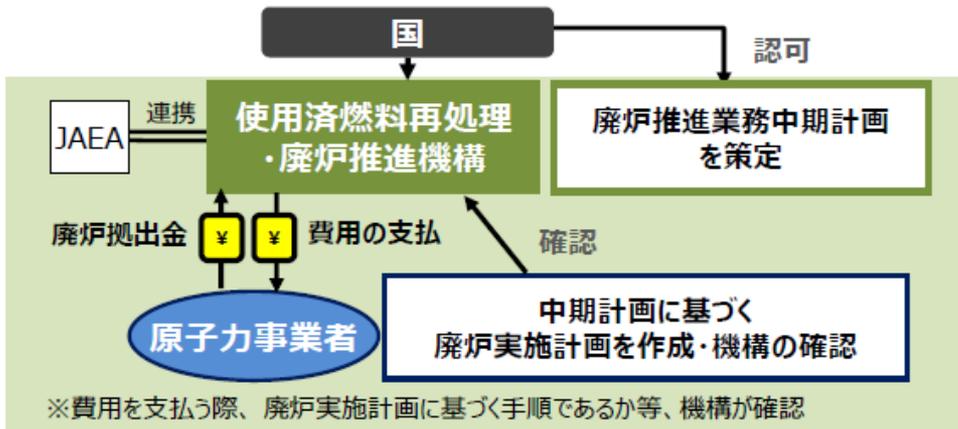
原子力発電所の廃炉スケジュール

- 廃炉決定済の18基※のうち、周辺設備を解体する第2段階にあるのは6基。※福島第一原発を除く。
- 3月14日、中部電力が、浜岡①②の第3段階着手の廃止措置計画の申請(商用炉初)。



廃炉の円滑化に向けた取組

- 今年度より、使用済燃料再処理・廃炉推進機構(NuRO)として、廃炉推進業務が実施される。
- 廃炉推進業務中期計画を策定し、廃炉の総合的なマネジメントの実現に向け取組を進めていく。



<廃炉推進業務>

- ① 日本全体の廃炉の総合的なマネジメント
- ② 事業者共通の課題への対応
(研究開発、共用設備の調達、地域理解の増進等)
- ③ 資金の確保・管理・支弁

<廃炉推進業務中期計画>

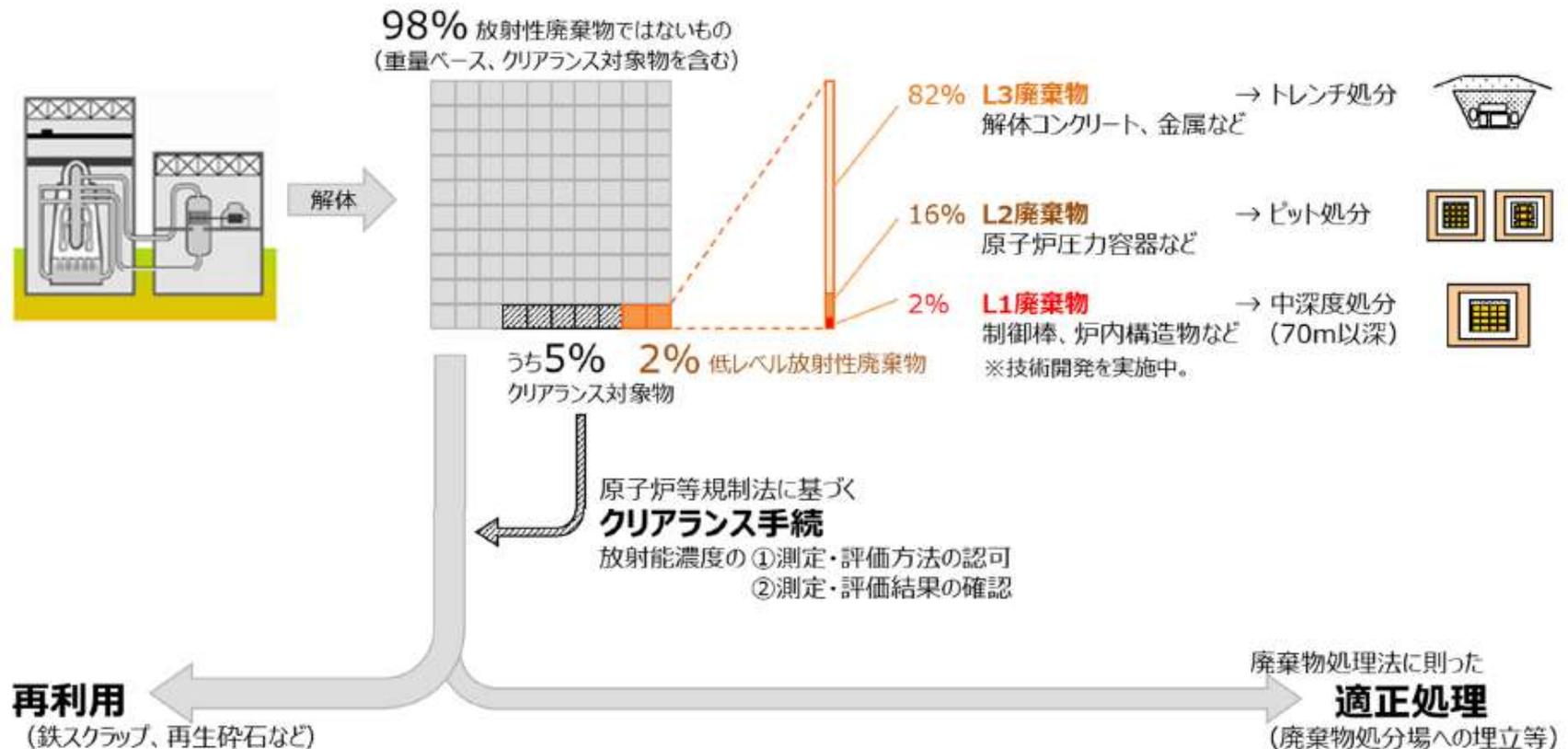
廃炉推進業務の実施に当たり、計画期間を5年間とする廃炉推進業務中期計画の作成

今後の主要業務 (課題)

- ① 電力会社だけでなく、メーカーやゼネコン等を含めた産業界全体での連携の主導
- ② 廃炉に関する国内外の知見・ノウハウを収集蓄積し、知見を活用したコスト低減・効率的な作業実施に向けた全体調整
- ③ 原子力事業者と規制当局との共通理解の醸成に向け、課題抽出や課題解消に向けた取組
- ④ 資金の適正かつ着実な確保・管理を前提とした、廃炉拠出金の収納や廃炉費用の支払
- ⑤ 日本原子力研究開発機構 (**JAEA**) との連携

解体廃棄物の種類と量

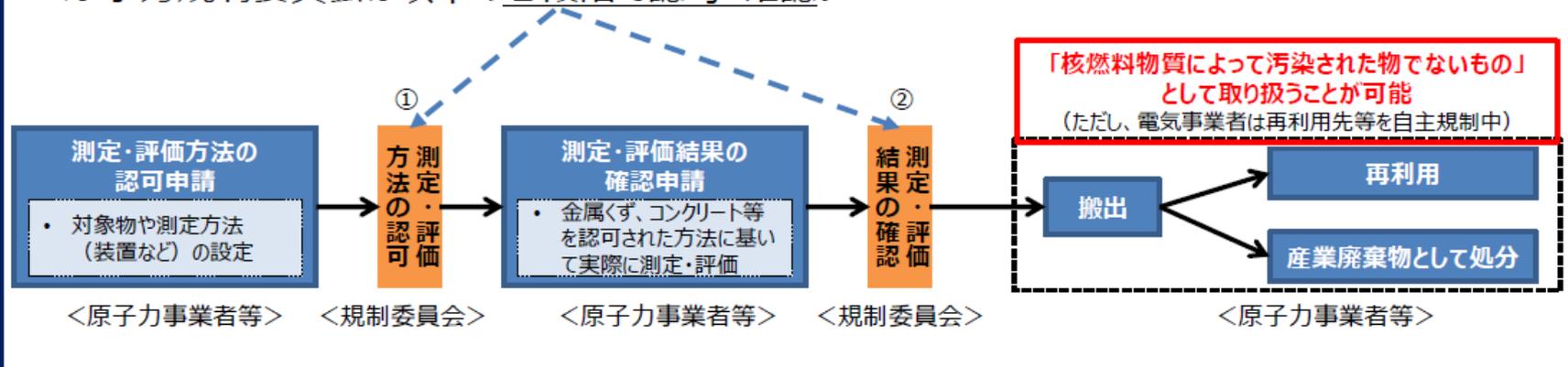
- 解体廃棄物のうち、低レベル放射性廃棄物は2%であり、放射能レベルに応じて処分する。
- 低レベル放射性廃棄物については、今後、増加が見込まれることから、早期の処分実現に向けた取組が重要。
- クリアランス物についても、廃止措置の円滑化や資源の有効活用の観点から、更なる再利用先の拡大を推進するとともに、クリアランス制度の社会定着に向けた取組を進めることが重要。



クリアランス制度

クリアランス制度とは

- 放射能濃度が極めて低く人体への影響が無視できるレベルのものの中で、原子炉等規制法に基づき、原子力規制委員会による認可・確認を受けたものは、「核燃料物質によって汚染された物でないもの」として取り扱い、再利用も可能とすることができる制度（平成17年原子炉等規制法改正により導入）。
- 原子力規制委員会は以下の2段階で認可・確認。



原子力事業者等による対応状況

- 原子力事業者等は、「クリアランス制度が社会に定着するまでの間」、クリアランス金属の再生加工品については、電気事業施設・発電所内施設、原子力関連施設にて率先して再利用を行いながら、クリアランス金属が一般市場に流通することがないよう対応しているところ。
- また、原子力事業者等は再利用や展示の状況をホームページ等で公表し、制度の理解促進に努めながら再利用範囲の拡大を目指している状況。

目次

1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. 次世代革新炉の開発・建設

核燃料サイクル政策

- 核燃料サイクルは、①高レベル放射性廃棄物の減容化、②有害度低減、③資源の有効利用等の観点から、今後も原原子力発電を安定的に利用する上で、関係自治体や国際社会の理解を得つつ、引き続き推進することが重要である。

核燃料サイクルのメリット

軽水炉サイクル
(当面の姿)

高速炉サイクル
(将来的に目指す姿)

①減容化



■再処理：最大800トンU/年
原子力発電所40基/年 相当の
使用済燃料を再処理

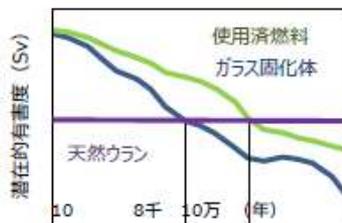


体積比約1/4に



体積比約1/7に

②有害度低減



毒性が自然界並に低減する期間

[Bq] 100万年 → 数万～10万年

[Sv] 10万年 → 8千年

[Bq] 900年

[Sv] 300年

③資源の有効利用



■MOX：最大130トンHM/年

新たに1～2割の燃料

800トンの使用済燃料から100トン程度のMOX燃料
(プルサーマル12基/年 相当)

更なる有効利用

核燃料サイクルの確立に向けた取組

①六ヶ所再処理工場・MOX燃料工場の竣工、②使用済燃料対策の推進、③最終処分の実現、④プルトニウムバランスの確保 等の取組を加速

○プルトニウムバランスの確保

- プルサーマル計画に基づき、2030年度までに少なくとも12基でプルサーマルを実施
- プルトニウムの回収と利用のバランスを管理

(2018. 7 我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方)
(2020.12 プルサーマル計画)
(2024. 2 プルトニウム利用計画)

○ウラン燃料

サプライチェーンの確保

- 経済安全保障推進法に基づき、「特定重要物資」にウランを指定
- 国内ウラン濃縮に対し支援を決定

(2024. 2 「特定重要物資」にウランを指定)
(2024.12 日本原燃の供給確保計画の認可)

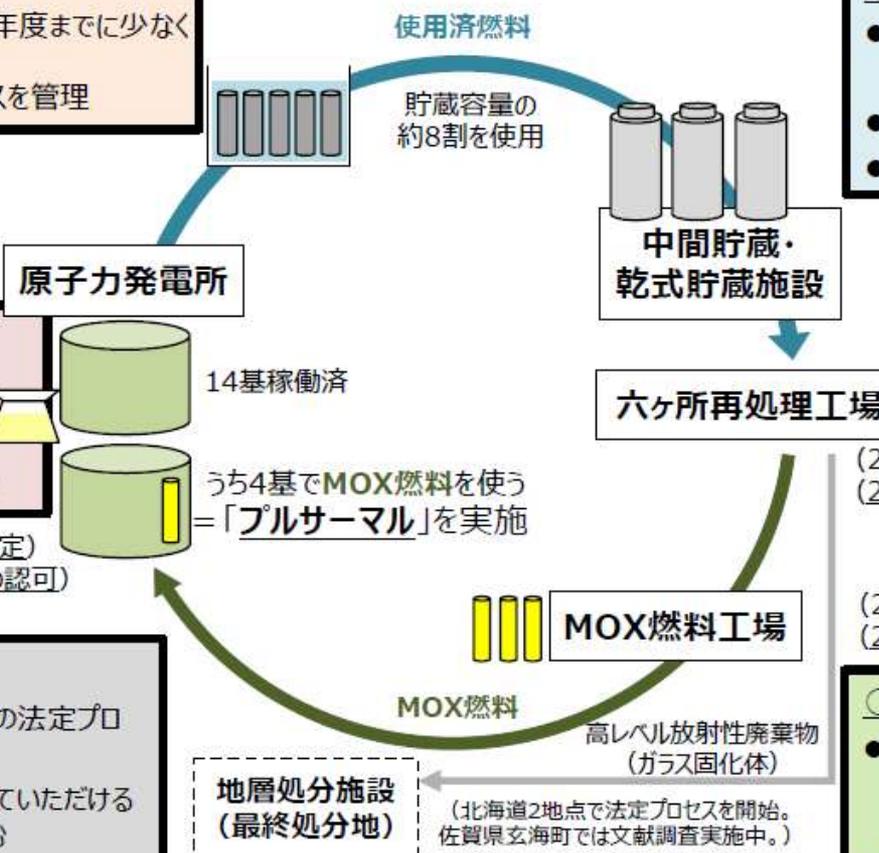
○最終処分の実現

- 北海道2地点で文献調査報告書の法定プロセスを開始
- できるだけ多くの地域で関心を持っていただけるよう、全国での対話活動に取り組む

○使用済燃料対策の推進

- 業界全体で貯蔵能力の拡大を推進
2030年頃に容量を約3万トンへ
- 業界大の連携・協力を推進
- 使用済MOX燃料の技術開発を加速

(2020. 9 伊方 許可)
(2020.11 RFS 許可)
(2021. 4 玄海 許可)
(2024. 1 使用済燃料対策推進計画 改訂)
(2024. 11 RFS 事業開始)



中間貯蔵・乾式貯蔵施設

六ヶ所再処理工場

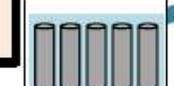
MOX燃料工場

地層処分施設 (最終処分地)

原子力発電所

使用済燃料
貯蔵容量の約8割を使用

MOX燃料
高レベル放射性廃棄物 (ガス固化体)



14基稼働済
うち4基でMOX燃料を使う
=「プルサーマル」を実施

(2020. 7 許可)
(2022.12 第1回設工認取得)

(2020.12 許可)
(2022. 9 第1回設工認取得)

(北海道2地点で法定プロセスを開始。
佐賀県玄海町では文献調査実施中。)

六ヶ所再処理工場・MOX燃料工場の概要

使用済燃料を再処理し、MOX燃料として再利用する核燃料サイクルを進める上で、六ヶ所再処理工場とMOX燃料工場は中核となる施設

六ヶ所再処理工場の経緯

1993年4月 着工
 1999年12月 使用済燃料搬入開始
 2006年3月 アクティブ試験開始 → ガラス溶融炉の試験停止
 2013年5月 ガラス固化試験完了
 2014年1月 新規制基準への適合申請
2020年7月 事業変更許可
2022年12月 第1回設工認認可・第2回設工認申請
 → 安全対策工事や使用前事業者検査を経て竣工
2026年度中 竣工目標



使用済燃料の最大処理能力：800トンU/年

MOX燃料工場の経緯

2010年10月 着工
 2014年1月 新規制基準への適合申請
2020年12月 事業変更許可
 第1回設工認申請
 2022年9月 **第1回設工認認可**
 2023年2月 **第2回設工認申請**
 → 安全対策工事や使用前事業者検査を経て竣工
2027年度中 竣工目標



最大加工能力：130トン-HM（ヘビーメタル*）/年

* MOX中のPuとUの金属成分の重量を表す単位

プルトニウムの着実な利用

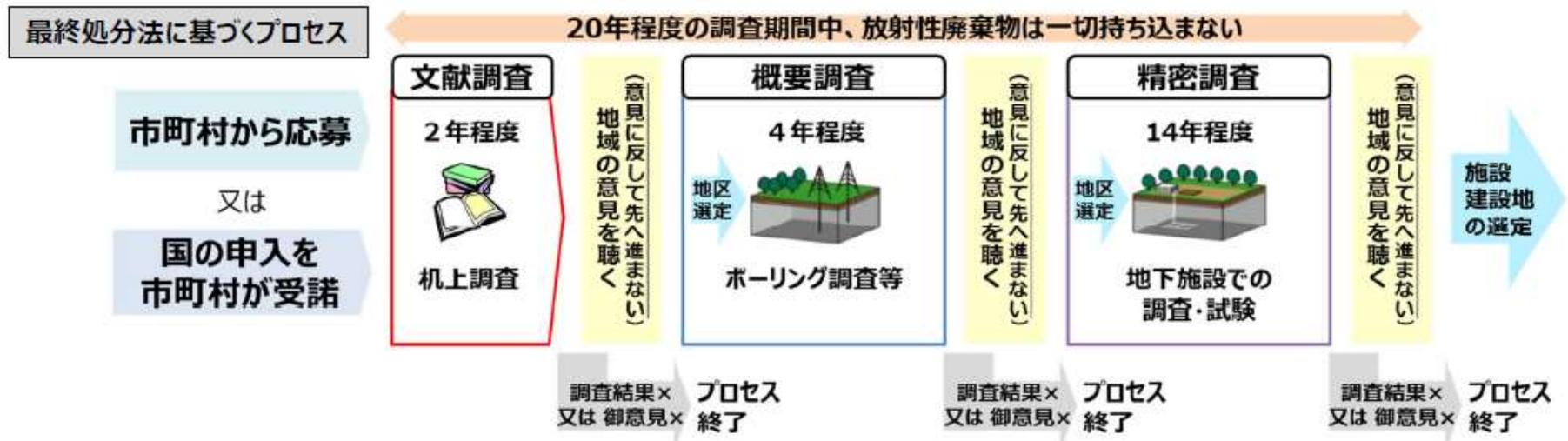
- 核燃料サイクルを進める上で、2018年に原子力委員会が策定した「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」に基づいて、「利用目的のないプルトニウムは持たない」との原則を堅持し、**保有するプルトニウム量が、47.3トン(2017年末時点の保有量)を超えないように、適切に管理することが必要**である。
- 2023年末時点の我が国のプルトニウム保有量は44.5トンである。また、2024年3月に示された原子力委員会の見解(※)において、「将来的にはプルトニウム保有量が減少する見通しを示すことが重要」とされている。
- 現在、英国・仏国にある我が国保有のプルトニウムに加えて、今後、六ヶ所再処理工場が稼働していく中で、同工場で取り出されたプルトニウムについても着実な利用を進め、資源の有効利用や廃棄物量・有害度の低減といった核燃料サイクルの効果を、最大限発揮できるよう、**核燃料サイクルを実効的に回していくことが重要**となる。
- これまでも、再稼働・プルサーマルの推進や、プルサーマルに関する地元の御理解に向けた取組、国内外のプルトニウム保有量削減に向けた事業者間連携の具体化、などに取り組んできたが、例えば、当面の間、事業者間でプルサーマルが可能な原子力発電所の数に差があると想定されるなどの課題もある。
- そのため、六ヶ所再処理工場の竣工・稼働を見据えて、プルトニウムの着実な利用と、適切な管理を図っていくため、**事業者間の連携・調整機能を強化する枠組みの在り方**を検討し、必要な対応を進めていくことが必要。

ウラン燃料に関する国際動向

- 脱炭素化を進めつつ、AI時代における新たな電力需要に対応するため、原子力を積極的に活用していく流れが世界的に加速している。
- これに伴って、世界的な天然ウランの需要の増加が見込まれる中、ウクライナ侵略が長期化している状況で、ウラン燃料のサプライチェーンにおけるロシアへの依存度低減に向けた動きが欧米諸国で進展しており、また、同志国間での協力の重要性も認識されている。
- 我が国は、国産のウラン濃縮技術を有するとともに、濃縮・再転換・燃料成形加工・再処理・MOX燃料加工の産業を有している。一方、東日本震災後、原子力発電所の稼働基数が大幅に減少し、ウラン燃料に関する技術・産業の維持に向けた課題が生じている。
- こうした状況を踏まえ、戦略的にウラン燃料に関する技術を維持するとともに、六ヶ所再処理工場で回収されるウランの利用も含め、一定程度の自律性を有する持続可能なウラン燃料供給を確保するため、経済安全保障推進法による支援制度なども活用しつつ、官民で取組を進めていくことが必要。
- また、例えば、次世代革新炉に関する技術開発を通じて、経済性向上に資する燃料について知見を蓄積することで、国際的に貢献していくことも可能と考えられる。
- このような取組を通じ、中長期的に、同志国間での安定的・自律的なウラン燃料のサプライチェーン確保に向けて、積極的に貢献していくことが重要。

最終処分に関する経緯（高レベル放射性廃棄物）

- 2000年 「最終処分法」制定、NUMO 設立 → 全国公募開始（手挙げ方式）
- 2007年 高知県東洋町が応募/取り下げ
- 2015年 最終処分法に基づく「基本方針」改定
 - 国が前面に立つ観点から、
 - ・ 科学的により適性の高いと考えられる地域を提示
 - ・ 理解状況等を踏まえた国から自治体への申入れ等
- 2017年 「科学的特性マップ」公表 → 全国各地で説明会を実施中
- 2020年 北海道2自治体（寿都町、神恵内村）において「文献調査」開始
- 2023年 最終処分法に基づく「基本方針」改定 → 文献調査の実施地域拡大に向けた取組強化
- 2024年 佐賀県玄海町で「文献調査」開始
北海道2自治体の文献調査報告書案について法定プロセス（公告・縦覧、説明会等）を開始

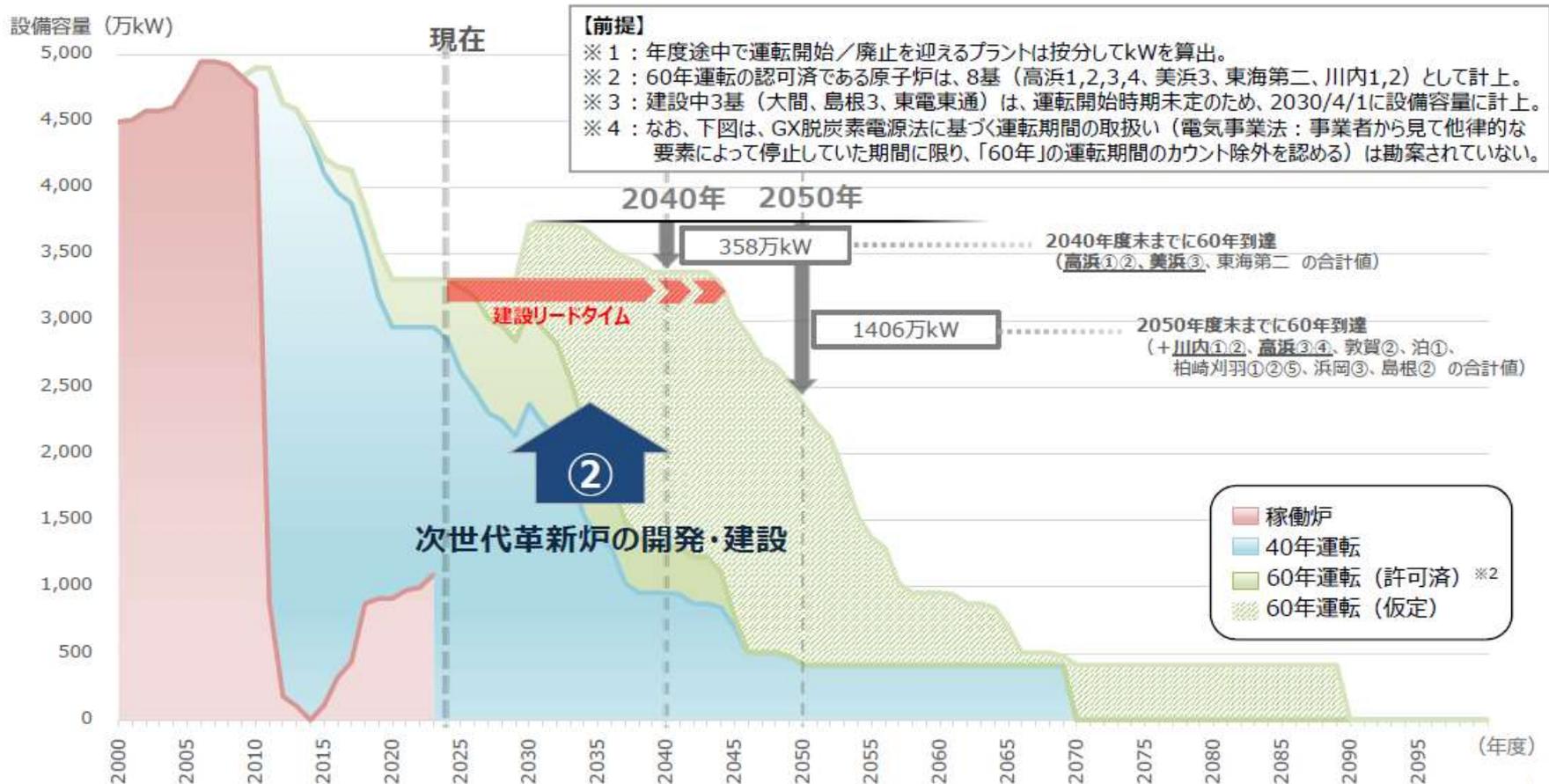


目次

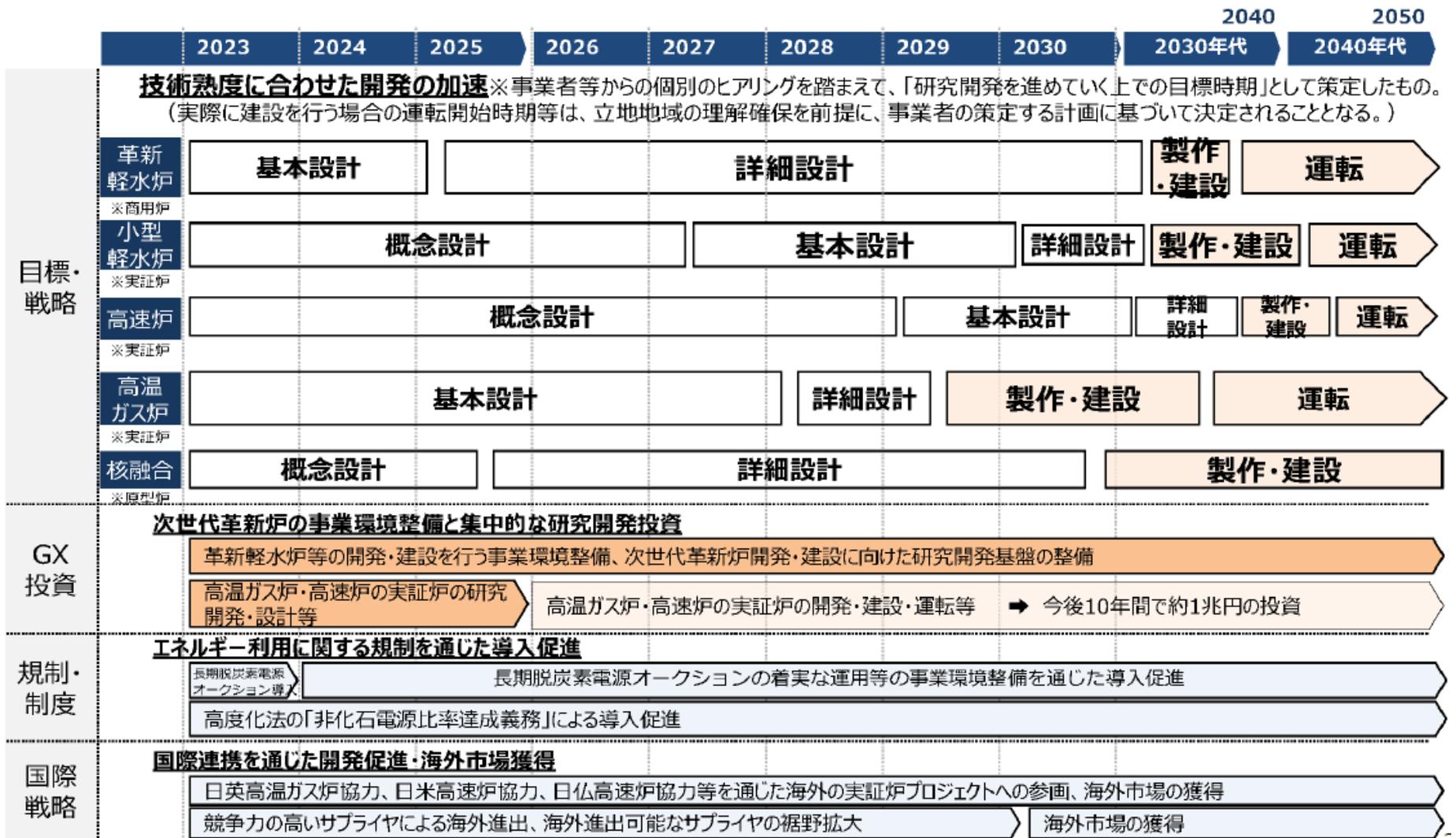
1. 第7次エネルギー基本計画における原子力の位置づけ
2. 原子力の特長
3. 既設の原子力発電所の現状と再稼働
4. 福島第一原子力発電所の廃炉
5. 通常炉の廃止措置
6. 核燃料サイクルと高レベル廃棄物の処理処分
7. **次世代革新炉の開発・建設**
(革新軽水炉・高温ガス炉・高速炉・SMR・核融合炉)

次世代革新炉の開発・建設

- GX推進戦略(昨年7月閣議決定):「原子力の安全性向上を目指し、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」、「地域の理解確保を大前提に、廃炉を決定した原発の敷地内での次世代革新炉への建て替え」を対象として、具体化を進めていく。



次世代革新炉開発のロードマップ



次世代革新炉の種類と現状

革新軽水炉



◆ 三菱重工業 (SRZ-1200)

【特徴】

- 設計段階から新たな安全メカニズムを組み込むことにより、事故の発生リスクを抑制し、万一の事故があった場合にも放射性物質の放出を回避・抑制する機能を強化。

【現状】

- 標準設計は概ね終了。規制基準を明確にするため、現在、原子力エネルギー協議会 (ATENA) と規制委員会とで意見交換中。
- 経産省予算にて、新たな要素技術の成熟度を高める研究開発や実証試験を支援。

SMR (小型モジュール炉)



◆ GE日立 (BWRX-300)



◆ NuScale (VOYGR)

【特徴】

- 出力が30万kW以下の小型軽水炉。自然循環により、冷却ポンプや外部電源なしで炉心冷却が可能。

【現状】

- 米国やカナダにおいて、データセンターへの電力供給などの目的で、2030年手前での運開を目指し、開発が進められている。
- 海外プロジェクトへの日本企業の参画や研究開発を支援。

高速炉



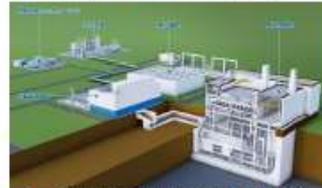
◆ 三菱重工業 (実証炉)

- 冷却材にナトリウムを利用することでプルトニウム燃焼を効率的に行う。
- 廃棄物量・有害度低減、資源の有効利用など核燃料サイクルの効果を向上。

【現状】

- GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を2023年に開始。米国や仏国とも連携。
- 2024年7月、炉と燃料サイクルの研究開発全体を統合してマネジメントする組織をJAEAに設置。電力やメーカー、JAEAのメンバーで構成。

高温ガス炉



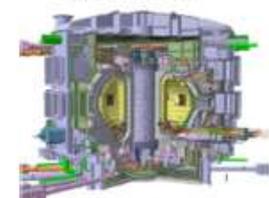
◆ 三菱重工業 (実証炉)

- 発電だけでなく高温熱を利用して水素製造を行う。
- 冷却材に化学的に安定なヘリウムを利用。減速材に耐熱性や蓄熱性等に優れた黒鉛を利用することで冷却機能を喪失しても自然に冷温停止が可能。

【現状】

- GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を2023年に開始。英国とも連携。並行して試験炉「HTTR」による水素製造試験を目指す。
- HTTRへの水素製造施設の接続に向けて、2024年度中に原子炉設置変更許可申請予定。

核融合



◆ ITER (実験炉)

【特徴】

- 核融合反応から得られる熱エネルギーを利用して発電。

【現状】

- 米国の核融合スタートアップ企業を中心に2030年前後での核融合実用化を掲げ、多様な炉型の開発への挑戦が発表されている。
- 日本においても、スタートアップ企業がトカマク型、ヘリカル型、レーザー型などそれぞれの炉型での実現を目指す。

国内の革新軽水炉の開発状況

- 国内PWR4電力と三菱重工業は、革新軽水炉「SRZ-1200」の共同開発を推進しており、2022年9月に基本設計を進めていくことを公表。
- 日立GEや東芝ESSにおいても「HI-ABWR」や「iBR」の開発を推進。

三菱重工業 SRZ-1200
電気出力：約1,210MWe

日立GE HI-ABWR
電気出力：1,350~1,500MWe

東芝ESS iBR
電気出力：800~1,600MWe



革新軽水炉 (SRZ-1200) の概要

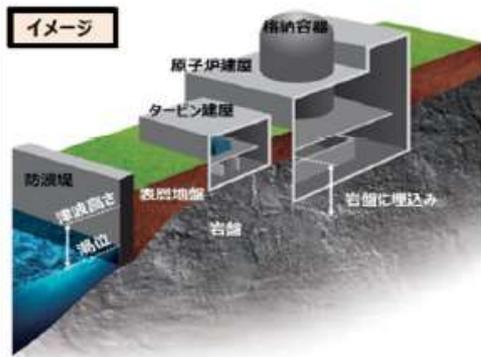
①地震・津波対策の向上、②多重化等による信頼性向上、③事故時の更なる信頼性向上 等により、高い安全性の実現を目指す。

①地震・津波対策の向上

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、国内の厳しい地震条件にも余裕をもった耐震設計や、津波影響の受けない設計の採用による、自然現象への対策の向上

(例)

- ① 強固な岩盤に埋め込む等で、地震時の建屋安定性を高める設計
- ② 想定される津波高さより高い敷地に設置することによる津波侵入防止



2024.8.20 第40回 原子力小委員会資料4 (ATENA提出資料) より抜粋

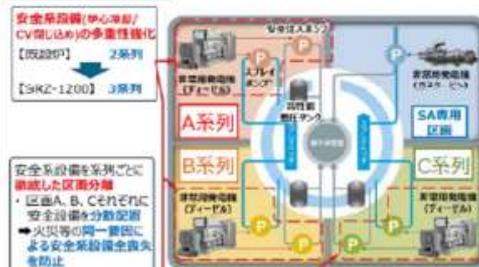
②多重化等による信頼性向上

安全系設備の多重化や区画分離の徹底、常設設備を基本とした重大事故等対応による信頼性の向上

(例)

- ① 安全系設備の多重化による信頼性向上
- ② 区画分離の徹底による火災等の同一要因による安全機能喪失の防止
- ③ 常設設備を基本とした重大事故等対応による信頼性向上 (既設：可搬型設備を基本)

①②のイメージ



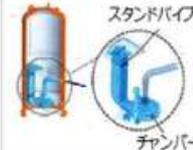
③事故時の更なる信頼性向上

重大事故等対応設備について、電源を必要としないパッシブ安全設備の導入による信頼性の向上

(例)

- ① 高性能蓄圧タンクの採用による、既設プラントで必要となる動的ポンプの機能の一部を集約することによる炉心冷却の信頼性向上
- ② 熔融炉心を薄く拡げた上で、拡がりを検知して自動的に冷却水を注水可能なコアキャッチャーを採用

①のイメージ

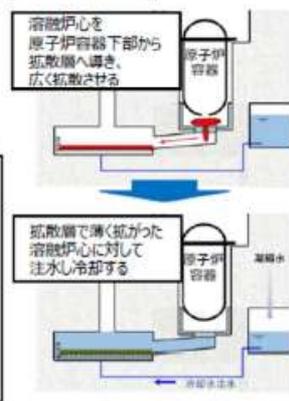


タンク内水位の低下に伴い、パッシブに炉心注水流量が大流量から小流量へ切り換わる設計

【タンク水位が高い時】スタンドパイプ上部開口とチャンバーの2か所から取水することで大流量で炉心へ注水

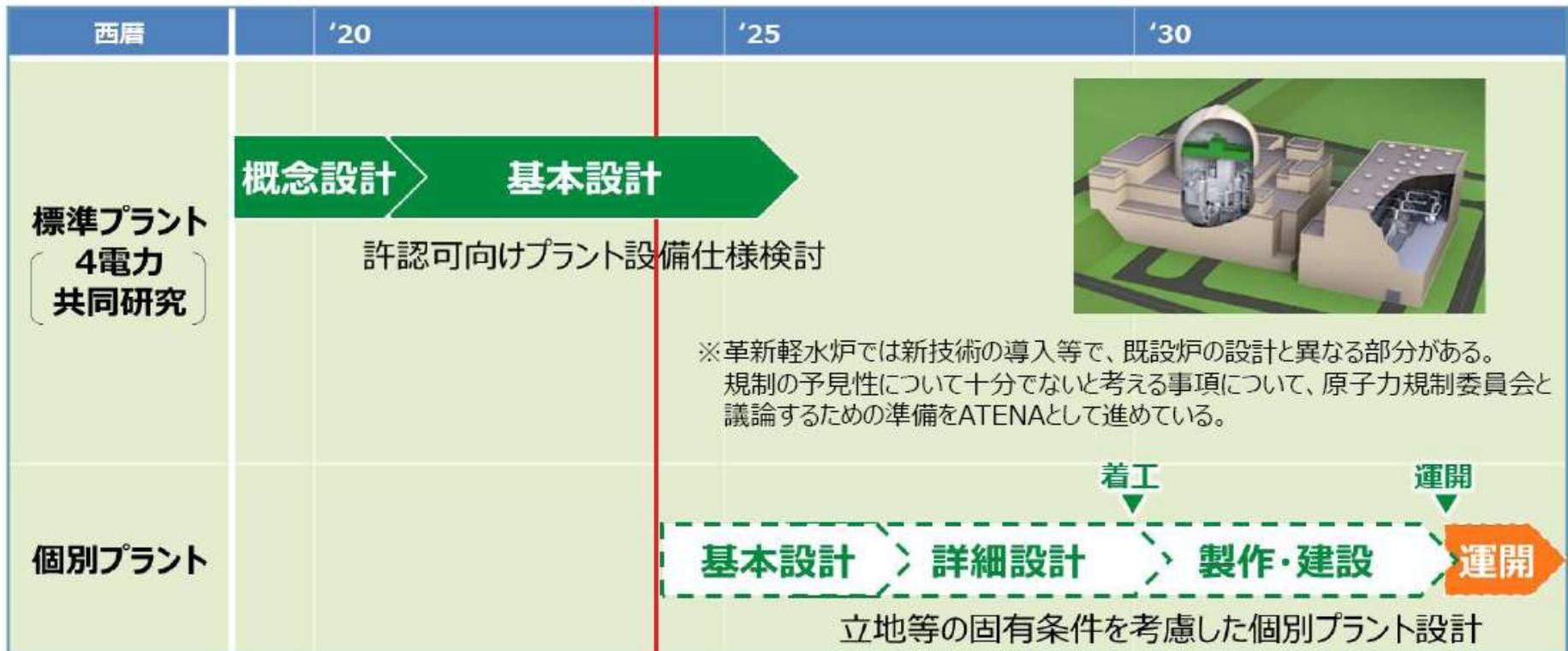
【タンク水位が低下】水位低下に伴い、取水箇所がチャンバーのみとなることで注水流量が抑制される

②のイメージ



SRZ-1200の設計建設に向けたロードマップ

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の反省を踏まえて作られた現行規制基準の理念は革新軽水炉においても踏襲する認識で開発。
- 既設軽水炉の技術をベースに開発しているが、多くの追加安全対策を施した既設軽水炉と異なり、革新軽水炉では設計段階から合理的に安全対策を取り込むことが可能であり、既設軽水炉とは異なる技術も採用しながら、高い安全性を実現可能。



高速炉による廃棄物・資源問題解決への貢献

- 核燃料サイクルは、①高レベル放射性廃棄物の減容化、②有害度低減、③資源の有効利用 等の観点から、引き続き推進することが重要。
- 高速炉では、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度が自然界並に低減する期間が10万年から300年に。長期的には資源の有効利用も可能であり、エネルギーセキュリティの確保にも貢献。核燃料サイクルの効果をより高める可能性。

高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減

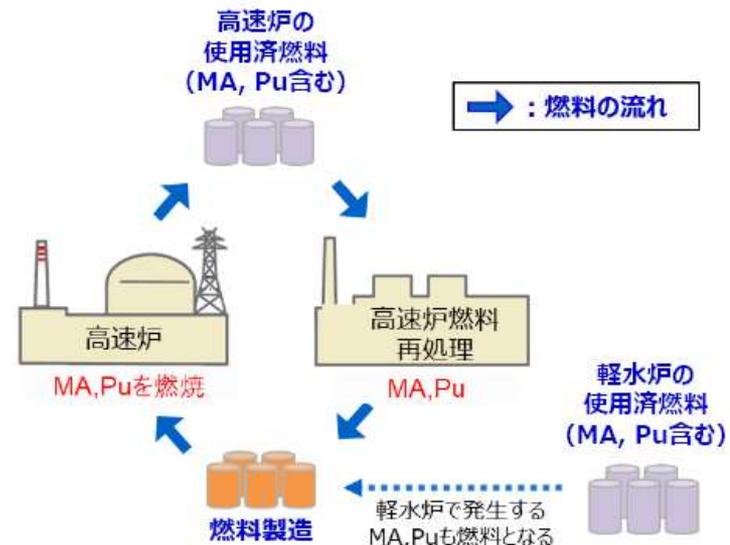
高速炉サイクル

- マイナーアクチノイド（MA） 燃焼等でナトリウム冷却高速炉が米加で脚光を浴びる。



資源の有効利用

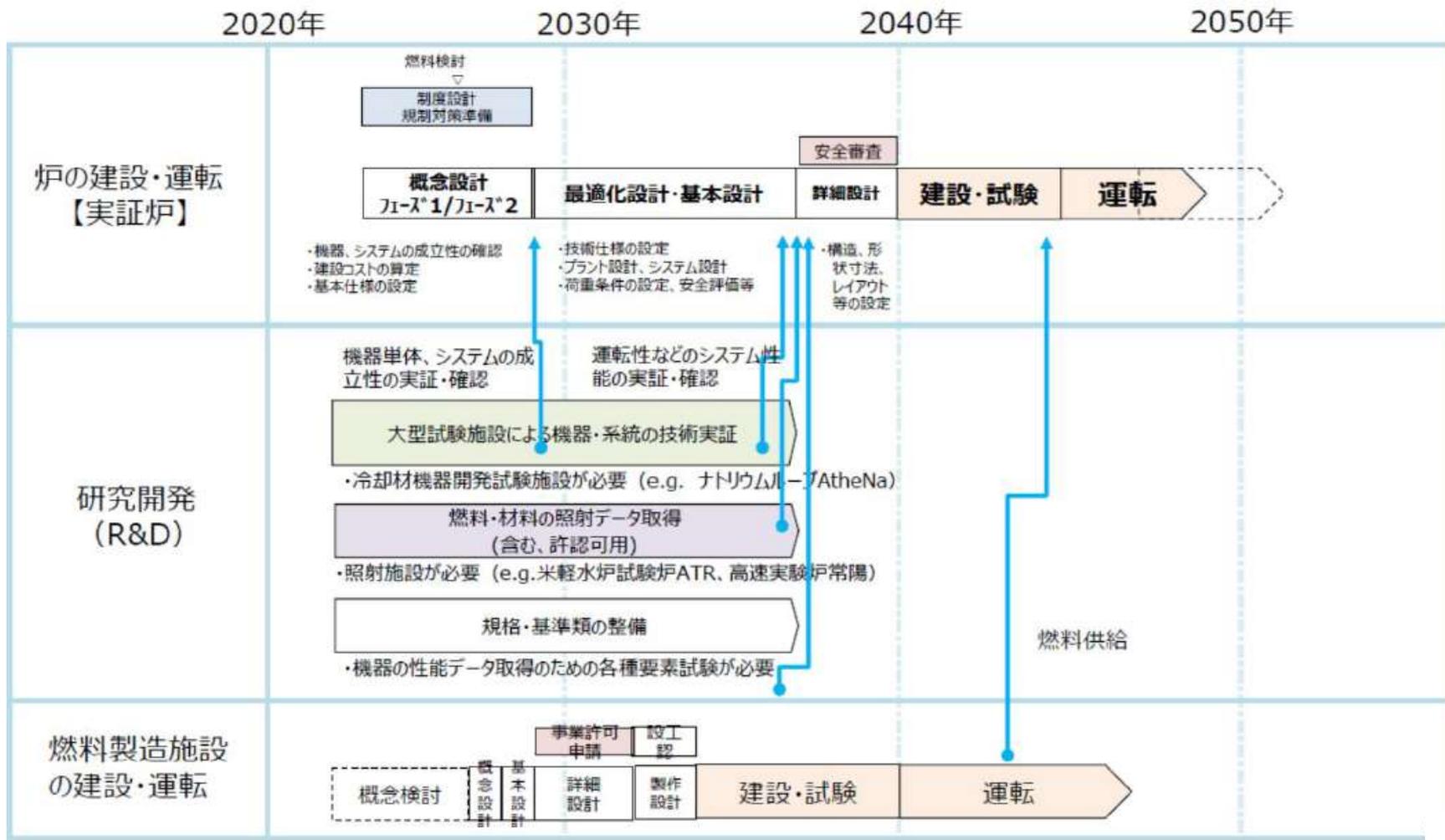
- 使用済燃料の再処理を経て製造した燃料を、軽水炉（プルサーマル）や高速炉で利用することで、資源を有効利用。



導入に向けた技術ロードマップ(高速炉)

※事業者等からの個別の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。)



高速炉実証炉開発事業

- 2023年3月、炉概念の仕様と将来的にはその製造・建設を担う事業者（中核企業）の公募を実施、7月12日の高速炉開発会議戦略ワーキンググループにおいて、炉概念として三菱FBRシステムズ株式会社が提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を、中核企業として三菱重工業株式会社を選定して、GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を9月から開始。
- 2024年7月、炉と燃料サイクルの研究開発全体を一定のレベルまで完遂するとともに、両者を統合して基本設計に繋げていく機能（研究開発統合機能）を担う組織として、高速炉サイクルプロジェクト推進室をJAEAに設立。当該プロジェクト推進室による開発作業マネジメントの下、設計・研究開発に取り組んでいる。

＜高速炉実証炉開発の今後の作業計画＞

- 2023 年夏：炉概念の仕様を選定 【23/7/12選定済】
- 2024 年度～2028 年度：実証炉の概念設計・研究開発
- 2026年度頃：燃料技術の具体的な検討
- 2028 年度頃：実証炉の基本設計・許認可手続きへの移行判断

※戦略ロードマップ(令和4年12月23日 原子力関係閣僚会議)を基に作成

＜ナトリウム冷却タンク型高速炉（イメージ）＞

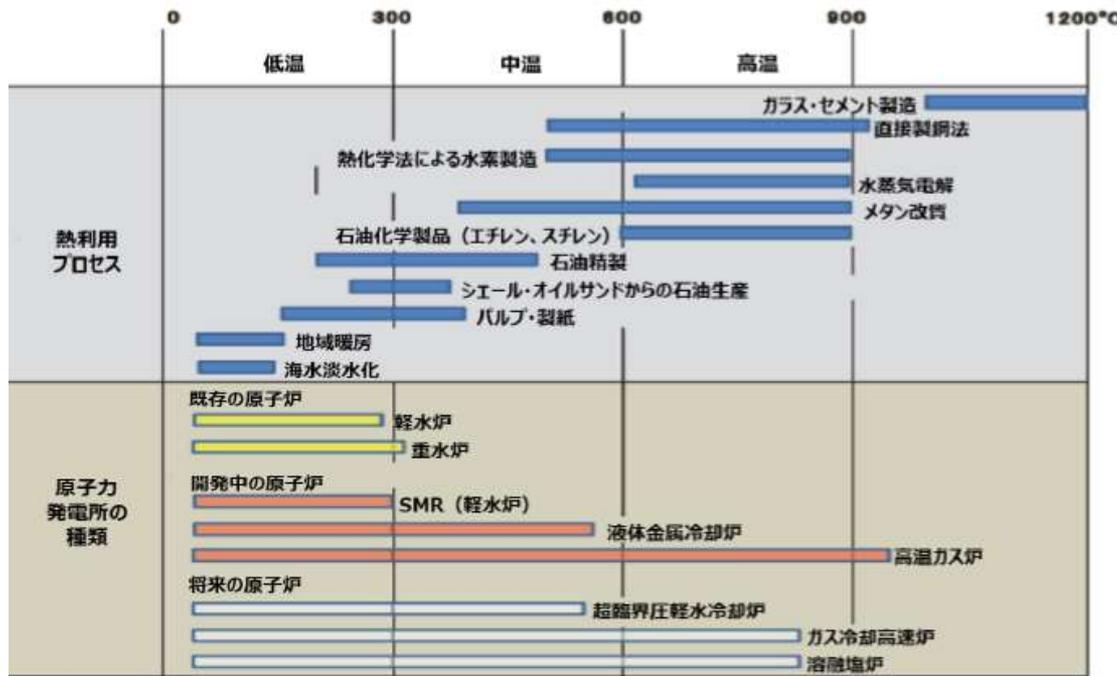


(出所) 三菱重工業株式会社PRESS INFORMATION (2023.07.12)
日本政府が開発を推進する高速炉実証炉の設計、開発を担う中核企業に選定
2040年代の運転開始に向け、ナトリウム冷却高速炉の概念設計などを推進

高温ガス炉による水素社会への貢献

- 将来的な水素社会において、鉄鋼・化学等における原料、輸送機器や発電における燃料としては、大規模かつ経済的な水素の安定供給が必要。
- 高温ガス炉では950°Cの高温熱が取り出せることから、水素製造や発電など熱のカスケード利用が可能。

熱利用プロセスと各炉型の温度範囲



(出所) IAEA Nuclear Energy Series, Opportunities for Cogeneration with Nuclear Energy

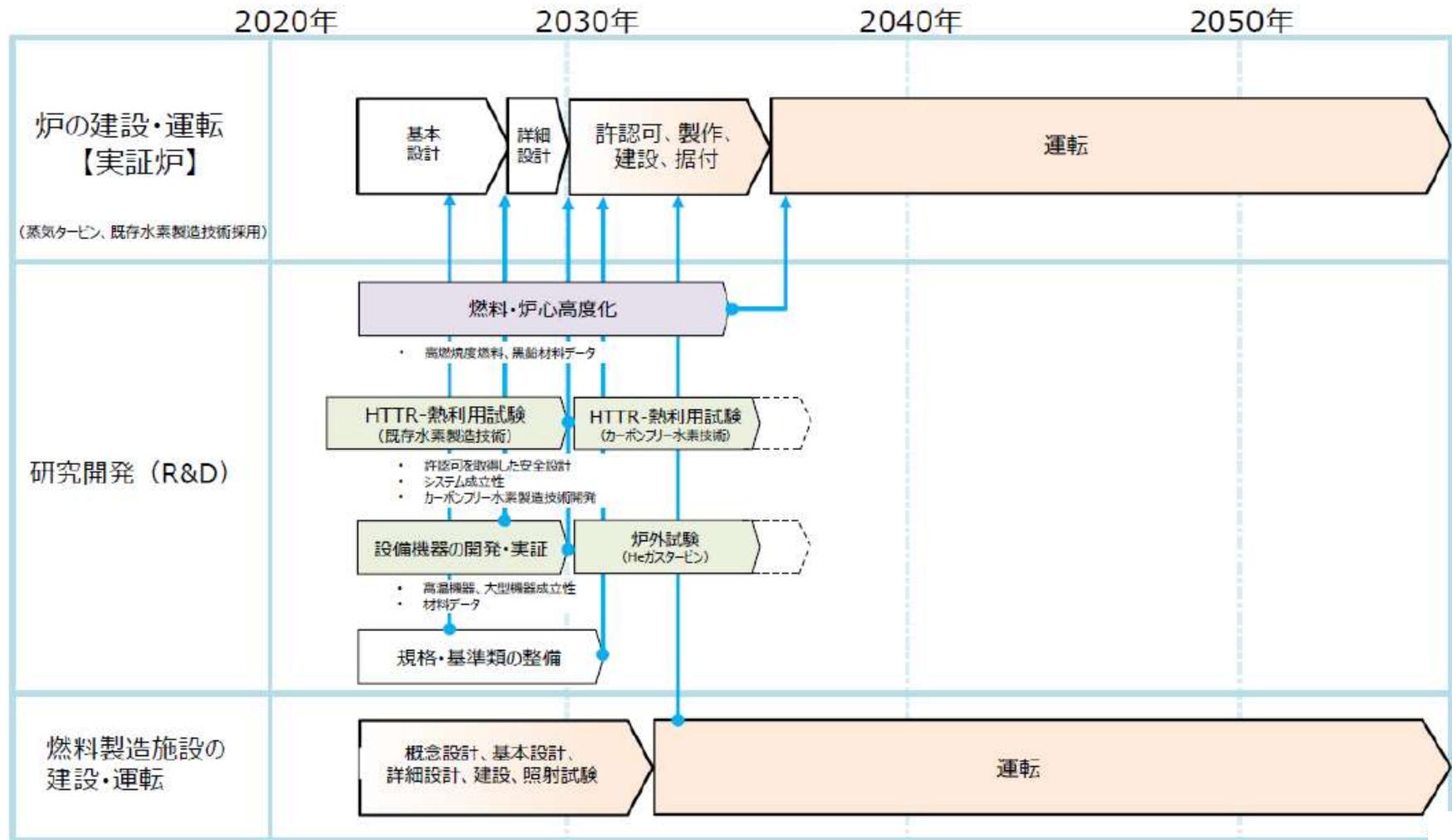
水素社会での高温ガス炉活用のイメージ



導入に向けた技術ロードマップ(高温ガス炉)

※事業者等からの個別の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。)



高温ガス炉実証炉開発計画

- 2023年3月、基本設計を実施するとともに将来的にはその製造・建設を担う事業者(中核企業)の公募を実施、第三者の有識者で構成される技術評価委員会にて審査の結果、2023年7月25日、中核企業として三菱重工業株式会社を選定して、GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を8月から開始。
- 2024年3月、試験炉HTTRにて出力100%の状態から急遽停止する安全性実証試験を実施。
- 高温ガス炉の固有の安全性を立証した。
- HTTRへの水素製造施設(水蒸気改質、高温SOEC、水蒸気熱分解、メタン熱分解)の接続に向けて、2024年度中に原子炉設置変更許可申請予定。

<高温ガス炉実証炉 今後の開発の作業計画>

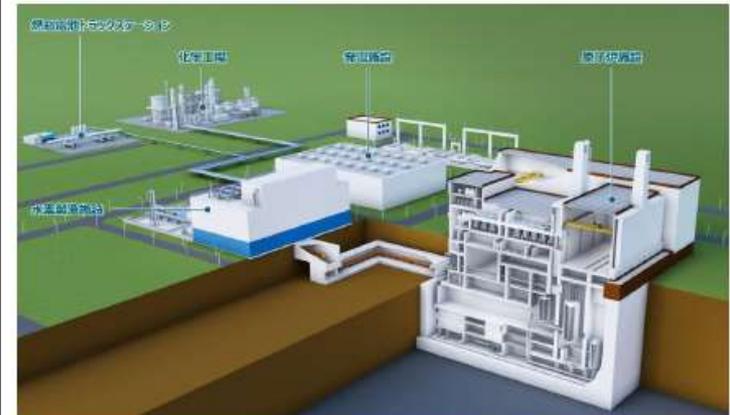
事業開始～2030 年度：実証炉の基本設計・詳細設計

2030年度～2030年代後半：許認可の取得、建設、据付

2030年代後半：運転開始

※革新炉開発の技術ロードマップ(令和4年11月2日 革新炉ワーキンググループ)を基に作成

<高温ガス炉 (イメージ) >



(出所) 三菱重工業株式会社PRESS INFORMATION (2023.07.25)
 経済産業省が推進する高温ガス炉実証炉開発の中核企業に選定
 2030年代の実証炉建設に向け、研究開発・設計を積極的に推進

革新炉の種類(米国の例)

革新炉の種類



多様な市場ニーズを満たすための幅広いサイズと特徴

マイクロ炉
(<20MW)



Oklo (上図)
約12基を開発中

軽水炉型SMR
<300MW



NuScale (上図)
GEH X-300
Holtec SMR-160

高温ガス炉



The Xe-100
A Different Kind of Nuclear Reactor

X-energy (上図)
複数基を開発中

液体金属炉



TerraPowerのNatrium (上図)
複数基を開発中

溶融塩炉



Terrestrial (上図)
複数基を開発中

非水冷

ほとんどが300MW未満、一部は1,000 MWの規模

「VOYGR」(米・NuScale社)の動向

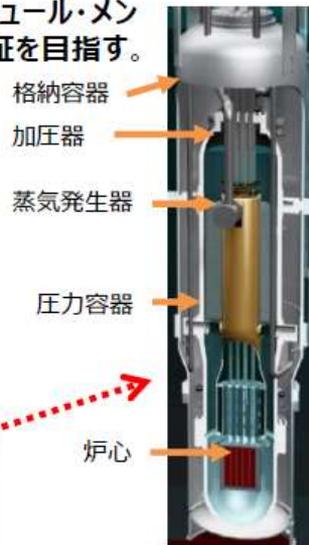
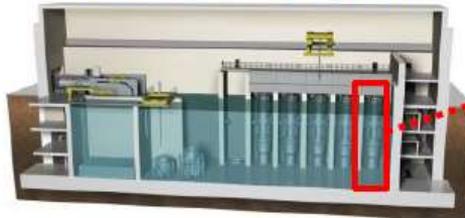
- 米NuScale社は米国エネルギー省の支援で開発を進め、初号機プロジェクト(CFPP)は中止となったが、オハイオ州とペンシルベニア州にて2029年に米国内での運転開始を目指す。
- ルーマニアでは、これまでの事業計画段階から、建設を見据えた基本設計段階の契約締結やプロジェクトへの融資額の決定など進捗があった。また、ガーナにおいて新たな建設計画が立ち上がった。

概要

- 米NuScale社が開発するPWR型SMR。1モジュールの出力は7.7万kW。最大12モジュールを設置可能。
- 2023年11月、2029年運転開始を予定していた**Carbon Free Power Project(CFPP)**の中止発表。他方で、同年10月、米スタンダード・パワー社がオハイオ州とペンシルベニア州に立地するデータセンターへの電力源として採用発表。
- 経産省予算にて、日揮・IHIが、モジュール・メンテナンス機器等の課題についての実証を目指す。

特徴

- 蒸気発生器と圧力容器の一体化により、小型かつシンプルな設計で安全性を向上。
- 蒸気自然循環により、冷却ポンプ、外部電源なしで炉心を冷却可能。



直近の動向

(ルーマニア)

- 2021年11月の米国・ルーマニア両政府間で発表された計画に基づき、ルーマニアのRoPower社(SMR建設プロジェクト会社)によるVOYGR建設プロジェクトが進行中。直近での進捗は以下の通り。
 - 4月、IAEAのSEED(立地及び外部事象設計レビュー)のフォローアップ評価が実施され、当該サイトがIAEAの安全基準に適合しているとの結果が示された。
 - 7月、ルーマニアの国営原子力発電会社SNNとRoPower社は米EPC大手のFluorと基本設計の第2段階の契約を締結。
 - 10月、米国輸出入銀行の取締役会が本プロジェクトの準備段階に要する資金として9800万ドルの融資の最終コミットメントを承認。

(ガーナ)

- 8月、ガーナの原子力発電公社(NPG)は米国のレグナム・テクノロジー・グループと当該炉型(12モジュール)を建設することで合意。NPGはレグナム社とともに、NuScaleを所有/運転する子会社を設立する計画。

「BWRX-300」(米・GE Hitachi社)の動向

- 2021年より、カナダの電力会社OPG社による**最速2029年運転開始**を目指すプロジェクトが進められている。
- ポーランドでは建設に向けた**環境・立地調査を開始**。また、カナダサスカチュワン州のサスクパワー社は、**建設候補地として2箇所を選定する進捗があった**。また、英国のSMR支援対象の1候補として選定された。

概要

- 米GE Hitachi社と日立GE社が共同開発する電気出力30万kW級のBWR型SMR。
- 2021年12月、カナダの電力会社OPG社が**オンタリオ州にて最速2029年運転開始を目指すプロジェクトに、当該炉型を選定**。
- 経産省予算にて、**日立GEの実温・実圧で試験できる設備を活用し、要素技術の実証**に向けて研究開発を実施中。

特徴

- 自然循環の利用によりポンプを排除、受動的冷却システムにより**電源・注水設備・運転員操作なしで7日間冷却可能**。
- 圧力容器に隔離弁を直付けすることで、**冷却材喪失事故の発生確率を削減**。



直近の動向

(ポーランド)

- 2023年12月、ポーランド環境省はOSGE社の国内6地点における**合計24基のBWRX-300建設計画に対しDIPを発給**。直近の進捗は以下の通り。
 - 2月、ポーランド環境保護総局は同社に対し、環境影響評価(EIA)の報告書作成に向けて記載すべき事項を提示。同社は**建設に向けて環境・立地調査を開始**。
 - 7月、同社はEU加盟10か国とノルウェーにある17企業の協力を得て、**BWRX-300の展開に向けた作業部会の設置**を欧州SMR産業アライアンスに申請。

(カナダ)

- 5月、カナダ中西部サスカチュワン州の州営電力サスクパワー社は、**建設候補地として、エステバン地域の2箇所を選定**。2025年初めに最終的なサイト選定を行う予定。

(イギリス)

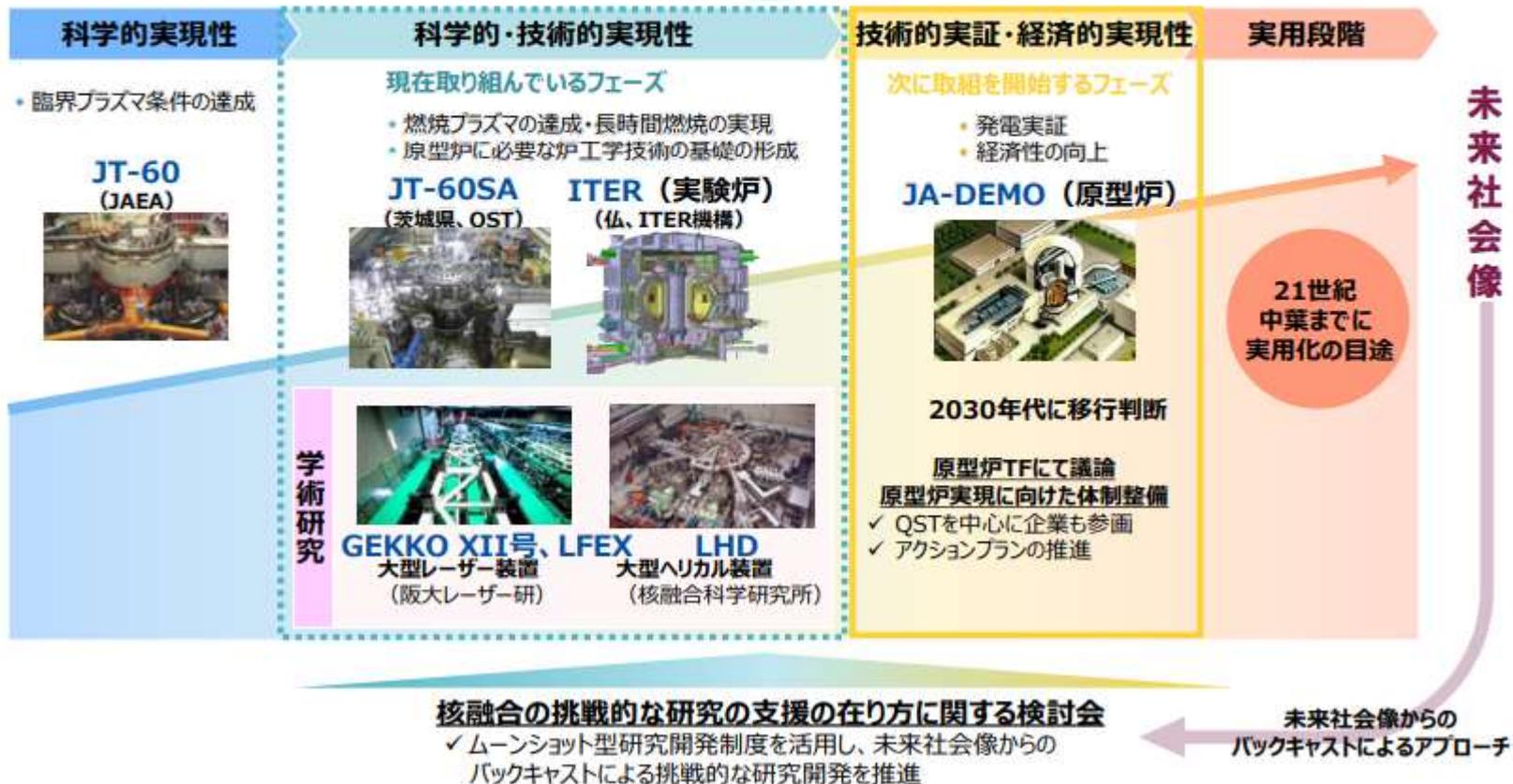
- 9月、英国政府機関(GBN)は、**SMR支援対象選定コンペでGE日立を含む4社を選定**。今後、最終選考に入る。英政府は2029年にSMRへの最終投資決定を行い、**2030年代半ばには運転を開始したい考え**。

フュージョンエネルギー(核融合)研究開発の全体像

- ◆ ITER計画等への参画を通じて科学的・技術的実現性を確認した上で、原型炉への移行を判断。
- ◆ 科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会等における議論を踏まえ、原型炉に必要な技術開発の進捗を定期的に確認しつつ、研究開発を推進。

SBIRフェーズ3基金 (Small Business Innovation Research)

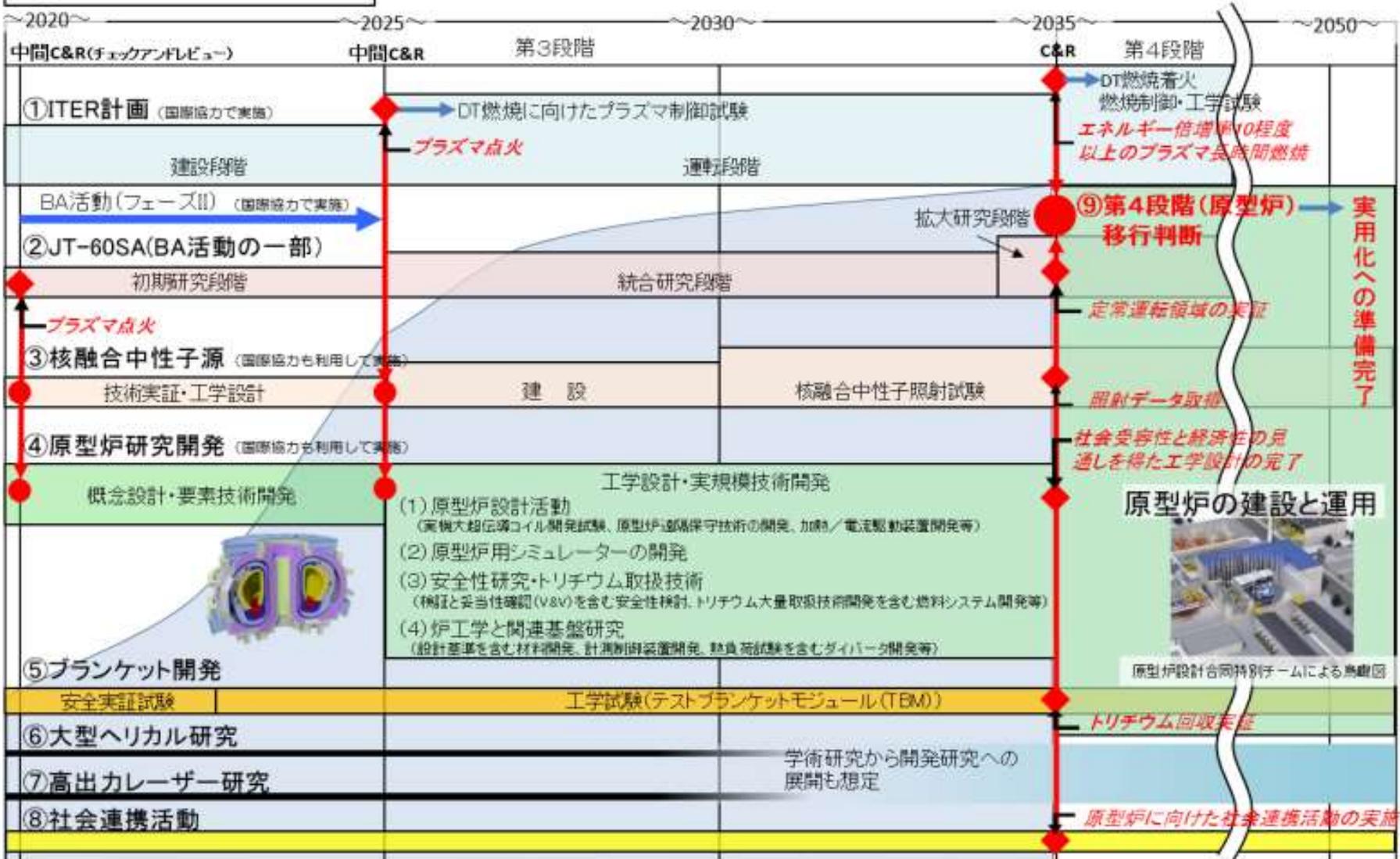
✓ 中小企業イノベーション創出推進基金を造成し、スタートアップなどの有する先端技術の社会実装を促進



原型炉研究開発ロードマップ

別紙

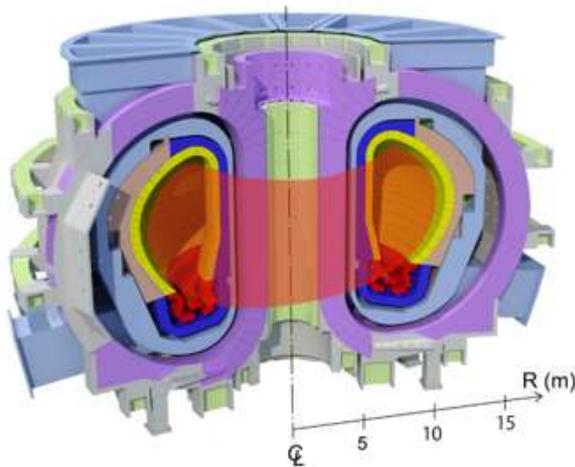
凡 ◆ 目標達成が求められる時点 ▲ 達成すべき目標
 例 ● 次段階への移行判断が求められる時点
▲ ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標



原型炉の構想図

JA DEMO

- ① 数十万kWを超える定常かつ安定した電気出力
- ② 実用に供し得る稼働率
- ③ 燃料の自己充足性を満足する総合的な三重水素増殖



R_p	8.5m	n_e/n_{GW}	1.2
a_p	2.42m	HH _{98y2}	1.3
B_{T0}	6T	冷却方式	PWR条件
I_p	12.3MA	稼働率	~70%
P_{aux}	<100MW	運転方式	定常運転
β_N	3.4	TBR	1.05

● 主冷却系の熱収支と設備所要電力を評価

核融合出力	150 万kW
有効熱出力	187 万kW
発電端出力	約64 万kW
循環・所内電力	約39 万kW
正味 (送電端) 出力	約25 万kW

核融合発電実証の早期実現に向けた検討



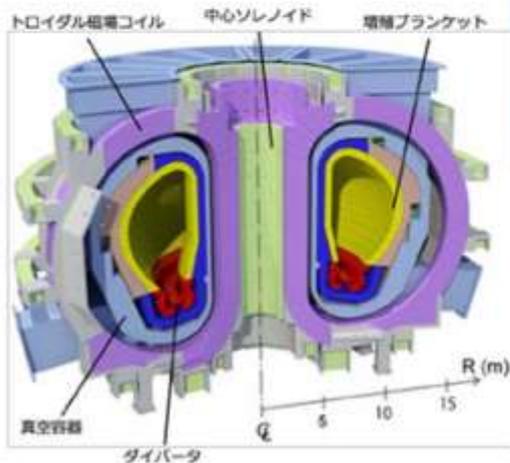
核融合科学技術委員会の提示した原型炉の目標

- ① 数十万kWの電気出力
- ② 実用に供し得る稼働率
- ③ 燃料の自己充足性

を満足するJA DEMOはITERの1.4倍のサイズ

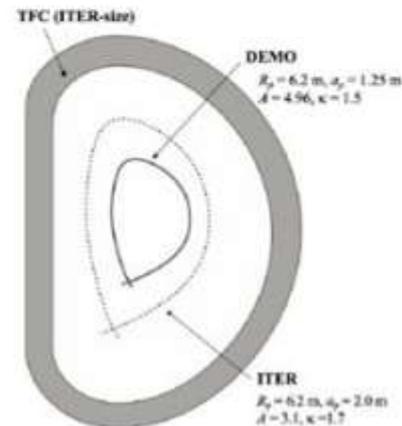


運転開始時から核融合科学技術委員会の目標①～③の同時達成を目指すのではなく、0.1GWクラスの発電実証を原型炉の第1期目標として定めることで移行判断の前倒しが可能ではないか、ということ念頭に、ITERサイズの原型炉が技術的に成立するかの検討を開始



JA DEMO
 主半径：8.5m
 小半径：2.42m
 核融合出力：1.5GW
 発電端出力：0.64GW

検討例（第1期）
 主半径：6.2m
 小半径：1.25m
 核融合出力：0.17GW
 発電端出力：0.07GW



- ITERと同じサイズのトロイダル磁場コイルや真空容器に、JA DEMOで設計が進められている増殖ブランケットを導入した場合、JA DEMOの1/10程度の発電量が見込める
- 主要機器を段階的にアップグレードする（第1期～第3期）ことで性能向上をめざす

核融合反応の実現を目指す多様な炉型

世界各国で、多様な炉型による取組が進展

磁場閉じ込め型			慣性閉じ込め型		
<p>トカマク型</p>  <p>(日) JA-DEMO</p>		<p>ヘリカル型</p>  <p>(日) 核融合科学研究所 (NIFS)</p>	<p>中心点火方式</p>  <p>(米) ローレンス・リバモア国立研究所</p>	<p>レーザー型 高速点火方式</p>  <p>(日) 阪大レーザー研 (日) EX-Fusion 19億円以上を調達</p>	 <p>(米) Blue laser fusion 2,500万ドルを調達</p>
<p>球状トカマク型</p>  <p>(英) Tokamak Energy 350億円以上を調達</p>		 <p>(中) ENN 260億円以上を調達</p>	<p>磁化標的核融合</p>  <p>(加) General Fusion 470億円以上を調達 ジェフ・ベソズ</p>	<p>Zピン</p>  <p>(米) Zap energy 260億円以上を調達</p>	 <p>(日) Helical Fusion 9億円以上を調達</p>
<p>逆磁場配位型</p>  <p>(米) Helion Energy 800億円以上を調達 サム・アルトマンなど</p>		 <p>(米) TAE Technologies 1,680億円以上を調達</p>	<p>ミラー型</p>  <p>(米) Lockheed Martin 飛行機や船等の動力源として開発中</p>	<p>その他</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <p>ミュオン触媒</p>  <p>(日) 中部大学 ミュオンの特徴 ● 強い結合カー核融合 ● 高い透過カー構造物イメージング等</p> </div> <div> <p>凝縮系</p>  <p>(日) クリーンプラネット 20億円以上を調達</p> </div> </div>	



フュージョンエネルギー・イノベーション戦略概要

- ✓ **フュージョンエネルギーを新たな産業として捉え、構築されつつある世界のサプライチェーン競争に我が国も機会を逸せずに参加。**
- ✓ **ITER計画/BA活動、原型炉開発と続くアプローチに加え、産業化等の多面的なアプローチによりフュージョンエネルギーの実用化を加速。**
- ✓ **産業協議会の設立、スタートアップ等の研究開発、安全規制に関する議論、新興技術の支援強化、教育プログラム等を展開。**

エネルギー・環境問題の解決策としてのフュージョンエネルギー

- ・2050年カーボンニュートラルの実現
 - ・ロシアのウクライナ侵略により国際的なエネルギー情勢が大きく変化
 - ・エネルギー安全保障の確保
-
- ・フュージョンエネルギーの特徴 (①カーボンニュートラル、②豊富な燃料、③固有の安全性、④環境保全性)
 - ・エネルギーの覇権が資源から技術を保有する者へとパラダイムシフト

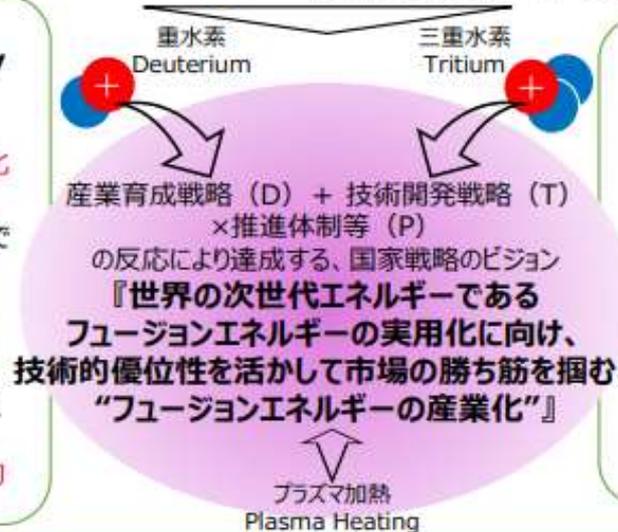
新たな産業としてのフュージョンエネルギー

- ・諸外国におけるフュージョンエネルギー開発への民間投資の増加
- ・米国や英国政府はフュージョンエネルギーの産業化を目標とした国家戦略を策定 (= 自国への技術の囲い込みを開始)
- ・技術的優位性と信頼性を有する我が国が、技術で勝って事業で負けるリスク
- ・他国にとっては有力なパートナーであり、海外市場を獲得するチャンス



フュージョンインダストリーの育成戦略 Developing the Fusion Industry

- 【見える】
- ・研究開発の加速による原型炉の早期実現
 - ・技術及び産業マップ作成による**ターゲット明確化**
- 【繋がる】
- ・R5年度の実現を目指す核融合産業協議会でのマッチング
- 【育てる】
- ・民間企業が保有する**技術シーズと産業ニーズのギャップを埋める支援をR5年度から強化**
 - ・安全規制・標準化に係る同志国間での議論への参画
 - ・固有の安全性等を踏まえた**安全確保の基本的な考え方の策定**



フュージョンテクノロジーの開発戦略 Technology

- ・**ゲームチェンジャー**となりうる**小型化・高度化**等の独創的な新興技術の支援策の強化
- ・ITER計画/BA活動を通じて**コア技術の獲得**
- ・将来の**原型炉開発を見据えた研究開発の加速**
- ・フュージョンエネルギーに関する**学術研究の推進**
- ・新技術を取り組むことを念頭においた**原型炉開発のアクションプランの推進**

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の推進体制等 Promotion

- ・内閣府が政府の司令塔となり、関係省庁と一丸となって推進
- ・原型炉開発に向けて、QSTを中心にアカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制 (**フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点の設立**)
- ・将来のキャリアパスを明確化し、フュージョンエネルギーに携わる人材を産学官で計画的な育成
- ・国内大学等における人材育成を強化するとともに、他分野や他国から優秀な人材の獲得 (**フュージョンエネルギー教育プログラムの提供**)
- ・国民の理解を深めるためのアウトリーチ活動の実施

次世代革新炉の開発・建設に向けたサプライチェーン支援

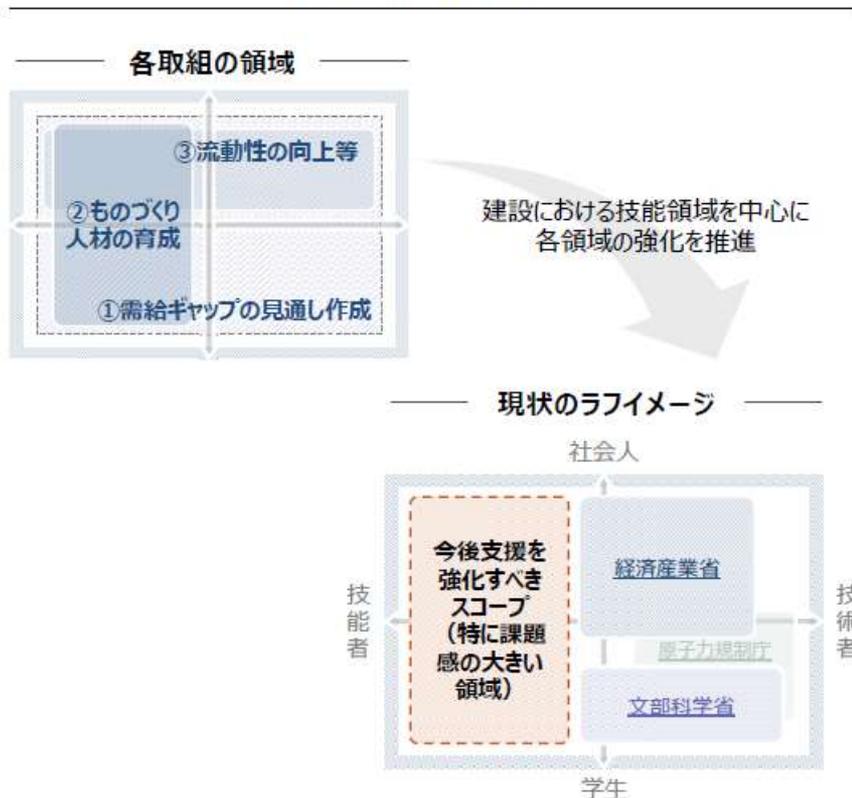
- 震災以降、新規建設プロジェクトが途絶する中で原子力の売上構成比の低さ等から、原子力規格・製造設備・人材の維持が難しく撤退を意識するサプライヤも存在。一方、高い国産率により国内経済や雇用に対する貢献度が高く、脱炭素電源の需要増による世界的な市場ニーズも拡大。
- 日本企業は、大型鍛造品や蒸気発生器・タービンなどサプライチェーンに関する高度な技術及び国際競争力を有しており、今後海外を含む新規建設・市場拡大が想定される中で、原子力サプライチェーンの維持・強化に取り組む必要がある。
- 次世代革新炉の建設に向けて、海外市場機会の獲得も見据え、供給途絶・人材不足等の課題を解決しながら、技術開発・人材育成・供給能力向上など企業の競争力を一層強化していくため、GX推進戦略等に則った更なる支援が重要。



原子力人材の育成・確保に向けた方向性

- 建設(ものづくり)における技能領域を中心に、各領域の強化を推進していくとともに、関係省庁・業界団体等との議論も行いながら、雇用数・必要人材数の需給ギャップ見通し作成、ものづくり人材の育成、流動性の向上などの施策に取り組みつつ、海外や他業界の事例を参考にしながら、今後更なる強化・改善策を検討。

今後の方向性イメージ



取組の概要

① 需給ギャップの見通し作成

- 産業界で求められる雇用数見通しを経済産業省及び原子力人材育成ネットワーク等が担い、文部科学省・ANECはその雇用数を輩出するために教育側で必要な人材数の定量把握・分析について、省庁や業界団体等の垣根を越えて相互に協働しながら進めていく

② ものづくり人材の育成

- 関係省庁や業界団体等と連携しつつ、先行トライアルの事例・経験も活かしながら、講座開発の領域拡充・幅広い層へのアプローチを通じて、展開エリアや技能分野等を拡大していく

③ 流動性の向上等

- リスキリング講座の拡充や魅力的な産業としての発信強化等の取組を通じて、アカデミアから原子力産業界に輩出される学生の裾野拡大に加え、他産業、他分野からの流動化を図っていく

原子力サプライチェーンによる市場獲得戦略



(出所) 各種資料より資源エネルギー庁作成

(注) 1. 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。

まとめ：今後の原子力政策の方向性と行動指針の概要

再稼働への 総力結集 (自主的安全性の向上)	既設炉の 最大限活用 (運転期間の取扱い)	次世代革新炉 の開発・建設 (開発・建設に向けた方針)	バックエンド プロセス加速化 (核燃料サイクルの推進)	サプライチェーンの 維持・強化 (国内のサプライチェーンの 維持・強化)	国際的な共通課題 の解決への貢献 (国際連携による研究開発促進やサプライチェーン構築等)
<ul style="list-style-type: none"> 「安全神話からの脱却」を不断に問い直す →事業者が幅広い関係者と連携した安全マネジメント改革 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力規制委員会による安全性の確認がなければ、運転できないことは大前提 利用政策の観点から、運転期間の在り方を整理 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力の価値実現、技術・人材維持・強化に向けて、地域理解を前提に、次世代革新炉の開発・建設に取り組む →廃炉を決定した原発の数地内での建て替えを対象に、バックエンド問題の進展も踏まえつつ具体化 →その他の開発・建設は、再稼働状況や理解確保等の進展等、今後の状況を踏まえ検討 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理工場竣工目標の実現、プルサーマル推進や使用済燃料貯蔵能力拡大への対応を強化 →事業者と規制当局とのコミュニケーション 緊密化等、安全審査等への確実・効率的な対応 →事業者が連携した地元理解に向けた取組強化、国による支援・主体的な対応 	<ul style="list-style-type: none"> 企業の個別の実情に応じたハズオンで積極的なサポート等、支援態勢を構築 →国による技能継承の支援、大学・高専との連携による現場スキルの習得推進等、戦略的な人材の確保・育成 →プラントメーカーとの連携・地方経済産業局の活用による、部品・素材の供給途絶対策、事業承継支援等へのサポート 	<ul style="list-style-type: none"> 主要国が共通して直面する当面の課題に貢献 →G7 会合等を活用した国際協力の更なる深化 →サプライチェーンの共同構築に向けた戦略提携 →米英仏等との戦略的な連携による自律的な次世代革新炉の研究開発の推進
<p>(立地地域との共生)</p> <ul style="list-style-type: none"> 地域ごとの実情やニーズに即した対応の強化 →将来像共創など、地域ニーズに応じた多面的支援・横展開 防災対策の不断の改善、自治体サポートの充実・強化 →実効的な意見交換・連携の枠組み構築と支援の強化等 	<ul style="list-style-type: none"> →地域・国民の理解確保や制度連続性等にも配慮し、現行制度と同様に期間上限は引き続き設定 →エネルギー供給の「自己決定力」確保、GX「牽引役」、安全への不断の組織改善を果たすことを確認した上で、一定の停止期間についてはカウントから除外 	<p>(事業環境整備のあり方)</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子力の価値実現に向けた次世代革新炉への投資促進 →実証炉開発への政策支援 →収入安定化に資する制度措置の検討・具体化等 	<p>(廃炉の円滑化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 着実・効率的な廃炉の実現、クリアランス物利用の理解促進 →知見・ノウハウの蓄積・共有や資金の確保等を行う制度措置 →クリアランス物の理解活動強化、リサイクルビジネスとの連携 	<p>(海外プロジェクトへの参画支援)</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術・人材の維持に向けて、海外での市場機会の獲得を官民で支援 →海外プロジェクトへの参画を目指す官民連携チーム組成、実績・強みの対外発信等 	<ul style="list-style-type: none"> (原子力安全・核セキュリティの確保) →ウクライナを始め、世界の原子力安全・核セキュリティ確保に貢献 →ウクライナに対するIAEAの取組支援、同志国との連携による原子力導入の支援等
<p>(国民各層とのコミュニケーション)</p> <ul style="list-style-type: none"> 一方通行的な情報提供にとどまらない、質・量の強化・充実、継続的な振り返りと改善検討 →目的や対象の再整理、コンテンツ・ツールの多様化・改善 	<p>(設備利用率の向上)</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全性確保を大前提に、自己決定力やGX等へ貢献 →規制当局との共通理解の醸成を図りつつ、運転サイクルの長期化、運転中保全の導入拡大等を検討 	<p>(研究開発態勢の整備)</p> <ul style="list-style-type: none"> 官民のリソースを結集して、実効的な開発態勢を整備 →将来見通しの明確化・共有、プロジェクトベースでの支援、「司令塔機能」の確立等 →米英仏等との戦略的な連携による自律的な次世代革新炉の研究開発の推進 →フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の推進に向けた、関連産業の育成、研究開発の加速 	<p>(最終処分の実現)</p> <ul style="list-style-type: none"> 事業の意義、貢献いただく地域への敬意等を社会に広く共有、国の主体的取組を抜本強化するため、政府一丸となって、かつ、政府の責任で取り組む →関係府省庁連携の体制構築 →国主導での理解活動の推進 →NUMO・事業者の地域に根ざした理解活動の推進 →技術基盤の強化、国際連携の強化 	<ul style="list-style-type: none"> →原子力施設の安全確保等に向けた国際社会との連携強化 	
		<p>(基盤インフラ整備・人材育成等)</p> <ul style="list-style-type: none"> 次世代革新炉の研究開発や、そのための人材育成の基礎を構築 →基盤的研究開発やインフラ整備に対する必要な支援の加速 医療用ラジオアイソトープの国内製造や研究開発の推進等 →JRR-3や常陽を用いた製造 →研究炉・加速器による製造のための技術開発支援 			

参考文献

ご清聴ありがとうございました。

ご質問は、

t-terai@iae.or.jp

および

teraitaka@aol.com

まで お願いいたします。

引用元資料

資源エネルギー庁「第7次エネルギー基本計画(原案) (2016.12)」

資源エネルギー庁「エネルギー基本計画(原案)の概要(2016.12)」

資源エネルギー庁「原子力小委員会におけるこれまでの議論の整理(2016.12)」

資源エネルギー庁「エネルギーをめぐる社会動向を踏まえた革新炉開発の価値(2016.4)」ほか

総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ 資料
など