

大間原子力発電所における
フルMOX-ABWRへの取り組み
導入用教材

目次

- ①原子力のエネルギー利用を進めていくための取り組み
- ②核燃料サイクルへの取り組み
- ③フルMOX-ABWRへの取り組み

①原子力のエネルギー利用を進めていくための取り組み

- 我が国の原子力エネルギー利用の推進については、「令和6年度版 原子力白書」（2025年6月発刊）において、以下のように示されている。

原子力エネルギーは、地球温暖化対策に貢献しつつ電力を経済的かつ安定的に供給できる電源の役割を果たすことが期待されています。一方、2016年の電力小売全面自由化により、原子力発電も市場の競争原理の下に置かれています。安全性の確保を大前提に既設原子力発電所の長期利用、次世代革新炉の開発・設置など適切に原子力のエネルギー利用を進めていくことが必要です。また、海外において先進炉や革新炉といわれる原子炉の開発・建設が加速しています。世界市場への展開も見据え、これらの動きに戦略的に関与を深めていくことが重要となります。

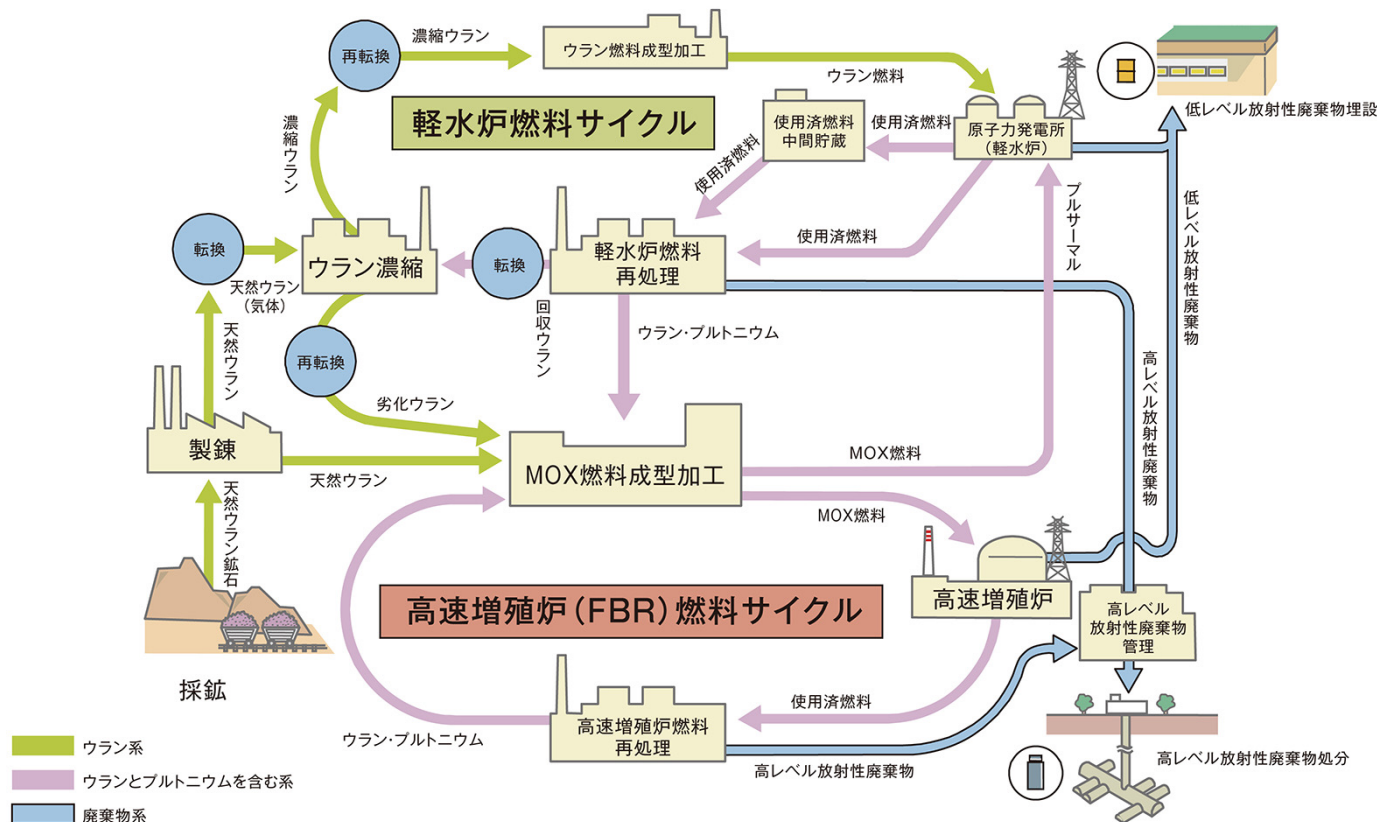
さらに、使用済燃料を資源として有効利用する核燃料サイクルの確立に向けて着実に取り組んでいくことも重要です。使用済MOX 燃料の再処理に係る研究開発や次世代革新炉を導入する場合の対応など、中長期の核燃料サイクル全体の運用の安定化に向けて、官民が柔軟性をもって取り組む必要があります。

また、我が国の原子力利用は、原子力立地地域の関係者の理解と協力に支えられてきています。今後も、立地地域との共生に向けた取組が必要不可欠です。

②核燃料サイクルへの取り組み（核燃料サイクルの概念）

- 核燃料サイクルは、原子力発電所で発生する使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を再び燃料として有効利用することであり、以下の上流側・下流側プロセスに大別される。
 - 上流側プロセス：ウラン燃料の製造から発電まで
 - 下流側プロセス：使用済燃料からウラン及びプルトニウムを分離・回収する再処理、MOX 燃料の成型加工、MOX 燃料の軽水炉での利用（プルサーマル）、放射性廃棄物の処理・処分等
- 我が国では、高速炉開発の推進を含めた核燃料サイクルの推進を基本方針としている。

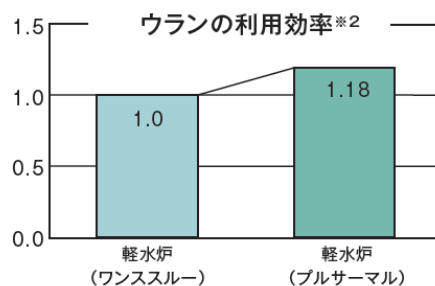
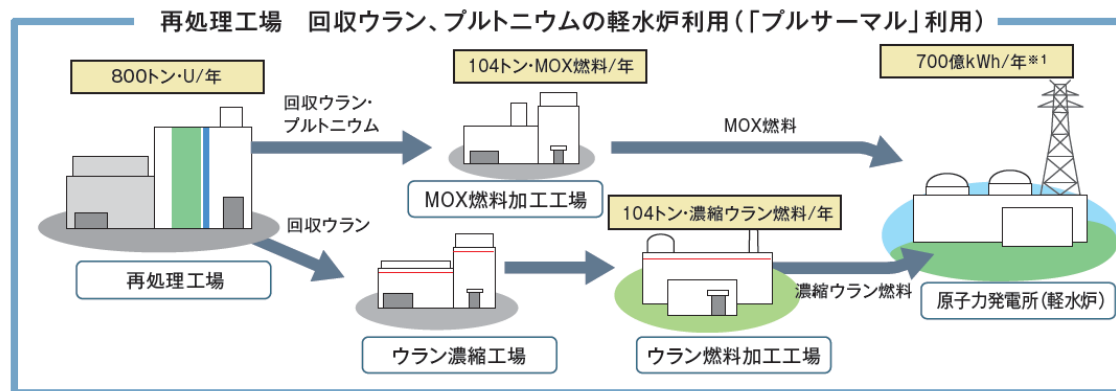
「令和6年度版原子力白書」（原子力委員会）（<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2024/>）より引用



②核燃料サイクルへの取り組み（ウランの利用効率）

- プルサーマルにより、以下のとおり、ウランの使用済燃料を再処理し分離・回収したウラン及びプルトニウムをMOX燃料に再利用（回収ウランはウラン燃料にも再利用可能）することで、ウランの利用効率を1.2倍程度とすることが可能。

ウラン資源のリサイクル利用(資源の有効活用)



※1 700億kWhは、電気出力100万kWの原子炉10基を1年間運転した時の発電量に相当する…出典(1)

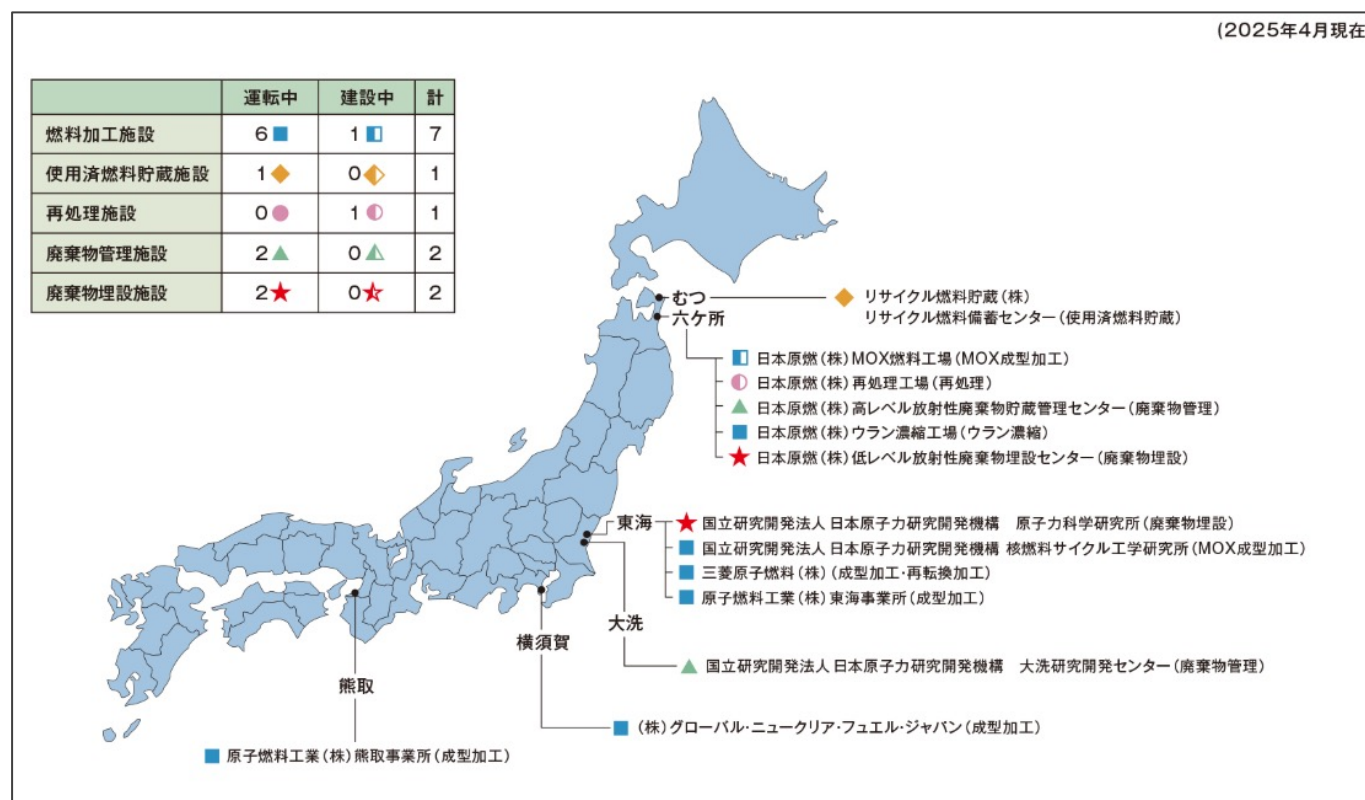
※2 高速炉サイクルの実用化によるプルトニウム利用によりウラン利用効率を約30倍に高めることが期待される……出典(2)

出典：(1) 原子力委員会新計画策定会議（第5回、第7回、第8回）資料（平成16年）、(2) OECD・IAEA「URANIUM2003」より作成

②核燃料サイクルへの取り組み（核燃料サイクルに関する我が国の基本方針）

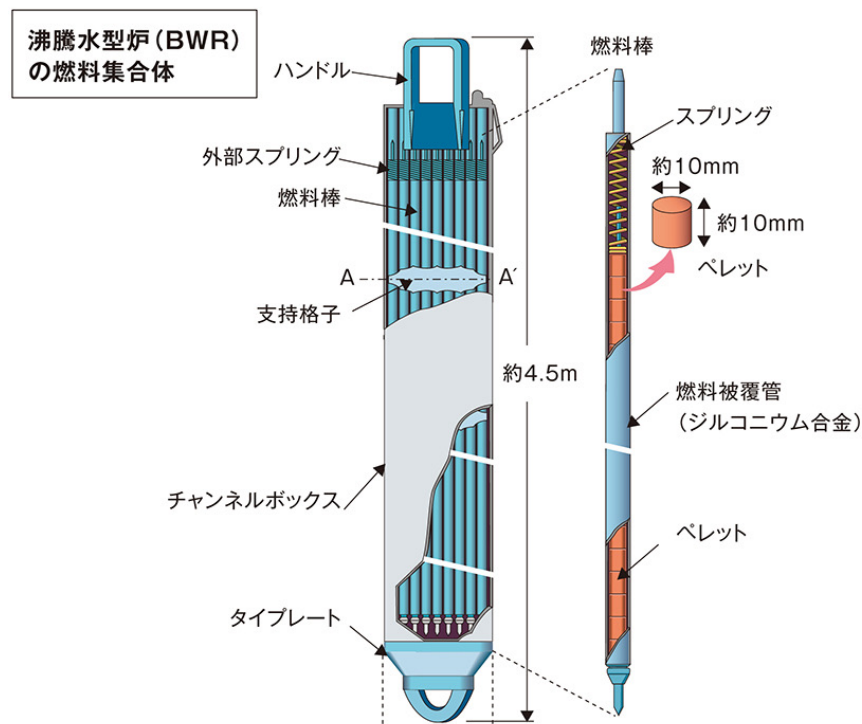
- 我が国では、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、核燃料サイクルの推進を基本方針としている。
- この基本方針に基づき、核燃料サイクル施設や原子力発電所の立地地域を始めとする国民の理解と協力を得つつ、安全性の確保を大前提に、国や原子力事業者等による中長期的な取組が進められている。

「令和6年度版原子力白書」（原子力委員会）（<https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2024/>）より引用

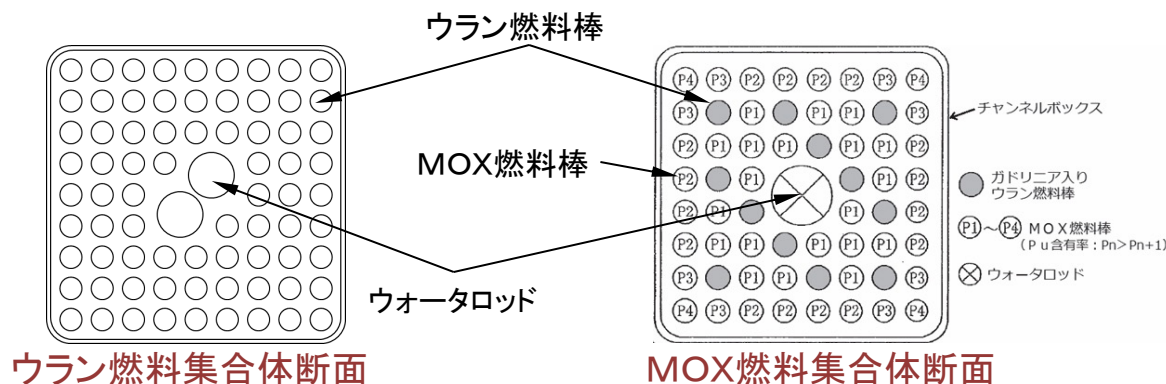


②核燃料サイクルへの取り組み（MOX燃料の概要）

- 原子力発電所で使い終わった燃料には、再利用できるプルトニウムとウランが残っている。そこで、使用済燃料を再処理して取り出したプルトニウムとウランを混合して作った混合酸化物燃料が、MOX（Mixed Oxide）燃料である。
- MOX燃料は、ウラン燃料と同じように、ペレットに焼き固められ、燃料被覆管内に密閉されて燃料棒となり、燃料集合体に組み立てられる。



【4】出典：原子力・エネルギー図面集



【5】出典：小林哲朗，解説：ABWRにおけるMOX燃料の全炉心利用技術 フルMOXの技術的バックグラウンドは何か？，日本原子力学会誌ATOMOS，2014，56巻，6号，pp. 378-383

②核燃料サイクルへの取り組み（軽水炉によるMOX燃料利用（プルサーマル）の方針）

- 「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」（2018 年原子力委員会決定）では、プルトニウムの需給バランスを確保し、その保有量を必要最小限とする方針が明示されている。
- 上記を踏まえ、「新たなプルサーマル計画について」（2020年電気事業連合会公表）において、2030年度までに少なくとも12基の原子炉でプルサーマルの実施を目指すとしている。
- 第7次エネルギー基本計画においても、原子力事業者は、地元理解を前提に、事業者間の連携・協力を深めつつプルサーマルを一層推進することとしている。
- 国内の軽水炉では、5基でMOX燃料の利用実績がある。海外では、1970年代からMOX燃料利用が開始され、フランス、ドイツ、スイス、ベルギー等で40年以上の利用実績がある。

電力会社名	プラント名	装荷 ^注 開始	MOX 燃料の累積装荷数	状況
九州電力	玄海 3 号機	2009 年	36 体	再稼働
四国電力	伊方 3 号機	2010 年	21 体	再稼働
関西電力	高浜 3 号機	2010 年	44 体	再稼働
	高浜 4 号機	2016 年	36 体	再稼働
東京電力	福島第一 3 号機	2010 年	32 体	2012 年 4 月廃止決定

注：原子炉の炉心に燃料集合体を入れること

②核燃料サイクルへの取り組み（日本のプルトニウム管理状況）

- ・ 我が国は、原子力基本法に基づき原子力の研究、開発及び利用を厳に平和の目的に限り行っている。
- ・ 政策上の平和利用の観点からは、プルトニウムに関しては、「利用目的のないプルトニウムは持たない」との原則を堅持するとともに、原子力委員会は、プルトニウム保有量を減少させる方針等を公表した。
- ・ 令和6年末時点で国内外において管理されている我が国の分離プルトニウム総量は約44.4トン。うち、国内保管分は約8.6トン、海外保管分は約35.8トン。
- ・ 「海外に保管中の分離プルトニウム」は、原則として、海外でMOX燃料に加工され、我が国の実用発電炉で利用される（プルサーマル）

「令和6年における我が国のプルトニウム管理状況」（原子力委員会）（<https://www.aec.go.jp/bunya/04/plutonium/20250805.pdf>）より引用

【分離プルトニウムの管理状況^(注1)】

		令和5年末時点	令和6年末時点
総 量 ^(注2)	国内で保管中		約44. 5トン
			約44. 4トン
	海外で 保管中	(計)	約8. 6トン
		英国	約8. 6トン
		仏国	約35. 8トン
			約35. 8トン
		英国	約21. 7トン
		仏国	約21. 7トン
			約14. 1トン

(注1) 分離プルトニウムは、核的損耗(核燃料物質の自然崩壊により損耗(減少)した量)等を考慮している。

(注2) 四捨五入の関係で合計が合わない場合がある。

【6】 出典：日本原子力委員会ウェブサイト（<https://www.aec.go.jp/bunya/04/plutonium/20250805.pdf>）、PDL1.0（https://www.digital.go.jp/resources/open_data/public_data_license_v1.0）

③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX-ABWRの政策的位置づけ）

- 改良型沸騰水型原子炉（ABWR）において全炉心でのMOX燃料の利用（フルMOX）を目指す「フルMOX-ABWR」は、以下の原子力委員会決定のもと進められている。

新型転換炉実証炉建設計画の見直しについて（平成7年8月25日原子力委員会決定）（抜粋）

2,新型転換炉実証炉建設計画の代替計画

(2)全炉心MOX燃料装荷可能な改良型沸騰水型軽水炉(フルMOX-ABWR)の検討

電気事業連合会から提案のあった全炉心MOX燃料装荷を目指すABWRについて,上記観点から検討すると,

- ①中期的な核燃料リサイクルの中核的担い手である軽水炉によるMOX燃料利用計画の柔軟性を広げるという政策的な位置づけを持つ。
- ②現在建設中のABWRの基本仕様の変更を伴うことなく実施可能との技術的見通しがあり,経済性についても実用炉として十分な見通しを有する。また,フルMOX-ABWRの建設・運転等に当たっては,新型転換炉の研究開発で得られた成果を活用できる。
- ③全炉心にMOX燃料を装荷することにより新型転換炉実証炉の2倍強の量のプルトニウム利用が可能であり,プルトニウム需給バランスも確保される。

と評価されることから,代替計画として適切であると判断される。

(3)フルMOX-ABWRの進め方

このフルMOX-ABWRの建設については,電源開発(株)が地元の理解を得つつ実施主体として責任を持って取り組んでいくべきものであるが,国及び電気事業者の適切な支援の下,当該計画が円滑かつ確実に実施されることを期待する。

③フルMOX-ABWRへの取り組み（大間原子力発電所の沿革）

- 国内唯一のフルMOX-ABWRである大間原子力発電所は、原子力委員会決定を受け建設することとされ、2008年に原子炉設置許可を取得し、建設工事に着手した。
- 2011年3月の東日本大震災を受け、2014年12月に設置変更許可を申請しており、新規制基準適合性に係る審査が継続中です（2025年現在）。

1976年4月	大間町商工会が同町議会に対し原子力発電所設置に係る環境調査の実施を請願
1982年8月	原子力委員会は当社を実施主体とする新型転換炉（ATR）実証炉計画を決定
1984年12月	大間町議会が原子力発電所誘致を決議
1985年6月	当社、計画（ATR）を取り纏め、漁協はじめ地元関係者に協力申入れ
1995年8月	原子力委員会は、ATR実証炉計画の中止と代替計画としてのフルMOX-ABWRを建設する方針を決定
1998年9月	環境影響調査書を通商産業省に提出
1998年12月	第一次公開ヒアリング開催（通商産業省主催）
1999年8月	第141回電源開発調整審議会にて電源開発基本計画に組み入れました承

1999年9月	原子炉設置許可申請 （発電所配置計画見直しにより2004年3月に取り下げ）
2000年2月	準備工事に着手
2004年3月	原子炉設置許可申請
2005年6月	経済産業大臣から原子力安全委員会及び原子力委員会へ諮問
2005年10月	第二次公開ヒアリング開催（原子力安全委員会主催）
2008年4月	原子力安全委員会及び原子力委員会から経済産業大臣に答申
2008年4月	原子炉設置許可
2008年5月	着工
2011年3月	東日本大震災に伴い、本体建設工事休止
2012年10月	本体建設工事再開
2014年12月	原子炉設置変更許可申請

③フルMOX-ABWRへの取り組み（大間原子力発電所計画の概況）

◆ 大間原子力発電所計画の概要

所在地	青森県下北郡大間町
敷地面積	約130万m ²
原子炉型式	改良型沸騰水型軽水炉（ABWR）
燃料	濃縮ウラン及びウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）
電気出力	1,383MW



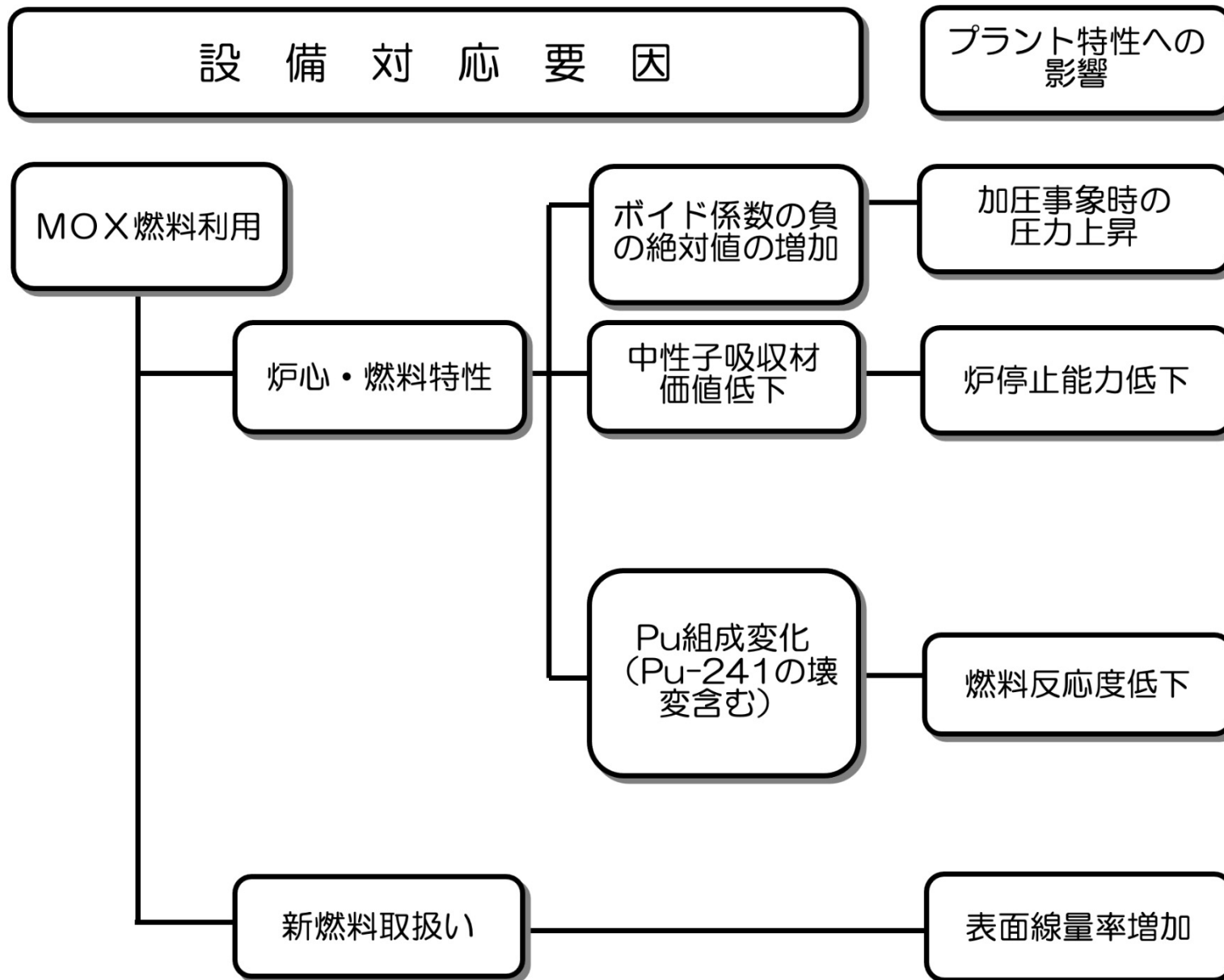
◆ 工事進捗状況

総合進捗率 37.6%
(2011年3月20日時点)



【8】 出典：原子力規制委員会アーカイブ検索システム
(<https://www.da.nra.go.jp/view/NRA001001364?contents=NRA001001364-002-002#pdf=NRA001001364-002-002>)

③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX炉心の特徴①）

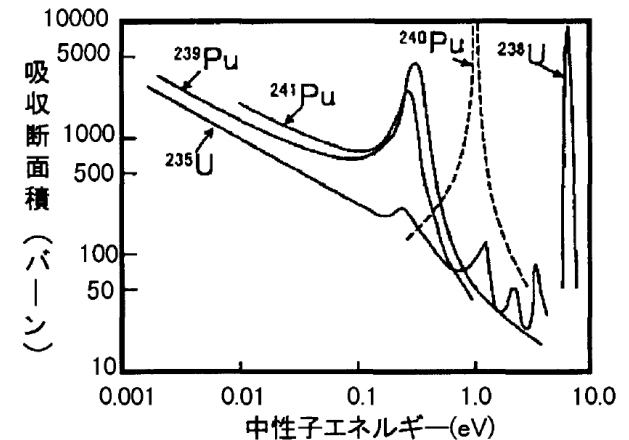


③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX炉心の特徴②）

ボイド係数

- 減速材中のボイド（気泡）の増減に伴う反応度の変化率。原子炉内（減速材）の温度上昇に伴いボイドが増えると、反応度は減少するため、負の値となる。

➤ ボイドが増加すると減速材である軽水の密度が減少し軽水による中性子の減速が減少する。これにより、中性子エネルギーが高エネルギー側へシフトする。高エネルギー側ではU-235に比べPu-240などの共鳴吸収が大きくなる。したがって、MOX燃料の装荷体数の増加に伴いPuの量が増えると、ボイドの増加に伴う中性子吸収がより大きくなるため、ボイド係数がより負となる（負の絶対値の増加）。



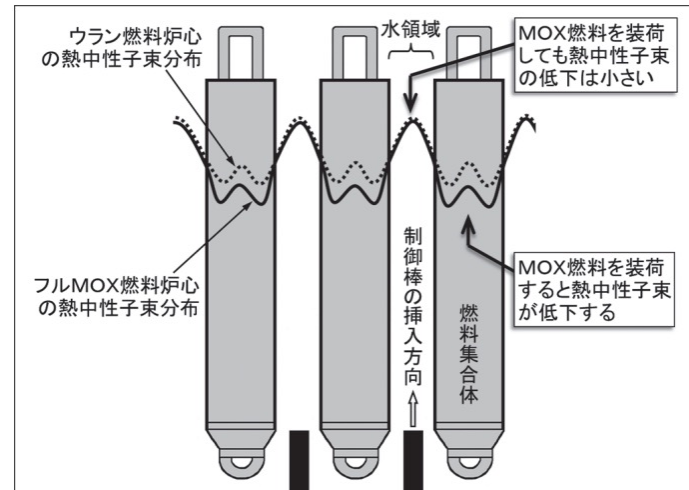
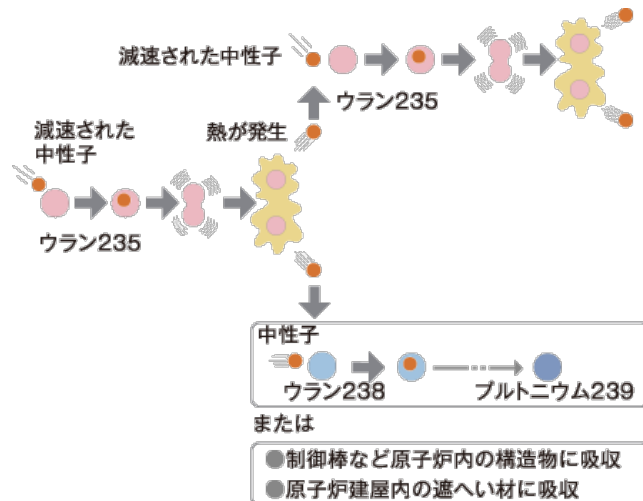
【10】 提供：日本原子力研究開発機構

- 運転中に電力系統事故などにより発電機負荷遮断が生じると、電気負荷の喪失によるタービン発電機のオーバースピードを防止するためにタービン蒸気加減弁が急速閉止する。このため、原子炉で発生した蒸気の行き場がなくなり、原子炉圧力が上昇する。仮にこの状態を放置したとすると、圧力上昇に伴って炉心内のボイドがつぶれるため、核反応が増大し、出力が増加する。MOX燃料の使用によりボイド係数の負の絶対値が増加するため、出力上昇が大きくなる。
- 上記のような異常な過渡変化時における原子炉圧力上昇幅の増加を緩和するため、大容量主蒸気逃し安全弁が採用されている。

③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX炉心の特徴③）

制御材の反応度価値（中性子吸収材価値）

- ・ 制御材（制御棒の挿入・引き抜き、ほう酸水注入）が与える反応度の変化量。
 - MOX燃料の装荷体数の増加に伴い中性子吸収材価値が低下する。
- ・ 熱中性子を吸収しやすいプルトニウムによって、制御材が吸収できる熱中性子が減るため、制御材の中性子吸収材価値が相対的に低下し、原子炉停止能力が低下する。
 - BWRは、制御棒を挿入する燃料集合体外側の水領域では、MOX燃料を装荷しても熱中性子の減少は小さく、制御棒の中性子吸収材価値の低下はわずかであるが、**十分な余裕をもって原子炉を臨界未満に維持するため、濃縮ほう素を用いた高価値制御棒が一部採用されている。**
 - 制御棒のバックアップであるほう酸水注入系も、**十分な原子炉停止余裕を確保するため、ほう酸水貯蔵タンクの容量が増加されている。**



【11】 出典：原子力総合パンフレット2024年度版，
日本原子力文化財団（<https://www.jaero.or.jp/sogo/>）

【12】 出典：小林哲朗，解説：ABWRにおけるMOX燃料の全炉心利用技術 フルMOXの技術的
バックグラウンドは何か？，日本原子力学会誌ATOMOS，2014，56巻，6号，pp. 378-383

③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX炉心の特徴④）

プルトニウムの組成

- MOX燃料に含まれるプルトニウムの同位体組成。
 - 時間の経過とともに変化し、核分裂核種であるPu-241から半減期14.4年で非核分裂性核種Am-241への β 壊変が進む。
- MOX燃料の装荷遅れ（計画外の原子炉への装荷時期の遅れ）が生じた場合などに、燃料製造時点からPu-241が減少するとともに、Am-241が蓄積することにより、燃料の反応度が低下する。
 - **反応度の低下を補うため、再循環流量の制御範囲が拡大されている。**
（再循環流量の調整による反応度制御の原理：流量を増加することにより炉心内のボイドを炉心外にスweep（掃き出す）する速度が増す。一方ボイド発生率は変化しないため、炉心内のボイド体積率は低下し、正の反応度が加えられる。）

燃料の表面線量率

- MOX燃料の場合、新燃料中に放射性核種であるAm-241やPu-238などの放射性核種を含む。Am-241からの γ 線やPu-238の中性子線によって、ウラン燃料よりも表面線量率が増加する。
 - ウラン燃料：約0.03mSv/h、MOX燃料：約2.2mSv/h
 - **MOX新燃料の受入れ検査に伴い作業者が受ける放射線量を低減するため、遠隔・自動化したMOX燃料自動検査装置が採用されている。**

③フルMOX-ABWRへの取り組み（フルMOX炉心に対する設備対策）

- フルMOX-ABWRでは、全炉心でMOX燃料を使用するにあたり、次のような一部設備の設計対応が行われている。

ほう酸水貯蔵タンクの容量増加

十分な原子炉停止余裕を確保するため、制御棒のバックアップであるほう酸水貯蔵タンクの容量を増加。

ほう酸水貯蔵タンク容量
約30m³→約36m³

濃縮ほう素を用いた高価値制御棒の採用

十分な余裕をもって原子炉を臨界未満に維持するため、濃縮ほう素を用いた高価値制御棒を一部採用

制御棒のB-10濃度
約20%（天然ほう素）
→約50%（濃縮ほう素）
〔1本の制御棒価値が約1割増加〕

炉心流量制御範囲の拡大

反応度の低下を補うため、再循環流量の制御範囲を拡大

炉心流量制御範囲（上限）
111% → 120%

大容量主蒸気逃がし安全弁の採用

異常な過渡変化時における原子炉圧力上昇幅の増加を緩和するため、大容量主蒸気逃がし安全弁を採用



【14】

吹出し容量（弁数）
約395t/h（18弁）
→約460t/h（16弁）
〔総容量で約4%増〕

MOX燃料自動検査装置の採用

MOX新燃料の受入れ検査に伴い作業者が受ける放射線量を低減するため、遠隔・自動化した検査装置を採用

新燃料の表面線量率
ウラン燃料：約0.03mSv/h
MOX燃料：約2.2mSv/h

【13】 出典：J-POWER HP (<https://www.jpowers.co.jp/bs/nuclear/oma/feature/mox/facilities.html>)

【14】 出典：日本原子力発電株式会社

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【1】	⌘	原子力・エネルギー図面集
【2】	⌘	原子力・エネルギー図面集
【3】	⌘	原子力・エネルギー図面集
【4】	⌘	原子力・エネルギー図面集
【5】	⌘	小林哲朗, 解説：ABWRにおけるMOX燃料の全炉心利用技術 フルMOXの技術的バックグラウンドは何か？, 日本原子力学会誌ATOMO Σ, 2014, 56巻, 6号, pp. 378-383
【6】	⌘	日本原子力委員会ウェブサイト (https://www.aec.go.jp/bunya/04/plutonium/20250805.pdf) , PDL1.0 (https://www.digital.go.jp/resources/open_data/public_data_license_v1.0)
【7】	⌘	J-POWER HP (https://www.jpowers.co.jp/bs/nuclear/oma/history.html)
【8】	⌘	原子力規制委員会アーカイブ検索システム (https://www.da.nra.go.jp/view/NRA001001364?contents=NRA001001364-002-002#pdf=NRA001001364-002-002)
【9】	⌘	猪原 敏照, フルMOX-ABWRの特徴と安全性, 第3回「原子力発電技術 夏期セミナー」, 2003年7月24日開催, 日本原子力学会 原子力発電部会
【10】	⌘	提供：日本原子力研究開発機構

山典一見

[illegible]