

2022年10月12日
関西電力株式会社
四国電力株式会社
九州電力株式会社

高浜3,4号炉、伊方3号炉及び玄海3号炉における
国産MOX燃料の利用について

1. はじめに

我が国は、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。MOX燃料工場は2024年度上期に竣工する予定であり、国内MOX燃料工場竣工後の各発電所導入スケジュールは今後具体化していくこととしているが、国内MOX燃料工場において製造されたMOX燃料は、国内のプルサーマル炉において装荷される予定である。（別紙1参照）

国産MOX燃料のPu含有率や集合体の基本設計は、装荷実績のある海外MOX燃料と同じ設計であるものの、製造工程の違いにより、国産MOX燃料には、海外MOX燃料に含まれていないウラン同位体²³⁴U、²³⁶U等（以下、本資料において「回収ウラン」という）が微量含まれている。

過去、日本においては核燃料サイクルの中で回収されたウランを天然ウランと同様に燃料製造し、利用した実績がある。このとき、回収ウランの特徴を考慮した影響を事前確認の上、設置変更許可、工事計画認可及び燃料体設計認可の申請は不要であると当時の旧通商産業省殿により認められている。

今回、国内のプルサーマル炉で国産MOX燃料の使用を開始するにあたり、回収ウランの特徴を踏まえ、炉心核特性への影響、炉心崩壊熱、SFP熱負荷値への影響、燃料取扱・貯蔵に係る影響および燃料機械設計への影響について、現時点で稼働しているMOX既許可炉を対象に検討した。特にSFPの熱負荷値は設置許可本文記載値であるため、回収ウラン由来によるわずかな崩壊熱増加が設置許可本文記載値に影響しないことを確認した。

検討の結果、回収ウランによる影響は軽微であり、既許可条件である炉心崩壊熱あるいはSFPの熱負荷値等を許可範囲から逸脱しない、あるいは、逸脱しないように運用段階で管理していくことが十分に可能であることを確認した。

このため、今後の国産MOX燃料の使用においても、従前と同様に設置変更許可申請は不要である
と考える。

2. 回収ウランの特徴

ウラン燃料を照射すると ^{235}U が核分裂反応により減少する一方で、ウラン同位体 (^{234}U 、 ^{236}U 等)、核分裂生成物(FP)等の核種が生成される。これらの核種は核分裂に寄与するものではない。

国産 MOX 燃料は、海外 MOX 燃料と比較し、未照射の段階からこれらの非核分裂性かつ中性子吸収効果が大きいウラン同位体を微量に含んだ燃料である。

これらのウラン同位体をわずかに含んだ回収ウランの特徴とその影響程度は、以下のとおり。

- ・ ^{234}U 、 ^{236}U は中性子吸収効果が大きく、燃料の反応度をわずかに低下させる。
 - 炉心核特性への影響
 - 燃料機械設計への影響
 - ・ ^{236}U の中性子吸収により崩壊熱の高い ^{237}U 等が増加し、燃料体の崩壊熱がわずかに増大する。
 - 炉心崩壊熱、SFP 熱負荷値への影響
 - ・ ^{232}U の娘核種が高エネルギーの γ 線を発するため、線量がわずかに上昇する。
 - 燃料取扱・貯蔵に係る影響
- (ただし、国産 MOX 燃料には ^{232}U がほとんど含まれないため線量影響は無視できる。)

3. ウラン同位体による影響の既許可上の考慮

天然ウランから製造した通常ウラン燃料であっても、照射によって ^{234}U 、 ^{236}U 等のウラン同位体が生成され、許認可ではこれら核種の影響は燃料の照射開始から使用済燃料となるまでの特性変化として炉心設計や崩壊熱計算において考慮されている。これは MOX 燃料においても同じである。

国産 MOX 燃料は、照射開始時点からこれら核種がわずかに含まれる点が海外 MOX 燃料と異なるが、炉心設計や崩壊熱計算において考慮されている。MOX 燃料においても同じように考慮しているため、国産 MOX 燃料にこれら核種がわずかに含まれる影響は小さい。

4. 回収ウランによる影響

上記の回収ウランの特徴を踏まえて、回収ウランを含む国産 MOX 燃料導入による既許可への影響を確認した。各プラントの結果を別添 1～3 に示す。

なお、影響評価では、ウランの同位体について、

想定した保守的な設定としており、実際の回収ウラン含有率は低くなるため、影響もさらにわずかとなる。

5. まとめ

国産 MOX 燃料を使用した場合の許認可への影響を検討した。検討の結果、回収ウランによる影響は軽微であり、実際の炉心構成を踏まえて、運用段階で適切に管理することにより、既許可の範囲内で運用可能であることを確認した。

このため、今後の国産 MOX 燃料の使用に当たっては、設置変更許可申請をせずに必要に応じて運用管理にて進めることとしたい。

以上

本資料のうち、枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

国産 MOX 燃料の高浜 3,4 号炉への影響について

1. 炉心核特性への影響

炉心核特性への影響を検討するために、高浜 3,4 号炉の MOX 燃料炉心（48GWd/t ウラン+MOX 炉心（ウラン 117 体、MOX40 体装荷））において海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した平衡炉心に対して炉心解析を行った。

解析の結果、海外 MOX 燃料を装荷する炉心と同じパターンでの炉心配置が可能であり、差異はほぼ見られず、取替炉心の安全性確認においても制限値に十分な余裕があることが確認された。

なお、国産 MOX 燃料を装荷することで、局所的な出力分布についてもわずかな影響が考えられるが軽微であり、国産 MOX 燃料を装荷した炉心も既許可の取替炉心のばらつきの範囲内であり、既許可の評価に影響を与えない。

表 取替炉心の安全性確認項目

項目		単位	安全解析使用値	国産MOX燃料を装荷した平衡炉心	(参考)海外MOX燃料を装荷した平衡炉心	
反応度停止余裕 (サイクル末期)		%Δk/k	≥1.8	2.69	2.68	
最大線出力密度*		kW/m	≤39.6	33.3	32.6	
燃料集合体 最高燃焼度	ウラン燃料	MWd/t	≤48,000	47,700	47,600	
	MOX燃料	MWd/t	≤45,000	44,100	44,000	
F_{N}		—	≤1.48	1.41	1.42	
減速材温度係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-78~+8	-66~-17.5	-66~-18.1	
ドップラ係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-5.2~-1.8	-3.6~-2.7	-3.6~-2.7	
制御棒 落下時	落下制御棒価値	%Δk/k	≤0.25	0.18	0.17	
	F_{Dn}	—	≤1.84	1.66	1.65	
制御棒 飛び出し 時 F_0	サイクル初期	HZP	—	7.8	8.5	
		HFP	—	2.1	2.1	
	サイクル末期	HZP	—	15.7	16.0	
		HFP	—	2.2	2.3	
飛び出し 制御棒 価値	サイクル初期	HZP	%Δk/k	≤0.90	0.47	0.51
		HFP	%Δk/k	≤0.19	0.03	0.03
	サイクル末期	HZP	%Δk/k	≤1.0	0.63	0.64
		HFP	%Δk/k	≤0.19	0.03	0.03
最大反応度添加率		$10^{-5}(\Delta k/k)/s$	≤86	48	48	

* 燃料ペレット焼きしまり効果を含まない。

注) HZP:高温零出力 HFP:高温全出力 MOX燃料:ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料

※回収ウランの影響が大きくなるように、ウラン同位体の組成を [] 評価

本資料のうち、枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 崩壊熱への影響

海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱の比較は、以下のとおり。

国産 MOX 燃料の崩壊熱は、回収ウランの影響により海外 MOX 燃料に対してわずかに大きくなるものの、ほぼ同じである。

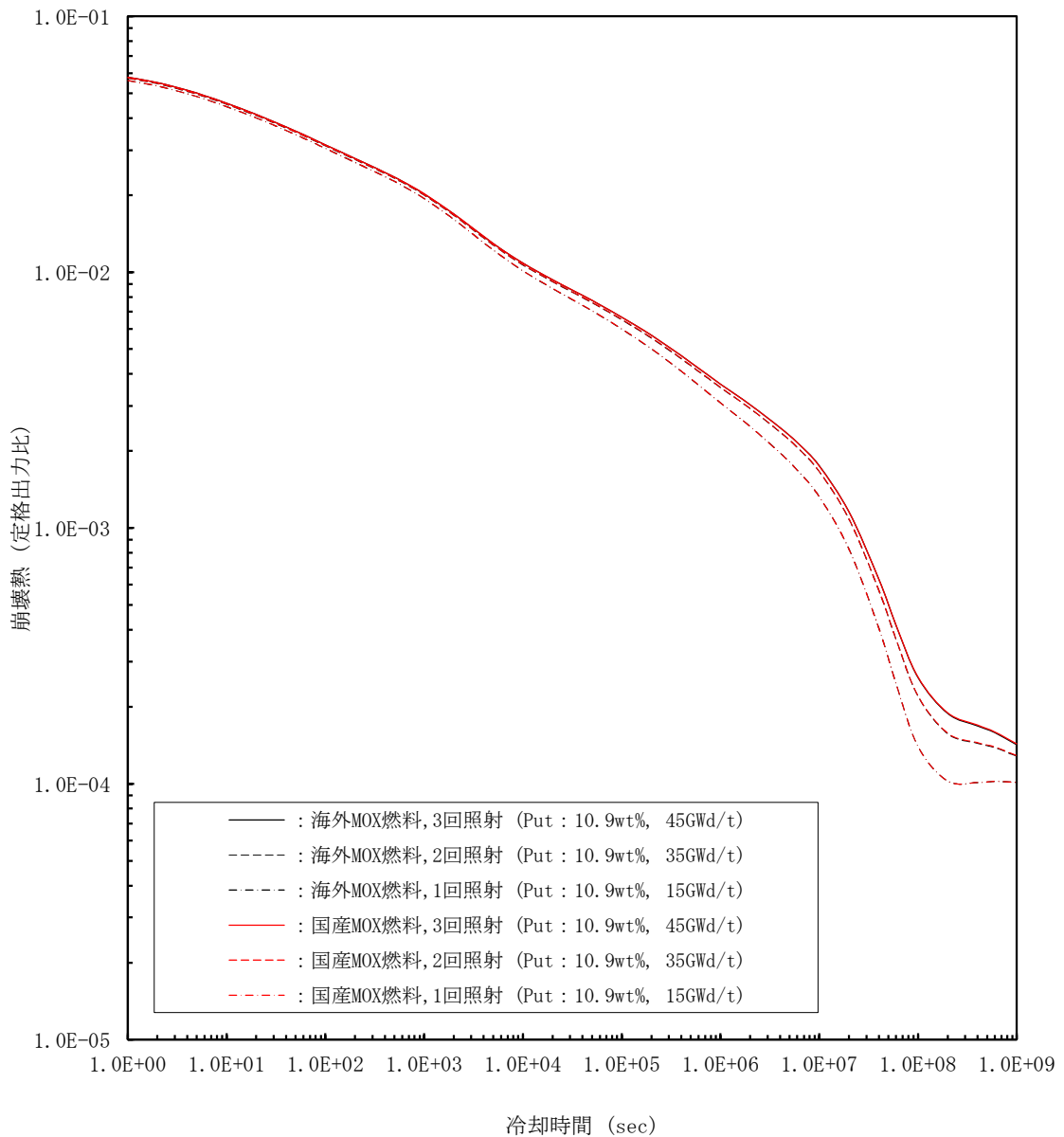
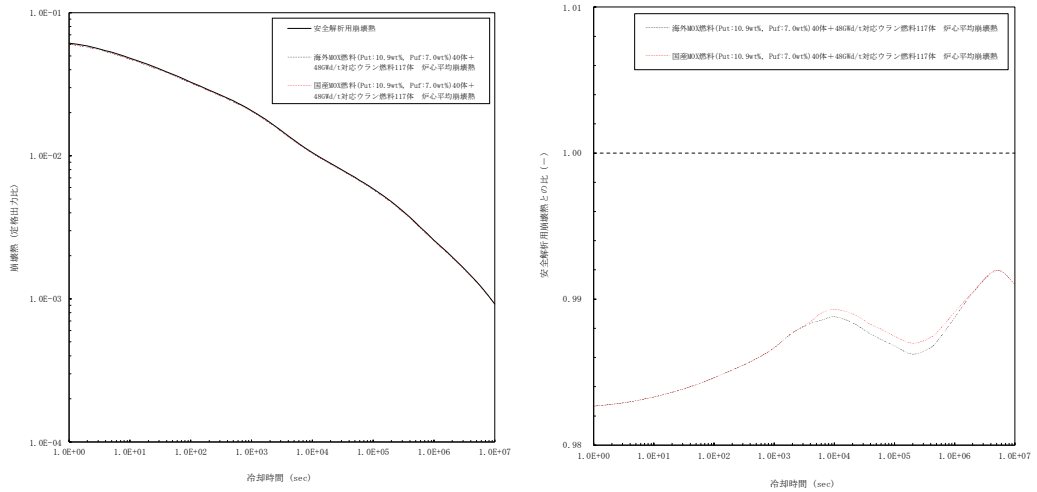


図 海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱

2. 1 炉心崩壊熱評価への影響

海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した炉心に対して評価を行った。

その結果、国産 MOX 燃料を装荷したとしても、安全解析用の崩壊熱を下回っており、既許可の安全評価に対して影響がないことを確認した。



(1) 崩壊熱 (定格出力比)

(2) 安全解析用崩壊熱に対する
炉心平均崩壊熱の比

図 炉心平均崩壊熱

2. 2 SFP 熱負荷値への影響

SFP 熱負荷値は、SFP 重大事故等対策の有効性評価における入力条件として新規基準施行後に設置許可本文十号に追加された項目である。既許可の本文記載値は、崩壊熱の高い燃料から順に SFP の貯蔵容量の満杯に貯蔵する等の保守的な評価条件で算出した値である。このため、これらの保守的な評価条件に対して、現実的な燃料貯蔵条件を想定することにより、現行許認可で示している本文記載値を逸脱しないことを確認できる。

既許可の条件、現実的な条件及びその結果の比較は、表のとおりである。

< S F P 熱負荷評価条件に国産 MOX 燃料と現実的な条件を考慮した場合の結果 >

	既許可の条件	国産 MOX 燃料を装荷する場合	国産 MOX 燃料を装荷し冷却期間を考慮
燃料	ウラン燃料 + 海外 MOX 燃料	ウラン燃料 + 国産 MOX 燃料	同左
燃焼度	均等 3 バッチ	同左	同左
冷却期間	8.5 日	同左	同左
貯蔵における主な想定	共用号炉：21 か月冷却	同左	共用号炉：24 か月冷却
	定検期間：30 日	同左	同左
評価結果	10.408MW	10.413MW	10.335MW

本文記載値への影響について

現在の設置許可本文に記載されている SFP 熱負荷の記載値は、10.408MW であり、MOX 燃料がすべて国産 MOX 燃料になった場合は熱負荷値が既許可記載値を超えるものの、併せて共用号炉からの冷却日数を現実的にした場合、設置許可本文記載値の範囲内で管理できる。

3. 燃料取扱・貯蔵時の影響

国産 MOX 燃料には娘核種が高エネルギーγ線を発する ^{232}U はほぼ含まれないため線量影響は無視できるものの、MOX 燃料からは未照射のプルトニウムやその崩壊後の核種からも放射線が放出されるため、それを考慮した管理を行っている。国産 MOX 燃料になったことによる線量影響は、元々の MOX 燃料からの線量と比較すると軽微であり、追加の考慮は不要である。

4. 燃料機械設計への影響

“1.炉心核特性”と同様に、高浜 3,4 号炉の MOX 燃料装荷炉心の代表 Pu 組成平衡炉心に対して、海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した場合の燃料機械設計への影響を確認する。

燃料中心温度については、以下のとおり、定格出力時並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、国産 MOX 燃料を装荷した場合と同じであることを確認した。

表 燃料中心温度について

	線出力密度 (kW/m)	燃焼度 (MWd/t)	影響評価 (°C)	現行結果 (°C)	制限値 (°C)
MOX 燃料	41.1 (通常運転時)	約 1,200	1,750	1,750	<2,520
	59.1 (運転時の異常な過渡変化時)		2,240	2,240	

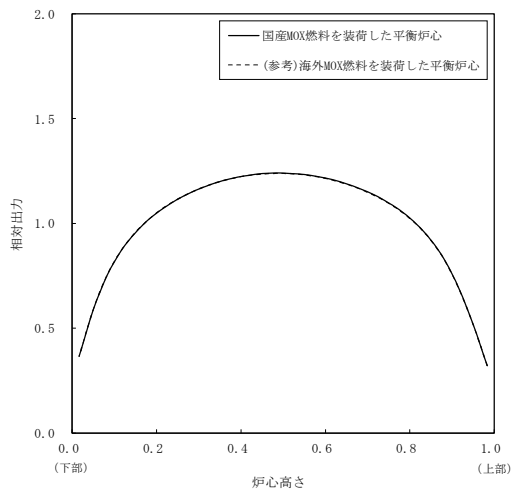
また、燃料中心温度以外の健全性（燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張歪及び被覆管累積疲労）に対しても、国産 MOX 燃料に代わったことの影響を評価した。その結果は、下表のとおりであり、国産 MOX 燃料を装荷した場合であっても、制限値を満足していることを確認した。

燃料中心温度以外の燃料健全性評価

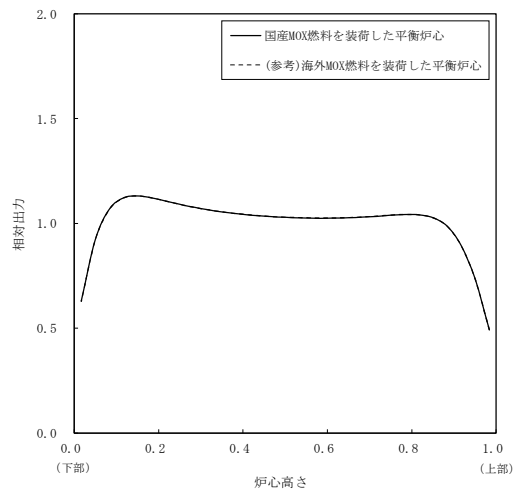
	影響評価※	現行結果※	制限値※
燃料棒内圧	0.84	0.80	<1
被覆管応力	0.67	0.68	<1
被覆管引張歪	0.41	0.40	<1
被覆管累積疲労	0.12	0.12	<1

※設計比（評価値と制限値の比）が同じ場合を 1 とする。

さらに、下図のとおり軸方向出力分布も同等であることから最小 DNBR 評価にも影響は無いと考えられる。



(1) サイクル初期



(2) サイクル末期

図 軸方向出力分布

国産 MOX 燃料の伊方 3 号炉への影響について

四国電力では、英国に保有するプルトニウムを用いたプルサーマル実施に向けて準備を進めているところであるが、MOX 既許可炉として、今後導入される国内 MOX 燃料の装荷による影響を確認した。

1. 炉心核特性への影響

炉心核特性への影響を検討するために、伊方 3 号炉の MOX 燃料炉心（55GWd/t ウラン+MOX 炉心（ウラン 117 体、MOX40 体装荷））において海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した平衡炉心に対して炉心解析を行った。

解析の結果、海外 MOX 燃料を装荷する炉心と同じパターンでの炉心配置が可能であり、差異はほぼ見られず、取替炉心の安全性確認においても制限値に十分な余裕があることが確認された。

なお、国産 MOX 燃料を装荷することで、局所的な出力分布についてもわずかな影響が考えられるが軽微であり、国産 MOX 燃料を装荷した炉心も既許可の取替炉心のばらつきの範囲内であり、既許可の評価に影響を与えない。

表 取替炉心の安全性確認項目

項目		単位	安全解析使用値	国産MOX燃料を装荷した平衡炉心	(参考)海外MOX燃料を装荷した平衡炉心	
反応度停止余裕 (サイクル末期)		% Δk/k	≥ 1.8	2.50	2.48	
最大線出力密度*		kW/m	≤ 39.6	32.9	33.1	
燃料集合体 最高燃焼度	ウラン燃料	MWd/t	≤ 55,000	53,800	53,500	
	MOX燃料	MWd/t	≤ 45,000	41,600	41,900	
F_{M}		—	≤ 1.52	1.46	1.45	
減速材温度係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-78~+8	-67~-11.9	-66~-11.3	
ドブブラ係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-5.2~-1.8	-3.6~-2.6	-3.6~-2.6	
制御棒 落下時	落下制御棒値	% Δk/k	≤ 0.25	0.18	0.18	
	F_{M}	—	≤ 1.84	1.70	1.68	
制御棒 飛び出し時 F_0	サイクル初期	HZP	—	≤ 14	6.3	6.2
		HFP	—	≤ 5.0	2.1	2.1
	サイクル末期	HZP	—	≤ 26	14.7	14.3
		HFP	—	≤ 5.0	2.3	2.2
飛び出し 制御棒 値	サイクル初期	HZP	% Δk/k	≤ 0.90	0.35	0.33
		HFP	% Δk/k	≤ 0.15	0.02	0.03
	サイクル末期	HZP	% Δk/k	≤ 1.0	0.61	0.59
		HFP	% Δk/k	≤ 0.15	0.03	0.03
最大反応度添加率		$10^{-5}(\Delta k/k)/\text{s}$	≤ 86	48	49	

* 燃料ペレット焼きしまり効果を含まない。

注) HZP:高温零出力 HFP:高温全出力 MOX燃料:ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料

※回収ウランの影響が大きくなるように、ウラン同位体の組成を [] 評価

2. 崩壊熱への影響

海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱の比較は、以下のとおり。

国産 MOX 燃料の崩壊熱は、回収ウランの影響により海外 MOX 燃料に対してわずかに大きくなるものの、ほぼ同じである。

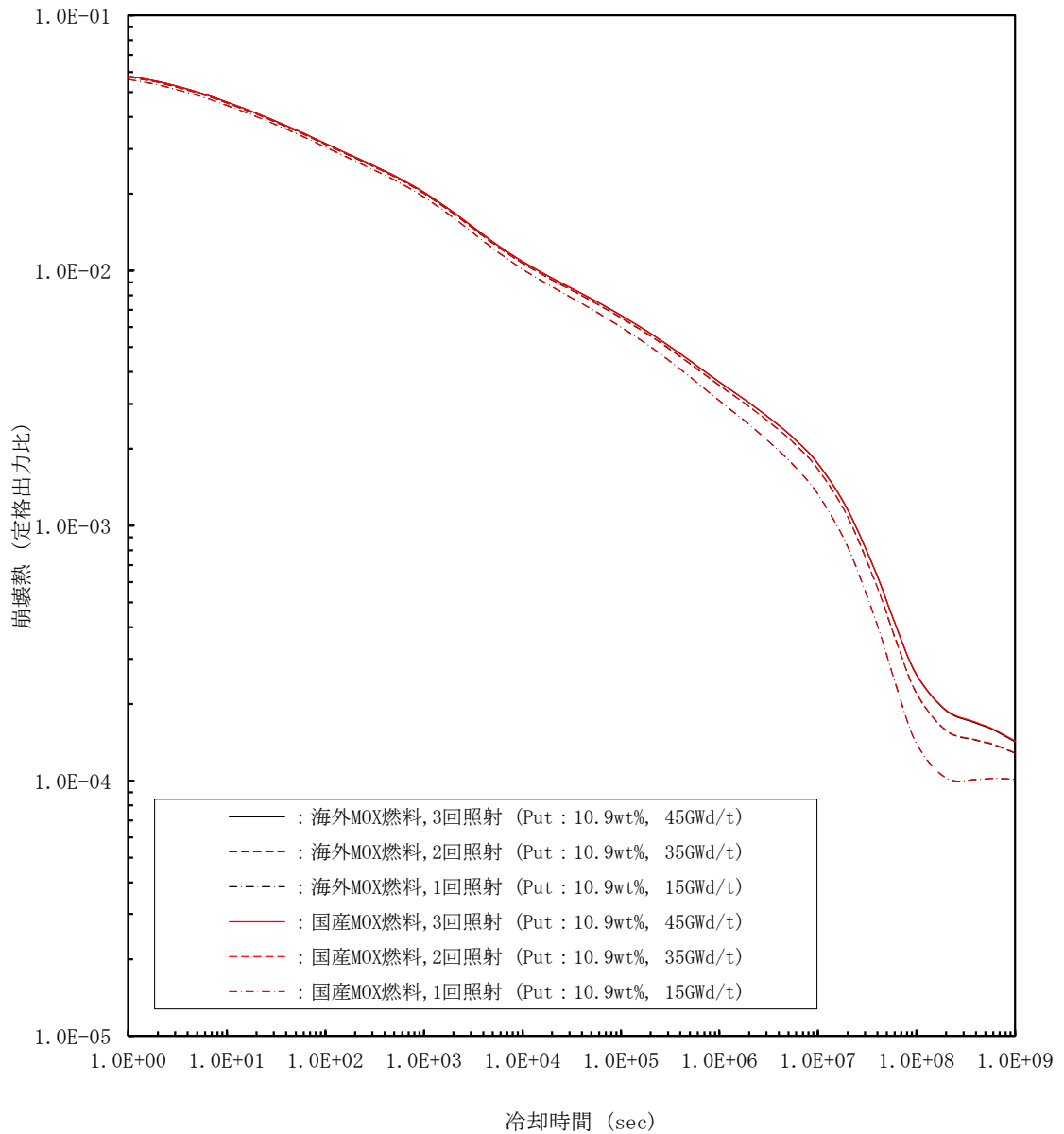
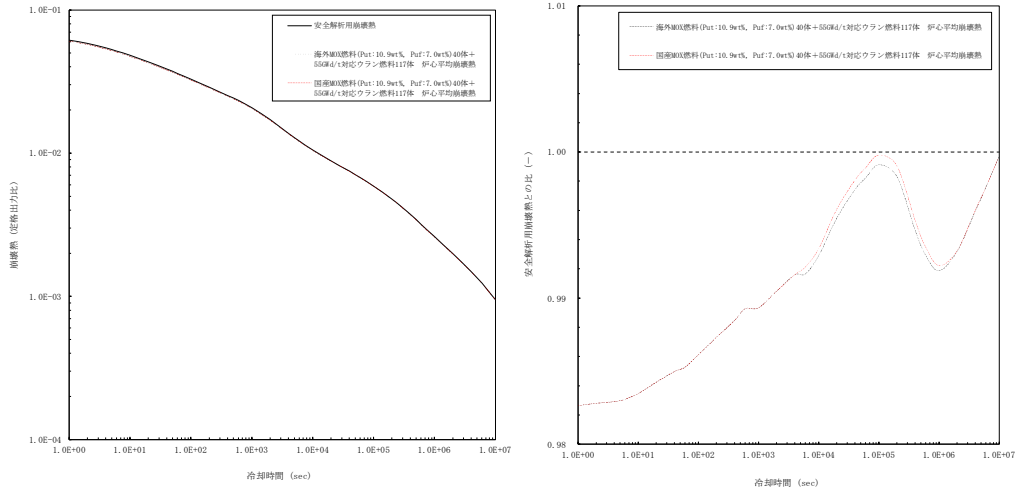


図 海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱

2. 1 炉心崩壊熱評価への影響

海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した炉心に対して評価を行った。

その結果、国産 MOX 燃料を装荷したとしても、安全解析用の崩壊熱を下回っており、既許可の安全評価に対して影響がないことを確認した。



(1) 崩壊熱 (定格出力比)

(2) 安全解析用崩壊熱に対する
炉心平均崩壊熱の比

図 炉心平均崩壊熱

2. 2 SFP 熱負荷値への影響

SFP 熱負荷値は、SFP 重大事故等対策の有効性評価における入力条件として新規規制基準施行後に設置許可本文十号に追加された項目である。既許可の本文記載値は、崩壊熱の高い燃料から順に SFP の貯蔵容量の満杯に貯蔵する等の保守的な評価条件で算出した値である。このため、これらの保守的な評価条件に対して、現実的な燃料貯蔵条件を想定することにより、現行許認可で示している本文記載値を逸脱しないことを確認できる。

既許可の条件、現実的な条件及びその結果の比較は、表のとおりである。

＜SFP 熱負荷評価条件に国産 MOX 燃料と現実的な条件を考慮した場合の結果＞

	既許可の条件	国産 MOX 燃料、 55GWd/t ウラン燃料 (4.1wt%)を装荷する 場合	国産 MOX 燃料、55GWd/t ウラン燃料(4.1wt%)を装荷し 共用号炉の廃炉を考慮
燃料	ウラン燃料 + 海外 MOX 燃料	ウラン燃料※ + 国産 MOX 燃料 ※55GWd/t ウラン燃料 (4.1wt%)を含む	同左
燃焼度	均等 3 バッチ	同左	同左
冷却期間	7.5 日	同左	同左
貯蔵におけ る主な想定	共用号炉：2 年冷却	同左	共用号炉(廃炉)：8 年冷却*
	定検期間：30 日	同左	同左
評価結果	11.715MW	11.795MW	11.520MW

*伊方 1、2 号炉における最終運転停止日（最終原子炉停止日）

伊方 1 号炉：2011 年 9 月 4 日

伊方 2 号炉：2012 年 1 月 14 日

本文記載値への影響について

現在の設置許可本文に記載されている SFP 熱負荷の記載値は、11.715MW であり、国産 MOX 燃料及び 55GWd/t ウラン燃料(4.1wt%)の使用を考慮した場合は熱負荷値が既許可記載値を超えるものの、共用号炉の廃炉を考慮することにより、設置許可本文記載値を超えないことを確認した。

3. 燃料取扱・貯蔵に係る影響

国産 MOX 燃料には国産 MOX 燃料には娘核種が高エネルギーγ線を発する ^{232}U はほぼ含まれないため線量影響は無視できるものの、MOX 燃料からは未照射のプルトニウムやその崩壊後の核種からも放射線が放出されるため、それを考慮した管理を行っている。国産 MOX 燃料になったことによる線量影響は、元々の MOX 燃料からの線量と比較すると軽微であり、追加の考慮は不要である。

4. 燃料機械設計への影響

伊方 3 号炉の MOX 燃料装荷炉心の代表 Pu 組成平衡炉心に対して、海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した場合の燃料機械設計への影響を確認する。

燃料中心温度については、以下のとおり、定格出力時並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、国産 MOX 燃料を装荷した場合と同じであることを確認した。

表 燃料中心温度について

	線出力密度 (kW/m)	燃焼度 (MWd/t)	影響評価 (°C)	現行結果 (°C)	制限値 (°C)
MOX 燃料	41.1 (定格出力時)	約 1,200	1,710	1,710	<2,500
	59.1 (通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時)		2,190	2,190	

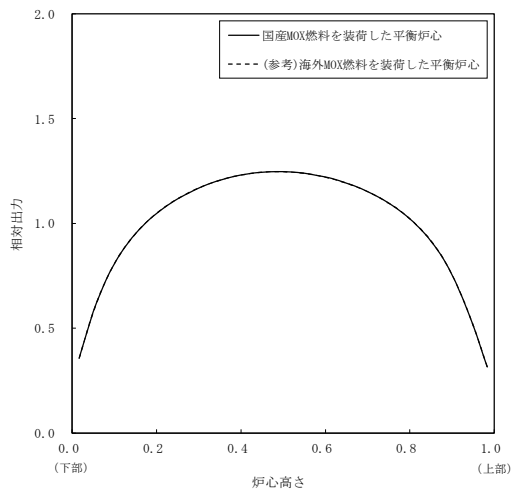
また、燃料中心温度以外の健全性（燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張歪及び被覆管累積疲労）に対しても、国産 MOX 燃料に代わったことの影響を評価した。その結果は、下表のとおりであり、国産 MOX 燃料を装荷した場合であっても、制限値を満足していることを確認した。

燃料中心温度以外の燃料健全性評価

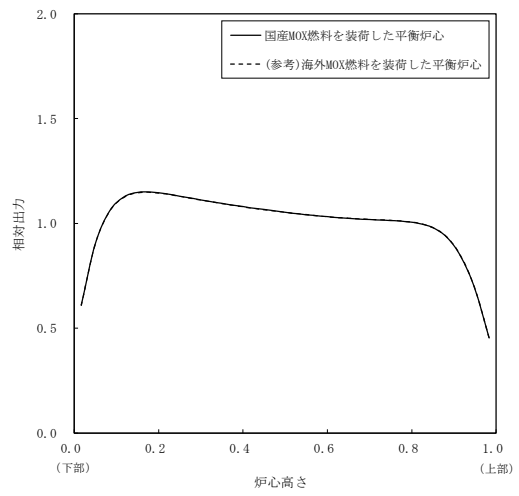
	影響評価※	現行結果※	制限値※
燃料棒内圧	0.83	0.83	<1
被覆管応力	0.83	0.84	<1
被覆管引張歪	0.42	0.42	<1
被覆管累積疲労	0.14	0.16	<1

※設計比（評価値と制限値の比）が同じ場合を 1 とする。

さらに、下図のとおり軸方向出力分布も同等であることから最小 DNBR 評価にも影響は無いと考えられる。



(1) サイクル初期



(2) サイクル末期

図 軸方向出力分布

国産 MOX 燃料の玄海 3 号炉への影響について

1. 炉心核特性への影響

炉心核特性への影響を検討するために、玄海 3 号炉の MOX 燃料炉心（48GWd/t ウラン+MOX 炉心（ウラン 145 体、MOX48 体装荷））において海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した平衡炉心に対して炉心解析を行った。

解析の結果、海外 MOX 燃料を装荷する炉心と同じパターンでの炉心配置が可能であり、差異はほぼ見られず、取替炉心の安全性確認においても制限値に十分な余裕があることが確認された。

なお、国産 MOX 燃料を装荷することで、局所的な出力分布についてもわずかな影響が考えられるが軽微であり、国産 MOX 燃料を装荷した炉心も既許可の取替炉心のばらつきの範囲内であり、既許可の評価に影響を与えない。

表 取替炉心の安全性確認項目

項目		単位	安全解析使用値	国産MOX燃料を装荷した平衡炉心	(参考)海外MOX燃料を装荷した平衡炉心	
反応度停止余裕 (サイクル末期)		% Δk/k	≥ 1.6	1.72	1.76	
最大線出力密度*		kW/m	≤ 41.5	35.1	34.6	
燃料集合体 最高燃焼度	ウラン燃料	MWd/t	≤ 48,000	45,600	45,500	
	MOX燃料	MWd/t	≤ 45,000	42,400	42,900	
F_{N}		—	≤ 1.48	1.44	1.43	
減速材温度係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-94~+8	-72~-12.9	-72~-13.4	
ドップラ係数		$10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}\text{C}$	-5.2~-1.8	-3.7~-2.6	-3.6~-2.6	
制御棒 落下時	落下制御棒価値	% Δk/k	≤ 0.25	0.17	0.16	
	F_{DB}	—	≤ 1.87	1.68	1.66	
制御棒 飛び出し 時 F_0	サイクル初期	HZP	—	7.5	7.9	
		HFP	—	2.2	2.1	
	サイクル末期	HZP	—	25	19.3	19.7
		HFP	—	6.8	2.2	2.2
飛び出し 制御棒 価値	サイクル初期	HZP	% Δk/k	≤ 0.66	0.43	0.45
		HFP	% Δk/k	≤ 0.12	0.02	0.02
	サイクル末期	HZP	% Δk/k	≤ 0.87	0.81	0.82
		HFP	% Δk/k	≤ 0.18	0.04	0.03
最大反応度添加率		$10^{-5}(\Delta k/k)/s$	≤ 75	41	40	

* 燃料ペレット焼きしまり効果を含まない。

注) HZP: 高温零出力 HFP: 高温全出力 MOX燃料: ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料

※回収ウランの影響が大きくなるように、ウラン同位体の組成を [] 評価

本資料のうち、枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 崩壊熱への影響

海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱の比較は、以下のとおり。

国産 MOX 燃料の崩壊熱は、回収ウランの影響により海外 MOX 燃料に対してわずかに大きくなるものの、ほぼ同じである。

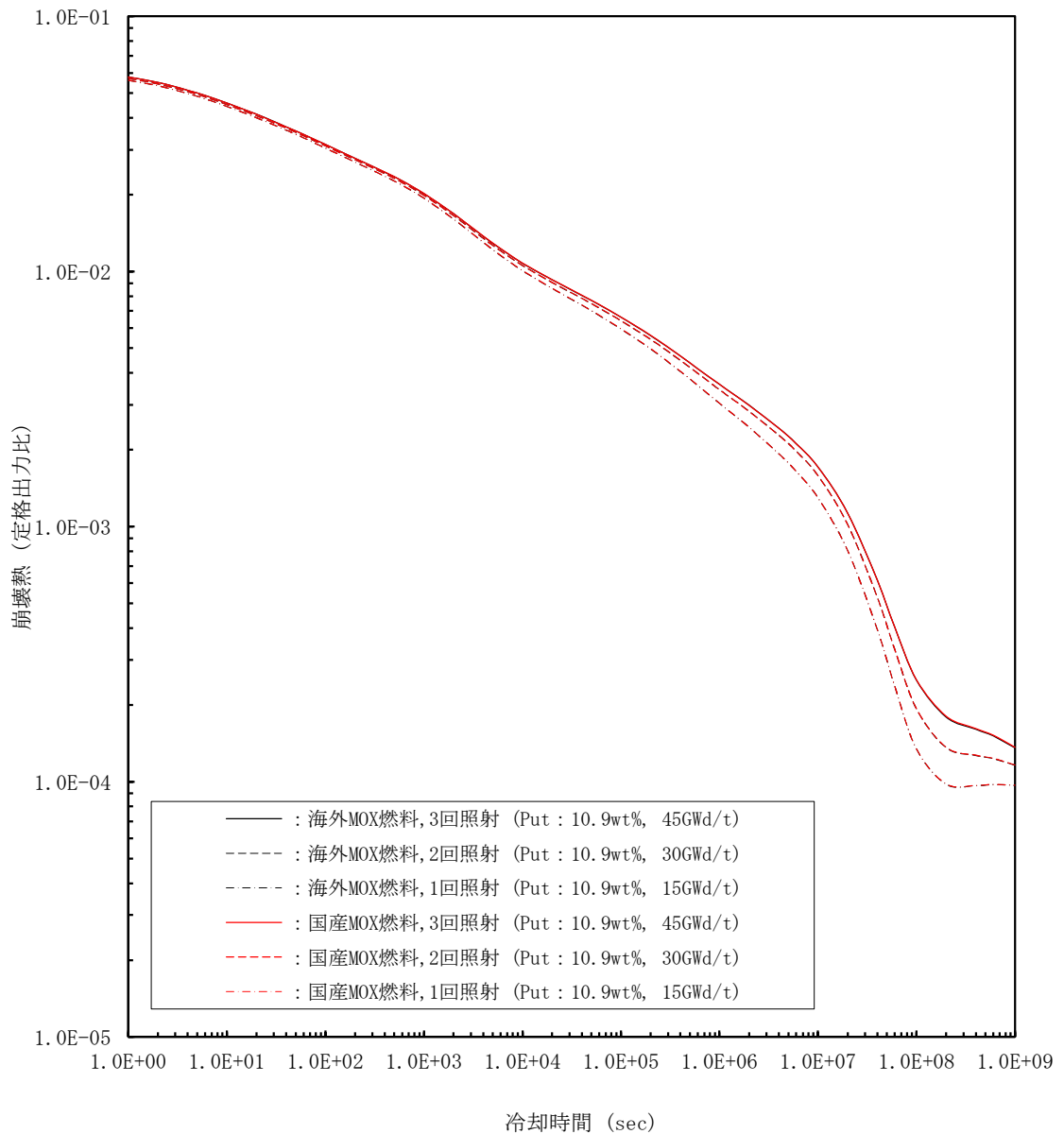
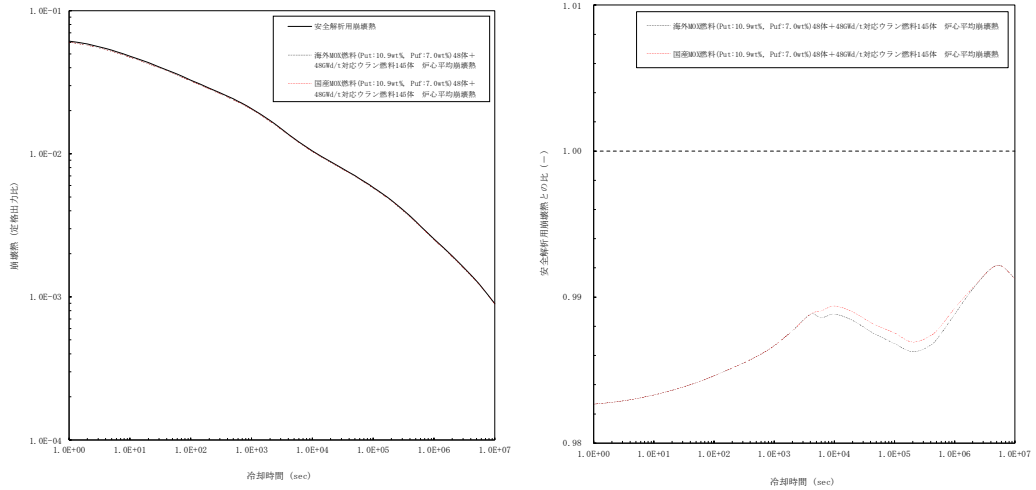


図 海外 MOX 燃料及び国産 MOX 燃料の崩壊熱

2. 1 炉心崩壊熱評価への影響

海外 MOX 燃料の代わりに国産 MOX 燃料を装荷した炉心に対して評価を行った。

その結果、国産 MOX 燃料を装荷したとしても、安全解析用の崩壊熱を下回っており、既許可の安全評価に対して影響がないことを確認した。



(1) 崩壊熱 (定格出力比)

(2) 安全解析用崩壊熱に対する
炉心平均崩壊熱の比

図 炉心平均崩壊熱

2. 2 SFP 熱負荷値への影響

SFP 熱負荷値は、SFP 重大事故等対策の有効性評価における入力条件として新規基準施行後に設置許可本文十号に追加された項目である。既許可の本文記載値は、崩壊熱の高い燃料から順に SFP の貯蔵容量の満杯に貯蔵する等の保守的な評価条件で算出した値である。このため、これらの保守的な評価条件に対して、現実的な燃料貯蔵条件を想定することにより、現行許認可で示している本文記載値を逸脱しないことを確認できる。

既許可の条件、現実的な条件及びその結果の比較は、表のとおりである。

< S F P 熱負荷評価条件に国産 MOX 燃料と現実的な条件を考慮した場合の結果 >

	既許可の条件	国産 MOX 燃料を 装荷する場合	国産 MOX 燃料を装荷し 冷却期間を考慮
燃料	ウラン燃料 + 海外 MOX 燃料	ウラン燃料 + 国産 MOX 燃料	同左
燃焼度	均等 3 バッチ	同左	同左
冷却期間	8.5 日	同左	同左
貯蔵にお ける主 な 想定	共用号炉：7 年冷却	同左	共用号炉：9 年冷
	定検期間：30 日	同左	同左
評価結果	12.464MW	12.481MW	12.442MW

本文記載値への影響について

現在の設置許可本文に記載されている SFP 熱負荷の記載値は、12.464MW であり、MOX 燃料がすべて国産 MOX 燃料になった場合は熱負荷値が既許可記載値を超えるものの、併せて共用号炉からの冷却年数を現実的に設定した場合、設置許可本文記載値の範囲内で管理できる。

3. 燃料取扱・貯蔵時の影響

国産 MOX 燃料には娘核種が高エネルギー γ 線を発する ^{232}U はほぼ含まれないため線量影響は無視できるものの、MOX 燃料からは未照射のプルトニウムやその崩壊後の核種からも放射線が放出されるため、それを考慮した管理を行っている。国産 MOX 燃料になったことによる線量影響は、元々の MOX 燃料からの線量と比較すると軽微であり、追加の考慮は不要である。

4. 燃料機械設計への影響

“1.炉心核特性”と同様に、玄海3号炉のMOX燃料装荷炉心の代表Pu組成平衡炉心に対して、海外MOX燃料の代わりに国産MOX燃料を装荷した場合の燃料機械設計への影響を確認する。

燃料中心温度については、以下のとおり、定格出力時並びに通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時においても、国産MOX燃料を装荷した場合と同じであることを確認した。

表 燃料中心温度について

	線出力密度 (kW/m)	燃焼度 (MWd/t)	影響評価 ($^{\circ}\text{C}$)	現行結果 ($^{\circ}\text{C}$)	制限値 ($^{\circ}\text{C}$)
MOX 燃料	43.1 (通常運転時)	約 1,200	1,810	1,810	<2,500
	59.1 (運転時の異常な過渡変化時)		2,230	2,230	

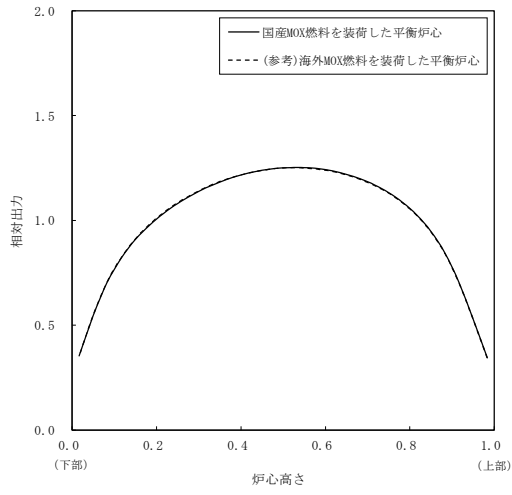
また、燃料中心温度以外の健全性（燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張歪及び被覆管累積疲労）に対しても、国産MOX燃料に代わったことの影響を評価した。その結果は、下表のとおりであり、国産MOX燃料を装荷した場合であっても、制限値を満足していることを確認した。

燃料中心温度以外の燃料健全性評価

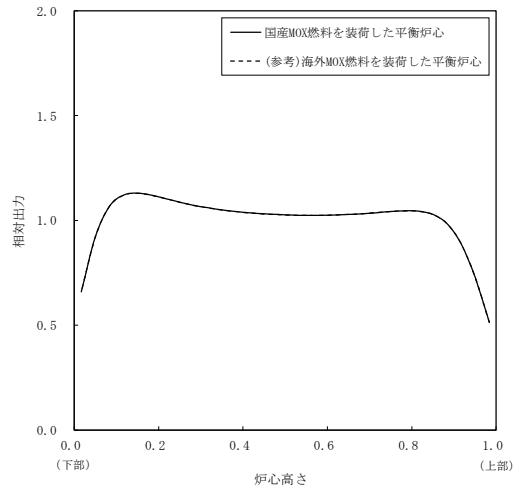
	影響評価 [※]	現行結果 [※]	制限値 [※]
燃料棒内圧	0.81	0.82	<1
被覆管応力	0.83	0.83	<1
被覆管引張歪	0.52	0.52	<1
被覆管累積疲労	0.28	0.29	<1

※設計比（評価値と制限値の比）が同じ場合を1とする。

さらに、下図のとおり軸方向出力分布も同等であることから最小 DNBR 評価にも影響は無いと考えられる。



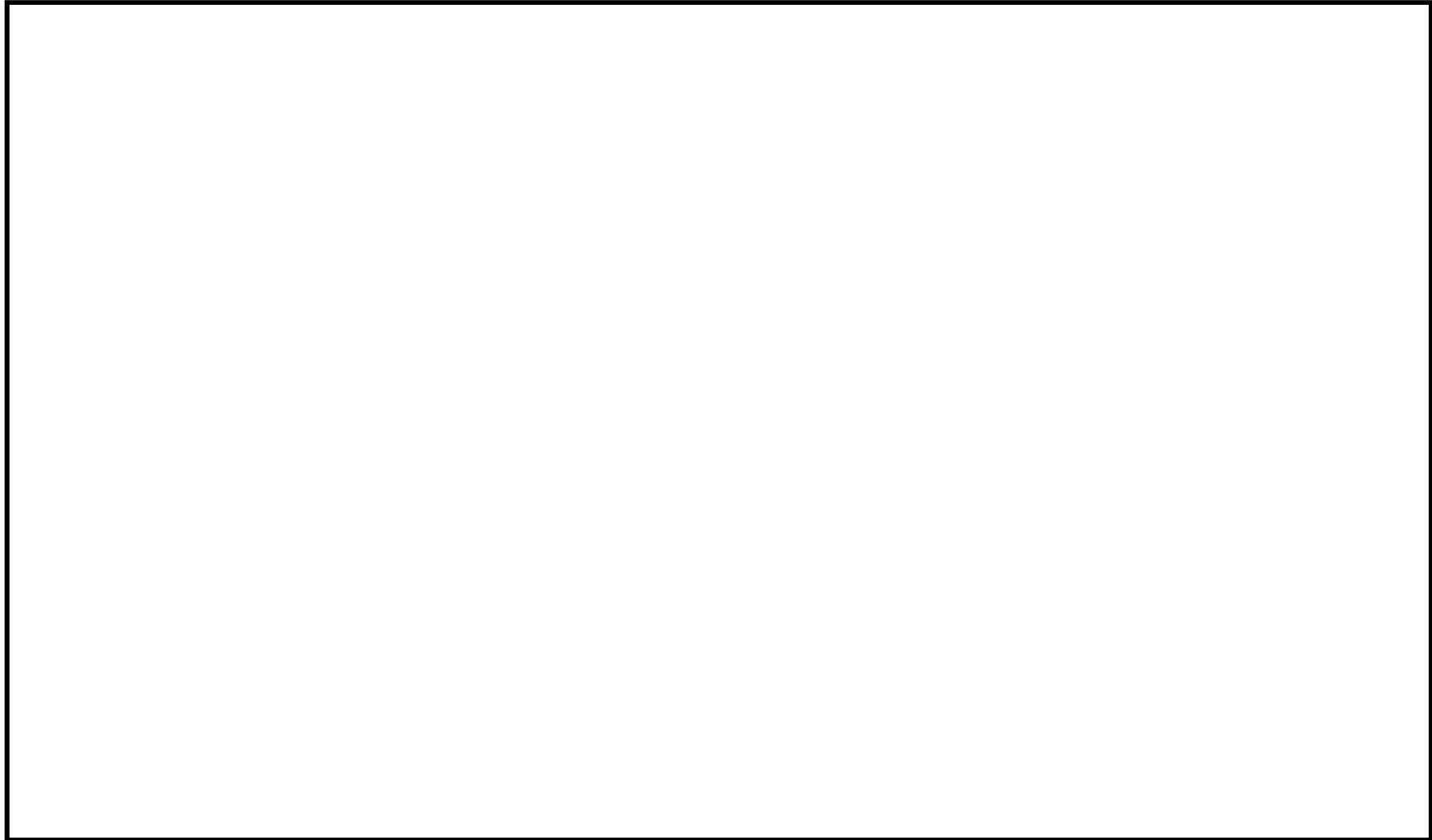
(1) サイクル初期



(2) サイクル末期

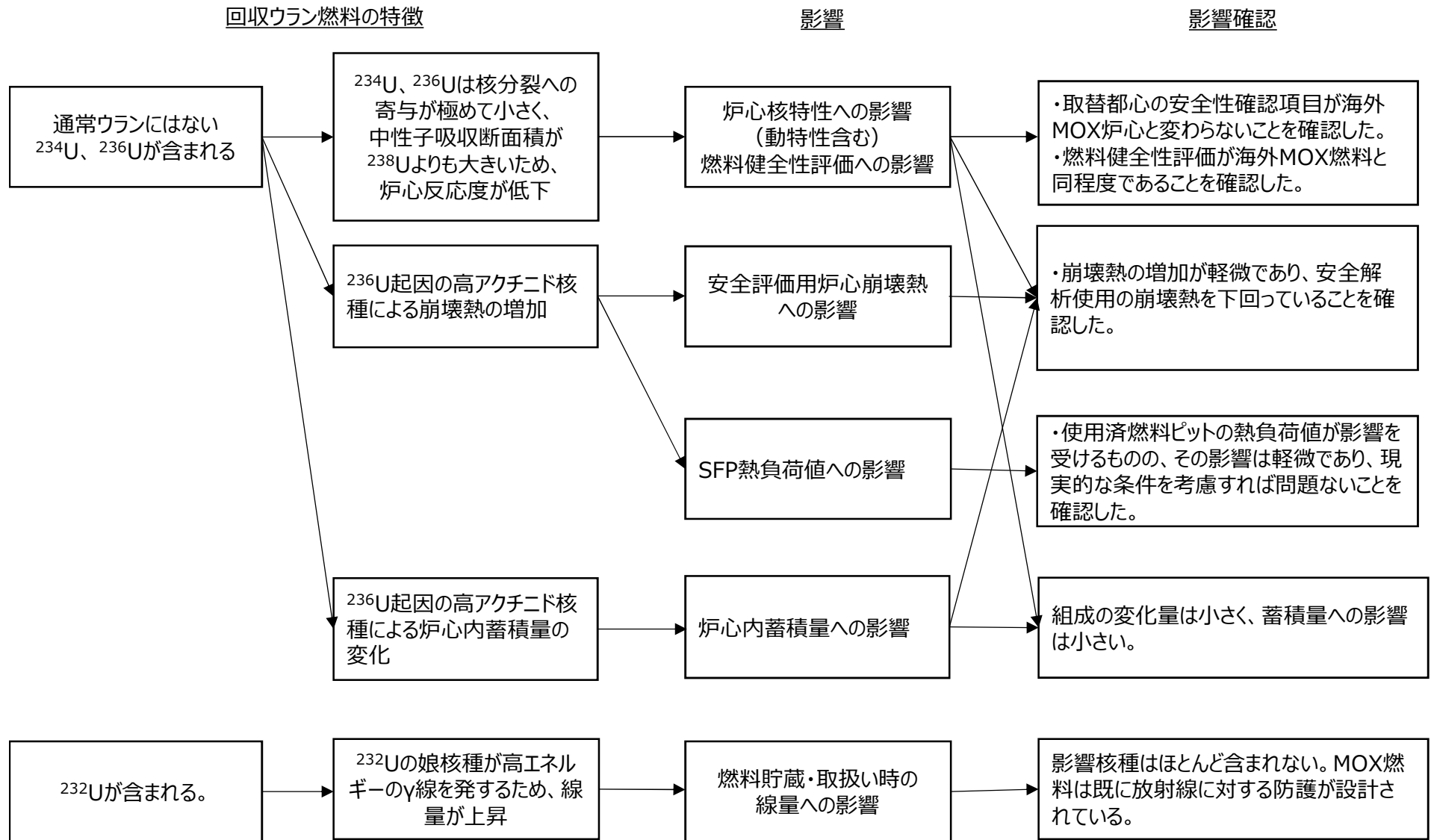
図 軸方向出力分布

国産MOX燃料の導入スケジュール（電力想定）



本資料のうち、枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

回収ウランの影響について



国産MOX燃料使用にあたっての設置許可基準適合性について

関係条文	○
関係しない条文	×

条文	条文との関係性	備考
第1条 適用範囲	×	影響なし
第2条 定義	×	影響なし
第3条 設計基準対象施設の地盤	×	影響なし
第4条 地震による損傷の防止	○	第5項に該当 反応度が若干変化することから、耐震評価への影響があるものの、影響は軽微である。
第5条 津波による損傷の防止	×	影響なし
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	×	影響なし
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	×	影響なし
第8条 火災による損傷の防止	×	影響なし
第9条 溢水による損傷の防止等	×	影響なし
第10条 誤操作の防止	×	影響なし
第11条 安全避難通路等	×	影響なし
第12条 安全施設	×	影響なし
第13条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	○	第1項及び2項に該当 崩壊熱が若干変化することから、使用している崩壊熱曲線に影響がある。
第14条 全交流動力電源喪失対策設備	×	影響なし
第15条 炉心等	○	第5項に該当 反応度が若干変化することにより炉心の成立性に影響があるものの、影響は軽微である。
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	第2項に該当 崩壊熱が若干変化することから、使用済燃料ピット熱負荷に影響があるものの、影響は軽微である。
第17条 原子炉冷却材圧カバウンダリ	×	影響なし
第18条 蒸気タービン	×	影響なし
第19条 非常用炉心冷却設備	×	影響なし
第20条 一次冷却材の減少分を補給する設備	×	影響なし
第21条 残留熱を除去することができる設備	×	影響なし
第22条 最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	×	影響なし
第23条 計測制御系統施設	×	影響なし
第24条 安全保護回路	×	影響なし
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	影響なし
第26条 原子炉制御室等	×	影響なし
第27条 放射性廃棄物の処理施設	○	第1項に該当 反応度が若干変化し炉内の中性子束等が変化することから、平常時被ばく評価に影響があるものの、影響は軽微である。
第28条 放射性廃棄物の貯蔵施設	×	影響なし
第29条 工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	×	影響なし

第30条	放射線からの放射線業務従事者の防護	○	第1項に該当 放射線量が若干変化することから、従業員の放射線防護に影響があるものの、影響は軽微である。
第31条	監視設備	×	影響なし
第32条	原子炉格納施設	×	影響なし
第33条	保安電源設備	×	影響なし
第34条	緊急時対策所	×	影響なし
第35条	通信連絡設備	×	影響なし
第36条	補助ボイラー	×	影響なし
第37条	重大事故等の拡大の防止等	○	第2項及び第3項に該当 崩壊熱が若干変化することから、使用している崩壊熱曲線への影響があり、炉心内蓄積量が若干変化する影響があるものの、影響は軽微である。
第38条	重大事故等対処施設の地盤	×	影響なし
第39条	地震による損傷の防止	×	影響なし
第40条	津波による損傷の防止	×	影響なし
第41条	火災による損傷の防止	×	影響なし
第42条	特定重大事故等対処施設	○	第2項に該当 崩壊熱が若干変化することから、使用している崩壊熱曲線への影響があり、炉心内蓄積量が若干変化するため居住性評価への影響があるものの、影響は軽微である。
第43条	重大事故等対処設備	×	影響なし
第44条	緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	×	影響なし
第45条	原子炉冷却材圧カバウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	影響なし
第46条	原子炉冷却材圧カバウンダリを減圧するための設備	×	影響なし
第47条	原子炉冷却材圧カバウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	影響なし
第48条	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	×	影響なし
第49条	原子炉格納容器内の冷却等のための設備	×	影響なし
第50条	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	×	影響なし
第51条	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	×	影響なし
第52条	水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	×	影響なし
第53条	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	×	影響なし
第54条	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	○	第1項及び第2項に該当 崩壊熱が若干変化することから、使用済燃料ピット熱負荷に影響があるものの、影響は軽微である。
第55条	工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	×	影響なし
第56条	重大事故等の収束に必要な水の供給設備	×	影響なし
第57条	電源設備	×	影響なし
第58条	計装設備	×	影響なし
第59条	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	○	炉心内蓄積量が若干変化するため居住性評価への影響があるものの、影響は軽微である。
第60条	監視測定設備	×	影響なし
第61条	緊急時対策所	○	第1項に該当 炉心内蓄積量が若干変化するため居住性評価への影響があるものの、影響は軽微である。
第62条	通信連絡を行うために必要な設備	×	影響なし