

東京電力(株)福島第一原子力発電所3号機において長期保管したMOX新燃料の健全性に係る確認結果について

平成22年8月4日
原子力安全・保安院



1. プルサーマル計画の概要

2. 確認方針

3. 確認項目の抽出

4. 確認内容

- ・燃料の組成変化による影響に係る確認
- ・環境及びその他の影響に係る確認

5. まとめ

福島第一原子力発電所プルサーマル計画

	福島第一原子力発電所3号機
設置変更許可年月日	平成11年7月2日
定格電気出力	約78.4万kW
燃料集合体の数	548体 MOX燃料の数(最大)240体 MOX燃料の重量割合 約1/3以下
MOX燃料 ・プルトニウム含有率 ¹⁾ (ペレット) ・核分裂性プルトニウム富化度 ²⁾ (ペレット) ・燃料集合体最高燃焼度	10 wt%以下 6 wt%以下 40,000MWd/t
ウラン燃料に換算すると・・・	(燃料集合体平均ウラン235濃縮度3.0wt%相当以下)
ウラン燃料(参考) ・燃料集合体平均ウラン235濃縮度 ・燃料集合体最高燃焼度	約3.8 wt% 55,000MWd/t

1)プルトニウム含有率 : 燃料内でのプルトニウムの量を示す指標

$$\frac{\text{全Pu重量}}{\text{全Pu重量} + \text{全U重量}}$$

2)核分裂性プルトニウム富化度 : 燃料内での核分裂性プルトニウムの量を示す指標

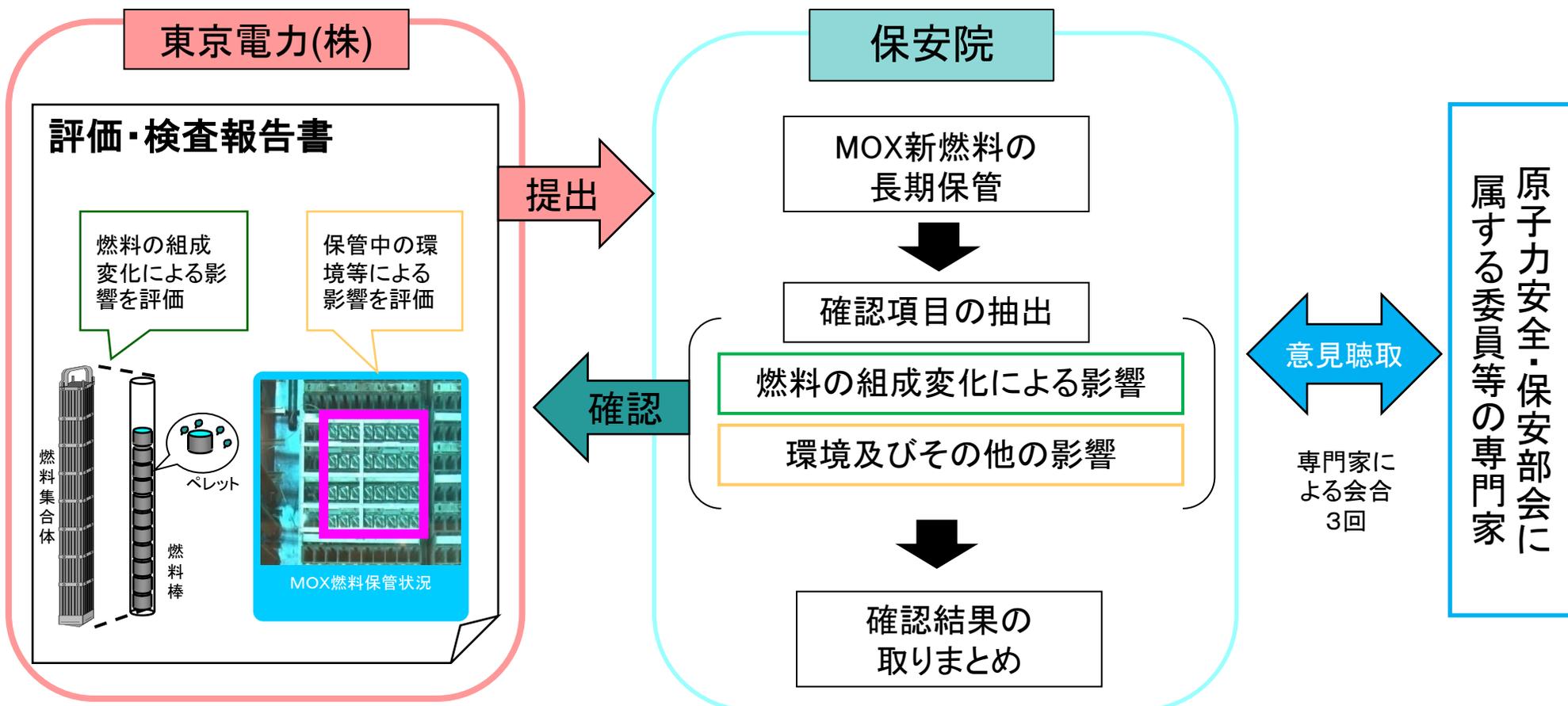
$$\frac{{}^{239}\text{Pu重量} + {}^{241}\text{Pu重量}}{\text{全Pu重量} + \text{全U重量}}$$

主な経緯

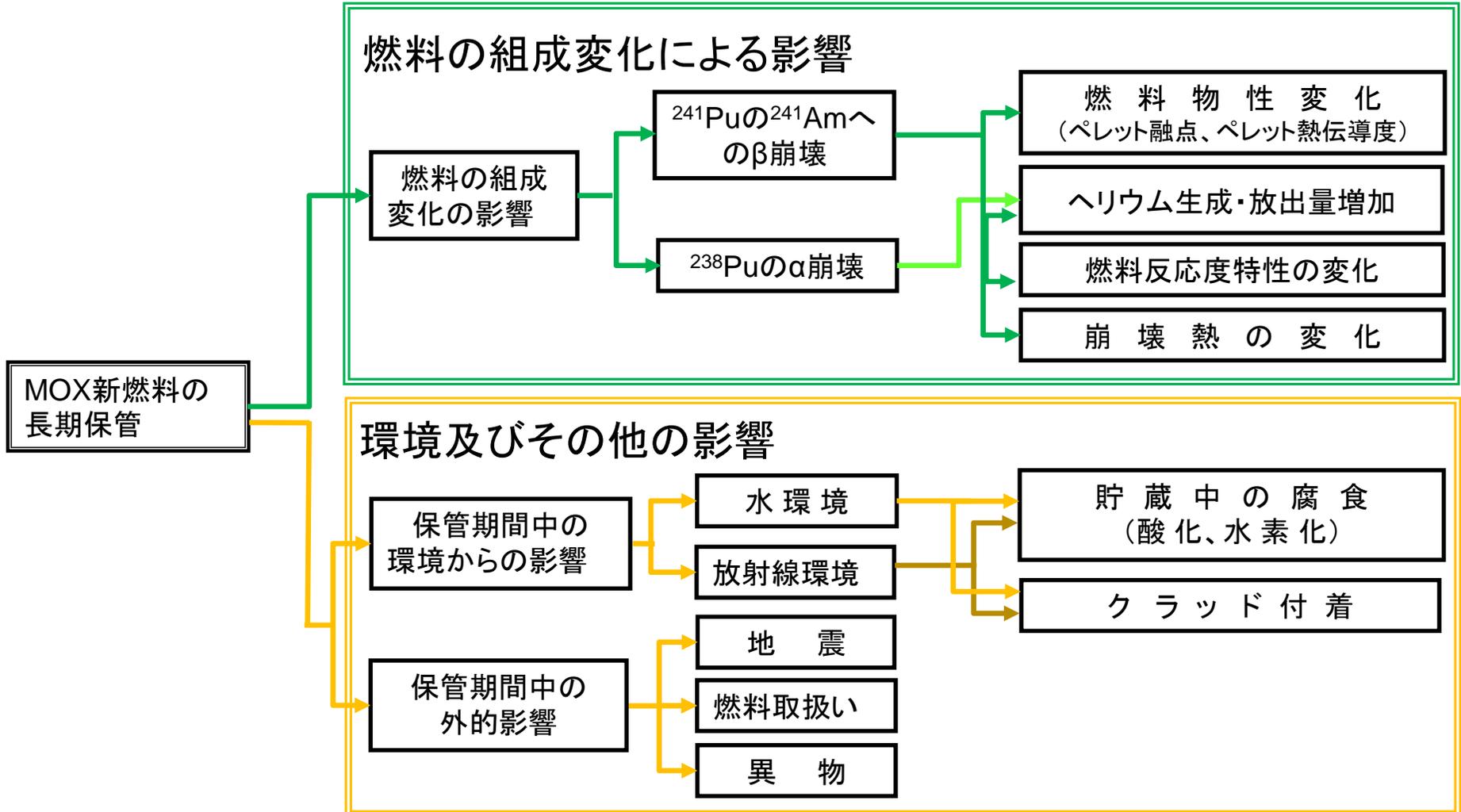
- 平成10年11月 原子炉設置変更許可申請
(全炉心燃料548体中、MOX燃料を最大240体装荷)
- 平成11年 7月 原子炉設置変更許可
- 平成11年 8月 MOX輸入燃料体検査申請
- 平成11年 9月 工事計画認可申請
- 平成11年 9月 MOX燃料32体が発電所に搬入
- 平成11年11月 工事計画認可
- 平成12年 8月 MOX輸入燃料体検査合格
- 平成22年 5月 東京電力が保安院に「評価・検査報告書」を提出
- 平成22年 6月3日、4日 保安院は健全性確認等のため立入検査を実施
- 平成22年 7月 保安院が確認結果を取りまとめ

確認方針

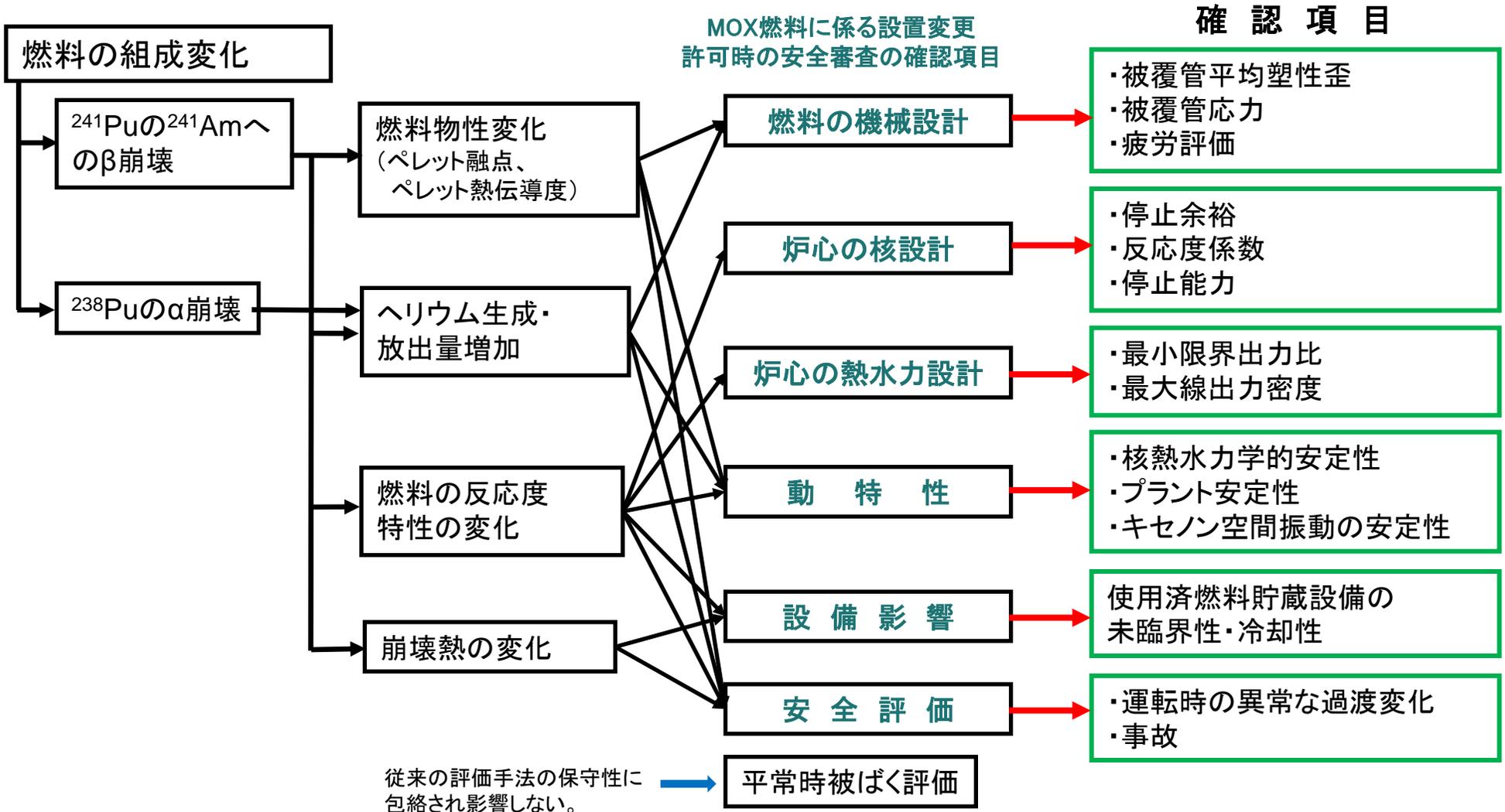
長期保管したMOX新燃料の健全性が確保され、これを使用しても原子炉の安全運転に支障を来さないことを確認



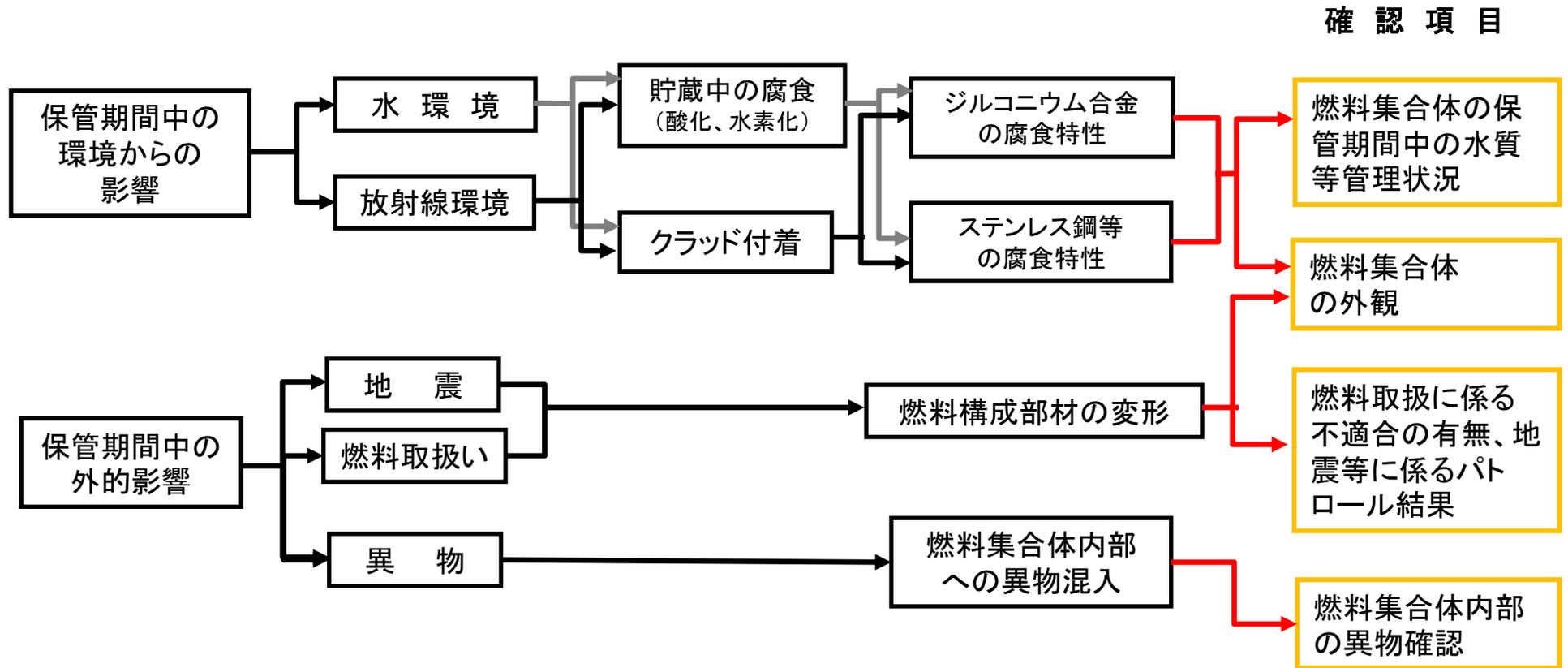
長期保管したMOX新燃料に想定される影響



燃料の組成変化による影響に係る確認項目



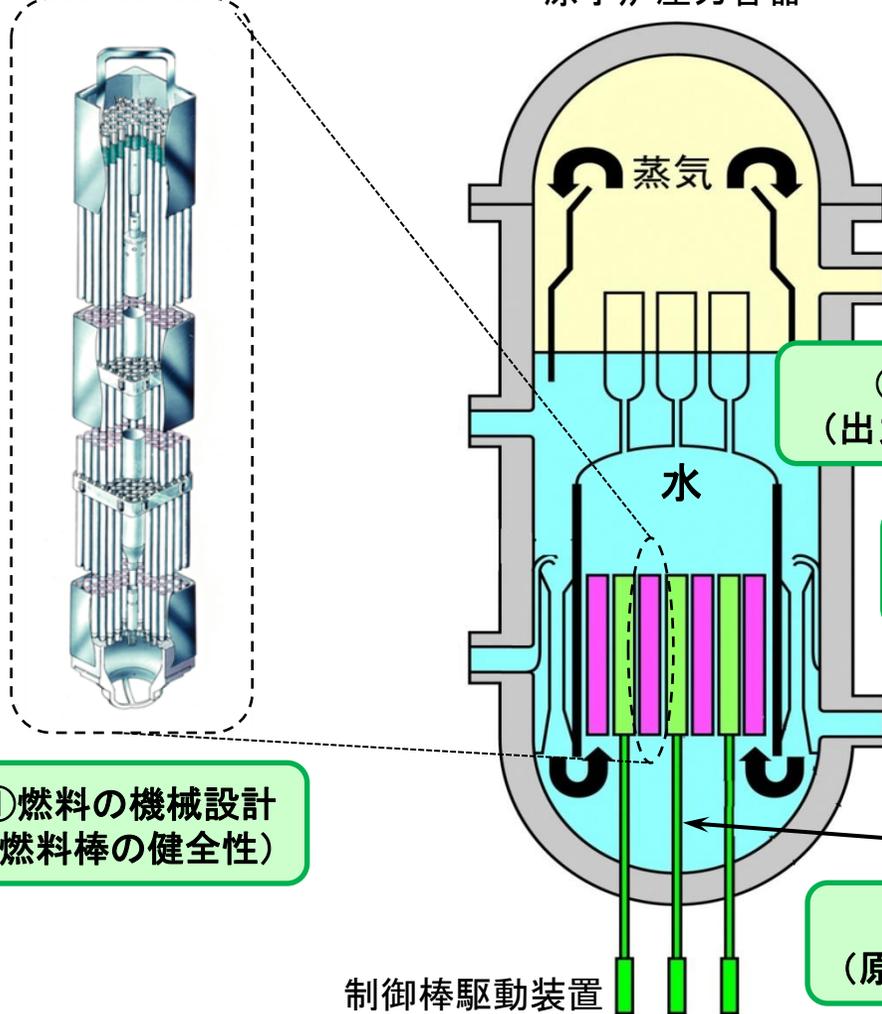
環境による影響及びその他の影響に係る確認項目



燃料の組成変化による影響に係る確認ポイント

燃料集合体

原子炉圧力容器



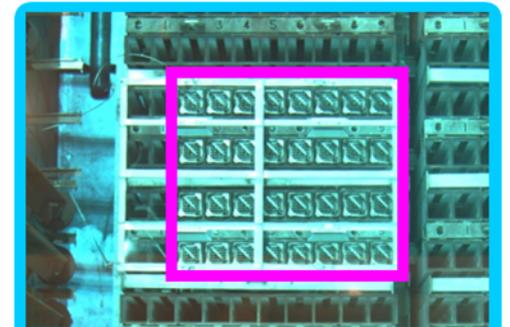
①燃料の機械設計
(燃料棒の健全性)

④動特性
(出力の安定性)

③炉心の熱水力設計
(燃料からの除熱等)

②炉心の核設計
(原子炉の停止能力等)

⑤設備影響
(使用済燃料貯蔵設備
の未臨界性・冷却性)



MOX燃料保管状況

⑥安全評価
(事故時等の影響)

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(評価条件の確認)

東京電力の評価条件

燃料の組成

【燃料の機械設計】

○プルトニウム及びアメリシウム含有率
プルトニウムの含有率は、設置変更許可時の上限値である10wt%。
アメリシウムの含有率は、以下のとおり。

単位: wt%	保管中MOX燃料の最大値	今回の評価条件
アメリシウム含有率	約0.34	0.5*

* 約25年の保管期間に相当。

○ヘリウムの生成・放出

プルトニウム238のα崩壊等によるヘリウムガスの生成及びペレットからのヘリウムガスの放出については、長期保管による影響を考慮。

【炉心の核・熱水力設計等】

○核種毎の含有率と同位体組成割合
第25及び26サイクルに装荷されるMOX燃料は、製造データを基に長期保管による組成変化を考慮。
第27サイクルについては、以下のとおり。

第27サイクル(単位: wt%)		
プルトニウム核種	含有率	Pu同位体組成割合
Pu238	約0.1	約2
Pu239	約2.3	約59
Pu240	約1.0	約27
Pu241	約0.3	約8
Pu242	約0.2	約4
Am241	約0.0	約1
Pu _f	約2.6	約67
全Pu	約3.9	100

装荷体数

	MOX燃料装荷体数		装荷する新燃料の設定根拠
	新燃料	炉内全燃料	
第25サイクル	32体	32体	福島第一3号機の使用済燃料プールで保管中のMOX燃料
第26サイクル	32体	64体	輸入燃料体検査申請中のMOX燃料
第27サイクル	80体	144体	設置変更許可解析の平衡炉心における1取替当たりのMOX燃料

保安院による確認結果

東京電力の評価条件については、MOX燃料の長期保管に燃料の組成変化及びヘリウムの生成・放出量の増加等について、適切に考慮していることを確認。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(1/6)

①燃料の機械設計(燃料棒の健全性)

判断基準

燃料の損傷防止のために以下の基準を満足すること。

- 燃料被覆管の円周方向平均塑性歪は1%以下であること。
- 燃料被覆管の応力は許容応力以下であること。
- 燃料被覆管の累積疲労は許容限界値を超えないこと。

東京電力の評価

- 燃料被覆管の円周方向平均塑性歪1%に相当する線出力密度は75kW/m(出力余裕約71%)であり、運転時の異常な過渡変化時における最大線出力密度は、これを下回る約53kW/m(出力増分約21%)である。
- 燃料被覆管の応力については、燃料棒の内外圧差による応力を厳しく評価するためFPガス及びヘリウムの放出はないとして評価していること等から長期保管したMOX燃料についても、発生応力は設置変更許可時の評価と変わらず許容応力以下となる。
- 燃料被覆管の累積疲労については、発生応力が変わらないことから、許容限界値を超えない。

これらのことから、長期保管したMOX燃料についても通常運転時及び過渡時において、燃料は損傷しない。

保安院による確認結果

東京電力の評価について、MOX燃料の長期保管によるヘリウムの生成・放出量の増加による影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(2/6)

②炉心の核設計(原子炉の停止能力等)

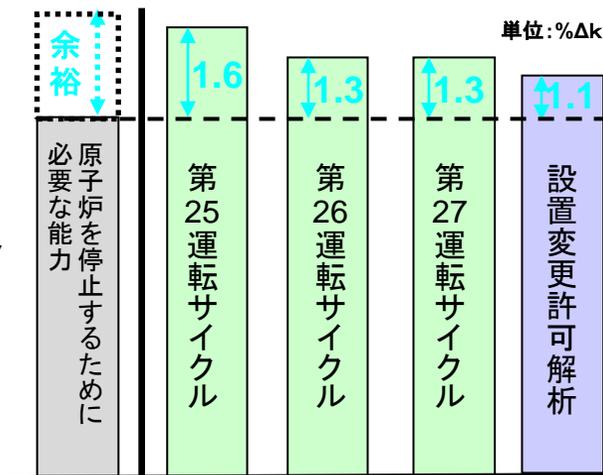
判断基準

原子炉の制御のために以下の基準を満足すること。

- 最大反応度価値を有する制御棒1本が完全に引き抜かれた場合でも、炉心を臨界未満にできること。
- ドップラ係数及び減速材ボイド係数は負であること。
- ほう酸水注入系については、原子炉を定格出力運転状態から炉心を臨界未満にでき、かつ、維持できること。

東京電力の評価

- 停止余裕については、第25から第27サイクルの炉心において、最大反応度価値を有する制御棒1本が完全に引き抜かれた場合でも、炉心を未臨界にできる。
- 減速材ボイド係数、ドップラ係数及びこれらの反応度係数を総合した出力反応度係数はサイクルを通じ負となる。
- ほう酸水注入系の制御能力については、第25から第27サイクルについて評価した結果、基準を満足する。



保安院による確認結果

東京電力の評価について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う燃料の反応度特性の影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、停止余裕及びほう酸注入時の実効増倍率は、取替炉心毎に管理される。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(3/6)

③炉心の熱水力設計(燃料からの除熱等)

判断基準

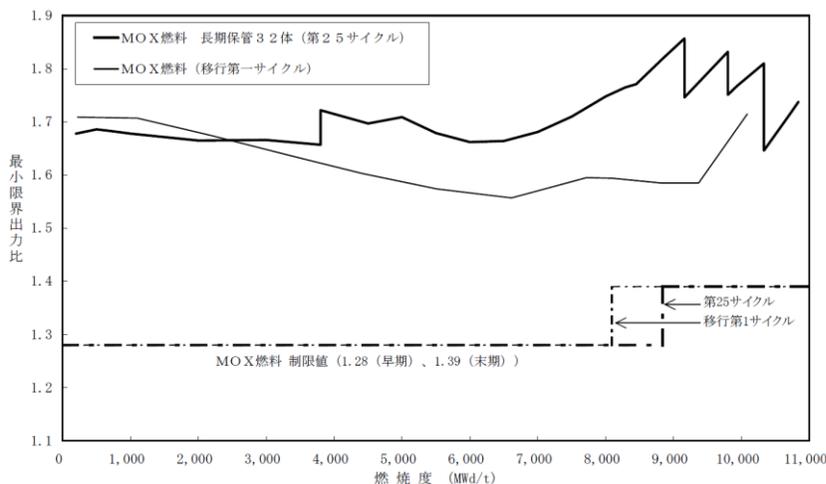
燃料の破損防止のために以下の基準を満足すること。

- 最小限界出力比(以下「MCPR」という。)及び最大線出力密度は通常運転時の熱的制限値を超えることなく運転でき、また、運転時の異常な過渡変化時に燃料の許容設計限界を超えないこと。

東京電力の評価

- 通常運転時のMCPR及び最大線出力密度の制限については、第25から第27サイクルにおいて、これを満足して運転することが可能である。

また、運転時の異常な過渡変化時においても、制限値を遵守することで、燃料の許容設計限界を超えることはない。



最小限界出力比の燃焼変化(第25サイクル)

保安院による確認結果

東京電力の評価について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う燃料の反応度特性の影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、MCPR及び最大線出力密度については取替炉心毎に管理される。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(4/6)

④動特性(出力の安定性)

判断基準

炉心の安定性確保のために以下の基準を満足すること。

- 核熱水力学的安定性(チャンネル安定性、炉心安定性及び領域安定性)は限界基準を満足すること。
- プラント安定性は限界基準を満足すること。
- キセノン空間振動の安定性については、空間振動を抑制できるような負の出力反応度係数を有すること。

東京電力の評価

○核熱水力学的安定性(チャンネル安定性、炉心安定性及び領域安定性)については、第25から第27サイクルについて評価した結果、基準を満足する。

○プラント安定性については、評価で用いるギャップ熱伝達係数等が設置変更許可時の解析に用いた値の範囲に包絡されていることから基準を満足する。

	今回の評価値	設置変更許可 解析値	基準
	25サイクルの例		
チャンネル安定性	0.31	0.51	<1
炉心安定性	0.61	0.77	<1
領域安定性	0.35	0.60	<1

○キセノン空間振動の安定性については、評価で用いる出力反応度係数が設置変更許可解析値に包絡されていること等から、空間振動を抑制できる。

保安院による確認結果

東京電力の評価について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う燃料の反応度特性の影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、核熱水力学的安定性については、取替炉心毎に管理される。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(5/6)

⑤設備影響(使用済燃料貯蔵設備の未臨界性及び冷却性)

判断基準

燃料貯蔵時の臨界防止及び冷却のために以下の基準を満足すること。

- 燃料の貯蔵設備は、想定されるいかなる場合でも、臨界を防止できること。
- 燃料の貯蔵設備は、崩壊熱を十分に除去し最終的な熱の逃がし場へ輸送できること。

東京電力の評価

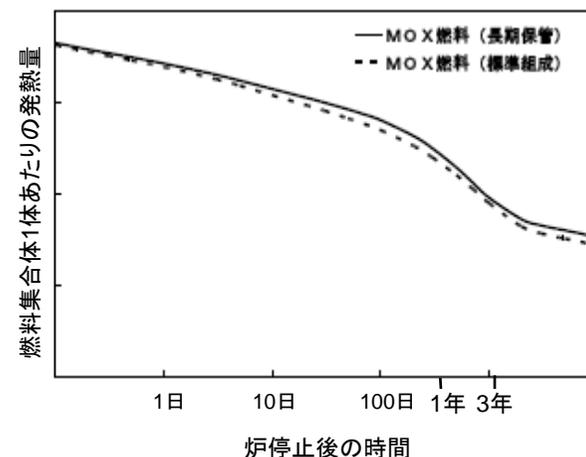
【使用済燃料プールの未臨界性】

長期保管したMOX燃料の無限増倍率の最大値が設置変更許可における評価条件である無限増倍率(1.23)を下回ることから、想定されるいかなる場合でも臨界を防止できる。

【使用済燃料プールの冷却性】

長期保管したMOX燃料が使用済燃料となった際の崩壊熱が、標準組成の使用済MOX燃料より大きくなるが、設置許可時の評価の保守性はそのままでも評価を実施しても基準を満足する。

	今回の評価	設置変更許可解析	基準
厳しい状態を仮定した評価	62.8℃	62.3℃	65℃以下



保安院による確認結果

東京電力の評価について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、使用済燃料プール水温は、常時監視され、管理される。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(6/6)

⑥安全評価(運転時の異常な過渡変化時の影響)

判断基準

運転時の異常な過渡変化時においても安全評価指針に定められた基準を満足すること。

東京電力の評価

【原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き】

第25から第27サイクルにおける最大制御棒価値は、設置変更許可時の当該事象の評価に用いる制御棒価値を1.3%Δkと十分保守的な条件で評価していることから長期保管MOXを装荷した炉心においても判断基準を満足する。

なお、第26サイクル末期において、制御棒引き抜き手順を変更し最大制御棒価値を評価した結果、0.80%Δkとなり、第25サイクルと同程度となる。

【出力運転中の制御棒の異常な引き抜き】

第25から第27サイクルについて評価した結果、最小限界出力比等は判断基準を満足する。

【その他の事象】

減速材ボイド係数等が、設置変更許可における解析条件に包絡されること等から判断基準を満足する。

これらのことから、長期保管したMOX燃料を使用した場合の運転時の異常な過渡変化時の安全評価についても判断基準を満足する。

最大制御棒価値 (単位: %Δk)	評価結果			設置変更許可 解析値 (1/3MOX炉 心)	設置変 更許 可 解 析 条 件
	25 サイクル	26 サイクル	27 サイクル		
サイクル初期	0.84	0.89	0.92	0.98	1.3
サイクル末期	0.84	0.97	0.85	0.87	

保安院による確認結果

東京電力の評価結果について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、最大制御棒価値は、取替炉心毎に管理される。

燃料の組成変化による影響に係る確認内容(6/6)

⑥安全評価(事故時の影響)

判断基準

事故時においても安全評価指針に定められた基準を満足すること。

東京電力の評価

【制御棒落下に係る安全評価】

第25サイクルについて評価した結果、燃料エンタルピーの最大値等は判断基準を満足する。

なお、評価で用いる最大制御棒価値についての考え方は、「起動時における制御棒の異常な引き抜き」に同じ。

燃料エンタルピー (単位:kJ/kgUO ₂)	25サイクル初期 低温時		25サイクル末期 高温待機時		判断 基準
	今回の 評価値	設置変更許 可解析値	今回の 評価値	設置変更許 可解析値	
最大値	496	776	525	715	837 以下

【原子炉冷却材の喪失等に係る安全評価】

ギャップ熱伝達係数等が、設置変更許可における解析条件に包絡されること等から判断基準を満足する。

【事故時被ばく評価】

設置変更許可申請では、厳しい評価となるウラン燃料炉心に適用されている方法を用いており、今回の長期保管したMOX燃料についても、その保守性の中に包絡されることから評価結果に影響はない。

これらのことから、長期保管したMOX燃料を使用した場合の事故時の評価についても判断基準を満足する。

保安院による確認結果

東京電力の評価結果について、MOX燃料の長期保管による燃料の組成変化に伴う影響を適切に考慮し評価していること、評価結果は判断基準を満足していることを確認。なお、最大制御棒価値は、取替炉心毎に管理される。

環境による影響及びその他の影響に係る確認内容(1/4)

①燃料の外観確認(1/2)

判断基準

長期保管中の腐食や外力による変形等について、以下の基準を満足すること。

- 東京電力が実施した外観確認が適切に実施されていること。
- 燃料棒に明らかな損傷・つぶれの無いこと。
- 燃料棒以外の構成要素に有害な損傷・変形等の無いこと。
- 燃料棒間の間隙に狭小な箇所が無いこと。
- 燃料棒の明らかな油脂・酸化物等で有害な付着物の無いこと。
- 確認された擦れ跡等については、製造時のものであり、燃料受入時において確認されているものであること。

東京電力の評価

- MOX燃料32体は、いずれも判定基準を満足しており、また、すべての燃料棒表面には金属光沢が認められている。
- 燃料棒表面に認められた擦れ跡等は、製造時のものである。

東京電力の判定基準

- 燃料棒に明らかな損傷・つぶれ、燃料棒以外の構成要素に有害な損傷・変形等のないこと
- 燃料棒間の間隙に狭小な箇所がないこと
- 燃料棒の明らかな油脂・酸化物等で有害な付着物のないこと

保安院による確認結果

本年6月3日、4日に実施した立入検査等により、以下を確認した。

- 東京電力は、必要な文書を定め、要領書に従って外観検査を適切に実施し、その判定も適切であることを確認。
- 保安院は、代表性を考慮した3体の外観確認を行い、判断基準を満足することを確認。
- 輸入燃料体検査時(平成11年)の映像と比較し、擦れ跡等は燃料受入時において確認されていることを確認。

環境による影響及びその他の影響に係る確認内容(2/4)

①燃料の外観確認(2/2)

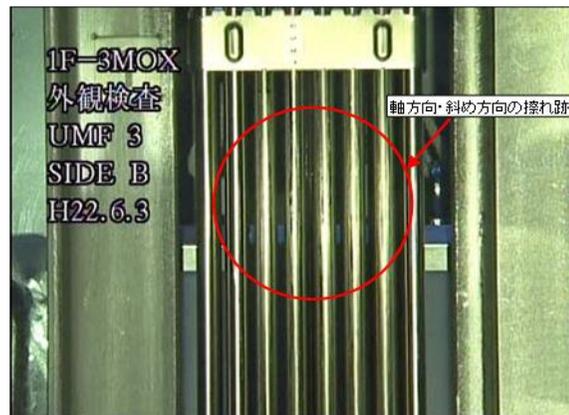
保安院による確認結果

東京電力の社内規程に準じて水中テレビカメラによる外観確認を実施

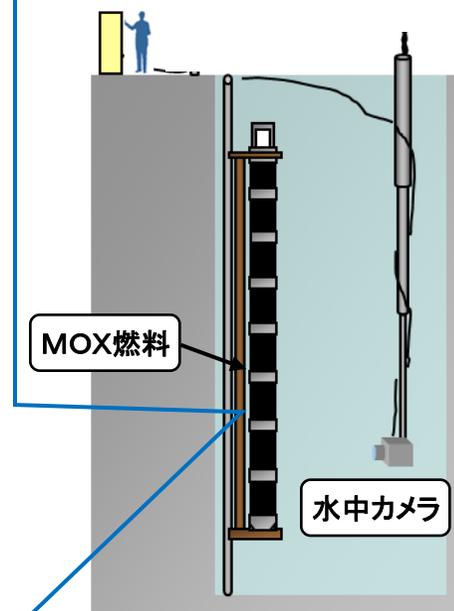


- 燃料棒表面等には金属光沢が認められ、腐食等は認められない。
- 構成要素の損傷、変形及び欠如は認められない。
- 燃料棒の間隙に狭小な箇所は認められない。

外観確認の例



外観検査装置



環境による影響及びその他の影響に係る確認内容(3/4)

②ファイバースコープによる確認

判断基準

MOX燃料内部に健全性に影響を及ぼす異物が無いことについて、以下の基準を満足すること。

- 東京電力が実施したファイバースコープ等による確認が適切に実施されていること。
- MOX新燃料集合体の健全性に影響を及ぼす異物が無いこと。

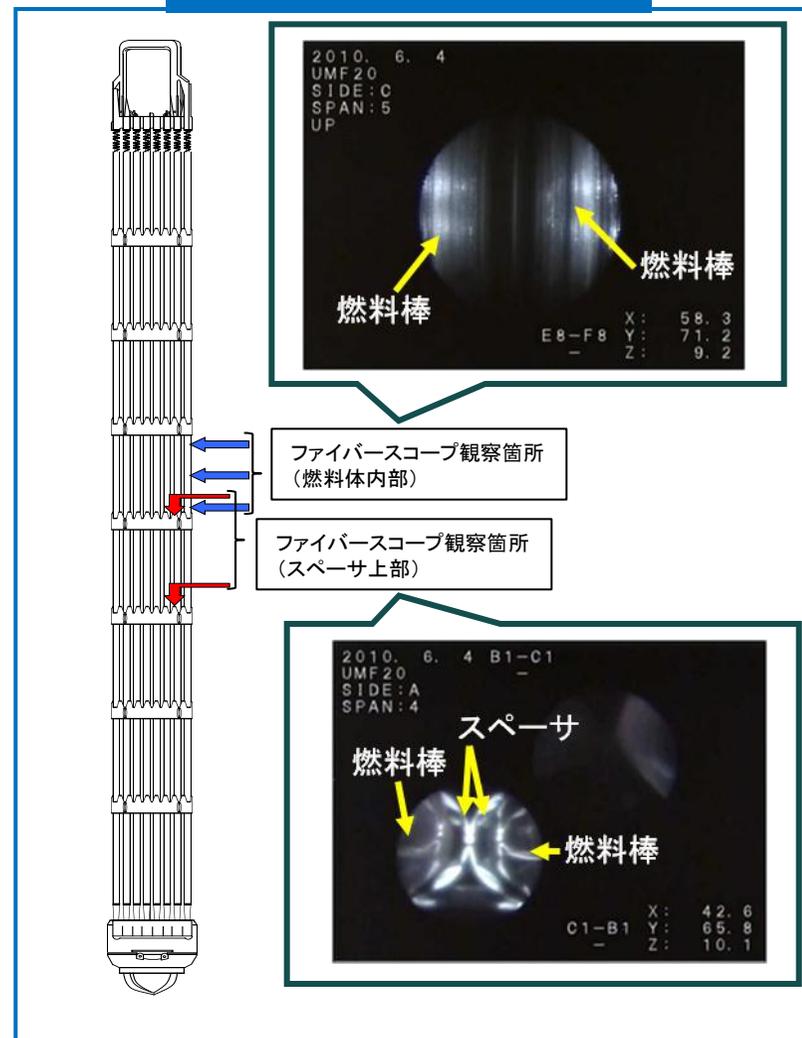
東京電力の評価

○MOX燃料32体には、いずれも燃料健全性に影響を及ぼす異物が無いことを確認。

保安院による確認結果

- 本年6月3日、4日に実施した立入検査等により、以下を確認した。
- 東京電力は、ファイバースコープ等の確認のため、「実施計画」等の文書を定め、これに従い確認が適切に実施され、その判定も適切であることを確認。
 - 保安院は、代表性を考慮した1体についてスペーサ上部からの確認を行い、判断基準を満足することを確認。
 - さらに、保安院独自の観点として、MOX燃料の内部に位置する燃料棒等の表面も確認し、外周部の燃料棒等と表面状態に差異がないことも確認。

ファイバースコープ確認の例



環境による影響及びその他の影響に係る確認内容(4/4)

③水質管理等に係る確認

判断基準

MOX燃料保管期間中において、以下の基準を満足すること。

- 使用済燃料プール水位、水温が保安規定を満足していること。
- 使用済燃料プール水質が社内管理基準を満足していること。
- 燃料取扱い作業時に燃料健全性に影響を与える不適合がないこと。
- 保管期間中に発生した地震により燃料健全性に影響を与える事象が発生していないこと。

東京電力の評価

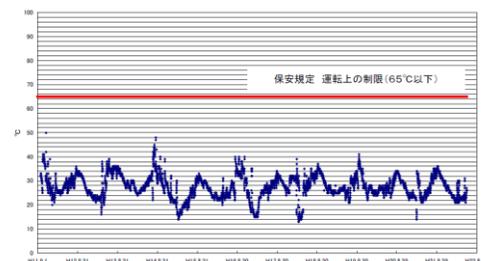
- MOX燃料保管期間中、使用済燃料プールの水位、水温及び水質は基準を満足していた。
- 燃料取扱い作業において燃料健全性に影響する不適合は発生していない。
- 保管期間中の最大の地震は2003年5月26日の宮城県沖を震源とする地震であり、地震発生後のパトロールにおいて異常が無いことを確認。

保安院による確認結果

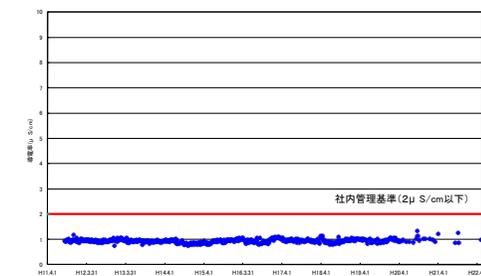
本年6月3日、4日に実施した立入検査等により、以下を確認した。

- 使用済燃料プールの水位、水温、導電率及びpH等は、燃料受入れから現在まで、保安規定や社内管理値を満足しており、適切に管理されていることを確認。
- 燃料取扱い作業時に燃料健全性に影響する不適合は発生していないことを確認。
- 保管期間中の地震加速度が最も大きな地震は2003年5月26日の宮城県沖を震源とする地震であり、地震後に実施したパトロールに係る点検結果報告書から、MOX新燃料集合体に異常が確認されていないことを確認。

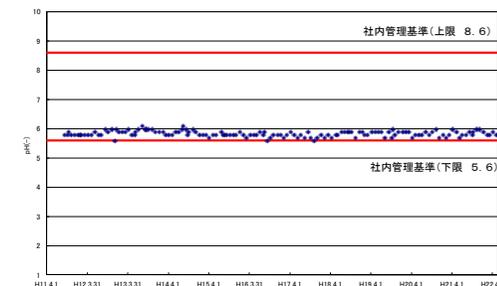
水質管理確認の例



使用済燃料プール水温



使用済燃料プール導電率



使用済燃料プールpH

まとめ

- ◆長期間保管したMOX新燃料の健全性及びこれを使用しても原子炉の安全運転に支障がないことについて、東京電力の評価結果を確認。
- ◆確認に当たっては、立入検査による保管状況の確認の他、審査会において、専門家による意見の聴取を実施。

確認結果

東京電力の評価結果は妥当であり、MOX新燃料の健全性及びこれを使用しても原子炉の安全運転に支障がないと判断。

今後の対応

保安院は、使用前検査及び保安検査等を通じ、長期保管したMOX燃料の使用に係る安全性について継続して確認して行く。