

東京電力(株)福島第一原子力発電所3号機  
MOX燃料採用に伴う高経年化対策等  
に関する審査結果について

平成22年8月4日  
原子力安全・保安院



# 目 次

1. 福島第一原子力発電所3号機の高経年化対策等の経緯について
2. 高経年化対策等の審査の概要
3. 30年目の高経年化技術評価に基づく長期保守管理方針の実施状況について
4. MOX燃料採用に伴う高経年化技術評価への影響評価について
  - (1) MOX燃料採用に伴う放射線量の評価
  - (2) 放射線量の増加による経年劣化事象ごとの影響評価結果
5. まとめ

< 参考資料集 >

# 1. 福島第一原子力発電所3号機の高経年化対策等の経緯について

東京電力(株)福島第一原子力発電所3号機 BWR 出力:784MW

1976年 3月27日 営業運転開始

2006年 3月16日 保安院は30年目の高経年化技術評価に対する審査結果公表

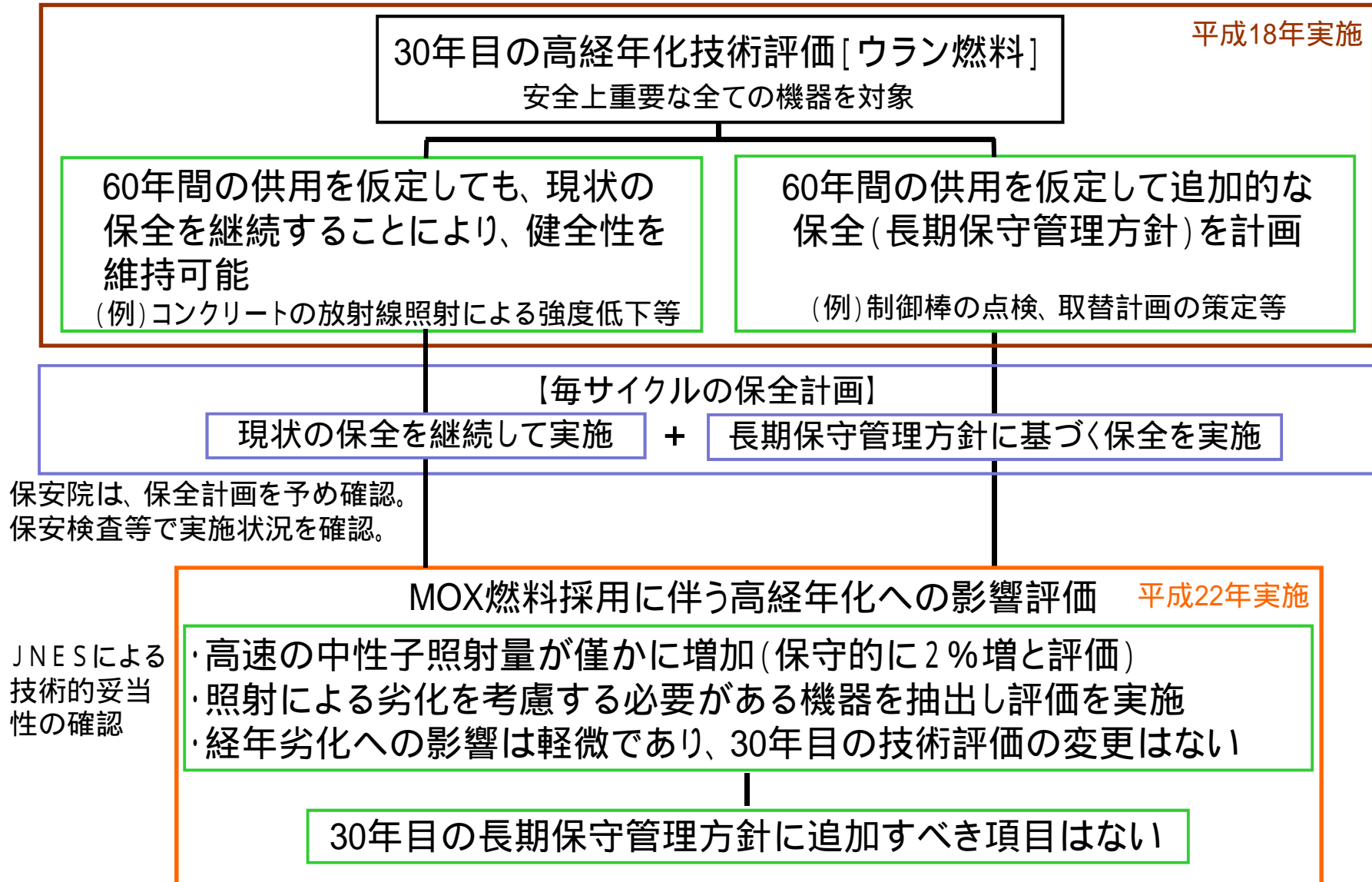
2008年12月12日 保安院は制度改正に伴う保安規定変更(長期保守管理方針)認可

2010年 5月26日 東京電力はMOX燃料採用に伴う「高経年化対策について」福島県へ提出

2010年 6月17日 東京電力はMOX燃料採用に伴う「高経年化対策について」保安院へ提出

2010年 7月26日 保安院はMOX燃料採用に伴う「高経年化対策について」に関する審査結果公表

## 2. 高経年化対策等の審査の概要



## MOX燃料採用に伴う審査の経緯

保安検査により、長期保守管理方針に基づく保全の実施状況を確認

(2010年6月22日)

原子力安全基盤機構(JNES)による技術的妥当性の確認

・技術的妥当性について書面審査

専門的意見の聴取

・高経年化技術評価ワーキンググループでの審議

(2010年7月16日)

これらを踏まえ、保安院としての技術的な確認、評価をとりまとめ

(2010年7月26日)

### 3.30年目の高経年化技術評価に基づく長期保守管理方針の実施状況について

#### 長期保守管理方針実施項目：23項目の確認

内訳

短期(注1)：5項目(参考資料集参照)

原子炉格納容器の腐食の進展を監視するための肉厚測定等の3項目が継続実施中であり、今後実施予定の2項目も含め平成23年3月26日までに完了予定であることを確認

中長期(注2)：18項目(参考資料集参照)

超音波を使って高圧タービン等のひび割れを検査する等の6項目が継続実施中であり、12項目が今後実施予定であることを確認



長期保守管理方針は適切に実施されていると判断

(注1)実施時期：平成18年3月27日からの5年間

(注2)実施時期：平成18年3月27日からの10年間

## 4. MOX燃料採用に伴う高経年化技術評価への影響評価について

### (1) MOX燃料採用に伴う放射線量の評価

#### 事業者による評価

ウラン燃料の代わりに全燃料の1 / 3をMOX燃料にした場合、炉心の高速の中性子量が約2%増加

ただし、高経年化技術評価では、保守的に評価するため、

運転開始当初からMOX燃料を採用していると設定(60年間MOX燃料を使用すると設定)  
ガンマ線の量も2%増加すると設定

#### 国の確認内容

- ・平成11年7月に許可したMOX燃料の採用に伴う設置変更許可申請の際に国が確認した高速の中性子の量を求める計算手法を用い、算定されていることを確認

ウラン燃料の代わりに全燃料体数の1 / 3をMOX燃料にした場合

1 / 3 MOX燃料	: $1.236 \times 10^{14} \text{n/cm}^2\text{s}$
ウラン燃料9 × 9燃料	: $1.213 \times 10^{14} \text{n/cm}^2\text{s}$

となり、わずか(2%)の高速の中性子の量が増加

- ・ガンマ線の量の増加は考慮する必要はないと考えられるが、保守的に2%増加すると設定していることを確認

事業者の評価結果を  
妥当と判断

## ( 2 ) 放射線量の増加による経年劣化事象ごとの影響評価結果

### 事業者による評価

放射線の照射により影響を受ける事象	高経年化技術評価結果
原子炉圧力容器の中性子照射脆化 (中性子の照射により脆くなる影響)	2%の放射線照射量の増加による劣化等の影響は軽微であり、30年目の高経年化技術評価結果を見直すべきものはない
炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れ (中性子の照射によりひび割れが発生しやすくなる影響)	
電気・計装品の絶縁低下等 (放射線の照射等により絶縁が劣化する影響)	
コンクリートの放射線照射による強度低下	
その他事象(放射線照射による制御棒や機器基礎部の樹脂の劣化等)	
耐震安全性 〔原子炉圧力容器、炉内構造物の中性子照射による材料強度の劣化を想定し、基準地震動S2に対して安全であることを確認 <sup>(注)</sup> 〕	2%の放射線照射量の増加による影響は極めて軽微であり、耐震安全性に影響を与えるものではない

(注)腐食等の影響を想定して、耐震バックチェックの中間報告機器を対象とした基準地震動Ssに対する評価結果も参考提出

### 国の確認内容

- ・東京電力は30年目の高経年化技術評価に基づく長期保守管理方針を適切に実施していることを確認
- ・MOX燃料の採用により、放射線照射量が2%増加するとして、60年の供用期間を仮定した機器・構造物の健全性評価が適切に行われていることを確認
- ・この結果、MOX燃料の採用により30年目の高経年化技術評価結果を見直すべきものはないことを確認

事業者の  
評価結果を  
妥当と判断





## 5. まとめ

- ・ MOX燃料の採用による経年劣化への影響は軽微であり、30年目の高経年化技術評価結果に変更すべきものはない
- ・ MOX燃料の採用により現在策定されている長期保守管理方針に追加すべき項目はない
- ・ 今後とも、現状保全及び長期保守管理方針が確実に実施されていくことを確認していく

# 参考資料集

## 1. 高経年化対策に関する基本的な考え方

## 2. 30年目の高経年化技術評価の概要

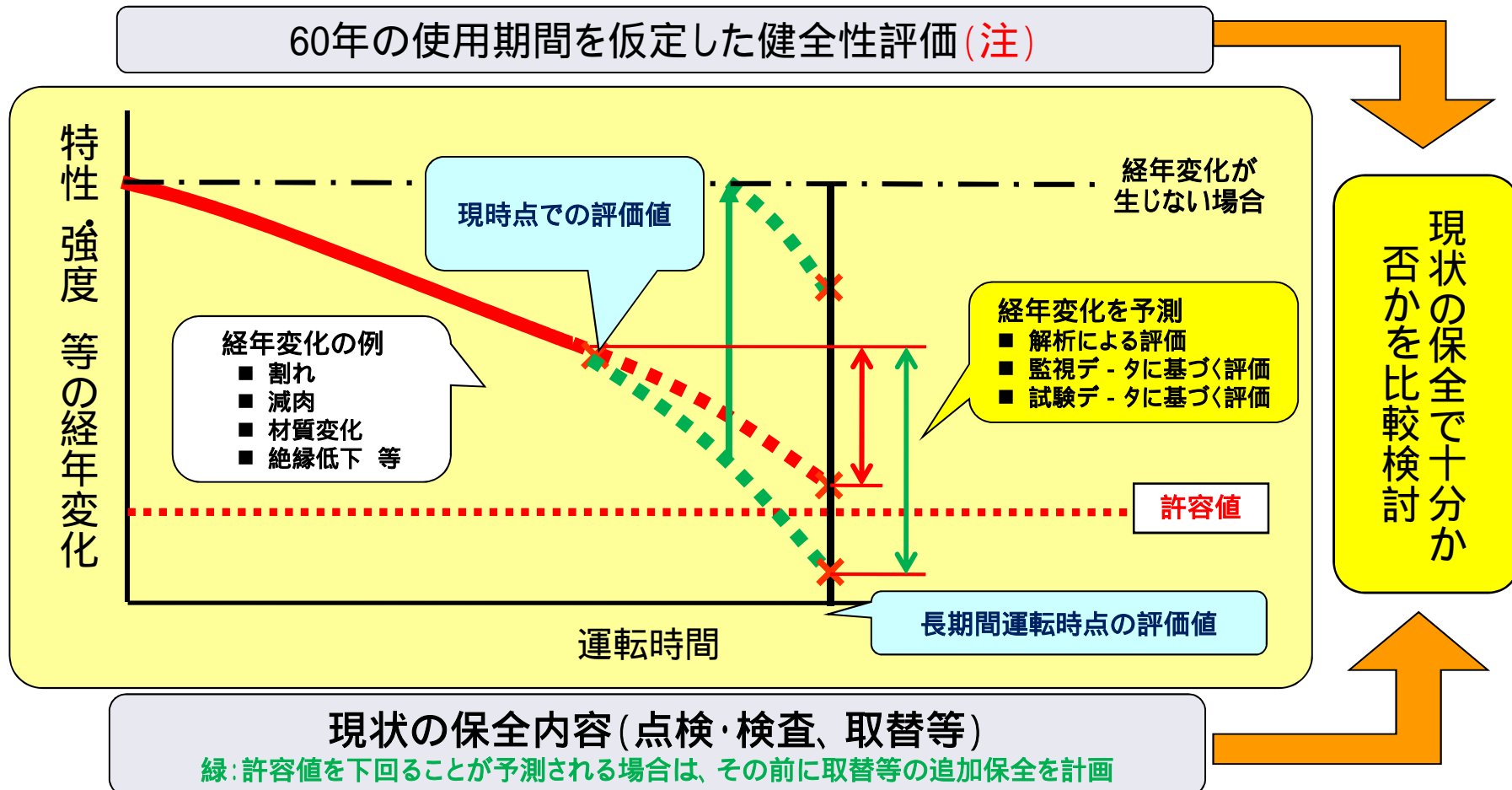
- (1) 30年目の高経年化技術評価の審査結果
- (2) 30年目の長期保守管理方針

## 3. 経年劣化事象ごとの技術評価結果

- (1) 原子炉圧力容器の中性子照射脆化
- (2) 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れ
- (3) 電気・計装品の絶縁低下等
- (4) コンクリートの放射線照射による強度低下
- (5) 耐震安全性

# 1. 高経年化対策に関する基本的な考え方

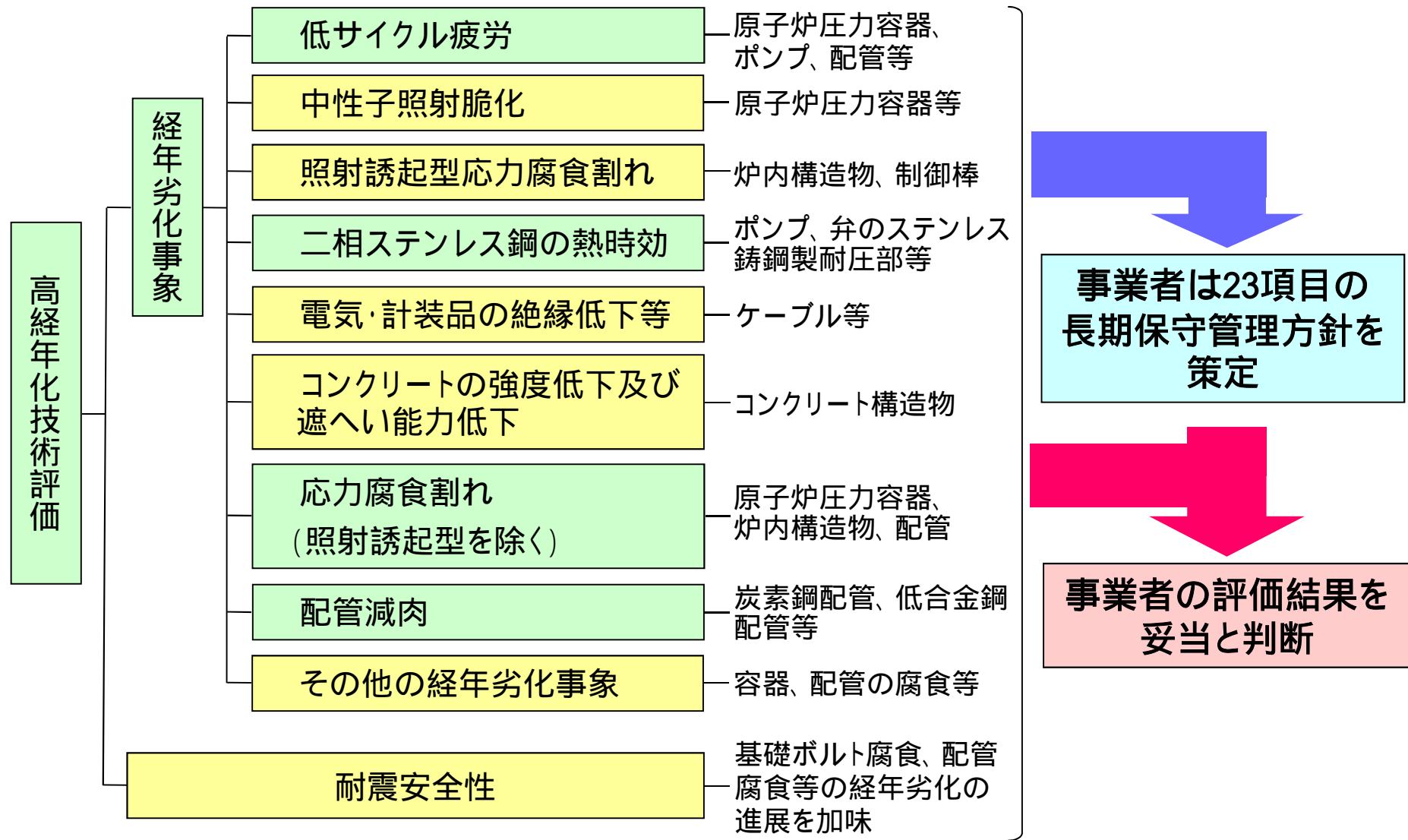
プラントの運転開始から60年を一つの目安とした供用期間を仮定して、機器・構造物の健全性評価を行うとともに、現状の保全内容が十分かどうか確認し、追加すべき保全策の必要性を検討する。



(注)60年の使用を認めるものではない。経年変化を予測し、60年時点の健全性を評価。

## 2. 30年目の高経年化技術評価の概要

### (1) 30年目の高経年化技術評価の審査結果



(注): □ はMOX燃料採用に伴う影響評価の対象としたもの。

## (2) 30年目の長期保守管理方針(福島第一原子力発電所の保安規定より抜粋)

番号	長期保守管理方針	実施時期	実施状況
1	原子炉再循環ポンプ等の疲労割れについては、実過渡回数に基づく疲労評価を実施する。	中長期	未実施
2	主蒸気隔離弁の弁箱の疲労割れについては、評価に必要な部位の寸法測定を計画し、実過渡回数に基づく疲労評価を実施する。	短期(終了は中長期) <sup>1</sup>	未実施
3	原子炉圧力容器の照射脆化については、最新の脆化予測式による評価を実施する。また、その結果を踏まえ、確立した使用済試験片の再生技術の早期適用による追加試験の実施の要否を判断し、要の場合はそれを反映した取出計画を策定する	中長期	未実施
4	炉内構造物の中性子照射による靱性低下については、火力原子力発電技術協会「BWR炉内構造物点検評価ガイドライン」、日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格 JSME S NA1-2004」又は原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について(内規)」(平成20年7月11日付け平成20・07・04 原院第1号)に基づく点検を実施する。また、点検結果及びオーステナイトステンレス鋼の中性子照射による靱性低下に関する安全基盤研究の成果が得られた場合には、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	継続 実施中
5	原子炉圧力容器等の粒界型応力腐食割れについては、火力原子力発電技術協会「BWR炉内構造物点検評価ガイドライン」、日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格 JSME S NA1-2004」又は原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について(内規)」(平成20年7月11日付け平成20・07・04 原院第1号)に基づく点検を実施する。 また、点検結果及び粒界型応力腐食割れ発生に関する安全基盤研究の成果が得られた場合には、保全への要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。 炉内構造物のシュラウドサポートの粒界型応力腐食割れについては、代表部位の目視点検を定期的実施するとともに、近接可能な範囲について目視点検を実施する。	中長期	継続 実施中
6	気体廃棄物処理系排ガス余熱器等の粒界型応力腐食割れについては、耐圧部の溶接部について超音波探傷検査による点検を実施する。	短期	継続 実施中

1: 実施時期の分類上は、「中長期」として取り扱った。

(注):      は実施時期が「短期」のもの。

〔 < 参考資料集 > 2. 30年目の高経年化技術評価の概要  
(2) 30年目の長期保守管理方針 〕

番号	長期保守管理方針	実施時期	実施状況
7	炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れについては、火力原子力発電技術協会「BWR炉内構造物点検評価ガイドライン」、日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格 JSME S NA1-2004」又は原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について(内規)」(平成20年7月11日付け平成20・07・04 原院第1号)に基づく点検を実施する。また、点検結果及び照射誘起型応力腐食割れ発生に関する安全基盤研究の成果が得られた場合には、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	継続実施中
8	制御棒(ボロン・カーバイト型及びハフニウム板型)の照射誘起型応力腐食割れについては、制御棒の点検を実施し、蓄積した点検データに基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は予防保全措置の実施計画を策定する。なお、ハフニウム板型制御棒のひび事象への対応として、原子力安全・保安院指示文書「沸騰水型原子力発電所におけるハフニウム板型制御棒の使用について」(平成18年5月31日付け平成18・05・31 原院第1号)に基づく点検を実施する。	中長期	継続実施中
9	高圧タービン等の応力腐食割れについては、超音波探傷検査を実施する。 タービン駆動原子炉給水ポンプ駆動タービンの翼・車軸接合部の応力腐食割れについては、高圧タービン等の検査結果に基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	継続実施中
10	原子炉格納容器のドライウェルスプレイヘッダ及びサプレッションチェンバスプレイヘッダの腐食については、内面の目視点検を実施する。	短期	未実施
11	原子炉格納容器等の腐食については、肉厚測定を実施する。	短期	継続実施中
12	気体廃棄物処理系炭素鋼配管の外面腐食については、地中埋設部の代表部位の目視点検を実施する。	中長期	未実施
13	可燃性ガス濃度制御系設備等の腐食については、肉厚測定を実施する。	短期	未実施

(注):  は実施時期が「短期」のもの。

〔 < 参考資料集 > 2. 30年目の高経年化技術評価の概要  
(2) 30年目の長期保守管理方針 〕

番号	長期保守管理方針	実施時期	実施状況
14	炭素鋼配管及び低合金鋼配管内面のエロージョン・コロージョン及びエロージョンについては、エロージョン・コロージョン及びエロージョンに関する日本機械学会「発電用原子力設備規格 沸騰水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格 JSME S NH1-2006」を踏まえつつ、安全基盤研究の成果が得られた場合には、保全への反映の要否を判断し、要の場合は社内指針を改定する。また、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管は、今後の減肉進展のデータを踏まえ、耐震安全性評価の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	未実施
15	後打ちケミカルアンカの樹脂の劣化については、類似環境下にある機器の取替が行われる場合、調査を実施する。	中長期	未実施
16	機器付基礎ボルト・変圧器等の腐食については、機器の取替が行われる場合、調査を実施する。	中長期	継続 実施中
17	可燃性ガス濃度制御系設備の加熱管、再結合器、冷却器及び配管のクリープについては、代表機器の内部の目視点検を実施する。	中長期	未実施
18	高圧難燃CVケーブル等の絶縁体の絶縁特性低下については、原子力安全基盤機構による安全研究「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究」の成果を反映し、長期健全性の再評価を実施する。 高圧CVケーブル等の絶縁体の絶縁特性低下については、60年間の運転期間及び事故時雰囲気による劣化を想定した長期健全性試験を実施し、長期健全性の再評価を実施する。この再評価結果に基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	未実施
19	端子台等の絶縁体の絶縁特性低下については、60年間の運転期間及び事故時雰囲気による劣化を想定した長期健全性試験を実施し、長期健全性の再評価を実施する。この再評価結果に基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	短期	継続 実施中
20	計測装置のうち圧力伝送器 / 差圧伝送器(ダイヤフラム式)等の特性変化及び温度検出器(熱電対式、測温抵抗体式)の絶縁特性低下については、事故時雰囲気における動作が要求される場合、供用期間の経年変化を考慮した事故時耐環境性能評価に関して、日本電気協会の「原子力発電所の安全系電気・計装品の耐環境性能の検証に関する指針」を考慮した試験を実施する。この試験結果に基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	未実施

(注) :  は実施時期が「短期」のもの。



〔 < 参考資料集 > 2. 30年目の高経年化技術評価の概要  
(2) 30年目の長期保守管理方針 〕

番号	長期保守管理方針	実施時期	実施状況
21	原子炉格納容器内の電動(交流)弁用駆動部の絶縁特性低下については、60年間の運転期間における熱、放射線、機械的作用及び事故時雰囲気による劣化を想定した評価を実施する。	中長期	未実施
22	原子炉格納容器外の電動(交流・直流)弁用駆動部の絶縁特性低下については、60年間の運転期間における熱、機械的作用及び事故時雰囲気による劣化を想定した評価を実施する。	中長期	未実施
23	原子炉格納容器の電気ペネトレーション(キャニスタ型及びモジュール型)の絶縁特性低下及び気密性低下については、60年間の運転期間及び事故時雰囲気による劣化を想定した長期健全性試験を実施する。この試験結果に基づき、保全への反映の要否を判断し、要の場合は実施計画を策定する。	中長期	未実施



### 3. 経年劣化事象ごとの技術評価結果

#### (1) 原子炉压力容器の中性子照射脆化(中性子照射により脆くなる影響)

##### 事業者による技術評価

【評価対象部位】 原子炉压力容器

【評価方法】

原子炉内に取付けた監視用の試験材を定期的に取り出し試験した結果に基づき、運転開始後60年時点までの関連温度(材料が脆くなる温度)及び上部棚吸収エネルギー(高温での材料の粘り強さ)を予測

【30年目の技術評価結果】

関連温度を基に余裕を持って、最低使用温度が適切に設定されており、かつ60年の運転を仮定しても上部棚吸収エネルギーが68J以上となるので、健全性を維持できると評価

【MOX燃料採用時の技術評価結果】

MOX燃料を採用することにより高速中性子の量が2%増加するとしても、それによる関連温度の増加は約0.3 となり、最低使用温度への影響は十分に小さく、運転管理上問題とはならないと評価

30年目評価時期:運転開始後60年時点		
関連温度	上部棚 吸収エネルギー	上部棚吸収エネルギー - スクリーニング値
56	72J	68J

68J未満になった場合にはJEAC4206に定められている方法で評価を行い、健全性を評価する。

##### 国の具体的な確認内容

- ・MOX燃料を採用することにより中性子照射量が2%増加したとしても、60年時点の関連温度に及ぼす影響は、56 が約56.3 となる程度であり十分小さいことを確認
- ・これまでも、最低使用温度等については、運転中の中性照射量実績を反映して定期検査ごとに見直されており、的確な運転管理対応が行われることを確認(注:平成21年8月(第23回定期検査)時の関連温度は48 であり、最低使用温度は69 に設定されている)
- ・上部棚吸収エネルギーについては、60年時点までの照射量が2%増加したとして、最新の予測式により評価しても68J以上となり、健全であるとの30年目の評価を変更する必要がないことを確認

事業者の  
評価結果を  
妥当と判断

## (2) 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れ (中性子の照射によりひび割れが発生しやすくなる影響)

### 事業者による技術評価

【評価対象部位】 炉内構造物(燃料廻りの構造物)

【評価方法】

運転開始後60年時点までの中性子照射量を予測し、ひび割れが発生しやすくなる部位を特定

【30年目の技術評価結果】

運転開始後60年時点までの中性子照射量が、ひび割れが発生しやすくなる照射量以上となるのは、上部格子板だけであり、計画的な目視点検により健全性の確認は可能と評価

【MOX燃料採用時の技術評価結果】

MOX燃料を採用することにより高速中性子の量が2%増加するとしても、運転開始後60年時点までの中性子照射量がひび割れが発生しやすくなる照射量以上となるのは、上部格子板(照射量 $9.7 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ )だけであることは変わりなく、計画的な目視点検を継続することにより健全性の確認は可能と評価

ひび割れが発生しやすくなる 中性子照射量		$1.0 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$
60年時点までの 上部格子板の 中性子照射量	30年目 評価	$9.5 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$
	MOX燃料 採用時	$9.7 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$

### 国の具体的な確認内容

- ・MOX燃料を採用することにより中性子照射量が2%増加したとしても、60年時点までの照射量がひび割れが発生しやすくなる照射量以上となる新たな部位はないことを確認
- ・今後とも計画的な目視点検がなされることとなっており、30年目の長期保守管理方針に追加すべき保全項目がないことを確認

事業者の評価結果を  
妥当と判断

### (3) 電気・計装品の絶縁低下等(放射線の照射等により絶縁が劣化する影響)

#### 事業者による技術評価

【評価対象部位】 原子炉格納容器内の電気・計装品(電気ペネトレーション、電動弁用駆動モータ、ケーブル、端子台、温度検出器の樹脂充てん部等)

【評価方法】

通常運転中及び事故時の熱や放射線等による劣化を模擬した試験(長期健全性試験)の結果により健全性を評価

【30年目の技術評価結果】及び【MOX燃料採用時の技術評価結果】

評価対象部位	【30年目の技術評価結果】	【MOX燃料採用時の技術評価結果】
電気ペネトレーション	運転開始から40年間健全性を維持 <sup>1</sup>	左欄の年数は、熱と放射線との試験条件の影響を受けるが、すべての部位について熱による劣化で年数が決まっており、MOX燃料を採用することによりガンマ線照射量が2%増加するとしても、30年目の技術評価結果への影響はないと評価
電動弁駆動モータ	運転開始から40年間健全性を維持 <sup>1</sup>	
ケーブル	運転開始から60年間健全性を維持 <sup>1</sup>	
端子台	運転開始から36年間健全性を維持 <sup>2</sup>	
温度検出器の樹脂充てん部	取替から15年間健全性を維持	

1: 40年目までに再評価を実施

2: 35年目までに再評価を実施

#### 国の具体的な確認内容

・MOX燃料を採用することにより各機器のガンマ線照射量が2%増加したとしても、試験で照射したガンマ線量に包含されることを各機器ごとに確認

〔例えば、電気ペネトレーションの40年間の通常運転中と事故時を合わせたガンマ線照射量は $3.859 \times 10^5 \text{Gy}$ であり、これが2%増加すると $3.94 \times 10^5 \text{Gy}$ となるが、試験条件の $8.0 \times 10^5 \text{Gy}$ に包含される〕

事業者の評価結果を  
妥当と判断

## (4) コンクリートの放射線照射による強度低下

### 事業者による技術評価

【評価対象部位】 原子炉ペDESTAL(原子炉圧力容器の基礎部)

【評価方法】

運転開始後60年時点までの照射量が基準値を超えないことを確認するとともに、サンプリングによって強度を確認

【30年目の技術評価結果】

・運転開始後60年時点までの中性子照射量及びガンマ線照射量は、いずれも基準値を超えないことから、コンクリート強度への影響はないと評価

・原子炉ペDESTALコンクリートからサンプリングした供試体の破壊試験を行った結果(38.8N/mm<sup>2</sup>)が、設計基準強度(22.1N/mm<sup>2</sup>)を十分上回っていたと評価

【MOX燃料採用時の技術評価結果】

MOX燃料を採用することによりコンクリートへの照射量が2%増加するとしても、予想される放射線照射量は、基準値を超えないことから、30年目の技術評価への影響はないと評価

	中性子照射量	ガンマ線照射量
基準値	$1.0 \times 10^{20} \text{n/cm}^2$	$2.0 \times 10^{10} \text{rad}$
30年目評価	$1.59 \times 10^9 \text{n/cm}^2$	$2.22 \times 10^7 \text{rad}$
MOX燃料採用時	$1.63 \times 10^9 \text{n/cm}^2$	$2.27 \times 10^7 \text{rad}$

\* 基準値は、Hilsdorfの文献より設定

### 国の具体的な確認内容

- ・MOX燃料を採用することによりコンクリートへの照射量が2%増加したとしても、中性子照射量は $1.63 \times 10^9 \text{n/cm}^2$ 程度、ガンマ線照射量は $2.27 \times 10^7 \text{rad}$ 程度であることを確認
- ・照射量が基準値を超えないことから、コンクリート強度への影響はないことを確認

事業者の評価結果を  
妥当と判断

## (5) 耐震安全性

### 事業者による技術評価

【評価対象部位】 原子炉压力容器、炉内構造物

【評価方法】

中性子照射による材料強度の劣化を考慮して耐震安全性を評価

【30年目の技術評価結果】

中性子照射による材料強度の劣化を想定しても、地震に対する耐震安全性は確保されていると評価

【MOX燃料採用時の技術評価結果】

MOX燃料を採用することにより中性子照射量が2%増加するとしても、耐震安全性評価に与える影響はなく、30年目の評価結果は変わらないと評価<sup>1</sup>

1:事業者は、腐食等の影響を想定して、耐震バックチェックの中間報告機器を対象とした基準地震動Ssに対する評価結果も参考提出



### 国の具体的な確認内容

・MOX燃料を採用することにより中性子照射量が2%増加したとしても、30年時点に想定した経年劣化に対する保守的な評価条件の範囲内にあることを確認



事業者の評価結果を  
妥当と判断

## MOX燃料採用により放射線の影響を考慮する必要がある主な機器

