

高浜発電所3, 4号炉の運転期間延長 (40年超運転)について

令和6年6月



説明事項

1. 高浜3, 4号炉の40年超の運転に係る審査結果
2. 今後の対応

1. 高浜3, 4号炉の40年超の運転延長 (40年超運転)に係る審査結果

申請の概要

- ・高浜3、4号炉の運転期間延長認可申請は、令和5年4月25日に提出され、その後運転期間延長認可は1回の補正、高経年化に係る保安規定変更認可は2回の補正を受け、令和6年5月29日に原子力規制委員会認可
- ・延長する期間は、高浜3号炉は2045年1月16日まで、高浜4号炉は2045年6月4日まで（それぞれ60年を経過する日まで）

	高浜3号炉	高浜4号炉
運転開始日	1985年1月17日	1985年6月5日
40年経過する日	2025年1月16日	2025年6月4日
延長する期間	2045年1月16日まで	2045年6月4日まで
60年を経過する日	2045年1月16日	2045年6月4日
運転期間延長認可の申請日	申請 令和5年4月25日 第1回補正 令和6年4月16日	
高経年化に係る保安規定変更認可の申請日	申請 令和5年4月25日 第1回補正 令和6年4月16日 第2回補正 令和6年5月 8日	

審査の経緯

- 運転延長審査は、原子力規制委員が参加する審査会合を5回実施し、主要な議論を行うとともに、原子力規制庁によるヒアリングを20回実施
- 高浜発電所における現地確認を2回実施し、特別点検や施設管理の実施状況を確認

(参考) 審査会合における主な議題

回数	日付	議題
1	令和5年6月1日(第1154回)	全体概要
2	令和5年9月5日(第1182回)	指摘事項回答、特別点検(原子炉容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物)
3	令和5年10月10日(第1195回)	指摘事項回答、劣化状況評価(共通事項、低サイクル疲労、絶縁低下)
4	令和5年12月14日(第1211回)	指摘事項回答、劣化状況評価(中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ、2相ステンレス鋼の熱時効、コンクリート構造物及び鉄骨構造物)
5	令和6年3月7日(第1234回)	指摘事項回答、劣化状況評価(耐震・耐津波安全性評価、施設管理方針について)



現地調査の状況

主な審査内容

1. 設計及び工事計画認可について

3, 4号炉について、現時点で適用される実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則に定める基準に適合するために必要な設計及び工事の計画の認可等の手続きがなされ、設計及び工事の計画が確定していることを確認

2. 特別点検について(P8)

原子炉容器の炉心領域部全ての母材及び溶接部の超音波探傷試験、原子炉格納容器の腐食状況の目視試験、コンクリート構造物の圧縮強度試験等、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」を踏まえて特別点検が適切に行われていることを確認。また、保安規定に基づく品質マネジメントシステム計画に従い、点検計画及び要領書の策定、要員の力量の確認、測定機器の管理等が行われていることを確認

3. 劣化状況評価について(P9～10)

低サイクル疲労、中性子照射脆化、照射誘起型応力腐食割れ、2相ステンレス鋼の熱時効、電気・計装設備の絶縁低下、コンクリート構造物の強度低下等の劣化事象について、特別点検の結果を踏まえた技術評価が行われ、延長しようとする期間において「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」(以下「運転延長審査基準」という。)の要求事項に適合すること、または要求事項に適合しない場合には、適切な施設管理がなされることにより、延長しようとする期間において審査基準の要求事項に適合することを確認

4. 耐震・耐津波安全性評価について(P9～10)

耐震安全性評価及び耐津波安全性評価として、それぞれ着目すべき経年劣化事象を考慮した上で、評価が行われ、延長しようとする期間において運転延長審査基準の要求事項に適合することを確認

5. 長期施設管理方針について(P11)

劣化状況評価の結果において施設管理に関する方針を定めるとした項目が、長期施設管理方針として適切に定められていることを確認

審査結果

運転延長認可申請について、審査の結果、本申請が原子炉等規制法第43条の3の32第5項に規定する基準である実用炉規則第114条に適合しているものと認める。また、保安規定変更認可申請について、審査の結果、本申請が原子炉等規制法第43条の3の24第2項に規定する「核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上十分でないもの」等には該当しないと認める。

「運転期間延長認可 審査結果」

<https://www.da.nra.go.jp/detail/NRA100002532> (3号炉)

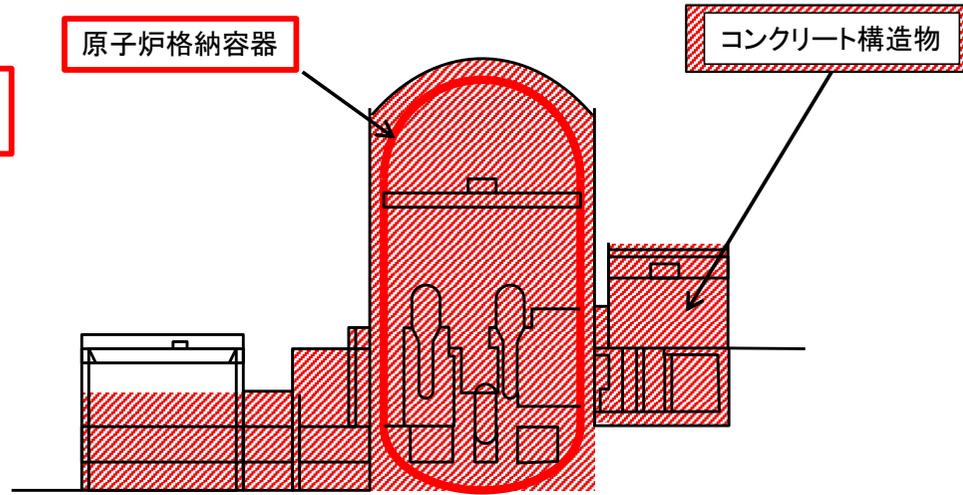
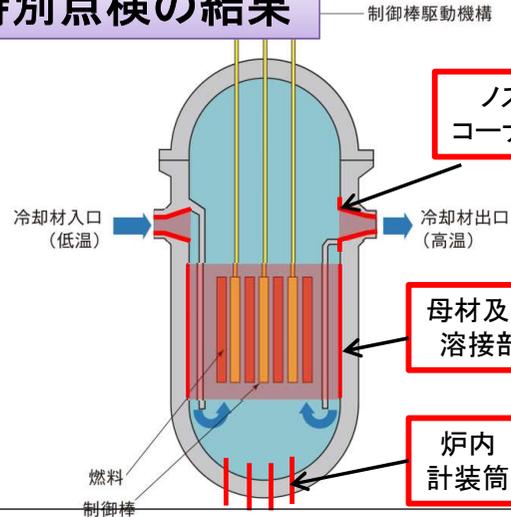
<https://www.da.nra.go.jp/detail/NRA100002531> (4号炉)

「高経年化技術評価に係る保安規定変更認可 審査結果」

<https://www.da.nra.go.jp/detail/NRA100002533>

運転期間延長認可申請に対する審査での主な確認内容

特別点検の結果



原子炉容器

○母材及び溶接部 (炉心領域の100%)

・点検方法: 超音波探傷試験

【高浜3/4確認結果】

⇒有意な欠陥は認められなかった

○一次冷却材ノズルコーナー部

・点検方法: 渦流探傷試験

【高浜3/4確認結果】

⇒有意な欠陥は認められなかった

○炉内計装筒(全数)

・点検方法: 目視確認、渦流探傷試験

【高浜3/4確認結果】

⇒有意な欠陥は認められなかった

原子炉格納容器

○原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能範囲の全て)

・点検方法: 目視試験

【高浜3/4確認結果】

⇒有意な塗膜の劣化や腐食は認められなかった

コンクリート構造物

○コンクリート

・点検方法: コアサンプルによる

強度、遮蔽能力、
中性化、塩分浸透、
アルカリ骨材反応

【高浜3/4確認結果】

⇒設計基準強度を上回っている、アルカリ骨材反応の兆候が見られない等(得られた測定値等は劣化状況評価で使用)

特別点検結果を踏まえた劣化状況評価の結果

③照射誘起型応力腐食割れ

中性子の照射により、応力腐食割れの感受性が高くなり、ひび割れが発生する事象

【高浜3/4確認結果】

⇒バップルフォーマボルトの破損予測本数は0本であり、管理損傷ボルト本数以下であった

②原子炉容器の中性子照射脆化

長期間にわたり原子炉容器に中性子が照射されることにより、その靱性が徐々に低下(脆化)する事象

【高浜3/4確認結果】

⇒加圧熱衝撃評価の結果、原子炉容器の破損のおそれがない(破壊靱性値が応力拡大係数を上回る)。上部棚吸収エネルギーは判断基準(68J)以上であった

⑤電気・計装設備の絶縁低下

電気・計装設備に使用されている絶縁物が環境要因等で劣化し、電気抵抗が低下する事象

【高浜3/4確認結果】

⇒有意な絶縁低下と判断する値となるまでの期間が60年未満のケーブルについては、50年時点までに環境測定を実施し、再評価を行う【施設管理方針】

その他の設備は当該期間が60年以上であった

①低サイクル疲労

温度・圧力の変化によって、大きな繰り返し応力がかかる部位に割れが発生する事象

【高浜3/4確認結果】

⇒評価対象部位のすべてにおいて疲れ累積係数が1を下回った

⑥コンクリート構造物の強度低下

コンクリートの強度が、熱、放射線照射等により低下する事象。また、放射線の遮へい能力が熱により低下する事象

【高浜3/4確認結果】

⇒評価の結果、中性化深さは、鉄筋が腐食し始める深さにならなかった。コンクリート構造物の強度は設計強度を下回らなかった

④2相ステンレス鋼の熱時効

ステンレス鋼が高温での長期使用に伴い、靱性の低下を起こす事象

【高浜3/4確認結果】

⇒亀裂進展評価の結果、亀裂は貫通まで至らない。不安定破壊評価の結果、欠陥が拡大することはない

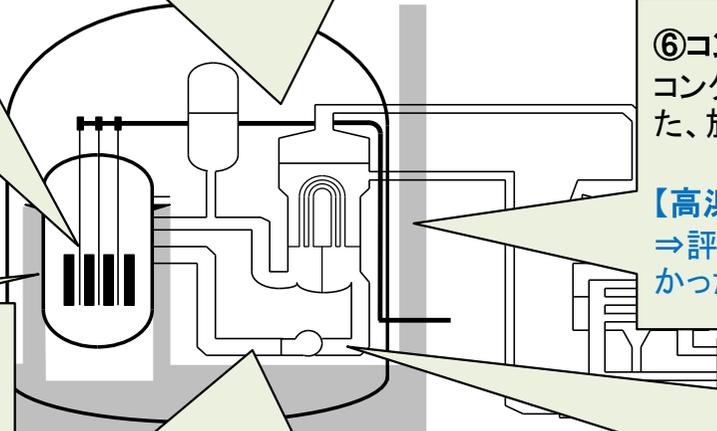
⑦耐震・耐津波安全性評価

耐震設計において、必要な構造・強度に影響する劣化事象を考慮した評価

津波を受ける浸水防護施設の経年劣化事象を考慮した評価

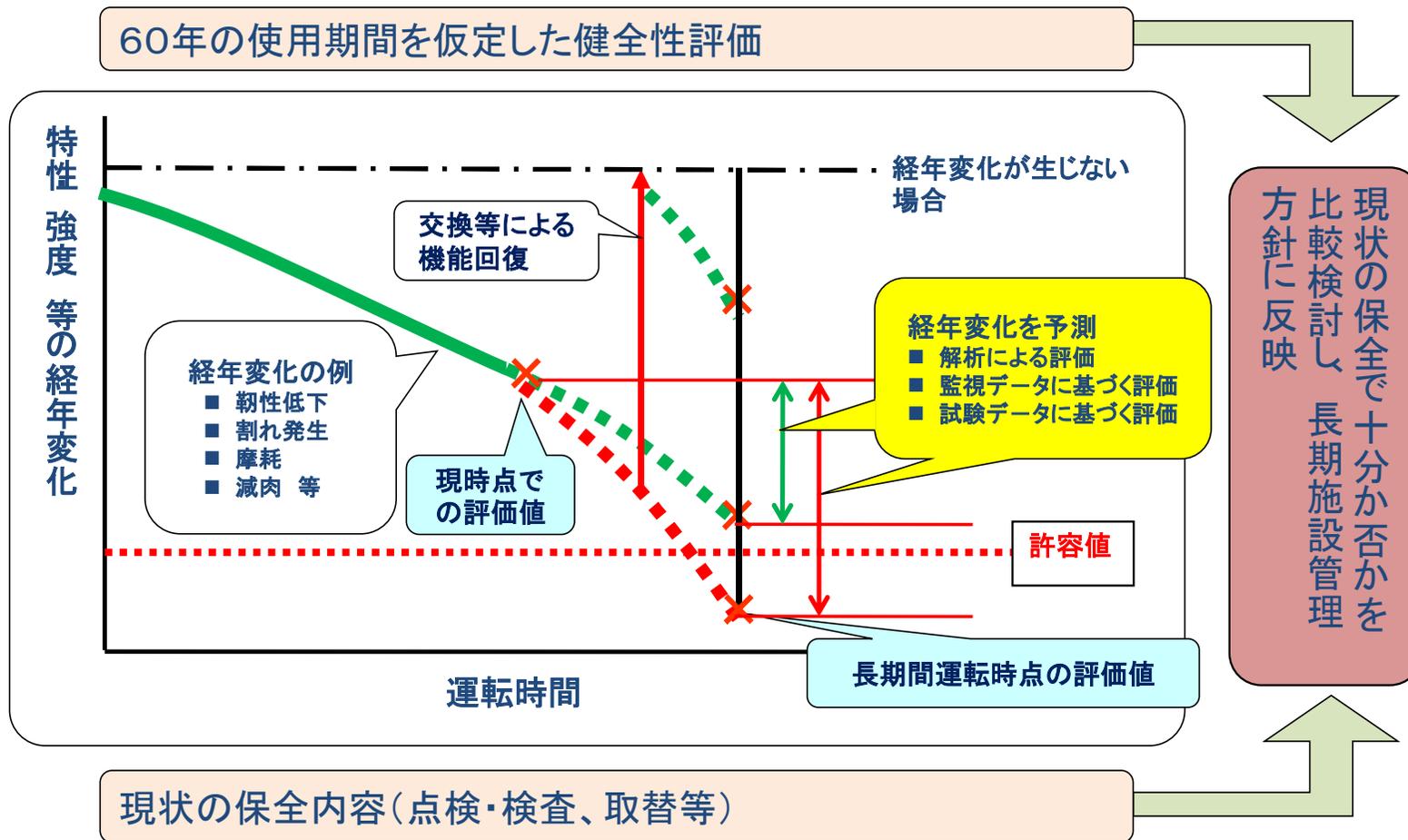
【高浜3/4確認結果】

⇒流れ加速型腐食等を考慮しても耐震上の許容値を満足した。耐津波安全性評価の結果、評価対象機器・構造物は抽出されなかった



劣化状況評価の考え方

プラントの運転開始から延長しようとする期間において、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。



施設管理に関する方針(3号炉の例(4号炉も同様))

<主な要求事項>

原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、要求事項に適合しない場合には、延長しようとする期間における原子炉その他の設備についての施設管理に関する方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合すること。

No	施設管理に関する方針
1	原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第6回監視試験を実施する。
2	原子炉容器等の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。
3	ステンレス鋼配管溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れについて、2020年8月に確認された「大飯発電所3号炉加圧器スプレイ配管溶接部における有意な指示」を踏まえて実施する知見拡充結果に基づき、第27保全サイクルまで継続して実施する類似性の高い箇所に対する検査の結果も踏まえて、第28保全サイクル以降の検査対象および頻度を検討し、供用期間中検査計画に反映を行う。
4	蒸気発生器については、取替計画に基づき取替を実施するとともに、高経年化技術評価への影響を確認する。
5	運転開始後60年時点において絶縁低下の可能性が否定できない難燃PHケーブルについては、運転開始後50年時点に至る前に布設エリア近傍の環境測定(温度および放射線線量率)を実施し、その環境データを踏まえた健全性の再評価を実施する。再評価の結果においても、運転開始後60年時点における健全性が確認できない場合は、評価期間に至る前に取替を実施する。

審査結果

運転延長認可申請について、審査の結果、本申請が原子炉等規制法第43条の3の32第5項に規定する基準である実用炉規則第114条に適合しているものと認められる。また、保安規定変更認可申請について、審査の結果、本申請が原子炉等規制法第43条の3の24第2項に規定する「核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上十分でないもの」等には該当しないと認められる。

2. 今後の対応

運転期間延長認可後の対応

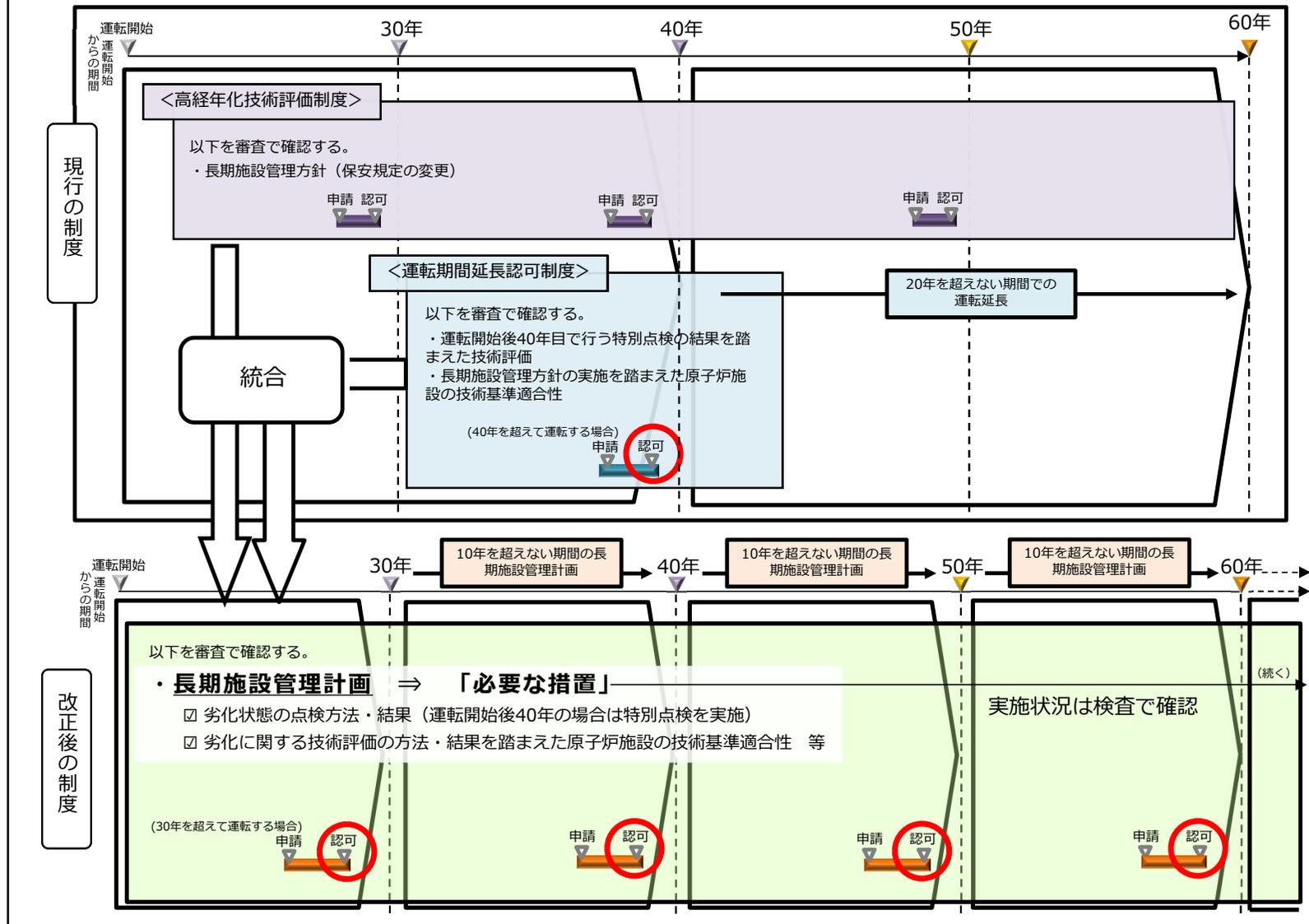
- 事業者は、運転期間延長認可取得後においても、長期施設管理方針が定められた保安規定に基づき、施設管理を実施することをはじめ、原子炉施設が技術基準に適合するよう、継続的な施設管理業務を適切に実施することが重要。
- 原子力規制委員会は、事業者の施設管理の実施の状況について、原子力規制検査等で厳正に確認していく。

新制度(長期施設管理計画の認可制度)への移行

- 「運転期間延長認可制度」及び「高経年化技術評価制度(保安規定変更認可)」は、令和7年6月6日に本格施行される脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律(GX脱炭素電源法)により、新制度(長期施設管理計画の認可制度)に移行する。
- 令和7年6月6日以降引き続き運転をしようとする場合は、改正法の本格施行までの経過措置期間中に、新制度での認可を受ける必要がある。
- 事業者は、経過措置期間中に、新制度である長期施設管理計画への移行の申請を行うと予想され、申請に対し、原子力規制委員会は厳正に審査を行っていく。

高経年化原子炉の安全性を確保するための制度

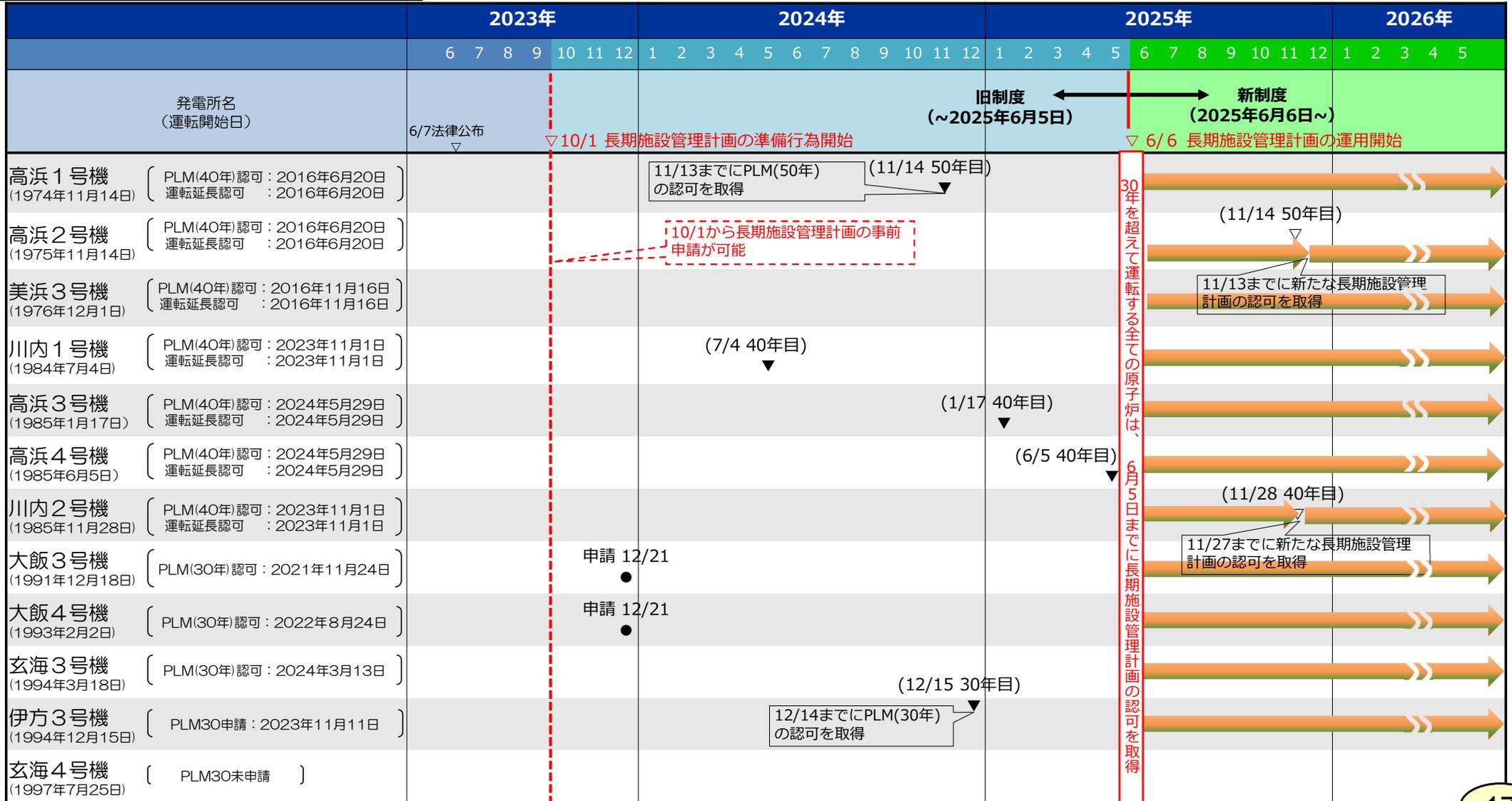
○：高経年化原子炉の技術基準適合性を確認するタイミング



運転期間延長認可、高経年化技術評価及び長期施設管理計画の概要

	運転期間延長認可	高経年化技術評価	長期施設管理計画
開始時期	40年	30年	30年
頻度(間隔)	1回 (最大20年)	10年ごと (40年目、50年目)	10年を超えない 期間ごと
劣化評価	必要 (省略可)	必要	必要 (追加項目: サプライチェーン等)
長期施設管理	方針 (添付書類)	方針 (添付書類)	計画 (本文)
認可後の 履行義務	あり (保安措置の一部)	あり (保安措置の一部)	あり
違反時の制裁	許可の取消し又は 運転停止命令	保安措置命令	許可の取消し又は 運転停止命令
認可の基準	劣化を考慮して 技術基準規則に適合	災害防止上 支障がないこと	災害防止上支障がないこと、かつ、 劣化を考慮して技術基準規則に 適合
法令	法律	実用炉規則	法律

既存の原子炉に関する手続き



注) : 上記のスケジュールは、2024年6月現在において再稼働している発電所を対象として、継続的に運転がされる場合を想定しており、実際の申請時期などについては、事業者が判断するものである。

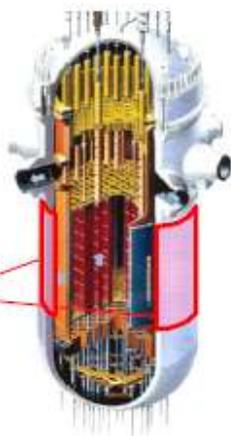
(参考)

高浜3号, 4号炉の運転延長(40年超運転)
に係る審査結果の詳細

特別点検「原子炉容器」

<点検方法>

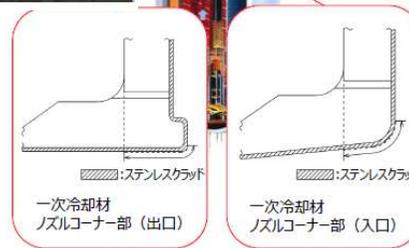
母材及び溶接部 (炉心領域の100%)



炉心領域100%
(溶接部・母材)

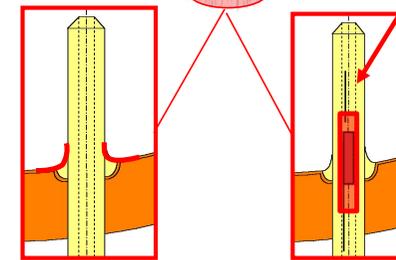
- ・中性子照射脆化に着目
- ・超音波探傷試験による欠陥の有無の確認

一次冷却材ノズルコーナー部 (クラッドの状態を確認)



- ・疲労に着目
- ・渦流探傷試験による欠陥の有無の確認

炉内計装筒 (全数)



溶接部VT検査

管内面ECT検査

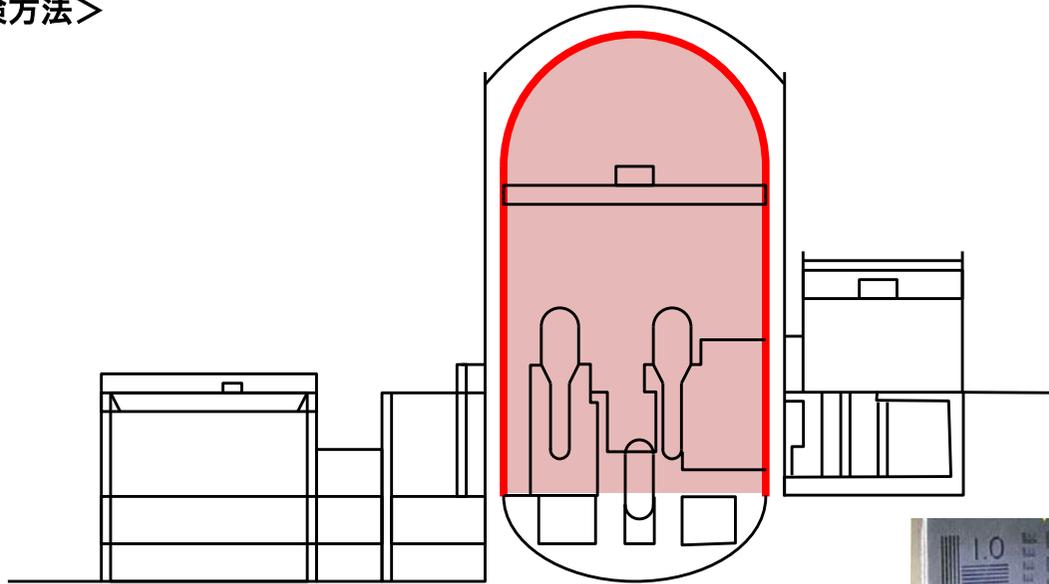
- ・応力腐食割れに着目
- ・目視試験及び渦流探傷試験に欠陥の有無の確認

<主な確認結果>

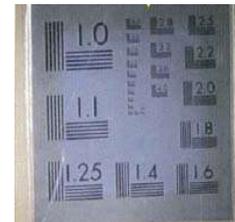
- 対象部位、着目する劣化事象、点検方法に基づき適切に行われていること
- 保安規定の品質保証計画等に基づき、点検計画及び要領書の策定、要員の力量の確認、測定機器の管理等が行われていること
- 点検の結果、有意な欠陥は認められなかったこと

特別点検「原子炉格納容器」

<点検方法>



- ・腐食に着目
- ・目視試験による塗膜状態の確認



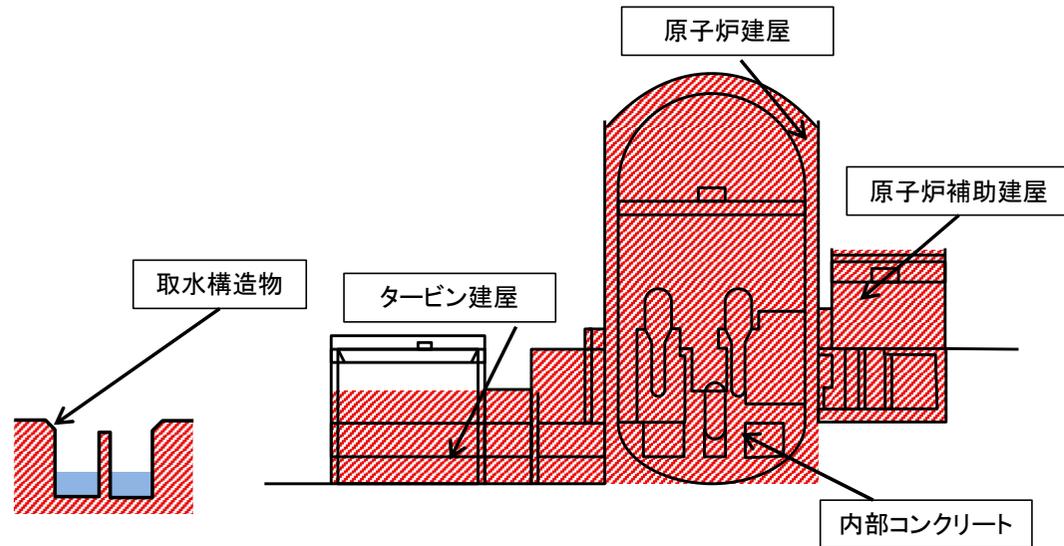
<主な確認結果>

- 対象部位、着目する劣化事象、点検方法に基づき適切に行われていること
- 保安規定の品質保証計画等に基づき、点検計画及び要領書の策定、要員の力量の確認、測定機器の管理等が行われていること
- 点検の結果、有意な塗膜の劣化や腐食は認められなかったこと

特別点検「コンクリート構造物」

<点検方法>

- ・強度低下及び遮蔽能力低下に着目
- ・採取したコアサンプルによる強度、中性化深さ、塩分浸透、遮蔽能力、アルカリ骨材反応の確認



<主な確認結果>

- 対象部位、着目する劣化事象、点検方法に基づき適切に行われていること
- 保安規定の品質保証計画等に基づき、点検計画及び要領書の策定、要員の力量の確認、測定機器の管理等が行われていること
- 点検の結果、得られた測定値等は、劣化状況評価で使用していること

劣化状況評価 ①「低サイクル疲労」

1次系の配管等は運転—停止に伴う加熱—冷却の熱サイクルにより繰り返し応力を受ける
 容器と配管の接続部等、応力集中の大きい部位で、加熱—冷却の繰り返しによる疲労割れが発生する可能性がある

<主な要求事項>

健全性評価の結果、評価対象部位の疲れ累積係数が1を下回ること

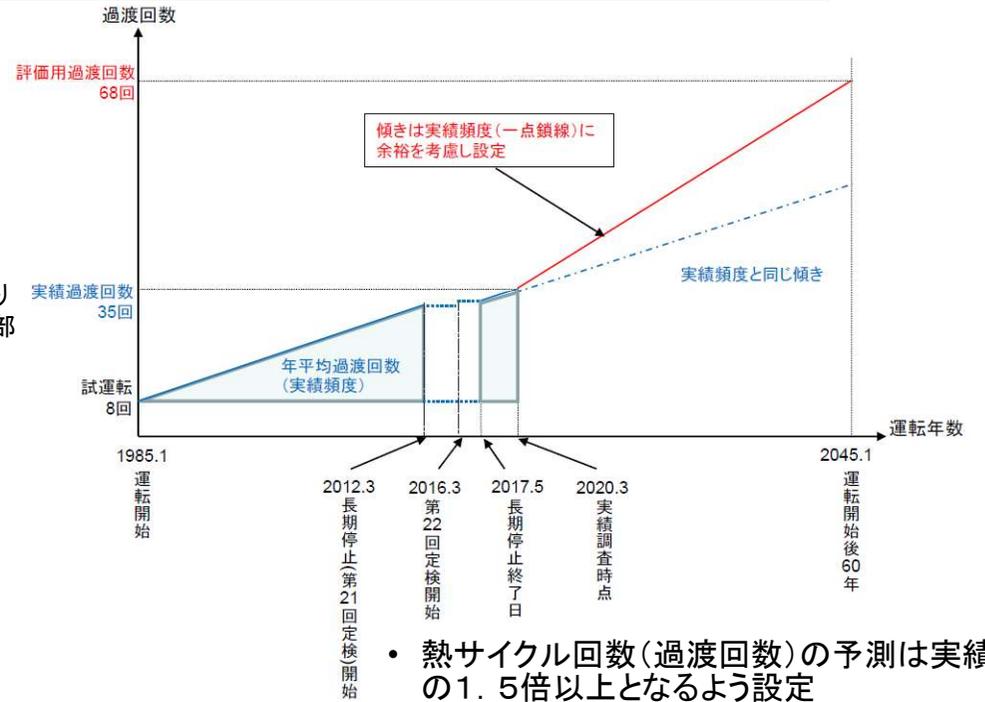
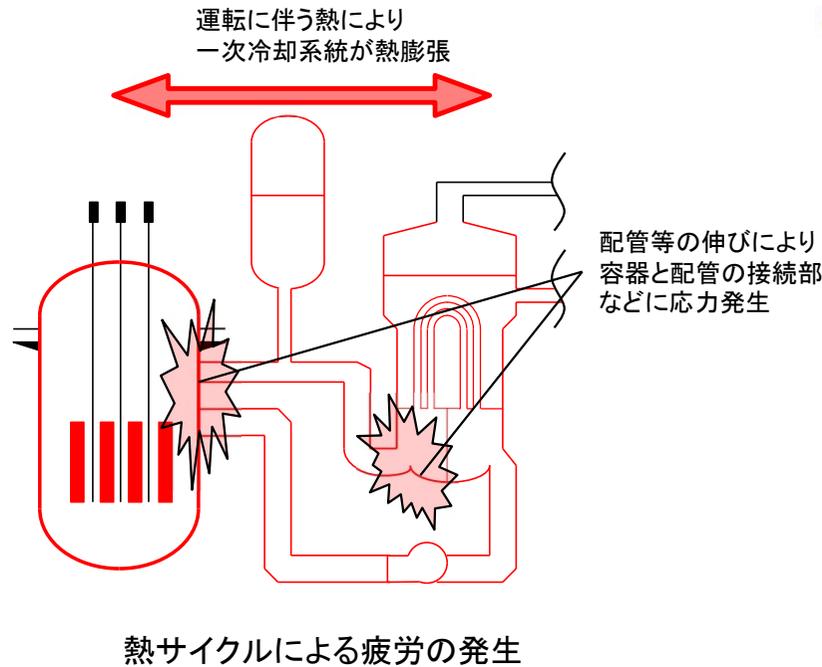


図 評価用過渡回数の略式図(高浜3号炉「停止」の例)

<主な確認結果>

熱サイクル回数の予測回数をこれまでの実績の1.5倍とした評価を行い、評価対象部位のすべてにおいて疲れ累積係数が1を下回ったこと

劣化状況評価 ②「原子炉容器の中性子照射脆化」(1)

原子炉の運転に伴い、原子炉容器の材料である低合金鋼が中性子照射を受けることにより靱性(粘り強さ)が低下する

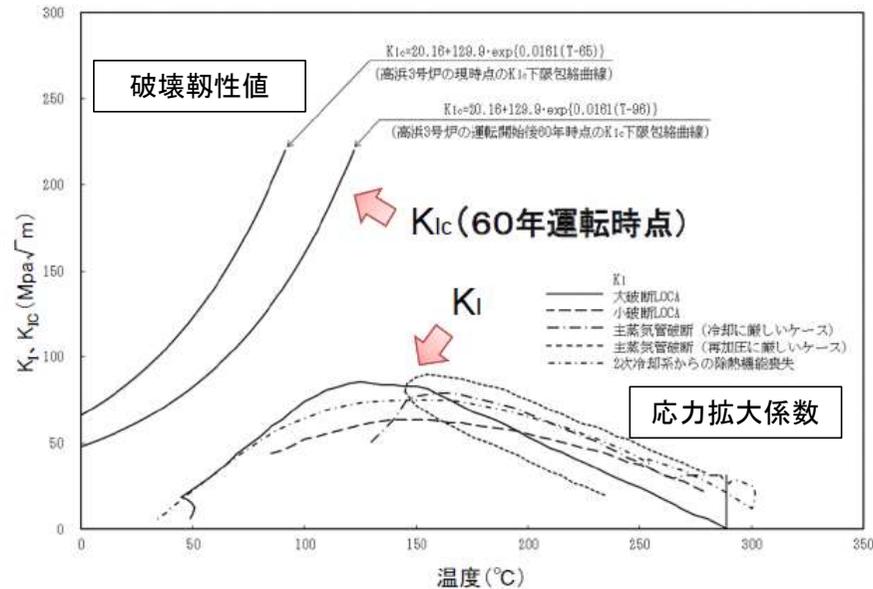
<主要要求事項(1)>

加圧熱衝撃評価の結果、原子炉压力容器の評価対象部位において破壊靱性値が応力拡大係数を上回ることを

加圧熱衝撃事象の評価

加圧された運転状態における事故の際に、非常用炉心冷却系の作動に伴う冷却水の炉内注入により原子炉压力容器が冷却され、原子炉压力容器内外間の温度差により高い引張応力が容器内面に発生する現象

加圧熱衝撃の評価では原子炉容器の耐え得る力(破壊靱性値)が欠陥を想定した上で亀裂を進展させようとする力(応力拡大係数)を上回ることを確認する



加圧熱衝撃評価の評価例(3号炉)

運転開始後60年時点での予測される破壊靱性値と応力拡大係数をすべての温度域で確認

<主な確認結果>

加熱衝撃試験の結果、原子炉容器の耐力の指標となる「破壊靱性値」は、設計基準事故及び重大事故等時に亀裂を進展させようとする力「応力拡大係数」を上回り、原子炉容器が破壊を起こさないこと。

なお、高浜3号・4号とも第5回監視試験において国内予測式の適用範囲($1.0 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2 \sim 1.3 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$)を超える照射量(3号炉: $1.47 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ 、4号炉: $1.40 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$)の監視試験結果が得られており、それを加味した評価も確認した。

劣化状況評価 ②「原子炉容器の中性子照射脆化」(2)

原子炉の運転に伴い、原子炉容器の材料である低合金鋼が中性子照射を受けることにより靱性(粘り強さ)が低下する。

<主な要求事項(2)>

原子炉压力容器について以下を満たすこと。ただし、上部棚吸収エネルギーの評価の結果、68J以上である場合は、この限りでない。

- ・延性亀裂進展性評価の結果、亀裂進展抵抗が亀裂進展力を上回ること
- ・亀裂不安定性評価の結果、亀裂進展抵抗と亀裂進展力が等しい状態で亀裂進展抵抗の微小変化率が亀裂進展力の微小変化率を上回ること
- ・欠陥深さ評価の結果、評価対象部位において母材厚さの75%を超えないこと
- ・塑性不安定破壊評価の結果、塑性不安定破壊を生じないこと

上部棚吸収エネルギーの評価

原子炉運転状態の温度領域(上部棚)において、原子炉容器母材の粘り強さを示す指標(吸収エネルギー)が68Jを上回るかどうか確認する。

68J以下の場合は、運転時の温度・圧力(供用状態)に応じた亀裂進展評価を行う。

<主な確認結果>

上部棚吸収エネルギー評価の結果、高浜3号炉で191J、高浜4号炉で179Jあり、判断基準の68Jを上回ること

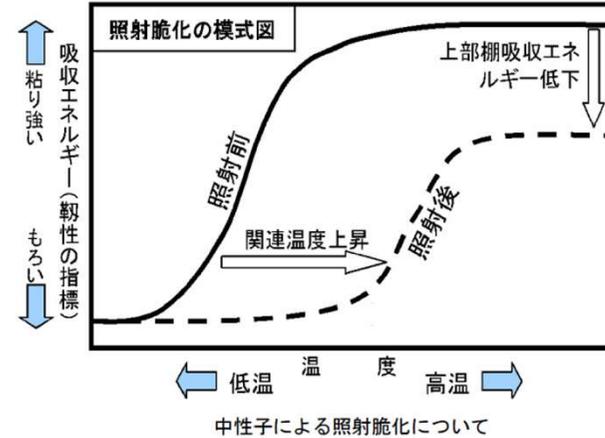


表: 母材の1/4t深さにおける関連温度※と上部棚吸収エネルギーの予測値

対象炉	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
高浜3号炉	25°C	191J
高浜4号炉	40°C	179J

※関連温度とは、高温側では柔らかく粘り強く、低温側では硬く脆くなるという、鋼材の持つ性質が変わる温度のこと

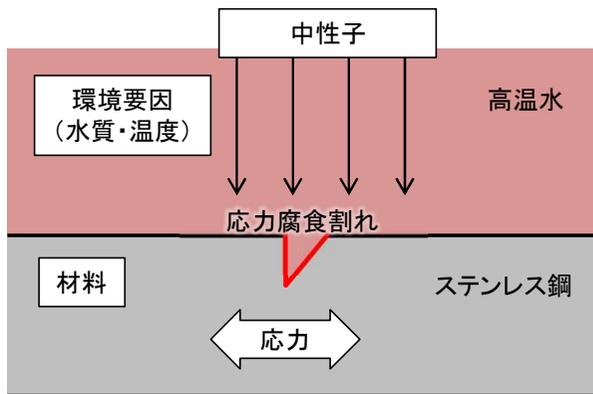
劣化状況評価 ③「照射誘起型応力腐食割れ」

原子炉の炉内構造物は、運転に伴う中性子照射量が一定の値を超えた場合、材料の組成、構造物にかかる応力、水質・温度の環境の3つの条件が重なることにより、応力腐食割れが発生する可能性がある

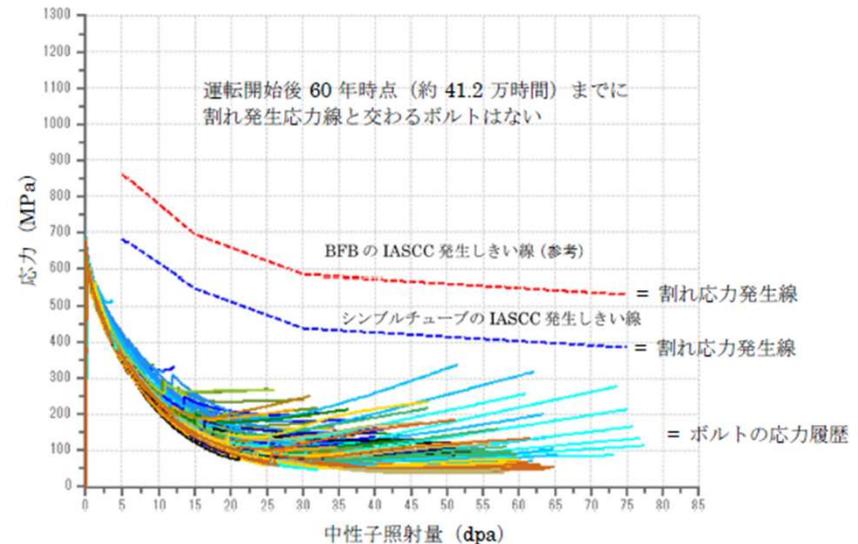
<主な要求事項>

ステンレス鋼で中性子の照射量が多く、応力の高い構造物に対し、応力腐食割れが発生するかどうかを評価し、発生した場合を想定しても技術基準規則に適合すること。

照射誘起型応力腐食割れの発生イメージ



- 中性子照射量の大きい炉内構造物のステンレス鋼として、バップルフォーマボルトが主な対象となっている。



(BFB:バップルフォーマボルトの略 FTT:フラックスシンプルチューブの略)

バップルフォーマボルトの損傷予測結果

<主な確認結果>

照射誘起型応力腐食割れの発生予測方法に基づき、環境条件が最も厳しいバップルフォーマボルトの損傷予測を行った結果、運転開始後60年時点の損傷予測本数は0本(管理損傷ボルト本数(全体の20%)以下)であり、安全に関わる機能を維持できること

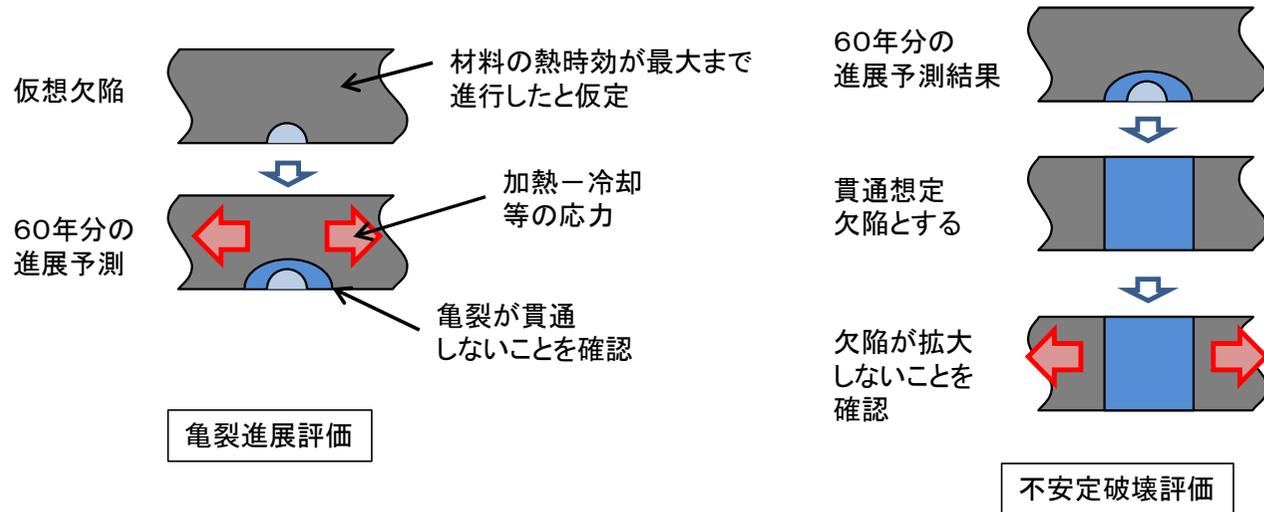
劣化状況評価 ④「2相ステンレス鋼の熱時効」

1次冷却材管、弁・ポンプのケーシングに使用されている2相ステンレス鋼※は、原子炉の運転に伴い長期間高温にさらされると材料の靱性(粘り強さ)が低下する

※2相ステンレス鋼: ステンレス鋼のうち、鋳造法で製造され、フェライト相とオーステナイト相の組織構造を有するもの

<主な要求事項>

原子炉施設で使用されている2相ステンレス鋼の熱時効(靱性低下)について、欠陥を想定した亀裂進展評価及び不安定破壊評価にて、亀裂が進展しないこと



<主な確認結果>

熱時効による靱性低下が、使用年数によらずその材料の最大まで進行したと仮定した

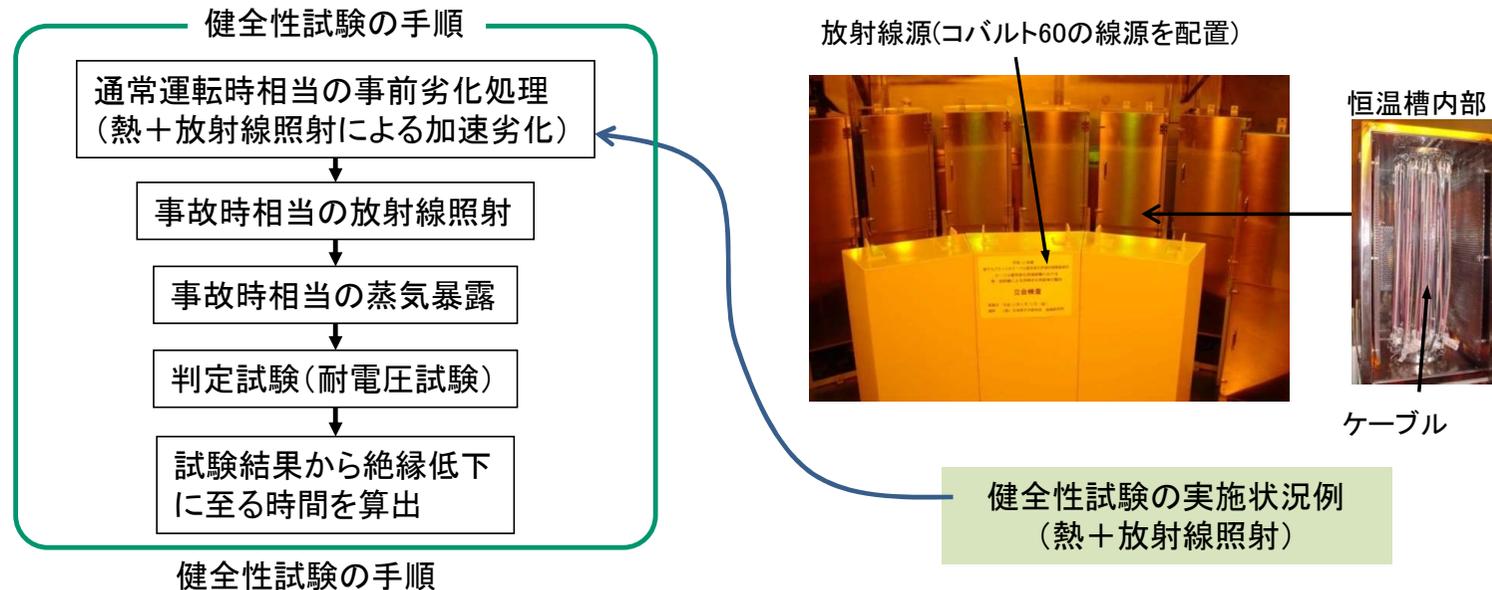
- ・亀裂進展評価の結果、初期欠陥を想定して60年後の亀裂の進展を想定しても、亀裂は貫通まで至らないこと
- ・不安定破壊評価の結果、貫通欠陥を想定しても、欠陥が拡大することはないこと

劣化状況評価 ⑤「電気・計装設備の絶縁低下」

電気・計装設備は使用環境や設計基準事故、重大事故等時の熱・放射線により絶縁性能が低下する可能性がある

<主な要求事項>

設計基準事故及び重大事故等で機能が要求される電気・計装設備は、健全性試験による評価の結果、有意な絶縁低下が生じないこと



<主な確認結果>

健全性評価の結果、一部ケーブルについて運転開始後60年以前に有意な絶縁低下が発生すると評価されたこと
(3号炉: 難燃PHケーブル(59年)、4号炉: 難燃PHケーブル(58年))

そのため、ケーブルの交換について施設管理に関する方針を策定したこと

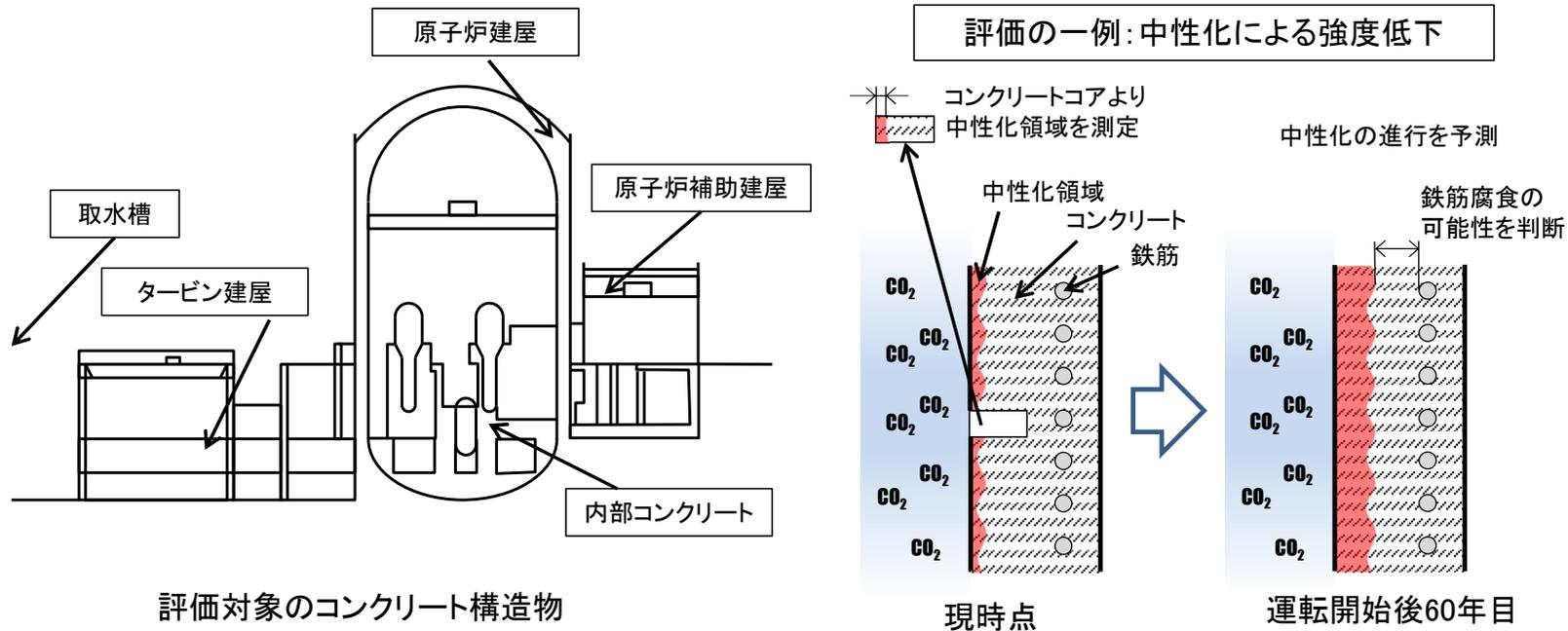
上記以外の電気計装設備は運転開始後60年まで、有意な絶縁低下が発生しないと評価されたこと

劣化状況評価 ⑥「コンクリートの強度低下」

コンクリートは、「熱」、「放射線」、「中性化」、「塩分浸透」、「機械振動」、「アルカリ骨材反応」、「凍結融解」等の経年劣化事象により、強度が低下する可能性がある

<主な要求事項>

コンクリート構造物の強度は、経年劣化事象の進行により設計強度を下回ることがないこと



<主な確認結果>

評価の結果、コンクリートの中性化深さは運転開始後60年目においても、鉄筋が腐食し始める深さにならなかったこと
また、中性化以外の劣化事象について特別点検の結果を踏まえ評価を行った結果、コンクリート構造物の強度は経年劣化事象の進行により設計強度を下回らなかったこと

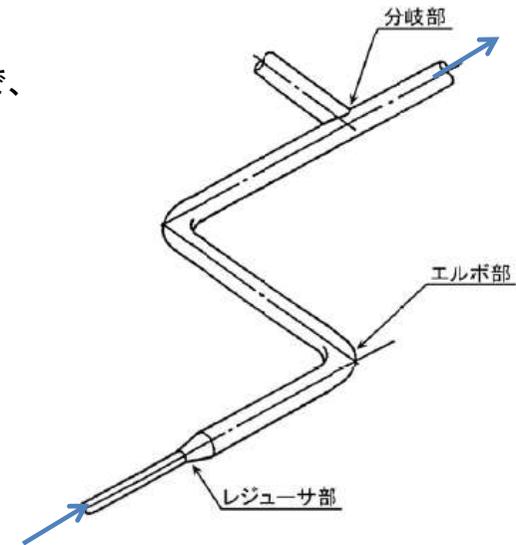
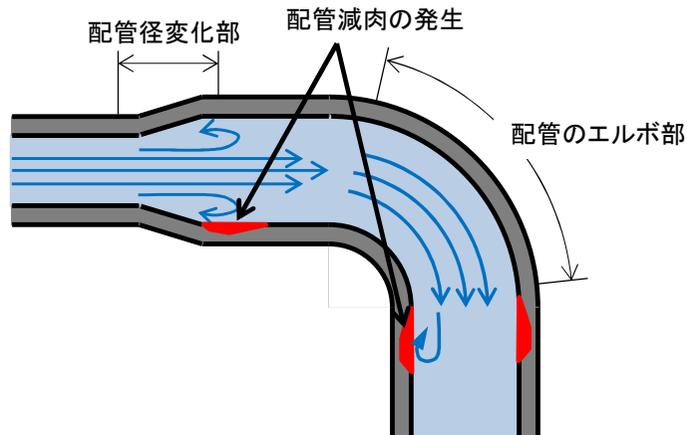
劣化状況評価 ⑦「耐震安全性評価」

<主な要求事項>

- ・これまでに評価した各種経年劣化事象を考慮した耐震評価の結果、耐震上の設計許容値を下回ること
- ・弁やポンプなど動的機能が要求される機器に対して、劣化を考慮しても、地震時に確認済み加速度以下であること
- ・劣化を考慮した燃料集合体の耐震評価の結果、相対変位と制御棒挿入時間が規定範囲にあること

評価の一例：流れ加速型腐食

- ・炭素鋼配管のエルボ部、配管径変化部等の内部の流体が偏流する部位で、流速、温度条件等により配管の腐食が発生する。



【流れ加速型腐食が想定される代表的な部位】

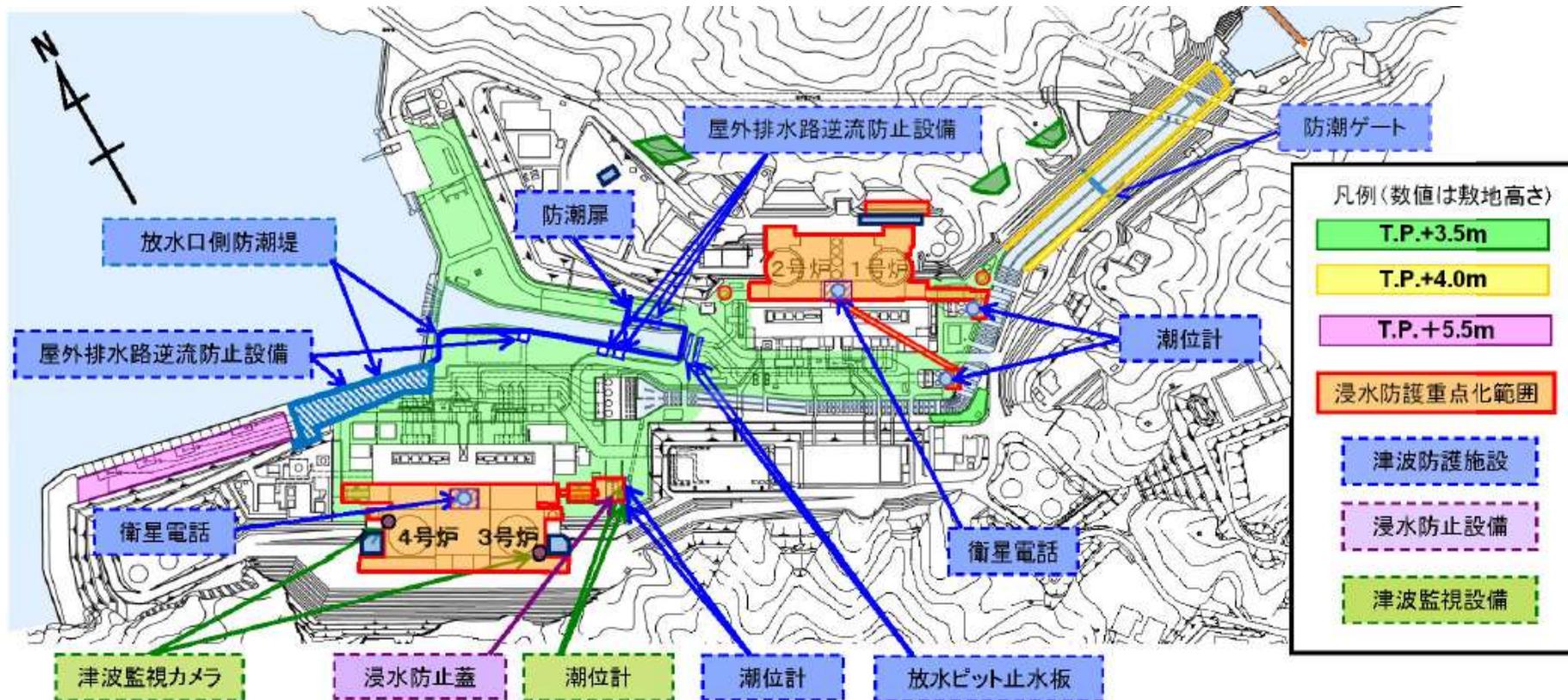
<主な確認結果>

評価の結果、流れ加速型腐食を考慮しても耐震上の許容応力を下回ること、地震時に動的機能が要求される機器(主蒸気逃し弁等)の動的機能が維持されること、地震時の制御棒挿入性の評価等の耐震安全性評価項目についても、要求事項を満足したこと

劣化状況評価 ⑦「耐津波安全性評価」

<主な要求事項>

経年劣化事象を考慮した機器・構造物について、津波時に発生する応力等を評価し、健全性を確保すること



高浜発電所の耐津波安全性評価対象設備

<主な確認結果>

日常的な点検を実施し、施設の健全性を確保することにより、津波が発生した場合においても浸水防護施設が機能すること。評価対象機器・構造物は抽出されなかった