

発電用原子炉の規制制度の枠組み

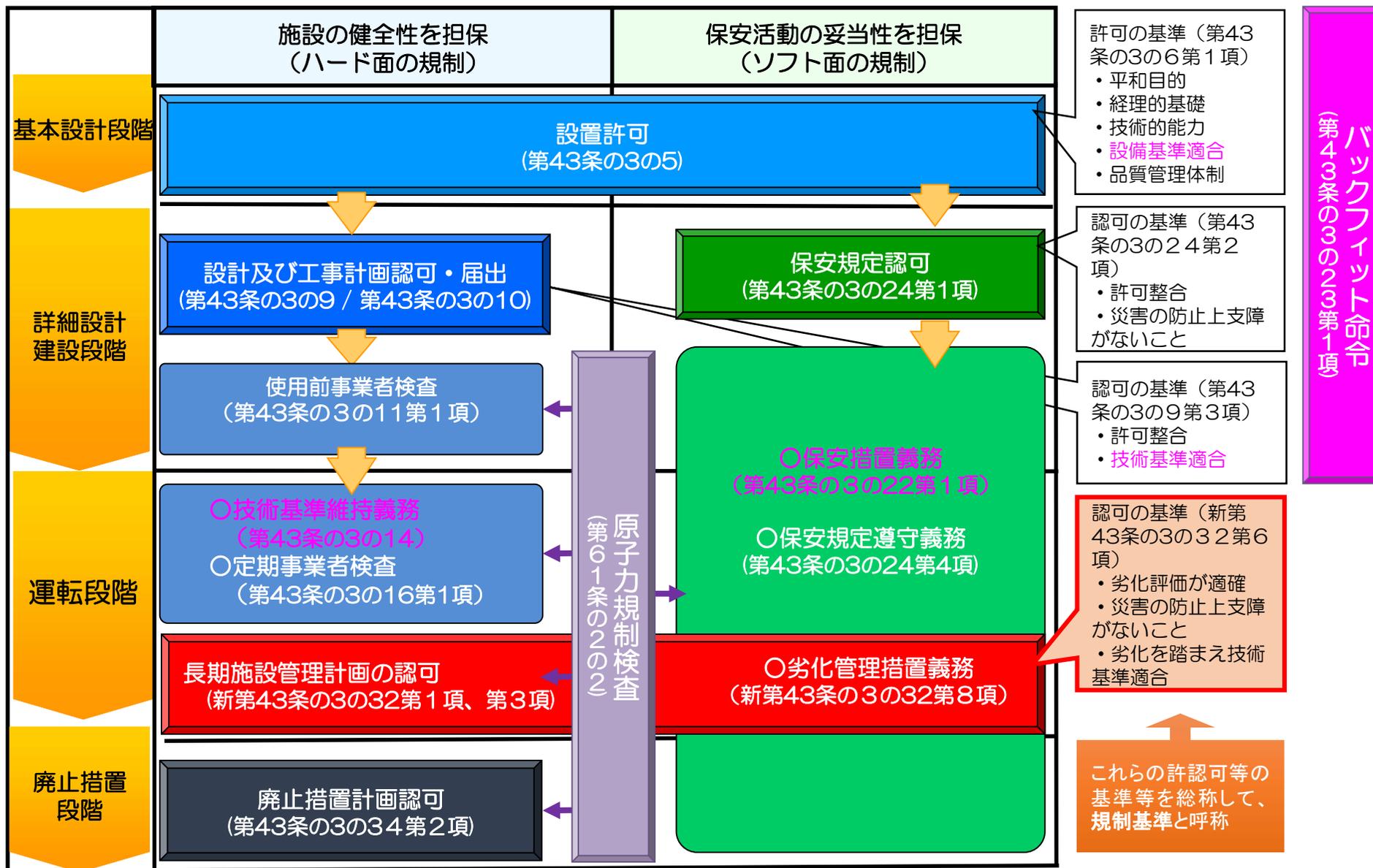
令和5年2月22日

高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム

原子炉等規制法の枠組み



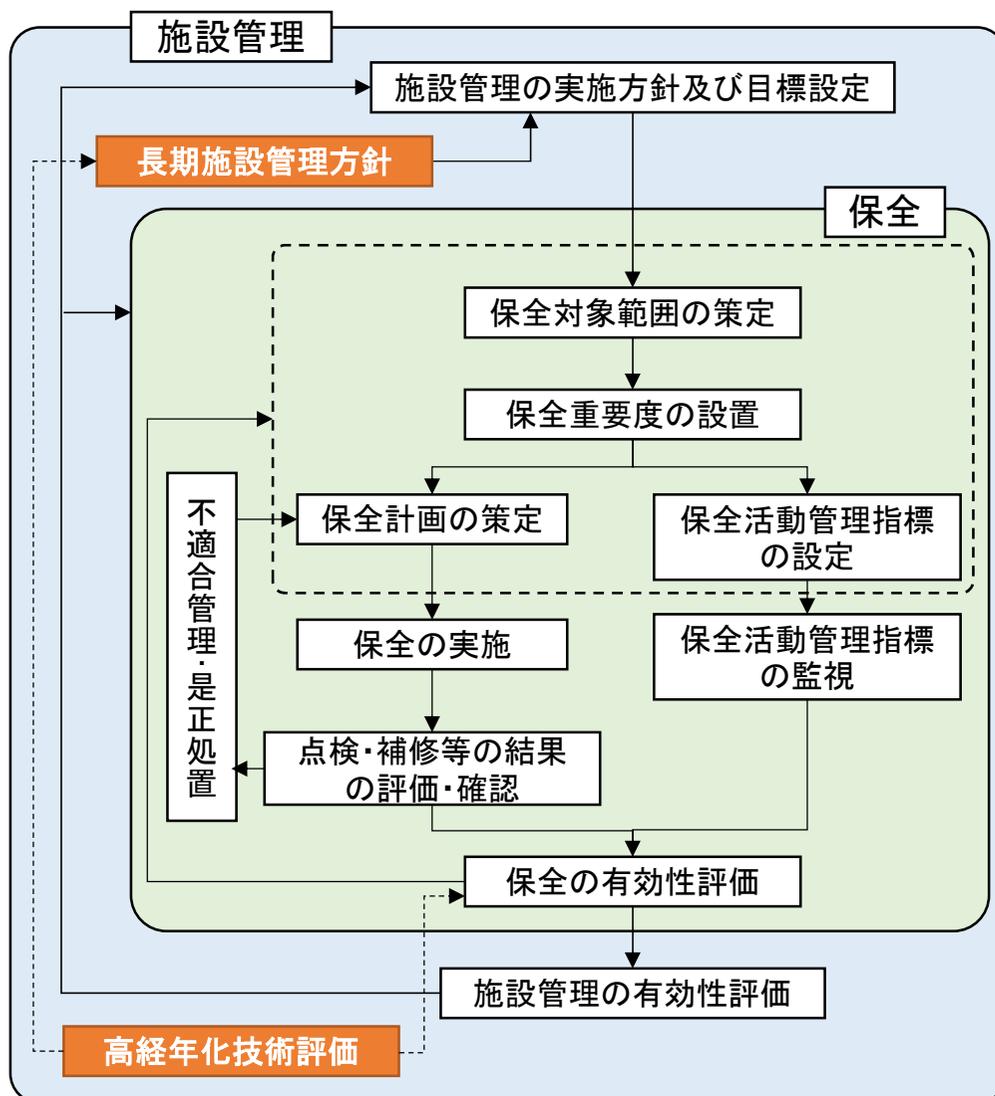
➤ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）に基づき、原子力発電所の安全規制を実施し、各段階で事業者からの申請等に基づき、基準の適合性などを確認。



施設管理における劣化管理の位置付け

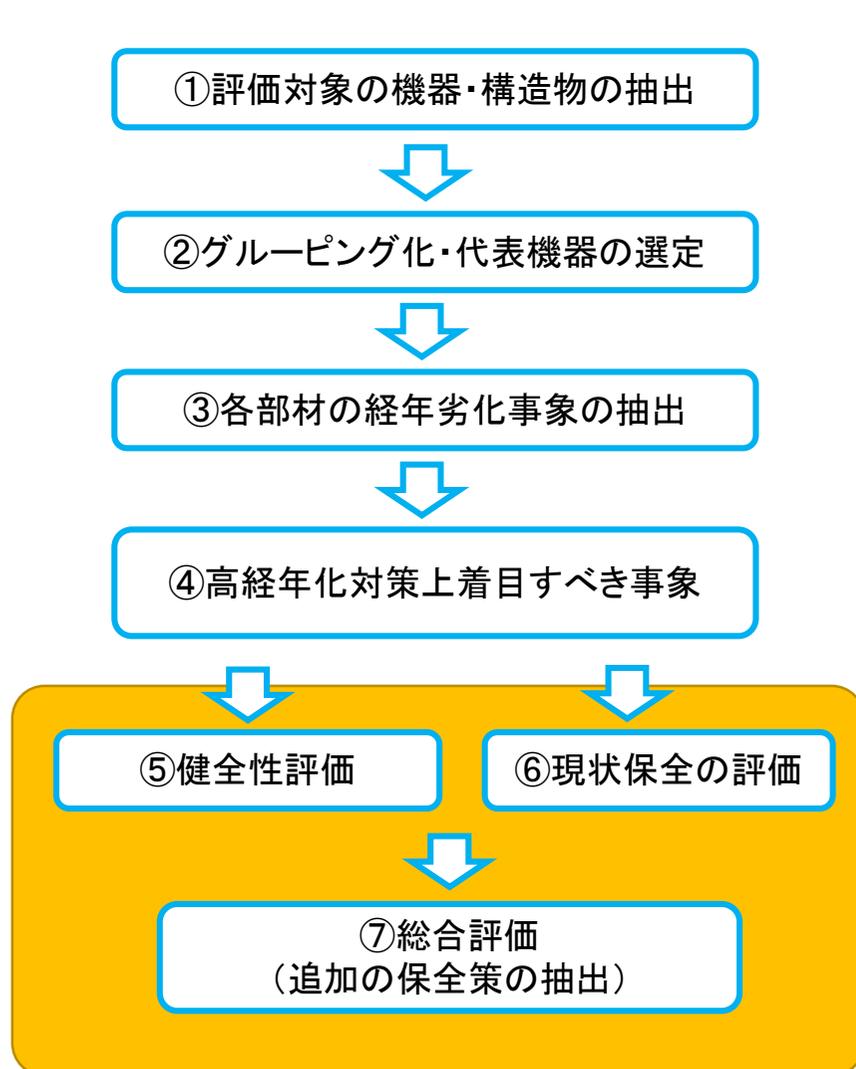


現行の施設管理の仕組み



- 発電用原子炉施設は、その運転年数にかかわらず、その供用期間中は技術基準に適合するよう維持することが求められている。
- 発電用原子炉施設を技術基準に適合するために、施設の保全のために行う工事、点検、検査等の施設を管理するための活動（施設管理）が行われている。
- この施設の点検、検査等は、13か月に一度行われる定期事業者検査等において実施され、必要に応じて補修・交換等が行われる（通常保全）。
- 経年劣化対策は、長期間の供用を考慮した評価（劣化評価）を行い、供用期間中において技術基準に適合するよう、通常保全に加えて実施すべき保全（追加保全）を抽出し、施設管理の枠組みに追加することで、保全を充実化していく仕組み。
- 新制度においても、この基本的な仕組みは維持した上で、事業者による劣化管理の取組を厳格に規制するもの。

高経年化技術評価における評価の流れ



①安全上重要な機器(安全機能を有する設備、常設重大事故等対処設備)を対象

ポンプ、熱交換器、ポンプ用電動機、容器、配管、弁、炉内構造物、ケーブル、タービン設備、コンクリート構造物及び鉄骨構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備に分類し評価

②構造、使用環境、材質等により、対象機器をグループ化し、代表機器を選定

③原子力学会(PLM実施基準:劣化メカニズムまとめ表)等を参照し経年劣化事象を抽出

④日常的な施設管理において時間経過に伴う特性変化に対応した管理が行われているものは「日常劣化管理事象」として除外。ただし、6事象*については必ず抽出することを要求。

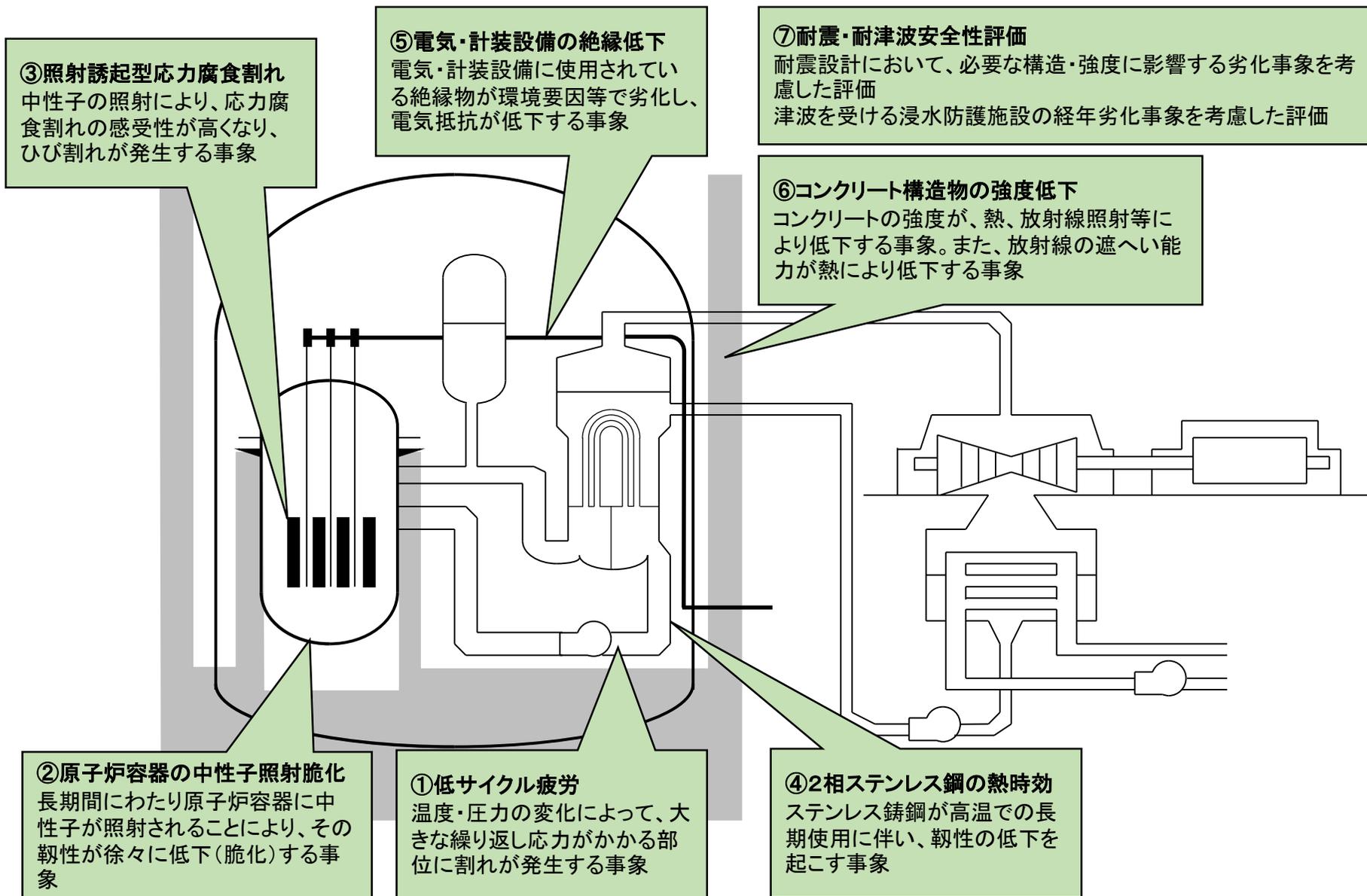
* 低サイクル疲労、中性子照射脆化、IASCC、熱時効、絶縁低下、コンクリート

⑤健全性評価では、60年までの期間について進展を評価(時間限定劣化解析の実施等)

⑥現状保全では、現在の保全の内容(点検の手法、範囲等)を確認

⑦抽出された追加保全策は、長期施設管理方針として記載

劣化評価の評価対象事象、評価事項

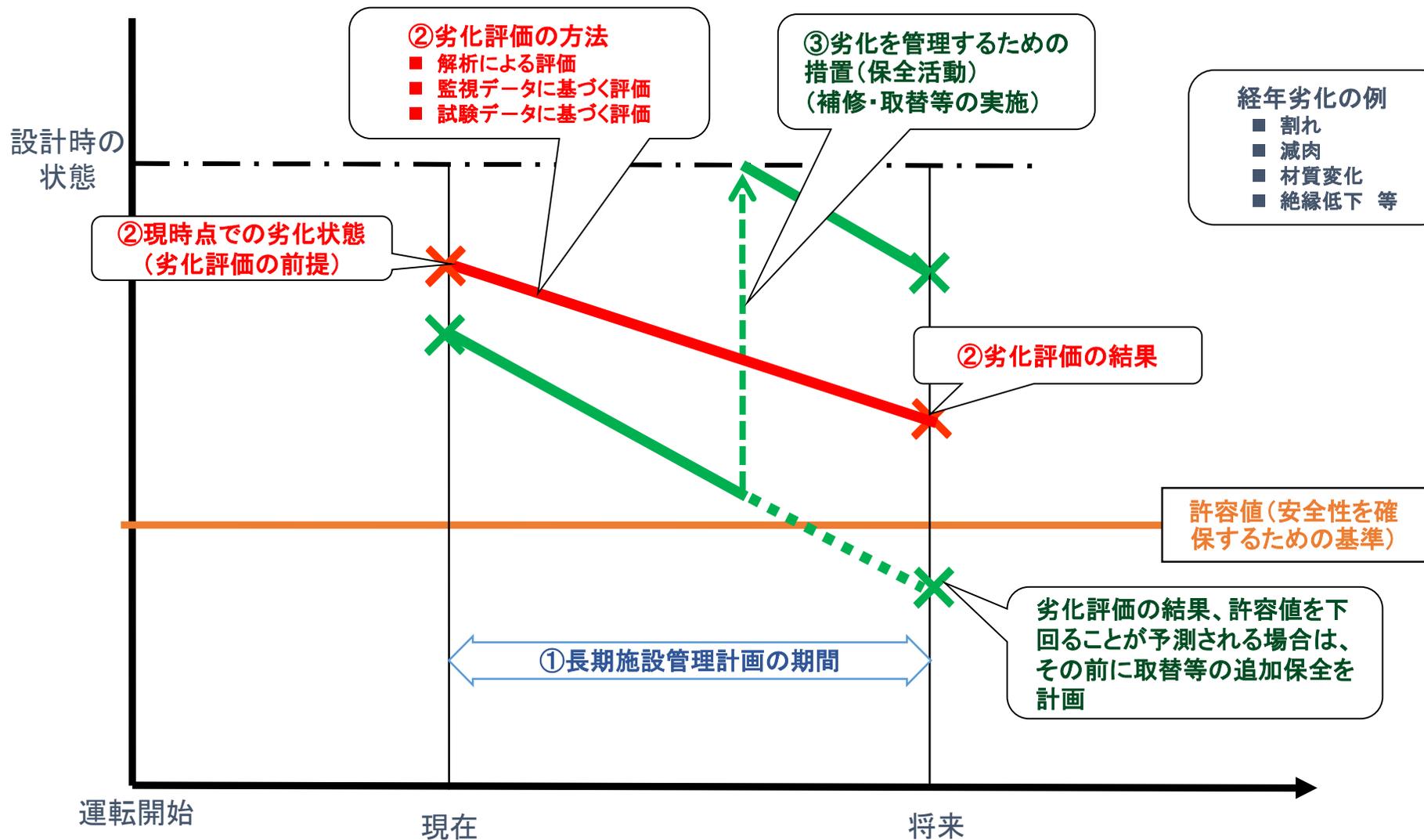




劣化評価と基準適合性

長期施設管理計画の記載事項

- ①長期施設管理計画の期間
- ②劣化評価の方法及びその結果
- ③劣化を管理するための措置(保全活動)





劣化状況評価の例

関西電力(株)美浜発電所3号炉
運転期間延長認可申請
(平成28年11月16日認可)



中性子照射脆化

- 監視試験による関連温度等の評価

⇒ 中性子照射脆化が国内予測式(JEAC4201)による予測の範囲内であることを確認

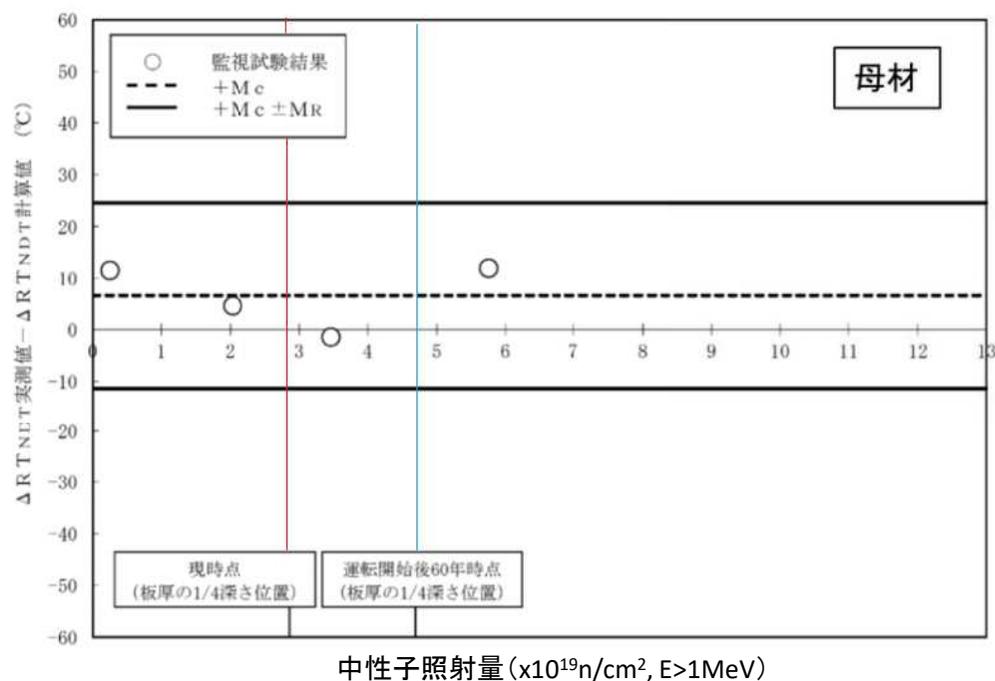
原子炉容器本体胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する監視試験結果

監視試験	取出時期 (年月)	中性子照射量 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E>1MeV]	Tr30*(°C)		
			母材	溶接金属	熱影響部
初期値	-	0	-32	-48	-51
第1回	1977年10月	0.3 [約2EFPY] *2	-10	-46	-61
第2回	1987年1月	2.0 [約18EFPY] *2	10	-13	-42
第3回	2002年1月	3.5 [約30EFPY] *2	18	-12	-35
第4回	2011年5月	5.8 [約50EFPY] *2	45	-7	-14

*1:シャルピー衝撃試験における吸収エネルギーが41Jとなる温度。関連温度はTr30の移行量と関連温度初期値より算出する。

*2: 内表面から板厚tの1/4t深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数であり、定格出力で連続運転したとして仮定した計算した年数を示す。

関連温度の国内脆化予測式の予測と監視試験結果



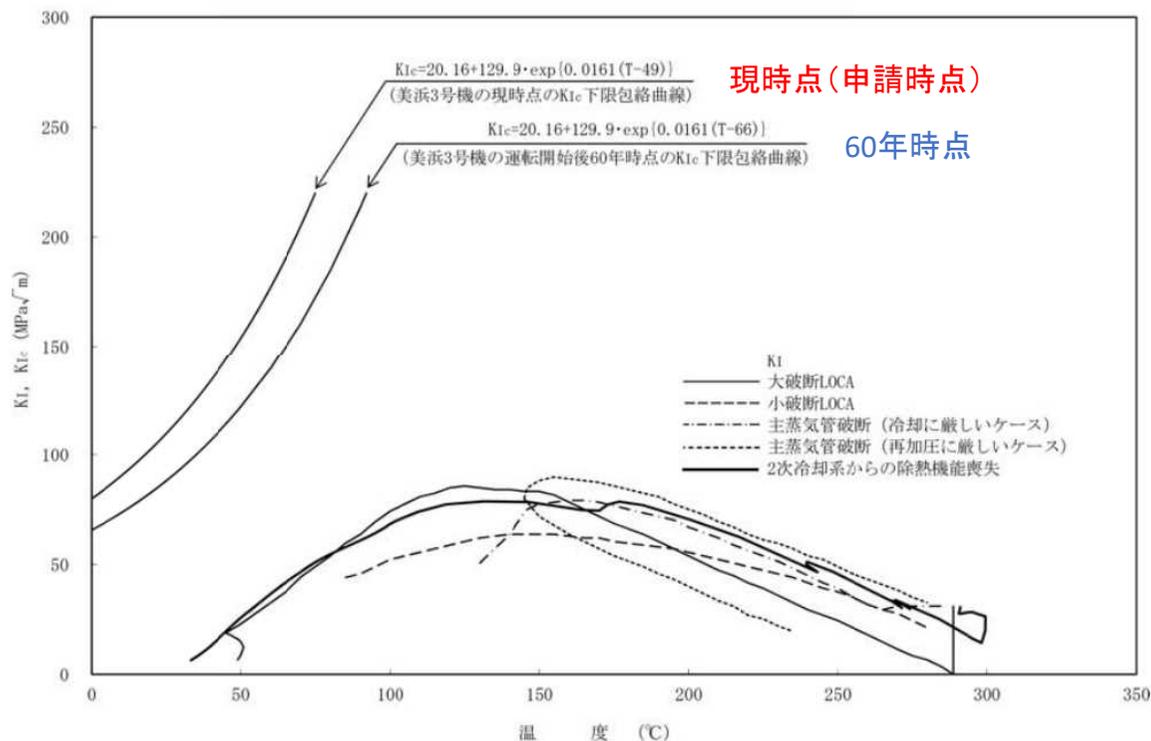
第385回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-2-1を一部修正



中性子照射脆化(加圧熱衝撃事象(PTS)評価)

- JEAC4206に定められた加圧熱衝撃の評価手法に基づき原子炉本体の胴部(炉心領域部)材料の評価を実施

⇒ 初期き裂を想定しても、脆性破壊に対する抵抗値(材料自身の持つねばり強さ)を示す K_{IC} 曲線は、負荷状態を応力拡大係数 K_I (脆性破壊を起こそうとする値)で示すPTS状態遷移曲線を上回っていることを確認



第385回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-2-1を一部修正



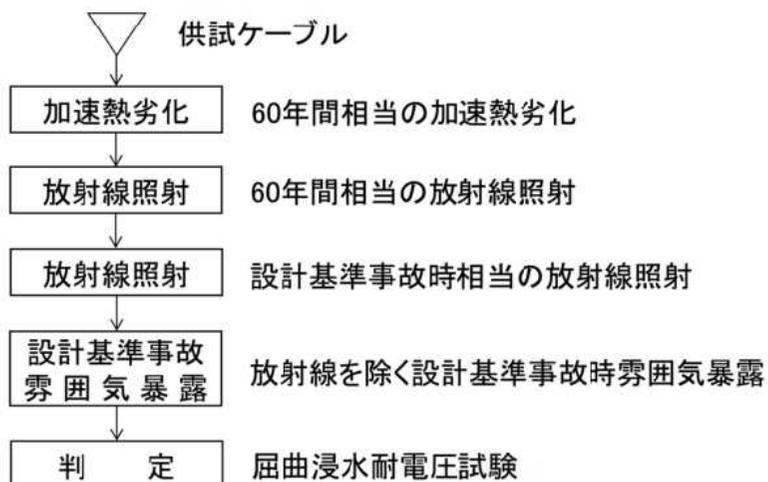
電気・計装設備の絶縁低下

- IEEEの規格を根幹にした電気学会技術報告(電気学会推奨案)及び原子力安全基盤機構が取りまとめたケーブル経年劣化評価ガイド(ACAガイド)に基づき評価を実施

⇒ 60年以上の健全性を確認

(注)60年以上の健全性を確認できない場合(高浜1、2等)は、長期健全性評価結果の評価期間に至る前に当該ケーブルを取替えを実施することを長期施設管理方針として定めている。

ケーブルの長期健全性試験手順(電気学会推奨案)



実敷設環境での長期健全性評価結果(難燃PHケーブル)

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年]* ¹
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]	
ループ室	31	0.3882	<u>75</u>
加圧器室上部	51	0.0016	<u>90</u>
通路部	41	0.0014	<u>78</u> * ²
MS区画* ³	40	0.0013	<u>200</u>

*1: 時間稼働率100%での評価期間

*2: ケーブルトレイの温度上昇値を考慮して評価している

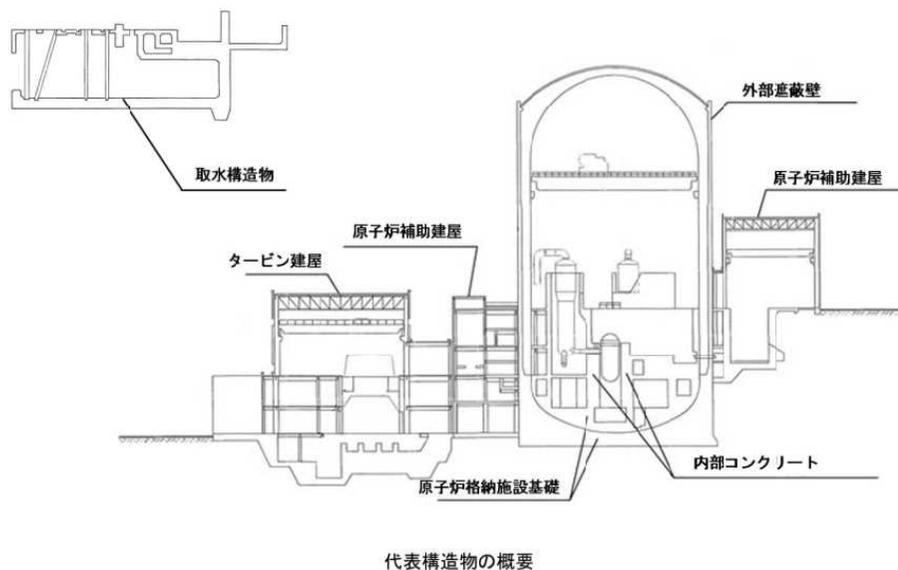
*3: 主蒸気配管・主給水配管中間建屋区画及び主蒸気配管ディーゼル建屋区画

第385回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-5-1を一部修正



コンクリート構造物

評価対象構造物の選定・グループ化



対象構造物	重要度分類	コンクリート構造物
外部遮蔽壁	クラス1設備支持	○
内部コンクリート	クラス1設備支持	○
原子炉格納施設基礎	クラス1設備支持	○
原子炉補助建屋	クラス1設備支持	○
取水構造物	クラス1設備支持 浸水防護施設	○
タービン建屋	クラス3設備支持	○
非常用ディーゼル発電用 燃料油タンク基礎	クラス1設備支持	○
防潮堤	浸水防護施設	○
屋外排水路逆流防止設備	浸水防護施設	—
緊急時対策所	常設重大事故等対処設備	○

第385回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-6-1を一部修正



コンクリート構造物(中性化の評価)

- 中性化速度式(特別点検による中性化深さの実測値、空気環境値などを入力)により、運転開始後60年経過時点の中性化深さ(最大中性化深さ推定値)を算出し、鉄筋が腐食し始める中性化深さと比較

⇒運転開始後60年経過時点における中性化深さが最大となる評価点において、鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さを下回っていることを確認

運転開始後60年後時点と鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さの比較

	中性化深さ(cm)			鉄筋が腐食し始める時の 中性化深さ ^{※2} (cm)	判定	備考 (強度試験結果)	
	測定値 (調査時点の 運転開始後経過年)	推定値 ^{※1}				平均圧縮強度 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
		調査時点 ^{※2} (中性化速度式)	運転開始後 60年経過時点 (中性化速度式)				
内部コンクリート (上部)	0.5 (38年)	4.3 (森永式)	5.3 (森永式)	6.0	OK	—	—
原子炉補助建屋 (基礎マット)	4.3 (38年)	3.1 (岸谷式)	5.3 (√t式)	10.0	OK	19.0	≥ 17.7
取水構造物 (気中帯)	0.1 (38年)	2.0 (岸谷式)	2.5 (岸谷式)	8.55	OK	32.0	≥ 23.5

※1:岸谷式、森永式及び実測値に基づく√t式による評価結果のうち最大値を記載

※2:屋内(外部遮蔽壁、原子炉補助建屋)はかぶり厚さに2cmを加えた値、屋外(取水構造物)はかぶり厚さの値

また、中性化の評価点の一部の近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

第385回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-6-1を一部修正



コンクリート構造物(塩分浸透の評価)

- 特別点検の塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、拡散方程式等を用いて、運転開始後60年時点における鉄筋腐食減量を算出、また、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を算出し、両者を比較

⇒運転開始後60年経過時点における鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることを確認

運転開始後60年経過時点とかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量の比較

	調査時期 (運転開始後経過年数)	鉄筋位置での 塩化物イオン 濃度及び量 上段(%) 下段(kg/m ³)	鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)			判定	備考 (強度試験結果)	
			調査時点	運転開始後 60年経過時 点	かぶりコン クリートにひび 割れが発生 する時点		平均圧縮 強度 (N/mm ²)	設計基準 強度 (N/mm ²)
取水構造物 (気中帯)	2015年 (38年)	0.10 (2.50)	4.8	10.4	90.1	OK	—	—
取水構造物 (干満帯)	2015年 (38年)	0.01 (0.21)	0.0	0.0	90.1	OK	32.4	≥ 23.5
取水構造物 (海中帯)	2015年 (38年)	0.24 (5.87)	3.9	10.4	90.1	OK	28.7	≥ 23.5

また、塩分浸透の評価点の一部の近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、設計基準強度を上回っていることを確認

第385回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合(平成28年07月26日)資料3-6-1を一部修正