

柏崎刈羽原子力発電所 5 号炉
高経年化技術評価
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

2019 年 6 月 20 日

東京電力ホールディングス株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

目 次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
3. 評価対象と評価手法.....	4
3.1 対象構造物の選定.....	4
3.2 経年劣化事象の抽出.....	11
3.3 評価対象部位の選定.....	18
3.4 評価手法.....	18
4. 対象構造物の技術評価.....	20
4.1 コンクリートの強度低下.....	20
4.2 コンクリートの遮へい能力低下.....	30
4.3 現状保全.....	31
4.4 総合評価.....	31
4.5 高経年化への対応.....	31
5. 評価対象部位以外の技術評価.....	31
6. まとめ.....	32
6.1 審査ガイド適合性.....	32
6.2 保守管理に関する方針として策定する事項.....	33

別紙

別紙 1. 点検マニュアルにおける定期点検の項目、方法及び判定基準について.....	1-1
別紙 2. 柏崎刈羽 5 号炉周辺地域の凍害危険度について.....	2-1
別紙 3. 鉄骨構造物の疲労評価の計算過程及び判定基準について.....	3-1
別紙 4. 原子炉ペデスタルの温度分布解析について.....	4-1
別紙 5. 放射線照射量の算定方法、条件及び結果について.....	5-1
別紙 6. 中性化の評価点を選定した過程について.....	6-1
別紙 7. 中性化深さの推定値の算定過程について.....	7-1
別紙 8. 塩分浸透における評価点の妥当性について.....	8-1
別紙 9. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程について.....	9-1
別紙 10. 機械振動の評価対象部位及び評価点の抽出過程について.....	10-1
別紙 11. 熱による遮へい能力低下の評価に用いた温度分布解析について.....	11-1

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」第 82 条第 1 項の規定に基づき実施した冷温停止状態が維持されることを前提とした高経年化技術評価のうち，コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象に対する評価結果について補足説明するものである。

2. 基本方針

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象及び劣化要因に対する評価の基本方針は、対象構造物について、経年劣化事象の発生の可能性について評価し、その可能性が将来にわたって発生することが否定できない場合は、その発生及び進展に係る健全性評価を行い、運転開始後 40 年時点までの期間において「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項に適合することを確認することである。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物評価についての要求事項を表 1 に整理する。

表1 コンクリート構造物及び鉄骨構造物評価についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド 3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生または進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期保守管理方針の審査</p> <p>①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>イ 実用炉規則第82条第1項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</p> <p>3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。</p> <p>ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 対象構造物の選定

柏崎刈羽原子力発電所 5 号炉における安全上重要な構造物（重要度分類指針における PS-1, 2 及び MS-1, 2 に該当する構造物または該当する機器・構造物を支持する構造物）並びに高温・高圧の環境下にあるクラス 3 の機器及びそれを支持する構造物を抽出した結果を表 2 に示す。

表 2 (1/2) 対象構造物の抽出

安全重要度分類審査指針等に定める要求機能	クラス	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材圧カバウンダリ機能	PS-1	原子炉圧力容器 原子炉冷却材圧カバウンダリ配管	原子炉建屋 原子炉建屋
過剰反応度の印加防止機能	PS-1	制御棒及び制御棒駆動系	原子炉建屋
炉心形状の維持機能	PS-1	炉心支持構造物	原子炉建屋
原子炉の緊急停止機能	MS-1	制御棒及び制御棒駆動系 (スクラム機能)	原子炉建屋
未臨界維持機能	MS-1	原子炉停止系 (制御棒, ほう酸水注入系)	原子炉建屋
原子炉停止後の除熱機能	MS-1	残留熱除去系	原子炉建屋, 海水熱交換器建屋 原子炉補機冷却水系配管ダクト
		自動減圧系	原子炉建屋
		低圧炉心スプレイス系	原子炉建屋, 海水熱交換器建屋
炉心冷却機能	MS-1	高圧炉心スプレイス系	原子炉補機冷却水系配管ダクト 原子炉建屋, 海水熱交換器建屋
		自動減圧系	原子炉補機冷却水系配管ダクト
		原子炉格納容器	原子炉建屋
		原子炉建屋	原子炉建屋
		原子炉格納容器隔離弁	原子炉建屋
		残留熱除去系	原子炉建屋, 海水熱交換器建屋
放射性物質の閉じ込め機能 放射線の遮へい及び放出低減機能	MS-1	非常用ガス処理系 可燃性ガス濃度制御系 遮へい設備	原子炉補機冷却水系配管ダクト 原子炉建屋, 排気筒, 非常用ガス処理系配管ダクト 原子炉建屋
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	MS-1	安全保護系	原子炉建屋
		非常用ディーゼル発電機系	原子炉建屋, 海水熱交換器建屋
		中央制御室及び中央制御室遮蔽	原子炉補機冷却水系配管ダクト
		中央制御室非常用換気空調系	原子炉建屋
		原子炉補機冷却水系	原子炉建屋
安全上特に重要な関連機能	MS-1	原子炉補機冷却海水系 直流電源系	原子炉建屋, 海水熱交換器建屋, 取水構造物 原子炉補機冷却水系配管ダクト 海水熱交換器建屋, 取水構造物 原子炉建屋

表 2 (2/2) 対象構造物の抽出

安全重要度分類審査指針等に定める要求機能	クラス	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材を内蔵する機能	PS-2	原子炉冷却材浄化系	原子炉建屋
原子炉冷却圧力材バウダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	PS-2	使用済燃料プール	原子炉建屋
燃料を安全に取り扱う機能	PS-2	燃料取替機 原子炉建屋クレーン	原子炉建屋 原子炉建屋
燃料プールの水の補給機能	MS-2	残留熱除去系	原子炉建屋
放射性物質放出の防止機能	MS-2	排気筒	排気筒
事故時のプラント状態の把握機能	MS-2	事故時監視計器	原子炉建屋
異常状態の緩和機能	MS-2	制御棒及び制御棒駆動系	原子炉建屋
原子炉冷却材の循環機能	高*	制御棒駆動水圧系駆動水ポンプ	原子炉建屋
放射性物質の貯蔵機能	高*	廃棄物処理設備	原子炉建屋, 雑固体廃棄物焼却設備建屋 (大湊側)
プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除	高*	計装用圧縮空気系	タービン建屋
プラント運転補助機能	高*	補助ボイラ設備	大湊側補助ボイラー建屋
原子炉冷却材の補給機能	高*	制御棒駆動水圧系スクラム排出容器	原子炉建屋

*: 最高使用温度が 95 °C を超え, または最高使用圧力が 1,900 kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

抽出した対象構造物から、図 1 の高経年化技術評価フロー及び図 2 の冷温停止維持評価対象設備の選定フローにより、冷温停止維持に必要な構造物を選定した。その結果を表 3 に示す。

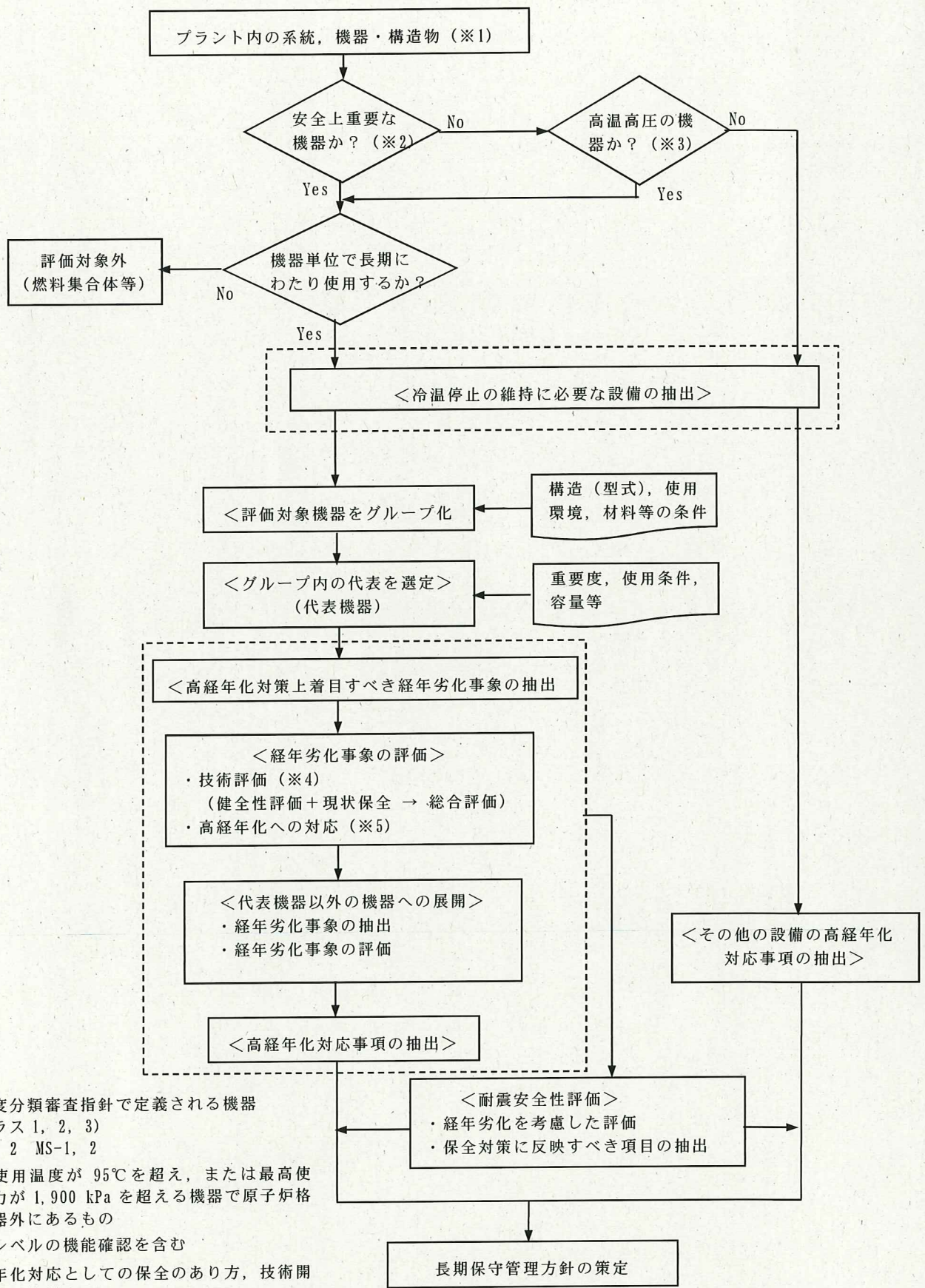
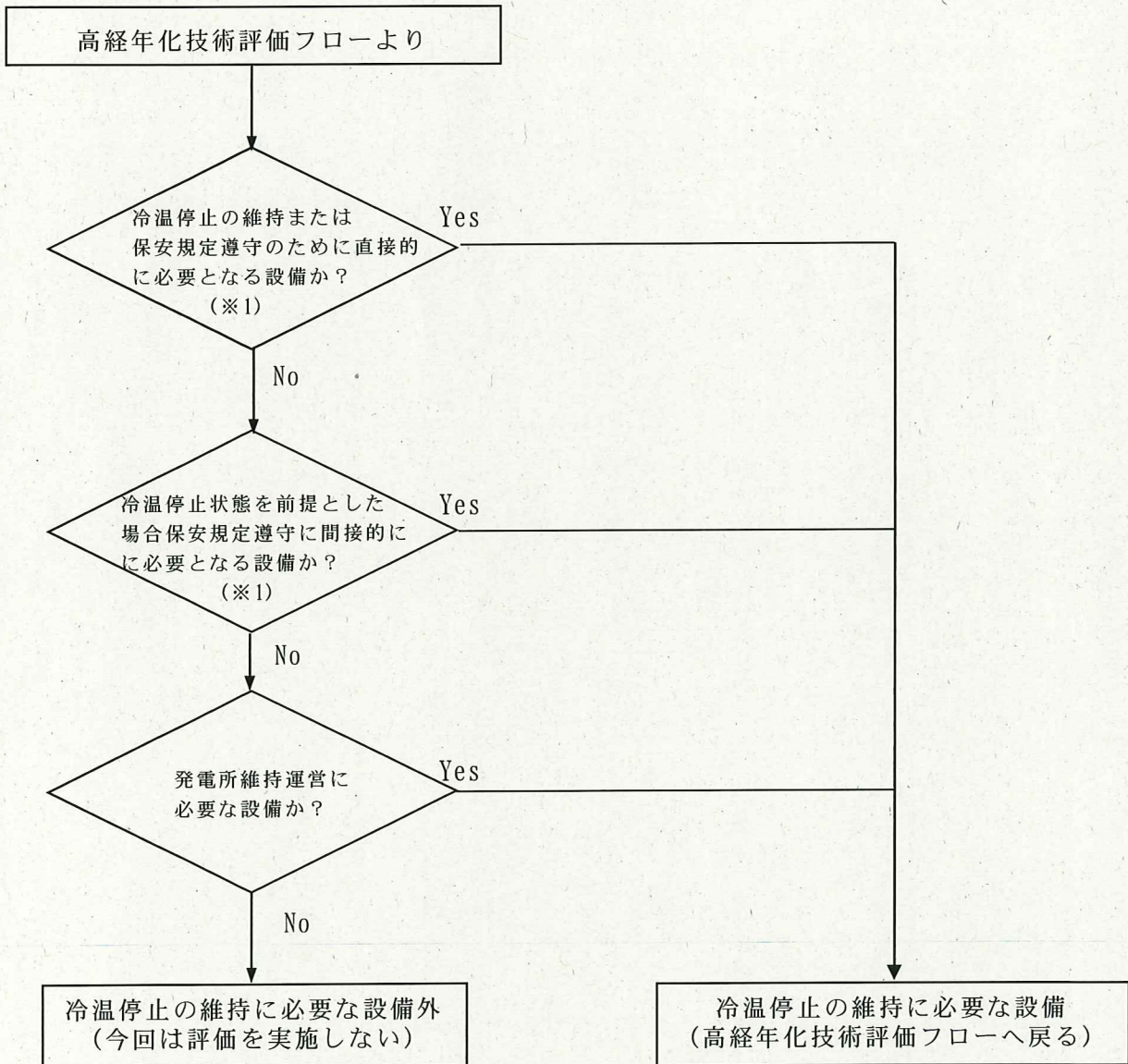


図 1 高経年化技術評価フロー



※1：保安規定において「原子炉モードスイッチが燃料取替又は停止及び照射済燃料の移動に対して要求される設備」並びに「運転モードによらず要求される設備」

図2 冷温停止維持評価対象設備の選定フロー

表 3 対象構造物

構 造		対象構造物	重要度
コンクリート構造物	建物	原子炉建屋	MS-1
		タービン建屋 (タービン発電機架台含む)	PS-3 (高温)
		海水熱交換器建屋	MS-1
	構築物	取水構造物	MS-1
		非常用ガス処理系配管ダクト	MS-1
		原子炉補機冷却水系配管ダクト	MS-1
		排気筒 (基礎部)	MS-1
鉄骨構造物		原子炉建屋 (鉄骨部)	MS-1
		タービン建屋 (鉄骨部)	PS-3 (高温)
		海水熱交換器建屋 (鉄骨部)	MS-1
		雑固体廃棄物焼却設備建屋 (大湊側)	PS-3 (高温)
		大湊側補助ボイラー建屋	PS-3 (高温)
		排気筒	MS-1

表4 想定される経年劣化事象及び劣化要因（コンクリート構造物）

構造物	経年劣化事象	劣化要因	劣化要因のスクリーニング結果		
			第1段階 (一般)	第2段階 (KK5)	KK5の環境条件・根拠等 (対象部位)
コンクリート構造物	強度低下	1. 熱	○	○	熱を受ける部位を有する。 (例：原子炉ペDESTAL)
		2. 放射線照射	○	○	放射線照射を受ける部位を有する。 (例：一次遮へい壁)
		3. 中性化	○	○	二酸化炭素、温度、湿度及び仕上げ条件によっては中性化が進行する。(全般)
		4. 塩分浸透	○	○	海塩粒子を受ける部位を有する。 (例：建屋外壁)
		5. 機械振動	○	○	機械振動を受ける部位がある。 (例：タービン発電機架台)
		6. アルカリ骨材反応	○	○	コンクリート構造物全般でASRの可能性はある。(全般)
		7. 凍結融解	○	○	柏崎刈羽サイトの凍害危険度は「ゼロ」だが、定期点検による劣化管理を行っている。
		8. 乾燥収縮	○	×	打込後早期に、壁などの薄い部材に発生する事象である。
		9. 化学的浸食	○	×	周辺地盤の土壤中に浸食性物を有する場合のみ影響を考慮する。
		10. 風化	○	×	流水等の環境に晒される部位は無い。
		11. 酸性雨	○	×	基本的に外部は防水または塗装済である。
		12. 日射	○	×	熱帯地域ではない。また、基本的に外部は防水または塗装済である。
		13. 電食作用	○	×	鉄筋コンクリート内部に電流が流れる環境は想定し難い。
		14. アル骨反応以外の骨材	×	—	経年劣化要因ではない。
		15. 構造劣化（過荷重，大たわみ，不同沈下）	○	×	機械等変更の際は構造計算を行い確認しているため，過荷重は想定し難い。
		16. 表面劣化（すりへり，摩耗）	○	×	劣化の可能性のある部位があるが，点検記録等により劣化がないことを確認している。 (例：大物搬入口床面)
		17. 初期不良（施工不良）	×	—	経年劣化要因ではない。施工記録により初期不良が無いことを確認できる。
		18. 瞬時的（災害）	×	—	経年劣化要因ではない。
		19. その他（強度低下，鉄筋腐食，ひび割れ，漏水）	×	—	経年劣化要因ではなく，経年劣化の結果として起こる構造欠陥である。
	遮へい能力低下	20. 熱	○	○	放射線照射を受ける部位を有する。 (例：ガンマ線遮へい壁)

表 5 想定される経年劣化事象及び劣化要因（鉄骨構造物）

構造物	経年劣化事象	劣化要因	劣化要因のスクリーニング結果		
			第1段階 (一般)	第2段階 (KK5)	KK5の環境条件・根拠等 (対象部位)
鉄骨構造物	強度低下	1. 腐食（塗膜劣化含む）	○	○	劣化の可能性がある環境下にある。 (全般)
		2. 風等による疲労	○	○	風等により共振現象を起こす可能性のある部位を有する。(排気筒)
		3. 化学的腐食	○	×	塗装されている。
		4. 酸性雨	○	×	塗装されている。
		5. 摩耗・緩み	○	×	道路橋など交通往来のあるローラー支承や回転支承部は無い。
		6. 遅れ破壊	×	—	経年劣化要因ではない。
		7. 瞬時的（災害）	×	×	経年劣化要因ではない。また、被災履歴も無い。

以上より、コンクリート構造物で 8 要因、鉄骨構造物で 2 要因の計 10 要因が、想定される経年劣化要因として抽出された。

(a) コンクリート構造物において想定される劣化要因

- 1) 熱（強度低下）
- 2) 放射線照射
- 3) 中性化
- 4) 塩分浸透
- 5) 機械振動
- 6) アルカリ骨材反応
- 7) 凍結融解
- 8) 熱（遮へい能力低下）

(b) 鉄骨構造物において想定される劣化要因

- 9) 腐食（塗膜劣化を含む）
- 10) 風等による疲労

(2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び劣化要因の抽出

想定される経年劣化事象のうち主要 6 事象に該当する事象及び下記①, ②に該当しない事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と判断した。

- ① 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難い経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの（日常劣化管理事象 表 7）
- ② 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象（日常劣化管理事象以外）

①に該当する事象については、想定した劣化傾向等に基づき、適切な保全活動を行っていることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象と判断し、②については該当する劣化事象がないことから、抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び劣化要因は、表 6 に示すとおりとなった。

表 6 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び劣化要因

構造物	経年劣化事象	劣化要因
コンクリート	強度低下	熱
		放射線照射
		中性化
		塩分浸透
		機械振動
	遮へい能力低下	熱

また、日常劣化管理事象に関するコンクリート構造物及び鉄骨構造物の保全活動は、「原子力発電所建築設備点検マニュアル（NE-55-7 改 09）」及び「原子力発電所土木設備点検マニュアル（NE-55-8 改 09）」（以下、総称して「点検マニュアル」という。）に基づき実施している。点検マニュアルにおける定期点検の項目、方法及び判定基準を別紙 1 に示す。

なお、日常劣化管理事象及び劣化要因に関する具体的な点検及び補修実績を表 8 に示す。

表7 日常劣化管理事象と劣化要因

構造物	経年劣化事象	劣化要因	理由
コンクリート	強度低下	アルカリ骨材反応	<p>使用している骨材については、試験によりコンクリート構造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認している。試験結果を表9に示す。</p> <p>なお、定期的に点検マニュアルに基づく目視点検を行っており、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。</p>
		凍結融解	<p>日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」(2018)に示される凍害危険度の分布図によると柏崎刈羽5号炉の周辺地域の凍害の予想程度は「ゼロ」である。柏崎刈羽5号炉周辺地域の凍害危険度について別紙2に示す。</p> <p>なお、定期的に点検マニュアルに基づく目視点検を行っており、凍結融解に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない。</p>
鉄骨	強度低下	腐食	<p>定期的に点検マニュアルに基づく目視確認を実施しており、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められていない。また、鉄骨の強度に支障をきたす可能性があるような鋼材の腐食に影響する塗装の劣化等が認められた場合には、その部分の塗装の塗替え等を行うこととしている。</p>
		風等による疲労	<p>鉄骨構造物のうち、風等による繰返し荷重を受ける排気筒が対象構造物と考えられる。柏崎刈羽5号炉の排気筒は、その耐震余裕度を向上させるために鉄塔支持型(制震装置付)に変更し、2015年4月に完了している。</p> <p>鉄骨構造物の風等による繰返し荷重に対する評価は、(社)日本建築学会「鋼構造設計規準(2005)」に示されている評価式を用いて、発電所近傍で計測された風等に基づき算定した応力範囲が運転開始後40年時点においても、許容疲労強さよりも小さいことを確認し、疲労を考慮する必要はないと評価した。排気筒の疲労評価について別紙3に示す。</p> <p>柏崎刈羽5号炉の排気筒は鉄塔支持型であり、自立型よりも共振現象が起きにくいとされている。また排気筒の主要構造部材は、これまでの目視点検でも共振による疲労割れは確認されておらず、今後もこれらの共振現象による疲労が大きく変化する要因があるとは言い難い。</p> <p>以上から、鉄骨の風等による疲労については、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。</p>

表 8 日常劣化管理事象及び劣化要因に関する点検及び補修実績

経年劣化事象	劣化要因	対象構造物	点検方法	点検頻度	点検結果	補修実績
コンクリートの強度低下	アルカリ骨材反応	原子炉建屋 タービン建屋 海水熱交換器建屋 取水構造物* 非常用ガス処理系配管ダクト 原子炉補機冷却水系配管ダクト 排気筒（基礎部）	目視点検	1回／2年	アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績無し
	凍結融解	原子炉建屋 タービン建屋 海水熱交換器建屋 取水構造物* 非常用ガス処理系配管ダクト 原子炉補機冷却水系配管ダクト 排気筒（基礎部）	目視点検	1回／2年	凍結融解に起因すると判断されるひび割れは認められていない	補修実績無し
鉄骨の強度低下	腐食	原子炉建屋 タービン建屋 海水熱交換器建屋 雑固体廃棄物焼却設備建屋（大湊側） 大湊側補助ボイラー建屋 排気筒*	目視点検	1回／2年	有害な腐食は認められていない	排気筒には定期的な塗り替えを実施している
	風等による疲労	排気筒	目視点検	1回／年	応力腐食割れは認められていない	補修実績無し

*：取水構造物、排気筒の点検頻度は1回／年である。

表 9 アルカリ骨材反応に関する試験結果

対象構造物	試験方法 (試験実施年)	骨材	測定値 (6か月)	判定基準	結果
原子炉建屋 ほか主要 構造物	モルタルバー法 (昭和 59 年)	長岡産 粗骨材	-0.002%	「材齢 6 ヶ月で 膨張率が 0.100 %以下」が無害	無害
	モルタルバー法 (昭和 62 年)	長岡産 粗骨材	0.024%		無害
		長岡産 細骨材及び 現地砂	0.048%		無害

3.3 評価対象部位の選定

評価対象部位は、評価すべき経年劣化要因毎に材料及び事象の進展に影響を与える環境を考慮して抽出する。評価対象部位を表10に示す。

3.4 評価手法

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、経年劣化要因毎に材料及び事象の進展に影響を与える環境を考慮し、その進展の程度が大きいと考えられる評価点について健全性を確認する。

健全性を確認する方法としては、学会基準等による既往の健全性評価方法または国内外の研究成果による健全性評価方法を用いた。

4.1.3 中性化による強度低下

(1) 評価の概要

中性化の進展に影響を及ぼす要因として、環境要素（二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度）等が考えられることから、環境測定を実施した。環境測定に基づく中性化の評価点の選定過程について別紙6に示す。

鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さは、一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では鉄筋のかぶり厚さから2cm奥まで達したときとされている（日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」（2016））ことから、評価対象部位は、屋外、屋内について各々選定することとし、塗装等の仕上げ材の有無、環境要素（二酸化炭素濃度、温度、相対湿度）を考慮して選定した。

屋内の評価対象部位抽出にあたっては、環境測定の結果をもとに、仕上げ材の有無も考慮して、中性化が進展しやすい環境下にあると想定される複数箇所を選定し、平成30年に中性化深さを測定した。

各建屋の屋内において中性化深さの平均値が最も大きい箇所は、タービン建屋南側廊下（仕上げ材無し）で1.1cm（平成30年測定、運転開始後28年時点）であった。

以上の結果と各建屋の最小かぶり厚さは同一であることを踏まえ、タービン建屋内壁を評価対象部位とする。評価点は、中性化深さの平均値が最大となったタービン建屋南側廊下壁とした。

また、各対象構造物における屋外環境は、ほぼ同一であるが、屋外の評価対象部位抽出にあたり、平成27年、28年及び30年に各構造物の中性化深さを測定した結果、建物の中性化深さの平均値が最も大きい箇所は、タービン建屋外壁（仕上げ材有り）の0.5cm（平成30年測定、運転開始後28年時点）であった。

なお、構築物の中性化深さの平均値が最も大きい箇所は、非常用ガス処理系配管ダクト内壁（仕上げ材無し）の2.0cm（平成28年測定、運転開始後26年時点）であった。

以上の結果と各建屋の最小かぶり厚さは同一であることを踏まえ、建物においてはタービン建屋外壁を評価対象部位とし、評価点は、中性化深さの平均値が最大となったタービン建屋1階北側外壁とした。

さらに、構築物においては、かぶり厚さの相違を考慮して、非常用ガス処理系配管ダクト、原子炉補機冷却水系配管ダクトB系及び排気筒（基礎部）を評価対象部位とし、評価点は、非常用ガス処理系配管ダクト内壁、原子炉補機冷却水系配管ダクトB系内壁及び排気筒北東基礎とした。

(2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。中性化深さの推定値の算定過程を別紙7に示す。

① 運転開始後40年時点における中性化深さの推定

中性化深さの推定式（岸谷式³⁾、森永式⁴⁾及び中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式⁵⁾により、運転開始後40年時点の中性化深さの推定値を算定する。

② 最大中性化深さの推定値の抽出

中性化深さの推定式により得られる中性化深さのうち、最大値となる中性化深さを抽出する。

③ 鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さの算定

鉄筋が腐食し始める時点の中性化深さとして、屋外はかぶり厚さの値、屋内はかぶり厚さに2cmを加えた値をそれぞれ算定する。

④ 運転開始後40年時点の中性化深さの評価

②が③よりも小さいことを確認する。

3) 日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」(1991)

4) 森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究」東京大学学位論文(1986)

5) 土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編」(2013)

(3) 評価結果

運転開始後 40 年時点における中性化深さの推定値は表 11 に示すとおり、いずれの評価点においても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した。

さらに、定期的に目視点検を実施しているが、中性化による鉄筋腐食に起因するひび割れは確認されていない。

以上から、中性化によるコンクリートの強度低下は、長期健全性評価上問題とならない。

表 11 コンクリートの中性化深さ

評価対象部位		調査時点の中性化深さ			柏崎刈羽 5 号炉 運転開始後 40 年 時点の中性化 深さ ^{*2} (推定 式)	鉄筋が腐食し 始める時点の 中性化深さ ^{*3}
		経過年数	実測値 (調査時期)	推定値 ^{*1} (推定式)		
屋内	タービン建屋	28 年	1.1 (平成 30 年 11 月)	2.4 (岸谷式)	2.8 (岸谷式)	6.0
屋外	タービン建屋	28 年	0.5 (平成 30 年 11 月)	1.4 (岸谷式)	1.7 (岸谷式)	4.0
	非常用ガス処理系 配管ダクト	26 年	2.0 (平成 28 年 8 月)	1.5 (岸谷式)	2.4 (\sqrt{t} 式)	8.5
	原子炉補機冷却水 系配管ダクト B 系	26 年	1.7 (平成 28 年 9 月)	1.9 (岸谷式)	2.3 (岸谷式)	8.4
	排気筒基礎	28 年	0.1 (平成 30 年 11 月)	1.4 (岸谷式)	1.7 (岸谷式)	7.0

*1：岸谷式³⁾、森永式⁴⁾による推定値のうち最大値を記載

*2：岸谷式³⁾、森永式⁴⁾及び実測値に基づく \sqrt{t} 式⁵⁾による推定値のうち最大値を記載

*3：かぶり厚さから評価した値

*4：森永式⁴⁾における温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度は実測値による

4.1.4 塩分浸透による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、海側に面する壁を有する対象構造物のうち、鉄筋位置における塩化物イオン濃度が最大であったタービン建屋外壁と、飛来塩分及び海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下にある取水構造物を選定した。取水構造物の塩分浸透の測定結果を表 12 に示す。

評価点は、タービン建屋 1 階東側外壁と、評価対象構造物（取水構造物）のうち、「高経年化技術評価審査マニュアル（JNES-RE-2013-9012）」に基づき、塩分浸透環境を考慮し、図 6 に示すとおり、環境条件が異なる取水構造物の気中帯、干満帯及び海中帯をそれぞれ評価点として選定した。評価点の妥当性を別紙 8 に示す。

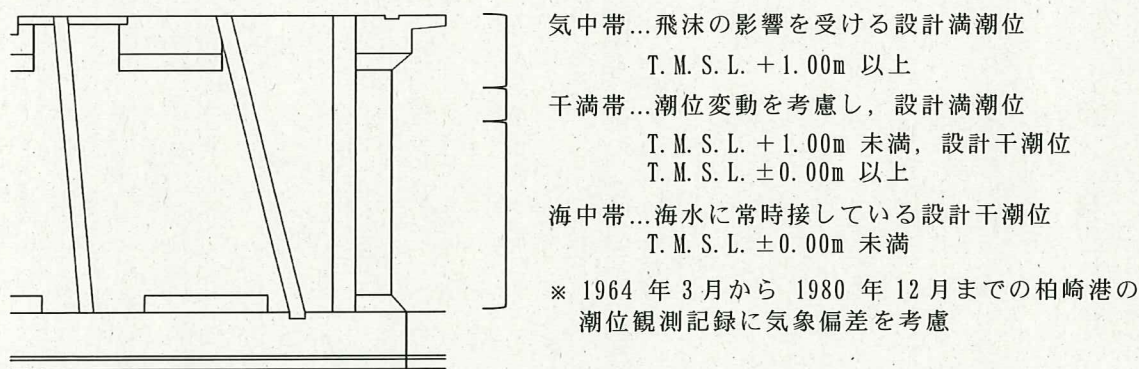


図 6 取水構造物の概要

表 12 塩分浸透の測定結果

対象の コンクリ ート構造物	表面から の深さ (mm)	塩化物イオン量 (kg/m ³)		
		気中帯	干満帯	海中帯
取水構造物	0~20	11.630	15.380	3.927
	20~40	2.920	10.017	3.317
	40~60	0.170	0.987	1.017
	60~80	0.117	0.110	0.130
	80~100	0.110	0.123	0.077
コア採取日		2015年11月26日	2015年11月26日	2015年11月25日

(2) 評価手順

評価については、以下の手順にて実施した。鉄筋の腐食減量の算定過程を別紙 9 に示す。

① 運転開始後 40 年時点における鉄筋の腐食減量の算定

拡散方程式により塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、運転開始後経過年数毎のコンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測し、鉄筋位置における塩化物イオン量を算定する。鉄筋位置における塩化物イオン量を用いて、森永式⁴⁾により運転開始後 40 年時点の鉄筋の腐食減量を算定する。

② かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋の腐食減量の算定

鉄筋径及びかぶり厚さを用いて、森永式⁴⁾により、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点における鉄筋の腐食減量を算定する。

③ 運転開始後 40 年時点における鉄筋の腐食減量の評価

①が②よりも小さいことを確認する。

(3) 評価結果

運転開始後 40 年時点における鉄筋の腐食減量の推定値は表 13 に示すとおり、いずれの評価点においても、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量を下回っていることを確認した。

また、定期的に見視点検を実施しているが、塩分浸透による鉄筋腐食に起因するひび割れは確認されていない。

以上から、塩分浸透によるコンクリートの強度低下は、長期健全性評価上問題とならない。

表 13 鉄筋の腐食減量

	調査時期	鉄筋位置での塩化物イオン濃度 (%)	鉄筋の腐食減量 ($\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$)		
			調査時点	運転開始後 40年時点	かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点
タービン 建屋	平成30年	0.0027 [0.060] *	4.7	6.5	48.8
取水構造物 (気中帯)	平成27年	0.0048 [0.110] *	1.6	2.5	91.5
取水構造物 (干満帯)	平成27年	0.0052 [0.123] *	7.4	11.3	91.5
取水構造物 (海中帯)	平成27年	0.0033 [0.077] *	0.0	0.0	91.5

* : []内は塩化物イオン量 (kg/m³)

4.1.5 機械振動による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、プラント運転中に常時振動を受ける対象構造物のうち、最も大きな機械振動を受けるタービン発電機架台コンクリートとし、評価点は、機械振動荷重を直接受ける機器支持部とした。機械振動の評価対象部位及び評価点の抽出過程を別紙 10 に示す。

なお、冷温停止維持の状態においては、タービンを含む発電設備は停止状態にあり、劣化の進展に対する影響はないと判断する。

(2) 評価結果

タービン発電機架台については、異常振動の有無を日常的なパトロールで確認している。コンクリートについては、定期的な目視点検を実施し、コンクリート表面において、強度に支障をきたす可能性のある欠陥がないことを確認している。

また、コンクリート強度については、運転開始後 28 年経過した平成 30 年に、タービン発電機架台の機器支持部から採取された供試体の圧縮強度試験を行った結果、表 14 に示すとおり、平均圧縮強度は 40.6 N/mm^2 であり、設計基準強度 27.5 N/mm^2 を十分上回っていることを確認した。

なお、仮に機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動が発生するものと考えられるが、機械振動は日常的に監視されており、異常の兆候は検知可能である。

以上から、定期的な目視点検及び日常的に監視することにより機械振動によるコンクリートの強度低下は、長期健全性評価上問題とならない。

表 14 コンクリートの圧縮強度試験結果

部 位	調査時期	平均圧縮強度	設計基準強度
タービン発電機架台	平成 30 年 (運開後 28 年)	40.6 N/mm^2	27.5 N/mm^2

4.2 コンクリートの遮へい能力低下

4.2.1 熱による遮へい能力低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、前述のとおり、放射線の遮へい能力が要求されるガンマ線遮へい壁及び一次遮へい壁のうち、原子炉圧力容器近傍にあり、運転時に照射量の最も大きいガンマ線遮へい壁とし、評価点は、ガンマ線遮へい壁の炉心領域部とした。評価に用いた温度分布解析の詳細を別紙 11 に示す。

なお、冷温停止維持の状態においては、中性子やガンマ線の発生はほとんど無く、遮へい能力に対する影響はないと判断する。

(2) 評価結果

放射線防護の観点から、コンクリート遮へい体の設計に適用されている「コンクリート遮へい体設計規準」(R. G. Jaeger et al. 「Engineering Compendium on Radiation Shielding (ECRS) VOL. 2」) には、周辺及び内部最高温度の制限値が示されており、コンクリートに対しては中性子遮へいで 88℃ 以下、ガンマ線遮へいで 177℃ 以下となっている。

これに対し、ガンマ線遮へい壁コンクリートの炉心領域部の最高温度は、工事計画認可申請図書添付書類「生体しゃへい装置の放射線のしゃへい及び熱除去についての計算書」によると、全ガンマ線束による発熱を考慮した温度分布解析結果は 61.7℃ であり、コンクリートの温度制限値を下回っていることから、運転開始後 40 年時点においても遮へい能力への影響はないと判断する。

また、仮に熱によるコンクリート構造物の遮へい能力低下が生じた場合、放射線量が上昇するものと考えられるが、放射線量は日常的に監視されており、異常の兆候は検知可能である。

以上から、熱によるコンクリートの遮へい能力低下は、長期健全性評価上問題とならない。

4.3 現状保全

コンクリート構造物の強度低下については、点検マニュアルに基づき、定期的（1回/2年または1回/年）にコンクリート表面の目視点検を実施している。目視点検の結果、ひびわれ等の補修が必要となる損傷が確認された場合、即時補修が必要なものを除き、その経過を継続的に監視しつつ、点検実施後数年以内を目途に補修を計画、実施することとしている。

コンクリート構造物の遮へい能力低下については、ガンマ線遮へいコンクリートが鋼板で覆われているため、目視点検等は実施できないが、放射線量を日常的に監視している。

4.4 総合評価

コンクリート構造物の強度低下については、健全性評価結果から判断し、今後、強度低下が急激に発生する可能性は小さい。

また、定期的な目視点検により補修対象となったひび割れ等の補修を計画、実施しており、現状の保全方法は、コンクリート構造物の健全性を維持する上で適切である。

コンクリート構造物の遮へい能力低下については、健全性評価結果から判断して、現状において問題はなく、今後、遮へい能力低下が急激に発生する可能性は極めて小さい。

また、仮に熱によるコンクリート構造物の遮へい能力低下が生じた場合、放射線量が上昇するものと考えられるが、放射線量は日常的に監視されており、異常の兆候は検知可能である。

4.5 高経年化への対応

コンクリート構造物の強度低下及び遮へい能力低下に対しては、高経年化対策の観点から現状の保全内容に対して追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

5. 評価対象部位以外の技術評価

コンクリート及び鉄骨構造物の技術評価は、評価対象部位について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因毎に、使用条件を考慮して実施している。評価対象部位以外の使用条件等は、評価対象部位に包含されているため、技術評価結果も評価対象部位の結果に包含される。

6. まとめ

6.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、全ての要求事項を満足していることを確認した。コンクリート構造物及び鉄骨構造物についての要求事項との対比を表 15 に示す。

表 15 コンクリート構造物及び鉄骨構造物についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ⑫健全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生または進展に係る健全性を評価していることを審査する。	「4. 対象構造物の技術評価」に示すとおり、対象構造物について運転開始後 40 年時点を想定した健全性評価を実施した。
	⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。	「4.3 現状保全」に示すとおり、健全性評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。
	⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべき新たな保全策はなかった。
	(2) 長期保守管理方針の審査 ①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものではなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の保守管理に追加すべき保全策（以下、「追加保全策」という。）を抽出すること。 イ 実用炉規則第 82 条第 1 項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から 60 年間（ただし、 ⑧ ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から 40 年間とする。）	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加する新たな保全策はなかった。
	3.2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。 ①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたもの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。 ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りでない。	「4.5 高経年化への対応」に示すとおり、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものではなく、保守管理に関する方針として策定する事項はなかった。

6.2 保守管理に関する方針として策定する事項

コンクリート及び鉄骨構造物に関する評価について、高経年化対策の観点から追加すべき保全項目はなく、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくことから、保守管理に関する方針として策定する事項はない。

別紙

別紙 1 点検マニュアルにおける定期点検の項目，方法及び判定基準について

別紙 2 柏崎刈羽 5 号炉周辺地域の凍害危険度について

別紙 3 鉄骨構造物の疲労評価の計算過程及び判定基準について

別紙 4 原子炉ペDESTALの温度分布解析について

別紙 5 放射線照射量の算定方法，条件及び結果について

別紙 6 中性化の評価点を選定した過程について

別紙 7 中性化深さの推定値の算定過程について

別紙 8 塩分浸透における評価点の妥当性について

別紙 9 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程について

別紙 10 機械振動の評価対象部位及び評価点の抽出過程について

別紙 11 熱による遮へい能力低下の評価に用いた温度分布解析について

＜点検マニュアルにおける定期点検の項目、方法及び判定基準について＞

保全計画に基づき実施する定期点検について、原子力発電所建築設備点検マニュアル及び原子力発電所土木設備点検マニュアルに定める、点検の項目・方法及び判定基準を以下に示す。

1. 原子力発電所建築設備点検マニュアル

1.1 建築設備点検基準

① 構造物

項目	保全重要度	保全方式	定期点検 ^{※4}		
			内容	頻度(年)	
コンクリート構造物 ^{※5}	建物	A	状態基準保全	圧縮強度	10(5) ^{※6}
				中性化深さ	10
				塩化物イオン量	10
				ひび割れ	2
		B	状態基準保全	圧縮強度	10(5) ^{※6}
				中性化深さ	10
				塩化物イオン量	10
				ひび割れ	2
	C	状態基準保全	ひび割れ	2	
			表面劣化	2	
	D	状態基準保全	ひび割れ	2	
			表面劣化	2	
	構築物(排気筒基礎)	A	状態基準保全	圧縮強度	10(5) ^{※6}
				中性化深さ	10
				塩化物イオン量	10
				ひび割れ	2
表面劣化				2	
鉄骨構造物	建物	状態基準保全	鋼材劣化	2	
				2	
				2	
				2	
	排気筒	A	状態基準保全	鋼材劣化	1
				板厚測定(筒身のみ)	5
	無線鉄塔	C	状態基準保全	「参照文書 実施編IV 無線鉄塔及びその付帯設備点検実施要領」による	
避雷鉄塔	D	状態基準保全	鋼材劣化	2	

※4：「NM-13-1 検査(区分A～C)マニュアル 添付-1 検査一覧表(標準)」のうち「排気筒検査」の適用にあたっては「定期点検」を「本格点検」に読み替える。

※5：対象建物内に耐火壁、防火壁、安全避難通路がある場合および管理区域・非管理区域境界として鋼製壁がある場合は当該点検内容に準じて点検を行うものとする。

※6：コンクリートの圧縮強度は、コア圧縮強度試験をおおむね10年毎、非破壊試験(シュミットハンマーおよび超音波伝搬速度法)をおおむね5年毎とする。

② 廃棄設備

項目	保全重要度	保全方式	定期点検	
			内容	頻度(年)
気体、液体又は固体廃棄物貯蔵設備	C	状態基準保全	ひび割れ	2
			塗膜劣化	2
堰その他の設備	D	状態基準保全	ひび割れ	2
			塗膜劣化	2

③ 放射線管理設備

項目	保全重要度	保全方式	定期点検	
			内容	頻度 (年)
生体遮へい装置	A	状態基準保全	ひび割れ	2
			表面劣化	2

④ 建物付帯設備

項目		保全重要度	保全方式	定期点検		
				内容		頻度 (年)
緊急時 対策所	空調換気設備	C	状態基準保全	本体		1
	受変電設備			「2. 2. 5 電気工作物点検 (2) 点検の実施」 による		1
建具	エアロック扉 (気密扉)	A	状態基準保全	本体	扉本体 ヒンジ パッキン 施錠装置 等	1
				機能	動作確認	1
	安全避難用扉 防火扉	C	状態基準保全	本体	扉本体 ヒンジ パッキン 施錠装置 等	1
				機能	動作確認	1
	中操バウンダリ扉	D	状態基準保全	本体	扉本体 ヒンジ パッキン 施錠装置 等	1
				機能	動作確認	1
	防護扉 (準強化扉含む)	D	状態基準保全	本体	扉本体 ヒンジ パッキン 施錠装置 等	2
				機能	動作確認	2
	遮へい扉	A	状態基準保全	本体	扉本体 ヒンジ パッキン 施錠装置 等	2
				機能	動作確認	2
消火系設備・誘導灯		C	状態基準保全	「BS-06 建物管理保全基本マニュアル」による。		
避雷設備		D	状態基準保全	変形		1
				さび		1

⑤ 鉄骨構造物（鉄塔）付帯設備

項目		保全重要度	保全方式	定期点検	
				内容	頻度 (年)
排気筒	制震装置	A	状態基準保全	外観目視	1
				油量測定	
無線鉄塔	付帯設備	C	状態基準保全	「参照文書 実施編IV 無線鉄塔 及びその付帯設備点検実施要領」 による	

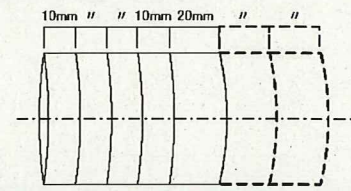
以上

1.2 建築設備点検標準

項 目	コンクリートの圧縮強度	1
調査部位	壁 等	
調査数	原則、1建物あたり2箇所以上とする。	
調査方法	<p>圧縮強度試験は、おおむね10年毎にコア圧縮強度試験を、5年毎に反発度法および超音波伝搬速度法の非破壊試験を実施する。</p> <p>(1) コア圧縮強度試験 JIS A 1107, JIS A 1108, JIS A 1132 による。 併せて、JIS A 1149 に準拠して静弾性係数試験を実施する。 1箇所あたり3試料を採取する。</p> <p>(2) 反発度法 「鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法」(日本建築学会)による。</p> <p>(3) 超音波伝搬速度法 「鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法」(日本建築学会)による。</p>	
評価方法	<p>(1) コア圧縮強度試験の結果は、3試料の平均値により評価する。</p> <p>(2) 反発度法の評価は、材料学会式の評価値を構造物の一部から採取したコンクリートコアの反発度と圧縮強度の実測値に基づいて補正することを原則とする。ただし、補正のためのデータが無い場合は、材料学会式の評価値を材令補正係数により補正する。</p> <p>(3) 超音波伝搬速度法の評価は、あらかじめ求めておいた音速と圧縮強度との関係式を用いて圧縮強度を推定する。</p>	
管理基準	圧縮強度が設計基準強度以上であること。	
まとめ方	<p>(1) データ整理：以下の事項を記録する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試体の切取位置および切取日 ・ 平均直径および高さ ・ 補正係数 ・ 最大荷重 ・ 圧縮強度 ・ 欠陥の有無とその内容 ・ 見かけ密度 <p>第三者試験機関による試験成績書がある場合は、原本を保管する。 管理基準を満たさない場合には、コンクリートコアの状況、調査部位の表面状況等を詳細に調査し、記録に残す。</p> <p>(2) まとめ : 過去の実績を含め、経年変化を評価できるようにまとめる。</p>	
準拠・参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法 ・ JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 ・ JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方 ・ JIS A 1149 コンクリートの静弾性係数試験方法 ・ JIS A 1155 コンクリートの反発度の測定方法 ・ 鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法 (日本建築学会) ・ 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 (日本建築学会) ・ 設計基準強度との関係において安全上必要なコンクリート強度の基準等を定める件 (昭和56年建設省告示第1102号) ・ コンクリート標準示方書【維持管理編】制定資料 (2001年制定 土木学会) ・ コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル (日本建築学会) 	
備考欄		

項 目	コンクリートの中性化深さ	2
調査部位	壁 等	
調査数	原則、1建物あたり2箇所以上とする。(3試料/1箇所)	
調査方法	(1) 圧縮強度試験に使用したコアを用い、JIS A 1152 に準拠して測定を行う。 (2) 調査位置周辺の温度、湿度、二酸化炭素濃度の測定を行う。	
評価方法		
管理基準		
まとめ方	(1) データ整理：以下の事項を記録する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試体の切取位置および切取日 ・ 試薬の噴霧から中性化深さの測定までの時間 ・ 中性化深さの測定箇所と各測定値、平均値、最大値 ・ 供試体の切取位置の状況（雨がかりの有無、塗装の有無等） ・ 温度、湿度、二酸化炭素濃度 ・ 第三者試験機関による試験成績書がある場合は、原本を保管する。 (2) まとめ：過去の実績を含め、経年変化を評価できるようにまとめる。	
準拠・参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法 ・ 建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編 I 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術（技報堂出版） ・ 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針（案）・同解説（日本建築学会） ・ 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説（日本建築学会） ・ 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会） 	
備考欄		

項目	コンクリートの塩化物イオン量	3
調査部位	外気に面した壁 等	
調査数	原則、1建物あたり1箇所以上とする。(3試料/1箇所)	
調査方法	<p>(1) 圧縮強度試験に使用したコアを用い、JIS A 1154 に準拠して測定を行う。</p> <p>(2) 鉄筋位置 + 20 mm まで表面側から4サンプルを10 mm 幅で、それ以降を20 mm 幅で分割し、それぞれ塩化物イオン量を測定する。</p>	
評価方法		
管理基準		
まとめ方	<p>(1) データ整理：以下の事項を記録する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試体の切取位置および切取日 ・ 分析年月日 ・ 分析方法 ・ 塩化物イオン量 ・ 供試体の切取位置の状況（雨がかりの有無、塗装の有無等） ・ 第三者試験機関による試験成績書がある場合は、原本を保管する。 <p>(2) まとめ：過去の実績を含め、経年変化を評価できるようにまとめる。</p>	
準拠・参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法 ・ 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針（案）・同解説（日本建築学会） ・ 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説（日本建築学会） ・ 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会） 	
備考欄		



項 目	コンクリートのひび割れ	4
調査部位	壁, 床スラブ, 柱, はり 等	
調査方法	以下の項目を目視により調査する。	
	調査項目	調査内容
	パターン 幅 長さ	規則性, 形態, 発生部位 (分布), 進行性, 漏水の有無 最大幅の測定 (クラックスケールによる) 可視範囲の記録
評価方法 ・ 管理基準		
まとめ方	(1) データ整理 : ひび割れ毎に, 最大幅, 長さ, 漏水の有無, 確認日, 進行性等を記載し, 必要に応じて写真を添付する。 (2) 管理図書作成 : ひび割れの進行状況が評価できるように管理図書を作成する。	
準拠・参考文献	・建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編 I 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術 (技報堂出版) ・鉄筋コンクリート造のひび割れ対策 (設計・施工) 指針案・同解説 (日本建築学会) ・鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針 (案)・同解説 (日本建築学会) ・コンクリートのひび割れ調査・補修指針 (日本コンクリート工学協会) ・原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 (日本建築学会)	

項 目	コンクリートの表面劣化	5
調査部位	壁, 床スラブ, 柱, はり 等	
調査方法	<p>コンクリート打ち放し面, 仕上げ材の表面について, 目視あるいはハンマリング等により下記損傷の有無を確認し, 確認された場合 () 内の事項を調査する。</p> <p>(1) エフロッセンス, 漏水の痕跡 (水の浸入経路, 進行性の有無等)</p> <p>(2) 錆汁 (箇所数, 形態, 進行性の有無等)</p> <p>(3) 浮き, 剥離 (箇所数, 面積, 形態, 落下の危険性, 進行性の有無等)</p>	
評価方法		
管理基準		
まとめ方	<p>(1) データ整理 : 発生部分, 発生面積, 劣化の程度, 深さ, 発生日等を記録する。また, 「浮き, 剥離, 剥落」については落下の危険性の有無を記録する。必要に応じて写真を添付する。</p> <p>(2) 管理図書作成 : 表面劣化の進行状況が評価できるように管理図書を作成する。</p>	
準拠・参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編 I 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術 (技報堂出版) ・ 鉄筋コンクリート造のひび割れ対策 (設計・施工) 指針案・同解説 (日本建築学会) ・ 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針 (案)・同解説 (日本建築学会) ・ コンクリートのひび割れ調査・補修指針 (日本コンクリート工学協会) ・ 原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 (日本建築学会) 	

項 目	コンクリートの塗膜劣化	6
適用部位	壁, 床等	
調査方法	<p>以下の項目を目視により調査する。</p> <p>(1) 浮き・剥がれ (2) われ（ヘアークラック） (3) チョウキング（白亜化）</p> <p>必要に応じてクロスカット法等による付着力の測定を行う</p>	
評価方法 ・ 管理基準		
まとめ方	<p>(1) データ整理：点検の結果を記録用紙に記入。 (2) 写真記録：特徴の説明を有するものについて作成。</p>	
準拠・参考文献	<p>・建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編 I 外装仕上げの耐久性向上技術（技報堂出版） ・原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会）</p>	

項 目	鉄骨の鋼材劣化	7
調査部位	柱, はり, 上屋鉄骨 等 (排気筒については次項)	
調査方法	鉄骨部材は目視により以下について行う。ただし, 必要に応じて機器を用いた測定を実施する。 (1) 塗膜の表面劣化 (変退色, 光沢度, 白亜化) (2) 塗膜層の劣化 (ふくれ, 割れ, 剥がれ, 附着性能低下) (3) さびの発生状況 (表面さび, 断面欠損)	
評価方法		
管理基準		
まとめ方	(1) データ整理 : 軸組図または床伏図などに結果を記入する。 (2) 写真記録 : 特徴の説明が必要なものについて作成する。	
準拠・参考文献	・建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅱ 鉄骨造建築物の耐久性向上技術 (技報堂出版) ・原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説 (日本建築学会)	
備考欄		

項 目	排気筒	8
調査部位	筒身 (配管取合部・ダクト接合部含む), 鉄塔本体	
調査方法		
評価方法		

管理基準	
まとめ方	<p>(1) データ整理：軸組図または床伏図などに結果を記入する。 なお、板厚測定は「様式 I-1 超音波厚さ測定検査成績表」にまとめる。</p> <p>(2) 写真記録：特徴の説明が必要なものについて作成する。</p>
準拠・参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅱ 鉄骨造建物の耐久性向上技術（技報堂出版） ・原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会） ・JIS-Z-2355(1994)超音波パルス反射法による厚さ測定方法
備考欄	

2. 原子力発電所土木設備点検マニュアル

2.1 点検とこれに係わる業務の手順

② 定期点検

a. 普通点検

(a) 点検項目

外観目視（簡単な測定含む）

(b) 点検頻度

設 備 ^{※7}	点検頻度 ^{※1, 2, 3, 4}
海水取水・放水設備	1回/2年 ^{※5}
重油及び軽油関連設備	1回/年 ^{※6}
電気関係設備	1回/2年 ^{※5}
補給用水設備	1回/2年
諸装置基礎及びダクト	1回/2年
地震・津波対策設備	1回/年
竜巻対策	1回/年
その他外部事象対策	1回/年

※1 内部目視にあたり、仮設足場の設置や掘削などの措置が別途必要な箇所の点検頻度については、以下のとおり。なお安全上外観目視が困難な場合はこの限りではない。

取水路、燃料輸送管基礎、ケーブルダクト、水槽、温水浄水装置基礎、放射性物質管理装置基礎
：1回/5年（点検年度の定期検査期間内に実施できない場合は直近の定期検査時）

放水路：1回/10年（定期検査時。点検年度の定期検査期間内に実施できない場合は直近の定期検査時）

※2 点検頻度の「年」については、点検対象の年度（4/1～3/31）の期間中に1回実施（実施とは点検の着手をいい、点検箇所の事前確認・仮設備設置等含む）することを指す。

※3 定期検査時にドライアップして内部目視を行う設備は、年→サイクルと読み替える。

※4 点検頻度は、以下の設備を除き、発電所の運転状況や既往の点検結果等に基づき見直すことができる。
点検頻度見直し対象外設備：フラップゲート、高台資機材置場、アクセスルート、吸着剤設置ピット

※5 スクリーン室、取水路、補器取水路、常設代替交流電源設備基礎、常設代替交流電源管路（ハンドホール含む）については、1回/年とする。

※6 重油配管トレンチについては、1回/2年とする。

※7 休止または使用を終了し除却を行うまでの土木設備は、定期点検の対象外とするが、変状の発生により人身災害が生じないよう巡視等を行い、健全性を確認する。

(c) 測定器具および装備品

	測定器具	コンベックステープ、エスロンテープ、内径スケール、クラックスケール、ノギス、隙間ゲージ、測深ゲージ、水糸（下げ振り付）、勾配計など
装 備 品	点検補助装備品	カメラ、点検ハンマー、双眼鏡、点検鏡、懐中電灯、ペンキ、ドライバー、ペンチ、チョークなど
	安全装備品	安全帯、救命胴衣、酸素濃度測定器、可燃性ガス検知器、硫化水素濃度測定器など

⑨ 詳細調査

詳細調査は、定期点検の結果、措置が必要な変状・欠陥に対し、より詳細な状況把握並びに原因の究明等が必要な場合に実施する。詳細調査はその実施内容により、現地詳細損傷状況調査、資料精査、解析検討に分類される。

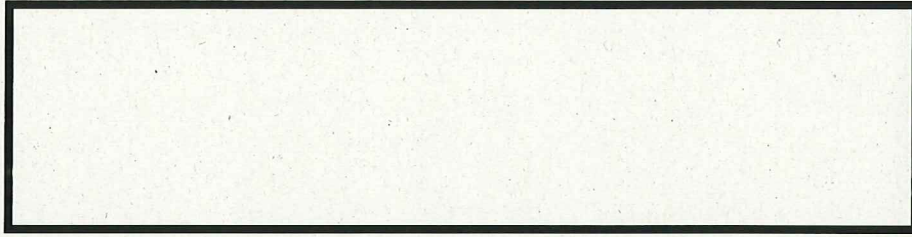
(1) 現地詳細損傷状況調査

変状・欠陥をより詳細に把握するため、精度の高い外観目視、測量、測定、試験などを実施する。

(例：現地詳細損傷状況調査)

調査名称	変状・欠陥	調査項目	備考
コンクリート劣化度調査	浮き 剥離 ひびわれ 錆汁 鉄筋露出	外観目視 (展開図作成) 塩分含有量試験 (可溶性塩分、全塩分) 中性化試験 コンクリート強度試験 (コア採取による) 鋼材腐食量調査 かぶり深さ測定	損傷数量が把握できる 精度とする コンクリートコアの採 取が困難な場合は反発 硬度法による
タイロッド腐食調査	護岸の変位 背面地盤の変位	外観調査 腐食量測定 局部電位調査 土壌の腐食性調査 (比抵抗)	試掘を伴う控え工の調 査を含む場合がある
アスファルト 舗装道路調査	ひびわれ わだち掘れ深さ 段差 ポットホール 局部沈下	外観目視 ひびわれ率 路面たわみ量測定 CBR試験 アスファルト抽出試験 水準測量	

2.2 定期点検方法および健全度判定基準一覧表



点検方法および健全度判定基準一覧表

読取り単位の()は肉眼または双眼鏡による単位

点検の種類	点検の着眼点	コンクリート表面状態		読取り 単位	点 検 方 法	健 全 度			備 考
		点検項目	おおよび 項目			II	III	IV	
普通 点 検	・ひびわれ		有・無	—					
			位置・範囲	10cm (50cm)					
			幅	0.1mm					
			長さ	1cm					
			パターン	—					
			状況	—					

読取り単位の()は肉眼または双眼鏡による単位

点検の着眼点		コンクリート表面状態		読取り 単位	点 検 方 法	健 全 度			備 考
点検 種類	点 検 管 理 目 的 項 目 お よ び 目 的	有・無	位置			II	III	IV	
普 通 点 検	・漏水	有・無	位置	10cm (50cm)					
		状況		—					
	・浮き	有・無		—					
		位置		10cm					
		大きさ		1cm					
		有・無		—					
	・はく離(欠損含む)	有・無							
		位置		10cm (50cm)					
		形 大きさ		1cm (10cm)					
		状 厚 さ		1cm					
		状況		—					

読取の単位()は肉眼または双眼鏡による単位

点検の着眼点		コンクリート表面状態		読取の単位	点検方法	健全度			備考
点検の種類	点検項目	点検項目および	コンクリート表面状態			II	III	IV	
普通点検	骨材露出	有・無	—	—					
		位置	10cm (50cm)						
		大きさ	1cm (10cm)						
	鉄筋露出	有・無	—						
		位置・範囲	10cm (50cm)						
		長さ	1cm (10cm)						
		かぶり厚さ	1mm						
		パターン	—						
		腐食状態	—						

読取の単位()は肉眼または双眼鏡による単位

点検の種類	点検の着眼点	コンクリート表面状態		読取の単位	点検方法	健全度				備考
		点検項目	項目および			II	III	IV		
普通点検	・錆汁	有無	—	—						
		範囲・ パターン	—							
				・セメントの劣化						
		位置	—							

＜柏崎刈羽 5 号炉周辺地域の凍害危険度について＞

1. はじめに

コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けること等により融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 (2018)」(以下、「JASS5」という)に示されている解説図 26.1 (凍害危険度の分布図)によると、柏崎刈羽 5 号炉 (以下、「KK5」という)の周辺地域は凍結融解の危険性がない地域に該当している。なお、凍害危険度の分布図にある凍害危険度は、気象資料を用いて外気温上の凍結融解作用の強さに日射等の影響と含水程度を考慮し算出したものである。

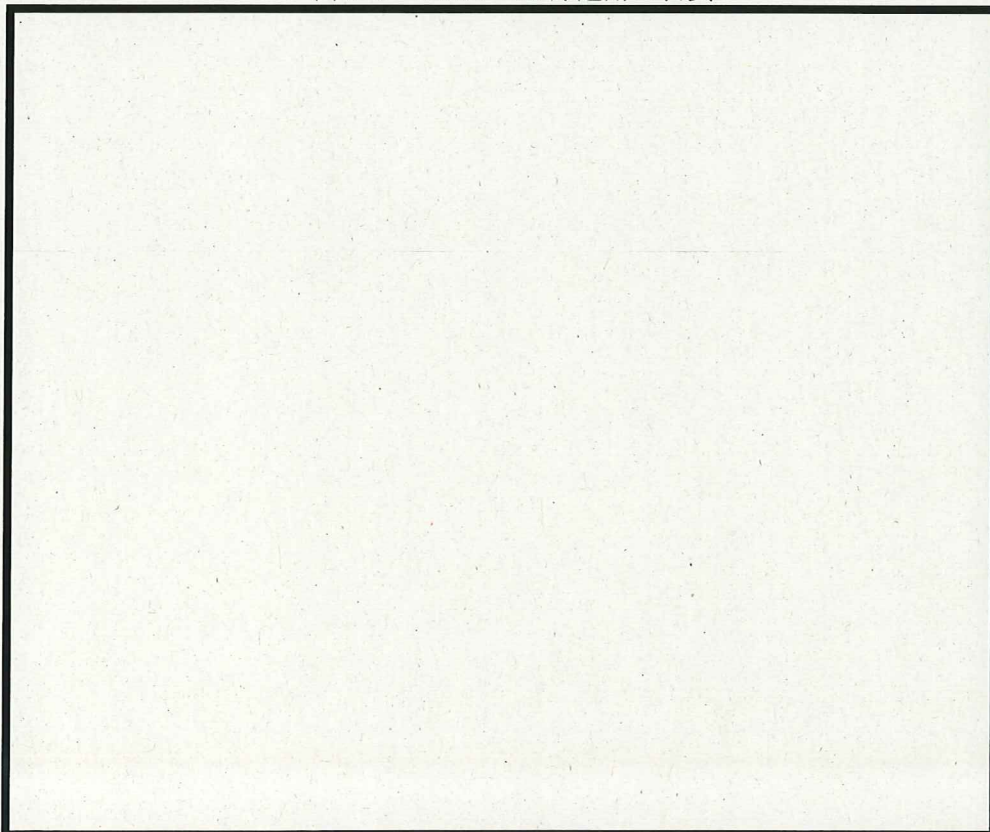
あらためて、気象資料から KK5 周辺地域の凍害危険度を確認した結果を以下に示す。

2. 凍結融解作用を受けるコンクリート

「JASS5 26 節 凍結融解作用を受けるコンクリート」に、寒冷地に建設する建築物の激しい凍結融解作用を受ける部分に使用するコンクリートの仕様が示されている。

そこに、26 節適用の目安の解説表があり、解説表に日最低気温の平滑平年値の年間極値 (気象庁資料による) (以下、「最低気温」という)と凍害危険度の関係が示されている。26 節適用の目安の解説表は、表 2-1 参照。

表 2-1 JASS5 26 節適用の目安



3. KK5 周辺地域の凍害危険度

最新の平滑平年値（1981～2010年の観測値）により、KK5の周辺地域である、柏崎地域気象観測所の最低気温を確認すると -1.3°C であった。

表 2-1 JASS5 26 節適用の目安において、仙台の最低気温 -2.9°C において、凍害危険度は0とある。これに対し、KK5の周辺地域である、柏崎の最低気温は -1.3°C であり、仙台よりも最低気温が高いことから、凍害危険度は0となり、凍結融解作用を受ける危険性はない地域と判断した。

また、JASS5に「わが国の多くの地域で最低気温と凍結融解回数が対応している」とあり、最低気温から凍害危険度を確認することは妥当と考える。

なお、「原子力発電所建築設備点検マニュアル」及び「原子力発電所土木設備点検マニュアル」に基づき、定期的を実施している「建築設備点検業務（平成30年度）」並びに「土木設備点検業務（平成29年度）」による目視点検の結果、凍結融解に起因するひび割れは確認されていない。

＜鉄骨構造物の疲労評価の計算過程及び判定基準について＞

1. はじめに

風などの繰返し荷重が継続的に鉄骨に作用することにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨部材あるいは接合部の健全性が損なわれる可能性がある。

柏崎刈羽5号炉の機器・構造物のうち、風による繰返し荷重を受ける排気筒の鉄骨構造物を評価対象とし、排気筒を直接支持している鉄塔の支柱材及び排気筒の筒身について疲労の検討を行う。

評価対象である排気筒の筒身及び鉄塔について、建設時において、筒身は工場溶接で製作したブロックを現地で溶接して組立てており、鉄塔については工場溶接で製作した支柱材を現地でフランジ継手によって接合している。工場製作での品質管理として、鋼材検査証明書（ミルシート）による材料検査、工場出荷時に寸法検査を実施するとともに、放射線透過試験にて異常な欠陥がないことを確認している。排気筒建設以降は、筒身、鉄塔ともに保全計画に基づく外観点検を実施しており、表面に、機能・性能に影響を及ぼすおそれのある割れ・変形等の有意な異常がないことを確認している。

排気筒の疲労評価は、(社)日本建築学会「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—2005」(以下、「S規準」という)に示される疲労損傷評価法を参照し、疲労評価を実施している。

S規準の「7.1適用範囲」には、「 1×10^4 回を超える繰返し応力を受ける部材、及び接合部に対して疲労の検討を行う」と規定されており、日本鋼構造協会編「鋼構造物の疲労設計指針・同解説 1993」等の最新知見を取り入れた上で、建築鋼構造の各種継手形式に対応する疲労設計曲線を定め、応力の繰返し数に応じた許容疲労強さを規定するとともに、変動応力振幅や組合せ応力の繰返しに対する疲労の検討を可能としている。

疲労設計曲線には、応力範囲の打切り限界（疲労限）が設定されており、打切り限界以下の繰返し応力範囲は疲労を考慮する必要はないとされているため、本評価においては、応力の繰返し数及び繰返し応力範囲を算定し、許容疲労強さ並びに打切り限界と比較することにより、疲労を考慮する必要性の有無を評価する。

なお、排気筒においては耐震補強工事を実施していることから、検討条件は耐震補強工事後の工事計画認可申請図書（以下、「工認図書」という）の条件を適用して評価を実施した。

2. 排気筒の疲労評価

2.1 評価条件

(1) 評価対象

風による繰返し荷重を受ける排気筒の鉄骨構造部を対象とした。

(2) 評価内容

① 使用材料

鉄塔（支柱材）：炭素鋼（STK490）*1

筒身：炭素鋼（SMA400A）*2

*1：一般構造用炭素鋼鋼管，*2：溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材

② 検討用風速及び発生日数

風に関する記録として、国立天文台編「理科年表 2018 年版」（以下、「理科年表」という）には、日最大風速（「10 分間の風速の平均値」を表す）10 m/s 以上及び 15 m/s 以上の日数の月別平均値（1981～2010 年までの平均値）が掲載されており、これらのうち、柏崎刈羽 5 号炉近傍の気象官署地点として、新潟、高田を選定する。

各気象官署における風に関する記録を表 3-1 に示す。

表 3-1 発電所近傍の気象官署における風に関する記録

項目	新潟	高田
日最大風速 10 m/s 以上の日数の年間平均値（日）	48.5	11.4
日最大風速 15 m/s 以上の日数の年間平均値（日）	3.2	0.5

これらを踏まえ、新潟気象官署の記録を用いて、以下の 2 ケースで検討を行う。

- ・ ケース 1：検討用風速 $V_1 = 10.0$ m/s，年間平均日数 48.5（日）
- ・ ケース 2：検討用風速 $V_2 = 15.0$ m/s，年間平均日数 3.2（日）

(3) 応力の繰返し数

理科年表より求められた年間平均日数を評価年数 40 年分の累積時間（秒）に換算し、各ケースに対する累積時間を以下のように算定する。なお、補強工事は平成 22 年に実施されているが、建設時からの累積とした。

- ・ ケース 1：発生日数（48.5 日）×1 日中（24 時間×3,600 秒）×評価年数（40 年間）
- ・ ケース 2：発生日数（3.2 日）×1 日中（24 時間×3,600 秒）×評価年数（40 年間）

この累積時間を、工認図書における排気筒の一次固有周期で除した値を、応力の繰返し数として求める。応力の繰返し数の算定結果を表 3-2 に示す。