

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK 補-III-6 改1
提出年月日	平成30年3月22日

東海第二発電所 劣化状況評価
(コンクリート構造物及び鉄骨構造物)

補足説明資料

平成30年3月22日
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密
又は核物質防護上の観点から公開できません。

目次

1. はじめに	1
2. 代表構造物の選定	2
2.1 代表構造物の選定	2
2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出	6
2.3 劣化要因毎の評価対象部位の選定結果	8
3. 代表構造物の技術評価	10
3.1 コンクリートの強度低下	10
3.2 コンクリートの遮蔽能力低下	15
3.3 現状保全	16
3.4 総合評価	16
3.5 高経年化への対応	16
4. 評価対象部位以外への展開	17
5. まとめ	18
5.1 審査基準適合性	18
5.2 保守管理に関する方針として策定する事項	18

別紙 1. 実体顕微鏡観察の妥当性確認について

別紙 2. 耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについて 24

別紙 3. 温度測定方法、測定位置及び測定記録について

別紙 4. 震災影響評価について

別紙 5. 放射線照射量解析の方法、条件及び結果について

別紙 6. 中性化の評価対象及び評価点の選定過程について

別紙 7. 中性化深さの推定値の算定過程及び結果について

別紙 8. 塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程について

別紙 9. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程及び結果について

別紙 10. 機械振動の評価対象及び評価点の選定過程について 39

1. はじめに

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号。以下、「実用炉規則」という）第114条の規定に基づく、劣化状況評価の補足としてコンクリート構造物の強度低下、遮蔽能力低下及び鉄骨の強度低下の評価結果が適切であることを説明するとともに、評価内容の補足資料をとりまとめたものである。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の経年劣化事象、劣化要因を表1に示す。

表1 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

構造物	経年劣化事象	劣化要因	
コンクリート	強度低下	熱	コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散を伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大等により、強度が低下する可能性がある。
		放射線照射	コンクリートが中性子照射やガンマ線照射を受けると、照射量によっては、コンクリートの強度が低下する可能性がある。
		中性化	コンクリートは、空気中の二酸化炭素の作用を受けると、表面から徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。中性化がコンクリートの内部に進行し、鉄筋を保護する能力が失われると、鉄筋はコンクリート中の水分及び酸素の作用により腐食し始め、腐食に伴う体積膨張によりコンクリートにひび割れやはく離が生じ、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。
		塩分浸透	コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、鉄筋位置まで達すると、鉄筋の腐食が徐々に進行し、鉄筋の膨張によりコンクリートにひび割れやはく離が生じ、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。
		アルカリ骨材反応	アルカリ骨材反応は、コンクリート中に存在するアルカリ溶液と、骨材中に含まれる反応性のシリカ鉱物の化学反応である。このとき生成されたアルカリ・シリカゲルが周囲の水を吸収し膨張すると、コンクリート表面にひび割れが生じ、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。
		機械振動	コンクリート構造物は、長期間にわたって機械振動による繰返し荷重を受けるとひび割れが発生し、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。
		凍結融解	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。
	遮蔽能力低下	熱	コンクリートが周辺環境からの伝達熱及び放射線照射に起因するコンクリート内部の温度上昇により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性がある。
	耐火能力低下	火災時等の熱	コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保できるが、部分的な断面厚の減少に伴い耐火能力が損なわれる可能性がある。
鉄骨	強度低下	腐食	一般的に、鋼材は大気中の酸素及び水分と化学反応を起こして腐食する。腐食は、海塩粒子等により促進され、進行すると鋼材の断面欠損に至り、鉄骨構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。
		風などによる疲労	繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

2. 代表構造物の選定

2. 1 代表構造物の選定

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の強度低下，遮蔽能力低下，耐火能力低下が想定される構造物は多数存在するため，劣化状況評価では，評価対象となる構造物の中から代表構造物を選定して評価を行う。評価対象構造物，代表構造物は以下の手順にて選定する。

2. 1. 1 評価対象構造物の抽出とグループ化

安全上重要な構造物「重要度分類審査指針におけるクラス1，2に該当する構造物又は該当する機器・構造物を支持する構造物，重要度分類審査指針におけるクラス3に該当する高温・高圧の環境下にあるクラス3に該当する機器を支持する構造物（**火災防護設備に属する構造物**）」「常設重大事故等対処設備，常設重大事故等対処設備を支持する構造物」「浸水防護施設に属する構造物」に該当する構造物を選定し，コンクリート構造物と鉄骨構造物にグループ化を実施した。その結果を表2に示す。

2. 1. 2 代表構造物の選定

グループ化した評価対象構造物について，使用条件等を考慮して代表構造物を選定した。コンクリート構造物における代表構造物選定結果を表3，鉄骨構造物における代表構造物選定結果を表4に示す。

表2 評価対象構造物の抽出とグループ化

対象構造物	重要度クラス	コンクリート構造物	鉄骨構造物
原子炉建屋 (非常用ディーゼル発電機海水系配管トレンチ、 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む)	クラス1 設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	○ (鉄骨部)
タービン建屋	クラス1 設備支持	○	○ (鉄骨部)
取水口構造物	クラス1 設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	×
排気筒基礎	クラス1 設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	×
使用済燃料乾式貯蔵建屋	クラス2 設備支持	○	○ (鉄骨部)
防潮堤	浸水防護施設	○	○
常設低圧代替注水系格納槽	常設重大事故等対処設備	○	×
常設代替高圧電源装置置場 (軽油貯蔵タンク基礎及びカルバート含む)	クラス1 設備支持, 常設重大事故等対処設備	○	×
SA用海水ピット(取水塔含む)	常設重大事故等対処設備	○	×
緊急用海水ポンプピット	常設重大事故等対処設備	○	×
格納容器圧力逃がし装置格納槽(カルバート含む)	常設重大事故等対処設備	○	×
緊急時対策所建屋(発電機燃料油貯蔵タンク基礎含む)	常設重大事故等対処設備	○	×
西側淡水貯水設備	常設重大事故等対処設備	○	×
防潮扉	浸水防護施設	×	○
放水路ゲート	浸水防護施設	×	○
構内排水路逆流防止設備	浸水防護施設	×	○
貯留堰	浸水防護施設, 常設重大事故等対処設備	×	○
浸水防止蓋	浸水防護施設	×	○
水密扉	浸水防護施設	×	○

表3 コンクリート構造物における代表構造物選定結果

対象構造物 (コンクリート構造物)	使用条件等											選定理由
	運転条件, 環境条件等											
	特別点検 結果	選定	選定	耐火要求 の有無	供給 塩化物量	設置環境		振動の有無	放射線の 有無	高温部の 有無	運転開始後 経過年数	
選定	選定	選定	選定	選定	屋内	屋外	有無	有無	有無	有無	有無	
原子炉建屋 (非常用ディーゼル発電機海水系配管トレンチ, 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む)		選定	選定	-	◇	一部仕上げ無し	仕上げ有り	○ (非常用ディーゼ ル発電機基礎)	○ (ペDESTアル, 一次遮蔽壁)	○ (ペDESTアル)	39	高温部及び放射線の影 響, 屋内で仕上げ無し, 特別 点検結果 (中性化深さ)
タービン建屋		◎	◎	-	◇	一部仕上げ 無し	仕上げ有り	○ (タービン発電機 架台)	◇	◇	39	振動の影響, 屋内で仕上げ無し, 特別 点検結果 (中性化深さ)
取水口構造物		◎	◎	-	○ (海水と接触)	仕上げ無し	仕上げ無し	-	-	-	39	屋外で仕上げ無し, 供給塩化物量の影 響, 特別点検結果 (塩分浸透及び中性 化深さ)
排気筒基礎*1				/	◇	仕上げ有り	仕上げ有り	-	-	-	39	
使用済燃料乾式貯蔵建屋				-	◇	一部仕上げ 無し	仕上げ有り	-	◇	◇	16	
防潮堤				/	◇	仕上げ無し	仕上げ無し	-	-	-	0	
常設低圧代替注水系統納槽				-	-	一部仕上げ 無し	埋設*2	-	-	-	0	
常設代替高圧電源装置置場 (軽油貯蔵タンク基礎及びカルバート含む)				-	-	一部仕上げ 無し	埋設*2	-	-	-	0	
SA用海水ピット (取水塔含む)				/	○ (海水と接触)	埋設*2	埋設*2	-	-	-	0	
緊急用海水ポンプピット				-	○ (海水と接触)	埋設*2	埋設*2	-	-	-	0	
格納容器圧力逃がし装置格納槽 (カルバート含む)				-	-	一部仕上げ 無し	埋設*2	-	-	-	0	
緊急時対策所建屋 (発電機燃料油貯蔵タンク基礎含む)				-	-	仕上げ有り	仕上げ有り	-	-	-	0	
西側淡水貯水設備				/	-	仕上げ有り	埋設*2	-	-	-	0	

*1: 新規制基準への適合のため部分改修予定であるが, 保守的に既存部として評価する

*2: 環境条件の区分として, 土中は一般の環境に区分されることから, 他の屋外で仕上げが無い構造物で代表させる

…グループ内代表構造物とする使用条件等

【凡例】

○: 影響大

◇: 影響小

-: 影響極小, 又は無し

表 4 鉄骨構造物における代表構造物選定結果

対象構造物 (鉄骨構造物)	運転開始後 経過年数	使用条件等				選定理由
		設置環境		使用材料	選定	
		屋内	屋外			
原子炉建屋 (廃棄物処理棟及び廃棄物 処理建屋含む) (鉄骨部)	39	仕上げ有り		炭素鋼	◎	運転開始後経過年数
タービン建屋 (鉄骨部)	39	仕上げ有り		炭素鋼	◎	運転開始後経過年数
使用済燃料乾式貯蔵建屋 (鉄骨部)	16	仕上げ有り		炭素鋼		
防潮堤	0		仕上げ有り	炭素鋼		
防潮扉	0		仕上げ有り	炭素鋼		
放水路ゲート	0		仕上げ有り	炭素鋼		
構内排水路逆流防止設備	0		仕上げ有り	ステンレス鋼		
貯留堰	0		仕上げ有り	炭素鋼		
浸水防止蓋	0		仕上げ有り	炭素鋼, ステンレス鋼		
水密扉	0		仕上げ有り	炭素鋼, ステンレス鋼		

…グループ内代表構造物とする使用条件等

2. 2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

2. 2. 1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を表5に示す。また、表1に示した経年劣化事象のうち、以下①と②以外について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として抽出した。

表5 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

構造物	経年劣化事象	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象
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	
	遮蔽能力低下	熱

① 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表6に示す経年劣化事象については、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た。具体的な点検、調査及び補修の実績を表7に示す。

表6 日常劣化管理事象

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>アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは確認されておらず、試験によりコンクリート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8に示す。</p> <p>これに加え、特別点検における実体顕微鏡観察の結果、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おり、試験の妥当性確認を実施している。妥当性確認結果を別紙1に示す。</p> <p>さらに、今後も使用環境が急激に変化することはないことから、アルカリ骨材反応の進展傾向は極めて小さいと考えられる。</p>
鉄骨	強度低下	腐食	<p>定期的（1回/年）に目視点検を行い、鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化等が認められた場合には、補修塗装を施すことによって健全性を確保している。</p>

表7 アルカリ骨材反応及び鉄骨腐食に関する点検及び補修の実績

経年劣化事象	要因	対象部位	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*1, タービン建屋, 取水口構造物, 排気筒, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	目視点検	1回/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確認されていない	補修実績なし
鉄骨の強度低下	腐食	原子炉建屋*1, タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	目視点検	1回/年	有害な腐食は認められない	補修実績なし

* 1 : 非常用ディーゼル発電機海水系配管トレンチ, 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む

表8 アルカリ骨材反応に関する試験結果

	試験方法 (試験実施年)	骨材	測定値	判定基準	結果
原子炉建屋	JCI-DD2 (平成 19 年)	那珂川産粗骨材	0.026%	膨張率が6ヶ月で0.1%以下が無害	無害
		東海産細骨材			
取水構造物	JCI-DD2 (平成 19 年)	那珂川産粗骨材	0.042%	膨張率が6ヶ月で0.1%以下が無害	無害
		東海産細骨材			
主要建屋	モルタルバー法 (昭和 49 年)	那珂川産粗骨材	0.021%	膨張率が6か月で0.1%以下が無害	無害
		東海産細骨材	0.029%		無害
	化学法 (昭和 49 年)	那珂川産粗骨材	Sc=62mmol/l Rc=272mmol/l	Scが10mmol/l以上でRcが700mmol/l未満のとき Sc ≥ Rcならば無害でない	無害
		東海産細骨材	Sc=2mmol/l Rc=190mmol/l		—

注記 Sc : 溶解シリカ量 (mmol/l), Rc : アルカリ濃度減少量 (mmol/l)

② 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表 9 に示す経年劣化事象については、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た。

表 9 日常劣化管理事象以外

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	凍結融解	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」(2015) 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、東海第二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。
	耐火能力低下	火災時等の熱	通常の使用環境において、コンクリート構造物の断面厚が減少することはなく、耐火能力は維持され则认为。耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについて別紙 2 に示す。
鉄骨	強度低下	風などによる疲労	鉄骨構造物では、風などによる繰返し荷重を継続的に受ける構造部材はない。

2. 3 劣化要因毎の評価対象部位の選定結果

経年劣化事象に対する劣化要因毎の評価対象部位について、選定した結果を表 10 に示す。

表 10 経年劣化事象に対する要因毎の評価対象部位

構造種別	コンクリート構造物											鉄骨構造物		備考
	強度低下						遮蔽能力低下		耐火能力低下		強度低下			
経年劣化事象	要因	熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	凍結融解	機械振動	熱	耐火能力低下	腐食	風などによる疲労		
代表構造物	原子炉建屋(非常用ダイーゼル発電機海水系配管トレンチ, 廃棄物処理棟及び廃棄物処理建屋含む)	*1 ○	*1,2 ○	○	○	△	▲	○	*3 ○	▲	△	▲	*1: 原子炉圧力容器ベデスタル *2: 一次遮蔽壁 *3: ガンマ線遮蔽壁 *4: 外壁(屋内面) *5: タービン発電機架台 *6: 気中帯 *7: 気中帯, 干満帯, 海中帯	
	タービン建屋			*4 ○	○	△	▲	*5 ○		▲	△	▲		
	取水口構造物			*6 ○	*7 ○	△	▲			▲				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表構造物の技術評価

3. 1 コンクリートの強度低下

3. 1. 1 熱による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は通常運転時に雰囲気温度が高く、高温の原子炉圧力容器近傍に位置する原子炉圧力容器ペDESTALコンクリートとし、評価点として運転時に最も高温となる原子炉圧力容器ペDESTALコンクリート上部と圧力容器支持脚部との接触面とした。(図1参照)

評価については、通常運転時における周辺の温度測定結果とコンクリートの温度制限値を比較した。通常運転時における温度測定の方法、位置及び結果を別紙3に示す。

なお、震災時のプラント停止操作時における原子炉格納容器内温度上昇に伴う評価については別紙4に示す。

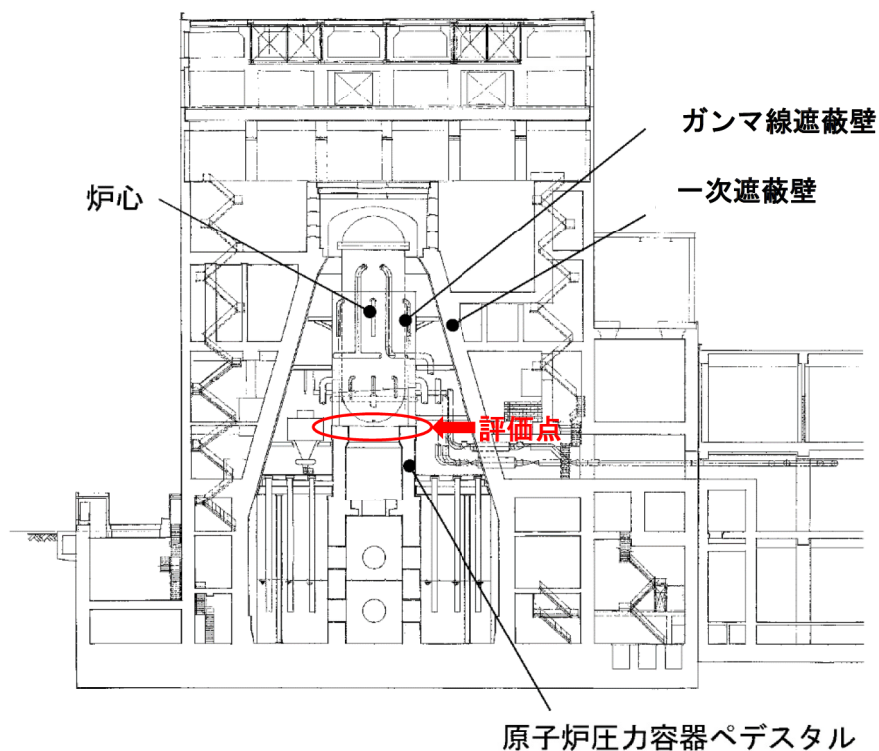


図1 原子炉圧力容器ペDESTALコンクリートの概要

(2) 評価結果

コンクリートの温度制限値は設計基準強度確保の観点から、局部では90℃、一般部では65℃と定められている¹⁾。

これに対して、**評価対象部位の周辺温度**が約55℃以下であり、制限値を下回っていることを確認した。

なお、特別点検における破壊試験の結果、原子炉圧力容器ペDESTALから採取したコアサンプルの平均圧縮強度は、設計基準強度を上回っていることを確認した。以上より、熱による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

3. 1. 2 放射線による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位を原子炉圧力容器ペDESTALコンクリート及びガンマ線照射量が大きい一次遮蔽壁、評価点を原子炉圧力容器ペDESTALコンクリート上部、ガンマ線照射量が大きい一次遮蔽壁炉心側コンクリートとした。

評価については、原子炉圧力容器ペDESTALコンクリート及び一次遮蔽壁における運転開始後60年時点で予想される中性子照射量及びガンマ線照射量を解析により算出した。放射線照射量の算出方法、条件、過程及び結果を別紙5に示す。

(2) 評価結果

運転開始後60年時点における評価対象部位の中性子照射量 ($E > 0.1 \text{ Mev}$) は、放射線照射量解析の結果、原子炉圧力容器ペDESTAL上部において、 $4.10 \times 10^{15} (\text{n/cm}^2)$ であり、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある $1 \times 10^{20} (\text{n/cm}^2)$ ²⁾ を超えないことを確認した。

また、運転開始後60年時点で予想される評価対象部位のガンマ線照射量の解析結果は、 $7.80 \times 10^6 (\text{rad})$ であり、コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある $2 \times 10^{10} (\text{rad})$ ²⁾ を超えないことを確認した。

なお、特別点検における破壊試験の結果、原子炉圧力容器ペDESTALから採取したコアサンプルの平均圧縮強度は、設計基準強度を上回っていることを確認した。

以上より、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

3. 1. 3 中性化による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は、屋外と屋内では、鉄筋位置に対する中性化深さと鉄筋腐食の開始の関係が異なることから、各々に対して評価対象部位を抽出することとし、2016年2月から1年間の東海第二における二酸化炭素濃度、温度及び相対湿度の測定結果等に基づく中性化に及ぼす影響度、仕上げが施されている状況及び特別点検の結果を踏まえ、屋内の評価対象としてタービン建屋外壁、屋外の評価対象として取水口構造物を選定した。

評価点は、最も中性化の進展に影響を及ぼす要因の大きいタービン建屋外壁（屋内面）、取水口構造物（気中帯）とし、評価については、以下の手順にて実施した。中性化の評価対象及び評価点の選定過程は別紙6に示す。

① 中性化深さの推定

中性化深さの推定式（岸谷式、森永式及び特別点検における中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式）により、運転開始後60年経過時点の中性化深さを算出

- ② 最大中性化深さ推定値の抽出
中性化速度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
- ③ 鉄筋が腐食し始める時の中性化深さの算出
鉄筋が腐食し始める時の中性化深さとして、屋内はかぶり厚さに 2 cm を加えた値、屋外はかぶり厚さの値をそれぞれ算出
- ④ 運転開始後 60 年経過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

(2) 評価結果

評価対象部位の運転開始後 60 年経過時点における中性化深さの推定値及び算定過程を表 11 及び別紙 7 に示す。表 11 に示すとおり、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。

なお、特別点検における破壊試験の結果、タービン建屋外壁（屋内面）、取水口構造物（気中帯）から採取したコアサンプルの平均圧縮強度は、設計基準強度を上回っていることを確認した。

以上より、中性化による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表 11 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

(単位:cm)

評価点	調査時点の中性化深さ			運転開始後 60 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)		
タービン建屋外壁 (屋内面)	38 年	4.0 (2017 年)	2.9 (岸谷式)	5.0 (\sqrt{t} 式)	6.0
取水口構造物 (気中帯)	36 年	1.0 (2014 年)	1.2 (岸谷式)	1.6 (岸谷式)	6.4

*1：岸谷式及び森永式による推定値のうち最大値を記載

*2：岸谷式、森永式及び特別点検における中性化深さの実測値に基づく \sqrt{t} 式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

3. 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、飛来塩分及び海水とその飛沫の影響により厳しい塩分浸透環境下にある状況、特別点検の結果を踏まえて取水口構造物を選定した。

評価点は、塩分浸透環境を考慮し、取水口構造物の気中帯、干満帯及び海中帯とし、評価については、以下の手順にて実施した。塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程は別紙 8 に示す。

① 運転開始後 60 年時点における鉄筋腐食減量の算出

- a. 拡散方程式：特別点検による塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、運転開始経過年毎の鉄筋位置における塩化物イオン量を算出
- b. 森永式³⁾：鉄筋位置における塩化物イオン量を用いて、運転開始経過年数毎の鉄筋腐食減量を算出

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腐食減量の算出

森永式：鉄筋径及びかぶり厚さを用いて、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腐食減量を算出

③ 運転開始後 60 年時点における鉄筋腐食減量の評価

①が②より小さいことを確認

(2) 評価結果

評価対象部位の運転開始後 60 年経過時点における鉄筋腐食減量の推定値及び算定過程を、表 12 及び別紙 9 に示す。

震災時に津波が遡上し影響を受けた取水口構造物の気中帯についても特別点検にてコアサンプルによる試験を実施している。表 12 に示すとおり、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からひび割れが発生する可能性が認められないことを確認した。

なお、特別点検における破壊試験の結果、取水口構造物の気中帯、干満帯及び海中帯から採取したコアサンプルの平均圧縮強度は、設計基準強度を上回っていることを確認した。

以上より、塩分浸透による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

表 12 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

評価点	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 ($\times 10^{-4}$ g/cm ²)			
			調査時点	運転開始後 60 年時点	かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点	
取水口構造物	気中帯	2015 年	0.04 [0.89]*	1.7	3.4	62.3
	干満帯	2014 年	0.05 [1.09]*	10.3	18.1	67.7
	海中帯	2014 年	0.05 [1.03]*	0.4	1.1	62.3

* : []内は塩化物イオン量 (kg/m³)

3. 1. 5 機械振動による強度低下

(1) 評価の概要

評価対象部位として、プラント運転中、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、評価点については、機械振動荷重を直接受ける機器支持部（基礎ボルト周辺のコンクリート）付近を選定した。

機械振動の評価対象及び評価点の選定過程は別紙 10 に示す。

(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、1 回/年の頻度で目視点検を実施し、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、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、機器の異常振動が発生するものと考えられるが、1 回/日の頻度でパトロールを行い、異常な振動音の有無を確認している。また、タービン監視計器により軸振動の測定値を中央制御室において連続監視されており、異常の兆候は検知可能である。

なお、特別点検における破壊試験の結果、タービン建屋（タービン発電機架台）から採取したコアサンプルの平均圧縮強度は、設計基準強度を上回っていることを確認した。

以上より、機械振動による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

3. 2 コンクリートの遮蔽能力低下

3. 2. 1 熱による遮蔽能力低下

(1) 評価の概要

評価対象部位は原子炉圧力容器近傍に位置し、周辺環境からの伝達熱及び運転時に照射量の最も大きいガンマ線遮蔽壁とし、評価点はガンマ線遮蔽壁の炉心側とする。

(2) 評価結果

放射線防護の観点から、コンクリート遮蔽体の設計に適用されている「コンクリート遮蔽体設計基準」(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蔽で88℃以下、ガンマ線遮蔽で177℃以下となっている。

これに対し、**評価対象部位**の周辺温度を確認した結果、約55℃以下とコンクリート温度制限値を下回っていることから、運転開始後60年時点においても遮蔽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蔽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しており、異常の兆候は検知可能である。

なお、ガンマ線遮蔽コンクリートについては、鉄板で覆われているため、ガンマ線遮蔽に近く、他の部位より熱の影響を受けていると思われる一次遮蔽壁において、特別点検にて乾燥単位容積質量を確認した結果、設計値を上回っていることを確認した。

以上より、熱による遮蔽能力低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

3. 3 現状保全

コンクリート構造物の強度低下については、定期的（1回/年）にコンクリート表面の目視点検を実施しており、目視点検の結果、ひび割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、実施している。

コンクリート構造物の遮蔽能力低下については、ガンマ線遮蔽コンクリートについては鉄板で覆われているため、目視点検等は実施していない。しかし、ガンマ線遮蔽に近く、他の部位より熱の影響を受けていると思われる一次遮蔽壁において構造物の健全性維持の観点から定期的（1回/年）にコンクリート表面の目視点検を実施している。また、放射線量を日常的に監視している。

3. 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て、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（1回/年）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蔽能力低下については、健全性評価結果から判断して、熱によるコンクリート構造物の遮蔽能力低下については、現状において問題はなく、今後も遮蔽能力低下が急激に発生する可能性は小さい。

また、仮に熱によるコンクリート構造物の遮蔽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しており、異常の兆候は検知可能である。

3. 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蔽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追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

4. 評価対象部位以外への展開

コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価については、代表構造物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等を考慮して実施しており、グループ内構造物の使用条件は代表構造物に包含されているため、技術評価結果も代表構造物に包含された結果となる。

5. まとめ

5. 1 審査基準適合性

コンクリート構造物を評価するに当たっての要求事項について技術評価を行った結果、すべての要求を満足しており、審査基準に適合していることを確認した。コンクリートの強度低下、遮蔽能力低下及び鉄骨の強度低下についての要求事項との対比を表13に示す。

5. 2 保守管理に関する方針として策定する事項

審査基準の要求事項等を満足しており、保守管理に関する方針として策定する事項はない。

表 13 (1/3) コンクリートの強度低下，遮蔽能力低下及び鉄骨の強度低下についての
要求事項との対比

評価対象事象 又は評価事項	要求事項	健全性評価
コンク リートの 強度 低下	<p>評価対象部位のコンクリートの温度が制限値（貫通部は 90 ℃，その他の部位は 65 ℃）を超えたことがある場合は，耐力評価を行い，その結果，当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを確認した。</p>	<p>評価対象部位の周辺温度は，最高温度が約 55 ℃以下であり，コンクリートの温度制限値を下回っていることを確認した。</p>
	<p>評価対象部位の累積放射線照射量が，コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある値を超えている又は超える可能性が認められる場合は，耐力評価を行い，その結果，当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを確認した。</p>	<p>運転開始後 60 年時点で予想される評価対象部位の中性子照射量 ($E>0.1 \text{ MeV}$) の解析結果は $4.10 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ であり，コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある $1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ を超えないことを確認した。</p> <p>運転開始後 60 年時点で予想される評価対象部位のガンマ線照射量の解析結果は $7.80 \times 10^6 \text{ rad}$ であり，コンクリート強度に影響を及ぼす可能性のある $2.0 \times 10^{10} \text{ rad}$ を超えないことを確認した。</p>
	<p>評価対象部位の中性化深さが，鉄筋が腐食し始める深さまで進行しているか又は進行する可能性が認められる場合は，耐力評価を行い，その結果，当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを確認した。</p>	<p>評価対象部位の運転開始後 60 年時点の中性化深さを推定した結果，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。</p>
	<p>評価対象部位に塩分浸透による鉄筋腐食により有意なひび割れが発生しているか又は発生する可能性が認められる場合は，耐力評価を行い，その結果，当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ることを確認した。</p>	<p>評価対象部位の運転開始後 60 年時点の鉄筋の腐食減量を推定した結果，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からひび割れが発生する可能性が認められないことを確認した。</p>

表 13 (2/3) コンクリートの強度低下、遮蔽能力低下及び鉄骨の強度低下についての
要求事項との対比

評価対象事象 又は評価事項	要求事項	健全性評価
	<p>評価対象部位にアルカリ骨材反応による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p>	<p>アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れは確認されておらず、試験によりコンクリート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。また、今後の使用環境が急激に変化することはないことから、アルカリ骨材反応の進展傾向は極めて小さいと考えられるため、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。</p>
<p>コンクリートの強度低下</p>	<p>評価対象機器のコンクリート基礎への定着部周辺コンクリート表面に機械振動による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p>	<p>定期的（1回/年）に目視点検を実施し、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た。</p>
	<p>評価対象部位に凍結融解による有意なひび割れが発生している場合は、耐力評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。</p>	<p>東海第二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ことから、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。</p>
<p>コンクリートの遮蔽能力低下</p>	<p>中性子遮蔽のコンクリートの温度が 88℃又はガンマ線遮蔽のコンクリートの温度が 177℃を超えたことがある場合は、評価を行い、その結果、当該部位を構成する部材又は構造体の遮蔽能力が原子炉設置（変更）許可における遮蔽能力を下回らないこと。</p>	<p>評価対象部位の周辺温度を確認した結果、約 55℃以下とコンクリート温度制限値を下回っていることを確認した。</p>

表 13 (3/3) コンクリートの強度低下, 遮蔽能力低下及び鉄骨の強度低下についての
要求事項との対比

評価対象事象 又は評価事項		要求事項	健全性評価
鉄骨の 強度低 下	腐食	評価対象部位に腐食による断面欠損が生じている場合は, 耐力評価を行い, その結果, 当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	定期的 (1回/年) に目視点検を行い, 鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化等が認められた場合には, 補修塗装を施すことによって健全性を確保していることから, 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ため, 高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。
	風などによる疲労	評価対象部位に風などの繰り返し荷重による疲労破壊が発生している又は発生する可能性が認められる場合は, 耐力評価を行い, その結果, 当該部位を構成する部材又は構造体の耐力が設計荷重を上回ること。	風などによる繰り返し荷重を継続的に受ける構造部材はないことから, 高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説」(1988)
- 2) Hilsdorf, Kropp, and Koch, “The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete.” American Concrete Institute Publication, SP - 55, Paper 10. (1977)
- 3) 森永繁「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)」

別紙

- 別紙 1. 実体顕微鏡観察の妥当性確認について
- 別紙 2. 耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについて
- 別紙 3. 温度測定方法，測定位置及び測定記録について
- 別紙 4. 震災影響評価について
- 別紙 5. 放射線照射量解析の方法，条件及び結果について
- 別紙 6. 中性化の評価対象及び評価点の選定過程について
- 別紙 7. 中性化深さの推定値の算定過程及び結果について
- 別紙 8. 塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程について
- 別紙 9. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程及び結果について
- 別紙 10. 機械振動の評価対象及び評価点の選定過程について

タイトル	耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについて
説明	<p>コンクリート構造物の耐火能力は、コンクリートの断面厚により確保する設計としているが、これは「東海第二発電所 工事計画認可申請書 V-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」に示すとおり、コンクリート壁の厚さ（＝断面厚）に応じた耐火能力が示されるためである。</p> <p>なお、具体的に耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについては、添付 1 に示す。</p> <p>添付 1 火災防護設備に係る機器の配置を明示した図面，要目表 （火災区域構造物及び火災区画構造物）</p>

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-1 図
	東海第二発電所	
	名称	その他発電用原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区域構造物 (1/10)
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-2 図
	東海第二発電所	
名 称	その他発電用原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区画構造物及び火災区画構造物 (2/10)	
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-3 図
	東海第二発電所	
名	その他発電原子炉の附属施設	
称	火災防護設備の構造図	
	火災区域構造物及び火災区画構造物 (3/10)	
	日本原子力発電株式会社	

工事計画認可申請 第 9-3-3-6-4 図 東海第二発電所	その他発電用原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区画構造物及び火災区画構造物 (4/10)
名称 日本原子力発電株式会社	

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-5 図
	東海第二発電所	
	名	その他発電用原子炉の附属施設
	称	火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区画構造物 (5/10)
		日本原子力発電株式会社

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-6 図
	東海第二発電所	
名 称	その他発電原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区画構造物 (6/10)	
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-7 図
	東海第二発電所	
	名称	その他発電原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区画構造物 (7/10)
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-8 図
	東海第二発電所	
名 称	その他発電原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区画構造物 (8/10)	
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-9 図
	東海第二発電所	
名	その他発電用原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図	
称	火災区画構造物及び火災区画構造物 (9/10)	
日本原子力発電株式会社		

	工事計画認可申請	第 9-3-3-6-10 図
	東海第二発電所	
名 称	その他発電原子炉の附属施設 火災防護設備の構造図 火災区域構造物及び火災区画構造物 (10/10)	
日本原子力発電株式会社		

- 4 火災防護設備
- 1 火災区或構造物及び火災区画構造物の名称、種類、主要寸法及び材料
- ・原子炉建屋

変更前				変更後 ^{*1}				
名称		種類	主要寸法 (mm)	名称		種類	主要寸法 (mm)	材料
火災区域(区画)名称	区分	番号		火災区域(区画)名称	区分	番号		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}	火災区域	R-1		鉄筋コンクリート
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}		R-3		
原子炉建屋付属棟				原子炉建屋付属棟		R-4		
原子炉建屋付属棟				原子炉建屋付属棟		R-5		
原子炉建屋付属棟				原子炉建屋付属棟		R-6		
原子炉建屋付属棟				原子炉建屋付属棟		R-7		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}		R-8		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}		R-9		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}		R-10		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}		R-11		
原子炉建屋 ^{*2}				原子炉建屋 ^{*2}	R-12			
原子炉建屋付属棟 (DG-2C ルーフペンントフアン室)					O-4			
原子炉建屋付属棟 (DG-2D ルーフペンントフアン室)					O-5			
原子炉建屋付属棟 (DG-HPCS ルーフペンントフアン室)					O-6			
原子炉建屋付属棟 (屋上)					O-7			
廃棄物処理棟					RW-1			

注記 *1: 本設備は既存の設備である。
*2: 内郭浸水防護設備と兼用する。

・タービン建屋, 廃棄物処理建屋

変更前				変更後*				
名称		種類	主要寸法 (mm)	名称		種類	主要寸法 (mm)	材料
火災区域 (区画) 名称	区分	番号		火災区域 (区画) 名称	区分	番号		
-				タービン建屋	火災区域	T-1	150以上	鉄筋コンクリート
				廃棄物処理建屋		NRW-1		

注記 * : 本設備は既存の設備である。

・海水ポンプ室

変更前				変更後*				
名称		種類	主要寸法 (mm)	名称		種類	主要寸法 (mm)	材料
火災区域 (区画) 名称	区分	番号		火災区域 (区画) 名称	区分	番号		
-				海水ポンプ室 (北側)	火災区域	O-2	150以上	鉄筋コンクリート
				海水ポンプ室 (南側)		O-3		

注記 * : 本設備は既存の設備である。

・緊急時対策所建屋

変更前				変更後						
名	称		種類	主要寸法 (mm)	材料	名称		種類	主要寸法 (mm)	材料
	火災区域 (区画) 名称	区分				番号	区分			
-						火災区域 (区画) 名称	火災区域	K-1	150 以上	鉄筋コンクリート
						緊急時対策所建屋		K-2		
						緊急時対策所建屋		K-3		
						緊急時対策所建屋		K-4		
						緊急時対策所発電機用燃料油貯蔵タンク A		O-12		
						緊急時対策所発電機用燃料油貯蔵タンク B		O-13		

・常設低圧代替注水系格納槽，格納容器圧力逃がし装置格納槽，緊急用海水取水ピット

変更前				変更後						
名	称		種類	主要寸法 (mm)	材料	名称		種類	主要寸法 (mm)	材料
	火災区域 (区画) 名称	区分				番号	区分			
-						火災区域 (区画) 名称	火災区域	O-14	150 以上	鉄筋コンクリート
						常設低圧代替注水系格納槽		O-15		
						格納容器圧力逃がし装置格納槽		O-16		

タイトル	機械振動の評価対象及び評価点の選定過程について																								
説明	<p>運転中に比較的大きな振動を受ける機器の原動機出力を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="392 577 1382 880"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>運転状態</th> <th>仕様（定格出力）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高圧タービン・低圧タービン</td> <td>連続</td> <td>1,100,000kW</td> </tr> <tr> <td>高圧炉心スプレイ系ポンプ</td> <td>一時</td> <td>2,280kW</td> </tr> <tr> <td>低圧炉心スプレイ系ポンプ</td> <td>一時</td> <td>1,250kW</td> </tr> <tr> <td>残留熱除去海水系ポンプモータ</td> <td>一時</td> <td>900kW</td> </tr> <tr> <td>残留熱除去系ポンプモータ</td> <td>一時</td> <td>680kW</td> </tr> <tr> <td>原子炉冷却材浄化系循環ポンプモータ</td> <td>連続</td> <td>75kW</td> </tr> <tr> <td>非常用ディーゼル発電機内燃機関</td> <td>一時</td> <td>5,500kW</td> </tr> </tbody> </table> <p>常時振動している機器のうち、躯体への影響が最も大きい機器は、原動機出力から高圧タービン、低圧タービンとなることから、評価対象部位は、タービン発電機架台コンクリートとし、評価点については、機械振動荷重を直接受ける機器支持部（基礎ボルト周辺のコンクリート）付近を選定した。</p> <p>振動を受ける機器であるポンプについては、出力、機器重量がタービン設備に比べ非常に小さく、構造体に与える影響はごくわずかである。</p> <p>また、非常用ディーゼル発電機は、常時振動機器ではないことから、現在までの運転時間における稼働時間もわずかであり、経年劣化の進展は極めて小さいと考えられる。</p> <p>以上より、評価対象部位は、タービン発電機架台コンクリートで問題ないと判断する。</p> <p>添付1 東海第二 タービン発電機架台躯体図</p>	機器名称	運転状態	仕様（定格出力）	高圧タービン・低圧タービン	連続	1,100,000kW	高圧炉心スプレイ系ポンプ	一時	2,280kW	低圧炉心スプレイ系ポンプ	一時	1,250kW	残留熱除去海水系ポンプモータ	一時	900kW	残留熱除去系ポンプモータ	一時	680kW	原子炉冷却材浄化系循環ポンプモータ	連続	75kW	非常用ディーゼル発電機内燃機関	一時	5,500kW
機器名称	運転状態	仕様（定格出力）																							
高圧タービン・低圧タービン	連続	1,100,000kW																							
高圧炉心スプレイ系ポンプ	一時	2,280kW																							
低圧炉心スプレイ系ポンプ	一時	1,250kW																							
残留熱除去海水系ポンプモータ	一時	900kW																							
残留熱除去系ポンプモータ	一時	680kW																							
原子炉冷却材浄化系循環ポンプモータ	連続	75kW																							
非常用ディーゼル発電機内燃機関	一時	5,500kW																							

東海第二 タービン発電機架台躯体図

