

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK 補-III-6 改2
提出年月日	平成30年3月29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29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. 実体顕微鏡観察結果の妥当性確認について	24
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	31
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	46
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	55
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	58
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	60
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	62

タイトル	実体顕微鏡観察結果の妥当性確認について
説明	<p>劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、代表箇所による偏光顕微鏡観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡観察は、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応骨材についての精微な観察を主眼として行うもので、コアサンプルから作製した薄片を用いて、反応骨材の鉱物・岩種の同定・反応の進展状況の確認、ひび割れの確認等により、アルカリ骨材反応が生じているコンクリートの反応進展状況がより精微に確認できる方法である。</p> <p>具体的には、アルカリ骨材反応に対して使用環境が厳しい特別点検箇所の代表箇所として「タービン建屋基礎マット」を選定し、実体顕微鏡観察と同一のコアサンプルを用いて偏光顕微鏡観察を行った。</p> <p>偏光顕微鏡にて同定した岩種毎に精微に観察した結果、極めて軽微な反応状況であり、実体顕微鏡観察の結果と同様に、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た。よって、実体顕微鏡観察による特別点検手法の選定プロセス及び評価結果は妥当であると改めて判断した。</p> <p>添付 1 アルカリ骨材反応の健全性評価について 添付 2 アルカリ骨材反応に関する実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴 添付 3 偏光顕微鏡観察の代表箇所 添付 4 偏光顕微鏡観察結果 添付 5 特別点検における実体顕微鏡観察結果</p>

アルカリ骨材反応の健全性評価について

1. 特別点検手法の選定プロセス

- ・アルカリ骨材反応の状況を確認するための各種規格類を調査した結果、適した JIS 及び学会規格が存在しないことが分かったため、最新知見のひとつである「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成 26 年 2 月）」等を参照し、点検方法の検討を行った。
- ・最新知見においては、各種顕微鏡等を用いたコンクリートの岩石学的診断法が複数紹介されている。
- ・東海第二は、定期的（1 回／年）に目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、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等、コンクリートの健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応はこれまで発生していない。
- ・発電所内の広範囲において点検が必要。



以上より、最新知見にあるアルカリ骨材反応の発生状況が確認可能な「実体顕微鏡観察」を選定^{※1}

- ※1 特別点検結果を踏まえた評価により、コンクリート構造物の健全性に影響が認められる場合、偏光顕微鏡観察等より精微な手法を踏まえた評価を行う。

2. 劣化状況評価



- ・東海第二は、定期的（1 回／年）に目視点検を実施し、運転開始から約 40 年間に於いて、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。
- ・使用している骨材は、モルタルバー法、化学法、JCI-DD2 法による反応性試験を実施し、反応性骨材ではないことを確認している。
- ・採取したコアサンプルについて、特別点検による実体顕微鏡を用いた観察により、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た^{※2}。



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

- ※2 劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検手法の選定プロセス及び評価結果の妥当性の確認のため、偏光顕微鏡観察を行った。

アルカリ骨材反応に関する実体顕微鏡観察と偏光顕微鏡観察の特徴

		実体顕微鏡観察	偏光顕微鏡観察
写真			
概要	観察対象	・コンクリート切断面（コアサンプル表面）を観察	・コアサンプルより作製した薄片を観察
	特徴	・概ね 2～30 倍で観察 ・コアの全体的な状況，反応リム・ゲルの有無・程度，ひび割れ状況等を観察	・概ね 25～200 倍で観察 ・岩石や鉱物の観察に汎用される ・薄片に偏光を照射・透過させて鉱物の偏光特性等から，反応が生じている骨材の鉱物・岩種同定，反応進展状況，ひび割れ等を観察
	まとめ	・アルカリ骨材反応の発生有無・程度が確認できる	・アルカリ骨材反応が生じているコンクリート（骨材）の反応進展状況がより精微に確認できる
課題 ¹⁾		・岩種の詳細は分からない	・薄片作製・観察に熟練を要する

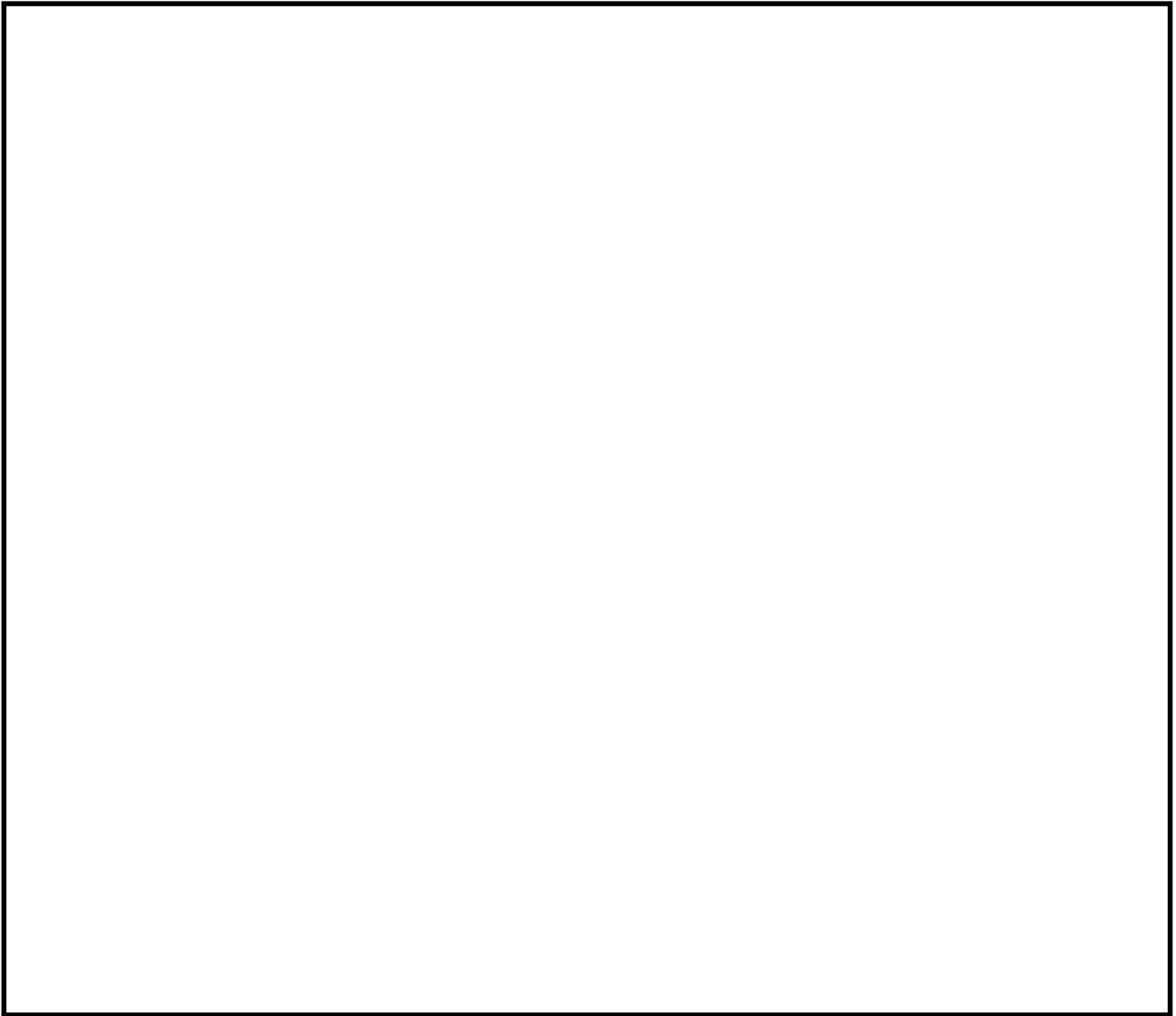
(参考文献)

1) 原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案 (JNES-RE-2013-2050)

偏光顕微鏡観察の代表箇所

凡例

● : 偏光顕微鏡観察コアサンプル採取箇所



偏光顕微鏡観察の代表箇所
(原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m)

対象部位毎の湿度測定結果によるアルカリ骨材反応
コアサンプル採取箇所選定結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	影響区分	平均湿度 (%)	選定したコアサンプル採取箇所	セメントの種類	
原子炉建屋等	外壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	屋外上部	フライアッシュ B 種セメント	
	内壁及び床	水分 (湿度)	54.9	主蒸気トンネル室	普通ポルトランドセメント*	
	原子炉圧力容器ペデスタル又はこれに準ずる部位	放射線照射	—	原子炉圧力容器ペデスタル中間スラブ	フライアッシュ B 種セメント	
	一次遮蔽壁	水分 (湿度)	52.7	2 階原子炉格納容器外周部 (南側)	フライアッシュ B 種セメント	
	格納容器底部外基礎マット	水分 (湿度)	50.7	原子炉隔離時冷却ポンプ室	フライアッシュ B 種セメント	
	使用済み燃料プール	水分 (湿度)	51.5	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室	フライアッシュ B 種セメント	
タービン建屋	外壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	屋外上部	普通ポルトランドセメント	
	内壁及び床	水分 (湿度)	61.9	低圧ヒーターエリア	フライアッシュ B 種セメント*	
	基礎マット	水分 (湿度)	61.9	低圧ヒーターエリア	フライアッシュ B 種セメント	
取水槽	海中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプ B 水槽内側壁	普通ポルトランドセメント	
	干満帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプ B 水槽内側壁	普通ポルトランドセメント	
	気中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプクレーン基礎	普通ポルトランドセメント	
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	タービン架台	水分 (湿度)	61.3	相分離母線エリア	フライアッシュ B 種セメント
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	使用済燃料乾式貯蔵建屋	水分 (湿度)	76.6	外壁 (屋内)	フライアッシュ B 種セメント	
	排気筒基礎	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	基礎 (南西)	普通ポルトランドセメント	

平均湿度の測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

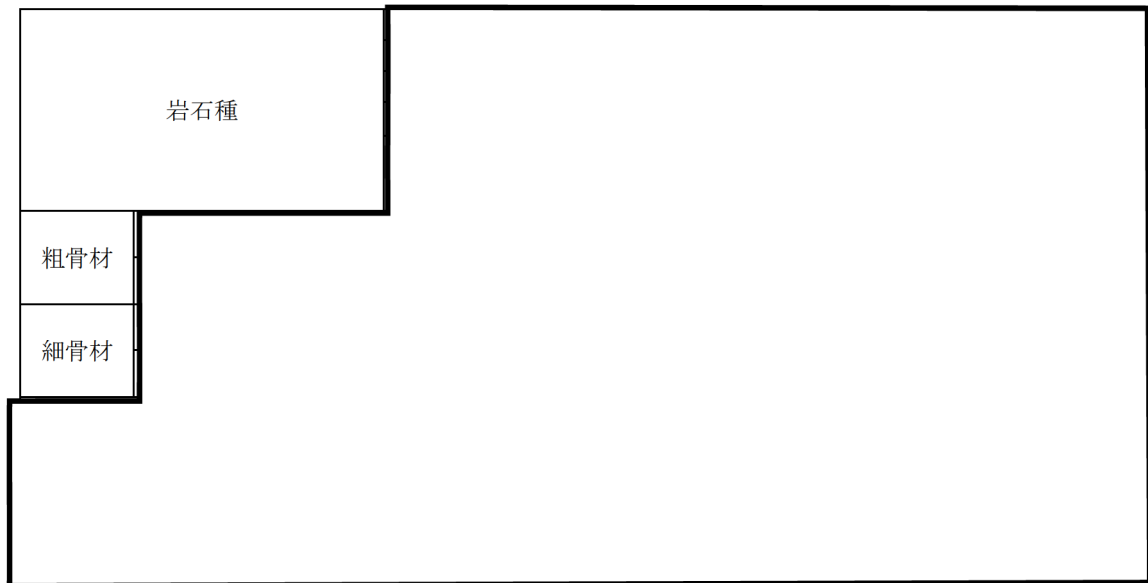
ただし、使用済燃料乾式貯蔵建屋は平成 29 年 8 月 1 日～平成 29 年 8 月 31 日

※対象の部位の中で、セメントの種類が異なる箇所

偏光顕微鏡観察結果

偏光顕微鏡観察においては、骨材に反応リムが生じてはいるが、極めて軽微な反応状況であることが確認された。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と判断できる。

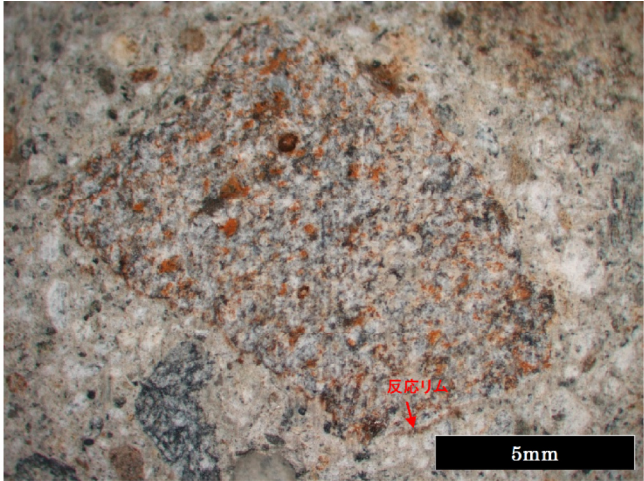
偏光顕微鏡観察結果（タービン建屋 基礎マット）



特別点検における実体顕微鏡観察結果

軽微な反応状況であり、コアサンプルの全体的な状況及び実建造物の状況も踏まえ、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と判断できる。

コアサンプル実体顕微鏡観察 記録用紙 (T-BM-03)

発電所名	東海第二発電所	コア番号	T-BM-03
構造物名	タービン建屋	コア採取日	H29. 1. 27
点検部位	基礎マット	試験実施日	H29. 4. 26
試験実施者	■	備考	
確認箇所 写真			
骨材の種類			
アルカリ 骨材反応の 発生状況			
判定	1	コ メ ン ト	<凡例> 1. 反応性なし 2. 反応性あり

実体顕微鏡観察結果 (タービン建屋 基礎マット)

タイトル	中性化の評価対象及び評価点の選定過程について
説明	<p>中性化の評価対象及び評価点の選定過程を以下に示す。</p> <p>1. 環境測定</p> <p>中性化の進展度合いは、空気環境条件（二酸化炭素濃度、温度、相対湿度）の影響を受けるため、空気環境測定を実施した。</p> <p>1-1. 測定方法</p> <p>環境測定に使用した機器を添付1「環境測定 使用機器」に示す。温度、相対湿度の測定は、平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で実施し、1時間間隔で連続測定を行った。二酸化炭素濃度の測定は、平成28年2月から平成29年2月の期間で毎月毎に1回測定を行った。ただし、使用済燃料乾式貯蔵建屋については平成29年8月1日から平成29年8月31日の期間で測定を行った。</p> <p>1-2. 測定位置</p> <p>二酸化炭素濃度、温度、相対湿度について、建屋内外の計71箇所にて測定を実施した。測定位置図を添付2「環境測定 測定位置図」に示す。</p> <p>2. 評価対象の選定過程</p> <p>中性化の評価対象は、空気環境の影響を遮断する仕上げの状況及び上記の環境測定の結果等に基づく特別点検での中性化深さの測定結果を踏まえ、以下のとおり選定した。</p> <p>2-1. 仕上げ状況</p> <p>対象構造物のうち、仕上げが無い箇所がある構造物を選定し、設置環境が屋内の構造物と屋外の構造物に分類する。屋外の構造物については、対象となる構造物が取水口構造物のみであることから、取水口構造物を評価対象として選定した。屋内については次項の特別点検における中性化深さの測定結果を踏まえて選定した。</p> <p>2-2. 特別点検における中性化深さの測定結果</p> <p>屋内の構造物については、代表構造物のうち、特別点検結果の値が最も大きいタービン建屋外壁を評価対象として選定した。特別点検の結果を添付3「特別点検結果（中性化深さ）」に示す。</p>

3. 評価点の選定過程

中性化の評価点については、上記の選定過程による評価対象構造物（タービン建屋外壁、取水口構造物）のうち、環境条件等により、以下のとおりに選定した。

3-1. タービン建屋外壁

外壁のうち、中性化に及ぼす影響度が最大であったタービン建屋外壁（屋内面）とした。なお、中性化に及ぼす影響度については、各環境条件（二酸化炭素濃度、温度、相対湿度）が入力値となる森永式を引用し、環境条件による係数によって算出した。

3-2. 取水口構造物

海水によりコンクリート表面が湿潤とならず、空気環境の影響を受ける取水口構造物（気中帯）とした。

添付1 環境測定 使用機器

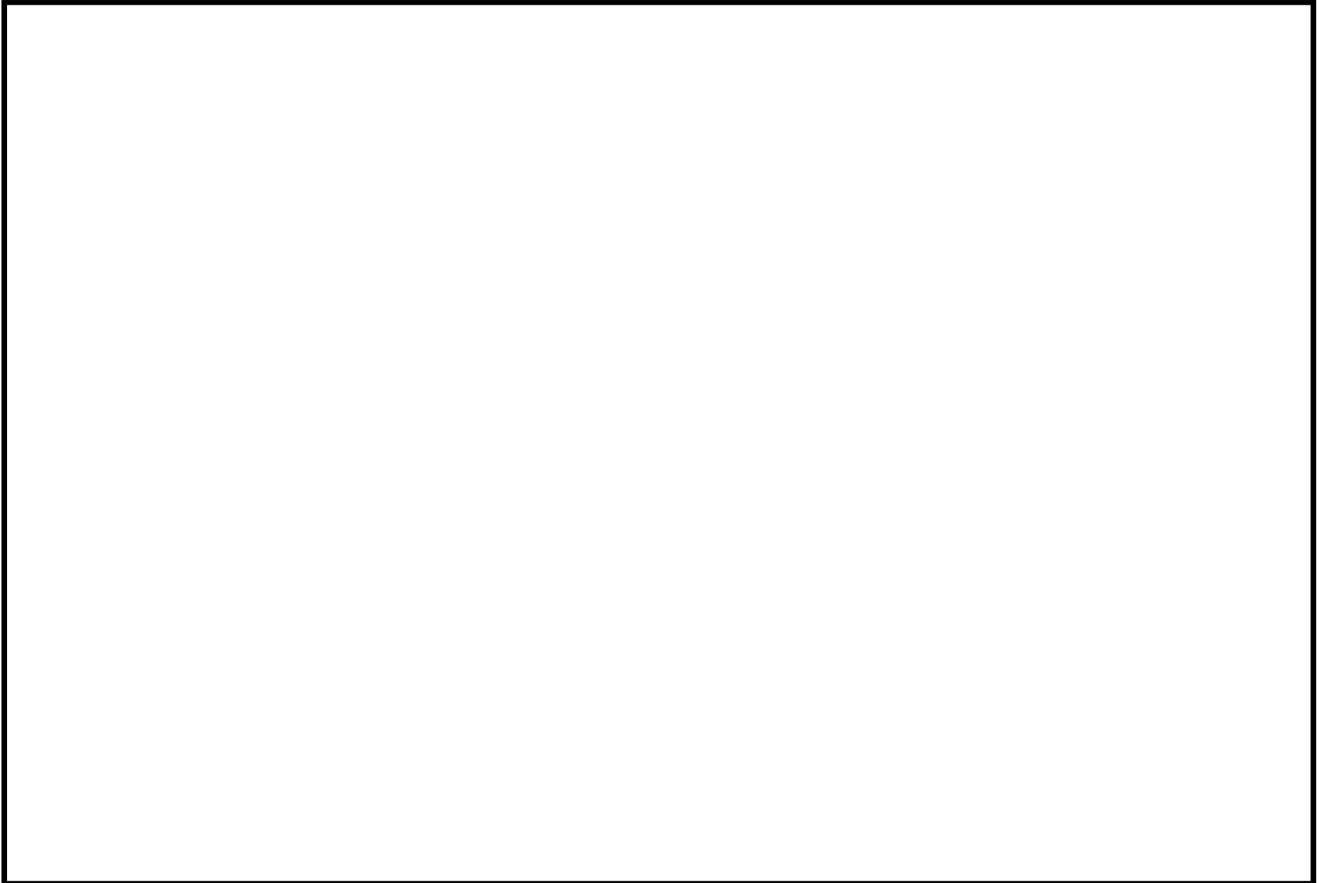
添付2 環境測定 測定位置図

添付3 特別点検結果（中性化深さ）

環境測定 使用機器

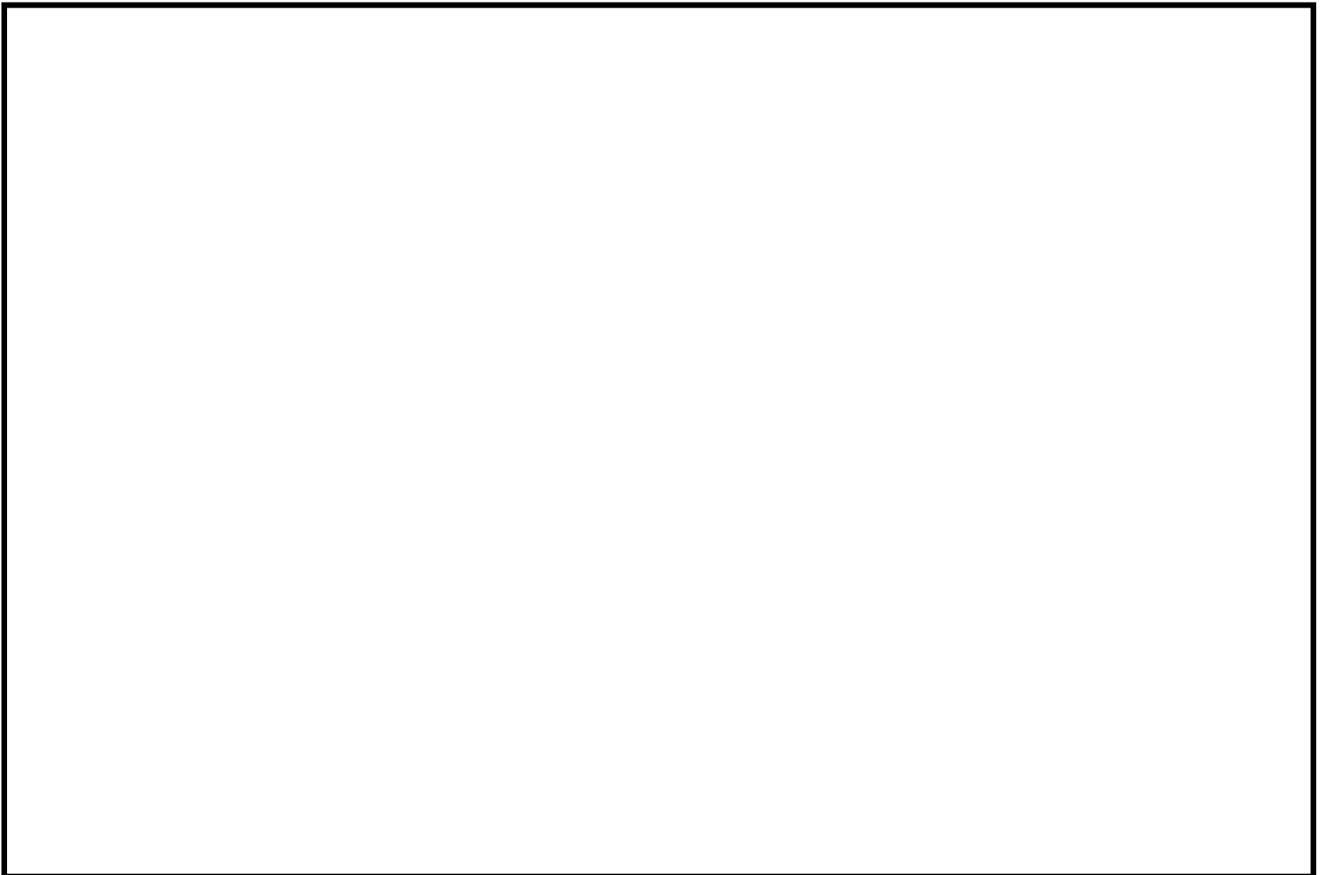
測定場所	測定項目	使用機器
構内各所	温度	温湿度計
	相对湿度	
	二酸化炭素濃度	二酸化炭素濃度計

凡例 ● : 空気環境測定箇所



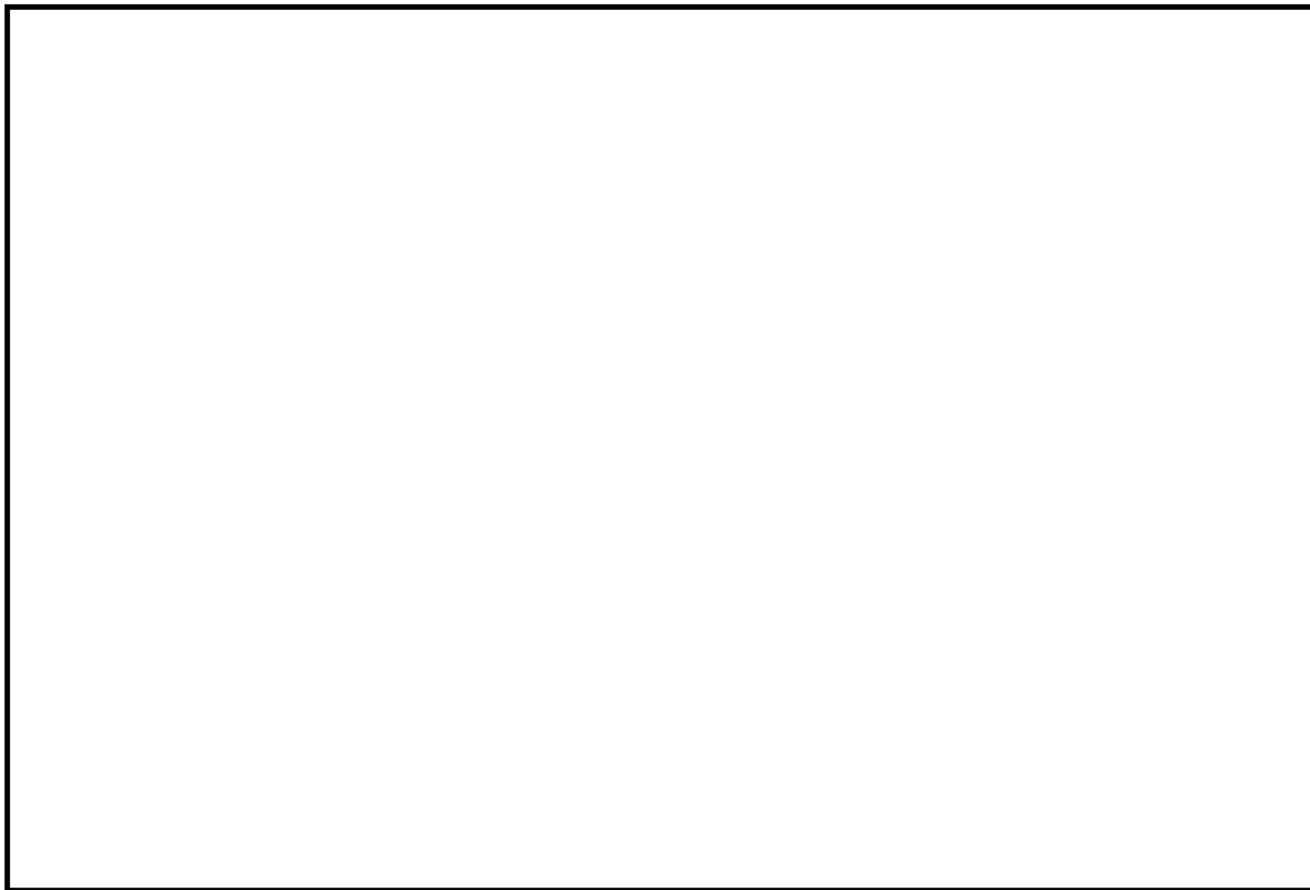
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



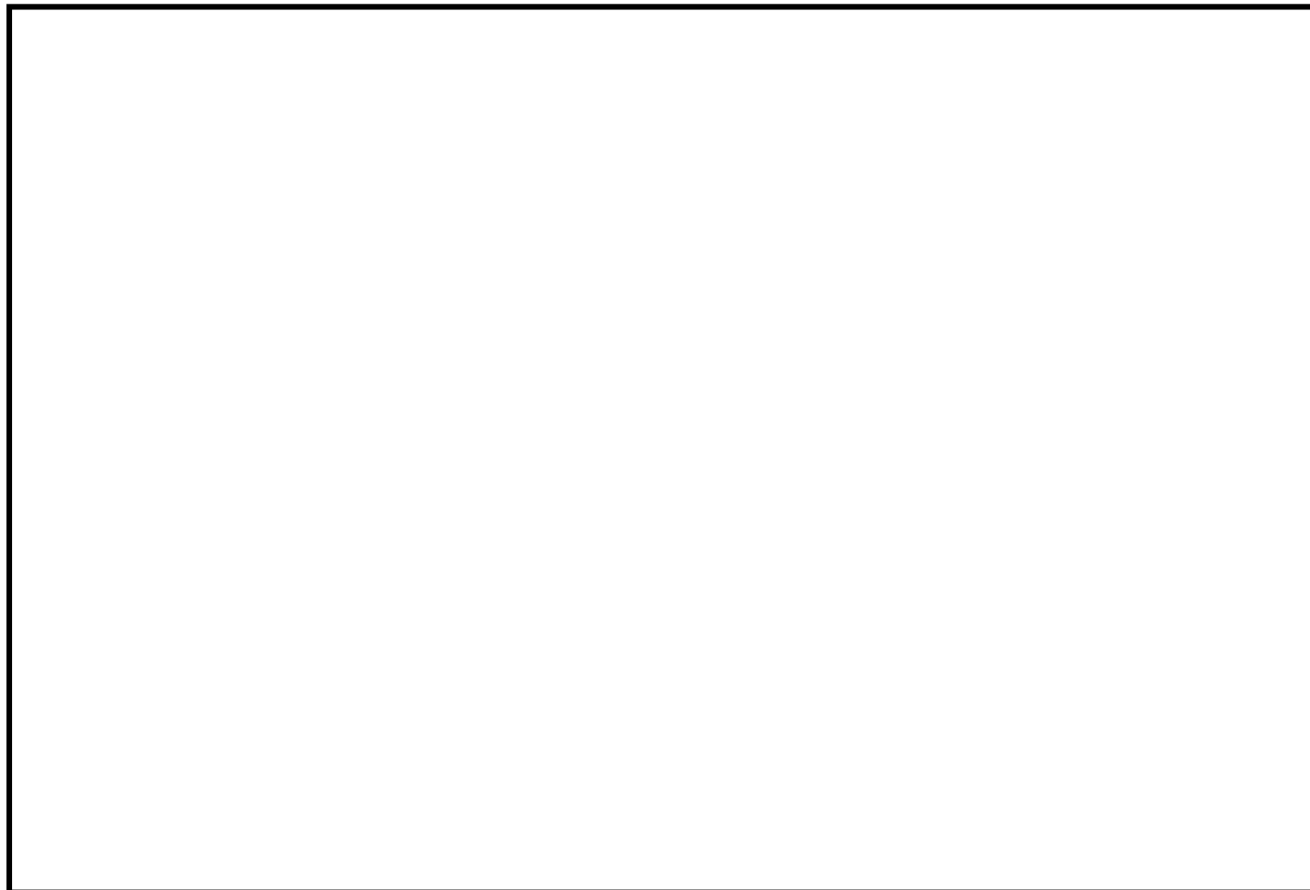
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



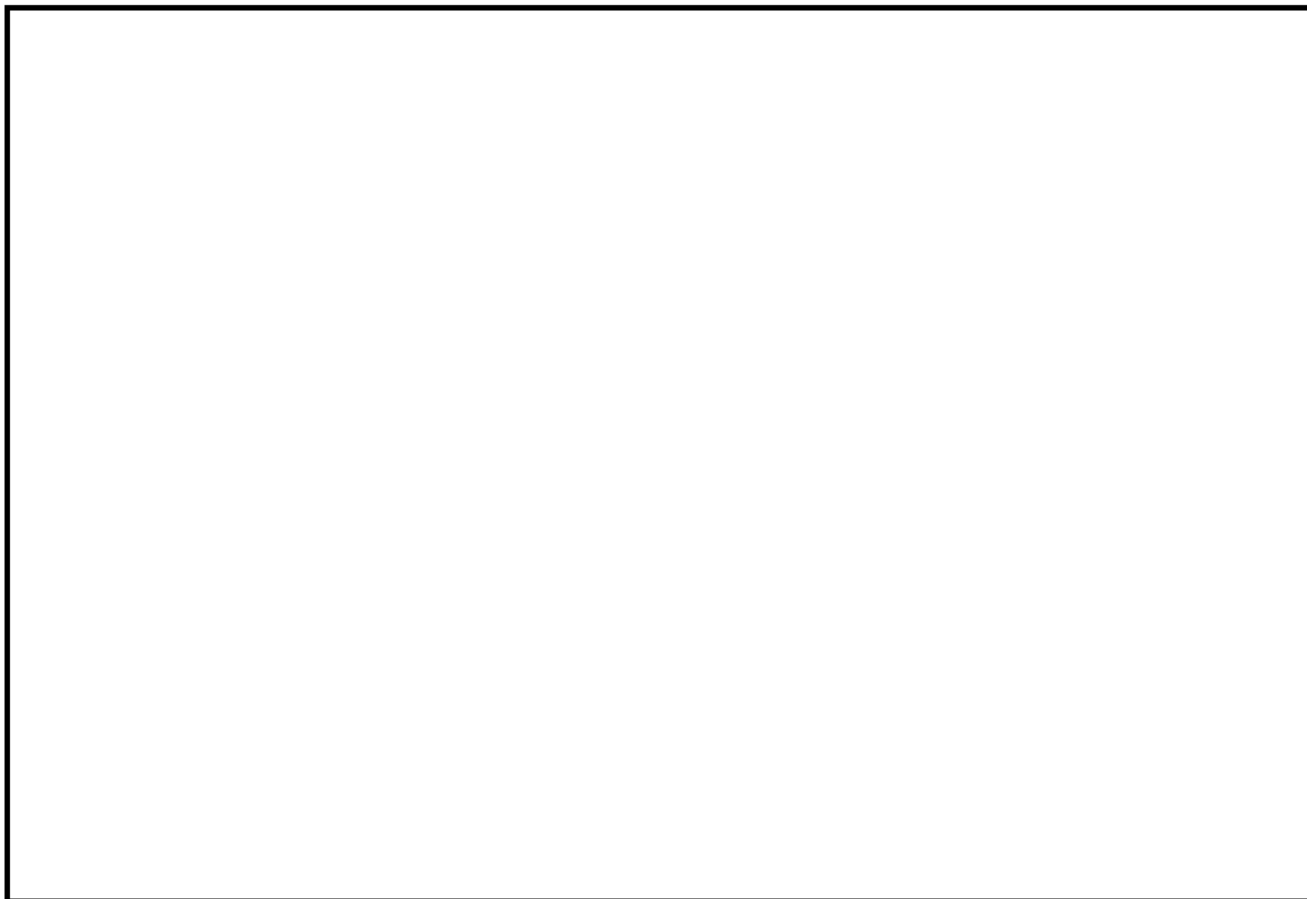
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



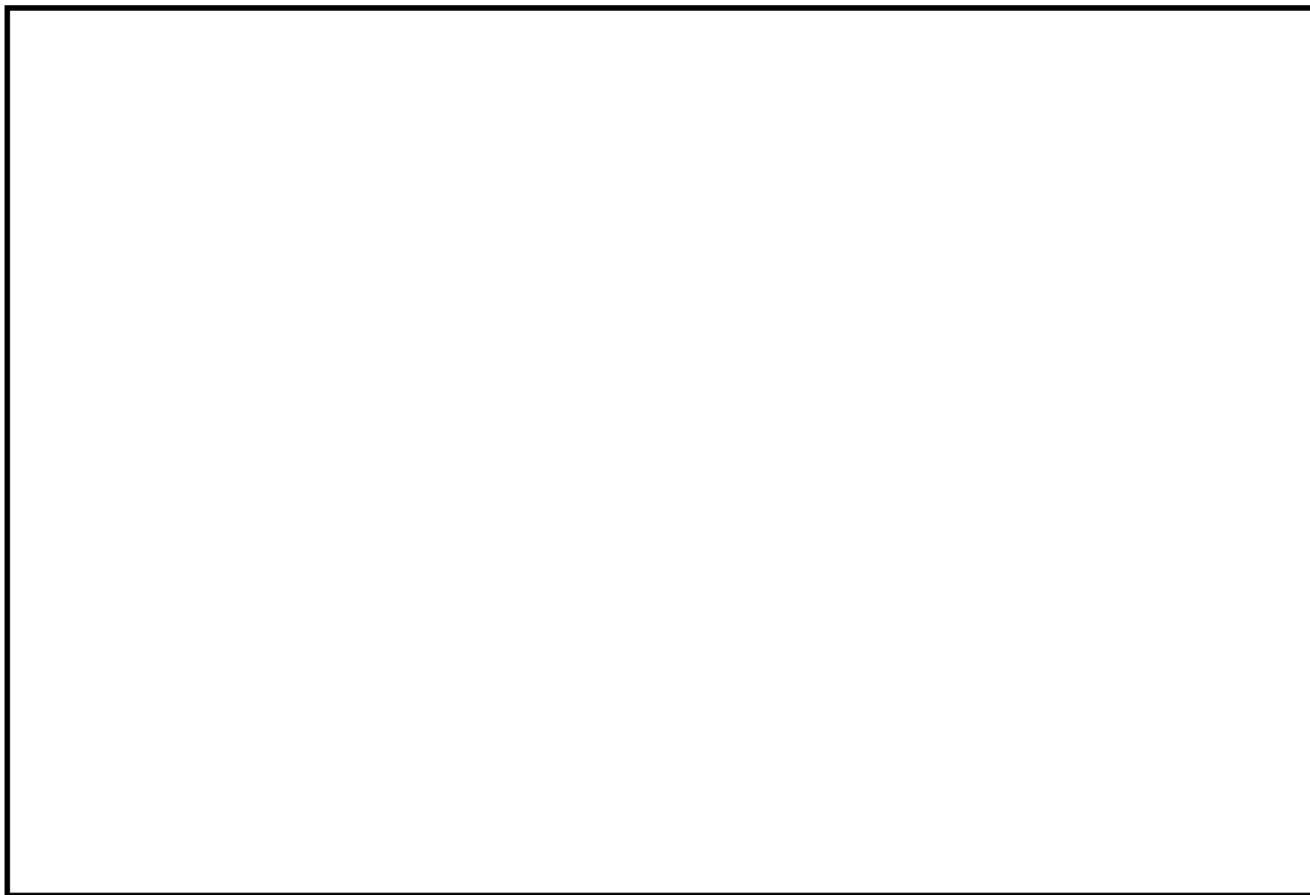
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



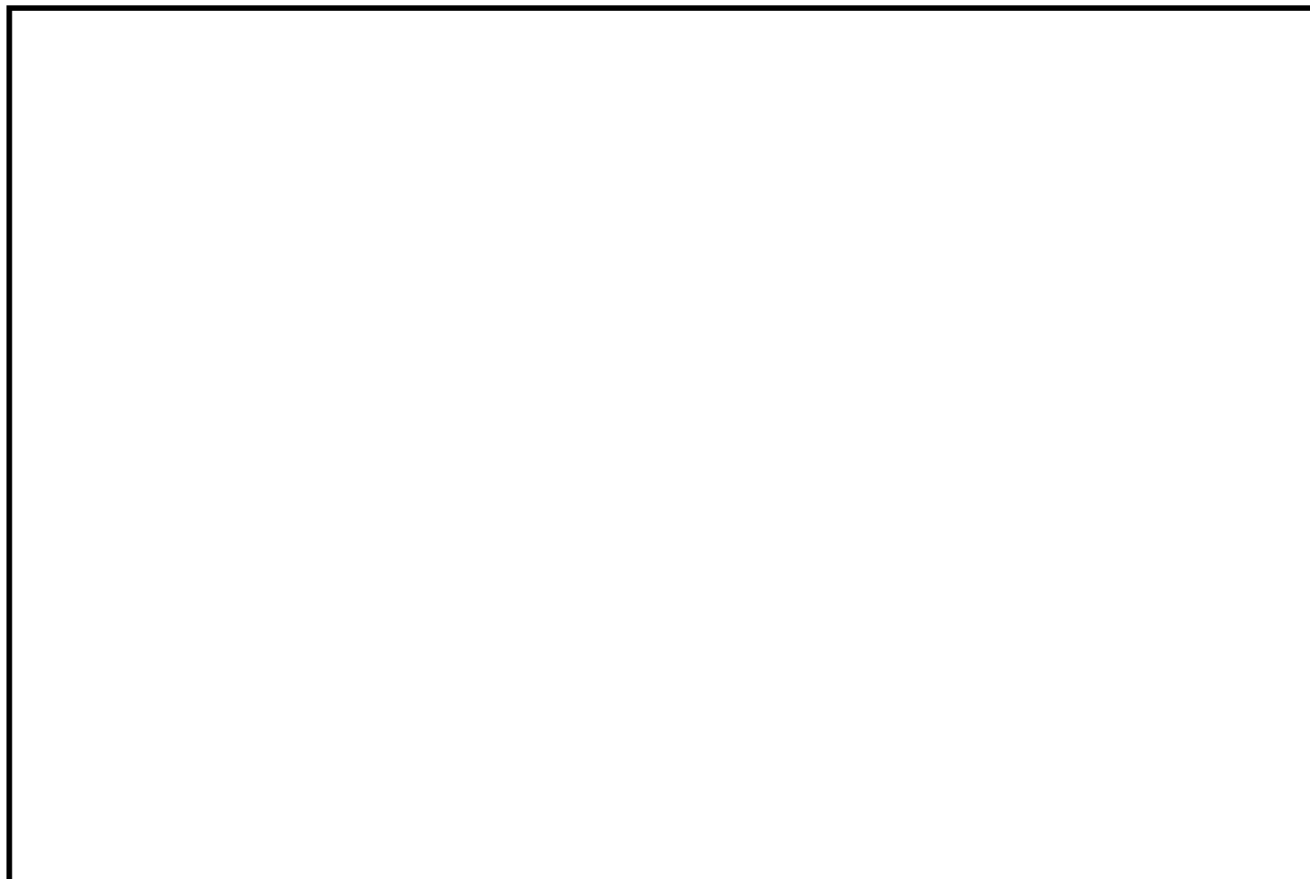
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



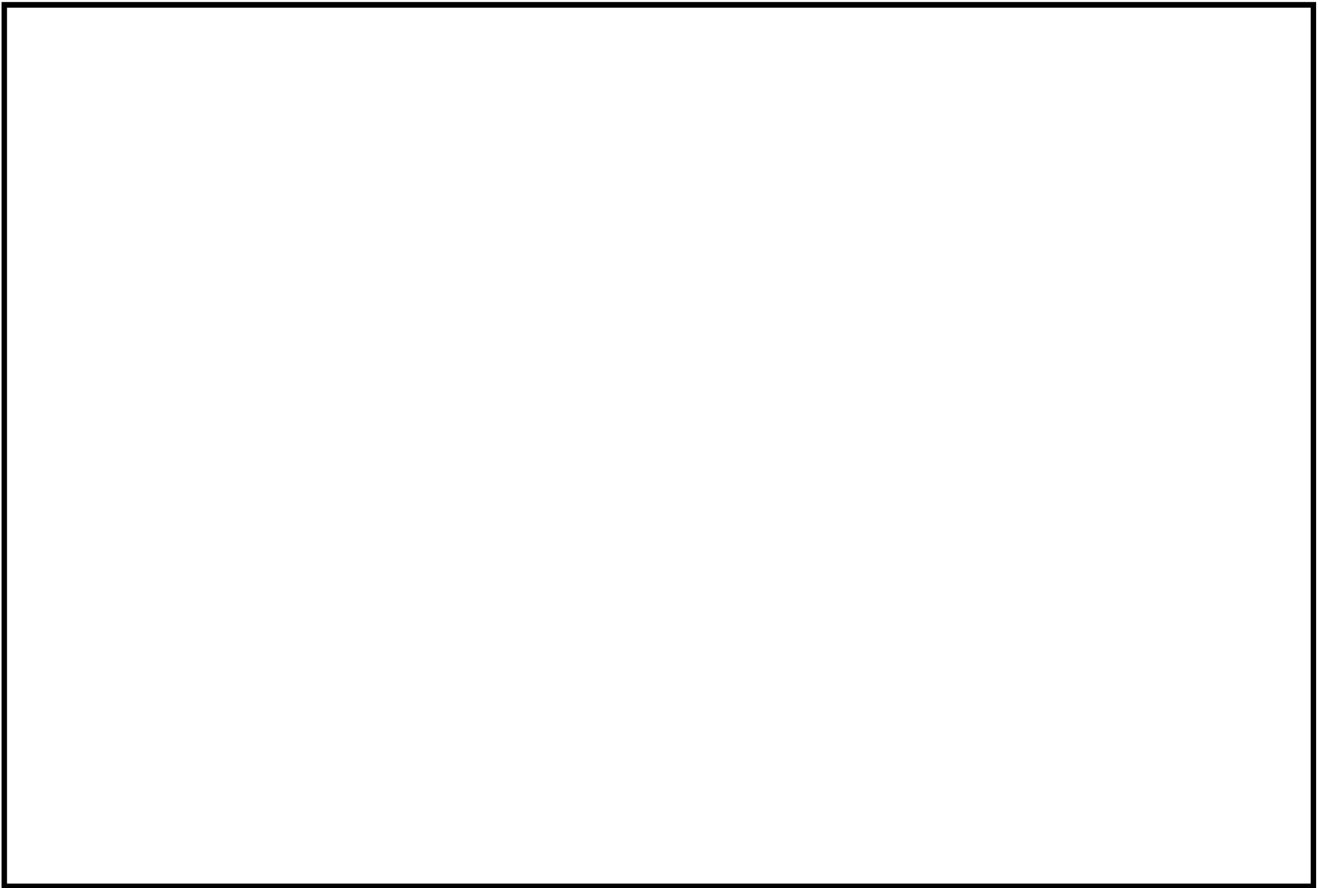
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



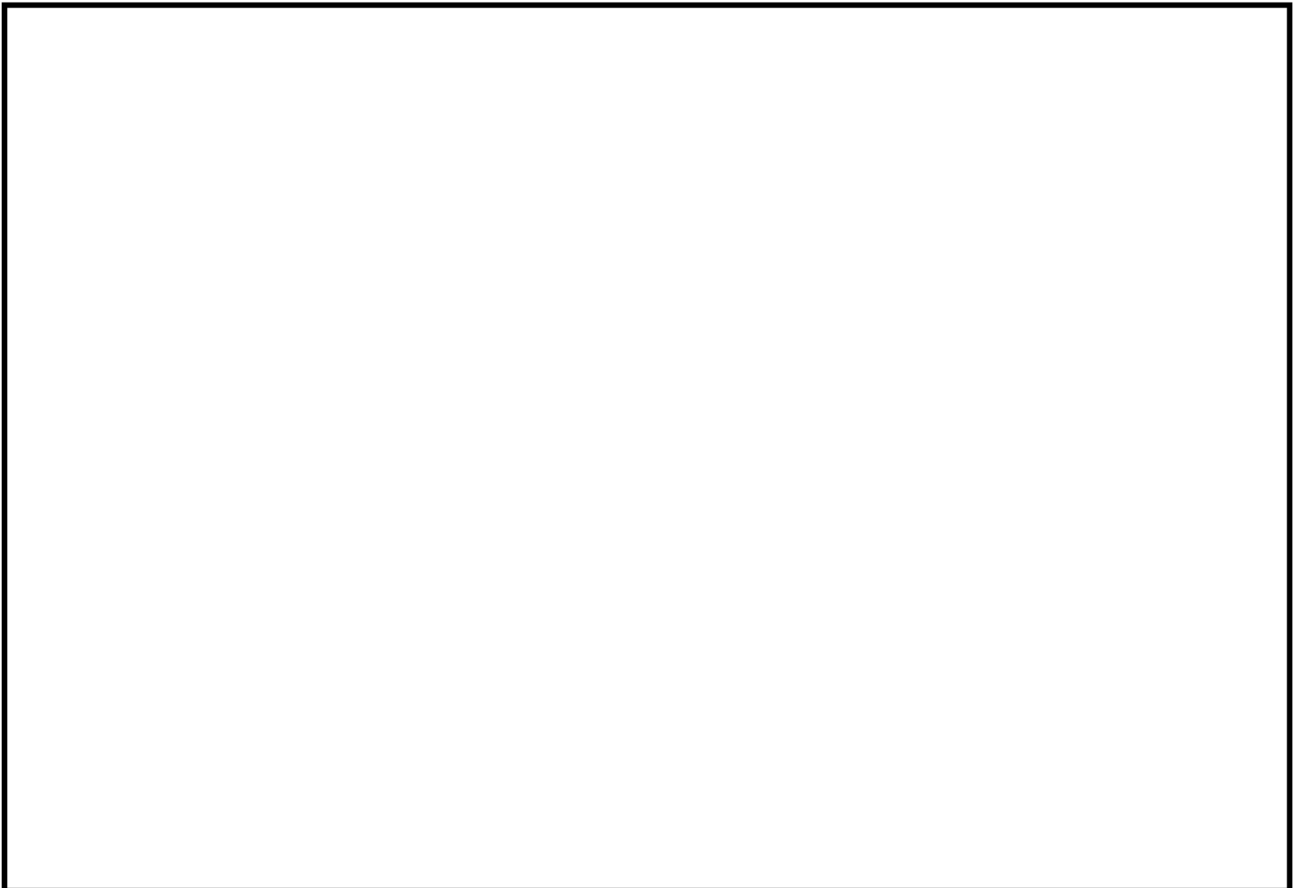
原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



原子炉建屋等, タービン建屋

凡例 ● : 空気環境測定箇所



使用済燃料乾式貯蔵建屋

特別点検結果（中性化深さ）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		備考	
		平均中性化深さ [mm] ※1	点検年月日 () 内はデータ採取日		
原子炉建屋等	外壁	28.4	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)		
	内壁及び床	15.3	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)		
	原子炉压力容器ペダスタル又はこれに準ずる部位	1.7	平成29年10月13日 (平成29年2月20日)		
	一次遮蔽壁	31.9	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)		
	格納容器底部外基礎マット	1.1	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)		
	使用済み燃料プール	3.6	平成29年10月13日 (平成27年11月12日)		
タービン建屋	外壁	39.6	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)	0.206※2, 3	
	内壁及び床	24.8	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)		
	基礎マット	1.7	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)		
取水槽	海中帯	1.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)		
	干満帯	0.0	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)		
	気中帯	10.3	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)		
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	タービン架台	2.8	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)	
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	使用済燃料乾式貯蔵建屋		20.9	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)	
	排気筒基礎		7.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)	

※1：コアサンプル3本の平均値

※2：環境条件による影響度（タービン建屋外壁の中で最も大きくなったものを示す）

※3：森永式における環境条件による係数（下記赤部）から算出

$$x = \sqrt{C} \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (4.6 \cdot w/c - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x：中性化深さ (mm)

T：温度 (°C)

t：材齢 (日)

C：炭酸ガス濃度 (%) (1%=10,000ppm)

RH：湿度 (%)

w/c：水セメント比 (%÷100)

R：中性化比率

タイトル	中性化深さの推定値の算定過程及び結果について																				
説明	<p>調査時点及び運転開始後60年経過時点の中性化深さの推定値の算定過程(推定式, 条件, パラメータ) 及び結果を以下に示す。</p> <p>1. 推定式, 条件, パラメータ 以下の中性化深さの推定式を用いて評価を実施した。推定式の詳細, 条件及びパラメータは, 添付1「中性化深さの推定値の算定過程及び結果」に示すとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・岸谷式 ・森永式 ・中性化深さの実測値に基づく\sqrt{t}式 <p>2. 結果 運転開始後60年経過時点の中性化深さの推定値が, 鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さを下回っていることを確認した。 中性化深さを評価した結果は, 以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 976 1362 1317"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="3">中性化深さ (cm)</th> <th rowspan="3">鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">測定値 (調査時点の運転開始後経過年)</th> <th colspan="2">推定値</th> </tr> <tr> <th>調査時点^{※1} (中性化推定式)</th> <th>運転開始後60年経過時点^{※2} (中性化推定式)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>タービン建屋外壁 (屋内面)</td> <td>4.0 (38年)</td> <td>2.9 (岸谷式)</td> <td>5.0 (\sqrt{t}式)</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>取水口構造物 (気中帯)</td> <td>1.0 (36年)</td> <td>1.2 (岸谷式)</td> <td>1.6 (岸谷式)</td> <td>6.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1: 岸谷式, 森永式による評価結果のうち最大値を記載 ※2: 岸谷式, 森永式及び中性化深さの実測値に基づく\sqrt{t}式による評価結果のうち最大値を記載</p> <p>添付1 中性化深さの推定値の算定過程及び結果</p>		中性化深さ (cm)			鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)	測定値 (調査時点の運転開始後経過年)	推定値		調査時点 ^{※1} (中性化推定式)	運転開始後60年経過時点 ^{※2} (中性化推定式)	タービン建屋外壁 (屋内面)	4.0 (38年)	2.9 (岸谷式)	5.0 (\sqrt{t} 式)	6.0	取水口構造物 (気中帯)	1.0 (36年)	1.2 (岸谷式)	1.6 (岸谷式)	6.4
	中性化深さ (cm)			鉄筋が腐食し始める時の中性化深さ (cm)																	
	測定値 (調査時点の運転開始後経過年)		推定値																		
		調査時点 ^{※1} (中性化推定式)	運転開始後60年経過時点 ^{※2} (中性化推定式)																		
タービン建屋外壁 (屋内面)	4.0 (38年)	2.9 (岸谷式)	5.0 (\sqrt{t} 式)	6.0																	
取水口構造物 (気中帯)	1.0 (36年)	1.2 (岸谷式)	1.6 (岸谷式)	6.4																	

中性化深さの推定値の算定過程及び結果

: 中性化深さの推定に必要なパラメータ
 : 推定結果

1. 岸谷式

	タービン建屋外壁	取水口構造物	備考
	屋内面	気中帯	
w : 水セメント比 (%)	□	□	
α : 劣化外力係数	1.1	1.0	タービン建屋 : 実測値に基づく補正值 取水口構造物 : 屋外
β : 仕上げ材による係数	1.0	1.0	仕上げなし
γ : セメントによる係数	1.4	1.0	タービン建屋 : フライアッシュセメントB種 取水口構造物 : 普通ポルトランドセメント
調査時点の推定値 (cm)	2.9	1.2	タービン建屋 : 運転開始後38年経過時点 取水口構造物 : 運転開始後36年経過時点
運転開始後60年経過時点の推定値 (cm)	3.6	1.6	

岸谷式
$$t = \frac{7.2}{R^2 \cdot (4.6 \cdot w - 1.76)^2} \cdot x^2$$

t : 深さxまで中性化する期間(年) R : 中性化比率 (R=α×β×γ)
x : 中性化深さ (cm) α : 劣化外力の区分による係数
w : 水セメント比 (比) β : 仕上げ材による係数
γ : セメントによる係数

2. 森永式

	タービン建屋外壁	取水口構造物	備考
	屋内面	気中帯	
w/c : 水セメント比 (%)	□	□	
R : 中性化比率	1.0	1.0	打ち放し仕上げ
C : 炭酸ガス濃度 (%)	0.0472	0.0457	平成28年2月から平成29年2月の期間で毎月毎に1回測定した結果の平均値
T : 温度 (°C)	19.7	15.9	平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で、1時間間隔で連続測定した結果の平均値
RH : 湿度 (%)	51.5	64.7	平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で、1時間間隔で連続測定した結果の平均値
調査時点の推定値 (cm)	2.2	0.9	タービン建屋 : 運転開始後38年経過時点 取水口構造物 : 運転開始後36年経過時点
運転開始後60年経過時点の推定値 (cm)	2.7	1.2	

森永式
$$x = \sqrt{\frac{C}{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot (4.6 \cdot w/c/100 - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

x : 中性化深さ (mm) C : 炭酸ガス濃度 (%)
R : 中性化比率 RH : 湿度 (%)
w/c : 水セメント比 (%) T : 温度 (°C)
t : 材齢 (日)

3. √t式

	タービン建屋外壁	取水口構造物	備考
	屋内面	気中帯	
中性化実測深さ (cm)	4.0	1.0	特別点検結果 (中性化深さの点検結果)
運転開始後60年経過時点の推定値 (cm)	5.0	1.3	

√t式
$$x = A \cdot \sqrt{t}$$

x : 中性化深さ (mm)
t : 中性化期間 (年)
A : 中性化速度係数 (中性化実測深さと中性化期間により算出)

「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説 日本建築学会」によると、中性化の進行は、二酸化炭素濃度の平方根に比例するとある。

ここで、岸谷式のタービン建屋外壁（屋内面）に用いる劣化外力係数の算出にあたっては、東海第二発電所構内の屋外での二酸化炭素濃度の実測値を基準として、タービン建屋外壁（屋内面）での二酸化炭素濃度の実測値で除した値の平方根で算出した。

実測値による劣化外力係数の算出結果は、「1.02」であった。そこで、タービン建屋外壁（屋内面）に用いる劣化外力係数には、保守的に「1.1」を採用することとした。

- ・タービン建屋外壁（屋内面）

$$\text{実測値による劣化外力係数 } \alpha = \sqrt{\frac{C}{C_0}} = \sqrt{\frac{472}{457}} = 1.02 \rightarrow 1.1$$

C_0 : 屋外の二酸化炭素濃度の実測値 (457ppm)

C : タービン建屋外壁（屋内面）の二酸化炭素濃度の実測値 (472ppm)

タイトル	塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程について
説明	<p>塩分浸透の評価対象及び評価点の選定過程を以下に示す。</p> <p>1. 評価対象の選定過程</p> <p>塩分浸透の評価対象は、対象構造物のうち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及び特別点検の結果を踏まえ、海水との接触により、厳しい塩分浸透環境下にあり、特別点検の結果として塩化物イオン濃度が最大となる取水口構造物を評価対象に選定した。特別点検の結果を添付1「特別点検結果（塩分浸透）」に示す。</p> <p>2. 評価点の選定過程</p> <p>塩分浸透の評価点については、上記の選定過程による評価対象構造物（取水口構造物）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、環境条件が異なる気中帯、干満帯及び海中帯をそれぞれ評価点として選定した。</p> <p>2-1. 取水口構造物（気中帯） 飛沫の影響を受ける朔望平均満潮位H.P. +1.50 m以上とする。</p> <p>2-2. 取水口構造物（干満帯） 潮位変動を考慮し、朔望平均満潮位H.P. +1.50 m未満、朔望平均干潮位H.P. +0.08 m以上とする。</p> <p>2-3. 取水口構造物（海中帯） 海水に常時接している朔望平均干潮位H.P. +0.08 m未満とする。</p> <p>なお、朔望平均満潮位H.P. 及び朔望平均干潮位H.P. については、平成16年から平成21年までの観測記録による。</p> <p>添付1 特別点検結果（塩分浸透）</p>

特別点検結果 (塩分浸透)

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果										備考	
		塩化物イオン量[kg/m ³]											点検年月日 ()内は データ採取日
		表面からの深さ[mm]											
		5~15	15~25	25~35	45~55	65~75	95~105	145~155					
原子炉建屋等	外壁	0.57	0.35	0.28	0.20	0.15	0.18	0.20	0.07	0.23	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
	外壁	0.36	0.20	0.16	0.11	0.13	0.11	0.07	0.23	0.11	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
取水槽	海中帯	2.15	1.95	1.72	1.44	1.03	0.57	0.23	0.11	0.11	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成26年2月18日)
	干満帯	1.89	2.58	1.98	1.37	1.09	0.39	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成26年2月18日)
	気中帯	1.57	2.44	2.14	1.37	0.89	0.30	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成27年2月8日)
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	排気筒基礎	0.34	0.34	0.30	0.23	0.20	0.18	0.23	0.11	0.11	0.11	0.11	平成29年10月13日 (平成29年10月10日)

タイトル	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																			
説明	<p>鉄筋の腐食減量の算定過程（方法，条件，パラメータ）及び結果を以下に示す。</p> <p>1. 算定方法</p> <p>(1) 拡散方程式により，コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測</p> <p>(2) 森永式により，コンクリートにひび割れが発生する腐食減量を予測することで，鉄筋の腐食減量の評価を実施</p> <p>2. 条件及びパラメータ</p> <p>添付1「塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値算定の過程及び結果」に示すとおり。</p> <p>3. 結果</p> <p>運転開始後60年時点の鉄筋腐食減量が，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した。</p> <p>鉄筋の腐食減量の算定結果は，以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="451 1048 1299 1429"> <thead> <tr> <th rowspan="2">対象の部位</th> <th colspan="3">鉄筋の腐食減量（$\times 10^{-4}\text{g}/\text{cm}^2$）</th> </tr> <tr> <th>調査時点</th> <th>運転開始後60年経過時点</th> <th>かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>取水口構造物（気中帯）</td> <td>1.7</td> <td>3.4</td> <td>62.3</td> </tr> <tr> <td>取水口構造物（干満帯）</td> <td>10.3</td> <td>18.1</td> <td>67.7</td> </tr> <tr> <td>取水口構造物（海中帯）</td> <td>0.4</td> <td>1.1</td> <td>62.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>添付1 塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値算定の過程及び結果</p>	対象の部位	鉄筋の腐食減量（ $\times 10^{-4}\text{g}/\text{cm}^2$ ）			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	取水口構造物（気中帯）	1.7	3.4	62.3	取水口構造物（干満帯）	10.3	18.1	67.7	取水口構造物（海中帯）	0.4	1.1	62.3
対象の部位	鉄筋の腐食減量（ $\times 10^{-4}\text{g}/\text{cm}^2$ ）																			
	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																	
取水口構造物（気中帯）	1.7	3.4	62.3																	
取水口構造物（干満帯）	10.3	18.1	67.7																	
取水口構造物（海中帯）	0.4	1.1	62.3																	

塩分浸透による鉄筋の腐食減量の推定値算定の過程及び結果

	取水口構造物			備考
	気中帯	干満帯	海中帯	
x : かぶり厚さ (mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
C : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m ³)	0.89	1.09	1.03	特別点検結果 (塩分浸透の点検結果)
C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン量 (kg/m ³)	3.31	3.23	2.38	拡散方程式の回帰分析により算出
D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけ上の拡散係数 (mm ² /年)	52.05	61.80	109.53	拡散方程式の回帰分析により算出
Cl : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m ³) (推定値)	0.00~1.39	0.00~1.48	0.00~1.37	運転開始から60年経過時点までの各年の推定値
x : かぶり厚さ (mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
d : 鉄筋径 (mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
W : 単位水量 (kg/m ³)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
W/C : 水セメント比 (比)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
N : 練り混ぜ水の塩分濃度 (%)	0.00~ <input type="text"/>	0.00~ <input type="text"/>	0.00~ <input type="text"/>	運転開始から60年経過時点までの各年の推定値
T : 温度 (°C)	15.9	15.9	16.7	気中帯・干満帯 : 平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で、1時間間隔で気温を連続測定した結果の平均値 海中帯 : 平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で、1時間間隔で海水温を連続測定した結果の平均値
RH : 相対湿度 (%)	64.7	100	100	気中帯 : 平成28年2月17日から平成29年2月16日の期間で、1時間間隔で連続測定した結果の平均値 干満帯・海中帯 : 海水と接触により100% (森永論文 [※])
O : 酸素濃度 (比)	0.2	0.2	0.0062	土木学会「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン(2012)」引用
q_1 : 調査時点の鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)	1.7	10.3	0.4	
q_1 : 運転開始後60年経過時点の鉄筋の腐食減量 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)	3.4	18.1	1.1	
Q_{CR} : 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 推定値 (×10 ⁻⁴ g/cm ²)	62.3	67.7	62.3	

※森永他「腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測」-コンクリート工学論文集 (1990)

- : (1) 拡散方程式により、
コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透を予測するのに必要なパラメータ
- : (1) の予測結果
- : (2) 森永式により、鉄筋の腐食減量の評価を実施するのに必要なパラメータ
- : (2) の推定結果

拡散方程式

$$C = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

C : 鉄筋位置における塩化物イオン量 (kg/m³)
 C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン量 (kg/m³)
 erf : 誤差関数

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

x : かぶり厚さ (mm)
 D : コンクリート中の塩化物イオンの見かけの拡散係数 (mm²/年)
 t : 材齢 (年)

森永式

$$q = q_1 \cdot \frac{q_2}{q_2'}$$

$$q_1 = \frac{d}{c^2} [-0.51 - 7.60N + 44.97(W/C)^2 + 67.95N(W/C)^2]$$

$$q_2 = 2.59 - 0.05T - 6.89H - 22.87O - 0.99N + 0.14TH + 0.51TO + 0.017N + 60.81HO + 3.36HN + 7.32NO$$

$$q_2' = 0.56528 + 1.4304N$$

q : 鉄筋の腐食速度 (×10⁻⁴g/cm²/年)
 q_1 : 塩分環境下での腐食速度 (×10⁻⁴g/cm²/年)
 q_2 : 寿命予測対象部位で、塩分環境下での腐食速度 (×10⁻⁴g/cm²/年)
 q_2' : 寿命予測対象部位で、標準環境下 (温度15°C, 湿度69%, 酸素濃度20%) での腐食速度 (×10⁻⁴g/cm²/年)
 d : 鉄筋径 (mm)
 c : かぶり厚さ (mm)
 N : 練り混ぜ水の塩分濃度 (%)
 W/C : 水セメント比 (比)
 T : 温度 (°C)
 H : 湿度に関する項 $H = (RH - 45)/100$
 RH : 相対湿度 (%)
 O : 酸素濃度 (比)