

島根1号炉廃止措置 審査資料	
資料番号	DP-007 改01
提出年月日	令和4年3月2日

島根原子力発電所1号炉
取水槽流路縮小工について

令和4年3月

中国電力株式会社

1. はじめに

1号炉取水槽流路縮小工（以下、「流路縮小工」という）は、1号炉取水路を遡上する津波に対して、1号炉取水槽から敷地への津波の到達、流入を防止するために設置することから、2号炉の設置変更許可申請において、津波防護施設として整理している（参考資料-1）。流路縮小工の設置位置を図1に示す。なお、1号炉放水槽の許容津波高さ（EL.+8.8m）は、入力津波高さ（EL.+4.8m）に対して十分余裕があることから、1号炉放水槽には流路縮小工は設置しない。

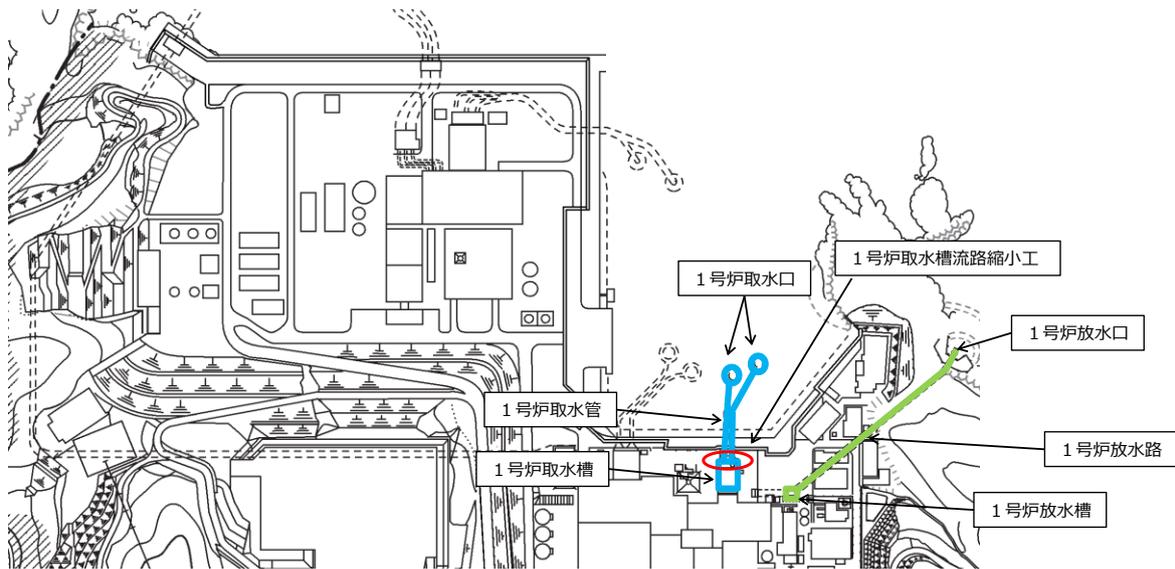


図1 流路縮小工設置位置

2. 流路縮小工の構造について

(1) 流路縮小工の構造概要

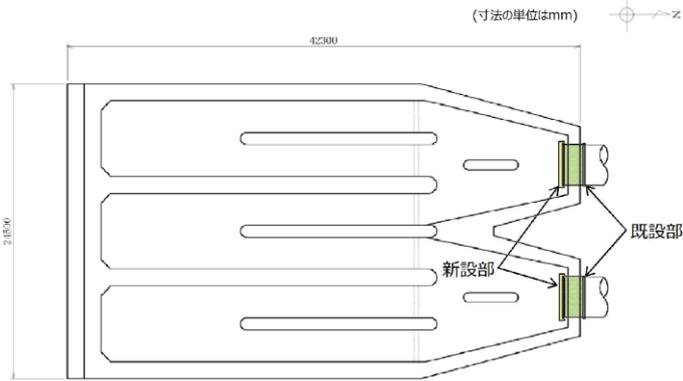
流路縮小工の構造概要を図2に示す。

a. 既設部

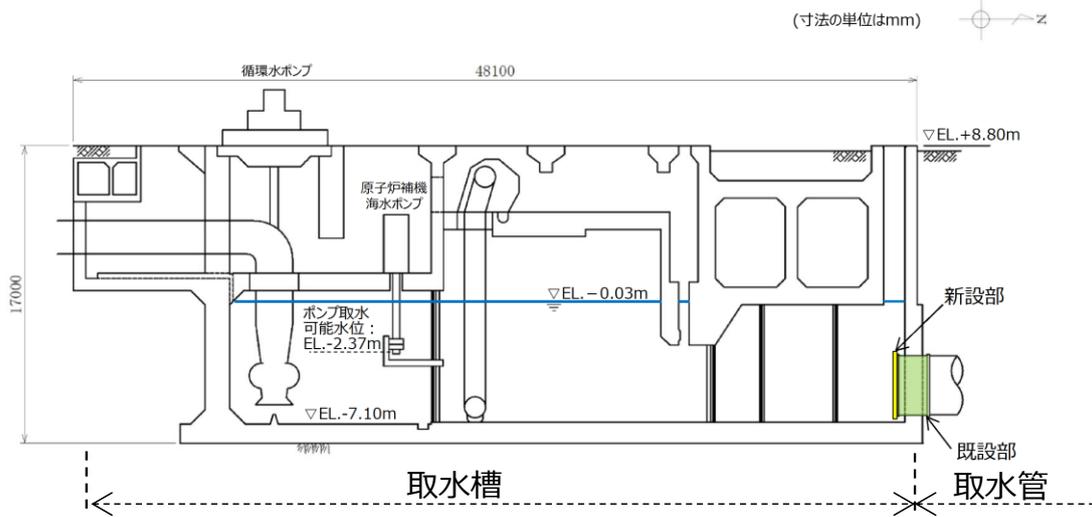
流路縮小工の既設部は、鋼製の取水管とする。

b. 新設部

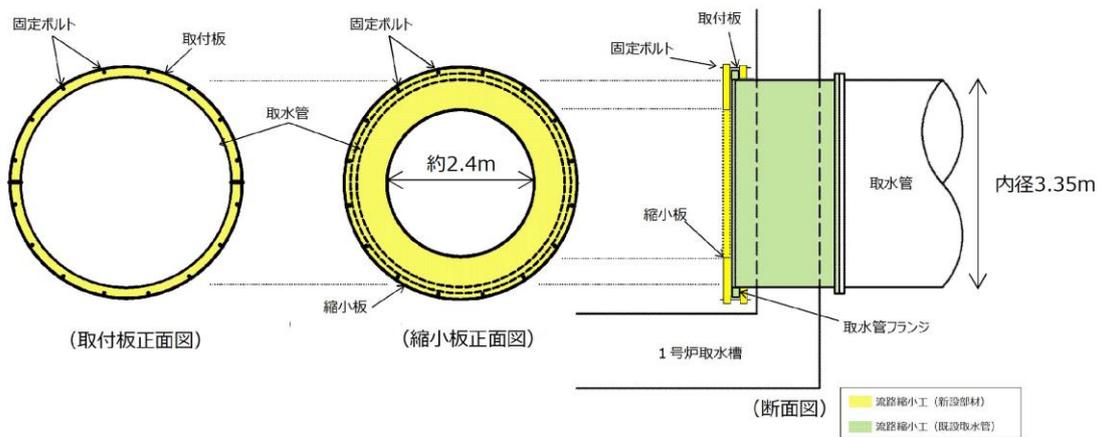
流路縮小工の新設部は、開口部直径を約2.4mとした縮小板、取付板及び固定ボルトで構成する鋼製の構造物とし、取水管フランジの両側に取り付けた縮小板と取付板を固定ボルトで固定する。



平面図



縦断面図



流路縮小工拡大イメージ図

図2 1号炉取水槽流路縮小工の構造概要

(2) 許容限界

津波防護機能に対する機能保持限界として、地震後、津波後の再使用性や、津波の繰り返し作用を想定し、津波防護機能を保持する設計とする。詳細については、2号炉設計及び工事の方法その他の工事の計画の認可申請において説明する。

3. 流路縮小工設置による1号炉取水機能への影響について

(1) 廃止措置段階で必要となる海水系について

廃止措置段階（解体工事準備期間）において、燃料プールの冷却機能の維持が必要である。燃料プール冷却系の系統概要について、図3に示す。また、燃料プールは、外部電源喪失時（以下「非常時」という。）にも冷却機能が維持できるように、ディーゼル発電機による電源供給機能の維持管理が必要である。上記、機能の補機冷却のために海水ポンプの維持管理が必要である。

流路縮小工の設置により取水機能への影響評価が必要となる性能維持施設である海水ポンプは表1のとおりである。

表1 廃止措置段階（解体工事準備期間）で必要となる海水ポンプ

	ポンプ名称	維持台数	流量(m ³ /h)	用途
通常時	原子炉補機海水ポンプ	2台	1,752	燃料プールの冷却
非常時	原子炉補機海水ポンプ	2台	1,752	燃料プールの冷却 ディーゼル発電機の補機冷却

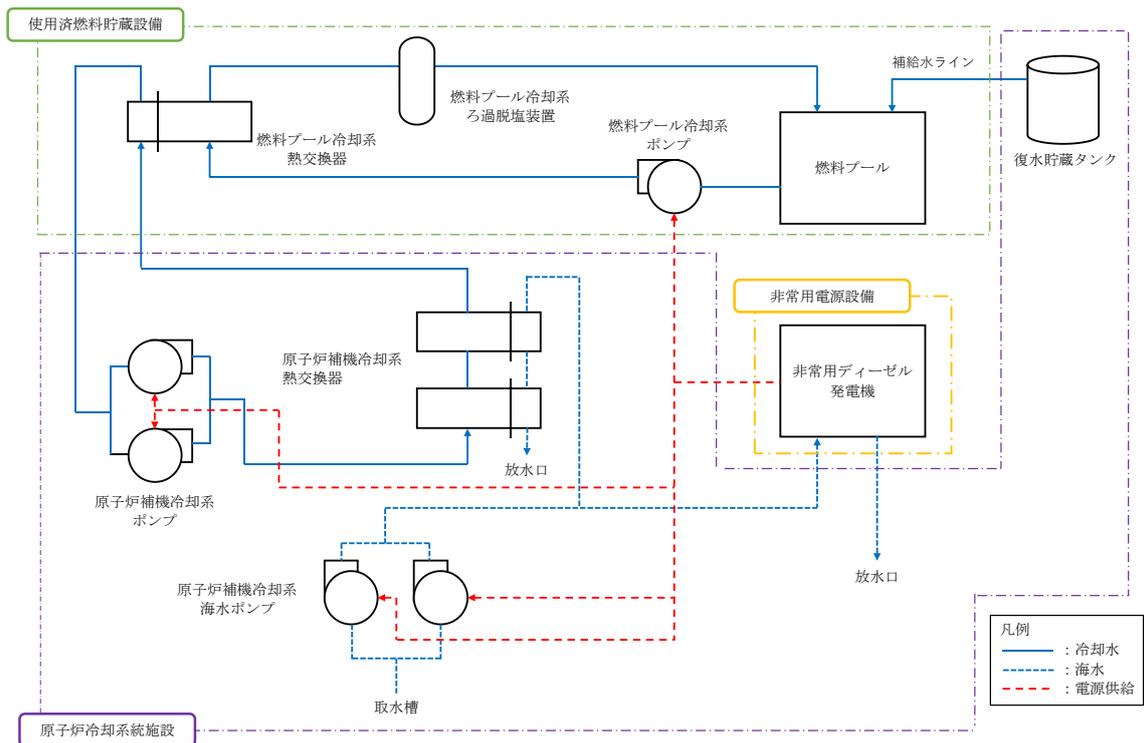


図3 燃料プール冷却系の系統概要

(2) 1号炉取水機能への影響について

a. 原子炉補機海水ポンプの取水性評価

取水管への流路縮小工設置により増加する損失水頭は無視できるレベル(0.0018m)であり、流路縮小工設置後の取水槽水位は原子炉補機海水ポンプの取水可能水位に対して十分余裕があることから、取水機能への影響はない(表2, 図4参照)。

なお、損失水頭を算定した管路計算モデルについては参考資料-2に、津波を想定した場合の取水機能については参考資料-3に示す。

表2 流路縮小工設置による1号炉取水機能への影響

流路縮小工	流量 (m ³ /s)	水路断面積 (m ²)	流速 (m/s)	取水口位置 における 海面水位	取水槽水位 (カック内は端 数処理前の値)	原子炉補機 海水ポンプ の取水可能 水位
設置前	2.0 ^{※1}	16.59 ^{※2}	0.12	EL. -0.02m ^{※3}	EL. -0.03m (-0.0222m)	EL. -2.37m
設置後		8.81	0.23		EL. -0.03m (-0.0240m) ^{※4}	

※1 運転状況や系統切替を考慮し、流量が安全側となるよう、原子炉補機海水ポンプ（4台）運転時の流量（876m³/h×4台）、タービン補機海水ポンプ（3台）運転時の流量（1,000m³/h×3台）、除じんポンプ（2台）運転時の流量（300m³/h×2台）を設定

※2 貝付着代5cmを考慮

※3 朔望平均干潮位

※4 取水管の流路縮小工における局所損失（急拡、急縮）を考慮

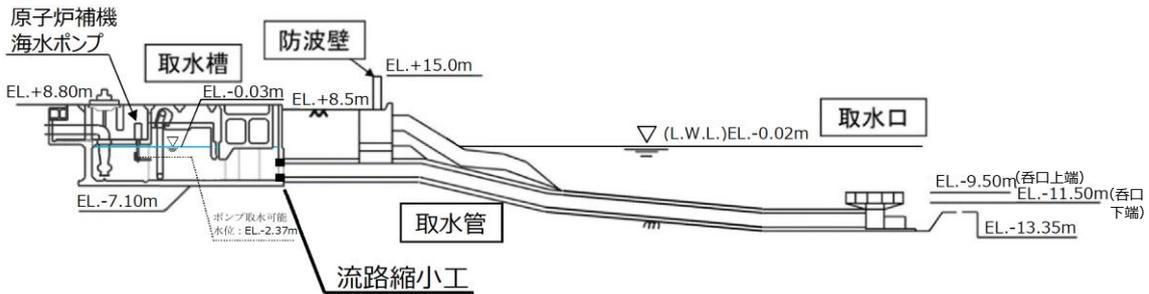


図4 1号炉 取水施設の断面図

b. 海水中に含まれる砂による取水機能への影響

島根1号炉の取水口は、海底面から取水口呑口の下端までの高さが約2mあるため、海底面の砂が取水口に到達しにくく、流路縮小工貫通部が砂で閉塞することは考えにくいことから、海水の流れに伴う砂の移動・堆積による取水機能への影響はない（図4参照）。

なお、津波による浮遊砂に対する原子炉補機海水ポンプ運転への影響について、原子炉補機海水ポンプ軸受には異物逃がし溝があり、浮遊砂の影響を考慮した設計上の配慮がなされているため、運転に影響がないことを確認している（参考資料-3）。

4. 流路縮小工の閉塞の可能性について

(1) 海生生物の付着による影響

1号炉取水槽の流路縮小工の開口部は、直径約2.4mである。これまでの取水設備の点検結果から、海生生物の付着代は最大で5cm程度であることを確認していることから、海生生物の付着による閉塞の可能性はない。なお、流路縮小工設置後においても定期的な点検と清掃を行う。

(2) 漂流物による影響

島根1号炉の取水口は深層取水方式を採用しており、取水口呑口の上端は海水面より約9.5m低い位置にあり、取水口上部の水面に留まる漂流物は取水口に到達することはない。また、取水口呑口の下端は海底面より約2m高い位置にあり海底面を滑動する漂流物の影響を受けにくいことから、漂流物による閉塞の可能性はない(図4参照)。

なお、津波時の漂流物を想定しても、取水管の流路縮小工が閉塞する可能性はないことを確認している(参考資料-3)。

5. 流路縮小工の保守管理について

流路縮小工については、津波防護施設としての機能及び1号炉取水機能を維持していくため、別途定める保全計画に基づき、適切に管理する。

具体的には、流路縮小工の縮小板・取付板は腐食代を確保するとともに、縮小板・取付板・固定ボルトは腐食防止のため塗装を行う。また、潜水土により取水槽内の定期的な点検・清掃を行い、縮小板や固定ボルト等の流路縮小工の各部位を確認する。固定ボルトに塗装の劣化や腐食等の傾向が確認された場合には、ボルト交換等の必要な対応を実施する。

6. まとめ

流路縮小工を設置することによる影響について、以下のとおり確認した。

(1) 1号炉取水機能への影響

流路縮小工設置後も廃止措置段階に必要な原子炉補機海水ポンプの取水機能が確保されることを確認した。

(2) 流路縮小工の閉塞の可能性

海生生物の付着及び漂流物による流路縮小工の閉塞の可能性はない。

(3) 保守管理について

流路縮小工については、津波防護施設としての機能及び1号炉取水機能を維持していくため、別途定める保全計画に基づき、適切に管理していく。

1 号炉取水管端部への流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果について

1. はじめに

1 号炉取水路を遡上する津波に対して，1 号炉取水槽から敷地への津波の到達，流入を防止するために設置することから，2 号炉の設置変更許可申請において，津波防護施設として整理している。

1 号炉取水槽流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果について，流路縮小工を考慮した管路計算により確認した。

2. 計算結果

1 号炉取水管端部への流路縮小工設置を考慮した管路計算の結果，最大の入力津波高さに外郭防護の裕度評価において参照する高さである 0.64m を考慮しても，1 号炉取水槽の天端高さである EL. +8.8m を越えないことを確認した（表 1 参照）。

また，1 号炉取水槽の浸水範囲を図 1 に，最大水位上昇量を示したケースの時刻歴波形を図 2 に示す。なお，対策前の取水槽の時刻歴波形を図 3 に示す。

表1 基準津波による取水槽水位の結果

波源		防波堤 有無	貝付着 有無	循環水ポン プ運転状況	1号炉取水槽の入力津波高さ EL. (m)	
					対策後*	(参考) 対策前
					取水槽	取水槽
日本海東縁部	基準津波 1	有り	有り	停止	+6.3	+7.2
			無し	停止	+6.4	+7.7
		無し	有り	停止	+6.8	+8.2
			無し	停止	<u>+7.0</u>	+9.2
	基準津波 2	有り	有り	停止	+6.0	+6.8
			無し	停止	+6.1	+7.3
	基準津波 5	無し	有り	停止	+6.4	+7.6
			無し	停止	+6.7	+8.1
	海域活断層	基準津波 4	有り	有り	停止	+2.7[+2.61]
無し				停止	<u>+2.7[+2.68]</u>	+3.0
無し			有り	停止	+2.5	+3.4
			無し	停止	+2.7[+2.67]	+3.8
海域活断層 上昇側最大 となるケー ス		有り	有り	停止	+2.5	+2.6
			無し	停止	+2.5	+2.6
		無し	有り	停止	+2.5	+3.2
			無し	停止	+2.6	+3.5

※下線部を引いた箇所が日本海東縁部及び海域活断層それぞれの最大ケース

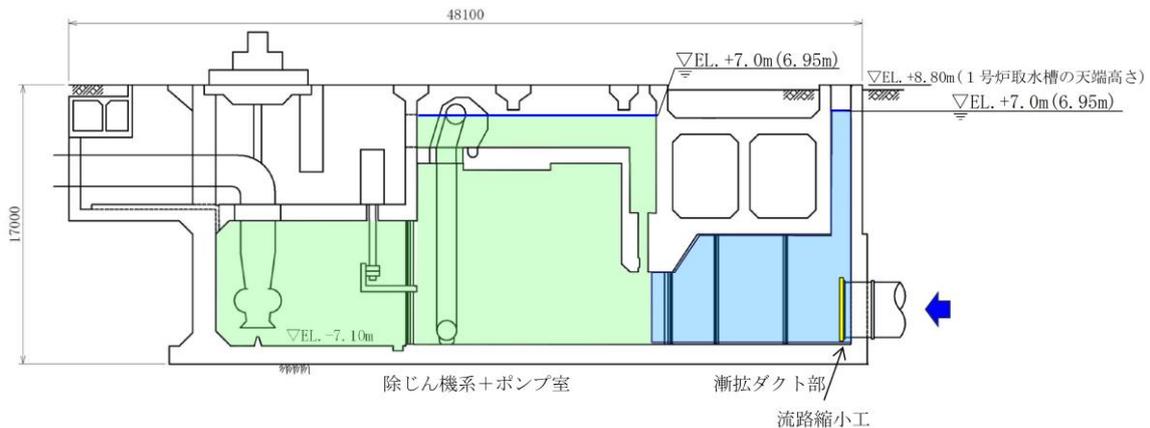


図1 1号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲※

※ 漸拡ダクト部、除じん機系+ポンプ室の最高水位（括弧内の数値は小数第二位まで記載）を図に示す。（基準津波1 防波堤無し 貝付着無し）

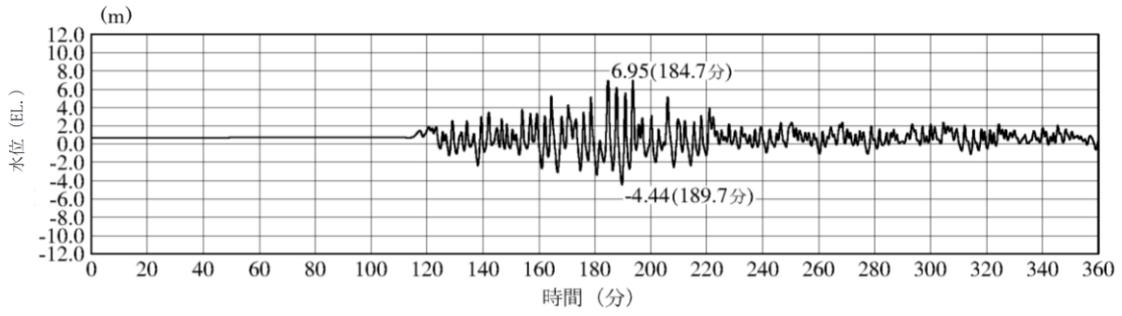


図2 時刻歴波形（基準津波1 防波堤無し 貝付着無し）

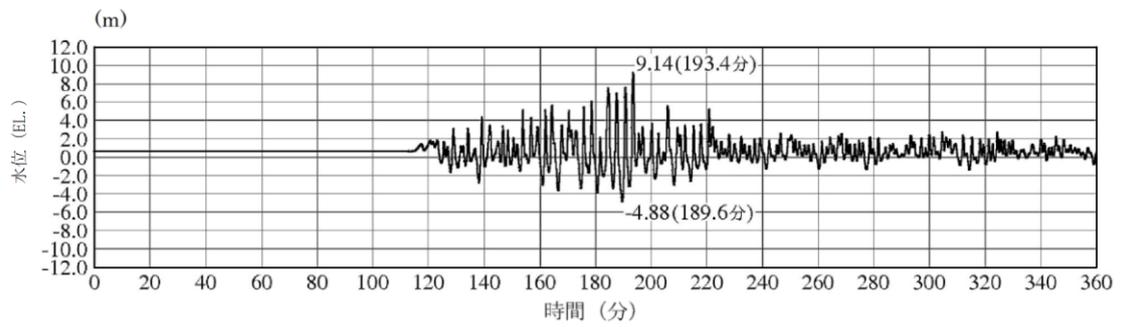


図3 対策前の取水槽の時刻歴波形（基準津波1 防波堤無し 貝付着無し）

管路計算モデルについて

1. はじめに

流路縮小工設置による通常時における 1 号炉取水機能への影響を検討するため、海洋から取水路を経て評価地点までの水路の水理特性を考慮した管路計算モデルを用いて評価を実施した。

2. 管路計算モデル

管路計算の計算条件を表 1 に、取水施設の構造図を図 1 に、貝付着を考慮する範囲を図 2 に示す。また、基礎方程式等の数値計算手法は、「原子力発電所の津波評価技術2016（土木学会原子力土木委員会津波評価部会，2016）」に基づき、以降に示すとおりとする。

取水経路は開水路区間と管路区間が混在するため、微小区間に分割した水路の各部分が、開水路状態か管路状態かを逐次判定し、管路区間はその上下流端の開水路区間の水位（自由水面の水位）を境界条件として流量計算を行い、開水路区間は、開水路の一次元不定流の式により流量・水位を計算する。また、水槽及び立坑部は、水面面積を鉛直方向に積算した水位－容積関係を用いて、水槽及び立坑部に接続する水路の流量合計値から水位を算定する。なお、解析には先行審査で実績のある解析コード「SURGE」を使用した。

解析モデルについて、管路は管路延長・管路勾配・管径を考慮したモデルとし、各管路モデルで摩擦による損失を考慮する。摩擦損失以外の損失は以降に示す解析モデルの各節点において考慮する。なお、流路縮小工は、漸拡ダクトと取水管の境界において急縮・急拡損失として考慮する。また、水槽及び立坑部は、解析モデル図に示す池としてモデル化を行い、池モデル内においては、保守的に損失水頭は考慮しないこととする。

管路計算は、取水口位置における海面水位を入力条件、取水槽におけるポンプ取水量を境界条件として実施する。

管路計算モデルを図3に、管路計算モデルに用いた各損失を表2、3及び図4～9に示す。また、取水施設の損失水頭表を表4に示す。

表1 管路計算における計算条件

項目	計算条件
計算領域	【取水施設】 1号炉 取水口～取水管～取水槽
計算時間間隔	0.01秒
取水槽側境界条件 (ポンプ取水量)	1号炉 循環水ポンプ停止時：2.0m ³ /s ^{※1}
摩擦損失係数 (マンニングの粗度係数)	【取水施設】 (貝付着なし) 1号炉取水口 ^{※2} ，1号炉取水管 ^{※2} ：0.014m ^{-1/3} ・s 1号炉取水槽 ^{※3} ：0.015m ^{-1/3} ・s (貝付着あり) 1号炉取水口 ^{※2} ，1号炉取水管 ^{※2} ，1号炉取水槽 ^{※3} ：0.02 m ^{-1/3} ・s
貝の付着代	貝付着ありの場合は点検結果を踏まえ5cmを考慮
局所損失係数	電力土木技術協会(1995)：火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版- 千秋信一(1967)：発電水力演習 土木学会(1999)：水理公式集[平成11年版]による
想定する潮位条件	朔望平均干潮位EL. -0.02mを考慮
地盤変動条件	考慮しない

※1 1号炉取水槽に津波防護施設である流路縮小工を設置することにより、循環水ポンプの運転に必要な通水量が確保できないことから、循環水ポンプの運転は行わない。

※2 鋼製

※3 コンクリート製

※基礎方程式

管路計算では、非定常の開水路及び管路流の連続式・運動方程式を用いた。

【開水路】

- ・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

- ・連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

【管路】

- ・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

- ・連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

t : 時間, Q : 流量, v : 流速, x : 管底に沿った座標, A : 流水断面積
 H : 圧力水頭+位置水頭 (管路の場合), 位置水頭 (開水路の場合)
 z : 管底高, g : 重力加速度, n : マニングの粗度係数, R : 径深
 Δx : 水路の流れ方向の長さ, f : 局所損失係数

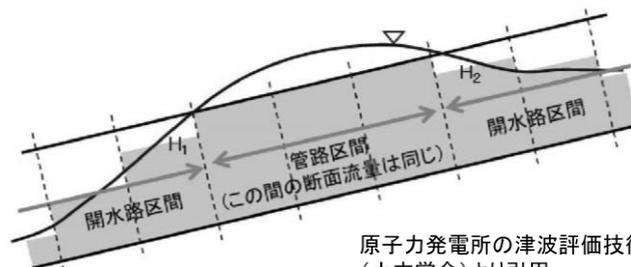
【水槽及び立坑部】

- ・連続式

$$A_P \frac{dH_P}{dt} = Q_S$$

A_P : 水槽の平面積 (水位の関数となる) H_P : 水槽水位
 Q_S : 水槽へ流入する流量の総和 t : 時間

【開水路・管路の区別】



原子力発電所の津波評価技術 2016
 (土木学会)より引用

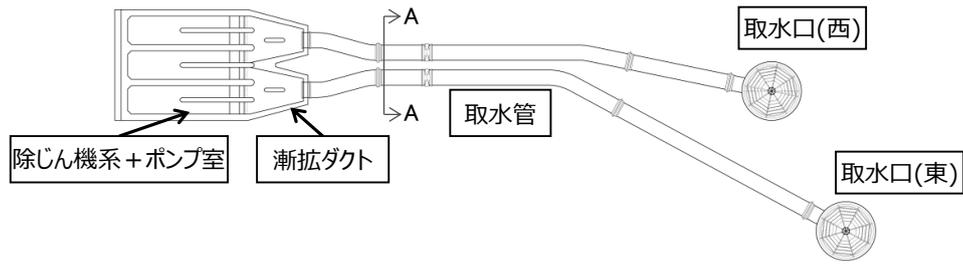


図 1 - 1 1号炉取水施設平面図

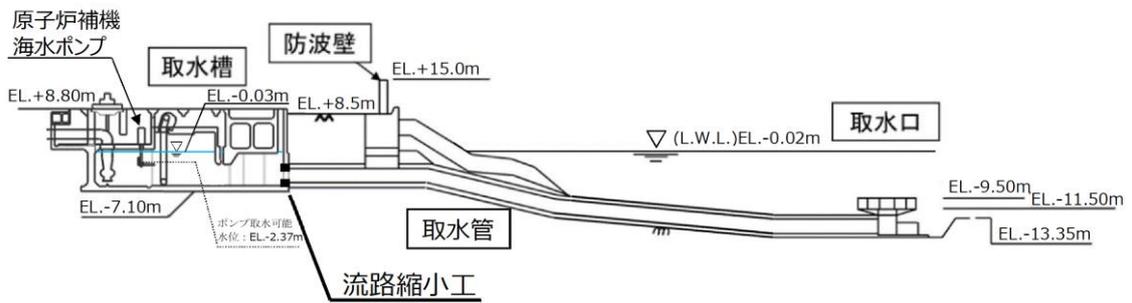
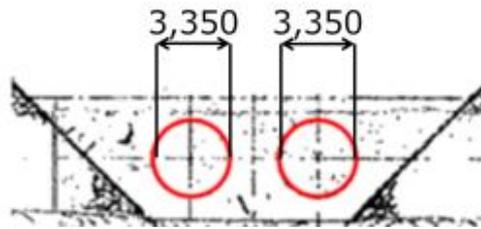


図 1 - 2 1号炉取水施設断面図



A-A 断面 (単位は mm)

図 2 貝付着考慮範囲

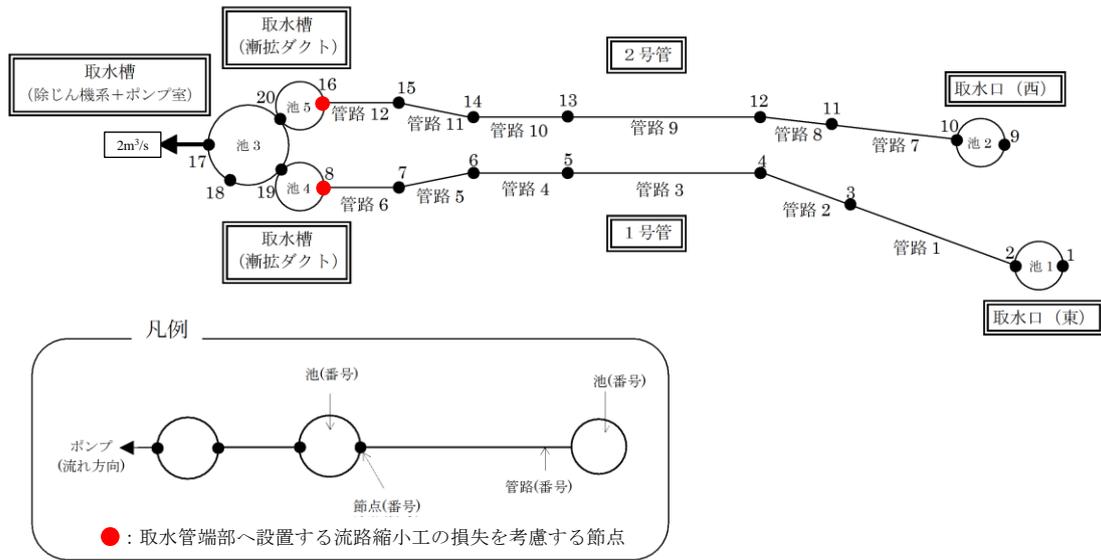


図3 1号炉取水施設の管路計算モデル図

表 2 - 1 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
①流入損失	$h_e = f_e \frac{V^2}{2g}$	f_e : 流入損失係数 V : 管内流速(m/s)	土木学会水理公式集 (平成 11 年版) p.374-375【図 4 参照】
②流出損失	$h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$	f_o : 流出損失係数 V : 管内流速(m/s)	土木学会水理公式集 (平成 11 年版) p.375
③摩擦損失	$h_f = n^2 V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$	V : 平均流速(m/s) L : 水路の長さ(m) R : 水路の径深(m) n : 粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829
④急拡損失	$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left\{ 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$	f_{se} : 急拡損失係数 V_1 : 急拡前の平均流速(m/s) A_1 : 急拡前の管断面積(m ²) A_2 : 急拡後の管断面積(m ²)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829
⑤急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{sc} : 急縮損失係数 V_2 : 急縮後の平均流速(m/s)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.829-830【表 3 参照】
⑥漸拡損失	$h_{ge} = f_{ge} \cdot f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left\{ 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$	f_{ge} : 漸拡損失係数 V_1 : 漸拡前の平均流速(m/s) A_1 : 漸拡前の管断面積(m ²) A_2 : 漸拡後の管断面積(m ²)	火力原子力発電所 土木構造物の設計 p.830 【図 5 参照】
⑦漸縮損失	$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{gc} : 漸縮損失係数 V_2 : 漸縮後の平均流速(m/s)	発電水力演習 p.84 【図 6 参照】
⑧屈折損失	$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$ $f_{be} = 0.946 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ $+ 2.05 \sin^4 \frac{\alpha}{2}$	f_{be} : 屈折損失係数 V : 管内平均流速(m/s) α : 屈折角(°)	発電水力演習 p.88 【図 7 参照】

表 2 - 2 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
⑨ 曲がり 損失	$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{V^2}{2g}$ $f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \times (D / \rho)^{7/2}$ $f_{b2} = (\theta / 90)^{1/2}$	<p>V :管内平均流速(m/s)</p> <p>f_{b1} : 曲がりの曲率半径 ρ と管径 D との比によって決まる損失係数</p> <p>f_{b2} : 任意の曲がり中心角 θ の場合の損失と中心角 90° の場合の損失との比</p>	<p>発電水力演習 p.86-87 【図 8 参照】</p>
⑩ ピヤー による損 失	$\Delta h_p' = \left\{ \frac{1}{C^2} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 - 1 \right\} \frac{V_1^2}{2g}$	<p>V_1 :ピヤー上流側の流速(m/s)</p> <p>C :ピヤーの水平断面形状による係数</p> <p>b_1 :ピヤー直前の水路幅(m)</p> <p>b_2 :水路幅からピヤー幅の総計を控除した幅(m)</p>	<p>発電水力演習 p.92-93 【図 9 参照】</p>

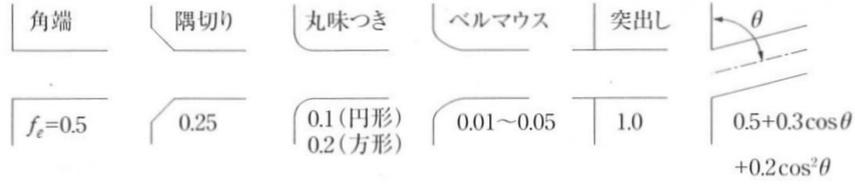


図4 入口形状と損失係数（土木学会水理公式集（平成11年版）p.375）

表3 急縮損失係数（火力原子力発電所土木構造物の設計 p.830）

D_2/D_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
f_{sc}	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	0

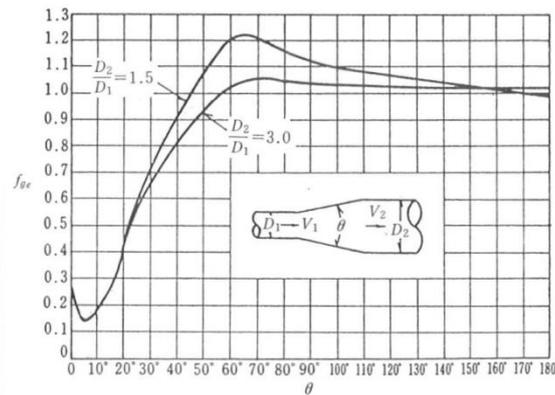


図5 漸拡損失係数（火力原子力発電所土木構造物の設計 p.830）

D_1, D_2 : 漸拡前後の管径(m), V_1, V_2 : 漸拡前後の平均流速(m/s), θ : 漸拡部の開き (°)

(※本施設では、円形断面管と矩形断面管の漸拡に上記の図による値を適用する。矩形断面管の場合、矩形断面と同様の断面積を持つ円管を仮定して、管径 D_1, D_2 を算出した。)

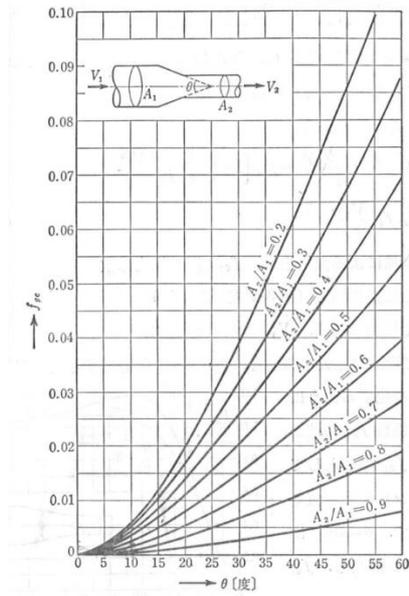


図6 漸縮損失係数 (発電水力演習 p. 84)

A_1, A_2 : 漸縮前後の管断面積 (m^2), V_1, V_2 : 漸縮前後の平均流速 (m/s), θ : 漸縮部の開き ($^\circ$)

(※本施設では, 円形断面管と矩形断面管の漸縮に上記の図による値を適用する。)

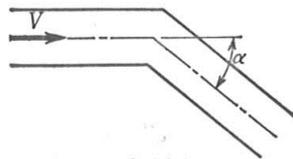


図7 屈折角 (発電水力演習p. 88)

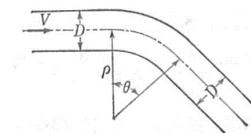


図8 曲がり, 曲率半径 (発電水力演習p. 87)

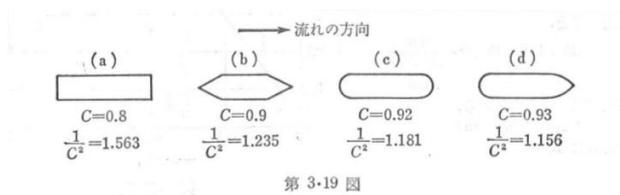


図9 ピヤの形状による係数Cの値 (発電水力演習p. 92)

表4 1号炉取水施設の損失水頭表
(貝付着無し、循環水ポンプ停止時)

場所	流量 (m ³ /s)※	種類	係数		断面積 (m ²)		損失水頭 (m)		モデル化	
			1号管	2号管	1号管	2号管	1号管	2号管		
取水口	1.000	流入	F	0.500	0.500	75.398	75.398	0.00000	0.00000	節点2,10
		急縮	F	0.480	0.480	12.566	12.566	0.00016	0.00016	節点2,10
		摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	12.566	12.566	0.00000	0.00000	節点2,10
			長さ(m)	2.600	2.600					
			径深(m)	1.000	1.000					
		屈折	F	0.986	0.986	12.566	12.566	0.00032	0.00032	節点2,10
		急縮	F	0.140	0.140	8.814	8.814	0.00009	0.00009	節点2,10
取水管	1.000	摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	8.814	8.814	0.00040	0.00033	管路1~6 管路7~12
			長さ(m)	127.075	102.915					
			径深(m)	0.838	0.838					
		曲がり	F _{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.00002	0.00003	節点3,11
			F _{b2}	0.279	0.319					
		曲がり	F _{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.00005	0.00003	節点4,12
			F _{b2}	0.571	0.366					
		曲がり	F _{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.00004	0.00003	節点5,13
			F _{b2}	0.412	0.379					
		曲がり	F _{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.00004	0.00004	節点6,14
			F _{b2}	0.413	0.413					
		曲がり	F _{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.00004	0.00004	節点7,15
			F _{b2}	0.413	0.413					
		流路縮小工	1.000	急縮	F	0.282	0.282	4.407	4.407	0.00074
急拡	F			0.754	0.754	4.407	4.407	0.00198	0.00198	節点8,16
取水槽	1.000	摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.015	0.015	41.667	41.667	0.00000	0.00000	節点8,16
			長さ(m)	9.100	9.100					
			径深(m)	1.682	1.682					
		摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.015	0.015	50.000	50.000	0.00000	0.00000	節点8,16
			長さ(m)	1.700	1.700					
			径深(m)	1.716	1.716					
		摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.015	0.015	31.250	31.250	0.00000	0.00000	節点8,16
			長さ(m)	1.000	1.000					
			径深(m)	0.805	0.805					
		摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.015	0.015	33.333	33.333	0.00000	0.00000	節点8,16
			長さ(m)	2.000	2.000					
			径深(m)	0.820	0.820					
		ピヤ-	ピアの水平断面形状による係数	0.920	0.920	45.455	45.455	0.00001	0.00001	節点8,16
			ピア直前の水路幅(m)	6.859	6.859					
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)	6.059	6.059					
		漸拡	F _{ge}	0.280	0.280	33.500	33.500	0.00000	0.00000	節点8,16
			F _{se}	0.204	0.204					
		漸縮	F	0.020	0.020	42.557	42.557	0.00000	0.00000	節点8,16
		急縮	F	0.100	0.100	32.237	32.237	0.00000	0.00000	節点8,16
		漸拡	F _{ge}	0.200	0.200	32.237	32.237	0.00000	0.00000	節点8,16
F _{se}	0.003		0.003							
流出	F	1.000	1.000	34.185	34.185	0.00004	0.00004	節点8,16		
合計							0.0040	0.0039		

※ 1号管及び2号管それぞれにおける流量を記載。

津波時の取水性評価

1. 津波時の取水機能について

津波を想定した場合、引き波時に原子炉補機海水ポンプの取水可能水位以下まで水位が下がる可能性があるため、原子炉補機海水ポンプを停止する手順としているが、原子炉補機海水ポンプが停止しても、燃料プールの水温が施設運用上の基準に到達するまでの期間は約 10 日であり、基準津波（日本海東縁部に想定される地震による津波）の継続時間約 360 分（安全側の想定として、入力津波の解析時間を設定）に対し、十分余裕があることから、津波が収束し、安全を確認した後に原子炉補機海水ポンプを運転させることにより、施設運用上の基準に到達することなく取水機能を回復できることを確認している。

2. 漂流物による閉塞の可能性評価

基準津波に伴って生じた漂流物が 1 号炉取水口に到達して、1 号炉取水口及び取水管の流路縮小工を閉塞させる可能性について評価した。

島根 1 号炉の取水口は深層取水方式を採用しており、取水口呑口の上端は海水面より約 9.5m 低い位置にあり、取水口上部の水面に留まる漂流物は取水口に到達することはない。また、取水口呑口の下端は海底面より約 2 m 高い位置にあり海底面を滑動する漂流物の影響を受けにくい構造となっている（図 1～4 参照）。

1 号炉取水口に到達する可能性がある施設・設備としては、発電所構内からは温排水影響調査等のための作業船、漁船及びキャスク取扱収納庫等があり、発電所構外からは漁船があるが、1 号炉取水口の取水面積との比較や形状、水面を浮遊すること等から、いずれも 1 号炉取水口を閉塞することはないと評価している。

考慮すべき漂流物のうち投影面積が最大となる施設・設備は漁船（船の長さ 17.0m、船の幅 4.3m、喫水 2.2m^{*}）であるのに対して、1 号炉取水口呑口断面寸法（高さ 2.0m、幅 12.0m、2 基）はこの漁船の投影面積よりも十分に大きいこと

から、1号炉取水口を閉塞することはない。

以上より、取水路の流路縮小工が漂流物によって閉塞する可能性はない。

※：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（平成26年3月）より船型20トンの漁船の諸元から設定

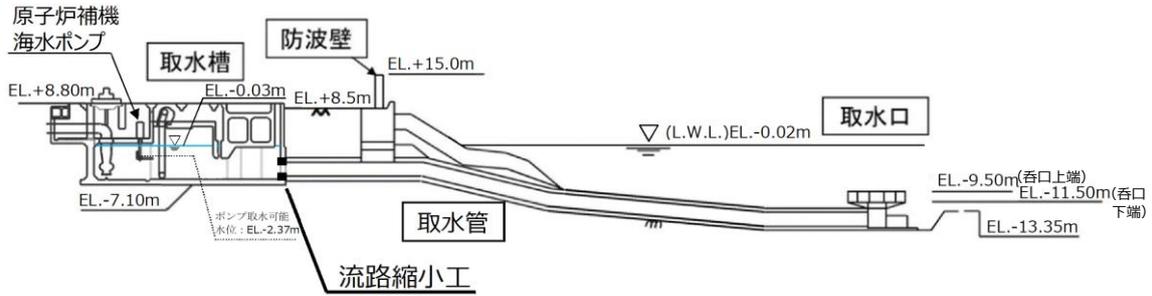


図1 1号炉取水施設の断面図

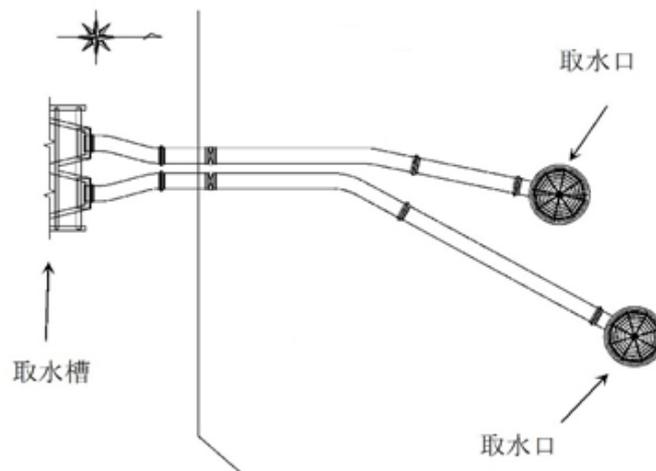


図2 1号炉取水口平面図

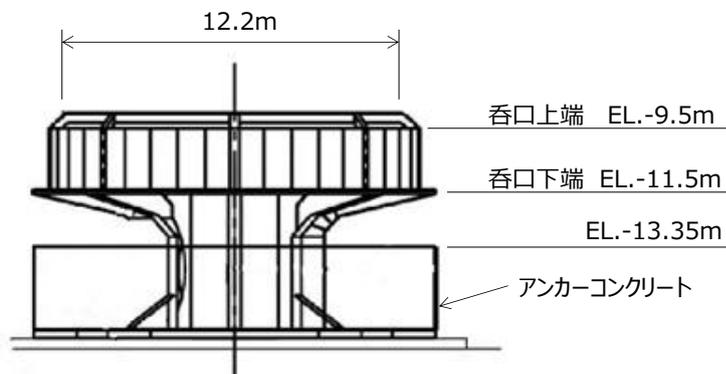


図3 1号炉取水口断面図

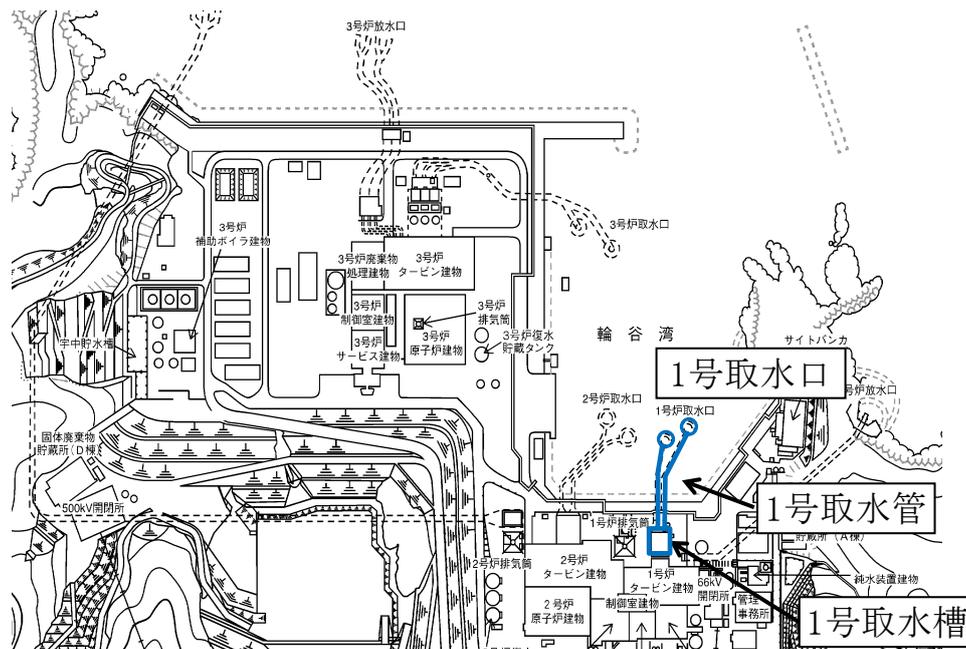
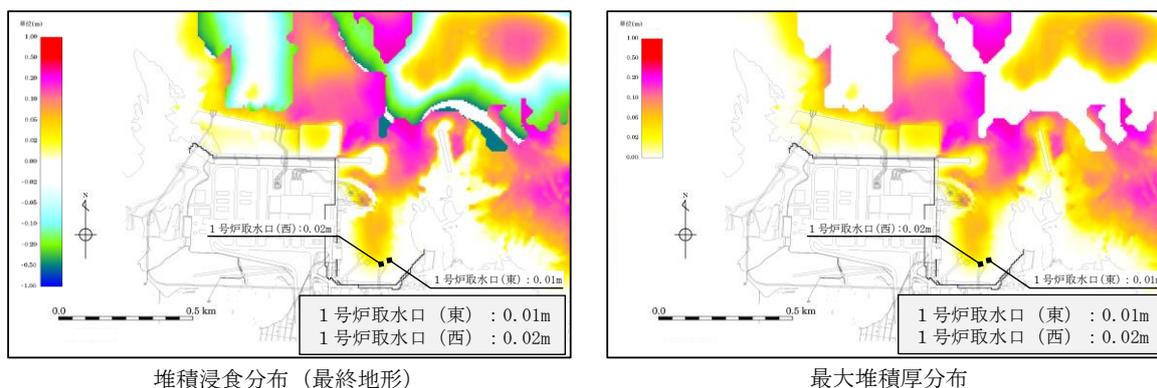


図4 1号炉取水施設位置

3. 砂の移動・堆積に対する取水機能への影響

津波による砂の移動・堆積に対する取水機能への影響については、基準津波による砂移動解析において、取水口位置における最大堆積厚さは0.02m程度（図5参照）であり、取水口呑口の下端までの高さ（約2m）に対して十分に小さいことから、海水の流れに伴う砂の移動・堆積による取水機能への影響はない。



※基準津波1（防波堤有り）を対象に高橋ほか（1999）の手法（浮遊砂上限濃度1％）を用いた評価結果

図5 砂移動解析による堆積侵食分布図及び最大堆積分布図

4. 浮遊砂に対する海水ポンプ運転への影響

津波による浮遊砂については、スクリーン等で除去することが困難なため、海水ポンプそのものが運転時の砂の混入に対して軸固着することなく機能保持できる設計であることを、以下のとおり確認した。

発電所周辺の砂の平均粒径は約 0.5mm で、数ミリ以上の粒子はごく僅かであり、粒径数ミリの砂は浮遊し難いものであることを踏まえると、大きな粒径の砂は殆ど混入しないと考えられる。

海水ポンプで取水した浮遊砂を含む多くの海水は揚水管内を通過するが、一部の海水はポンプ軸受の潤滑水とともに軸受摺動面に流入する構造である(図6参照)。

軸受摺動面隙間(約 1.45mm (許容最大))に対し、これより粒径の小さい砂が混入した場合は海水とともに摺動面を通過するか、または主軸の回転によって異物逃がし溝に導かれ連続排出される。

大きな粒径の砂が摺動面に混入したとしても回転軸の微小なずれから発生する主軸の振れ回りにより、摺動面を伝って異物逃がし溝に導かれ排出される。

以上より軸受摺動面や異物逃がし溝が閉塞することはない、ポンプ軸固着への影響はない。

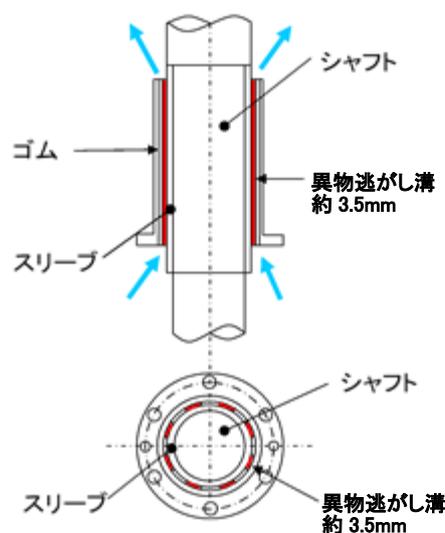


図6 海水ポンプ軸受構造図

5. 浮遊砂に対する取水性確保

原子炉補機海水ポンプの揚水管内側流路を通過し、原子炉補機海水系に混入した微小な浮遊砂は、海水系ストレーナを通過し熱交換器を経て放水槽へ排出されるが、ストレーナ通過後の最小流路幅（各熱交換器の伝熱管内径）は約 16.5mm であり、砂の粒径約 0.5mm に対し十分に大きいことから閉塞の可能性はないと考えられ、原子炉補機海水系の取水機能は維持可能である（図 7）。

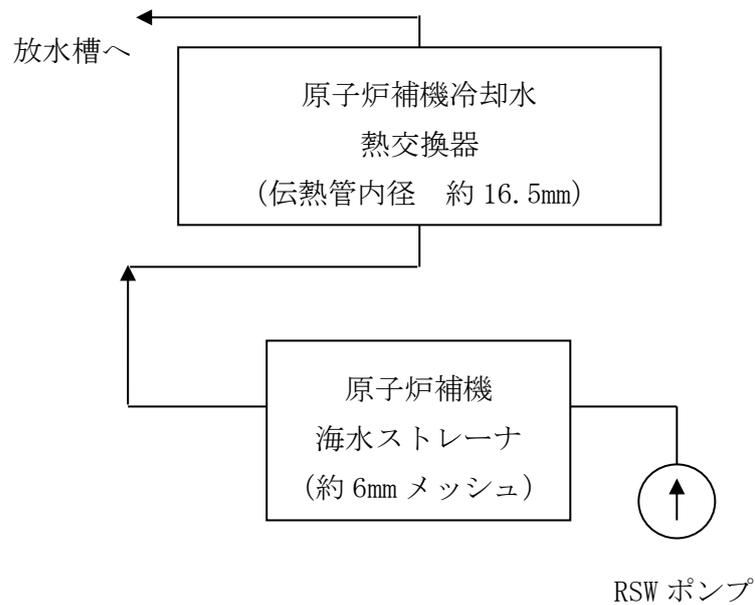


図 7 原子炉補機海水系の系統概略図

島根 1 号炉廃止措置 審査資料	
資料番号	DP-008
提出年月日	令和 4 年 3 月 2 日

島根原子力発電所 1 号炉
放射性液体廃棄物の放出管理について

令和 4 年 3 月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 2号炉設置変更許可を踏まえた変更	1
3. 放射性液体廃棄物の放出管理	1
4. 放射性液体廃棄物の放出管理目標値	3

1. はじめに

本資料は、令和3年9月15日に変更許可を受けた新規規制基準の適合性に係る島根原子力発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（2号原子炉施設の変更）（以下、「2号炉設置変更許可」という。）を踏まえた島根原子力発電所1号炉の放射性液体廃棄物の放出管理について説明する。

2. 2号炉設置変更許可を踏まえた変更

2号炉設置変更許可において、2号炉の津波防護施設として、1号炉取水槽の取水管端部へ流路縮小工を設置し、取水炉・放水路等の経路からの流入に伴う入力津波の設定に当たっては、1号炉循環水ポンプの停止を前提としている。

このため、1号炉における放射性液体廃棄物の放出について、循環水ポンプの運転を想定した放出管理から原子炉補機冷却系海水ポンプの運転を想定した放出管理に変更し、これに伴い放出管理目標値を変更する。

3. 放射性液体廃棄物の放出管理

1号炉から発生した放射性液体廃棄物は、液体廃棄物の廃棄設備により処理を行った後、これまでは復水器冷却水と混合、希釈して放出していたが、今後は、原子炉補機冷却系海水ポンプからの海水と混合、希釈して放出する。

放射性液体廃棄物の排水位置を図1に示す。

放射性液体廃棄物の放出に際しては、サンプルタンク等において放射性物質濃度の測定等を行い、復水器冷却水放水路排水中における放射性物質の濃度が、線量告示に定める周辺監視区域外における水中の濃度限度を超えないようにするとともに、放出管理目標値を設定し、これを超えないように努める。

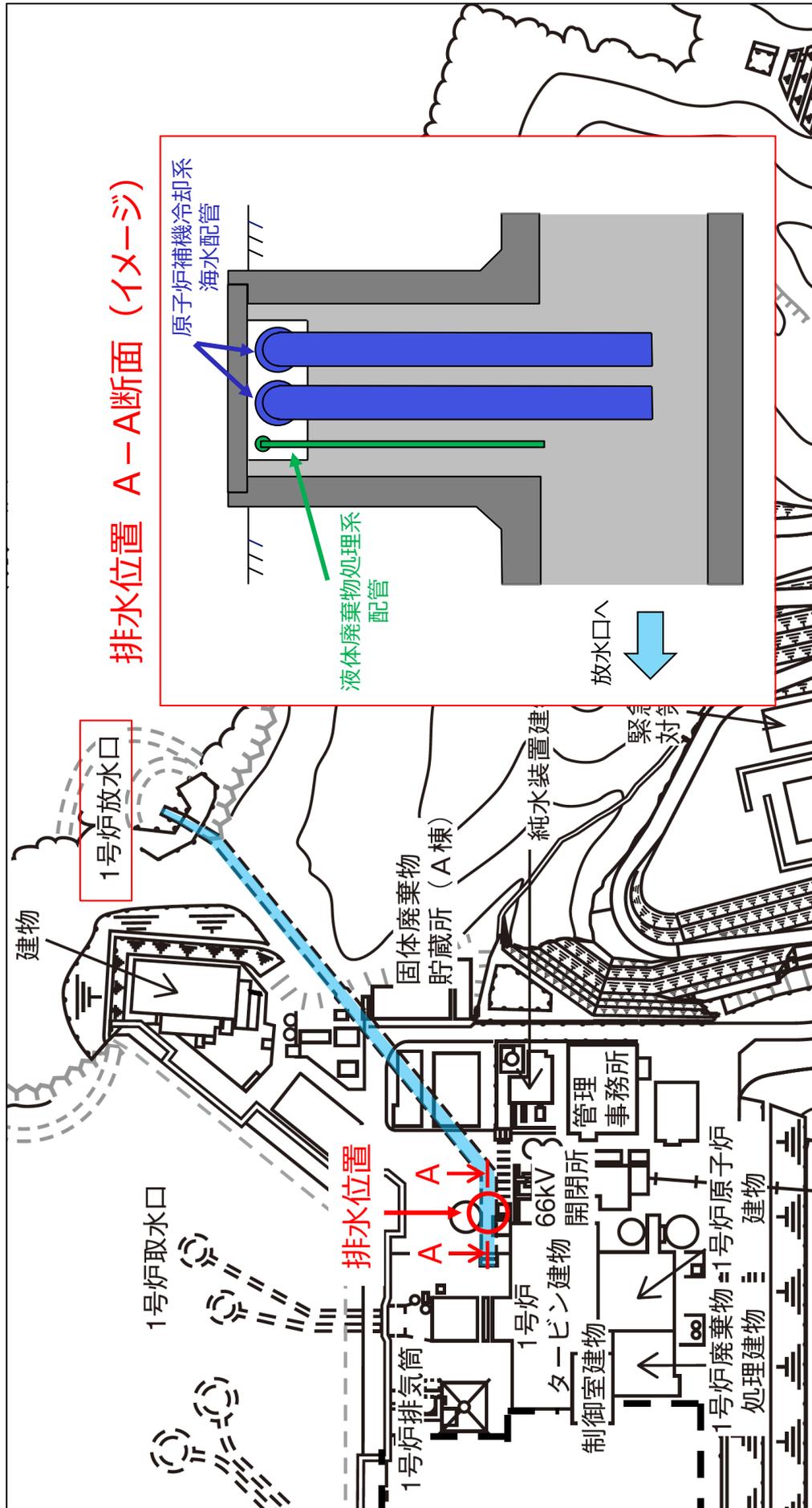


図1 放射性液体廃棄物の排水位置

4. 放射性液体廃棄物の放出管理目標値

解体工事準備期間中に1号炉から発生する放射性液体廃棄物は、原子炉運転中と同様な廃棄物である。

放出管理目標値は、1号炉の運転終了及び1号炉取水槽への流路縮小工設置に伴い復水器冷却水を停止することを考慮し、1号炉復水器冷却水放水口における放射性物質の年間平均濃度が運転中と同等となるよう、以下のとおり変更する。

(1) 海水中における放射性物質の濃度

1号原子炉運転中においては、放射性液体廃棄物の放出管理目標値を1号、2号及び3号炉の合計（トリチウムを除く。）で、 $1.1 \times 10^{11} \text{Bq/y}$ に設定して放出管理していた。

「原子炉設置許可申請書 添付書類九」では、放射性液体廃棄物中に含まれる放射性物質に起因する実効線量の計算に用いる海水中における放射性物質の濃度は、復水器冷却水放水口の濃度と同じになるとして、放射性物質の年間放出量を年間の復水器冷却水量で除して計算している。計算にあたっては、年間放出量（トリチウムを除く。）は、放出管理目標値を基に各号炉とも $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/y}$ とし、復水器冷却水量は、保守的に最も少ない1号炉の冷却水量を用いている。

(2) 解体工事準備期間中における放出管理目標値

1号原子炉運転中においては、実効線量の計算に用いる海水中における放射性物質の濃度は、1号炉の循環水ポンプ3台運転、稼働率80%の場合の冷却水量を基に計算している。

1号炉の運転終了及び1号炉取水槽への流路縮小工設置に伴う復水器冷却水を停止することに伴い、1号炉の冷却水量が減少するが、実効線量の計算に用いる海水中における放射性物質の濃度が1号炉原子炉運転中と同等となるよう、1号炉の年間放出量を減少させる。

なお、2号及び3号炉の放射性液体廃棄物の放出量は、「原子炉設置許可申請書 添付書類九」に記載のとおりである。

a. 変更前（流路縮小工設置に伴う循環水ポンプ停止前）

廃止措置に伴い、1号炉復水器冷却水放水口から放出する際は、1号炉の循環水ポンプの運転台数を減少させることから、評価上は循環水ポンプ1台運転を想定する。

今後も、実効線量の計算に用いる海水中における放射性物質の濃度を1号炉原子炉運転中と同等に維持するため、1号炉からの放出量を、原子炉運転中の3分の1に変更している。

以上より、解体工事準備期間中（変更前）における1号炉の放射性液体廃棄物の年間放出量を表1に示す。

したがって、表2に示すとおり、放射性液体廃棄物の放出管理目標値（トリチウムを除く）を1号、2号及び3号炉合計で 8.6×10^{10} Bq/yとしている。

b. 変更後（流路縮小工設置に伴う循環水ポンプ停止後）

今後、1号炉取水槽への流路縮小工設置に伴い復水器冷却水を停止することから、1号炉復水器冷却水放水口からの放出においては、評価上、原子炉補機冷却系海水ポンプ1台運転を想定する。

今後も、実効線量の計算に用いる海水中における放射性物質の濃度を1号炉原子炉運転中と同等に維持するため、1号炉からの放出量を減少させる。また、1号炉から放出される放射性液体廃棄物の核種構成については、原子炉停止後の減衰を考慮して、短半減期核種を除外した核種構成とする。

以上より、解体工事準備期間中（変更後）における1号、2号及び3号炉の放射性液体廃棄物の年間放出量を表1に示す。

したがって、表2に示すとおり、放射性液体廃棄物の放出管理目標値（トリチウムを除く）を1号、2号及び3号炉合計で 7.4×10^{10} Bq/yに変更する。

表1 放射性液体廃棄物の年間放出量

(単位：Bq/y)

核種	1号炉			2号炉 ^{※1}	3号炉 ^{※1}
	原子炉 運転中	解体工事準備期間中			
		変更前	変更後		
Cr-51	7.4×10^8	2.5×10^8	~ 0 ^{※2}	7.4×10^8	7.4×10^8
Mn-54	1.5×10^{10}	4.9×10^9	1.4×10^8	1.5×10^{10}	1.5×10^{10}
Fe-59	2.6×10^9	8.6×10^8	~ 0 ^{※2}	2.6×10^9	2.6×10^9
Co-58	1.1×10^9	3.7×10^8	~ 0 ^{※2}	1.1×10^9	1.1×10^9
Co-60	1.1×10^{10}	3.7×10^9	1.0×10^8	1.1×10^{10}	1.1×10^{10}
Sr-89	7.4×10^8	2.5×10^8	~ 0 ^{※2}	7.4×10^8	7.4×10^8
Sr-90	3.7×10^8	1.2×10^8	3.4×10^6	3.7×10^8	3.7×10^8
I-131	7.4×10^8	2.5×10^8	~ 0 ^{※2}	7.4×10^8	7.4×10^8
Cs-134	1.9×10^9	6.2×10^8	1.7×10^7	1.9×10^9	1.9×10^9
Cs-137	3.0×10^9	9.9×10^8	2.7×10^7	3.0×10^9	3.0×10^9
放出量合計 (H-3を除く)	3.7×10^{10}	1.2×10^{10}	2.8×10^8	3.7×10^{10}	3.7×10^{10}
H-3	3.7×10^{12}	1.2×10^{12}	3.4×10^{10}	3.7×10^{12}	3.7×10^{12}

※1：2号及び3号炉から放出される放射性液体廃棄物の年間放出量は、「原子炉設置許可申請書 添付書類九」の値を示す。

※2：放射性液体廃棄物において評価している核種のうち、半減期がCo-58（半減期：70.8日）以下の核種については、原子炉停止後10年の減衰期間を考慮すると放出量は非常に小さい（ 10^{-9} Bq/y未満）ため、無視できる。

表 2 解体工事準備期間中における放射性液体廃棄物の放出管理目標値

(単位：Bq/y)

項目	放出管理目標値※	
	変更前	変更後
放射性液体廃棄物 (H-3を除く)	8.6×10^{10}	7.4×10^{10}

※ 1号，2号及び3号炉合算の値を示す。

放射性液体廃棄物の放出における復水器冷却水等の量について

放射性液体廃棄物による被ばく評価において、周辺公衆の受ける被ばく線量は、海水中の放射性物質の濃度に依存する。このため、放出される放射性物質質量及び復水器冷却水等の量の条件により被ばく線量変動する。

復水器冷却水等の量について、原子炉設置許可申請書での評価条件から、以下のように評価条件を変更して評価を実施している。

項目		原子炉運転中	解体工事準備期間	
			変更前	変更後
計算条件	循環水ポンプ（復水器冷却水）の運転台数及び容量	3台 (約 96,000 m ³ /h) ^{*1}	1台 (約 32,000 m ³ /h)	0台 (—)
	海水ポンプ（原子炉補機冷却海水）の運転台数及び容量	0台 (—)	0台 (—)	1台 ^{*2} (14.6m ³ /min) ^{*3}
	循環水ポンプ及び海水ポンプの稼働率 ^{*4}	80%	80%	80%
計算結果	復水器冷却水流量：①	約 76,800 m ³ /h	約 25,600 m ³ /h	0 m ³ /h
	原子炉補機冷却海水流量：②	0 m ³ /h	0 m ³ /h	約 700 m ³ /h
	年間の復水器冷却水等の量 (①+②) × 24h × 365日	約 6.7 × 10 ⁸ m ³ /y	約 2.2 × 10 ⁸ m ³ /y	約 6.1 × 10 ⁶ m ³ /y

※ 1：原子炉設置許可申請書の値

※ 2：原子炉補機冷却系海水ポンプは、性能維持施設として2台維持することとしているが、被ばく評価上の冷却水量（希釈水量）が保守的になるよう、1台運転を想定する。

※ 3：工事計画認可申請書の値

※ 4：「発電用軽水型原子炉周辺の線量目標値に対する評価指針」に基づき、原子炉施設の稼働率を80%としており、解体工事準備期間においても、原子炉運転中と同様としている。