

地震、津波及び地震・津波の重量評価における給水機能及び電源機能に果たす設備の利用可否、並びに各ケースでの冷却に使用可能な水量等と冷却継続時間評価結果

5. 4. 5. 5 章 の評価条件 (基本シナリオ)	設備の利用可否			地震・津波の 重量	地震、地震・津波の 重量における評価 H24.4.20 時点	津波における評価	備考
	地震(炉心:1.77Ss ,SFP:2Ss)	津波(炉心:10.8m ,SFP:28.0m)	地震・津波の 重量				
【S G 給水機能】							
復水タンク	評価水量 520m ³	○ (耐震 S クラス)	○ (EL15.0m)	○	646m ³	646m ³	5. 4. 5. 5 章では保安規定値 520m ³ で評価。本評価では、中央 制御室から監視可能であり、常に管理（水位低警報値）されている 水量 646m ³ で評価。
A-2 次系純水タンク	評価水量 4,050m ³	× (耐震 C クラス)	○ (EL25.0m)	×	—	4,050m ³	地震、地震・津波の重量における評価では利用不可
1,2uC・D-淡水タンク (デ・イゼル消火ポンプ、 消火栓利用)	評価水量 844m ³	× (耐震 C クラス)	○ (EL13.5m)	×	—	844m ³	地震、地震・津波の重量における評価では利用不可
3,4uA・B-淡水タンク (消防ポンプ利用)	評価水量 4,935m ³	× (耐震 C クラス)	○ (EL25.0m)	×	—	4,935m ³	地震、地震・津波の重量における評価では利用不可
海水 (消防ポンプ利用)	所内ガソリン量 ^{*1} 12,150 リットル	○ ^{*2}	○ (EL28.0m)	○	12,150 リットル	12,150 リットル	
【電源機能】							
蓄電池	容量：5 時間	○ (耐震 S クラス)	○ (EL10.8m)	○	容量：5 時間	容量：5 時間	
非常用デ・イゼル発電機 燃料油貯油槽	評価重油量 ^{*1} 1,004m ³	○ (耐震 S クラス)	○ (地下タンク)	○	1,004m ³	1,004m ³	空冷式非常用発電装置（1.8Ss、EL32.5m）の燃料
補助ボイラ燃料タンク	評価重油量 ^{*1} 276m ³	× (耐震 C クラス)	○ (EL11.5m)	×	—	276m ³	空冷式非常用発電装置の燃料 地震、地震・津波の重量における評価では利用不可
【S F P 給水機能】							
1,2uC・D-淡水タンク (デ・イゼル消火ポンプ、 消火栓利用)	評価水量 3,056m ³	× (耐震 C クラス)	× (EL13.5m)	×	—	—	地震、津波、地震・津波の重量における評価では利用不可
1 次系純水タンク (1 次系補給水ポンプ利用)	評価水量 140m ³	× (耐震 C クラス)	× (EL9.0m)	×	—	—	地震、津波、地震・津波の重量における評価では利用不可
海水 (消防ポンプ利用)	所内ガソリン量 ^{*1} SG 給水と共用	○ ^{*2}	○ (EL28.0m)	○	12,150 リットル	12,150 リットル	
給水の考え方	SFP の初期水位 を維持	—	—	—	SFP 水位 3m 低下後、 給水開始	SFP 水位 3m 低下 後、給水開始	遮へい設計基準(0.15mSv/h)を満足する水位(燃料頂部から上に 4.34m 分の水位) までの水位低下 (3m 分) を許容(添付 5-(6)-2 参照)
【冷却継続時間評価】							
炉心（運転時）	約 19 日間	—	—	—	約 8.2 日間	約 16 日間	
（運転時）	約 19 日間	—	—	—	約 8.2 日間	約 9.1 日間	
SFP （停止時）	約 16 日間	—	—	—	約 7.5 日間	約 7.5 日間	

※1: 所内ガソリン、重油は、SBO 等の全号機 (1~4 号機) 同時発生を考慮していることから、発電所共用として使用することとしている。

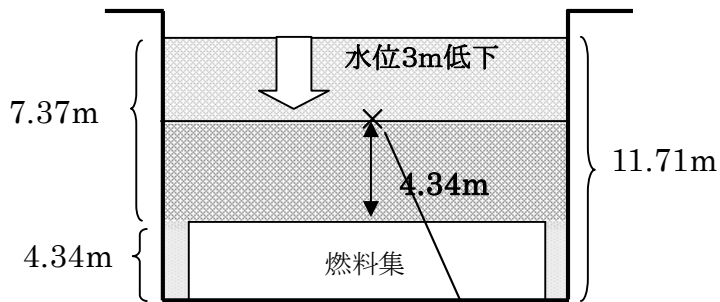
※2: 消防ポンプはデントハウスに平置しており高所からの落下等による破損の恐れはない (ポンプの予備率は 114%)。ガソリンは、ガソリン保管倉庫内にドラム缶で保管し転倒防止のため数本ずつ固縛している。ガソリン保管倉庫は軽量鉄骨のプレハブ構造であるため、倒壊は考えにくく、屋根は軽量であるため落下したとしてもドラム缶に大きな荷重がかかることはない。

SFP 保有水高さと遮へい機能について

以下のとおり、SFP 保有水の水位が 3m 低下した場合でも、SFP 中央水面での線量率は、燃料取替時の遮へい設計基準値を超えない範囲である。

(1) SFP 保有水高さ

燃料集合体より上の水の高さ＝約 7.37m



水位が3m低下しても燃料頂部より上に十分な遮へい厚さの水量(4.34m分)を有しており、SFP への給水等の作業に支障はない。

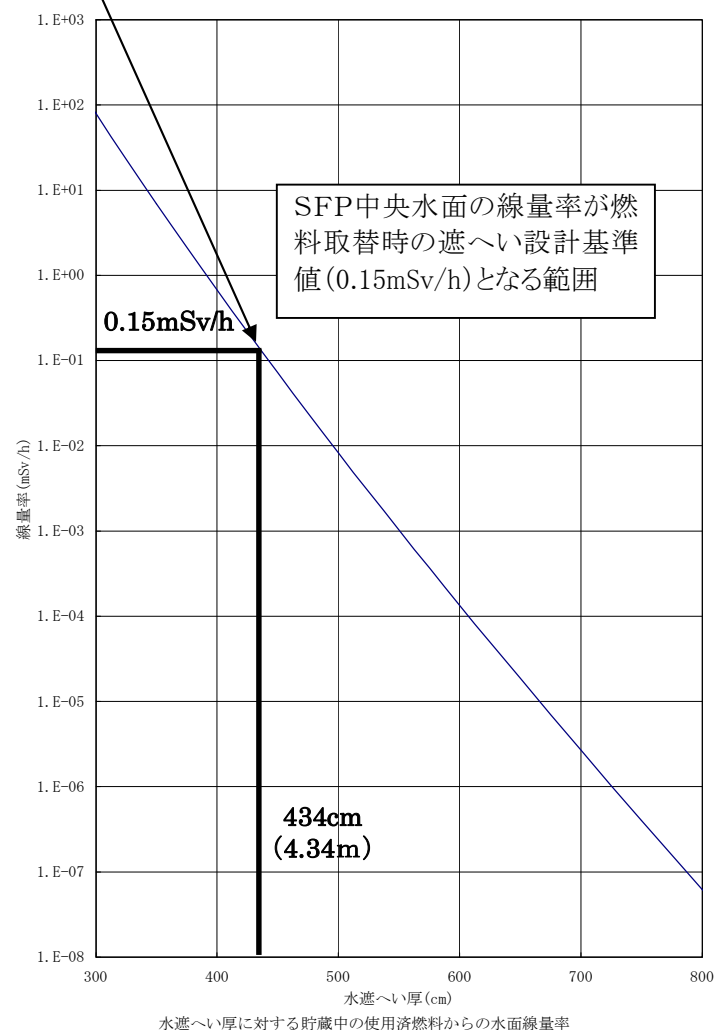
(2) 必要遮へい厚

下記グラフから 4.34m 以上

(3) 許容水位低下量

(1) - (2) = 3.03m

安全側に 3m とする。



水遮へい厚に対する貯蔵中の使用済燃料からの水面線量率

「水遮へい厚に対する貯蔵中の使用済燃料からの水面線量率」の計算条件について

「水遮へい厚に対する貯蔵中の使用済燃料からの水面線量率」については、以下の計算方法により求めている。

(1)使用済燃料の線源強度

使用済燃料の線源強度は、工事計画認可申請書の生体遮へい装置等の計算に用いている線源強度を使用している。これは、高浜発電所にて使用されている燃料について ORIGIN2 コードを用いて計算した結果を包含する保守的な値であることを確認している。この値に対し、SFP の最大貯蔵体数を乗じた値を SFP の線源強度としている。

(2)水面線量率

線量率は、点減衰核積分コードである SPAN-SLAB コードを用いて計算している。計算式は次のとおりである。

$$D(E) = \int_V K(E) \frac{S(E)}{4\pi r^2} B(E) \cdot e^{-b} dV$$

ここで、

$D(E)$: 線量率 (mSv/h)

$S(E)$: 線源強度 (MeV/(cm³/s))

$K(E)$: 線量率の換算係数 ((mSv/h)/(MeV/(cm²/s)))

$B(E)$: ビルドアップファクタ

$$B(E) = A \cdot e^{(-\alpha_1 \cdot b)} + (1-A) \cdot e^{(-\alpha_2 \cdot b)}$$

A 、 α_1 、 α_2 は定数

r : 線源から計算点までの距離 (cm)

V : 線源体積 (cm³)

b : 減衰距離

$$b = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot t_i$$

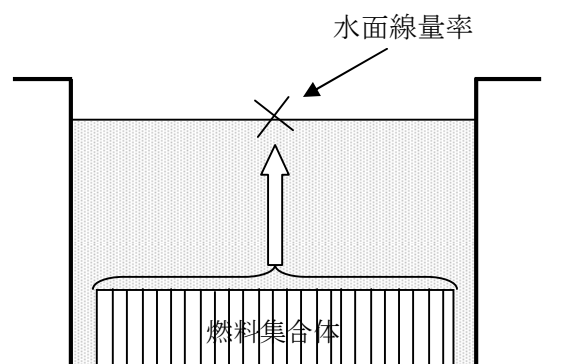
μ_i : 物質 i の線減衰係数 (cm⁻¹)

$$\mu_i = (\mu/\rho)_i \times \rho_i$$

$(\mu/\rho)_i$: 物質 i の質量減衰係数 (cm²/g)

ρ_i : 物質 i の密度 (g/cm³)

t_i : 物質 i の透過距離 (cm)



SFP の線源強度

= 燃料集合体 1 体あたりの線源強度
× SFP の最大貯蔵体数

復水タンク枯渇時間評価

SG 2 次側への給水評価における復水タンクの枯渇時間は、以下の必要補給水量の合計が復水タンクの評価水量（運転所則で管理されている水位低警報値での水量 646 m^3 ）となる時間より評価した。

- ① 1 次冷却材系統を出力運転状態から 170°C （SG 2 次側を 150°C ）一定維持まで冷却するために必要な給水量（1 次冷却材系統水、蒸気発生器保有水、燃料、1 次冷却材系統及び蒸気発生器構成材の顕熱除去等に必要な給水量）
- ② 崩壊熱除去に必要な給水量（炉停止後からの時間の関数）

復水タンクの枯渇時間は、水位低警報値水量 646 m^3 から上記①を引いた量の水がなくなる時間として評価される。具体的には、崩壊熱曲線に対応した崩壊熱除去に必要な補給水量積算カーブ（図 1 参照）から、復水タンク枯渇時間は、炉停止の約 12.5 時間後と評価される。

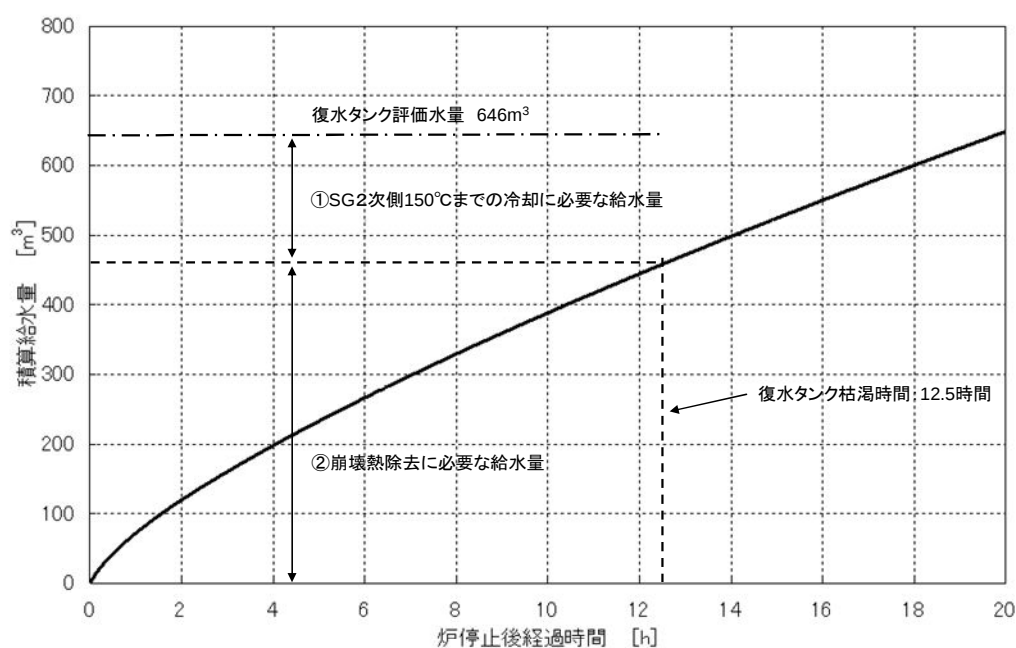


図 1 復水タンク枯渇時間評価

【SG2次側への必要補給水量の計算】

原子炉からの崩壊熱を除去し、1次冷却材の圧力と温度を0.7MPa, 170℃一定に維持するためのSG2次側への必要補給水量を以下の式で計算している。

$$\text{SG2次側への必要補給水量} = \frac{\text{崩壊熱の積算(MJ)} \times 10^3}{(\text{SG2次側飽和蒸気比エンタルピー} - \text{補給水比エンタルピー})(\text{kJ/kg}) \times \text{補給水密度}(\text{kg/m}^3)}$$

積算値(m³)

【計算条件】SG2次側飽和蒸気比エンタルピー(Tcold150℃) : 2745 kJ/kg *1
 補給水比エンタルピー(40℃) : 167 kJ/kg *1
 補給水密度(40℃) : 992 kg /m³ *1

* 1: 1999年 日本機械学会蒸気表

<補足：復水タンク枯渇時間の計算>

復水タンク（評価水量：646m³）の枯渇時間（約12.5時間）を求める際の①SG 2次側150℃までの冷却に必要な給水量及び②崩壊熱の除去に必要な給水量は、各々以下のとおりである。

①SG 2次側150℃までの冷却に必要な給水量	: 約185m ³
②崩壊熱の除去に必要な給水量	: 約461m ³
合 計	: 646m ³

ここで、②崩壊熱の除去に必要な給水量は、上記の式を用いて以下のとおり求めている。

原子炉停止後12.5時間までの積算崩壊熱 : 約1.178×10⁶ MJ

$$\begin{aligned} \text{【崩壊熱の除去に必要な給水量】} &= \frac{1.178 \times 10^6 \text{ MJ} \times 10^3}{(2745 \text{ kJ/kg} - 167 \text{ kJ/kg}) \times 992 \text{ kg/m}^3} \\ &= \text{約} 461 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

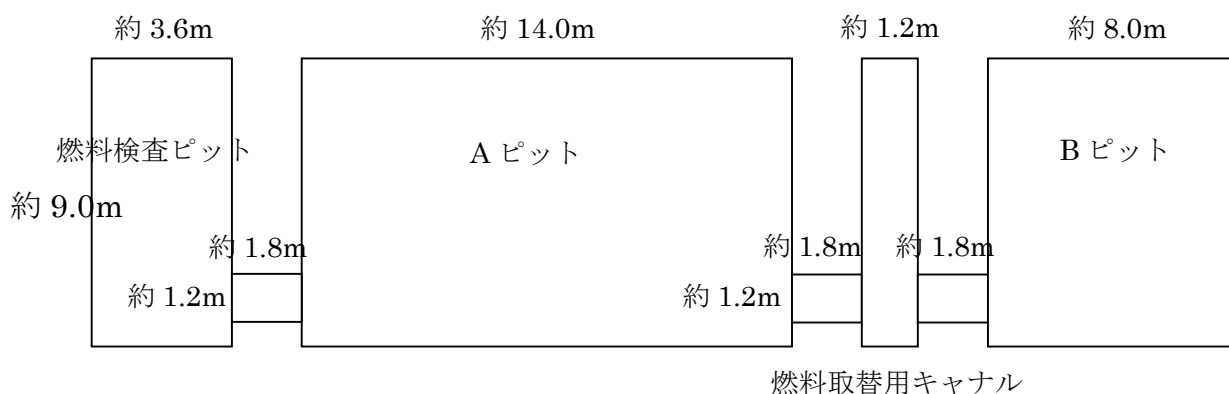
SFP水位が3m低下するまでの時間余裕について

標記の時間余裕の計算条件等について下表に示す。

表. 時間余裕評価の計算条件及び計算結果について

	停止時	運転時	備考
①3m分の評価水量 (m³) ※			
Aピット	約378m³	約378m³	
Aピットー燃料検査ピット間	約 6m³	—	運転時は A ピットと分離されるため考慮しない
燃料検査ピット	約 97m³	—	
Aピットー燃料取替用キャナル間	約6m³	—	
燃料取替用キャナル	約32m³	—	
燃料取替用キャナルーBピット間	約6m³	—	
Bピット	約216m³	—	
計	約741m³	約378m³	
②崩壊熱による保有水蒸散量	約17.33m³/h	約7.89m³/h	添付 5-(4)-8 より
③3m水位低下時間 (①／②)	約1.7日間	約1.9日間	
④水温100℃までの時間	約9時間	約24時間	5. 4、5. 5 章より
合計 (③+④)	約2.1日間	約2.9日間	

※：Aピット	：約9.0m(縦)×約14.0m(横)×3 m(高さ)
Aピットー燃料検査ピット間	：約1.2m(縦)×約1.8m(横)×3 m(高さ)
燃料検査ピット	：約9.0m(縦)×約3.6m(横)×3 m(高さ)
Aピットー燃料取替用キャナル間	：約1.2m(縦)×約1.8m(横)×3 m(高さ)
燃料取替用キャナル	：約9.0m(縦)×約1.2m(横)×3 m(高さ)
燃料取替用キャナルーBピット間	：約1.2m(縦)×約1.8m(横)×3 m(高さ)
Bピット	：約9.0m(縦)×約8.0m(横)×3 m(高さ)



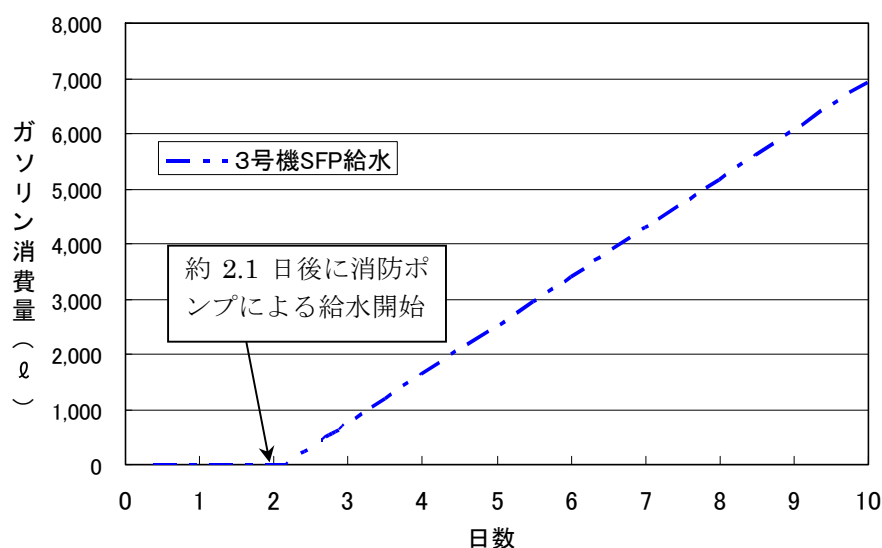
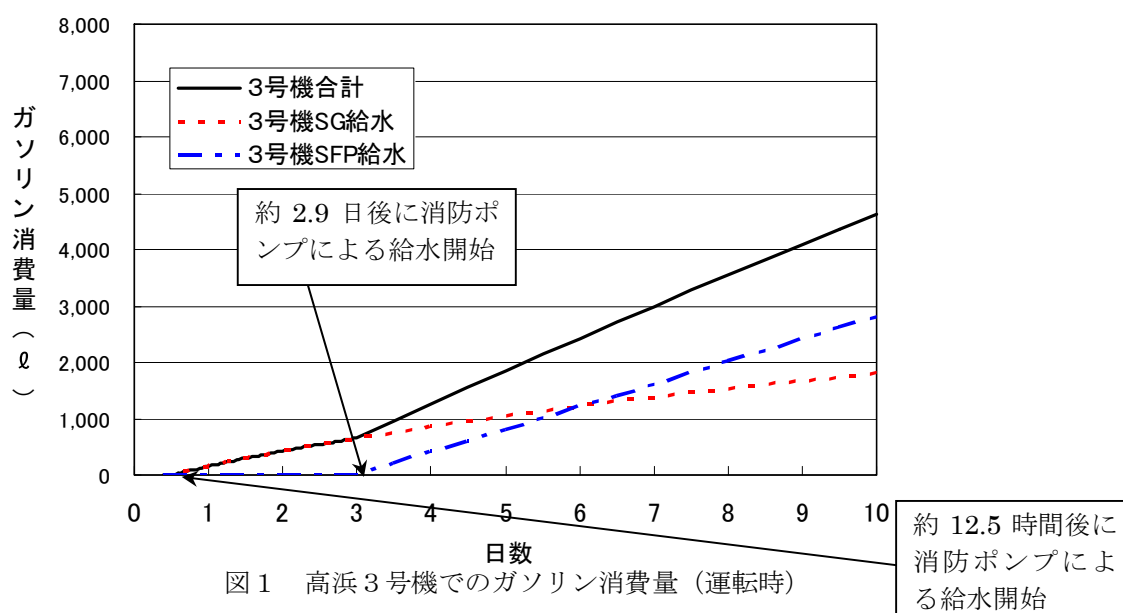
使用済燃料ピット概略図

消防ポンプを用いた海水供給の継続時間評価について

SG、SFP給水については、復水タンク水の枯渇後及びSFP水位3m低下後に消防ポンプを用いて海水を給水することとして評価している（SG給水は復水タンクに補給）。

消防ポンプはガソリンを駆動源としており、外部からの支援を期待しない条件では、発電所備蓄分のガソリンの枯渇までの時間が消防ポンプによる給水手段の継続時間となる。また、ガソリンは発電所共有としていることから、全号機（1～4号機）同時に事象が発生し、消防ポンプによる給水が必要と仮定し評価を行っている。他号機（1,2,4号機）の運転状態としては、ガソリン消費が多くなる停止時を仮定している。

以下に高浜3号機の運転時（SG及びSFPに給水）及び停止時（SFPに給水）のガソリン消費量、高浜1,2号機の停止時のガソリン消費量、高浜4号機の停止時のガソリン消費量をそれぞれ図1～4に示す。



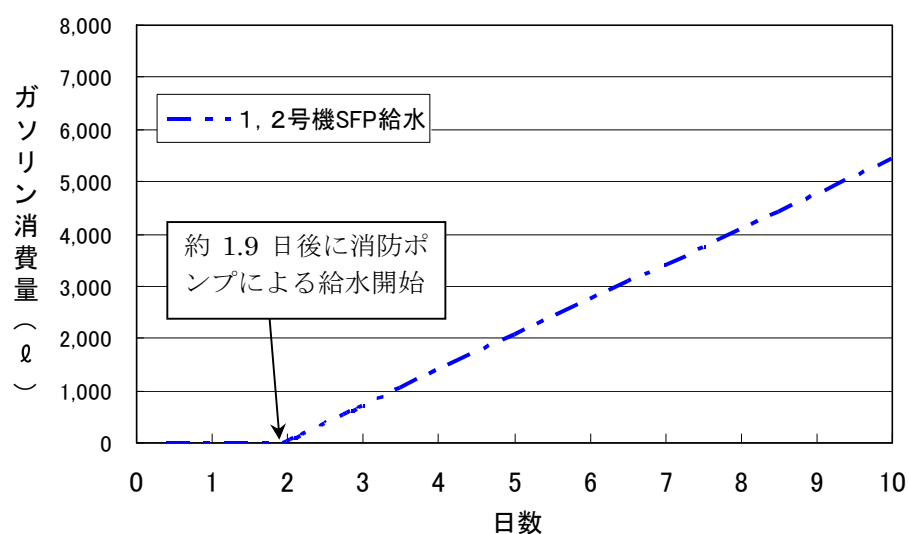


図3 高浜 1, 2号機でのガソリン消費量 (停止時)

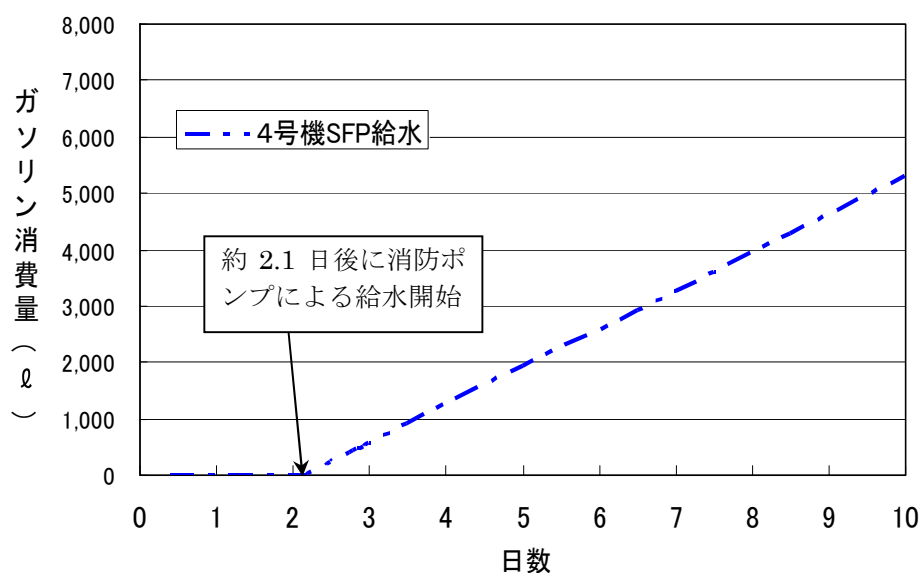


図4 高浜 4号機でのガソリン消費量 (停止時)

以上より、高浜 3号機の運転時及び停止時の場合の高浜発電所（1～4号機合計）におけるガソリン消費量は、それぞれ図5、図6のとおりとなり、発電所備蓄ガソリン（約12,150リットル）が枯渇し消防ポンプによる給水が継続できなくなるのは、高浜 3号機の運転時で約8.2日後、停止時で約7.5日後となる。

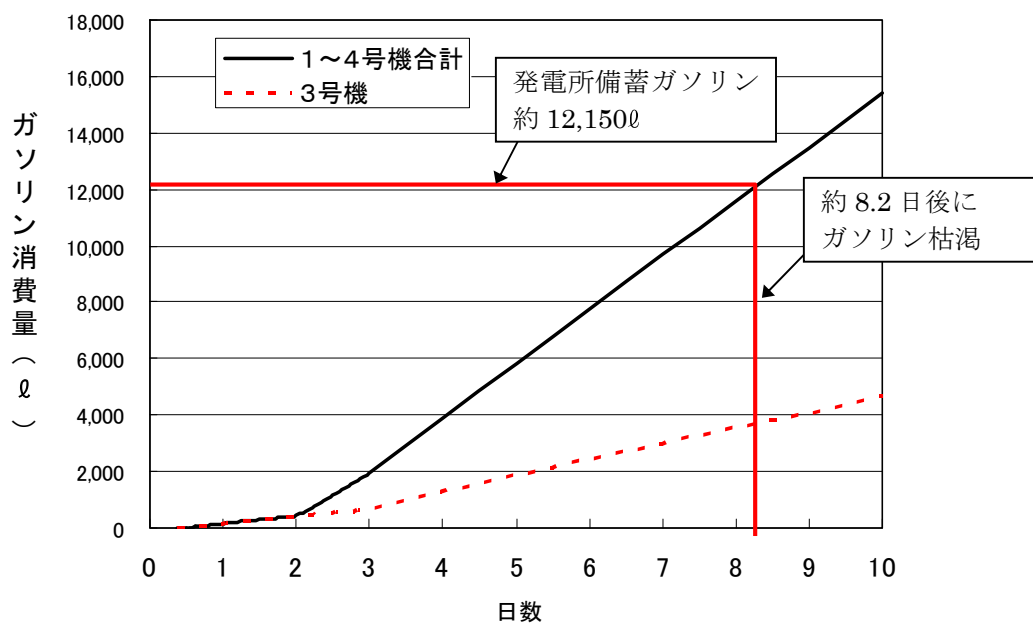


図5 高浜発電所でのガソリン消費量（3号機運転時）

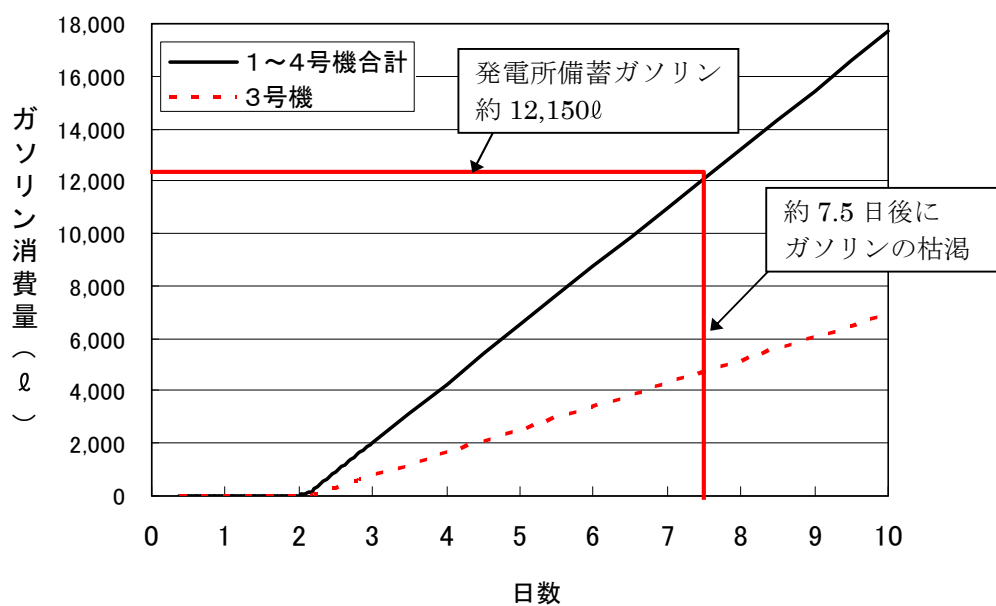


図6 高浜発電所でのガソリン消費量（3号機停止時）

空冷式非常用発電装置の運転継続時間について

非常用ディーゼル発電機燃料油貯油槽を用いた空冷式非常用発電装置の運転継続時間は、以下のとおり計算している。高浜 1～4 号機の運転状態については、停止時には電源をほとんど必要としないことから、全て運転時として評価している。

表. 空冷式非常用発電装置の運転継続時間

プラント	必要な 電源容量 [kVA]	配備容量 [kVA]	実負荷時の燃費 [ℓ/h]		非常用ディーゼル発電機燃料油 貯油槽容量(使用可能量) [m³]		継続 運転日数 [日]
高浜 1 号機	約 552	1825	約 499.5	約 152.7	約 80	約 1004 (合計)	約 83
高浜 2 号機	約 403	1825		約 124.8	約 80		
高浜 3 号機	約 362	1825		約 116.9	約 422		
高浜 4 号機	約 302	1825		約 105.1	約 422		

ヘリコプターによるガソリン等の空輸について

【空輸の拠点】

若狭方面での地震、津波に備え、若狭地域から 100km 以上離れたところにある八尾空港を空輸の拠点としている。さらに多様性の観点から、契約している会社がヘリコプターを常時置いている全国の 4 ヶ所（東京、富山、名古屋、広島）の空港も使用できるようにしている。最も遠い東京からでも約 2 時間で若狭地域へ飛行することができる。

【飛行不可能の基準】

ヘリコプターが飛行不可能となるのは、契約先の運航業務実施規則において、視界不良（雨、雪を含む）の場合と暴風の場合と規定されている。視界不良とは、有視界状態でない場合であり、航空法施行規則から飛行視程 5000m 未満又は雲高 300m 未満の気象状態の場合としている。有視界状態の条件を満たさない場合においても、飛行視程 1500m 以上で諸条件を満たせば飛行可能であるが、保守的に飛行視程 5000m 未満又は雲高 300m 未満を飛行不可能とした。若狭地域には空港がなく空港の気象データがとれないので、近傍の気象庁の観測所（敦賀及び舞鶴）の気象データを用いることとし、雲高のデータがないため視程 5000m 未満を飛行不可能とした。また、暴風とは、強風により飛行不可能な場合であり、実証されている性能を超える最大風速 15m 以上の場合とした。

【飛行不可能の評価】

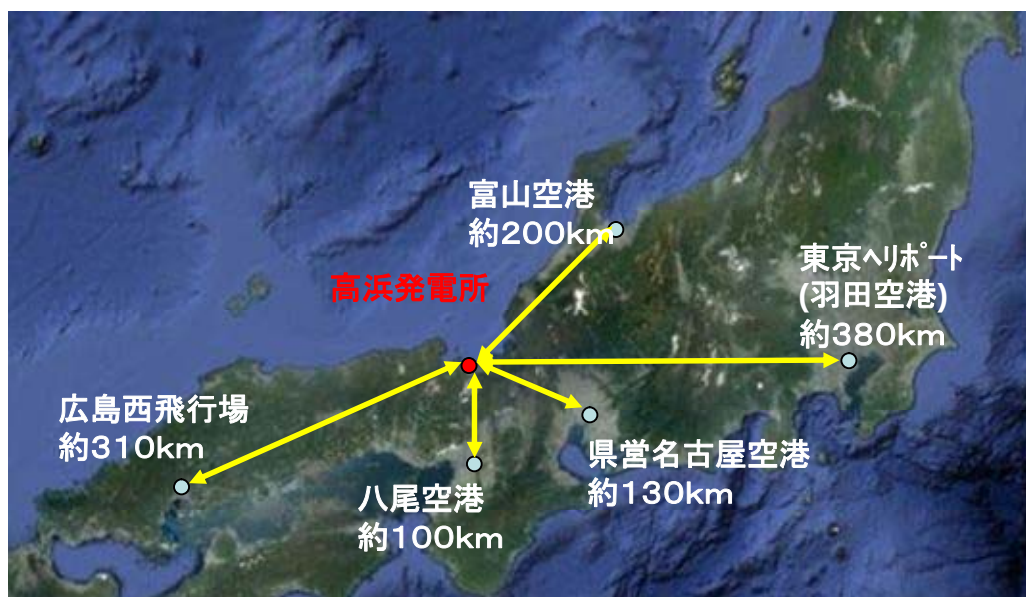
過去 20 年間（1991 年～2011 年）で拠点の中心である八尾空港において、連続して飛行できなかった日数と回数は、5 日連続が 3 回、4 日連続が 1 回、3 日連続が 7 回、2 日連続が 4 2 回であった。3 日連続以上の 1 1 回について全国の 4 ヶ所（東京、富山、名古屋、広島）の空港で飛行可否を調べたところ、全ての空港で連続して飛行不可能であった日は 3 日連続の 1 回となった。

一方、若狭地域において連続して飛行不可能と評価した日数と回数は、3 日連続は 2 回、2 日連続は気象庁の観測所のうち敦賀で 1 3 回と舞鶴で 7 回となった。

八尾空港と若狭地域で 3 日連続して飛行できなかった日については、同一時期でないことを確認している。

地震、津波及び地震・津波の重畳における冷却継続評価の時間的余裕である約 7. 5 日間の間においても輸送することが期待できる。

【高浜発電所と各空港との位置関係及び距離】



【美浜、高浜、大飯発電所、気象庁観測所及び八尾空港の位置関係】



過去20年間(1991年～2011年)における
八尾空港及び若狭地域の連続2日以上飛行できなかった状況

八尾空港

【判定基準】

項目	判定	判定基準
視界	○	飛行視程5000m以上 かつ 雲高300m以上
	×	飛行視程5000m未満 または 雲高300m未満
風	○	最大風速15m未満
	×	最大風速15m以上
飛行可否	○	視界条件○ かつ 風条件○
	×	視界条件× または 風条件×

【判定結果】

5日連続

3回

年	日	視界	風	飛行可否
1991年	12月4日	×	○	×
1991年	12月5日	×	○	×
1991年	12月6日	×	○	×
1991年	12月7日	×	○	×
1991年	12月8日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1995年	7月3日	×	○	×
1995年	7月4日	×	○	×
1995年	7月5日	×	○	×
1995年	7月6日	×	○	×
1995年	7月7日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1993年	11月2日	×	○	×
1993年	11月3日	×	○	×
1993年	11月4日	×	○	×
1993年	11月5日	×	○	×
1993年	11月6日	×	○	×

4日連続

1回

年	日	視界	風	飛行可否
1991年	12月22日	×	○	×
1991年	12月23日	×	○	×
1991年	12月24日	×	○	×
1991年	12月25日	×	○	×

3日連続

7回

年	日	視界	風	飛行可否
1991年	11月26日	×	○	×
1991年	11月27日	×	○	×
1991年	11月28日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1992年	11月29日	×	○	×
1992年	11月30日	×	○	×
1992年	12月1日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1993年	6月28日	×	○	×
1993年	6月29日	×	○	×
1993年	6月30日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1994年	12月11日	×	○	×
1994年	12月12日	×	○	×
1994年	12月13日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1992年	2月28日	×	○	×
1992年	2月29日	×	○	×
1992年	3月1日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1993年	1月13日	×	○	×
1993年	1月14日	×	○	×
1993年	1月15日	×	○	×

年	日	視界	風	飛行可否
1993年	7月8日	×	○	×
1993年	7月9日	×	○	×
1993年	7月10日	×	○	×

2日連続

42回

若狭地域

【判定基準】

項目	判定	判定基準
視界	○	視程5000m以上
	×	視程5000m未満
風	○	最大風速15m未満
	×	最大風速15m以上
飛行可否	○	視界条件○ かつ 風条件○
	×	視界条件× または 風条件×

【判定結果】

		敦賀観測所					舞鶴観測所				
3日連続 2回		年	日	視界	風	飛行可否	年	日	視界	風	飛行可否
		1995年	1月13日	×	○	×	1995年	1月13日	×	○	×
		1995年	1月14日	×	○	×	1995年	1月14日	×	○	×
		1995年	1月15日	×	○	×	1995年	1月15日	×	○	×
		年	日	視界	風	飛行可否	年	日	視界	風	飛行可否
		2006年	3月12日	×	○	×	2006年	3月12日	○	○	○
		2006年	3月13日	×	○	×	2006年	3月13日	×	○	×
		2006年	3月14日	×	○	×	2006年	3月14日	○	○	○

		敦賀観測所					舞鶴観測所				
2日連続		13 回					7 回				

八尾空港で連続3日以上飛行ができなかった日と代替空港の飛行可否

年	日	八尾空港	県営 名古屋空港	広島西 飛行場	東京ヘリ ポート	富山空港	代替空港 飛行可否
1991年	11月26日	×	×	-	×	○	○
	11月27日	×	×	-	×	○	○
	11月28日	×	×	-	×	×	×
1991年	12月4日	×	○	-	×	○	○
	12月5日	×	○	-	○	○	○
	12月6日	×	×	-	×	○	○
	12月7日	×	○	-	×	○	○
	12月8日	×	×	-	○	×	○
1991年	12月22日	×	○	-	○	○	○
	12月23日	×	×	-	○	○	○
	12月24日	×	×	-	×	×	×
	12月25日	×	○	-	×	○	○
1992年	2月28日	×	○	-	○	○	○
	2月29日	×	×	-	○	○	○
	3月1日	×	×	-	○	×	○
1992年	11月29日	×	○	-	×	○	○
	11月30日	×	○	-	○	○	○
	12月1日	×	×	-	×	×	×
1993年	1月13日	×	×	-	○	○	○
	1月14日	×	×	-	×	×	×
	1月15日	×	×	-	×	×	×
1993年	6月28日	×	×	-	×	○	○
	6月29日	×	×	-	×	×	×
	6月30日	×	×	-	×	○	○
1993年	7月8日	×	○	-	○	○	○
	7月9日	×	×	-	○	○	○
	7月10日	×	×	-	○	○	○
1993年	11月2日	×	○	○	○	○	○
	11月3日	×	○	○	○	○	○
	11月4日	×	○	○	×	○	○
	11月5日	×	○	○	×	○	○
	11月6日	×	○	○	×	○	○
1994年	12月11日	×	×	×	×	○	○
	12月12日	×	○	○	×	○	○
	12月13日	×	○	○	×	○	○
1995年	7月3日	×	×	×	○	○	○
	7月4日	×	×	×	×	×	×
	7月5日	×	×	×	×	×	×
	7月6日	×	×	×	×	×	×
	7月7日	×	○	×	×	○	○

○:飛行可 ×:飛行不可 -:開港前

八尾空港以外の代替空港が利用できたと評価できる日を除くと、
連続して飛行ができない日は最大3日となる。