

蒸気発生器への給水機能

設備	分類	設備概要		保全頻度	保全内容	備考
タービン動補助給水ポンプ	イ)	容量 m ³ /h	80	4定検に1回	部品の目視点検、取替など	
		吐出圧力 MPa	9.3	1ヶ月間に1回	起動試験	
電動補助給水ポンプ	イ)	容量 m ³ /h	40	4定検に1回	部品の目視点検、取替など	
		吐出圧力 MPa	9.3	1ヶ月間に1回	起動試験	
復水タンク	イ)	容量 m ³	300	5定検に1回	タンク内部の目視点検、パッキン類の取替など	
		基数	1			
No.1 2次系純水タンク	ハ)	容量 m ³	1500	5年間に1回	タンク内部の目視点検、パッキン類の取替など	
		基数	1			
No.1.2 淡水タンク	ハ)	容量 m ³	3000	5年間に1回	タンク内部の目視点検、パッキン類の取替など	
		基数	2			
消防ポンプ	ハ)	容量 m ³ /h	36.0	1年間に2回	外観点検・機能点検	燃料: ガソリン
		放水圧力 MPa	1.0	1年間に1回	総合点検	
屋外消火栓	ハ)	補給流量 m ³ /h	29(実績値)	1年間に2回	外観点検	
		放水圧力 MPa	0.25~0.6			
ディーゼル消火ポンプ	ハ)	容量 m ³ /h	650	4年間に1回	部品の目視点検、取替など	燃料: 重油
		揚程 m	100	1ヶ月間に1回	定期確認	

使用済燃料ピットへの給水機能

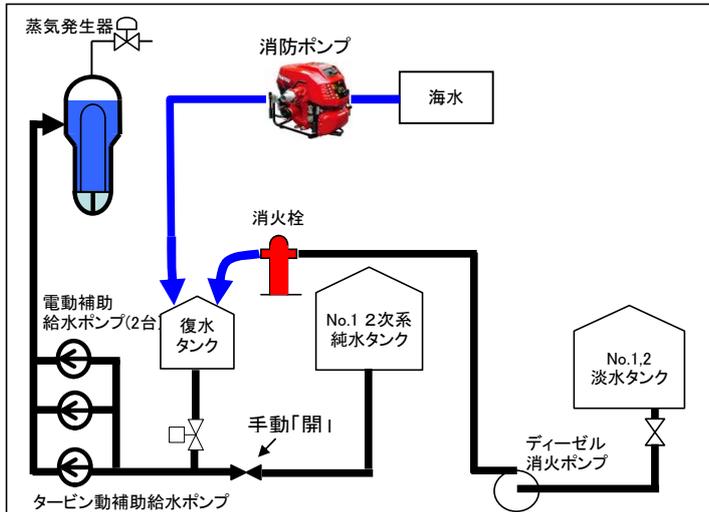
設備	分類	設備概要		保全頻度	保全内容	備考
No.1.2 淡水タンク	ハ)	容量 m ³	3000	5年間に1回	タンク内部の目視点検、パッキン類の取替など	
		基数	2			
1次系純水タンク	ハ)	容量 m ³	225	10定検に1回	タンク内部の目視点検、パッキン類の取替など	
		基数	1			
1次系純水ポンプ	ハ)	容量 m ³ /h	50	10定検に1回	部品の目視点検、取替など	
		揚程 m	70	3ヶ月間に1回	定期切替	
消防ポンプ	ハ)	容量 m ³ /h	52.8	1年間に2回	外観点検・機能点検	燃料: ガソリン
		放水圧力 MPa	1.0	1年間に1回	総合点検	
防火水槽	ハ)	容量 m ³	60	1年間に2回	外観点検 水位確認	
		基数	1			
屋内消火栓	ハ)	補給流量 m ³ /h	10.8(実績値)	1年間に2回	外観点検	
		放水圧力 MPa	0.17~0.7			
屋外消火栓	ハ)	補給流量 m ³ /h	31(実績値)	1年間に2回	外観点検	
		放水圧力 MPa	0.25~0.6			
ディーゼル消火ポンプ	ハ)	容量 m ³ /h	650	4年間に1回	部品の目視点検、取替など	燃料: 重油
		揚程 m	100	1ヶ月間に1回	定期確認	

分類の説明

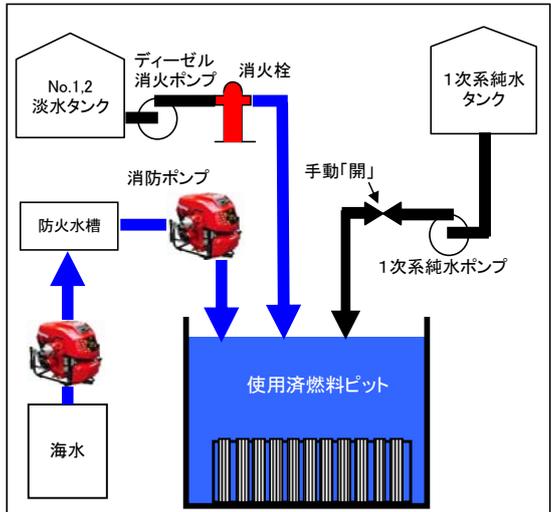
・防護措置に係る設備を以下に分類する。

記号	分類
イ)	工事計画で対象とした設備
ロ)	実施済みのアクシデントマネジメント設備
ハ)	緊急安全対策(短期)
ニ)	設備強化対策(緊急安全対策に係る実施状況報告書にて計画されているもののうち設置済みの設備)

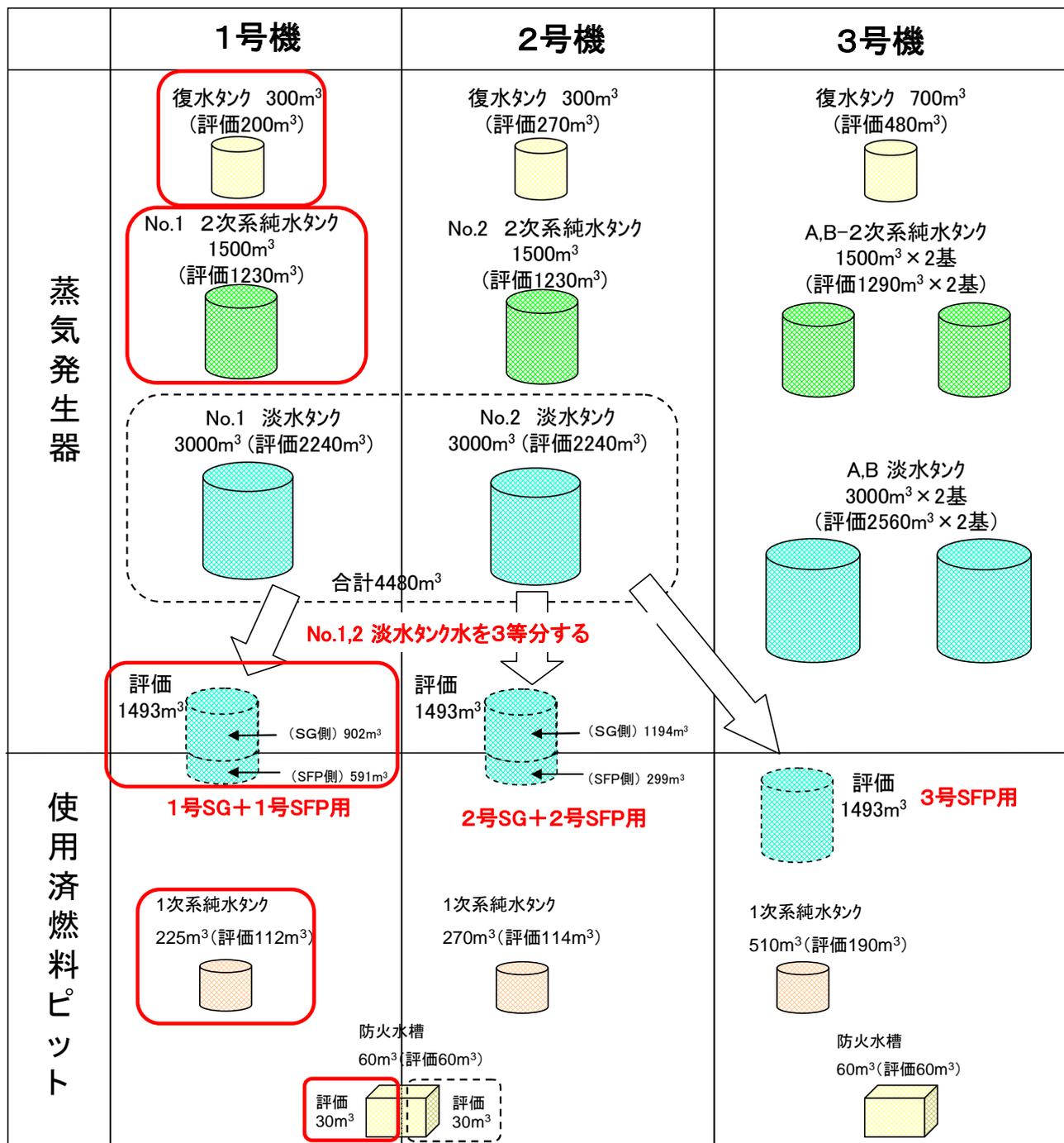
蒸気発生器への給水機能 概念図



使用済燃料ピット給水機能 概念図

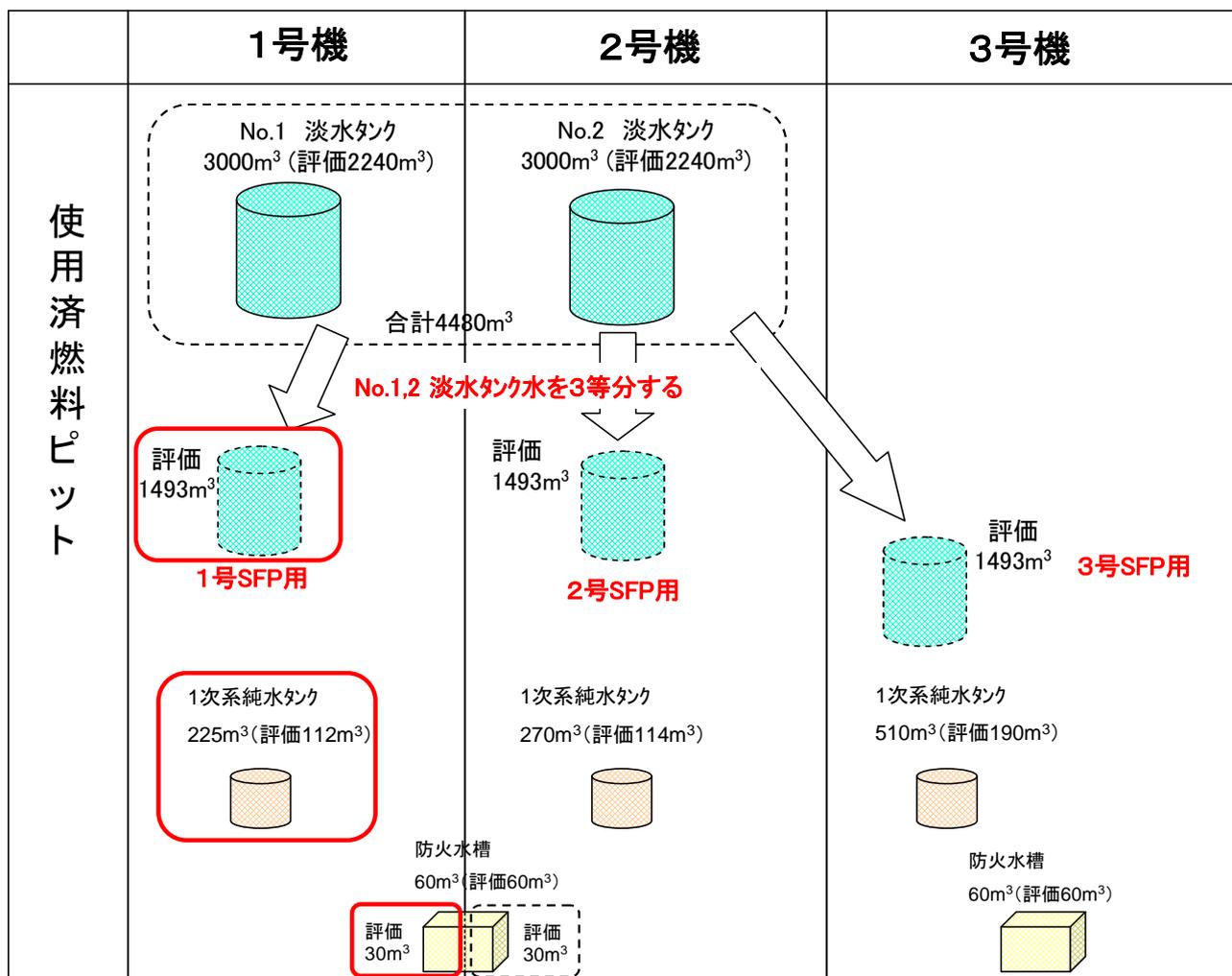


美浜発電所のタンクの使用割り当て(運転時)



()内の評価に使用する保有水量: 復水タンクは保安規定値を使用、1次系純水タンク、防火水槽は運用水位、
 その他は水位低警報設定の保有水量とした。

美浜発電所のタンクの使用割り当て(停止時)



()内の評価に使用する保有水量: 1次系純水タンク、防火水槽は運用水位、淡水タンクは水位低警報設定の保有水量とした。

防護措置の実施に係る組織等の状況確認

1) 組織、実施体制、連絡通報体制

防護措置の実施に係る組織・体制は、美浜発電所において「美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達」を制定（平成 23 年 4 月 12 日）している。添付 5-(5)-3(2/3)に体制表を示す。

この、「美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達」では、電源応急復旧のための活動、蒸気発生器への給水確保のための活動および使用済燃料ピットへの給水確保のための活動を遂行するための体制、役割分担、要員配置、手順、訓練、資機材等について定めている。

2) 手順書

防護措置の実施に係る手順書は、「美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達」および「美浜発電所 1 号機事故時操作所則」に具体的な手順書を定めている。

これら社内標準は、防護措置の実施に必要な資機材の追加・変更、または実施手順の追加・変更等がある毎に適切に改正している。

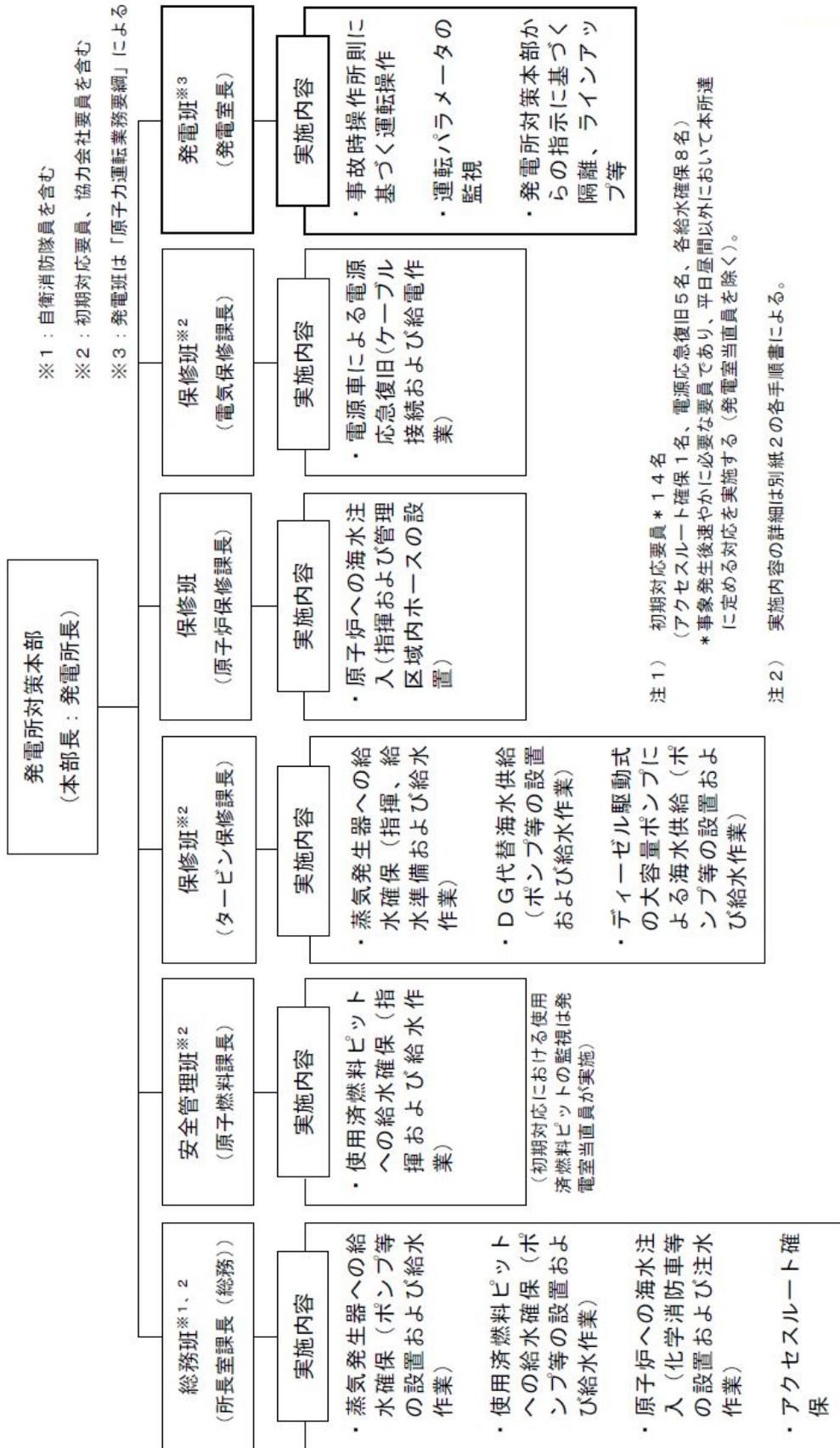
3) 教育・訓練の状況

防護措置の実施に係る教育・訓練は、「美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達」および「運転員教育訓練要綱指針」に実施項目、対象者、頻度等を定めている。

「美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達」の制定にあたっては、電源応急復旧のための活動、蒸気発生器への給水確保のための活動および使用済燃料ピットへの給水確保のための活動に関する全ての方法について、夜間や照明が使えない等で視界が悪い場合をも含めた訓練を実施し、改善点を抽出し、フィードバックを行った。また、実施手順の追加・変更等を踏まえて社内標準を改正する際にも、当該の手順の訓練を実施したうえで、改善点を抽出し、改正している。添付 5-(5)-3(3/3)に訓練の実績を示す。

また、「運転員教育訓練要綱指針」を改正し、これまでも継続的に実施しているシミュレータによる地震対応訓練において、交流電源を供給する全ての設備の機能、海水を使用して原子炉施設を冷却する全ての設備の機能および使用済燃料ピットを冷却する全ての設備の機能の喪失を想定した教育・訓練を行うことを定めている。

体制、役割分担、および要員配置



出典：美浜発電所電源機能等喪失時における原子炉施設の保全のための活動に係る対応所達(平成24年8月13日最終改正)

<美浜1号機>

訓練実施結果

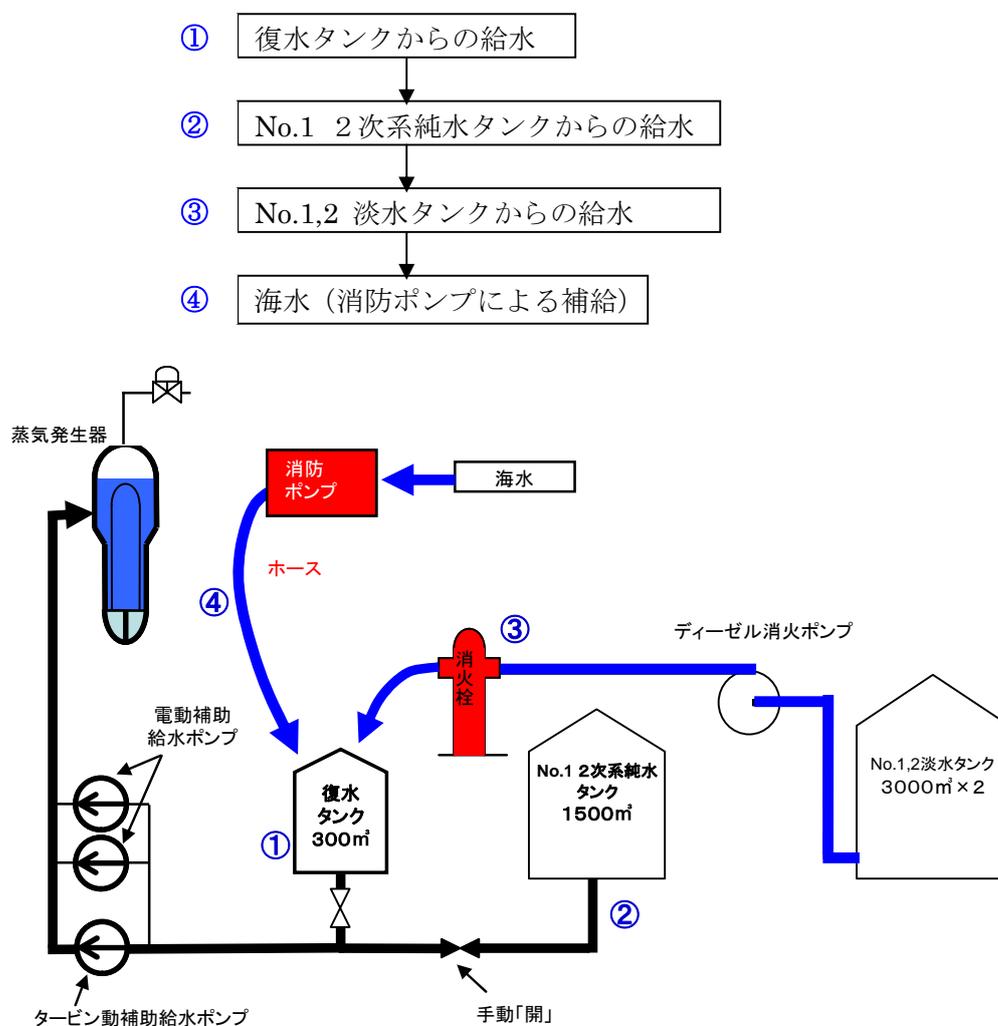
訓練内容		訓練実施日	所要時間	訓練結果及び改善点
電源車による 電源応急復旧	電源車の配置、ケーブル敷設、 制御盤への繋ぎ込み、給電	4月7日 4月12日*1 4月21日*2	69分(D /G室)	訓練結果:良好 改善点:ケーブル接続や扉開放作業で、ボルトの大きさが違い、工具の変更が必要になるため、適正工具があれば、作業効率が向上する。また、給電先の健全性確認とあわせて電源車を手配する手順書とすることで、作業効率が向上する。
		4月7日 4月12日*1 4月21日*2	84分 (オープンハッチ)	*1:燃料補給訓練(3号機オープンハッチ側の訓練で代える。) *2:電源車保管場所変更に伴う配置訓練
	全ユニット(1号機~3号機)が同時に全交流電源喪失した場合の初動対応を想定した、電源車の配置、ケーブル敷設、制御盤への繋ぎ込み、給電	4月25日	126分*3	訓練結果:良好 *3:1号機~3号機の全てのユニットへの給電が完了するまでの時間
蒸気発生器への 給水確保	方法① 復水タンクからの水補給	4月7日	-	訓練結果:良好
	方法② 2次系純水タンクからの水補給	4月7日 (日中及び夜間)	18分 (日中) 18分 (夜間)	訓練結果:良好
	方法③ 淡水タンクからの水補給(消火栓)	4月7日 (日中及び夜間)	11分 (日中) 10分 (夜間)	訓練結果:良好 改善点:計画していたホースの敷設距離が長過ぎるため、ホース本数を最適化することで、作業効率が向上する。
	方法④ 淡水タンクからの水補給(消防ポンプ)	4月7日	21分	訓練結果:良好 改善点:消防ポンプ運搬経路に障害物としてある架台の改善により運搬がし易くなり、作業効率が向上する。
	方法⑤ 海水からの水補給(消防ポンプ)	4月7日	26分	訓練結果:良好 改善点:放水口までの消防ポンプ運搬距離が長いので、運搬台車を用いれば、作業効率が向上する。
	全ユニット(1号機~3号機)が同時に全交流電源喪失した場合の初動対応を想定した、淡水タンクからの水補給(消防ポンプ)	4月25日	82分*4	訓練結果:良好 *4:初動対応を想定し、1号機及び2号機への水補給が完了するまでの時間
使用済燃料ピットへの 給水確保	方法① 淡水タンクからの水補給(屋内消火栓)	4月7日	44分	訓練結果:良好 改善点:消火ホースは、1次系、2次系それぞれで準備する本数を明記することで、資機材の管理が容易となる。(方法②~⑤も同じ。)
	方法② 淡水タンクからの水補給(屋外消火栓)	4月7日	60分	訓練結果:良好
	方法③ 1次系純水タンクからの水補給	4月7日	-*5	訓練結果:良好 *5:通常の運転員操作(10分程度)のため、手順書及び系統図での確認を実施。
	方法④ 防火水槽からの水補給(消防ポンプ)	4月7日	44分	訓練結果:良好 改善点:計画していたホースの敷設距離が長過ぎるため、ホース本数を最適化することで、作業効率が向上する。
	方法⑤ 海水からの水補給(消防ポンプ)	4月7日	60分	訓練結果:良好 改善点:2号機での改善点を反映し、ホース本数とあわせてポンプ台数も適正化し、4月11日に必要な流量が確保されることを確認した。

出典：平成 23 年福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策に係る
実施状況報告書（改訂版）（美浜発電所）

蒸気発生器への給水機能（美浜 1 号機）

1. 蒸気発生器への給水方法

最終ヒートシンク喪失時に、以下の各水源からタービン動補助給水ポンプにより蒸気発生器 2 次側へ給水することにより、一次冷却材系統の除熱を行い、プラントを安定維持させる。



2. 蒸気発生器への補給水源

水源	容量	1 号機の評価に用いた保有水量
復水タンク	約 300 m ³	200 m ³ ：保安規定値
No. 1 2 次系純水タンク	約 1500 m ³	1230 m ³ ：タンクの水位低警報設定容量とした。
No. 1, 2 淡水タンク	約 3000 m ³ × 2 基	902 m ³ ：タンクの水位低警報設定容量とした。
海水	—	—

3. 給水量評価に用いた崩壊熱

炉心崩壊熱については、最も厳しい条件となるよう 48,000MWd/t（3 回照射）、32,000MWd/t（2 回照射）及び 16,000MWd/t（1 回照射）の燃焼度のウラン燃料（初期濃縮度 3.8wt%）が 1/3 ずつ存在するとし、約 1 年間運転した状態を想定した。

崩壊熱は、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定、平成 4 年 6 月 11 日一部改訂）」において使用が認められている日本原子力学会推奨値（不確定性（3σ）込み）を用いた。アクチノイド崩壊熱に関しては十分実績のある ORIGEN2 コード評価値（不確定性（20%）込み）を用いた。

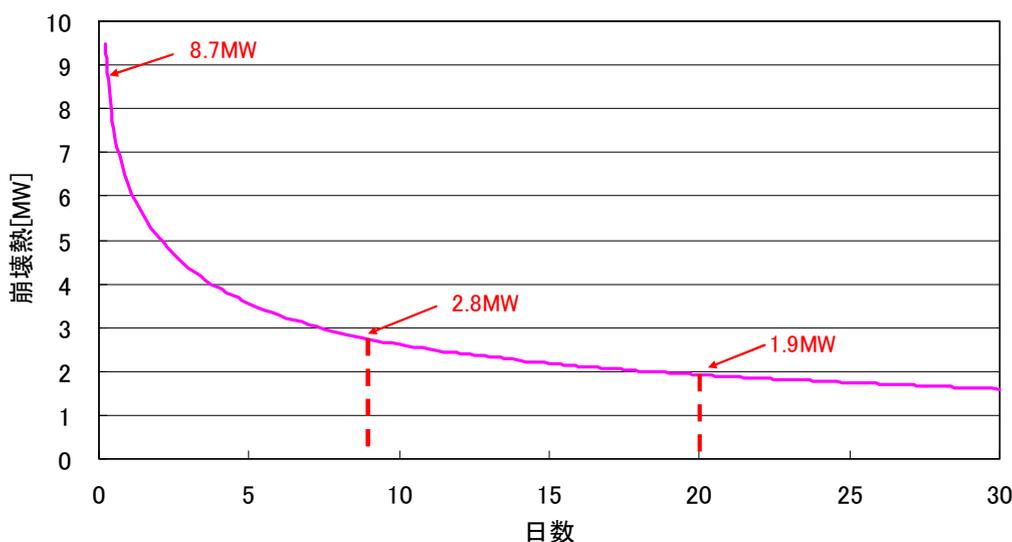


図 1 崩壊熱の変化

4. 給水流量の評価

全蒸気発生器（2 ループ分）へのトータル必要補給水量は以下の式にて計算した。

$$S/G \text{ 必要補給水量} [m^3/h] = \frac{\text{崩壊熱} [MW] \times 10^3 \times 3600}{(S/G \text{ 2 次側飽和蒸気比エンタルピー} - \text{補給水比エンタルピー}) [kJ/kg] \times \text{補給水密度} [kg/m^3]}$$

・・・式 1

【計算条件】 S/G2 次側飽和蒸気比エンタルピー(150℃)	: 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/m ³ *1

* 1: 1999 日本機械学会蒸気表

- 最終ヒートシンク喪失直後から 5 時間については、復水タンクからタービン動補助給水ポンプを用いて蒸気発生器 2 次側に給水する。復水タンクからの給水により、一次冷却材系統の 170℃までの冷却と、最終ヒートシンク喪失からの崩壊熱除去を行う。
- 復水タンクの水がなくなると、No. 1 2 次系純水タンクを水源とするよう系統を変更し、同様にタービン動補助給水ポンプにより給水を行なう。この時点での崩壊熱は、図 1 か

ら、8.7 MW であり、この崩壊熱を除去するのに必要な水量は式 1 より約 13m³/h である。その後、崩壊熱量の低下とともに補給水量についても低減しながら原子炉冷却を進め、No. 1 2次系純水タンク保有水量がなくなる事象発生後約 9 日後には、崩壊熱は 2.8 MW、必要水量は約 4 m³/h となる。

- その後、水源を No. 1, 2 淡水タンクに変更、復水タンクへ水を補給し、引き続き蒸気発生器 2 次側へ給水を行なう。
- 事象発生後約 20 日後 (No. 1 2次系純水タンク以降約 11 日後) には、No. 1, 2 淡水タンク内の水もなくなり、海水を復水タンクへ補給し蒸気発生器 2 次側に給水することになる。この時点での崩壊熱は 1.9 MW、必要となる水量は約 3 m³/h である。

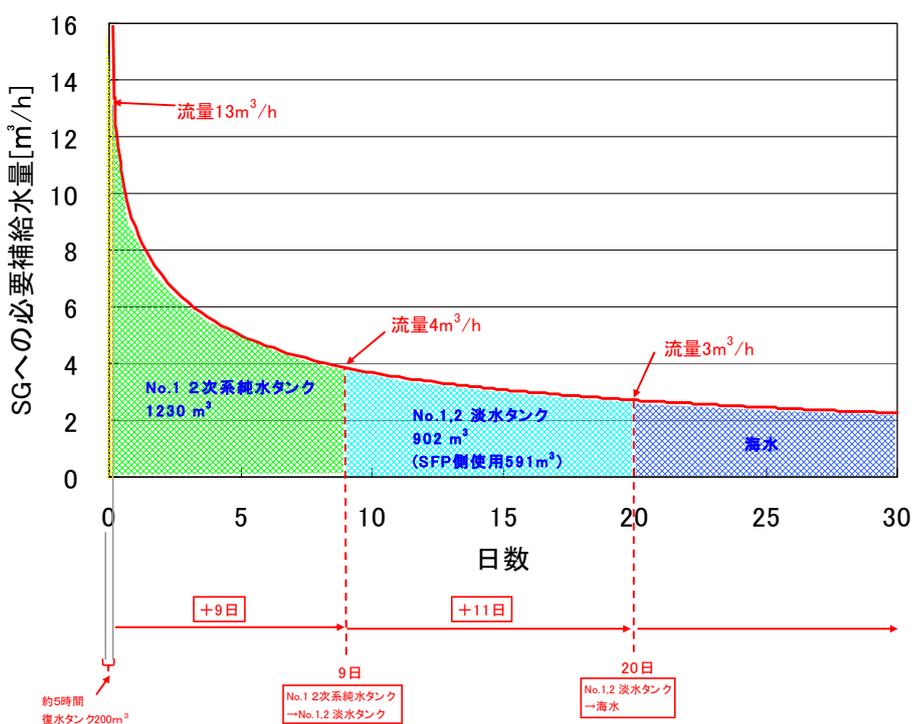


図 2 水源と補給水量の変化

必要補給水量

	No. 1 2次系純水タンク への切替時	No. 1, 2 淡水タンク への切替時	海水への切替時
必要補給水量	約 13 m ³ /h	約 4 m ³ /h	約 3 m ³ /h

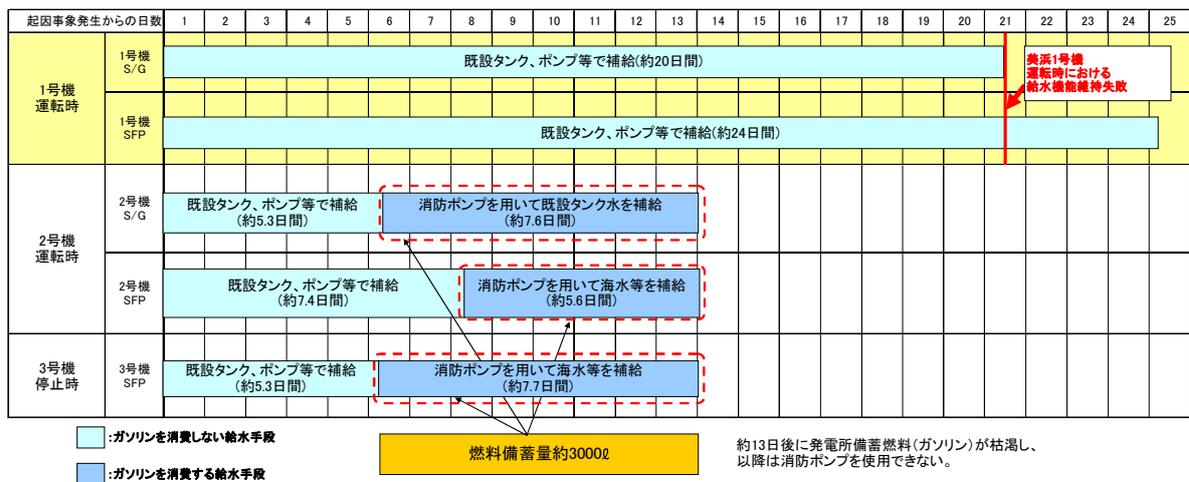
以上より、各水源からの補給水の供給可能時間は下表のとおりとなる。

補給水供給可能時間

復水タンク	約 5 時間
No. 1 2次系純水タンク	約 9 日
No. 1, 2 淡水タンク	約 11 日
海水	燃料補給が継続する時間

給水機能と消防ポンプ燃料(ガソリン)消費量の関係 (1号機運転時)

海水等の補給に用いる消防ポンプの燃料(ガソリン)は、発電所共有としており1号機以外(2,3号機)にも使用することから、全号機同時に最終ヒートシンク喪失が発生したと仮定し、発電所備蓄ガソリンの消費が早くなる他号機の初期状態(運転時又は停止時)の組合せを設定して評価を行った。評価の結果、下表のとおり2号機が運転時、3号機が停止時の場合に発電所備蓄ガソリンの枯渇は早くなり、約13日後に枯渇することとなる。



(参考) 2,3号機の初期状態(運転時又は停止時)の検討



⇒2号機が運転時の方がガソリン消費は早い



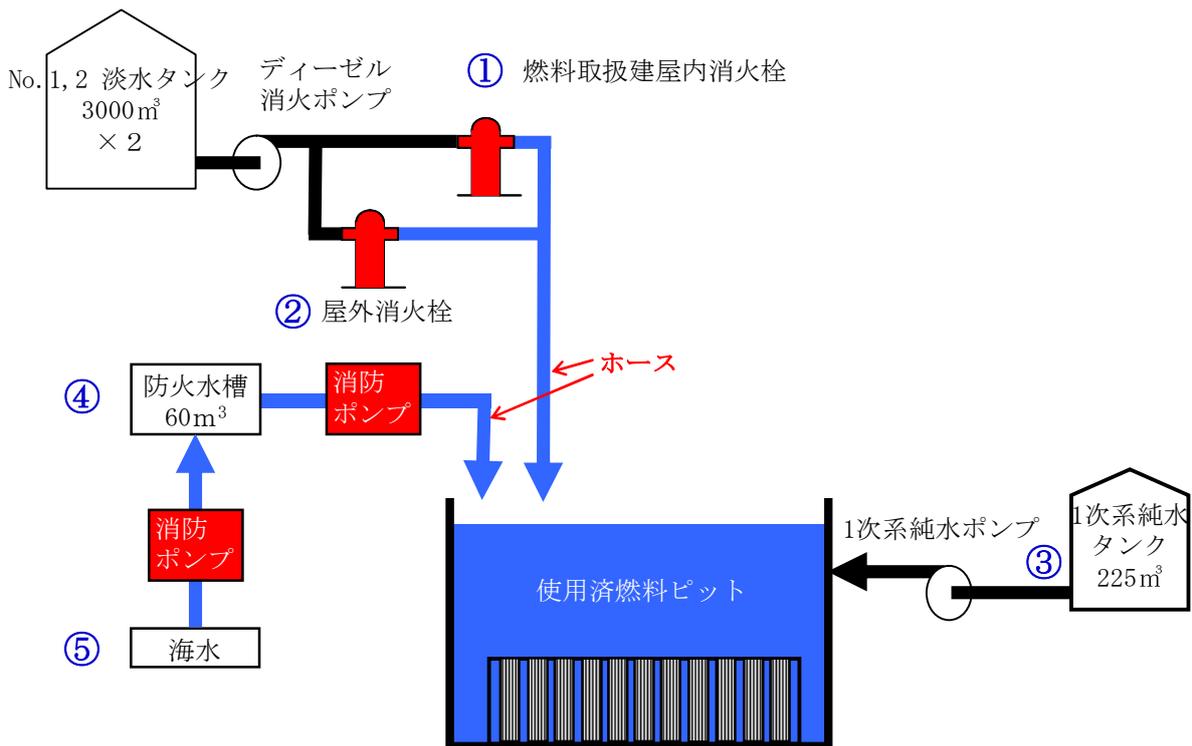
⇒3号機が停止時の方がガソリン消費は早い

使用済燃料ピット（SFP）への給水機能（美浜1号機）

1. SFPへの給水方法

最終ヒートシンク喪失時に使用済燃料ピット冷却系統が使用不能となった場合に、SFP保有水の蒸散量を補うために以下の水源からSFPへ給水を行う。なお、SFPへの給水はSFP水位を維持する形で行う。

- ① No. 1, 2 淡水タンクからの給水（燃料取扱建屋内消火栓）
- ② No. 1, 2 淡水タンクからの給水（屋外消火栓）
- ③ 1次系純水タンクからの給水（1次系純水ポンプ）
- ④ 防火水槽からの給水（消防ポンプ）
- ⑤ 海水（消防ポンプによる補給）



2. SFPへの補給水源

水源	容量	評価に用いた保有水量
No. 1, 2 淡水タンク	3,000 m ³ × 2 基	停止時 1,493 m ³ 、運転時 591 m ³ ：(タンク1基の水位低警報設定容量 2,240 m ³) × 2 基のうち1号機用評価水量
1次系純水タンク	225 m ³ × 1 基	112 m ³ ：タンクの運用水位
防火水槽	60 m ³ × 1 基	30 m ³ ：防火水槽の評価水量 60 m ³ のうち1号機用評価水量
海水	—	—

3. 給水量評価に用いた崩壊熱

SFPの崩壊熱評価条件としては、原子炉運転停止中（停止時）と原子炉運転中（運転時）の2つの条件を設定し評価した。

停止時については、原子炉の運転停止後、全ての燃料が原子炉からSFPに移送された状態とし、過去の許認可におけるSFPの崩壊熱除去に係る評価に使用した条件を用いた。評価条件を表1に示す。

運転時については、上記評価に対し、運転中の状態を考慮し以下の条件を追加した。

- ・ 停止時に一時的に取り出された1回、2回及び3回照射燃料については炉心に装荷されているためSFPの評価ではこれらは考慮しない。
- ・ 使用済燃料の冷却期間については、運転開始（停止期間30日）直後とする。

なお、崩壊熱に関してはANSI/ANS-5.1-1979のモデルを用いている。ANSI/ANS-5.1-1979に基づいて作成した崩壊熱曲線については、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会、平成4年6月11日一部改訂）」においてその使用が認められている。

表1 崩壊熱評価条件

	美浜1号機
燃料条件	ウラン燃料 ・ 燃焼度：4回照射燃料 48,000MWd/t 3回照射燃料 36,000MWd/t 2回照射燃料 24,000MWd/t 1回照射燃料 12,000MWd/t ・ ウラン濃縮度：3.8wt%
運転期間	13ヶ月
停止期間	30日
燃料取出期間	11.5日

注：美浜1号機SFPクーラ増設に伴う工事計画認可申請（平成3年10月申請）におけるSFP冷却設備の評価条件

4. 給水流量の評価

SFPへの必要補給水量は、SFP保管の燃料の崩壊熱Qによる保有水の蒸散量 $\Delta V / \Delta t$ (m^3/h) として、下記式1で計算した。

$$\Delta V / \Delta t (\text{m}^3/\text{h}) = Q (\text{kW}) \times 3600 / (\rho (\text{kg}/\text{m}^3) \times h_{fg} (\text{kJ}/\text{kg})) * 1 \quad \dots \text{【式1】}$$

ρ (飽和水密度)	: 958kg/m ³	* 2 (プラント共通)
h_{fg} (飽和水蒸発潜熱)	: 2,257kJ/kg	* 2 (プラント共通)
Q (SFP崩壊熱)	: 2,942kW	* 3 (美浜1号機, 停止時)
	: 722kW	* 3 (美浜1号機, 運転時)

- *1 : $(\rho \times \Delta V)$ (kg) の飽和水が蒸気になるための熱量は $h_{fg} \times (\rho \times \Delta V)$ (kJ) で、使用済燃料の Δt 時間あたりの崩壊熱量 $Q \Delta t$ に等しい。
なお、保有水は保守的に大気圧下での飽和水 (100°C) として評価している。
- *2 : 物性値の出典 : 国立天文台編「理科年表」
- *3 : 表 3 参照。S F P 崩壊熱については、時間の経過とともに低下していくが、保守的に一定として評価している。

以上から、崩壊熱による保有水の蒸散を補うために必要な補給水量は、蒸散量 $\Delta V / \Delta t$ (m^3/h) と等しく、全炉心取出しを考慮する停止時については $4.90 m^3/h$ 、運転時については、 $1.20 m^3/h$ となる。

各水源からの補給水の供給可能時間は、水源の容量と上記補給水量から求められ、表 2 のとおりである。

表 2 各水源からの補給水の供給可能時間

	停止時	運転時
No. 1, 2 淡水タンク	約 1 3 日	約 2 0 日
1 次系純水タンク	約 2 2 時間	約 9 3 時間
防火水槽	約 6 時間	約 2 5 時間
海水	燃料補給が継続する期間	燃料補給が継続する期間

以上

表 3-1 停止時に想定する S F P 保管燃料と崩壊熱 (美浜 1 号機)

取出燃料	美浜 1 号機からの発生分		崩壊熱*	
	冷却期間	燃料数	($\times 10^6$ kcal/h)	(MW)
6 サイクル冷却済燃料	6 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	17	0.01	
5 サイクル冷却済燃料	5 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	1 / 4 炉心	0.02	
4 サイクル冷却済燃料	4 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	1 / 4 炉心	0.03	
3 サイクル冷却済燃料	3 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	1 / 4 炉心	0.04	
2 サイクル冷却済燃料	2 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	1 / 4 炉心	0.05	
1 サイクル冷却済燃料	1 \times (13ヶ月+30日) + 11.5日	1 / 4 炉心	0.09	
定検時取出燃料 4	11.5日	1 / 4 炉心	0.61	
定検時取出燃料 3	11.5日	1 / 4 炉心	0.58	
定検時取出燃料 2	11.5日	1 / 4 炉心	0.57	
定検時取出燃料 1	11.5日	1 / 4 炉心	0.54	
小計			2.53	2.942
崩壊熱合計 (MW)	崩壊熱 : 2.942MW (燃料体数 : 288体)			

*: 崩壊熱の合計は、四捨五入の関係で個々の発生熱量の合計とはならない場合がある。

1cal = 4.186J

注 1 : 美浜 1 号機 S F P クーラ増設に伴う工事計画認可申請書 (平成 3 年 10 月申請) における S F P 冷却設備の評価条件

注 2 : 美浜 1 号機の S F P の燃料保管容量は 288 体

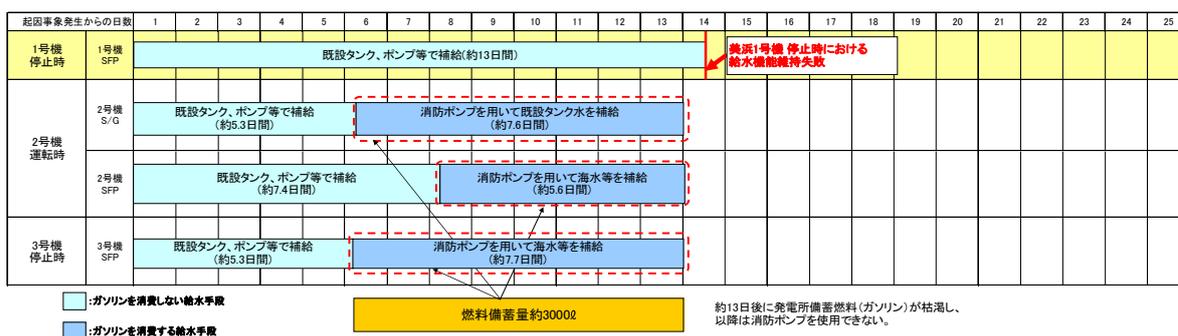
表 3-2 運転時に想定する S F P 保管燃料と崩壊熱 (美浜 1 号機)

取出燃料	美浜 1 号機からの発生分		
	冷却期間	燃料数	崩壊熱 (MW)*
6 サイクル冷却済燃料	6 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	17	0.012
5 サイクル冷却済燃料	5 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	1 / 4 炉心	0.025
4 サイクル冷却済燃料	4 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	1 / 4 炉心	0.031
3 サイクル冷却済燃料	3 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	1 / 4 炉心	0.040
2 サイクル冷却済燃料	2 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	1 / 4 炉心	0.058
1 サイクル冷却済燃料	1 × (13 ヶ月 + 30 日) + 30 日	1 / 4 炉心	0.099
定検時取出燃料 4	30 日	1 / 4 炉心	0.457
定検時取出燃料 3	(炉心)	0	0
定検時取出燃料 2	(炉心)	0	0
定検時取出燃料 1	(炉心)	0	0
小計			0.722
崩壊熱合計 (MW)	崩壊熱 : 0.722MW (燃料体数 : 198体)		

*: 崩壊熱の合計は、四捨五入の関係で個々の発生熱量の合計とはならない場合がある。

給水機能と消防ポンプ燃料(ガソリン)消費量の関係 (1号機停止時)

海水等の補給に用いる消防ポンプの燃料(ガソリン)は、発電所共有としており1号機以外(2,3号機)にも使用することから、全号機同時に最終ヒートシンク喪失が発生したと仮定し、発電所備蓄ガソリンの消費が早くなる他号機の初期状態(運転時又は停止時)の組合せを設定して評価を行った。評価の結果、下表のとおり2号機が運転時、3号機が停止時の場合に発電所備蓄ガソリンの枯渇は早くなり、約13日後に枯渇することとなる。



(参考) 2,3号機の初期状態(運転時又は停止時)の検討



⇒2号機が運転時の方がガソリン消費は早い



⇒3号機が停止時の方がガソリン消費は早い