

# 使用済燃料プール等に関する検討

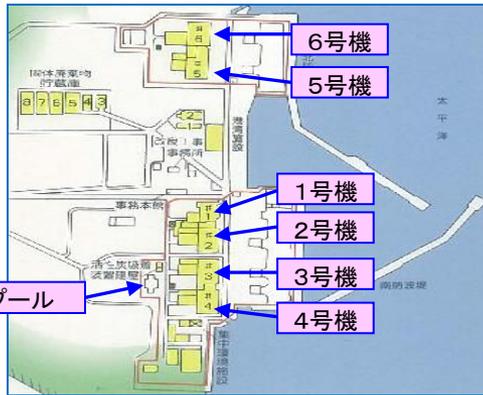
平成24年1月20日  
原子力安全・保安院

# 目次

1. 福島第一原子力発電所事故時における使用済燃料プールの状況・・・	2
2. 使用済燃料プールの水位と温度の推移・・・・・・・・・・・・・・・・	3
3. 使用済燃料プール内の状況・・・・・・・・・・・・・・・・	4
4. 使用済燃料プール冷却の代替手段に関する海外対応状況・・・・・・・・	6
5. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・	8

# 1. 福島第一原子力発電所事故時における使用済燃料プールの状況

- 福島第一原子力発電所における使用済燃料の貯蔵は、各号機に設置されている使用済燃料プールの他、運用補助共用施設内に共用の使用済燃料プールが設置されている。また、乾式貯蔵キャスク保管建屋には、集合体52体収納の大型乾式貯蔵キャスクが5体、集合体37体収納の大型乾式貯蔵キャスクが4体あり、合計408体収納されている。
- 使用済燃料プールは、使用済燃料プール冷却設備で温度管理され、冷却水補給設備で水位維持されるが、全交流電源が喪失し、使用不能となった。さらに海水系の機能喪失により、水冷による冷却機能の回復は困難になった。ただし、空冷であった共用プールは電源回復とともに冷却できた。また、乾式貯蔵キャスクは自然対流により空冷されるため、建屋内に大量の海水、砂、瓦礫等が流れ込んだものの、冷却に問題は生じなかった。
- 1号機、3号機及び4号機においては、設置されている原子炉建屋上部が爆発したため、露天状態となった。



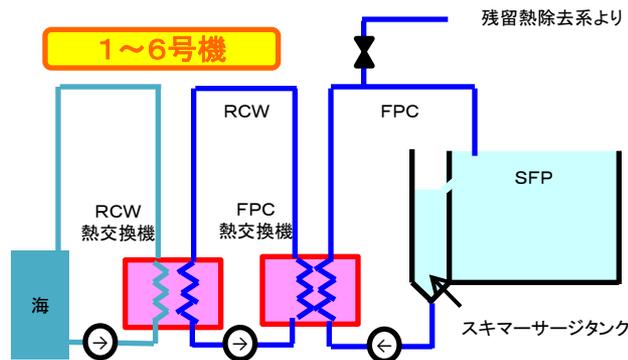
使用済燃料貯蔵施設の全体配置

表2-1 SFPの燃料貯蔵状況

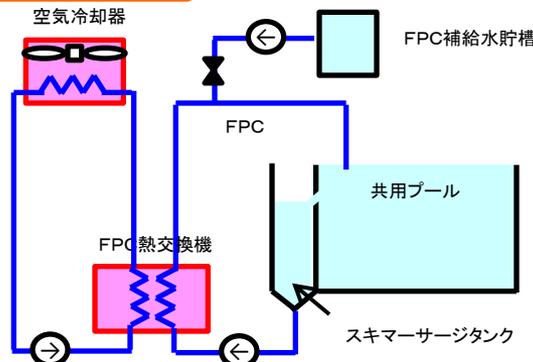
貯蔵体数 (括弧内は新燃料体数)	貯蔵容量
1号機 SFP	292体 (100体) / 900体
2号機 SFP	587体 (28体) / 1240体
3号機 SFP	514体 (52体) / 1220体
4号機 SFP	1331体 (204体) / 1590体

表2-2 SFPの前壊熱

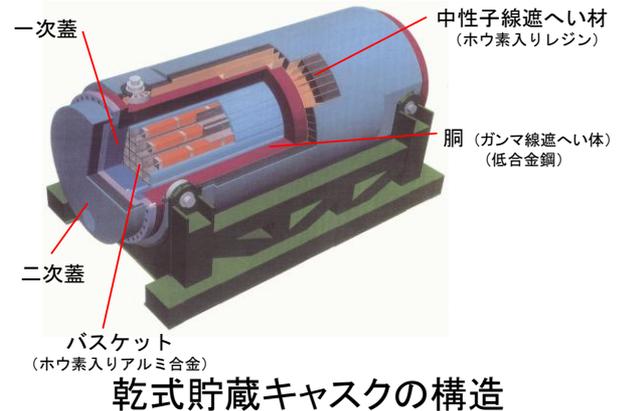
	前壊熱 (MW)	
	事故発生時点 (3/11)	事故発生3ヶ月後 (6/11)
1号機 SFP	0.18	0.16
2号機 SFP	0.62	0.52
3号機 SFP	0.54	0.46
4号機 SFP	2.26	1.58



共用プール



使用済燃料プール冷却系統図



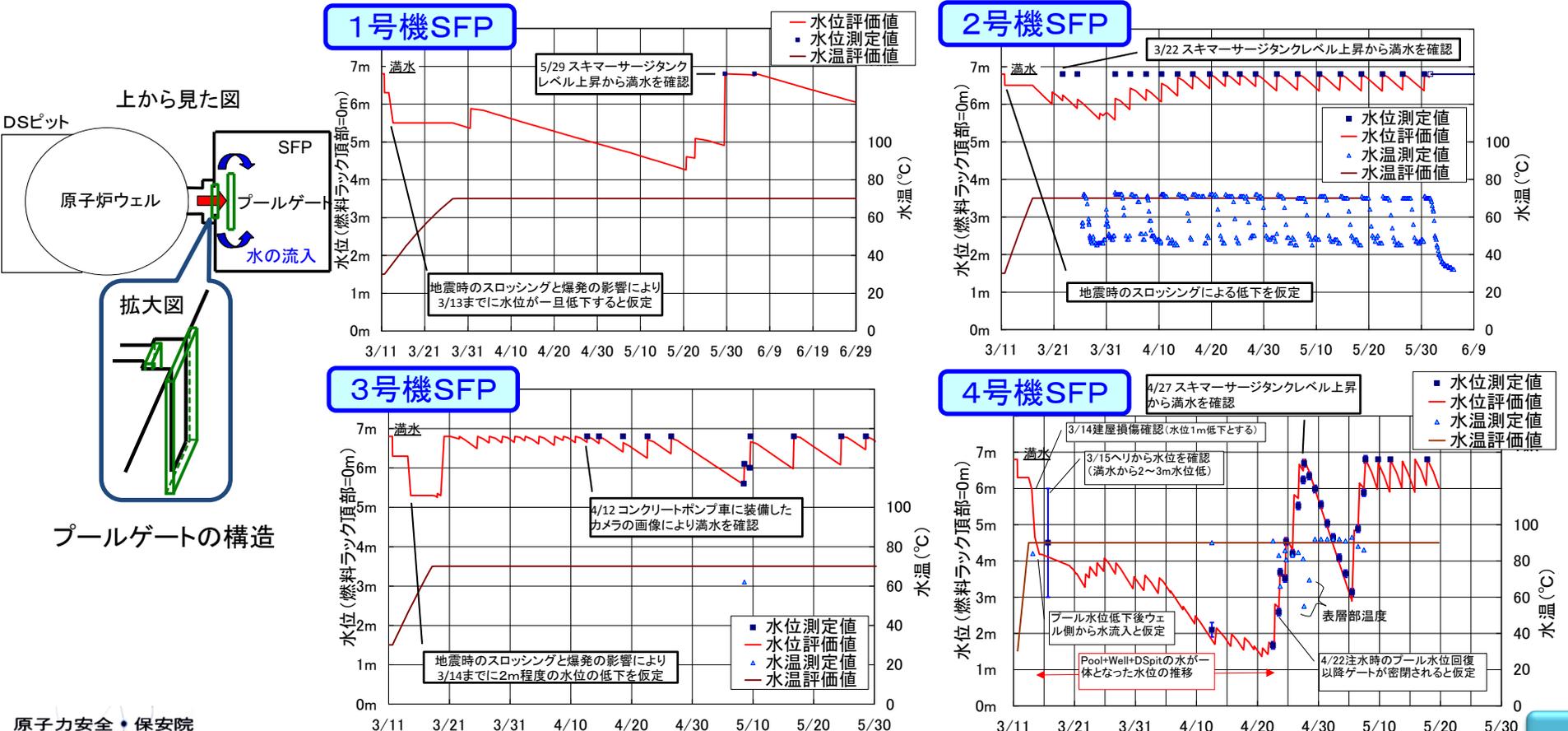
乾式貯蔵キャスクの構造



乾式貯蔵キャスク建屋の被害状況

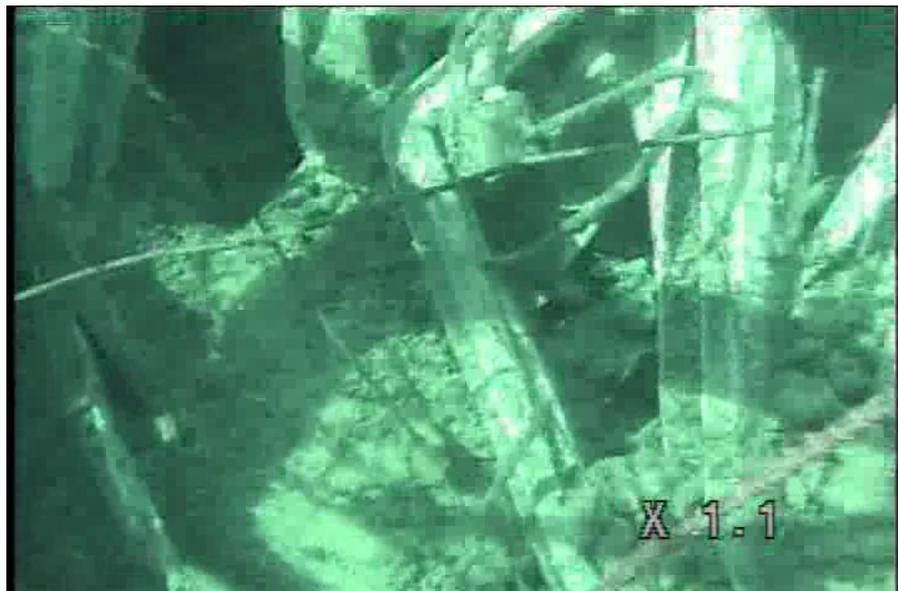
## 2. 使用済燃料プールの水位と温度の推移

- 全交流電源が喪失したことから、冷却及び水補給ができなくなり、地震影響として漏えいが発生していないかの確認もできなかったため、貯蔵している使用済燃料の崩壊熱により水が蒸発するなど、水位が低下して燃料が露出し、燃料温度が上昇することが懸念された。
- そのため、3月17日以降、1, 3, 4号機ではヘリコプター、放水車、消防車、コンクリートポンプ車により上部から、2号機では冷却系ラインを使用して、水(3月28日までは海水)を補給し、崩壊熱等を踏まえた東京電力の水位評価において、露出はなかったものとされている。
- 4号機については、定期検査中で原子炉ウェル等にも水が張られており、プール水位が低下傾向にあった時期には、ゲートの押し込みが足りず、原子炉ウェルから水が流入したものと推定されている。



### 3. 使用済燃料プール内の状況

- 3号機、4号機の使用済燃料プール内には、原子炉建屋爆発の影響で瓦礫が落下していることが確認されており、3号機では燃料の状態が確認できなかったが、4号機では燃料はラックに収納された状態で維持され、大量の燃料破損はないことが確認されている。(同様に原子炉建屋が爆発した1号機については、使用済燃料プールが原子炉建屋天井に覆われており、現段階においてもプール内の状況は確認できていない。)
- 使用済燃料プール水を採取して核種分析を実施した結果(次ページ参照)、原子炉での事象進展があった1～3号機では建屋地下の滞留水の一桁程度低い濃度のセシウムが確認され、4号機では1～3号機よりも2桁以上低い濃度であった。また、冷却期間の長い使用済燃料にはほとんど存在しないヨウ素131も確認された。
- これらのことから、確認された放射性物質は事故時の炉心由来の可能性が高く、貯蔵していた燃料の溶融といった大規模な損傷はなかったものと考えられる。(ただし、瓦礫の影響で一部の燃料において機械的な損傷あった可能性までは否定できない。)



3号機のSFP水中の状態



4号機のSFP水中の状態

### 3. 使用済燃料プール内の状況(つづき)

1号機スキマーサージタンク水の分析結果

検出核種	半減期	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )			
		6/22採取	8/19採取	(参考) 1号機SFP水 (2/11)	(参考) 1号機T/B地下階た まり水 (3/26)
セシウム134	約2年	1.2 × 10 <sup>4</sup>	1.8 × 10 <sup>4</sup>	検出限界未滿	1.2 × 10 <sup>5</sup>
セシウム137	約30年	1.4 × 10 <sup>4</sup>	2.3 × 10 <sup>4</sup>	7.8 × 10 <sup>-2</sup>	1.3 × 10 <sup>5</sup>
よう素131	約8日	68	検出限界未滿	検出限界未滿	1.5 × 10 <sup>5</sup>

2号機スキマーサージタンク水の分析結果

検出核種	半減期	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )			
		4/16採取	8/19採取	(参考) 2号機SFP水 (2/10)	(参考) 2号機T/B地下階た まり水 (3/27)
セシウム134	約2年	1.6 × 10 <sup>5</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>	検出限界未滿	3.1 × 10 <sup>6</sup>
セシウム137	約30年	1.5 × 10 <sup>5</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>	0.28	3.0 × 10 <sup>6</sup>
よう素131	約8日	4.1 × 10 <sup>3</sup>	検出限界未滿	検出限界未滿	1.3 × 10 <sup>7</sup>

3号機スキマーサージタンク水の分析結果

検出核種	半減期	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )				
		3号プール水				(参考) 3号機T/B地下階 たまり水 (4/22)
		5/8採取	7/7採取	8/19採取	(参考) 3/2採取	
セシウム134	約2年	1.4 × 10 <sup>5</sup>	9.4 × 10 <sup>4</sup>	7.4 × 10 <sup>4</sup>	検出限界未滿	1.5 × 10 <sup>6</sup>
セシウム137	約30年	1.5 × 10 <sup>5</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>	8.7 × 10 <sup>4</sup>	検出限界未滿	1.6 × 10 <sup>6</sup>
よう素131	約8日	1.1 × 10 <sup>4</sup>	検出限界未滿	検出限界未滿	検出限界未滿	6.6 × 10 <sup>5</sup>

4号機スキマーサージタンク水の分析結果

検出核種	半減期	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )					
		4号プール水				(参考) 4号機T/B地下 階たまり水 (3/24)	
		4/12採取	4/28採取	5/7採取	8/20採取		(参考) 3/4採取
セシウム134	約2年	88	49	56	44	検出限界未滿	31
セシウム137	約30年	93	55	67	61	0.13	32
よう素131	約8日	220	27	16	検出限界未滿	検出限界未滿	360

赤字: コンクリートポンプ車を用いてSFP水を採取して分析

青字: FPC系サンプリング配管からスキマーサージタンクにオーバーフローしたSFP水を採取して分析

## 4. 使用済燃料プール冷却の代替手段に関する海外対応状況

○海外では、使用済燃料プールの冷却機能が喪失した場合を想定した対応(冷却水の注入、代替除熱系の用意)を準備している例がある。

	アメリカ	イギリス	ドイツ	フランス	スイス	IAEA
使用済燃料貯蔵プール冷却の代替手段に関する規制要件	爆発・火災によりプラントの広域が喪失した状況下で、炉心冷却、格納容器及び燃料プール冷却の能力を維持するか、復帰させることを意図したガイドダンスと戦略を策定し実施すること。 (10CFR50.54(hh)(2))	通常運転・損傷状態の両方の施設内での熱移送に必要な系統にかかわり、原子炉、化学施設、燃料貯蔵プール等を規定する。 熱移送系が安全系・非安全系として役割を果たす場合、工学安全系に適用される一般原則も適用される。(SAP #458)	燃料プールの熱除去系は最低二重系列の設計とする。 二重系列または共通の静的機器の損傷に対処するため、第三の系列または他の追加冷却能力が利用でき、補助的手段も許されること。(KTA 3303の燃料貯蔵プールの熱除去系5.1項)	使用済燃料冷却及び浄化系の基本的安全機能は次のもの。 ・反応度制御 ・余熱除去 ・放射性物質の封じ込み 冷却系熱交換容量は、燃料集合体の余熱を十分除去し、適切な余裕をもって沸騰を防ぐこと。	施設の内外のどちらかで発生する可能性のある事故を防止するよう、予防・防護措置を講じること。 (原子力エネルギー規則第8条) 容認できる照射済燃料の最大崩壊熱を燃料貯蔵プールから外部のヒートシンクに排出できること。 (HSK-R-101 第6.3.2項)	原子力発電プラントの燃料の取扱系及び貯蔵系は、燃料の取扱と貯蔵において、その健全性と特性を常に維持することを確実にできなければならない。(要件80) 照射済燃料の取扱系及び貯蔵系の設計(6.67項) ・運転状態及び事故の状態 ・損傷又は疑いのある燃料要素や燃料集合体を安全に維持すること。
対応例	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 全交流電源喪失、全駆動源喪失に備え、既設の電源／駆動源に依存せず仮設／可搬式装置(水補給、冷却水注入、独立電源等)を用いて、使用済燃料プール対策を整備し訓練。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 復水貯蔵タンクからの給水に加え、手動で水道貯水槽からも給水可能。</li> <li>● 幾つかのホウ酸水補給源があり、最終的に建屋外から消火用水を敷設配管で注水可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● プール冷却には4系列のうち2系列の余熱除去系を利用。必要な場合、第三の余熱除去系を使用。外部ハザードには、プール冷却系を原子炉余熱除去に用いることも可能。</li> <li>● ヒートシンク喪失時、異なる水源から可搬式ポンプ・消火用水ポンプを用いて注水。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 外部電源喪失時、SFP冷却をEDGでバックアップ。ただし、EDG 2台に強化を提案。</li> <li>● 消火用水の注入は不確実なため、貯水池からの注水を提案。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SFPへの非常用注入継手を設置。</li> <li>● 物理的分離した追加SFP給水の遡及適用。</li> </ul>	<p>(原子力発電所の安全：設計(SS NS-R-1の改訂案))</p>

# (参考)緊急安全対策(燃料プール冷却)について

補給水ポンプ、消防車等による  
使用済燃料プールへの注水方法(BWR:柏崎刈羽)

(優先順位1) 補給水系

(優先順位2) 代替注水

補給水ポンプ準備

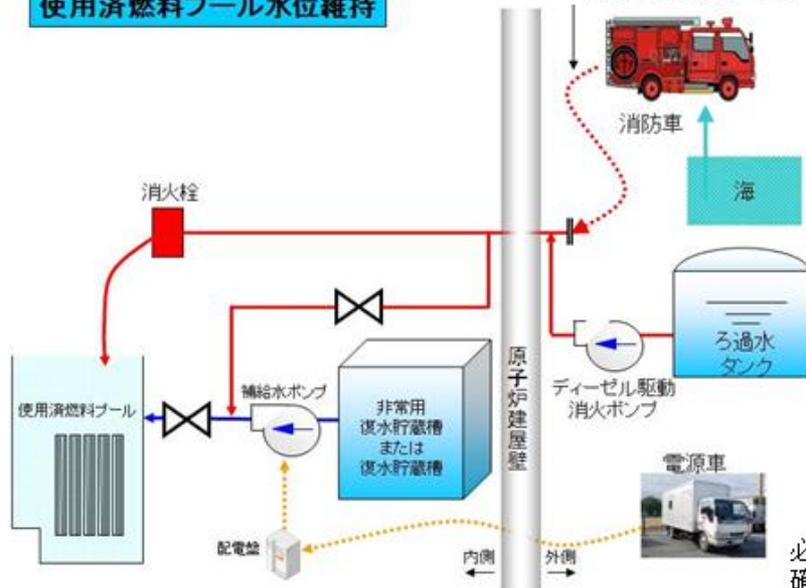
代替注水ライン構成

注水系起動

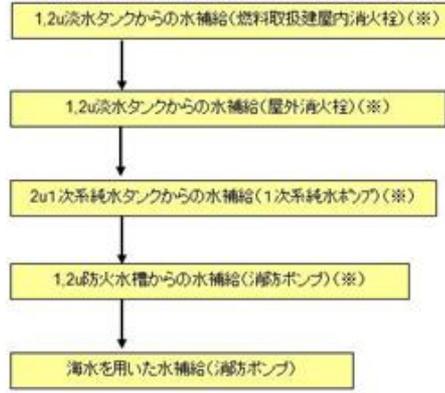
- ・代替注水方法の選択
- ディーゼル駆動消火ポンプ(淡水)
  - 消防車(海水)

使用済燃料プール水位維持

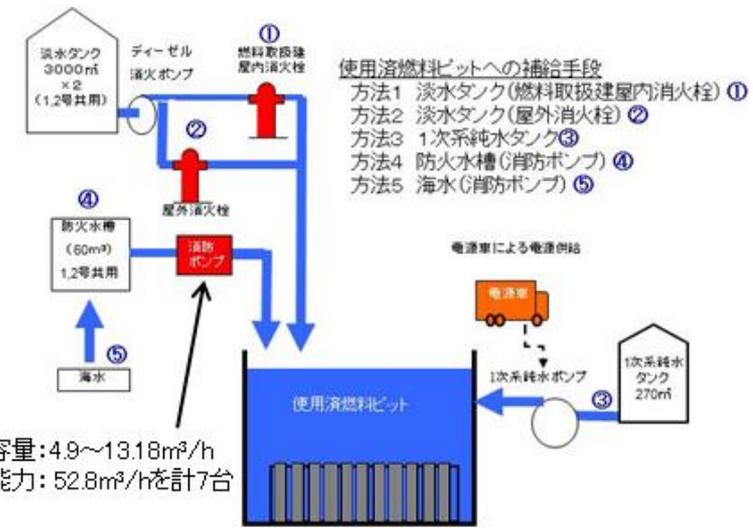
必要容量:約1m<sup>3</sup>/h  
確保能力:約60m<sup>3</sup>/hを計3台  
(原子炉注水用と同一車)



ディーゼル消火ポンプ、消防ポンプ等による  
使用済燃料ピットへの注水方法(PWR:美浜)



※タンクの損壊または流出等により、水源が使用できない場合は次の水源を使用する。



出典: 柏崎刈羽発電所における緊急安全対策について(平成23年4月21日、東京電力(株)、美浜発電所における緊急安全対策について(平成23年4月17日、関西電力(株))

## 5. まとめ

### 【使用済燃料プールの冷却機能】

○電源喪失により冷却・水補給機能が喪失し、海水系の機能喪失により、水冷による冷却機能の回復は困難になった。(空冷であった共用プールは電源回復とともに冷却でき、乾式貯蔵キャスクに冷却の問題は生じなかった。)

○1, 3, 4号機では建屋上部から冷却水を補給することができたものの、高所で、継続的な注水のための設備整備には時間がかかった。  
⇒原子炉に比べると時間余裕はあるものの、貯蔵している燃料に含まれる放射性物質の総量が大きいため、冷却機能が喪失し、貯蔵していた燃料が損傷した場合には環境に与える影響が大きくなるため、使用済燃料プールの冷却・給水機能の多様化による信頼性向上について検討する必要がある。

また、貯蔵している燃料の崩壊熱等を踏まえ、冷却対応が必要となるまでの猶予期間が十分確保できるように、冷却水量の確保、貯蔵の分散化、空冷設備の設置、乾式貯蔵の採用などについても取り組むべきではないか。