LCO適正化の検討における使用済燃料プール水位低下時の評価について

2021年5月20日

東京電力ホールディングス株式会社

１．はじめに

TEPCO

- 本資料は，2021年4月12日面談資料「1FにおけるLCO適正化の検討状況」に記載しているSFP水位低下時の線量率評価および燃料集合体の温度評価について，評価モデルおよび評価条件等の補足説明をすることを目的とする。

- 今回説明する評価は以下の通り。
  - 線量率評価
  - 燃料集合体温度評価
    - ① プール水完全水抜け時の自然対流による空冷効果が期待できる場合
    - ② プール水位が燃料有効底部(BAF) となり，空冷効果が期待できない場合（中間水位）

- 1号機，6号機，共用プールを代表号機として評価。
- 2号機，5号機については，崩壊熱が同程度であるため1号機，6号機を代表とする。

- なお，3号機，４号機については，使用済燃料の取り出しは完了しているが，プール内には高線量物品が保管されているため，その扱いについては別途整理する。

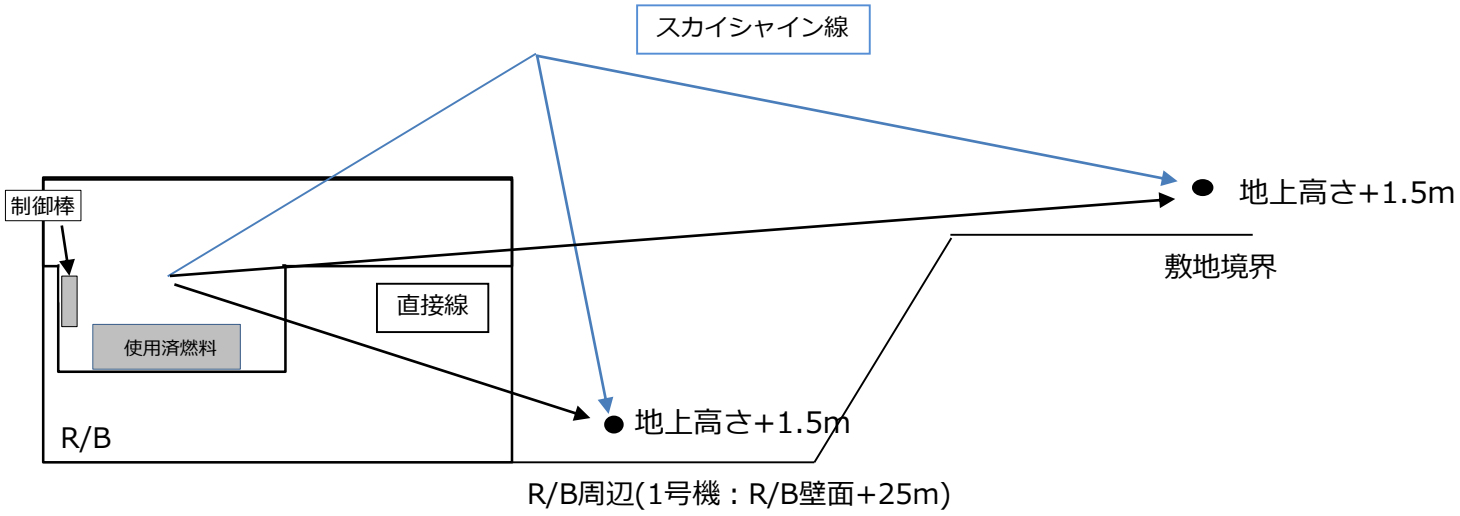
２．１　線量率評価

＜評価概要＞

- 使用済燃料プールからのスカイシャイン線，直接線による線量率を評価。

＜評価条件＞

- 燃料集合体の健全性は維持されている。
- １号機は建屋遮へいは未考慮とし，６号機，共用プールは建屋遮へいを考慮。
- 線源：使用済燃料（燃料有効長部），ハンガーラックに保管された制御棒（Co-60）
- 放出点：SFP中心
- 評価点：建屋周辺：建屋周辺の中で線量が高い距離。
  敷地境界：各SFP中心からの距離が最も短い地点。



２．２　線源強度の条件

TEPCO

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>1号機</th><th>6号機</th><th>共用</th><th>備考</th></tr>
<tr><td rowspan="4">使用済燃料</td><td>種類</td><td>高燃焼度8×8型</td><td>9×9（B）型</td><td>9×9（A）型</td><td>最大燃焼度の燃料集合体の種類</td></tr>
<tr><td>燃焼度
[GWd/t]</td><td>43</td><td>51</td><td>51</td><td>平均燃焼度の最大値</td></tr>
<tr><td>冷却期間[年]</td><td>10.4</td><td>10.0</td><td>9.7</td><td>2020.8.1時点</td></tr>
<tr><td>貯蔵体数[体]</td><td>292</td><td>1456</td><td>6295</td><td>SFPに貯蔵されている使用済燃料(未照射燃料除く)
(2020.8.1時点)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">使用済制御棒
（ボロン・
カーバイト
型）</td><td>照射条件[snvt]</td><td>1.3</td><td rowspan="3">無</td><td rowspan="6">無</td><td>照射実績より保守的に設定</td></tr>
<tr><td>冷却期間[年]</td><td>10</td><td>2020.8.1時点</td></tr>
<tr><td>貯蔵体数[体]</td><td>17</td><td>ハンガーラックに保管された制御棒
(2020.8.1時点)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">使用済制御棒
（ハフニウム
型）</td><td>照射条件[snvt]</td><td>1.6</td><td>4.9</td><td>照射実績より保守的に設定</td></tr>
<tr><td>冷却期間[年]</td><td>18.3</td><td>13.8</td><td>2020.8.1時点</td></tr>
<tr><td>貯蔵体数[体]</td><td>4</td><td>27</td><td>ハンガーラックに保管された制御棒
(2020.8.1時点)</td></tr>
</table>

２．３　線量率の評価結果

TEPCO

- 建屋周辺の線量率は，最大で1号機の約4.6×10^{3}[μSv/h]である。
- 敷地境界の線量率は，最大で6号機の約5.5×10^{-1}[μSv/h]である。

	建屋周辺		敷地境界	
	R/B壁面からの距離[m]	線量率[μSv/h]	SFP中心からの距離[m]	線量率[μSv/h]
１号機	約25	約4.6×10^{3}	約940	約5.3×10^{-1}
６号機	約40	約1.0×10^{3}	約680	約5.5×10^{-1}
共用プール	約20	約6.2×10^{2}	約670	約1.5×10^{-1}

３．１．１　完全水抜け時（空冷効果有）の燃料集合体の温度評価

TEPCO

＜評価概要＞

■ プール水完全水抜け時の自然対流による空気冷却条件で燃料集合体（燃料被覆管表面）温度を評価。

① 燃料集合体総発熱量から室内温度を評価。

② ①で評価した室内温度の空気が最も発熱量が大きい燃料の下部から流入した際の燃料出口での出口空気温度を崩壊熱より評価。

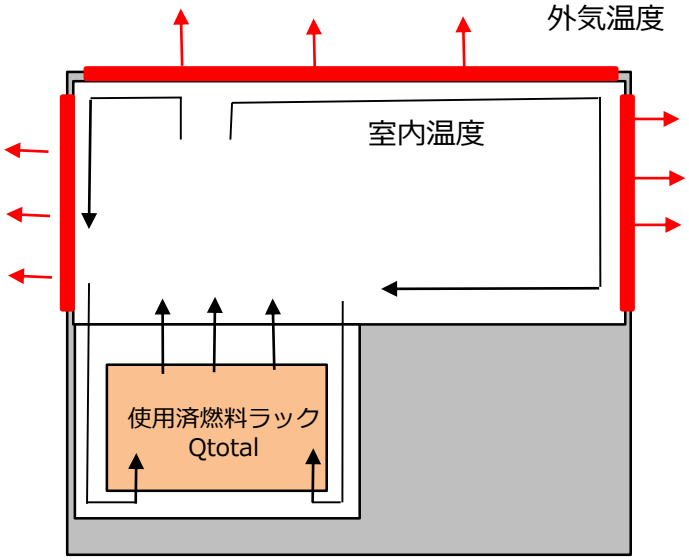
③ ②で評価した出口空気温度とするために必要となる燃料集合体温度を評価。

＜評価条件＞

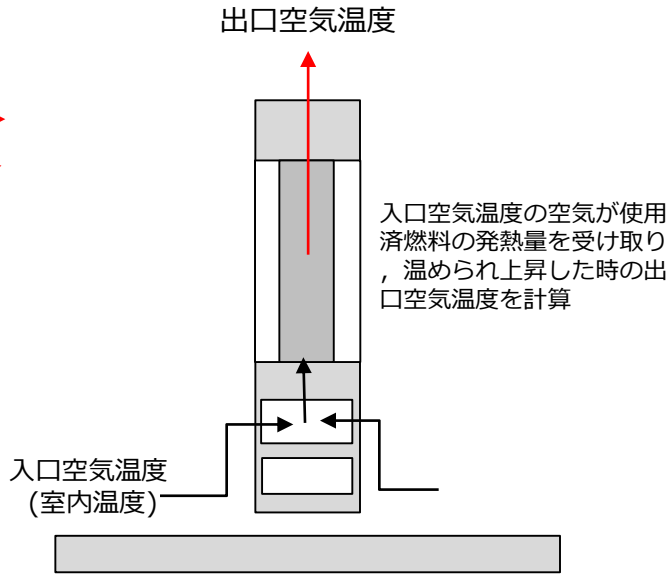
■ 燃料集合体総発熱量(W)：（1号機）5.3×10^4，（6号機）3.0×10^5，（共用プール）1.1×10^6

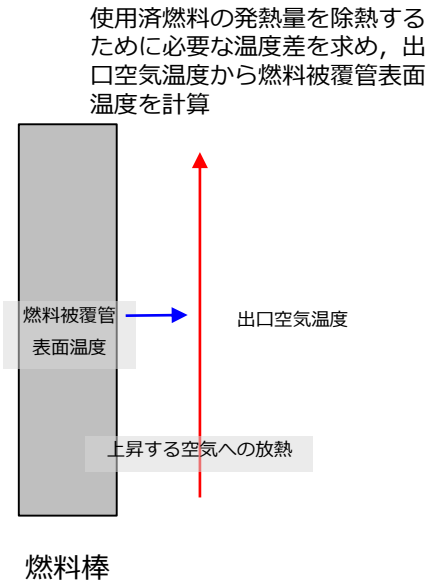
■ 1体あたりの最大発熱量(W)：（1号機）260，（6号機）320，（共用プール）330

■ 放熱箇所：建屋天井，側壁



※ １号機はプール内に設置している緩衝材（エアモルタル）が，完全水抜け時に空冷効果を低下させる条件を考慮





３．１．２　完全水抜け時（空冷効果有）の燃料集合体の温度評価結果

TEPCO

- 1号機，6号機，共用プールの完全水抜け時における燃料集合体温度は以下の通り。
- 燃料集合体温度は最高でも310℃程度である。

	1号機	6号機	共用プール
燃料集合体温度[℃] （燃料被覆管表面温度）	約200	約220	約310

３．２．１　中間水位時（空冷効果無）の燃料集合体の温度評価

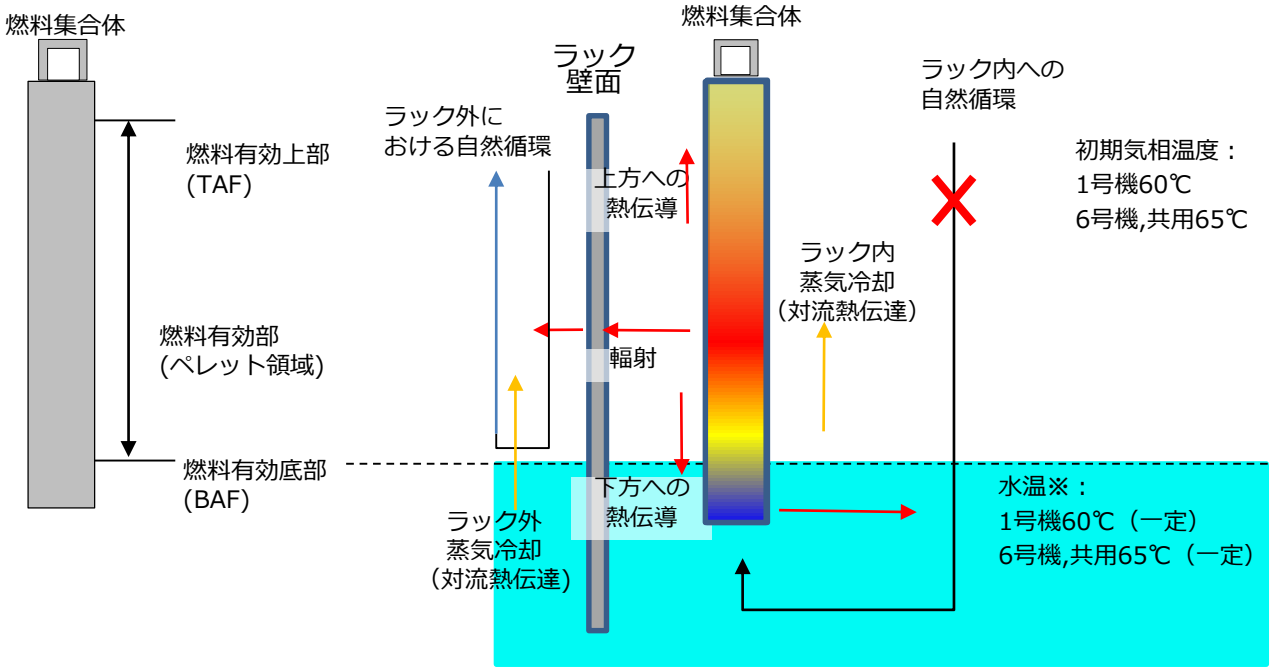
TEPCO

＜評価概要＞

- 最も厳しいSFP水位の条件として，SFP水位が燃料有効底部(BAF)付近において，空気冷却がない条件が継続した場合の燃料集合体（燃料被覆管表面）温度を評価。

＜評価条件＞

- 燃料配置：プール内の最大発熱量の燃料集合体が全ラック内に一律配置
- 軸方向出力分布：最大発熱量の集合体の軸方向出力分布を設定
- 燃料集合体放熱条件：蒸気発生による蒸気冷却効果，燃料集合体燃料領域から上下方向への熱伝導，輻射，ラック外における自然循環及び蒸気冷却
- 放熱箇所：建屋天井，建屋側壁，プール床面，プール側壁，オペフロ床面
- SFP水位：BAF高さで水位一定と仮定

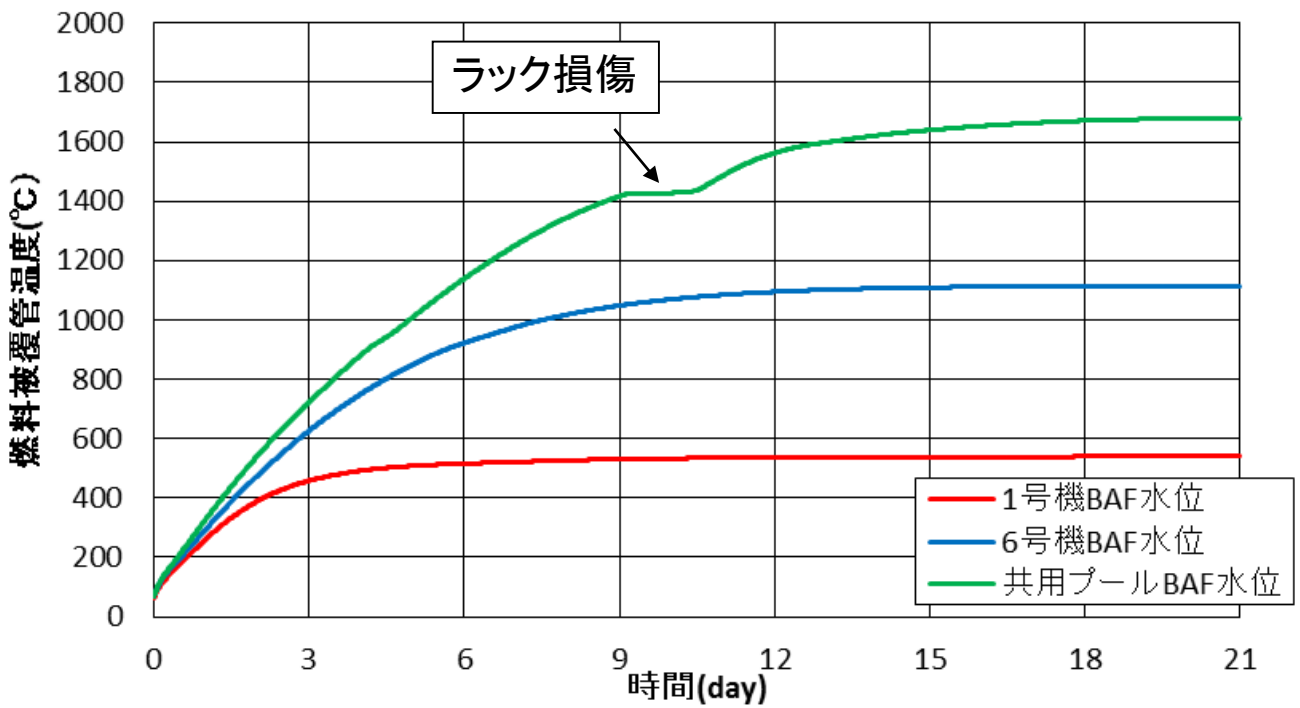


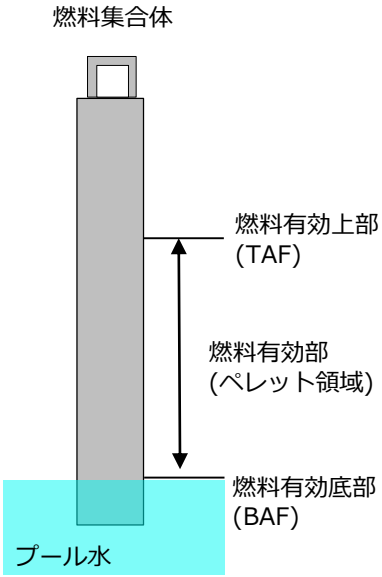
※感度解析にて厳しい値を設定

３．２．２　中間水位時（空冷効果無）の燃料集合体の温度評価

TEPCO

- 1号機では，BAF時においても燃料集合体（燃料被覆管表面）温度は800℃未満であることから，燃料集合体は損傷しない。
- 6号機，共用プールではBAF水位時，燃料集合体（燃料被覆管表面）温度は800℃を超過することから，燃料集合体は損傷する。

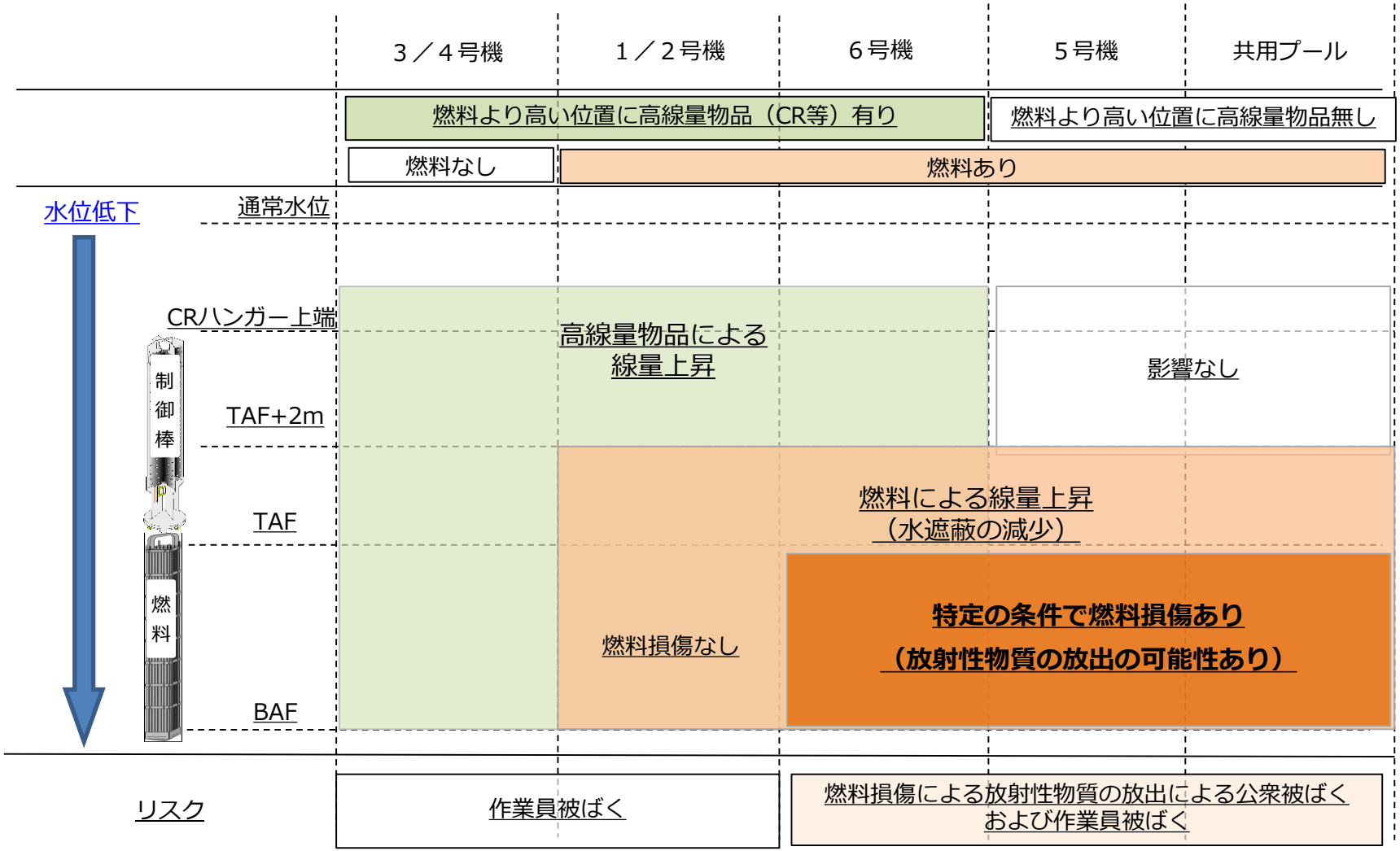




BAF水位が継続時の温度評価

SFP水位低下による影響の整理

- ５／６号機，共用プールは，特定の条件で燃料が損傷
- １～４号機は，高線量物品や燃料の露出により建屋周辺線量が上昇 (敷地境界への影響は殆ど無し)



使用済燃料の温度及び敷地境界線量率評価結果

使用済燃料プール冷却水喪失時の影響評価結果を以下に示す。

✓ 敷地境界線量率への影響

SFP水位が燃料有効底部（BAF）となった場合でも，1/2号機，5/6号機，共用プールの全てにおいて，5μSv/hに到達しないと評価している。

✓ 燃料被覆管損傷の影響

プール冷却水が完全に喪失する場合には空冷により損傷しないと見込んでいるが，5/6号機および共用プールについては，冷却水が抜けきらず，燃料下部に滞留した場合は，空冷が十分に行えず，損傷する可能性があると評価している。

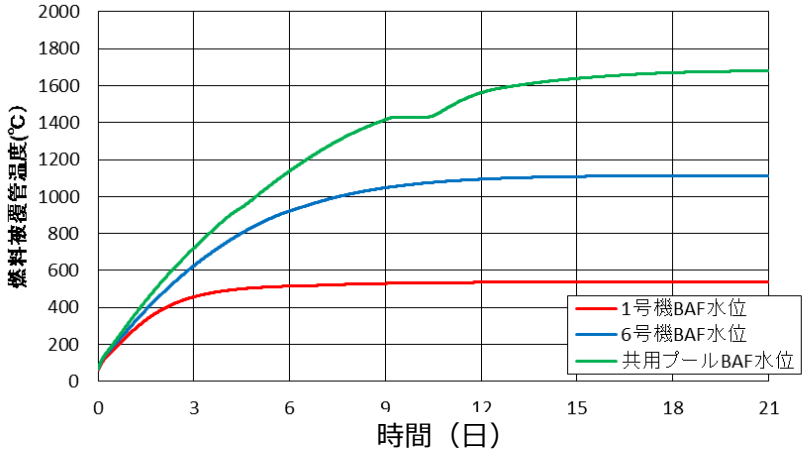
SFP水位低下時の影響評価結果（BAF到達時）

号機	敷地境界線量率	燃料被覆管損傷	
		完全水抜け	BAF水位※1,2
1/2号機※3	約0.6μSv/h	約200℃	損傷しない
5/6号機※3		約220℃	燃料損傷あり
共用プール	約0.2μSv/h	約310℃	

※1 SFP水位がBAF付近において，空冷効果がない条件が継続した場合の評価

※2 最大発熱量の燃料が一律に配置した際の保守的な評価

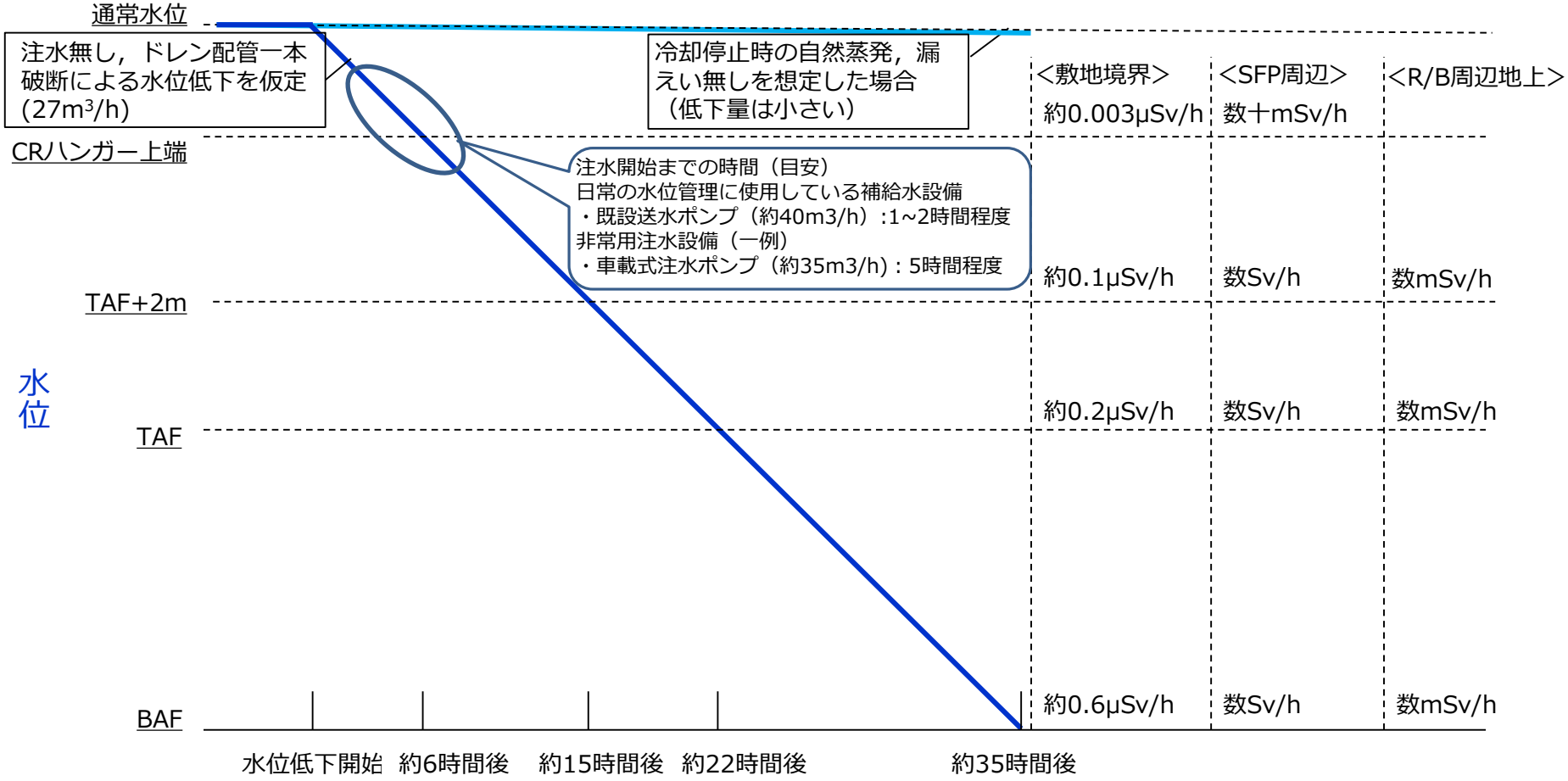
※3 それぞれ1/2号機の代表として1号機，5/6号機の代表として6号機を評価



BAF水位が継続した場合の評価

SFP水位変化と線量影響（オペフロと建屋周辺：1号機）

- SFP水位が大きく低下した場合には，高線量物品または使用済燃料が露出することにより，オペフロおよび建屋周辺線量が広範囲で上昇
- 一方で，BAF到達時においても，敷地境界への影響は約0.6 μSv/h程度と小さく，また，R/B周辺の地上付近の線量率は，数mSv/h程度であり，注水再開作業は可能



図．SFP水位とオペフロ線量の関係（１号機）