

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

重大事故等対策の有効性評価の
評価条件変更について

平成27年1月

東京電力株式会社

1. 評価条件変更内容について

有効性評価の格納容器過圧・過温破損シナリオ(大LOCA+ECCS機能喪失+SBO)等において、これまでの審査会合の議論等を踏まえ、評価条件を見直したい

- (1) 常設代替交流電源設備による受電時間を「2時間」から「70分」に変更
- (2) 復水貯蔵槽への補給水量を「90m³/h」から「130m³/h」に変更
- (3) MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着をなくし、その分のFPが床面に付着するよう変更
- (4) 外部水源温度(復水貯蔵槽水温)を「32℃」から「50℃(12時間以降は45℃、24時間以降は40℃)」に変更

2. 背景

<現状>

- ・設置許可申請後以降、更なる安全対策を実施しており、申請断面より安全性は向上している
- ・また、訓練による要員の力量向上や運用改善などが実施されている

<審査における議論>

- ・常設代替交流電源設備の受電時間は、実態にあった評価条件を設定すべき
- ・不確かさ解析においては、申請解析から操作が遅れた場合の解析を提示すべき
- ・格納容器過圧・過温破損シナリオにおいて、炉心損傷時の被ばく線量を提示すること
→ 現状は申請時の状態と異なっており、実態と異なっているものに対して、感度解析や評価する技術的な意味はあまりないことから、実態にあったものに対してその評価結果を示していきたい

<現状の評価条件の問題点>

- ・他電力の申請内容と比較した結果、本来FPが付着しない上部D/W天井面に重力沈降により、FPの付着が継続し、格納容器内温度が長期間高温で維持されるとの評価となっていることが判明
→ MAAPで想定している物理的な挙動が正しく反映されておらず、適正な評価となるよう見直したい
- ・外部水源温度(復水貯蔵槽水温)は、淡水貯水池又は海水からの復水貯蔵槽補給を想定し設定していたが、実際の復水貯蔵槽水温はその想定より高い可能性がある
→ 現状、非保守的な評価条件となっている可能性があるため、見直したい



当社としては、有効性評価の評価条件を実態にあったものに見直していきたい

3. 常設代替交流電源設備受電時間の変更について

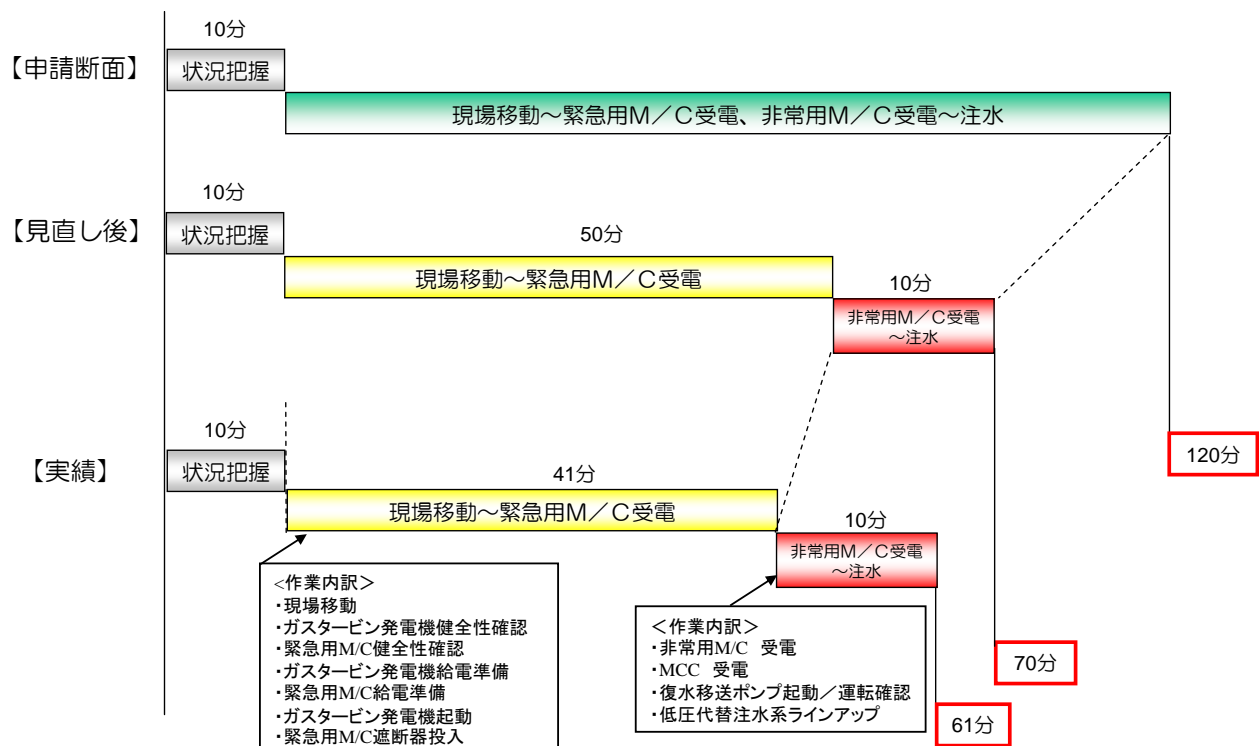
項目	受電時間	条件設定の根拠	解析結果に与える影響
現状の解析	2時間	申請時断面における設備上の想定時間	常設代替交流電源設備受電が早くなることにより、復水移送ポンプによる原子炉注水及び格納容器スプレイが早くなる
見直し後の解析	70分	実訓練、手順の効率化を反映した時間	上記より、格納容器圧力、温度の上昇は緩慢となる



- ・常設代替交流電源設備受電時間の評価条件をその後の手順の効率化等を反映した受電目標時間に見直し、有効性評価を実態にあったものとする
- ・操作時間遅れ等の不確かさについては、感度解析等により影響について示していく

3. 常設代替交流電源設備受電時間の変更について

常設代替交流電源設備受電時間について



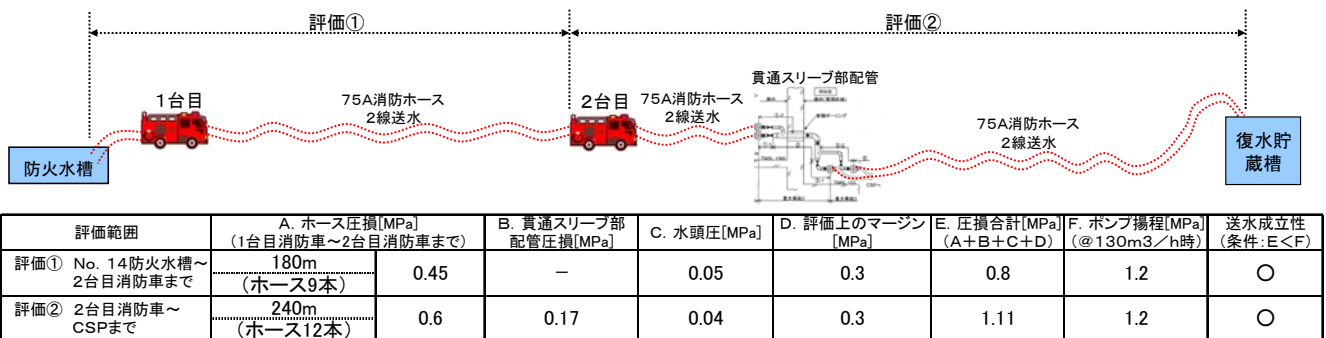
4. 復水貯蔵槽への補給水量の変更について

項目	復水貯蔵槽への補給水量	条件設定の根拠	解析結果に与える影響
現状の解析	事象12時間以降に 90m ³ /hで補給 (約25時間後ベント)	申請時断面における 設備上の補給水量	復水貯蔵槽への補給水量を増加させることにより、格納容器スプレイ時間が延長される
見直し後の解析	事象12時間以降に 130m ³ /hで補給 (約38時間後ベント)	運用改善を反映した 補給水量	上記より、格納容器ベント実施までの時間が延長される

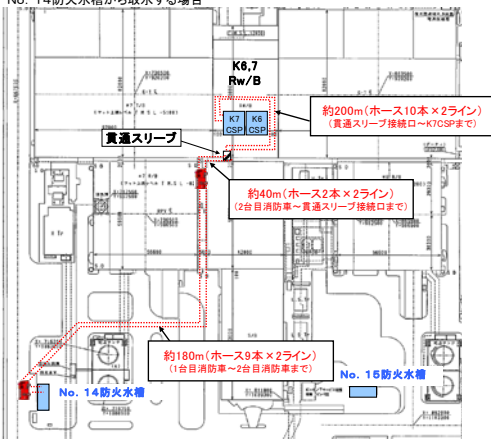


復水貯蔵槽への補給水量の評価条件を見直し、
有効性評価を実態にあったものとする

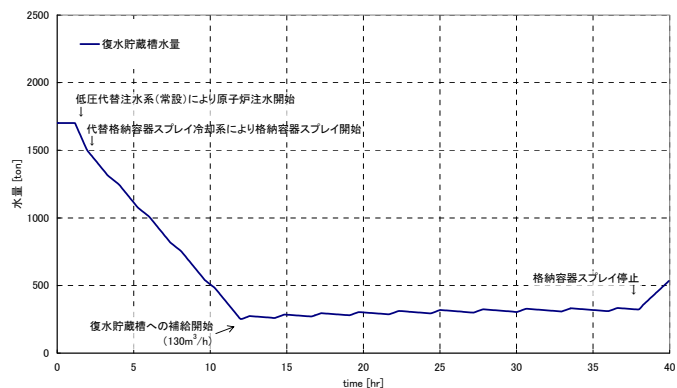
4. 復水貯蔵槽への補給水量の変更について(流量評価)



No. 14防火水槽から取水する場合



参考図: 復水貯蔵槽水量の推移



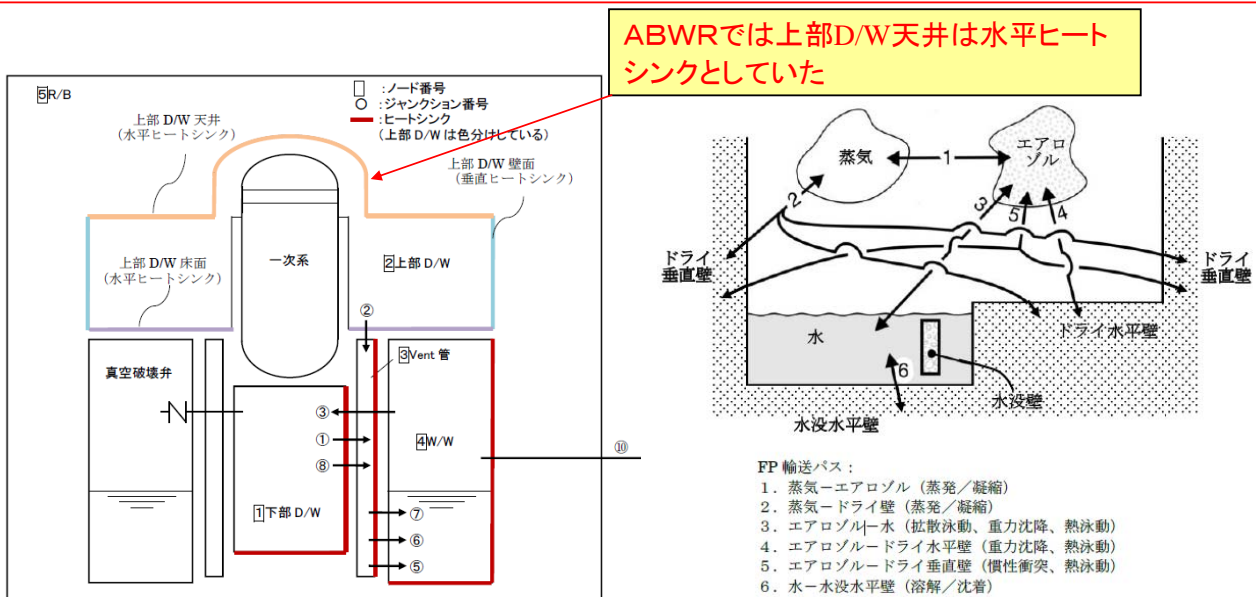
5. MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着条件の変更

項目	上部D/W天井面への重力沈降	条件設定の根拠	解析結果に与える影響
現状の解析	考慮する	MAAPのモデル上の設定	上部D/W天井面に対する重力沈降によるFP付着の影響が緩和され、上部D/W天井面でのFPによる発熱量が減少する
見直し後の解析	考慮しない	実際の物理的挙動にあった現実的な設定	上記より、長期的な格納容器温度の上昇が抑制される



現状のABWRの設定では、MAAPで想定しているFP輸送パスが正しく評価されているとはいえないことから、実際の物理的挙動に即した設定に見直す

5. MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着条件の変更 (FP挙動概要)



MAAPでは格納容器内に設定したヒートシンクに対して衝突、重力沈降、凝縮、拡散泳動といったメカニズムでFP付着量を計算している

5. MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着条件の変更(重力沈降メカニズム)

- 重力沈降はエアロゾルから床面に相当する水平壁(FP輸送パス4)及び水(FP輸送パス3)への移行に対して考慮されている。
- 重力沈降による落下速度は、重力と落下に伴う流体抵抗がバランスした状態の一定速度(終端速度)で落下するとの仮定から、次式に従う。

$$u(v) = \frac{2}{9} \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{\alpha^{\frac{1}{3}} g \rho_p v^{\frac{2}{3}}}{\chi \mu}$$

- MAAPのコードでは、落下による効果等を、空間からのエアロゾルの減衰として、

$$\frac{dm(t)}{dt} = -\lambda(t)m(t) + \dot{m}_p(t) \quad m: \text{質量濃度}, t: \text{時間}, \dot{m}_p(t): \text{生成速度}, \lambda: \text{除去速度}$$

式の除去速度 λ として扱われ、下面の水平壁への沈着のみならず、上面の水平壁(上部D/W天井)にも一様に付着。



上部D/W天井面の設定を

水平壁(「**重力沈降**、熱泳動」を考慮) → 垂直壁(「慣性衝突、熱泳動」を考慮)と変更し、重力沈降の影響を除く。よって、重力沈降として格納容器内に沈着する全てのFPが、上部D/W床面に対する重力沈降として評価される。

5. MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着条件の変更(重力沈降メカニズム)

P9「MAAPにおけるFP輸送パス」に示すとおり、蒸気/水/エアロゾル/ヒートシンクの間では、各パス毎に次の移行挙動のモデルを設定

- 蒸気-エアロゾル
蒸発/凝縮
- 蒸気-ドライ壁(ドライ垂直壁、ドライ水平壁)
蒸発/凝縮
- エアロゾル-水
拡散泳動/重力沈降/熱泳動
- **エアロゾル-ドライ水平壁**
重力沈降/熱泳動
- **エアロゾル-ドライ垂直壁**
慣性衝突/熱泳動
- 水-水没水平壁
溶解/沈着

D/W壁面の設定

	D/W床面	D/W天井	D/W壁面
変更前	ドライ 水平壁	ドライ 水平壁	ドライ 垂直壁
変更後	ドライ 水平壁	ドライ 垂直壁	ドライ 垂直壁

パス毎、移行挙動毎にFPの質量変化をモデル化し、それを空間からの除去速度 λ として評価

6. 外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の変更

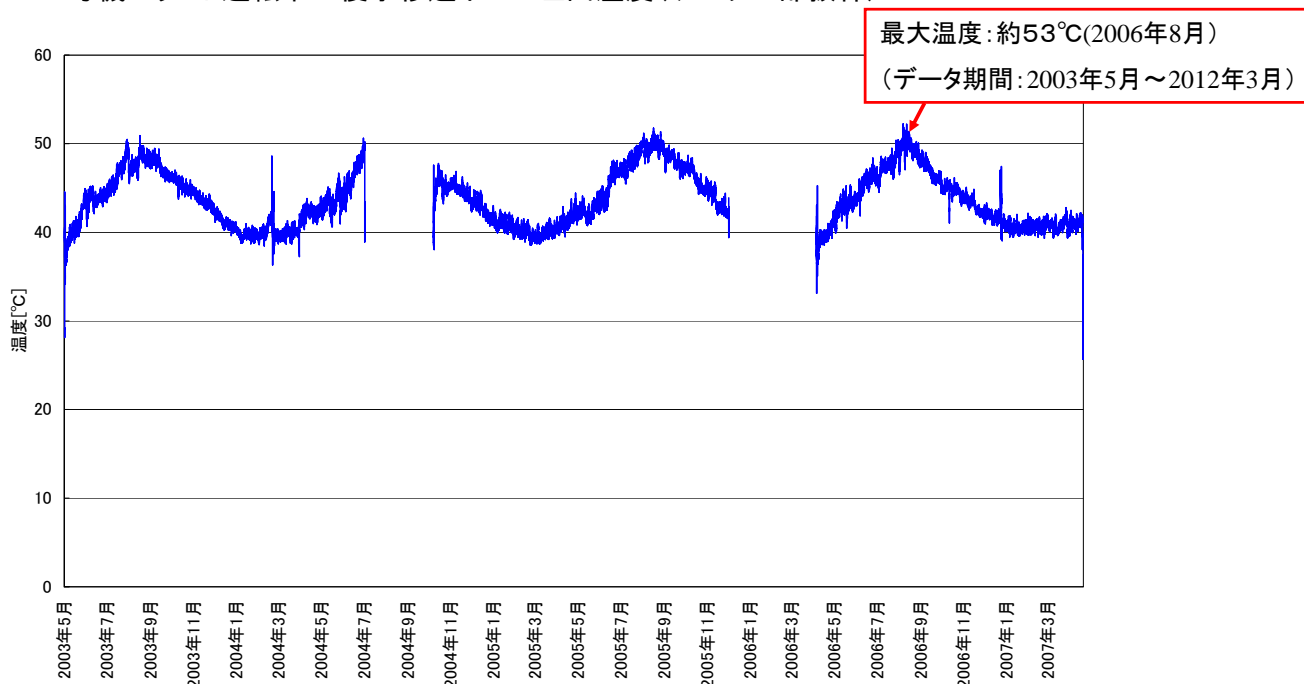
項目	外部水源温度 (復水貯蔵槽水温)	条件設定の根拠	解析結果に与える影響
現状の解析	32℃	淡水貯水池又は海水からの復水貯蔵槽への補給を想定	復水貯蔵槽水温が高くなることから、格納容器スプレイ効果が低減する 上記より、格納容器圧力の上昇は厳しくなる
見直し後の解析	50℃(12時間以降は45℃、24時間以降は40℃)	プラント運転中の復水移送ポンプ吐出温度	



非保守的な解析となっている可能性があるため、有効性評価を見直す

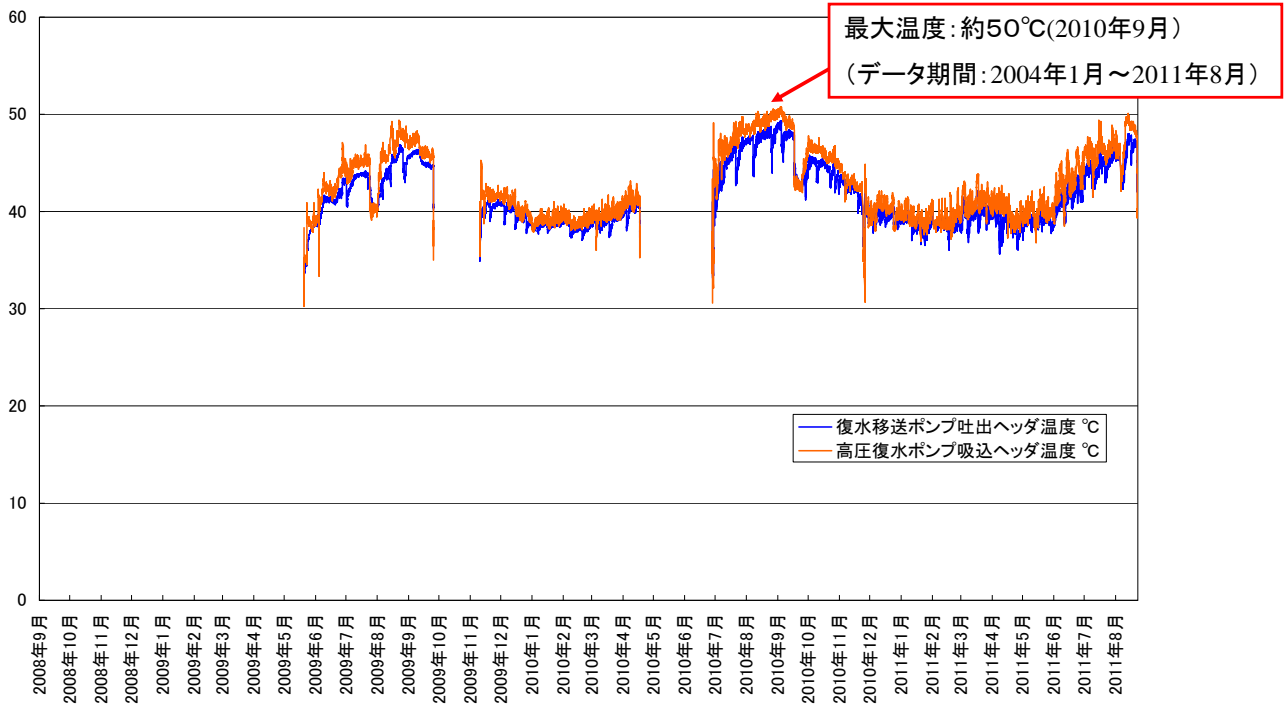
6. 外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の変更

6号機プラント運転中の復水移送ポンプ吐出温度(データ一部抜粋)



6. 外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の変更

7号機プラント運転中の復水移送ポンプ吐出温度(データ一部抜粋)

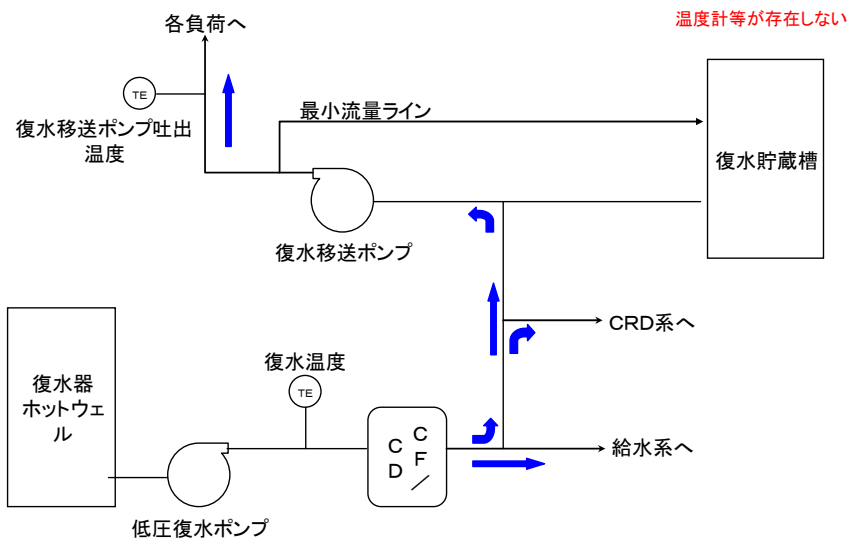


6. 外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の変更

- ・外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の測定データがないものの、復水移送ポンプ吐出温度は夏場では「約50°C」になるデータが得られている
- ・復水移送ポンプ吐出温度は、スピルオーバー水のため、実際の復水貯蔵槽水温より高い温度を示していると推定される



保守的に復水移送ポンプ吐出温度「約50°C」を復水貯蔵槽水温として設定する



7. その他のシナリオへの影響について(炉心損傷防止)

項目	影響を与える解析条件	解析結果に与える主な影響(推定)	備考
TQUV 中小LOCA	(4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> 注水温度上昇によるPCT(被覆管最高温度)の上昇 格納容器スプレイ効果低減によるベント実施までの時間の短縮 	
SBO	(4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> 注水温度上昇によるPCT(被覆管最高温度)の上昇 ベント実施までの時間の短縮による被ばく評価の見直し 	
TW(取水機能喪失)	(1)常設代替交流電源設備受電時間変更 (4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> PCT(被覆管最高温度)の上昇 	
TW(RHR機能喪失)	(2)復水貯蔵槽への補給水量変更 (4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> 格納容器スプレイ時間延長によるベント実施までの時間の延長 格納容器スプレイ効果低減によるベント実施までの時間の短縮 	

7. その他のシナリオへの影響について(炉心損傷防止)

項目	影響を与える解析条件	解析結果に与える主な影響(推定)	備考
ATWS	(4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> ほとんど影響はない (感度解析結果の一部に影響するが、注水温度上昇による反応度低下によりPCTは低下すると推定) 	
ISLOCA	(4)外部水源温度変更	<ul style="list-style-type: none"> ほとんど影響はない 	

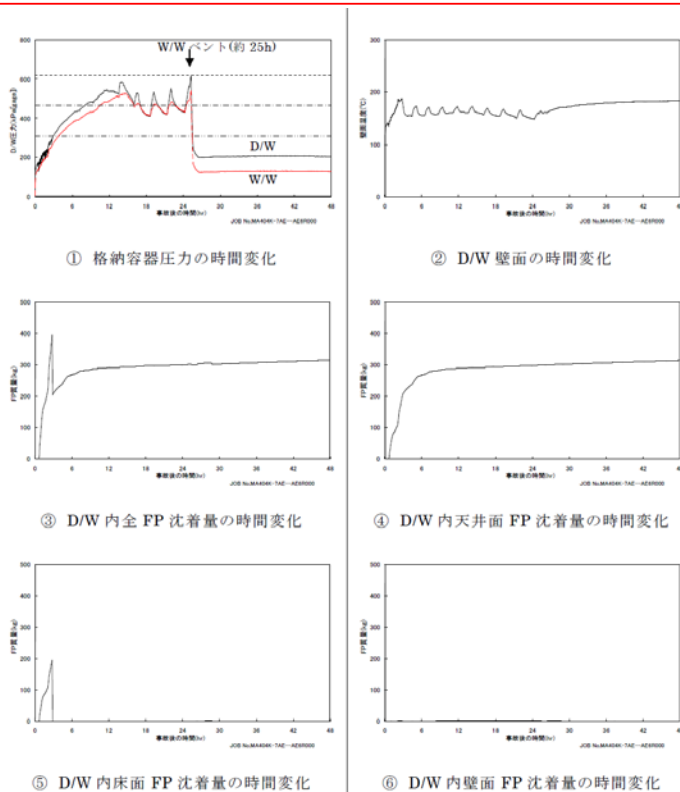
7. その他のシナリオへの影響について(格納容器破損防止)

項目	影響を与える解析条件	解析結果に与える主な影響	備考
格納容器過圧・過温破損シナリオ(大LOCA+ECCS機能喪失+SBO)	(1)常設代替交流電源設備受電時間変更 (2)復水貯蔵槽への補給水量変更 (3)重力沈降によるFP付着 (4)外部水源温度変更	・格納容器スプレイ時間延長及び格納容器圧力・温度低下によるベント実施までの時間の延長	
FCI	(4)外部水源温度変更	・ペDESTAL初期水温上昇による燃料落下時の格納容器圧力スパイクの増加	
MCCI	(4)外部水源温度変更	・コンクリートの侵食量にほとんど影響はない	
水素燃焼	(1)常設代替交流電源設備受電時間変更 (3)重力沈降によるFP付着 (4)外部水源温度変更	・受電時間を変更したものの、FP放出量はわずかに変化したのみ ・格納容器圧力挙動についても大きな変化はない	

7. その他のシナリオへの影響について(停止時)

項目	影響を与える解析条件	解析結果に与える主な影響(推定)	備考
SBO(停止時)	(1)常設代替交流電源設備受電時間変更 (4)外部水源温度変更	原子炉水位の挙動が若干変化するのみであり、ほとんど影響はない	

(参考)重力沈降を考慮した場合のFPの挙動について



■ D/W スプレイを開始する約3時間までは床面、天井に同等のFP量が沈着しているが、D/W スプレイ後は、③に示す沈着量の大部分が各ヒートシンクのうち④に示す天井側に付着したFP相当となっている。

■ヒートシンクがPCVスプレイにより水位形成した場合、ヒートシンクに付着するFP沈着量は水中の溶解可能なFP量に基づき計算される。FPの水への溶解度は大きいため、ヒートシンクが水没するとそこに付着したFPは基本的に「水没したヒートシンク」から「液相」へ移行する挙動となる。

■⑤の上部D/W床面のFP沈着挙動に示すとおりD/Wスプレイ後に、FP沈着量がほぼゼロとなるのは、スプレイにより上部D/W床面が一時的に水没し、沈着したFPが液相に取り込まれW/Wへ移行するためと考える。

■一方、天井側に付着したFPは、D/Wスプレイ等により天井ヒートシンクが水没することがないため、FPが発熱源として付着し続ける。

■以上の結果から、水平に設定したヒートシンクには、ヒートシンクの高さによらず、重力沈降によるFP沈着が計算され、上部D/W天井は水没しないため、結果として上部D/W天井に多くのFPが沈着して、②に示す壁面温度が高くなる結果になっている。

(参考)MAAP解析の上部D/W天井面への重力沈降によるFP付着条件の変更(FP挙動メカニズム)

エアロゾルの壁面等への沈着

- **重力沈降**：Stokesの重力沈降式とSmoluchowski方程式から得られる質量濃度から沈着を求める。
- **拡散泳動**：水蒸気凝縮に伴い発生する気流(Stefan流)に乗ってエアロゾルが運ばれ水蒸気凝縮面に沈着する。蒸気凝縮率から求める。
- **熱泳動**：温度勾配存在時に生じる高温側から低温側への移動(熱泳動)による熱泳動沈着速度をEpsteinのモデルから求める。
- **慣性衝突**：触媒の流れの中にある構造物に、流線から外れた粒子が衝突する。衝突による沈着率をSmoluchowski方程式から得られる相関式から求める。
- **凝縮/蒸発**：気体状FP分圧がFP飽和蒸気圧を下回る時/超えた時に生じる。

上部D/W天井面の設定

水平壁(「重力沈降、熱泳動」を考慮) → 垂直壁(「慣性衝突、熱泳動」を考慮)と変更し、重力沈降の影響を除く

(参考)外部水源温度(復水貯蔵槽水温)の変化の妥当性

<想定>

- ・事象開始12時間後に淡水貯水池の水(32°Cを超えることはないと考えられるが、極めて保守的である40°Cと設定した場合)を130m³/hで復水貯蔵槽に補給と想定

<解析条件と計算結果の比較>

	事象開始～12h	事象開始12h～24h	事象開始24h～
復水貯蔵槽水温(解析条件)	50°C	45°C	40°C
復水貯蔵槽水温(計算結果)	50°C	平均41.8°C	平均40.0°C

