

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	SA 設-8-9 改3
提出年月日	平成 29 年 8 月 25 日

東海第二発電所

原子炉格納容器の過圧破損を防止するため

の設備（格納容器圧力逃がし装置）

について

平成 29 年 8 月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

50-11 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備
(格納容器圧力逃がし装置) について

<別紙 目次>

- 別紙 1 可燃性ガスの爆発防止対策について
- 別紙 2 格納容器圧力逃がし装置の系統設計条件の考え方について
- 別紙 3 格納容器圧力逃がし装置の漏えいに対する考慮について
- 別紙 4 フィルタ装置の各構成要素における機能について
- 別紙 5 金属フィルタドレン配管の閉塞及び逆流防止について
- 別紙 6 流量制限オリフィスの設定方法について
- 別紙 7 ベント実施時の放射線監視測定の考え方について
- 別紙 8 電源構成の考え方について
- 別紙 9 エアロゾルの再浮遊・フィルタの閉塞について
- 別紙 10 ベンチュリスクラバにおける無機よう素の再揮発・薬剤の容量不足について
- 別紙 11 よう素除去部におけるよう素の再揮発、吸着剤の容量減少及び変質について
- 別紙 12 スクラビング水の保有水量の設定根拠について
- 別紙 13 スクラビング水が管理範囲を超えた場合の措置について
- 別紙 14 よう素除去部へのスクラビング水の影響について
- 別紙 15 圧力開放板の信頼性について
- 別紙 16 フレキシブルシャフトが常時接続されている状態における弁操作の詳細メカニズム
- 別紙 17 ベント実施に伴うベント弁操作時の作業員の被ばく評価
- 別紙 18 スクラビング水補給及び窒素供給作業の作業員の被ばく評価
- 別紙 19 格納容器内の圧力が計測できない場合の運用について

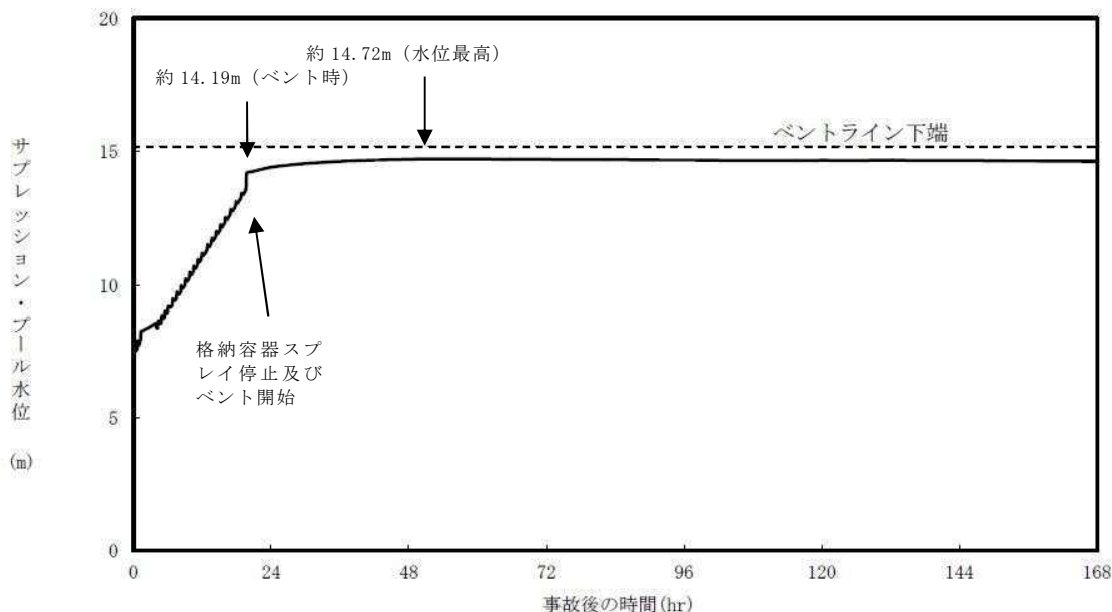
- 別紙 20 ベント停止手順について
- 別紙 21 格納容器雰囲気温度によるベントの運用について
- 別紙 22 格納容器減圧に伴うベント管からサプレッション・プールへの冷却水の流入について
- 別紙 23 有効性評価における炉心損傷の判断根拠について
- 別紙 24 格納容器からの異常漏えい時における対応について
- 別紙 25 格納容器スプレイが実施できない場合のベント運用について
- 別紙 26 ベント準備操作開始タイミングについて
- 別紙 27 格納容器圧力逃がし装置の計装設備の網羅性について
- 別紙 28 格納容器圧力逃がし装置の計装設備の概略構成図
- 別紙 29 フィルタ装置入口水素濃度計の計測時間遅れについて
- 別紙 30 配管内面に付着した放射性物質による発熱の影響について
- 別紙 31 地震による損傷の防止に関する耐震設計方針の説明
- 別紙 32 フィルタベント設備の外部事象に対する考慮について
- 別紙 33 主ライン・弁の構成について
- 別紙 34 各運転モードにおける系統構成と系統内の水素濃度について
- 別紙 35 ベント実施によるプルーム通過時の要員退避について
- 別紙 36 エアロゾルの保守性について
- 別紙 37 希ガスの減衰効果に期待したドライウェルベントを実施した場合の影響評価
- 別紙 38 コリウムシールド侵食時のガス及びエアロゾル発生について
- 別紙 39 格納容器圧力逃がし装置使用後の保管管理
- 別紙 40 ベント放出位置の違いによる公衆被ばくへの影響について
- 別紙 41 スクラビング水の pH について
- 別紙 42 計装設備が計測不能になった場合の推定方法，監視場所について

- 別紙 43 ステンレス構造材，膨張黒鉛パッキンの妥当性について
- 別紙 44 エアロゾルの粒径分布が除去性能に与える影響について
- 別紙 45 エアロゾルの密度の変化が慣性衝突効果に与える影響について
- 別紙 46 JAVA 試験及び JAVA PLUS 試験の適用性について
- 別紙 47 フィルタ装置格納槽内における漏えい対策について
- 別紙 48 格納容器フィルタベント設備隔離弁の人力操作について
- 別紙 49 格納容器圧力制御のための代替格納容器スプレイの運用について
- 別紙 50 フィルタ装置における化学反応熱について
- 別紙 51 スクラビング水の粘性の変化が除去性能に与える影響について
- 別紙 52 窒素供給装置の容量について
- 別紙 53 フィルタ装置入口配管の位置について

格納容器減圧に伴うベント管からサブプレッション・プールへの
冷却水の流入について

代替格納容器スプレイ冷却系（常設）等による代替格納容器スプレイを実施する場合、外部水源の持ち込みによるサブプレッション・プール水位の上昇により、ベントラインが水没するおそれがある。サブプレッション・プールの水位は、ベント時のサブプレッション・チェンバ圧力低下に伴う体積膨張及びベント管からの水の流入によっても上昇するため、これらを考慮してもベント実施後にベントラインが水没しないよう格納容器スプレイを停止する必要がある。

原子炉注水した冷却材が破断口からサブプレッション・プールに移行し、サブプレッション・プール水位の上昇が最も厳しいシーケンスとなる「雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)」におけるサブプレッション・プール水位の挙動を第 1 図に示す。格納容器スプレイ停止後、ドライウエール圧力が上昇することでベント管内の冷却材の一部が押し出されサブプレッション・プール水位が上昇する。ベントを開始すると、サブプレッション・チェンバの圧力が低下し、ベント管内に残存する冷却材がサブプレッション・プールに押し出されることで更に水位が上昇する。その後は、破断口から流出する冷却材の流入等による水位上昇効果と、ベント時の圧力低下やサブプレッション・プール内の核分裂生成物からの崩壊熱によるサブプレッション・プール水の蒸発による水位低下効果のバランスによりサブプレッション・プール水位が変動するが、ベントライン下端まで到達しない。また、ベント実施時の減圧沸騰によるサブプレッション・プールの水位上昇を考慮してもベントライン下端まで到達しない。



第 1 図 雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)

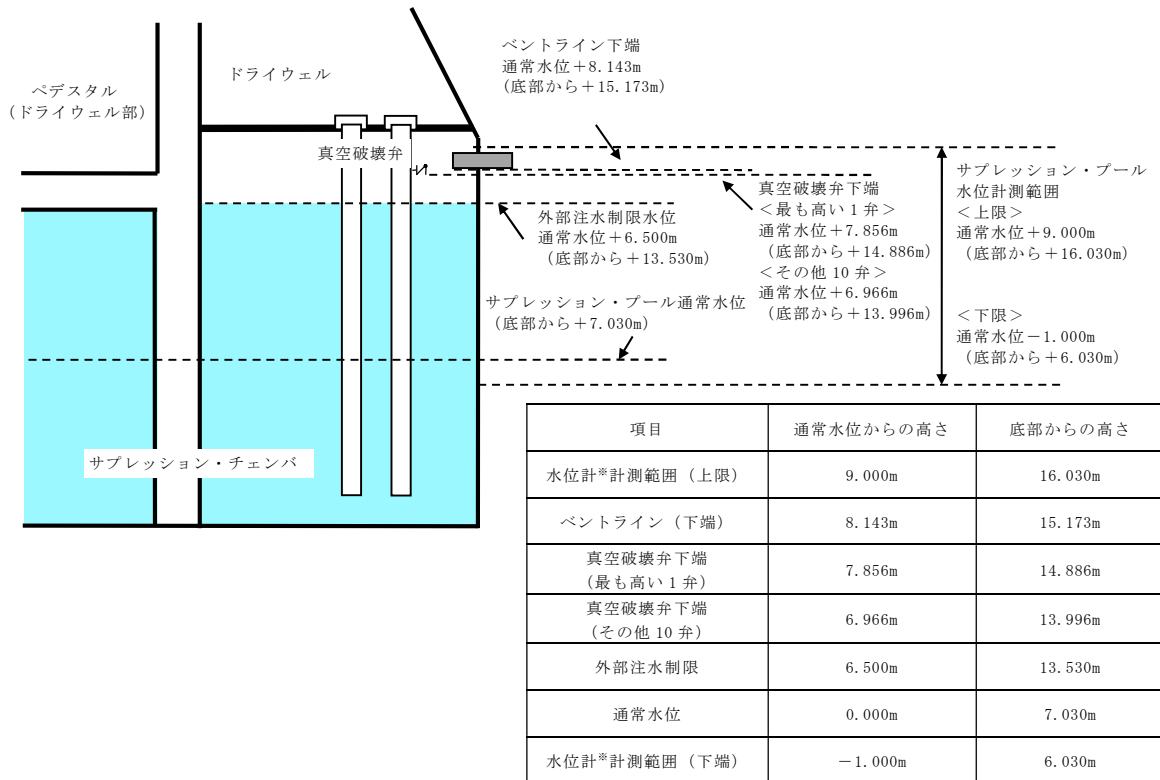
におけるサプレッション・プール水位の挙動

格納容器圧力逃がし装置によるサプレッション・チェンバからのベント実施時には、ベント管内に残存する冷却材がサプレッション・チェンバに流入することで、サプレッション・プール水位が最大約 14.72m まで上昇するものの、ベントライン下端高さである約 15.17m に対して余裕がある(第 2 図)。また、ベント管に設置されている真空破壊弁(第 3 図) 11 弁のうち 10 弁については、下端高さが約 13.99m であることから、この水位上昇によって機能喪失するおそれがあるが、最も高い位置に設置されている残り 1 弁の真空破壊弁下端高さは約 14.88m であるため、水没しない。なお、真空破壊弁設置の目的はドライウェルの負圧防止であるが、ベント実施時においてはドライウェルが負圧に至る状況にないため、真空破壊弁が水没することに対する影響はないと考えられる。

また、減圧沸騰が発生すると考えられるベント実施時(サプレッション・プール水位: 約 14.19m) について、減圧沸騰を考慮した場合の水位を評価した結果、水位上昇幅は約 0.85m となり、サプレッション・プール水位は約 15.04m

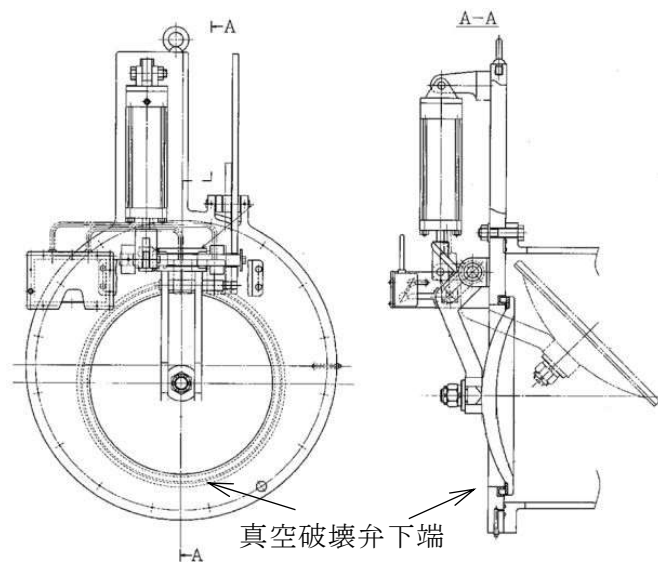
に到達するが、ベントライン下端高さである約 15.17m に対して余裕があるため、減圧沸騰の影響によってベントが妨げられることはない。また、最も高い位置に設置されている真空破壊弁の下端高さが約 14.88m であることから、一時的に最も高い位置に設置されている真空破壊弁の下端以上となるが、減圧沸騰が収束することで再度真空破壊弁は露出する。さらに、真空破壊弁が水没した場合、サブプレッション・チェンバの圧力が上昇することが考えられるが、サブプレッション・チェンバの圧力が上昇すれば減圧沸騰が抑制され、再度真空破壊弁が露出することとなることから、減圧沸騰によって一時的に最も高い位置に設置されている真空破壊弁が水没することによる影響はほとんどないと考えられる。

なお、以上の減圧沸騰による水位上昇評価は、サブプレッション・プールの圧力がサブプレッション・チェンバ圧力に等しいと仮定して評価しているが、現実的にはサブプレッション・プールの下部には水頭圧がかかることにより、プール全体が減圧沸騰することはないため、水位は約 15.04m より低くなると考えられる。



※重大事故等対処設備として設置するもの

第2図 サプレッション・プール水位に係る位置関係概要図



第3図 真空破壊弁概略図

(1) ベント実施時の減圧沸騰による水位上昇評価

① 評価条件

- ・ サプレッション・プール水位 : 約 14.2m
- ・ サプレッション・プール水面表面積 : 約 474m²
- ・ ベント実施直後のサプレッション・チェンバ圧力 : 約 330kPa [gage]
- ・ ベント実施直後のベント流量 : 約 16.0kg/s

② 評価方法

減圧沸騰時のボイド率からサプレッション・プール水位の上昇分を求める。サプレッション・プール水中で一様な蒸気発生がある場合の平均ボイド率は、ドリフトフラックスモデルから以下の式 (1) により求める。

$$\alpha = \frac{jg}{Vg + jgCo} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、jg はサプレッション・プール表面での見かけ蒸気速度であり、蒸気流量 (Wg)、サプレッション・プール表面積 (Ap)、及び蒸気密度 (ρg) を用いて、以下の式 (2) により求める。

$$jg = \frac{Wg}{Ap \rho g} \dots \dots \dots (2)$$

また、Vg はドリフト速度 (局所的な気液管速度差) であり、以下の計算式 (3) により求める。

$$Vg = 1.53 \left(\frac{\sigma \cdot g \cdot (\rho w - \rho g)}{\rho w^2} \right)^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

σ : 水の表面張力 (0.048N/m)

g : 重力加速度 (9.81m/s²)

ρ_w : 水の密度 (920.14kg/m³※)

ρ_g : 蒸気の密度 (2.32kg/m³※)

C_o : 分布定数 (1.0)

※サプレッション・チェンバ圧力 330kPa[gage]時における値

として、平均ボイド率 α を求めると約 0.0595 となる。

③評価結果

サプレッション・プール水位は減圧沸騰により約 5.95%体積膨張する。
その結果、ベント時のサプレッション・プール水位約 14.19m に対して、減
圧沸騰により水位は約 0.85m 上昇し、約 15.04m となる。

格納容器圧力制御のための代替格納容器スプレイの運用について

(1) 代替格納容器スプレイの運用について

東海第二発電所の有効性評価においては、格納容器圧力制御のための外部水源を用いた代替格納容器スプレイを実施する場合、炉心損傷前は 279kPa[gage] (0.9Pd) - 217kPa[gage] (0.7Pd), 炉心損傷後は 465kPa[gage] (1.5Pd) - 400kPa[gage] (1.3Pd) の間で、スプレイ流量 130m³/h にてスプレイ弁の開閉による間欠スプレイを実施することとしている。

これは、事故時運転手順に基づき、上記の圧力制御範囲において、スプレイ水温を保守的に高めに (35℃) 設定した場合においても 130m³/h のスプレイにて格納容器の圧力を下げられることを示すためである。

ただし、実際の事故時に間欠スプレイを実施する場合、スプレイの開始及び停止を繰り返すこととなり、運転員の負担増加等によるストレス増加及び多数回のスプレイ弁の開閉によるスプレイ弁故障のリスク増加が懸念される。

そこで、実運用としては、スプレイの効果を高くするため、可能な限り格納容器圧力を高い領域で維持することとする。上記圧力制御範囲において、スプレイ流量を調整し、可能な限り連続スプレイとすることで、上記懸念を回避することとする。また、スプレイ流量が低下した場合、スプレイ液滴径が大きくなり、十分な蒸気凝縮効果及びエアロゾル除去効果が得られないことが懸念されるため、スプレイ流量の下限値は、MAAP解析にて有効性を確認しているスプレイ液滴径 2mm 以下の粒径が確保される 102m³/h を設定する (補足 1)。なお、102m³/h の代替格納容器スプレイ実施中において、格納容器圧力が 400kPa[gage] (1.3Pd) に到達した場合には、代替格納容器スプレイを停止し、再度格納容器圧力が 465kPa[gage] (1.5Pd) に到達した時点で代替格納容器スプレイを実施する運用とする。

(2) 影響評価

可能な限り連続スプレイを実施する場合において、間欠スプレイを実施する場合には、第1表に整理する相違点があり、その影響を確認する。

第1表 有効性評価との相違点と影響評価について

相違点	項目	評価
スプレイ流量の低下	格納容器圧力低下効果の不足	影響評価①
	格納容器温度低下効果の不足	
スプレイ停止期間の減少	ベント開始時間が早くなることによる被ばく影響の増大	影響評価②
	エアロゾル除去効果の低下	
格納容器圧力が高い領域で推移	格納容器からの放射性物質の漏えい量の増加	

a. 影響評価①

格納容器圧力制御のための代替格納容器スプレイを連続スプレイとした場合、有効性評価において実施している $130\text{m}^3/\text{h}$ から流量を低下させることとなるため、格納容器圧力及び温度に与える影響を確認する。また、有効性評価ではサプレッション・プール水位上昇を抑制するために間欠での代替格納容器スプレイを実施しているが、連続スプレイとした場合には、サプレッション・プール水位上昇が早くなるおそれがあるため、ベント開始時間に与える影響を確認する。

(a) 評価条件

代替格納容器スプレイ流量範囲の下限である $102\text{m}^3/\text{h}$ で一定とした条件での感度解析「 $102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケース」を実施した。また、その他の条件は有効性評価シナリオ「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格

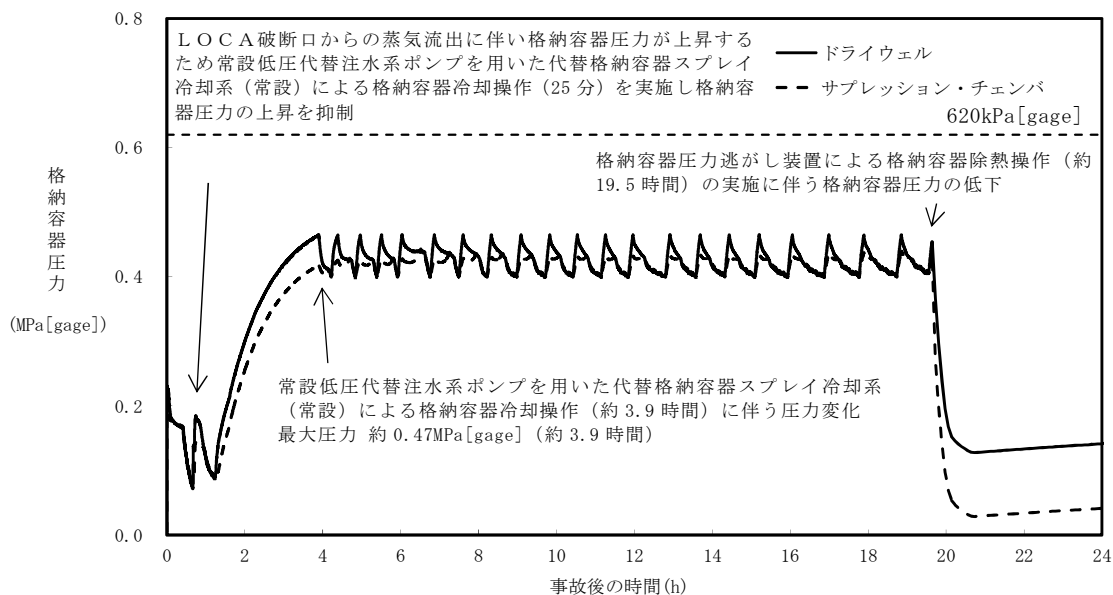
格納容器過圧・過温破損) (代替循環冷却系を使用しない場合)」(以下「ベースケース」という。)と同じとした。

ベースケースと $102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケースを対比し、連続スプレイとした場合の影響について確認する。

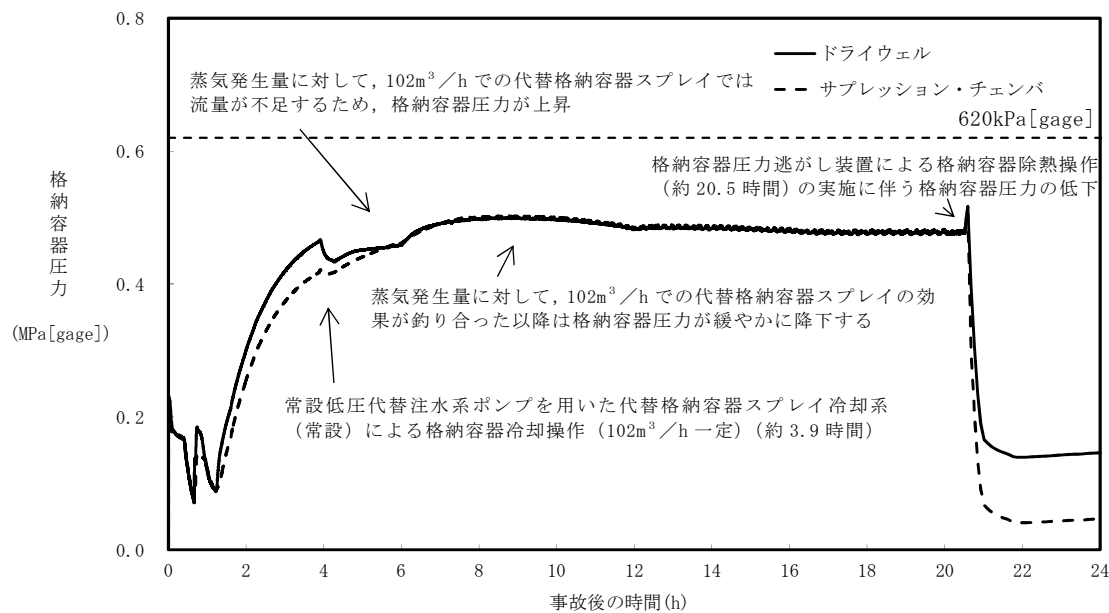
(b) 評価結果

ベースケースにおける格納容器圧力の推移を第 1 図に、格納容器温度の推移を第 3 図に示す。また、 $102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケースにおける格納容器圧力の推移を第 2 図に、格納容器温度の推移を第 4 図に示す。

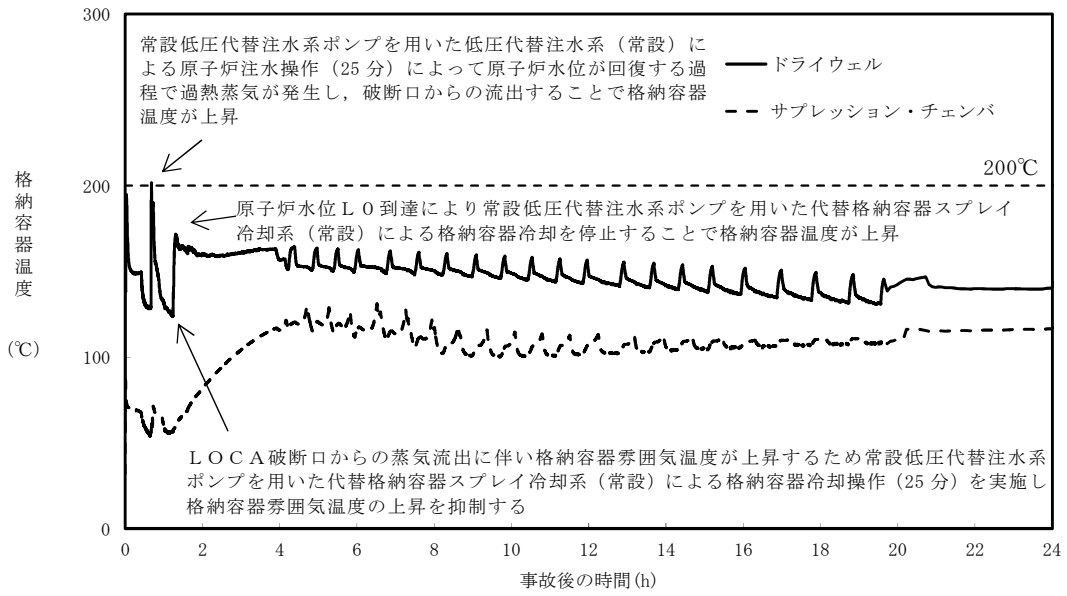
$102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケースでは、約 4 時間後から約 9 時間後まで、蒸気発生量に対してスプレイ流量が不足し、格納容器圧力が上昇する結果となった。ただし、実運用では、スプレイ流量を増加させることで圧力を 465kPa (1.5Pd) 以下に抑制することが可能である。また、 $102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケースにおけるベント開始時間は約 20.5 時間であり、ベースケースの約 19.5 時間よりも遅くなる結果となった。



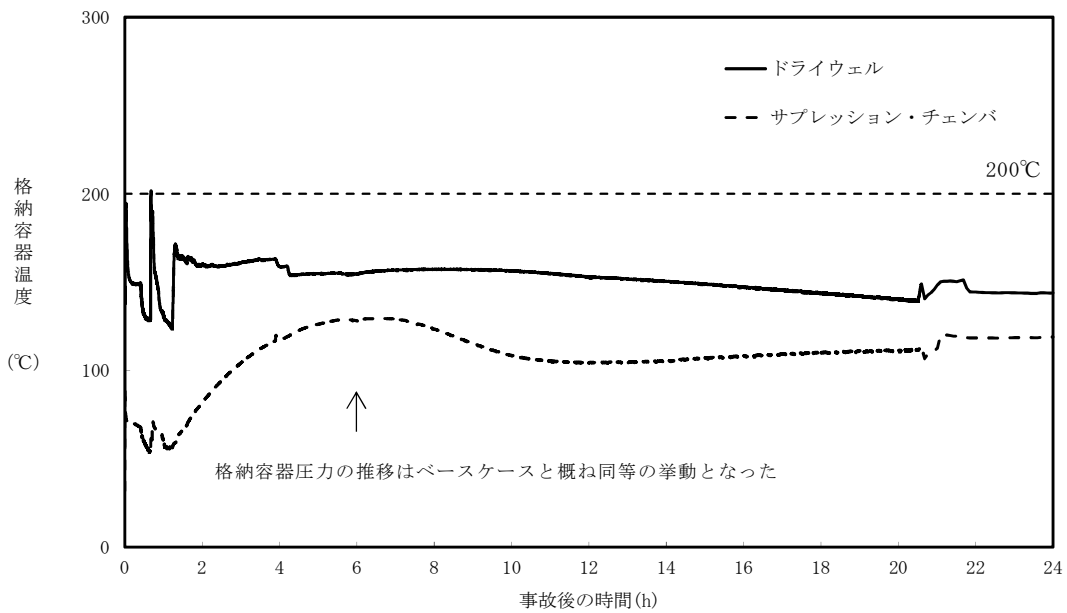
第 1 図 ベースケースにおける格納容器圧力の推移 (24 時間)



第 2 図 102m³/h 一定ケースにおける格納容器圧力の推移 (24 時間)



第3図 ベースケースにおける格納容器温度の推移（24時間）



第4図 102m³/h一定ケースにおける格納容器温度の推移（24時間）

b. 影響評価②

被ばく評価において、MAAP解析結果に基づき、格納容器から原子炉建屋への漏えいを評価する希ガス、エアロゾル及び有機よう素については、格納容器の圧力が高く維持される連続スプレイの方が多くなるおそれがある。

(a) 評価条件

代替格納容器スプレイによる圧力制御範囲において、可能な限り格納容器圧力を高い領域で維持した場合を模擬させるため、格納容器圧力を465kPa[gage] (1.5Pd) でほぼ一定とした感度解析「1.5Pd 制御ケース」を実施した。465kPa[gage] (1.5Pd) でほぼ一定の格納容器圧力となるよう、465kPa[gage] (1.5Pd) から462kPa[gage] (1.49Pd) の圧力範囲で間欠スプレイを実施する条件とした。また、その他の条件はベースケースと同じとした。

ベースケースと1.5Pd制御ケースを対比し、連続スプレイとした場合の希ガス、エアロゾル及び有機よう素の漏えいによる放出割合の影響について確認する。

(b) 評価結果

放出割合の評価結果を第2表に示す。

第 2 表 ベースケースとの放出割合の比較

核種グループ		放射エネルギー(0.5MeV換算値)		ベースケースとの比較
		ベースケース	1.5Pd制御ケース	
1	希ガス類	2.423E+15	2.249E+15	9.285E-01
2'	有機よう素	2.890E+15	2.680E+15	9.274E-01
2	C s I類	1.121E+15	1.139E+15	1.016E+00
3	C s O H類	9.065E+13	9.190E+13	1.014E+00
4	S b類	1.693E+12	1.717E+12	1.014E+00
5	T e O ₂ 類	1.445E+13	1.465E+13	1.014E+00
6	S r O類	5.607E+11	5.700E+11	1.017E+00
7	B a O類	5.468E+12	5.544E+12	1.014E+00
8	M o O ₂ 類	2.267E+12	2.298E+12	1.014E+00
9	C e O ₂ 類	9.046E+11	9.175E+11	1.014E+00
10	L a ₂ O ₃ 類	7.939E+11	8.051E+11	1.014E+00
合計		6.550E+15	6.187E+15	9.446E-01

第 2 表に示すとおり、エアロゾルは 2%程度増加する結果となったが、希ガス及び有機よう素は減少する結果となった。これは、ベースケースにおいて、間欠スプレイを実施することで急激にドライウェル圧力が低下し、サプレッション・チェンバから希ガス及び有機よう素を含む非凝縮性ガスがドライウェルに移行し、漏えい面積のより大きいドライウェル内の非凝縮性ガスの割合が増加するのに対し、1.5Pd制御ケースの場合、ドライウェルとサプレッション・チェンバ間の急激な差圧が生じず、ドライウェルに移行する非凝縮性ガスの割合が相対的に低くなったためである。

また、ベースケースにおける格納容器から原子炉建屋への漏えいする希ガス、有機よう素及びその他の核種の被ばくへの寄与率は、第 3 表に示すとおり、希ガス及び有機よう素による寄与が大半を占めてい

る。1.5Pd 制御ケースにて増加するエアロゾルの影響は軽微であることに加え、寄与率の高い希ガス及び有機よう素が減少していることから、間欠スプレイを実施するベースケースの方がより保守的な評価となる。エアロゾル除去効果に与える影響についても、寄与率の高い希ガス及び有機よう素が減少していることからこれに包含されるものと考えられる。

第3表 核種グループごとの被ばく寄与率

	外部被ばく寄与率	内部被ばく寄与率	グランドシャイン
希ガス	約 56%	—	—
有機よう素	約 22%	約 54%	約 96%
無機よう素	約 20%	約 34%	
粒子状よう素	約 1%	約 2%	
エアロゾル	約 1%	約 9%	約 4%

さらに、a. にて示したように、 $102\text{m}^3/\text{h}$ 一定ケースでは、ベースケースと比較し、ベント開始時間が遅くなることで被ばく評価において大半の寄与を占める希ガスの減衰時間が増えるため、より被ばく線量は低くなる。

なお、無機よう素については、有効性評価における格納容器圧力の制御範囲を包含するよう漏えい率を与えているため、影響はない。

以上のことから、被ばく評価において、ベースケースの方がより保守的な結果となるため、被ばく評価に対する影響はない。

補足 1 スpray 流量制御の下限値の設定について

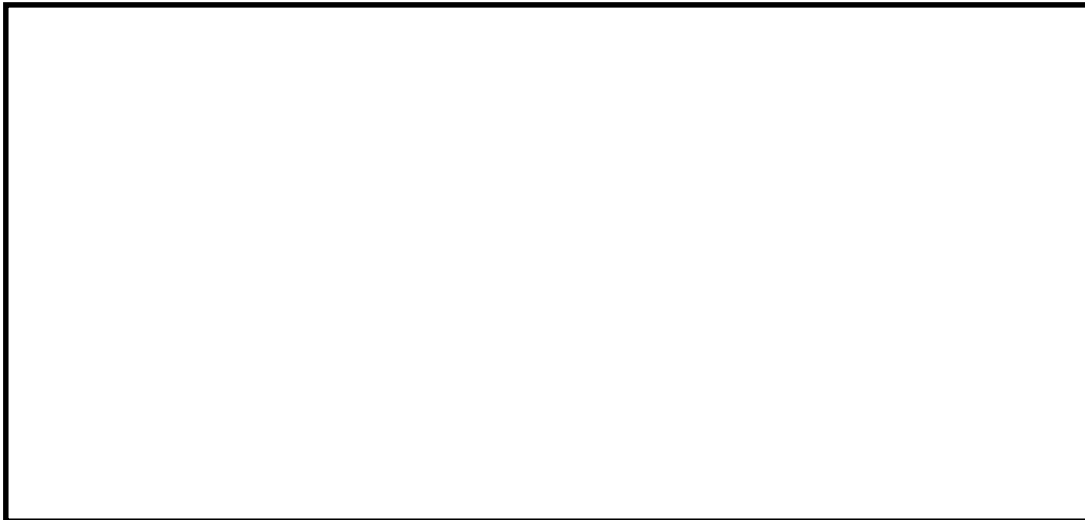
格納容器スプレイによるエアロゾル除去効果については、MAAPコードにおいて取扱っており、スプレイ液滴径と相関があるため、スプレイ流量を低下させた場合、液滴径が大きくなることで十分なエアロゾル除去効果が確保されないおそれがある。そのため、連続スプレイ流量制御の下限値は、MAAP解析にて有効性を確認している粒径である 2mm が確保される流量を設定する。流量制御の下限値の設定に当たっては、実験^[1]による知見に基づき、代替格納容器スプレイ流量の下限値を設定する。

1. 実験の知見及び考察

実験の結果を第 1 表に示す。実験において、ノズル当たりの流量が 1.4L/min 以上であれば、液滴径の平均は 2mm 以下となることが確認されている。しかしながら、ノズル当たりの流量が 5.6L/min の場合、第 1 図に示すとおり、液滴径にはばらつきがあり、2 mm に到達する実験結果も存在する。そのため、安定して 1 mm 以下の液滴径となる流量として、ノズル当たりの流量が 10L/min 以上確保される流量を代替格納容器スプレイ流量制御の下限値として設定する。

第 1 表 ノズル当たりの流量と平均液滴径の関係

--



第 1 図 スpray液滴径の実験結果

(ノズル当たりの流量 18.0L/min, 10.0L/min 及び 5.6L/min)

2. 流量制御の下限値の設定

東海第二発電所における Sprayヘッダのノズル数は 170 個であることから、下式に示すとおり、 Spray流量 102m³/h 以上を確保することで、 Sprayノズル当たりの流量は 10L/min 以上確保される。

$$\text{○系統流量} = 10 \text{ (L/min/ノズル)} \times 170 \text{ (ノズル)}$$

$$= 1,700 \text{ (L/min)}$$

$$= 102 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

- [1] 共同研究報告書、放射能放出低減装置に関する開発研究 (PHASE2) (平成 5 年 3 月)