

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	SA 設-8-9 改5
提出年月日	平成 29 年 9 月 13 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 9 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。

## <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

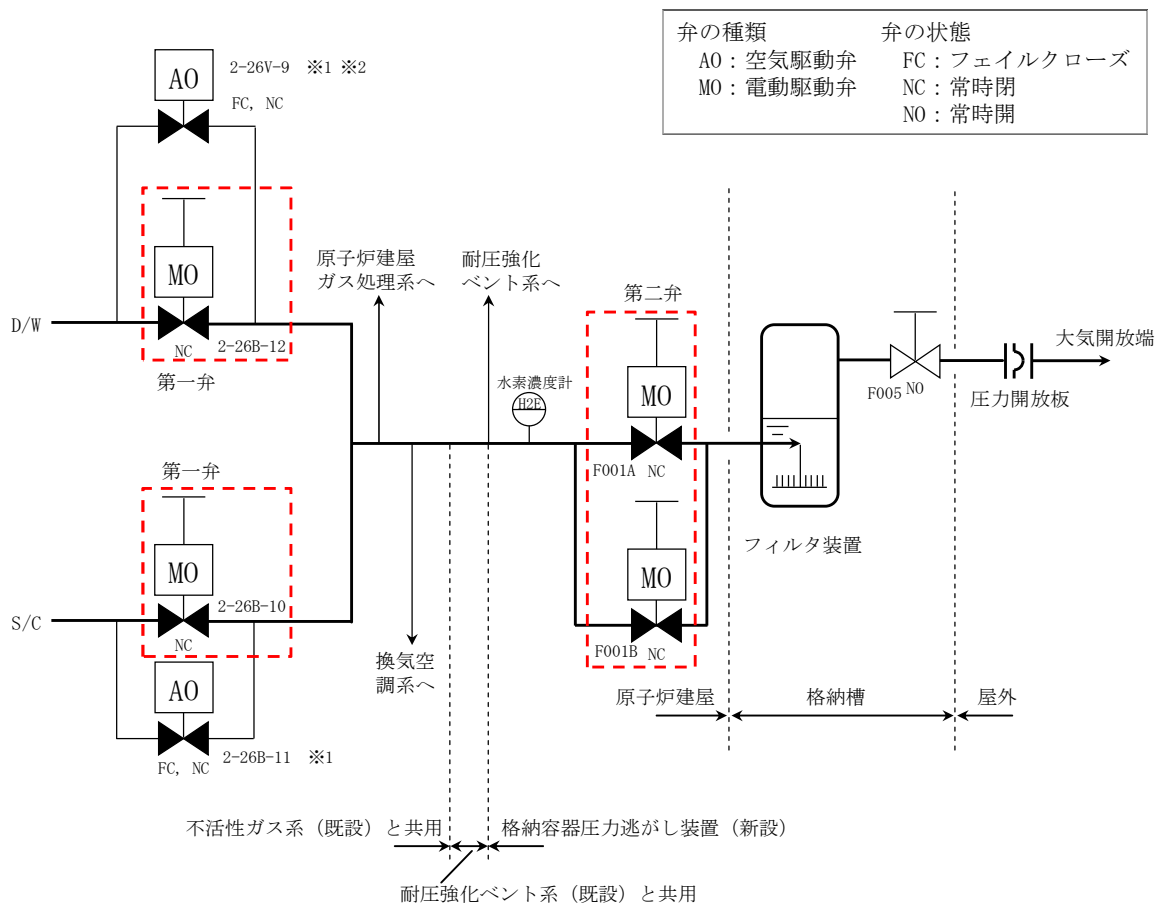
- 別紙 43 ステンレス構造材，膨張黒鉛パッキンの妥当性について
- 別紙 44 エアロゾルの粒径分布が除去性能に与える影響について
- 別紙 45 エアロゾルの密度の変化が慣性衝突効果に与える影響について
- 別紙 46 JAVA 試験及び JAVA PLUS 試験の適用性について
- 別紙 47 フィルタ装置格納槽内における漏えい対策について
- 別紙 48 格納容器フィルタベント設備隔離弁の人力操作について
- 別紙 49 格納容器圧力制御のための代替格納容器スプレイの運用について
- 別紙 50 フィルタ装置における化学反応熱について
- 別紙 51 スクラビング水の粘性の変化が除去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

主ライン・弁の構成について

1. 主ライン構成

1.1 系統概要図

格納容器圧力逃がし装置のベントガスを格納容器から大気開放端まで導く主ラインの概略図を第 1 図に示す。



- ※1： 2-26V-9 及び 2-26B-11 はプラント運転中の格納容器圧力の調整に用いる小口径（50A）の弁であり，格納容器圧力逃がし装置の経路としては十分ではない。
- ※2： 2-26V-9 は，現在バタフライ弁であるが，高温時における弁のシール性向上のためグローブ弁に交換する。

第 1 図 格納容器圧力逃がし装置 主ライン概略図

## 1.2 設計の意図

東海第二発電所では、格納容器の圧力及び温度を低下させるためのベントを確実にを行うため、以下に配慮し、主ラインの設計を行っている。

### (1) 主ラインの取り出し及び構成

格納容器からの取り出しについては、サプレッション・プール水でのスクラビング効果が期待できるサプレッション・チェンバ（S/C）からの取り出しに加え、外部注水等による水没の影響を受け難いドライウエル（D/W）上部からの取り出しを行っている。

具体的な取り出し位置（貫通孔）については、漏えい経路の増加等による大気への放射性物質の放出リスク増加を最小限に抑えるため、既存の貫通孔の中から十分な排気容量が確保できる口径を有する不活性ガスの貫通孔（600A）を選定し使用する構成としている。

主ラインは不活性ガス系配管（既設）、耐圧強化ベント系配管（既設）を経て、格納容器圧力逃がし装置配管（新設）によりフィルタ装置に導かれるが、他の系統とは弁で隔離することで、他の系統や機器への悪影響を防止する設計としている（3. 参照）。

### (2) 格納容器隔離弁

格納容器隔離弁の設置要求（実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈）に基づき、S/C側及びD/W側それぞれの主ラインに格納容器隔離弁（第一弁）として電動駆動弁（MO弁）を各1弁設置する構成としている。また、主ラインが合流した後に格納容器隔離弁（第二弁）として電動駆動弁（MO弁）を並列に2弁設置する構成としている。

### (3) フィルタ装置出口弁

フィルタ装置出口弁は、ベント実施後にフィルタ装置を大気から隔離す

るために設置している。

### 1.3 弁の設置位置の妥当性（物理的位置，他からの悪影響）

ベント開始に必要な主ラインの隔離弁（S/C側第一弁，D/W側第一弁及び第二弁）の設置位置は，弁の設置スペース，人力による遠隔操作性等を考慮して決定している。

また，事故後の環境条件を考慮した設計としているため，ベント時においても弁の健全性は確保され，主ラインの隔離弁は，電源がある場合は中央制御室で操作できる。炉心損傷後は弁設置エリアが高線量となるため，現場において弁本体を直接操作することはできないが，遠隔人力操作機構を設けることで駆動源喪失時においても人力による開閉操作が可能である。

なお，遠隔人力操作機構の操作場所は，遮蔽効果が得られる二次格納施設外とし，さらに，必要な遮蔽及び空気ポンペを設置し，作業員の被ばく低減に配慮している。

遠隔人力操作機構は，フィルタ装置入口配管付近に敷設されることから高線量，高温雰囲気による機能への影響の可能性があるため，これらの耐性を確認した。

#### （1）耐放射線性について

フィルタ装置入口配管**近傍**における積算線量は，有効性評価で確認している19時間ベントで**約**19kGy/7日と評価している。これに対し，配管と同エリアにある機器の積算線量は36kGy/7日と保守的に設定している。遠隔人力操作機構を構成する部品のうち，フレキシブルシャフトの被覆（シリコンゴム）及び摺動部に使用される潤滑油は，長期的には放射線による劣化が考えられる。

ただし、フレキシブルシャフトの被覆は、据付時等の製品保護用であり、劣化（硬化）しても機能への影響はない。

また、潤滑油については、隔離弁の操作時間のような短期間で劣化（粘度増加）することはなく機能への影響はない。

## （2）耐熱性について

ベント時のフィルタ装置入口配管は、表面温度を 170℃程度（別紙 30）と評価しているが、周囲の温度が 60℃程度になるように保温を施工する設計としている。

フレキシブルシャフト被覆（シリコンゴム）の耐熱温度は 200℃以上であり、また、遠隔人力操作機構を構成するフレキシブルシャフトの被覆以外の部品については金属材料であり、温度上昇が機能に影響することはない。

よって、遠隔人力操作機構は、フィルタ装置入口配管付近に敷設される環境でも、機能への影響はない。

遠隔人力操作機構フレキシブルシャフトの構造を第 2 図に、主ラインの隔離弁の配置位置及び人力による遠隔操作位置を第 3 図～第 5 図に示す。

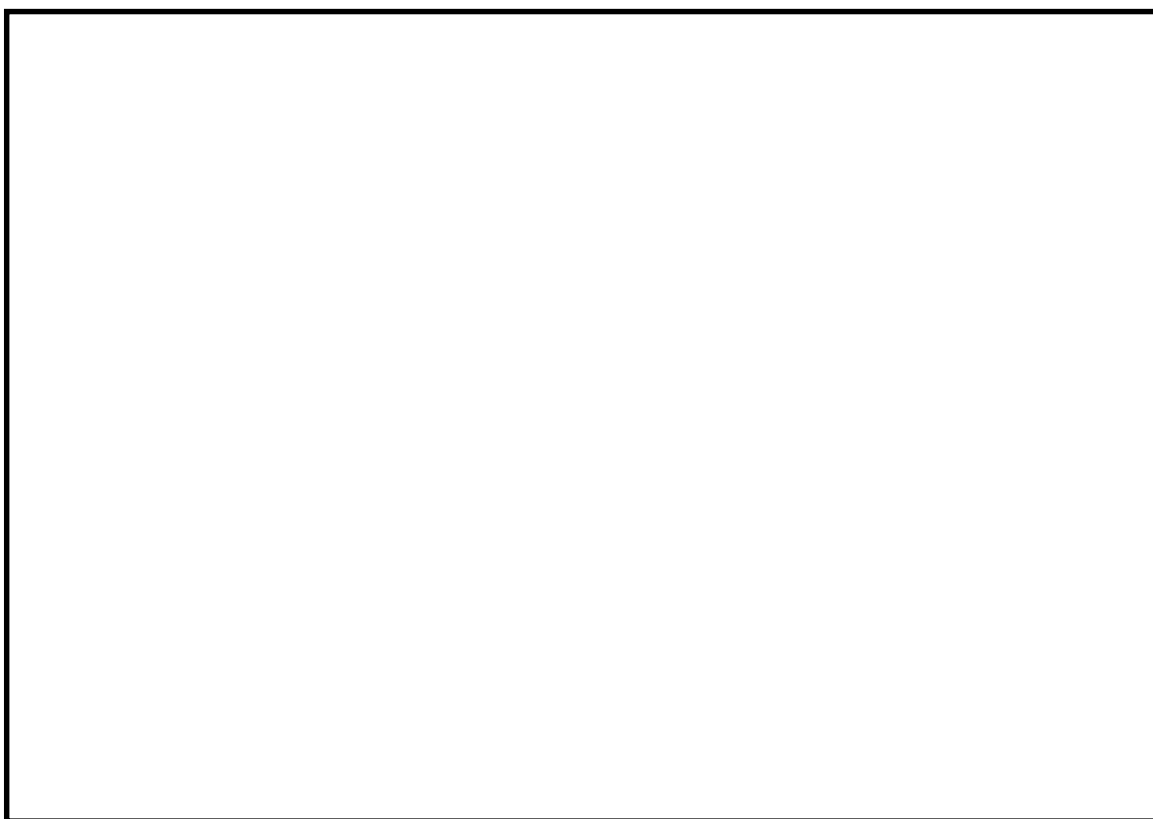


第 2 図 遠隔人力操作機構フレキシブルシャフトの構造





第 3 図 第一弁（S / C 側）配置図



第 4 図 第一弁（D / W 側）及び第二弁配置図



第 5 図 第二弁配置図

## 1.4 開の確実性，隔離の確実性

### (1) 開の確実性

ベント実施時は，第一弁，第二弁の順に開弁する。第一弁，第二弁とも交流電源で駆動する弁であり，中央制御室の制御盤から遠隔操作できる設計としている。

駆動源となる電源は，通常時には非常用母線より給電しているが，重大事故等で非常用母線が喪失した場合には，重大事故等に対処するために必要な電源の供給が可能なよう常設代替交流電源設備及び可搬型代替交流電源設備から給電できる構成とし，高い信頼性を確保している。

また，これら代替電源設備からの受電が期待できない場合は，遠隔人力操作機構により，放射線量率の低い二次格納施設外にて人力で開閉操作が実施できること，補助ツールとして汎用の電動工具を用いることで操作時間を短縮できる設計としている。

以上のように，操作方法に多様性を持たせ開操作が確実に実施できる。

### (2) 隔離の確実性

#### a. ベント実施前

ベント実施前は，格納容器バウンダリの維持が要求される。格納容器圧力逃がし装置の隔離弁（第一弁，第二弁）は常時「閉」であり，中央制御室の操作スイッチにカバーを取り付けて誤操作防止を図っていること，駆動源喪失時その状態が維持（フェイルアズイズ）されるため，確実に隔離状態は維持される。

#### b. ベント実施後

ベント実施後は，格納容器圧力逃がし装置の隔離弁を閉とし格納容器と隔離する。さらに，フィルタ装置出口弁を閉とし，フィルタ装置を大気と隔離する。

格納容器と格納容器圧力逃がし装置の隔離について、格納容器からの除熱機能が復旧し、格納容器及び格納容器圧力逃がし装置の窒素置換後に、ベント実施時に開弁した隔離弁（第一弁）を閉とし、格納容器バウンダリを復旧する。閉操作の確実性は、(1) 開の確実性と同等に実施できる。

フィルタ装置と大気の隔離について、放射性物質を含むスクラビング水の移送が完了し、捕集した放射性物質の崩壊熱が除去できた後に、フィルタ装置下流に設置したフィルタ装置出口弁を閉とし、フィルタ装置を大気と隔離することができる。この弁の操作は、ベント実施後に放射線量が高くなるフィルタ装置設置エリアに入域せずに実施できるよう、地下格納槽内に遮蔽壁（コンクリート遮蔽 1.3m）を設け、遠隔人力操作機構を設置することで、フィルタ装置設置エリア外から人力で操作できる設計としている。

## 2. 弁の種類

### 2.1 主ラインの弁構成の考え方

空気作動弁（A0 弁）は，駆動源喪失時の弁状態を選択（フェイルオープン，フェイルクローズ）する箇所に用いる。電動駆動弁（M0 弁）は駆動源喪失時に弁状態を維持（フェイルアズイズ）する箇所に用いる。また，M0 弁は遠隔人力操作機構が設置できる。

格納容器圧力逃がし装置の主ラインの弁は，中央制御室からの遠隔操作と人力による遠隔手動操作が両立できること，駆動源喪失時の弁状態維持（フェイルアズイズ）の観点から，M0 弁を採用している。

格納容器圧力逃がし装置主ラインの弁に採用する場合の駆動方式の違いによる特徴を第 1 表に示す。

第 1 表 主ラインの弁に採用する場合の駆動方式の特徴

駆動方式	メリット	デメリット
A0 (空気作動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ M0 弁に対して必要な電源容量が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 駆動源として事故時に使用可能な電源に加えて，空気（圧縮空気設備）が必要</li> <li>・ 人力による遠隔人力操作機構の設置が困難</li> </ul>
M0 (電動駆動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 駆動源喪失時は，その状態を維持（フェイルアズイズ）する</li> <li>・ 電源以外のサポート系が不要</li> <li>・ 人力による遠隔人力操作機構の設置が可能</li> <li>・ 開度調整が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ A0 弁に対して必要な電源容量が大きい</li> </ul>

## 2.2 主ライン上の主な弁の仕様

主ラインの弁について、主な仕様を第2表に示す。

第2表 主ラインの弁の仕様

弁名称	第一弁 (S/C側)	第一弁 (D/W側)	第二弁	フィルタ装置 出口弁	
弁番号	2-26B-10	2-26B-12	F001A, F001B	F005	
型式	バタフライ弁				
口径	600A	600A	450A	600A	
駆動方式	電動駆動 (交流)			手動	
遠隔人力 操作機構	有				
弁の状態	常時閉 (NC)			常時開 (NO)	
フェイルク ローズ (FC)	無 (フェイルアズイズ)			—	
設置場所	原子炉建屋 1階 (二次格納 施設内)	原子炉建屋 4階 (二次格納 施設内)	原子炉建屋 4階 (二次格納 施設内)	格納槽内 (フィルタ装置 設置エリア)	
操作場所	通常時	中央制御室			格納槽内 (フィルタ装置 設置エリア外)
	電源 喪失時	原子炉建屋 附属棟1階 (二次格納 施設外)	原子炉建屋 附属棟屋上 (二次格納 施設外)	原子炉建屋 附属棟3階 (二次格納 施設外)	

### 2.3 設計の意図

格納容器圧力逃がし装置主ラインに設置する隔離弁の駆動方式の採用理由は、「2.1 主ラインの弁構成の考え方」に示すとおり、開弁時には駆動源喪失時にもその状態を維持（フェイルアズイズ）する必要があることから、MO 弁を採用している。これらの弁については、ベント時以外に開弁することがないことから、通常時の格納容器バウンダリの維持のため、常時閉（NC）とし、中央制御室の操作スイッチにカバーを取り付けて誤操作防止を図っている。

また、フィルタ装置を大気から隔離するフィルタ装置出口弁は、ベント実施後に使用するため、排気の妨げとならないよう常時開（NO）とする。

なお、第一弁（S/C側，D/W側）に並列して設置されているバイパス弁（2-26V-9, 2-26B-11）は、通常運転中、主蒸気隔離弁等の定期試験を実施することにより窒素が格納容器内へ流入し、格納容器圧力が徐々に上昇するので、格納容器の圧力降下操作のため、一時的に開弁することがある。これらの弁はフェイルクローズ（FC）機能を設ける必要があるため、空気作動弁を採用している。また、事故時に自動的かつ確実に閉止されるように、格納容器隔離信号により閉止する機能を設けている。これらバイパス弁は、通常運転中に常時の使用はないため、常時閉（NC）運用としている。

## 3. 格納容器圧力逃がし装置と接続する各系統の隔離弁の数と種類

## 3.1 各系統の隔離弁の数と種類

格納容器圧力逃がし装置には、換気空調系、原子炉建屋ガス処理系及び耐圧強化ベント系が接続する。各系統の隔離弁の数と種類等の仕様を第 3 表に、系統概略図を第 5 図に示す。

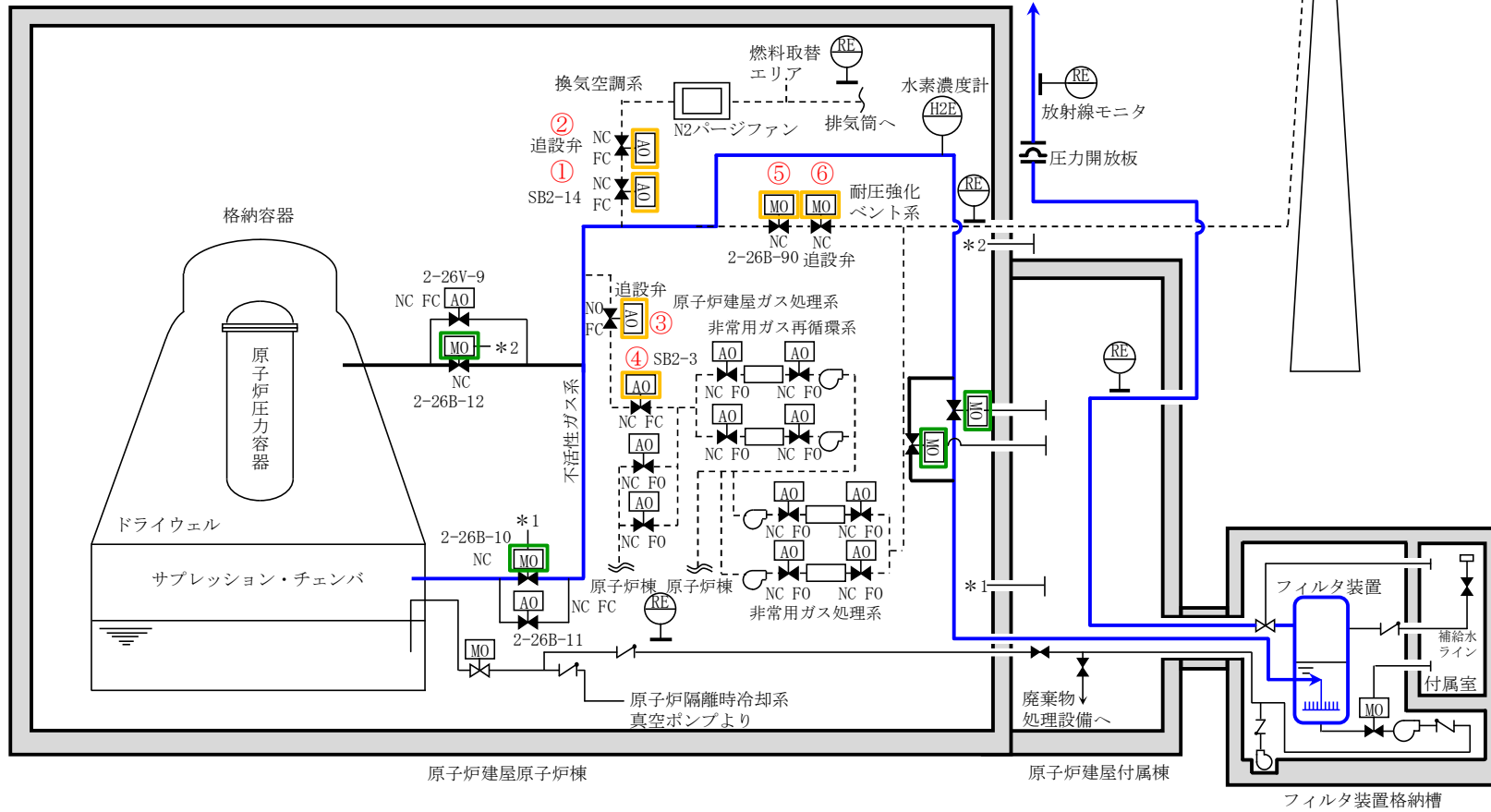
第 3 表 他系統隔離弁（格納容器隔離弁）の仕様

系統名	換気空調系		原子炉建屋 ガス処理系		耐圧強化ベント系	
個数	2		2		2	
番号 (第 5 図中の 表記)	①	②	③	④	⑤	⑥
弁番号	SB2-14	追設	追設	SB2-3	2-26B-90	追設
型式	バタフライ弁					
駆動方式	空気駆動				電動駆動	
口径	600A				300A	
弁の状態	常時閉 (NC) ※		常時開 (NO)	常時閉 (NC)		
フェイル クローズ (FC) 機能	有				無 (フェイルアズイズ)	

※：通常運転中、主蒸気隔離弁等の定期試験を実施することにより窒素が格納容器内へ流入し、格納容器圧力が徐々に上昇する。格納容器の圧力降下操作のため、一時的に開弁することがある。



- 凡例
- : 格納容器圧力逃がし装置主ライン
  - : 主ライン上の隔離弁
  - : 他系統と隔離する弁
  - NC : 常時閉
  - FC : 駆動源喪失で閉



第 5 図 格納容器圧力逃がし装置に接続する系統概要図

### 3.2 設計の意図

格納容器からフィルタ装置へ至る配管は、ベントを実施する際、接続する他系統と隔離し、流路を構成する必要がある。

重大事故時以外に開操作する可能性のある隔離弁は、駆動源喪失時においても格納容器バウンダリを維持できるようにフェイルクローズが可能な空気作動弁を選定する。また、重大事故時に開操作する可能性のある隔離弁については、駆動源喪失時においても人力による手動操作が容易な電動駆動弁を選定し、常時閉（NC）運用とする。

なお、万一のこれらの隔離弁の漏えいを考慮し、第3表及び第5図のとおり、上流と同仕様の弁を新規に設置する。

#### (1) 換気空調系との隔離

換気空調系との隔離は、第5図中①SB2-14及び②追設弁の2弁より、格納容器圧力逃がし装置主ラインから隔離できる構成となっている。

これら隔離弁は、通常運転時の格納容器の圧力降下操作時においても、重大事故が発生した際には確実な閉止が求められるが、中央制御室からの操作が可能であり、駆動源が喪失した際のフェイルクローズ（FC）機能を有し、SB2-14については格納容器隔離信号により閉止する機能を設けていることから、確実な隔離が実施できる。

#### (2) 原子炉建屋ガス処理系との隔離

原子炉建屋ガス処理系との隔離は、第5図中③追設弁及び④SB2-3の2弁より、格納容器圧力逃がし装置主ラインから隔離できる構成となっている。

これら隔離弁は、駆動源が喪失した際のフェイルクローズ（FC）機能を有し、SB2-3については通常運転時に開弁することはなく、また、格納容器隔離信号により閉止する機能を設けていることから、確実な

隔離が実施できる。

(3) 耐圧強化ベントラインとの隔離

耐圧強化ベントラインとの隔離は、第 5 図中⑤2-26B-90 及び⑥追設弁の 2 弁より、格納容器圧力逃がし装置主ラインから隔離できる構成となっている。

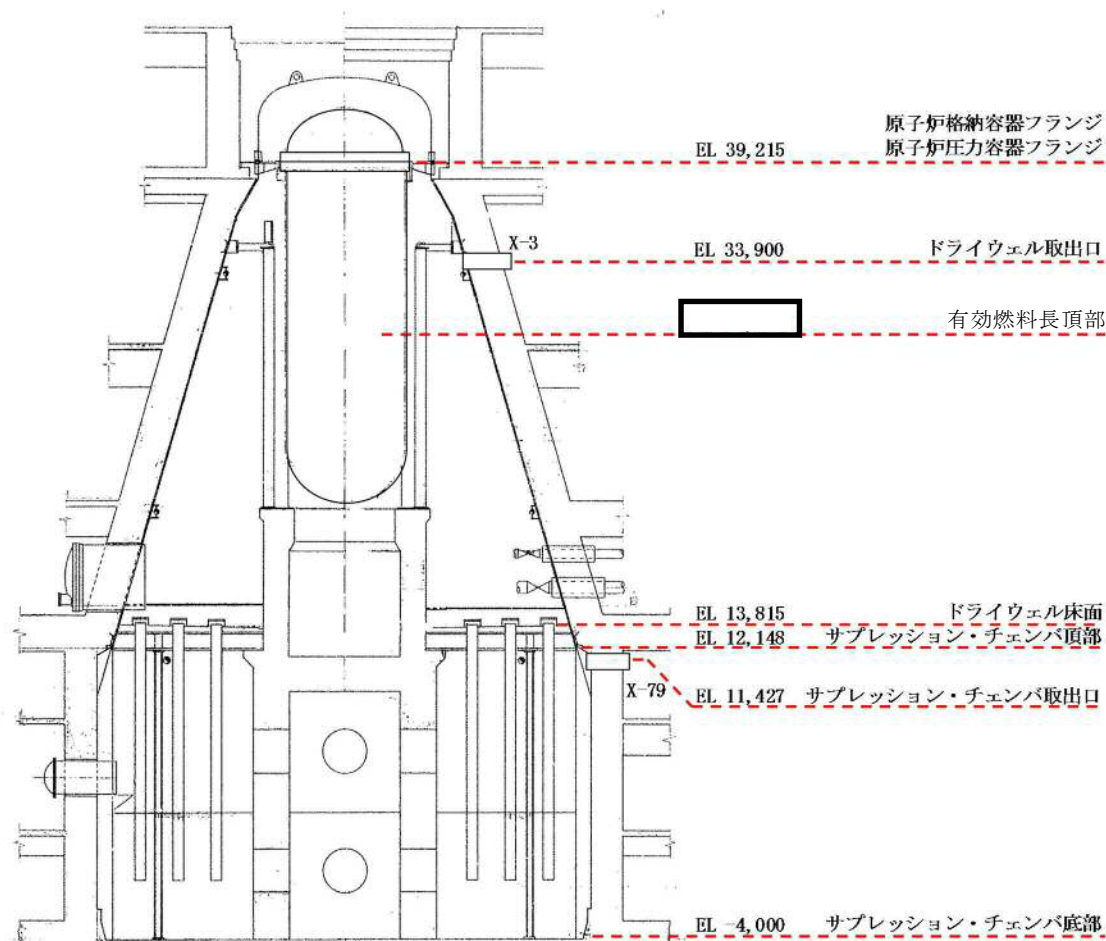
これら隔離弁は、重大事故時に開操作する可能性があるため、駆動源喪失時においても人力による手動操作が容易な電動駆動弁を選定し、常時閉（NC）運用とする。



## 格納容器からの取り出し高さ

## 3.3 格納容器からの取り出し高さ

各主要高さを示した図を第 4.1 図に示す。



第 4.1 図 格納容器からの取り出し高さ

## 3.4 設計の意図

D/W側の取り出しには、格納容器スプレイによる水没等の影響を受けにくい格納容器上部に位置し、格納容器の圧力を下げるために十分大口径である既設不活性ガス系の貫通孔（X-3）を選定している。

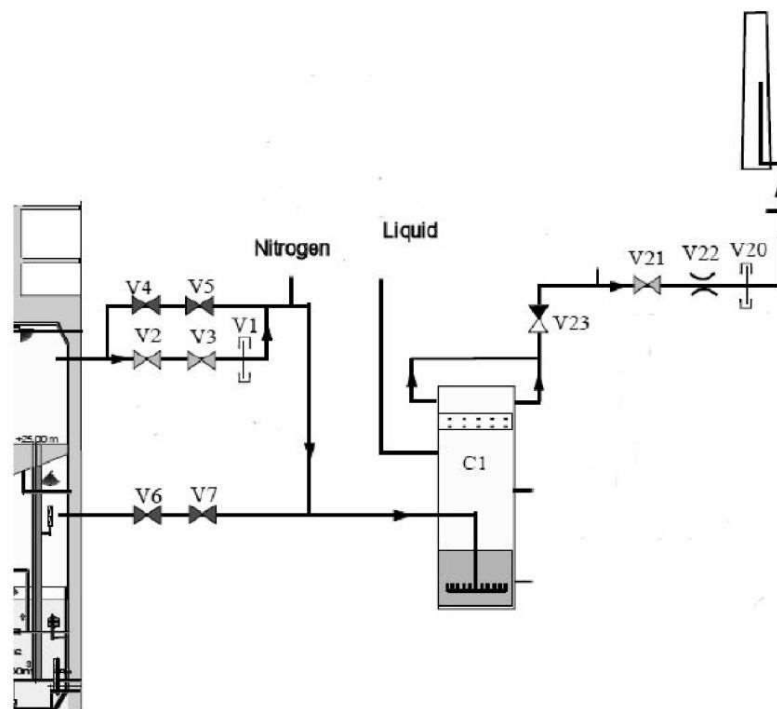
また、S/C側の取り出しには、原子炉及び格納容器冷却のため実施する外部注水による水位上昇を考慮して、S/C頂部付近に位置し、格納容器圧力を下げるために十分大口径である既設不活性ガス系の貫通孔（X-79）を選定している。

(参考) 諸外国の弁構成

格納容器圧力逃がし装置を設置している諸外国の弁構成を以下に示す。

(1) フィンランド

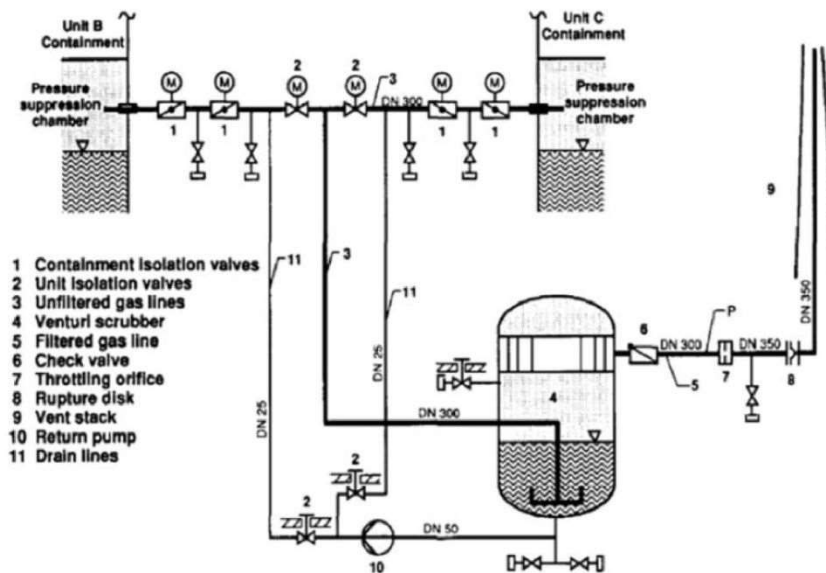
フィンランドのBWRプラントにて設置されている格納容器圧力逃がし装置の概略系統図を第1図に示す。V1とV20は圧力開放板である。ベントラインに設置している弁は全て手動駆動弁で構成されている。D/Wのラインにはバイパスラインが設置されており、V2、V3は通常時「開」となっている。また、V21、V23についても通常時「開」となっている。そのため、操作員がベントラインに設置された弁の「開」操作を実施しなくても、格納容器圧力が既定の値まで上昇し、V1とV20の圧力開放板が開放すれば、D/Wのバイパスラインよりベントは自動的に開始される。



第1図 格納容器圧力逃がし装置概略系統図（フィンランド）

## (2) ドイツ

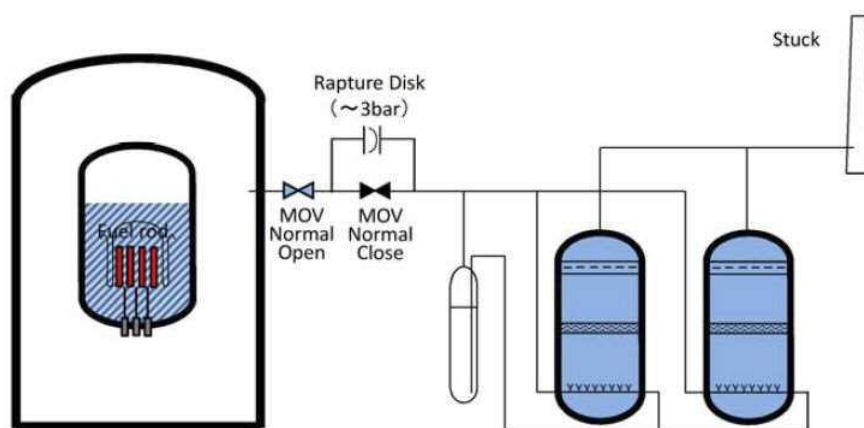
ドイツのBWRプラントに設置されている格納容器圧力逃がし装置の概略系統図を第2図に示す。格納容器圧力逃がし装置は、2ユニットで共有する設計となっている。ベントラインには、格納容器隔離のための電動駆動弁が2つ、ユニット間の切替えのための電動駆動弁が1つ設置されている。また、フィルタ装置の出口側には逆止弁が設置されている。



第2図 格納容器圧力逃がし装置概略系統図（ドイツ）

## (3) スイス

スイスのBWRプラントに設置されている格納容器圧力逃がし装置の概略系統図を第3図に示す。ベントラインには電動駆動弁が2つ設置されており、格納容器から2つ目の弁は通常時「開」、2つ目の弁は通常時「閉」となっている。また、2つ目の弁をバイパスするラインが設置されており、バイパスラインには圧力開放板が設置されている。そのため、操作員が2つ目の弁の「開」操作を実施しなくても、格納容器圧力が規定の値まで上昇し、圧力開放板が開放すればベントは自動的に開始される。



第3図 格納容器圧力逃がし装置概略系統図（スイス）

<参考図書>

- [1] NEA/CSNI/R(2014)7, “OECD/NEA/CSNI Status Report on Filtered Containment Venting”, 02-Jul-2014.

(参考) 耐圧強化ベント系の駆動源喪失時の現場における弁操作について

耐圧強化ベント系を使用する際に操作が必要な弁については、中央制御室から操作可能であるが、駆動源喪失時には現場において操作が必要であるため、以下のとおり、操作の成立性を確認した。

炉心損傷前の耐圧強化ベント系との隔離時の作業員の被ばくは、格納容器から原子炉建屋内に漏えいした放射性物質による被ばく及び操作場所付近の耐圧強化ベント系配管、非常用ガス処理系フィルタ等からの直接線による被ばくを考慮する。放出量評価条件、線量評価条件等を第4表～第7表に示す。線量率の評価結果は第8表に示すとおり約7.3mSv/hである。

室温については、耐圧強化ベント系は炉心損傷前に使用する系統であり、通常時と同等で夏季でも約30℃程度と考えられる。

耐圧強化ベント系を使用する場合で、駆動源喪失時に現場にて手動操作が必要な4個の弁の操作時間は作業時間(10分/個)である。

なお、非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁は、信頼性、作業性向上のため、手動操作用ハンドルにて弁の操作が可能なアクチュエータに取り替える。

以上のことから、耐圧強化ベント系の駆動源喪失時にも、現場において弁の操作が可能である。



第 4 表 放出量評価条件

項 目	評価条件	備 考
原子炉熱出力 (MW)	3,293	東海第二発電所定格熱出力
原子炉運転時間 (日)	2,000	十分な運転時間として仮定した時間
冷却材中濃度 (I-131) (Bq/g)	約 $4.6 \times 10^3$	I-131 の冷却材中濃度に応じ他のよう素の組成を拡散組成として考慮
追加放出量 (I-131) (Bq)	$2.22 \times 10^{14}$	I-131 の追加放出量に応じ他のよう素及び希ガスの組成を平衡組成として考慮, 希ガスについてはよう素の 2 倍の値
原子炉冷却材重量 (t)	289	設計値から設定
原子炉冷却材浄化系流量 (g/s)	$1.68 \times 10^4$	設計値から設定
主蒸気流量 (g/s)	$1.79 \times 10^6$	設計値から設定
原子炉冷却材浄化系の除染係数	10	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」に基づき設定
追加放出されたよう素の割合 (%)	有機よう素 : 96 無機よう素 : 4	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に基づき設定
原子炉圧力容器気相部への移行割合 (%)	希ガス : 100 有機よう素 : 10 無機よう素 : 約 8.1	残り 90% の有機よう素は原子炉冷却材中で分解され, 無機よう素と同様の割合で気相に移行する。
スクラビングの除去効果	考慮しない	
耐圧強化ベント開始時間	事象発生 28 時間後	事象発生 28 時間後までの自然減衰を考慮

第 5 表 換気系の評価条件

項 目	評価条件	備 考
非常用ガス再循環系	よう素除去効率 : 90% 再循環率 : 4.8 回/日	非常用ガス処理系等の起動を考慮し保守的に評価
非常用ガス処理系	よう素除去効率 : 97% 換気率 : 1 回/日	
原子炉建屋漏えい	考慮しない	原子炉建屋内の放射性物質による線量率を保守的に評価

第 6 表 建屋内に漏えいした放射性物質による外部被ばく条件

項目	評価条件	選定理由
サブマージ ョンモデル (評価式)	$D = 6.2 \times 10^{-14} \cdot Q_{\gamma} \cdot E_{\gamma} \cdot (1 - e^{-\mu R}) \cdot 3600$ <p> <math>D</math> : 放射線量率 (Sv/h)  <math>6.2 \times 10^{-14}</math> : サブマージョンによる換算係数 (<math>\frac{\text{dis} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Sv}}{\text{MeV} \cdot \text{Bq} \cdot \text{s}}</math>)  <math>Q_{\gamma}</math> : 原子炉建屋内の放射性物質濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  (0.5MeV 換算値)  <math>E_{\gamma}</math> : ガンマ線エネルギー (0.5MeV/dis)  <math>\mu</math> : 空気に対するガンマ線エネルギー吸収係数  (3.9×10<sup>-3</sup>/m)  <math>R</math> : 操作場所の空間体積と等価な半球の半径  (m)  <math display="block">R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_R}{2 \cdot \pi}}</math>  <math>V_R</math> : 操作場所の空間体積 (m<sup>3</sup>) </p>	
操作場所の 空間体積 (m <sup>3</sup> )	2,200m <sup>3</sup>	原子炉建屋ガス 処理系フィルタ 室の空間体積

第 7 表 線量換算係数, 呼吸率等

項目	評価条件	選定理由
線量換算係数	成人実効線量換算係数を使用 I-131 : 2.0×10 <sup>-8</sup> Sv/Bq I-132 : 3.1×10 <sup>-10</sup> Sv/Bq I-133 : 4.0×10 <sup>-9</sup> Sv/Bq I-134 : 1.5×10 <sup>-10</sup> Sv/Bq I-135 : 9.2×10 <sup>-10</sup> Sv/Bq	ICRP Publication 71 に基づき設定
呼吸率	1.2m <sup>3</sup> /h	成人活動時の呼吸率 を設定
耐圧強化ベント系配 管から評価点までの 距離	配管表面から 30cm	操作場所を考慮して 設定
非常用ガス処理系フ ィルタ等から評価点 までの距離	非常用ガス再循環系フィルタ : 2.0m 非常用ガス処理系フィルタ : 2.7m	操作場所を考慮して 設定

第 8 表 線量率の評価結果

被ばく経路		線量率 (mSv/h)
建屋内の放射性物質 による線量率	外部被ばく	約 $4.6 \times 10^{-2}$
	内部被ばく	約 $4.9 \times 10^0$
非常用ガス処理系 フィルタ等からの 線量率	非常用ガス処理系 フィルタ	約 $4.3 \times 10^{-2}$
	非常用ガス再循環 系フィルタ	約 $2.6 \times 10^{-1}$
配管からの線量率		約 $2.1 \times 10^0$
合計線量率		約 $7.3 \times 10^0$
作業線量 (10 分/個)		約 $1.2 \times 10^0$ mSv

(参考) フレキシブルシャフトにおける線量影響について

フィルタ装置入口配管内の放射性物質による直接ガンマ線におけるフレキシブルシャフトへの線量影響について以下の通り確認した。

線量評価条件を第 9 表に示す。また、評価モデルを第 4 図に示す。

この結果、フィルタ装置入口配管からの直接ガンマ線の 7 日間の積算線量は約 19kGy であり、設計値の 36kGy を超えないことを確認した。

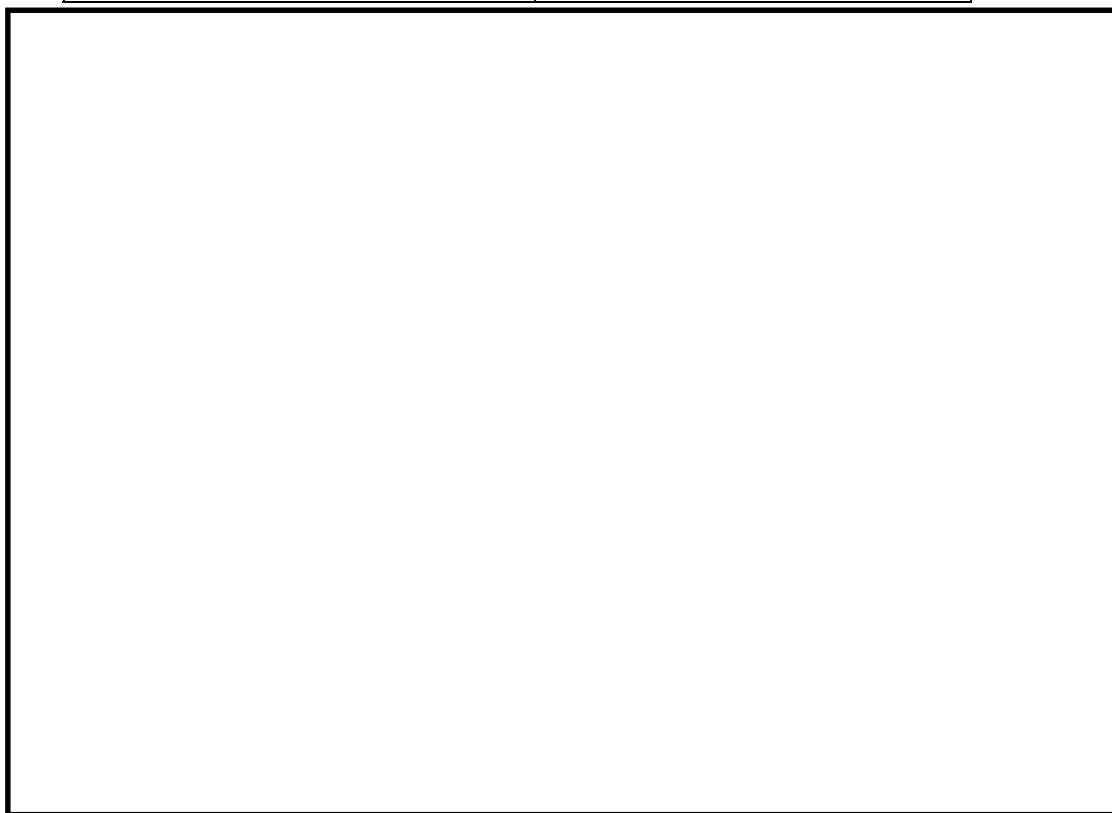
なお、配管内に浮遊した放射性物質（希ガスを含む）からの直接ガンマ線は、評価結果の約 19kGy と比較して 1 桁程度小さく影響は小さい。

第 9 表 線量評価条件

項目	評価条件	備考
想定事象	格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷（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
放出量条件	事象発生から 19 時間ベント（D/Wベント）	サプレッション・プールでのスクラビングによる除去係数に期待しないD/Wベントを選定
線源条件	総放出量の 10%の放射性物質（希ガスを除く）が均一に付着	別紙 30 参照 付着した放射性物質のガンマ線線源強度を第 10 表に示す。
配管条件	配管外径：609.6 mm 配管板厚：9.5 mm	配管板厚が薄い第一弁付近の配管を想定し設定 配管長は 100m と設定
評価位置	配管表面から 25cm 地点	配管表面からフレキシブルシャフトの最短距離から設定。（配管から 25cm 以上離して敷設する設計）
直接ガンマ線評価コード	QAD-CGGP2R	三次元形状を扱う遮蔽解析コード

第 10 表 フィルタ装置入口配管付着のガンマ線線源強度

ガンマ線エネルギー (MeV)	線源強度 ( $\text{cm}^{-3}$ )
0.01	$1.508 \times 10^{15}$
0.025	$2.468 \times 10^{15}$
0.0375	$5.970 \times 10^{14}$
0.0575	$3.101 \times 10^{14}$
0.085	$1.015 \times 10^{15}$
0.125	$2.659 \times 10^{14}$
0.225	$4.315 \times 10^{15}$
0.375	$2.861 \times 10^{16}$
0.575	$6.549 \times 10^{16}$
0.85	$3.620 \times 10^{16}$
1.25	$8.533 \times 10^{15}$
1.75	$8.737 \times 10^{14}$
2.25	$5.644 \times 10^{14}$
2.75	$1.334 \times 10^{13}$
3.5	$1.149 \times 10^9$
5.0	$2.541 \times 10^3$
7.0	$2.924 \times 10^2$
9.5	$3.366 \times 10^1$



第 4 図 フィルタ装置入口配管線量評価モデル

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

東海第二発電所の非常時運転手順書では、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) の範囲において、高い圧力で維持するよう格納容器スプレイ流量を  $130\text{m}^3/\text{h}$  -  $102\text{m}^3/\text{h}$  (補足 1) の範囲で調整し、可能な限り連続スプレイを実施することとしている。これは、間欠スプレイを実施する場合に対して、運転員の負担の軽減及びスプレイ弁故障のリスク軽減し、さらに、格納容器圧力を高い領域で維持することでスプレイ効果を高め、サプレッション・プール水位の上昇抑制による格納容器ベントの遅延を図り、可能な限り外部への影響を軽減する観点から設定している。

一方で、有効性評価においては、上記圧力制御範囲において、スプレイ流量  $130\text{m}^3/\text{h}$  を一定として、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、代替格納容器スプレイの格納容器圧力低下効果の有効性を確認する観点及びスプレイ効果を小さくし、サプレッション・プール水位の上昇による格納容器ベントを早くする観点<sup>※1</sup>から、実手順のスプレイ流量範囲のうち最大流量である  $130\text{m}^3/\text{h}$  を設定している。

※ 1 : 400kPa[gage] (1.3Pd) 近傍の低い圧力範囲においては、高い圧力範囲に対して相対的にスプレイ効果が小さくなり、圧力を降下させるためにより多くのスプレイ流量が必要となる。このため、流量を少なくして高い圧力範囲に維持するよりも、 $130\text{m}^3/\text{h}$  で間欠運転した方が、総スプレイ量は多くなる。

## (2) 影響評価

可能な限り連続スプレイを実施することとしている非常時運転手順書と有効性評価解析には、第1表に整理する相違点があり、非常時運転手順書に基づいて連続スプレイとした場合に、有効性評価解析に与える影響を確認する。

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	
	エアロゾル除去効果の低下	影響評価②
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①
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	影響評価③

## 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。

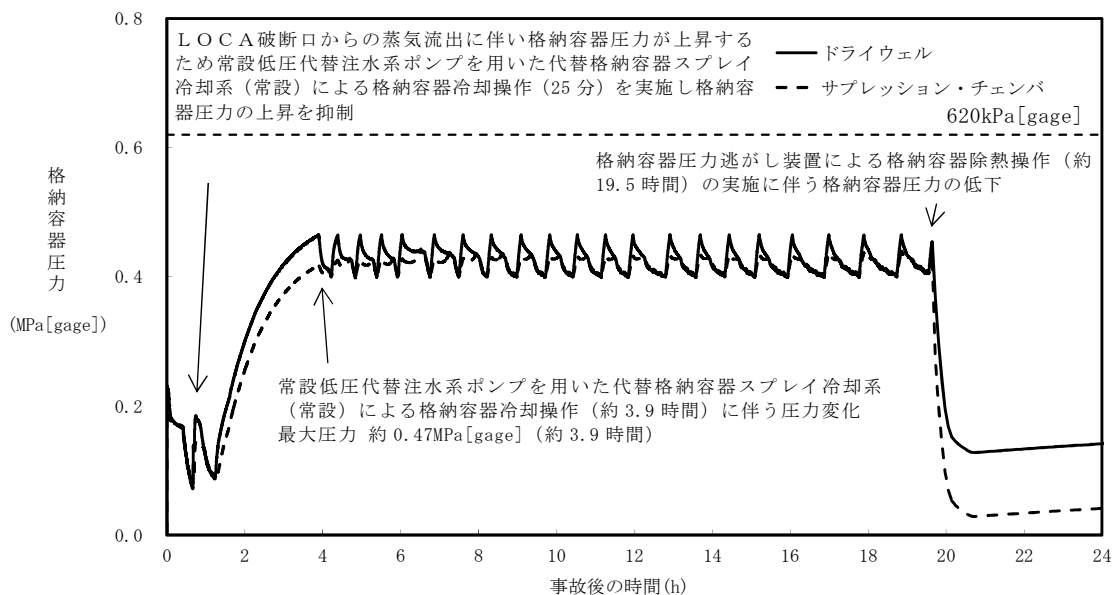
(b) 評価結果

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。

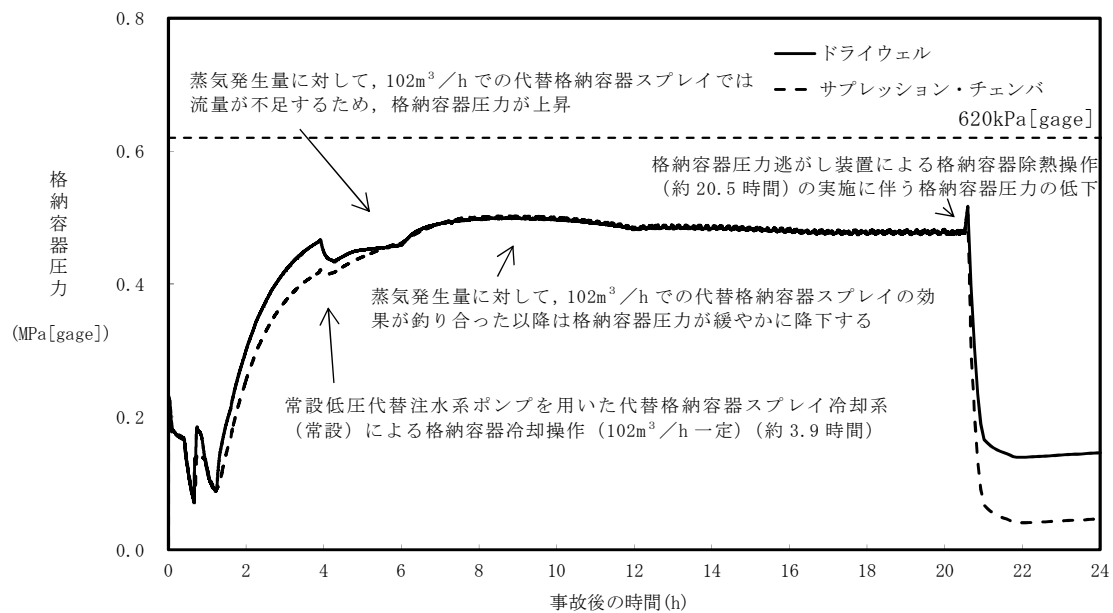
$102\text{m}^3/\text{h}$  一定ケースでは、約 4 時間後から約 9 時間後まで、蒸気発生量に対してスプレイ流量が不足し、格納容器圧力が上昇する結果となった。ただし、実運用では、スプレイ流量を調整することで圧力を  $465\text{kPa}[\text{gage}]$  ( $1.5\text{Pd}$ ) 以下に抑制することが可能である。また、 $102\text{m}^3/\text{h}$  一定ケースにおけるベント開始時間は約 20.5 時間であり、ベースケースの約 19.5 時間よりも遅くなる結果となった。

以上のことから、連続スプレイを実施することによる格納容器圧力及び格納容器温度に与える影響はなく、ベント開始時間が早まることによる被ばく評価への影響もない。

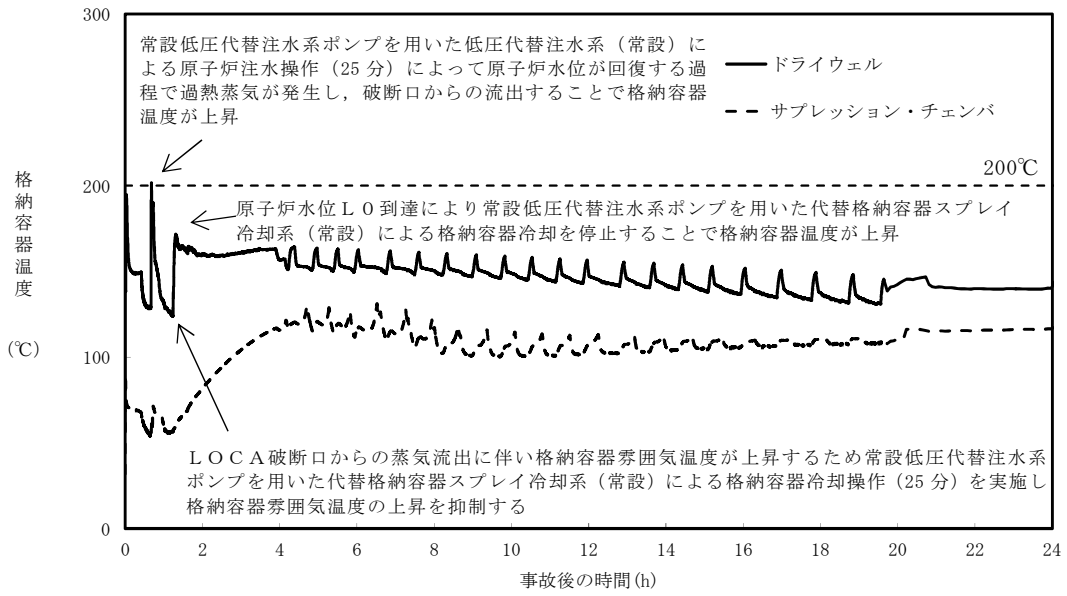




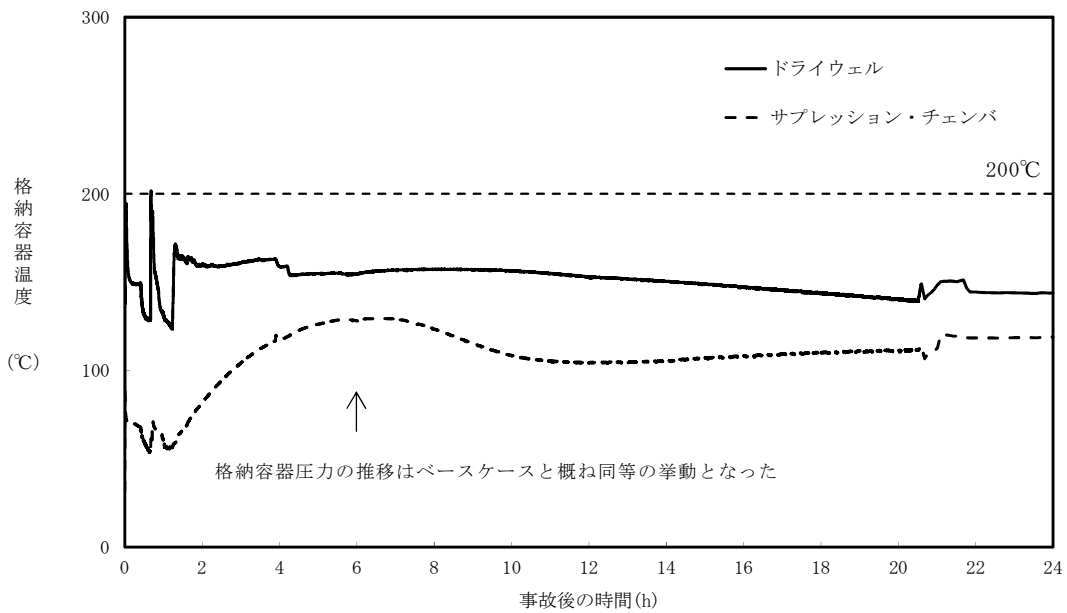
第1図 ベースケースにおける格納容器圧力の推移(24時間)



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 102m<sup>3</sup>/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

格納容器スプレイに期待しているエアロゾル除去効果について、スプレイ流量が低下した場合には、液滴数が減少することで除去効率が下がり、ベースケースよりも格納容器内に浮遊するエアロゾル濃度が上昇することで、格納容器から原子炉建屋へ漏えいするエアロゾル量及びフィルタ装置へ移行するエアロゾル量が多くなるおそれがある。

## (a) 評価条件

ベースケースにおいて、ベント直前の 19.5 時間後時点でのベースケース及び 102m<sup>3</sup>/h 一定ケースの格納容器気相部のエアロゾルの濃度を対比する。

## (b) 評価結果

19.5 時間後におけるベースケースと 102m<sup>3</sup>/h 一定ケースにおける格納容器気相部のエアロゾルを第 2 表に示す。

第 2 表 格納容器気相部のエアロゾル濃度の比較

核種グループ	エアロゾルの濃度 (kg/m <sup>3</sup> )		ベースケースとの比較
	ベースケース	102m <sup>3</sup> /h 一定ケース	
1 C s I 類	1.62E-07	1.26E-07	7.78E-01
2 C s O H 類	4.39E-07	3.16E-07	7.20E-01
3 S b 類	1.13E-07	7.22E-08	6.39E-01
4 T e O <sub>2</sub> 類	8.38E-08	4.43E-08	5.29E-01
5 S r O 類	6.63E-05	4.35E-05	6.56E-01
6 B a O 類	8.53E-05	5.55E-05	6.51E-01
7 M o O <sub>2</sub> 類	1.09E-04	7.00E-05	6.42E-01
8 C e O <sub>2</sub> 類	5.74E-05	3.77E-05	6.57E-01
9 L a <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 類	6.64E-05	4.36E-05	6.57E-01
合計	3.85E-04	2.51E-04	6.51E-01

## (b) 評価結果

評価の結果、 $102\text{m}^3/\text{h}$  一定ケースではベースケースと比較して、格納容器気相部のエアロゾル濃度が減少する結果となった。これは、間欠スプレイを実施する場合には、スプレイ停止期間中に格納容器内の温度が上昇し、沈着したエアロゾルが再浮遊することで濃度が上昇することに対して、連続スプレイを実施する場合は格納容器温度が相対的に低く抑えられたためと考えられる。

以上のことから、エアロゾル除去効果については、ベースケースの方がより保守的な結果であり、被ばく評価に与える影響はない。

## c. 影響評価③

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  $465\text{kPa}[\text{gage}]$  (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。 $465\text{kPa}[\text{gage}]$  (1.5Pd) でほぼ一定の格納容器圧力となるよう、 $465\text{kPa}[\text{gage}]$  (1.5Pd) から  $462\text{kPa}[\text{gage}]$  (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 3 表に示す。

第 3 表 原子炉建屋への放出割合の比較

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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 類	2.267E+12	2.298E+12	1.014E+00
9	C e O <sub>2</sub> 類	9.046E+11	9.175E+11	1.014E+00
10	L a <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 類	7.939E+11	8.051E+11	1.014E+00
合計		6.550E+15	6.187E+15	9.446E-01

第 3 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 4 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。

第 4 表 核種グループごとの被ばく寄与率（ベースケース）

	外部被ばく寄与率	内部被ばく寄与率	グラウンドシャイン
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 スプレー流量制御の下限値の設定について

格納容器スプレー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、スプレー液滴径と相関があるため、スプレー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、連続スプレー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<sup>[1]</sup>による知見に基づき、代替格納容器スプレー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  L /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  L/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  L/min 以上確保される流量を代替格納容器スプレー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 )

## 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  個であることから、下式に示すとおり、 Spray 流量  $102\text{m}^3/\text{h}$  以上を確保することで、 Spray ノズル当たりの流量は   $\text{L}/\text{min}$  以上確保される。

$$\begin{aligned}
 \text{○系統流量} &= \text{} (\text{L}/\text{min}/\text{ノズル}) \times \text{} (\text{ノズル}) \\
 &= \text{} (\text{L}/\text{min}) \\
 &= 102 (\text{m}^3/\text{h})
 \end{aligned}$$

- [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)