

3 フィルタ付バント設備

◇ 格納容器フィルタバント系の設計方針

3.1 設置許可基準規則への適合方針

- 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第50条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）に適合するための設備として、**格納容器フィルタベント系を設置する。**

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

（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）

第五十条 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の過圧による破損を防止するため、原子炉格納容器バウンダリを維持しながら原子炉格納容器内の圧力及び温度を低下させるために必要な設備を設けなければならない。

格納容器フィルタベント系に関する要求事項

- 2 発電用原子炉施設（原子炉格納容器の構造上、炉心の著しい損傷が発生した場合において短時間のうちに原子炉格納容器の過圧による破損が発生するおそれがあるものに限る。）には、前項の設備に加えて、原子炉格納容器内の圧力を大気中に逃がすために必要な設備を設けなければならない。
- 3 前項の設備は、共通要因によって第一項の設備の過圧破損防止機能（炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の過圧による破損を防止するために必要な機能をいう。）と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものでなければならない。

- 格納容器フィルタベント系は上記に加えて、以下の条文に適合するための設備としても使用する。
 - 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備（第四十八条）
 - 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備（第五十二条）
 - 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備（第五十三条）

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（概要）

女川2号炉，島根2号炉
と同様の方針

【格納容器フィルタベント系の設置】

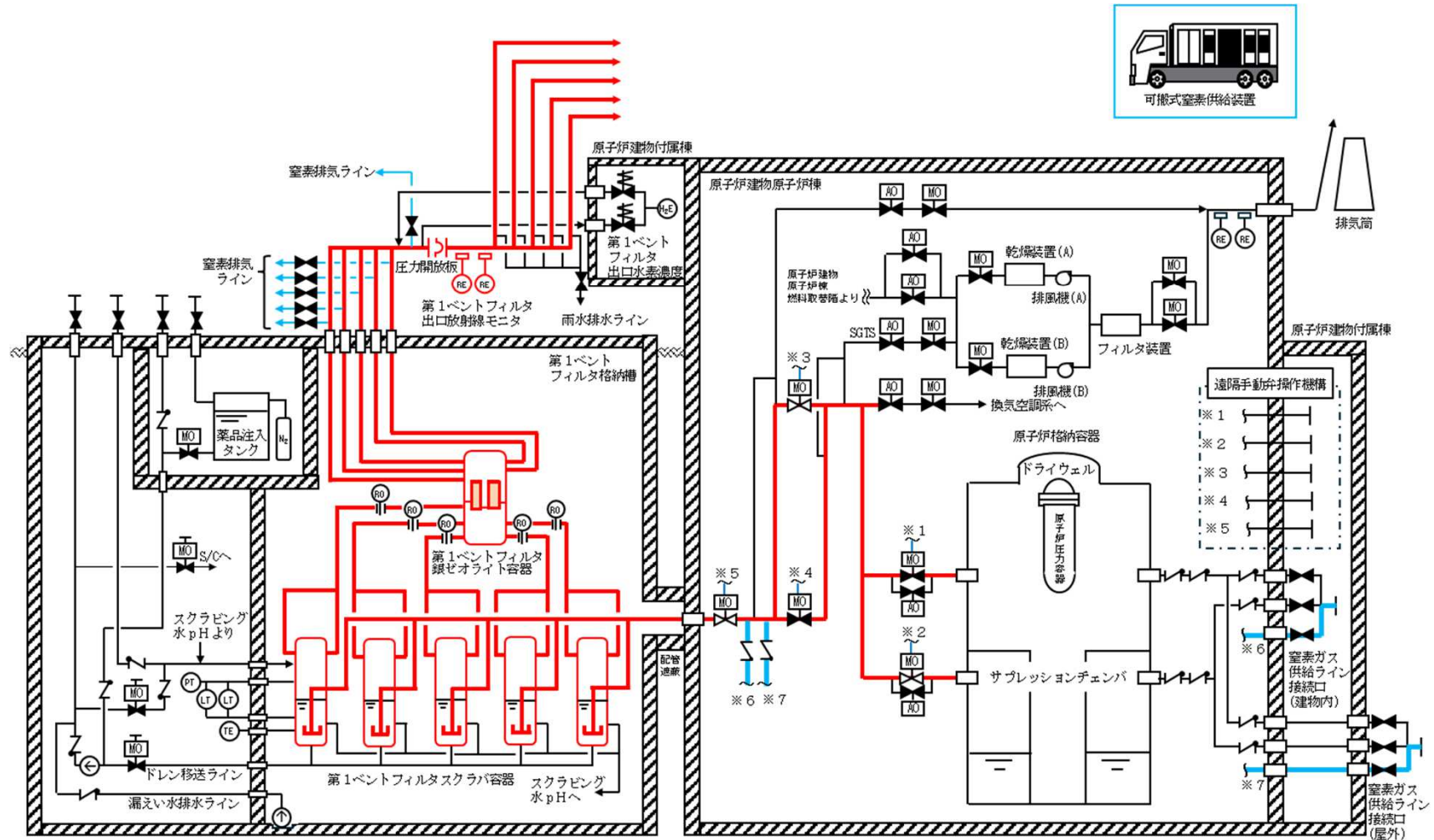
設置目的

- 格納容器フィルタベント系は，炉心の著しい損傷が発生した場合において，**原子炉格納容器内の圧力及び熱を外部に放出し**，原子炉格納容器の圧力及び温度を，限界圧力及び限界温度未満に維持することで，**原子炉格納容器の破損を防止**する。
- 格納容器フィルタベント系の排気ラインに設置する**フィルタ装置により**，サプレッションチェンバ又はドライウエルの排気ラインを経由して排出する**原子炉格納容器内の雰囲気ガスに含まれる放射性物質の量を低減することで**，**格納容器フィルタベント系使用時の環境への影響を緩和**する。

表 3 - 1 フィルタ装置仕様

	スクラバ容器	銀ゼオライト容器
個 数	5	1
フィルタ種類	ベンチュリスクラバ，金属フィルタ	銀ゼオライトフィルタ
除去効率	99.9%以上 (粒子状放射性物質に対して)	98%以上 (有機よう素に対して)
	99%以上 (無機よう素に対して)	

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針 (概要)



AO	: 空気作動	LT	: 水位計	<p>— (Red line) : 格納容器フィルタベント系による格納容器ベントの流路</p> <p>— (Blue line) : 格納容器ベント以外の機能のうち重大事故等対処設備として使用する範囲 (格納容器フィルタベント系に限る)</p>
MO	: 電動駆動	TE	: 温度計	
RO	: 流量制限オリフィス	RE	: 放射線モニタ	
PT	: 圧力計	H ₂ E	: 水素濃度計	

図3-1 格納容器フィルタベント系 系統概要図

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（フィルタ装置）

放射性物質の低減

- 排気に含まれる放射性物質の量を低減するため、フィルタ装置（スクラバ容器及び銀ゼオライト容器）を設置する。
- Framatome 社(旧AREVA 社)製のフィルタ装置は、大規模なセクター試験装置により、実機使用条件を考慮した性能検証試験を行っており、その結果に基づき装置を設計する。

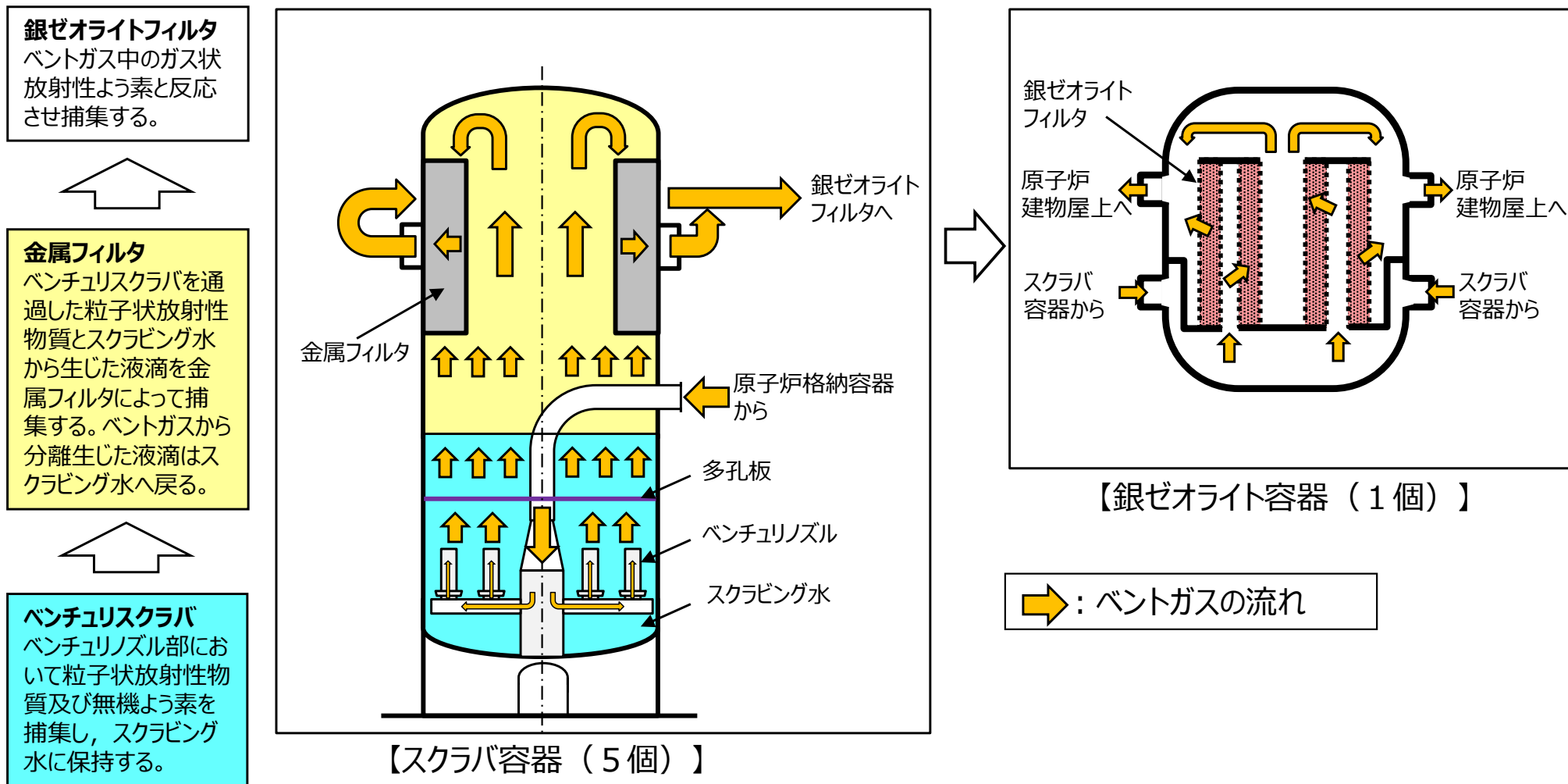


図 3-2 フィルタ装置 機能模式図

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（可燃性ガス対策）

女川2号炉，
島根2号炉
と同様の方針

可燃性ガスの爆発防止対策

- 排気中に含まれる可燃性ガスの爆発防止等の対策として、当該系統内を可搬式窒素供給装置にて不活性ガス（窒素ガス）にて置換した状態で待機し，使用後には同様に可搬式窒素供給装置を用いて，系統内を不活性ガスにてパージできる設計とする。
- 系統内で可燃性ガスが蓄積する可能性のある箇所については、可燃性ガスを連続して排出するバイパスラインを設置することで、局所的に滞留し，系統内で可燃性ガスの濃度が可燃領域に達することを防止できる設計とする。

— : 各運転モードにおける可燃性ガス爆発防止対策範囲

【系統待機モード①】：プラント通常運転中

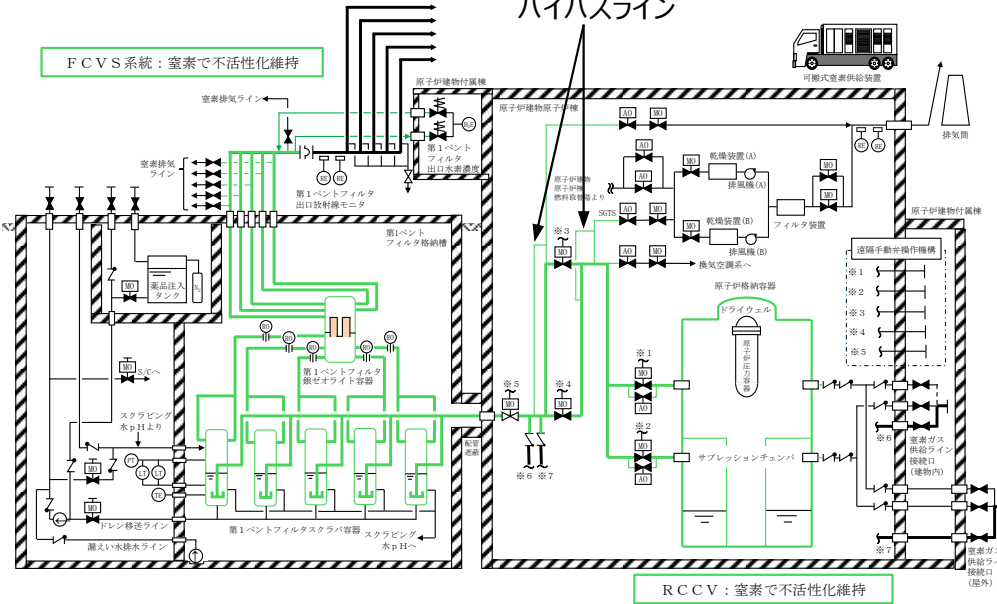


図3-3 格納容器フィルタベント系（系統待機モード）
系統概要図

【ベント後収束モード（ベント弁開）】：事象発生後7日以降

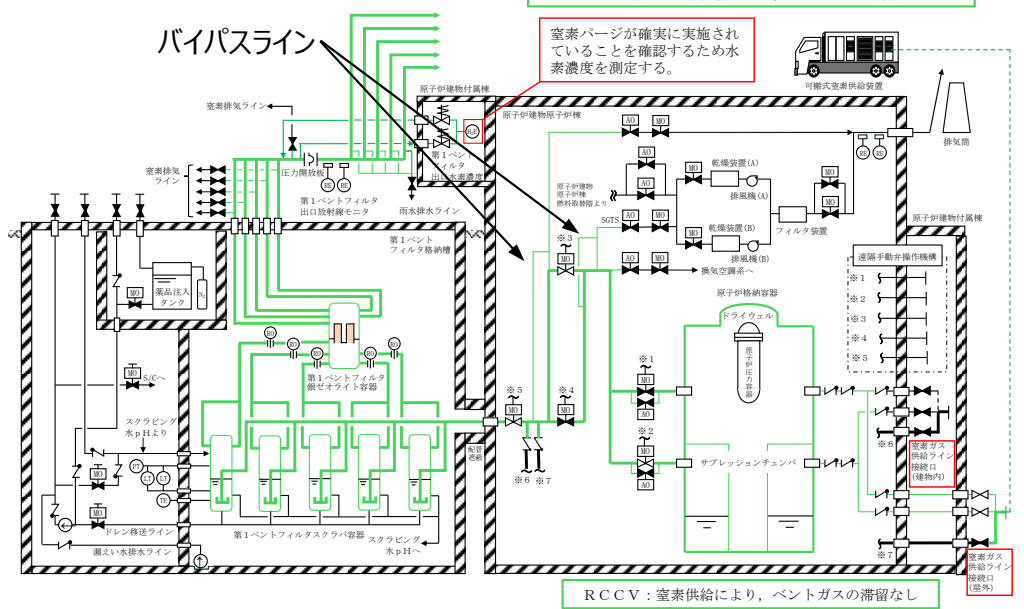


図3-4 格納容器フィルタベント系（ベント後収束モード）
系統概要図

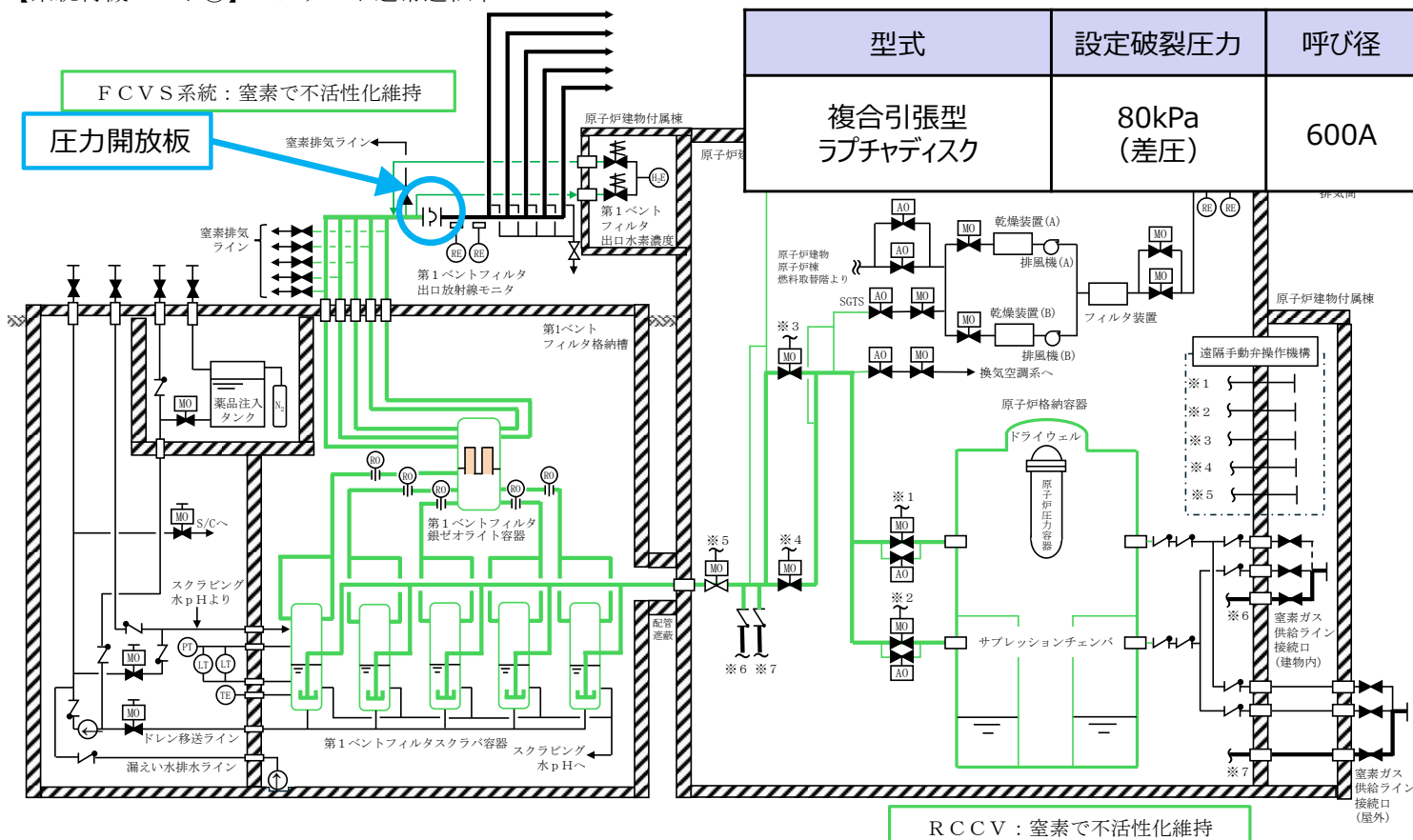
3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（圧力開放板）

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

圧力開放板

- 圧力開放板については、待機時に系統内を不活性ガス（窒素ガス）にて置換する際の大気との障壁として設置する。
- 圧力開放板は格納容器からの排気圧力と比較して十分に低い圧力である約80kPa[gage]にて破裂する設計であり、格納容器フィルタベント系の排気の妨げにならない設計とする。

【系統待機モード①】：プラント通常運転中



圧力開放板の仕様

型式	設定破裂圧力	呼び径	材質	個数
複合引張型 ラプチャディスク	80kPa (差圧)	600A	ステンレス鋼	1

図 3-5 格納容器フィルタベント系（系統待機モード）系統概要図

— : 各運転モードにおける可燃性
ガス爆発防止対策範囲

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（悪影響防止）

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

長期的な使用時の悪影響防止

- 格納容器との接続位置は，サプレッションチェンバ及びドライウェルに設けるものとし，いずれからも格納容器フィルタベント系を用いた排気を実施することができる設計とする。
- サプレッションチェンバ側及びドライウェル側のいずれからも排気できる設計とする。サプレッションチェンバ側からの排気ではサプレッションチェンバの水面からの高さを確保し，ドライウェル側からの排気では燃料棒有効長頂部よりも高い位置に接続箇所を設けることで，長期的にも溶融炉心及び水没の影響を受けない設計とする。

設備使用後の放射線防護対策

- 格納容器フィルタベント系のスクラバ容器，銀ゼオライト容器及び排気により高線量となる配管，機器等は，第1ベントフィルタ格納槽内に設置し，スクラバ容器等の周囲には遮蔽体を設け，格納容器フィルタベント系の使用時に本システム内に蓄積される放射性物質から放出される放射線から作業員を防護する設計とする。

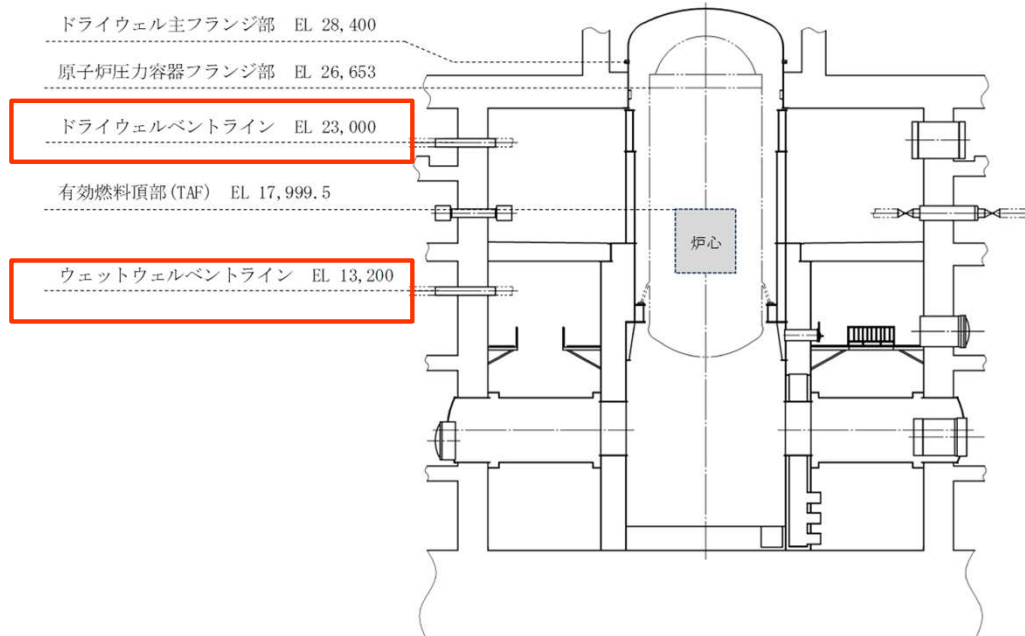


図3-6 原子炉格納容器の部位ごとの高さ

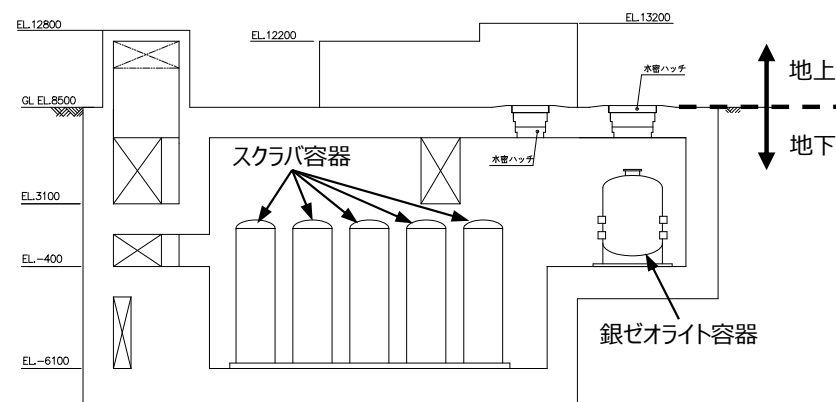


図3-7 第1ベントフィルタ格納槽 断面図

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（悪影響防止）

他システムとの共用

- 格納容器フィルタベント系を使用する際に流路となる不活性ガス系，非常用ガス処理系及び格納容器フィルタベント系の配管は，他号炉とは共用しない。
- 格納容器フィルタベント系と他の系統・機器を隔離する弁は直列で2個設置し，格納容器フィルタベント系と他の系統・機器を確実に隔離することで，悪影響を及ぼさない設計とする。

表 3-2 他システムと隔離する弁の仕様

弁番号	原子炉建物・タービン建物 換気空調系		非常用ガス処理系		耐圧強化ベントライン	
	①T31-F021	②T31-F025	③T31-F020	④T31-F026	⑤T22-F020	⑥T22-F023
型式	バタフライ弁					
駆動方式	空気作動※1	電動駆動※2	空気作動※1	電動駆動※2	空気作動※1	電動駆動※2
シート材	改良EPDM	膨張黒鉛	改良EPDM	膨張黒鉛	メタル	膨張黒鉛
開閉状態	NC・FC	NC・FAI	NC・FC	NC・FAI	NC・FC	NC・FAI

- ※ 1 主ラインから見て第 1 弁については，空気作動弁を採用し，重大事故等時に想定される弁の駆動源喪失時においても自動的に隔離できるようフェイル・クローズ（FC）の設計としている。
- ※ 2 主ラインから見て第 2 弁については，電動駆動弁を採用し，他システムと接続状態において流量調整を可能な設計としている。

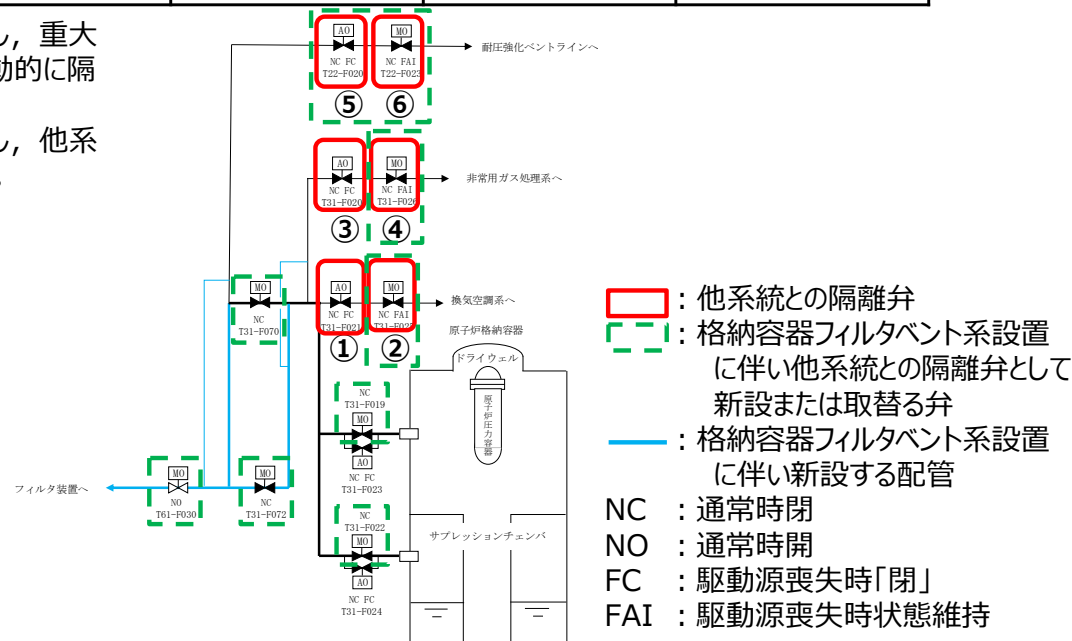


図 3-8 他システムとの隔離弁の概略構成図

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（人力操作）

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

隔離弁の人力操作

- 格納容器フィルタベント系の排出経路に設置される隔離弁は、遠隔手動弁操作機構により人力で容易かつ確実に開閉操作が可能な設計とする。
- 想定される操作時間内に操作できることをモックアップ試験により確認している。

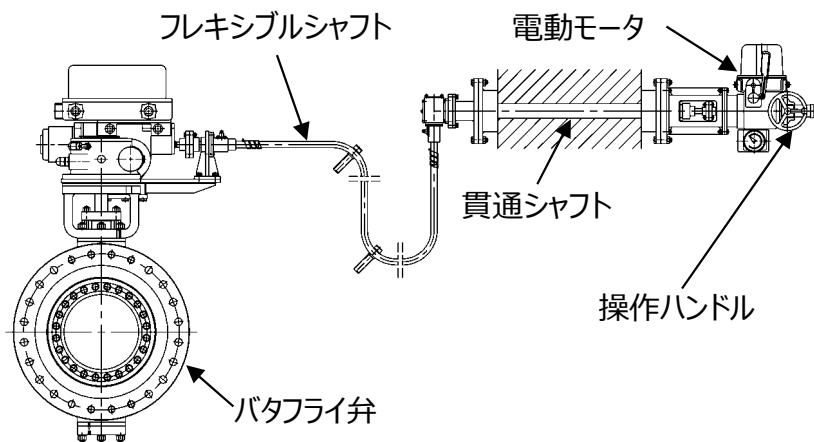


図3-9 遠隔手動弁操作機構の模式図

モックアップ試験装置は、ベント弁をフレキシブルシャフト約20m、曲げ9箇所遠隔で操作した時と同等の負荷を電磁ブレーキなどで模擬した。

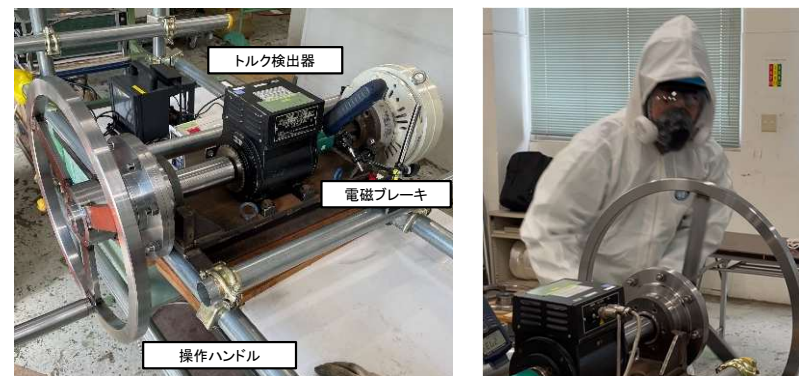


図1-10 モックアップ試験概略

表3-3 ベントに必要な隔離弁の遠隔手動弁操作機構の仕様及び操作時間

弁名称 (呼び径)	第1弁 (ウェットウェル ベントライン) (550A)	第1弁 (ドライウェル ベントライン) (550A)	第2弁 (550A)	第2弁 バイパス弁 (400A)
フレキシブル シャフト長さ	約20m	約21m	約25m	約26m
ハンドル回転数	約2,600回	約2,600回	約2,600回	約1,600回
1弁あたりの操作時間	100分以内			

表3-4 モックアップ試験結果

操作時間	操作速度 (平均)	備考
約54分	約48回/分	<ul style="list-style-type: none"> ・弁前後の差圧2Pdで実施 ・2名が交替で実施 ・操作トルクは約17N・m (差圧2Pd時は約28N・m)

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（人力操作）

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

隔離弁操作時の放射線防護対策

- 格納容器フィルタベント系を使用する際に操作が必要な隔離弁の遠隔手動弁操作機構を介した操作場所は、原子炉建物付属棟とし、必要に応じて遮蔽材を設置することで、作業員の放射線防護を考慮する設計とする。

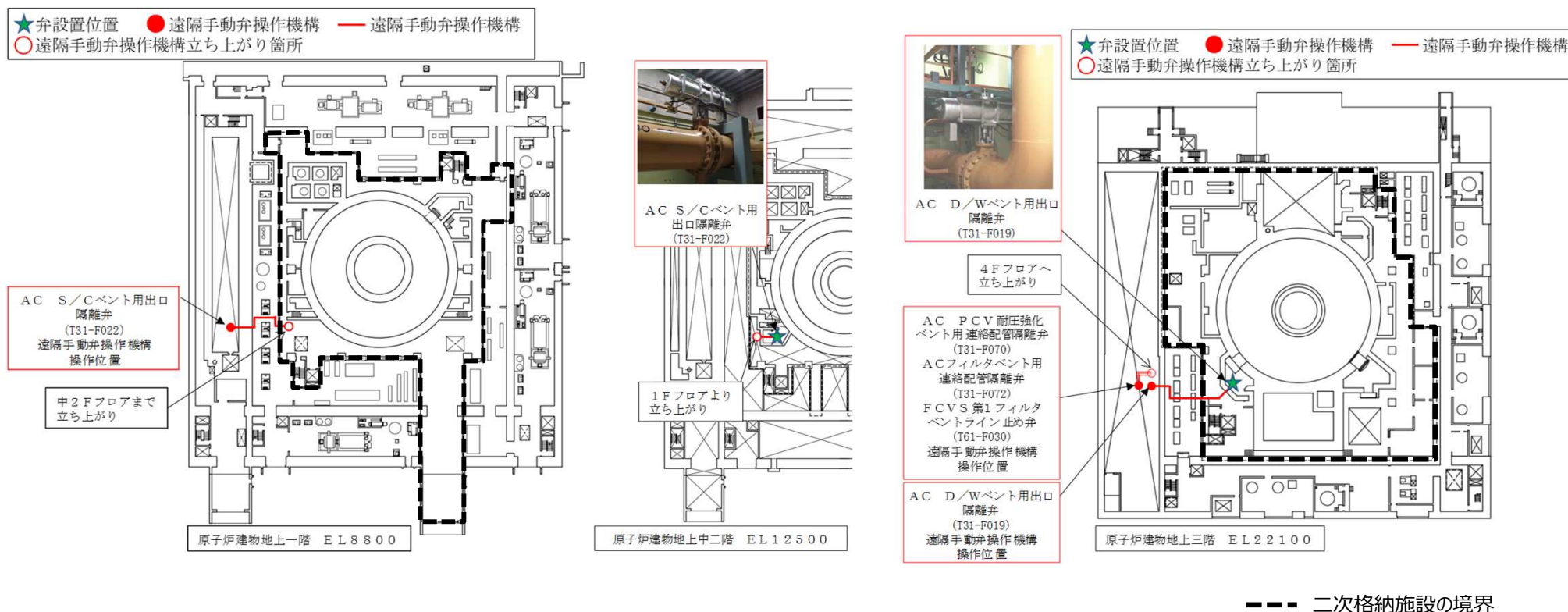


図3-11 遠隔手動弁操作機構の設置位置

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（多様性）

格納容器フィルタベント系と残留熱代替除去系（循環冷却モード）の多様性等の確保

- 原理の異なる冷却及び格納容器内の減圧手段を用いることで多様性を有する設計とする。
- 格納容器フィルタベント系は、人力により排出経路に設置される隔離弁を操作することで、弁やポンプの駆動に電源を要する残留熱代替除去系（循環冷却モード）に対して駆動源の多様性を有する設計とする。
- フィルタ装置（スクラバ容器及び銀ゼオライト容器）は第1ベントフィルタ格納槽内に、圧力開放板は原子炉建物近傍の屋外に設置し、残留熱代替除去系（循環冷却モード）の残留熱代替除去ポンプ、残留熱除去系熱交換器並びにサプレッションチェンバは原子炉建物内に設置することで、位置的分散を図る設計とする（機器配置図参照）。
- 格納容器フィルタベント系と残留熱代替除去系（循環冷却モード）は、共通要因によって同時に機能を損なわないよう、流路を分離することで独立性を有する設計とする。

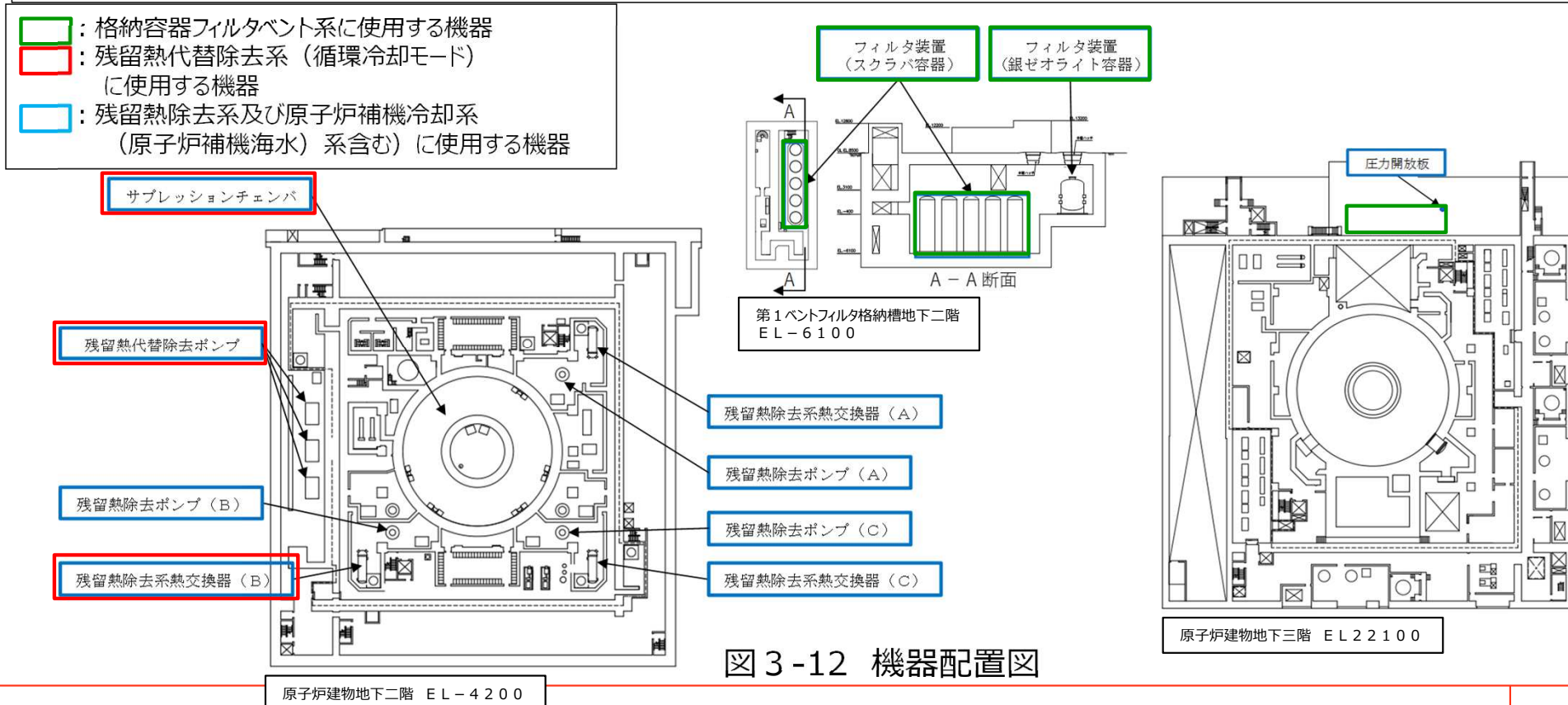


図3-12 機器配置図

3.2 格納容器フィルタベント系の設計方針（計装設備）

格納容器フィルタベント系の計装設備

- 格納容器フィルタベント系の計装設備は、各運転状態において、設備の状態を適切に監視するため、第1ベントフィルタ出口水素濃度、第1ベントフィルタ出口放射線モニタ及びフィルタ装置（スクラバ容器）周り計装設備にて構成する。
- 監視パラメータは、中央制御室及び緊急時対策所で監視可能な設計とする。

表 3-5 計装設備主要仕様

監視パラメータ	監視目的	計測範囲	検出器 個数	監視場所
①スクラバ容器 水位	スクラバ容器性能維持のための 水位監視	□ mm	10	中央制御室 緊急時対策所 現場
②スクラバ容器 圧力	系統運転中に格納容器内雰囲気 気ガスがフィルタ装置へ導かれて いることの確認	0 ~ 1 MPa[gage]	5	中央制御室 緊急時対策所
③スクラバ容器 温度	スクラバ容器の温度監視	0 ~ 300℃	5	中央制御室 緊急時対策所
④フィルタ装置出 口配管圧力※1	系統待機時の窒素封入による 不活性状態の確認	0 ~ 100kPa[gage]	2	中央制御室 緊急時対策所
⑤第1ベントフィ ルタ出口水素濃 度	事故収束時の系統内の水素濃 度の確認	0 ~ 20vol% / 0 ~ 100vol%	1	中央制御室 緊急時対策所
⑥第1ベントフィ ルタ出口放射線 モニタ	放射性物質を含む気体の排気 の確認	10 ⁻² ~ 10 ⁵ mSv/h	2	中央制御室 緊急時対策所
⑦スクラビング水 pH※1	スクラバ容器性能維持のための pH監視	pH 0 ~ 14	2	中央制御室 緊急時対策所

※1 自主対策設備

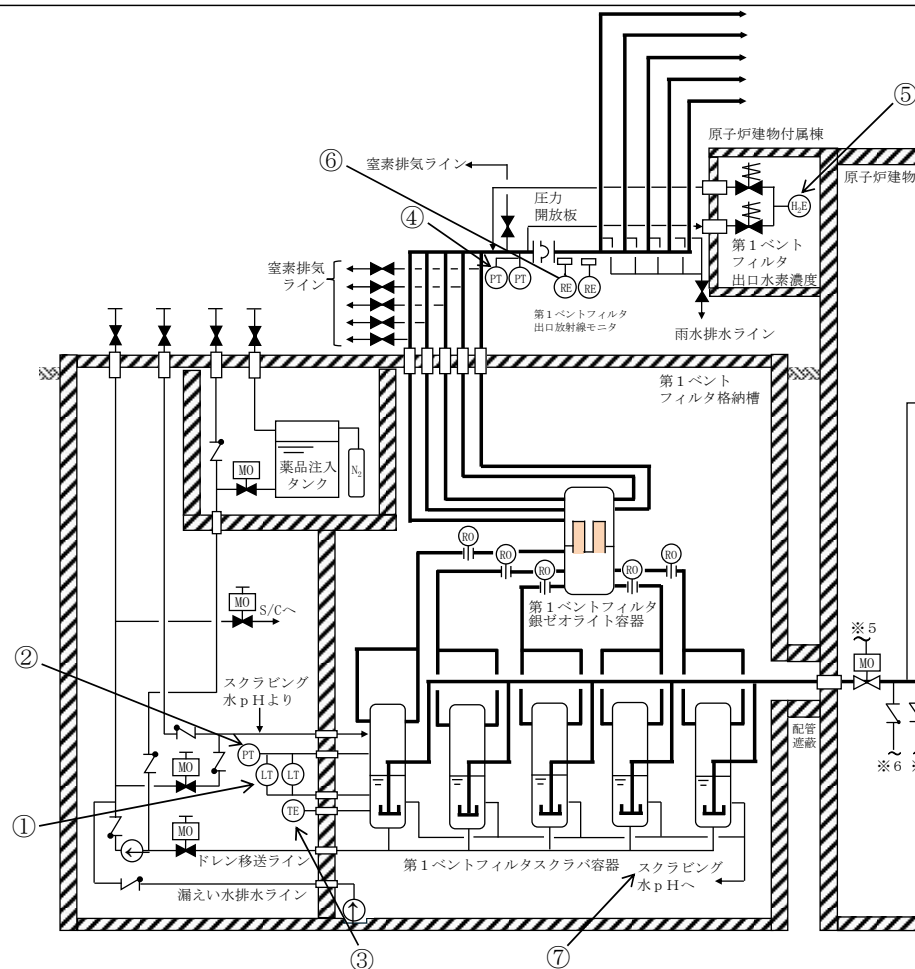


図 3-13 計装設備 概略構成図

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

3.3 格納容器フィルタベント系の運用方法

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

格納容器フィルタベント系の運用（手順）

1. ベント準備の判断基準

炉心状態	ベント準備判断基準
炉心損傷前	格納容器圧力180kPa[gage] ※1 到達
炉心損傷判断後	格納容器圧力465kPa[gage] ※1 (1.5Pd) 到達

ベント準備項目：隔離弁の健全性確認，他系統との隔離及び第2弁開操作，可搬式窒素供給装置準備

※1：確認不能の場合は，格納容器雰囲気温度から格納容器圧力を推定

2. ベント実施の判断基準

炉心状態	判断基準
炉心損傷前	格納容器圧力310kPa[gage]到達
炉心損傷判断後	サブレーションプール通常水位+6.95m到達

3. 格納容器内の水素爆発防止に係る判断基準

格納容器内の水素ガス及び酸素ガスの排出（炉心損傷後）	
準備判断基準	ドライ条件の酸素濃度が4.0%及びウェット条件の酸素濃度が1.5%に到達した場合
実施判断基準	ドライ条件の酸素濃度が4.4%及びウェット条件の酸素濃度が1.5%に到達した場合

4. 炉心損傷後の重大事故等対処設備の機能喪失を仮定した場合のベント実施判断基準

目的	判断基準
格納容器破損の緩和	格納容器代替スプレイに失敗した場合（1.5Pd以下維持不可）
	原子炉建物水素濃度2.5%到達
大気へ放出される放射性物質の総量の低減	格納容器雰囲気温度200℃以上において温度上昇が継続している場合
	可搬式モニタリング・ポスト指示値の急激な上昇
	原子炉建物原子炉棟内の放射線モニタ指示値の急激な上昇

5. ベント停止の考え方

格納容器フィルタベント系によるベントを実施することで，格納容器温度及び圧力が低下し始めるが，下記の条件を満足することにより，格納容器からの除熱を長期にわたり維持することが可能となった場合，ベントを停止することを基本として，その他の要因を考慮した上で総合的に判断し，適切に対応する。

- ・残留熱除去系又は残留熱代替除去系による格納容器除熱機能確保
- ・可燃性ガス濃度制御系による格納容器内の水素・酸素濃度制御機能確保
- ・格納容器内の水素ガス及び酸素ガス濃度測定が可能
- ・可搬式窒素供給装置を用いた格納容器内への窒素注入が可能

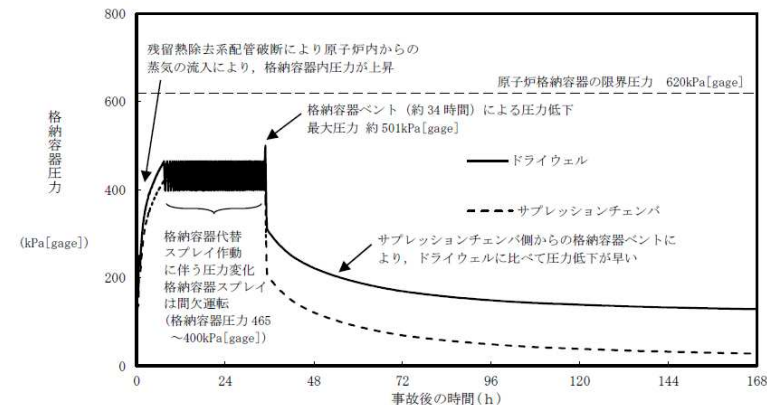


図3-14 原子炉格納容器圧力の推移※

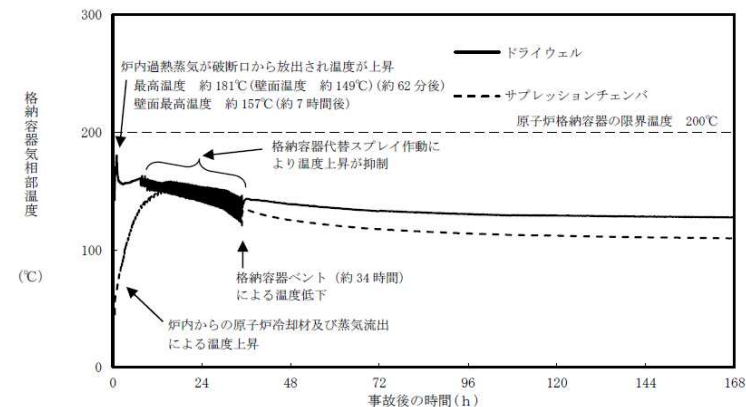


図3-15 原子炉格納容器温度の推移※

※ 有効性評価「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系（循環冷却モード）を使用しない場合）」シナリオにおける炉心損傷後に格納容器ベントを実施した際のプラント挙動

3.4 その他考慮事項（スクラバ容器の基数の違い）

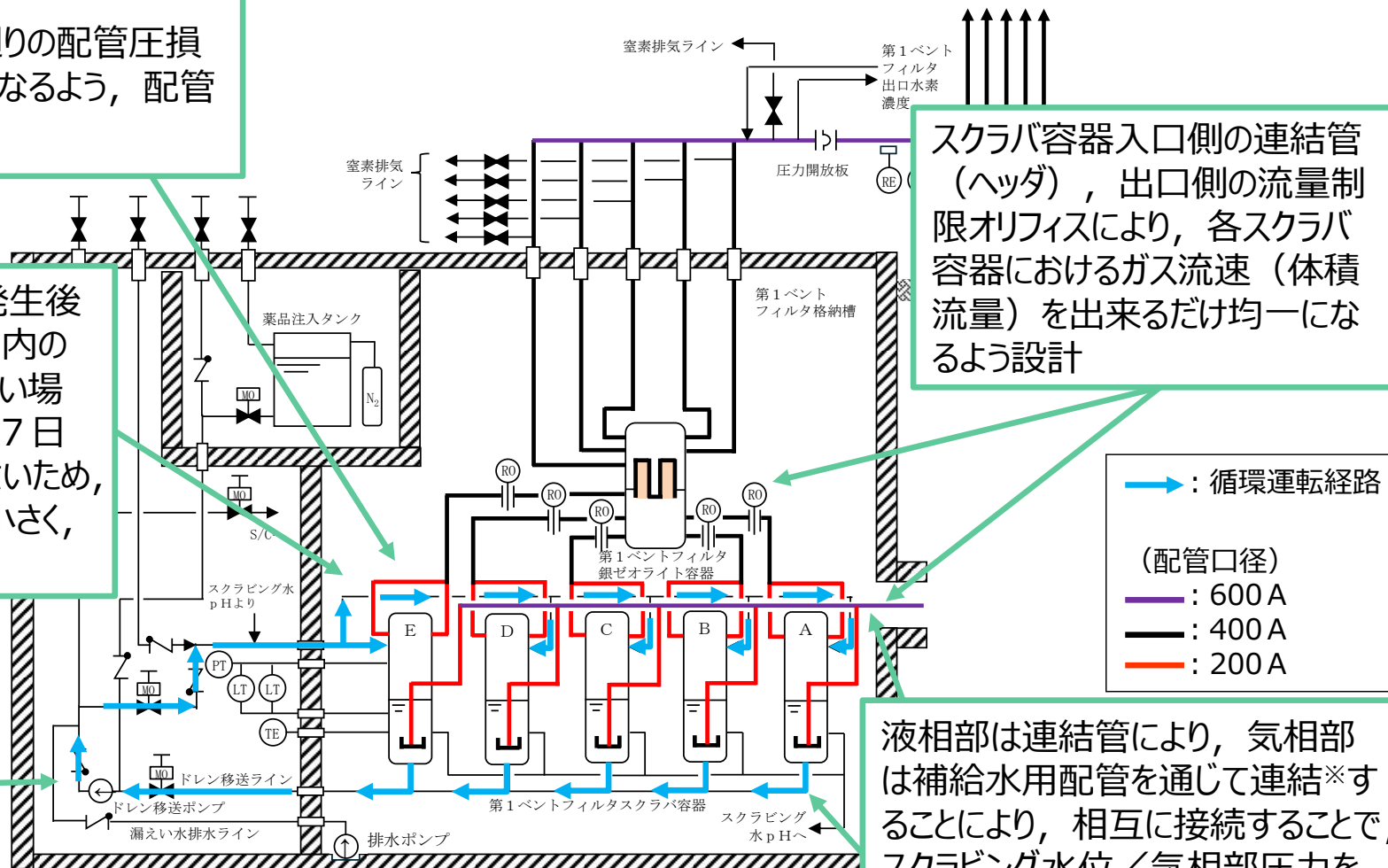
フィルタ装置（スクラバ容器）を複数構成とすることによる影響について

- 地下格納槽内の配置スペースの制約上，スクラバ容器をコンパクトに設計するため，複数（5個）構成とし，連結管の設置等によりフィルタ性能に影響しないよう設計
- 想定される最大のベントガス流量のばらつきが発生した場合においても所定の性能に影響がないことを確認

各スクラバ容器廻りの配管圧損の差が十分小さくなるよう，配管のルートを計画

スクラビング水補給（事故発生後7日以降）により，連結管内の残水で気相部が連結されない場合においても，事故発生後7日以降のベントガス流量は小さいため，ベントガス流量のばらつきは小さく，所定の性能に影響しない。

薬剤の補給後は，ドレン移送ポンプを使用した循環運転を実施し，スクラビング水の均一性を確保（図中青矢印）



スクラバ容器入口側の連結管（ヘッド），出口側の流量制限オリフィスにより，各スクラバ容器におけるガス流速（体積流量）を出来るだけ均一になるよう設計

液相部は連結管により，気相部は補給水用配管を通じて連結することにより，相互に接続することで，スクラビング水位／気相部圧力を均一にする設計

※スクラビング水補給前のみ

図 3-16 フィルタ装置廻りの系統概要図

3.4 その他考慮事項（現場操作時の被ばく評価）

女川2号炉,
島根2号炉
と同様の方針

現場操作時の作業員の被ばく評価について

- ベント実施に伴う現場作業は、放射線環境下での作業となることから、作業の成立性を確認するために各作業場所における線量影響評価を実施
- ベント弁開操作のうち最も被ばく線量が大きくなる作業場所の評価結果は約14mSv となり、緊急時作業に係る線量限度100mSv に照らしても、作業可能であることを確認

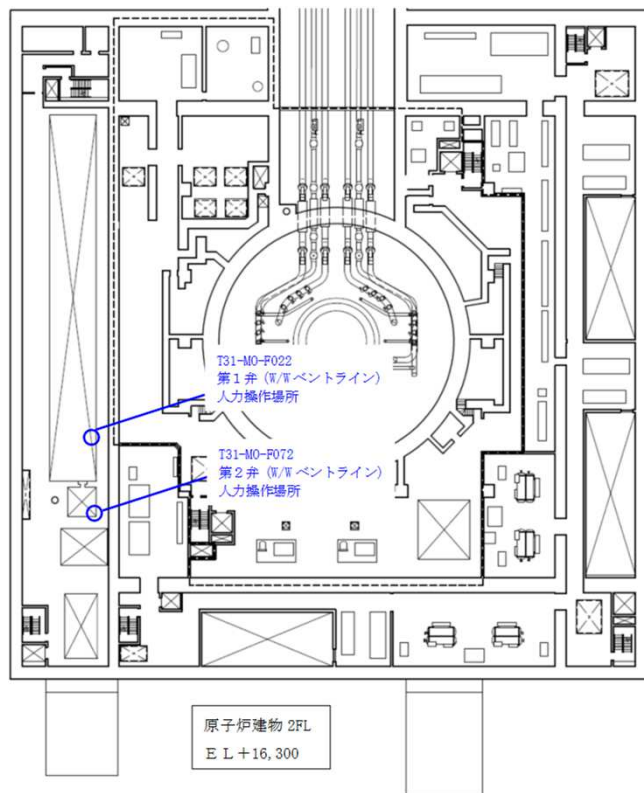


図3-17 現場作業場所

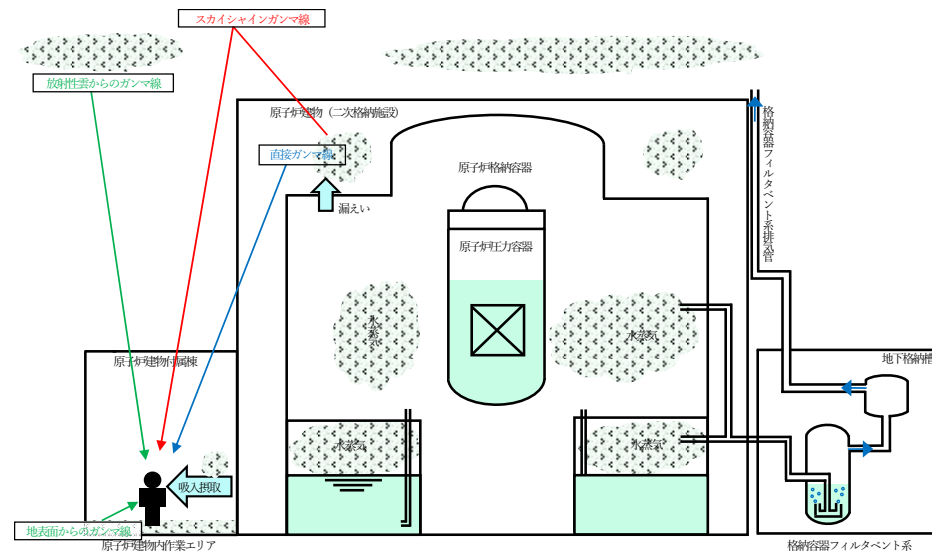


図3-18 被ばく経路概要図（屋内）

表3-6 現場作業時被ばく線量

		第2弁開操作 (ベント準備操作)	第1弁開操作 (ベント実施操作)
作業時間		80分	85分
被ばく線量	W/W	約9 mSv	約14mSv
	D/W		約13mSv

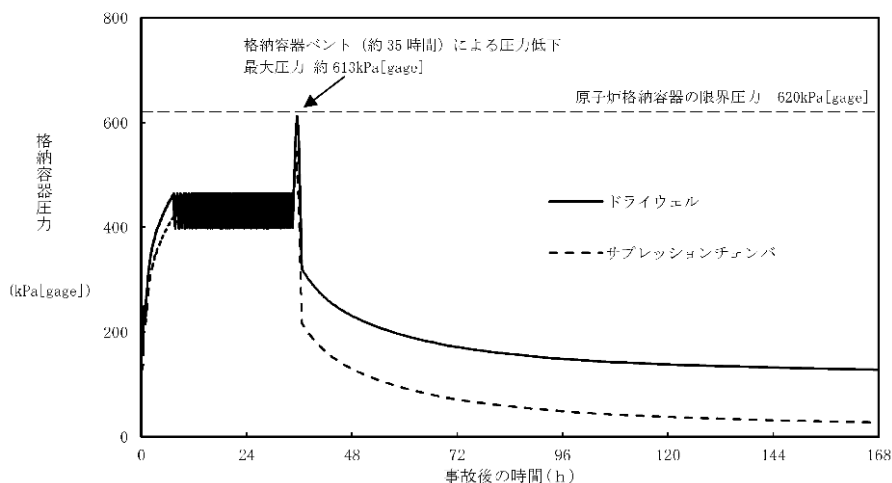
(参考) 現場操作による格納容器ベントの実現性

中央制御室ベント操作失敗後の現場操作による格納容器ベントの実現性について

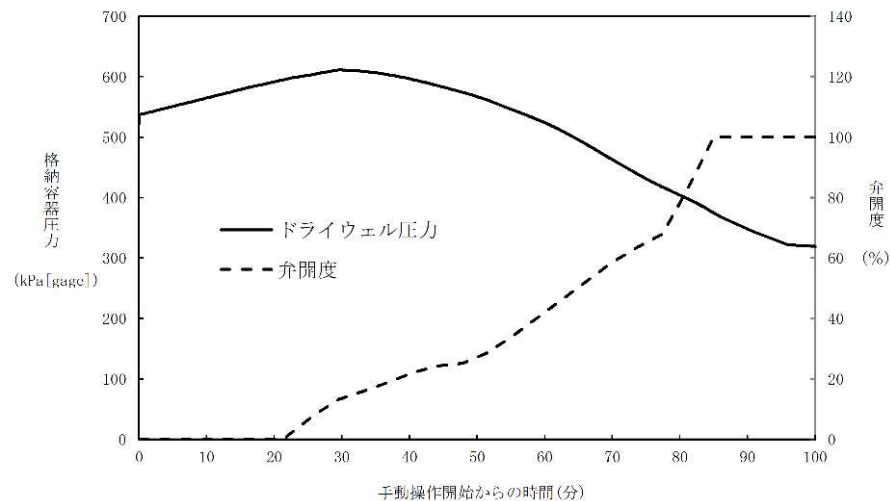
■ 中央制御室での遠隔操作失敗時においても、現場操作によって2Pdに到達することなくベント実施が可能

必要な要員と作業項目			経過時間 (時間)															
			1	7	8	32	34	35	36	37	38							
手順の項目	要員(数)		事象発生 (1:00) // ベント準備 (約7.4時間後) (8:00) // ベント基準到達 (約34.6時間後) (34:30) // 2Pd到達 (約35.5時間後) (35:30) (ベント操作をしない場合)															
「雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)(残留熱代替除去系(循環冷却モード)を使用しない場合)」における格納容器フィルタベント系による原子炉格納容器内の減圧及び除熱(現場操作)	中央制御室運転員A	1	5分 中央制御室からの遠隔操作及び失敗															
	現場運転員B, C	2	15分 移動 1時間25分 現場手動操作															

中央制御室での遠隔操作失敗時における現場手動操作タイムチャート



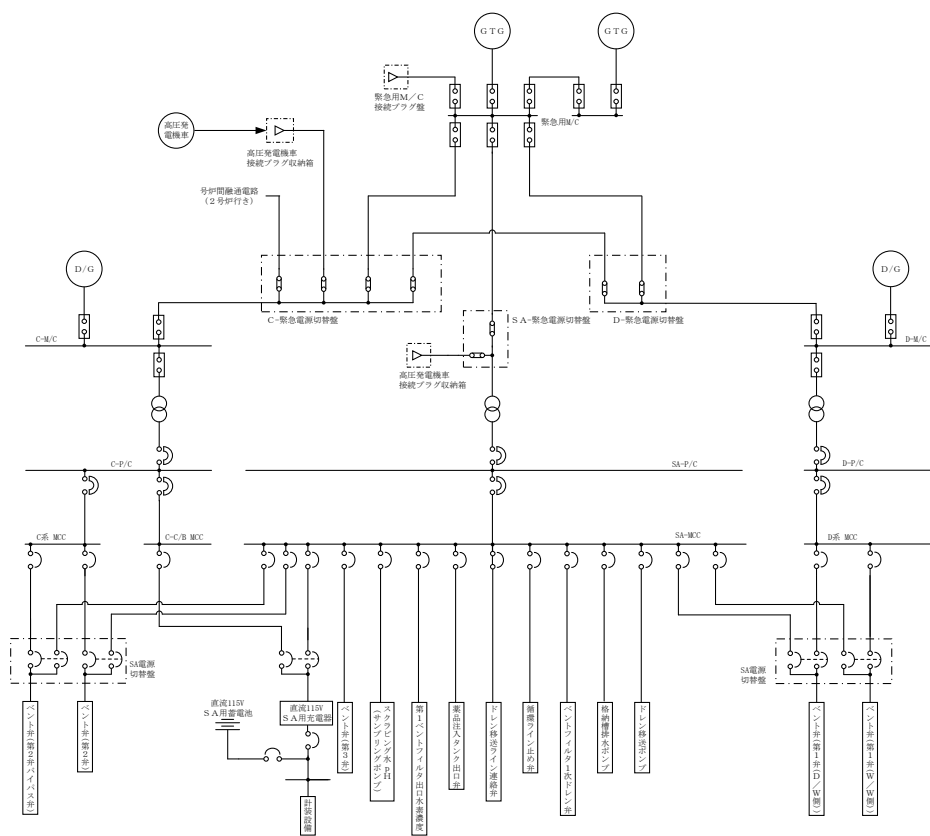
弁特性及び中途開状態を考慮した場合の格納容器圧力の推移



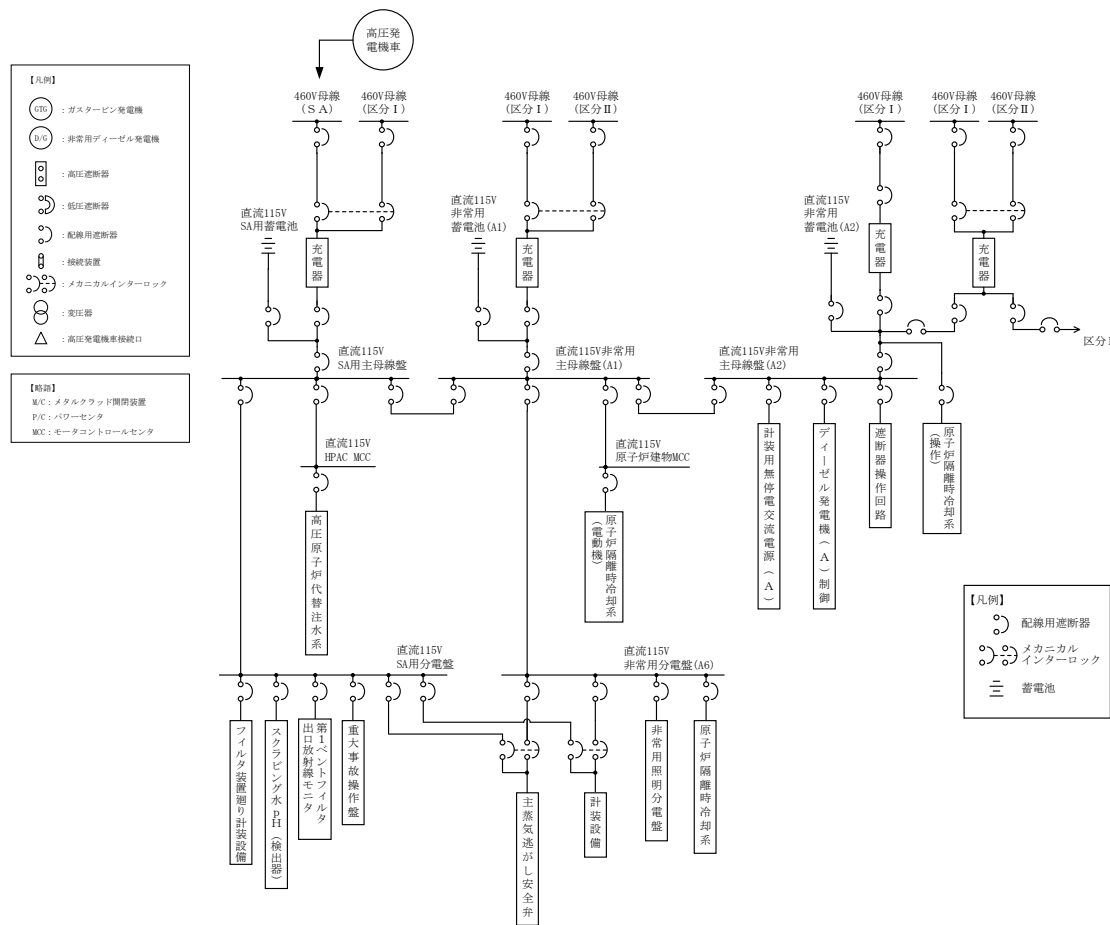
格納容器圧力の推移(拡大)と弁開度の関係図(手動操作開始から)

ベント実施基準到達20分後から操作を実施, 1時間25分で全開

(参考) 電源設備



格納容器フィルタベント系 電源構成 (交流電源)



格納容器フィルタベント系 電源構成 (直流電源)

(参考) 他プラントとの主な相違点 (1 / 2)

項目	女川2号炉	島根2号炉	島根3号炉	備考
フィルタ性能 (除去効率)	粒子状放射性物質 99.9%以上 無機よう素 99.8%以上 有機よう素 98%以上	粒子状放射性物質 99.9%以上 無機よう素 99%以上 有機よう素 98%以上	粒子状放射性物質 99.9%以上 無機よう素 99%以上 有機よう素 98%以上	【設備の相違】 一般的に無機よう素は、有機よう素と比べ活性が高く、反応しやすいため、銀ゼオライトフィルタでも捕集されやすいが、島根3号炉では、銀ゼオライトフィルタでの無機よう素の除去に期待せず無機よう素の除去効率を設定
フィルタ装置 (スクラバ容器) 個数	3個	4個	5個	【設備の相違】 スクラバ容器内に設置するベンチュリノズルは、原子炉定格熱出力等より定まる系統流量を踏まえ、JAVA試験により検証されたガス流速の範囲内となるよう、ノズル本数を設定している。 また、スクラバ容器の個数については、想定される粒子状放射性物質を捕集可能な金属フィルタの面積及び必要なノズル本数を満足するよう、スクラバ容器1個あたりに設置可能なノズル本数及び金属フィルタの面積を踏まえ、設定している。 上記考えに基づき、島根2号炉では4個、島根3号炉では5個のスクラバ容器を設置している。 なお、スクラビング水の初期水位については、ベントガスによる入熱及びスクラビング水で捕集する粒子状放射性物質の発熱を考慮して設定している
銀ゼオライトフィルタ の配置	ベンチュリスクラバ及び金属フィルタと 同一容器内に設置	ベンチュリスクラバ及び金属フィルタと別容器(銀ゼオライト容器)内に設置	ベンチュリスクラバ及び金属フィルタと 別容器(銀ゼオライト容器)内に設置	【設備の相違】 地下格納槽内の配置スペースの観点からスクラバ容器をコンパクトに設計するため、ベンチュリスクラバ及び金属フィルタをスクラバ容器内に設置し、銀ゼオライトフィルタを銀ゼオライト容器内に設置。銀ゼオライトフィルタの性能を確保するために必要なパラメータについて、別置きタイプとした場合でも問題ないことを確認している

(参考) 他プラントとの主な相違点 (2 / 2)

項目		女川2号炉	島根2号炉	島根3号炉	備考
フィルタ装置の配置		原子炉建屋原子炉棟内	地下格納槽	地下格納槽	【設備の相違】 設置スペースの観点から、スクラバ容器等を地下埋設の格納槽に設置
スクラビング水補給設備の位置付け		重大事故等対処設備	自主対策設備	自主対策設備	【運用の相違】 スクラビング水の補給設備を使用しなくても、フィルタ機能を維持できる設計としているため、補給設備を自主対策設備として設置
ベント実施判断基準	炉心損傷前	原子炉格納容器圧力 1 Pdに到達	サプレッション・プール水位が通常水位+約1.3m に到達	格納容器圧力が 1 Pd に到達	【運用の相違】 島根3号炉は、操作開始条件は格納容器最高使用圧力を考慮して設定している。
	炉心損傷後	外部水源注水量限界 (サプレッションプール水位が通常運転水位+約 2m)	サプレッション・プール水位が通常水位+約 1.3m に到達	サプレッションプール水位計の指示値が通常水位+ 6.95m に到達	【運用の相違】 島根3号炉は、外部注水制限としているサプレッションプール水位が通常水位+6.95m (真空破壊装置下端) ※に到達後、ベントを実施する運用としている。

※：ベント実施に伴うサプレッションプール水位上昇を考慮してもベントラインが水没しない水位として設定