

格納容器破損防止対策とフィルタードベント設置の考え方

Failure Protection Measurements of Reactor Containment Vessel and Scenario for installation of Filtered Venting System

○ 戸塚 文夫 (日立 GE), 横内 滋 (日立 GE)

細見 憲治 (東芝), 増山 亨 (東芝)

山越 義規 (三菱重工), 倉林 薫 (三菱重工), 中野 正信 (三菱重工)

Fumio TOTSUKA and Shigeru YOKOUCHI, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., Saiwai-cho3-1-1, Hitachi

Kenji HOSOMI, Toshiba Corporation, Shinsugita-cho8, Isogo-ku, Yokohama

Toru MASUYAMA, Toshiba Corporation, Shibaura 1-1-1, Minato-ku, Tokyo

Yoshinori YAMAKOSHI, Kaoru KURAHAYASHI and Masanobu NAKANO Mitsubishi Heavy Industries, LTD.,
Wadasaki-cho1-1-1, Hyogo-ku, Kobe

In the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident which results from the earthquake in the Tohoku district Pacific Ocean and the tsunami accompanying it, which occurred on March 11, 2011, a severe accident occurred, leading to reactor core damage and containment failure. As a result, a lot of radioactive materials were released into the environment from the plant. Strengthening of the counter measures against containment failure including installation of a filtered venting system enables it to reduce the probability of these accidents as much as possible.

Key Words : Filtered Venting System, Containment Failure, Severe Accident, Radioactive Materials

1. 緒言

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震及び地震に伴う津波により、東京電力福島第一原子力発電所では全電源が喪失し、炉心損傷および格納容器閉じ込め機能喪失に至る重大事故（シビアアクシデント）が発生した。その結果、大量の放射性物質が発電所から環境中に放出された。

シビアアクシデントに対する原子炉格納容器の過圧破損防止対策（格納容器破損防止対策）は、機器のランダム故障や誤操作によって生じる「内の事象」をベースに整備が進められてきたが、東京電力福島第一原子力発電所事故（東電福一事故）の教訓反映から、地震や津波等の外部からの要因によって生じる「外的事象」の対策整備が必要になってきた。また、当該事故では大量の放射性物質が原子炉格納容器から環境中に放出されることになったが、この対策の一環としてフィルタ付格納容器圧力逃がし装置（フィルタードベント）の設置が計画されている。

ここでは、上記、格納容器破損防止対策とフィルタードベント設備の設置の考え方について紹介する。

2. PWRの格納容器破損防止対策とフィルタードベント設置の考え方

2・1 PWRの格納容器破損防止対策

PWRの格納容器破損防止対策としては、既設の補機冷却設備を介して海水設備によって冷却される格納容器スプレイ再循環運転に加えて、格納容器格納容器再循環ユニットを使用した格納容器気相部冷却が従来から「内の事象」に対する対応として整備されている。東電福一事故の教訓反映として、これに対して最終的な熱の逃がし場の多様性、独立性の観点から代替海水設備による冷却手段を追加し、冷却手段の強化を図っている。また、これら対策が万一失敗した場合の対応

としてフィルタードベント設備の設置を計画している。

PWRにおける格納容器破損防止対策の概要を図2-1に、格納容器破損シナリオを図2-2に示す。

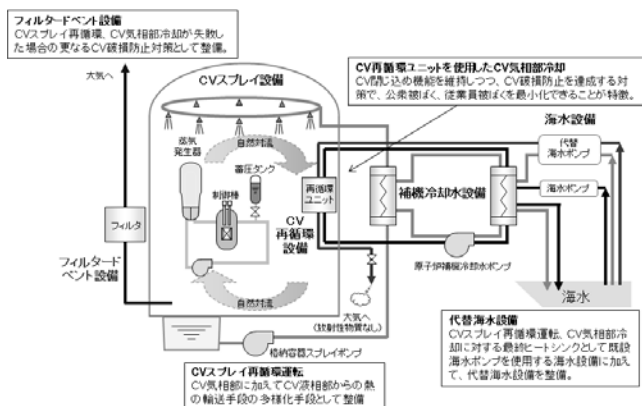


Fig.2-1 格納容器破損防止対策の概要

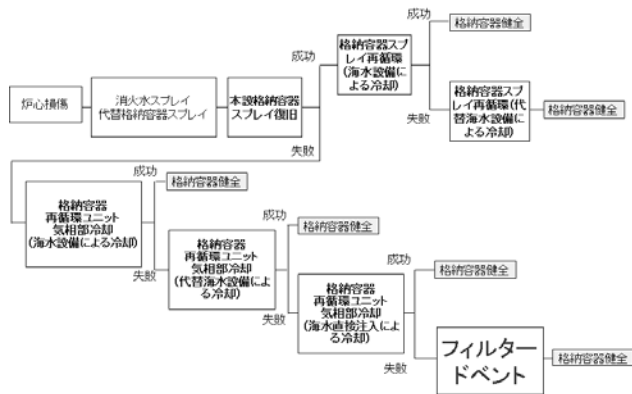


Fig.2-2 格納容器破損シナリオ

2・2 PWRのフィルタードベント設置の考え方

フィルタードベントは、シビアアクシデント時に炉心の著しい損傷が発生したことに伴い格納容器の圧力が水蒸気によって異常に上昇した場合において、格納容器の水蒸気を含む雰囲気フィルタを経由して格納容器外へベントすることによって、格納容器の破損を防止する機能及び放射性物質の放出を抑制する機能を有する設備である。PWRでは、格納容器スプレイ再循環運転や格納容器再循環ユニットを使用した格納容器気相部冷却のような放射性物質の放出を伴わない多様な対策手段を有するために、これら対策が失敗した場合の更なる格納容器破損防止対策として設置する。

(1) フィルタードベントの操作と容量の考え方

PWRでは環境中への放射性物質の放出の影響を考慮して、事故発生後可能な限り遅いタイミングでベントする運用手順を計画している。このた

めに代替格納容器スプレイによる格納容器内への注水・蓄熱対策の併用によってベントまでの時間を48時間程度確保する。ベント開始は、格納容器限界圧力に対して十分な耐力余裕が見込まれる格納容器最高使用圧力の2倍(2Pd)を目安にして実施する手順を計画している。また、ベント停止については、過度な減圧操作によって生じる可能性がある格納容器負圧破損の防止の観点から格納容器最高使用圧力(Pd)を目安に停止する手順を計画している。フィルタードベントの設備容量は上記の運用手順を考慮して事故発生後48時間における崩壊熱を除去できる計画としている(図2-3参照)。

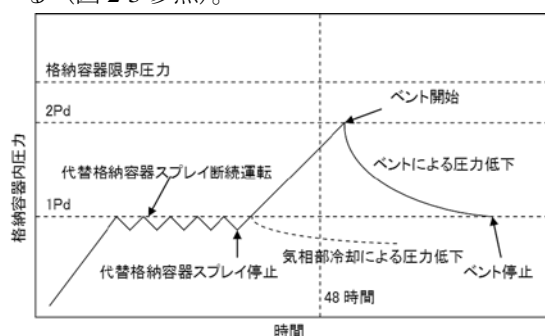


Fig.2-3 PWRのフィルタードベントの運用のイメージ

(2) フィルタードベントの操作の考え方

ベントの開始操作は、ラプチャディスクによって受動的に実施する方式と弁操作によって人的判断によって能動的に実施する方式があるが、PWRではベント操作を人的判断によって機動的に実施できる様に等の観点から弁操作による方式を採用する計画である。また、ベント弁操作は電源喪失時においても現場操作が可能なような手段、及び遮へいを考慮した操作場所を確保している(図2-4参照)。

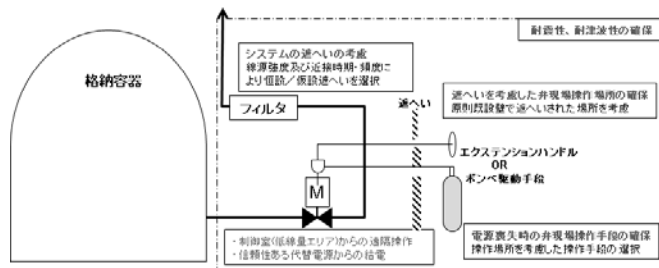


Fig.2-4 PWRのフィルタードベントの操作の考え方

(3) フィルタードベントの水素対策

フィルタードベントの設置においては、格納容器内で発生する水素に対する爆発対策を考慮した計画が必要であるが、PWRのシビアアクシデ

ント時の格納容器内水素濃度は、大容量格納容器の効果、及び格納容器内水素制御装置設置によって事象発生から終息までの全期間に渡り、乾燥状態を想定しても爆轟領域以下に抑制される。従って、格納容器外へ漏えいし燃焼しても、爆発的な圧力過渡を伴う水素爆轟は発生しない。よって、PWR では水素爆発（爆轟）の懸念はないが、燃焼の可能性があることからその影響緩和策について考慮している（図 2-5 参照）。

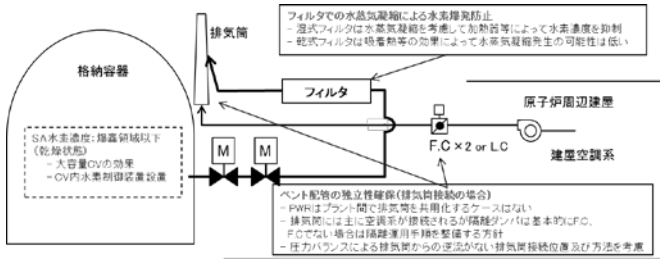


Fig.2-5 PWR のフィルタードベントの水素対策

(4) フィルタードベントの使用後の処理

フィルタードベントの設置においては、事故終息後における設備の使用後の処理と作業員の作業性、及び近接性を考慮した計画が必要である。PWR では乾式、及び湿式の2つのタイプのフィルタを計画中であるが各タイプにおける使用後の処理の考え方を表 2-1 に纏めた。

	乾式	湿式
コンセプト	事故後においても、作業員の作業性、近接性を考慮した設計とする。	
概念図(例)	<p>(屋内配置の例)</p>	<p>(屋上配置の例)</p>
事故後の処理	<ul style="list-style-type: none"> エアロゾルフィルタ 長半減期核種を捕獲するものであり、事故後の近接が困難となるため、フィルタはCVやアニオス等の閉じ込めエリアに設置。 よう素フィルタ 短半減期核種を捕獲するものであり、事故後短期間で重量率が低下する。近傍での作業が想定される場合には、必要に応じ這へいを設置。 	<ul style="list-style-type: none"> 除染設備により重量低減 ～放射線物質を含むフィルタ水を、移送ライン等を使用してCVへ移送後、給水ラインを使用してフィルタ内に再給水。この繰り返しにより除染処理を実施。

Table.2-1 PWR のフィルタードベントの事故後の処理の考え方

3. BWR の格納容器破損防止対策とフィルタードベント設置の考え方

3.1 BWR の格納容器破損防止対策

(1) 格納容器破損防止対策の概要

BWR では、重大事故時に炉心が損傷した場合にも格納容器の健全性を確保するために、格納容器への注水、格納容器の冷却、格納容器ベント、そしてそれらの対応に必要な電源の確保等の種々の対策を行うことを計画している。フィルタードベント装置もそれらの対策のうちの重要なひとつである。

炉心損傷を伴う重大事故時にはこれらの種々の対策設備を有効に活用することにより格納容器を健全に保ち、環境に放射性物質による影響を与えないように対応を行ってゆく。

(2) 炉心損傷後の格納容器破損防止の手段

対象設備	本設設備	可設設備	恒設設備	特定安全施設
格納容器	①炉心損傷時の除熱 -代替RCW-RSW (RHR復旧手順の整備)	①炉心損傷時の除熱 -代替RCW-RSW -海水の洗浄手段 -代替高水ポンプ等の予備品	①炉心損傷時の除熱(自然ヒーティング) -ソフトベント(D/W/W) -耐圧強化ベント(D/W/W) ②PCVベントタイプによる減圧 -炉心損傷時の代替設備 -原子炉ウエル注水	①炉心損傷時の除熱 -フィルタベント

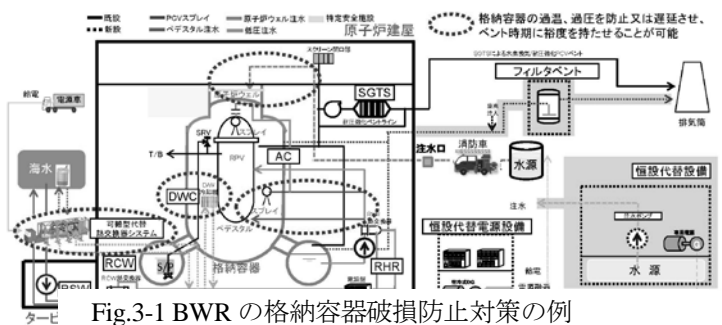


Fig.3-1 BWR の格納容器破損防止対策の例

重大事故により炉心が損傷した場合、代替 PCV 注水/スプレイ/下部ドライウエル注水等の手段により、損傷炉心デブリを冷却するとともに格納容器雰囲気冷却、圧力上昇の抑制を行う。その間に本設 RHR による格納容器冷却が復旧すれば格納容器は健全に保つことが出来る。本設 RHR の復旧が見込めない場合にはドライウエル冷却器を活用して格納容器雰囲気の冷却に努める。これらの対応を実施しても格納容器の圧力制御が困難となった場合にフィルタードベント装置を使用して格納容器のベントを行い、格納容器内に充満した気体を排出することにより格納容器の減圧を行う。また、格納容器の健全性確保手段の信頼性をさらに向上させるために種々の格納容器防護対策についても検討している。

3.2 フィルタードベント装置設置の考え方

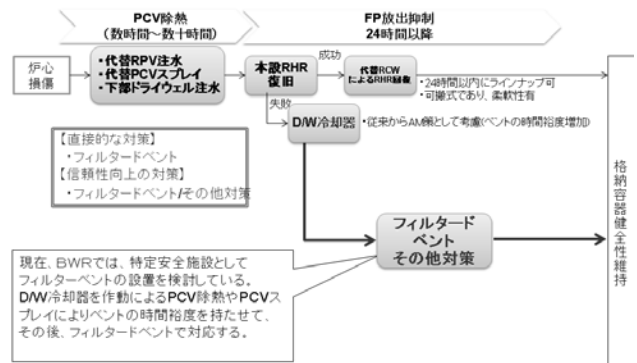


Fig.3-2 炉心損傷後の事象緩和フロー

(1) フィルタードベント装置の構造(例)

BWRは湿式のフィルタードベント装置を設置する計画としている。装置はステンレス製縦型タンク形状のものである。格納容器からベントされたガスを第1段のベンチュリスクラバー型のスクラビングノズルを通すことにより水中にエアロゾルをトラップし、第2段の金属フィルタでさらにエアロゾルをろ過するものである。

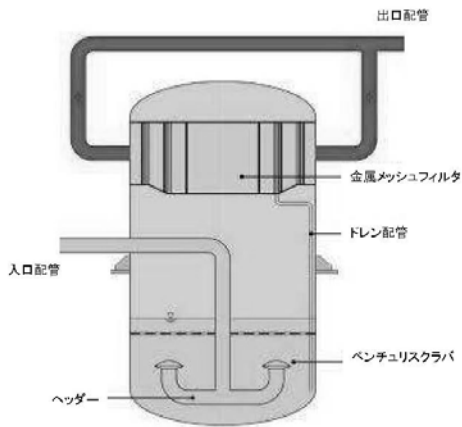


Fig.3-3 フィルタードベント装置の構造(例)

(2) フィルタードベントシステム設計上の考慮事項

i)操作性向上

フィルタードベントシステムは全交流電源が喪失した場合にも運転が可能ないように、隔離弁は直流駆動または空気作動弁を用い、さらに現場で遮へい壁越しに操作可能な弁とする。ベント操作を確実に実施するために、高設定圧のラプチャディスクは設けない。運転に必要なフィルタードベント装置周りの計器は受動計器とし、遮へい壁越しに監視可能なようにする。

ii)水素爆発防止

系統内は常時窒素封入し、ベント時に水素ガスが流入しても燃焼しないようにする。そのため、系統出口付近に窒素置換バウンダリ形成のための低設定圧ラプチャディスクを設けるとともに、必要に応じて系統に窒素ガスを供給できるようにする。

また、ベント配管は独立させ、排気配管もSGTSと共用しない。

iii)その他の考慮事項

フィルタ装置は水の蒸発を考慮しても適切な期間に必要な水位を確保できるように保有水量を設定するとともに、必要に応じ遮へい壁越しに水を補給できるように考慮する。また、ベント装置運

転後に汚染した水を容易に処理できるように考慮する。

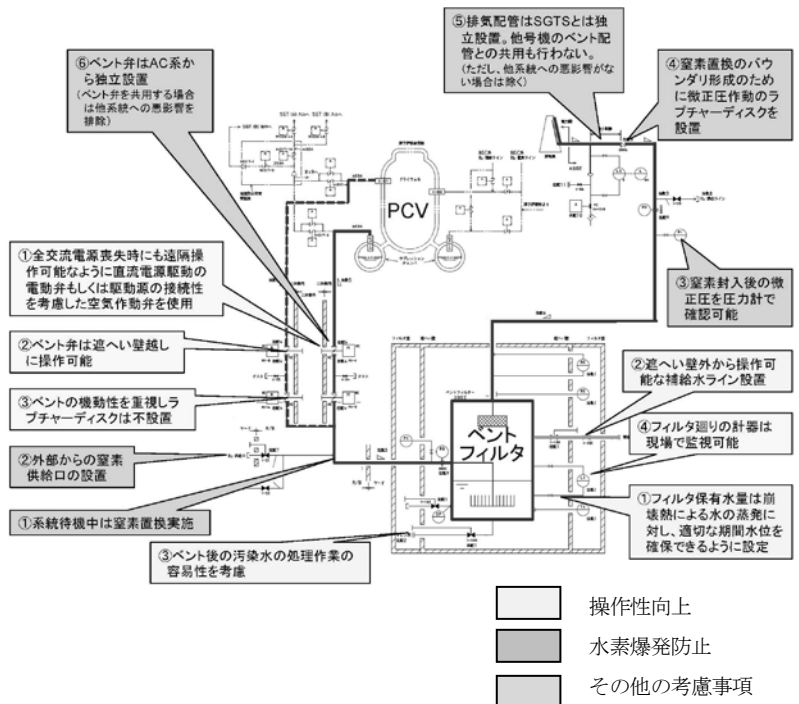


Fig.3-4 フィルタードベントシステム設計上の考慮

4. 結語

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及び地震に伴う津波を起因とした東京電力福島第一原子力発電所事故では炉心損傷および格納容器閉じ込め機能喪失に至るシビアアクシデントが発生し、その結果として大量の放射性物質が発電所から環境中に放出されたが、フィルタードベントシステムの設置を含めた格納容器破損防止対策の強化によって、これら事故の発生確率を可能な限り低減することが可能となる。

原子力発電所の安全性向上について、上記対策に満足することはなく諸外国の動向、他産業の技術革新等を踏まえて常に前向きな姿勢で取り組む努力を継続していきたい。