

フィルタベント設備の島根原子力発電所2号機への適用について

Application of Filtered Containment Venting System to the Shimane No.2 NPP

○須澤 克則 (中国電力) 柏倉 潤 (日立 GE)
 白井 利光 (中国電力) 内藤 慶太 (中国電力) 串間友紀子 (日立 GE)
 Katsunori SUZAWA, Toshimitsu USUI and Keita NAITOU
 The Chugoku Electric Power Co., Inc., 4-33, Komachi, Naka-ku, Hiroshima
 Jun KASHIWAKURA and Yukiko KUSHIMA
 Hitachi GE Nuclear Energy, Ltd., Saiwai-cho3-1-1, Hitachi-Shi, Ibaraki

Urgent safety measures which secure power supply and cooling function and prevent flood are being implemented promptly in Shimane nuclear power station to prevent damage of nuclear reactors and the spent fuel based on Fukushima Daiichi nuclear power plant accident from tsunami caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11, 2011. In order to improve the safety of the power station furthermore, various safety measures such as enhancement of basic design facilities to prevent severe accident from happening and installation of additional facilities to prevent it from expanding are also being implemented earnestly with consideration for multiplicity and diversity of the measures to secure its safety. As for safety measures for Shimane No.2 nuclear power plant, the plan of the safety measures have been submitted to NRA as applications for Establishment Permission, Construction Permission and applications of amendments to be assessed on the basis of the New Regulation effectuated on July, 2013. The validity of the plan is now under review. This paper explains the outline of the safety measures of Shimane No.2 nuclear power plant and the design outline and current status of the installation of Filtered Containment Venting System (FCVS). FCVS is one of the important facilities of all safety measures to prevent severe accident from expanding, and it is applied to Japanese nuclear power plant for the first time.

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

1. 緒言

島根原子力発電所では、2011年(平成23年)3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波に起因する福島第一原子力発電所事故を踏まえ、同様の事故を決して起こさないという強い決意のもと、電源や冷却機能の確保、浸水防止対策等、原子炉や使用済燃料の損傷を防止するための緊急安全対策等を直ちに実施した。更に発電所の安全性を高めるため、安全確保に向けた対策の多重性や多様性を考慮しながら、重大事故発生を防止するための基本設計設備(設計基準事故対応設備)の強化や重大事故の進展防止のための重大事故等対処設備の設置等、様々な安全対策を鋭意実施しているところである。

島根原子力発電所2号機の安全対策については、2013年(平成25年)7月8日に施行された新規規制基準への適合性確認審査を受けるため、その対策内容を原子炉設置変更許可、工事計画認可および保安規定変更認可申請書として取り纏め、同年12月25日に原子力規制委員会に提出し、現在その妥当性について審査を受けているところである。

ここでは、島根原子力発電所2号機の安全対策の概要と、安全対策の中でも重大事故の進展防止対策として重要な役割を担うものの一つで、国内で初めて導入することとなるフィルタベント設備の設計概要、設置状況等について紹介する。

2. 島根原子力発電所2号機の安全対策の概要

島根原子力発電所2号機では福島第一原子力発電所事故の教訓および新規規制基準の要求事項等を踏まえ、重大事故等の発生防止のための設備強化(耐震性能の確保、電源の信頼性強化等)に加え、万一、重大事故等が発生した場合においても炉心損傷を防ぐために注水を継続し、除熱機能の確保を図り、更に、炉心損傷に至った場合においても格納容器の破損および大規模な放射性物質の放出を防止する

ため、①炉心損傷防止、②除熱機能確保、③格納容器破損防止、④電源等の共通サポート機能維持といった観点から、新規設備の設置や従来設備(基本設計設備、アクシデントマネジメント設備)の強化といった形で更なる安全対策に取り組んできている。

島根原子力発電所2号機における安全対策の概要をFig.1に示す。

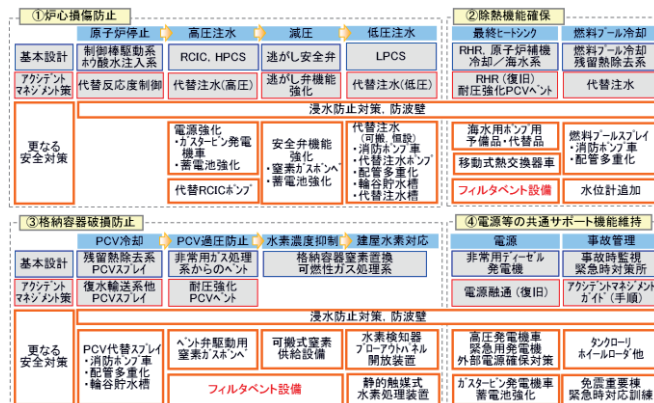


Fig.1 Schematic plan for safety countermeasure of Shimane NPP Unit2

炉心損傷防止の安全対策について、想定される重大事故等時においても、炉心への注水継続、残留熱除去系による除熱機能確保により、炉心の著しい損傷に至ることなく収束できることを確認しているが、残留熱除去系による除熱機能が万一喪失した場合に、大気を最終ヒートシンクとした代替除熱手段としてフィルタベント設備を機能させ、炉心への注水との組み合わせによるフィードアンドブリードにより、炉心の著しい損傷を防止する。

また万一、炉心損傷に至った場合にも、格納容器の過圧

破損等を防止する手段としてフィルタベント設備を機能させる（格納容器内のガスをフィルタ装置を通してベントすることにより、格納容器から放射性物質が直接漏れることを防ぎ、環境への粒子状放射性物質等の放出量を低減することができる。

重大事故時における基本対応シナリオをFig.2, 安全対策の概略図をFig.3に示す。

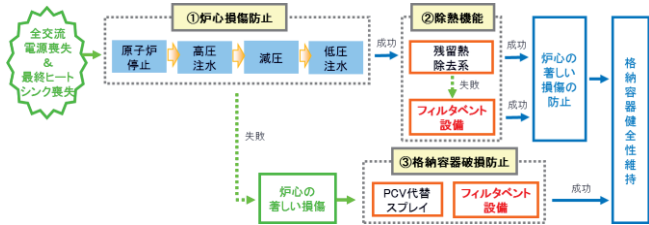


Fig.2 Basic scenario of severe accident management

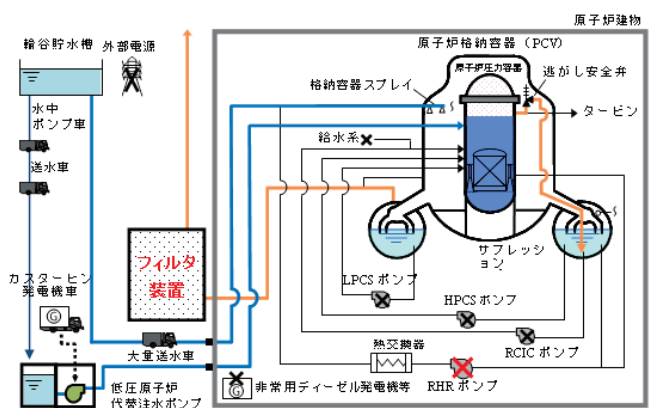


Fig.3 Schematic of severe accident management measures

3. フィルタベント設備の設計方針

3.1 フィルタベント設備の設計方針

フィルタベント設備を島根原子力発電所2号機へ適用するにあたっては、福島第一原子力発電所事故の教訓および新規規制基準の要求事項等を踏まえ、想定される重大事故等に確実に操作可能なシステムとすること、またベントの際には可能な限り放射性物質の放出を低減すること等を設計の基本方針とし、フィルタ装置として、格納容器ベント用フィルタとして国際的に実績のあるAREVA社の湿式フィルタを選定し、島根原子力発電所2号機で想定される事故事象に対して確実に性能を発揮するよう、裕度をもったシステム設計としている。

主な設計方針を以下に示す。

- 炉心の著しい損傷を防止するため、格納容器内のガスを排気することにより、最終的な熱の逃がし場である大気に熱を輸送し、格納容器内の圧力および温度を低下させることができる設計とする。
- 炉心の著しい損傷が発生した場合において、格納容器の破損を防止するため、格納容器内の水素を含むガスを排気することにより、格納容器内の圧力および温度を低下させるとともに格納容器内での水素爆発を防止することができる設計とする。
- フィルタ装置を通して格納容器内のガスを排気することにより、放射性物質の大気への放出量を低減できる設計とする。
- 他の系統・機器と隔離することで、他への悪影響を防ぐ設計とする。

- ベント弁は、容易かつ確実に開閉操作ができる設計とする。
- 排出経路における水素爆発を防止できる設計とする。
- 長期的にも溶融炉心および水没の悪影響を受けない場所に接続する設計とする。
- 遮蔽等の放射線防護対策により、使用後に高線量となるフィルタ等からの被ばくを低減できる設計とする。
- 基準地震動Ssによる地震力に対して必要な機能が損なわれるおそれがない設計とする。
- 想定される事故事象での使用条件下において、確実に操作ができ、性能を発揮できる設計とする。

3.2 フィルタベント設備の設計条件

3.1の設計方針を踏まえて設定した島根原子力発電所2号機のフィルタベント設備の具体的な設計条件をTable 1に示す。

Table 1 Design condition of Shimane NPP Unit2 FCVS

最高使用圧力	フィルタベント設備を使用する有効性評価結果を踏まえ、格納容器の限界圧力である853kPa[gage]とする。
最高使用温度	フィルタベント設備を使用する有効性評価結果を踏まえ、格納容器の限界温度である200℃とする。
設計流量（蒸気）	9.8kg/s@427kPa[gage] (原子炉定格熱出力2,436MWの1%相当)
フィルタ性能	Cs-137放出量：100TBq以下 ※半減期の短い放射性物質の放出も可能な限り低減する性能とする
耐震性能	基準地震動 Ss にて機能維持

なお、設計条件に係るフィルタベント設備の使用条件については、2013年（平成25年）7月8日施行の「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」第37条の規定に基づき実施した島根原子力発電所2号機の有効性評価において確認している。

フィルタベント設備の使用（ベント開始）のタイミングは、重大事故等の事象収束シナリオにより異なり、炉心損傷を伴わず事象収束が必要な事故シーケンス「全交流動力電源喪失」を例に挙げると、ベントは、格納容器が最高使用圧力427kPaに到達前での実施となる。炉心損傷を伴う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）」に対する事象収束シナリオでのベントは、格納容器圧力が最高使用圧力の2倍若しくは格納容器への外部水源からの総注水量が4,000m³に達する前での実施となる。

以下に島根原子力発電所2号機の有効性評価結果の例を示す。

【格納容器破損防止対策の有効性評価】

- (1) 想定する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）
- (2) 事故の想定および収束の概要
格納容器内へ流出した高温の冷却材や溶融炉心の崩壊熱等の熱によって発生した水蒸気、金属-水反応等によって発生した非凝縮性ガスなどの蓄積によって、格納容器内の雰囲気圧力・温度が緩慢に上昇し格納容器が破損する可能性がある。

本格納容器破損モードに対しては、低圧原子炉代替注

水系（常設）による原子炉冷却および格納容器代替スプレイ系による格納容器冷却ならびにフィルタベント設備による除熱によって格納容器破損防止を図る。事故収束の対応手順の概要を Fig.4 に示す。

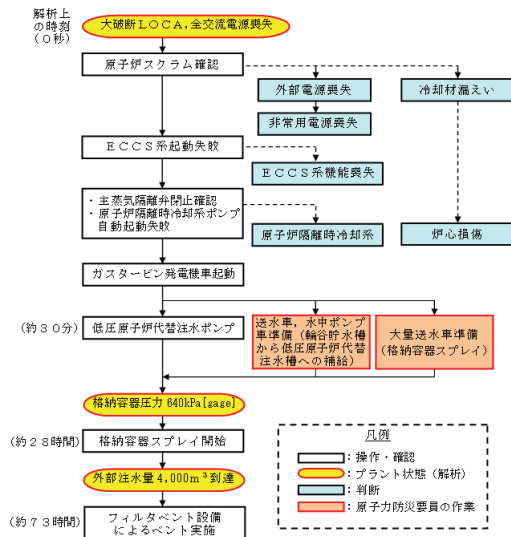


Fig.4 Summary of the correspondence procedure

(3) 格納容器の圧力・温度の推移

フィルタベント設備の使用条件に係る格納容器の圧力と温度の推移を Fig.5, 6 に示す。

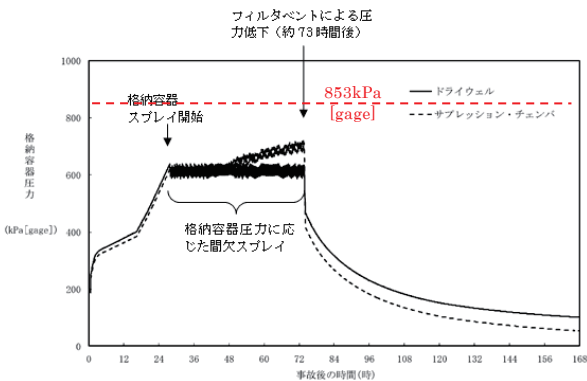


Fig.5 Containment pressure

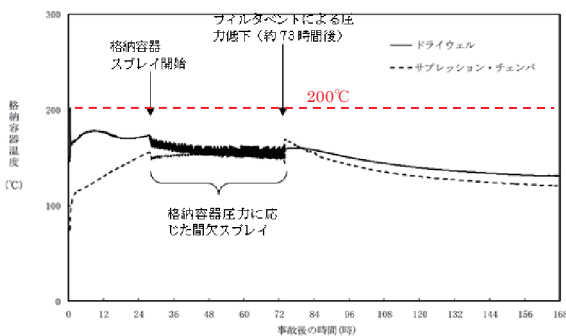


Fig.6 Containment temperature

4. フィルタベント設備の設計仕様

3. 設計方針の要求事項を満足するよう、島根原子力発電所2号機において考慮したフィルタベント設備の設計仕様について、以下説明する。

4.1 システム設計仕様

島根原子力発電所2号機のフィルタベント設備の系統は、従来のアクシデントマネジメント設備である耐圧強化

ベントラインから分岐した配管を、ベント弁を介して原子炉建物外の地下格納槽内に設置したフィルタ装置まで敷設・接続し、ベント時の放射性物質の拡散を期待するために、フィルタ装置出口配管を原子炉建物に沿って屋上レベルまで立ち上げることとしており、以下の設備で構成する。

- ・ フィルタ装置（スクラバ容器：4基，銀ゼオライト容器：1基）
- ・ フィルタ装置入口配管（300A×1本）
- ・ フィルタ装置出口配管（300A×4本）
- ・ 流量制限オリフィスおよび圧力開放板（各フィルタ装置出口配管に1個）
- ・ ベント弁（空気作動弁）
- ・ 計装設備

フィルタベント設備の系統概略図を Fig.7 に示す。

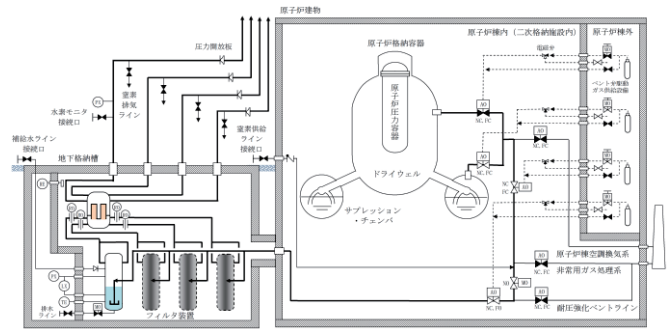


Fig.7 Schematic of Filtered Containment Venting System

システム設計における主な考慮事項を以下に示す。

- サプレッション・チェンバからのベント（W/Wベント）をシステム設計の基本とするが、W/Wベントが使用できない状況も考慮し、ドライウェルからのベント（D/Wベント）も可能な設計としている。
- 格納容器からフィルタ装置までの他システムとの取り合い弁は、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に、フェイル・クローズの設計としている。
- ベント弁は原子炉棟外（二次格納施設外）から現場操作可能とし、運転員の放射線防護を考慮した設計としている。
- フィルタ装置入口には連結管（ヘッダ）を設け、フィルタ装置の流れに偏りが出ないように設計としている。
- ベント運転時のベントガスには水素ガスが含まれる可能性があることから、フィルタベント設備の排出経路における水素爆発を防止するため、フィルタ装置出口配管には圧力開放板を設置し、システム待機中はシステム内を窒素雰囲気維持する。

4.2 機器設計仕様

4.2.1 フィルタ装置

島根原子力発電所2号機では、規制要件に基づく粒子状放射性物質の除去および被ばく評価の観点から無機/有機よう素の除去をフィルタ装置の性能に係る機器仕様要件とし、3つのセクション（①ベンチュリスクラバ、②金属フィルタ、③銀ゼオライトフィルタ）の装置構成で要件を達成するAREVA社のフィルタを選定した。

ベントガスは、①ベンチュリスクラバでまず処理され、ベントガスに含まれる粒子状放射性物質および無機よう素の大部分は、スクラビング水中への保持により除去される。更に、②金属フィルタでは、ベンチュリスクラバでは

除去しきれなかった微小粒径の粒子状放射性物質等を除去する。また、③銀ゼオライトフィルタでは、主に有機よう素を除去する。①②はセットでスクラバ容器内に格納し、③は銀ゼオライト容器内に格納し、スクラバ容器の後段に配置する設計とした。3つのセクションを有するフィルタ装置の性能は、実証試験（JAVAおよびJAVA PLUS）を実施しており、その結果により仕様要件を満たすことを確認している。

フィルタ装置の概略図をFig.8,9,仕様をTable 2に示す。

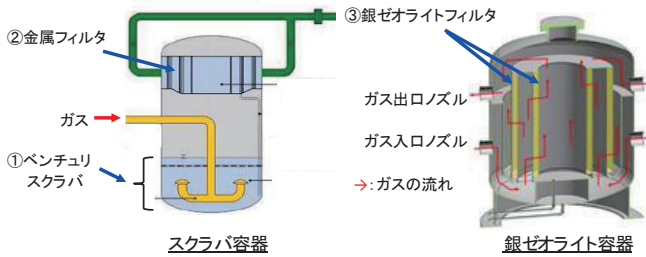


Fig.8 Schematic of Filtered Venting Equipment

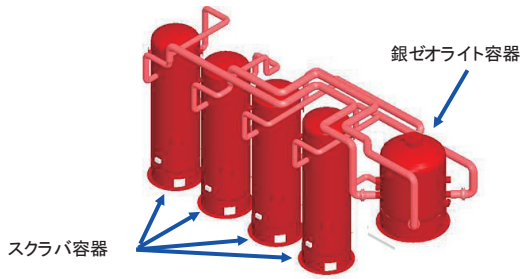


Fig.9 Schematic of Filtered Venting Equipment(3D CAD)

Table 2 Design spec of Filtered Venting Equipment

	スクラバ容器	銀ゼオライト容器
フィルタセクション	①ベンチュリスクラバ ②金属フィルタ	③銀ゼオライトフィルタ
容器寸法	直径：約 2.2m 高さ：約 8m	直径：約 3m 高さ：約 5m
基数	4基	1基
容器材質	SUS316L	
機器クラス	重大事故等クラス2容器	
除去効率	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	

4.2.2 配管および弁類

配管および弁類の主な仕様を以下に示す。

- フィルタバント設備の配管は原子炉定格熱出力の1%相当の蒸気を排出可能とするため、フィルタ装置入口配管を300A（1ライン）、フィルタ装置出口配管を300A（4ライン）としている。
- 系統待機時の窒素環境保持のバウンダリである圧力開放板の設定破壊圧力は、バントガス排出の妨げにならないよう80kPa[gage]に設定している。
- フィルタバント設備の運転に必要なバント弁は空気作動弁としている。これらの空気作動弁はバックアップの駆動源（ガスポンプ）を備えた設計としており、通常の駆動源である計装用圧縮空気系が喪失した場合においても操作が可能ない設計としている。また、空気配管の切り替えを行う弁付属の電磁弁は非常用交流電源だけでなく、直流電源からも給電可能な設計としている。

更に、全電源喪失時にもバント弁を開可能とするため、空気作動弁駆動部に直接駆動空気圧力を供給できる空気配管を設置している。これにより、中央制御室からの遠隔操作または二次格納施設外からの現場における手動操作によりバント弁を容易に開閉することを可能とし、バント弁の操作方法に多様性を持った設計としている。

5. フィルタバント設備の島根2号機への設置状況

5.1 フィルタ装置の製作

フィルタ装置に要求される設計方針および設計仕様に基づき、技術基準規則に従ってクラス2機器と同様の原子力の高い品質で製作を行っており、ベンチュリスクラバおよび金属フィルタを格納したスクラバ容器の製作を行った。現在、銀ゼオライト容器の製作を行っているところである。スクラバ容器の製作時の状況をFig.10に示す。



Fig.10 Manufacture of Filtered Venting Equipment (Venturi scrubber, Metal fiber filter)

5.2 現地工事

フィルタバント設備の現地工事は平成25年5月に着工し、フィルタ装置を設置する地下格納槽の工事を進めているところである。

地下格納槽（概略寸法13m×25m、深さ12m）は、原子炉建物近傍の岩盤上に鉄筋コンクリート製で設置し、基準地震動に対する頑健性やフィルタ装置に捕集した放射性物質からの放射線に対する遮へいを考慮した設計としている。

現地工事の状況（2013年12月時点）をFig.11に示す。

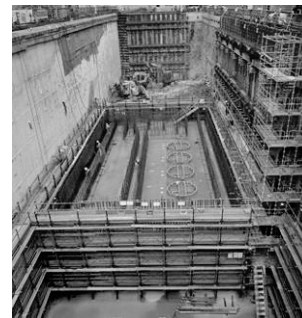


Fig.11 Construction site (Dec,2013)

6. 結言

島根原子力発電所では、福島第一原子力発電所事故以降、その教訓に鑑み、さまざまな安全対策を不断の決意で講じてきており、フィルタバント設備についても、新規基準施行以前から、その設置をいち早く決定し、更なる信頼性向上の重要な対策の一つとして工事を進めてきた。

現在、その対策内容について、原子力規制委員会における適合性確認審査を受けているところであるが、これからは島根原子力発電所では、なによりも安全を第一に信頼される原子力発電所を目指し、より一層の安全性向上を不断に追求していく。