

# 島根原子力発電所2号炉 格納容器フィルタベント系について

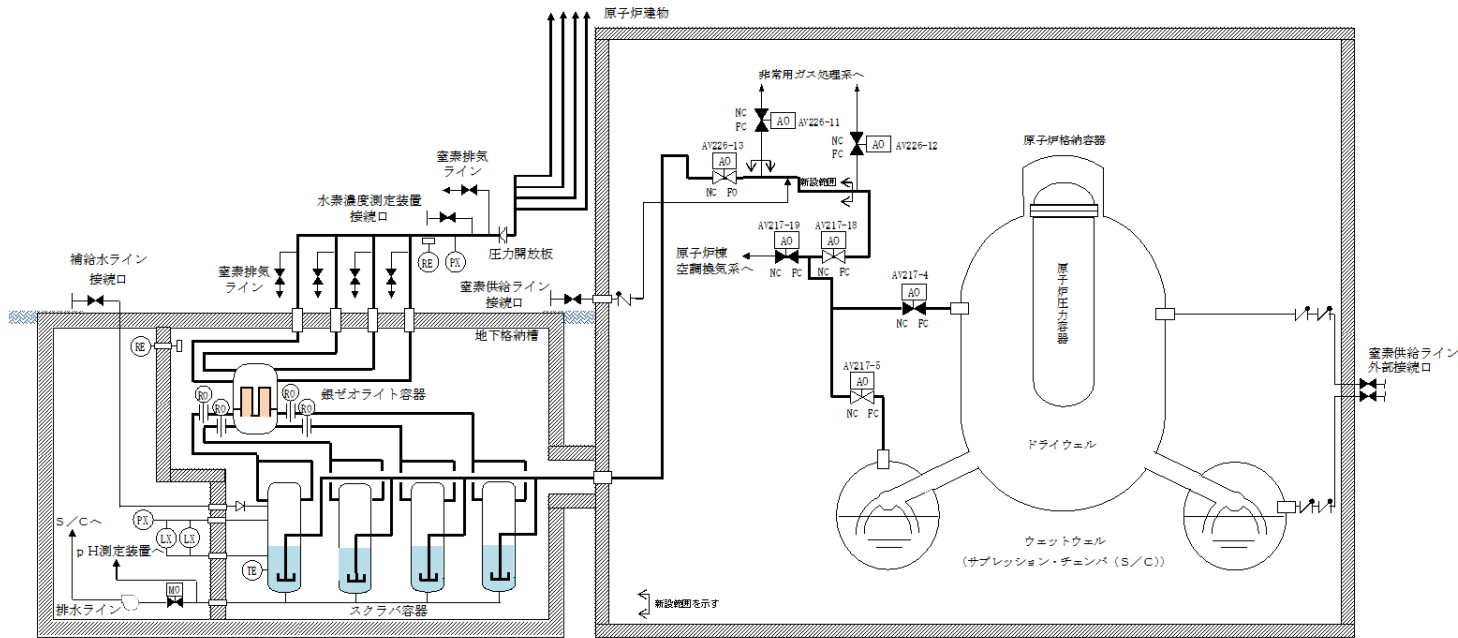
---

平成26年 11月  
中国電力株式会社

**Energia**

- フィルタベント設備（格納容器フィルタベント系）は，格納容器の過圧破損等を防止するとともに，環境への放射性物質の放出量を低減する機能を有するものである。

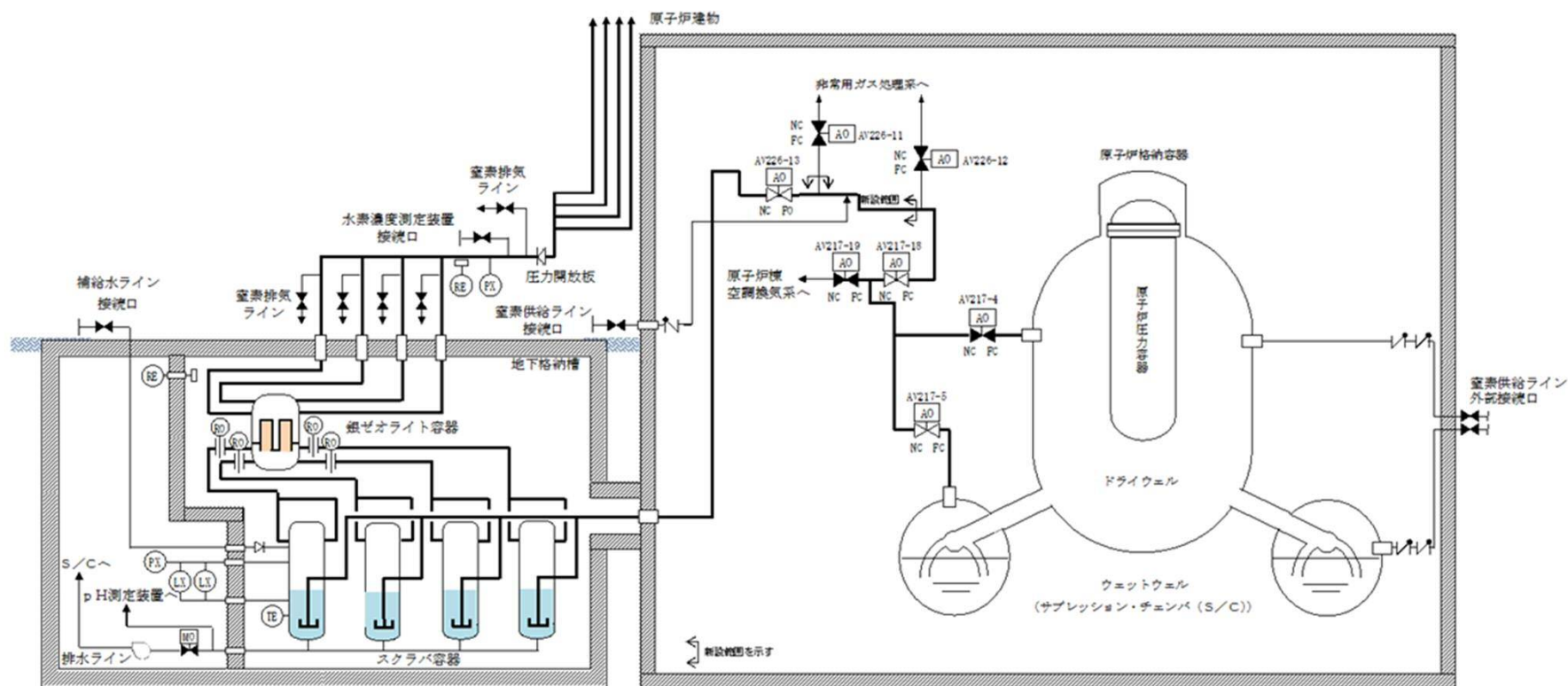
また，事故により格納容器から放射性物質が直接大気へ放出することを防ぎ，土地汚染による長期間にわたる敷地周辺公衆の被ばくを防ぐことを目的とする。
- フィルタベント設備は，残留熱除去系の使用が不可能な場合において，格納容器内の圧力及び温度を低下させるとともに格納容器内の水素を排出し格納容器内での水素爆発を防止する。同時に，格納容器内の熱を最終的な熱の逃がし場である大気に輸送する。



フィルタベント設備 系統概略図

## 設計仕様(系统设计)

- フィルタベント設備は、格納容器のウェットウェル及びドライウェル貫通孔から配管を引き出し、ベント弁及び連結管(ヘッダ)を介してフィルタ装置にガスを引き込む。フィルタ装置で処理されたガスは排気配管を通過して原子炉建物頂部付近から排出する設計としている。



フィルタベント設備 系統概略図

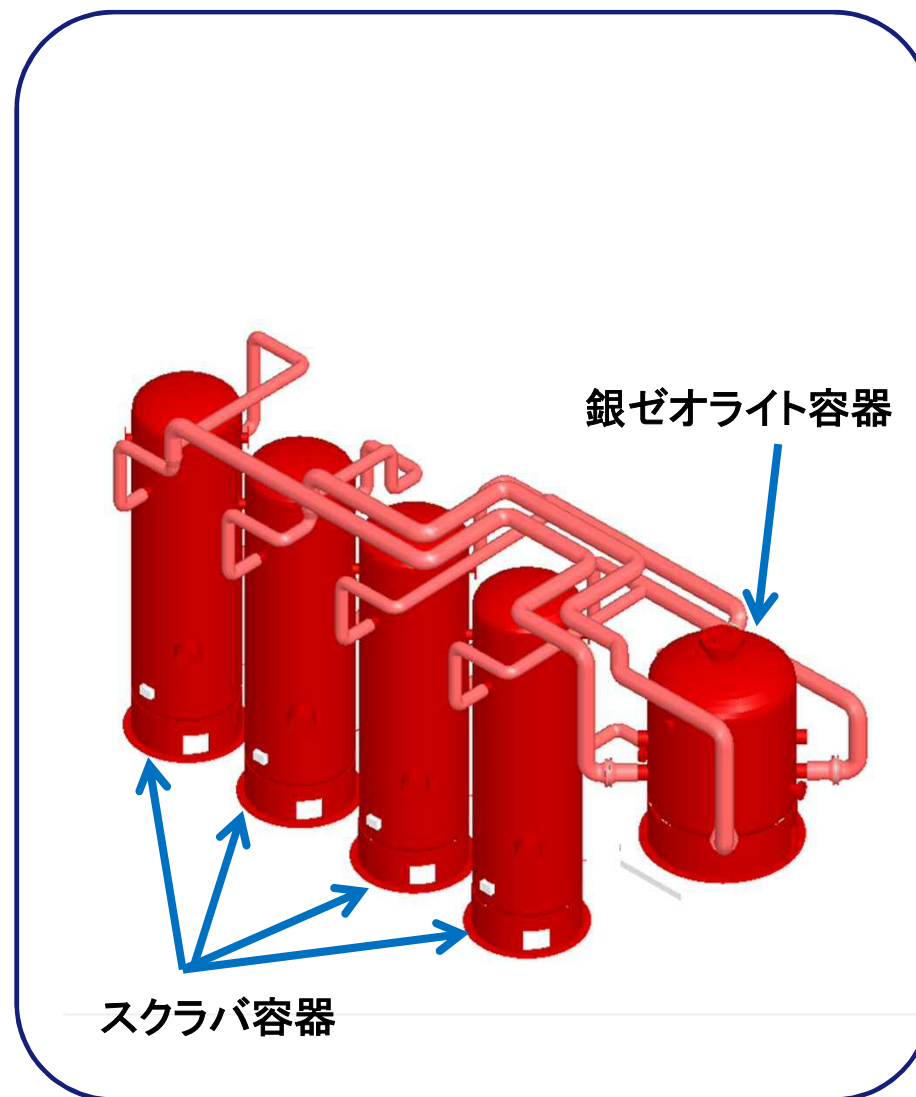
## ■ フィルタ装置

### 【スクラバ容器】

型 式	円筒たて形
材 料	ステンレス鋼
胴 内 径	約2m
高 さ	約8m
基 数	4
スクラビング水	約9m <sup>3</sup> /基 (初期水量)

### 【銀ゼオライト容器】

型 式	円筒たて形
材 料	ステンレス鋼
胴 内 径	約3m
高 さ	約5m
基 数	1
吸 着 剤	銀ゼオライト

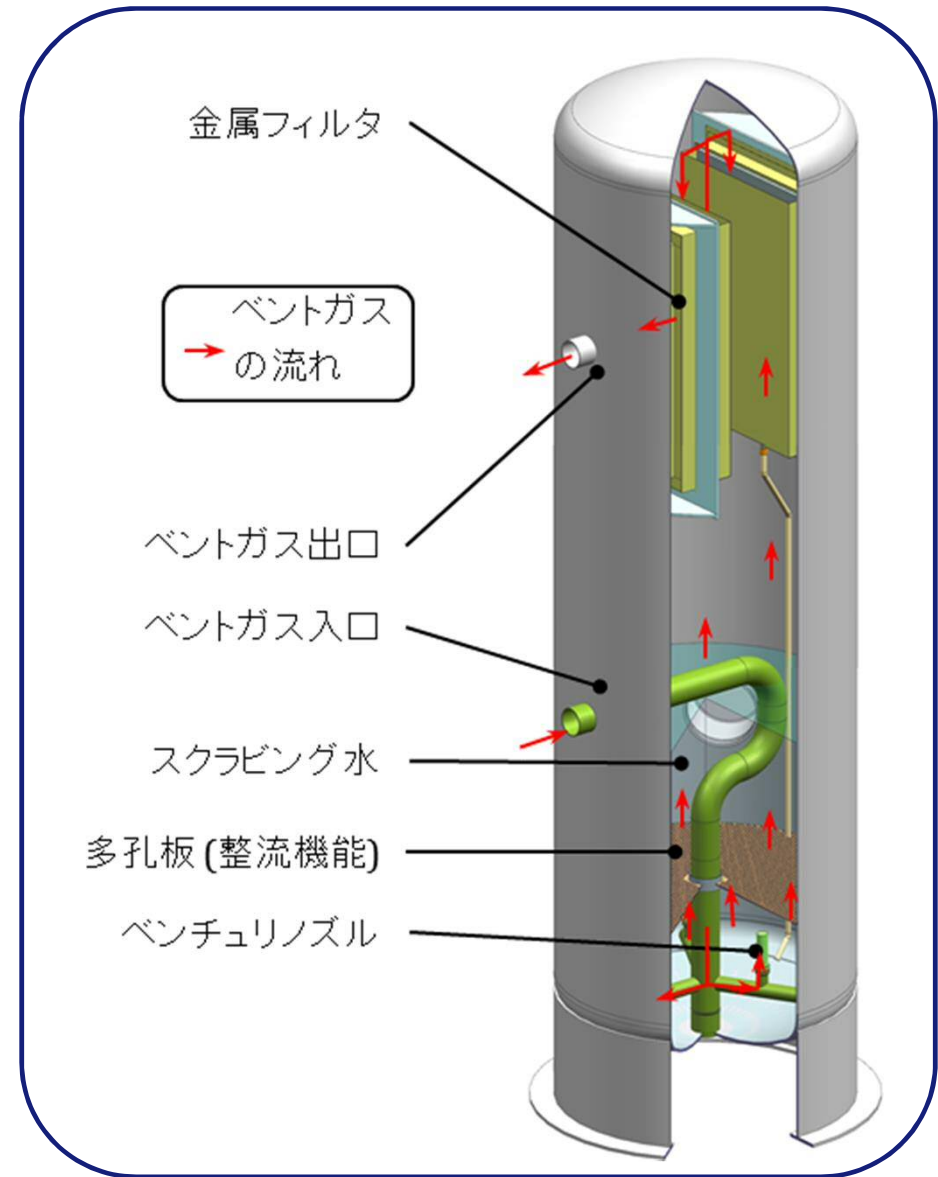


## ■ スクラバ容器

スクラバ容器は、内部にはスクラビング水を貯留し、下部にベンチュリノズル及び多孔板を、上部には金属フィルタを設置している。

湿式のベンチュリスクラバ及び乾式の金属フィルタの2つのセクションを組み合わせて粒子状放射性物質を除去するものである。

(除去効率:99.9%以上(粒子状放射性物質に対して))

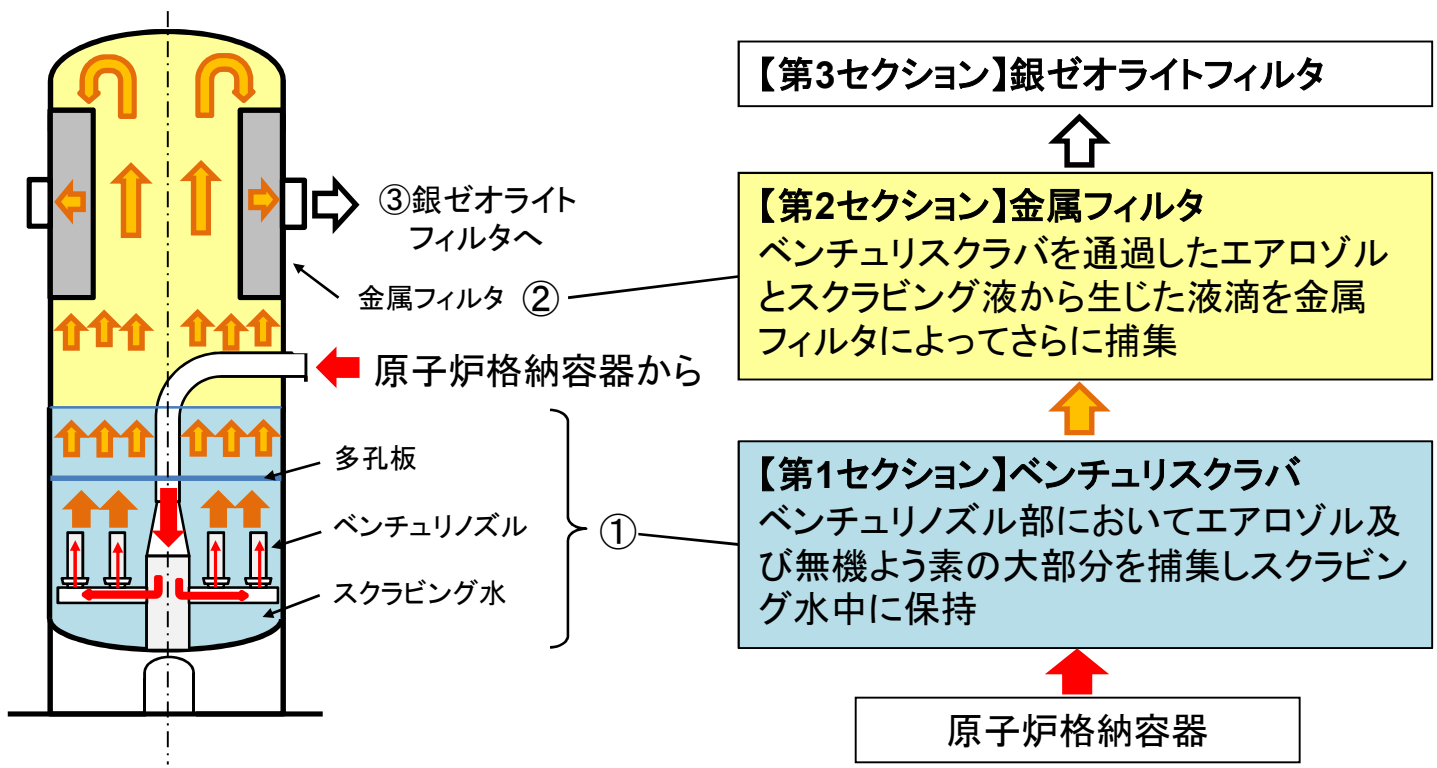


スクラバ容器 概略構造

## ■ スクラバ容器の機能

【第1セクション】 ベンチュリスクラバ

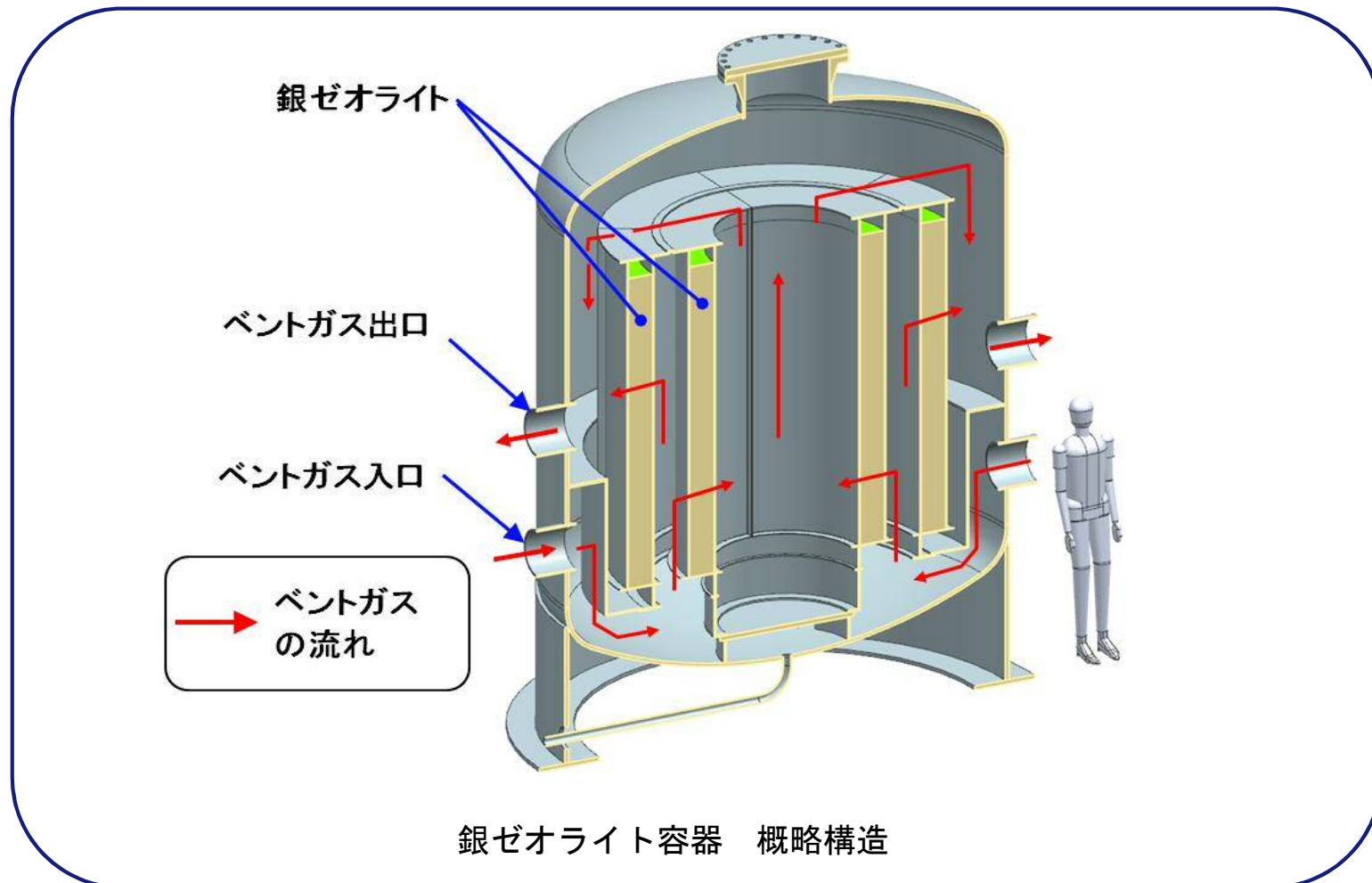
【第2セクション】 金属フィルタ



フィルタ装置 (スクラバ容器) の機能模式図

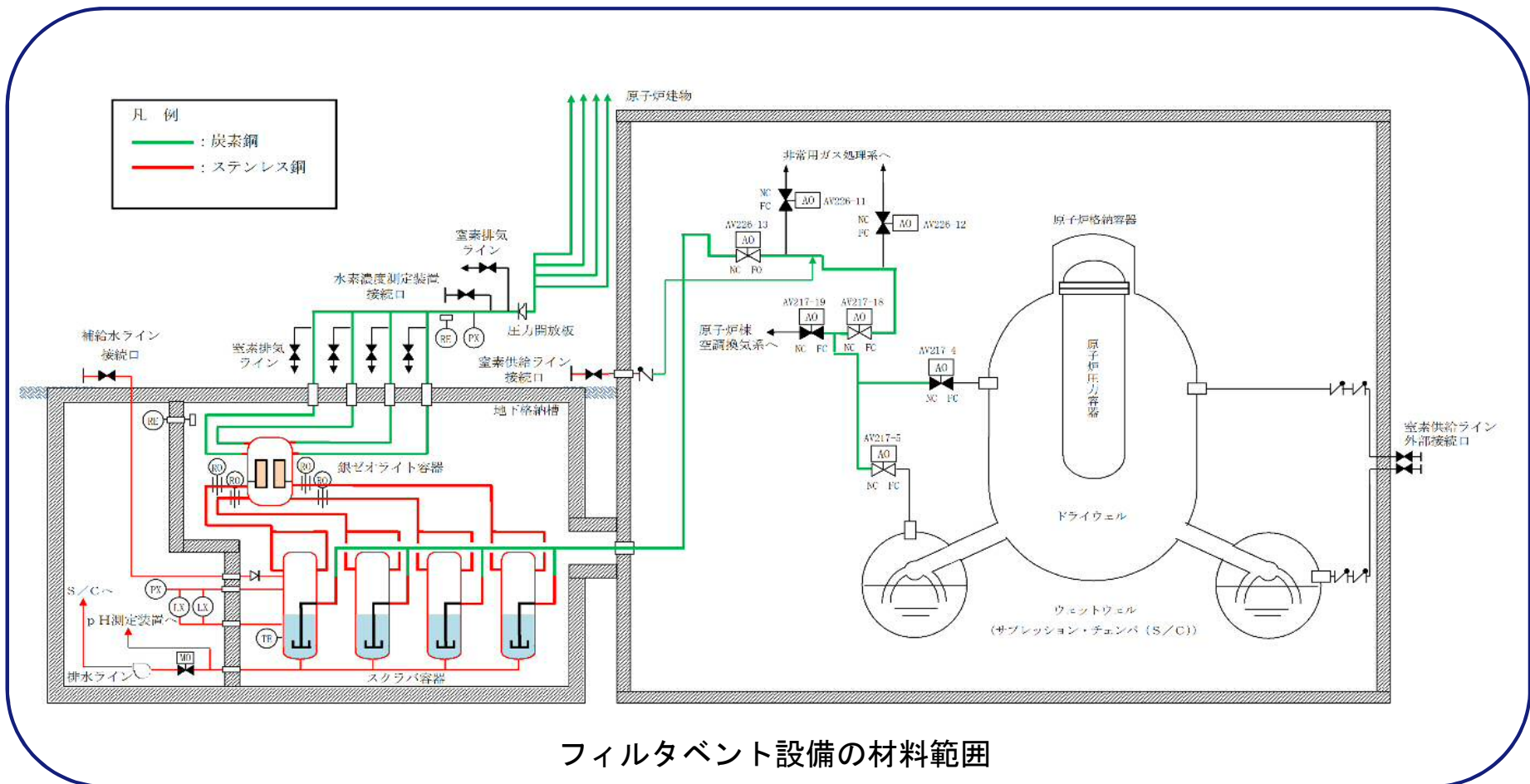
## ■ 銀ゼオライト容器

- フィルタ装置の第3セクションとして、主に有機よう素を除去するために設置する。
- 銀ゼオライト容器には、ゼオライト吸着剤(銀ゼオライト)を充填している。  
(除去効率:98%以上(有機よう素に対して))



## ■ 配管類

- 材料は基本的に炭素鋼とし、スクラビング水に接液するおそれのある範囲については耐食性の高いステンレス鋼としている。
- 圧力開放板の設定破裂圧力は、ベントガス排出の妨げにならないよう80kPa(差圧)に設定している。





## ■ 計装設備

フィルタベント設備の状態を適切に監視するため、必要な監視パラメータを中央制御室および緊急時対策所において監視できる設計としている。

### フィルタ装置廻り計装設備

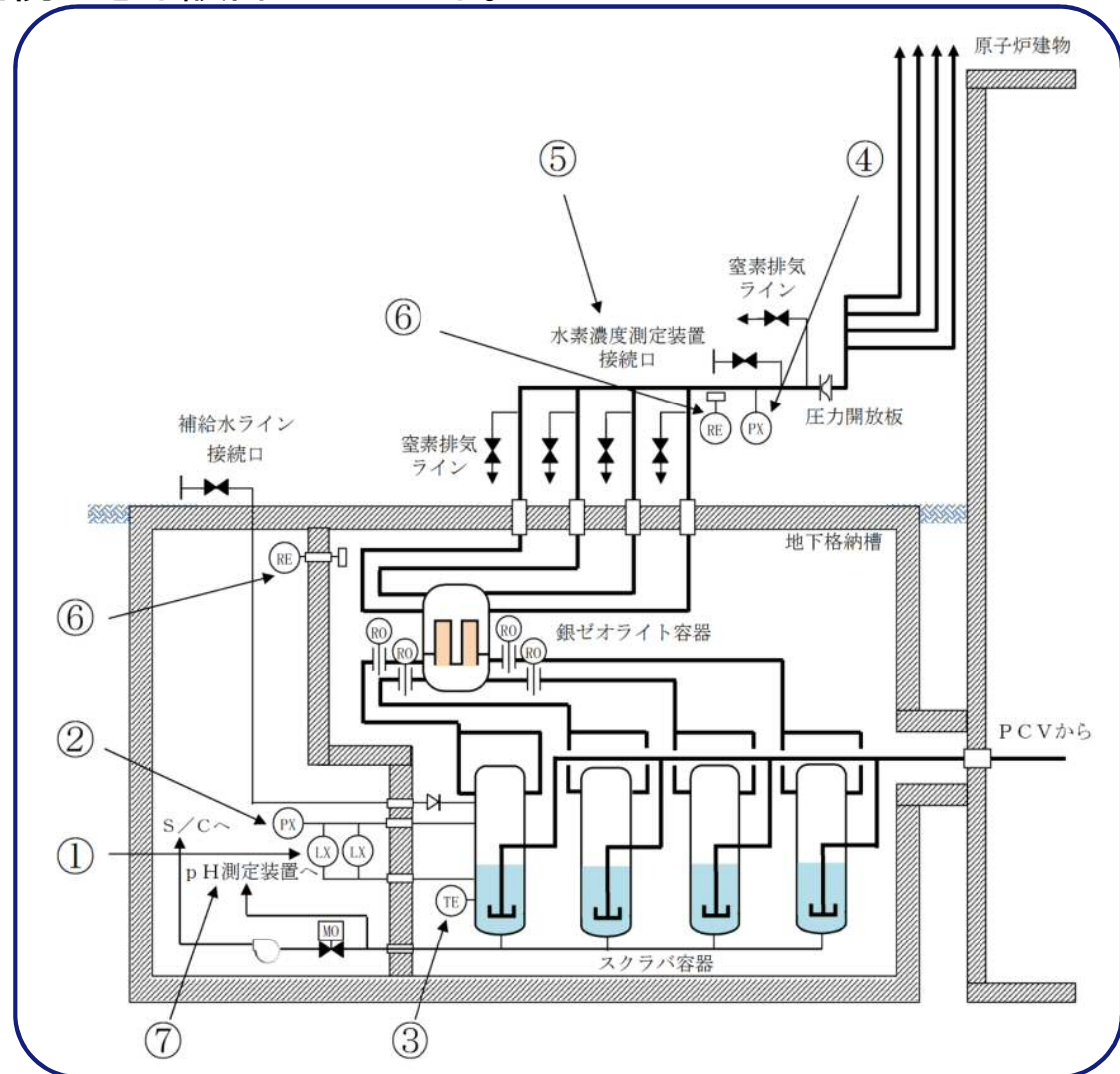
- ①スクラバ容器水位
- ②スクラバ容器圧力
- ③スクラバ容器温度
- ④フィルタ装置出口配管圧力
- ⑦スクラビング水pH

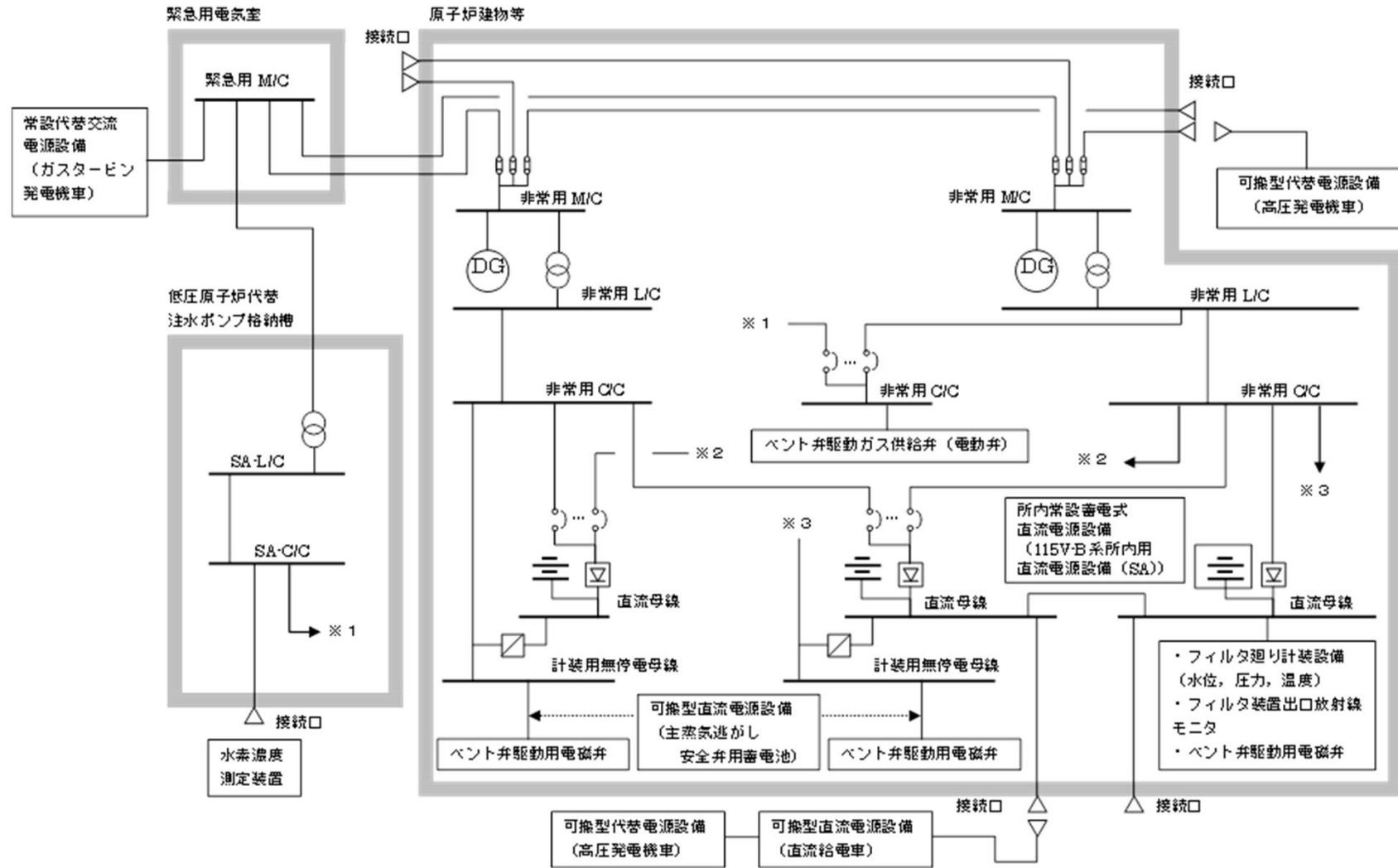
### 水素濃度測定装置

- ⑤フィルタ装置出口水素濃度

### フィルタ装置出口放射線モニタ

- ⑥フィルタ装置出口放射線量率



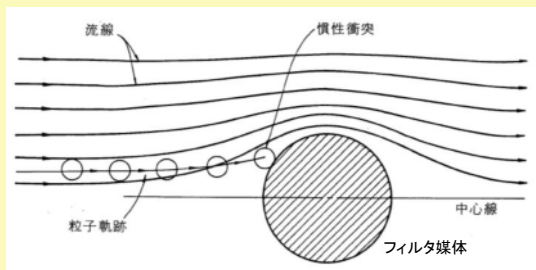


単線結線図

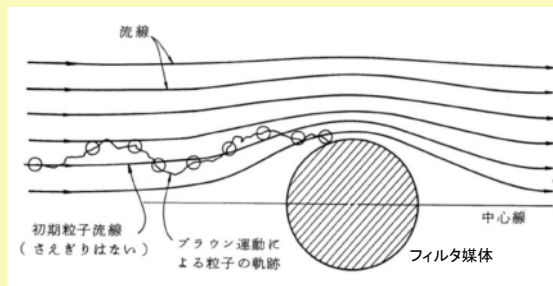
## ■ 粒子状放射性物質の除去原理

粒子状放射性物質(エアロゾル)の除去は、一般にフィルタ媒体(ベンチュリスクラバの場合は水滴, 金属フィルタの場合は金属繊維)の種類によらず, 主に3つの効果の寄与が考えられる。

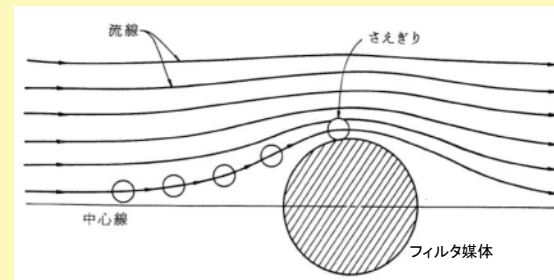
- ・ 慣性衝突効果: 流速が早い場合, 粒径が大きい場合に有効
- ・ 拡散効果: 流速が遅い場合, 粒径が小さい場合に有効
- ・ さえぎり効果: 粒径が大きい場合に有効



慣性衝突による捕集



拡散による捕集

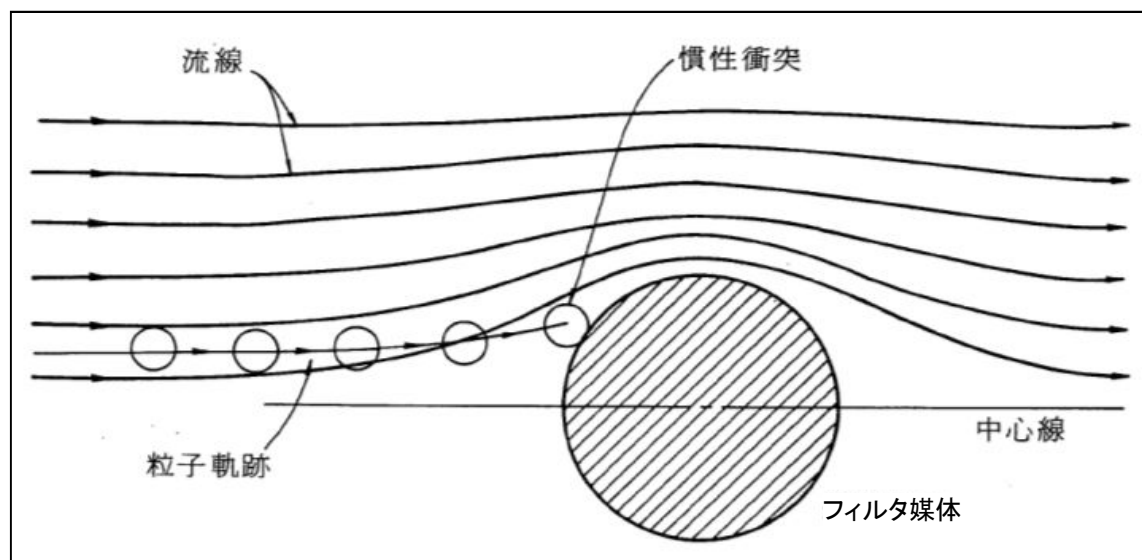


さえぎりによる捕集

## [慣性衝突効果]

エアロゾルがその慣性のために、フィルタ媒体の近傍で急に変化する流線に対応することができず、流線を横切ってフィルタ媒体に衝突するとき起こる。

慣性衝突による除去効果は、エアロゾル粒径が大きい程大きく、流速が早い程大きくなる傾向にある。



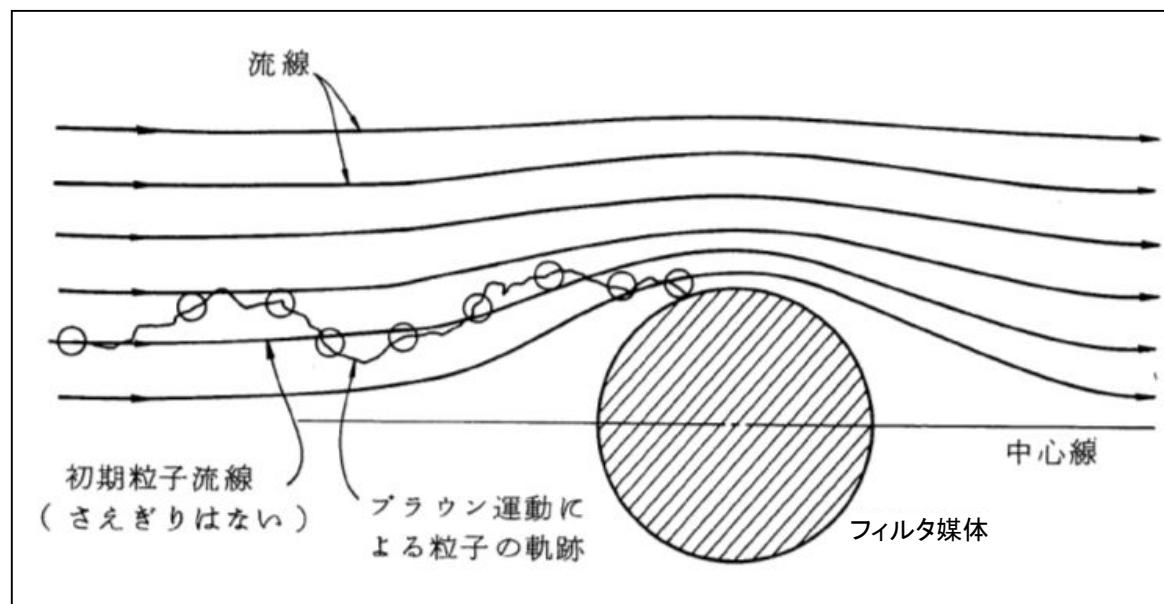
出典: W.C.ハインズ, エアロゾルテクノロジー

慣性衝突による捕集

## [拡散効果]

エアロゾルがフィルタ媒体をさえぎらない流線上を移動しているときでも、フィルタ媒体近傍を通過する際に、ブラウン運動によってフィルタ媒体に衝突することで起こる。

拡散による除去効果は、エアロゾル粒径が小さい程大きくなる傾向にある。また、流速が遅い程大きくなる傾向にある。



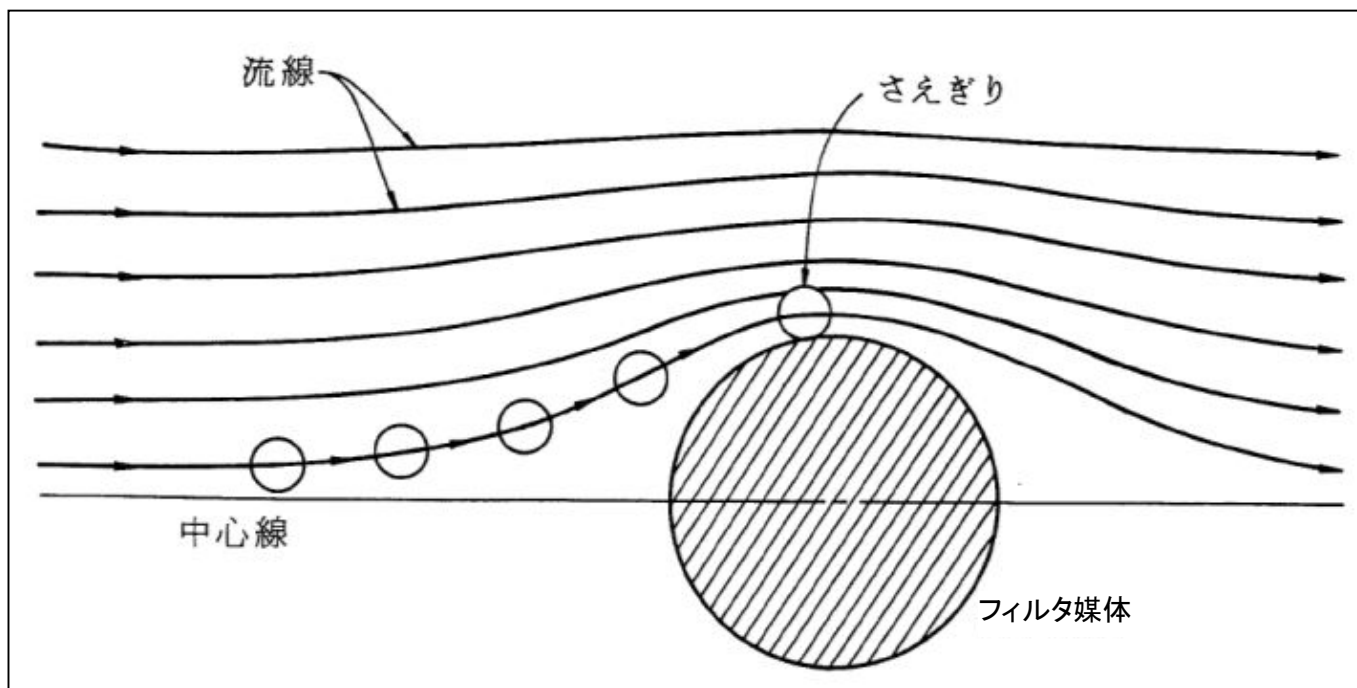
出典: W.C.ハインズ, エアロゾルテクノロジー

拡散による捕集

## [さえぎり効果]

エアロゾルが流線にそって運動している場合に、フィルタ媒体表面から1粒子半径以内にエアロゾルが達したときに起こる。

さえぎりによる除去効果は、エアロゾル粒径が大きい程大きくなる傾向にある。

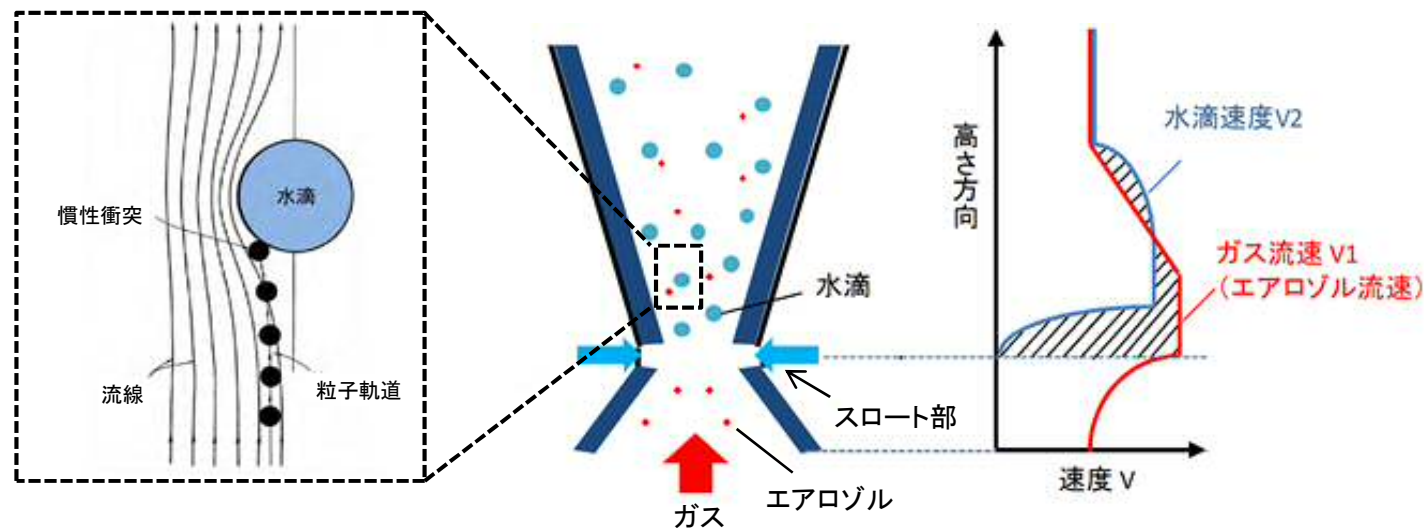


出典: W.C.ハインズ, エアロゾルテクノロジー

さえぎりによる捕集

## ベンチュリスクラバにおける粒子状放射性物質の除去原理

- ベンチュリスクラバは、断面積の小さいベンチュリノズルのスロート部にベントガスを通し、ガス流速を大きくすることで発生する負圧によって、ガス流中に水滴を噴霧（いわゆる霧吹き）し、微小水滴にすることで粒子状放射性物質が水と接触する面積を大きくすることにより、効果的に粒子状放射性物質を水に捕集する。
- ベンチュリスクラバでは、ベンチュリノズルのスロート部下流でガス流速( $V1$ )と水滴流速( $V2$ )の速度差が大きくなり、ガス中のエアロゾルが高速で水滴に衝突し、付着する現象を活用していることから、慣性衝突による除去が支配的と考えられる。この慣性衝突効果では「流速」と「粒径」が主な影響因子である。

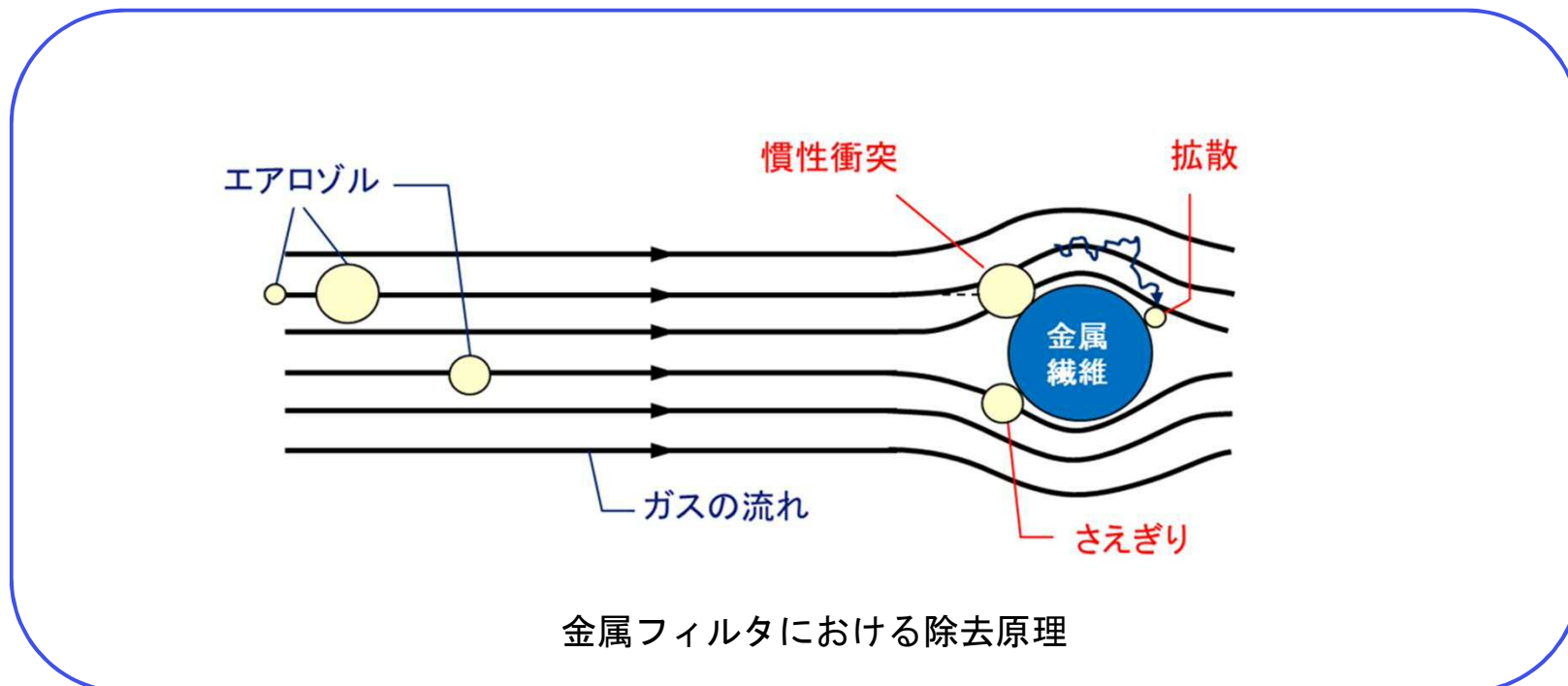


ベンチュリノズルにおける速度模式図

## 金属フィルタにおける粒子状放射性物質の除去原理

■ 金属フィルタは、ベンチュリスクラバの後段で、より粒径の小さいエアロゾルを除去する。

金属フィルタの除去原理は、さえぎり、拡散、慣性衝突効果の重ね合わせにより、エアロゾルを金属繊維表面に付着させ捕集する。さえぎり、拡散、慣性衝突効果では「流速」と「粒径」が主な影響因子である。

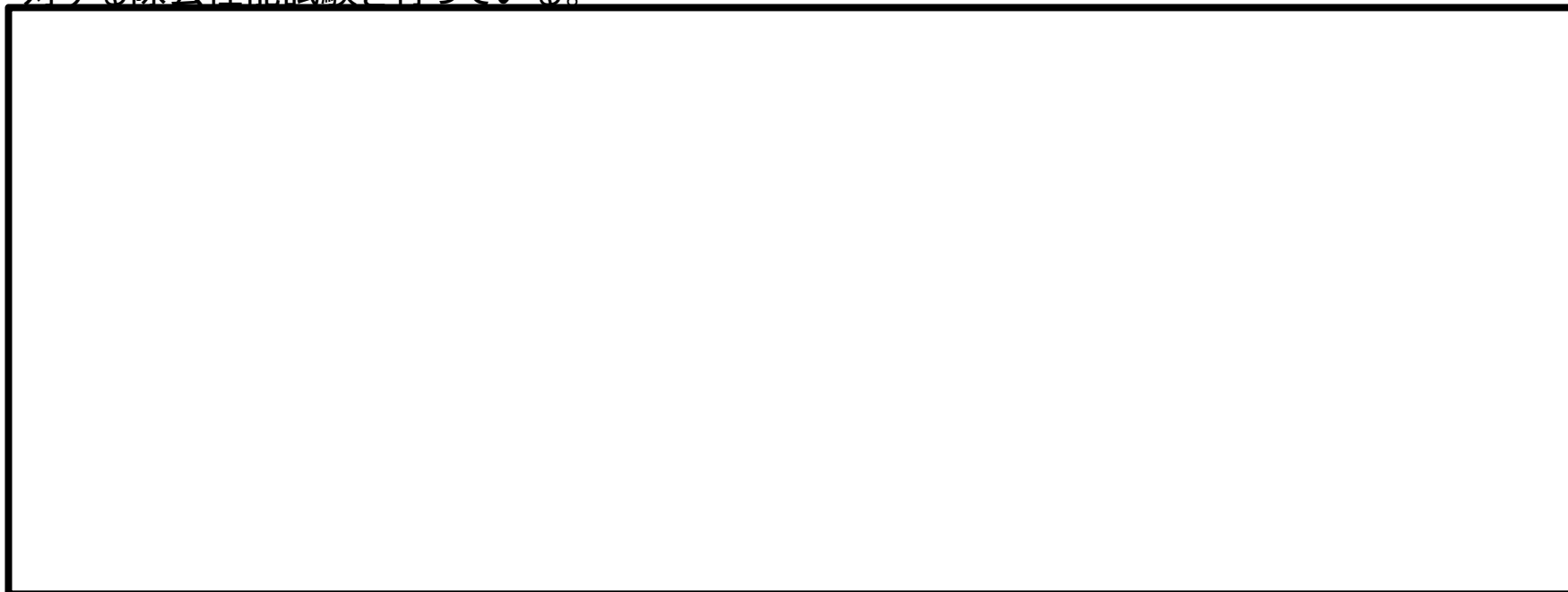




AREVA製のフィルタ装置は、大規模なセクター試験装置により、実機使用条件を考慮した性能検証試験を行っており、その結果に基づき装置設計を行っている。

## ■ 粒子状放射性物質及び無機よう素の除去性能試験(JAVA試験)

AREVA(当時Siemens)社は、1980年代後半から1990年にかけて、ドイツのカールシュタインにある試験施設(以下、「JAVA」という。)にて、フィルタ装置の粒子状放射性物質及び無機よう素に対する除去性能試験を行っている。



J A V A 試験装置概要

## ■ 有機よう素の除去性能試験(JAVA PLUS試験)

AREVA社は、実規模を想定した有機よう素の除去性能を確認するため、JAVA試験施設を改造した施設にて、有機よう素に対する除去性能試験を行っている。

試験装置には、実機と同一仕様の銀ゼオライトを使用している。



JAVA PLUS試験装置概要

試験範囲	
圧力	
温度	
流量	
蒸気割合	
過熱度	
試験用物質	

JAVA PLUS試験条件

## 粒子状放射性物質の除去性能検証試験結果及び評価

### ■ガス流速

ガス流速の変化による除去性能を確認するために、流量をベンチュリノズル部のガス流速と金属フィルタ部のガス流速に換算して確認した。

ガス流速によらず、試験を実施した全域にわたって要求されるDF1,000以上を満足していることが分かる。

ベンチュリノズルにおけるガス流速が小さい場合は、ベンチュリスクラバにおいてガスと水滴の速度差が小さくなるため、DFが低くなる可能性があるが、ベンチュリノズル部におけるガス流速の運転範囲  は性能検証試験範囲内であり、金属フィルタ部におけるガス流速の運転範囲についても性能検証試験範囲内であることから、フィルタ装置(スクラバ容器)はガス流速に対して十分な性能を示していると評価できる。

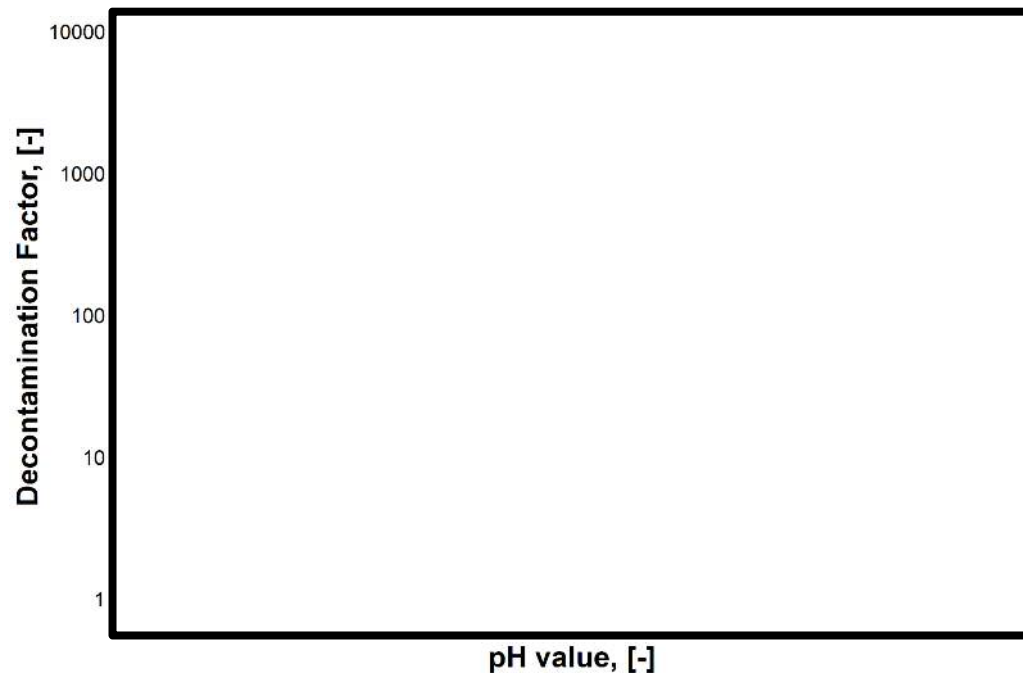
なお、運転範囲よりも小さいガス流速でもベンチュリスクラバの後段の金属フィルタにおいてエアロゾルを捕集できるため、フィルタ装置(スクラバ容器)はガス流速によらず十分な性能を示していると評価できる。

## ガス状放射性よう素の除去性能検証試験結果及び評価

### ■ ベンチュリスクラバにおける無機よう素の除去

JAVA試験における無機よう素除去性能の試験結果より、スクラビング水のpHに対する無機よう素の除去係数は、試験を実施した全域にわたってDF100以上を満足している。

スクラビング水のpHが低い場合は、無機よう素のDFが低くなる傾向が確認されているが、系統待機時のスクラビング水のpHは約13に維持し、ベント時においてもアルカリ性を維持することから要求される性能を満足できると評価される。



pHに対する無機よう素の除去係数

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。

## ■ フィルタベント設備の使用に係る有効性評価の事故シーケンス

フィルタベント設備を使用して事象を収束させる有効性評価の事故シーケンスは6ケースあり、炉心損傷なしと炉心損傷ありに大別される。

ベントの実施時期は、以下のとおり。

フィルタベント設備の使用に係る有効性評価の事故シーケンス

プラント状態	事故シーケンス	起因事象	ベント実施時期
炉心損傷なし	高圧・低圧注水機能喪失	全給水喪失 (外部電源なし)	格納容器圧力が最高使用圧力に到達
	全交流動力電源喪失	SBO	
	崩壊熱除去機能喪失 (RHR故障)	全給水喪失 (外部電源なし)	
	中小破断LOCA	LOCA (外部電源なし)	
炉心損傷あり	格納容器過圧・過温破損	大LOCA+SBO+ECCS機能喪失	格納容器への外部水源からの総注水量が4,000m <sup>3</sup> に到達
	水素燃焼		

# フィルタベント設備の運用方法(操作手順)

## ■ ベント運転操作

### 【ベント操作】

中央制御室から遠隔操作し，格納容器ベントを実施する。

#### (a) サプレッション・チェンバからのベント操作

- |                  |     |
|------------------|-----|
| ① AV 2 2 6 - 1 3 | “開” |
| ② AV 2 1 7 - 1 8 | “開” |
| ③ AV 2 1 7 - 5   | “開” |

#### (b) ドライウェルからのベント操作

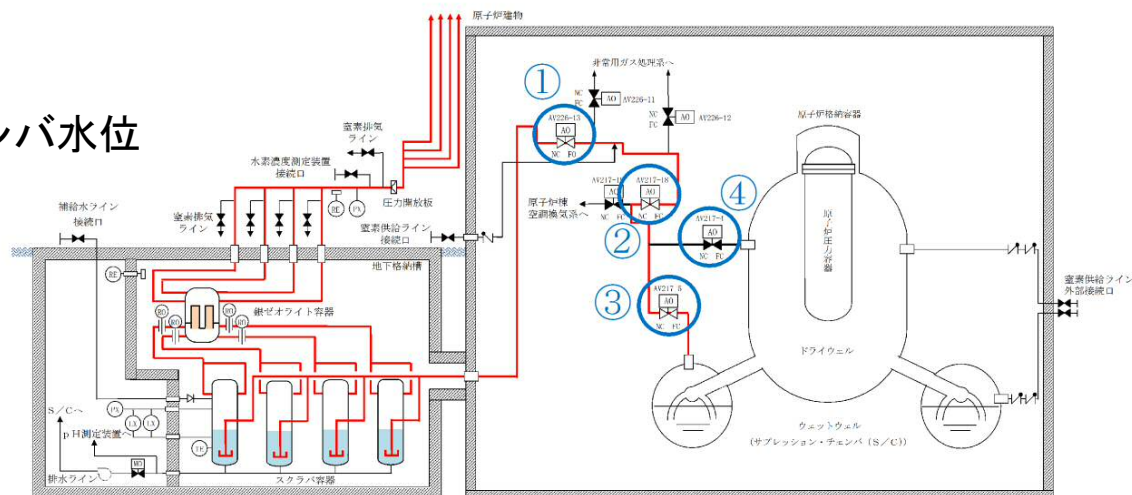
- |                  |     |
|------------------|-----|
| ① AV 2 2 6 - 1 3 | “開” |
| ② AV 2 1 7 - 1 8 | “開” |
| ④ AV 2 1 7 - 4   | “開” |

### 【ベント成否確認】

格納容器圧力が低下すること

### 【関連パラメータ監視】

- ・ フィルタ装置出口放射線量率
- ・ 野外放射線量率
- ・ スクラバ容器圧力
- ・ スクラバ容器水位
- ・ 格納容器温度
- ・ サプレッション・チェンバ水位



## ■ ベント後の操作

水の放射線分解で生じる水素による爆発を防止するため、格納容器及びフィルタベント設備について窒素の供給等を行うとともに、除去機能の維持に必要なスクラバ容器内のスクラビング水・薬剤を適宜補給する。

### 窒素パージ及び水素濃度測定

システムの不活性化のため、原子炉建物外壁に設置した接続口に、可搬式窒素供給装置を接続し、ドライウェル、サプレッション・チェンバ及びフィルタベント設備へ窒素を供給する。また不活性化確認のため、フィルタ装置出口配管に設置した接続口に水素濃度測定装置を接続し、フィルタベント設備の水素濃度を測定する。

(確認パラメータ：フィルタ装置出口水素濃度)

### スクラビング水・薬剤の補給

ベント実施中にスクラバ容器内の水位が低下した場合には、地下格納槽外壁に設置した接続口に可搬式注入設備を接続し、スクラビング水・薬剤を補給する。

(確認パラメータ：スクラバ容器水位)

### スクラビング水の排水

ベント実施中にスクラバ容器内の水位が上昇した場合には、スクラバ容器の排水ラインからサプレッション・チェンバへ排水する。

(確認パラメータ：スクラバ容器水位)

## ■ ベント弁手動操作

ベント弁駆動用電源は、重大事故対処設備である代替交流電源からも受電可能としており、全交流動力電源喪失時においても中央制御室からの遠隔操作を実施できる。また、代替交流動力電源の受電に失敗した場合には、二次格納施設外からの現場操作により、ベント弁の開閉が行えるようにしている。

### [代替直流電源受電時]

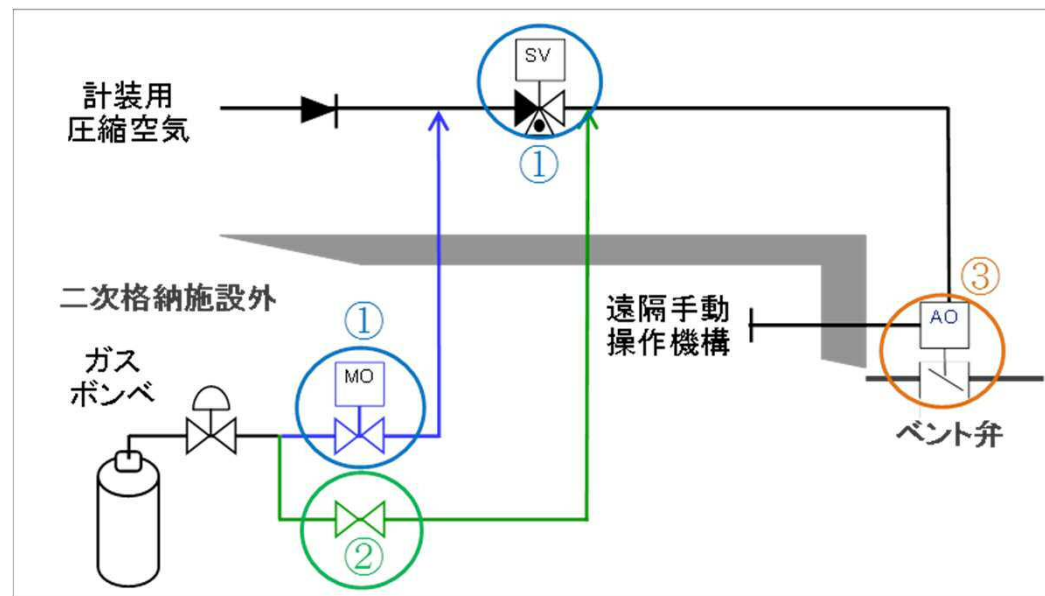
現場で駆動ガス供給弁（電動弁）を開操作するとともに、補助盤室からベント弁駆動用電磁弁に直流電源を給電し、中央制御室から操作する（①）。

### [代替直流電源喪失時]

現場で手動での弁操作を行い、ベント弁駆動部へ直接、駆動ガスを供給し、操作する（②）。

### [ベント弁駆動ガス供給ラインが使用できない場合]

現場でベント弁駆動部にフレキシブルシャフトを介して接続した遠隔手動操作機構のハンドルを操作することにより、人力にてベント弁を操作する（③）。



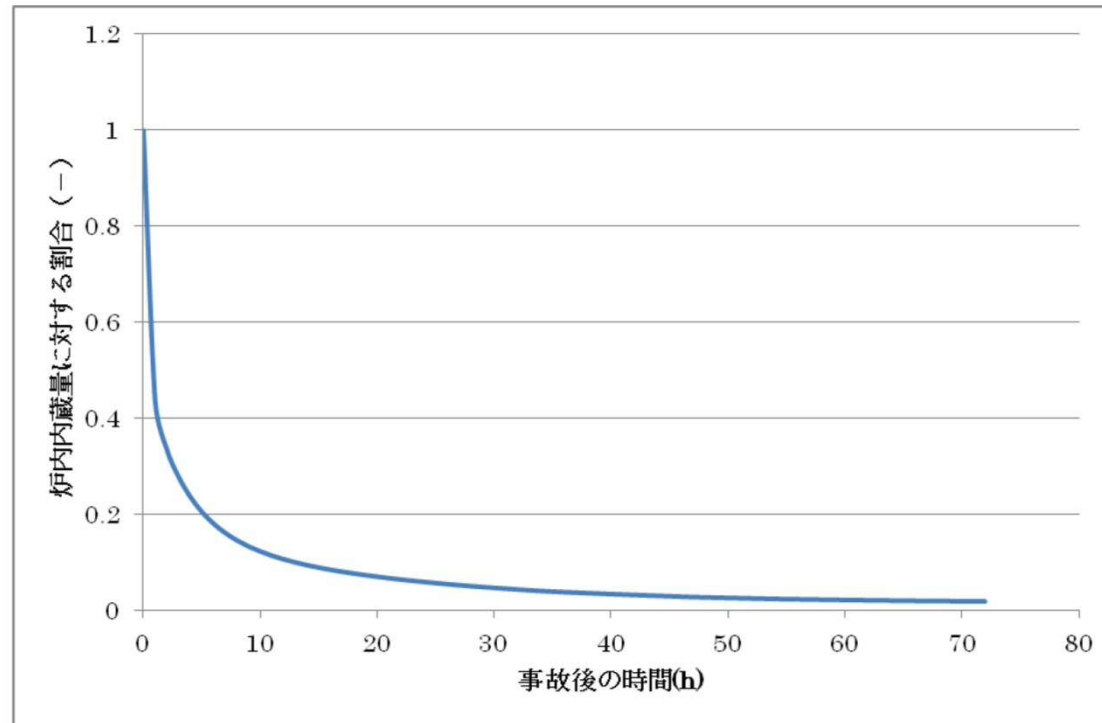
ベント弁現場操作概要



## ■ フィルタベント設備の運用に係る考慮事項

気体状放射性物質（希ガス）放出について

気体状放射性物質（希ガス）は、原子炉停止後、半日程度格納容器内で保持することで、大幅に減衰される。炉心損傷後にベントの実施が必要となる場合には、さらにドライウェル内へ間欠スプレイ操作を行い、格納容器圧力を最高使用圧力の1.5倍以下に制御し、ベント開始時間を遅らせることにより、ベントによる希ガス放出を低減する。



気体状放射性物質（希ガス）の時間減衰

回	開催年月日	審査項目等
11	平成26年 8月28日	<p><u>島根2号機 格納容器フィルタベント系について</u> フィルタ付ベント設備の概要, 設計方針と仕様, 性能について説明。</p> <p>フィルタ付ベント設備地下格納槽からの放射性物質の漏えい対策や放出口を原子炉建物上部とした理由などについて, より詳細に説明するようコメント。</p>
13	平成26年 9月11日	<p><u>島根2号機 格納容器フィルタベント系の運用方法および指摘事項への回答について</u> フィルタ付ベント設備の運用方法の説明と, 前回のフィルタ付ベント設備に係る審査会合(H26.8.28)でいただいたコメントについて回答。</p> <p>フィルタ付ベント設備は重大事故が発生した際に使用する重要な設備であるため, より分かりやすく資料を整理した上で, 改めて説明するようコメント。</p>

 =原子力規制委員会コメント