

別紙 3 放射線検出器の計測上限及び放射性物質濃度算定の考え方

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

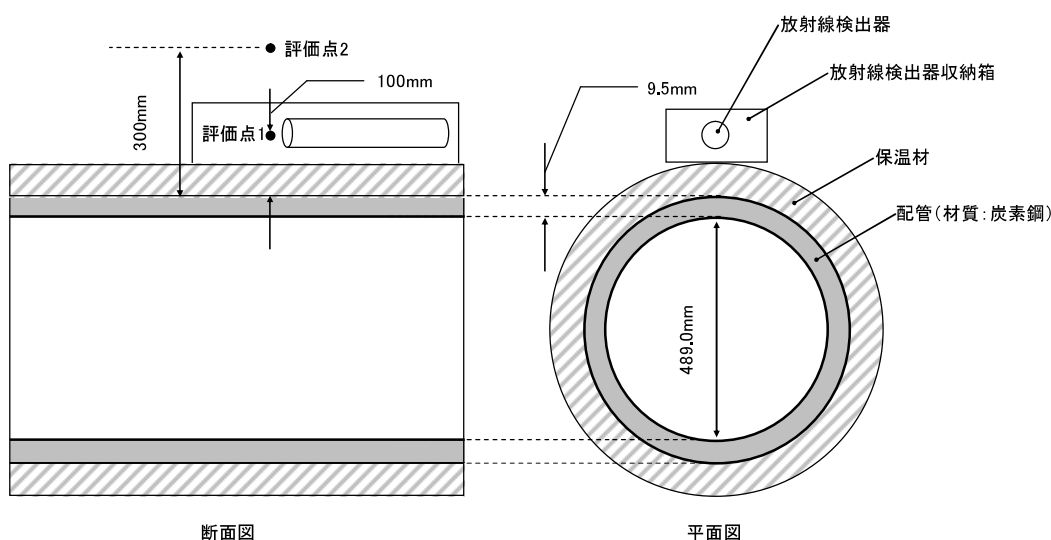
放射線検出器の計測範囲は、想定される最大線量率 (mSv/h) の評価結果から上限を設定する設計としている。また、放出された放射性物質濃度の算定にあたっては、放射線検出器の指示値 (mSv/h) から、放射性物質濃度 (Bq/cm³) を算定する方針としている。

なお、代替格納容器圧力逃がし装置についても同様の設計としており、ここでは代表として格納容器圧力逃がし装置について記載する。

a. 評価条件

放射線検出器の計測範囲の上限値は、余裕を持った設計とするため、フィルタ装置出口配管で想定される最大線量率の評価条件は、以下の通り保守的に設定する。

- ・ 想定事故は、炉心内の放射性物質の量が最も多く含まれる「炉心状態が平衡炉心 (サイクル末期)」に発生し、原子炉内に内蔵される放射性希ガスが全て格納容器内に移行し、均一に拡散したものと設定する。
- ・ 格納容器ベントの開始時間は、原子炉停止から 1 時間後に設定する。
- ・ フィルタ装置出口配管と放射線検出器の評価モデルは第 1-1 図のとおりとする。
- ・ フィルタ装置出口配管内の放射性物質濃度は格納容器内の放射性物質濃度と同等として設定する。



第 1-1 図 評価モデル (フィルタ装置出口配管)

b. 想定される最大線量率の評価結果

上記 a. の評価条件に基づき、線量率を評価した結果を第 1-1 表に示す。

第 1-1 表 線量率評価値

	評価点 1 (配管表面から 100mm)	評価点 2 (配管表面から 300mm)
線量率 [mSv/h]	約 7.2×10^4	約 4.4×10^4

以上より、保守性を考慮した評価結果から最大線量率は約 7×10^4 mSv/h 程度と想定しているが、放射線検出器は配管表面より 300mm 離れた評価点 2 に設置する計画としていることから、検出器の計測範囲の上限を 1×10^5 mSv/h として適切に設計している。

c. 放射性物質濃度の算定に関する方針

放射線検出器を配管表面から 300mm 離れた評価点 2 での線量率 (mSv/h) , 配管内の放射性物質濃度 (Bq/cm³) 及び換算係数 ([Bq/cm³]/[mSv/h]) を評価した結果を第 1-2 表に示す。格納容器ベントの開始時間は、原子炉停止から 1 時間後および 24 時間後とする。

第 1-2 表 フィルタ装置出口配管内の放射性物質濃度と換算係数

原子炉停止後、格納容器ベント開始までの時間 [h]	線量率 [mSv/h]	放射性物質濃度 [Bq/cm ³]	換算係数 [[Bq/cm ³]/[mSv/h]]
1	約 4.4×10^4	約 1.1×10^9	約 2.5×10^4
24	約 1.0×10^4	約 4.8×10^8	約 4.8×10^4

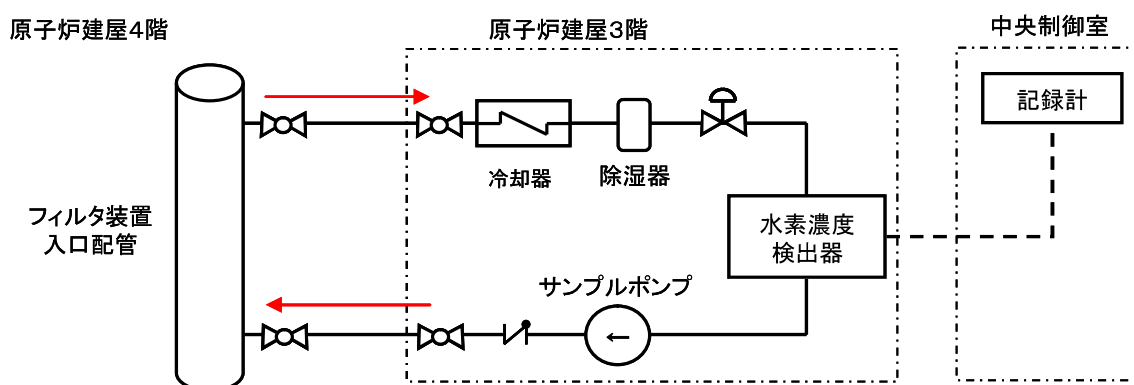
以上より、第 1-2 表の換算係数を事前に準備しておくことで、ベント初期段階での放射性希ガスの放出 (少なくともベント実施から最初の 1 時間においては、希ガスの影響が支配的となると考えられる) に対して放射線検出器の指示値 (mSv/h) から放射性物質濃度 (Bq/cm³) を算出する方針である。

なお、事故後に当該事故の詳細かつ正確なデータにより、換算係数の再評価を実施することで、放射線検出器の指示値 (mSv/h) から、より精度の高い放射性物質濃度 (Bq/cm³) を評価することが可能である。

別紙4 フィルタ装置水素濃度の計測時間遅れについて

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

フィルタ装置水素濃度は、格納容器圧力逃がし装置の使用後に配管内に水素が残留していないことにより不活性状態が維持されていることを把握するため、フィルタ装置入口配管内のガスをサンプルポンプで引き込み、除湿器で水分が除去されて、水素濃度検出器にて測定されるようにしている。水素計測後のサンプルガスは格納容器圧力逃がし装置の配管に戻す構成としている。水素濃度検出器により計測した電気信号は演算装置で水素濃度信号に変換し、中央制御室に記録する。



第1-1図 フィルタ装置水素濃度システム概要図

なお、フィルタ装置入口配管内のガスのサンプリング点は、フィルタ装置入口配管の頂部の原子炉建屋4階であり、そこから水素濃度検出器までの時間遅れは以下の通りである。

- ・ サンプリング配管長（サンプリング点～水素濃度検出器）：6号炉：約26m
7号炉：約20m
- ・ サンプリング配管の断面積：359.7mm² (3.597×10⁻⁴m²)
- ・ サンプルポンプの定格流量：約1l/min (約1×10⁻³ m³/min)
- ・ サンプルガス流速（流量÷配管断面積）：約2.8m/min

なお、ガスは標準状態（0℃，101.325kPa[abs]）として算出。

第1-1表 フィルタ装置水素濃度の時間遅れ

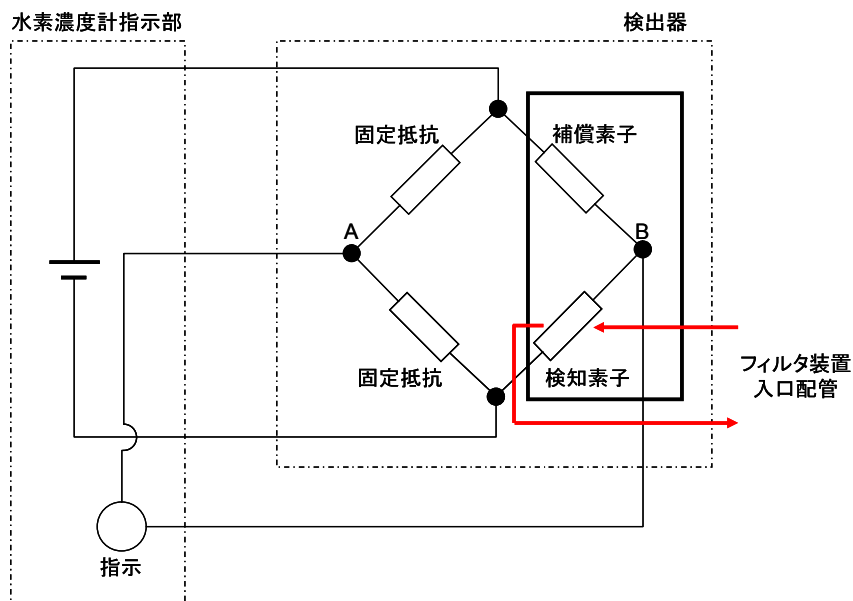
号炉	6号炉	7号炉
時間遅れ	約10分	約8分

<参考>

a. 水素濃度計の測定原理

水素濃度検出器は、熱伝導式を用いる計画であり、第1-2図に示すとおり、検知素子と補償素子（サーミスタ）、及び2つの固定抵抗でブリッジ回路が構成されている。検知素子の部分に、サンプリングされたガスが流れるようになっており、補償素子には基準となる標準空気が密閉されており測定対象ガスとは接触しない構造になっている。

水素濃度指示計部より電圧を印加して検知素子と補償素子の両方のサーミスタを約120℃に加熱した状態で、検知素子側に水素を含む測定ガスを流すと、測定ガスが熱をうばい、検知素子の温度が低下することにより抵抗が低下する。この検知素子の抵抗が低下するとブリッジ回路の平衡が失われ、第1-2図のA B間に電位差が生じる。この電位差が水素濃度に比例する原理を用いて、水素濃度を測定する。



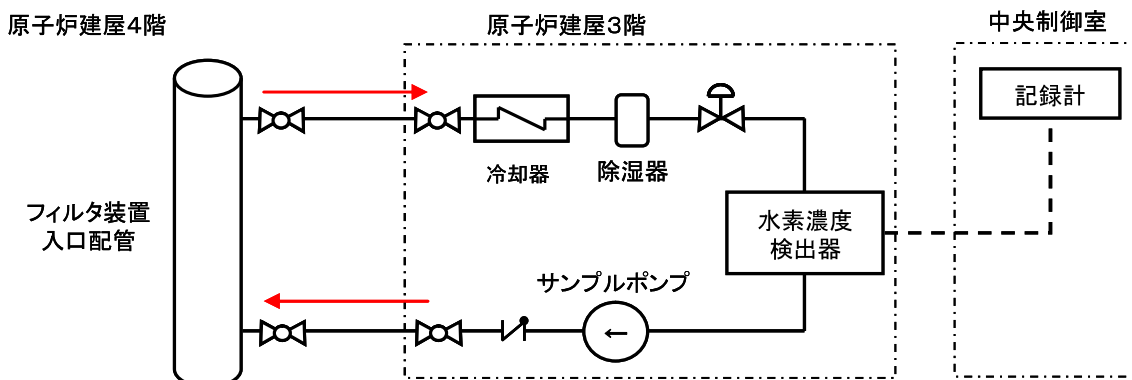
第1-2図 水素濃度計検出回路の概要図

b. 水素濃度の測定

水素濃度検出器は「a.」で示したとおり標準空気に対する測定ガスの熱伝導の差を検出する方式のものであり、酸素、窒素などの空気中のガスに対し、水素ガスの熱伝導率の差が大きいことを利用しているものである。水素の熱伝導率は、約0.18 W/(m・K) at 27℃である一方、酸素、窒素は、約0.02 W/(m・K) at 27℃と水素より1桁小さく、これらのガス成分の変動があっても水素濃度計測に対する大きな誤差にはならない。

c. 水素濃度測定システムの構成

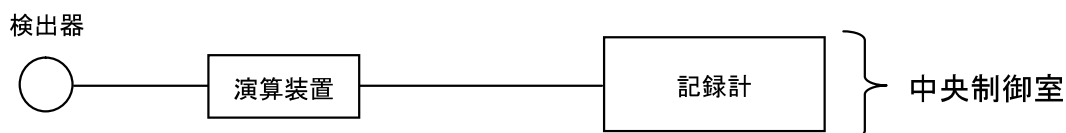
フィルタ装置入口配管内のガスをサンプルポンプで引き込み、除湿器で水分が除去されて、ほぼドライ状態で水素濃度検出器にて測定されるようにしている。



第 1-3 図 フィルタ装置水素濃度システム概要図

d. 水素濃度計の仕様

種 類	熱伝導式水素濃度検出器
計 測 範 囲	0～100vol%
個 数	1
設 置 場 所	原子炉建屋 3 階（二次格納施設外）



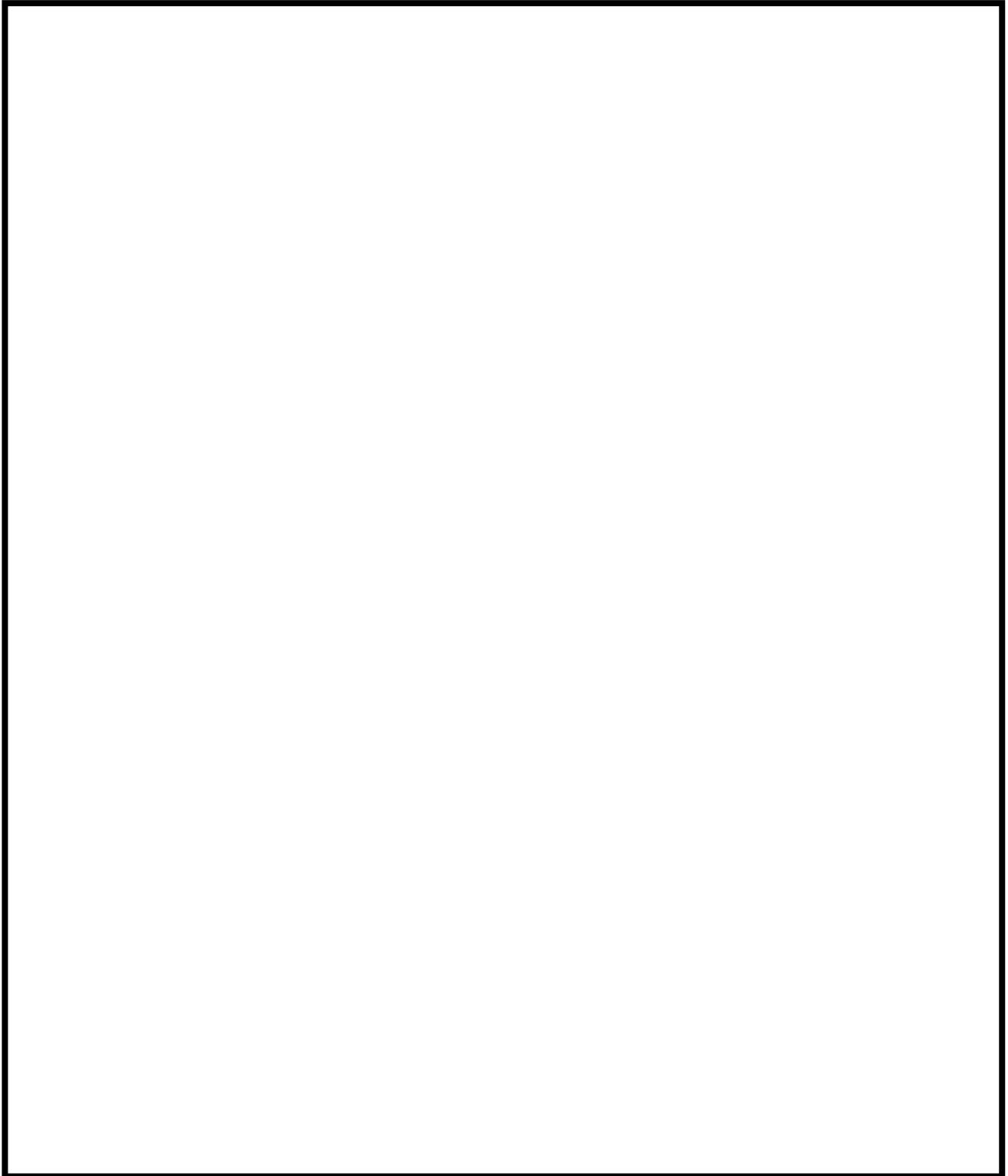
第 1-4 図 フィルタ装置水素濃度の概略構成図

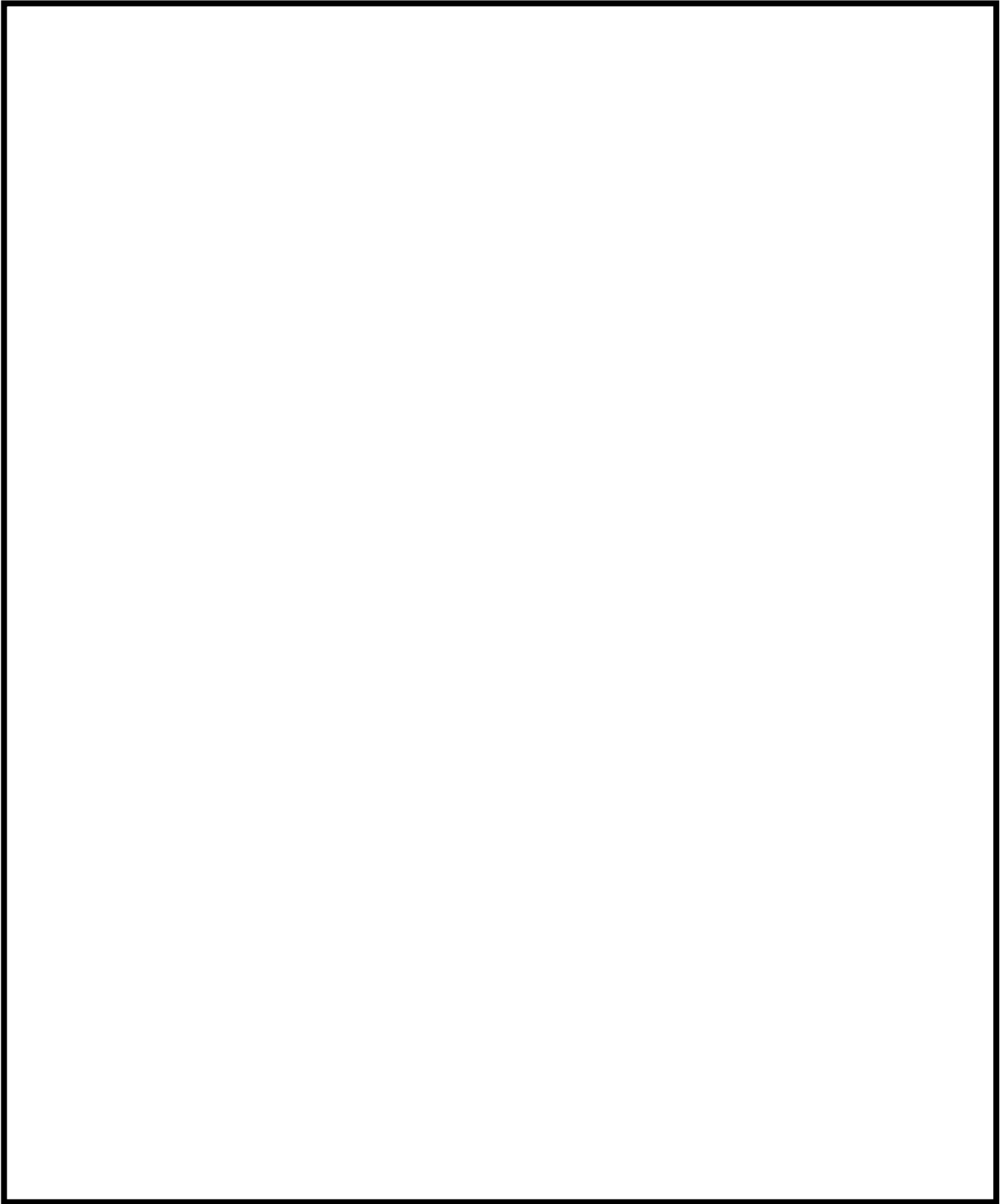
水素濃度の計測範囲 0～100vol%において、計器仕様は最大±2vol%の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、フィルタ装置使用後の配管内の水素濃度の推移、傾向（トレンド）を監視していくことができる。

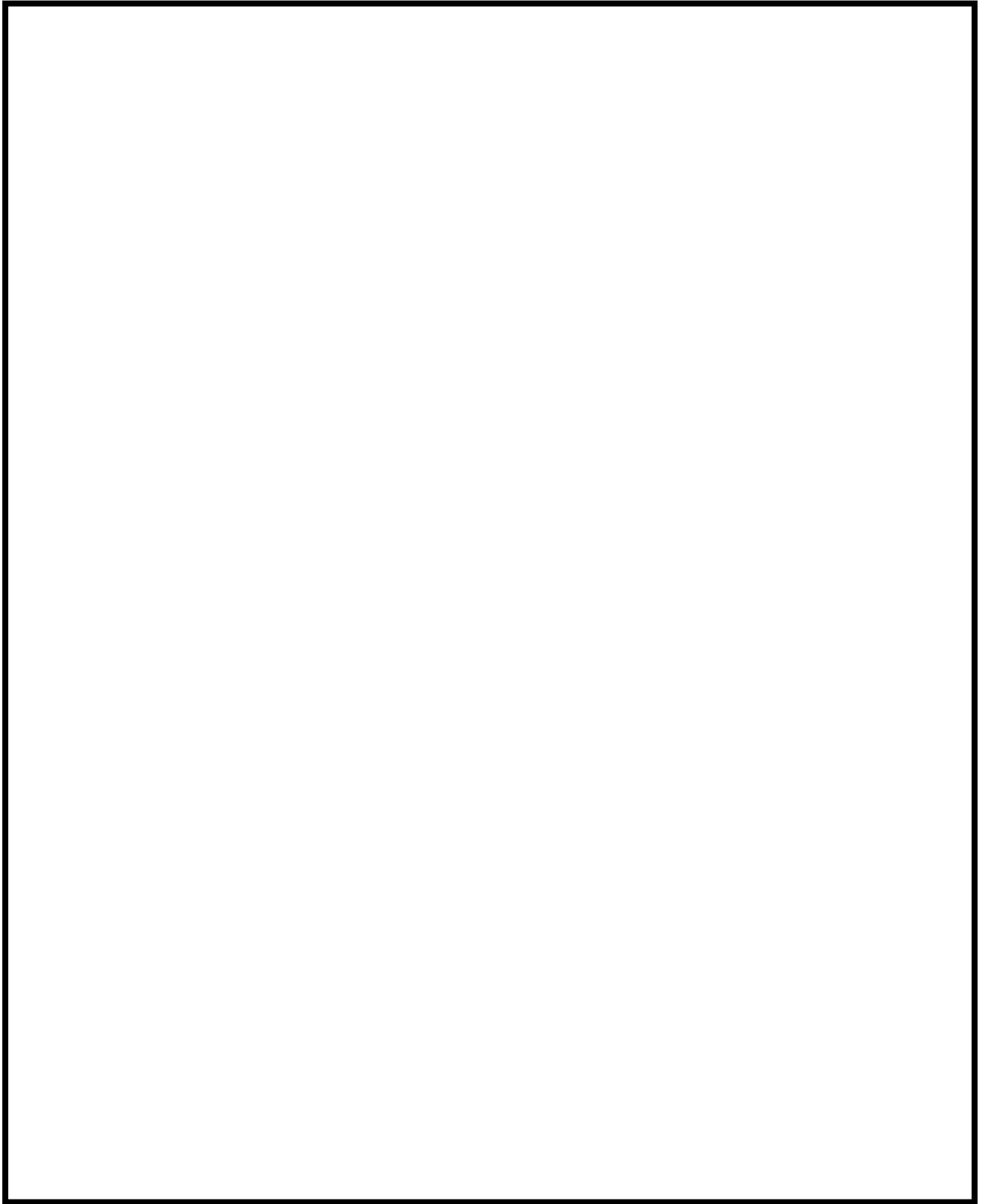
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

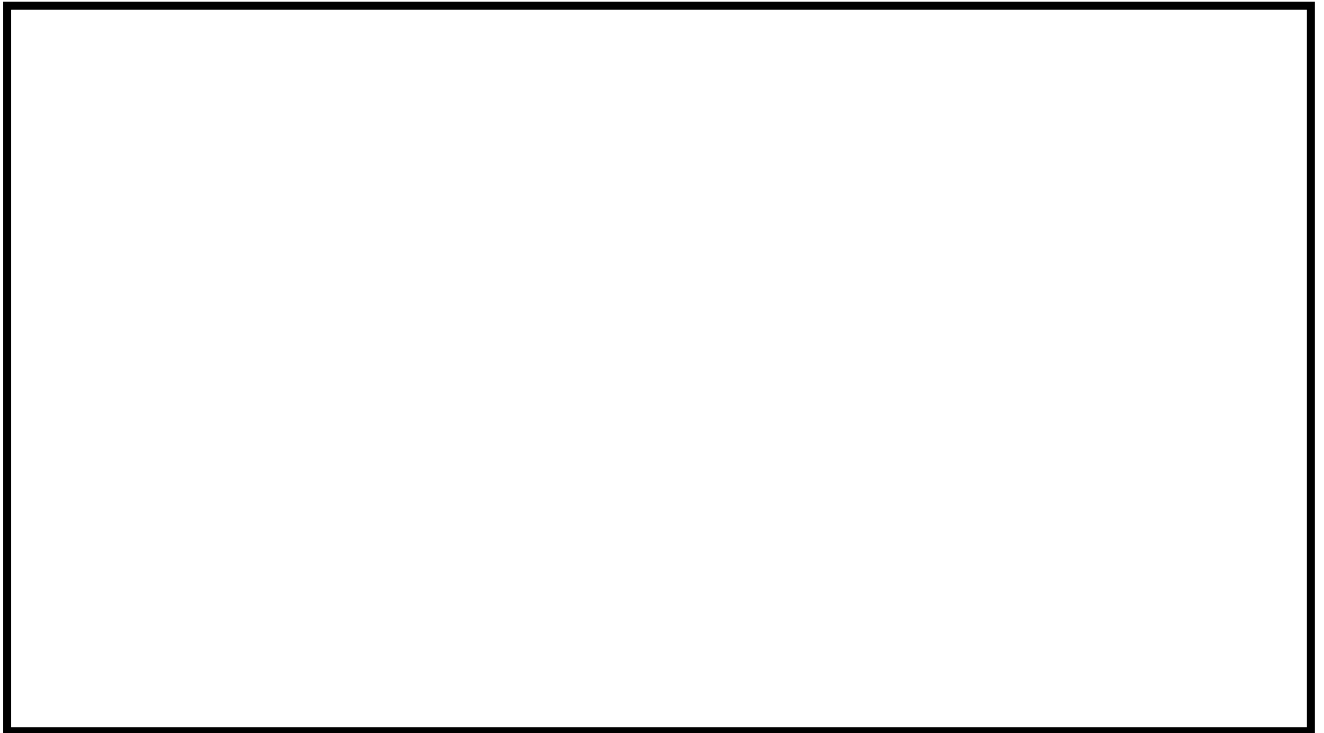
別紙5 エアロゾル計測装置について

(1) エアロゾル計測装置の計測原理









(2) エアロゾル計測装置の計測精度について

エアロゾル計測装置の計測装置の計測精度については、以下の通り示す。

1. 光散乱式エアロゾルスペクトロメーター

光散乱式エアロゾルスペクトロメーターは、粒子に光を当てた際の散乱光パルスの強度を計測し、粒子の粒径や個数濃度を求めている。

まず、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの粒径に対する精度を第 2-1 表の通り示す。粒径に対する精度の確認は、粒径が既知の標準粒子 (PSL) を計測し、標準粒子の径との比較をすることで評価している。

なお、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの可測粒径は $0.2\sim 40\mu\text{m}$ であるが、計測のメカニズムから、小さい粒子の方が発生する散乱光が弱く、計測の誤差が大きくなることから、可能な限り最小可測粒径に近い粒子を計測している。

また、試験にはエアロゾル計測装置はフィルタ入口側と出口側の 2 つ使用しているため、それぞれの誤差を示す。

第 2-1 表 光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの粒径計測に対する誤差



第 2-1 表より、いずれの計測器も、最小可測粒径 ($0.2\mu\text{m}$)、を含めて粒径計装に対する誤差は小さく、粒径を適切に計測できていると考える。

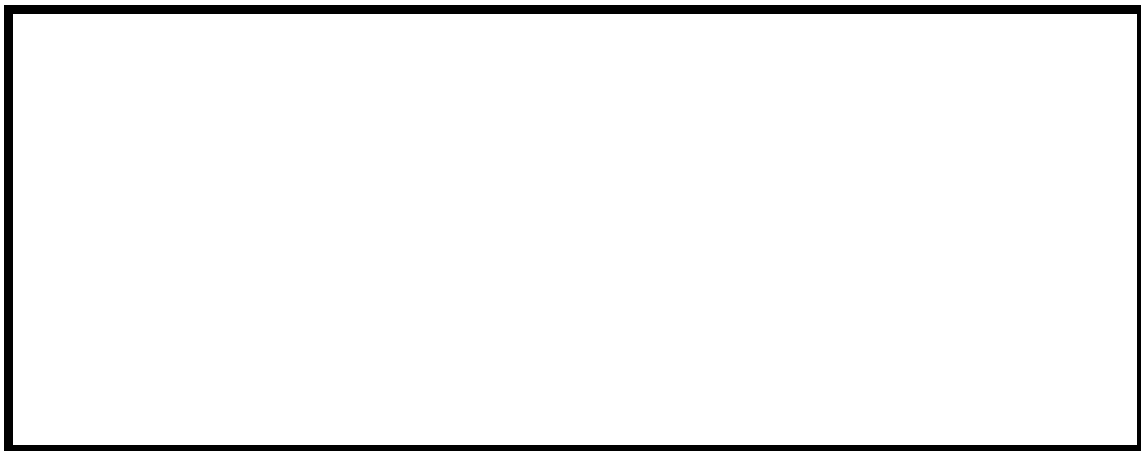
次に、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの個数濃度に対する精度を第

2-2 表の通り示す。個数濃度に対する精度の確認も、粒径が既知の標準粒子 (PSL) を用い、第 2-1 図に示す通り、国家標準とトレーサブルな凝縮粒子カウンター (標準器) で計測した個数濃度との比較により精度を評価している。

なお、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの可測粒径は $0.2\sim 40\ \mu\text{m}$ であるが、計測のメカニズムから、小さい粒子の方が発生する散乱光が弱く、計測の誤差が大きくなることから、可能な限り最小可測粒径に近い粒子を計測している。

また、試験にはエアロゾル計測装置はフィルタ入口側と出口側の 2 つ使用しているため、それぞれの誤差を示す。

第 2-2 表 光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの個数濃度計測に対する誤差



第 2-1 図 個数濃度評価構成

第 2-2 表に示す通り、いずれの粒径においても、標準器計測値に対する誤差は計測器 1, 2 で同程度であることから、計測器 1, 2 の個数濃度に対する計測精度は同等と考えられる。ただし、計測器番号 1, 2 を比較した場合、若干ではあるものの、個数濃度は計測器 1 よりも計測器 2 の方が大きめに計測されることから、DF を保守的に評価するため、計測器 1 をフィルタ入口側に、計測器 2 をフィルタ出口側に設置している。

ここで、第 2-2 図の通り、試験フィルタには水を張らず、金属フィルタも取り外した状態で、計測器 1 をフィルタ入口側、計測器 2 を出口側に設置して、第 2-3 表の条件にて DF 計測試験を実施した。本条件では水スクラバと金属フィルタの粒子捕捉効果は発生しないため、容器壁面沈着の捕捉を確認することができる。

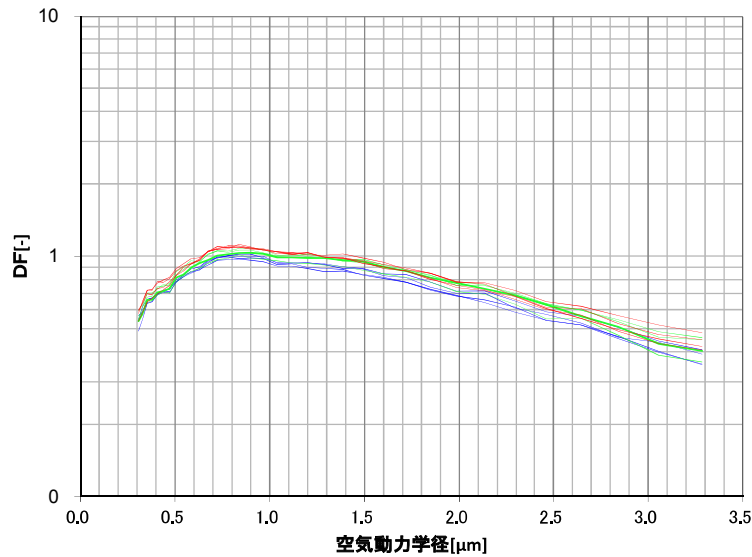


第 2-2 図 フィルタ容器 DF 計測試験装置構成図

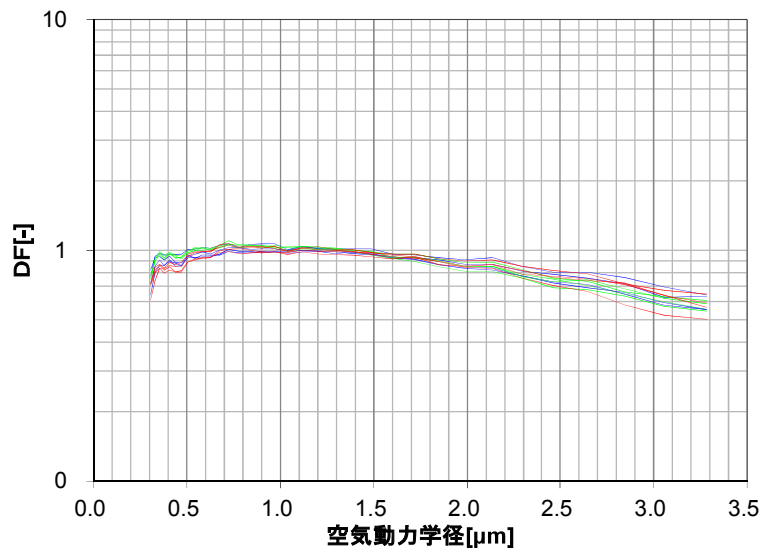
第 2-3 表 フィルタ容器 DF 性能試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・実機高さ試験装置
試験ガス	・空気
スクラバ水位	・0m
金属フィルタ	・無し
ガス温度	・常温
ガス体積流量	・2Pd 相当流量 ・最小流量相当
試験エアロゾル	・TiO ₂

上記の条件にて試験を実施した結果、DF は第 2-3 図、第 2-4 図の通りとなった。



第 2-3 図 フィルタ容器 DF 性能試験結果 (2Pd 相当流量)

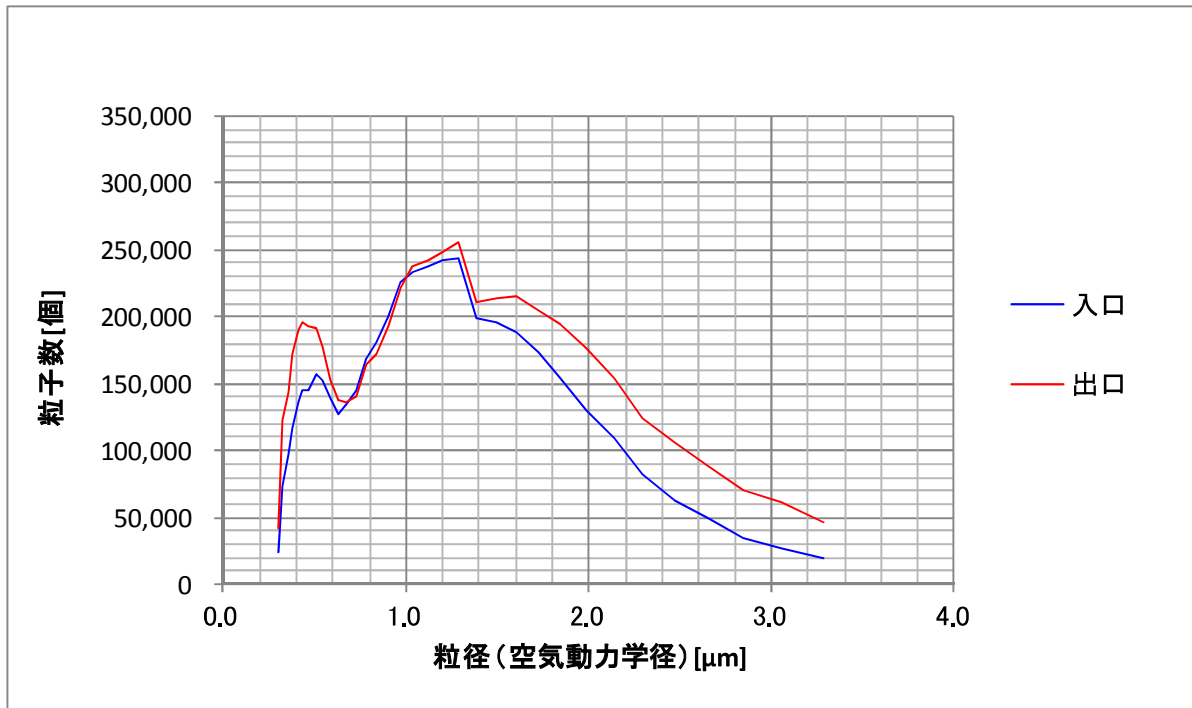


第 2-4 図 フィルタ容器 DF 性能試験結果 (最小流量相当)

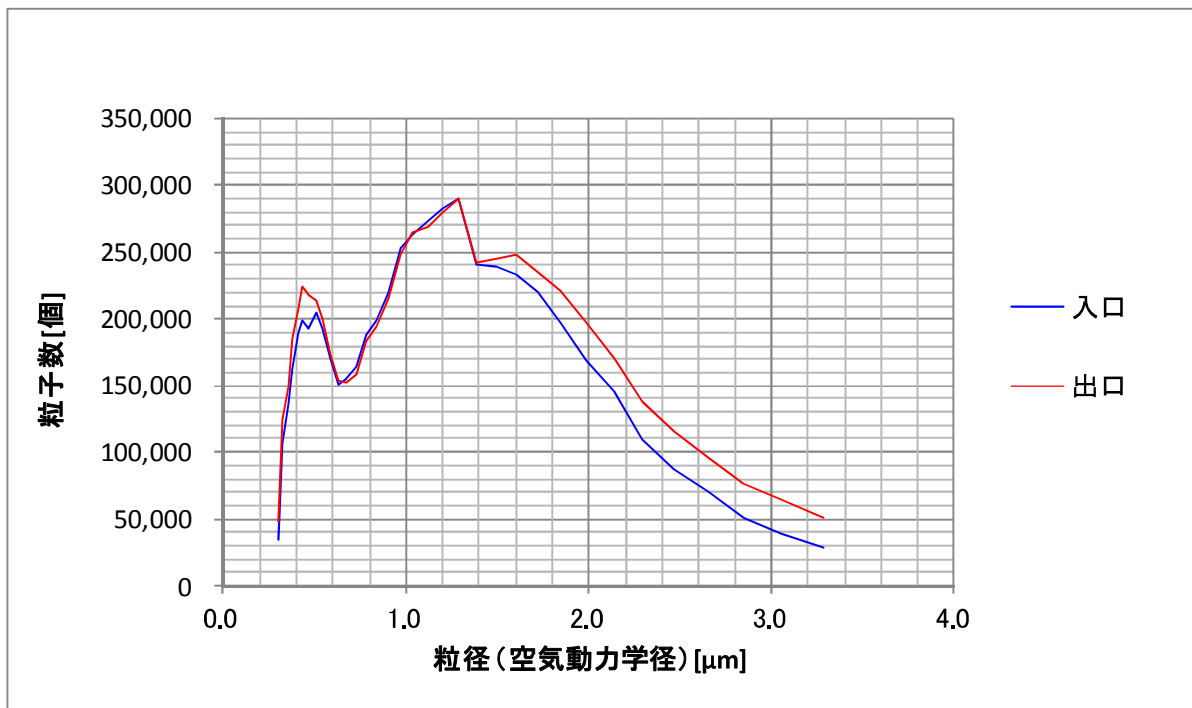
第 2-3 図, 第 2-4 図より, ほとんどの粒子径領域において, DF が 1 以下となっており, フィルタ入口側の粒子検出個数よりも, フィルタ出口側の粒子検出個数の方が多くなっていることがわかった。計測器 1 をフィルタ入口側, 計測器 2 を出口側に設置することで, DF を保守的に評価できていると考える。

なお, 第 2-3 図, 第 2-4 図の DF を評価した際の, フィルタ入口側と出口側の検出個数を第 2-5 図, 第 2-6 図に示す。第 2-5 図と第 2-6 図より, 粒子個数の分布の形はフィルタ入口側と出口側で大きく変わっていない。そのため, フィルタを通過する過程において, エアロゾルの凝集や分離はあまり生じていないと考えら

れる。



第 2-5 図 粒子検出個数 (2Pd 相当流量)



第 2-6 図 粒子検出個数 (最小流量相当)

一方，第 2-3 図，第 2-4 図に示す通り，DF の最大値は 1.12 であり，これは容器壁面や気泡細分化装置への沈着による捕捉効果であると考えられる。

2. 走査式モビリティパーティクルサイザー

走査式モビリティパーティクルサイザーは、ガス中に含まれる粒子に対して、静電分級装置にて任意の粒径の粒子を分級し、凝縮粒子カウンターにて分級した粒子の個数濃度を計測するものである。

まず、粒子を分級する静電分級装置の精度を第 2-4 表の通り示す。分級に対する精度の確認は、粒径が既知の標準粒子（PSL）を計測し、標準粒子の径との比較をすることで評価している。

なお、静電分級装置の可測粒径は $0.0025 \sim 1.0 \mu\text{m}$ であるが、分級のメカニズムから、粒子の粒径に対して電気移動度に非線形性はないことから $\square \mu\text{m}$ に対して分級誤差を評価することは妥当である。

また、試験にはエアロゾル計測装置はフィルタ入口側と出口側の 2 つ使用しているため、それぞれの誤差を示す。

第 2-4 表 静電分級装置の誤差



第 2-4 表より、いずれの計測器も粒径に対する誤差はと小さく、粒径を適切に計測できていると考える。

次に、凝縮粒子カウンターの個数濃度に対する精度を第 2-5 図、第 2-6 図に示す。個数濃度に対する精度の確認も、粒径が $\square \mu\text{m}$ の標準粒子（PSL）を用い、国家標準とトレーサブルな凝縮粒子カウンター（基準器）で計測した個数濃度との比較により精度を評価している。

なお、凝縮粒子カウンターの可測粒径は $0.0025 \sim 1.0 \mu\text{m}$ であるが、計測のメカニズムから、小さい粒子の方が発生する散乱光が弱く、計測の誤差が大きくなることから、可能な限り最小可測粒径に近い粒子を計測している。

また、試験にはエアロゾル計測装置はフィルタ入口側と出口側の 2 つ使用しているため、それぞれの評価結果を示す。



第 2-5 図 凝縮粒子カウンター個数濃度誤差（計測器番号 1）



第 2-6 図 凝縮粒子カウンター個数濃度誤差（計測器番号 2）

第 2-5 図，第 2-6 図に示す通り，計測器 1，2 とともに基準器と同等の精度で個数濃度を計測できている。なお，計測器 1，2 を比較すると，若干ではあるものの個数濃度は計測器 1 よりも，計測器 2 の方が大きめに計測されることから，DF を保守的に評価するため，計測器 1 をフィルタ入口側に，計測器 2 をフィルタ出口側に設置している。

別紙6 除去性能試験について

1. 超過流量状態におけるDF性能について

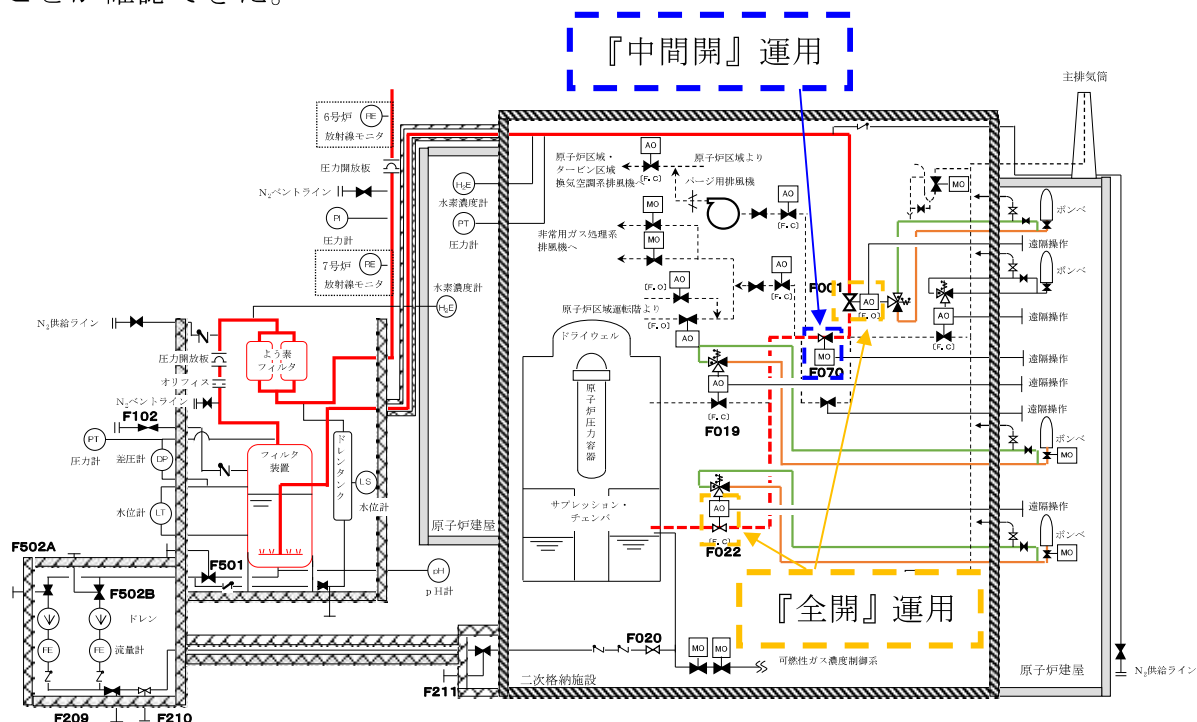
フィルタベント系統の系統概要図を第1-1図に示す。

フィルタベント系統の第二弁については、格納容器ベント操作による急激な格納容器の減圧による格納容器の破損を防止することと、フィルタベント系統への急激なガスの流れによる機器の破損を防止することが目的で、ベント実施中は開度を『中間開』とする運用としており、有効性評価においても、弁の開度はこのような状態として解析を実施している。

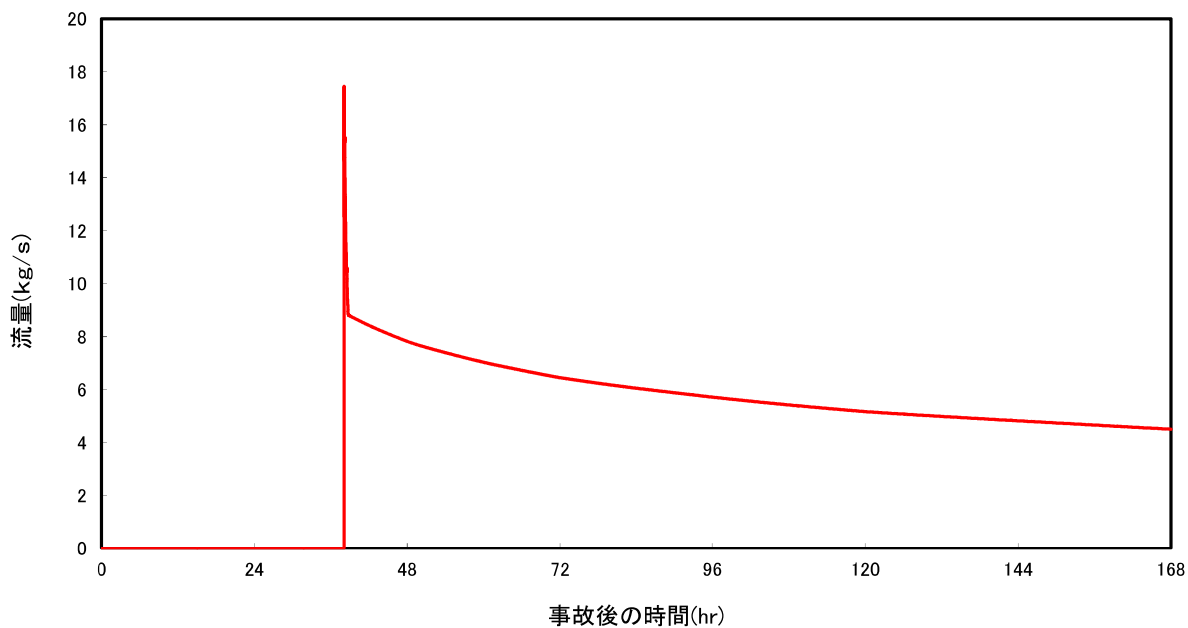
「大LOCA+全ECCS機能喪失+SBO」シナリオにおける、ベントガス流量の評価結果を第1-2図に示す。

一方、第二弁を『全開』とした場合、上記より流量は大きくなり、体積流量で約37,000m³/hとなる。この場合、性能試験の試験範囲を超過してしまうことから、新たに37,000m³/hの試験を実施した。37,000m³/h時の除去性能試験結果を第1-3図に示す。

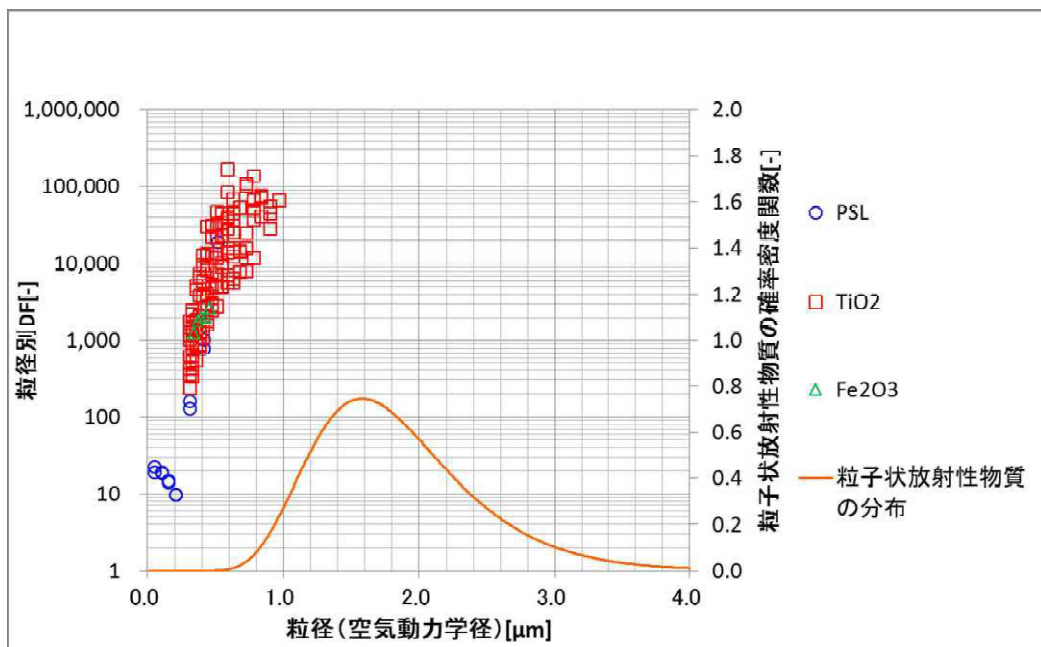
性能試験の結果、体積流量37,000m³/hにおいても、DFは1,000以上となることが確認できた。



第1-1図 系統概要図



第 1-2 図 ベントガス流量評価結果



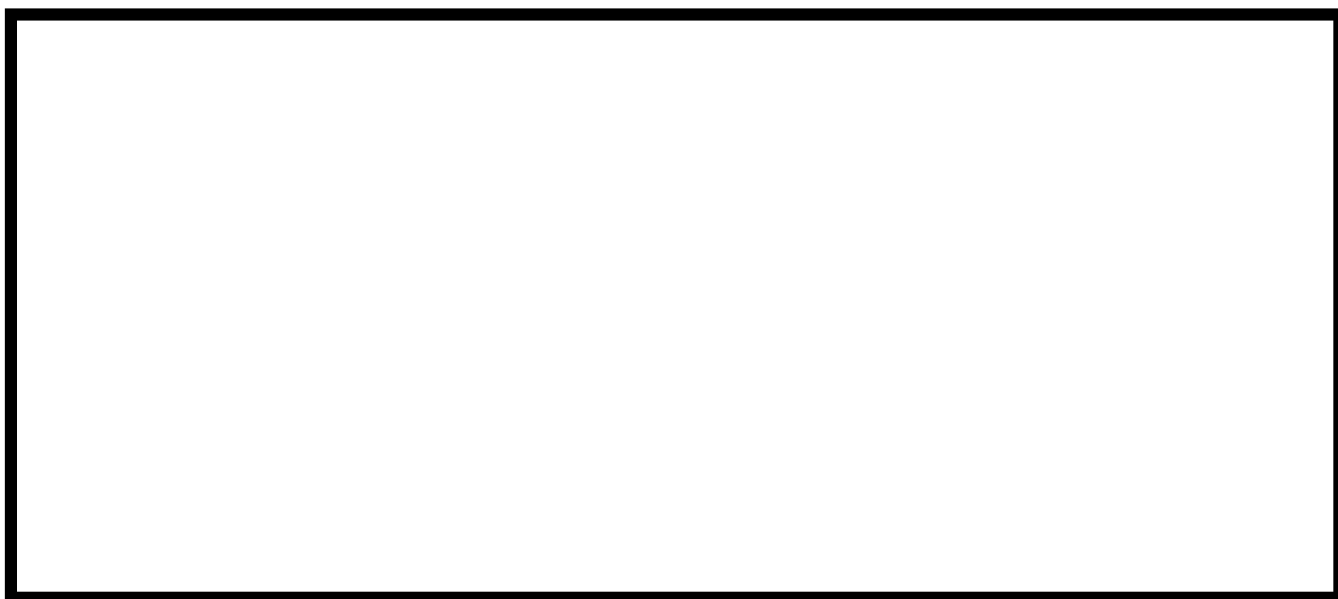
第 1-3 図 除去性能試験結果 (流量 : $37,000\text{m}^3/\text{h}$)

2. フィルタ装置内圧力の DF への影響について

フィルタ装置内圧力の DF への影響を確認するために、フィルタ装置内圧力を 0.1MPa, 0.41MPa, 0.72MPa (abs) として実施した除去性能試験の結果を第 2-1 図に示す。

試験条件として、試験粒子は PSL 粒子(粒径 0.05~0.5 μm), ガス流量は最小流量相当の 13,500 m^3/h , スクラバ水位は 1m としている。

試験の結果、粒子径が 0.2 μm 以上の粒子においては、フィルタ装置内の圧力の DF への影響がほぼ認められないことがわかった。



第 2-1 図 フィルタ装置内圧力の除染性能への影響

3. 試験のスケール性について

【水スクラバ】

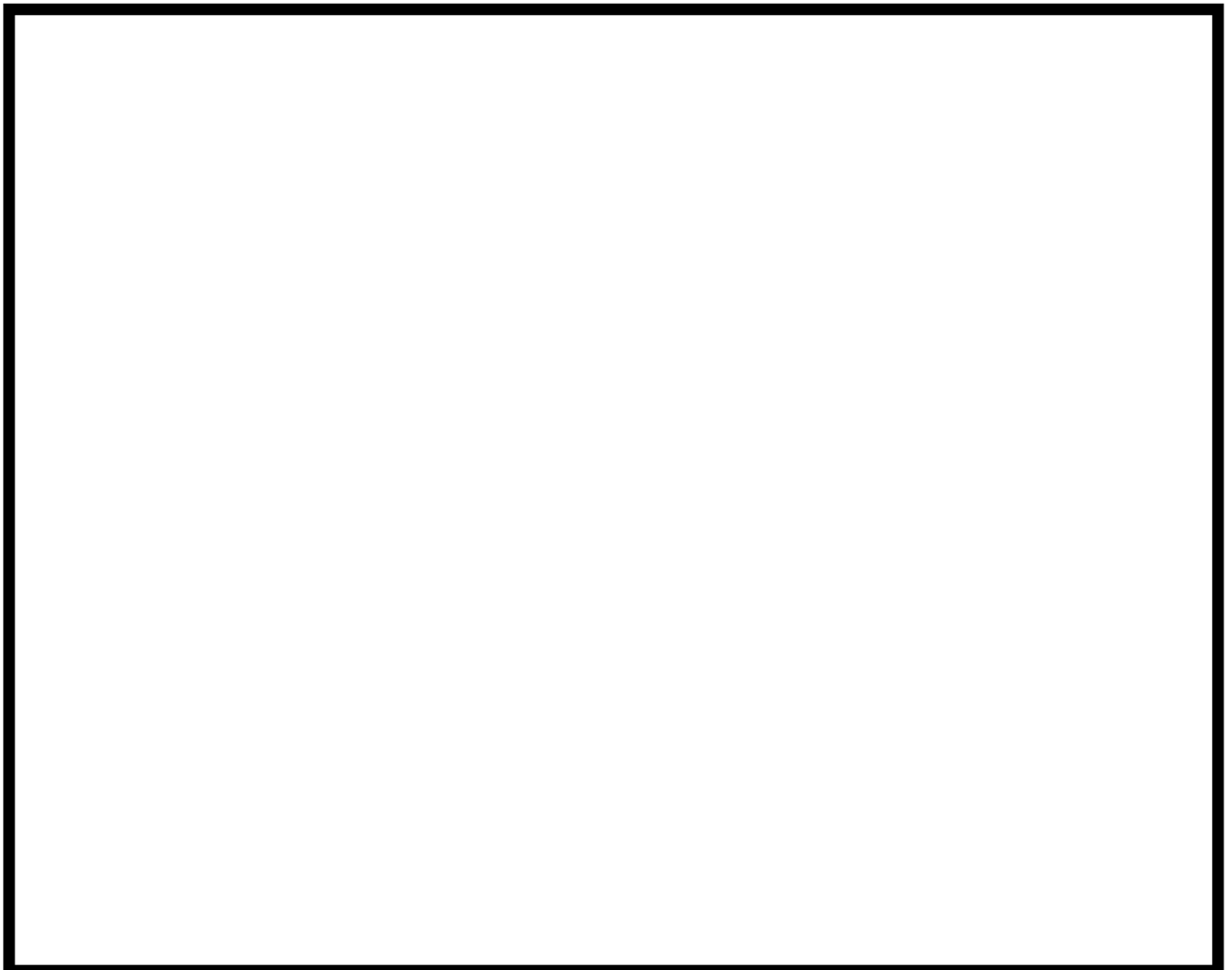
(1) 実機フィルタ装置と試験用フィルタのボイド率について

7号炉の格納容器圧力逃がし装置の実機を用いて各ノズルからのガス噴射状態を確認する試験を行った。

試験概要図を第3-1図に示す。図に示すように2象限分のノズルは閉止し、残り2象限にノズル流量計測装置を設置する。これらは1象限の半分のノズルに対して計測が可能となっており、ノズル噴射の対称性を考慮すると、全ノズルの流量状態を確認することと同等になると考えられる。

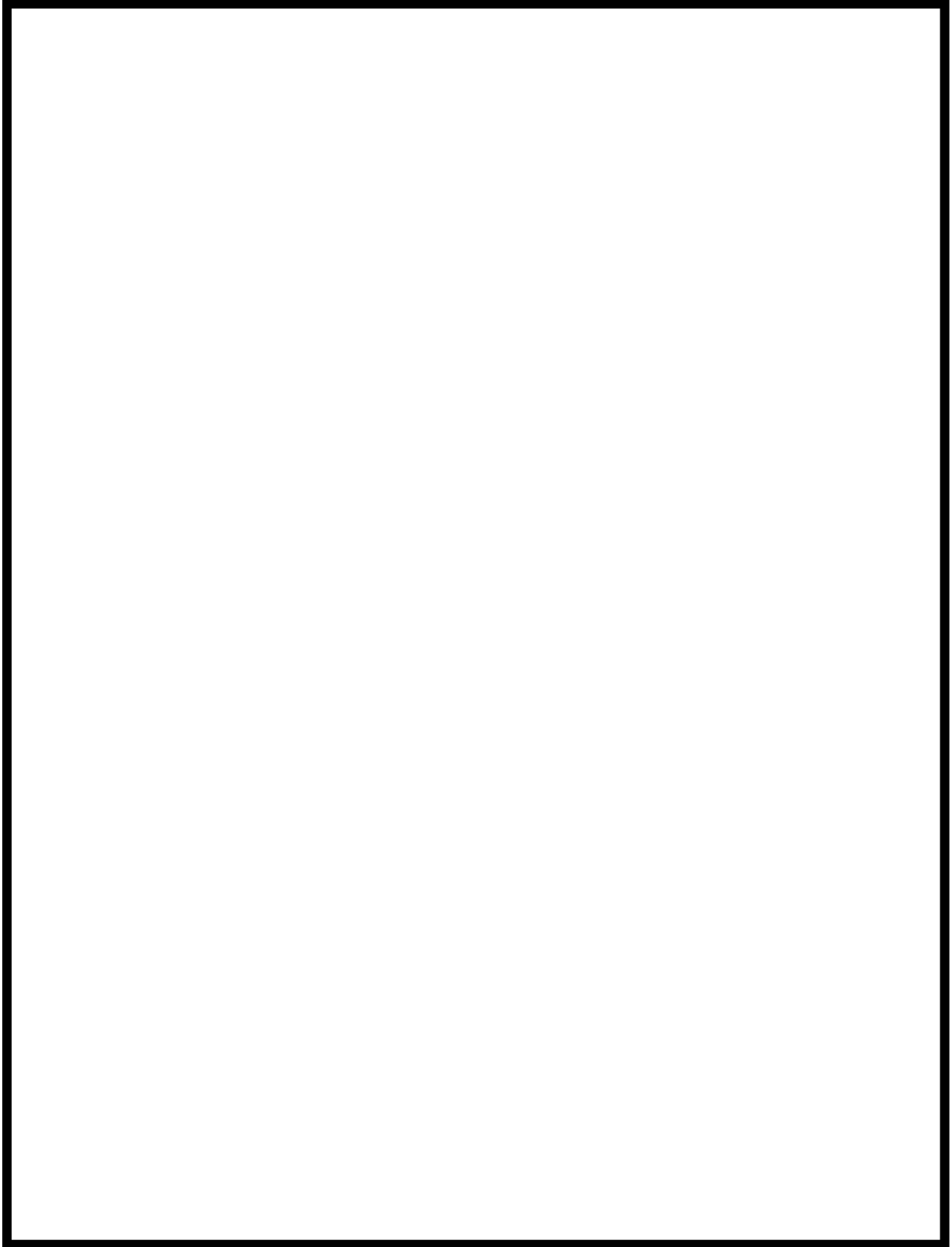
試験は、スクラバ水位を100mmとし、ブロワーにて4象限分に換算して約30,500m³/h相当の空気を送気した状態で、噴射状態の目視確認と噴射量の計測を実施した。

試験結果を第3-2図に示す。試験結果より、各ノズルからほぼ均一にガスが噴射できていることを確認した。



第3-1図 試験概要図

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



第 3-2 図 ノズル噴出状況

ここで、実機フィルタ装置と試験装置の比較を第 3-3 図に示す。第 3-3 図に示す通り、試験容器の断面積は実機の 1/140、スクラバノズルは実機が 140 本であるのに対し 1 本設置していることから、実機と試験装置で相似則が成立している。

この試験装置を用いて、実機の 1/140 の体積流量のガスを通気し、試験を実施している。

実機においては、ガスが各ノズルからほぼ均一に噴射していることから、実機と試験装置では噴射時のガスの流速は同等になる。そのため、ベントガス噴射直後域では、実機と試験装置でガスの挙動は同様である。また、ベントガス浮上域においては、実機と試験装置では容器断面積の相似則が成立していることから、ボイド率は等しくなると考えられるため、実機と試験装置でガスの挙動は同様となる。

以上より、フィルタ装置の水スクラバ部においては、本試験装置における性能試験の結果にて、実機の性能を再現できていると考えられる。

(2) 隣接ノズルによる影響について

試験用フィルタは、スクラバノズルが 1 本のみ設置されているため、実機のように隣接するノズルによる影響は再現できていない。隣接ノズルがある場合、隣接ノズルのベントガス気泡と合体することにより、気泡が大きくなり DF が低下する可能性がある。なお、第 3-3 図に記載の気泡細分化装置通過後のベントガス浮上域においては、気泡細分化装置による整流効果により、隣接ノズルによる合体気泡については細分化されると考えられる。そのため、隣接ノズルによる合体気泡の影響は、気泡細分化装置に入る前までの領域(第 3-3 図に記載のベントガス噴射直後域)に限定されると考えられる。

そこで、第 3-4 図の通り、実機と同じ 50 個孔のノズルと、隣接ノズルの影響を模した 150 個孔のノズルを用いて、ベントガス噴射直後域の気泡について、可視化試験装置により確認した。この 150 個孔のノズルは、ノズル 3 つが非常に近接している場合を模擬している。なお、試験はノズル穴から噴射されるガスの流速を統一(つまり 150 個孔のノズル試験では、50 個孔のノズル試験の 3 倍の流量のガスを送気)し、2Pd 相当流量と最小流量相当の 2 通りのガス流速にて試験を実施した。

試験の結果を第 3-5 図、第 3-6 図に示す。図に示す通り、50 個孔のノズルと 150 個孔のノズルにて、ベントガス噴射直後域の気泡に有意な差はない。そのため、隣接ノズルのベントガス気泡により気泡が合体して大きな気泡になることによる DF の低下は生じないと考えられる。

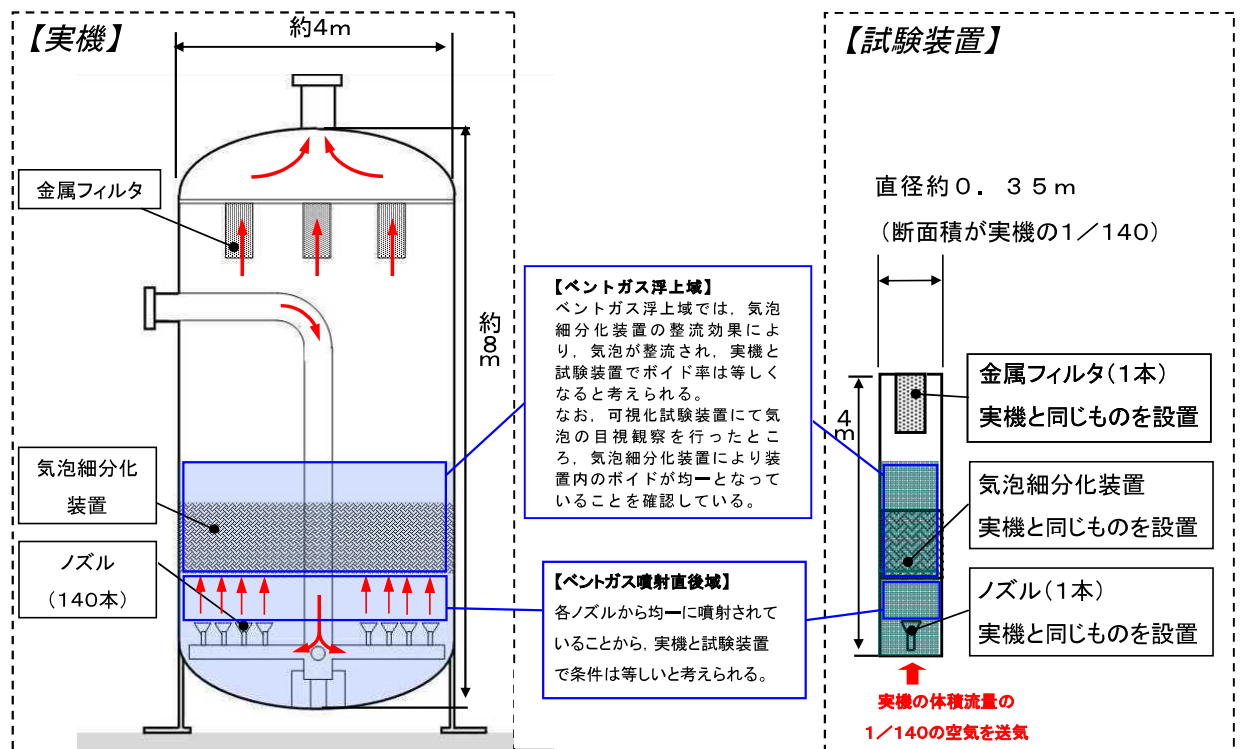
以上より、スクラバノズルが 1 本の試験装置にて、実機の性能は再現できていると考えられる。

【金属フィルタ】

実機フィルタ装置には、金属フィルタは128本設置されている。一方、第3-3図に示す通り、試験装置は断面積が実機の1/140の試験容器に、実機と同じ金属フィルタを1本設置している。この試験装置に、実機の1/140の体積流量のガスを通気し、試験を実施している。

そのため、金属フィルタ1本当当たりの体積流量は、実機と比較して128/140倍となっており、金属フィルタを通過するガスの流速が実機よりも小さいことになる。

一方、実機フィルタ装置に流入する放射性微粒子の粒子径分布は3.2.2.1に示す通りであり、考慮される粒子径の存在領域においては、慣性力による捕捉が主たる捕捉メカニズムとなる。慣性力による捕捉メカニズムにおいては、ガスの流速が大きい程、粒子の捕捉効率は大きくなる。そのため、今回の試験は、金属フィルタ部のガスの流速は実機よりも小さいことから、保守的な評価ができていていると考えられる。

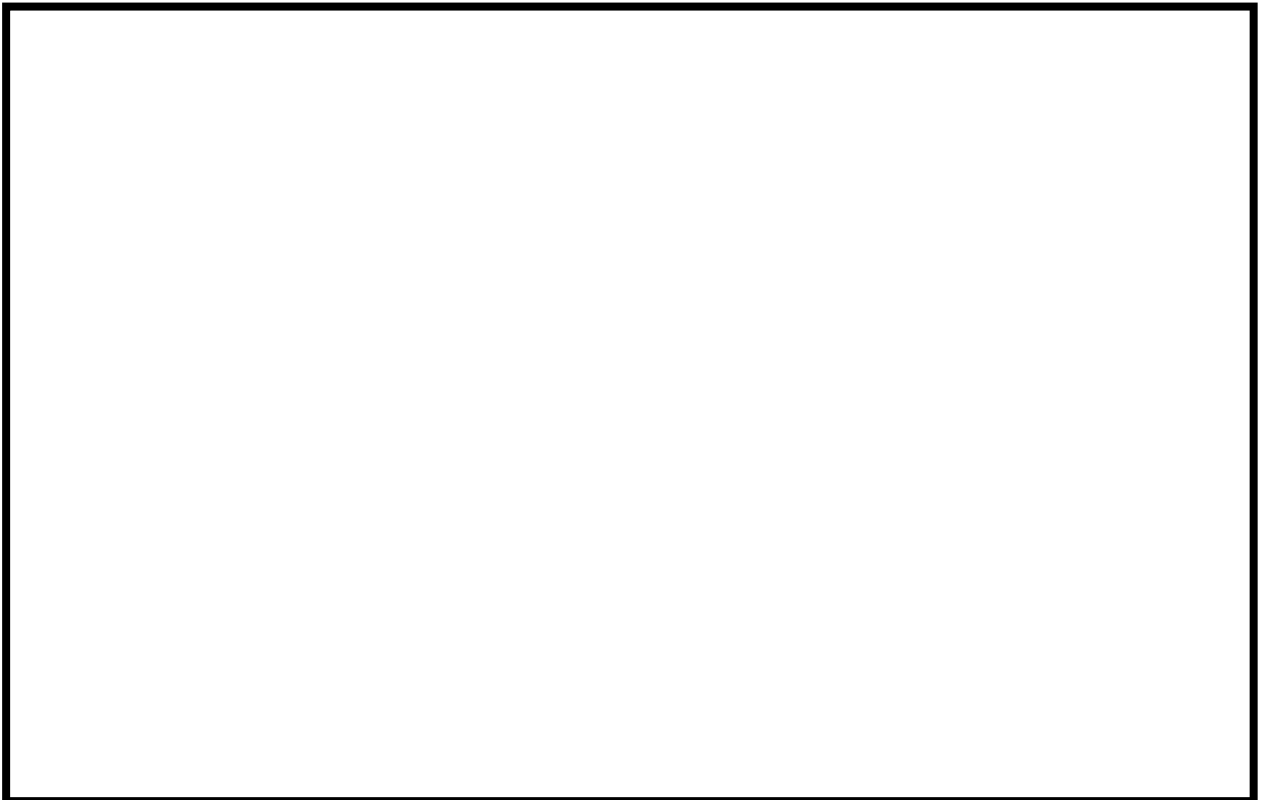


第3-3図 実機と試験装置の比較

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



第3-4図 隣接ノズル影響確認試験装置



第3-5図 隣接ノズル影響確認試験結果 (2Pd 相当流量)

第3-6 図 隣接ノズル影響確認試験結果（最小流量相当）

【フィルタ容器】

フィルタ装置の容器内への放射性物質の付着量は、容器の体積/表面積の比が小さい程、大きくなる。実機のフィルタ装置と試験用フィルタの容器の体積/表面積比は、試験用フィルタの方が小さい。そのため、実機よりも試験用フィルタの方が容器内への付着は起こりやすく、その分のDFを過剰に見積もっている可能性がある。

そこで、「別紙5 エアロゾル計測装置について」にて記載の通り、スクラバ水を抜き、金属フィルタを取り外した状態で、試験フィルタの容器部のDFを計測したところ、最大で1.12であった。そのため、試験用フィルタの容器部におけるDFは殆ど見込めないことがわかった。ゆえに、実機のフィルタ装置と試験用フィルタの容器の体積/表面積比が異なることによる影響は非常に小さく、試験用フィルタにて、実機のDFを再現できていると考えられる。

4. 試験ガスの代表性について

性能試験においては、試験ガスとして空気を用いている。一方、実機においては、水蒸気がベントガスの主成分となる。そのため、性能試験と実機では、条件が異なることとなる。

そこで、空気と水蒸気ではいずれの方が粒子の捕捉効果が大きいかを、粒子の各捕捉メカニズムにおいて確認した。

【慣性力による捕捉】

気体中の粒子の慣性力の大きさを表す値として、『ストークス数』がある。ストークス数 (St) は、下記の式により表される。ストークス数が大きい程、粒子に作用する慣性力は大きく、慣性力による捕捉効果が大きくなると考えられる。

$$St = D_p^2(\rho_p + \rho/2)C_c u_0 / (9\eta D_f) \quad (1)$$

ここで、 D_p は粒子径、 ρ_p は粒子密度、 ρ はガス密度、 C_c はスリップ補正係数、 u_0 はガスの流速、 η はガス粘度、 D_f は流体中の代表直径である。また、スリップ補正係数 (C_c) は以下の式により表される。

$$C_c = 1 + Kn \left\{ 1.257 + 0.4 \exp\left(\frac{-1.1}{Kn}\right) \right\} \quad (2)$$

$$Kn = 2\lambda_g / D_p \quad (3)$$

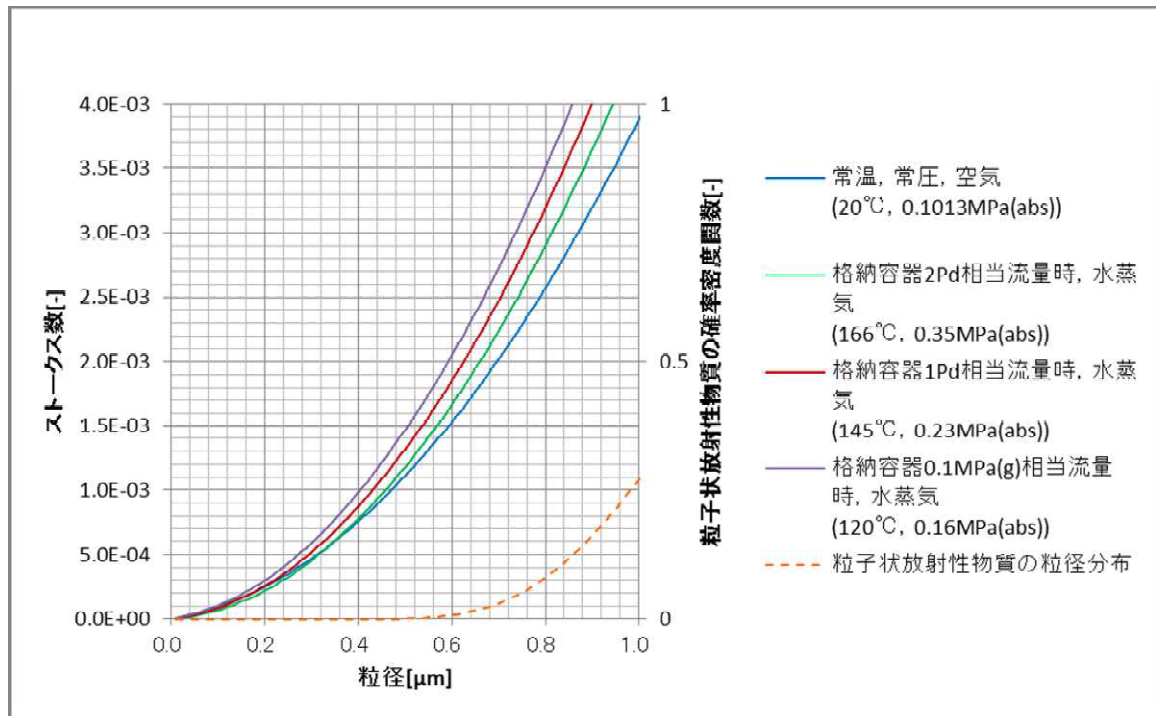
$$\lambda_g = \eta / (0.499P\sqrt{8M/\pi RT}) \quad (4)$$

となる。なお、 T はガス温度、 P はガス圧力、 M はガス分子量、 R は気体定数である。

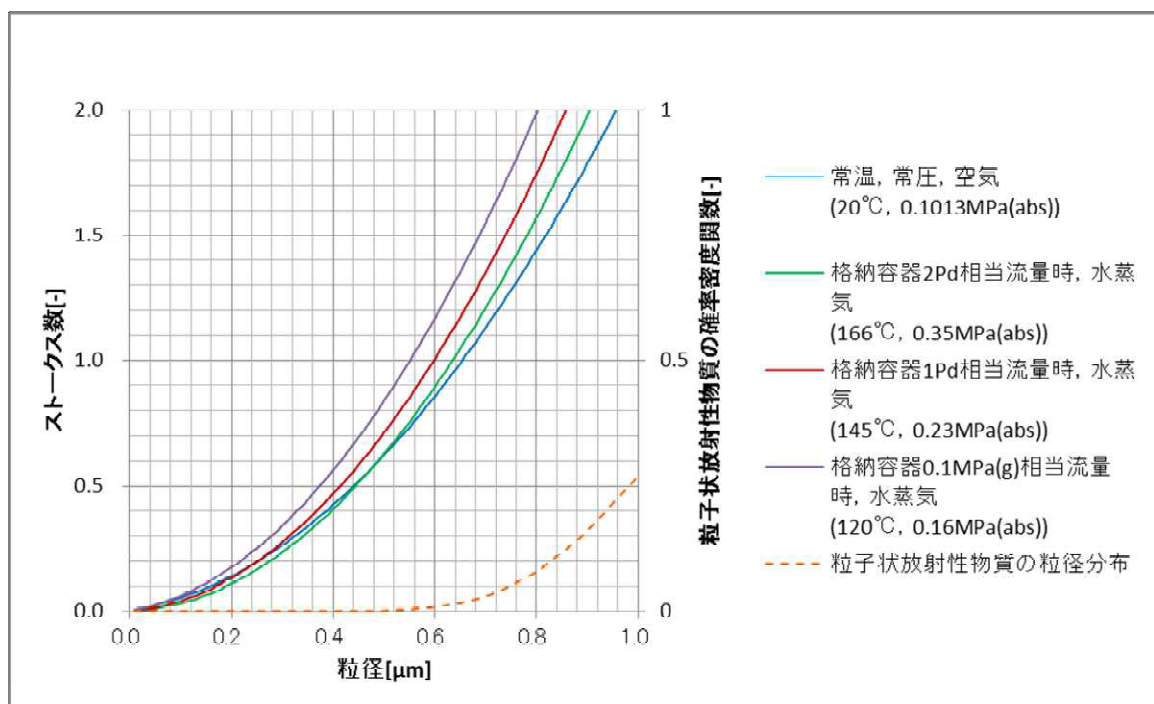
ここで、試験に用いている常温・常圧の空気と、実機で想定される水蒸気にて、各粒子径におけるストークス数を算出したところ、第4-1図、第4-2図の通りとなった。第4-1図、第4-2図の通り、約 $0.4\mu\text{m}$ 以上の粒子径領域であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりもストークス数が小さいことがわかる。つまり、約 $0.4\mu\text{m}$ 以上の領域であれば、空気の方が水蒸気よりも粒子に作用する慣性力が小さく、空気の方が水蒸気よりも慣性力による粒子捕捉効果が小さいと考えられる。第4-1図、第4-2図中には有効性評価シナリオ (大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失, W/W ベント) 時にフィルタ装置に流入する粒

子状放射性物質の粒子径分布を示しているが、粒子径 $0.4\mu\text{m}$ 以上の粒子が大部分を占めている。また、性能試験においても、粒子径 $0.4\mu\text{m}$ 以上の粒子径領域の計測もできている。(第 3.2.2.3-1~3 図参照)

そのため、空気による性能試験は、実機よりも保守的な条件ということとなる。



第 4-1 図 粒径とストークス数 (水スクラバ)



第 4-2 図 粒径とストークス数 (金属フィルタ)

【重力沈降による捕捉】

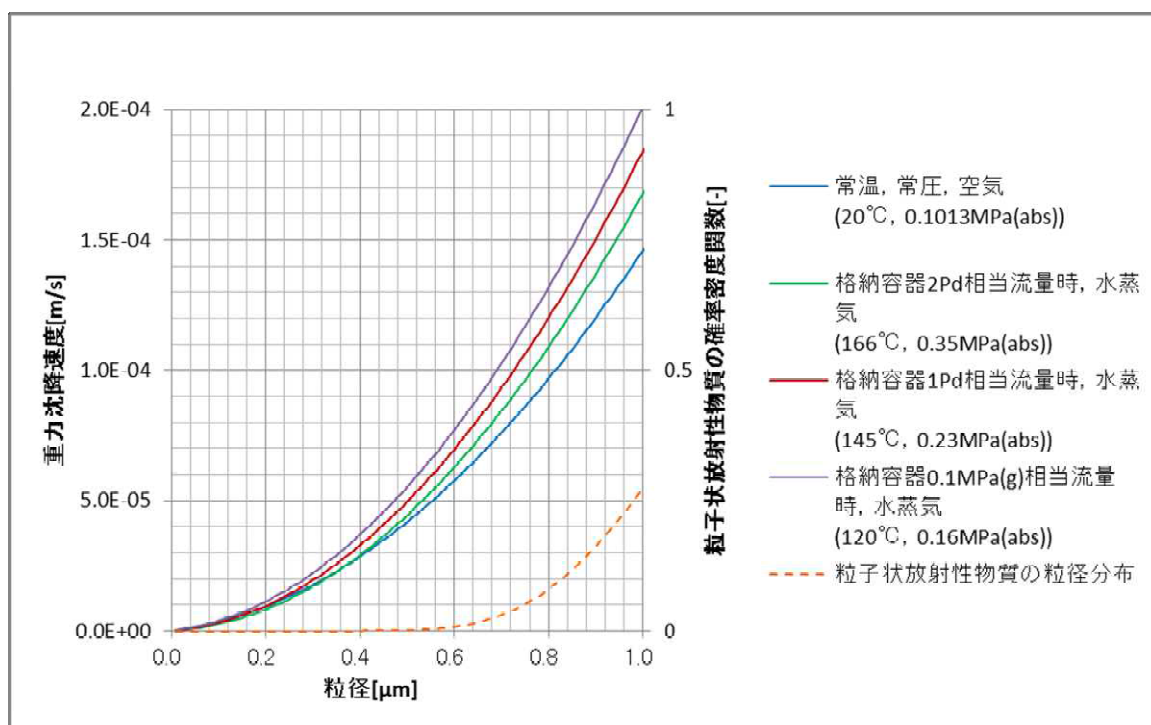
気体中の粒子の重力沈降速度 (v_t) の大きさは、下記の式により表される。重力沈降速度が大きい程、重力沈降による粒子の捕捉効果は大きくなると考えられる。

$$v_t = \frac{C_c D_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\eta} \quad (5)$$

ここで、 D_p は粒子径、 ρ_p は粒子密度、 ρ はガス密度、 g は重力加速度、 η はガス粘度、 C_c はスリップ補正係数 ((2) 式) である。

ここで、試験に用いている常温・常圧の空気と、実機で想定される水蒸気にて、各粒子径における重力沈降速度を算出したところ、第4-3図の通りとなった。第4-3図の通り、約 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒子径領域であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりも重力沈降速度が小さいことがわかる。つまり、約 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の領域であれば、空気の方が水蒸気よりも粒子に作用する重力沈降速度が小さく、空気の方が水蒸気よりも重力沈降による粒子捕捉効果が小さいと考えられる。第4-3図中には有効性評価シナリオ (大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失, W/W ベント) 時にフィルタ装置に流入する粒子状放射性物質の粒子径分布を示しているが、粒子径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒子が大部分を占めている。また、性能試験においても、粒子径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒子径領域の計測もできている。(第3.2.2.3-1~3図参照)

そのため、空気による性能試験は、実機よりも保守的な条件ということとなる。



第4-3図 粒径と重力沈降速度

【ブラウン拡散による捕捉】

気体中の粒子のブラウン運動の激しさを表す値として、『拡散係数』がある。拡散係数 (D) は、下記の式により表される。拡散係数が大きい程、粒子のブラウン運動は激しくなることから、ブラウン拡散による捕捉効果が大きくなると考えられる。

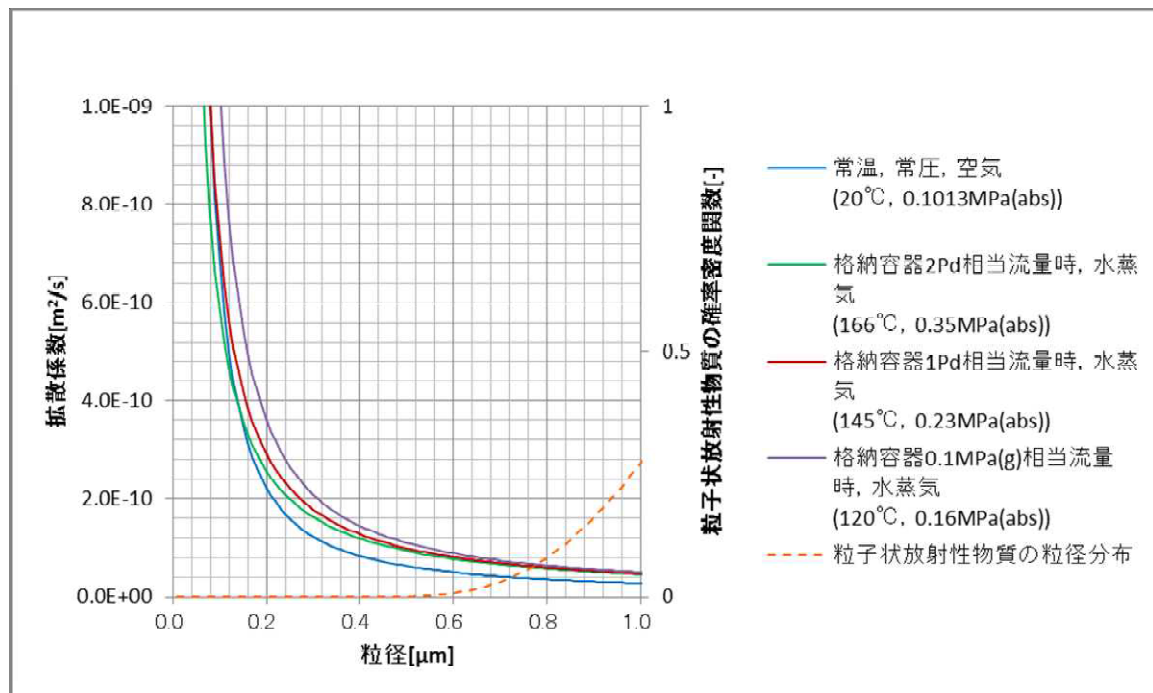
$$D = \frac{C_c kT}{3\pi\eta D_p} \quad (6)$$

ここで、kはボルツマン定数、Tはガス温度、 η はガス粘度、 C_c はスリップ補正係数 ((2) 式) である。

ここで、試験に用いている常温・常圧の空気と、実機で想定される水蒸気にて、各粒子径における拡散係数を算出したところ、第4-4図の通りとなった。第4-4図の通り、約0.1 μ m以上の粒子径領域であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりも拡散係数が小さいことがわかる。つまり、約0.1 μ m以上の領域であれば、空気の方が水蒸気よりも粒子のブラウン運動は激しくないことから、空気の方が水蒸気よりもブラウン拡散による粒子捕捉効果が小さいと考えられる。第4-4図中には有効性評価シナリオ (大LOCA+SBO+ECCS機能喪失, W/Wベント) 時にフィルタ装置に流入する粒子状放射性物質の粒子径分布を示

しているが、粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒子が大部分を占めている。また、性能試験においても、粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒子径領域の計測もできている。(第 3.2.2.3-1~3 図参照)

そのため、空気による性能試験は、実機よりも保守的な条件ということとなる。



第 4-4 図 粒径と拡散係数

【水蒸気凝縮による捕捉】

水蒸気がスクラバ水中へ流入する時、水蒸気の凝縮が起こり、凝縮による水蒸気の体積の減少分に相当する粒子が捕捉される。一方、空気は非凝縮性であるため、空気を用いた性能試験においては、ガスの凝縮による捕捉効果は見込めない。そのため、空気を用いた性能試験は、実機よりも保守的な条件ということとなる。

【熱泳動による捕捉】

ベントガスは、格納容器から急減圧されてフィルタ装置へ流入するため、過熱蒸気となっている。一方、スクラバ水はフィルタ装置内の圧力に準じた飽和温度以上にはならないことから、ベントガスの方がスクラバ水よりも高温の状態となっている。そのため、この温度勾配による熱泳動により、粒子が捕捉される。

性能試験においては、常温の空気を用いていることから、空気とスクラバ水の温度は等しい。そのため、常温の空気を用いた性能試験においては、熱泳動

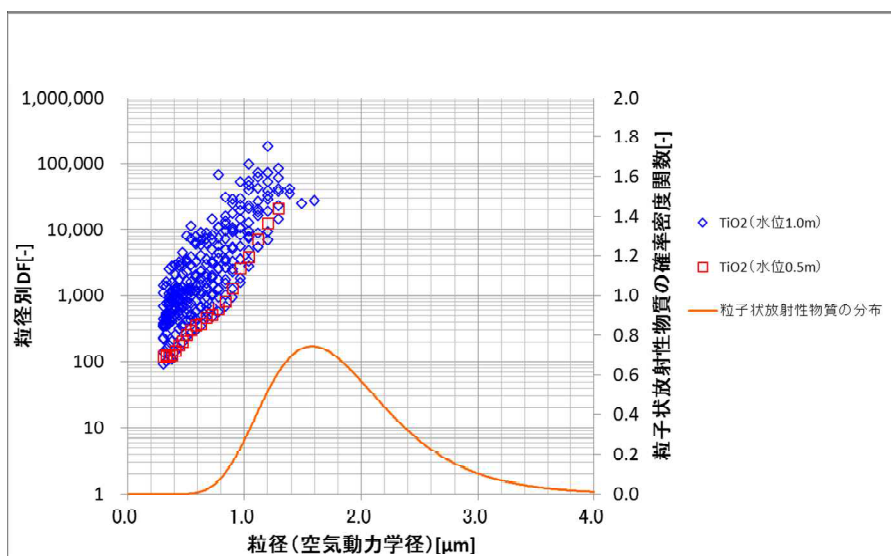
による捕捉効果は見込めないことから、実機よりも保守的な条件ということとなる。

以上より、フィルタ装置のそれぞれの捕捉メカニズムにおいて、空気の方が水蒸気よりも粒子の捕捉効果は劣ることから、空気を用いた性能試験は保守的であると考えられる。

5. スクラバ下限水位時のフィルタ装置の性能

フィルタ装置の運用水位の下限値は、スクラバ上端から 500mm の位置に設定している。下限水位時におけるフィルタ装置の DF 性能を確認するため、スクラバ水位を下限水位（スクラバ上端から 500mm）に設定し、除去性能確認試験を実施した。なお、ガスの流量は最小流量相当ならびに 2Pd 相当流量の 2 ケースにて試験を実施した。

試験結果を第 5-1 図、第 5-2 図に示す。また、比較としてスクラバ上端から 1000mm の時の試験結果も同一図にプロットする。試験結果より、スクラバ水位が下限水位であっても、スクラバ水位上端から 1000mm とほぼ同等の DF が確保できることが確認できた。



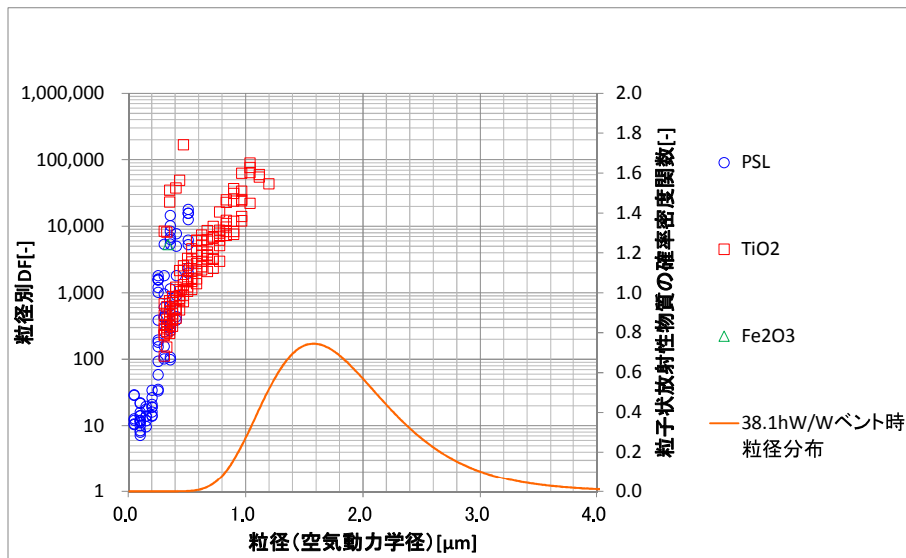
第 5-1 図 下限水位時 DF 性能試験結果（最小流量相当）



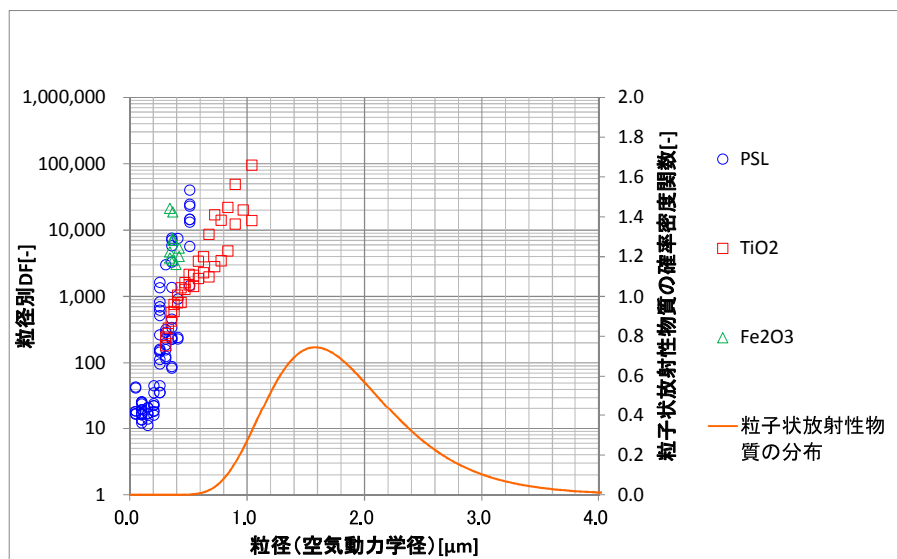
第 5-2 図 下限水位時 DF 性能試験結果（2Pd 相当流量）

6. オーバーオール DF

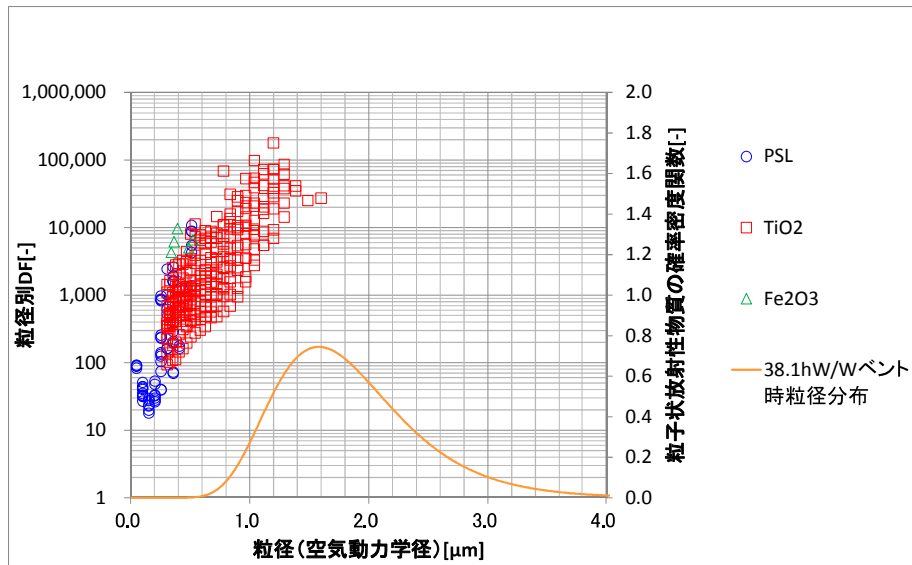
フィルタ装置の DF 性能では、第 6-1～3 図に示す通り、各流量に対して、各粒径における DF を評価してきた。



第 6-1 図 DF 性能試験結果 (2Pd 相当流量)



第 6-2 図 DF 性能試験結果 (1Pd 相当流量)

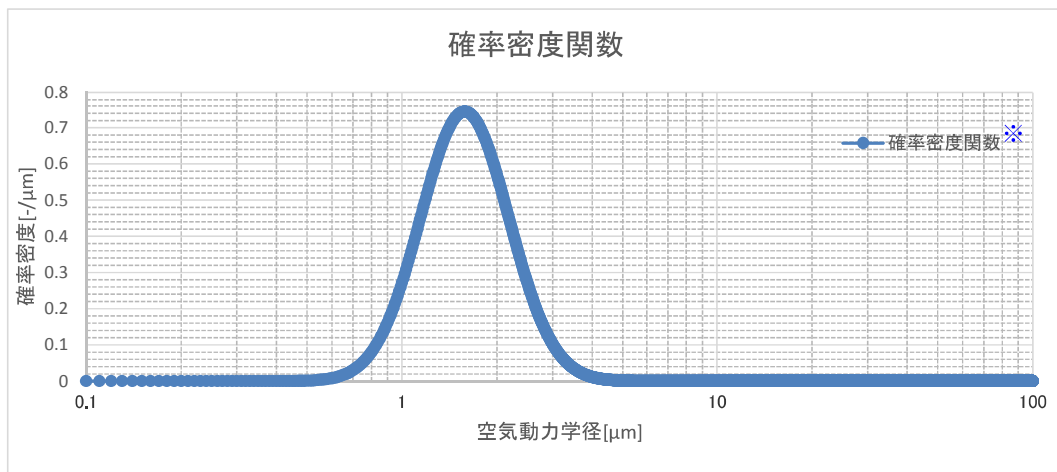


第 6-3 図 DF 性能試験結果 (最小流量相当)

一方、フィルタ装置に流入するエアロゾルは、粒径分布を持ったものであり、フィルタ装置の DF の評価は、流入するエアロゾルに対して、オーバーオールでどの程度低減されたかを示す必要がある。

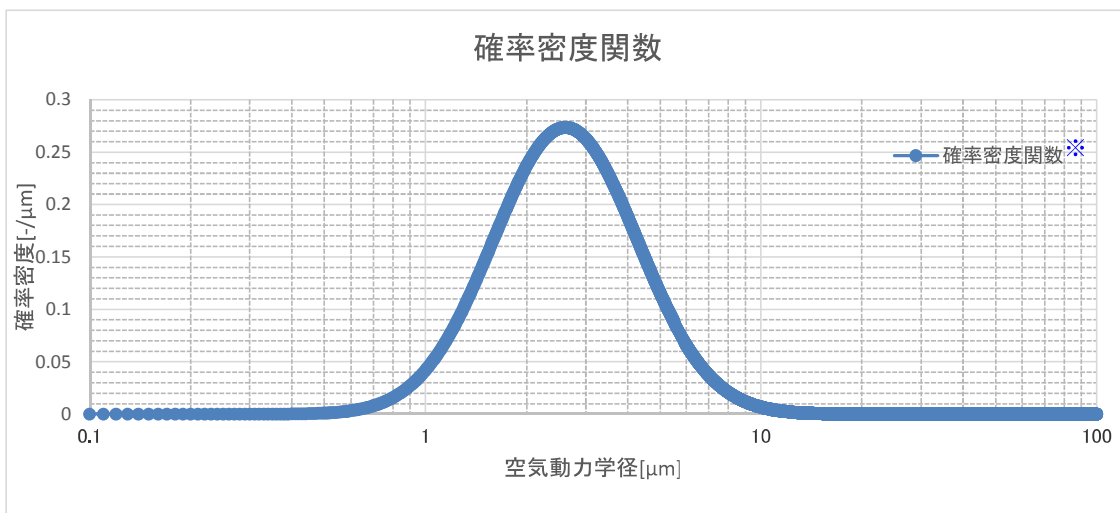
そこで、有効性評価シナリオである大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオの W/W ベントと D/W ベントにおいて、各流量におけるオーバーオールの DF を評価する。

まず、大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオの W/W ベントと D/W ベントにおける、フィルタ装置に流入するエアロゾル粒径分布は、第 6-4 図、第 6-5 図の通りとなる。



※ 質量分布にて表現している。

第 6-4 図 エアロゾル粒径分布 (大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失, W/W ベント)

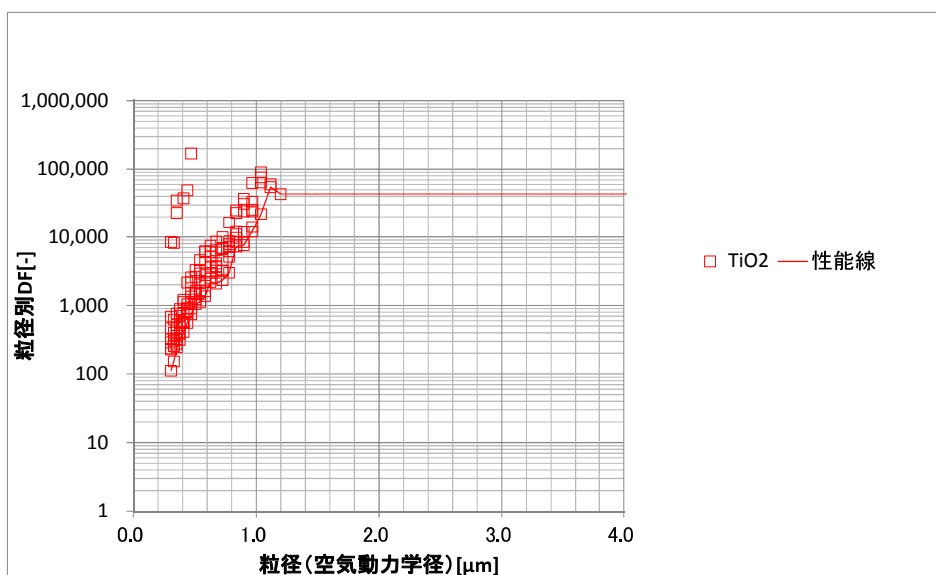


※ 質量分布にて表現している。

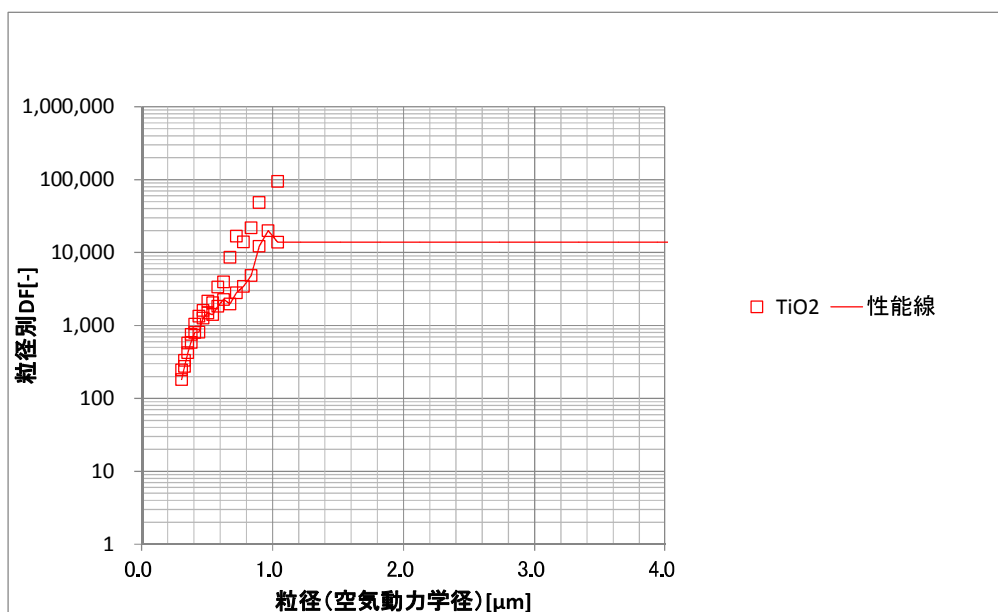
第 6-5 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，D/W ベント）

次に、フィルタ装置の DF 性能線を作成する。第 6-4 図, 第 6-5 図より、フィルタに流入するエアロゾルの粒径分布は、約 $0.7 \mu\text{m}$ 以上の領域に分布している。そのため、DF 計測試験結果のうち、 TiO_2 のデータが有効であると考ええる。そこで、DF 計測試験結果のうち、 TiO_2 のデータのみを抜き出し、保守的に DF の下限値で包絡する線を作成、それを DF 性能線とする。また、DF データが存在しない大粒径の DF は、保守的に存在する最大粒径における DF する。

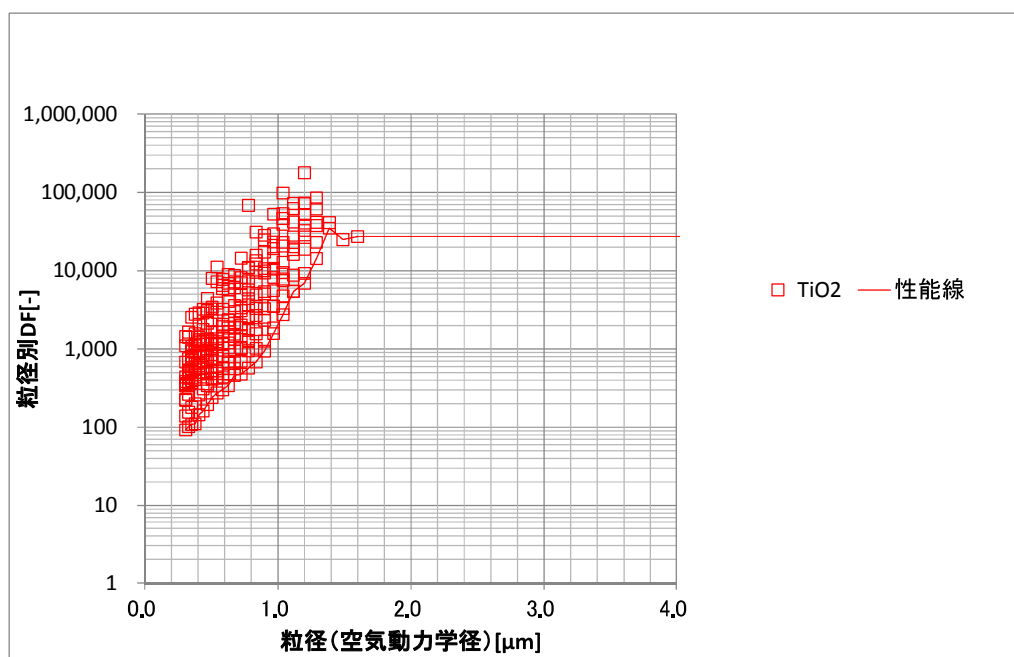
以上より、DF 性能線を作成すると、第 6-6～8 図の通りとなる。



第 6-6 図 DF 性能線（2Pd 相当流量）



第 6-7 図 DF 性能線 (1Pd 相当流量)



第 6-8 図 DF 性能線 (最小流量相当)

最後に、第 6-4 図、第 6-5 図の粒子径分布の粒子に対して、第 6-6～8 図に示す DF 性能線を用いて、(1)式によりフィルタ装置のオーバーオール DF を算出すると、第 6-1 表の通りとなった。

$$DF_{total} = \frac{\int M(D_p) dD_p}{\int \frac{M(D_p)}{DF(D_p)} dD_p} \quad (1)$$

DF(D_p)は、粒径 D_p におけるフィルタ装置の DF

M(D_p)は、フィルタ装置に流入する粒径 D_p のエアロゾルの総質量

第 6-1 表 オーバーオール DF（下限包絡性能線）

シナリオ	ガス流量	オーバーオール DF
大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失, W/W ベント	2Pd 相当流量	34110
	1Pd 相当流量	13342
	最小流量相当	9856
大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	40858
	1Pd 相当流量	13728
	最小流量相当	20323

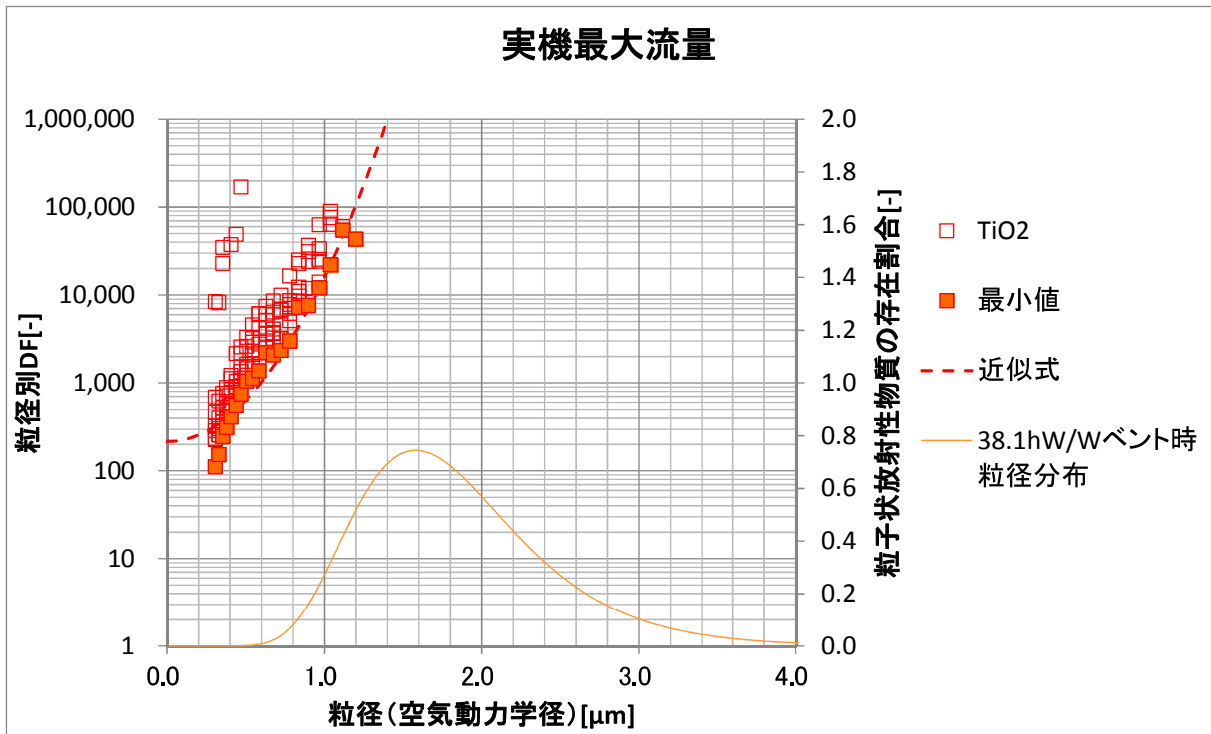
第 6-1 表より、大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失シナリオにおけるフィルタ装置のオーバーオールの DF は、1000 を大幅に上回っていることが確認できた。

また、第 6-1 表の W/W ベントと D/W ベントの評価結果を比較するとわかるように、粒子径分布が小粒径側にシフトするとオーバーオール DF は低く、粒子径分布が大粒径側にシフトするとオーバーオール DF は高くなる。

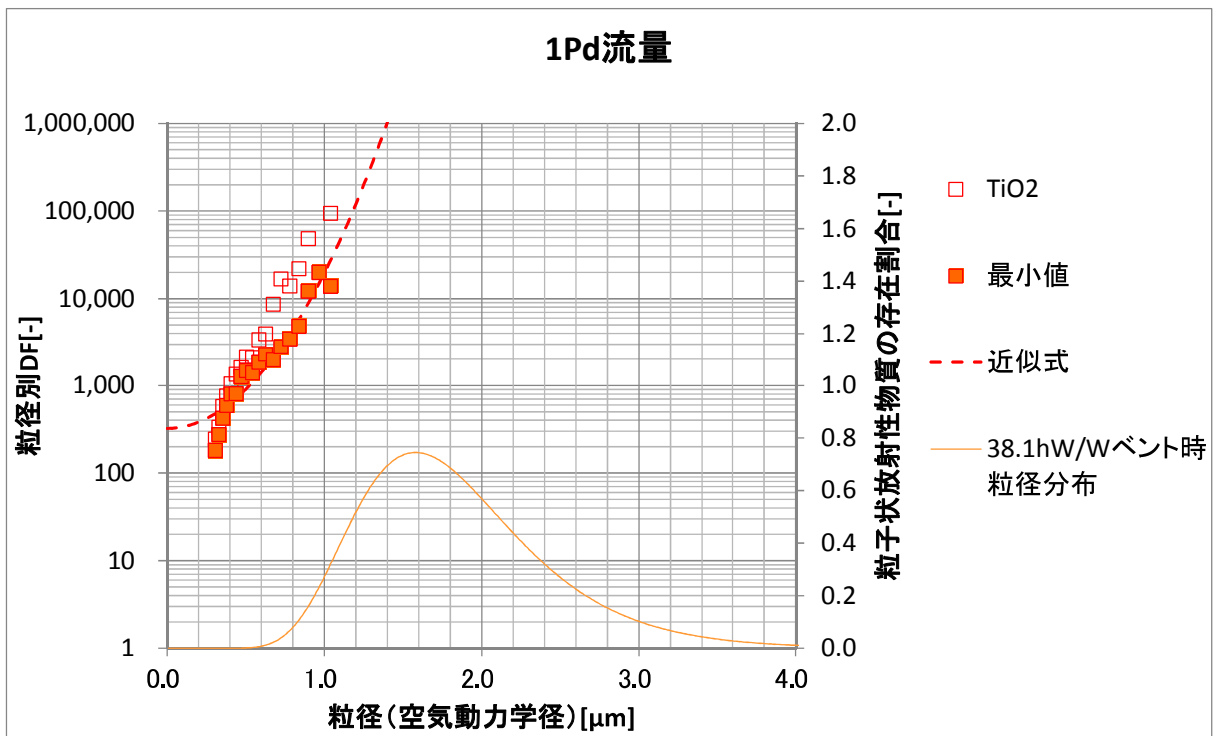
なお、大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失シナリオの D/W ベントにおいては、最小流量相当の方が、1Pd 相当流量よりもオーバーオール DF が大きくなっている。これは、第 6-7 図、第 6-8 図より、最小流量相当の方が DF を計測できている粒子径が大きく、DF データが存在しない大粒径の DF を大きく見積もることができているためである。

一方、上記評価においては、DF データが存在しない大粒径の DF は、データが存在する最大粒径の DF であるとし、オーバーオール DF を算出している。しかし、実際は今回 DF データが存在しない 1.0 μm 程度以上の粒子径領域の粒子においては、粒子径が大きい程 DF も大きくなる。

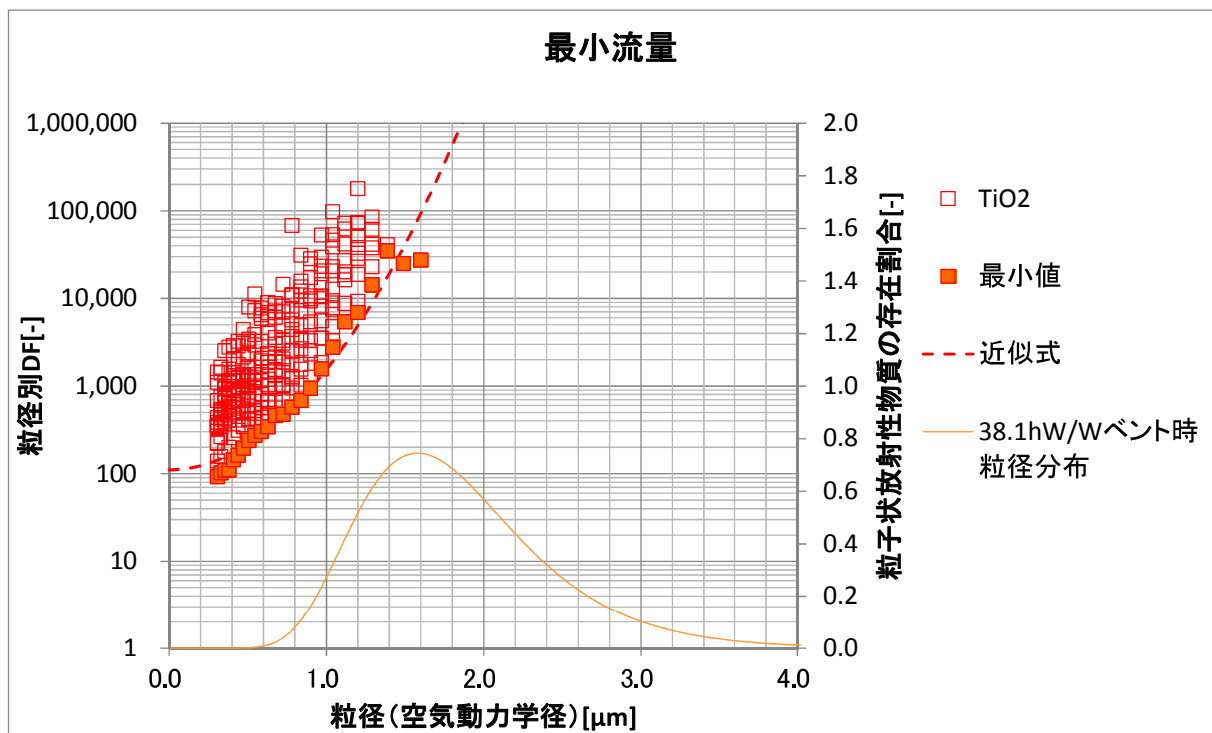
そこで、より現実的な評価として、DF データをフィッティングするカーブを作成し、それを DF 性能線とし、DF データが存在しない粒子径領域の DF についても、この DF 性能線上の DF であるすることで、オーバーオールの DF を算出することとする。フィッティングカーブを作成する際の DF データは、保守的に各粒子径における最小値を用いることとする。フィッティングカーブは第 6-9～11 図の通りとなる。これを DF 性能線とする。



第 6-9 図 DF 性能線 (2Pd 相当流量)



第 6-10 図 DF 性能線 (1Pd 相当流量)



第 6-9 図 DF 性能線（最小流量相当）

これらの DF 性能性を用いて、第 6-4 図、第 6-5 図の粒子径分布の粒子に対して、(1)式によりフィルタ装置のオーバーオール DF を算出すると、第 6-2 表の通りとなった。

第 6-2 表 オーバーオール DF（フィッティング性能線）

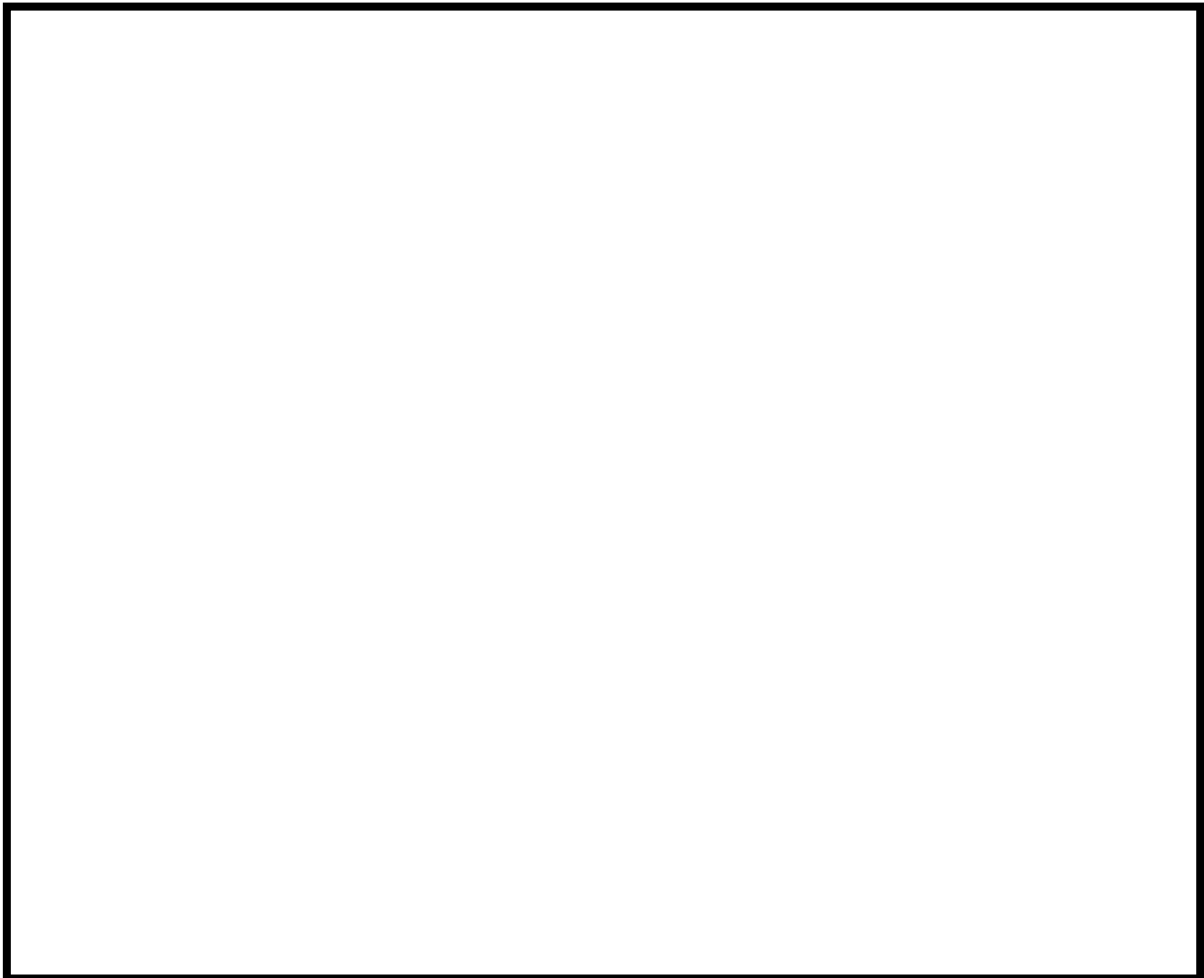
シナリオ	ガス流量	オーバーオール DF
大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失, W/W ベント	2Pd 相当流量	91689
	1Pd 相当流量	117459
	最小流量相当	10199
大 LOCA + SBO + ECCS 機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	417803
	1Pd 相当流量	546628
	最小流量相当	54584

第 6-2 表によるオーバーオール DF は、第 6-1 表と比較し大幅に大きくなっているが、第 6-2 表の値がより確からしい実力値であると考えられる。また、第 6-1 表の評価方法は非常に保守的であることがわかる。

7. 蒸気を用いた性能試験

これまでの DF 性能試験では、試験ガスとして常温の空気を用いて試験を実施してきた。これは、「4. 試験ガスの代表性について」に記載の通り、蒸気よりも空気の方がフィルタ装置の粒子捕捉メカニズムを考慮すると DF 性能に対して保守的であるという考察を基にした設定である。

一方、実機ベントガスの主成分は蒸気であることから、蒸気による DF 性能試験についても実施した。試験設備の構成を第 7-1 図に、試験条件を第 7-1 表に示す。

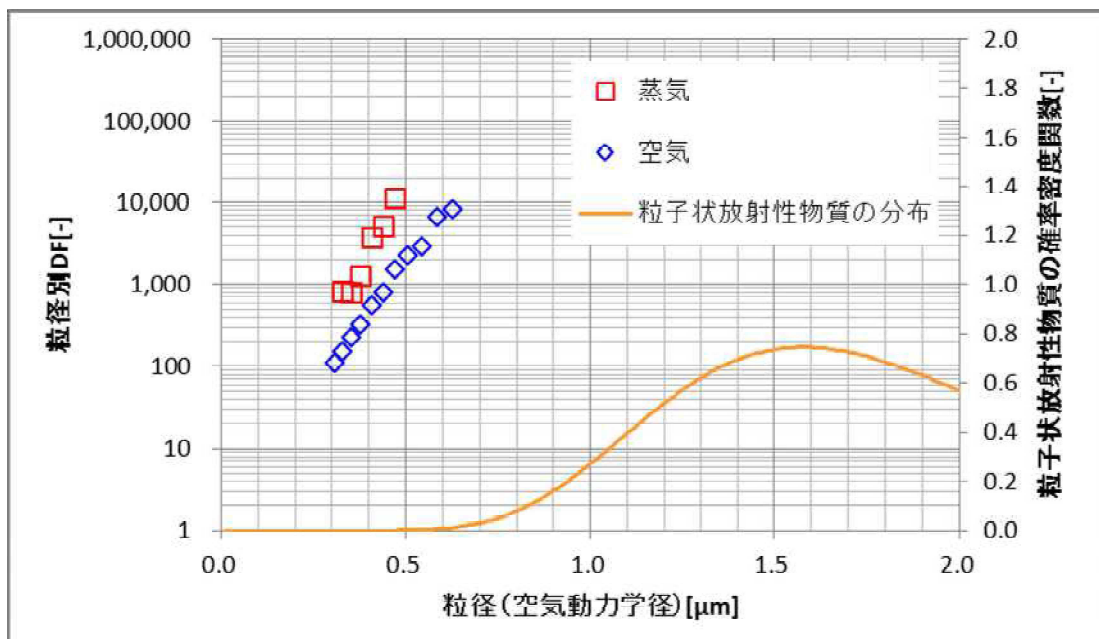


第 7-1 図 試験概要図（蒸気性能試験）

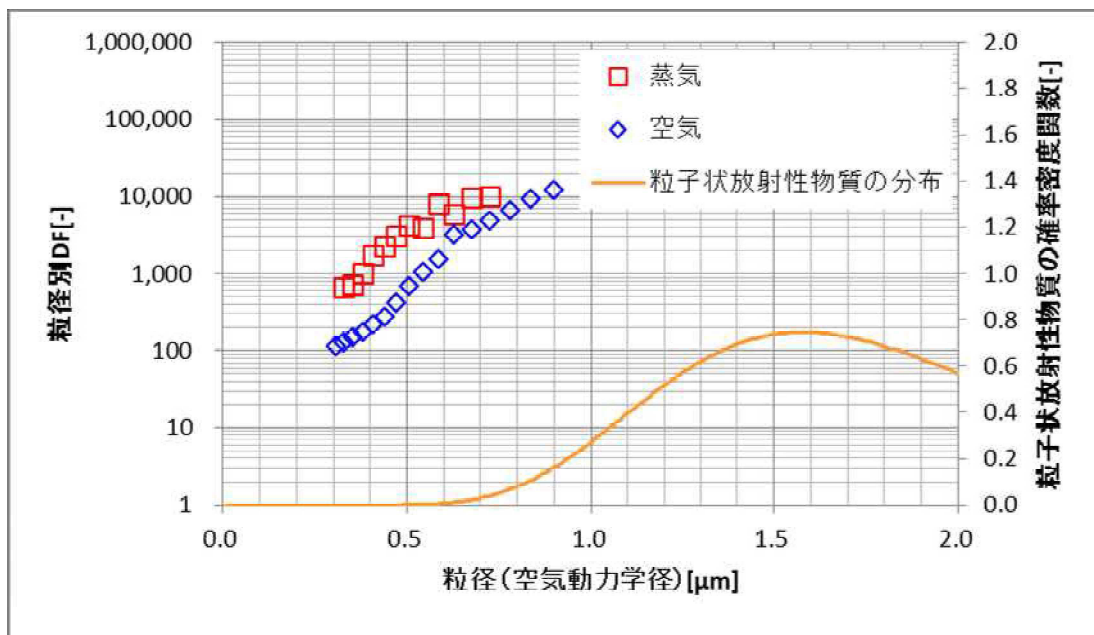
第 7-1 表 蒸気試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・ 実機高さ試験装置
試験ガス	・ 蒸気＋空気（エアロゾル送気用） ・ 試験時蒸気割合：約 95%（2Pd 相当流量） 約 88%（最小流量相当）
スクラバ水位	・ 1m
ガス・スクラバ水温度	・ 約 100℃
ガス体積流量	・ 2Pd 相当流量 ・ 最小流量相当
試験エアロゾル	・ TiO ₂

上記の条件にて試験を実施した結果，蒸気試験におけるの DF は第 7-2 図，第 7-3 図の通りとなった。これらより，蒸気試験における DF の方が，空気試験における DF よりも大きいことがわかり，フィルタ装置はベントガスが蒸気の条件においても，十分な性能を有していることが確認できた。また，「4. 試験ガスの代表性について」にて理論的に示した通り，空気試験は蒸気試験よりも保守的であることが確認できた。なお，空気試験については蒸気試験と条件を合わせるため，実機高さ試験装置にて計測した DF を記載している。



第 7-2 図 蒸気性能試験結果（2Pd 相当流量）



第 7-3 図 蒸気性能試験結果 (最小流量相当)

8. 試験条件の網羅性

格納容器圧力逃がし装置使用時にフィルタ装置に作用する物理パラメータには、スクラバ水位、スクラバ水温、ベントガス性状、ベントガス流量、フィルタ装置内圧力がある。また、フィルタ装置には、粒子径分布をもったエアロゾルが流入する。

これらフィルタ装置に作用する物理パラメータについては、下記の通り実機条件を網羅するか、もしくは実機よりもエアロゾル除去性能 (DF) が小さく保守的な条件を、試験条件として設定している。

【スクラバ水位】

スクラバ水位は高い程 DF は大きくなる。フィルタ装置使用中は、スクラバ水位変動要因としてベントガスに含まれる水蒸気の凝縮の影響が支配的となり、スクラバ水位は上昇する。そのため、スクラバ水位が初期水位の 1m 以下となることはない。そのため、保守的にスクラバ水位は 1m を試験における基本条件とする。

一方、スクラバ水の運用上の最低水位は 0.5m としている。そのため、スクラバ水位 0.5m における試験も実施し、DF は所望の性能を満たせることを確認している。(『5. スクラバ下限水位時のフィルタ装置の性能』参照)

【スクラバ水温】

スクラバ水温は低い程水蒸気凝縮や熱泳動によるメカニズムによる DF は大きくなる。試験における基本条件としては常温とするが、試験ガスとして水蒸気凝縮や熱泳動による DF を見込めない常温空気と組み合わせて試験を実施することから、保守的な条件となる。

一方、スクラバ水高温状態における条件として、水温を飽和温度まで昇温し、試験ガスとして水蒸気と組み合わせた試験を実施し、基本条件として設定したスクラバ水常温 + 常温空気の条件よりも DF が大きくなることを確認している。(『7. 蒸気を用いた性能試験』参照)

【ベントガス性状】

ベントガスの主成分は水蒸気である。水蒸気は凝縮や熱泳動によるメカニズムが作用すること、ならびに慣性力、重力沈降、ブラウン拡散による各捕捉効果が大きいことから、空気よりも DF は大きくなる(『4. 試験ガスの代表性について』参照)。そのため、試験ガス条件としては常温空気を用いることを基本条件とする。

一方、試験ガス条件として水蒸気を用いた試験を実施し、基本条件である常温空気の条件よりも DF が大きくなることを確認している。(『7. 蒸気を用いた性能試験』参照)

【ベントガス流量】

ベントガス流量については、実機にて想定される体積流量を網羅するよう、試験条件を設定している。

また、実機では二次隔離弁は中間開度に設定してベントを行うが、仮に二次隔離弁を全開とした場合の流量においても試験を実施し、DF は所望の性能を満たせることを確認している。(『1. 超過流量状態における DF 性能について』参照)

【フィルタ装置内圧力】

フィルタ装置内圧力については、基本条件として常圧条件とした。

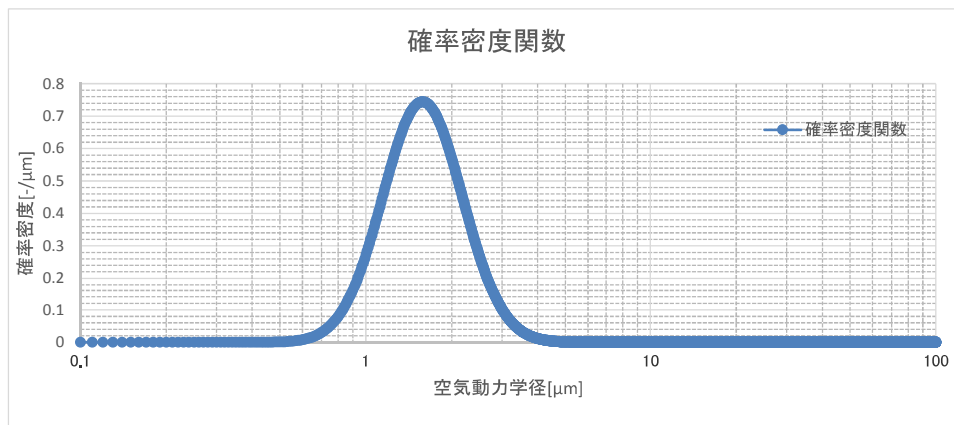
一方、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響を確認するため、フィルタ装置内圧力を 0.31MPa, 0.62MPa (gage) に加圧した状態で試験を実施し、実機で想定される径の粒子においては、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響はないことを確認している。(『2. フィルタ装置内圧力の DF への影響について』参照)

第 8-1 表 フィルタ装置物理パラメータと試験条件

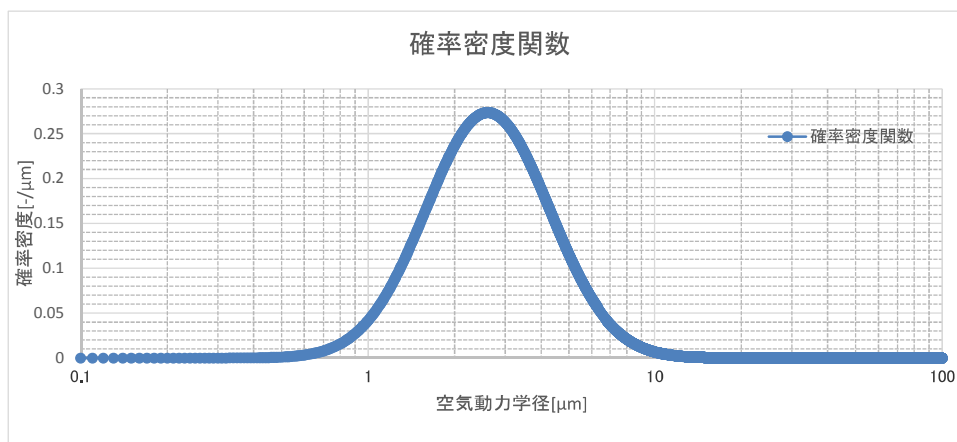
物理パラメータ	実機条件	試験条件
スクラバ水位	【実機運転時変動範囲】 1m～2.2m 【設定下限水位】 0.5m	【基本条件】 1m 【最低水位条件】 0.5m
スクラバ水温	【実機運転時変動範囲】 常温～飽和温度	【基本条件】 常温 【高温条件】 飽和温度
ベントガス性状	【実機運転時条件】 水蒸気 (主成分)	【基本条件】 常温空気 【蒸気条件】 水蒸気
ベントガス流量	【実機運転時変動範囲】 14500m ³ /h～33000m ³ /h 【超過流量 (二次隔離弁全開)】 37000m ³ /h	【基本条件】 33000 m ³ /h 相当 27000 m ³ /h 相当 13500 m ³ /h 相当 【超過流量条件】 37000 m ³ /h 相当
フィルタ装置内圧力	【実機運転時変動範囲】 0.03MPa (gage)～0.5MPa (gage)	【基本条件】 常圧 【圧力影響確認試験】 0.31MPa (gage) 0.62MPa (gage)

【エアロゾル粒径分布】

大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失シナリオの W/W ベントならびに D/W ベント時のフィルタ装置に流入するエアロゾル粒径は第 8-1, 2 図の通りとなる。W/W ベントにおいては約 $0.7\ \mu\text{m}$ ～約 $3.5\ \mu\text{m}$ 、D/W ベントにおいては約 $0.7\ \mu\text{m}$ ～約 $10\ \mu\text{m}$ の範囲で粒子が分布している。なお、第 8-1, 2 図にて粒子径を空気動力学径^{*1}にて示しており、物理径から空気動力学径へ換算するときの粒子密度としては、保守的にベント時にフィルタ装置に流入する主要核種のうち、密度の小さい CsOH の値を設定している。



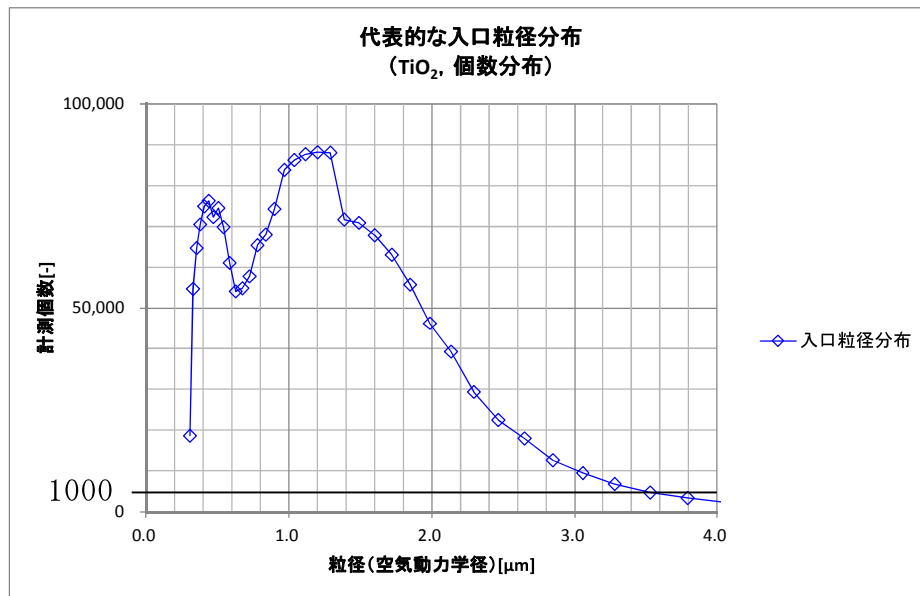
第 8-1 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, W/W ベント）



第 8-2 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, D/W ベント）

また、試験にて使用しているエアロゾルの粒径分布を第 8-3 図に示す。第 8-3 図より、約 $3.5\ \mu\text{m}$ までは粒子個数が 1000 個を超えており、DF1000 を計測可能である。フィルタ装置の捕捉メカニズムには拡散効果、慣性効果、重力沈降等が考えられるが、拡散効果以外の慣性効果、重力沈降速度等は、粒子径が大きい程 DF が大きくなる方向へ寄与する。拡散効果は粒子径が小さい程 DF が大きくなる方向に寄与するが、拡散による粒子捕捉効果が得られるのは、約 $0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ よりも小さい粒子である。そのため、実機で想定される約 $0.7\ \mu\text{m}$ 以上の粒子に対しては、拡散による捕捉効果は非常に小さく、それ以外の慣性力等のメカニズムによる捕

捉が支配的である。よって、実機で想定される粒子径領域においては、粒子径が大きい程 DF は大きくなると考えられる。フィルタ装置に流入するエアロゾルは $3.5\mu\text{m}$ より大きいものも含まれるが、その DF は試験用エアロゾルで網羅できている小さい粒子径における DF よりも小さくなることはない。したがって、試験用エアロゾルが実機に流入するエアロゾルの粒径分布の大粒径側を網羅できていなくても、DF を保守的に評価することは可能である。



第 8-3 図 試験用エアロゾルの粒径分布

※ 1 空気動力学径

異なる密度の粒子を同じ空気動力学特性を持つ密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$ の粒子に規格化したものであり、空気動力学径が同じであれば、その粒子は密度や物理的な大きさとは関係なく、同じ空気動力学挙動を示す。

上記の特性から、フィルタ装置の性能評価においては、粒子の径として空気動力学径を用いている。

なお、物理的な粒子径を空気動力学径へ変換する際は、物理的な粒子径に粒子密度の平方根を乗じることで算出している。

別紙7 格納容器圧力逃がし装置系統内における可燃性ガスの燃焼について

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置には、過酷事故時に格納容器内にて発生する可燃性ガスが流入する。可燃性ガスとしては、燃料被覆管のジルコニウムと水が反応して生成される水素があり、有効性評価シナリオである大LOCA+SB0+ECCS機能喪失シナリオにおいては、ベント前の格納容器内ガスのおよそ30%（モル分率）が水素となっている。また、MCCI（溶融炉心・コンクリート相互作用）が発生するTQUVシナリオにおいては、燃料被覆管のジルコニウムと水が反応して生成される水素に加え、MCCIにより、水素ならびに一酸化炭素が発生する。また、よう素フィルタにおいて有機よう素を吸着する際には、可燃性ガスの[]が発生する可能性がある。

これらの可燃性ガスが格納容器圧力逃がし装置系統内で燃焼すると、格納容器圧力逃がし装置の機器や配管が損傷する恐れがある。特に、ベント開始直後においては、系統内が冷えた状態となっているため、ベントガスに含まれる水蒸気が凝縮することで、ベントガス中の非凝縮性可燃性ガスの濃度が上昇し、系統内での燃焼のリスクが大きくなる。

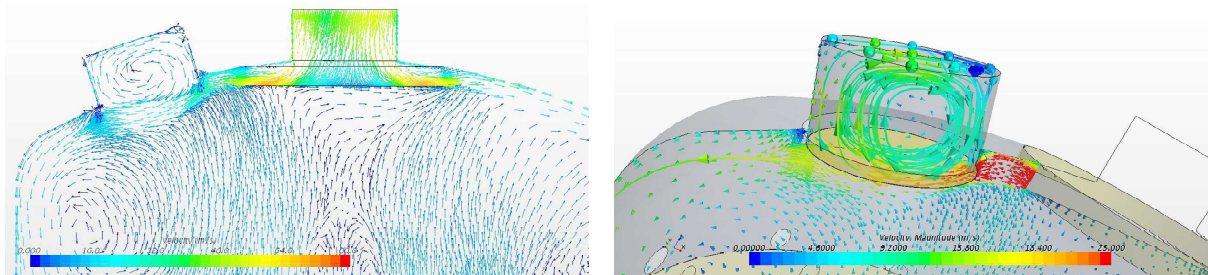
そのため、格納容器圧力逃がし装置は、待機時に系統内を窒素置換することとしている。それにより、ベント開始直後にベントガス中の非凝縮性可燃性ガスの濃度が上昇したとしても、系統内に酸素は殆ど存在しないため、可燃性ガスの燃焼は起こらない設計としている。また、ベント開始後には、常にベントガスの流れがあることから、排気口から空気が格納容器圧力逃がし装置内に逆流することはないため^{※1}、外部から系統内に酸素が供給されることはない。よって、ベント実施中は、系統内は不活性な状態が維持されることになる。

一方、ベントガスには、格納容器内やフィルタ装置内の水の放射線分解により、微量の水素と酸素が混入し続ける。そのため、閉塞端部において、この水素と酸素の混合ガスが蓄積し、局所的な燃焼を引き起こす恐れがある。このような閉塞端としては、格納容器圧力逃がし装置系統内の上り配管端部（例えば格納容器圧力逃がし装置と他系統を仕切る弁までの範囲等）や、よう素フィルタの上部マンホールが挙げられる。

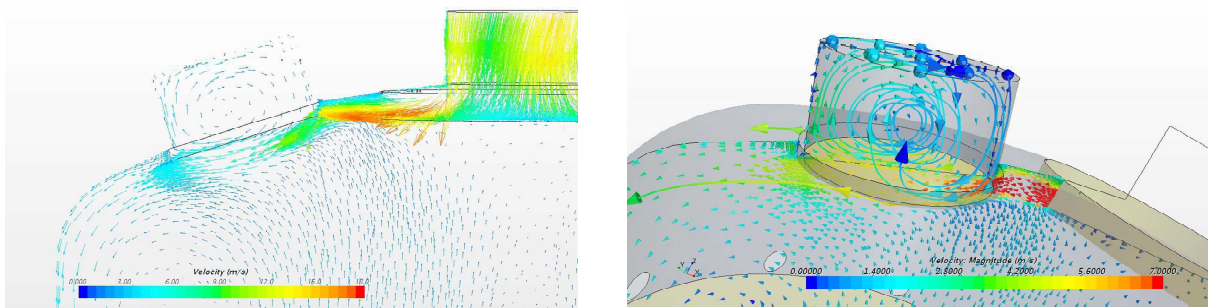
まず、格納容器圧力逃がし装置系統内の上り配管端部のうち、水素と酸素の混合ガスが蓄積する恐れのある箇所については、別紙19に示すように、混合ガスを排出するためのベントラインを設置し、混合ガスの蓄積を防止することとしている。また、よう素フィルタの上部マンホールについては、流動解析によりマンホール内を換気する流れによって、混合ガスの蓄積は生じないことを確認している（第1, 2図参照）。

そのため、格納容器圧力逃がし装置系統内においては、可燃性ガスの燃焼は生

じないと考えられる。



第1図 よう素フィルタ上部マンホール内ガス流れ状態
[ベントガス組成：水蒸気 100%，ガス流量：15.8kg/s]



第2図 よう素フィルタ上部マンホール内ガス流れ状態
[ベントガス組成：水蒸気 100%，ガス流量：2.48kg/s（事故後1ヶ月後の流量）]

※1 格納容器ベント実施直後は、水蒸気、窒素、水素等の混合流体がフィルタ装置に流入するが、水蒸気の一部はスクラバ水に熱を奪われ凝縮する。スクラバ水が沸騰するまでにフィルタ装置に流入する水蒸気の全量が凝縮し続けると仮定した場合でも、沸騰するまでの間（1時間以内）水素や窒素はフィルタ装置へ継続して流入（1000m³/h以上）するため、フィルタ装置の下流側の流量は維持される。また、沸騰した後はフィルタ装置に流入する水蒸気は凝縮されず、フィルタ装置の下流側の流量は維持される。以上のことより、フィルタ装置の下流側の流量は維持され、対向流は発生しない。

別紙 8 ベント方法及び放出位置を変更することによる公衆被ばくへの影響

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

柏崎刈羽 6/7 号炉の有効性評価の「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」の事故シーケンスにおいては、事象発生から約 38 時間後に格納容器スプレイを停止し、その後にウェットウェルベント（W/W ベント）を実施している。

一方、有効性評価においては W/W ベントを実施しているが、ドライウェルベント（D/W ベント）を実施することも可能である。

ここでは、炉心損傷に至る代表的な事故シーケンスである「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」の事故シーケンスにて、ベントライン（W/W ベントまたは D/W ベント）及び放出位置（格納容器圧力逃がし装置配管または主排気筒）を変更することによる公衆被ばくへの影響を評価した。

(1) 選定する事故シーケンス

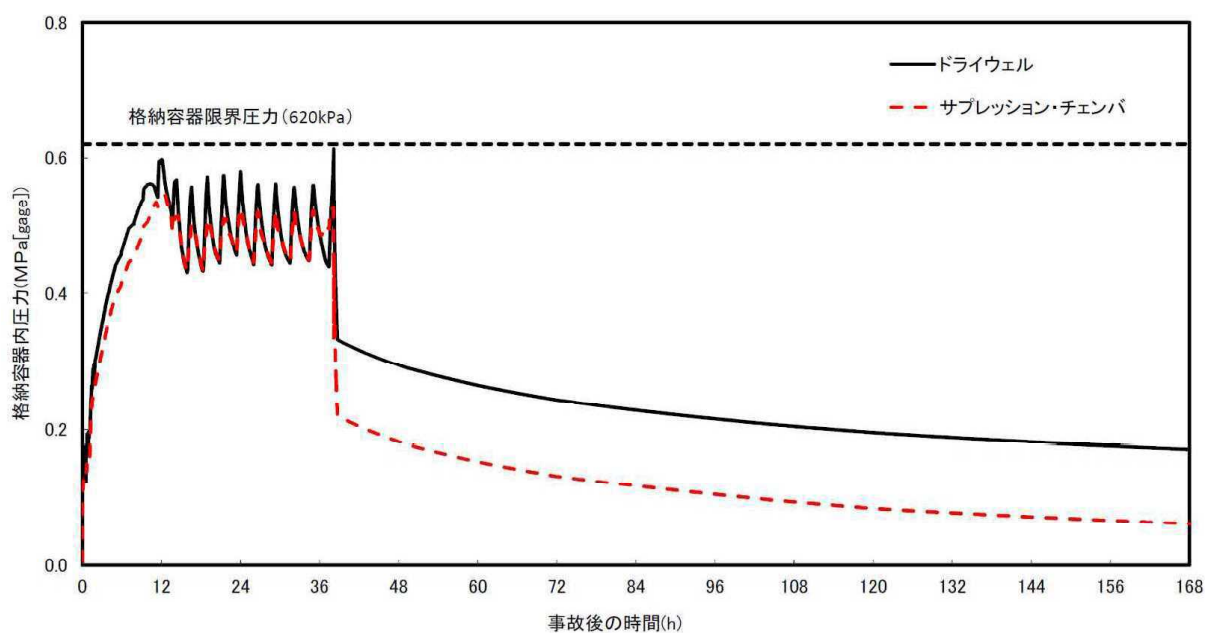
ベントライン及び放出位置を変更することによる公衆被ばくへの影響を評価するための事故シーケンスとして、ここでは以下の 2 つを選定した。

a. 38 時間 W/W ベントシナリオ

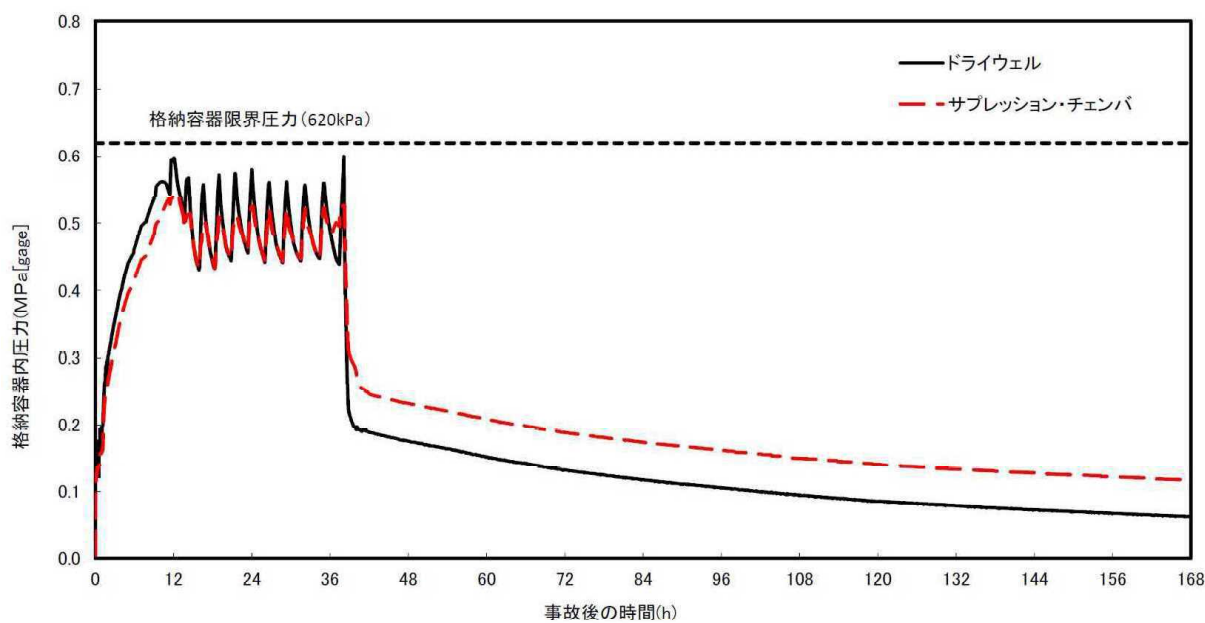
柏崎刈羽 6/7 号炉の有効性評価の「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」と同一の事故シーケンスであり、事象開始から約 38 時間後に W/W ベントを実施する。ベント時に格納容器から放出され、格納容器圧力逃がし装置に流入する Cs-137 の放射エネルギーは、約 1.4 TBq となる。格納容器圧力の推移を第 8-1 図に示す。

b. 38 時間 D/W ベントシナリオ

a. と同一の事故シナリオであるが、事象開始から約 38 時間後に D/W ベントを実施する。ベント時に格納容器から放出され、格納容器圧力逃がし装置に流入する Cs-137 の放射エネルギーは、約 2000 TBq となる。格納容器圧力の推移を第 8-2 図に示す。



第 8-1 図 38 時間 W/W ベントシナリオの格納容器圧力の推移



第 8-2 図 38 時間 D/W ベントシナリオの格納容器圧力の推移

(2)被ばく量評価方法

a. 評価コード

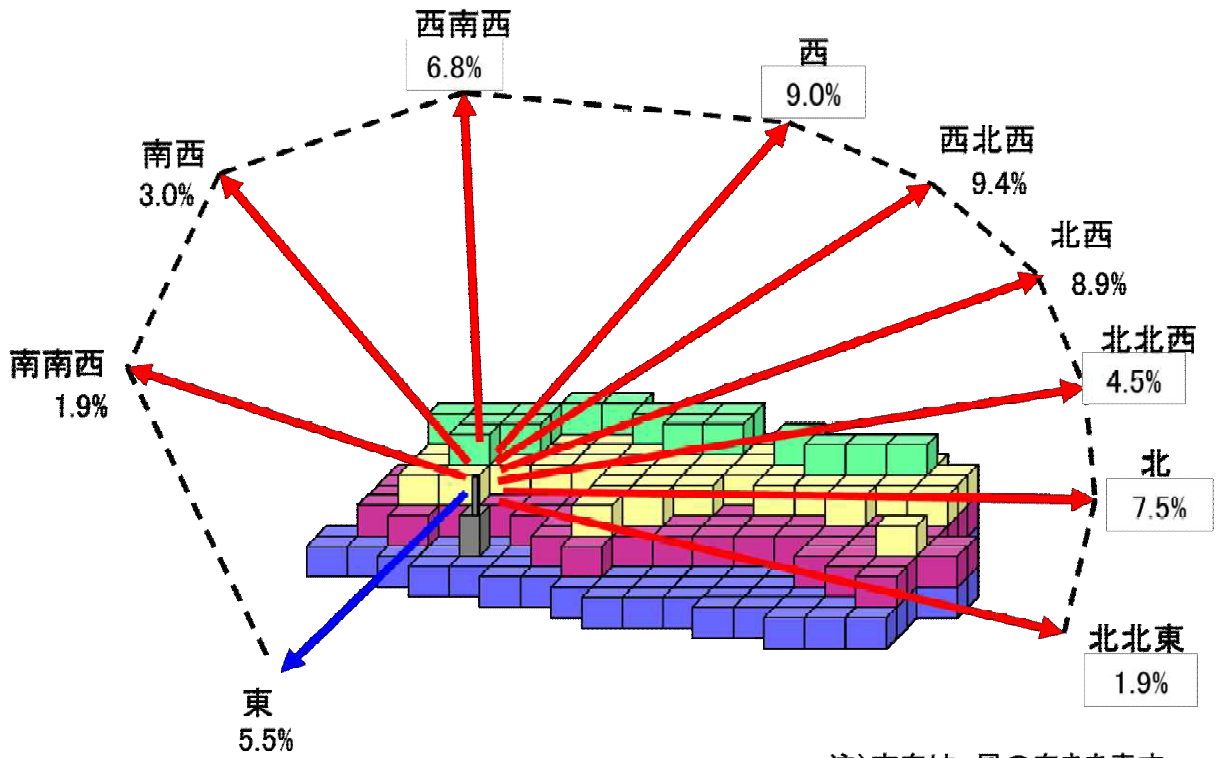
被ばく量評価において、ここでは3次元移流拡散評価コードを備えた原子力発電所周辺線量予測評価システム（以下、DIANA）を利用した。DIANAには、「国土数値情報 行政区域データ「平成26（2014）年4月1日時点」」を参照し、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形データを再現したブロック図がインプットされており、地形の形状を考慮した大気拡散評価が可能である。

b. 評価条件

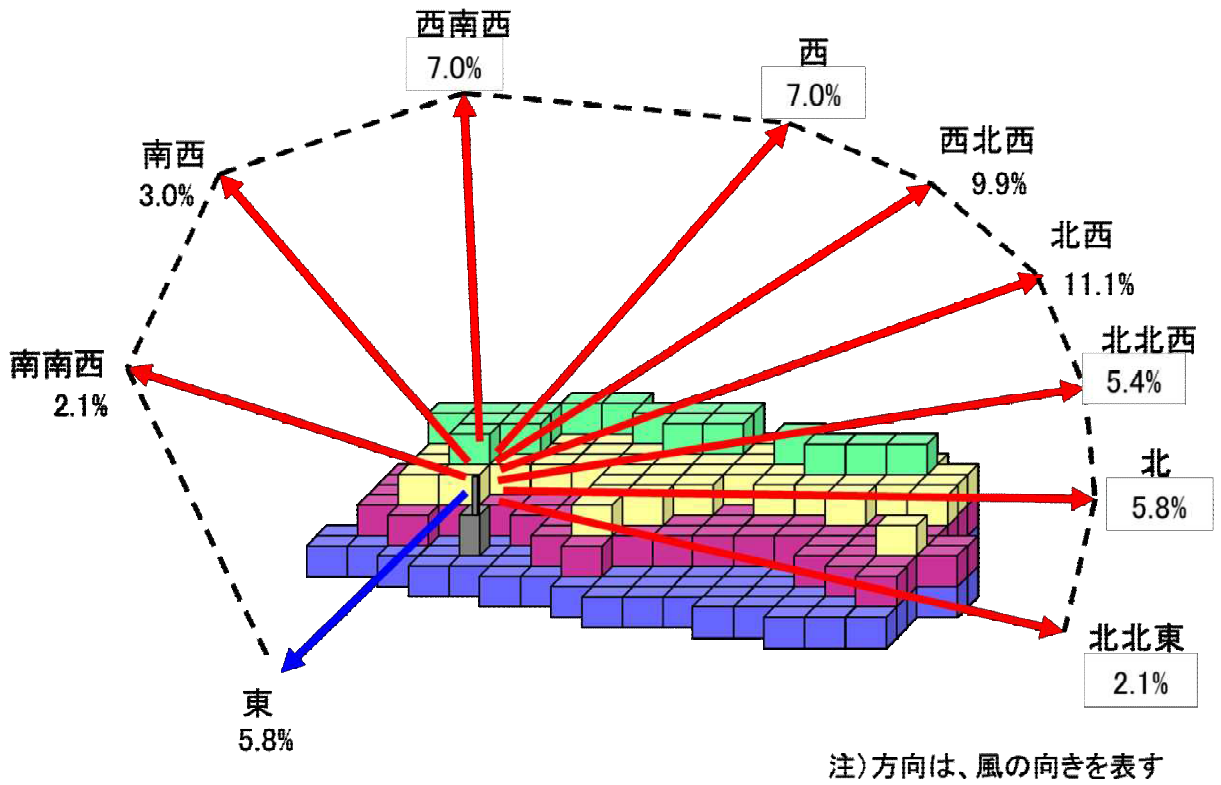
格納容器ベント実施に伴う公衆の被ばく量は、大気中に放出される放射能量の他に、格納容器ベント実施後の気象条件に強く依存する。ここではベントライン及び放出位置を変更することによる被ばく量への影響を明確にするため、気象条件（風向、風速、大気安定度）が時間によらず一定であるとして評価した。具体的な評価条件を第8-1表に示す。また、参考として、柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された風向の、年間（1985年10月～1986年9月）の出現頻度を第8-3図から第8-5図に示す。

第8-1表 DIANAを用いた大気拡散評価条件

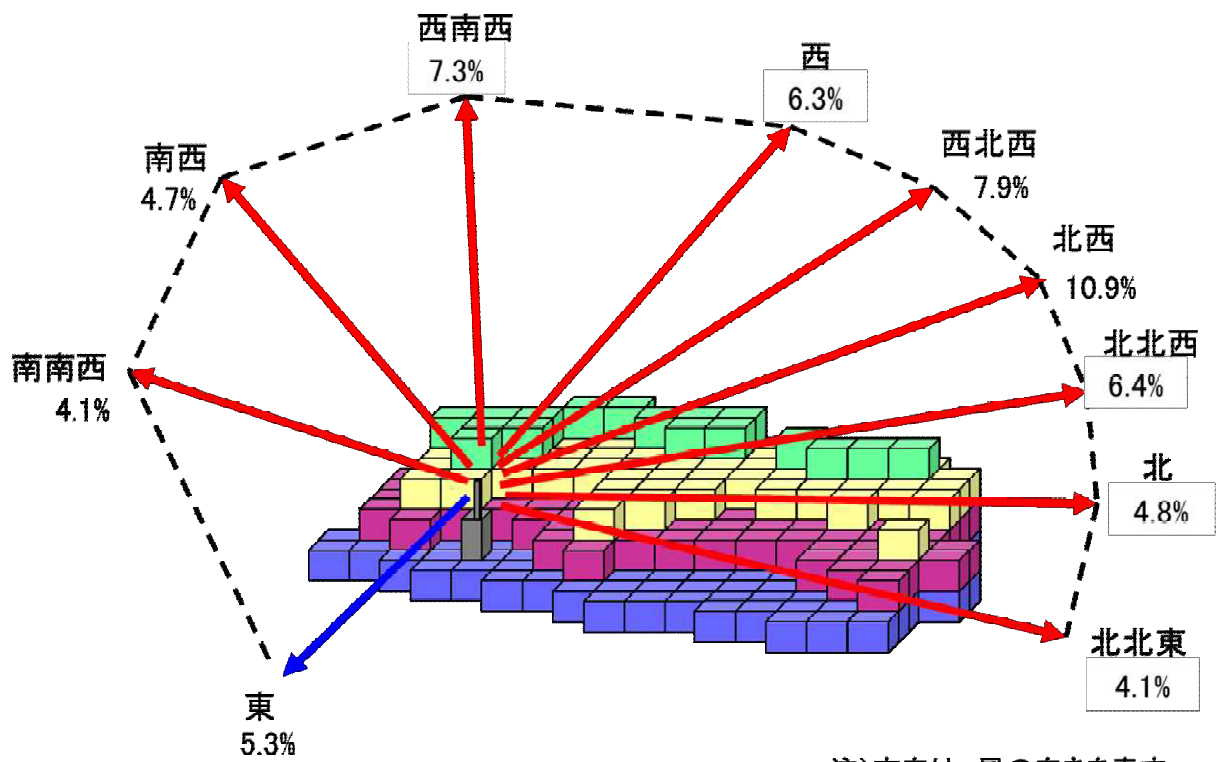
項目	選定内容	設定事由
風速	地上高10m：3.1m/sec 地上高75m：5.8m/sec 地上高150m：5.9m/sec	柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された年間（1985年10月～1986年9月）の平均風速を参照
風向	陸向き：南南西, 南西, 西南西, 西, 西北西, 北西, 北北西, 北, 北北東 海向き：東	拡散が地形形状に影響されることを考慮し、陸側は全方位を選定。参考として海側方位も選定
大気安定度	D（中立）	柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された大気安定度のうち、年間（1985年10月～1986年9月）で最も出現頻度の高い大気安定度を採用
放出位置	6号炉主排気筒（地上高73m）、 6号炉格納容器圧力逃がし装置配管（地上高40.4m）	7号炉でも同様の結果が得られると考えられるため、6号炉で代表して評価
評価地点	発電所敷地境界、 発電所中心位置から5km地点	距離に対する依存性を確認するため、発電所中心位置から5km地点を評価



第 8-3 図 風向出現頻度 (地上高 10m)



第 8-4 図 風向出現頻度 (地上高 75m)



第 8-5 図 風向出現頻度 (地上高 150m)

(3) 評価結果

a. ベントラインの違いによる影響

各事故シナリオにおける希ガスによる外部被ばく評価結果を第 8-2 表に示す。ここでは、事故シナリオの違いによる影響を明確にするため、38 時間 W/W ベントシナリオ時の評価値を 1 に規格化した相対値を示した。

38 時間 D/W ベントシナリオ時の相対値は約 0.81^{※1}となった。このことから、希ガスによる外部被ばくの、ベントラインの違いによる影響は限定的であると考えられる。

※1 38 時間 D/W ベントシナリオ時の相対値は 38 時間 W/W ベントシナリオ時と比べ小さくなっている。これは、38 時間 D/W ベントシナリオにおいては、格納容器ベント実施後も希ガスの一部が W/W 気相部に閉じこめられ、しばらくの間格納容器外に放出されないためである。

なお、(1)に示したとおり、ベント時に格納容器外に放出され、格納容器圧力逃がし装置に流入する Cs-137 の放射エネルギーは、2 つの事故シナリオの中で 38 時間 W/W ベントシナリオが約 1.4TBq と、38 時間 D/W ベントシナリオの約 2000TBq に比べ小さい。これは W/W ベントを行うことで、Cs-137 が W/W スクラビング効果等により格納容器内で更に除去されるためである。このため、長期に渡る土壌汚染を抑制するという観点では、2 つの事故シナリオの中では 38 時間 W/W ベントを選択することが好ましいと考えられる。

第 8-2 表 希ガスによる外部被ばく量の相対値(事故シナリオの違いによる影響)

事故シナリオ	希ガスによる外部被ばく量の 相対値の評価結果 (実効線量の相対値)	
	敷地境界	5km 地点
38 時間 W/W ベント シナリオ	1	1
38 時間 D/W ベント シナリオ	約 0.81	約 0.81

放出位置：6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管

b. 放出位置の違いによる影響

放出位置の違いによる影響の評価結果を第 8-3 表に示す。ここでは、2つの事故シナリオのうち、38 時間 W/W ベントシナリオについて評価を行った。なお、放出位置の違いによる影響を明確にするため、6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管から放出した場合の評価値を 1 に規格化した相対値を示した。6 号炉主排気筒放出時の敷地境界での相対値は約 0.55～約 0.91 であり、風向によって相対値が変わるという結果になった。風向毎の相対値と柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形形状を第 8-6 図に示す。

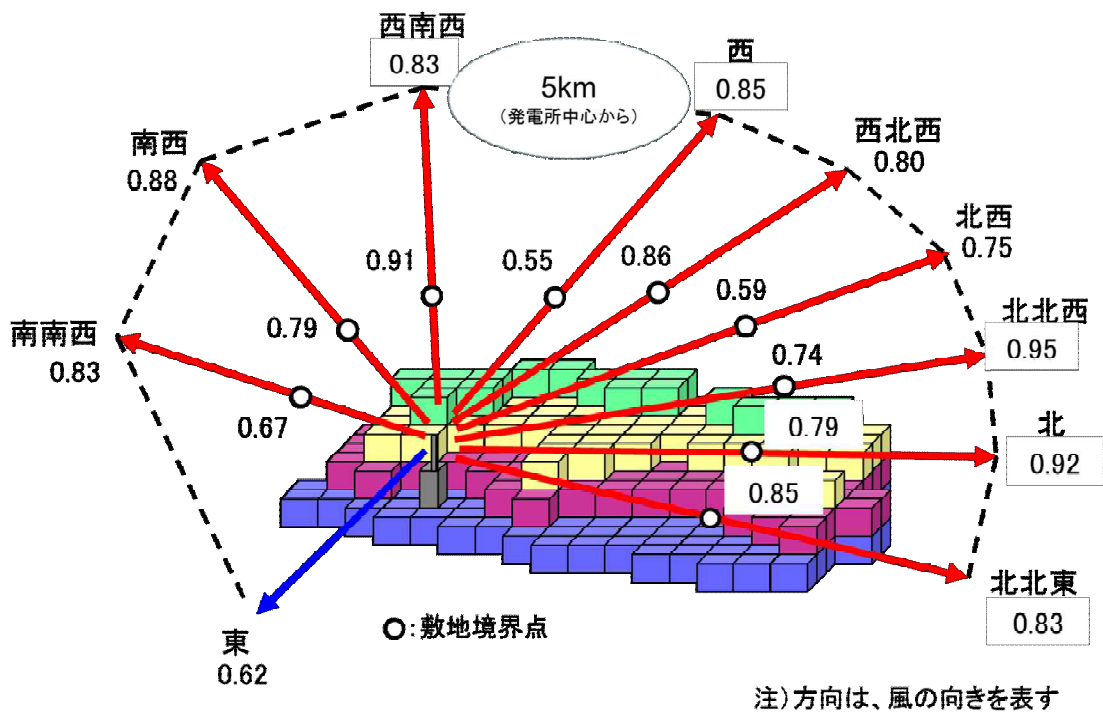
東風により海側へ放出した場合の 5km 地点における相対値は約 0.62 となっているが、障害物がない海側においては距離に応じて相対値が変わる。

一方、陸側に放出した場合においては距離だけではなく、評価位置の標高と 6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管高さの違いによる影響がある。放出位置と評価位置の高さ方向の位置関係を第 8-7 図に示す。さらに、地形の起伏等による形状の違いから放出されたガスが発散や収束されることにより、敷地境界における相対値は変わるが、その違いは最大で 5 割程度である。しかし、5km 地点での相対値は最大で 3 割程度と、発電所からの距離に従い放出位置の違いによる影響は更に小さくなるという評価結果になった。

以上のことから、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形形状を考慮すると、放出位置の違いによる影響は敷地境界においても限定的であり、発電所からの距離が離れると影響は小さくなることがわかる。

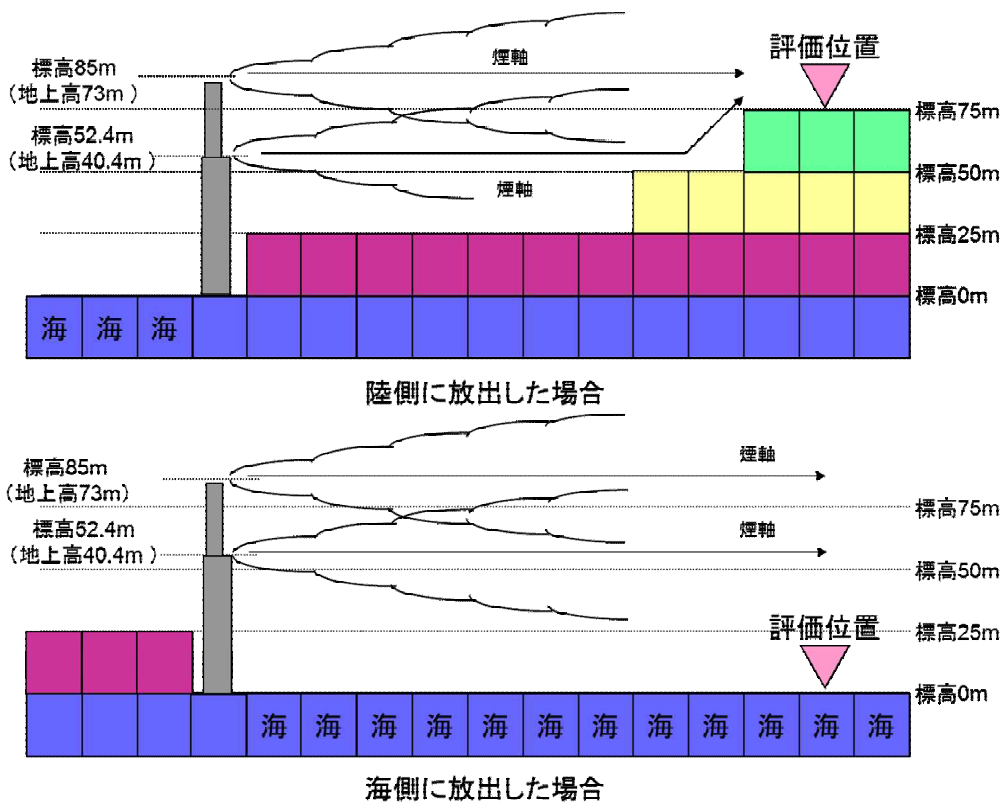
第 8-3 表 希ガスによる外部被ばく量の相対値（放出位置の違いによる影響）

事故シナリオ	放出位置	希ガスによる外部被ばく量の相対値の評価結果 (実効線量の相対値)	
		敷地境界	5km 地点
38 時間 W/W ベントシナリオ	6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管	1	1
	6 号炉主排気筒	陸側：約 0.55 ～約 0.91	陸側：約 0.75 ～約 0.95 海側：約 0.62



希ガス実効線量の影響(主排気筒/FV)

第 8-6 図 風向毎の相対値と柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形形状イメージ



第 8-7 図 放出位置と評価位置の高さ方向の位置関係のイメージ

(4)まとめ

希ガスによる外部被ばくに対し、ベントラインの変更による影響は限定的である。また、長期に渡る土壌汚染を抑制する観点では、2つの事故シナリオの中では38時間W/Wベントシナリオを選択することが好ましいと考えられる。

放出位置を変更しても、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形形状の効果により、被ばくへの影響は限定的となるため、放出位置として格納容器圧力逃がし装置配管を選定しても公衆被ばくの観点で問題は無いと考えられる。

別紙9 設備の維持管理についての補足事項

1. 機能確認における外観点検の確認内容について

機能確認における外観点検の確認内容を下記第1表に示す。

第1表 機能確認における外観点検の確認内容

対象機器	機能	外観点検の確認内容
スクラバノズル	フィルタ性能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 表面に強度に影響を及ぼす恐れのあるき裂，変形，腐食及び摩耗がないこと。 ■ 性能に影響を及ぼす恐れのあるノズル穴の異物による閉塞，ノズル穴の変形がないこと。
気泡細分化装置		<ul style="list-style-type: none"> ■ 表面に強度に影響を及ぼす恐れのあるき裂，変形，腐食及び摩耗がないこと。 ■ 性能に影響を及ぼす恐れのある気泡細分化装置の充填高さが，所定の高さであること。
金属フィルタ		<ul style="list-style-type: none"> ■ 表面に強度に影響を及ぼす恐れのあるき裂，変形，腐食及び摩耗がないこと。 ■ 性能に影響を及ぼす恐れのある金属フィルタの異物による閉塞，溶接部の割れ，腐食がないこと。
整流板	整流機能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 表面に強度に影響を及ぼす恐れのあるき裂，変形，腐食及び摩耗がないこと。 ■ 性能に影響を及ぼす恐れのある整流板穴の異物による閉塞，穴の変形がないこと。
オリフィス	流量調整機能	<ul style="list-style-type: none"> ■ 表面に強度に影響を及ぼす恐れのあるき裂，変形，腐食及び摩耗がないこと。 ■ 性能に影響を及ぼす恐れのあるオリフィス穴の異物による閉塞，穴の変形がないこと。

2. フィルタ性能の確認方法

待機中，定期的に，以下の a～c の項目を確認することでのフィルタ性能が維持されていることを確認する

a. 窒素封入圧力確認

窒素封入圧力を 0.01MPa[gage]以上に維持することで，容器内部の不活性状態が維持され，スクラバノズル及び気泡細分化装置，金属フィルタの腐食の発生を防止していることを確認する。

b. スクラバ水位確認

スクラバ水位を通常水位（500mm～2200mm）で維持していることを確認する。

c. スクラバ水質確認試験

スクラバ水をサンプリング測定することで，水酸化ナトリウムが規定の濃度を維持している事を確認する。

3. 点検周期の考え方

5.1 点検方法の第 5.1-1 表に示す点検周期は、第 2 表に示すように機能や設置環境の類似した既設類似機器を踏襲して決定する。また、点検周期は、今後の保全活動を実施する中で適切な周期の見直しを行うこととする。

容器及び容器内部構造物に対する、アルカリ性の薬液を注入することによる腐食の影響対策としては、本装置が通常待機状態であること、及び、耐腐食にすぐれた SUS316L 材を使用していることから、窒素封入による不活性状態を維持することにより容器内部構造物の腐食の発生を防止していることの確認を定期的に行うことで適切に維持できると考えられる。

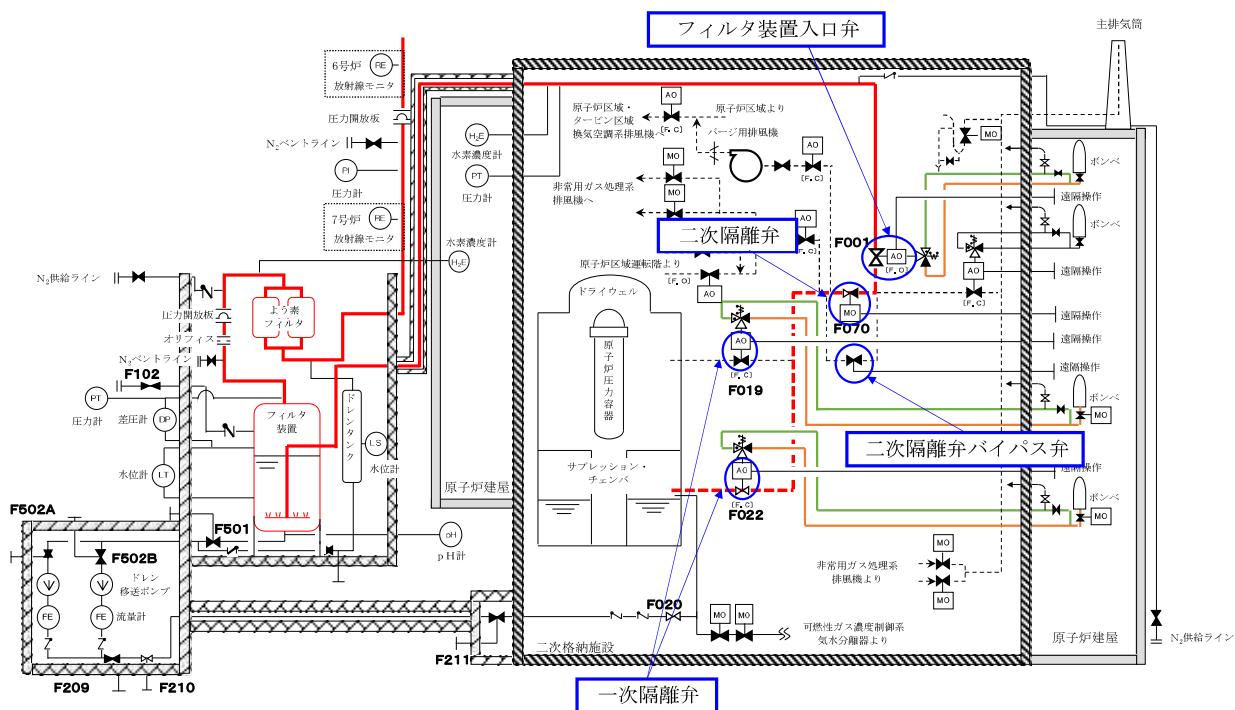
第 2 表 点検周期の決定根拠

対象機器	機能／設置環境			類似機器	点検周期	
	型式／機能	材料	内部流体		本格	簡易
容器	フィルタ等	ステンレス鋼	スクラバ水 ／窒素ガス	原子炉冷却材浄化系 ろ過脱塩器	4	—
内部構造物 ・スクラバノズル ・気泡細分化装置 ・金属フィルタ ・整流板 ・吸着塔	フィルタ等	ステンレス鋼	スクラバ水 ／窒素ガス	原子炉冷却材浄化系 ろ過脱塩器 内部構造物	4	—
ヨウ素除去フィルタ 銀ゼオライト	フィルタ等	銀ゼオライト	窒素ガス	非常用ガス処理系活 性炭フィルタ	1	—
ドレンポンプ	キャンドポンプ	ステンレス鋼	スクラバ水	原子炉冷却材浄化系 循環ポンプ	2	1
伸縮継手	変位吸収機構	ステンレス鋼	窒素ガス	格納容器ダイヤフラム フロアシールベロー	1	—
オリフィス	配管類	ステンレス鋼	窒素ガス	不活性ガス系配管	10	1
圧力開放板	弁類	ステンレス鋼	窒素ガス/ 外気	不活性系圧力開放板	2	1
配管	配管類	炭素鋼	窒素ガス	不活性ガス系配管	10	1
		ステンレス鋼	スクラバ水 ／窒素ガス	気体廃棄物処理系 配管	10	1
弁	弁類	炭素鋼	窒素ガス	不活性ガス系弁類	10	1
		ステンレス鋼	スクラバ水 ／窒素ガス	気体廃棄物処理系 配管	10	1

※点検周期の単位はサイクル

別紙10 弁の操作方法について

格納容器圧力逃がし装置の一次隔離弁，フィルタ装置入口弁は空気駆動弁（以下，「AO弁」）である。また，二次隔離弁は電動駆動弁（以下，「MO弁」），二次隔離弁バイパス弁は手動駆動弁（以下，「HO弁」）となっている。これらの弁はシビアアクシデント時を考慮し，電源喪失時においても操作が可能な構成としている。電源喪失時の操作方は第1表の通りである。



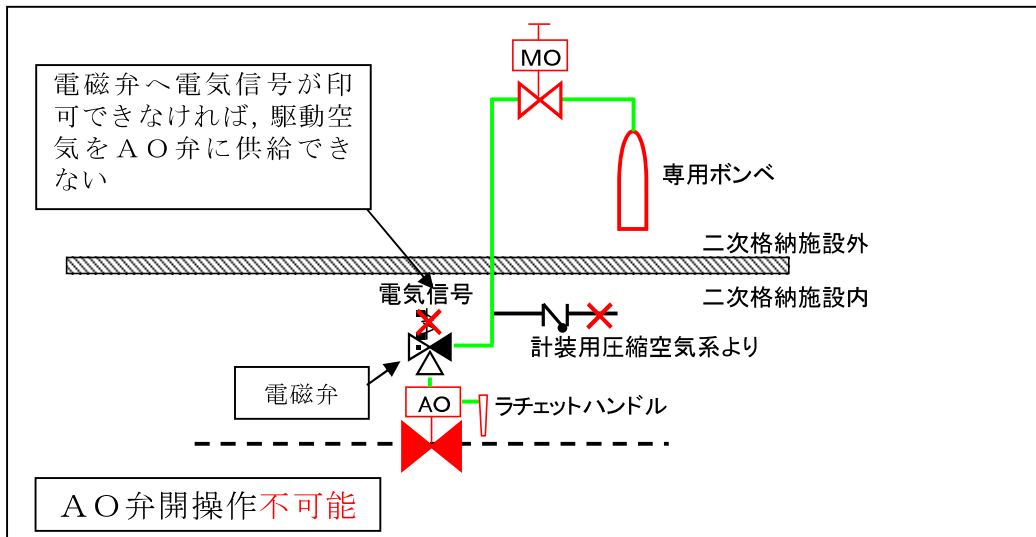
第1図 格納容器圧力逃がし装置系統概要図

第1表 弁の操作方法

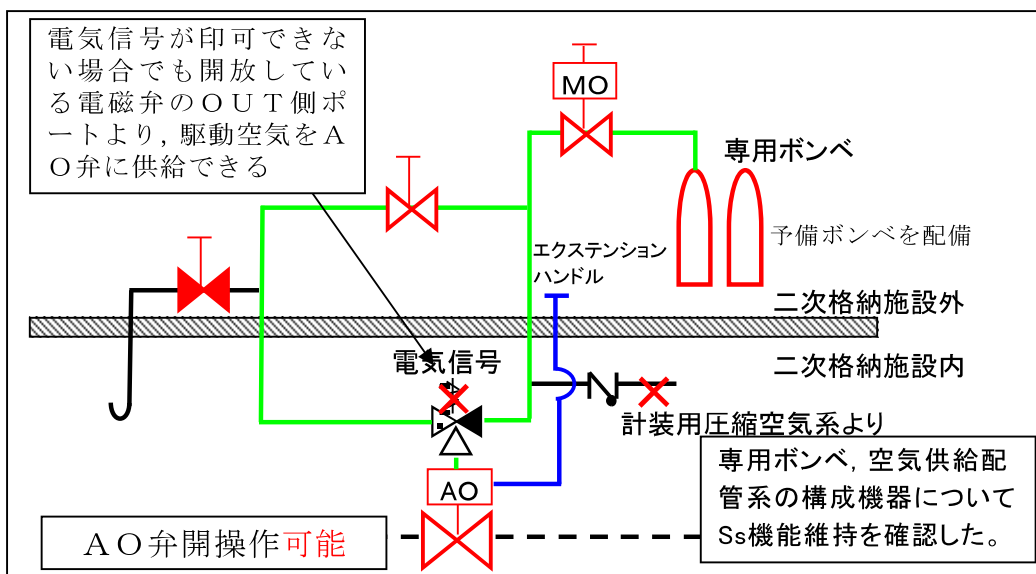
駆動方式	操作対象弁	電源喪失時の操作方法	操作場所
AO弁	■一次隔離弁 (サブプレッション・ チェンバ側)	エクステンションによる遠隔 操作	二次格納施設外
	■フィルタ装置入口弁 ■一次隔離弁 (ドライウエル側)	専用ポンベからの駆動空気供 給による遠隔操作	二次格納施設外
MO弁	■二次隔離弁	エクステンションによる遠隔 操作	二次格納施設外
HO弁	■二次隔離弁バイパス弁	エクステンションによる遠隔 操作	二次格納施設外

MO弁，HO弁ならびにAO弁については，エクステンションにより二次格納施設外から人力のみによる操作を行うことができる。

さらにAO弁については，駆動用の空気供給配管系の構成を変更し，電源喪失時においても二次格納施設外から操作可能な構成としている。変更前の構成図を第2図，変更後の構成図を第3図に示す。



第2図 AO弁 空気供給配管構成図（変更前）



第3図 AO弁 空気供給配管構成図（変更後）

第2図に示す通り，空気供給配管系の変更前の構成では，電磁弁に電気信号を印可できなければ，駆動空気をAO弁に供給することができない。そのため，電源喪失時には，駆動空気によりAO弁を操作することができない。

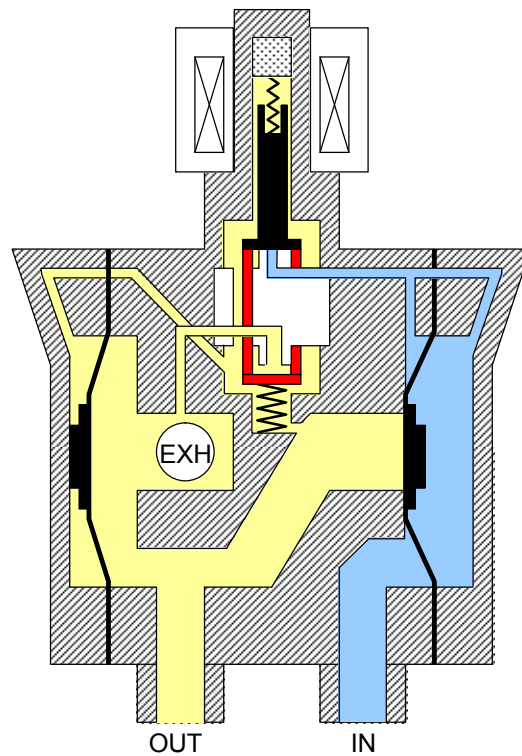
一方，第3図に示す通り，空気供給配管系の変更後の構成では，電磁弁に電気信号を印可できない場合においても開放している電磁弁のOUT側ポートより，駆動空気をAO弁に供給することができる。そのため，電源喪失時においても，

駆動空気によりA O弁を操作することができる。また、空気供給配管系に設置している弁は、全て二次格納施設外にて操作が可能である。よって、この空気供給配管系の変更により、電源喪失時において二次格納施設外より、A O弁を操作することが可能となる。

以下に、電磁弁内の動作のメカニズムについて詳細に記載する。

(1) 電磁弁待機時（無励磁）の状態

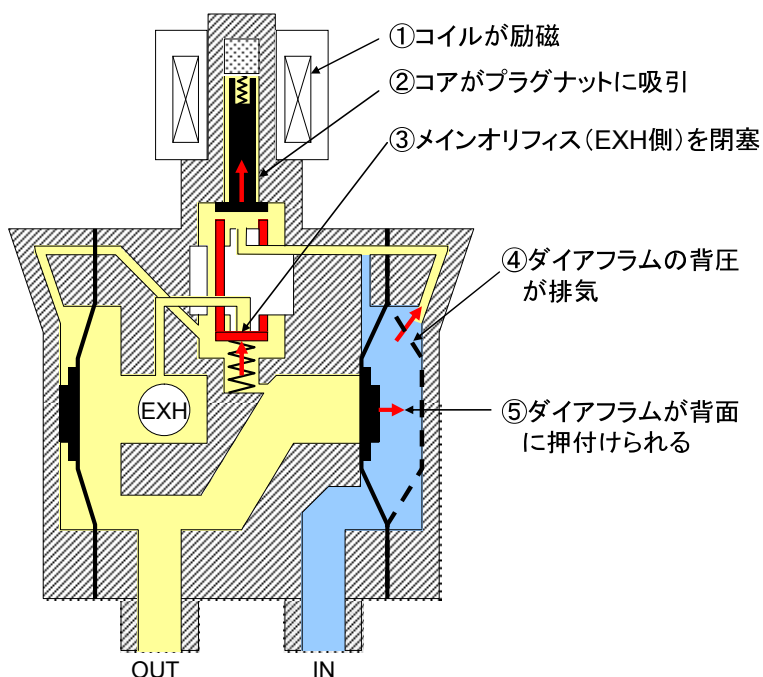
A O弁用の電磁弁は、電気信号を印可していない状態（無励磁状態）では以下の第4図のような状態である。「IN側」には計装用圧縮空気系、「OUT側」はA O弁の駆動部に接続されており、「EXH側」は大気開放となっている。



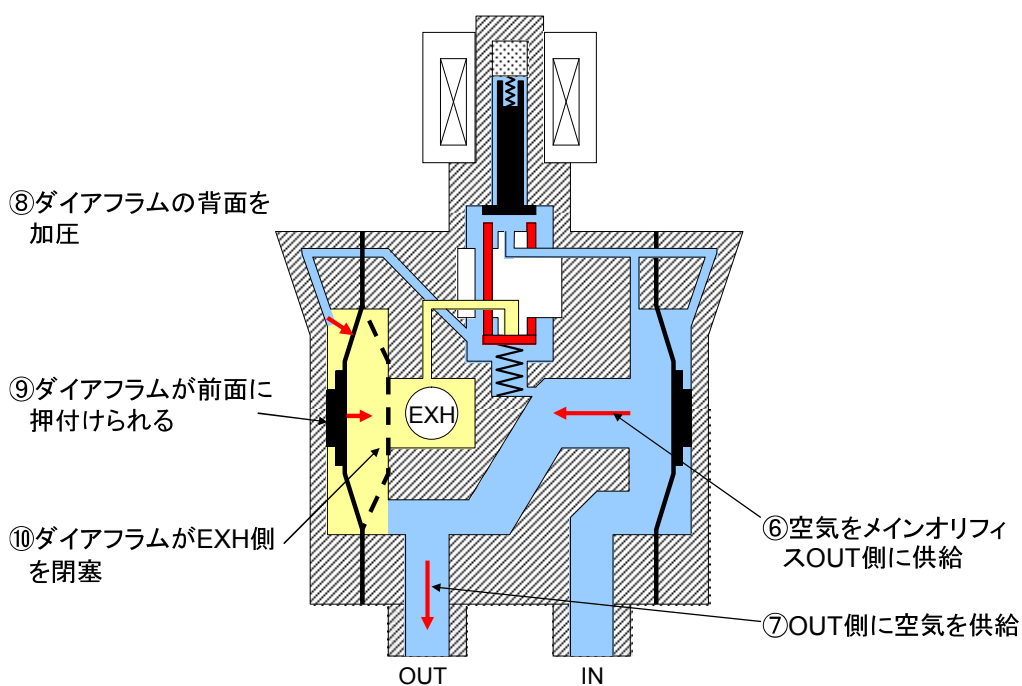
第4図 電磁弁（待機時）の概要図

(2) 電磁弁動作時（励磁）の状態

A O 弁用の電磁弁は、電気信号を印可した状態（励磁状態）となると第 5 図及び第 6 図のようなメカニズムにより、IN 側の計装用圧縮空気系の空気を OUT 側の A O 弁の駆動部に供給する。



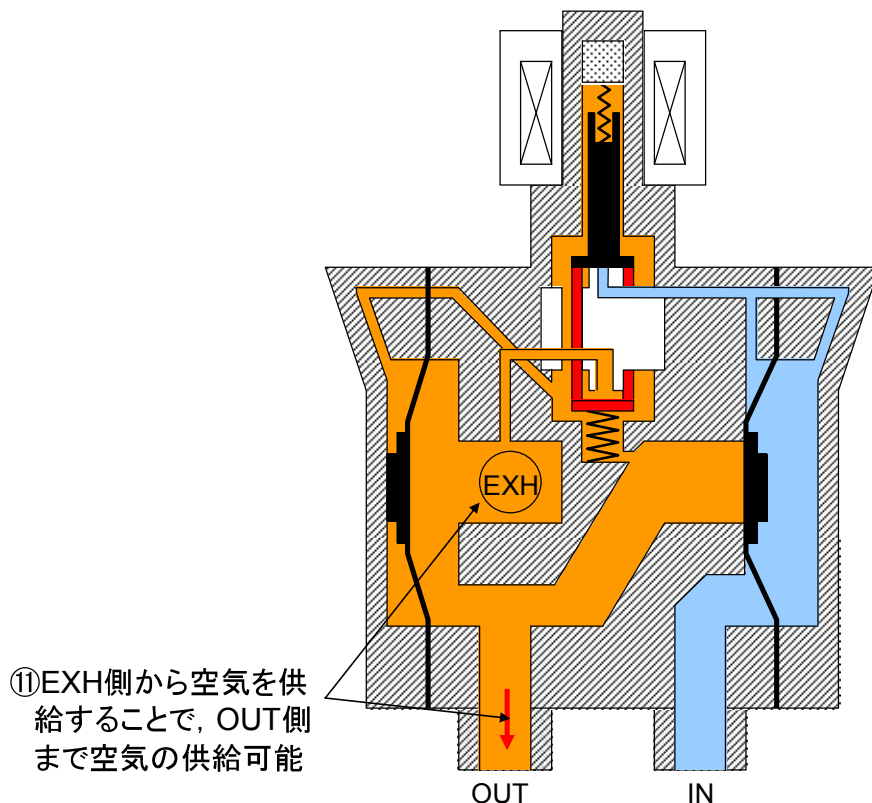
第 5 図 励磁時直後の動作概要図



第 6 図 ダイヤフラム動作～EXH 閉塞までの動作概要図

(3) 専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合

AO弁用の電磁弁は、専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合は、第7図のようになる。専用ポンベの空気は IN 側にも供給されているため、右側のダイヤフラムは左右で圧力がバランスし、EXH 側の空気は OUT 側の AO 弁本体の駆動部へ供給される。

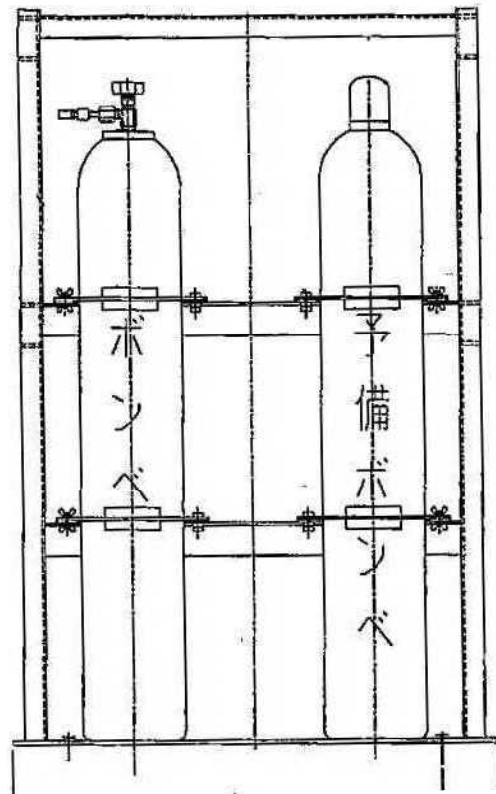


第7図 専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合の概要図

なお、専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合の AO 弁の開閉試験を実施し、AO 弁が確実に全開及び全閉になることを確認した。

上記(1)～(3)より専用空気ポンベの空気を電磁弁の EXH 側から供給することで、電磁弁へ悪影響を与えることなく、電源喪失時においても確実に AO 弁の駆動部へ空気を供給することが可能である。

AO弁を二次格納施設外から遠隔操作する場合には、AO弁の駆動源として駆動空気が必要となる。その場合における、駆動空気供給源の信頼性の向上を図るため、駆動空気は常設の専用ポンペより供給し、第8図に示すように、その専用ポンペの横に常設の予備ポンペを設置している。



第8図 AO弁駆動ポンペラック構造図

ここで、AO弁の専用ポンベによる遠隔操作機構と、MO弁のエクステンションジョイントによる遠隔操作機構について第2表に示す通り比較を行った。

第2表 弁の遠隔操作機構の比較

項目	専用ポンベを用いた AO弁の遠隔操作	エクステンションジョイント を用いたMO弁の遠隔操作
操作に必要な 駆動源	常設専用ポンベの空気圧力	人力
弁操作時間	約2分	約20分
作業負荷	空気供給弁と排気弁の操作。これら の弁は25A以下の小口径の弁であるため 操作は容易。	操作トルク：約40～50Nm* 全開→全閉回転数：約1500回転
必要操作人員	1名	2名
信頼性	故障確率 7.3×10^{-8}	故障確率 3.4×10^{-8}

※ 電動駆動弁を人力操作する場合の操作トルクについては、弁体の前後配管に最高使用温度である200℃、最高使用圧力である2Pdの差圧が負荷された状態を考慮している。

MO弁の遠隔操作機構には、取り回しの容易なフレキシブルジョイントを用いる構成を仮定した。フレキシブルジョイントには駆動ロスがあり、駆動ロスの分、操作には大きなトルクが必要となることから、減速機を用いて操作トルクを低減する構造となっている場合が多い。一方、駆動ロスにはフレキシブルジョイントの敷設長さや敷設時の曲げ箇所の数、曲げ箇所の曲率半径により決まることから、敷設ルートが決まらなければ駆動ロスは求められない。そこで、今回は駆動ロスを仮定し、減速比5の減速機を設置する。(一次隔離弁はラビリンス構造の部屋に設置されており、必ず曲げ箇所を設置する必要があるため、駆動ロスは大きくなると考えられる)

AO弁については空気供給弁と排気弁の操作のみであり、これらは25A以下の小口径の弁かつ一箇所に集中して設置されていることから、1名約2分で操作可能である。

一方、MO弁については、減速機を設置により必要回転数が5倍となることから、減速機が無ければ約4分の作業であるが、5倍の約20分かかると想定し、これまでの訓練の実績を踏まえ、操作には最低2名は必要と考えられる。

これらの条件のもと評価した、遠隔操作機構の信頼性は、AO弁、MO弁ともに 10^{-8} [/h]オーダーであり、非常用の電動ポンプの故障率が 1.3×10^{-7} [/h]よりも小さく、代替機器としてはいずれの機構も十分な信頼性を有している。

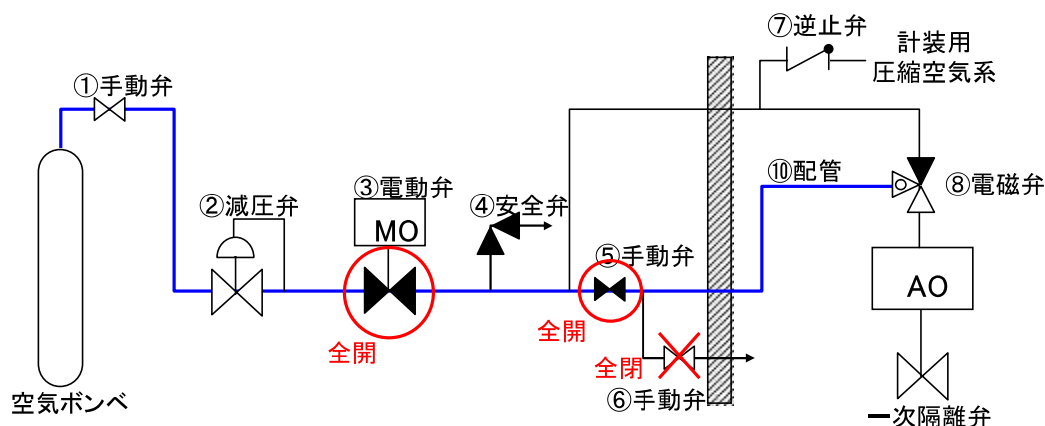
遠隔操作機構の信頼性については、以下の通り算定している。

【信頼性の算定】

各機器の故障率を、有限責任中間法人 日本原子力技術協会（現 原子力安全推進協会）が 2009 年にとりまとめた「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定」における国内一般故障率（21 ヶ年データ）時間故障率（平均値）から想定すると、以下の通りとなる。

(1) 専用ポンペを用いた遠隔操作

専用ポンペを用いた操作について、系統概要図を第 9 図に、故障率を第 3 表に示す。第 3 表の故障率から系統全体の故障率を算出すると「 7.3×10^{-8} [h]」となる。



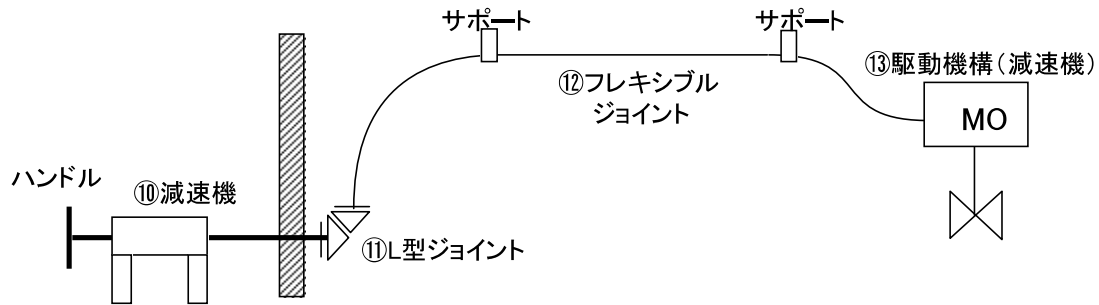
第 9 図 専用ポンペを用いた操作の系統概要図

第 3 表 専用ポンペを用いた操作の故障率

No.	機器名称	想定故障モード	想定機器と故障モード	故障率 [h]
①	手動弁	外部リーク	手動弁（外部リーク）	1.7×10^{-9}
②	減圧弁	減圧	安全弁（開閉失敗）	1.4×10^{-8}
③	電動弁（純水）	閉固着	手動弁（開閉失敗）	8.3×10^{-9}
		外部リーク	電動弁（外部リーク）	2.5×10^{-9}
④	安全弁	内部リーク	安全弁（内部リーク）	2.2×10^{-8}
⑤	手動弁	閉固着	手動弁（開閉失敗）	8.3×10^{-9}
		外部リーク	手動弁（外部リーク）	1.7×10^{-9}
⑥	手動弁	開固着	手動弁（開閉失敗）	8.3×10^{-9}
		内部リーク	手動弁（内部リーク）	3.7×10^{-9}
⑦	逆止弁	内部リーク	逆止弁（内部リーク）	7.1×10^{-9}
⑧	電磁弁	外部リーク	電磁弁（外部リーク）	4.4×10^{-9}
⑨	配管	リーク	配管（リーク）	6.6×10^{-9}
当該システムの故障率				7.3×10^{-8}

(2) エクステンションを用いた遠隔操作

エクステンションを用いた操作について、系統概要図を第10図に、故障率を第4表に示す。第3表の故障率から系統全体の故障率を算出すると「 3.4×10^{-8} [h]」となる。



第10図 エクステンションを用いた操作の系統概要図

第4表 エクステンションを用いた操作の故障率

	機器名称	想定故障モード	想定機器と故障モード	故障率 [1/h]
⑩	減速機	動力伝達不可	手動弁 (開閉失敗)	8.3×10^{-9}
⑪	L型ジョイント	動力伝達不可	手動弁 (開閉失敗)	8.3×10^{-9}
⑫	フレキシブルジョイント	動力伝達不可	手動弁 (開閉失敗)	8.3×10^{-9}
⑬	MO弁 (減速機)	動力伝達不可	手動弁 (開閉失敗)	8.3×10^{-9}
当該システムの故障率				3.4×10^{-8}

以上より、操作の実現性や機構の信頼性を考慮すると、AO弁、MO弁いずれも成立性があると考えられる。

第1図の構造図に記載の通り、一次隔離弁については不活性ガス系の弁と共用しており、当該弁は通常運転時も操作を実施する弁である。一方、格納容器隔離機能に着目すると、格納容器隔離信号発生時には、当該弁については確実に閉鎖する必要がある。そのため、電源喪失時に確実にフェイルクローズとなるAO弁の方が、フェイルアズイズとなるMO弁よりも適していると考えられる。

また、福島第一原子力発電所の事故では、空気駆動のベント弁の開操作が困難を極めたことから、「専用ポンベからの駆動空気供給による遠隔操作」においては、福島第一原子力発電所事故時の問題を考慮し、以下の第5表の対策を施している。

第5表 福島第一原子力発電所事故時の問題点と圧力逃がし装置における対策

比較項目	1 F での問題点	KK 圧力逃がし装置での対応策
放射線量	<ul style="list-style-type: none"> ・ A O 弁操作のために現場に向かうも 500mSv/h 以上あり 10 分で引き返した。(1 号機) 	放射線量率の低い二次格納施設外にて操作が可能
電磁弁 (電源)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電磁弁が地絡や他号機の爆発の影響により操作不能であった。(2 号機) ・ 仮設で用意した小型発電機が故障した。(3 号機) 	電磁弁の排気ポートから空気を供給することで、強制的にベント弁の開操作を行うことができる。
作動空気	<ul style="list-style-type: none"> ・ I A 喪失により仮設コンプレッサーを用意したが、別途接続治具が必要であった。(1 号機) ・ 駆動用空気の残圧不足により、ベント弁の開状態の維持が困難であった。(2, 3 号機) 	専用の駆動用空気ポンベを現場に常設する。

別紙 1 1 格納容器圧力逃がし装置の劣化要因と対策について

1. フィルタ装置, よう素フィルタ, 配管, 弁, ドレンポンプ等

屋外に設置するフィルタ装置, よう素フィルタ, 屋外配管, 弁, ドレンポンプ等は外面腐食を防止するため, 外面塗装を施している。屋内については, 空調管理されていることから外面腐食リスクは小さいが, 炭素鋼配管については外面塗装を施している。また, 格納容器圧力逃がし装置待機時は, 系統内は窒素にて置換することにより, 配管内面やフィルタ装置内面・内部構造物(ノズル, 気泡細分化装置, 金属フィルタ等), よう素フィルタ内面・内部構造物の腐食を防止している。

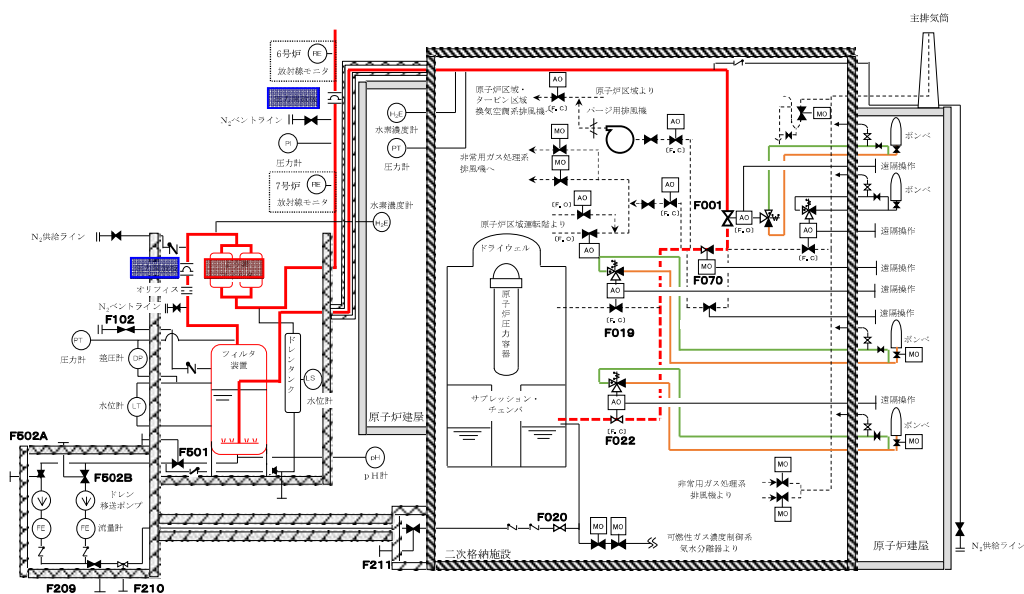
2. 銀ゼオライト

よう素フィルタの吸着材として使用する銀ゼオライトは, 高湿度ならびに照射の環境に長期間晒されると, 変質してよう素除去性能が低下する。

そのため, フィルタ装置とよう素フィルタの間に圧力開放板を設置し, 待機時にフィルタ装置のスクラバ水に起因する湿分がよう素フィルタ内に侵入することを防止し, さらに待機時には, よう素フィルタ内は窒素で置換する。また, よう素フィルタはステンレス鋼製の容器とし, よう素フィルタ内に充填される銀ゼオライトに光が照射されないようにする。

このような対策により, よう素フィルタの吸着材として使用する銀ゼオライトの劣化を防止する。

なお, フィルタ装置とよう素フィルタの間に設置する圧力開放板は, 格納容器ベントの障害とならないよう, 格納容器ベント時の格納容器圧力と比較して十分小さい圧力にて開放するように設定する。(開放圧力は 100kPa[gage]に設定)



第 1 図 格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ設備系統図

別紙 1 2 金属フィルタの液滴除去性能について

格納容器ベントを実施すると、スクラバ水には多量の放射性物質が捕捉される一方、スクラバ水の一部はエントレインメントにより液滴となってスクラバ水より浮遊する。当然ながら、液滴にも放射性物質は含まれることから、放射性物質の環境への放出量を抑制するためには、スクラバの後段に設置された金属フィルタにより、このスクラバ水の液滴を除去することも重要となる。

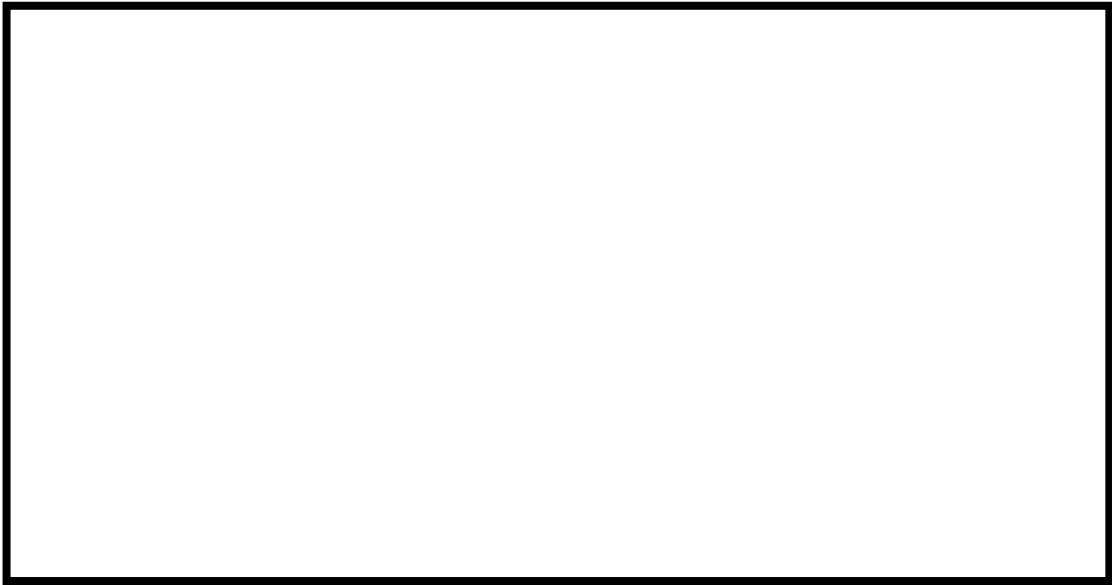
フィルタ装置に設置される金属フィルタは第 2. 2. 1-9 図に記載の通り 3 層構造となっている。そのうち、1 層目と 3 層目には $\phi 30 \mu\text{m}$ の金属繊維からなるウェブを設置しており、このウェブの層はスクラバ水の液滴を除去するデミスタの機能を有している。

金属フィルタの液滴の除去性能は、下記の試験にて確認している。

【金属フィルタ液滴除去性能試験】

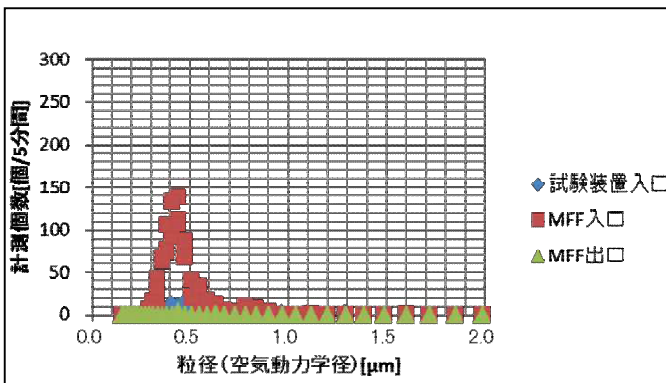
第 1 表 金属フィルタ液滴除去性能試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・ 4 m 高さ試験装置
試験ガス	・ 空気 (エアロゾルは送気しない)
ガス流量	・ 超過流量相当 ・ 2 P d 相当流量 ・ 1 P d 相当流量 ・ 最少流量相当
粒子計測位置	・ 試験装置入口 ・ 水スクラバ通過後 (金属フィルタ入口) ・ 金属フィルタ出口
評価方法	・ 水スクラバ通過後 (金属フィルタ入口) 及び金属フィルタ出口の空気中の粒子 (液滴) を比較することで、金属フィルタの液滴除去性能を確認

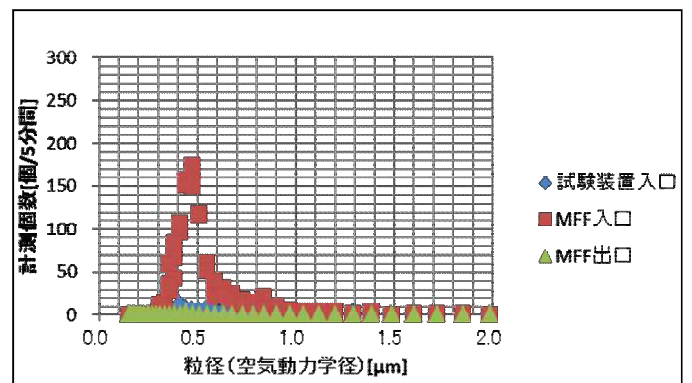


第1図 試験概要図（金属フィルタ液滴除去性能試験）

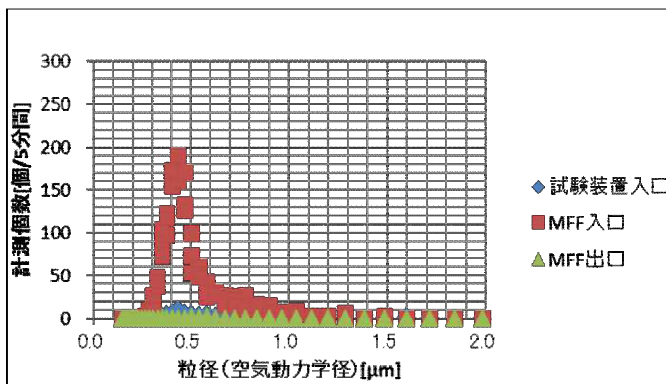
これらの試験の結果、各流量における粒子（液滴）の個数と粒径分布は以下の通りとなった。



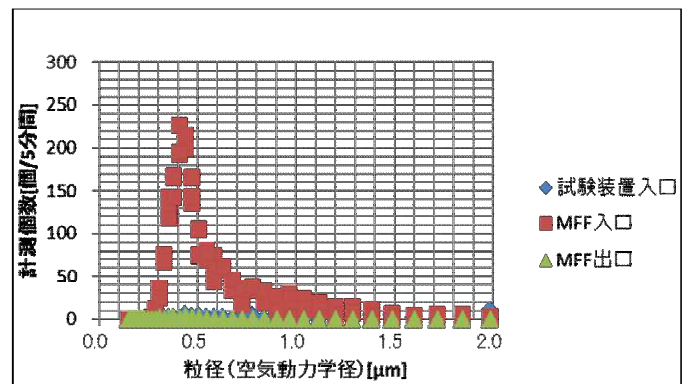
第2図 計測結果（最小流量相当）



第3図 計測結果（1Pd相当流量）



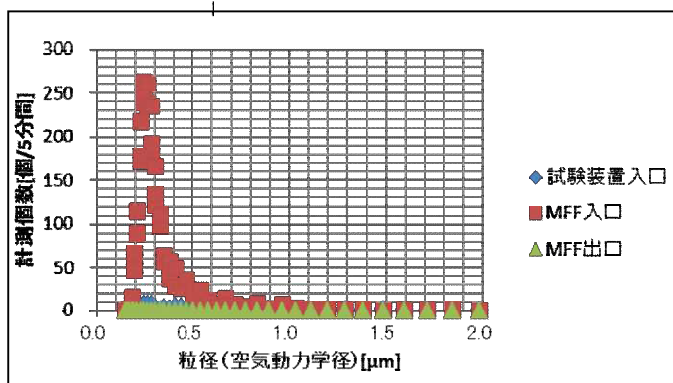
第4図 計測結果（2Pd相当流量）



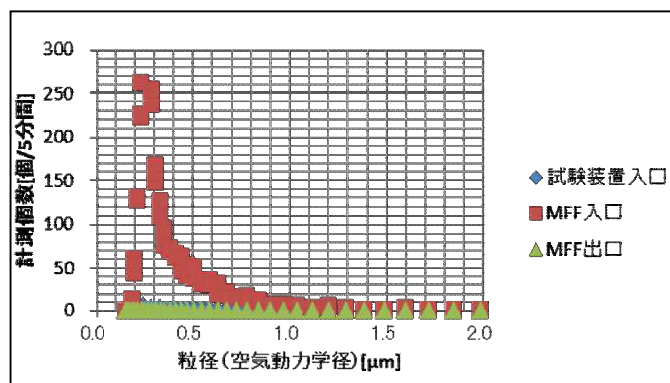
第5図 計測結果（超過流量相当）

全ての流量ケースにおいて、金属フィルタ出口側においては、殆ど粒子が検出されておらず、金属フィルタの液滴除去性能は非常に高いことを確認した。

また、スクラバ水に水溶性のエアロゾルが捕捉されている状態を模擬するため、スクラバ水に水溶性の硫酸カリウム (K_2SO_4) を 0.1wt%溶解した状態で、同様の試験を実施した。なお、試験流量については、最小流量相当と 2Pd 流量相当の 2 ケースにて実施した。



第 6 図 計測結果 (最小流量相当)



第 7 図 計測結果 (2Pd 相当流量)

スクラバ水に水溶性の硫酸カリウム (K_2SO_4) を添加した状態においても、金属フィルタ出口側においては、殆ど粒子が検出されないことを確認した。

一方、この試験時に金属フィルタの差圧を計測していたが、試験開始時と終了時において差圧に変化はなかった。(第 2 表参照)

なお、金属フィルタは構造検討段階において、実機と同様の 3 層構造で、実機と同じ材料 ($\phi 30 \mu m$ のウェブと $\phi 2 \mu m$ の金属繊維焼結シート) を用いた $\phi 75mm$ 、高さ 500mm (実機は $\phi 150mm$ 、高さ 1000mm) の金属フィルタを製作し、その金属フィルタを水没させてから取り出し、すぐに差圧を計測する試験を行っている。この試験においても差圧が即座に回復する構造を見だし、実機の金属フィルタの構造に採用している。そのため、フィルタ装置の金属フィルタは非常に水はけが良く、金属フィルタに水が付着しても、金属フィルタの差圧に関して問題はない。

第2表 金属フィルタ差圧計測値一覧

スクラバ水の 状態	流量	金属フィルタ差圧[kPa]	
		試験開始時	試験終了時
水	最小流量相当	0.7	0.7
	1Pd 相当流量	1.9	1.9
	2Pd 相当流量	2.2	2.2
	超過流量相当	2.7	2.7
硫酸カリウム 添加	最小流量相当	0.7	0.7
	2Pd 相当流量	2.2	2.2