

別紙 1 格納容器圧力逃がし装置の計測設備の網羅性について

格納容器圧力逃がし装置の計測設備については、以下の考えに基づき網羅性を有する設計としている。

- ①格納容器圧力逃がし装置の使用時、待機時、使用後の各状態で、系統の要求上確認すべき項目の全てが監視可能であること。
- ②上記の各状態において、管理すべき値を網羅した計測範囲であること。

1. 確認すべき項目について

格納容器圧力逃がし装置の使用時、待機時、使用後の各状態で確認すべき項目を下記(1)～(5)に抽出し、各確認すべき項目に対する計測設備が設置されていることを第 1-1 表に示す。(「2.3.2.2 計測設備の目的」の記載内容の一部再掲)

(1) 格納容器圧力逃がし装置の使用時の状態

使用時の状態が、以下のとおり把握可能である。

a. フィルタ装置の閉塞等によりガスの導入が妨げられていないこと

フィルタ装置入口圧力にて、格納容器ベント実施により待機圧力から上昇した圧力が、原子炉格納容器圧力の低下に追従して低下傾向を示すことを確認することで把握できる。また、フィルタ装置出口放射線量率が初期値から上昇することを計測することによりフィルタ装置が閉塞していないことを把握できる。

b. フィルタ装置の除去性能が低下していないこと

フィルタ装置水位にて、水位が約 500mm～約 2200mm の間 (2.2.1.3 参照) であることを確認することで把握できる。

c. 放出されるガスの放射線量の確認

フィルタ装置出口放射線モニタにて、フィルタ装置出口配管に内包される放射性物質からの放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を確認することが可能である。

(2) 格納容器圧力逃がし装置の待機時の状態

待機時の状態が、以下のとおり把握可能である。

a. フィルタ装置の除去性能が低下していないこと

フィルタ装置水位にて、水位が約 500mm～約 2200mm の間 (2.2.1.3 参照) であることを確認することで把握できる。

b. フィルタ装置配管内の不活性状態の確認

フィルタ装置入口圧力及びフィルタ装置出口圧力にて、封入した窒素圧力(0.01MPa[gage]以上)を継続監視することによって配管内の不活性状態を把握できる。

また、フィルタ装置出口配管圧力にて、点検後の窒素置換操作を実施した際に、現場で圧力を監視することで、配管内が不活性状態になったことを把握できる。

(3) 格納容器圧力逃がし装置の使用後の状態

使用後の状態が、以下のとおり把握可能である。

a. フィルタ装置内スクラバ水の確認

フィルタ装置水位にて、フィルタ装置内で捕捉した放射性物質の放熱により、フィルタ装置内の水が蒸発することによる水位低下を把握できる。

b. フィルタ装置配管内の不活性状態の確認

フィルタ装置入口圧力及びフィルタ装置水素濃度にて、配管内が封入した窒素で正圧に維持されていること、また、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できる。

c. 放出されるガスの放射線量の確認

フィルタ装置出口放射線モニタにて、フィルタ装置出口配管に内包される放射性物質からの放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を確認することが可能である。

(4) フィルタ装置の水位調整時の確認

フィルタ装置の水位調整時の確認として、以下のとおり把握可能である。

a. フィルタ装置の水位調整の確認

フィルタ装置水位にて、フィルタ装置の排水又は水張りを実施する際に、フィルタ装置の水位が把握できる。また、フィルタ装置ドレン流量にて、排水操作を実施した際のドレン量の把握ができる。

b. フィルタ装置スクラバ水の水質管理 (2.2.1.3 参照)

フィルタ装置水位にて、フィルタ装置の排水又は水張りを実施する際に、フィルタ装置の水位が把握できると共に、必要な追加薬液量の把握ができる。また、フィルタ装置ドレン流量にて、排水操作を実施した際のドレン量から、必要な追加薬液量の把握ができる。

また、フィルタ装置へ薬液を補給する際に、スクラバ水の pH を把握で

きる設計とする。

(5) 想定される機能障害の把握

格納容器圧力逃がし装置の使用時に、想定される機能障害の確認として、以下のとおり把握可能である。

a. フィルタ装置の閉塞

フィルタ装置入口圧力にて、格納容器ベント実施により待機圧力から上昇した圧力が、低下傾向を示さないことを確認することで、フィルタ装置が閉塞していることを把握できる。

また、フィルタ装置出口放射線量率が初期値から上昇しないことを確認することにより把握できる。

b. 金属フィルタの閉塞

フィルタ装置金属フィルタ差圧にて、金属フィルタの閉塞状態を把握できる。なお、フィルタ装置入口圧力にて、金属フィルタの閉塞が進行し、フィルタ装置入口圧力が上昇傾向を示すことを確認することで、金属フィルタの閉塞状態を把握できる。

c. よう素フィルタ出口配管の閉塞

ドレンタンク水位にて、ドレン水によるよう素フィルタ出口配管の閉塞状態を把握できる。また、フィルタ装置入口圧力及びフィルタ装置出口圧力にて、ドレン水によるよう素フィルタ出口配管の閉塞が進行し、フィルタ装置入口圧力及びフィルタ装置出口圧力が上昇傾向を示すことを確認することで、よう素フィルタ出口配管のドレンによる閉塞状態を把握できる。

d. フィルタ装置入口配管の破断

フィルタ装置入口圧力にて、格納容器ベント実施により待機圧力から上昇した圧力が低下傾向を示すが、フィルタ装置出口放射線量率が初期値から上昇しないことを確認することにより把握できる。

e. フィルタ装置スクラバ水の漏えい

フィルタ装置水位にて、フィルタ装置からのスクラバ水漏えいによる水位低下を確認することで把握できる。

2. 計測範囲について

格納容器圧力逃がし装置の使用時，待機時，使用後の各状態で確認すべき項目について，管理すべき値を網羅した計測範囲であることを第 1-2 表に示す。

3. 設備操作との整合性について

「4. 格納容器圧力逃がし装置の設備操作と操作性」で記載した各操作における監視項目が全て監視可能であることを第 1-3 表に示す。

第1-1表 格納容器圧力逃がし装置 計測設備の網羅性について

| フィルタ装置の状態 | 確認すべき項目 | 計測設備 | 多重性又は多様性 |
|---------------------|------------------------------------|--|---------------------------|
| (1) 格納容器圧力逃がし装置の使用時 | a. 原子炉格納容器雰囲気ガスがフィルタ装置へ導かれていることの確認 | ①フィルタ装置入口圧力 | ①②で多様性有り |
| | b. フィルタ装置の除去性能に影響するパラメータの確認 | ②フィルタ装置出口放射線モニタ | ①②はそれぞれ多重性有り |
| | c. 放出されるガスの放射線量の確認 | ①フィルタ装置水位 | ①は多重性有り |
| (2) 格納容器圧力逃がし装置の待機時 | a. フィルタ装置の除去性能に影響するパラメータの確認 | ①フィルタ装置出口放射線モニタ | ①は多重性有り |
| | b. フィルタ装置配管内の不活性状態の確認 | ①フィルタ装置水位 | ①は多重性有り |
| | | ①フィルタ装置入口圧力 ②フィルタ装置出口圧力 ③フィルタ装置出口配管圧力 | ①②③で多様性有り ①は多重性有り |
| (3) 格納容器圧力逃がし装置の使用後 | a. フィルタ装置内スクラバ水の確認 | ①フィルタ装置水位 | ①は多重性有り |
| | b. フィルタ装置配管内の不活性状態の確認 | ①フィルタ装置入口圧力 ②フィルタ装置水素濃度 | ①②で多様性有り ①は多重性有り |
| | c. 放出されるガスの放射線量の確認 | ②は入口と出口配管でそれぞれ補完 | |
| (4) フィルタ装置の水位調整時 | a. フィルタ装置の水位調整の確認 | ①フィルタ装置出口放射線モニタ | ①は多重性有り |
| | | ①フィルタ装置水位 ②フィルタ装置ドレン流量 | ①②で多様性有り ①②はそれぞれ多重性有り |
| | b. フィルタ装置スクラバ水の水质管理 | ①フィルタ装置水位 ②フィルタ装置ドレン流量 ③フィルタ装置スクラバ水 pH | ①②③で多様性有り ①②はそれぞれ多重性有り |
| (5) 想定される機能障害 | a. フィルタ装置の閉塞 | ①フィルタ装置入口圧力 ②フィルタ装置出口放射線モニタ | ①②で多様性有り ①②はそれぞれ多重性有り |
| | b. 金属フィルタの閉塞 | ①フィルタ装置金属フィルタ差圧 ②フィルタ装置入口圧力 | ①②で多様性有り ①②はそれぞれ多重性有り |
| | c. よう素フィルタ出口配管の閉塞 | ①ドレンタンク水位 ②フィルタ装置入口圧力 ③フィルタ装置出口圧力 | ①②③で多様性有り ②は多重性有り |
| | d. フィルタ装置入口配管の破断 | ①フィルタ装置入口圧力 ②フィルタ装置出口放射線モニタ | ①②で多様性有り ①②はそれぞれ多重性有り |
| | e. フィルタ装置スクラバ水の漏えい | ①フィルタ装置水位 | ①は多重性有り |

第1-2表 格納容器圧力逃がし装置計測設備の計測範囲の網羅性について

| 監視パラメータ※1 | 計測範囲 | 計測範囲の根拠 |
|-----------------|---|---|
| ①フィルタ装置水位 | 0～6000mm | スクラバノズル上端を計測範囲のゼロ点とし、フィルタ装置機能維持のための上限水位：約2200mm、下限水位：約500mmを監視可能。 |
| ②フィルタ装置入口圧力 | 0～1.0MPa[gage] | 格納容器ベント実施時に、格納容器圧力逃がし装置内の最高圧力(0.62MPa[gage])が監視可能。また、待機時に、窒素置換(約0.01MPa[gage]以上)が維持されていることを監視可能。 |
| ③フィルタ装置出口圧力 | 0～0.5MPa[gage] | 点検後の窒素置換操作を実施した際に、フィルタ装置出口の圧力開放板の設定圧力(0.1MPa[gage])を超えないことを監視可能。 |
| ④フィルタ装置出口配管圧力 | -0.1～0.2MPa[gage] | |
| ⑤フィルタ装置出口放射線モニタ | 10^{-2} ～ 10^5 mSv/h | 格納容器ベント実施時に、想定されるフィルタ装置出口の最大放射線量率(約 7×10^4 mSv/h)を監視可能。 |
| ⑥フィルタ装置水素濃度 | 0～100vol% | 格納容器ベント停止後の窒素によるパージを実施し、フィルタ装置入口及び出口配管内に滞留する水素濃度が可燃限界(4vol%)未満であることを監視可能。格納容器内水素濃度の最大値(38vol%(ドライ条件))を監視可能。 |
| ⑦フィルタ装置ドレン流量 | 0～30m ³ /h | ドレンポンプの定格流量(10m ³ /h)を監視可能。 |
| ⑧フィルタ装置スクラバ水pH | pH0～14 | フィルタ装置内スクラバ水のpH(pH0～14)が監視可能。 |
| ⑨フィルタ装置金属フィルタ差圧 | 0～50kPa | |
| ⑩ドレンタンク水位 | タンク底部から510mm タンク底部から1586mm タンク底部から3061mm タンク底部から4036mm | ドレンタンク内の水位を把握し、ドレンの排水操作の開始やドレン排水操作の停止判断が可能なることを監視可能。 |

※1 監視パラメータの数字は第2.3.2.3-1図の丸数字に対応する。

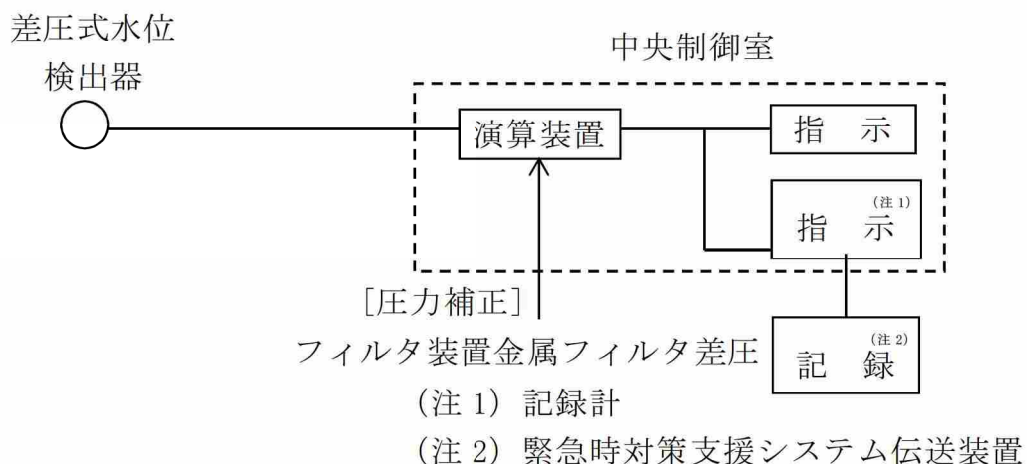
第1-3表 「4. 格納容器圧力逃がし装置の設備操作と操作性」との整合について

| プラント状態 | 2.3.2.2 計測設備の目的 | 4. 格納容器圧力逃がし装置の設備操作と操作性 | 監視パラメータ |
|-----------------------|---|--|---|
| プラント停止時又は通常運転時 | (1)格納容器圧力逃がし装置の待機時の状態 (4)フィルタ装置の水位調整時の確認 | 4.3 ①格納容器圧力逃がし装置点検後の室素置換 | フィルタ装置入口圧力 フィルタ装置出口圧力 フィルタ装置出口配管圧力 |
| 事故発生～格納容器ベント前 | | 4.1.2 a. 格納容器ベント操作前準備 | フィルタ装置水位 フィルタ装置ドレン流量 フィルタ装置スクラバ水 pH |
| 格納容器ベント開始 | (2)格納容器圧力逃がし装置の使用時の状態 | 4.1.2 b. 格納容器ベント開始操作 | フィルタ装置入口圧力 フィルタ装置出口圧力 |
| 格納容器ベント開始後～格納容器ベント停止前 | (4)フィルタ装置の水位調整時の確認 | 4.1.2 c. 格納容器ベント中操作 | フィルタ装置水位 フィルタ装置出口放射線モニタ フィルタ装置ドレン流量 |
| 格納容器ベント停止 | (5)想定される機能障害の把握 | | フィルタ装置スクラバ水 pH フィルタ装置金属フィルタ差圧 ドレンタンク水位 |
| 格納容器ベント停止後 | (3)格納容器圧力逃がし装置の使用後の状態 (4)フィルタ装置の水位調整時の確認 | 4.1.1 d. 格納容器ベント停止操作 4.3 ②格納容器ベント停止後の室素ガスによるパージ | フィルタ装置入口圧力 フィルタ装置水位 フィルタ装置出口放射線モニタ フィルタ装置ドレン流量 フィルタ装置スクラバ水 pH フィルタ装置水素濃度 |

別紙 2 格納容器圧力逃がし装置 計測設備の概略構成図

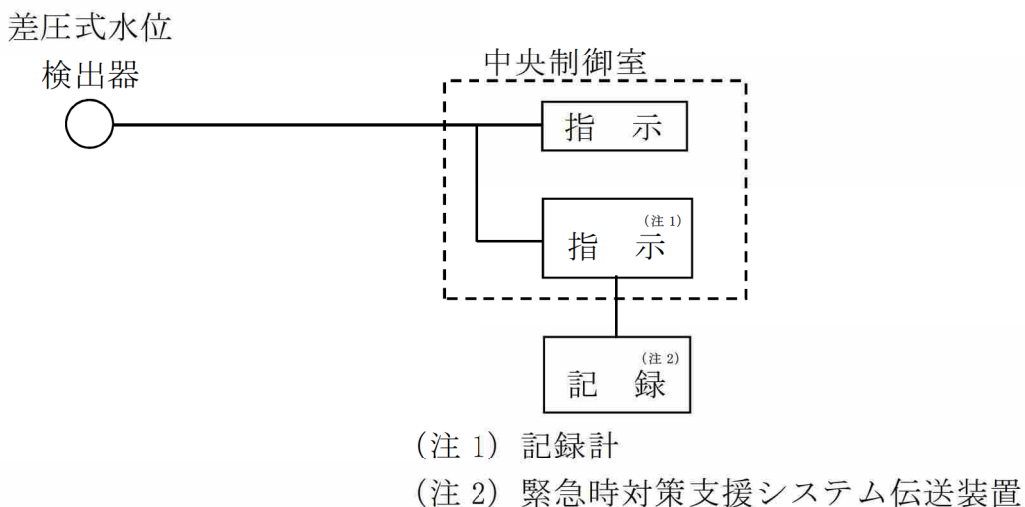
(1) フィルタ装置水位

フィルタ装置水位は、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置水位の検出信号は、差圧式水位検出器からの電流信号を、中央制御室の演算装置を経由し、指示部にて水位信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置水位を中央制御室に指示し、記録する。(第 1-1 図 「フィルタ装置水位の概略構成図」 参照。)



第 1-1 図 フィルタ装置水位の概略構成図

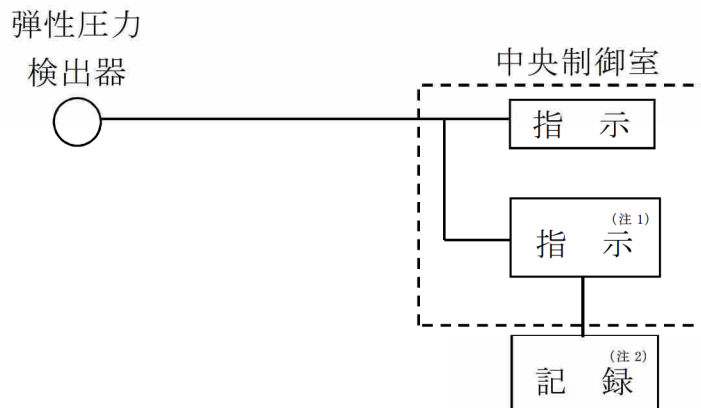
フィルタ装置水位は、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置水位の検出信号は、差圧式水位検出器からの電流信号を、中央制御室の指示部にて水位信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置水位を中央制御室に指示し、記録する。(第 1-2 図 「フィルタ装置水位の概略構成図」 参照。)



第 1-2 図 フィルタ装置水位の概略構成図

(2) フィルタ装置入口圧力

フィルタ装置入口圧力は、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置入口圧力の検出信号は、弾性圧力検出器からの電流信号を、中央制御室の指示部にて圧力信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置入口圧力を中央制御室に指示し、記録する。(第 1-3 図 「フィルタ装置入口圧力の概略構成図」 参照。)



(注 1) 記録計

(注 2) 緊急時対策支援システム伝送装置

第 1-3 図 フィルタ装置入口圧力の概略構成図

(3) フィルタ装置出口圧力

フィルタ装置出口圧力の検出信号は、弾性圧力検出器からの電流信号を、中央制御室の指示部にて圧力信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置出口圧力を中央制御室に指示し、記録する。(図 1-4 「フィルタ装置出口圧力の概略構成図」 参照。)



(注 1) 記録計

第 1-4 図 フィルタ装置出口圧力の概略構成図

(4) フィルタ装置出口配管圧力

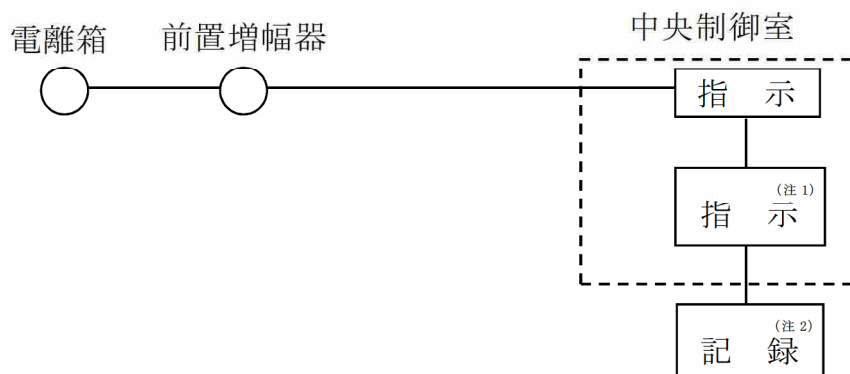
フィルタ装置出口配管圧力は、機械式圧力検出器にて圧力を検出し、フィルタ装置出口配管圧力を現場（原子炉建屋4階屋上）に指示する。（第1-5図 「フィルタ装置出口配管圧力の概略構成図」参照。）



第1-5図 フィルタ装置出口配管圧力の概略構成図

(5) フィルタ装置出口放射線モニタ

フィルタ装置出口放射線モニタは、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置出口放射線モニタの検出信号は、電離箱からの電流信号を、前置増幅器で増幅し、中央制御室の指示部にて放射線量率に変換する処理を行った後、放射線量率を中央制御室に指示し、記録する。（第1-6図 「フィルタ装置出口放射線モニタの概略構成図」参照。）



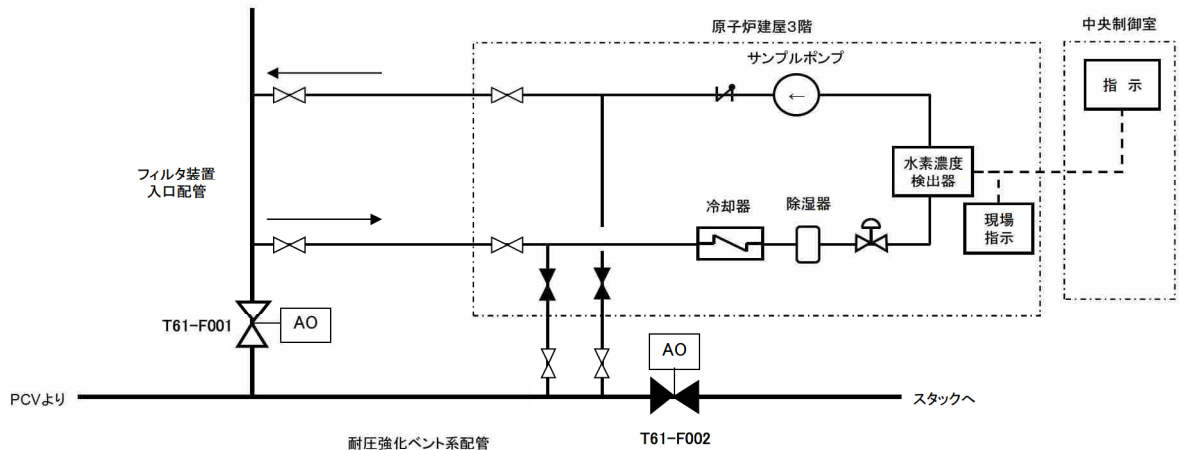
(注1) 記録計

(注2) 緊急時対策支援システム伝送装置

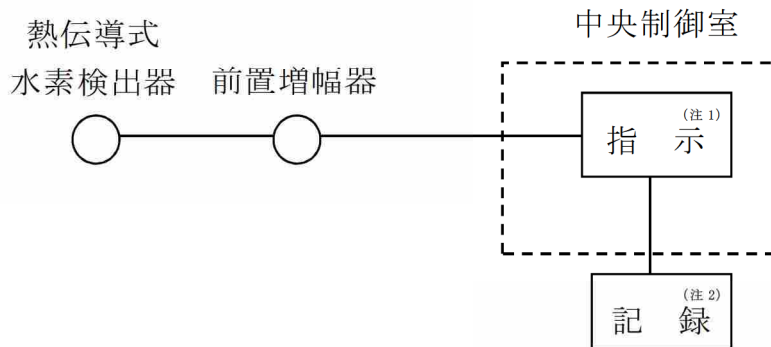
第1-6図 フィルタ装置出口放射線モニタの概略構成図

(6) フィルタ装置水素濃度

フィルタ装置水素濃度は、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置水素濃度の検出信号は、熱伝導式水素検出器からの電流信号を前置増幅器にて増幅し、中央制御室の指示部にて水素濃度信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置水素濃度を中央制御室に指示し、記録する。(第1-7図 「フィルタ装置水素濃度 システム概要図」及び、第1-8図 「フィルタ装置水素濃度の概略構成図」参照。)



第1-7図 フィルタ装置水素濃度 システム概要図 (出口配管側も同様)



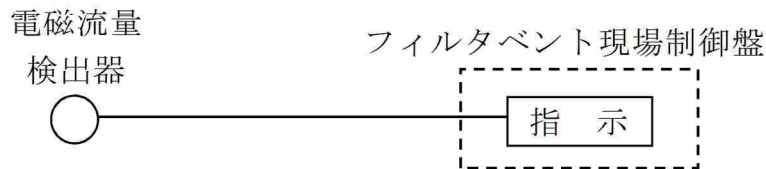
(注1) 記録計

(注2) 緊急時対策支援システム伝送装置

第1-8図 フィルタ装置水素濃度の概略構成図

(7) フィルタ装置ドレン流量

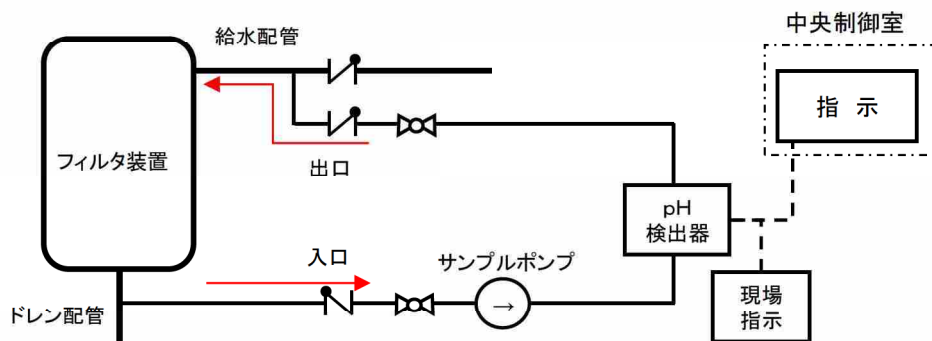
フィルタ装置ドレン流量の検出信号は、電磁流量検出器からの電気信号を、フィルタベント現場制御盤の指示部にて流量信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置ドレン流量をフィルタベント現場制御盤（フィルタベント遮蔽壁附室内）に指示する。（第1-9図 「フィルタ装置ドレン流量の概略構成図」参照。）



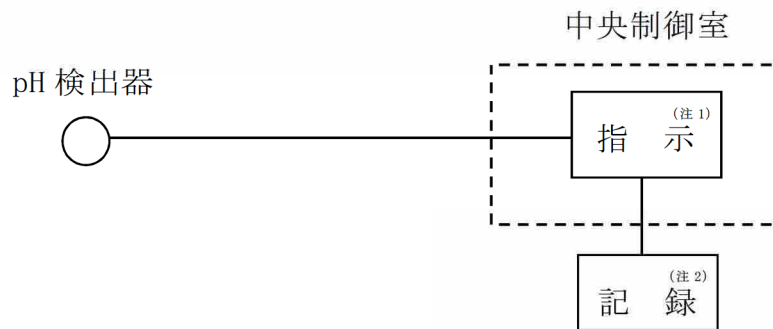
第1-9図 フィルタ装置ドレン流量の概略構成図

(8) フィルタ装置スクラバ水 pH

フィルタ装置スクラバ水 pH は、重大事故等対処設備の機能を有しており、pH 検出器からの電流信号を、中央制御室の指示部にて pH 信号に変換する処理を行った後、フィルタ装置スクラバ水 pH を中央制御室に指示し、記録する。（第1-10図 「フィルタ装置スクラバ水 pH システム概要図」及び、第1-11図 「フィルタ装置スクラバ水 pH の概略構成図」参照。）



第1-10図 フィルタ装置スクラバ水 pH システム概要図



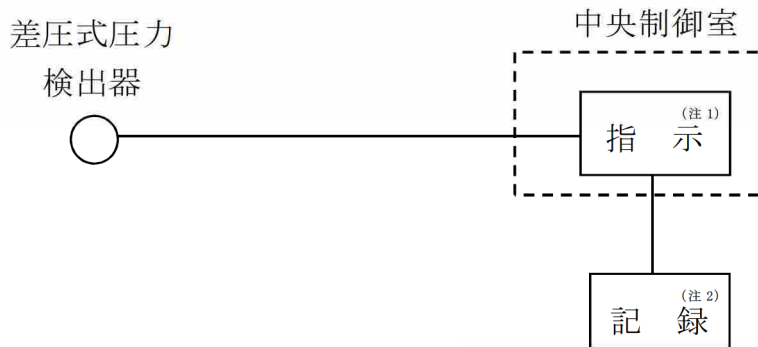
(注1) 記録計

(注2) 緊急時対策支援システム伝送装置

第1-11図 フィルタ装置スクラバ水 pH の概略構成図

(9) フィルタ装置金属フィルタ差圧

フィルタ装置金属フィルタ差圧は、重大事故等対処設備の機能を有しており、フィルタ装置金属フィルタ差圧からの電流信号を、中央制御室の指示部にて差圧信号へ変換する処理を行った後、フィルタ装置金属フィルタ差圧を中央制御室に指示し、記録する。(第1-12図 「フィルタ装置金属フィルタ差圧の概略構成図」参照。)



(注1) 記録計

(注2) 緊急時対策支援システム伝送装置

第1-12図 フィルタ装置金属フィルタ差圧の概略構成図

(10) ドレンタンク水位

ドレンタンク水位の検出信号は、フロート式水位検出器からの水位状態 (ON-OFF 信号) を、中央制御室に指示し、記録する。(第1-13図 「ドレンタンク水位の概略構成図」参照。)

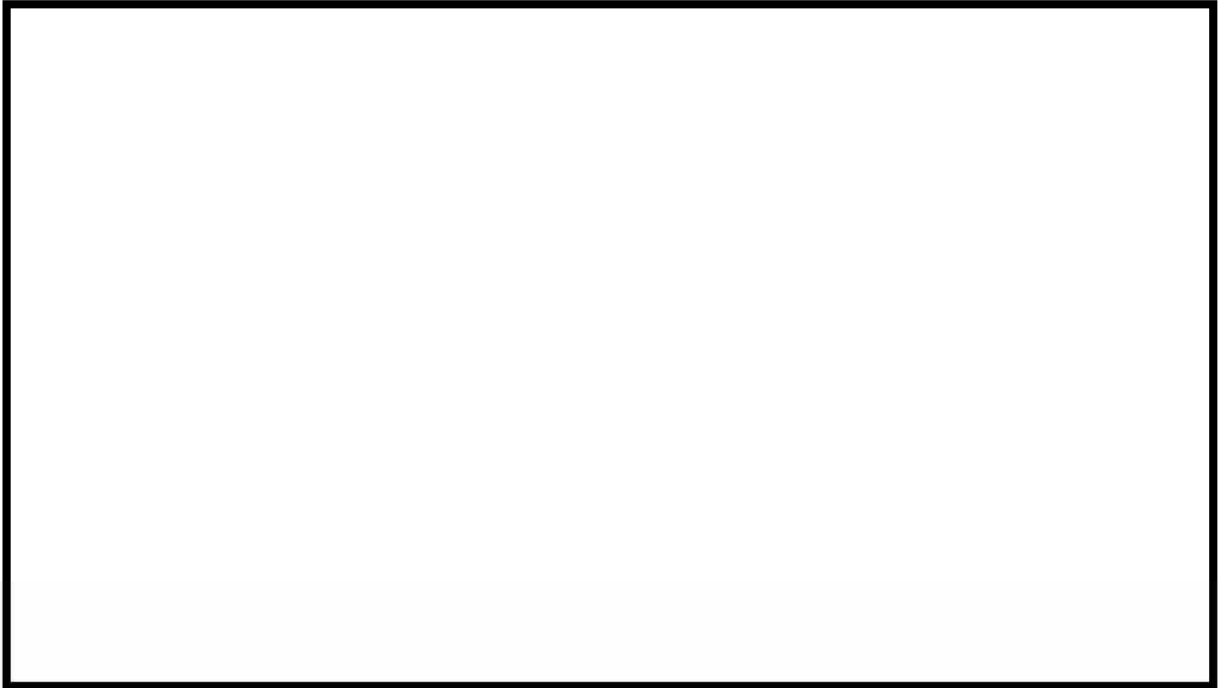


(注1) 記録計

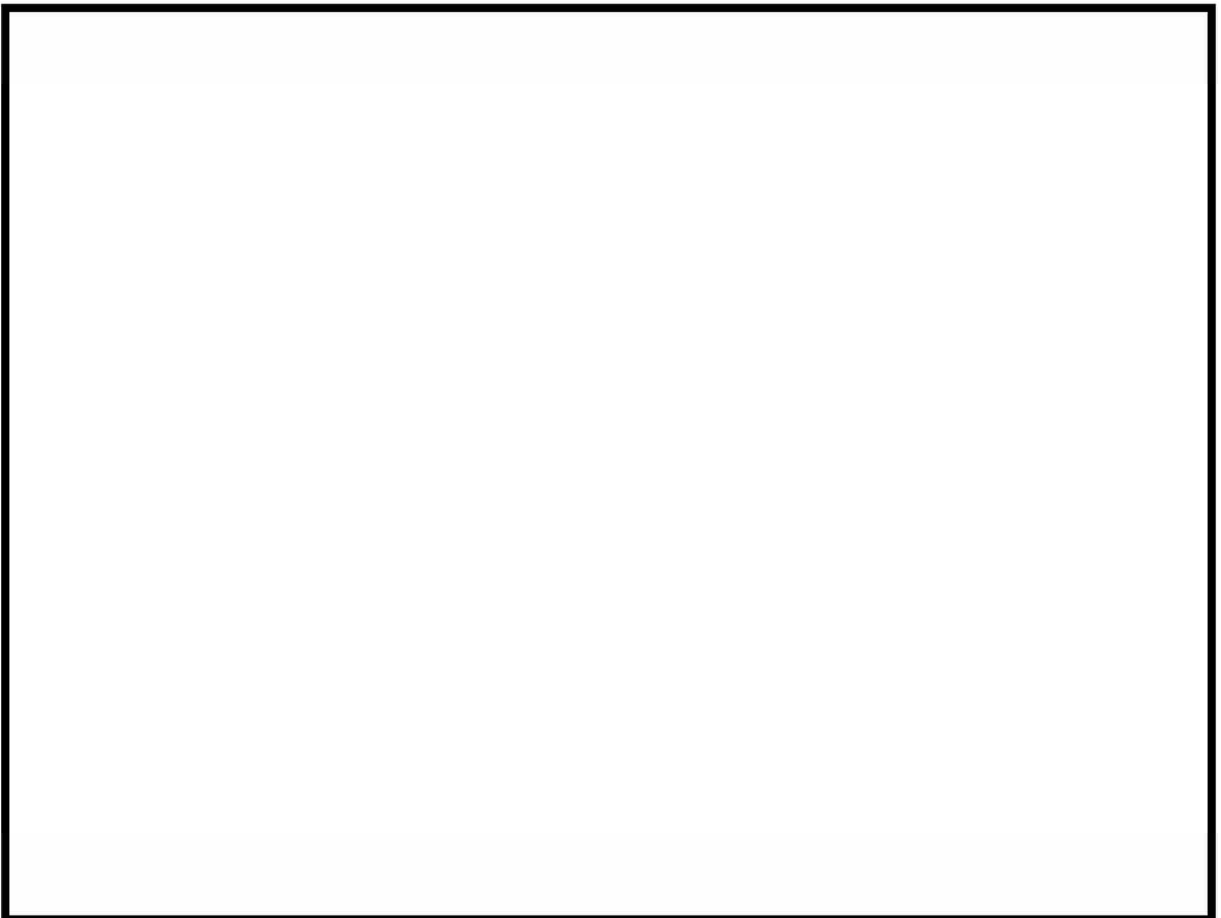
第1-13図 ドレンタンク水位の概略構成図

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

参考 格納容器圧力逃がし装置 計測設備の機器配置図

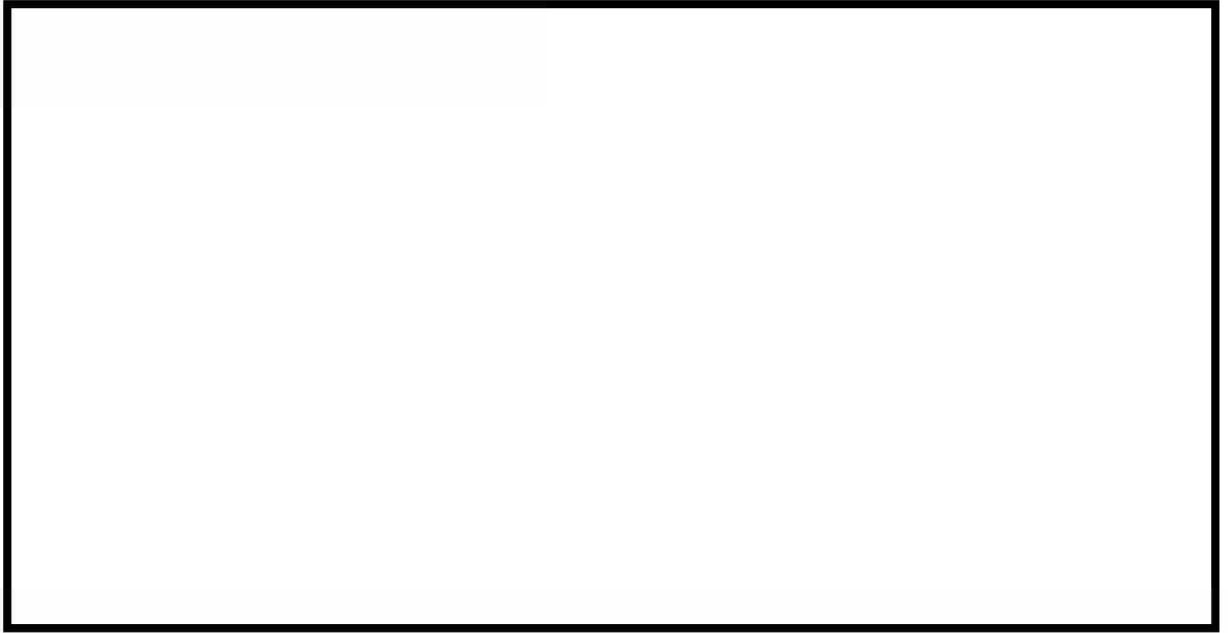


第 1-14 図 6 号炉格納容器圧力逃がし装置 計測設備 全体概要図

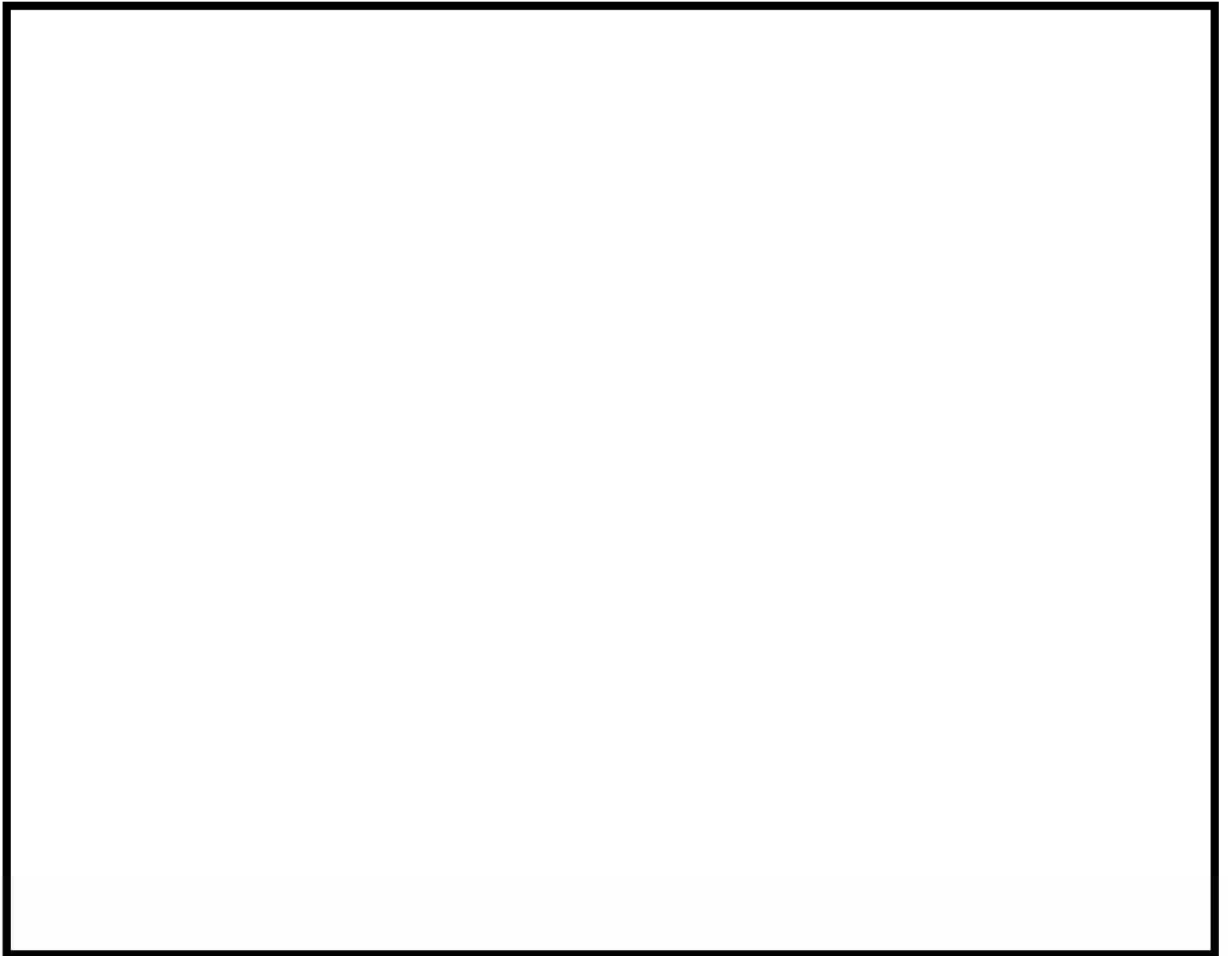


第 1-15 図 機器配置図 (6 号炉屋外)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



第 1-16 図 機器配置図 (6 号炉屋上)

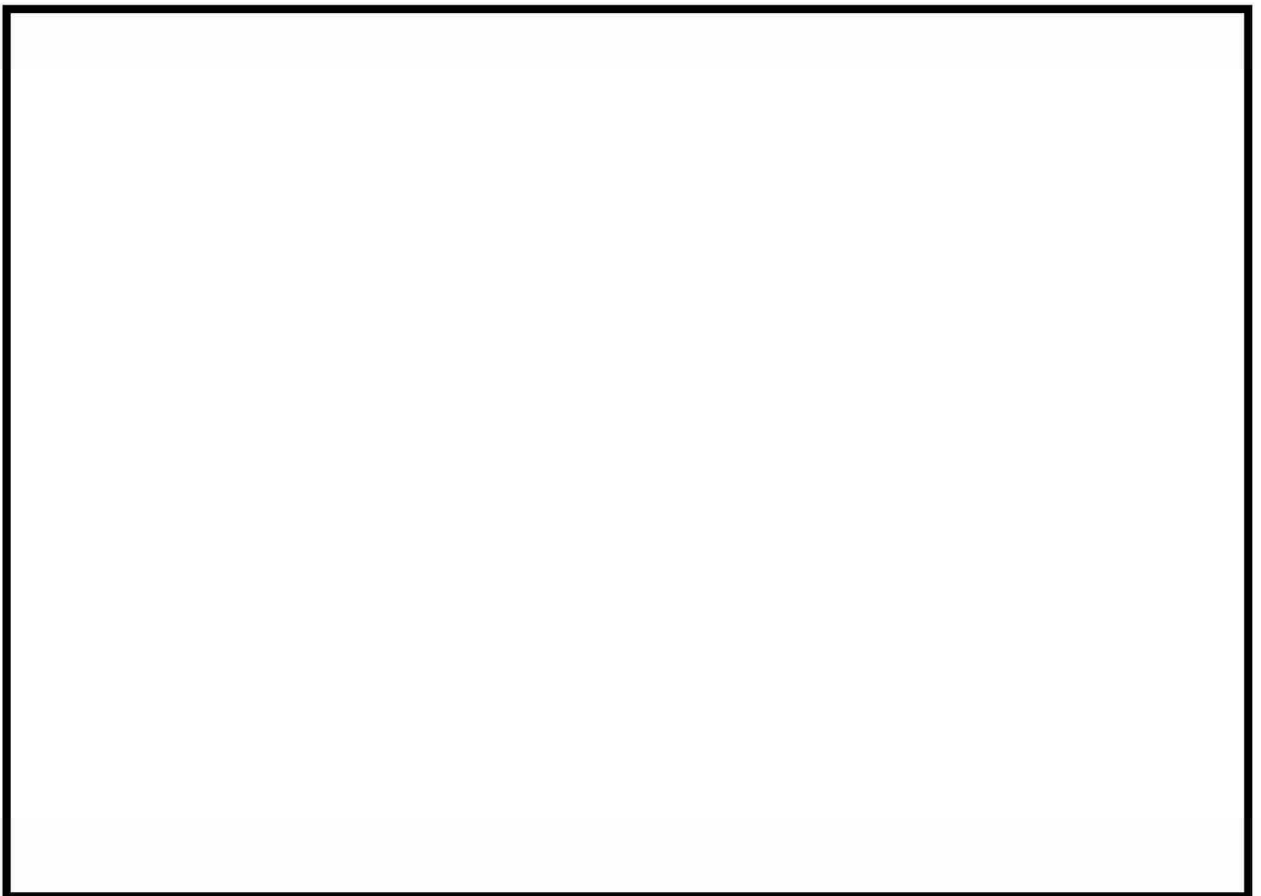


第 1-17 図 機器配置図 (6 号炉原子炉建屋地上 3 階)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

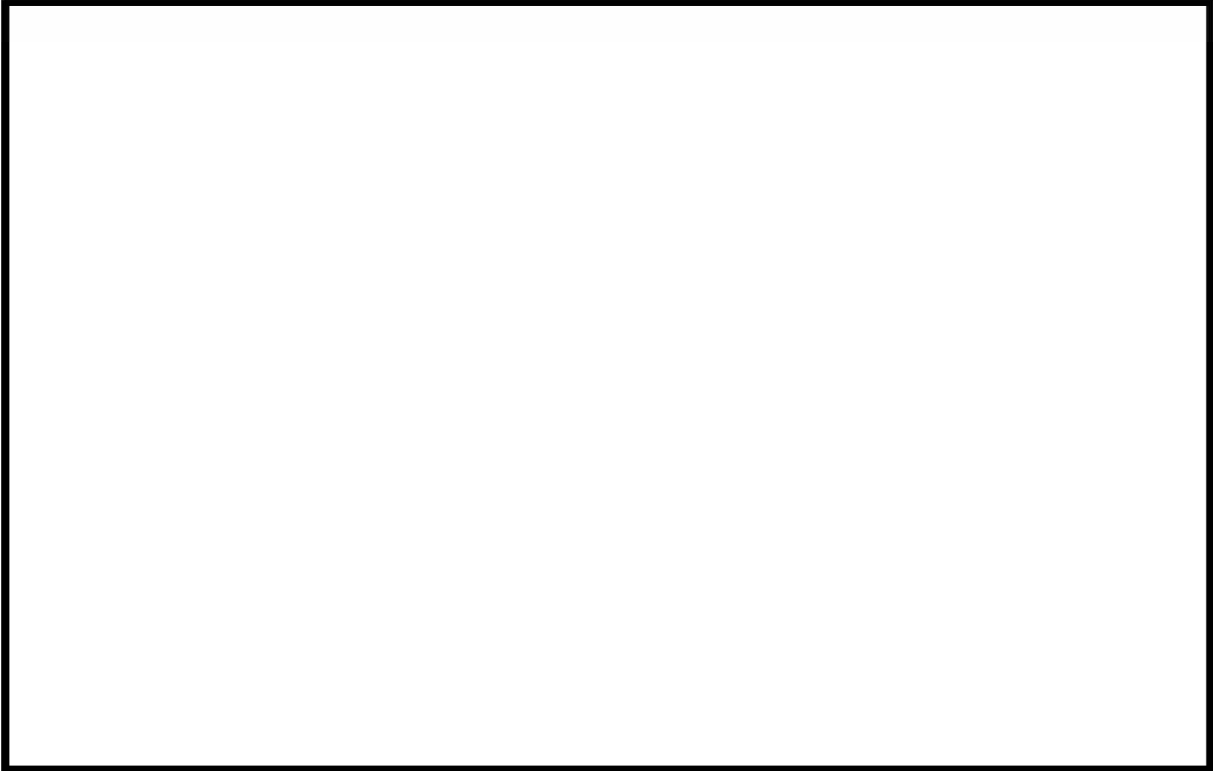


第 1-18 図 7 号炉格納容器圧力逃がし装置 計測設備 全体概要図

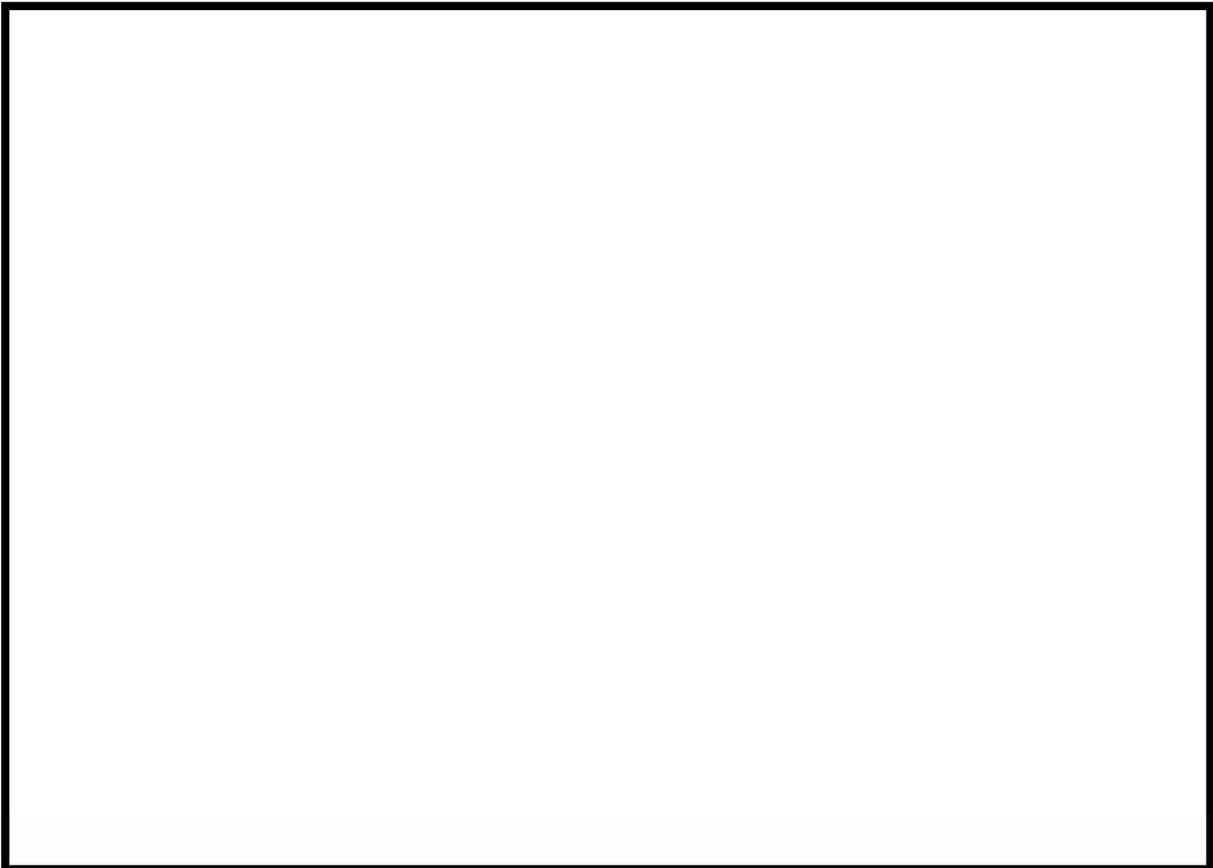


第 1-19 図 機器配置図 (7 号炉屋外)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

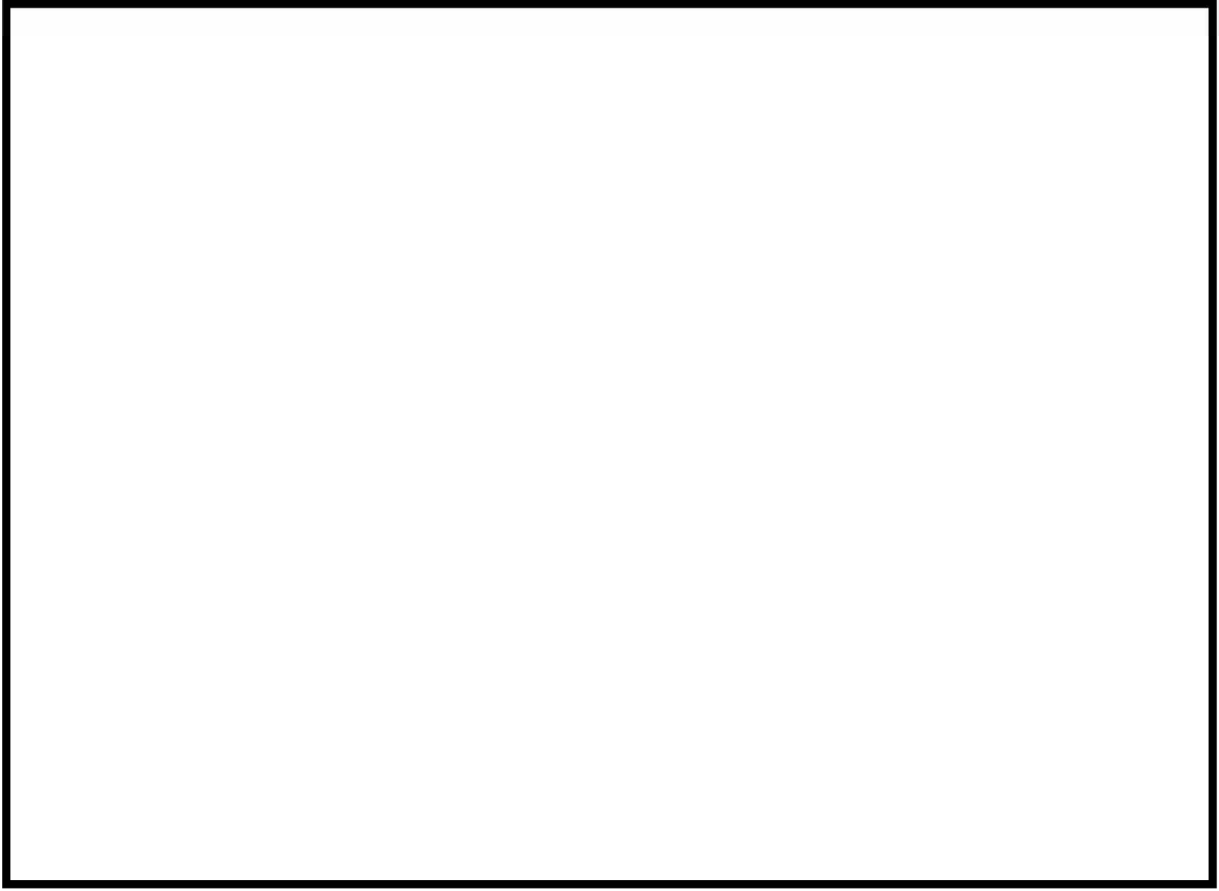


第 1-20 図 機器配置図 (7 号炉屋上)



第 1-21 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋地上 3 階)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



第 1-22 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋地上中 3 階)

別紙 3 放射線検出器の計測上限及び放射性物質濃度推定の考え方

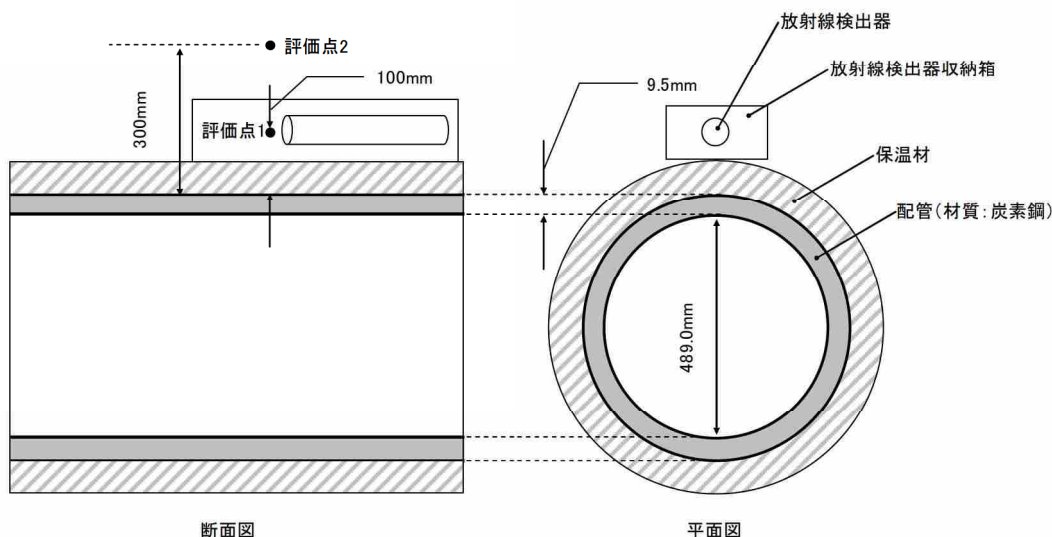
放射線検出器の計測範囲は、想定される最大放射線量率 (mSv/h) の評価結果から上限を設定する設計としている。また、放出された放射性物質濃度の推定にあたっては、放射線検出器の指示値 (mSv/h) から、放射性物質濃度 (Bq/cm³) を推定する方針としている。

1. フィルタ装置出口放射線モニタの計測上限の考え方

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放射線量率の評価条件は、以下のとお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原子炉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原子炉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. 想定される最大放射線量率の評価結果

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

第 1-1 表 放射線量率評価値

| | 評価点 1 (配管表面から 100mm) | 評価点 2 (配管表面から 300mm) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 放射線量率 [mSv/h] | 約 1.0×10^5 | 約 6.2×10^4 |

以上より、保守性を考慮した評価結果から最大放射線量率は約 1×10^5 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 とし適切に設計している。

2. フィルタ装置出口放射線モニタによる放射性物質濃度推定について

a. 放射性物質濃度の推定に関する方針

放射線検出器を配管表面から 300mm 離れた評価点 2 での放射線量率 (mSv/h)、配管内の放射性物質濃度 (Bq/cm^3) 及び換算係数 ($[\text{Bq}/\text{cm}^3]/[\text{mSv}/\text{h}]$) 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] | 放射線量率 [mSv/h] | 放射性物質濃度 [Bq/cm^3] | 換算係数 $[[\text{Bq}/\text{cm}^3]/[\text{mSv}/\text{h}]$ |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | 約 6.2×10^4 | 約 1.1×10^9 | 約 1.8×10^4 |
| 24 | 約 2.1×10^4 | 約 5.0×10^8 | 約 2.4×10^4 |

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/cm^3) を推定する方針である。

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/cm^3) を評価することが可能である。

b. 放出放射エネルギーの推定方法について

上記「a.」で求めた放射性濃度 (Bq/cm³) に、格納容器内圧力から推定されるベントガス流量 (m³/h) を乗じ、放出速度 (Bq/h) を求め、ベント実施期間で積分することにより、放出放射エネルギー (Bq) を求めることが可能である。

なお、本推定方法において、放射線検出器付近におけるバックグラウンド分も含めた保守的な評価となることを理解した上で使用する。

フィルタ装置出口配管の放射性物質濃度の推定について、以下の理由により、サンプリング分析ではなく、配管外表面の放射線量の直接計測を採用した。

- ・原子炉格納容器雰囲気ガスがフィルタ装置へ導かれていることの確認を迅速に、かつ、遠隔での連続監視が必要であるが、サンプリング分析の場合は、時間遅れやある一定間隔での計測となること。
- ・サンプリング実施時に、サンプリング配管からベントガスが漏えいするリスクがあること。
- ・「発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針」より、「連続計測の場合には、配管又は容器外表面の放射線量の直接計測により放射性物質濃度を推定する方法を採用してもよい」との記述があり、これらを参考にしながら、設備設計を実施したこと。

3. 格納容器内雰囲気放射線レベル等を用いた放射性物質濃度推定について

格納容器圧力逃がし装置より放出される放射エネルギーの算定方法として、上記に格納容器圧力逃がし装置の放射線検出器を用いる方法を示している。事故時において得られたパラメータより多角的に事象進展を分析することが必要となるため、上記に示す手法以外の推定方法である格納容器内雰囲気放射線レベル(D/W) (S/C) を用いる手法についても示す。

○具体的な手順

- ① プラントデータを確認し事前に評価する代表的な重大事故時想定の中より最も事象進展が近いものを選定する^{*1}。
- ② 事前に評価した『代表的な重大事故時想定における原子炉格納容器内に存在する放射エネルギー (Bq) 及び検出器位置での放射線量率 (Sv/h)』をもとに、測定された格納容器内雰囲気放射線レベルの放射線量率 (Sv/h) から原子炉格納容器内に存在する放射エネルギー (Bq) を比例計算にて求める。この時、格納容器壁面等に沈着している放射性物質からの影響は必要に応じて補正を行う。
- ③ ②より求めた格納容器気相部内の放射エネルギー (Bq) に格納容器圧力逃がし装置、S/Cスクラビングの除去係数を考慮し放出放射エネルギー (Bq) を求める。

○事前の準備項目

- (1) 各核種の炉内内蔵量 (Bq) を解析にて求める (サイクル末期で代表)
- (2) 各核種の減衰挙動を求める。
- (3) M A A P コードを用い、代表的な重大事故時想定^{※1}における主要な放射性物質の存在割合及び放射エネルギーを評価する。
- (4) 上記の評価結果を用い、代表的な重大事故時想定における検出器位置での放射線量率 (Sv/h) を評価する。評価には検出器の周辺の構造を考慮した線量評価モデルを用いる。なお、格納容器壁面等に沈着している放射性物質からの寄与はその影響の大きさを確認し、当該事象での補正の必要性を確認する。

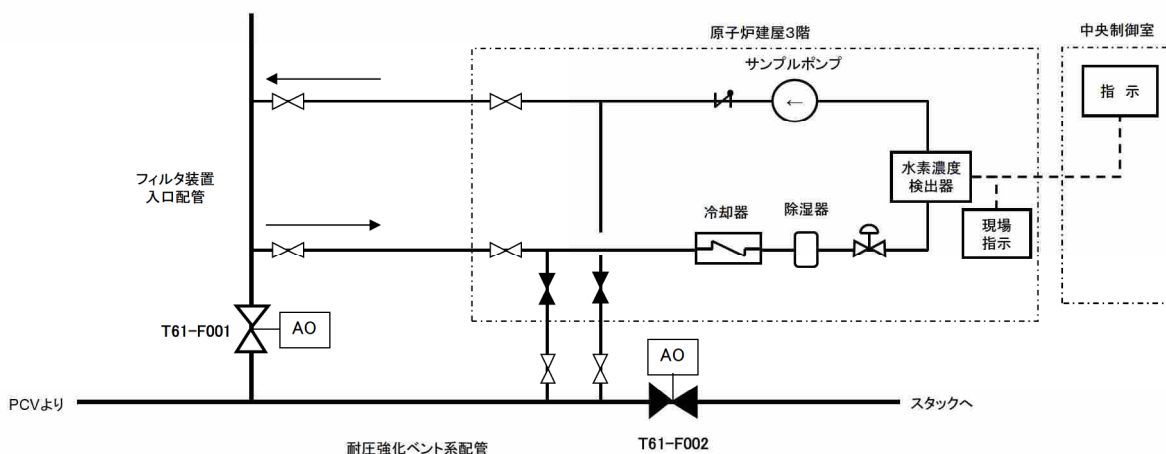
※1 事前に評価する代表的な重大事故時想定として、格納容器内の放射性物質の存在割合に大きく影響する L O C A の発生の有無等を考慮した複数ケースを評価する (平成 29 年 3 月 27 日時点での運用予定のケースを示しており、今後の検討により評価条件及び評価ケースは見直す可能性がある)。

事故時にはプラントデータを確認し、評価ケースの中より最も近い事象進展を選定し、評価を行う。

なお、上記手順は、格納容器圧力逃がし装置の使用の可能性がある場合において、その影響 (概算) を早期に確認するための手法である。そのため、詳細な値は事故後に得られた詳細な事象進展、データを用いて確認する必要がある。

別紙 4 フィルタ装置水素濃度の計測時間遅れについて

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ガス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、中央制御室に指示し、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とおりである。

- ・ 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°C, 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

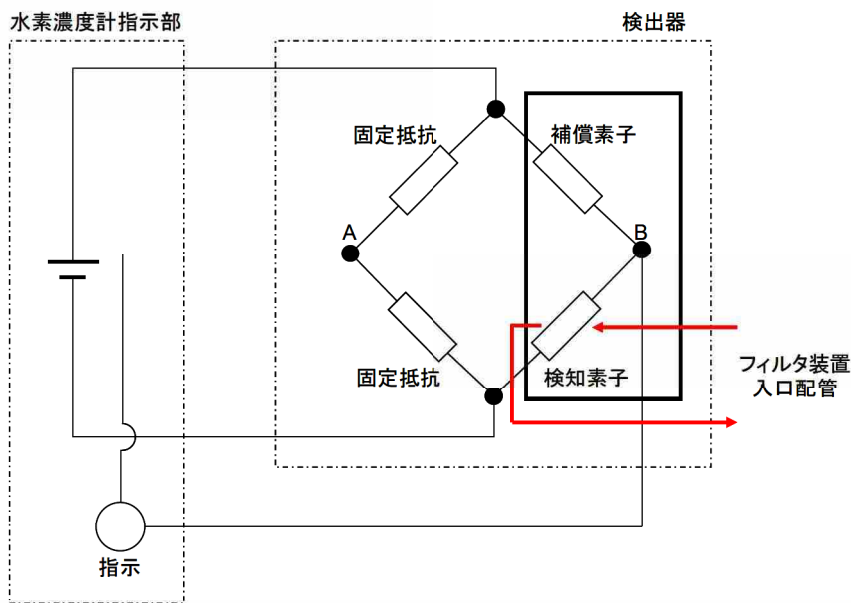
| 号炉 | 6 号炉 | 7 号炉 |
|------|--------|-------|
| 時間遅れ | 約 10 分 | 約 8 分 |

<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AB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。



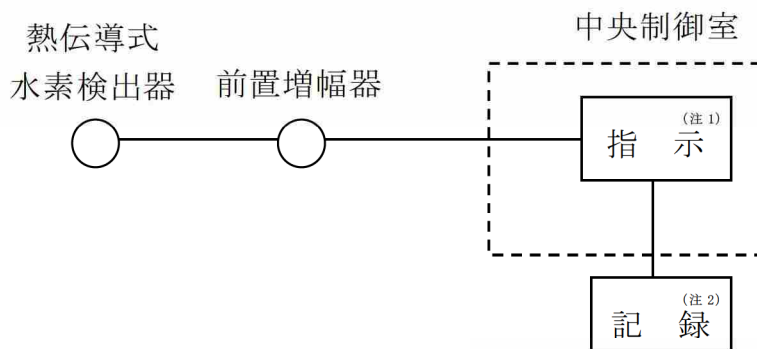
第1-2図 水素濃度計検出回路の概要図

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. 水素濃度計の仕様

| | |
|------|------------------|
| 種 類 | 熱伝導式水素検出器 |
| 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） |



(注 1) 記録計

(注 2) 緊急時対策支援システム伝送装置

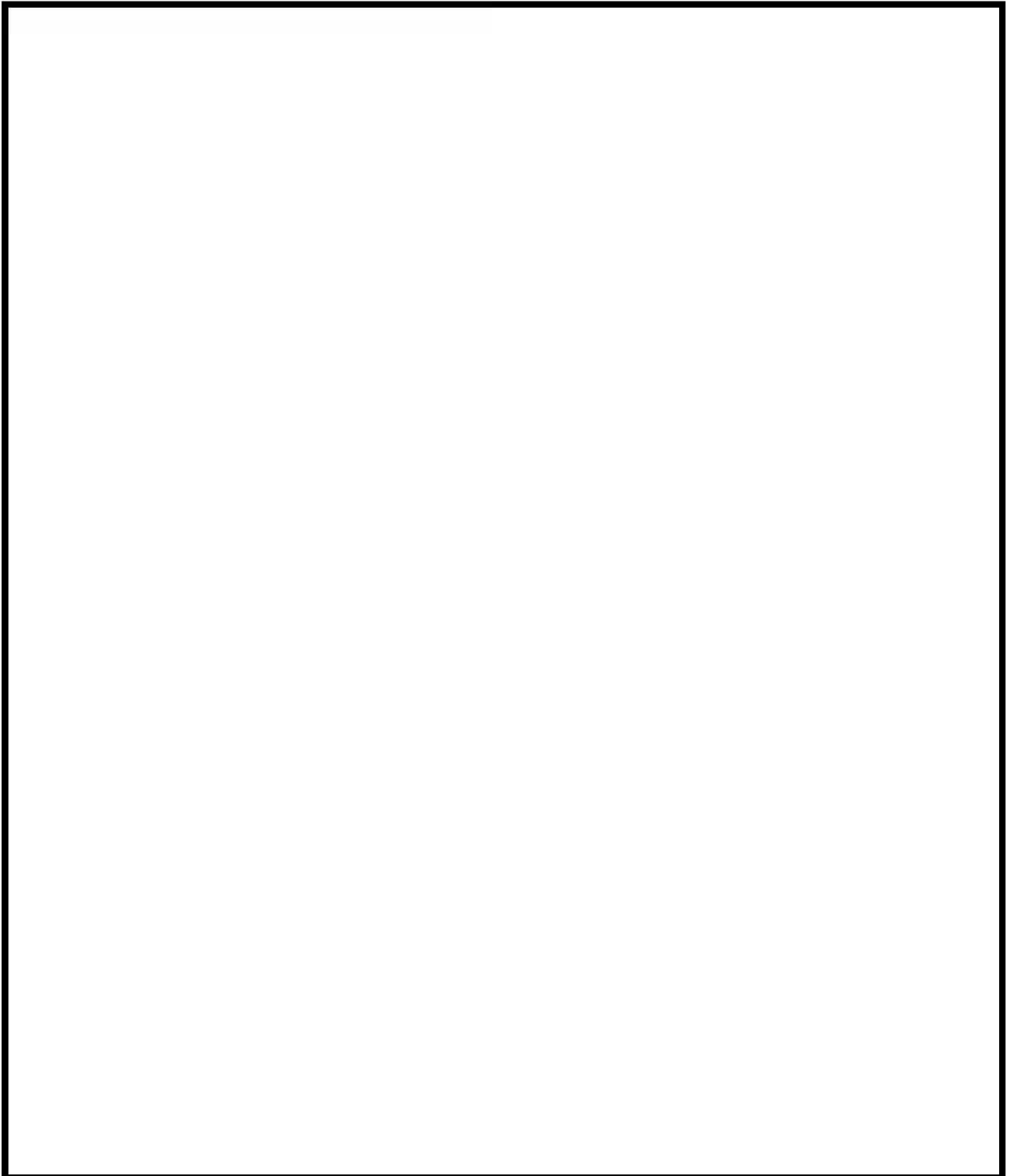
第 1-3 図 フィルタ装置水素濃度の概略構成図

水素濃度の計測範囲 0～100vol%において、計器仕様は最大±2.1vol%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。

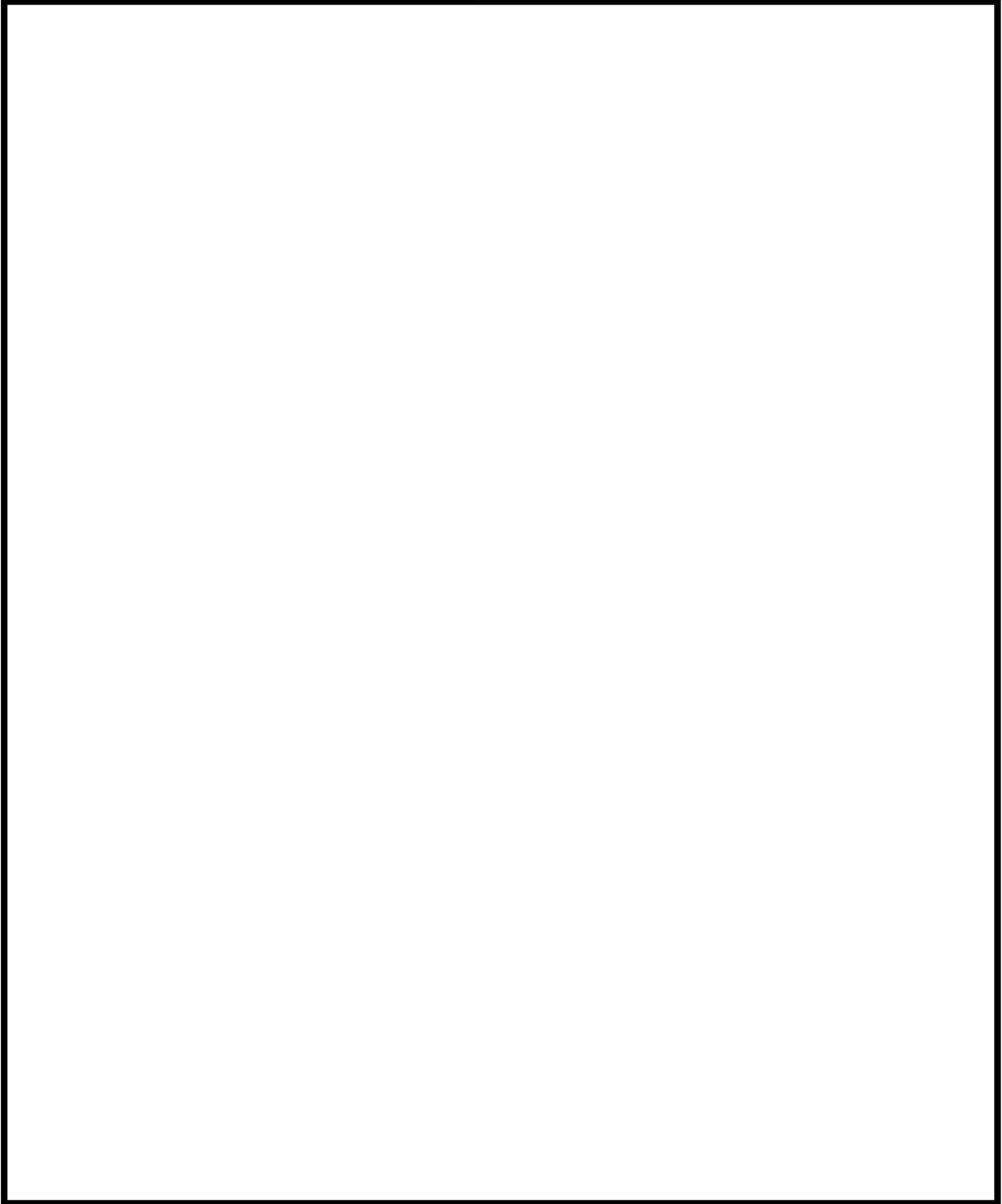
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

別紙 5 エアロゾル計測装置について

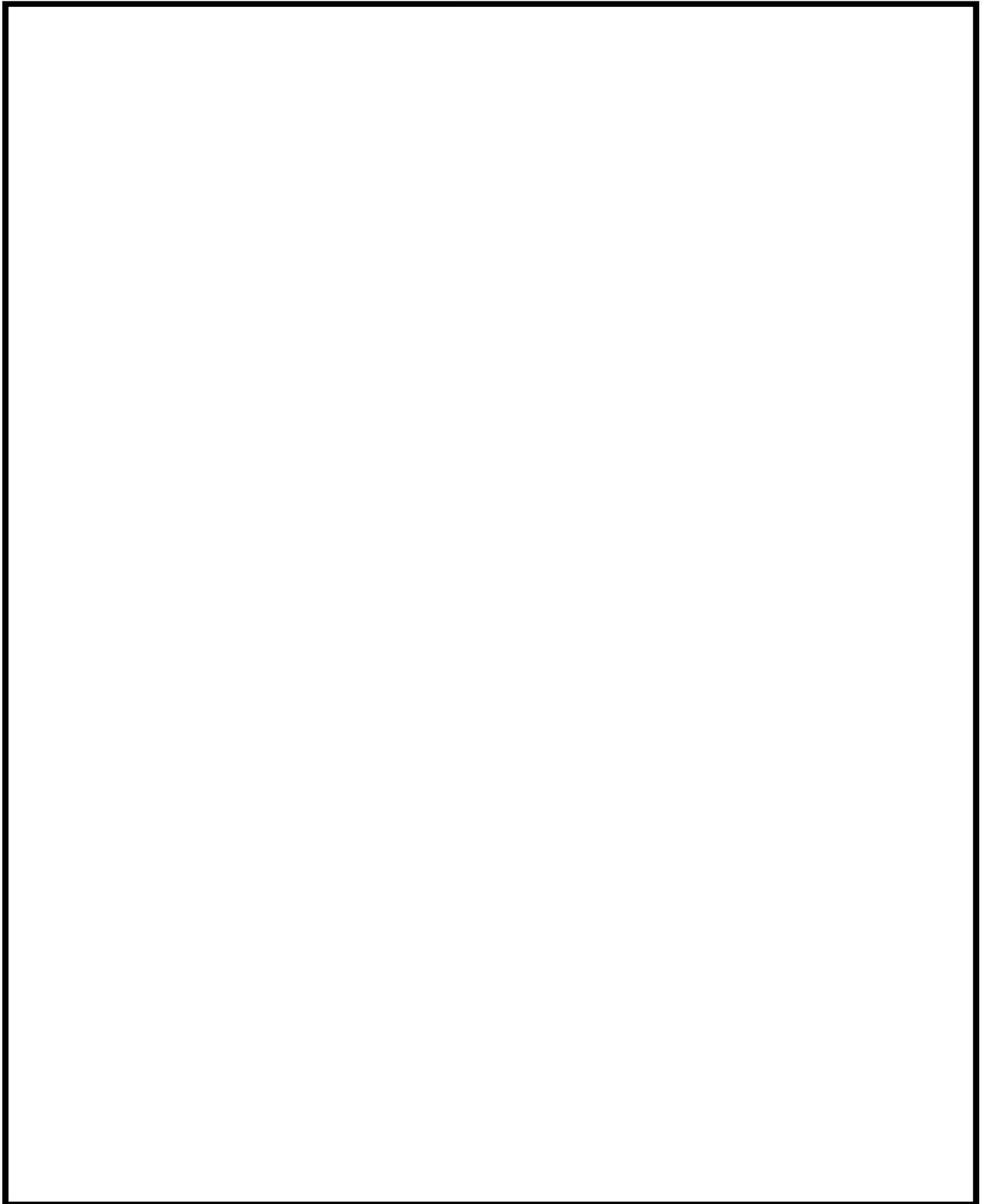
(1) エアロゾル計測装置の計測原理



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。



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。



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。



(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($0.2\mu\text{m}$)、を含めて粒径計測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。

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。

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。

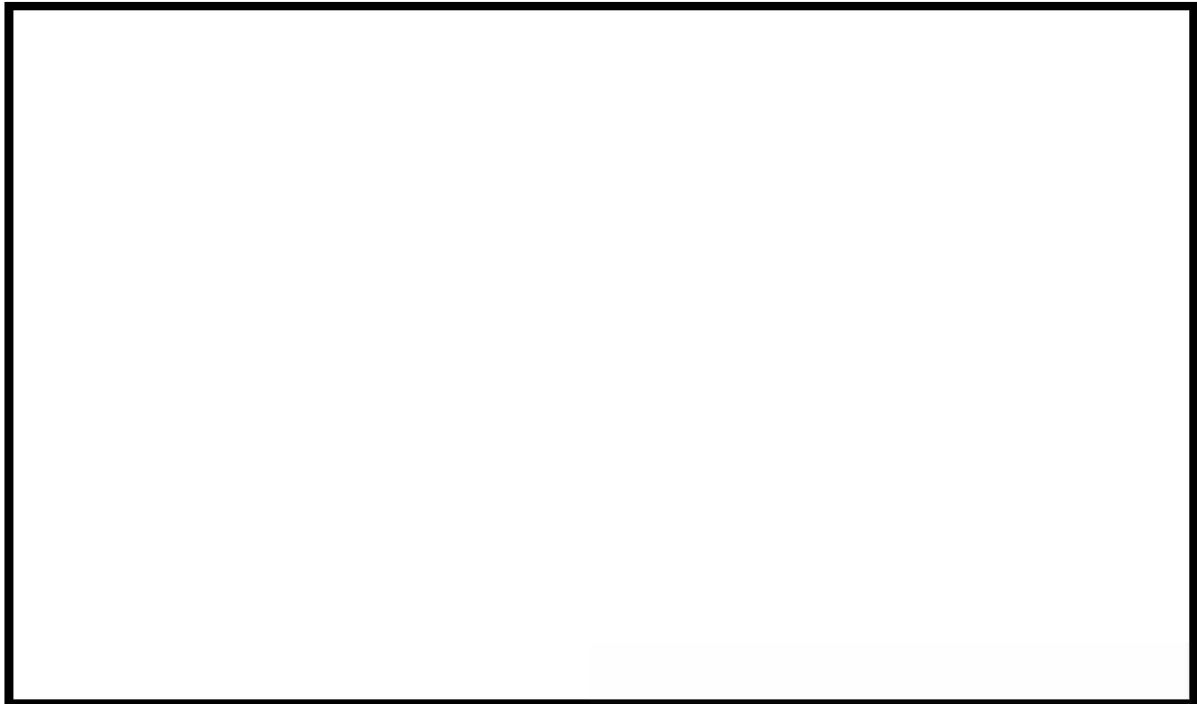
なお、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの可測粒径は $0.2\sim 40\mu\text{m}$ であるが、計測のメカニズムから、小さい粒子の方が発生する散乱光が弱く、計測の誤差が大きくなることから、可能な限り最小可測粒径に近い粒子を計測している。

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



This table area is currently blank, likely due to redaction of the data.

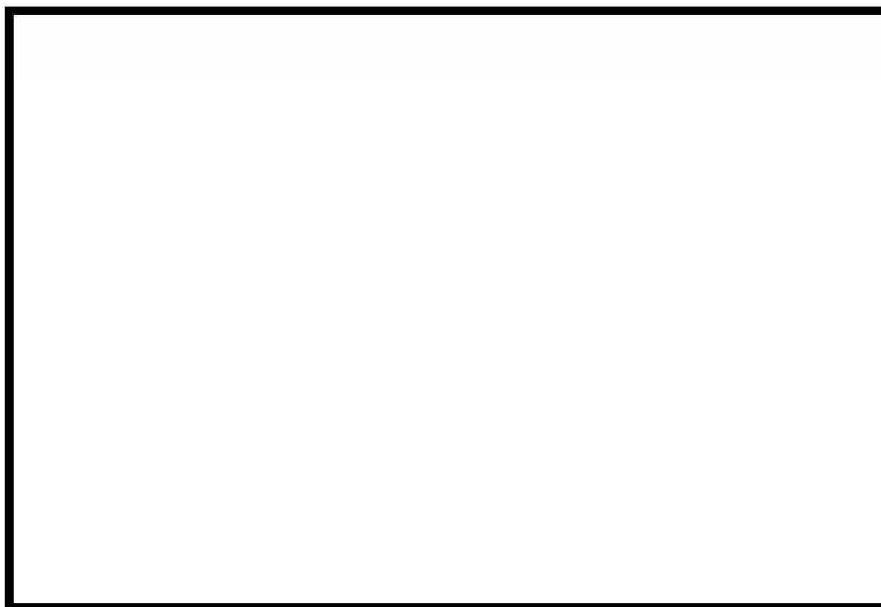


第2-1図 個数濃度評価構成

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。

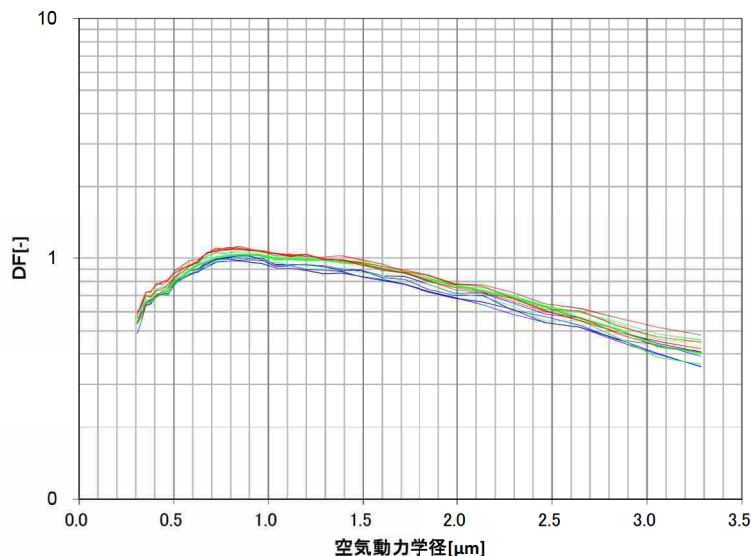


第2-2図 フィルタ容器DF計測試験装置構成図

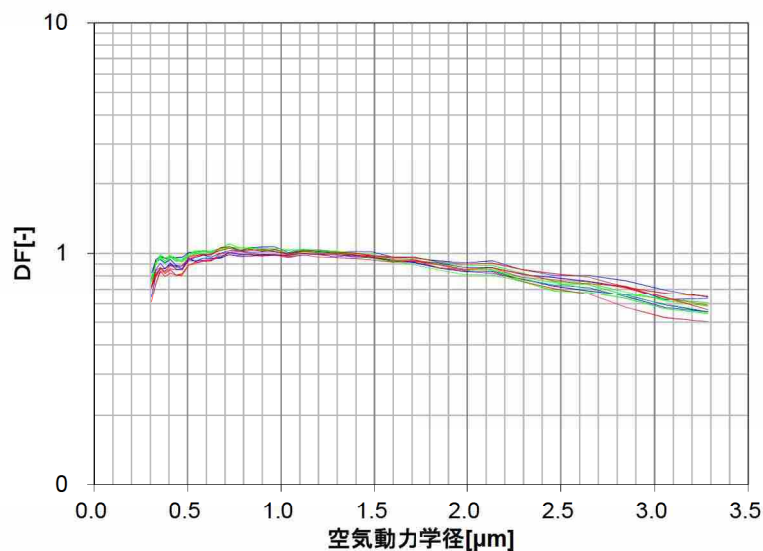
第2-3表 フィルタ容器DF性能試験条件一覧表

| 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)

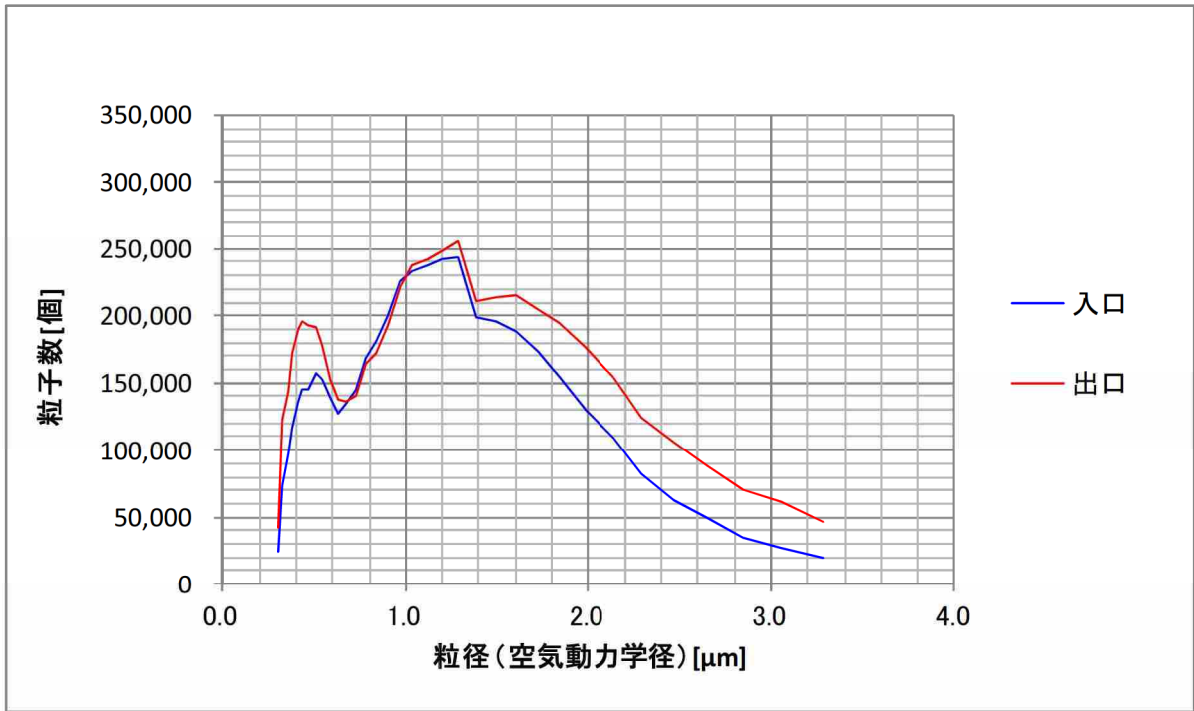


第 2-4 図 フィルタ容器 DF 性能試験結果 (最小流量相当)

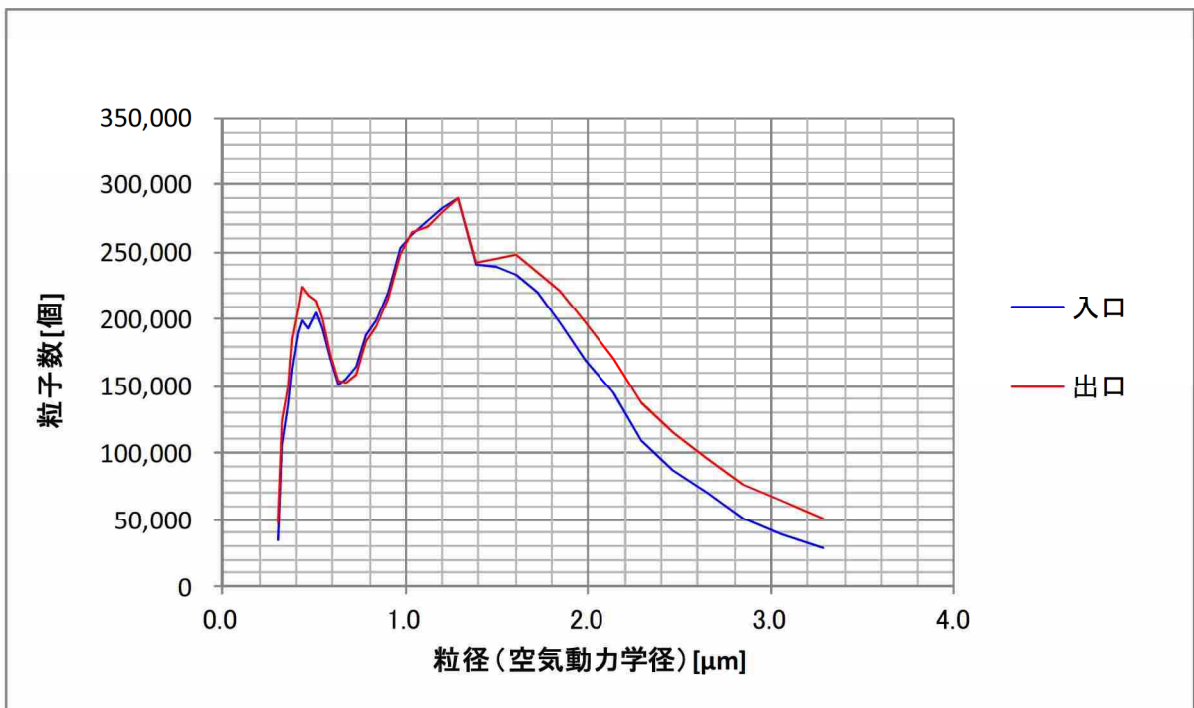
第 2-3 図, 第 2-4 図より, ほとんどの粒径範囲において, DF が 1 以下となっており, フィルタ入口側の粒子検出個数よりも, フィルタ出口側の粒子検出個数の方が多くなっていることがわかった。計測器 1 をフィルタ入口側, 計測器 2 を出口側に設置することで, DF を保守的に評価できていると考える。

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 $0.01\sim 1.0\mu\text{m}$ 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 μm 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 μm 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 $0.01\sim 1.0\mu\text{m}$ 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

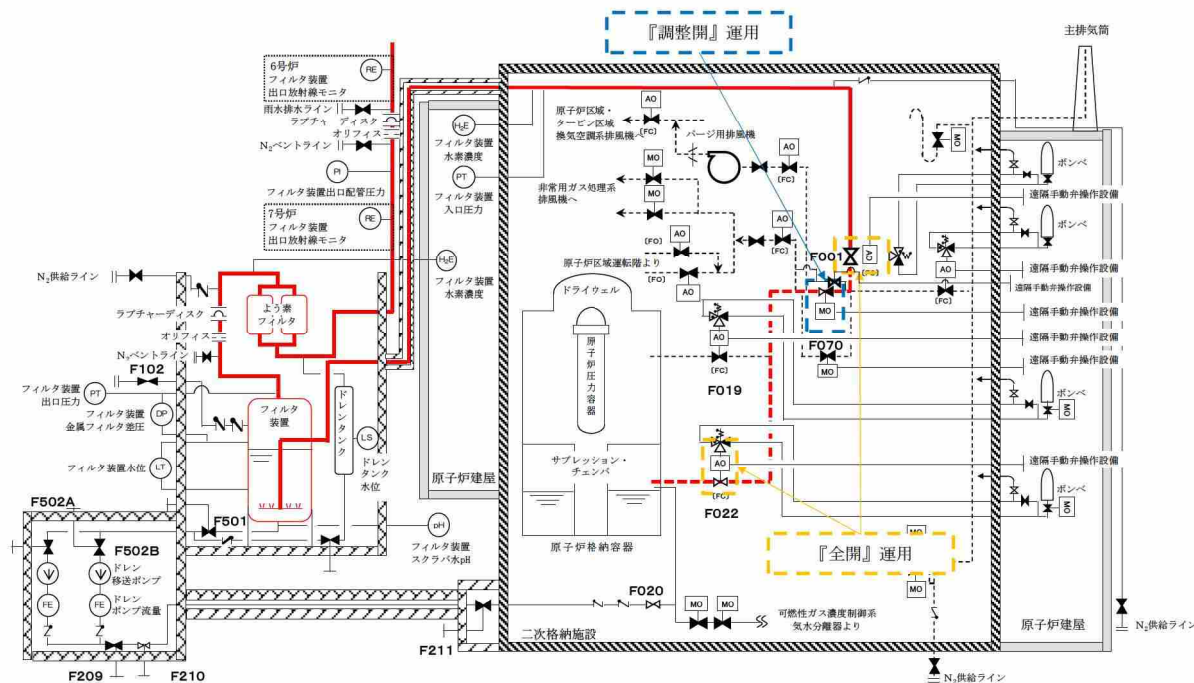
格納容器圧力逃がし装置の系統概要図を第 1-1 図に示す。

格納容器圧力逃がし装置の二次隔離弁については、格納容器ベント操作による急激な原子炉格納容器の減圧による原子炉格納容器の破損を防止することと、格納容器圧力逃がし装置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『調整開』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。

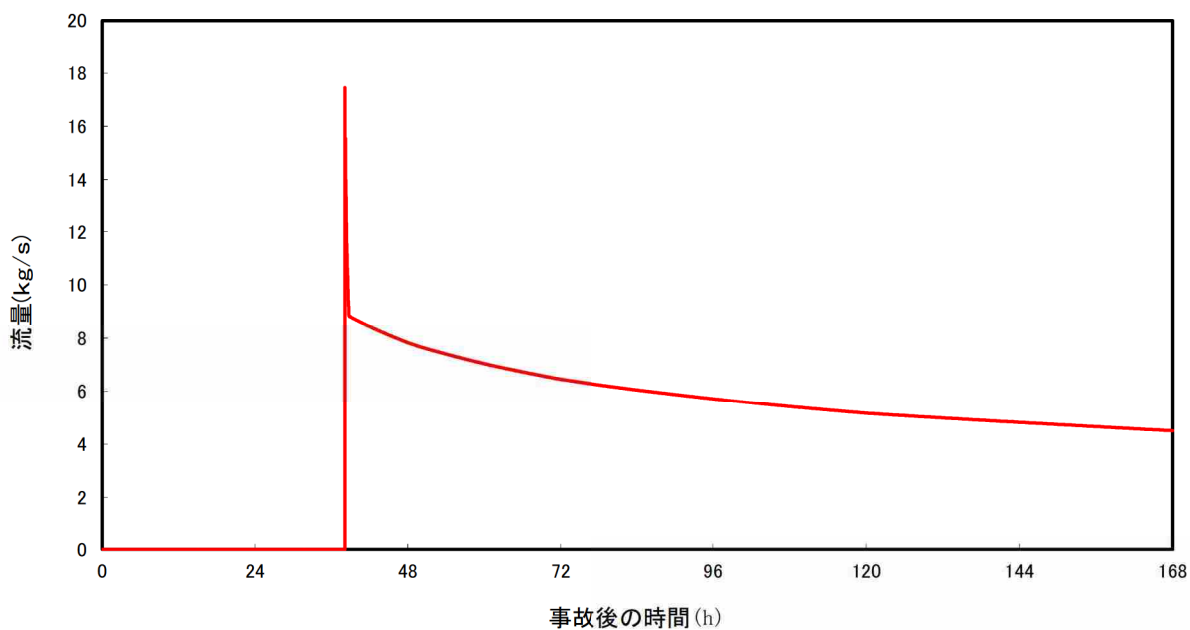
「大 LOCA+SBO+全 ECCS 機能喪失」シナリオにおける、ベントガス流量の評価結果を第 1-2 図に示す。

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。

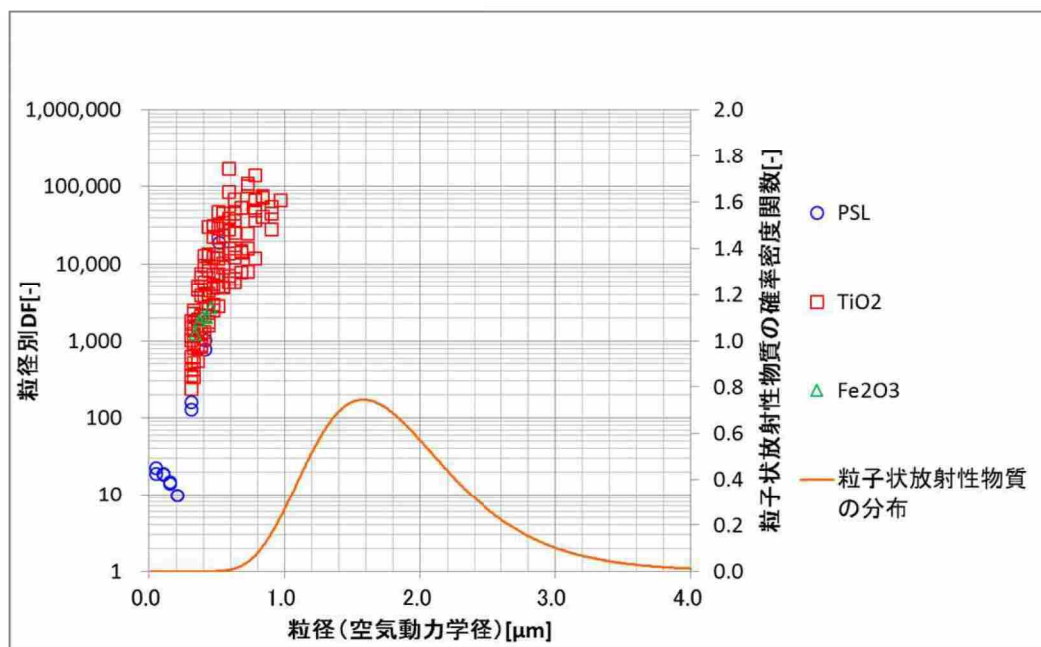
性能試験の結果、体積流量 37,000m³/h においても、DF は 1,000 以上となることが確認できた。



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 μ m), ガス流量は最小流量相当の 13,000m³/h, スクラバ水位は 1m としている。

試験の結果, 粒径が 0.2 μ m 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。

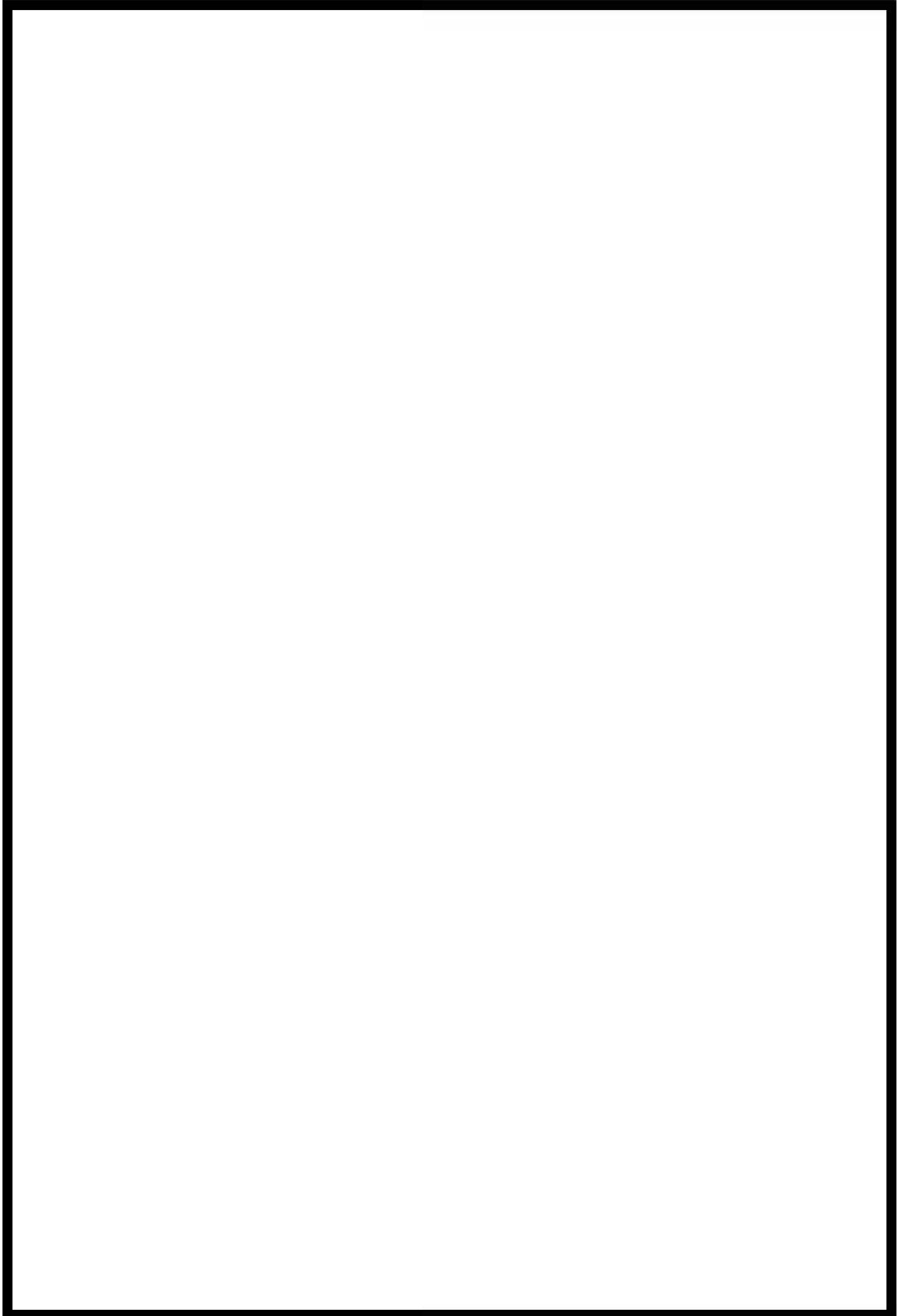
試験は、スクラバ水位を100mmとし、ブロワーにて4象限分に換算して約30,500m³/h相当の空気を送気した状態で、噴射状態の目視確認と噴射量の計測を実施した。

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 ノズル噴射状況

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。

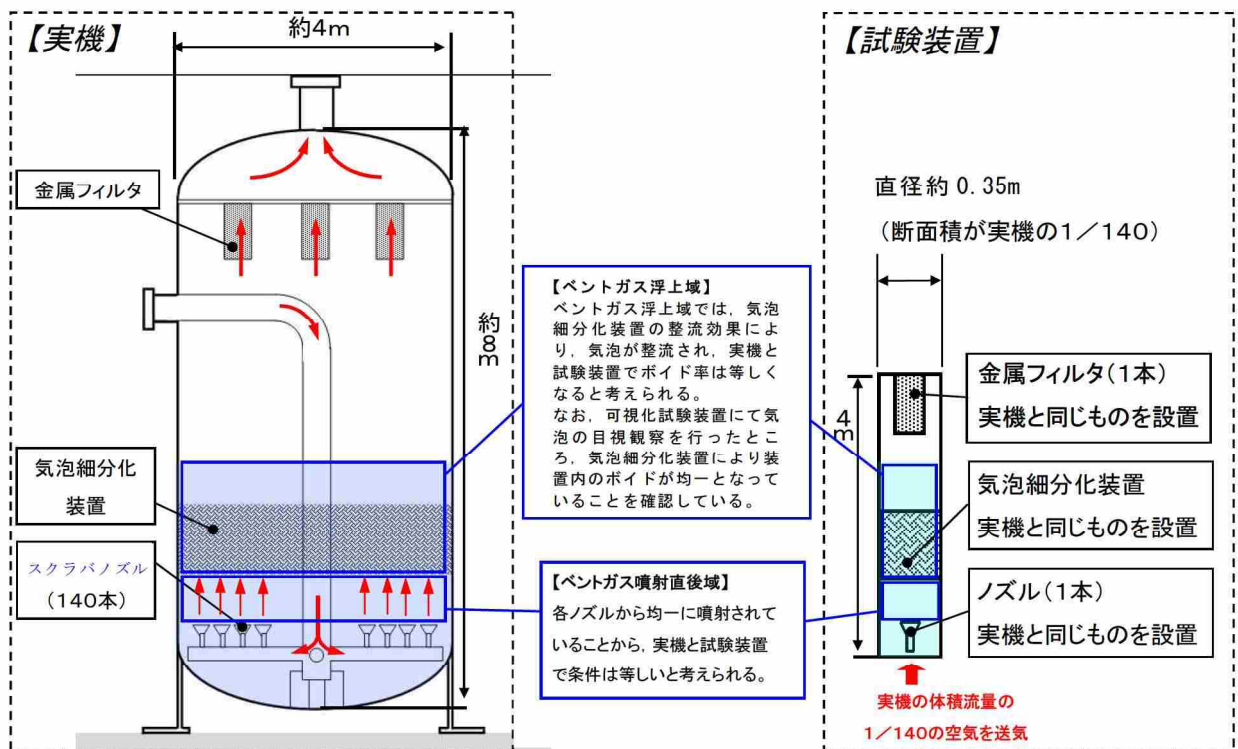
以上より、スクラバノズルが1本の試験装置にて、実機の性能は再現できていると考えられる。

【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径分布は3.2.2.1に示す通りであり、考慮される粒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。

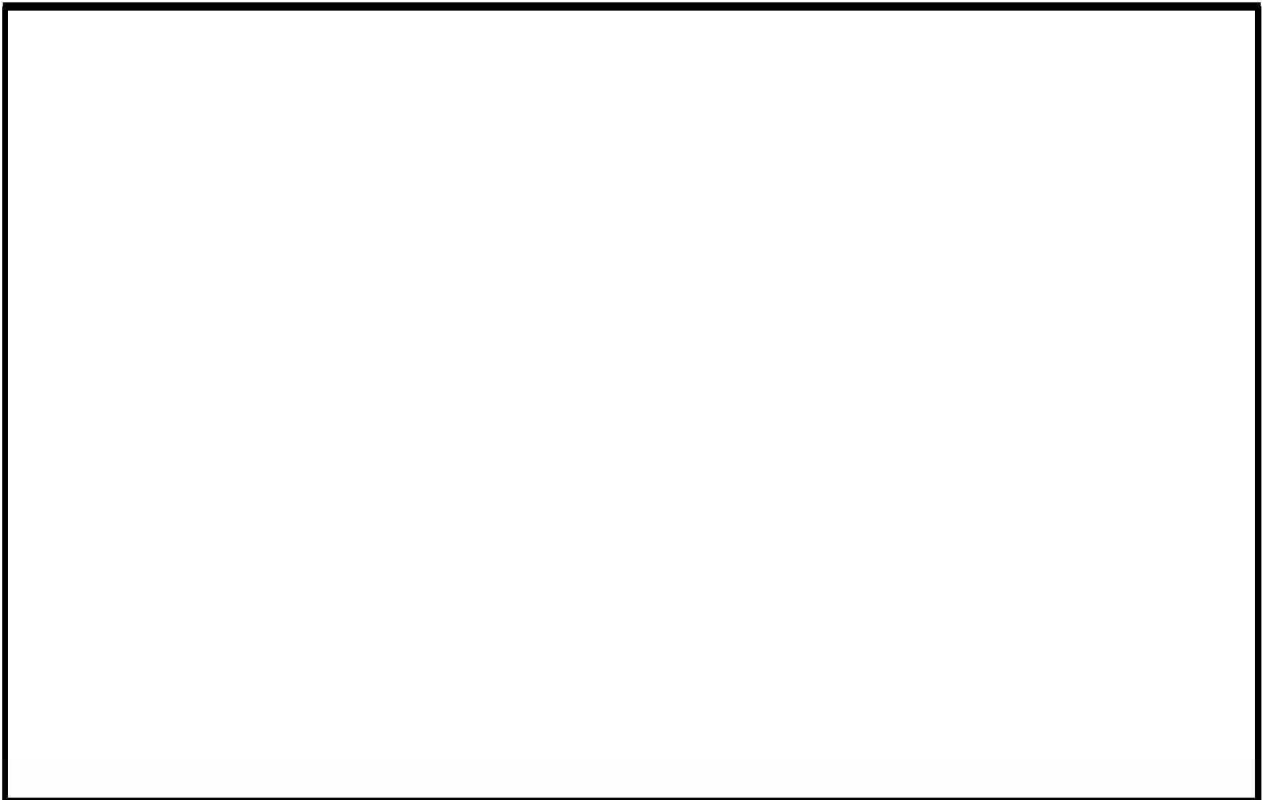


第3-3図 実機と試験装置の比較

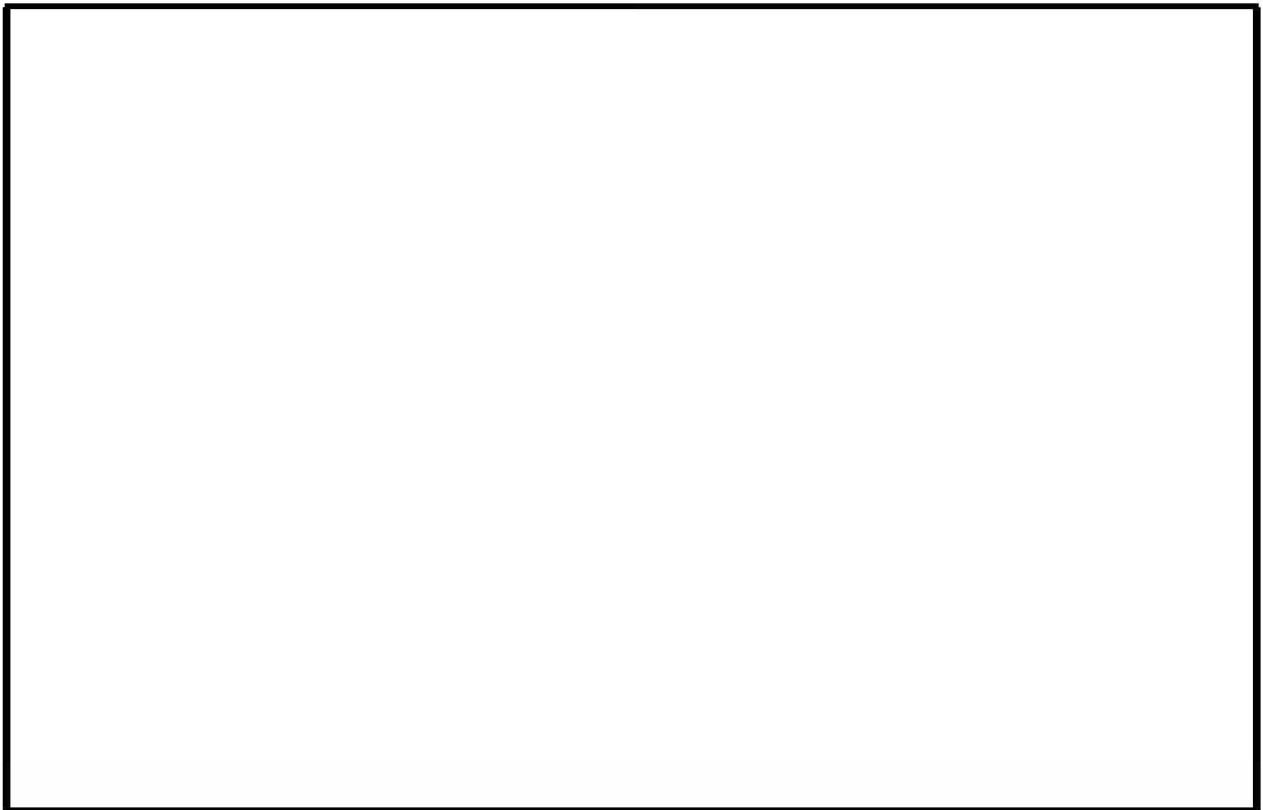
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



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。

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

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

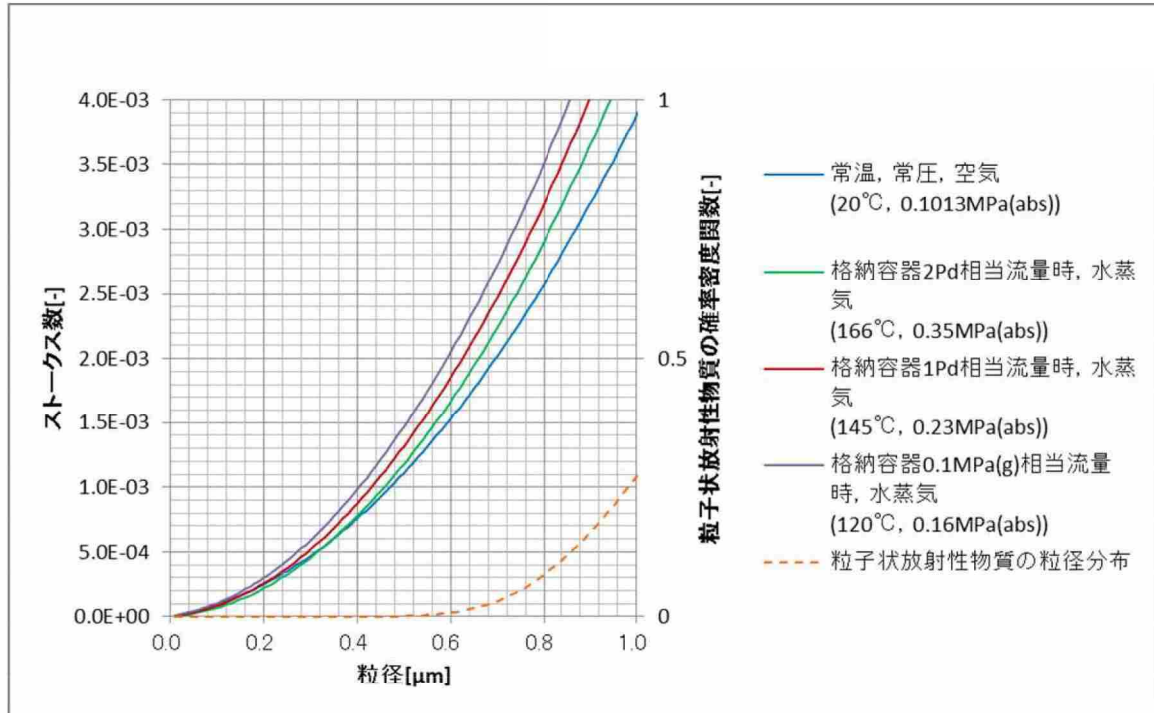
$$\lambda_g = \eta / (0.499P\sqrt{8M/\pi RT}) \quad (4)$$

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。

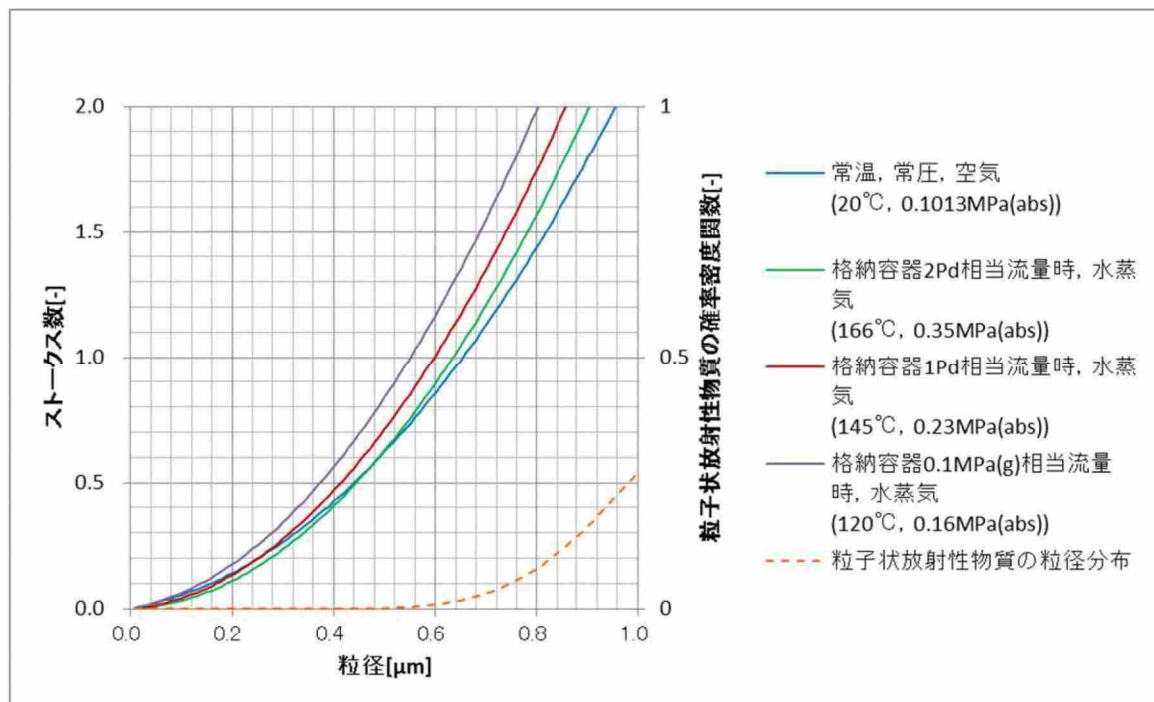
ここで、試験に用いている常温・常圧の空気と、実機で想定される水蒸気にて、各粒径におけるストークス数を算出したところ、第4-1図、第4-2図の通りとなった。第4-1図、第4-2図の通り、約 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒径範囲であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりもストークス数が小さいことがわかる。つまり、約 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の領域であれば、空気の方が水蒸気よりも粒子に作用する慣性力が小さく、空気の方が水蒸気よりも慣性力による粒子捕捉効果が小さいと考えられる。第4-1図、第4-2図中には有効性評価シナリオ (大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能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

放射性物質の粒径分布を示しているが、粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 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、粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒径範囲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】

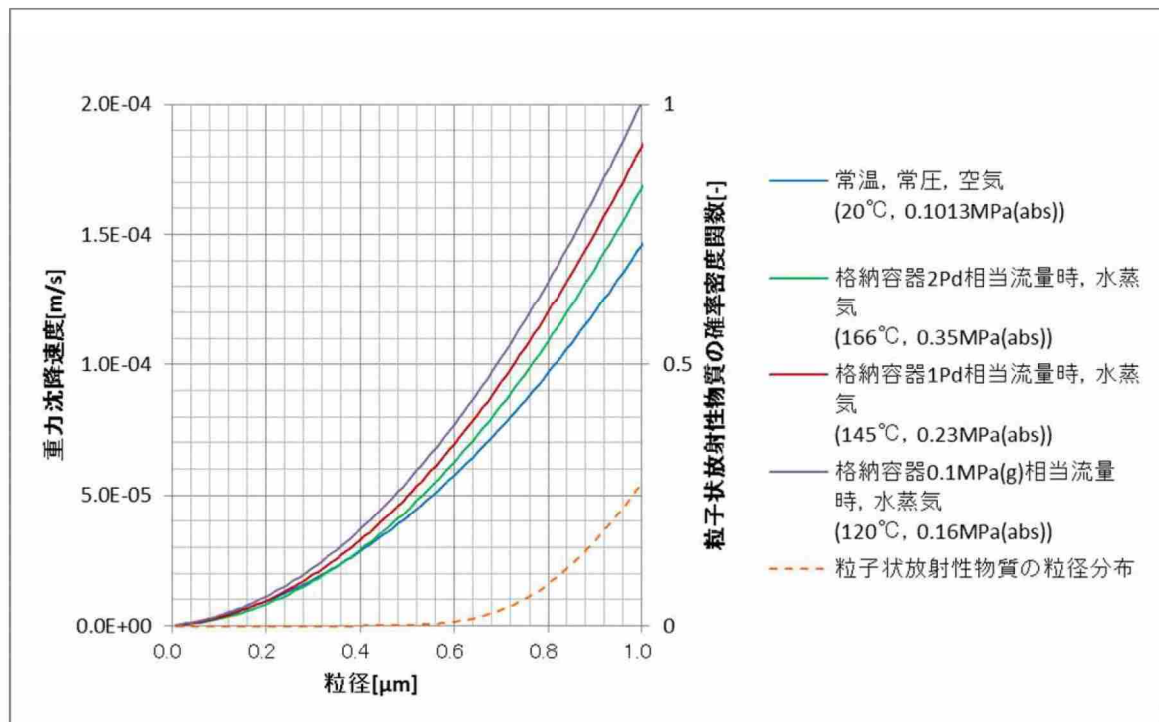
気体中の粒子の重力沈降速度 (v_t) の大きさは、下記の式により表される。重力沈降速度が大きい程、重力沈降による粒子の捕捉効果は大きくなると考えられる。

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

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 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒径範囲であれば、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 + 全 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径分布を示しているが、粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 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、粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の粒径範囲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。

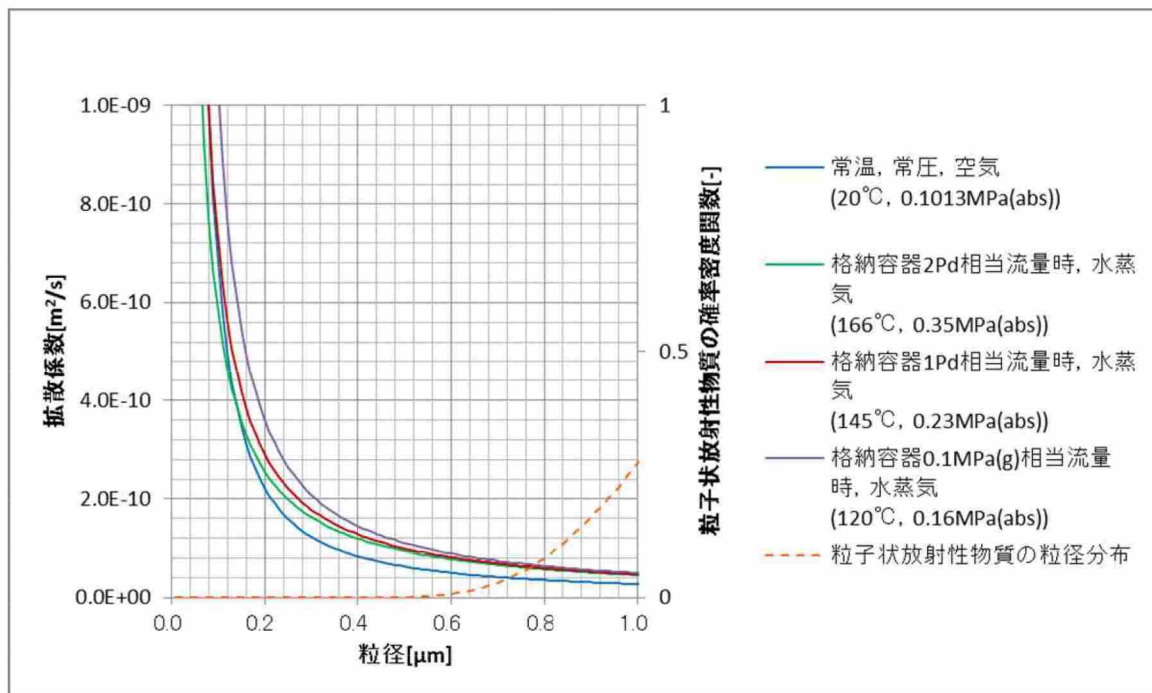
$$D = \frac{C_c kT}{3\pi\eta D_p} \quad (6)$$

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以上の粒径範囲であれば、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+全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径分布を示し

ているが、粒径 $0.1\mu\text{m}$ 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、粒径 $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒径範囲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、原子炉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

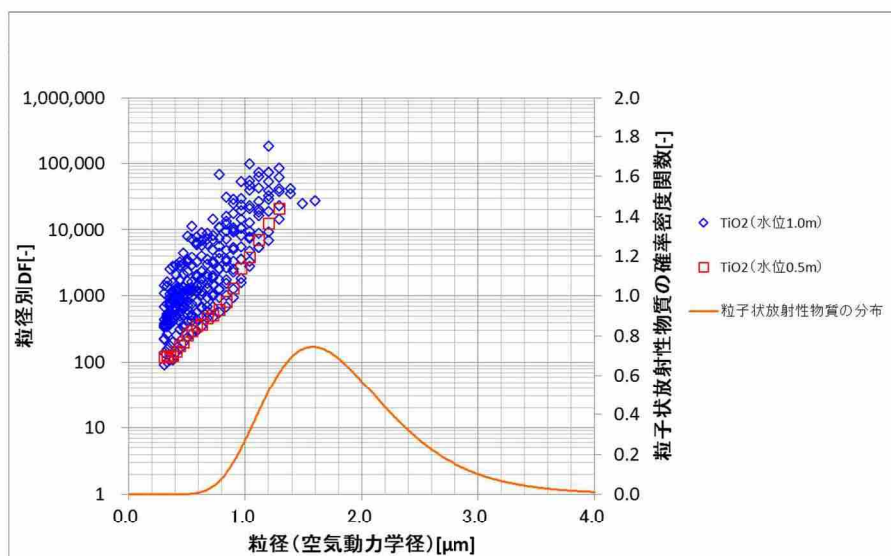
による捕捉効果は見込めないことから、実機よりも保守的な条件ということとなる。

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。

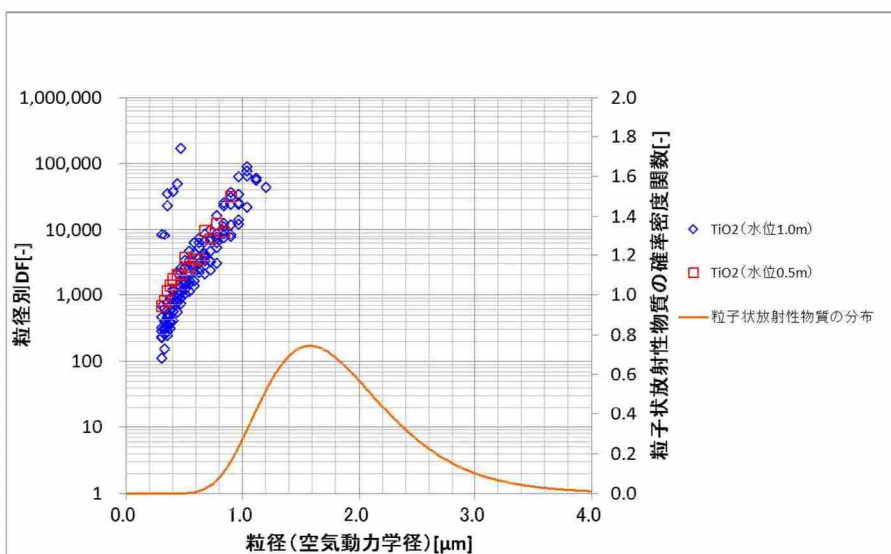
5. スクラバ下限水位時のフィルタ装置の性能

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。



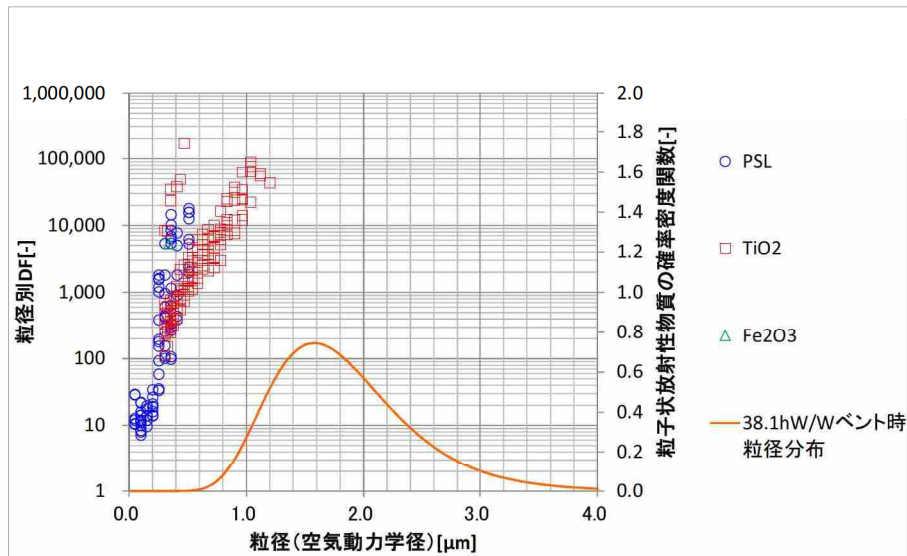
第 5-1 図 下限水位時 DF 性能試験結果（最小流量相当）



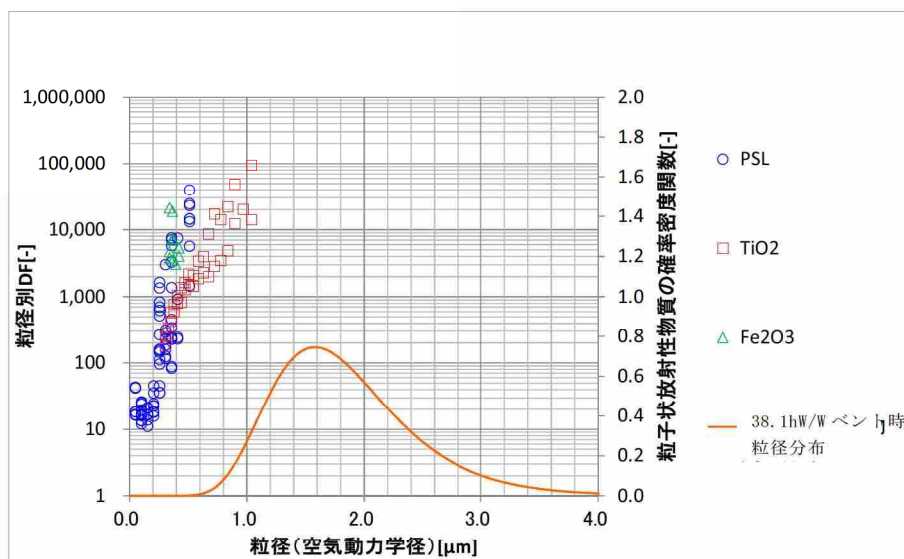
第 5-2 図 下限水位時 DF 性能試験結果（2Pd 相当流量）

6. オーバーオール DF

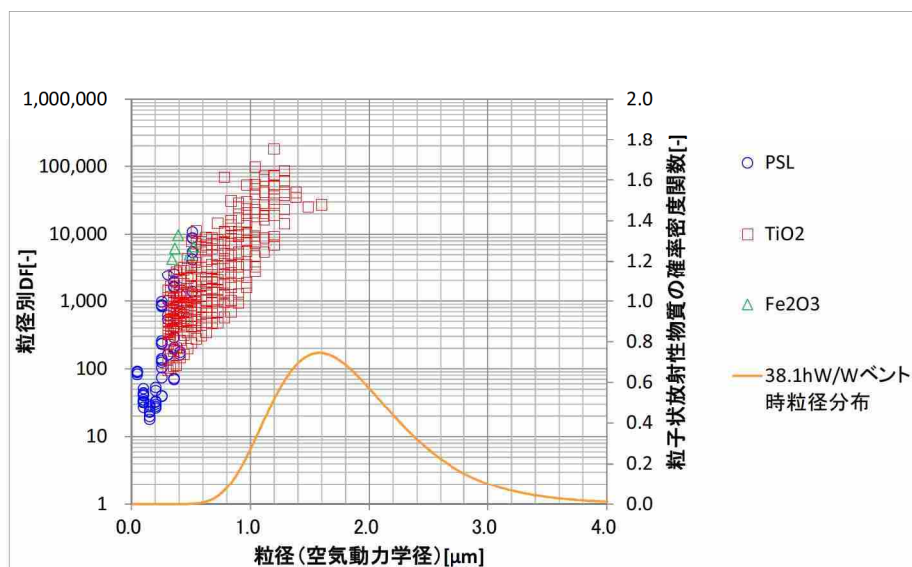
フィルタ装置の DF 性能では、第 6-1~3 図に示す通り、各流量に対して、各粒径における DF を評価してきた。



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)

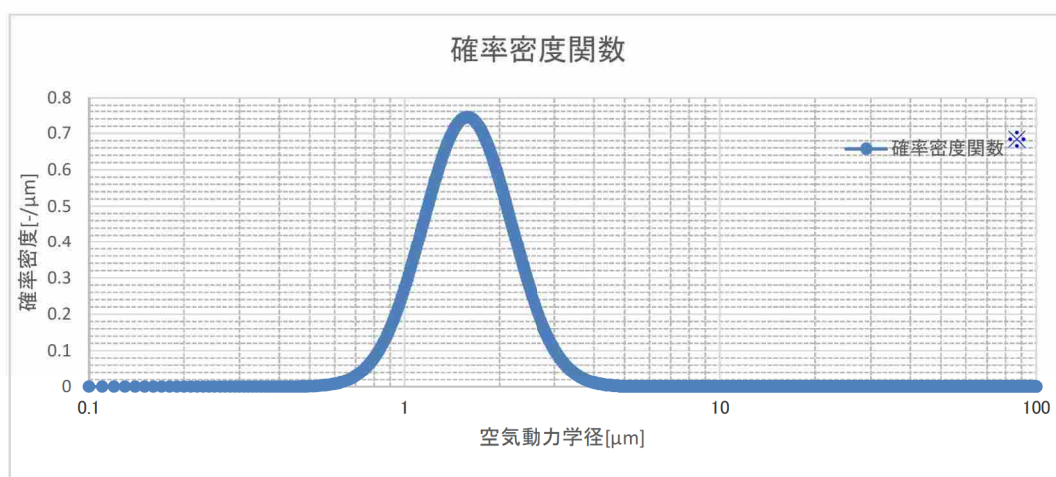


第 6-3 図 DF 性能試験結果（最小流量相当）

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。

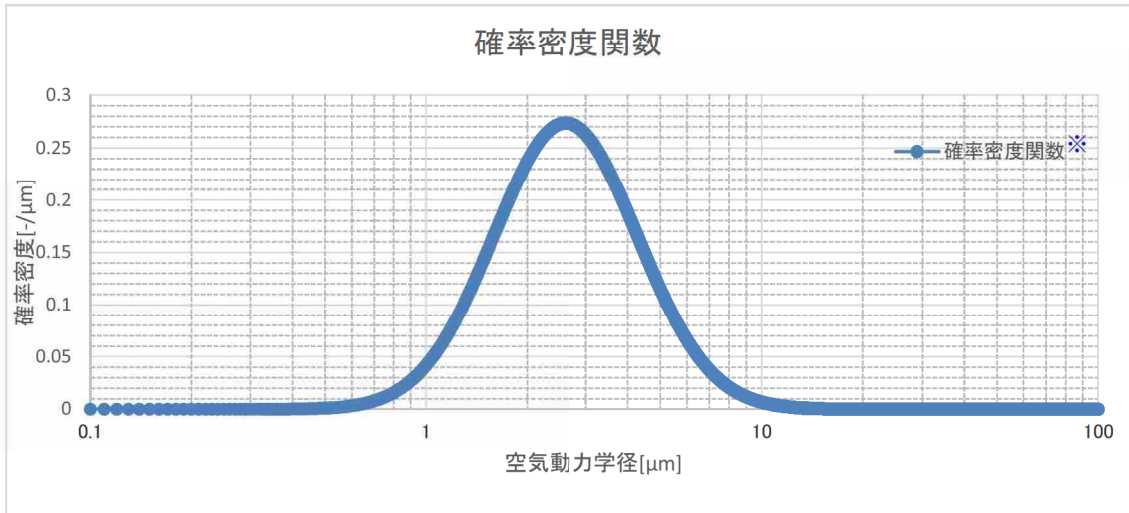
そこで、有効性評価シナリオである大 LOCA+SBO+全 ECCS 機能喪失シナリオの W/W ベントと D/W ベントにおいて、各流量におけるオーバーオールの DF を評価する。

まず、大 LOCA+SBO+全 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+SBO+全 ECCS 機能喪失，W/W ベント）

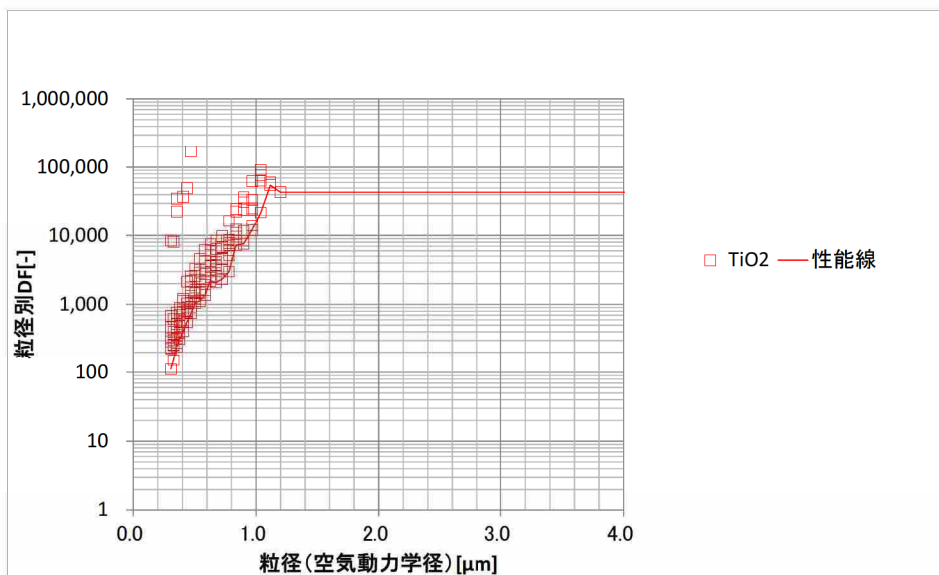


※ 質量分布にて表現している。

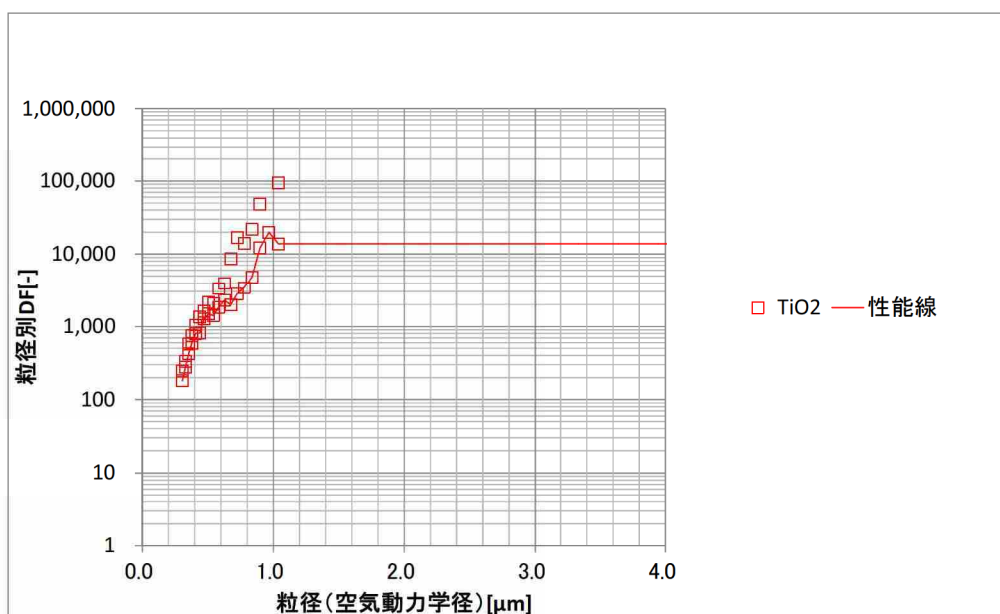
第 6-5 図 エアロゾル粒径分布 (大 LOCA+SB0+全 ECCS 機能喪失, D/W ベント)

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。

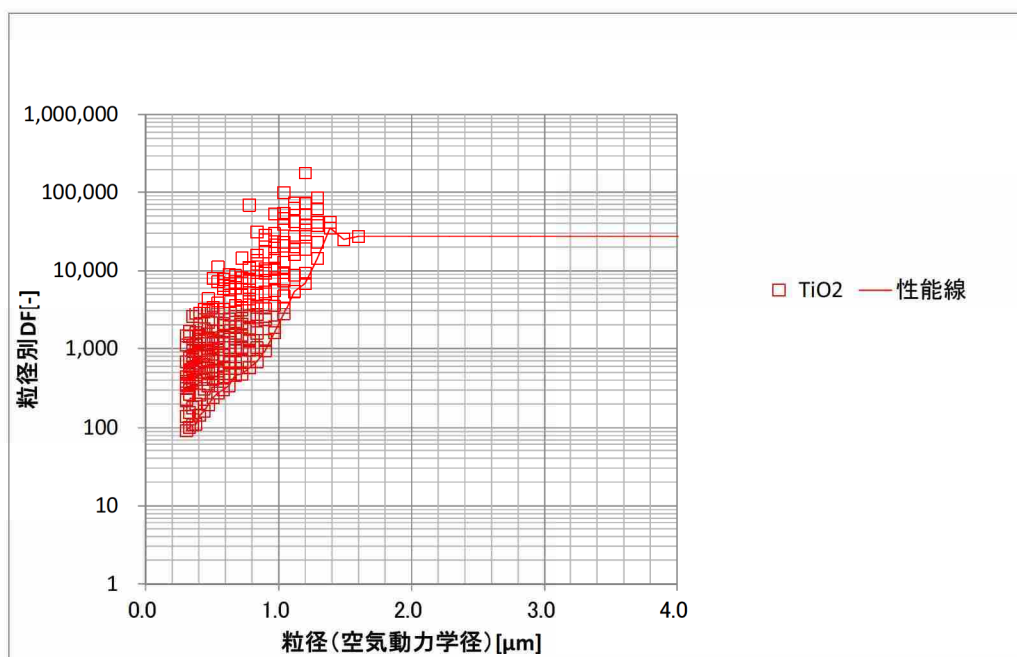
以上より、DF 性能線を作成すると、第 6-6~8 図の通りとなる。



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 + 全 ECCS 機能喪失, W/W ベント | 2Pd 相当流量 | 34077 |
| | 1Pd 相当流量 | 13337 |
| | 最小流量相当 | 9853 |
| 大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能喪失, D/W ベント | 2Pd 相当流量 | 39760 |
| | 1Pd 相当流量 | 13602 |
| | 最小流量相当 | 20048 |

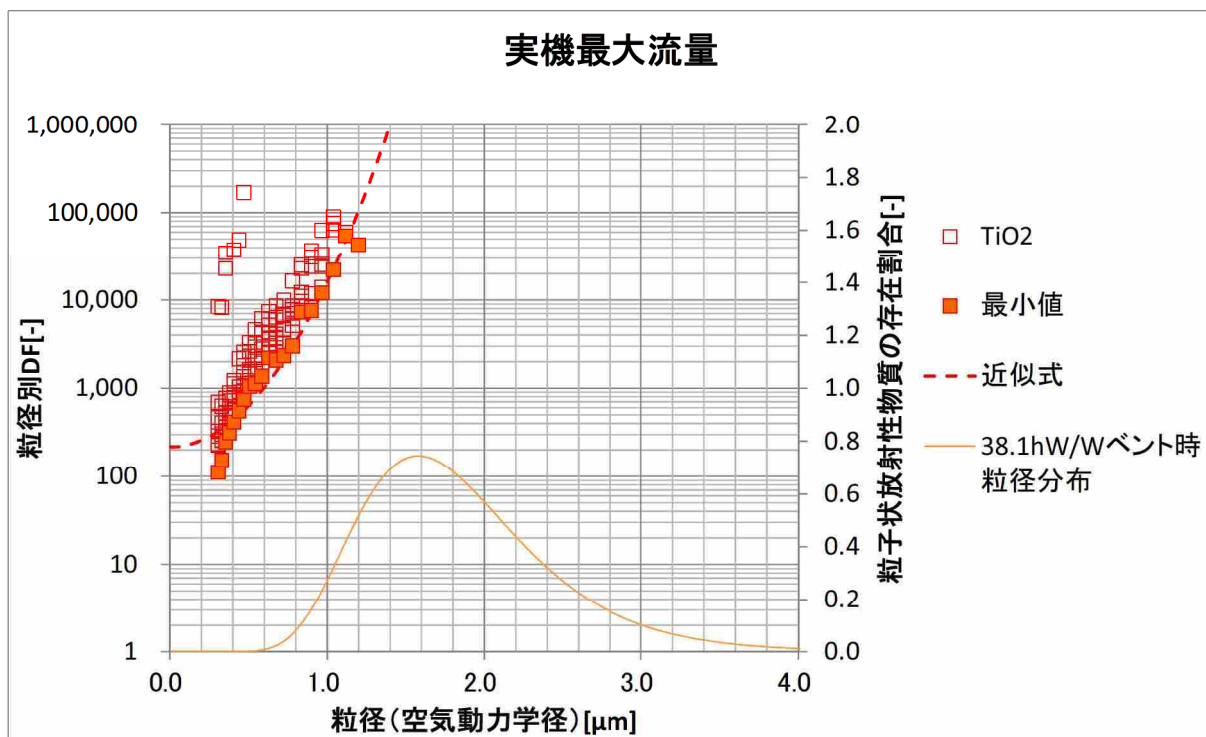
第 6-1 表より、大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能喪失シナリオにおけるフィルタ装置のオーバーオールの DF は、1000 を大幅に上回っていることが確認できた。

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。

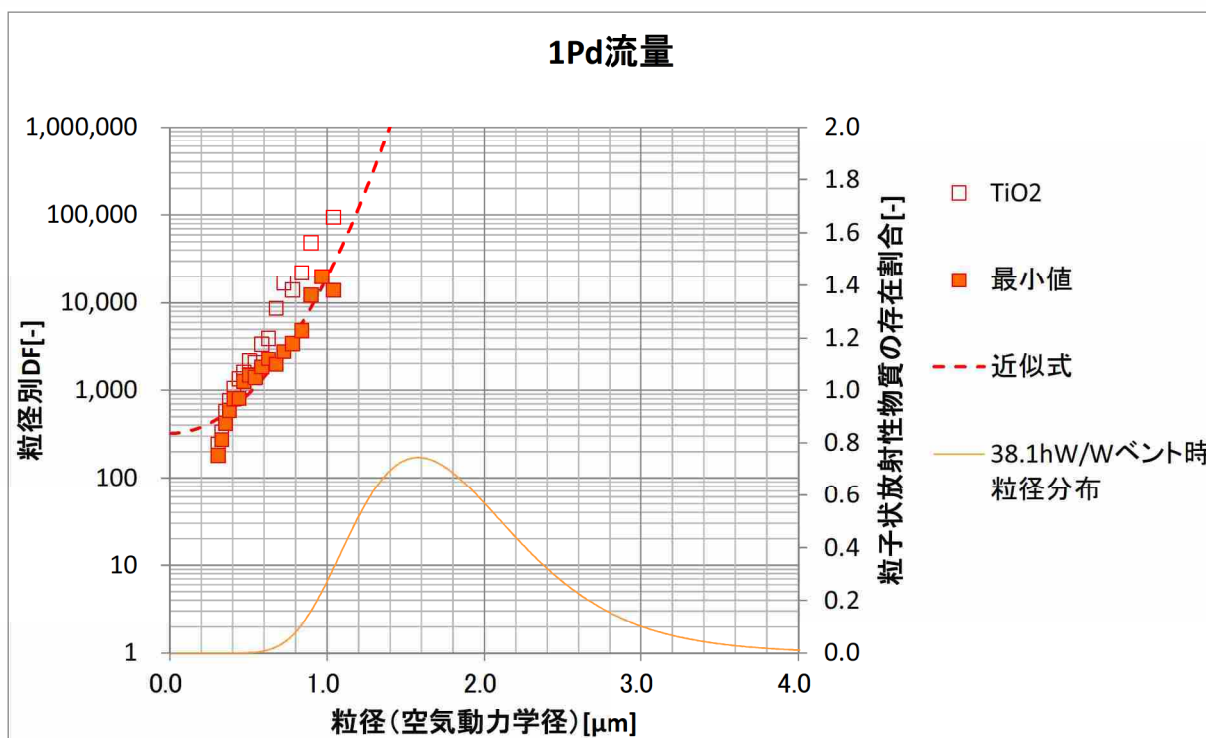
なお、大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能喪失シナリオの D/W ベントにおいては、最小流量相当の方が、1Pd 相当流量よりもオーバーオール DF が大きくなっている。これは、第 6-7 図、第 6-8 図より、最小流量相当の方が DF を計測できている粒径が大きく、DF データが存在しない大粒径の DF を大きく見積もることができているためである。

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 程度以上の粒径範囲の粒子においては、粒径が大きい程 DF も大きくなる。

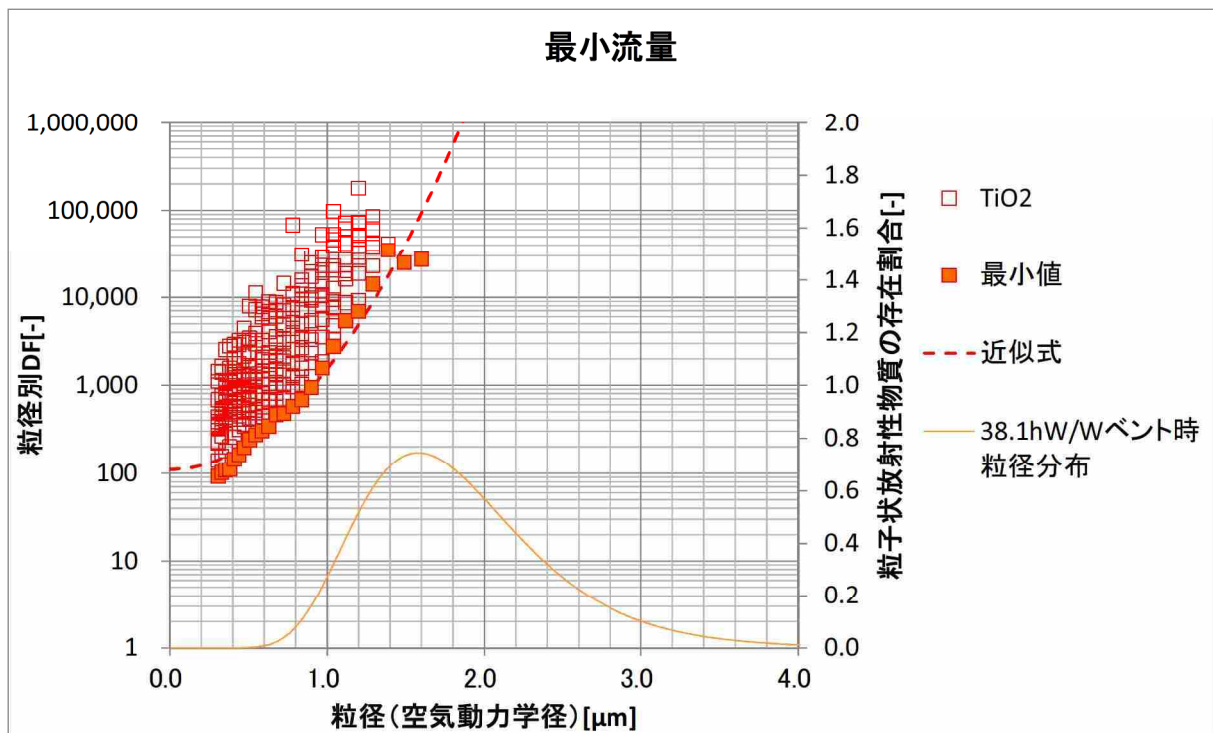
そこで、より現実的な評価として、DF データをフィッティングするカーブを作成し、それを DF 性能線とし、DF データが存在しない粒径範囲の DF についても、この DF 性能線上の DF であるすることで、オーバーオールの DF を算出することとする。フィッティングカーブを作成する際の DF データは、保守的に各粒径における最小値を用いることとする。フィッティングカーブは第 6-9~11 図の通りとなる。これを DF 性能線とする。



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 6-11 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）

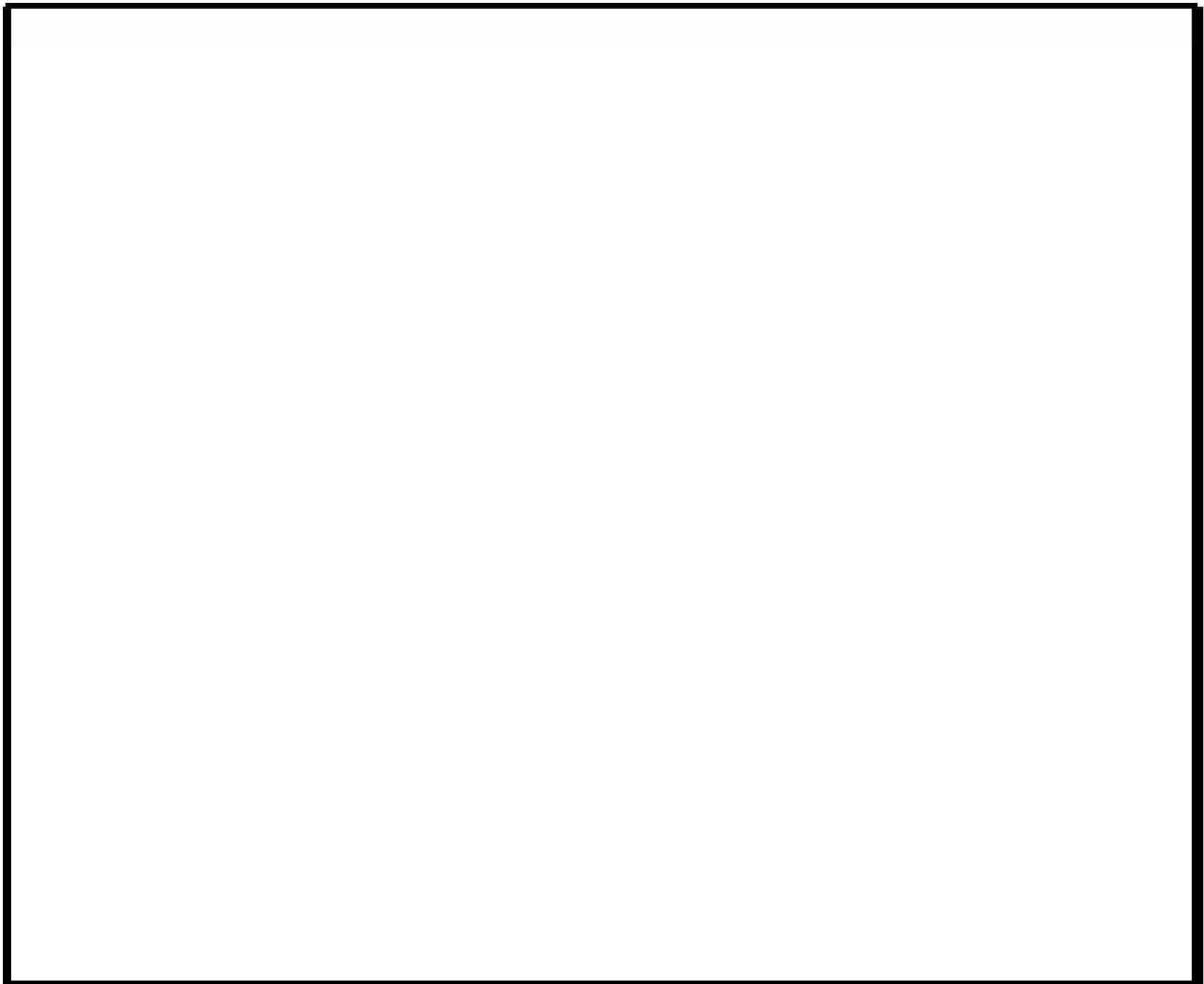
| シナリオ | ガス流量 | オーバーオール DF |
|--|----------|------------|
| 大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能喪失, W/W ベント | 2Pd 相当流量 | 91689 |
| | 1Pd 相当流量 | 117458 |
| | 最小流量相当 | 10199 |
| 大 LOCA + SBO + 全 ECCS 機能喪失, D/W ベント | 2Pd 相当流量 | 417803 |
| | 1Pd 相当流量 | 546627 |
| | 最小流量相当 | 54584 |

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。

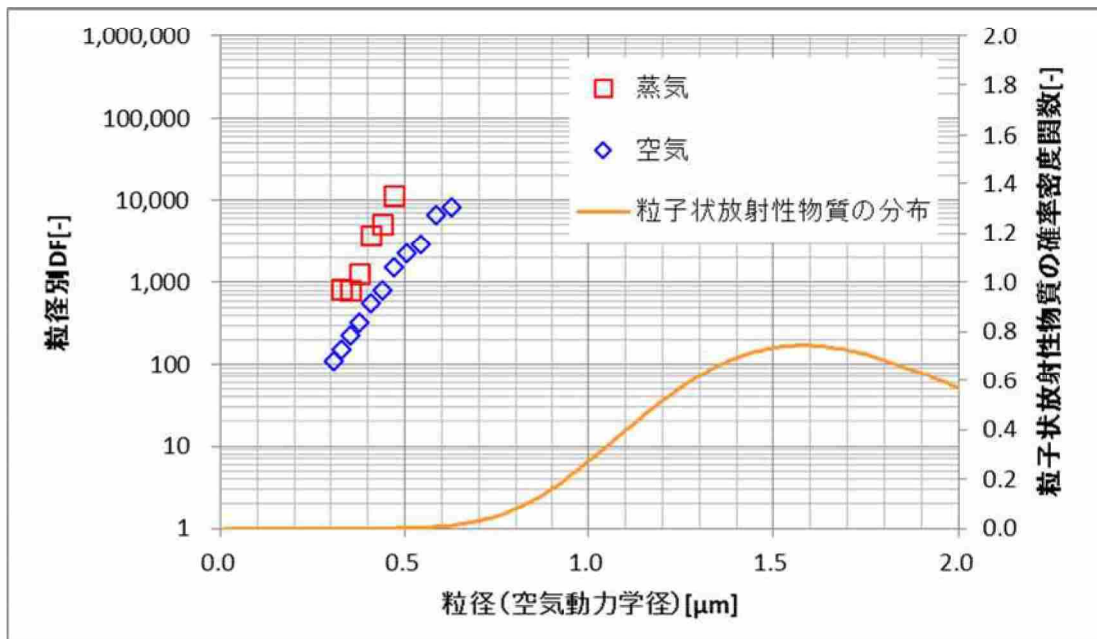


第 7-1 図 試験概要図（蒸気性能試験）

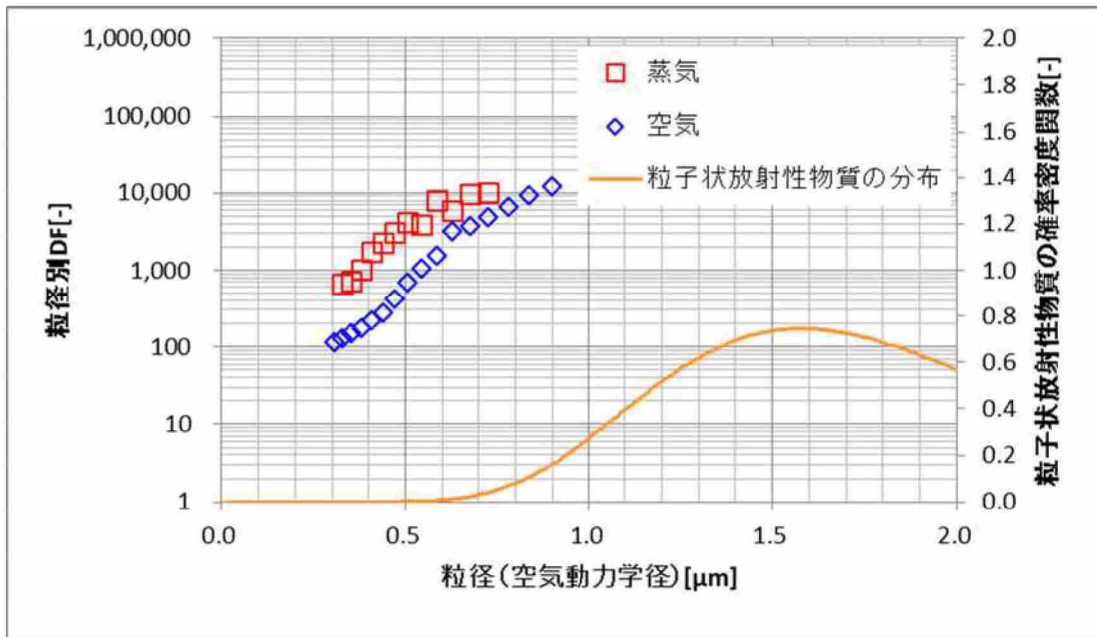
第7-1表 蒸気試験条件一覧表

| 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 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調整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。

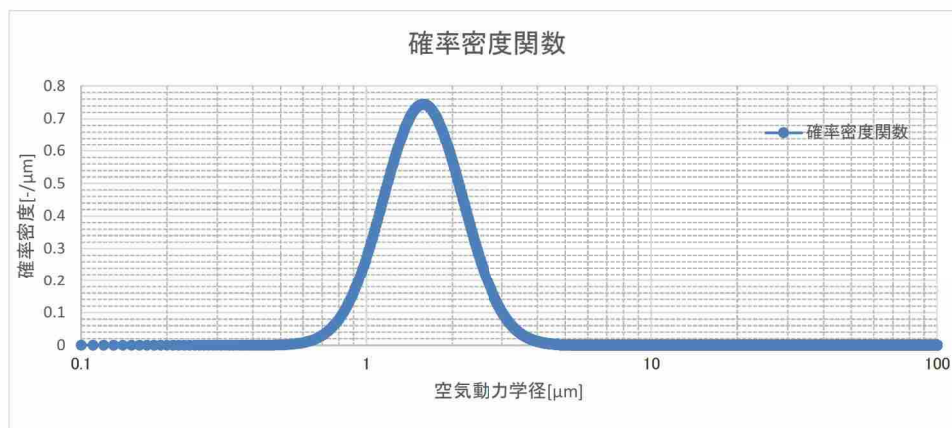
一方、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響を確認するため、フィルタ装置内圧力を 0.31MPa, 0.62MPa (gage) に加圧した状態で試験を実施し、実機で想定される径の粒子においては、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響はないことを確認している。(『2. フィルタ装置内圧力の DF への影響について』参照)

第 8-1 表 フィルタ装置物理パラメータと試験条件

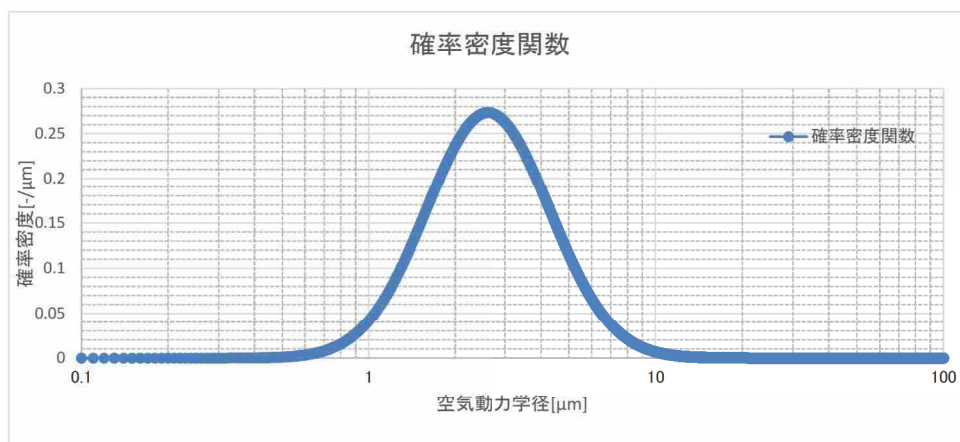
| 物理パラメータ | 実機条件 | 試験条件 |
|-----------|--|--|
| スクラバ水位 | 【実機運転時変動範囲】 1m～2.2m 【設定下限水位】 0.5m | 【基本条件】 1m 【最低水位条件】 0.5m |
| スクラバ水温 | 【実機運転時変動範囲】 常温～飽和温度 | 【基本条件】 常温 【高温条件】 飽和温度 |
| ベントガス性状 | 【実機運転時条件】 水蒸気 (主成分) | 【基本条件】 常温空気 【蒸気条件】 水蒸気 |
| ベントガス流量 | 【実機運転時変動範囲】 13000m ³ /h～32000m ³ /h 【超過流量 (二次隔離弁全開)】 37000m ³ /h | 【基本条件】 33000 m ³ /h 相当 27000 m ³ /h 相当 13000 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】 0.1MPa (gage)～0.3MPa (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+全 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。



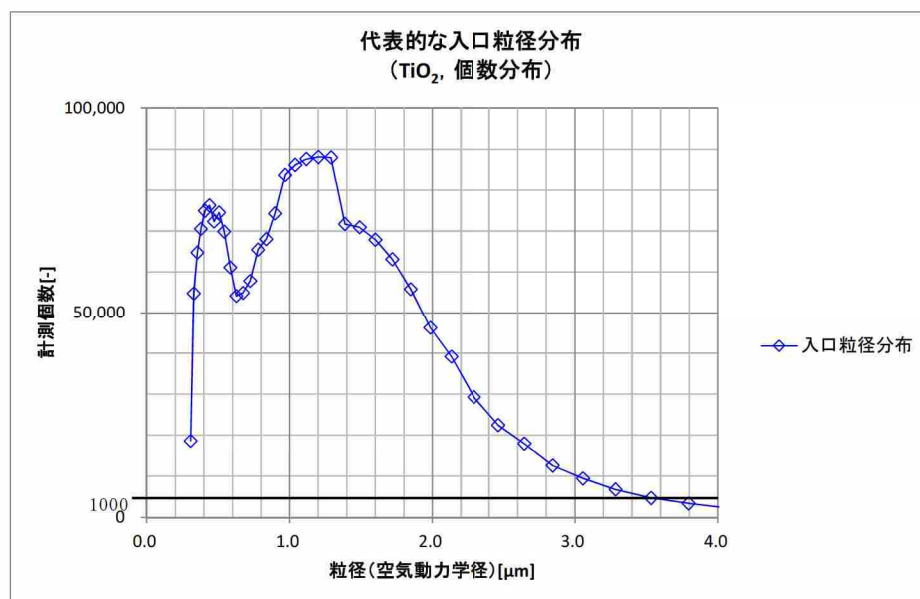
第 8-1 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+全 ECCS 機能喪失, W/W ベント）



第 8-2 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+全 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径範囲においては、粒径が大きいほど、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上の大きい粒子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、物理的な粒径を空気動力学径へ変換する際は、物理的な粒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には、重大事故等時に原子炉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、水の放射線分解、ならびに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+全 ECCS 機能喪失シナリオにおいては、ベント前の原子炉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。なお、MCCI (溶融炉心・コンクリート相互作用) が発生した場合、水素ならびに一酸化炭素が発生するが、格納容器下部注水系により、原子炉格納容器下部に水張りした状態で溶融炉心が落下するため、MCCI はほとんど発生せず、一酸化炭素の発生量は無視できる程小さい。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が、この発生量も無視できる程小さい。そのため、格納容器圧力逃がし装置に流入する可燃性ガスについては、水素を対象として燃焼によるリスクを確認することとする。

格納容器圧力逃がし装置系統内で水素が燃焼すると、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、ベントガス中の水素濃度が上昇し、系統内での燃焼のリスクが大きくなる。

そこで、原子炉格納容器内のガス組成 (ウェット条件とドライ条件) を評価し、ベントガス中の水蒸気の凝縮による、格納容器圧力逃がし装置系統内での水素燃焼のリスクについて確認した。なお、ウェット条件とは原子炉格納容器内のガス組成そのもので水蒸気も含んでいるものであり、ドライ条件とは、ウェット条件のガス組成に含まれる水蒸気を仮想的に完全に除去した場合のガス組成である。

仮に、格納容器圧力逃がし装置系統内で水蒸気が完全に凝縮するとすると、ベントガスの組成は原子炉格納容器内のドライ条件のガス組成と等しくなる。格納容器圧力逃がし装置内の水蒸気の凝縮量には不確かさがあることから、ここでは保守的に、格納容器圧力逃がし装置系統内では水蒸気が完全に凝縮するとして、ドライ条件におけるガス組成を用いて格納容器圧力逃がし装置系統内での水素燃焼のリスクを確認した。

事象が発生してからベントを実施するまでの時間が長いほど、水の放射線分解により原子炉格納容器内の酸素濃度は大きくなることから、大 LOCA+SB0+全 ECCS 機能喪失シナリオのうち、代替循環冷却系のインサービスに成功した後、原子炉格納容器内の水素・酸素を排出するためのベントを実施するケースについて評価を実施した。評価条件を第 1 表に示す。また、第 1, 2 図にウェット条件の評価結果を、第 3, 4 図にドライ条件の評価結果を示す。

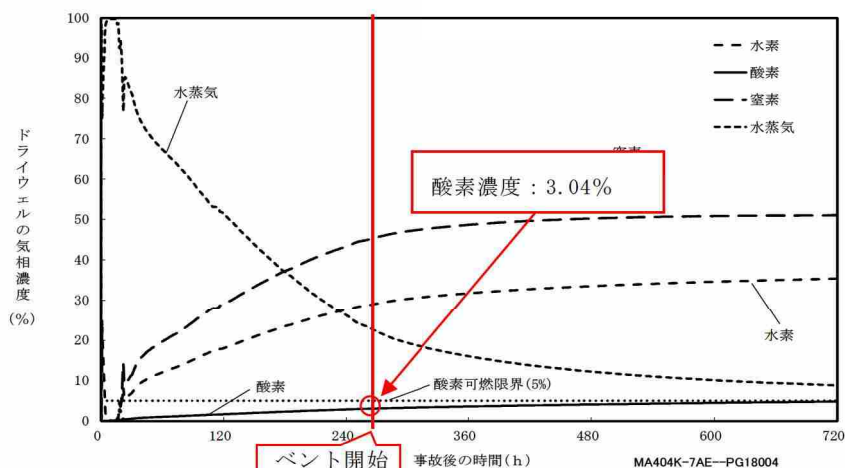
原子炉格納容器内の水素・酸素を排出するためのベントは、原子炉格納容器内の酸素濃度が、ウェット条件で 4% に到達した時点で実施する運用としている。第

2 図より，事象発生から約 260 時間後にサプレッション・チェンバの酸素濃度が 4%に到達し，ベントを実施することとなる。この時のドライ条件におけるサプレッション・チェンバの酸素濃度は 4.54%，ドライウエルの酸素濃度は 3.97%であり，可燃限界の 5%未満であった。そのため，ベントガス中の水蒸気が完全に凝縮したとしても，ベントガスは可燃領域には入らないことを確認した。

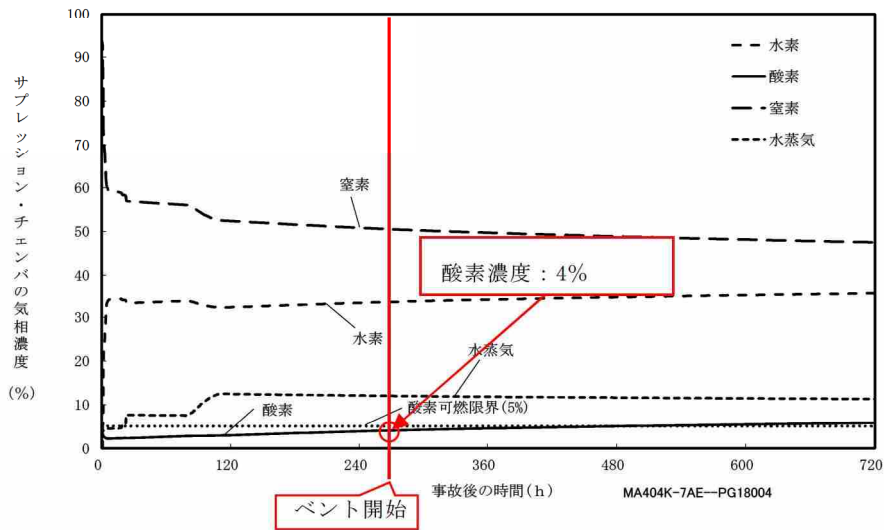
また，格納容器圧力逃がし装置は，待機時に系統内を窒素置換することとしているため，系統内の酸素濃度は極めて低い状態（可燃限界未満）となっている。そのため，上記のドライ条件のベントガスが格納容器圧力逃がし装置に流入したとしても，可燃領域には入らない。よって，ベント開始直後にベントガス中の水蒸気が完全に凝縮したとしても，格納容器圧力逃がし装置系統内で水素燃焼が発生することはない。

第 1 表 原子炉格納容器内ガス組成評価条件

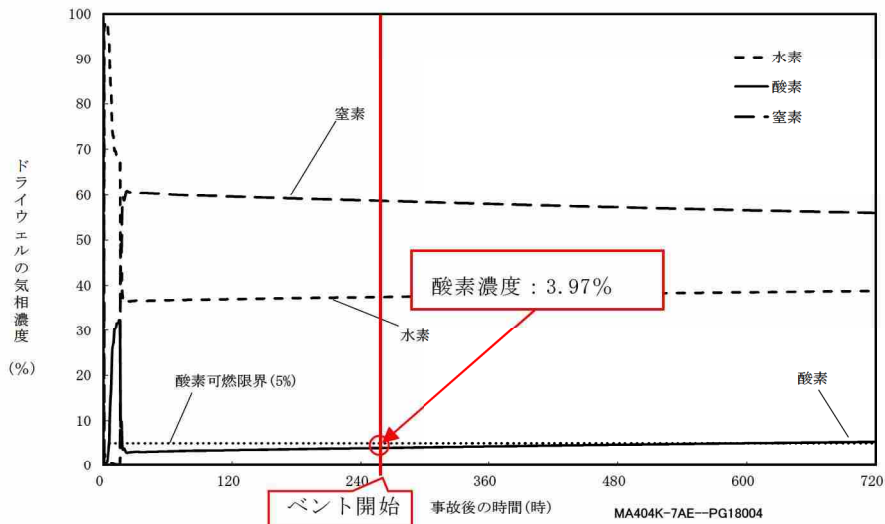
| 項目 | 条件 | 備考 |
|------------|--|---|
| 評価コード | ・ MAAP コード | — |
| シナリオ | ・ 大 LOCA+SB0+全 ECCS 機能喪失 (代替循環冷却系成功ケース) | 代替循環冷却系のインサービスに成功し，原子炉格納容器内の水素・酸素を排出するためのベントを実施するケース 代替循環冷却系を使用せずにベントを実施する場合よりも，ベント開始までの時間が長いことから，原子炉格納容器内での水の放射線分解により，水素・酸素の濃度は高くなることため，本ケースを選定 |
| 初期酸素濃度 | ・ 3.5vol% | 保安規定に定める運転上の制限値 柏崎刈羽原子力発電所 6/7 号炉の運転実績では，原子炉格納容器内の酸素濃度は 1~2vol%程度である |
| 水素・酸素の G 値 | ・ G(H ₂) : 0.06 ・ G(O ₂) : 0.03 | 電力共同研究「シビアアクシデントにおける可燃性ガスの挙動に関する研究」「事故時放射線分解に関する研究」より得られた，重大事故環境下における値 |
| 評価アウトプット | ・ ウェット条件の PCV ガス組成 ・ ドライ条件の PCV ガス組成 | — |



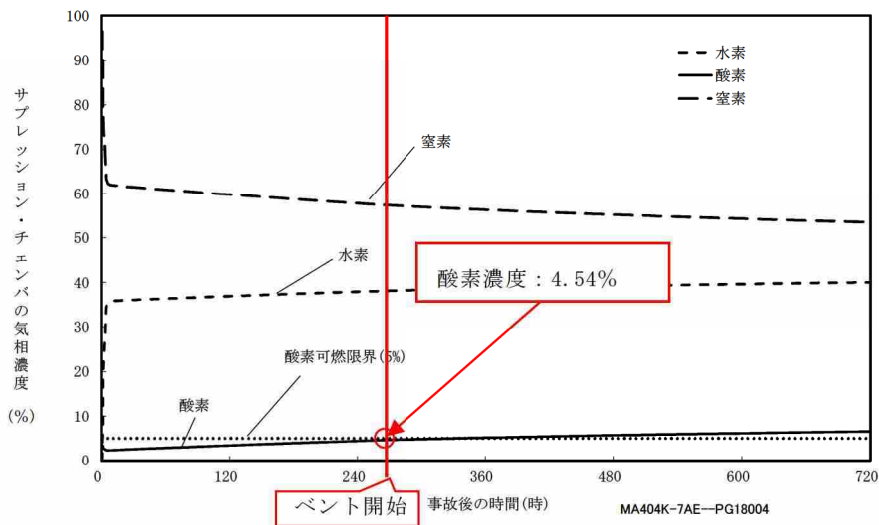
第 1 図 ドライウエルのガス組成 (ウェット条件)



第2図 サプレッション・チェンバのガス組成 (ウェット条件)



第3図 ドライウエルのガス組成 (ドライ条件)



第4図 サプレッション・チェンバのガス組成 (ドライ条件)

この評価で用いた水素及び酸素の G 値は、過去の複数回の実験によって測定した値であり、重大事故環境下での水の放射線分解の評価に適した値であると考えている。しかし、重大事故等時の原子炉格納容器内環境の不確かさを考慮すると、より G 値が大きい場合についても確認しておく事が望ましい。そこで感度解析として、水素及び酸素の G 値を $G(\text{H}_2)=0.4$, $G(\text{O}_2)=0.2$ とした場合の評価を実施した。なお、 $G(\text{H}_2)=0.4$, $G(\text{O}_2)=0.2$ は、設計基準事故対処設備である可燃性ガス濃度制御系の性能を評価する際に用いているものであり、設計基準事故環境下に対しても一定の保守性を有する値である。設計基準事故環境下に比べ、重大事故環境下では G 値は低下する傾向にあることから、非常に保守的な設定である。また、本ケースは非常に保守的な G 値を置いた感度解析であるため、原子炉格納容器内の初期酸素濃度は運転実績を踏まえ、2.0%に設定した。また、原子炉格納容器内の酸素濃度を計測する CAMS は、事故発生から約 20 時間後には復旧を見込むことができる。そのため、事故発生から 20.5 時間後に CAMS が復旧し、原子炉格納容器内の酸素濃度を確認することが可能であることとした。

評価条件を第 2 表に示す。この条件で評価をした結果、第 7 図に示す通り、CAMS を確認することができる 20.5 時間後には、ドライウエルのドライ条件における酸素濃度は可燃限界である 5%を超えた状態となった。そのため、この時点で運転員は、ドライウエルからベントを実施すると格納容器圧力逃がし装置系統内で水素燃焼が発生する危険性があることを認知することができる。一方、第 8 図に示す通り、この時点でサプレッション・チェンバの酸素濃度はドライ条件であっても可燃限界よりも低い値であることも確認することができる。

そのため、このような状況が発生した場合は、ドライウエルからベントを実施した際の格納容器圧力逃がし装置系統内における水素燃焼を防止するため、ドライウエルには外部水源からのスプレイを継続して実施し、ドライウエルの圧力を低下させることで、真空破壊弁を通してサプレッション・チェンバのガスをドライウエル側に流す操作を実施することとする。この操作により、ドライウエルとサプレッション・チェンバのガスを混合させることで、ドライウエルのガスの酸素濃度を可燃限界未満に制御する。その上で、原子炉格納容器内の酸素濃度のトレンドを監視し、上昇傾向が継続することが確認された場合は、ドライ条件における酸素濃度が可燃限界未満であることを確認した後に、サプレッション・チェンバもしくはドライウエルからベントを実施することで、原子炉格納容器内の酸素及び水素を抜くこととする。

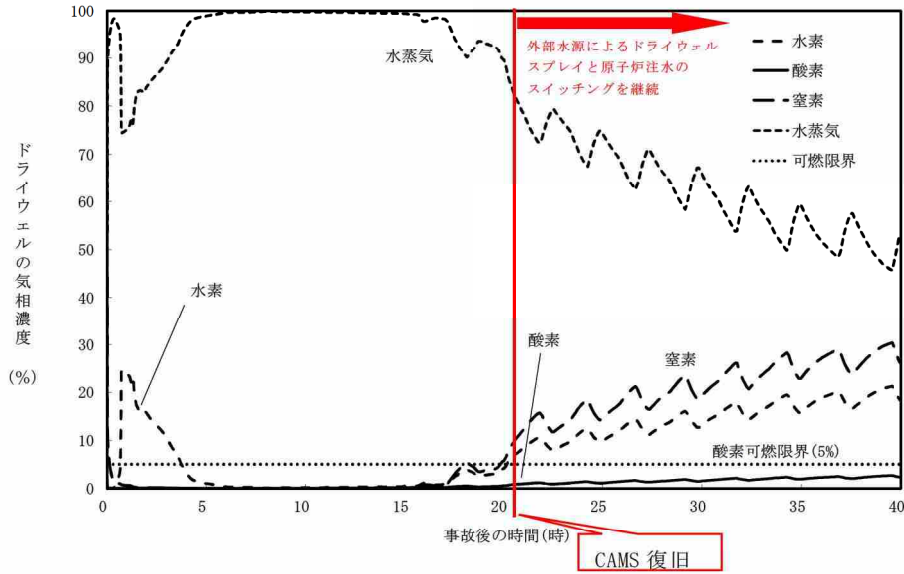
評価の結果、第 7, 8 図に示す通り、ドライウエルへの外部水源によるスプレイを継続することで、ドライウエルとサプレッション・チェンバ共に、事故発生から 40 時間まで、ドライ条件における酸素濃度を可燃限界未満にすることができることを確認した。そのため、この状態でサプレッション・チェンバもしくはドライウエルからベントを実施した場合、ベントガス中の水蒸気が完全に凝縮したとしても、格納容器圧力逃がし装置系統内における水素燃焼は発生しないことを確

認した。なお、外部水源によるスプレイを継続していることから、事故発生から約 38 時間後にサブプレッション・チェンバの水位が、サブプレッション・チェンバからのベントを実施するための上限に到達することから、それまでにベントの判断をすることとなる。

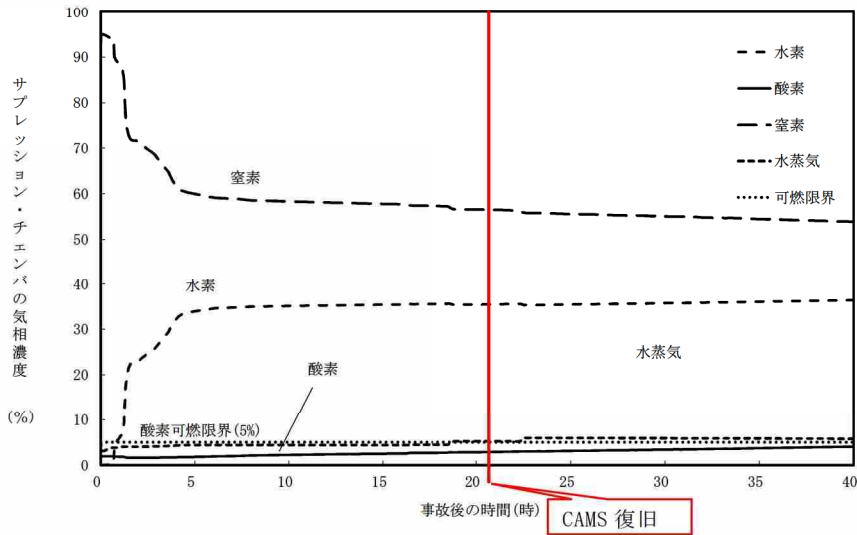
以上より、事故発生から 20.5 時間後に、ドライウエルの酸素濃度が高いことを認知してから、十分な時間的余裕を持って、ドライウエルとサブプレッション・チェンバのガスの混合、ならびにベントの操作を実施することができることを確認した。

第 2 表 原子炉格納容器内ガス組成評価条件

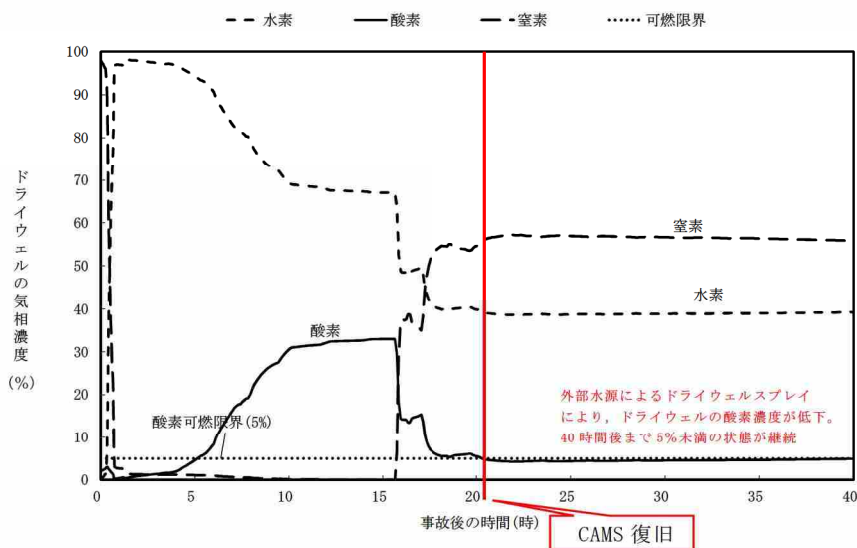
| 項目 | 条件 | 備考 |
|------------|---|---|
| 評価コード | ・ MAAP コード | — |
| シナリオ | ・ 大 LOCA+SB0+全 ECCS 機能喪失 | 事故後 20.5 時間後に CAMS が復旧し、ドライウエルのドライ条件における酸素濃度が可燃限界である 5%を超過していることを確認。 そのため、ドライウエルとサブプレッション・チェンバのガスを混合させ、ドライウエル側のドライ条件における酸素濃度を下げることが目的として、外部水源によるドライウエルスプレイ（水温 40℃）を継続。 （代替循環冷却系によるドライウエルスプレイでは、スプレイ水温が高いことから、ドライウエル内の水蒸気の凝縮効果が低く、サブプレッション・チェンバとドライウエルのガスの混合効果が低いことから、代替循環冷却系はインサービスしない） |
| 初期酸素濃度 | ・ 2.0vol% | 柏崎刈羽原子力発電所 6/7 号炉の運転実績を踏まえて、2.0vol%に設定。 |
| 水素・酸素の G 値 | ・ G(H ₂) : 0.4 ・ G(O ₂) : 0.2 | 可燃性ガス濃度制御系の設計 G 値 |
| 評価アウトプット | ・ ウェット条件の PCV ガス組成 ・ ドライ条件の PCV ガス組成 ・ PCV 内圧力 ・ PCV 内温度 | — |



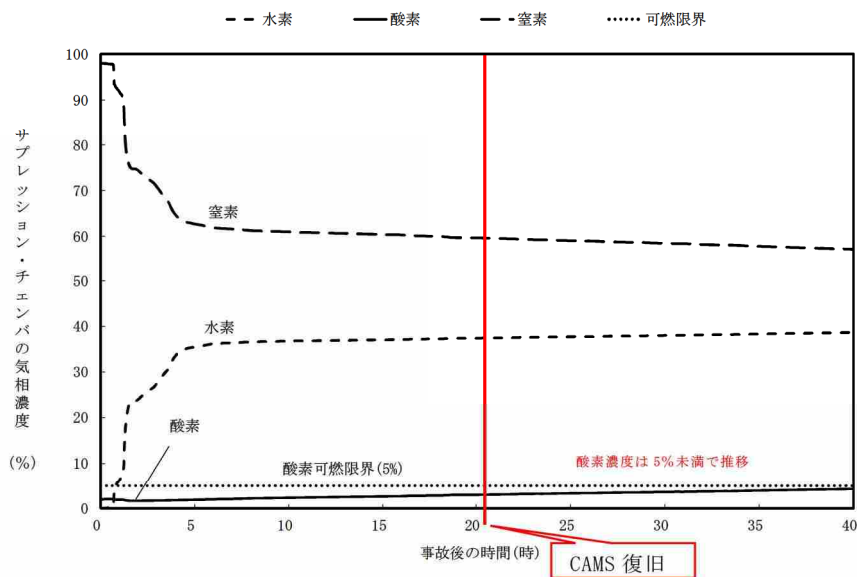
第5図 ドライウェルのガス組成 (ウェット条件)



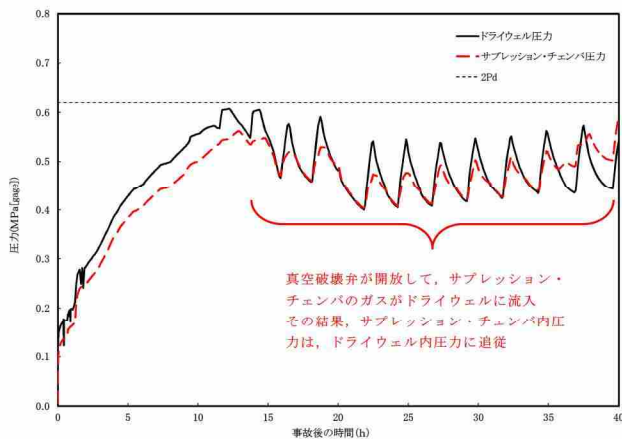
第6図 サプレッション・チェンバのガス組成 (ウェット条件)



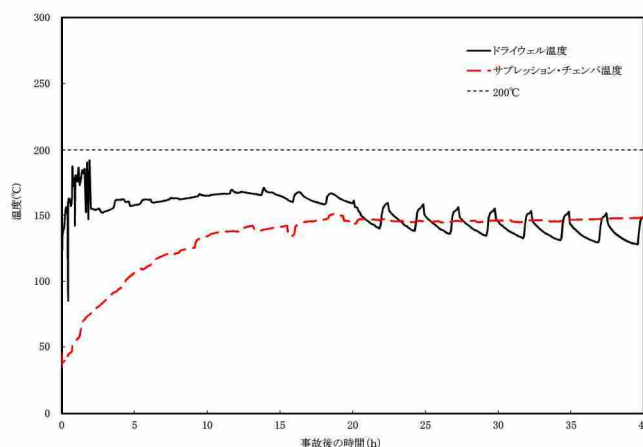
第7図 ドライウェルのガス組成 (ドライ条件)



第8図 サプレッション・チェンバのガス組成 (ドライ条件)



第9図 原子炉格納容器内圧力



第10図 原子炉格納容器内温度

以上をまとめると、格納容器圧力逃がし装置系統内におけるベントガス中の水蒸気の凝縮を考慮した場合、重大事故等時の確からしい G 値 ($G(\text{H}_2)=0.06$, $G(\text{O}_2)=0.03$) を考えると、サプレッション・チェンバ及びドライウエルの何れからベントを実施しても、格納容器圧力逃がし装置系統内での水素燃焼は発生しないことを確認した。

一方、非常に保守的な G 値 ($G(\text{H}_2)=0.4$, $G(\text{O}_2)=0.2$) を考慮しても、ドライウエルに外部水源からのスプレイを継続し、原子炉格納容器内のガスを混合することで、サプレッション・チェンバ及びドライウエルの何れからベントを実施しても、格納容器圧力逃がし装置系統内での水素燃焼は発生しないことを確認した。

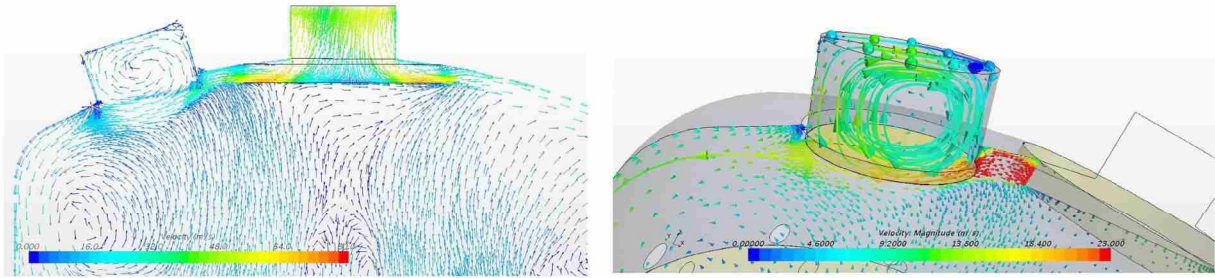
一方で、ベント開始後には、常にベントガスの流れがあることから、排気口から空気が格納容器圧力逃がし装置内に逆流することはないため^{*1}、外部から系統内に酸素が供給されることはない。よって、ベント実施中は、系統内は可燃限界未満の状態が維持されることになる。

なお、ベントガスには、原子炉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。

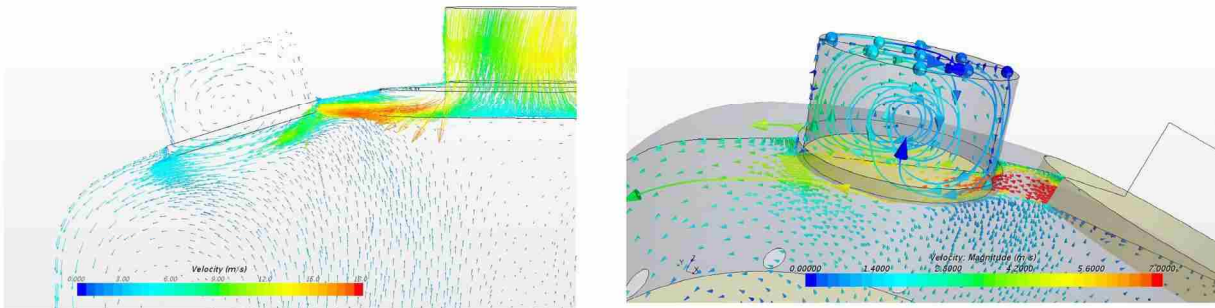
まず、格納容器圧力逃がし装置系統内の上り配管端部のうち、水素と酸素の混合ガスが蓄積する恐れのある箇所については、別紙 19 に示すように、混合ガスを排出するためのベントラインを設置し、混合ガスの蓄積を防止することとしている。また、よう素フィルタの上部マンホールについては、流動解析によりマンホール内を換気する流れによって、混合ガスの蓄積は生じないことを確認している（第 11, 12 図参照）。

そのため、格納容器圧力逃がし装置系統内においては、水素の燃焼は生じないと考えられる。

なお、ベントガスの温度は、水素が自然発火する約 500℃以上になることはなく、さらにフィルタ装置にアース線を設置して静電気が溜まることを防止する設計としていることから、仮に可燃限界を超えた濃度の水素や酸素が流入したとしても、格納容器圧力逃がし装置にて着火・燃焼するリスクは小さいと考えられる。



第11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12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（数百m³/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

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉においては、格納容器圧力逃がし装置を用いた格納容器ベントを実施する際、サプレッション・チェンバの排気ラインを使用した格納容器ベント（以下、W/W ベントという。）の他に、ドライウェルの排気ラインを使用した格納容器ベント（以下、D/W ベントという。）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

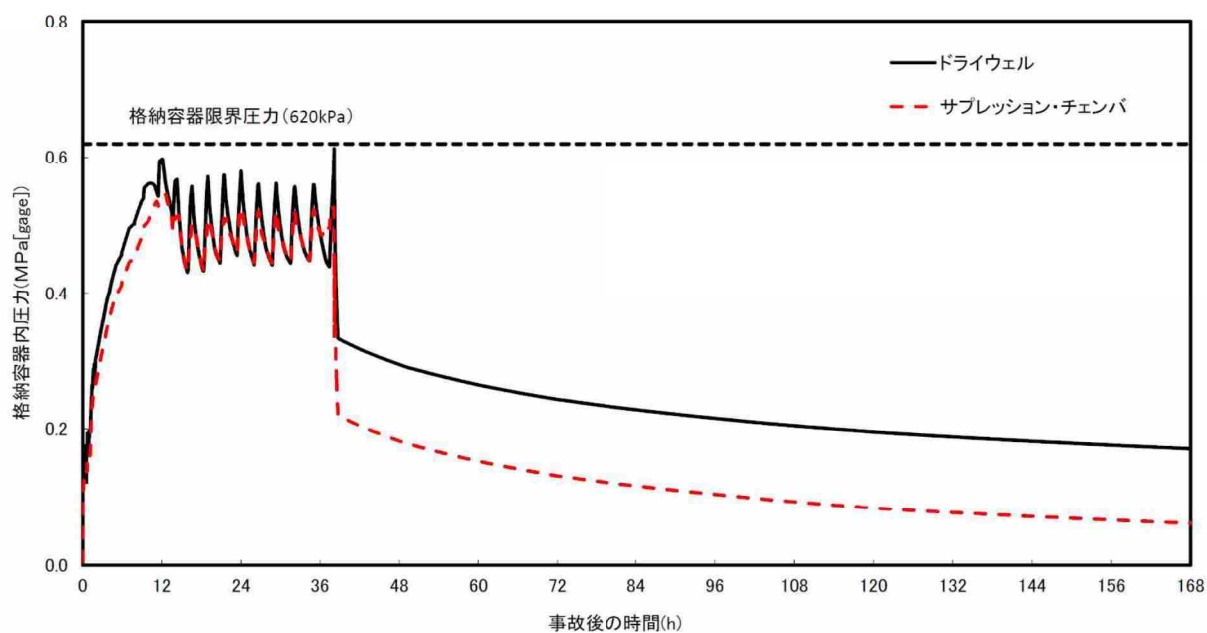
ベントライン及び放出位置を変更することによる公衆被ばくへの影響を評価するために、ここでは以下の 2 つを選定した。

a. 大破断 LOCA (W/W ベント) シナリオ

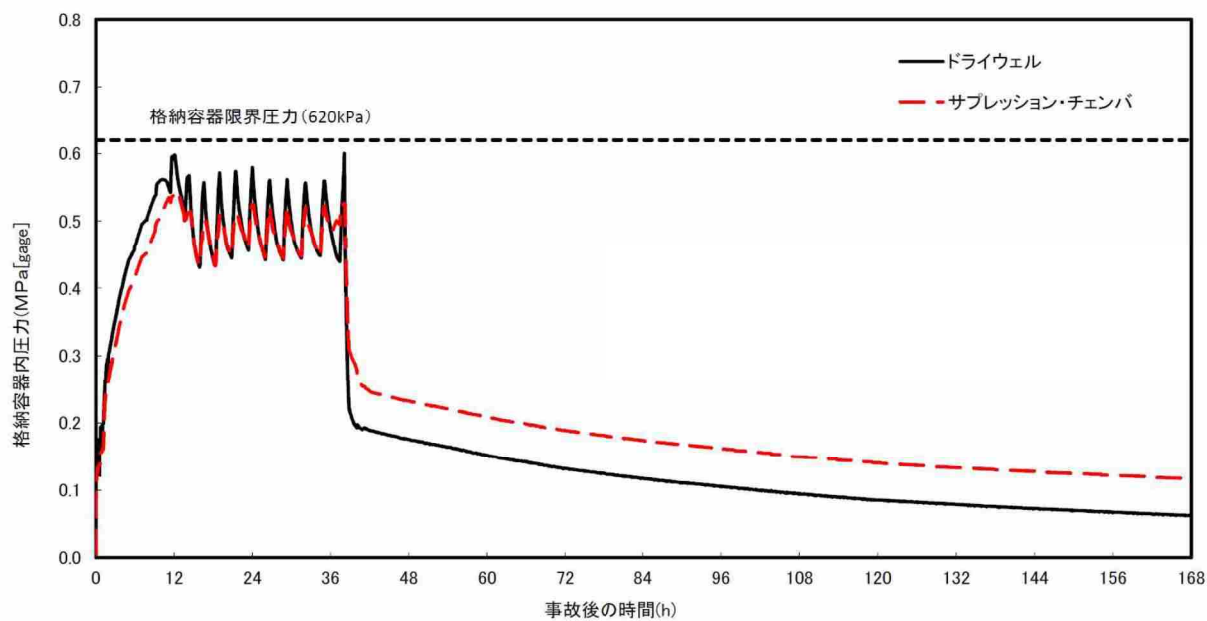
柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の有効性評価の「雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)」と同一の事故シーケンスであり、事象開始から約 38 時間後に W/W ベントを実施する。格納容器ベント時に原子炉格納容器から放出され、格納容器圧力逃がし装置に流入する Cs-137 の放射エネルギーは約 1.4 TBq となる。原子炉格納容器圧力の推移を第 8-1 図に示す。

b. 大破断 LOCA (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。ベント時に原子炉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。原子炉格納容器圧力の推移を第 8-2 図に示す。



第 8-1 図 大破断 LOCA (W/W ベント) シナリオの原子炉格納容器圧力の推移



第 8-2 図 大破断 LOCA (D/W ベント) シナリオの原子炉格納容器圧力の推移

(2)被ばく量評価方法

a. 評価コード

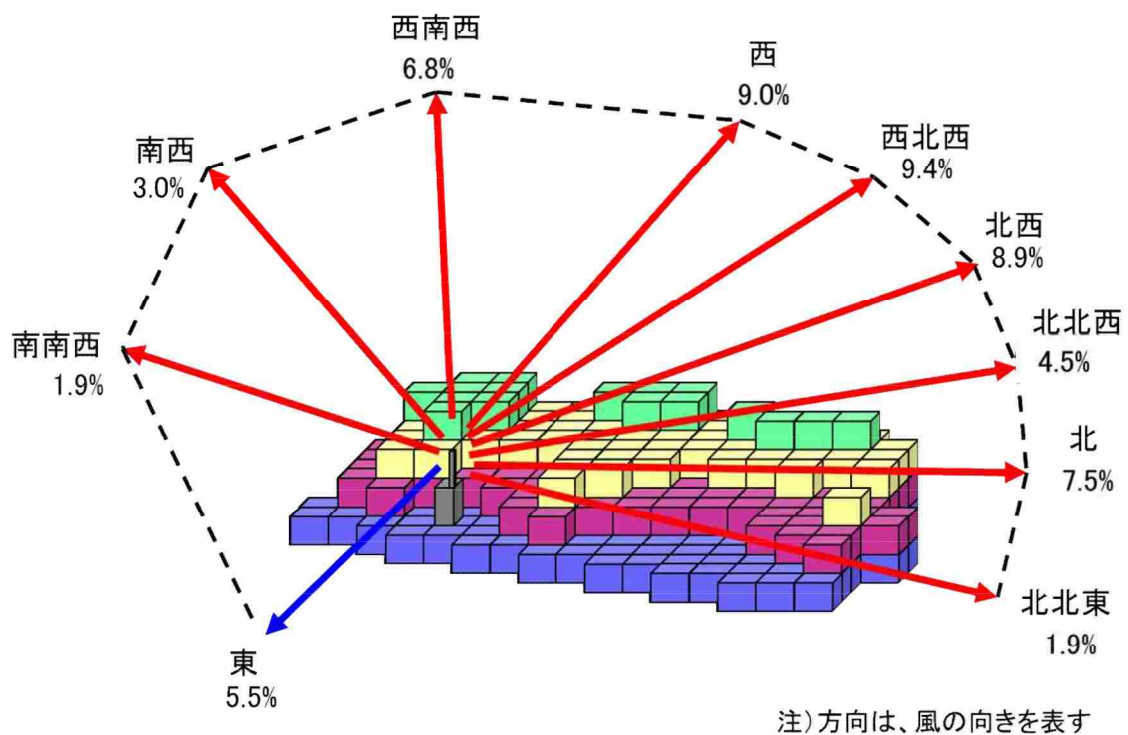
被ばく量評価において、ここでは3次元移流拡散評価コードを備えた原子力発電所周辺線量予測評価システム(以下、DIANA という。)を利用した。DIANA には、「基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ(標高)」を参照し、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形データを再現したブロック図がインプットされており、地形の形状を考慮した大気拡散評価が可能である。

b. 評価条件

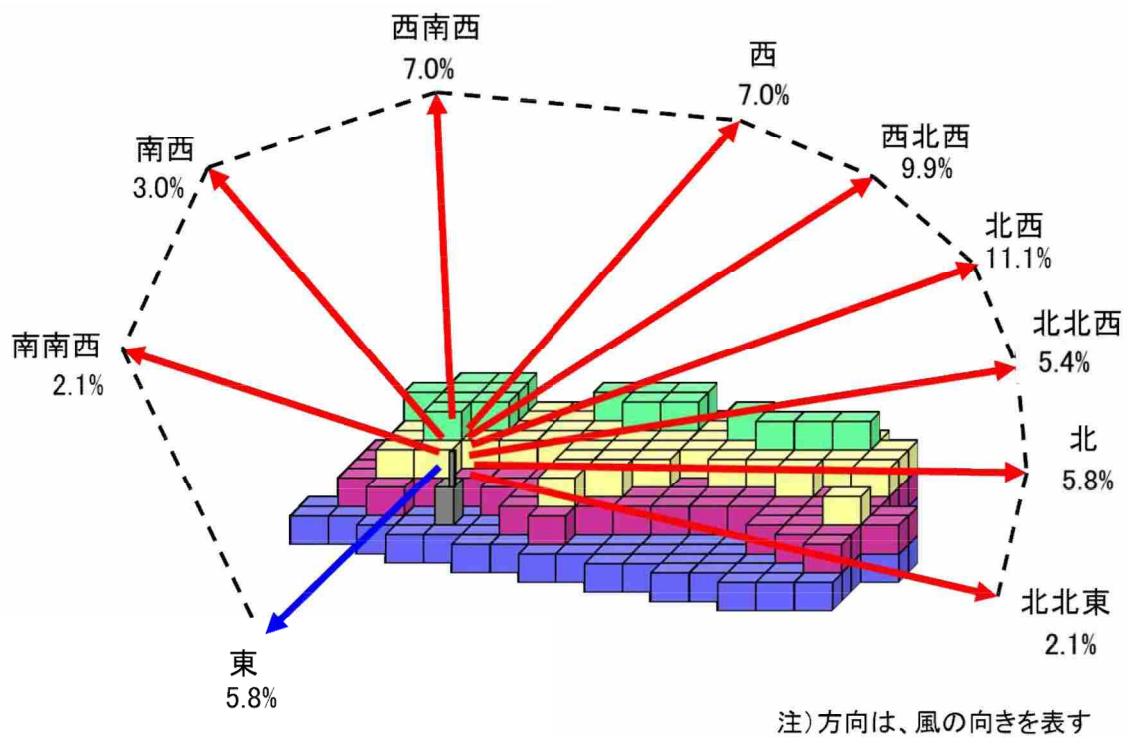
格納容器ベント実施に伴う公衆の被ばく量は、大気中に放出される放射エネルギーの他に、格納容器ベント実施後の気象条件に強く依存する。ここではベントライン及び放出位置を変更することによる被ばく量への影響を明確にするため、気象条件(風向、風速、大気安定度)が時間によらず一定であるとして評価した。具体的な評価条件を第8-1表に示す。また、参考として、柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された風向の、年間(1985年10月~1986年9月)の出現頻度を第8-3図から第8-5図に示す。

第8-1表 DIANA を用いた大気拡散評価条件

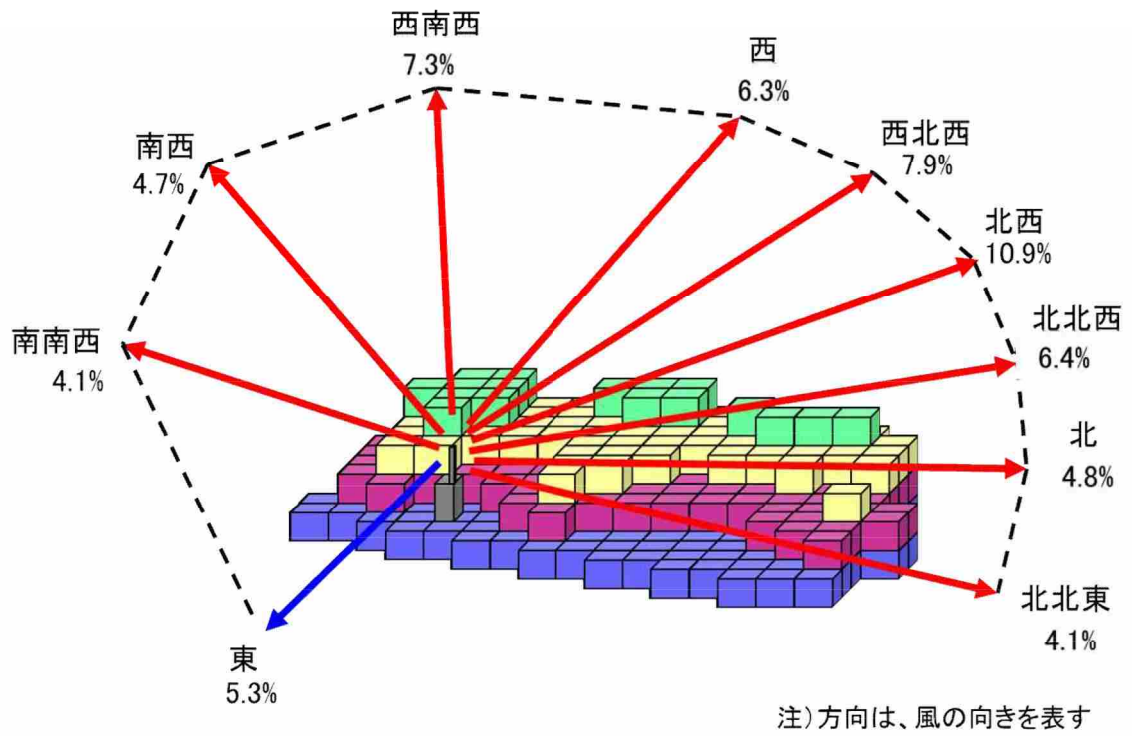
| 項目 | 選定内容 | 設定事由 |
|-------|---|---|
| 風速 | 地上高 10m : 3.1m/sec 地上高 75m : 5.8m/sec 地上高 150m : 5.9m/sec | 柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された年間(1985年10月~1986年9月)の平均風速を参照 |
| 風向 | 陸向き : 南南西, 南西, 西南西, 西, 西北西, 北西, 北北西, 北, 北北東 海向き : 東 | 拡散が地形形状に影響されることを考慮し、陸側は全方位を選定。参考として海側方位も選定 |
| 大気安定度 | D (中立) | 柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された大気安定度のうち、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 (標高 20m)



第 8-4 図 風向出現頻度 (標高 85m)



第 8-5 図 風向出現頻度 (標高 160m)

(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、大破断 LOCA(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。

大破断 LOCA(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 大破断 LOCA(D/W ベント)シナリオ時の相対値は大破断 LOCA(W/W ベント)シナリオ時と比べ小さくなっている。これは、大破断 LOCA(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、しばらくの間原子炉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、格納容器ベント時に原子炉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 W/W ベントシナリオが約1.4TBq と、D/W ベントシナリオの約2000TBq に比べ小さい。これは本シナリオにおいては、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原子炉格納容器内で更に除去されるためである。

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 |
| 大破断 LOCA(W/W ベント) シナリオ | 1 | 1 |
| 大破断 LOCA(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、大破断 LOCA(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。

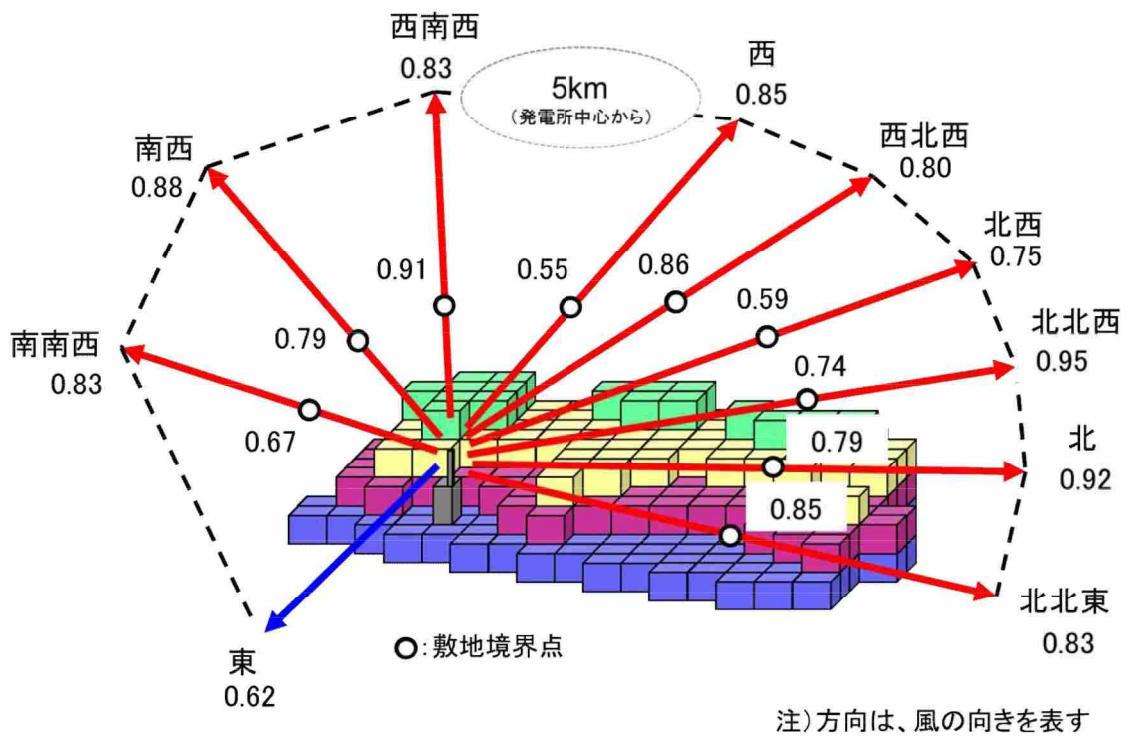
東風により海側へ放出した場合の5km地点における相対値は約0.62となっているが、障害物がない海側においては距離に応じて相対値が変わる。

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。

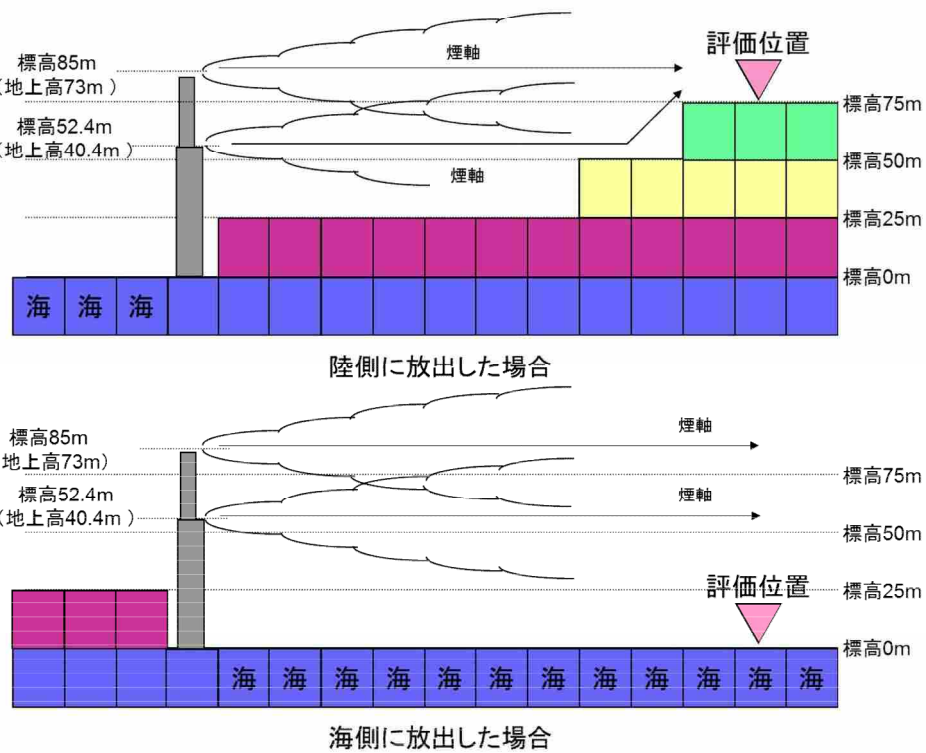
以上のことから、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形形状を考慮すると、放出位置の違いによる影響は敷地境界においても限定的であり、発電所からの距離が離れると影響は小さくなることがわかる。

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 |
| 大破断 LOCA(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 |



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大破断 LOCA(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亀裂，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亀裂，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亀裂，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亀裂，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亀裂，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、耐腐食にすぐれたステンレス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。

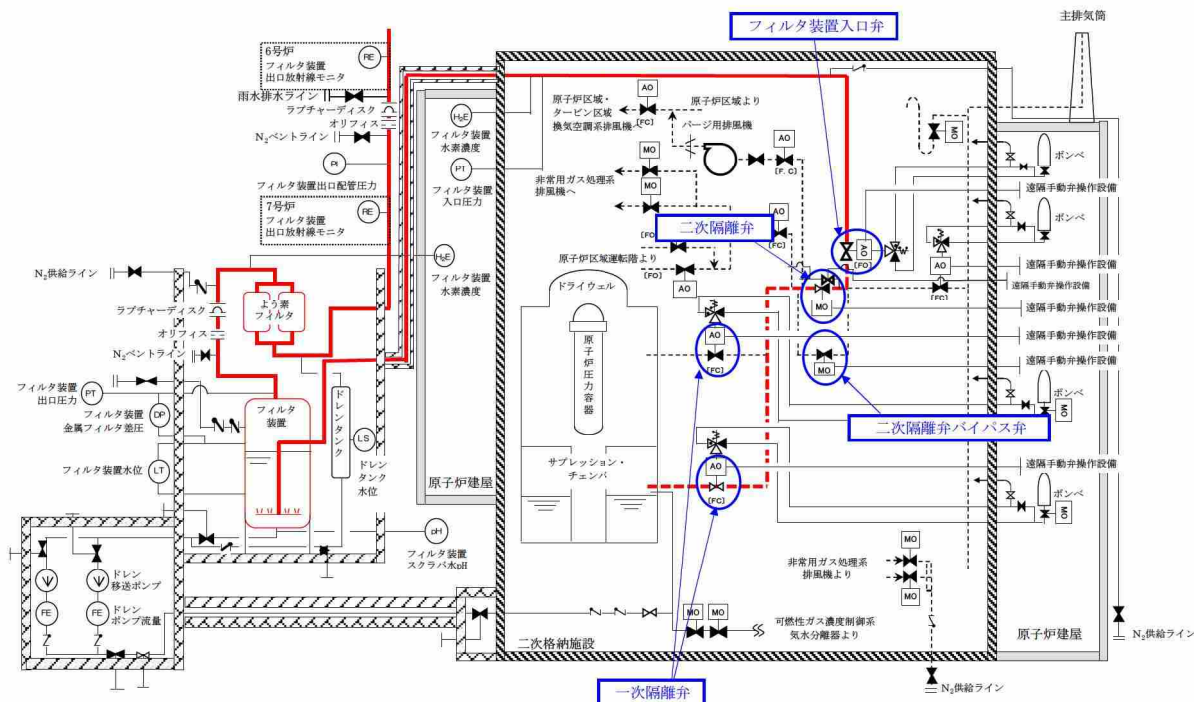
第 2 表 点検周期の決定根拠

| 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 | — |
| よう素フィルタ銀 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 | — |
| ドレン移送ポン 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 | 原子炉格納容器ダイヤ 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 |
| ラプチャーディ スク | 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，二次隔離弁及び二次隔離弁バイパス弁は電動駆動弁（以下，「MO 弁」）となっている。これらの弁は重大事故等時を考慮し，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法是第 1 表の通りである。



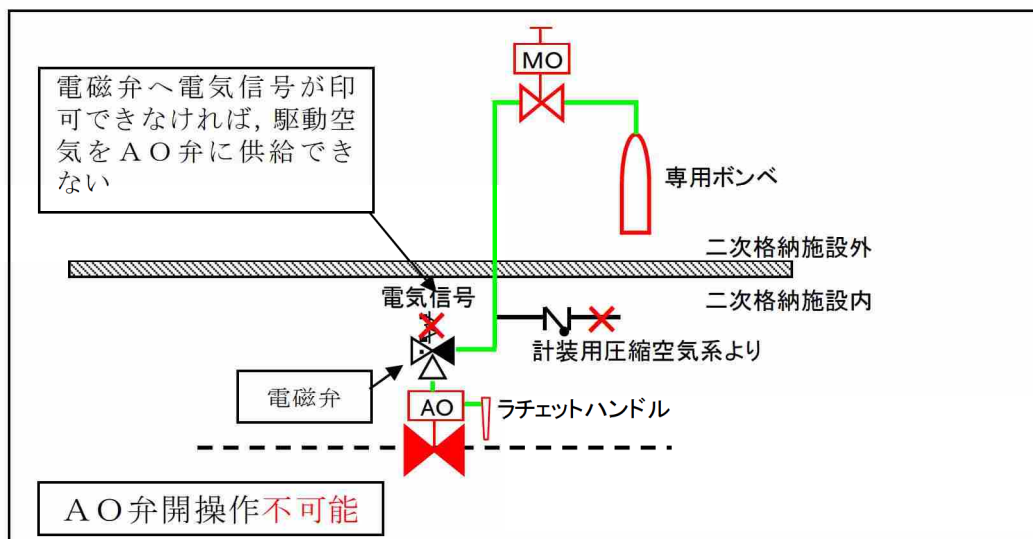
第 1 図 格納容器圧力逃がし装置系統概要図

第 1 表 弁の操作方法

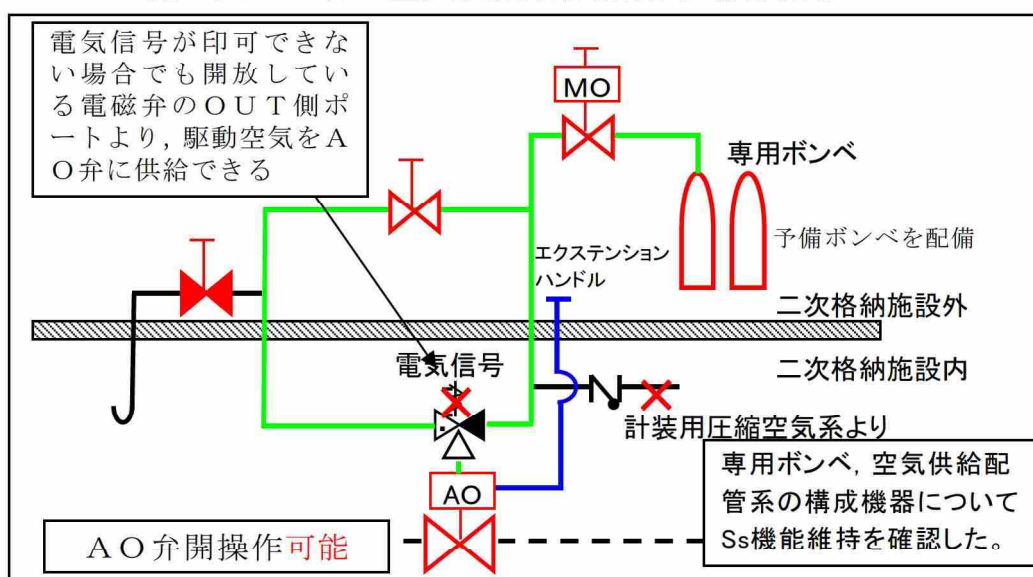
| 駆動方式 | 操作対象弁 | 電源喪失時の操作方法 | 操作場所 |
|------|--|-----------------------|---------|
| AO | <ul style="list-style-type: none"> ■一次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側) | 遠隔手動弁操作設備による遠隔操作 | 二次格納施設外 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ■フィルタ装置入口弁 ■一次隔離弁 (ドライウエル側) | 専用ポンベからの駆動空気供給による遠隔操作 | 二次格納施設外 |
| MO | <ul style="list-style-type: none"> ■二次隔離弁 ■二次隔離弁バイパス弁 | 遠隔手動弁操作設備による遠隔操作 | 二次格納施設外 |

MO弁ならびにAO弁については、遠隔手動弁操作設備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。

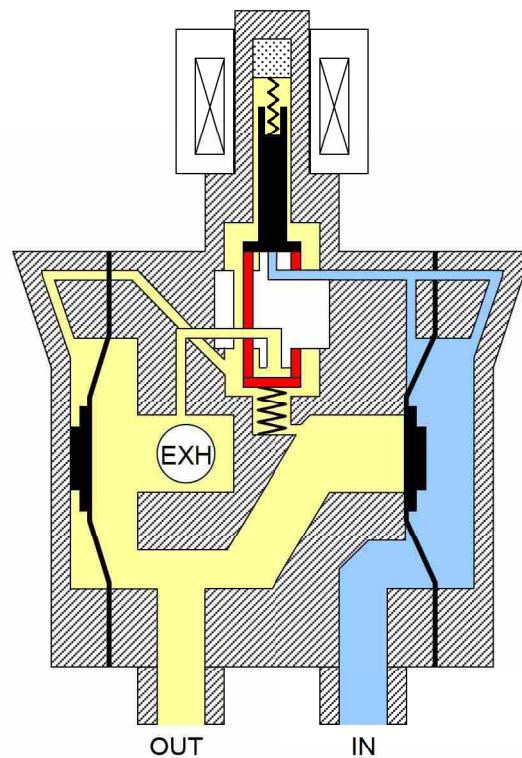
一方、第3図に示す通り、空気供給配管系の変更後の構成では、電磁弁に電気信号を印可できない場合においても開放している電磁弁のOUT側ポートより、駆動空気をAO弁に供給することができる。そのため、電源喪失時においても、駆動

空気により A0 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、A0 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

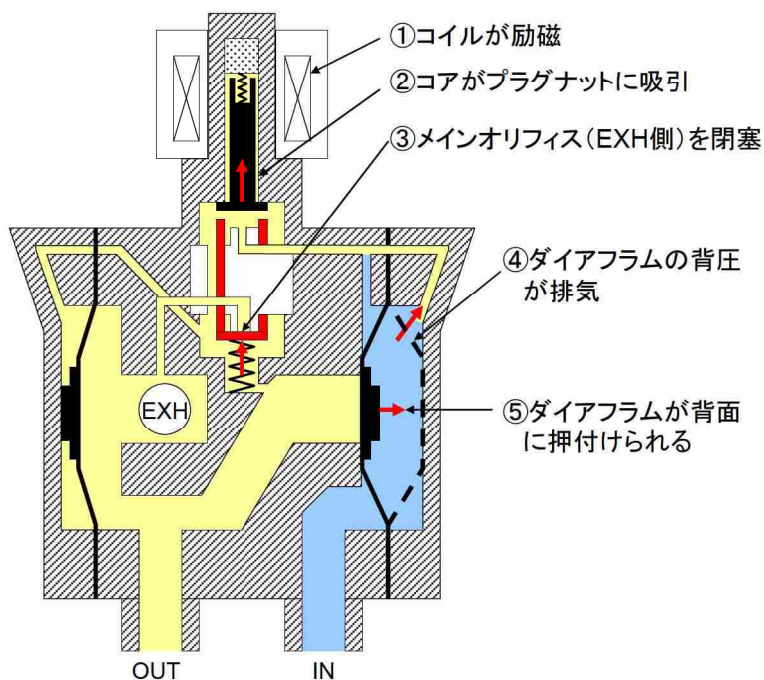
A0 弁用の電磁弁は、電気信号を印加していない状態（無励磁状態）では以下の第 4 図のような状態である。「IN 側」には計装用圧縮空気系、「OUT 側」は A0 弁の駆動部に接続されており、「EXH 側」は大気開放となっている。



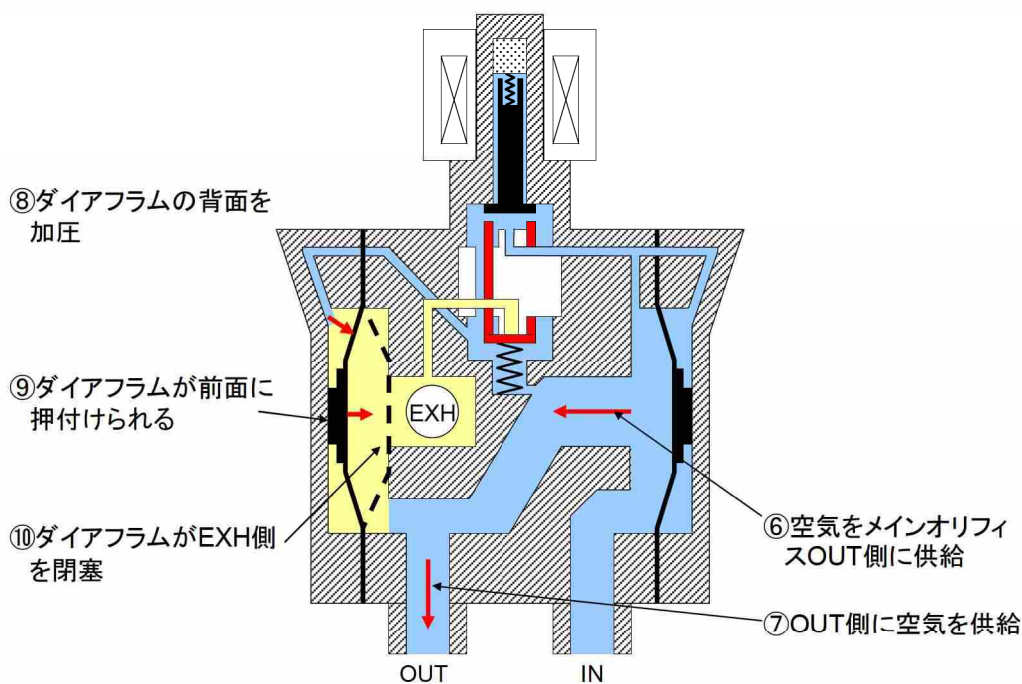
第 4 図 電磁弁（待機時）の概要図

(2) 電磁弁動作時（励磁）の状態

A0 弁用の電磁弁は、電気信号を印加した状態（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 A0 弁の駆動部に供給する。



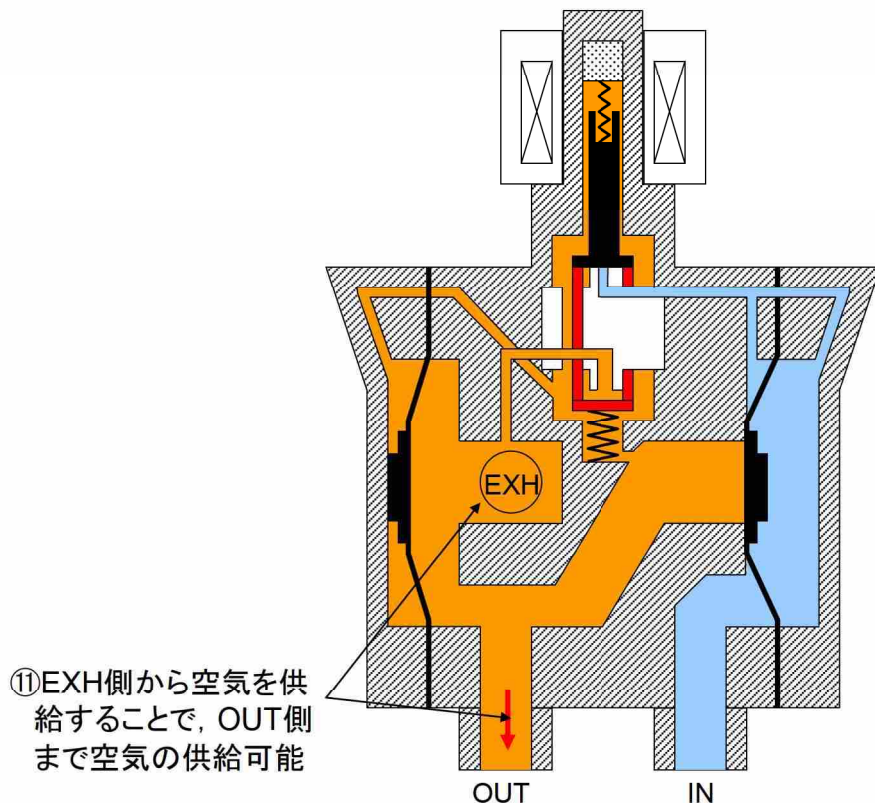
第 5 図 励磁時直後の動作概要図



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

A0 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 A0 弁本体の駆動部へ供給される。

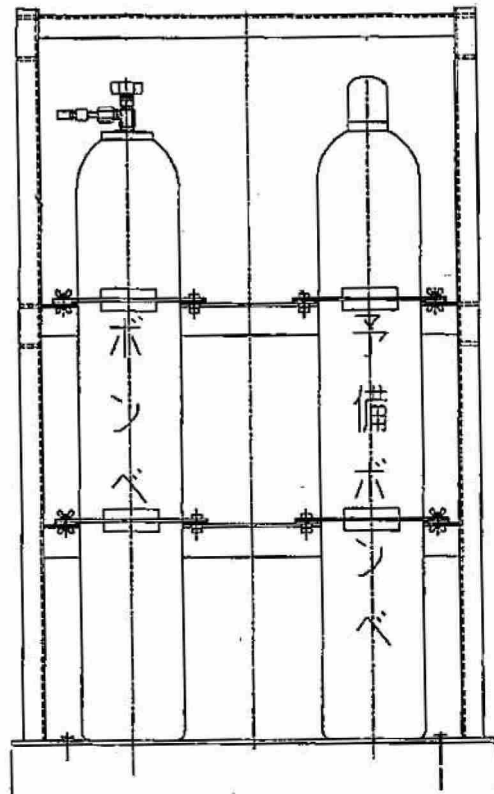


第 7 図 専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合の概要図

なお、専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合の A0 弁の開閉試験を実施し、A0 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 A0 弁の駆動部へ空気を供給することが可能である。

A0 弁を二次格納施設外から遠隔操作する場合には、A0 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ベより供給し、第 8 図に示すように、その専用ポンベの横に常設の予備ポンベを設置している。



第 8 図 A0 弁駆動ポンベラック構造図

ここで、A0 弁の専用ポンベによる遠隔操作機構と、M0 弁の遠隔手動弁操作設備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 A0 弁の遠隔操作 | 遠隔手動弁操作設備を用いた M0 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 30～40Nm* 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 8.3×10^{-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。

M0 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。）

A0 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、M0 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、A0 弁、M0 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。

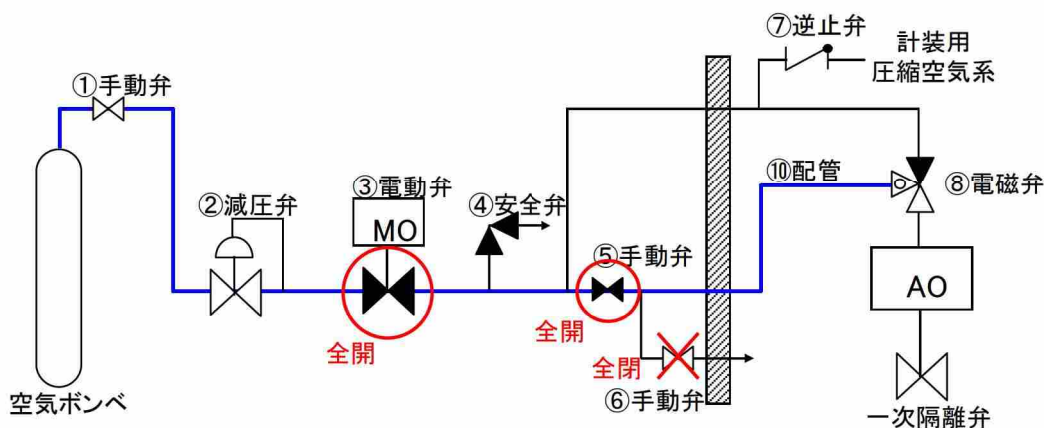
遠隔操作機構の信頼性については、以下の通り算定している。

【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「 8.3×10^{-8} [h]」となる。



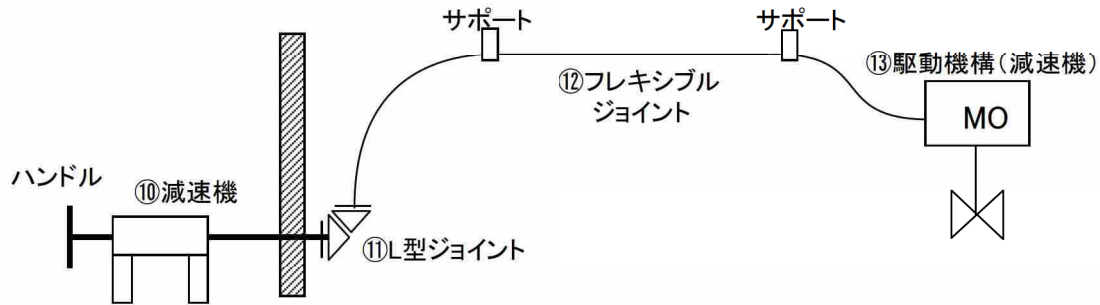
第 9 図 専用ポンペを用いた操作の系統概要図

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 [1/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） | 4.0×10^{-9} |
| ⑨ | 配管 | リーク | 配管（リーク） | 6.6×10^{-10} |
| 当該システムの故障率 | | | | 8.3×10^{-8} |

(2) 遠隔手動弁操作設備を用いた遠隔操作

遠隔手動弁操作設備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 遠隔手動弁操作設備を用いた操作の系統概要図

第4表 遠隔手動弁操作設備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[/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、A0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、原子炉格納容器隔離機能に着目すると、原子炉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FCとなるA0弁の方が、FAI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
格納容器圧力逃がし装置における対策

| 比較項目 | 1F での問題点 | KK 格納容器圧力逃がし装置での対応策 |
|-------------|--|--|
| 放射線量 | <ul style="list-style-type: none"> ・ A0 弁操作のために現場に向かうも現場の放射線量が強く 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"> ・ IA 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。 |