

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備
(格納容器圧力逃がし装置) について

平成27年9月

東京電力株式会社

<目次>

1.	概要	1
1.1	設置目的	1
1.2	設備構成の概略	2
1.2.1	機器配置	2
1.2.2	系統概要図	6
1.3	設備性能の概略	9
1.3.1	設備の使用方法の概略	9
1.3.2	放射性物質除去性能の概略	9
2.	設計方針	10
2.1	設計条件	10
2.2	格納容器圧力逃がし装置（原子炉格納容器フィルタベント系）	12
2.2.1	フィルタ装置本体構造	12
2.2.1.1	容器	14
2.2.1.2	内部構造物	19
2.2.1.3	スクラバ水	25
2.2.2	格納容器圧力逃がし装置系統構成	25
2.2.2.1	主配管	27
2.2.2.2	主要弁等	34
2.3	附帯設備	38
2.3.1	格納容器圧力逃がし装置電源設備	38
2.3.1.1	概要	38
2.3.1.2	電源供給負荷	38
2.3.1.3	単線結線図	41
2.3.1.4	電源設備の多重性又は多様性及び独立性	43
2.3.2	格納容器圧力逃がし装置計測制御設備	46
2.3.2.1	概要	46
2.3.2.2	計測設備の目的	46
2.3.2.3	計測設備の仕様について	51
2.3.2.4	格納容器圧力逃がし装置の計測設備の多重性又は多様性について	55
2.3.3	格納容器圧力逃がし装置給水設備	57
2.3.3.1	機能	57
2.3.3.2	設備構成及び仕様	57
2.3.4	格納容器圧力逃がし装置ドレン設備	59
2.3.4.1	機能	59
2.3.4.2	設備構成及び仕様	59

2.3.5	格納容器圧力逃がし装置窒素パージ設備	67
2.3.5.1	機能	67
2.3.5.2	設備構成及び仕様	67
3.	フィルタ装置の性能	72
3.1	フィルタ装置による放射性物質の除去原理	72
3.1.1	粒子状放射性物質の除去原理	72
3.1.1.1	水スクラバによる除去	72
3.1.1.2	金属フィルタによる除去	74
3.1.2	ガス状放射性物質の除去原理	75
3.1.2.1	格納容器圧力逃がし装置へ流入するガス状放射性物質量の低減	75
3.1.2.2	格納容器圧力逃がし装置での除去	76
3.2	性能検証	77
3.2.1	性能検証試験の概要	77
3.2.1.1	試験設備の概要	77
3.2.1.2	試験条件とその設定根拠	81
3.2.2	粒子状放射性物質の除去性能	87
3.2.2.1	想定されるエアロゾル	87
3.2.2.2	事故時のフィルタ装置のパラメータ変化	116
3.2.2.3	除去性能試験結果	123
3.2.2.4	フィルタ装置の継続使用による性能への影響	127
3.2.3	ガス状放射性物質の除去性能	128
3.2.3.1	格納容器圧力逃がし装置へ流入するよう素量	128
3.2.3.2	吸着剤による除去性能試験結果	130
4.	格納容器圧力逃がし装置の設備操作と操作性	133
4.1	格納容器圧力逃がし装置の設備操作	133
4.1.1	格納容器ベント操作について	133
4.1.2	中央制御室及び現場での操作内容	135
4.1.3	中央制御室及び現場でのパラメータ監視	152
4.2	格納容器圧力逃がし装置の操作性	159
4.2.1	ベント弁操作エリア	159
4.2.1.1	ベント時の被ばく評価（線量分布）	159
4.2.1.2	ベント後の被ばく評価（線量分布）	159
4.2.2	フィルタ装置遮へい壁周辺	159
4.2.2.1	ベント時の被ばく評価（線量分布）	159
4.2.2.2	ベント後の被ばく評価（線量分布）	159
4.3	水素燃焼防止に関する設備操作	160
5.	設備の維持管理	166
5.1	点検方法	166

5.2	試験方法	171
6.	規制基準への適合性	175
6.1	実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に 関する規則への適合	175
6.1.1	第38条（重大事故等対処施設の地盤）	175
6.1.2	第39条（地震による損傷の防止）	176
6.1.3	第40条（津波による損傷の防止）	176
6.1.4	第41条（火災による損傷の防止）	177
6.1.5	第43条（重大事故等対処設備）	179
6.1.6	第48条（最終ヒートシンクに熱を輸送するための設備）	183
6.1.7	第50条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）	184
7.	原子炉格納容器圧力逃がし装置の設計基準事象に対する耐性	189
7.1	地震，津波以外の自然現象	189
7.1.1	風（台風）	189
7.1.2	竜巻	190
7.1.3	積雪	203
7.1.4	低温	206
7.1.5	落雷	206
7.1.6	火山	209
7.2	その他事象	212
7.2.1	外部火災	212
7.2.2	内部火災	217
7.2.3	内部溢水	217
7.2.4	航空機墜落（偶発的事象）	219
8.	原子炉格納容器圧力逃がし装置の意図的な航空機衝突事象に対する耐性	220
8.1	航空機衝突（意図的事象）	220
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	224
別紙2	格納容器圧力逃がし装置 計測設備の概略構成図	231
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	241
別紙4	フィルタ装置水素濃度計の計測時間遅れについて	243
別紙5	エアロゾル計測装置の計測原理	246
別紙6	除去性能試験について	256
別紙7	ベント初期に対向流が発生する可能性について	284
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	285
別紙9	設備の維持管理についての補足事項	296
別紙10	弁の操作方法について	298
別紙11	銀ゼオライトの劣化要因と対策について	308

別紙 12	金属フィルタの液滴除去性能について	309
別紙 13	フィルタ装置からの放射性物質の再浮遊について	313
別紙 14	水スクラバにて考慮する荷重と評価結果	322
別紙 15	よう素フィルタからの放射性物質の再浮遊について	328
別紙 16	格納容器圧力逃がし装置の弁選定の考え方	332
別紙 17	格納容器圧力逃がし装置と他系統との隔離	334
別紙 18	圧損計算の詳細.....	336
別紙 19	格納容器圧力逃がし装置と他系統との隔離について	340
別紙 20	配管内面への放射性物質付着量の考え方について	352
別紙 21	配管内面に付着した放射性物質による発熱の影響について	356
別紙 22	スクラバノズルのエロージョンについて	361
別紙 23	格納容器圧力逃がし装置からの漏えい対策について	363
別紙 24	スクラバ水の pH 調整方法について	369
別紙 25	窒素ガスパーズに対する考え方について	371
別紙 26	ドレン移送ライン使用時における格納容器内へ空気流入影響について	375
別紙 27	スクラバ水の設定について	376
別紙 28	6号炉と7号炉で放射線モニタ設置位置が異なることに対する考え方	385
別紙 29	無機よう素捕捉時の化学反応熱による影響について	386
別紙 30	フィルタ装置を長期使用時の影響について	387
別紙 31	地震による損傷の防止に関する耐震設計方針の説明	398
別紙 32	空気作動弁に対する人力操作の成立性について	400
別紙 33	格納容器ベント実施に伴う現場作業の線量影響について	405
別紙 34	スクラバ水の影響について	423
別紙 35	フィルタ装置の構造健全性について	424
別紙 36	フィルタ装置の性能維持の確認について	427
別紙 37	圧力開放板の凍結による影響について	428
別紙 38	高温使用時におけるフィルタベント系統からの漏えいがないこと .	431
別紙 39	格納容器圧力逃がし装置使用後の保管管理	433
別紙 40	よう素フィルタ部に発生する偏流について	434
別紙 41	格納容器 pH 制御による格納容器への影響の確認について.....	444

1. 概要

1.1 設置目的

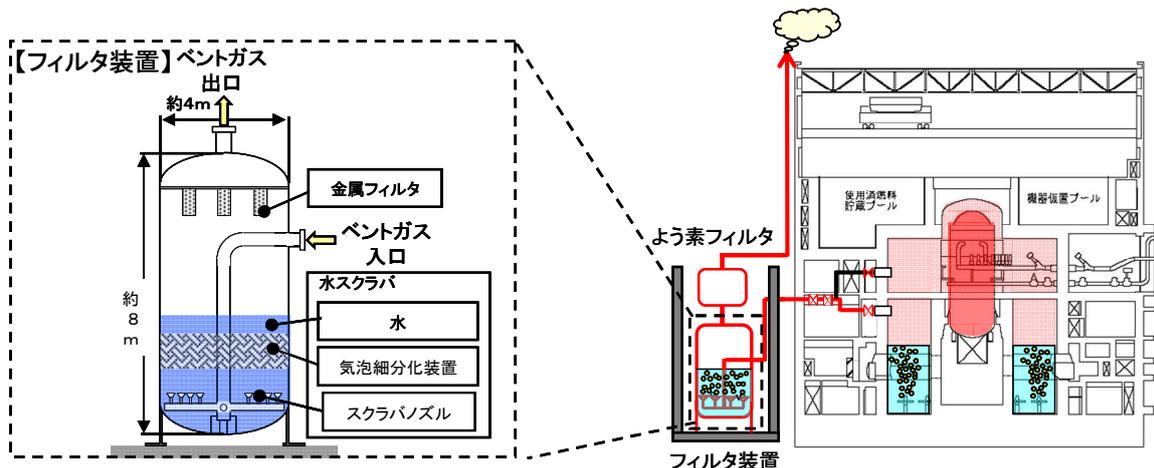
【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、炉心の著しい損傷が発生した場合において、格納容器内の圧力及び熱を外部へ放出し、格納容器の圧力及び温度を低下させることで、格納容器の破損を防止する目的で設置する。

排気ラインに設置するフィルタ装置により、サブプレッション・チェンバの排気ライン又はドライウエルの排気ラインを経由して排出する排気ガスに含まれる放射性物質を低減することで、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の使用時の環境への影響を緩和する。

また、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、格納容器内に滞留する水素ガスを環境へ放出する機能、及び、設計基準事故対処設備に係る最終ヒートシンクへ熱を輸送する機能が喪失した場合で、かつ残留熱除去系の使用が不可能な場合において、炉心の著しい損傷又は格納容器破損を防止するため、大気を最終ヒートシンクとして熱を輸送するための機能も併せ持っている。

なお、フィルタ装置を設置することにより、排気ガスに含まれる放射性物質を十分に低減できると考えているが、環境への影響を更に低減させるため、フィルタ装置の下流に、排気ガスに含まれるよう素を除去するためのよう素フィルタを設置する。



第 1.1-1 図 格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置
全体概要

1.2 設備構成の概略

1.2.1 機器配置

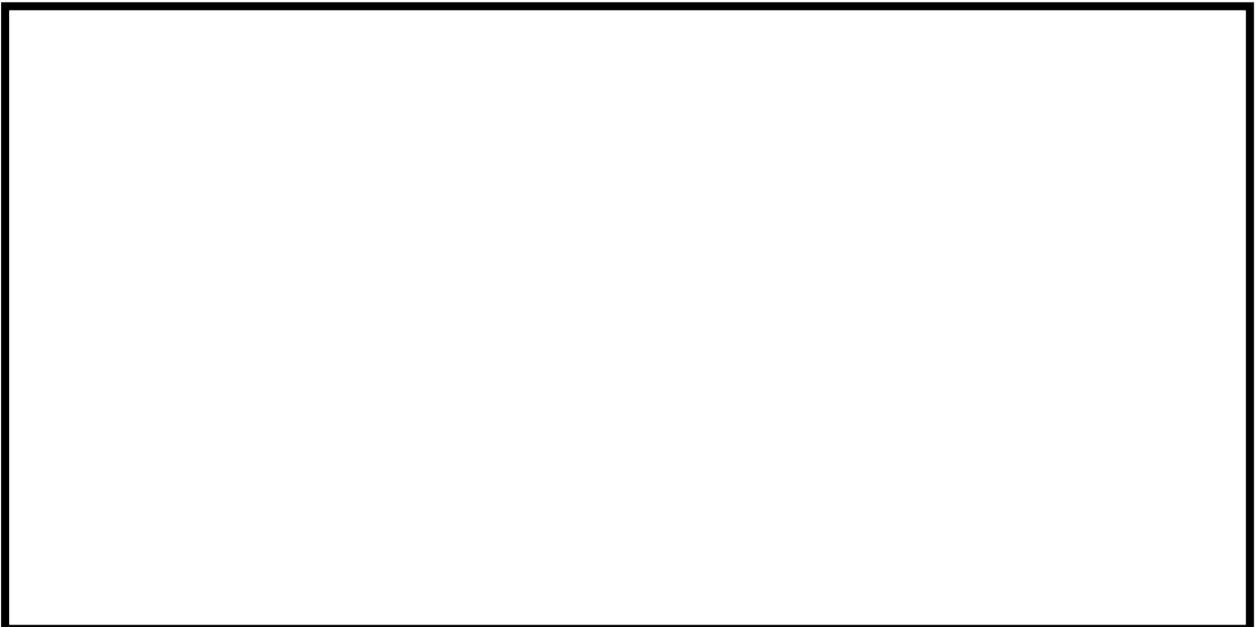
【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置は、フィルタ装置、圧力開放板、隔離弁等と、これらを接続する配管で構成する。

第 1.2.1-1 図から第 1.2.1-6 図に 6 号炉及び 7 号炉の機器配置を示す。

6 号炉について、原子炉格納容器に接続する配管及び隔離弁は、サブプレッション・チェンバ側を原子炉建屋地下 1 階、ドライウエル側を原子炉建屋 2 階に設置しており、原子炉建屋 3 階に設置されている二次隔離弁及びフィルタ装置入口弁を経由して、フィルタ装置が設置されている 6 号炉原子炉建屋東側地上部まで配管を設置している。フィルタ装置の出口には圧力開放板を設け、その下流側配管を 6 号炉原子炉建屋の屋上部まで導き、大気に開放する。

また、7 号炉について、原子炉格納容器に接続する配管及び隔離弁は、サブプレッション・チェンバ側を原子炉建屋地下 1 階、ドライウエル側を原子炉建屋 2 階に設置しており、原子炉建屋 3 階に設置されている二次隔離弁及びフィルタ装置入口弁を経由して、フィルタ装置が設置されている 7 号炉原子炉建屋南東側地上部まで配管を設置している。フィルタ装置の出口には圧力開放板を設け、その下流側配管を 7 号炉原子炉建屋の屋上部まで導き、大気に開放する。

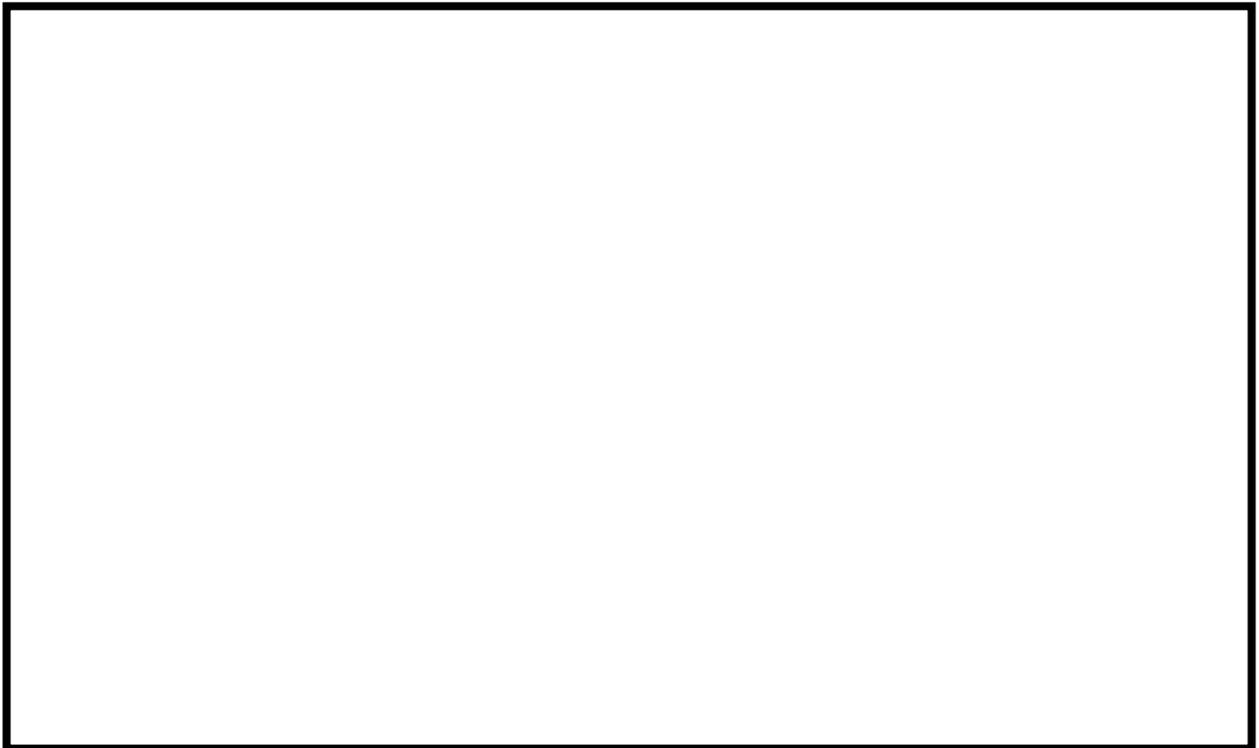


第 1.2.1-1 図 機器配置図（平面図）

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。



第 1.2.1-2 図 機器配置図 (6号炉原子炉建屋中1階及び地下1階)

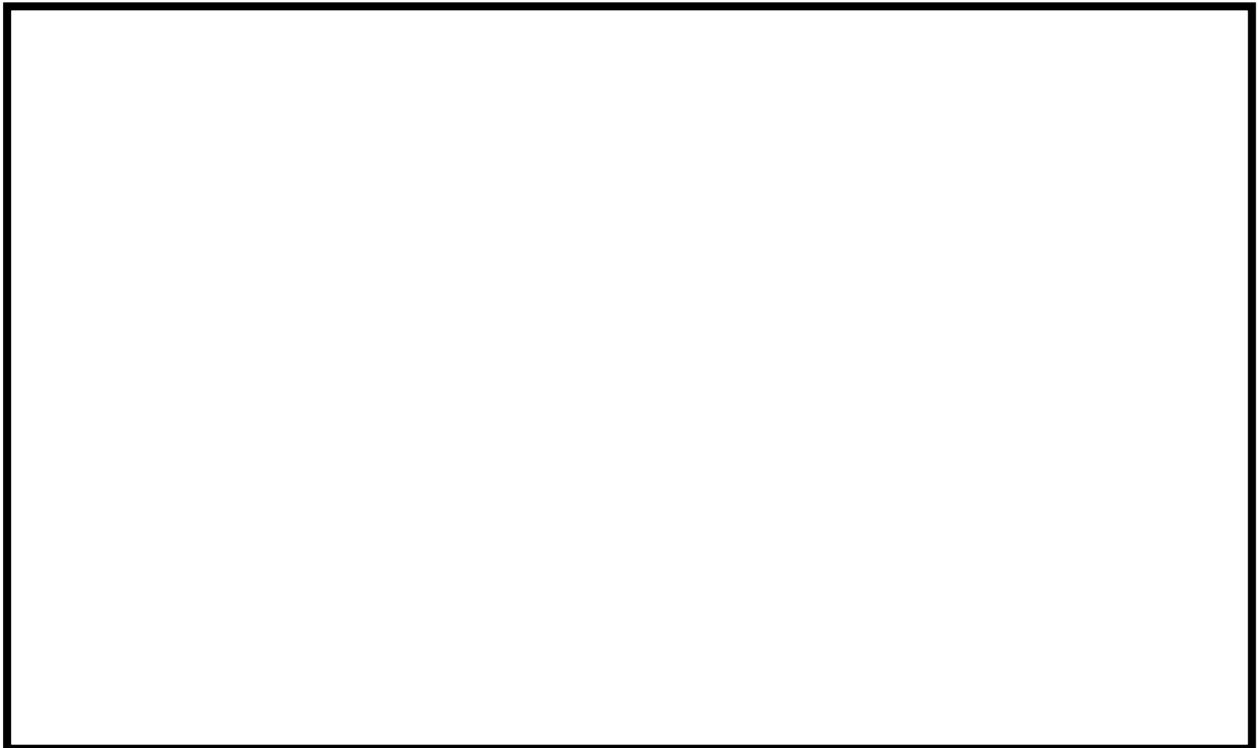


第 1.2.1-3 図 機器配置図 (6号炉原子炉建屋2階及び3階)

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 1.2.1-4 図 機器配置図 (7号炉原子炉建屋中1階及び地下1階)



第 1.2.1-5 図 機器配置図 (7号炉原子炉建屋2階)



第 1.2.1-6 図 機器配置図（7 号炉原子炉建屋 3 階及び 4 階）

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置は、フィルタ装置、圧力開放板、隔離弁等と、これらを接続する配管で構成する。

6 号炉について、原子炉格納容器に接続する配管及び隔離弁は、サブプレッション・チェンバ側を原子炉建屋 1 階、ドライウエル側を原子炉建屋 2 階に設置しており、原子炉建屋地下 2 階を経由して、フィルタ装置が設置されている 6 号炉原子炉建屋北側地下ピットまで配管を設置している。フィルタ装置の出口には圧力開放板を設け、その下流側配管を 6 号炉原子炉建屋の屋上部まで導き、大気に開放する。

また、7 号炉について、原子炉格納容器に接続する配管及び隔離弁は、サブプレッション・チェンバ側を原子炉建屋地下 1 階、ドライウエル側を原子炉建屋 2 階に設置しており、原子炉建屋地下 2 階を経由して、フィルタ装置が設置されている 7 号炉原子炉建屋北東側地下ピットまで配管を設置している。フィルタ装置の出口には圧力開放板を設け、その下流側配管を 7 号炉原子炉建屋の屋上部まで導き、大気に開放する。

1.2.2 系統概要図

第1.2.2-1図に格納容器圧力逃がし装置の系統概要図を、第1.2.2-2図に代替格納容器圧力逃がし装置の系統概要図を示す。

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置は、フィルタ装置、圧力開放板、隔離弁等と、これらを接続する配管で構成されており、原子炉格納容器内雰囲気ガスを、不活性ガス系及び耐圧強化ベント系ラインを経由してフィルタ装置へ導き、フィルタ装置において放射性物質濃度を低減させた後に、原子炉建屋屋上に設ける排気管を通じて、大気に放出する。

格納容器からの取り出し口は、ドライウェル、サプレッション・チェンバそれぞれに設け、いずれの箇所からも排気することが可能な設計としている。

格納容器圧力逃がし装置は、既設の不活性ガス系と耐圧強化ベント系ラインよりフィルタ装置に導くが、他の系統・機器とは弁で隔離することで、他の系統や機器への悪影響を防止する設計としている。

弁の構成は、以下のとおり。原子炉格納容器内からの排気は、これらの弁を開操作することにより行う。

- ・一次隔離弁：空気駆動弁（AO弁）
- ・二次隔離弁：電動駆動弁（MO弁）
- ・二次隔離弁バイパス弁：手動駆動弁（HO弁）
- ・フィルタ装置入口弁：空気駆動弁（AO弁）

空気駆動弁は、駆動部にエクステンションを設け、二次格納施設外に導くことで、全電源喪失時においても、放射線量率の低い二次格納施設の外から人力で操作が可能な設計とする。また、二次格納施設の外からポンペを用いて操作することも可能な設計としている。

電動駆動弁については、駆動部にエクステンションを設け、二次格納施設外に導くことで、全電源喪失時においても、放射線量率の低い二次格納施設外から遠隔で操作することができる。

手動駆動弁についても、駆動部にエクステンションを設け、二次格納施設外に導くことで、放射線量率の低い二次格納施設外から遠隔で操作することができる。

また、よう素フィルタの下流配管に、一部Uシール構造となる箇所があることから、ベントガス中の水蒸気の凝縮による凝縮水を抜く配管と凝縮水を溜めるドレンタンクを設置し、当該箇所配管の閉塞が生じないような設計としている。

なお、格納容器圧力逃がし装置は、他号炉と共用しない。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の系統は、フィルタ装置、圧力開放板、隔離弁等と、これらを接続する配管で構成されており、原子炉格納容器内雰囲気ガスをフィルタ装置へ導き、フィルタ装置において放射性物質濃度を低減させた後に、原子炉建屋屋上に設ける排気管を通じて、大気に放出する。また、フィルタ装置は、地下ピット内に設置する。

格納容器からの取り出し口は、ドライウエル、サブプレッション・チェンバそれぞれに設け、いずれの箇所からも排気することが可能な設計としている。

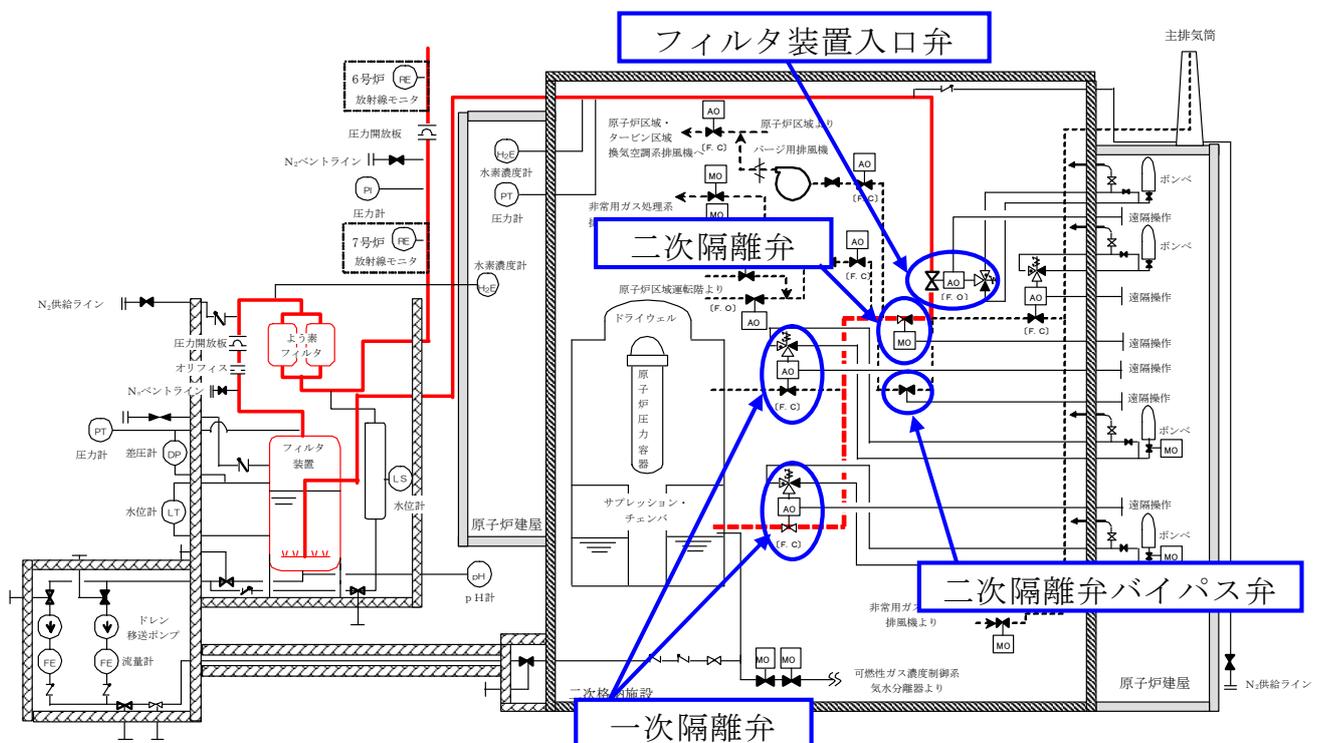
代替格納容器圧力逃がし装置は、他の系統とは独立の配管を經由してフィルタ装置に導くことにより、他の系統や機器への悪影響を防止する設計としている。

弁の構成は、以下のとおり。原子炉格納容器内からの排気は、これらの弁を開操作することにより行う。

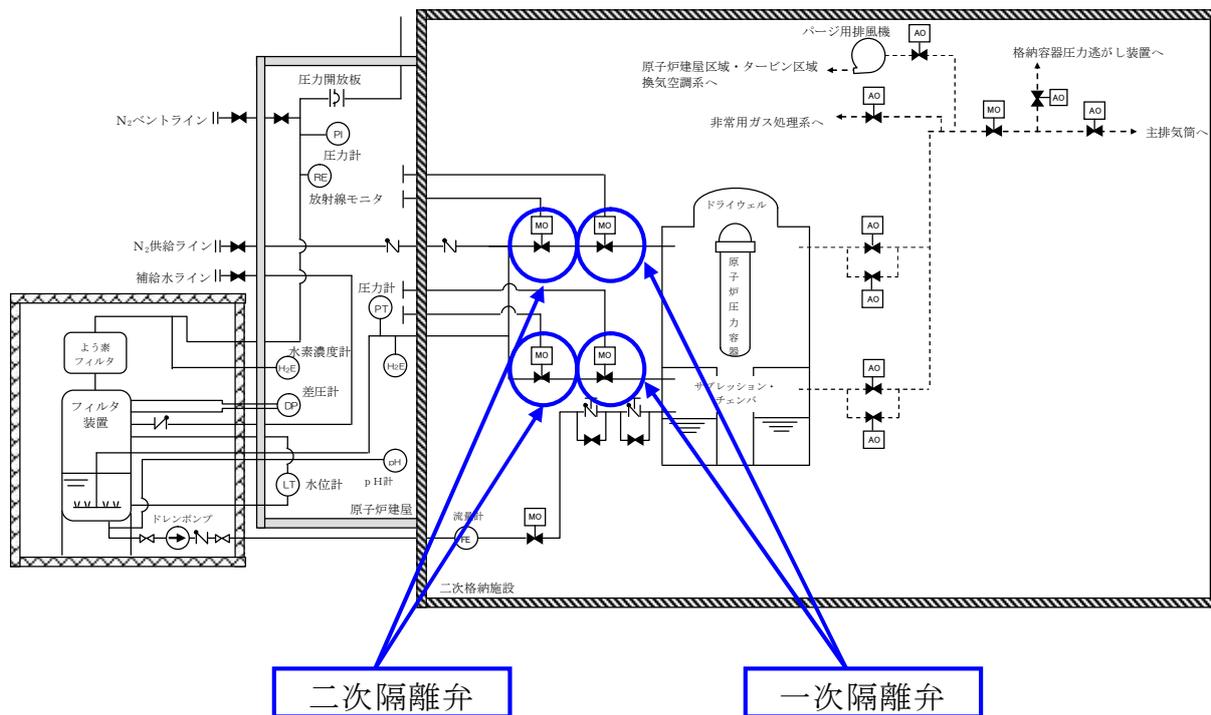
- ・一次隔離弁：電動駆動弁（MO弁）
- ・二次隔離弁：電動駆動弁（MO弁）

電動駆動弁については、駆動部にエクステンションを設け、二次格納施設外に導くことで、全電源喪失時においても、放射線量率の低い二次格納施設外から遠隔で操作することができる。

なお、代替格納容器圧力逃がし装置は、他号炉と共用しない。



第 1.2.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置系統概要



第 1.2.2-2 図 代替格納容器圧力逃がし装置系統概要図

1.3 設備性能の概略

1.3.1 設備の使用方法の概略

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置を使用する場合には、原子炉格納容器一次隔離弁及びフィルタ装置入口弁を「全開」、二次隔離弁を「調整開」とすることにより、原子炉格納容器内雰囲気ガスをフィルタ装置に導く。

この際、原子炉格納容器内の圧力を確認し、原子炉格納容器内圧力の低下が認められない場合には、二次隔離弁の開度を増す操作を実施する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置を使用する場合には、原子炉格納容器一次隔離弁を「全開」、二次隔離弁を「調整開」とすることにより、原子炉格納容器内雰囲気ガスをフィルタ装置に導く。

この際、原子炉格納容器内の圧力を確認し、原子炉格納容器内圧力の低下が認められない場合には、二次隔離弁の開度を増す操作を実施する。

1.3.2 放射性物質除去性能の概略

【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及び代替格納容器圧力逃がし装置の粒子状放射性物質の除去性能（以下、「DF」という）は、サプレッション・チェンバからの排気を行う場合において、DFが1,000以上となることを確認している。

一方、ドライウエルからの排気を行う場合においては、原子炉格納容器から排出すると想定される粒子状放射性物質は、サプレッション・チェンバ内でのスクラビングによって、粒子径の大きな粒子状放射性物質の除去がされないことから、サプレッション・チェンバからの排気を行う場合と比較して、粒子径が大きくなる。このため、サプレッション・チェンバからの排気を行う場合と比較して、DFは大きくなることから、DFは1,000以上となる。

また、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の無機よう素のDFは、1000以上を確保する。

また、自主的な更なる安全性向上対策として、「pH制御」を行いサプレッションプール水のpHを7以上に制御することにより、原子炉格納容器内でのよう素の発生を抑制するとともに、銀ゼオライトを吸着材として用いる「よう素フィルタ」を、フィルタ装置の下流に設置する。よう素フィルタはDF50以上を確保する。

2. 設計方針

2.1 設計条件

【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及び代替格納容器圧力逃がし装置は，重大事故時において原子炉格納容器の過圧破損を防止する設備として，格納容器の減圧機能及び放射性物質の除去機能が求められる。

そのため，格納容器の減圧機能を満足するための排気するガスの条件と，放射性物質の除去性能より，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の設計条件を第2.1-1表の通り定める。また，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の機器クラスと耐震クラスについても，第2.1-1表の通り定める。

第2.1-1表 格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置 設計条件

設計条件		考え方
最高使用圧力	620 kPa[gage]	原子炉格納容器が過大リークに至らない限界圧力である最高使用圧力の2倍の圧力（原子炉格納容器最高使用圧力310kPa[gage]の2倍）にて適切なベントが実施できるよう、620kPa[gage]とする。
最高使用温度	200℃	原子炉格納容器が過温による破損に至らない限界温度である200℃とする。
設計流量 (ベントガス流量)	31.6kg/s	原子炉格納容器が最高使用圧力の2倍の圧力にてベントを実施した際に、原子炉定格熱出力の2%相当の飽和蒸気を排出可能な設計とする。
効率	粒子状放射性物質， ならびに無機よう素 に対して99.9%以上	粒子状放射性物質ならびに無機よう素に対して、効率99.9%以上（DF1000以上）とする。
ベントガス組成 (蒸気割合)	蒸気：100% 非凝縮性ガス：100%	ガス組成は、ベント時に変化することから、100%蒸気だけでなく、非凝縮性ガス100%の場合も考慮する。
機器クラス	重大事故等クラス2	常設の重大事故等対処設備であることから、『重大事故等クラス2』とする。
耐震クラス	基準地震動 Ss にて 機能維持	基準地震動 Ss による地震力により、格納容器圧力逃がし装置の機能が喪失しないよう、『基準地震動 Ss にて機能維持』とする。

また、よう素フィルタについても通気される排気ガスの条件やよう素の除去性能より、その設計条件等を第2.1-2表の通り定める。

第2.1-2表 よう素フィルタ設計条件

設計条件		考え方
最高使用圧力	250kPa[gage]	格納容器圧力逃がし装置の系統の圧力損失を評価した結果から、よう素フィルタで発生しうる最大の圧力を考慮して250kPa[gage]とする。
最高使用温度	200℃	格納容器圧力逃がし装置の設計条件に合わせて200℃とする。
設計流量 (ベントガス流量)	31.6kg/s	原子炉格納容器が最高使用圧力の2倍の圧力にてベントを実施した際に、原子炉定格熱出力の2%相当の飽和蒸気を排出可能な設計とする。
効率	有機よう素に対して 98%以上	有機よう素に対して、効率 98%以上 (DF50 以上) とする。
機器クラス	重大事故等クラス 2	常設の重大事故等対処設備であることから、『重大事故等クラス 2』とする。
耐震クラス	基準地震動 S_s にて 機能維持	基準地震動 S_s による地震力により、よう素フィルタの機能が喪失しないよう、『基準地震動 S_s にて機能維持』とする。

2.2 格納容器圧力逃がし装置（原子炉格納容器フィルタベント系）

2.2.1 フィルタ装置本体構造

【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及び代替格納容器圧力逃がし装置用フィルタ装置は、金属フィルタと水スクラバで構成する。

水スクラバは、粒子状放射性物質を含んだガスが水中を通過する過程で、粒子状放射性物質を捕捉することを目的に設ける。

また、スクラバノズルで、ガスを勢いよく噴射し、後述する気泡細分化装置で気泡を細かくすることで、粒子状放射性物質の捕捉効率を上げている。

金属フィルタは、粒子状放射性物質を含んだガスが金属フィルタを通過する過程で、粒子状放射性物質を捕捉することを目的に設ける。

フィルタ装置本体の構造図を第 2.2.1-1 図に示す。



第 2.2.1-1 図 フィルタ装置本体構造図

【よう素フィルタ】

よう素フィルタは、キャンドルユニットと呼ばれるよう素吸着材を充填したフィルタユニットで構成する。キャンドルユニットは、よう素を含んだガスが吸着材周りを通る過程で、よう素を捕捉することを目的に設ける。なお、よう素吸着材には銀ゼオライトを用いている。

よう素フィルタ本体の構造図を第 2.2.1-2 図に示す。



第 2.2.1-2 図 よう素フィルタ本体構造図

2.2.1.1 容器

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の容器の構造図を第 2.2.1-3 図に示す。

容器は、縦置き円筒型とし、スカートにて支持する。スカートには、剛性を確保するため、補強リブを設置する。また、スカートには、容器の底部点検のため、マンホール（600A）を設置する。

容器の最高使用温度は 200℃、最高使用圧力は 620kPa[gage]とする。

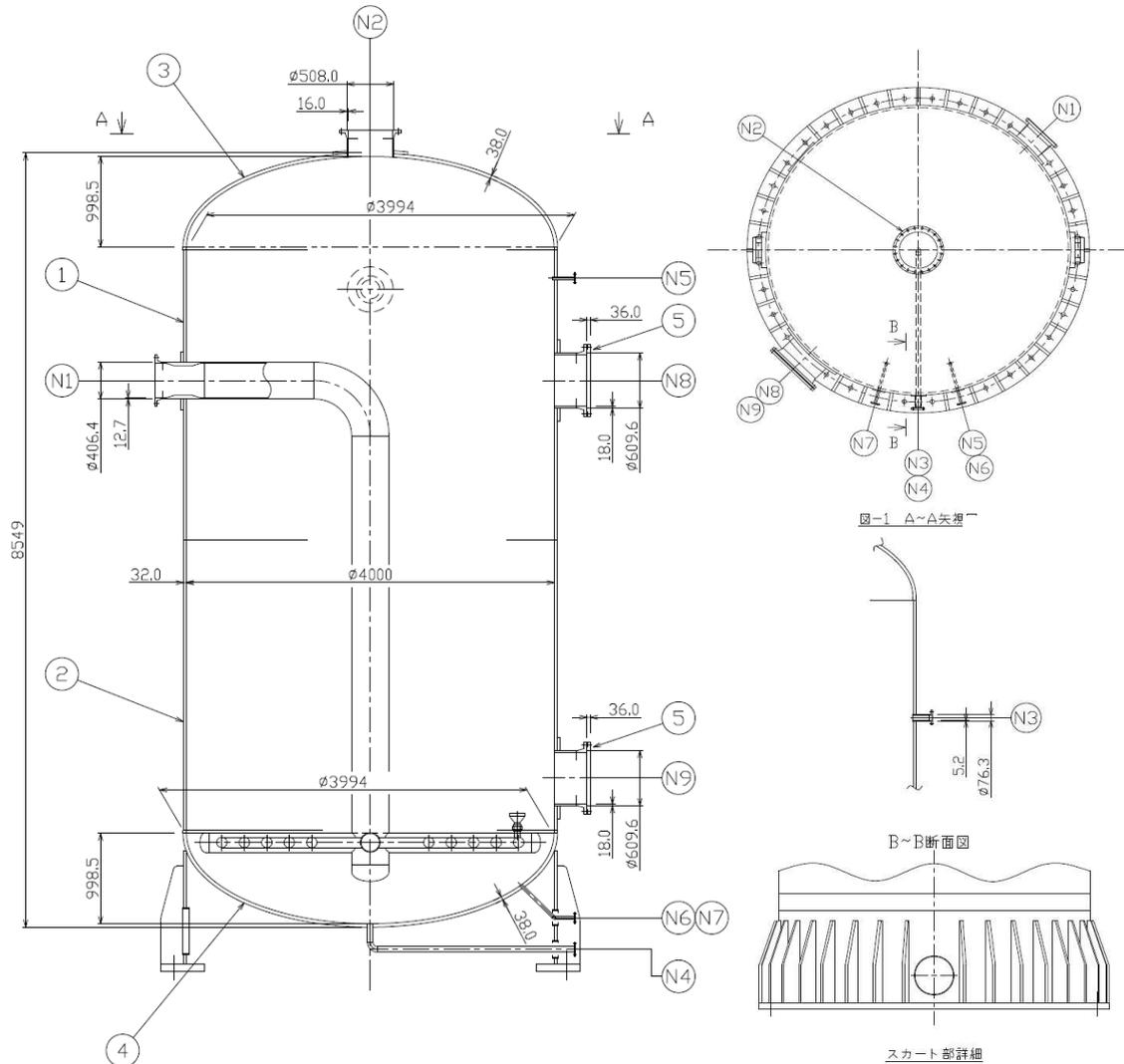
容器は、以下の部材で構成する。

- ①上部胴板
- ②下部胴板
- ③上部鏡板
- ④下部鏡板
- ⑤マンホール平板

また、容器に設置する管台は以下の通りである。

- N 1 : ガス入口ノズル (400 A)
- N 2 : ガス出口ノズル (500 A)
- N 3 : 給水ノズル (65 A)
- N 4 : ドレンノズル (50 A)
- N 5 : 液面計ノズル (25 A)
- N 6 : 液面計ノズル (25 A)
- N 7 : 液面計ノズル (25 A)
- N 8 : マンホール (上) (600 A)
- N 9 : マンホール (下) (600 A)

容器，各ノズル，スカート及びベースプレートの材質については，腐食の発生を考慮し，SUS316Lを用いる。



第 2.2.1-3 図 格納容器圧力逃がし装置構造図（容器）

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の容器の構造図を第 2.2.1-4 図に示す。

容器は，縦置き円筒型とし，スカートにて支持する。スカートには，剛性を確保するため，補強リブを設置する。また，スカートには，容器の底部点検のため，マンホール（600A）を設置する。

容器の最高使用温度は 200°C，最高使用圧力は 620kPa[gage]とする。（格納容器圧力逃がし装置と同等の設計条件とする）

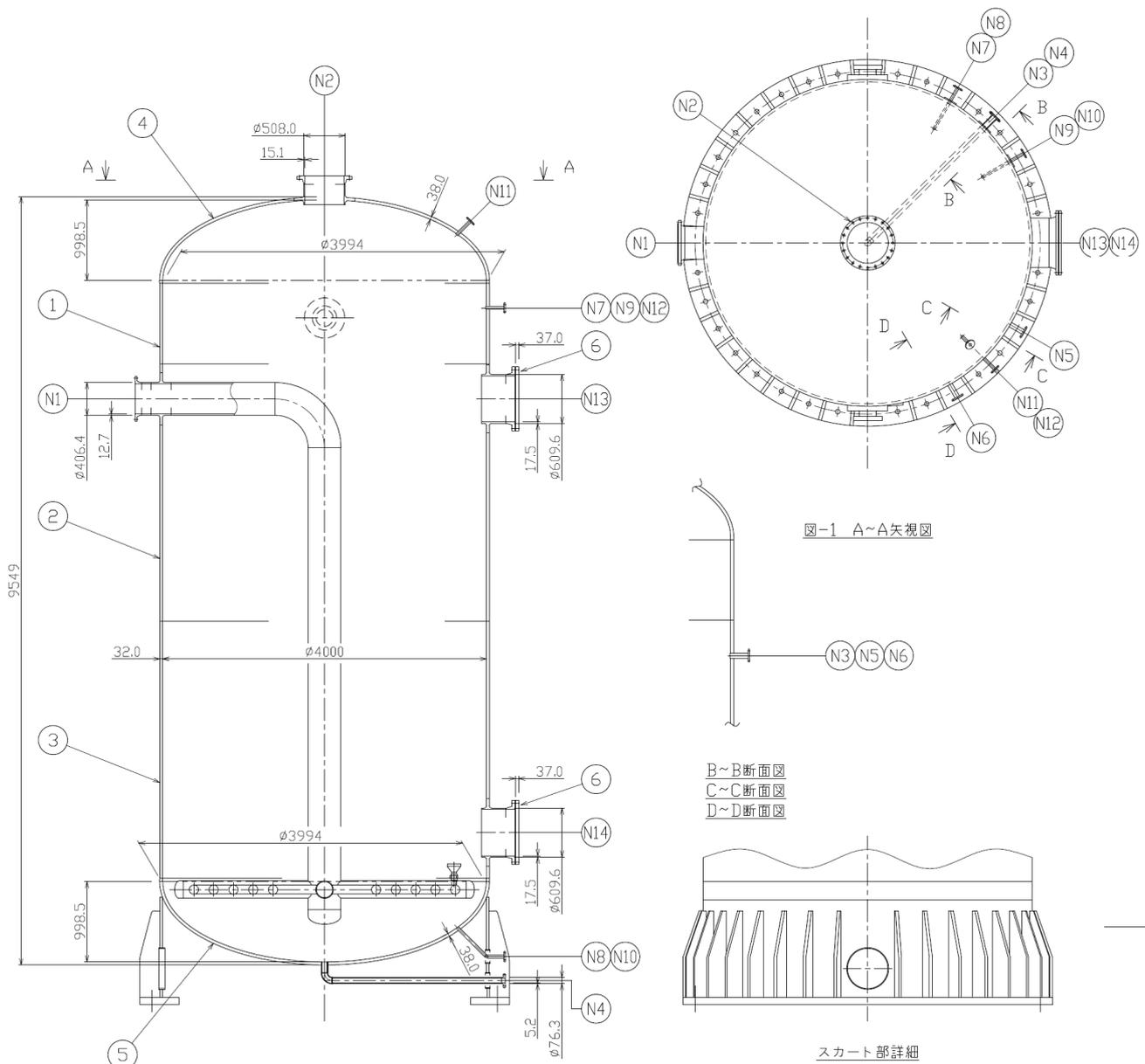
容器は、以下の部材で構成する。

- ①上部胴板
- ②中間胴板
- ③下部胴板
- ④上部鏡板
- ⑤下部鏡板
- ⑥マンホール平板

また、容器に設置する管台は以下の通りである。

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| N 1 : ガス入口ノズル (400 A) | N 8 : 液面計ノズル (25 A) |
| N 2 : ガス出口ノズル (500 A) | N 9 : 液面計ノズル (25 A) |
| N 3 : 給水ノズル (50 A) | N 1 0 : 液面計ノズル (25 A) |
| N 4 : ドレンノズル (65 A) | N 1 1 : 差圧計ノズル (25 A) |
| N 5 : 薬液補給ノズル (25 A) | N 1 2 : 差圧計ノズル (25 A) |
| N 6 : 薬液補給ノズル (25 A) | N 1 3 : マンホール (上) (600 A) |
| N 7 : 液面計ノズル (25 A) | N 1 4 : マンホール (下) (600 A) |

容器及びノズルの材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。



第 2.2.1-4 図 代替格納容器圧力逃がし装置構造図（容器）

【よう素フィルタ】

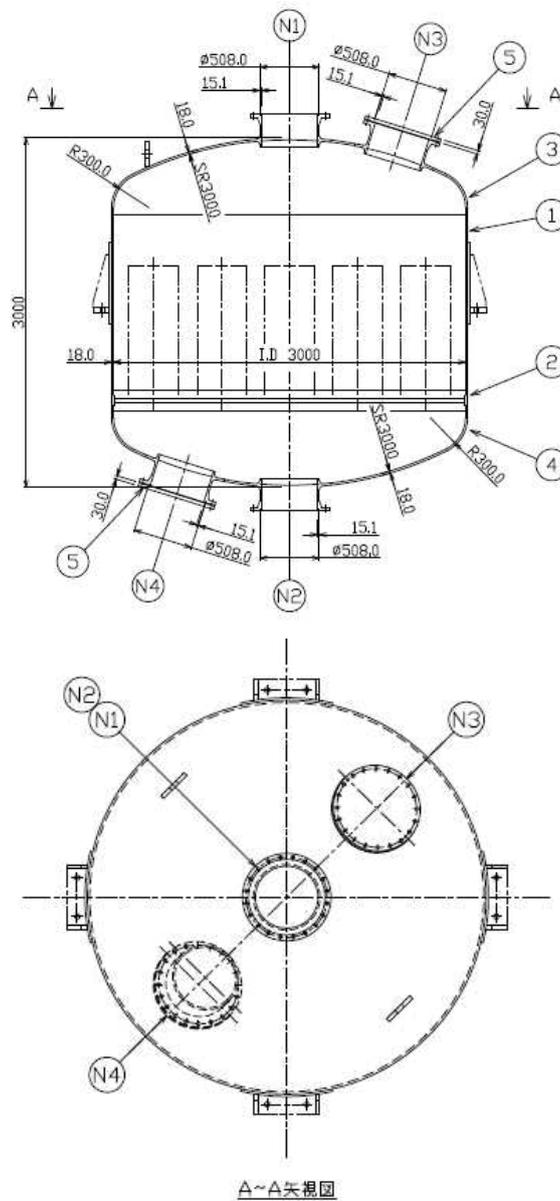
よう素フィルタの容器の構造図を第 2.2.1-5 図に示す。
 容器は、縦置き円筒型とし、容器側面に設置したラグにて支持する。
 容器の最高使用温度は 200℃、最高使用圧力は 250kPa[gage]とする。
 容器は、以下の部材で構成する。

- ①胴板
- ②胴リング
- ③上部鏡板
- ④下部鏡板
- ⑤マンホール平板

また、容器に設置する管台は以下の通りである。

- N 1 : ガス入口ノズル (500A)
- N 2 : ガス出口ノズル (500A)
- N 3 : マンホール (上) (500A)
- N 4 : マンホール (下) (500A)

容器、各ノズルの材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。
また、ラグについては SUS304 を用いる。



第 2.2.1-5 図 よう素フィルタ構造図 (容器)

2.2.1.2 内部構造物

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

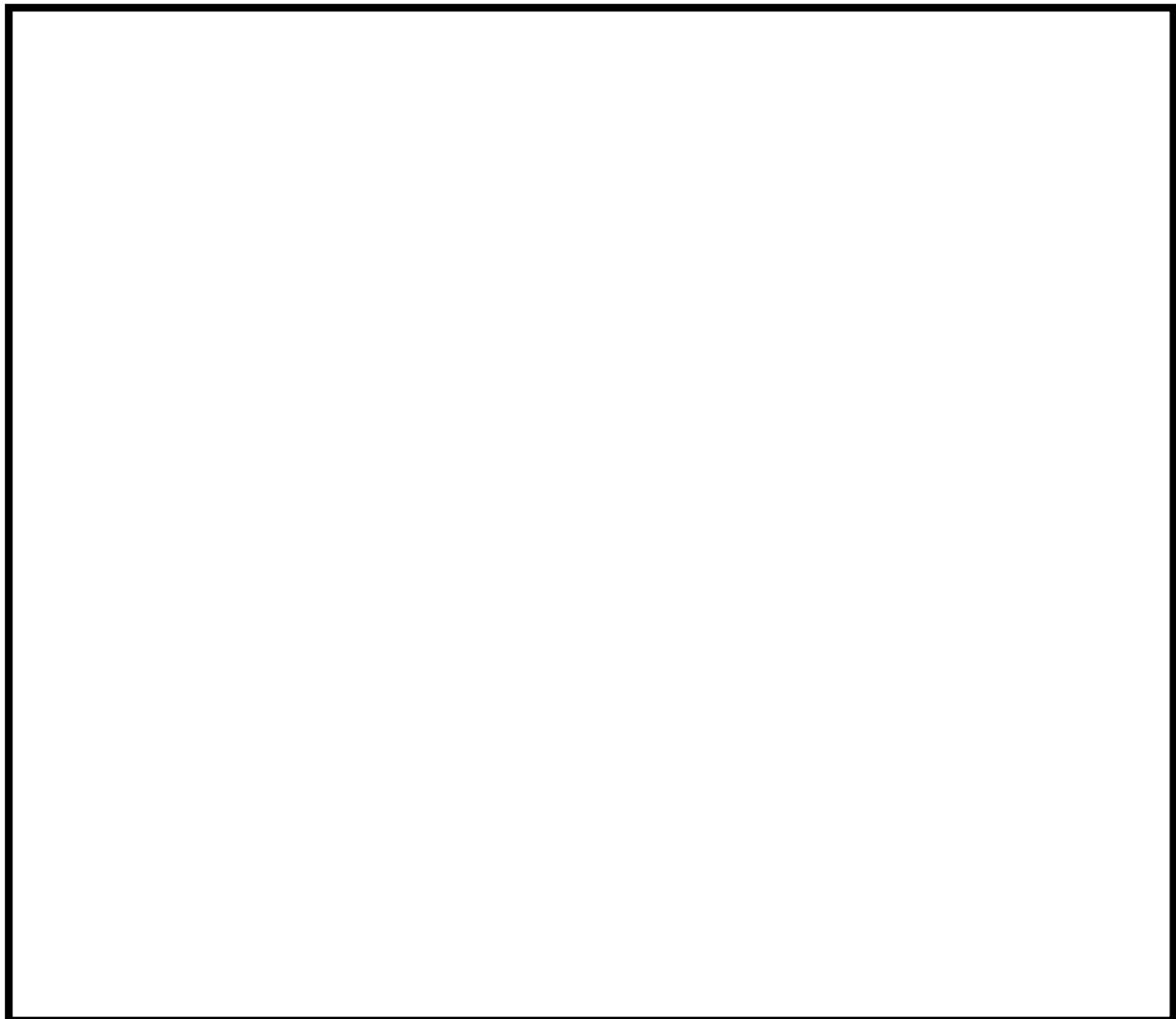
(1) スクラバノズル

第 2.2.1-6 図にスクラバノズルの構造図及び配置図を示す。

スクラバノズルは、シャワーヘッド状の形状とし、ノズルレイアウトに示す位置に 140 本設置する。スクラバノズルは、ベントガスが均一に噴射するよう、容器中心から同心円状に配置する。

スクラバノズルの穴径は、 $\phi 5\text{mm}$ とし、1つのスクラバノズルには、 $\phi 5\text{mm}$ の穴を 50 個設置することから、合計で、 $\phi 5\text{mm}$ の穴を 7000 個設置している。

スクラバノズルの材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。



第 2.2.1-6 図 スクラバノズル

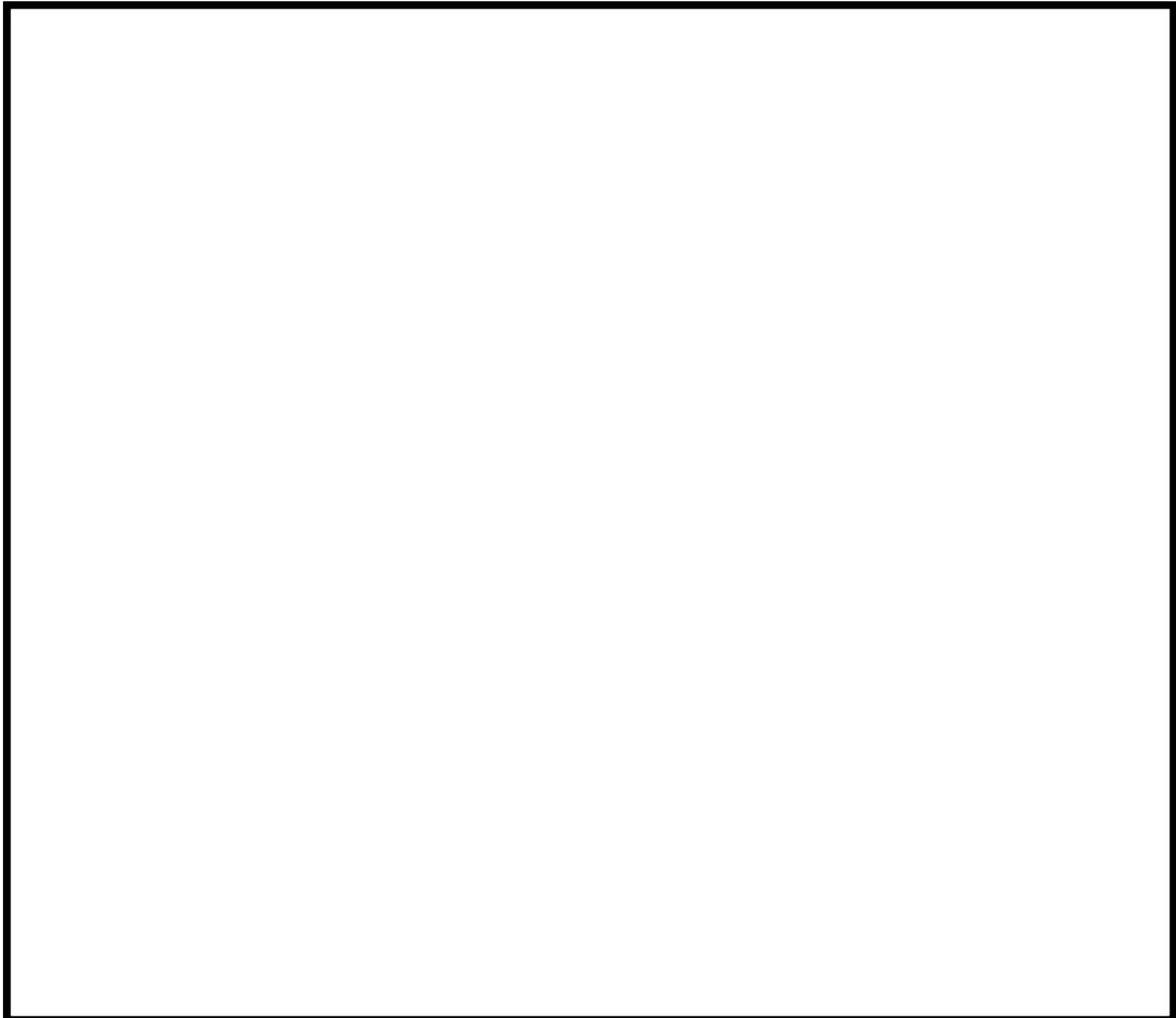
(2) 気泡細分化装置

第 2.2.1-7 図に気泡細分化装置を示す。

気泡細分化装置内には、メッシュ状の充填物を充填する。充填物は、試験により、装置通過後の気泡が最も細分化されたものを用いる。

気泡細分化装置は、スクラバノズルから 990mm 上方に設置し、充填厚さは、1,000mm とする。

気泡細分化装置の材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。



第 2.2.1-7 図 気泡細分化装置

(3) 金属フィルタ

第 2.2.1-8 図に金属フィルタの配置図及び構造図を示す。

金属フィルタは、円筒状であり、内部は 3 層構造となっている。

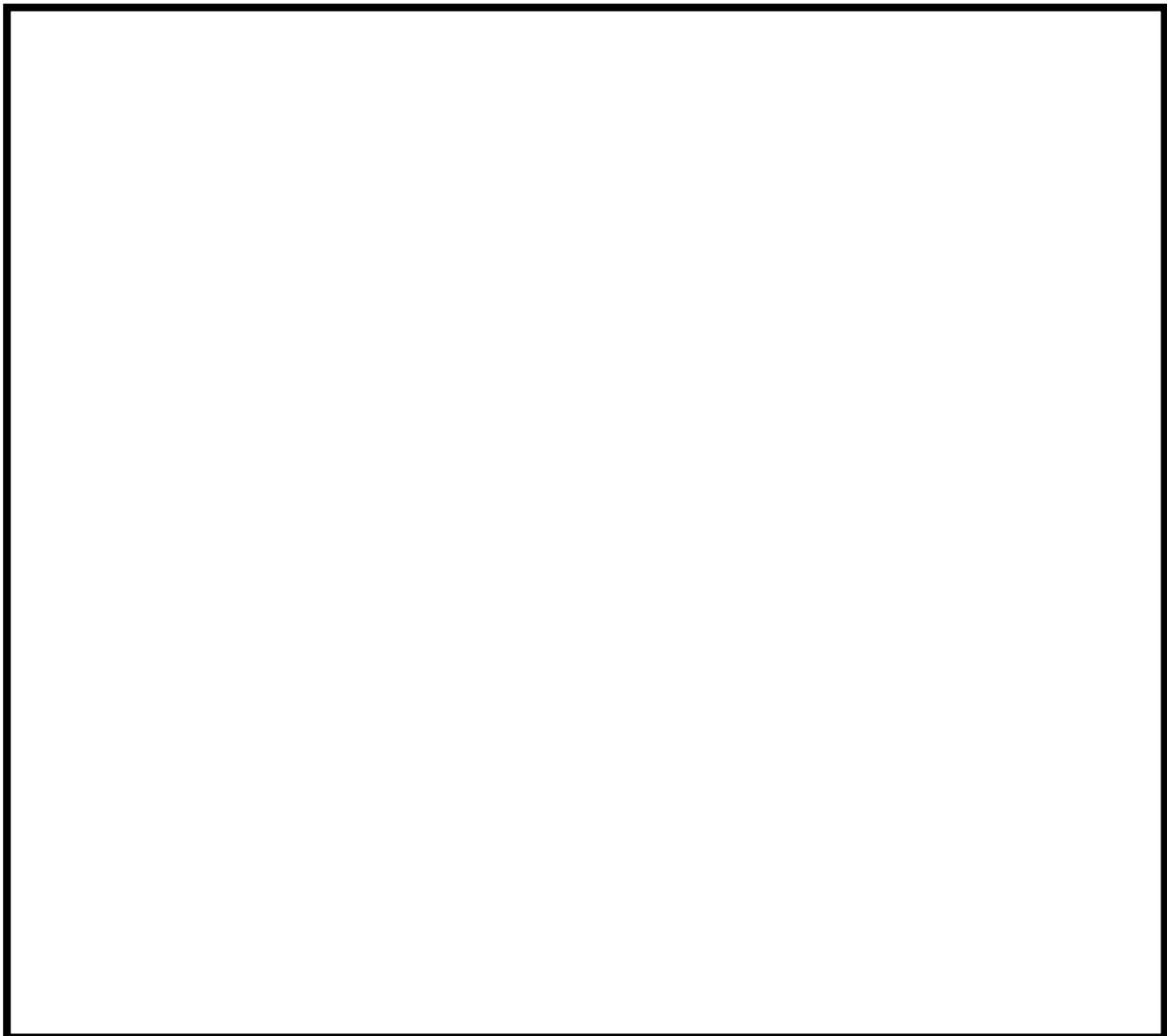
1 層目には、 $\phi 30 \mu\text{m}$ の金属繊維からなるウェブを設置し、大粒径のエアロゾルやスクラバ水の飛沫を捕捉する。

2 層目には、 $\phi 2 \mu\text{m}$ の金属繊維焼結シートを設置し、小粒径のエアロゾルを捕捉する。

3 層目には、1 層目と同様に $\phi 30 \mu\text{m}$ の金属繊維からなるウェブを設置する。

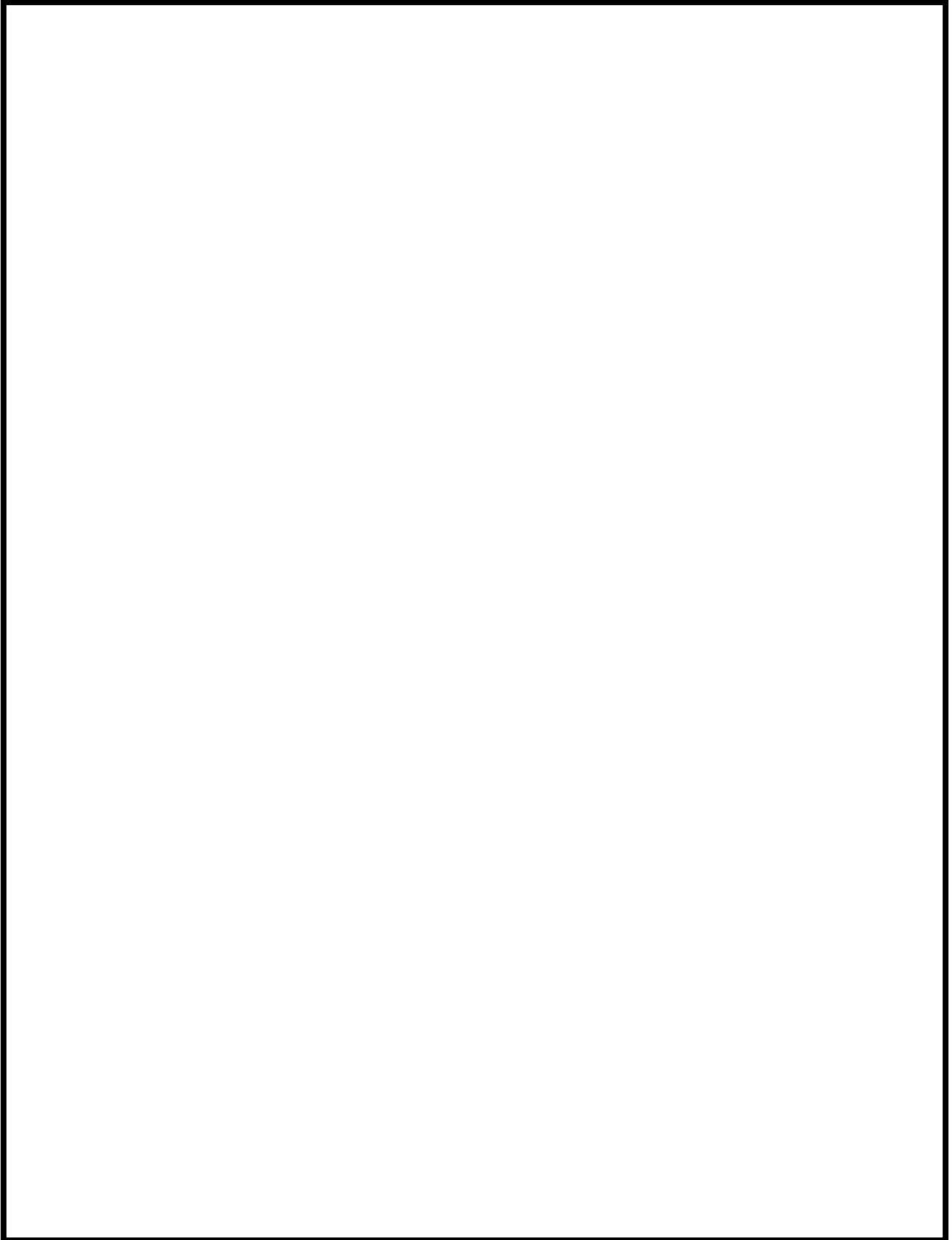
金属フィルタは、スクラバノズルから 5,038mm 上方に設置し、第 2.2.1-8 図の金属フィルタレイアウトに示す位置に 128 本設置する。

金属フィルタの材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。



第 2.2.1-8 図 金属フィルタ

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。



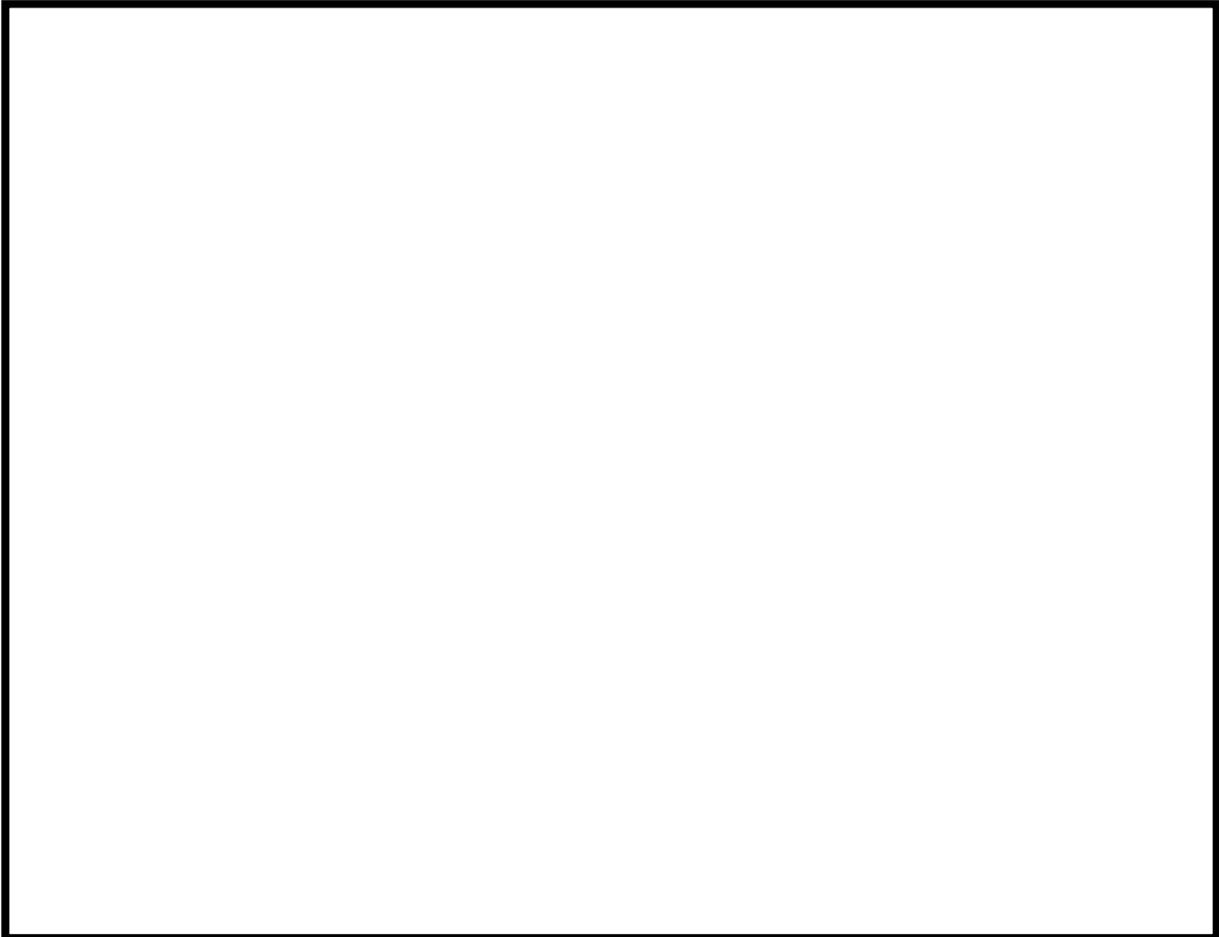
第 2.2.1-9 図 金属フィルタ（詳細）

(4) 整流板

第 2.2.1-10 図に整流板の配置図及び構造図を示す。

整流板は、金属フィルタへのガスの流れを整流するため、金属フィルタの下方にある入口配管の支持鋼材に設置する。また、整流板は地震発生時にスロッシングにより、スクラバ水の波面が金属フィルタに到達することも防止する。

整流板にはパンチングメタルを用い、材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。



第 2.2.1-10 図 整流板

【よう素フィルタ】

(5) キャンドルユニット

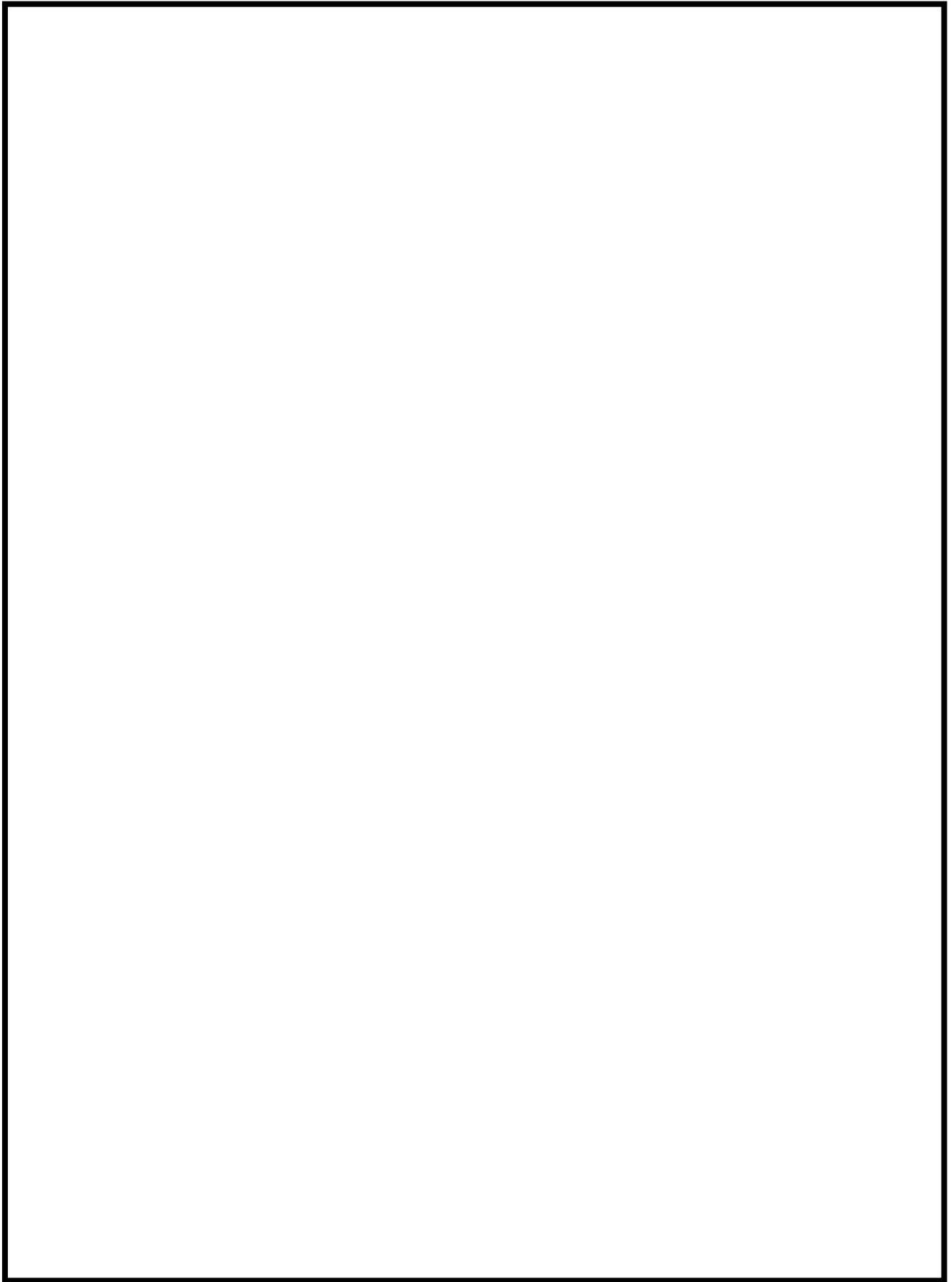
第 2.2.1-11 図にキャンドルユニットの配置図及び構造図を示す。

キャンドルユニットは、円筒状であり、外筒と内筒の間による素吸着材を充填する。このよう素吸着材によりよう素を捕捉する。なお、よう素吸着材には銀ゼオライトを用いている。

キャンドルユニットは、容器胴に設置した管板に 19 本配置する。

キャンドルユニットの材質については、腐食の発生を考慮し、SUS316L を用いる。

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。



第 2.2.1-11 図 キャンドルユニット

2.2.1.3 スクラバ水

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 必要水量

フィルタ装置においてスクラビング機能を確保するため、待機時の水位はスクラバノズル先端から 1000mm とする。スクラビング機能については、水位が 500mm 以上あれば機能が確保される。また、フィルタ装置使用時には、フィルタ装置内での気泡の吹き上がりにより水位が上昇し、水位が 5000mm（代替格納容器圧力逃がし装置は 6000mm）まで上昇すれば金属フィルタ下端に到達することから、上限水位を 2500mm（代替格納容器圧力逃がし装置は 3000mm）として管理する。

(2) 水質への要求事項

フィルタ装置に内包するスクラバ水は、薬液（水酸化ナトリウム）を溶解した水溶液としている。

ガス状の無機よう素は、水酸化ナトリウムによる下記の化学反応により、よう素イオンとしてスクラバ水中で捕捉することにより、ベントガスより除去される。なお、下記の化学反応による捕捉を安定させるためには、スクラバ水の pH を 以上のアルカリ性に保つ必要がある。



2.2.2 格納容器圧力逃がし装置系統構成

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の系統構成図を第 2.2.2-1 図に示す。フィルタ装置入口弁以降を格納容器圧力逃がし装置の系統範囲としている。

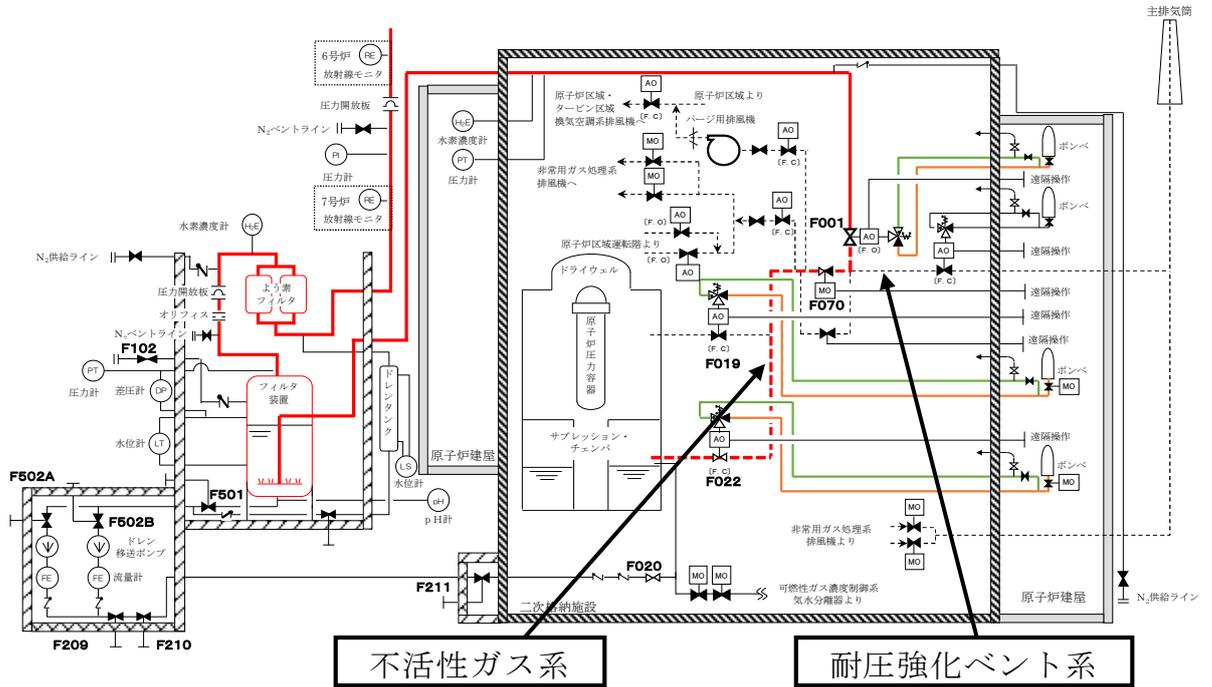
格納容器圧力逃がし装置は、オリフィスまでは最高使用温度は 200℃、最高使用圧力は 620kPa[gage]とし、オリフィスより下流は、最高使用温度 200℃、最高使用圧力は 250kPa[gage]とする。なお、格納容器から格納容器圧力逃がし装置の間には、不活性ガス系と耐圧強化ベント系のラインが設置されている。これらの最高使用温度と最高使用圧力は、格納容器と同じ 171℃、310kPa[gage]であるが、格納容器圧力逃がし装置の使用条件（200℃、620kPa[gage]）で機能を確保できることを確認している。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

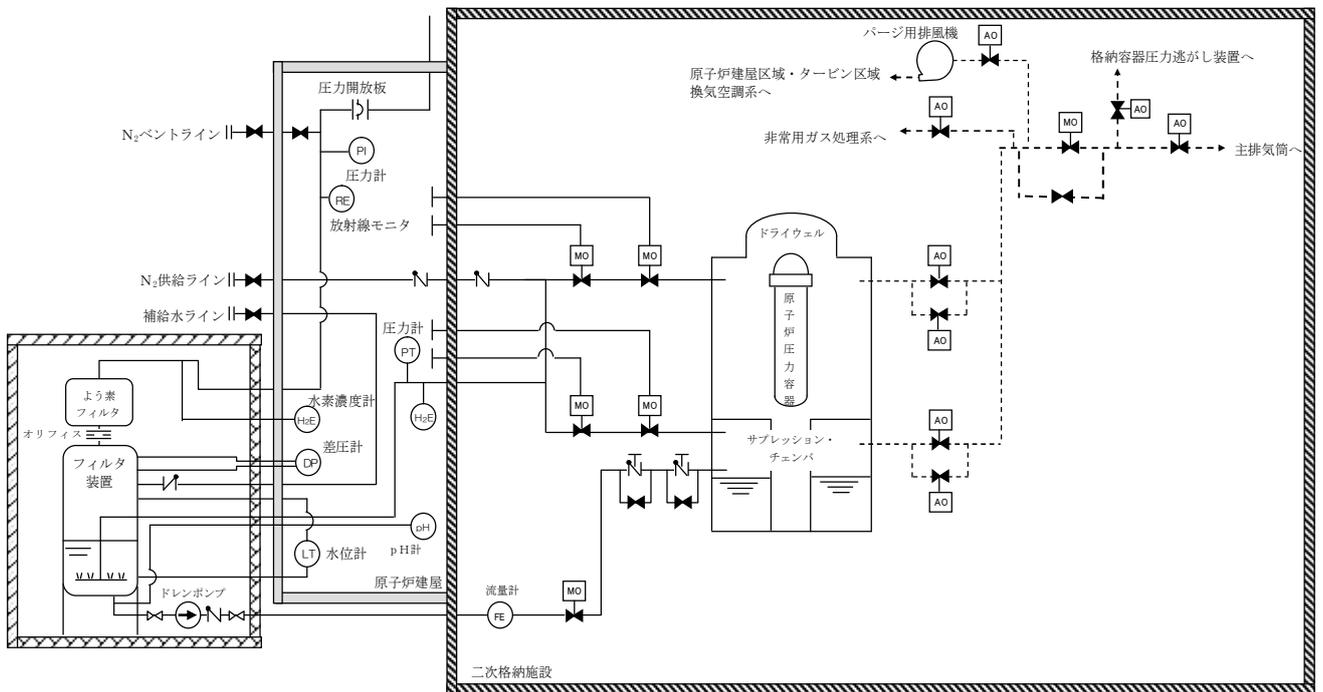
代替格納容器圧力逃がし装置の系統構成図を第 2.2.2-2 図に示す。格納容器からの取り口以降を代替格納容器圧力逃がし装置の系統範囲としている。

代替格納容器圧力逃がし装置は、オリフィスまでは最高使用温度は 200℃、最高使用圧力は 620kPa[gage]とし、オリフィスより下流は、系統の圧力損失を

評価し決定する。



第 2.2.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置系統範囲図



第 2.2.2-2 図 代替格納容器圧力逃がし装置系統範囲図

2.2.2.1 主配管

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の主配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 350A, 400A
- ・ フィルタ装置出口側 : 500A

【7号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 550A, 400A
- ・ フィルタ装置出口側 : 500A

主配管の口径については、格納容器圧力逃がし装置の容量（31.6kg/s）を満足するのに十分になるように設定している。

格納容器圧力逃がし装置の主配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 炭素鋼, フィルタ装置近傍はステンレス鋼
- ・ フィルタ装置出口側 : 炭素鋼

【7号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 炭素鋼, フィルタ装置近傍はステンレス鋼
- ・ フィルタ装置出口側 : 炭素鋼

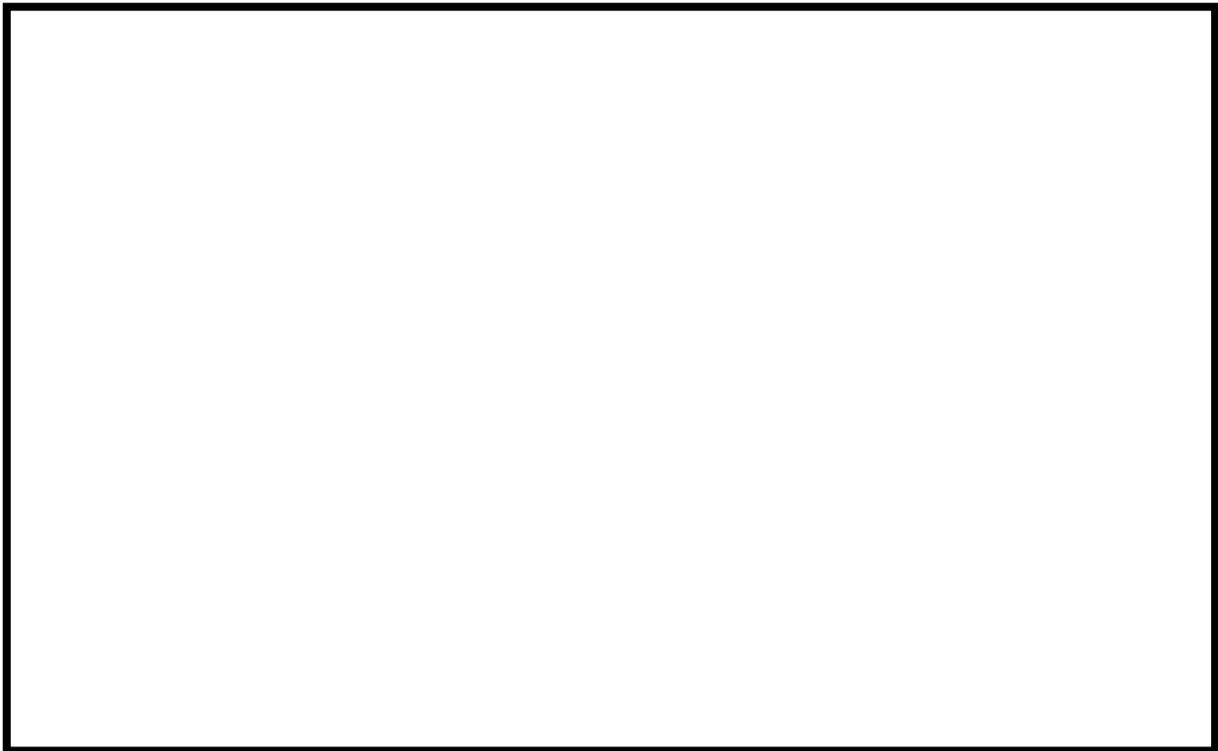
フィルタ装置入口側の配管のうち、フィルタ装置近傍部については、スクラバ水による腐食の発生を考慮し、ステンレス鋼を用いる。

また、主配管の耐圧強化ベント系の分岐から、フィルタ装置を介して、原子炉建屋屋上に排気するまでのルーティングは、第2.2.2.1-1図から第2.2.2.1-8図の通りとなる。

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。

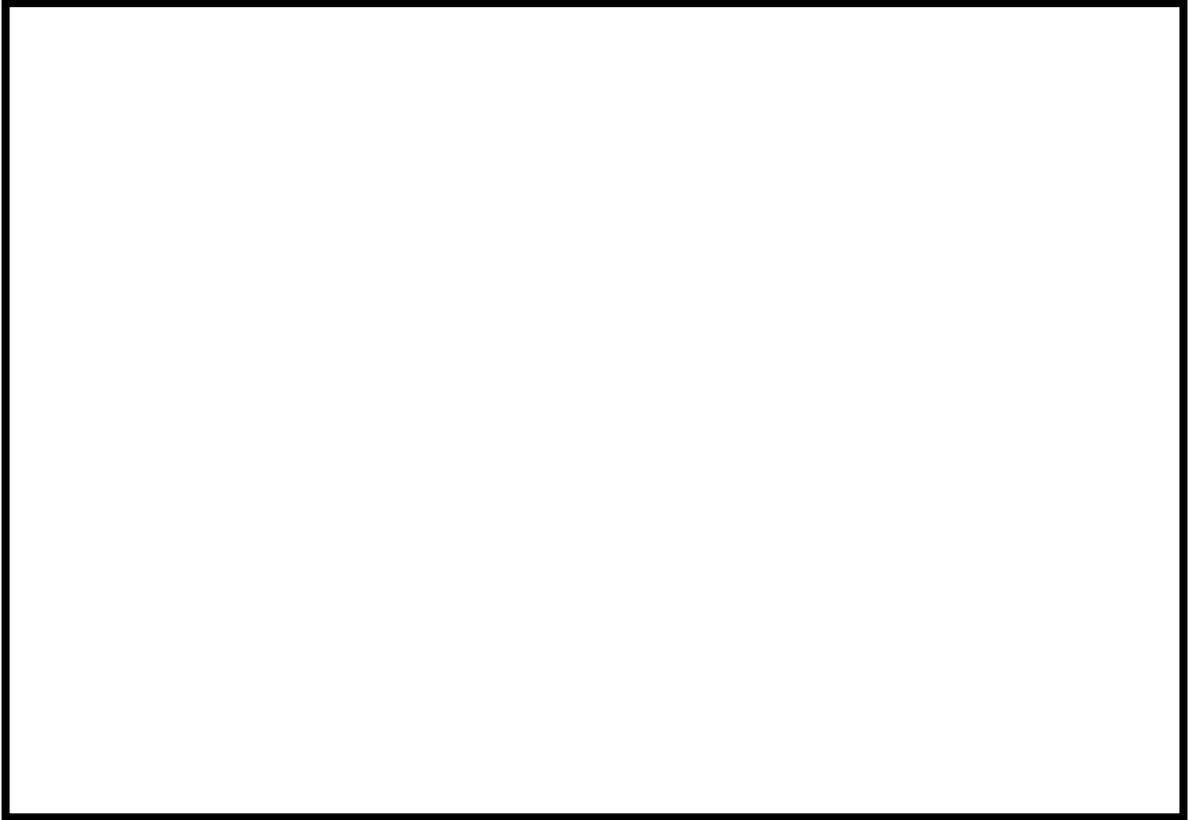


第 2.2.2.1-1 図 主配管ルート図 (6号炉 原子炉建屋 3階)



第 2.2.2.1-2 図 主配管ルート図 (6号炉 原子炉建屋 4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 2.2.2.1-3 図 主配管ルート図 (6 号炉 屋外)

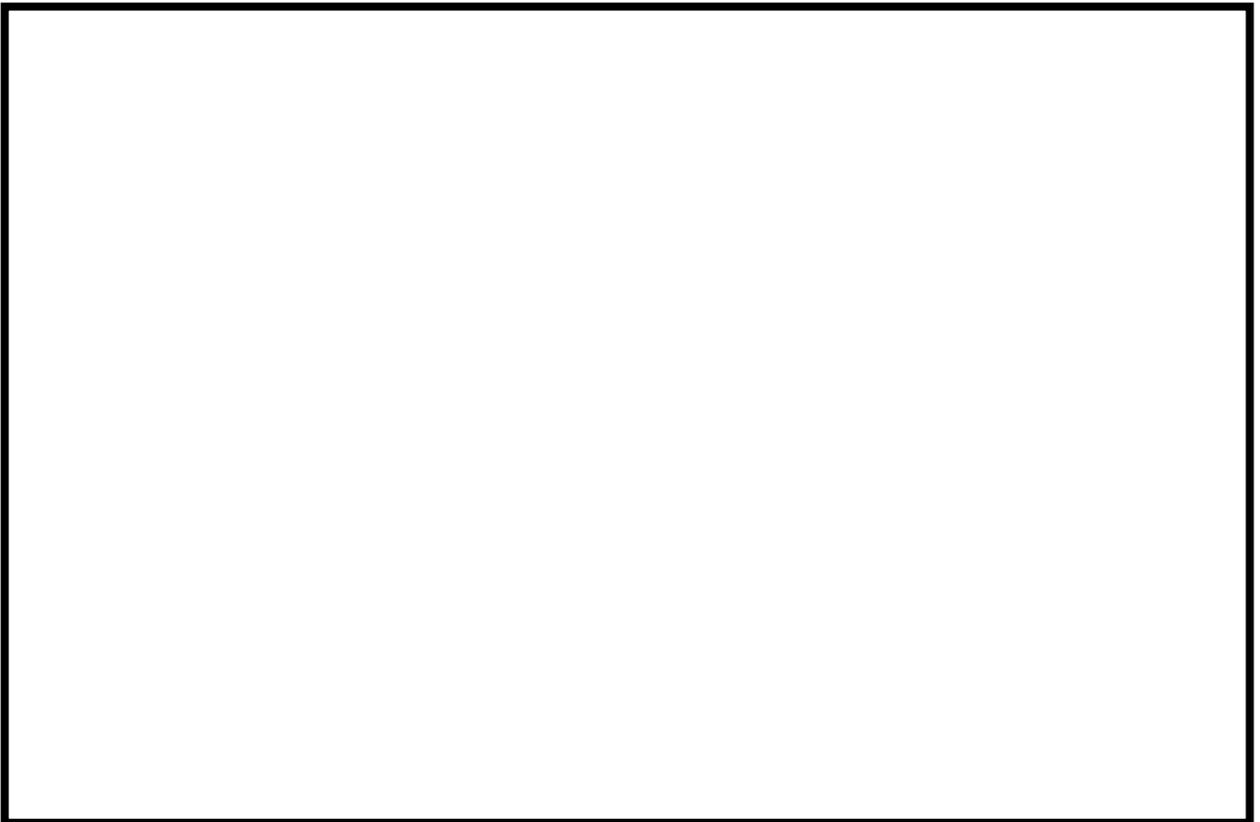


第 2.2.2.1-4 図 主配管ルート図 (7 号炉 原子炉建屋 3 階)

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。

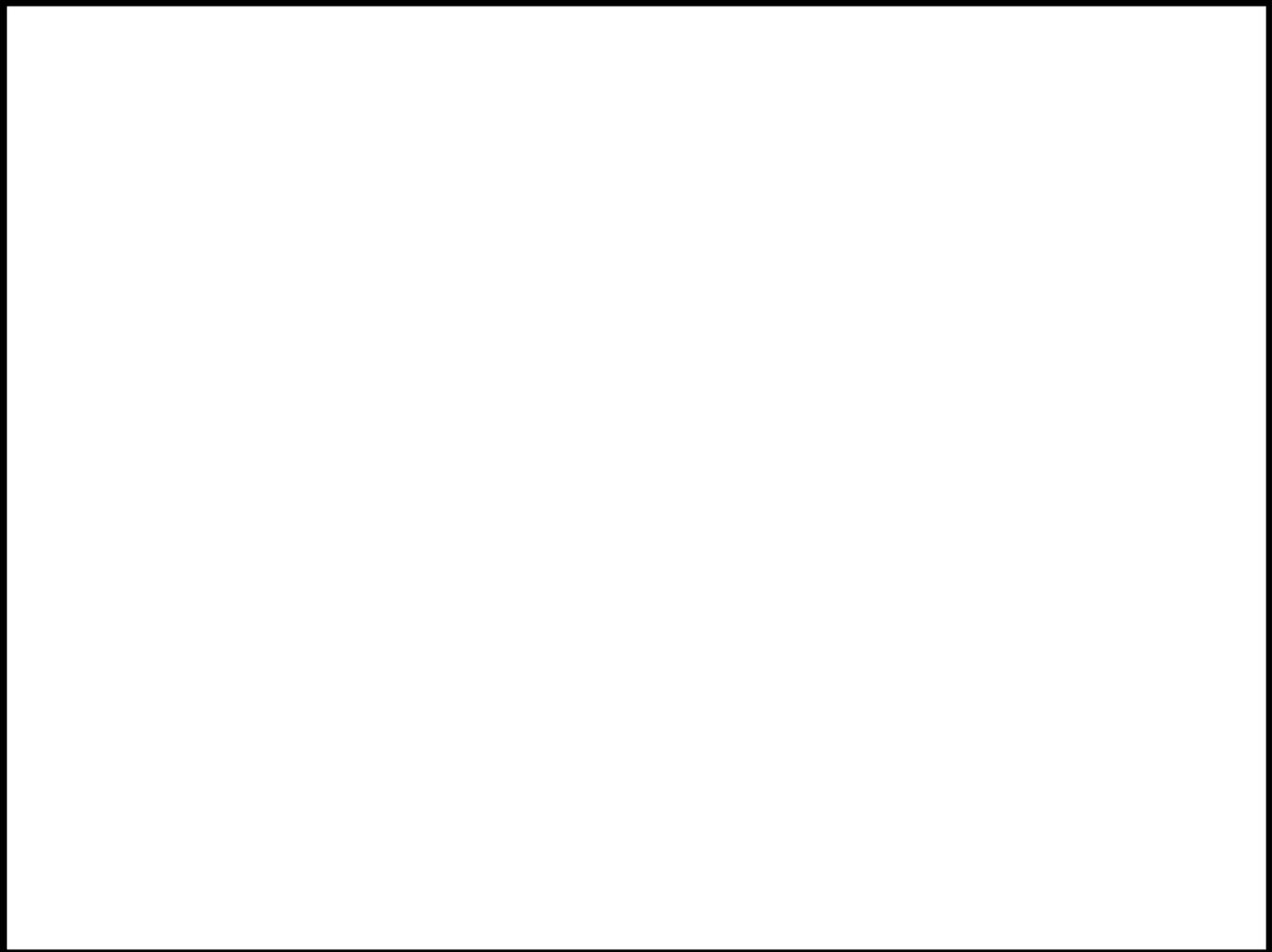


第 2.2.2.1-5 図 主配管ルート図 (7 号炉 原子炉建屋 4 階)



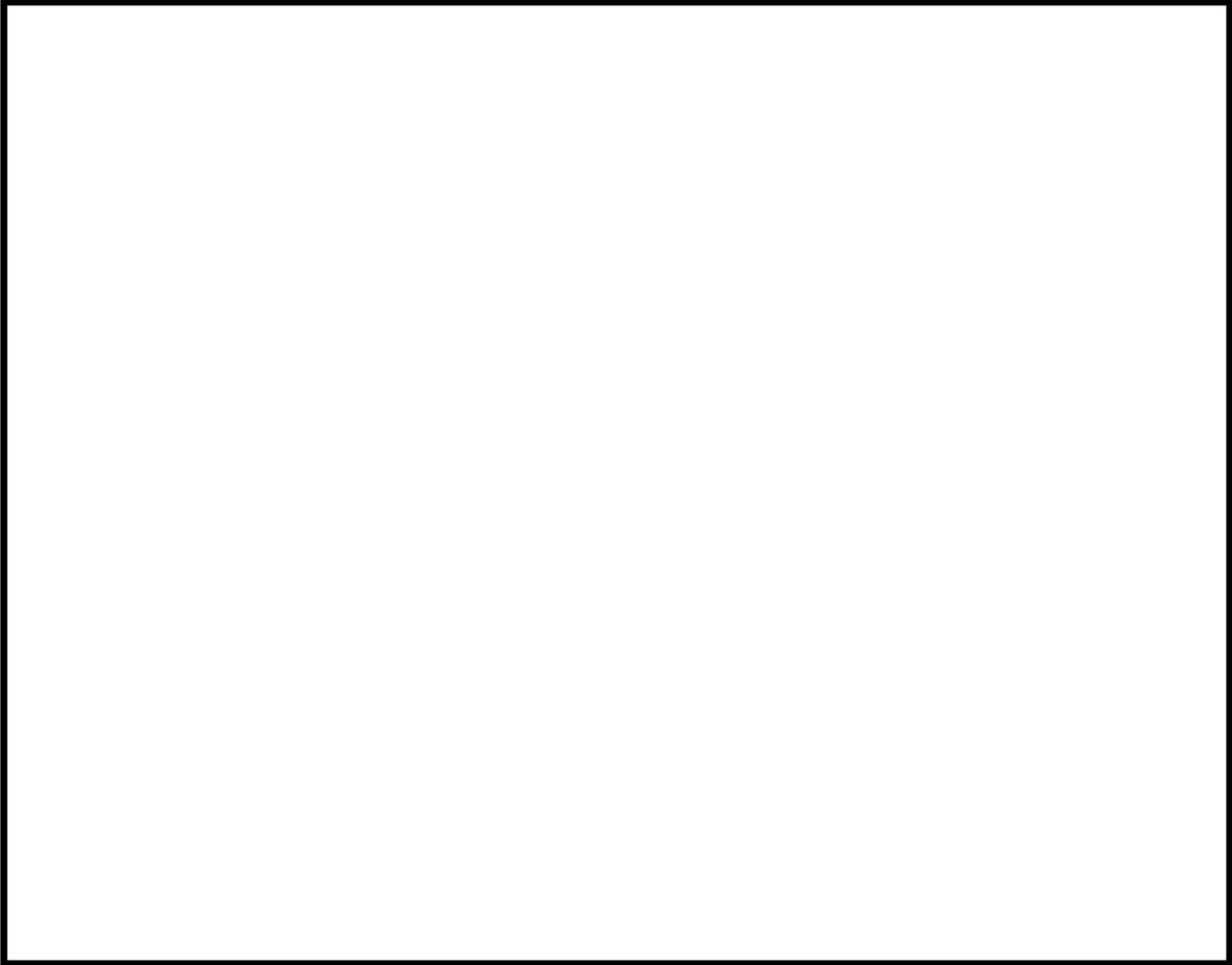
第 2.2.2.1-6 図 主配管ルート図 (7 号炉 屋外)

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 2.2.2.1-7 図 主配管鳥瞰図 (6 号炉)

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 2.2.2.1-8 図 主配管鳥瞰図 (7 号炉)

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の主配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 400A
- ・ フィルタ装置出口側 : 500A

【7号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 400A
- ・ フィルタ装置出口側 : 500A

主配管の口径については、代替格納容器圧力逃がし装置の容量 (31.6kg/s) を満足するのに十分になるように設定している。

代替格納容器圧力逃がし装置の主配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 炭素鋼, フィルタ装置近傍はステンレス鋼
- ・ フィルタ装置出口側 : 炭素鋼

【7号炉】

- ・ フィルタ装置入口側 : 炭素鋼, フィルタ装置近傍はステンレス鋼
- ・ フィルタ装置出口側 : 炭素鋼

フィルタ装置入口側の配管のうち、フィルタ装置近傍部については、スクラバ水による腐食の発生を考慮し、ステンレス鋼を用いる。

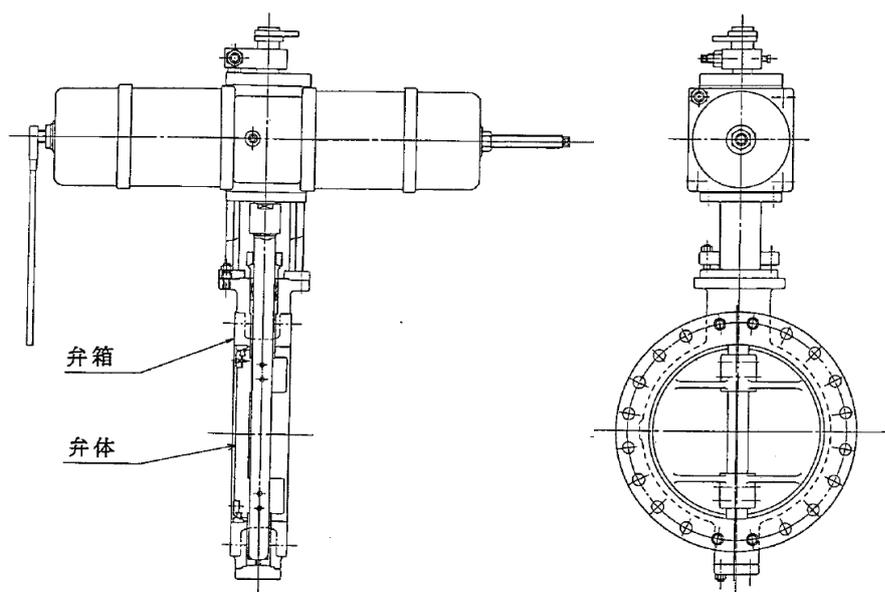
2.2.2.2 主要弁等

(1) 主要弁

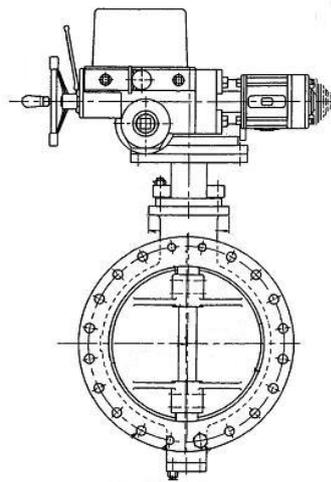
【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置に接続される配管には、一次隔離弁、二次隔離弁、フィルタ装置入口弁の3台の弁が設置されている。一次隔離弁は不活性ガス系に、二次隔離弁及びフィルタ装置入口弁は耐圧強化ベント系に設置されている。一次隔離弁及び二次隔離弁は既設の弁である。フィルタ装置入口弁は、格納容器圧力逃がし装置の設置に伴い新たに設置した弁である。フィルタ装置入口弁の仕様は、一次隔離弁と同仕様のもので設置している。

空気駆動弁である一次隔離弁及びフィルタ装置入口弁の構造を第2.2.2.2-1図に示す。また、電動駆動弁である二次隔離弁の構造を第2.2.2.2-2図に示す。



第2.2.2.2-1図 空気駆動弁



第 2.2.2.2-2 図 電動駆動弁

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置に接続される配管には，一次隔離弁，二次隔離弁の 2 台の弁が設置されている。これらの弁は，代替格納容器圧力逃がし装置の設置に伴い新たに設置した弁である。一次隔離弁及び二次隔離弁は電動駆動弁で同仕様のものを設置している。これらの弁の構造を第 2.2.2.2-2 図に示す。

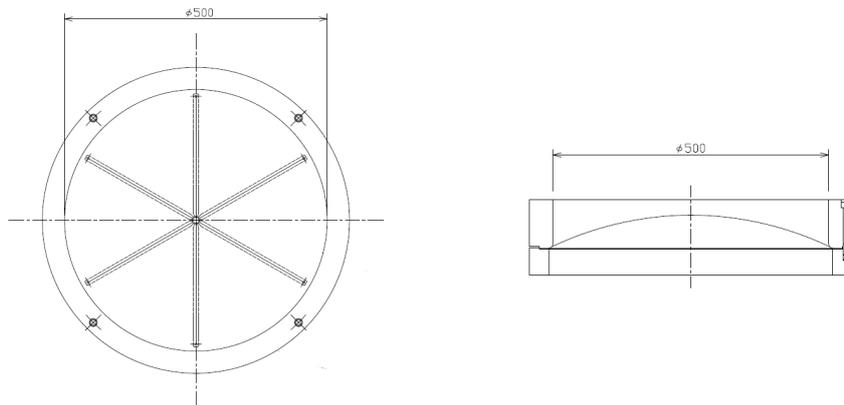
(2) 圧力開放板

【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及び代替格納容器圧力逃がし装置には，系統内を窒素置換する際の大気との隔壁として，圧力開放板を設置する。また，系統待機中にフィルタ装置内のスクラバ水が蒸発し，その水分がよう素フィルタの吸着材である銀ゼオライトに付着することによって銀ゼオライトが劣化することを防止するため，フィルタ装置とよう素フィルタの隔壁として，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する。

この圧力開放板は，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低い圧力にて開放するよう設定している。なお，開放設定圧力は，100kPa[gage]である。

また，開放後には，圧力開放板部分での圧力損失が小さくなるよう，開放断面積の大きい第 2.2.2.2-3 図の構造としている。



第 2.2.2.2-3 図 圧力開放板

(3) オリフィス

【格納容器圧力逃がし装置】

フィルタ装置出口側配管には、オリフィスを設置している。オリフィスの穴径は以下の通り設定している。

【6号炉】

・オリフィス穴径 : $\phi 291\text{mm}$

【7号炉】

・オリフィス穴径 : $\phi 259\text{mm}$

なお、オリフィスの穴径は、格納容器から原子炉建屋頂部に設置した放出口までの配管の摩擦・局所圧損、フィルタ装置の圧損、オリフィスの圧損、よう素フィルタ及び圧力開放板の圧損を考慮した場合に、格納容器が $620\text{kPa}[\text{gage}]$ でベントした際に、格納容器圧力逃がし装置の容量である 31.6kg/s の水蒸気を通気できるように設定している。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

フィルタ装置出口側配管には、オリフィスを設置する。

オリフィスの穴径は、格納容器から原子炉建屋頂部に設置した放出口までの配管の摩擦・局所圧損、フィルタ装置の圧損、オリフィスの圧損、よう素フィルタ及び圧力開放板の圧損を考慮した場合において、格納容器が $620\text{kPa}[\text{gage}]$ でベントした際に、代替格納容器圧力逃がし装置の容量である 31.6kg/s の水蒸気を通気できるように設定する。

(4) 伸縮継手

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の主配管には，フィルタ装置入口側・フィルタ装置出口側ともに，原子炉建屋と遮へい壁の渡り部に伸縮継手を設置している。

伸縮継手の可動範囲は以下の通りとなる。

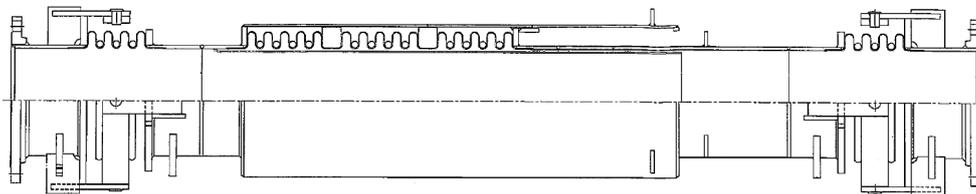
【6号炉】

- ・フィルタ装置入口側 : 上下左右前後方向に 300mm
- ・フィルタ装置出口側 : 上下左右前後方向に 300mm

【7号炉】

- ・フィルタ装置入口側 : 上下左右前後方向に 300mm
- ・フィルタ装置出口側 : 上下左右前後方向に 300mm

なお，柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動 S_s が作用した場合の，原子炉建屋と遮へい壁の渡り部の相対変位について評価を実施しており，その結果，地震時に生じる相対変位は6号炉，7号炉ともに水平方向に約 100mm，鉛直方向に約 10mm であり，上記の伸縮継手の可動範囲と比較して十分小さな値となることを確認している。



ベロー部材質：SUS316

第 2.2.2.2-4 図 伸縮継手

2.3 附帯設備

2.3.1 格納容器圧力逃がし装置電源設備

2.3.1.1 概要

【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の使用時，待機時，使用後に必要な計測制御設備，電動駆動弁，空気駆動弁用電磁弁，ドレンポンプを作動させるため，常設代替直流電源設備（AM用直流125V蓄電池），非常用低圧母線より必要な電力を供給する設計としている。

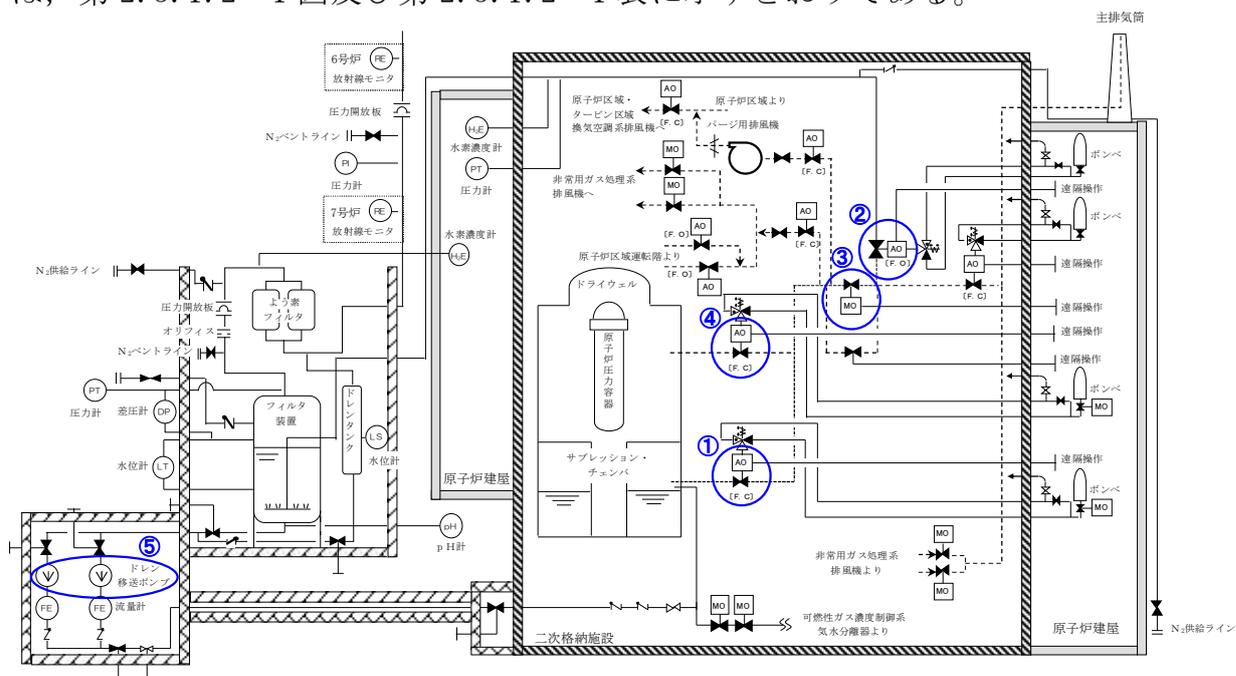
格納容器圧力逃がし装置については，代替交流電源設備（ガスタービン発電機，電源車）及び常設代替直流電源設備（AM用直流125V充電器，AM用直流125V蓄電池）から給電可能であり，全交流電源が喪失した場合でも監視，操作できる設計としている。

また，電源喪失時においても，電動駆動弁については，駆動部にエクステンションを設け，二次格納施設の外から人力による操作が可能な設計としている。空気駆動弁については，二次格納施設の外から，ポンプを用いて操作するか，エクステンションもしくはラチェットハンドルにより人力で操作することが可能な設計としている。

2.3.1.2 電源供給負荷

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の使用時，待機時，使用後に電源供給が必要な負荷は，第2.3.1.2-1図及び第2.3.1.2-1表に示すとおりである。



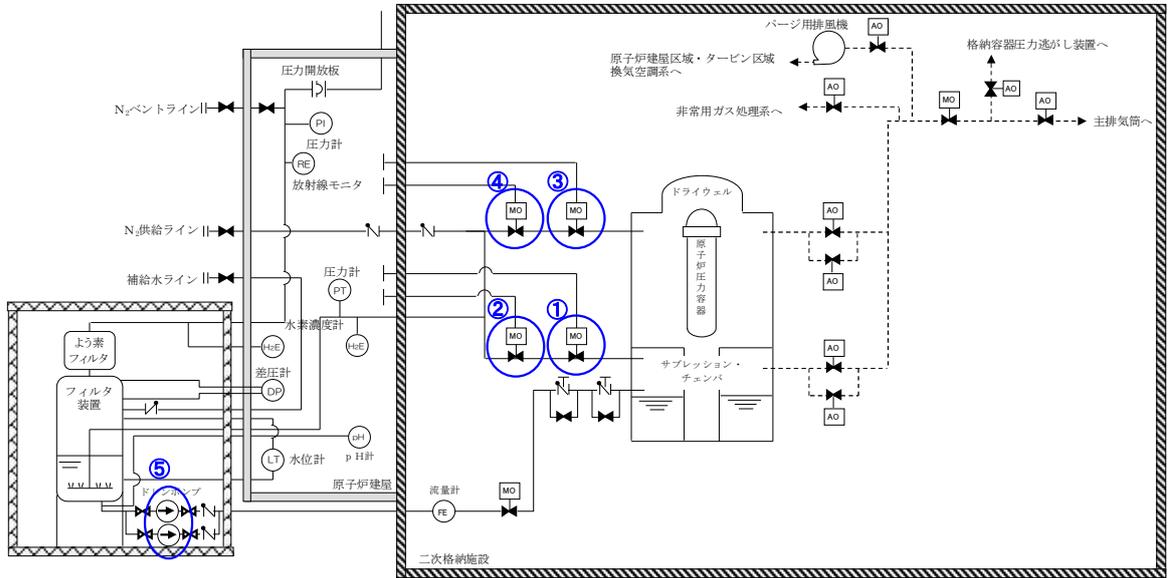
第2.3.1.2-1図 格納容器圧力逃がし装置概略図

第2.3.1.2-1表 格納容器圧力逃がし装置の電源供給負荷

	格納容器圧力逃がし装置の 電源供給負荷	電源供給元	
		6号炉	7号炉
①	S/Cベント用出口隔離弁 (原子炉格納容器一次隔離弁 (サプレッション・チェンバ側))	交流 120V フィルタベント 無停電電源装置 (MCC 6C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)	交流 120V フィルタベン ト無停電電源装置 (MCC 7C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)
②	耐圧強化ベント系 PCVベント ラインフィルタベント側隔離弁 (フィルタ装置入口弁)	交流 120V フィルタベント 無停電電源装置 (MCC 6C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)	交流 120V フィルタベン ト無停電電源装置 (MCC 7C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)
③	PCV耐圧強化ベント用連絡配管 隔離弁 (原子炉格納容器二次隔離弁)	MCC 6C-1-3	MCC 7C-1-3
④	D/Wベント用出口隔離弁 (原子炉格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側))	交流 120V フィルタベント 無停電電源装置 (MCC 6C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)	交流 120V フィルタベン ト無停電電源装置 (MCC 7C-1-1, 直流 125V フィルタベント分電盤)
⑤	ドレンポンプ (区分Ⅰ) (ドレン流量計含む)	現場分電盤 (MCC 6C-1-3)	現場分電盤 (MCC 7C-1-2)
	ドレンポンプ (区分Ⅱ) (ドレン流量計含む)	現場分電盤 (MCC 6D-1-2)	現場分電盤 (MCC 7D-1-2)
—	計測制御設備	直流 125V フィルタベント 分電盤 (常設代替直流電源設備) 又は 直流 125V 分電盤 6A-1	直流 125V フィルタベン ト分電盤 (常設代替直流電源設備) 又は 直流 125V 7A-1-1
—	フィルタ装置水素濃度計 (サンプルポンプを含む)	交流 120V 中央制御室計 測用分電盤 6A (MCC 6C-1-8)	交流 120V 中央制御室計測 用分電盤 7A-1 (MCC 7C-1-7)
—	フィルタ装置スクラバ水 pH 計	現場分電盤 (MCC 6C-1-3)	現場分電盤 (MCC 7C-1-2)

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の使用時，待機時，使用後に電源供給が必要な負荷は，第 2.3.1.2-2 図及び第 2.3.1.2-2 表に示すとおりである。



第 2.3.1.2-2 図 代替格納容器圧力逃がし装置概略図

第2.3.1.2-2表 代替格納容器圧力逃がし装置の電源供給負荷

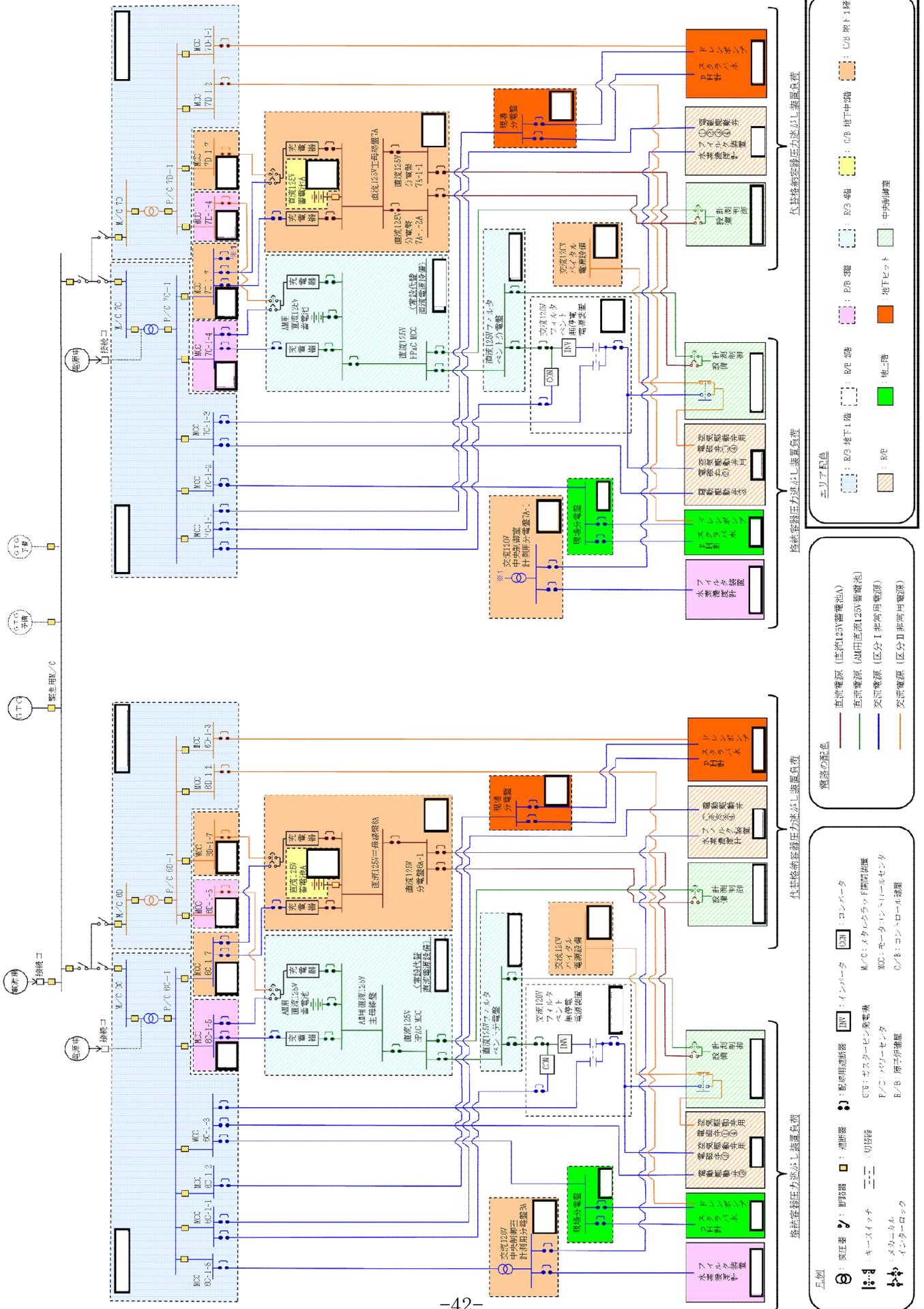
	代替格納容器圧力逃がし装置の 電源供給負荷	電源供給元	
		6号炉	7号炉
①	地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	MCC 6C-1-1	MCC 7C-1-1
②	地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	MCC 6C-1-1	MCC 7C-1-1
③	地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側)	MCC 6C-1-1	MCC 7C-1-1
④	地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁 (ドライウエル側)	MCC 6C-1-1	MCC 7C-1-1
⑤	ドレンポンプ (区分Ⅰ) (ドレン流量計含む)	現場分電盤 (MCC 6C-1-2)	現場分電盤 (MCC 7C-1-1)
	ドレンポンプ (区分Ⅱ) (ドレン流量計含む)	現場分電盤 (MCC 6D-1-3)	現場分電盤 (MCC 7D-1-1)
—	計測制御設備	直流 125V HPAC MCC (常設代替直流電源設備), 又は 直流 125V 分電盤 6A-1	直流 125V HPAC MCC (常設代替直流電源設備), 又は 直流 125V 分電盤 7A-1-2A
—	フィルタ装置水素濃度計 (サンプルポンプを含む)	交流 120V 中央制御室計 測用分電盤 6A (MCC 6C-1-8)	交流 120V 中央制御室計 測用分電盤 7A-1 (MCC 7C-1-7)
—	フィルタ装置スクラバ水 pH 計	現場分電盤 (MCC 6C-1-2)	現場分電盤 (MCC 7C-1-1)

2.3.1.3 単線結線図

【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電源設備の単線結線図は、第2.3.1.3-1図に示すとおりである。

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2.3.1.3-1 図格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置電源設備の単線結線図

2.3.1.4 電源設備の多重性又は多様性及び独立性

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備用電源の多様性及び独立性

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、設計基準事故対処設備である残留熱除去系（格納容器スプレイ機能）及び当該系統の除熱を行う原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系に対し，多様性を確保する設計としている。

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は，区分Ⅰの非常用電源から，残留熱除去系（格納容器スプレイ機能）（2系統）は，区分Ⅱ／Ⅲの非常用電源から，各々供給されており，電源としては互いに独立性を確保する設計としている。

具体的には，区分分離された非常用電源は，基準地震動 S_s による地震力に対して十分な耐震性を有している。区分Ⅰと区分Ⅱ／Ⅲの非常用電源盤が設置されている電気品室については，位置的分散（第2.3.1.4-1図参照）を図る設計としている。また，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置用の電路については，電線管で布設され，感知，消火対策が施されていることから，単一火災により格納容器スプレイ機能と同時に機能喪失しない設計としている。また，区分Ⅰと区分Ⅱ／Ⅲの非常用電気品室及び計測制御用電気品室は溢水防護区画により分離されていることから，溢水に対しても同時に機能喪失しない設計としている。

(2) 格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置用電源の多重性又は多様性及び独立性

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置用電源については，24時間の長期にわたる全交流電源喪失時においても機能が維持されるよう，区分Ⅰの直流電源から供給するものとする（第2.3.1.3-1図参照）。また，最低限必要な動的機器（原子炉格納容器一次隔離弁，二次隔離弁，フィルタ装置入口弁）は人力にて操作できる設計としている。

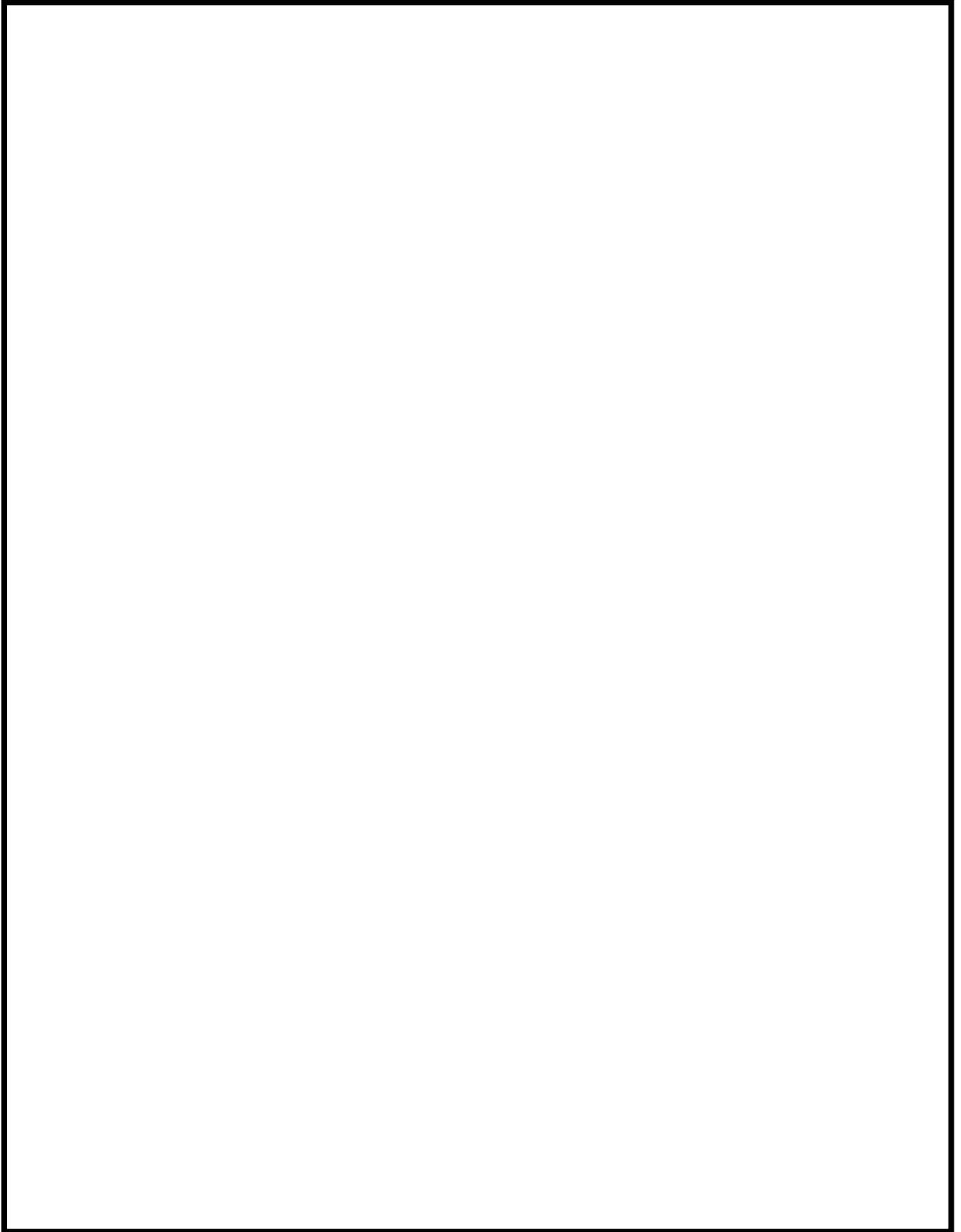
24時間を超える格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の運転において必要不可欠な動的機器であるドレンポンプ及び付属する流量計については，単一故障を想定し二重化する設計としていることから，この電源（交流）については各々区分Ⅰ，Ⅱの非常用電源から供給するものとする（第2.3.1.3-1図参照）。区分Ⅰ及びⅡの非常用電源については，(1)にて述べたとおり独立性を確保する設計としている。

また，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の多重化を図る計測制御設備については，電源（直流）の単一故障を想定し，同じ区

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。

分 I ではあるものの位置的分散（第 2.3.1.4-1 図参照）を図ると共に、電気的分離を確保するために相互に接続されることのない措置を講じた蓄電池（直流 125V 蓄電池 A : AM用直流 125V 蓄電池 : ）より供給していることから独立性を確保する設計としている（第 2.3.1.3-1 図参照）。

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 2.3.1.4-1 図 電源設備配置図

2.3.2 格納容器圧力逃がし装置計測制御設備

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

2.3.2.1 概要

格納容器圧力逃がし装置の使用時、待機時、使用後に、系統の圧力とフィルタ装置の水位を監視するため、圧力検出器と水位検出器を設置する。また、格納容器圧力逃がし装置の入口及び出口配管に水素濃度検出器、フィルタ装置出口に放射線検出器、フィルタ装置ドレン移送ラインにフィルタ装置ドレン流量検出器、フィルタ装置スクラバ水の pH 検出器、フィルタ装置内金属フィルタの差圧検出器、ドレンタンクに水位検出器を設置する。これらの監視パラメータは、中央制御室又は現場で監視可能な設計としている。

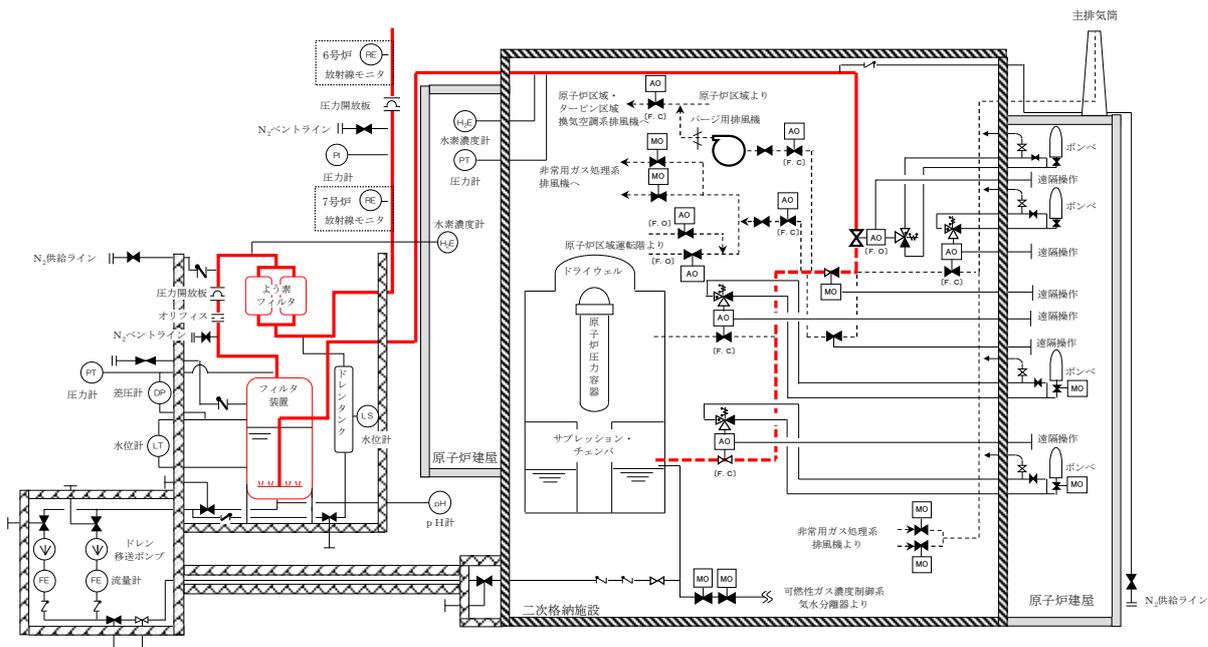
なお、代替格納容器圧力逃がし装置についても同様の設計としており、ここでは代表として格納容器圧力逃がし装置の計測設備について記載する。

2.3.2.2 計測設備の目的

(1) 格納容器圧力逃がし装置の使用時の状態

格納容器圧力逃がし装置の使用時の状態を以下の通り確認する設計としている。

- a. 格納容器内のガスがフィルタ装置へ導かれていることの確認：フィルタ装置入口圧力、フィルタ装置出口放射線モニタ
- 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：フィルタ装置水位
- 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



第 2.3.2.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置 使用時の概略図

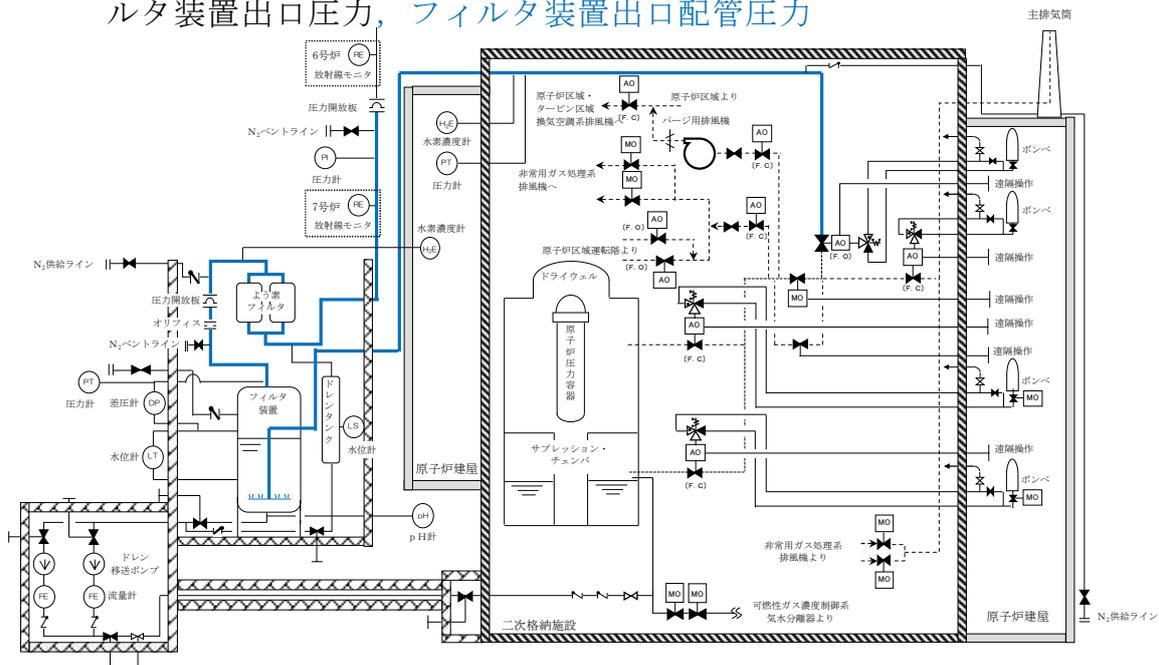
使用時の状態が、以下のとおり把握可能である。

- 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計にて、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、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。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
 フィルタ装置水位計にて、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放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を評価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

格納容器圧力逃がし装置の待機時の状態を以下のとおり確認する設計としている。

- 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：フィルタ装置水位
- 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，フィルタ装置出口圧力，**フィルタ装置出口配管圧力**



第 2.3.2.2-2 図 格納容器圧力逃がし装置 待機時の概略図

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

フィルタ装置水位計にて、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

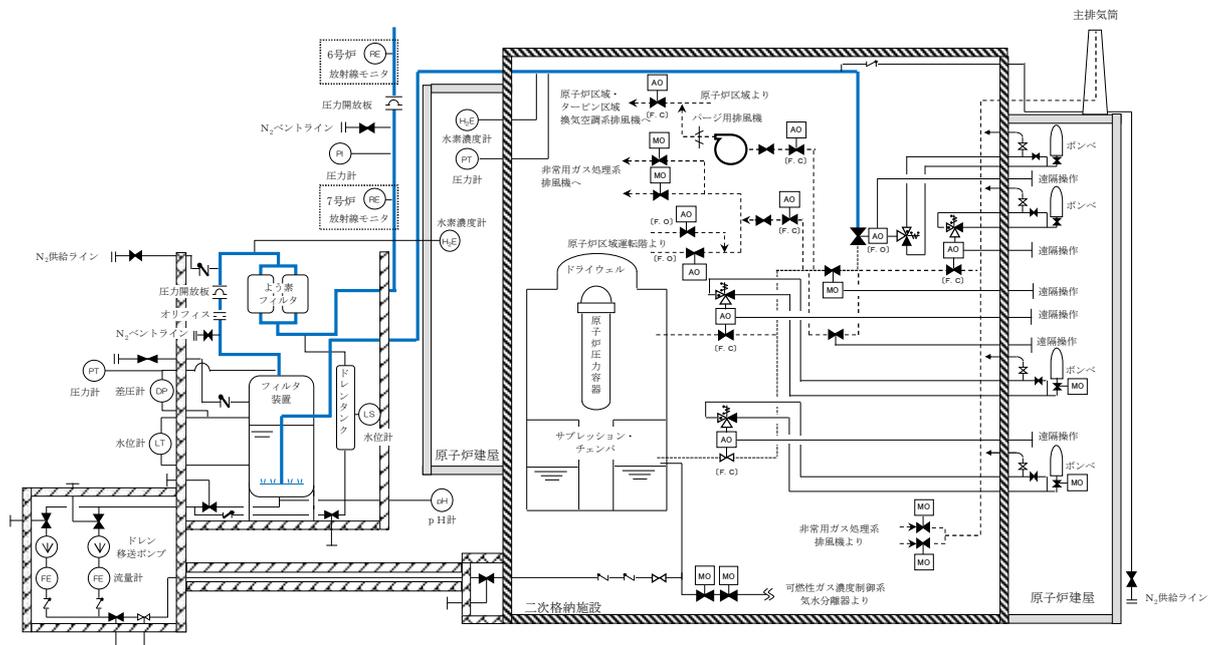
フィルタ装置入口圧力計及びフィルタ装置出口圧力計にて、封入した窒素圧力 (0.01MPa[gage]以上) を継続監視することによって配管内の不活性状態を把握できる。

また、フィルタ装置出口配管圧力計にて、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

格納容器圧力逃がし装置の使用後の状態を以下のとおり確認する設計としている。

- a. フィルタ装置内スクラバ水の確認：フィルタ装置水位
- 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，フィルタ装置水素濃度
- 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



第 2.3.2.2-3 図 格納容器圧力逃がし装置 使用後の概略図

使用後の状態が、以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置内スクラバ水の確認

フィルタ装置水位計にて、フィルタ装置内で捕捉した放射性物質の放射熱により、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計及びフィルタ装置水素濃度計にて、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

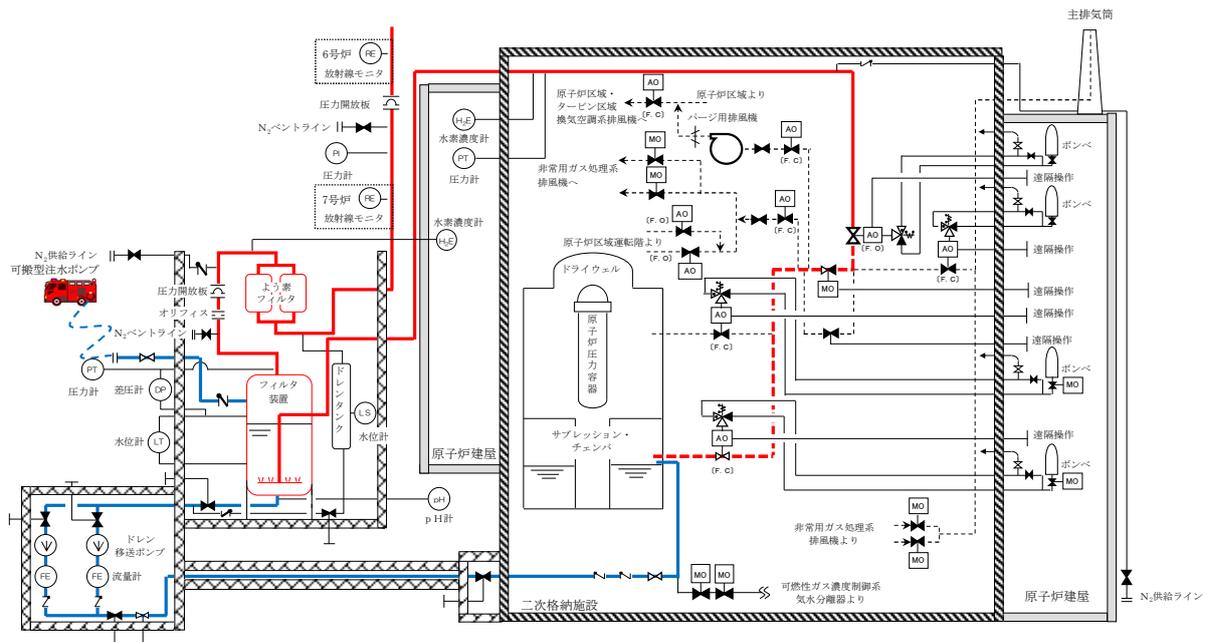
フィルタ装置出口放射線モニタにて、フィルタ装置出口配管に内包される放射性物質から放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を評価することが可能である。

(4) フィルタ装置の水位調整時の確認

格納容器圧力逃がし装置の使用時、待機時、使用後に、フィルタ装置の水位調整を以下のとおり確認する設計としている。

a. フィルタ装置の水位調整の確認：フィルタ装置水位，フィルタ装置ドレン流量

b. フィルタ装置スクラバ水の水質管理：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



第 2.3.2.2-4 図 フィルタ装置 水位調整操作の概略図

フィルタ装置の水位調整時の確認として、以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置の水位調整の確認

フィルタ装置水位計にて、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計にて、排水操作を実施した際のタンク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)

フィルタ装置水位計にて、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計にて、排水操作を実施した際のタンクドレン量から、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を以下のとおり確認する設計としている。

- a. フィルタ装置の閉塞：フィルタ装置入口圧力，フィルタ装置出口放射線モニタ
- b. 金属フィルタの閉塞：金属フィルタ差圧，フィルタ装置入口圧力
- c. よう素フィルタ出口配管の閉塞：ドレンタンク水位，フィルタ装置入口圧力，フィルタ装置出口圧力
- d. フィルタ装置入口配管の破断：フィルタ装置入口圧力，フィルタ装置出口放射線モニタ
- e. フィルタ装置スクラバ水の漏えい：フィルタ装置水位

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、以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置の閉塞

フィルタ装置入口圧力計にて、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。

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

金属フィルタ差圧計にて、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計にて、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

ドレンタンク水位計にて、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計及びフィルタ装置出口圧力計にて、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

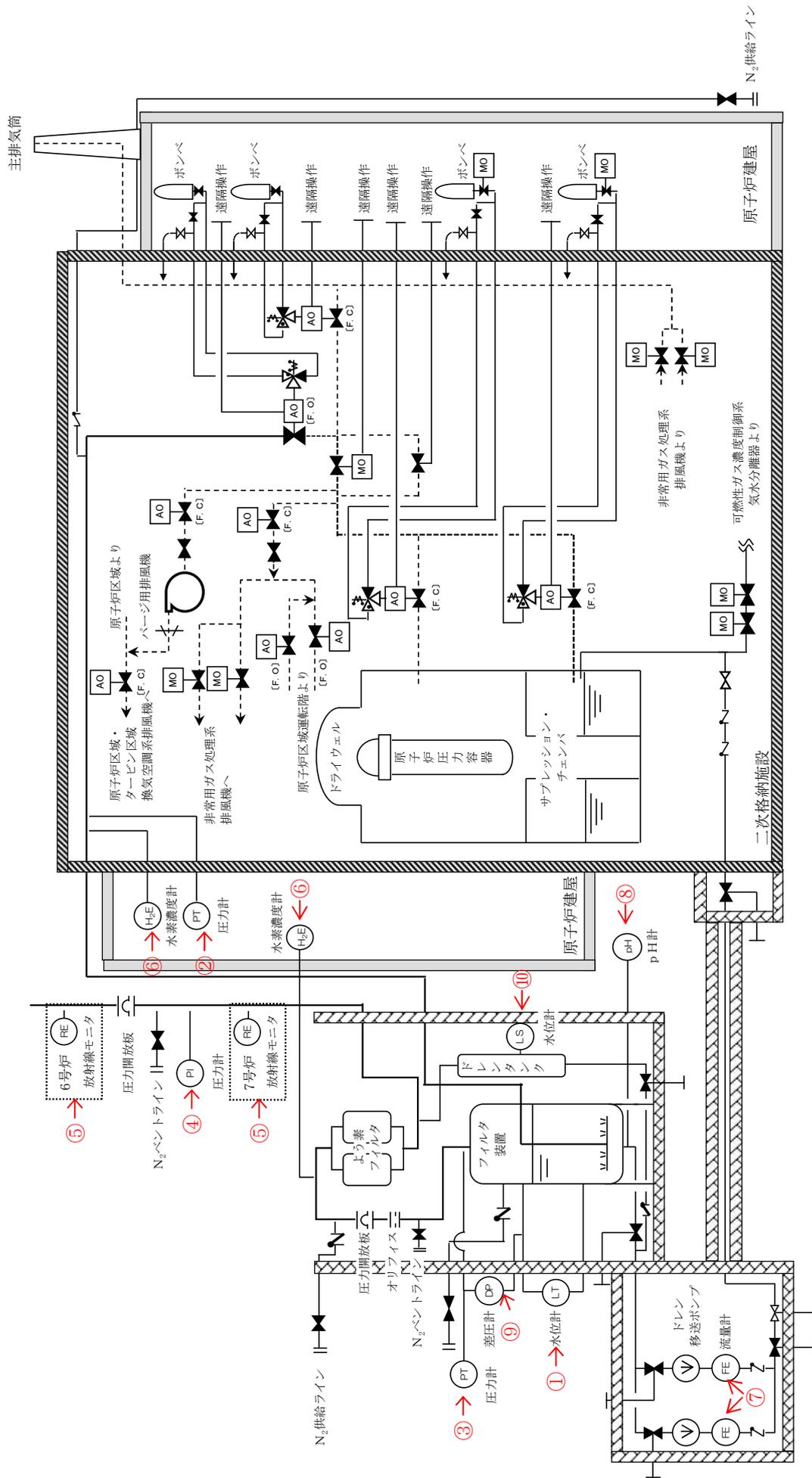
フィルタ装置入口圧力計にて、格納容器ベント実施により待機圧力から上昇した圧力が低下傾向を示すが、フィルタ装置出口放射線量率が初期値から上昇しないことを確認することにより把握できる。

e. フィルタ装置スクラバ水の漏えい

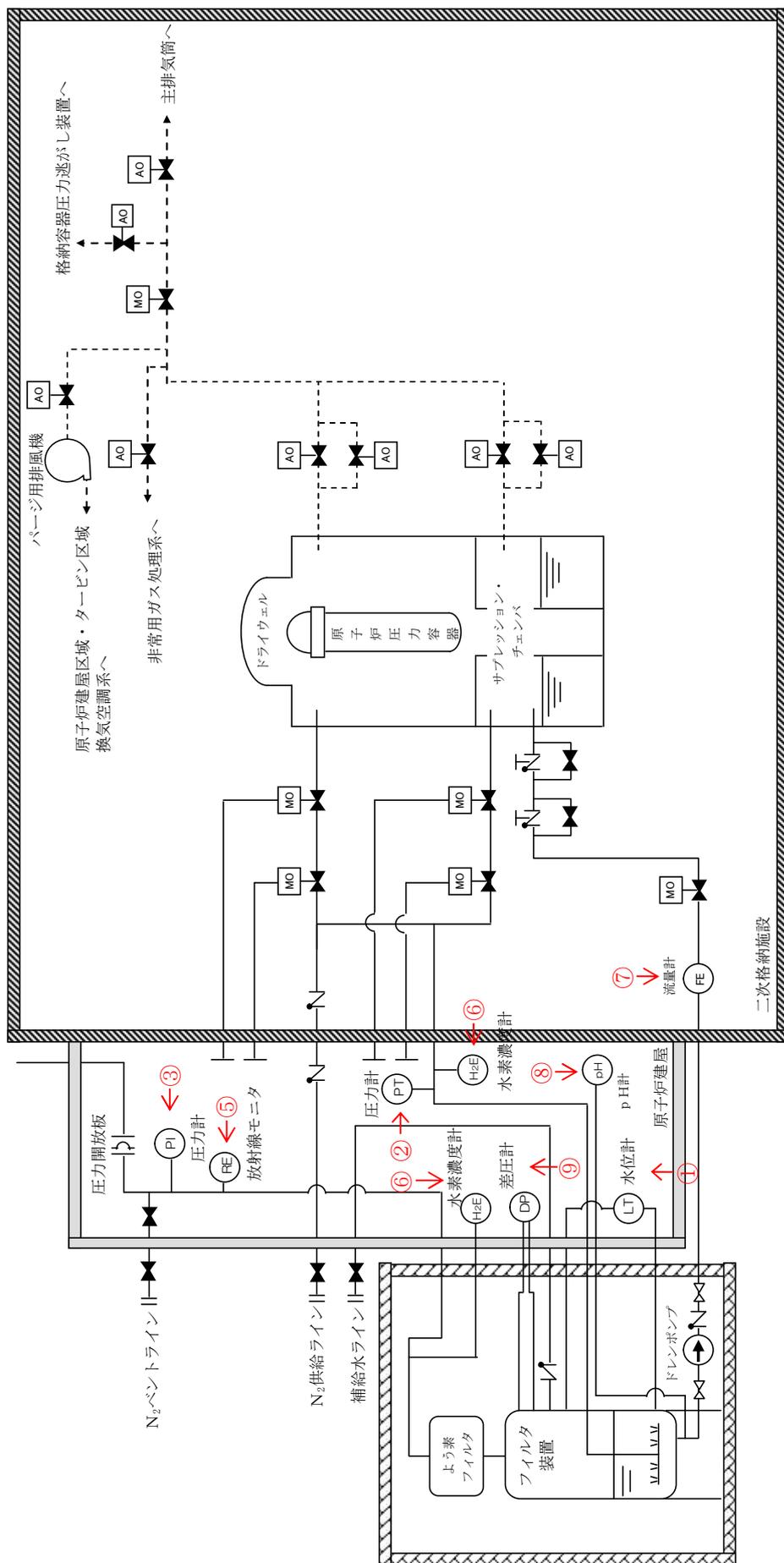
フィルタ装置水位計にて、タンクからのスクラバ水漏えいによるフィルタ装置の水位低下を確認することで把握できる。

2.3.2.3 計測設備の仕様について

計測設備の概略構成図を第 2.3.2.3-1 図及び第 2.3.2.3-2 図、主要仕様を第 2.3.2.3-1 表に示す。



第 2.3.2.3-1 図 格納容器圧力逃がし装置の計測設備 概略構成図



第 2.3.2.3-2 図 代替格納容器圧力逃がし装置の計測設備 概略構成図

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 2.3.2.3-1 表 格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の計測設備の監視パラメータ

監視パラメータ※1		計測範囲	計測範囲の根拠	個数	監視場所※5
①	フィルタ装置水位 (格納容器圧力逃がし装置)	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が計測可能な範囲とする。	2	中央制御室 (緊急時対策所)
	フィルタ装置水位 (代替格納容器圧力逃がし装置)	0～7000mm	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3000mm、下限水位：約500mmが計測可能な範囲とする。	2	中央制御室 (緊急時対策所)
②フィルタ装置入口圧力		0～1.0MPa[gage]	以下の2つの状態を計測可能な範囲とする。 ・格納容器ベント実施時に、格納容器圧力逃がし装置の最高圧力(0.62MPa[gage])が計測可能な範囲とする。 ・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計測可能な範囲とする。	2 ^{*2}	中央制御室 現場 (緊急時対策所)
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])を超えないことが計測可能な範囲とする。	1	中央制御室 (緊急時対策所)
④フィルタ装置出口配管圧力		-0.1～0.2MPa[gage]		1	現場
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線量当量率(約7×10 ⁴ mSv/h)を計測可能な範囲とする。	2	中央制御室 (緊急時対策所)
⑥フィルタ装置水素濃度		0～100%	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濃度(4%)以下であることを計測可能な範囲とする。	2 ^{*3}	中央制御室 (緊急時対策所)
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)を計測可能な範囲とする。	2 ^{*4}	現場
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を計測可能な範囲とする。	1	現場
⑨金属フィルタ差圧		0～50kPa		1	中央制御室 (緊急時対策所)
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計測範囲とする。	4	中央制御室 (緊急時対策所)

※1 監視パラメータの数字は第 2.3.2.3-1 図及び第 2.3.2.3-2 図の丸数字に対応する。

※2 中央制御室及び現場にそれぞれ 1 個

※3 フィルタ装置入口及び出口側にそれぞれ 1 個

※4 ドレンポンプ 2 台に対してそれぞれ 1 個

※5 代替格納容器圧力逃がし装置の監視場所についても同様の設計で計画。なお、「(緊急時対策所)」については、緊急時対策所での監視も可能な設計としている。

2.3.2.4 格納容器圧力逃がし装置の計測設備の多重性又は多様性について

格納容器圧力逃がし装置の計測設備については、「2.3.2.2 計測設備の目的」で記載した，使用時，待機時，使用後に各確認すべき項目の全てについて，計器の単一故障を考慮しても監視可能とするため，多重性又は多様性を有している。

上記の使用時，待機時，使用後に各確認すべき項目について，多重性又は多様性を整理した結果を第2.3.2.4-1表に示す。

第 2.3.2.4-1 表 格納容器圧力逃がし装置の計測設備の多重性又は多様性について

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. 格納容器内の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計 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. 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フィルタ装置水位計	①は多重性有り
	c. 放出されるガスの放射線量の確認	①フィルタ装置出口放射線モニタ	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フィルタ装置水位計	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計 ②フィルタ装置出口圧力計 ③フィルタ装置出口配管圧力計	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フィルタ装置水位計	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計 ②フィルタ装置水素濃度計	①②で多様性有り ①は多重性有り ②は入口と出口配管でそれぞれ補完
	c. 放出されるガスの放射線量の確認	①フィルタ装置出口放射線モニタ	①は多重性有り
(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フィルタ装置水位計 ②フィルタ装置ドレン流量計	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質管理	①フィルタ装置水位計 ②フィルタ装置ドレン流量計 ③フィルタ装置スクラバ水 pH 計	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計 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金属フィルタ差圧計 ②フィルタ装置入口圧力計	①②で多様性有り ②は多重性有り
	c. よう素フィルタ出口配管の閉塞	①ドレンタンク水位計 ②フィルタ装置入口圧力計 ③フィルタ装置出口圧力計	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計 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
	d. フィルタ装置スクラバ水の漏えい	①フィルタ装置水位計	①は多重性有り

2.3.3 格納容器圧力逃がし装置給水設備

2.3.3.1 機能

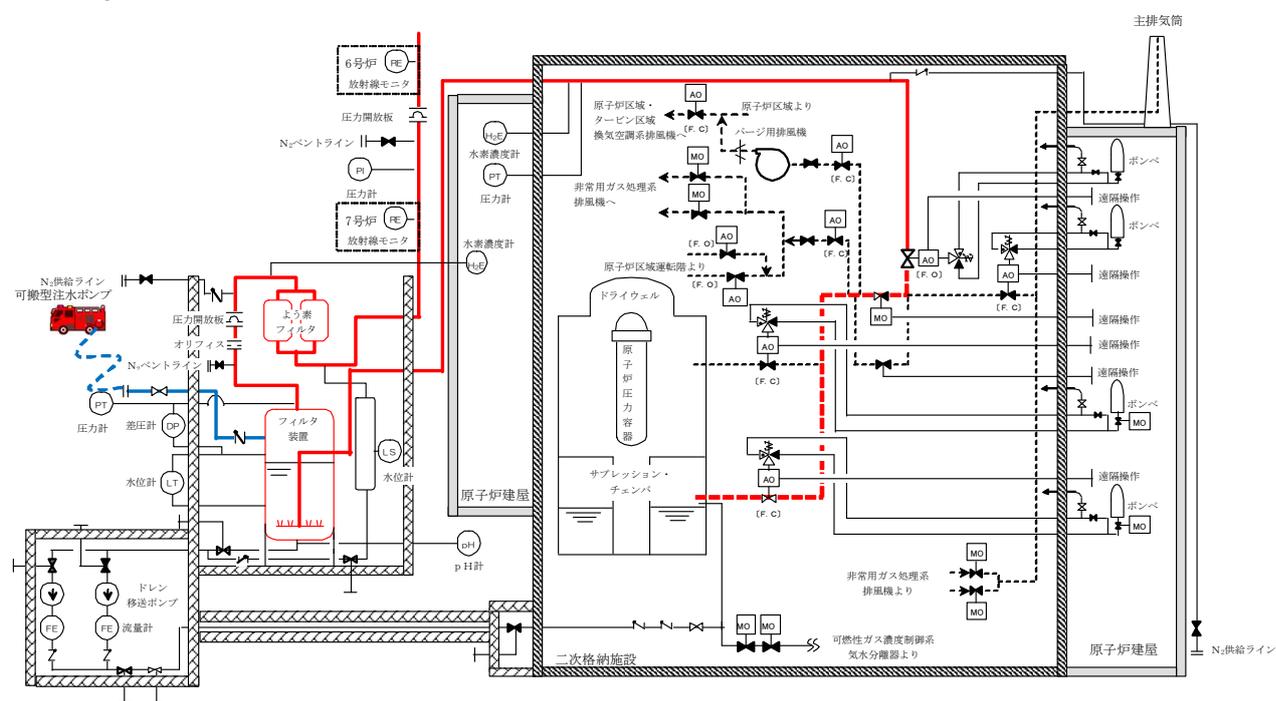
【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の使用時に、フィルタ装置の水位が低下した場合に、外部からスクラバ水を補給できるように、給水設備を設置する。

2.3.3.2 設備構成及び仕様

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置における給水設備の系統構成を第 2.3.3.2-1 図に示す。



第 2.3.3.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置 給水設備系統図

給水設備は、配管、手動弁、逆止弁よりなり、フィルタ装置の給水ノズルに接続される。また、配管にはホース接続用の接続口を設置しており、消防車からのホースを接続できる構造としている。

給水設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 給水配管 : 65A

【7号炉】

- ・ 給水配管 : 65A

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。

また、給水設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 給水配管 : ステンレス鋼

【7号炉】

- ・ 給水配管 : ステンレス鋼

給水配管のルーティングについては、第2.3.3.2-2図、第2.3.3.2-3図の通りとなる。



第2.3.3.2-2図 給水配管ルート図 (6/7号炉)



第2.3.3.2-3図 給水配管ルート図 (6/7号炉)

なお、消防車の吐出圧力は、0.85MPa[gage]（流量120m³/h以上）であり、フィルタ装置内の圧力と比較して十分大きいことから、給水可能である。（フィルタ装置内の圧力は第3.2.2.2-5図を参照）

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置における給水設備は、配管、手動弁、逆止弁よりなり、フィルタ装置の給水ノズルに接続される。また、配管にはホース接続用の接続口を設置しており、消防車からのホースを接続できる構造としている。

給水設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 給水配管 : 65A

【7号炉】

- ・ 給水配管 : 65A

また、給水設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 給水配管 : ステンレス鋼

【7号炉】

- ・ 給水配管 : ステンレス鋼

2.3.4 格納容器圧力逃がし装置ドレン設備

2.3.4.1 機能

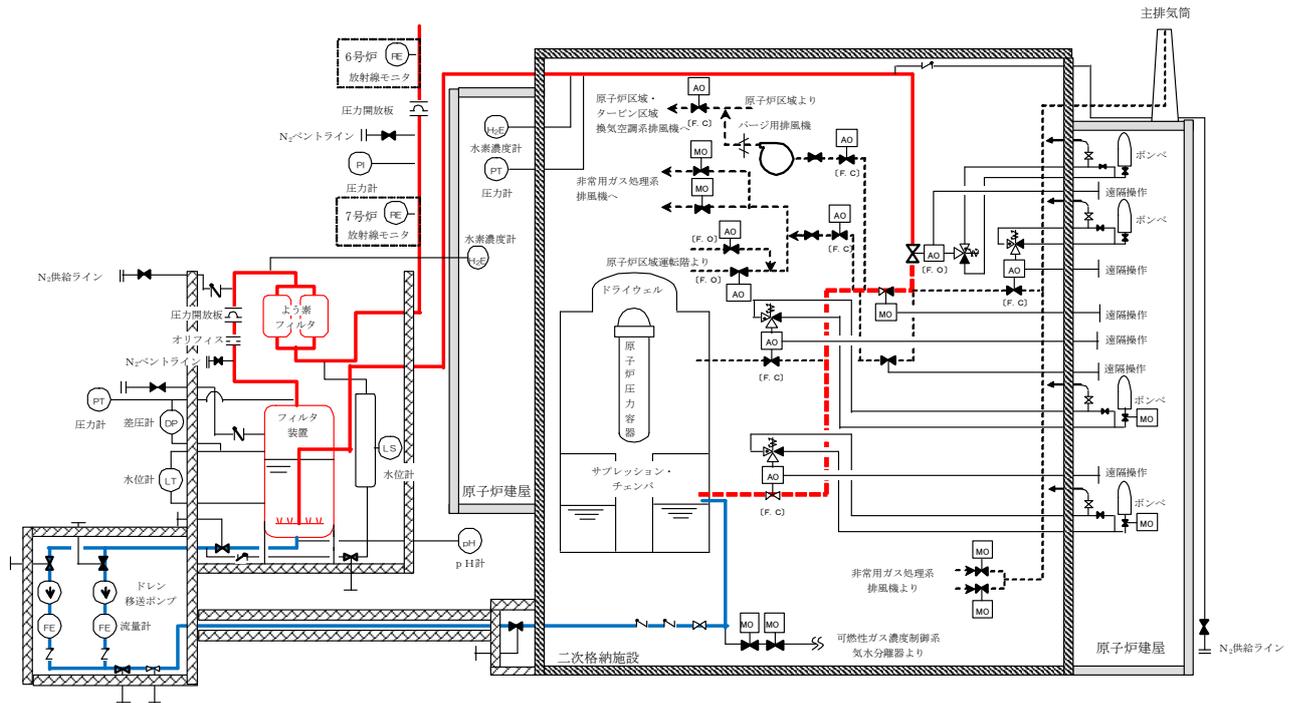
【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の使用時に、フィルタ装置の水位が上昇した場合、もしくは格納容器圧力逃がし装置使用後にフィルタ装置のスクラバ水を格納容器へ移送できるよう、ドレン設備を設置する。

2.3.4.2 設備構成及び仕様

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置におけるドレン設備の系統構成を第2.3.4.2-1図に示す。



第 2.3.4.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置 ドレン設備系統図

ドレン設備は、配管、伸縮継手、手動弁、逆止弁、ポンプよりなり、フィルタ装置のドレンノズル、及び可燃性ガス濃度制御系の気水分離器のドレンラインに接続する。可燃性ガス濃度制御系のドレンラインは格納容器のサブプレッション・チェンバに接続されていることから、フィルタ装置のスクラバ水を格納容器に移送することが可能である。

ドレン設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ ドレン配管 : 50A

【7号炉】

- ・ ドレン配管 : 50A

また、ドレン設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

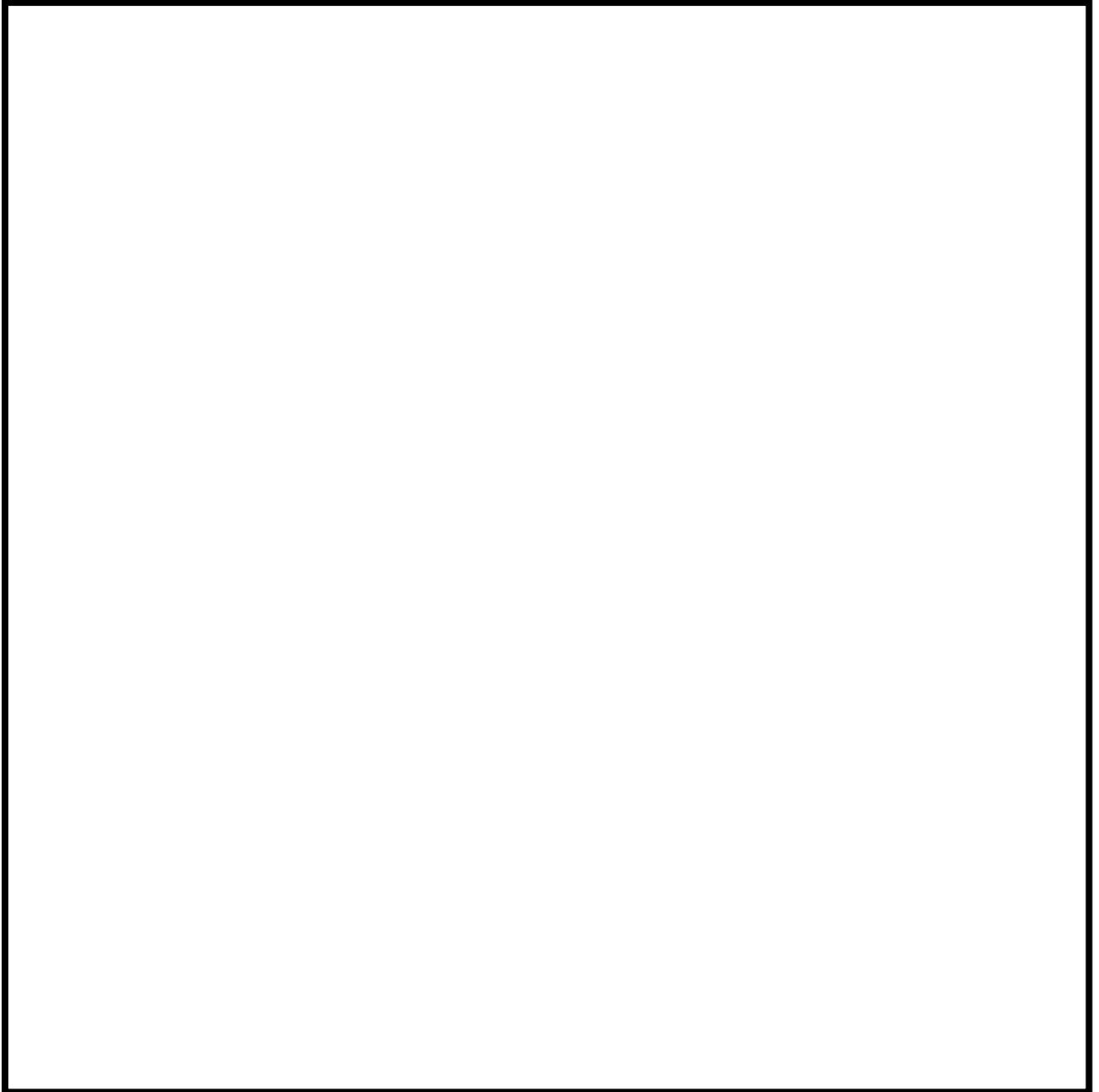
- ・ ドレン配管 : ステンレス鋼

【7号炉】

- ・ ドレン配管 : ステンレス鋼

ドレン配管のルーティングについては、第 2.3.4.2-2 図から第 2.3.4.2-8 図の通りとなる。

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 2.3.4.2-2 図 ドレン配管ルート図 (6号炉)

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 2.3.4.2-3 図 ドレン配管ルート図 (6 号炉)

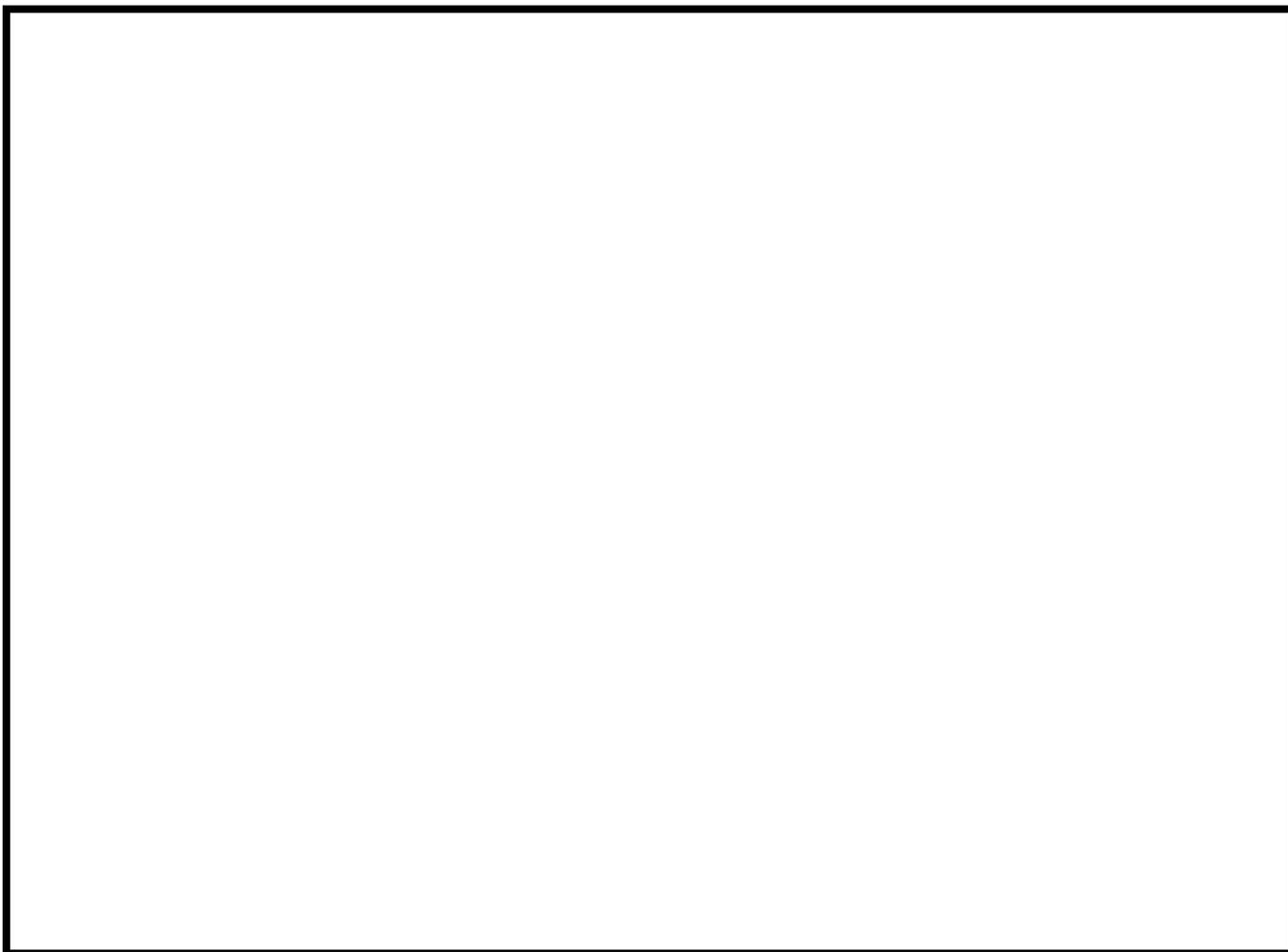


第 2.3.4.2-4 図 ドレン配管ルート図 (6 号炉 原子炉建屋地下 1 階)

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 2.3.4.2-5 図 ドレン配管ルート図 (6 号炉 原子炉建屋地下 2 階)



第 2.3.4.2-6 図 ドレン配管ルート図 (7 号炉)

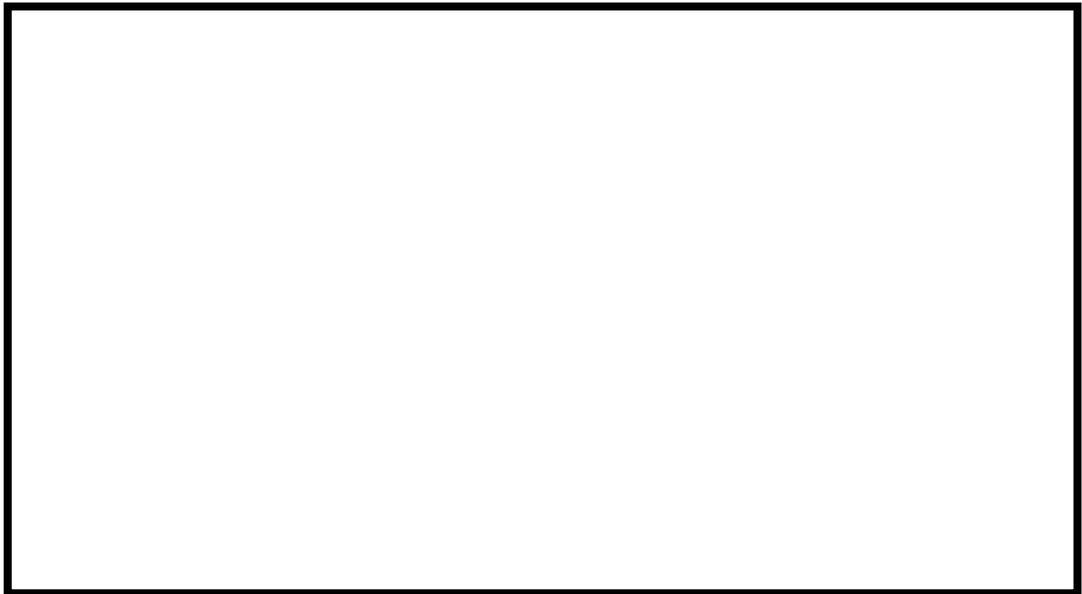
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



第 2.3.4.2-7 図 ドレン配管ルート図 (7 号炉)



第 2.3.4.2-8 図 ドレン配管ルート図 (7 号炉 原子炉建屋地下 1 階)



第 2.3.4.2-9 図 ドレン配管ルート図 (7 号炉 原子炉建屋地下 2 階)

ドレン設備の伸縮継手の口径は、以下の通りとしている。

【6 号炉】

- ・ ドレン設備伸縮継手 : 50A

【7 号炉】

- ・ ドレン設備伸縮継手 : 50A

また、ドレン設備の伸縮継手の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6 号炉】

- ・ ドレン設備伸縮継手 : ステンレス鋼

【7 号炉】

- ・ ドレン設備伸縮継手 : ステンレス鋼

ドレン設備のポンプは、格納容器圧力逃がし装置の運転中、停止中に依らず、フィルタ装置内のスクラバ水を移送できるよう、下記の容量としている。また、ドレン設備のポンプは 6 号炉と 7 号炉共に 2 台ずつ設置する。

【6 号炉】

- ・ ドレン設備ポンプ容量 : 吐出量 10m³/h, 揚程 50m

【7 号炉】

- ・ ドレン設備ポンプ容量 : 吐出量 10m³/h, 揚程 50m

また、ドレン設備のポンプの耐圧部の材質は、以下の通りとしている。

【6 号炉】

- ・ ドレン設備ポンプ : ステンレス鋼

【7 号炉】

- ・ ドレン設備ポンプ : ステンレス鋼

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置におけるドレン設備は、配管、手動弁、逆止弁、ポンプよりなり、フィルタ装置のドレンノズル、及び格納容器のサブプレッション・チェンバに接続する。このため、フィルタ装置のスクラバ水を格納容器に移送することが可能である。

ドレン設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ ドレン配管 : 65A, 50A

【7号炉】

- ・ ドレン配管 : 65A, 50A

また、ドレン設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ ドレン配管 : ステンレス鋼

【7号炉】

- ・ ドレン配管 : ステンレス鋼

ドレン設備のポンプは、代替格納容器圧力逃がし装置の運転中、停止中によらず、フィルタ装置内のスクラバ水を移送できるよう設計する。また、ドレン設備のポンプは6号炉と7号炉共に2台ずつ設置する。

2.3.5 格納容器圧力逃がし装置窒素パージ設備

2.3.5.1 機能

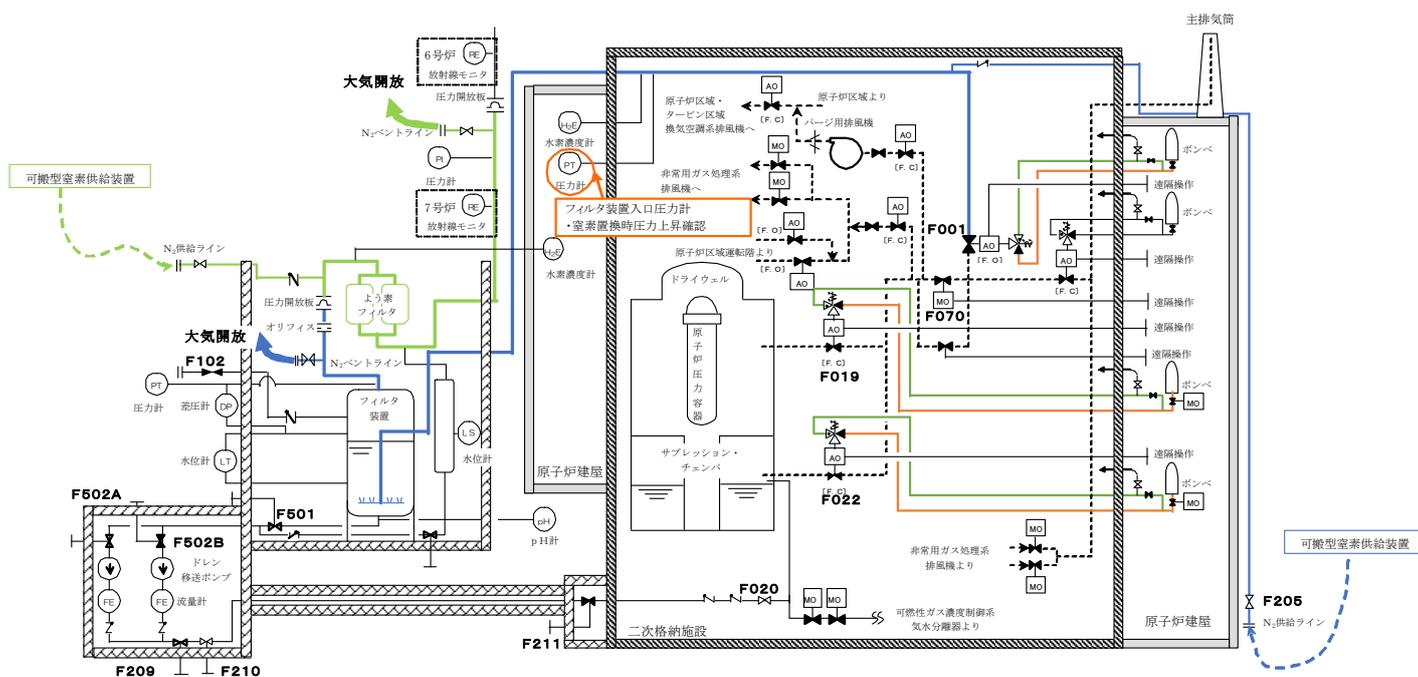
【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の待機中に系統内を窒素ガスで置換し、ベントガスに含まれる水素による爆発を防止する。また、格納容器圧力逃がし装置の使用後には、スクラバ水の放射線分解により発生し、系統内の頂部に溜まった水素ガスを、窒素ガスにより系統外へ排出することにより、滞留水素による爆発を防止する。

2.3.5.2 設備構成及び仕様

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置における窒素パージ設備の系統構成を第 2.3.5.2-1 図に示す。



第 2.3.5.2-1 図 格納容器圧力逃がし装置 窒素パージ設備系統図

窒素パージ設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : 25A

【7号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : 25A

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。

また、窒素パージ設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 窒素供給配管 : ステンレス鋼および炭素鋼
- ・ ベント配管 : 炭素鋼

【7号炉】

- ・ 窒素供給配管 : ステンレス鋼および炭素鋼
- ・ ベント配管 : 炭素鋼

窒素パージ配管のルーティングについては、第2.3.5.2-2図から第2.3.5.2-6図の通りとなる。

第2.3.5.2-2図 窒素パージ配管ルート図（6号炉 窒素供給配管）

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。

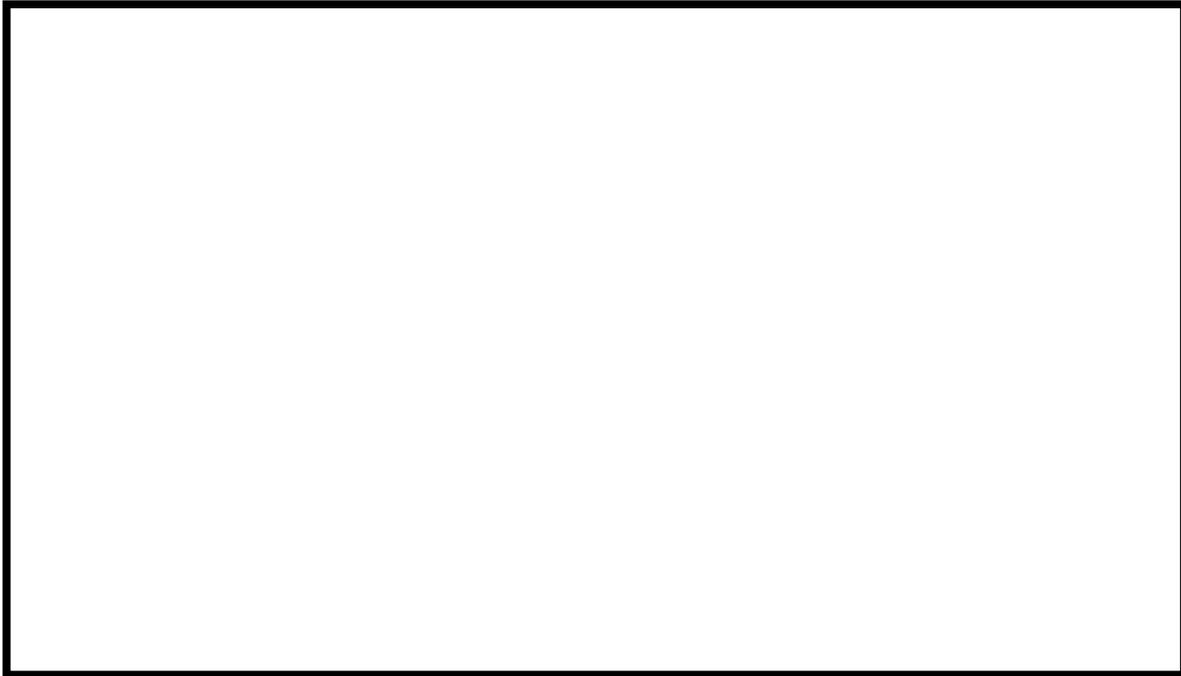


第 2.3.5.2-3 図 窒素パージ配管ルート図 (6 号炉 窒素供給配管)

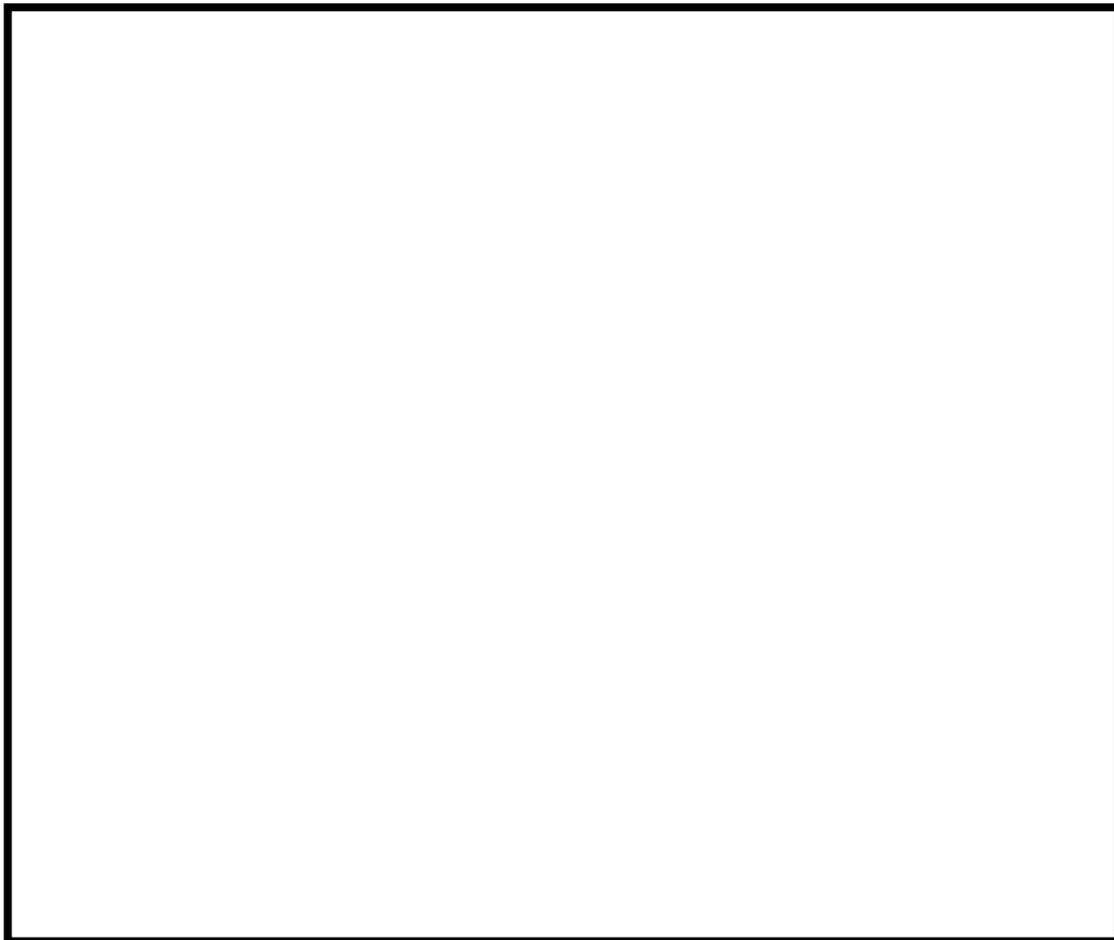


第 2.3.5.2-4 図 窒素パージ配管ルート図 (6 号炉 窒素ベント配管)

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 2.3.5.2-5 図 窒素パージ配管ルート図 (7号炉 窒素供給配管)



第 2.3.5.2-6 図 窒素パージ配管ルート図 (7号炉)

窒素ガスは、屋外に設置した接続口に可搬型の窒素供給装置を接続し、供給する。窒素供給装置は、空気中から窒素を抽出し、高純度の窒素ガスを生成する。窒素供給装置量は、窒素ガス純度が 99%の場合において 70Nm³/h の生成能力を有する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置における窒素パージ設備の配管の口径は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : 25A

【7号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : 25A

また、窒素パージ設備の配管の材質は、以下の通りとしている。

【6号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : ステンレス鋼

【7号炉】

- ・ 窒素供給及びベント配管 : ステンレス鋼

窒素ガスは、屋外に設置した接続口に可搬型の窒素供給装置を接続し、供給する。窒素供給装置は、空気中から窒素を抽出し、高純度の窒素ガスを生成する。窒素供給装置量は、窒素ガス純度が 99%の場合において 70Nm³/h の生成能力を有する。

3. フィルタ装置の性能

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

3.1 フィルタ装置による放射性物質の除去原理

3.1.1 粒子状放射性物質の除去原理

3.1.1.1 水スクラバによる除去

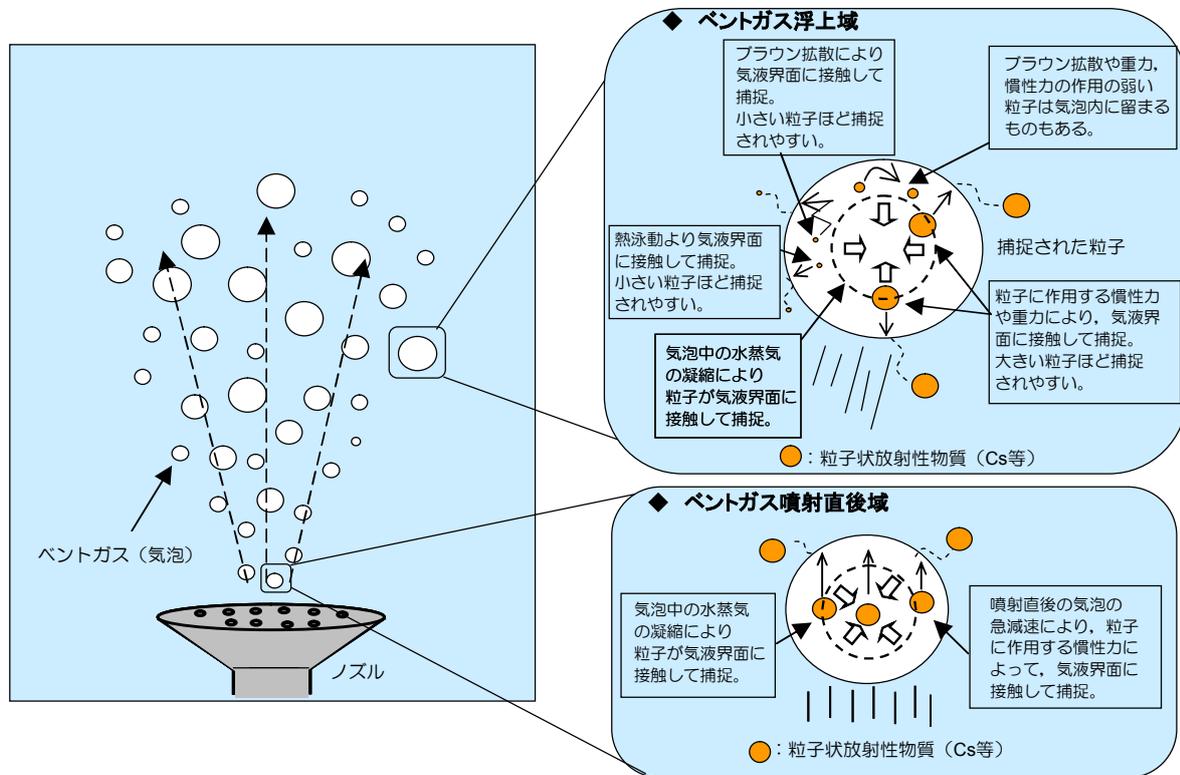
格納容器より排出されたガスは、格納容器圧力逃がし装置の給気配管を経て、容器に到達し、スクラバノズルから容器内に噴出する。

水スクラバは、ベントガスをスクラバ水中に噴射するスクラバノズルと、スクラバ水中の気泡を細分化するための気泡細分化装置で構成されている。

水スクラバでは、下記の除去原理により粒子状物質を捕捉する。

- ・ スクラバ水中でのベントガスの気泡に作用する加速度により、ベントガス気泡中の粒子状放射性物質に慣性力が働き、粒子状放射性物質がスクラバ水と接触することで捕捉する。
- ・ ベントガスの気泡中の粒子状放射性物質が重力沈降し、粒子状放射性物質がスクラバ水と接触することで捕捉する。
- ・ ベントガスの気泡中の粒子状放射性物質のブラウン運動により、粒子状放射性物質がスクラバ水と接触することで捕捉する。
- ・ スクラバ水中でベントガス気泡中の水蒸気が凝縮することにより、粒子状放射性物質がスクラバ水と接触することで捕捉する。
- ・ ベントガス気泡中の粒子状放射性物質の熱泳動により、粒子状放射性物質がスクラバ水と接触することで捕捉される。

なお、いずれの除去原理においても、スクラバ水中におけるベントガスの気泡径が小さいほど、粒子状放射性物質とスクラバ水が接触しやすくなるため、粒子状放射性物質の捕集効率が大きくなる。そのため、気泡細分化装置を設置し、スクラバ水中におけるベントガス気泡を小さくする設計としている。

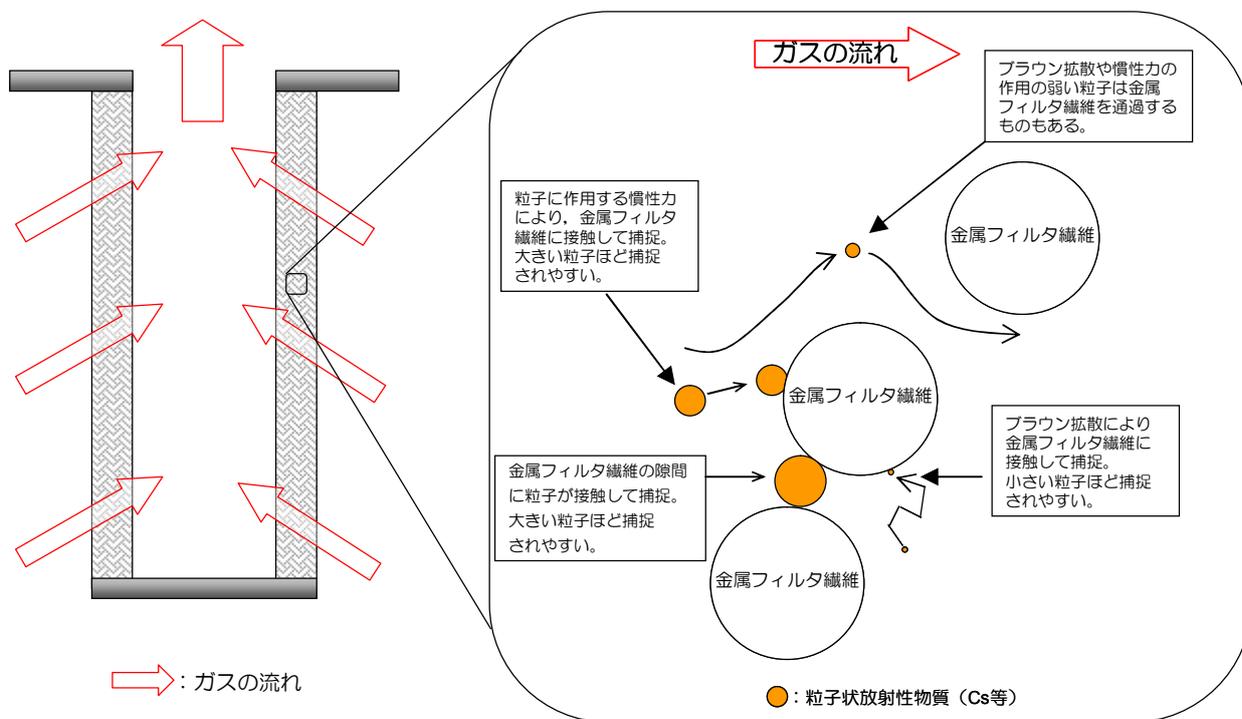


第 3.1.1-1 図 水スクラバによる除去原理（イメージ）

3.1.1.2 金属フィルタによる除去

金属フィルタ（Metal Fiber Filter；以下、MFF）は、三層構造の金属繊維と焼結シートの円筒状のフィルタにより構成される。このMFFでは、下記のメカニズムにより粒子状放射性物質を捕捉する。

- 粒子状放射性物質に働く慣性力により、ベントガスの流線から外れ、粒子状放射性物質がMFF繊維に接触することで捕捉する。
- 粒子状放射性物質のブラウン運動により、粒子状放射性物質がMFF繊維に接触することで捕捉する。
- 粒子状放射性物質が、MFF繊維の隙間に付着することで捕捉する。



第 3.1.1-2 図 金属フィルタによる除去原理（イメージ）

3.1.2 ガス状放射性物質の除去原理

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

3.1.2.1 格納容器圧力逃がし装置へ流入するガス状放射性物質量の低減

(1) 希ガス

希ガスについては、格納容器圧力逃がし装置で除去できないことから、格納容器内にできるだけ長くとどめ、放射エネルギーを可能な限り時間減衰させることが、環境中への希ガスの放出量を低減させるための有効な対策となる。

このため、6号炉及び7号炉では、格納容器の圧力上昇を抑制し、格納容器ベントの実施に至るまでの時間をできるだけ延ばすために、格納容器スプレイの実施や水源への補給等の対策を講じることとする。

(2) よう素

サプレッション・プール水のpH制御を行わない場合、サプレッション・プール水中に取り込まれた粒子状よう素が、サプレッション・プール水中で無機よう素に変化 ($I^- \rightarrow I_2$) し、無機よう素の一部が時間をかけて有機よう素に変化する ($I_2 \rightarrow CH_3I$)。一度生成された有機よう素は格納容器内で除去されることなく、格納容器圧力逃がし装置に流入する可能性がある。一方、サプレッション・プール水のpHを7以上に維持した場合、サプレッション・プール水中での無機よう素の生成が抑制されるため、有機よう素の生成量も抑制される。

このため、よう素については、サプレッション・プール水のpH制御を行い、格納容器内での有機よう素の発生を抑制することが、環境中へのよう素の放出量を低減させるための有効な対策となると考えられる。

以上より、6号炉及び7号炉では、格納容器内での有機よう素の発生を抑制するために、サプレッション・プール水のpHを7以上に制御するための対策を講じることとする。

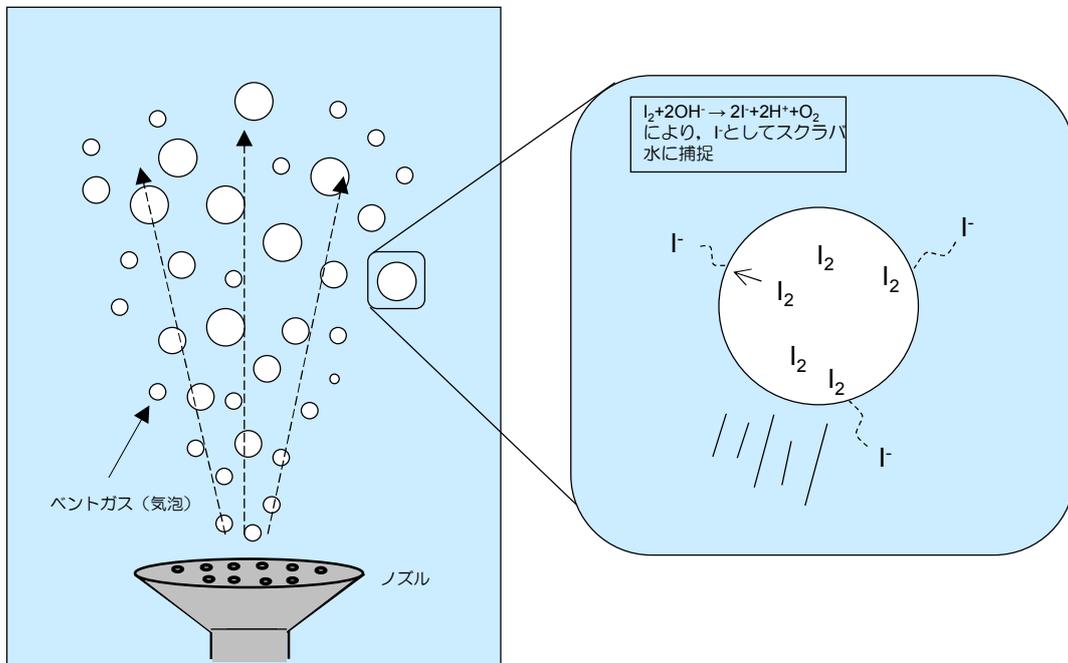
格納容器圧力逃がし装置での無機よう素及び有機よう素の除去原理は次項に示す通り。

3.1.2.2 格納容器圧力逃がし装置での除去

(1) 水スクラバによる除去

フィルタ装置に内包するスクラバ水は、薬液（水酸化ナトリウム）を溶解した水溶液としている。

ガス状の無機よう素は、水酸化ナトリウムによる下記の化学反応により、よう素イオンとしてスクラバ水中に捕捉することにより、ベントガスより除去する。なお、下記の化学反応による捕捉を安定させるためには、スクラバ水の pH 以上に保つ必要がある。



第 3.1.2.1-1 図 水スクラバによる無機よう素除去原理（イメージ）

(2) 吸着材による除去

よう素フィルタは銀ゼオライト吸着材により、ガス状の有機よう素及び無機よう素をよう化銀として吸着材の中に取り込むことにより、ベントガスより除去する。

3.2 性能検証

3.2.1 性能検証試験の概要

3.2.1.1 試験設備の概要

【エアロゾル除去性能試験】

格納容器ベント実施時に、格納容器圧力逃がし装置が必要なエアロゾル除去性能を達成できていることを確認するため、格納容器圧力逃がし装置を模擬した試験装置を用いてエアロゾル除去性能確認試験を実施した。

試験の概要を第3.2.1.1-1図に示す。格納容器圧力逃がし装置を模擬した試験フィルタに、コンプレッサからの空気に粒子状放射性物質を模擬した微粒子（エアロゾル）を混入して送気する。試験フィルタの前後にエアロゾル計測装置を設置して微粒子の個数を計測し、試験フィルタのDFを算出する。

試験フィルタは、直径0.35m、高さ4mの容器であり、断面積が実機の約1/140、高さが実機の約1/2のスケールである。この容器の中に実機と同じノズル（1本）、気泡細分化装置、金属フィルタ（1本）を設置している。高さが実機の1/2となっているが、実機より容器の高さが小さい分、装置の性能には影響を及ぼさない気相部の寸法を短縮している。それ以外の性能に影響を及ぼす気泡細分化装置の高さや、金属フィルタの長さについては、実機と同一となるようにしている。

コンプレッサは、実機にて想定される最大の体積流量の1/140の流量を発生させるのに十分な容量としている。

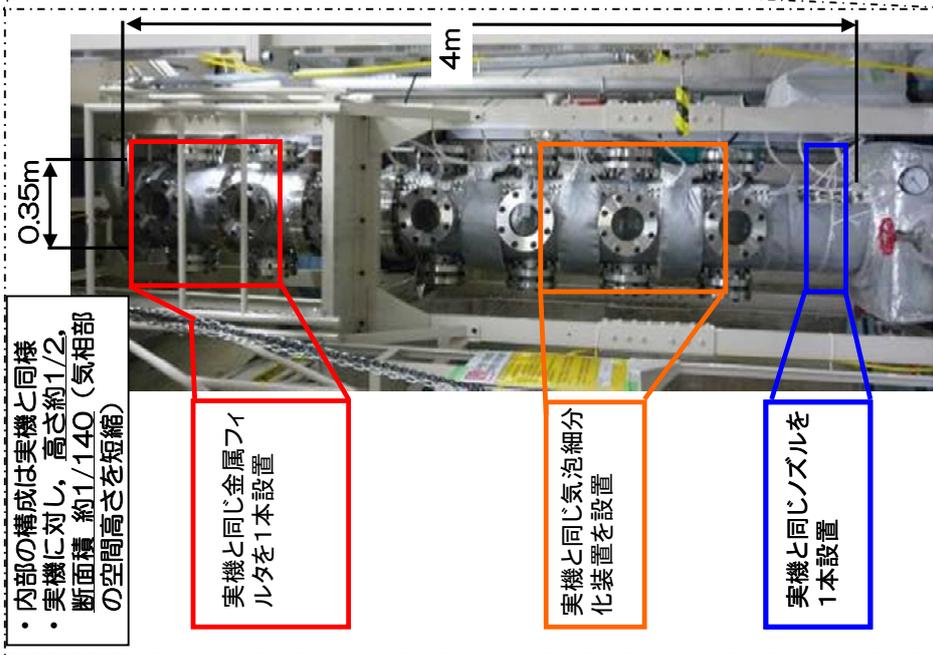
微粒子発生装置では、格納容器ベント時に想定される粒子径に近い径の粒子を発生させる。粒子の種類は、PSL（ポリスチレン製標準粒子）、TiO₂、Fe₂O₃を選定している。

エアロゾル計測装置は、試験微粒子を高精度で計測するため、レーザー光散乱の計測原理を用いた計測装置と、電気移動度分級とレーザー光散乱の計測原理による計測装置を選定している。

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。



試験装置全体図(大型試験装置)



試験用フィルタベント装置

第3.2.1.1-1 図 試験概要図(エアロゾル除去性能試験)

【無機よう素除去性能試験】

格納容器ベント実施時に、格納容器圧力逃がし装置が必要な無機よう素除去性能を達成できていることを確認するため、格納容器圧力逃がし装置を模擬した試験装置を用いて無機よう素除去性能確認試験を実施した。

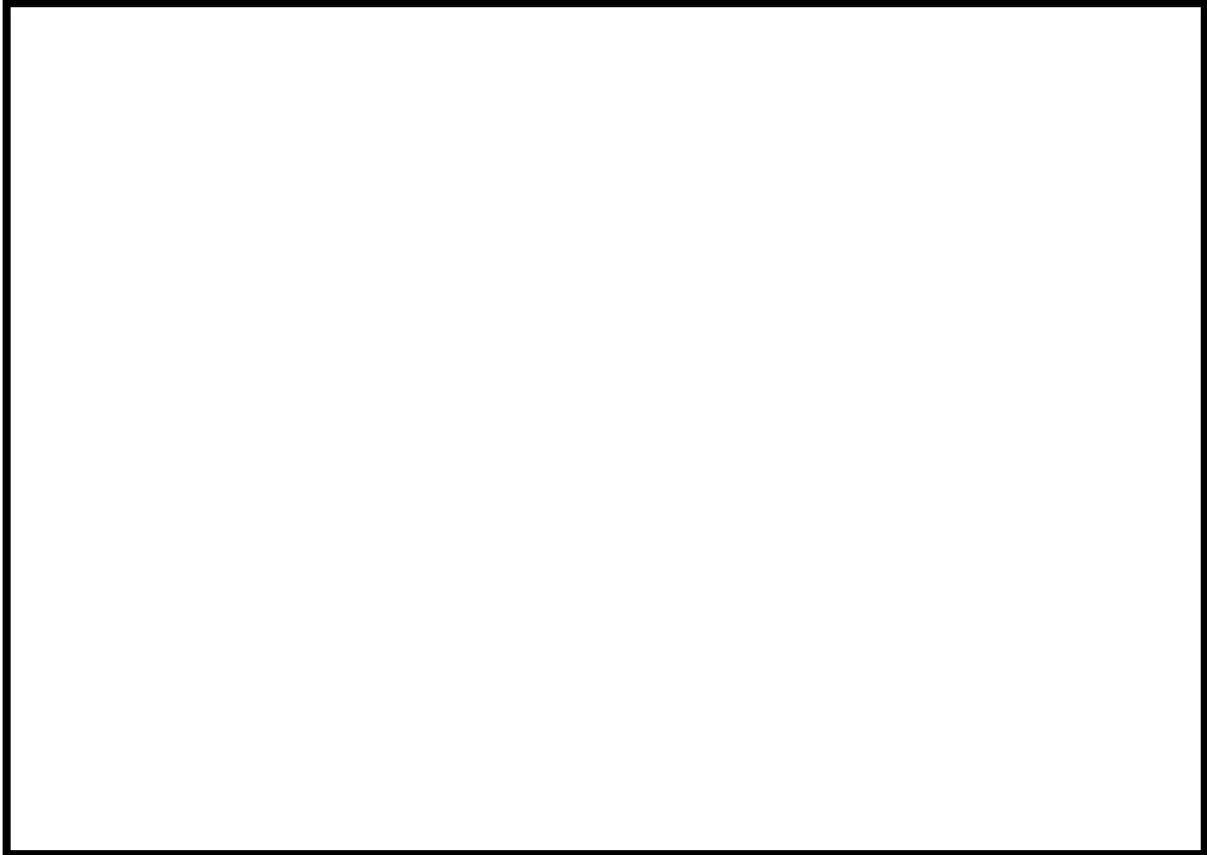
試験の概要を第 3.2.1.1-2, 3 図に示す。格納容器圧力逃がし装置を模擬した試験フィルタに、コンプレッサからの空気は無機よう素を混入して送気する。試験フィルタの前後にサンプリング装置（インピンジャー）を設置して無機よう素濃度を計測し、試験フィルタの DF を算出する。無機よう素の濃度の計測には、ICP-MS を用いた。

試験フィルタは、エアロゾル除去性能試験と同じ、直径 0.35m、高さ 4m の容器を用いた。また、コンプレッサについてもエアロゾル除去性能試験と同じ、実機にて想定される最大の体積流量の 1/140 の流量を発生させるのに十分な容量のものを用いた。

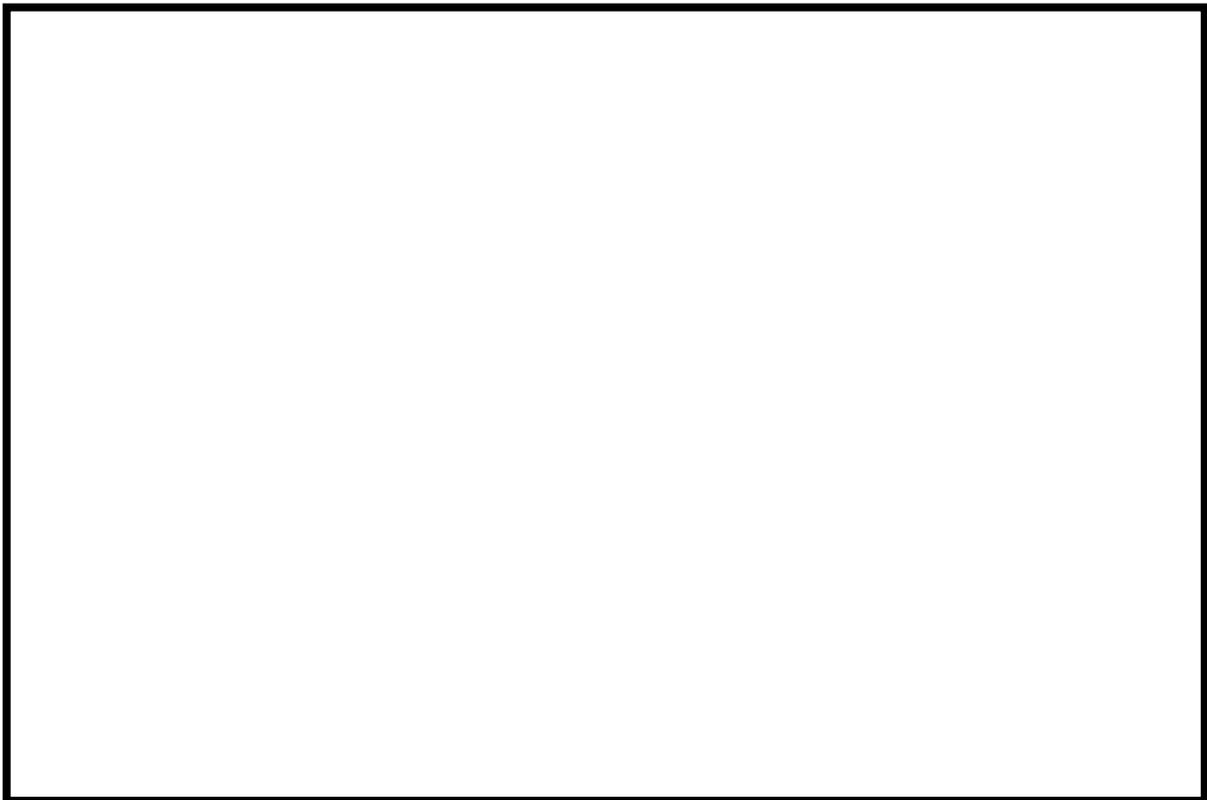
無機よう素供給装置は、無機よう素発生器、コンプレッサ、空気予熱器等からなる。無機よう素発生器は、器内をヒータにて高温状態とし、あらかじめ充填した固体無機よう素を昇華させ、ガス状の無機よう素を発生させる。発生させたガス状無機よう素を、コンプレッサならびに空気予熱器からの高温空気により、試験系統に供給する構造となっている。

また、主空気ラインの空気も、空気加熱器により高温状態としている。さらに、配管及び試験容器にはヒータと保温材を設置して試験系統を高温の状態とし、ガス状の無機よう素が固化することを防止している。

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。



第 3.2.1.1-2 図 試験概要図（無機よう素除去性能試験）



第 3.2.1.1-3 図 サンプリング装置（無機よう素除去性能試験）

3.2.1.2 試験条件とその設定根拠

【エアロゾル除去性能試験】

格納容器ベント実施時のフィルタ装置のエアロゾル除去性能を確認するため、フィルタ装置の性能への影響が大きいパラメータとして、スクラバ水位、スクラバ水温、及び、ベントガス流量を設定した。

スクラバ水の水位は、ベントガス水蒸気の凝縮や、スクラバ水に捕捉された放射性物質の崩壊熱による蒸発により、ベント実施中に変動する。

スクラバ水温は、高温のベントガスの流入や、スクラバ水に捕捉された放射性物質の崩壊熱による発熱により、ベント実施中に変動する。

ベントガス流量は、原子炉格納容器の圧力に応じて、ベント実施中に変動する。

これらの変動パラメータと粒子状放射性物質の捕捉メカニズムとの関係を以下に示す。また、これらの影響を考慮した DF 計測試験の条件を第 3.2.1-1 表に示す。

(1) 水スクラバ部

a. ベントガス噴射直後域

(a) ベントガス噴射直後のガス速度急減速により粒子に生じる慣性力
ガス流量：流量が大きいほど減速の加速度が大きくなり、DF は上がる。

(b) ベントガス中の水蒸気の凝縮

水温：水温が高いほど水蒸気の凝縮量は小さくなるため、DF は下がる。

b. ベントガス浮上域

(a) ベントガス浮上中の動きに伴う加速度により、粒子に生じる慣性力
水位：水位が高いほど、水中滞留時間が長くなり、DF は上がる。

(b) 粒子の重力沈降やブラウン拡散

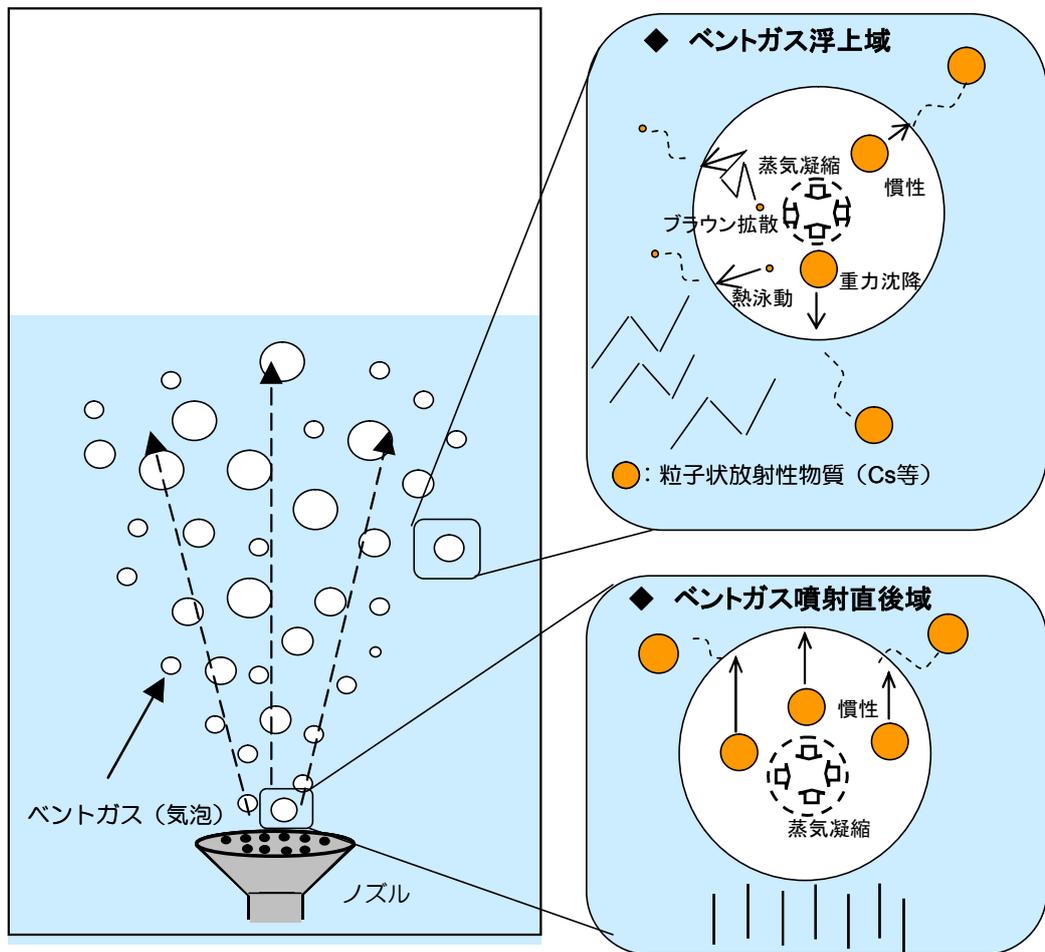
水位：水位が高いほど、水中滞留時間が長くなり、DF は上がる。
ガス流量：流量が大きいほど、水中滞留時間が短くなり、DF は下がる。

(c) ベントガス中の水蒸気の凝縮

水温：水温が高いほど水蒸気の凝縮量は小さくなるため、DF は下がる。

(d) 粒子の熱泳動

水温：水温が高いほど熱泳動速度は小さくなるため、DF は下がる。



第 3. 2. 1. 2-1 図 水スクラバ部の捕捉メカニズム

(2) 金属フィルタ部

(a) 粒子に生じる慣性力

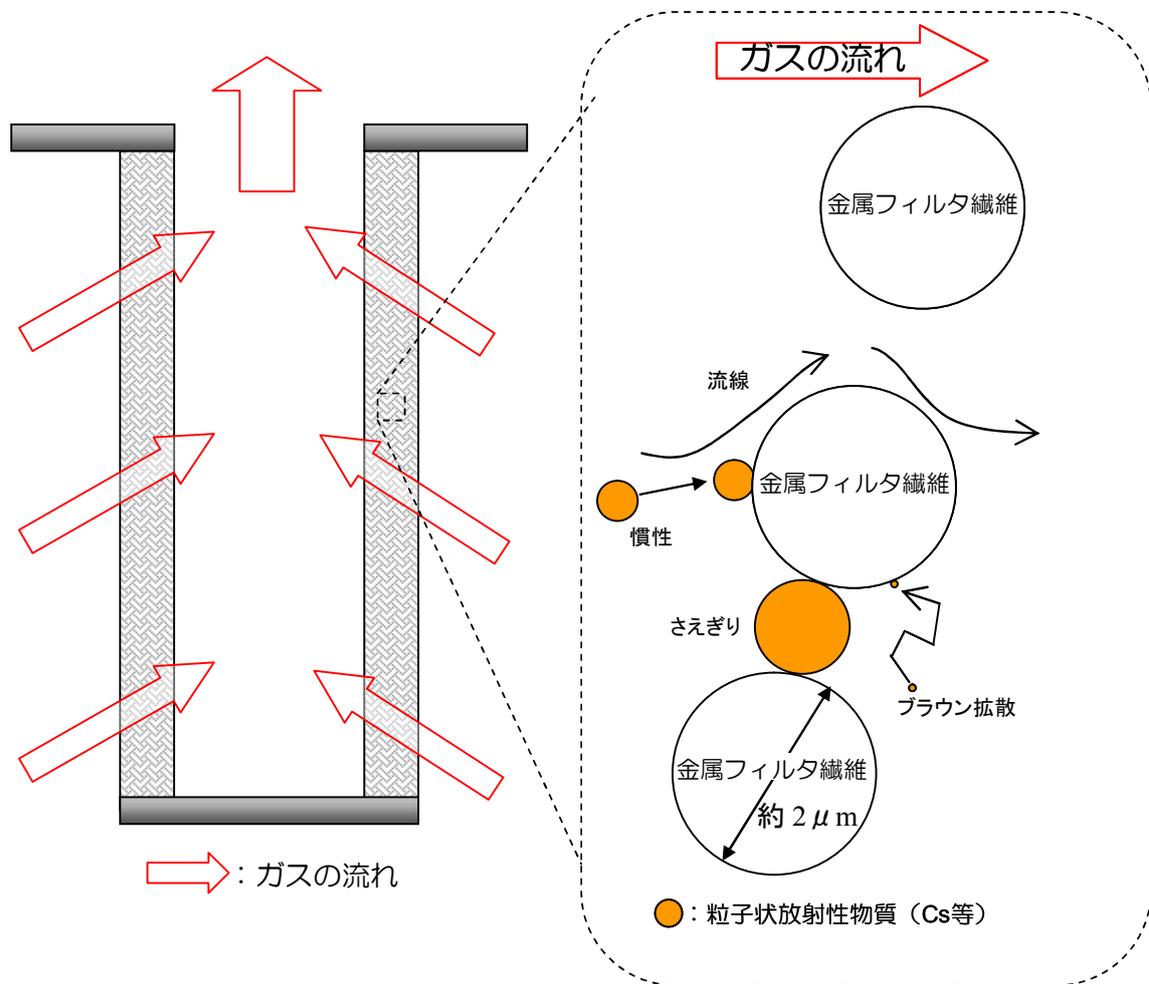
ガス流量：流量が大きいほど慣性力は大きく、DFは上がる。

(b) ブラウン拡散

ガス流量：流量が大きいほど、フィルタ内での滞留が短くなり、DFは下がるが、格納容器圧力逃がし装置で想定される粒子径の存在領域では、ブラウン拡散のDF効果はほぼ無い。

(c) 金属フィルタ繊維の隙間への粒子の付着

粒子の大きさに依存する。



第 3. 2. 1. 2-2 図 金属フィルタ部の捕捉メカニズム

第 3.2.1-1 表 DF 計測試験条件（エアロゾル除去性能試験）

	水スクラバ部	金属フィルタ部	試験パラメータ
水位	水位が高いほど DF は大きい	—	フィルタベント装置使用中，水位は 1m 以上であるため，1m に設定
水温	水温が高いほど凝縮や熱泳動による DF は小さい	—	水温は常温として設定するが，試験用のガスとして，凝縮や熱泳動による効果を見込めない非凝縮性のガスである空気を用いる
ガス流量	捕捉メカニズムにより，ガス流量が大きいほど DF が大きくなるケースと DF が小さくなるケースのいずれもある	ガス流量が大きいほど DF は大きい	実機における 2Pd 時相当流量（約 33000m ³ /h），1Pd 時相当流量（27000m ³ /h），最小流量相当（13500m ³ /h）の 3 パターンの流量を設定

【無機よう素除去性能試験】

格納容器ベント実施時のフィルタ装置の無機よう素除去性能を確認するため、フィルタ装置の性能への影響が大きいパラメータとして、スクラバ水位、スクラバ水温、ベントガス流量、スクラバ水pHを設定した。

スクラバ水の水位は、ベントガス水蒸気の凝縮や、スクラバ水に捕捉された放射性物質の崩壊熱による蒸発により、ベント実施中に変動する。

スクラバ水温は、高温のベントガスの流入や、スクラバ水に捕捉された放射性物質の崩壊熱による発熱により、ベント実施中に変動する。

ベントガス流量は、原子炉格納容器の圧力に応じて、ベント実施中に変動する。

スクラバ水pHは、原子炉格納容器からの酸性・塩基性物質の飛来、無機よう素のイオン化に伴う水酸化物イオンの消費、ベントガス水蒸気の凝縮による希釈により、ベント実施中に変動する。

これらの変動パラメータと無機よう素の捕捉メカニズムとの関係を考慮し、DF計測試験の条件を第3.2.1-2表の通り設定した。

第 3.2.1-2 表 DF 計測試験条件（無機よう素除去性能試験）

	水スクラバ部	試験パラメータ
水位	水位が高いほど気泡とスクラバ水が接触する時間が大きくなることから、DF は大きい	フィルタベント装置使用中、水位は 1m 以上であるため、1m に設定
水温	水温が高いほど化学反応が促進され DF は大きい	水温は、飽和温度以下として設定。 （実機はベント開始直後を除き、飽和温度となる）
ガス流量	捕捉メカニズムにより、ガス流量が大きいほど DF が大きくなるケースと DF が小さくなるケースのいずれもある ・ガス流量が大きい方が、気泡内の気体の拡散効果が大きく、拡散効果による DF は大きい ・ガス流量が小さい方が、気泡とスクラバ水の接触時間が大きくなり、DF は大きい	実機における 2Pd 時相当流量（約 33000m ³ /h ）、最小流量相当（13500m ³ /h）の 2 パターンの流量を設定
スクラバ水 pH	無機よう素捕捉の化学式により、pH が大きいほど DF は大きい	pH は、8～13 に設定

3.2.2 粒子状放射性物質の除去性能

3.2.2.1 想定されるエアロゾル

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 想定事故シナリオ

粒子状放射性物質の除去性能を確認する上で想定する事故シナリオとして、炉心損傷が発生する大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+全 ECCS 機能喪失シナリオを選定する。

a. 事象の概要

- (a) 大破断 LOCA が発生し、格納容器内に冷却材が大量に漏えいする。
- (b) 更に非常用炉心冷却系 (ECCS) 喪失、全交流動力電源喪失 (SBO) を想定するため、原子炉圧力容器への注水が出来ず炉心損傷に至る。2 時間後に低圧代替注水系 (常設) による原子炉圧力容器への注水を開始することで、原子炉圧力容器破損は回避される。
- (c) その後、原子炉圧力容器への注水及び格納容器へのスプレイを実施するが、事象発生から約 38 時間後に格納容器圧力が限界圧力に到達し、格納容器圧力逃がし装置を用いたベントを実施する。

b. 想定事故シナリオ選定のフロー

想定事故シナリオ選定については、事故のきっかけとなる起因事象の選定を行い、起因事象に基づく事故シナリオの抽出および分類を行う。その後、重大事故等対策の有効性評価および事故シナリオの選定を行う。

(a) 起因事象の選定

プラントに影響を与える事象について、内部で発生する事象と外部で発生する事象 (地震、津波、その他自然現象) をそれぞれ分析し、事故のきっかけとなる事象 (起因事象) について選定する。

プラント内部で発生する事象については、プラントの外乱となる事象として、従前より許認可解析の対象としてきた事象である運転時の異常な過渡変化 (外部電源喪失等) および設計基準事故 (原子炉冷却材喪失等) を選定する。また、原子炉の運転に影響を与える事象として、非常用交流電源母線の故障、原子炉補機冷却系の故障等を選定する。

プラント外部で発生する事象については、地震、津波、及び、地震・津波以外の自然現象の約 40 事象から、地域性等を考慮して 6 事象 (強風、竜巻、火山、落雷、積雪、低温) を選定する。また、設計基準を大幅に超える規模の事象発生を想定した上で、プラントに有意な頻度で影響を与えると考えられる場合は、考慮すべき起因

事象とする。

(b) 起因事象に基づく事故シナリオの抽出及び分類

イベントツリー等により、事故のきっかけとなる事象（起因事象）を出発点に、事象がどのように進展して最終状態に至るかを、安全機能を有する系統の動作の成否を分岐として樹形状に展開し、事故シナリオを漏れなく抽出する。

抽出した事故シナリオを事故進展の特徴によって、第 3.2.2.1-1 表のとおりグループ別に分類する。

第 3.2.2.1-1 表 運転中の炉心損傷に係る事故シナリオグループ

運転中の炉心損傷に係る 事故シナリオグループ	概要
崩壊熱除去機能喪失	崩壊熱の除去に失敗して炉心損傷に至るグループ
高圧・低圧注水機能喪失	低圧注水に失敗して炉心損傷に至るグループ
高圧注水・減圧機能喪失	高圧注水に失敗して炉心損傷に至るグループ
全交流動力電源喪失	電源を失うことにより炉心損傷に至るグループ
原子炉停止機能喪失	止める機能を喪失して炉心損傷に至るグループ
LOCA 時注水機能喪失	LOCA 時に注水に失敗して炉心損傷に至るグループ

(c) 重大事故等対策の有効性評価及び事故シナリオの選定

(b)で分類した事故シナリオのうち、出力運転中の原子炉における高圧・低圧注水機能喪失、高圧注水・減圧機能喪失、全交流動力電源喪失、崩壊熱除去機能喪失、原子炉停止機能喪失については、炉心損傷に至らない。

一方、LOCA 時注水機能喪失については、重大事故等対処施設が機能しても炉心損傷を避けられず、炉心損傷後の格納容器ベントの実施が必要となる。

以上より、LOCA 時注水機能喪失を想定事故シナリオとして選定した。なお、想定事故シナリオにおいてはサプレッション・チェンバの排気ラインを使用したベント（以下、W/W ベントという）を実施した場合と、ドラ

イウエルの排気ラインを使用したベント（以下、D/W ベントという）を実施した場合の両方を想定するものとする。

また、発生するエアロゾルの量や粒径分布の不確かさを考慮しても格納容器圧力逃がし装置が性能を発揮できることを確認するために、原子炉圧力容器が破損するケース（高圧・低圧注水機能喪失シナリオでさらに事象が進展し、炉心損傷及び原子炉圧力容器破損した後にD/W ベントを実施した場合）（※1）についても参考として示す。

※1 高圧・低圧注水機能喪失シナリオを選定した理由

第3.2.2.1-1表に示す各事故シナリオグループのうち、崩壊熱除去機能喪失シナリオ及び原子炉停止機能喪失シナリオは、仮に重大事故等対処施設の機能喪失又は機能が遅延した場合、炉心損傷より先に格納容器の過圧破損に至ることから、格納容器圧力逃がし装置の性能に期待できない。

また、高圧注水・減圧機能喪失シナリオ及び全交流動力電源喪失シナリオは、仮に重大事故等対処施設の機能喪失又は機能が遅延した場合、原子炉圧力容器が高圧状態で破損に至り、格納容器雰囲気直接加熱が発生すると格納容器の過温破損に至る。この場合についても、同様に格納容器圧力逃がし装置の性能に期待できない。

LOCA時注水機能喪失シナリオについても、仮に重大事故等対処施設が機能喪失し、原子炉圧力容器の破損後においてもその状態が継続すると、格納容器の過温破損に至ることから、同様に格納容器圧力逃がし装置の性能に期待できない。

以上より、第3.2.2.1-1表に示す各事故シナリオグループのうち、重大事故等対処施設の機能喪失又は機能の遅延により、炉心損傷及び原子炉圧力容器破損した後にD/W ベントを実施した場合を想定し、格納容器圧力逃がし装置の性能を確認するシナリオとして、高圧・低圧注水機能喪失シナリオを選定した。

高圧・低圧注水機能喪失シナリオは、重大事故等対処施設が機能すれば、炉心損傷に至らず事象が収束するが、ここでは、原子炉圧力容器内への注水に失敗し、さらに熔融炉心・コンクリート相互作用が発生した場合の影響も見るため、あえて原子炉圧力容器破損前の格納容器下部への水張りも行わない状態を想定する。また、原子炉圧力容器が破損して熔融炉心が格納容器下部に落下した後は、格納容器下部への注水を行った後にD/W ベントを実施するものとする。

(2) 発生するエアロゾルの種類

格納容器ベント実施時には、核分裂生成物（安定核種を含む）やコンクリート、構造材の一部が格納容器圧力逃がし装置に流入する。これらは格納容器圧力逃がし装置に流入する際は、希ガスや気体状のよう素を除き、固体（エアロゾル粒子）として存在する。

想定するエアロゾルの種類、及び、想定事故シナリオ（W/W ベント）時に格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量を第 3.2.2.1-2 表に示す。

また、想定事故シナリオ（D/W ベント）時や、原子炉圧力容器が破損するケースで格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量を第 3.2.2.1-3 表に示す。

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 3.2.2.1-2 表 想定するエアロゾルの種類及び想定シナリオ (W/W ベント) 時に格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量

核種グループ	各核種グループに対応する主な化学物質例	事故直後炉心内内蔵量 (安定核種を含む) ※ 1	格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量 (安定核種を含む) ※ 2
希ガス	Xe , Kr		-
CsI	CsI		約 7.4×10^{-5} kg
TeO ₂ , Te ₂	TeO ₂ , Te ₂		約 3.8×10^{-5} kg
SrO	SrO		約 3.2×10^{-5} kg
MoO ₂	MoO ₂		約 1.5×10^{-5} kg
CsOH	CsOH , RbOH		約 1.3×10^{-3} kg
BaO	BaO		約 4.5×10^{-5} kg
La ₂ O ₃	La ₂ O ₃ , Pr ₂ O ₃ , Nd ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃		約 2.4×10^{-6} kg
CeO ₂	CeO ₂		約 2.4×10^{-6} kg
Sb	Sb		約 1.1×10^{-6} kg
UO ₂	UO ₂ , NpO ₂ , PuO ₂		0kg
コンクリート/ 構造材	-		約 1.7×10^{-3} kg

※1 核種毎の重量を ORIGEN コードを用いて評価し、その結果に基づき MAAP コードにより評価した値

※2 事故直後炉心内内蔵量と放出割合 (MAAP コードと NUREG-1465 の知見を用いて評価) を用いて評価した値

第 3.2.2.1-3 表 想定事故シナリオ (D/W ベント) 時及び原子炉圧力容器が破損するケース時に格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量

核種グループ	格納容器圧力逃がし装置に流入する粒子状物質量 (安定核種を含む) ※ 1	
	想定事故シナリオ (大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+ 全 ECCS 機能喪失シナリオ) (D/W ベント)	原子炉圧力容器が破損するケース (高圧・低圧注水機能喪失シナリオ) (D/W ベント)
希ガス	-	-
CsI	約 1.5×10^{-1} kg	約 4.1×10^{-2} kg
TeO ₂ , Te ₂	約 5.7×10^{-2} kg	約 4.0×10^{-1} kg
SrO	約 4.8×10^{-2} kg	約 5.7×10^{-5} kg
MoO ₂	約 2.3×10^{-2} kg	約 9.2×10^{-6} kg
CsOH	約 $1.8 \times 10^{+0}$ kg	約 $5.5 \times 10^{+0}$ kg
BaO	約 6.6×10^{-2} kg	約 3.7×10^{-5} kg
La ₂ O ₃	約 3.5×10^{-3} kg	約 6.0×10^{-5} kg
CeO ₂	約 3.6×10^{-3} kg	約 7.7×10^{-5} kg
Sb	約 1.7×10^{-3} kg	約 4.7×10^{-2} kg
UO ₂	0kg	約 2.6×10^{-4} kg
コンクリート/ 構造材	約 2.1×10^{-1} kg	約 4.7×10^{-2} kg

※ 1 事故直後炉心内内蔵量と放出割合 (MAAP コードと NUREG-1465 の知見を用いて評価) を用いて評価した値

a. 炉心状態の想定

格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾルを評価する際は、炉心状態として平衡炉心（サイクル末期）を想定している。

以下の(a), (b) に示す通り、平衡炉心（サイクル末期）を想定して格納容器圧力逃がし装置に流入する核分裂生成物量を評価することで、その他の炉心状態を想定した場合の流入量を包絡することができる。

以上のことから、格納容器圧力逃がし装置に流入する核分裂生成物量の評価を行う際、炉心状態として平衡炉心（サイクル末期）を想定することは妥当であると考えられる。

(a) 事故直後における炉内の核分裂生成物内蔵量

事故直後における炉内の核分裂生成物内蔵量は、平衡炉心の燃焼サイクル末期を想定して評価を実施している。

核分裂生成物（エアロゾル粒子として放出される可能性のある核分裂生成物も含む）の量は、運転が進み燃焼度が大きくなるに従い多くなる。

平衡炉心（サイクル末期）の燃焼度は、その他の炉心状態（初期装荷炉心や取替炉心）の燃焼度に比べ大きいため、平衡炉心（サイクル末期）の炉内の核分裂生成物内蔵量は、その他の炉心状態の核分裂生成物内蔵量を包絡する値を示す。

(b) 崩壊熱

燃料デブリからの放射性物質の放出割合は、崩壊熱が大きいほど多くなり、崩壊熱は、核分裂生成物内蔵量が多いほど大きくなる。

(a)と同様の理由により、平衡炉心（サイクル末期）の崩壊熱はその他の炉心状態の崩壊熱を包絡する値を示す。このため、平衡炉心（サイクル末期）を想定した場合の、燃料デブリからの放射性物質の放出割合は、他の炉心状態を想定した場合の放出割合を包絡する値を示す。

b. 評価に用いる放出割合

格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量は、事故直後の炉心内内蔵量と、格納容器圧力逃がし装置への放出割合（事故直後の炉心内内蔵量に対する割合）を用いて評価している。

事故直後の炉心内内蔵量は、ORIGEN コードを用いて評価した核種毎の重量に基づき、MAAP コードにより評価しており、放出割合は、MAAP コードと NUREG-1465 の知見を利用し評価している。

MAAP コードでは、格納容器内における振る舞いの違い（揮発のし易さ

の違い等)を考慮し、放射性物質を複数の MAAP 核種グループに分類しており、格納容器圧力逃がし装置への放出割合を MAAP 核種グループ毎に評価している。

大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+全 ECCS 機能喪失シナリオ (W/W ベント)での MAAP 解析による放出割合の評価結果 (事故発生から 168 時間後時点)を第 3.2.2.1-4 表に示す。ただし、以下に示す通り、第 3.2.2.1-4 表の値は格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量の評価に使用していない。

第 3.2.2.1-4 表によると、高揮発性核種 (CsI や CsOH)の放出割合 (10^{-6} オーダー)と比べ、中・低揮発性核種の放出割合が極めて大きい (10^{-4} オーダー)という結果となっている。

一方、TMI 事故や福島第一原子力発電所事故での観測事実から、事故が起こった場合に最も多く放出される粒子状の物質は、よう素やセシウム等の高揮発性の物質であり、中・低揮発性の物質の放出量は高揮発性の物質と比べ少量であることが分かっている。

第 3.2.2.1-5 表は、TMI 事故後に評価された放射性核種の場所毎の存在量であるが、希ガスや高揮発性核種 (セシウムやよう素)が原子炉圧力容器外に全量の内半分程度放出されている一方で、中・低揮発性核種はほぼ全量が原子炉圧力容器内に保持されているという評価となっている。

また、第 3.2.2.1-6 表は、福島第一原子力発電所事故後に実施された発電所敷地内の土壤中放射性核種のサンプリング結果であるが、最も多く検出されているのは高揮発性核種 (セシウムやよう素)であり、多くの中・低揮発性核種は不検出という結果となっている。

第 3.2.2.1-4 表の評価結果は、これらの観測事実と整合が取れていない。これは、大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+全 ECCS 機能喪失シナリオにおいては、MAAP 解析が中・低揮発性核種の放出割合を過度に大きく評価しているためであると考えられる。

MAAP 解析の持つ保守性としては、炉心が再冠水し熔融炉心の外周部が固化した後でも、燃料デブリ表面からの放射性物質の放出評価において熔融プール中心部の温度を参照し放出量を評価していることや、炉心冠水時において燃料デブリ上部の水によるスクラビング効果を考慮していないことが挙げられる。

なお、高揮発性核種 (セシウムやよう素)については、炉心熔融初期に炉心外に放出されるため、上述の保守性の影響は受けないものとする。

以上のことから、大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+全 ECCS 機能喪失シナリオにおいて中・低揮発性核種の放出割合を評価する際、単に MAAP 解析による放出量の評価結果を採用すると、放出割合として過度に

保守的な評価を与える可能性があるため、他の手法を用いた評価が必要になると考えられる。

そこで、格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量を評価する際は、MAAP 解析による放出量の評価結果以外に、海外での規制等にも活用されている NUREG-1465（米国の原子力規制委員会（NRC）で整備されたものであり、米国でもシビアアクシデント時の典型的な例として、中央制御室の居住性等の様々な評価で使用されている）の知見を利用するものとした。このことにより、TMI 事故や福島第一原子力発電所事故の実態により見合った評価が可能となる。NUREG-1465 の知見を利用した場合の放出割合の評価結果を第 3.2.2.1-7 表に示す。

各 MAAP 核種グループの放出割合の具体的な評価手法は以下に示す通り。

(a) 希ガスグループ、CsI グループ、CsOH グループ

希ガスを含めた高揮発性の核種グループについては、MAAP 解析の結果得られた放出割合を採用する。

なお、Cs の放出割合は、CsI グループと CsOH グループの放出割合、及び、I 元素と Cs 元素の原子炉停止直後の炉心内内蔵重量より、以下の式を用いて評価する。

$$F_{Cs}(T) = F_{CsOH}(T) + M_I/M_{Cs} \times W_{Cs}/W_I \times (F_{CsI}(T) - F_{CsOH}(T))$$

ここで、

F_{Cs} : 時刻 T におけるセシウムの放出割合
 F_{CsOH} : 時刻 T における CsOH グループの放出割合
 F_{CsI} : 時刻 T における CsI グループの放出割合
 M_I : 停止直後の I 元素の炉心内内蔵重量
 M_{Cs} : 停止直後の Cs 元素の炉心内内蔵重量
 W_I : I の分子量 W_{Cs} : Cs の分子量

(b) それ以外の核種グループ

中・低揮発性の核種グループについては、MAAP 解析の結果得られた放出割合は採用せず、MAAP 解析の結果から得られた Cs の放出割合と、希ガスグループの放出割合、及び、NUREG-1465 の知見を利用し放出割合を評価する。

ここで、放出割合の経時的な振る舞いは希ガスと同一（※1）とし、Cs の放出割合に対する当該核種グループの放出割合の比率は、168 時間経過時点において、NUREG-1465 で得られた比率に等しいと

して、以下の評価式に基づき評価した。第 3.2.2.1-8 表に、NUREG-1465 で評価された格納容器内への放出割合を示す。

$$F_i(T) = F_{\text{noble gas}}(T) \times \gamma_i / \gamma_{Cs} \times F_{Cs}(168\text{hr}) / F_{\text{noble gas}}(168\text{hr})$$

$F_i(T)$: 時刻 T における i 番目の MAAP 核種グループの放出割合

$F_{\text{noble gas}}(T)$: 時刻 T における希ガスグループの放出割合

γ_i : NUREG-1465 における i 番目の MAAP 核種グループに相当する核種グループの格納容器への放出割合

γ_{Cs} : NUREG-1465 における Cs に相当する核種グループの格納容器への放出割合

- ※ 1 中・低揮発性の核種グループは、事故初期の燃料が高温となっているとき以外は殆ど燃料外に放出されないものと考えられる。そのため、ベント後の燃料からの追加放出はほとんど無く、事故初期に格納容器内に放出され、格納容器気相部に浮遊しているものだけが大気中に放出され得ると考えられる。

ベントに伴い低揮発性核種は格納容器気相部からベントラインに流入するが、その流入の仕方、すなわち放出割合の経時的な振る舞いは、同じく格納容器気相部に浮遊しており壁面等からの追加放出がない希ガスの放出割合の振る舞いに近いと考えられる。

以上のことから、中・低揮発性の核種グループの「各時刻における放出割合」は、「各時刻における希ガスグループの放出割合」に比例するものとした。

第 3.2.2.1-4 表 MAAP 解析による放出割合の評価結果（エアロゾル量の評価に使用しない）

核種グループ	格納容器圧力逃がし装置への放出割合 （事故発生から 168 時間後時点, 格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量の評価には使用しない）
希ガス	約 9.2×10^{-1}
CsI	約 1.3×10^{-6}
TeO ₂	約 1.7×10^{-6}
SrO	約 2.0×10^{-4}
MoO ₂	約 3.0×10^{-6}
CsOH	約 2.7×10^{-6}
BaO	約 4.2×10^{-5}
La ₂ O ₃	約 1.0×10^{-4}
CeO ₂	約 1.0×10^{-4}
Sb	約 2.9×10^{-6}

第 3.2.2.1-5 表 TMI 事故後に評価された放射性核種の場所毎の存在量
(単位：%)

核種	低揮発性			中揮発性			高揮発性		
	¹⁴⁴ Ce	¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu	⁹⁰ Sr	¹⁰⁶ Ru	¹²⁵ Sb	¹³⁷ Cs	¹³¹ I	⁸⁵ Kr
原子炉建屋									
原子炉容器	105.4	122.7	109.5	89.7	93.2	117.2	40.1	42	30
原子炉冷却系	—	—	—	1	—	0.2	3	1	—
地階水、気相タンク類	0.01	—	—	2.1	0.5	0.7	47	(47)†	54
補助建屋	—	—	—	0.1	—	0.7	5	7	—
合計	105	122	110	93	94	119	95	97	85

† 広範囲の I 濃度測定値と多量のデブリ(おもに地階水沈殿物)のため、ここでの保持量は炉心インベントリを大きく上回る分析結果となってしまいます。したがって、ここに保持された I のインベントリは Cs と同等であると考えます。

出典：TMI-2 号機の調査研究成果(渡会偵祐, 井上康, 榎田藤夫 日本原子力学会誌 Vol. 32, No. 4(1990))

第 3.2.2.1-6 表 福島第一原子力発電所事故後に検出された土壌中の放射性核種

試料採取場所	【定点①】*1 グラウンド (西北西約500m)*2			【定点②】*1 野島の森 (西約500m)*2			【定点③】*1 産廃処分場近傍 (南南西約500m)*2			④5.6号機9-ヒス ビル前 (北約1,000m)*2	⑤固体廃棄物貯 蔵庫1,2棟近傍 (北約500m)*2	⑥南南西 約500m*2	⑦南南西 約750m*2	⑧南南西 約1,000m*2
	3/21	3/25	3/28	3/25	3/28	3/25	3/28	3/25	3/28	3/25	3/22	3/22	3/22	
分析機関	JAEA	JAEA	日本分析 センター*3	JAEA	日本分析 センター*3	JAEA	日本分析 センター*3	JAEA	JAEA	JAEA	JAEA	JAEA	JAEA	
測定日	3/24	3/28	3/30	3/28	3/30	3/28	3/30	3/28	3/25	3/25	3/25	3/24	3/25	
核種	I-131(約8日)	5.8E+06	5.7E+06	3.8E+06	3.0E+06	3.9E+04	1.2E+07	2.6E+06	4.6E+05	3.1E+06	7.9E+05	2.2E+06	5.4E+06	
I-132(約2時間)	*4	*4	2.3E+05	*4	1.3E+02	*4	1.5E+05	*4	*4	*4	*4	*4	*4	
Cs-134(約2年)	3.4E+05	4.9E+05	5.3E+05	7.7E+04	3.2E+02	3.5E+06	9.7E+05	6.8E+04	9.5E+05	8.7E+03	1.7E+04	1.6E+05		
Cs-136(約13日)	7.2E+04	6.1E+04	3.3E+04	1.0E+04	2.8E+01	4.6E+05	6.9E+04	8.6E+03	1.1E+05	1.9E+03	2.2E+03	2.5E+04		
Cs-137(約30年)	3.4E+05	4.8E+05	5.1E+05	7.6E+04	3.2E+02	3.5E+06	9.3E+05	6.7E+04	1.0E+06	2.0E+04	1.6E+04	1.6E+05		
Te-129m(約34日)	2.5E+05	2.9E+05	8.5E+05	5.3E+04	ND	2.7E+06	6.0E+05	2.8E+04	8.9E+05	9.5E+03	1.9E+04	1.7E+05		
Te-132(約3日)	6.1E+05	3.4E+05	3.0E+05	6.5E+04	1.4E+02	3.1E+06	2.0E+05	3.2E+04	1.9E+06	2.1E+04	3.9E+04	3.8E+05		
Ba-140(約13日)	1.3E+04	1.5E+04	ND	2.5E+03	ND	ND	ND	ND	8.0E+04	ND	ND	ND		
Nb-95(約35日)	1.7E+03	2.4E+03	ND	ND	ND	5.3E+03	ND	ND	8.1E+03	ND	ND	7.9E+02		
Ru-106(約370日)	5.3E+04	ND	ND	6.4E+03	ND	2.7E+05	ND	ND	6.8E+04	1.9E+03	ND	3.2E+04		
Mo-99(約68時間)	2.1E+04	ND	ND	ND	ND	6.6E+04	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Tc-99m(約6時間)	2.3E+04	2.0E+04	ND	ND	ND	4.5E+04	ND	1.8E+03	2.3E+04	ND	ND	8.3E+03		
La-140(約2日)	3.3E+04	3.7E+04	ND	2.3E+03	ND	9.7E+04	ND	2.5E+03	2.1E+05	4.2E+02	6.2E+02	7.8E+03		
Be-7(約53日)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.2E+04	ND	ND	ND		
Ag-110m(約250日)	1.1E+03	2.6E+03	ND	ND	ND	ND	ND	1.7E+02	1.8E+04	ND	ND	ND		

出典：東京電力 HP (<http://www.tepco.co.jp/cc/press/11040609-j.html>)

第 3.2.2.1-7 表 格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量を評価する際に使用する放出割合

核種グループ	格納容器圧力逃がし装置への放出割合 (事故発生から 168 時間後時点)
希ガス	約 9.2×10^{-1}
CsI	約 1.3×10^{-6}
TeO ₂	約 5.2×10^{-7}
SrO	約 2.1×10^{-7}
MoO ₂	約 2.6×10^{-8}
CsOH	約 2.7×10^{-6}
BaO	約 2.1×10^{-7}
La ₂ O ₃	約 2.1×10^{-9}
CeO ₂	約 5.2×10^{-9}
Sb	約 5.2×10^{-7}

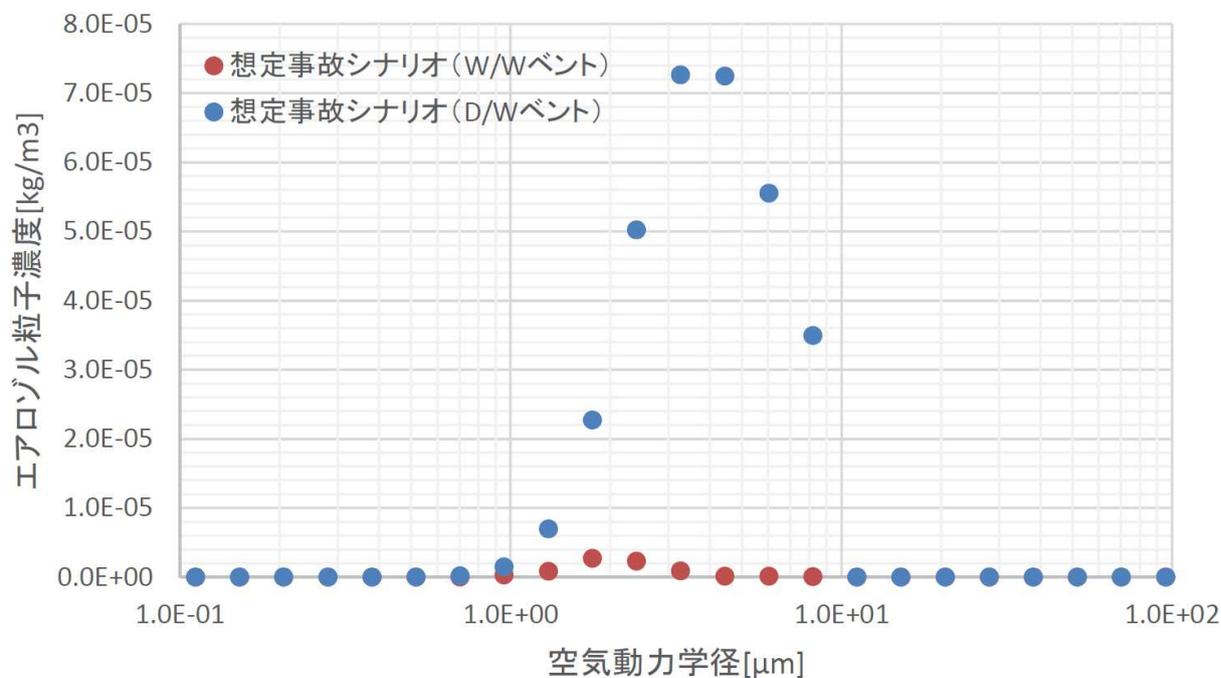
第 3.2.2.1-8 表 NUREG-1465 での格納容器内への放出割合

核種グループ	格納容器への放出割合 ※ 1
Cs	0.25
TeO ₂ , Sb	0.05
SrO, BaO	0.02
MoO ₂	0.0025
CeO ₂	0.0005
La ₂ O ₃	0.0002

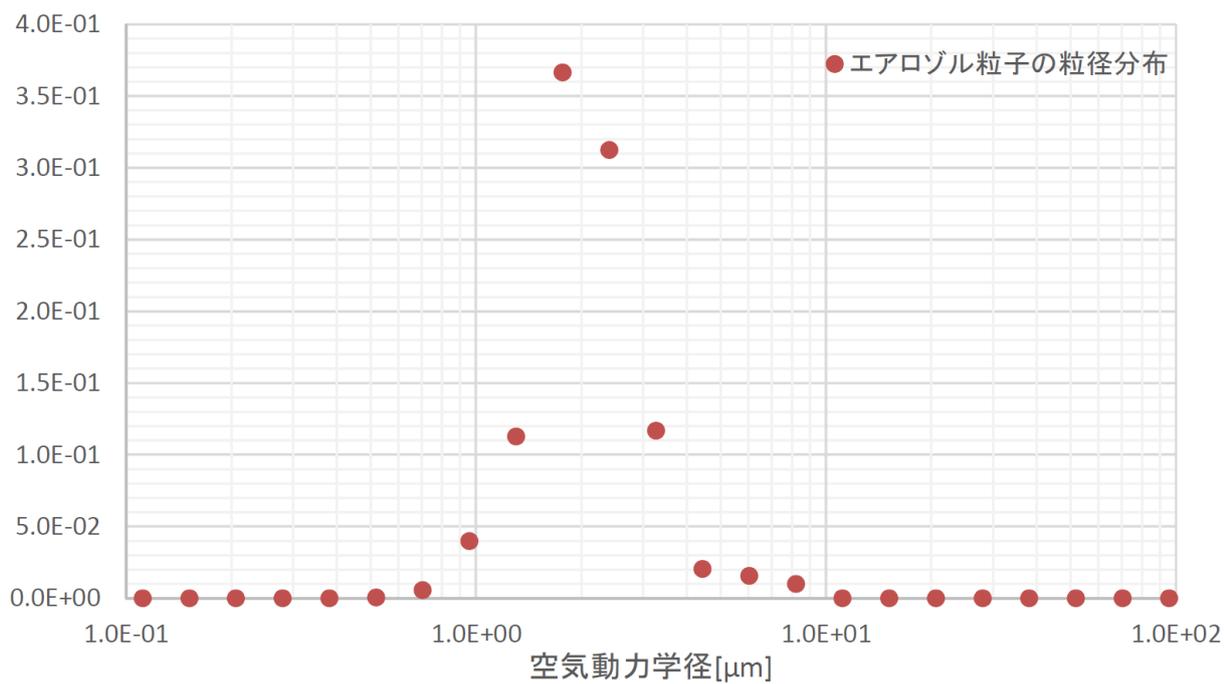
※ 1 NUREG-1465 の Table 3.12 「Gap Release」の値と「Early In-Vessel」の値の和を参照

(3) MAAP 解析に基づくエアロゾル粒径分布

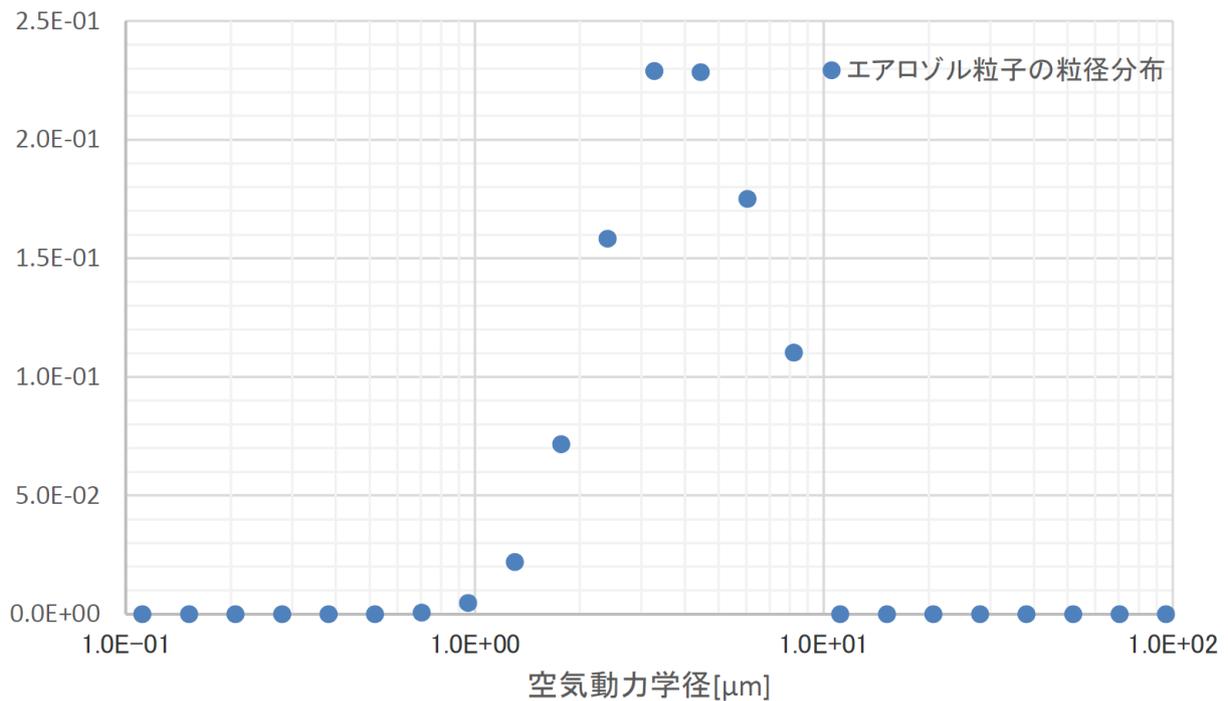
MAAP 解析では、格納容器内（サブプレッション・プール通過前）と、サブプレッション・プールを通過した後のエアロゾル粒子の粒径分布を、次項に示す理論式を用いて評価している。想定事故シナリオ（W/W ベント）、想定事故シナリオ（D/W ベント）、及び原子炉圧力容器が破損するケースでの評価結果を第 3.2.2.1-1 図に、各々を規格化（評価結果の各点の総和が 1 となるように規格化）した結果を第 3.2.2.1-2 図から第 3.2.2.1-4 図に示す。



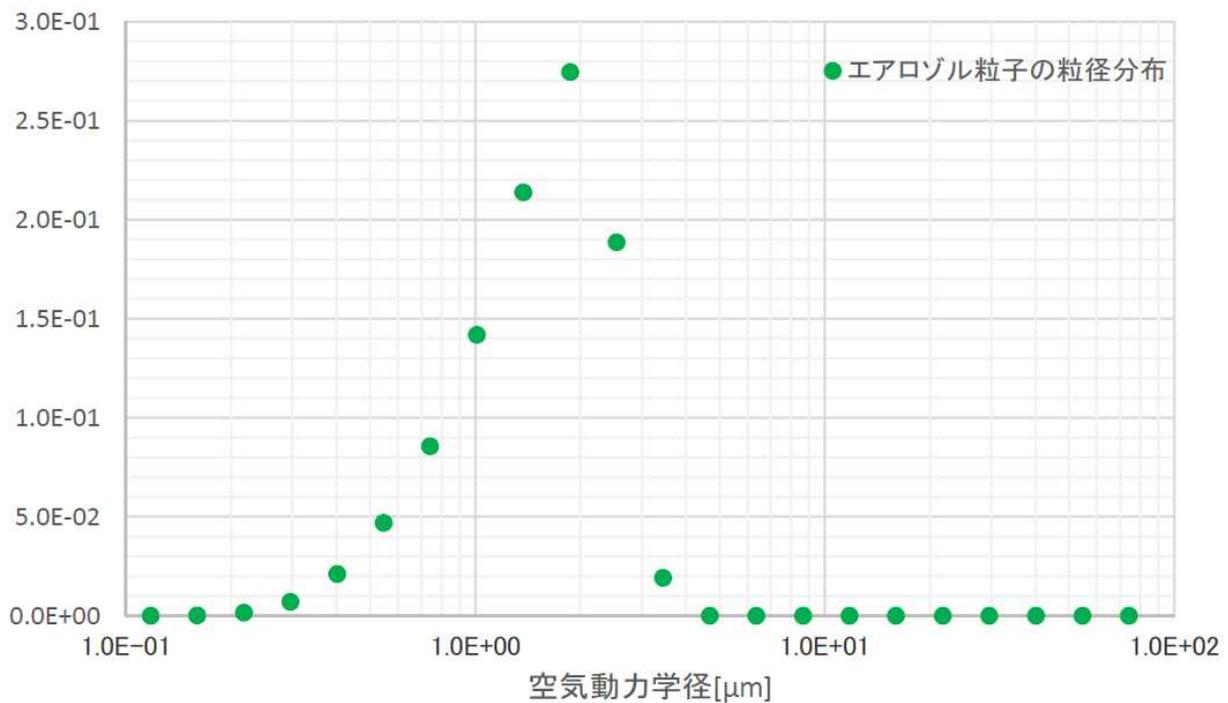
第 3.2.2.1-1 図 各事故シナリオのエアロゾル粒子の粒径分布



第 3.2.2.1-2 図 想定事故シナリオ (W/W ベント) 時のエアロゾル粒子の粒径分布 (規格化後)



第 3.2.2.1-3 図 想定事故シナリオ (D/W ベント) 時のエアロゾル粒子の粒径分布 (規格化後)



第 3.2.2.1-4 図 原子炉圧力容器が破損するケース (高圧・低圧注水機能喪失シナリオ (D/W ベント)) でのエアロゾル粒子の粒径分布 (規格化後)

a. フィルタ装置に至るまでのエアロゾル粒子の挙動

事故発生後、格納容器内に放出されたエアロゾル粒子は、粒子同士の凝集や壁面への沈着により除去される。この際、凝集や沈着がおきにくい小粒径の粒子が除去されず多く残る。これにより、数 μm を中心とした粒径分布が形成される。

エアロゾル粒子はサプレッション・プールを通過した後フィルタ装置に流入するが、プール水を通過する際に、エアロゾル粒子の大部分はプール水中への溶け込み等により除去される。大粒径の粒子は小粒径の粒子に比べプール水中に取り込まれやすいため、サプレッション・プールを通過することで、粒子全体の大部分を占める数 μm 程度の粒子が多く除去される。これにより、サプレッション・プール通過前よりも小さい粒径を中心とした粒径分布が形成される。

以下に、格納容器内（サプレッション・プール通過前）での粒径分布の評価モデル、及びサプレッション・プール水を通過した後の粒径分布の評価モデルを示す。

(a) 格納容器内（サプレッション・プール通過前）での粒径分布の評価モデル

エアロゾル粒子の粒径分布は格納容器内での粒子の凝集や壁面への沈着等により変化する。MAAPにおける評価モデルでは、エアロゾル粒子同士の凝集と壁面等への沈着の効果を下式の形で考慮している。なお、右辺の第1項と第2項は拡散と重力沈降による凝集を表し、第3項は重力沈降による除去項、第4項は発生項を表す。

凝集と沈着の、エアロゾル粒子の粒径分布への影響は以下の通り。

- ・凝集：拡散と重力沈降の過程でエアロゾル粒子が衝突、小粒径のエアロゾル粒子が集まり、より粒径の大きい粒子がつくられ、粒径分布はより大きい方向にシフトする。
- ・沈着：重力沈降によりエアロゾル粒子が壁面等に沈着、粒径が大きいエアロゾル粒子ほど沈着し易いため、大粒径のエアロゾル粒子ほど多く除去され、粒径分布はより小さい方向にシフトする。

$$\begin{aligned} \frac{\partial n(v, t)}{\partial t} = & \frac{1}{2} \int_0^v K(\bar{v}, v - \bar{v}) n(\bar{v}, t) n(v - \bar{v}, t) d\bar{v} \\ & - \int_0^\infty K(\bar{v}, v) n(\bar{v}, t) n(v, t) d\bar{v} \\ & - \frac{n(v, t) u(v)}{h} \\ & + \dot{n}_p(v) \end{aligned}$$

- ここで、
- $n(v, t)$: 時間(t)における粒子体積(v)の単位体積あたりの個数
 - $K(v, \bar{v})$: 粒子が凝集する頻度
 - $u(v)$: 体積(v)の粒子に対する重力沈降速度
 - $\dot{n}_p(v)$: 体積(v)の粒子の発生率
 - v : 粒子体積
 - h : 実効高さ (= 空間容積/沈着面積)

- (b) サプレッション・プール水を通過した後の粒径分布の評価モデル
 プール水中ではエアロゾルは気泡として存在し、気泡中にエアロゾル粒子が存在する（第 3.2.2.1-5 図の●）。気泡中のエアロゾル粒子の一部は、プール水中に取り込まれる（第 3.2.2.1-5 図の●）が、エアロゾル粒子の粒径分布はエアロゾル中（気泡中）に浮遊しているエアロゾル粒子のプール水中間の移行の効果により変化する。
 MAAP における評価モデルでは (i) 重力沈降, (ii) 慣性沈着, (iii) ブラウン拡散, (iv) 対流, (v) 拡散泳動, (vi) 熱泳動を以下の評価式で考慮している。

$$(dn/dt)_i = -A_i V_i n/v_B$$

ここで,

- n : 気泡内の粒子数
- v_B : 気泡体積
- V_i : 除去機構 i による沈着速度
- A_i : 除去機構 i に固有の面積

重力沈降では, $A_i = \pi r_B^2$, $v_B = (4/3) \pi r_B^3$

他の除去機構では, $A_i = 4 \pi r_B^2$

出典: A.T.Wassel, et al "Analysis of radionuclide retention in water pools", Nuclear Engineering and Design, Volume 90, Issue 1, 3rd Nov. 1985, Pages 87-104,

- (i) 重力沈降

$$V_s = g \tau$$

$$\tau = \rho_p d_p^2 C / (18 \mu_g)$$

ここで,

- g : 重力加速度
- ρ_p : 粒子密度
- d_p : 粒子径 (=2 r_p)
- C : Cunningham の補正係数
- μ_g : ガス粘性係数

(ii) 慣性沈着

$$V_I = 3 U_B^2 \cdot \tau / d_B$$

ここで,

U_B : 気泡上昇速度
 d_B : 気泡径 (=2 r_B)

(iii) ブラウン拡散

$$V_{BD} = 0.6 (D_p U_B / r_B)^{1/2}$$

ここで,

D_p : ブラウン拡散定数

(iv) 対流

$$V_C = (dm_s / dt) / (\rho_G A)$$

ここで,

m_s : 気泡内蒸気質量
 ρ_G : ガス密度
 A : 気泡表面積

(v) 拡散泳動

$$V_D = [(M_s^{1/2} - M_{nc}^{1/2}) / (X_s M_s^{1/2} + X_{nc} M_{nc}^{1/2}) - (M_s - M_{nc}) / (X_s M_s + X_{nc} M_{nc})] D_G \nabla X_s$$

ここで,

D_G : ガスの拡散定数
 X_s : 蒸気モル分率
 X_{nc} : 非凝縮性ガスのモル分率

∇X_s は蒸気濃度勾配で、次式で計算する。

$$\nabla X_s = (X_{1,s} - X_{2,s}) / \delta_D$$

ここで,

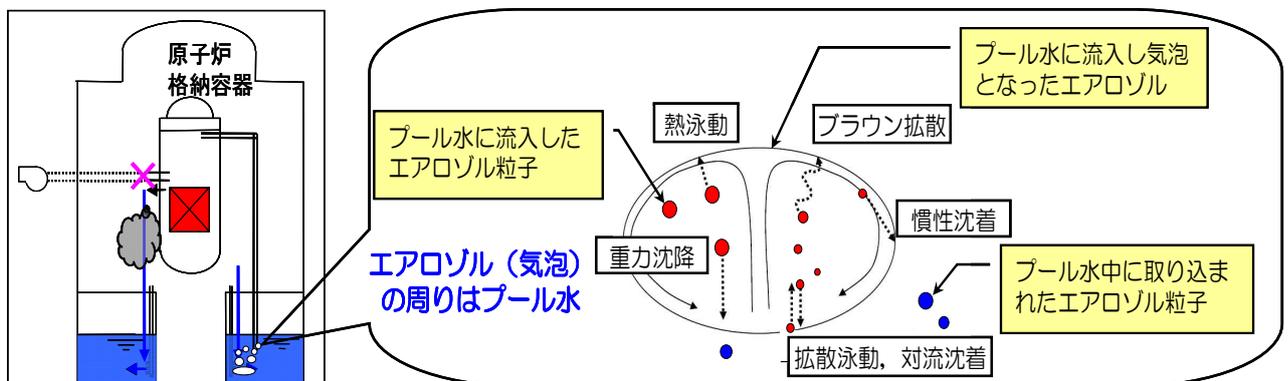
$X_{1,s}$: 表面での蒸気モル分率
 $X_{2,s}$: 気泡内の蒸気モル分率
 δ_D : 拡散境界層厚さ

(vi) 熱泳動

$$V_T = \{-2.34 \mu_g / \rho_g (K_{tg} / K_p + 2.18 \lambda / r_p) [1 + (\lambda / r_p) (1.2 + 0.41 \exp(-0.88 r_p / \lambda))] \nabla T / T_g / [(1 + 3.42 \lambda / r_p) (1 + 2K_{tg} / K_p + 4.36 \lambda / r_p)]$$

$$\nabla T = (T_s - T_g) / \delta_t$$

- K_p : 粒子熱伝導率
- λ : 平均自由行程
- T_s : 表面温度
- T_g : ガス温度
- δ_t : 熱境界層厚さ
- K_{tg} : ガス伝導率の遷移項



第 3.2.2.1-5 図 粒子径分布の評価モデル

b. 粒径分布の妥当性

格納容器圧力逃がし装置の除去性能を評価する際に使用する粒径分布として、MAAP 解析により得られた粒径分布を採用しているが、得られる粒径分布は、事故後の経過時間や格納容器内におけるエアロゾル粒子の濃度等に依存する。

ここでは、粒径分布を評価する上で想定している諸条件についての感度解析結果を示すことで、格納容器圧力逃がし装置の除去性能を評価する際に使用する粒径分布として、第 3.2.2.1-2 図の粒径分布を採用することの妥当性を説明する。

(a) 炉心状態

格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾルの粒径分布を評価する際、炉心状態として平衡炉心（サイクル末期）を想定している。

第 3.2.2.1-6 図に、炉心状態として平衡炉心（サイクル初期）を想定した場合の粒径分布を示す。第 3.2.2.1-6 図より、平衡炉心（サイクル初期）を想定した場合の粒径分布と、平衡炉心（サイクル末期）を想定した場合の粒径分布の差は小さくなく、炉心状態の相違が格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾルの粒径分布に与える影響は限定的であることが分かる。

以下に、エアロゾルの粒径分布が炉心状態の想定にほとんど依存しない理由を示す。

炉心状態として平衡炉心（サイクル末期）を想定することで、格納容器内に放出される核分裂生成物の総量は大きくなり（3.2.2.1 (2)a. 参照）、格納容器内のエアロゾル粒子の濃度が高くなる。エアロゾル粒子の濃度が高くなると、エアロゾル粒子同士の衝突の頻度が高くなり、より大きい粒径のエアロゾル粒子が生成されやすくなる。その結果として、格納容器内の粒径分布はより大きい方向にシフトすることになる。

このことは、前述した粒径分布の評価モデルにおいても再現できている。第 3.2.2.1-7 図は、上述の評価モデルを使用した格納容器中の無次元化したエアロゾル粒径分布の評価例であり、格納容器中に流入したエアロゾル量による、格納容器内の粒径分布への影響を示している。図中の数値は原子炉圧力容器から格納容器中に流入したエアロゾル量を示しており、エアロゾル量が大きくなるに従い、格納容器内の粒径分布は大きい方向にシフトする傾向となっている。

ここで、大破断 L O C A + 全交流動力電源喪失 + 全 E C C S 機能喪失シナリオでは、エアロゾルは格納容器圧力逃がし装置に流入する前にサプレッション・プールを通るが、そのことでサプレッション・プール通過前に見られる粒径分布の差は緩和される傾向となる。これは、サプレッション・プールを通過することにより粒径の大きい粒子が特に多く除去されるため、サプレッション・プールで除去されにくい比較的小粒径の粒子が除去されずに残ることに起因する。

以上のことから、格納容器圧力逃がし装置の除去性能を評価する上で、第

3.2.2.1-2 図の粒径分布を採用しても問題ないと考ええる。

(b) 事故後の経過時刻

格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾルの粒径分布は時間経過に伴い変化するが、粒径分布を評価する際は、評価時刻としてベント直後を想定している。

ベント直後における粒径分布と、事故から 168 時間後時点における粒径分布を第 3.2.2.1-8 図に示す。第 3.2.2.1-8 図から、粒径分布の時間経過に伴う変化量は限定的であり、評価時刻としてベント直後を想定しても問題ないことが分かる。なお、エアロゾルが最も多く流入する時間帯はベント直後であるため、粒径分布を評価する時間帯として、事故直後を参照することは妥当であると考えられる。

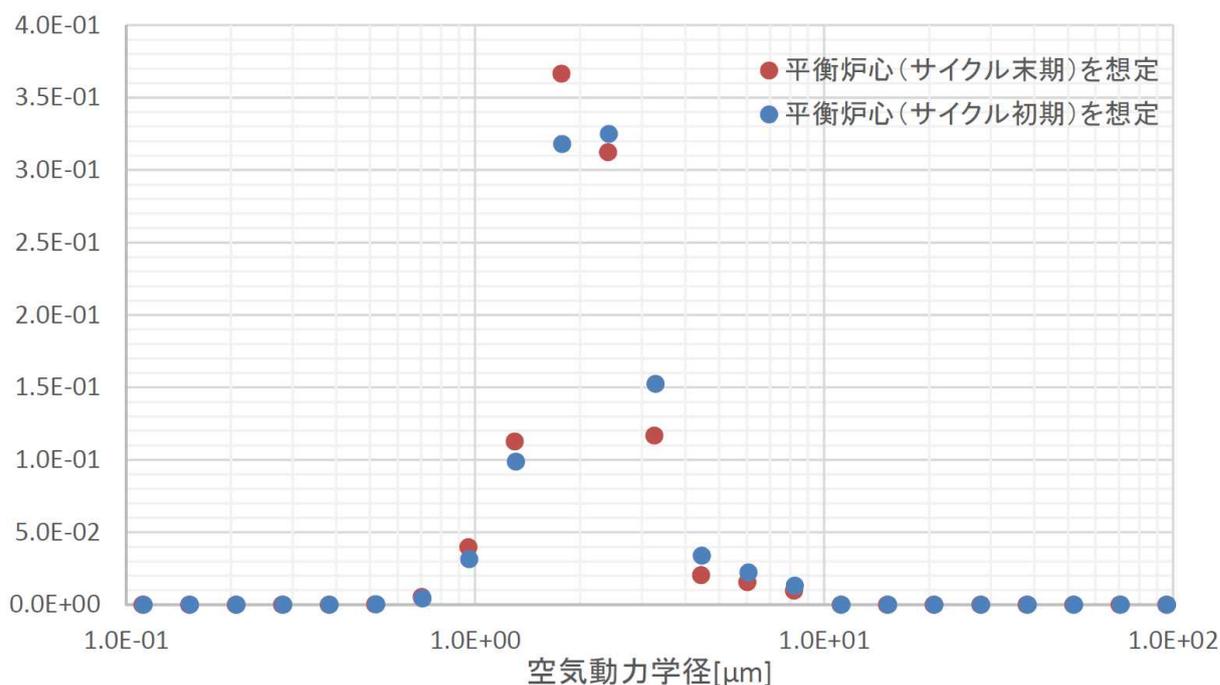
以上のことから、格納容器圧力逃がし装置の除去性能を評価する上で、第 3.2.2.1-2 図の粒径分布を採用しても問題ないと考ええる。

(c) 中・低揮発性核種の放出割合の変更

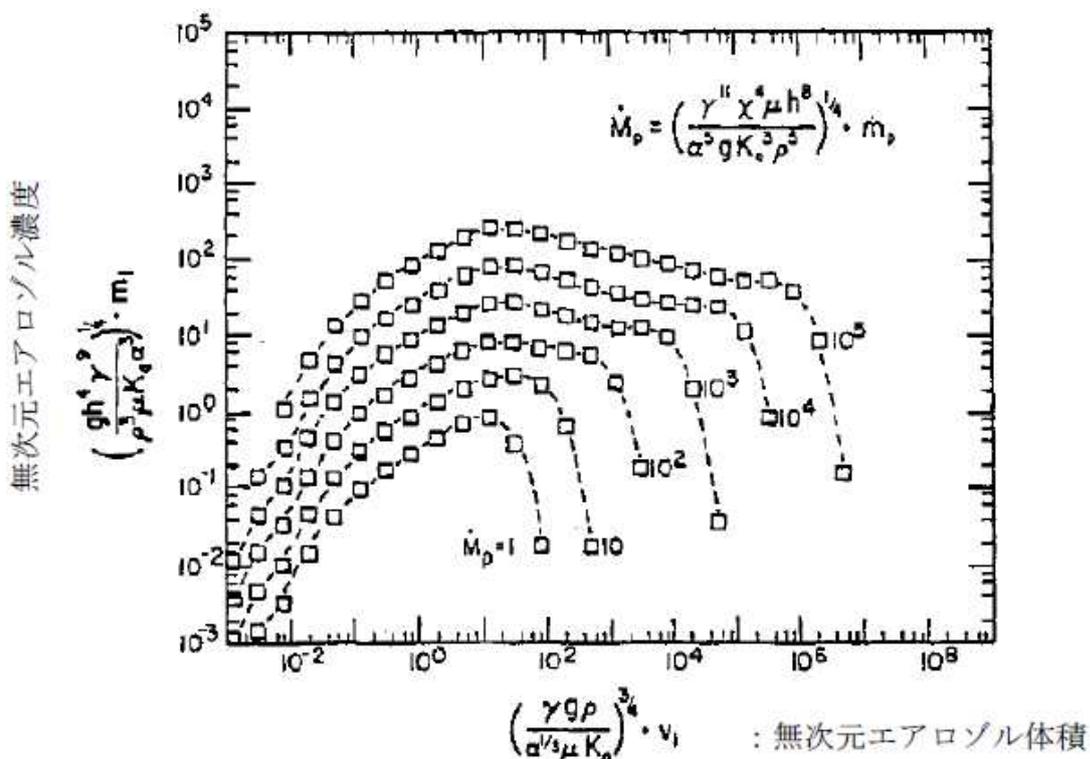
3.2.2.1 (2) b. に示した通り、格納容器圧力逃がし装置に流入するエアロゾル量を評価する際、放出割合として単に MAAP 解析により得られた放出割合の評価結果を採用するのではなく、NUREG-1465 の知見を利用している。このことは、原子炉圧力容器から格納容器内に流入する中・低揮発性核種のエアロゾル量をより少なく評価していることに相当している。そのため、上記の評価手法を取り入れることで、格納容器内のエアロゾル濃度は小さく評価され、エアロゾル粒子の粒径分布は小さい方向にシフトすると考えられる。

そこで、低揮発性核種の放出割合として MAAP 解析結果を使用しないことによる粒径分布への影響を評価するために、原子炉圧力容器から格納容器に放出される中・低揮発性核種の量をゼロと仮定した場合の粒径分布を評価した。評価結果を第 3.2.2.1-9 図に示す。なお、第 3.2.2.1-9 図では、炉心状態として平衡炉心（サイクル初期）を想定している。このように、極めて保守的に評価された場合であっても、粒径分布は大きく変化することはない。

以上のことから、中・低揮発性核種を考慮することによる影響は限定的であり、格納容器圧力逃がし装置の除去性能を評価する上で、第 3.2.2.1-2 図の粒径分布を採用しても問題ないと考ええる。

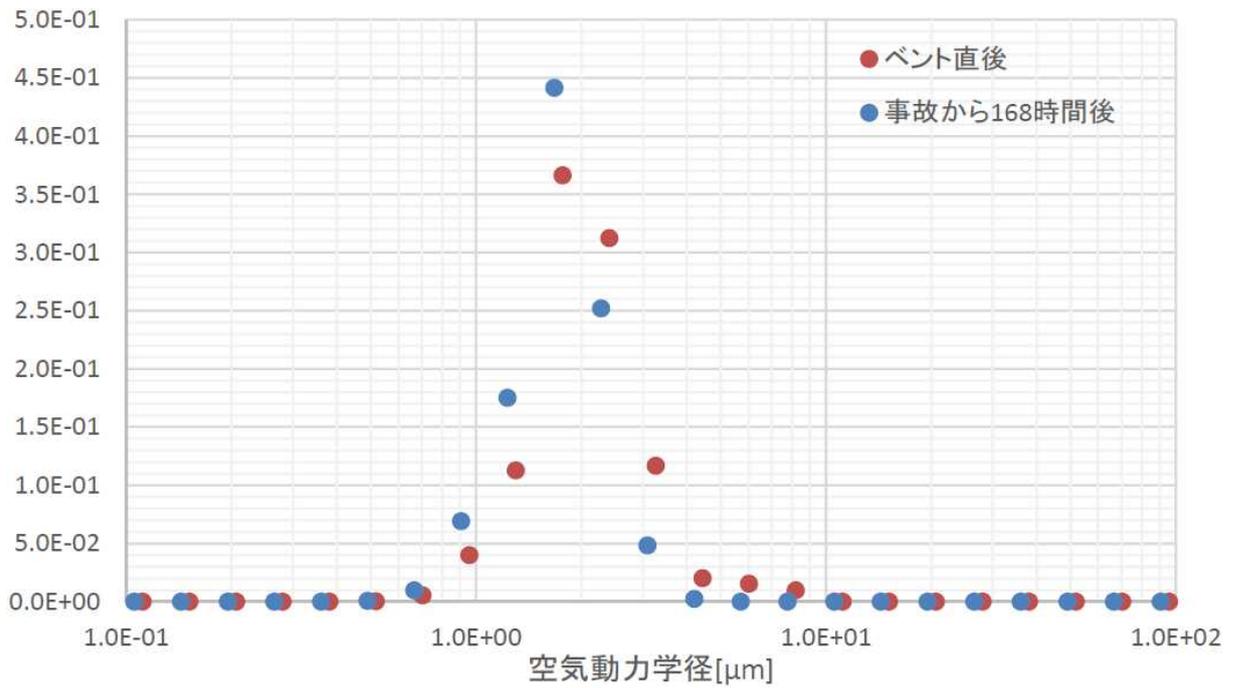


第 3.2.2.1-6 図 想定する炉心状態を変更した場合の粒径分布（規格化後）

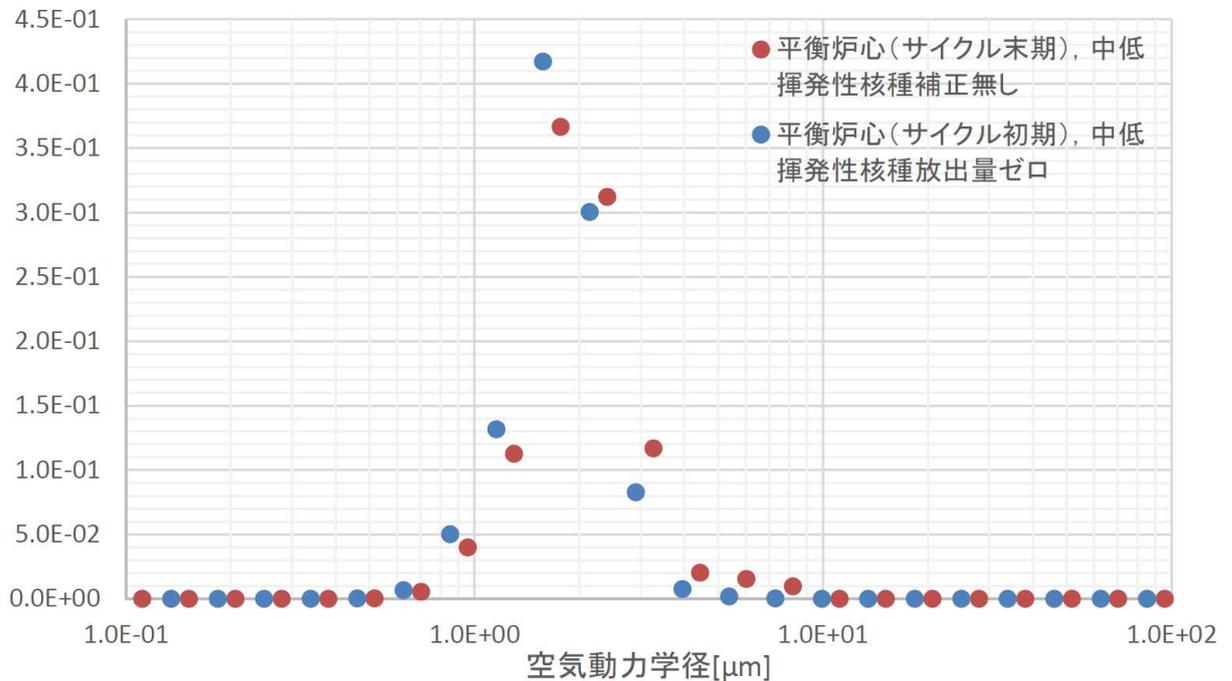


第 3.2.2.1-7 図 定常状態における無次元化した粒径分布

出典：A Principle of Similarity for Describing Aerosol Particle Size Distributions (MICHAEL EPSTEIN AND PHILLIP G. ELLISON Journal of Colloid and Interface Science, Vol 119, No. 1, September 1987)



第 3.2.2.1-8 図 評価時刻を変更した場合の粒径分布（規格化後）



第 3.2.2.1-9 図 中・低揮発性核種の格納容器内への放出量をゼロとし、想定する炉心状態を変更した場合の粒径分布（規格化後）

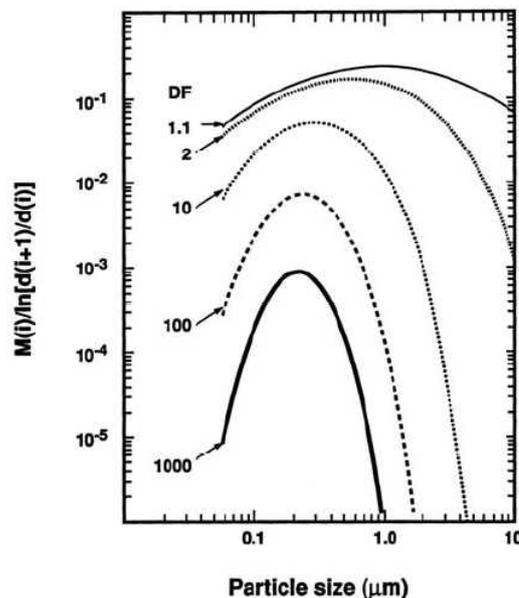
(4) 他の文献での解析例

格納容器内におけるエアロゾル粒子の粒径分布の解析結果は多くの文献に見られる。それらの文献中の粒径分布は対数正規分布とよく一致しており、中央径は数 μm 程度、幾何標準偏差は数 μm 程度となっている。

文献中に示されているエアロゾル粒子の粒径分布の例を第 3.2.2.1-10 図から第 3.2.2.1-12 図に示す。

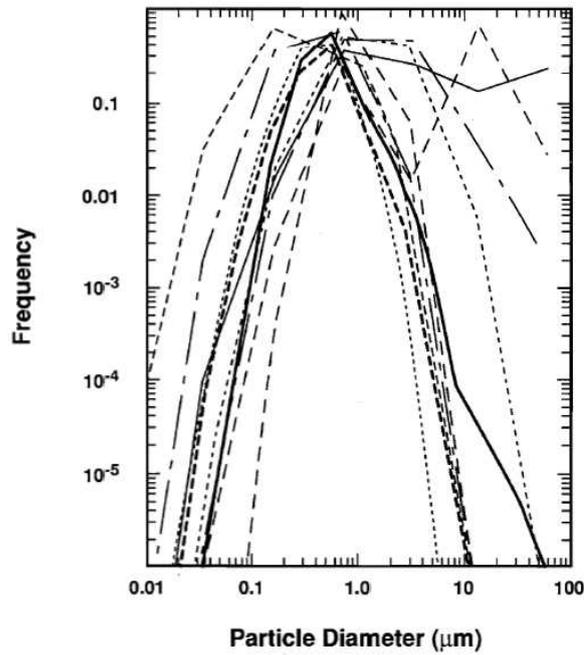
第 3.2.2.1-10 図は、ドライウェルスプレイを実施し続けることによる格納容器内のエアロゾル粒子の粒径分布の変化の解析結果を示している。図中の DF 値はドライウェルスプレイを継続して行うことによる積算の除去効果を表している。積算の除去効果が小さい段階 (DF=1.1) では、エアロゾル粒子は最大値が約 $1\mu\text{m}$ で幅の広い分布を持っているが、ドライウェルスプレイを継続し積算の除去効果が大きくなると、粒径分布の最大値は小さくなり、また分布の幅も小さくなる傾向が見られる。

第 3.2.2.1-11 図及び第 3.2.2.1-12 図は、米国の NRC が開発した総合事故解析コード STCP (Source Term Code Package) で評価された、格納容器内のエアロゾル粒子の粒径分布を表している。なお、第 3.2.2.1-12 図の粒径分布については、Mark I 型格納容器プラントにおいてスクラム失敗時に炉心損傷した状態のものを表している。何れも分布のピークは数 μm となっており、幾何標準偏差が数 μm であるような分布となっている。



第 3.2.2.1-10 図 ドライウェルスプレイを実施し続けることによる格納容器内の粒径分布の変化 (図中の値はドライウェルスプレイによる積算の除去効果)

出典：STATE-OF-THE-ART REPORT ON NUCLEAR AEROSOLS (OECD/NEA) 2009



第 3.2.2.1-11 図 STCP (Source Term Code Package) によるシビアアクシデント時における格納容器内エアロゾル粒径分布の評価例

出典 : A Simplified Model of Aerosol Removal by Containment Sprays (NUREG/CR-5966)

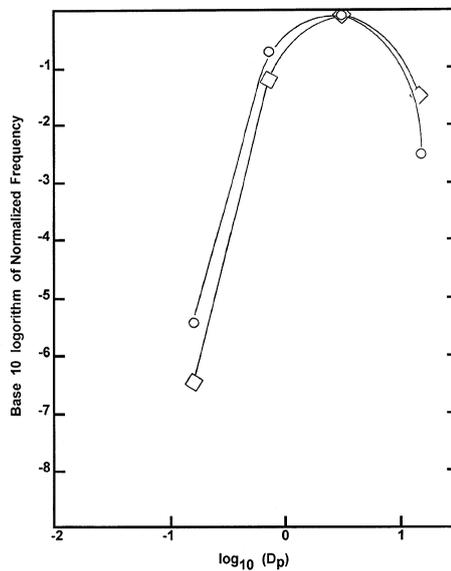


Figure 13. Size distribution of aerosols in the reactor coolant system predicted with the Source Term Code Package

第 3.2.2.1-12 図 STCP (Source Term Code Package) における一次系でのエアロゾルに対して想定する粒径分布の一例

出典 : A Simplified Model of Decontamination by BWR Steam Suppression Pools (NUREG/CR-6153 SAND93-2588)

(5) 実験結果例

前節までは理論的に評価された粒径分布を扱ってきたが、ここでは実際に測定されたエアロゾル粒子の粒径分布について説明する。例として、以下に PHEBUS-FP の試験結果を示す。(出典 1)

PHEBUS-FP は、放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN, 仏国)、フランス電力庁及び EU を中核として行われた、実機プラントの体系をスケールダウンした模擬試験であり、主目的として、エアロゾルの物理・化学挙動現象の模擬に焦点を置いている。

試験装置は、炉心部、一次系、格納容器等から構成されており、炉心部には実燃料が装荷されている。試験の際は炉心部で実燃料を溶融させており、一次系 (蒸気発生器) を介し格納容器内に放出されたエアロゾル粒子の粒径を測定している。また、炉心部に装荷する燃料として新燃料を使用した場合 (FPT0) と使用済み燃料を使用した場合 (FPT1, 2, 3) の評価を行っており、各試験でエアロゾル粒子の粒径分布が測定されている。試験装置の概要図を第 3.2.2.1-12 図に、主な試験条件を第 3.2.2.1-9 表に示す。

以下に、粒径分布に関する主な試験結果を示す。

実験により測定されたエアロゾル粒子の粒径分布は対数正規分布によく一致しており、理論的な予想と整合がとれている。

また、FPT0 (新燃料を使用) と FPT1, 2, 3 (使用済み燃料を使用) で得られた粒径分布を比較すると、平均粒径 (AMMD) と幾何標準偏差は同程度となっている。このことは、燃料の燃焼度がエアロゾル粒子の粒径分布に及ぼす影響が限定的であることを示唆している。

なお、FPT4 では溶融デブリからの低揮発性核種や超ウラン元素の放出に関する定量的検討を行うことを目的としており、格納容器は模擬されておらず、試験目的の中に格納容器内粒径分布の調査は含まれていない。

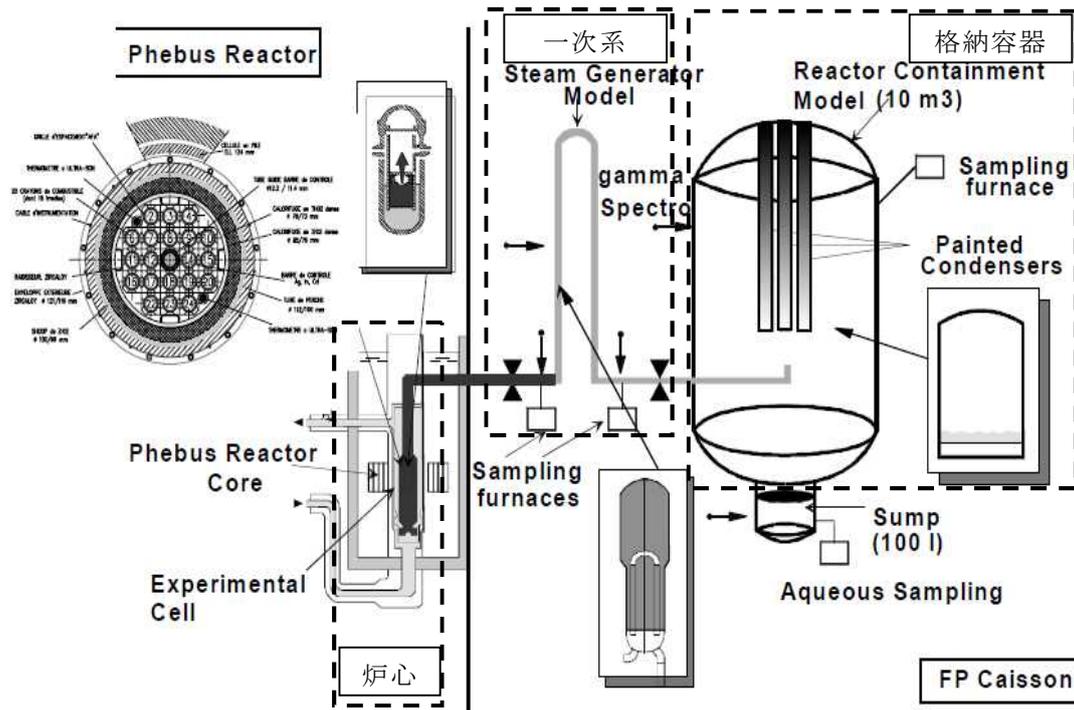
【粒径分布に関連する主な試験結果】

- FPT0 と FPT1 の粒径分布は対数正規分布によく一致
- FPT0 の平均粒径 (AMMD) は、燃料集合体崩壊の最終時点で $2.4 \mu\text{m}$ (最終的に $3.35 \mu\text{m}$ で安定)
- FPT1 におけるエアロゾル粒径は $3.5 \mu\text{m}$ から $4.0 \mu\text{m}$ の間
- FPT0 と FPT1 の双方の試験の対数正規分布の幾何標準偏差は約 2.0 でほぼ一定
- FPT2 の粒径分布は FPT1 の粒径分布と類似 (出典 2, 3)
- FPT3 の平均粒径 (AMMD) は、概ね $3 \mu\text{m}$ であり、幾何標準偏差は約 1.5 (出典 3)

出典 1 : STATE-OF-THE-ART REPORT ON NUCLEAR AEROSOLS (OECD/NEA 2009)

出典 2 : Progress of ASTEC validation on fission product release and transport in circuits and containment (The 3rd European Review Meeting on Severe Accident Research(ERMSAR-2008))

出典 3 : Overview of Main Results Concerning the Behaviour of Fission Products and Structural Materials in the Containment (NUCLEAR ENERGY FOR NEW EUROPE 2011)



第 3.2.2.1-13 図 試験装置の概要

第 3.2.2.1-9 表 主な試験条件

試験 No.	使用燃料と制御棒	プール水 pH	試験概要(ベースケースとの主な差異)
FPT0	・新燃料 ・Ag-In-Cd制御棒	pH5	・ベースケース
FPT1	・使用済燃料 ・ Ag-In-Cd制御棒	pH5	・使用済燃料を使用
FPT2	・使用済燃料 ・ Ag-In-Cd制御棒	pH9	・使用済燃料を使用 ・プール水のpHを変えた場合
FPT3	・使用済燃料 ・ B4C制御棒	pH5	・使用済み燃料を使用 ・B4C制御棒を使用
FPT4	使用済燃料と被覆管材料を混合した模擬デブリ	格納容器内模擬無し	・デブリからの放射性物質の放出を模擬

3.2.2.2 事故時のフィルタ装置のパラメータ変化

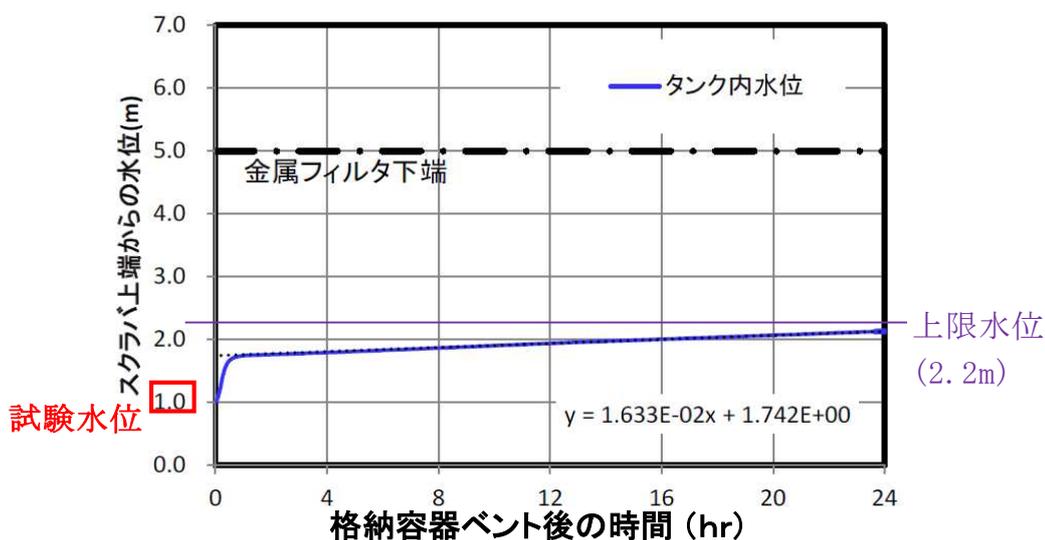
(1) 水位変化の影響

有効性評価のシナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント，D/W ベント）におけるフィルタ装置の水位の評価を実施した。

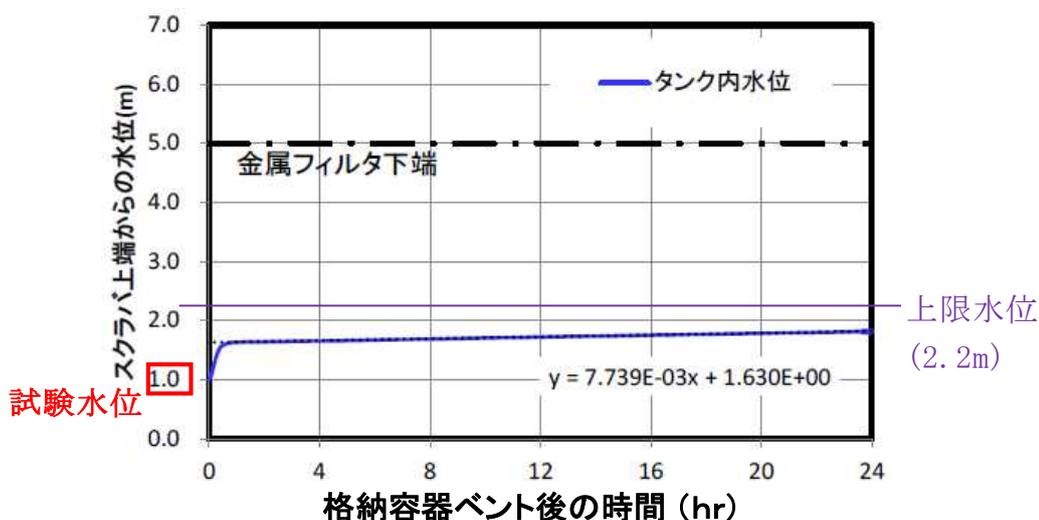
なお，外気温度により，ベントガス水蒸気の凝縮量が変わることから，外気温度が柏崎市における 1978 年～2012 年に計測した最低温度(-11.3℃)が継続した場合と，外気温度が 30.0℃が継続した場合の合計 4 ケースについて，評価を実施した。

評価結果を第 3.2.2.2-1 図～第 3.2.2.2-4 図に示す。いずれのケースにおいても，スクラバ水位は単調増加となる。

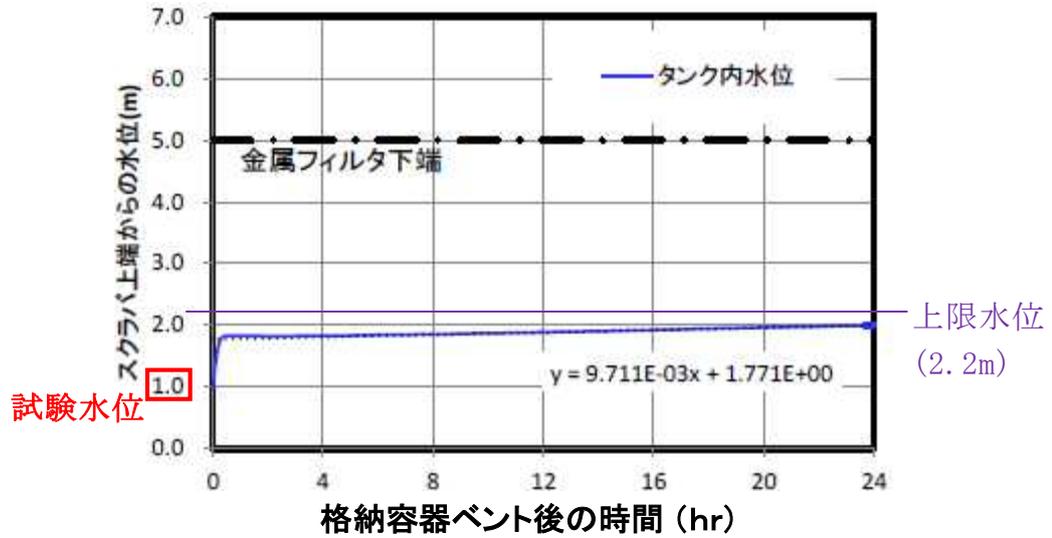
性能試験では，スクラバ水位を 1m と設定して試験を実施しているため，保守的な設定である。



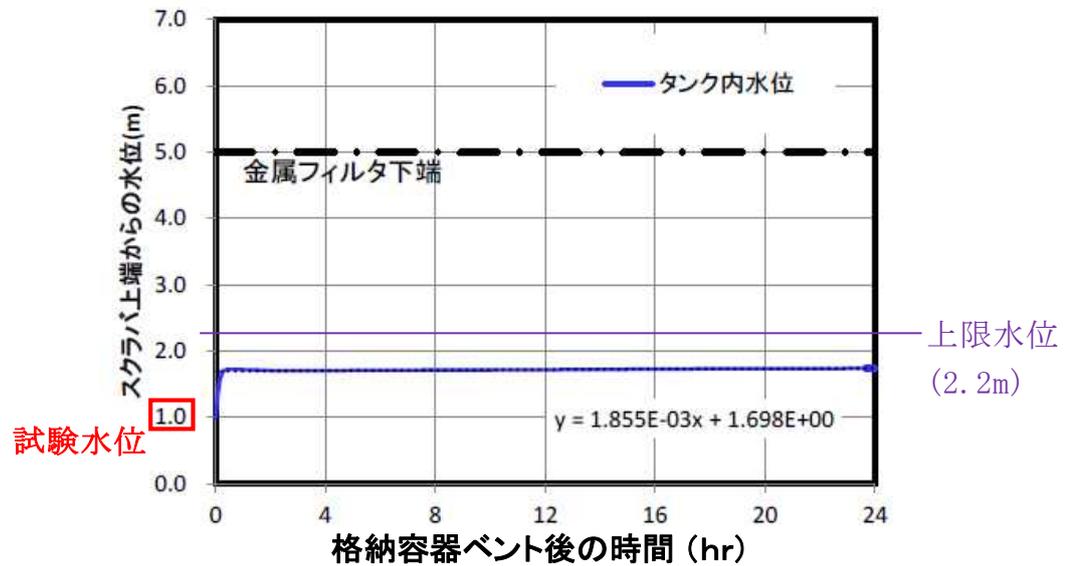
第 3.2.2.2-1 図 外気温度-11.3℃における評価結果（W/W ベント）



第 3.2.2.2-2 図 外気温度 30.0℃における評価結果（W/W ベント）



第 3.2.2.2-3 図 外気温度-11.3℃における評価結果 (D/W ベント)



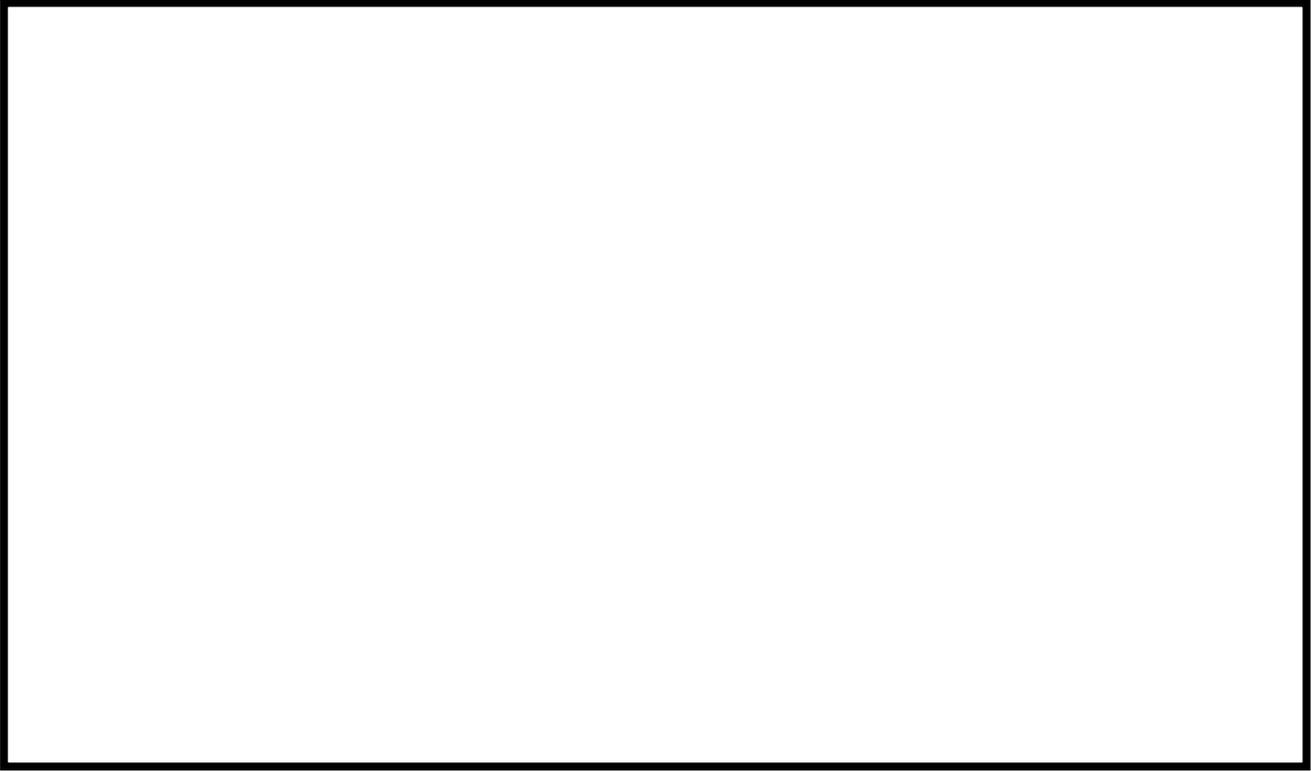
第 3.2.2.2-3 図 外気温度 30.0℃における評価結果 (D/W ベント)

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。

【上限水位】



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。



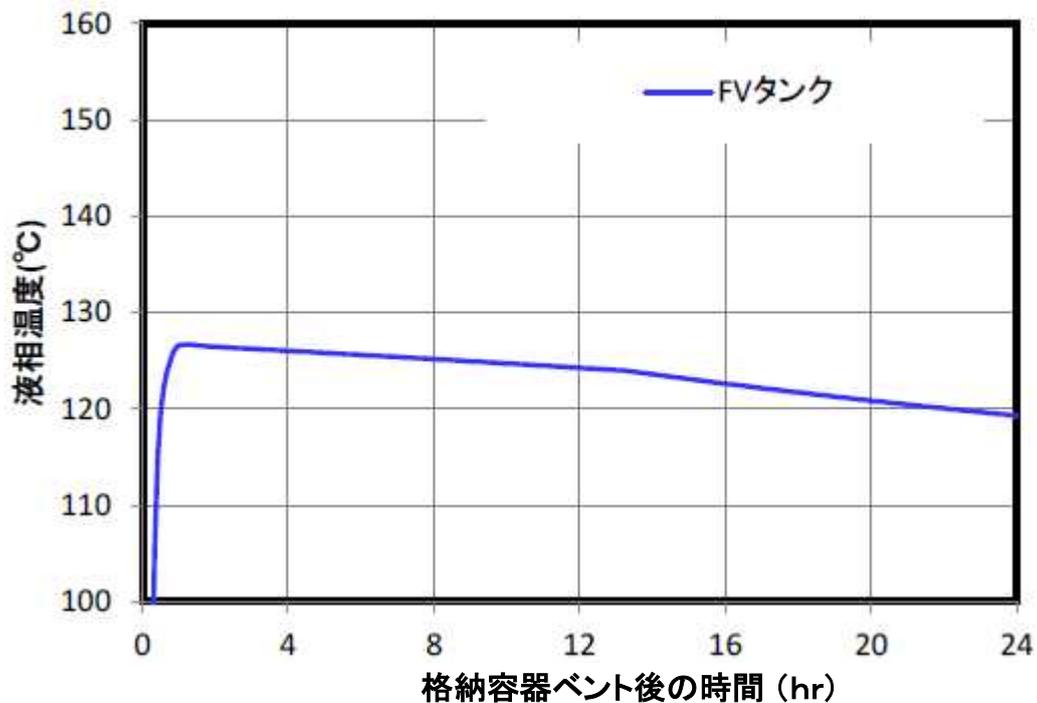
(2) 温度変化の影響

有効性評価のシナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント）の外気温 -11.3°C におけるフィルタ装置内のスクラバ水温度を第 3.2.2.2-3 図に示す。

ベントガスの熱エネルギーや崩壊熱により，ベント開始後，スクラバ水の温度は上昇し，やがて，飽和温度相当の温度に到達する。飽和温度相当の温度に到達後は水蒸気凝縮による粒子捕集は期待できない。

エアロゾル除去性能試験では，試験ガスとして非凝縮性ガス（空気）を用いて試験を実施しているため，蒸気の凝縮による捕集は見込んでおらず，保守的な設定である。

また，無機よう素除去性能試験では，スクラバ水温は飽和温度以下として設定している。



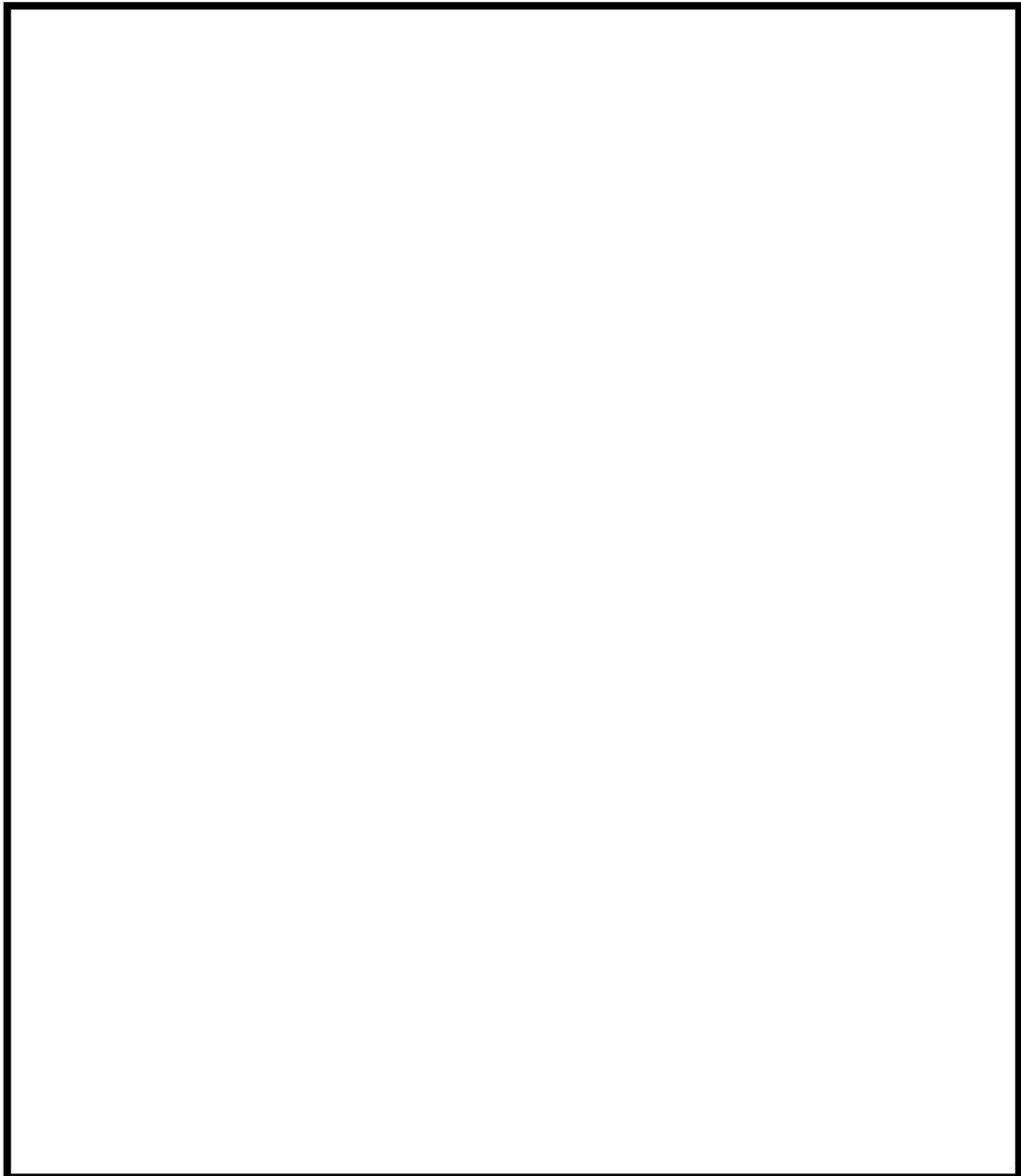
第 3.2.2.2-3 図 スクラバ水温度の評価結果

(3) 流量変化の影響

有効性評価のシナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント）におけるベントガス流量の評価結果，及び，性能試験時の体積流量とフィルタベント使用時の体積流量の関係を第 3.2.2.2-4 図に示す。

これより，性能試験時の体積流量は，フィルタベント設備使用時の体積流量を包絡していることがわかる。

なお，運用上，第二隔離弁については「中間開」の運用としており，上記の評価も二次隔離弁を「中間開」とした場合のものである。仮に，二次隔離弁を「全開」とした場合，約 37,000m³/h のベントガス流量となる。



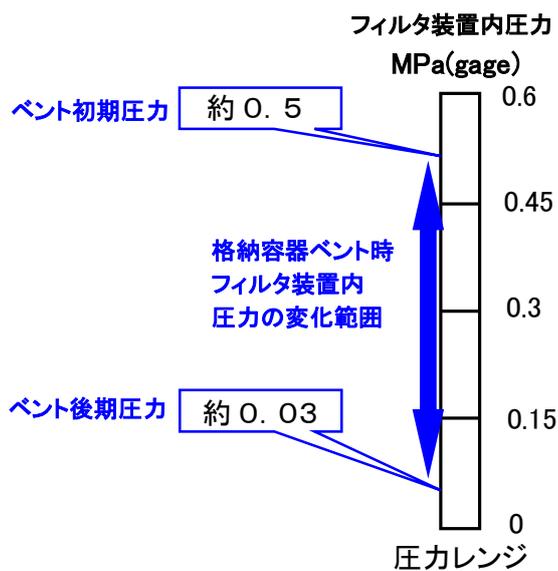
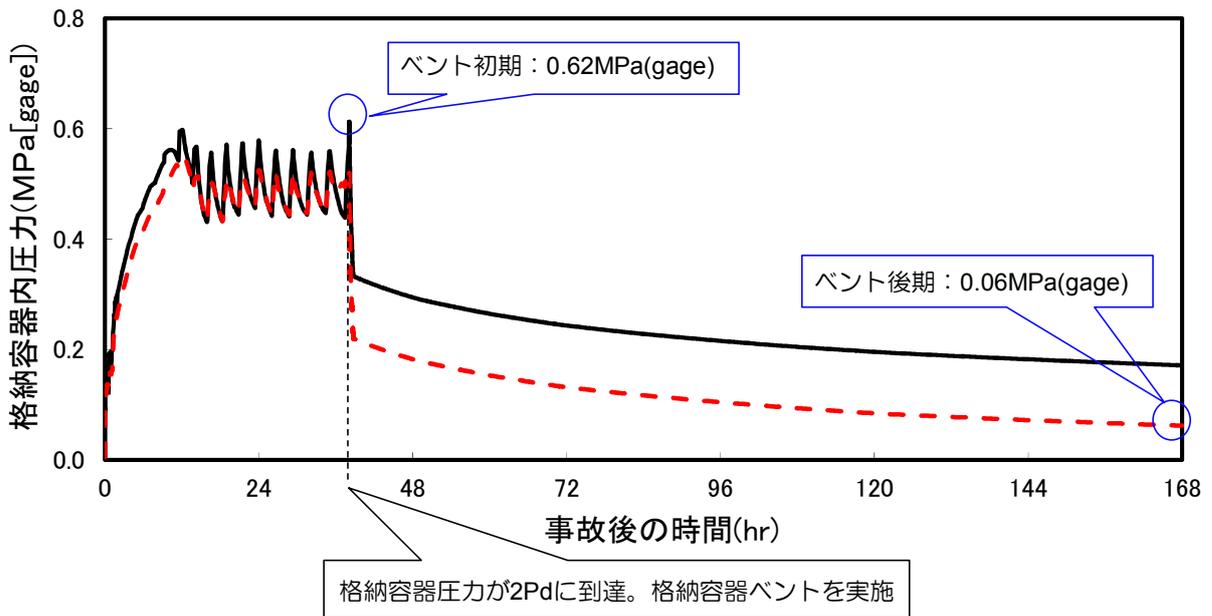
第 3.2.2.2-4 図 ベントガス流量の評価結果

(4) 圧力変化の影響

フィルタ装置内圧力の評価結果を第 3.2.2.2-5 図に示す。

ここで、フィルタ装置内圧力は、格納容器圧力から、ベントガス通気時の配管や弁等の圧力損失を差し引いた値となる。

性能試験では、フィルタ装置内の圧力を変化させたケースも実施したが、実機で想定している放射性微粒子の粒子径範囲において、DF への影響は認められなかった。



第 3.2.2.2-5 図 フィルタ装置内圧力の評価結果

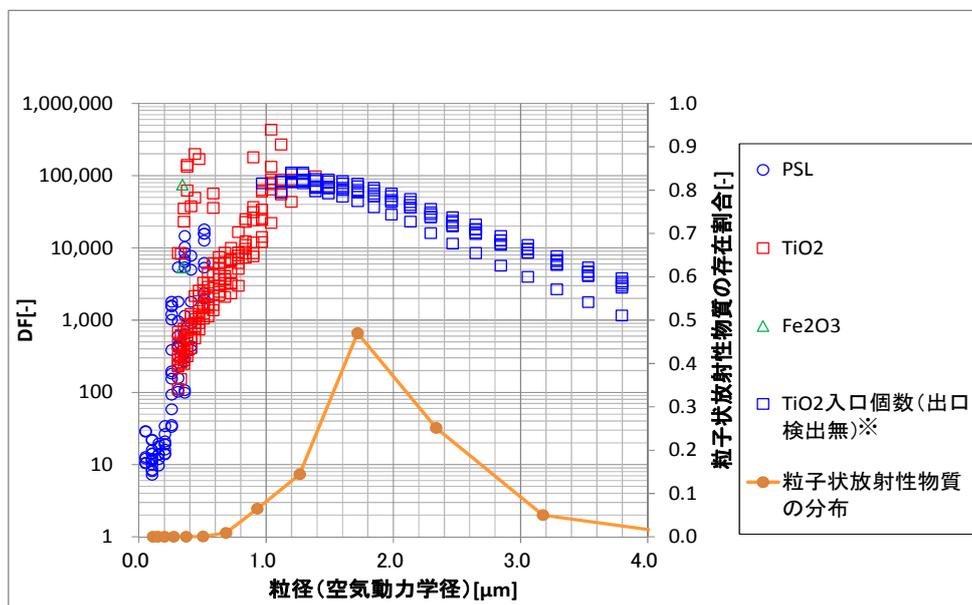
3.2.2.3 除去性能試験結果

【エアロゾル除去性能試験】

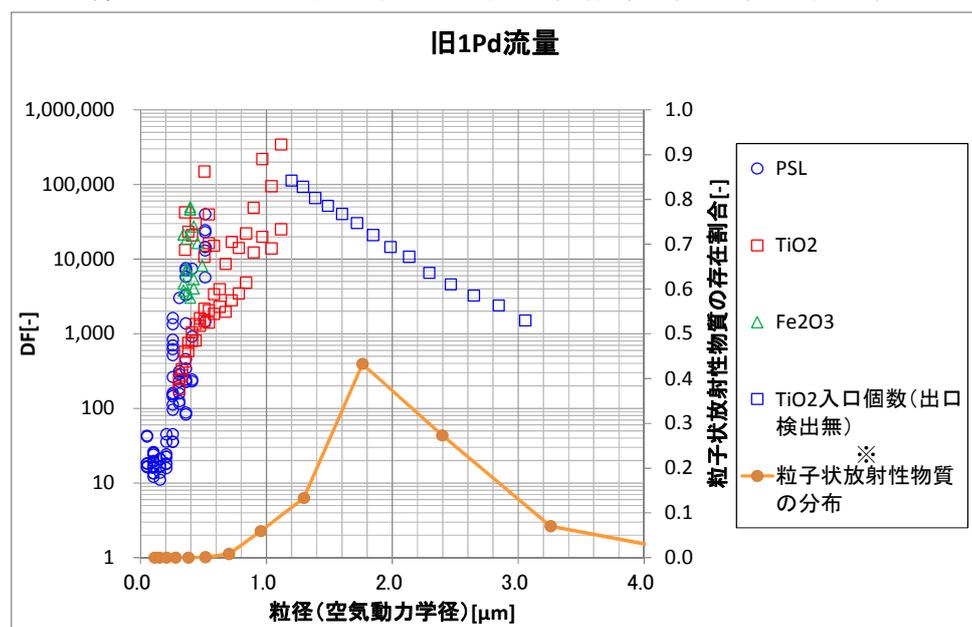
エアロゾル除去性能試験結果を第3.2.2.3-1図から第3.2.2.3-3図に示す。

CsI 粒子の密度は 4.5g/cm^3 に対し、試験用微粒子として、 TiO_2 粒子（密度 4.23g/cm^3 ）、 Fe_2O_3 粒子（密度 5.24g/cm^3 ）、PSL 粒子（密度 1.0g/cm^3 ）を用いている。

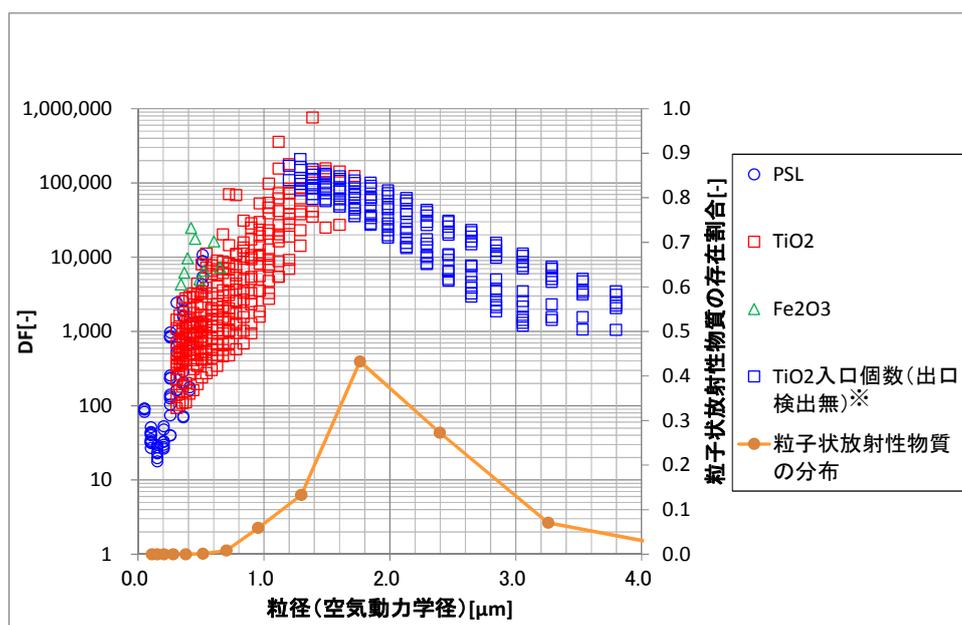
有効性評価のシナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント）において想定される放射性粒子の粒径分布に対して、全ての試験ケースにおいて、除染係数 DF が 1,000 以上となることを確認できた。そのため、実機においても DF1,000 以上を期待できると考えられる。



第 3.2.2.3-1 図 除去性能試験結果（2Pd 相当流量）



第 3.2.2.3-2 図 除去性能試験結果（1Pd 相当流量）



第 3. 2. 2. 3-3 図 除去性能試験結果 (最小流量相当)

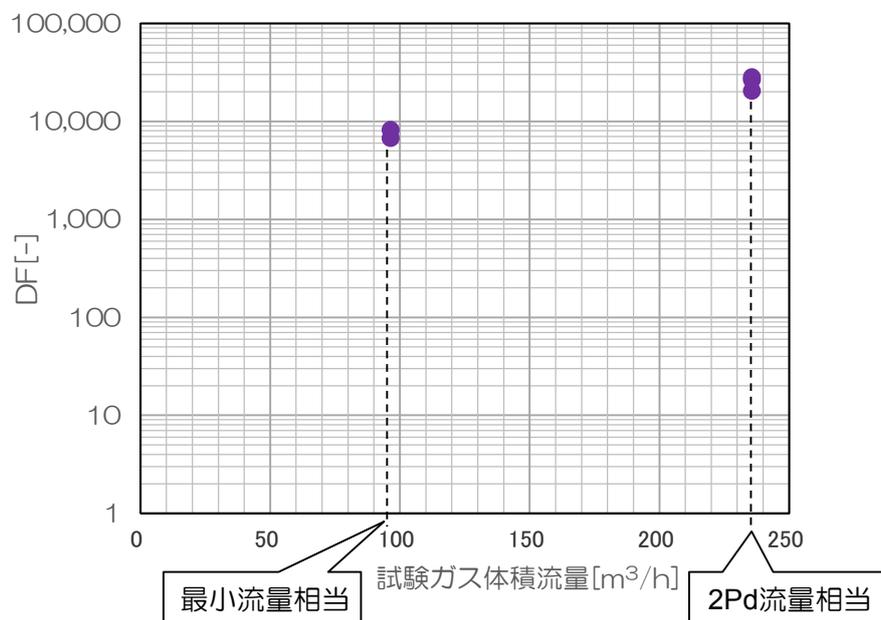
※ 大きな粒子径では、フィルタ出口側で粒子が検出できないため、計測不可能となっている。

【無機よう素除去性能試験】

無機よう素除去性能試験結果を第 3.2.2.3-4 図，第 3.2.2.3-5 図に示す。

第 3.2.2.3-4 図の試験では，無機よう素除去性能とガス流量との関係を確認するため，ガス流量を試験パラメータとした。スクラバ水の pH は 13 で固定とした。試験の結果より，無機よう素除去は，ガス流量が大きい方が DF が大きくなることが確認できた。

第 3.2.2.3-5 図の試験では，無機よう素除去性能とスクラバ水 pH との関係を確認するため，スクラバ水 pH を試験パラメータとした。ガス流量は，第 3.2.2.3-4 図の試験より小さい方が保守的であるため，実機最小流量相当にて試験を実施した。



第 3.2.2.3-4 図 除去性能試験結果（ガス流量依存性）



第 3.2.2.3-5 図 除去性能試験結果（スクラバ水 p H 依存性）

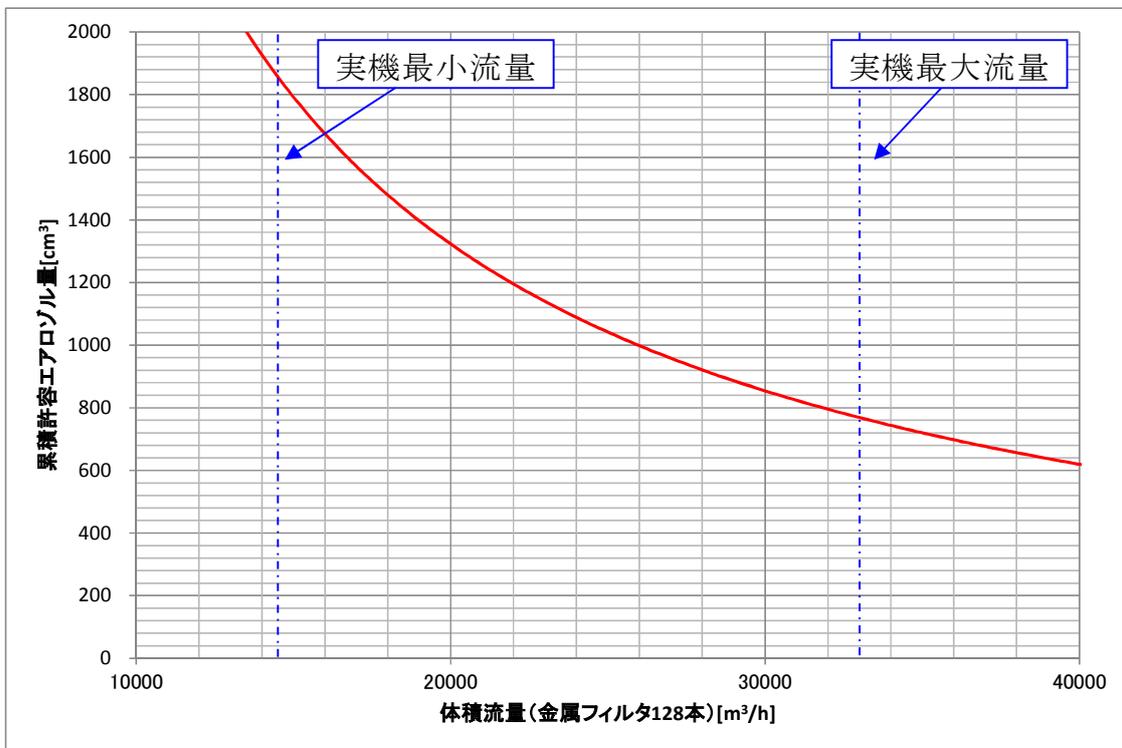
第 3.2.2.3-5 図より，無機よう素の DF を 1000 以上とするためには，スクラバ水の p H を 以上とする必要がある。そのため，スクラバ水に NaOH を添加し，格納容器圧力逃がし装置使用時において，フィルタ装置スクラバ水の p H が 以上となるようする。

3.2.2.4 フィルタ装置の継続使用による性能への影響

(1) 金属フィルタの閉塞影響評価

金属フィルタは、ベントガスに含まれるエアロゾルの捕捉に伴い次第に閉塞し、金属フィルタの前後差圧が上昇する。金属フィルタの差圧の上限は、金属フィルタドレン配管からのドレン水の逆流を考慮し、に設定している。

金属フィルタの差圧とエアロゾル捕捉体積の関係は、試験設備にて実機の金属フィルタにエアロゾルを含んだガスを通気し、送気したエアロゾル体積と差圧を計測することで確認している。金属フィルタ差圧が上限値 となるエアロゾル捕捉体積と、ベントガスの体積流量の関係を第 3.2.2.4-1 図に示す。



第 3.2.2.4-1 図 エアロゾル捕捉体積とベントガス流量

一方、格納容器ベント実施時にフィルタ装置に流入するエアロゾル（核分裂生成物（安定核種を含む）や構造材の一部）の体積は、有効性評価のシナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント）において と評価している。

そのため、実機で想定されるエアロゾル体積は、金属フィルタの許容エアロゾル体積と対して十分小さいことから閉塞するおそれはない。また、金属フィルタの手前には水スクラバもあるため、金属フィルタに流入するエアロゾル体積は、さらに小さくなる。

(2) 水質変化による性能への影響評価

スクラバ水は、ベントガスに含まれるエアロゾルの捕捉により、放射性物質が多量に含まれた状態となる。一方、水スクラバへのベントガスの噴射によるエントレインメントにより、放射性物質を含んだスクラバ水の飛沫が水スクラバより放出される恐れがある。

しかしながら、水スクラバの後段には金属フィルタが設置されており、スクラバ水の飛沫は金属フィルタによりベントガスから分離される。そのため、フィルタ装置の継続使用により、スクラバ水が放射性物質を多量に含む状態であっても性能へ影響を与えるおそれはない。

3.2.3 ガス状放射性物質の除去性能

3.2.3.1 格納容器圧力逃がし装置へ流入するよう素量

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

3.1.2.1(2)に示したとおり、6号炉及び7号炉では、格納容器内での有機よう素の発生を抑制するために、サプレッション・プール水のpHを7以上に制御するための対策を講ずることとしている。

NUREG/CR-5732(軽水炉の過酷事故時におけるよう素の化学形態について記載された報告書)では、格納容器内のpHを7以上に維持した場合、BWRでは有機よう素と無機よう素の格納容器内での発生量は実質的にゼロになると結論付けている。

このことから、サプレッション・プール水のpHを7以上に制御することにより、有機よう素及び無機よう素の格納容器圧力逃がし装置への流入量は大幅に低減されると考えられる。

格納容器圧力逃がし装置に流入すると想定する有機よう素および無機よう素量については、流入量を保守的に評価するという観点からNUREG/CR-5732の記載どおりにゼロとはせず、NUREG-1465の知見、ACE実験の知見(Compendium of Advanced Containment Experiments(ACE) Phase B Reports (2011))、およびMAAPの解析結果を利用して評価することとした。

NUREG-1465によると、格納容器内pHが7以上に維持されている場合、原子炉圧力容器から格納容器内に放出されるよう素のうち95%以上が粒子状よう素であり、無機よう素は最大で5%となる。格納容器内に放出された後、粒子状よう素と無機よう素は、壁面沈着やW/Wスクラビング効果により格納容器空間部より除去されるが、ACE実験では、無機よう素は粒子状よう素と同等に除去されることが確認されている。

また、NUREG-1465によると、有機よう素は無機よう素から時間をかけて生成され、格納容器中に浮遊する無機よう素のうち3%が有機よう素に変換される。

なお、NUREG/CR-5732では、格納容器内のpH制御を行わない場合のよう素の

挙動を3つの期間に分けて整理している。3つの期間はそれぞれ、放射線分解等により無機よう素が生成される期間（よう素が格納容器内に放出されてから最初の約20時間まで）、格納容器空間部のよう素が無機よう素と有機よう素で構成される期間（約20時間後から2～3週間後まで）、格納容器内の有機よう素の割合が大きくなる期間（約3週間後以降）となっており、有機よう素が格納容器空間部にあらわれるのはよう素が格納容器内に放出される約20時間後からとの整理となっている。

これらを踏まえて、無機よう素および有機よう素の格納容器圧力逃がし装置への流入量を評価する。格納容器圧力逃がし装置に流入するよう素として、MAAPでは粒子状よう素（CsI）のみがモデル化されているため、無機よう素と有機よう素の流入量については、以下のとおり、MAAP評価により得られた粒子状よう素の流入量を基に評価し、よう素の流入量に上乘せするものとした。

なお、格納容器内で生成された有機よう素は、格納容器内で除去されないものとした。

(1) 想定事故シナリオ（W/W ベント）時

無機よう素：粒子状よう素の流入量（MAAP 評価結果）に対し、4.85%

有機よう素：粒子状よう素の流入量（MAAP 評価結果）に対し、

$$0.15\% \times DF_{S/P} \quad ※1$$

$DF_{S/P}$ ：サプレッション・プールの除去効率

※1 想定事故シナリオ（W/W ベント）時においては、格納容器空間部に浮遊している無機よう素は、格納容器ベントの実施に伴い、サプレッション・プール水を経由して除去された後に格納容器圧力逃がし装置に流入する。

このため、格納容器空間部に浮遊する無機よう素量は、格納容器圧力逃がし装置に流入する無機よう素量のサプレッション・プールスクラビング除去効率倍を想定した。その上で、有機よう素の発生量は、格納容器空間部に浮遊する無機よう素量の3%分を想定した。

(2) 想定事故シナリオ（D/W ベント）時及び原子炉圧力容器が破損するケース（高圧・低圧注水機能喪失シナリオ（D/W ベント））

無機よう素：粒子状よう素の流入量（MAAP 評価結果）に対し、4.85%

有機よう素：粒子状よう素の流入量（MAAP 評価結果）に対し、0.15%

$$(=5\% \times 3\%)$$

3.2.3.2 吸着材による除去性能試験結果

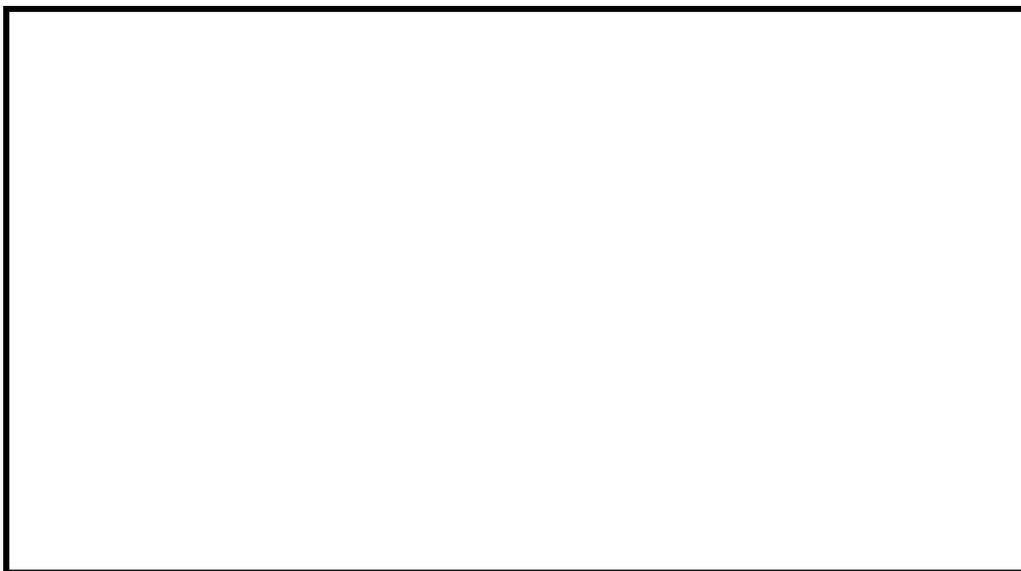
よう素フィルタの吸着材である銀ゼオライトは、ベントガスの露点温度差が大きいほど、またベントガスと吸着材の接触時間が大きいほど、よう素の除去性能が大きくなる性質がある。

そのため、格納容器ベント時のよう素フィルタの性能を確認するため、よう素フィルタの性能への影響が大きいパラメータとして、ベントガスの露点温度差、ベントガスと吸着材との接触時間を設定し、よう素除去性能試験を実施した。

よう素除去性能試験の条件を第 3.2.3.3-1 表、試験結果を第 3.2.3.3-1 図に示す。なお、本試験は海外の性能認証機関にて実施したものである。

第 3.2.3.3-1 表

項目		条件
試験ガス露点温度差		<ul style="list-style-type: none"> ・ 5 [K] (試験ガス温度は 104[°C]) ・ 10 [K] (試験ガス温度は 109[°C])
接触時間	露点温度差 5 [K]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 0.08 [s], 0.16 [s], 0.24 [s] ・ 0.33 [s], 0.41 [s], 0.49 [s]
	露点温度差 10 [K]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 0.08 [s], 0.16 [s], 0.24 [s] ・ 0.32 [s], 0.40 [s], 0.49 [s]
試験ガス組成		・ 水蒸気 95[%], 空気 5[%]
捕捉対象ガス		・ 放射性ヨウ化メチル (I-131)



第 3.2.3.3-1 図

一方、6号炉及び7号炉の、よう素フィルタ部におけるベントガスの体積流量、ならびに露点温度差は第 3.2.3.3-2 表の通りとなる^{※1}。また、よう素フィルタは第 2.2.1-2 図に記載のものを 2 基設置することとしている。さらに、よう素フィ

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。

ルタには、内部に吸着材を充填した円筒状のキャンドルユニットを 19 本設置する。そのため、キャンドルユニットはトータルで 38 本設置することとなる。

ここで、キャンドルユニットの吸着層の [] を用い、吸着層の有効高さ [] キャンドルユニットの設置本数 38 本を用いて、式(1)にて吸着層の総有効面積を算出すると、 [] となる。

$$(\text{吸着層総有効面積}) = [] \quad (1)$$

また、吸着層の総有効面積と有機よう素フィルタで処理するベントガスの体積流量、さらに吸着層厚さ [] を用いて、式(2)にてベントガスと吸着材の接触時間は算出する。

$$(\text{接触時間}) = (\text{吸着層厚さ}) \div \{ (\text{ベントガス体積流量}) \div (\text{吸着層総有効面積}) \} \quad (2)$$

式(2)にて算出したベントガスと吸着材の接触時間についても、第 3.2.3.3-2 表に記載する。

第 3.2.3.3-2 表

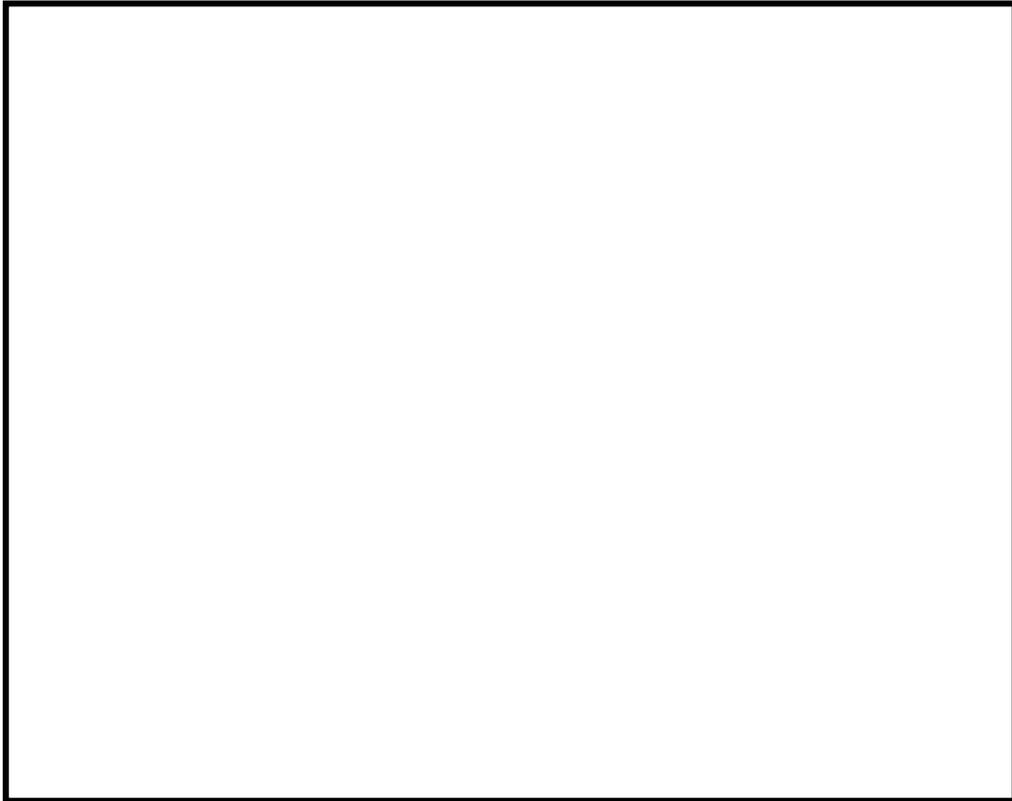
		PCV 圧力: 2Pd 二次隔離弁: 中間開	ベントガス質量 流量: 4.5[kg/s]** ² 二次隔離弁: 中間開	ベントガス質量 流量: 2.5[kg/s]** ³ 二次隔離弁: 中間開
		6 号	ベントガス 体積流量 [m ³ /s]	[]
ベントガス 露点温度差 [K]				
接触時間 [s]				
7 号	ベントガス 体積流量 [m ³ /s]			
	ベントガス 露点温度差 [K]			
	接触時間 [s]			

※1 ベントガス組成は 100%水蒸気とする

※2 事故発生 1 週間後に格納容器内にて発生する蒸気量

※3 事故発生 1 か月後に格納容器内にて発生する蒸気量

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 3.2.3.3-2 図 キャンドルユニット詳細図

第 3.2.3.3-2 表より、実機のような素フィルタの運転範囲としては、以下の通りとなる。

【よう素フィルタ運転範囲】



第 3.2.3.3-1 図より、実機のような素フィルタの運転範囲における有機よう素の DF（除染係数）は、設計値である 50 以上であることが確認できる。

4. 格納容器圧力逃がし装置の設備操作と操作性

4.1 格納容器圧力逃がし装置の設備操作

4.1.1 格納容器ベント操作について

格納容器ベントの操作は、格納容器圧力を継続監視することにより、ベント実施タイミングを予測することが可能であり、格納容器ベントが必要になった場合（格納容器最高使用圧力到達時《炉心損傷前^{※1}》、格納容器限界圧力到達前《炉心損傷後^{※1}》、格納容器からの異常な漏洩発生時）^{※2}に速やかに発電所対策本部長が自らの責任と権限において指示し、運転員が操作する。

重大事故等時に、格納容器設計漏洩率を超える漏洩が発生した場合、重大事故時燃料貯蔵プールエリア放射線モニタ^{※3}により漏洩を認知することができる。また、炉心損傷後であるため、格納容器内の水素ガスが漏洩していることを、原子炉区域運転階上部の水素ガス濃度計により認知することができる。さらに、静的触媒式水素再結合器（PAR）の出入口温度を監視することにより、実際に水素の再結合処理が行われていることを確認することができる。

※1 ここでの「炉心損傷前後」は、格納容器内放射線量率が設計基準事故の10倍または原子炉圧力容器表面温度「300℃」を判断基準としている。

※2 格納容器圧力計により計測できない場合は格納容器温度計により飽和温度／圧力の関係を利用して推定することができる。重大事故等時に監視可能な格納容器温度計を「上部ドライウェル」「下部ドライウェル」「サプレッション・チェンバ（空間部）」の3ヶ所に設置している。なお、上記3エリアには他にも約50ヶの温度計があり、測定可能であれば監視することができる。

※3 設計基準設備である原子炉区域エリア放射線モニタ、燃料取替エリア排気放射線モニタ、原子炉建屋換気系排気放射線モニタ等でも格納容器からの漏洩を認知することが可能である。

これらにより、格納容器からの異常な漏洩を認知した場合は、速やかに格納容器スプレイによる減圧操作を開始し、格納容器ベントを実施することにより格納容器からの漏洩の影響を抑制する。

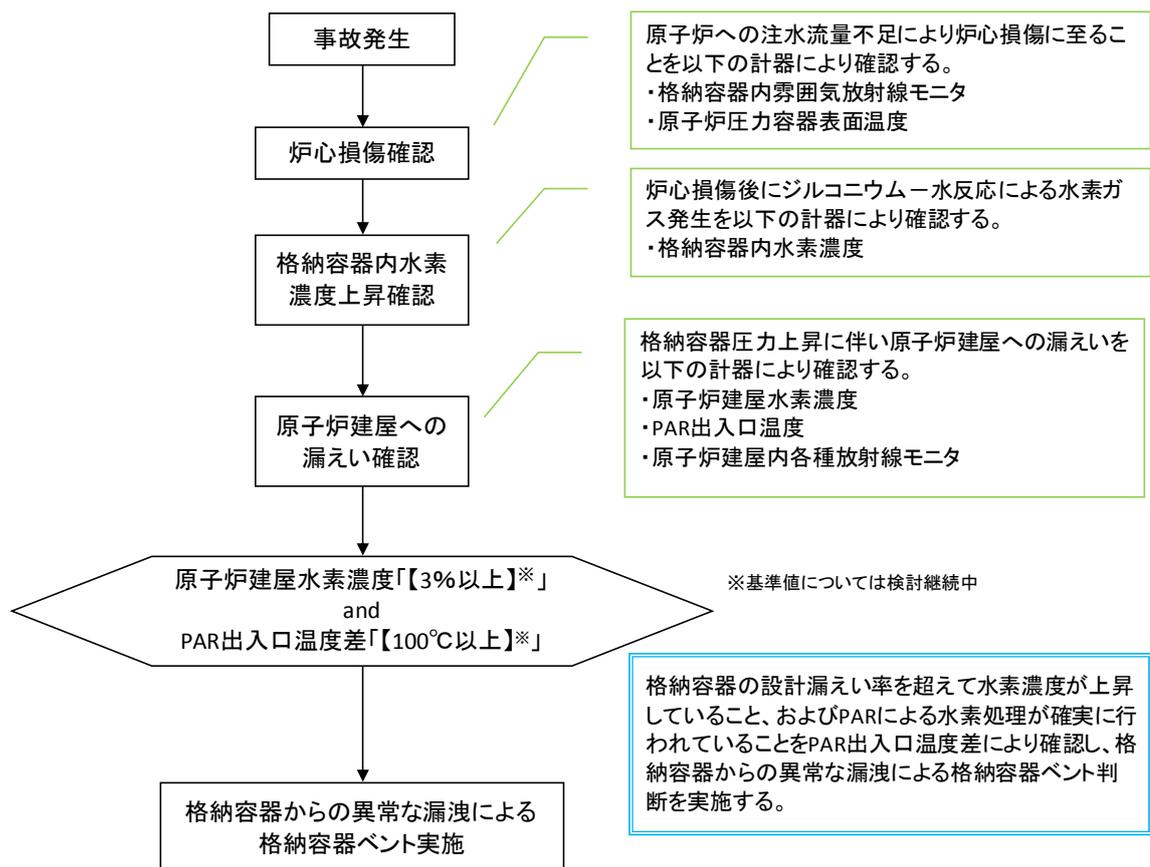
なお、格納容器からの異常な漏洩による格納容器ベント実施について、事故時運転操作手順へ記載する方針である。操作概要について第4.1.2-1図に示す。

格納容器ベント操作は、格納容器圧力による格納容器ベント判断、または格納容器からの漏洩による格納容器ベント判断により実施する方針であり、放射性物質は可能な限り格納容器内に閉じ込めることを基本とする。代替設備による除熱、故障設備の復旧に努めるが、格納容器限界圧力に到達する可能性のある場合は、格納容器の破損により公衆への影響が過大にならないことを目的として格納容器ベントにより放射性物質を放出する。格納容器ベントは最終ヒートシンクへの熱移動として使用するため、格納容器除熱機能等

が回復されるまで継続するべきであり、格納容器圧力制御のために格納容器ベントを停止／再開する操作は実施しない。

また、希ガスについては、格納容器圧力逃がし装置等で除去できないことから、格納容器内にできるだけ長くとどめ、放射エネルギーを可能な限り時間減衰させることが、環境中への希ガスの放出量を低減させるための有効な対策である。

そのため、格納容器圧力の上昇を抑制し、格納容器ベントの実施に至るまでの時間をできるだけ延ばすために、格納容器スプレイの実施や水源への補給の対策を講じている。有効性評価で想定している格納容器スプレイが実施できない場合においても、可搬型注水ポンプによる格納容器スプレイや、異なる残留熱除去系のラインを利用した格納容器スプレイ、原子炉への注水継続により破断口からの流出による冷却、格納容器頂部注水による冷却等を試みる。



第 4.1.2-1 図 格納容器からの異常な漏洩による格納容器ベント操作概要

4.1.2 中央制御室及び現場での操作内容

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置による格納容器の破損防止が必要になった場合、中央制御室操作または現場操作により格納容器ベント操作を実施することができる。通常は、中央制御室からの遠隔操作により実施するが、それができない場合は現場操作により実施することができる。

格納容器ベント操作が必要な状況になった際に速やかに操作ができるように、事前から重要なパラメータ（格納容器圧力、格納容器温度、サプレッション・チェンバ水位、フィルタ装置水位、フィルタ装置出入口圧力）を重大事故等時に使用可能な計器により監視し、その他必要な操作を実施する。

a. 格納容器ベント操作前準備

格納容器圧力が、格納容器ベント操作が必要になる圧力に到達する前に準備操作を完了させる必要があるため、格納容器圧力を継続監視し、その傾向から到達する時間を予測し準備操作を開始する。

なお、設備の故障等により、現場で操作する場合は、操作に必要な時間が記載されている手順書を使用し、格納容器ベント操作が必要になる圧力に到達する前に、格納容器ベント準備操作が終了するように対応している。

(a) 格納容器圧力逃がし装置使用前確認

格納容器圧力逃がし装置の使用前に、設備に異常のないことを確認する。確認する項目は以下のとおり。

- ・ 計測制御電源：電源が受電され、パラメータが監視可能であること。
- ・ 駆動電源：格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベント時に使用する電動弁、電動機の電源が供給されていること。
- ・ フィルタ装置水位：通常水位付近にあること。
- ・ フィルタ装置出入口圧力：封入した窒素圧力以上にあること。

なお、フィルタ装置の水質確認については、急激な水質変化が考えられないためフィルタ装置水位の確認により代用する。

(b) 格納容器ベントラインにつながる系統の隔離操作

格納容器ベントラインにつながる系統の隔離操作は、非常用ガス処理系、換気空調系及び耐圧強化ベント系との隔離弁の閉操作または閉確認を実施することである。本操作は、中央制御室からの遠隔操作を基本とする。制御電源・駆動源が喪失した場合、現場において閉状態の確認及び閉操作を実施する。

なお、非常用ガス処理系及び換気空調系とつながる系統の隔離操作については、空気駆動弁下流に通常時「閉」の弁を設置する計画である。この弁は、通常運転中に格納容器の圧力調整を実施する場合、一時的に開ける必要があるが、その場合は開操作を実施する操作員が近傍にいる

ため、異常時は速やかに閉めることが可能である。

(c) 格納容器ベントライン隔離弁の一部開操作

格納容器ベントライン隔離弁の一部開操作は、発電所対策本部長からの格納容器ベント実施指示を受けて、一つの隔離弁を操作するだけで格納容器ベントが開始できるように、他の隔離弁を事前に開操作することである。

この操作は、炉心損傷前ベントと炉心損傷後ベントで操作する弁が異なる。

炉心損傷前ベントの場合は、原子炉格納容器一次隔離弁及びフィルタ装置入口弁を準備操作として開操作及び開確認し、原子炉格納容器二次隔離弁を最後に開操作する。これは、格納容器ベント中に隔離する機能を維持するためである。

炉心損傷後ベントの場合は、原子炉格納容器二次隔離弁及びフィルタ装置入口弁を準備操作として開操作及び開確認し、原子炉格納容器一次隔離弁を最後に開操作する。これは、格納容器バウンダリを最小にするためと原子炉格納容器一次隔離弁の開を維持するためである。

炉心損傷前ベントでは、原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側）{T31-A0-F022}または原子炉格納容器一次隔離弁（ドライウエル側）{T31-A0-F019}の全開操作及びフィルタ装置入口弁{T61-A0-F001}の全開確認を実施する。

炉心損傷後ベントの場合は、原子炉格納容器二次隔離弁{T31-M0-F070}の調整開操作^{*1}及びフィルタ装置入口弁{T61-A0-F001}の全開確認を実施する。なお、原子炉格納容器二次隔離弁には手動駆動のバイパス弁を設置する計画である。

本操作は中央制御室からの遠隔操作を基本とするが、設備の故障等により通常の操作ができない場合は、それぞれの操作弁について下記の操作手法がある。

原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側／ドライウエル側）{T31-A0-F022/F019}の空気駆動源が喪失した場合は、ベント弁操作用空気供給電動駆動弁{6号炉：T31-M0-F047/F045（7号炉：T31-M0-F092/F082）}を中央制御室からの遠隔操作または現場での電動駆動弁手動操作により「全開」し、専用ボンベから圧縮空気を供給し、中央制御室から遠隔操作する。また、制御電源が喪失した場合は、電磁弁の排気側を加圧することにより当該弁を操作する、または弁本体を二次格納施設外からエクステンションにより操作する。電磁弁の排気側を加圧する操作は、排気ライン弁{6号炉：T31-F802/F803（7号炉：T31-F779/F778）}を「全閉」、ベント弁操作用空気供給電動駆動弁{6号炉：T31-M0-F047/F045

(7号炉：T31-M0-F092/F082) }を「全開」し、空気供給弁 {6号炉：T31-F062/F061 (7号炉：T31-F099/F098)} を「全開」することにより、専用ポンベから圧縮空気が電磁弁の排気ラインへ供給され当該弁を操作することができる。この操作は「約15分（実操作時間約5分＋移動時間10分）」^{※2}で実施可能であり、エクステンションによる人力操作の場合は「約25分（実操作時間想定約15分＋移動時間10分）」^{※2}で実施可能と考える。

原子炉格納容器二次隔離弁 {T31-M0-F070} の駆動電源が喪失した場合は、駆動部に設置されたエクステンションにより二次格納施設の外から操作する。この操作は「約25分（実操作時間約15分＋移動時間10分）」^{※2}で実施可能である。原子炉格納容器二次隔離弁が操作不能の場合は、手動駆動の原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁をエクステンションにより二次格納施設の外から操作する。

※1 原子炉格納容器二次隔離弁はベント流量調節弁になるため「50%開」とする。

※2 最短の時間であり、手順・評価時は余裕を含めた時間を設定する。

炉心損傷前後ベント準備の隔離弁操作対象弁を第4.1.2-1表に記す。

設備の故障による操作方法を、第4.1.2-2表（6号炉）、第4.1.2-3表（7号炉）に整理する。

第4.1.2-1表 隔離弁操作対象一覧（ベント準備）

	操作対象弁	操作場所	操作（駆動）方法	操作時間
炉心損傷前	原子炉格納容器一次隔離弁 (空気駆動弁)	中央制御室	操作スイッチ	約1分
		二次格納施設外	専用ポンベ	約15分 ^{※2} (実操作時間約5分＋移動時間10分)
			エクステンション	約25分 ^{※2} (実操作時間想定約15分＋移動時間10分)
炉心損傷後	原子炉格納容器二次隔離弁 (電動駆動弁)	中央制御室	操作スイッチ	約1分
		二次格納施設外	エクステンション	約25分 ^{※2} (実操作時間約15分＋移動時間10分)
	原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁 (手動駆動弁)	二次格納施設外	エクステンション	評価中

(d) フィルタ装置ドレン移送ポンプ水張り

格納容器ベント中に想定されるフィルタ装置水位調整準備として、乾燥状態で保管されているドレン移送ポンプへ水張りを実施する。ドレン移送ポンプの水張りは、手動弁{T61-F502A/B}を「全開」、手動弁{T61-F501}を「開」し、フィルタ装置の水頭圧によりドレン移送ポンプ水張りを実施する。

水張り完了の確認は、ドレン移送ポンプの空気抜き弁により確認する。この操作は、「約1時間」程度で操作可能であると考えている。

ドレン移送ポンプ水張り完了後は、手動弁{T61-F501, F502A/B, F209}を「全開」する。

また、ドレン移送ポンプの水張りに合わせて、フィルタ装置排水ラインの健全性を圧力計により確認する。

ドレン移送ポンプの水張り操作は、屋外での操作になる。格納容器ベント操作前であるため作業エリアの環境による作業性への影響はない。また、可搬設備は使用しないためアクセス性に影響はない。

(e) 中央制御室待避所設営

炉心損傷後の格納容器ベント操作前に準備操作として、中央制御室待避所への資機材搬入・待避所での監視装置の設営・中央制御室換気空調系の隔離操作・待避所の加圧操作等を実施する。

(f) 緊急時対策所待避所設営

炉心損傷後の格納容器ベント操作前に準備操作として、緊急時対策所待避所への資機材搬入・待避所での監視装置の設営・緊急時対策所換気空調系の隔離操作・待避所の加圧操作等を実施する。

(g) 格納容器圧力逃がし装置付帯設備（可搬）

格納容器圧力逃がし装置付帯設備（可搬）として「格納容器圧力逃がし装置給水設備」、「格納容器圧力逃がし装置窒素パージ設備」及び「フィルタ装置薬品注入設備」がある。格納容器ベント前準備としては以下のとおり。

・ 給水設備（消防車）

常時フィルタ装置は通常水位で維持されており、格納容器ベント開始後は水蒸気の凝縮により水位は上昇傾向であるため、基本的に補給の必要性はないと考える。

フィルタ装置の水位が低下する要因として、フィルタ装置内で補足した放射性物質の放熱による蒸発量が水蒸気の凝縮量より大きくなる場合である。これは、格納容器ベント停止後、水蒸気の流入が減少した場合に起きやすく、格納容器ベント中は水蒸気の流入が継続するため起こり難い。そのため、消防車は格納容器ベント停止前、または格納容器ベント長時間継続による水蒸気の流入が減少

し、フィルタ装置水位が低下傾向を示した場合に準備すればよく、格納容器ベント前に準備する必要はない。

- ・ 窒素パージ設備（可搬型窒素供給装置）

可搬型窒素供給装置は、フィルタ装置排水後の排水ライン窒素ガスパージ時もしくは、格納容器ベント停止後の格納容器圧力逃がし装置窒素ガスパージ時及びパージ後の管理に使用する。

可搬型窒素供給装置は、事前に保管場所にて窒素ガス供給準備を実施しておくことにより、現場へ移動後にホースの接続及び接続口の隔離弁操作のみで窒素ガスを供給することができる。

これにより、フィルタ装置排水操作時または格納容器ベント停止の目途が立ってから準備をすればよく、格納容器ベント前に準備する必要はない。

- ・ 薬品注入設備

フィルタ装置内のスクラバ水の水質は、フィルタ装置水位が維持されていれば変化することはない。薬品注入設備が必要になるのは、フィルタ装置の排水によりスクラバ水の水質が低下した場合であり、排水操作に合わせて準備すればよく、格納容器ベント前に準備する必要はない。

b. 格納容器ベント開始操作

格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベント操作は、発電所対策本部長の指示を受けて、炉心損傷前の場合は原子炉格納容器二次隔離弁{T31-M0-F070}を中央制御室からの遠隔操作または、二次格納施設外からの人力操作により「調整開」とし、炉心損傷後の場合は原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側／ドライウエル側）{T31-A0-F022/F019}を二次格納施設外からの人力操作により「全開」とし、格納容器ベントを実施する。

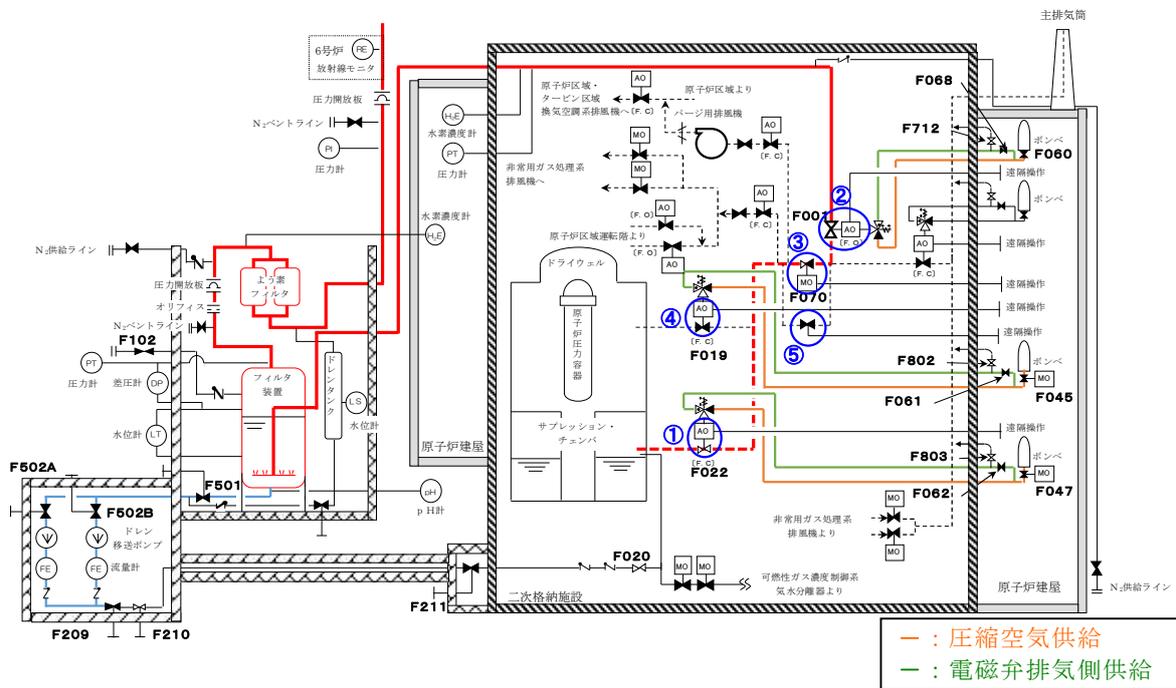
なお、原子炉格納容器二次隔離弁が操作不能の場合は、手動駆動の原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁をエクステンションにより二次格納施設の外から操作する。

格納容器からの異常な漏洩発生時における格納容器ベントは、サプレッション・チェンバ側からのベントを優先する。これは、公衆への影響が過大にならないことを目的としている。格納容器からの漏洩発生個所がドライウエル側であっても、サプレッション・チェンバ側からのベントにより格納容器圧力を低下させることは可能であり、格納容器からの漏洩を抑制することが可能である。

格納容器ベント操作に必要な空気駆動弁及び電動駆動弁は、炉心損傷前後において操作可能とする。

また、操作場所へのアクセスは複数のアクセスルートから選定することにより確保することができる。

- ① 原子炉格納容器一次隔離弁（サブプレッション・チェンバ側）
- ② フィルタ装置入口弁
- ③ 原子炉格納容器二次隔離弁
- ④ 原子炉格納容器一次隔離弁（ドライウエル側）
- ⑤ 原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁



第 4.1.2-2 図 6号炉 格納容器ベント操作前準備
及び格納容器ベント操作概略図
(格納容器圧力逃がし装置)

第 4.1.2-2 表 6号炉 格納容器ベント操作 (格納容器圧力逃がし装置)
対象弁操作方法

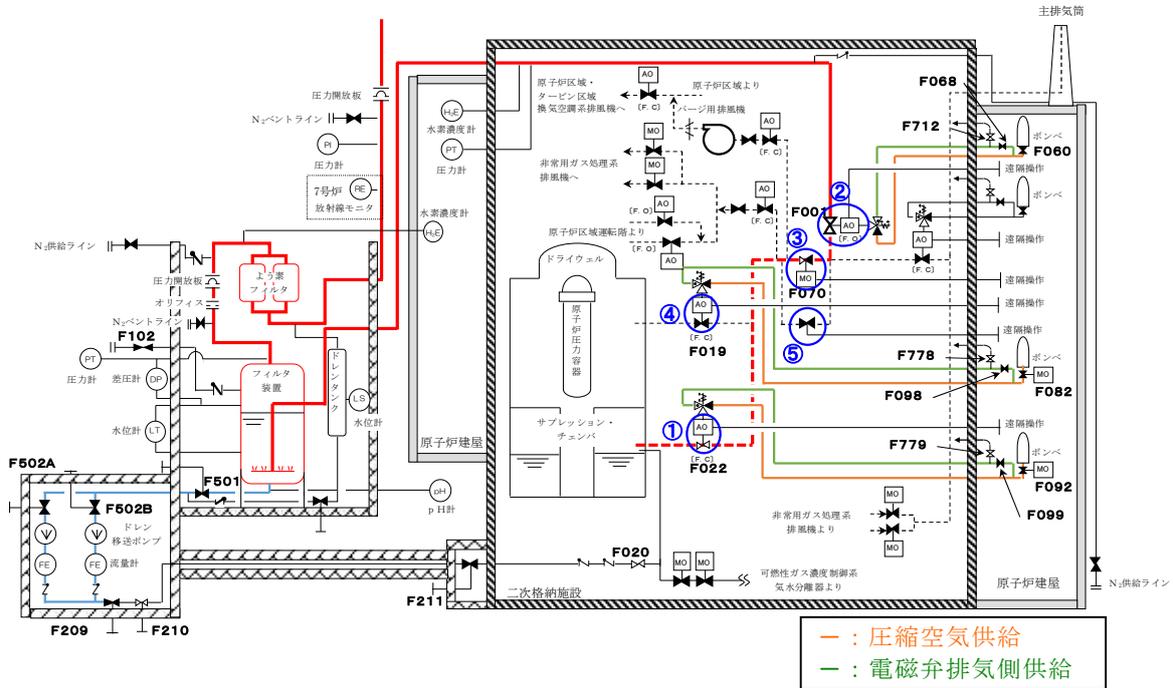
操作対象弁	弁番号	駆動方式	通常状態	駆動源等喪失時動作	操作方法							
					通常時	空気駆動源喪失時	空気駆動弁制御電源喪失時		電動弁電源喪失			
							空気駆動源健全	空気駆動弁制御電源健全	空気駆動弁制御電源喪失	空気駆動源健全	空気駆動弁制御電源健全	空気駆動弁制御電源喪失
① 原子炉格納容器一次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	T31-A0-F022	空気駆動弁	通常閉	F. C	中操	専用ポンベ (中操)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
② フィルタ装置入口弁	T61-A0-F001	空気駆動弁	通常開	F. O	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
③ 原子炉格納容器二次隔離弁	T31-M0-F070	電動駆動弁	通常閉	F. A. I	中操	中操	中操	エクステンション (現場)	エクステンション (現場)	エクステンション (現場)	エクステンション (現場)	
④ 原子炉格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側)	T31-A0-F019	空気駆動弁	通常閉	F. C	中操	専用ポンベ (中操)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
⑤ 原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁	弁番号未定	手動駆動弁	通常閉	-	エクステンション (現場)	-	-	-	-	-	-	-

F. C : 駆動源等喪失時「閉」
 F. O : 駆動源等喪失時「開」
 F. A. I : 駆動源等喪失時「現状維持」

現場二次格納施設外(非管理区域)

※現場操作場所の詳細については「1. 2 規制基準への適合性」参照

- ① 原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側）
- ② フィルタ装置入口弁
- ③ 原子炉格納容器二次隔離弁
- ④ 原子炉格納容器一次隔離弁（ドライウエル側）
- ⑤ 原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁



第 4.1.2-3 図 7号炉 格納容器ベント操作前準備
及び格納容器ベント操作概略図
(格納容器圧力逃がし装置)

第 4.1.2-3 表 7号炉 格納容器ベント操作 (格納容器圧力逃がし装置)
対象弁操作方法

操作対象弁	弁番号	駆動方式	通常状態	駆動源等喪失時動作	操作方法							
					通常時	空気駆動源喪失時	空気駆動弁制御電源喪失時		電動弁電源喪失			
							空気駆動源健全	空気駆動弁制御電源健全	空気駆動弁制御電源喪失	空気駆動源健全	空気駆動弁制御電源健全	空気駆動弁制御電源喪失
① 原子炉格納容器一次隔離弁 (サプレッション・チェンバ側)	T31-A0-F022	空気駆動弁	通常閉	F, C	中操	専用ポンベ (中操)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
② フィルタ装置入口弁	T61-A0-F001	空気駆動弁	通常開	F, O	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
③ 原子炉格納容器二次隔離弁	T31-M0-F070	電動駆動弁	通常閉	F, A, I	中操	中操	中操	エクステンション (現場)				
④ 原子炉格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側)	T31-A0-F019	空気駆動弁	通常閉	F, C	中操	専用ポンベ (中操)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)	中操	専用ポンベ (中操&現場)	専用ポンベ (現場)	エクステンション (現場)
⑤ 原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁	弁番号未定	手動駆動弁	通常閉	-	エクステンション	-	-	-	-	-	-	-

F, C : 駆動源等喪失時「閉」
 F, O : 駆動源等喪失時「開」
 F, A, I : 駆動源等喪失時「現状維持」

現場二次格納施設外 (非管理区域)

※現場操作場所の詳細については「6. 規制基準への適合性」参照

c. 格納容器ベント中操作

格納容器ベント操作を実施した際は、格納容器圧力が低下することにより格納容器圧力逃がし装置が正常に動作していることを確認する。また、フィルタ装置出口放射線モニタ指示の上昇・フィルタ装置入口圧力指示の格納容器圧力に追従することによっても格納容器圧力逃がし装置が正常に動作していることを確認する。なお、耐圧強化ベント系へのリークが無いことを、耐圧強化ベントラインに設置されている放射線モニタ指示が変化しないことにより確認することができる。

これらのパラメータにより格納容器ベントが正常に行われていないことを確認した場合は、原因調査を開始し、格納容器隔離弁の不具合が考えられる場合は遠隔操作から人力操作への切替・サプレッション・チェンバ側からドライウェル側への切替・二次隔離弁バイパス弁への切替を実施する。格納容器圧力逃がし装置の不具合が考えられる場合は耐圧強化ベントまたは代替格納容器圧力逃がし装置への切替を実施する。時間的な余裕がある場合は、格納容器圧力逃がし装置側を隔離してから耐圧強化ベント系等へ切り替える。耐圧強化ベント系への切替後、格納容器圧力逃がし装置の不具合が解消された場合には、再度格納容器圧力逃がし装置への切替を実施する。

原子炉格納容器二次隔離弁{T31-M0-F070}は「中間開（50%程度）」^{※1}を目標に操作するが、格納容器の圧力低下傾向に応じて開度を調整する。

(※1 目標開度を定めるに際して、「中間開（50%程度）」よりも絞った「25%開度」で評価したところ、圧力容器が破損している状態では、一旦格納容器圧力は低下するものの、格納容器内で発生する蒸気により、格納容器圧力が上昇する結果となった。また、「100%開度」の評価とも比較し、「50%開度」であれば十分に減圧できることを確認した。急激な減圧による格納容器に対する負荷を避けることも重要である。さらに、目標開度「中間開（50%程度）」以下では、格納容器ベント実施後における屋外の線量低下が遅くなると推測されるため、屋外での復旧作業の再開が遅れることが懸念される。これらにより、目標開度を「中間開（50%程度）」としている。)

(※2 原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁を使用した格納容器ベントの場合も同様となる計画である。)

格納容器ベント中は、格納容器圧力の低下を継続監視すると共にサプレッション・チェンバ水位、フィルタ装置入口圧力、フィルタ装置水位、ドレンタンク水位及びフィルタ装置出口放射線モニタを監視する。

サプレッション・チェンバ水位がサプレッション・チェンバ取り出し配管位置 以下^{※3}であることを確認する。

(※3 サプレッション・チェンバ取り出し配管位置に到達した場合は、サプレッション・チェンバからの取り出しをドライウェルからの取り出しに切り替える。格納容器ベント

中にサブプレッション・チェンバ水位が上昇する要因として、原子炉へ注水された水が破断口または主蒸気逃がし安全弁から流入することが考えられる。なお、サブプレッション・チェンバ水温が飽和温度を下回っている場合、原子炉内の蒸気が主蒸気逃がし安全弁を通してサブプレッション・チェンバで凝縮することにより水位が上昇することが考えられる。)

フィルタ装置水位が「2200mm(上限水位)^{※4}」から「1000mm(通常水位)^{※5}」の範囲にあること及び金属フィルタ差圧が [] であることを確認する。この範囲を逸脱する場合は以下のとおりフィルタ装置水位調整を実施する。

フィルタ装置水位が「2200mm(上限水位)」に到達した場合及び金属フィルタ差圧が [] に到達した場合は、フィルタ装置機能維持のためフィルタ装置の排水を実施する。フィルタ装置の排水は、手動弁{T61-F501, F502A/B, F210, F211}を「全開」し、ドレン移送ポンプA/Bのどちらかを起動する。ドレン移送ポンプ起動後、手動弁{T61-F209}にて流量調整し、フィルタ装置内の水をサブプレッション・チェンバへ排水する。

フィルタ装置水位「1000mm(通常水位)」でフィルタ装置の排水を停止する。

(※4 上限水位はフィルタ装置内のベントガスによる吹き上がりによる上昇を考慮しても金属フィルタ下端水位「5000mm」まで到達しない水位として定めている。「3.2.2.2 事故時のフィルタ装置のパラメータ変化」にあるとおり、フィルタ装置水位が「2200mm」であれば吹き上がりを考慮しても金属フィルタ下端には到達しない。)

(※5 通常水位は下限水位に対して管理上の余裕を持たせた値として設定している。)

フィルタ装置の排水停止後、フィルタ装置薬液補給及びフィルタ装置排水ライン窒素ガスパージを行う。

フィルタ装置薬液補給は、フィルタ装置補給用接続口に薬液注入装置からの送水ホースを接続し、フィルタ装置補給水弁{T61-F102}を「全開」にして必要補充量の薬液補給を実施する。

フィルタ装置排水ライン窒素ガスパージは、ドレン移送ポンプ出口ラインの残留水を可搬型窒素供給装置による窒素ガスによりサブプレッション・チェンバに排水する。排水ライン接続口に可搬型窒素供給装置からの送気ホースを接続し、手動弁{T61-F211, F213}を「全開」にしてドレン移送ポンプ出口ラインの残留水をサブプレッション・チェンバに排水及び窒素ガスパージを実施する。ドレン移送ポンプ出口ラインを加圧するために手動弁{T61-F211}を「全閉」とし、圧力計により加圧されたことを確認する。加圧確認後、手動弁{T61-F211}を「全閉」とし窒素ガスパージを終了する。

フィルタ装置水位が「1000mm(通常水位)」を下回り「500mm(下限水位)^{※6}」に到達する前に、フィルタ装置補給水ラインからフィルタ装置へ水

張りを実施する。

フィルタ装置の水張りは、フィルタ装置補給用接続口に可搬型注水ポンプからの送水ホースを接続し、フィルタ装置補給水弁{T61-F102}を「全開」にして水張りを実施する。

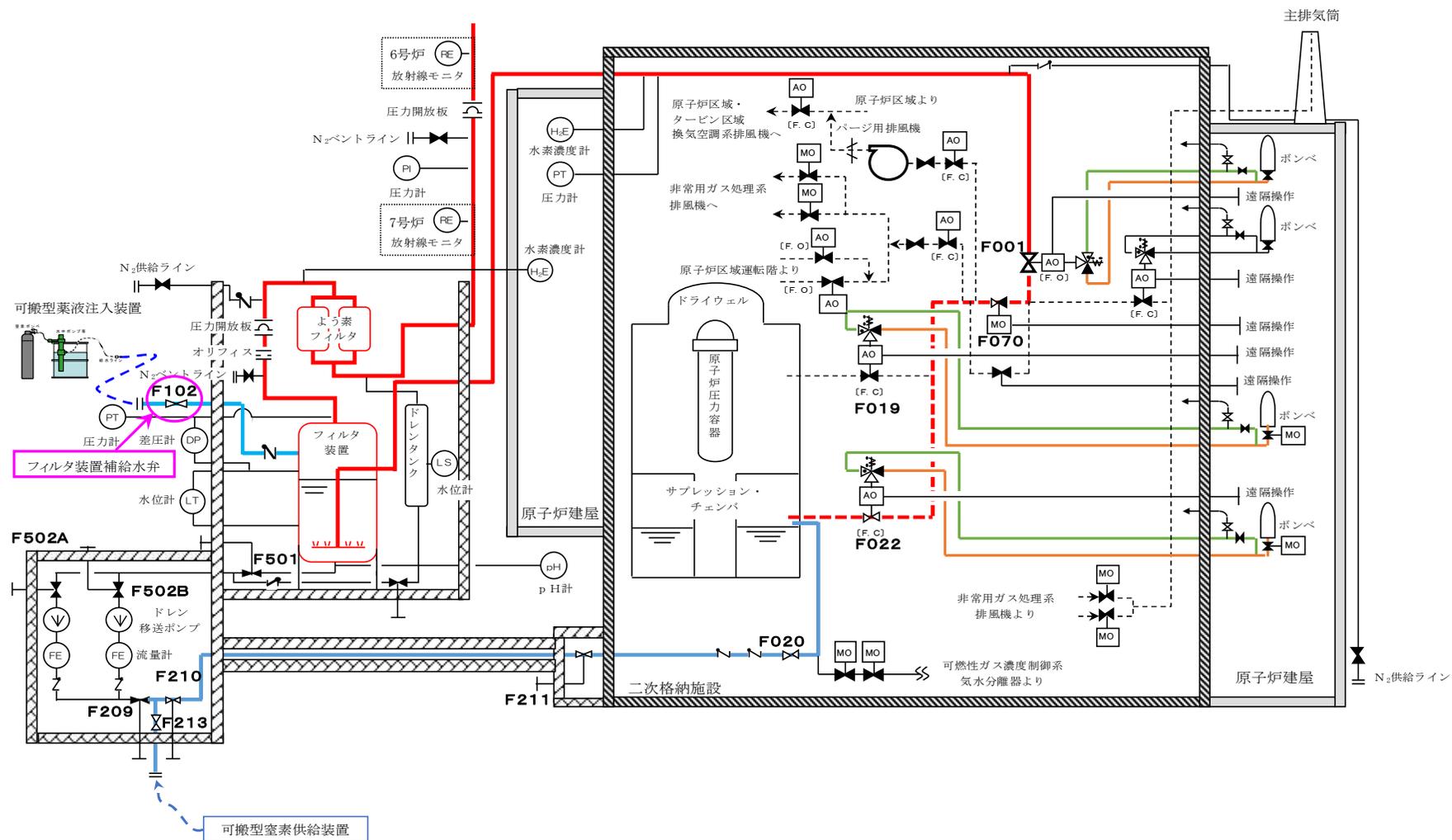
フィルタ装置水位「1000mm（通常水位）～1500mm」で水張りを停止する。

（※6 下限水位はDF性能確認試験の結果から得られた最低水位であるため、この水位を下回らないように水位調整を実施する必要がある。）

フィルタ装置の排水操作は、可搬設備を使用しないためアクセス性に影響はない。また、作業エリアの被ばく線量率が低下した後に作業を行う。

フィルタ装置薬液補給、フィルタ装置排水ライン窒素ガスパージ及びフィルタ装置の補給操作は、可搬設備を使用するためアクセスルートに支障がある場合は、重機等を使用してアクセスルートを確保する。また、作業エリアの被ばく線量率が低下した後に作業を行う。

ドレンタンク水位が水位高に到達した場合は、よう素フィルタの機能維持のために排水操作を実施する。ドレンタンクの排水は、ドレンタンク出口弁{弁番号未定}を全開しフィルタ装置の排水操作と同様に排水操作を行う。ドレンタンク水位が水位低まで排水後、排水操作を停止する。



4.1.2-5 図 フィルタ装置薬液補給・排水ライン窒素ガスパージ操作概略図
(格納容器圧力逃がし装置)

d. 格納容器ベント停止操作

格納容器ベント停止判断には下記の2つがある。

(a) 炉心損傷前ベント実施中に炉心の健全性が確認できない場合

炉心損傷前ベント実施中に、炉心の健全性が確認できない場合は炉心損傷に至る可能性があるため格納容器ベントを停止する。この判断は、格納容器雰囲気放射線モニタまたは原子炉圧力容器温度計により判断する。

(b) 格納容器除熱機能等が回復した場合

格納容器ベント実施中に、格納容器圧力逃がし装置以外の格納容器除熱機能及び格納容器可燃性ガス濃度制御機能が回復し、格納容器破損防止のため使用した格納容器圧力逃がし装置を停止できると判断した場合に、格納容器ベントを停止する。

具体的には、残留熱除去系による格納容器除熱機能が使用可能な状態になり、長期にわたり格納容器の冷却が可能であること、格納容器内雰囲気モニタが使用可能な状態になり、格納容器内酸素／水素濃度測定が可能であること、及び可燃性ガス濃度制御系が使用可能な状態になり、格納容器内における水の放射線分解により発生する酸素／水素を可燃限界濃度に到達することなく制御が可能であることが確認された場合に、格納容器圧力逃がし装置を停止することができる。

なお、残留熱除去系による格納容器除熱により格納容器が負圧になることを防止するため過度な冷却を実施しないように操作するとともに、不活性ガス系統からの窒素ガス供給を実施する。

格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベントの停止操作は、原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側／ドライウエル側）{T31-A0-F022/F019}、原子炉格納容器二次隔離弁{T31-M0-F070}または原子炉格納容器二次隔離弁バイパス弁を、中央制御室からの遠隔操作または二次格納施設外からの現場操作にて「全閉」する。

格納容器ベント停止操作時に設備の故障が発生した場合には、原子炉格納容器一次隔離弁は「F. C」であるため「全閉」すると考えられる。また、二次格納施設外からエクステンションによる操作により確実に「全閉」することができる。原子炉格納容器二次隔離弁は電動駆動弁であるため、駆動電源喪失時は二次格納施設外からエクステンションによる操作により「全閉」する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置による格納容器の破損防止が必要になった場合、中央制御室操作または現場操作により格納容器ベント操作を実施することができる。通常は、中央制御室からの遠隔操作により実施するが、それができない場合は現場操作により実施することができる。

格納容器ベント操作が必要な状況になった際に速やかに操作ができるように、事前から重要なパラメータ（格納容器圧力、格納容器温度、サプレッション・チェンバ水位、フィルタ装置水位）の監視、その他必要な操作を実施する。

a. 格納容器ベント操作前準備

格納容器ベント操作前のフィルタ装置排水ラインへの水張りは、格納容器圧力逃がし装置と同様に実施する計画である。操作の詳細については設計に合わせて決定する。

b. 格納容器ベント開始操作

代替格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベント操作は、地下式FCVS原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）を中央制御室からの遠隔操作により「全開」とし、発電所対策本部長の指示を受けて地下式FCVS原子炉格納容器二次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）を中央制御室からの遠隔操作により「調整開」とし、格納容器ベントを実施する。

中央制御室からの遠隔操作ができない場合は、地下式FCVS原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）及び地下式FCVS原子炉格納容器二次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）を駆動部に設置されたエクステンションにより二次格納施設の外から操作する。

c. 格納容器ベント中操作

格納容器ベント操作を実施した際は、格納容器圧力が低下することにより代替格納容器圧力逃がし装置が正常に動作していることを確認する。

地下式FCVS原子炉格納容器二次隔離弁の開度は設計に合わせて決定する。

格納容器ベント中の監視事項、及びフィルタ装置の水位調整については、格納容器圧力逃がし装置と同様の操作を実施する計画である。操作の詳細については設計に合わせて決定する。

d. 格納容器ベント停止操作

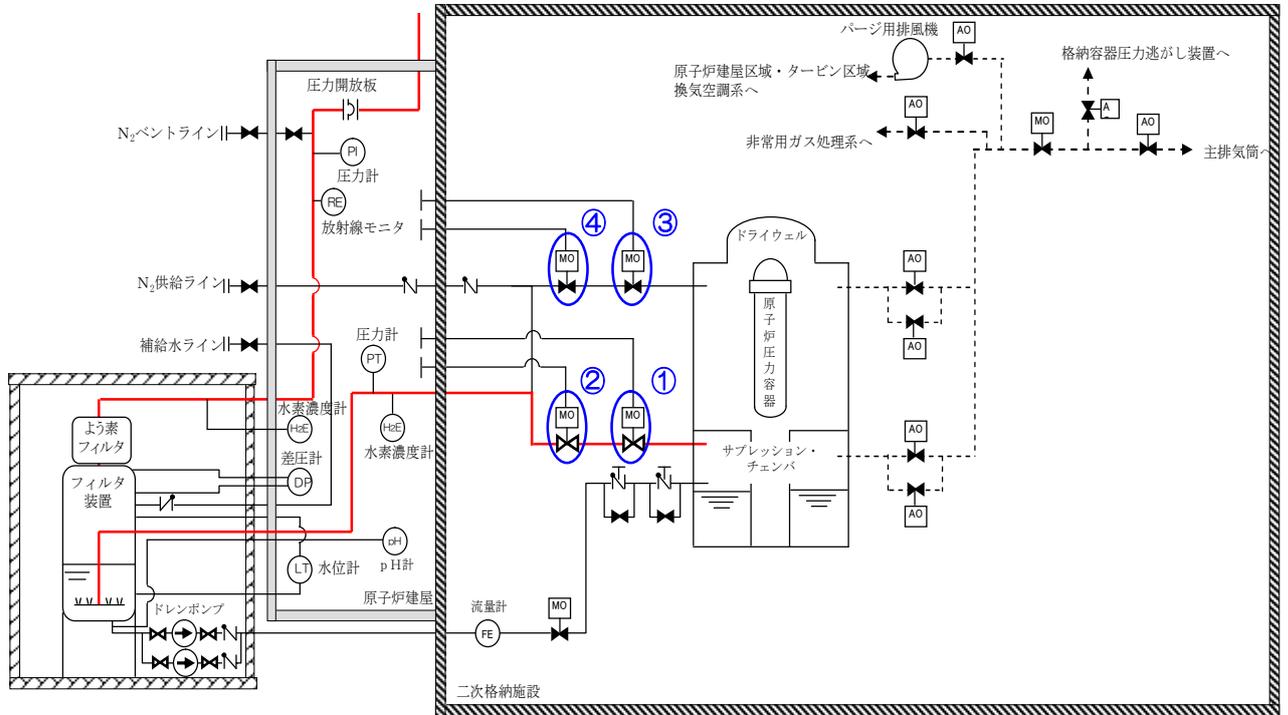
格納容器ベント実施中に、代替格納容器圧力逃がし装置以外の格納容器除熱機能が回復し、格納容器可燃性ガス濃度制御機能が確保され、格納容器破損防止のため使用した代替格納容器圧力逃がし装置を停止でき

ると判断した場合に、発電所対策本部長の指示により格納容器ベントを停止する。

具体的には、残留熱除去系による格納容器除熱機能が回復し長期にわたり格納容器の冷却が可能であること、格納容器内雰囲気モニタによる格納容器内酸素／水素濃度測定が可能であること、及び格納容器内における水の放射線分解により発生する酸素／水素を可燃性ガス濃度制御系により可燃限界濃度に到達することなく制御が可能であることが確認された場合に、代替格納容器圧力逃がし装置を停止することができる。

代替格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベントの停止操作は、地下式FCVS原子炉格納容器一次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）、及び地下式FCVS原子炉格納容器二次隔離弁（サプレッション・チェンバ側またはドライウエル側）を、中央制御室からの遠隔操作または現場操作にて「全閉」する。

- ① 地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁（サブプレッション・チェンバ側）
- ② 地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁（サブプレッション・チェンバ側）
- ③ 地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁（ドライウエル側）
- ④ 地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁（ドライウエル側）



第 4. 1. 2-6 図 代替格納容器圧力逃がし装置操作概略図

第 4. 1. 2-4 表 格納容器ベント操作（代替格納容器圧力逃がし装置）
対象弁操作方法

	操作対象弁	駆動方式	操作方法	
			通常時	電源喪失時
①	地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	電動駆動弁	中操	エクステンション (二次格納容器外 (非管理区域))
②	地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	電動駆動弁	中操	エクステンション (二次格納容器外 (非管理区域))
③	地下式FCVS 原子炉格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側)	電動駆動弁	中操	エクステンション (二次格納容器外 (非管理区域))
④	地下式FCVS 原子炉格納容器二次隔離弁 (ドライウエル側)	電動駆動弁	中操	エクステンション (二次格納容器外 (非管理区域))

4.1.3 中央制御室及び現場でのパラメータ監視

【格納容器圧力逃がし装置】

【フィルタ装置水位】

格納容器ベント操作前に、フィルタ装置水位が「1000mm(通常水位)^{※1}」付近であることを確認し必要に応じてフィルタ装置水位の調整を実施する。

格納容器ベント操作時は、ベントガス蒸気の凝縮によりフィルタ装置水位が上昇するため継続監視し、フィルタ装置水位が「2200mm(上限水位)^{※2}」に到達した場合は、フィルタ装置性能維持のためフィルタ装置の排水を実施する。

格納容器ベント操作時または格納容器ベント停止後に、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しフィルタ装置水位が低下する場合は、「1000mm(通常水位)」を下回り「500mm(下限水位)^{※3}」に到達する前に、フィルタ装置補給水ラインからフィルタ装置へ水張りを実施する。

フィルタ装置水位は中央制御室、緊急時対策所及びフィルタベント計装ラック(フィルタベント装置近傍)にて確認することができる。

(※1 通常水位は下限水位に対して管理上の余裕を持たせた値として設定している。)

(※2 上限水位はフィルタ装置内のベントガスによる吹き上がりによる上昇を考慮しても金属フィルタ下端水位「5000mm」まで到達しない水位として定めている。)

(※3 下限水位はDF性能確認試験の結果から得られた最低水位であるため、この水位を下回らないように水位調整を実施する必要がある。)

【フィルタ装置出口放射線モニタ】

格納容器ベント実施時に、フィルタ装置出口の放射線量を監視し、初期値から指示上昇により放射性物質を含むガスが放出されていることを確認する。

また、格納容器ベント中においても継続監視することにより、放射性物質を含むガスの放出状況を把握する。

格納容器ベント停止後も、フィルタ装置出口配管が開放状態にあるため継続監視する。

フィルタ装置出口放射線モニタは中央制御室、緊急時対策所にて確認することができる。

【フィルタ装置入口圧力】

格納容器圧力逃がし装置点検等後の系統内窒素置換操作後に、フィルタ装置入口圧力を監視することにより窒素置換状態が維持され待機状態にあることを確認する。

格納容器ベント実施時に、待機圧力から上昇した後、格納容器圧力の低下と追従して低下傾向を示すことにより格納容器圧力逃がし装置が正常に動作していることを確認する。

また、格納容器ベント停止後に窒素ガスによるパージを実施した後は、配管内に残留した蒸気が凝縮することにより、フィルタ装置内の水の放射線分解により発生する水素の蓄積を防止するためフィルタ装置入口圧力が正圧で維持されていることを確認する。

フィルタ装置入口圧力は中央制御室、緊急時対策所及び二次格納施設外にて確認することができる。

【フィルタ装置出口圧力】

格納容器圧力逃がし装置点検等後の系統内窒素置換操作時に、可搬型窒素供給装置からの窒素ガスによりフィルタ装置出口圧力が待機状態の圧力まで加圧されたこと、及び圧力開放板の動作圧力まで加圧されないことを確認する。

なお、格納容器ベント実施後は圧力開放板が開放することにより大気圧と等しくなる。

フィルタ装置出口圧力は中央制御室、緊急時対策所及び現場（フィルタベント装置近傍）にて確認することができる。

【フィルタ装置出口配管圧力計】

格納容器圧力逃がし装置点検等後の系統内窒素置換操作時に、可搬型窒素供給装置からの窒素ガスによりフィルタ装置出口配管圧力が待機状態の圧力まで加圧されたこと、及び圧力開放板の動作圧力まで加圧されないことを確認する。

なお、格納容器ベント実施後は圧力開放板が開放することにより大気圧と等しくなる。

フィルタ装置出口配管圧力は原子炉建屋 4 階屋上にて確認することができる。

【フィルタ装置水素濃度】

フィルタ装置入口及び出口配管に設置されている水素濃度計にて格納容器ベント操作後の窒素ガスによるパージ操作により、フィルタ装置入口及び出口配管内に水素が残留していないことを確認する。

また、窒素ガスによるパージ操作後もフィルタ装置入口及び出口配管内に水素が流入していないことを確認する。

フィルタ装置水素濃度は中央制御室、緊急時対策所にて確認することができる。

【フィルタ装置ドレン流量】

フィルタ装置ドレン移送ラインに設置されている流量計にて、フィルタ装置排水量及びドレンタンク排水量を確認する。

フィルタ装置ドレン流量は現場（フィルタベント装置近傍）にて確認することができる。

【フィルタ装置スクラバ水 pH 計】

フィルタ装置の水位調整を実施した後、薬液を補給する際にスクラバ水の pH を確認する。

フィルタ装置スクラバ水 pH 計は現場（フィルタベント装置近傍）にて確認することができる。

【金属フィルタ差圧計】

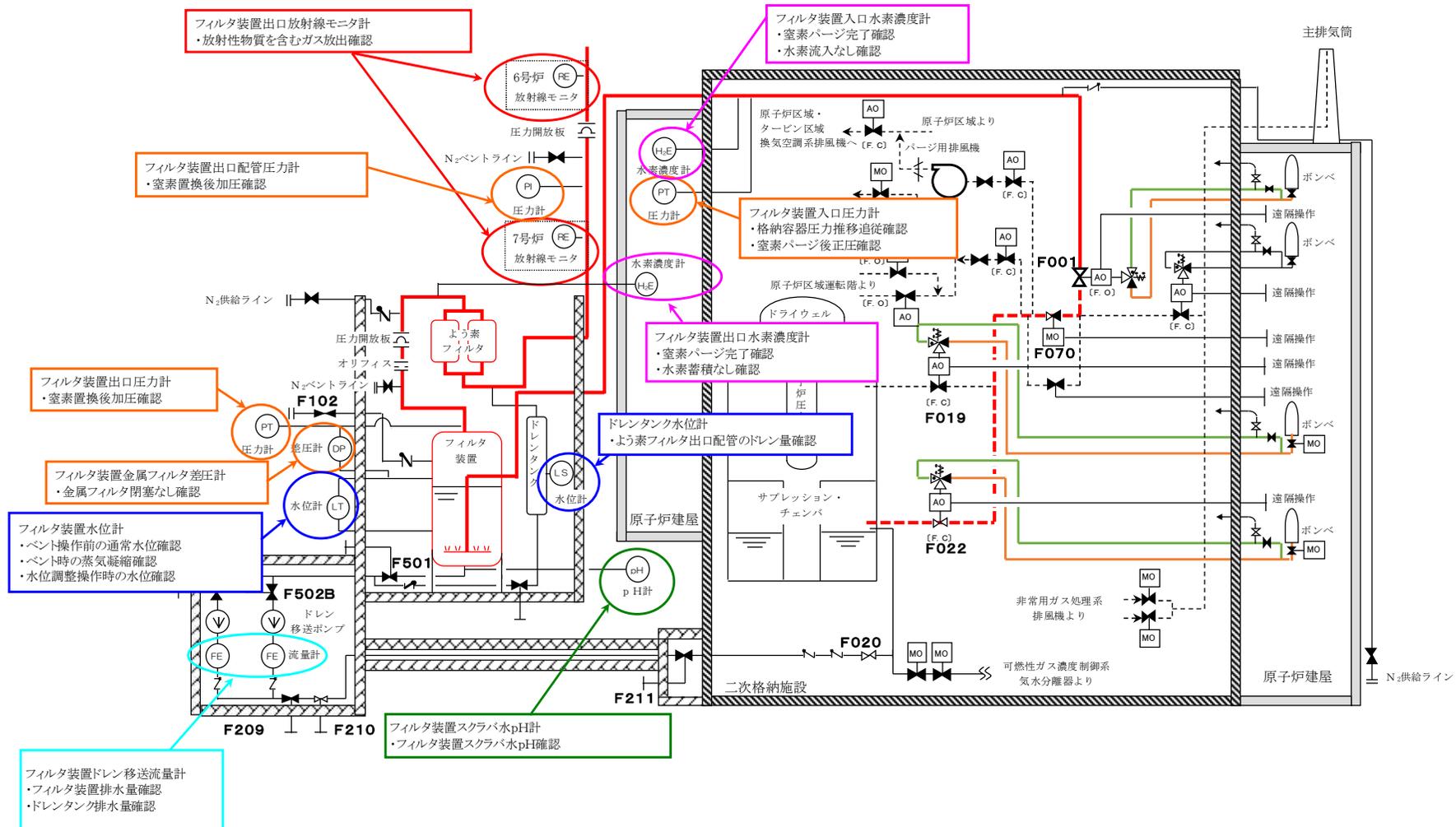
金属フィルタ差圧計により、金属フィルタの閉塞状態を確認する。

金属フィルタ差圧計は中央制御室、緊急時対策所にて確認することができる。

【ドレンタンク水位計】

ドレンタンク水位計により、よう素フィルタ出口配管のドレン量を確認する。ドレンタンク水位が水位高に到達した場合は、よう素フィルタの機能維持のために排水操作を実施する。

ドレンタンク水位は中央制御室、緊急時対策所にて確認することができる。



第 4.1.3-1 図 格納容器圧力逃がし装置監視計器概要図

【代替格納容器圧力逃がし装置】

【フィルタ装置水位】

格納容器ベント操作前に、フィルタ装置水位が「1000mm(通常水位)^{※1}」付近であることを確認し必要に応じてフィルタ装置水位の調整を実施する。

格納容器ベント操作時は、ベントガス蒸気の凝縮によりフィルタ装置水位が上昇するため継続監視し、フィルタ装置水位が「3000mm(上限水位)^{※2}」に到達した場合は、フィルタ装置性能維持のためフィルタ装置の排水を実施する。

格納容器ベント操作時または格納容器ベント停止後に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しフィルタ装置水位が低下する場合は、「1000mm(通常水位)^{※1}」を下回り「500mm(下限水位)^{※3}」に到達する前に、フィルタ装置補給水ラインからフィルタ装置へ水張りを実施する。

フィルタ装置水位は中央制御室及び現場にて確認する計画である。

(※1 通常水位は下限水位に対して管理上の余裕を持たせた値として設定している。)

(※2 上限水位はフィルタ装置内のベントガスによる吹き上がりによる上昇を考慮しても金属フィルタ下端水位「6000mm」まで到達しない水位として定めている。)

(※3 下限水位はDF性能確認試験の結果から得られた最低水位であるため、この水位を下回らないように水位調整を実施する必要がある。)

【フィルタ装置出口放射線モニタ】

格納容器ベント実施時に、フィルタ装置出口の放射線量を監視し、初期値からの指示上昇により放射性物質を含むガスが放出されていることを確認する。

また、格納容器ベント中においても継続監視することにより、放射性物質を含むガスの放出状況を把握する。

格納容器ベント停止後も、フィルタ装置出口配管が開放状態にあるため継続監視する。

フィルタ装置出口放射線モニタは中央制御室にて確認する計画である。

【フィルタ装置入口圧力】

代替格納容器圧力逃がし装置点検等後の系統内窒素置換操作後に、フィルタ装置入口圧力を監視することにより窒素置換状態が維持され待機状態にあることを確認する。

格納容器ベント実施時に、待機圧力から上昇した後、格納容器圧力の低下と追従して低下傾向を示すことにより代替格納容器圧力逃がし装置が正常に動作していることを確認する。

また、格納容器ベント停止後に窒素ガスによるパージを実施した後は、配管内に残留した蒸気が凝縮することにより、フィルタ装置内の水の放射線分解により発生する水素の蓄積を防止するためフィルタ装置入口圧力が

正圧で維持されていることを確認する。

フィルタ装置入口圧力は中央制御室及び現場にて確認する計画である。

【フィルタ装置出口圧力】

代替格納容器圧力逃がし装置点検等後の系統内窒素置換操作時に、可搬型窒素供給装置からの窒素ガスによりフィルタ装置出口圧力が待機状態の圧力まで加圧されたこと、及び圧力開放板の動作圧力まで加圧されていないことを確認する。

なお、格納容器ベント実施後は圧力開放板が開放することにより大気圧と等しくなる。

フィルタ装置出口圧力は現場にて確認する計画である。

【フィルタ装置水素濃度】

フィルタ装置入口及び出口配管に設置されている水素濃度計にて格納容器ベント操作後の窒素ガスによるパージ操作により、フィルタ装置入口及び出口配管内に水素が残留していないことを確認する。

また、窒素ガスによるパージ操作後もフィルタ装置入口及び出口配管内に水素が流入していないことを確認する。

フィルタ装置水素濃度は中央制御室にて確認する計画である。

【フィルタ装置ドレン流量】

フィルタ装置ドレン移送ラインに設置されている流量計にて、フィルタ装置排水量を確認する。

フィルタ装置ドレン流量は現場にて確認する計画である。

【フィルタ装置スクラバ水 pH 計】

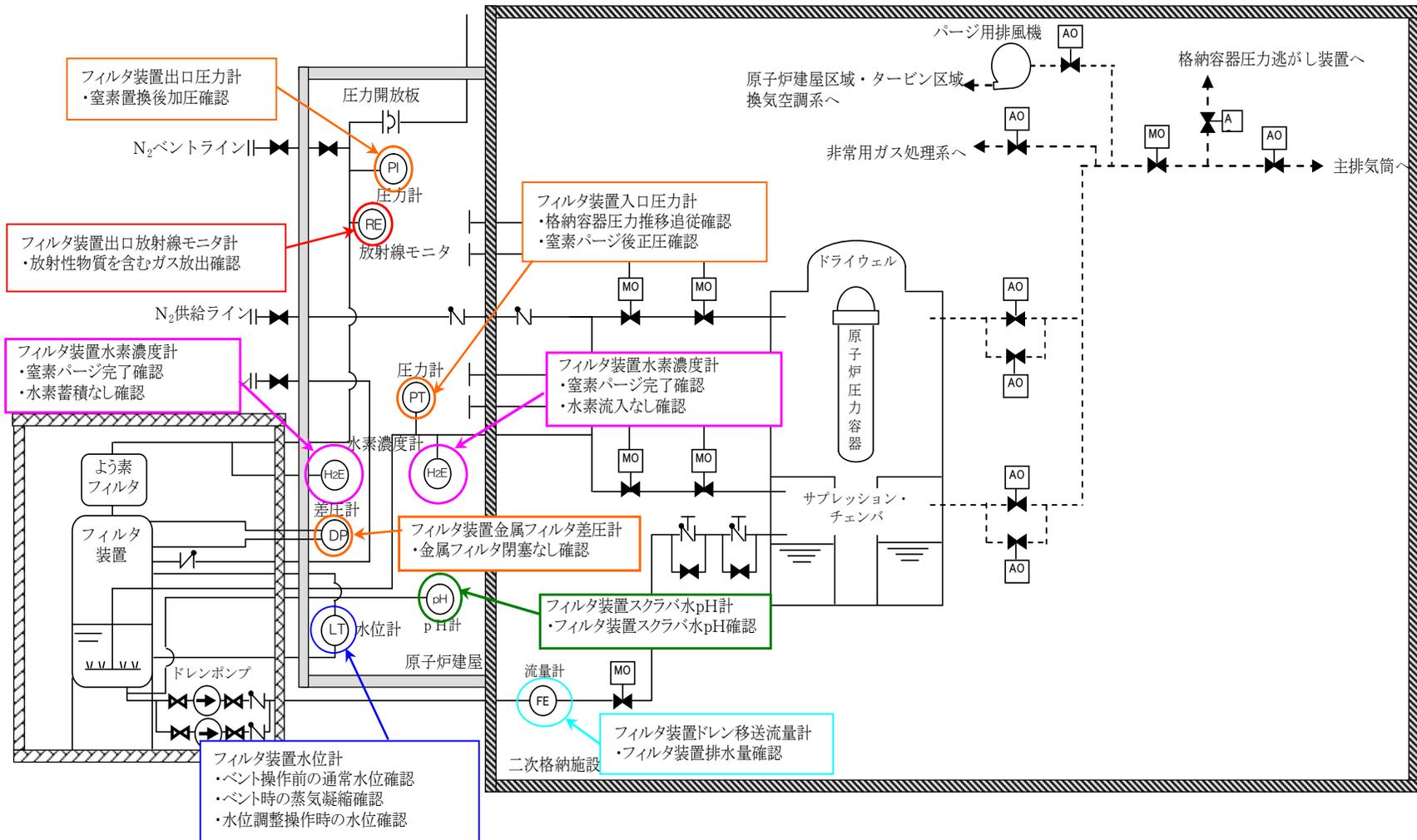
フィルタ装置の水位調整を実施した後、薬液を補給する際にスクラバ水の pH を確認する。

フィルタ装置スクラバ水 pH 計は現場にて確認する計画である。

【金属フィルタ差圧計】

金属フィルタ差圧計により、金属フィルタの閉塞状態を確認する。

金属フィルタ差圧計は中央制御室にて確認する計画である。



第 4.1.3-2 図 代替格納容器圧力逃がし装置監視計器概要図

4.2 格納容器圧力逃がし装置の操作性

4.2.1 ベント弁操作エリア

4.2.1.1 ベント時の被ばく評価（線量分布）

ベント時に二次格納施設外にて現場作業を行う際は、二次格納施設内の放射性物質からのガンマ線による影響を受ける。

この経路からの被ばく線量を評価した結果、ベント時に二次格納施設外にて行う現場作業の作業線量は、6号炉側の作業で最大約43mSv、7号炉側の作業で最大約43mSvとなり作業可能である。

4.2.1.2 ベント後の被ばく評価（線量分布）

ベント後（ベント中を含む）に二次格納施設外にて現場作業を行う際は、4.2.1.1に示した被ばく経路に加え、二次格納施設内のベント配管内の放射性物質及び大気中に放出される希ガス等の放射性物質からのガンマ線による影響を受けることになる。

これらの経路からの被ばく線量を評価した結果、ベント後に二次格納施設外にて行う現場作業の作業線量は、6号炉側の作業で最大約8.6mSv、7号炉側の作業で最大約6.0mSvとなり作業可能である。

4.2.2 フィルタ装置遮へい壁周辺

4.2.2.1 ベント時の被ばく評価（線量分布）

ベント時に屋外にて現場作業を行う際は、二次格納施設内の放射性物質からのガンマ線による影響を受ける。

この経路からの被ばく線量を評価した結果、屋外にて行う現場作業の作業線量は、6号炉側の作業で最大約2mSv、7号炉側の作業で最大約2mSvとなり作業可能である。

4.2.2.2 ベント後の被ばく評価（線量分布）

ベント後（ベント中を含む）に屋外にて現場作業を行う際は、4.2.1.1に示した被ばく経路に加え、フィルタ装置、よう素フィルタ及びベント配管内の放射性物質並びに大気中に放出される希ガス等の放射性物質からのガンマ線による影響を受けることになる。

これらの経路からの被ばく線量を評価した結果、ベント後に屋外にて行う現場作業の作業線量は、6号炉側の作業で最大約56mSv、7号炉側の作業で最大約56mSvとなり作業可能である。

4.3 水素燃焼防止に関する設備操作

水素燃焼防止に関する操作は以下の2つがある。

- ① 格納容器圧力逃がし装置点検等後の窒素置換
(窒素ガスによる酸素濃度低下操作)
- ② 格納容器ベント停止後の窒素ガスによるパージ
(窒素ガスによる水素，残留蒸気パージ)

- ① 格納容器圧力逃がし装置点検等後の窒素置換
(窒素ガスによる酸素濃度低下操作)

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置の点検等後は，フィルタ装置及び配管内部に酸素が存在するため，格納容器ベント操作時に，格納容器から流入した水素による燃焼を防止する必要がある。そのため，格納容器圧力逃がし装置を待機状態とする前に，窒素ガスを注入し酸素濃度を低下させ，窒素置換状態とする。

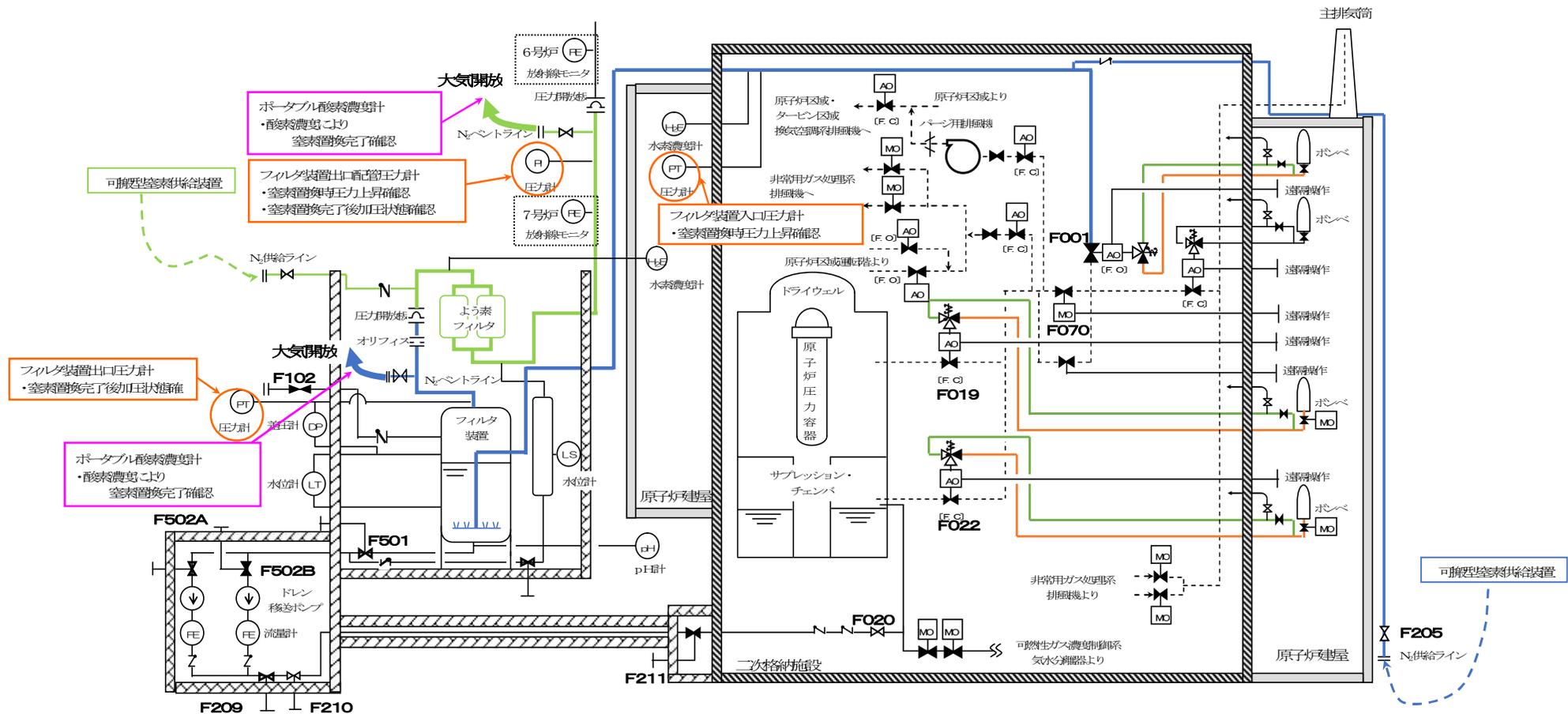
格納容器圧力逃がし装置の窒素置換操作は，「フィルタ装置入口配管，フィルタ装置」「フィルタ装置出口配管」の二つに区別される。

「フィルタ装置入口配管，フィルタ装置」の窒素置換操作は，大気開放の窒素ベント弁{弁番号未定}を「全開」にし，可搬型窒素供給装置からの窒素ガスを窒素供給弁{T61-F205}を「開」することにより実施する。窒素ガス注入によって，フィルタ装置入口配管，フィルタ装置本体までの空気は，窒素ベント弁{弁番号未定}から大気へ放出される。ポータブルの酸素濃度計で放出箇所の酸素濃度を測定し「可燃限界濃度（5%）以下*」まで低下確認できれば窒素置換完了と判断する。窒素置換完了後は，空気混入防止として系統内を加圧状態とする。加圧操作は，窒素ベント弁{弁番号未定}を「閉」し，フィルタ装置出口圧力及びフィルタ装置入口圧力の指示が上昇し，フィルタ装置出口圧力が「10kPa[gage]」まで加圧された後，窒素供給弁{T61-F205}を「全閉」し加圧状態とする。

「フィルタ装置出口配管」の窒素置換操作は，大気開放の窒素ベント弁{T61-F207}を「全開」にし，可搬型窒素供給装置からの窒素ガスを窒素供給弁{弁番号未定}を「開」することにより実施する。窒素ガス注入によって，圧力開放板までのフィルタ装置出口配管内の空気は，窒素ベント弁{T61-F207}から大気へ放出される。ポータブルの酸素濃度計で放出箇所の酸素濃度を測定し「可燃限界濃度（5%）以下*」まで低下確認できれば窒素置換完了と判断する。加圧操作は，窒素ベント弁{T61-F207}を「閉」し，フィルタ装置出口配管圧力の指示が上昇し「10kPa[gage]」まで加圧された後，窒素供給弁{弁番号未定}を「全閉」し加圧状態とする。

(※ 窒素置換完了判断値は可燃限界濃度以下の値とする)

- フィルタ装置入口配管, フィルタ装置窒素置換
- フィルタ装置出口配管窒素置換



第 4.3-1 図 格納容器圧力逃がし装置窒素置換操作概略図

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の点検等後は、フィルタ装置及び配管内部に酸素が存在するため、格納容器ベント操作時に、格納容器から流入した水素による燃焼を防止する必要がある。そのため、代替格納容器圧力逃がし装置を待機状態とする前に、窒素ガスを注入し酸素濃度を低下させ、窒素置換状態とする。

窒素置換操作は格納容器圧力逃がし装置と同様の操作を実施する計画である。

操作の詳細については設計に合わせて決定する。

- ② 格納容器ベント停止後の窒素ガスによるパージ
(窒素ガスによる水素、残留蒸気パージ)

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器ベント停止後は、配管内に残留する水素による燃焼防止と、残留蒸気凝縮による配管内の負圧防止のため、格納容器圧力逃がし装置の窒素ガスによるパージを実施する。本操作を格納容器ベント停止後、どのタイミングまでに実施する必要があるかを第4.3-1表に示す。

第4.3-1表 格納容器ベント停止後の窒素ガスパージ実施時期

格納容器ベント箇所	窒素ガスパージ実施時期	根拠
サプレッション・チェンバ側	約9日後まで	フィルタ装置入口側配管の水素ガス濃度が可燃限界濃度に到達するため
ドライウエル側	約8時間まで	

※「別紙25 窒素ガスパージに対する考え方」より

格納容器圧力逃がし装置の窒素ガスによるパージ操作は、可搬型窒素供給装置からの窒素ガスを窒素供給弁{T61-F205}を「開」することにより実施する。格納容器ベント操作により、圧力開放板が開放しているため、配管及びフィルタ装置内のガスは大気放出される。窒素ガスによるパージを一定時間(可搬型窒素供給装置流量《約70Nm³/h》において3時間)注入し、フィルタ装置水素濃度が「可燃限界濃度(1%)以下」まで低下することにより窒素ガスによるパージ完了を判断する。

窒素ガスによるパージ完了後は、窒素供給弁{T61-F205}を「全閉」し窒素ガスの供給を停止する。その後は、フィルタ装置水素濃度を測定するとともに、配管内の残留蒸気凝縮により、フィルタ装置内の水の放射線分解により発生する水素の蓄積を防止するためフィルタ装置入口配管内が正圧で維持されていることを確認する。

時間経過に伴い、フィルタ装置入口配管またはフィルタ装置出口配管の水素濃度が上昇した場合には、可搬型窒素供給装置からの窒素ガスによるパージを再度実施する。再パージにより、フィルタ装置水素濃度が「可燃限界濃度（1%）以下」まで低下を確認後、窒素ガスによるパージを停止する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

格納容器ベント停止後は、配管内に残留する水素による燃焼防止と、残留蒸気凝縮による配管内の負圧防止のため、代替格納容器圧力逃がし装置の窒素ガスによるパージを実施する。

窒素ガスによるパージは、格納容器圧力逃がし装置と同様の操作を実施する計画である。

操作の詳細については設計に合わせて決定する。

5. 設備の維持管理

5.1 点検方法

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 機械設備

格納容器圧力逃がし装置の機械設備は、設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

対象機器毎の点検項目及び点検内容は、第 5.1-1 表のとおりである。

第 5.1-1 表 機械設備の対象機器毎の点検項目及び点検内容

対象機器	点検周期		点検項目	点検内容	
	本格	簡易		本格点検	簡易点検
容器	4	-	1. 本体	a. マンホール開放 b. 外観点検	—
			2. 機能確認	a. 漏えい確認	—
容器内部構造物 ・スクラパノズル ・気泡細分化装置 ・金属フィルタ ・整流板 ・吸着塔	4	-	1. 本体	a. 外観点検	—
			2. 機能確認	a. 外観点検	—
よう素フィルタ 銀ゼオライト	1	-	1. 機能確認	a. 銀ゼオライトよう素除去性能試験	—
ドレンポンプ (キャンド型)	2	1	1. 本体	a. 下記の部分の点検手入 ・ケーシング、リアカバー ・インペラ ・キャン、ローター	a. 外観点検
			2. 機能確認	a. 漏えい確認 b. 絶縁抵抗測定 c. 巻線抵抗測定 d. 試運転	a. 漏えい確認 b. 絶縁抵抗測定 c. 巻線抵抗測定 d. 試運転
伸縮継手	1	-	1. 本体	a. 外観点検 b. カバー取替	—
			2. 機能確認	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1}	—
オリフィス	10	1	1. 本体	a. 外観点検	—
			2. 機能確認	a. 外観点検	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1}
圧力開放板	2	1	1. 本体	a. 圧力開放板取替 b. フランジ面手入れ	—
			2. 機能確認	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1}	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1}
配管	10	1	1. 本体	a. 外観点検 b. フランジ部点検手入れ	—
			2. 機能確認	a. 漏えい確認	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1} a. 弁開閉試験時漏えい確認 ^{※2}

弁	10	1	1. 本体	a. 弁箱内面点検手入れ b. 弁体, 弁座, 弁棒の点検手入れ c. パッキン類取替 d. 外観点検	—
			2. 機能確認	a. 漏えい確認 b. 動作試験	a. 窒素封入圧力確認 ^{※1} a. 弁開閉試験時漏えい確認 ^{※2} b. 動作試験(駆動部付弁)

※1 窒素封入圧力及びスクラバ水位は、簡易点検の他にパトロール時等において定期的に確認を実施する。

※2 空気駆動弁の電磁弁排気ポートへの駆動空気供給による弁開閉試験時に、空気駆動弁『開』保持状態（駆動空気を供給している状態）において、駆動空気供給系の漏えい確認を行う。

※3 点検周期の単位はサイクル。

(2) 電気設備

格納容器圧力逃がし装置の電気設備は、設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

対象機器毎の点検項目及び点検内容は、第 5.1-2 表のとおりである。

第 5.1-2 表 電気設備の対象機器毎の点検項目及び点検内容

対象機器	点検周期		点検項目	点検内容	
	本格	一般		本格点検	一般点検
無停電電源装置	—	2	1. 盤	—	a. 外観点検 b. 取付器具点検 c. 冷却ファン点検
			2. 変圧器	—	a. 外観点検
			3. 試験・測定	—	a. 絶縁抵抗測定 b. 保護シーケンス試験 c. 主回路・ゲート回路波形測定 d. 停電，復旧切替試験 e. 入力電源切替試験 f. 電解コンデンサ容量測定 g. 特性試験 h. 警報試験
電動駆動弁	6	1	1. 電動機	a. 外観点検	a. 外観点検
			2. トルクスイッチ	a. トルクスイッチ点検 b. 設定値確認	—
			3. リミットスイッチ	a. リミットスイッチ点検 b. 潤滑油脂交換	—
			4. 収納箱	a. 配線類点検	—
			5. 開度計	a. 外観点検 b. 指示値確認	a. 外観点検 b. 指示値確認
			6. 試験・測定	a. 絶縁抵抗測定 b. 開閉試験 c. 巻線抵抗測定	a. 絶縁抵抗測定 b. 開閉試験

※1 点検周期の単位はサイクル。

(3) 計測制御設備

格納容器圧力逃がし装置の計測制御設備は、設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

対象機器毎の点検項目及び点検内容は、第 5.1-3 表のとおりである。

第 5.1-3 表 計測制御設備の対象機器毎の点検項目及び点検内容

対象機器	点検周期		点検項目	点検内容	
	本格	一般		本格点検	一般点検
圧力計	1	—	1. 外観点検	a. 各部点検手入	—
			2. 特性試験	a. 校正	—
電気式変換器	1	—	1. 外観点検	a. 各部点検手入	—
			2. 特性試験	a. 校正・ループ校正	—
電気式指示計	1	—	1. 特性試験	a. 校正・ループ校正	—
電気式記録計	1	—	1. 特性試験	a. 各部点検手入 b. 校正	—
電磁流量計	1	—	1. 分解点検	a. 分解点検手入	—
電磁弁	—	1	1. 外観点検	—	a. 各部点検手入
			2. 特性試験	—	a. 絶縁抵抗・直流抵抗測定 b. 動作試験
制御盤	1	—	1. 外観点検	a. 盤(ラック), 及び取付器具点検手入	—
検出器モニタ	1	—	1. 外観点検	a. 各部点検手入	—
			2. 特性試験	a. 回路特性試験 b. 線源校正試験	—
水素検出装置	1	—	1. 外観点検	a. 各部点検手入	—
			2. 特性試験	a. 回路特性試験 b. 基準ガスによる校正	—
サンプリング機器	1	—	1. 外観点検	a. サンプリング装置点検手入	—
			2. 分解点検	a. ポンプ分解点検手入	—
			3. 特性・性能試験	a. インサービス後の調整	—
pH 計	1	—	1. 外観点検	a. 各部点検手入	—
			2. 特性試験	b. 回路特性試験	—

※1 点検周期の単位はサイクル。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 機械設備

代替格納容器圧力逃がし装置の機械設備は、類似機器の設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

(2) 電気設備

代替格納容器圧力逃がし装置の電気設備は、類似機器の設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

(3) 計測制御設備

代替格納容器圧力逃がし装置の計測制御設備は、類似機器の設置環境や動作頻度に対する故障及び劣化モード等を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を確保していることの確認を行う。

保全方式の選定にあたっては「原子力発電所の保守管理規定（JEAC 4209）MC-11-1-1 保全方式の選定」に基づき、適切な方針を選定することとした。

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は設備の重要性から予防保全を行うことが適切である。機械設備、電気設備、及び計測制御設備については運転経験、劣化の進展予測等から、定期的な保全が妥当と判断するため、時間基準保全とする。

フィルタ装置の容器及び容器内部構造物については、スクラバ水の薬液に対する劣化状況について確認するため、マンホールを開放して定期的な内部点検を行う必要がある。また、銀ゼオライトについても発電所内で設置した類似事例がないことから、よう素フィルタ本体の定期的な開放点検等で劣化の進展状況を把握する必要があるため、同様に時間基準保全とする。

5.2 試験方法

【格納容器圧力逃がし装置】

格納容器圧力逃がし装置が所定の機能を確保していることを確認するため、「弁開閉試験」及び「ドレン設備ポンプ作動試験」、「漏えい試験」、「スクラバ水質確認試験」、「銀ゼオライト性能確認試験」を定期的実施する。なお、これらの試験はプラント停止時に行う定期事業者検査を想定したものである。

(1) 弁開閉試験

弁開閉試験の概要図を第 5.2-1 図に示す。

以下の弁開閉試験を実施することにより、ベント操作時に必要な流路を確保できることを確認する。

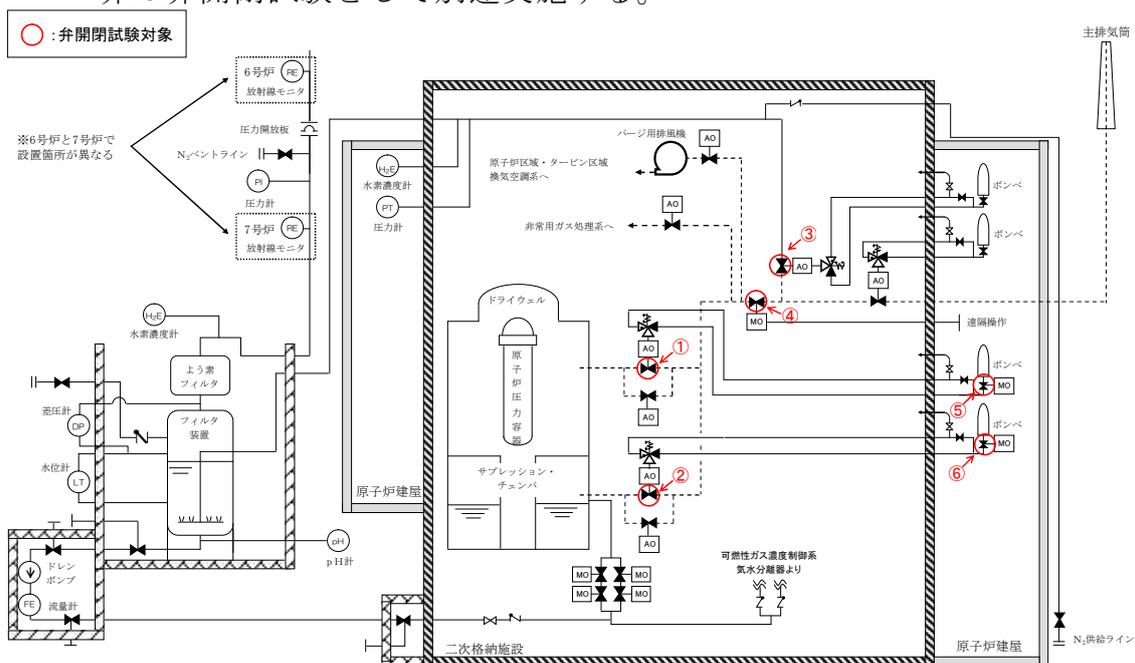
a. 空気駆動弁（弁番号：①，②，③）

- ・中央制御室の操作スイッチによる弁開閉試験：①^{*}，②^{*}，③
- ・エクステンションもしくはラチェットハンドルによる人力での弁開閉試験：①，②，③
- ・電磁弁排気ポートへの駆動空気供給による弁開閉試験：①，②，③

b. 電動駆動弁（弁番号：④，⑤，⑥）

- ・中央制御室の操作スイッチによる弁開閉試験：④^{*}，⑤，⑥
- ・弁駆動部のエクステンションによる人力での弁開閉試験：④

※当該弁の中央制御室の操作スイッチによる弁開閉試験は、格納容器隔離弁の弁開閉試験として別途実施する。



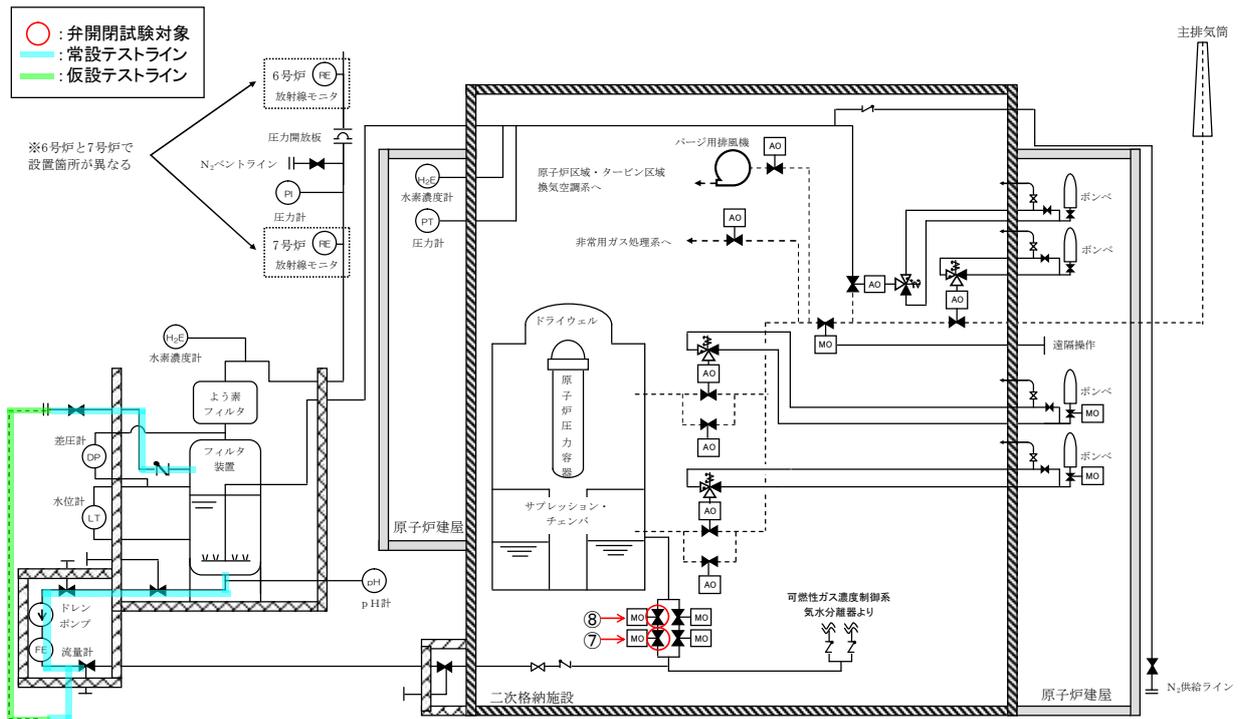
第 5.2-1 図 弁開閉試験概要図

(2) ドレン設備ポンプ作動試験

ドレン設備ポンプ作動試験の概要図を第 5.2-2 図に示す。

仮設テストラインを使用してドレン設備ポンプの作動試験を実施することで、継続的なベントに必要な流量の凝縮水を移送できることを確認する。

ドレン排出先となるサブプレッション・チェンバ入口の⑦、⑧の弁開閉試験は、格納容器隔離弁の弁開閉試験として別途実施する。



第 5.2-2 図 ドレン設備ポンプ作動試験概要図

(3) 漏えい試験（主配管）

漏えい試験の試験条件・方法を第 5.2-1 表に、試験概要図を第 5.2-3 図に示す。

漏えい試験の各条件について下記 a~c に整理する。

a. 加圧媒体

格納容器圧力逃がし装置の最高使用圧力 0.62MPa [gage] でのベント開始時の系統内は窒素ガスが支配的であること、また、ベント継続中に漏えい防止対象となる放射性物質は窒素より分子量が大きいことから、窒素ガスを加圧媒体とすることは妥当であると判断する。なお、事故時に発生する水素ガスについては、事故時において系統内から漏えいする可能性はあるものの、建屋外については外気により拡散すること、建屋内については PAR による処理が期待できること、試験時の安全性確保の観点から、水素ガスを加圧媒体とした漏えい試験は行わない。

b. 試験圧力

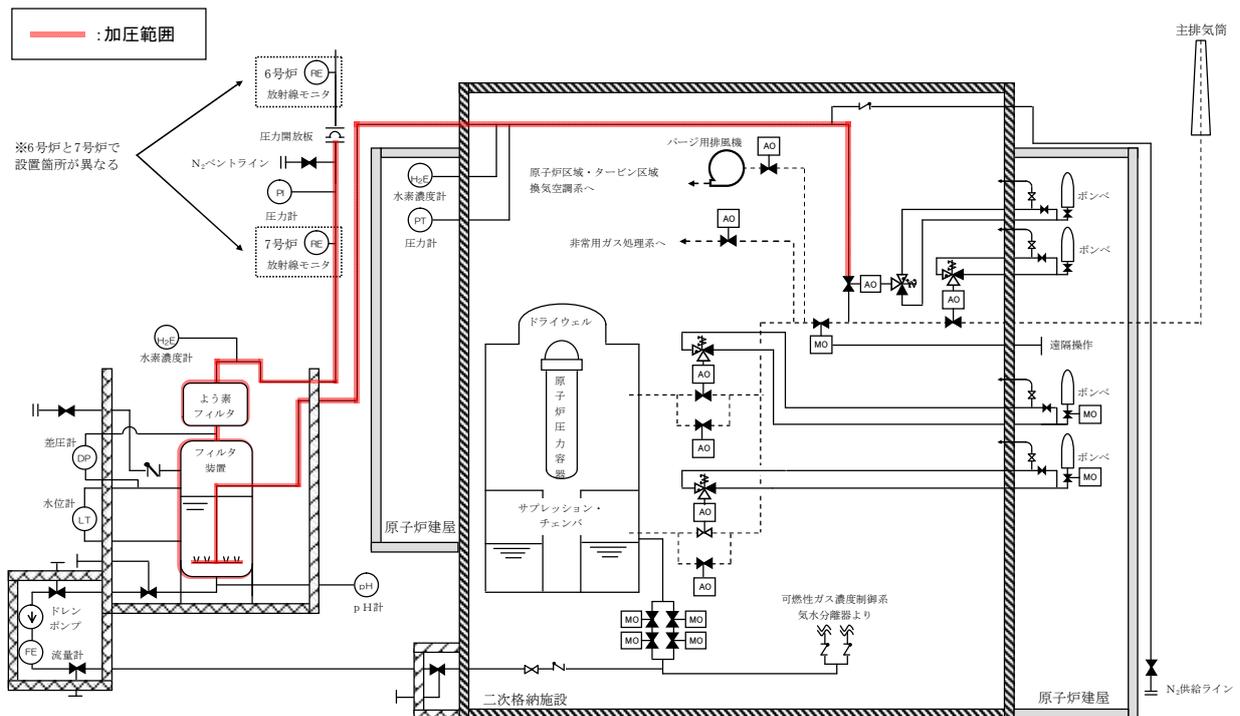
漏えい試験では、系統内が不活性状態で維持されていることの確認として窒素封入圧力 0.01MPa [gage] 以上が維持されていること、並びに、系統が使用時にバウンダリ機能を維持できることの確認として最高使用圧力 0.62MPa [gage] を試験圧力とする。

c. 試験温度

漏えい試験では、系統の最高使用温度 200℃を模擬することが困難となることから約 180℃低い常温約 20℃での漏えい確認となるが、同様に系統最高使用温度での漏えい確認が困難な原子炉圧力容器の漏えい試験では、通常運転温度約 280℃に対し 180℃以上低い 100℃以下で漏えい確認を行っていることから、常温での漏えい確認で十分であると判断する。

第 5.2-1 表 漏えい試験の試験条件・目的・方法

	加圧媒体	試験圧力	試験温度	試験目的・方法
簡易点検	窒素ガス	0.01MPa [gage] 以上 (窒素パージ圧力)	常温	系統内を不活性状態に維持することを目的に、系統全体を窒素パージ圧力（待機状態）に加圧し、著しい漏えいのないことを確認する。
本格点検	窒素ガス	0.62MPa [gage] (最高使用圧力)	常温	使用時にバウンダリ機能が維持されていることを確認するために、系統全体を最高使用圧力に加圧し、著しい漏えいのないことを確認する。



第 5.2-3 図 漏えい試験概要図

(4) 漏えい試験（空気駆動弁駆動空気系）

上記(1)弁開閉試験 a. 空気駆動弁の電磁弁排気ポートへの駆動空気供給による弁開閉試験において、空気駆動弁が『開』の状態（駆動空気を供給している状態）にて、駆動空気系の機器（ポンペ、配管、フランジ、弁）の各部より、駆動空気の漏えいのないことを確認する。

(5) スクラバ水質確認試験

スクラバ水質確認試験は、格納容器圧力逃がし装置待機中に、ドレンラインからサンプル水を採取・分析を実施し、スクラバ水が規定の濃度であることを確認する。

(6) 銀ゼオライト性能確認試験

よう素フィルタに充填される銀ゼオライトについては、よう素フィルタと同等の環境に保管される銀ゼオライトサンプルを用いてよう素除去性能試験を行い、規定の性能が確保されていることを確認する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置が所定の機能を確保していることを確認するため、格納容器圧力逃がし装置と同様に、「弁開閉試験」および「ドレン設備ポンプ作動試験」、「漏えい試験」、「スクラバ水質確認試験」を実施する。

6. 規制基準への適合性

6.1 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則への適合

6.1.1 第38条(重大事故等対処施設の地盤)

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

重大事故防止設備のうち常設のもの(以下「常設重大事故防止設備」という。)であって, 耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの(以下「常設耐震重要重大事故防止設備」という。)が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く.):

基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

重大事故緩和設備のうち常設のもの(以下「常設重大事故緩和設備」という。)が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く.):

基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

重大事故等対処施設(前項第二号の重大事故等対処施設を除く。次項及び次条第二項において同じ。)は, 変形した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。

重大事故等対処施設は, 変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

(2) 規制基準適合性

6号炉及び7号炉原子炉施設設置位置付近の地盤分類, 断層の分布状況及び岩石・岩盤試験等の結果を評価して行った有限要素法による動的解析結果によると, 地震時における応力状態等からみて支持力が問題となることはない。

敷地には, 将来活動する可能性のある断層等の露頭は認められていない。また, 敷地周辺の活断層については, 敷地から十分に離れている。そのため, 断層変位に伴う基礎地盤の局所的な変形は原子炉施設の安全性に問題となるものではない。

以上より, 格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は, 第38条の要求事項に適合している。

6.1.2 第39条（地震による損傷の防止）

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

常設耐震重要重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設：

基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。

常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設：

基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。

(2) 規制基準適合性

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置を構成する構築物・機器に対して、地震力により構築物・機器が損傷しないことを確認する必要があるため、規則を踏まえて実施した地震動評価結果に基づき策定した基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-7$ により健全性を評価した。

基準地震動 S_s による地震力に対して、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置を構成する構築物・機器は、十分な耐性を有しており、機能を維持できることを確認した。

以上より、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、第39条の要求事項に適合している。

6.1.3 第40条（津波による損傷の防止）

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

(2) 規制基準適合性

格納容器圧力逃がし装置を構成する構築物・機器に対して、津波波力や浸水により構築物・機器が損傷しないことを確認する必要があるため、規則を踏まえて実施した津波評価結果に基づき策定した基準津波により健全性を評価した。

格納容器圧力逃がし装置は、6号炉及び7号炉近傍屋外の標高12mの敷地に設置されており、基準津波による遡上波は到達せず、津波波力や浸水により構築物・機器の損傷は生じないことを確認している。

なお、格納容器圧力逃がし装置は、6号炉及び7号炉近傍屋外の標高12m

の敷地に設置されており、基準津波による遡上波は到達しないため、基準地震動と基準津波の影響が重畳することはない。

以上より、格納容器圧力逃がし装置は、第40条の要求事項に適合している。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置を構成する構築物・機器に対して、津波波力や浸水により構築物・機器が損傷しないことを確認する必要があるため、規則を踏まえて実施した津波評価結果に基づき策定した基準津波により健全性を評価した。

代替格納容器圧力逃がし装置は、6号炉及び7号炉近傍屋外の標高12mの敷地の地下に設置されており、基準津波による遡上波は到達せず、津波波力や浸水により構築物・機器の損傷は生じないことを確認している

なお、代替格納容器圧力逃がし装置は、6号炉及び7号炉近傍屋外の標高12mの敷地の地下に設置されており、基準津波による遡上波は到達しないため、基準地震動と基準津波の影響が重畳することはない。

以上より、代替格納容器圧力逃がし装置は、第40条の要求事項に適合している。

6.1.4 第41条（火災による損傷の防止）

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1)規制基準要求事項

重大事故等対処施設は、火災により重大事故等に対処するために必要な機能を損なうおそれがないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、火災感知設備及び消火設備を有するものでなければならない。

(2)規制基準適合性

a. 火災の発生の防止

(a)火災防護対策を講じた設計

可燃物内包設備、及び火花や水素が発生する設備はない。また、系統内に水素が滞留することを防止する設計としている。

(b)不燃性材料又は難燃性材料の使用

主要構造物は不燃性材料を使用している。ケーブルは自己消火性（UL垂直燃焼試験）・耐延焼性（IEEE383）の実証試験に合格する線種を使用している。ただし、放射線モニタ用ケーブルには、微弱電流・微弱パルスを扱

うことから、耐ノイズ性を確保するために高い絶縁抵抗を有する同軸ケーブルを使用している。このケーブルは、自己消火性を確認する UL 垂直燃焼試験は満足するが、耐延焼性を確認する IEEE383 燃焼試験の要求を満足しない。このケーブルに対しては、専用の電線管に布設することとしており、発火した場合においても他の構築物、系統又は機器に火災を生じさせるおそれは小さい。

(c) 落雷，地震への対策

落雷については、「7.1.5 落雷」を参照。

地震については、「6.1.1 第 39 条（地震による損傷の防止）」を参照。

b. 火災の感知，消火

(a) 火災感知設備

消防法に基づき火災感知器を設置する。さらに、屋内のケーブル布設箇所及び電動駆動弁・電源盤・制御盤設置箇所には、火災時に炎が生じる前の発煙段階から感知できるアナログ式の煙感知器に加え、異なる 2 種類目の感知器としてアナログ式の熱感知器を設置する。設置にあたっては、消防法に準じた設置条件で設置する。

格納容器圧力逃がし装置遮蔽壁内の電源盤・計器ラック設置箇所、屋外のケーブル布設箇所及びドレンポンプ設置箇所については、屋外又は上部が大気開放されているため煙感知器による火災感知は困難であることから、炎感知器と熱感知器を設置する。炎感知器はアナログ式ではないが、アナログ式と同様に平常時から炎の有無を連続監視することで、火災現象（炎の発生）を把握することができるものを選定する。

なお、感知器については、外部電源が喪失した場合においても電源を確保する設計とし、中央制御室等にて適切に監視できる設計とする。

(b) 消火設備

消火栓及び消火器を適切に設置している。原則ケーブルは電線管に布設されていること、屋外又は格納容器圧力逃がし装置遮蔽壁内の分電盤、計器ラック及びドレンポンプは屋外又は上部が大気開放されている箇所に設置されることから、火災によって煙が充満し消火が困難となることはない。

一方、屋内の電源盤とケーブルの取合部において電線管に布設されていない箇所や、屋内の電源盤、計装ラック、電動駆動弁及び代替格納容器圧力逃がし装置のドレンポンプが設置される箇所は、火災によって煙が充満するおそれがあることから、自動又は中操からの遠隔手動による固定式消火設備を設置する。

(c) 自然現象への対策

屋外消火設備の配管は、保温材により凍結防止対策を行っている。また、屋外の消火栓本体は、不凍式の消火栓を採用している。

消火栓に使用する消火水のポンプ等の機器は、給水建屋に設置されており、建築基準法に基づいた風荷重を考慮した設計となっている。万一、竜巻により給水建屋が損壊し消火栓が使用不能となる場合でも、原子炉建屋内の固定式消火設備や消火器によって、屋内のケーブル、電動駆動弁、電源盤、制御盤からの火災に対応する。屋外又は格納容器圧力逃がし装置遮蔽壁内の分電盤、計器ラック及びドレンポンプからの火災に対しては、消火器又は消防車によって対応する。

給水建屋は津波による水没等の影響を受けないよう防潮壁等を設置している。

また、屋外消火配管は、基本的に地上化及びトレンチ化を図っており、水源となるタンクと配管の接続部にフレキシブル継手を採用するなど地盤変位を考慮した設計としている。

さらに、万一屋外消火配管が破断した場合は、消防車を用いて建屋の給水接続口より屋内消火栓へ水の供給が可能である。

(d) 消火設備の破損等に対する対策

消火設備の破損、誤動作等により安全機能に影響を与えないことを、「7.2.3 内部溢水」にて確認している。

以上より、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、第41条の要求事項に適合している。

6.1.5 第43条（重大事故等対処設備）

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

第6.1.5-1表に示す重大事故等対処設備は以下に掲げるものでなければならない。

a. 環境条件

想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであること。又、設備の操作や復旧作業を行うことができるよう、放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じたものであること。

b. 操作性

想定される重大事故等が発生した場合において、確実に操作できるものであること。又、本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあつては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えるものであること。

c. 試験又は検査

健全性及び能力を確認するため、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものであること。

d. 共用の禁止，悪影響防止

工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないものであること。又、二以上の発電用原子炉施設において共用するものでないこと。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合であつて、同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は、この限りではない。

e. 容量

想定される重大事故等の収束に必要な容量を有するものであること。

f. 多様性

共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

第 6.1.5-1 表 原子炉格納容器過圧破損を防止するための設備

系統機能	設備		代替する機能を有する 設計基準事故対処設備		設備 種別	重大事故等対処設備		
			設備	耐震重要 度分類		常設/ 可搬	設備分類	重大事故等 クラス
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	フィルタ装置	-	-	常設	重大事故等緩和設備	SA-2	
		よう素フィルタ	-	-	常設	重大事故等緩和設備	SA-2	
	計 測 制 御 設 備	計	フィルタ装置水位	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
		測	フィルタ装置入口圧力計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
		制	フィルタ装置出口圧力計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
		御	フィルタ装置出口放射線 モニタ	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
		備	フィルタ装置水素濃度計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
			フィルタ装置ドレン流量 計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
			フィルタ装置スクラパ水 pH 計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
			金属フィルタ差圧計	-	-	常設	重大事故等緩和設備	-
	そ の 他		消防車（補給用水）	-	-	可搬	可搬型重大事故等対 処設備	SA-3
			ドレン設備ポンプ	-	-	常設	重大事故等緩和設備	SA-2
			可搬型窒素供給装置	-	-	可搬	可搬型重大事故等対 処設備	SA-3

(2) 規制基準適合性

a. 環境条件

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置を構成する機器は、事故時に想定される温度条件，装置を使用中に想定される放射線条件においても，動作確認や機能確認によって健全性を確認した機器を用いること，もしくは健全性を確認した範囲の環境条件を確保するための緩和措置等を実施することにより，当該機器に要求される機能を発揮するよう設計する。また，フィルタ装置，配管，弁は原子炉格納容器外に配置されており，想定される事故環境下においても，動作確認や機能確認によって健全性を確認した機器を用いること，もしくは健全性を確認した範囲の環

境条件を確保するための緩和措置等を実施することにより、必要な機能を有効に発揮することができる設計とする。

b. 操作性

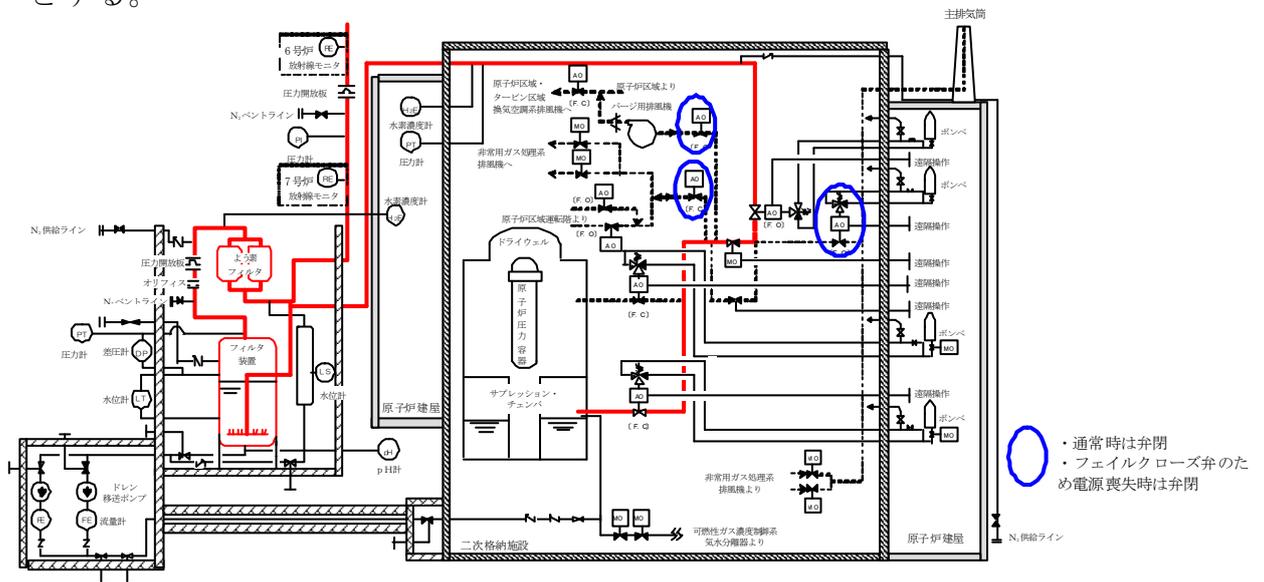
電動駆動弁及び空気駆動弁等について、事故時においても、エクステンションやラチェットハンドルでの操作、動作気体のバックアップ供給による操作等により、確実に操作できる設計とする。また、本システムを使用する場合に、通常状態で使用する系統との切り替え操作は、系統内の取り合い箇所が通常時閉、電源喪失時にはフェイルクローズにより閉となる弁で仕切られているため、特段の操作は不要となる設計とする。

c. 試験又は検査

原子炉停止中に、弁の開閉試験、系統漏えい試験、及びスクラバ水の水质確認を実施し性能確認を実施する。

d. 共用の禁止、悪影響防止

他号炉と共用はしておらず、また第 6.1.5-1 図に示す通り、他の系統・機器とは、通常時閉、電源喪失時にはフェイルクローズにより閉となる弁で隔離することで切り替え操作を不要にしており、本システムを使用する場合に、他の系統・機器とも独立させることで、他への悪影響を防止する設計とする。



第 6.1.5-1 図 格納容器圧力逃がし装置系統概略図

e. 容量

事故時に格納容器内で発生する蒸気量よりも、排出可能な蒸気量を大きくすることで、格納容器を減圧するために十分な容量を確保する設計とする。

f. 多様性

原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備としての設計基準事故対処設備である残留熱除去系（格納容器スプレイ機能）及び当該系統の除熱を行う原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系に対し，系統の接続箇所はなく，冷却方式も異なることから，多様性，独立性を有しており，共通要因により機能が損なわれない設計とする。

以上より，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は，第43条の要求事項に適合している。

6.1.6 第48条（最終ヒートシンクに熱を輸送するための設備）

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

重大事故防止設備は，設計基準事故対処設備に対して，多重性又は多様性及び独立性を有し，位置的分散を図ること。又，格納容器圧力逃がし装置を整備する場合は，第50条1b)に準ずること。又，その使用に際しては，敷地境界での線量評価を行うこと。

(2) 規制基準適合性

原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備としての設計基準事故対処設備である残留熱除去系（格納容器スプレイ機能）及び当該系統の除熱を行う原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系に対し，系統の接続箇所はなく，冷却方式も異なることから，多様性，独立性を有している。また，フィルタ装置は原子炉建屋近傍屋外もしくは地下ピット内に設置しており，原子炉建屋内の弁等についても，異なる区画の部屋に配置する等により位置的分散を図る設計としている。

以上より，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は，第48条の要求事項に適合している。

さらに，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の系統に設置されるポンプ等の重要機器及び系統機能の確認のために特に重要な計測制御設備については，同一の機能を果たす機器及び計測制御設備を複数設けることにより，系統内の機器について，多様性及び多重性を確保する設計としている。

6.1.7 第50条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1) 規制基準要求事項

以下に掲げる措置又はこれらと同等以上の効果を有する措置を行うための設備として、格納容器圧力逃がし装置又は格納容器再循環ユニットを設置すること。

a. 放射性物質低減対策

排気中に含まれる放射性物質を低減するものであること。

b. 可燃性ガスの爆発防止等の対策

可燃性ガスの爆発防止等の対策が講じられていること。

c. 悪影響防止

配管等は、他の系統・機器や他号機の格納容器圧力逃がし装置等と共用しないこと。ただし、他への悪影響がない場合を除く。

d. 格納容器の負圧破損防止

格納容器圧力逃がし装置の使用に際しては、必要に応じて、原子炉格納容器の負圧破損を防止する設備を整備すること。

e. 隔離弁

人力により容易かつ確実に開閉操作可能であること。又、炉心の著しい損傷時においても、現場において人力で操作ができるよう、遮蔽又は離隔等の放射線防護対策がなされていること。

f. ラプチャーディスク

ラプチャーディスクを使用する場合は、バイパス弁を併置すること。ただし、格納容器圧力逃がし装置の使用の妨げにならないよう、十分に低い圧力に設定されたラプチャーディスクを使用する場合又はラプチャーディスクを強制的に手動で破壊する装置を設置する場合を除く。

g. 接続位置

長期的にも溶融炉心及び水没の悪影響を受けない場所に接続されていること。

h. 放射線防護対策

使用後に高線量となるフィルタ等からの被ばくを低減するための遮蔽等の放射線防護対策がなされていること。

(2) 規制基準適合性

a. 放射線低減対策

フィルタ装置にて、粒子状放射性物質を99.9%以上低減できる設計とする。また、被ばく低減の観点からガス状放射性よう素に対して可能な限り除去性能を有する設計とする。

b. 可燃性ガスの爆発防止等の対策

系統内を不活性ガス（窒素ガス）で置換した状態で待機すること及び使用後に系統内を不活性ガス（窒素ガス）でパージすることにより、排気中に含まれる可燃性ガス及び使用後に放射線分解により発生する可燃性ガスによる爆発を防ぐ設計とする。

c. 悪影響防止

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、他号炉と共用はしておらず、また第 6.1.5-1 図に示す通り他の系統・機器とは、通常時閉、電源喪失時にはフェイルクローズにより閉となる弁、及び逆止弁で隔離することで、通常状態で使用する系統との切り替え操作を不要にしておき、他へ悪影響を及ぼさない設計としている。

d. 格納容器の負圧破損防止

重大事故等対策の有効性評価において、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置を使用しても、格納容器が負圧になることはないことを確認している。仮に格納容器スプレイを行う場合においても、格納容器圧力を確認し、規定の圧力まで減圧した場合は格納容器スプレイを停止する運用としている。

e. 隔離弁

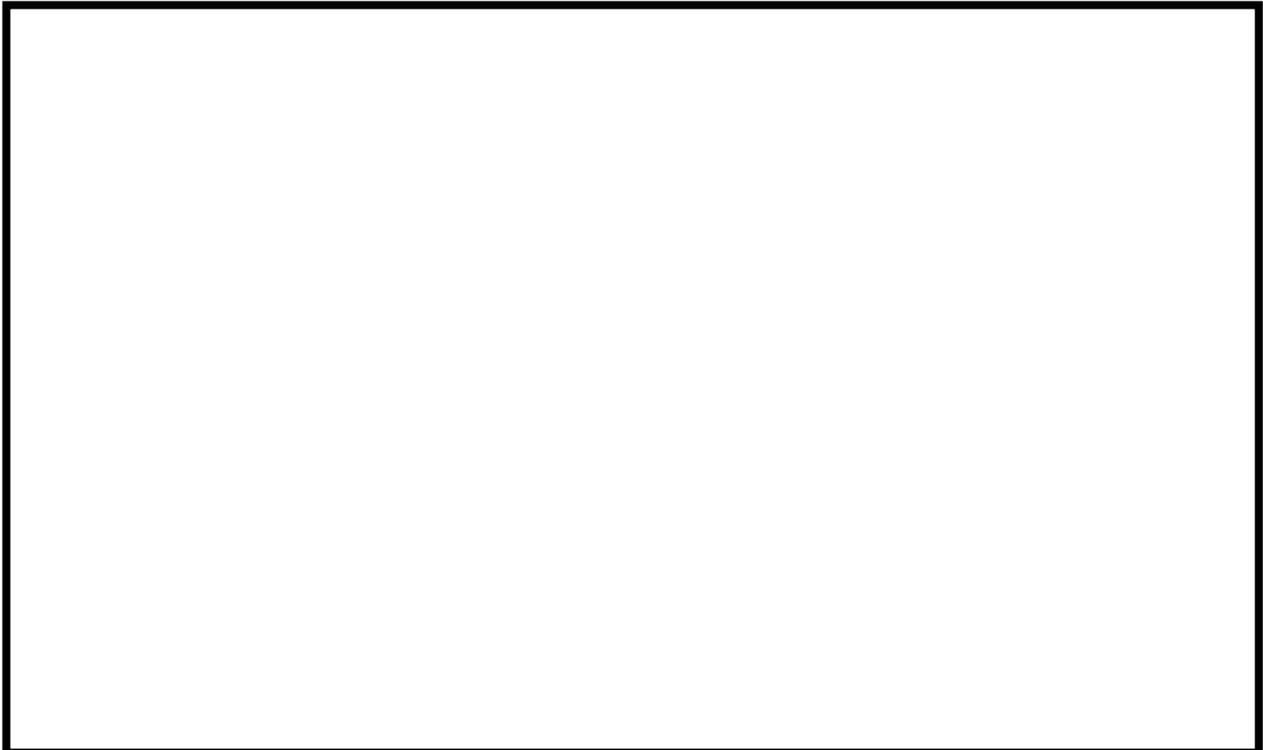
空気駆動弁については、エクステンションもしくはラチェットハンドルにより人力で操作可能な設計とする。弁操作時に操作エリアの放射線量率が高くなる可能性のある一次隔離弁については、作業員の放射線防護を考慮し、エクステンションにより遮へい越しに弁の操作を行うことができる構成とする。また、第 6.1.7-1 図から第 6.1.7-5 図に示す通りあらかじめ設置されているポンベの空気を手動により駆動シリンダへ供給することにより、容易に遠隔操作ができる設計とする。電動駆動弁については、駆動部にエクステンションを設け、人力にて容易に遠隔操作ができる設計とする。なお、空気駆動弁のポンベによる操作及び電動駆動弁の操作は、二次格納施設の外から実施可能であり、重大事故等発生時の作業員の放射線防護を考慮した設計とする。

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 6.1.7-1 図 機器配置図（6号炉原子炉建屋地下中1階及び地下1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。

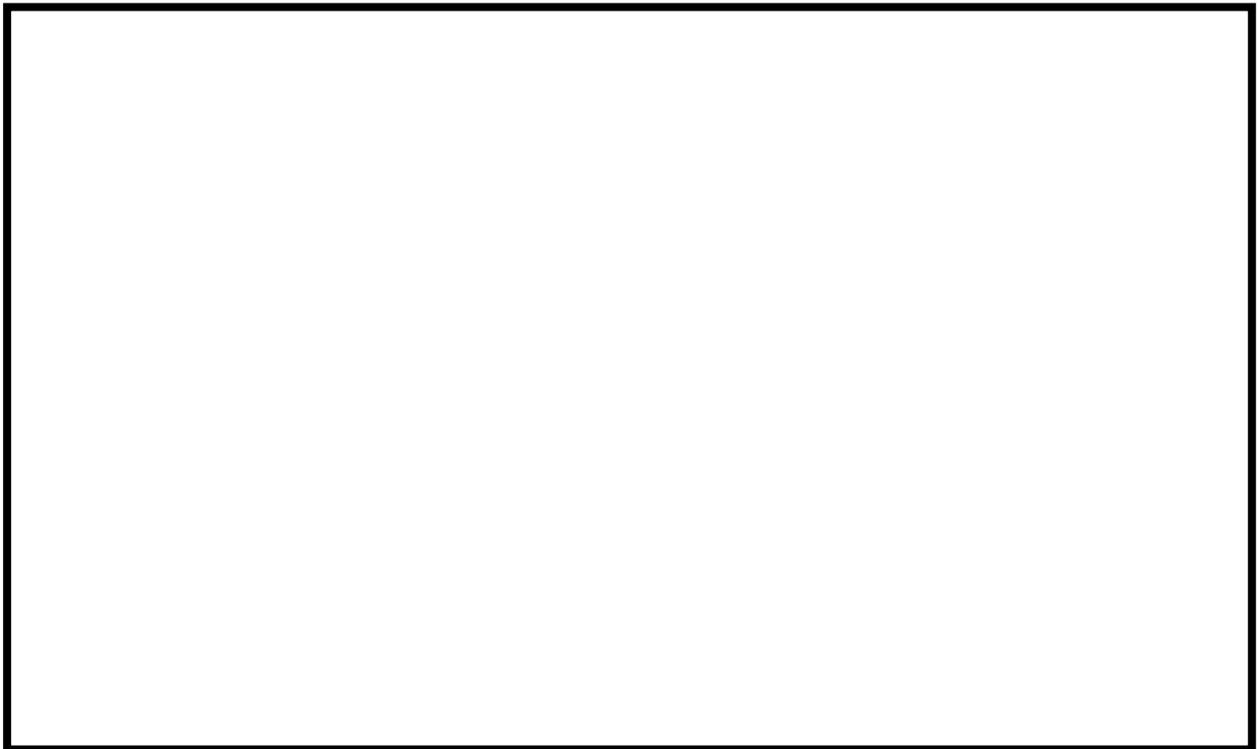


第 6.1.7-2 図 機器配置図（6号炉原子炉建屋2階及び3階）

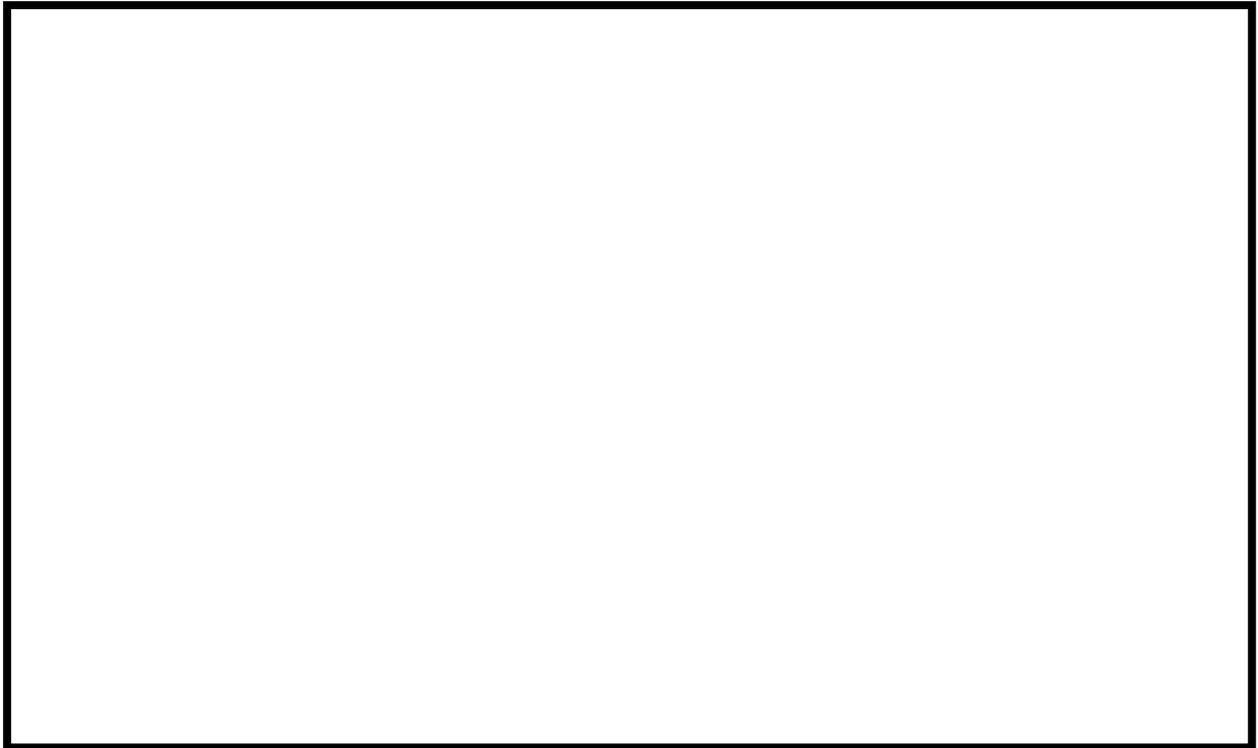
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



第 6.1.7-3 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋地下中 1 階及び地下 1 階)



第 6.1.7-4 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋 2 階及び 3 階)



第 6.1.7-5 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋 3 階)

f. ラプチャーディスク

系統内を不活性ガス（窒素ガス）で置換する際の大気との隔壁としてラプチャーディスク（圧力開放板）を設置する。バイパス弁を併置しないが、格納容器からの排気圧力（0.31MPa [gage]）と比較して十分低い圧力（0.10MPa [gage]）で開放する設定とし、排気の妨げにならない設計とする。

g. 接続位置

格納容器の接続位置は、サブプレッション・チェンバ及びドライウエルに設ける。これにより、いずれからも格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置を用いた排気操作を実施することができ、長期的にも熔融炉心及び水没の悪影響を受けない設計とする。

h. 放射線防護対策

装置の周囲及び上部に遮蔽体を設置し、使用後に高線量となるフィルタ装置等から作業員が受ける被ばくを低減できる設計とする。

以上より、格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置は、第 50 条の要求事項に適合している。

7. 原子炉格納容器圧力逃がし装置の設計基準事象に対する耐性

本節で挙げる設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避するべきであることから、以下健全性を確認する。

7.1 地震，津波以外の自然現象

7.1.1 風（台風）

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

基準風速は保守的に最も風速が大きい新潟市の観測記録の極値である40.1m/sとした。

(2) 想定される影響

a. 影響モード：風荷重

対象部位^{※1}：放射線遮へい壁，フィルタ装置，フィルタ装置入口側及びフィルタ装置出口側の配管・弁，給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

※1 対象部位は，風により影響を受ける屋外に設置されている格納容器圧力逃がし装置の部位を抽出した。

b. 影響モード：飛来物衝突の際の衝撃荷重

対象部位^{※2}：放射線遮へい壁，フィルタ装置，フィルタ装置入口側及びフィルタ装置出口側の配管・弁，給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

※2 対象部位は，飛来物により影響を受け易い屋外に設置されている格納容器圧力逃がし装置の部位及び屋内設備であるが開口部（扉，ルーバ等）の近傍に設置されており，飛来物の影響を受ける可能性があるものを抽出した。

(3) 耐性評価結果

a. 格納容器圧力逃がし装置は，風荷重よりも大きい基準地震動の荷重に対して機能喪失しない設計としているため，風荷重により破損しない。

- (例：柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉の原子炉建屋頂部 T. M. S. L. 52.30m (地上高 40.3m) 付近のフィルタ装置出口側配管に作用する単位長さ当たりの最小の地震荷重は 3.56kN/m であるのに対して、風荷重は 2.14kN/m である。)
- b. 風（台風）による飛来物の影響は、強い上昇気流を伴い風速も速い竜巻の方が飛来物の影響が大きいことから、竜巻評価に包絡される。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置の内、地下に設置されている部位については、風の影響を受けない。屋外に設置する排気管については、風荷重に対して耐え得る設計とするため、風により破損しない。

7.1.2 竜巻

柏崎刈羽原子力発電所において想定すべき竜巻、及び、想定飛来物については、現在も検討と評価を続けているところである。竜巻の規模等の詳細検討を踏まえた評価結果が得られ次第、想定飛来物が到達する箇所について、竜巻への耐性を確保するために必要となる対策を実施する。以下に記載した内容は、検討案として示すものである。

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

設計竜巻の最大風速は、竜巻影響評価ガイドに従い、日本海側地域における竜巻の発生頻度や最大風速の年超過確率を参照し、発電所の敷地地形効果による風速の増幅効果を評価した上で 69m/s としているが、設計竜巻を超える竜巻が襲来した場合の影響の大きさを考慮して、国内既往最大の竜巻風速 (70~92m/s, F3) に余裕を見込んだ風速 100m/s の評価も実施した。

竜巻防護施設及び格納容器圧力逃がし装置に衝突し得る飛来物は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉が立地する大湊側の現地調査の結果及び竜巻影響評価ガイドに例示されている飛来物を考慮し、砂利、鋼製パイプ及び鋼製材を設計飛来物とした。

(2) 想定される影響

影響モード：風荷重、気圧差荷重及び飛来物衝突の際の衝撃荷重を適切に組み合わせた荷重（以下、「複合荷重」という。）

対象部位*：放射線遮へい壁、フィルタ装置、よう素フィルタ、フィルタ装置入口側及びフィルタ装置出口側の配管・弁、ラプチャーディスク、給水設備、窒素パージ設備、ドレン設備、計器類（水位計、圧力計、放射線モニタ等）、計装ラック

- ※ 対象部位は、竜巻により影響を受ける屋外に設置されている格納容器圧力逃がし装置の部位及び屋内設備だが開口部(扉、ルーバ等)の近傍に設置されており、飛来物の影響を受ける可能性があるものを抽出した。なお、屋内設置のうち、外気との接続がある換気空調設備は、気圧差の影響が想定されるが、格納容器圧力逃がし装置は、それに該当するものはない。

(3)耐性評価結果

格納容器圧力逃がし装置の複合荷重に対する健全性評価の実施にあたり、まずは格納容器圧力逃がし装置に作用する竜巻荷重の内、影響が支配的な飛来物衝突による設備の貫通評価を実施した。なお、衝突を想定する飛来物は、設計飛来物の内、最も衝突影響が大きい鋼製材(長さ 4.2m×幅 0.3m×奥行 0.2m, 質量 135kg)とした。

6号炉格納容器圧力逃がし装置の概略図を第7.1.2-1~3図に、7号炉格納容器圧力逃がし装置の概略図を第7.1.2-4図及び第7.1.2-5図に示す。また、鋼製材衝突による放射線遮へい壁、フィルタ装置及び配管の貫通評価を第7.1.2-1~4表に示す。

鋼製材が衝突する速度の評価条件及び評価モデルについては、第7.1.2-1表は竜巻の最大風速 69m/s, ランキン渦モデル, 第7.1.2-2表は竜巻の最大風速 100m/s, 鋼製材の衝突速度を竜巻影響評価ガイドに例示されている最大飛散速度, 第7.1.2-3表は竜巻の最大風速 69m/s, フジタモデル, 第7.1.2-4表は竜巻の最大風速 100m/s, フジタモデルとした。飛散した鋼製材が衝突した場合の飛来物の貫通評価については、飛来物の貫通を避けるために必要な鋼板厚さ, コンクリート厚さ(以下、「貫通限界厚さ」という。)及び飛来物の衝突によるコンクリートの裏面はく離を避けるために必要なコンクリート厚さ(以下、「裏面はく離限界厚さ」という。)と竜巻の影響が想定される対象部位の板厚を比較することで貫通の有無を判断した。

格納容器圧力逃がし装置は、各部位単体または防護対策と相まって竜巻による影響に対して耐性を有する設計とする。

a. 放射線遮へい壁

放射線遮へい壁は、壁厚約 0.7~1.6m のコンクリート製であり、飛来物衝突に対して耐性を有しているため、飛来物の放射線遮へい壁貫通または放射線遮へい壁の裏面はく離は生じない。

b. フィルタ装置, よう素フィルタ

フィルタ装置及びよう素フィルタの周囲には第7.1.2-1~5図に示す通り放射線遮へい壁が設置されているため、放射線遮へい壁によりフィルタ装置及びよう素フィルタが防護されている部分については複合荷重の影響を

受けない。フィルタ装置上部及びよう素フィルタ上部については、飛来物衝突に対して貫通しない板厚を有し、複合荷重に対しても耐え得る鋼板等を取り付けてフィルタ装置及びよう素フィルタを防護するため、竜巻により破損しない。

竜巻襲来によりフィルタ装置の周囲の気圧が低下した場合の影響については、フィルタ装置の待機状態を想定した場合、フィルタ装置は外気との接続がないため、竜巻の襲来に伴い内圧が上昇する。竜巻襲来時のフィルタ装置の内圧は、フィルタ装置の待機状態における内圧に竜巻による最大気圧低下量を足し合わせることで算出できることから、竜巻の最大風速が 69m/s と 100m/s の場合の最大気圧低下量を原子力規制委員会の定める「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従い算出すると 4.3kPa、8.9kPa となり、フィルタ装置の待機状態における内圧 10kPa と足し合わせると 14.3kPa、18.9kPa となる。それに対してフィルタ装置の容器は、最高使用圧力 0.62MPa に耐える設計としていることから、竜巻による気圧差がフィルタ装置の性能に影響を与えることはない。

フィルタ装置の運転状態を想定した場合、フィルタ装置は外気との接続があるため、竜巻襲来時は外気の気圧低下に伴いフィルタ装置内の気圧も低下するため、フィルタ装置内外で差圧が発生しない。したがって、フィルタ装置の性能に影響を与えることはない。

c. フィルタ装置入口側配管・弁、給水設備、ドレン設備、窒素パージ設備、計器類（水位計、圧力計、放射線モニタ等）

飛来物衝突に対して貫通しない板厚を有し、複合荷重に対しても耐え得る鋼板等の取り付け、または十分な板厚を有する遮へい板の設置により設備を防護するため、竜巻により破損しない。防護対策を実施する範囲については、第 7.1.2-1～5 図に示す通りとする。

d. フィルタ装置出口側の配管・弁

竜巻によって重大事故に至る可能性は非常に低いと考えられるが、たとえ格納容器圧力逃がし装置を使用することになったとしても、フィルタ装置出口側の配管や弁が飛来物衝突により損傷した場合であれば、放射性物質の放出量を抑制する機能には影響しない。なお、竜巻が柏崎刈羽原子力発電所に襲来し出口側の配管や弁が損傷した場合、損傷箇所補修のためにプラントを停止する。

e. ラプチャーディスク

ラプチャーディスクが竜巻襲来時の気圧低下の影響を受けた場合の開放の有無については、前述のフィルタ装置が待機状態における気圧差影響と同様にフィルタ装置出口配管及びラプチャーディスクには 14.3kPa（竜巻の最大風速 69m/s）または 18.9kPa（竜巻の最大風速 100m/s）の圧力が作用する。それに対してラプチャーディスク開放の設定圧力は、100kPa であるためラ

プチャーディスクは開放しない。

ただし、ラブチャーディスクに飛来物が外部から衝突した場合に、衝撃によりラブチャーディスクが開放する可能性がある。このため、ラブチャーディスクに飛来物が衝突しないよう、当初設置を計画していた箇所から飛来物衝突の影響を受けない箇所へ移設すること、またはラブチャーディスクに飛来物衝突に対して貫通しない板厚を有し、複合荷重に対しても耐え得る鋼板等を取り付けることにより防護する。

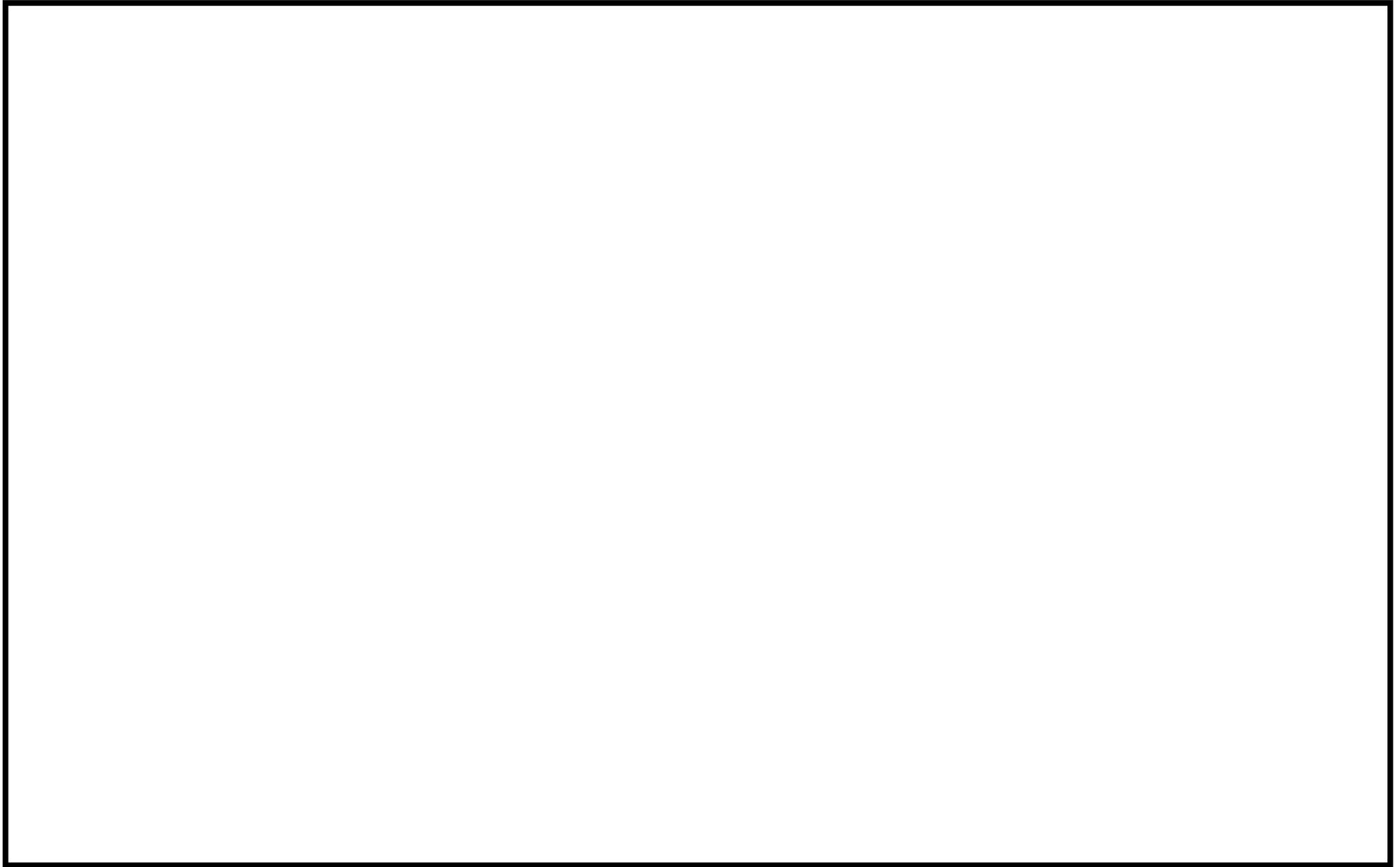
f. 計装ラック

計装ラックの周囲には第7.1.2-3図及び第7.1.2-5図に示す通り放射線遮へい壁が設置されているため、放射線遮へい壁により計装ラックが防護されている部分については飛来物衝突及び複合荷重の影響を受けない。計装ラック上部については、飛来物衝突に対して貫通しない板厚を有し、複合荷重に対しても耐え得る鋼板等を取り付けて計装ラックを防護するため、竜巻により破損しない。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

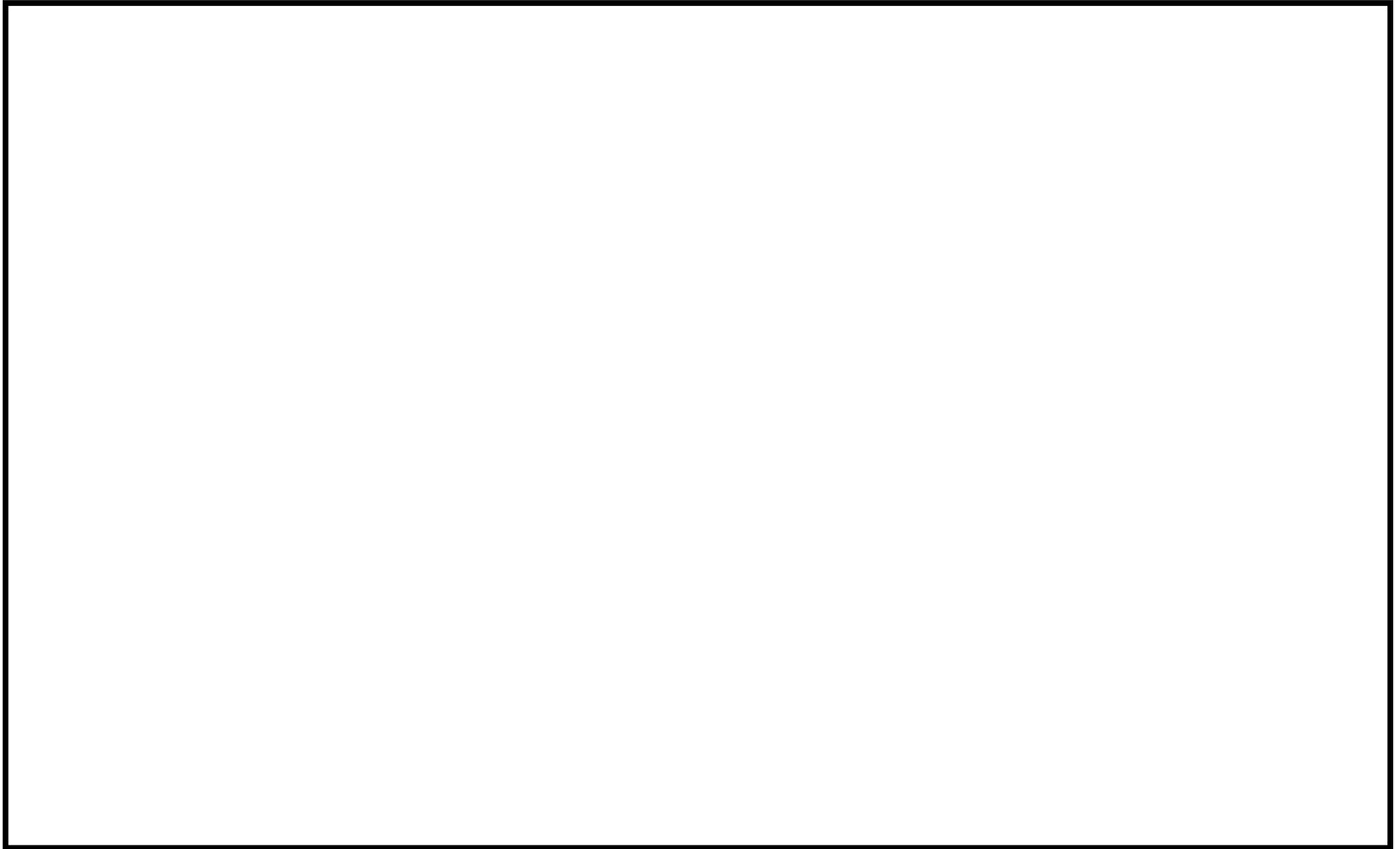
代替格納容器圧力逃がし装置の内、地下に設置されている部位については、竜巻の影響を受けない。なお、排気管については、飛来物衝突により損傷した場合であっても、放射性物質の放出量を抑制する機能には影響しないが、建屋等の外殻となる施設内を通し、原子炉建屋上方で屋外に露出するように配管を敷設し、原子炉建屋上方で放出する設計とする。

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。



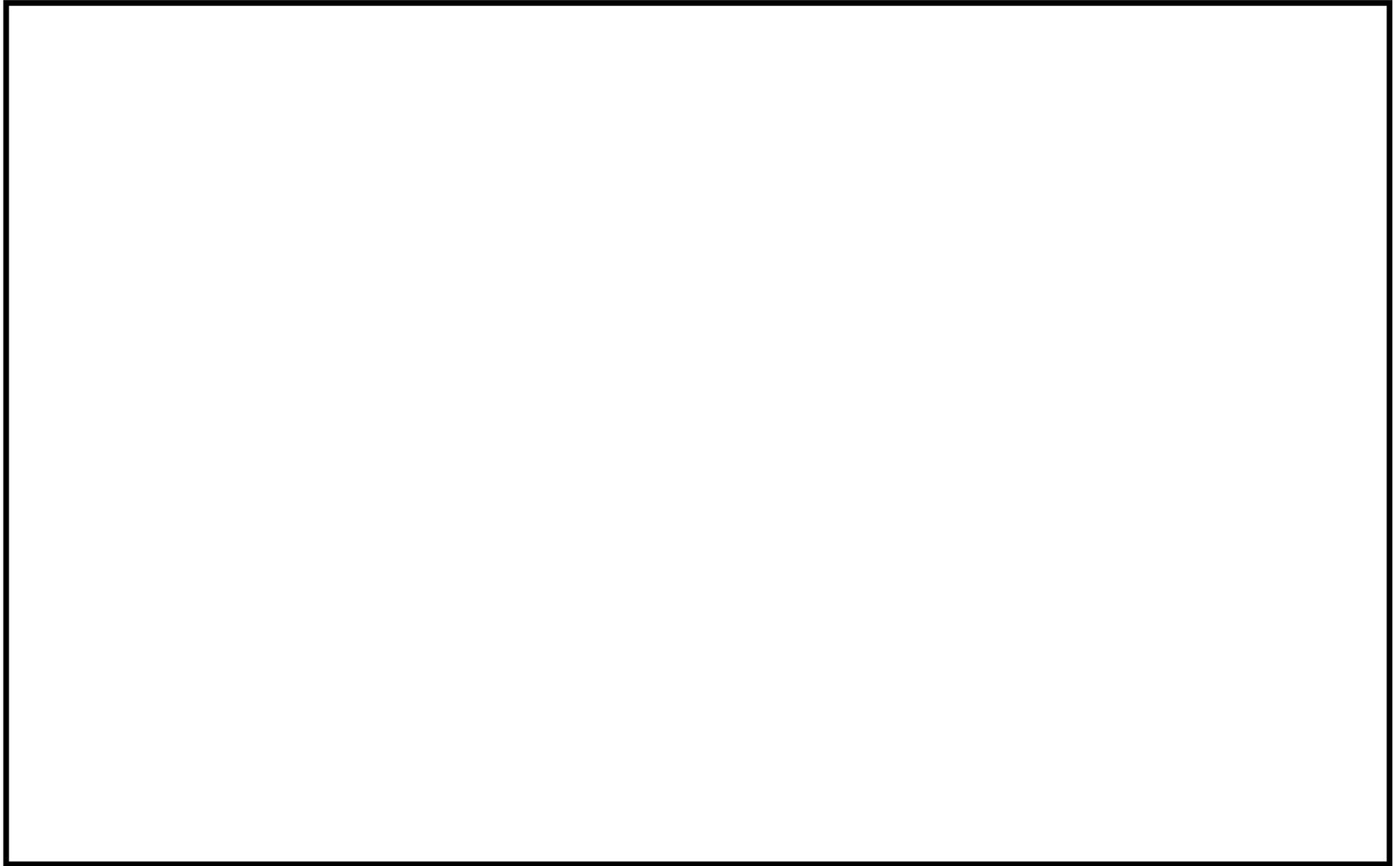
第 7. 1. 2-1 図 6 号炉 格納容器圧力逃がし装置 概略図 (南立面図)

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。



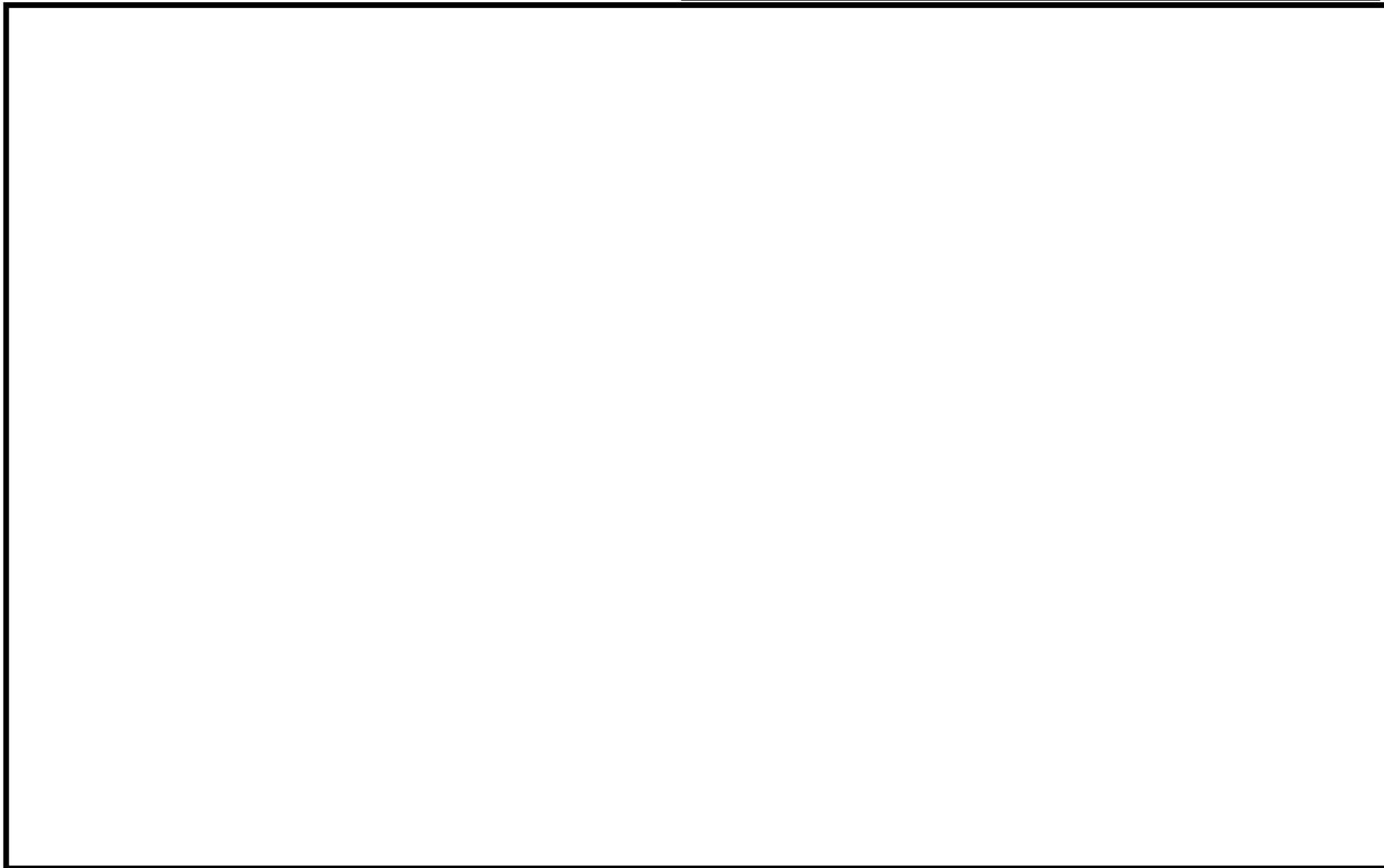
第 7. 1. 2-2 図 6 号炉 格納容器圧力逃がし装置 概略図 (東立面図)

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。



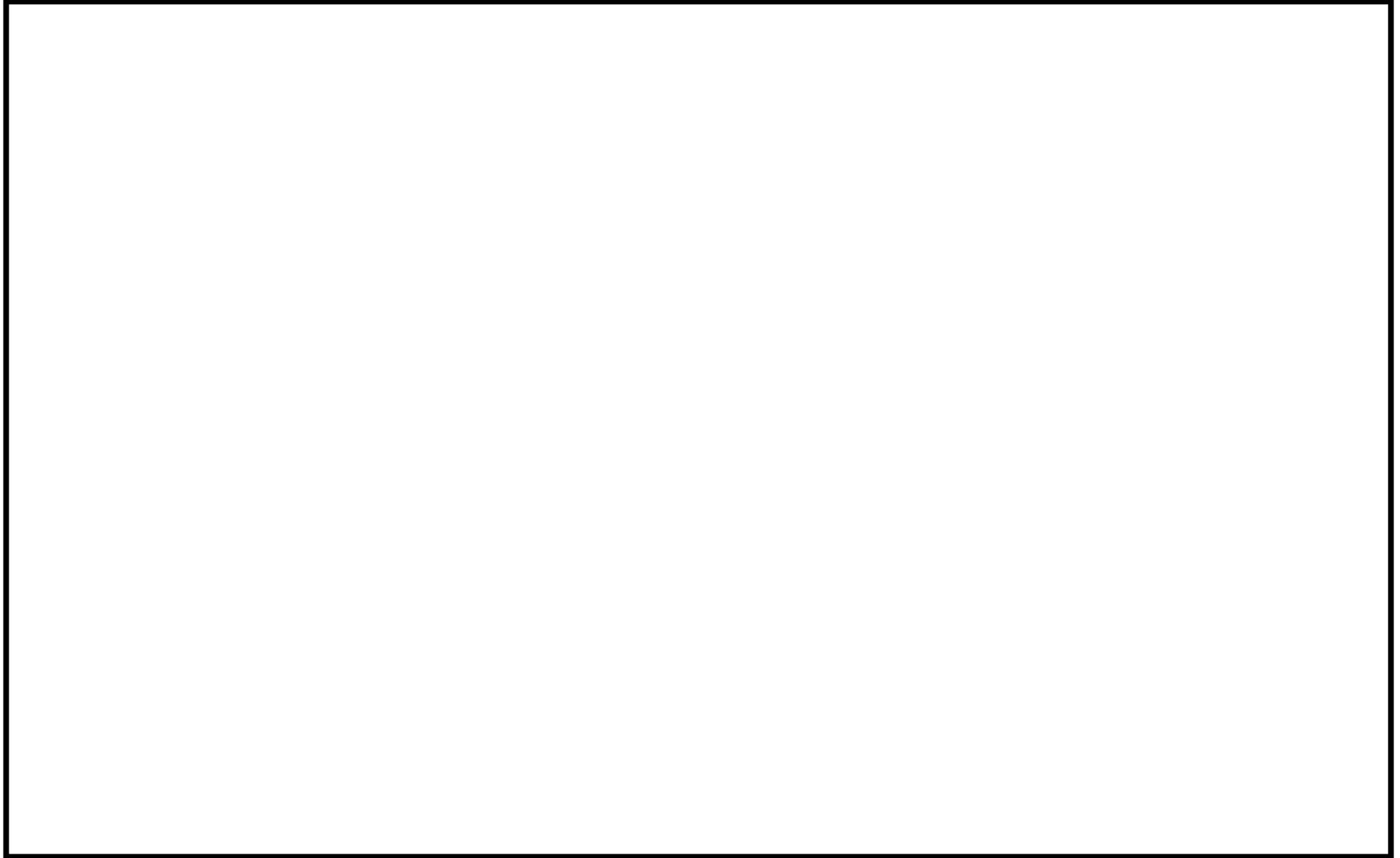
第 7. 1. 2-3 図 6 号炉 格納容器圧力逃がし装置 概略図 (平面図)

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。



第 7. 1. 2-4 図 7 号炉 格納容器圧力逃がし装置 概略図 (南立面図)

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。



第 7.1.2-5 図 7号炉 格納容器圧力逃がし装置 概略図（平面図）

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。

第 7.1.2-1 表 飛来物貫通評価結果

(竜巻の最大風速 69m/s, 鋼製材の最大飛散速度は, ランキン渦モデルにより評価。鋼製材の空力パラメータは, 原子力安全基盤機構の委託研究成果報告書¹⁾記載値を採用。)

	コンクリート 厚さまたは鋼 板厚さ [mm]	貫通限界厚さまたは裏面 はく離限界厚さ [mm]	評価結果
放射線遮へい壁	700~1,600		
フィルタ装置 (胴部)	30.4 (最小厚さ)		
フィルタ装置 (上部)	30.0 (最小厚さ)		
フィルタ装置入口側配管	12.7		
フィルタ装置出口側配管	12.7		
給水設備に係わる配管	5.2		
ドレン設備に係る配管	3.9		

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 7.1.2-2 表 飛来物貫通評価結果

(竜巻の最大風速 100m/s, 鋼製材の最大飛散速度は竜巻影響評価ガイドに例示されている値を採用。)

	コンクリート 厚さまたは鋼 板厚さ [mm]	貫通限界厚さまたは裏面 はく離限界厚さ [mm]	評価結果
放射線遮へい壁	700~1,600		
フィルタ装置 (胴部)	30.4 (最小厚さ)		
フィルタ装置 (上部)	30.0 (最小厚さ)		
フィルタ装置入口側配管	12.7		
フィルタ装置出口側配管	12.7		
給水設備に係わる配管	5.2		
ドレン設備に係わる配管	3.9		

第 7.1.2-3 表 飛来物貫通評価結果

(竜巻の最大風速 69m/s, 鋼製材の最大飛散速度は, フジタモデルにより評価。鋼製材の空力パラメータは, 原子力安全基盤機構の委託研究成果報告書¹⁾ 記載値を採用。)

	コンクリート 厚さまたは鋼 板厚さ [mm]	貫通限界厚さまたは裏面 はく離限界厚さ [mm]	評価結果
放射線遮へ い壁	700~1,600	— (鋼製材は飛散しない)	貫通・裏面はく離 なし
フィルタ装 置(胴部)	30.4 (最小厚さ)	— (鋼製材は飛散しない)	貫通なし
フィルタ装 置(上部)	30.0 (最小厚さ)		
フィルタ装 置入口側配 管	12.7		
フィルタ装 置出口側配 管	12.7		
給水設備に 係わる配管	5.2		
ドレン設備 に係わる配 管	3.9		

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 7.1.2-4 表 飛来物貫通評価結果

(竜巻の最大風速 100m/s, 鋼製材の最大飛散速度は, フジタモデルにより評価。鋼製材の空力パラメータは, 原子力安全基盤機構の委託研究成果報告書¹⁾ 記載値を採用。)

	コンクリート 厚さまたは鋼 板厚さ [mm]	貫通限界厚さまたは裏面 はく離限界厚さ [mm]	評価結果
放射線遮へい壁	700~1,600		
フィルタ装置 (胴部)	30.4 (最小厚さ)		
フィルタ装置 (上部)	30.0 (最小厚さ)		
フィルタ装置入口側配管	12.7		
フィルタ装置出口側配管	12.7		
給水設備に係わる配管	5.2		
ドレン設備に係わる配管	3.9		

- 1) 東京工芸大学:「平成21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 平成23年2月

7.1.3 積雪

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

積雪の設計基準については、規格基準類（建築基準法）及び観測記録（気象庁アメダス）、年超過確率評価、積雪時の発電所の対応を踏まえ、1日あたりの積雪量に最深積雪量の平均値を加えた値を設計基準として定めた。

評価の結果、統計的な処理による1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-4} /年の値は135.9cmとなり、さらに、過去の観測記録から最深積雪量の平均値31.1cmを加えた167cmを設計基準積雪量に設定した。

(2) 想定される影響

a. 堆積による荷重

影響モード：積雪による静的荷重

対象部位：フィルタ装置

b. 積雪による開口部閉塞

影響モード：系統内への侵入による閉塞

対象部位：放出口

(3) 耐性評価結果

a. 堆積による荷重

フィルタ装置の上部への積雪による耐荷重については、フィルタ装置の保有水等の重量を考慮した許容耐荷重を3,832,930[N/m²]と評価しており、設計基準積雪量167cm(4,914[N/m²])を上回っていることから、積雪荷重に対する耐性が確保されていることを確認した。

b. 積雪侵入による閉塞

格納容器圧力逃がし装置の出口配管配置図を第7.1.3-1図に示す。

放出口からの雪の侵入については、上空から落下してくる雪に対して、開口部が横向き、かつ開口部の形状が斜め下45°の形状となっていることから、雪が侵入し難い構造となっている。

また、雪が放出口から侵入した場合であっても、放出口付近の配管は水平方向に設置されているため、雪が配管内部のラプチャーディスク前面まで到達することは考え難く、侵入した雪は放出口付近の水平方向の配管上に堆積することが想定される。この場合、開口部の構造により雪の全てが配管内に侵入するものではないこと、配管の口径は508mmとなっていることから、配管は閉塞しないと考えられる。

なお、配管内に堆積した積雪が、気温の上昇に伴い、融雪した場合には、ラプチャーディスク前面に設置されたドレンラインより、排出することが

可能である。

(4)地震との重畳影響

積雪と地震との重畳により，積雪単独事象より格納容器圧力逃がし装置への荷重影響が増長されるが，除雪を行うなど適切な対応を行い，格納容器圧力逃がし機能を維持する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

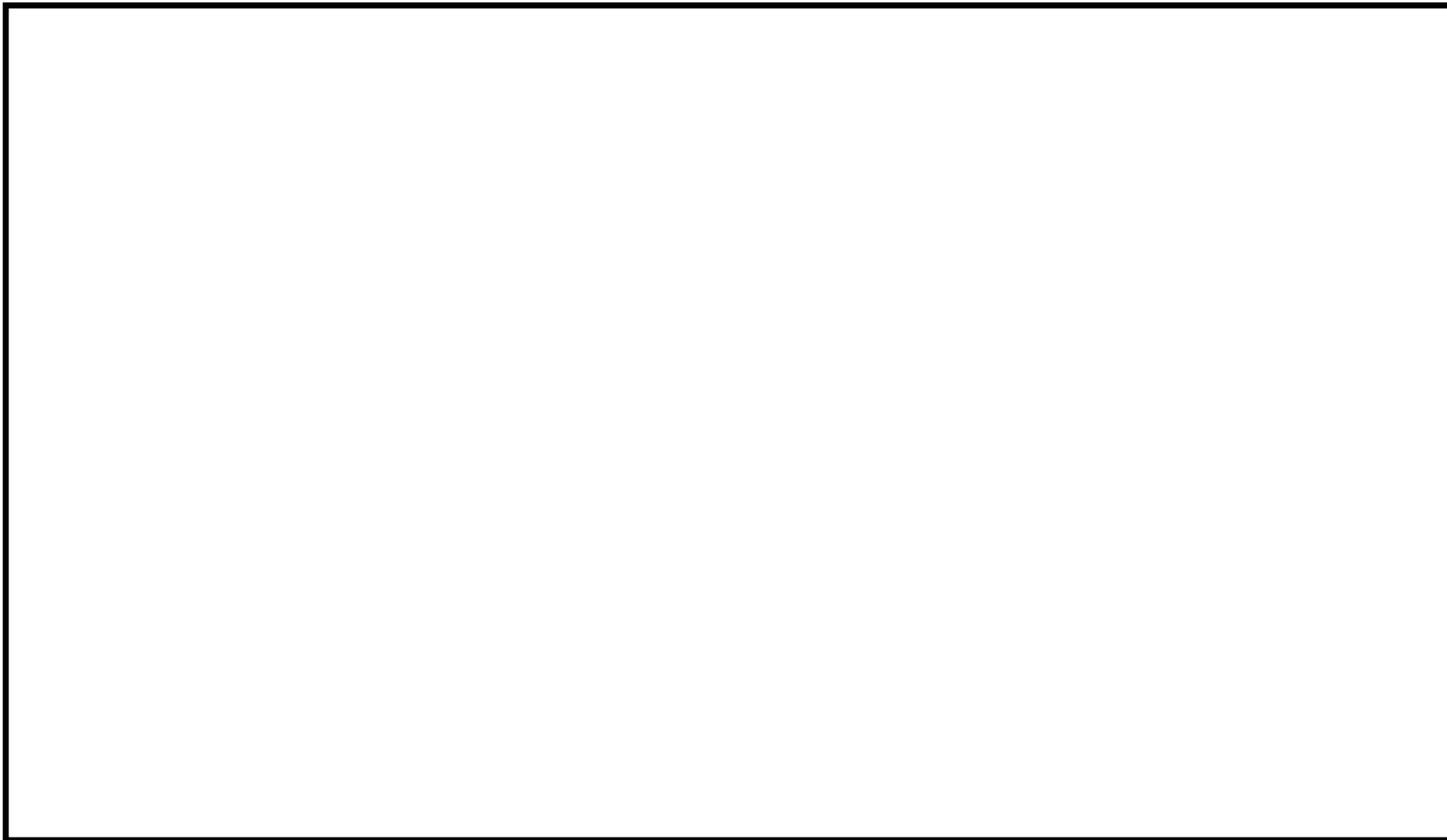
a. 堆積による荷重

代替格納容器圧力逃がし装置は，屋外に露出しないことから，影響を受けない。

b. 積雪侵入による閉塞

代替格納容器圧力逃がし装置の放出口については，配管内部へ侵入し難い構造に設計する。

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 7.1.3-1 図 格納容器圧力逃がし装置の出口配管配置図（左：南立面図，右：平面図）

7.1.4 低温

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

低温の設計基準については、規格基準類及び観測記録（気象庁アメダス）、年超過確率評価を踏まえ、最低気温が最も小さくなる値を設計基準として定めた。

評価の結果、統計的な処理による最低気温の年超過確率 10^{-4} /年の値は -17°C となった。また、低温の継続時間については、過去の最低気温を記録した当日の気温推移に鑑み、保守的に 24 時間と設定した。

(2) 想定される影響

a. 凍結

影響モード：凍結

対象部位：フィルタ装置，フィルタ装置水位計配管，
フィルタ装置ドレン配管

(3) 耐性評価結果

a. 凍結

フィルタ装置保有水の凍結については、外気温度 -17°C となった場合に、凍結を開始する時間を解析した結果、フィルタ装置に保温材と、建物床ヒーター ($300\text{W}/\text{m}^2$) を設置した条件では約 38 時間となった。また、建物床ヒーターを考慮せず、保温材のみの場合においても約 25 時間となっており、いずれも低温継続時間 24 時間を上回っていることを確認した。

なお、屋外設置のフィルタ装置水位計や放射線モニタなどの計器類については、防湿対策が施されており、計器内部で凍結による影響は受けない。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

a. 凍結

フィルタ装置の保有水及び計器は、地下及び原子炉建屋屋内に設置されることにより、屋外に露出しないことから、低温による影響は受けない。

7.1.5 落雷

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

基準雷撃電流値は、柏崎刈羽原子力発電所での落雷観測記録の統計処理による年超過確率が 10^{-4} /年となる雷撃電流値から設定する。構内での落雷観測の結果に避雷鉄塔及び 5 号炉排気筒による遮へい効果を考慮し求めた雷撃頻

度及び電力中央研究所報告の雷撃電流頻度分布を用いて、原子炉建屋排気筒への年超過確率が 10^{-4} /年となる雷撃電流値を求めると156kAとなる。これに余裕を持った200kAを設計基準電流値とする。

(2) 想定される影響

影響モード：雷サージによる電気・計装設備の損傷

対象部位：タンク水位計，ドレンライン流量計，放射線モニタ

(3) 耐性評価結果

格納容器圧力逃がし装置は、原子炉建屋排気筒頂部に設置されている避雷針の遮へい範囲内にあり、落雷頻度が著しく低く、雷が直撃する可能性は十分小さいと考えられる。したがって、設備への影響が大きいと考えられる排気筒への落雷による雷サージを想定した。

6号炉および7号炉の原子炉建屋では、排気筒への直撃雷時に建屋内へ侵入する雷電流を軽減するために、屋上と外壁に約2mピッチの避雷導線を埋設し雷電流の分流を図る対策（ファラデーケージ化）やメッシュ式の接地網によって接地抵抗の低減や接地電位の平坦化を図る対策を実施している。したがって、屋内設置の回路への雷サージの影響は軽微であると考えられるため、屋外計装設備の計装回路について雷サージ評価を行った。

落雷時に回路に加わるサージ電圧値の算出には、過去に7号炉で実施した雷インパルス試験の結果を用いた。試験では、排気筒頂部に1kA程度の印加電流を流し、その時に測定対象のケーブルへ加わった誘導電圧を測定している。基準雷撃電流値200kAの雷撃を受けたときの雷サージ電圧値は、誘導電圧が印加電流値に保守的に比例するとして、雷インパルス試験の測定結果から求めた。

a. 屋外計装設備

(a) タンク水位計・ドレンライン流量計

タンク水位計及びドレンライン流量計は放射線遮へい壁の内側に設置されており、その計装回路は中央制御室に至っている。雷インパルス試験の測定結果としては、本回路の位置関係と類似の、コントロール建屋とトランスヤードを融通するケーブルの測定結果を用いる。耐電圧値は、当該回路に耐雷対策としてシールドケーブルと保安器が使用されていることを考慮して保安器の耐電圧値15kVを用いる。

評価結果を第7.1.5-1表に示す。原子炉建屋排気筒に設計基準である200kAの落雷があった場合に当該回路に加わる雷サージ電圧値は最大で約4.3kVとなる。これは保安器の耐電圧値15kVを下回ることから耐性は確保されている。

(b)放射線モニタ

放射線モニタの検出部は、原子炉建屋壁面の格納容器圧力逃がし装置排気配管に設置されており、その計装回路は中央制御室に至っている。雷インパルス試験の測定結果としては、本回路の位置関係と類似の、原子炉建屋中 4 階からコントロール建屋に至る回路の測定結果を用いる。また耐電圧値は、現場側に検出器の耐電圧値 1.5kV、中央制御室側では耐雷対策としてシールドケーブルと保安器が使用されていることを考慮して保安器の耐電圧値 10kV を用いる。

評価結果を第 7.1.5-1 表に示す。原子炉建屋排気筒に設計基準である 200kA の落雷があった場合に当該回路に加わる雷サージ電圧値は最大で約 0.25kV となる。これは、現場側の耐電圧値 1.5kV および中央制御室側の耐電圧値 10kV を下回ることから耐性は確保されている。

(4)地震／風／竜巻 いずれかの事象との重畳

落雷と竜巻等の重畳により、避雷鉄塔の損壊を想定した場合は、落雷単一事象より原子炉建屋排気筒への雷撃電流値は増長するが、耐電圧性を有する検出器の採用や保安器の設置等、適切な設計をして、格納容器圧力逃がし装置の機能を維持する。

第 7.1.5-1 表 落雷評価結果

評価対象設備		雷インパルス試験結果			誘導電圧換算値 (200kA 時)	耐電圧値	評価結果
		測定地点	印加電流	誘導電圧	誘導電圧		
タンク水位計 ドレンライン 流量計	中央制御室 (指示計)	中央制御室	884A	2.8V	0.63kV	15kV(保安器)	影響なし
	現場 (発信器)	トランスヤード	876A	18.8V	4.3kV	15kV(保安器)	影響なし
放射線モニタ	中央制御室 (記録計)	中央制御室	888A	1.06V	0.24kV	10kV(保安器)	影響なし
	現場 (前置増幅器) (検出器)	原子炉建屋 中 4 階	868A	1.1V	0.25kV	1.5kV (前置増幅器) 1.5kV (検出器)	影響なし

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置は、保安器やシールドケーブルの採用により設計基準である原子炉建屋への 200kA の落雷に耐える設計とすることから、落雷の影響はない。

7.1.6 火山

【格納容器圧力逃がし装置】

(1)設計基準

発電所へ影響を及ぼし得る火山のうち、将来の活動可能性が否定できない 30 火山について、設計対応が不可能な火山事象は、地質調査結果によれば、発電所敷地及び周辺で、痕跡が認められないことから、到達する可能性は十分小さいものと判断される。その他の発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を抽出した結果、降下火山灰が抽出された。

降下火山灰の堆積量については、文献調査や国内外の噴火実績、シミュレーション結果を踏まえ、検討を行った結果、火山噴火実績に保守性を考慮した 30cm を設計基準に設定する。

(2) 想定される影響

a. 堆積による荷重

影響モード：降下火山灰の堆積による静的荷重

対象部位：フィルタ装置

b. 降下火山灰侵入による閉塞

影響モード：系統内への侵入による閉塞

対象部位：放出口

c. 化学的影響

影響モード：降下火山灰に付着している腐食成分による化学的影響

対象部位：フィルタ装置及び屋外配管

(3) 耐性評価結果

a. 堆積による荷重

フィルタ装置に堆積する降下火山灰に対する耐荷重性については、フィルタ装置の保有水等の重量を考慮した許容耐荷重を $3,832,930 \text{ [N/m}^2\text{]}$ と評価しており、設計基準の降下火山灰 30 cm ($4,413 \text{ [N/m}^2\text{]}$) を上回っていることから、降下火山灰の堆積荷重に対する耐性が確保されていることを確認した。

b. 降下火山灰侵入による閉塞

放出口からの降下火山灰の侵入については、上空から落下してくる降下火山灰に対して、開口部が横向き、かつ開口部の形状が斜め下 45° の形状となっていることから、降下火山灰が侵入し難い構造となっている。

また、降下火山灰が放出口から侵入した場合であっても、放出口付近の配管は水平方向に設置されているため、降下火山灰が配管内部のラプチャーディスク前面まで到達することは考え難く、侵入した降下火山灰は放出口付近の水平方向の配管上に堆積することが想定される。この場合、開口部の構造により降下火山灰の全てが配管内に侵入するものではないこと、及び配管の口径は 508 mm となっていることから、配管は閉塞しないと考えられる。

なお、放出口からの降下火山灰の侵入を防止するカバーの取り付け、または放出口から降下火山灰が侵入した場合における配管内部の点検等について、適切な対策を実施し、降下火山灰による配管の閉塞に至らないことを確実にする。

c. 化学的影響

フィルタ装置及び屋外配管については、酸性物質を帯びた降下火山灰に対して、容器材質が耐食性のあるステンレス製であることや、耐食性のあるふっ素樹脂塗装または、ポリウレタン樹脂塗装を施工していることなどから、耐食性が確保されていることを確認した。

(4)積雪との重畳影響

a. 重畳時の積雪量

冬季において多雪地域である立地地域は、火山噴火による降灰中、同じ影響モードである積雪の堆積荷重について、重畳を考慮する必要がある。

しかし、積雪の設計基準の167cmについては、 10^{-4} /年程度の極低頻度であることから、重畳時における積雪量については、1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-2} /年値の84.3cmに、最深積雪量の平均値31.1cmを加えた115.4cmを想定するものとする。

従って、降下火山灰30cm(4,413[N/m²])に、積雪115.4cm(3,396[N/m²])を加えた、堆積荷重7,809[N/m²]を火山及び積雪の重畳時における評価基準値と設定する。

b. 耐性評価結果

フィルタ装置の降下火山灰及び積雪の堆積に対する耐荷重については、フィルタ装置の保有水等の重量を考慮した許容耐荷重を3,832,930[N/m²]と評価しており、降下火山灰及び積雪の重畳時における基準値7,809[N/m²]を上回っていることから、火山及び積雪の重畳時の堆積荷重に対する耐性が確保されていることを確認した。

また、放出口からの積雪及び降下火山灰の侵入については、(3)b.のとおり、配管内部へ侵入し難い構造であり、閉塞しないと考えられるが、放出口からの降下火山灰の侵入を防止するカバーの取り付け、または放出口から降下火山灰が侵入した場合における配管内部の点検等について、適切な対策を実施し、降下火山灰による配管の閉塞に至らないことを確実にする。

(5)地震との重畳影響

火山と地震との重畳により、火山単独事象より格納容器圧力逃がし装置への荷重影響が増長されるが、除灰を行うなど適切な対応を行い、格納容器圧力逃がし機能を維持する。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

a. 堆積による荷重

代替格納容器圧力逃がし装置は、屋外に露出しないことから、影響を受けない。

b. 降下火山灰侵入による閉塞

代替格納容器圧力逃がし装置の放出口については、配管内部へ侵入し難い構造に設計する。

7.2 その他事象

7.2.1 外部火災

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 設計基準

a. 森林火災

発電所構内の森林の全面的な火災を想定する（防火帯により延焼が防止されるエリアを除く）。

b. 近隣の産業施設の火災

原子炉施設周辺に設置されており、格納容器圧力逃がし装置までの距離が近く貯蔵量の多い各号炉の軽油タンクの全面火災。なお、各号炉の軽油タンクは2基隣接して設置しているが、耐震Sクラス設備であり地震随伴事象としても2基同時火災の想定はしづらいこと、火災報知器や泡消火設備があることから延焼防止も可能であること、および隣接軽油タンク火災時にもう一方の軽油タンクの温度は発火点まで上昇せず2基同時に出火しないことから、格納容器圧力逃がし装置に近い軽油タンク1基の火災を想定する。

c. 航空機墜落による火災

偶発事象として航空機墜落が発生する確率が 10^{-7} 回/炉・年を超えるエリアへ墜落した航空機による火災を想定する。なお、航空機墜落火災と危険物タンク火災との重畳については、当該号炉軽油タンクには航空機は墜落せず発火点には至らないこと及び、対象航空機によっては他号炉の軽油タンクに墜落する可能性はあるが、軽油タンクと格納容器圧力逃がし装置との間に位置するタービン建屋やサービス建屋に輻射熱は遮られることから危険物タンク火災との重畳は考慮不要である。（第7.2.1-2図，第7.2.1-3図）

(2) 想定される影響

a. 森林火災

影響モード：森林火災時の火炎からの輻射熱による温度上昇

対象部位※：放射線遮へい壁，フィルタ装置，屋外配管および弁（フィルタ装置入口側，フィルタ装置出口側，弁），給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

b. 近隣の産業施設の火災

影響モード：軽油タンク防油堤全面火災時の火炎からの輻射熱による温度上昇

対象部位※：放射線遮へい壁，フィルタ装置，屋外配管および弁（フィルタ装置入口側，フィルタ装置出口側，弁），給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

c. 航空機墜落による火災

影響モード：航空機墜落により発生した火炎からの輻射熱による温度上昇

対象部位※：放射線遮へい壁，フィルタ装置，屋外配管および弁（フィルタ装置入口側，フィルタ装置出口側，弁），給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

※ 対象部位は，外部火災により影響をうける屋外に設置されている格納容器圧力逃がし装置の部位を抽出した。

(3) 耐性評価結果

a. 森林火災

(a) 放射線遮へい壁

放射線遮へい壁はコンクリート製であり，健全性の基準 200℃に対し，森林火災発生時の輻射熱による遮へい壁外面の温度は約 72℃に止まることから，火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(b) フィルタ装置

フィルタ装置の周囲には放射線遮へい壁が設置されており，放射線遮へい壁内側の温度は上昇しない。また，フィルタ装置上部は開口しているが，放射線遮へい壁はフィルタ装置上部より約 5m 高く設置されており，輻射熱が直接フィルタ装置に届くことはないことから，火災に対する耐性が確保される。

(c) 屋外配管および弁（フィルタ装置入口側，フィルタ装置出口側，弁）

配管の設計温度は 200℃であり，防火帯林縁から至近の配管の温度は約 90℃に止まることから，火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(d) 給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備

輻射熱による影響がないように，遮熱性のある板で覆うこと等により，設備を防護するため火災の影響はない。

(e) 計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等）

輻射熱による影響がないように，耐熱性のある計器の使用または遮熱性のある板で覆うこと等により，設備を防護するため火災の影響はない。

(f) 計装ラック

計装ラックの周囲には放射線遮へい壁が設置されており、放射線遮へい壁内側の温度は上昇しないことから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

b. 近隣の産業施設等の火災

(a) 放射線遮へい壁

放射線遮へい壁はコンクリート製であり、健全性の基準 200℃に対し、軽油タンク防油堤全面火災発生時の輻射熱による遮へい壁外面の温度は約 176℃に止まることから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(b) フィルタ装置

フィルタ装置の周囲には放射線遮へい壁が設置されており、放射線遮へい壁内側の温度は上昇しない。また、フィルタ装置上部は開口しているが、放射線遮へい壁はフィルタ装置上部より約 5m 高く設置されており、輻射熱が直接フィルタ装置に届くことはないことから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(c) 屋外配管および弁（フィルタ装置入口側、フィルタ装置出口側、弁）

設計温度は 200℃であり、軽油タンク至近の配管の温度は約 144℃に止まることから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(d) 給水設備、窒素パージ設備、ドレン設備

輻射熱による影響がないように、耐熱性のある計器の使用または遮熱性のある板で覆うこと等により、設備を防護するため火災の影響はない。

(e) 計器類（水位計、圧力計、放射線モニタ等）

輻射熱による影響がないように、耐熱性のある計器の使用または遮熱性のある板で覆うこと等により、設備を防護するため火災の影響はない。

(f) 計装ラック

計装ラックの周囲には放射線遮へい壁が設置されており、放射線遮へい壁内側の温度は上昇しないことから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

c. 航空機墜落による火災

(a) 放射線遮へい壁

放射線遮へい壁はコンクリート製であり、健全性の基準 200℃に対し、航空機墜落による火災発生時の輻射熱による遮へい壁外面の温度は約 62℃に止まることから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(b) フィルタ装置

フィルタ装置の周囲には放射線遮へい壁が設置されており、放射線遮へ

い壁内側の温度は上昇しない。また、フィルタ装置上部は開口しているが、放射線遮へい壁はフィルタ装置上部より約 5m 高く設置されており、輻射熱が直接フィルタ装置に届くことはないことから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(c) 屋外配管および弁（フィルタ装置入口側、フィルタ装置出口側、弁）
設計温度は 200℃であり、火災発生時の配管の温度は約 65℃に止まることから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

(d) 給水設備、窒素パージ設備、ドレン設備
輻射熱による影響がないように、耐熱性のある計器の使用または遮熱性のある板で覆うこと等により、設備を防護するため火災の影響はない。

(e) 計器類（水位計、圧力計、放射線モニタ等）
輻射熱による影響がないように、耐熱性のある計器の使用または遮熱性のある板で覆うこと等により、設備を防護するため火災の影響はない。

(f) 計装ラック
計装ラックの周囲には放射線遮へい壁が設置されており、放射線遮へい壁内側の温度は上昇しないことから、火災に対する耐性が確保されていることを確認した。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置のうち、地下に設置されている部位については、外部火災の影響は受けない。屋外に設置する部位については、外部火災による影響がないような設計とする。



第 7.2.1-1 図 格納容器圧力逃がし装置と各火災の位置関係

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 7.2.1-2 図 航空機墜落位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置 (6 号炉)



第 7.2.1-3 図 航空機墜落位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置 (7 号炉)

7.2.2 内部火災

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

(1)設計基準

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置に発生する火災を想定する。

地震時においては、耐震B，Cクラスの機器を火災源とする火災を，火災区域内に想定する。

(2)想定される影響

影響モード：火災による温度上昇，引火，発火

対象部位：格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する弁（手動弁，電動駆動弁，空気駆動弁）等
操作時に必要な監視機器
アクセスルート

(3)耐性評価結果

格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する弁，操作時に必要な監視機器，アクセスルート等（以下，「機器等」という。）については，6.1.4 (2)a.に記載のとおり，火災の発生防止対策を施しており，当該機器等の引火・発火のおそれは小さく，温度上昇による損傷のおそれも小さい。また，機器等のうちケーブル等は難燃性のものを使用している。

万一，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の機器等に火災が発生した場合においても，6.1.4 (2)b.に記載のとおり，火災の感知，消火対策を施しており，当該機器等に発生した火災を速やかに感知し消火することによって，当該機器等の損傷を最小限に抑えることができる。

地震時における，耐震B，Cクラスの機器を火災源とする火災に対しては，火災によって格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の機能に影響を及ぼす可能性のある耐震B，Cクラスの機器について，当該機器を耐震強化すること，又は当該機器の設置箇所に耐震強化した消火設備を設置することによって，格納容器圧力逃がし装置及び代替格納容器圧力逃がし装置の機能を維持することができる。

7.2.3 内部溢水

【格納容器圧力逃がし装置】

(1)設計基準

発生要因別に分類した以下の溢水を想定した。

- ・溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水

- ・発電所内で生じる異常状態（火災を含む）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水
- ・地震に起因する機器の破損等により生じる溢水

(2) 想定される影響

溢水の発生要因に依らず、以下の影響を想定した。

影響モード：没水，被水，蒸気による環境条件の悪化

対象部位：格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する弁（手動弁，
電動駆動弁，空気駆動弁）

操作時に必要な監視機器

アクセスルート

(3) 耐性評価結果

a. 格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する弁（手動弁，電動駆動弁，空気駆動弁）

(a) 格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する手動弁については，没水，被水，蒸気の影響は無く，機能は維持される。

(b) 格納容器圧力逃がし装置の系統を構成する電動駆動弁及び空気駆動弁については，没水，被水等の影響により通常の遠隔操作機能を喪失する可能性がある。しかし，それぞれ物理的に隔離された箇所に設置されたバックアップ設備による代替操作が可能であり，万が一，バックアップ設備が溢水による影響を受けた場合においても，現場での手動操作が可能であることから，機能は維持される。

b. 操作時に必要な監視機器

(a) 操作時に必要な監視機器については，止水対策，被水対策等，没水，被水，蒸気に対する防護対策を講じることにより，機能は維持される。

c. アクセスルート

(a) 内部溢水発生時は，自動隔離又は手動隔離により，漏えい箇所の隔離操作を行うこととしている（標準80分を想定）。また，地震時において，漏えい箇所の隔離が不可能な場合においても，漏えい水，蒸気については，開放ハッチ部，床ファンネルを介し，建屋最地下階へと導く設計とすることから，格納容器圧力逃がし装置操作時において，操作対象機器へのアクセスルートに水，蒸気が滞留し，操作を阻害することはない。

(b) 格納容器圧力逃がし装置の操作時においては，操作対象機器へのアクセスルートに水，蒸気が滞留しないこと，壁による遮蔽があること等から，

放射線による影響も限定的であり、操作は可能である。

(4)管理区域外への漏えいについて

止水対策、堰等の防護対策を講じることにより、放射性物質を含む液体を放射線管理区域外へ漏えいさせることがないように設計する。

以上のことから、内部溢水が発生した場合でも、格納容器圧力逃がし装置の機能は維持される。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置については、止水対策、被水対策等、没水、被水、蒸気に対する防護対策を講じることにより、機能は維持される。

7.2.4 航空機墜落（偶発的事象）

【格納容器圧力逃がし装置】

(1)設計基準

原子炉建屋等重要施設を中心として、落下確率が 1.0×10^{-7} 回／炉・年となる範囲外への墜落。

(2)想定される影響

影響モード：衝突による衝撃力、火災による熱影響

対象部位：格納容器圧力逃がし装置を構成する構築物・機器

(3)耐性評価結果

柏崎刈羽原子力発電所6号炉又は7号炉の原子炉建屋等重要施設に墜落する確率は、約 3.4×10^{-8} 回／炉・年であることから、格納容器圧力逃がし装置に対する偶発的な航空機の衝突は設計上考慮する必要はない。なお、 10^{-7} 回／炉・年を超えるエリアへ墜落した場合における航空機燃料火災に対する耐性は7.2.1外部火災に示すとおりである。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

柏崎刈羽原子力発電所6号炉又は7号炉の原子炉建屋等重要施設に墜落する確率は、約 3.4×10^{-8} 回／炉・年であることから、代替格納容器圧力逃がし装置に対する偶発的な航空機の衝突は設計上考慮する必要はない。

また、代替格納容器圧力逃がし装置のうち、地下に設置されている部位については、航空機燃料火災の影響は受けない。屋外に設置する部位については、航空機燃料火災による影響がないように設計する。

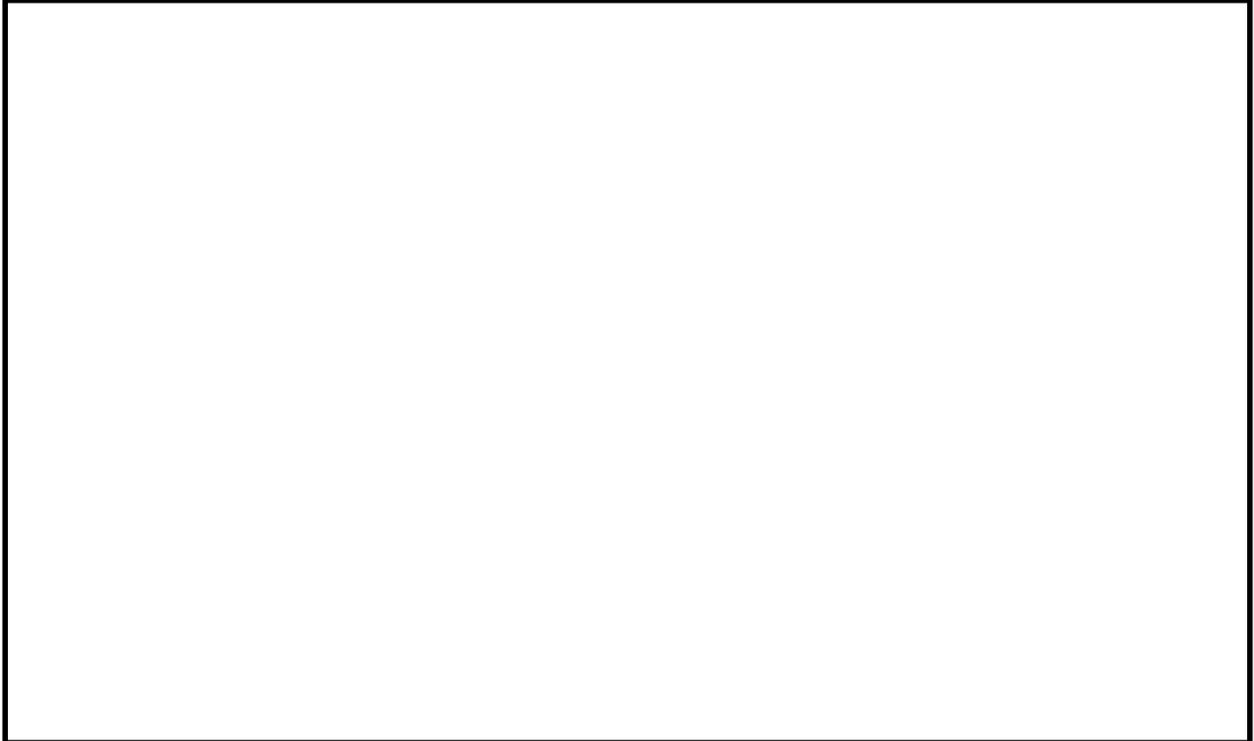
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

8. 原子炉格納容器圧力逃がし装置の意図的な航空機衝突事象に対する耐性
意図的な航空機衝突が発生した場合であっても、除熱機能が喪失しないこと
を以下、確認する。

8.1 航空機衝突（意図的事象）

【格納容器圧力逃がし装置】

(1) 事象想定（第 8.1-1 表，第 8.1-1 図参照）



(2) 想定される影響

影響モード：衝突による衝撃力，火災による熱影響

対象部位：放射線遮へい壁，フィルタ装置，フィルタ装置入口側配管，フィ
ルタ装置出口側配管，屋外設備（給水設備，窒素パージ設備，ド
レン設備，弁），計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計
装ラック

(3) 耐性評価結果（第 8.1-1 表参照）

a. 放射線遮へい壁



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。

b. フィルタ装置

--

c. フィルタ装置入口側配管

--

d. フィルタ装置出口側配管

--

e. 屋外設備（給水設備，窒素パージ設備，ドレン設備，弁）

--

f. 計器類（水位計，圧力計，放射線モニタ等），計装ラック

--

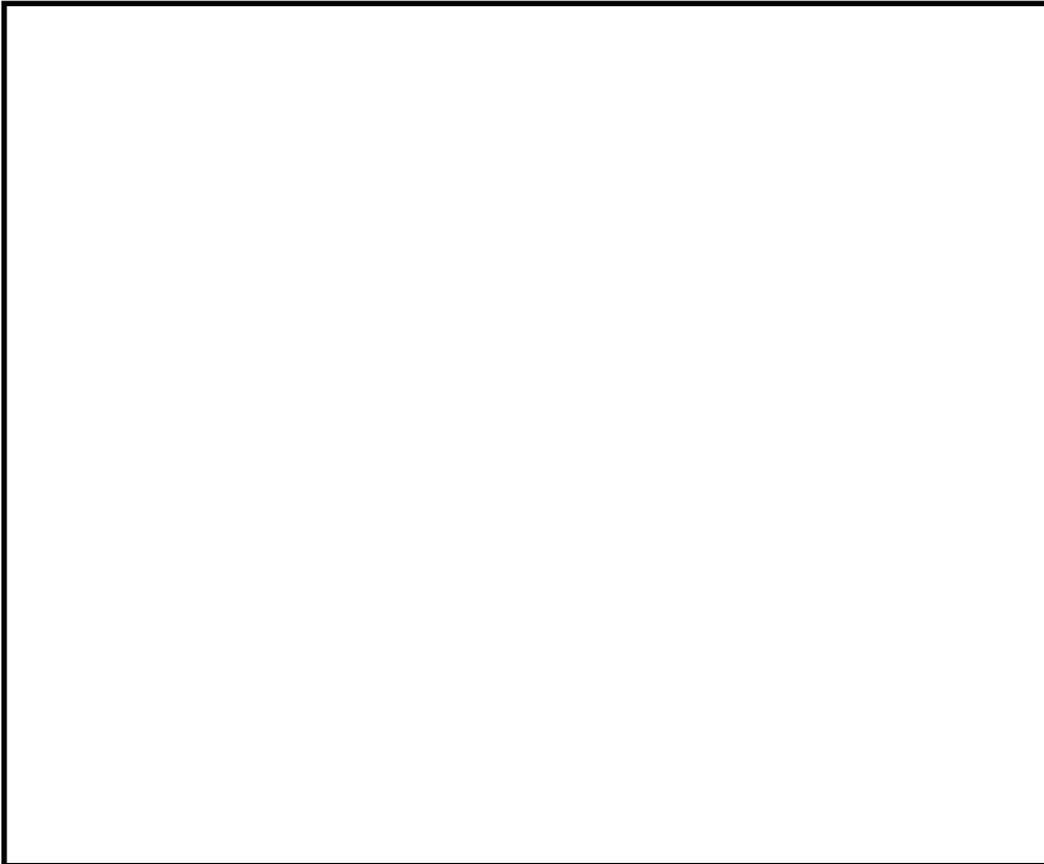
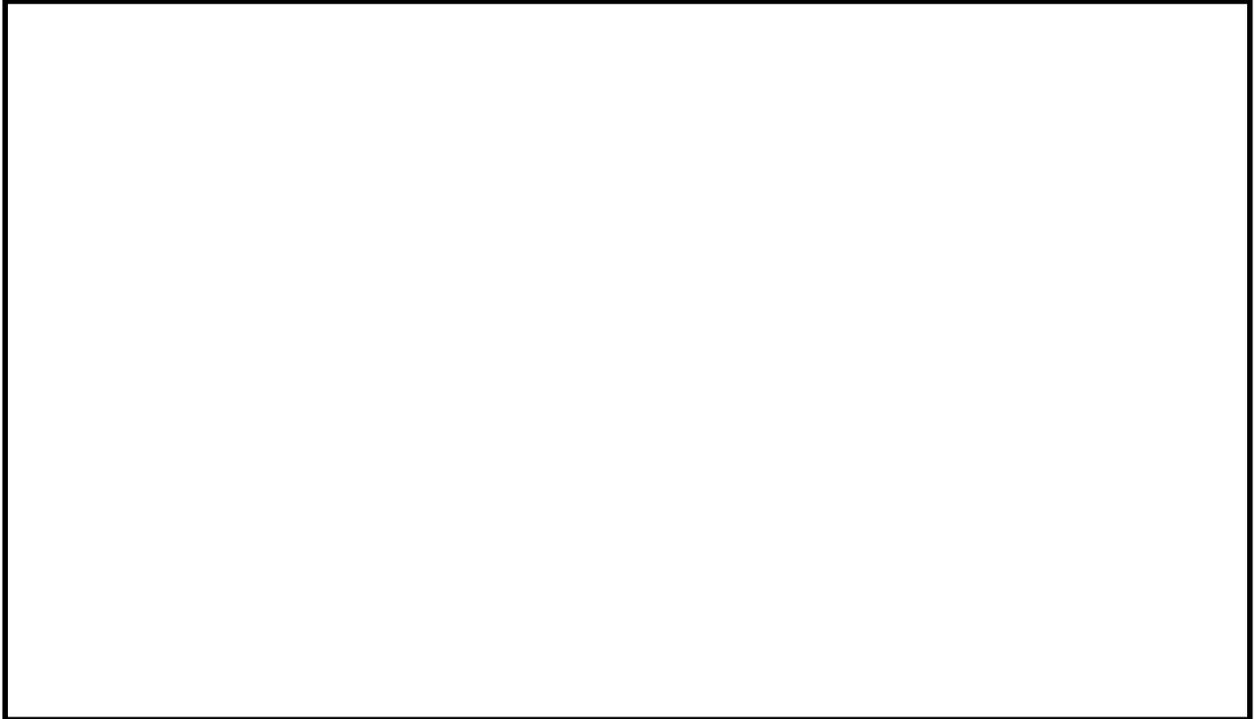
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

【代替格納容器圧力逃がし装置】

代替格納容器圧力逃がし装置のうち、地下に設置される部位については、航空機衝突による衝撃力及び航空機燃料火災の影響は受けない。屋外に設置するフィルタ装置出口側配管は損傷する可能性があるが、放出される放射性物質の低減機能は喪失しない。

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 8.1-1 表 航空機の衝突方向別機能の維持状況



第 8.1-1 図 フィルタ装置及び建屋の配置状況

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】【代替格納容器圧力逃がし装置】

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。

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の計測設備について記載する。

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計にて、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、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

フィルタ装置水位計にて、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放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を評価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

フィルタ装置水位計にて、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計及びフィルタ装置出口圧力計にて、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計にて、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、以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置内スクラバ水の確認

フィルタ装置水位計にて、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計及びフィルタ装置水素濃度計にて、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放射線量率を監視し、排出経路の放射性物質濃度を評価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

格納容器圧力逃がし装置の使用時、待機時、使用後に、フィルタ装置の水位調整を以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置の水位調整の確認

フィルタ装置水位計にて、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計にて、排水操作を実施した際のタンク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）

フィルタ装置水位計にて、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計にて、排水操作を実施した際のタンクドレン量から、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、以下の通り把握可能である。

a. フィルタ装置の閉塞

フィルタ装置入口圧力計にて、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

金属フィルタ差圧計にて、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計にて、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

ドレンタンク水位計にて、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計及びフィルタ装置出口圧力計にて、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計にて、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

フィルタ装置水位計にて、タンクからのスクラバ水漏えいによるフィルタ装置の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. 格納容器内の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計 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. 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フィルタ装置水位計	①は多重性有り
	c. 放出されるガスの放射線量の確認	①フィルタ装置出口放射線モニタ	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フィルタ装置水位計	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計 ②フィルタ装置出口圧力計 ③フィルタ装置出口配管圧力計	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フィルタ装置水位計	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計 ②フィルタ装置水素濃度計	①②で多様性有り ①は多重性有り ②は入口と出口配管でそれぞれ補完
	c. 放出されるガスの放射線量の確認	①フィルタ装置出口放射線モニタ	①は多重性有り
(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フィルタ装置水位計 ②フィルタ装置ドレン流量計	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質管理	①フィルタ装置水位計 ②フィルタ装置ドレン流量計 ③フィルタ装置スクラバ水 pH 計	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計 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金属フィルタ差圧計 ②フィルタ装置入口圧力計	①②で多様性有り ②は多重性有り
	c. よう素フィルタ出口配管の閉塞	①ドレンタンク水位計 ②フィルタ装置入口圧力計 ③フィルタ装置出口圧力計	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計 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
	d. フィルタ装置スクラバ水の漏えい	①フィルタ装置水位計	①は多重性有り

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1-2表 格納容器圧力逃がし装置及び代替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 (格納容器圧力逃がし装置)	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が計測可能な範囲とする。
	フィルタ装置水位 (代替格納容器圧力逃がし装置)	0～7000mm	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3000mm、下限水位：約500mmが計測可能な範囲とする。
②フィルタ装置入口圧力		0～1.0MPa[gage]	以下の2つの状態を計測可能な範囲とする。 ・格納容器ベント実施時に、格納容器圧力逃がし装置の最高圧力(0.62MPa[gage])が計測可能な範囲とする。 ・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計測可能な範囲とする。
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])を超えないことが計測可能な範囲とする。
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線量当量率(約7×10 ⁴ mSv/h)を計測可能な範囲とする。
⑥フィルタ装置水素濃度		0～100%	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濃度(4%)以下であることを計測可能な範囲とする。
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)を計測可能な範囲とする。
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を計測可能な範囲とする。
⑨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計測範囲とする。

※1 監視パラメータの数字は第2.3.2.3-1図及び第2.3.2.3-2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
プラント停止時または通常運転時	(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等後の窒素置換	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) フィルタ装置の水位調整時の確認 (5) 想定される機能障害の把握	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		4.1.2 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 フィルタ装置スクラバ水 pH
格納容器ベント停止			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窒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計

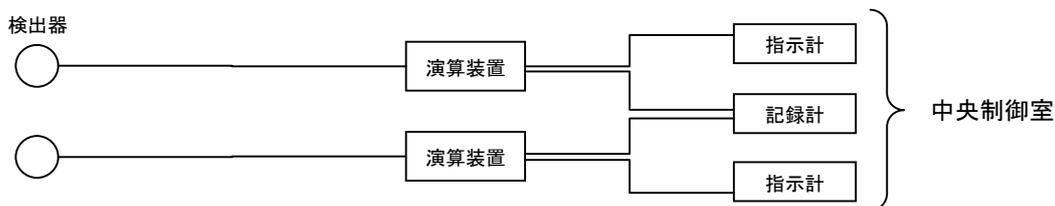
別紙2 格納容器圧力逃がし装置 計測設備の概略構成図

【格納容器圧力逃がし装置】【代替格納容器圧力逃がし装置】

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の計測設備について記載する。

(1) フィルタ装置水位計

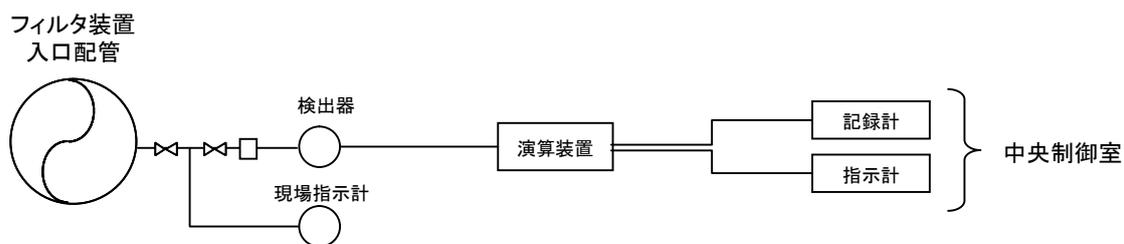
フィルタ装置水位計は，差圧式水位検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は，演算装置にて水位信号に変換することで，中央制御室に指示及び記録される。



第1-1図 フィルタ装置水位計の概略構成図

(2) フィルタ装置入口圧力計

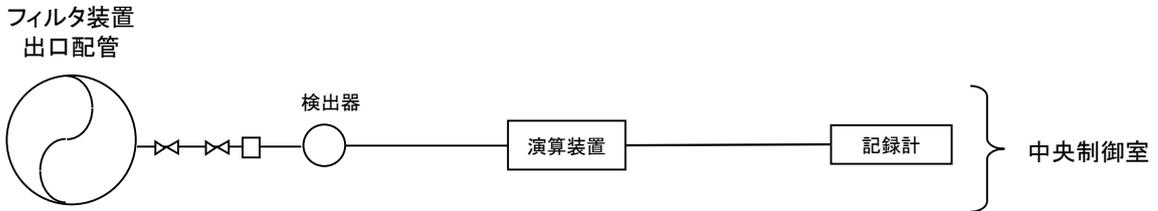
フィルタ装置入口圧力計は，圧力検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は，演算装置にて圧力信号に変換することで，中央制御室に指示及び記録される。中央制御室及び現場（二次格納施設外）にて監視可能な設計としている。



第1-2図 フィルタ装置入口圧力計の概略構成図

(3) フィルタ装置出口圧力計

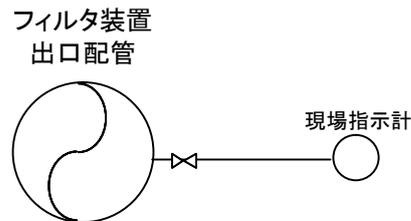
フィルタ装置出口圧力計は、圧力検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は、演算装置にて圧力信号に変換することで、中央制御室に記録される。



第 1-3 図 フィルタ装置出口圧力計の概略構成図

(4) フィルタ装置出口配管圧力計

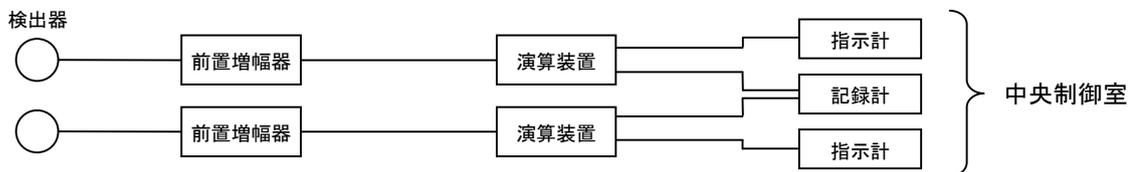
フィルタ装置出口配管圧力計は、機械式圧力検出器を用いて現場で監視可能な設計としている。



第 1-4 図 フィルタ装置出口配管圧力計の概略構成図

(5) フィルタ装置出口放射線モニタ

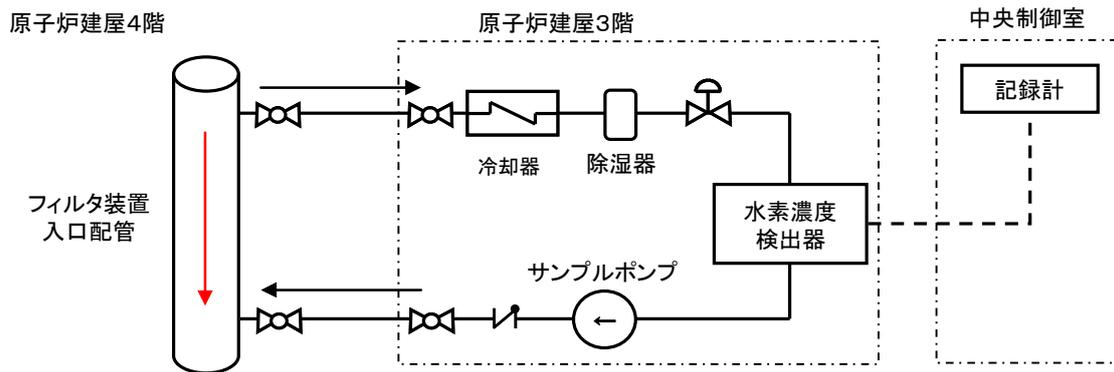
フィルタ装置出口放射線モニタは、フィルタ装置出口配管内のガスに含まれる放射性物質から放出される γ 線を電離箱を用いて電流信号として検出する。検出した電流信号を前置増幅器で増幅し、演算装置にて線量当量率へ変換する処理を行った後、中央制御室に指示及び記録される。



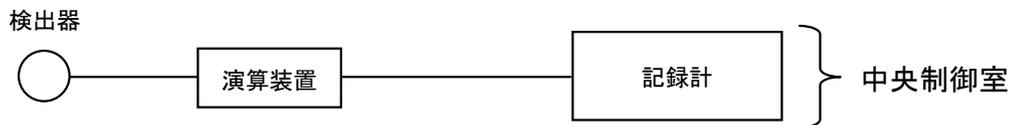
第 1-5 図 フィルタ装置出口放射線モニタの概略構成図

(6) フィルタ装置水素濃度計

フィルタ装置水素濃度計は、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。なお、出口側配管に設置する水素濃度計については、出口配管設計に適した検出方法を選定する。



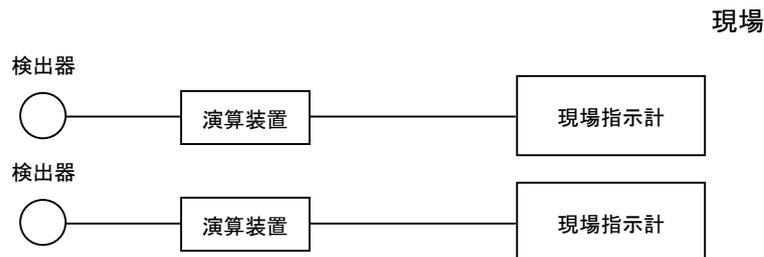
第 1-6 図 フィルタ装置水素濃度計 システム概要図



第 1-7 図 フィルタ装置水素濃度計の概略構成図

(7) フィルタ装置ドレン流量計

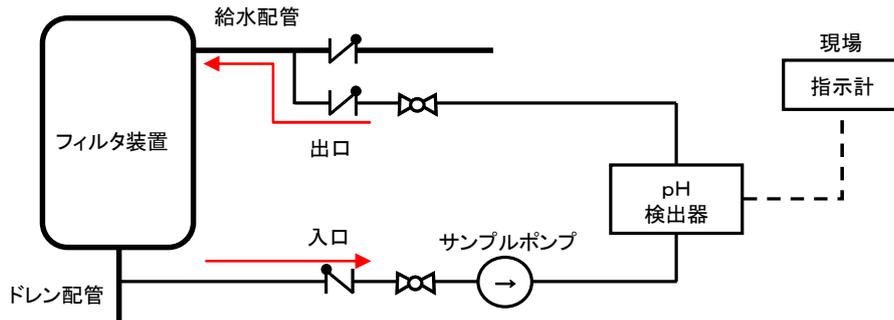
フィルタ装置ドレン流量計は、電磁式流量検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は、演算装置にて流量信号に変換することで、現場に指示する。2 台あるドレンポンプに対してそれぞれ 1 個設ける設計としている。



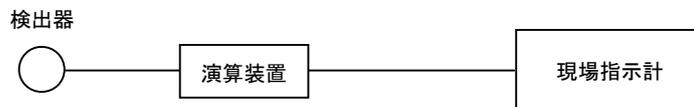
第 1-8 図 フィルタ装置ドレン流量計の概略構成図

(8) フィルタ装置スクラバ水 pH 計

フィルタ装置スクラバ水 pH 計は、フィルタ装置ドレン配管からサンプリング設備によりサンプリングして、pH 検出器により計測する。計測後のサンプル水はフィルタ装置に戻す構成とする。フィルタ装置スクラバ水 pH 計は、pH 検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は、演算装置にて pH 信号に変換することで、現場に指示する。



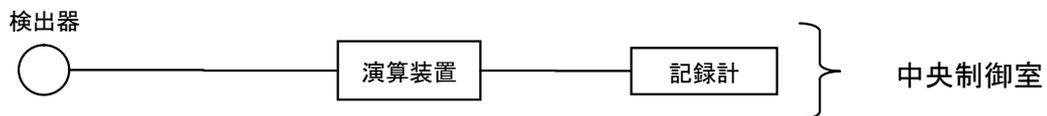
第 1-9 図 フィルタ装置スクラバ水 pH 計 システム概要図



第 1-10 図 フィルタ装置スクラバ水 pH 計の概略構成図

(9) 金属フィルタ差圧計

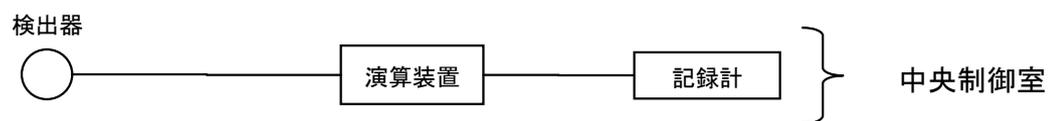
金属フィルタ差圧計は、差圧検出器を用いて電気信号として検出する。検出された電気信号は、演算装置にて差圧信号に変換することで、中央制御室に記録される。



第 1-11 図 金属フィルタ差圧計の概略構成図

(10) ドレンタンク水位計

ドレンタンク水位計は、水位検出器を用いて電気信号として検出する。所定の水位設定値に達した場合、検出信号が中央制御室に発信され、中央制御室に記録される。



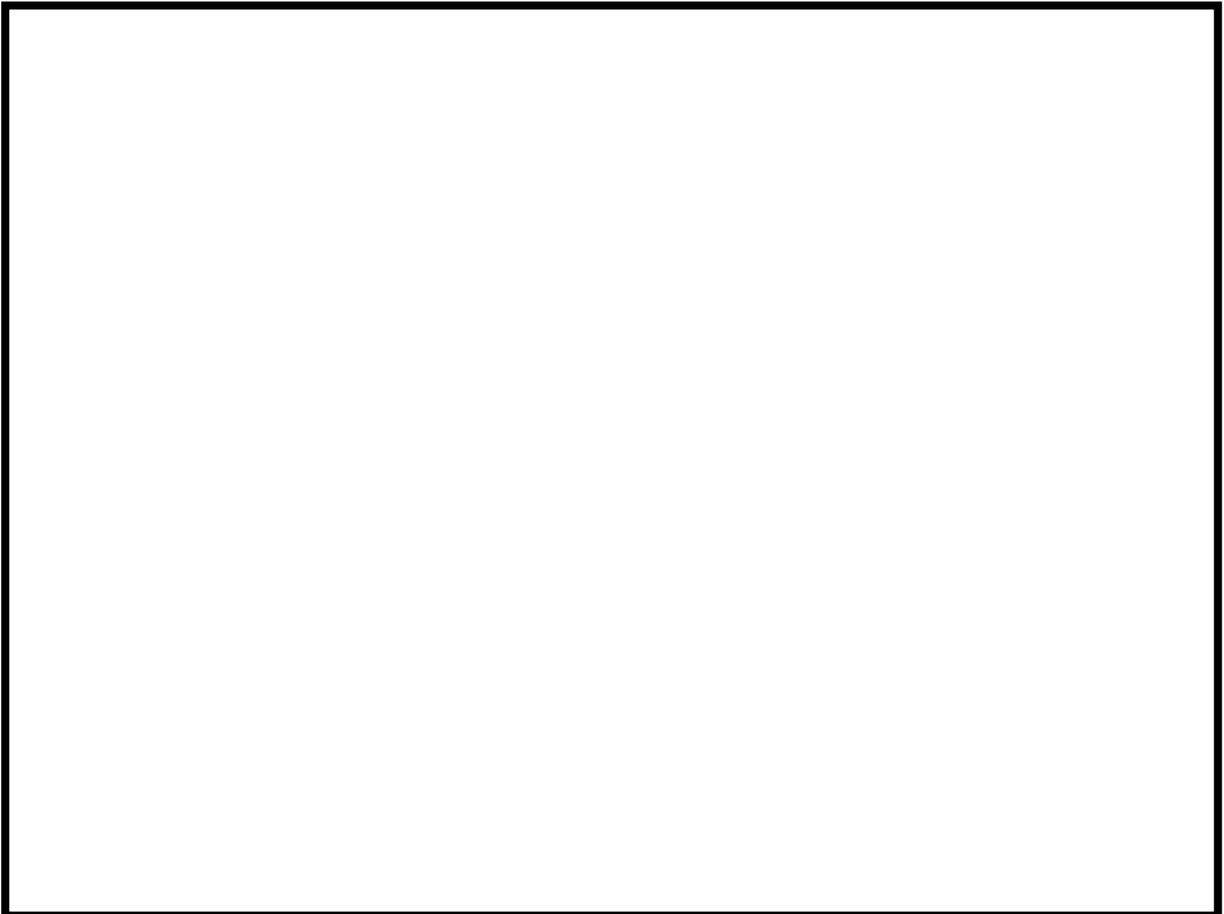
第 1-12 図 ドレンタンク水位計の概略構成図

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

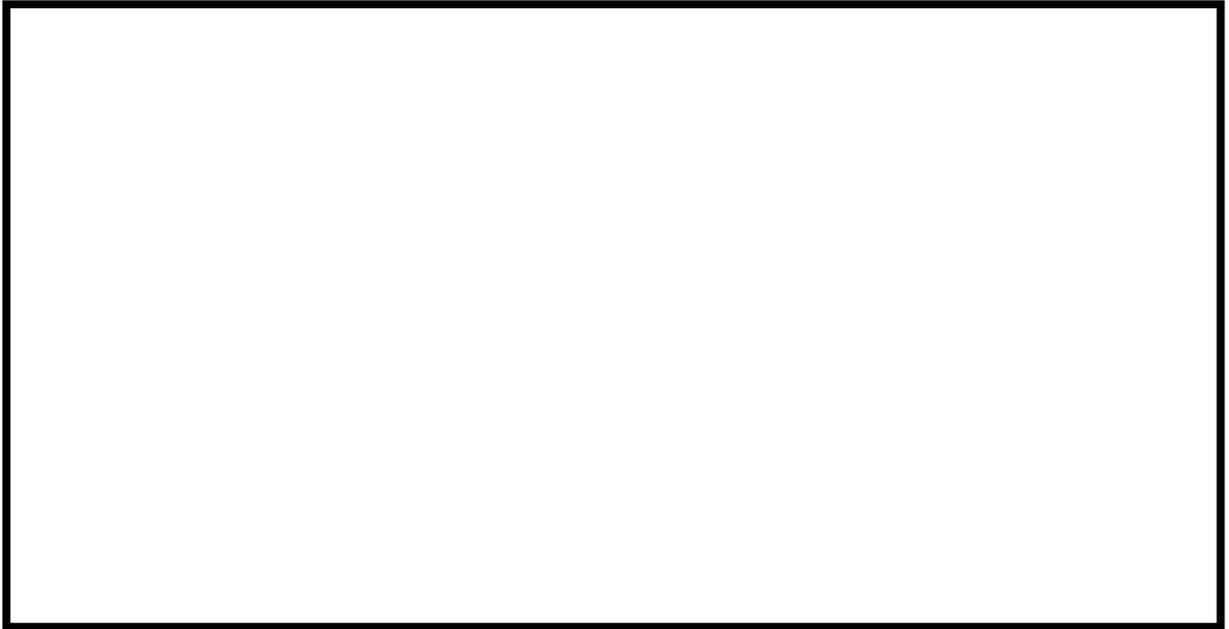


第 1-11 図 6 号炉格納容器圧力逃がし装置 計測設備 全体概要図

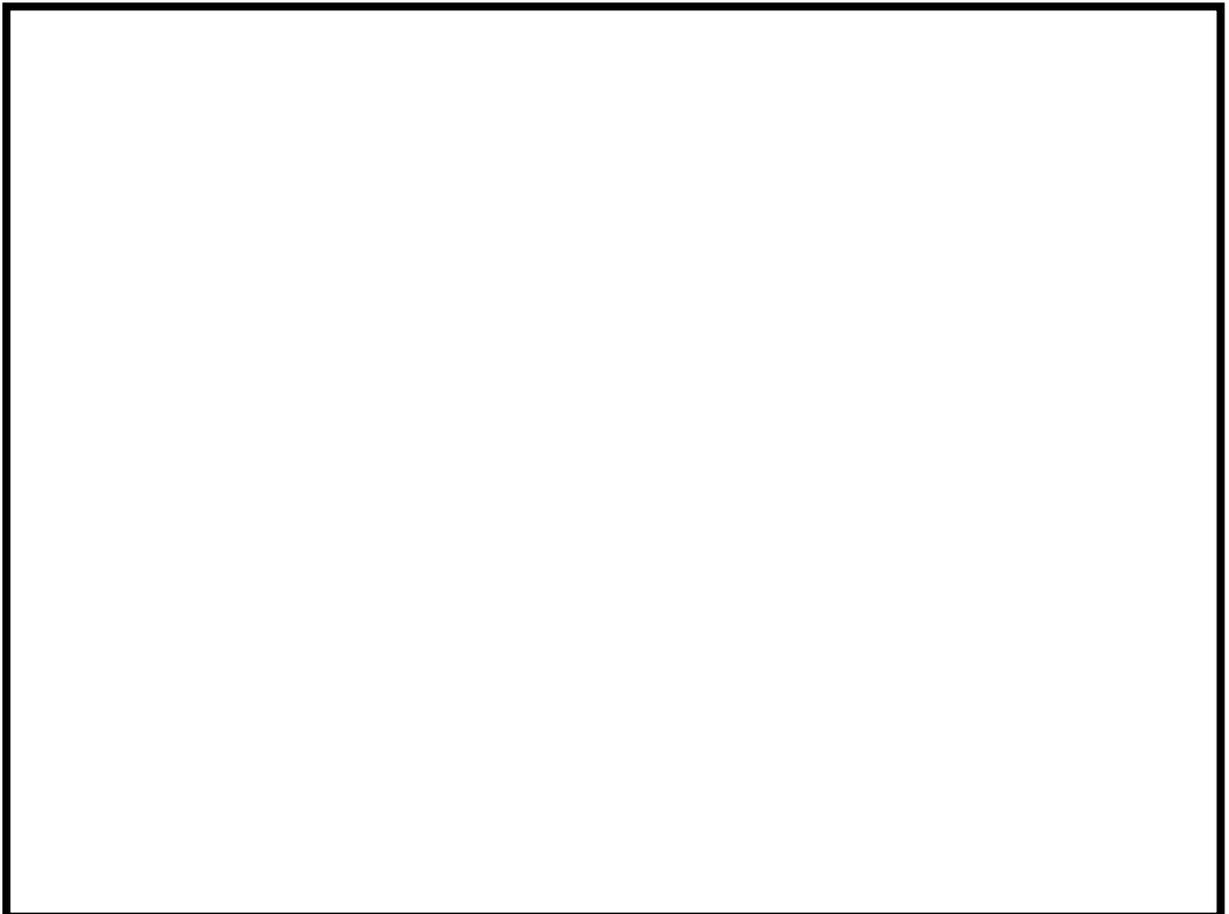


第 1-12 図 機器配置図 (6 号炉屋外)

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 1-13 図 機器配置図 (6 号炉屋上)

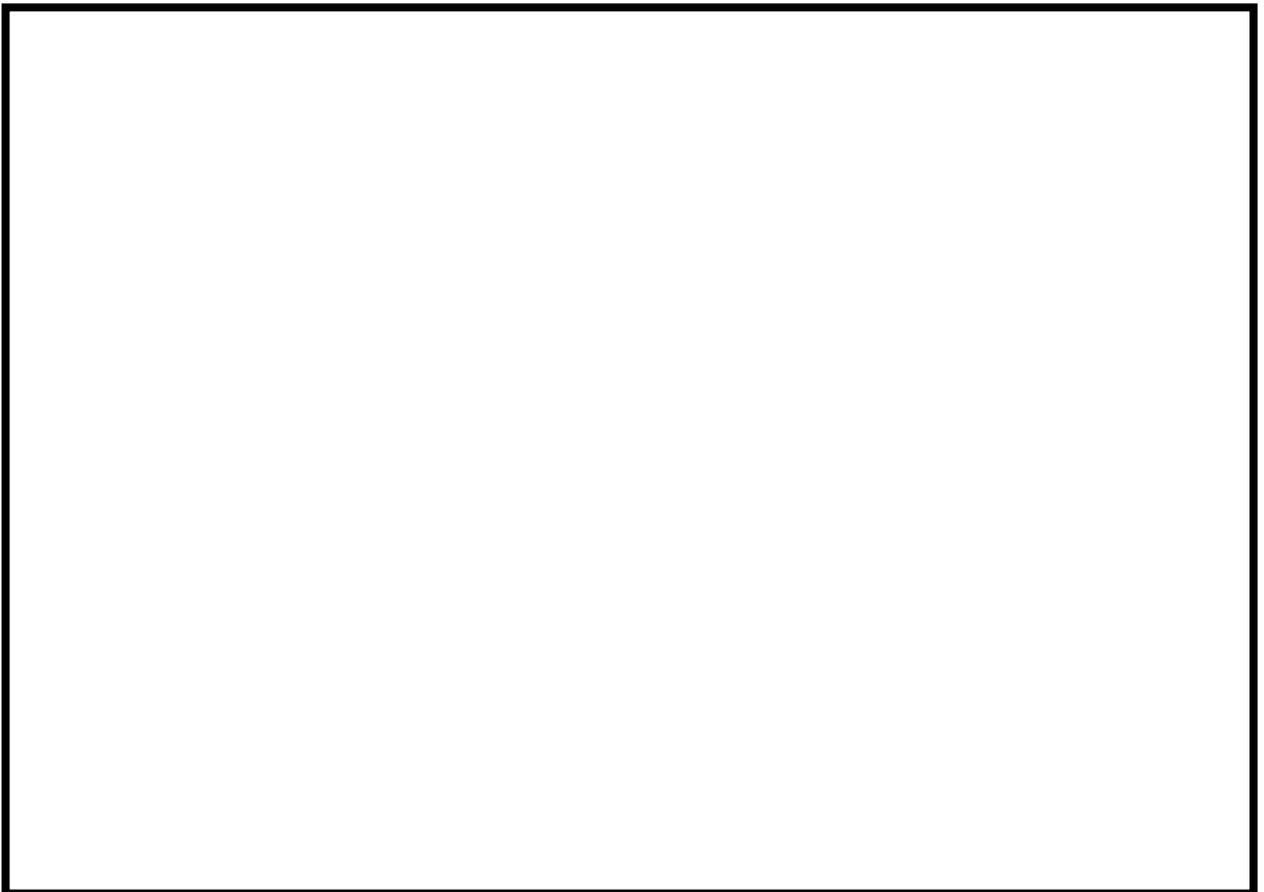


第 1-14 図 機器配置図 (6 号炉原子炉建屋地上 3 階)

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。

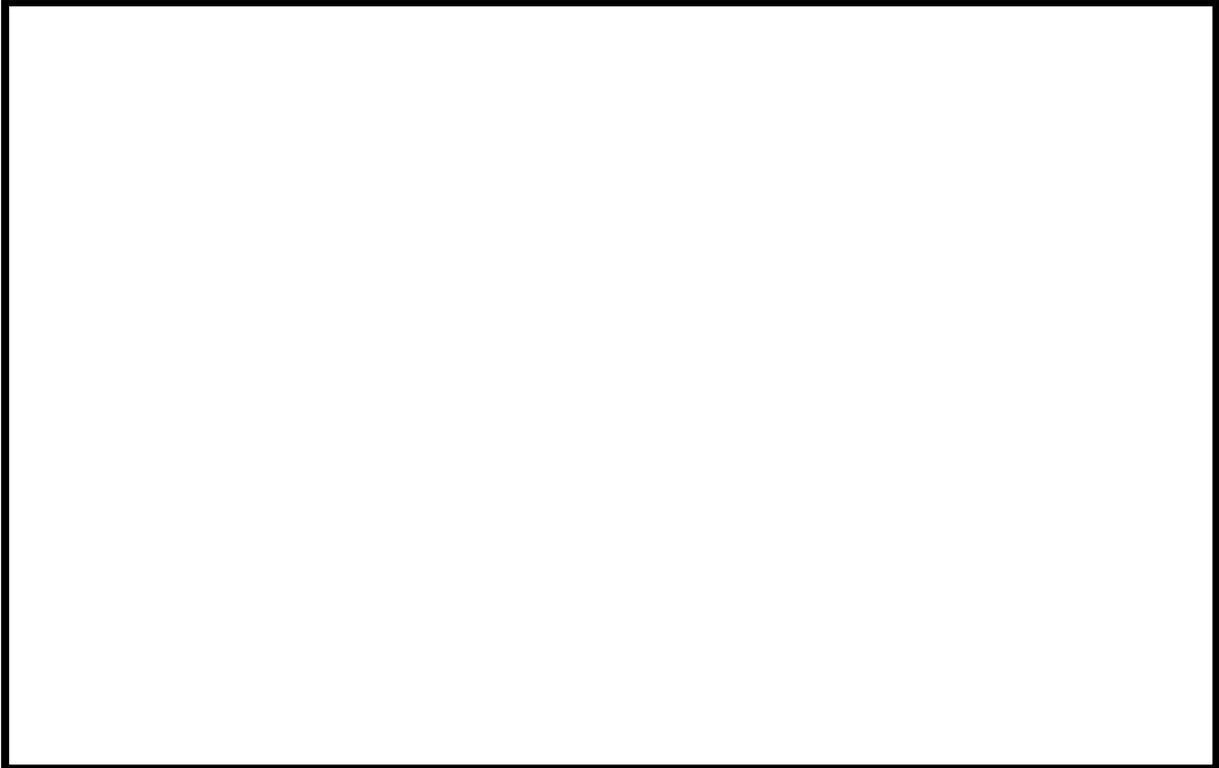


第 1-15 図 7 号炉格納容器圧力逃がし装置 計測設備 全体概要図

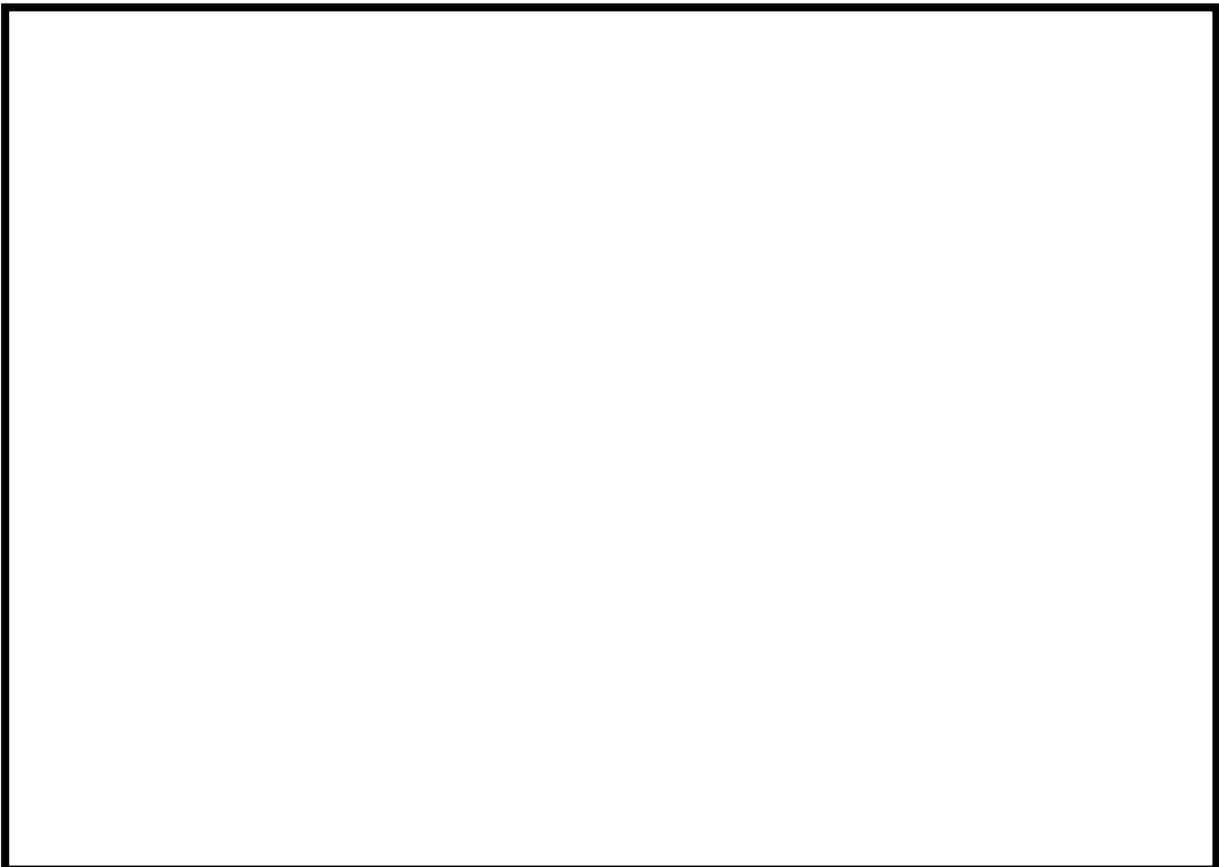


第 1-16 図 機器配置図 (7 号炉屋外)

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 1-17 図 機器配置図 (7 号炉屋上)



第 1-18 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 1-19 図 機器配置図 (7 号炉原子炉建屋地上中 4 階)

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】

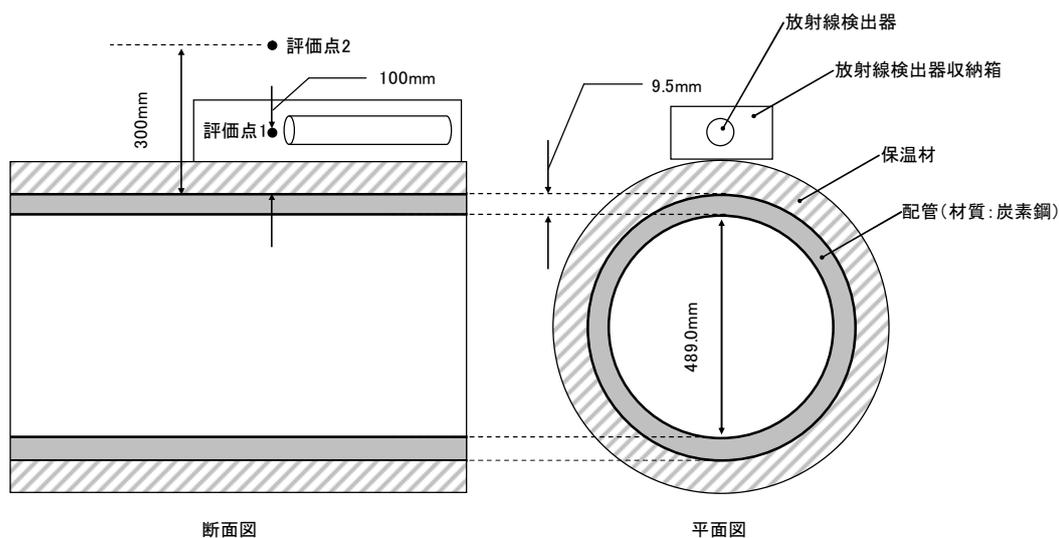
放射線検出器の計測範囲は、想定される最大線量率 (mSv/h) の評価結果から上限を設定する設計としている。また、放出された放射性物質濃度の算定にあたっては、放射線検出器の指示値 (mSv/h) から、放射性物質濃度 (Bq/cm³) を算定する方針としている。

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

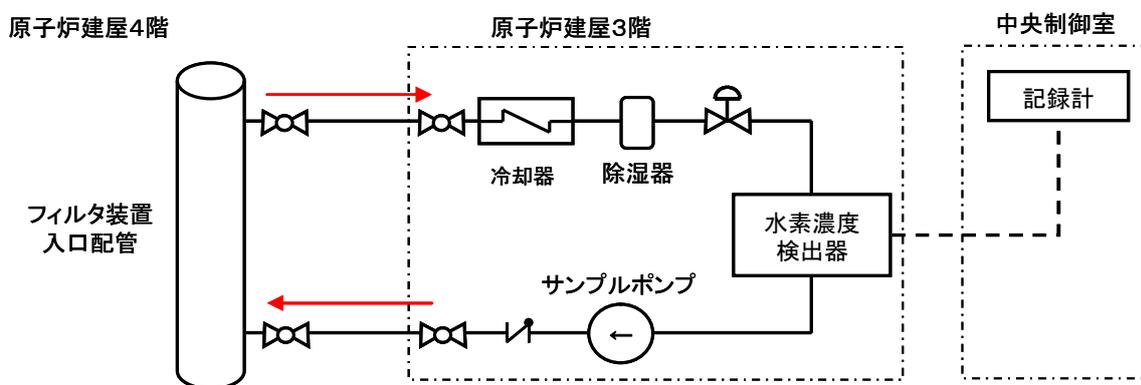
以上より、第 1-2 表の換算係数を事前に準備しておくことで、ベント初期段階での放射性希ガスの放出に対して放射線検出器の指示値 (mSv/h) から放射性物質濃度 (Bq/cm³) を算出する方針である。

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計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計は、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計システム概要図

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11/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計の時間遅れ

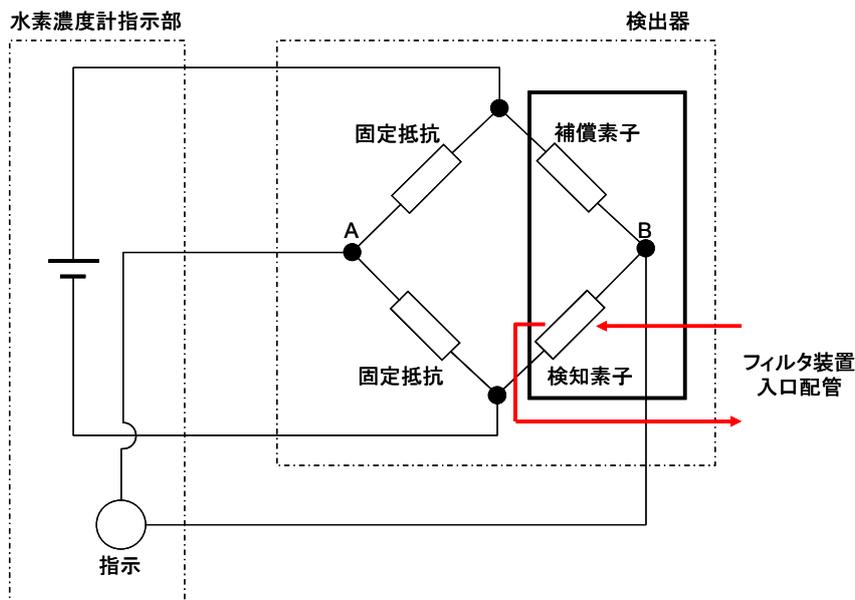
号炉	6号炉	7号炉
時間遅れ	約10分	約8分

<参考>

a. 水素濃度計の測定原理

水素濃度検出器は、熱伝導度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。



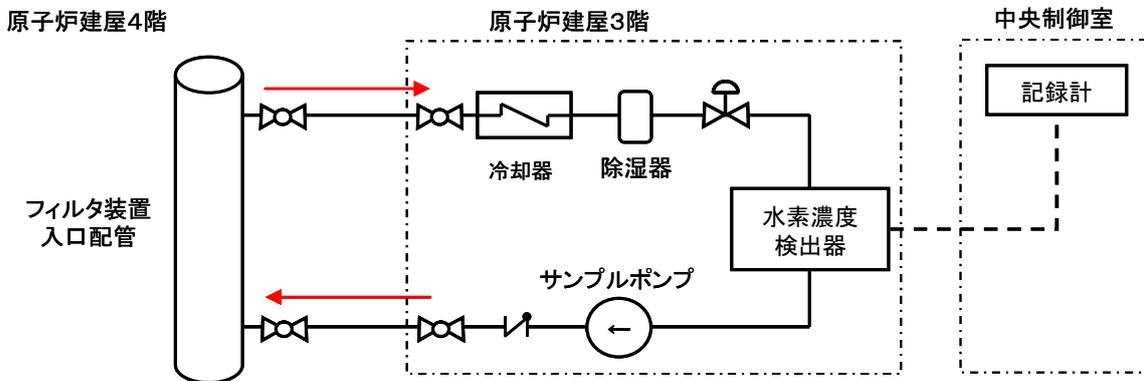
第 1-2 図 水素濃度計検出回路の概要図

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 0.02W/(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

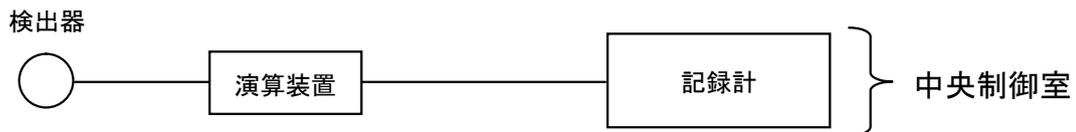
フィルタ装置入口配管内のガスをサンプルポンプで引き込み、除湿器で水分が除去されて、ほぼドライ状態で水素濃度検出器にて測定されるようにしている。



第 1-3 図 フィルタ装置水素濃度計システム概要図

d. 水素濃度計の仕様

種 類	熱伝導度式水素濃度検出器
計測範囲	0～100%
個 数	1
設置場所	原子炉建屋 3 階（二次格納施設外）

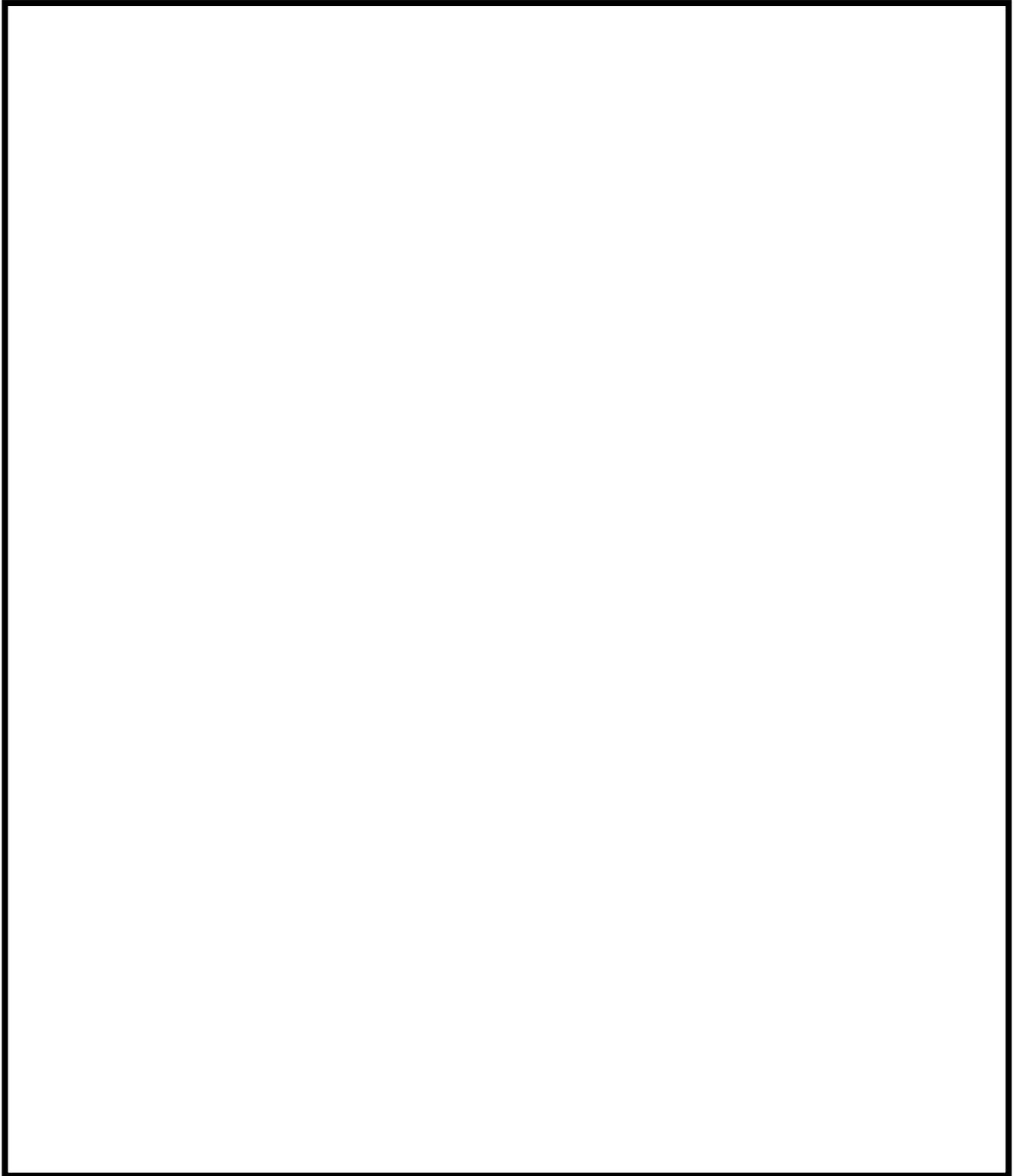


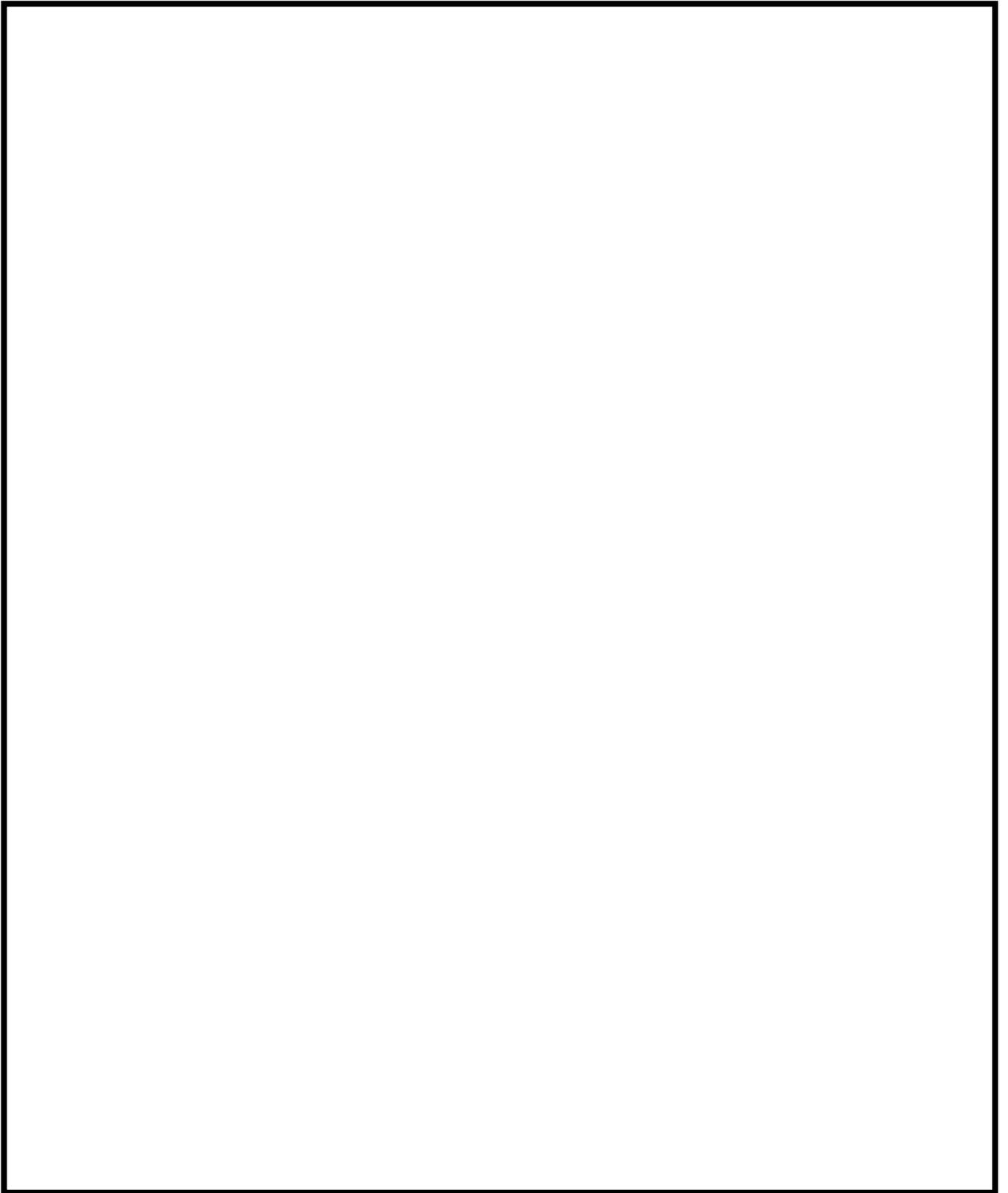
第 1-4 図 フィルタ装置水素濃度計の概略構成図

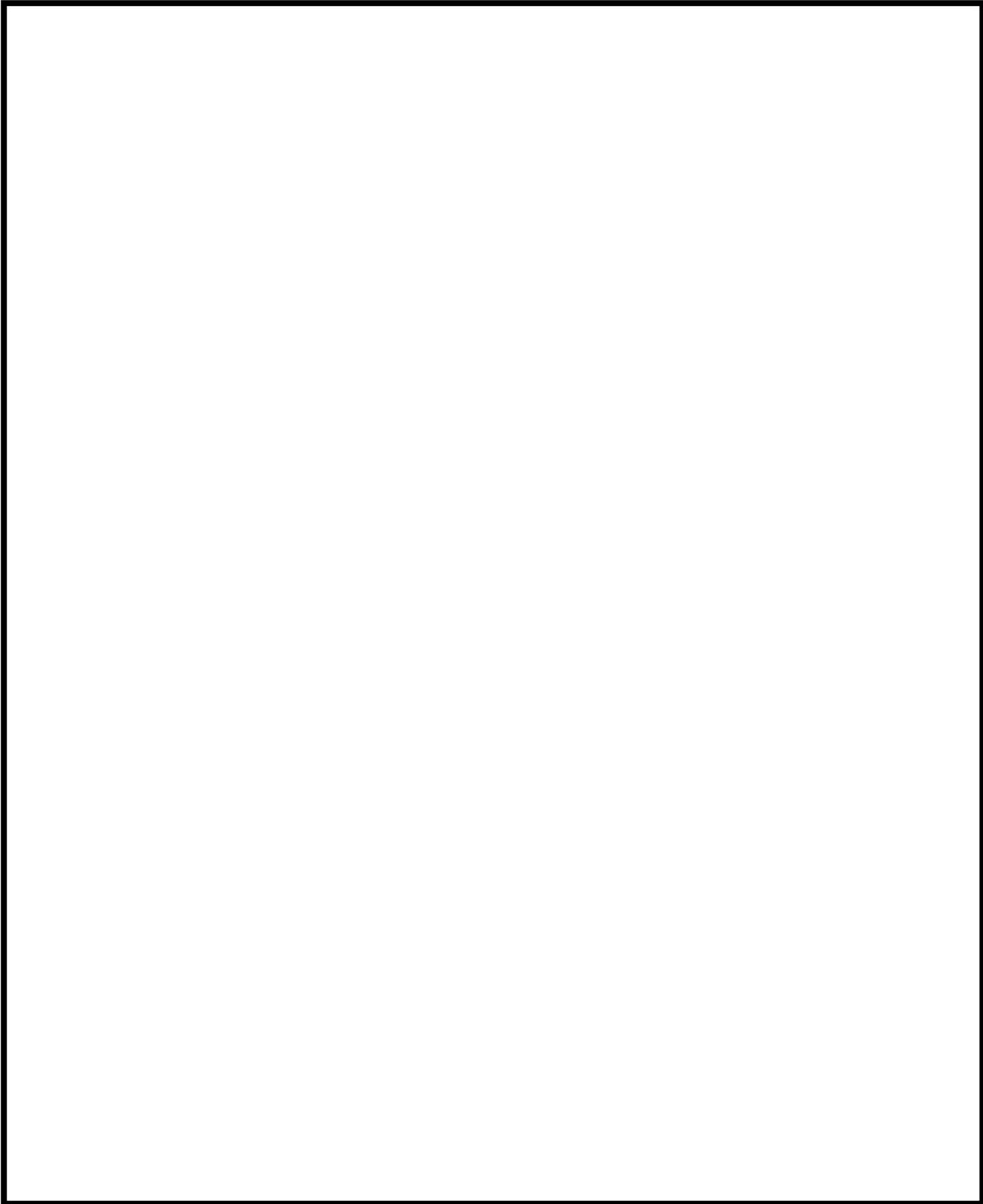
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

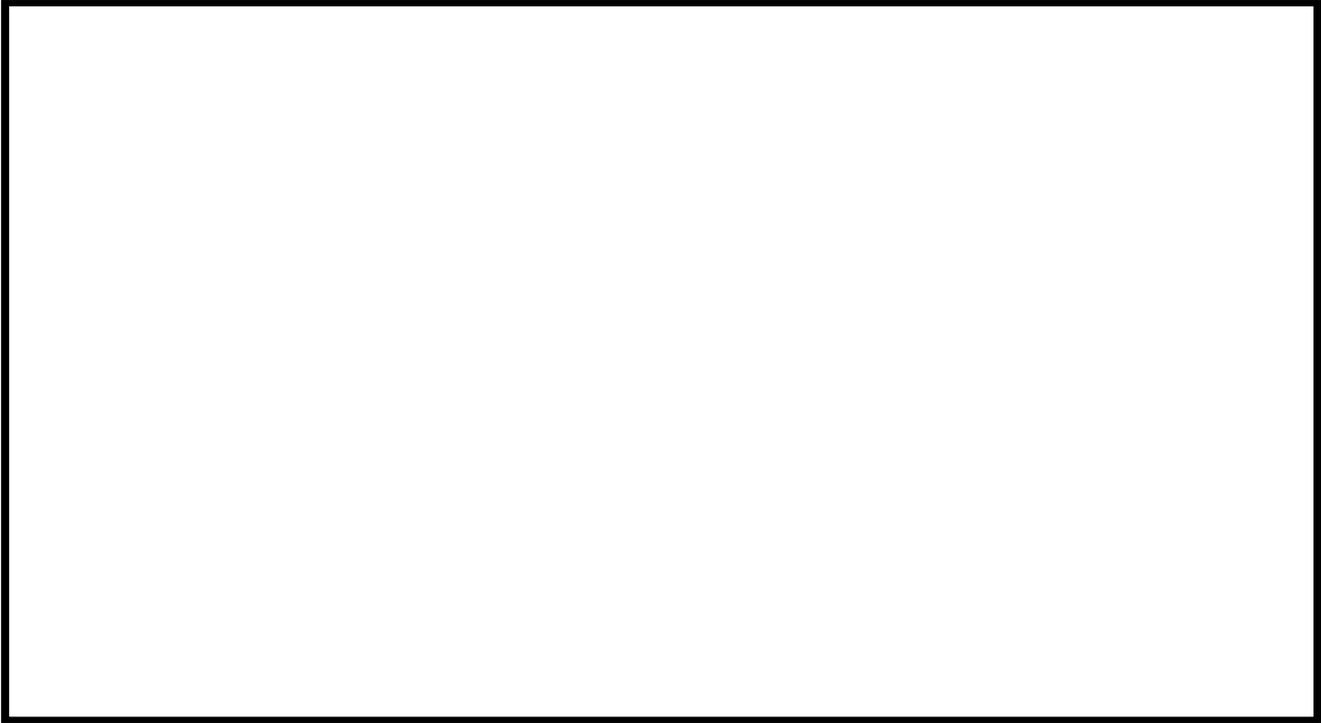
別紙5 エアロゾル計測装置について

(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。

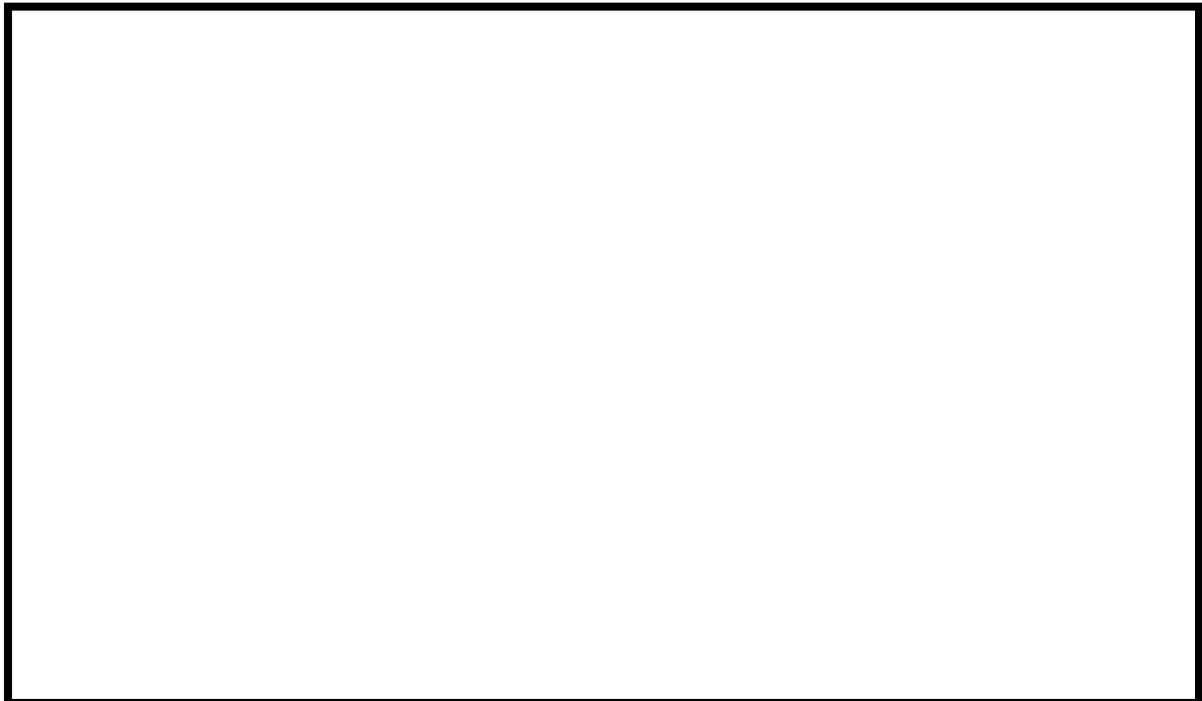
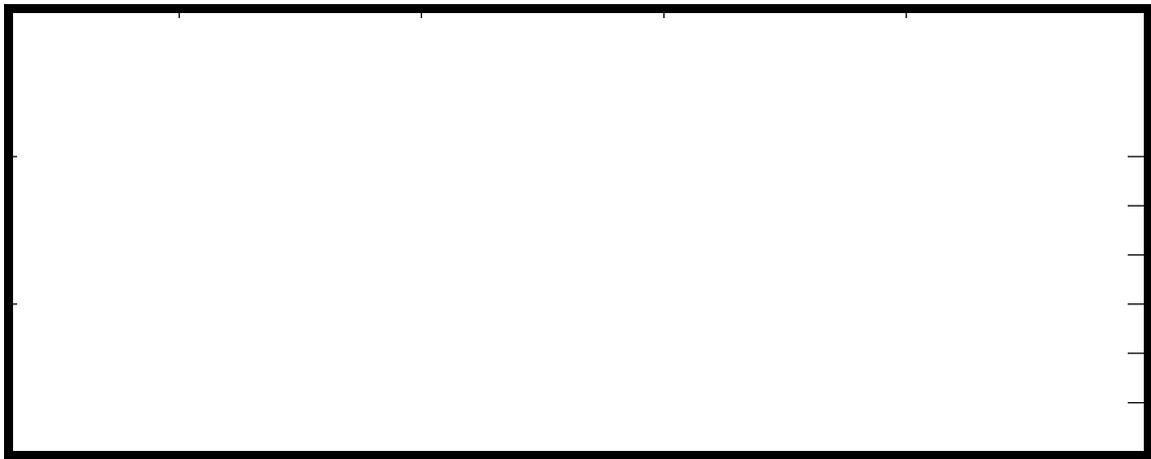
次に、光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの個数濃度に対する精度を第

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。

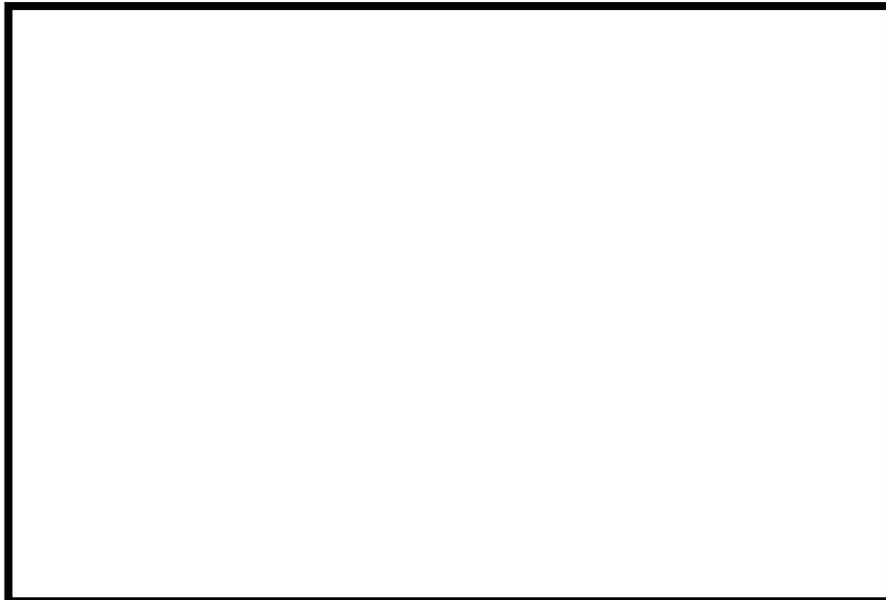
第 2-2 表 光散乱式エアロゾルスペクトロメーターの個数濃度計測に対する誤差



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。

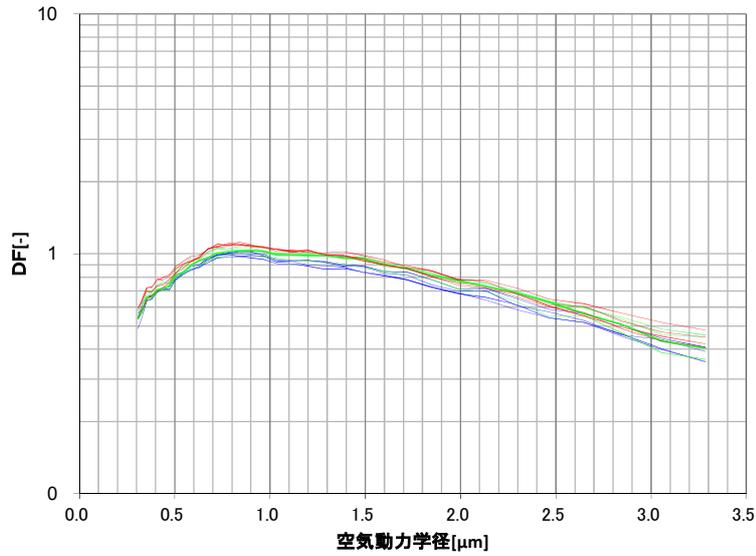


第 2-2 図 フィルタ容器 DF 計測試験装置構成図

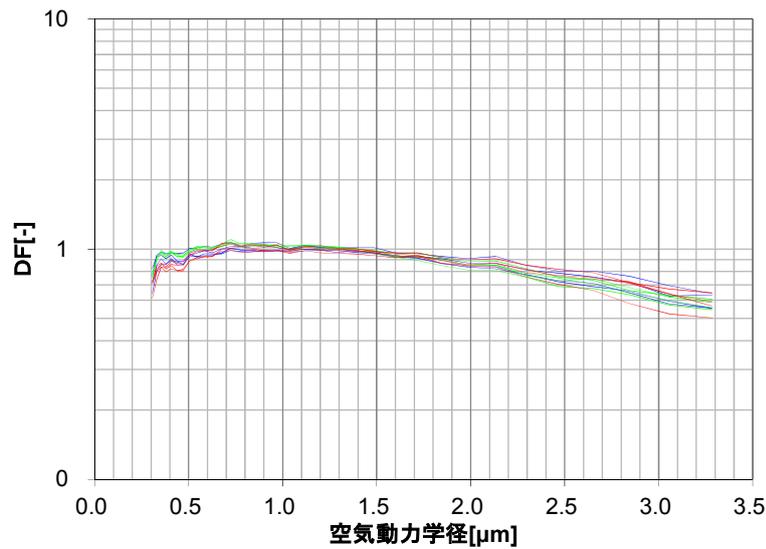
第 2-3 表 フィルタ容器 DF 性能試験条件一覧表

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，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

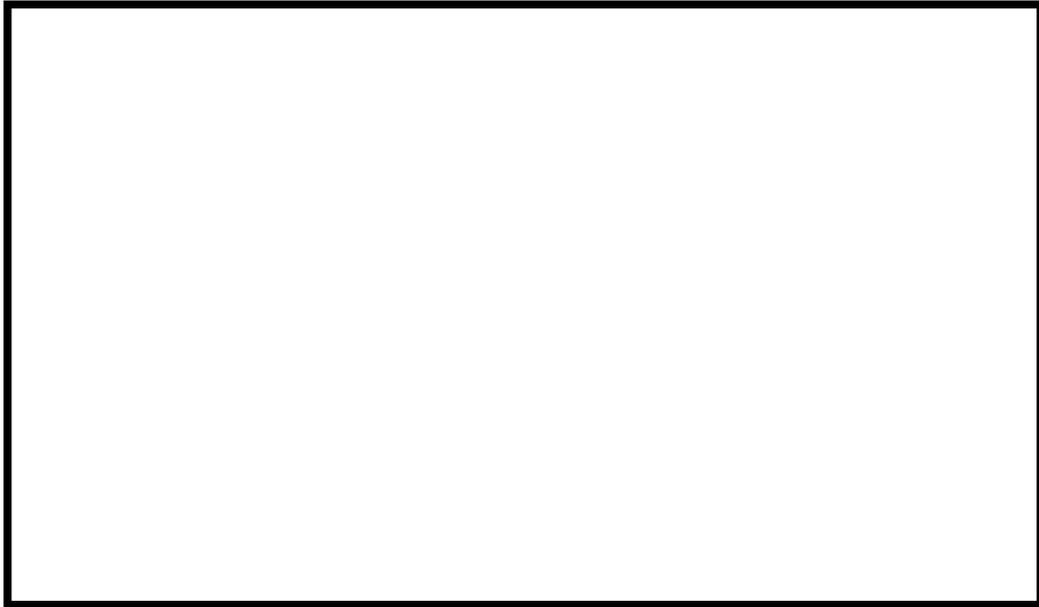


第 2-4 表より、いずれの計測器も粒径に対する誤差はと小さく、粒径を適切に計測できていると考える。

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

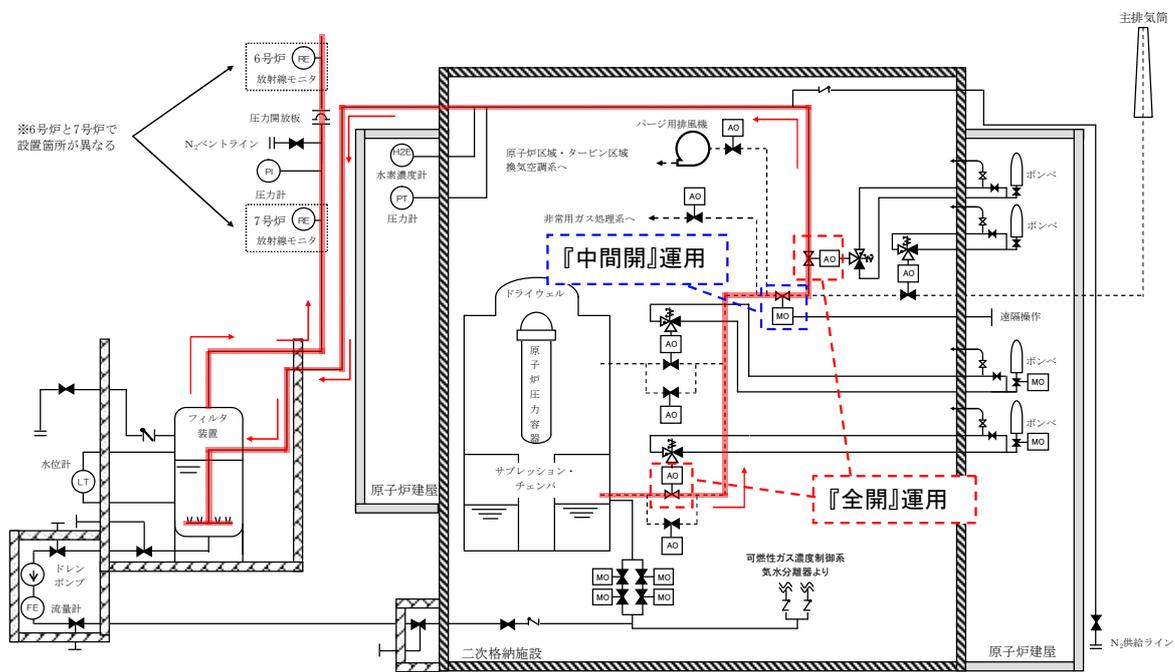
フィルタベント系統の系統概要図を第1-1図に示す。

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。

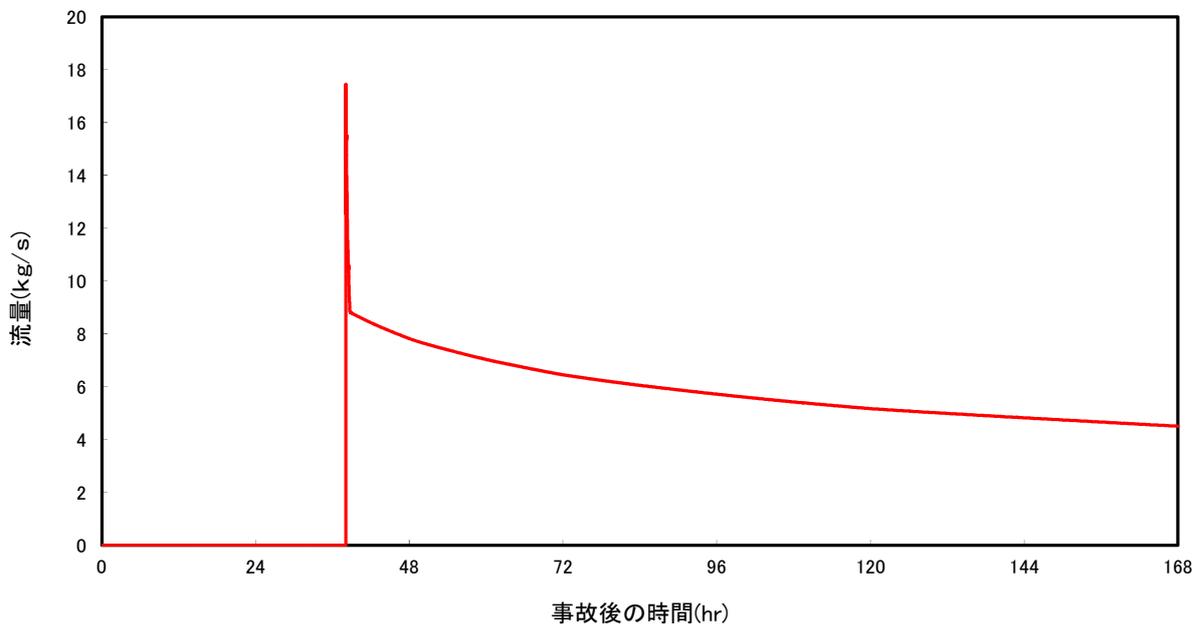
「大LOCA+全ECCS機能喪失+SBO」シナリオにおける、ベントガス流量の評価結果を第1-2図に示す。

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。

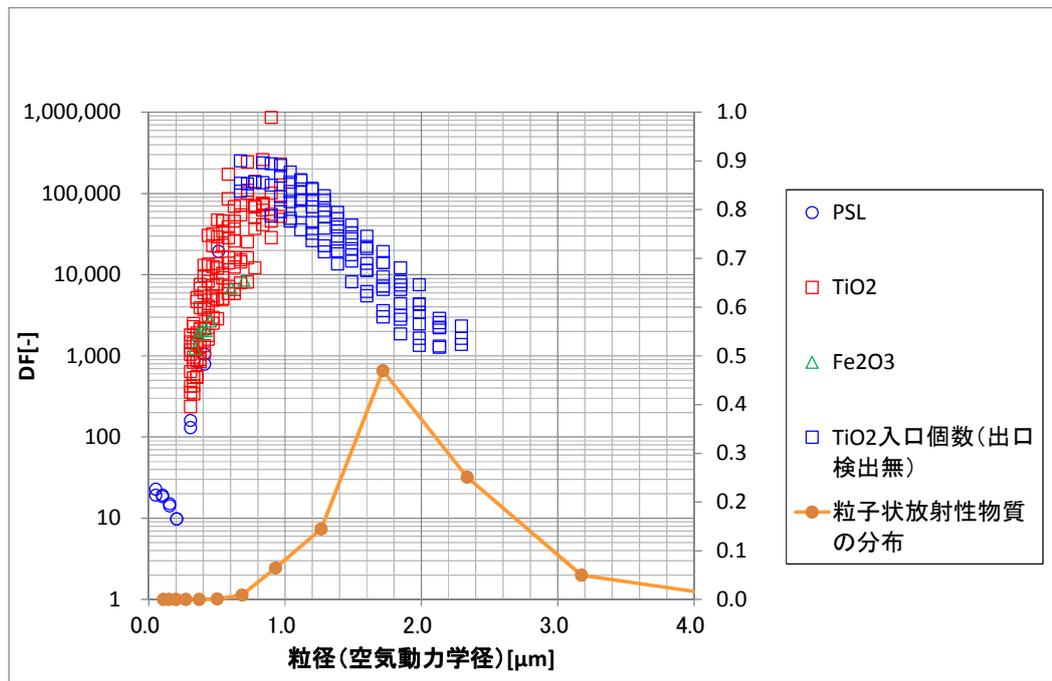
性能試験の結果、体積流量37,000m³/hにおいても、DFは1,000以上となることが確認できた。



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 : 37,000m³/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 13,500m³/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 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。

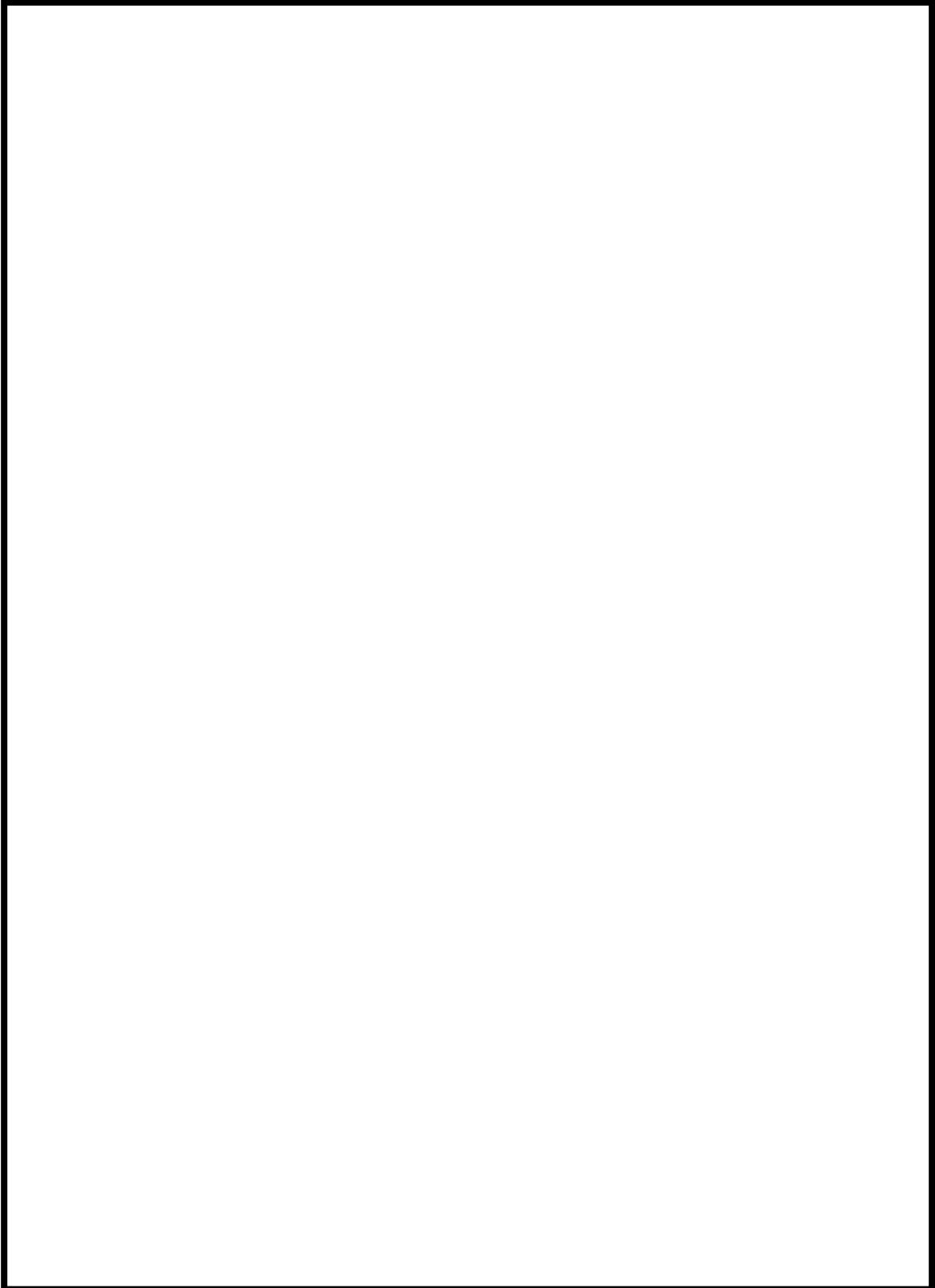
試験は、スクラバ水位を100mmとし、ブロワーにて4象限分に換算して約30,500m³/h相当の空気を送気した状態で、噴射状態の目視確認と噴射量の計測を実施した。

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。

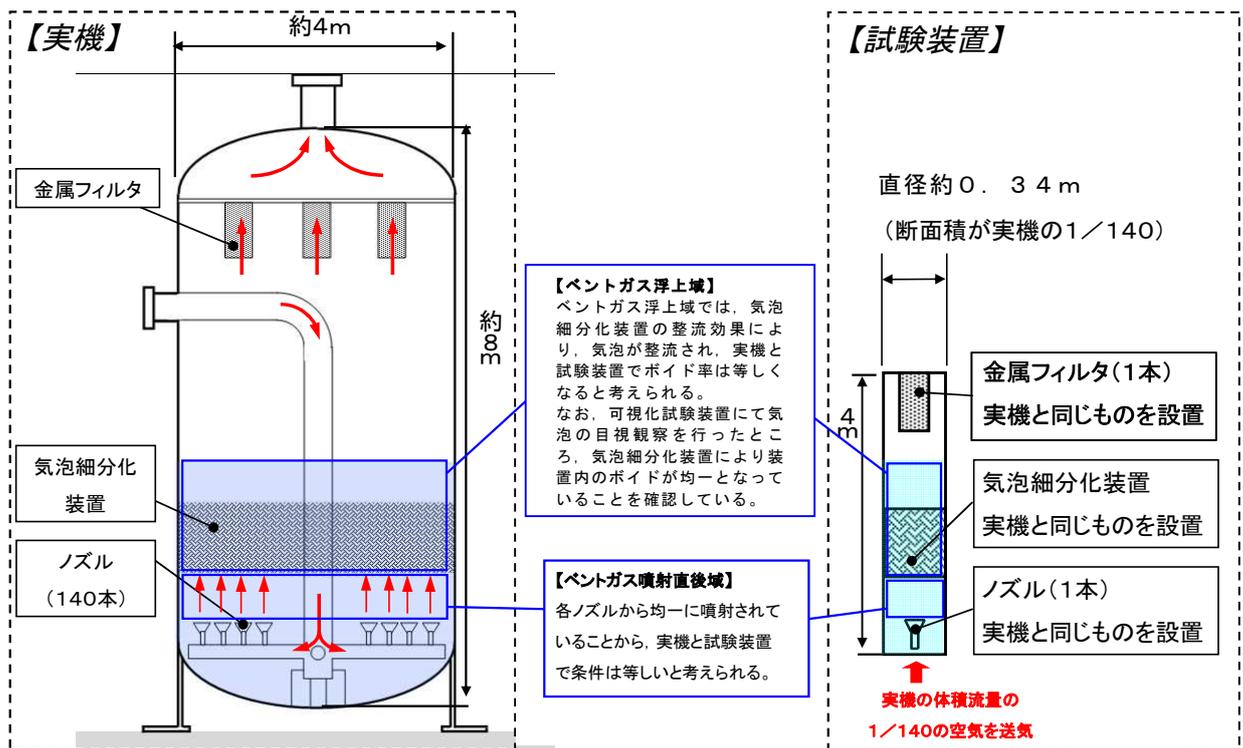
以上より、スクラバノズルが1本の試験装置にて、実機の性能は再現できていると考えられる。

【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。

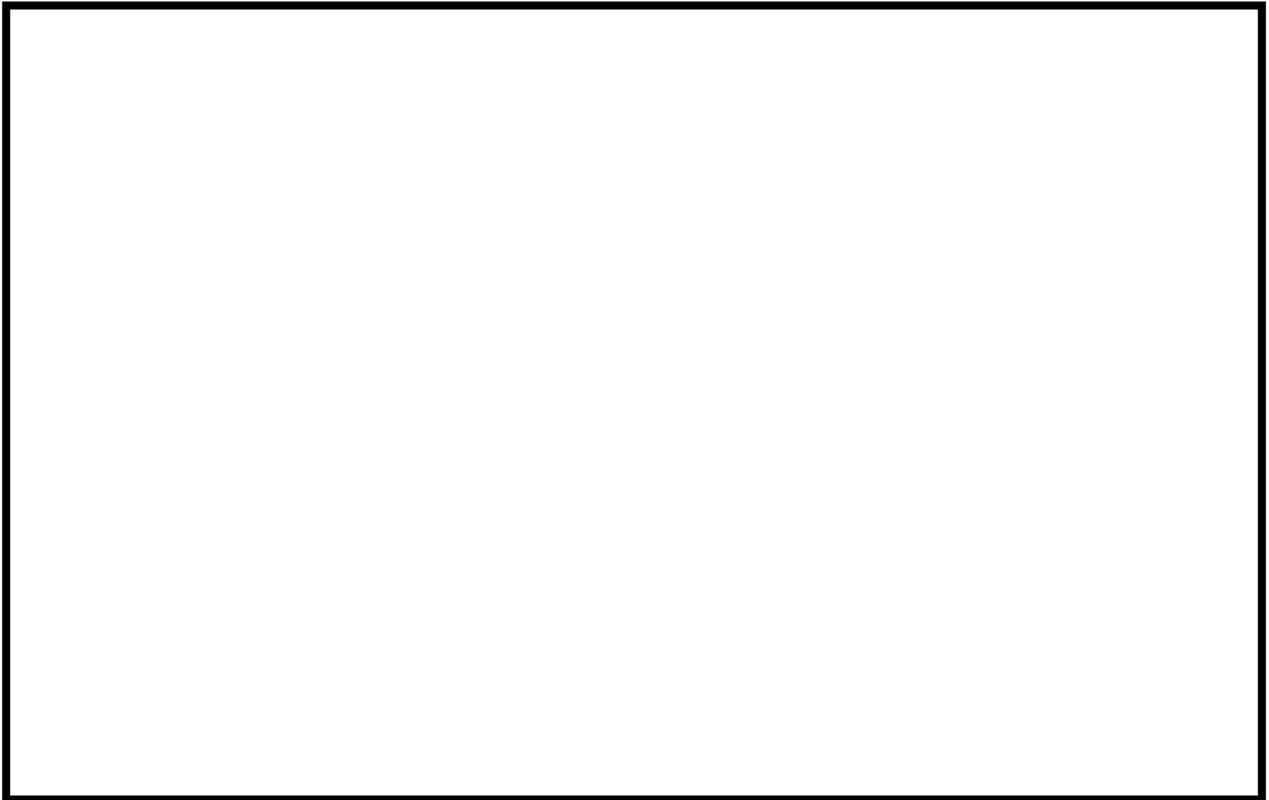


第3-3図 実機と試験装置の比較

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ほど、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。

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

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

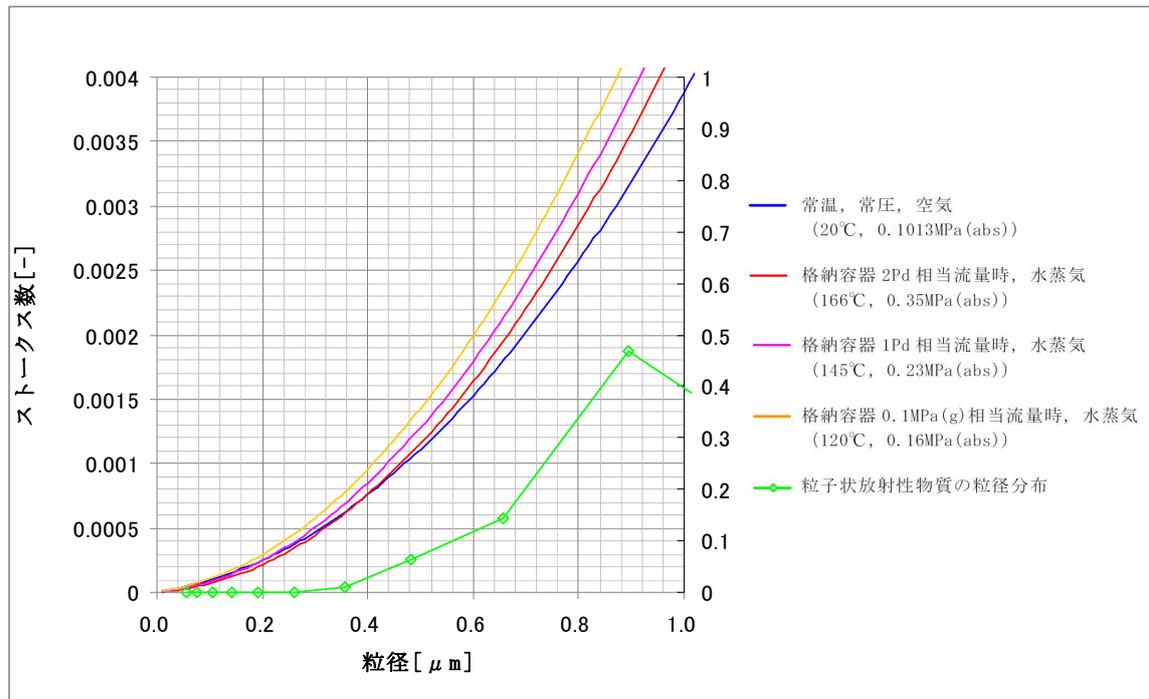
$$\lambda_g = \eta / (0.499P\sqrt{8M/\pi RT}) \quad (4)$$

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。

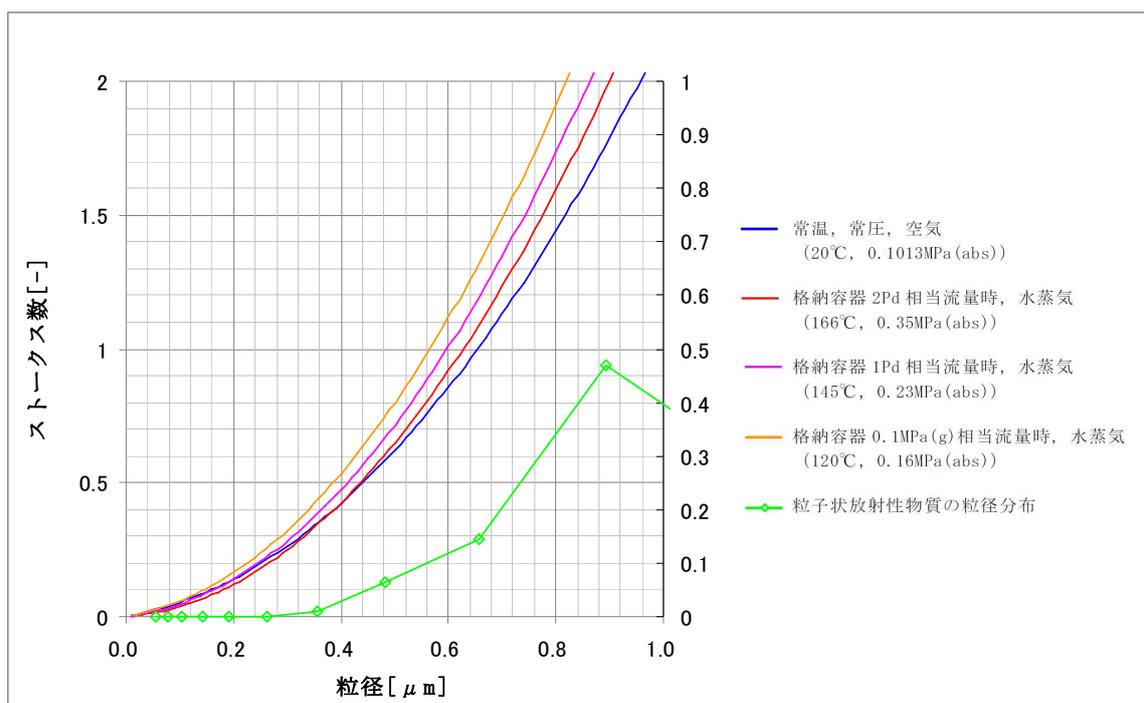
ここで、試験に用いている常温・常圧の空気と、実機で想定される水蒸気にて、各粒子径におけるストークス数を算出したところ、第4-1図、第4-2図の通りとなった。第4-1図、第4-2図の通り、約 $0.4\mu\text{m}$ 以上の粒子径領域であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりもストークス数が小さいことがわかる。つまり、約 $0.4\mu\text{m}$ 以上の領域であれば、空気の方が水蒸気よりも粒子に作用する慣性力が小さく、空気の方が水蒸気よりも慣性力による粒子捕捉効果が小さいと考えられる。第4-1図、第4-2図中には有効性評価シナリオ (大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, W/W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

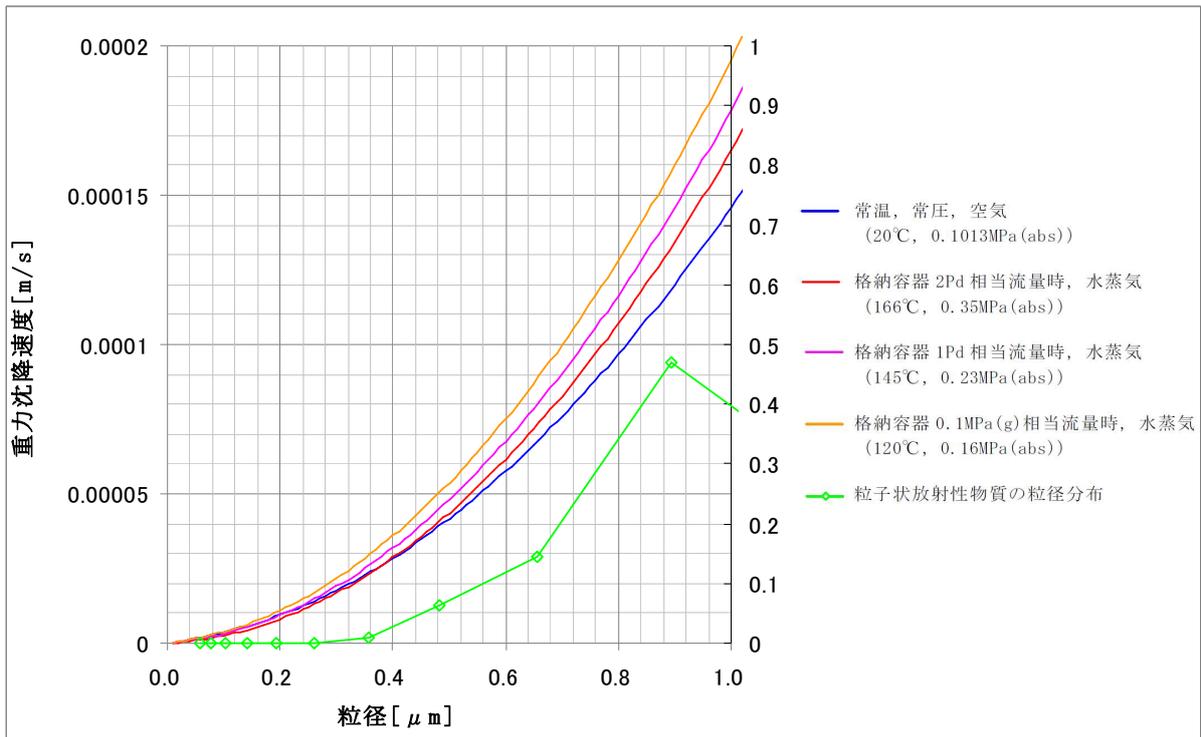
気体中の粒子の重力沈降速度 (v_i) の大きさは、下記の式により表される。重力沈降速度が大きい程、重力沈降による粒子の捕捉効果は大きくなると考えられる。

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

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。

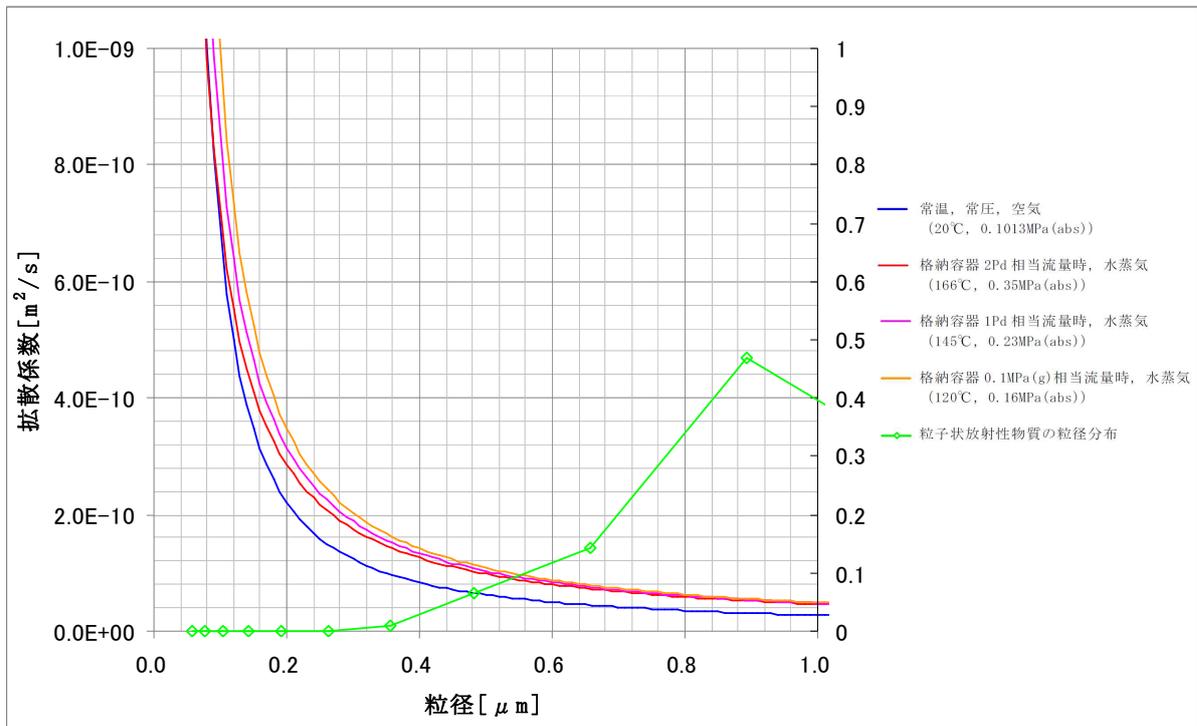
$$D = \frac{C_c kT}{3\pi\eta D_p} \quad (6)$$

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 $0.1 \mu\text{m}$ 以上の粒子径領域であれば、常温・常圧の空気は、水蒸気よりも拡散係数が小さいことがわかる。つまり、約 $0.1 \mu\text{m}$ 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 4-5 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ことから、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

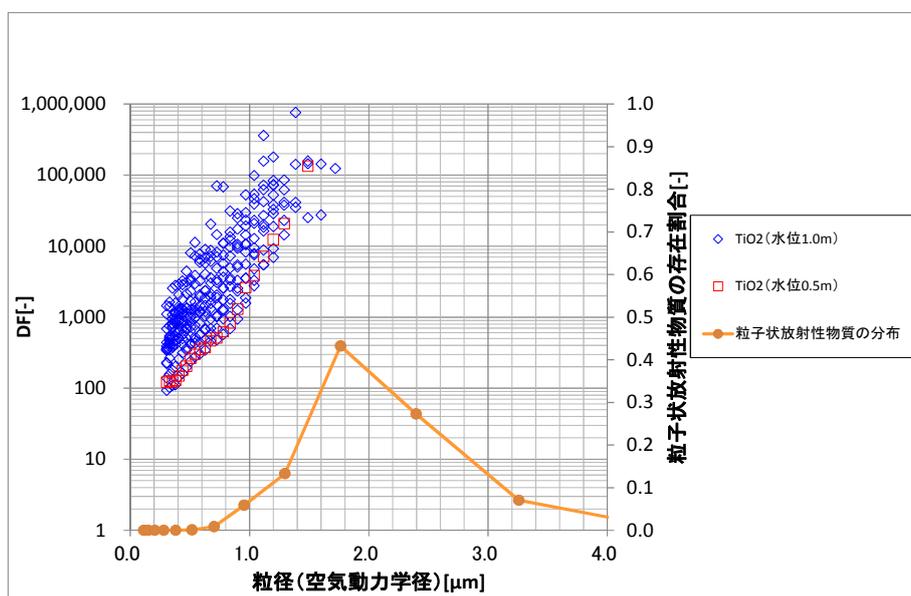
による捕捉効果は見込めないことから、実機よりも保守的な条件ということとなる。

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。

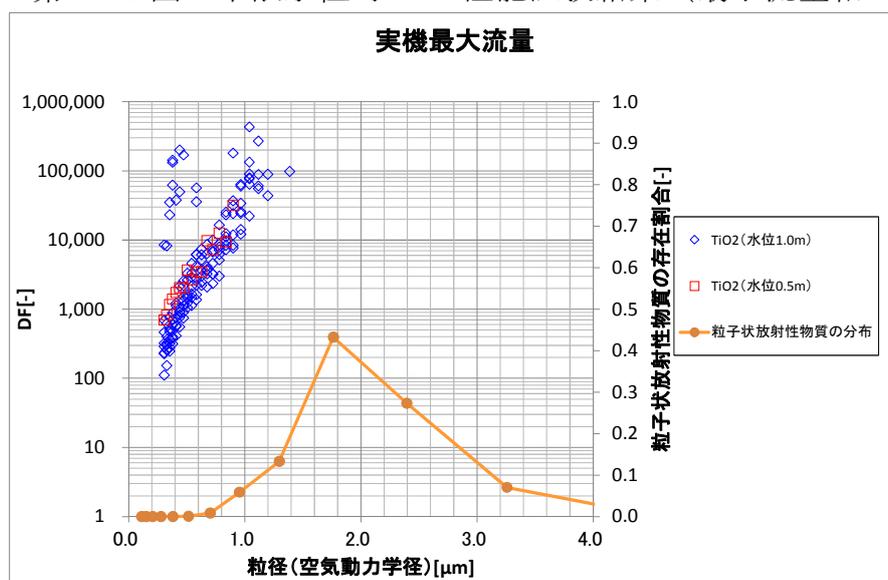
5. スクラバ下限水位時のフィルタ装置の性能

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。



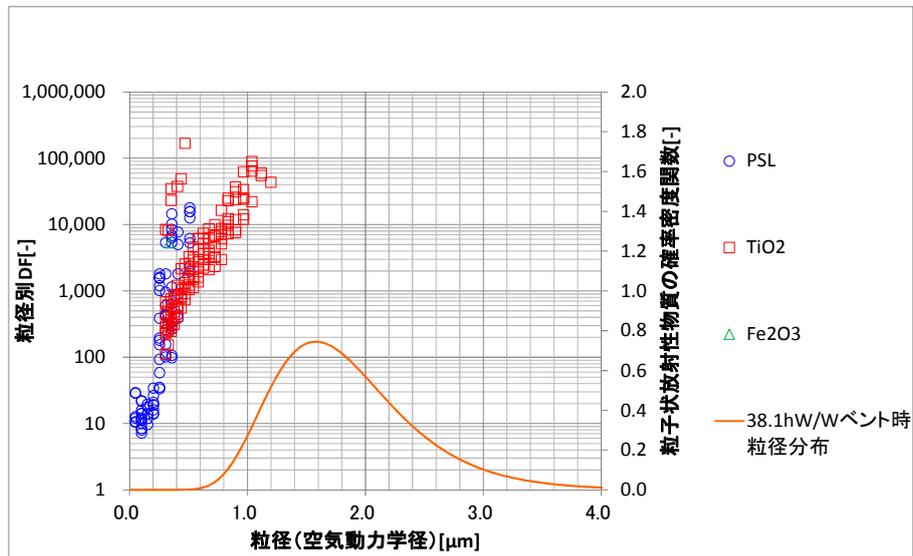
第 5-1 図 下限水位時 DF 性能試験結果（最小流量相当）



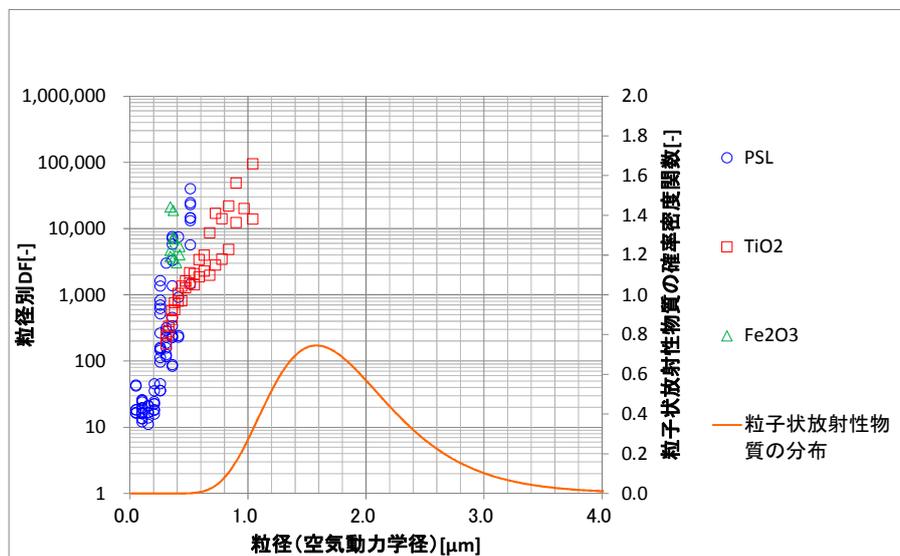
第 5-2 図 下限水位時 DF 性能試験結果（2Pd 相当流量）

6. オーバーオール DF

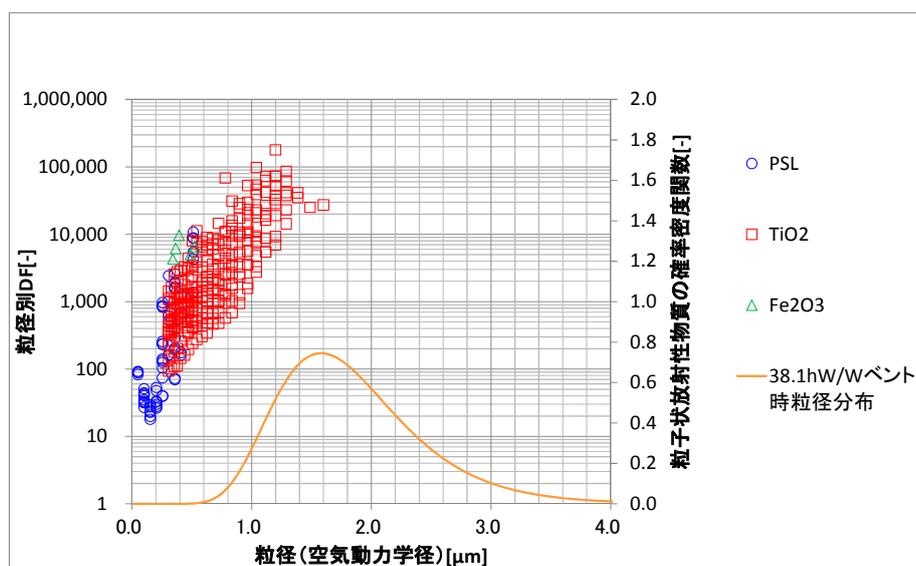
フィルタ装置の DF 性能では、第 6-1～3 図に示す通り、各流量に対して、各粒径における DF を評価してきた。



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)

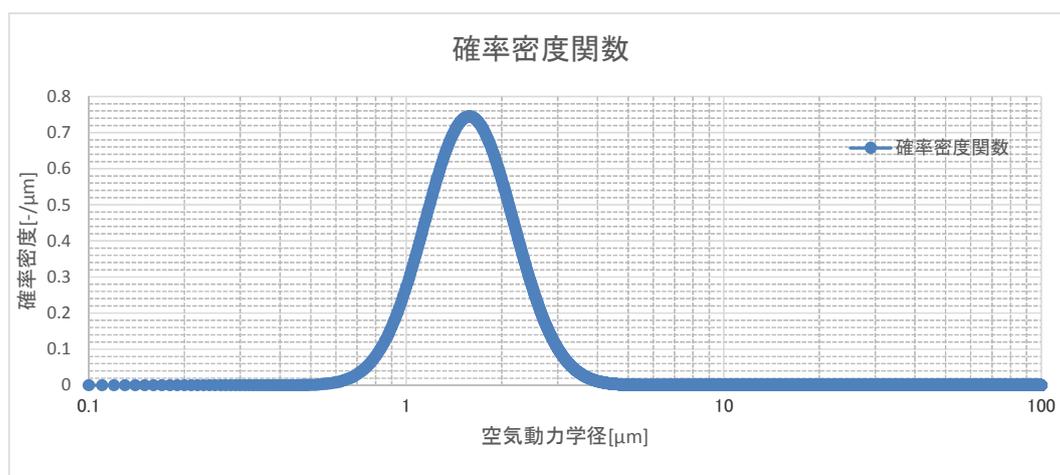


第 6-3 図 DF 性能試験結果（最小流量相当）

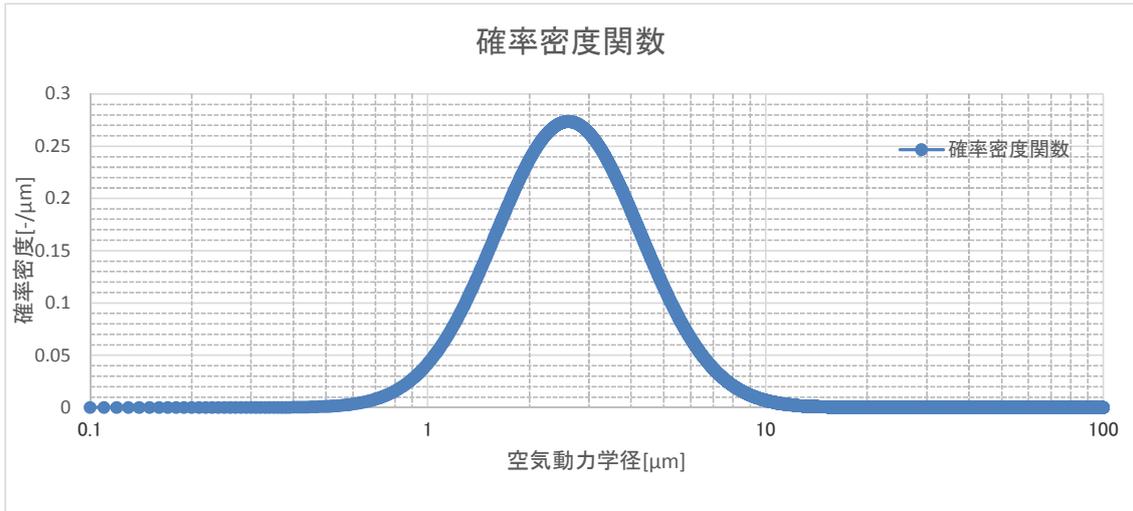
一方、フィルタ装置に流入するエアロゾルは、粒径分布を持ったものであり、フィルタ装置の DF の評価は、流入するエアロゾルに対して、オーバーオールでどの程度低減されたかを示す必要がある。

そこで、有効性評価シナリオである大 LOCA+SBO+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+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。



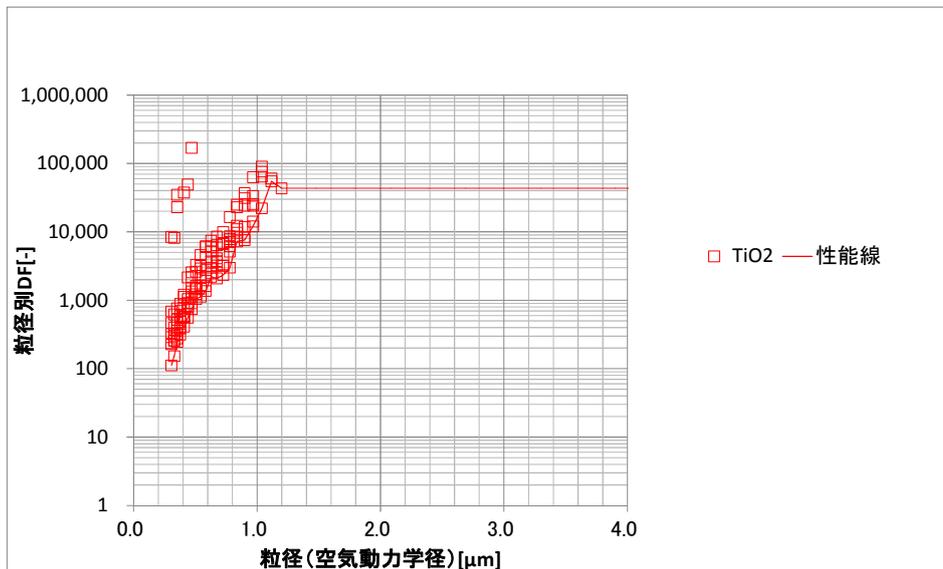
第 6-4 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，W/W ベント）



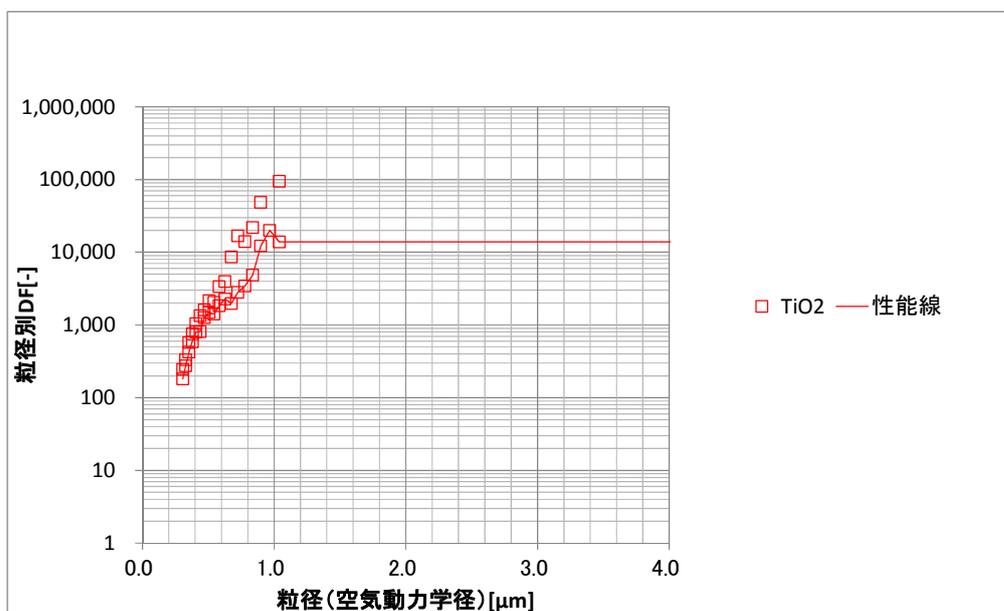
第 6-5 図 エアロゾル粒径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，D/W ベント）

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。

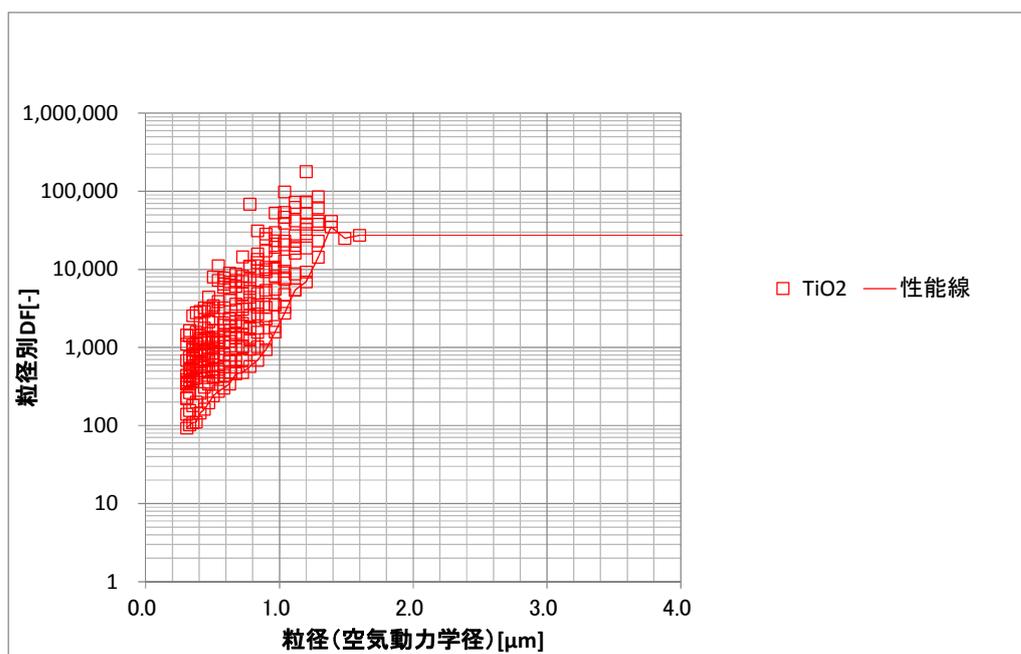
以上より，DF 性能線を作成すると，第 6-6～8 図の通りとなる。



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

シナリオ	ガス流量	オーバーオール DF
大 LOCA+SB0+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+SB0+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

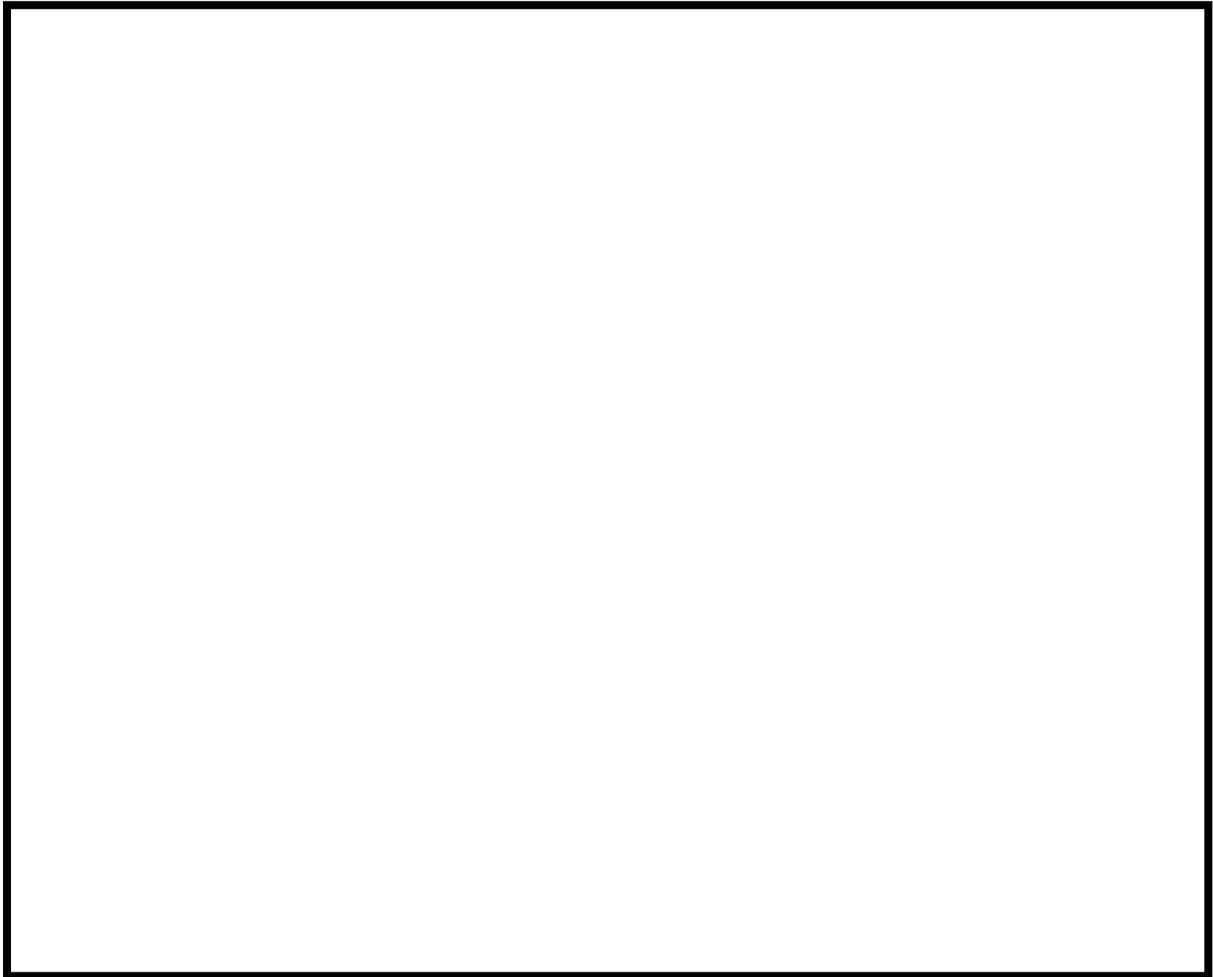
第 6-1 表より、大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオにおけるフィルタ装置のオーバーオールの DF は、1000 を大幅に上回っていることが確認できた。

なお、大 LOCA+SB0+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。

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。

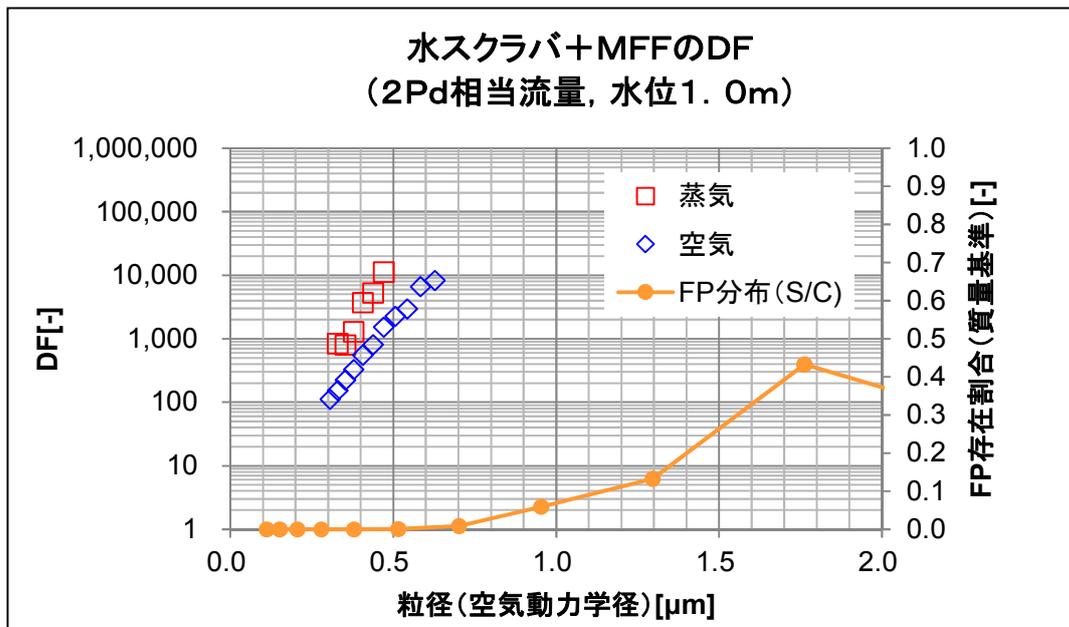


第 7-1 図 試験概要図（蒸気性能試験）

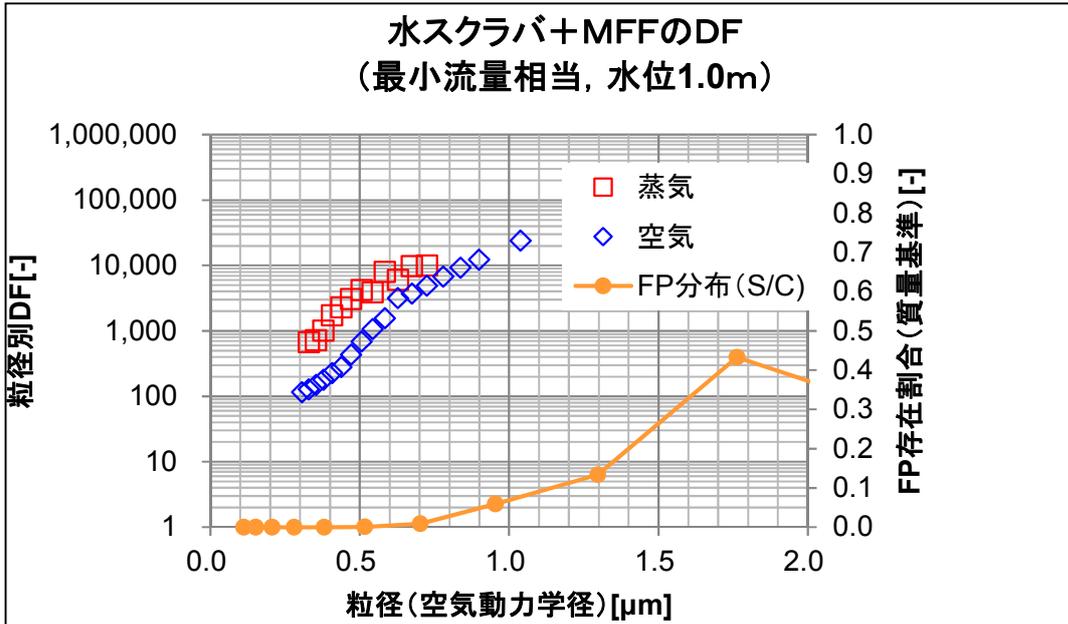
第 7-1 表 蒸気試験条件一覧表

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ほど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ほど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で、保守的な条件となる。

一方、スクラバ水高温状態におけるスクラバ水高温条件として、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。(『別紙 6 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。

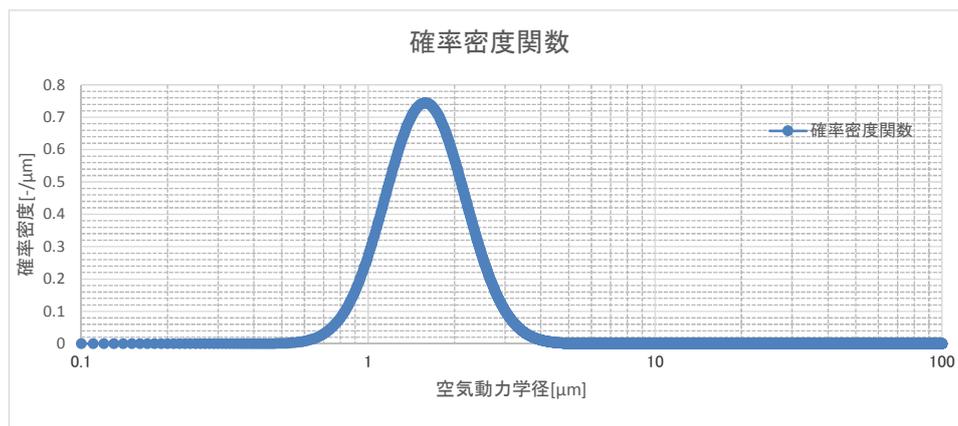
一方、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響を確認するため、フィルタ装置内圧力を 0.31MPa, 0.62MPa (gage) に加圧した状態で試験を実施し、フィルタ装置内圧力が DF へ与える影響はないことを確認している。(『別紙 6 2. フィルタ装置内圧力の DF への影響について』参照)

第 8-1 表 フィルタ装置物理パラメータと試験条件

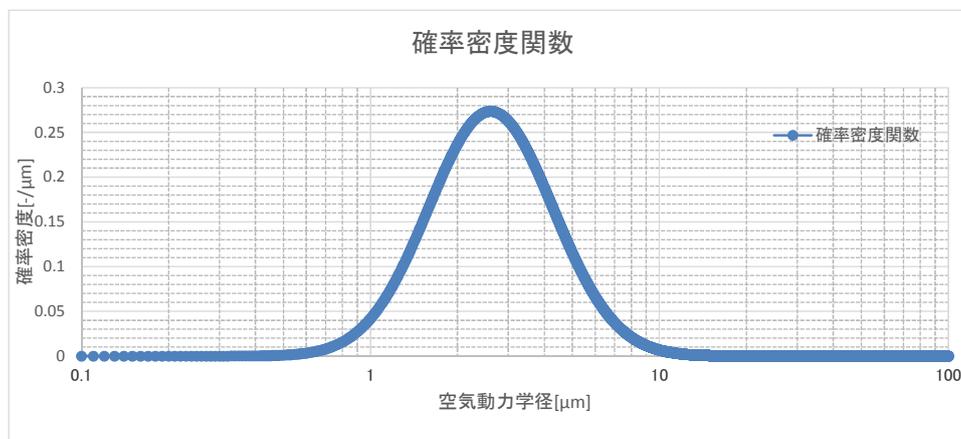
物理パラメータ	実機条件	試験条件
スクラバ水位	【実機運転時変動範囲】 1m～2.5m 【設定下限水位】 0.5m	【基本条件】 1m 【最低水位条件】 0.5m
スクラバ水温	【実機運転時変動範囲】 常温～飽和温度	【基本条件】 常温 【高温条件】 飽和温度
ベントガス性状	【実機運転時条件】 水蒸気 (主成分)	【基本条件】 常温空気 【蒸気条件】 水蒸気
ベントガス流量	【実機運転時変動範囲】 14500m ³ /h～33000m ³ /h 【超過流量 (二次隔離弁全開)】 37000m ³ /h	【基本条件】 33000 m ³ /h 相当 27000 m ³ /h 相当 13500 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、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の値を保守的に設定している。



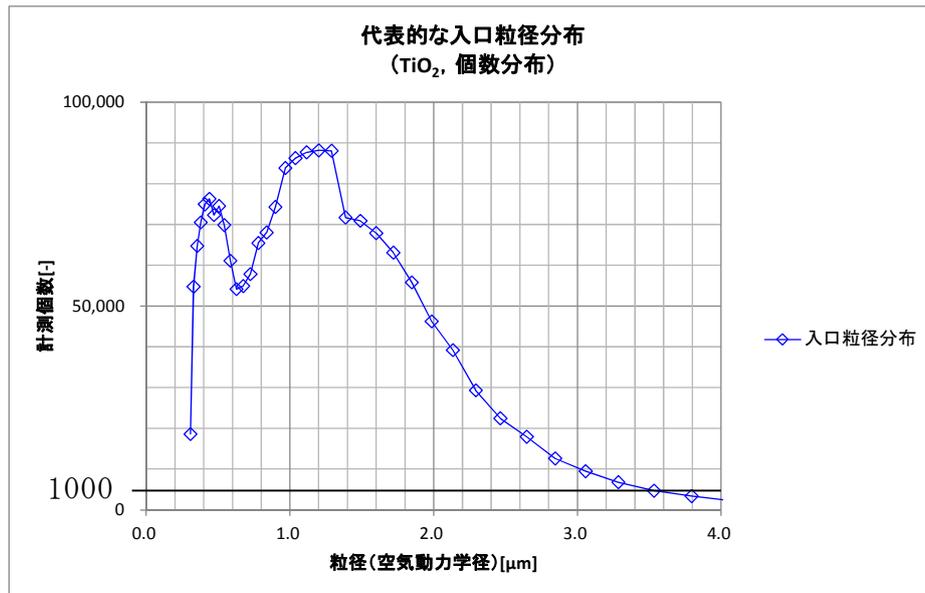
第8-1図 エアロゾル粒径分布（大LOCA+SBO+ECCS機能喪失,W/Wベント）



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、粒子径が大きいほど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ほど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ことから、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 ベント初期に対向流が発生する可能性について

【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、格納容器スプレイをさらに継続させ、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・ベントタイミング（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・ベントタイミング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 3 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 0.5 TBq となる。格納容器圧力の推移を第 8-1 図に示す。

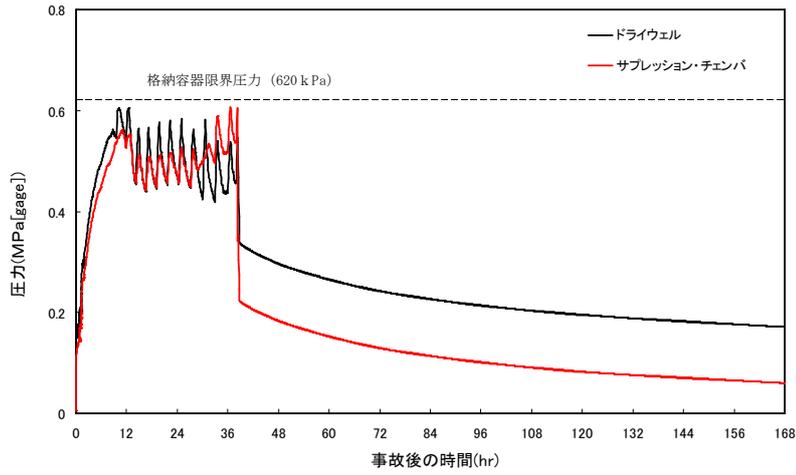
b. 38 時間 D/W ベントシナリオ

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 1959 TBq となる。格納容器圧力の推移を第 8-2 図に示す。

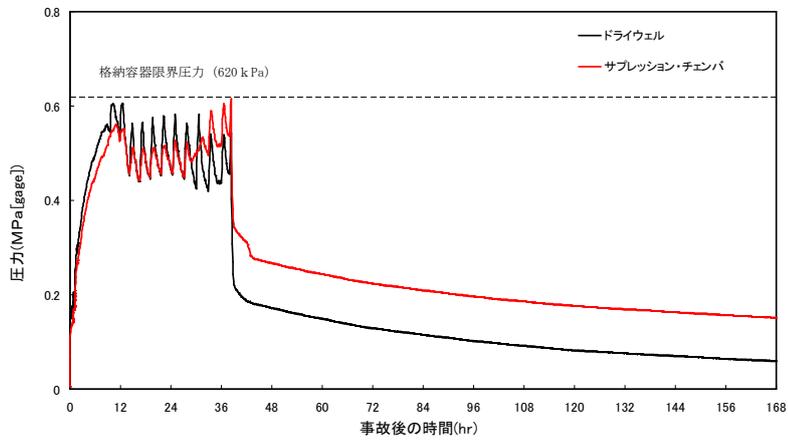
c. 41 時間 D/W ベントシナリオ

a. の事故シナリオでは事象発生から約 38 時間後に格納容器スプレイを停止しているが、更に格納容器スプレイを継続し、D/W 水位が「D/W ベントライン-4m」に到達した時点で格納容器スプレイを停止し、事象開始約 41 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 1834 TBq となる。格納容器圧

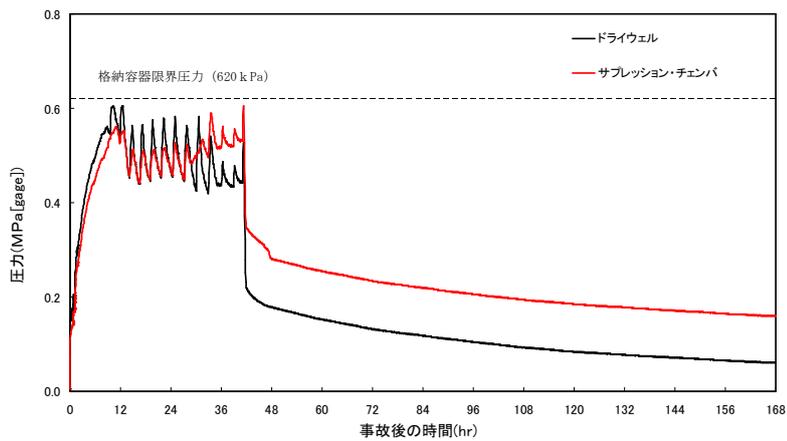
力の推移を第 8-3 図に示す。



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



第 8-3 図 41 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

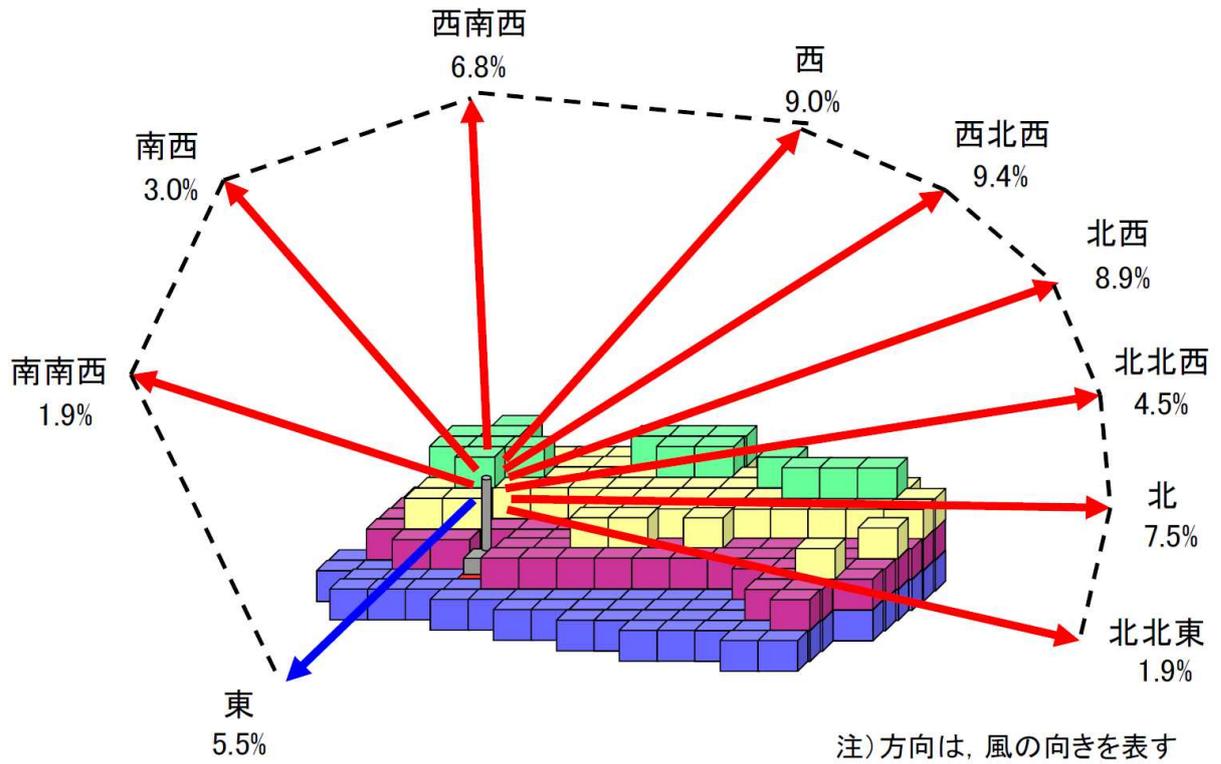
被ばく量評価において、ここでは3次元移流拡散評価コード（以下、D I A N A）を利用した。D I A N Aには、「数値地図50mメッシュ（標高）平成9年7月1日発行」を参照し、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形データを再現したブロック図がインプットされており、地形の形状を考慮した大気拡散評価が可能である。

b. 評価条件

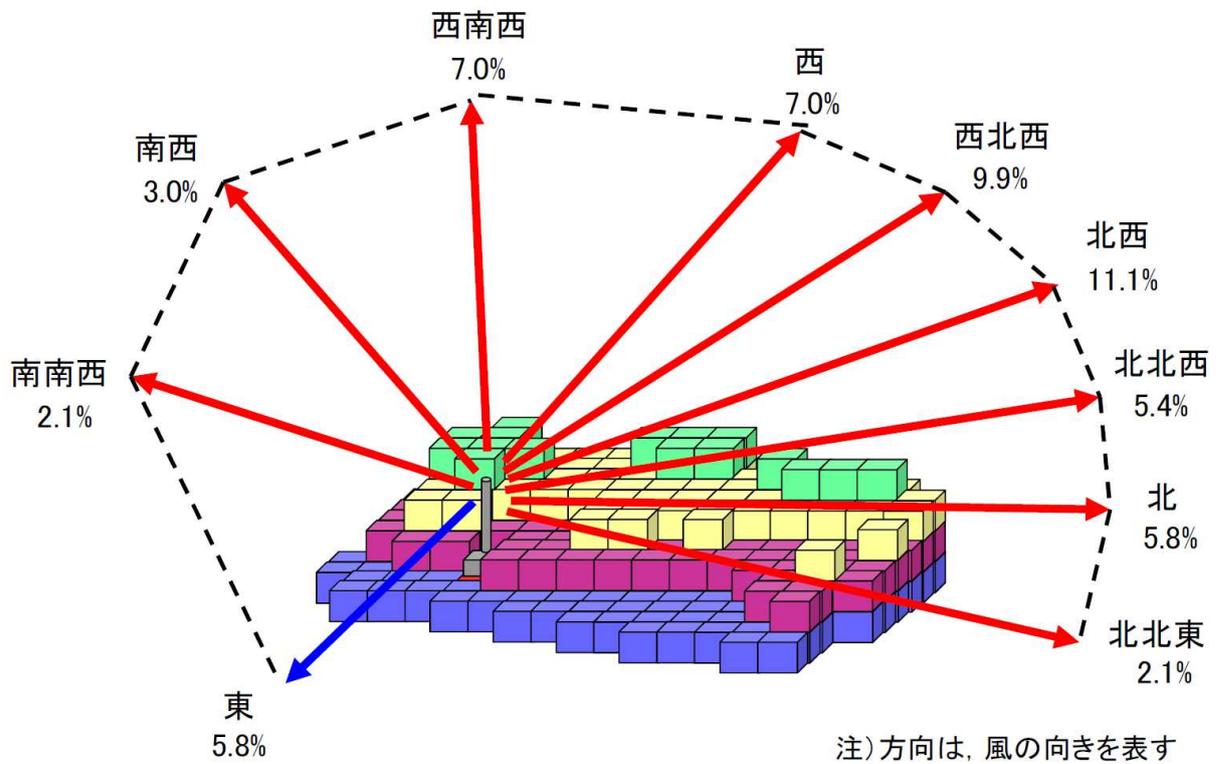
格納容器ベント実施に伴う公衆の被ばく量は、大気中に放出される放射量の他に、格納容器ベント実施後の気象条件に強く依存する。ここではベントタイミング・ベントライン及び放出位置を変更することによる被ばく量への影響を明確にするため、気象条件（風向、風速、大気安定度）が時間によらず一定であるとして評価した。具体的な評価条件を第8-1表に示す。また、参考として、柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された風向の、年間（1985年10月～1986年9月）の出現頻度を第8-4図から第8-6図に示す。

第8-1表 D I A N Aを用いた大気拡散評価条件

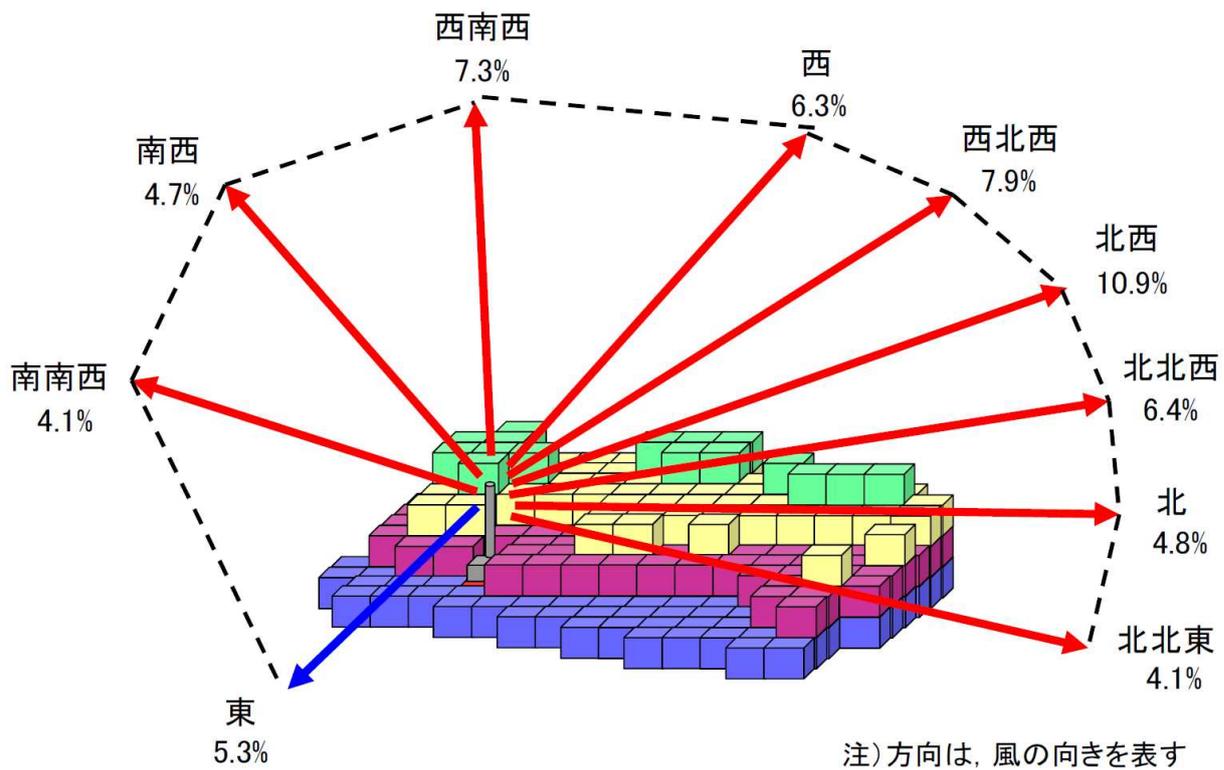
項目	選定内容	設定事由
風速	地上高10m：3.1m/sec 地上高75m：5.8m/sec 地上高150m：5.9m/sec	柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された年間（1985年10月～1986年9月）の平均風速を参照
風向	陸向き：南南西, 南西, 西南西, 西, 西北西, 北西, 北北西, 北, 北北東 海向き：東	拡散が地形形状に影響されることを考慮し、陸側は全方位を選定。参考として海側方位も選定
大気安定度	D（中立）	柏崎刈羽原子力発電所構内で観測された大気安定度のうち、年間（1985年10月～1986年9月）で最も出現頻度の高い大気安定度を採用
放出位置	6号炉主排気筒（地上高73m）、6号炉格納容器圧力逃がし装置配管（地上高40.3m）	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 8-4 図 風向出現頻度 (地上高 10m)



第 8-5 図 風向出現頻度 (地上高 75m)



第 8-6 図 風向出現頻度 (地上高 150m)

(3) 評価結果

a. ベントライン・ベントタイミングの違いによる影響

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 ベントシナリオ時及び 41 時間 D/W ベントシナリオ時の相対値は約 0.6 となっており、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 ベントシナリオ及び 41 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。また、41 時間 D/W ベントシナリオにおいては、38 時間 D/W ベントシナリオに比べ約 3 時間分の希ガス放射エネルギーの時間減衰を見込めるが、相対値は 38 時間 D/W ベントシナリオと同じく約 0.6 となっている。これは、原子炉停止から 40 時間後前後において、3 時間分の希ガス放射エネルギーの時間減衰の効果が限定的であるためである。

以上のことから、希ガスによる外部被ばくの、事故シナリオの違いによる影響は限定的である。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、3 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 0.5TBq と最も小さい（他の 2 シナリオでは約 1959 TBq, 約 1834TBq）。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、3 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。

値は暫定値

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 0.59	約 0.59
41 時間 D/W ベント シナリオ	約 0.54	約 0.54

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、3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 0.45～約 0.97 であり、風向によって相対値が変わるといった結果になった。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 8-7 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 0.84 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。

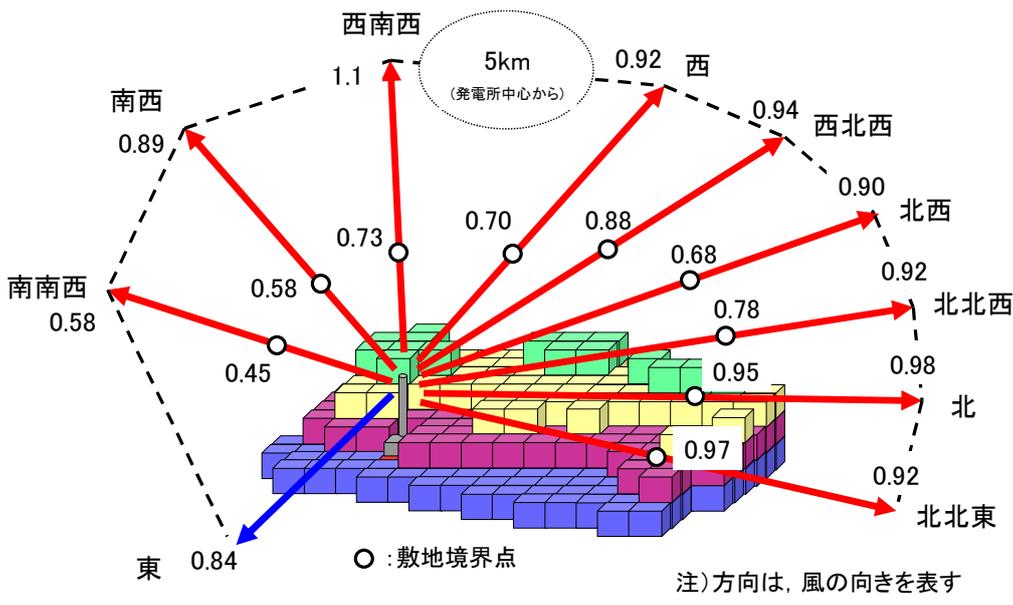
一方、陸側に放出した場合においては距離だけではなく、6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管高さより高い場所があるため、評価位置の標高の違いによる影響がある。放出位置と評価位置の高さ方向の位置関係を第 8-8 図に示す。さらに、地形の起伏等による形状の違いから放出されたガスが発散や収束されることにより、敷地境界における相対値は変わるが、その違いは最大で 6 割程度である。しかし、5km 地点での相対値は最大で 4 割程度と、発電所からの距離に従い放出位置の違いによる影響は更に小さくなるという評価結果になった。

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）

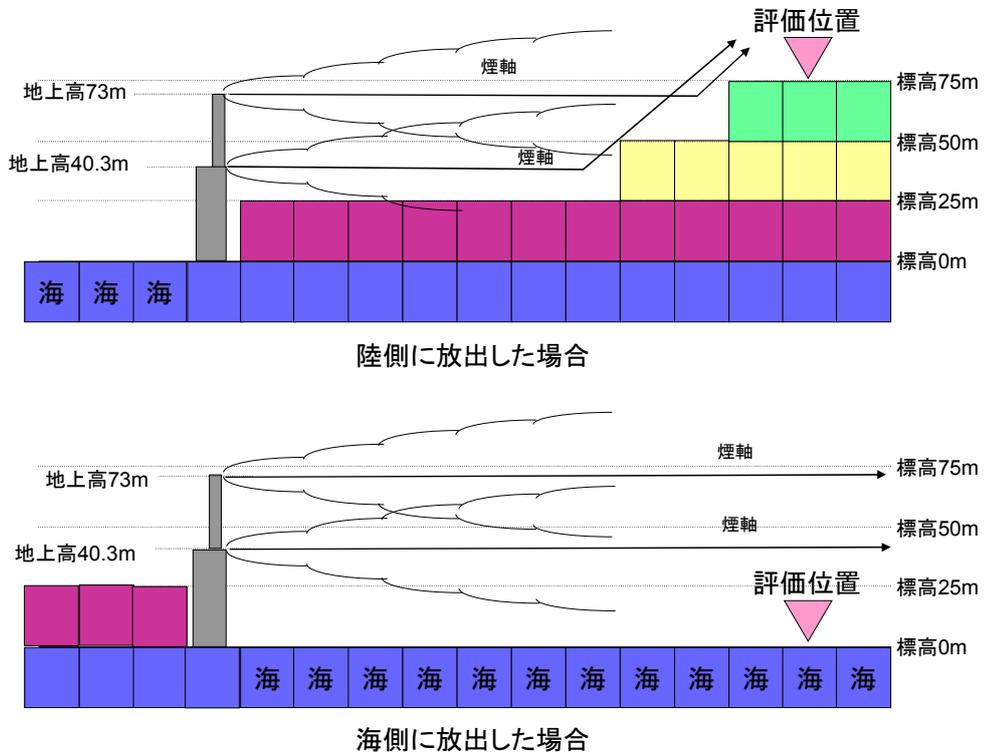
事故シナリオ	放出位置	希ガスによる外部被ばく量の相対値の評価結果 (実効線量の相対値)	
		敷地境界	5km 地点
38 時間 W/W ベントシナリオ	6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管	1	1
	6 号炉主排気筒	陸側：約 0.45 ～約 0.97	陸側：約 0.58 ～約 1.1 海側：約 0.84

値は暫定値



希ガス実効線量の影響(主排気筒/FV)

第 8-7 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 8-8 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・ベントタイミング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、3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～2500mm) 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，チオ硫酸ナトリウム及び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。

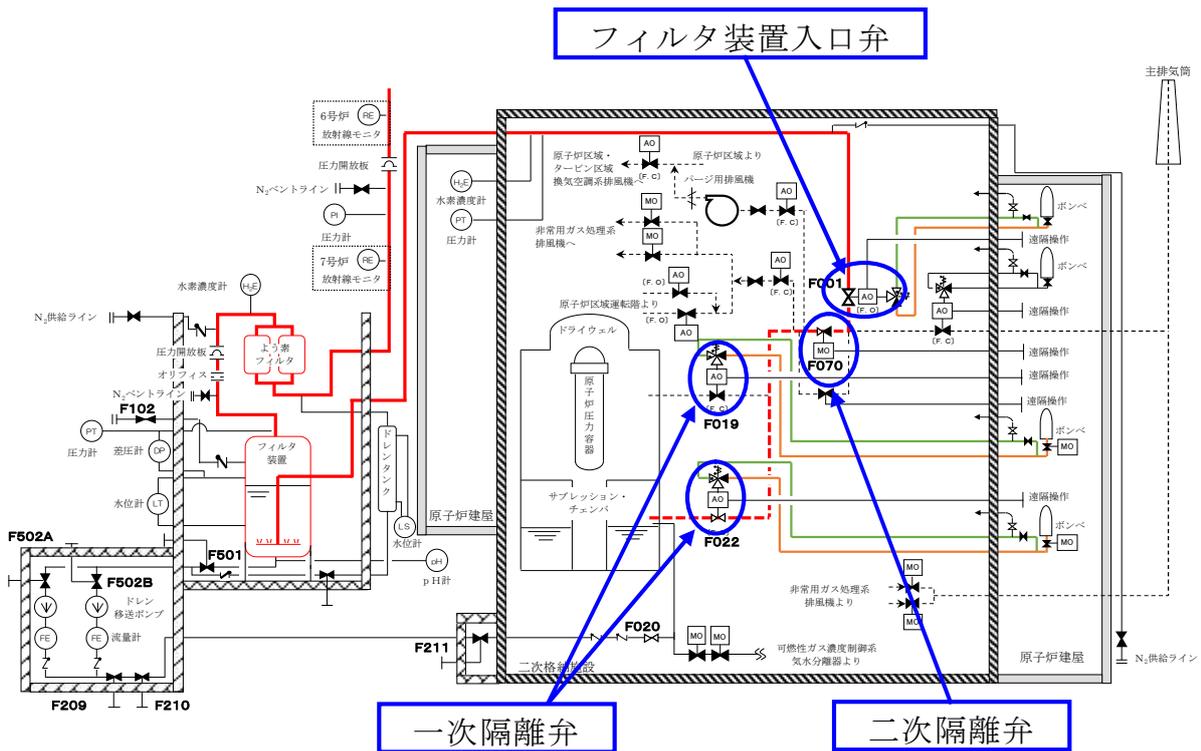
第 2 表 点検周期の決定根拠

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」）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。



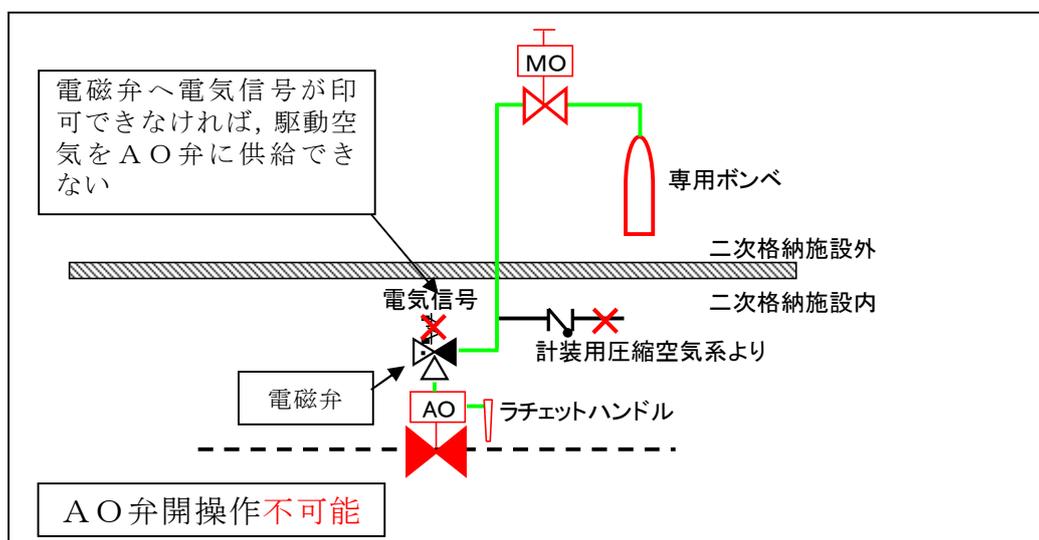
第1図 格納容器圧力逃がし装置系統概要図

第1表 弁の操作方法

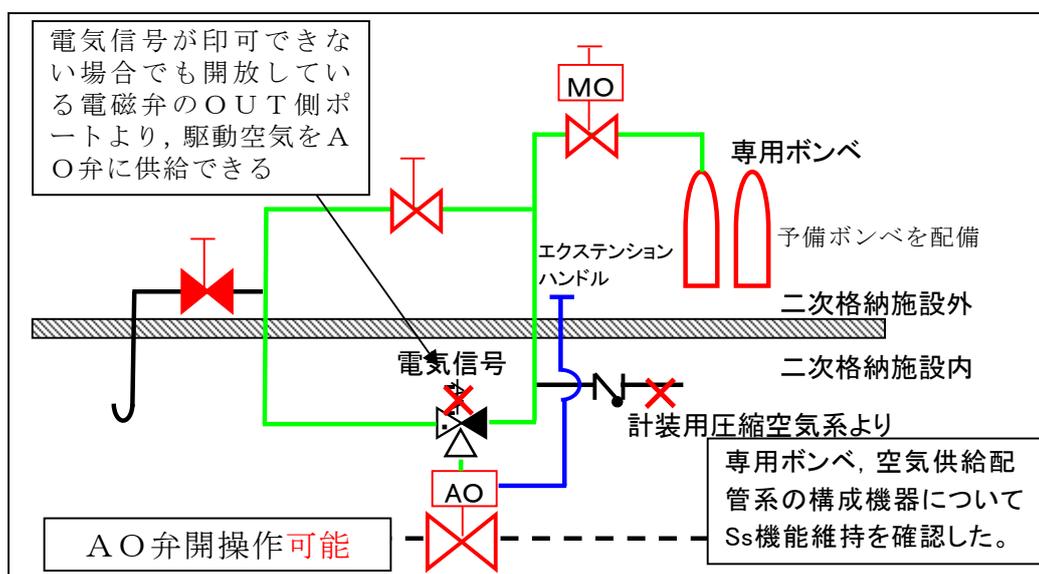
駆動方式	操作対象弁	電源喪失時の操作方法	操作場所
AO弁	■一次隔離弁 (サブプレッション・チェンバ側)	エクステンションによる遠隔操作	二次格納施設外
	■フィルタ装置入弁 ■一次隔離弁 (ドライウエル側)	専用ポンベからの駆動 空気供給による遠隔操作	二次格納施設外
MO弁	■二次隔離弁	エクステンションによる遠隔操作	二次格納施設外

MO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AO弁を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。

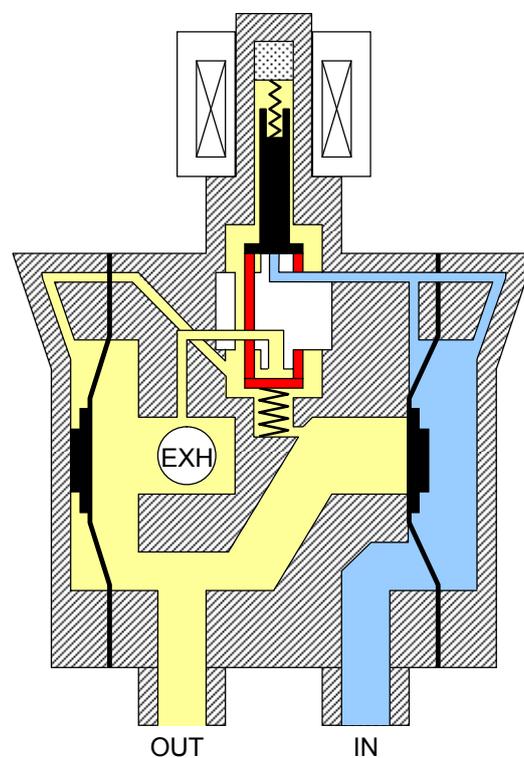
一方、第3図に示す通り、空気供給配管系の変更後の構成では、電磁弁に電気信号を印可できない場合においても開放している電磁弁のOUT側ポートより、駆動空気をAO弁に供給することができる。そのため、電源喪失時においても、

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

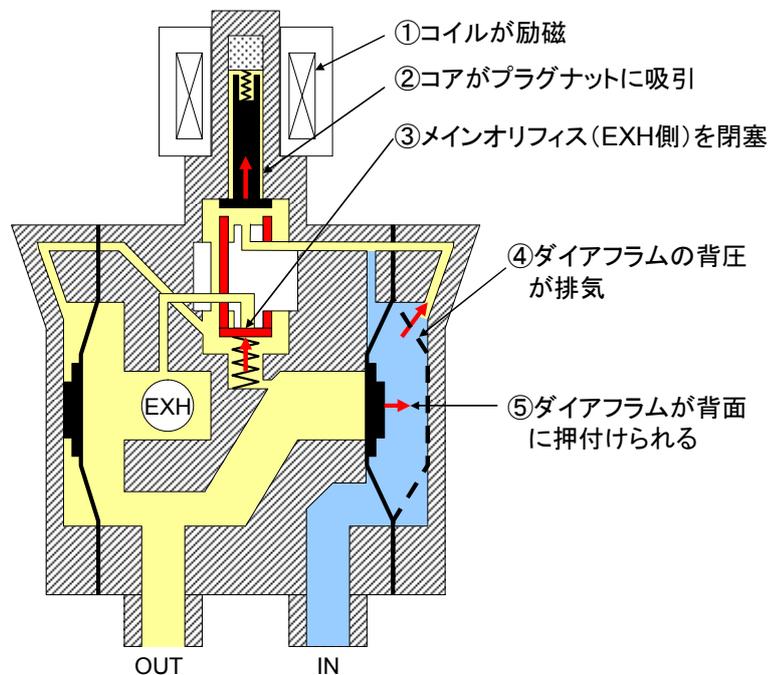
A O弁用の電磁弁は、電気信号を印可していない状態（無励磁状態）では以下の第4図のような状態である。「IN側」には計装用圧縮空気系、「OUT側」はA O弁の駆動部に接続されており、「EXH側」は大気開放となっている。



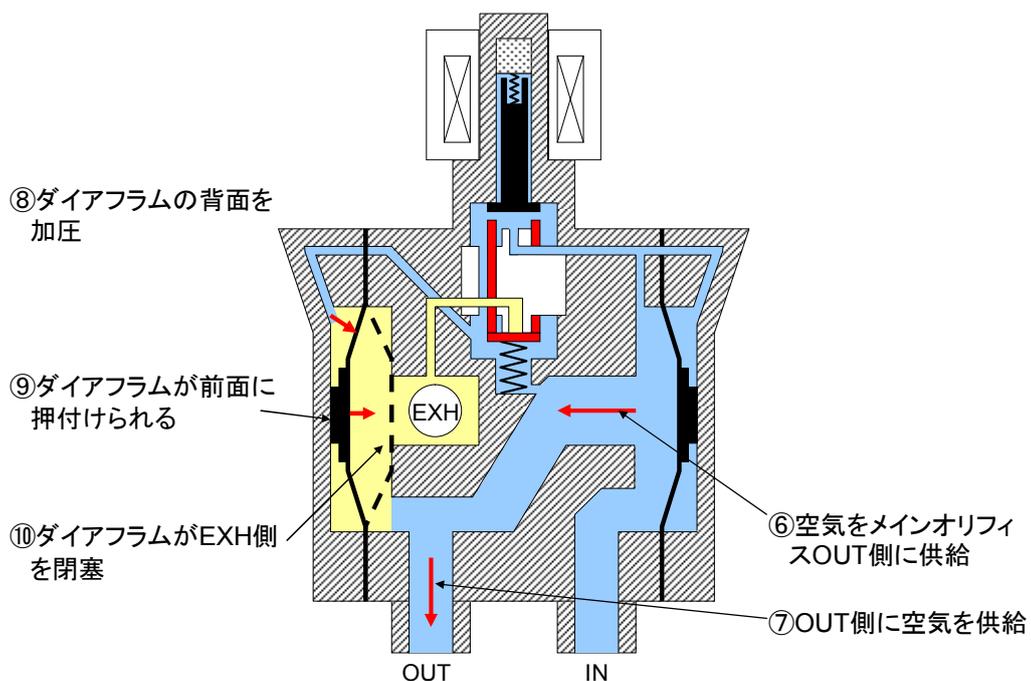
第4図 電磁弁（待機時）の概要図

(2) 電磁弁動作時（励磁）の状態

AO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側の計装圧縮空気系の空気をOUT側のAO弁の駆動部に供給する。



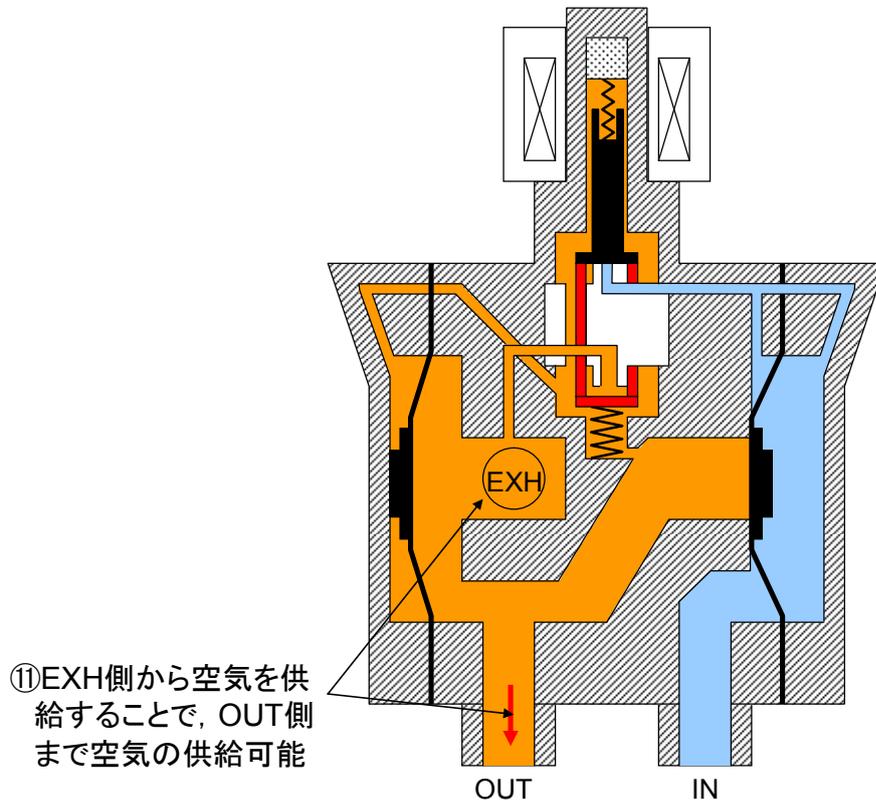
第5図 励磁時直後の動作概要図



第6図 ダイアフラム動作～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。

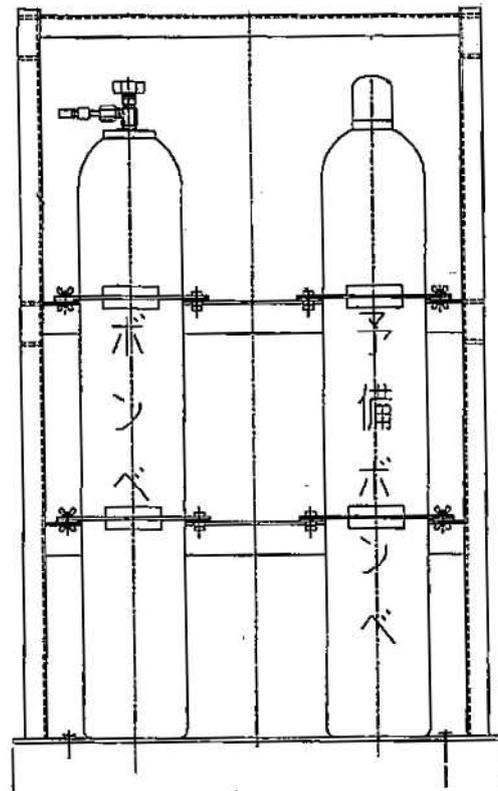


第7図 専用ポンベの空気を EXH 側から供給する場合の概要図

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。	駆動トルク：約40～50Nm 全開→全閉回転数：約1500回転
必要操作人員	1名	3名
信頼性	故障確率 7.3×10^{-8}	故障確率 3.4×10^{-8}

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3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。

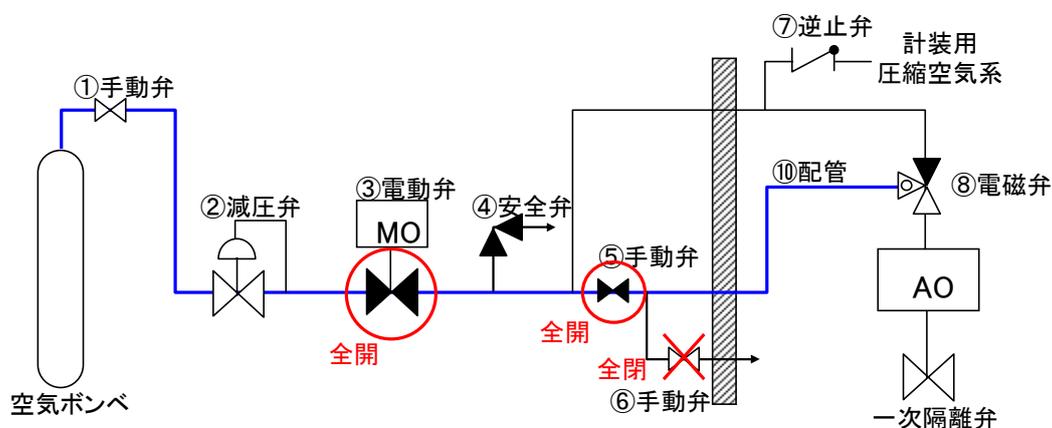
遠隔操作機構の信頼性については、以下の通り算定している。

【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。



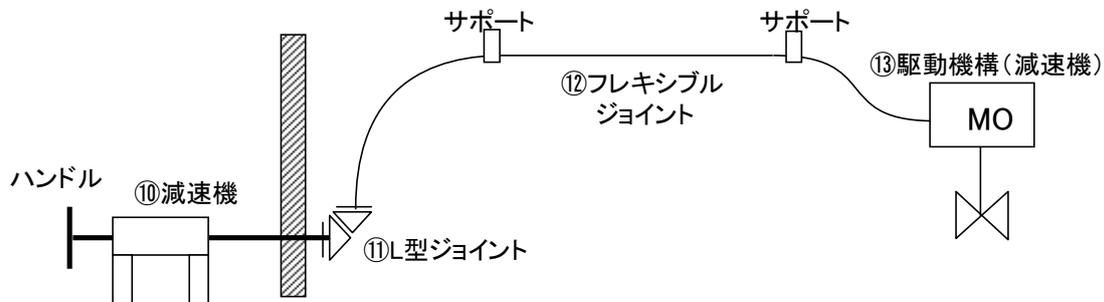
第 9 図 専用ポンペを用いた操作の系統概要図

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[/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	1F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。

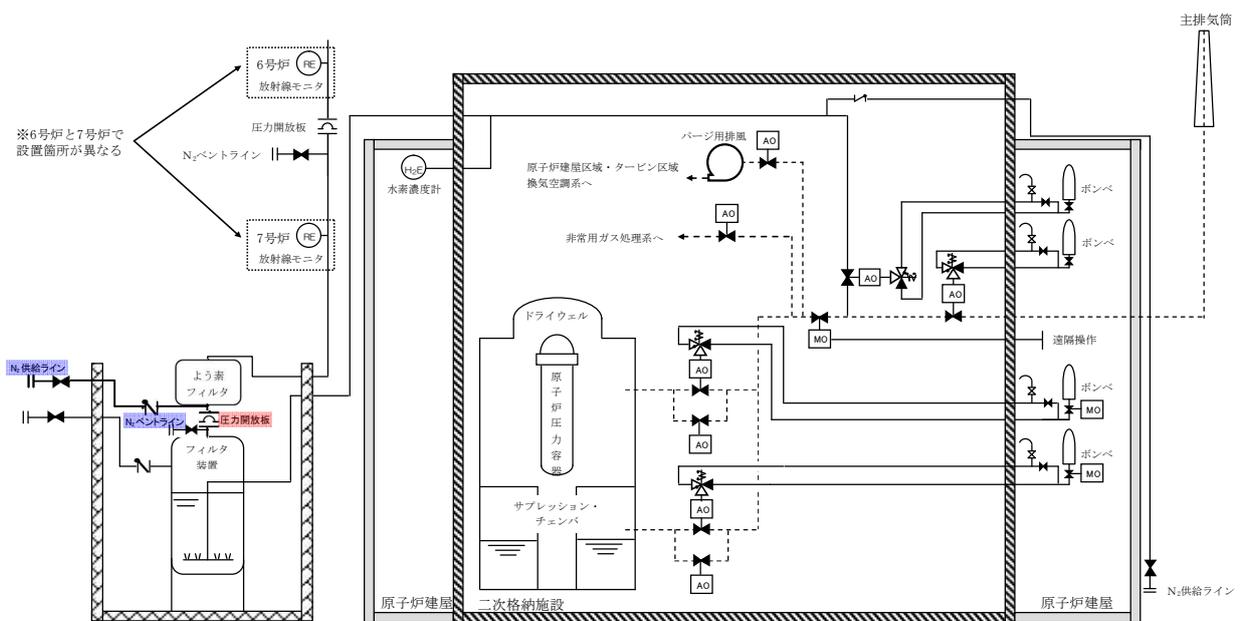
別紙 1 1 銀ゼオライトの劣化要因と対策について

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. 1-7 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

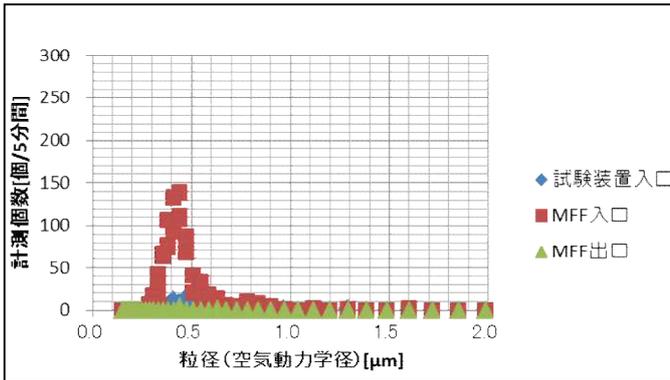
項目	条件
試験装置	・ 4 m 高さ試験装置
試験ガス	・ 空気 (エアロゾルは送気しない)
ガス流量	・ 超過流量相当 ・ 2 P d 相当流量 ・ 1 P d 相当流量 ・ 最少流量相当
粒子計測位置	・ 試験装置入口 ・ 水スクラバ通過後 (金属フィルタ入口) ・ 金属フィルタ出口
評価方法	・ 水スクラバ通過後 (金属フィルタ入口) 及び金属フィルタ出口の空気中の粒子 (液滴) を比較することで、金属フィルタの液滴除去性能を確認

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。

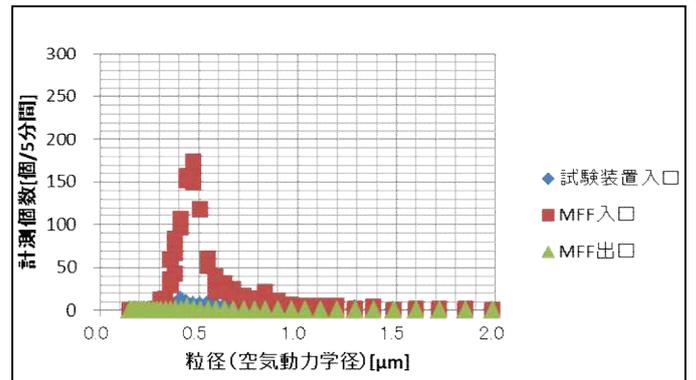


第1図 試験概要図（金属フィルタ液滴除去性能試験）

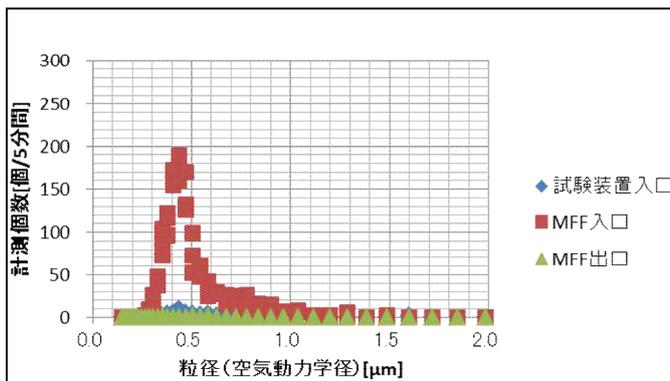
これらの試験の結果、各流量における粒子（液滴）の個数と粒径分布は以下の通りとなった。



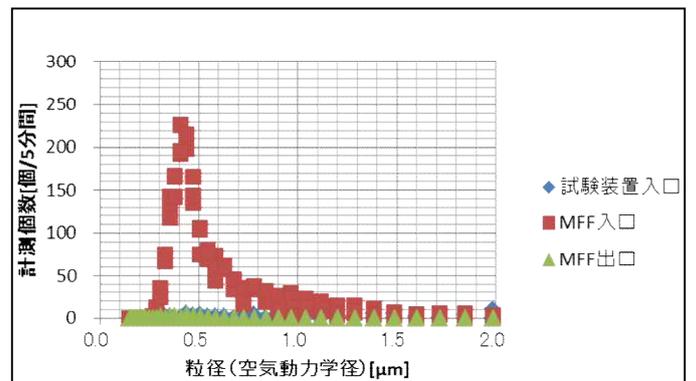
第2図 計測結果（最小流量相当）



第3図 計測結果（1Pd相当流量）



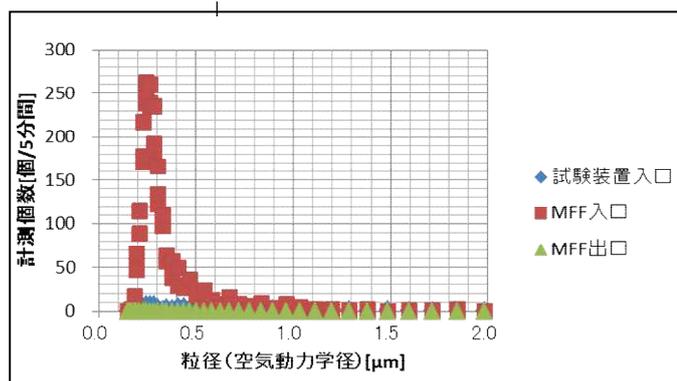
第4図 計測結果（2Pd相当流量）



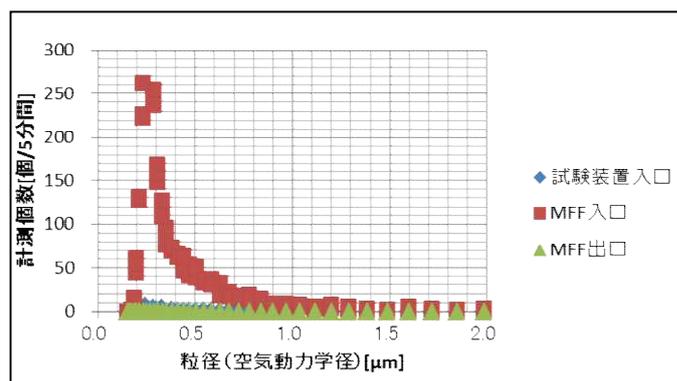
第5図 計測結果（超過流量相当）

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

別紙13 フィルタ装置からの放射性物質の再浮遊について

■ 水スクラバ

水スクラバに捕捉された放射性物質は、以下のメカニズムにより再浮遊する可能性がある。

(水スクラバの放射性物質再浮遊メカニズム)

- ① エントレインメントによる飛沫の浮遊
- ② よう素イオンが放射線照射により無機よう素となり浮遊

このうち①のエントレインメントによる飛沫については、『別紙12 金属フィルタの液滴除去性能について』にて示す通り、水スクラバの後段に設置されている金属フィルタによりベントガスから除去することが可能な構成となっている。そのため、水スクラバより放射性物質を含んだ飛沫が発生したとしても、液滴除去性能を有する金属フィルタによって、放射性物質が環境へ放出されることを防止する設計としている。

また、②のよう素イオンの放射線照射による無機よう素の生成については、スクラバ水がアルカリ性に保たれていれば生じないことを、下記の試験にて確認している。スクラバ水の pH は、無機よう素の DF 捕捉性能を維持するため 以上としている。そのため、スクラバ水は常にアルカリ性となっていることから、放射性照射によるよう素イオンからの無機よう素の生成は生じない。

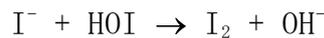
以上より、水スクラバにて捕捉された放射性物質の環境への放出は生じないと考える。

また、フィルタ装置使用後は、スクラバ水を格納容器に移送することで、放射性物質がフィルタ装置から環境へ放出されるリスクの更に低減する。

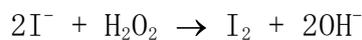
(無機よう素再浮遊試験)

I⁻ (よう素イオン) は照射下で酸化種 OH・ラジカルあるいは H₂O₂ によって酸化され、I₂ (無機ヨウ素) および HOI, さらに IO₃⁻ になる。一方、生成した I₂, HOI 及び IO₃⁻ は還元種 (e_{aq}⁻, H) との反応によってもとに戻ると同時に、I₂ は加水分解する。I₂, HOI 及び IO₃⁻ は酸化種過剰の場合に応じて溶液内に残留するようになる。

■酸性環境下における反応式

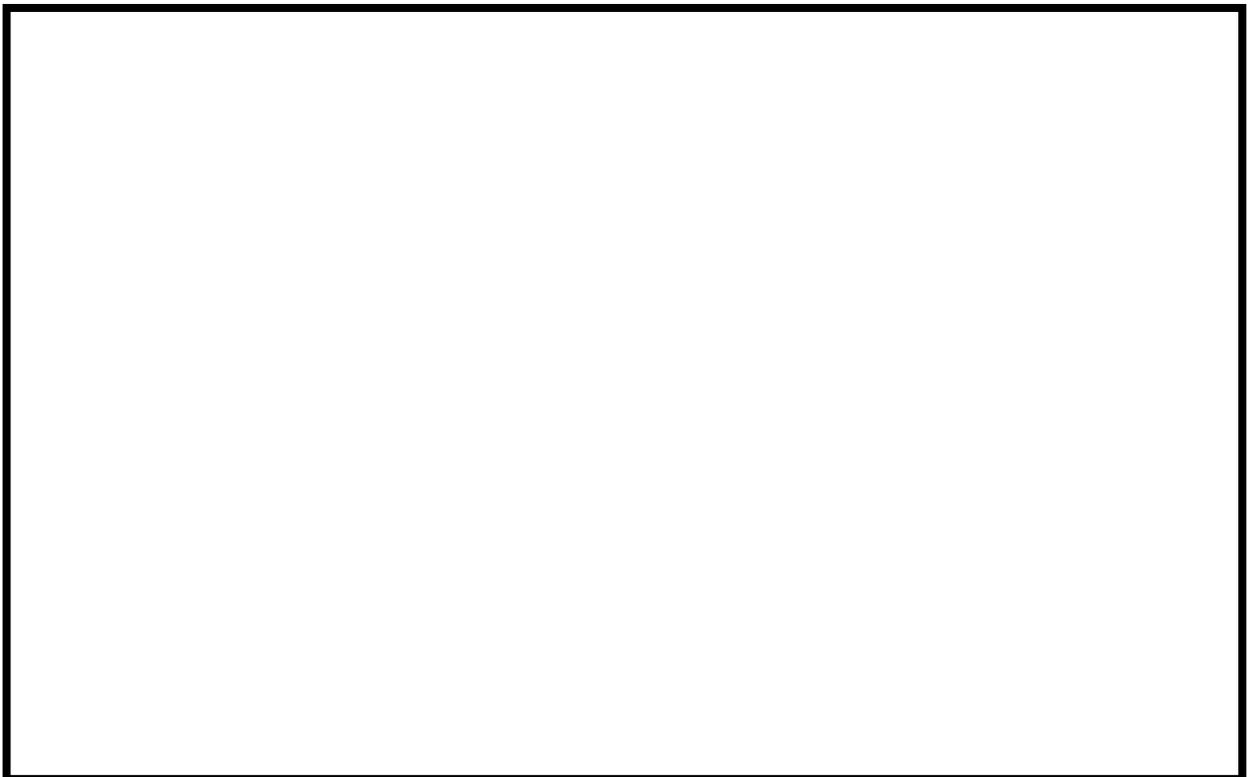


■アルカリ性環境下における反応式



そのため、スクラバ水がアルカリ性に確保されていれば、よう素イオンから生成された無機よう素は、再びよう素イオンに戻るため、スクラバ水から無機よう素が再浮遊することはない。

今回、下記の第1図のに示す試験装置にて、放射線照射環境下におけるよう素イオンの挙動と溶液の pH の影響を確認する試験を実施した。



第1図 照射下よう素イオン挙動確認試験装置図

第1図に示す通り、放射線照射室に置かれた加温容器の中に、CsIを溶解し、pHを調整した後に、高温状態としつつ、空気ポンベによりバブリングを行った状態で放射線を照射する。加温容器からの排気は鉛遮蔽内に設置した空容器、ならびに捕集容器内のよう素吸収液を通気することで、排気に含まれるよう素を回収する構成となっている。

試験開始前の加温容器内のよう素量と、試験開始後の加温容器内、空容器内、捕集容器内、ならびに配管部のよう素量を比較することで、加温容器からのよう素の再浮遊の有無を確認した。

加温容器内の初期のよう素量を6.5mg (CsI: 1×10^{-4} [mol/l]), pHを4, 7, 10の3ケース、加温容器の温度を90℃とし、積算放射線量約18[kGy]を照射した後の各部のよう素量を確認した結果、第1表の通りとなった。

第1表 照射下よう素イオン挙動確認試験結果

--

第1表より、アルカリ性であれば、よう素イオンを含む溶液に放射線を照射したとしても、よう素の浮遊は生じないことが確認できた。

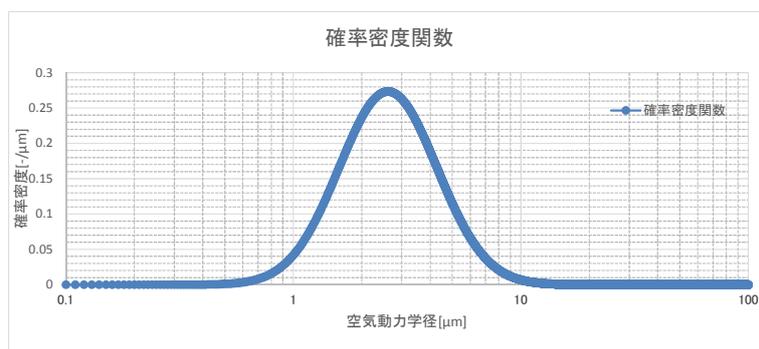
そのため、スクラバ水からのよう素イオンの浮遊を防止するため、スクラバ水はアルカリ性に保つ必要がある。

■ 金属フィルタ

フィルタ装置を使用すると、金属フィルタは捕捉した放射性物質の崩壊熱により発熱する。もしも、金属フィルタの温度が捕捉した放射性物質の融点よりも高くなってしまうと、捕捉した放射性物質が金属フィルタより再浮遊してしまう恐れがある。そのため、金属フィルタの温度は、金属フィルタに捕捉された放射性物質の融点以下である必要がある。

フィルタ装置使用中は、金属フィルタにはベントガスが通気されることから、金属フィルタに捕捉された放射性物質の崩壊熱は除去される。一方、フィルタ装置使用後においては、ベントガスによる熱の除去はできないことから、金属フィルタの温度は上昇する。そこで、フィルタ装置使用後におけるフィルタ装置金属フィルタ部の温度評価を行った。

まず、有効性評価シナリオ（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失，D/W ベント）における、金属フィルタに捕捉される放射性物質の崩壊熱を評価する。本シナリオにてフィルタ装置に流入する粒子状放射性物質の総崩壊熱は約 9.3kW となる。また、粒子径の分布は第 2 図の通りである。



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

第 2 図の粒子径分布に対して、『別紙 6 6. 水スクラバ単体の性能』にて示した水スクラバの DF のうち、保守的に最小流量相当の DF 性能線を用いて、(1) 式により水スクラバのオーバーオール DF を算出すると、水スクラバの DF は 23 となる。

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

DF(D_p)は、粒径 D_p における水スクラバの 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

そのため、水スクラバの後段に設置する金属フィルタに捕捉される崩壊熱は

9.3/23=0.41kW となる。

そこで、金属フィルタ部の温度評価を実施する際の金属フィルタ捕捉崩壊熱を、0.41kW に対して、放射性物質の不均一な付着等を考慮しても十分保守的な5kW に設定する。

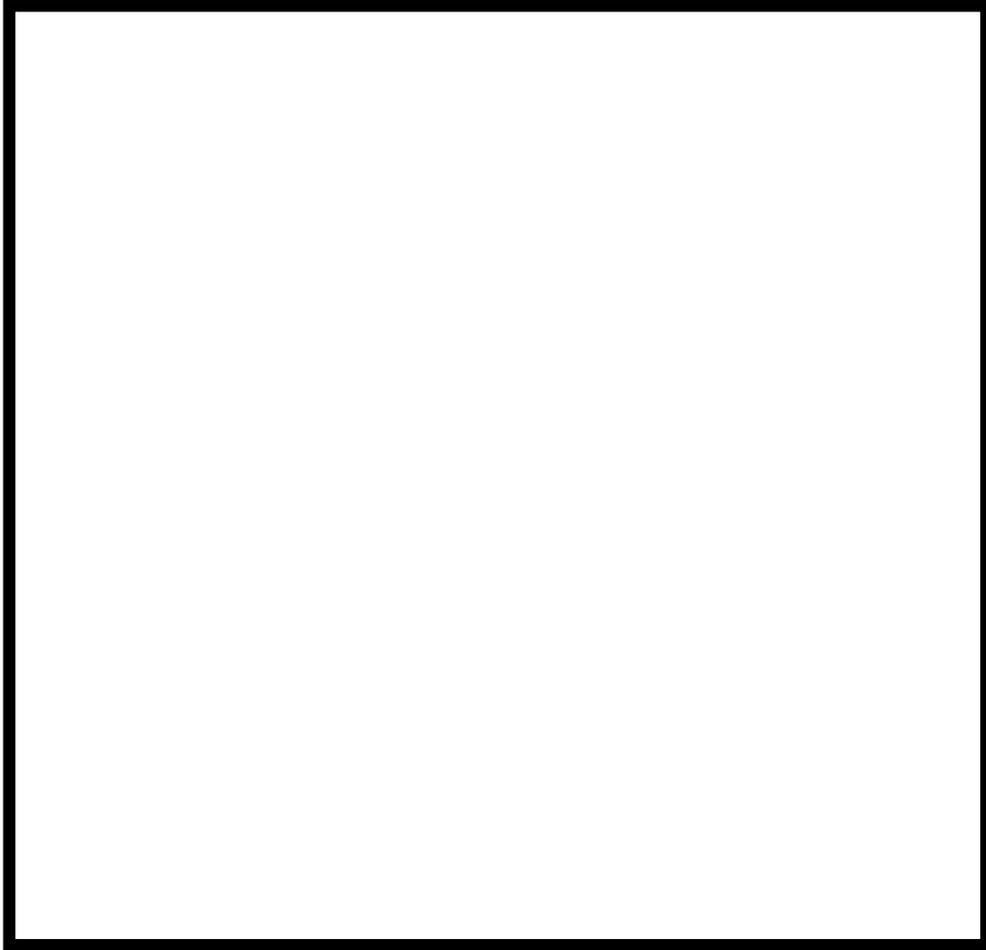
上記の通り、金属フィルタに捕捉される崩壊熱 5kW にて、まず金属フィルタ部の温熱解析を実施する。温熱解析には STAR-CCM+ (ver. 8.04.010) を用いた。なお、STAR-CCM は第 4 表に示す通り、原子力産業にも広く利用されている解析コードである。

なお、フィルタ装置使用後においても、スクラバ水に捕捉された放射性物質の崩壊熱によりスクラバ水が蒸発し、金属フィルタ部においてガスの流れは生じるが、ここでは保守的にスクラバ水の給水のタイミングを想定し、スクラバ水の蒸発が発生していない状態の評価を実施した。

【温熱解析条件】

第 2 表 フィルタ装置温熱解析条件一覧表

項目	条件
評価コード	・ STAR-CCM+ (ver. 8.04.010)
設定条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 乱流モデル：Realizable K-ε ・ 状態方程式：理想気体 ・ 圧縮性：考慮 ・ 重力：考慮 ・ 気体の種類：水蒸気 ・ 定常
フィルタ装置内圧力	・ 大気圧（フィルタ装置使用後を想定）
フィルタ装置 周囲温度	・ 65℃
スクラバ水沸騰	・ 無し
スクラバ水温度	・ 100℃
フィルタ装置容器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材質：SUS316L ・ 厚さ：30mm
フィルタ装置保温	<ul style="list-style-type: none"> ・ 有り ・ 材質：ケイ酸カルシウム保温材 ・ 厚さ：50mm
金属フィルタ 捕捉崩壊熱	・ 5kW



第 3 図 解析モデル

第 2 表の解析条件ならびに第 3 図の解析モデルにて評価を実施したところ、金属フィルタ捕捉崩壊熱 5kW の場合の金属フィルタ部最高温度は、約 185℃となった。



第 4 図 解析結果(金属フィルタ捕捉崩壊熱 5kW)

一方、金属フィルタは第 5 図の通り、小粒径の粒子を捕捉する焼結シート

前後に、大粒径の粒子やスクラバ水の飛沫を捕捉する金属繊維からなるウェブを設置した構造となっている。



第 5 図 金属フィルタ構造図

第 2 図の解析モデルは焼結シートのみをモデル化したものであり、ウェブについてはモデル化されていない。しかしながら、ウェブは空気を多く含む金属繊維であることから、ある程度の断熱効果があると考えられる。そこで、半径方向 1 次元の定常熱伝導評価式により、ウェブに挟まれた焼結シートの温度評価を実施した。

評価の条件を第 3 表に示す。

第3表 定常熱伝導条件一覧表

項目	条件
評価式	・半径方向1次元 定常熱伝導評価式
金属フィルタ 捕捉崩壊熱	・5kW
金属フィルタ 捕捉部位	・全ての放射性物質が焼結シートに付着しているとする (ウェブには付着していない)
金属フィルタ 周囲温度	・185℃
ウェブ熱伝導率	・保守的に水蒸気の熱伝導率を適用 (ステンレス製のウェブによる熱伝導率を考慮しない) ・水蒸気の熱伝導率は、金属フィルタ周囲温度の値を適用 (温度が低い方が、熱伝導率が小さく保守的であるため) ・0.032W/(m・K) (185℃における水蒸気の熱伝導率)
金属フィルタ 設置本数	・128本
金属フィルタ 表面積	・0.36m ²

第3表の条件により評価した結果、ウェブに挟まれた焼結シートの温度は、下記の通りとなった。

【ウェブを考慮した場合の焼結シートの温度】

$$\begin{aligned} \text{金属フィルタ発熱量} &= 5 \times 10^3 / 128 \\ &= 39.1 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{金属熱流束 (片面)} &= 39.1 / 2 / 0.36 \\ &= 54.3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{金属フィルタ厚さ方向温度差} &= 54.3 \times 11.45 \times 10^{-3} \times 0.032 \\ &= 19.5 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{焼結シート部温度} = 185 + 19.5 = 204.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

なお、フィルタ装置使用時に格納容器から飛来する放射性物質のうち、高揮発性の水酸化セシウムの融点は約272℃である。そのため、金属フィルタに捕捉される放射性物質の崩壊熱が5kWの場合、金属フィルタ焼結シートの温度は放射性物質の融点以下となり、捕捉された放射性物質が再浮遊する恐れはない。

よって、大LOCA+SBO+ECCS機能喪失シナリオのD/Wベントを考慮したとしても、金属フィルタに捕捉された放射性物質の再浮遊は生じないと考える。

第4表 STAR-CCM+ , STAR-CD の原子力産業における使用実績

No	企業	使用ツール	概要	備考
1	JAEA	STAR-CD	水銀ターゲットの熱流動設計(流体の核発熱及び伝熱を考慮した水銀および重水の熱流体解析)	http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Technology-2008-033.pdf
2	三菱FBRシステムズ [*]	STAR-CD	過渡時の自然循環による除熱特性解析手法の開発(「もんじゅ」実証炉内、冷却系統の自然循環除熱の検討)	http://www.jst.go.jp/nrd/result/h21/p02.html
3	三菱FBRシステムズ [*]	STAR-CD	非定常流動解析に基づいた流動構造連成解析手法の開発	http://www.mfbr.co.jp/contents/0700.html
4	JAEA	STAR-CD	照射集集体伝熱解析(高速炉「常陽」内の照射集集体伝熱分布の評価)	
5	東京電力	STAR-CD	東通 ドライウエルスプレイ作動中の原子炉格納容器内流動解析	http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/800/3/1/004/04-05.pdf
6	AREVA	STAR-CCM+	PWR 集集体のスペーサグリッド周辺評価(蒸気パブルのふるまい評価)	http://www.aesj.or.jp/~fuel/Pdf/kaihou_2012_48-1.pdf
7	JAEA	STAR-CCM+	気体軸受液体水素ポンプのスラスト軸受性能評価解析及び気柱管内の熱音響振動解析コードの開発(スラスト軸受の浮上量評価)	http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2012-042.pdf
8	電力中央研究所	STAR-CCM+	発電プラントの配管減肉現象の予測手法開発における STAR-CCM+の適用(流れ加速型腐食の原因の1つである乱流エネルギーの検討)	http://www.idaj.co.jp/ccsc2011/lecture/star_b13.html
9	JAEA	STAR-CCM+	冷中性子源装置の減速材容器内沸騰解析(減速材容器の受熱による減速材(液体水素)の沸騰挙動様相の解析)	
10	JNES	STAR-CCM+	汎用数値流動解析コードを用いた高速増殖炉におけるナトリウム-水反応解析手法の整備	http://www.jnes.go.jp/content/000119050.pdf
11	エネルギー総合工学研究所	STAR-CCM+	福島第一原子力発電所の圧力抑制プール内における蒸気凝縮の二相流解析	http://www2.cd-adapco.com/1/14592/2013-11-05/5smk3

別紙14 水スクラバにて考慮する荷重と評価結果

フィルタ装置の水スクラバにおいては、ベント開始時にスクラバ配管内にたまっていた水のクリアリングによる噴流により、フィルタ装置の内部構造物に大きな荷重がかかる。そこで、このクリアリング荷重によるフィルタ装置内部構造物に発生する応力を評価した。なお、保守的に地震荷重（基準地震動 S_s ）ならびに自重による荷重も組み合わせて評価を実施した。

(1) クリアリング荷重の評価

クリアリング荷重を評価するため、まずスクラバノズルからの水の噴射速度を算出する。ダルシー・ワイスバッハの式より、スクラバノズルからの水の噴射速度は以下のように算出できる。

$$P_i = P_o + \left(\frac{\zeta + 1}{2} \right) \rho v^2 \quad (1)$$

$$\Delta P = P_i - P_o \quad (2)$$

$$\begin{aligned} v_1 &= \left(\frac{2\Delta P}{\rho(\zeta + 1)} \right)^{0.5} \\ &= \left(2 \times \frac{(0.72 \times 10^6 - 0.10 \times 10^6)}{1000 \times (3.05 + 1)} \right)^{0.5} \\ &= 17.5 [\text{m/s}] \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 P_i 、 P_o 、 ρ 、 ζ は、以下の通り設定した。

■ $P_i = 0.72 \text{MPa (abs)}$

P_i はベント開始時のスクラバ配管内の圧力であり、保守的に格納容器の最高使用圧力の2倍の圧力である 0.72MPa (abs) とする。実際は、格納容器からフィルタ装置に至る配管の圧力損失により、スクラバ配管内の圧力は格納容器の圧力以下となる。

■ $P_o = 0.01 \text{MPa (abs)}$

P_o は噴射直後の圧力であり、保守的に大気圧である 0.10MPa (abs) とする。実際は、スクラバ水の水頭圧力が作用するため、大気圧以上となる。

■ $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$

ρ は水の密度であり、 1000kg/m^3 とする。

■ $\zeta = 3.05$

ζ は圧力損失係数の総和であり、保守的にスクラバ配管から一番近いノズルまでの配管の圧力損失係数とする。

また、噴射速度から、力積の式を用いてスクラバノズルにおける荷重Fを算出した。

$$F\Delta t = mv \quad (4)$$

$$\frac{m}{\Delta t} = \rho Av \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{m}{\Delta t} \times v = \rho Av^2 \\ &= 1000 \times \left(\pi \times \left(\frac{5}{2} \right)^2 \times 50 \times 140 \times 10^{-6} \right) \times 17.5^2 \\ &= 42092[\text{N}] \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、スクラバノズルの断面積Aは、一つのノズルにΦ5mmの穴が50個設置されており、スクラバノズルは全部で140本設置されていることから、(6)式の通り算出される。

よって、スクラバノズル1本当たりの荷重は以下の通りとなる。

$$(F/g)/140 = m = 30.7[\text{kg}] \quad (7)$$

また、スクラバ配管の400Aエンドキャップにかかるクリアリング荷重について評価する。

まず、400A配管の水の流速を求める。400A配管の流速は、スクラバノズルの断面積比より、以下の通り算出することができる。

$$\begin{aligned} v_2 &= \left(\frac{2\Delta P}{\rho(\zeta+1)} \right)^{0.5} \times \frac{A_{scrubber}}{A_{400A}} \\ &= \left(\frac{2\Delta P}{\rho(\zeta+1)} \right)^{0.5} \times \left(\frac{\pi \times \left(\frac{5}{2} \right)^2 \times 50 \times 140 \times 10^{-6}}{\pi \times \left(\frac{381}{2} \right)^2 \times 1 \times 10^{-6}} \right) \\ &= 21.1[\text{m/s}] \end{aligned} \quad (8)$$

また、噴射速度から、力積の式を用いてスクラバノズルにおける荷重Fを算出した。

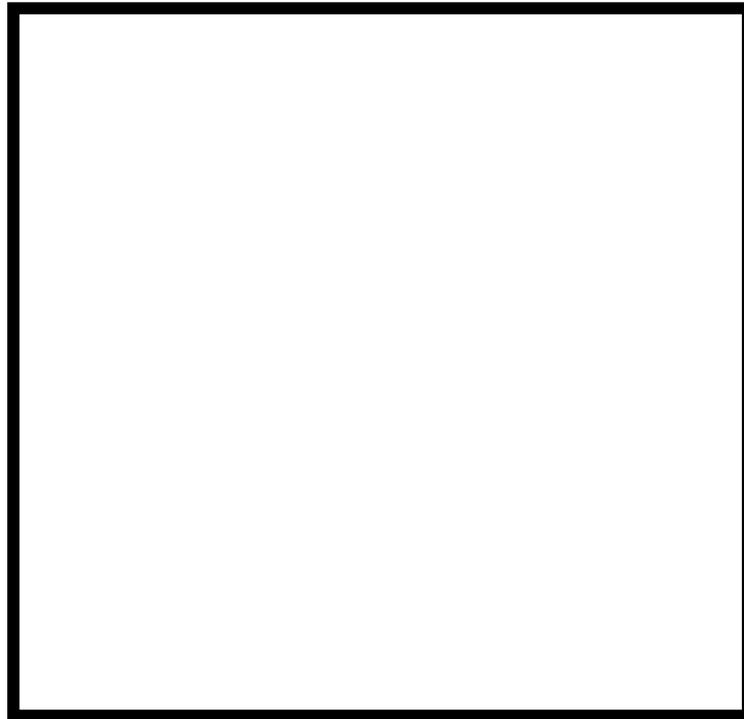
$$\begin{aligned}
 F &= \frac{m}{\Delta t} \times v = \rho A v^2 \\
 &= 1000 \times \left(\pi \times \left(\frac{381}{2} \right)^2 \times 1 \times 10^{-6} \right) \times 21.1^2 \\
 &= 50744 [\text{N}]
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

よって、400A 配管エンドキャップに加わる荷重は以下の通りとなる。

$$F/g = m = 5.17 [\text{t}] \tag{10}$$

(2) フィルタ装置内部構造物応力評価

フィルタ装置の FEM モデル (第 1 図) を作成し、式(7)(10)で算出されたクリアリング荷重、ならびに基準地震動 S_s による地震荷重を負荷し、各部に発生する応力を算出した。応力の評価には、汎用構造解析コード FINAS v21.0 を用いた。また、健全性評価に当たり、許容応力は第 1 表に示す供用状態 D の値を用いた。



第 1 図 フィルタ装置 FEM 解析モデル

第 1 表 許容応力一覧

評価対象	曲げ [MPa]	引張 [MPa]	せん断 [MPa]	配管 [MPa]
スクラバ配管	—	—	—	240
支持構造物 (U ボルトを含む)	220	162	93	—

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。

以上の条件のもと評価を実施したところ、第2表ならびに第3表の通りとなり、発生応力が許容応力以下となっていることを確認した。そのため、フィルタ装置内部構造物は、クリアリング荷重・地震荷重・自重による荷重が重畳した場合においても、健全性を確保することが可能である。

第2表 評価結果一覧表①

識別番号	部位名称		断面係数 Z [mm ³]	Uボルト断面積 [mm ²]	内圧 [MPa]	σ (自重) [MPa]	σ (水の噴出反力) [MPa]	σ (耐震) [MPa]	ボルト本数	σ (合計) [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	判定
1	400A配管	ティー	1.50E+06	-	0	7	28	146.62	-	181	240	1.3	○
2		直管部(Sch 160)	3.88E+06	-	0	0.35	0.24	12.49	-	14	240	17.1	○
3		直管部(Sch 40)	1.50E+06	-	0	0.28	0.07	7.62	-	8	240	30.0	○
4		エルボ	1.50E+06	-	0	1.15	0.36	20.06	-	22	240	10.9	○
5	200A配管	ティー	2.69E+05	-	0	8.07	15.79	36.36	-	61	240	3.9	○
6		直管部	2.69E+05	-	0	2.69	5.54	7.74	-	16	240	15.0	○
7	100A配管	エルボ	5.25E+04	-	0	3.69	7.40	3.02	-	15	240	16.0	○
8		引張方向	-	1.57E+02	-	0.00	0.00	12.55	2	7	152	23.1	○
9	UボルトM16 (100A配管用)	せん断方向	-	1.57E+02	-	0.19	1.55	21.41	2	12	93	7.7	○
10	UボルトM20	引張方向	-	2.45E+02	-	0.00	0.00	100.04	1	101	162	1.6	○
11	(200A配管用)	せん断方向	-	2.45E+02	-	0.00	0.00	35.59	1	36	93	2.5	○

※発生応力の内圧， σ （自重）， σ （水の噴射反力）， σ （耐震）は小数点以下第1位で四捨五入，発生応力の σ （合計）は小数点以下第1位で切上げ，許容値は小数点以下第1位で切捨て，裕度は小数点以下第2位で切捨てを実施。これらはすべての評価が完了後に実施している。



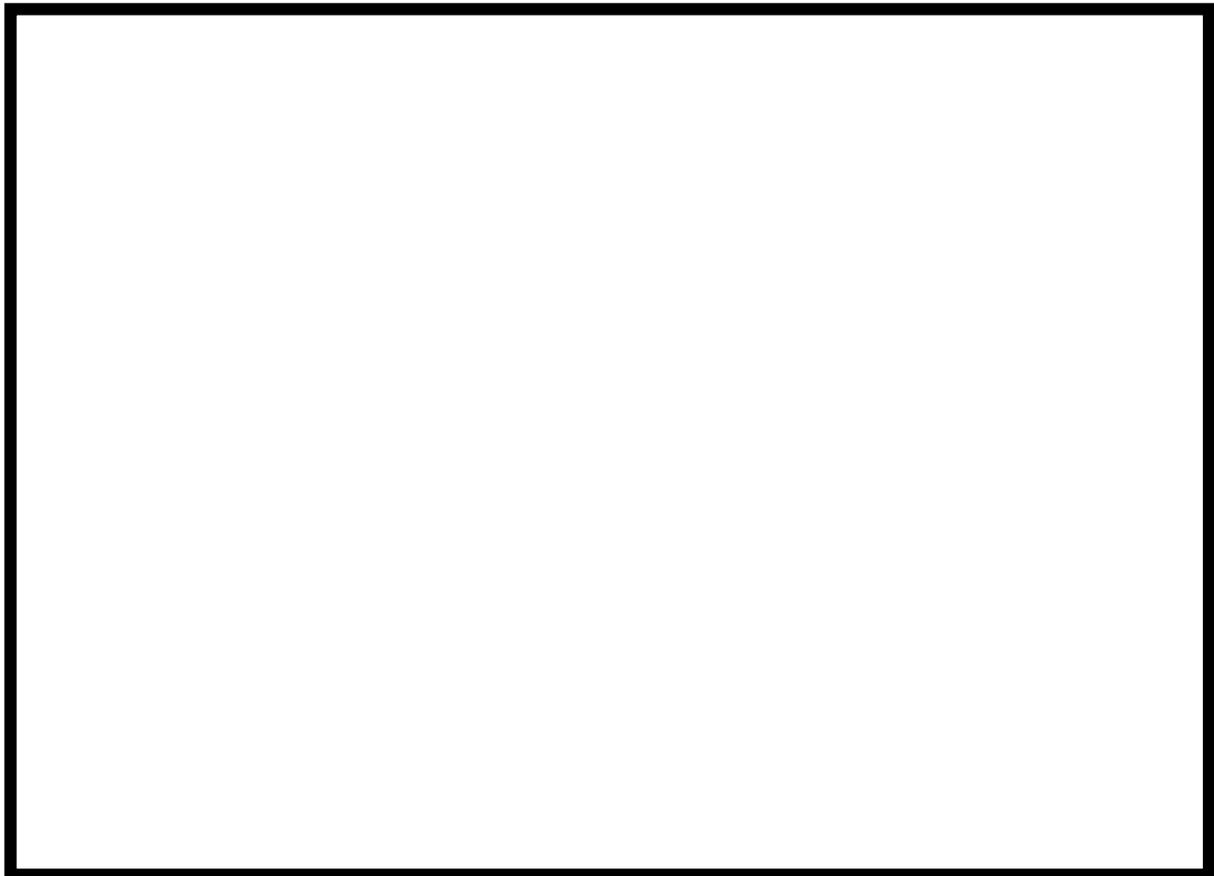
第2図 応力発生点①

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 表 評価結果一覧表②

	部位名称	X (MPa)	Y (MPa)	Z (MPa)	M (MPa)	合計 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	判定	
1	入口サポート	引張	7	-	-	-	8	162	20.2	○
2		せん断	-	5	3	-	9	93	10.3	○
3	スクラバ配管サポート H鋼	曲げ	-	-	-	39	39	220	5.6	○
4		引張	2	-	-	-	2	162	81.0	○
5	スクラバ配管サポート C鋼	せん断	-	3	0	-	3	93	31.0	○
6		曲げ	-	-	-	22	23	220	9.5	○
7	スクラバ配管サポート 支持柱	引張	1	-	-	-	2	162	81.0	○
8		せん断	-	7	0	-	7	93	13.2	○
9	スクラバ配管サポート 支持柱	曲げ	-	-	-	42	42	220	5.2	○
10		引張	5	-	-	-	6	162	27.0	○
11	スクラバ配管サポート 支持柱	せん断	-	2	2	-	5	93	18.6	○
12		曲げ	-	-	-	5	6	220	36.6	○

※発生応力の X, Y, Z, M は小数点以下第 1 位で四捨五入, 発生応力の合計は小数点以下第 1 位で切上げ, 許容値は小終点以下第 1 位で切捨て, 裕度は小数点以下第 2 位で切捨てを実施している。なお, これらはすべての評価が完了後に実施している。



第 3 図 応力発生点②

第4表 FINAS の原子力産業における使用実績

No	企業	使用ツール	概要	備考
1	JNES	FINAS	BWR 炉内構造物耐震実証試験体解析	https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/atom-library/seika/000007949.pdf
2	JNES	FINAS	もんじゅ IHX ベローズの弾塑性大変形クリープ解析	https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000126973.pdf
3	JAEA	FINAS	もんじゅ 炉心構成要素の群振動解析	http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/107/4/2/014/14-3-5.pdf
4	JAEA	FINAS	もんじゅ 原子炉容器及び炉内構造物の鉛直方向振動解析	http://www.atom.pref.fukui.jp/senmon/dai58kai/no1-3.pdf
5	JAEA	FINAS Ver.18	再処理施設 ラグ支持貯槽の地震動による時刻歴応答解析	http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Technology-2011-006.pdf
6	PNC	FINAS Ver.10	FBR 原子炉容器モデルのスロッシング解析	http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/PNC-TN9410-87-125.pdf
7	JANTI SANE 委員会	FINAS Ver.18	柏崎刈羽原子力発電所 No.3 ろ過水タンクおよび7号機軽油タンクの地震動による時刻歴応答解析	http://www.gengikyo.jp/archive/pdf/JANTI-SANE-02.pdf
8	東京電力	FINAS Ver.20.1	福島第一 汚染水処理設備 円筒型タンク(1000m ³ 容量)の基準地震動S _s に対する耐震性評価	http://www.tepco.co.jp/cc/prests/betu14/j/images/140409j0103.pdf
9	九州電力	FINAS	川内原子力発電所2号機 燃料取替用水タンクおよび復水タンクの耐震バックチェック評価	https://www.nsr.go.jp/archive/nisa/stresstest/files/kaitou15-4.pdf
10	三菱原子燃料 関西電力	FINAS	大飯発電所第1,2号機 燃料体の強度計算に用いる炉心支持構造物の地震応答解析(基準地震動S _s)	http://www.nsr.go.jp/data/000031724.pdf
11	三菱重工	FINAS	FBR 実用化炉 ポンプ組込型 IHX の振動解析	https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/434/434045.pdf
12	海洋技術安全 研究所	FINAS	原子力プラント機器の高経年化と熱流動挙動に関する研究 流路内円管列の流力弾性振動解析	https://www.nmri.go.jp/main/publications/paper/pdf/21/05/02/PNM21050201-00.pdf
13	原子力発電環 境整備機構	FINAS Ver.12	最終処分施設の処分場の設計 廃棄体定置後のニアフィールドにおける温度解析	https://www.numo.or.jp/approach/technical_report/tr0401pdf/TR0401-04c4.pdf

別紙 1 5 よう素フィルタからの放射性物質の再浮遊について

■ 放射線照射による再浮遊

よう素フィルタの銀ゼオライトに捕捉されたよう素は、捕捉した放射性核種による放射線の照射を受ける。ここで、一旦銀ゼオライトに捕獲されたよう素が放射線照射下において安定的に保持できるのかを確認するため、有機よう素を吸着した銀ゼオライトに対して放射線を照射したものと、放射線を照射していないものとを比較し、放射線照射によるよう素の離脱の有無の確認を行った。

まず、よう素フィルタの銀ゼオライトが吸収する放射線量について、以下の第 1 表の条件にて評価を行った。

第 1 表 銀ゼオライト吸収放射線量評価条件

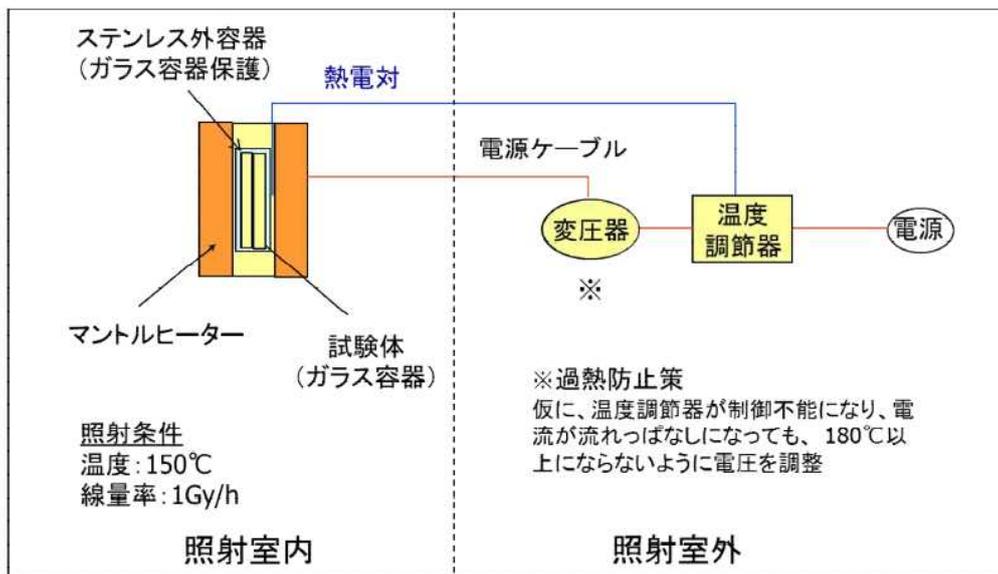
項目	条件
対象プラント	・ ABWR
事故シナリオ	・ シナリオレス（圧力容器から格納容器内に CsI が 100% 放出すると想定）
格納容器 pH 制御	・ 格納容器の pH 制御は無し
ベントタイミング	・ 出力停止後 1 時間後（線量を保守的に算定するための仮定）
対象線源	・ よう素フィルタに蓄積したよう素（有機よう素、無機よう素）及びよう素が崩壊して生成したキセノン。放射線としてはガンマ線及びベータ線を考慮
格納容器外への放出割合	・ 有機よう素 = 0.04, 無機ヨウ素 = 0.91 × 0.5（格納容器への沈着） × 0.01（スプレイによる除去） × 0.1（S/C での除去） ・ D/W ベントの場合も、無機ヨウ素は少なくとも一度は S/C スクラビングを受けるものと考えられるため、S/C での除去も考慮する
フィルタ装置の DF	・ 無機よう素, 有機よう素 = 1（除去されない）
よう素フィルタの DF	・ 無機ヨウ素, 有機よう素 = ∞（全て除去される）
線源分布	・ よう素フィルタの吸着材全体に均一に吸着されると想定
評価時間	・ 10 万時間（積算値がほぼ変化しなくなるまでの時間）
評価方針	・ ORIGEN2 コードにてよう素フィルタに蓄積したよう素, キセノンの放出エネルギー（崩壊熱）の時間変化を評価し、この放出エネルギーが全量よう素フィルタに充填される銀ゼオライト全量で 100% 吸収されたとして、吸収線量を評価（系外への漏えい無し）

第 1 表の条件にて、よう素フィルタに充填される銀ゼオライトに吸収される累積放射線量を評価したところ、銀ゼオライト 1g 当たり 20kGy との結果となった。

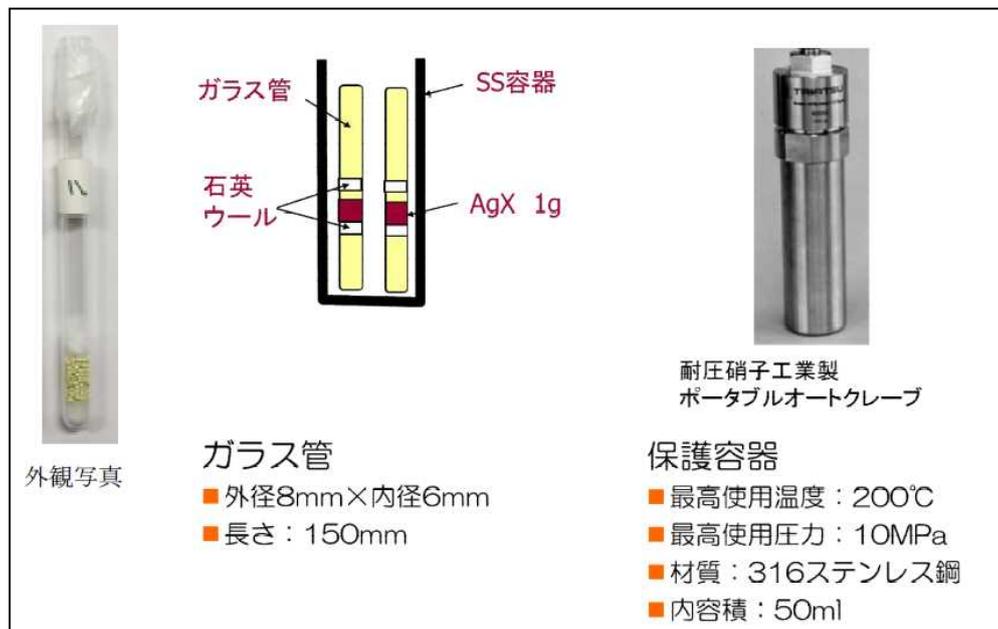
上記の評価結果を踏まえ、第 2 表の条件にて銀ゼオライトの放射線照射試験を実施した。また、試験設備の概略構成図を第 1 図に示す。

第2表 銀ゼオライト放射線照射試験条件

項目	条件
供試体	<ul style="list-style-type: none"> 有機ヨウ素吸着済みの銀ゼオライト (1 サンプル 1 g) 有機ヨウ素を性能破過するまで吸着した
照射線量	<ul style="list-style-type: none"> 累積照射線量: 4.1kGy, 18.9kGy, 28.4kGy 照射線量率: 1.02Gy/h, 1.05Gy/h, 1.08Gy/h
試験温度	<ul style="list-style-type: none"> 150℃
分析装置	<ul style="list-style-type: none"> SEM/EDX



第1図 試験設備概略構成図



第2図 試験サンプル, 保護容器



第3図 放射線照射設備

第2表の条件にて、有機よう素吸着済みの銀ゼオライトに放射線を照射したものと、放射線を照射していないものに対して成分分析を実施したところ、第3表の通りとなった。また、放射線照射量とよう素・銀の濃度比の関係は第4図の通りとなった。これらの結果より、放射線照射の有無、累積放射線量の大きさに関わらず、よう素と銀の濃度比はほぼ一定であった。そのため、放射線照射により、銀ゼオライトに捕捉されたよう素の再揮発は生じないと考えられる。

第3表 成分分析結果

--

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。

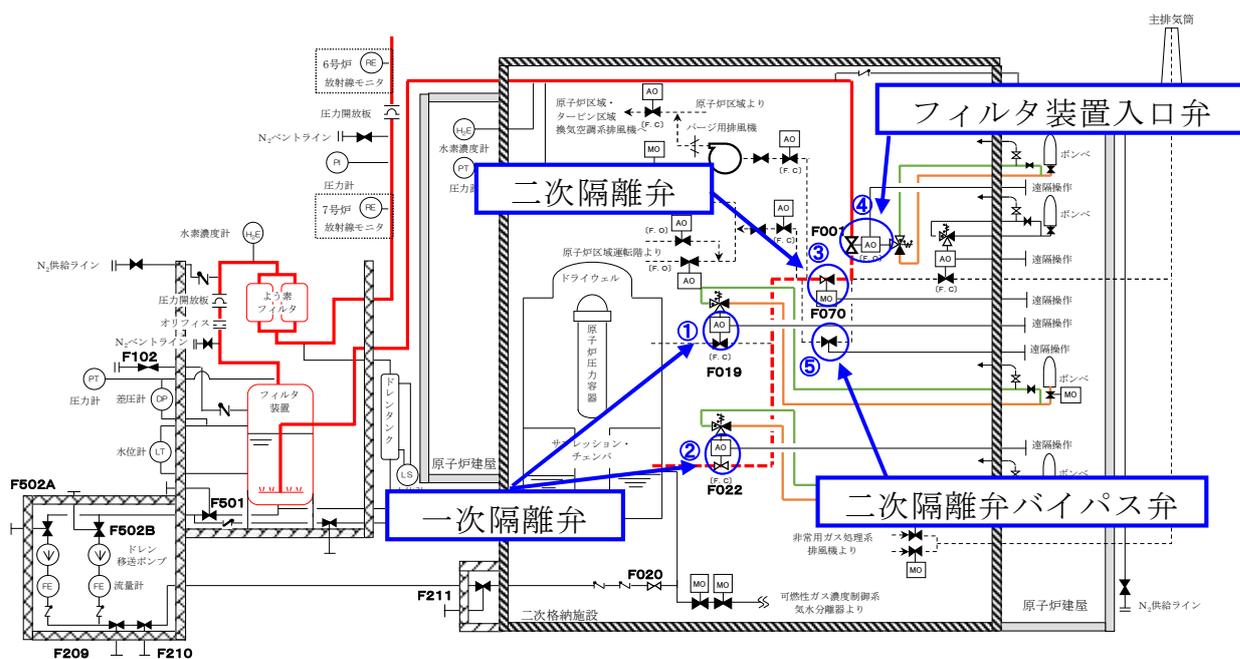


第4図 累積放射線量とよう素・銀濃度比の関係

別紙 1 6 格納容器圧力逃がし装置の弁選定の考え方

格納容器圧力逃がし装置を使用するためには、第 1 図に示す通り、一次隔離弁、二次隔離弁、フィルタ装置入口弁の合計 3 つの弁が「開」となる必要がある。一次隔離弁とフィルタ装置入口弁には空気駆動弁 (AO 弁)、二次隔離弁には電動駆動弁 (MO 弁) を選定している。それぞれの弁の駆動方式・弁の状態 (NC (通常状態「閉」; Normal Close), NO (通常時「開」; Normal Open), FC (電源喪失時「閉」; Failure Close), FO (電源喪失時「開」; Failure Open)) 及び採用理由について第 1 表に示す。

一方、二次隔離弁については、単一故障により格納容器圧力逃がし装置、ならびに耐圧強化ベントともに機能を喪失し、格納容器ベントが実施できなくなる。そのため、格納容器減圧機能の信頼性を向上されるため、二次隔離弁をバイパスする二次隔離弁バイパス弁を設置する。なお、二次隔離弁バイパス弁は手動駆動弁 (HO 弁) とする。



第 1 図 格納容器圧力逃がし装置系統概要と主要弁

第1表 格納容器圧力逃がし装置 弁選定理由

No.	弁名称	駆動方式 弁の状態		選定理由
① ②	格納容器一次隔離弁 (ドライウエル側, サプレ ッション・チェンバ側)	空気 駆動	NC FC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 格納容器隔離機能の信頼性を高めるためには、FC 動作の空気駆動弁が望ましいこと ■ 全開・全閉の運用であること ■ 苛酷事故時の作業員の弁操作に関する労力の低減を図ること (弁駆動空気系の改造により、全電源が喪失した状態においても、二次格納施設外よりポンベの空気を弁駆動部へ供給することにより開操作が可能。労力が非常に小さい) ■ エクステンションにより、二次格納施設外からの人力操作も可能であること
③	格納容器二次隔離弁	電動 駆動	NC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 開度調整が必要であること ■ エクステンションにより、二次格納施設外からの人力操作が可能であること
④	フィルタ装置入口弁	空気 駆動	NO FO	<ul style="list-style-type: none"> ■ 格納容器圧力逃がし装置の機能信頼性を高めるためには、FO 動作の空気駆動弁が望ましいこと ■ 全開・全閉の運用であること ■ 苛酷事故時の作業員の弁操作に関する労力の低減を図ること (弁駆動空気系の改造により、全電源が喪失した状態においても、二次格納施設外よりポンベの空気を弁駆動部へ供給することにより閉操作が可能。労力が非常に小さい) ■ エクステンションにより、二次格納施設外からの人力操作が可能であること
⑤	二次隔離弁バイパス弁	手動 駆動	NC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 開度調整が必要であること ■ 駆動部の構造が非常にシンプルであり、信頼性が高いこと ■ エクステンションにより、二次格納施設外からの人力操作が可能であること

別紙 1 7 格納容器圧力逃がし装置と他系統との隔離

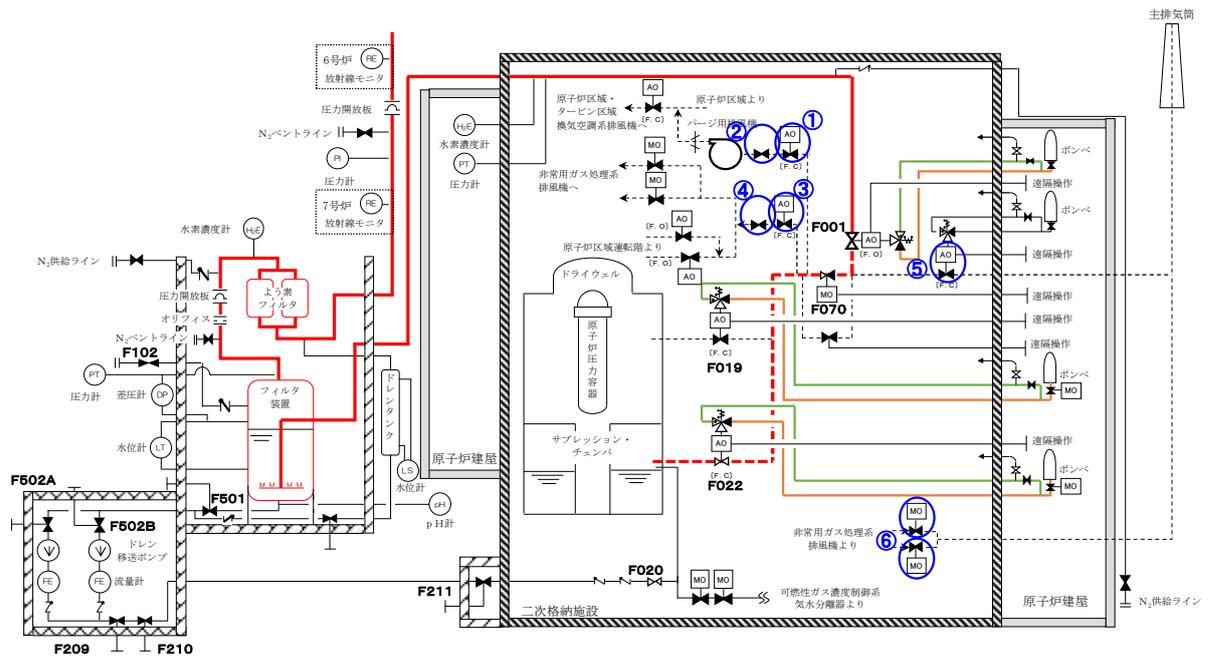
格納容器圧力逃がし装置は、既設の不活性ガス系と耐圧強化ベントのラインよりフィルタ装置にベントガスを導くが、他の系統・機器とは弁で隔離することで、他の系統や機器への悪影響を防止する設計としている。それぞれの系統における隔離弁の駆動方式等を第 1 表に整理する。各弁の構成については、第 1 図に示す。

第 1 表 格納容器圧力逃がし装置に接続している他の系統の隔離弁

系統名称	系統の隔離弁				採用理由
	一次隔離弁		二次隔離弁		
換気空調系 ①②	空気 駆動	NC FC	手動 駆動	NC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FC の空気駆動弁が採用されている。 ■ 新設手動駆動弁（二次隔離弁） 格納容器圧力逃がし装置から換気空調系の隔離を確実にする観点から、手動駆動弁を新設する。
非常用ガス処理系 ③④	空気 駆動	NC FC	手動 駆動	NC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FC の空気駆動弁が採用されている。 ■ 新設手動駆動弁（二次隔離弁） 格納容器圧力逃がし装置から非常用ガス処理系の隔離を確実にする観点から、手動駆動弁を新設する。
耐圧強化ベント ⑤⑥	空気 駆動	NC FC	電動 駆動	NC	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FC の空気駆動弁が採用されている。 ■ 既設電動駆動弁（二次隔離弁） 開度調整が可能な電動駆動弁が採用されている。

①～⑥のいずれの弁も、系統作動時の圧損を減らすよう考慮してバタフライ弁としており、弁座シール材には EP ゴムを用いている。

弁座シール材に EP ゴムを用いたバタフライ弁においては、格納容器一次隔離弁が晒される環境を模した条件にてシール機能確認試験を実施しており、閉じこめ機能は確保可能であることを確認している。（小型弁試験装置により、EP ゴム弁座シールのバタフライ弁を 0.3MGy の累積放射線量を照射し、PCV 設計圧力の 2 倍の圧力・200℃の蒸気暴露環境に 168 時間晒した状態において、シール機能の健全性を確認する試験を実施）



第1図 格納容器圧力逃がし装置系統概要と他系統隔離弁

別紙 1 8 圧損計算の詳細

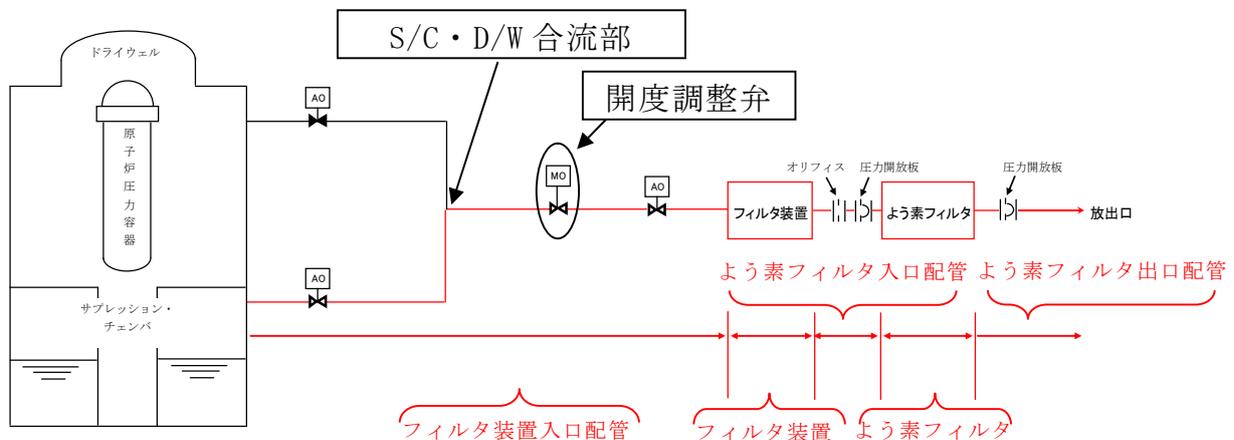
1 格納容器圧力毎の圧力損失

1.1 圧力損失・流量の評価

格納容器圧力逃がし装置を流れるガスの流量は、格納容器の圧力に依存し変化する。格納容器圧力逃がし装置使用時、格納容器圧力逃がし装置には格納容器内にて発生する水蒸気量に応じた流量のガスを通気し、格納容器圧力はその流量に応じた圧力にて静定する。

格納容器圧力が 2Pd (620kPa [gage]), 1Pd (310kPa [gage]) の際のガスの流量、各部の圧力損失、ならびに事故発生 1 週間後および 1 ヶ月後に発生する水蒸気量を通気する際の格納容器圧力、各部の圧力損失を第 1.1-1, 2 表に示す。なお、二次隔離弁 (MO 弁) については、ベント時は中間開度にて運用することとしている。そのため、二次隔離弁の開度の影響についても考慮することとする。また、各部の圧力勾配について、第 1.1-2, 3 図に示す。

なお、これらについては S/C を用いたベントの場合の評価であるが、D/W を用いた場合のベントにおいても、ほぼ同じ評価結果となる。(S/C 取出口～S/C・D/W 合流部と D/W 取出口～S/C・D/W 合流部の配管口径は同一であり、ルート長さに大きな違いはないため)



第 1.1-1 図 格納容器圧力逃がし装置 主ライン概略構成図

第 1.1-1 表 (6号炉) 格納容器圧力に対するガス流量と各部圧力損失

格納容器圧力 (kPa[gage])	二次 隔離弁開 度	ガス流量 (kg/s)	各部圧力損失 (kPa)				
			フィルタ装 置入口配管	フィルタ 装置	よう素 フィルタ 入口配管	よう素 フィルタ	よう素 フィルタ 出口配管

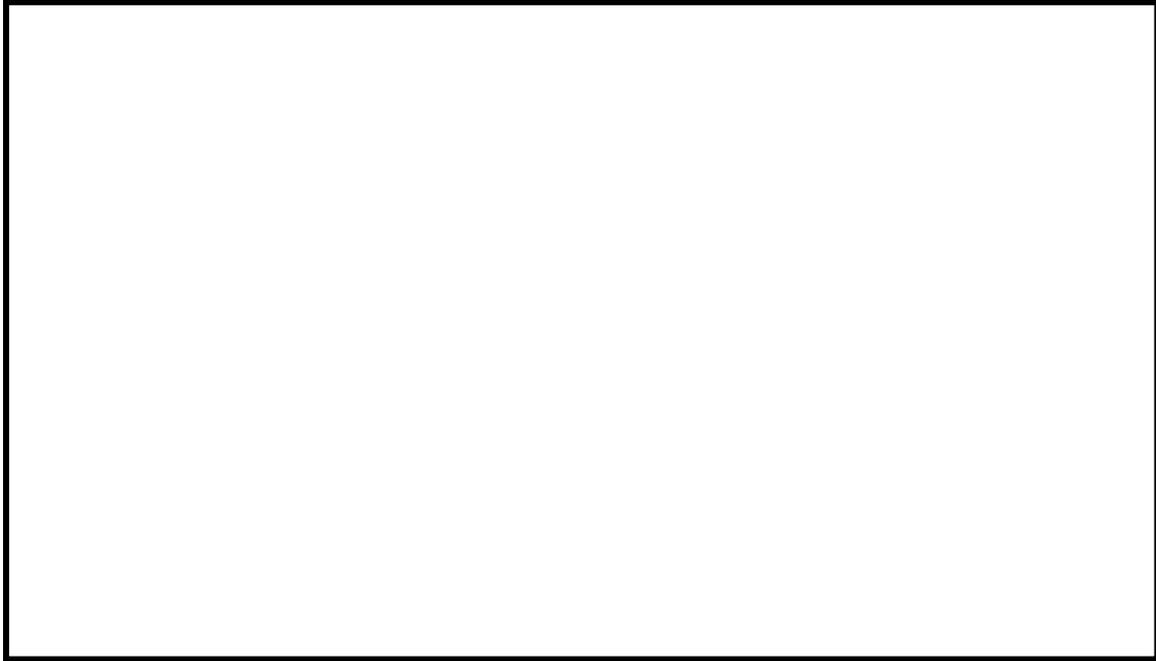
第 1.1-2 表 (7号炉) 格納容器圧力に対するガス流量と各部圧力損失

格納容器圧力 (kPa[gage])	二次 隔離弁 開度	ガス流量 (kg/s)	各部圧力損失 (kPa)				
			フィルタ装 置入口配管	フィルタ 装置	よう素 フィルタ 入口配管	よう素 フィルタ	よう素 フィルタ 出口配管

※ 1, 2 フィルタ装置, よう素フィルタの圧力損失については, 最大流量時に想定される圧力損失値を, 保守的に全評価ケースに適用

※ 3 事故発生 1 週間後に格納容器内にて発生する蒸気量

※ 4 事故発生 1 ヶ月後に格納容器内にて発生する蒸気量



第 1.1-2 図 (6号炉) 格納容器圧力逃がし装置 各部圧力勾配



第 1.1-3 図 (7号炉) 格納容器圧力逃がし装置 各部圧力勾配

第 1.1-1, 2 表に示す通り, フィルタ装置, よう素フィルタに非常に保守的な圧力損失を見込んだとしても, 事故発生 1 週間後, 1 ヶ月後に格納容器内において発生する蒸気全量を通気し, 格納容器の減圧状態を維持することが可能である。

なお, 格納容器圧力逃がし装置の系統における各部圧力損失のうち, ガスの流量に関連しないものは水スクラバ部の水頭圧のみである。それ以外のものは,

ガス流量が小さいほど圧力損失も小さくなる（ガス流量が0であれば、圧力損失も0となる）。そのため、格納容器の圧力がスクラバ水の水頭圧以上であれば、格納容器圧力逃がし装置のガスの通気は可能である。

1.2 フィルタ装置，よう素フィルタの圧力損失

【フィルタ装置】

1.1 の評価において、フィルタ装置の圧力損失としては、スクラバ部圧力損失、スクラバ水頭圧、金属フィルタ圧力損失を考慮している。水スクラバ部については最大流量時の圧力損失 [] スクラバ水頭圧については設計上の許容最大スクラバ水位時における水頭圧 []、金属フィルタ部については設計上の許容最大圧力損失 [] を考慮している。

水スクラバ部ならびに金属フィルタ部については、流量が低下すれば圧力損失も低下するが、1.1 では保守的に最大流量時の圧力損失に固定して評価を実施している。また、金属フィルタ部の圧力損失は、想定されるエアロゾル負荷量（大LOCA+全ECCS機能喪失+SB0，S/Cベント時のエアロゾル負荷量）に対して十分な裕度を持った設計としており、最大流量時においても許容最大圧力損失 [] には到達しないことを確認している。

なお、各圧力損失値の評価には、実機のスクラバ、金属フィルタを用いた当社FV試験設備にて取得した圧力損失データを用いている。

【よう素フィルタ】

1.1 の評価において、よう素フィルタの圧力損失としては、吸着塔の圧力損失を考慮しており、最大流量時の圧力損失 [] を考慮している。吸着塔の圧力損失は、流量が低下すれば圧力損失も低下するが、ここでは保守的に最大流量時の圧力損失に固定して評価を実施している。

なお、圧力損失値の評価には、実機の吸着塔を用いた当社のように素フィルタ試験設備にて取得した圧力損失データを用いている。

2 設計の意図

格納容器圧力逃がし装置の系統設計の意図は、格納容器圧力が 2Pd (620kPa [gage]) の際に、31.6kg/s の蒸気を排出可能であることである。（格納容器減圧という目的に対して、十分な容量を持つこと）

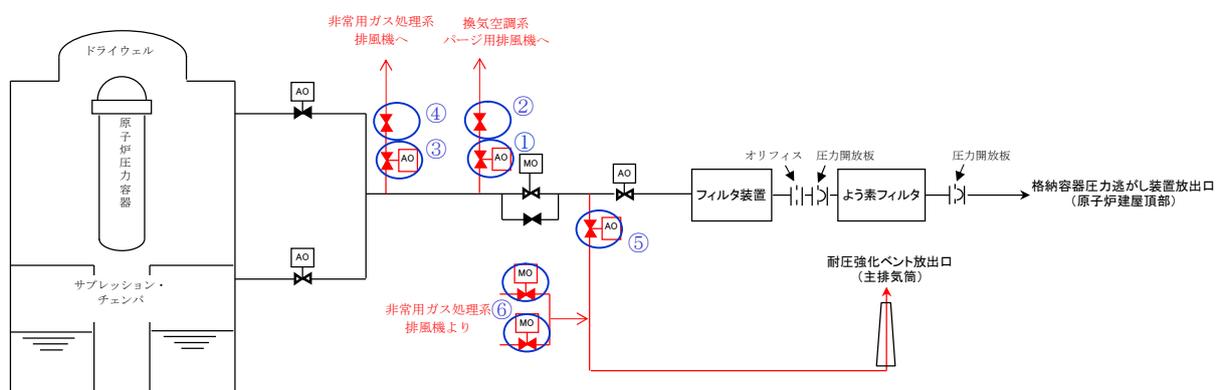
系統設計としては、これを満足するよう、配管ルート、配管口径、オリフィス径等の設定をしている。

フィルタ装置，よう素フィルタについては、この系統設計により評価されるガス条件において性能が満足できるよう、設計している。

別紙 1 9 格納容器圧力逃がし装置と他系統との隔離について

1 他系統の接続位置

格納容器圧力逃がし装置には、排気経路に非常用ガス処理系、換気空調系ならびに耐圧強化ベント系が接続されている。非常用ガス処理系と換気空調系との接続箇所は、第 1 図に示す通り一次隔離弁と二次隔離弁の間となっている。また、耐圧強化ベント系は二次隔離弁とフィルタ装置入口弁との間に接続され、耐圧強化ベント系には非常用ガス処理系が接続されている。また、格納容器圧力逃がし装置とそれぞれの系統を隔離する弁は各 2 弁ずつ設置し、格納容器圧力逃がし装置使用中に、格納容器圧力逃がし装置と確実に隔離できるようにし、ベントガスに含まれる水素が原子炉建屋に回り込むことを防止する設計としている。



第 1 図 格納容器圧力逃がし装置 接続他系統概略構成図

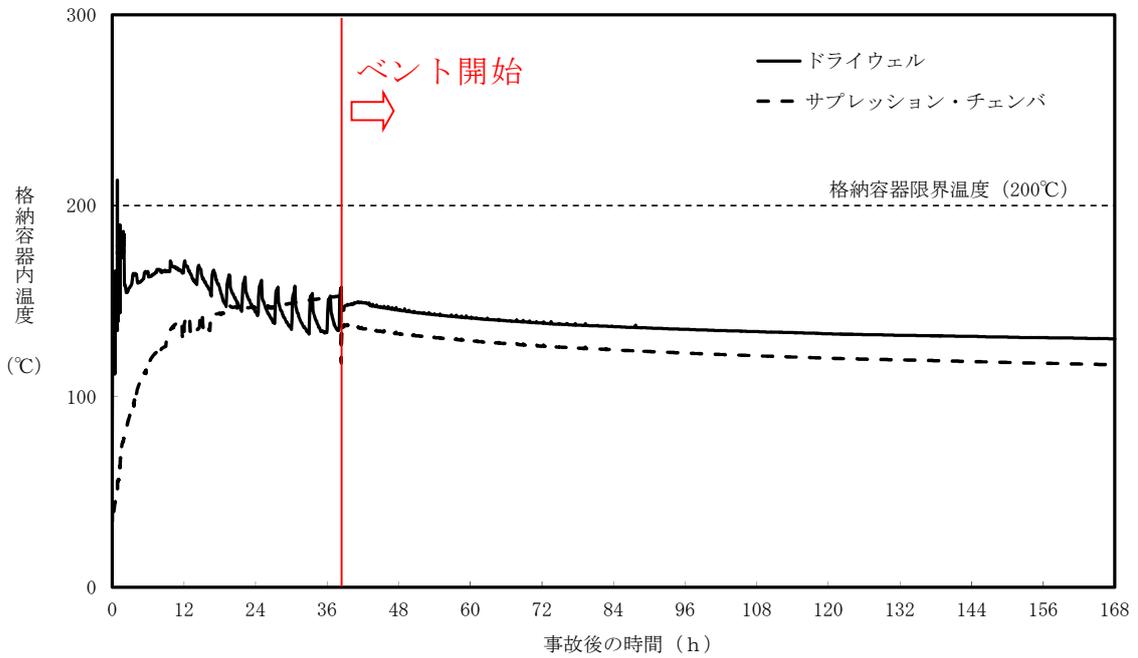
2 格納容器圧力逃がし装置運用時に他系統隔離弁が受ける負荷

炉心損傷後に格納容器圧力逃がし装置を運用する場合、まず二次隔離弁を「調整開」とし、次に一次隔離弁を「開」とすることで、格納容器ベントを開始する。そのため、格納容器圧力逃がし装置に接続される非常用ガス処理系、換気空調系、ならびに耐圧強化ベント系と格納容器圧力逃がし装置を隔離している弁は、一次隔離弁を「開」操作し、格納容器ベントを開始するタイミングで、ベントガスと接することとなる。

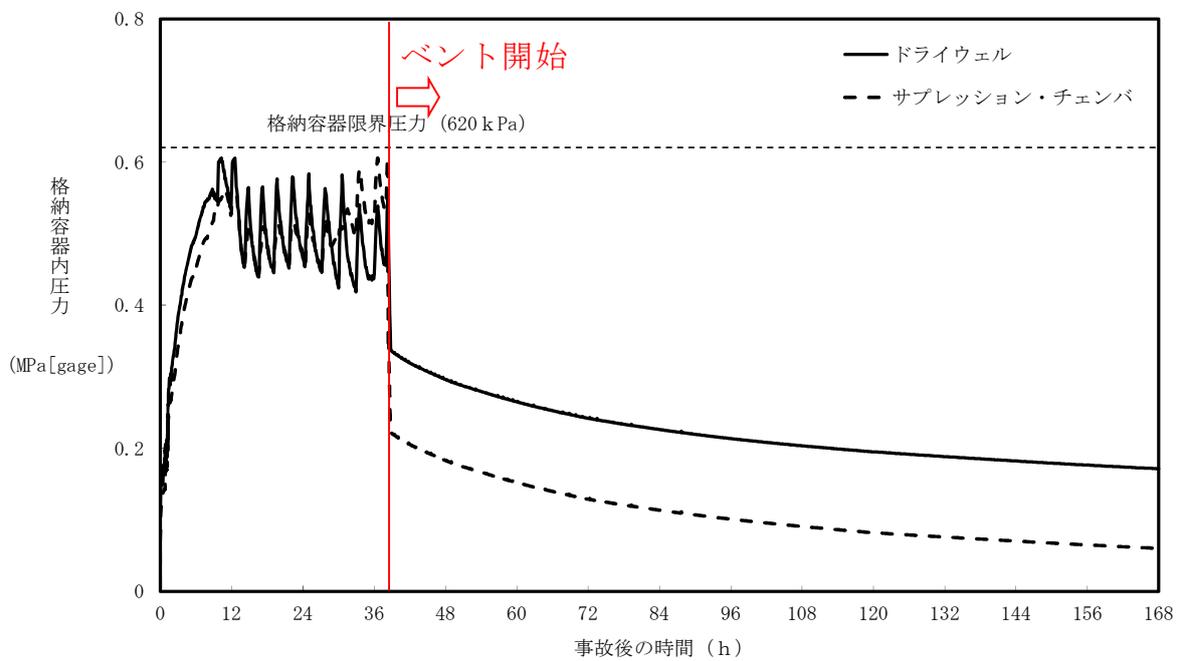
ここで、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離している弁の部分におけるベントガスの温度・圧力は、格納容器から当該弁までの配管部におけるエネルギー損失により、格納容器の温度・圧力よりも小さな値となる。大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失シナリオにおける格納容器の温度・圧力の推移は第 2, 3 図の通りとなる。

第 2 図より、格納容器の温度はベント開始後 200℃以下となる。そのため、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離している弁が晒される温度も 200℃以下となる。また、第 3 図より、格納容器の圧力はベント開始直前に PCV の設計圧力の 2 倍となるが、ベント開始後は即座に圧力が低下している。そのため、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離している弁が晒される圧力も PCV の設計圧力の 2

倍以下となる。



第 2 図 格納容器温度推移 (大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオ)



第 3 図 格納容器圧力推移 (大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオ)

一方、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離する弁は、全て弁シール材に EP ゴムを用いたバタフライ弁としている。EP ゴムシール材のバタフライ弁については、200℃・PCV 設計圧力の 2 倍の圧力に晒した状態において、シール機能を確保可能であることを確認している。そのため、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離する弁のシール機能は確保可能である。また、シール機能をより強化するため、各弁のシール材をより耐環境性に優れた改良 EPDM へ変更する。

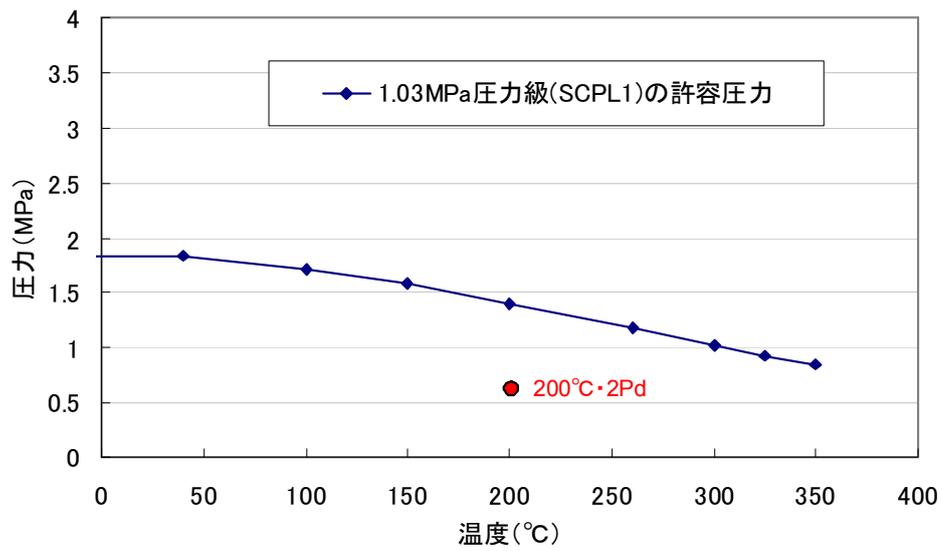
格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離する弁の駆動方式、状態、圧力クラス、採用理由について第 1 表にまとめる。第 1 表に記載の通り、格納容器圧力逃がし装置から他系統を隔離する 1 つめの弁（一次隔離弁）については、事故時に確実に「閉」動作するよう、Failure Close の空気駆動弁を採用している。

また、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離する弁は、全て圧力クラスを 150LB としており、第 4 図に示す通り 200℃・PCV 設計圧力の 2 倍の圧力は、許容圧力を下回る。そのため、200℃・PCV 設計圧力の 2 倍の圧力に対して、耐圧部の強度に問題はない。

以上より、格納容器圧力逃がし装置と他系統を隔離する弁は、晒される環境条件に対して、隔離機能を有すると考える。

第1表 格納容器圧力逃がし装置に接続している他の系統の隔離弁

系統名称	一次隔離弁			二次隔離弁			採用理由
	駆動方式 状態		圧力 クラス [LB]	駆動方式 状態		圧力 クラス [LB]	
換気空調系 ①②	空気 駆動	NC FC	150	手動 駆動	NC	150	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FCの空気駆動弁が採用されている。 ■ 新設手動駆動弁（二次隔離弁） 格納容器圧力逃がし装置から換気空調系の隔離を確実にする観点から、通常時「閉」の手動駆動弁を新設する。
非常用ガス 処理系 ③④	空気 駆動	NC FC	150	手動 駆動	NC	150	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FCの空気駆動弁が採用されている。 ■ 新設手動駆動弁（二次隔離弁） 格納容器圧力逃がし装置から非常用ガス処理系の隔離を確実にする観点から、通常時「閉」の手動駆動弁を新設する。
耐圧強化 ベント系 ⑤⑥	空気 駆動	NC FC	150	電動 駆動	NC	150	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新設空気駆動弁（一次隔離弁） 系統の隔離機能が要求される観点から、FCの空気駆動弁が採用されている。 ■ 既設電動駆動弁（二次隔離弁） 開度調整が可能な電動駆動弁が採用されている。



第4図 150LB級バタフライ弁の設計上の許容圧力確認結果
 (出展：JSME設計・建設規格2005年版/2007追補版)

3. 分岐点から他系統隔離弁までの位置関係及び水素滞留について

6号炉及び7号炉について、格納容器圧力逃がし装置と接続される他系統との隔離弁までの配管口径及び容積等を第2表、系統図を第5図、鳥瞰図を第6図及び第7図に示す。

ベント時において、これら他系統と隔離弁までの閉止空間における水素滞留の評価を「BWR配管における混合ガス（水素・酸素）蓄積防止に関するガイドライン（第3版）」に基づき実施した。

評価の結果、6号炉の換気空調系の隔離弁までの配管、及び耐圧強化ベント系への二次隔離弁及び二次隔離弁バイパス弁までの配管、及び7号炉の耐圧強化ベント系への二次隔離弁バイパス弁までの配管については、水平枝管であり閉止端までの長さが短いため、水素が蓄積することはない。

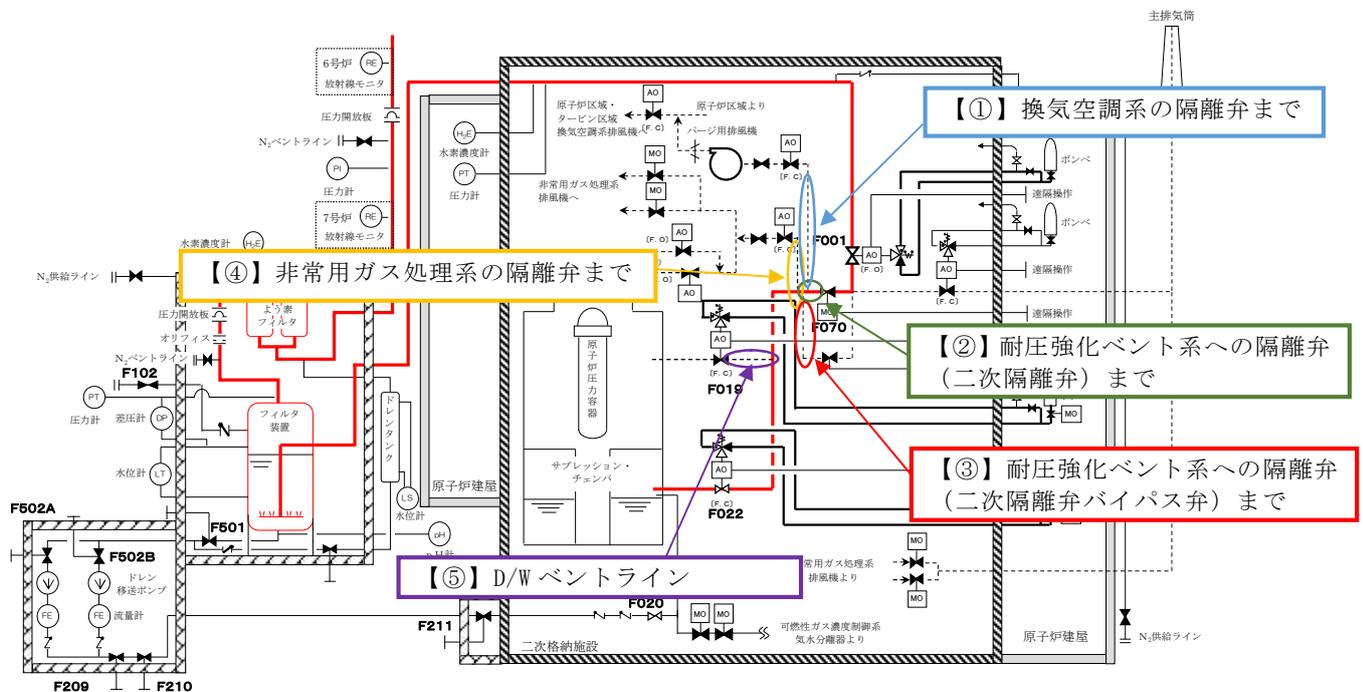
一方、6号炉及び7号炉の非常用ガス処理系の隔離弁までの配管、及び7号炉の耐圧強化ベント系への二次隔離弁までの配管については、水平及び上向きで分岐する組合せ枝管であり閉止端までの長さが長いため、水素が滞留する可能性がある。そのため、ベント時に水素を連続してベントの主ラインに排出させるベントラインを設置し、水素が蓄積することのない設計とする。

また、7号炉においては、W/Wベント時にD/W側一次隔離弁までの配管合流部において水素が滞留する可能性がある。そのため、W/Wベント時に水素を連続してベントの主ラインに排出させるベントラインを設置し、水素が蓄積することのない設計とする。一方で6号炉については、W/Wベント時においては配管合流部よりD/W側一次隔離弁、D/Wベント時においては配管合流部よりW/W側一次隔離弁までが水平枝管（下り勾配）であるため、水素が蓄積することはない。

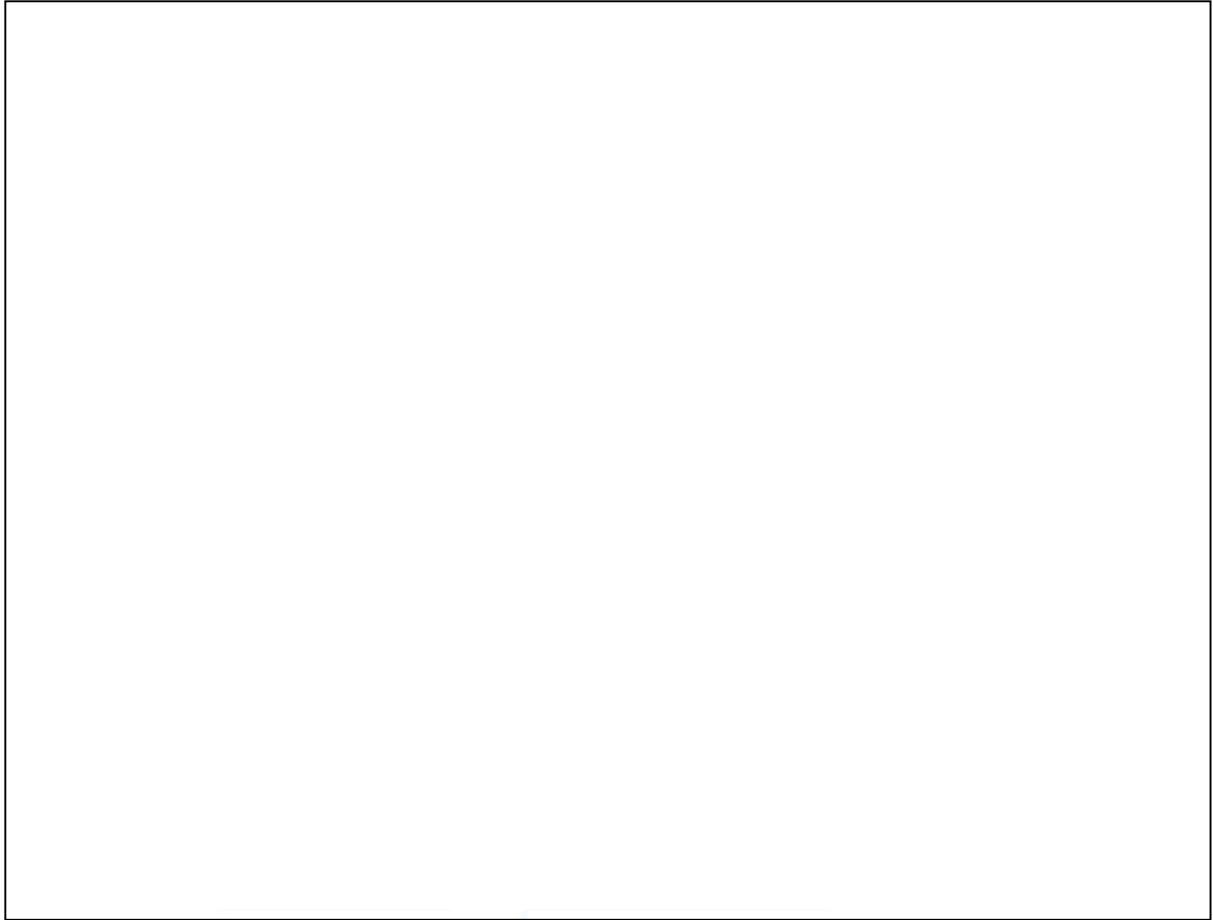
上記を踏まえて、水素滞留防止のために設置するベントラインの設置箇所を第8図～第10図に示す。

第2表 主ラインから他系統と隔離する弁までの配管口径及び容積等

号炉	No	系統	配管口径	配管長 (m)	容積 (m ³)	対応方針
6	①	換気空調系	550A	0.7	0.2	対策不要
	②	耐圧強化ベント系 (二次隔離弁)	550A	0.8	0.2	対策不要
	③	耐圧強化ベント系 (二次隔離弁バイパス弁)	550A	2.4	0.6	対策不要
	④	非常用ガス処理系	400A 250A	2.0 11.8	0.9	ベントライン設置
7	①	換気空調系	550A	1.3	0.3	ベントライン設置
	②	耐圧強化ベント系 (二次隔離弁)	550A	3.1	0.8	ベントライン設置
	③	耐圧強化ベント系 (二次隔離弁バイパス弁)	550A	1.1	0.3	対策不要
	④	非常用ガス処理系	250A	4.5	0.3	ベントライン設置
	⑤	D/W ベントライン	550A	9.7	2.3	ベントライン設置



第5図 主ラインから他系統と隔離する弁までの配管系統図



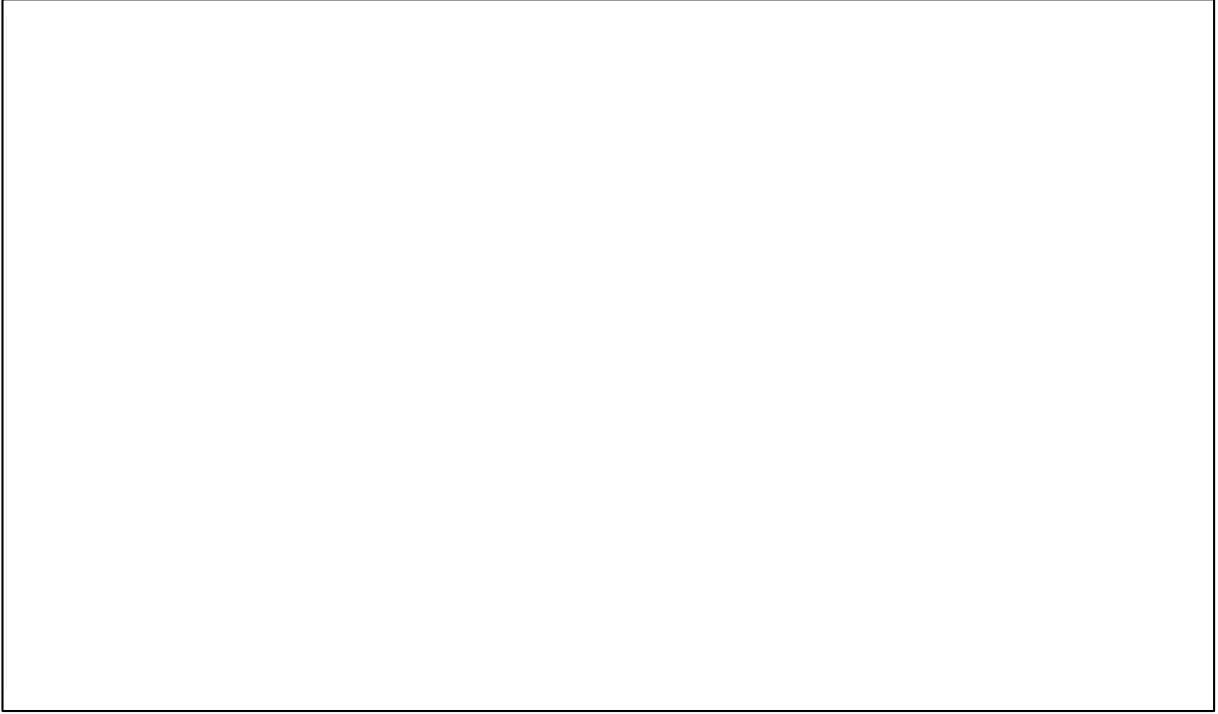
第 6 図 主ラインから他系統と隔離する弁までの配管鳥瞰図（6号炉）



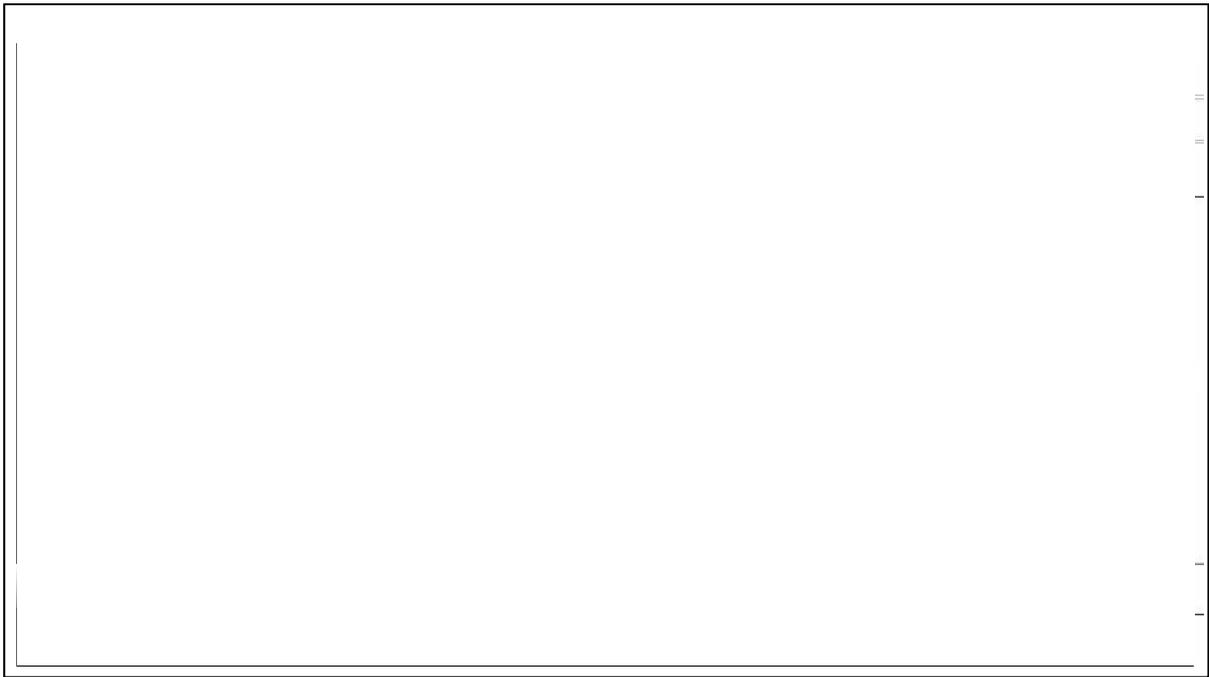
第 7 図 主ラインから他系統と隔離する弁までの配管鳥瞰図（7号炉）



第 8 図 非常用ガス処理系及び換気空調系までの配管隔離弁に対するバイパスラインの設置位置図（7号炉）



第 9 図 D/W ベントラインに対するベントラインの設置位置図（7号炉）



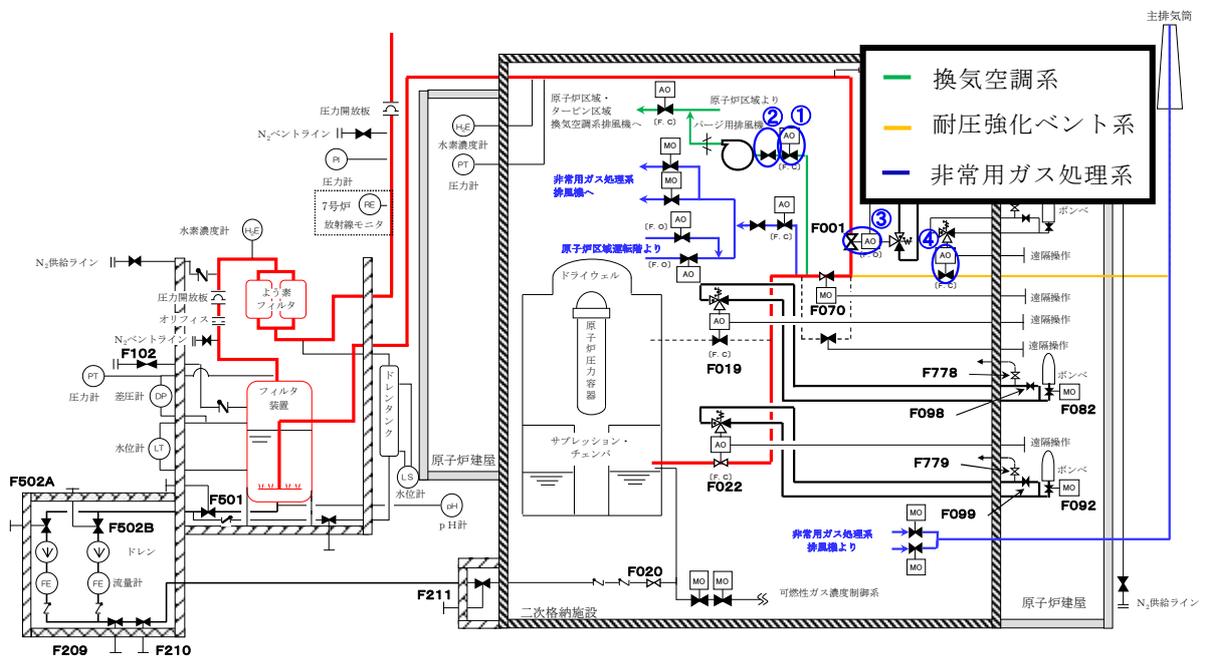
第 10 図 非常用ガス処理系までの配管隔離弁に対するベントラインの
設置位置図（6号炉）

4 格納容器圧力逃がし装置運用時における他系統使用との干渉

格納容器圧力逃がし装置と接続する系統は、換気空調系、耐圧強化ベント系、非常用ガス処理系がある。(第11図参照)

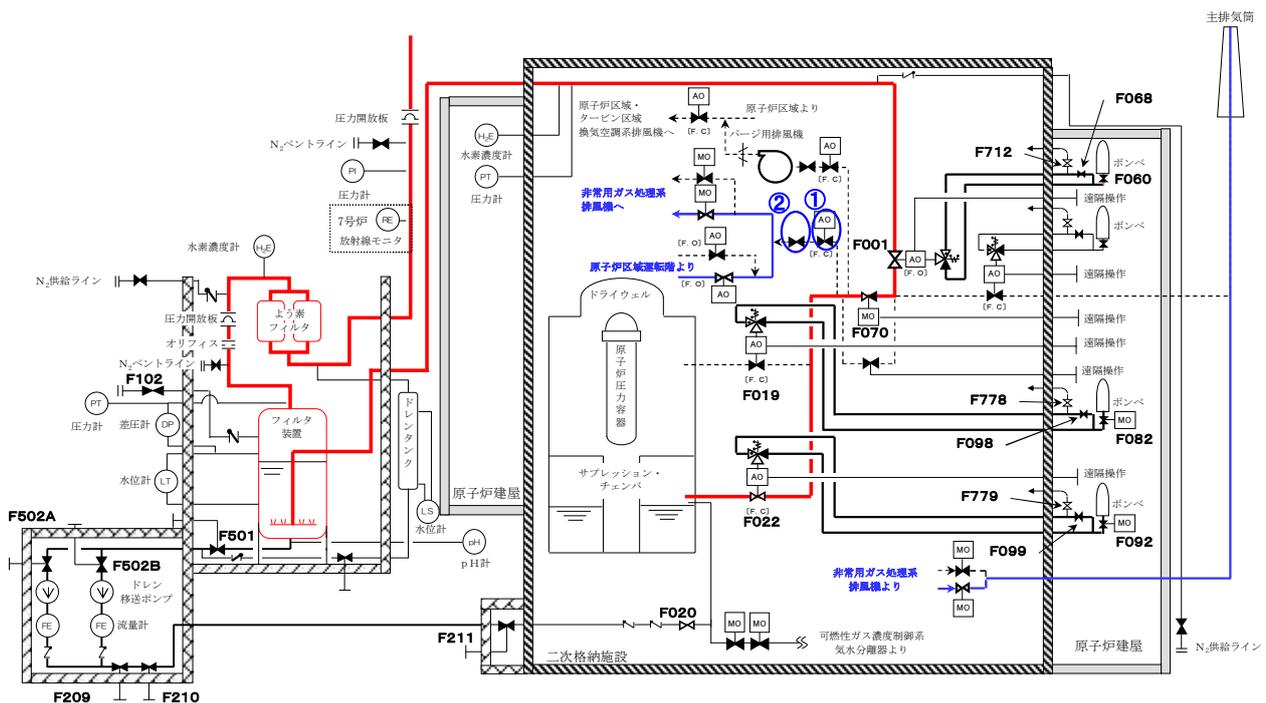
格納容器圧力逃がし装置に接続される換気空調系のラインは、通常時のプラント起動・停止時に格納容器内を窒素・空気に置換するためのものであり、事故時に格納容器圧力逃がし装置と同時に使用することはない。そのため、格納容器圧力逃がし装置使用時に、格納容器圧力逃がし装置と換気空調系を隔離する①②の弁が「閉」であっても問題はない。

格納容器圧力逃がし装置と耐圧強化ベント系は、③④の弁により使用する系統を選択することができる。また、格納容器圧力逃がし装置と耐圧強化ベント系は同時に使用することはない。



第11図 格納容器圧力逃がし装置系統概要と他系統隔離弁

格納容器圧力逃がし装置と非常用ガス処理系の使用時における系統構成を第12図に記載する。第12図に記載の通り、非常用ガス処理系使用時は原子炉区域運転階より原子炉建屋内のガスを吸気し、非常用ガス処理系排風機ならびにフィルタを通した後に主排気筒へ排気する。そのため、非常用ガス処理系使用時には、格納容器圧力逃がし装置に接続される非常用ガス処理系のラインは使用しない。よって、当該ラインに接続される①②弁については、非常用ガス処理系使用時において「閉」となっているにもかかわらず非常用ガス処理系の機能に影響を与えるものではない。



第12図 格納容器圧力逃がし装置，非常用ガス処理系使用時の系統構成

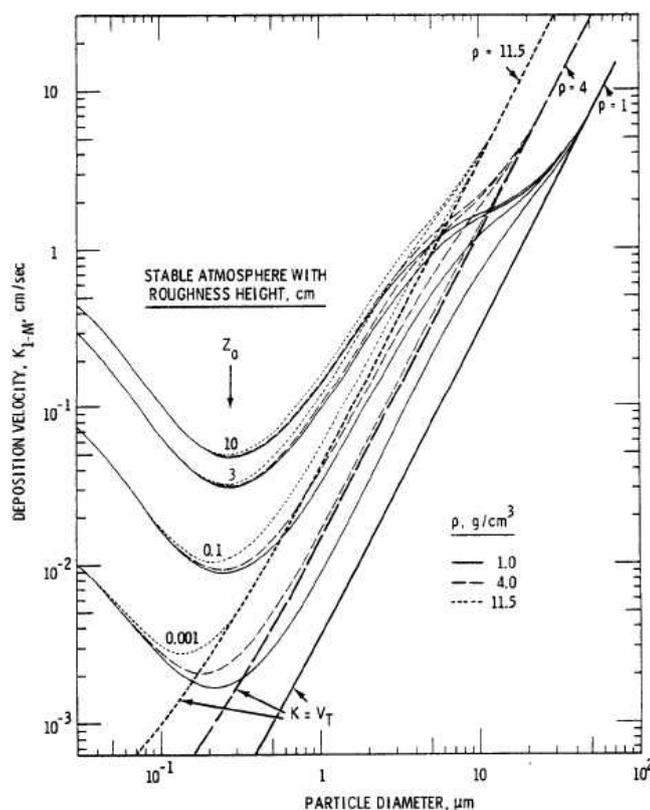
以上より、格納容器圧力逃がし装置と接続する換気空調系，耐圧強化ベント系，非常用ガス処理系は，格納容器圧力逃がし装置と接続していることで，その系統の機能に影響を与えることのない設計としている。

配管内面への放射性物質付着量の考え方について

配管内面への放射性物質（エアロゾル）の付着量を設定するにあたっては、NUREG/CR-4551 を参照し、付着量を設定する主要なパラメータとして沈着速度に着目して、配管内面への沈着割合を検討した。

NUREG/CR-4551 “Evaluation of Severe Accident Risks: Qualification of Major Input Parameters MACCS INPUT” *1 は、環境拡散評価（MELCOR Accident Consequence Code System: MACCS 計算）についての文献となっており、その評価には、エアロゾル粒子径、エアロゾル粒子密度、対象物の表面粗さで沈着速度を整理した Sehmel のモデルが用いられている。

この Sehmel の沈着速度モデルに基づき、配管内面の表面粗さ 0.001cm ($10\mu\text{m}$) と粒子密度 4g/cm^3 を想定した、PCV より放出される粒子径ごとの沈着速度（第 1 図参照）を用いて配管内面への沈着割合（エアロゾルの沈着速度と配管内のベントガス通過時間から算出された、流れているベントガス中のエアロゾルが壁面に到達する割合）を以下の通り評価した。

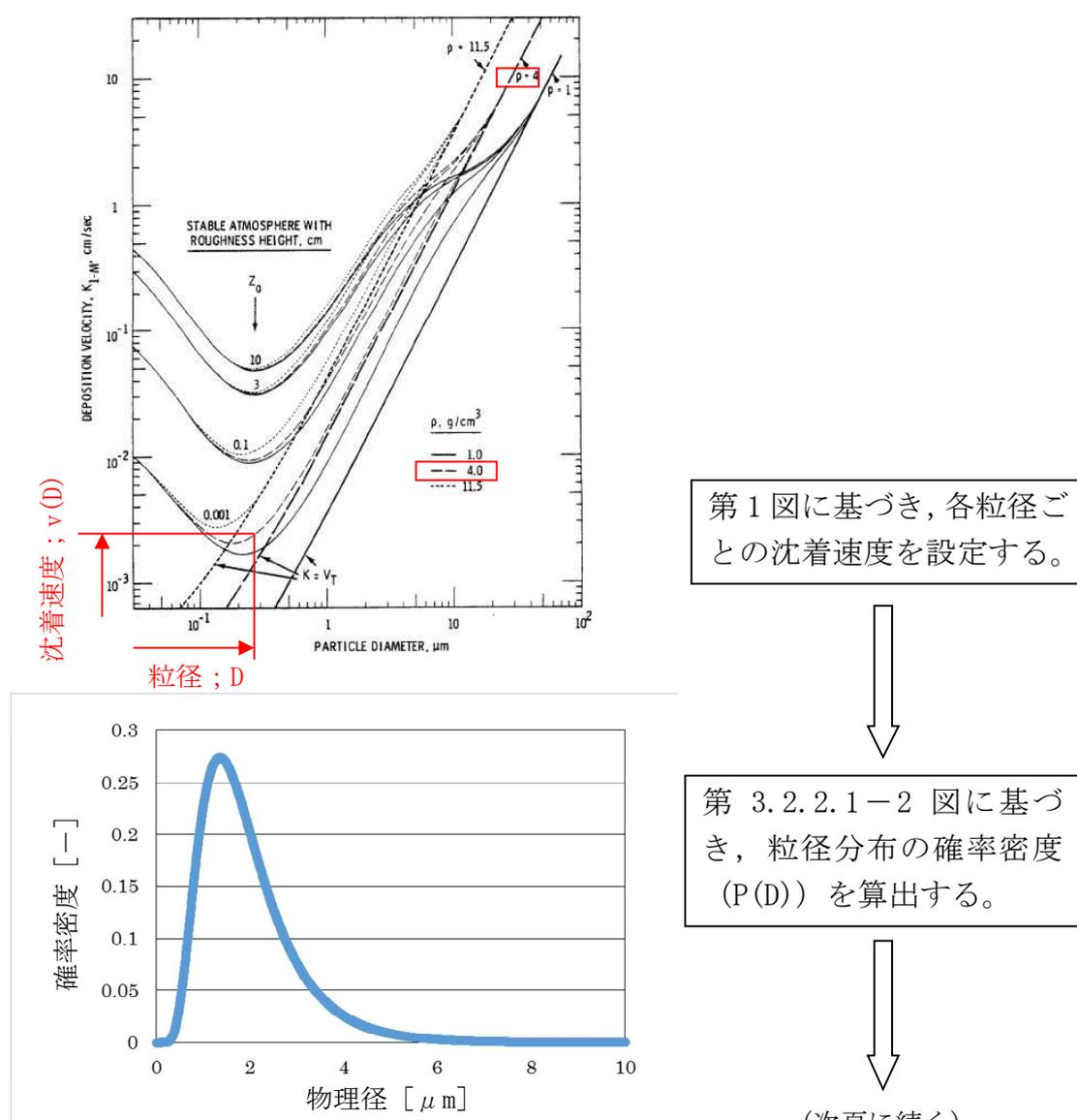


第 1 図 エアロゾル粒子径と沈着速度の関係

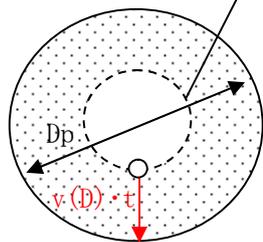
評価条件は、ABWR（6号炉及び7号炉）を対象として、配管長さ100m、配管内径400mm、2Pdおよび最小流量で排気される蒸気流量、を適用する。また、考慮する粒子径分布は「大破断LOCA+全交流動力電源喪失+全ECCS機能喪失(D/Wベント)」(第3.2.2.1-2図)に基づくものとした。

これらの条件から、100mの配管をベントガスが通過する時間を算出し、その時間に粒径ごとの沈着速度を乗じて、ベントガス通過時間中に配管内面方向にどれだけのエアロゾルが移動するかを評価する。この移動した粒子の総和について、ベントガス通過中のエアロゾル総量に対する割合を算出することで沈着割合を評価する。

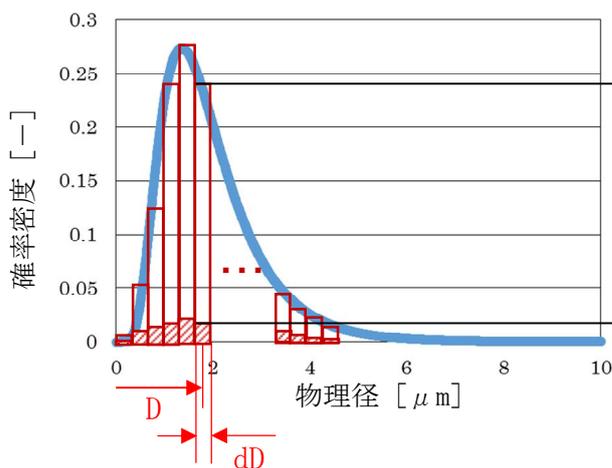
評価の考え方を第2図および第3図に、評価結果を第1表に示す。



第2図 沈着割合評価の考え方 (1/2)



沈着量は、100mの配管をベントガスが通過する時間 (t) の分だけ、各粒子が各沈着速度 (v(D)) で移動して壁面に到達できる範囲
 $(A = \pi ((D_p/2)^2 - ((D_p/2) - v(D) \cdot t)^2))$ にあるエアロゾル量の総和となる。



ベントガス流入前エアロゾル
 $P(D) \times dD$

ベントガス通過後に沈着するエアロゾル
 $C(D) \times dD$

第3図 沈着割合評価の考え方 (2/2)

上記の関係から、沈着割合 R は以下の式で表される。

$$R = \left(\frac{\sum \text{[shaded]} }{\sum \text{[white]} } \right) \times 100 = \left(\frac{\sum (C(D) \times dD)}{\sum (P(D) \times dD)} \right) \times 100 = \left(\frac{\sum (C(D))}{\sum (P(D))} \right) \times 100$$

ここで、C(D) は以下の式で表される。

$$C(D) = P(D) \times \left(\frac{\pi (D_p/2)^2 - \pi ((D_p/2) - v(D) \cdot t)^2}{\pi (D_p/2)^2} \right)$$

$$= P(D) \times \left(\frac{(D_p/2)^2 - ((D_p/2) - v(D) \cdot t)^2}{(D_p/2)^2} \right)$$

第1表；排気される蒸気流量に対する沈着割合評価結果

項目	パラメータ	単位	2Pd	最小流量
配管条件	長さ	m	100	
	内径	m	0.4	
沈着条件	沈着速度の分布	m/s	$1.9 \times 10^{-3} \sim 3.9 \times 10^{-1}$	
排気条件	蒸気流量	kg/s	15.7	2.5
	蒸気流速	m/s	33.1	14.8
沈着割合		%	約 2.5	約 5.4

第1表より、最小流量であっても約5.4%の沈着割合となることが評価された。以上を踏まえ、エルボ部などといった部位での沈着量がばらつくことを考慮し、100m あたり 10%を配管への沈着割合として放射性物質の付着量を設定する。

*1；”Evaluation of Severe Accident Risks: Qualification of Major Input Parameters MACCS INPUT”,
NUREG/CR-4551 Vol.2 Rev.1 Pt.7, 1990

別紙 2 1 配管内面に付着した放射性物質による発熱の影響について

フィルタベント容器上流の配管内面には放射性物質（エアロゾル）が付着することが想定されることから、その放射性物質の崩壊熱による温度上昇が配管の構造健全性に与える影響について検討した。

検討対象とする状態は、以下の 2 ケースを想定した。

【ケース 1】

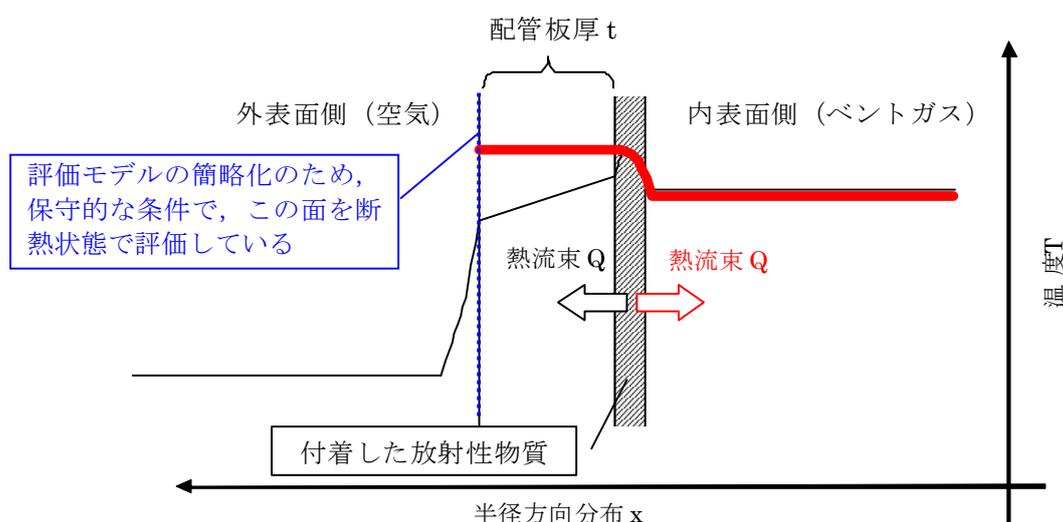
ベント中を想定し、配管内に高温の蒸気が流れ、なおかつ配管内面に付着した放射性物質からの発熱が加わった状態。

【ケース 2】

ベント停止後を想定し、配管内面に放射性物質が付着した後で配管内ベントガス流れがないため、放射性物質からの発生熱がこもる状態。

まず、【ケース 1】として、第 1 図に示すような配管の半径方向の温度分布を考慮して評価を行った。配管内には高温のベントガス流れが存在し、配管内面には放射性物質が付着して崩壊熱による発熱を行っている。この場合、放射性物質の崩壊熱による熱量は配管内面・外面双方に放熱され、配管板厚方向に熱勾配ができるが、本評価では保守的に配管外面は断熱されているものとした。

【ケース 1】の温度評価条件を第 1 表に示す。



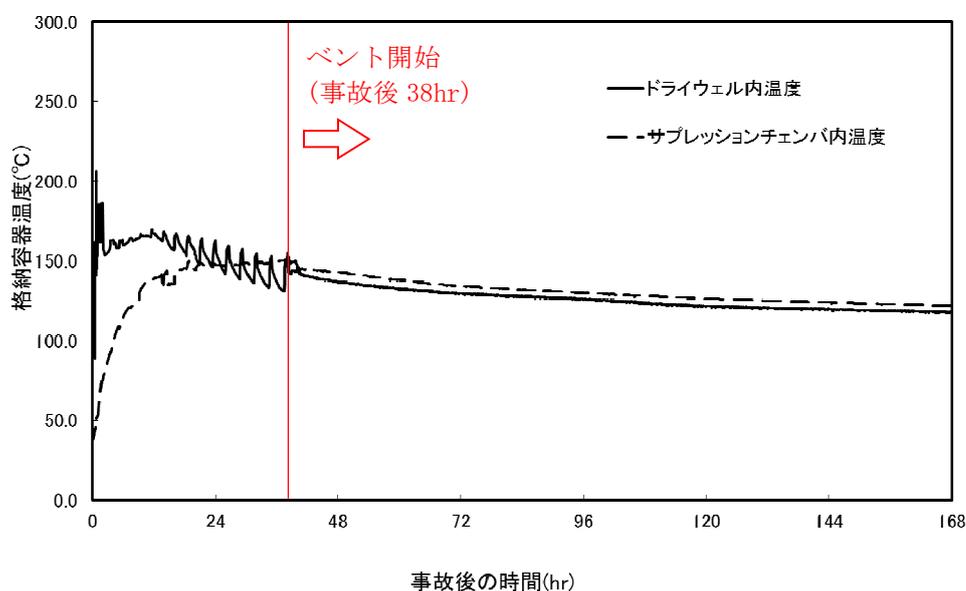
注；実際の伝熱状態は——で示すような分布になると想定されるが、保守的な評価となるよう配管外面を断熱し、全ての熱流束がベントガス側に移行する評価とした。
(赤線で示されるような熱流束の与え方と分布)

第 1 図 配管内表面の温度評価 (イメージ)

第 1 表 配管内表面の温度上昇評価条件【ケース 1】

項目	条件
評価シナリオ	有効性評価シナリオ「大破断 LOCA+全交流動力電源喪失 +全 ECCS 機能喪失 (D/W ベント)」
PCV より流入する崩壊熱量	9.3 kW
配管内発熱割合 (FP 付着割合)	10%/100m
配管外径, 板厚	400A, Sch40
配管熱流束	7.3W/m ²
質量流量	2.5kg/s (ベント後期 (ベント 1 ヶ月後の蒸気流量))
ベントガス温度	150°C

ベント時のガス温度条件を踏まえて配管内面の温度を評価する。第 2 図に大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオにおける D/W ベント時の格納容器内の温度推移を示す。ベント時に最も配管内ガス温度が高い条件としてはベント開始直後であり、概ね 150°C 以下となる。



第 2 図 格納容器内温度推移
(大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオ, 38hr 後 D/W ベント)

格納容器より流入する崩壊熱量は 9.3kW とし、配管内面に付着する放射性物質質量割合としては、別紙 20 にて設定した 10%/100m を用いる。評価にあたって

は保守的な条件として、付着割合の全量の放射性物質が付着した条件で発熱しているものとする。また、ベントガス流量については流速が低くなることで熱伝達率が低くなり、保守的な評価となることから、ベント後 1 ヶ月の蒸気流量である 2.5kg/s を用いた。

配管内表面に付着する放射性物質の崩壊熱による配管内面の温度上昇は、以下の式で算出した温度上昇量で評価する。

$$\Delta T = q / h \quad \dots \text{式 (1)}$$

ΔT ; 放射性物質の崩壊熱による配管内表面の温度上昇 (°C)

q ; 配管熱流束 (W/m²)

h ; 配管内表面の熱伝達率 (W/(m²·K))

$$h = Nu \times k / d \quad \dots \text{式 (2)}$$

Nu ; ヌッセルト数

k ; 水蒸気の熱伝導率 (0.032 (W/(m·K)))

d ; 水力等価直径 (m)

ここで、 Nu を算出するにあたり円管内乱流の熱伝達率を表現するものとして Kays の式を引用した (式 (3))。

$$Nu = 0.022 Re^{0.8} \times Pr^{0.5} \quad \dots \text{式 (3)}$$

Re ; レイノルズ数

Pr ; プラントル数 (1.1 ; 保守的に 160°C の飽和蒸気の値を設定)

$$Re = v \times d / \nu \quad \dots \text{式 (4)}$$

v ; 流速 (約 41.7 (m/s) ; 質量流量から換算)

d ; 水力等価直径 (m)

ν ; 水蒸気の動粘性係数 (約 4.2×10^{-6} (m/s))

これより、配管内面の温度上昇は 0.09°C 程度であると評価できる。ベントガスの温度は 150°C 程度であることから、上記の温度上昇分を考慮しても、配管内表面温度は配管設計における最高使用温度である 200°C を下回っているため、配

管の構造健全性に影響を与えることはない。

次に、【ケース 2】の温度評価条件を第 2 表に示す。

第 2 表 配管内表面の温度上昇評価条件【ケース 2】

項目	条件
評価シナリオ	有効性評価シナリオ「大破断 LOCA+全交流動力電源喪失+全 ECCS 機能喪失 (D/W ベント)」
PCV より流入する崩壊熱量	9.3 kW
配管内発熱割合 (FP 付着割合)	10%/100m
配管外径, 板厚	400A, Sch. 40
配管熱流束	7.3W/m ²
配管外表面放射率	0.80 (酸化鉄相当の放射率*1)
環境温度	50°C

*1 ; 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第 5 版

以上の条件に基づき、配管内面に付着した放射性物質の崩壊熱による温度を評価する。ここで、評価対象の配管板厚は 12.7mm であり、炭素鋼の熱伝導率が 50W/(m・K) 程度であることから、板厚方向の温度勾配は微小であると考えられることができる。そのため、配管内表面の温度はほぼ配管外表面温度と同等であると考え、配管内部の熱量による温度を評価する方法として JIS A 9501 “保温保冷工事施工標準” の表面温度および表面熱伝達率の算出方法を用いて、配管外表面温度を評価する。

評価式の概要は以下の通りとなる。

$$T = (q / h_{se}) + T_{atm} \quad \dots \text{式 (5)}$$

T ; 配管外表面温度 (°C)

q ; 配管熱流束 (W/m²)

h_{se} ; 配管外表面熱伝達率 (W/(m²・K))

T_{atm} ; 環境温度 (°C)

この式 (5) における、q と h_{se} は以下の式で表される。

$$q = Q / S \quad \dots \text{式 (6)}$$

$$h_{se} = h_r + h_{cv} \quad \dots \text{式 (7)}$$

Q ; 単位長さあたりの配管内面での発熱量 (W/m)

S ; 単位長さあたりの配管外表面積 (m²)

h_r ; 放射による配管外表面熱伝達率 (W/(m²・K))

h_{cv} ; 対流による配管外表面熱伝達率 (W/(m²・K))

上記の h_r は以下の式で表される。

$$h_r = \varepsilon \times \sigma \times \left(\frac{(T + 273.15)^4 - (T_{atm} + 273.15)^4}{(T - T_{atm})} \right) \quad \dots \text{式 (8)}$$

ε ; 配管外表面放射率 (0.80)

σ ; ステファン・ボルツマン定数 (5.67×10⁻⁸ (W/(m²・K⁴)))

h_{cv} については、JIS A 9501 “保温保冷工事施工標準” 附属書 E (参考) 表面温度及び表面熱伝達率の算出方法における、垂直平面及び管 (Nusselt の式) 及び水平管 (Wamsler, Hinlein の式) をもとに対流熱伝達率を算出した。垂直管 (式 (9), (10)) と水平管 (式 (11)) とで得られる h_{cv} を比較し、小さい方の値を用いることで保守的な評価値を得るようにしている。

$$h_{cv} \text{ (垂直管)} = 2.56 \times (T - T_{atm})^{0.25} \quad ((T - T_{atm}) \geq 10K) \quad \dots \text{式 (9)}$$

$$h_{cv} \text{ (垂直管)} = 3.61 + 0.094 \times (T - T_{atm}) \quad ((T - T_{atm}) < 10K) \quad \dots \text{式 (10)}$$

$$h_{cv} \text{ (水平管)} = 1.19 \times \left(\frac{(T - T_{atm})}{D_o} \right)^{0.25} \quad \dots \text{式 (11)}$$

D_o ; 配管外径 (m)

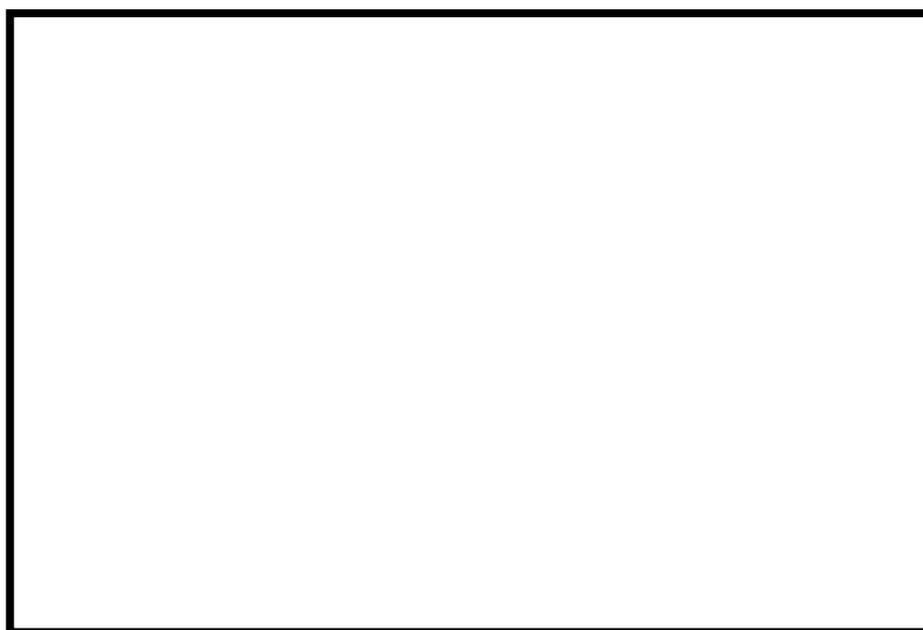
これらにより評価した結果、配管外表面温度は約 51℃となる。

以上の結果から、配管内表面温度は配管設計における最高使用温度である 200℃を下回っているため、配管内表面に付着した放射性物質の崩壊熱は、ベント後における配管の構造健全性に影響を与えることはない。

なお、これらの式を含めた評価については、JIS A 9501 において、適用範囲が -180℃~1000℃となっており、適用に対して問題ないことを確認している。また、管外径などの寸法にかかる制約条件は規定されていない。

別紙 2 2 スクラバノズルのエロージョンについて

スクラバノズルは、第 1 図に示す通り、ノズル吹き出し部手前の配管が細く、当該部にてベントガスの流速が大きくなる。そのため、ベントガス中の水蒸気が凝縮してできた液滴が、この高流速のガス流れにより加速され、高速の状態でスクラバノズルの天板に衝突すると考えられる。この液滴の衝突により、スクラバノズル天板にエロージョン（液滴衝撃エロージョン）が生じて孔が開くと、水スクラバの性能が低下する恐れがある。そこで、この液滴の衝突によるスクラバノズル天板の液滴衝撃エロージョンに対する評価を行った。



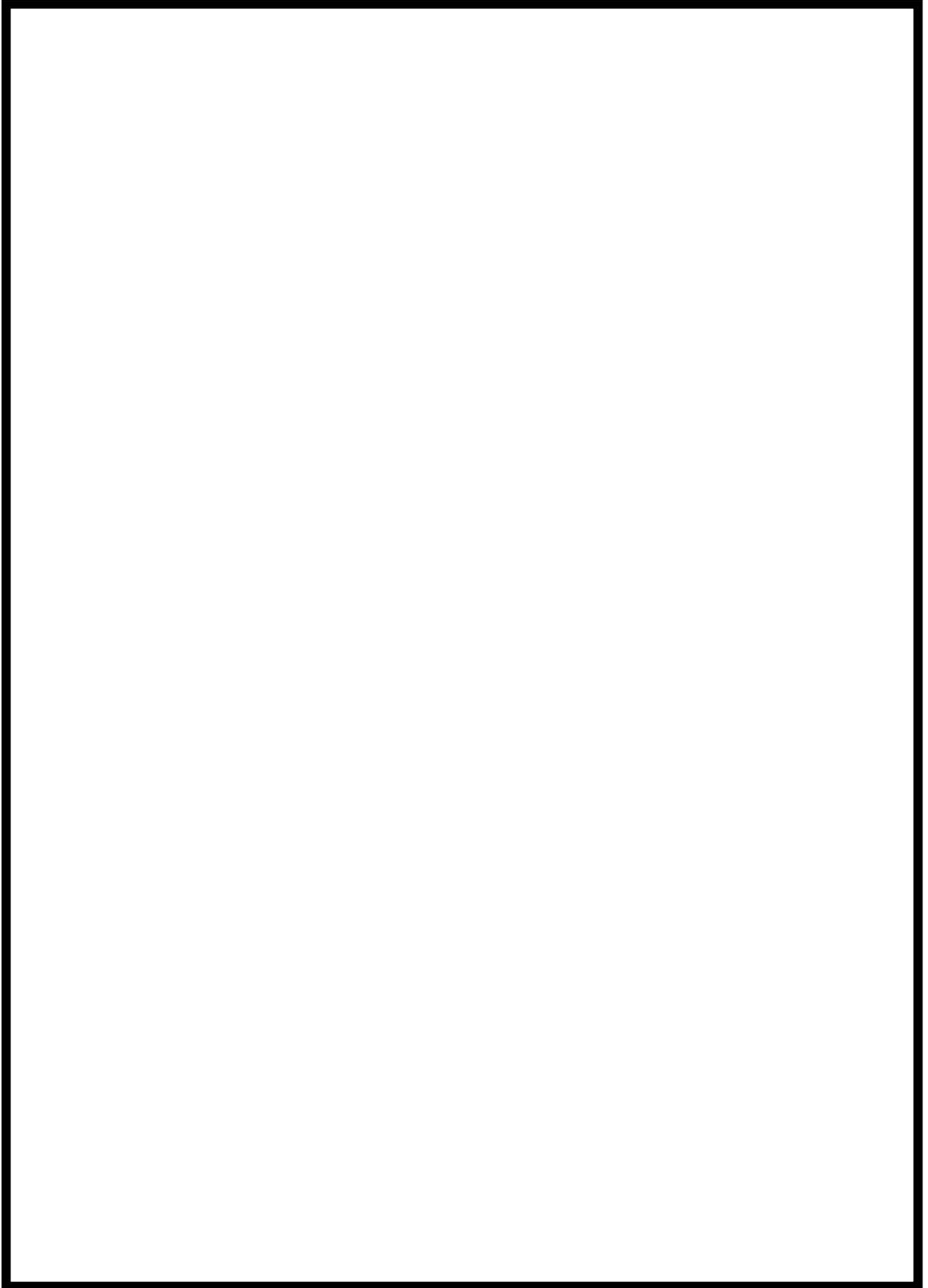
第 1 図 スクラバノズル構造図

まず、スクラバノズル吹き出し部手前の配管におけるベントガス流速を算出する。ベントガスの体積流量は最も厳しい超過流量時の 37000[m³/h]とする。また、スクラバノズル細管部の内径は [] スクラバノズル本数は 140[本]である。

$$\begin{aligned} \text{スクラバノズル細管部流速[m/s]} &= 37000/3600/ \{140 \times [] \times 10^{-3}\}^2 \times \pi / 4 \\ &= [] \end{aligned}$$

一方、『発電用設備規格 配管減肉に関する規格（2005年版）（増訂版）JSME S CA1-2005』より、液滴衝撃エロージョン発生の限界流速は 70[m/s]である。そのため、スクラバ細管部の流速は液滴衝撃エロージョン発生の限界流速よりも小さいことから、スクラバノズル天板に液滴衝撃エロージョンは生じない。

なお、蒸気を累積で 179 時間通気した後の、フィルタ性能試験設備のノズルを取り外して外観確認を行ったが、エロージョンの発生は認められなかった。



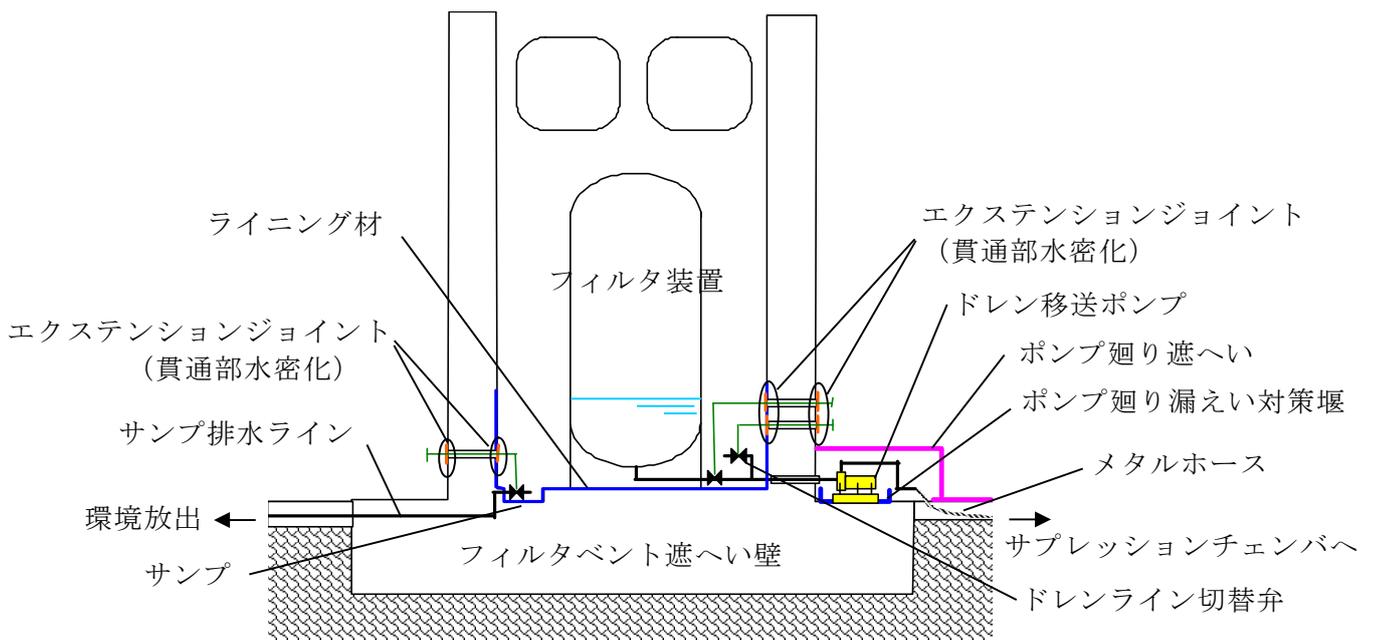
第2図 試験用フィルタノズル 外観確認結果

別紙 2 3 格納容器圧力逃がし装置からの漏えい対策について

1. フィルタ装置及びフィルタ装置廻り配管からの漏えい対策について

フィルタベント遮へい壁は上部に屋根が無い場合、雨水や降雪等は遮へい壁内に流入する。タンク室内に流入した雨水等はサンプに集められ、サンプ排水ラインを通じて外部へ放出される。

一方で、遮へい壁内でフィルタ装置及びフィルタ装置廻り配管から漏えいがあった場合の対策についてを第 1 図に示す。サンプ排水ラインに設置されている排水止め弁をタンク室外部よりエクステンションジョイントを介して遠隔操作して閉じることで、漏えい水を遮へい壁内側に貯留し、遮へい壁外部へ漏えいしないようにする。また、遮へい壁タンク室内はコンクリート表面の亀裂への追従性の良いポリウレア系のライニング材を内側に塗布することにより、地震等により遮へい壁内のコンクリート面に亀裂が生じていた場合にも、亀裂を通じてタンク室外部へ漏えいすることを防止する。



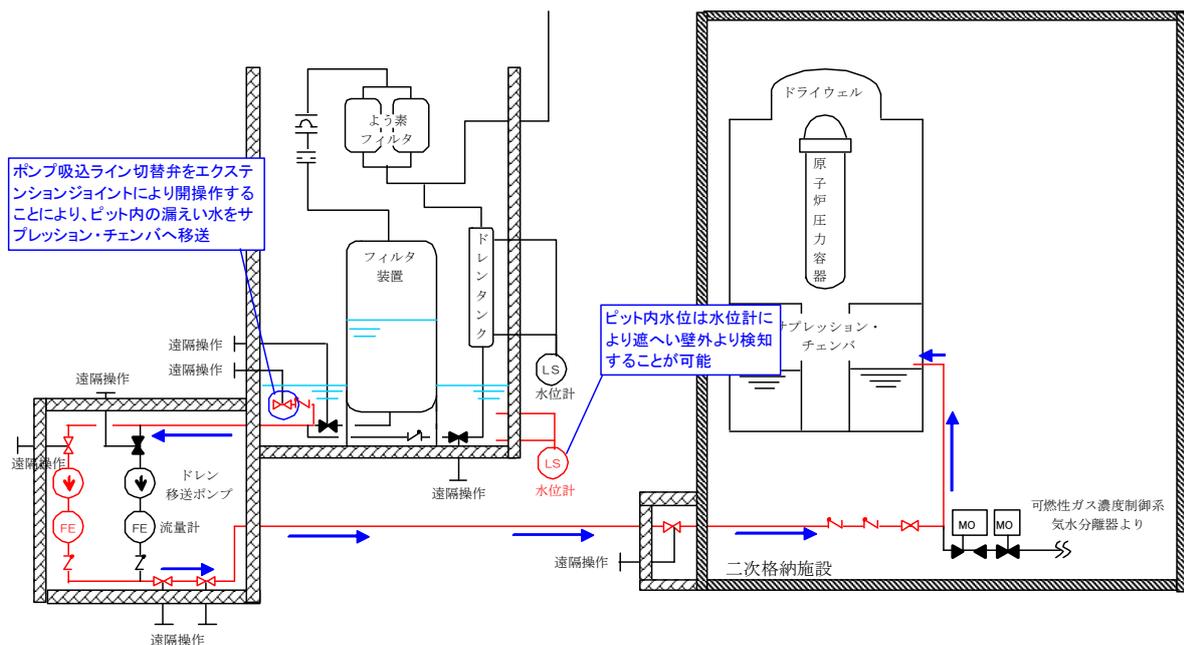
第 1 図 フィルタベント遮へい壁内の漏えい対策概要図

さらに、遮へい壁タンク室内の弁を遠隔操作するために設置しているエクステンションジョイント貫通部については、貫通部を O リングにて水密化することにより、貫通部を通じた漏えいを防止している。

貫通部シャフトは第 2 図に示すとおり、遮へい壁内外よりベアリングにて固定されているが、それぞれのベアリングに対して O リングを組み合わせることにより、貫通部を 2 重の水密構造としている。

第2図 エクステンションジョイント貫通部に対する水密構造

フィルタバント使用時に漏えいがあった場合に排水止め弁を閉じる必要があるため、雨水によってタンク室内の水位が上昇した場合には、漏えい水を含んだ雨水がオーバーフローにより外部へ漏えいする懸念がある。そのため、第3図に示すようにドレン移送配管のポンプ吸込側を分岐してタンク室側に開放し、漏えい水をドレン移送ポンプを用いてサプレッションチェンバへ移送することが可能な構造とした。通常時はフィルタ装置内のスクラバ水が上昇対策としてサプレッションチェンバへ移送する運用としているが、附室側からエクステンションジョイントにて切替弁を操作することにより、遮へい壁内に貯留した雨水等をサプレッションチェンバへ移送することが可能である。一方で、遮へい壁内には水位計を設置することにより、遮へい壁内の雨水がオーバーフロー水位に達しているかを遮へい壁外より監視可能である。



第3図 遮へい壁内サンプル排水操作概要図

ベント実施後はサンプ排水弁を常時閉運用とすることにより，万が一漏えいがあった場合には環境へ放出することを防止する運用とする。ベント実施後に周辺線量が下がった後にサンプ排水弁を微開し，サンプ排水ラインより遮へい壁内の貯留水をサンプリングし，遮へい壁内に漏えいがないことを確認した上で排水を行う。

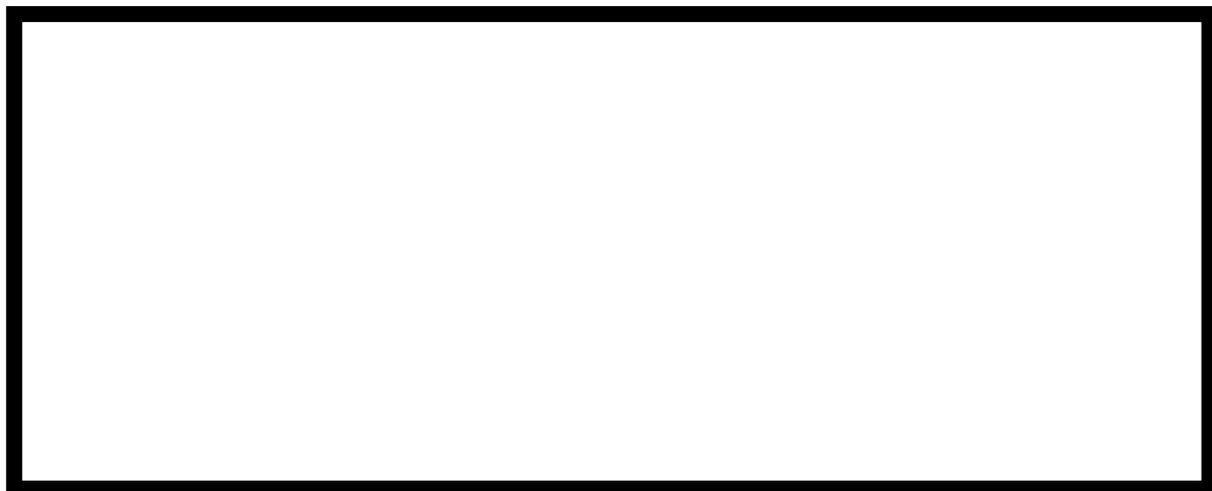
2. ドレン移送ポンプ及びポンプ廻り配管からの漏えい対策について

遮へい壁外に設置されているドレン移送ポンプについては，軸封部からの漏えいのない構造であるキャンドモーターポンプを用いることとしている。

また，ドレン移送ポンプ及びポンプ廻りの配管については，鉄板遮へい壁が設置されており，ドレンライン使用時にポンプ及び配管内のスクラバ水からの線量に対して操作員が被ばくしないように配慮されている。(第5図，第6図)



第5図 ドレン移送ポンプ廻りメタルホース布設図（平面図）



第6図 ドレン移送ポンプ廻りメタルホース布設図（側面図）

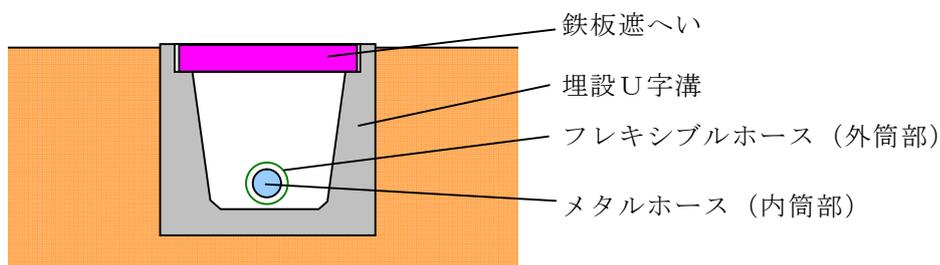
3. 遮へい壁外の屋外配管からの漏えい対策について

ドレン移送ポンプから原子炉建屋までの屋外配管については、可撓性のあるメタルホースを用いることで地震による変位を吸収する構造としている。また、第5図に示すように、フレキシブルホースを外筒としてメタルホースを内部に格納することで二重管構造とし、メタルホースからの漏えいは外筒部のフレキシブルホース内に貯留する構造となっている。メタルホース間の接合部はフランジ締結されており、メタルホースに損傷があった場合には対象部を予備品に交換可能な構造としている。



第5図 メタルホースの二重管構造

メタルホースは第6図のように埋設U字溝内に格納されており、U字溝上部にはスクラバ水に含まれる放射性物質により地上面の線量が上昇しないように鉄板遮へい蓋が設置されている。

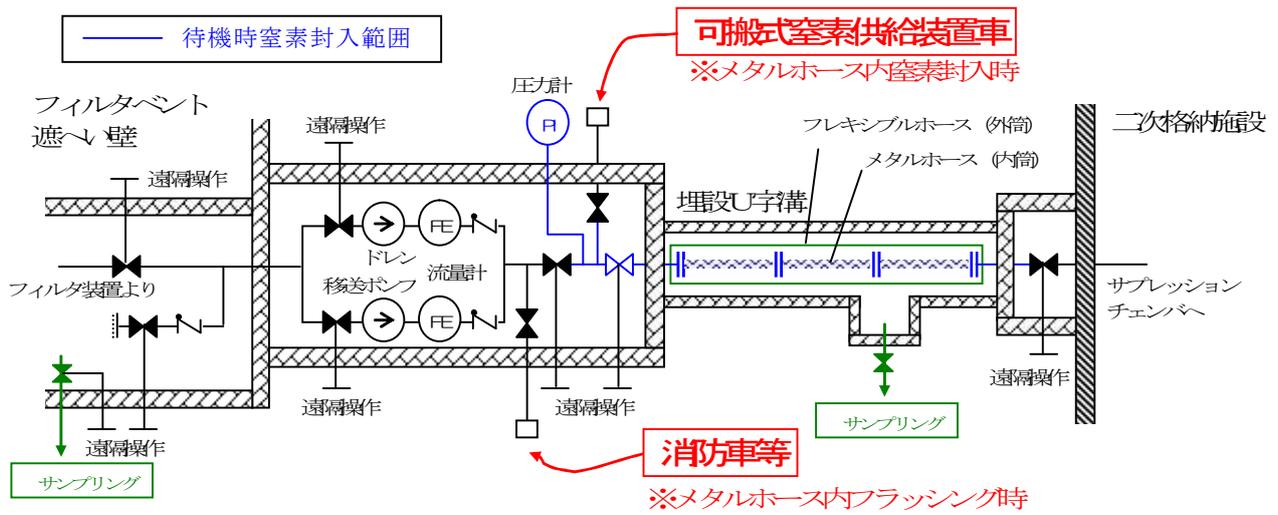


第6図 U字溝内メタルホース布設図

系統待機時には第7図に示すようにメタルホース内を可搬式窒素供給装置車により大気圧より高い状態で窒素封入しており、圧力計にてメタルホースの内圧を常時監視可能な構造としている。ドレンライン使用前にメタルホースが損傷した場合には、メタルホース内の封入窒素ガスが外筒部へ漏えいして内圧が下がるため、圧力計にて監視可能である。したがって、ドレンライン使用前には圧力計を確認し、メタルホースの健全性を確認した上でドレンラインを使用する手順としている。

また、ドレンライン使用後は、待機時と同様に可搬式窒素供給装置車より系統内に窒素を供給してメタルホース内のスクラバ水をサプレッションチェンバへ移送すると共に、メタルホース両端の仕切弁を全閉することにより圧力計にてメタルホースの圧力降下を監視する。

メタルホースの布設範囲を第8図及び第9図に示す。



第7図 ドレン移送ライン概略系統図



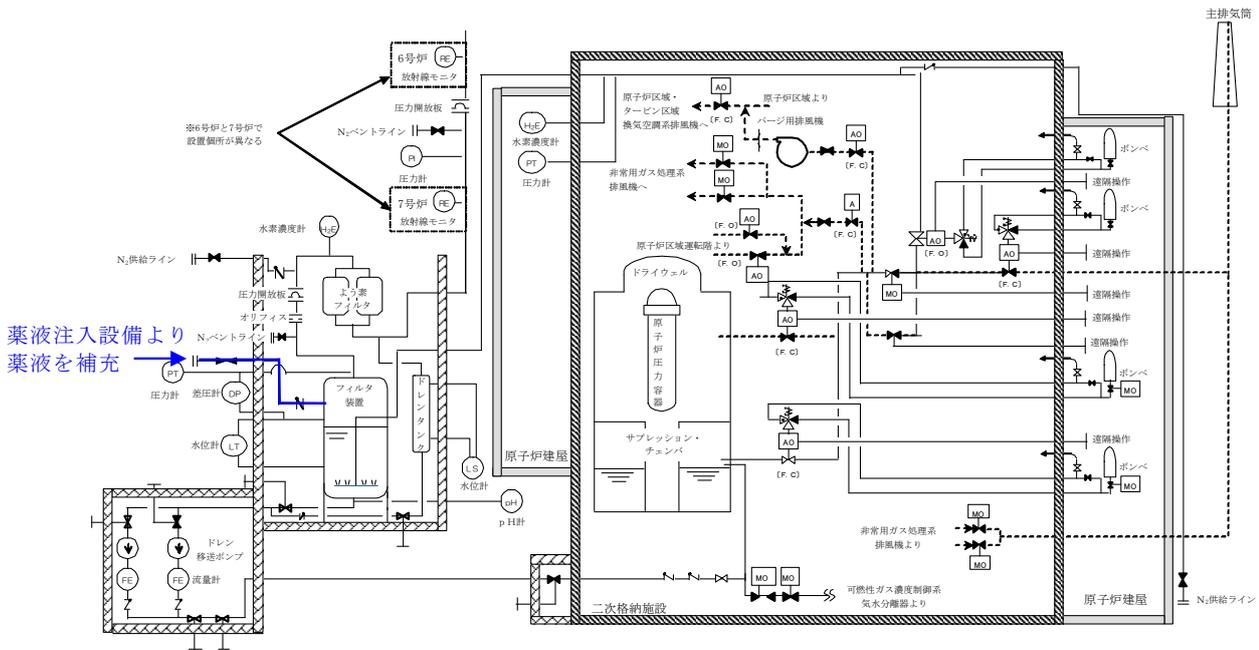
第8図 メタルホース布設範囲図 (7号炉)



第9図 メタルホース布設範囲図（6号炉）

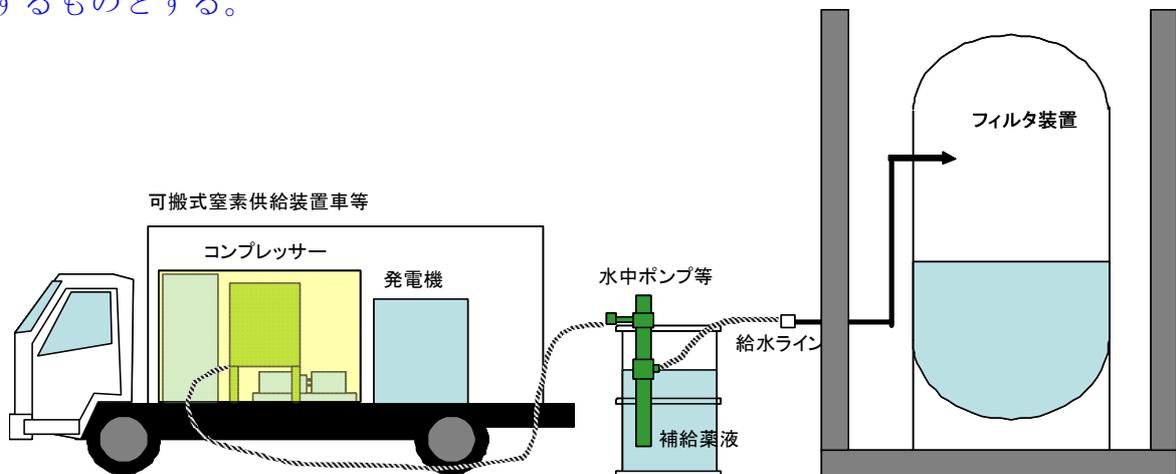
別紙 2 4 スクラバ水の pH 調整方法について

ベントガスの凝縮水により格納容器圧力逃がし装置内のスクラバ水位が上昇した場合、スクラバ水に含まれる薬液が凝縮水により薄まるため、スクラバ水の pH 値が低下する。pH 値が規定値よりも低くなった場合には、第 1 図に示すように給水ラインを用いて外部よりスクラバ水へ薬液を補充する必要がある。



第 1 図 薬液注入箇所

薬液を補充する方法については、第 2 図に示すように、可搬式窒素供給装置車等の空気圧力にて空気駆動水中ポンプ等を用いてフィルタ装置内に薬液を注入する。補充する薬液濃度は、スクラバ水内の初期濃度よりも十分に濃度の高いものとし、必要な補充量についてはフィルタ装置水位計により予め算出した量を補充するものとする。



第 2 図 薬液注入装置概要図 (案)

薬液を貯留するタンク及び水中ポンプ等の資機材は可搬式として薬液補給が必要な時期までに予め給水口付近まで運搬して待機するものとする。また、補給する薬液については、高濃度の薬液をあらかじめ用意しておき、必要となる時期までに必要量をタンク内に準備する。

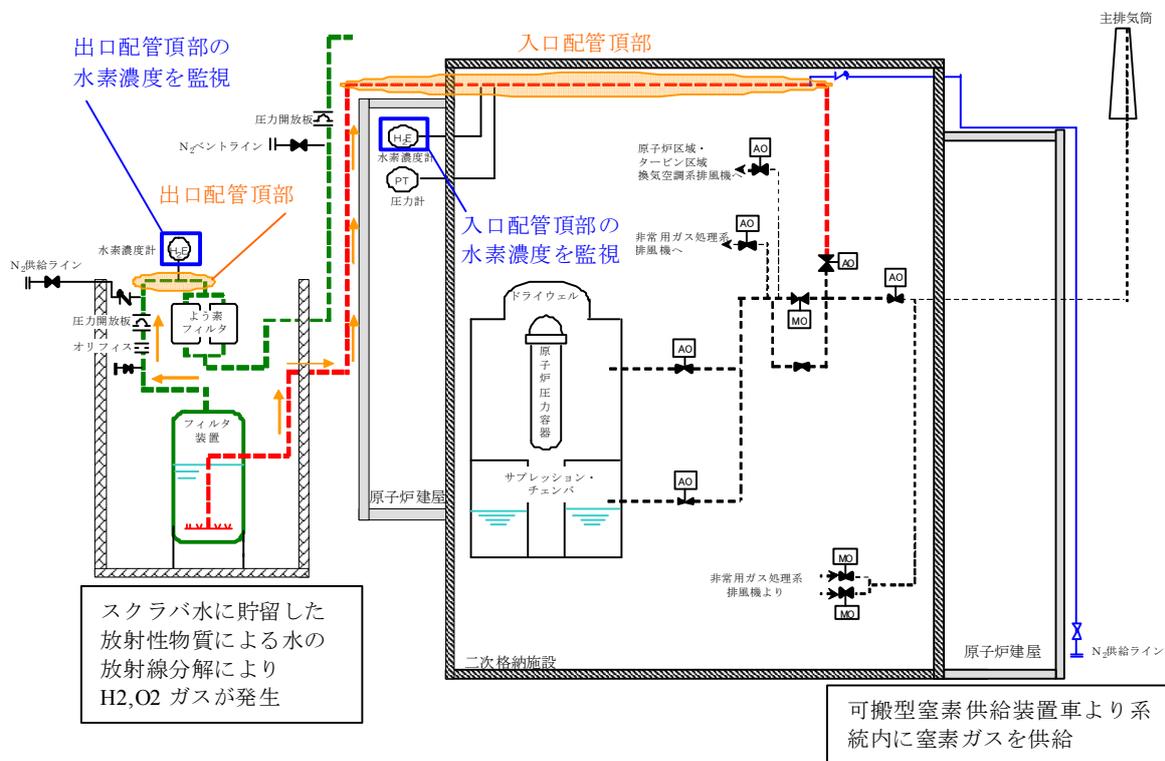
別紙 2 5 窒素ガス置換に対する考え方について

1. 格納容器圧力逃がし装置への水素滞留可能性について

ベント実施直後には格納容器内で水-ジルコニウム反応によって発生した水素がベントガスとともに格納容器圧力逃がし装置を通じて系外へ放出される。このときのベントガスのモル組成としては水蒸気及び水素、窒素が支配的であり、酸素はほとんど含まれていない。ベント実施前はあらかじめ系統内は窒素置換されており、ベントガスに含まれる水素濃度が高くて可燃限界に達することはない。

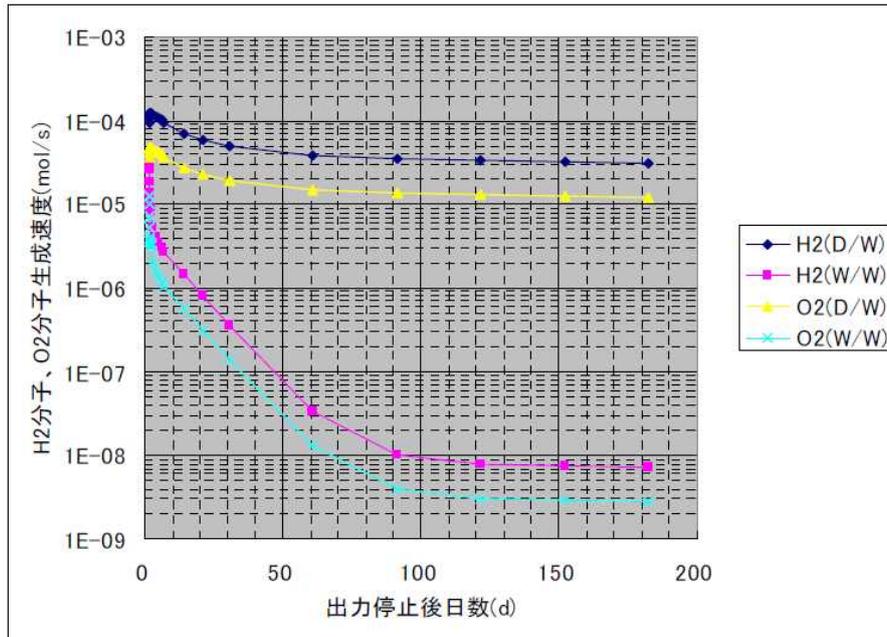
ベント実施中においては格納容器内及びフィルタ装置内へ放出された放射性物質により水の放射線分解によって発生する水素・酸素が系統内へ放出される。ただし、常にガス流れがあること、及びベントガス中のモル組成としては水蒸気が支配的であるため、系統内が可燃限界に達することはない。また、配管内で他系統への隔離弁によって閉塞する箇所のうち、水素滞留の可能性のある箇所については別紙 19 に示すベントラインを設置することで、局所的に水素・酸素濃度が上昇しないように配慮している。

ベント停止後にベント弁を閉じた後は、系統内にガス流れが無くなるため、スクラバ水内に蓄積された放射性物質による水の放射線分解によって発生した水素・酸素が系統内に滞留する。水素は分子量が小さいため、浮力により上部へ移行して、時間とともに系統内配管頂部に蓄積する。(第 1 図)

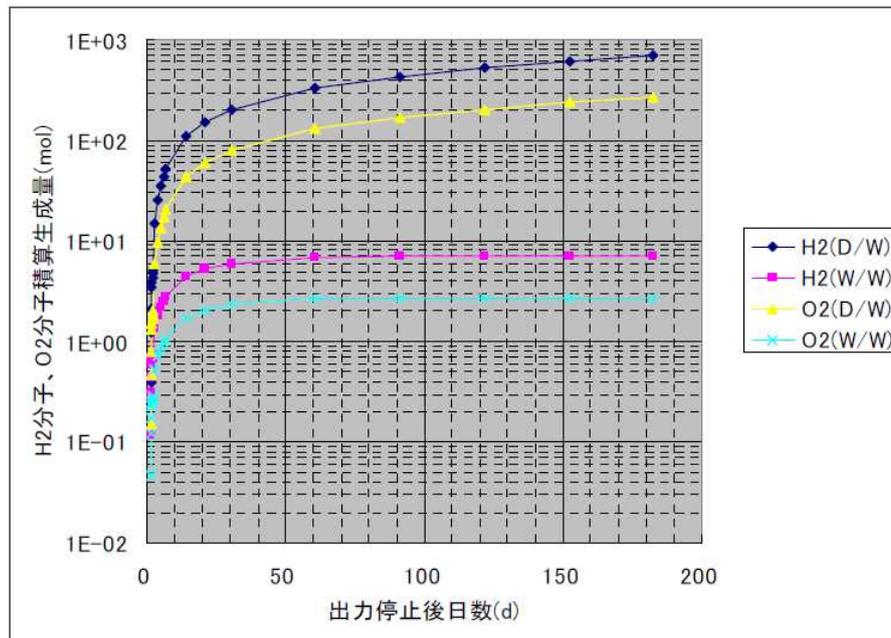


第 1 図 スクラバ水内での水素・酸素の発生系統図

2. スクラバ水で発生する水素・酸素により系統内が可燃限界となるまでの評価
 ベント実施時において、スクラバ水内に蓄積された放射性物質の影響により、
 水の放射線分解にて発生する水素・酸素の生成速度及び積算生成量について評
 価を行った。ベントシナリオとしては大 LOCA+SB0+ECCS 機能喪失シナリオとし、
 38 時間後に W/W 及び D/W よりベントを行った条件とした。評価結果を第 2 図及
 び第 3 図に示す。



第 2 図 スクラバ水内での水素・酸素分子の生成量速度



第 3 図 スクラバ水内での水素・酸素分子の積算生成量

なお、水素・酸素分子の生成量を算出するにあたって、有効性評価にて紹介されている格納容器内のG値のうち厳しい条件を代表して以下を採用している。

$$G(H_2) = 0.36(10^{-2}eV), G(O_2) = 0.14(10^{-2}eV)$$

上記をもとに、ベント停止後に系統内の水素及び酸素が可燃限界濃度となるまでの概略時間について計算を行った。可燃限界の基準としては、水素 4%以上、酸素 5%以上、水蒸気 60%以下とした。なお、保守的な条件として、系統内の水蒸気が外気温度まで冷却されて凝縮する時間は考慮せず、ベント停止後直ちに水蒸気は凝縮したものとする。

評価を行った結果、D/W ベントの場合は約 8 時間後、W/W ベントの場合は約 9 日後に可燃限界に達した。

3. 窒素置換完了までの所要時間について

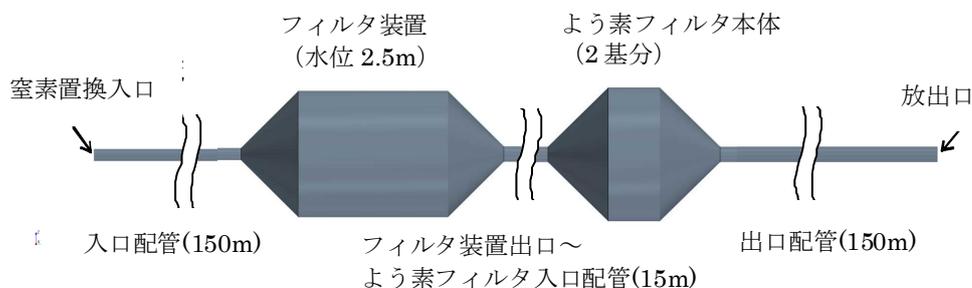
格納容器圧力逃がし装置の簡略化したモデルを用いて、系統内に蓄積した水素を可搬式窒素供給装置車を用いて窒素置換し、水素濃度が可燃限界濃度以下となるのに必要な時間を評価した。

評価条件を第 1 表、評価モデルを第 4 図に示す。

第 1 表 評価条件

項目	値
使用コード	汎用流体計算コード STAR-CCM+ Ver. 8.04
窒素供給装置流量	70 Nm ³ /h [※]
窒素供給装置ガス組成	窒素 99%, 酸素 1%
系統内初期ガス組成	窒素 91%, 酸素 5%, 水素 4%
FV 系統モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・第 4 図参照 ・強制対流と濃度差に伴う混合ガスの相互拡散を考慮する。

※ 可搬式窒素供給装置車の窒素供給能力としては、純度 99%以上の窒素ガスを、70 Nm³/h の流量にて供給可能である。



第 4 図 窒素置換評価モデル

上記条件にて系統内の水素濃度の時間的変化の評価を行った結果、約 3 時間程度で系統内全域において濃度が 1%を下回った。以上より、可搬式窒素供給装置車は系統内が可燃限界に達した状態から約 3 時間程度で水素濃度を 1%まで下げる能力を有している。

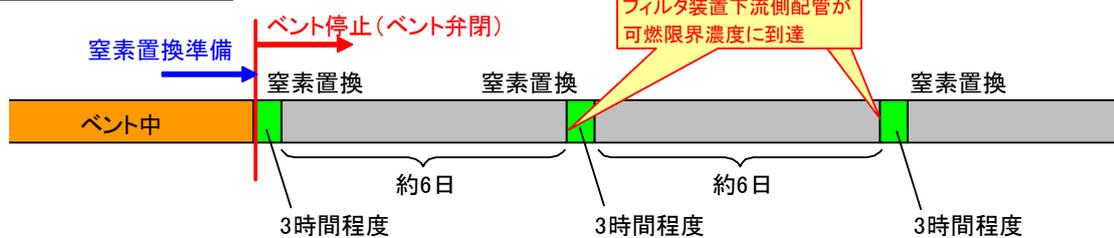
4. 窒素置換を間欠的に行う場合の妥当性について

窒素置換が完了後に窒素置換作業を停止し、次回窒素置換を開始するまでの時間余裕について評価を行った。その結果、D/W ベントの場合は約 6 日後に可燃限界に達したが、W/W ベントの場合は約 180 日以上可燃限界に達することはなかった。したがって、間欠的に窒素置換を行うことは可能である。

間欠的に窒素置換を行う際の、窒素置換を停止する際の判断基準としては、前述の評価に基づき、系統内配管頂部に設置されている水素濃度計により監視を行い、可搬型窒素供給装置車の窒素供給能力 (70Nm³/h において窒素濃度 99%) を考慮して、水素濃度が 1%以下になった時点で窒素置換を停止する。

以上をもとに、窒素置換を間欠的に実施する運用に関してを第 5 図に示す。ベント停止においては、直ちに窒素置換を開始できるよう、あらかじめ窒素供給装置車等の配備を行っておき、ベント停止後直ちに窒素置換を開始する運用とする。また、窒素置換完了後には水素濃度計にて水素濃度を監視しつつ、水素濃度が上昇した場合には完結的に窒素置換を行うこととする。

D/Wベントケース



W/Wベントケース



第 5 図 ベント停止後の間欠的な窒素置換運用

別紙 27 スクラバ水の設定について

【待機時薬液濃度の設定】

水スクラバの無機よう素に対する DF を 1000 以上とするためには、スクラバ水の pH を 以上とする必要がある。そのため、スクラバ水の薬液として NaOH を添加することとしている。

一方、ベント中は、以下の 3 つの要因によりスクラバ水の pH は酸性側にシフトする。

(スクラバ水 pH を低下させる要因)

- ① 格納容器からの酸性物質の飛来に伴う水酸化物イオンの消費
- ② 無機よう素のイオン化に伴う水酸化物イオンの消費
- ③ ベントガスに含まれる水蒸気の凝縮によるスクラバ水量の増加に伴う希釈

フィルタ装置待機時のスクラバ水薬液濃度は、これらの要因を考慮しても pH が 以上を維持できるよう設定する必要がある。

そこで、①～③の要因による水酸化物イオンの消費、希釈量を評価する。

① 格納容器からの酸性物質の飛来に伴う水酸化物イオンの消費

格納容器内に敷設されるケーブルの被覆材が、熱ならびに放射線により分解し酸性物質が生じる。この酸性物質がフィルタ装置に流入し、スクラバ水の pH を低下させる。格納容器からフィルタ装置に流入する酸性物質は HCl で 330[mo1]^{※1}と評価している。そのため、この酸を中和するため、水酸化物イオンも 330[mo1]消費される。

※1 原子炉圧力容器が破損し、炉心溶融物が下部ドライウエルに落下した場合は、下部ドライウエルが局所的に高温になり、下部ドライウエルに接続されるケーブルの被覆材が熱分解する可能性がある。ここでは、保守的に格納容器内のケーブルの被覆材の全量が熱分解されるものと仮定し、HCl の生成量を評価した。熱分解により生成された HCl については、ドライウエルスプレイにより気相部から除去されるとともに、格納容器内に保持されている間、水蒸気と共にサプレッション・プールに移行し複数回スクラビングを受けることから、ドライウエルスプレイによる除去効果及びサプレッション・プール水によるスクラビング効果を考慮してフィルタ装置への流入量を評価した。

なお、格納容器ベント実施後においては、ケーブルが存在する格納容器気相部の線量率が低下することから、放射線分解による HCl の生成量は無視できるものと考えられる。

$$\begin{aligned}
Q &= q_1 \times 1 / (DF_1 \times DF_2) \\
&= 33000 \times 1 / (10 \times 10) \\
&= 330 [\text{mol}]
\end{aligned}$$

Q : HCl の流入量 [mol]

q₁ : 熱分解による HCl 発生量 (33000) [mol]

DF₁ : ドライウェルスプレイによる除去係数 (10: CSE 試験に基づき設定) [-]

DF₂ : サプレッション・プールでのスクラビングによる除去係数

(10: 発電用軽水型原子炉の安全評価に関する審査指針 (平成 2 年 8 月 30 日
原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員
会)) [-]

② 無機よう素のイオン化に伴う水酸化化物イオンの消費

スクラバ水にて無機よう素を捕捉する際には、下記の化学反応式に記載の通り、1[mol]の無機よう素を捕捉するためには、2mol の水酸化化物イオンが消費される。



今、フィルタ装置に流入する無機よう素量は、5.22[mol]^{※2} と評価している。そのため、この無機よう素を捕捉するため、水酸化化物イオン 10.44[mol] が消費される。

※2 無機よう素のフィルタ装置への流入量は、格納容器内での沈着や、サプレッション・プール水によるスクラビング効果を考慮し、以下の式により評価する。ここで、よう素放出量の低減対策として導入した格納容器内 pH 制御については、その効果に期待しないものとした。

$$\begin{aligned}
Q &= q_0 \times F \times g \times 1 / (DF_1 \times DF_2 \times DF_3) \times 1/M \\
&= 29100 \times 1 \times 0.91 \times 1 / (2 \times 10 \times 1) \times 1/254 \\
&\sim 5.22 [\text{mol}]
\end{aligned}$$

Q : 無機よう素のフィルタ装置への流入量 [mol]

q₀ : よう素の停止時炉内内蔵量 (29100) [g]

F : よう素の原子炉圧力容器から格納容器内への放出割合 (1) [-]

g : 無機よう素の組成構成比 (0.91: R. G. 1.195) [-]

DF₁ : 格納容器内での沈着による除去係数 (2: Standard Review Plan 6.5.5) [-]

DF₂ : サプレッション・プールでのスクラビングによる除去係数

(10: 発電用軽水型原子炉の安全評価に関する審査指針 (平成 2 年 8 月 30 日
原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員
会))[-]

DF₃: ドライウェルスプレイによる除去係数(1)[-]

M: 無機よう素の分子量 (254) [-]

③ ベントガスに含まれる水蒸気の凝縮によるスクラバ水量の増加に伴う希釈
待機時のフィルタ装置には、スクラバノズル上端から 1[m]まで水を張って
おり、水量は 24560[l]である。ベントガスの凝縮により、スクラバ水の最大
水位はスクラバノズル上端から 2.2[m]であることから、水量は 39640[l]へ増
加する。そのため、スクラバの薬液濃度は $24560/39640=0.61$ 倍に希釈される。

ここで、フィルタ装置待機時のスクラバ水薬液濃度を [] [wt%]とする。スクラ
バ水の初期量は 24560[l]であるため、添加する NaOH の量は $24560 \times$
[] [kg]=[] [mol]となる。

上記の①及び②による水酸化物イオンの消費量は $330+10.44=340.44$ [mol]であ
るため、これらの反応後、水酸化物イオンの残存量は [] $-340.44=$ [] [mol]
となる。一方、③の最大水位におけるスクラバ水の量は 39640[l]である。そのた
め、水酸化物イオン濃度は [] $/39640=$ [] [mol/l]となり、pHは []とな
る。

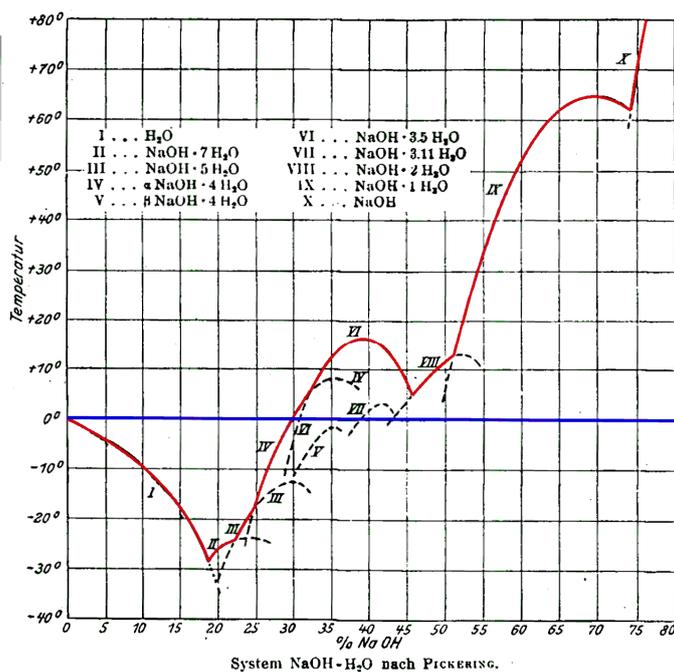
よって、フィルタ装置待機時のスクラバ水薬液濃度を [] [wt%]とすると、①②
③の要因を考慮した後の pHは []となり、無機よう素の DFを 1000 以上とする
ために必要なスクラバ水の pHである []よりも十分に大きい。そのため、フィルタ
装置待機時のスクラバ水薬液濃度は [] [wt%] (NaOH) とする。

【薬液の劣化・濃度均一性】

フィルタ装置スクラバ水に添加する NaOH の水系の相平衡については、『Gmelins Handbuch der anorganischer Chemie, Natrium, 8 Auflage, Verlag Chemie, Berlin 1928』より、第 1 図の通り示されている。第 1 図より、フィルタ装置スクラバ水の添加濃度である NaOH [] wt%] では、水温が 0℃ 以上であれば相変化は起こらない（つまり析出することはない）ことがわかる。フィルタ装置は保温材を敷設してあり、スクラバ水は 0℃ 以上となる。よって、フィルタ装置待機中に NaOH が析出することはない。

また、NaOH は非常に安定な化学種であり、フィルタ装置待機中、フィルタ装置はラプチャディスクにより外界と隔離され、窒素雰囲気置かれることから、フィルタ装置待機中において、薬液が変質することはない。

また、フィルタ装置を使用すると、スクラバノズルから噴射されるベントガスによりバブリングされ、NaOH は均一に拡散されると考えられる。



第 1 図 NaOH の水系相平衡図

【水位の設定】

スクラバ水の水位は、以下の理由から下限水位/上限水位を設定し、フィルタ装置使用中は、スクラバ水位が下限水位から上限水位までの範囲を逸脱しないよう水位の確認、調整を行う。

① 下限水位

- ・スクラバ水は、水位が高い方がDFは大きくなる。
- ・スクラバ水位がスクラバノズル上端から0.5m以上であれば、DFが目標性能を満足できることを確認している。
- ・そのため、水スクラバの下限水位を、スクラバノズル上端から0.5mに設定する。

② 上限水位

- ・スクラバ水位が上昇し、ベントガスによるスクラバ水の吹き上がりが金属フィルタに到達すると、金属フィルタの有効面積が減少し、金属フィルタの差圧が上昇する。
- ・金属フィルタの差圧が上昇すると、金属フィルタドレン配管内の水位が上昇し、最悪の場合、金属フィルタドレン配管から金属フィルタ二次側へスクラバ水を噴出する。
- ・スクラバ水の噴出は、金属フィルタドレン配管下端が気相に露出するまで継続する。
- ・金属フィルタドレン配管下端の位置は、第1図の通り、スクラバノズル上端よりも低いため、水スクラバは機能喪失する。また、金属フィルタドレン配管を通じて、金属フィルタをバイパスしてガスが流れることから、金属フィルタも機能喪失する。そのため、フィルタ装置の機能が喪失する。
- ・スクラバ水の吹き上がり量、ならびにスクラバ水吹き上がりに伴う金属フィルタの差圧上昇については、以下の『スウェル試験』により確認し、その結果、上限水位をスクラバノズル上端から2.2mに設定する。



第1図 フィルタ装置構造図

(スウェル試験)

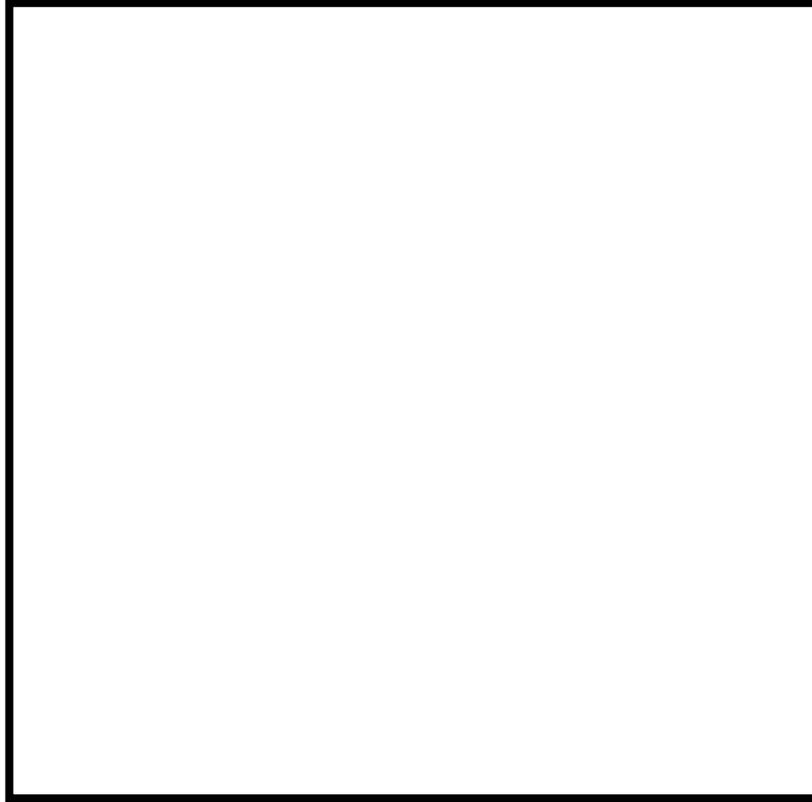
水スクラバにガスを噴射した際の、スクラバ水の吹き上がり（スウェル）量と金属フィルタの差圧を確認する試験を実施した。

試験条件は第1表に記載の通り、実機と同じ高さの試験装置を用い、スクラバ水の水位を徐々に大きくし、スクラバ水の吹き上がり量を目視にて確認し、同時に金属フィルタの差圧を計測した。水の粘度が大きい方が、吹き上がり高さも高くなることから、保守的にスクラバ水を常温の状態とし、試験ガスは常温の空気を用いた。また、薬液による影響を考慮するため、スクラバ水に実機と同じく []wt% の NaOH を溶解した。

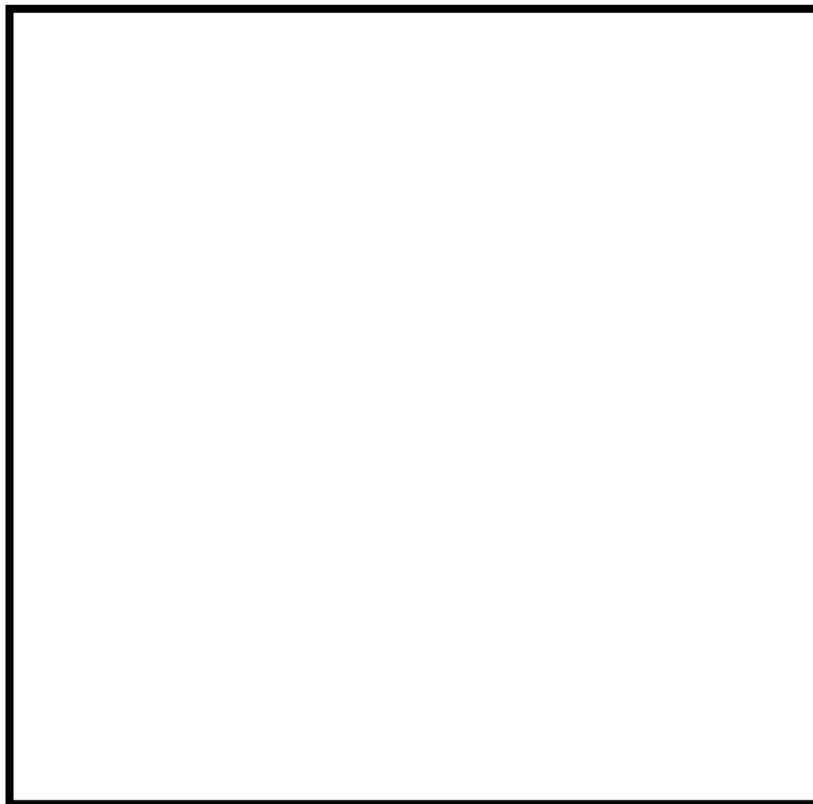
第1表 スウェル試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・実機高さ試験装置 スクラバノズル本数は1本（実機は140本）、断面積は実機の1/140
試験ガス	・空気
ガス・スクラバ水温度	・常温
スクラバ水位	・1m, 2m, 2.1m, 2.2m, 2.3m, 2.4m, 2.5m (2Pd相当流量試験時) ・2m, 2.5m (最小流量相当試験時)
ガス体積流量	・2Pd相当流量 ・最小流量相当
薬液濃度	・NaOH []wt%

上記条件にて試験を実施した結果、スクラバ水の吹き上がり量は第2, 3図の通りとなった。第2図に示す通り、2Pd相当流量（実機最大流量）においては、スクラバ水位2.3mで吹き上がった水は金属フィルタ下端に到達し、それより高い水位では金属フィルタの一部が水没した。また、第3図の通り、最小流量相当では、スクラバ水位2.5mでも吹き上がった水は金属フィルタ下端には到達しなかった。

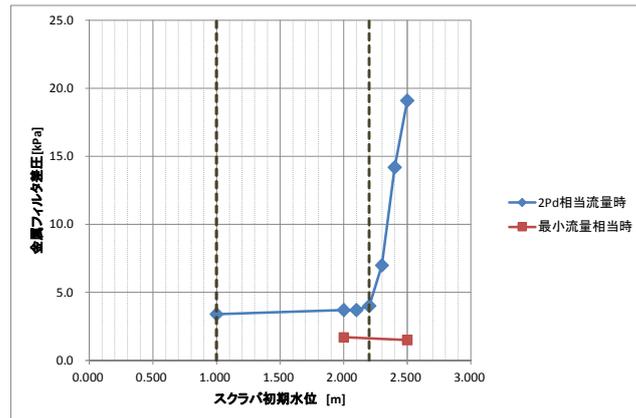


第2図 吹き上がり量目視確認試験結果（2Pd相当流量時）



第3図 吹き上がり量目視確認試験結果（最小流量相当時）

また、金属フィルタの差圧は第4図の通りとなった。第4図に示す通り、2Pd相当流量（実機最大流量）においては、水位が2.3m以上となると金属フィルタの差圧が急上昇していることがわかる。そのため、やはり金属フィルタの一部が水没してしまうと、金属フィルタの差圧が上昇することを確認した。一方、最小流量相当では、スクラバ水位2.5mでも金属フィルタの差圧上昇は認められなかった。



第4図 金属フィルタ差圧計測結果

以上より、水スクラバの上限水位は、実機最大流量時の吹き上がり高さを考慮して、スクラバノズル上端+2.2mに設定する。

一方、フィルタ装置が最大流量となるのは、格納容器圧力2Pdにてベントを開始した直後であり、スクラバ水位は低い状態である。ベントガスの凝縮によりスクラバ水位が上昇して上限水位に到達する時には、ベント開始から十分時間が経過しており、ベントガスの流量は最大流量と比較して十分小さくなっている。

そのため、水スクラバの水位が高い状態と、ベントガスの流量が大きい状態を組み合わせ設定した上限水位は、非常に保守的である。

別紙 2 8 6号炉と7号炉で放射線モニタ設置位置が異なることに対する考え方

放射線モニタの設置目的は、別紙3で示したとおり、配管の線量率(mSv/h)から放射性物質濃度(Bq/cm³)を算出することである。

放射線モニタは6号炉の場合、ラプチャーディスク通過後に設置しており、7号炉では、ラプチャーディスク通過前に設置してあるが、ラプチャーディスクは、格納容器からの排気圧力(0.31MPa [gage])と比較して十分低い圧力(0.10MPa [gage])で開放する設定としているため、6号炉及び7号炉の設置位置でも放射線モニタで十分に計測することが可能である。そのため、放射線モニタの設置位置は、現場の施工性を考慮して上記のとおり設計している。

なお、ラプチャーディスクが開放したかどうかの判断については、圧力計で確認できる設計としている。

別紙 2 9 無機よう素捕捉時の化学反応による影響について

【化学反応熱】

水スクラバには、薬液として NaOH を [wt%] 溶解することにより、下記の化学反応式により、無機よう素をよう素イオンとして、水スクラバ中に捕捉する。



上記の反応に伴う反応熱 Q_1 を標準エンタルピーより算出すると、 Q_1 は以下の通りとなる。(化学便覧改訂 5 版基礎編 II 表 10.127 および表 10.139 より)

$$3x[0] + 6x[-230.015] = 5x[-56.78] + 1x[-221.3] + 3x[-285.83] + Q_1$$
$$Q_1 = -17.4[\text{kJ/mol}]$$

ここで、フィルタ装置に流入する無機よう素は 5.22[mo1] と評価していることから、無機よう素の捕捉により生じる熱量 Q_2 は、以下の通りとなる。

$$Q_2 = Q_1 \times 5.22$$
$$= -17.4 \times 5.22$$
$$= -90.83[\text{kJ}]$$

一方、フィルタ装置には、事故後 1 ヶ月においても約 2.5[kg/s] の蒸気が流入する。なお、フィルタ装置に流入する蒸気が、保守的に大気圧の飽和蒸気であるとする、蒸気の比エンタルピーは 2675.57[kJ/kg] となる。よって、事故後 1 ヶ月における、フィルタ装置への蒸気エネルギーの流入率 W_3 [kJ/s] は以下の通りとなる。

$$W_3 = 2675.57 \times 2.5$$
$$= 6688.92[\text{kJ/s}]$$

ゆえに、無機よう素が捕捉される際の熱量は、事故後 1 ヶ月後のフィルタ装置への蒸気流入量を想定したとしても、1 秒以下で消費されることから、フィルタ装置に流入するエネルギーに対して非常に小さいことがわかる。そのため、無機よう素捕捉による熱量がフィルタ装置の性能に与える影響はない。

【化学反応生成物】

無機よう素が反応するときの生成物は、フィルタ装置の性能に影響を与えるものではなく、可燃性物質もないことから、生成物の除去等特段の対応は不要である。

また、格納容器から塩化物の飛来が想定されるが、スクラバ水の水酸化ナトリウムと反応して NaCl が生成されるだけであることから、フィルタ装置の性能に影響を与えるものではない。

また、有機ヨウ素はスクラバ水とは反応しないことから、有機ヨウ素の飛来がフィルタ装置の性能に与える影響はない。さらに、フィルタ装置内の内部に塗装は施していないため、フィルタ装置内で有機ヨウ素が発生することはない。

別紙30 フィルタ装置を長期使用時の影響について

フィルタ装置を長期間使用した場合の影響として、フィルタ装置スクラバ水にエアロゾルを捕集したことによるスクラバ水性状変化による DF 性能への影響と、金属フィルタに捕捉されるエアロゾルによる閉塞について、以下の通り確認した。

1. スクラバ水性状変化による影響

水スクラバには、格納容器ベントに伴い飛来するエアロゾルが大量に捕捉される。エアロゾルには、水溶性のエアロゾルと非水溶性のエアロゾルがあり、エアロゾルを捕集することによりスクラバ水の性状が変化する。このスクラバ水の性状の変化が DF 性能に与える影響を確認するため、水溶性エアロゾルとして CsI を、非水溶性エアロゾルとして TiO_2 それぞれをスクラバ水に大量に投入して、水スクラバ単体の DF 性能試験を行い、エアロゾルを投入しない場合の DF 性能試験の結果と比較した。

試験は第 1-1 図に示す、アクリル試験装置を用いて実施した。試験条件を第 1-1 表に示す。また、実機に換算したエアロゾルの投入量を第 1-2 表に示す。第 1-2 表より、非常に大量のエアロゾルを投入したことがわかる。



第 1-1 図 試験概要図 (スクラバ水性状影響確認試験)

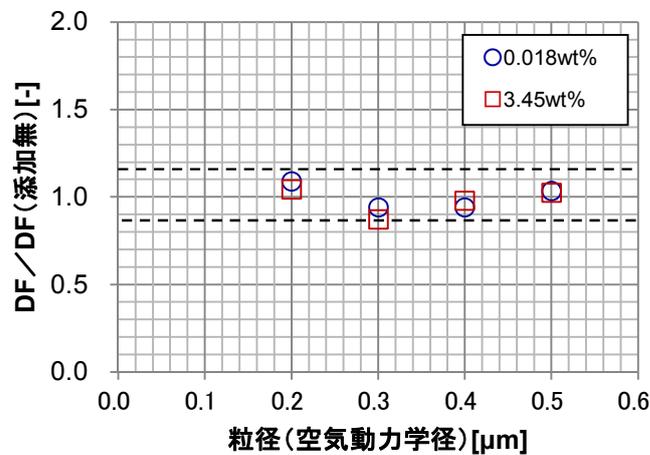
第 1-1 表 スクラバ水性状影響確認試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・ アクリル試験装置
試験ガス	・ 空気
スクラバ水位	・ 1m
ガス・スクラバ水温度	・ 常温
ガス体積流量	・ 2Pd 相当流量 ・ 最小流量相当
スクラバ水への エアロゾル投入濃度	【CsI】 ・ 0.018wt% ・ 3.45wt% 【TiO ₂ 】 ・ 0.019wt% ・ 3.67wt%
試験エアロゾル	・ PSL

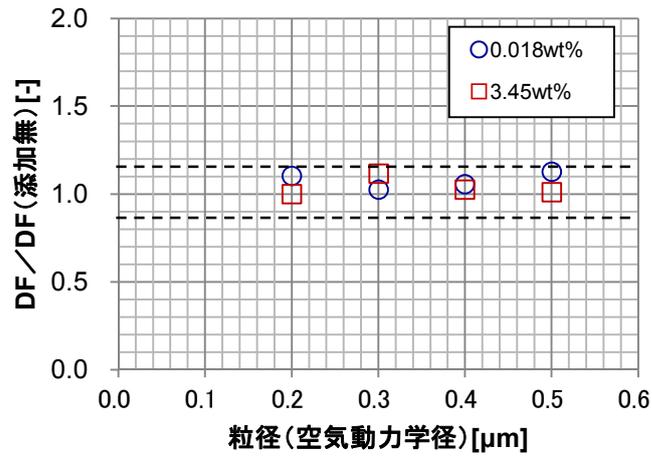
第 1-2 表 エアロゾル投入量実機換算値

試験投入濃度		実機換算量
CsI	0.018wt%	4.42kg
	3.45wt%	847.32kg
TiO ₂	0.019wt%	4.66kg
	3.67wt%	901.35kg

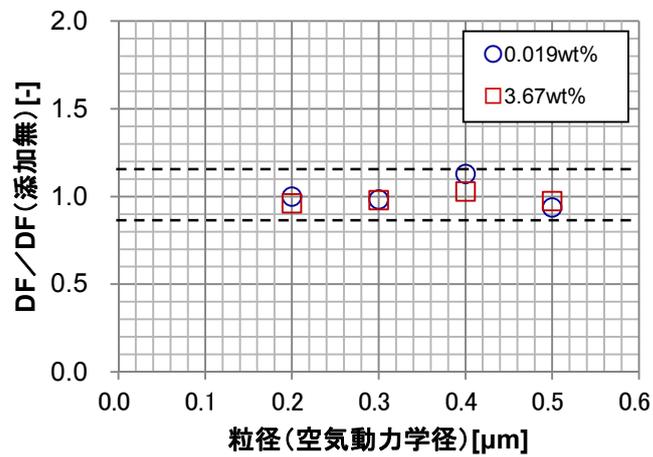
上記の条件にて試験を実施して DF を算出し、スクラバ水にエアロゾルを投入しない場合の DF との比を算出した結果、第 1-2～5 図の通りとなった。



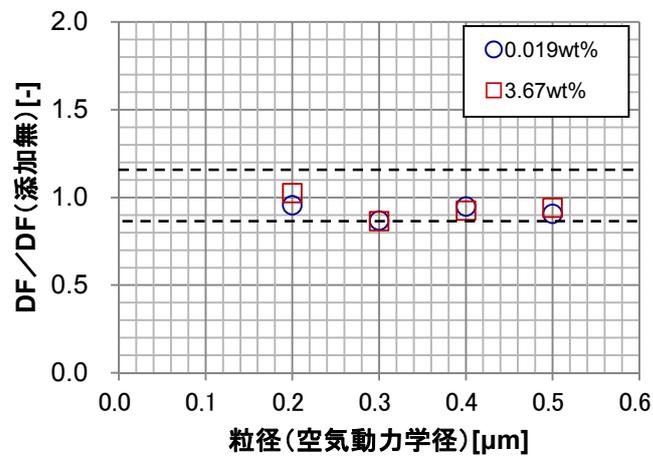
第 1-2 図 DF 比 (CsI 投入, 2Pd 相当流量)



第 1-3 图 DF 比 (CsI 投入, 最小流量相当)



第 1-4 图 DF 比 (TiO₂ 投入, 2Pd 相当流量)



第 1-5 图 DF 比 (TiO₂ 投入, 最小流量相当)

試験の結果より、エアロゾルを投入する場合としない場合で、DFに顕著な増減はなく、またDFの増減に一定の傾向は認められなかった。そのため、実機においてエアロゾルがスクラバ水に大量に流入したとしても、水スクラバのDF性能に影響はないと考える。

2. 金属フィルタ閉塞

フィルタ装置へのエアロゾルの流入による、金属フィルタの閉塞評価を実施した。事故シナリオは、大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失シナリオと、MCCI が発生する高圧・低圧注水機能喪失シナリオ^{※1}とし、フィルタ装置へのエアロゾル流入量が大きい D/W ベントの場合を考慮した。

※1 フィルタ装置へのエアロゾル流入量の不確かさを考慮してもフィルタ装置が性能を発揮できることを確認するために、熔融炉心・コンクリート相互作用により、コンクリートエアロゾルが大量に発生するシナリオを想定した。このシナリオでは、原子炉圧力容器への注水及び下部ドライウエルへの事前水張りに全て失敗し、熔融炉心が下部ドライウエルに落下してから 1 時間後に初めて格納容器内（下部ドライウエル）に注水を開始するものとした。

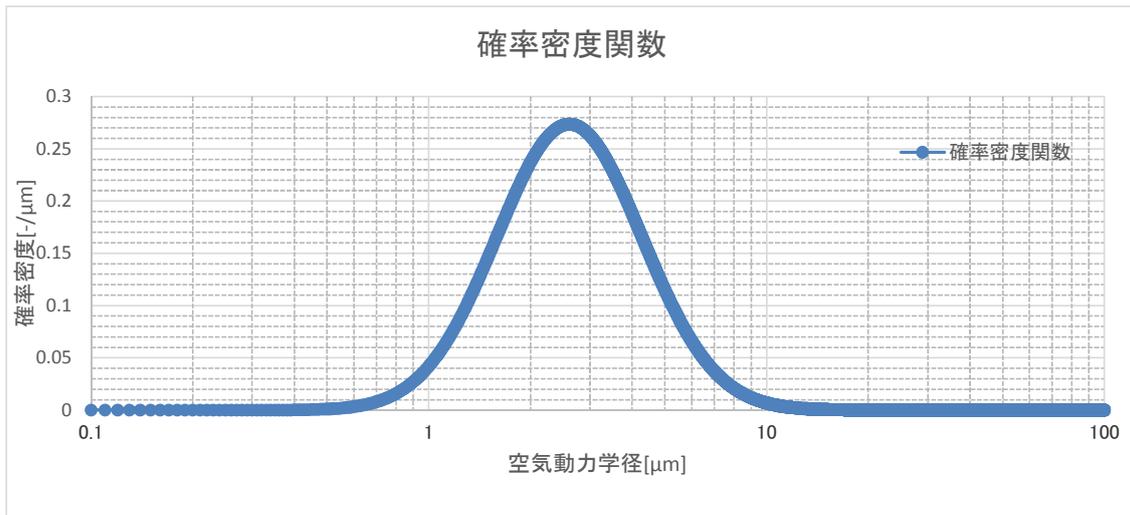
評価の手順は、以下の通りとなる。

- ① 各シナリオにおける、フィルタ装置に流入するエアロゾルの粒子径分布と流入量 (cm³) を評価
- ② フィルタ装置に流入するエアロゾル粒子径分布に対して、水スクラバ単体のオーバーオール DF を算出
- ③ フィルタ装置に流入するエアロゾル量を水スクラバ単体のオーバーオール DF で除して、金属フィルタに流入するエアロゾルの量を算出
- ④ 金属フィルタに流入するエアロゾルの量と、金属フィルタに許容されるエアロゾル量と比較し、流入量 < 許容量であることを確認する

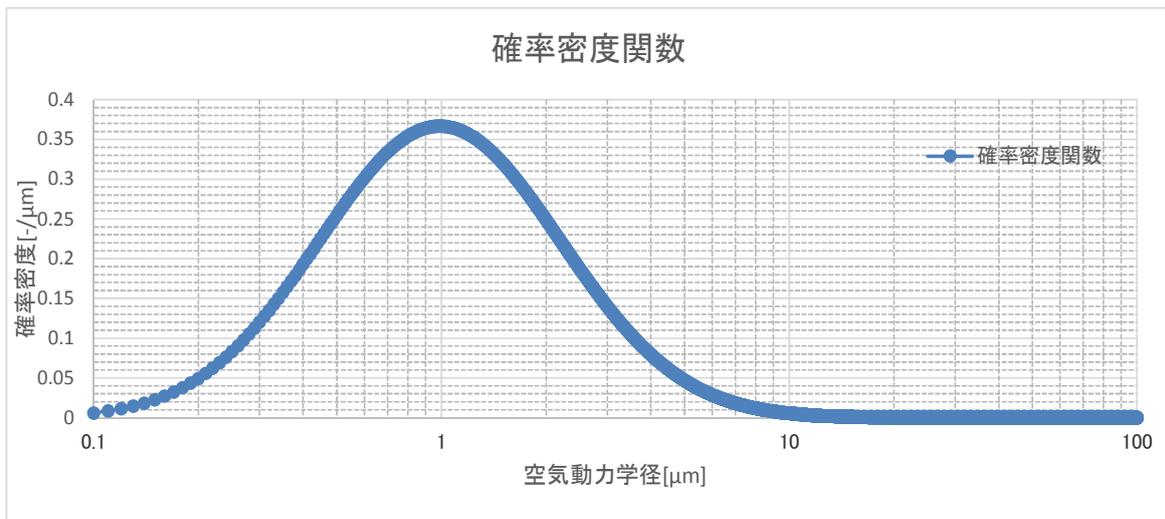
以下に評価結果を示す。

① フィルタ装置に流入するエアロゾル粒子径分布と流入量

フィルタ装置に流入するエアロゾルの粒径分布は第 2-1, 2 図の通りとなる。また、フィルタ装置に流入するエアロゾル量は第 2-1 表の通りとなる。



第 2-1 図 エアロゾル粒子径分布（大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, D/W ベント）



第 2-2 図 エアロゾル粒子径分布（高圧・低圧注水機能喪失, D/W ベント）

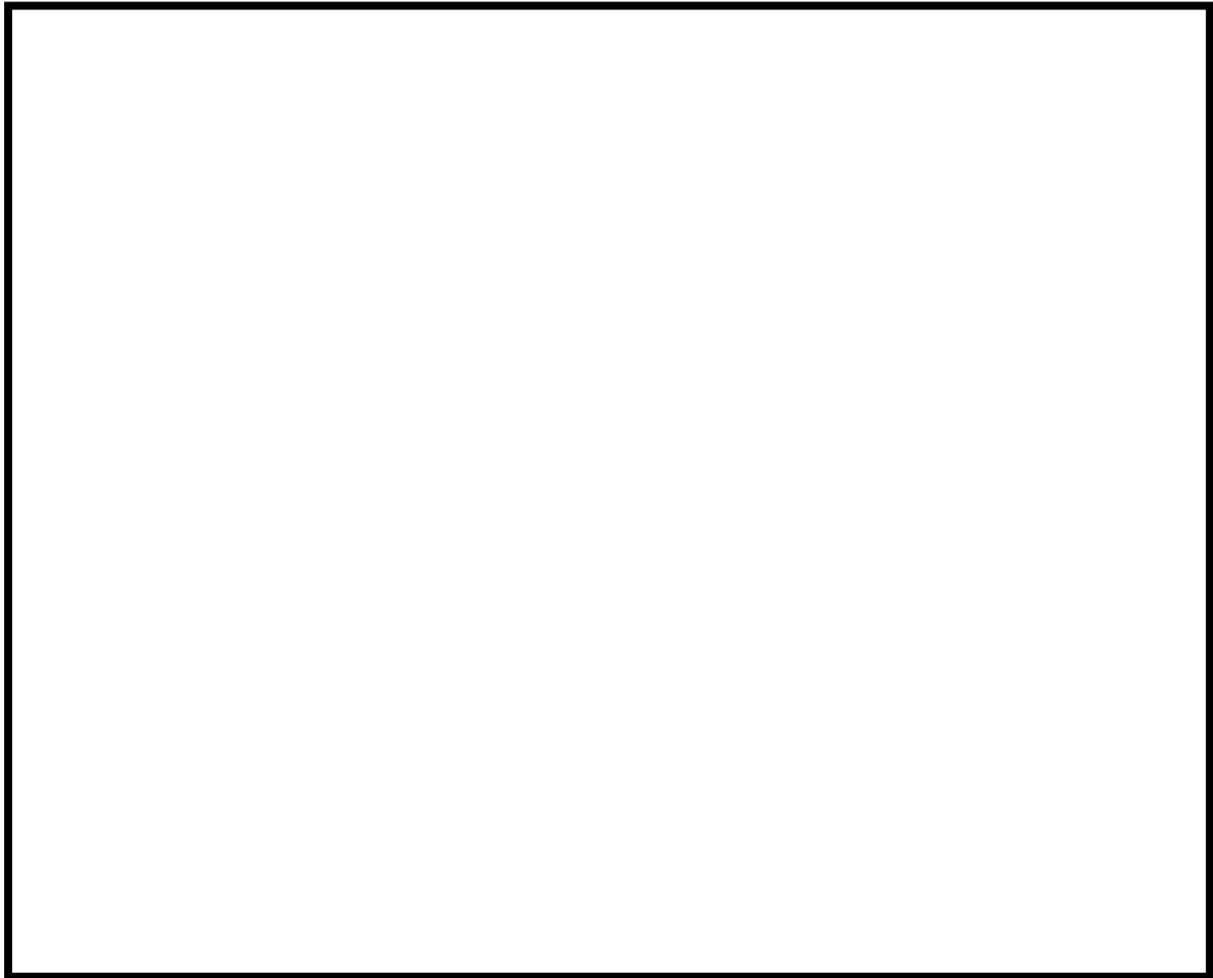
第 2-1 表 エアロゾル流入量

シナリオ	エアロゾル流入量
大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, D/W ベント	569.48 cm ³
高圧・低圧注水機能喪失, D/W ベント	10203.38 cm ³

② 水スクラバ単体オーバーオール DF

水スクラバオーバーオールの DF を評価するため、水スクラバ単体の DF 性能試験にて DF を評価した。

DF 性能試験は、実機により近い条件である蒸気を用いた場合にて実施した。なお、スクラバ水温は飽和温度とし、水蒸気の凝縮効果を見込まない保守的な条件とした。試験設備は第 2-3 図、試験条件を第 2-2 表に示す。なお、スクラバ水の薬液の影響を考慮し、スクラバ水に実機と同じ NaOH を [wt%] 溶解して試験を実施した。

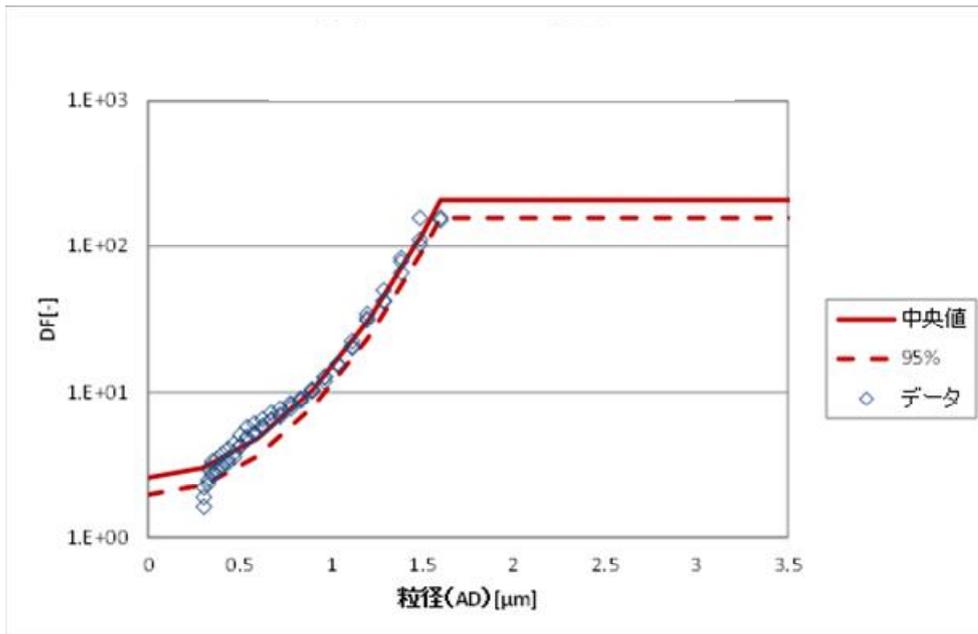


第 2-3 図 試験概要図（蒸気，水スクラバ性能試験）

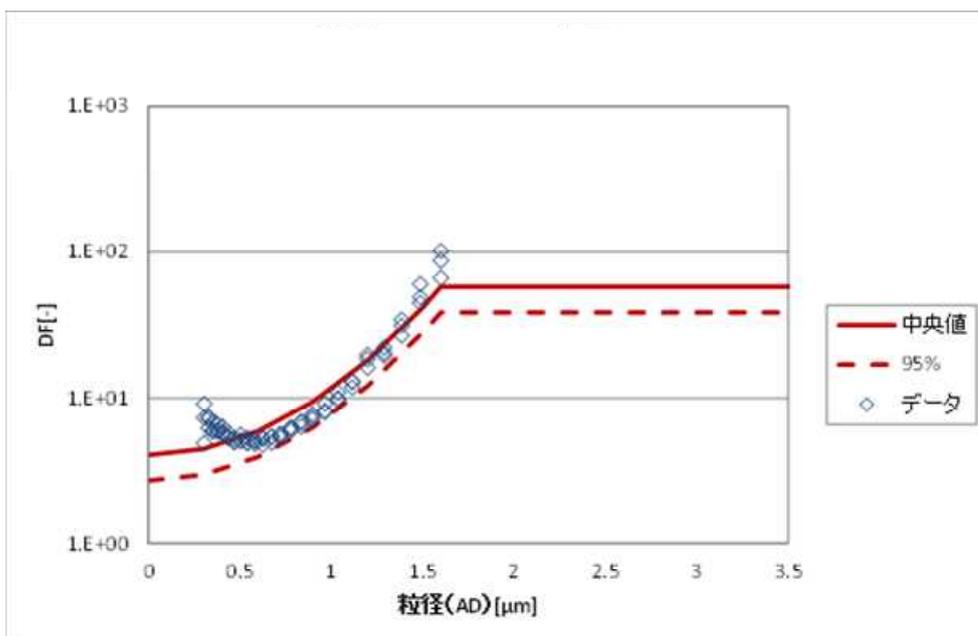
第 2-2 表 蒸気，水スクラバ試験条件一覧表

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
薬液添加量	・ NaOH <input type="text"/> wt%
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 2-4 図、第 2-5 図の通りとなった。なお、試験データプロットにはばらつきがあることから、これらデータプロットのフィッティングカーブを作成し、さらに 95%信頼区間の下限値を示すカーブを作成した。また、2Pd 相当流量、最小流量相当ともに約 1.5 μm 、までのデータがあるが、それより大きい粒子径領域の DF については、非常に保守的な設定であるが、データがある最大の粒子径における DF 値であるとした。このようにして作成した線を水スクラバ単体の DF 性能線とした。



第 2-4 図 水スクラバ性能試験結果 (2Pd 相当流量)



第 2-5 図 水スクラバ性能試験結果 (最小流量相当)

第 2-1 図、第 2-2 図の粒子径分布に対して、第 2-4 図、第 2-5 図に示す水スクラバの DF 性能線を用いて、(1)式により水スクラバのオーバーオール DF を算出すると、第 2-3 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 における水スクラバの 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 2-3 表 水スクラバオーバーオール DF

シナリオ	ガス流量	水スクラバ オーバーオール DF
大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	115
	最小流量相当	34
高圧・低圧注水機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	15
	最小流量相当	12

③ 金属フィルタに流入するエアロゾルの量

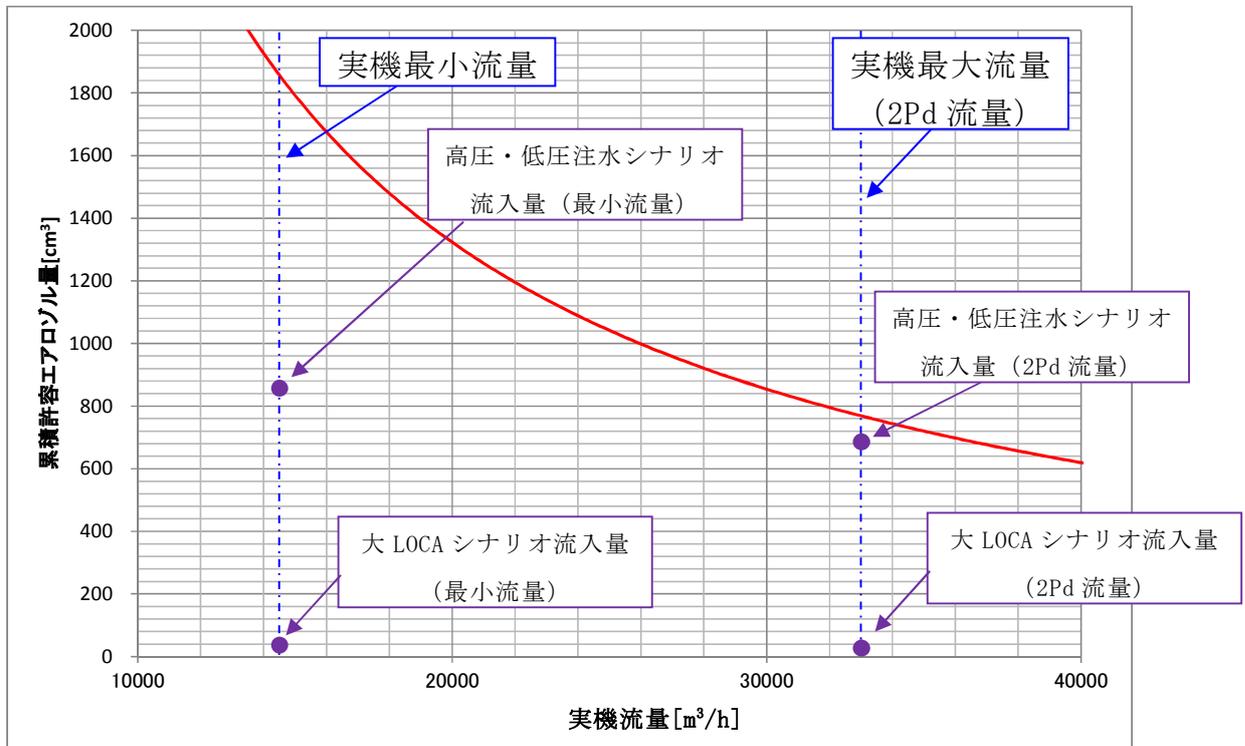
フィルタ装置に流入するエアロゾル量①と、水スクラバのオーバーオール DF ②より、金属フィルタに流入するエアロゾルの量は、第 2-4 表の通り評価できる。

第 2-4 表 金属フィルタに流入するエアロゾル量

シナリオ	ガス流量	金属フィルタに流入する エアロゾル量
大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	4.95 cm ³
	最小流量相当	16.75 cm ³
高圧・低圧注水機能喪失, D/W ベント	2Pd 相当流量	680.23 cm ³
	最小流量相当	850.29 cm ³

④ 金属フィルタに流入するエアロゾルの量と、金属フィルタに許容されるエアロゾル量と比較

金属フィルタに許容されるエアロゾル量を第 2-6 図に示す。



第 2-6 図 金属フィルタの許容エアロゾル量

第 2-6 図に示す通り、大 LOCA+SBO+ECCS 機能喪失シナリオ、MCCI が発生する高圧・低圧注水機能喪失シナリオともに、金属フィルタに流入するエアロゾルの量は、金属フィルタに許容されるエアロゾルの量よりも小さいことがわかった。よって、金属フィルタの閉塞は生じないと考える。

別紙 3 1 地震による損傷の防止に関する耐震設計方針の説明

1. 配管設計における荷重の組み合わせと応力評価について

格納容器圧力逃がし装置は、ベント使用中は機器が損傷を受けることなく健全であることが求められる。したがって、設計上の最高使用温度・圧力(200℃, 2Pd)における荷重条件を「供用状態 A」及び「供用状態 B」として、クラス 2 機器として各部にかかる応力が許容応力以内であることを確認している。

一方で、当該設備は設置許可基準の三十九条における常設耐震重要重大事故防止設備兼常設重大事故緩和設備に該当し、基準地震動 S_s による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであることとしている。したがって、地震荷重に対する荷重の組合せを「供用状態 D」とし、各部にかかる応力が設計引張応力以内であり、なおかつ疲労破壊を起こさないことを確認している。

表 1 配管設計における荷重の組合せと許容応力

荷重の組合せ	許 容 応 力			供用状態	適用規格
	一次応力 (曲げ応力を 含む。)	一次+二次応力	一次+二次 +ピーク応力		
$D + P_d + M_b$	$1.5 \cdot S_h$	$S_{a(c)}$	—	(A, B)	設計・建設規格 PPC-3520(1) PPC-3530(1)
$D + P_d + (M_a) + M_b$	$1.8 \cdot S_h$	$S_{a(d)}$	—		設計・建設規格 PPC-3520(2) PPC-3530(1)
$D + P_d + (M_a) + S_s$	$0.9 \cdot S_u$	S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲れ累積係数が 1 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。		D (IVAS)	JEAG4601 第 3 種管の許容 応力/第 3 種管の 許容応力の解説

【各記号の注釈】

D : 自重及びその他の長期的機械的荷重による応力

P_d : 内圧応力

M_a : その他の短期的機械的荷重による応力 (当該設備においては対象外)

M_b : 二次応力 (熱応力)

$S_{a(c)}$: 一次+二次応力に対する許容応力 (短期的荷重を含まない場合)

$S_{a(d)}$: 一次+二次応力に対する許容応力 (短期的荷重を含む場合)

S_h : 最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 3 に定める値

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

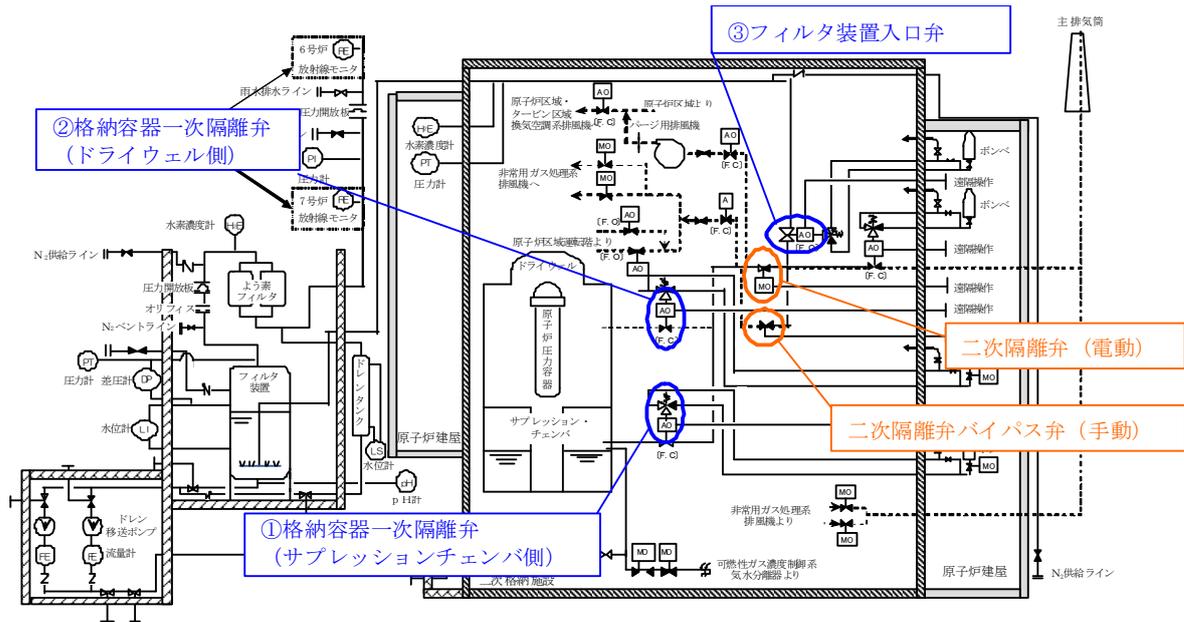
S_u : 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値

なお、当該設計における荷重の組み合わせと許容限界としては、原子力発電所震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984, JEAG4601-1987 及び JEAG4601-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「JEAG4601」という。）および発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005(2007 追補版含む）（日本機械学会 2005 年 9 月，2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠したものである。

別紙3 2 空気作動弁に対する人力操作の成立性について

1. 概要

ベント操作に関連して開閉が必要な空気作動弁としては、格納容器一次隔離弁（ドライウェル側及びサプレッションチェンバ側）及びフィルタ装置入口弁がある（第1図）。これらはの弁はいずれもシリンダー操作式空気作動バタフライ弁であり、二次格納施設外からの遠隔人力操作が可能な構造としている。



第1図 二次格納施設外より人力操作を行う空気作動弁

遠隔人力操作機構の主な機器構成を第2図に示す。

- ・ 二次格納施設外の操作ハンドルの回転トルクを弁駆動部シリンダーの操作軸をまで伝達させるための等速ジョイント
- ・ 手動操作軸の回転トルクを低減するための減速ギアボックス
- ・ 等速ジョイントを躯体床もしくは壁面に固定するためのギアボックス

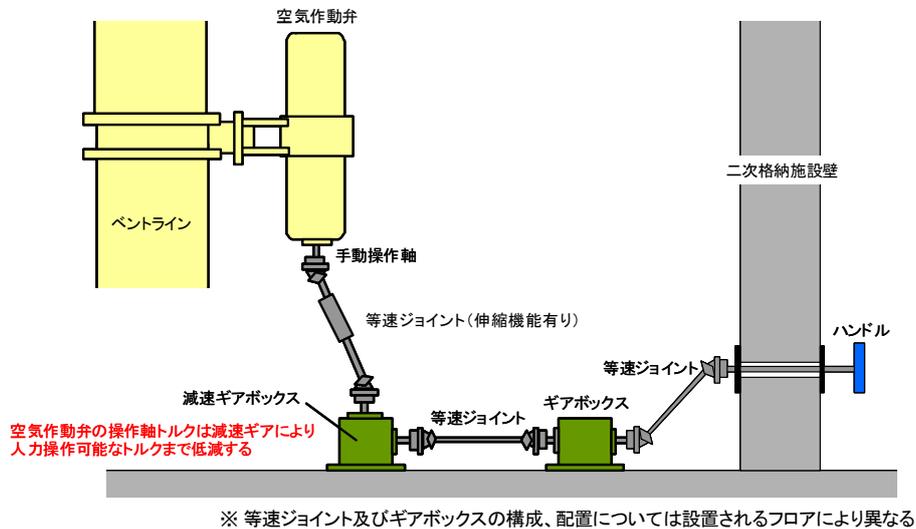
により構成されている。

空気作動バタフライ弁に対して空気作動の場合と人力操作を行う場合の動作機構の説明を第3図に示す。

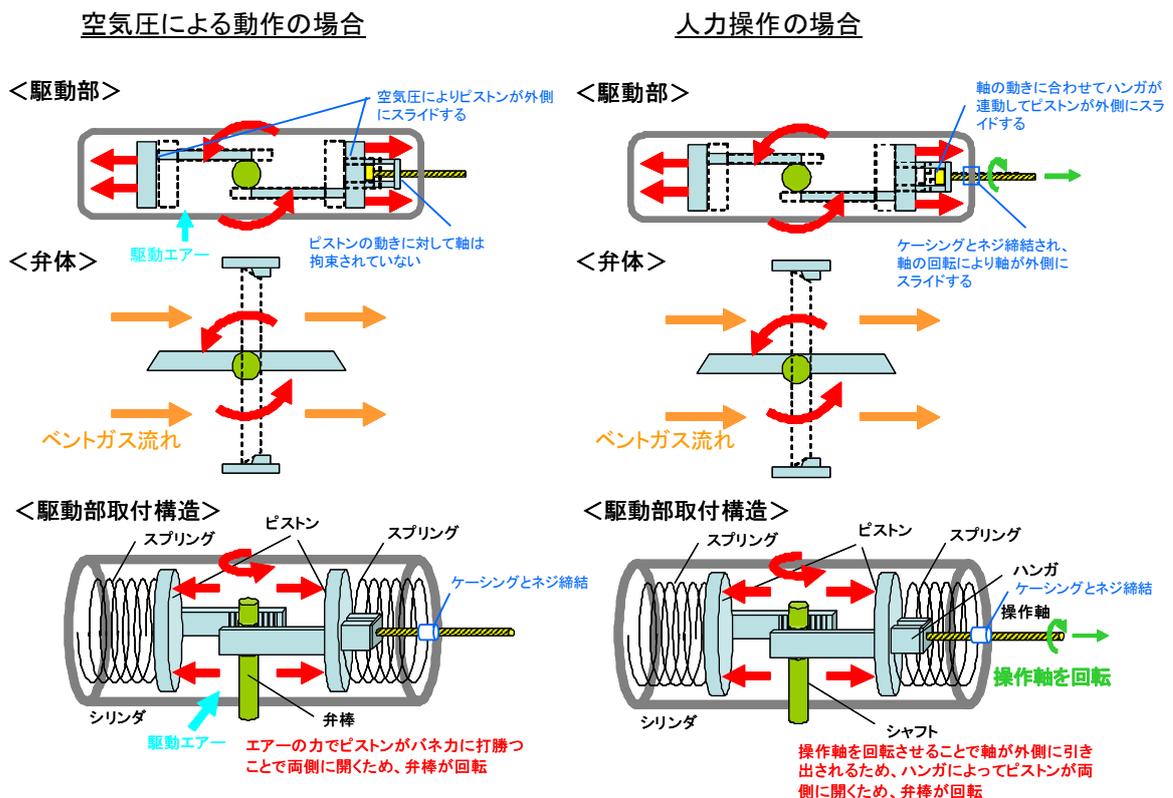
空気作動を行う場合にはシリンダー内に空気を供給することにより、ピストンがスプリング反力に逆らって外側に押し広げられ、ピストンの動作に合わせて弁棒が回転して弁体が開閉動作する。

一方で、人力操作を行う場合、操作軸がケーシングに対してネジ締結になっており、手動で操作軸を回転させることにより、操作軸が水平方向に移動する。ピストンに取り付けられているハンガは操作軸と連動して回転することなく水平方向に移動し、弁が開閉する。この際に、スプリング力は水平方向の力しか発生しな

いため、操作軸を水平方向に押しえつめるだけである。そのため、操作軸に回転力を加え続けなくても逆転することはなく、開保持は可能である。開保持可能であることは弁単体を用いた実機での作動試験においても十分に確認済みである。



第2図 空気作動弁遠隔操作機構構成図



第3図 空気作動弁を操作する際の動作原理

2. 操作性

二次格納施設外よりハンドルを回転する際の操作トルクについては、等速ジョイントやギアボックスによる伝達効率を考慮した上で、人力で操作可能な回転数、トルクに調整されている。人力操作対象弁を操作する際の最大トルク及び人力で全開もしくは全閉するためのハンドル回転数について第 1 表及び第 2 表に示す。

第 1 表 空気作動バタフライ弁の人力操作性（7号炉）

No.	弁名称	駆動方式	弁の状態	最大操作トルク (理論値)	回転数 (全閉→全開)	操作時間 (想定)	必要人員
①	格納容器一次隔離弁 (ドライウェル側)	空気駆動	N.C F.C	36N・m	418 回転	15 分	2 人
②	格納容器一次隔離弁 (サプレッションチェンバ側)	空気駆動	N.C F.C	37N・m	418 回転	15 分	2 人
③	フィルタ装置入口弁	空気駆動	N.O F.O	29N・m	418 回転	15 分	2 人

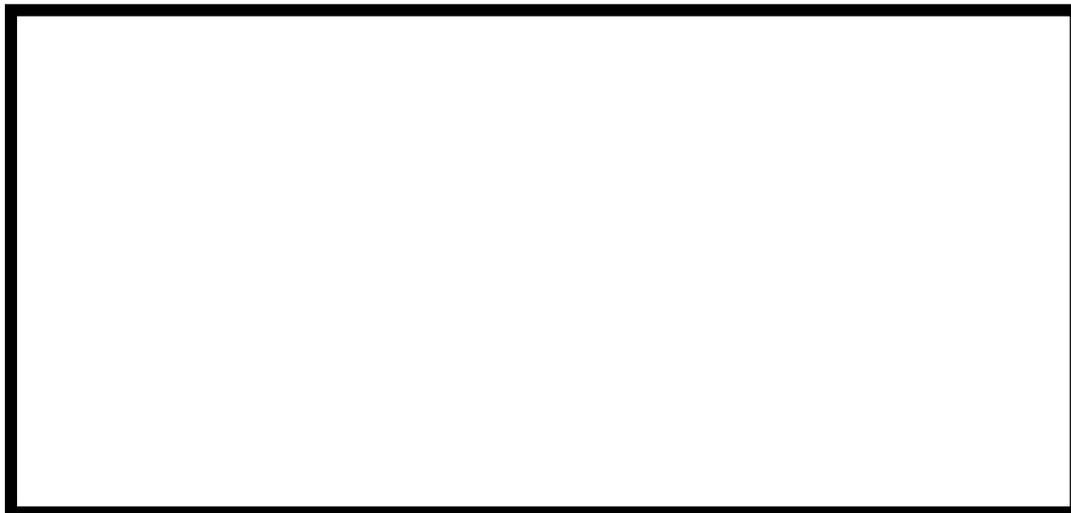
第 2 表 空気作動バタフライ弁の人力操作性（6号炉）

No.	弁名称	駆動方式	弁の状態	最大操作トルク (理論値)	回転数 (全閉→全開)	操作時間 (想定)	必要人員
①	格納容器一次隔離弁 (ドライウェル側)	空気駆動	N.C F.C	33N・m	418 回転	15 分	2 人
②	格納容器一次隔離弁 (サプレッションチェンバ側)	空気駆動	N.C F.C	31N・m	418 回転	15 分	2 人
③	フィルタ装置入口弁	空気駆動	N.O F.O	31N・m	418 回転	15 分	2 人

※ 最大操作トルク及び回転数については、電動駆動弁（二次隔離弁）をエクステンションにて人力操作する場合とほぼ同等であり、操作時間及び必要人員については、既に設置されている電動駆動弁の人力作動試験をもとに想定したものである。

3. 信頼性

シリンダー操作式空気作動バタフライ弁をラチェットハンドルにて人力操作する機構（第4図）は、6号炉及び7号炉において既に当該弁以外の弁にて採用されており、現状までに不具合は発生していない。



第4図 シリンダー操作式空気作動バタフライ弁

シリンダー操作式空気作動バタフライ弁の遠隔操作機構の成立性については、組み立て後の動作試験も含めて十分に検証していくこととする。

また、事故後にベント操作のために弁の開閉操作を行う場合、人力操作機構に求められる信頼性として耐放射線性、耐震性、耐環境性がある。

【耐放射線性】

ベント時に配管から受ける線量に対して劣化しないことが求められるが、駆動部及びケーシング等の強度部材として有機物を使用していないため、操作性に影響を与えることはない。

【耐震性】

等速ジョイント及びギアボックス単品について、各部品が設置されるフロアにおける地震荷重に対して健全であることを加振試験にて確認する。また、各部品を組み合わせた場合に、構成上最も厳しいパターンを代表して、加振試験を行うことで健全性を確認する。

また、操作対象弁が設置される配管が熱及び地震荷重によって変位するため、建屋床及び壁面に直接設置されるギアボックスに対して相対変位を生じる。これによって、弁とギアボックスを接続する等速ジョイントに可動範囲外の荷重がかかり、機器を破損することを防止するため、操作対象弁とギアボックスを接続する等速ジョイントは変位を吸収するための伸縮機構が設置されている。

【耐環境条件】

遠隔人力操作機構が設置されるエリアの事故時環境温度としては、保守的に100℃を想定する。等速ジョイントやギアボックスの主要部材は金属であることから事故時環境温度においても影響はない。一方で、主要部材以外で比較的耐熱温度が低いものについては以下の2点がある。

- ギアボックスに使用している潤滑油については、高温状態に晒された条件で長期間使用することで劣化速度が早まる傾向がある。劣化した状態で使用することによりギアボックスの内部抵抗が増加する可能性があるが、人力による低速回転で使用するものであり、使用時間も十分短いことから、潤滑油の劣化が機能に影響することはない。
- 等速ジョイントに使用されている異物混入防止カバーについてはクロロプレンゴム製品であるが、カバーの劣化が機能に影響を及ぼすことはない。また、クロロプレンゴム(CR)は ASTM における材料物性として耐熱温度が120℃と規定されているため、十分に許容温度以内である。

別紙 33 格納容器ベント実施に伴う現場作業の線量影響について

格納容器ベント実施に伴う現場作業は、放射線環境下での作業となることから、作業の成立性を確認するために、各作業場所における線量影響を評価する。

また、中央制御室又は現場のいずれにおいても同等の操作が可能な場合については、高線量環境が予想される現場での作業線量のみについて記載する。

1. 想定する作業と作業時間帯、作業エリア

格納容器ベントの実施前及び実施後における作業の作業場所、作業時間帯を第 1 表及び第 1-1 図から第 2-5 図に示す。

2. 想定シナリオ

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉においては、格納容器破損防止対策に係る有効性評価における雰囲気圧力・温度による静的負荷のうち、格納容器過圧の破損モードにおいて想定している、「大破断 LOCA 時に非常用炉心冷却系の機能及び全交流動力電源が喪失したシーケンス」においても、格納容器ベントを実施することなく事象を収束することのできる代替循環冷却系を整備している。従って、仮に 6 号炉及び 7 号炉において同時に重大事故が発生したと想定する場合であっても、第一に両号炉において代替循環冷却系を用いて事象を収束することとなる。しかしながら、被ばく評価においては、片方の号炉において代替循環冷却に失敗することも考慮し、当該号炉において格納容器圧力逃がし装置を用いた格納容器ベントを想定する。格納容器ベントに至る事故シーケンスとしては、前述の「大破断 LOCA 時に非常用炉心冷却系の機能及び全交流動力電源が喪失したシーケンス」を選定した。

なお、よう素放出量の低減対策として導入した格納容器内 pH 制御については、その効果に期待しないものとした。また、格納容器ベント実施後の屋外作業環境の評価においては、被ばく量がより大きくなるドライウェルベント時の評価結果で代表させた。

3. 評価経路

格納容器ベント実施前においては、二次格納施設内からのガンマ線の影響を受ける。また、格納容器ベント実施後においては、格納容器ベント前の被ばく経路に加え、格納容器ベントに伴い大気中に放出された放射性物質並びに格納容器圧力逃がし装置のフィルタ装置、よう素フィルタ及び配管内の放射性物質からのガンマ線の影響を受けることになる。各作業で評価対象とする被ばく経路を第 1 表に示す。また、被ばく経路の概念図を第 3-1 図及び第 3-2 図に示す。

4. 評価方法

(1) 格納容器から原子炉建屋に漏えいする放射性物質

原子炉建屋外の作業エリアにおいては、原子炉建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による実効線量を、作業エリアの位置、建屋の配置と形状並びに作業エリアを囲む壁等によるガンマ線の遮へい効果を考慮し評価する。直接ガンマ線については、QAD-CGGP2R コードを用い、スカイシャインガンマ線については、ANISN コード及び G33-GP2R コードを用いて評価する。

原子炉建屋内の作業エリアにおいては、二次格納施設内の放射性物質からのガンマ線による実効線量を、QAD-CGGP2R コードを用いて評価する。

(2) 大気中へ放出される放射性物質

大気中へ放出された放射性物質による作業エリアでの被ばくは、事故期間中の大気中への放射性物質の放出量をもとに、大気拡散効果及び作業エリアを囲む壁等によるガンマ線の遮へい効果を考慮して実効線量を評価する。

(3) フィルタ及び配管内の放射性物質

フィルタ及び配管内の放射性物質による作業エリアでの被ばくは、フィルタ及び配管内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による実効線量を、作業エリアの位置、フィルタ及び配管の位置と形状並びに作業エリアを囲む壁等によるガンマ線の遮へい効果を考慮し評価する。評価に当たっては、MCNP5 コード及び QAD-CGGP2R コードを用いる。

5. 評価条件

主な評価条件を第 2-1 表～第 2-5 表に示す。

6. 評価結果

格納容器ベントの実施前及び実施後における作業時の実効線量率を第 3-1 表、第 3-2 表に示す。

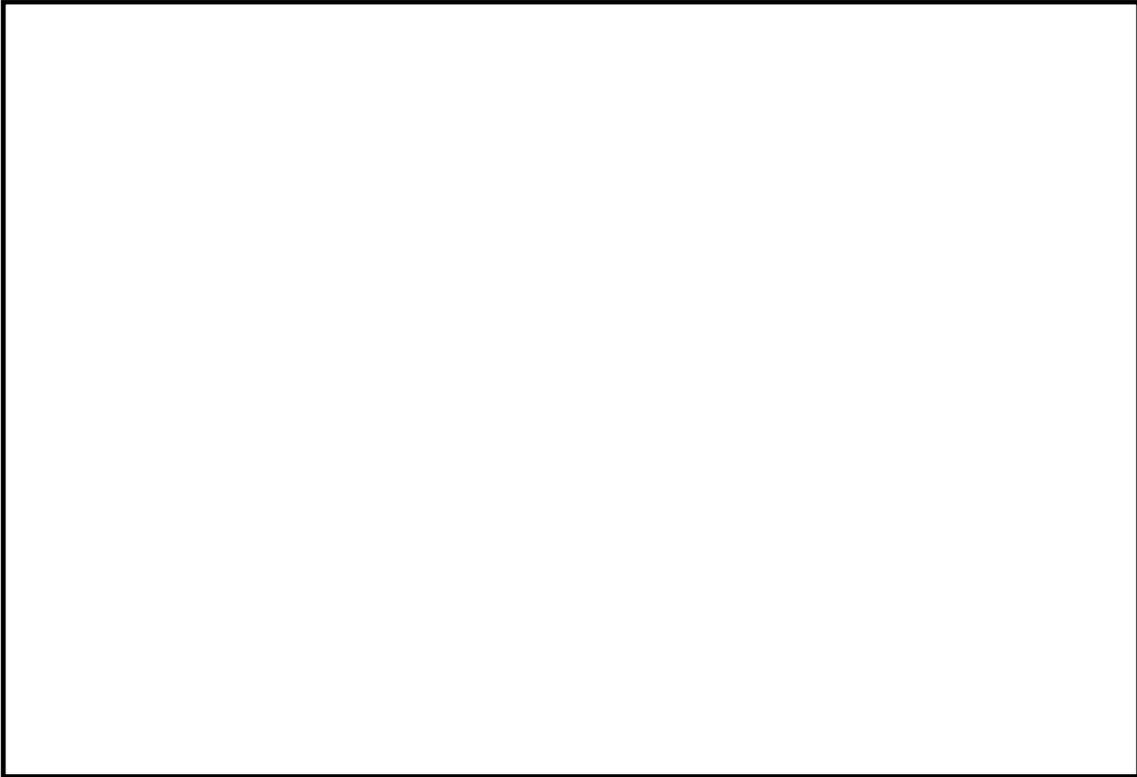
最も被ばく量が大きくなるのは、屋外で行う水位調整であり、6号炉の格納容器ベント実施時で 56mSv、7号炉の格納容器ベント実施時で 56mSv となり作業可能である。他の作業に係る被ばく量はそれよりも小さく、第 1 表に示す作業は何れも作業可能である。なお、炉心損傷前ベント後に炉心損傷の兆候が見られた場合における隔離弁の閉操作等の作業については、当該作業に係る被ばく量が、炉心損傷後の格納容器ベントに伴う作業時の被ばくに包含されるものと考えられるため、作業可能である。

第1表 格納容器ベント実施前後の作業及び被ばく経路

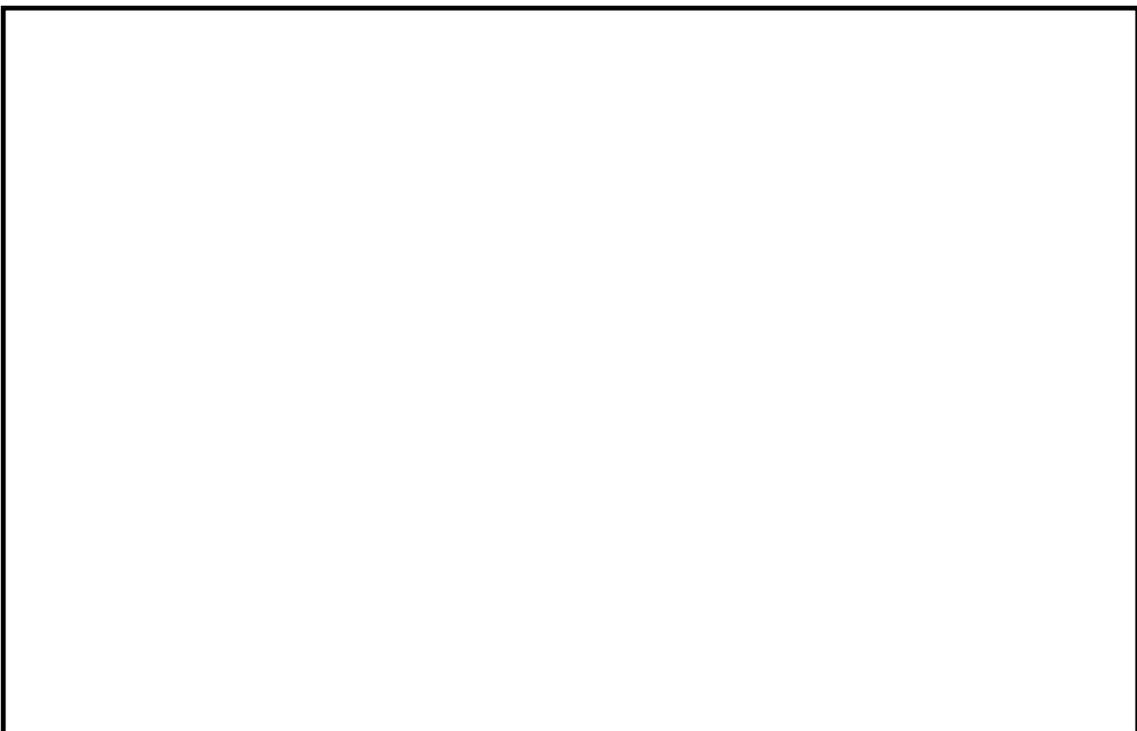
評価経路	評価内容	格納容器ベント実施前の作業			格納容器ベント実施後の作業			
		格納容器二次隔離弁の開操作	フィルタ装置排水ポンプ水張り	格納容器一次隔離弁の開操作	フィルタ装置水位調整	フィルタ装置への薬液注入	排水ラインの窒素パージ	ドレンタンク排水
		屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋外	屋外	屋外
格納容器から原子炉建屋に漏えいする放射性物質	二次格納施設内に浮遊する放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	○	○	○	○	○	○	○
大気中へ放出される放射性物質	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	○	○	○	○	○
	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質を吸入摂取することによる内部被ばく	—	—	—	○	○	○	○
	大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	○	○	○	○	○
フィルタ及び配管内の放射性物質	格納容器圧力逃がし装置のフィルタ装置及びよう素フィルタ並びに配管内の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	○	—	○	○	○	○	○
作業開始時間 (事象開始後)		2時間～ 約38時間後	約36時間～ 約37時間	ベント実施時刻 (約38時間後)	62時間後	62時間後以降	62時間後以降	62時間後以降
作業時間		60分間	60分間	25分間	2時間 (現場滞在は1時間※1)	1時間※1	1時間※1	1時間※1

※1 詳細仕様検討中のため、今後見直す可能性がある

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。

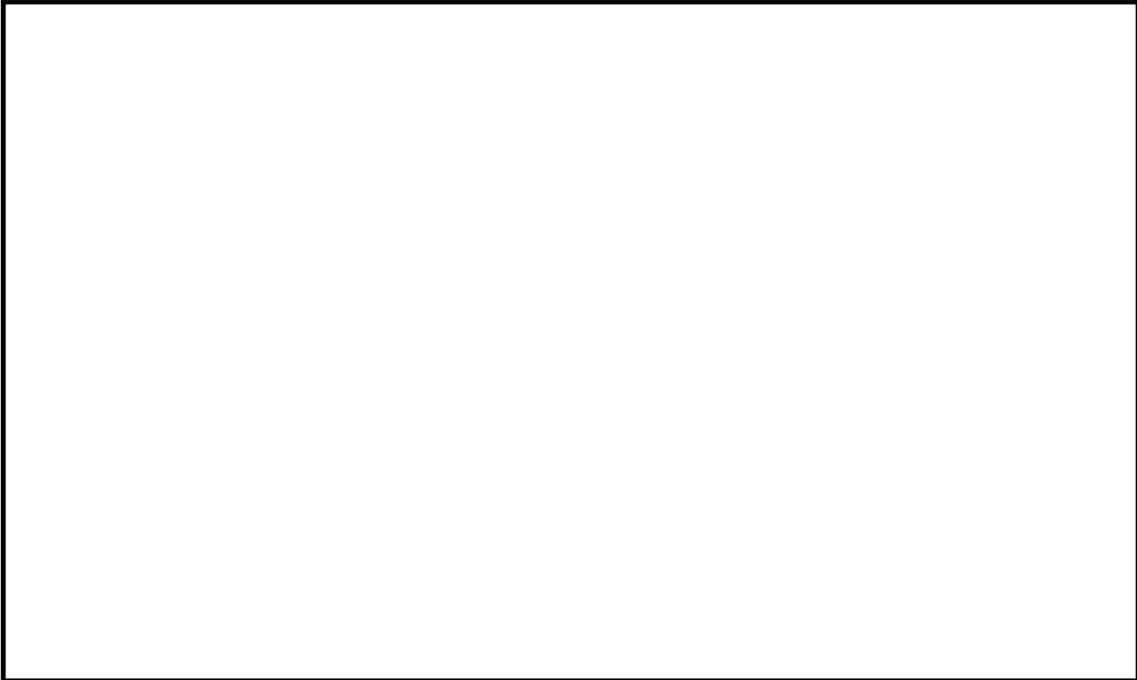


第 1-1 図 6 号炉屋内作業場所（原子炉建屋 3 階）

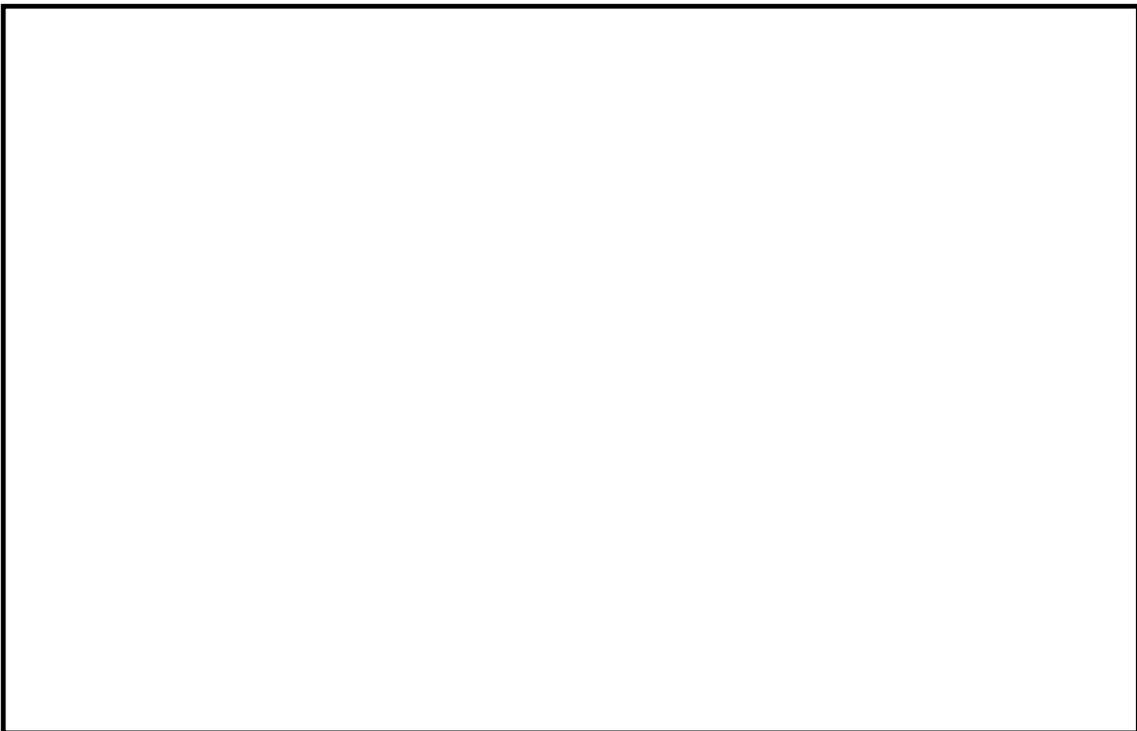


第 1-2 図 6 号炉屋内作業場所（原子炉建屋 2 階）

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。

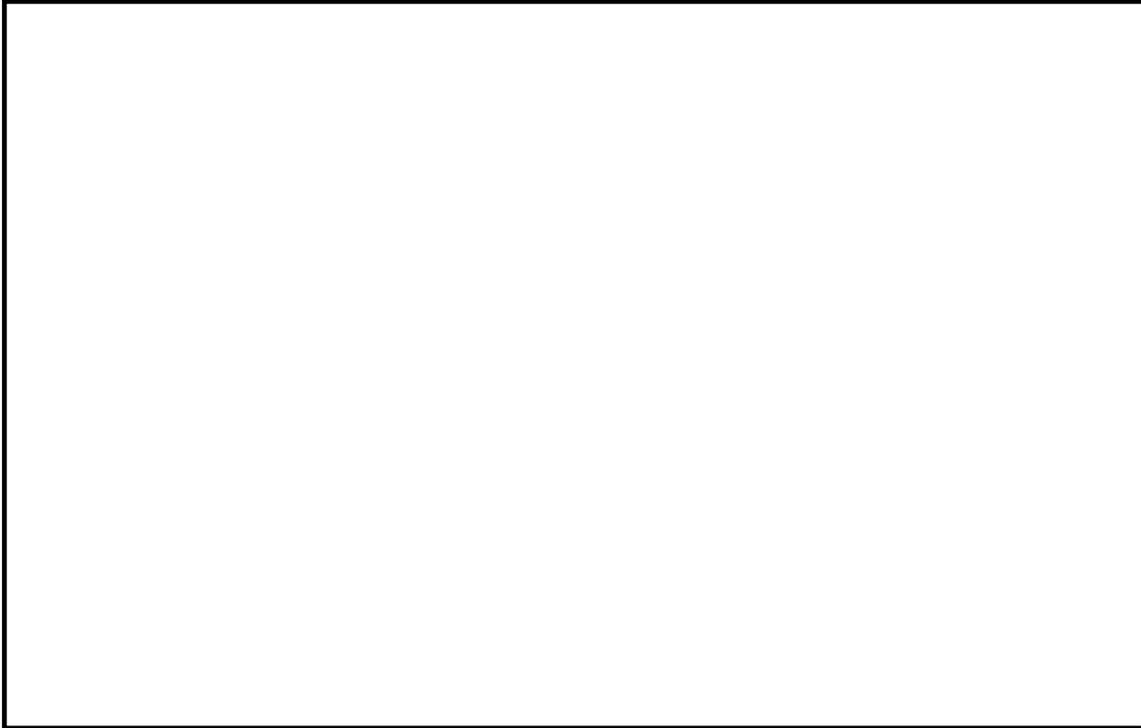


第 1-3 図 6 号炉屋内作業場所（原子炉建屋地下 1 階）

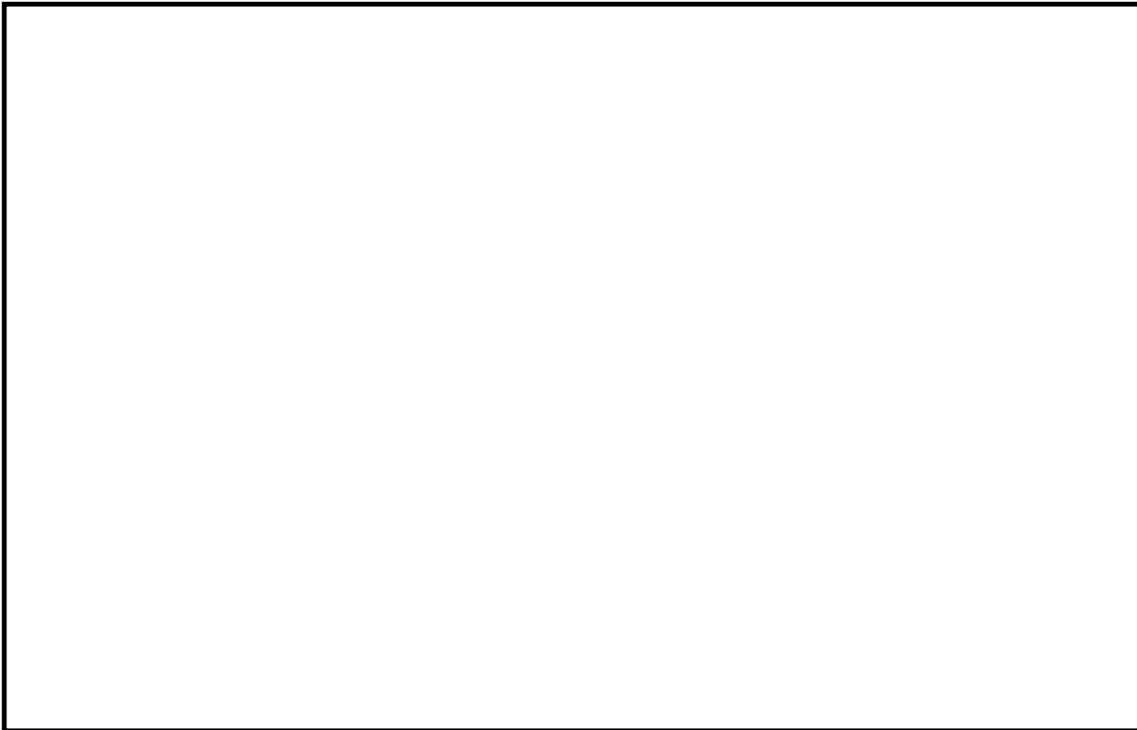


第 1-4 図 6 号炉屋外作業場所

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。

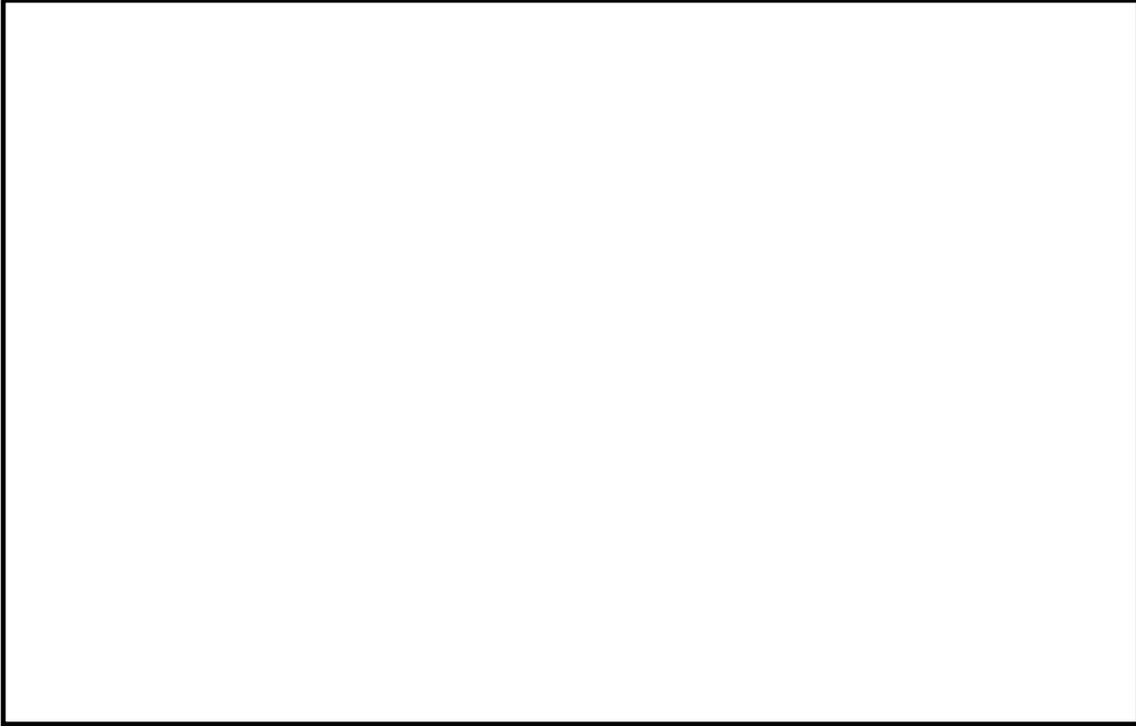


第 2-1 図 7 号炉屋内作業場所（原子炉建屋中 4 階）

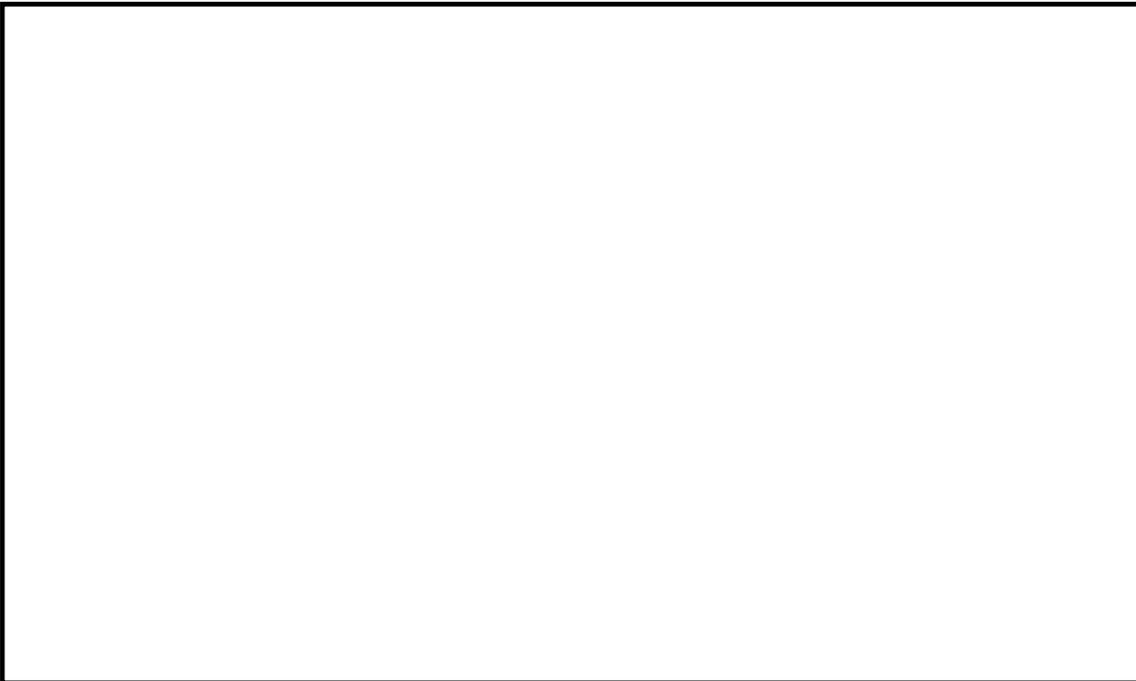


第 2-2 図 7 号炉屋内作業場所（原子炉建屋 4 階）

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。

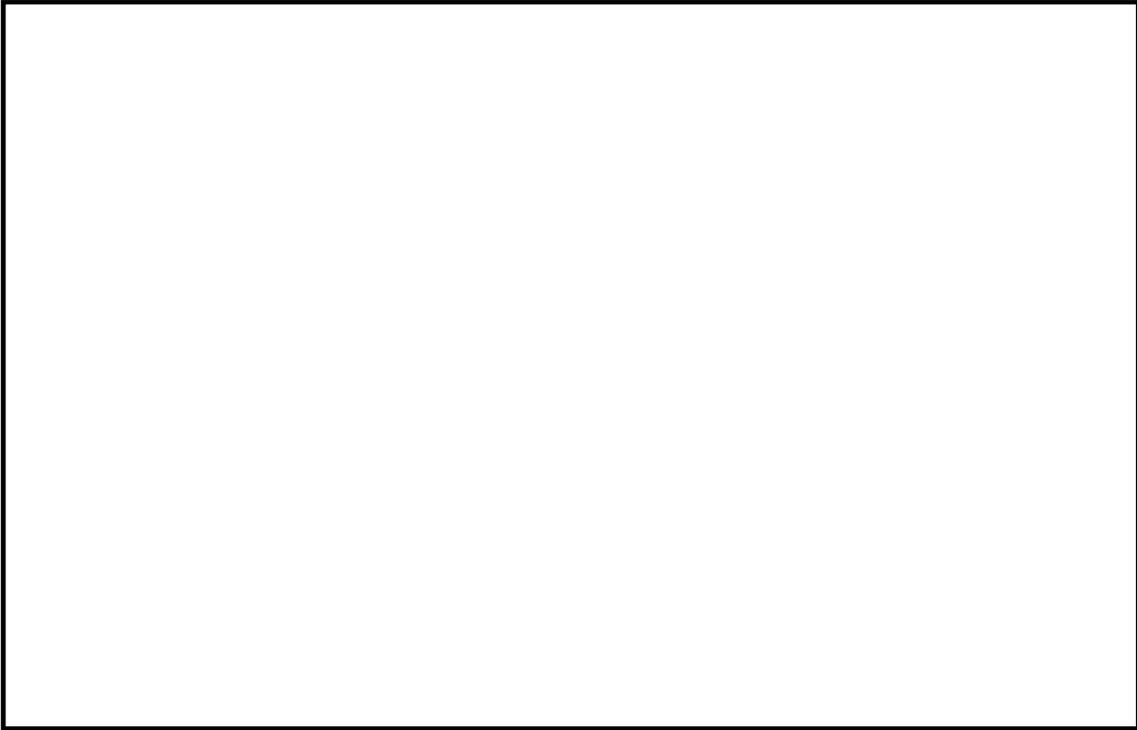


第 2-3 図 7号炉屋内作業場所（原子炉建屋2階）

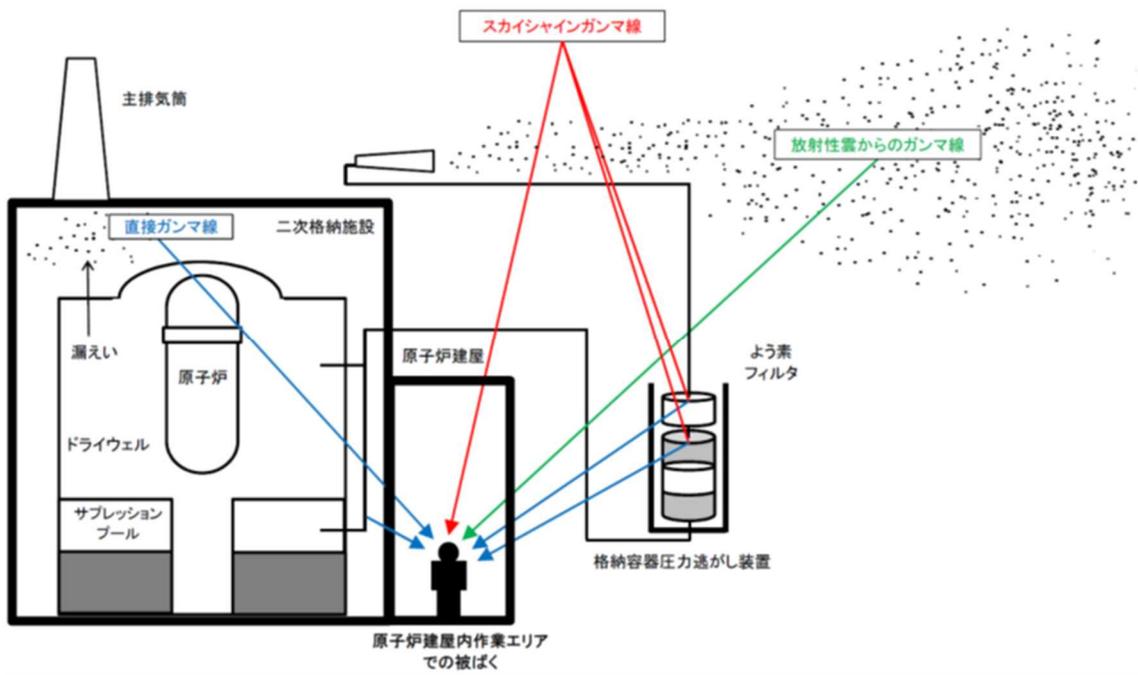


第 2-4 図 7号炉屋内作業場所（原子炉建屋地下1階）

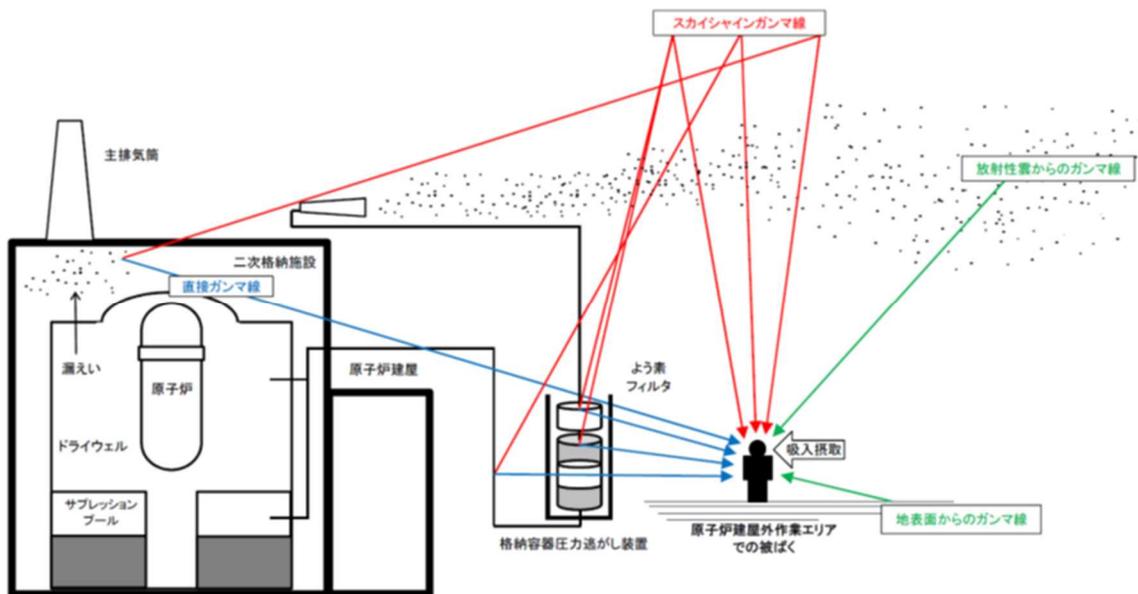
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



第 2-5 図 7 号炉屋外作業場所



第 3-1 図 被ばく経路概念図（原子炉建屋内）



第 3-2 図 被ばく経路概念図（原子炉建屋外）

第2-1表 大気中への放出放射エネルギー評価条件 (1/3)

項目	評価条件	選定理由
炉心熱出力	3,926MWt	定格熱出力
運転時間	1 サイクル：10,000h (416 日) 2 サイクル：20,000h 3 サイクル：30,000h 4 サイクル：40,000h 5 サイクル：50,000h	1 サイクル 13 ヶ月(395 日) を考慮して、燃料の最高取出燃焼度に余裕を持たせ長めに設定
取替炉心の燃料装荷割合	1 サイクル：0.229 (200 体) 2 サイクル：0.229 (200 体) 3 サイクル：0.229 (200 体) 4 サイクル：0.229 (200 体) 5 サイクル：0.084 (72 体)	取替炉心の燃料装荷割合に基づき設定

第2-1表 大気中への放出放射エネルギー評価条件 (2/3)

項目	評価条件	選定理由
放出開始時刻	格納容器漏えい: 事象発生直後 格納容器ベント: 約 38 時間後	MAAP 解析に基づく
格納容器内 pH 制御の効果	未考慮	格納容器内 pH 制御設備は、重大事故等対処設備と位置付けていないため考慮しない
原子炉圧力容器から格納容器に放出されるよう素の形態	粒子状よう素：5% 無機よう素：91% 有機よう素：4%	R. G. 1. 195 に基づき設定
格納容器から原子炉建屋への漏えい率	以下のとおり，開口面積を格納容器圧力に応じ設定。MAAP 解析上で，格納容器圧力に応じ漏えい率が変化するものとした。 【開口面積】 1Pd 以下：0. 9Pd で 0. 4%/day， 1～2Pd：2. 0Pd で 1. 3%/day に相当する開口面積	格納容器の設計漏えい率（0. 9Pd で 0. 4%/day）及び AEC 式に基づき設定
原子炉建屋から大気中への漏えい	考慮しない	格納容器から漏えいした水蒸気は原子炉建屋内で凝縮するため，原子炉建屋空間部が過度に加圧されることはないと考えられる。また，原子炉建屋の換気空調系を停止しているため，外気との空気のやり取りがないものと想定した。
格納容器からベントラインへの流入割合	炉内内蔵量に対して， 希ガス類：約 9.4×10^{-1} よう素類：約 3.1×10^{-2} Cs 類：約 8.8×10^{-7} Te 類：約 1.8×10^{-7} Ba 類：約 7.1×10^{-8} Ru 類：約 8.8×10^{-9} La 類：約 7.1×10^{-10} Ce 類：約 1.8×10^{-9}	MAAP 解析結果及び NUREG-1465 の知見に基づき設定。 よう素類については，よう素の化学形態に応じた格納容器内での除去のされかたの違いを考慮。

第2-1表 大気中への放出放射能評価条件 (3/3)

項目	評価条件	選定理由
格納容器内でのエアロゾルの除去効果	MAAP 解析に基づく	MAAP 解析で評価
格納容器内での有機よう素の除去効果	考慮しない	保守的に考慮しないものとした
格納容器内での無機よう素の沈着による除去係数	無機よう素：2	「発電用軽水型原子炉の安全評価に関する審査指針」(平成2年8月30日原子力安全委員会決定 一部改訂 平成13年3月29日原子力安全委員会)を参照
サプレッション・プールでのスクラビングによる無機よう素の除去係数	無機よう素：10	Standard Review Plan6.5.5に基づき設定
ドライウェルスプレイによる無機よう素の除去係数	無機よう素：100	CSE 試験に基づき設定
格納容器ベント開始時間	事故発生から 約 38 時間後	MAAP 解析結果
格納容器圧力逃がし装置の除去係数	希ガス：1 有機よう素：1 無機よう素：1,000	—
	粒子状放射性物質：1,000	設計値
よう素フィルタによる除去係数	希ガス：1 粒子状放射性物質：1 無機よう素：1	—
	有機よう素：50	設計値

第 2-2 表 放射性物質の大気中への放出量 (7 日間積算値)

核種グループ	停止時炉内内蔵量 [Bq] (gross 値)	単一号炉当たりの放出放射エネルギー [Bq] (gross 値)	
		格納容器圧力逃がし装置及びよう素フィルタを経由した放出 (W/W ベント時)	格納容器圧力逃がし装置及びよう素フィルタを経由した放出 (D/W ベント時)
希ガス類	約 1.6×10^{19}	約 7.6×10^{18}	約 6.5×10^{18}
よう素類	約 3.4×10^{19}	約 5.7×10^{15}	約 4.2×10^{15}
Cs 類	約 1.3×10^{18}	約 3.4×10^9	約 5.1×10^{12}
Te 類	約 9.5×10^{18}	約 2.4×10^9	約 3.4×10^{12}
Ba 類	約 2.9×10^{19}	約 2.3×10^9	約 3.4×10^{12}
Ru 類	約 2.9×10^{19}	約 3.7×10^8	約 5.4×10^{11}
La 類	約 6.5×10^{19}	約 6.6×10^7	約 9.6×10^{10}
Ce 類	約 8.9×10^{19}	約 3.0×10^8	約 4.3×10^{11}

第 2-3 表 放射性物質の大気拡散評価条件

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイドを参照
気象データ	柏崎刈羽原子力発電所における 1 年間の気象データ (1985 年 10 月～1986 年 9 月)	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風 (地上約 10m) の気象データを使用 審査ガイドに示された通り、発電所において観測された 1 年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1 時間	保守的に 1 時間と設定
放出源及び放出源高さ	【6 号炉】 6 号炉格納容器圧力逃がし装置配管：地上 40.4m 【7 号炉】 7 号炉格納容器圧力逃がし装置配管：地上 39.7m	実高さを参照。 なお、放出エネルギーによる影響は未考慮。
累積出現頻度	小さい方から累積して 97%	審査ガイドを参照
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため、建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	6 号炉原子炉建屋及び 7 号炉原子炉建屋	放出源であり、巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
放射性物質濃度の評価点	作業エリア	—

第2-4表 線量換算係数及び地表面への沈着速度等

項目	評価条件	選定理由
線量換算係数	成人実効線量換算係数使用(主な核種を以下に示す) I-131 : 2.0×10^{-8} Sv/Bq I-132 : 3.1×10^{-10} Sv/Bq I-133 : 4.0×10^{-9} Sv/Bq I-134 : 1.5×10^{-10} Sv/Bq I-135 : 9.2×10^{-10} Sv/Bq Cs-134 : 2.0×10^{-8} Sv/Bq Cs-136 : 2.8×10^{-9} Sv/Bq Cs-137 : 3.9×10^{-8} Sv/Bq 上述の核種以外の核種は ICRP Pub. 71 等に基づく	ICRP Publication71 等に基づく
呼吸率	1.2m ³ /h	「発電用軽水型原子炉の安全評価に関する審査指針」(平成2年8月30日 原子力安全委員会決定 一部改訂 平成13年3月29日 原子力安全委員会) の第2表の成人活動時の呼吸率を設定
地表への沈着速度	エアロゾル : 1.2cm/s 無機よう素 : 1.2cm/s 有機よう素 : 沈着無し 希ガス : 沈着無し	線量目標値評価指針(降水時における沈着率は乾燥時の2~3倍大きい)を参考に、湿性沈着を考慮して乾性沈着速度(0.3cm/s)の4倍を設定。乾性沈着速度は NUREG/CR-4551 Vol. 2 ^{*1} より設定
配管内への放射性物質の付着割合	10%/100m	NUREG/CR-4551 を参照し、付着量を設定する主要なパラメータとして沈着速度に着目して、配管内面への沈着割合を設定(別紙20参照)

*1 NUREG/CR-4551 Vol.2 “Evaluation of Severe Accident Risks: Quantification Major Input Parameters”

第 2-5 表 防護措置

項目	評価条件	選定理由
マスクによる除染係数	50	着用を考慮し, 期待できる除染係数として設定した
安定よう素剤	考慮しない	服用を考慮しないものとした
防護服	考慮しない	着用を考慮しないものとした

値は現在の最新値

第3-1表 6号炉の格納容器ベント実施に伴う被ばく評価結果

(単位：mSv/h)

評価経路	評価内容	格納容器ベント実施前の作業				格納容器ベント実施後の作業			
		格納容器二次隔離弁の開操作	フィルタ装置排水ポンプ水張り	格納容器一次隔離弁の開操作 (S/C 側)	格納容器一次隔離弁の開操作 (D/W 側)	フィルタ装置水位調整	フィルタ装置への薬液注入	排水ラインの窒素パージ	ドレンタンク排水
		屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋内 (二次格納施設外)	屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋外	屋外	屋外
格納容器から原子炉建屋に漏えいする放射性物質	二次格納施設内に浮遊する放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	4.3×10 ¹	2×10 ⁰ ※1	9.9×10 ⁰	1.0×10 ¹	2×10 ⁰ ※1	※2	※2	※2
大気中へ放出される放射性物質	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	0.1 以下	0.1 以下	2.4×10 ¹	※2	※2	※2
	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質を吸入摂取することによる内部被ばく	—	—	—	—	3.0×10 ⁰	※2	※2	※2
	大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	0.1 以下	0.1 以下	3.8×10 ⁻¹	※2	※2	※2
フィルタ及び配管内の放射性物質	格納容器圧力逃がし装置のフィルタ装置及びよう素フィルタ並びに配管内の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	0.1 以下	—	1.1×10 ¹	0.1 以下	2.9×10 ¹	※2	※2	※2
合計線量率		4.3×10 ¹	2×10 ⁰ ※1	2.1×10 ¹	1.0×10 ¹	5.6×10 ¹	※2	※2	※2
現場作業時間		60 分間	60 分間	25 分間	25 分間	1 時間※1	1 時間※1	1 時間※1	作業時間
作業線量		43mSv	2mSv	8.6mSv	4.4mSv	56mSv	56mSv 以下	56mSv 以下	56mSv 以下

※1 詳細仕様検討中のため、今後見直す可能性がある

※2 フィルタ装置水位調整後に行う作業であるため、フィルタ装置水位調整作業よりも作業線量率は低いと考えられる

値は現在の最新値

第3-2表 7号炉の格納容器ベント実施に伴う被ばく評価結果

(単位：mSv/h)

評価経路	評価内容	格納容器ベント実施前の作業				格納容器ベント実施後の作業			
		格納容器二次隔離弁の開操作	フィルタ装置排水ポンプ水張り	格納容器一次隔離弁の開操作 (S/C 側)	格納容器一次隔離弁の開操作 (D/W 側)	フィルタ装置水位調整	フィルタ装置への薬液注入	排水ラインの窒素パージ	ドレンタンク排水
		屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋内 (二次格納施設外)	屋内 (二次格納施設外)	屋外	屋外	屋外	屋外
格納容器から原子炉建屋に漏えいする放射性物質	二次格納施設内に浮遊する放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	4.3×10^1	2×10^0 ※1	9.9×10^0	1.0×10^1	2×10^0 ※1	※2	※2	※2
大気中へ放出される放射性物質	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	0.1 以下	0.1 以下	2.4×10^1	※2	※2	※2
	大気中へ放出された放射性雲中の放射性物質を吸入摂取することによる内部被ばく	—	—	—	—	3.0×10^0	※2	※2	※2
	大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	—	—	0.1 以下	0.1 以下	3.8×10^{-1}	※2	※2	※2
フィルタ及び配管内の放射性物質	格納容器圧力逃がし装置のフィルタ装置及びよう素フィルタ並びに配管内の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく	0.1 以下	—	0.1 以下	3.8×10^0	2.9×10^1	※2	※2	※2
合計線量率		4.3×10^1	2×10^0 ※1	1.0×10^1	1.4×10^1	5.6×10^1	※2	※2	※2
現場作業時間		60 分間	60 分間	25 分間	25 分間	1 時間※1	1 時間※1	1 時間※1	作業時間
作業線量		43mSv	2mSv	4.2mSv	6.0mSv	56mSv	56mSv 以下	56mSv 以下	56mSv 以下

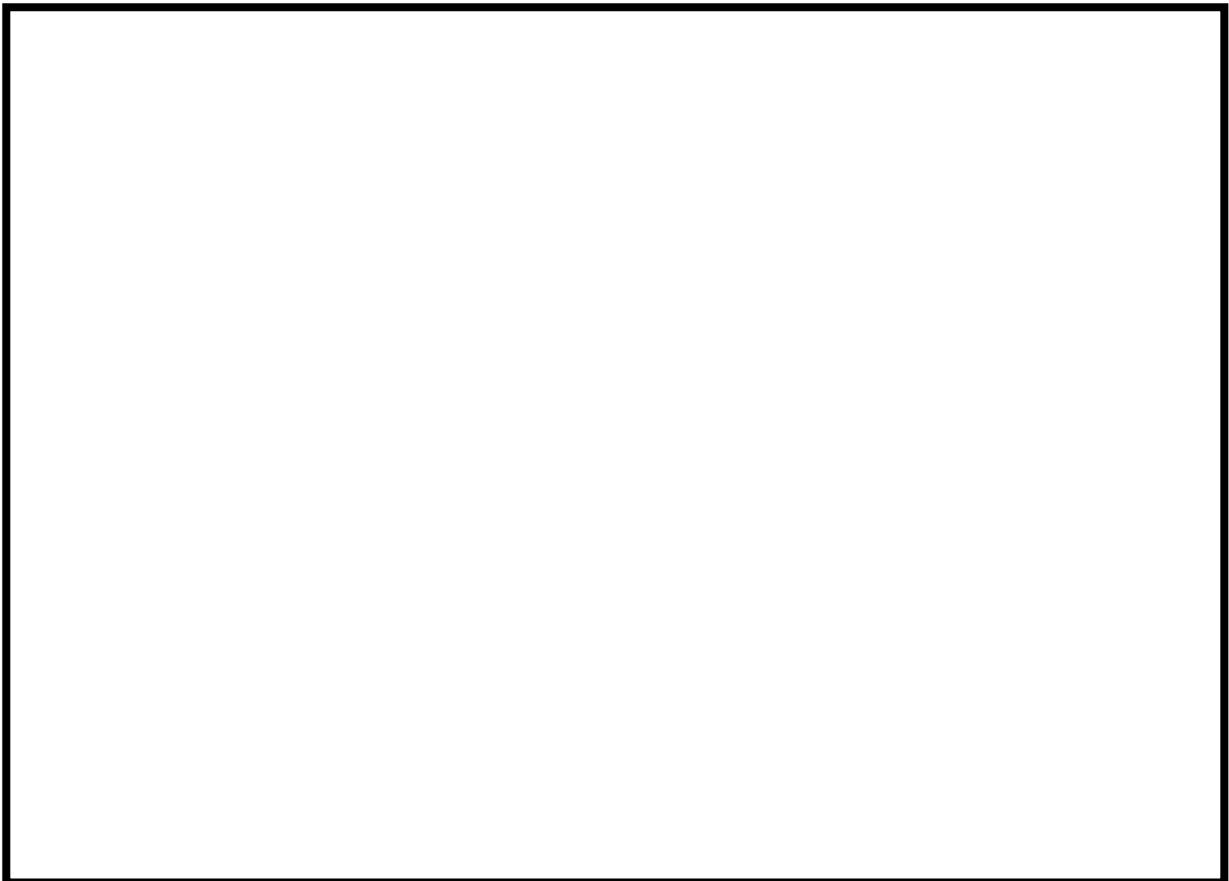
※1 詳細仕様検討中のため、今後見直す可能性がある

※2 フィルタ装置水位調整後に行う作業であるため、フィルタ装置水位調整作業よりも作業線量率は低いと考えられる

別紙34 スクラバ水スロッシングの影響について

フィルタ装置使用中に地震が発生した場合、スクラバ水にスロッシングが発生する可能性がある。そこで、フィルタ装置使用時にスロッシングが発生したスクラバ水の挙動について、CFD解析にて確認した。

解析の条件として、フィルタ装置の性能として厳しい条件である、下限水位であるスクラバノズル上端+0.5mの時に、基準地震動 S_s の地震が発生したとする。評価の結果を第1図に示す。



第1図 スクラバ水スロッシング評価結果

第1図に示す通り、下限水位時に S_s 地震によりスロッシングが発生すると、波高が高い瞬間はスクラバノズルが一部気相部に露出し、水スクラバの性能が低下する。

しかしながら、地震が発生して、さらにスクラバノズルの一部が気相部に露出している時間は、格納容器ベント実施期間と比較して非常に小さく、さらに水スクラバの後段には金属フィルタも設置していることから、格納容器ベントにより放出される放射性物質のトータル量に影響を与えるものではないと考える。

別紙 3 5 格納容器圧力逃がし装置の材料選定に係る技術的根拠

(1) 黒鉛パッキンの妥当性

格納容器圧力逃がし装置のパッキンに用いている膨張黒鉛は、優れた耐熱性・耐薬品性を有しており、シート状に形成することで柔軟性、弾性を有した材料で、パッキン・ガスケットの材料として幅広い分野で使用されている。格納容器圧力逃がし装置のガスケットとして使用するパッキンは、最高使用温度 400℃、最高使用圧力 30MPa のものを選定しており、格納容器圧力逃がし装置の設計条件（200℃、0.62MPa）に対して、十分な余裕を有している。

また、膨張黒鉛パッキンは、1MGy の放射線照射に対しても機械的性質に変化は見られないことから、十分な耐放射線を有している。

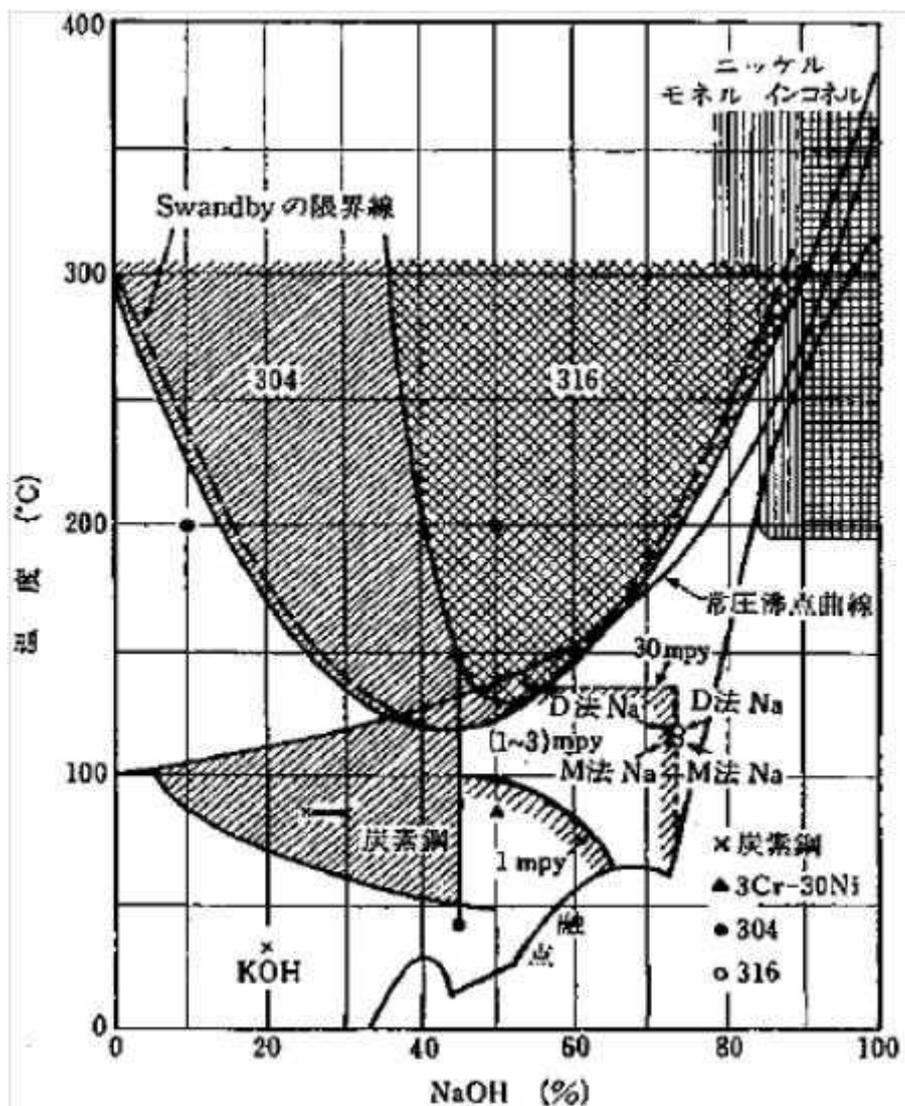
さらに、膨張黒鉛パッキンは、フィルタ装置スクラバ水に想定される強アルカリ環境下においても適用可能であることを確認している。

以上より、膨張黒鉛パッキンを格納容器圧力逃がし装置に使用することは妥当であると考えられる。

(2) フィルタ装置構造材（ステンレス鋼）の妥当性

フィルタ装置の容器・内部構造材には、SUS316Lを用いている。

フィルタ装置待機中は、スクラバ水にはNaOH [] [wt%]の薬液を内包している。ステンレス鋼は、高濃度のNaOH溶液に晒されるとアルカリ腐食割れを生じる可能性がある。ステンレス鋼のアルカリ腐食割れに対する温度とNaOH濃度の関係は、『小若，金属の腐食と防食技術，アグネ承風社，2000年』により，第1図の通り示されており，NaOH [] [wt%]，フィルタ装置の最高使用温度である200℃においては，SUS316材のアルカリ腐食割れは生じないことが確認できる。そのため，フィルタ装置スクラバ水のNaOH濃度において，アルカリ腐食割れは発生しない。



第1図 アルカリ腐食割れに及ぼす温度，濃度の影響

また、フィルタ装置使用中は、無機よう素の捕捉性能を確保するため、フィルタ装置の pH を 以上に維持することとしているが、アルカリ腐食割れが生じるので NaOH が高濃度となることはない^{※1}。

一方、フィルタ装置使用中は、pH を 以上の強アルカリに保つことにより、フィルタ装置に飛来する塩化物による、フィルタ装置の容器・内部構造材に発生する孔食、すきま腐食、SCC の発生を抑制することができる。

※1 フィルタ装置使用中の薬液の補給は、フィルタの水位が上昇して、ドレン操作を実施する都度実施する。薬液の補給量は、ドレン操作により抜けてしまった分の薬液量とする。そのため、薬液の補給により、薬液濃度が必要以上に高濃度となることはない。

別紙 3 6 フィルタ装置の性能維持の確認について

フィルタ装置使用中に、フィルタ装置の性能が維持されていることについては、下記をもって確認することができる。

【エアロゾル除去性能】

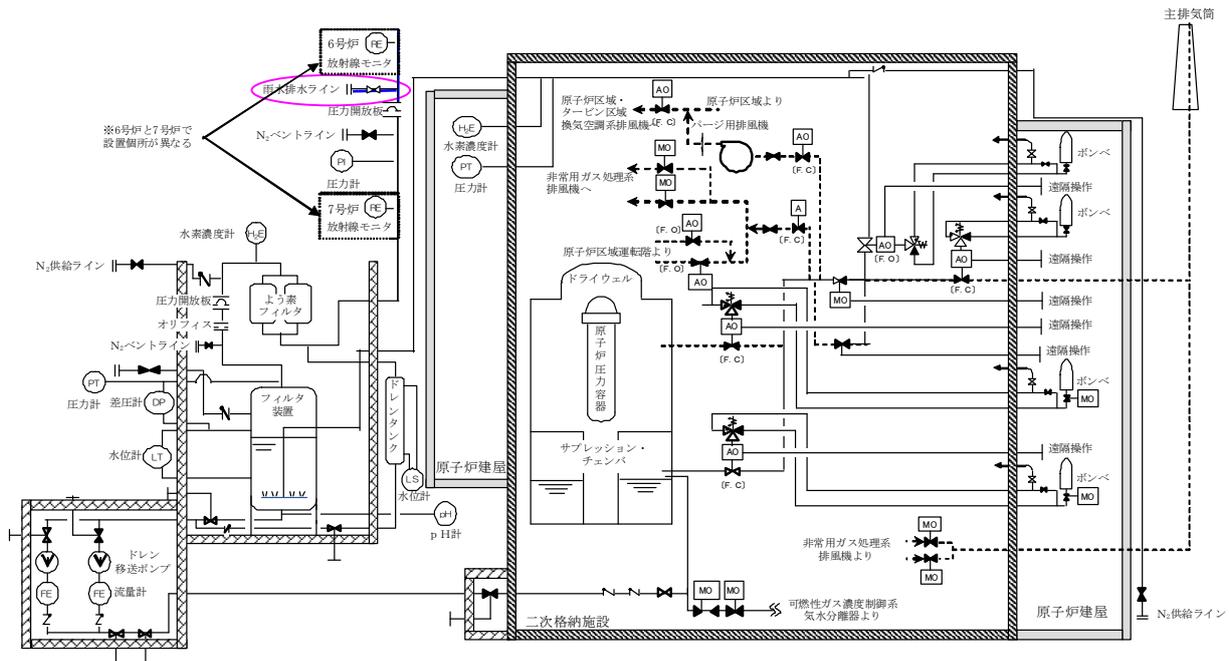
- 水スクラバについては、水位が規定の水位（スクラバノズル上端+0.5～2.2m）にあることで、規定の性能を維持することができる。スクラバの水位については、フィルタ装置に設置されている水位計により確認することができる。
- 金属フィルタについては、差圧が規定の差圧（ kPa）以下であることで、規定の性能を維持することができる。金属フィルタの差圧は、フィルタ装置に設置されている金属フィルタ差圧計をもって確認可能である。

【無機よう素除去性能】

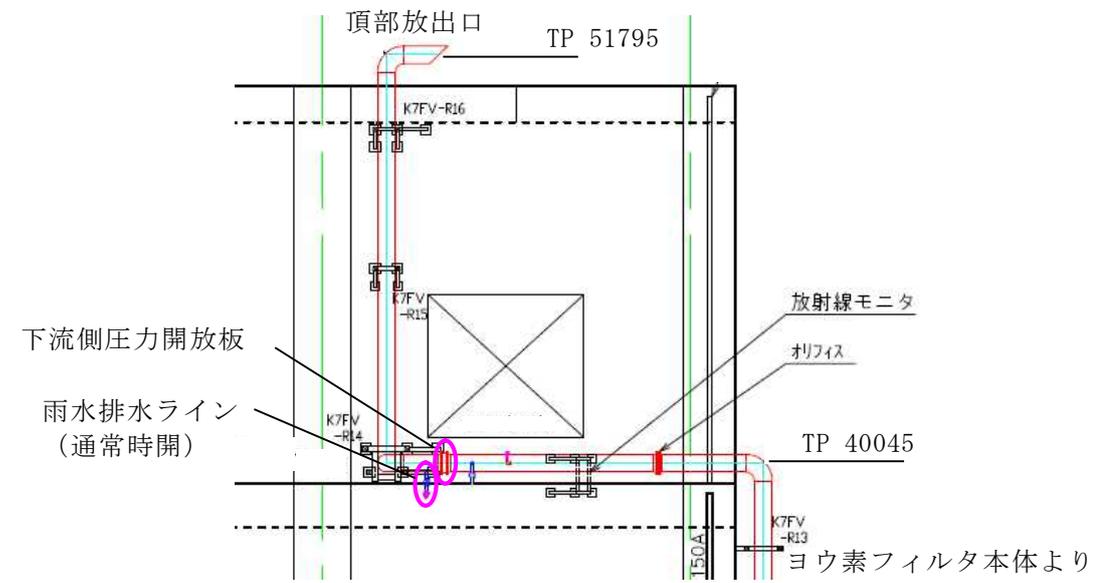
- 無機よう素除去性能については、スクラバ水の pH が規定値（pH ）以上であることで、規定の性能を維持することができる。スクラバ水の pH は、pH 計により確認可能である。
なお、スクラバ水の pH については、スクラバ水位の上昇によりドレン操作を実施する都度、ドレン操作によりフィルタ装置より抜けてしまった分の NaOH を追加することで、pH 以上に維持することが可能である。

別紙37 圧力開放板の凍結による影響について

よう素フィルタ下流側の圧力開放板出口側は第1図に示すとおり大気側に開放されているため、格納容器圧力逃がし装置の出口配管の頂部放出口から雨水が流入した場合、圧力開放板まで流入する。そのため、第2図に示すように圧力開放板の下流側配管水平部に設置している雨水排水ラインの止め弁を常時開運用とすることにより、流入した雨水は圧力開放板下流側配管内に蓄積せずに系外へ放出され、配管内で凍結することはない。



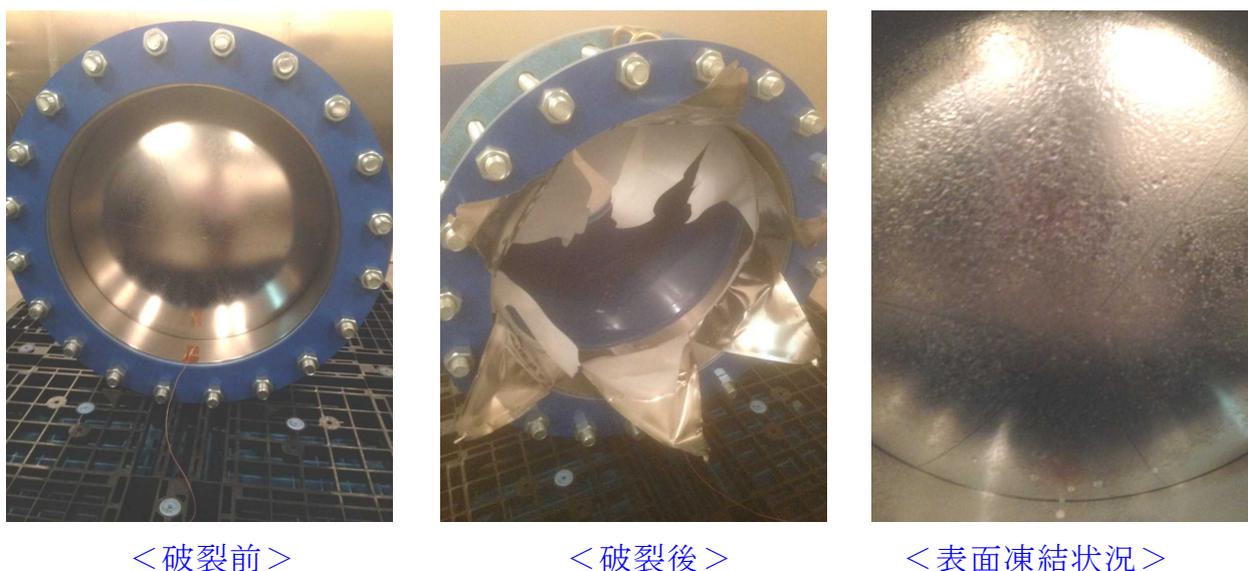
第1図 雨水排水ライン系統図



第2図 圧力開放板下流側の配管配置図 (7号炉)

一方で、下流側圧力開放板の出口側配管は大気開放されていることから、配管内で水分が結露して水滴が付着し、その状態で外気温が氷点下以下となった場合には圧力開放板表面で水分が凍結する可能性がある。圧力開放板表面が凍結することにより、設定圧力での作動への影響については、圧力開放板表面を意図的に凍結させることにより、凍結状態を模擬した冷温破裂試験を行うことにより、破裂圧力に影響がないことを確認している。(第3図)

試験結果を第1表に示す。



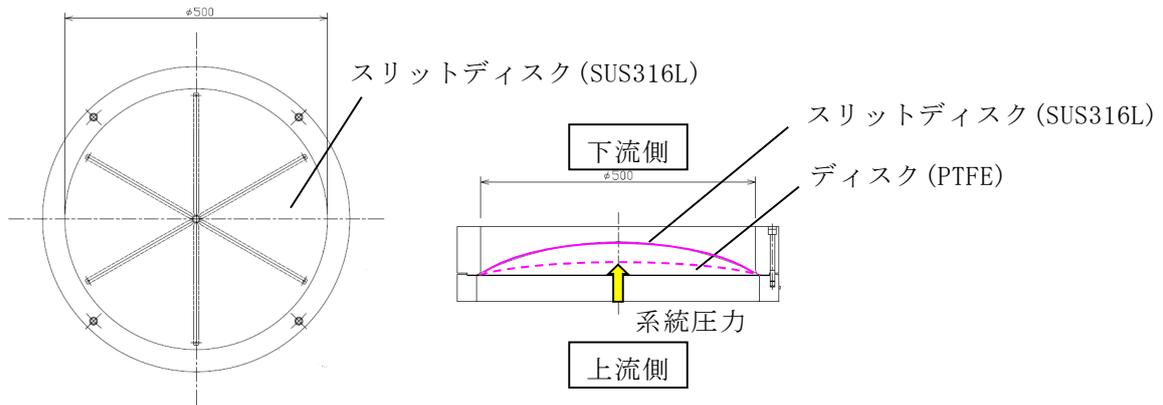
第3図 圧力開放板破裂試験

第1表 圧力開放板表面の凍結による破裂圧力影響試験結果

	破裂設定圧力	試験環境温度	備考
通常破裂圧力 (工場出荷時)	0.1±0.01MPa	200℃±10℃	仕様書において定める破裂 圧力設定値
凍結時破裂圧力 (冷温試験時)	<input type="text"/>	-17℃以下	圧力開放板出口側を凍結

圧力開放板の構造を第4図に示す。圧力開放板上流側の系統圧力が上昇すると、圧力によりディスク(PTFE)が膨らみ、スリットディスク(SUS316L)に接触する。圧力に対してスリットディスクの強度が許容値を上回っている場合は、圧力開放板は破裂することはない。圧力が上昇してスリットディスクの許容値を超えた場合には、スリットディスクが均等に破裂し、系統圧力は大気側に開放される。

当該の圧力開放板の破裂圧力は200℃にて0.1MPaにて破裂するように設定されているが、冷温破裂試験においては [] にて破裂した。これはステンレスの物性値は温度によって左右することから、200℃以外の温度条件では破裂圧力は変化することによるものと考えられる。但し、試験の結果からもベント操作に対して阻害するほどの影響ではないため、凍結したとしても問題はない。



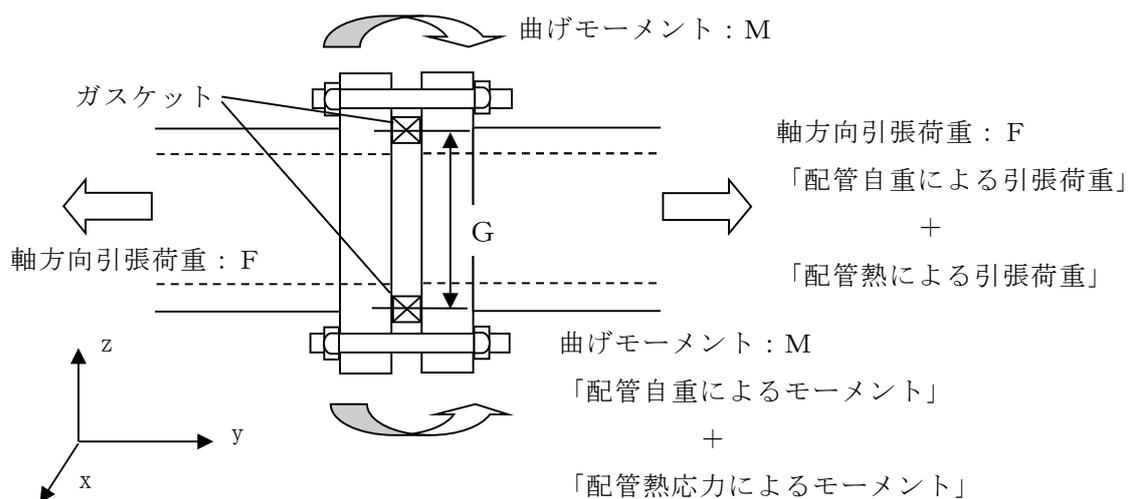
第4図 圧力開放板構造図

別紙 3 8 高温使用時におけるフィルタベント系統からの漏えいがないこと

格納容器圧力逃がし装置の使用状態において、常温での最高使用圧力に対するフランジ部の強度評価については、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年度版)」の「PPD-3414 フランジ」において既に評価済みである。

本資料においては、高温・高圧環境下 (200°C, 0.62MPa) にて配管と配管をつなぐフランジ間からの漏えい評価を行う方針について示す。

「高圧ガス設備等耐震設計指針 (2012)」を用いて配管内圧及びフランジに接続する配管から受ける反力を考慮してフランジボルト締付圧力十分に必要な面圧を満足していることを評価する。なお、フランジに接続する配管からの反力については、自重、配管の熱膨張が同時に負荷されたものとし、フランジの片当たりの原因となるモーメント及び両側からの引張力について考慮するものとする。(第 1 図)



第 1 図 フランジにかかる配管荷重

「高圧ガス設備等耐震設計指針 (2012) レベル 2 耐震性能評価 解説編」に基づき、フランジ漏洩評価を実施した。以下に評価式を示す。

$$mp + \alpha p_e \leq \sigma_a$$

m : ガスケット係数 [-]

p : 内圧 [MPa]

α : 等価内圧に対する漏洩影響度補正係数で、0.75m [-]

σ_a : ボルトの初期締め付け力によるガスケット面圧 [MPa]

p_e : 地震力等に係る軸方向引張力 F 及び曲げモーメント M に対する等価内圧 [MPa]であり以下の式で算出する。

$$p_e = \frac{4F}{\pi G^2} + \frac{16M}{\pi G^3}$$

G : ガスケット接触面の平均直径 [mm]

F : 軸引張力 [N]

M : 曲げモーメント [N・mm]

ここで、軸引張力 F は配管応力解析における配管軸方向の引張荷重 F_y であり、曲げモーメント M は同様に配管応力解析における軸直角方向のモーメントの M_x と M_z から $\sqrt{M_x^2 + M_z^2}$ で算出する。

なお、フランジの熱膨張係数がボルトよりも大きいため、フランジボルト間の熱膨張差によりガスケットの面圧が増加するが、安全側に働くため本評価においては考慮しない。

別紙 3 9 格納容器圧力逃がし装置使用後の保管管理

格納容器圧力逃がし装置使用後には、フィルタ装置、ならびによう素フィルタには多量の放射性物質が捕捉される。そのため、格納容器圧力逃がし装置使用後には、フィルタ装置ならびによう素フィルタに捕捉された放射性物質が環境へ放出することがないように、適切に保管する必要がある。格納容器圧力逃がし装置使用後のフィルタ装置、ならびによう素フィルタの保管方針を以下に示す。

【フィルタ装置】

格納容器圧力逃がし装置使用後は、フィルタ装置内のスクラバ水は格納容器へ移送し、スクラバ水に捕捉された放射性物質が環境へ放出しないよう気中保管する。

なお、「別紙 1 3」に記載の通り、フィルタ装置に放射性物質を含んだスクラバ水が保管されていたとしても、水スクラバから環境への放射性物質の再浮遊は防止可能であるが、放射性物質の放出リスクを更に低減するため、スクラバ水を格納容器へ移送する。

また、同じく「別紙 1 3」に記載の通り、有効性シナリオにおいて、金属フィルタに捕捉した放射性物質は、フィルタ装置使用後にベントガス流れが無い状態においても、崩壊熱に伴う金属フィルタの過熱による放射性物質の再浮遊は生じないことを確認している。

【よう素フィルタ】

よう素フィルタについても、気中保管とする。

よう素フィルタに流入した放射性よう素は、AgI の化学種にてよう素フィルタ内に捕捉される。AgI は、以上の高温状態にて水素環境に晒されると、AgI が還元されて HI（ガス状）の化学種となり、よう素は環境へ放出されてしまう。

そのため、上記の通り、スクラバ水を格納容器へ移送することで、よう素フィルタに水素が流入しないようにし、よう素フィルタからの放射性よう素の再浮遊を防止する。

なお、格納容器圧力逃がし装置使用後には、放出口手前に設置している放射線モニターにて、フィルタ装置ならびによう素フィルタからの放射性物質の放出がないことを確認する。

別紙40 よう素フィルタ部に発生する偏流について

よう素フィルタは、第1図に示す通り、キャンドルと呼ばれる銀ゼオライトを充填した吸着塔を19本配置した構造となっている。このよう素フィルタを2基設置し、計38本のキャンドルを設置する。

ベントガスがキャンドルに充填された銀ゼオライト吸着材を通過する過程で、ベントガス中に含まれるガス状よう素が銀ゼオライトに捕捉される。



第1図 よう素フィルタ構造図

よう素フィルタのガス状よう素除去性能は、ベントガスと銀ゼオライト吸着材との接触時間が大きいほど、大きくなる。そのため、よう素フィルタ内で偏流が生じ、局所的にベントガスの銀ゼオライト吸着材通過速度が大きくなり、銀ゼオライト吸着材との接触時間が小さくなると、ガス状よう素除去性能が低下する。

そこで、流動解析により、よう素フィルタ内に生じるガスの偏流を評価した。

なお、銀ゼオライトが充填されているキャンドル部の流動特性について確認するため、実機と同じキャンドルを用いて蒸気を通気する流動試験（キャンドルユニット試験）を実施した。そして、キャンドルユニット試験により得られた試験データをよう素フィルタの流動解析に適用し、流動解析の精度向上を図った。

【キャンドルユニット試験】

第2図に示す通り、実機と同じキャンドルを容器内に1本設置し、試験容器に実機のキャンドル1本に相当する体積流量の蒸気を通気し、キャンドルに生じる差圧を計測した。



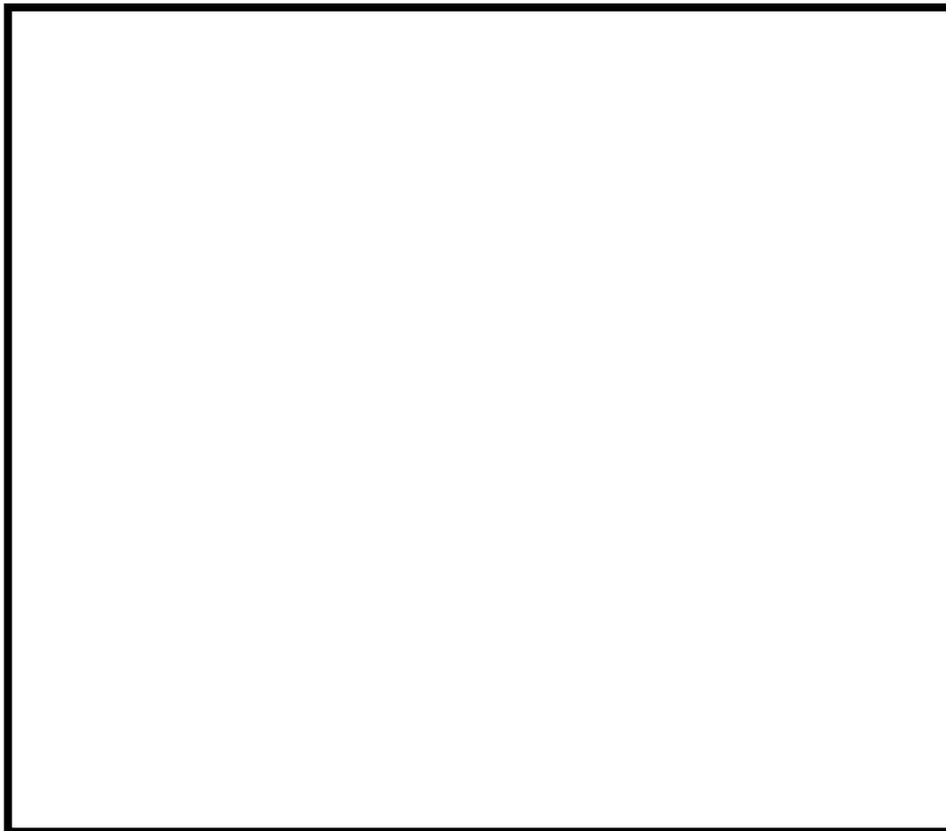
第2図 キャンドルユニット試験装置全体図

実機のように素フィルタで処理するベントガスの最大体積流量は、第3.2.3.3-2表に示す通り、 $15.9\text{ m}^3/\text{s}$ (格納容器 2Pd 時流量)である。実機のように素フィルタのキャンドルの設置本数は38本であるため、キャンドル1本当たりの体積流量は $0.42\text{ m}^3/\text{s}$ (格納容器 2Pd 時流量)となる。そこで、実機の最大体積流量を網羅するように、第1表の通り、キャンドルユニット試験の試験条件を設定した。

第1表 キャンドルユニット試験条件一覧表

項目	条件
試験装置	・キャンドルユニット試験装置
キャンドル設置本数	・1本
試験ガス	・蒸気
ガス体積流量	<ul style="list-style-type: none"> ・0.74 m³/s ・0.51 m³/s ・0.39 m³/s ・0.29 m³/s ・0.23 m³/s

第1表の条件にて試験を実施した結果、ガス体積流量とキャンドル差圧の関係は、第2図の通りとなった。

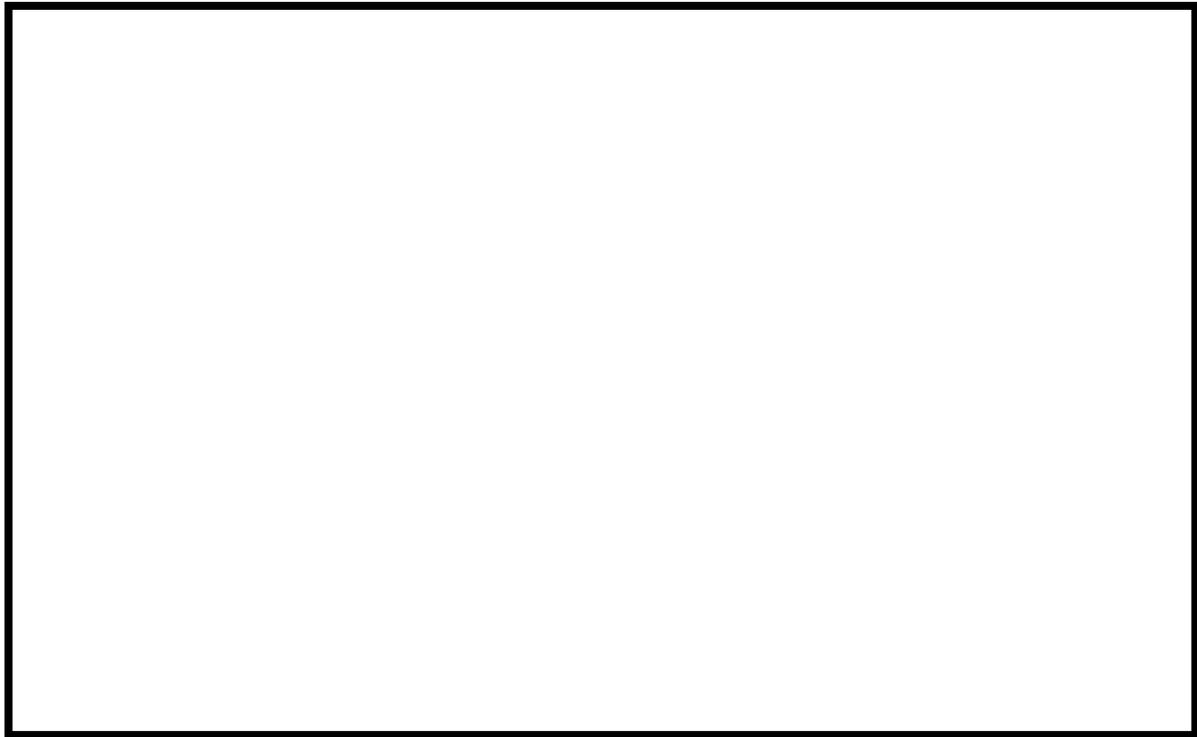


第2図 試験結果（ガス体積流量とキャンドル差圧の関係）

第2図のキャンドル差圧の実測値を用いて、よう素フィルタ全体の流動解析を実施した。

【よう素フィルタ全体流動解析】

よう素フィルタ内の偏流を評価するため、よう素フィルタ全体の流動解析を実施した。解析モデルは第3図に示す通り、よう素フィルタ1基をモデル化した。



第3図 よう素フィルタ流動解析モデル

まず、キャンドルをモデル化しているポーラスメディアの圧損係数を、第2図のキャンドルユニット試験実測値より求める。第2図のガス体積流量をキャンドルの表面積で除すことで、線速度LV (m/s)に変換し、試験データを非線形最小二乗法により最適フィッティングした抵抗係数カーブを作成する。抵抗係数カーブの作成は、以下の2パターン作成する。

- ① 慣性抵抗項 (LV^2 の項) と粘性抵抗項 (LVの項) を考慮
(ガス流れがAgXに遮られる際に生じる慣性抵抗に加え、ガスがAgXとAgXの間の狭隘部を通過する際に生じる粘性抵抗を考慮)
- ② 慣性抵抗項 (LV^2 の項) を考慮
(ガス流れがAgXに遮られる際に生じる慣性抵抗のみを考慮)

以上の条件にて、抵抗係数カーブを作成すると、第4図の通りとなる。①を赤線、②を緑点線で示す。また、それぞれの抵抗係数カーブは以下の関数で表される。

$$\begin{aligned} \text{① } D_p &= \boxed{} \times LV^2 + \boxed{} \times LV & \dots (1) \\ \text{② } D_p &= \boxed{} \times LV^2 & \dots (2) \end{aligned}$$

次に、(試験実測値－フィッティングカーブ)のRMSを算出したところ、①は115.3、②は176.7となった。そのため、①の方が実験データを精度よくフィッティングできていることがわかった。よって、①をキャンドルの抵抗係数カーブとした。

次に、汎用抵抗式は以下の通り表される。

$$\text{汎用抵抗式} : D_p = k_i \times \rho \times LV^2 + k_v \times \mu \times LV \quad \dots (3)$$

ここで、 ρ : 気体密度 (kg/m^3)、 μ : 粘性係数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)、 k_i : 慣性抵抗係数 (-)、 k_v : 粘性抵抗係数 ($1/\text{m}$) である。(1)、(3)式より、 $k_i \times \rho = \boxed{}$ $k_v \times \mu = \boxed{}$ となる。ここで、キャンドルユニット試験時のガスの密度は $0.56937 (\text{kg/m}^3)$ 、粘性係数は $1.3032 \times 10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{s})$ であったことから、 k_i ならびに k_v は、 $k_i = \boxed{} (-)$ 、 $k_v = \boxed{} (1/\text{m})$ となる。

そのため、 $k_i = \boxed{} (-)$ 、 $k_v = \boxed{} (1/\text{m})$ を、流動解析を実施する際のキャンドル (ポーラスメディア) の圧力損失係数とする。



第4図 抵抗係数カーブ

よう素フィルタ全体の流動解析は、実機の流量を網羅するよう、格納容器圧力 2Pd にてベントした直後の最大流量相当と、事故後 1 ヶ月後の流量の 2 ケースで実施した。解析条件を第 2 表に示す。

第 2 表 よう素フィルタ流動解析条件一覧表

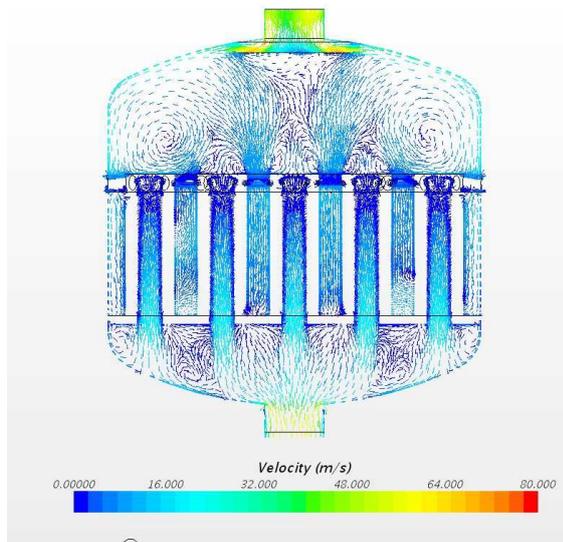
項目	条件
評価コード	・ STAR-CCM+ (ver. 9)
設定条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎式：質量保存式，運動量保存式 (Navier-Stokes 方程式) ・ 基礎式の離散化手法：有限体積法 ・ 乱流モデル：Realizable $K-\epsilon$ ・ 壁近傍の扱い：ALL $y+$モデル ・ 対流項離散化：二次精度風上差分 ・ 気体の扱い：水蒸気，非圧縮性流体 ・ キャンドル圧力損失係数：$k_i = \square (-)$, $k_v = \square (1/m)$
ベントガス条件	<p>【ケース 1：格納容器圧力 2Pd，ベント開始直後流量】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 体積流量：16.0 m^3/s (よう素フィルタ 2 基分) ・ 質量流量：15.8 kg/s (よう素フィルタ 2 基分) ・ 圧力：181.3 $kPa(abs)$ ・ 露点温度差：15 K <p>【ケース 2：事故後 1 ヶ月流量】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 体積流量：3.80 m^3/s (よう素フィルタ 2 基分) ・ 質量流量：2.48 kg/s (よう素フィルタ 2 基分) ・ 圧力：114.3 $kPa(abs)$ ・ 露点温度差：6.5K

また、キャンドル配置と番号を第 5 図の通り設定した。

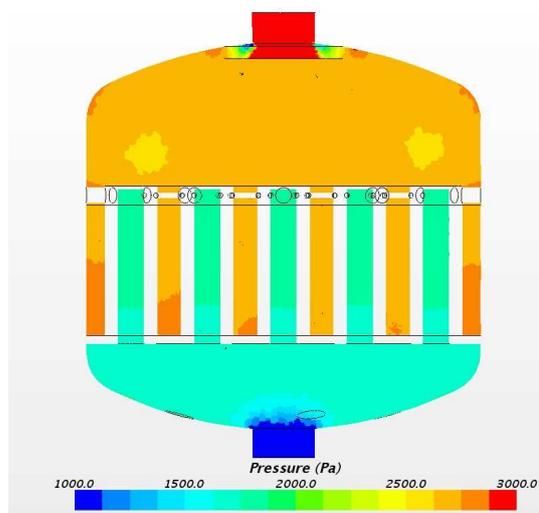


第 5 図 キャンドル配置ならびに番号

上記条件にてよう素フィルタ全体の流動解析を実施した。ケース1の解析結果を第6～9図，第3表に示す。



第6図 フィルタ中央断面ガス流速
(ケース1)



第7図 フィルタ中央断面ガス圧力
(ケース1)

第3表 各キャンドル流量分布
(ケース1)



第8図 各キャンドル流量分布
(ケース1)

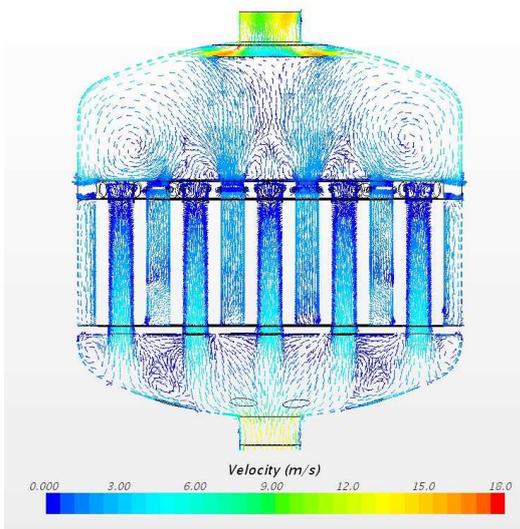


第9図 各キャンドル上下方向流速分布
(ケース1)

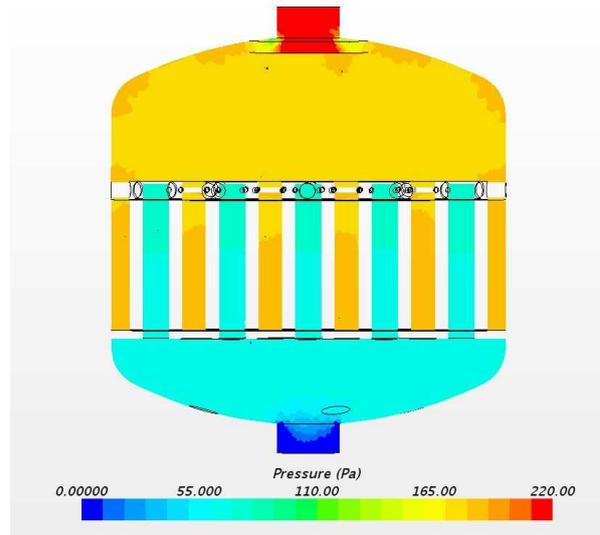
第8図，第3表より，各キャンドルの流量分配はほぼ均一で，各キャンドルのばらつきの範囲は±1%に収まっている。

また，第9図より，キャンドルの上下方向は，キャンドル下側の方が流量が大きい状態となっているが，上下方向のばらつきの範囲は±11%に収まっている。

次に，ケース2の解析結果を第10～13図，第4表に示す。



第10図 フィルタ中央断面ガス流速
(ケース2)

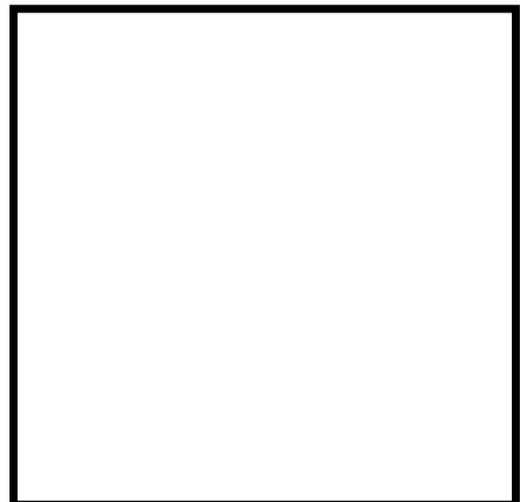


第11図 フィルタ中央断面ガス圧力
(ケース2)



第12図 各キャンドル流量分布
(ケース2)

第4表 各キャンドル流量分布
(ケース2)





第 13 図 各キャンドル上下方向流速分布
(ケース 2)

第 12 図，第 4 表より，各キャンドルの流量分配はほぼ均一で，各キャンドルのばらつきの範囲は $\pm 0.5\%$ に収まっている。

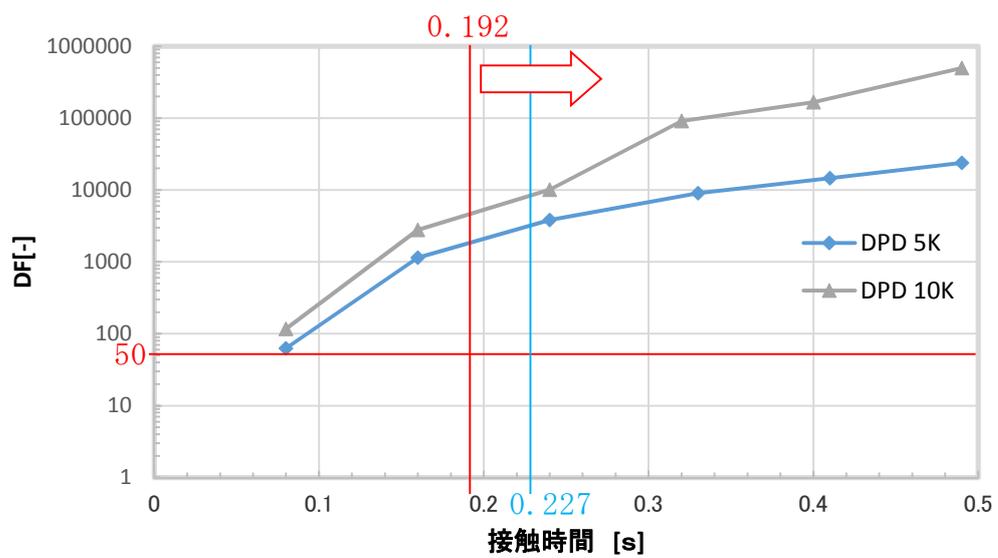
また，第 13 図より，キャンドルの上下方向は，キャンドル下側の方が流量が大きい状態となっているが，上下方向のばらつきの範囲は $\pm 5\%$ に収まっている。

以上より，よう素フィルタは流量が大きい方ほどキャンドル各部の偏流は大きくなるが，実機最大流量においても，各キャンドルの流量ばらつきは $\pm 1\%$ 以内，キャンドル上下方向のばらつきは $\pm 11\%$ 以内に収まることが確認できた。

次に，キャンドルの偏流がよう素フィルタの性能に与える影響を考える。

各キャンドルへ完全に均一にガスが流れていた場合における，ベントガスと吸着材の接触時間は，格納容器圧力 $2Pd$ のベント直後において $0.227[s]$ となる。ここで，キャンドルの偏流により，局所的にベントガスの流速が 15% 大きくなった場合，局所的にベントガスと吸着材の接触時間は 15% 減少し， $0.192[s]$ となる。銀ゼオライトの性能は第 14 図に示す通りであり，接触時間が $0.192[s]$ であっても DF50 以上確保可能である。

今，キャンドルの偏流は，格納容器圧力 $2Pd$ のベント直後であっても 15% より小さいため，キャンドルの偏流を考慮したとしても，DF50 以上は確保可能である。

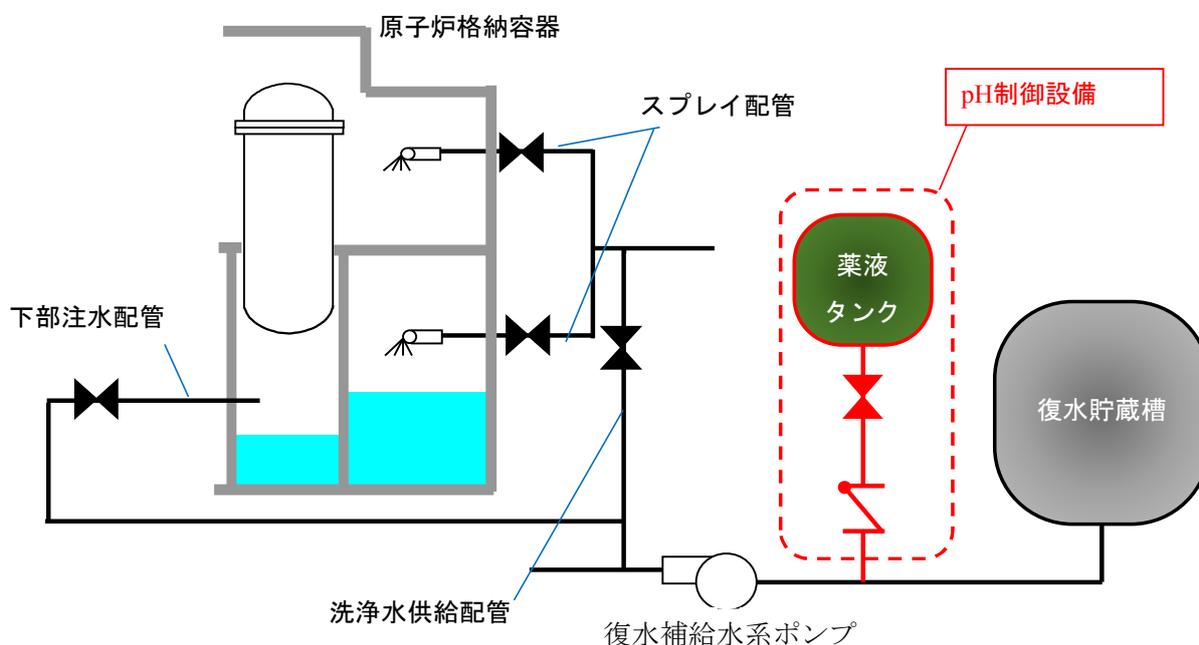


第 14 図 銀ゼオライト性能線図

別紙 4 1 格納容器 pH 制御による格納容器への影響の確認について

1. 設備概要

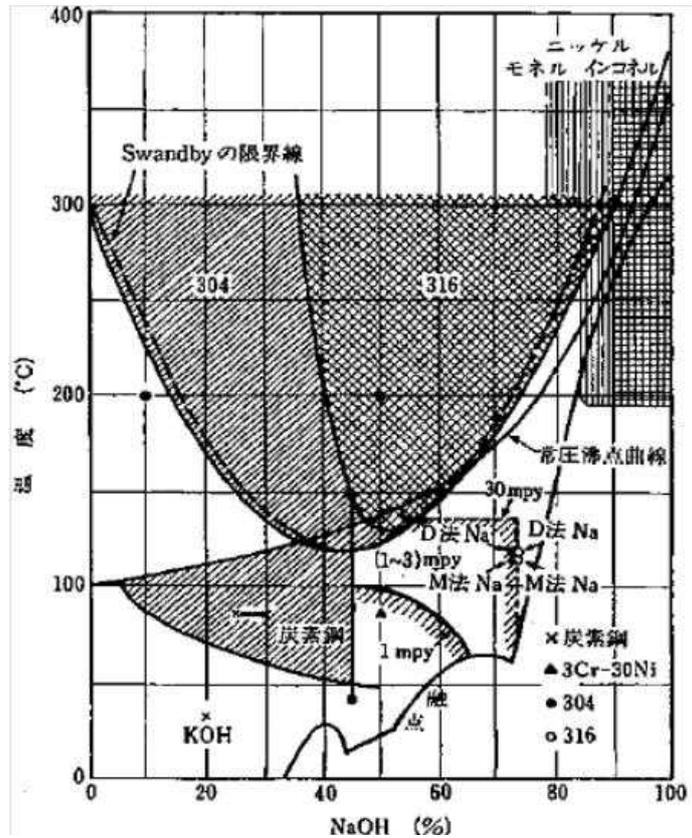
設備概要を第 1 図に示す。本システムは復水補給水系ポンプの吸込配管に薬液を混入させ、上部ドライウェルスプレイ配管、サプレッション・チェンバースプレイ配管、下部ドライウェル注水配管から原子炉格納容器内に薬液を注入する構成とする。薬液タンクに貯蔵する薬液は、原子炉格納容器内に敷設された全てのケーブルが熔融し、ケーブルに含まれる酸性物質(塩素)が溶出した際でも、原子炉格納容器内のサプレッション・プール水が酸性化することを防止するために必要な容量を想定し、水酸化ナトリウム(□[wt%]水溶液)□[m³]とする。



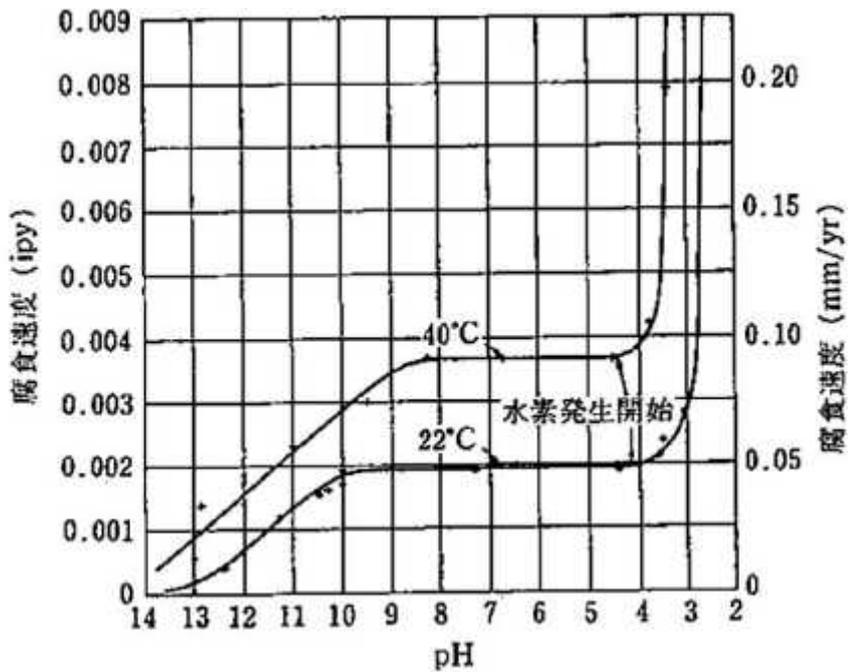
第 1 図 格納容器 pH 制御のための設備 系統概要図

2. 格納容器バウンダリに対する影響について

薬液は格納容器内の上部ドライウェル、下部ドライウェル、サプレッション・チェンバへそれぞれ均等に注入するが、それらは連通孔やベント管等で接続されており、最終的にはサプレッション・プールに流入する。その場合、サプレッション・プール水の水酸化ナトリウム濃度は最大で約□[wt%], pH は約□となる。サプレッション・チェンバのライナ部で使用しているステンレス鋼、及び底部ライナに使用している炭素鋼のアルカリ腐食への耐性を第 2 図, 第 3 図に示すが、pH 制御操作時の濃度ではアルカリ腐食割れは発生せず、また、塩化物による孔食、すきま腐食、SCC の発生を抑制することができる。



第2図 アルカリ腐食割れに及ぼす温度，濃度の影響
 出典『小若，金属の腐食と防食技術，アグネ承風社，2000年』



第3図 炭素鋼の腐食に及ぼすpHの影響
 出典『小若，金属の腐食と防食技術，アグネ承風社，2000年』

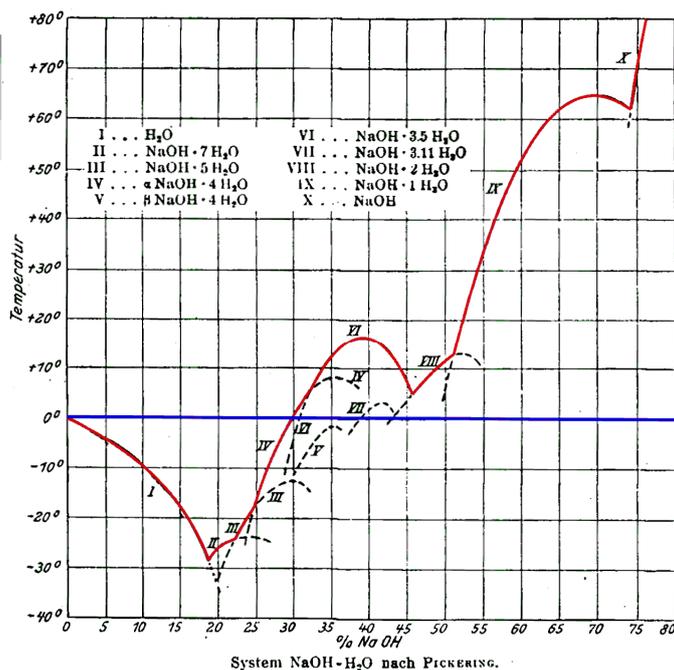
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

また、原子炉格納容器バウンダリで主に使用しているシール材は、耐熱性能に優れた改良 EPDM に変更しているが、この改良 EPDM について事故条件下でのシール性能を確認するため、第 1 表の条件で蒸気暴露後の気密試験を実施し、耐アルカリ性能を確認した。

第 1 表 改良 EPDM 耐アルカリ性確認試験

これらから、pH 制御薬液による原子炉格納容器バウンダリへの悪影響は無いことを確認した。

なお、水酸化ナトリウムの相平衡を第 4 図に示すが、本システム使用後の濃度である [wt%] では、水温が 0°C 以上であれば相変化は起こらず、析出することはない。



第 4 図 水酸化ナトリウムの水系相平衡図

出典『Gmelins Handbuch der anorganischer Chemie, Natrium, 8 Auflage, Verlag Chemie, Berlin 1928』

3. 水素の発生について

原子炉格納容器内では、配管の保温材等にアルミニウムを使用している。アルミニウムは両性金属であり、スプレイにより水酸化ナトリウムに被水すると式(a)に示す反応により水素が発生する。また、原子炉格納容器内のグレーチングには、亜鉛によるメッキが施されている。亜鉛もまた両性金属であり、式(b)に示すとおり水酸化ナトリウムと反応することで水素が発生する。

これらを踏まえ、事故時に想定される原子炉格納容器内の水素の発生量を評価する。なお、実際に薬液と反応する金属はスプレイの飛散範囲内と考えられるが、保守的に格納容器内の全ての亜鉛とアルミニウムが反応し水素が発生するとして評価を行う。



3.1 アルミニウムによる水素発生量

格納容器内のアルミニウムの使用用途は配管保温材の外装材とドライウェルクラのアルミフィンである。これらの全てが薬液と反応した場合の水素発生量を評価した。

【算出条件】

【計算結果】

上記条件より、アルミニウム量は kg] となる。そして、式(a)よりこのアルミニウムが全量反応すると、水素の発生量は約 kg] となる。

3.2 亜鉛による水素発生量

格納容器内の亜鉛の使用用途はグレーチングの亜鉛メッキである。そのためグレーチングの亜鉛メッキ量を調査し、アルミニウムと同様に全てが薬液と反応した場合の水素発生量を評価した。

【算出条件】

【計算結果】

上記条件より、亜鉛量はドライウェルで [] [kg]、サプレッション・チェンバで [] [kg]となり、合計で [] [kg]となる。そして、式(b)よりこの亜鉛が全量反応すると、水素の発生量は約 [] [kg]となる。

3.3 水素発生による影響について

水-ジルコニウム反応等により格納容器内で発生する水素量は、有効性評価上の大 LOCA シナリオで 592[kg]であり、薬液注入によりアルミニウムと亜鉛が全量反応したとしても、事故時の格納容器内の気相は水蒸気が多くを占めていることから、格納容器の圧力制御には影響がない。また、格納容器内は窒素ガスにより不活性化されており、本反応では酸素の発生がないことから、水素の燃焼は発生しない。

これらのことから、pH 制御に伴って格納容器内に水素が発生することを考慮しても、影響はないものとする。