

本資料のうち、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。

## 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

### 重大事故等時における非常用ガス処理系の 使用について

平成29年3月

東京電力ホールディングス株式会社

## 重大事故時における非常用ガス処理系の使用について

### 1. 重大事故時における非常用ガス処理系の使用

重大事故時における屋外作業等の被ばく線量の評価においては、文献や評価結果を踏まえると、「原子炉格納容器の漏えい経路におけるエアロゾル粒子の捕集効果(DF)」や「空調設備が停止して負圧が維持されていない状況での原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の換気率(閉じ込め効果)」に対して、現実的には捕集効果等を期待することが可能であると考えられるが、評価における不確かさを考慮する必要がある。どのような捕集効果や換気率の値を設定すべきかについては、評価における不確かさの影響を受けるため、保守的にこれらの効果には期待しない条件(DF=1, 二次格納施設換気率=無限大)で評価を行い、その影響を確認した。

その結果、屋内(二次格納施設外(※))及び屋外作業での被ばく線量評価において、マスク等の防護装備を実施しても100mSvを超えるおそれのある結果となった。これは、保守的な条件での評価結果ではあるものの、重大事故時における現場作業の成立性を確かなものにするため、非常用ガス処理系を起動し、作業現場の放射線量の上昇を緩和する運用とする。

また、全交流電源喪失時においても屋外作業を行わずに速やかに非常用ガス処理系を使用できるよう、第一ガスタービン発電機を中央制御室から遠隔操作により起動する。

(※) 建屋壁による遮蔽効果には期待できるが、二次格納施設同様に換気率=無限大という条件で評価するため、外気と同じ放射性物質濃度の空気が存在することとなり、厳しい評価結果となる。

## 2. 非常用ガス処理系による原子炉建屋からの換気について

非常用ガス処理系は、「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の第59条（原子炉制御室）に適合するための設備として、重大事故時に原子炉格納容器から原子炉建屋内に放射性物質を含むガスが漏えいした場合において、ガス中の放射性物質を、排気筒（内筒）を経由して原子炉建屋外に排気することで、中央制御室の運転員等の被ばくを低減することを目的として設置するものである。

### 2. 1 設備概要

#### (1) 系統概要

非常用ガス処理系の概略系統図を、図-1に示す。

本系統は、原子炉建屋4階（オペレーティングフロア）に設けられた吸込口から原子炉建屋内のガスを吸い込み、2系統で構成する乾燥装置（湿分除去装置及び加熱コイル）及び非常用ガス処理系排風機、1系統で構成するフィルタ装置（プレフィルタ、高性能粒子フィルタ及びよう素用チャコール・フィルタ）を経由して、排気筒（内筒）から排気するものである。また、本系統は、これらの設備を駆動するための電源設備（非常用交流電源設備、常設代替交流電源設備）、運転状態の監視のための計装設備、及び流路である非常用ガス処理系配管から構成される。これらの設備により、原子炉建屋を水柱約6mm以下の負圧に保ち、原子炉建屋内空気を50%/dayで処理する能力を有している。

なお、本系統は設計基準事故対処設備であるが、想定される重大事故時においてその機能を期待するため、重大事故等対処設備（設計基準事故対処設備と兼用）として使用する。重大事故時に使用する場合の系統構成は、設計基準事故対処設備としての系統構成と同じである。

#### (2) 放射性物質除去能力

本系統に設置されているフィルタ装置の放射性物質除去能力は、設計基準対処設備として、よう素用チャコール・フィルタのよう素除去効率が99.99%以上（相対湿度70%以下かつ温度66℃以下において、無機、有機よう素に対してそれぞれ）、高性能粒子フィルタが粒子状物質の99.9%以上を除去することが可能な設計である。ただし、本系統を重大事故時に使用する場合には、流入するガスの温度がフィルタ装置の設計条件を上回る条件になることから、放射性物質除去能力が低下する可能性があるため、被ばく評価にあたっては保守的にフィルタ装置の放射性物質の除去能力には期待しない。

本系統に通気されたガスは、主排気筒に沿わせて設ける排気筒（内筒）を通して地上高さ約73mの排気口から放出する設計とする。

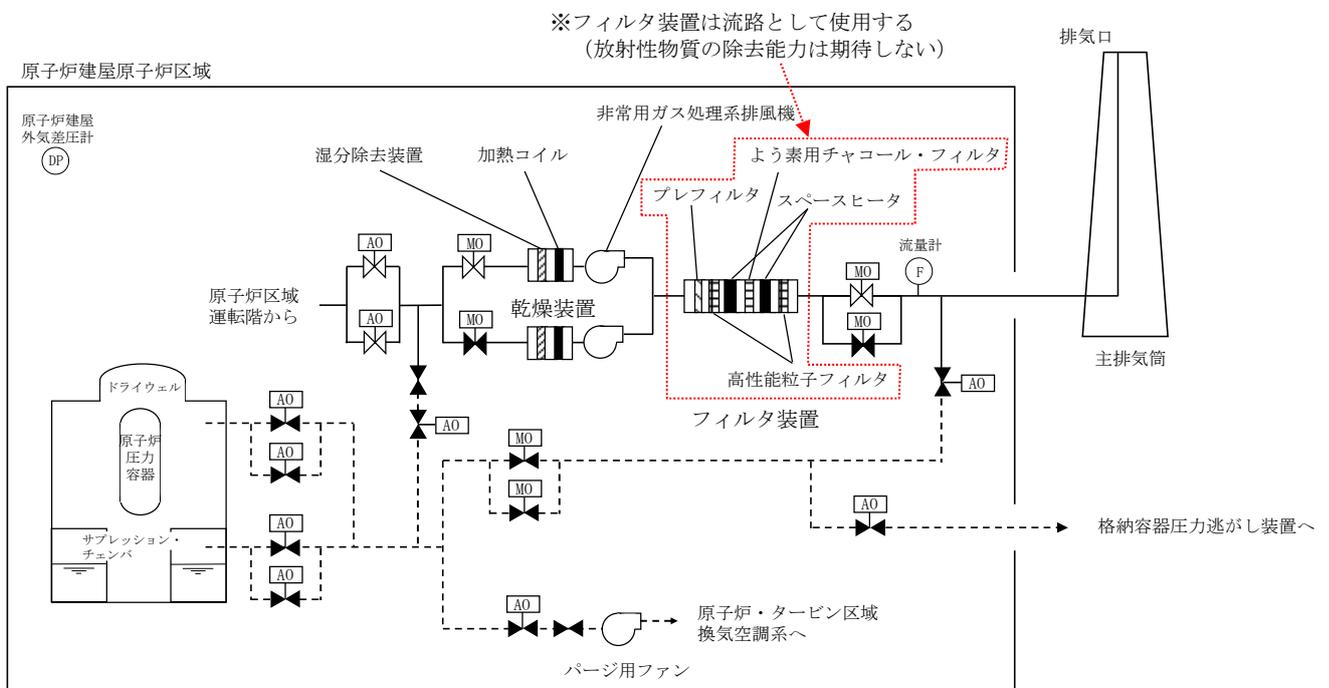
### (3) 運転操作

本系統の操作にあたっては、中央制御室の操作スイッチにより排風機を起動することで運転を行う。排風機を起動することにより、系統の入口及び排風機の入口、フィルタ装置の出口にそれぞれ設置された弁が開放され、原子炉建屋内のガスを吸い込む設計としている。系統内に吸い込まれたガスは、多くの湿分を含んでいる可能性があり、高湿分のガスの流入によりフィルタの目詰まり等の悪影響を防止するため、乾燥装置で乾燥させる。

湿分除去装置は、ステンレスワイヤメッシュ及びガラス繊維を積層した構造で、ガスが通過する際に水滴が除去される。その後、加熱コイルを通過し、相対湿度を低下させた後、排風機に吸い込まれる。

排風機から排気されたガスは、流路としてのフィルタ装置を経由した後、排気筒（内筒）に導かれ、排気口から放出される。

なお、本系統を運転する場合には、原子炉格納容器のバウンダリは健全であると想定した条件下において、原子炉建屋に漏えいする放射性物質が非常用ガス処理系に流入してくるものとして評価する。



図一 1 非常用ガス処理系 系統概要図

#### (4) 電源設備

非常用ガス処理系を重大事故時に使用する場合には、全交流動力電源喪失についても想定する必要がある。事象の発生状況に応じて、電源は、非常用交流電源設備が使用可能な場合には非常用交流電源設備から、これが使用不可能な場合には常設代替交流電源設備から給電する。非常用ガス処理系は設計基準事故対処設備であり、設備負荷は交流電源、制御負荷は直流電源から給電する。

本システムの運転に際して電源を必要とする設備は、系統内にガスを引き込むための排風機、系統の出入口及び系統内に設けられた弁、及び、系統内に流入したガスの湿分を除去するための加熱コイルである。本システムに関わる電源設備の単線結線図を図－3に示す。また、本システムの運転に際して電源を必要とする設備の電源容量は、6号炉で約37kW、7号炉で約20kWである。

本システムは、中央制御室の運転員や、屋外での事故対応操作を行う作業員の被ばく低減のために使用するもので、速やかに運転状態にする必要があり、発災から30分後に、1系統（B系）の起動を想定している。このため、非常用交流電源設備及び常設代替交流電源設備は、中央操作室でのスイッチ操作により、遠隔で起動することができる設計とする。第一ガスタービン発電機の起動及び非常用ガス処理系の起動に関する対応手順（技術的能力）を示す資料について、添付資料－1に示す。

大LOCA+ECCS全喪失+SBOシナリオ（循環冷却を使用する場合）において非常用ガス処理系を運転した場合に、第一ガスタービン発電機容量を満足する設計とする（表－1（1）及び図－2（1）参照）。

なお、炉心損傷は発生しないシナリオであるが、崩壊熱除去機能喪失（取水機能喪失）シナリオ（第一ガスタービン発電機容量が最も多くなるシナリオ）において非常用ガス処理系を起動した場合においても、重大事故等の対処に必要な無負荷の切り離しを行うことで、非常用ガス処理系の運転に必要な第一ガスタービン発電機の容量を満足する設計とする（表－1（2）及び図－2（2）参照）。

表-1 (1) 第一ガスタービン発電機の負荷 大LOCA+ECCS 全喪失+SBO  
(循環冷却を使用する場合)

		6号炉	7号炉
1)	直流 125V 充電器盤 A	約 94kW	約 94kW
2)	直流 125V 充電器盤 A-2	約 56kW	約 56kW
3)	AM 用直流 125V 充電器盤	約 41kW	約 41kW
4)	直流 125V 充電器盤 B	約 98kW	約 98kW
5)	交流 120V 中央制御室計測用分電盤 A, B 非常用照明 <sup>※2</sup>	約 100kW	約 100kW
6)	中央制御室可搬型陽圧化空調機	3kW	3kW
7)	復水移送ポンプ	55kW	55kW
8)	復水移送ポンプ	55kW	55kW
9)	燃料プール冷却浄化ポンプ ( ) 内は起動時	90kW (181kW)	110kW (192kW)
10)	非常用ガス処理系排風機等 <sup>※1</sup>	約 37kW	約 20kW
11)	その他 (重大事故の対処に必要な負荷) <sup>※2</sup>	約 111kW	約 114kW
12)	その他 (重大事故の対処に不要な負荷)	約 49kW	約 91kW
	小計 <sup>※3</sup> : 1)~12) の合計	約 789kW	約 837kW
	合計 <sup>※3</sup> (連続最大負荷) (最大負荷 : 7号炉燃料プール冷却浄化ポンプ起動時)	約 1,626kW (約 1,708kW)	

※1 : 非常用ガス処理系湿分除去装置, 及び非常用ガス処理系フィルタ装置を含む。

※2 : 非常用照明及び火災防護対策設備の設計進捗に伴って容量を見直している。

※3 : 重大事故の対処に不要な負荷切り離しを行わない場合の値を示す。

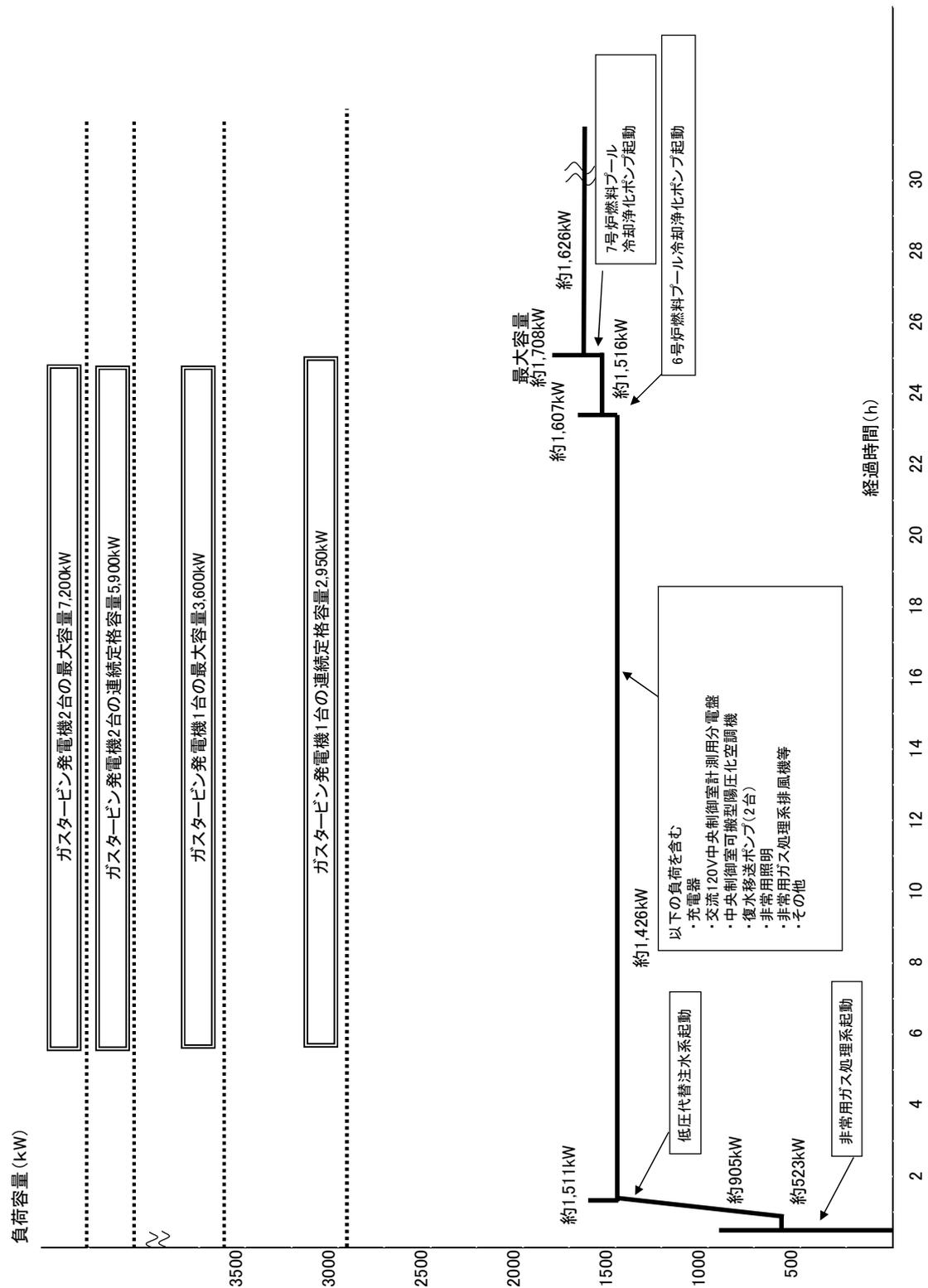


図-2 (1) 第一ガスタービン発電機負荷積み上げ 大 LOCA+ECCS 全喪失+SBO (循環冷却を使用する場合)

表－1（2） 第一ガスタービン発電機の負荷 崩壊熱除去機能喪失  
（取水機能喪失）

		6号炉	7号炉
1)	直流 125V 充電器盤 A	約 94kW	約 94kW
2)	直流 125V 充電器盤 A-2	約 56kW	約 56kW
3)	AM 用直流 125V 充電器盤	約 41kW	約 41kW
4)	直流 125V 充電器盤 B	約 98kW	約 98kW
5)	交流 120V 中央制御室計測用分電盤 A, B 非常用照明 <sup>※2</sup>	約 100kW	約 100kW
6)	中央制御室可搬型陽圧化空調機	3kW	3kW
7)	復水移送ポンプ	55kW	55kW
8)	復水移送ポンプ	55kW	55kW
9)	残留熱除去系ポンプ （）内は起動時	540kW (973kW)	540kW (1,034kW)
10)	燃料プール冷却浄化ポンプ	90kW	110kW
11)	非常用ガス処理系排風機等 <sup>※1</sup>	約 37kW	約 20kW
12)	その他 （重大事故の対処に必要な負荷） <sup>※2</sup>	約 111kW	約 114kW
13)	その他 （重大事故の対処に不要な負荷）	約 49kW	約 91kW
	小計 <sup>※3</sup> ：1)～12)の合計	約 1,280kW	約 1,286kW
	合計 <sup>※3</sup> （連続最大負荷） （最大負荷 ：7号炉残留熱除去系ポンプ起動時）	約 2,566kW (約 2,860kW)	

※1：非常用ガス処理系湿分除去装置，及び非常用ガス処理系フィルタ装置を含む。

※2：非常用照明及び火災防護対策設備の設計進捗に伴って容量を見直している。

※3：重大事故等の対処に不要な負荷切り離しを行う場合の値を示す。



#### (5) 計装設備

非常用ガス処理系を重大事故時に使用する場合には、表－2に示すとおり、排風機の運転状態に異常がないことを非常用ガス処理系排気流量により、原子炉建屋の負圧が確保できていることを原子炉建屋外気差圧により確認する。

表－2 計測制御設備の仕様

名称	計測範囲	計測範囲の根拠	個数	取付箇所
非常用ガス処理系排気流量	6号炉：0～4000m <sup>3</sup> /h 7号炉：0～3000m <sup>3</sup> /h	非常用ガス処理系排気流量(2000m <sup>3</sup> /h)を監視可能。	2	原子炉建屋地上4階
原子炉建屋外気差圧	-0.5～0.1kPa	原子炉区域内を負圧に保ち建屋内から放射性物質の漏えいを防止するための負圧(水柱約6mm：約-0.06kPa)を監視可能。	4	原子炉建屋地上4階

また、系統の運転に際しては、原子炉建屋内に設置されている水素濃度計により、流入ガスの水素濃度が燃焼限界である4vol%未満であることを確認する。なお、水素濃度計は、原子炉建屋オペレーティングフロアの天井付近に2個及び非常用ガス処理系吸込配管付近に1個、原子炉格納容器からの漏えいが想定される箇所に5個設置する(添付資料－2, 3)。

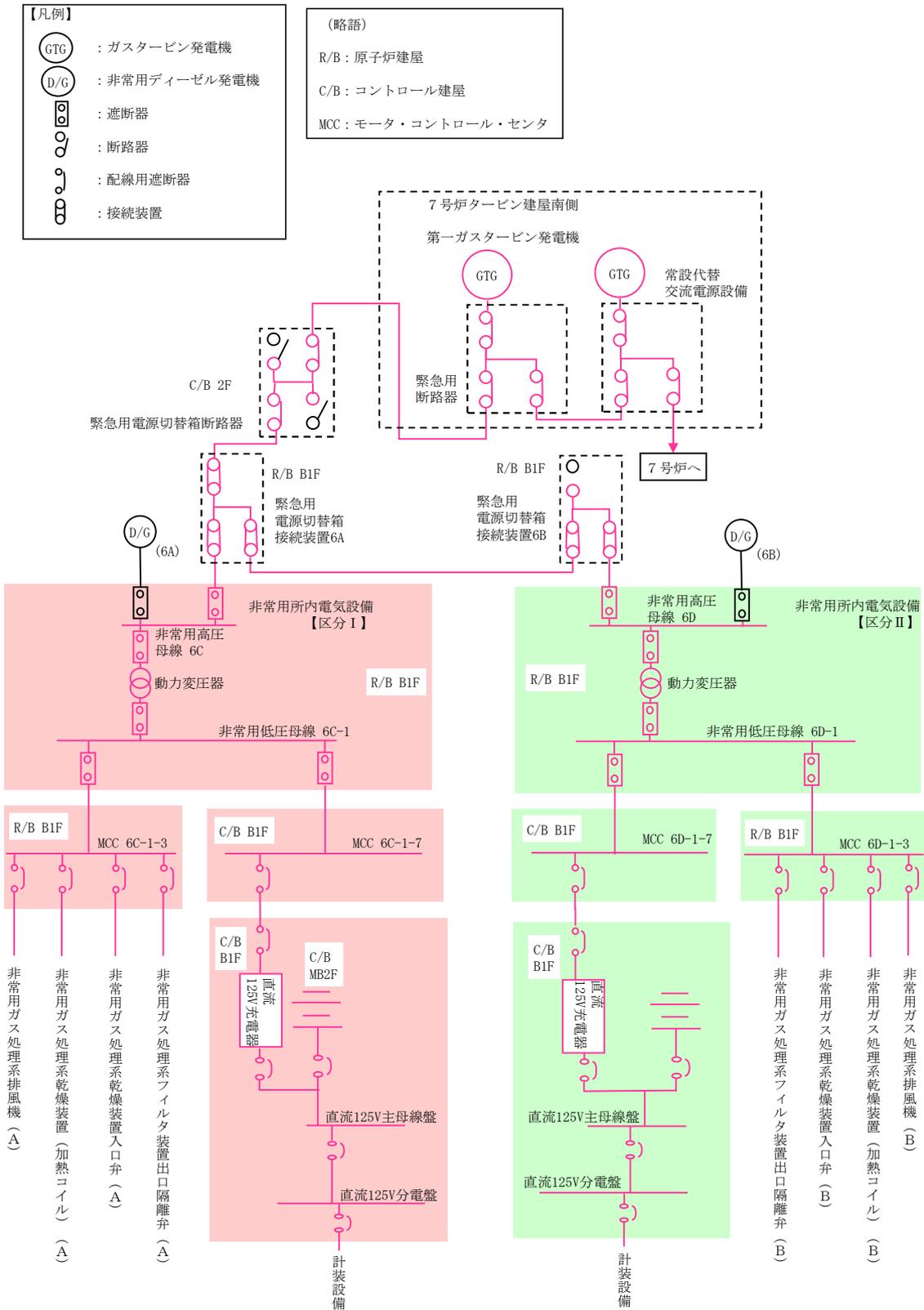


図-3 (1) 非常用ガス処理系 単線結線図 (6号炉)

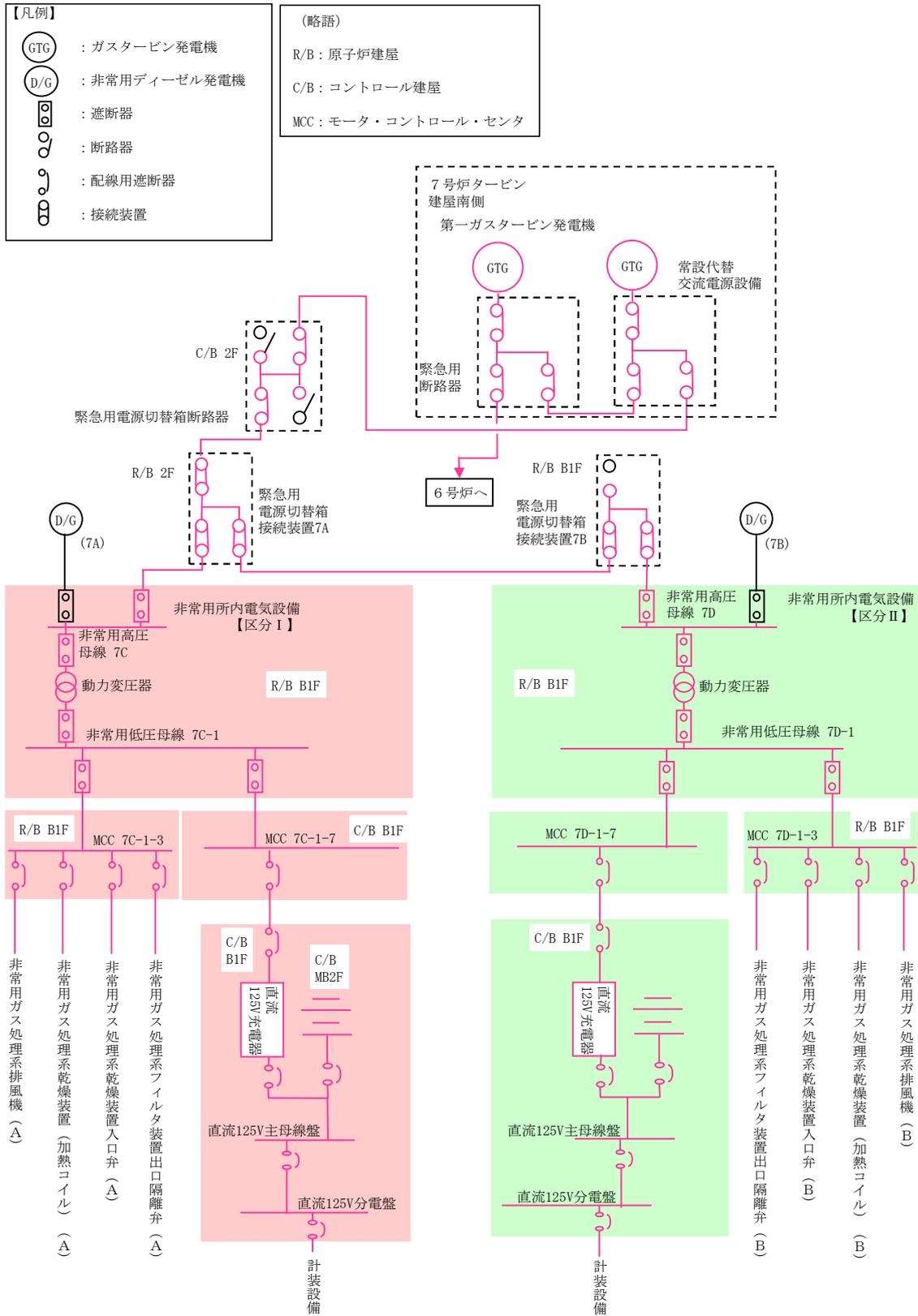


図-3 (2) 非常用ガス処理系 単線結線図 (7号炉)

## 2. 2 設備仕様

非常用ガス処理系の主要設備の仕様は以下の通りである。

### (1) 非常用ガス処理系排風機

種類	: 遠心式
容量	: 2000m <sup>3</sup> /h/台
個数	: 1 (予備 1 台)
静圧	: 550mmAq (6号炉) / 600mmAq (7号炉)
最高使用圧力	: 吸込側 0.14kg/cm <sup>2</sup> / 吐出側 0.25 kg/cm <sup>2</sup>
個数	: 1 (予備 1)
取付箇所	: 原子炉建屋地上 3 階
原動機の出力	: 22kW (6号炉) / 15kW (7号炉)

### (2) 乾燥装置 (湿分除去装置及び加熱コイル)

種類	: 角形ダクト式
処理風量	: 2000m <sup>3</sup> /h
除去効率	: 99%以上 (2~10μm の水滴)
個数	: 1 (予備 1)
取付箇所	: 原子炉建屋地上 3 階
最高使用圧力	: 0.14kg/cm <sup>2</sup>
最高使用温度	: 120℃

### (3) フィルタ装置 (評価上, 放射性物質除去機能には期待しない)

種類	: 角形ダクト式
処理風量	: 2000m <sup>3</sup> /h
捕集効率	: 高性能粒子フィルタ 99.9%以上 (粒子状放射性物質) よう素用チャコール・フィルタ 99.99%以上 (相対湿度 70%以下かつ温度 66℃以下において, 無機, 有機よう素に対してそれぞれ)
個数	: 1
取付箇所	: 原子炉建屋地上 3 階
最高使用圧力	: 0.25kg/cm <sup>2</sup>
最高使用温度	: 150℃

## 2. 3 重大事故環境下における系統の健全性

### (1)系統の起動

非常用ガス処理系は、全交流動力電源喪失事象が発生し、炉心損傷を検知した段階で、系統を起動するための準備を行う。非常用ガス処理系の起動時は、原子炉格納容器のバウンダリは健全であると想定した条件下において、原子炉建屋に漏えいする放射性物質が非常用ガス処理系に流入してくるものとして設備健全性を評価する。

この場合に想定される非常用ガス処理系への流入ガスの性状は、表－3に示す通りであり、本系統の運転に関する環境条件は表－4に示す通りである。

表－3 非常用ガス処理系へ流入するガスの性状

項目	重大事故時条件	系統条件
系統流量	2000m <sup>3</sup> /h	2000m <sup>3</sup> /h
系統最高使用温度 (構造)	約 77℃ <sup>※1</sup>	100℃～150℃ (6号炉) 100℃～150℃ (7号炉)
流入ガス温度 (フィルタ性能)	約 77℃ <sup>※1</sup>	56℃ (6号炉) 58℃ (7号炉)
流入ガス湿度	相対湿度 100%	相対湿度 100%
流入ガス圧力	大気圧	大気圧
流入ガス水素濃度	約 0.8vol% <sup>※2</sup>	(考慮せず)

※1：使用済燃料プールの水温と同じ 77℃を想定

※2：燃料有効部被覆管(AFC)が全て反応した場合に相当する水素(約 1600kg)が原子炉格納容器内に放出され、かつ原子炉格納容器圧力が限界圧力で継続した場合の設計漏えい率に基づく値

表－4 非常用ガス処理系の運転に関する環境条件

項目	重大事故時条件	系統条件
機器周辺温度	最高温度：約 80℃	最高温度：66℃
機器周辺湿度	周辺湿度：100%	周辺湿度：100%

表－3に示す通り、重大事故時に本系統内に流入するガスの性状は、フィルタ性能に関する温度条件において系統の設計条件を上回っている。また、表－4に示す通り、系統の運転に関する環境条件は温度条件において系統設計時の条件を上回っている。これを踏まえ、系統を運転することについて、下記のとおり評価を行った。

## ① 機器健全性

系統に流入するガスの温度が設計条件を上回っているが、本系統の配管は、吸い込み箇所である原子炉建屋オペレーティングフロアにおける温度として、大気圧での飽和温度である 100℃を考慮している。

また、系統内に設置されている乾燥装置やフィルタ装置については、内部にヒータが設置されており、設計時に考慮している最高使用温度は、それぞれ 120℃、150℃と、重大事故時に系統内に流入すると想定されるガスの温度を上回る最高使用温度が設定されている。

一方、環境条件としての温度条件が設計条件を上回っており、非常用ガス処理系排風機の電動機(固定子コイル)に影響が生じる可能性があるが、80℃環境下における電動機の運転を考慮しても、昇温幅は7号炉では最大   である。その結果、固定子コイルの運転温度は  となるが、7号炉の非常用ガス処理系排風機の電動機の許容温度は  であることから、固定子コイルが焼損することはない。このため、非常用ガス処理系の運転に際して、温度条件が設計条件を上回ることの影響はないと考えられるが、今後の詳細設計において設備の健全性を確認し、必要に応じて保温の設置や機器の材質変更を行うこと等により、機器の健全性を損なわないように設計する。

これらのことから、系統に流入するガスの温度及び環境温度を考慮しても、本系統の機器に影響がない。

## ② フィルタへの影響

系統に流入するガスの温度が設計条件を上回っていることから、流入ガス中に含まれる水分が設計条件を上回る。これにより、フィルタの放射性物質の除去性能が低下する可能性がある。また、フィルタに水分が付着することによる目詰まりが考えられるため、系統に流入するガスの温度を考慮し、フィルタの目詰まりによる影響を検討した。

乾燥装置の入口には、湿分除去装置が設置されており、これによりガスに含まれる水滴(2~10 $\mu$ m)の99%が除去される。さらに、ガスが加熱コイルを通過することによりフィルタ入口でのガスの相対湿度を100%以下に低下させることが可能である。このため、流入ガスの温度上昇に伴い、系統に吸い込まれるガスに含まれる水分の増加を考慮しても、乾燥装置により水分が除去され、湿分によるフィルタの目詰まりは生じない。

なお、重大事故時に本系統に流入するガスの性状は、設計時に考慮しているガスの温度条件を上回っている。このため、今回の使用条件下においては、フィルタによる放射性物質の除去機能については、考慮しない。た

だし、実際には粒子状放射性物質を含む粒子状物質が流入してくることから、この影響について評価を行った。

系統内に流入した粒子状物質は、高性能粒子フィルタにより捕捉される。高性能粒子フィルタは、粒子状物質を **0.5kg** 捕捉可能な設計となっているが、原子炉格納容器から原子炉建屋に漏えいしたガスの全量に含まれる粒子状物質は約 **0.5kg** であるため、漏えいガスの全量が非常用ガス処理系に流入した場合においても、高性能粒子フィルタが目詰まりを起こすことはない。なお、フィルタの性能を上回る粒子状物質が系統内に流入した場合においても、非常用ガス処理系排風機の入口についている電動弁の開度（系統起動時の状態において約 **20%**開度）を調整することにより、所定の流量を確保することが可能な設計となっている。

### ③水素の影響

系統に流入するガスに水素が含まれることから、系統内での水素の蓄積による着火の可能性について評価した。

本評価において、非常用ガス処理系に流入するガスの性状は、以下のとおり評価した。

- ・原子炉格納容器内で発生する水素を含むガスは、原子炉格納容器の圧力が限界圧力で維持された状態において想定される漏えい率で、原子炉建屋内に漏えいしてくるものとした。
- ・原子炉格納容器から原子炉建屋内に漏えいしたガスの全量が、非常用ガス処理系に流入するものとした。
- ・非常用ガス処理系の定格容量 (**2000m<sup>3</sup>/h**) のうち、上記の漏えいガス以外については、空気が流入してくるものとした。

その結果、非常用ガス処理系に流入する水素ガスの濃度は約 **0.8vol%** となり、重大事故環境下での非常用ガス処理系の運転を考慮しても、水素が燃焼する濃度である **4vol%** に到達することはなく、着火の可能性はない（添付資料－4 参照）。

### ④非常用ガス処理系の運転による他系統への影響

非常用ガス処理系を運転することにより影響を受ける設備は、以下の通りである。

- ・原子炉建屋オペレーティングフロアに設置されている静的触媒式水素再結合器（PAR）
- ・排気配管からの回り込み防止のために隔離が必要となる格納容器圧力逃がし装置

- ・非常用ガス処理系の配管と排気部の配管を共用している耐圧強化ベント系

これらのうち、PARについては、原子炉格納容器の健全性が損なわれ、大量の水素が原子炉建屋内に漏えいした場合に使用するものであり、格納容器バウンダリの機能が健全である場合に使用する非常用ガス処理系と同時に使用することはないことから、影響はない。

また、格納容器圧力逃がし装置については、原子炉格納容器内の放射性物質を除去しつつガスを放出する設備であり、これにより原子炉建屋への漏えいが低減される。格納容器圧力逃がし装置の使用は、放射性物質を管理して放出するためのものであり、非常用ガス処理系の使用に優先されるものであることから、非常用ガス処理系を停止しても影響はない。

一方、耐圧強化ベント系については、排気部の配管を共用しているが、耐圧強化ベント系を使用する場合は、炉心損傷が生じる前のベント、若しくは、代替循環冷却の実施時に原子炉格納容器内の水素を排出する場合に使用するものであることから、非常用ガス処理系と同時に使用する必要はないため、影響はない。

なお、非常用ガス処理系の運転中に、原子炉建屋内の水素濃度や、原子炉格納容器内の酸素濃度の上昇により、格納容器圧力逃がし装置もしくは耐圧強化ベント系の使用が必要となる場合には、非常用ガス処理系を停止して、格納容器圧力逃がし装置もしくは耐圧強化ベント系の運転への切り替え操作が必要となる。非常用ガス処理系の停止操作は、中央操作室でのスイッチ操作により停止する事が可能である。また、格納容器圧力逃がし装置もしくは耐圧強化ベント系の使用についても、中央制御室や原子炉建屋内からの遠隔でのスイッチ操作等による弁の操作が可能であることから、容易に切り替えることが可能である。系統を切り替え、格納容器圧力逃がし装置や耐圧強化ベント系を使用した場合には、原子炉格納容器内の圧力が低下し、これにより、原子炉建屋オペレーティングフロアに漏えいする放射性物質の濃度も低減されることから、これらの使用のために非常用ガス処理系を停止することは問題ないものとする。

#### ⑤設計基準事故対処設備としての非常用ガス処理系への影響

本システムは、設計基準事故対処設備としての機能を有しており、設計基準においては、以下のインターロックにより自動起動する。

- ・原子炉区域（原子炉建屋）換気空調系排気放射能高
- ・燃料交換エリア（原子炉建屋オペレーティングフロア）放射能高
- ・ドライウェル圧力高

- ・原子炉水位低（L-3）
- ・原子炉区域及びタービン区域空調系全停

重大事故時に本システムを使用する場合には、非常用交流電源設備もしくは常設代替交流電源装置から給電時に、上記に示すインターロック条件により、本システムが自動的に起動することを確認する。本システムが自動起動しない場合は、中央制御室においてスイッチ操作により遠隔で起動する。なお、本システム重大事故時に使用する場合の系統構成は、設計基準事故対処設備としての系統構成と同じである。

## (2)系統の停止

非常用ガス処理系は、システムを起動させた後、格納容器圧力逃がし装置や耐圧強化ベント系の使用が必要になった場合には、停止操作を実施する。また、原子炉建屋オペレーティングフロアの水素濃度が上昇し、1.3vol%（※）に到達した場合にも非常用ガス処理系の停止操作を行う（図-4参照）。

なお、原子炉格納容器の機器ハッチ室等、重大事故時に水素の漏えいが懸念される場所に設置された水素濃度計の指示値が上昇した場合には水素濃度の監視を強化し、確実に停止操作を行えるよう準備する。

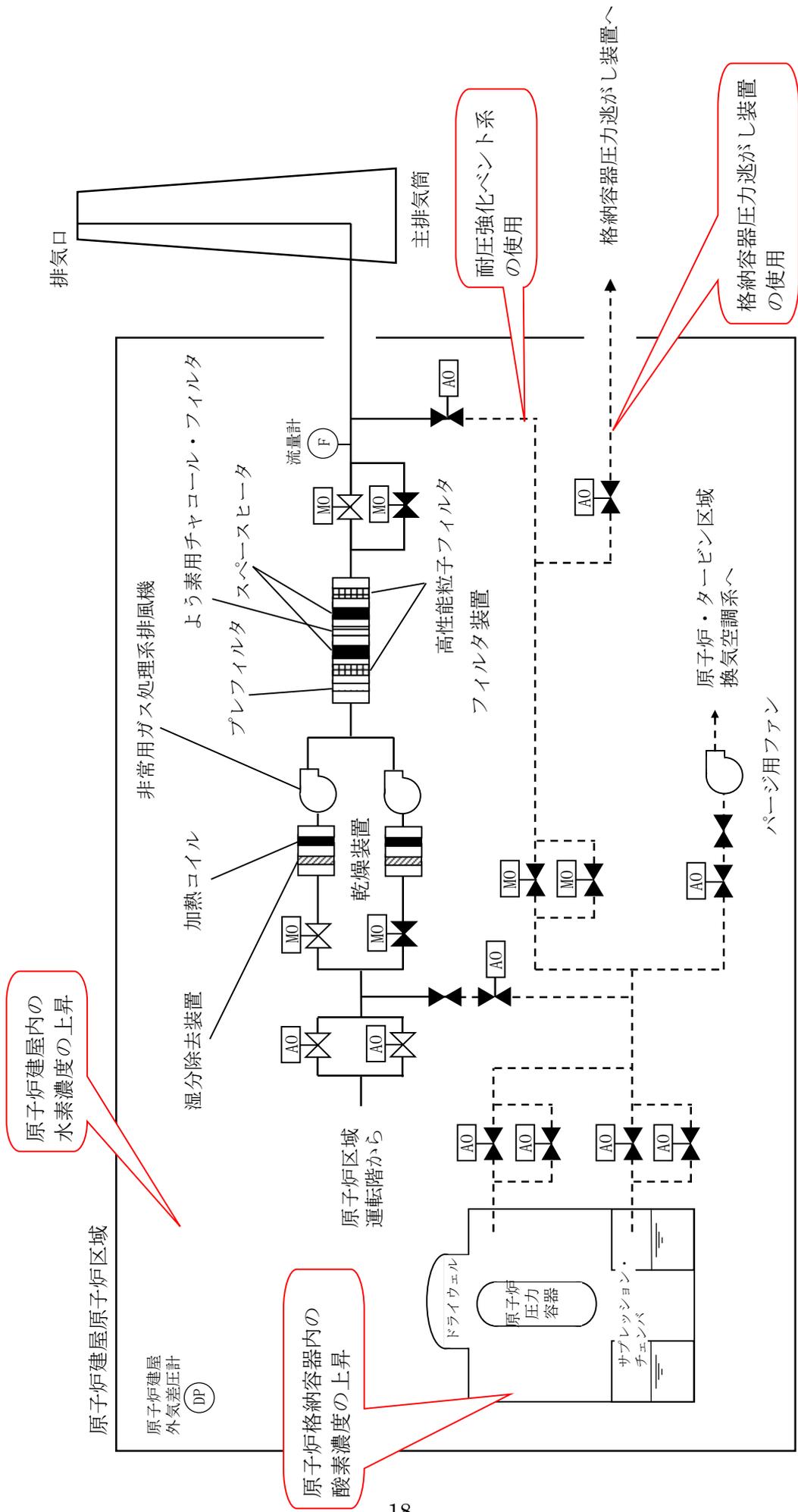
停止操作は、中央制御室でのスイッチ操作によりシステムを停止することが可能である。停止操作を行う場合には、可能な限り、原子炉建屋オペレーティングフロアの水素濃度がゼロになっていることを確認し、水素が系統内に残存しないよう確認して停止操作を行う。

原子炉建屋オペレーティングフロアの水素濃度が残存した状態でシステムを停止する必要が生じた場合であっても、前述の(1)③における保守的な評価条件下において、非常用ガス処理系内部の水素濃度は約0.8vol%であり、系統内に残存した水素が燃焼限界濃度となることはなく、系統内で水素に着火する可能性はないものとする（添付資料-5）。

（※）水素濃度計の計器誤差（±1.0vol%）及び非常用ガス処理系内での蒸気凝縮による水素濃度上昇（1.7倍に変化）を考慮しても可燃限界（4.0vol%）に到達しない水素濃度として設定

## (3)設置許可基準規則第43条への適合方針

非常用ガス処理系は、炉心損傷が生じた場合に中央制御室の操作員及び屋外等で事故対応操作を行う作業員の被ばくの低減を目的として設置するものであり、重大事故等対処設備のうち常設重大事故緩和設備に該当する。本システムの設置許可基準規則第43条への適合方針を、添付資料-6に示す。



図一 4 非常用ガス処理系の停止操作実施条件

## 1. 14. 2 重大事故等時の手順

## 1. 14. 2. 1 交流電源喪失時の対応手順

## (1) 代替交流電源設備による給電

## a. 第一ガスタービン発電機，第二ガスタービン発電機又は電源車によるM/C C系及びM/C D系受電

送電線及び開閉所が破損又は破損する可能性のある大規模自然災害が発生した場合，並びに外部電源及び非常用ディーゼル発電機による給電が見込めない場合に，原子炉圧力容器及び使用済燃料プールの冷却，原子炉格納容器の冷却及び除熱に必要な非常用高圧母線D系(以下，「M/C D系」という。)の電源を復旧する。原子炉圧力容器への注水に必要な負荷への給電は，M/C D系を受電することにより電源が供給されるため，M/C D系受電後は原子炉圧力容器への注水を優先させ，その後に非常用高圧母線C系(以下，「M/C C系」という。)へ給電する。M/C C系受電操作完了後，直流 125V 充電器盤受電及び中央制御室監視計器へ交流電源を供給する。

第一ガスタービン発電機及び第二ガスタービン発電機の起動操作を並行で行い，第一ガスタービン発電機による給電を行う。第一ガスタービン発電機による給電ができない場合は，第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用高圧母線(以下，荒浜側緊急用 M/C という。)経由)による給電を行う。第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用 M/C 経由)による給電ができない場合は，第二ガスタービン発電機の起動状態が正常で大湊側緊急用高圧母線(以下，大湊側緊急用 M/C という。)を経由した電路が健全であれば，第二ガスタービン発電機(大湊側緊急用 M/C 経由)による給電を行う。第一ガスタービン発電機及び第二ガスタービン発電機による給電ができず，号炉間電力融通ケーブルを使用した電力融通ができない場合は，荒浜側緊急用 M/C を経由した電路が健全であれば，電源車(荒浜側緊急用 M/C 経由)による給電を行う。

代替交流電源設備による M/C C 系及び M/C D 系受電の優先順位は以下のとおり。

1. 第一ガスタービン発電機
2. 第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用 M/C 経由)
3. 第二ガスタービン発電機(大湊側緊急用 M/C 経由)
4. 電源車(荒浜側緊急用 M/C 経由)

また，上記給電を継続するために第一ガスタービン発電機用燃料タンク，第二ガスタービン発電機用燃料タンク及び電源車への燃料補給を実施する。燃料の補給手順については，「1. 14. 2. 4 燃料の補給手順」にて整備する。なお，第一ガスタービン発電機の運転中は，第一ガスタービン発電機

用燃料タンクから第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプを用いて自動で燃料補給を行う。同様に、第二ガスタービン発電機の運転中は、第二ガスタービン発電機用燃料タンクから第二ガスタービン発電機用燃料移送ポンプを用いて自動で燃料補給を行う。

(a) 手順着手の判断基準

- ・第一ガスタービン発電機及び第二ガスタービン発電機の起動判断基準  
外部電源及び非常用ディーゼル発電機の機能喪失により M/C C 系及び M/C D 系へ給電できない場合。

- ・第二ガスタービン発電機(大湊側緊急用 M/C 経由)による給電の判断基準

外部電源及び非常用ディーゼル発電機による給電ができない場合、並びに第一ガスタービン発電機及び第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用 M/C 経由)による給電ができない場合で、第二ガスタービン発電機の起動状態が正常の場合。

- ・電源車(荒浜側緊急用 M/C 経由)の起動判断基準

外部電源及び非常用ディーゼル発電機による給電ができない場合、並びに第一ガスタービン発電機、第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用 M/C 経由)、第二ガスタービン発電機(大湊側緊急用 M/C 経由)及び号炉間電力融通ケーブルによる給電ができない場合で、荒浜側緊急用 M/C を経由した電路が健全である場合。

- ・M/C C 系及び M/C D 系受電準備開始の判断基準

外部電源及び非常用ディーゼル発電機による給電ができず、M/C C 系及び M/C D 系の母線電圧が喪失している場合において、第一ガスタービン発電機又は第二ガスタービン発電機の起動準備を開始した場合。

(b) 操作手順

第一ガスタービン発電機、第二ガスタービン発電機又は電源車による M/C C 系及び M/C D 系受電手順の概要は以下のとおり。手順の対応フローを第1.14.5図に、概要図を第1.14.6図に、タイムチャートを第1.14.7図から第1.14.10図に示す。

- ①当直副長は、手順着手の判断基準に基づき、運転員に第一ガスタービン発電機による給電準備開始及び M/C D 系、AM用 MCC 及び M/C C 系受電準備開始を指示する。
- ②緊急時対策本部は、手順着手の判断基準に基づき、緊急時対策要員

に第二ガスタービン発電機による給電準備開始を指示する。

- ③中央制御室運転員Aは、給電準備として第一ガスタービン発電機を起動し、当直副長に報告する。
- ④緊急時対策要員は、荒浜側緊急用M/C及び第二ガスタービン発電機エリアに到着後、外観点検により第二ガスタービン発電機及び回路の健全性を確認し、給電のための回路を構成する。
- ⑤<sup>a</sup>第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
中央制御室運転員Bは、受電前準備としてM/C D系、P/C D系及びAM用MCCの負荷の遮断器を「切」とし、動的負荷の自動起動防止のためコントロールスイッチ(以下、「CS」という。)を「切」又は「切保持」とする。
- ⑥<sup>b~d</sup>第二ガスタービン発電機又は電源車によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
中央制御室運転員A及びBは、受電前準備としてM/C D系、P/C D系、AM用MCC、M/C C系及びP/C C系の負荷の遮断器を「切」とし、動的負荷の自動起動防止のためCSを「切」又は「切保持」とする。
- ⑥<sup>a</sup>第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
現場運転員C及びDは、M/C D系及びP/C D系の受電前準備として、あらかじめ定められた負荷以外の遮断器を「切」とする。
- ⑥<sup>b~d</sup>第二ガスタービン発電機又は電源車によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
現場運転員C及びDは、M/C D系、P/C D系及びAM用MCCの負荷抑制のため、あらかじめ定められた負荷以外の遮断器を「切」とし、当直副長にM/C D系の受電準備完了を報告する。
- ⑦<sup>a</sup>第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
現場運転員E及びFは、M/C D系及びP/C D系の機器作動防止のため、あらかじめ定められた負荷以外の遮断器を「切」とし、当直副長にM/C D系の受電準備完了を報告する。
- ⑦<sup>b~d</sup>第二ガスタービン発電機又は電源車によるM/C C系及びM/C D系給電の場合  
現場運転員E及びFは、M/C C系、P/C C系の負荷抑制のため、あらかじめ定められた負荷以外の遮断器を「切」とし、当直副長にM/C C系の受電準備完了を報告する。
- ⑧緊急時対策要員は、第二ガスタービン発電機を起動後、給電準備完了を緊急時対策本部に報告する。
- ⑨当直副長は、被災状況を確認し、第一ガスタービン発電機又は第二

ガスタービン発電機のどちらで給電するかを判断する。

(優先1. 第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系給電の場合)

- ⑩<sup>a</sup>当直副長は、運転員に第一ガスタービン発電機によるM/C D系への給電開始を指示する。
- ⑪<sup>a</sup>中央制御室運転員Aは、M/C D系へ給電するための遮断器を「入」とし、M/C D系へ給電が開始されたことを当直副長に報告する。
- ⑫<sup>a</sup>当直副長は、運転員にM/C D系の受電開始を指示する。
- ⑬<sup>a</sup>現場運転員C及びDは、M/C D系緊急用電源母線連絡の遮断器を「入」とし、M/C D系、P/C D系、MCC D系及びAM用MCCの受電操作を実施する。
- ⑭<sup>a</sup>現場運転員C及びDは、外観点検によりM/C D系、P/C D系、MCC D系及びAM用MCCの受電状態に異常が無いことを確認後、当直副長に報告する。
- ⑮<sup>a</sup>中央制御室運転員Bは、受電前準備としてM/C C系及びP/C C系の負荷の遮断器を「切」とし、動的負荷の自動起動防止のためCSを「切」又は「切保持」とする。
- ⑯<sup>a</sup>現場運転員E及びFは、M/C C系、P/C C系の負荷抑制のため、あらかじめ定められた負荷以外の遮断器を「切」とし、当直副長にM/C C系の受電準備完了を報告する。
- ⑰<sup>a</sup>当直副長は、運転員にM/C C系の受電開始を指示する。
- ⑱<sup>a</sup>現場運転員E及びFは、M/C C系緊急用電源母線連絡の遮断器を「入」とし、M/C C系、P/C C系及びMCC C系の受電操作を実施する。
- ⑲<sup>a</sup>現場運転員E及びFは、外観点検によりM/C C系、P/C C系及びMCC C系の受電状態に異常が無いことを確認後、当直副長に報告し、直流125V充電器盤受電及び中央制御室監視計器へ交流電源を供給する。  
操作手順については、「1.14.2.2(1)a. 所内蓄電式直流電源設備による給電」の操作手順⑬<sup>a</sup>～と同様である。

(優先2. 第二ガスタービン発電機(荒浜側緊急用M/C経由)によるM/C C系及びM/C D系給電の場合)

～以下省略～

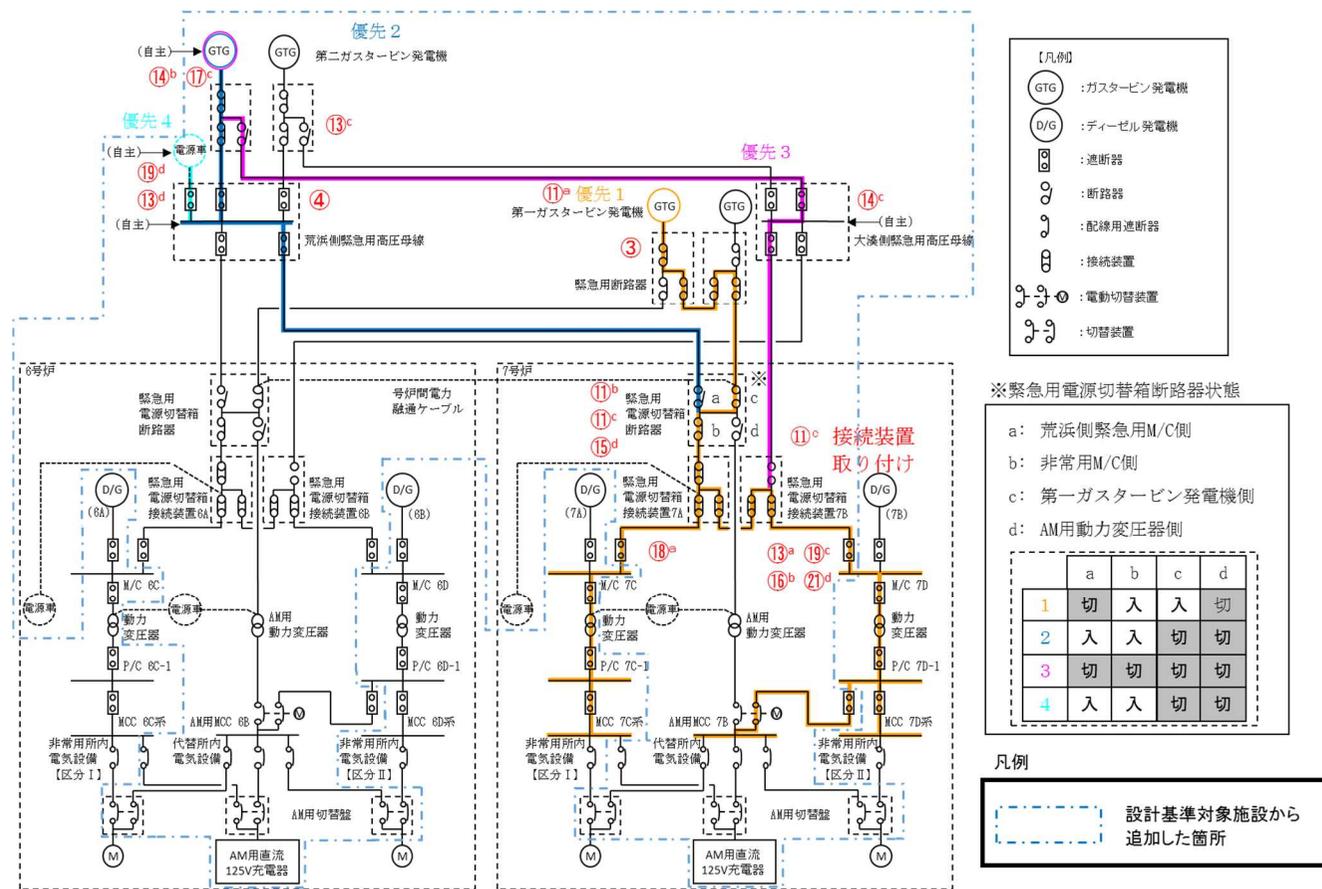
(c) 操作の成立性

優先1の第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系給電操作は、1ユニット当たり中央制御室運転員2名（操作者及び確認者）及び現場運転員4名にて作業を実施した場合、作業開始を判断してからの所要時間は以下のとおり。

- ・ 第一ガスタービン発電機によるM/C C系及びM/C D系への給電開始まで15分以内で可能である。
- ・ 第一ガスタービン発電機によるM/C D系受電完了まで20分以内で可能である。
- ・ 第一ガスタービン発電機によるM/C C系受電完了まで50分以内で可能である。

また、6号及び7号炉がプラント停止中の運転員の体制においては、当直副長の指揮のもと1ユニット当たり中央制御室運転員1名及び現場運転員2名にて作業を実施した場合、作業開始を判断してからの所要時間は以下のとおり。

- ・ 第一ガスタービン発電機によるM/C D系受電完了まで30分以内で可能である。
- ・ 第一ガスタービン発電機によるM/C C系受電完了まで60分以内で可能である。



操作手順	名称	操作場所
⑪ <sup>c</sup>	緊急用電源切替箱内接続装置(大湊側)	原子炉建屋地下1階(非管理区域)

第 1. 14. 6 図 第一ガスタービン発電機，第二ガスタービン発電機又は電源車による M/C C 系及び M/C D 系受電 概要図

		経過時間(分)										備考		
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
手順の項目	要員(数)	第一ガスタービン発電機によるM/C D系受電 20分					50分 第一ガスタービン発電機によるM/C C系受電							
第一ガスタービン発電機、 第二ガスタービン発電機 又は電源車によるM/C C系 及びM/C D系受電  (第一ガスタービン発電機 使用の場合)	中央制御室運転員A	1	第一GTG起動											
			給電											
	中央制御室運転員B	1	通信手段確保、M/C D系受電前準備											
			M/C D系受電確認											
			M/C C系受電前準備		M/C C系受電確認									
	現場運転員C, D (R/B)	2	移動、M/C D系受電前準備											
			M/C D系受電操作											
	現場運転員E, F (C/B⇒R/B)	2	移動、M/C D系受電前準備		移動、M/C C系受電前準備									
			M/C C系受電操作											

第 1.14.7 図 第一ガスタービン発電機，第二ガスタービン発電機又は電源車による M/C C 系及び M/C D 系受電  
(第一ガスタービン発電機の使用の場合)タイムチャート

### 1.16.2.3 運転員等の被ばくを低減するための手順等

#### (1) 非常用ガス処理系による運転員等の被ばく防止手順

##### a. 非常用ガス処理系起動手順

重大事故等により，原子炉格納容器から原子炉建屋内に漏えいしてくる放射性物質が原子炉建屋から直接大気へ放出されることを防ぎ，運転員等の被ばくを未然に防ぐために非常用ガス処理系を起動する手順を整備する。

全交流動力電源の喪失により非常用ガス処理系が起動できない場合は，常設代替交流電源設備又は第二代替交流電源設備により非常用ガス処理系の電源を確保する。

常設代替交流電源設備及び第二代替交流電源設備に関する手順等は「1.14 電源の確保に関する手順等」にて整備する。

##### (a) 手順着手の判断基準

原子炉区域排気放射能高，燃料取替エリア放射能高，ドライウエル圧力高，原子炉水位低(L-3)及び原子炉区域・タービン区域換気空調系全停のいずれかの信号が発生した場合又は，原子炉区域・タービン区域換気空調系が全停している場合。

##### (b) 操作手順

非常用ガス処理系を起動する手順は以下の通り。非常用ガス処理系の概要図を第 1.16.8 図に示す。

- ① 当直副長は，手順着手の判断基準に基づき，中央制御室運転員に非常用ガス処理系の起動準備を開始するよう指示する。
- ② 中央制御室運転員A及びBは，中央制御室からの手動起動操作，又は自動起動信号(原子炉区域排気放射能高，燃料取替エリア放射能高，ドライウエル圧力高，原子炉水位低(L-3)及び原子炉区域・タービン区域換気空調系全停)により非常用ガス処理系排風機が起動，非常用ガス処理系入口隔離弁及び非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁が全開，非常用ガス処理系乾燥装置入口弁が調整開となることを確認する。
- ③ 中央制御室運転員 A 及び B は，非常用ガス処理系の運転が開始されたことを非常用ガス処理系排気流量指示値の上昇及び原子炉建屋外気差圧計指示値が負圧であることにより確認し当直副長に報告するとともに，原子炉建屋外気差圧指示値を規定値で維持する。

(c) 操作の成立性

上記の操作は、中央制御室運転員 2 名（操作者及び確認者）にて作業を実施した場合、作業開始を判断してから非常用ガス処理系の起動まで 5 分以内で対応可能である。

b. 非常用ガス処理系停止手順

非常用ガス処理系が運転中に、原子炉建屋内の水素濃度の上昇を確認した場合は、非常用ガス処理系の系統内での水素爆発を回避するため、非常用ガス処理系を停止する。

また、耐圧強化ベント系、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よる原子炉格納容器ベント操作を実施する場合についても、原子炉格納容器ベント時の系統構成のため、非常用ガス処理系を停止する。

(a) 手順着手の判断基準

原子炉建屋オペレーティングフロアの水素濃度が、1.3vol%に到達した場合、又は耐圧強化ベント系、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よる原子炉格納容器ベント操作を実施する場合。

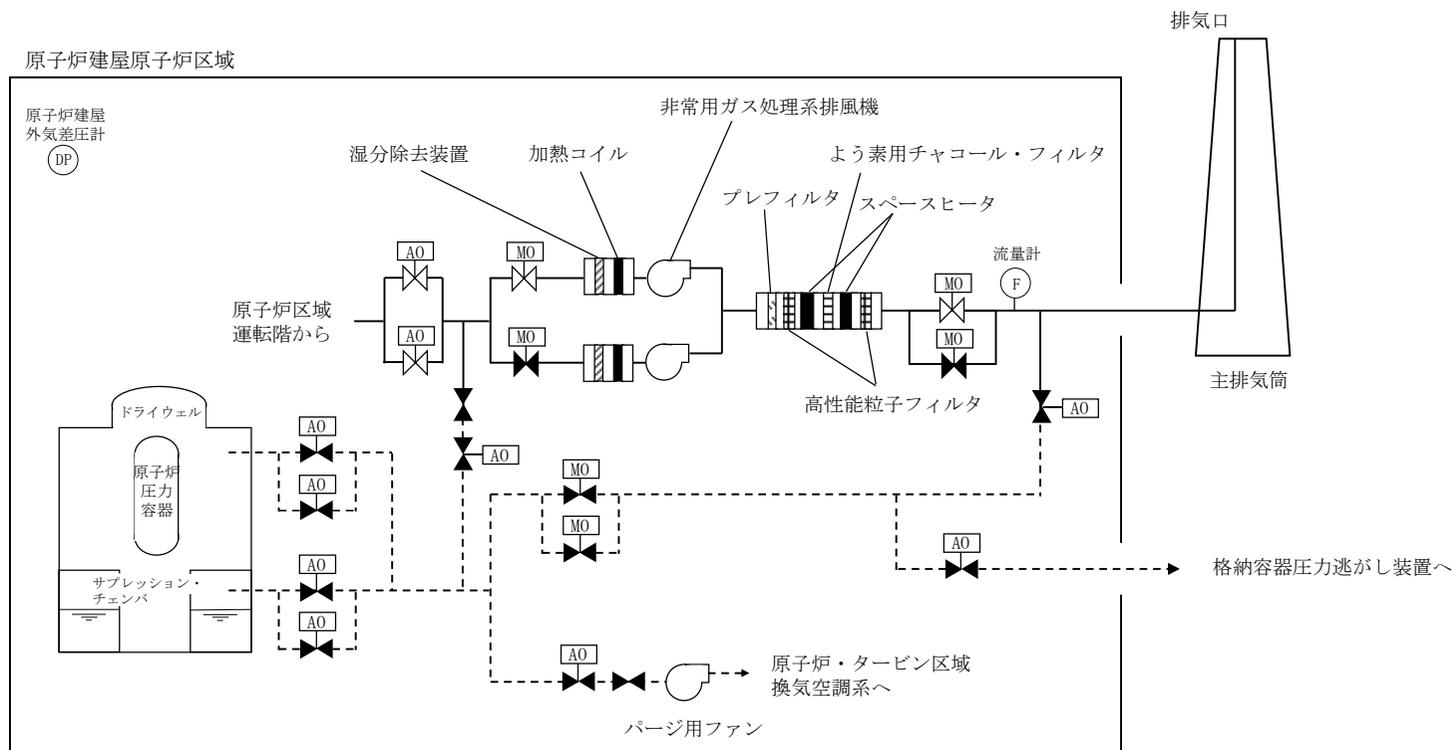
(b) 操作手順

非常用ガス処理系を停止する手順は以下の通り。非常用ガス処理系の概要図を 1.16.8 図に示す。

- ① 当直副長は、手順着手の判断基準に基づき、中央制御室運転員に非常用ガス処理系の停止準備を開始するよう指示する。
- ② 中央制御室運転員A及びBは、非常用ガス処理系排風機のコントロールスイッチを「切保持」とし、非常用ガス処理系排風機が停止、非常用ガス処理系乾燥装置入口弁が全閉となることを確認する。
- ③ 中央制御室運転員A及びBは、非常用ガス処理系入口隔離弁及び非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁の全閉操作を実施する。
- ④ 中央制御室運転員A及びBは、非常用ガス処理系の停止操作が完了したことを当直副長に報告する。

(c) 操作の成立性

上記の操作は、中央制御室運転員 2 名（操作者及び確認者）にて作業を実施した場合、作業開始を判断してから非常用ガス処理系の停止まで 5 分以内で対応可能である。



第 1.16.8 図 非常用ガス処理系概要

1.16-40





操作項目	実施箇所・必要人員数						操作の内容	経過時間 (分)																									備考		
	責任者		当直長		1人			中央監視 緊急時対策本部連絡		10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320																									
	指揮者		当直副長		1人			号炉毎運転操作指揮																											
	通報連絡者		緊急時対策要員		5人		中央制御室連絡 緊急時対策要員																												
	運転員 (中央制御室)		運転員 (現場)		緊急時対策要員 (現場)																														
	6号	7号	6号	7号	6号	7号																													
常設代替交流電源設備からの M/C D系 受電準備操作	-	-	(2人) C, D E, F	(2人) e, d e, f	-	-	・放射線防護装備準備/装備		10分																										
	-	-	(2人) C, D	(2人) e, d	-	-	・現場移動 ・M/C D系 受電前準備 (電源盤受電準備)		15分																										
	-	-	(2人) E, F	(2人) e, f	-	-	・現場移動 ・M/C D系 受電前準備 (コントロール建屋負荷抑制)		15分																										
常設代替交流電源設備からの M/C D系 受電操作	-	-	(2人) C, D	(2人) e, d	-	-	・M/C D系 受電		5分																										
常設代替交流電源設備からの M/C C系 受電準備操作	-	-	(2人) E, F	(2人) e, f	-	-	・現場移動 ・M/C C系 受電前準備		25分																										
常設代替交流電源設備からの M/C C系 受電操作	-	-	(2人) E, F	(2人) e, f	-	-	・M/C C系 受電		5分																										
低下代替注水系(常設) 準備操作	-	-	(2人) E, F	(2人) e, f	-	-	・現場移動 ・低下代替注水系(常設) 現場系統構成 ※復水貯蔵槽吸込ライン切替		30分																										
中央制御室 圧力調整 (中央制御室可搬型陽圧化空調機プロ アユニット起動)	-	-	(2人) C, D	(2人) e, d	-	-	・MCR系 隔離弁操作		30分																									交流電源回復により遠隔操作可能な場合は遠隔にて隔離操作を実施する	要員を確保して対応する
	-	-	(2人) C, D	(2人) e, d	-	-	・中央制御室可搬型陽圧化空調機プロアユニット起動		30分																										
中央制御室待避室の準備操作	-	-	-	(2人) e, d	-	-	・現場移動 ・中央制御室待避室陽圧化装置空気供給元弁開		30分																									要員を確保して対応する	
格納容器薬品注入操作	-	-	(2人) E, F	(2人) e, f	-	-	・格納容器スプレイに合わせた薬品注入		格納容器スプレイに合わせて実施																									要員を確保して対応する	

第 1.16.14 図 「大破断 LOCA+ECCS 注水機能喪失+全交流動力電源喪失」シーケンス (現場運転員)

## 原子炉建屋内における水素濃度測定

炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋の水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定するための設備として原子炉建屋水素濃度を設置する。

### (1) 設計方針

原子炉建屋水素濃度は炉心の著しい損傷が発生した場合が発生し、ジルコニウム－水反応等で短期的に発生する水素ガス及び水の放射線分解等で長期的に緩やかに発生し続ける水素ガスが格納容器から原子炉建屋へ漏えいした場合に、原子炉建屋において、水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定を行い、中央制御室において連続監視できる設計とする。また、原子炉建屋水素濃度は電源が喪失した場合においても代替電源設備からの給電が可能な設計とする。

### (2) 設備概要

#### a. 機器仕様

検出器：熱伝導式

計測範囲：水素濃度0～20vol%

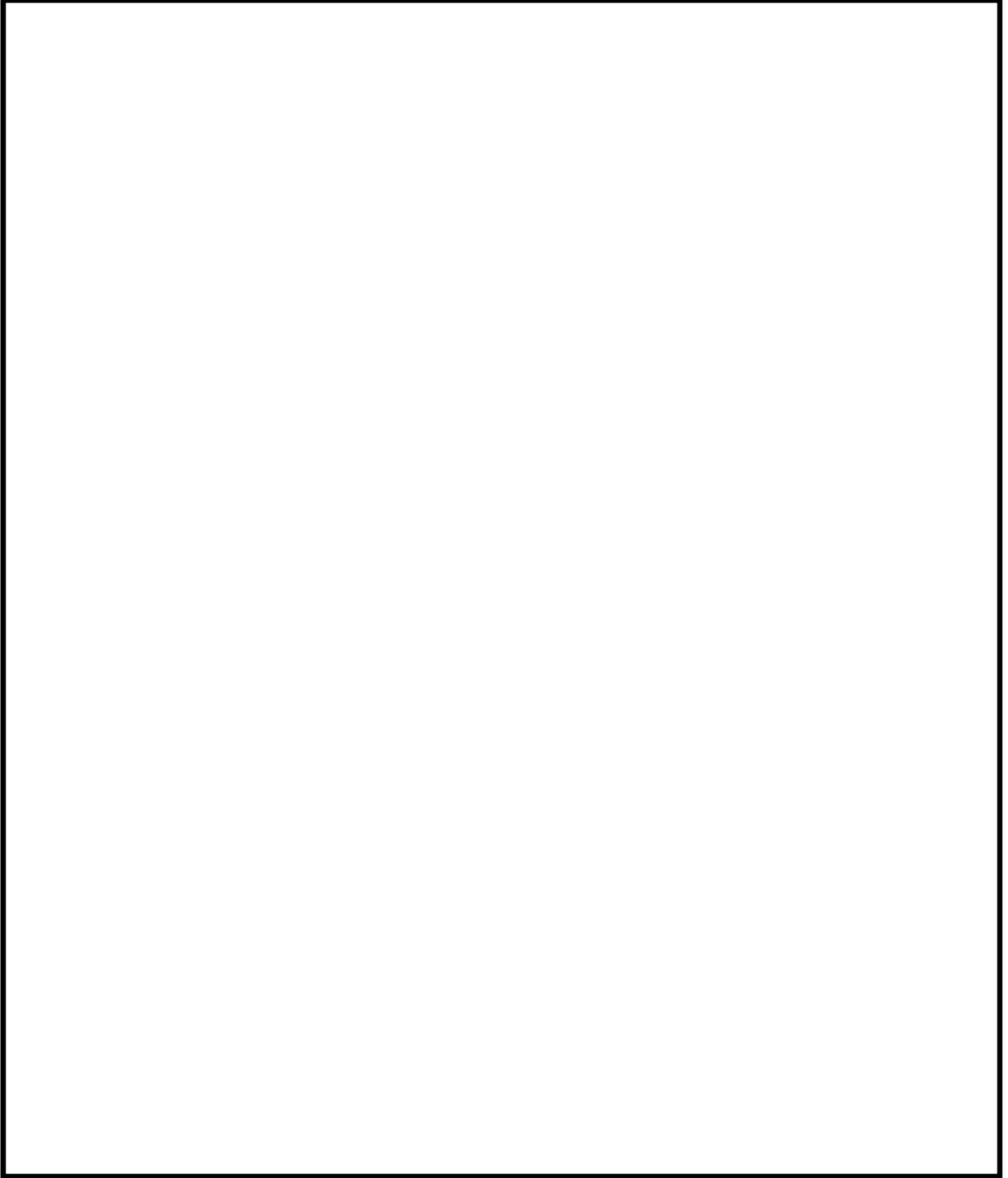
個数：8

#### b. 配置場所

図(添付 2-1)～図(添付 2-8)の通り

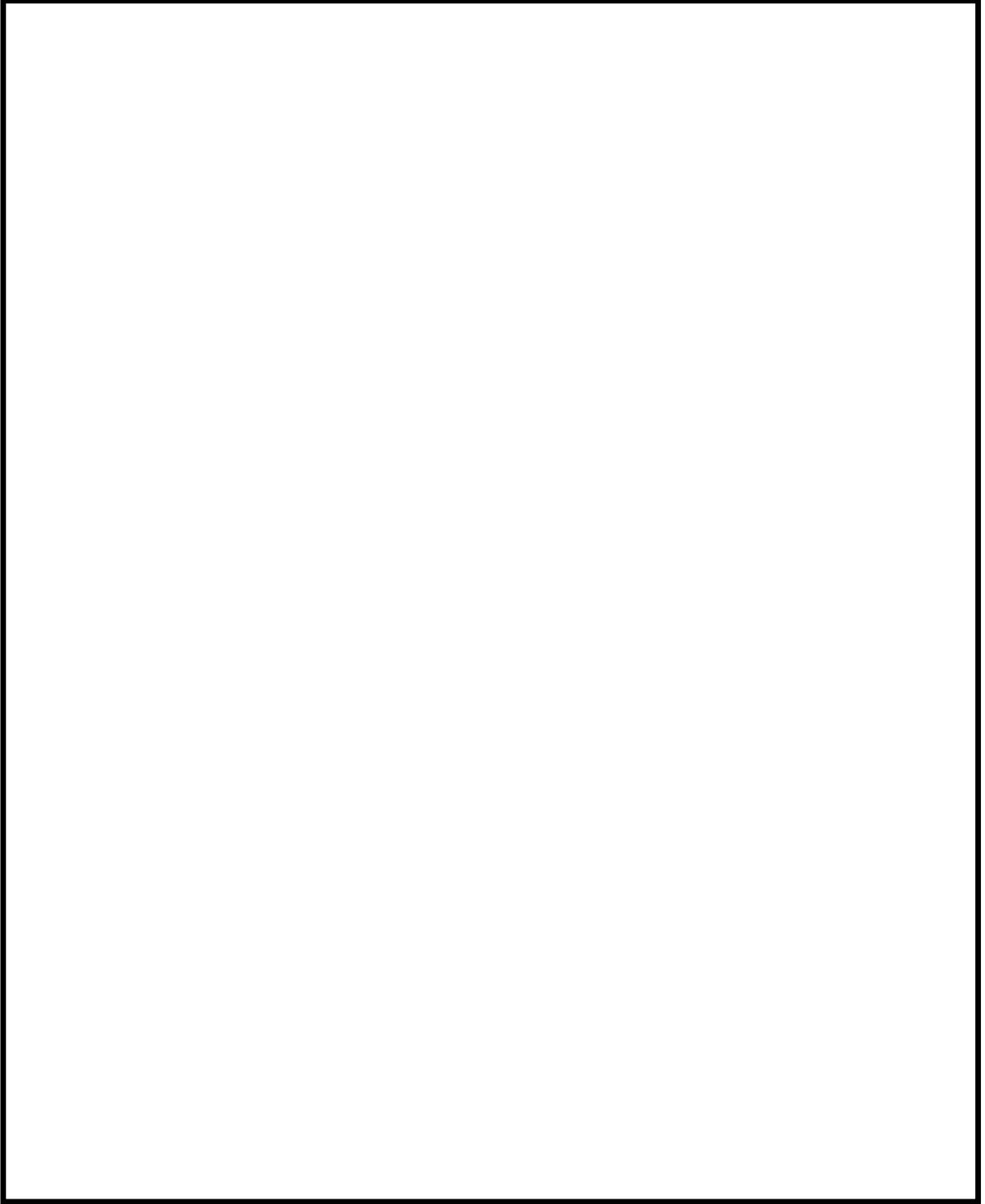
なお、小部屋（図(添付 2-1)～図(添付 2-3)，図(添付 2-5)～図(添付 2-7)）に漏えいした水素ガスを早期検知及び滞留状況を把握することは、水素爆発による原子炉建屋の損傷を防止するために有益な情報になることから、小部屋に漏えいした水素ガスを計測するため水素濃度計を設置し、事故時の監視性能を向上させる。これにより、格納容器内にて発生した水素ガスが漏えいするポテンシャルのある箇所での水素濃度と、水素ガスが最終的に滞留する原子炉建屋オペレーティングフロアでの水素濃度の両方を監視できることとなり、原子炉建屋全体での水素影響を把握することが可能となる。

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。



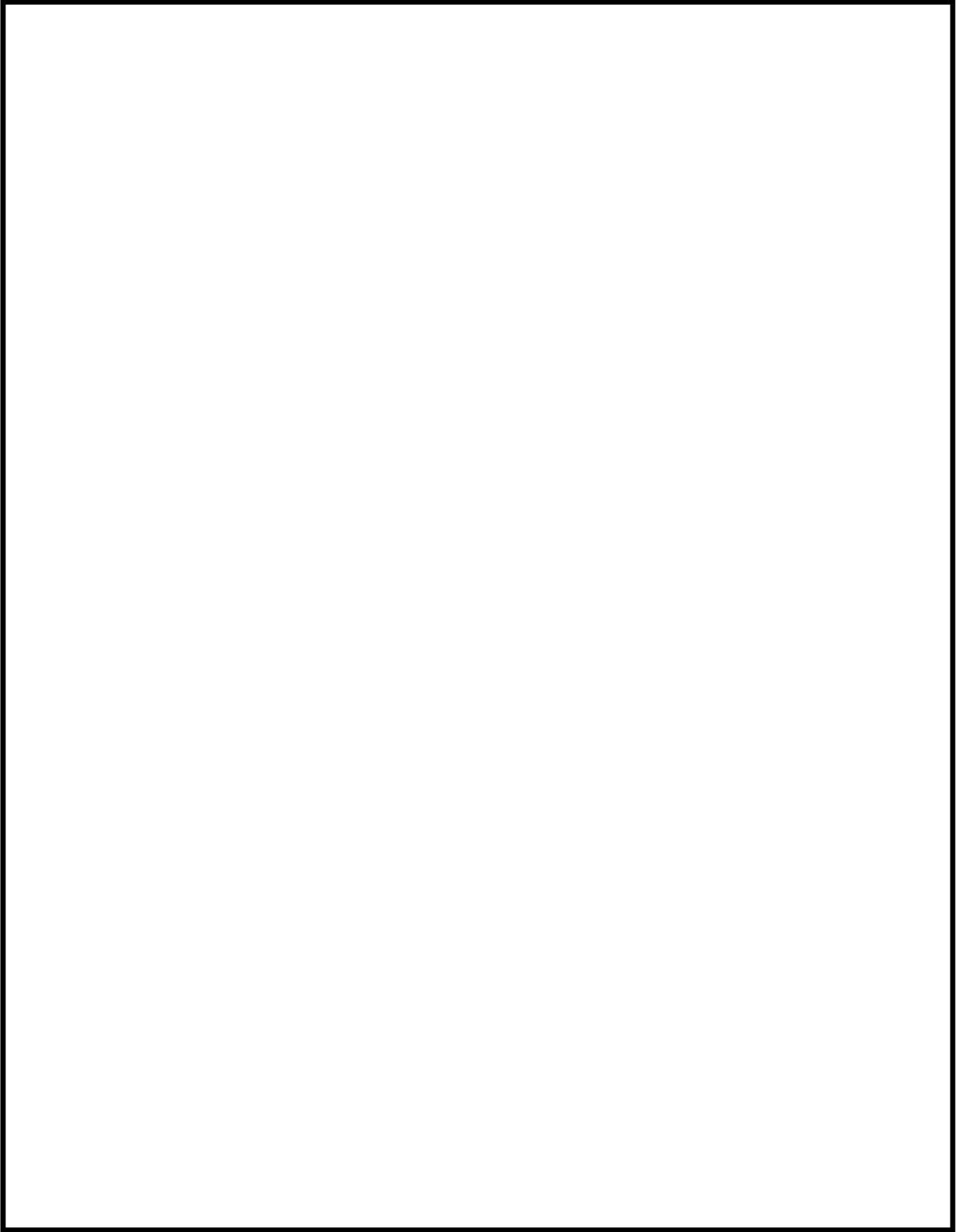
図(添付 2-1) 機器配置図 (6 号炉)

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。



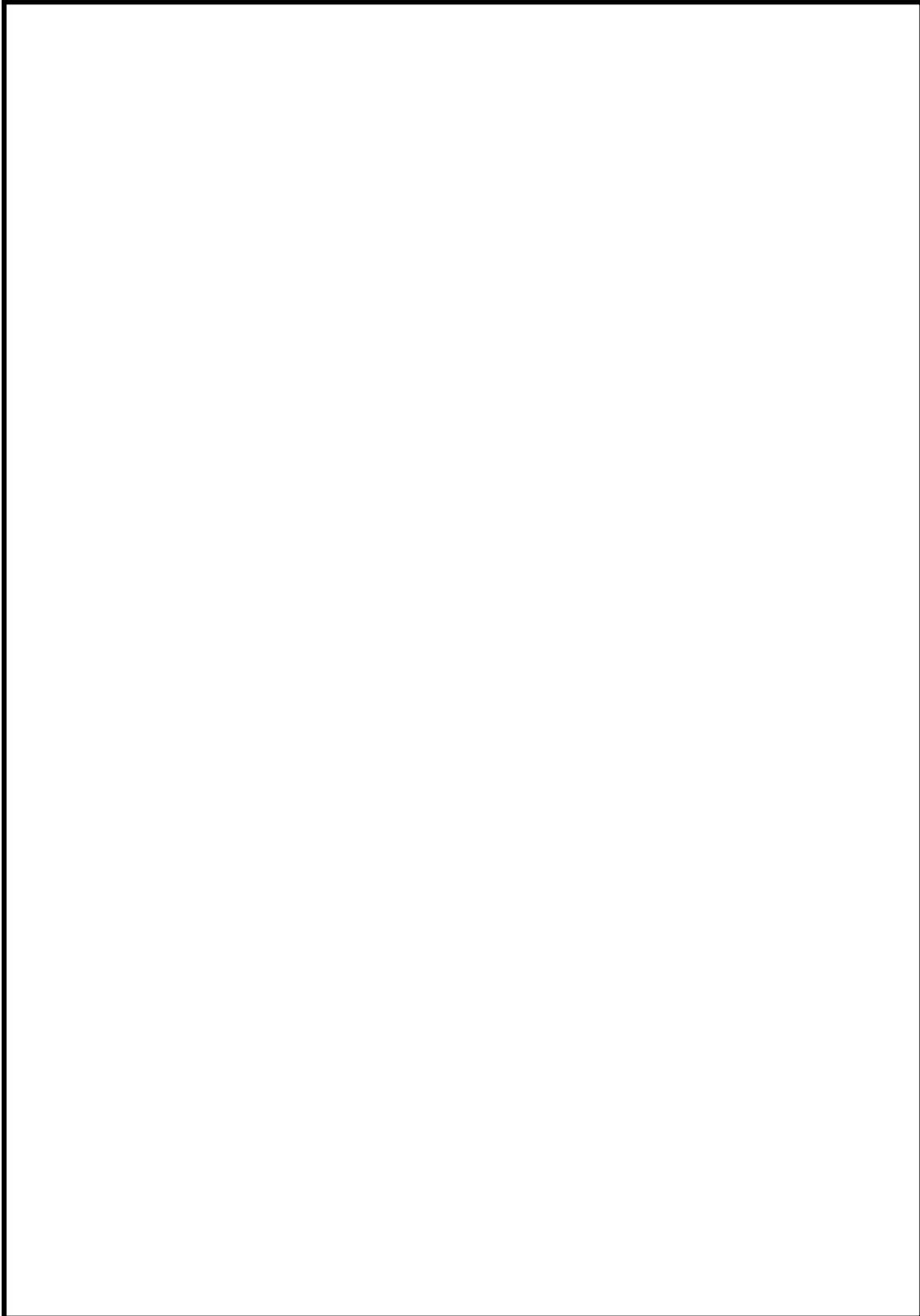
図(添付 2-2) 機器配置図 (6 号炉)

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。



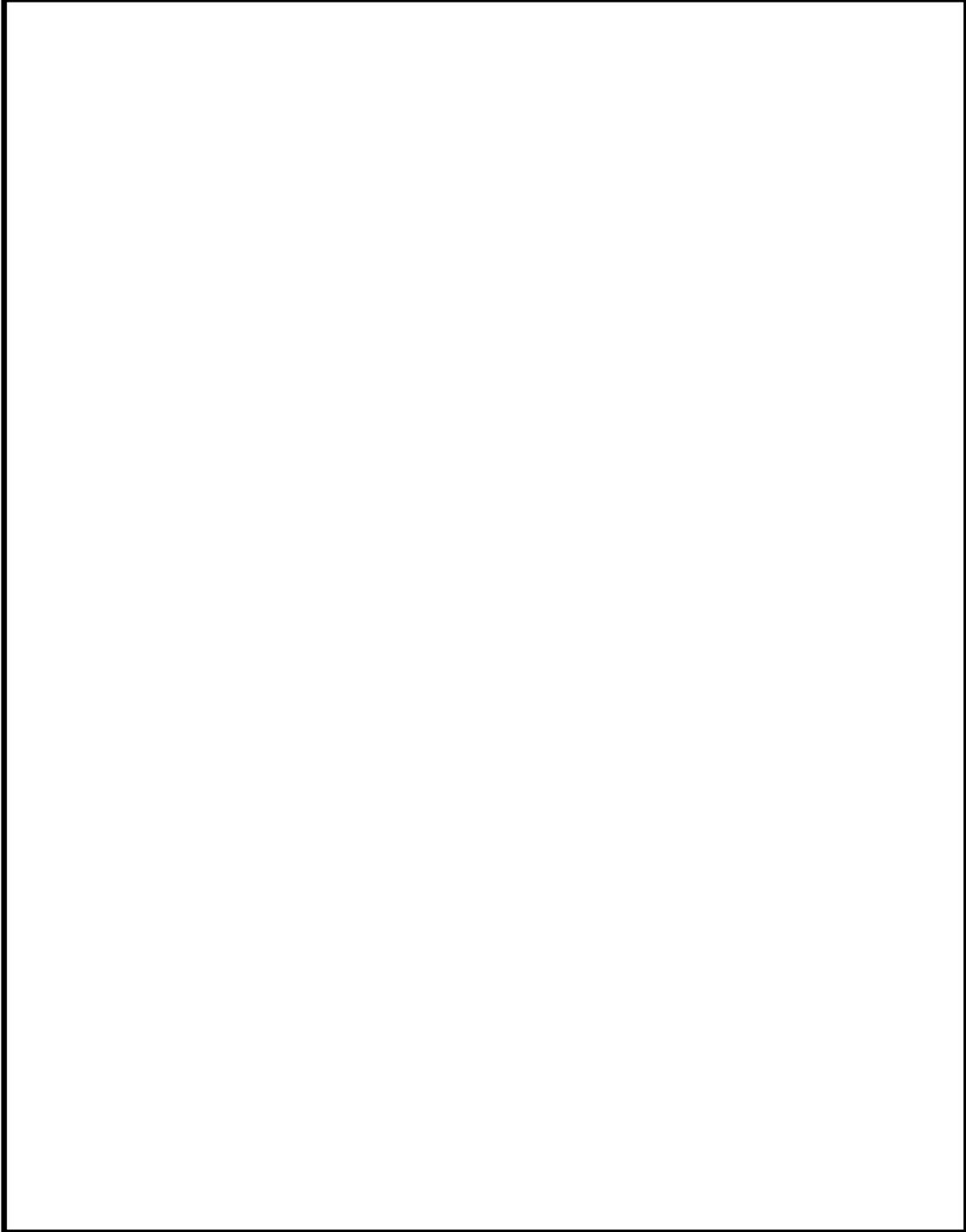
図(添付 2-3) 機器配置図 (6号炉)

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。



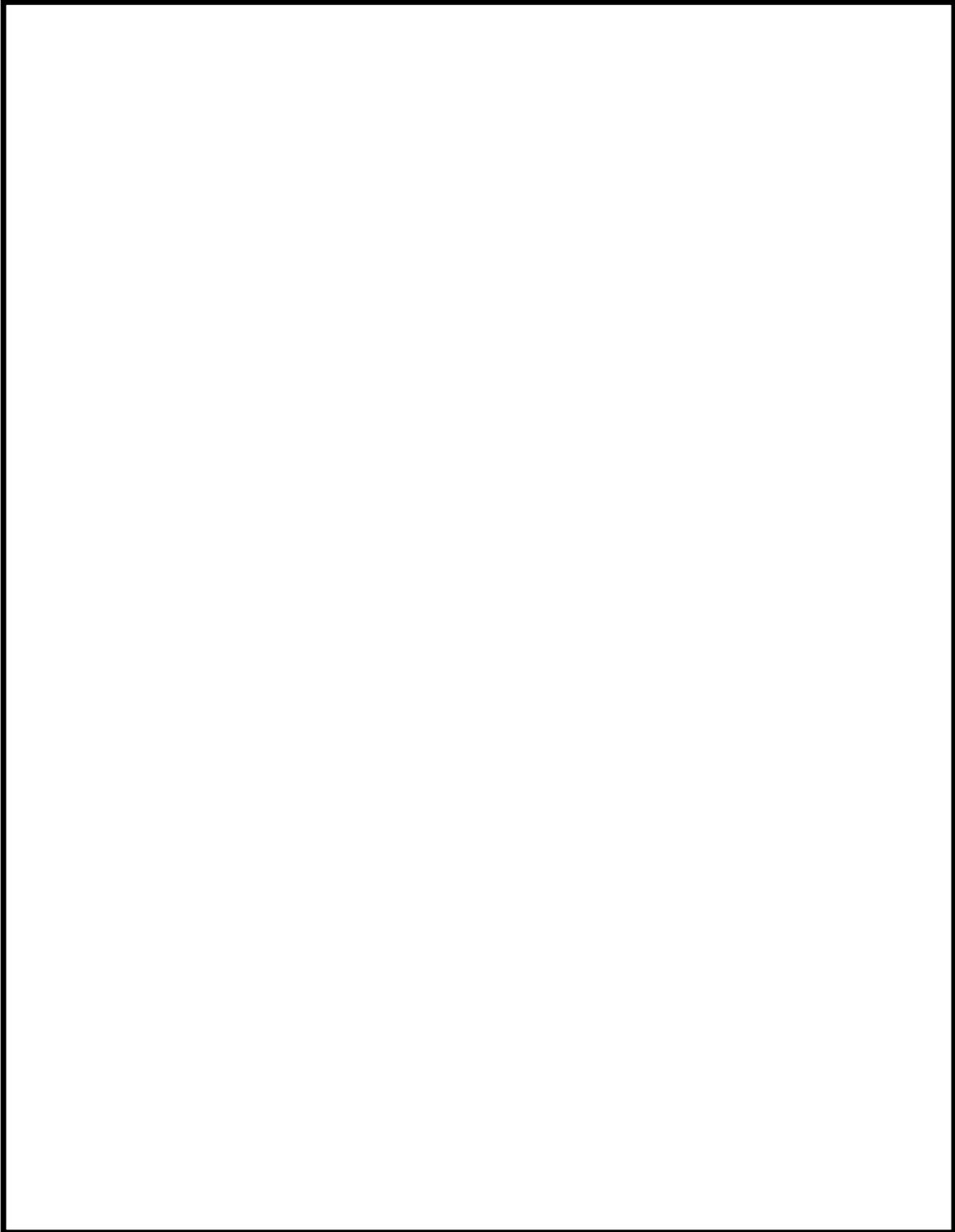
図(添付 2-4) 機器配置図 (6号炉)

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。



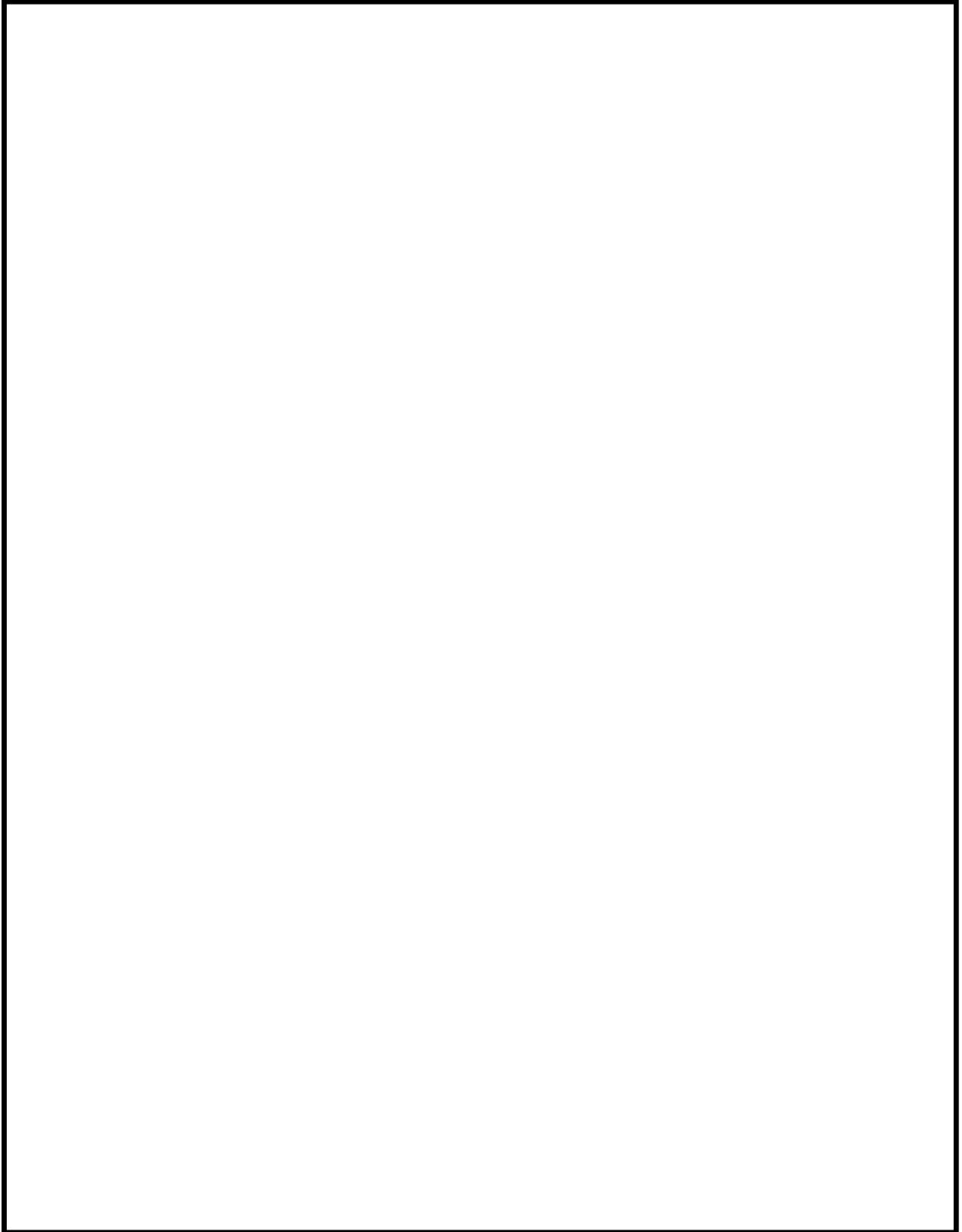
図(添付 2-5) 機器配置図 (7 号炉)

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。



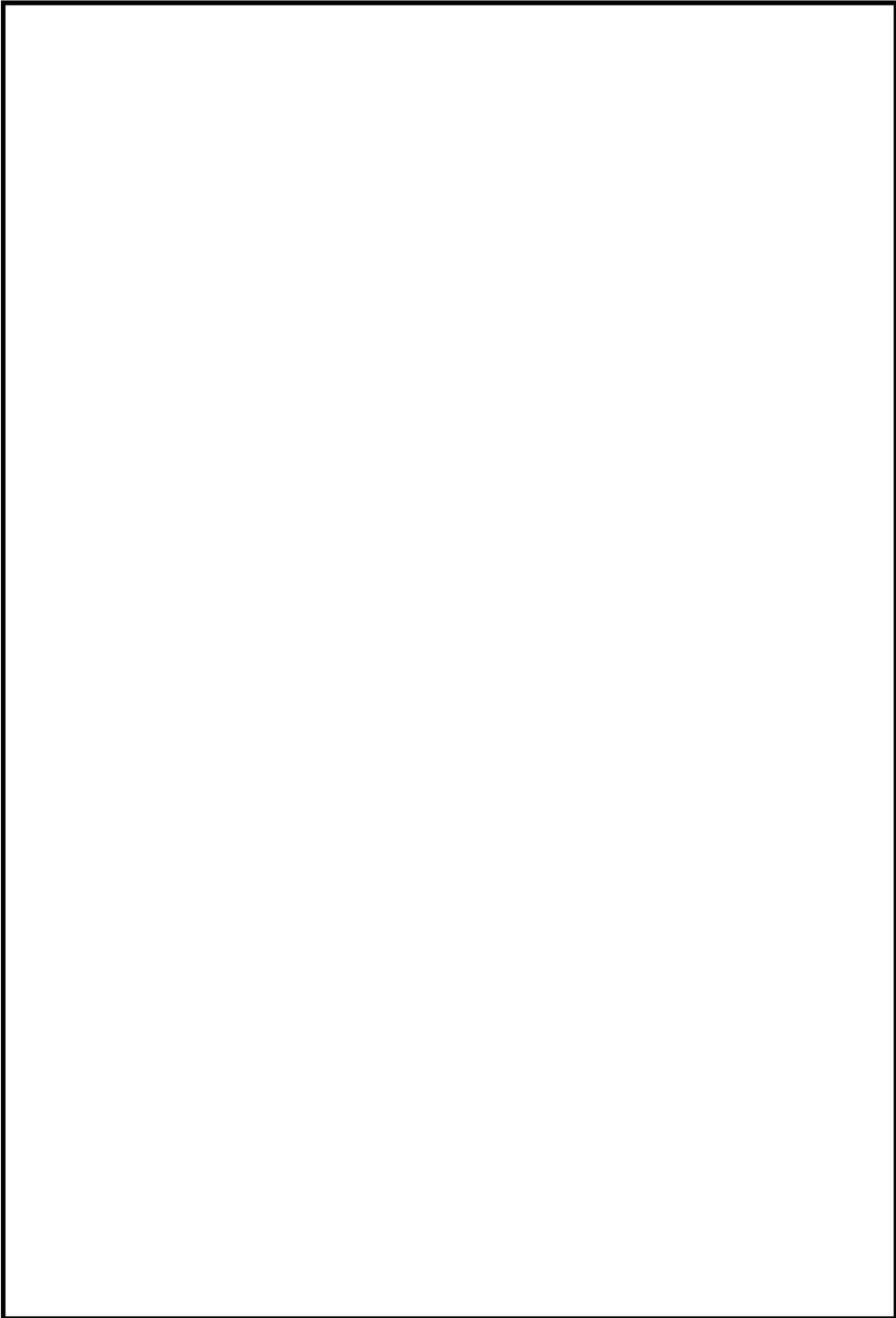
図(添付 2-6) 機器配置図 (7 号炉)

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。



図(添付 2-7) 機器配置図 (7 号炉)

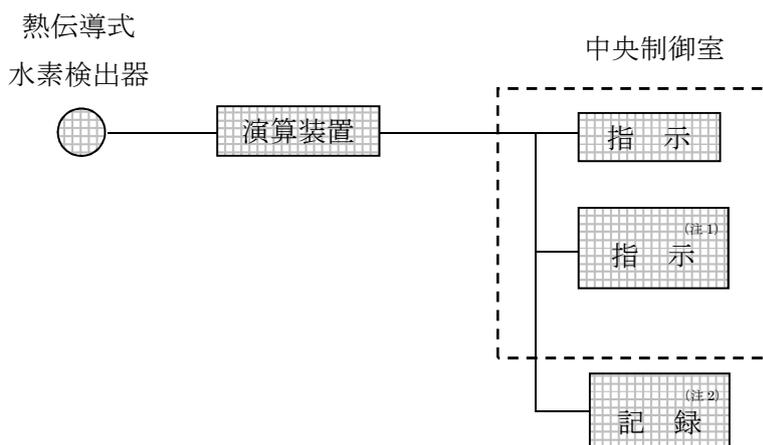
枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



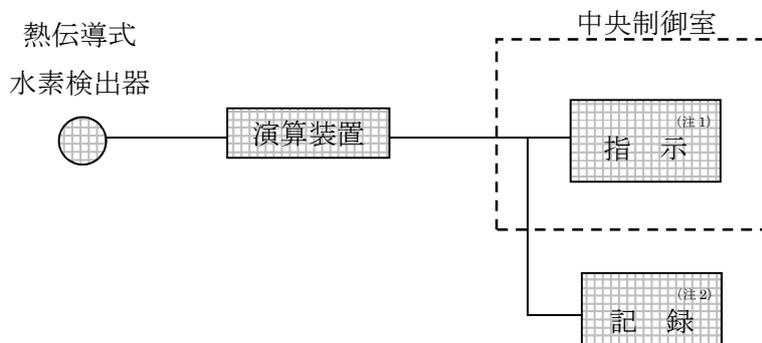
図(添付 2-8) 機器配置図 (7号炉)

c. システム構成

原子炉建屋水素濃度は、熱伝導式水素濃度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、演算器にて水素濃度信号に変換することで、中央制御室及び緊急時対策所に指示及び記録される。原子炉建屋水素濃度のシステム構成を図(添付2-9)、図(添付2-10)に示す。なお、指示値については、トレンド監視及び小数点第一位まで表示可能な設計とする。

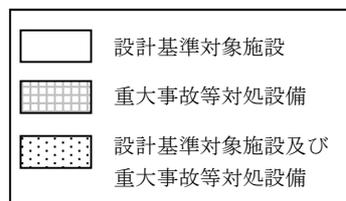


図(添付 2-9) 原子炉建屋水素濃度の概略構成図



(注 1) 記録計

(注 2) SPDS 表示装置



図(添付 2-10) 原子炉建屋水素濃度の概略構成図

### (3) 代替電源の確保

原子炉建屋内の水素濃度を測定するために必要な計器の電源は、代替電源設備から供給可能な設計としている（図(添付 2-11), 図(添付 2-12)参照）。





## 原子炉建屋水素濃度の適用性について

原子炉建屋水素濃度は、炉心の著しい損傷が発生した場合に、原子炉建屋内に発生する水素ガスを監視する目的で、水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定できる設計としている。

### (1) 計測範囲の考え方

炉心損傷時に原子炉格納容器内に発生する水素ガスが原子炉建屋に漏えいした場合に、可燃限界である4vol%未満をトレンドとして連続的に監視できることが主な役割であることから、0～20vol%を計測可能な範囲とする。

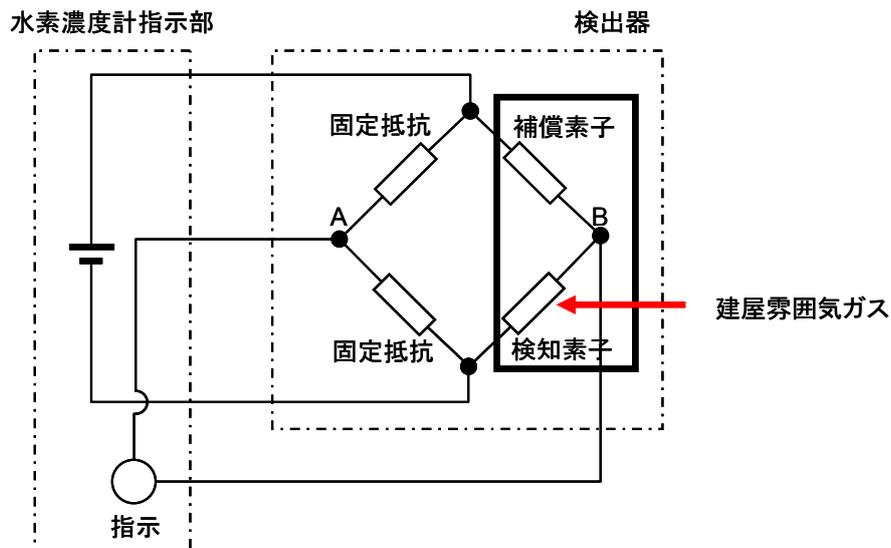
### (2) 水素濃度計の測定原理

原子炉建屋内の水素濃度を測定するために用いる水素濃度計は、熱伝導式のものを用いる。

熱伝導式の水素検出器は、図(参考 2-1)に示すとおり、白金線のフィラメントで構成された検知素子と補償素子、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、原子炉建屋内雰囲気ガスが触れるようになっており、補償素子側は基準となる標準空気が密閉されており測定対象ガスは直接接触しない構造になっている。(補償素子の標準空気容器の外側には測定ガスが同様に流れ、温度補償は考慮された構造となっている。)

熱伝導式水素検出器は、標準空気に対する測定ガスの熱伝導率の差を検出する方式のものであり、酸素ガス、窒素ガス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。水素ガスの熱伝導率は、約0.18 W/(m・K) at 27°Cである一方、酸素ガス、窒素ガスは、約0.02W/(m・K) at 27°Cと水素ガスより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。

なお、原子炉建屋水素濃度の計測範囲 0～20vol%において、計器仕様は最大±1vol%の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、想定される事故時に水素濃度が変動する可能性のある範囲を監視していくことができる。



図(参考 2-1) 水素濃度計検出回路の概要図

### (3) 水素濃度計の設置場所

炉心の著しい損傷が発生した場合が発生し、格納容器内に水素ガスが蓄積した状況では、格納容器のフランジ部等を通じて水素ガスが原子炉建屋内に漏えいする可能性がある。原子炉建屋内に漏えいした水素ガスは、比重の関係で原子炉建屋オペレーティングフロアまで上昇し、原子炉建屋オペレーティングフロアで自然対流することが予想される（「添付資料－3：原子炉建屋オペレーティングフロア内の自然対流について」）。

以上を考慮して、水素濃度計の設置場所は、水素ガスが最も蓄積されると想定される原子炉建屋オペレーティングフロアの天井付近及び非常用ガス処理系吸込配管付近に位置的分散して配置する。

なお、小部屋に漏えいした水素ガスを早期検知及び滞留状況を把握することは、水素爆発による原子炉建屋の損傷を防止するために有益な情報になることから、小部屋に漏えいした水素ガスを計測するため水素濃度計を設置し、事故時の監視性能を向上させる。これにより、格納容器内にて発生した水素ガスが漏えいするポテンシャルのある箇所での水素濃度と、水素ガスが最終的に滞留する原子炉建屋オペレーティングフロアでの水素濃度の両方を監視できることとなり、原子炉建屋全体での水素影響を把握することが可能となる。

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。

(4) 水素濃度計の耐環境性について

水素濃度計の設置場所（原子炉建屋4階）について、重大事故等時の環境下で最も設置雰囲気環境が厳しいと想定される有効性評価の「格納容器過圧・過温シナリオ」で評価した事故時想定環境は表(参考2-1)の通りであり、上記の環境条件においても健全性が確保できていることを確認している。

表(参考2-1) 事故時想定環境条件と試験条件

事故時想定環境		試験条件
温度	77°C*	□°C
相対湿度	100%RH*	□%RH
積算放射線量	480Gy*	□Gy

\*評価値はドラフトであり、詳細評価により今後見直す可能性あり

添付資料－3

原子炉建屋オペレーティングフロア内の自然対流について

1. 概要

重大事故時の環境条件における原子炉建屋 4 階（オペレーティングフロア）の気体の流れを解析により評価する。

2. 評価条件

評価体系を図 1, 2, 解析条件を表 1 に示す。評価方法は以下のとおり。

- ・ 3次元熱流動解析コード GOTHIC により評価する。



図 1. 原子炉建屋全体のノーディング図

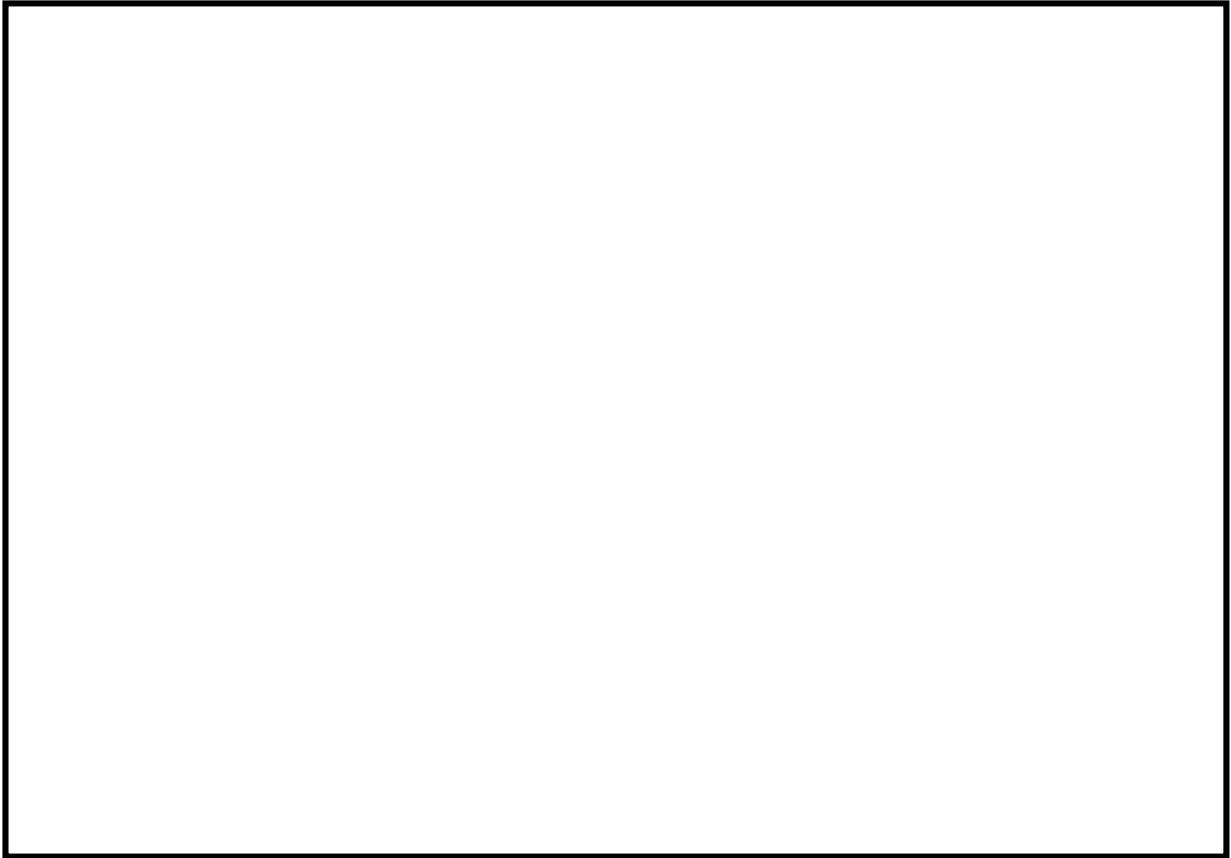


図 2. オペレーティングフロアのサブボリューム分割

表 1. 解析条件

パラメータ	設定値	備考
圧力	721 kPa[abs]	2Pd
温度	200 °C	
水素分率	33 %	
PCV 漏えい率	1.5 %/day	

### 3. 評価結果

流速ベクトルを図 3、水素濃度の推移を図 4 に示す。漏えい箇所である床面中央部において上昇流が起こり、天井付近で外周部に向かって水平方向に流れ、側壁で冷却されて下降するという自然対流が発生している。水素は対流にしたがって混合され、成層化する可能性は小さいと考えられる。なお、本評価では、静的触媒式水素再結合器(PAR)は作動していない。

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。

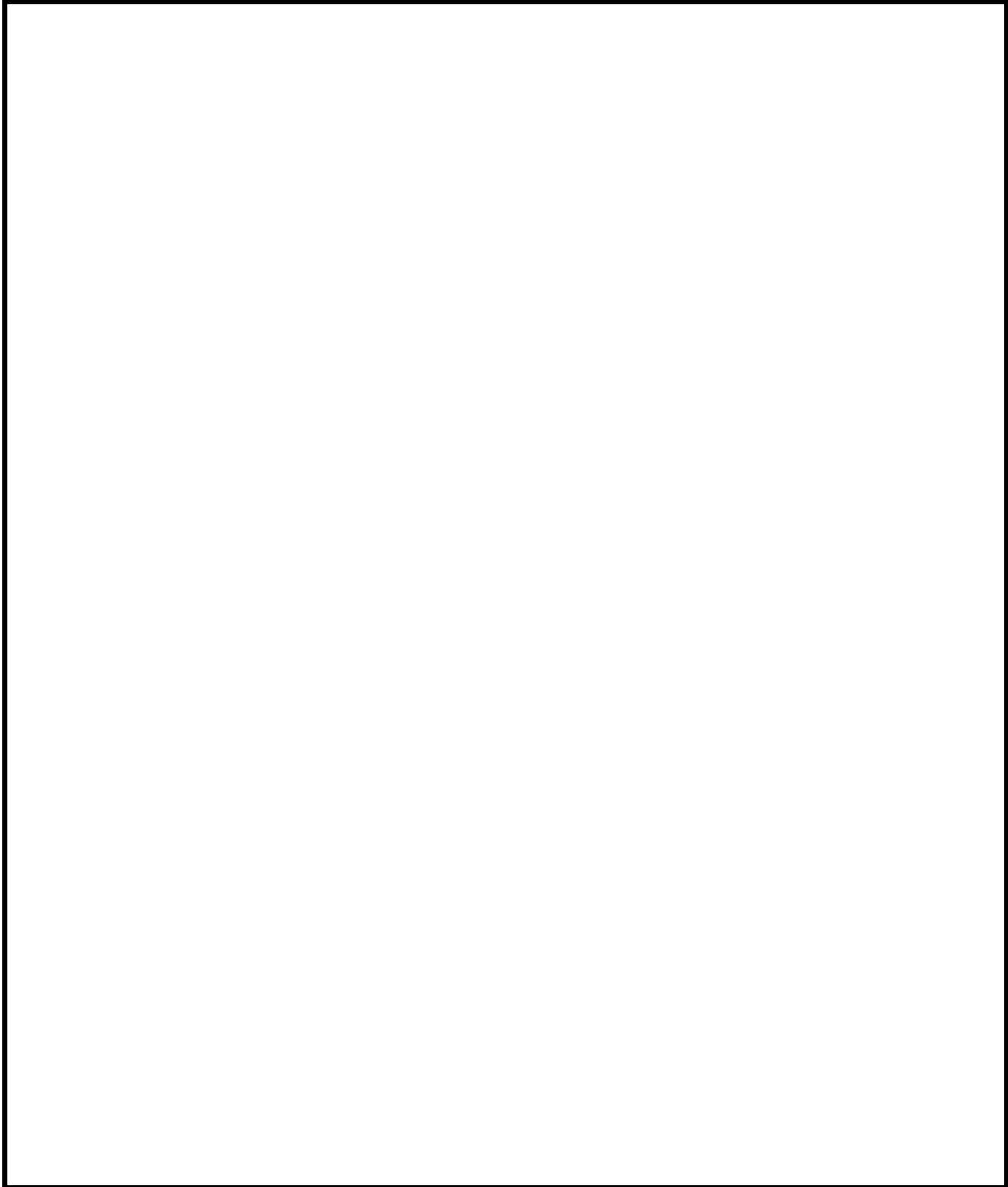


図 3. 流速ベクトル図



図 4. オペレーティングフロア内のサブボリューム毎の水素濃度の推移  
(PCV ベント準備に伴う SGTS 停止 (31 時間後) まで)

#### 4. 解析条件の変化による影響の考察

##### (1) 非常用ガス処理系(SGTS)の影響

全交流電源喪失が発生し炉心損傷に至るような状況においては、GTG 起動後に SGTS を起動する。ここでは、SGTS 起動によるオペレーティングフロア内の気体の流れへの影響を評価する。外気流入位置として、北側(SGTS 吸込口の位置と反対側)とした場合と、南側(SGTS 吸込口と同じ側)の 2 通りで評価した結果、図 5~7 のとおり、オペレーティングフロア内の流速が維持され、水素が混合されることが確認された。

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。



図 5. SGTS 起動時の流速ベクトル図（左：外気流入位置-北側，右：外気流入位置-南側）



図 6. SGTS 起動時のオペレーティングフロア内のサブボリューム毎の水素濃度の推移  
(外気流入位置-北側、PCV ベント準備に伴う SGTS 停止 (31 時間後) まで)



図 7. SGTS 起動時のオペレーティングフロア内のサブボリューム毎の水素濃度の推移  
(外気流入位置-南側、PCV ベント準備に伴う SGTS 停止 (31 時間後) まで)

## (2) 静的触媒式水素再結合器の影響

原子炉格納容器が健全ではないシナリオにおいては、非常用ガス処理系内を使用せず、オペレーティングフロアに設置された静的触媒式水素再結合器により水素を再結合するが、その際の発熱により自然対流が促進されることを確認している。

## (3) 使用済燃料プールの自然蒸発の影響

使用済燃料プールからオペレーティングフロアには、自然蒸発により水蒸気が供給されている。重大事故時には使用済燃料プールは最大約 77℃まで上昇することが想定されているが、自然蒸発量が増加するため、自然対流が促進されることが期待できる。

以 上

## 非常用ガス処理系に流入する水素濃度について

## 1. 概要

重大事故時に非常用ガス処理系（以下「SGTS」という）に流入する水素濃度を，保守的な条件での物質収支計算により評価する。

## 2. 評価条件

評価モデルを図 1，解析条件を表 1 に示す。評価方法は以下のとおり。

- SGTS 起動前は，原子炉格納容器（以下「PCV」という）から漏えいしたガスは全てオペフロに留まるものと仮定し，オペフロの水素濃度を評価する。
- SGTS 起動後は，PCV から原子炉建屋に漏えいした気体は全て直接 SGTS に流入するものとし，SGTS の吸込流量が合計で 2000m<sup>3</sup>/h（定格流量）となるようにオペフロからの流入量を設定する。
- PCV から原子炉建屋へ漏えいする気体の条件は，PCV 内の環境が最も厳しくなる格納容器過圧・過温破損シナリオを包絡した温度，圧力，水素量及び格納容器漏えい率とする。

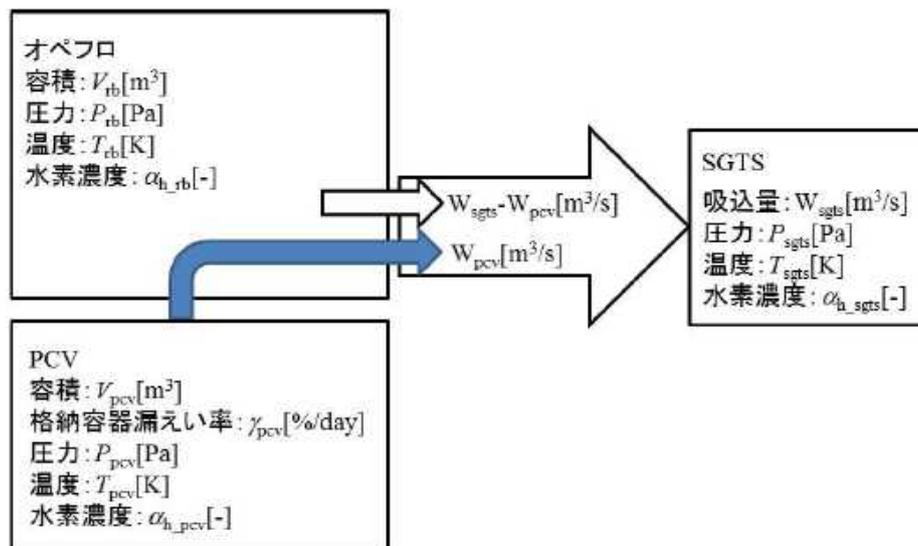


図 1. 評価モデル

表 1. 解析条件

パラメータ	記号	値	単位	備考
PCV 容積	$V_{pcv}$	13310	$m^3$	設計値
PCV 内圧力	$P_{pcv}$	721	kPa[abs]	PCV 限界圧力
PCV 内温度	$T_{pcv}$	473.15	K	PCV 限界温度
PCV 漏えい率	$\gamma$	1.5	%/day	上記の圧力・温度に基づく漏えい率に余裕をみた値
オペフロ内体積	$P_{rb}$	36100	$m^3$	低減率 0.85 として算出した容積
オペフロ内圧力	$V_{rb}$	101.325	kPa[abs]	大気圧
オペフロ内温度	$T_{rb}$	350.15	K	重大事故時に想定している温度
PCV からの漏えい量	$W_{pcv}$	44	$m^3/hr$	PCV 漏えい率から計算
PCV 内水素濃度	$\alpha_{h\_pcv}$	33	%	燃料有効部被覆管が全て水・ジルコニウム反応した場合の水素量発生を想定(約 1600kg)
SGTS 吸込流量	$W_{sgts}$	2000	$m^3/hr$	設計値 (定格流量)
SGTS 内圧力	$P_{sgts}$	101.325	kPa[abs]	大気圧
SGTS 内温度	$T_{sgts}$	350.15	K	オペフロ内空気を吸い込むため同温を想定
SGTS 起動時刻	-	30	min	想定起動時刻

### 3. 評価結果

SGTS 起動前は PCV からの漏えいによりオペフロの水素濃度が上昇するが、SGTS 起動直前におけるオペフロ内の水素濃度は 0.03%程度となった。その値をもとに SGTS に流入する水素濃度を評価した結果、約 0.8%となり、保守的な条件においても水素が燃焼する濃度である 4%を十分に下回ることを確認した。

### 4. 解析条件の変化による影響の考察

#### (1) SGTS 起動時刻

SGTS 起動時刻の感度評価として、40 分後に起動した場合を想定する。SGTS 起動時刻は SGTS 起動前までにオペフロ内に溜まる水素量に影響するが、40 分後ろ倒しした場合でもオペフロ内の水素濃度は 0.03%にしかならず、影響は微少である。

## (2)水素発生量

水素発生量の感度評価として、炉心内全ジルコニウム反応相当量の水素(約 3600kg)が発生した場合を想定すると、PCV 内の水素発生量はベースケースと比べて  $3600\text{kg}/1600\text{kg}=2.25$  倍となる。更に、PCV 内の亜鉛及びアルミニウムの反応による水素(約 239kg)の発生を想定すると、PCV 内の水素発生量はベースケースと比べて  $3839\text{kg}/1600\text{kg}=2.4$  倍となる。その他の条件は同一と仮定し、SGTS 起動時点のオペフロ内の水素濃度は小さいことを踏まえると、SGTS に流入する水素濃度はベースケースと比べて  $2.4$  倍となり、 $0.8 \times 2.4 = \text{約 } 1.9\%$  となる。

## (3)蒸気濃度

蒸気濃度の感度評価として、オペフロの湿度が 100%の状況を想定すると、オペフロの温度が 77°C、湿度 100%の時の蒸気濃度は約 41%となる。SGTS 内が完全ドライ条件となると仮定して計算すると、水素濃度はベースケースと比べて  $1/(1-0.41)=1.7$  倍となり、 $0.8 \times 1.7 = \text{約 } 1.4\%$  となる。

## (4)SGTS 吸込流量

SGTS 吸込流量の感度解析として、流量が 1 割低下した場合を想定すると、SGTS に流入する水素濃度はベースケースと比べて  $1/0.9=1.1$  倍となり、 $0.8 \times 1.1 = \text{約 } 0.9\%$  となる。

## (5)PCV 漏えい率

PCV 漏えい率の感度解析として、2 倍 (3.0%) となった場合を想定すると、SGTS に流入する水素濃度はベースケースと比べて 2 倍となり、 $0.8 \times 2 = \text{約 } 1.6\%$  となる。

上記のとおり、解析条件の変化による影響を考慮しても、水素濃度が 4%を下回ることを確認した。しかし、(2)～(5)の結果と組み合わせると、 $0.8\% \times 2.4 \times 1.7 \times 1.1 \times 2 = \text{約 } 7.2\%$  となり、水素濃度が 4%を上回る。このように PCV から顕著な水素が確認された場合は、SGTS を使用せずに静的触媒式水素再結合器により水素を処理するため、問題になることはない。

以 上

非常用ガス処理系の系統内における水素の滞留について

非常用ガス処理系は、設置許可基準規則第59条に対応するため、原子炉建屋の換気を行うことにより、中央制御室の操作員及び屋外での重大事故対応を行う作業員の被ばく量の低減を目的として使用するが、その際、原子炉格納容器から漏えいする水素を系統内に持ち込む可能性がある。

このため、「水素爆発による当該原子炉建屋等の損傷を防止するための設備」に準じ、非常用ガス処理系が「動的機器等に水素爆発を防止する機能をつけること」を満足していることを、下記のとおり評価した。

(1) 非常用ガス処理系運転時の水素爆発防止機能

非常用ガス処理系は、以下に記載する機能を有しており、水素排出設備を設置する場合の要求事項である「動的機器等に水素爆発を防止する機能」を満足していると考える。

- ① 非常用ガス処理系は、乾燥装置、排風機、フィルタ装置、及びこれらをつなぐダクトで構成されている。本系統は水素が滞留しないよう排風機により強制的に水素を含むガスを屋外に排出する設計としている。
- ② 非常用ガス処理系は、原子炉建屋内の水素を含むガスを排出し、原子炉建屋内の水素濃度を可燃限界未満とすることで、原子炉建屋及び非常用ガス処理系の水素爆発を防止する機能を有している。
- ③ 原子炉格納容器から原子炉建屋への漏えい率を1.5%/dayとし、原子炉建屋内の静的触媒式水素再結合装置（PAR）に期待せず、非常用ガス処理系を起動する際の原子炉建屋内の水素濃度を評価した結果、水素濃度は0.03vol%程度であり、可燃限界未満である。
- ④ 全交流動力電源喪失時にも、電源復旧後、中央制御室での遠隔操作により代替交流電源設備を起動させることにより、約30分で非常用ガス処理系を起動する手順を整備している。

- ⑤ 原子炉格納容器から原子炉建屋への漏えい率を1.5%/dayとし、原子炉建屋内の静的触媒式水素再結合装置（PAR）に期待しない場合において、事故後の平衡状態における原子炉建屋内及び非常用ガス処理系内の水素濃度を評価した結果、非常用ガス処理系内の水素濃度は最大で0.8vol%程度であり、可燃限界未満である。
- ⑥ 非常用ガス処理系は、重大事故後の平衡状態において水素濃度が可燃限界未満であることから、水素爆発をすることなく起動・運転することが可能である。

これら①～⑥の状況から、非常用ガス処理系の運転時については、水素爆発を防止する機能を有していると評価できる。

#### (2) 非常用ガス処理系停止後の水素滞留の防止

非常用ガス処理系は、原子炉格納容器の破損により、原子炉オペレーティングフロアへの水素漏えい量が増加し、可燃限界に達する恐れがある場合等に、停止操作を実施する。非常用ガス処理系を停止する際には、オペレーティングフロア内の水素濃度が、可燃限界未満の状態において停止する。このため、系統の停止後、系統内に水素が残留した場合においても、系統の出入口に設置された隔離弁が閉鎖するため、水素が系統内に追加で供給されることはなく、水素濃度は流入時の濃度を上回ることはないと考えられる。

このため、系統内に残留した水素が可燃限界以上の濃度になることはなく、着火することはないと考える。

以上

## 3.16.2.3.3 設置許可基準規則第43条への適合方針

## 3.16.2.3.3.1 設置許可基準規則第43条第1項への適合方針

## (1) 環境条件及び荷重条件（設置許可基準規則第43条第1項一）

## (i) 要求事項

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。

## (ii) 適合性

非常用ガス処理系排風機は，二次格納施設内に設置する設備であることから，想定される重大事故等時における，二次格納施設内の環境条件及び荷重条件を考慮し，その機能を有効に発揮することができるよう，以下の表3.16-21に示す設計とする。

非常用ガス処理系排風機の操作は，中央制御室の操作スイッチから遠隔操作可能な設計とする。

表3.16-21 想定する環境条件及び荷重条件

環境条件等	対応
温度・圧力・湿度・放射線	二次格納施設内で想定される温度，圧力，湿度及び放射線条件下に耐えられる性能を確認した機器を使用する。
屋外の天候による影響	屋外に設置するものではないため，天候による影響は受けない。
海水を通水する系統への影響	海水を通水することはない。
地震	適切な地震荷重との組合せを考慮した上で機器が損傷しないことを確認する（詳細は「2.1.2 耐震設計の基本方針」に示す）。
風（台風）・積雪	二次格納施設内に設置するため，風（台風）及び積雪の影響は受けない。
電磁的障害	重大事故等が発生した場合においても，電磁波によりその機能が損なわれない設計とする。

(2) 操作性（設置許可基準規則第 43 条第 1 項二）

(i) 要求事項

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。

(ii) 適合性

非常用ガス処理系の起動操作は、自動起動インターロック条件成立時における第一ガスタービン発電機の起動操作による自動起動、もしくは中央制御室からの非常用ガス処理系排風機操作スイッチの手動操作により実施する。手動操作の場合には、非常用ガス処理系排風機の操作スイッチを「起動」にすることで、非常用ガス処理系湿分除去装置の加熱コイルが「停止」から「起動」、非常用ガス処理系乾燥装置入口弁及び非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁が「閉」から「開」となり、非常用ガス処理系排風機が起動する。自動起動の場合も起動シーケンスは同一である。非常用ガス処理系の起動により、原子炉建屋の二次格納施設に漏えいしてくる放射性物質を非常用ガス処理系の配管を経由して、主排気筒排気口から排気する。

表 3. 16-22 に操作対象機器を示す。

表 3. 16-22 操作対象機器

機器名称	状態の変化	操作場所	操作方法
非常用ガス処理系湿分除去装置 (A)	停止→起動	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系湿分除去装置 (B)	停止→起動	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系排風機 (A)	停止→起動	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系排風機 (B)	停止→起動	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系乾燥装置入口弁 (A)	弁閉→弁開	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系乾燥装置入口弁 (B)	弁閉→弁開	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁 (A)	弁閉→弁開	中央制御室	スイッチ操作
非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁 (B)	弁閉→弁開	中央制御室	スイッチ操作

中央制御室の操作スイッチを操作するにあたり、運転員の操作性を考慮して十分な操作空間を確保する。また、操作対象については銘板をつけることで識別可能とし、運転員の操作及び監視性を考慮して確実に操作できる設計とする。

(3) 試験及び検査（設置許可基準規則第 43 条第 1 項三）

(i) 要求事項

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。

(ii) 適合性

非常用ガス処理系は、表 3. 16-23 に示すように発電用原子炉の運転中に機

能・性能試験，弁動作試験を，また，停止中に機能・性能試験，弁動作試験と分解検査，外観検査を可能な設計とする。

非常用ガス処理系の非常用ガス処理系排風機は，発電用原子炉の停止中にケーシングカバーを取り外して，排風機部品（主軸，羽根車）の状態を確認する分解検査が可能な設計とする。

非常用ガス処理系を運転するために必要な操作対象弁（非常用ガス処理系乾燥装置入口弁，非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁）は，発電用原子炉の運転中又は停止中に開閉動作試験可能な構成とすることで，弁動作試験が可能な設計とする。

また，発電用原子炉の運転中及び停止中に，非常用ガス処理系排風機を起動させ，主排気筒（内筒）へ排気する試験を行うことで，非常用ガス処理系の機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とする。

表 3.16-23 非常用ガス処理系の試験及び検査

発電用原子炉の状態	項目	内容
運転中	機能・性能試験	運転性能の確認，漏えいの確認
	弁動作試験	弁開閉動作の確認
停止中	機能・性能試験	運転性能の確認，漏えいの確認
	弁動作試験	弁開閉動作の確認
	分解検査	非常用ガス処理系排風機部品の表面状態を，試験及び目視により確認
	外観検査	非常用ガス処理系排風機の外観の確認

運転性能の確認として，非常用ガス処理系排風機の流量，系統（排風機廻り）の振動，異音，異臭及び漏えいの確認が可能な設計とする。

非常用ガス処理系排風機部品の表面状態の確認として，浸透探傷検査により性能に影響を及ぼす指示模様がないこと，目視により性能に影響を及ぼすおそれのある傷，割れなどがいないことの確認が可能な設計とする。

非常用ガス処理系湿分除去装置のうち加熱コイルは，機能・性能試験として，絶縁抵抗及びエレメント抵抗について測定を行うことが可能な設計とする。

(4) 切り替えの容易性（設置許可基準規則第 43 条第 1 項四）

(i) 要求事項

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っては，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。

(ii) 適合性

非常用ガス処理系は，原子炉格納容器から原子炉建屋内に放射性物質を含むガスが漏えいした場合において，設計基準事故対処設備として使用する場合と同じ系統構成で重大事故等対処設備として使用する設計とする。

なお、非常用ガス処理系は、系統の切り替えは発生しない。

(5) 悪影響の防止（設置許可基準規則第 43 条第 1 項五）

(i) 要求事項

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。

(ii) 適合性

非常用ガス処理系は、設計基準事故対処設備として使用する場合と同じ系統構成で重大事故等対処設備として使用することにより、他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。

(6) 設置場所（設置許可基準規則第 43 条第 1 項六）

(i) 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び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。

(ii) 適合性

非常用ガス処理系の系統構成に操作が必要な機器の設置場所、操作場所を表 3.16-24 に示す。

非常用ガス処理系排風機、非常用ガス処理系乾燥装置入口弁、非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁、非常用ガス処理系湿分除去装置の加熱コイルは、二次格納施設内に設置されている設備であるが、中央制御室で操作するため、操作位置の放射線量が高くなるおそれが少ないため操作が可能である。

表 3.16-24 操作対象機器設置場所

機器名称	設置場所	操作場所
非常用ガス処理系湿分除去装置 (A)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系湿分除去装置 (B)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系排風機 (A)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系排風機 (B)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系乾燥装置入口弁 (A)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系乾燥装置入口弁 (B)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁 (A)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室
非常用ガス処理系フィルタ装置出口隔離弁 (B)	原子炉建屋地上 3 階	中央制御室

### 3.16.2.3.3.2 設置許可基準規則第43条第2項への適合方針

#### (1) 容量（設置許可基準規則第43条第2項一）

##### (i) 要求事項

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。

##### (ii) 適合性

非常用ガス処理系の非常用ガス処理系排風機は、運転員等の被ばくを低減することを目的として使用するものであり、設計基準事故対処設備としての容量等の仕様が、二次格納施設内を負圧に維持し、主排気筒（内筒）を通して原子炉建屋外に排気するために必要となる容量等の仕様に対して十分であることから、設計基準事故対処設備の容量と同仕様の設計とする。

#### (2) 共用の禁止（設置許可基準規則第43条第2項二）

##### (i) 要求事項

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って、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、この限りでない。

##### (ii) 適合性

非常用ガス処理系の非常用ガス処理系排風機は、二以上の発電用原子炉施設において共用しない設計とする。

#### (3) 設計基準事故対処設備との多様性（設置許可基準規則第43条第2項三）

##### (i) 要求事項

常設重大事故防止設備は、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。

##### (ii) 適合性

非常用ガス処理系の非常用ガス処理系排風機は、重大事故緩和設備であり、同一目的の重大事故等対処設備はない。

非常用ガス処理系は、常設代替交流電源設備からの給電により駆動できるとで、非常用交流電源設備からの給電に対して多様性を有する設計とする。