

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	SA53 r. 3. 0
提出年月日	令和3年10月1日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合性について
(重大事故等対処設備)

令和 3 年 1 0 月
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

本資料においては、泊発電所3号炉の「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」（以下、「設置許可基準規則」という）への適合方針を説明する。

1. 基本的な設計方針において、設置許可基準規則第38条～第43条(第42条除く)に対する、泊発電所3号炉の基本的な設計方針を示す。

2. において、設備要求に係る条文である設置許可基準規則第44条～第62条に適合するための個別機能又は設備について、1. 基本的な設計方針に適合させるための方針を含めて、設計方針を示す。

目 次

1. 基本的な設計方針

1.1 耐震性・耐津波性

1.1.1 発電用原子炉施設の位置【38条】

1.1.2 耐震設計の基本方針【39条】

1.1.3 津波による損傷の防止【40条】

1.2 火災による損傷の防止【41条】

1.3 重大事故等対処設備

1.3.1 多様性、位置的分散、悪影響防止等【43条1 - 五、43条2 - 二、三、43条3 - 三、五、七】

1.3.2 容量等【43条2 - 一、43条3 - 一】

1.3.3 環境条件等【43条1 - 一、六、43条3 - 四】

1.3.4 操作性及び試験・検査性【43条1 - 二、三、四、43条3 - 二、六】

2. 個別機能の設計方針

2.1 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備【44条】

2.2 原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備【45条】

2.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備【46条】

2.4 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備【47条】

2.5 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備【48条】

2.6 原子炉格納容器内の冷却等のための設備【49条】

2.7 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備【50条】

2.8 原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備【51条】

2.9 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備【52条】

2.10 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備【53条】

2.11 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備【54条】

2.12 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備【55条】

2.13 重大事故等の収束に必要なとなる水の供給設備【56条】

2.14 電源設備【57条】

2.15 計装設備【58条】

2.16 原子炉制御室【59条】

2.17 監視測定設備【60条】

2.18 緊急時対策所【61条】

- 2.19 通信連絡を行うために必要な設備【62条】
- 2.20 1次冷却設備
- 2.21 原子炉格納施設
- 2.22 燃料貯蔵設備
- 2.23 非常用取水設備
- 2.24 補機駆動用燃料設備（非常用電源設備及び補助ボイラに係るものを除く）

表 重大事故等対処設備仕様

2.10 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備【53条】

【設置許可基準規則】

(水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備)

第五十三条 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋その他の原子炉格納容器から漏えいする気体状の放射性物質を格納するための施設(以下「原子炉建屋等」という。)の水素爆発による損傷を防止する必要がある場合には、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に必要な設備を設けなければならない。

(解釈)

- 1 第53条に規定する「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に必要な設備」とは、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をいう。
 - a) 水素濃度制御設備(制御により原子炉建屋等で水素爆発のおそれがないことを示すこと。)又は水素排出設備(動的機器等に水素爆発を防止する機能を付けること。放射性物質低減機能を付けること。)を設置すること。
 - b) 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で推定できる監視設備を設置すること。
 - c) これらの設備は、交流又は直流電源が必要な場合は代替電源設備からの給電を可能とすること。

2.10.1 適合方針

概要

炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋その他の原子炉格納容器から漏えいする気体状の放射性物質を格納するための施設(以下「原子炉建屋等」という。)の水素爆発による損傷を防止するために必要な重大事故等対処設備を設置及び保管する。

設備の目的

(1) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備 (水素排出)

水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備のうち、炉心の著しい損傷により原子炉格納容器内に水素が発生した場合にアニュラスの水素濃度を低減することで水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止する。

格納容器内自然対流冷却、格納容器スプレイ又は代替格納容器スプレイによる原子炉格納容器の温度及び圧力低下機能と、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタによる水素濃度低減機能とあいまって、水素爆発を防止するとともに、貫通部からアニュラス内に漏えいし、アニュラス内で混合された可燃限界濃度未満の水素を含む空気の放射性物質を低減し、排出できる設備として以下の水素排出設備 (アニュラスからの水素排出) を設ける。

(i) アニュラスからの水素排出

a. 交流動力電源及び直流電源が健全である場合に用いる設備

(53-1-1) 使用機器

交流動力電源及び直流電源が健全である場合に用いる水素排出設備 (アニュラスからの水素排出) として、アニュラス空気浄化設備のアニュラス空気浄化ファン及びアニュラス空気浄化フィルタユニットを使用する。

アニュラス空気浄化ファンは、原子炉格納容器からアニュラスへ漏えいする水素等を含む空気を吸入し、アニュラス空気浄化フィルタユニットを介して放射性物質を低減させたのち排出することでアニュラス内に水素が滞留しない設計とする。

具体的な設備は、以下のとおりとする。

- ・アニュラス空気浄化ファン
- ・アニュラス空気浄化フィルタユニット

その他設備

換気空調設備を構成する排気筒は、設計基準事故対処設備の一部を流路として使用することから、流路に係る機能について重大事故等対処設備としての設計を行う。その他、アニュラス空気浄化ファンの電源として使用するディーゼル発電機を重大事故等対処設備として使用する。

b. 全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合に用いる設備

(53-1-2) 使用機器

全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合に用いる水素排出設備 (アニュラスからの水素排出) として、アニュラス空気浄化設備のB-アニュラス空気浄化ファン及びB-アニュラス空気浄化フィルタユニット並びにアニュラス全量排気

弁操作作用可搬型窒素ガスポンベを使用する。また、代替電源設備として代替非常用発電機を使用する。

B-アニュラス空気浄化ファンは、原子炉格納容器からアニュラスへ漏えいする水素等を含む空気を吸入し、B-アニュラス空気浄化フィルタユニットを介して放射性物質を低減させたのち排出することでアニュラス内に水素が滞留しない設計とする。 B-アニュラス空気浄化ファンは、代替電源設備である代替非常用発電機から給電できる設計とする。また、B-アニュラス全量排気弁は、アニュラス全量排気弁操作作用可搬型窒素ガスポンベにより代替空気を供給し、代替電源設備によりアニュラス全量排気弁駆動用空気配管の電磁弁を開弁することで開操作できる設計とする。 代替非常用発電機の燃料は、ディーゼル発電機燃料油貯油槽、ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ及び可搬型タンクローリーを用いて補給できる設計とする。

具体的な設備は、以下のとおりとする。

- ・ B-アニュラス空気浄化ファン
- ・ B-アニュラス空気浄化フィルタユニット
- ・ アニュラス全量排気弁操作作用可搬型窒素ガスポンベ
- ・ 代替非常用発電機(2.14 電源設備【57条】)
- ・ ディーゼル発電機燃料油貯油槽 (2.14 電源設備【57条】)
- ・ ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ (2.14 電源設備【57条】)
- ・ 可搬型タンクローリー (2.14 電源設備【57条】)

その他
設備

換気空調設備を構成する排気筒は、設計基準事故対処設備の一部を流路として使用することから、流路に係る機能について重大事故等対処設備としての設計を行う。

(2)水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備(水素濃度監視)

設備の
目的

水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備のうち、炉心の著しい損傷が発生した場合の原子炉格納容器からアニュラスに漏えいした水素濃度を測定するため、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で測定できる設備として以下の監視設備(水素濃度監視)を設ける。

(53-2)
使用
機器

監視設備(水素濃度監視)として、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットを使用する。また、代替電源設備として代替非常用発電機を使用する。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、アニュラス水素濃度計測ラインに接続することで、アニュラス内雰囲気ガスの水素濃度を測定できる設計とする。 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、ディーゼル発電機に加えて、代替電源設備である代替非常用発電機から給電できる設計とする。 代替非常用発電機の燃料は、ディーゼル発電機燃料油貯油槽、ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ及び可搬型タンクローリーを用いて補給できる設計とする。

具体的な設備は、以下のとおりとする。

- ・ 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット
- ・ 代替非常用発電機(2.14 電源設備【57条】)

- ・ディーゼル発電機燃料油貯油槽（2.14 電源設備【57条】）
- ・ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ（2.14 電源設備【57条】）
- ・可搬型タンクローリー（2.14 電源設備【57条】）

その他
設備

その他、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの電源として使用するディーゼル発電機を重大事故等対処設備として使用する。

ディーゼル発電機は、設計基準事故対処設備であるとともに、重大事故等時においても使用するため、多様性、位置的分散等を考慮すべき対象の設計基準事故対処設備はないことから、多様性、位置的分散等以外の重大事故等対処設備としての設計を行う。

ディーゼル発電機、代替非常用発電機、ディーゼル発電機燃料油貯油槽、ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ及び可搬型タンクローリーについては、「2.14 電源設備【57条】」に記載する。

2.10.1.1 多様性，位置的分散

基本方針については、「1.3.1 多様性，位置的分散，悪影響防止等」に示す。

アニュラス空気浄化ファン，可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは，ディーゼル発電機に対して多様性を持った代替非常用発電機から給電できる設計とする。電源設備の多様性，位置的分散については「2.14 電源設備【57条】」に記載する。

2.10.1.2 悪影響防止

基本方針については、「1.3.1 多様性, 位置的分散, 悪影響防止等」に示す。

アニュラスからの水素排出に使用するアニュラス空気浄化ファン及びアニュラス空気浄化フィルタユニットは, 交流動力電源及び直流電源が健全である場合には設計基準対象施設として使用する場合同じ系統構成で重大事故等対処設備として使用し, 全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合には弁操作等によって, 通常時の系統構成から重大事故等対処設備としての系統構成をすることで, 他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。

アニュラスからの水素排出に使用する排気筒は, 設計基準対象施設として使用する場合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で, 他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。

アニュラスからの水素排出に使用するアニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンペは, 通常時に接続先の系統と分離された状態であること及び重大事故等時は重大事故等対処設備としての系統構成をすること並びに固縛によって固定をすることで, 他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。

水素濃度監視に使用する可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは, 通常時に接続先の系統と分離された状態であること及び重大事故等時は重大事故等対処設備として系統構成をすること並びに固縛によって固定をすることで, 他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。

2.10.2 容量等

基本方針については、「1.3.2 容量等」に示す。

炉心の著しい損傷により原子炉格納容器内で発生した水素が、原子炉格納容器外に漏えいした場合において、水素を排出するために使用するアニュラス空気浄化ファン、アニュラス空気浄化フィルタユニットは、原子炉格納容器外に漏えいした可燃限界濃度未満の水素を含む空気を排出させる機能に対して、設計基準事故対処設備としてのアニュラスの負圧達成能力及び負圧維持能力を使用することにより、アニュラス内の水素を屋外に排出することができるため、設計基準事故対処設備と同仕様で設計する。また、格納容器内自然対流冷却、格納容器スプレイ及び代替格納容器スプレイによる原子炉格納容器の温度・圧力低下機能と、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタによる原子炉格納容器内の水素濃度低減機能とあいまって、水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止する容量を有する設計とする。

アニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンベは、供給先のBーアニュラス全量排気弁が空気動作式であるため、弁全開に必要な圧力以上を設定圧力とし、配管分の加圧、弁作動回数、リークしないことを考慮した容量に対して十分な容量を有した1個を使用する。保有数は1個、故障時及び保守点検による待機除外時のバックアップ用として1個の合計2個を保管する設計とする。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、炉心の著しい損傷が発生した場合のアニュラス内の水素濃度を測定できる計測範囲を有する設計とし、1個を使用する。保有数は1個、故障時及び保守点検による待機除外時のバックアップ用として1個の合計2個を保管する設計とする。

設備仕様については、第9.8.1表及び第9.8.2表に示す。

2.10.3 環境条件等

基本方針については、「1.3.3 環境条件等」に示す。

アニュラス空気浄化ファン及びアニュラス空気浄化フィルタユニットは、重大事故等時における原子炉建屋内の環境条件を考慮した設計とする。アニュラス空気浄化ファンの操作は中央制御室から可能な設計とする。

アニュラス全量排気弁操作用可搬型窒素ガスポンベ及び可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、原子炉建屋内に保管及び設置するため、重大事故等時における原子炉建屋内の環境条件を考慮した設計とする。操作は設置場所で可能な設計とする。

排気筒は、重大事故等時における屋外の環境条件を考慮した設計とする。

2.10.4 操作性及び試験・検査性について

基本方針については、「1.3.4 操作性及び試験・検査性」に示す。

(1) 操作性の確保

アニュラス空気浄化ファン及びアニュラス空気浄化フィルタユニットを使用した水素排出を行う系統は、交流動力電源及び直流電源が健全である場合には設計基準対象施設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でき、全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合にも設計基準対象施設として使用する場合の系統から切替えることなく弁操作等により重大事故等対処設備として使用できる設計とする。アニュラス空気浄化ファンは、中央制御室の制御盤での操作が可能な設計とする。

排気筒は、重大事故等が発生した場合でも、設計基準対象施設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できる設計とする。

アニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンベを使用したB-アニュラス全量排気弁への代替空気供給を行う系統は、重大事故等が発生した場合でも、通常時の系統から弁操作等にて速やかに切替えられる設計とする。アニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンベの出口配管と制御用空気配管の接続は、簡便な接続規格による接続とし、確実に接続できる設計とする。

アニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンベの取付継手は、他の窒素ポンベ（加圧器逃がし弁操作可搬型窒素ガスポンベ、原子炉補機冷却水サージタンク加圧用可搬型窒素ガスポンベ及び格納容器空気サンプルライン隔離弁操作可搬型窒素ガスポンベ）と同一形状とし、一般的に使用される工具を用いて確実に接続できるとともに、必要により窒素ポンベの交換が可能な設計とする。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットを使用したアニュラス内の水素濃度の測定を行う系統は、重大事故等が発生した場合でも、通常時の系統から弁操作等にて速やかに切替えられる設計とする。また、切替えに伴う接続は、簡便な接続規格による接続とし、確実に接続できる設計とする。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットに使用する計装ケーブルの接続はコネクタ接続とし、接続規格を統一することにより、確実に接続できる設計とする。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの指示値は中央制御室にて確認できる設計とする。また、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、台車により運搬、移動ができる設計とするとともに、設置場所にて固定できる設計とする。

アニュラス全量排気弁操作可搬型窒素ガスポンベ及び可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、屋内のアクセスルートを通行してアクセスできる設計とする。

(2) 試験・検査

アニュラスからの水素排出に使用する系統（アニュラス空気浄化ファン及びアニュラス空気浄化フィルタユニット）は、他系統と独立した試験系統により機能・性能確認及び漏えいの確認が可能な系統設計とする。

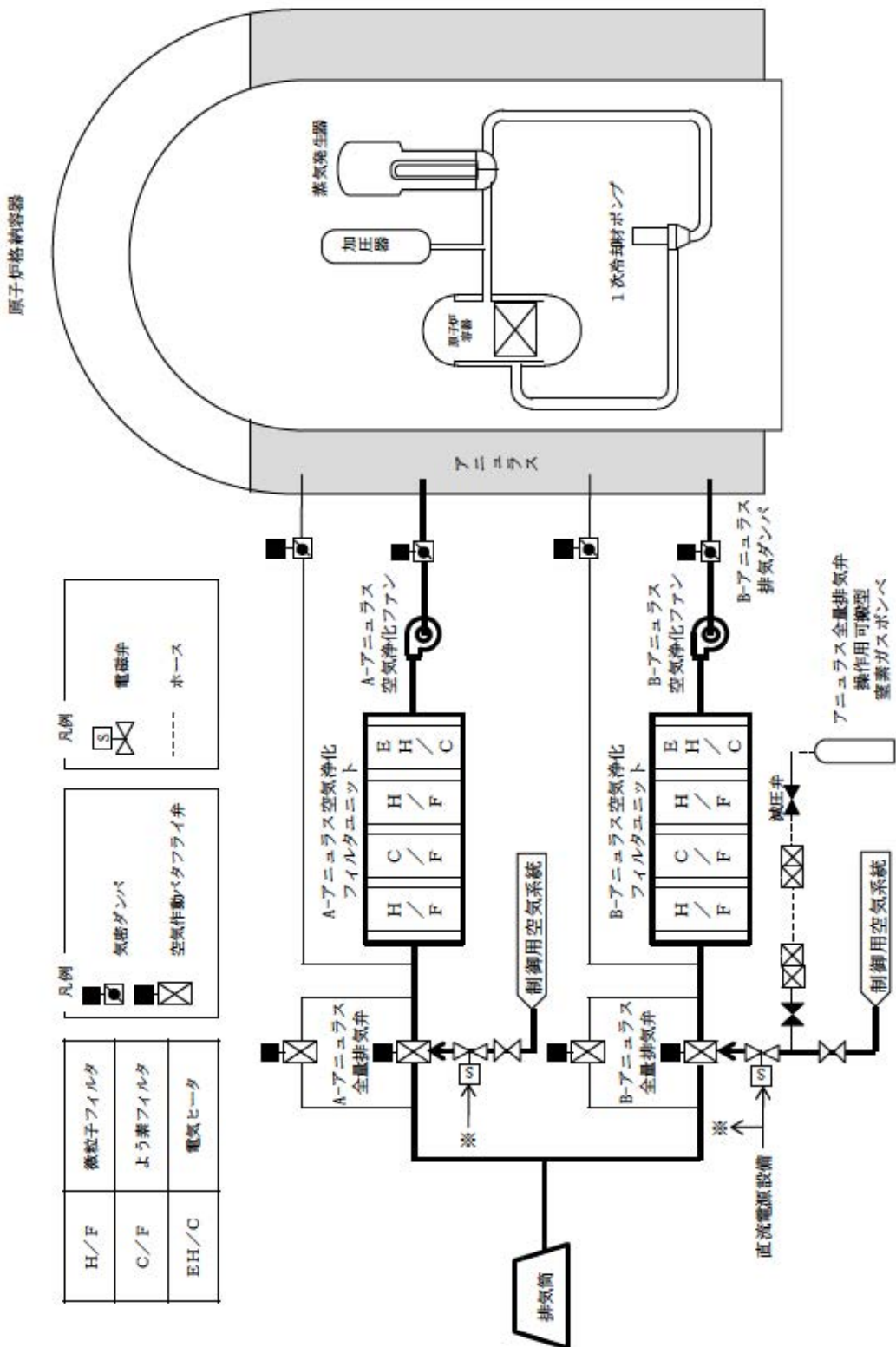
アニュラス空気浄化ファンは、分解が可能な設計とする。

アニュラス空気浄化フィルタユニットは、差圧確認が可能な系統設計とする。また、内部の確認が可能なよう点検口を設ける設計とし、フィルタ取り出しができる設計とする。

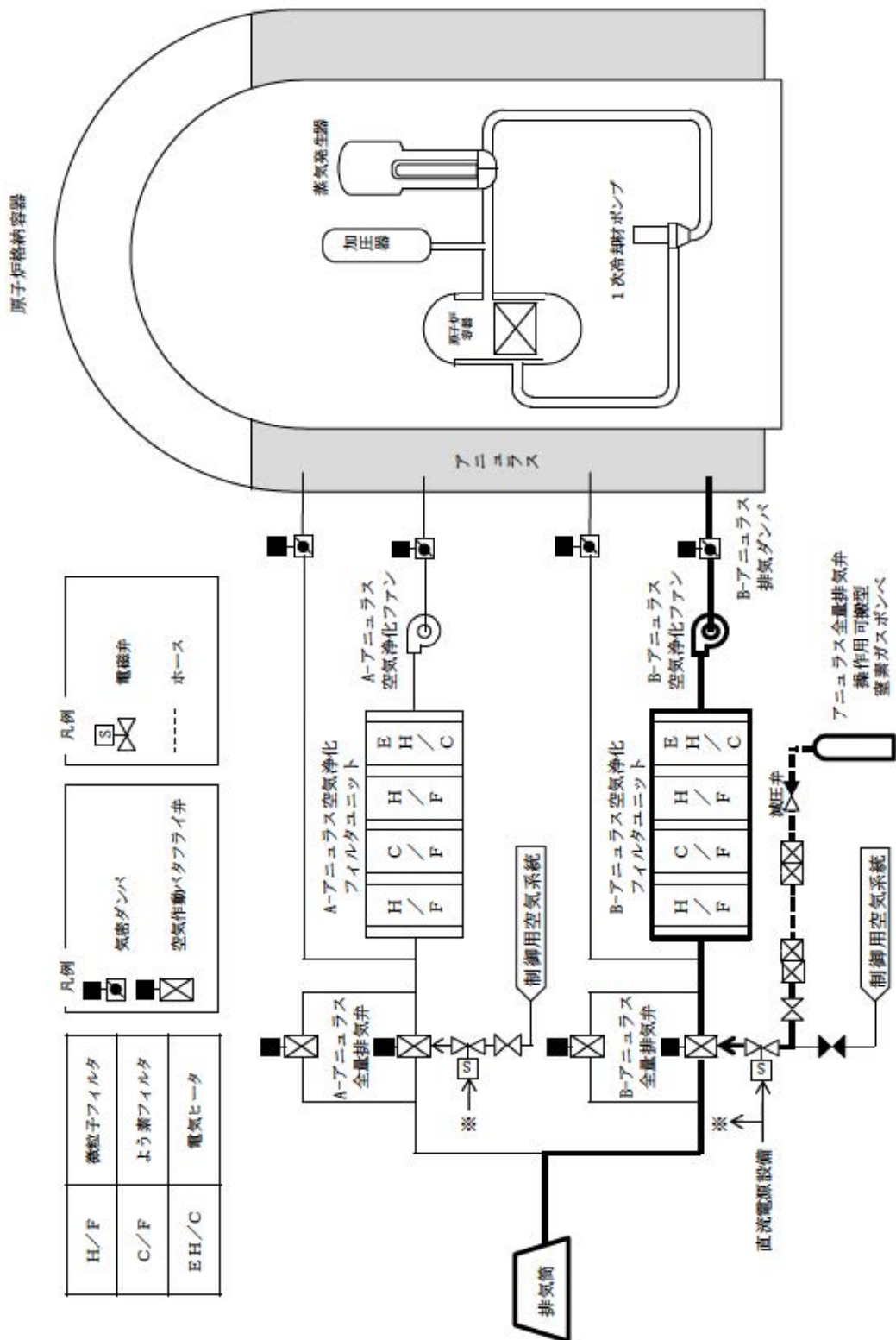
排気筒は、外観の確認が可能な設計とする。

アニュラスからの水素排出に使用するアニュラス全量排気弁操作用可搬型窒素ガスポンペは、アニュラス全量排気弁駆動用空気配管への窒素供給により、弁の開閉試験を行うことで機能・性能及び漏えいの確認が可能な設計とする。ポンペは規定圧力の確認が可能な設計とする。また、外観の確認が可能な設計とする。

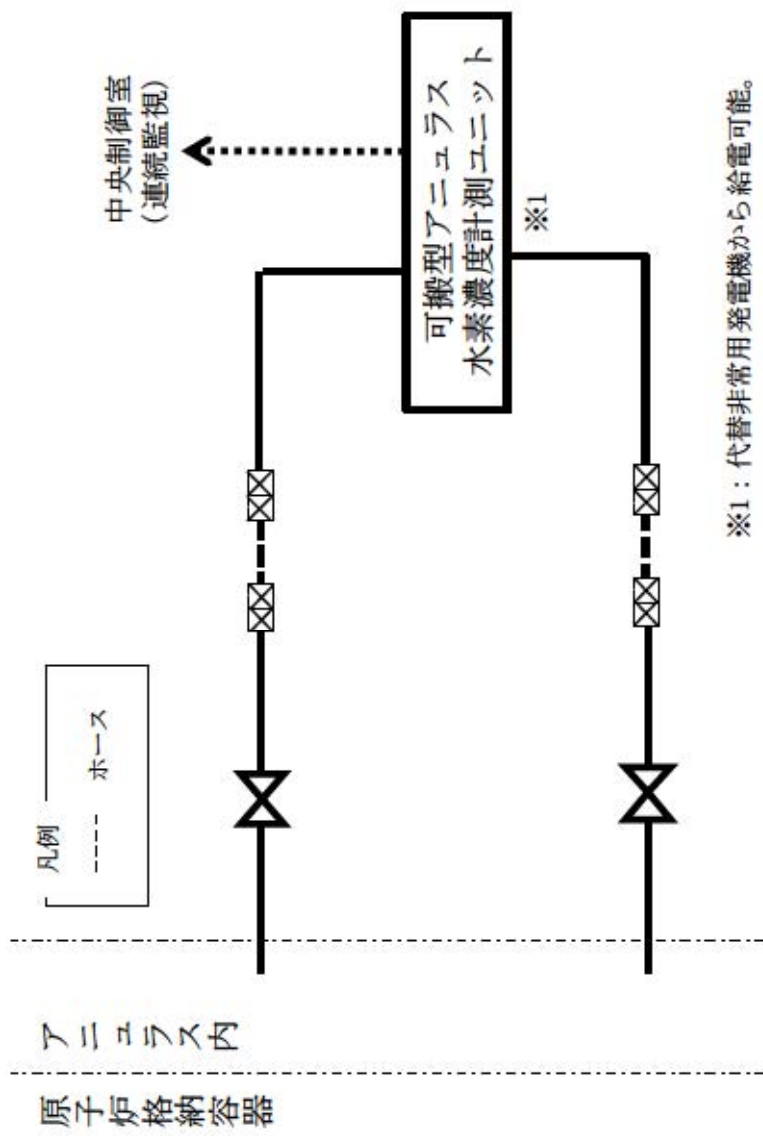
水素濃度監視に使用する可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、模擬入力による機能・性能の確認（特性の確認）及び校正ができる設計とする。



第 9.8.1 図 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備
 概略系統図 (1) 水素排出 (交流動力電源及び直流電源が健全である場合)



第 9.8.2 図 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備
概略系統図 (2) 水素排出 (全交流動力電源又は直流電源が喪失した場合)



第 9.8.3 図 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備

概略系統図 (3) 水素濃度監視

第 1. 10. 1 表 重大事故等時における対応手段と整備する手順

分類	機能喪失を想定する設計基準事故対応設備	対応手段	対応設備	設備分類 * 5	整備する手順書	手順の分類	
-	-	水素排出	アニュラス空気浄化ファン * 1 * 2	重大事故等 対応設備	a	事故の判別を行う手順等 全交流動力電源喪失時における対応手順等 炉心の著しい損傷が発生した場合の対応手順	故障及び設計基準事象に対処する運転手順書 炉心の著しい損傷及び格納容器破損を防止する運転手順書 炉心の著しい損傷が発生した場合に対処する運転手順書
			アニュラス空気浄化フィルタユニット				
アニュラス全量排気弁操作作用可搬型窒素ガスポンプ							
代替非常用発電機 * 2							
ディーゼル発電機燃料油貯油槽 * 3							
可搬型タンクローリー * 3							
ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ * 3 * 4	重大事故等 対応設備	a	全交流動力電源喪失時における対応手順等 炉心の著しい損傷が発生した場合の対応手順	炉心の著しい損傷及び格納容器破損を防止する運転手順書 炉心の著しい損傷が発生した場合に対処する運転手順書			
可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット * 1 * 2							
代替非常用発電機 * 2							
ディーゼル発電機燃料油貯油槽 * 3							
可搬型タンクローリー * 3							
ディーゼル発電機燃料油移送ポンプ * 3 * 4							
アニュラス水素濃度	拡張設備						

* 1 : ディーゼル発電機等により給電する。

* 2 : 代替電源設備からの給電に関する手順は「1.14 電源の確保に関する手順等」にて整備する。

* 3 : 代替非常用発電機の燃料補給に使用する。燃料補給の手順は「1.14 電源の確保に関する手順」にて整備する。

* 4 : ディーゼル発電機燃料油移送ポンプは、可搬型タンクローリーによるディーゼル発電機燃料油貯油槽からの燃料汲み上げができない場合に使用する。

* 5 : 重大事故対策において用いる設備の分類

a : 当該条文に適合する重大事故等対応設備 b : 37条に適合する重大事故等対応設備 c : 自主的対策として整備する重大事故等対応設備

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	SA53H r. 3. 0
提出年月日	令和3年10月1日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合性について (重大事故等対処設備) 補足説明資料

令和 3 年 1 0 月
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

本資料においては、泊発電所3号炉の「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」（以下、「設置許可基準規則」という）への適合方針を説明する。

1. 基本的な設計方針において、設置許可基準規則第38条～第43条(第42条除く)に対する、泊発電所3号炉の基本的な設計方針を示す。

2. において、設備要求に係る条文である設置許可基準規則第44条～第62条に適合するための個別機能又は設備について、1. 基本的な設計方針に適合させるための方針を含めて、設計方針を示す。

補足説明資料目次

38 条

- 38-1 泊発電所 3 号炉の重大事故等対処施設の地盤及び周辺斜面に関する基準規則等への適合性について

39 条

- 39-1 重大事故等対処施設の設備分類
- 39-2 設計用地震力
- 39-3 重大事故等対処施設の基本構造等に基づく既往の耐震評価手法の適用性と評価方針について
- 39-4 重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて

41 条

- 41-1 重大事故等対処施設における基準規則等への適合性について
- 41-2 重大事故等対処施設への審査基準の準用
- 41-3 火災区域、区画の設定について
- 41-4 火災感知設備
- 41-5 消火設備
- 41-6 火災区域又は火災区画の火災防護対策について

43 条（共通）

- 共-1 重大事故等対処設備の設備分類等
- 共-2 類型化区分及び適合内容
- 共-3 泊 3 号炉可搬型重大事故等対処設備保管場所およびアクセスルートについて（後日提出）
- 共-4 重大事故等対処設備基準適合性確認資料
- 共-5 ポンプ車配備台数の考え方
- 共-6 竜巻影響を考慮した保管場所

44 条

- 44-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 44-2 配置図
- 44-3(1) 試験・検査説明資料
- 44-3(2) ATWS 緩和設備の試験に対する考え方について
- 44-4 系統図
- 44-5(1) 工学的安全施設等の作動信号の設定根拠について
- 44-5(2) ATWS 緩和設備について

- 44-5(3) ATWS 緩和設備に関する健全性について
- 44-6 SA バウンダリ系統図 (参考)

45 条

- 45-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 45-2 配置図
- 45-3 試験・検査説明資料
- 45-4 系統図
- 45-5 容量設定根拠
- 45-6 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 45-7 現場での人力によるタービン動補助給水ポンプの起動
- 45-8 蒸気発生器 2 次側への給水時の水源の選定及び海水注入時の影響評価

46 条

- 46-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 46-2 配置図
- 46-3 試験・検査説明資料
- 46-4 系統図
- 46-5 容量設定根拠
- 46-6 SA バウンダリ系統図 (参考)

47 条

- 47-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 47-2 配置図
- 47-3 試験・検査説明資料
- 47-4 系統図
- 47-5 容量設定根拠
- 47-6 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 47-7 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書
- 47-8 海水注入後に再循環運転を仮定した際の格納容器再循環サンプスクリーンの影響評価について
- 47-9 格納容器再循環サンプスクリーンの今後の検討課題について
- 47-10 可搬型重大事故等対処設備の接続口等について
- 47-11 CV 冠水時に水没する電気ペネトレーション部からの漏えいの可能性について

48 条

- 48-1 SA 設備基準適合性一覧表

- 48-2 配置図
- 48-3 試験・検査説明資料
- 48-4 系統図
- 48-5 容量設定根拠
- 48-6 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 48-7 格納容器再循環ユニットによる自然対流冷却について

49 条

- 49-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 49-2 配置図
- 49-3 試験・検査説明資料
- 49-4 系統図
- 49-5 容量設定根拠
- 49-6 SA バウンダリ系統図 (参考)

50 条

- 50-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 50-2 配置図
- 50-3 試験・検査説明資料
- 50-4 系統図
- 50-5 容量設定根拠
- 50-6 SA バウンダリ系統図 (参考)

51 条

- 51-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 51-2 配置図
- 51-3 試験・検査説明資料
- 51-4 系統図
- 51-5 容量設定根拠
- 51-6 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 51-7 原子炉下部キャビティへの流入について

52 条

- 52-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 52-2 配置図
- 52-3 試験・検査説明資料
- 52-4 系統図
- 52-5 容量設定根拠

- 52-6 SA バウンダリ系統図（参考）
- 52-7 原子炉格納容器内水素再結合装置（PAR）について
- 52-8 原子炉格納容器の水素濃度測定について
- 52-9 格納容器水素イグナイタについて

53 条

- 53-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 53-2 配置図
- 53-3 試験・検査説明資料
- 53-4 系統図
- 53-5 容量設定根拠
- 53-6 SA バウンダリ系統図（参考）
- 53-7 水素排出設備に対する要求（動的機器等に水素爆発を防止する機能）に係る適合性について
- 53-8 アニュラスの水素濃度測定について

54 条

- 54-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 54-2 配置図
- 54-3 試験・検査説明資料
- 54-4 系統図
- 54-5 容量設定根拠
- 54-6 審査会合会議資料
- 54-7 使用済燃料貯蔵設備の大規模漏えい時の未臨界性評価
- 54-8 使用済燃料ピットサイフォンプレーカの健全性について

55 条

- 55-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 55-2 配置図
- 55-3 試験・検査説明資料
- 55-4 系統図
- 55-5 容量設定根拠
- 55-6 発電所外への放射性物質の拡散抑制について

56 条

- 56-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 56-2 配置図
- 56-3 試験・検査説明資料

- 56-4 系統図
- 56-5 容量設定根拠
- 56-6 SA バウンダリ系統図 (参考)

57 条

- 57-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 57-2 配置図
- 57-3 試験・検査説明資料
- 57-4 系統図
- 57-5 容量設定根拠
- 57-6 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 57-7 タンクローリーによる燃料補給について
- 57-8 代替所内電気設備の設備構成について
- 57-9 所内常設蓄電式直流電源設備について
- 57-10 可搬型直流電源用発電機、可搬型直流変換器を使用した直流電源負荷への24時間給電
- 57-11 所内電気設備の頑健性について

58 条

- 58-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 58-2 配置図
- 58-3 試験・検査説明資料
- 58-4 系統図
- 58-5 計測範囲説明書
- 58-6 審査会合会議資料
- 58-7 主要パラメータの代替パラメータによる推定方法について
- 58-8 可搬型計測器及び可搬型温度計測装置の必要台数整理

59 条

- 59-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 59-2 配置図
- 59-3 試験・検査説明資料
- 59-4 系統図
- 59-5 SA バウンダリ系統図 (参考)
- 59-6 原子炉制御室等 (被ばく評価除く) について
- 59-7 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
- 59-8 原子炉制御室等について (補足資料)

60 条

- 60-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 60-2 配置図
- 60-3 試験・検査説明資料
- 60-4 容量設定根拠
- 60-5 適合状況説明資料

61 条

- 61-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 61-2 配置図
- 61-3 試験・検査説明資料
- 61-4 系統図
- 61-5 容量設定根拠
- 61-6 緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価について
- 61-7 適合状況説明資料
- 61-8 適合状況説明資料（補足説明資料）

62 条

- 62-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 62-2 配置図
- 62-3 試験・検査説明資料
- 62-4 系統図
- 62-5 容量設定根拠
- 62-6 設置許可基準規制等への適合状況説明資料

1 次冷却材設備

- 他 1-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 他 1-2 配置図
- 他 1-3 試験・検査説明資料
- 他 1-4 系統図

原子炉格納施設

- 他 2-1 SA 設備基準適合性一覧表
- 他 2-2 配置図
- 他 2-3 試験・検査説明資料
- 他 2-4 系統図

燃料貯藏設備

他 3-1 SA 設備基準適合性一覧表

他 3-2 配置図

他 3-3 試験・検査説明資料

他 3-4 系統図

非常用取水設備

他 4-1 SA 設備基準適合性一覧表

他 4-2 配置図

他 4-3 試験・検査説明資料

他 4-4 系統図

5 3 - 1 S A設備 基準適合性一覧

S A設備 基準適合性一覧については、43 条（共通）補足説明資料「共-4-1 S A設備 基準適合性一覧表」に示す。

5 3 - 2 配置図

配置図については、43 条（共通）補足説明資料「共-4-2 SA設備 基準適合性確認資料」及び同添付資料「共-4-2-1 配置図」に示す。

5 3 - 3 試験・検査説明資料

試験・検査説明資料については、43条（共通）補足説明資料「共-4-2 SA設備 基準適合性確認資料」及び同添付資料「共-4-2-3 試験・検査説明資料」に示す。

5 3 - 4 系統図

概略系統図については、43 条（共通）補足説明資料「共-4-2 S A設備 基準適合性確認資料」及び同添付資料「共-4-2-5 概略系統図」に示す。

5 3 - 5 容量設定根拠

容量設定根拠については、43条（共通）補足説明資料「共-4-2 SA設備 基準適合性確認資料」及び同添付資料「共-4-2-4 容量設定根拠」に示す。

53-6 SAバウンダリ系統図 (参考)

S Aバウンダリ系統図（参考）については、43 条（共通）補足説明資料「共-4-2 S A設備 基準適合性確認資料」及び同添付資料「共-4-2-6 S Aバウンダリ系統図（参考）」に示す。

53-7 水素排出設備に対する要求（動的機器等に水素爆発を防止する機能）に係る適合性について

水素排出設備に対する要求（動的機器等に水素爆発を防止する機能）に係る適合性について

1. 基準要求事項の整理

設置許可基準規則第53条及びその解釈において、原子炉格納容器から漏れいする気体状の放射性物質を格納するための施設の水素爆発による損傷を防止する必要がある場合には、「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に必要な設備」として、水素濃度制御設備又は水素排出設備を設置することが要求されており、水素排出設備を設置する場合にあたっては、「動的機器等に水素爆発を防止する機能を付けること」が要求されている。

2. 基準に対する対応及び解釈

(1) 基準対応

原子炉格納容器から漏れいする気体状の放射性物質を格納するアニュラスの水素爆発によるアニュラスの損傷を防止するために、水素排出設備としてアニュラス空気浄化設備を設置し、アニュラスへ漏れいする水素を含むガスを排気筒より排出する設計としている。

(2) 解釈

アニュラス空気浄化設備は以下の機能を有しており、水素排出設備を設置する場合の要求である「動的機器等に水素爆発を防止する機能」を有していると考えられる。

- 原子炉格納容器からアニュラスへの漏れい率を0.16%/dayとし、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタでの水素処理及びアニュラス空気浄化ファンの排気機能に期待せずにアニュラスの水素濃度を評価した結果、7日後においてアニュラス内の水素濃度は1.9%程度であり、可燃限界未満である。
- アニュラス空気浄化ファンは、少なくとも7日以内であれば可燃限界未満であることから水素爆発をすることなく健全に起動可能である。
- 全交流電源喪失時にも、電源復旧後、早期に代替空気（窒素）を用いた系統構成を行い、約25分でアニュラス空気浄化ファンを起動する手順を整備している。
- アニュラス空気浄化ファンは、アニュラス内の水素を含むガスを排出し、アニュラス内の水素濃度を可燃限界未満とすることで、アニュラス及びアニュラス排気ラインの水素爆発を防止する機能を有している。
- 原子炉格納容器からアニュラスへの漏れい率を0.16%/dayとし、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタでの水素処理に期待せず、アニュラス空気浄化ファンの排気流量を10m³/minとして、アニュラスの水素濃度を評価した結果、アニュラス内の水素濃度は0.2%程度であり、可燃限界未満である。
- アニュラス空気浄化システムは、フィルタユニット、ファン、ダクトから構成され、アニュラス空気浄化フィルタユニットを通すことで、放射性物質を低減し、水素が滞留しないようアニュラス空気浄化ファンにより水素を含むガスを屋外へ排出する設計としている。

3. 結論

水素排出設備を設置する場合の要求である「動的機器等に水素爆発を防止する機能」については、アニュラス空気浄化設備によりアニュラス内の水素を含むガスを排出し、アニュラス内の水素濃度を可燃限界未満とすることから、アニュラス及びアニュラス排気ラインの水素爆発を防止する機能を有している。

4. 添付資料

- (1) アンユラス水素濃度（アンユラス排気に期待しない場合）
- (2) アンユラス水素濃度（アンユラス排気に期待する場合）
- (3) アンユラス内の自然対流について
- (4) アンユラス空気浄化系統及びアンユラス空気浄化ファンについて
- (5) よう素フィルタ除去効率の設定について

以上

アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待しない場合）

1. アニュラス水素濃度

(1) 検討条件

項目		備考
格納容器漏えい率		有効性評価（被ばく評価）に用いた漏えい率
原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタでの水素処理		期待しない
アニュラス排気		期待しない
長期的水素生成	放射線水分解	有効性評価解析（水素燃焼）適用値
	アルミ金属腐食による水素生成量	事故発生直後に全量腐食を仮定
	亜鉛金属腐食	亜鉛は湿度により腐食速度が変化しないため、一定割合を想定

(2) 評価

アニュラス内では格納容器壁温度と外部遮へい側壁温度では差があり、対流が生じることにより混合され均一になると考えられることから、水素のみ上部に成層化することは考えにくく、水素濃度は事故後7日間の蓄積を考慮しても可燃限界未満の1.9%となる。

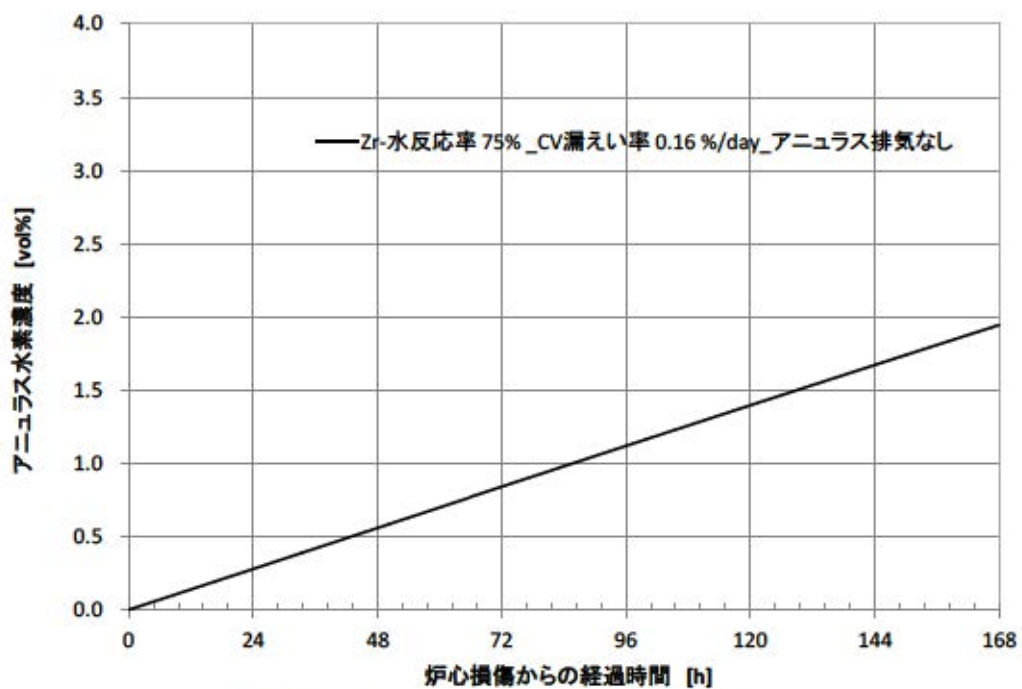


図1 アニュラス水素濃度（7日間）

アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待する場合）

1. 有効性評価の重大事故時におけるアニュラス水素濃度評価について

重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器券囲気温度の最高値約 141℃、原子炉格納容器圧力の最高値約 0.360MPa[gage]では、原子炉格納容器の構造健全性及びシール機能は十分に保たれ、放射性物質の閉じ込め機能を維持することができる。

これらの前提のもと、有効性評価における被ばく評価においては、原子炉格納容器圧力（MAAP 解析結果）に応じた漏えい率に余裕を見込んだ、0.16%/day を用いて評価し問題ないことを確認している。

ここでは、格納容器からアニュラスへの CV 漏えい率について、「重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい」として、この被ばく評価での漏えい率を用いたアニュラス水素濃度評価を行った。

評価に使用した値としては、主に①CV 漏えい率②水素混合気の状態③アニュラス排気流量があり、その他使用値を含めてそれぞれの設定根拠を表 1 に示す。

表 1 評価に使用した値の設定根拠

		値	備考
①CV 漏えい率		0.16%/day	原子炉格納容器圧力 (MAAP 解析結果) に応じた漏えい率に余裕を見込んだ値。被ばく評価に適用した値。
②水素混合気の状態		ドライ水素濃度 (11.8%)	原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタの水素処理に期待しない場合の、ジルコニウム 75%反応時の CV 内ドライ水素濃度ピーク値を使用。
③アニュラス排気流量		10m ³ /min	アニュラス内の気密性が高い建設時の試運転結果を基にした、アニュラス排気流量 (約 30m ³ /min) から、さらに保守的な流量として、10m ³ /min を使用。(別紙参照)
CV 自由体積		65,500m ³	添付十記載の最小値
アニュラス体積		7,860m ³	アニュラス負圧達成評価使用値
長期的水素生成	放射線水分解	あり	有効性評価解析 (水素燃焼) 適用値
	アルミ金属腐食による水素生成量	144.4kg	事象発生直後に全量腐食を仮定
	亜鉛金属腐食	約 0.7kg/h	亜鉛は温度により腐食速度が変化しないため、一定割合を想定。

1. 1 評価に使用している計算式

評価に使用している計算式を以下に示す。

$$\text{CV 内空気モル数} = \frac{PV}{RT} = \frac{101325[\text{Pa}] \times 65500[\text{m}^3]}{8.314 [\text{J/K} \cdot \text{mol}] \times (49[\text{C}] + 273.15)} = 2.48\text{E}+6 \dots \dots \dots \text{①}$$

$$\text{CV 内水素モル数} = \frac{\text{Zr質量}[\text{kg}] \times \text{Zr反応率} \times 1000 \times 2}{\text{Zr分子量}[\text{g/mol}]} = \frac{20200 \times 1000 \times 2}{91.224} \times \text{Zr 反応率} \dots \dots \dots \text{②}$$

$$\text{ドライ換算水素濃度} = \frac{\text{水素モル数}}{\text{水素モル数} + \text{空気モル数}} \dots \dots \dots \text{③}$$

$$\text{アニュラスへの漏えいモル流量} [\text{mol/hr}] = \frac{\text{CV内水素混合気モル数} \times \text{CV漏えい率}[\%/\text{day}]}{100 \times 24[\text{hr}]} \dots \dots \dots \text{④}$$

1. 2 評価結果

上記より算出した評価結果を図 1 及び表 2 に示す。

重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい率にて評価した結果、アニュラス水素濃度は可燃領域に至らず、十分に低濃度になると評価された。

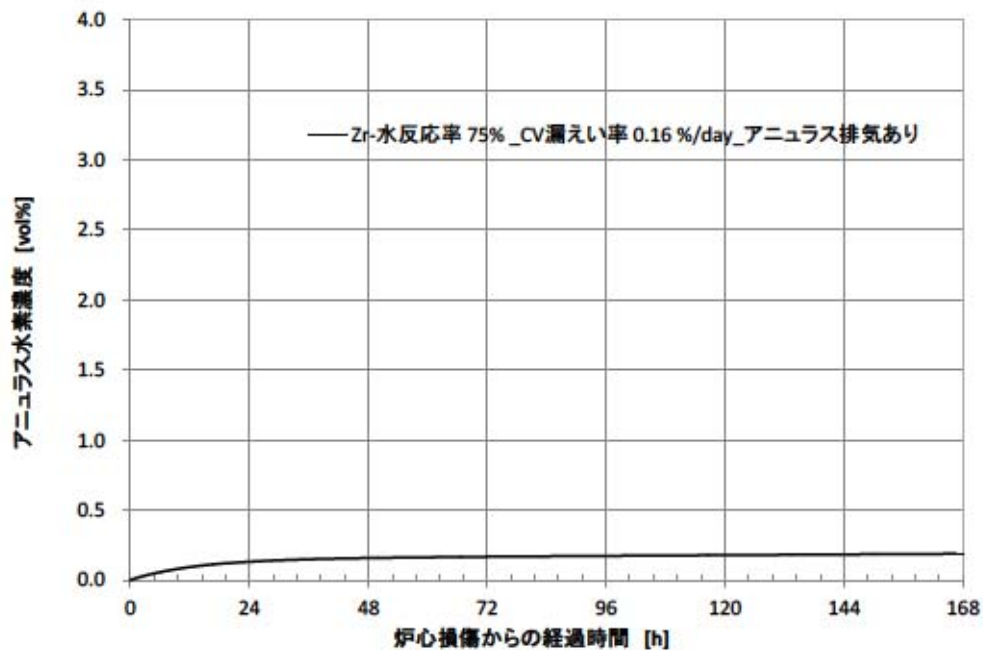


図 1 アニュラス水素濃度

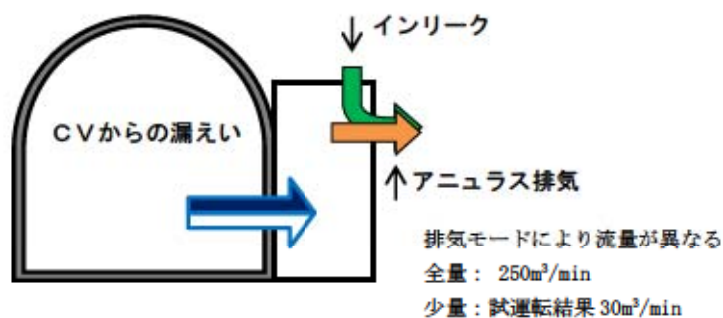
表 2 評価結果

	①CV 漏えい率	②水素混合気の条件	③アニュラス排気流量	評価結果
重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい	0.16%/day	ドライ換算水素濃度 (11.8%)	10m ³ /min	ドライ水素濃度 0.2%

アニュラス水素濃度評価に用いたアニュラス排気流量の設定について

アニュラス空気浄化ファンについては、全量排気モードと少量排気モードがある。これらのうち、アニュラス水素濃度の評価に用いたアニュラス排気流量については、少量排気モードの流量を設定している。これは、アニュラス水素濃度評価においては、アニュラス排気流量が少ないほうが、アニュラスへのインリーク量（外気からの空気取り入れ量）が少なく、評価に厳しいためである。

したがって、アニュラス水素濃度評価に用いた少量排気モードの流量については、以下のアニュラス内の気密性が高い建設時の試運転結果を基にした、アニュラス排気流量（約 $30\text{m}^3/\text{min}$ ）から、さらに保守的な流量として、 $10\text{m}^3/\text{min}$ を使用している。



アニュラス内の自然対流について

1. 概要

事故時の泊3号機において、アニュラス内の自然対流が起こることを2次元CFD解析により評価を行う。

鋼製格納容器を有する3ループPWRのアニュラスは、原子炉格納容器と外部遮へいに挟まれた狭隘な区画であり、径方向1~2m程度の幅に対して高さ方向に約40~50mを有する形状的な特徴がある。このため、シビアアクシデント時のアニュラスは、鉛直方向に片側の壁となる原子炉格納容器鋼板から熱を受けるとともに、反対側の外部遮へい側壁となる鉄筋コンクリートを介して大気側に放熱される伝熱体系となる。

このとき、アニュラス内の原子炉格納容器鋼板近傍では加熱に伴う上昇流が発生し、外部遮へい側では冷却に伴う下降流が発生することにより、自然対流が発生し、アニュラス内の気相は混合されると考えられる。

2. 評価体系

FLUENTコードを用いてアニュラスを模擬した形状をモデル化し(図1)、評価した。

原子炉格納容器(炭素鋼)および外部遮へい(鉄筋コンクリート)の表面温度およびアニュラスの温度は、有効性評価における格納容器過温破損シナリオにおける7日後の温度に相当する温度を設定した。シビアアクシデント事故発生時の格納容器内雰囲気は、高温蒸気が格納容器内に噴出(生成)した後はアニュラス雰囲気との温度差がつくが、次第に格納容器鋼板を介した伝熱によりアニュラス温度が追従していく。鋼板と鉄筋コンクリートの温度差が小さい状態のほうが、アニュラス内で自然対流が生じにくい条件となるため、炉心損傷後、格納容器が再循環ユニットを用いた冷却に移行した後の準安定的な状態における温度を想定した。

また、格納容器からアニュラスへのガスの流入およびアニュラス空気浄化設備による排出は混合を促進することから、ここでは保守的に考慮せず、閉空間における対流を評価した。

3. 評価結果

アニュラス全体の流速ベクトルおよび温度分布を図2に、また、アニュラス上端部の拡大流速分布を図3に示す。CV側壁にて生じる上昇流がアニュラス頂部にて水平方向の流れとなり、外部遮へい壁側にて下降流となっていることが確認でき水素は対流に従って混合されると考えられることから、成層化する可能性は小さいと考えられる。

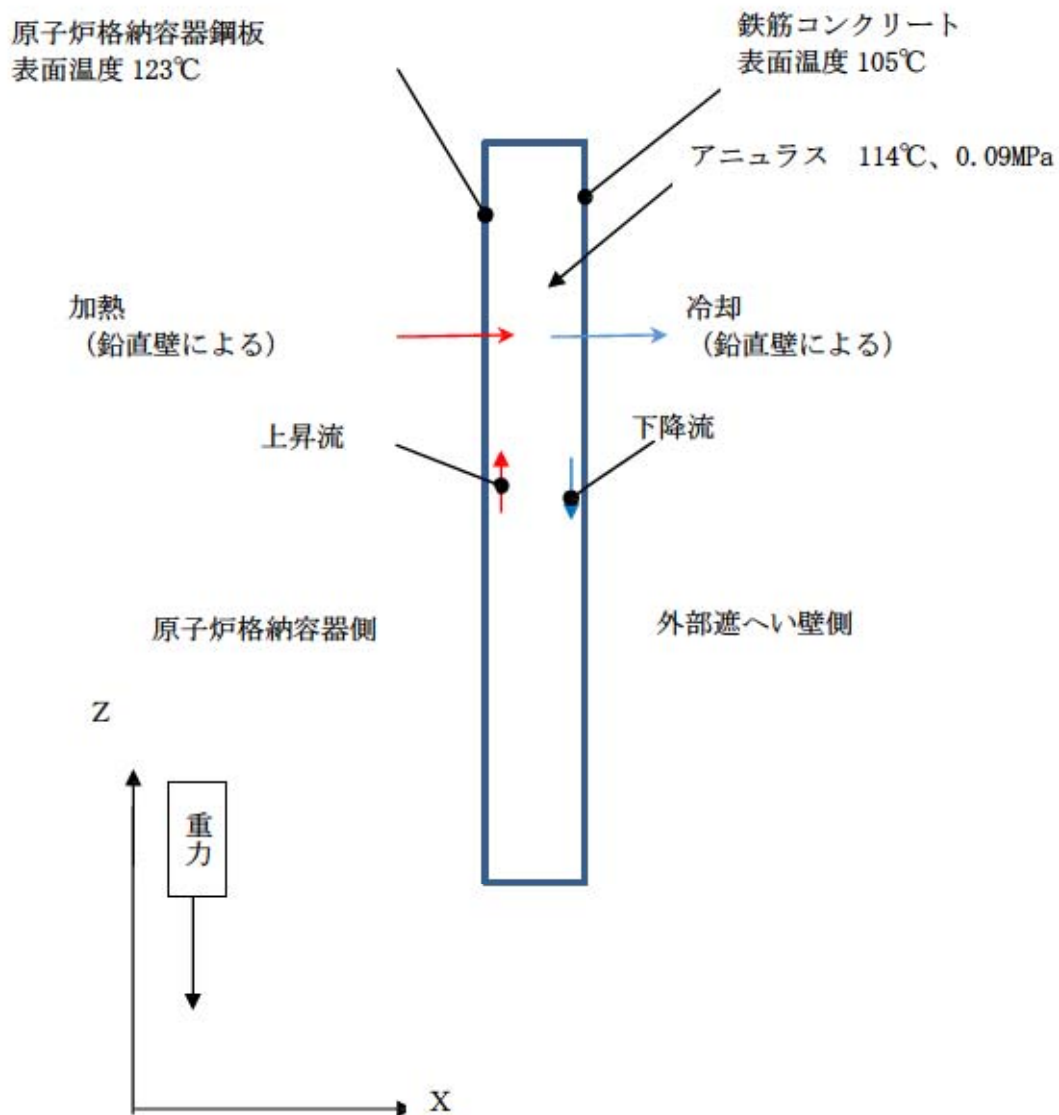


図1 アニュラス模擬モデル及び境界温度

表1 アニュラス内ガスの組成

非凝縮性ガス			凝縮性ガス
N ₂	O ₂	H ₂	H ₂ O
23%	6%	4%	67%

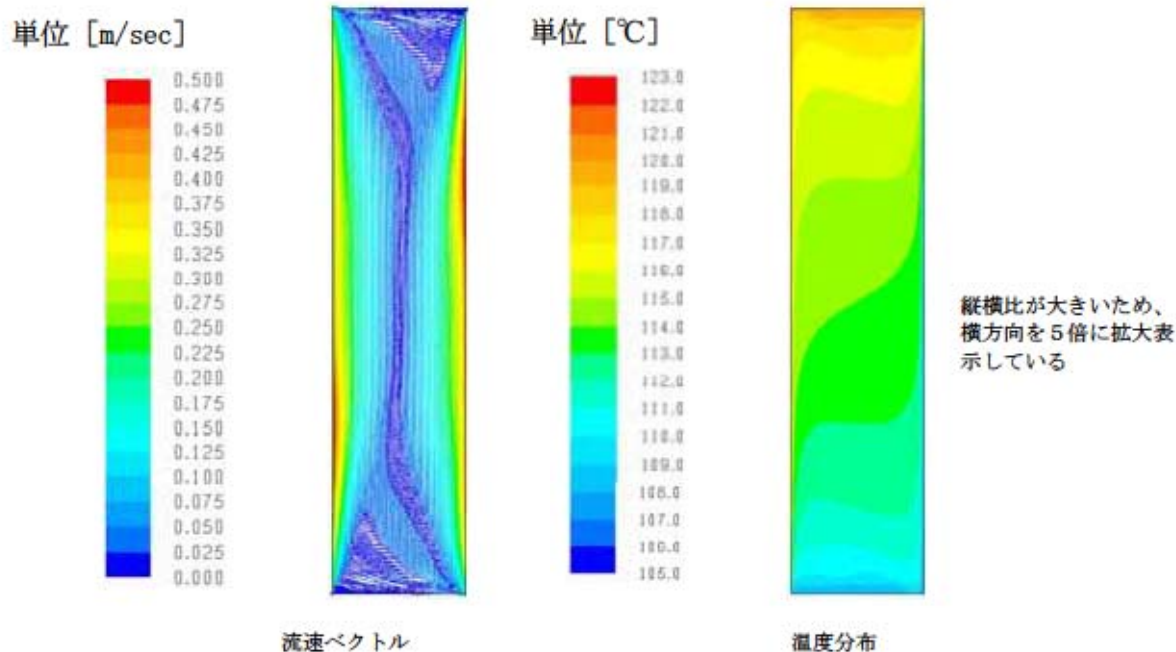


図2 アニュラス部流動解析結果(全体図)

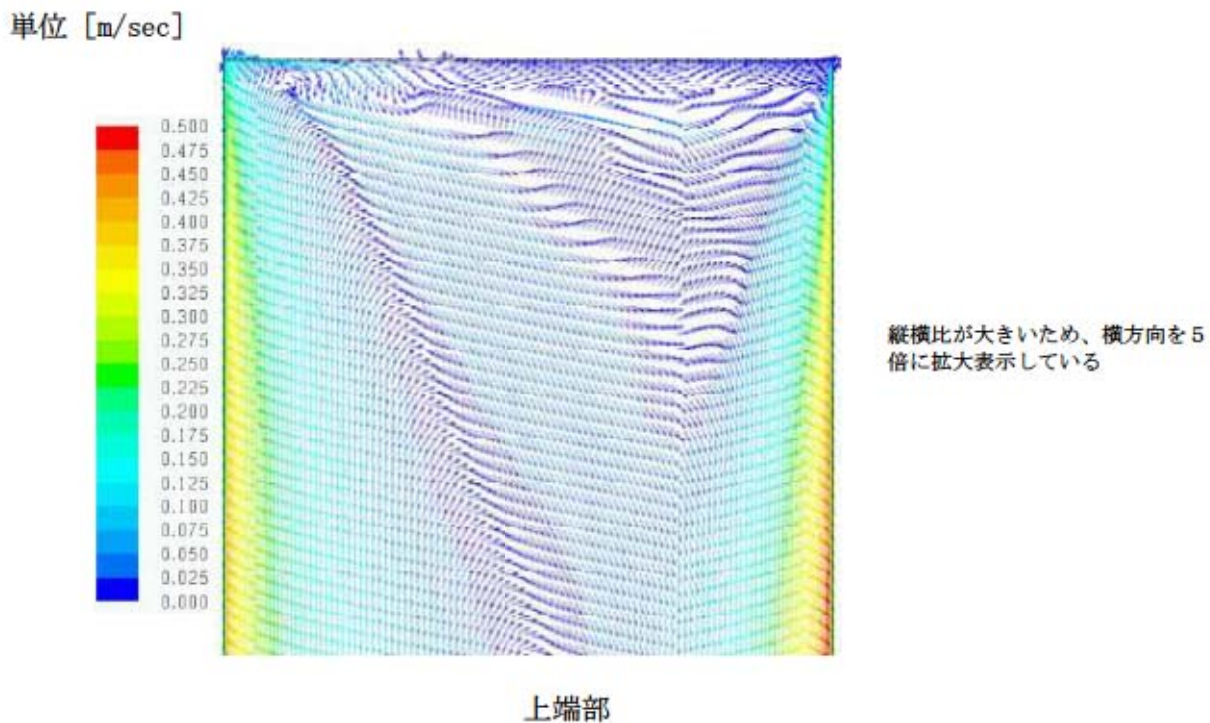


図3 アニュラス部流動解析結果(上部拡大図)

4. 実機との違いの考察

本評価では、格納容器壁と外部遮へい側壁の温度差が小さくなる条件を想定し、かつ閉空間における一様な気相の混合状態における流動を評価したが、実機では、格納容器壁と外部遮へい側壁の温度差には過渡的な変化があり、また、格納容器からアニュラスへガスが流出することが想定される。

格納容器壁と外部遮へい側壁の温度差は、LOCA 事象等においては事故発生直後が大きく事象進展に伴ってアニュラス側に熱が伝わることにより差が縮まっていき、事故発生後7日後を想定した本評価条件に次第に近づくと想定される。壁の温度差が小さい保守的な条件にて対流が生じている評価結果を踏まえると、現実的にはより大きな対流が継続的に生じていると考えられる。

また、格納容器からのアニュラスへのガスの流出は、圧力差に基づいてある程度の流速を伴うものであり、さらに SBO 時であっても事故発生後、代替電源復旧に伴って速やかにアニュラス空気浄化系が運転され排気ダクトを介して外部に排出される流れが形成されることを考慮すると、アニュラス内の雰囲気は本評価結果よりも混合されると考えられる。

以上

アニュラス空気浄化系統及びアニュラス空気浄化ファンについて

1. アニュラス空気浄化系統

アニュラス空気浄化系統はアニュラス空気浄化フィルタユニットを通すことで、放射性物質を低減し、水素が滞留しないようアニュラス空気浄化ファンにより水素を含むガスを屋外へ排出する設計としている。なお、当該系統内のガスはアニュラス（排気を期待しない場合で7日後に1.9%（ドライ換算）の水素濃度）のガスであり、凝縮によっても水素燃焼が生じる可能性はない。

また、アニュラス空気浄化系統はファン、フィルタユニット、ダンパ及びダクトにより構成され、アニュラス空気浄化フィルタユニット及びアニュラス空気浄化ファンのようにケーシング内に格納した設備や、枝別れしたダクト部があるが、アニュラス空気浄化ファンの全量排気モードでの風量は250m³/minと十分大きく、水素を含む空気が偏って留まることはない。また、少量排気モードでは、全量排気よりも風量は少なくなるものの、少量排気モードに使用するアニュラスへの戻りダクトには枝別れしたダクト部はないため、同様に水素を含む空気が偏って留まることはない。

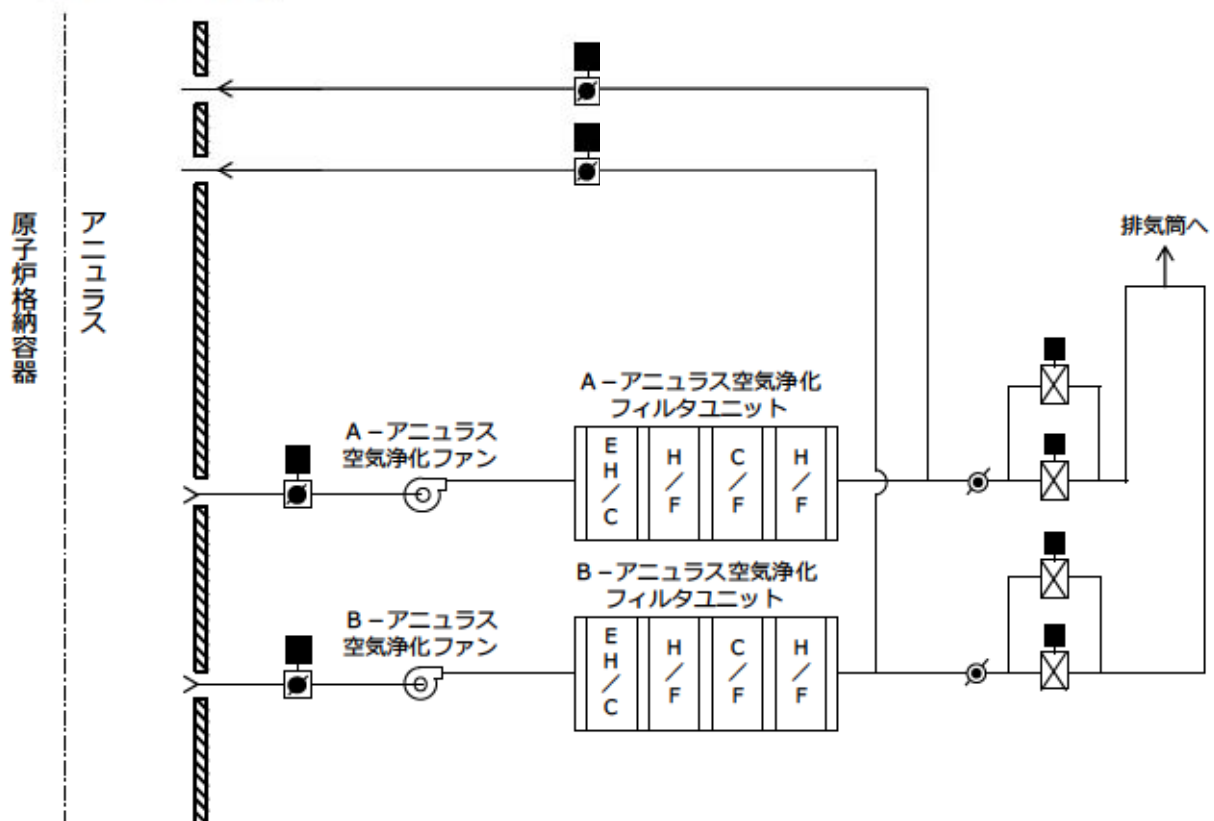


図1 アニュラス空気浄化系統

なお、水素が偏って溜まった場合、水素爆発の原因になると予想される泊3号機のアニュラス空気浄化ファンの電気設備（モータ等）については、ケーシング外にあり、アニュラス雰囲気と触れない構成となっている。

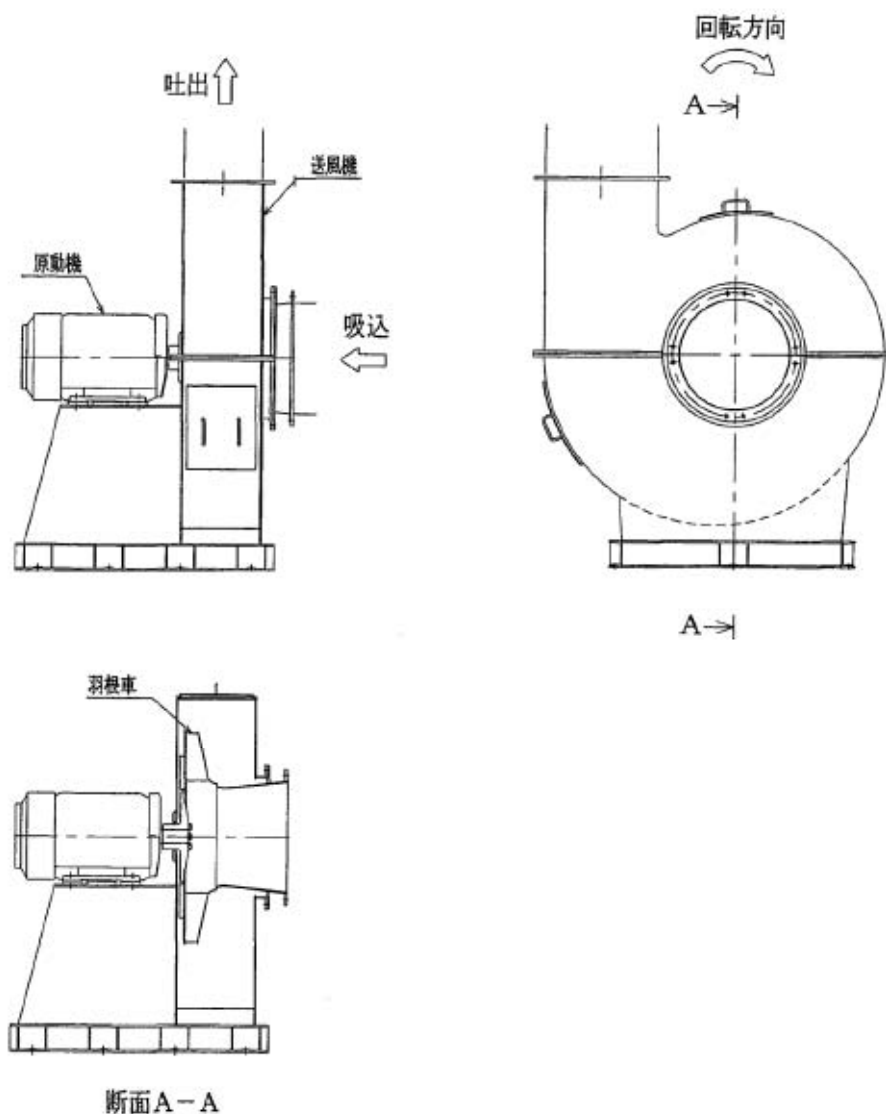


図2 泊3号機 アニュラス空気浄化ファン

アニュラス空気浄化設備の重大事故等対処時における性能について

炉心の著しい損傷が発生した場合（重大事故時）においては、設計基準事故時と比較してアニュラス内の温度等条件が変化する。この場合においてもアニュラス空気浄化設備が期待する水素排出性能を発揮し、また、設計基準事故対処設備として期待する大気中への放射性物質放出低減性能を発揮できることを以下の通り確認している。

1. アニュラス内環境条件について

設計基準事故時と重大事故時のアニュラス内環境条件は以下の通り。

	設計基準事故時	重大事故時※
温 度	105℃	120℃程度
圧 力	0.01MPa	0.02MPa
湿 度 (外気条件：30℃・湿度 95%)	—	<60% (アニュラス内温度 40℃時)

※有効性評価で想定する事故収束に成功した事故シーケンスのうち、格納容器内温度・圧力が高くなる「大 LOCA 時に ECCS 注入機能及び格納容器スプレイ機能が喪失する事故」及び「全交流電源喪失時に補助給水機能が喪失する事故」を想定

2. アニュラス空気浄化設備への影響について

アニュラス空気浄化設備のうち、アニュラス空気浄化ファン、アニュラス空気浄化ダクト、アニュラス空気浄化弁については、想定される重大事故等発生時のアニュラス内の温度、圧力、放射線、湿度を考慮しても、設計基準事故時の条件から大きく異なっておらず、その材質や構造から強度等への機能影響はなく、重大事故時の条件下において、その健全性を確保できる。

アニュラス空気浄化フィルタユニットについては、想定される重大事故等時のアニュラス内の温度、圧力、放射線、湿度を考慮しても、その機能（フィルタによる放射性物質の除去効果）を有効に発揮できる。炉心の著しい損傷を伴う重大事故時に原子炉格納容器からアニュラスへ漏れいする水素を含むガスの排出がされた場合においても、アニュラス空気浄化フィルタユニットの設計仕様としての除去効率（下表）が確保できることを確認している。

	アニュラス空気浄化フィルタユニット	
フィルタの種類	微粒子フィルタ	よう素フィルタ
総合除去効率	99%以上 (0.15 μm 粒子)	95%以上

(1) 温度の影響

設計基準事故時と重大事故時との温度差は軽微であり、重大事故時の温度であってもアニユラス空気浄化ファン、アニユラス空気浄化ダクト、アニユラス空気浄化弁、アニユラス空気浄化フィルタユニットケーシングの機能に影響はない。

(2) 圧力の影響

設計基準事故時と重大事故時との圧力差の影響を受けるのはアニユラス空気浄化ダクト（アニユラス出口～アニユラス出口弁）及びアニユラス出口弁であるが、設計基準事故時と重大事故時との圧力差は軽微であり、強度上影響はない。

(3) 湿度の影響

湿度の影響を受けるのはアニユラス空気浄化フィルタユニットのうちよう素フィルタであるが、後述の通り重大事故時の湿度はよう素フィルタ性能試験に適用する条件（30℃、95% RH）と比較して低いため、機能に影響はない。

(4) 放射線の影響

放射線の影響を受ける機器はない。

3. アニュラス空気浄化設備の放射性物質低減機能について

アニュラス空気浄化設備にはアニュラス空気浄化フィルタユニットを備えており、アニュラスから水素を屋外へ排出する際には当該フィルタユニットにより放射性物質を低減した上で排出を行う。

重大事故時のアニュラス内環境を考慮した上でも、アニュラス空気浄化フィルタユニットの性能が確保されていることを以下の通り評価している。

(1) 微粒子フィルタ

a. 温度及び湿度条件について

重大事故時のアニュラス内は原子炉格納容器からの温度伝播等により最高で120℃程度まで上昇するが、アニュラス空気浄化フィルタユニットに設置している微粒子フィルタは126℃での性能確認を実施しており、フィルタ性能が低下することはない。また、湿度については、結露による水封（目詰まり）が生じた場合には効率への影響があるが、格納容器漏えい率に応じたわずかな湿度上昇はあるものの、重大事故時のアニュラス内環境条件では結露には至らず、フィルタの性能が低下することはない。したがって、重大事故時においても微粒子フィルタ除去効率99%は確保できる。

b. 保持容量について

アニュラス空気浄化設備の微粒子フィルタの保持容量は約8.9kgである。

重大事故発生後7日間で原子炉格納容器からアニュラス部へ漏えいしたエアロゾルすべてが捕集されるという保守的な仮定で評価した結果が約0.9kgである。

これは、安定核種も踏まえて、格納容器から漏えいしてきた微粒子が全量フィルタに捕集されるものとして評価したものである。なお、よう素は全て粒子状よう素として評価した。

したがって、アニュラス空気浄化設備の微粒子フィルタには、エアロゾルを十分に捕集できる容量があるので、重大事故時においても微粒子フィルタ除去効率99%は確保できる。

表1 アニュラス空気浄化フィルタユニットの微粒子フィルタ保持容量

フィルタに捕集されるエアロゾル量	約0.9kg
保持容量	約8.9kg

(2) よう素フィルタ

a. 温度及び湿度条件について

よう素フィルタは、低温条件下での除去性能が低いことが分かっており、重大事故時のような温度が高い状態であれば、化学反応が進行しやすく除去効率が高くなる傾向がある。また、アニュラス内温度は発火温度約 330℃を十分下回る温度であるため、通気によるよう素フィルタへの影響はない。

湿度に対しては低湿度の方が高い除去効率を発揮できるが、前述のとおり原子炉格納容器漏えい率に応じたわずかな湿度上昇はあるものの、アニュラス空気浄化設備起動後はアニュラス外からの空気混入もあることから、よう素除去効率の評価条件として用いている湿度 95%には至らない。したがって、温度及び湿度の影響によりフィルタの性能が低下することはなく、重大事故時においてもよう素フィルタ除去効率として 95%は確保できる。

b. 吸着容量について

アニュラス空気浄化フィルタユニットのよう素フィルタの吸着容量は、約 1.4kg（充てん量約 587kg、よう素吸着能力 2.5mg（活性炭 1g あたり）米国 R.G. 1.52 より）である。重大事故発生後 7 日間に原子炉格納容器からアニュラス部へ漏えいしたよう素すべてが吸着されるという保守的な仮定で評価した結果が約 20g である。これは、(1) 微粒子フィルタと同様の手法で評価したものである（安定核種も考慮）。

ただし、よう素の化学形態は全て元素状よう素または有機よう素とした。したがって、アニュラス空気浄化設備のよう素フィルタには、よう素を十分に吸着できる容量があり、重大事故時においてもよう素フィルタ除去効率 95%は確保できる。

表2 アニュラス空気浄化フィルタユニットのよう素フィルタ吸着容量

フィルタに捕集されるよう素量	約 20g
吸着容量	約 1.4kg

アニュラスシールの健全性について

1. はじめに

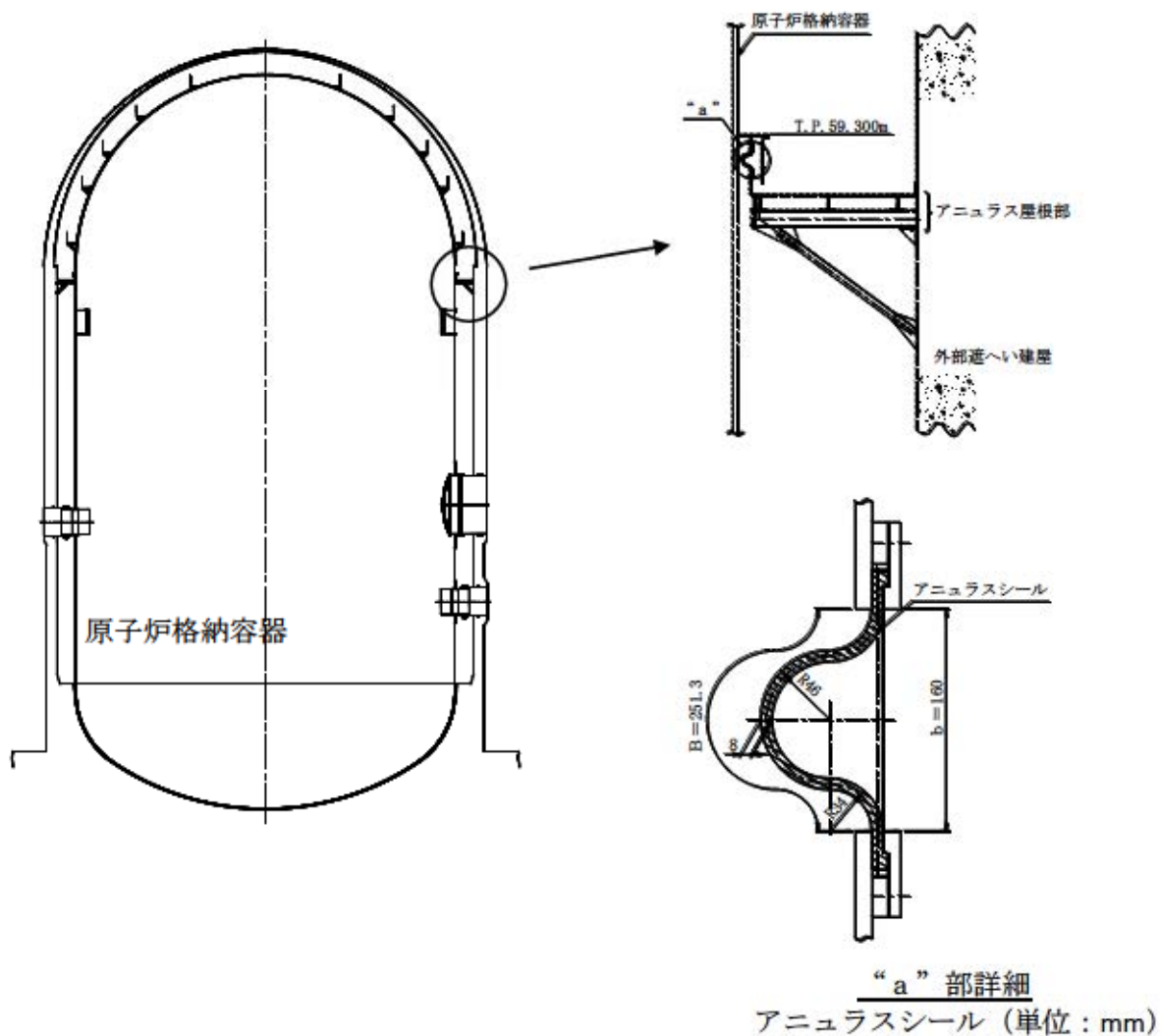
アニュラスシールは、アニュラス区画を構成するものであり、事故時にアニュラス区画の負圧を維持させるために、その破損を防止する必要がある。

そのため、アニュラスシールゴムは通常運転時や事故時において、アニュラス環境条件に対して健全性及び格納容器と外部遮へい間の相対変位を吸収できる伸縮性能を確認することが必要であり、重大事等対策の有効性評価における CV 内雰囲気温度・圧力時に当該部に生じる変位に対し、健全性を有することを確認する。

2. 計算条件

2.1 基本形状

アニュラスシールの形状及び各部寸法は別図 1 のとおりである。



別図 1 アニュラスシール基本形状図

2.2 計算方針

- (1) 重大事故時におけるアニュラスシールの健全性評価は、アニュラスシールの許容伸び量が、原子炉格納容器とアニュラス屋根部との間に生じる相対変位を吸収しうることを確認する。
- (2) アニュラスシールの許容伸び量は、曲線形状から直線形状への形状変化による伸び量から求める。

2.3 評価条件

原子炉格納容器内圧力 0.360 MPa^(注) (格納容器過圧破損、先行破損シナリオ)

原子炉格納容器内温度 141 °C^(注) (格納容器過温破損シナリオ)

(注) 有効性評価における値を示す。

なお、格納容器バウンダリの限界温度・圧力評価の条件である 200°C・2Pd は、格納容器バウンダリ構成材の耐力を確認するための条件として設定しているものであり、有効性評価における格納容器内雰囲気温度・圧力が格納容器バウンダリ構成材の耐力である 200°C・2Pd よりも小さいことを確認している。アニュラスシールは、一次格納施設である格納容器バウンダリではなく、二次格納施設であることから、格納容器バウンダリの限界温度・圧力評価の対象とはしていない。

2.4 準拠する規格・規準

- 1) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2005/2007)

3. 評価

3.1 相対変位

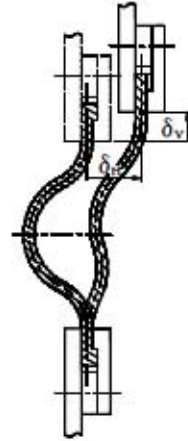
原子炉格納容器とアニュラス屋根部との間に生じる相対変位は以下のとおりである。相対変位は右図に示す方向を正とする。

水平方向変位

$$\delta_H = 41 \text{ mm}$$

鉛直方向変位

$$\delta_V = 64 \text{ mm}$$



3.2 許容伸び量

アニュラスシールの許容伸び量は、曲線形状から直線形状への形状変化による伸び量から求める。

許容伸び量

$$\begin{aligned} S_a &= B - b = 251.3 - 160 \\ &= 91.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

ここに

B : アニュラスシールの曲線寸法
b : アニュラスシールの幅

3.3 伸び量の計算

相対変位によって生じるアニュラスシールの伸び量を、下図に示す形状変化から幾何学的に次式により求める。

$$S = S' - b = 67.73 \text{ mm}$$

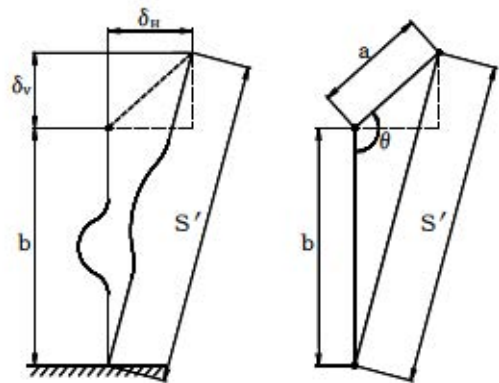
ここに

$$\begin{aligned} S' &= \sqrt{a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \theta} \\ &= 227.726 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a = \sqrt{\delta_H^2 + \delta_V^2} = 76.007 \text{ mm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\delta_V}{\delta_H} + \frac{\pi}{2}$$

$$= \tan^{-1} \frac{64}{41} + \frac{\pi}{2} = 2.572 \text{ rad}$$



4. 評価

計算により求めたアニュラスシールの伸び量及び許容伸び量を別表1に示す。

アニュラスシールに生じる伸び量は、別表1に示すように許容伸び量を下回っており、相対変位を吸収できる。

別表1 アニュラスシールの伸び量の評価

(単位：mm)

荷重の組合せ	伸び量 (S)	許容伸び量 (S _a)	裕度
重大事故時	67.8	91.3	1.34

アニュラスシールの耐熱性について

1. はじめに

泊3号機の重大事故時におけるアニュラス部雰囲気温度約120℃に対しての健全性を、以下の通り確認する。

2. アニュラスシール耐熱性について

2.1 概要

アニュラスシールは、格納容器とアニュラス屋根部の間に設置される為、事故時等に格納容器と外部遮へいの中に生じる相対変位に追従できることが必要となる。

アニュラスシールのゴム材質はクロロプレンゴムで、別図1に示す通り、2層のナイロン補強布がゴムで被覆されている。



別図1 アニュラスシールのシールゴム部詳細

2.2 重大事故時におけるアニュラスシールの物性変化

1) 建屋間相対変位によるシール伸び

重大事故時における格納容器内の温度及び圧力の上昇により、格納容器とアニュラス屋根部の間に水平 41mm、鉛直 64mm の相対変位が生じ、これに対してシールゴムは、ゴムの伸びに期待せず、曲線形状から直線形状への形状変化による伸び量により追従可能である。

2) 熱によるシール物性の変化

重大事故時のアニュラス部雰囲気温度は、設計基準事故時の設計温度 115℃を若干上回るが、前述の通り、アニュラスシールは形状変化により建屋間相対変位に対して追従できることから、熱による物性の変化が生じた場合でも追従性への影響は無い。なお同仕様材による耐熱性試験では、113℃が 26.8 時間継続した場合、破断伸びが-17~-19%低下している（試験材の初期破断伸びは 590%）。（添付）一方、引張り強さはほとんど変化しない。

□ 内は商業機密に属するものですので公開できません

高温下におけるアニュラスシールの物性変化について

1. クロロプレンゴムに対する温度時間の影響

泊3号機と同仕様のクロロプレンゴム材の初期物性と耐熱物性を付表1 に示す。本シールゴムは113℃に26.8 時間曝露された時（2.8 時間は115℃で加熱）、破断伸び変化率は約-17～-19%である。また同じ条件において、引張強さはほとんど低下していない。

付表1 アニュラスシールゴムの初期物性及び耐熱物性（メーカー資料）

--

内は商業機密に属するものですので公開できません

よう素フィルタ除去効率の設定について

重大事故時の居住性に係る被ばく評価（第 26 条「原子炉制御室等」まとめ資料別添 2 第 2 項、第 34 条「緊急時対策所」まとめ資料第 2.6 項）において、中央制御室換気設備、アニュラス空気浄化設備及び緊急時対策所空気浄化設備のよう素フィルタは有機よう素及び元素状よう素の除去効率の評価条件として 95%を用いている。したがって、よう素フィルタについては、定期事業者検査において上記除去効率が確保できていることを確認している（新規設置の緊急時対策所空気浄化設備除く）。

一方で、よう素フィルタの除去効率については使用温度及び湿度条件により影響を受けることが知られている。以下に、上記設備の重大事故時の温度及び湿度条件並びに同条件がよう素フィルタ除去効率に及ぼす影響を示す。

(1) アニュラス空気浄化設備のよう素フィルタ

重大事故時において、原子炉格納容器内は 150℃程度となり、原子炉格納容器からの温度伝播等によりアニュラス内の温度は最高で 120℃程度まで上昇するが、よう素フィルタは、低温条件下での除去性能が低いことが分かっており、重大事故時のような温度が高い状態であれば、化学反応が進行しやすく除去効率が高くなる傾向がある。

また、湿度に対しては、低湿度の方が高い除去効率を発揮できるが、格納容器漏えい率に応じたわずかな湿度上昇はあるものの、アニュラス空気浄化設備起動後は、アニュラス外からの空気混入もあることから、それほど湿度が上がることはない。したがって、温度及び湿度の影響によりフィルタの性能が低下することはない。したがって、よう素フィルタ除去効率として 95%は確保できる。なお、温湿度条件を踏まえた除去効率の妥当性の詳細については、別紙に示す。

(2) 中央制御室非常用循環系統のよう素フィルタ

泊 3 号炉の中央制御室は、原子炉格納容器から離れた位置にあるために、温度や湿度が通常時に比べて大きく変わることはなく、フィルタの性能が低下するような環境にはならない。したがって、よう素フィルタ除去効率として 95%は確保できる。なお、温湿度条件を踏まえた除去効率の妥当性の詳細については、別紙に示す。

(3) 緊急時対策所空気浄化設備のよう素フィルタ

泊 3 号炉の緊急時対策所用空調上屋は屋外にあり、発災プラント（泊 3 号炉）から十分離れた位置にあるために、温度や湿度が通常時に比べて大きく変わることはなく、フィルタの性能が低下するような環境にはならない。したがって、よう素フィルタ除去効率として 95%は確保できる。なお、温湿度条件を踏まえた除去効率の妥当性の詳細

については、別紙に示す。

よう素フィルタの湿度条件等を踏まえた除去効率の妥当性について

(1) よう素フィルタ除去効率試験について

よう素フィルタについては、定期検査時の定期事業者検査においてよう素フィルタ除去効率試験を実施し、よう素除去性能が要求性能（除去効率 95%以上）を満足することを確認している。その際の試験条件は、アニュラス空気浄化設備、中央制御室非常用循環システムともに「温度 30 ℃、湿度 95 %RH」であり、緊急時対策所空気浄化設備についても、今後定期事業者検査を行う際には同様の試験条件とする。

なお、よう素フィルタは高温、低湿度の方が高い除去効率を発揮できる傾向にある。

(2) 泊発電所の温度状況について

泊発電所の温度状況については、設置許可添付 6 に記載の月別の最高温度の平均値、最低気温の平均値によると、最高値及び最低値はそれぞれ 25.6 ℃、-6.1 ℃である。

表 1 泊発電所周辺の温度状況（設置許可添付 6 抜粋）

泊発電所の最寄りの気象官署	寿都特別地域 気象観測所		小樽特別地域 気象観測所	
	8月	1月	8月	1月
最高気温月／最低気温月	8月	1月	8月	1月
最高気温の平均値／最低気温の平均値	24.5 ℃	-4.9 ℃	25.6 ℃	-6.1℃

(3) 泊発電所の相対湿度状況について

最近 2 ヶ年（2011 年及び 2012 年）の 1 月～12 月までの泊発電所内の相対湿度データに関して日平均として整理した。

横軸に 1 年間の 365 日、縦軸に日平均の相対湿度を示す。この結果、95 %RH 以上の相対湿度の高い日はなく、相対湿度 90 %RH 以上は年間 13 日（2011 年）、1 日（2012 年）であった。

したがって、日平均の相対湿度において、フィルタの性能に影響する日平均の相対湿度 95 %RH は年間通してほとんどなく、相対湿度 90 %RH 以上は年間最大 4 %程度である。

泊 日平均相対湿度 (2011年、2012年)

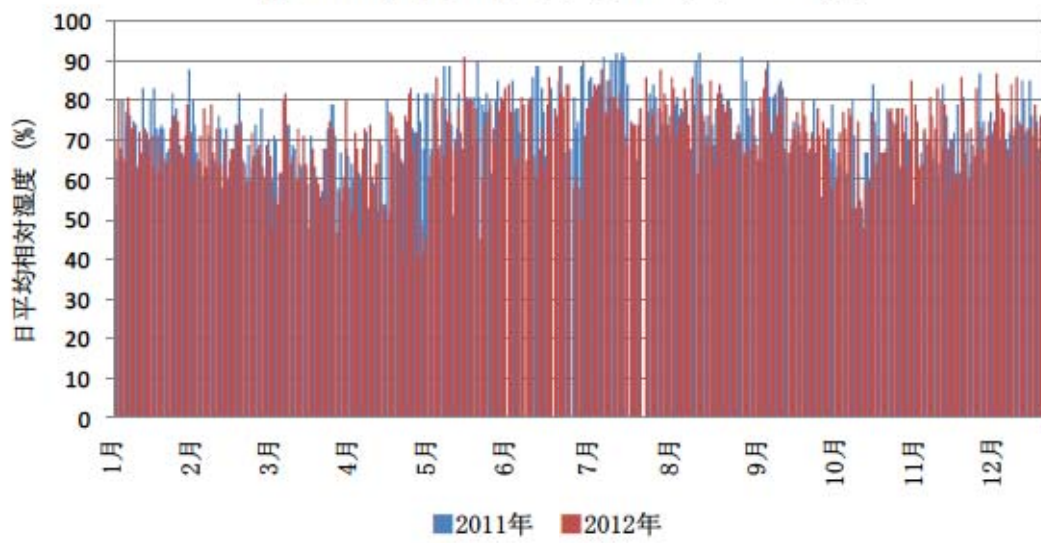


図1 2011, 2012年1月～12月の日平均の相対湿度

(4) 事故時のよう素フィルタ処理空気条件について

a. アニュラス空気浄化設備

アニュラス空気浄化設備の系統構成を図 2 に示す。重大事故時のアニュラスには、格納容器から水蒸気が侵入し、格納容器以外から外気が侵入してくる。具体的には、格納容器からの水蒸気侵入量が約 7.5kg/h^(注1) であり、格納容器以外からの水蒸気を含む空気の侵入量は、約 3000m³/h^(注2) である。

泊発電所周辺の夏季及び冬季の外気の温度、湿度を(2)項及び(3)項より 25.6℃、95%RH 及び -6.1℃、95%RH とすると、重大事故時のアニュラス内空気の水蒸気分圧は、それぞれ、約 4.0kPa、約 0.92kPa^(注3) となる。事故時のアニュラスは、格納容器からの伝熱により通常時の温度(40℃程度)以下になることは考えられないため、アニュラス内温度を 40℃と想定した場合、この時の相対湿度は 55%RH 以下となり^(注4)、よう素フィルタの効率は確保できる。

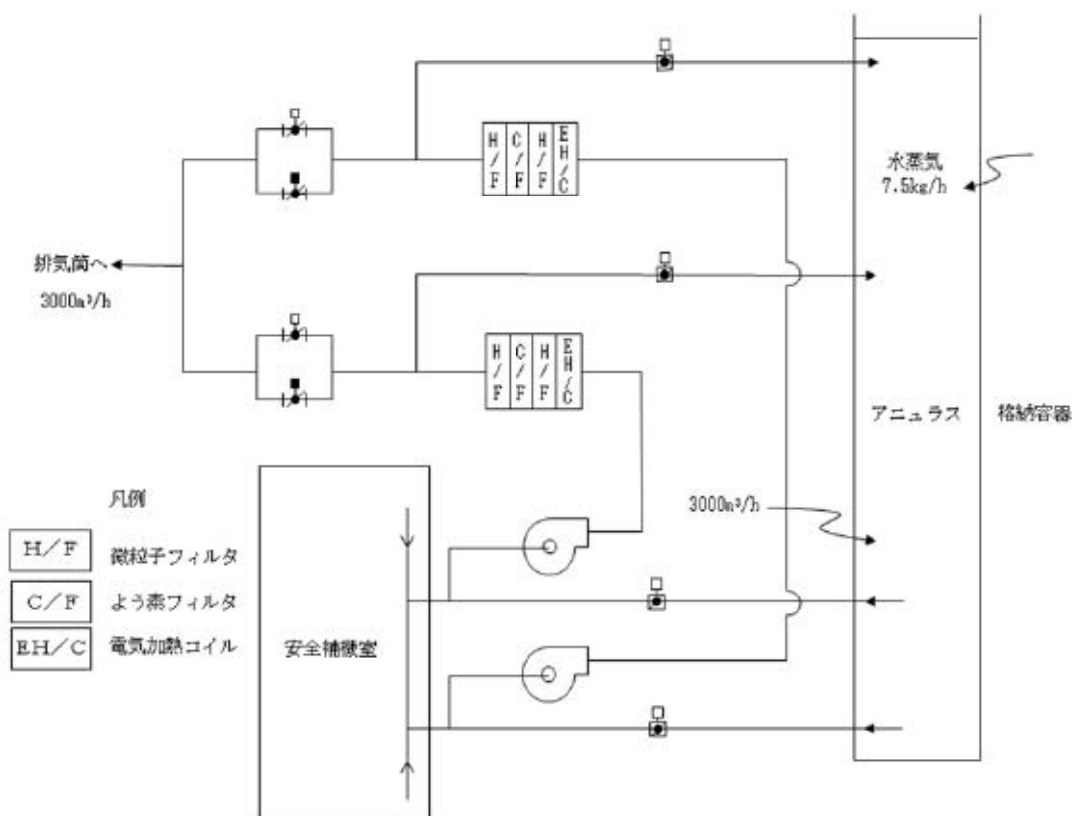


図 2 泊 3 号炉 アニュラス空気浄化設備系統構成

b. 中央制御室非常用循環系統

中央制御室非常用循環系統の系統構成は図 3 の通りであり、冷却コイルにより冷却（除湿）され、60 %RH 以下に維持されるので、よう素フィルタの効率は確保できる。

海水系の機能喪失等により、冷却コイルによる冷却（除湿）ができない状況においては、電気計装盤、照明、ファン等の発熱により、中央制御室内は外気より温度が高くなるため、相対湿度は低くなる。従って、中央制御室内空気の相対湿度は 95 %RH を上回ることはなく、よう素フィルタの効率は確保できる。例えば、中央制御室内の電気計装盤、照明、ファン等による昇温を 5℃として、(2) 項及び (3) 項より泊発電所周辺の夏季及び冬季の外気の温度及び相対湿度をそれぞれ 25.6℃、95 %RH 及び -6.1℃、95 %RH とすると、よう素フィルタ入口相対湿度は、それぞれ 73 %RH、63 %RH を下回る^(注5) こととなる。

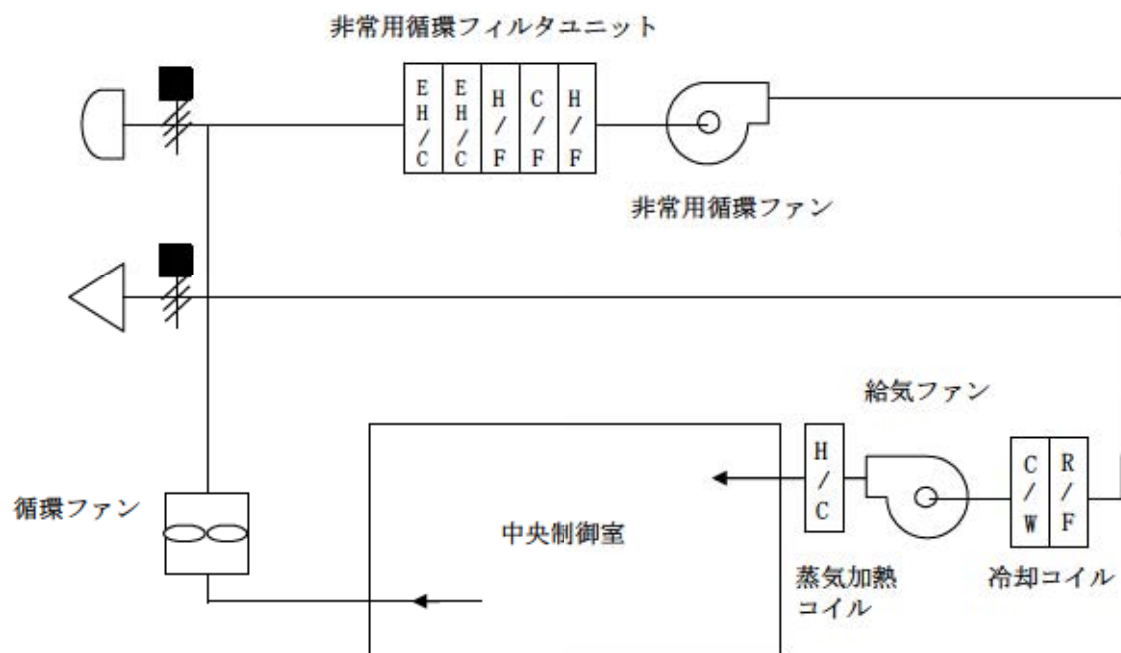


図 3 泊 3 号炉 中央制御室非常用循環系統 概略系統構成

c. 緊急時対策所空気浄化設備

緊急時対策所空気浄化設備の系統構成は図4の通りであり、冬季10℃未満に気温が低下した場合でも電気ヒータの投入により加熱され、25 %RH 以下に維持されるので、よう素フィルタの効率は確保できる。

また、電気ヒータを投入しない温度条件（10℃以上）においても、ファンの昇温により、空気浄化設備内は外気より温度が高くなるため、相対湿度は低くなる。従って、空気浄化設備を通過する空気の相対湿度は95 %RH を上回ることはなく、よう素フィルタの効率は確保できる。

例えば、冬場、空気浄化設備内での昇温が約18℃（電気ヒータ昇温約14.5℃、ファン昇温約3.5℃）として、外気温度-6.1℃、95 %RH 時のよう素フィルタ入口相対湿度は、25 %RH（注6）以下となる。また、電気ヒータを投入しない温度条件であっても、空気浄化設備内での昇温が約3.5℃として、外気温度25.6℃、95 %RH 及び10℃、95 %RH 時のよう素フィルタ入口相対湿度は、ともに80 %RH（注7）以下となる。

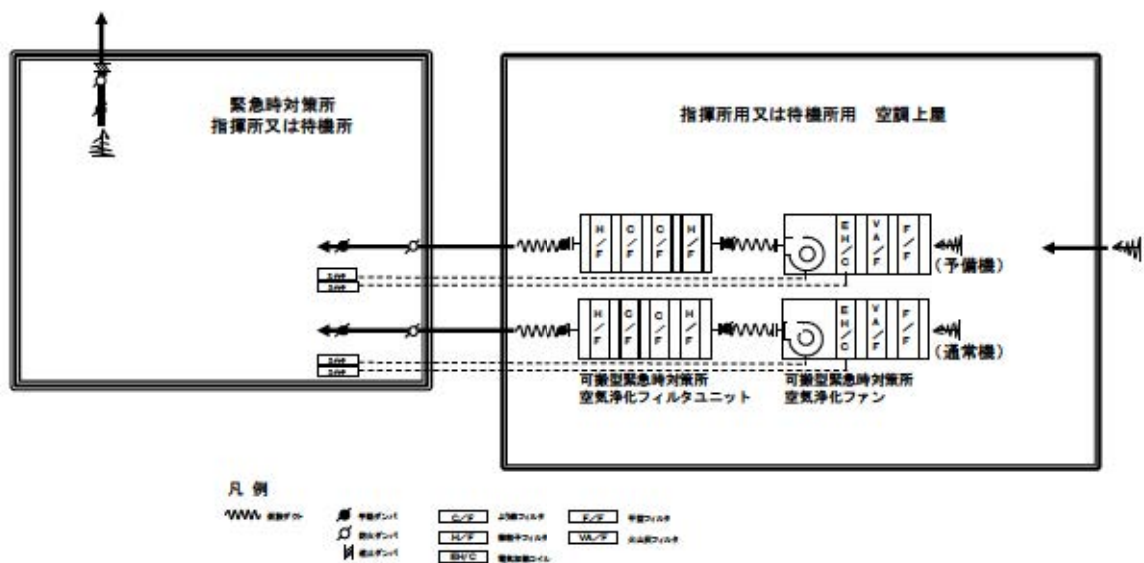


図4 緊急時対策所空気浄化設備 概略系統構成

さらに、上記a. ～c. の重大事故時の空気条件（相対湿度最大点）を設計基準事故時の空気条件とともによう素フィルタのよう素除去効率と温度・湿度条件の関係を表すグラフ（注8）上プロットすると、図5のようになる。重大事故時、いずれの湿度条件も80 %RH 以下となるため、同図よりどの温度条件下であっても現行の定期事業者検査におけるよう素除去効率確認試験条件（温度30℃、相対湿度95 %RH）に包含されることが分かる。

(注1) 格納容器からの水蒸気侵入量は、格納容器内水蒸気最大質量と格納容器漏えい率より算出している。格納容器内水蒸気最大質量は解析結果の最大値約 112000 kg とし、格納容器漏えい率は被ばく評価条件 0.16 %/日としている。

(注2) アニュラス少量排気量

(注3) 25.6 °C、95 %RH 及び -6.1 °C、95 %RH の時のアニュラス内水蒸気分圧は、以下の通りとなる。

外気条件	25.6 °C、95 %RH	-6.1 °C、95 %RH
水蒸気密度【 $\rho_{o'}$ 】	0.024 kg/m ³	0.0049 kg/m ³
空気密度【 ρ_o 】	1.1 kg/m ³	1.3 kg/m ³
アニュラス少量排気量 (L)	3000 m ³ /h	
CV 以外の水蒸気侵入量 【 $M_{o'} = \rho_{o'} \times L$ 】	72 kg/h	14.7 kg/h
CV 以外の空気侵入量 【 $M_o = \rho_o \times L$ 】	3300 kg/h	3900 kg/h
CV からの水蒸気侵入量 ($M_{CV'}$)	7.5 kg/h	
アニュラス内空気絶対湿度 【 $X = (M_{o'} + M_{CV'}) / M_o$ 】	0.025 kg' /kg	0.0057 kg' /kg
アニュラス内水蒸気分圧 【 $P_w = P \times X / (0.622 + X)$ 】 P = 101.3 (kPa) (大気圧)	約 4.0 kPa	約 0.92 kPa

(注4) 事故時のアニュラス内温度を 40 °C とすると、40 °C の飽和水蒸気分圧は 7.4 kPa であるから、アニュラス内空気の相対湿度は、以下の通りとなる。

25.6 °C、95 %RH 時：4.0 kPa / 7.4 kPa × 100 = 54.1 %RH

-6.1 °C、95 %RH 時：0.92 kPa / 7.4 kPa × 100 = 12.5 %RH

(注5) 25.6 °C、95 %RH 及び -6.1 °C、95 %RH の水蒸気分圧は、それぞれ、3.2 kPa、0.35 kPa である。また、30.6 °C 及び -1.1 °C の飽和水蒸気分圧は、それぞれ、4.4 kPa、0.56 kPa であるから、中央制御室非常用循環フィルタユニット取扱空気の相対湿度は、以下の通りとなる。

25.6 °C、95 %RH 時：3.2 kPa / 4.4 kPa × 100 = 72.8 %RH

-6.1 °C、95 %RH 時：0.35 kPa / 0.56 kPa × 100 = 62.5 %RH

(注6) -6.1℃、95%RHの水蒸気分圧は、0.35 kPaである。また、11.9℃の飽和水蒸気分圧は、1.4 kPaであるから、緊急時対策所空気浄化設備取扱空気の相対湿度は、以下の通りとなる。

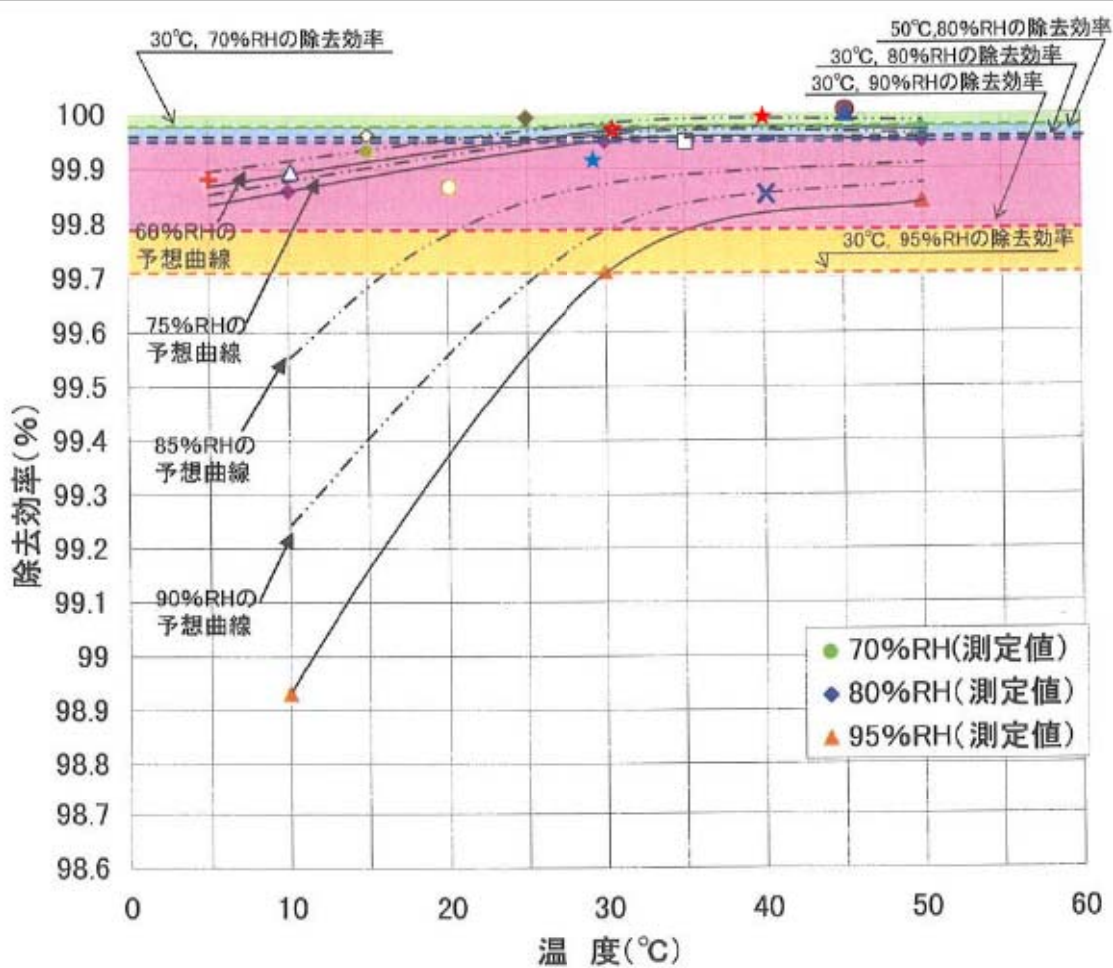
$$-6.1\text{℃、}95\text{ \%RH時} : 0.35\text{ kPa} / 1.4\text{ kPa} \times 100 = 25.0\text{ \%RH}$$

(注7) 25.6℃、95%RH及び10℃、95%RHの水蒸気分圧は、それぞれ、3.2 kPa、1.2 kPaである。また、29.1℃及び13.5℃の飽和水蒸気分圧は、それぞれ、4.0 kPa、1.5 kPaであるから、緊急時対策所空気浄化設備取扱空気の相対湿度は、以下の通りとなる。

$$25.6\text{℃、}95\text{ \%RH時} : 3.2\text{ kPa} / 4.0\text{ kPa} \times 100 = 80.0\text{ \%RH}$$

$$10\text{℃、}95\text{ \%RH時} : 1.2\text{ kPa} / 1.5\text{ kPa} \times 100 = 80.0\text{ \%RH}$$

(注8) 平成14年度電力共同研究データ抜粋



【設計基準事故時の空気条件】

電気ヒータ無し		電気ヒータ有り	
□	アニュラス空気浄化系(電気ヒータなし) (35°C,80%RH)	●	アニュラス空気浄化系(電気ヒータあり) (45°C,45%RH)
○	補助建屋よう素除去系(電気ヒータなし) (20°C,82%RH)	+	FHB事故時排気系(電気ヒータあり) (5°C,65%RH)
◇	中制室非常用循環系(電気ヒータなし) (15°C,55%RH)	●	安全補機空気所受け機(電気ヒータあり) (15°C,60%RH)
×	CV再循環系(電気ヒータなし) (40°C,90%RH)	◆	中制室非常用循環系(電気ヒータあり) (25°C,25%RH)
-	CV空気浄化系(電気ヒータなし) (40°C,80%RH)	▲	CV減圧系(電気ヒータあり) (45°C,55%RH)
△	CV減圧系(電気ヒータなし) (10°C,70%RH)		

□内は機密に属するものですので公開できません。

【重大事故時の空気条件※】

系統	温度	相対湿度	備考
★	40°C	55%RH	SA時は120°C程度まで上昇するが、保守的に通常運転時と同程度の40°Cとした。
☆	30.5°C	73%RH	海水系の機能喪失により冷却コイルの除湿機能は期待しないとした。
★	29°C	80%RH	電気ヒータ投入なし

※相対湿度が最大となる点を選定

図5 事故の空気条件とよう素フィルタ除去効率の関係

53-8 アニュラス水素濃度測定について

アニュラスの水素濃度測定について

炉心の損傷により発生した水素の一部は、アニュラスへ漏れ出すため、アニュラス内の水素濃度の状況を監視するために、アニュラス内に常設しているアニュラス水素濃度計（多様性拡張設備）にて水素濃度を直接監視する。

しかし、アニュラス水素濃度計は、炉心の損傷後の経過により温度や放射線の環境条件から測定できなくなるため、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットにより水素濃度の測定を実施する。

1. 水素濃度監視設備

(1) 設備概要

水素濃度監視設備は、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋等の水素爆発による損傷を防止するため、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で推定できる必要がある。

このため、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットをアニュラスに接続し、事故時のアニュラス内雰囲気ガスの水素濃度を監視できるようにする。

<可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット>

検出器：熱伝導度方式

計測範囲：水素濃度 0～20vol%

なお、推定する手段としては、原子炉格納容器内の水素濃度からの推定が考えられる。これには、格納容器内高レンジエリアモニタ（高レンジ）とアニュラス排気ラインにおける線量率を比較し、アニュラスへ漏れ出る漏えい率を推定することが必要である。しかし、泊3号機における配管レイアウトの関係上、アニュラス排気ライン付近での事故時環境線量率が高く現地に接近することができず、正確な線量率を計測することが困難である。

(2) 代替電源の確保

常設のアニュラス水素濃度計（多様性拡張設備）及び可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの電源は、全交流動力電源喪失の場合にも、代替非常用発電機から給電可能としている。

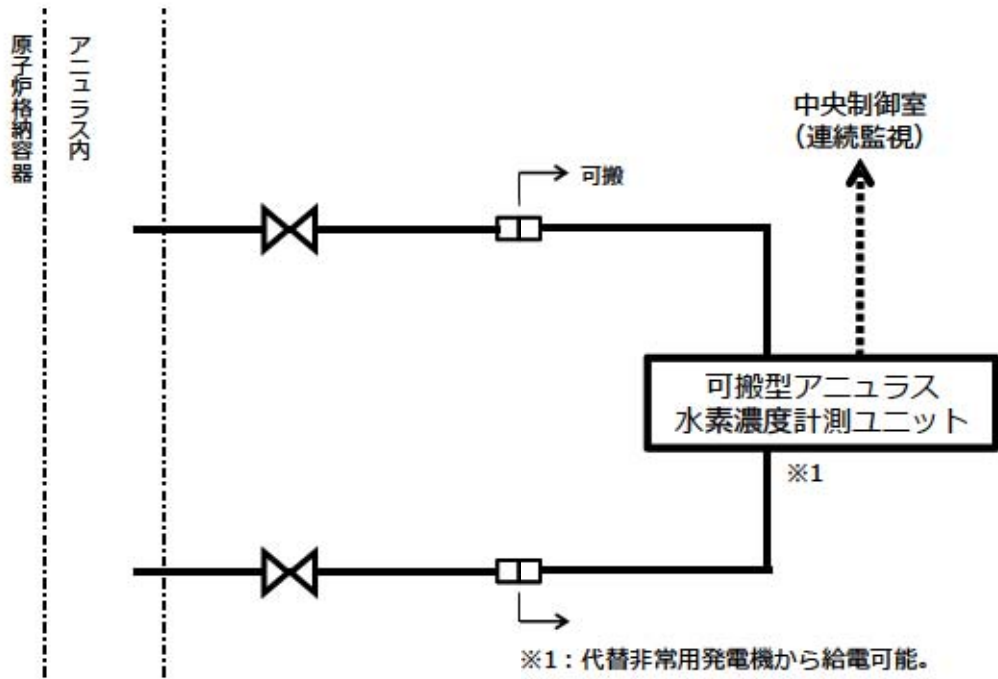


図-1 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットを使用したアニュラス水素濃度測定

水素濃度監視設備に対する要求に係る適合性について

1. 基準要求事項の整理

設置許可基準規則第53条及びその解釈において、原子炉格納容器から漏えいする気体状の放射性物質を格納するための施設の水素爆発による損傷を防止する必要がある場合には、「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に必要な設備」として、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で推定できる監視設備を設置することが要求されている。

2. 基準に対する対応及び解釈

(1) 基準対応

炉心の損傷により発生した水素の一部は、アニュラスへ漏れ出すため、アニュラス内の水素濃度の状況を監視するために、アニュラス内に常設しているアニュラス水素濃度計（多様性拡張設備）にて水素濃度を直接監視する。

しかし、アニュラス水素濃度計は、炉心の損傷後の経過により、温度や放射線の環境条件から測定できなくなるため、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットをアニュラスに接続し、アニュラス内雰囲気ガスの水素濃度の測定を実施する。

(2) 解釈

水素濃度監視設備は、炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉建屋等の水素爆発による損傷を防止するため、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で推定できる必要がある。ここで、水素濃度が変動する可能性のある範囲は、可燃限界未満（4%未満）である。

○可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの計測範囲は、水素濃度0～20%であり、アニュラス内の水素濃度で変動が想定される範囲に対して網羅している。

○原子炉格納容器からアニュラスへの漏えい率を0.16%/dayとし、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタでの水素処理に期待せず、アニュラス空気浄化ファンの排気流量を10m³/minとして、アニュラスの水素濃度を評価した結果、アニュラス内の水素濃度はドライ換算水素濃度0.2%程度であり、可燃限界未満である。

○原子炉格納容器からアニュラスへの漏えい率を0.16%/dayとし、原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタでの水素処理及びアニュラス空気浄化ファンの排気機能に期待せずにアニュラスの水素濃度を評価した結果、7日後においてアニュラス内の水素濃度はドライ換算水素濃度1.9%程度であり、可燃限界未満である。

○全交流電源喪失時にも、電源復旧後、早期に代替空気（窒素）を用いた系統構成を行い、約25分でアニュラス空気浄化ファンを起動する手順を整備しており、その後、アニュラスに可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットを接続することで、水素濃度を監視可能である。

○可燃限界未満である状態と評価しているタイミングで、アニュラスに可搬型アニュラス水素

濃度計測ユニットを接続し測定を開始するため、可燃限界未満での測定開始が可能である。

3. 結論

水素濃度監視設備に対する要求である「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で推定できる監視設備を設置すること」については、アニュラスに可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットを接続し、アニュラス内雰囲気ガスの水素濃度を直接計測することで、可燃限界未満（変動する可能性のある範囲）にて監視可能であることから基準要求を満足している。

4. 添付資料

別紙1－添付1 アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待しない場合）

別紙1－添付2 アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待する場合）

以上

アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待しない場合）

1. アニュラス水素濃度

(1) 検討条件

項目		備考
格納容器漏えい率		有効性評価（被ばく評価）に用いた漏えい率
原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタの水素処理		期待しない
アニュラス排気		期待しない
長期的水素生成	放射線水分解	有効性評価解析（水素燃焼）適用値
	アルミ金属腐食による水素生成量	事故発生直後に全量腐食を仮定
	亜鉛金属腐食	亜鉛は湿度により腐食速度が変化しないため、一定割合を想定

(2) 評価

アニュラス内では格納容器壁温度と外部遮へい側壁温度では差があり、対流が生じることにより混合され均一になると考えられることから、水素のみ上部に成層化することは考えにくく、水素濃度は事故後7日間の蓄積を考慮しても可燃限界未満の1.9%となる。

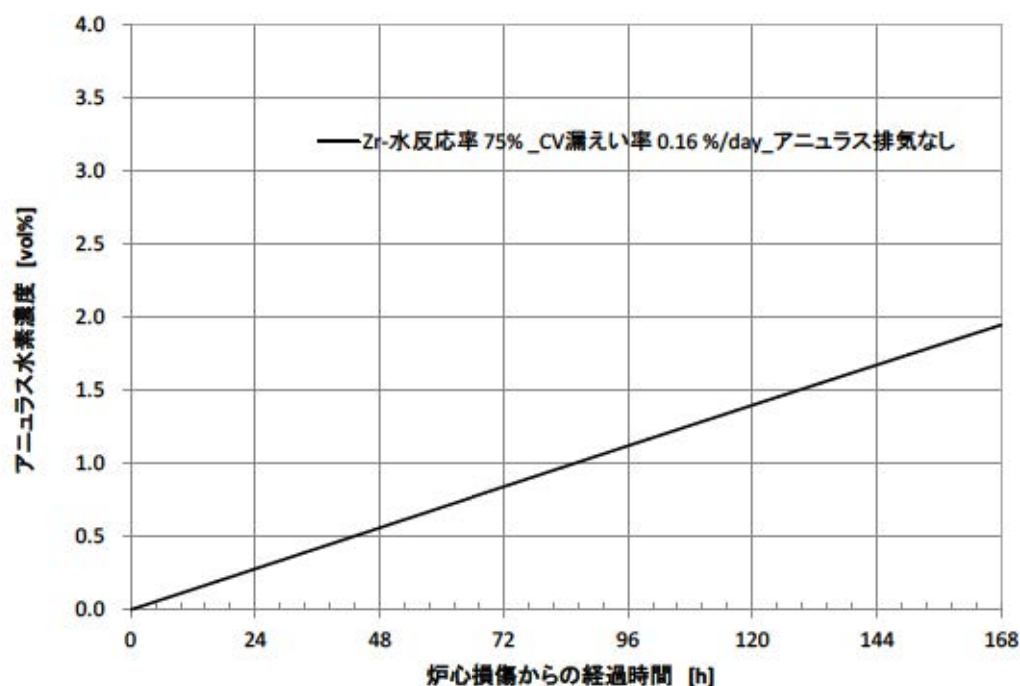


図 アニュラス水素濃度（7日間）

アニュラス水素濃度（アニュラス排気に期待する場合）

1. 有効性評価の重大事故時におけるアニュラス水素濃度評価について

重大事故等対策の有効性評価における原子炉格納容器雰囲気温度の最高値約141℃、原子炉格納容器圧力の最高値約0.360MPa[gage]では、原子炉格納容器の構造健全性及びシール機能は十分に保たれ、放射性物質の閉じ込め機能を維持することができる。

これらの前提のもと、有効性評価における被ばく評価においては、原子炉格納容器圧力（MAAP解析結果）に応じた漏えい率に余裕を見込んだ、0.16%/dayを用いて評価し問題ないことを確認している。

ここでは、格納容器からアニュラスへのCV漏えい率について、「重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい」として、この被ばく評価での漏えい率を用いたアニュラス水素濃度評価を行った。

評価に使用した値としては、主に①CV漏えい率②水素混合気の条件③アニュラス排気流量があり、その他使用値を含めてそれぞれの設定根拠を表1に示す。

表1 評価に使用した値の設定根拠

		値	備考
①CV 漏えい率		0.16%/day	原子炉格納容器圧力 (MAAP 解析結果) に応じた漏えい率に余裕を見込んだ値。被ばく評価に適用した値。
②水素混合気の状態		ドライ水素濃度 (11.8%)	原子炉格納容器内水素処理装置及び格納容器水素イグナイタの水素処理に期待しない場合の、ジルコニウム 75%反応時の CV 内ドライ水素濃度ピーク値を使用。
③アニュラス排気流量		10m ³ /min	アニュラス内の気密性が高い建設時の試運転結果を基にした、アニュラス排気流量 (約 30m ³ /min) から、さらに保守的な流量として、10m ³ /min を使用。 (別紙参照)
CV 自由体積		65,500m ³	添付十記載の最小値
アニュラス体積		7,860m ³	アニュラス負圧達成評価使用値
長期的水素生成	放射線水分解	あり	有効性評価解析 (水素燃焼) 適用値
	アルミ金属腐食による水素生成量	144.4kg	事象発生直後に全量腐食を仮定
	亜鉛金属腐食	約 0.7kg/h	亜鉛は温度により腐食速度が変化しないため、一定割合を想定。

1. 1 評価に使用している計算式

評価に使用している計算式を以下に示す。

$$CV \text{ 内空気モル数} = \frac{PV}{RT} = \frac{101325[Pa] \times 65500[m^3]}{8.314 [J/K \cdot mol] \times (49[^\circ C] + 273.15)} = 2.48E+6 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$CV \text{ 内水素モル数} = \frac{Zr \text{ 質量}[kg] \times Zr \text{ 反応率} \times 1000 \times 2}{Zr \text{ 分子量}[g/mol]} = \frac{20200 \times 1000 \times 2}{91.224} \times Zr \text{ 反応率} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$$\text{ドライ換算水素濃度} = \frac{\text{水素モル数}}{\text{水素モル数} + \text{空気モル数}} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$\text{アニュラスへの漏えいモル流量} [mol/hr] = \frac{CV \text{ 内水素混合気モル数} \times CV \text{ 漏えい率} [\%/day]}{100 \times 24[hr]} \dots \dots \textcircled{4}$$

1. 2 評価結果

上記より算出した評価結果を図1及び表2に示す。

重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい率にて評価した結果、アニュラス水素濃度は可燃領域に至らず、十分に低濃度になると評価された。

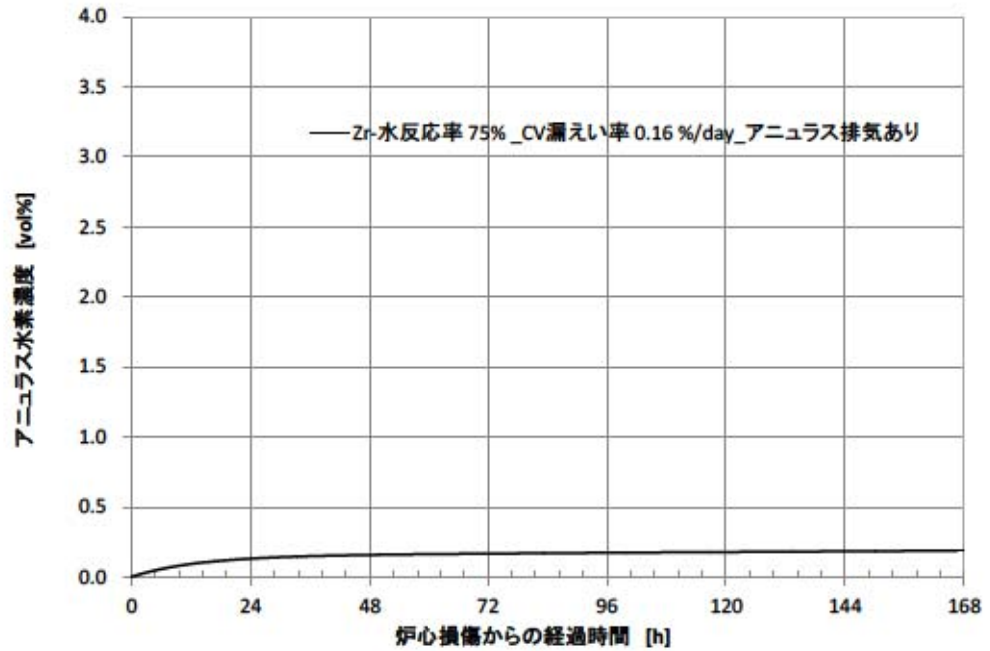


図1 アニュラス水素濃度

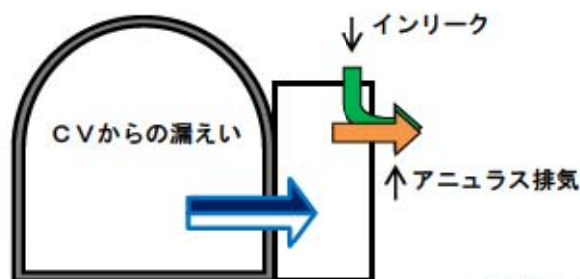
表2 評価結果

	①CV 漏えい率	②水素混合気の種類	③アニュラス排気流量	評価結果
重大事故等対策の有効性評価から想定した場合の漏えい	0.16%/day	ドライ換算水素濃度 (11.8%)	10m ³ /min	ドライ水素濃度 0.2%

アニュラス水素濃度評価に用いたアニュラス排気流量の設定について

アニュラス空気浄化ファンについては、全量排気モードと少量排気モードがある。これらのうち、アニュラス水素濃度の評価に用いたアニュラス排気流量については、少量排気モードの流量を設定している。これは、アニュラス水素濃度評価においては、アニュラス排気流量が少ないほうが、アニュラスへのインリーク量（外気からの空気取り入れ量）が少なく、評価に厳しいためである。

したがって、アニュラス水素濃度評価に用いた少量排気モードの流量については、以下のアニュラス内の気密性が高い建設時の試運転結果を基にした、アニュラス排気流量（約 $30\text{m}^3/\text{min}$ ）から、さらに保守的な流量として、 $10\text{m}^3/\text{min}$ を使用している。



排気モードにより流量が異なる

全量： $250\text{m}^3/\text{min}$

少量： 試運転結果 $30\text{m}^3/\text{min}$

アニュラス水素濃度の測定原理について

1. 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットについて

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、著しい炉心の損傷が発生した場合に、原子炉格納容器からアニュラス内へ漏えいする水素を監視する目的で、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。また、常設しているアニュラス水素濃度計においては、アニュラス内の環境悪化において健全性が担保できないことから、重大事故の初期状態において、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットをアニュラスに接続し、アニュラス内雰囲気ガスの水素濃度を測定する設計としている。

PWRプラントでは、炉心損傷時に原子炉格納容器内に発生する水素濃度を制御し、原子炉格納容器外へ排出する等の操作はない。このため、可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、事故時に原子炉格納容器からアニュラス内に漏れこむ水素を想定し、アニュラス内の水素濃度が水素燃焼を生じないことを監視できる必要がある。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、事故初期に容易に準備対応ができ、炉心損傷時の環境条件に対応できるものであることが求められ、測定範囲は、アニュラス内の水素濃度が可燃限界以下であることが確認できる必要がある。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、水素の熱伝導率が空気、窒素及び酸素等と大きく異なることを利用した水素に着目した熱伝導度方式の濃度計であるため、事故時に酸素濃度等のガス成分に変動があっても熱伝導率に大きな変化がないが、後述するシステムとしての計測精度を認識した上で、重大事故対処時のアニュラス内の水素濃度の監視に対応できるものとしている。

2. 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの測定原理

(1) 測定原理

熱伝導度方式の水素検出器は、図-1に示すとおり、白金線のフィラメントで構成する検知素子及び補償素子並びに2つの固定抵抗でブリッジ回路を構成している。検知素子の部分に、採取されたアニュラス内雰囲気ガスが流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いる。また、アニュラス内雰囲気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アニュラス内雰囲気ガスが同様に流れ、温度補償が考慮された構造である。)

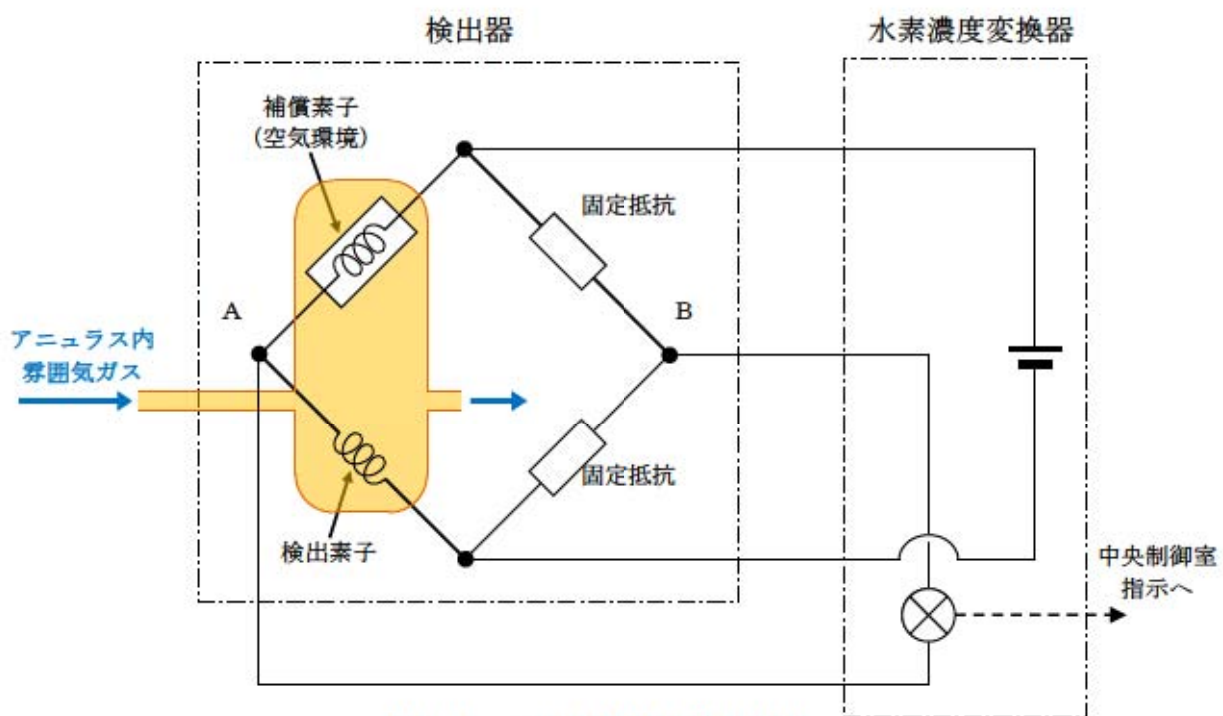


図-1 水素検出回路概要図

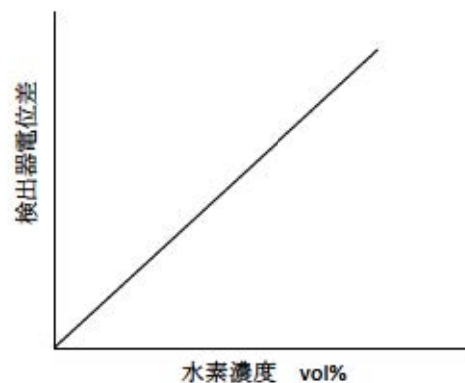


図-2 水素濃度と検出器電位差の関係

水素濃度計は、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、標準空気に対するアニュラス内雰囲気ガスの熱伝導率の差を検出する方式のものである。

水素の熱伝導率は、 $0.18\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ at 25°C , 1atm である一方、酸素、窒素は、約 $0.026\sim 0.027\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ at 25°C , 1atm で基準となる空気（約 $0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ at 25°C , 1atm）と熱伝導率がほぼ同じであり、空気内主要成分は窒素が78vol%程度、酸素が20vol%程度であることから、アニュラス内雰囲気ガスにおける水素濃度に着目したプロセス計器として適用できるものである。

ガスの種類	熱伝導率 (mW/m·K) at 25°C, 1atm
水素	180.6 (0.18W/(m·K))
窒素	25.84
酸素	26.59
空気	25.9 (約0.026W/(m·K))

(2) 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの構造

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの構造概要は図-3のとおりである。

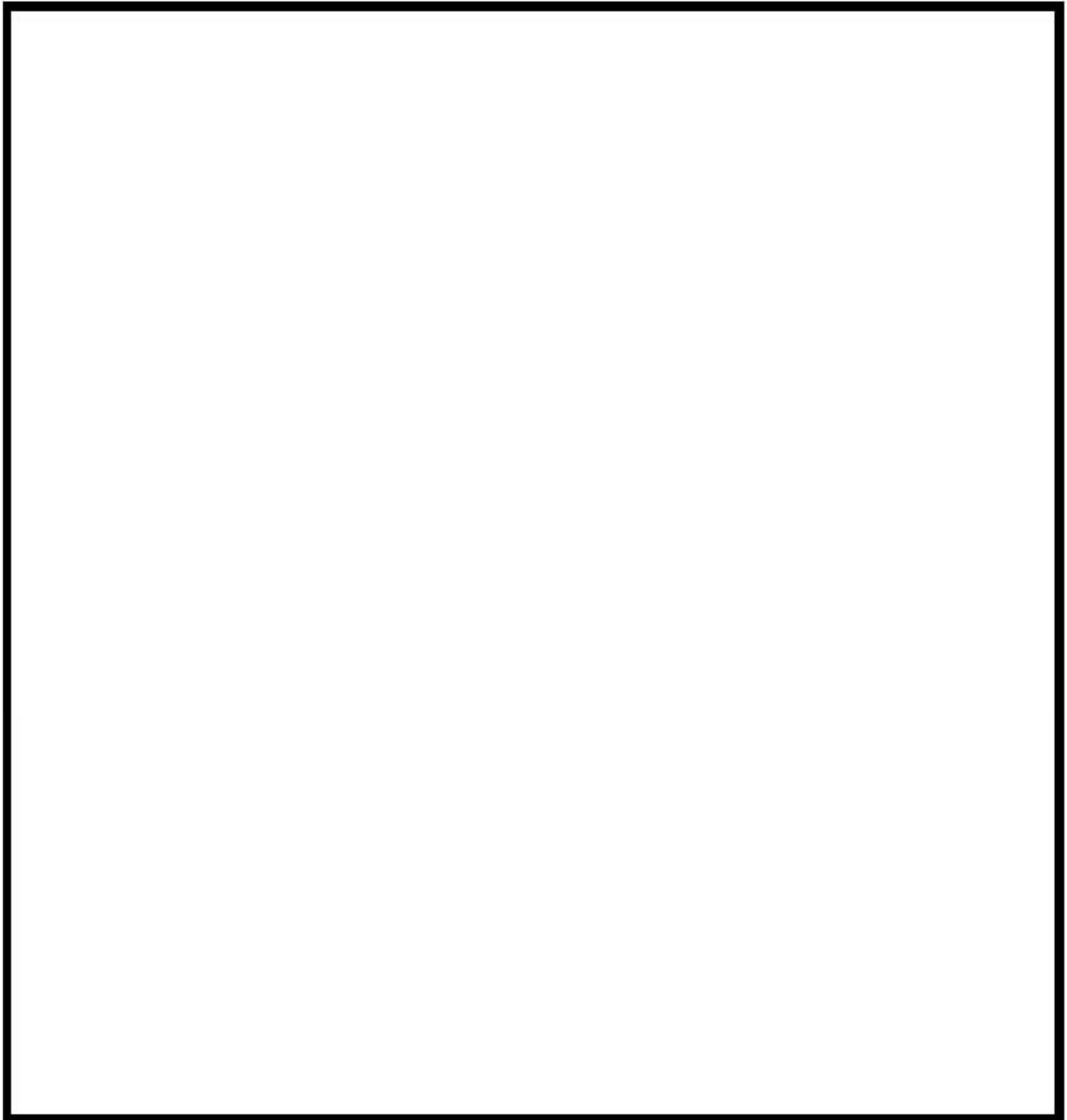


図-3 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット（基本構成図）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの仕様と水素濃度測定システムの構成

(1) 可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの基本仕様

測定レンジ：水素濃度0～20vol%に設定

測定精度：±5%span

上記測定レンジの空气中水素濃度に対して±1vol%

使用温度範囲：-10～70℃

使用圧力範囲：大気圧（±10kPa）

測定ガス流量：約1ℓ/min

計測範囲0～20vol%において、計器仕様上は最大±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、十分に事故対処時の水素濃度の指示を監視していくことができる。

(2) 水素濃度測定システムの構成

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの構成を図-4に示す。

可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットをアニュラスに接続し、アニュラス内雰囲気ガスの水素濃度を測定する。可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットの検出器からの信号は、中央制御室の指示計に表示されるため、中央制御室での水素濃度の監視が可能である。

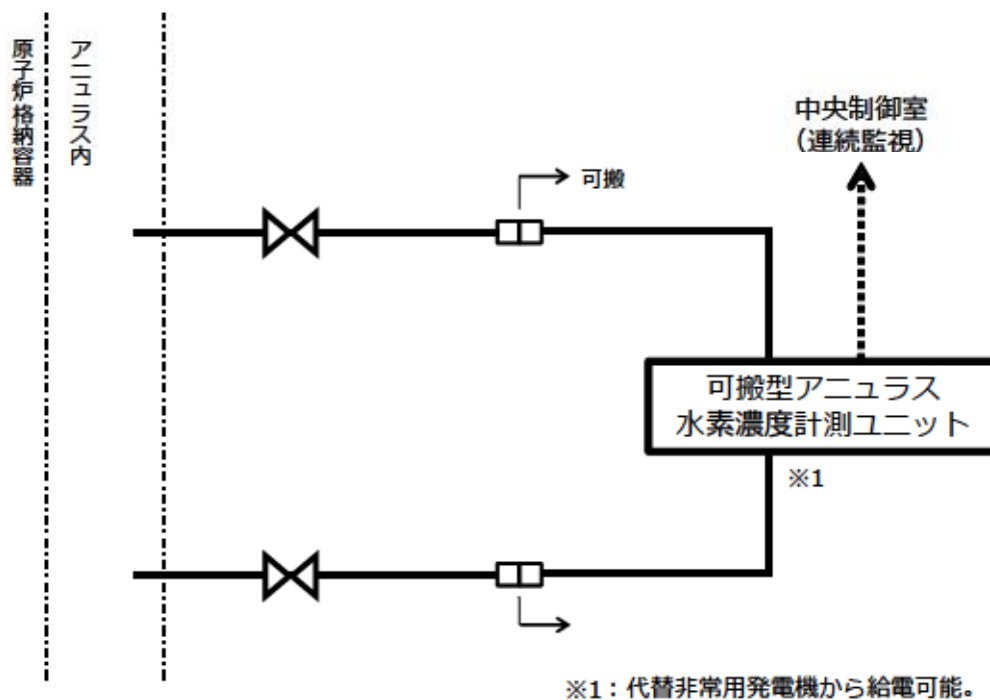


図-4 アニュラス空気再循環設備

(3) 測定ガス条件の水素濃度測定精度への影響評価

a. 温度

アニュラス内雰囲気ガスはアニュラスより直接採取し、検出器までの配管での放熱により検出器の適用温度範囲内まで冷却され、検出器に供給される。また、標準空気が密封された補償素子の周囲にもアニュラス内雰囲気ガスが流れることで、標準空気の温度がアニュラス内雰囲気ガス温度に追従するように温度補償される検出器構造となっている。したがって、使用する条件下において水素濃度測定への影響は十分小さい設計としている。なお、水素濃度4vol%の試料ガスについて、温度を20℃～60℃の範囲で変化させて試験を行い、有意な水素濃度の変化が認められないことを確認している。(図-5)



図-5 各温度条件での水素濃度出力値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

b. 流量

検出器へ流れるアニュラス内雰囲気ガスの流量は、10/min 程度となるよう流量調整している。なお、検出器へ流れるアニュラス内雰囲気ガス流量を約0.6~1.20/min の範囲で変化させた試験を行い、水素濃度計の指示に有意な変化が認められないことを確認している。

c. 湿分

検出器へ流れるアニュラス内雰囲気ガスの水蒸気が除去されていない場合は、水素濃度測定値へ影響することが考えられる。しかし、湿度が変動する要因として、アニュラス内雰囲気温度が考えられるが、アニュラス内雰囲気温度の急激な変動は考えられないため、検出器での湿度はほぼ一定であり、水素濃度測定へ影響を及ぼすことはない。なお、水素濃度0~20vol%、温度20℃の試料ガスについて、相対湿度を30~90%RH の範囲で変化させた試験を行った。その結果、水素濃度20vol%において0.5vol%程度の変化は見られるものの、相対湿度の変化に対して、水素濃度指示に有意な変化が認められないことを確認している。(図-6, 7)

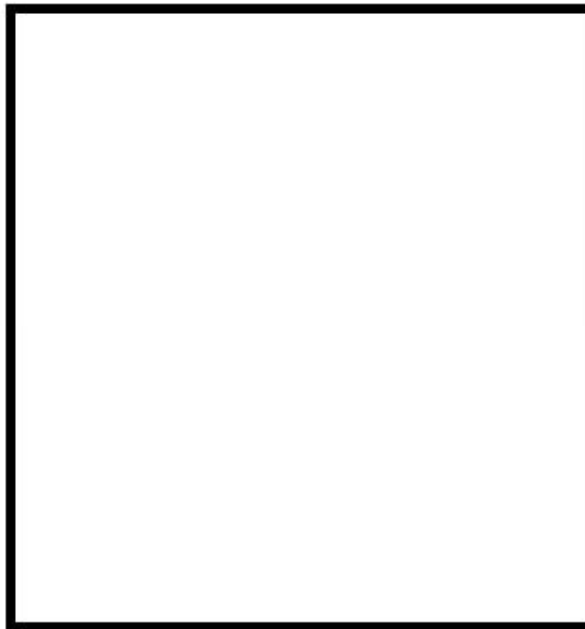


図-6 20℃における湿度依存性

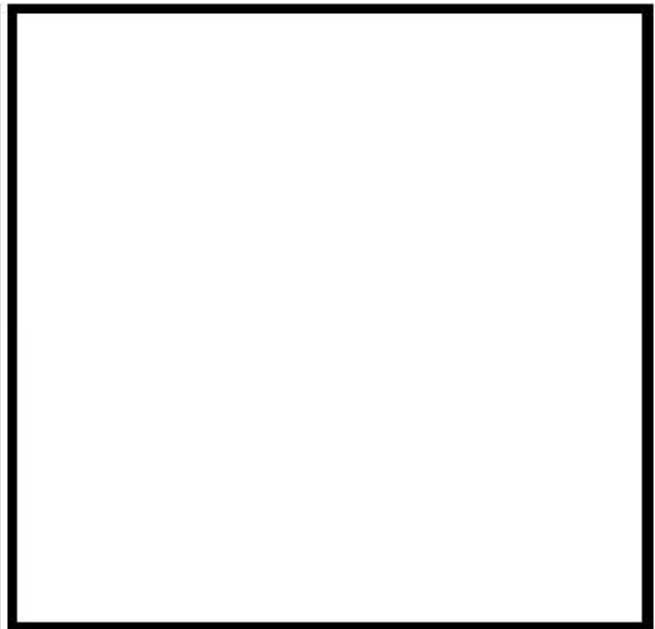


図-7 20℃における各湿度条件での感度特性

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

水素濃度計測に伴うアニュラス内雰囲気ガスの冷却について

1. はじめに

泊3号機の重大事故等対策の有効性評価におけるアニュラス内雰囲気温度は、最高で120℃程度まで上昇する。一方、重大事故時の可搬型アニュラス水素濃度計測ユニットは、水素濃度検出器の使用範囲-10～70℃となっているが、アニュラス内雰囲気ガスは、水素濃度検出器に供給される過程のサンプリング配管での放熱により冷却されることを確認している。

ここでは、以上の放熱によるサンプリングガスの冷却の評価について以下に纏める。

2. 評価条件

本評価に使用した条件は以下の通りである。

項目	値	備考
アニュラス内雰囲気ガス入口温度 T_1	125℃	有効性評価結果に余裕を見込んだ温度を設定している。
アニュラス内雰囲気ガス出口温度 T_2	65℃	水素濃度計の吸込み温度条件 (70℃以下) に余裕を見込んだ温度を設定している。
管外雰囲気温度 T_∞	60℃	SA 時有意な発熱がない一般エリアの温度
サンプル流量 q	10NL/min (0.6Nm ³ /h) ($q = (0.6\text{Nm}^3/\text{h} \times 29\text{g/mol} / (22.4 \times 10^{-3}\text{Nm}^3)) / 10^3\text{g/kg} / 3600\text{s/h} \approx 2.2 \times 10^{-4}\text{kg/s}$)	測定ガス流量約 1L/min に保守的に余裕を見込んだ流量を設定している。
アニュラス内雰囲気ガス入口絶対湿度 x	0.028kg/kg	アニュラス内環境条件より設定している。
サンプリング配管	外径 d_{out} : 27.2mm 内径 d_{in} : 22.2mm	3/4 ^B Sch20s で計画している。

3. アニュラス内雰囲気ガスの放熱冷却に必要な配管長の算出

125℃のアニュラス内雰囲気ガスを65℃まで冷却するために必要な交換熱量 Q [W]はアニュラス内雰囲気ガスの顕熱変化量 Q_1 [W]およびアニュラス内雰囲気ガス中に含まれる湿分の凝縮熱量 Q_2 [W] (保守的に湿分すべてが凝縮すると仮定) より以下の通り表される。

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad [\text{W}] \quad (1)$$

なお、 Q_1 、 Q_2 は以下式で算出される。

$$Q_1 = q \times C_p \times (T_1 - T_2) \quad [\text{W}]$$

$$Q_2 = q \times x \times (h_1 - h_2) \quad [\text{W}]$$

ここで C_p : アニュラス内雰囲気ガス比熱 [kJ/(kgK)] ($C_p = 1.01$ kJ/(kgK))

h_1 : T_1 における飽和蒸気エンタルピー [kJ/kg] ($h_1 = 2713$ kJ/kg)

h_2 : T_2 における飽和水エンタルピー [kJ/kg] ($h_2 = 272$ kJ/kg)

一方、対流熱伝達による交換熱量 Q' は以下式で表される。

$$Q' = \pi \times L \times d_{\text{out}} \times K \times \Delta T_m \quad [\text{W}] \quad (2)$$

ここで L : 必要配管長 [m]

d_{out} : 採取配管外径 [m]

K : 円管における熱通過率 [W/(m²K)] ($K = 2.3$ W/(m²K))

ΔT_m : 対数平均温度差 [K]

($\Delta T_m = (T_1 - T_2) / \ln \{ (T_1 - T_\infty) / (T_2 - T_\infty) \} = 23$ K)

$Q = Q'$ とすると放熱冷却に必要な配管長は(1)式および(2)式より以下の通り算出される。

$$L = (Q_1 + Q_2) / (\pi \times d_{\text{out}} \times K \times \Delta T_m) \quad (3)$$

したがって、アニュラス内雰囲気ガス温度を125℃から65℃まで放熱冷却するために必要な配管長は(3)式より以下の通り約7m となる。

$$L = (13.4\text{W} + 15.1\text{W}) / (\pi \times 0.0272\text{m} \times 2.3\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \times 23\text{K}) = 6.3048 \dots \text{m} \approx 7\text{m}$$

4. まとめ

上記の通り、アニュラス内雰囲気ガス温度を125℃から65℃まで放熱冷却するために必要な配管長を評価した結果、必要配管長が約7mであるため、採取配管入口から可搬型アニュラス水素濃度計測ユニット入口までの配管長において、放熱冷却に対し十分な配管長を確保した設計とする。

なお、アニュラス内雰囲気ガス入口温度が現在想定している125℃より高温となる場合においては、顕熱変化量 Q_1 が増加するものの、この変化に比例して管内外の温度差も大きくなり対流熱伝達による交換熱量 Q' も増加するため、結果的に放熱冷却に必要な配管長として有意な影響はない。

以上