

泊発電所 3 号炉

静的機器の単一故障に係る設計

格納容器スプレイ系統における単一故障について

補足説明資料

平成 26 年 9 月 2 日

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。

## 第12条：安全施設

### <目次>

#### 1. 基本方針

##### 1.1 要求事項の整理

##### 1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

###### （1）位置、構造及び設備

###### （2）安全設計方針

###### （3）適合性説明

##### 1.3 気象等

##### 1.4 設備等

#### 2. 安全施設

##### 2.1 静的機器の単一故障

###### 2.1.1 長期間にわたり安全機能が要求される単一設計箇所の抽出

###### 2.1.2 原子炉格納容器スプレイ設備の基準適合性

今回御説明分

###### 2.1.3 アニュラス空気浄化設備及び中央制御室空調装置の基準適合性

###### 2.1.4 試料採取設備（事故時サンプリングライン）の基準適合性

##### 2.2 安全施設の共用

###### 2.2.1 共用設備の抽出方法

###### 2.2.2 相互接続設備

###### 2.2.3 共用設備の基準適合性の判断基準

###### （別添資料1） 単一故障（補足説明資料）

今回御説明分

###### （別添資料2） 共用（補足説明資料）

#### 3. 技術的能力説明資料

##### （別添資料3） 安全施設

### 2.1.2 原子炉格納容器スプレイ設備の基準適合性

設置許可基準規則第 12 条及び同解釈において、重要度が特に高い安全機能を有するものは、単一故障が発生した場合においても機能できることが求められており、具体的には、事象発生後短期間では動的機器の単一故障を、また長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成できるように設計する必要がある。

原子炉格納容器スプレイ設備は、事故時に運転する機器であり、通常待機状態である。格納容器スプレイリング・立上り配管は、格納容器内で非閉鎖系の開放端となっており、定期試験時を含めて加温・加圧されることはなく、通常運転時の格納容器内雰囲気温度、圧力で保持されている。

機能が要求される事故時においては、使用環境が通常時と異なる（温度、圧力上昇）が、設備は事故時の環境条件を想定した設計をしており、使用条件としては厳しい状態にはならない。また、設備は耐震 S クラスで設計されており、信頼性は高い。

このように静的機器の単一故障については、動的機器の単一故障に比べて故障率が小さいと考えられるが、規則への厳格な適合性の観点から、泊発電所 3 号炉の静的機器の単一設計箇所を有するとして抽出された格納容器スプレイ設備について、安全機能に最も影響を与えると考えられる静的機器の単一故障を想定し、設備対策についての検討、影響評価を実施することにより、設置許可基準規則第 12 条第 2 項への適合性、および同解釈 4 に記載されている「所定の安全機能を達成できるように設計されていること」への適合性を確認した。

(1) 格納容器スプレイ設備の多重化について

現状の泊発電所3号炉の格納容器スプレイ設備は図1に示すとおり、格納容器内立上り配管、スプレイリングを単一設計としていたが、新規規制基準への厳格な適合性の観点から、格納容器内立上り配管を多重化することとした。この設計の考え方について以下に説明する。

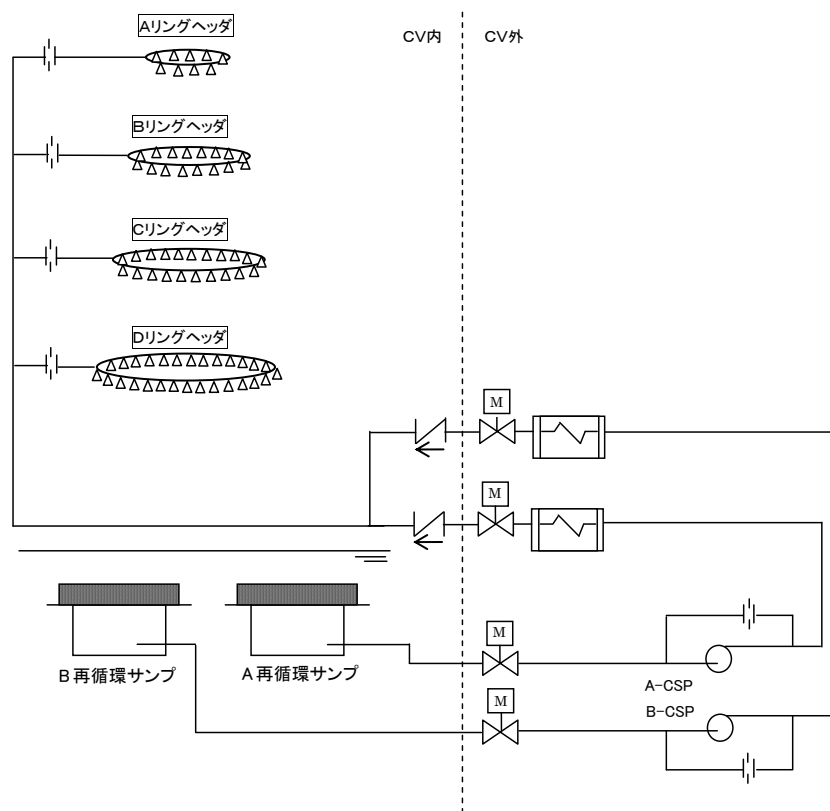


図1 従来の格納容器スプレイ系統

a. 想定する単一故障について

(a)建設当時の設計の考え方について

格納容器スプレイ系統はクラス2、耐震Sクラスとして設計しており、格納容器内立上り配管については通常時、及び使用条件下の運転条件を考慮しても、設備設計上の信頼性は十分に確保されていることから故障は想定し難い。このことから設計当時、スプレイリングに対しては、静的機器の単一故障（スプレイリングにかかるフランジ部からの漏えい（50gpm<sup>※</sup>=約11m<sup>3</sup>/h）を仮定するよりも動的機器の単一故障（スプレイポンプの1台停止）を仮定するほうが格納容器の健全性評価上厳しい想定となり、解析評価上の差はないと評価していた。

※ 設計当時、想定すべき静的機器の単一故障の規模について、安全設計審査指針の「想定される」の定義から設計上有意な頻度で発生すると考えられる程度の故障を仮定することを求めていると解釈していたが、「有意な頻度で発生すると考えられる」の故障の頻度について明確な判断基準が

なかった。

一方、故障規模の検討の結果、少なくとも、配管の破断、面積の大きなクラックなどの大規模な損傷を想定する必然性はないと考え、溢水対策等に関連する配管系の故障として 50gpm(約 11m<sup>3</sup>/h)の漏えいを想定した。

さらに、スプレイ配管を1系列化しても、静的機器の単一故障(50gpmの漏えい)は変わらない上、動的機器の単一故障によりポンプ1系列作動の場合のスプレイ流量は同一であるので、従来と評価上の差はないとした。

#### (b) 新規制基準への適合性について

今回、設置許可基準及び解釈で安全上重要度の高い静的機器の信頼性について規定された。このため当該設備については、き裂からのリーク、ノズル1個の閉塞も発生する可能性は非常に小さいと考えられるが、静的機器の単一設計箇所についての信頼性を確認するため、米国 SRP BTP3-4 の B.C.(iii)(3)に規定のある、配管内径の 1/2 の長さと同径の配管肉厚の 1/2 の幅を有する貫通クラックからのリークを想定される静的機器の単一故障とし、所定の安全機能を達成できることを示すこととした。

しかし、今回、新規制基準適合性に対する審査において、実用発電用原子炉及びその附属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則における定義より、単一故障については「所定の安全機能を失うこと」とされており、配管の機能が流体を運ぶことと考えると、その単一故障は「流路が断たれること」とすべきとの解釈が示された。

そこで、当該設備に要求される格納容器の冷却機能が喪失する単一故障として、想定される最も過酷な条件である完全機能喪失となる「全周破断」を想定することとした。

なお、格納容器内立上り配管、スプレイリングが単一設計の場合、「完全閉塞」については「全周破断」と同様に最も過酷な条件となるが、後述の格納容器内立上り配管増設後においては「全周破断」が最も厳しくなるため、ここでは統一して単一故障として「全周破断」を想定することとした。

#### b. 多重性の確保について

格納容器内立上り配管に「全周破断」を仮定すると、上流側の A、B 系統の格納容器スプレイ系統がいずれも健全な場合においても、スプレイ水がスプレイリングに供給できなくなるため、スプレイ流量は確保できない。したがって、格納容器スプレイ系統に求められる安全機能である「格納容器の冷却機能」を達成することが出来ず、多重性が確保されているとはいえない。

このため、格納容器内立上り配管に「全周破断」を仮定しても、格納容器スプレイ系統が機能できるようにする方策として、スプレイリング・立上り配管の追設について、以下の観点・目標で検討した。

- 動的機器の単一故障を想定した場合の安全評価結果が従来と変わらないこと<sup>※1</sup>

- 工事が成立すること及び改造工事後の保守管理性に問題がないこと
  - 故障リスクの低い静的機器で構成すること
  - 静的機器の単一故障を想定した場合の安全評価結果が従来の結果と同程度に収まること。
- ※1 動的機器の単一故障については、従来より最も厳しいケースとして考慮してきたものであり、従来の評価に影響を与えない設計とすることを目標としたものである。
- ※2 例えば定期的な点検が必要な機器を高所に設置する場合、点検するためにポーラークレーン上に足場の設置が必要になるなど、定期的には実施するには保守管理が非常に困難となる。また、機器を格納容器半球部に設置する場合等では、格納容器鋼板に近接することにより、十分なスペースが確保できないことから、保守管理性が問題となる。

検討の結果、格納容器内の配管合流部から格納容器スプレイリングに至るまでの立上り配管を追設することにより多重性を確保することとした。(図2参照)

(別添資料1 1章)

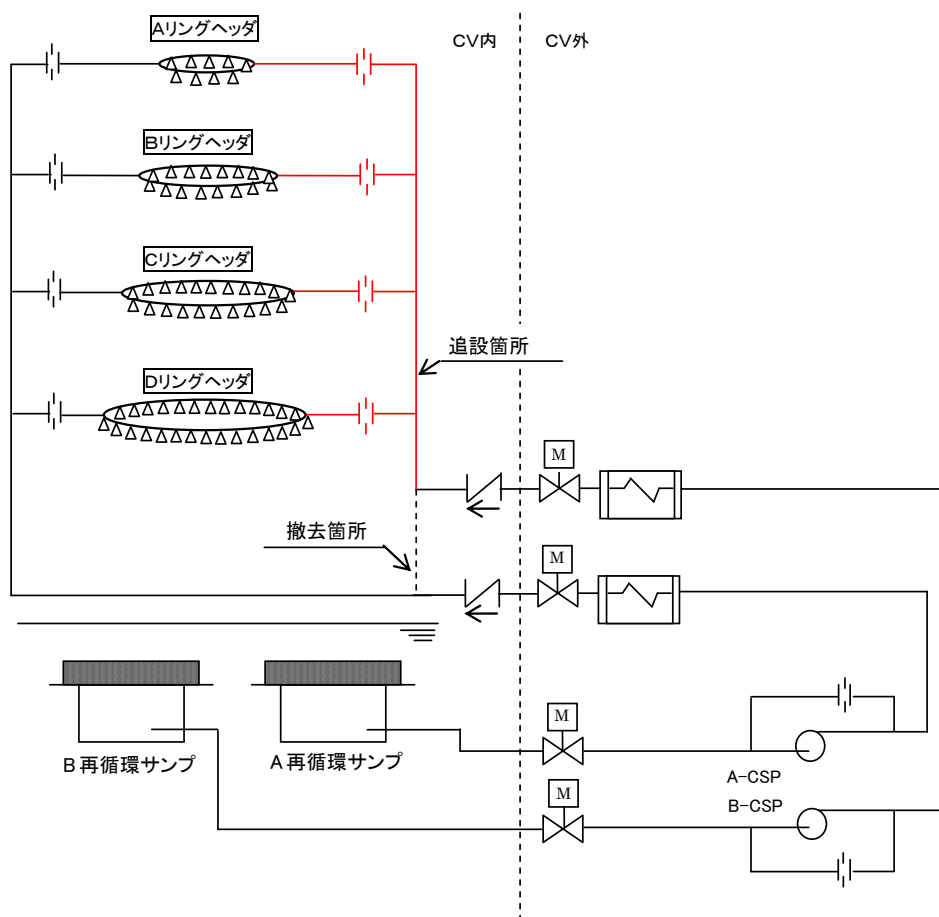


図2 スプレイ立上り配管の追設

(2) 格納容器内立上り配管を追設した上での設計検討

a. 想定する単一故障について

泊発電所3号炉の格納容器スプレイ系統はこのように立上り配管を追設した後においても、図2のように、A系統、B系統の配管が接続している格納容器スプレイリングが単一系統となる。この場合、立上り配管追設後において、「格納容器の冷却機能」等に影響を与えるスプレイ流量（スプレイリングからスプレイできる流量）が少なくなるのは、系統外への流出が生じる破損であることから、想定される最も過酷な条件として「完全閉塞」でなく「全周破断」を想定した\*。

※ 閉塞については、動的機器の単一故障を想定している現行の安全解析（原子炉冷却材喪失時の格納容器内圧等、添付書類十の解析）に包含される。

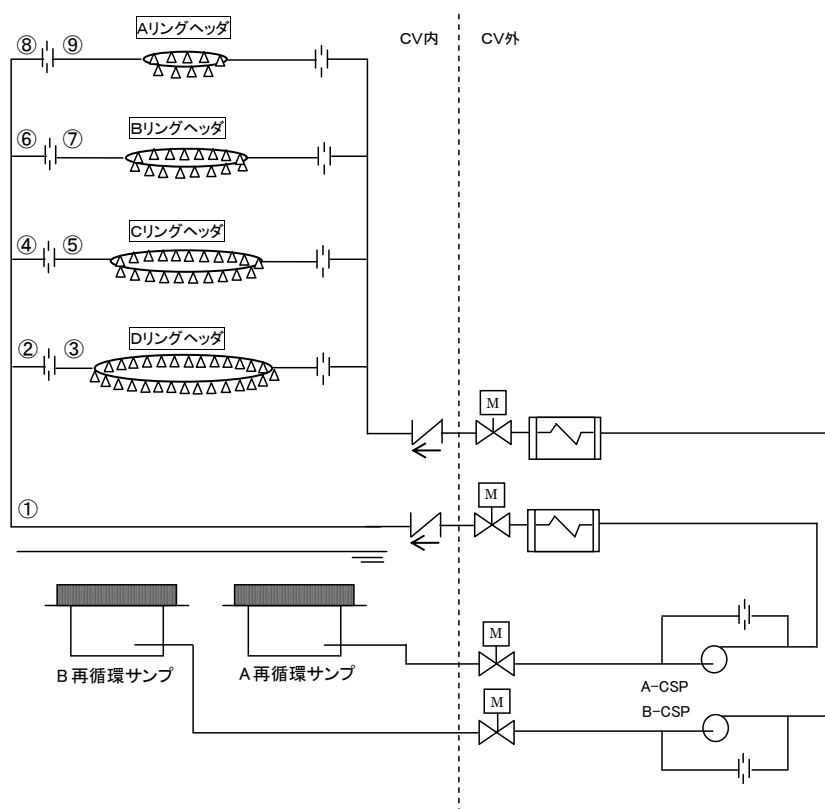


図3 立上り配管追設後の格納容器スプレイ系統と破損想定箇所

## b. 破断箇所の想定

泊発電所3号炉の格納容器スプレイ系統は立上り配管を追設した場合でも、配管の故障により、健全側系統のスプレイ流量に影響を与える可能性があることから、格納容器内逆止弁下流側からスプレイリングまでのスプレイ配管も全周破断の対象とした。この場合、全周破断を想定する位置としては、図3に示す9パターンが考えられる。

最もスプレイ流量が減少すると考えられる想定位置は、スプレイ駆動圧となる各スプレイリングヘッドの配管内圧と格納容器内圧の差が最も小さくなる場合である。

ここで、スプレイリングヘッド内の配管内圧（ $P$ ）、格納容器内圧（ $P_{CV}$ ）、各スプレイリングと破断点との静水頭差（ $\Delta H$ ）及び破断点までの配管抵抗による損失水頭（ $\Delta P$ ）の関係は次式となる。（図4参照）

$$P + \Delta H = P_{CV} + \Delta P$$

変形すると、次式となる。

$$P - P_{CV} = \Delta P - \Delta H$$

この式から、スプレイ駆動圧（ $P - P_{CV}$ ）は、破断点までの配管抵抗による損失水頭と、各スプレイリングと破断想定位置との静水頭差との差（ $\Delta P - \Delta H$ ）で表される。

スプレイ立上り配管で破断想定位置を変化させた場合、破断点までの配管抵抗による損失水頭の変化分（静水頭で数mオーダー）と破断点の違いによる各リングと破断点との静水頭差の変化分（数十mオーダー）を比べると、破断点との静水頭差の変化分の方が大きいため、スプレイ駆動圧が最も小さくなるのは、各スプレイリングと破断点との静水頭差が最も大きくなる場合となり、破断位置をスプレイ配管立上り部の最も低い位置とした場合である。

ここで、スプレイ立上り配管①、②、④、⑥、⑧に全周破断を想定すると、スプレイ駆動圧の関係式から、破断位置が最も低くなる①で破断を想定した場合が最もスプレイ流量が減少する。

なお、オリフィス下流側③、⑤、⑦、⑨に全周破断を想定した場合は、各リングヘッドのオリフィスの下流に破断口があり、破断口へ流れるスプレイ水がオリフィスにより制限されるため、それぞれ破断を想定する位置との静水頭差が同等である②、④、⑥、⑧と比較すると、スプレイ流量は多く確保可能である。

よって、図3に示す9パターンのうち、スプレイ立上り配管①が最も厳しい破断想定位置となり、その中でもスプレイ流量が最も少なくなる破断想定位置は、その位置が最も低いT.P. 33.9mとなる。



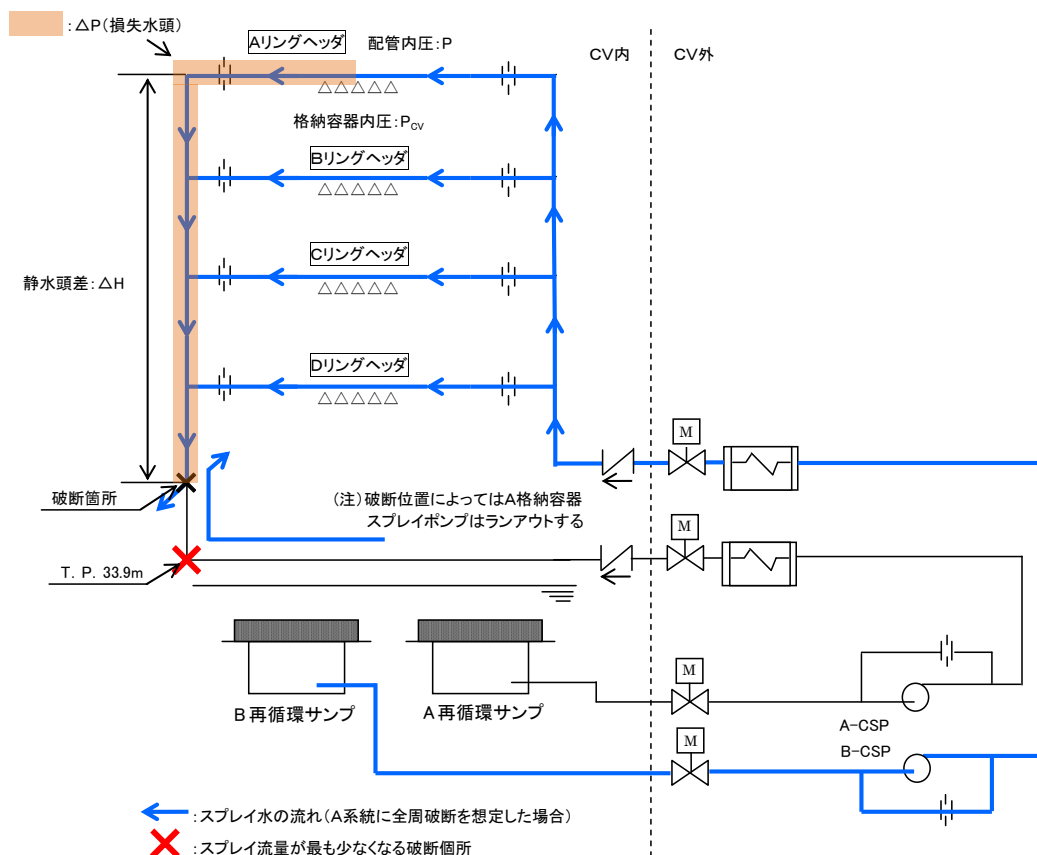
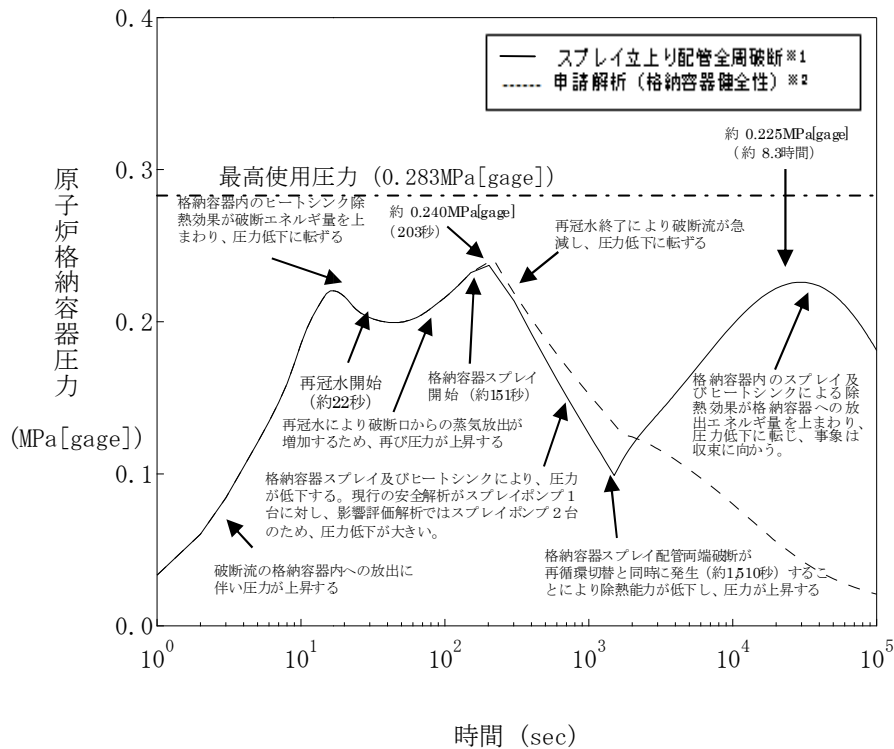


図4 スプレイ立上り配管の全周破断時のスプレイ水の流れ

c. 影響評価

スプレイ立上り配管 (T.P. 33.9m) の全周破断を想定すると、破断側系統のスプレイ水が破断口から格納容器内へ流出するだけでなく、健全側系統のスプレイ水の一部がスプレイリングを通じて回り込み、破断口から流出する。(図4参照)

このため、スプレイ流量は現行の安全解析で考慮している値 (格納容器スプレイポンプの単一故障を仮定し、健全側ポンプ1台での流量  $908\text{m}^3/\text{h}$ ) の約19%となり、その場合の格納容器内圧力及び雰囲気温度はそれぞれ図5及び図6のとおり、ピーク値は動的機器の単一故障を想定している現行の安全解析結果を下回るものの、第三のピークが生じることにより、環境への放射性物質の異常な放出に関する評価や可燃性ガスの発生に関する評価において厳しい結果となる。



- ※1 静的機器の単一故障を想定 (スプレイ配管立上り部の全周破断)
- ※2 動的機器の単一故障を想定 (格納容器スプレイポンプ1台運転)

図5 スプレイ立上り配管の全周破断を想定した場合の格納容器内圧力 (スプレイ流量として安全解析で考慮している値の19%の場合)

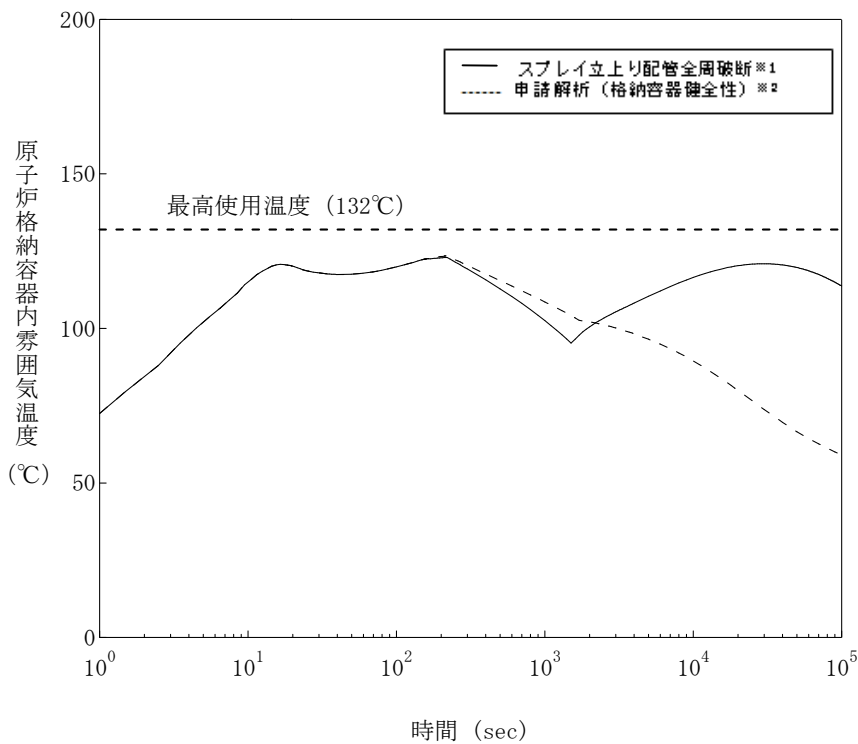


図6 スプレイ立上り配管の全周破断を想定した場合の格納容器内雰囲気温度 (スプレイ流量として安全解析で考慮している値の19%の場合)

(3) 立上り配管を追設した上での機能維持対策

a. 機能維持対策の検討

格納容器内スプレイ立上り配管 (T.P.33.9m) の全周破断を想定すると、(2) c. の影響評価の通り、立上り配管追設後においても厳しい結果となることが予想され、設計目標としていた「従来の評価と同程度」には収まらない見込みであることから、スプレイングを通じた回り込みを極力防ぐことで、従来の評価と同程度の裕度を確保するための機能維持対策を検討した。なお検討にあたっては、スプレイ設備多重化の方策検討と同様の設計目標とした。

その結果、図7示すDリングヘッダの接続配管のオリフィス下流部に逆止弁を設置した場合、Dスプレイングを通じてのスプレイ水の回り込みを防止できるとともに、Dスプレイングにおけるスプレイ水の確実な確保の観点から有効であることを確認した。

(別添資料1 1章、2章)

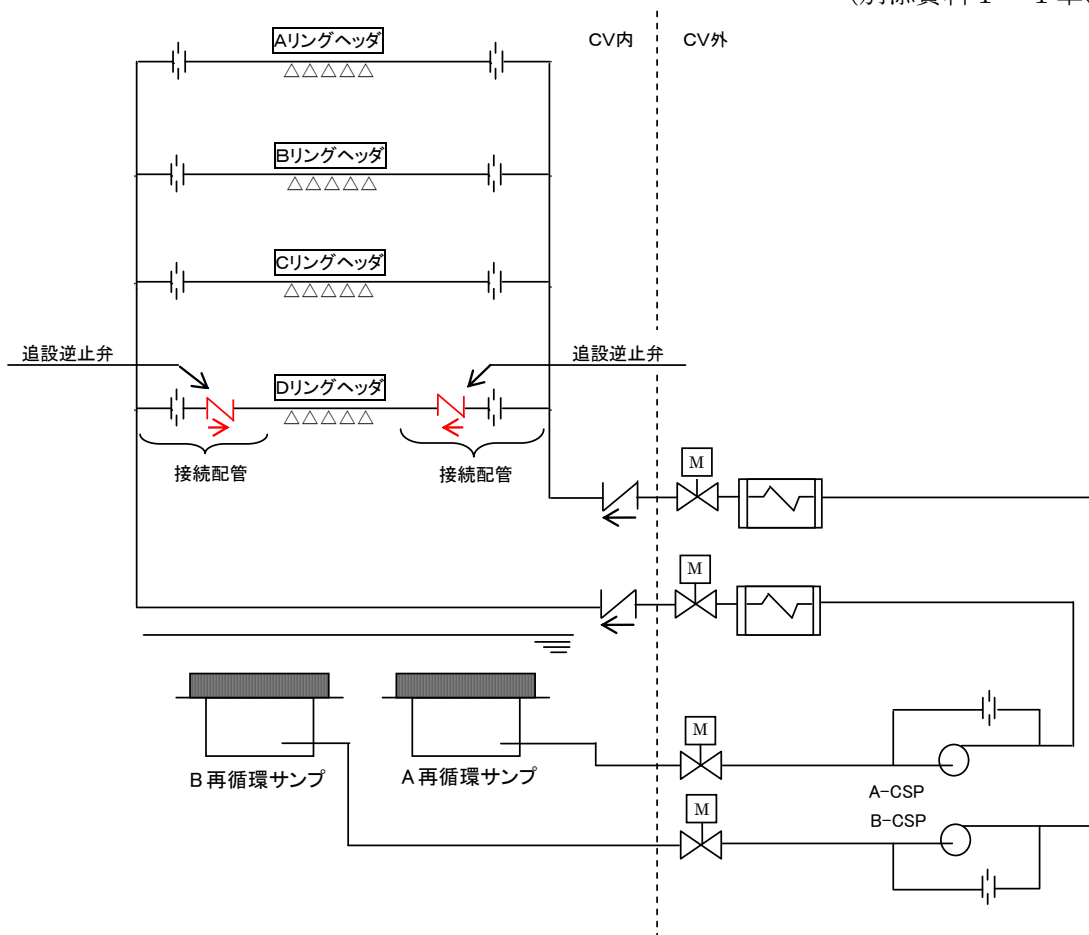


図7 立上り配管を追設した上での機能維持対策検討結果

## b. 影響評価

上述の対策によるスプレイ流量への影響及び安全評価（格納容器健全性評価、可燃性ガスの発生及び線量評価）への影響を確認した。

### (a) スプレイ系統の破断箇所の想定

Dリングヘッダの接続配管のオリフィスの下流（図7参照）に逆止弁を設置する場合、スプレイ流量が最も少なくなる全周破断位置は、(2) b. での検討結果と同様に、図3のスプレイ立上り配管(①)でT.P.33.9mであるため、この位置に全周破断を想定する。なお、逆止弁の故障にはボディーの破断や、動作不能による閉塞が考えられるが、破断については配管の全周破断に包含され、閉塞については配管の閉塞と同様に健全側からのスプレイ流量が確保されるため、全周破断が最も過酷な条件である単一故障となる。

### (b) スプレイ流量評価

全周破断を想定した場合のスプレイ流量を評価した（図8参照）。

評価に当たっては、破断想定箇所までの配管抵抗と系統圧力とのバランスからスプレイ流量を算出している。

その結果、表2に示すとおり、スプレイ流量は約 $364.2\text{m}^3/\text{h}$ （現行の安全解析で考慮している流量の約40.1%）となる。

この結果をもとに、安全解析条件は、現行の安全解析で考慮している流量の36%とする。

(別添資料1 3章)

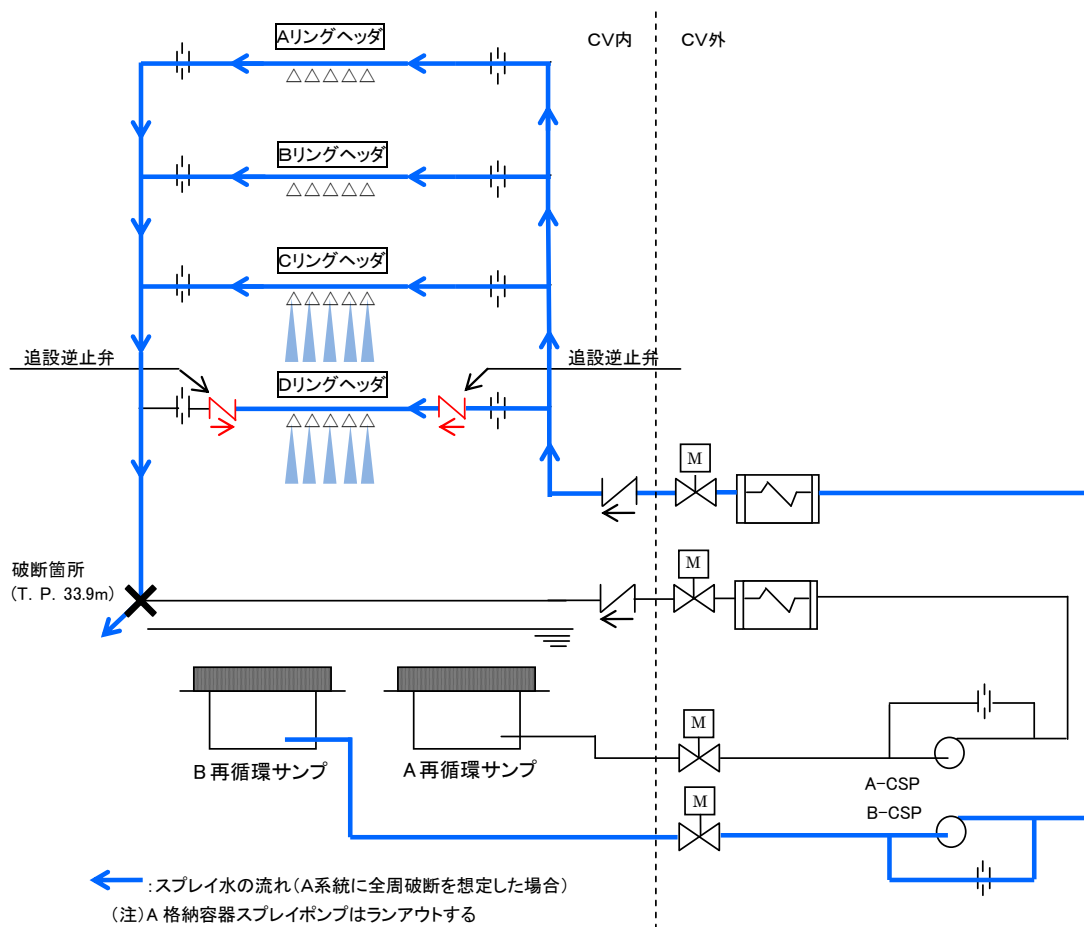


図8 スpray立上り配管の全周破断時のスレイ水の流れ  
(接続配管のオリフィスの下流に逆止弁を設置した場合)

表2 スpray流量評価結果

項目		評価結果
スレイリングヘッドからのスレイ流量	Aスレイリングヘッド	<div style="border: 2px dashed black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div>
	Bスレイリングヘッド	
	Cスレイリングヘッド	
	Dスレイリングヘッド	
	合計	

#### (4) 安全解析

単一故障として格納容器内スプレイ立上り配管の全周破断を想定した場合に影響を与える以下の3つの安全解析を実施した。

- ・ 格納容器内圧評価（健全性評価）
- ・ 環境への放射性物質の異常な放出（原子炉冷却材喪失）に関する評価
- ・ 可燃性ガスの発生に関する評価

結果を表3～表5、図9、図10に示す。

格納容器内圧評価（健全性評価）については、現行の安全解析における最高圧力約0.241MPa[gage]を下回ることを確認した。

環境への放射性物質の異常な放出（原子炉冷却材喪失）に関する評価については、現行の安全解析値の約0.23mSvと同程度となることを確認した。

可燃性ガスの発生に関する評価については、格納容器内の水素濃度は現行の安全解析値の約3.3%に対して約3.5%となり、判断基準を満足していることを確認した。

(別添資料1 4章)

なお、格納容器内立上り配管追設後の動的単一故障に対する安全評価については、動的機器の単一故障により、格納容器スプレイ系1系列が動作不能になることには変わりないことから、現行の評価と変わらないことを確認した。

表3 格納容器内圧評価（健全性評価）の解析結果

項目	現行の評価	今回の評価
最高圧力(MPa[gage])	約0.241	約0.240
最高温度(°C)	約124	約124
判断基準（最高使用圧力(MPa[gage]))	≤0.283	
判断基準（最高使用温度(°C)）	≤132	

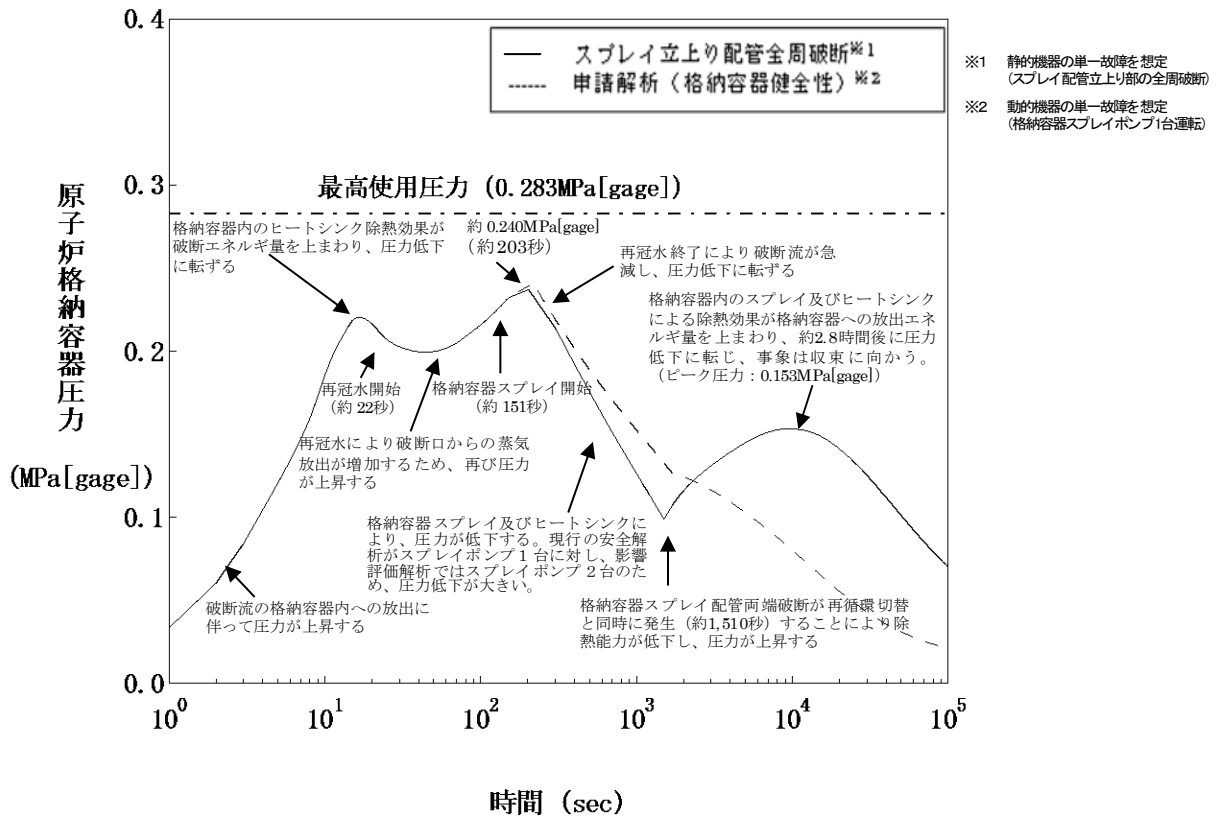


図9 スプレイ立上り配管の全周破断を想定した場合の格納容器内圧力 (スプレイ流量として安全解析で考慮している値の36%の場合)

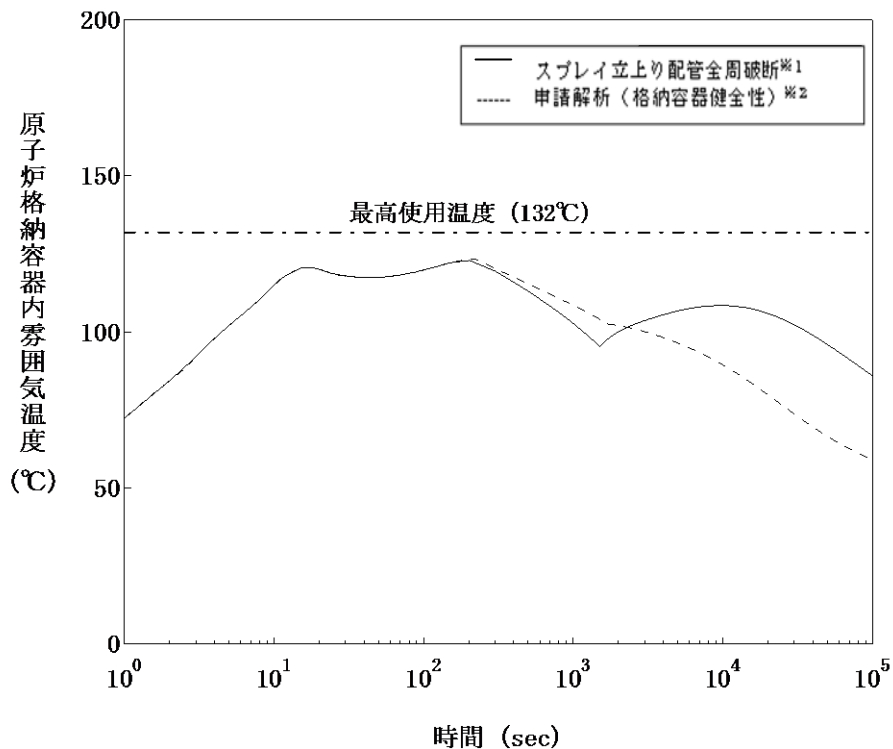


図10 スプレイ立上り配管の全周破断を想定した場合の格納容器内雰囲気温度 (スプレイ流量として安全解析で考慮している値の36%の場合)

表4 可燃性ガスの発生の解析結果

項目	現行の評価	今回の評価
格納容器内水素濃度 (%)	約 3.3	約 3.5
判断基準 (%)	≦4	

表5 環境への放射性物質の異常な放出（原子炉冷却材喪失）の解析結果

項目	現行の評価	今回の評価
環境に放出されるよう素量 (Bq) (I-131 等価量-小児実効線量係数換算)	約 $2.7 \times 10^{11}$	約 $3.1 \times 10^{11}$
環境に放出される希ガス量 (Bq) ( $\gamma$ 線エネルギー 0.5MeV 換算)	約 $6.1 \times 10^{13}$	約 $7.5 \times 10^{13}$
敷地等境界外における最大実効線量 (mSv) ※	約 0.23	約 0.23
判断基準 (mSv)	≦5mSv	

※ 実効線量には、原子炉格納容器内浮遊核分裂生成物による直接線量及びスカイシャイン線量（約 0.086mSv）を含む。

(5) 安全機能への影響評価

格納容器内立上り配管の追設及び逆止弁の設置に対して、既存の安全設備等への影響、安全評価に対する影響を配慮した設計とすることとし、以下の通り問題ないことを確認した。

- 立上り配管の追設は、格納容器スプレイ系統設備の A 系統、B 系統それぞれからスプレイリングに至る配管（流路）を独立させるものであり、既存の安全性設備の多重性、独立性を阻害するものではない。
- 逆止弁を設置することにより圧損が増えるが、当該逆止弁近傍のオリフィスを穴径の大きな低圧損のものに取替ることにより、静的機器の単一故障を想定しない場合のスプレイ流量（従前の安全解析条件）は変わらない設計とするため、既存の安全設備に対する影響、及び現行の安全評価に対する影響はない。

また、スプレイ立上り配管に全周破断を想定した場合の格納容器スプレイ系統の安全機能「格納容器の冷却機能」についても、(4) 安全解析に示すとおり問題はない。



(6) 工事概要

原子炉格納施設関連工事の一環として、図11、12に示すように、格納容器内立上り配管を追設（B側）し、D-スプレイングヘッドに逆止弁を2個（A系統側1個、B系統側1個）設置する。

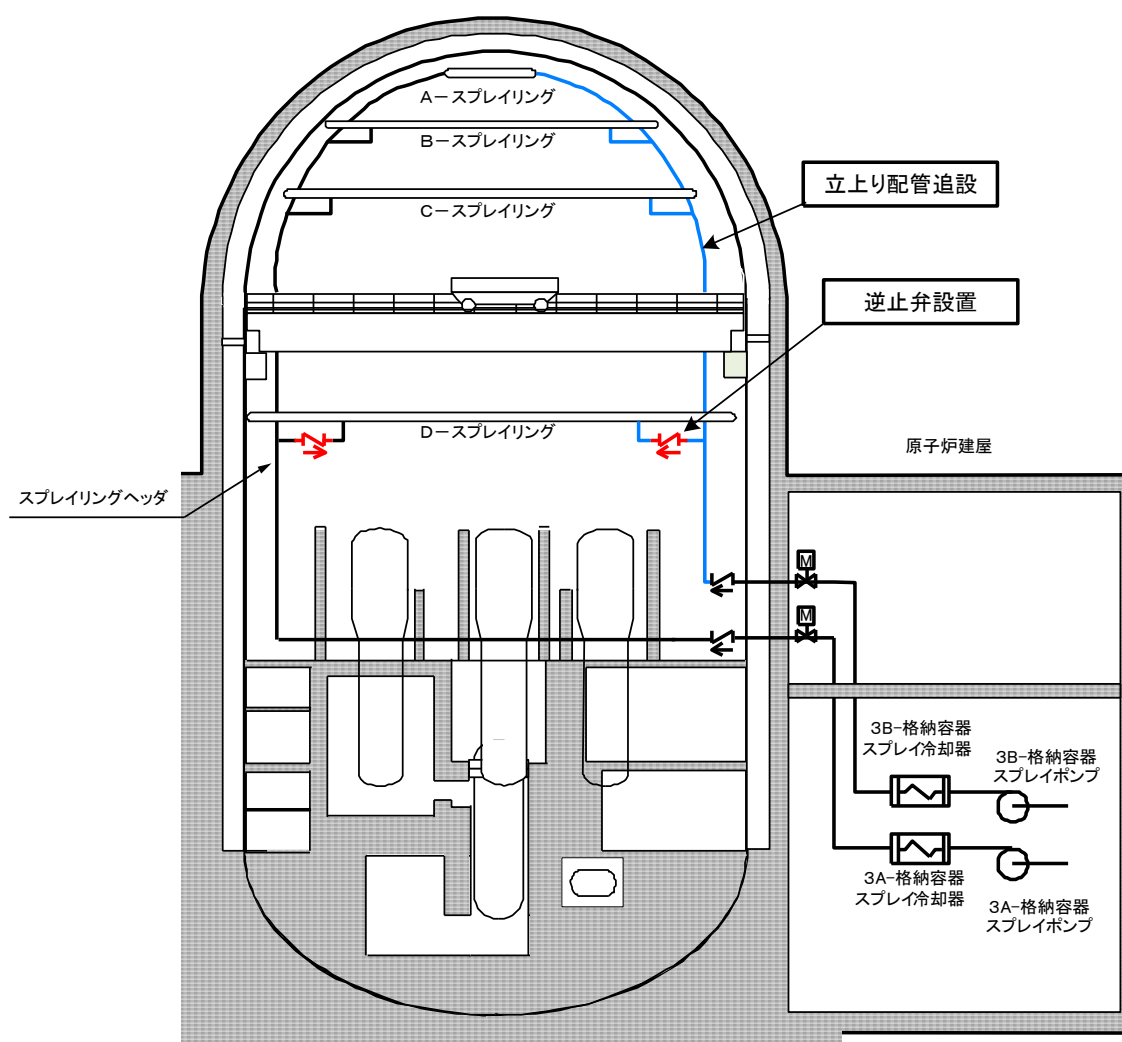


図11 工事の概要

表5 格納容器内立上り配管、逆止弁の仕様

項目	立上り配管	逆止弁
最高使用圧力	2.3MPa、1.7MPa	1.7MPa
最高使用温度	150℃	150℃
材料	SUS304	SCS14A
呼び径	6B、8B、10B	6B
設置個数	—	2個(各系統1個)

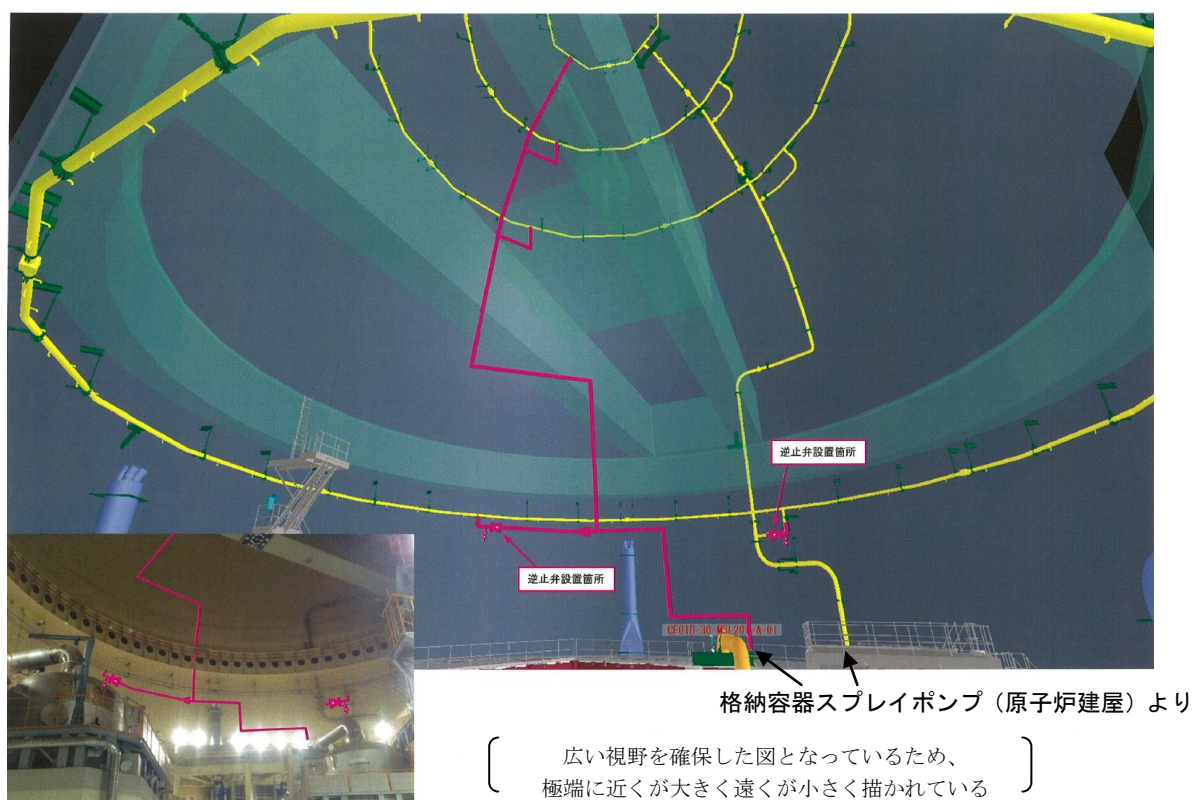


図12 格納容器スプレイ立上り配管追設状況

## 1. 原子炉格納容器スプレイ設備多重化に関する検討

### (1) 格納容器スプレイ設備多重化についての設計目標

単一設計となっている格納容器内立上り配管に「全周破断」を仮定すると、上流側のA、B系統の格納容器内スプレイ系統のいずれもが健全な場合においても、スプレイ水がスプレイリングに供給できなくなるため、スプレイ流量は確保できない。したがって、格納容器スプレイ系統に求められる安全機能である「格納容器の冷却機能」を達成することが出来ず、多重性が確保されているとはいえない。

このため、立上り配管に「全周破断」を仮定しても、格納容器スプレイ系統がその機能を維持できる多重化の方策として、スプレイリング、配管の追設等について、以下の観点、目標で検討した。

- ① 動的機器の単一故障を想定した場合の評価結果が従来と変わらないこと
- ② 工事が成立すること及び改造工事後の保守管理性に問題がないこと
- ③ 故障リスクの低い静的機器で構成すること
- ④ 静的機器の単一故障を想定した場合の評価結果が従来の安全評価と同程度の結果に収まること

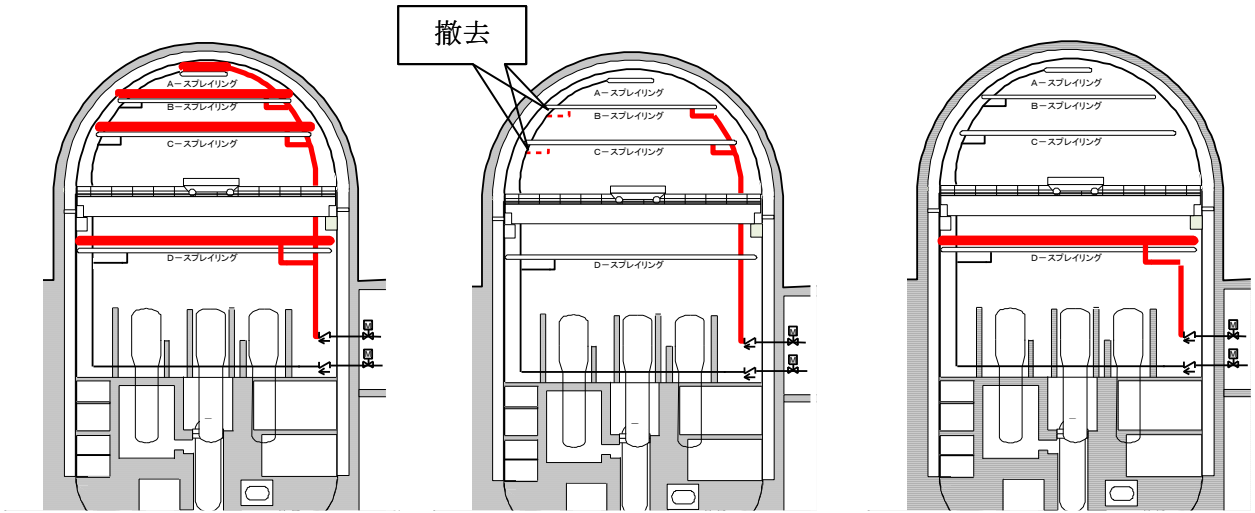
上記①は、従来よりも最も厳しいケースとして考慮してきたものであり、従来の評価に影響を与えない設計とすることを目標としたものである。

ここではまず、①、②、③の観点から方策を選定し、選定したものについて④の静的機器の単一故障を想定した場合の設計、評価を行って、妥当性を確認することとした。

### (2) 格納容器スプレイ設備多重化に関する検討

図 1-1、表 1-1 にスプレイリング、配管の追設等についての検討結果を示す。動的単一故障想定時の評価結果に影響する、またはその可能性があること（【②案】、【③案】、【④案】）や、スプレイリングの追設が必要であり工事が困難であることから（【①案】、【③案】、【④案】）、設計目標を達成できない。

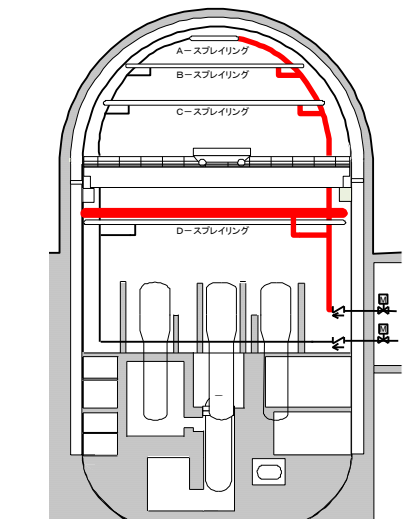
一方、格納容器立上り配管の追設【⑤案】には格納容器頂部へのアクセスが必要であり容易ではないが可能であり、これにより国内他社発電所と同様の系統構成となることから、【⑤案】を採用することとした。



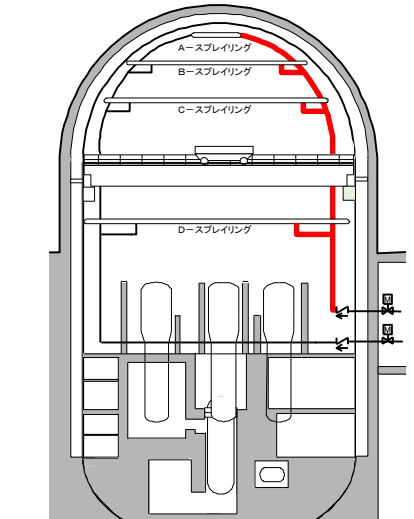
①案  
スプレイリングまで多重化

②案  
既設のスプレイリングを  
A,B系統に分配

③案  
B系統立上り配管  
Dリング追設



④案  
③案に加え、A~CリングをA・B系統統合とする



⑤案 立上り配管追設

図 1-1 格納容器内立上り配管多重化の検討

表 1-1 設備対策検討

対策	工事概要	工事成立性	動的単一故障評価への影響	採否
スプレイリングまで多重化 【①案】	スプレイリングを4基設置	設置スペースが限られており、スプレイ水を適切に噴霧できるよう設置するのは困難であり、既設スプレイリングを含めた抜本的な最適化が必要。	なし	否
既設のスプレイリングをA,B系統に分配 【②案】	B系統の立上り配管を追設し、スプレイリングの追設は行わず、例えばB系統はB,Cスプレイリングに、A系統はA,Dスプレイリングに接続する。	立上り配管の追設は、CV頂部へのアクセスが必要であり、やや困難だが可能。	A系統、B系統とも、動的単一故障想定時の評価結果に影響する	否
B系統立上り配管、Dリング追設 【③案】	B系統の立上り配管を追設、スプレイリングはDリングにのみ追設する	Dリングの追設は他の設備との干渉、スプレイ水を適切に噴霧できるように設置するのが困難。	A系統の動的単一故障想定時の評価結果に影響する。	否
③案に加え、A～CリングをA・B系統統合とする 【④案】	B系統の立上り配管を追設、スプレイリングはDリングのみ追設し、さらに、A～CリングはA・B系統統合とする	立上り配管の追設については、CV頂部へのアクセスが必要であり、やや困難だが可能。 Dリングの追設は他の設備との干渉、スプレイ水を適切に噴霧できるように設置するのが困難。	ポンプ1台による供給先が増えるため、動的単一故障評価に影響する可能性がある。	否
立上り配管追設 【⑤案】	立上り配管を追設し、スプレイリングはA・B系統統合とする。	立上り配管の追設は、CV頂部へのアクセスが必要であり、やや困難だが可能。	なし	採用

このように採用した【⑤案】について、静的機器の単一故障を想定した場合の評価結果が従来の安全評価と同程度の評価に収まるか否かについて確認したところ、環境への放射性物質の異常な放出に関する評価や可燃性ガスの発生に関する評価において厳しい結果となる。

### (3) 立上り配管を追設した上での機能維持対策

このように格納容器内スプレイ立上り配管を追設することとしたが、追設した後においてもなお、格納容器内スプレイ立上り配管 (T.P.33.9m) の全周破断を想定した場合、格納容器内立上り配管多重化後においても健全系統からのスプレイ水も回り込んでは破断箇所より漏出してしまふ。

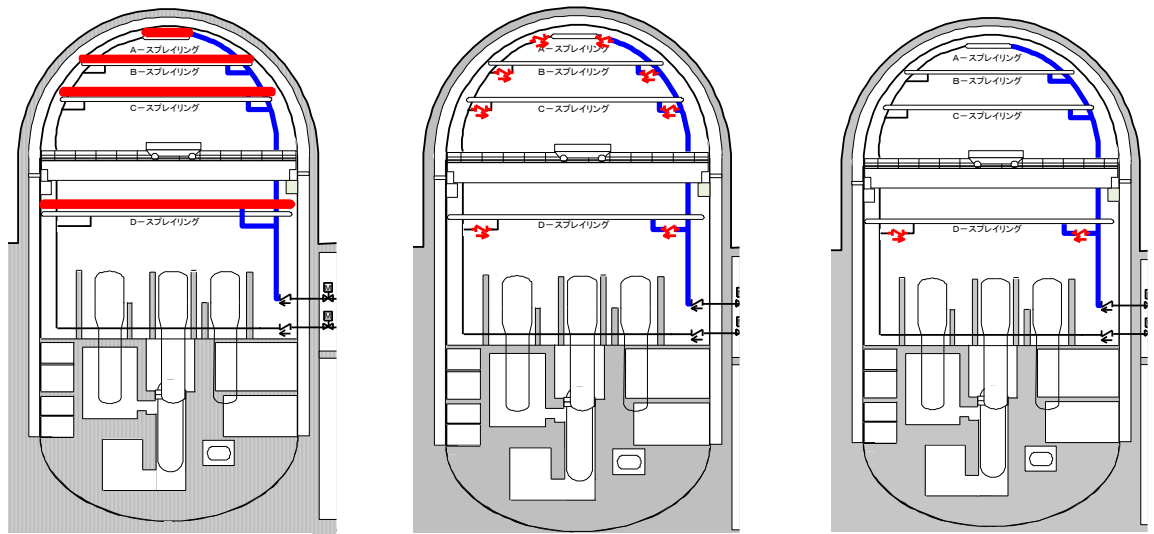
これにより、スプレイ流量は現行の安全解析で考慮している値 (格納容器スプレイポンプの単一故障を仮定し、健全側ポンプ 1 台での流量 908m<sup>3</sup>/h) の約 19% となり、その場合、LOCA 発生時の格納容器内圧力ピーク値は動的機器の単一故障を想定している現行の安全解析結果を下回るものの、長期的に第 3 のピークが生じることにより、後述の環境への放射性物質の異常な放出に関する評価や可燃性ガスの発生に関する評価においてはより厳しい結果となることが予想される。

このため、設計目標としていた「従来の評価と同程度」には収まらない見込みであることから、スプレイリングを通じた回り込みを極力防ぐことで、従来の評価と同程度の裕度を確保するための機能維持対策を検討した。なお検討に当たっては、スプレイ設備多重化の方策検討と同様の設計目標とした。

これら機能維持対策を図 1-2 に、各対策について工事成立性及び保守管理の観点から検討した結果を表 1-2 に示す。

その結果、図 1-2 の⑦案に示す逆止弁 2 台設置を採用することとした。なお、いずれも静的機器で構成され、動的単一故障評価への影響はない。

ここで、逆止弁を設置することにより圧損が増えるが、当該逆止弁近傍のオリフィスを穴径の大きな低圧損のものに取り替えることにより、静的機器の単一故障を想定しない場合のスプレイ流量は現行の設計値と変わらない設計とする。



①案 スプレイリング多重化

⑥案 逆止弁 8 台設置

⑦案 逆止弁 2 台設置

図 1-2 立上り配管追設後の設備対策検討（検討対象：赤線）

表 1-2 設備対策検討

対策	工事概要	工事性成立性	保守管理	採否
スプレイリングまで多重化 【①案】 (比較のため再掲)	スプレイリングを4基設置	設置スペースが限られており、スプレイ水を適切に噴霧できるような設置するのは困難であり、既設スプレイリングを含めた抜本的な最適化が必要	高所だが、外観検査のため比較的容易(既設設備に対する保守と同じ)	否 〔工事成立性の観点〕
逆止弁 8 台設置 【⑥案】	各スプレイリングごとに2台の逆止弁を設置(計8台の逆止弁設置)	床面から約20m~50mの高所にある配管8本に逆止弁を設置するため困難。また、逆止弁を保守点検できるように設置するのは困難。	A, B, Cリング及び同リングの接続配管への逆止弁設置は、点検のためポーラクレーン上の高所に足場の設置が必要。また、格納容器頂部の半球部に沿って設置されており、逆止弁と格納容器との間に、逆止弁の保守点検に必要なスペースが確保できず、保守管理が非常に困難	否 〔保守管理の観点〕
逆止弁 2 台設置 【⑦案】	1つのスプレイリングに2台の逆止弁を設置(計2台の逆止弁設置)	床面から約20mの高所にある配管2本に逆止弁を設置するため困難だが、可能	高所に設置された2台の弁を定期的に分解点検するのはやや困難だが、可能	採用

## 2. 逆止弁の設置検討について

設備対策として逆止弁2台設置することとしたが、逆止弁の設置箇所について検討する。

### (1) 逆止弁設置可能箇所

逆止弁は、その構造上、水平配管部分に設置する必要があるため、工事配管図から逆止弁の設置可能な水平配管部分を選定した。(図 2-1 参照)

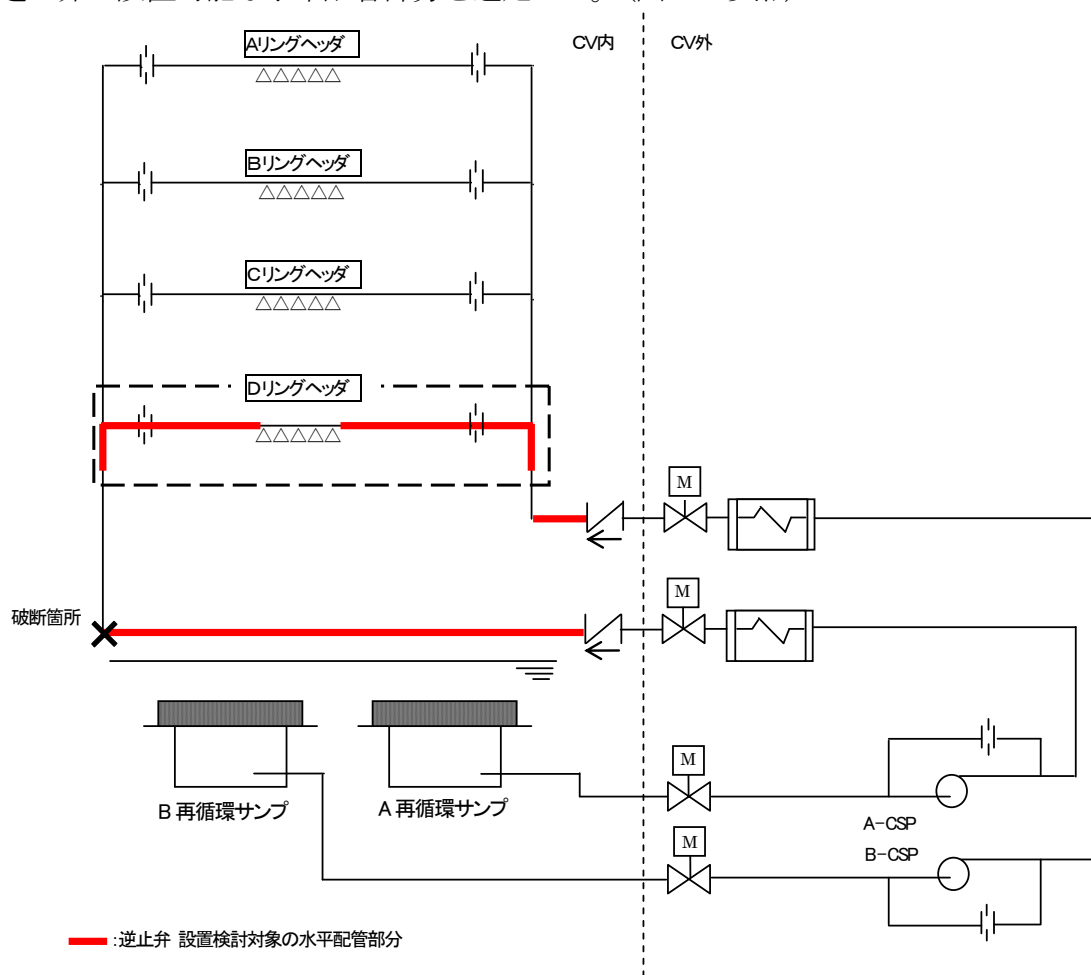


図 2-1 逆止弁設置可能な水平配管部分

### (2) 全周破断時のスプレィ流量

全周破断時にスプレィ水が最も多く流れ、かつスプレィ流量が最も多く確保可能なスプレィリングは、格納容器スプレィポンプからの距離が最も近く（設置高さが最も低く）、スプレィノズル数が最も多いDスプレィリングである。

そこで、Dスプレィリングからのスプレィ流量を確実に確保するため、(1)での検



討結果をふまえ、Dリングヘッドに逆止弁を設置することが、スプレー流量を確保するうえで適切である。

なお、スプレー配管立上り部の水平配管部分に逆止弁を設置した場合は、設置した逆止弁の下流の立上り部に全周破断を想定すると、スプレー水が破断口から流出し、スプレー流量は現行の添付書類十の解析で考慮されている値を大幅に下回ることになる。(図 2-2 参照)

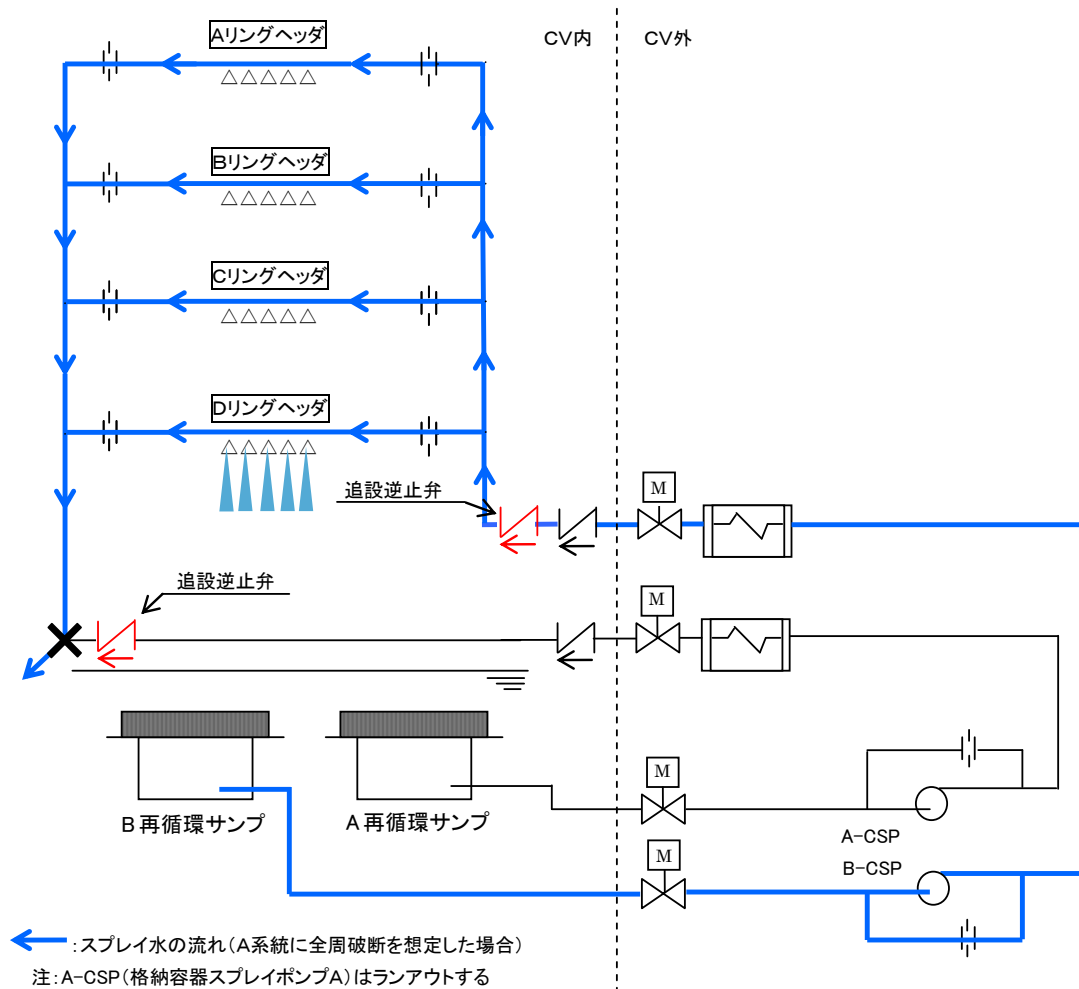


図 2-2 スプレー配管立上り部の全周破断時のスプレー水の流れ  
(スプレー配管立上り部(水平配管部分)に逆止弁を設置した場合)

### (3) Dリングヘッドでの逆止弁設置箇所

Dリングヘッドの詳細図を図 2-3 に示す。図に示すように、逆止弁設置可能な水平配管部分は、接続配管のオリフィス周辺である。

a. 図 2-3 の①に逆止弁を設置した場合

この場合、設置した逆止弁の下流に全周破断を想定すると、Dスプレイリングにおける健全側スプレイ水の破断口への回りこみは防ぐことができないが、全周破断を想定した系統側の格納容器スプレイポンプは、オリフィスにより破断口への流出流量が制限されるためランアウトせず、A、B、Cスプレイリングからスプレイ水がスプレイされ、スプレイ流量は確保できる。

また、設置した逆止弁の上流のスプレイ配管立上り部で全周破断を想定すると、全周破断を想定した系統の流量の全量が破断口から流出する（結果として、全周破断を想定した系統の格納容器スプレイポンプは許容最大運転流量を超過し、ランアウトする）が、Dリングを通じての健全側スプレイ水の破断口への回り込みを防ぐことができ、健全側のスプレイポンプによりDスプレイリングからのスプレイ水は確保できる。（図 2-4 参照）

ここで、逆止弁設置に伴い圧損が増加し、Dスプレイリングにおけるスプレイ流量が変わるため、静的機器の単一故障を想定しない場合のスプレイ流量を現行の安全解析で考慮している値と同等とするためには、リングヘッドDのオリフィスの交換が必要となる。

b. 図 2-3 の②に逆止弁を設置した場合

この場合、逆止弁の下流に破断を想定すると、全周破断を想定した系統の流量の全量が破断口から流出する（結果として、全周破断を想定した系統の格納容器スプレイポンプはランアウトする）。また、A、B、C、Dリングを通じての健全側スプレイ水の破断口への回り込みを防ぐことができないため、スプレイ流量は少なくなる。

また、設置した逆止弁の上流で全周破断を想定すると、全周破断を想定した系統の流量の全量が破断口から流出する（結果として、全周破断を想定した系統の格納容器スプレイポンプはランアウトする）が、健全側のスプレイポンプからの供給流量は、逆止弁により破断点への流出を防ぐことができるため、A、B、C、Dスプレイリングからのスプレイ水は確保できる。（図 2-5 参照）

ここで、逆止弁設置に伴い圧損が増加し、A～Dまでの全てのスプレイリングにおけるスプレイ流量が変わるため、スプレイ流量を現行の安全解析で考慮している値と同等にするためには、リングヘッドA～Dすべてのオリフィスの交換が必要となる。

以上をまとめると表 2-1 となり、図 2-3 の①（接続配管のオリフィスの下流）に逆止弁を設置した場合が、Dスプレイリングを通じての回り込みを防止でき、Dスプレイリングからのスプレイ水が確実に確保できるため、設置箇所として適切である。

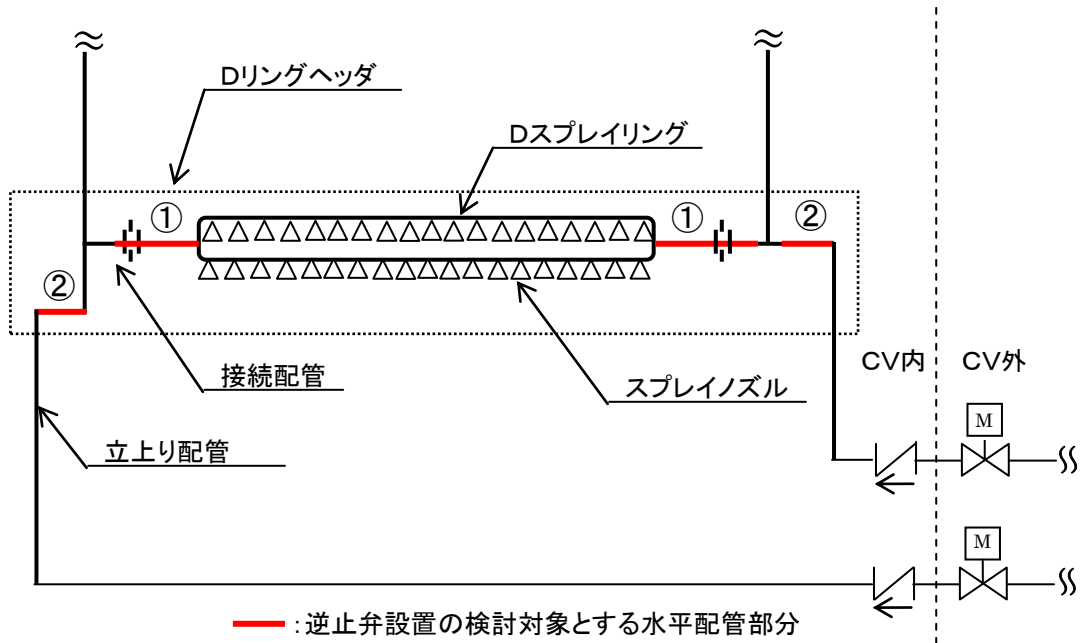
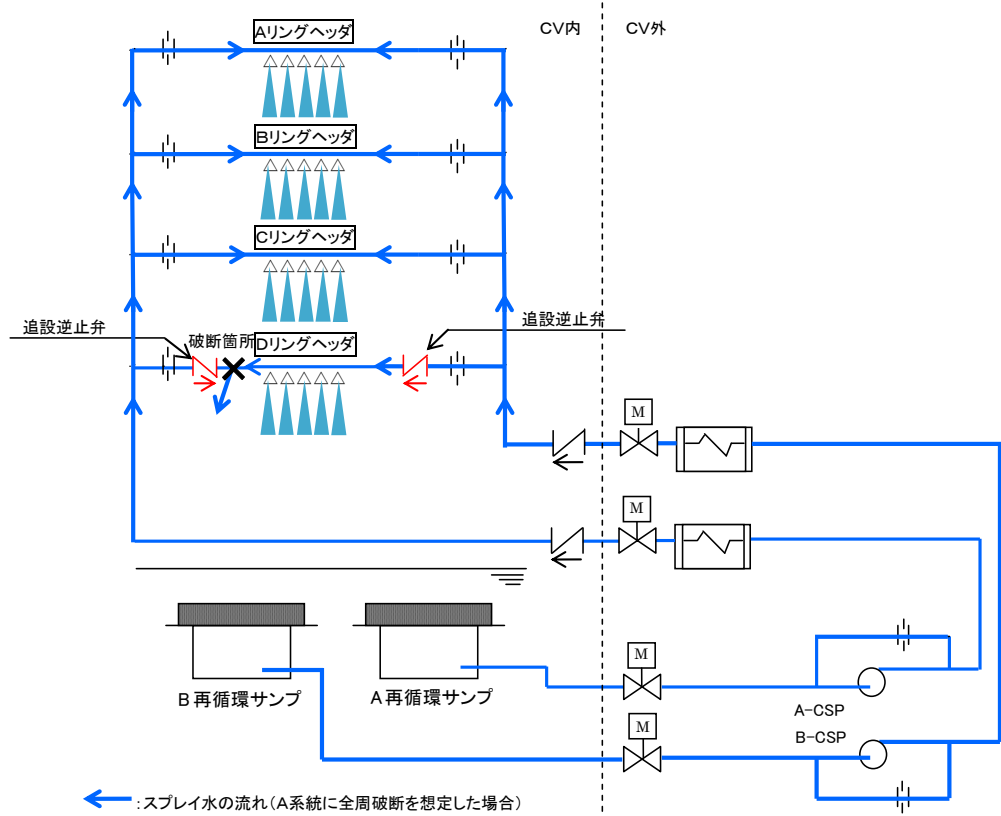


図 2-3 Dリングヘッド詳細図

<追設逆止弁の下流の全周破断時>



<追設逆止弁の上流の全周破断時>

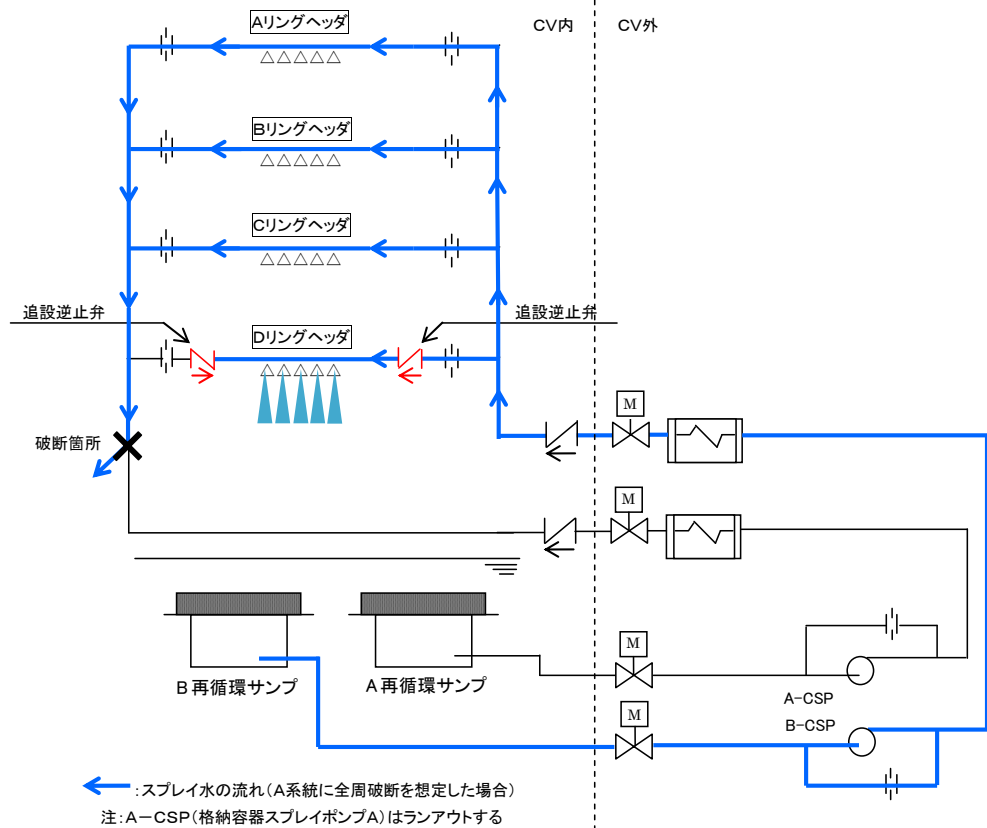
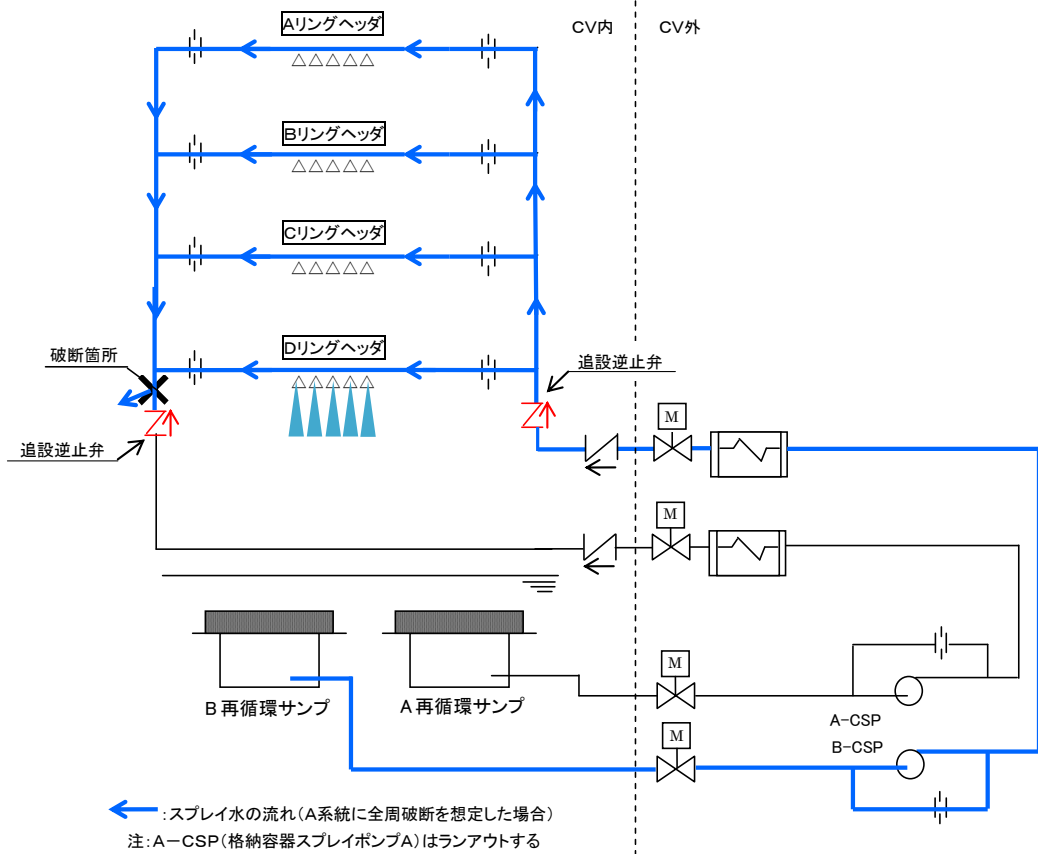


図 2-4 図 2-3 の①に逆止弁を設置した場合のスプレイ水の流れ

<追設逆止弁の下流の全周破断時>



<追設逆止弁の上流の全周破断時>

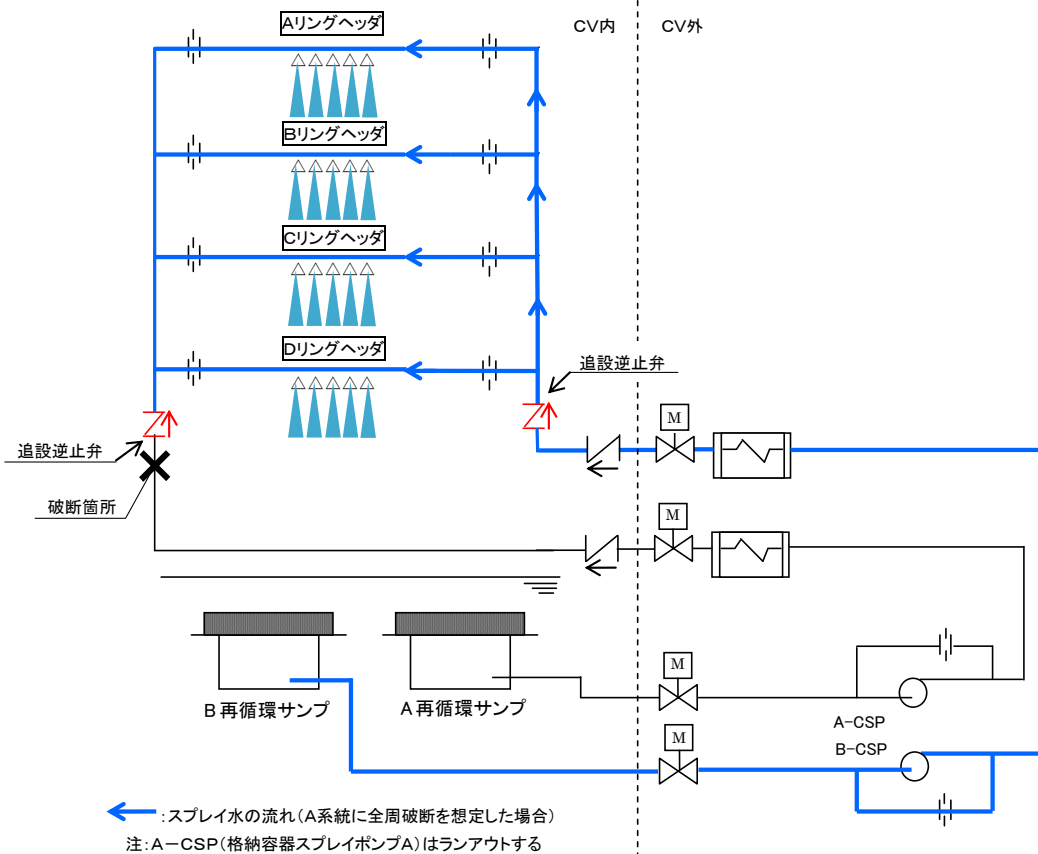


図 2-5 図 2-3 の②に逆止弁を設置した場合のスプレイ水の流れ

表 2-1 逆止弁設置箇所と破断想定箇所を変化させた場合のスプレイ流量

		破断想定箇所	
		逆止弁の下流	逆止弁の上流
逆止弁 設置箇所	図 2-3 ①	大	中 (※1)
	図 2-3 ②	小 (※2)	大

(※1) Dスプレイリングを通じての回り込み防止可能

(※2) Dスプレイリングを通じての回り込み防止できない

以 上

### 3. 格納容器スプレイ系統に単一故障を想定した場合のスプレイ流量について

設備対策を実施した後の格納容器スプレイ系統に単一故障（立上り配管への全周破断）を想定した場合の、スプレイ流量について評価を実施する。

ここで、完全全周破断を想定した場合の流量は、破断想定箇所までの配管抵抗と系統圧力とのバランスにより算出する。

また、当該スプレイ系統は、低エネルギー配管であることから、全周破断による系統圧力低減により、系統水は減圧沸騰することなく、臨界流は発生しないため、流量算出のモデルは、水単相モデルを用いる。なお、今回の評価結果から、A、Bスプレイリングにおいては、スプレイノズルから格納容器の空気の流入が生じ、気液二相流状態になると考えられるが、保守的な評価になるよう気液二相流は考慮せず、水単相モデルとする。

#### （1）破断影響

安全機能に最も影響を与える単一故障を想定するため、格納容器スプレイ系統の安全機能である「格納容器の冷却機能」に最も影響を与えると考えられる格納容器スプレイ流量が最も減少する場合を想定する。

泊発電所3号機においては、格納容器スプレイリングヘッドをA、B系統で一系列化しているため、格納容器内立上り配管に全周破断を想定した場合、以下の理由により、格納容器内に散水されるスプレイ流量が減少する。

- ・破断側系統の格納容器スプレイポンプは、破断口が開放端となるため、背圧（系の総抵抗）が大幅に減少し、ポンプ運転流量が増加する。結果として、ポンプの許容最大運転流量を超過して、ランアウトする。（ポンプが、モータトリップにより停止する。）
- ・健全側系統の格納容器スプレイポンプからスプレイヘッドへスプレイ水は給水されるが、一系列化されているリングヘッドから、破断側系統への回り込みが発生し、破断口からの流出が生じる。  
ただし、Dスプレイリングについては、逆止弁を設置するため、破断側系統への回り込みは発生せず、スプレイ水としてスプレイされる。
- ・破断口が開放端となるため、スプレイリングヘッドの配管内圧が低下しスプレイ駆動圧となるスプレイリングヘッドの配管内圧と格納容器内圧の差が小さくなり、各スプレイノズルからのスプレイ流量が減少する。

#### （2）破断想定位置

立上り配管で全周破断を想定した場合、スプレイ駆動圧となる各スプレイリングヘッドの配管内圧と格納容器内圧の差が最も小さくなる箇所が、最もスプレイ流量が減少す

る破断想定位置となる。

ここで、スプレイリングヘッド内の配管内圧 ( $P_{A,B,C}$ )、格納容器内圧 ( $P_{CV}$ )、各スプレイリングと破断点との静水頭差 ( $\Delta H_{A,B,C}$ ) 及び破断点までの配管抵抗による損失水頭 ( $\Delta P_{A,B,C}$ ) の関係は次式となり、

$$P_{A,B,C} + \Delta H_{A,B,C} = P_{CV} + \Delta P_{A,B,C}$$

変形すると、次式となる。

$$P_{A,B,C} - P_{CV} = \Delta P_{A,B,C} - \Delta H_{A,B,C}$$

この式から、スプレイ駆動圧 ( $P_{A,B,C} - P_{CV}$ ) は、破断点までの配管抵抗による損失水頭と、各スプレイリングと破断点との静水頭差との差 ( $\Delta P_{A,B,C} - \Delta H_{A,B,C}$ ) で表される。

立上り配管で破断想定位置を変化させた場合、破断点までの配管抵抗による損失水頭の変化分 (静水頭で数mオーダー) と破断点の違いによる各リングと破断点との静水頭差の変化分 (数十mオーダー) を比べると、破断点との静水頭差の変化分の方が大きいため、スプレイ駆動圧が最も小さくなる場合は、破断位置を立上り配管の最も低い位置とし、各スプレイリングと破断点との静水頭差が最も大きくなる場合である。

よって、破断想定位置は、立上り配管の最も低い位置 (T.P. 33.9m) とする。

### (3) スプレイ流量の評価

(2) で定めた破断想定位置に、全周破断を想定した場合のスプレイ流量を求める。図 3-1 に流量評価モデル、表 3-1~3-4 に記号の説明及び値を示す。なお、計算式の評価モデル、及び以下の数値評価結果に示す記号は (a) を健全側、(b) を破断側として示す。



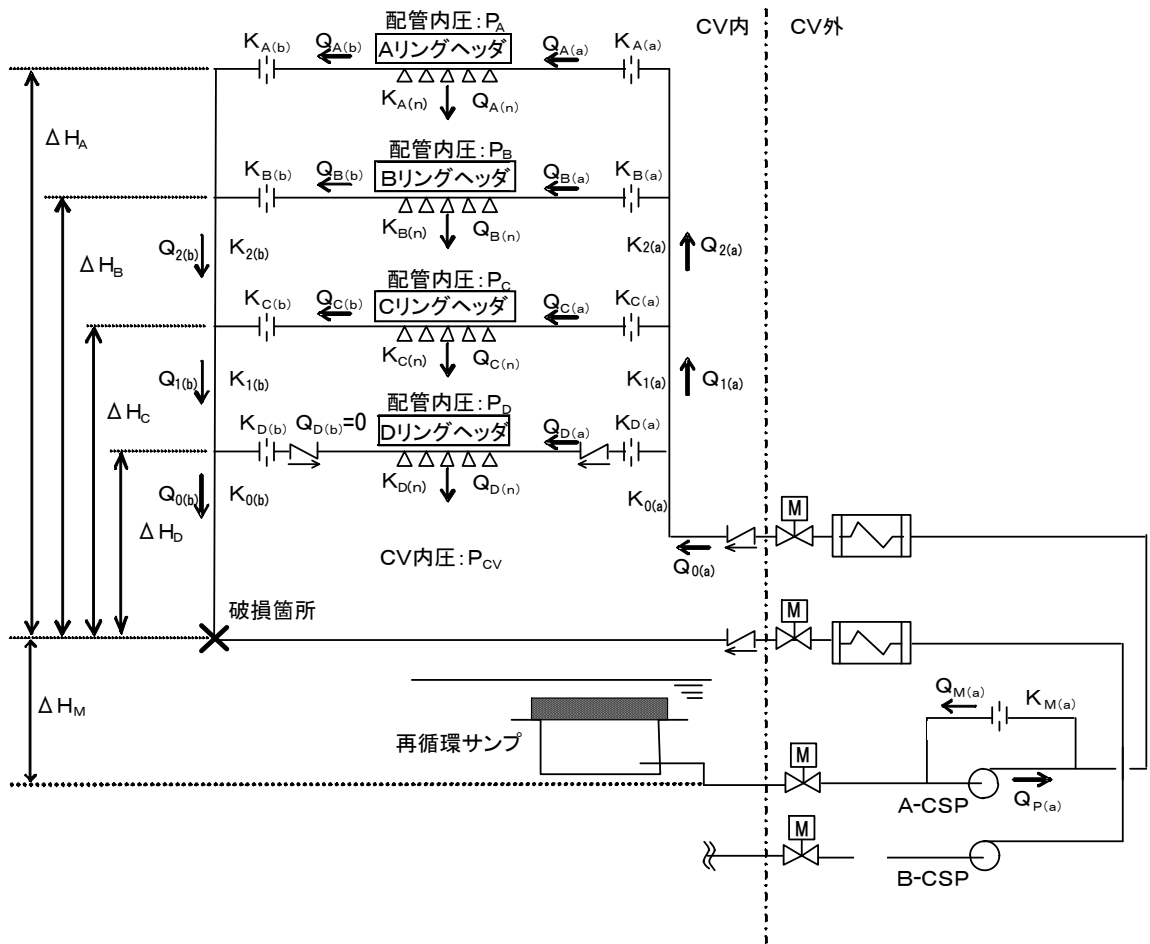


図 3-1 流量評価モデル

表 3-1 各流路における配管等の抵抗係数

記号	項目	抵抗係数 [m/(m <sup>3</sup> /h) <sup>2</sup> ]
K <sub>A (a)</sub>	Aリングヘッド (健全側)	1.491E-3
K <sub>A (b)</sub>	Aリングヘッド (破断側)	1.249E-3
K <sub>B (a)</sub>	Bリングヘッド (健全側)	3.493E-4
K <sub>B (b)</sub>	Bリングヘッド (破断側)	2.756E-4
K <sub>C (a)</sub>	Cリングヘッド (健全側)	2.089E-4
K <sub>C (b)</sub>	Cリングヘッド (破断側)	1.858E-4
K <sub>D (a)</sub>	Dリングヘッド (健全側)	3.289E-4
K <sub>D (b)</sub>	Dリングヘッド (破断側)	2.983E-4
K <sub>0 (a)</sub>	格納容器スプレイポンプ (健全側) ~Dリングヘッド分岐点	3.490E-5
K <sub>0 (b)</sub>	Dリングヘッド合流点~破断位置	5.376E-6
K <sub>1 (a)</sub>	D~Cリングヘッド間立上り配管 (健全側)	1.428E-5
K <sub>1 (b)</sub>	D~Cリングヘッド間立上り配管 (破断側)	1.357E-5
K <sub>2 (a)</sub>	C~Bリングヘッド間立上り配管 (健全側)	3.991E-6
K <sub>2 (b)</sub>	C~Bリングヘッド間立上り配管 (破断側)	3.991E-6
K <sub>M (a)</sub>	循環ライン	1.660E-1

表 3-2 各スプレイリングヘッドのスプレイノズルの抵抗係数

記号	項目	抵抗係数 [m/(m <sup>3</sup> /h) <sup>2</sup> ]
K <sub>A (n)</sub>	リングヘッドA	
K <sub>B (n)</sub>	リングヘッドB	
K <sub>C (n)</sub>	リングヘッドC	
K <sub>D (n)</sub>	リングヘッドD	

表 3-3 破断想定位置との T.P.差

記号	項目	T.P.差 [m]
ΔH <sub>A</sub>	リングヘッドA	45.7
ΔH <sub>B</sub>	リングヘッドB	43.5
ΔH <sub>C</sub>	リングヘッドC	39.5
ΔH <sub>D</sub>	リングヘッドD	18.9
ΔH <sub>M</sub>	循環ライン戻り部	33.02

表 3-4 格納容器内圧力

記号	項目	圧力(水頭) [m]
P <sub>CV</sub>	格納容器内圧	28.9

a. 抵抗係数

抵抗係数は、各系統の配管構成の違い、具体的には配管ルートの違いによる直管長、曲がり・レデューサ等の継手構成の違いにより異なる。表 3-1 の配管の抵抗係数は以下の一般的な圧損評価手法に基づき導出する。

管路における圧力損失は、一般的に流速の 2 乗に比例し、以下の式で表される（ダルシーの法則）。

$$h = \sum k \frac{v^2}{2g} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、  
 h : 圧力損失  
 k : 抵抗係数（※ 一般的な抵抗係数の定義）  
 v : 流速  
 g : 重力加速度

①式について、圧損と流量の関係式に書き換えると以下のとなる。

$$h = \sum k \frac{(Q/A)^2}{2g} = \sum k \cdot \left(\frac{1}{A}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} \cdot Q^2 \quad \dots \textcircled{2}$$

ここで、  
 A : 断面積  
 Q : 流量

計算に用いる各流路の抵抗係数 K は、②式をもとに設定している。  
 すなわち、流量評価に用いる抵抗係数 K は、③式で与えられる。

$$K = \frac{h}{Q^2} \left( = \sum k \cdot \left(\frac{1}{A}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} \right) \quad \dots \textcircled{3}$$

b. スプレイ流量評価

図 3-1 の流量評価モデルにおいて、圧力収支及び流量収支から、以下の関係式が成り立つ。

(a) 各スプレイリングヘッダの配管内圧

各スプレイリングヘッドの配管内圧は、各スプレイリングヘッドから破断口に向けて流出する流路の配管等圧損、開放端（破断口）圧力（＝格納容器内圧）、及び破断想定位置と各スプレイリングヘッド設置位置とのエレベーションの差によって定まり、以下の式が成り立つ。

$$P_A = K_{A(b)} Q_{A(b)}^2 + K_{2(b)} Q_{2(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 + K_{0(b)} Q_{0(b)}^2 + P_{CV} - \Delta H_A \quad \dots\dots ④$$

$$P_B = K_{B(b)} Q_{B(b)}^2 + K_{2(b)} Q_{2(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 + K_{0(b)} Q_{0(b)}^2 + P_{CV} - \Delta H_B \quad \dots\dots ⑤$$

$$P_C = K_{C(b)} Q_{C(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 + K_{0(b)} Q_{0(b)}^2 + P_{CV} - \Delta H_C \quad \dots\dots ⑥$$

ここで、Dスプレイリングについては、逆止弁を設置するため、Dスプレイリングヘッドから破断口に向けて流出する流路がなく（ $Q_{D(b)} = 0$ ）、上述の関係式が成り立たない。

そこで、Dスプレイリングヘッドの配管内圧を次式で求める。次式は、健全側系統の各スプレイリングヘッドへの分岐点（入口）を基準とし、分岐点の圧力を、それぞれCスプレイリングヘッドの配管内圧を用いて表したもの（左辺）とDスプレイリングヘッドの配管内圧を用いて表したもの（右辺）である。

$$P_C + (\Delta H_C - \Delta H_D) + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{C(a)} Q_{C(a)}^2 = P_D + K_{D(a)} Q_{D(a)}^2 \quad \dots\dots ⑦$$

(b) 各スプレイリングヘッドからのスプレイ流量

各スプレイリングヘッドからスプレイされる流量は、スプレイ駆動圧となる各スプレイリングヘッドの配管内圧と格納容器内圧の差と、スプレイノズルの抵抗係数から、以下の様に求められる。

$$Q_{A(n)} = \sqrt{[(P_A - P_{CV}) / K_{A(n)}]} \quad \dots\dots ⑧$$

$$Q_{B(n)} = \sqrt{[(P_B - P_{CV}) / K_{B(n)}]} \quad \dots\dots ⑨$$

$$Q_{C(n)} = \sqrt{[(P_C - P_{CV}) / K_{C(n)}]} \quad \dots\dots ⑩$$

$$Q_{D(n)} = \sqrt{[(P_D - P_{CV}) / K_{D(n)}]} \quad \dots\dots ⑪$$

(c) 各スプレイリングヘッドに供給される流量

各スプレイリングヘッドに供給される流量は、各スプレイリングヘッドからスプレイされる流量と各スプレイリングヘッドから破断口に向けて流出する流量の合計であるため、以下の式が成り立つ。

$$Q_{A(a)} = Q_{A(n)} + Q_{A(b)} \quad \dots\dots ⑫$$

$$Q_{B(a)} = Q_{B(n)} + Q_{B(b)} \quad \dots\dots ⑬$$

$$Q_{C(a)} = Q_{C(n)} + Q_{C(b)} \quad \dots\dots ⑭$$

$$Q_{D(a)} = Q_{D(n)} + Q_{D(b)} \quad \dots\dots ⑮$$

(d) 格納容器内立上り配管の流量

格納容器内立上り配管における流量は、各スプレイリングヘッドに供給または各スプレイリングヘッドから流出する流量の合計であるため、以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
Q_{0(a)} &= Q_{1(a)} + Q_{D(a)} && \dots\dots ⑥ \\
Q_{0(b)} &= Q_{1(b)} + Q_{D(b)} && \dots\dots ⑦ \\
Q_{1(a)} &= Q_{2(a)} + Q_{C(a)} && \dots\dots ⑧ \\
Q_{1(b)} &= Q_{2(b)} + Q_{C(b)} && \dots\dots ⑨ \\
Q_{2(a)} &= Q_{A(a)} + Q_{B(a)} && \dots\dots ⑩ \\
Q_{2(b)} &= Q_{A(b)} + Q_{B(b)} && \dots\dots ⑪
\end{aligned}$$

(e) 配管圧損

各スプレイリングヘッドの入口から出口まで（Dスプレイリングヘッドへの分岐点から合流点まで）の配管等圧損は等しいため、以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
&K_{A(a)} Q_{A(a)}^2 + K_{2(a)} Q_{2(a)}^2 + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{A(b)} Q_{A(b)}^2 + K_{2(b)} Q_{2(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 \\
&= K_{B(a)} Q_{B(a)}^2 + K_{2(a)} Q_{2(a)}^2 + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{B(b)} Q_{B(b)}^2 + K_{2(b)} Q_{2(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 \\
&&& \dots\dots ⑫
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&K_{A(a)} Q_{A(a)}^2 + K_{2(a)} Q_{2(a)}^2 + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{A(b)} Q_{A(b)}^2 + K_{2(b)} Q_{2(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 \\
&= K_{C(a)} Q_{C(a)}^2 + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{C(b)} Q_{C(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2 \\
&&& \dots\dots ⑬
\end{aligned}$$

格納容器スプレイポンプ出口から破断想定位置までの通水ラインの配管等圧損と、破断想定位置と循環ライン戻り部との静水頭差（ $\Delta H_M$ ）の和は、循環ラインにおける配管等圧損と等しい（水源が再循環サンプであり、破断位置及びポンプ入口側配管の背圧はともに格納容器内圧に等しい）ため、以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
&K_{0(a)} Q_{0(a)}^2 + (K_{C(a)} Q_{C(a)}^2 + K_{1(a)} Q_{1(a)}^2 + K_{C(b)} Q_{C(b)}^2 + K_{1(b)} Q_{1(b)}^2) + K_{0(b)} Q_{0(b)}^2 \\
&+ \Delta H_M \\
&= K_{M(a)} Q_{M(a)}^2 \\
&&& \dots\dots ⑭
\end{aligned}$$

(f) 格納容器スプレイポンプから供給される流量

格納容器スプレイポンプからスプレイリングヘッドに通水される流量は、格納容器スプレイポンプ運転流量と循環流量との差であるため、以下の式が成り立つ。

$$Q_{0(a)} = Q_{P(a)} - Q_{M(a)} \quad \dots\dots ⑮$$

(g) 格納容器スプレイ系統の合計流量

格納容器スプレイポンプ性能曲線をもとに、再循環サンプから破断口まで通水する時の総揚程と、ポンプ性能曲線がバランスする点から格納容器スプレイポンプの吐出流量を求める。

$$Q_{P(a)} = f_{(H)}^* \quad \dots\dots ⑯$$

※： $f_{(H)}$ は、格納容器スプレイポンプの性能曲線を表し、 $H$ （総揚程）の関数。

ここで、今回の評価における $H$ （総揚程）は、約 160mとなる。

(4) スプレイ流量の評価結果

(3) の関係式 (④～⑧) 及び表 3-1～3-4 の数値を用い、流量を変数として連立方程式の解を求め、スプレイ流量を決定した。評価結果を表 3-5 に示す。表から、スプレイ流量 ( $=Q_{A(n)} + Q_{B(n)} + Q_{C(n)} + Q_{D(n)}$ ) は、約  $364.2\text{m}^3/\text{h}$  (現行の安全解析で考慮している流量の約 40.1%) となる。この結果をもとに、安全解析条件は現行の安全解析で考慮している流量の 36%とする。

表 3-5 格納容器スプレイ立ち上がり配管破断時の流量評価結果

記号	項目		評価結果
$Q_P(a)$	格納容器スプレイポンプ運転流量		
$Q_A(a)$	スプレイリングヘッドに健全側から供給される流量	Aスプレイリングヘッド	
$Q_B(a)$		Bスプレイリングヘッド	
$Q_C(a)$		Cスプレイリングヘッド	
$Q_D(a)$		Dスプレイリングヘッド	
$Q_A(b)$	スプレイリングヘッドから破断側に流出する流量	Aスプレイリングヘッド	
$Q_B(b)$		Bスプレイリングヘッド	
$Q_C(b)$		Cスプレイリングヘッド	
$Q_D(b)$		Dスプレイリングヘッド	
$Q_A(n)$	スプレイリングヘッドからのスプレイ流量	Aスプレイリングヘッド	
$Q_B(n)$		Bスプレイリングヘッド	
$Q_C(n)$		Cスプレイリングヘッド	
$Q_D(n)$		Dスプレイリングヘッド	
$Q_0(a)$	格納容器スプレイポンプ（健全側）～Dリングヘッド分岐点		
$Q_0(b)$	Dリングヘッド合流点～破断位置		
$Q_1(a)$	健全側D～Cスプレイリング間		
$Q_1(b)$	破断側D～Cスプレイリング間		
$Q_2(a)$	健全側C～Bスプレイリング間		
$Q_2(b)$	破断側C～Bスプレイリング間		
$Q_M(a)$	循環ライン		
$P_A$	スプレイリングヘッド配管内圧	Aスプレイリングヘッド	
$P_B$		Bスプレイリングヘッド	
$P_C$		Cスプレイリングヘッド	
$P_D$		Dスプレイリングヘッド	

(5) スプレイ水の有効性

(4) で評価したスプレイ流量評価結果において、各スプレイリングにおけるスプレイ条件が、表 3-6 に示すように設計条件と異なるため、安全解析条件に用いるスプレイ流量について、スプレイ水に期待する効果が確実に発揮できることを次の観点から確認する。

- a. スプレイ差圧の影響
- b. 格納容器内からの除熱効果
- c. 放射性物質除去効果

表 3-6 流量評価結果と設計時の比較

	流量評価結果		設計	
	流量 (m <sup>3</sup> /h)	差圧 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	差圧 (m)
Aスプレイリング				
Bスプレイリング				
Cスプレイリング				
Dスプレイリング				

ここで、格納容器内は、今回想定している静的機器の単一故障が、原子炉冷却材喪失事故が発生した後、再循環切替操作以降（事故後約 25 分）でスプレイ配管立上り部（T.P. 33.9m）が全周破断する想定であるため、原子炉冷却材喪失事故発生後約 25 分間は格納容器スプレイ系統が、2 系統とも健全に動作している状態である。

a. スプレイ差圧の影響

スプレイノズルの構造上、スプレイ差圧が変わると、スプレイ水の流量の他に液滴径への影響が生じる。

今回の評価結果から、Dスプレイリングの差圧は [ ] であり、設計差圧は確保できていない。

しかし、電力共同研究\*において、スプレイの設計差圧が確保できない場合のスプレイ噴霧試験を実施しており、差圧が [ ] となった場合でも、 [ ] の液滴径で噴霧可能なことを確認（図 3-2 参照）している。なお、設計差圧で噴霧した場合の平均液滴径は [ ] であり、差圧が [ ] では、スプレイ液滴径に大きな差異は生じていない。

従って、今回のDスプレイリングの差圧は、 [ ] を大きく上回っていることから、スプレイ水の液滴径は設計差圧で噴霧した時とほぼ同等であると考えられる。





図 3-2 スpray 差圧と Spray 水の平均粒径の関係

b. 格納容器内からの除熱効果

スプレイ水には、格納容器内から熱を除去することで、温度・圧力を低減させる効果がある。具体的には、格納容器内にスプレイされる水の熱容量分の熱量が格納容器雰囲気（気相）からスプレイ水（液相）に移動することにより格納容器内の除熱が達成される。なお、液相に移動した熱量は、再循環運転により、最終的に余熱除去冷却器及び格納容器スプレイ冷却器で熱交換され、最終的な熱の逃がし場に移送される。

格納容器内の圧力、温度を評価している安全解析では、スプレイリングから噴霧される流量、及び水温を入力条件として、スプレイ水が格納容器内雰囲気と熱平衡状態に達するまでの温度変化に伴う熱容量分の除熱効果を考慮している。

ここで、スプレイ水が格納容器内雰囲気と熱平衡状態に達するか否かは、主に格納容器内に噴霧される液滴一つあたりの熱容量（質量）及び熱移動に寄与する時間（落下速度、及び距離）に左右される。このうち、液滴の熱容量、及び落下速度は噴霧される液滴径によって決まり、落下距離は各スプレイリング設置位置と床面とのエレベーションの差に代表される。

今回の様に、スプレー流量が少なくなる場合でも、スプレー水が、a.で述べたように設計差圧で噴霧した時とほぼ同等の大きさの液滴で、かつ、既存のDスプレーリングから格納容器内に噴霧されるため、Dスプレーリングから噴霧されるスプレー条件については、除熱効果に対して従来の設計条件と有意に相違するものではない。

従って、床面に落下するまでの間に格納容器内雰囲気からスプレー水への十分な熱移動が可能であり、スプレーリングから格納容器内に噴霧されたスプレー水は飽和状態（格納容器内雰囲気と熱平衡状態）に達するため、格納容器内の除熱は達成されると考える。

また、格納容器気相部は閉鎖系であり、かつ内部で空間が遮断されているわけではないので、格納容器全体から見ればスプレー水の熱容量分が連続的に除熱される。

さらに、上述した様に、今回の事象において、ほぼDスプレーリングからのみスプレー水が有効に噴霧される状況になるまでは、約 25 分の間格納容器スプレー系統は、2 系統健全に動作しているため、格納容器内の温度は均一になっている。約 25 分後にはほぼDスプレーリングのみになった場合でも、原子炉冷却材喪失事故の熱源は、Dスプレーリングより十分下にあり、また、Dスプレーリングより上には熱源がないことから、Dスプレーリングからのスプレー噴霧による下降流と熱による対流により格納容器内の温度は十分に均一化される。

従って、約 25 分以降において、ほぼDスプレーリングからのみのスプレーとなる場合でも、Dスプレーリング上部空間だけが、下部空間に比べて過度に温度上昇することではなく、格納容器内は概ね均一に温度、圧力が変動することになる。

以上より、Dスプレーリングからのスプレーのみであっても、格納容器スプレーの安全機能である除熱機能に対して問題が生じるものではない。

なお、スプレー流量低下の水素評価への影響については、(財)原子力発電技術機構による平成 11 年「格納容器内水素挙動解析評価に関する報告書」において、水素成層化時におけるスプレーでの攪拌効果についての検討がなされている。そこでは、低流量の最下段リングでのスプレーであっても、数分間のスプレー運転で十分な均一化が期待できると結論付けられており、温度についても同様な挙動になると考えられる。

#### c. 放射性物質除去効果

スプレー水には、格納容器内雰囲気中の放射性物質を除去する効果があるため、被ばく評価の条件として考慮している。具体的には、放射性物質濃度の低減効果を期待している期間は、よう素除去に必要な薬品注入までの遅れを考慮した事故後 5 分から、格納容器内よう素濃度が初期値の 1/100 になる時間である約 10.5 分までとしている。

一方、静的機器の単一故障として立上り配管の全周破断を想定する時刻は、再循環切替時刻である事故後 25 分（被ばく評価上の再循環切替は、保守的に 20 分としている。）であり、それ以降、Dスプレーリングからのスプレーのみとなる。

従って、被ばく評価上、低減効果を期待している期間は設計通りのスプレー流量が確保されており、放射性物質除去効果に影響はない。

以上から、Dスプレイリングからのスプレイ水については確実にスプレイ水に期待する効果を発揮できるため、安全解析条件として定めたスプレイ流量（定格運転流量の36%：326.9m<sup>3</sup>/h）は妥当である。

以 上

#### 4. 格納容器スプレイ系統の全周破断を想定した場合の添付書類十の評価に与える影響

##### (1) はじめに

格納容器スプレイ系統に対し、静的機器の単一故障として格納容器内立上り配管の全周破断を想定した場合に影響を受ける以下の添付書類十の3つの評価について、影響を確認した。

- ・ 格納容器内圧評価（健全性評価）
- ・ 可燃性ガスの発生に関する評価
- ・ 環境への放射性物質の異常な放出（原子炉冷却材喪失）に関する評価

##### (2) 格納容器内圧評価（健全性評価）

###### a. 事故の原因

この事故は、原子炉の出力運転中に原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管あるいはこれに付随する機器等の破損等により、1次冷却材が系外に流出し、原子炉格納容器内の温度、圧力が異常に上昇する事象を想定するものである。

###### b. 解析方法

原子炉格納容器の内圧解析は破断箇所からの放出質量、エネルギーの算出及びその放出質量、エネルギーに基づいた原子炉格納容器の内圧、温度解析とからなる。

放出質量、エネルギーの計算は、ブローダウン解析コードSATAN-VI及びリフィル/再冠水解析コードWREFLOODにより、ブローダウン、リフィル及び再冠水の各段階に分けて行う。原子炉格納容器内圧、温度の計算は、原子炉格納容器内圧解析コードCOCOにより、リフィル、再冠水及び再冠水後の放出質量、エネルギーの計算と同時に行う。

コード体系を図4-1に示す。

###### c. 解析条件及び解析結果

事象の過程を図4-2に示す。

主要事象クロノログを表4-1に示す。

解析条件及び解析結果を表4-2及び図4-3～図4-4に示す。

なお、影響評価として、現行の安全解析から単一故障の想定を変更した。

###### d. 評価結果

格納容器スプレイ開始後、再冠水終了により破断流が急減し、圧力低下に転じる。現行の安全解析に対して、再循環切替までは格納容器スプレイポンプが2台運転されているため内圧の低下は早

くなっている。その後、再循環運転開始と同時に格納容器内立上り配管の全周破断を想定することにより、スプレイ流量の低下から内圧が上昇に転じるが、格納容器内のスプレイ及びヒートシンクによる除熱効果が格納容器への放出エネルギーを上まわり内圧は低下に転じ次第に下降していき、これ以降に状況の変化がないことから崩壊熱の減衰と共に事象は収束に向かう。評価の結果、再循環切替以降、圧力は高めに推移するものの、現行の安全解析における最高圧力約0.241MPa[gage]を下回ることを確認した。

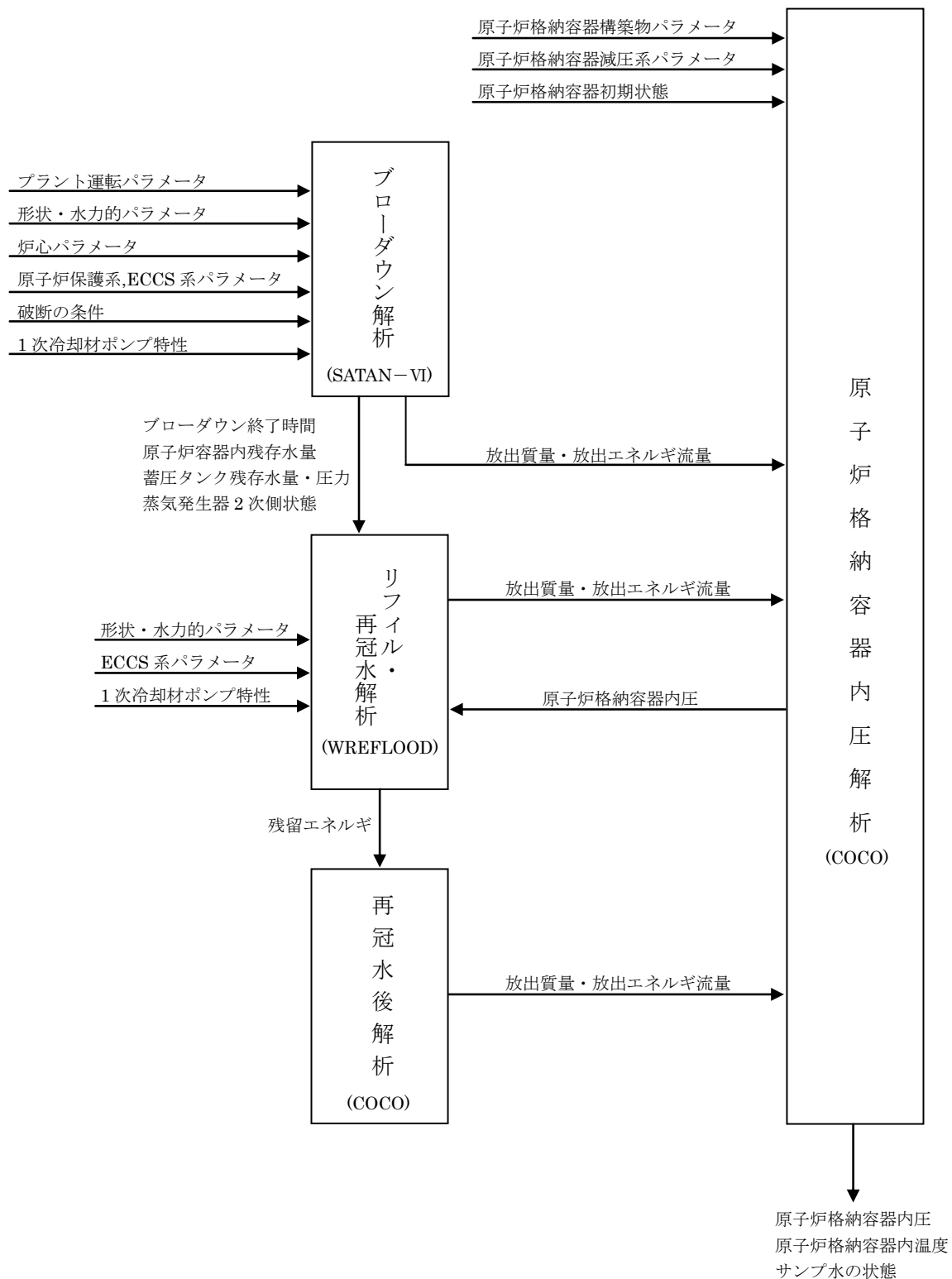


図4-1 「原子炉冷却材喪失（原子炉格納容器健全性評価）」のコード体系

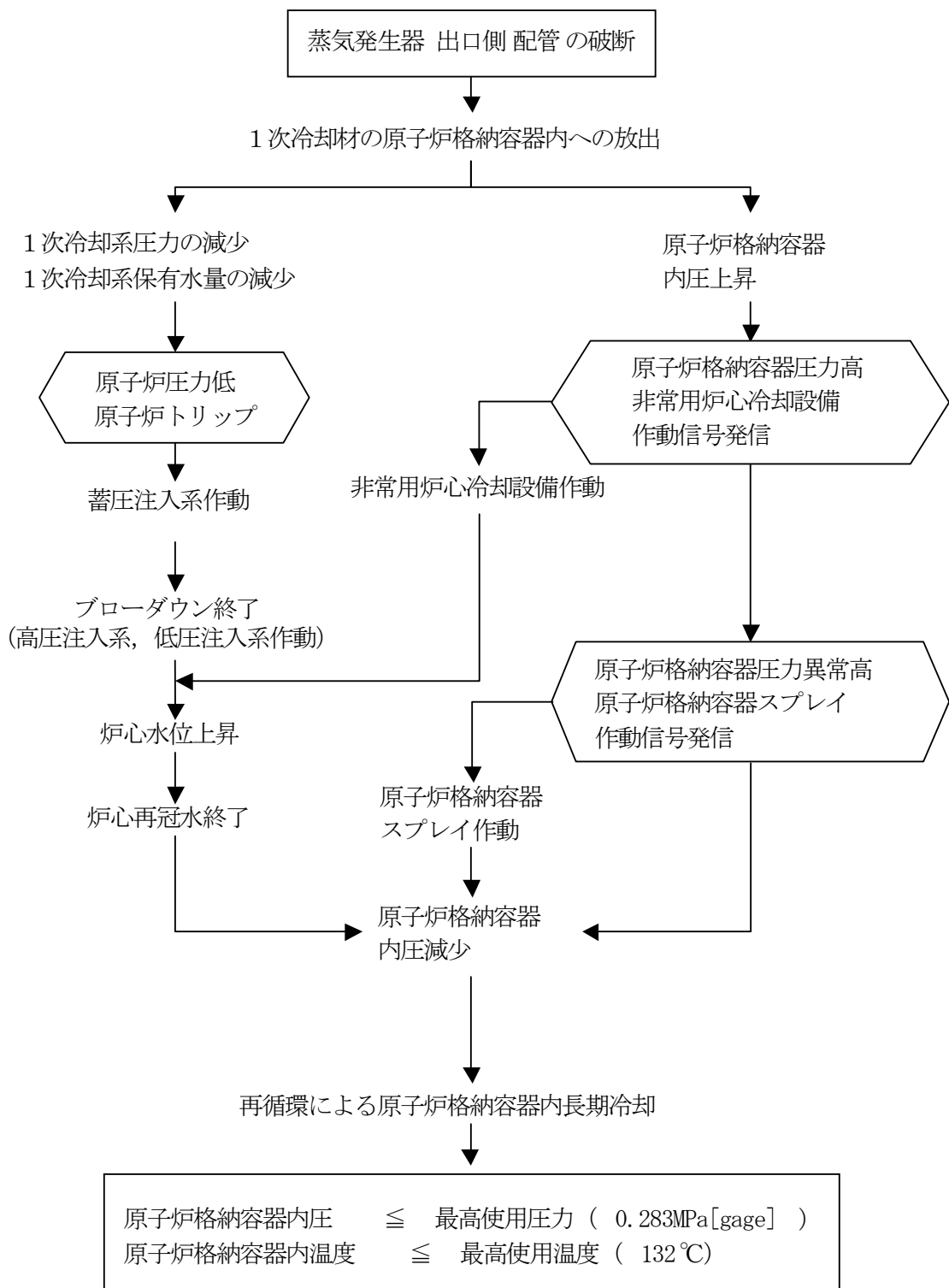


図4-2 「原子炉冷却材喪失（原子炉格納容器健全性評価）」の事象過程

表4-1 「原子炉冷却材喪失（原子炉格納容器健全性評価）」の主要事象クロノロジ  
 （影響評価解析のケース）


時刻（秒）	事 象
0	蒸気発生器出口側配管両端破断発生
約1	「原子炉圧力低」原子炉トリップ限界値到達
約1	「原子炉格納容器圧力高」非常用炉心冷却設備作動限界値到達
約6	「原子炉格納容器圧力異常高」原子炉格納容器スプレイ作動限界値到達
約17	ブローダウンエネルギーによって形成される第1ピーク圧力
約22	炉心再冠水開始
約151	原子炉格納容器スプレイ開始
約203	第2ピーク圧力 原子炉格納容器圧力，温度最大
約 	再循環開始 格納容器スプレイ配管両端破断
約10,000	格納容器スプレイ配管両端破断に伴う除熱能力低下による第3ピーク圧力
100,000	計算終了



表4-2 「原子炉冷却材喪失(原子炉格納容器健全性評価)」の解析条件及び解析結果

項目		解析件名			
		原子炉冷却材喪失 (原子炉格納容器健全性評価)			
		現行の安全解析※1	静的機器の単一故障を想定した解析	選 定 理 由	
解 析 条 件	事故条件	蒸気発生器出口側配管両端破断 (1次冷却材ポンプ吸込側) 流出係数=1.0	同 左	原子炉格納容器内圧上昇の観点から最も 厳しい	
	原子炉出力 (%)	102	同 左	定常誤差を考慮した上限値	
	単 一 故 障	動的機器	格納容器スプレイ 設備 1 系列	短期 (再循環切替まで) : 考慮しない (スプレイポンプ 2 台運転)  長期 (再循環切替後) : 考慮しない (1 台はランアウト※2)	<現行安全解析> 原子炉格納容器内圧上昇の観点から最も 厳しい
		静的機器	考慮しない	短期 (再循環切替まで) : 考慮しない (スプレイポンプ 2 台運転)  長期 (再循環切替後) : 1 系統のスプレイ配管逆止弁出口 部の全周破断を考慮	<影響評価解析> 静的機器の単一故障として、1 系統のスブ レイ配管逆止弁出口部の全周破断を考慮

※1 立上り配管 2 重化後も動的単一故障の解析結果に影響はない。

※2 スプレイ配管 1 本の全周破断が生じることにより、当該系統の格納容器スプレイはランアウト状態に至る。

表4-2 「原子炉冷却材喪失(原子炉格納容器健全性評価)」の解析条件及び解析結果 (つづき)

項目		解析件名		原子炉冷却材喪失 (原子炉格納容器健全性評価)		
				現行の安全解析	静的機器の単一故障を想定した解析	選 定 理 由
解 析 条 件	そ の 他	崩壊熱		日本原子力学会の推奨値に基づく核分裂生成物の崩壊熱にアクニチドの崩壊熱を考慮した曲線 (MOX炉心を考慮)	同 左	MHI-NES-1010 改3「PWRの安全解析用崩壊熱について」に基づく
		蓄圧 注入系	保持圧力 (MPa[gage])	4.04	同 左	原子炉格納容器への放出エネルギーが大きくなる最小値
			保有水量 (m <sup>3</sup> )	29.0	同 左	
		蓄圧注入系注入位置		ダウンカマ部及び下部プレナム	同 左	再冠水開始を早め、破断口からの質量流量及びエネルギー放出量を増大させる。
		安全注入開始時刻		ブローダウン終了と同時	同 左	再冠水期間を早め、破断口からの質量流量及びエネルギー放出量を増大させる。
		1次冷却材ポンプ		ポンプ特性に従って動く	同 左	原子炉格納容器への放出量が大きいほど厳しい
		減速材密度係数 (%Δk/k(g/cm <sup>3</sup> ))		36	同 左	密度低下による負の反応度添加量を最小にする。(左記は、減速材密度 0.3g/cm <sup>3</sup> における値)
		外部電源		無	同 左	格納容器スプレイの作動遅れを伴うため厳しい
		格納容器スプレイ開始 (秒)		151	同 左	ディーゼル発電機起動時間などを考慮した最大値
		原子炉格納容器自由体積 (m <sup>3</sup> )		65,500	同 左	原子炉格納容器内圧上昇の観点から厳しくなる少なめの値
		蒸気発生器伝熱管施栓率 (%)		0	同 左	施栓率が小さいと、1次冷却材が原子炉格納容器へ多く放出されるため厳しい

表4-2 「原子炉冷却材喪失(原子炉格納容器健全性評価)」の解析条件及び解析結果 (つづき)

項目		解析件名	原子炉冷却材喪失 (原子炉格納容器健全性評価)		
		現行の安全解析	静的機器の単一故障を想定した解析	選 定 理 由	
解析コード		SATAN-IV WREFLOOD COCO	同 左		ブローダウン時熱水力挙動解析 再冠水時熱水力挙動解析 原子炉格納容器内圧解析
格納容器スプレイ作動信号		原子炉格納容器圧力異常高			
解析結果		現行の安全解析結果	静的機器の単一故障を想定した 解析結果	判 定	
	原子炉格納容器内最高圧力 (MPa[gage])	約 0.241	約 0.240	≤0.283MPa[gage] (最高使用圧力)	
	原子炉格納容器内最高温度 (°C)	約 124	約 124	≤132°C (最高使用温度)	

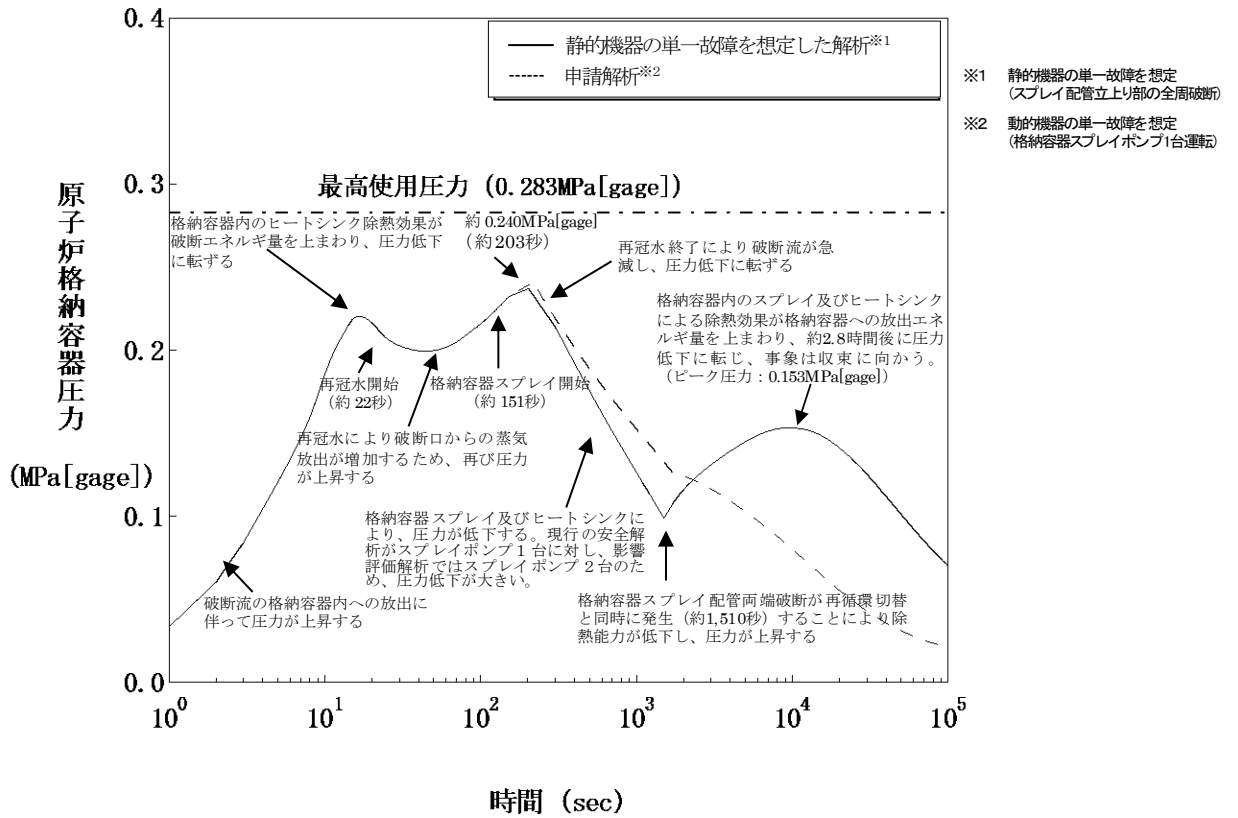


図4-3 格納容器健全性評価 格納容器内圧力

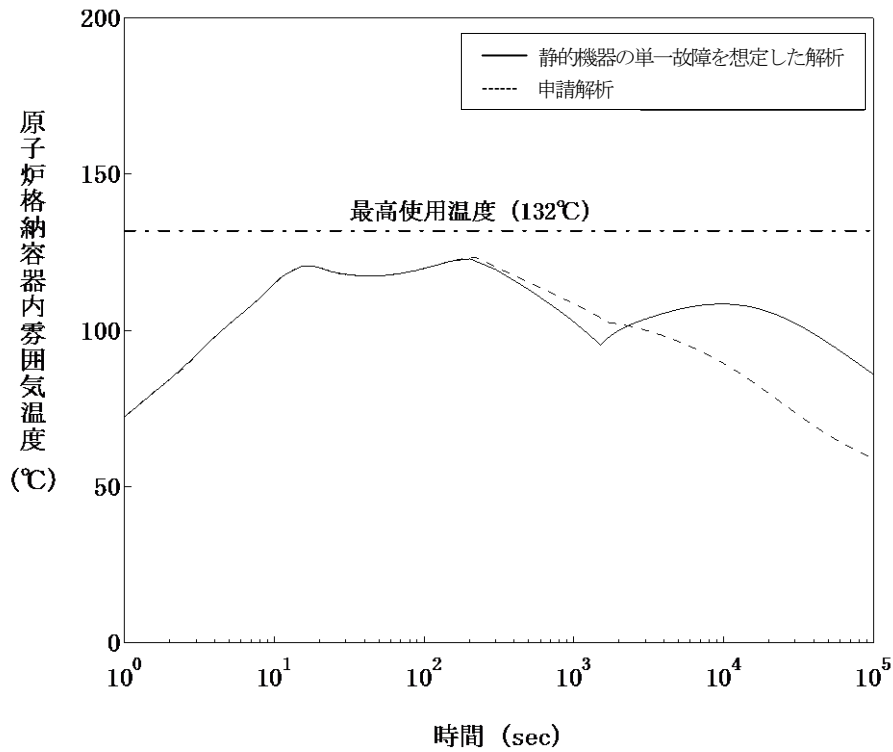


図4-4 格納容器健全性評価 格納容器雰囲気温度

(3) 可燃性ガスの発生に関する評価

a. 事故の原因

この事故は、原子炉冷却材喪失の際に、可燃性ガスが発生する事象を想定する。

b. 判断基準

この事故には、以下の判断基準を用いる。

原子炉格納容器内の水素及び酸素の濃度は、事故発生後少なくとも30日間はいずれかが次の値以下であること。

水素 4%

酸素 5%

c. 解析方法

事故後、原子炉格納容器内に蓄積される水素の量は、d. の条件により解析し、原子炉格納容器内に均一に分布するものとして、原子炉格納容器内の水素濃度の変化を求める。

d. 解析条件及び解析結果

事象の過程を図4-5に示す。

主要事象クロノロジを表4-3に示す。

解析条件及び解析結果を表4-4及び図4-7に示す。

なお、影響評価として、現行の安全解析から単一故障の想定を変更したことにより原子炉冷却材喪失事故時の格納容器内温度の履歴が変わるため、解析条件のうち、使用する格納容器内温度を変更した。

e. 評価結果

金属腐食反応については、原子炉冷却材喪失事故時の原子炉格納容器内温度を考慮して反応割合を求めていることから、格納容器内温度の履歴が変わることにより、現行申請に対し、金属腐食反応による水素発生量が増加する。

評価の結果、格納容器内の水素濃度は現行の安全解析値の約3.3%に対して約3.5%となり、判断基準を満足していることを確認した。

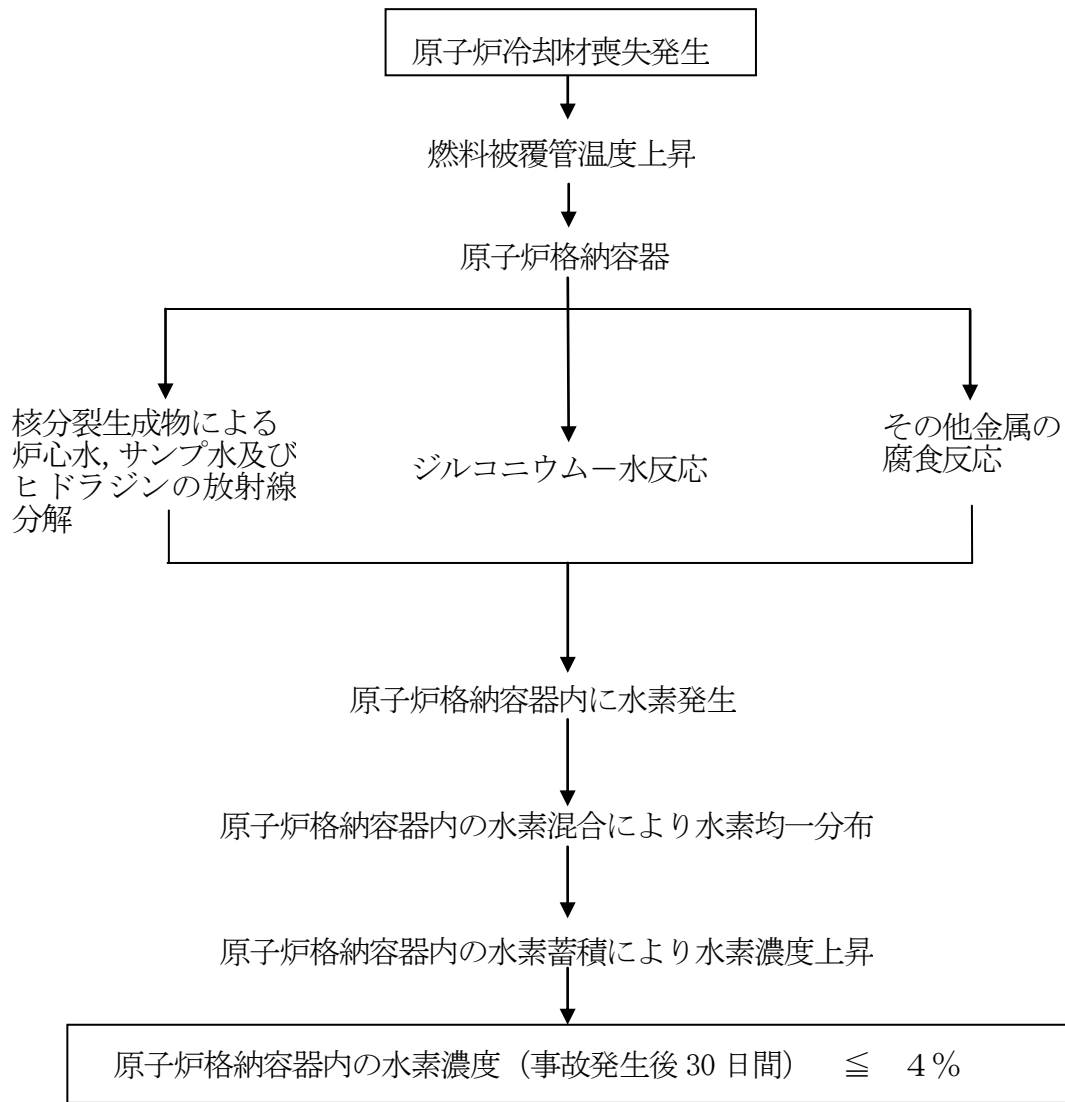


図4-5 「可燃性ガスの発生」の事象過程

表4-3 「可燃性ガスの発生」の主要事象クロノロジ  
(影響評価解析のケース)

時刻 (時間)	事象
0	配管破断発生
720	原子炉格納容器内水素濃度 (約3.5%) 計算終了

表4-4 「可燃性ガスの発生」の解析条件及び解析結果

項目		解析件名	可燃性ガスの発生		
		現行の安全解析※1	静的機器の単一故障を想定した解析	選 定 理 由	
12-別1-39 解析条件	原子炉出力 (%)	102	同左	定常誤差を考慮した上限値	
	単一故障	動的機器	低圧注入系1系列故障	考慮しない	<現行安全解析> ECCS性能評価に同じ <影響評価解析> 静的機器の単一故障として、1系統のスプレイ配管逆止弁出口部の全周破断を考慮
		静的機器	考慮しない	短期（再循環切替まで）： 考慮しない（スプレイポンプ2台運転） 長期（再循環切替後）： 1系統のスプレイ配管逆止弁出口部の全周破断を考慮	
	ジルコニウム-水反応量 (%)	1.5 (ECCS性能評価の解析結果の5倍)	同左	指針どおり（燃料被覆管の表面から5.8μmの厚さが反応した場合に相当する量より大きいECCS性能評価の解析結果の5倍を仮定している。）	
	その他 原子炉格納容器内の液相中に存在する核分裂生成物の量 (%)	炉心内蓄積量のうち ハロゲン 50 希ガス及びハロゲンを除く 他の核分裂生成物 1 （希ガスを除く他の核分裂生成物はすべて炉心部に存在するものとする。）	同左	指針どおり	
	放射線分解により発生する水素ガスの発生割合 (G値) (分子/100eV)	炉心水 : 0.4 サンプ水 : 0.3 ヒドラジン : 0.4	同左	実験結果に基づく値を用いている	

※1 立上り配管2重化後も動的単一故障の解析結果に影響はない。



表 4-4 「可燃性ガスの発生」の解析条件及び解析結果（つづき）

項目		解析件名	可燃性ガスの発生		
			現行の安全解析	静的機器の単一故障を想定した解析	選 定 理 由
解析条件	その他	金属腐食反応割合	原子炉格納容器内雰囲気温度に対応した腐食率 (MOX炉心を考慮)	同左 ただし、格納容器内温度は現行安全解析と異なる。*1	指針の考え方どおり
		解析コード	—	—	—
		原子炉トリップ信号	—	—	—
解析結果			現行の安全解析結果	静的機器の単一故障を想定した解析結果	判定
		原子炉格納容器内水素濃度 (%)	約 3.3 (事故発生後 30 日時点)	約 3.5 (事故発生後 30 日時点)	事故発生後少なくとも 30 日間は水素濃度 4%以下

\*1 「図 4-6 解析に用いた格納容器内温度」を参照。

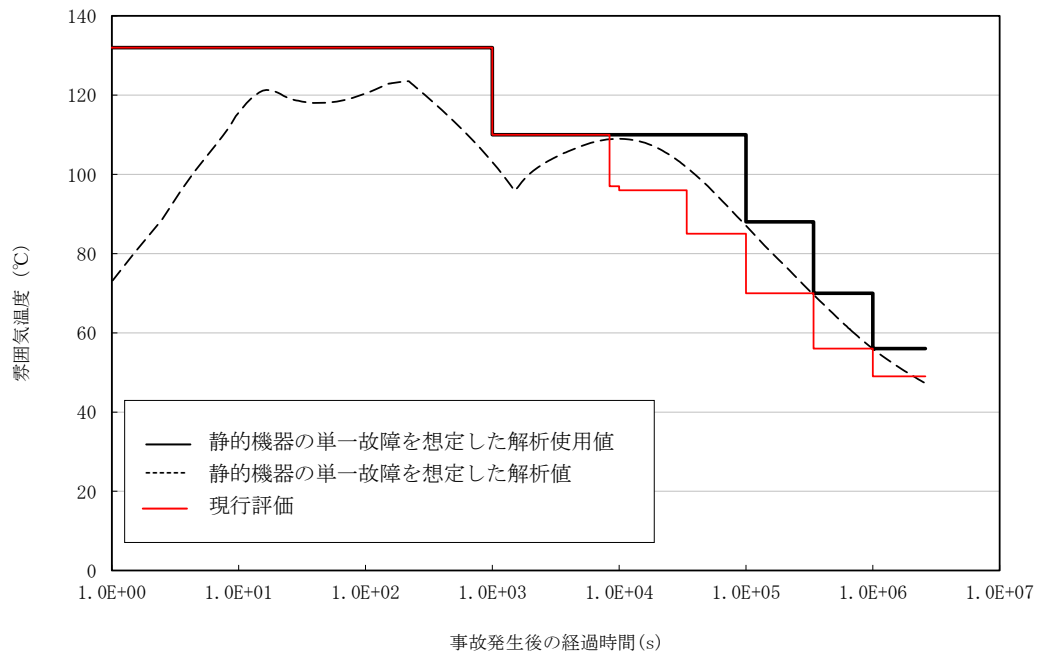


図 4-6 解析に用いた格納容器内温度

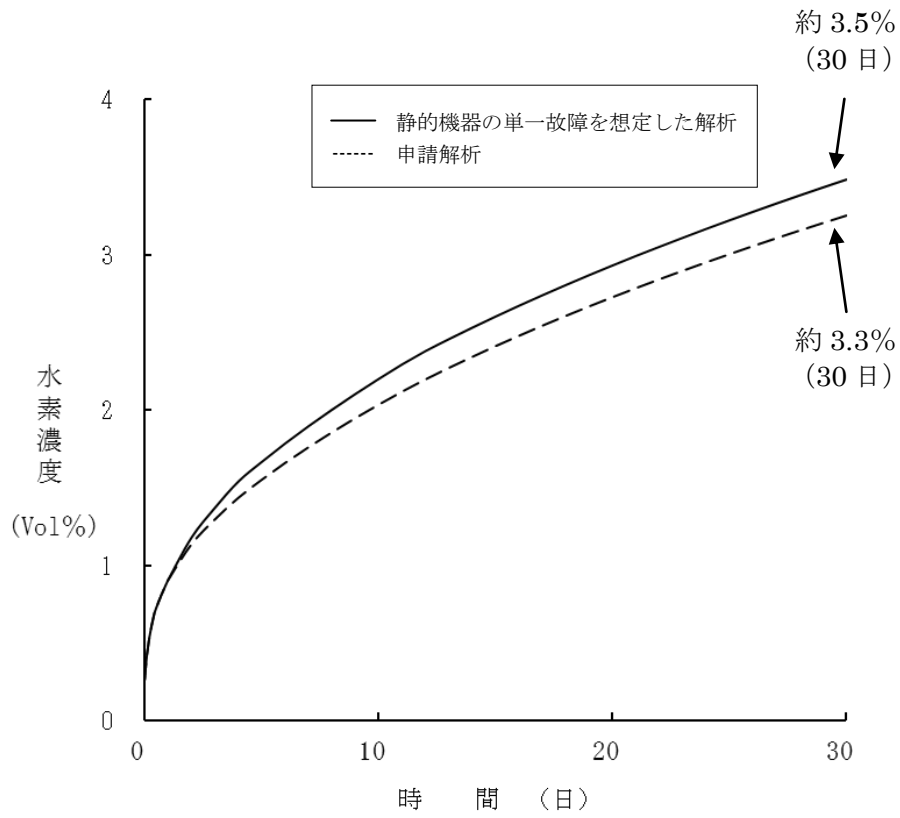


図4-7 可燃性ガスの発生

(4) 環境への放射性物質の異常な放出（原子炉冷却材喪失）に関する評価

a. 事故の原因

この事故は、原子炉の出力運転中に原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管あるいはこれに付随する機器等の破損等により、原子炉冷却材喪失が発生した際に、放射性物質が環境に放出される事象を想定する。

b. 核分裂生成物の放出量及び線量の解析条件及び解析結果

よう素、希ガスの大気放出過程図を図4-8、図4-9 に示す。

放射能放出経路及び被ばく経路図を図4-10 に示す。

解析条件及び解析結果を表4-5に示す。

なお、影響評価として、現行の安全解析から単一故障の想定を変更したことにより原子炉冷却材喪失事故時の格納容器内圧力の履歴が変わるため、解析条件のうち、使用する格納容器からの漏えい率を変更した。

c. 評価結果

影響評価については、現行安全解析に対し、格納容器内圧力の履歴が変わることにより長期的に格納容器からの漏えい率が高くなったことから、大気中に放出されるよう素及び希ガスの量は若干上昇し、敷地等境界外における最大の実効線量も若干大きくなるものの、現行の安全解析値の約0.23mSvと同程度となることを確認した。

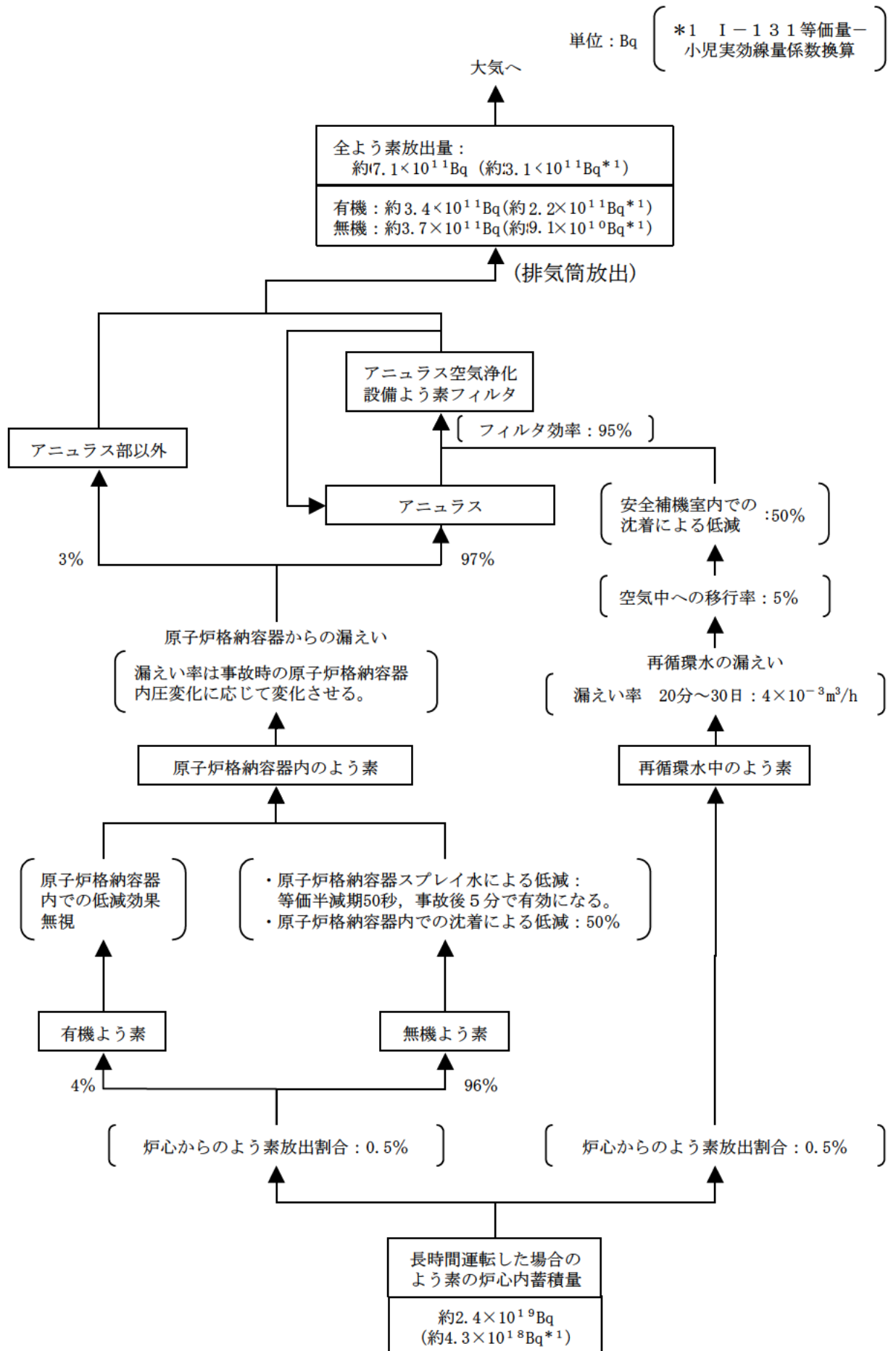


図 4-8 原子炉冷却材喪失（事故）時のよう素の大気放出過程（影響評価解析）

単位：Bq  $\left[ \begin{array}{l} \gamma \text{線エネルギー} \\ 0.5\text{MeV換算} \end{array} \right]$

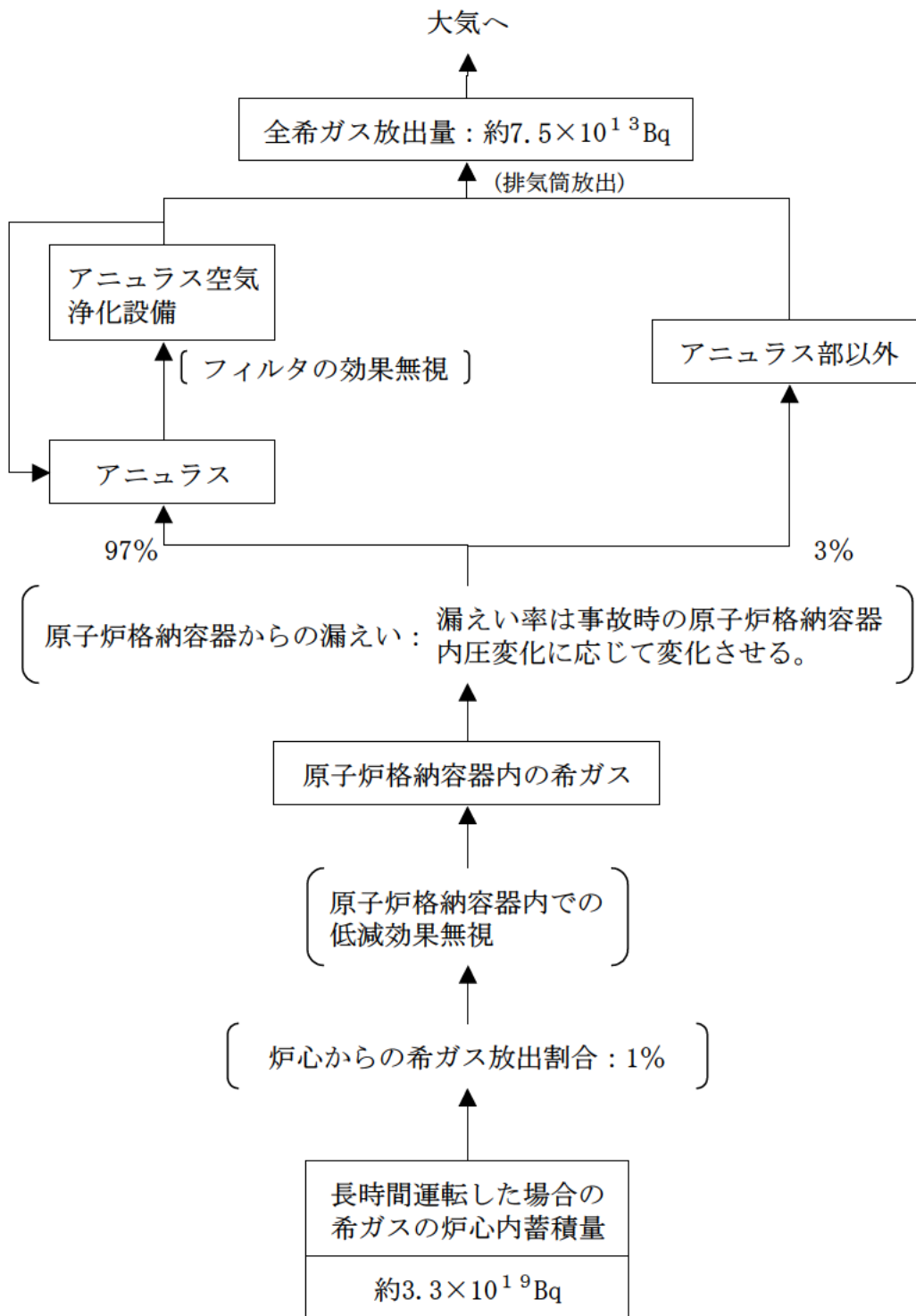


図 4-9 原子炉冷却材喪失（事故）時の希ガスの大気放出過程（影響評価解析）

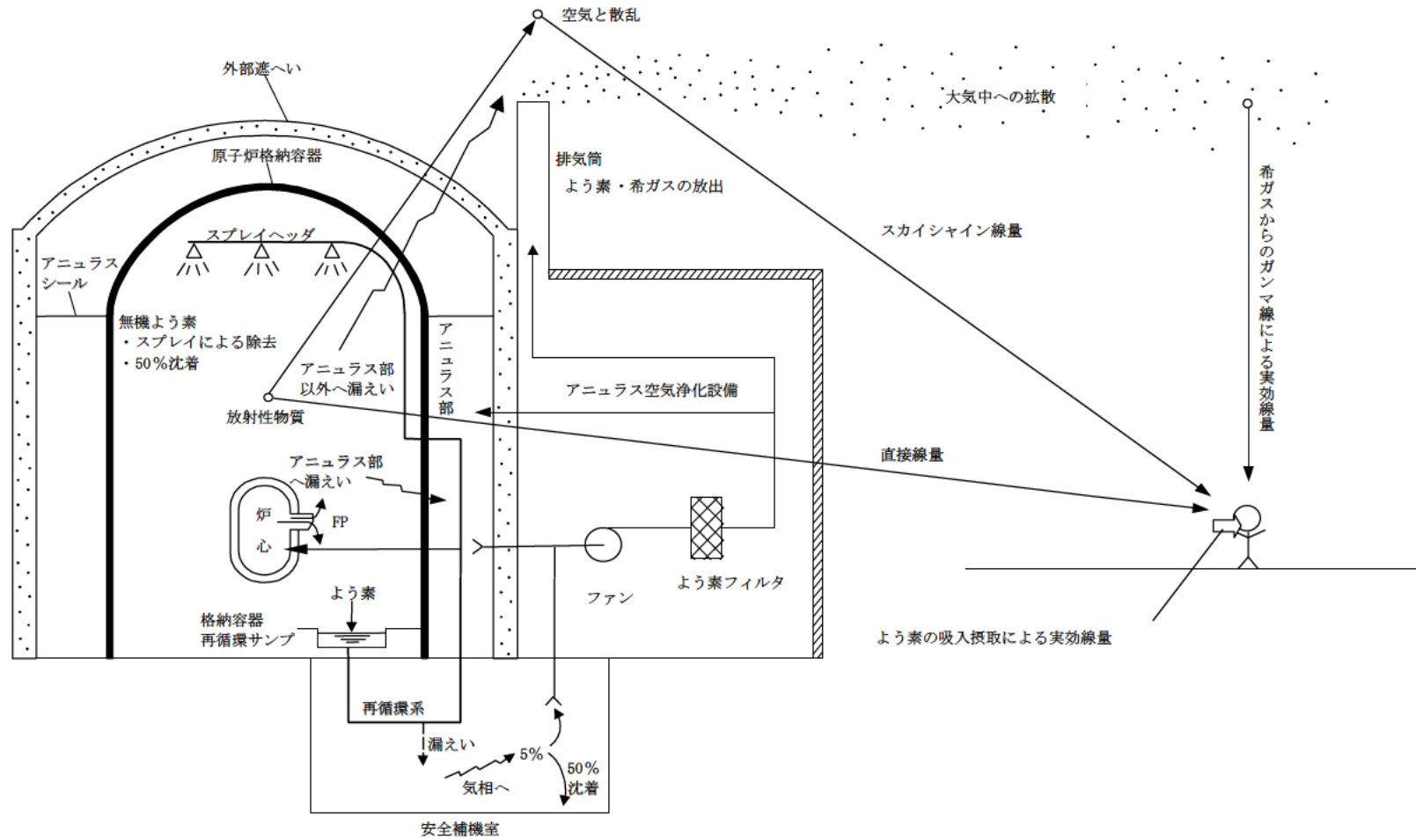


図 4-10 原子炉冷却材喪失時の放射能放出経路及び被ばく経路

表4-5 「原子炉冷却材喪失」の解析条件及び解析結果

解析条件		現行の安全解析※ <sup>1</sup>	静的機器の単一故障を 想定した解析	選定理由
炉心熱出力		2,705MWt	同 左	定格熱出力 (2,652MWt) の102%
単 一 故 障	動的機器	ディーゼル発電機 1 台	考慮しない	<現行安全解析> 動的機器の単一故障として、放射性物質の放出の観点から最も厳しい
	静的機器	考慮しない	短期(再循環切替まで)： 考慮しない 長期(再循環切替後)： 1系列のスプレイ配管逆止弁 出口部の全周破断を考慮	<影響評価解析> 静的機器の単一故障として、1系統のスプレイ配管逆止弁出口部の全周破断を想定
原子炉運転時間		最高 40,000 時間	同 左	平衡炉心の最高運転時間を下回らない値
事故後、原子炉格納容器内に放出される核分裂生成物の量		炉心内蓄積量のうち 希ガス 1% よう素 0.5%	同 左	指針の考え方どおり (燃料棒の破損率を 100%と仮定)
原子炉格納容器に放出されるよう素の形態		有機よう素 4% 無機よう素 96%	同 左	指針どおり
原子炉格納容器内に放出される核分裂生成物のうち、原子炉格納容器内部に沈着する割合		希ガス 0% 有機よう素 0% 無機よう素 50%	同 左	指針どおり
原子炉格納容器スプレイ水による無機よう素除去効率		スプレイ水によるよう素除去に対する 等価半減期 無機よう素 50 秒  ただし、有機よう素・希ガスについては考慮しない。	同 左	設計に基づく無機よう素の等価半減期は 50 秒以下である。  指針どおり
原子炉格納容器スプレイ水による無機よう素除去効果が有効になる時間		事故後 5 分	同 左	設計値 (約 4.9 分) を上回る値

※1 立上り配管 2 重化後も動的単一故障の解析結果に影響はない。



表4-5 「原子炉冷却材喪失」の解析条件及び解析結果（つづき）

解析条件	現行の安全解析	静的機器の単一故障を 想定した解析	選定理由
原子炉格納容器からの漏えい率	次式により求めた値を下回らない値 $L = \frac{C}{V} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>L : 漏えい率                      C : 定数                      V : 原子炉格納容器                      気相部体積                      ΔP : 差圧                      ρ : CV内気体密度                      (MOX炉心を考慮)</p> </div> </div>	同 左  ただし、格納容器内圧力が安全解析と異なる。	指針の考え方どおり、事故後の原子炉格納容器内圧に対応した漏えい率とする。 <sup>※1</sup>
原子炉格納容器からの漏えい割合	アニュラス部 97% アニュラス部以外 3%	同 左	指針どおり
アニュラス空気浄化設備よう素フィルタのよう素除去効率	95%	同 左	設計上は95%以上（温度約100℃、相対湿度約80%）の効率を期待できる。
アニュラス部の負圧達成までのよう素用フィルタのよう素除去効率 負圧達成後のアニュラス排気風量	(0～10分) アニュラス空気浄化設備を通して全量放出（フィルタの効果は考慮しない。） (10分～30分) アニュラス空気浄化設備を通してファン容量で放出（フィルタの効果は考慮する。） (30分～30日) アニュラス空気浄化設備を通してファン容量の35.5%放出（フィルタの効果は考慮する。）	(0～10分) 同左  (10分～30分) 同左  (30分～30日) 同左	負圧達成時間は10分以内であり、評価上は10分とする。  小容量排気への切り替え時間は30分とする。
再循環系から安全補機室内への漏えい率	$4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{h}$	同 左	設計値は $4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{h}$ 以下である。
再循環開始時間	事故後 20分	同 左	設計に基づく評価では20分以上である。
再循環水中の放射能量	炉心内よう素蓄積量の0.5%	同 左	指針の考え方どおり 格納容器内に放出されたよう素と同量とする。

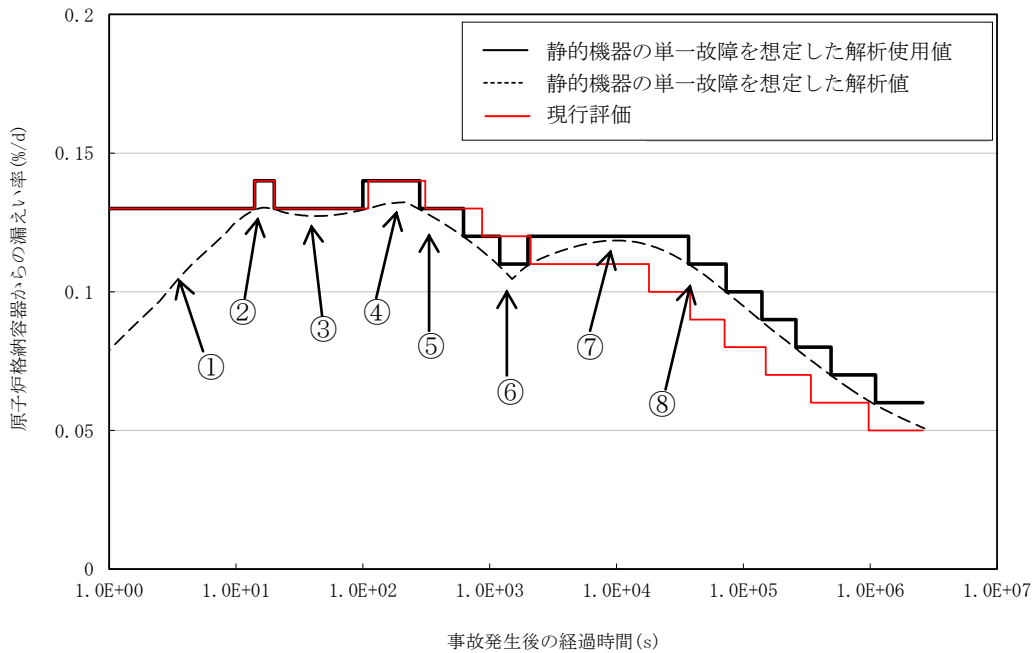
※1 「図4-11 原子炉格納容器からの漏えい率」を参照。

表4-5 「原子炉冷却材喪失」の解析条件及び解析結果（つづき）

解析条件	現行の安全解析	静的機器の単一故障を想定した解析	選定理由
再循環水体積	1,400m <sup>3</sup>	同 左	設計値は1,400m <sup>3</sup> 以上である
再循環系から安全補機室内に漏えいした再循環水中のよう素の気相への移行率	5%	同 左	指針どおり
安全補機室内でのよう素沈着率	50%	同 左	指針どおり
原子炉格納容器内核分裂生成物による直接線量及びスカイシャイン線量評価用の線源	原子炉格納容器内に放出される核分裂生成物の量の炉心内蓄積量のうち 希ガス 1% ハロゲン 0.5% その他 0.01%	同 左	原子炉格納容器内に放出される核分裂生成物の量を下回らない値
事故の評価期間	30日	同 左	指針の考え方どおり (原子炉格納容器内からの漏えいが無視できる程度に低下するまでの期間)
環境への放射性物質の放出	排気筒放出で評価	同左	格納容器排気筒から放出される。
環境に放出された放射性物質の大気中の拡散条件	「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度 ( $\chi/Q$ ) 及び相対線量 ( $D/Q$ ) $\chi/Q$ : 約 $4.3 \times 10^{-5} \text{s/m}^3$ $D/Q$ : 約 $3.1 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}$	「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度 ( $\chi/Q$ ) 及び相対線量 ( $D/Q$ ) $\chi/Q$ : 約 $3.9 \times 10^{-5} \text{s/m}^3$ $D/Q$ : 約 $3.1 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}$	指針どおり
評価項目	現行の安全解析結果	静的機器の単一故障を想定した解析結果	判定
環境に放出されるよう素量 (I-131 等価量—小児実効線量係数換算)	約 $2.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	約 $3.1 \times 10^{11} \text{Bq}$	核分裂生成物の放出量は少なく、周辺の公衆に対し著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。 $\leq 5 \text{mSv}$
環境に放出される希ガス量 ( $\gamma$ 線エネルギー0.5MeV換算)	約 $6.1 \times 10^{13} \text{Bq}$	約 $7.5 \times 10^{13} \text{Bq}$	
実効線量	約 $0.23 \text{mSv}^{*1, *2}$	約 $0.23 \text{mSv}^{*1, *2}$	

※1 方位毎によう素の吸入摂取による実効線量、希ガスからの $\gamma$ 線による実効線量及び直接・スカイシャイン線量を合算した値の最大値

※2 実効線量には、格納容器内浮遊核分裂生成物による直接線及びスカイシャイン線量 (約0.086mSv) を含む。



**【図の解説】**

①破断流の原子炉格納容器内への流出に伴って原子炉格納容器圧力、温度が上昇し、漏えい率が上昇する。

②原子炉格納容器内のヒートシンク除熱効果が破断エネルギー量を上回り、原子炉格納容器圧力、温度が低下に転じ、漏えい率が低下する。

③炉心再冠水により破断口からの蒸気放出が増加するため、再び原子炉格納容器圧力、温度が上昇し、漏えい率が上昇する。

④炉心再冠水終了により破断流が急減し、原子炉格納容器圧力、温度が低下に転じ、漏えい率が低下する。

⑤原子炉格納容器スプレイ及びヒートシンク除熱効果により、原子炉格納容器圧力、温度が低下し、漏えい率が低下する。

⑥再循環モードが確立し、サンプル水温に伴いスプレイ水温、安全注入水温が上昇するため、及び格納容器スプレイ配管の両端破断が発生することによりスプレイ流量が低下するため、原子炉格納容器圧力、温度が上昇し、漏えい率が上昇する。

⑦崩壊熱の低下に伴い発生エネルギーよりも原子炉格納容器スプレイによる除熱効果が上回る事で原子炉格納容器圧力、温度が低下に転じるため、漏えい率も低下に転じる。

⑧時間の経過とともに再循環モードでの熱交換器による冷却が進み、原子炉格納容器圧力、温度が低下し、漏えい率の低下が継続する。時間の経過と共に現行評価と影響評価の漏えい率の差は縮まる。

図 4-11 原子炉格納容器からの漏えい率