

## 設置許可基準規則第十二条の要求について

設置許可基準規則第十二条では、安全施設が安全機能を果たすための要求が記載されており、この要求への対応について整理する。

## 1. 要求事項

第十二条における要求事項を整理すると以下の通り。

設置許可基準規則 第十二条	内部溢水影響評価での対応
<p>(安全施設)</p> <p>第十二条 安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。</p>	<p>安全施設のうち、溢水評価ガイドの要求に従って、重要度の特に高い安全機能を有する系統設備を防護対象設備として選定している。</p>
<p>2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障（単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと（従属要因による多重故障を含む。）をいう。以下同じ。）が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。</p>	<p>発電所内で発生した内部溢水に対して、重要度の特に高い安全機能を有する系統が、その安全機能を失わないこと（信頼性要求に基づき独立性が確保され、多重性又は多様性を有する系統が同時にその機能を失わないこと）を確認している。</p>

設置許可基準規則 第十二条	内部溢水影響評価での対応
<p>3 安全施設は，設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において，その機能を発揮することができるものでなければならない。</p>	<p>環境条件として，溢水事象となる事故（LOCA や主蒸気管破断），原子炉外乱，自然現象等を考慮しても，没水や被水，蒸気の影響により防護対象設備が安全機能を失わないことを確認している。</p>

## 1.1 第十二条 第2項への適合について

### 1.1.1 定義

「多重性」，「多様性」，「独立性」の定義については，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」第二条第2項にて以下のように定められている。

【実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則】

## 第二条

### 第2項

十七 「多重性」とは，同一の機能を有し，かつ，同一の構造，動作原理その他の性質を有する二以上の系統又は機器が同一の発電用原子炉施設に存在することをいう。

十八 「多様性」とは，同一の機能を有する二以上の系統又は機器が，想定される環境条件及び運転状態において，これらの構造，動作原理その他の性質が異なることにより，共通要因※（二以上の系統又は機器に同時に影響を及ぼすことによりその機能を失わせる要因をいう。以下同じ。）又は従属要因（単一の原因によって確実に系統又は機器に故障を発生させることとなる要因をいう。以下同じ。）によって同時にその機能が損なわれないことをいう。

十九 「独立性」とは，二以上の系統又は機器が，想定される環境条件及び運転状態において，物理的方法その他の方法によりそれぞれ互いに分離することにより，共通要因又は従属要因によって同時にその機能が損なわれないことをいう。

※「共通要因」とは，二つ以上の系統又は機器に同時に作用する要因で

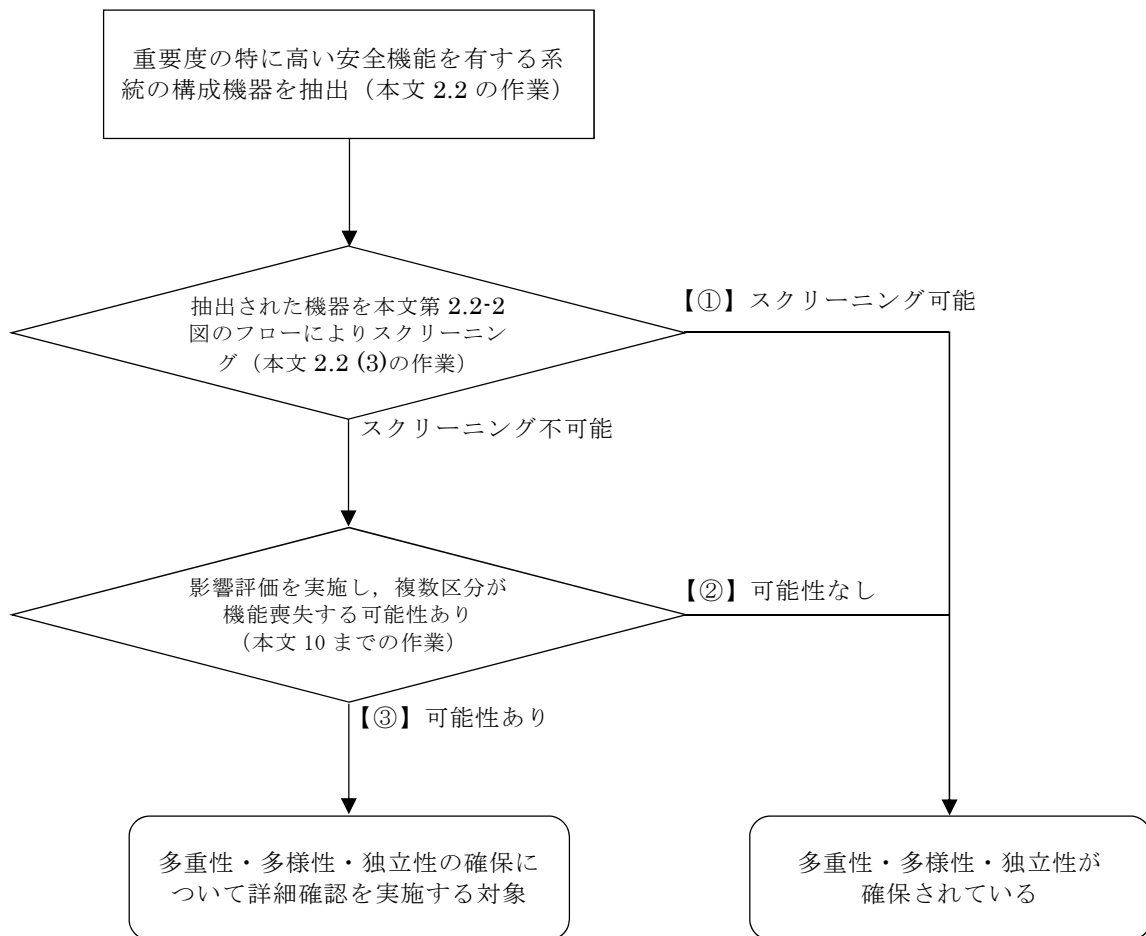
あって、例えば環境の温度、湿度、圧力又は放射線等による影響因子、系統若しくは機器に供給される電力、空気、油、冷却水等による影響因子及び地震、溢水又は火災等の影響をいう。（同解釈より）

#### 1.1.2 確認プロセス

本文第 2.1-1 表にて抽出された重要度の特に高い安全機能の溢水事象に対する多重性・多様性・独立性の確保に関して、以下第 1 図により確認し、その結果、詳細確認を実施する対象として抽出された系統を第 1 表にまとめる。

また、内部火災防護対応による耐火壁・隔壁等で分離する措置も考慮し、溢水評価への影響を確認する。これらの対応を、1.1.4 に示す。

結果として、いずれの機能に対しても多重性・多様性・独立性に問題のないことを確認した。



第 1 図 多重性・多様性・独立性の確保に関する確認フロー

第1表 多重性・多様性・独立性の確保について詳細確認を実施する対象

機能	対象系統・機器
未臨界維持機能	ほう酸水注入系
格納容器内又は放射性物質が格納容器内から漏れ出した場所の雰囲気中の放射性物質の濃度低減機能	非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系
格納容器内の可燃性ガス制御機能	可燃性ガス濃度制御系
原子炉制御室非常用換気空調機能	中央制御室換気空調系

### 1.1.3 詳細確認

ほう酸水注入系、非常用ガス処理系、非常用ガス再循環系、可燃性ガス濃度制御系、中央制御室換気空調系は、何れも同一の区画内に A, B 両系統が設置されており、単一の溢水事象により両系統が機能喪失する可能性を有するが、以下に示す通り、火災防護による区域分離及び系統分離の実施に加え溢水防護区画内及び区画外からの溢水の影響が無い事を確認したことから機能は維持される。

内部溢水影響評価における防護対象設備がその安全機能を喪失しないことを確認するために用いる判定方法については、補足説明資料-2 に整理する。

#### 1.1.3.1 想定破損による溢水の影響

可燃性ガス濃度制御系，ほう酸水注入系，非常用ガス処理系，非常用ガス再循環系，中央制御室換気空調系の機器においては，堰等による溢水経路の対策の実施により溢水の影響が無いよう適切な管理及び必要となる被水対策等を実施する。また，溢水防護区画外から当該区画に対する止水対策等を実施することにより，区画外からの溢水による影響を防止する。

なお，可燃性ガス濃度制御系については，火災防護の区域分離壁により区画分離を実施する。

#### 1.1.3.2 消火水による溢水の影響

可燃性ガス濃度制御系，ほう酸水注入系，非常用ガス処理系，非常用ガス再循環系，中央制御室換気空調系の機器が設置されている上記区画においては，堰等による溢水経路の対策及び必要となる被水対策等を行うことから，消火活動に伴う溢水により機能喪失することはない。また，溢水防護区画外から当該区画に対する止水対策等を実施することにより，区画外からの溢水による影響を防止する。

なお，可燃性ガス濃度制御系については，火災防護の区域分離壁により区画分離を実施する。

#### 1.1.3.3 地震時の溢水の影響

可燃性ガス濃度制御系，ほう酸水注入系，非常用ガス処理系，非常用ガス再循環系，中央制御室換気空調系の機器が設置されている上記区画においては，火災防護の耐火隔壁により系統分離を実施し，溢水防護においては，堰等による溢水経路の対策及び必要となる被水対策等を実施する。また，溢水防護区画外から当該区画に対する止水対策等を実施することにより，区画外

からの溢水による影響を防止する。

なお、可燃性ガス濃度制御系については、火災防護の区域分離壁により区画分離を実施する。

#### 1.1.4 火災対応での措置の考慮について

火災防護による異区分の機器への分離対策として耐火隔壁の設置及び区域分離の対策が実施される。耐火隔壁については、溢水防護区画を分離することなく設置されるため、溢水影響評価に影響はない。また、区域分離壁は、溢水影響評価において考慮されていることから、いずれの火災防護の対策においても溢水影響評価に影響はない。なお、個別機器の系統分離は防護対象設備単体への対応であり溢水防護区画を新たに設けるものではないため、溢水影響評価に影響はない。

以下に火災防護における、異区分の機器への分離対応をまとめる。

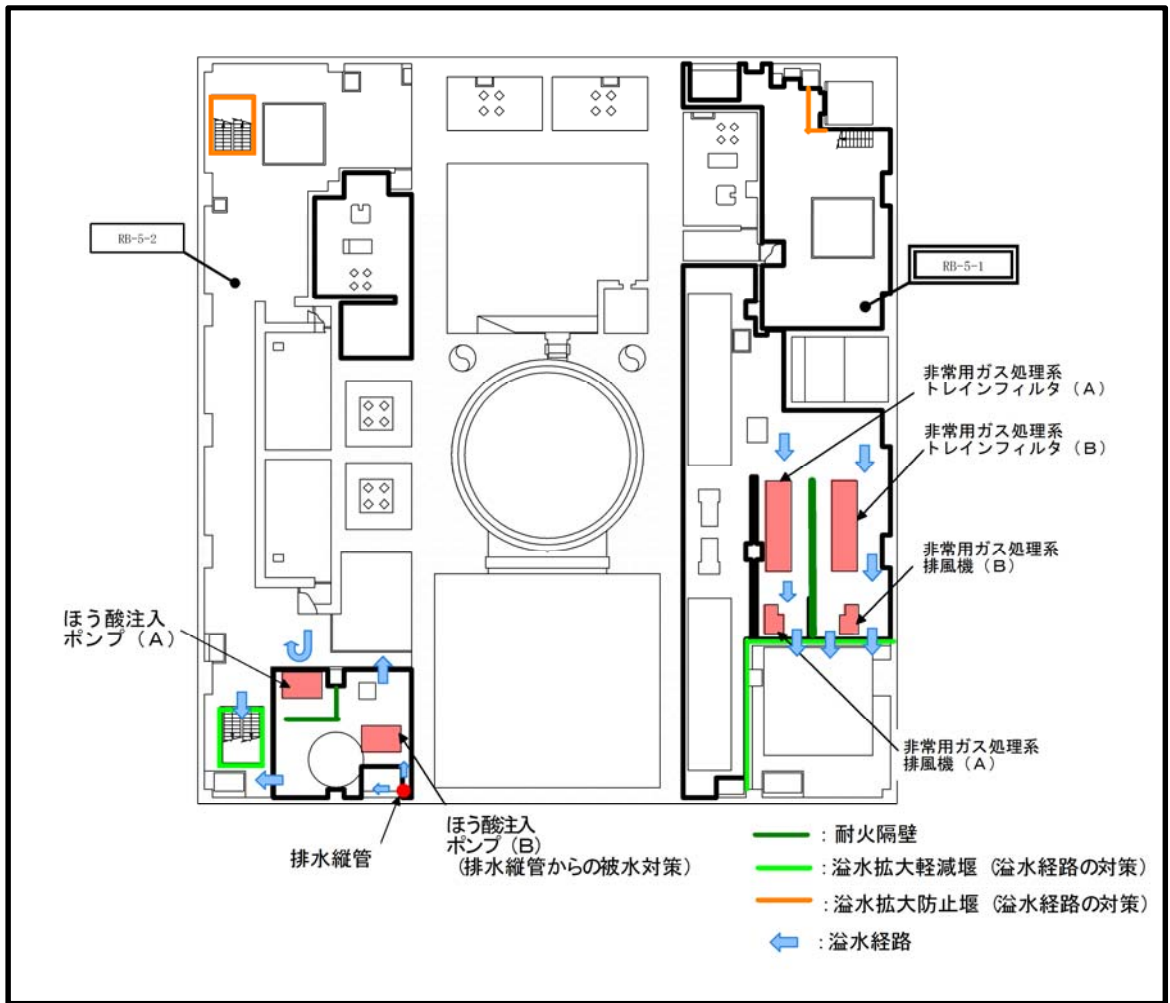
##### 【ほう酸水注入系の火災対策】

- (1) ほう酸水注入ポンプ（SLCポンプ）Aを火災源とした場合の影響軽減  
火災影響評価から、高さ2.4m以上のすることにより影響軽減を図る。

##### 【非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系の火災対策】

- (2) 非常用ガス処理系B系を火災源とした場合の影響軽減  
火災影響評価から、耐火隔壁により分離することにより影響軽減を図る。



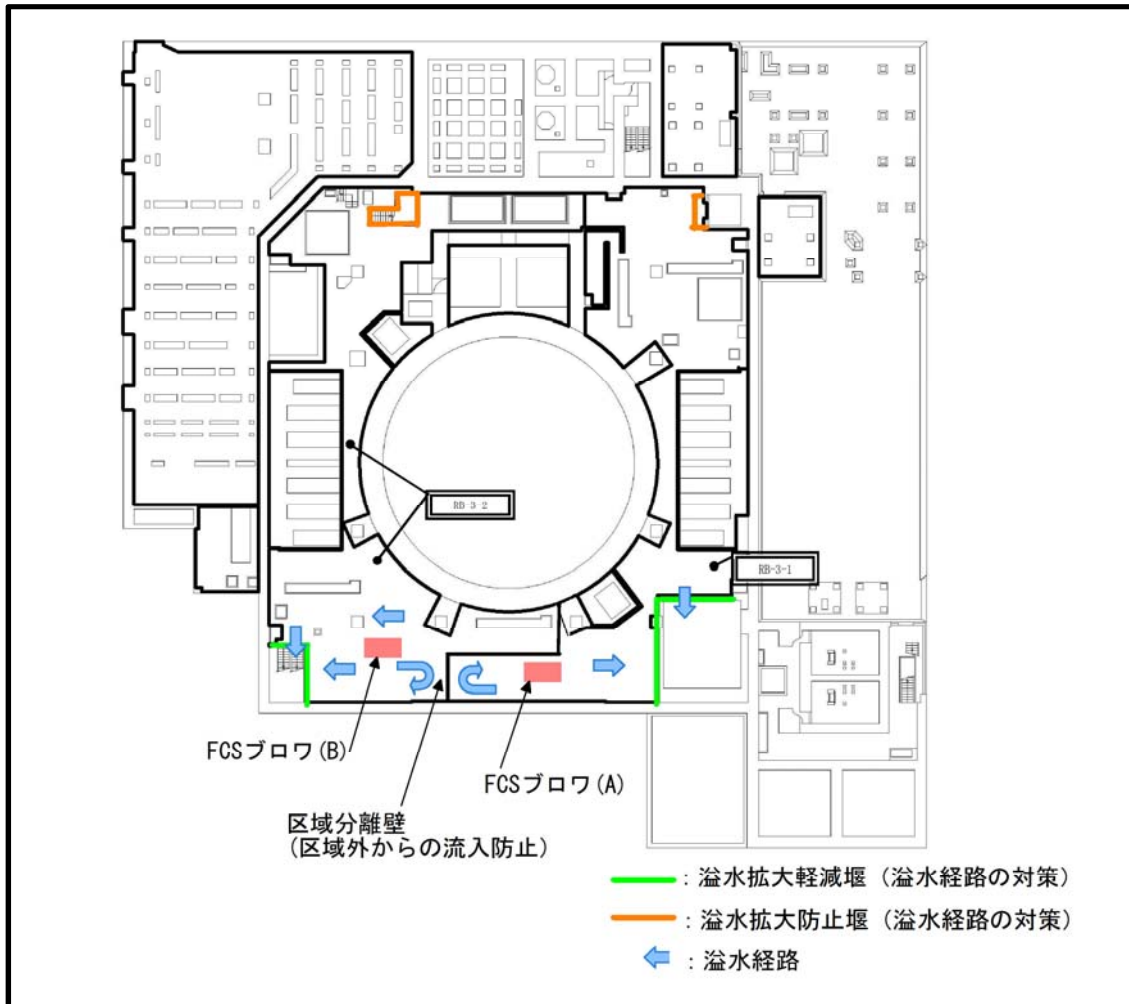


第 2 図 ほう酸水注入系，非常用ガス処理系及び

非常用ガス再循環系の火災対策及び溢水対策

【可燃性ガス濃度制御系の火災対策】

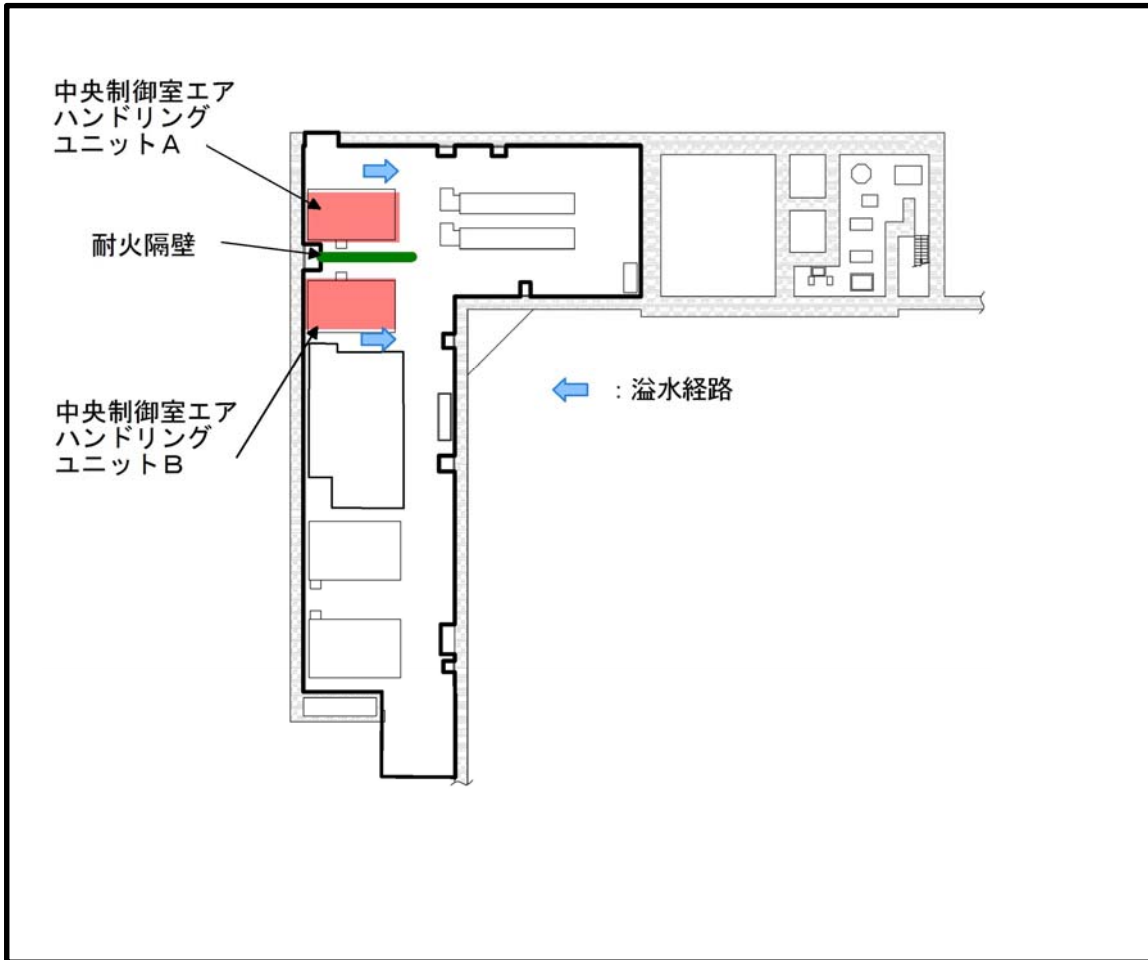
(3) 可燃性ガス濃度制御系については，する。



第4図 可燃性ガス濃度制御系機器の火災対策及び溢水対策

【中央制御室換気空調系の火災対策】

(4) 火災影響評価から，耐火隔壁により分離することにより影響軽減を図る。

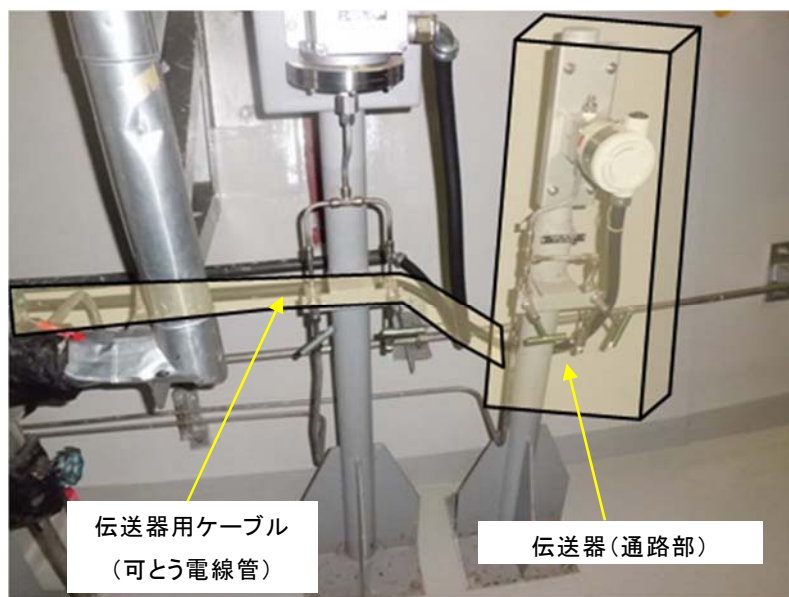


第 5 図 中央制御室換気空調系機器の火災対策及び溢水対策

【その他個別機器の系統分離について】

(5) 3時間耐火隔壁等

同一火災区域内に分離されずに設置している冗長系トレンの監視計器  
伝送器（設置区画 RB-3-2）は、片系統の伝送器を3時間耐火能力を  
有する耐火隔壁にて囲い系統分離する。



格納容器圧力伝送器(PT-26-79.51A)

## 1.2 第十二条 第3項への適合について

### 1.2.1 自然現象による溢水影響の考慮

各自然現象による溢水影響としては、降水のようなプラントへの直接的な影響と、飛来物による屋外タンク等の破壊のような間接的な影響が考えられる。間接的な影響に関しては、設置位置や保有水量等を鑑み、屋外タンク等を自然現象による破損の影響を確認する対象とする。

想定される自然現象による直接的、間接的影響をそれぞれ整理し、補足説明資料-4に示す。結果として、いずれの影響に対しても現状の設計にて問題がないこと、又は現状の評価で包含されることを確認した。

なお、直接的な影響に関する詳細については、地震・津波に関しては本審査資料の該当箇所にて、その他の自然現象に関しては各自然現象に関する審査にて説明する。

## 原子炉建屋内の漏えい検知器設置箇所について

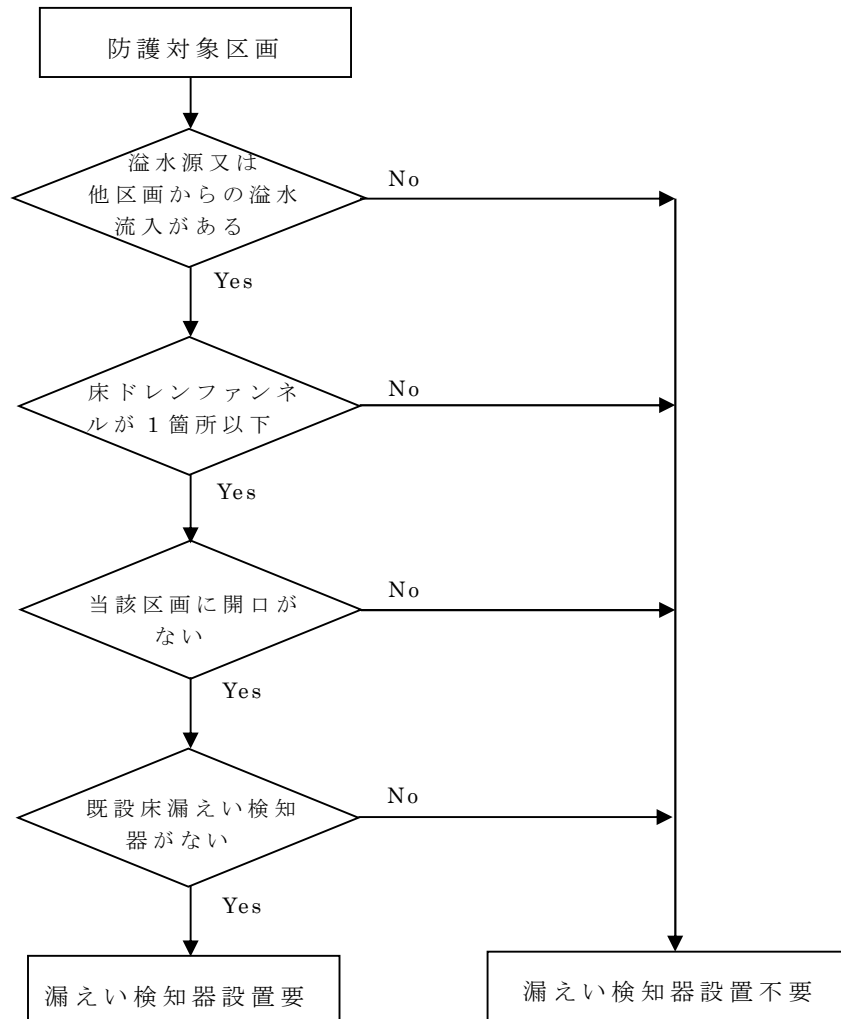
### 1. 概要

現在、溢水の検知方法には床ドレンファンネルからドレンサンプルに収集して漏えいを検知する方法及び既設床漏えい検知器により検知する方法がある。溢水を早期に検知し、その後の隔離作業等を迅速に実施するために、これらに加えて、新規に床漏えい検知器を設置する。新規に設置する床漏えい検知器の設置箇所に係る考え方を以下に示す。

### 2. 新規に設置する床漏えい検知器設置箇所の選定の考え方

(1) , (2) より選定した区画毎に漏えい検知器を少なくとも1個設置する。

(1) 防護対象設備を防護するための選定フロー



第1図 床漏えい検知器設置箇所の選定フロー

(2) (1) 以外の設置箇所

設置箇所	選定理由
管理区域と非管理区域の屋内境界部 <sup>※1</sup>	非管理区域への汚染水漏えいを防止するため管理区域で発生した溢水を検知する。
電気室出入扉外側の区画 <sup>※2</sup>	電気室の外側区画で溢水が発生したことを知らずに扉を開けたとき、溢水が電気室に侵入するのを防止する。
水密区画内 <sup>※3</sup>	水密区画に入る際に水密区画内の滞留の有無を検知する。
原子炉棟 6 階 <sup>※4</sup>	原子炉棟 6 階へのアクセス性を確認するため発生した溢水を検知する。

※1, ※2, ※3, ※4 : 当該設置箇所として第2図に示す。

漏えい検知器の設置箇所について、既設設置も含めて第2図に示す。

(3) 具体的な設置の考え方

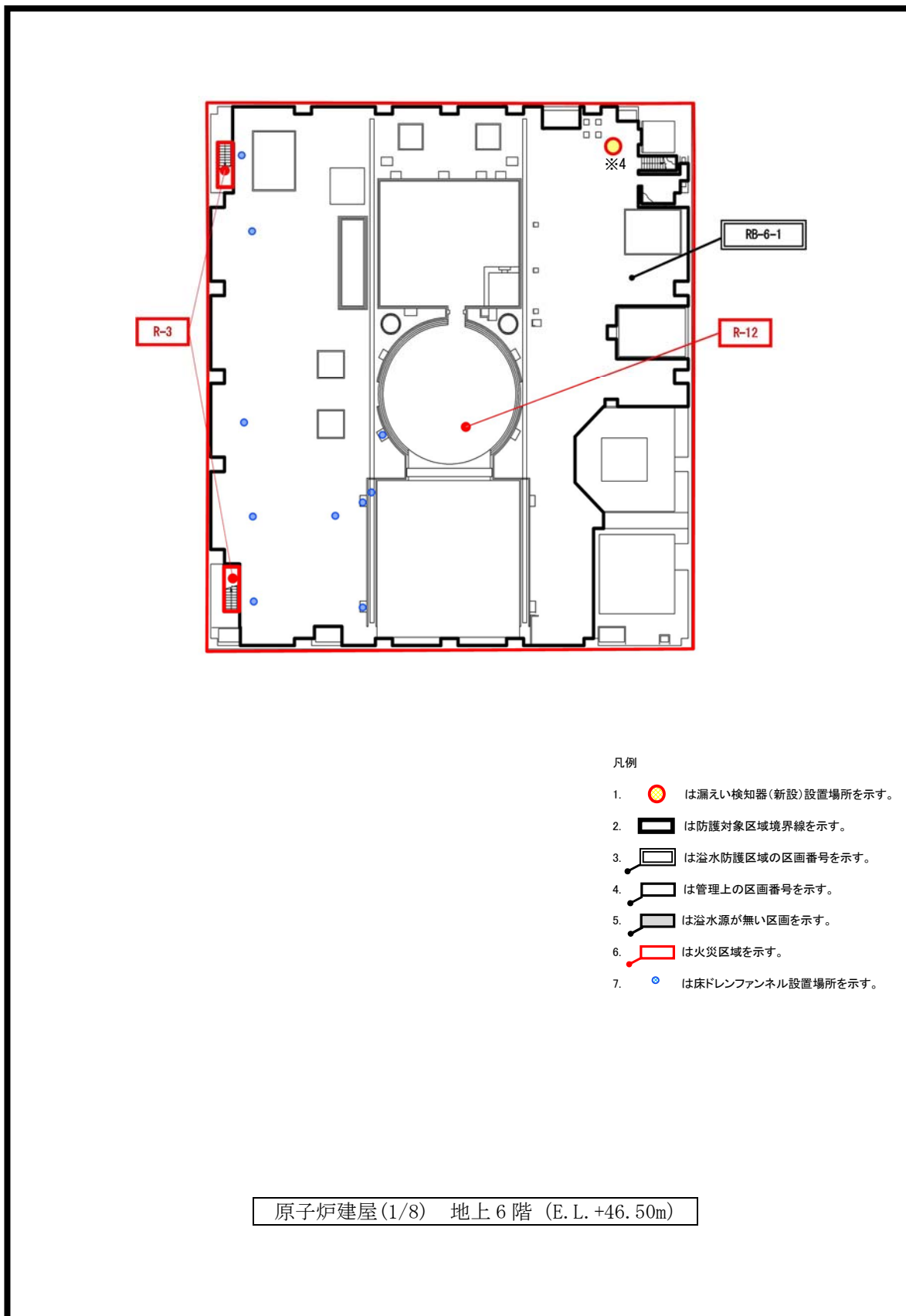
- ・防護対象設備付近に設置する。
- ・既設床ドレンファンネルが設置されている区画では、溢水による漏えいを検知しやすいよう既設床ドレンファンネル近傍に設置する。

3. 原子炉建屋内の漏えい検知器設置数

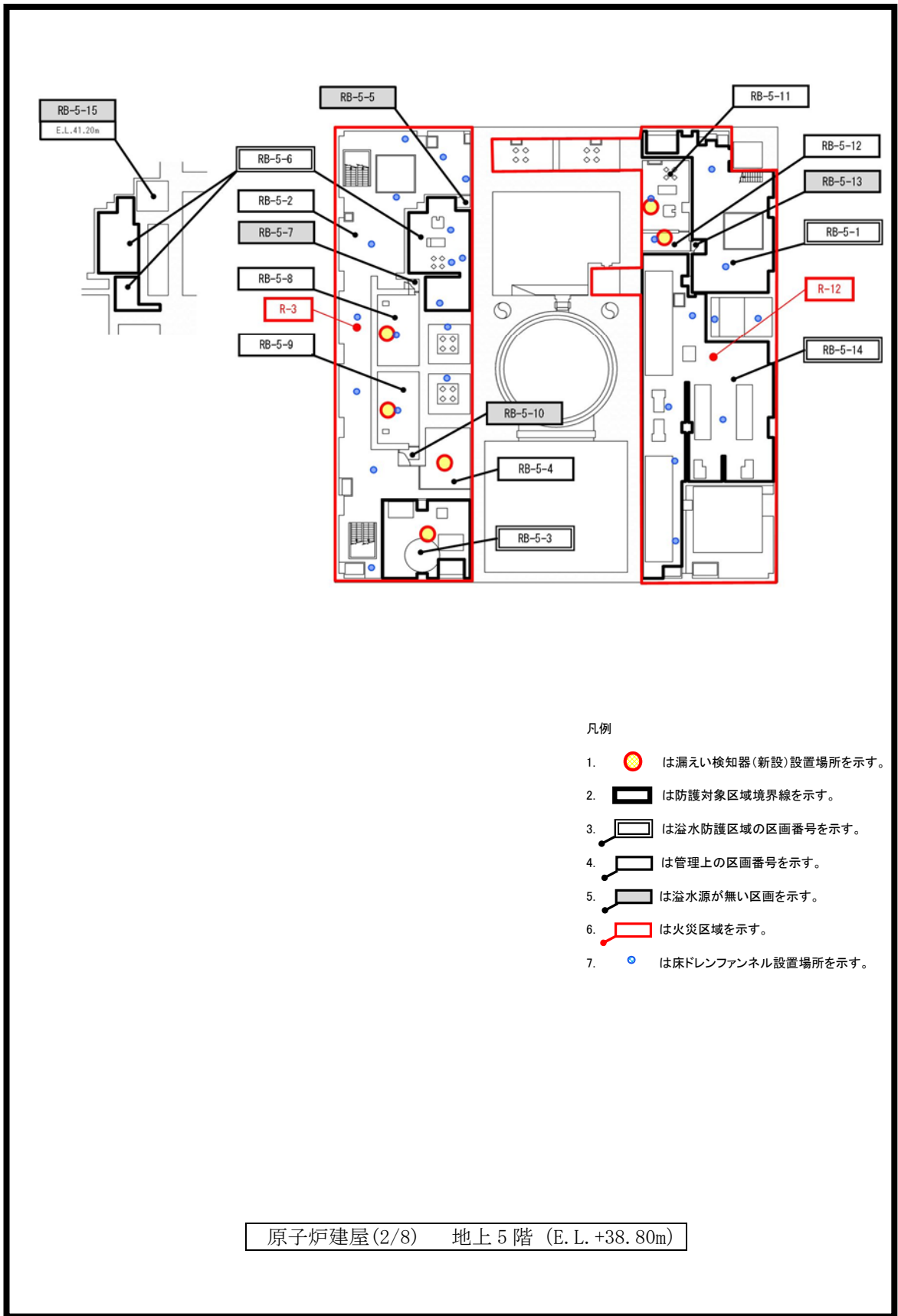
54箇所（原子炉棟，附属棟，廃棄物処理棟）

- ・既設：21か所（原子炉棟，附属棟，廃棄物処理棟）
- ・新設：33箇所（原子炉棟，附属棟，廃棄物処理棟）

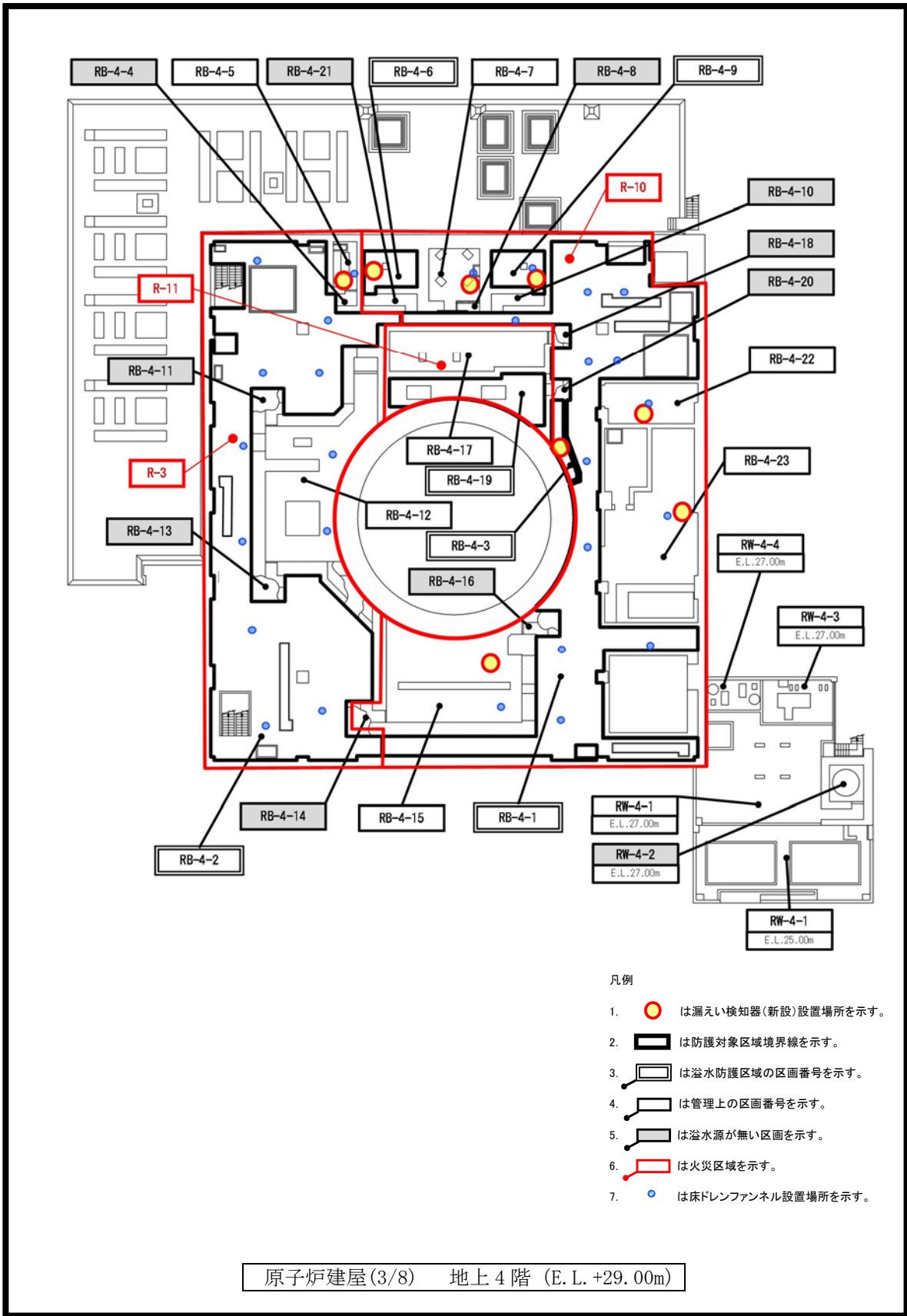




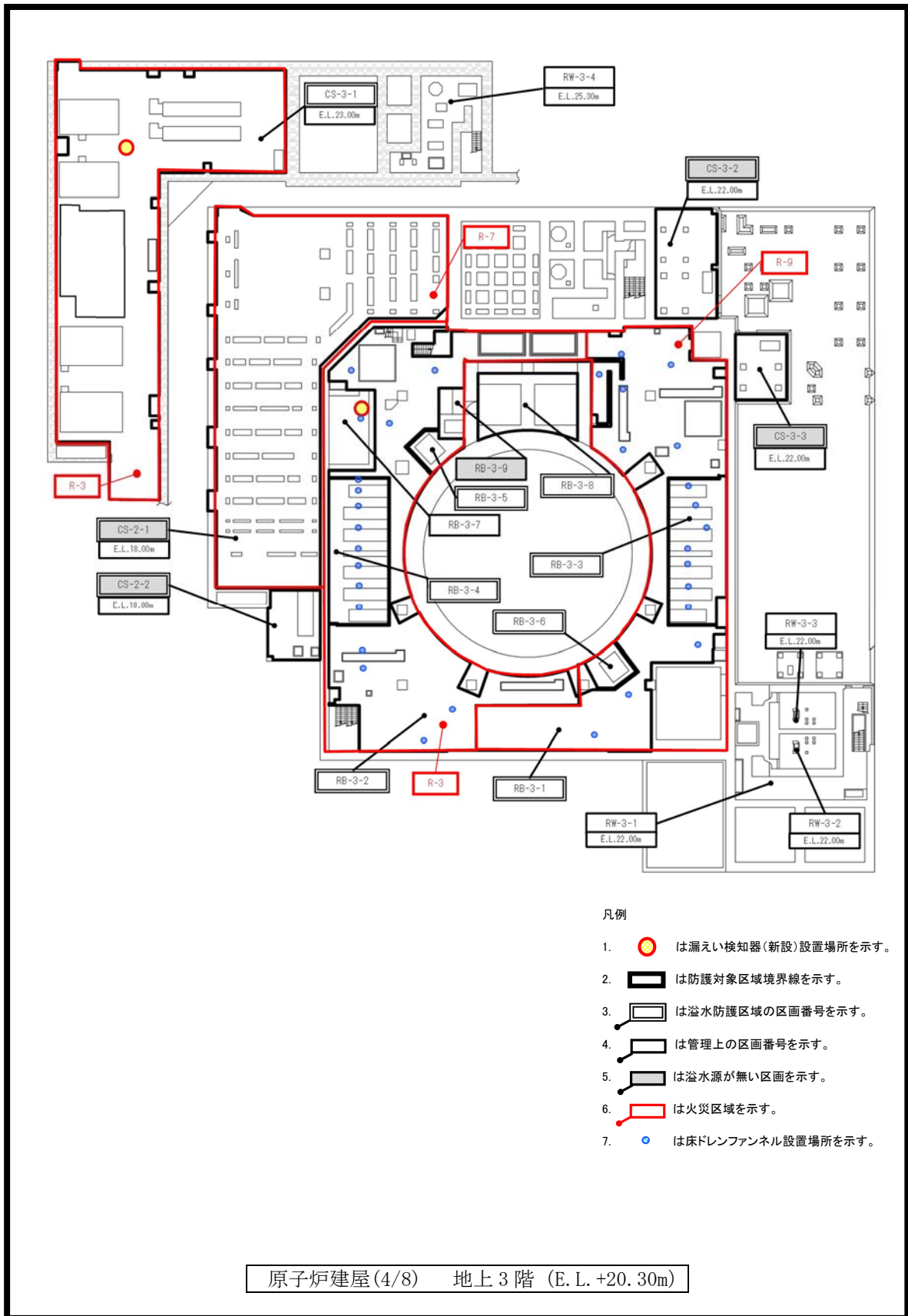
第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(1/8)



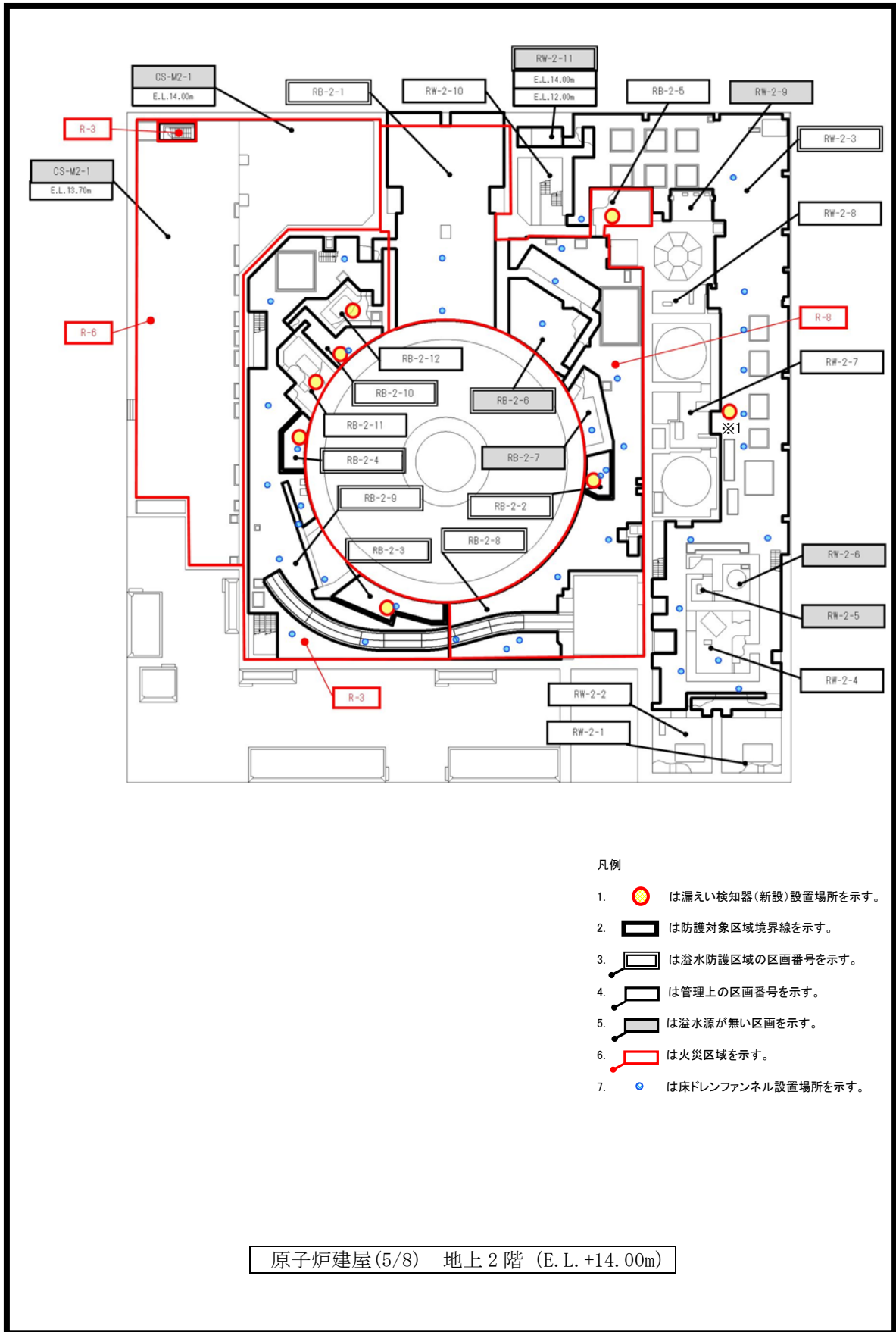
第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(2/8)



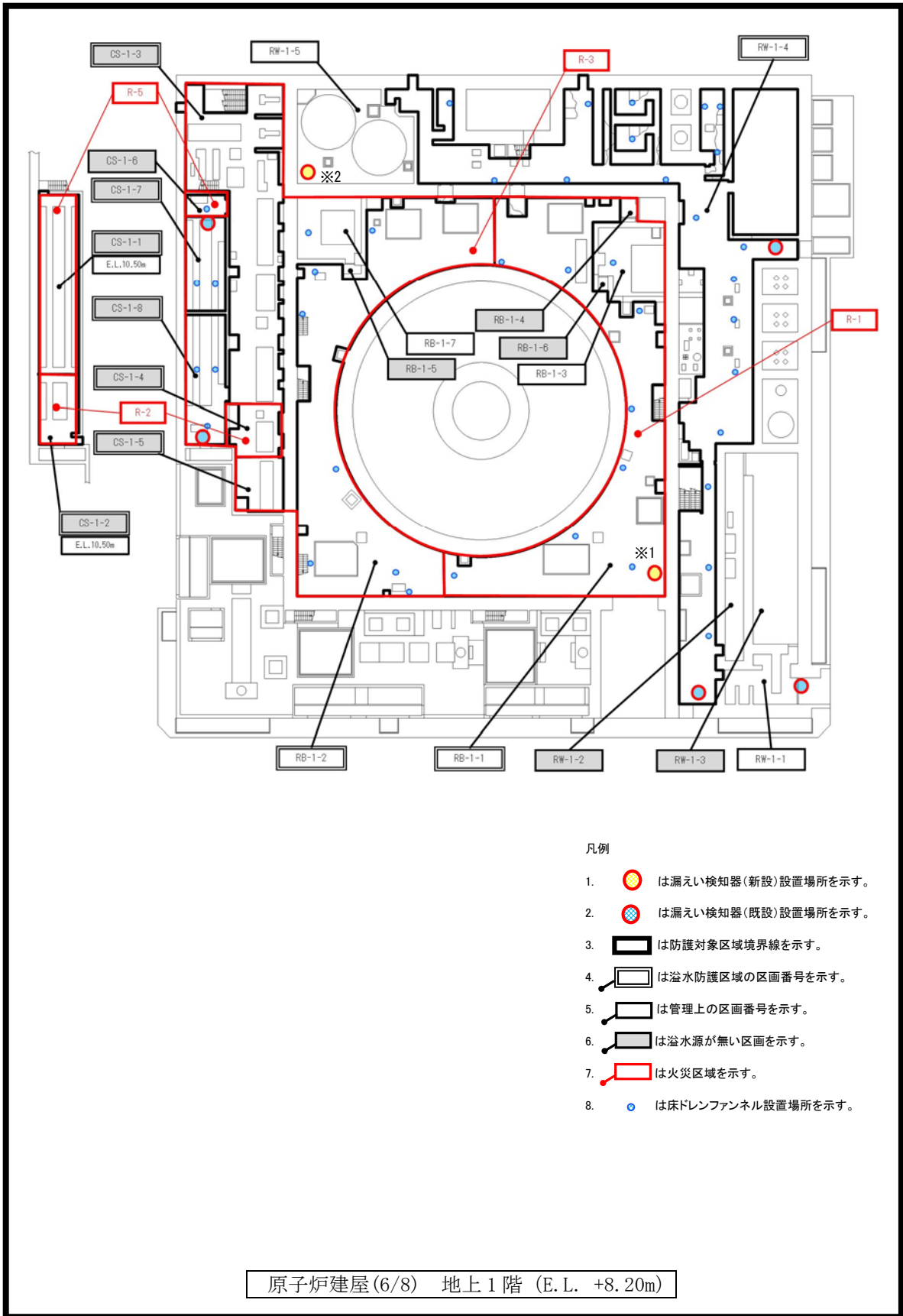
第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(3/8)



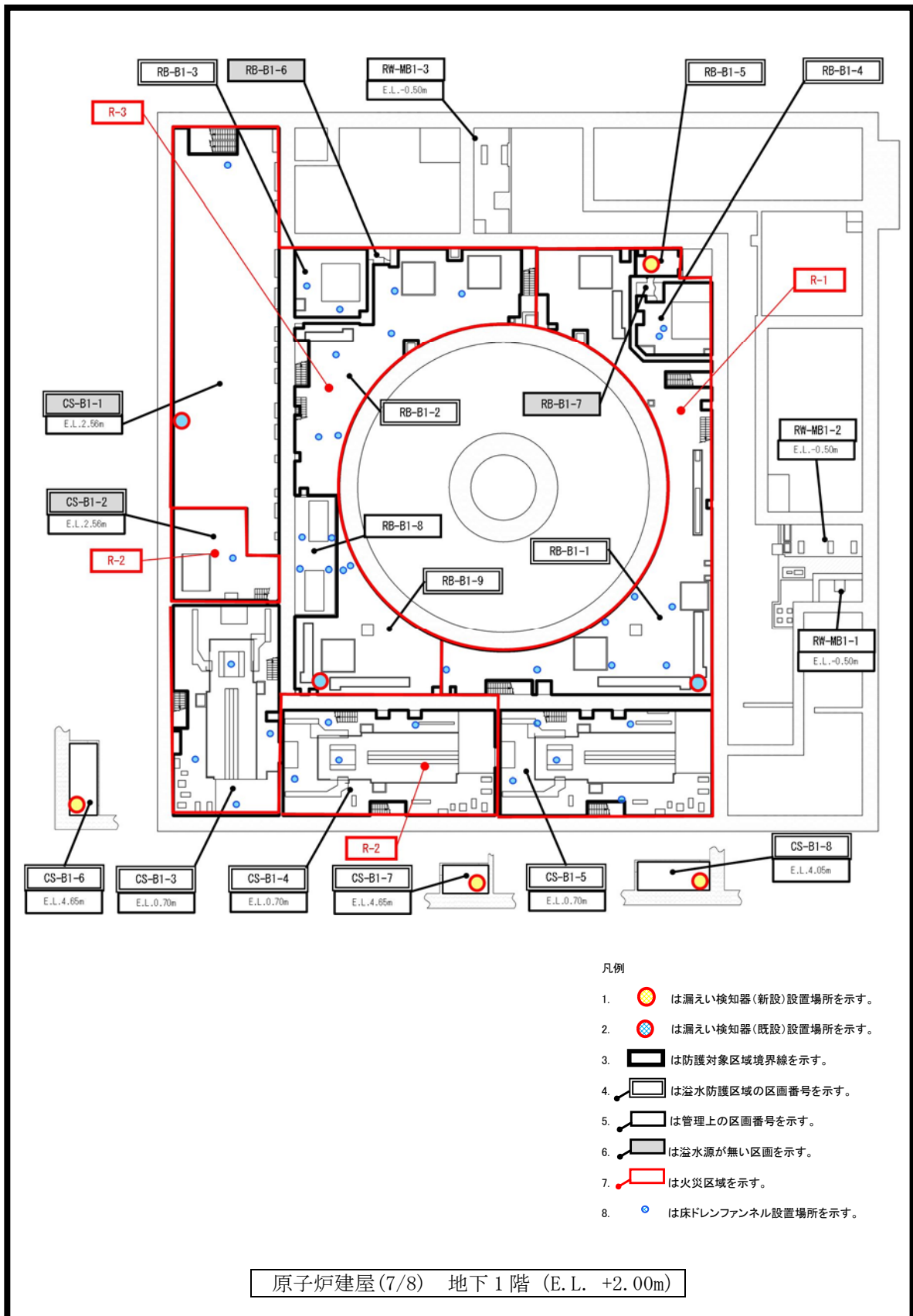
第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(4/8)



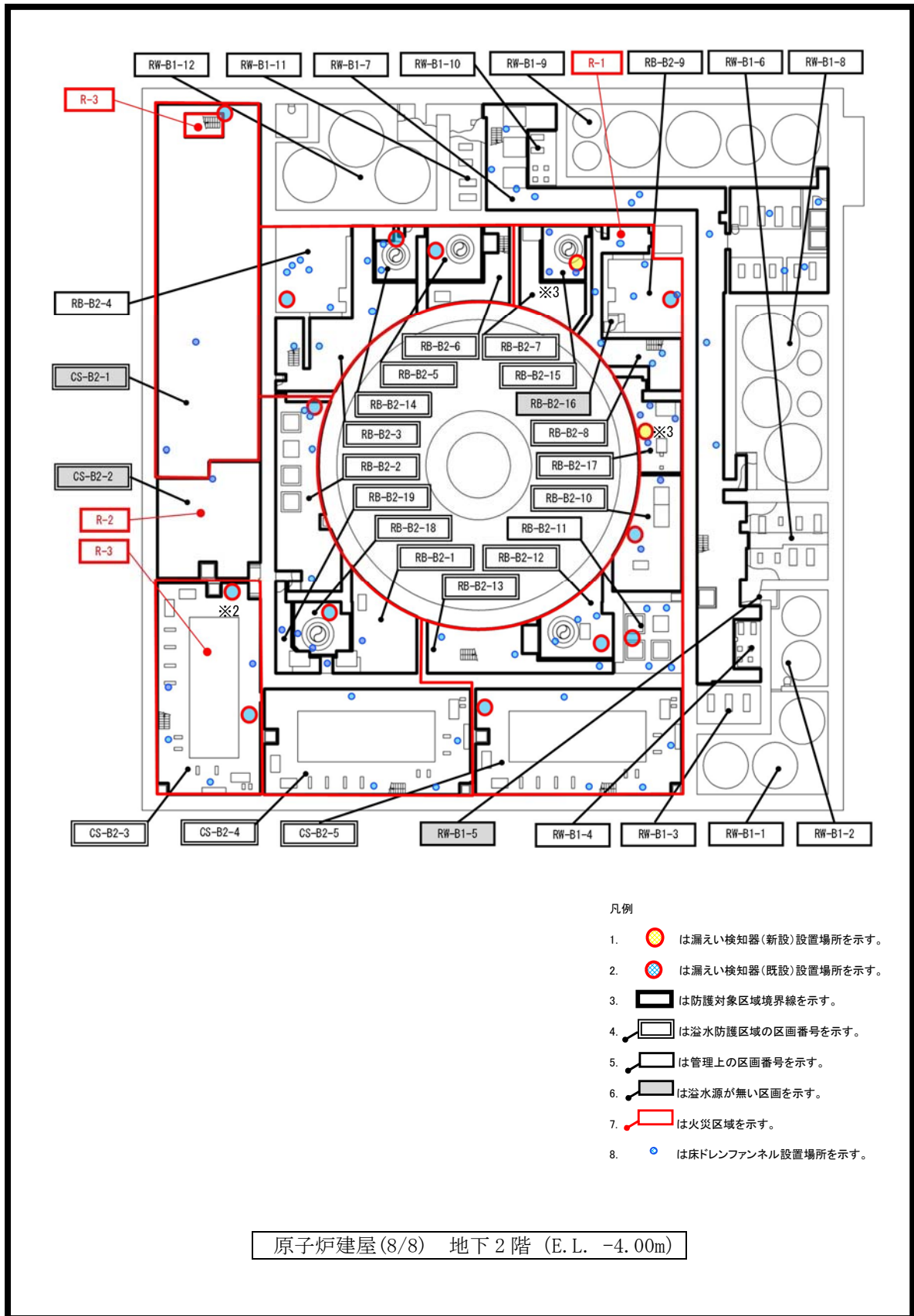
第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(5/8)



第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(6/8)



第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(7/8)



第2図 原子炉建屋内漏えい検知器配置図(8/8)



## 火災防護区画設置を反映した蒸気影響評価について

火災防護区画設置により、各区画の空間容積が減少することから、これを反映して蒸気影響評価を実施し、火災防護区画設置前の環境条件が適用できることを確認した。

## 1. 評価の前提条件

原子炉隔離時冷却系の蒸気配管は、原子炉棟 3 階及び 2 階の一般通路部に設置されていることから、破損を想定した場合、各エリアの防護対象設備に与える影響が大きい。このため、蒸気影響評価における対策が必要な系統として選定している。

また、各溢水防護対象設備の設置位置と蒸気配管の仕様及び設置位置を考慮し、蒸気漏洩の観点で、最も厳しい環境条件となると考えられるのは 2 階、3 階の東側エリアである。

## 2. 蒸気の影響評価における解析評価

内部溢水で想定する蒸気漏えいのケースとして、原子炉隔離時冷却系蒸気供給配管の破損ケースを以下のとおり評価した。流出条件を第 1 表に示す。破断想定箇所と評価区画の配置を第 1 図及び第 2 図に示す。

解析ケース及び入力データは以下とした。

- ・ 建屋モデル：原子炉建屋原子炉棟（火災防護の区分壁設置による区域）

解析モデル図を第 3 図に示す。

- ・ 破損形状：原子炉隔離時冷却系蒸気配管の貫通クラック

(ターミナルエンド部については、防護カバーの設置並びに、漏えい検知システムにより漏洩量抑制対策を実施)

- ・漏えい停止 : 漏えい時の差圧検出によるインターロック動作

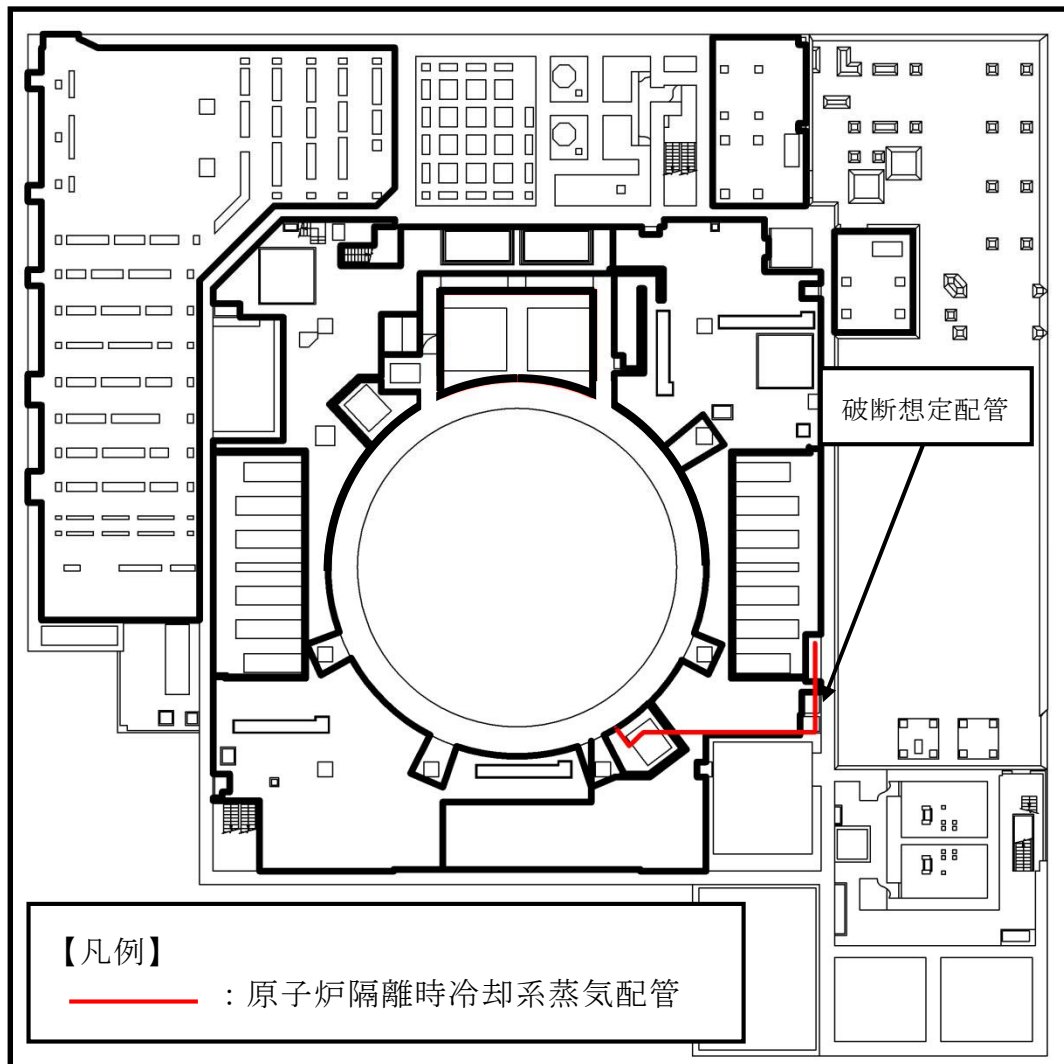
**【入力データ】**

- ・区画体積及びパス開口面積
- ・空調条件 (停止)
- ・区画初期条件 (温度, 湿度, 圧力) 40°C, 相対湿度 100%, 大気圧  
外気温度 : 40°C
- ・ヒートシンクとなる構造物 (コンクリート壁等) への熱伝達による温度低下は保守的に無いものとする。

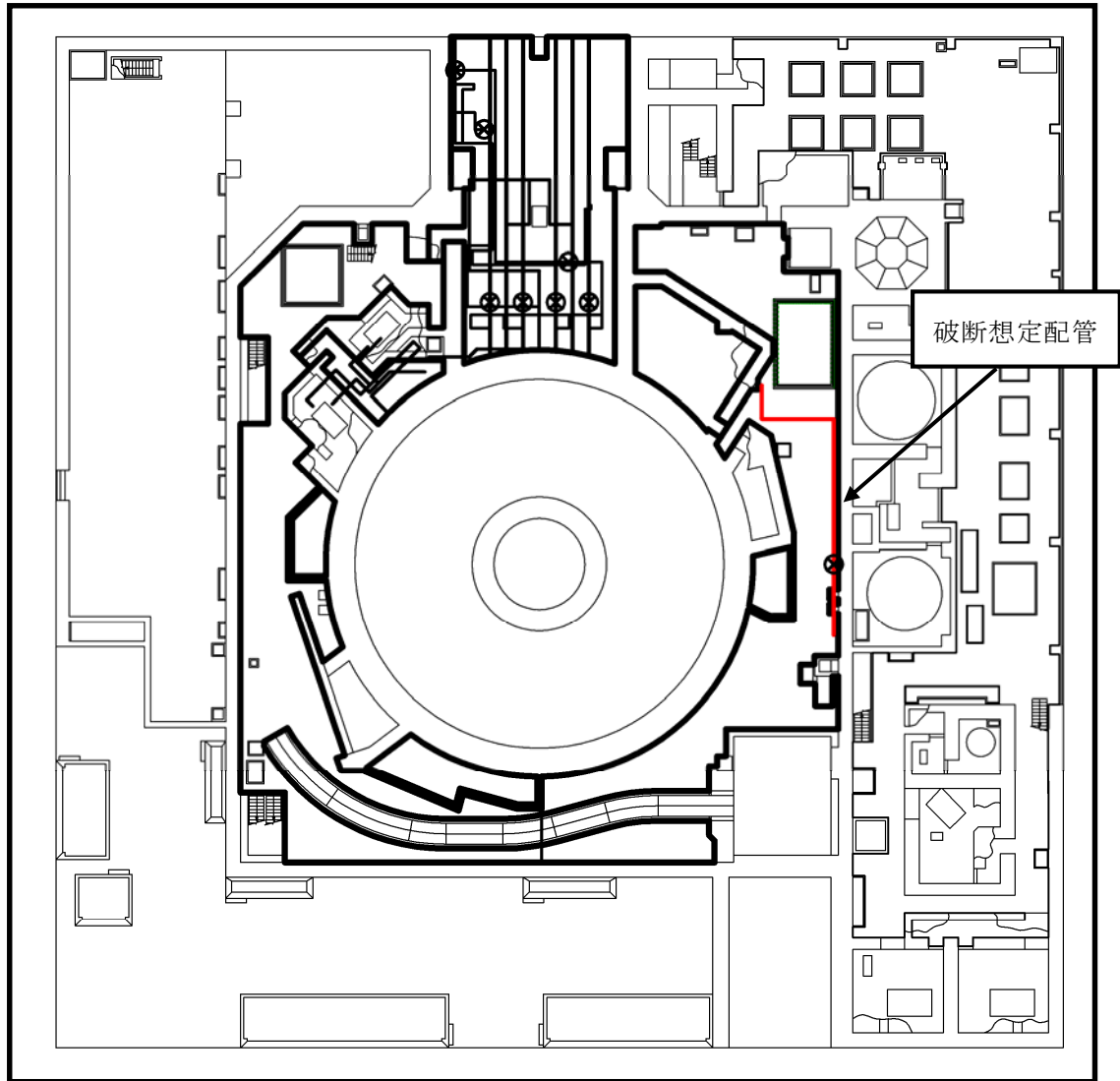
第1表 配管からの流出条件

系統	配管径	破損形態	流出圧力 <sup>※1</sup>	流出温度 <sup>※1</sup>	流体の状態 (蒸気)	隔離時間	設置場所
			(MPa)	(°C)			
RCIC	10B	1/4Dt貫通 クラック	7.04	287	单相流	10秒	3F東 ~1F東

※1 圧力と温度は、系統の運転圧力と運転温度

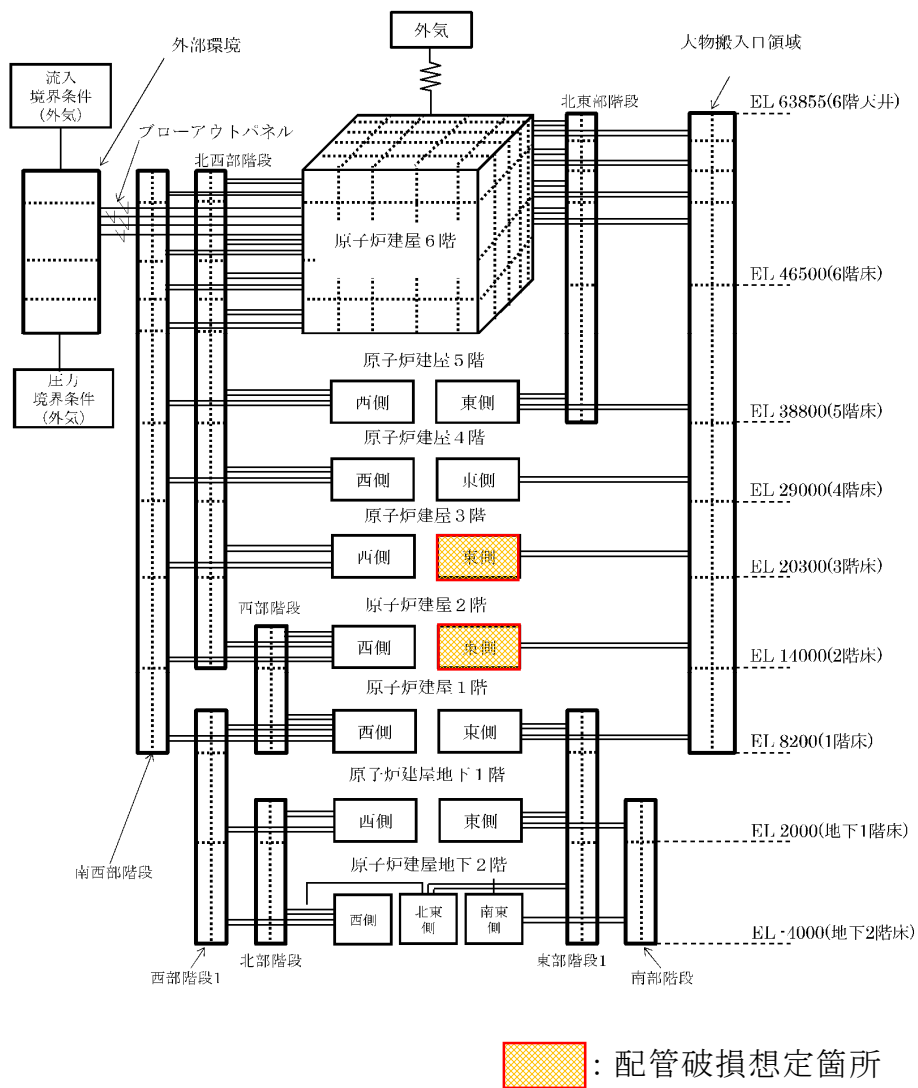


第1図 評価概要図 原子炉建屋 地上3階 (E.L. +20.30m)



【凡例】 —— : 原子炉隔離時冷却系蒸気配管

第2図 評価概要図 原子炉建屋 2階 (E.L. +14.0m)

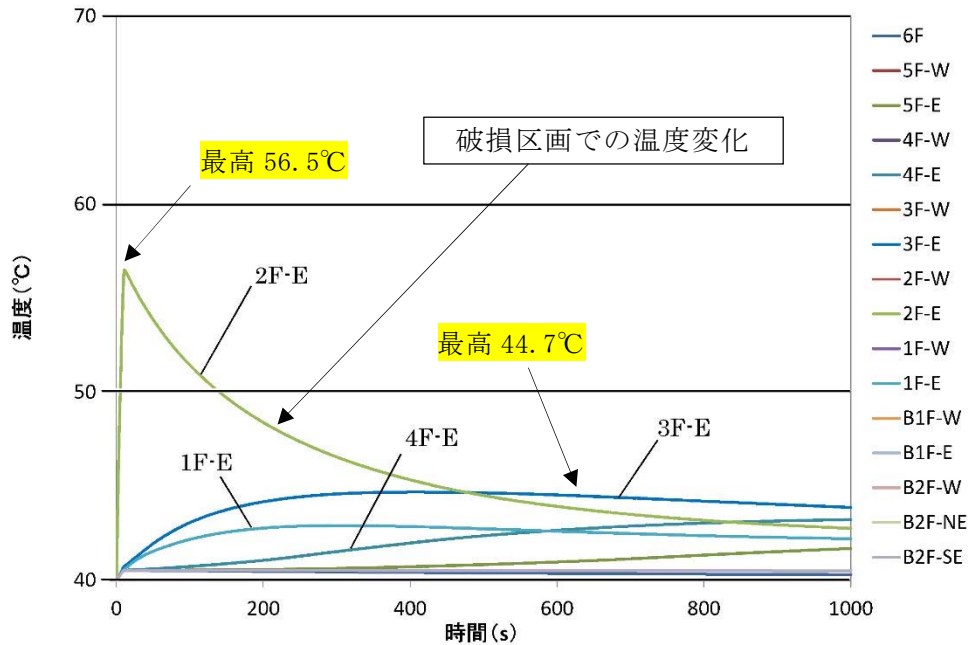


第 3 図 解析モデル図

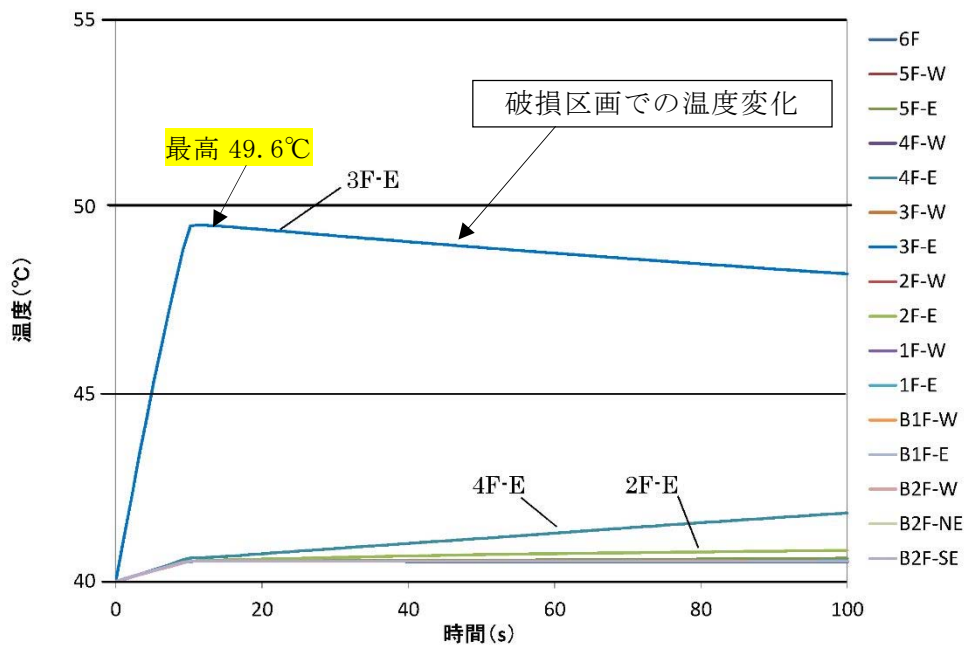
## 2. 評価結果

原子炉棟の東西各エリアの温度解析結果を第4図及び第5図に示す。

この結果は、原子炉建屋内機器の環境条件 66℃を満足するものとなる。



第4図 区画の温度変化 (3階で破損を想定)



第5図 区画の温度変化 (3階で破損を想定)

### 3. 温度評価の保守性について

3次元流体解析結果を用いた区域の温度評価における保守性について、解析に用いる各種インプットデータ毎に検討を行った。保守性を考慮している項目について、第2表に示す。

#### 【解析評価における保守性の考慮】

- ・ 実際の区画体積より小さい体積で評価  
(機器等の基礎部を除外した区画面積の70%容積で算定)
- ・ 壁で囲まれた区画内を分割せずに1ノードとして評価  
(噴出箇所からの距離等による温度低下を考慮しない)
- ・ 区画内の構造物(コンクリート壁, 床等, 機器等)への熱伝達による温度低下を考慮せず評価

第2表 区分分離実施による影響評価

	項目	条件設定	評価の保守性
1	区画体積	解析区画ごとの空間体積	○
2	開口面積	区画間の開口部面積	—
3	空調条件		
	通常運転	区画の給気口, 排気口, 風量を設定	—
	空調停止	防火ダンパ閉等による開口部	—
4	初期条件	環境温度 環境湿度 環境圧力	— — —
5	境界条件等		
	溢水箇所 の設定	配管サイズ 内部流体の圧力 温度の設定	— — —
6	破損形態	破損箇所からの質量流量 エネルギー放出量の設定	— —
7	ノード	各区画を1ノードで評価	○
8	その他	隔離後も配管容積分を継続放出 ヒートシンクの熱伝達を模擬しない 拡散蒸気は凝縮せず空調より排出	— ○ —

解析コードを用いた拡散解析では、破損箇所から蒸気は解析区画内に均一に広がり、同一解析区画内での任意の位置における温度は平均になるとしている。

一方、実際の蒸気漏えい状況については、破損位置から距離が離れることで、拡散による温度勾配が現れるものと考えられる。

以上から、解析結果については、十分な保守性を有した結果となっていると考える。



#### 4. 当初評価と今回評価の相違点について

##### 4.1 評価の経緯

当初、建設時の区画条件で3次元流体解析による蒸気の影響評価を実施したことから、この結果を基に、火災区域設置後の状況を想定し、簡易評価を実施した。この際、各区画の空間容積が減少することから、当初評価に対して温度上昇が懸念されたため、配管の破損形状を見直し、蒸気の流出を削減する条件の見直しを実施した。これらを反映し、簡易評価にて蒸気影響評価を実施し、火災区域設置前の建設時の環境条件が適用できることを確認した。

今回、改めて火災区域設置後の区画分離条件と蒸気の流出量を削減した条件にて、3次元流体解析による蒸気の影響評価を実施した。

#### 4.2 解析条件の違いについて

各解析における、条件等の違いについて第2表にまとめる。

第2表 解析条件の違いについて

	【当初評価】		【今回評価】
	過去の解析結果	簡易評価	
解析モデル	火災の区分壁設置前のモデル	区分壁設置後の空間容積を1/2とし、容積比を算定	火災の区分壁設置後のモデル
破損部位と破損形態	ターミナルエンド部の全周破断	貫通クラック破損とし、破損箇所の破断面積比を算定	貫通クラック破損
その他条件	空調運転と空調停止の2ケース実施	同左	同左
代表例の破損位置	原子炉隔離時冷却系蒸気供給配管（2階ターミナルエンド部）	同左	原子炉隔離時冷却系蒸気供給配管（2,3階の一般部）

その他初期条件等の解析条件については、同じ条件にて評価を実施する。

なお、簡易評価については、当初評価の結果を用い「容積比」と「破断面積比」より温度上昇勾配を想定し、環境温度を算定した。代表例の破損位置についても、2階のターミナルエンド部で貫通クラックとして評価した。

#### 4.3 解析結果について

当初評価については、最も環境条件が厳しい破損形態として、ターミナルエンド部の破損を想定した解析の結果から、破損箇所を原子炉棟 2 階として、防護対象機器の多いエリアの 3 階部の環境温度を評価した。

一方、今回の再解析については、破損形状を一般部の貫通クラックとして、破損想定箇所を各フロアに設定して評価した。このうち、2 階、3 階の区画に設置された防護対象設備への影響があるとして破損箇所を 2 階、3 階配管がそれぞれ破損と評価したことから、第 3 表の結果となった。

第 3 表 評価結果について

	簡易評価	今回評価
評価結果	2F で破損⇒3F 47.3℃	2FL 56.5℃ 3FL 48.4℃ 2F で破損⇒3FL 44.7℃

## 破損配管からの蒸気噴流の影響について

蒸気の影響評価では、破損箇所から蒸気は区画内に均一に広がり、同一区画内での任意の位置における温度は平均になるとしている。一方、実際には配管破損位置からごく近傍は漏えい蒸気の直接噴射による防護対象設備への影響が考えられるため、想定破損における蒸気影響評価にて評価対象としている高エネルギー配管（原子炉隔離時冷却系蒸気配管）と防護対象設備との位置関係を確認した。

位置関係の確認にあたって、漏えい蒸気の直接噴射による影響を評価するため、噴流工学<sup>\*1</sup>における乱流/軸対称円形噴流のフローモデルを参考に、配管破損位置からの距離と衝突荷重および蒸気温度の関係を算出した。

具体的には、第1図のように蒸気が配管破損口から $10^\circ$ の拡がり角度<sup>\*2</sup>をもって円錐状に噴出するものとし、配管破損口からの距離における衝突荷重に対応する飽和温度を算出した。また、保守的に蒸気漏えい時の配管から放出されるエネルギーが周囲空気の界面でも減衰せずに伝播することとした。その結果を第2表に示す。

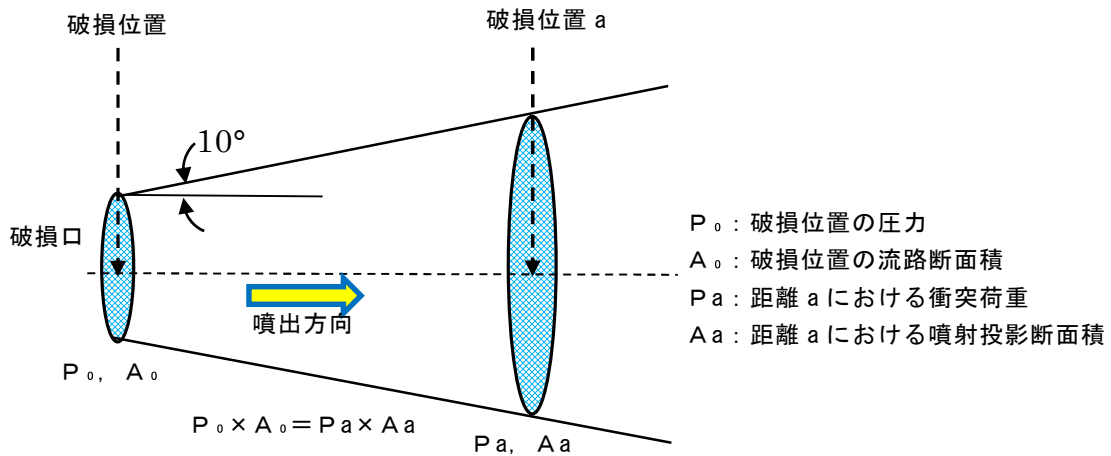
なお、この手法は、蒸気が漏えい箇所から離れるにつれ冷えることによる凝縮、または、サブクール水が大気圧下へ漏えいする際の蒸発といった事象を含む場合に対しても問題なく使用できることから、単相、二相流に関係なく評価ができる。

第1表より、破損口から2mで温度、圧力共に十分低下していることから、高エネルギー配管と防護対象設備との距離について確認した。その結果、最も近

接している水平方向地震加速度検出器でも2m以上の距離があること、併せて配管にカバーが設置されていることから、直接噴射の影響がないことを確認した。現場位置と状況写真を第2図及び第3図に示す。

※1：参考文献：噴流工学（森北出版株式会社）

※2：JSME S NDI-2002においても、内包流体が飽和蒸気の場合、漏えい部付近で $10^\circ$ より大きい角度で拡がること示されている。本評価の $10^\circ$ は保守的な評価となっている。



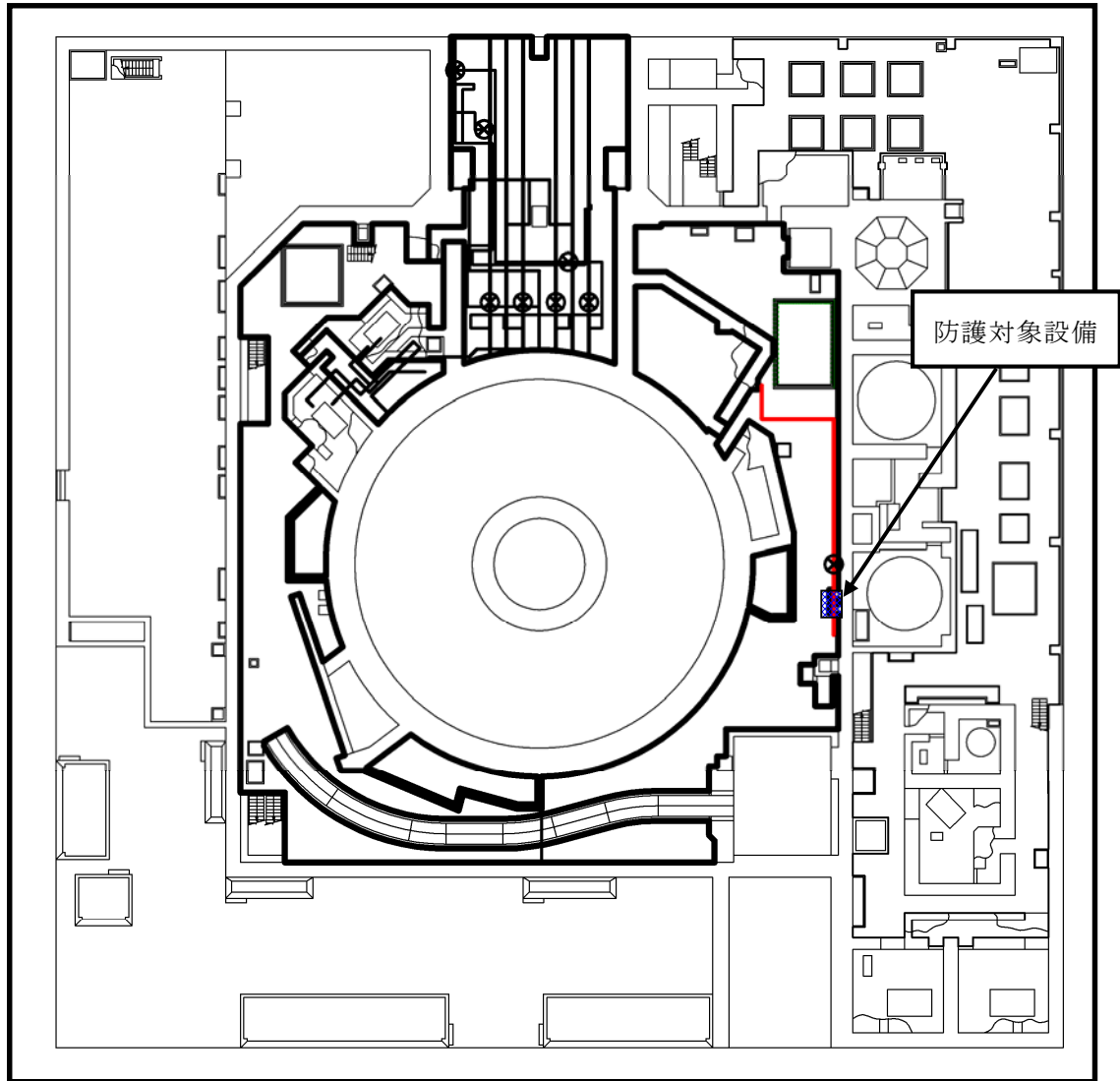
第1図 直接噴射による影響評価範囲図

第1表 抽出配管破損箇所からの距離と衝突荷重および蒸気温度の関係

系統	配管径	破損形態	距離0m ※3		距離1m ※4		距離2m ※4		距離3m ※4	
			荷重 (MPa)	温度 (°C)	荷重 (MPa)	温度 (°C)	荷重 (MPa)	温度 (°C)	荷重 (MPa)	温度 (°C)
RCIC	4B	1/4Dt貫通クラック	8.62	302	0.019	105	0.005	102	0.003	101
RCIC	10B	1/4Dt貫通クラック	8.62	302	0.064	115	0.019	105	0.009	103

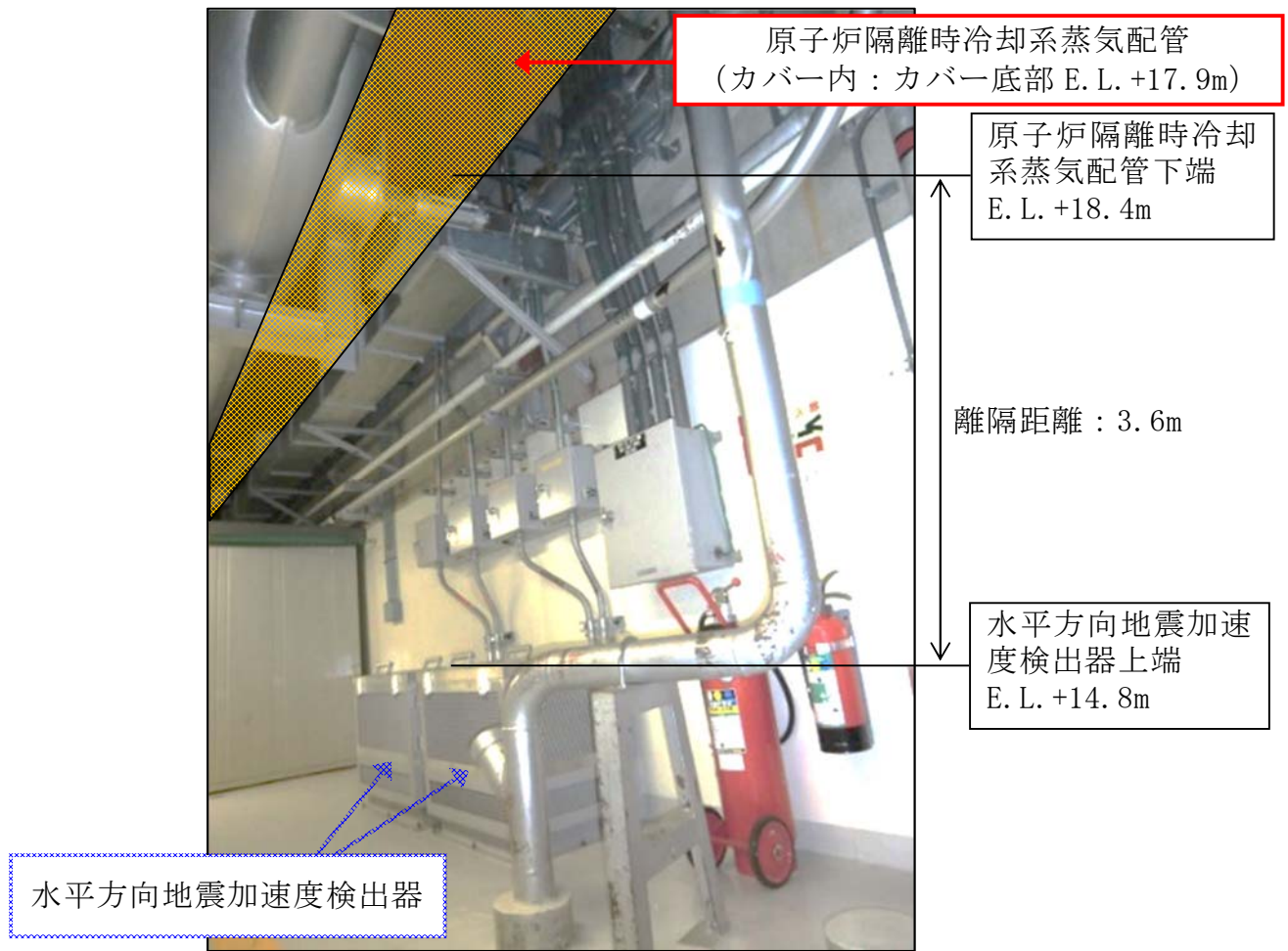
※3 荷重と温度は、系統の内圧および温度

※4 温度は荷重に対する飽和温度より



- 【凡例】
- (Red line) : 原子炉隔離時冷却系蒸気配管
  - (Blue hatched) : 水平方向地震加速度検出器

第2図 対象箇所平面図 原子炉建屋 2階 (E.L. +14.0m)



第3図 現場状況写真 原子炉棟 2階 (E. L. +14.0m)